

# TRU廃棄物の処分概念の検討（Ⅱ）

（動力炉・核燃料開発事業団 研究内容報告書）

1997年3月

鹿島建設株式会社

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、特に限られた関係者だけに開示するものです。ついては、複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう特に注意して下さい。

本資料についての問い合わせは下記に願います。

〒319-11 茨城県那珂郡東海村大字村松4-33

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所

技術開発推進部・技術管理室

## TRU廃棄物の処分概念の検討（Ⅱ）

小関喜久夫*	深沢 栄造*	山本 博之*	平 和男*	田中 俊行*
須山 泰宏*	近藤 嘉広*	末吉 隆信*	藤沢 理*	
山本 正明**	清水 保明**	奥津 一夫**	広中 良和**	須田 晃夫**
小倉 一朗**	赤坂 直人**	羽根 幸司**		
森川 誠司***				
古市 光昭****				

### 要 旨

TRU廃棄物は、高レベル放射性廃棄物と比較して発生量が多いが、発熱性があるものがないため、深地層中に大空洞を掘削して処分することが合理的である。

本研究では廃棄体特性に応じた処分システム概念の構築を行うと共に、人工バリアに係わる基本定数を取得する。本年度の研究成果を以下に示す。

1) 平成7年度の研究成果を基に本年度の研究内容もふまえた上で、TRU廃棄物の処分概念の構築方法並びに設計手順について整理を行った。その結果、処分概念の合理的な設計手順をフローチャートを用いて示すことができ、概念構築の方法を明確にすることができた。

2) TRU廃棄物の処分概念を構築するための基礎検討として、廃棄体特性の整理、掘削可能径の検討、合理的な廃棄体収納方法及び定置方法の検討を行い、最終的に処分空洞の断面形状を設定した。その結果、本研究では処分空洞の方式を断面形状寸法及び空洞形態に応じて岩洞方式、坑道方式、サイロ方式の3種類を設定した。

3) 処分システムの長期安定性に係わるシナリオの検討としてFEPの分類・整理を行い、力学事象に関連するFEPの抽出を行った。そのうち、処分概念に影響を与えると考えられるセメント系材料及び廃棄体の体積変化、廃棄体からのガスの発生、ベントナイトの圧密の3つの事象についてそれぞれ解析的に予備検討を行った。また大空洞の長期挙動については文献調査を行った。その結果、予備検討の段階では現在設定した処分概念へ大きな影響は及ぼさないことがわかった。

4) 上記2)の基礎検討及び3)のシナリオ検討の結果を基に、処分場の各部位についての検討を行い、処分場概念の構築を行った。その結果、廃棄体特性に応じた処分空洞を選定することにより、処分場概念の構築は可能となり、3方式のレイアウトを設定した。

5) 設定した処分空洞、レイアウトなどの処分場概念に対して、建設方法、操業方法、閉鎖方法の検討を行った。その結果、各空洞方式やレイアウトに応じた建設・操業・閉鎖の各作業方法及び工程の設定を行った。

6) Na型ベントナイトを強制的にCa型に変質させたベントナイト（Ca化ベントナイト）、Ca型ベントナイト、ケイ砂とCa化ベントナイトの混合材料について基礎的な物性（膨潤圧、透水係数、一軸圧縮強さ）を取得した。また、Na型ベントナイトおよびCa化ベントナイトの三軸圧縮強さも取得した。

7) 設定した処分場レイアウトについて、コストの検討を行った。その結果、坑道+大断面

岩洞方式，坑道＋小断面岩洞方式，坑道＋サイロ方式の順にコストが高くなる傾向を定量的に把握した。

---

本報告書は，鹿島建設株式会社が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。  
契約番号：080D0339

事業団担当部課室および担当者 東海事業所 環境技術開発室 地層処分開発室 室長 石川 博久

\* 鹿島建設（株）技術研究所

\*\* 鹿島建設（株）建設総事業本部 土木設計本部

\*\*\* 鹿島建設（株）情報システム部

\*\*\*\* 鹿島建設（株）建設総事業本部 原子力室



## A Study of Isolation Concept for Transuranic Radioactive Waste Isolation System

K.Koseki\*,E.Fukazawa\*,H.Yamamoto\*,K.Taira\*,T.Tanaka\*,S.Suyama\*,  
Y.Kondo\*,T.Sueyoshi\*,O.Fujisawa\*  
M.Yamamoto\*\*,Y.Shimizu\*\*,K.Okutsu\*\*,Y.Hiromaka\*\*,A.Suda\*\*,  
I.Ogura\*\*,N.Akasaka\*\*,K.Hane\*\*  
S.Morikawa\*\*\*  
M.Furuichi\*\*\*\*

### Abstract

It is reasonable to dispose of transuranic (TRU) waste in a large hollow excavated in a deep geologic formation because TRU waste are generated in greater amounts but with less heat release compared to high-level radioactive waste(HLW).The present study aims to develop concepts of waste isolation systems according to the waste characteristics and to acquire basic constants related to engineered barriers. The results of the research during fiscal year 1996 are summarized in the following ;

- 1) Based on the research results of fiscal years 1995 and 1996, isolation concepts, repository construction methods,and designing procedures were summarized. As a result, reasonable procedures for designing isolation concepts were identified and represented by flow charts.
- 2) To provide basic information for the development of TRU waste isolation concepts,waste characteristics data was organized, capable bore diameters for excavation were investigated, reasonable methods of waste storage and burial were discussed, and cross-sectional shapes of the isolation space were selected. As a result, Three types of isolation space systems that have different sectional shapes, dimensions, and geometries were identified: cavern, tunnel, and silo systems.
- 3) To investigate scenarios related to the long-term stability of isolation systems, relevant (FEPs) were classified, and FEPs related to kinetic events were extracted. Three events that can affect isolation concepts were preliminarily analyzed: changes in the volumes of cement materials and waste, gas generation from waste, and consolidation of bentonite. Also, the literature on the long-term behavior of large hollows was reviewed The preliminary investigations indicate that these events do not have a profound effect on the proposed isolation concepts.
- 4) Based on the basic studies in (2) and the scenario studies in (3) , different repository portions were studied to develop repository concepts. As a result, three types of repository concepts were developed by selecting suitable isolation systems according to the waste characteristics.
- 5) Methods of construction, operation, and closure were studied for different repository concepts in consideration of isolation hollow systems and layouts. As a result, methods and processes of construction, operation, and closure were identified according to the hollow and layout conditions.
- 6) Basic properties (such as swelling pressure, permeability, and uniaxial compressive strength) of Ca bentonite artificially altered from Na bentonite (Ca converted bentonite),Ca bentonite, a mixture of silica sand and Ca bentonite were determined. Values of triaxial compressive strength of Na bentonite and Ca converted bentonite were also obtained.
- 7) Costs of the identified repository layouts were estimated quantitatively. The results indicate that the tunnel/large-scale cavern, tunnel/small-scale cavern, and tunnel/silo systems are in de

scending order of cost.

---

Work performed by KAJIMA Corporation under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

Contract No.080D0339

PNC Liaison: Geological Isolation Technology Section, Waste Technology Development Division, Tokai Works, Hirohisa Ishikawa

- \* : KAJIMA Technical Research Institute
- \*\* : KAJIMA Corporation, Civil Engineering Design Dept.
- \*\*\* : KAJIMA Corporation, Information Processing Center
- \*\*\*\* : KAJIMA Corporation, Nuclear Power Dept.

はじめに

本研究の目的は、廃棄体、人工バリアを含む処分システムについて、力学的特性、変質、体積変化などの安定性を評価することにより、TRU廃棄物の廃棄体特性に応じた処分システム概念を示すことである。

## 研究の内容

本研究で実施する研究内容を以下に説明する。

### 1. 基本概念の構築方法とその進め方

TRU処分コンセプトの構築に関するフローチャートを示し、今後、処分場を概念設計する上で必要な設計手順を整理する。

### 2. 検討条件

廃棄体特性、サイト特性、検討対象施設などについて基礎データを収集・整理し、前提条件を示す。

### 3. 基礎検討

処分場設置深度、アクセス形式、掘削可能径、人工バリア、廃棄体収納方法及び定置方法の検討を行い、処分空洞の断面形状について、岩洞方式、坑道方式、サイロ方式の3種類を示す。

### 4. 処分システムの長期安定性に係わる重要事項の検討

#### (1) 処分システムの長期安定性に係わるシナリオの検討

平成7年度の検討で設定した処分システムの長期安定性に係わる基本シナリオについて、FEPの詳細化などによる見直しを実施する。そのことにより基本シナリオの高度化を図ると共に、更なる課題や重要事項の抽出を行う。

#### (2) 人工バリア材の体積変化、ガス蓄圧の影響評価

人工バリアのうち、緩衝材（ベントナイト系）は、廃棄体の有害空隙や固化材料及びセメント系人工バリア材からの成分溶出に伴う長期的な体積変化が予想される。この変化量を評価すると共に、変化後のベントナイト特性を評価し、処分システムの成立性を検討する。また、発生したガスが処分空洞内に蓄圧した場合を想定し、処分システムへの影響具合を考察する。検討の対象とするガス発生の原因は、最も発生量の多い金属の腐食とする。

#### (3) 大空洞長期挙動の予備検討

岩盤は長期的に見れば変形し、空洞形状を変えてしまう恐れがある。そこで、その影響を解析的に把握するために、長期的な岩盤挙動を評価する解析モデル及び解析モデル

に必要なデータを調査する。その上で、必要なデータの設定方法並びに取得方法について整理する。

## 5. 処分場コンセプトの構築

### (1) 部位の検討

部位の検討は、①処分空洞の長さ②処分空洞の離間距離③処分空洞の配置④主要坑道の断面・配置・本数⑤連絡坑道の断面・配置⑥処分パネルの概念⑦処分パネルの配置⑧処分パネルの大きさ⑨アクセス坑道の本数・断面・配置⑩廃棄体の埋設密度について行い、これらにより処分場の概念を構築した。

### (2) 全体レイアウト

廃棄体特性に応じた処分空洞を選定することによって、坑道+大断面岩洞方式、坑道+小断面岩洞方式、坑道+サイロ方式の3方式のレイアウトを設定した。

### (3) 建設、操業、閉鎖計画

建設計画については、地下施設建設の施工手順、施工方法及び人工バリア製造設備の仕様についての検討を行う。操業計画については、地下施設への廃棄体の搬送方法、定置作業等操業についての検討を行う。閉鎖計画については、閉鎖目的や技術について検討する。

## 6. 人工バリア材料の力学的特性データの取得

カルシウム型に変質させたベントナイト単体及びそれにケイ砂を混合した材料に対し混合率を変化させて、蒸留水を透過させた場合の膨潤圧、透過係数、一軸圧縮強さ等の特性データを試験により取得する。また、天然のカルシウム型ベントナイト単体についても特性データを取得し、カルシウム型に変質させたベントナイト単体との違いを評価する。平成7年度に試験準備を行った三軸圧縮試験(CU)の結果も示す。

## 7. コストの試算

処分場コンセプトの構築によって得られた3つのレイアウトについて、コストの検討を行った。

# 目 次

	PAGE
第1章 処分システムの基本概念及び仕様の明確化 .....	1.1-1
1.1 基本概念の構築方法とその進め方 .....	1.1-1
1.2 検討条件 .....	1.2-1
1.2.1 廃棄体特性 .....	1.2-1
(1) 廃棄体種類と廃棄体の発生量 .....	1.2-1
(2) 廃棄体の特徴 .....	1.2-16
(a) 圧縮固化体（セメント充填含む） .....	1.2-16
(b) アスファルト（ピチューメン）固化体 .....	1.2-21
(c) セメント固化体 .....	1.2-22
(d) 溶融+セメント充填固化体 .....	1.2-24
(e) プラスチック+セメント充填固化体 .....	1.2-24
(f) 切断+セメント充填固化体 .....	1.2-24
(g) 解体+セメント充填固化体 .....	1.2-25
(h) 再処理工場解体廃棄物 .....	1.2-25
1.2.2 サイト特性 .....	1.2-26
(1) 岩盤の力学特性 .....	1.2-26
(2) 岩盤の水理特性 .....	1.2-27
1.2.3 検討対象施設 .....	1.2-28
(1) 主要施設 .....	1.2-28
(a) 地上施設 .....	1.2-28
(b) 地下施設 .....	1.2-29
(c) 工事中設備 .....	1.2-30
(2) 各施設の検討範囲 .....	1.2-32
1.2.4 その他の前提条件 .....	1.2-33
(1) 廃棄体の搬入スケジュール .....	1.2-33
(2) 放射線管理(放射線管理区域と非放射線管理区域の区分)の考え方 .....	1.2-34
(3) その他 .....	1.2-35
1.3 基礎検討 .....	1.3-1
1.3.1 処分場設置深度 .....	1.3-2
1.3.2 アクセスの形式 .....	1.3-2
(1) 基本的な考え方 .....	1.3-2

(2) 諸外国のアクセス方式と本検討での設定 .....	1.3-2
1.3.3 掘削可能径の検討 .....	1.3-4
(1) 処分空洞の規模 .....	1.3-4
(a) 基本的な考え方 .....	1.3-4
(b) 検討方法 .....	1.3-4
(c) 検討結果 .....	1.3-8
(d) 空洞規模の設定 .....	1.3-11
(2) 処分空洞の形態 .....	1.3-13
(参考) 岩盤物性値の見直しと最大掘削径 .....	1.3-15
1.3.4 人工バリアの基本概念 .....	1.3-20
(1) 人工バリアの目的 .....	1.3-20
(2) 人工バリアの基本構成 .....	1.3-20
(3) 人工バリアの候補材料 .....	1.3-21
(a) 構造材 .....	1.3-21
(b) 充填材 .....	1.3-22
(c) 緩衝材 .....	1.3-23
(4) 人工バリアの基本構造 .....	1.3-27
1.3.5 廃棄体収納方法及び定置方法 .....	1.3-30
(1) 廃棄体収納方法 .....	1.3-30
(a) 基本的な考え方 .....	1.3-30
(b) 本検討での設定 .....	1.3-30
(2) 廃棄体の定置方法 .....	1.3-37
(a) 基本的な考え方 .....	1.3-37
(b) 本検討での設定 .....	1.3-37
1.3.6 処分空洞の断面形状 .....	1.3-39
(1) 断面形状の設定 .....	1.3-39
(2) コンクリート構造物の側壁部材厚の概略検討 .....	1.3-48
(a) 検討条件 .....	1.3-48
(b) 検討モデル .....	1.3-49
(c) 検討結果 .....	1.3-52
1.4 処分システムの長期安定性に係わる重要事項の検討 .....	1.4-1
1.4.1 処分システムの長期安定性に係わるシナリオの検討 .....	1.4-1
1.4.2 熱解析 .....	1.4-10
(1) 検討の位置付け .....	1.4-10

(2) 検討方法 .....	1.4-10
(a) 解析モデル .....	1.4-10
(b) 要素分割及び境界条件 .....	1.4-11
(c) 解析用物性値 .....	1.4-15
(d) 廃棄体の発熱特性 .....	1.4-15
(3) 検討結果 .....	1.4-17
(a) 解析ケース .....	1.4-17
(b) 解析による温度算定位置 .....	1.4-17
(c) 温度算定結果 .....	1.4-20
1.4.3 ベントナイトの透水性変化の検討 .....	1.4-25
(1) セメント成分溶出量の検討 .....	1.4-25
(a) 現状の仮定と問題点 .....	1.4-25
(b) 各種セメント系材料の溶出・溶脱による体積変化予測 .....	1.4-26
(2) 体積変化解析 .....	1.4-34
(a) 検討の位置付け .....	1.4-34
(b) 体積変化解析 .....	1.4-36
(c) 解析の確認実験の提案 .....	1.4-63
1.4.4 ベントナイトの圧密解析 .....	1.4-68
(1) 検討の位置付け .....	1.4-68
(2) 解析条件 .....	1.4-68
(a) 解析方法 .....	1.4-68
(b) 解析用物性値 .....	1.4-68
(c) 解析モデル .....	1.4-71
(d) 解析ケース .....	1.4-72
(e) 排水条件 .....	1.4-72
(f) 荷重条件 .....	1.4-72
(g) 境界条件 .....	1.4-74
(3) 解析結果 .....	1.4-75
1.4.5 ガス蓄圧の影響評価 .....	1.4-76
(1) 平衡ガス圧の算定方法 .....	1.4-76
(a) 平衡ガス圧の算定方法 .....	1.4-76
(b) 計算に考慮する金属 .....	1.4-77
(c) 金属の腐食反応式 .....	1.4-78
(d) 金属の腐食速度 .....	1.4-78
(e) ガス発生速度（モル式）算定式 .....	1.4-78

(f) 廃棄体1本当たりのガス発生量 (モル数) .....	1.4-78
(2) 大断面岩洞方式の平衡ガス圧の算定 .....	1.4-81
(a) 大断面岩洞方式 .....	1.4-81
(b) 計算条件 .....	1.4-81
(c) 平衡ガス圧の算定 .....	1.4-82
(3) 処分システムの比較 .....	1.4-85
(a) 周辺岩体への影響 .....	1.4-85
(b) 人工バリア材への影響 .....	1.4-86
1.4.6 大空洞長期挙動の予備的検討 .....	1.4-87
(1) 解析モデル及びデータに関する文献調査 .....	1.4-87
(2) データの設定方法及び取得方法の整理 .....	1.4-92
1.4.7 処分システムの成立性の検討 .....	1.4-94
(a) 処分システムの設定 .....	1.4-94
(b) 廃棄体の特性に適した処分空洞方式の設定 .....	1.4-95
1.4.8 今後の課題 .....	1.4-98
1.5 処分場コンセプトの構築 .....	1.5-1
1.5.1 部位の設計 .....	1.5-1
(1) 処分空洞の概要 .....	1.5-1
(2) 処分空洞の長さ .....	1.5-1
(a) 基本的な考え方 .....	1.5-1
(b) 廃棄体特性に応じた処分空洞の選定 .....	1.5-2
(c) 処分空洞の組み合わせ .....	1.5-3
(d) 処分空洞長の算定 .....	1.5-4
(3) 処分空洞の離間距離 .....	1.5-7
(a) 基本的な考え方 .....	1.5-7
(b) 力学的な方法による離間距離の検討 .....	1.5-7
(c) 熱解析の結果による離間距離の検討 .....	1.5-10
(d) 本検討での設定 .....	1.5-10
(4) 処分空洞の配置 .....	1.5-12
(a) 基本的な考え方 .....	1.5-12
(b) 本検討での設定 .....	1.5-12
(5) 主要坑道の断面・配置・本数 .....	1.5-17
(a) 基本的な考え方 .....	1.5-17
(b) 本検討での設定 .....	1.5-17
(6) 連絡坑道の断面・配置 .....	1.5-19



(a) 基本的な考え方 .....	1.5-19
(b) 本検討での設定 .....	1.5-19
(7) 処分パネルの概念 .....	1.5-23
(8) 処分パネルの配置 .....	1.5-24
(a) 基本的な考え方 .....	1.5-24
(b) 本検討での設定 .....	1.5-24
(9) 処分パネルの大きさ .....	1.5-28
(a) 基本的な考え方 .....	1.5-28
(b) 本検討での設定 .....	1.5-28
(10) アクセス坑道の本数・断面・配置 .....	1.5-31
(a) 基本的な考え方 .....	1.5-31
(b) 本検討での設定 .....	1.5-32
(11) 廃棄体の埋設密度 .....	1.5-34
(a) 基本的な考え方 .....	1.5-34
(b) 本検討での設定 .....	1.5-34
1.5.2 全体レイアウト .....	1.5-35
1.5.3 建設計画 .....	1.5-41
(1) 施工手順 .....	1.5-41
(a) 基本的な考え方 .....	1.5-41
(b) 本検討での設定 .....	1.5-41
(2) 岩盤の掘削方法, 支保工・覆工方式 .....	1.5-43
(a) 基本的な考え方 .....	1.5-43
(b) 本検討での設定 .....	1.5-43
(3) アクセス坑道 .....	1.5-45
(a) 基本的な考え方 .....	1.5-45
(b) 本検討での設定 .....	1.5-45
(4) 主要坑道, 連絡坑道および換気坑道 .....	1.5-47
(a) 基本的な考え方 .....	1.5-47
(b) 本検討での設定 .....	1.5-47
(5) 処分空洞 .....	1.5-49
(a) 基本的な考え方 .....	1.5-49
(b) 本検討での設定 .....	1.5-49
(6) 人工バリア製造設備の仕様 .....	1.5-53
1.5.4 操業計画 .....	1.5-54
(1) 操業計画の範囲 .....	1.5-54

(2) 廃棄体の搬送方法 .....	1.5-57
(a) 基本的な考え方 .....	1.5-57
(b) 本検討での設定 .....	1.5-57
(3) 廃棄体の定置作業方法 .....	1.5-66
(a) 基本的な考え方 .....	1.5-66
(b) 本検討での設定 .....	1.5-66
(4) 操業全体の流れと工程 .....	1.5-72
(a) 操業の基本的要件 .....	1.5-72
(b) 操業全体の流れ .....	1.5-73
(c) 搬送距離 .....	1.5-74
(d) 各作業の所要時間 .....	1.5-75
(e) 処分量の確認 .....	1.5-76
1.5.5 閉鎖計画 .....	1.5-78
(1) 閉鎖の目的及び要求性能 .....	1.5-78
(2) 閉鎖の要素技術 .....	1.5-78
(a) 埋戻し .....	1.5-78
(b) プラグ .....	1.5-79
(c) グラウト .....	1.5-79
(3) 閉鎖の候補材料 .....	1.5-79
(4) 処分空洞の閉鎖 .....	1.5-79
(5) アクセス・主要坑道・連絡坑道の閉鎖 .....	1.5-83
1.5.6 その他 .....	1.5-84
(1) 換気システム .....	1.5-84
(a) 基本的な考え方 .....	1.5-84
(b) 本検討での設定 .....	1.5-84
(2) 排水システム .....	1.5-88
(a) 基本的な考え方 .....	1.5-88
(b) 本検討での設定 .....	1.5-88
第2章 人工バリア材料の力学特性データの取得 .....	2-1
2.1 目的 .....	2-1
2.2 使用材料 .....	2-1
2.3 試験条件 .....	2-3
2.3.1 Na型ベントナイト .....	2-4
2.3.2 Ca化ベントナイト .....	2-4

2.3.3 Ca型ベントナイト .....	2-4
2.3.4 ケイ砂とCa化ベントナイトの混合材料 .....	2-5
2.4 試験方法 .....	2-6
2.4.1 圧縮固化方法 .....	2-6
2.4.2 膨潤圧試験 .....	2-6
2.4.3 透水試験 .....	2-7
2.4.4 一軸圧縮試験 .....	2-8
2.4.5 三軸圧縮試験 .....	2-9
(1) 試料調整 .....	2-9
(2) 圧縮固化 .....	2-9
(3) 飽和過程 .....	2-10
(4) 供試体の設置 .....	2-11
(5) 圧密過程 .....	2-13
(6) せん断過程 .....	2-14
2.5 試験結果 .....	2-16
2.5.1 Ca化ベントナイト .....	2-16
(1) 膨潤圧 .....	2-16
(2) 透水係数 .....	2-20
(3) 一軸圧縮強さ .....	2-24
2.5.2 Ca型ベントナイト .....	2-26
(1) 膨潤圧 .....	2-26
(2) 透水係数 .....	2-29
(3) 一軸圧縮強さ .....	2-31
2.5.3 ケイ砂とCa化ベントナイトの混合材料 .....	2-33
(1) 膨潤圧 .....	2-33
(2) 透水係数 .....	2-36
(3) 一軸圧縮強さ .....	2-39
2.5.4 三軸圧縮強さ .....	2-41
(1) 飽和 .....	2-41
(2) 圧密 .....	2-43
(3) 応力とひずみの関係 .....	2-44
(4) せん断強さ .....	2-45
(5) 応力経路 .....	2-46
(6) 変形係数 .....	2-47
(7) ポアソン比 .....	2-49

2.6	力学特性の評価	2-52
2.6.1	膨潤圧	2-53
2.6.2	透水係数	2-54
2.6.3	一軸圧縮強さ	2-55
2.6.4	ベントナイト種類による評価	2-56
2.7	まとめと今後の課題	2-59
2.7.1	Ca化ベントナイト	2-59
(1)	膨潤圧	2-59
(2)	透水係数	2-59
(3)	一軸圧縮強さ	2-59
2.7.2	Ca型ベントナイト	2-59
(1)	膨潤圧	2-59
(2)	透水係数	2-59
(3)	一軸圧縮強さ	2-59
2.7.3	ケイ砂とCa化ベントナイトの混合材料	2-60
(1)	膨潤圧	2-60
(2)	透水係数	2-60
(3)	一軸圧縮強さ	2-60
2.7.4	三軸圧縮強さ	2-60
(1)	飽和	2-60
(2)	圧密	2-60
(3)	応力とひずみの関係	2-60
(4)	強度定数	2-60
(5)	変形係数	2-61
(6)	ポアソン比	2-61
2.7.5	今後の課題	2-61
(1)	Ca化ベントナイト	2-61
(2)	Ca型ベントナイト	2-61
第3章	コストの試算	3.1-1
3.1	コスト試算の基本的な考え方	3.1-1
3.1.1	対象施設	3.1-1
3.1.2	コスト試算範囲	3.1-1
(1)	地上施設	3.1-2
(2)	地下施設	3.1-2

(3) 工事用設備 .....	3.1-2
(4) 操業関連 .....	3.1-2
3.1.3 地上施設の建設費用 .....	3.1-2
3.1.4 地下施設の建設費用 .....	3.1-3
(1) 積算ベース .....	3.1-3
(2) コスト算定での仮定 .....	3.1-3
3.2 コスト試算 .....	3.2-1
3.2.1 検討ケース .....	3.2-1
3.2.2 検討結果 .....	3.2-1
(1) 地上施設 .....	3.2-1
(2) 地下施設 .....	3.2-1
3.2.3 コスト試算の結果 .....	3.2-6
(1) 建設段階 .....	3.2-6
(2) 閉鎖段階 .....	3.2-8
第4章 今後の課題 .....	4-1

巻末付録1 廃棄物発生量の推定

巻末付録2 廃棄物特性

巻末付録3 発熱特性

巻末付録4 廃棄体の重量

巻末付録5 FEP内容の詳細

# 図 一 覧

## 1 章

図-1.1.1 設計のフローチャート

図-1.2.1 ハル・エンドピース圧縮固化体キャニスター1本当たりの発熱量の経時変化

図-1.2.2 ハル・エンドピース圧縮固化体断面状況

図-1.2.3 硬化コンクリートの構成

図-1.2.4 地質と湧水量

図-1.3.1 解析概念図

図-1.3.2 土被り $h$ と側圧係数 $\sigma_{Hav}/\sigma_z$ の関係

図-1.3.3 許容緩み領域1.5mとした場合の掘削可能径と施工実績との関係

図-1.3.4 許容変位量4cmとした場合の掘削可能径と施工実績との関係

図-1.3.5 塊状岩盤における岩盤等級と原位置せん断試験結果との関係

図-1.3.6 岩盤の粘着力と内部摩擦角の関係 (その1)

図-1.3.7 岩盤の粘着力と内部摩擦角の関係 (その2)

図-1.3.8 人工バリアの基本構成

図-1.3.9 各処分空洞方式に対する人工バリアの基本構造形態

図-1.3.10 等分布荷重時4辺固定スラブの応力図と中央点のたわみ $\delta$  ( $\nu=0$ )

図-1.3.11 応力度照査用断面図 (140ℓキャニスター)

図-1.3.12 応力度照査用断面図 (200ℓドラム缶)

図-1.3.13 応力度照査用断面図 (500ℓキャニスター)

図-1.3.14 廃棄体コンテナ形状図

図-1.3.15① 大断面岩洞方式 断面形状図

図-1.3.15② 大断面岩洞方式 支保工図

図-1.3.16① 小断面岩洞方式 断面形状図

図-1.3.16② 小断面岩洞方式 支保工図

図-1.3.17① 坑道方式 断面形状図

図-1.3.17② 坑道方式 支保工図

図-1.3.18① サイロ方式 断面形状図

図-1.3.18② サイロ方式 支保工図

図-1.3.19 等分布荷重時3辺固定1辺自由スラブの応力図と自由辺のたわみ

図-1.3.20 等変分布荷重時3辺固定1辺自由スラブの応力図と自由辺のたわみ

図-1.3.21 等分布荷重時4辺固定スラブの応力図と自由辺のたわみ

- 図-1.3.22 等変分布荷重時4辺固定スラブの応力図と自由辺のたわみ
- 図-1.3.23 荷重図（水圧作用：大断面岩洞方式）
- 図-1.3.24 応力度照査用断面図（水圧作用：大断面岩洞方式）
- 図-1.3.25 荷重図（水圧作用：坑道方式）
- 図-1.3.26 応力度照査用断面図（水圧作用：坑道方式）
- 図-1.3.27 荷重図（ベントナイト土圧作用）
- 図-1.3.28 応力度照査用断面図（ベントナイト土圧：大断面岩洞方式）
- 図-1.3.29 応力度照査用断面図（ベントナイト土圧：小断面岩洞方式）
- 図-1.3.30 応力度照査用断面図（ベントナイト土圧：坑道方式）
- 図-1.3.31 荷重状態図
- 図-1.3.32 荷重図（ベントナイト作用）
  
- 図-1.4.1 解析モデル
- 図-1.4.2 要素分割図（全体図）
- 図-1.4.3 要素分割図（廃棄体部分拡大図）
- 図-1.4.4 境界条件
- 図-1.4.5 廃棄体量と換算廃棄体直径
- 図-1.4.6 発熱特性
- 図-1.4.7 解析による温度算定位置
- 図-1.4.8 最高温度と空洞中心間距離（ベントナイト内面，深さ=300m，結晶質岩）
- 図-1.4.9 最高温度と空洞中心間距離（ベントナイト内面，深さ=300m，堆積岩）
- 図-1.4.10 最高温度と空洞中心間距離（ベントナイト内面，深さ=700m，結晶質岩）
- 図-1.4.11 最高温度と空洞中心間距離（ベントナイト内面，深さ=700m，堆積岩）
- 図-1.4.12 体積減少に係わる要因
- 図-1.4.13 変形概念図
- 図-1.4.14 Ca型化クニゲルV1における乾燥密度と透水係数の関係
- 図-1.4.15 体積ひずみ分布図
- 図-1.4.16 検討概念図（4辺変形の場合）
- 図-1.4.17 検討フロー
- 図-1.4.18 解析モデル図
- 図-1.4.19 ひずみの概念図
- 図-1.4.20 平均透水係数の概念図
- 図-1.4.21 膨潤の仕方（ケース1）
- 図-1.4.22 膨潤の仕方（ケース2）
- 図-1.4.23 実験概要フロー

- 図-1.4.24 供試体作製方法
- 図-1.4.25 透水試験器
- 図-1.4.26 透水試験装置
- 図-1.4.27 クニゲルV1の三軸圧密試験結果
- 図-1.4.28 解析対象位置
- 図-1.4.29 解析モデル
- 図-1.4.30 排水条件（一次元解析の場合）
- 図-1.4.31 排水条件（二次元解析の場合）
- 図-1.4.32 荷重図
- 図-1.4.33 境界条件
- 図-1.4.34 ケース2の圧密終了時における変位図
- 図-1.4.35 圧密時間と圧密沈下量の関係
- 図-1.4.36 正規化した差応力と歪みの定義
  
- 図-1.5.1 離間距離の概念図（消防法，岩盤タンクの適用基準）
- 図-1.5.2 大断面岩洞方式 処分空洞配置図
- 図-1.5.3 小断面岩洞方式 処分空洞配置図
- 図-1.5.4 坑道方式 処分空洞配置図
- 図-1.5.5 サイロ方式 処分空洞配置図
- 図-1.5.6 主要坑道断面形状図
- 図-1.5.7 主要坑道概念図
- 図-1.5.8 大断面岩洞方式 連絡坑道断面図
- 図-1.5.9 小断面岩洞方式 連絡坑道断面図
- 図-1.5.10 坑道方式 連絡坑道断面図
- 図-1.5.11 サイロ方式 連絡坑道断面
- 図-1.5.12 連絡坑道接続概念図
- 図-1.5.13 放射線管理区域と建設・操業・閉鎖作業の関係
- 図-1.5.14 大断面岩洞方式 処分パネル図
- 図-1.5.15 小断面岩洞方式 処分パネル
- 図-1.5.16 坑道方式 処分パネル図
- 図-1.5.17 サイロ方式 処分パネル
- 図-1.5.18 立坑断面図
- 図-1.5.19 処分場レイアウト図（坑道方式+小断面岩洞方式・その1）
- 図-1.5.20 処分場レイアウト図（坑道方式+小断面岩洞方式・その2）
- 図-1.5.21 処分場レイアウト図（坑道方式+大断面岩洞方式）



- 図-1.5.22 処分場レイアウト図（坑道方式+サイロ方式）
- 図-1.5.23 地下施設の施工手順
- 図-1.5.24 処分空洞施工手順の概念（岩洞方式の場合）
- 図-1.5.25 処分空洞施工手順の概念（サイロ方式の場合）
- 図-1.5.26 廃棄体コンテナの製造施設と地下施設への搬送方法（概念）
- 図-1.5.27 主要坑道での搬送台車通行時のクリアランス
- 図-1.5.28 搬送台車の最小回転半径
- 図-1.5.29 搬送台車・牽引車の基本仕様
- 図-1.5.30 アクセス坑道（立坑）エレベータの基本仕様
- 図-1.5.31 搬送車輛の通行方法と搬送経路
- 図-1.5.32 処分空洞内の建設，操業及び閉鎖の関係
- 図-1.5.33 処分空洞底面から処分ピット上面までの高さ
- 図-1.5.34 定置作業に用いるクレーンの基本仕様
- 図-1.5.35 定位置作業の手順と作業状況の概念
- 図-1.5.36 操業全体の流れ（概念）
- 図-1.5.37 各処分空洞方式の閉鎖
- 図-1.5.38 処分空洞概念図
- 図-1.5.39 透水係数とベントナイト混合率の関係
- 図-1.5.40 建設の進捗状態に対応した換気システムの概念
- 図-1.5.41 換気システムの概念
- 図-1.5.42 建設の進捗状態に対応した排水システム概念
- 図-1.5.43 排水システムの概念

## 2章

- 図-2.2.1 ベントナイトの粒度特性
- 図-2.2.2 ケイ砂の粒度特性
- 図-2.4.1 圧縮固化方法
- 図-2.4.2 膨潤圧試験装置
- 図-2.4.3 透水試験装置
- 図-2.4.4 一軸圧縮試験状況
- 図-2.4.5 ベントナイトの三軸圧縮試験（ $\overline{CU}$ ）の試験フロー
- 図-2.4.6 圧縮固化したベントナイト
- 図-2.4.7 ベントナイト飽和セル
- 図-2.4.8 飽和状況
- 図-2.4.9 三軸圧縮試験装置

- 図-2.4.10 供試体へのLDTの設置
- 図-2.4.11 3t法
- 図-2.4.12 圧密状況
- 図-2.4.13 間隙水圧係数B値
- 図-2.4.14 せん断後の供試体
- 図-2.5.1 膨潤圧と経過日数の関係
- 図-2.5.2 最大膨潤圧と乾燥密度の関係
- 図-2.5.3 膨潤圧と膨潤の発現時間
- 図-2.5.4 透水係数と経過日数の関係
- 図-2.5.5 透水係数と乾燥密度の関係
- 図-2.5.6 一軸圧縮強さと乾燥密度の関係
- 図-2.5.7 膨潤圧と経過日数の関係
- 図-2.5.8 最大膨潤圧と乾燥密度の関係
- 図-2.5.9 透水係数と経過日数の関係
- 図-2.5.10 透水係数と乾燥密度の関係
- 図-2.5.11 一軸圧縮強さと乾燥密度の関係
- 図-2.5.12 膨潤圧と経過時間の関係  
(ケイ砂3号+5号とCa化ベントナイトの混合材料)
- 図-2.5.13 膨潤圧と経過時間の関係  
(ケイ砂6号とCa化ベントナイトの混合材料)
- 図-2.5.14 最大膨潤圧とベントナイト配合率の関係  
(ケイ砂とCa化ベントナイトの混合材料)
- 図-2.5.15 透水係数と経過日数の関係
- 図-2.5.16 透水係数とベントナイト配合率の関係
- 図-2.5.17 一軸圧縮強さとベントナイト配合率の関係
- 図-2.5.18 経過時間と体積圧縮量・軸変位量の関係
- 図-2.5.19 主応力差 $q$ とひずみ $\epsilon$ の関係
- 図-2.5.20 間隙水圧 $\Delta u$ とひずみ $\epsilon$ の関係
- 図-2.5.21 せん断強さと全応力の関係
- 図-2.5.22 せん断強さと有効応力の関係
- 図-2.5.23 有効応力経路
- 図-2.5.24 土の変形係数のとり方
- 図-2.5.25 変形係数とひずみの関係
- 図-2.5.26 変形係数と拘束圧力の関係
- 図-2.5.27 ポアソン比とひずみの関係

- 図-2.5.28 ポアソン比と拘束圧力の関係
- 図-2.6.1 膨潤圧と有効ベントナイト乾燥密度の関係
- 図-2.6.2 透水係数と有効ベントナイト乾燥密度の関係
- 図-2.6.3 一軸圧縮強さと有効ベントナイト乾燥密度の関係
- 図-2.6.4 最大膨潤圧と乾燥密度の関係
- 図-2.6.5 透水係数と乾燥密度の関係
- 図-2.6.6 一軸圧縮強さと乾燥密度の関係

### 3章

- 図-3.1.1 掘削による湧水量
- 図-3.2.1 地下施設の建設・閉鎖及び操業に関するコスト試算結果  
(結晶質岩系岩盤300m)
- 図-3.2.2 地下施設の建設・閉鎖及び操業に関するコスト試算結果  
(結晶質岩系岩盤700m)
- 図-3.2.3 地下施設の建設・閉鎖及び操業に関するコスト試算結果  
(結晶質岩系岩盤300m, 堆積岩系岩盤300m)
- 図-3.2.4 工事費内訳比較 建設の場合(300m)
- 図-3.2.5 工事費内訳比較 閉鎖の場合(300m)
- 図-3.2.6 ベントナイト混合比率の違いによる単価の相違

## 表 一 覧

- 表-1.1.1 設計フローの項目とその内容 (処分深度)  
表-1.1.2 設計フローの項目とその内容 (空洞安定)  
表-1.1.3 設計フローの項目とその内容 (バリア構成)  
表-1.1.4 設計フローの項目とその内容 (処分形式)  
表-1.1.5 設計フローの項目とその内容 (廃棄体収納・定置方法)  
表-1.1.6 設計フローの項目とその内容 (人工バリア仕様)  
表-1.1.7 設計フローの項目とその内容 (処分方式)  
表-1.1.8 設計フローの項目とその内容 (処分空洞諸元・配置)  
表-1.1.9 設計フローの項目とその内容 (主要・連絡坑道諸元・配置)  
表-1.1.10 設計フローの項目とその内容 (アクセス方式)  
表-1.1.11 設計フローの項目とその内容 (アクセス坑道諸元・配置)
- 表-1.2.1 廃棄体発生量 (動力炉・核燃料開発事業団東海事業所再処理工場)  
表-1.2.2 廃棄体発生量 (民間再処理施設)  
表-1.2.3 廃棄体発生量 (返還廃棄体)  
表-1.2.4 TRU核種を含む放射性廃棄物の処理方法と発生量  
表-1.2.5 返還例レベル廃棄物の廃棄体仕様一覧表  
表-1.2.6 廃棄体特性一覧表 (その1-1)  
表-1.2.6 廃棄体特性一覧表 (その1-2)  
表-1.2.7 廃棄体特性一覧表 (その2-1)  
表-1.2.7 廃棄体特性一覧表 (その2-2)  
表-1.2.8 固化形態による廃棄体の分類  
表-1.2.9 廃棄体容器による廃棄体の分類  
表-1.2.10 ハル・エンドピース圧縮固化体の発熱特性を計算するための条件  
表-1.2.11 廃棄体熱特性  
表-1.2.12 岩盤物性値  
表-1.2.13 アクセス坑道に要求される機能  
表-1.2.14 各施設の検討方法  
表-1.2.15 概略スケジュール  
表-1.2.16 管理区域の考え方
- 表-1.3.1 諸外国での処分深度  
表-1.3.2 立坑と斜坑の比較

- 表-1.3.3 諸外国でのアクセス方式
- 表-1.3.4 緩み領域実測例
- 表-1.3.5 許容緩み領域を設定する方法による解析結果
- 表-1.3.6 許容変位量を設定する方法による解析結果
- 表-1.3.7 空洞安定解析結果のまとめ
- 表-1.3.8 掘削最大径
- 表-1.3.9 比較表
- 表-1.3.10 許容緩み領域を設定する方法による解析結果 (その2)
- 表-1.3.11 許容変位量を設定する方法による解析結果 (その2)
- 表-1.3.12 空洞安定解析結果のまとめ (その2)
- 表-1.3.13 人工バリア基本構造形態の特徴比較
- 表-1.3.14 対象廃棄体
- 表-1.3.15 検討に用いる廃棄体
- 
- 表-1.4.1 T R U放射性廃棄物処分場・階層F E Pマトリックス
- 表-1.4.2 T R U処分システムのF E Pとその評価
- 表-1.4.3 T R U処分システムの成立性に関する事象のまとめ
- 表-1.4.4 廃棄体量及び空洞中心間距離
- 表-1.4.5 材料の物性値
- 表-1.4.6 発熱密度
- 表-1.4.7 解析ケース一覧
- 表-1.4.8 算定対象とした各種ポルトランドセメントの化合物組成構成比
- 表-1.4.9 ポルトランドセメント水和生成物量の体積比率 (%)
- 表-1.4.10 各仮定における各種ポルトランドセメントペースト中の空隙率算定結果 (体積%)
- 表-1.4.11 スラッグの主な化学組成
- 表-1.4.12 高炉セメント水和生成物量の体積比率 (%)
- 表-1.4.13 各仮定における各種高炉セメントペースト中の空隙率算定結果 (体積%)
- 表-1.4.14 フライアッシュの化学組成
- 表-1.4.15 フライアッシュセメント水和生成物量の体積比率 (%)
- 表-1.4.16 各仮定における各種フライアッシュセメントペースト中の空隙率算定結果 (体積%)
- 表-1.4.17 検討条件
- 表-1.4.18 検討結果 (廃棄体空隙率0%の場合)
- 表-1.4.19 検討結果 (廃棄体空隙率10%の場合)
- 表-1.4.20 検討結果 (廃棄体空隙率20%の場合)
- 表-1.4.21 検討結果 (廃棄体空隙率30%の場合)

表-1.4.22	検討結果（ピットの体積変化を考慮しない場合，廃棄体空隙率30vol.%）
表-1.4.23	変形パターンと解析ケース
表-1.4.24	境界条件
表-1.4.25	各解析ケースにおける強制変位量
表-1.4.26	ひずみ分布図（大断面岩洞方式）
表-1.4.27	ひずみ分布図（小断面岩洞方式）
表-1.4.28	ひずみ分布図（坑道方式）
表-1.4.29	部分透水係数 （その1-1：廃棄体空隙率30%，セメント系材料空隙率12%の場合）
表-1.4.30	部分透水係数 （その1-2：廃棄体空隙率30%，セメント系材料空隙率27%の場合）
表-1.4.31	部分透水係数 （その2-1：廃棄体空隙率20%，セメント系材料空隙率12%の場合）
表-1.4.32	部分透水係数 （その2-2：廃棄体空隙率20%，セメント系材料空隙率27%の場合）
表-1.4.33	部分透水係数 （その3-1：廃棄体空隙率10%，セメント系材料空隙率12%の場合）
表-1.4.34	部分透水係数 （その3-2：廃棄体空隙率10%，セメント系材料空隙率27%の場合）
表-1.4.35	部分透水係数 （その4-1：廃棄体空隙率0%，セメント系材料空隙率12%の場合）
表-1.4.36	部分透水係数 （その4-2：廃棄体空隙率0%，セメント系材料空隙率27%の場合）
表-1.4.37	供試体の仕様
表-1.4.38	ベントナイト系材料自己シール性確認試験 工程表
表-1.4.39	解析用物性値
表-1.4.40	解析ケース
表-1.4.41	解析結果
表-1.4.42	廃棄体区分及び計算に考慮する金属
表-1.4.43	計算条件
表-1.4.44	各処分システムにおける平衡ガス圧
表-1.4.45	調査文献リスト
表-1.4.46	提案されている主な構成方程式
表-1.4.47	大久保モデルの入力パラメータと設定方法
表-1.4.48	廃棄体収納・定置方法の基礎検討

表-1.4.49 廃棄体特性と処分システムの成立性評価

表-1.5.1 処分空洞の組み合わせ

表-1.5.2 処分空洞長算定結果

表-1.5.3 離間距離算定結果（結晶質岩系岩盤A）

表-1.5.4 離間距離算定結果（結晶質岩系岩盤B）

表-1.5.5 離間距離算定結果（堆積岩系岩盤A）

表-1.5.6 空洞幅と離間距離（力学的検討による）

表-1.5.7 空洞幅と離間距離

表-1.5.8 処分空洞配置案

表-1.5.9 パネル配置の比較

表-1.5.10 処分パネルの設定条件

表-1.5.11 レイアウト検討における検討条件①

表-1.5.12 レイアウト検討における検討条件②

表-1.5.13 立坑掘削工法（現状技術）と適用評価

表-1.5.14 主要坑道，連絡坑道及び換気坑道の掘削工法（現状技術）と適用性評価

表-1.5.15 操業に関わる検討項目（その1）

表-1.5.16 操業に関わる検討項目（その2）

表-1.5.17 操業の基本的要件

表-1.5.18 地下施設内でのコンテナの牽引車とクレーンによる搬送距離処

表-1.5.19 定置作業の想定所要時間（コンテナ1個当り）

表-1.5.20 湧水に関する空洞延長

表-2.2.1 使用材料

表-2.2.2 使用材料の物理特性

表-2.2.3 クニゲルV1，Ca化クニゲルV1，クニボンドの化学特性

表-2.3.1 実施項目と物性値

表-2.3.2 配合条件と試験数量

表-2.5.1 膨潤圧試験結果(1)

表-2.5.2 膨潤圧試験結果(2)

表-2.5.3 透水試験結果(1)

表-2.5.4 透水試験結果(2)

表-2.5.5 一軸圧縮試験結果

表-2.5.6 膨潤圧試験結果

表-2.5.7 透水試験結果

- 表-2.5.8 一軸圧縮試験結果
- 表-2.5.9 膨潤圧試験結果
- 表-2.5.10 透水試験結果
- 表-2.5.11 一軸圧縮試験結果
- 表-2.5.12 ベントナイトの三軸圧縮試験結果 ( $\overline{CU}$ ) 一覧表
- 表-2.5.13 供試体飽和過程一覧表
- 表-2.5.14 圧密過程結果一覧表
- 表-2.6.1 ベントナイトによる相関関係式
- 
- 表-3.1.1 対象施設一覧
- 表-3.2.1 検討ケース一覧表
- 表-3.2.2 コスト試算結果一覧



## 第1章 処分システムの基本概念及び仕様の明確化

### 1.1 基本概念の構築方法とその進め方

平成7年度の検討で設定した処分概念の内、見直しが必要な部分については検討を加え、より具体的かつ合理的な処分概念を構築する。そこでTRU処分コンセプトを構築していく過程について、フローチャートを図-1.1.1に示す。構築手順を図-1.1.1に従って概略説明する。

#### (1)基礎データ

基礎データとして人工バリア材（セメント系とベントナイト系）の特性を

- ・力学特性
- ・水理特性
- ・熱特性
- ・化学特性
- ・透気特性

の観点から整理する。検討上必要なデータが欠けている場合は、実験あるいは文献調査により収集することになる。

#### (2)検討条件

コンセプトを構築する上での必要な条件として

- ・廃棄体特性（発生量，形状，放射線量，発熱特性，有害空隙，  
ガス発生特性，体積減少（成分溶出による））
- ・サイト条件・・・天然バリア条件
- ・操業スケジュール
- ・性能評価に関する条件

が挙げられる。

#### (3)基礎検討

基礎検討はコンセプトの概略仕様を決定するために以下の検討を行う。

##### 1)処分深度

高レベル廃棄物や低レベル廃棄物の例及び海外の例を参考に処分深度を設定する。

##### 2)空洞安定（概略）

設定した処分深度と地質特性より掘削可能な空洞形状を決定する。

##### 3)バリア構成（人工バリア・天然バリア）

簡易なモデルを用いて核種移行解析を行い、バリア構成を設定する。

##### 4)処分形式（混合，分別）

廃棄体を処分する場合、廃棄体の種類に応じて分けて処分するか、あるいは区別しないで混合させ処分するのかを検討する。

5) 処分方法（坑道，岩洞，サイロ）

処分空洞の形状を検討する。

6) 廃棄体収納・定置方法

廃棄体をコンテナ化して処分するか、個別に処分するのかを検討する。

(4) 部位の設計

(3)で概略設定したコンセプトに基づいて、各部位の設計を行う。設計部位の主なものは、

- ・人工バリア
- ・処分空洞
- ・主要・連絡坑道
- ・アクセス坑道

である。

(5) 全体レイアウト

(4)の検討を受けて全体のレイアウトを設定する。シナリオ検討から明確になるシステムの長期健全性に関する事象について全体レイアウトをもとに検討し、システムの長期的な変状を考慮した上で性能評価を実施する。もし、システムの長期的な変状が極めて問題になる場合や、性能評価上必要な機能が満足されない場合には"(3)基礎検討"や"(4)部位の設計"に戻ってシステム自体を修正していく。

(6) 施工検討，経済性検討

長期的な健全性を担保できるシステムが構築されることによって、建設方法，操業方法，閉鎖方法の検討を行うと共に、プロジェクト費用を算出し実現の可能性を検討する。もし経済的に問題があれば"(3)基礎検討"や"(4)部位の設計"に戻ってシステム自体を修正する。

また、フローチャート内にある「基礎検討」及び「部位の設計」の各項目について、検討項目、検討方法並びに必要なデータ・条件をまとめたものを表-1.1.1～表-1.1.11に示す。例えば表-1.1.1について説明する。「処分深度」を検討する場合、検討項目として、

- ・核種移行の遅延・希釈機能
- ・人間生活・活動からの処分場の隔離

がある。これらについて検討方法を整理し、図-1.1.1で示した"基礎データ"及び"検討条件"との関係を「○」印で示している。「○」印はその項目を検討する上で必要であることを示している。また、検討は必ずしも独立して実施可能であるとは限らないので"その他関連事項"の覧に別の項目との関連を示す。

# TRU処分コンセプトの構築

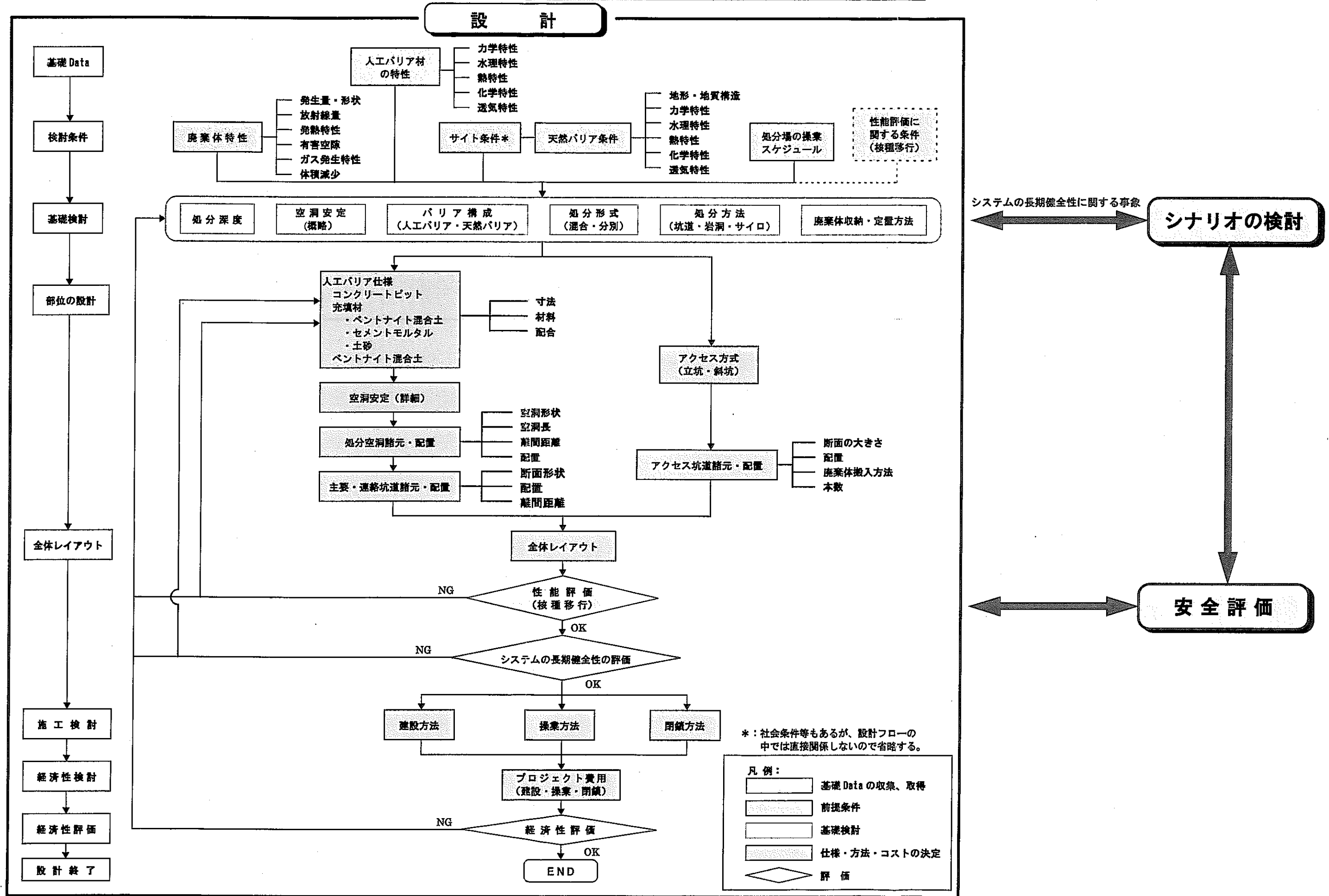


図-1.1.1 設計のフローチャート

表-1.1.1 設計フローの項目とその内容 (処分深度)

処分深度		説明																				1 / 11		
		処分空洞の設置深度の設定。																						
検討項目	検討方法	基礎データと検討条件																				その他関連事項		
		廃棄体条件					サイト条件 (天然バリア)					人工バリア特性 (ベントナイト)					人工バリア特性 (コンクリート)							
		発生量・形状	放射線量	発熱特性	有害空隙	ガス発生特性	体積減少	地形・地質	力学特性	水理特性	熱特性	化学特性	透気特性	力学特性	水理特性	熱特性	化学特性	透気特性	力学特性	水理特性	熱特性		化学特性	透気特性
核種移行の遅延・希釈機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・諸外国の事例調査</li> <li>・低レベルでの考え方調査</li> <li>・地下水流動解析</li> </ul>	○	○					○		○														<ul style="list-style-type: none"> <li>・バリア構成</li> <li>・処分形式(混合、分別)</li> </ul>
人間生活・活動からの処分場の隔離	高レベルでの人間侵入の考え方調査																							

表-1.1.2 設計フローの項目とその内容 (空洞安定)

空洞安定		説明 設定処分深度における力学的に可能な安定した空洞規模 (大きさ) の設定。																				2 / 11							
検討項目	検討方法	基礎データと検討条件																								その他関連事項			
		廃棄体条件						サイト条件 (天然バリア)					人工バリア特性 (ベントナイト)					人工バリア特性 (コンクリート)											
		発生量・形状	放射線量	発熱特性	有害空隙	ガス発生特性	体積減少	地形・地質	力学特性	水理特性	熱特性	化学特性	透気特性	力学特性	水理特性	熱特性	化学特性	透気特性	力学特性	水理特性	熱特性	化学特性	透気特性						
掘削可能な空洞規模	<ul style="list-style-type: none"> <li>空洞安定解析</li> <li>施工実績調査</li> </ul>							○	○																			・ 処分深度	

表-1.1.3 設計フローの項目とその内容 (バリア構成)

バリア構成 (人工バリア・天然バリア)		説明		人工バリアと天然バリアの目的と期待する役割を定義し、廃棄物に対する人口バリアの基本構成を設定。																				3 / 11	
検討項目	検討方法	基礎データと検討条件																				その他関連事項			
		廃棄体条件						サイト条件 (天然バリア)				人工バリア特性 (ベントナイト)				人工バリア特性 (コンクリート)									
		発生量・形状	放射線量	発熱特性	有害空隙	ガス発生特性	体積減少	地形・地質	力学特性	水理特性	熱特性	化学特性	透気特性	力学特性	水理特性	熱特性	化学特性	透気特性	力学特性	水理特性	熱特性		化学特性	透気特性	
バリアの構成と役割分担	・地下水流動解析	○	○					○	○					○						○					

表-1.1.4 設計フローの項目とその内容 (処分形式)

処分形式 (混合・分別の熱的検討)		説明		基礎データと検討条件																				その他関連事項		
検討項目	検討方法	廃棄体条件						サイト条件 (天然バリア)					人工バリア特性 (ベントナイト)					人工バリア特性 (コンクリート)								
		発生量・形状	放射線量	発熱特性	有害空隙	ガス発生特性	体積減少	地形・地質	力学特性	水理特性	熱特性	化学特性	透気特性	力学特性	水理特性	熱特性	化学特性	透気特性	力学特性	水理特性	熱特性		化学特性	透気特性		
人工バリア(ベントナイト)の熱に対する健全性	熱解析			○				○			○															<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 廃棄体の冷却期間(中間貯蔵)</li> <li>・ 処分深度</li> <li>・ 人工バリア構成</li> </ul>
<p>混合、分別の説明： [混合方式による処分]            廃棄体定置において、発熱量・体積変化が大きい廃棄体とその他の廃棄体を一様に分散させて配置し、人工バリアの温度上昇、変形量を許容値以内に抑えるという考え方による処分形式。</p> <p>[分別方式による処分]            廃棄体定置において、発熱量・体積変化が大きい廃棄体とその他の廃棄体を分離し、別々の処分空洞に処分する形式</p>																										

表-1.1.5 設計フローの項目とその内容 (廃棄体収納・定置方法)

廃棄体収納・定置方法		説明		基礎データと検討条件																				5 / 11	
検討項目	検討方法	廃棄体条件						サイト条件 (天然バリア)					人工バリア特性 (ベントナイト)					人工バリア特性 (コンクリート)				その他関連事項			
		発生量・形状	放射線量	発熱特性	有害空隙	ガス発生特性	体積減少	地形・地質	力学特性	水理特性	熱特性	化学特性	透気特性	力学特性	水理特性	熱特性	化学特性	透気特性	力学特性	水理特性	熱特性		化学特性	透気特性	
廃棄体定置時の物理的安定性	廃棄体を物理的に安定して定置できる方法かどうかを評価する。	○																							・人工バリア構成 ・国内外の事例調査 ・処分空洞の規模
廃棄体処分効率	断面当りに物理的に処分できる廃棄体の量を検討し、空洞断面をより効率的に利用できる方法かどうか評価する。	○																							・人工バリア構成 ・国内外の事例調査 ・処分空洞の規模
操業性	操業作業を効率的にできる方法かどうかを評価する。	○																							・人工バリア構成 ・国内外の事例調査 ・処分空洞の規模
安全性	廃棄体の搬送、定置作業及び放射線しゃへい等の面から安全に操業を行える方法かどうかを評価する。	○	○																						・人工バリア構成 ・国内外の事例調査 ・処分空洞の規模
経済性	ピットの設置、廃棄体コンテナ利用等定置システムとしての経済性を比較評価する。	○																							



表-1.1.6 設計フローの項目とその内容 (人工バリア仕様)

人工バリア仕様(コンクリート・充填材・ベントナイト混合土)		説明	人工バリアの寸法・形状・使用材料の仕様を解析および試験により設定。																6 / 11						
検討項目	検討方法	基礎データと検討条件																その他関連事項							
		廃棄体条件						サイト条件 (天然バリア)				人工バリア特性 (ベントナイト)				人工バリア特性 (コンクリート)									
		発生量・形状	放射線量	発熱特性	有害空隙	ガス発生特性	体積減少	廃棄体重量	地形・地質	力学特性	水理特性	熱特性	化学特性	透気特性	力学特性	水理特性	熱特性		化学特性	透気特性					
コンクリートピット	・寸法 高さ、奥行き 部材厚さ 壁間距離	○					○	○							○										・廃棄体収納・定置方法 ・処分形式 ・人工バリア構成 ・処分深度
	・材料、配合	○	○	○				○		○	○	○			○	○	○								・廃棄体収納・定置方法 ・処分形式 ・人工バリア構成 ・処分深度 (・セメントの助剤、炭素に対する核種吸着遅延性能)
充填材	・材料、配合																								・充填材の自己充填性 ・その他コンクリートピットと同じ
ベントナイト混合土 (緩衝材)	・厚さ ・材料、配合	○	○	○				○	○	○	○				○	○	○	○	○						・廃棄体収納・定置方法 ・処分形式 ・人工バリア構成 ・処分深度 ・緩衝材の施工方法 (・ベントナイトのゼオライト化の核種吸着遅延性への影響)
関係するが別途検討する項目																									
プラグの材料、構造	要求性能である難透水性・核種吸着遅延性を確保する材料と構造を材料試験、掘削施工方法の検討から設定する。																								
グラウトの材料	難透水性、自己充填性材料の検討																								

表-1.1.7 設計フローの項目とその内容 (処分方式)

処分方式 (坑道・岩洞・サイロ)		説明		基礎データと検討条件																				7/11	
検討項目	検討方法	廃棄体条件					サイト条件 (天然バリア)					人工バリア特性 (ベントナイト)					人工バリア特性 (コンクリート)					その他関連事項			
		発生量・形状	放射線量	発熱特性	有害空隙	ガス発生特性	体積減少	地形・地質	力学特性	水理特性	熱特性	化学特性	透気特性	力学特性	水理特性	熱特性	化学特性	透気特性	力学特性	水理特性	熱特性		化学特性	透気特性	体積減少特性
坑道方式・岩洞方式・サイロ方式による処分方法の成立性検討	以下の検討から各処分方法の安全性を確認する。 ・空洞の力学的安定性 (空洞の安定解析) ・施工実績に基づく施工性 ・廃棄体の熱・体積変化に対するバリア性能の検討 (熱解析、体積変化解析)	○		○	○		○	○							○	○							○	○	・処分形式 ・廃棄体収納・定置方法 ・人工バリア構成と仕様 ・熱解析、体積変化解析結果 ・処分深度 ・掘削工法 (支保工形式)
	各処分方法について作業の効率性を検討する。	○																						・処分形式 ・廃棄体収納・定置方法 ・処分スケジュール	

表-1.1.8 設計フローの項目とその内容 (処分空洞諸元・配置)

処分空洞諸元・配置			説明	詳細な解析により、処分場レイアウトに必要な建設・作業・閉鎖を考慮した処分空洞の諸元と配置を設定																		8 / 11																						
検討項目	検討方法	基礎データと検討条件																					その他関連事項																					
		廃棄体条件						サイト条件 (天然バリア)					人工バリア特性 (ベントナイト)				人工バリア特性 (コンクリート)																											
		発生量・形状	放射線量	発熱特性	有害空隙	ガス発生特性	体積減少	地形・地質	力学特性	水理特性	熱特性	化学特性	透気特性	力学特性	水理特性	熱特性	化学特性	透気特性	力学特性	水理特性	熱特性	化学特性		透気特性																				
空洞形状(高さ・幅)・空洞長	空洞の力学的安定性	岩盤安定解析により、設定した空洞の断面形状が力学的に安定であることを確認する。																				○	○																				<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 構造的長期安定性</li> <li>・ 掘削工法 (支保工形式)</li> <li>・ 処分深度</li> </ul>	
	計画廃棄体処分量の収納	設定した空洞が処分する廃棄体を収納できる大きさであることを、バリア構成と廃棄体収納・定置方法を考慮して確認する。																				○	○																				<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 廃棄体収納・定置方法</li> <li>・ 処分方法</li> <li>・ 人工バリア構成、仕様</li> </ul>	
	人工バリア、天然バリアの健全性	設定した空洞の断面形状で、人工バリアと天然バリアが健全であることを以下の解析により確認する。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 熱解析</li> <li>・ 地下水流動解析</li> <li>・ 核種移行解析</li> <li>・ 体積変化解析</li> </ul>																				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
離間距離	空洞の力学的安定性	空洞離間距離を以下の方法で検討する <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 岩盤安定解析</li> <li>・ 指針類、施工実績による検討            道路トンネル指針、実績            鉄道トンネル指針、実績            消防法基準、その他規準            地下発電、地下備蓄の実績</li> </ul>																				○	○																				<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 構造的長期安定性</li> <li>・ 施工実績</li> <li>・ 掘削工法 (支保工形式)</li> <li>・ 処分深度</li> </ul>	
	人工バリア、天然バリアの健全性	熱解析																				○	○	○	○																		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 廃棄体の冷却期間(中間貯蔵)</li> <li>・ 処分深度</li> <li>・ 人工バリア構成、仕様</li> </ul>	
配置	建設、作業、閉鎖に対する効率性と安全性	以下の項目を検討する <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 廃棄体搬送車両・建設用車両のスムーズな運行</li> <li>・ 物流、換気、避難システムとそのルート確保</li> <li>・ 放射線管理システム</li> </ul>																				○	○																				<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 処分スケジュール</li> <li>・ 廃棄体収納・定置方法</li> <li>・ 処分方法</li> <li>・ 放射線管理の考え方</li> </ul>	

表-1.1.9 設計フローの項目とその内容 (主要・連絡坑道諸元・配置)

主要・連絡坑道諸元・配置		説明		基礎データと検討条件																				その他関連事項				
		詳細な解析により、処分場レイアウトに必要な建設・操業・閉鎖を考慮した坑道の諸元と配置を設定				廃棄体条件					サイト条件 (天然バリア)					人工バリア特性 (ベントナイト)					人工バリア特性 (コンクリート)							
検討項目		検討方法		発生量・形状	放射線量	発熱特性	有害空隙	ガス発生特性	体積減少		地形・地質	力学特性	水理特性	熱特性	化学特性	透気特性	力学特性	水理特性	熱特性	化学特性	透気特性	力学特性	水理特性	熱特性	化学特性	透気特性		
断面形状	建設、操業、閉鎖に対する効率性と安全性	以下の項目を検討する ・廃棄体搬送車輛・建設用車輛のスムーズな運行 ・物流、排水、換気、避難ルート確保		○																								・処分スケジュール ・廃棄体収納・定置方法 ・処分方法 ・使用重機の寸法、仕様
	坑道の力学的安定性	岩盤安定解析により、設定した坑道の断面形状が力学的に安定であることを確認する。									○	○																・施工実績 ・掘削工法 (支保工形式) ・処分深度
離間距離	坑道の力学的安定性	坑道離間距離を以下の方法で検討する ・岩盤安定解析 ・指針類、施工実績による検討 道路トンネル指針、実績 鉄道トンネル指針、実績 消防法基準、その他規準									○	○															・施工実績 ・掘削工法 (支保工形式) ・処分深度	
	人工バリア、天然バリアの健全性	熱解析		○		○					○								○						○		・廃棄体の冷却期間 (中間貯蔵) ・処分深度 ・人工バリア構成、仕様	
配置	建設、操業、閉鎖に対する効率性と安全性	以下の項目を検討する ・廃棄体搬送車輛・建設用車輛のスムーズな運行 ・物流、換気、避難システムとそのルート確保 ・放射線管理システム		○	○																						・処分スケジュール ・廃棄体収納・定置方法 ・処分方法 ・放射線管理の考え方 ・使用重機の寸法、仕様	

表-1.1.10 設計フローの項目とその内容 (アクセス方式)

アクセス方式 (立坑・斜坑)		説明 処分場の全体レイアウトの観点から建設・操業・閉鎖が効率的となる方式を検討																	10/11					
検討項目	検討方法	基礎データと検討条件																				その他関連事項		
		廃棄体条件					サイト条件 (天然バリア)					人工バリア特性 (ベントナイト)					人工バリア特性 (コンクリート)							
		発生量・形状	放射線量	発熱特性	有害空隙	ガス発生特性	体積減少	地形・地質	力学特性	水理特性	熱特性	化学特性	透気特性	力学特性	水理特性	熱特性	化学特性	透気特性	力学特性	水理特性	熱特性		化学特性	透気特性
建設、操業、閉鎖の効率による立坑方式と斜坑方式の比較	廃棄体および建設機材・資材・重機の搬入方法の検討と諸外国の事例調査により、両方式の処分システム全体としての効率を比較検討する。	○	○				○																	<ul style="list-style-type: none"> <li>・処分スケジュール</li> <li>・処分方法</li> <li>・人工バリアの構成と仕様</li> <li>・廃棄体収納・定置方法</li> <li>・処分空洞諸元と配置</li> <li>・主要・連絡坑道諸元と配置</li> </ul>
関係するが別途検討する項目																								
トータルコストの低減	建設・操業・閉鎖費を含んだ立坑方式と斜坑方式のコスト比較																							

表-1.1.11 設計フローの項目とその内容 (アクセス坑道諸元・配置)

アクセス坑道諸元・配置		説明		11/11																				
		処分場レイアウトに必要な建設・操業・閉鎖を考慮した坑道の諸元と配置を設定																						
検討項目	検討方法	基礎データと検討条件																				その他関連事項		
		廃棄体条件					サイト条件 (天然バリア)					人工バリア特性 (ベントナイト)					人工バリア特性 (コンクリート)							
		発生量・形状	放射線量	発熱特性	有害空隙	ガス発生特性	体積減少	地形・地質	力学特性	水理特性	熱特性	化学特性	透気特性	力学特性	水理特性	熱特性	化学特性	透気特性	力学特性	水理特性	熱特性		化学特性	透気特性
建設・操業・閉鎖の効率と物流・排水・換気・避難ルート確保を考慮した坑道断面の大きさ、本数及び配置	以下の項目の検討を行う。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・廃棄体搬入方法</li> <li>・建設機材・資材・重機の搬入方法</li> <li>・物流システム</li> <li>・排水、換気、避難方法</li> <li>・放射線管理システム</li> </ul>	○	○					○																<ul style="list-style-type: none"> <li>・処分スケジュール</li> <li>・廃棄体収納・定置方法</li> <li>・処分空洞諸元と配置</li> <li>・主要・連絡坑道諸元と配置</li> <li>・放射線管理の考え方</li> </ul>

## 1.2 検討条件

### 1.2.1 廃棄体特性

#### (1) 廃棄体種類と廃棄体の発生量

廃棄体特性としては、発生量、発熱特性、有害空隙、体積減少、放射エネルギー、ガス発生等が考えられる。この内、本検討においては、特に処分システムの形状に影響を及ぼすと考えられる、発生量、発熱特性、有害空隙、体積減少に着目する。

1.2.1～1.2.3に本検討において対象とする動力炉・核燃料開発事業団東海事業所再処理工場、民間再処理施設（JNFL）、海外再処理委託に伴って発生する返還廃棄物のそれぞれで発生すると考えられている廃棄体種類と固化形態及び発生本数を示す。

表-1.2.1～1.2.3に示す廃棄体本数は、平成8年11月13日時点において動燃殿が作成された「廃棄物発生量の推定」（巻末付録1参照）及び表-1.2.4、表-1.2.5に基づき、廃棄体容器の容量を考慮して算定した結果である。また、本数は2030年時点における値である。

「廃棄物発生量の推定」においては、以下に示す前提条件より、2030年までに発生する廃棄体本数を200ℓドラム缶換算で推定している。

#### ○前提条件

- ・ 動燃東海事業所再処理工場の運転（RETFについては今回は評価せず）

1995年度末までに約864tonの再処理実績

1996年～2005年 75ton/y（計750ton）

2006年～2015年 40ton/y（計400ton）

合計 約2,014ton

- ・ 民間再処理工場の運転

2003年に運転を開始し、段階的に年間再処理量を増加させていき、2008年以降800ton/yのフル操業を想定。2003年～2007年の操業予定量は、40, 200, 360, 520, 680ton/yとした。

合計 20,200ton

- ・ 返還廃棄物

COGEMA委託分、BNFL委託分のいずれも2005年から5年間に亘って返還されるものとした。

- ・ 動燃東海事業所再処理工場の解体

図面などに基づき物量を評価（RANDEC評価）

- ・ 動燃MOX燃料加工施設の運転、民間MOX燃料加工施設の運転、動燃MOX燃料加工施設の解体は、今回は評価せず。

○廃棄体発生量（2030年までに発生する廃棄体本数を200ℓドラム缶で換算）

- ・動燃東海事業所再処理工場の運転 79,000本
- ・民間再処理工場の運転（高減容） 91,700本
- ・返還廃棄物 24,230本
- ・動燃東海事業所再処理工場の解体 3,300本

上記の廃棄体本数は、前述のとおり200ℓドラム缶換算で推定した値である。実際には動燃及び民間再処理から発生するハル・エンドピースとCOGEMAのハルエンドキャップ+雑固体は、廃棄体容量140ℓのキャニスターが用いられ、BNFLから返還される物については廃棄体容量500ℓのキャニスターが用いられる。そこで以下においては実際の廃棄体容量を考慮し、各発生機関及び廃棄体毎の本数を算出する。

○動燃東海事業所再処理工場から発生する廃棄体本数

動燃東海事業所再処理工場から発生する各廃棄体の本数は、前記の79,00本（200ℓドラム缶換算）を平成7年度の研究<sup>1)</sup>で示した発生割合で配分する。ただし、平成7年度の研究ではハル・エンドピースに対し廃棄体容量100ℓのキャニスターを想定していたため、あらかじめ200ℓドラム缶相当の本数に換算した上で前記の配分を行う。さらに実際のハル・エンドピースは、廃棄体容量140ℓのキャニスターが用いられるため、200ℓドラム缶相当で配分された本数をそれ相当に換算し直す。また、再処理工場の解体に関しては、平成7年度の研究で考慮していなかったため前記の値をそのまま適用する。以下に動燃再処理工場から発生する各廃棄体の本数算定方法を具体的に記述する。

1.平成7年度のハル・エンドピース廃棄体本数（100ℓキャニスター）を200ℓドラム缶相当の本数に換算

$$4,762本 \times (100 \ell / 200 \ell) = 2,381本$$

2.平成7年度の研究における200ℓドラム缶相当の廃棄体本数の合計を計算

$$2,381 + 22,815 + 156 + 30,420 + 208 + 3,803 + 26 + 10,205 + 31 + 1,021 + 153 + 3,572 = 74,791本$$

3.2030年時点における総推定発生量79,000本（200ℓドラム缶換算）を平成7年度の各廃棄体割合で配分

- ・ハル・エンドピース  $79,000 \times (2,381 / 74,791) = 2,515本$
- ・低レベル廃液（アスファルト）  $79,000 \times (22,815 / 74,791) = 24,099本$
- ・低レベル廃液（セメント）  $79,000 \times (156 / 74,791) = 165本$
- ・極低レベル廃液（アスファルト）  $79,000 \times (30,420 / 74,791) = 32,131本$
- ・極低レベル廃液（セメント）  $79,000 \times (208 / 74,791) = 220本$
- ・廃溶媒（プラスチック+セメント）  $79,000 \times (3,803 / 74,791) = 4,017本$
- ・廃溶媒（セメント）  $79,000 \times (26 / 74,791) = 27本$



・スラッジ	$79,000 \times (10,205/74,791) = 10,779$ 本
・低レベル雑固体 (可燃性)	$79,000 \times (31/74,791) = 33$ 本
・低レベル雑固体 (不燃性)	$79,000 \times (1,021/74,791) = 1,078$ 本
・極低レベル雑固体 (可燃性)	$79,000 \times (153/74,791) = 162$ 本
・極低レベル雑固体 (不燃性)	$79,000 \times (3,572/74,791) = 3,773$ 本

4. ハル・エンドピース廃棄体に関しては3.で計算された200ℓドラム缶相当の本数を140ℓキャニスターに換算

$$79,000 \times (2,381/74,791) \times (200/140) = 3,593 \text{本}$$

### ○民間再処理工場から発生する廃棄体本数 (高減容)

民間再処理工場から発生する各廃棄体の本数は、前記の91,700本 (200ℓドラム缶換算) を表-1.2.4に示す高減容処理技術による処理後の発生量 (本/MTU) で配分する。この時、表-1.2.4における処理後の発生量 (本/MTU) は、200ℓドラム缶相当と考える。ただし、実際のハル・エンドピースは、廃棄体容量140ℓのキャニスターが用いられるため、200ℓドラム缶相当で配分された本数をそれ相当に換算しなおす。以下に民間再処理工場から発生する各廃棄体の本数算定方法を具体的に記述する。

1. 表-1.2.4に示される処理後の発生量 (本/MTU) の合計を計算

$$1.4E-01 + 1.2E+00 + 1.1E-01 + 5.6E-01 + 5.9E-01 + 8.8E-02 + 6.3E-03 + 1.4E-01 + 2.0E-02 + 1.0E-01 + 7.4E-02 + 1.1E-01 + 1.6E-02 + 6.9E-02 + 1.2E+00 + 2.5E-02 + 4.3E-02 + 4.8E-02 = 4.5393$$

2. 2030年時点における総推定発生量91,700本 (200ℓドラム缶換算) を高減容処理後の発生量 (本/MTU) 割合で配分

・低レベル濃縮廃液(1)	$91,700 \times (1.4E-01/4.5393) = 2,828$ 本
・低レベル濃縮廃液(2)	$91,700 \times (1.2E+00/4.5393) = 24,242$ 本
・廃溶媒	$91,700 \times (1.1E-01/4.5393) = 2,222$ 本
・ハル・エンドピース	$91,700 \times (5.6E-01/4.5393) = 11,313$ 本
・チャンネルボックス	$91,700 \times (5.9E-01/4.5393) = 11,919$ 本
・バーナブルポイズン	$91,700 \times (8.8E-02/4.5393) = 1,778$ 本
・低レベル可燃性/難燃性廃棄物, 廃樹脂	$91,700 \times (6.3E-03/4.5393) = 127$ 本
・低レベル不燃性廃棄物 (HEPA, 小物金属)	$91,700 \times (1.4E-01/4.5393) = 2,828$ 本
・低レベル不燃性廃棄物 (機器廃品)	$91,700 \times (2.0E-02/4.5393) = 404$ 本
・低レベル不燃性廃棄物 (機器廃品除染廃液)	$91,700 \times (1.0E-01/4.5393) = 2,020$ 本
・低レベル不燃性廃棄物 (その他)	$91,700 \times (7.4E-02/4.5393) = 1,495$ 本
・極低レベル可燃性廃棄物	$91,700 \times (1.1E-01/4.5393) = 2,222$ 本
・極低レベル難燃性廃棄物	$91,700 \times (1.6E-02/4.5393) = 323$ 本

・極低レベル不燃性廃棄物 (HEPA)	$91,700 \times (6.9E-02/4.5393) =$	1,394本
・極低レベル不燃性廃棄物 (圧縮性)	$91,700 \times (1.2E+00/4.5393) =$	24,242本
・極低レベル不燃性廃棄物 (非圧縮性)	$91,700 \times (2.5E-02/4.5393) =$	505本
・廃活性炭	$91,700 \times (4.3E-02/4.5393) =$	869本
・廃銀吸着材	$91,700 \times (4.8E-02/4.5393) =$	970本

3. ハル・エンドピース廃棄体に関しては2.で計算された200ℓドラム缶相当の本数を140ℓキャニスターに換算

$$11,313本 \times (200 \ell / 140) = 16,161本$$

### ○返還廃棄物の廃棄体本数

海外再処理委託に伴い返還される各廃棄体の本数は、前記の24,430本（200ℓドラム缶換算）を表-1.2.5に示される返還廃棄体数（本）で配分する。ただし表-1.2.5の本数は、200ℓドラム缶以外の廃棄体も含まれるため、あらかじめ200ℓドラム缶相当の本数に換算した上で前記の配分を行う。この時、COGEMAのハル・エンドキャップ+雑固体は動燃殿と同じ廃棄体容量140ℓのキャニスターを、BNFLの各廃棄体は廃棄体容量500ℓのキャニスターを想定する。さらに、実際には廃棄体容量140ℓ及び500ℓキャニスターが用いられる廃棄体に対しては、200ℓドラム缶相当で配分された本数をそれ相当に換算しなおす。以下に海外再処理委託に伴い返還される各廃棄体の本数算定方法を具体的に記述する。

1. 表-1.2.5に示すCOGEMAハル・エンドキャップ+雑固体の廃棄体本数（140ℓキャニスター）を200ℓドラム缶相当の本数に換算

$$4,000本 \times 140 \ell / 200 \ell = 2,800本$$

2. 同様にBNFLの各廃棄体本数（500ℓキャニスター）を200ℓドラム缶相当の本数に換算

・ハル・エンド	$2,060本 \times (500 \ell / 200 \ell) =$	5,150本
・遠心分離ケーキラリー	$1,280本 \times (500 \ell / 200 \ell) =$	3,200本
・MEBクラット+炭酸バリウムラリー	$260本 \times (500 \ell / 200 \ell) =$	650本
・スワーフ	$3,200本 \times (500 \ell / 200 \ell) =$	8,000本

3. 200ℓドラム缶相当の廃棄体本数の合計を計算

$$2,800 + 1,140 + 5,150 + 3,200 + 650 + 8,000 = 20,940本$$

4. 2,030年時点における総推定発生量24,430本（200ℓドラム缶換算）を各廃棄体の200ℓドラム缶換算本数割合で配分

・COGEMAハル・エンドキャップ+雑固体	$24,430 \times (2,800/20,940) =$	3,267本
・COGEMA低レベル廃液	$24,430 \times (1,140/20,940) =$	1,130本
・BNFLハル・エンド	$24,430 \times (5,150/20,940) =$	6,008本

- ・ BNFL遠心分離ケーキスラリー  $24,430 \times (3,200/20,940) = 3,733$ 本
- ・ BNFLMEBクワット+炭酸バリウムスラリー  $24,430 \times (650/20,940) = 758$ 本
- ・ BNFLスワーフ  $24,430 \times (8,000/20,940) = 9,333$ 本

5. COGEMAから発生するハル・エンドキャップ+雑固体に関しては、4.で計算された200ℓドラム缶相当の本数を140ℓキャニスターに換算

$$3,267 \times (200/140) = 4,667 \text{本}$$

6. 200ℓドラム缶相当の本数として計算されたBNFLの各廃棄体本数を500ℓキャニスターに換算

- ・ ハル・エンド  $6,008 \text{本} \times (200 \ell / 500 \ell) = 2,403 \text{本}$
- ・ 遠心分離ケーキスラリー  $3,733 \text{本} \times (200 \ell / 500 \ell) = 1,493 \text{本}$
- ・ MEBクワット+炭酸バリウムスラリー  $758 \text{本} \times (200 \ell / 500 \ell) = 303 \text{本}$
- ・ スワーフ  $9,333 \text{本} \times (200 \ell / 500 \ell) = 3,733 \text{本}$

以上の検討より2030年時点の発生量を約19.3万本と予測した。発生量19.3万本の内訳は、動燃再処理工場から約8.3万本、民間再処理工場から約9.6万本、海外からの返還が約1.4万本である。

また表-1.2.6~1.2.7に廃棄物特性（種類、容器、固化形態、発生量、廃棄体仕様、容器諸元、成分、主要核種、熱特性、体積減少量、初期空隙量）について整理したものを示す（巻末付録2参照）。表-1.2.6~1.2.7中の空欄の部分は現状では不明な部分である。

一方、表-1.2.1~1.2.3は、固化形態の観点及び廃棄体容器による観点から、表-1.2.8及び表-1.2.9に示す分類に集約することができる。表-1.2.8に、固化形態による廃棄体の分類を、また表-1.2.9に廃棄体容器による廃棄体の分類を示す。

なお、COGEMAからのハル・エンドキャップ+雑固体の廃棄体容器(φ440×H1,345)は動燃事業団東海事業所再処理工場から発生するハル・エンドピース廃棄体の140ℓキャニスター(φ430×H1,343)とほぼ同じと考えることができることから、廃棄体容器による分類では140ℓキャニスターに含めた。

表-1.2.1 廃棄体発生量（動力炉・核燃料開発事業団東海事業所再処理工場）

廃棄体種類	固化形態	本数
ハル・エント・ピース	圧縮	3,593
低レベル廃液	アスファルト	24,099
	セメントを想定	165
極低レベル廃液	アスファルト	32,132
	セメントを想定	220
廃溶媒	プラスチック+セメント充填	4,017
	セメントを想定	27
スラッジ	セメントを想定	10,779
低レベル雑固体（可燃性）	熔融+セメント充填	33
低レベル雑固体（不燃性）	熔融+セメント充填	1,078
極低レベル雑固体（可燃性）	熔融+セメント充填	162
極低レベル雑固体（不燃性）	熔融+セメント充填	3,773
再処理工場解体		3,300
計		83,378

ハル・エント・ピースは140ℓキャニスター、その他は200ℓドラム缶での本数

表-1.2.2 廃棄体発生量（民間再処理施設）

廃棄体種類	固化形態	本数	
低レベル濃縮廃液(1)	乾燥+圧縮 (+セメント充填)	2,828	
低レベル濃縮廃液(2)	乾燥+圧縮 (+セメント充填)	24,242	
廃溶媒	熱分解+圧縮 (+セメント充填)	2,222	
ハル・エント・ピース	(圧縮+セメント充填)	16,161	
チャンネルボックス	切断 (+セメント充填)	11,919	
パナフルボイソン	切断 (+セメント充填)	1,778	
低レベル可燃性廃棄物	(焼却+熔融+セメント充填)	127	
低レベル難燃性廃棄物			
廃樹脂			
低レベル 不燃性 廃棄物	HEPA, 小物金属	(熔融+セメント充填)	2,828
	機器廃品	(除染+セメント充填)	404
	機器廃品除染廃液	(セメント混練)	2,020
	その他	(セメント充填)	1,495
極低レベル可燃性廃棄物	焼却+圧縮 (+セメント充填)	2,222	
極低レベル難燃性廃棄物	(焼却+熔融+セメント充填)	323	
極低レベル 不燃性 廃棄物	HEPA	圧縮 (+熔融+セメント充填)	1,394
	圧縮性	圧縮 (+セメント充填)	24,242
	非圧縮性	(セメント充填)	505
廃活性炭	(焼却+圧縮成型+セメント充填)	869	
廃銀吸着材	(解体+セメント混練)	970	
計		96,549	

ハル・エント・ピースは140ℓキャニスター、その他は200ℓドラム缶での本数  
( ) 内は将来の処理候補

表-1.2.3 廃棄体発生量 (返還廃棄体)

	廃棄体種類	固化形態	本数
COGEMA	ハル・エント <sup>o</sup> キャップ <sup>o</sup> +雑固体	圧縮	4,667
	低レベル廃液	ビ <sup>o</sup> チューメン固化	1,330
BNFL	ハル・エント <sup>o</sup>	セメント充填	2,403
	遠心分離ケーキスラリー	セメント固化	1,493
	MEBクラット <sup>o</sup> +炭酸ハ <sup>o</sup> リウムスラリー	セメント固化	303
	スワ <sup>o</sup> フ	セメント固化	3,733
計			13,929

ハル・エント<sup>o</sup>キャップ<sup>o</sup>+雑固体は140ℓキャニスター、低レベル廃液は200ℓドラム缶、BNFL各廃棄体は500ℓキャニスターでの本数

表-1.2.4 TRU核種を含む放射性廃棄物の処理方法と発生量

1. 高減容処理技術

廃棄物	生廃棄物 発生量 (m <sup>3</sup> /MTU)	処理方法	減容比	処理後の発生量 (m <sup>3</sup> /MTU)	処理後の発生量 (本/MTU)	
低レベル濃縮廃液(1)	2.5E-01	乾燥+圧縮成型(+セメント充填)	0.10	2.5E-02	1.4E-01	
低レベル濃縮廃液(2)	7.3E-01	乾燥+圧縮成型(+セメント充填)	0.29	2.1E-01	1.2E+00	
廃溶媒	5.1E-02	熱分解+圧縮成型(+セメント充填)	0.36	1.8E-02	1.1E-01	
ハル・エンドピース	4.0E-01	(圧縮+セメント充填)	0.39	1.6E-01	5.6E-01	
チャンネルボックス	2.3E-01	切断(+セメント充填)	0.24	5.5E-02	5.9E-01	
バーナブルポイズン	5.9E-02	切断(+セメント充填)	0.26	1.5E-02	8.8E-02	
低レベル可燃性廃棄物	1.2E-01	(焼却+溶融+セメント充填)	0.10	1.2E-02	6.3E-03	
低レベル難燃性廃棄物						
廃樹脂						
低レベル不燃性廃棄物	HEPA、小物金属	1.7E-01	(溶融+セメント充填)	0.10	1.7E-02	1.4E-01
	機器廃品	8.3E-02	(除染+セメント充填)	1.38	1.1E-01	2.0E-02
	機器廃品除染廃液	-	(セメント混練)	-	-	1.0E-01
	その他	7.2E-02	(セメント充填)	-	-	7.4E-02
極低レベル可燃性廃棄物	3.0E+00	焼却+圧縮成型(+セメント充填)	0.01	3.0E-02	1.1E-01	
極低レベル難燃性廃棄物	3.8E-01	(焼却+溶融+セメント充填)	0.01	3.8E-03	1.6E-02	
極低レベル不燃性廃棄物	HEPA	1.7E-01	圧縮(+溶融+セメント充填)	0.07	1.2E-02	6.9E-02
	圧縮性	8.8E-01	圧縮(+セメント充填)	0.25	2.2E-01	1.2E+00
	非圧縮性	5.2E-03	(セメント充填)	0.86	4.4E-03	2.5E-02
廃活性炭	1.0E-01	(焼却+圧縮成型+セメント充填)	0.07	7.1E-03	4.3E-02	
廃銀吸着材	6.0E-03	(解体+セメント混練)	0.96	5.8E-03	4.8E-02	

表-1.2.5 返還例レベル廃棄物の廃棄体仕様一覧表

	廃棄体の種類	容器	重量(kg)	重量(kg)	容積(m <sup>3</sup> )	容積(m <sup>3</sup> )	空隙率(%)	空隙率(%)	厚さ(mm)	重量(kg)	密度(g/cm <sup>3</sup> )	重量(kg)	容積(m <sup>3</sup> )
COGEMA	ハル・エンドキャップ+雑固体 (圧縮体)	440φ×1345H	685	ジメチル 382 インコ 19 ステンレス 184 合計 585	0.205	0.183	—	54.0	5	100	—	4,000	820
	ビチューメン固化体	586φ×883H	≦ 250	重量: 90 (39wt%)	0.225	0.21	21.2	0.0	1	20	1.39 (1.33~1.45)	1,140	257
BNFL	ハル・エンド	800φ×1192H	BWR 1,547 PWR 1,495	BWR 517 PWR 441	0.56	0.50	0.0	13.0	2.3 (側面)	ドラム 115 キャップ 69 合計 184	BWR : 2.72 PWR : 2.62	2,060	1,154
	遠心分離ケーキスラリー		1,148	254(重量:12kg)			0.0	24.0		ドラム 135 キャップ 69	1.78±0.02	1,280	717
	MEDクワッド+スラリウムスラリー		1,115	320(重量:60kg)			4.1	46.0		合計 204	1.90±0.01	260	146
	スワーフ		1,195	151			0.0	10.0		ドラム 130 キャップ 80 合計 210	1.97	3,200	1,792

1.2-9

\*1: 廃棄体重量、廃棄物重量、廃棄体容積、容器内容積、マイクロ空隙率、容器厚、容器重量及び固化体密度は、COGEMA/BNFLの仕様書記載値(補足情報、公称諸元)である。  
 \*2: COGEMAのハル・エンドキャップ+雑固体(圧縮体)の廃棄体容積は仕様書記載値がないため、容器の外径及び全高から算出した。容器内容積は、COGEMAの気密試験情報に基づく。  
 \*3: COGEMAのハル・エンドキャップ+雑固体(圧縮体)のマイクロ空隙率は、各廃棄物(金属)重量と真密度(ジメチル: 0.5, インコ: 8.51, ステンレス: 7.96g/cm<sup>3</sup>)から算出した。  
 \*4: 上部空隙率は、(容器内容積 - (廃棄体重量 - 容器重量) / 固化体密度) / 容器内容積から算出した。但し、遠心分離ケーキは空隙率がマイナス値となるため、0.0とした。

表-1.2.6 廃棄物特性一覧表 (その1-1)

廃棄物種類	容器	固化形態	発生量 (本)				廃棄物仕様				容器諸元			廃棄物重量	廃棄物特徴	
			PNC	JNFL	COGEMA	BNFL	廃棄物重量	比重・密度	体積・形状寸法	内容	容器寸法	容器重量	充填材重量			
ハル・エント・ピース	140ℓ キャンスター	圧縮	3,593	—	—	—	741kg(57kg×13個)			ジルコイール, エント・ピース	φ 430mm×H1,343mm	110kg		851kg		
		(圧縮+セメント充填)	—	16,161	—	—										
ハル・エント・キャップ+雑固体	140ℓ キャンスター	圧縮	—	—	4,667	—	585kg				φ 440mm×H1,345mm	100kg		685kg	ジルコイール:382kg, インコネル:19kg, ステンレス鋼:184kg	
ハル・エント	500ℓ キャンスター	セメント	—	—	—	2,403	PWR: 442kg	2.62			φ 800mm×H1,192mm	130+69kg	869kg	1,510kg	廃棄物量 PWR:33.7wt% BWR:38.0wt% BFC:OPC=7:1, 水セメント比:0.36	
							BWR: 518kg	2.72					845kg	1,562kg		
低レベル廃液	200ℓ トラム缶	アスファルト	24,099	—	—	—	230~250kg	1.3~1.4	固化体 約170ℓ 純アスファルト 約20ℓ	NaNO <sub>3</sub> 主成分の液体状廃棄物 (αが比較的高い)	φ 600mm×H900mm	27kg	257~277kg		主要化学成分 NaNO <sub>3</sub> (90%以上) Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , NaNO <sub>2</sub> , Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> 塩/アスファルト混合比 40/60~50/50wt%	
		セメント	165	—	—	—										
		乾燥+圧縮(+セメント充填)	—	2,828	—	—	230kg	1.33~1.45 (at25℃)						250kg		乾燥固形分: 39wt%, ビチューメン: 58wt%, 界面活性剤: 1wt%, 水分: 2wt% 80/100ストレートアスファルト
		ビチューメン	—	—	1,330	—										
極低レベル廃液	200ℓ トラム缶	アスファルト	32,132	—	—	—	230~250kg	1.3~1.4	固化体 約170ℓ 純アスファルト 約20ℓ	NaNO <sub>3</sub> 主成分の液体状廃棄物 (αが比較的低い)	φ 600mm×H900mm	27kg	257~277kg		主要化学成分 NaNO <sub>3</sub> (90%以上) Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , NaNO <sub>2</sub> , Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> 塩/アスファルト混合比 40/60~50/50wt%	
		セメント	220	—	—	—										
		乾燥+圧縮(+セメント充填)	—	24,242	—	—										
廃溶媒	200ℓ トラム缶	プラスチック+セメント充填	4,017	—	—	—	120kg		固化体 100ℓ	TBP, n-ブタン及びこれらの劣化物の液体状廃棄物	φ 600mm×H900mm	27kg			廃溶媒成分 ドデカン 70% TBP 30% TBP含有率 50% 固化体表面硬度 50シヨアA	
		セメント	27	—	—	—										
		熱分解+圧縮(+セメント充填)	—	2,222	—	—										
スラッジ	200ℓ トラム缶	セメント	10,779	—	—	—				化学スラッジ (Fe(OH) <sub>3</sub> +CaCO <sub>3</sub> ), 廃砂(SiO <sub>2</sub> )	φ 600mm×H900mm	27kg				
チャンセルボックス	200ℓ トラム缶	切断(+セメント充填)	—	11,919	—	—				BWR燃料集合体の側面カバー (主要材質: ジルコイール)	φ 600mm×H900mm	27kg				
バーナブル・イソシ	200ℓ トラム缶	切断(+セメント充填)	—	1,778	—	—				ほう珪酸ガラスを内包するステンレス鋼 (PWR燃料)	φ 600mm×H900mm	27kg				
低レベル可燃性雑固体	200ℓ トラム缶	溶融+セメント充填	33	—	—	—	金属鋳塊: 約100kg	約7.8g/cm <sup>3</sup>	約380mm×220mm×180mmH	紙, 布, 酢酸ビニル, ポリエチレン, 廃シヤク等 (GB, セル内)	φ 600mm×H900mm	27kg		327kg(固化体3個)		
							灰溶融固化体: 約25kg	2~3 g/cm <sup>3</sup>	φ 129mm×770mmH (金属容器寸法)					387kg(固化体8本)		
低レベル可燃性雑固体 低レベル難燃性廃棄物 廃樹脂	200ℓ トラム缶	(焼却+溶融+セメント充填)	—	127	—	—				紙, 布, 酢酸ビニル, ポリエチレン, 廃シヤク等 (GB, セル内) 塩化ビニル等 (GB, セル内)	φ 600mm×H900mm	27kg				



表-1.2.6 廃棄物特性一覧表 (その1-2)

廃棄物種類	容器	固化形態	発生量 (本)				廃棄物仕様				容器諸元			廃棄物重量	廃棄物特徴	
			PNC	JNFL	COGEMA	BNFL	廃棄物重量	比重・密度	体積・形状寸法	内容	容器寸法	容器重量	充填材重量			
低レベル 不燃性雑固体	200ℓドラム缶	溶融 +セメント充填	1,078	—	—	—	金属鋳塊：約100kg 灰溶融固化体：約25kg 金属容器：約20kg	約7.8g/cm <sup>3</sup> 2~3 g/cm <sup>3</sup>	約380mm×220mm×180mmH φ129mm×770mmH (金属容器寸法)	操業に伴い定期的に発生する雑廃棄物,設備廃材,雑金属,ガラス等 (GB,セル内)	φ600mm×H900mm	27kg		327kg(固化体3個)	387kg(固化体8本)	
		(溶融 +セメント充填)	—	2,828	—	—										
		(除染 +セメント充)	—	404	—	—										
		(セメント混練)	—	2,020	—	—										
		(セメント充填)	—	1,495	—	—										
極低レベル 可燃性雑固体	200ℓドラム缶	溶融 +セメント充填	162	—	—	—	金属鋳塊：約100kg 灰溶融固化体：約25kg 金属容器：約20kg	約7.8g/cm <sup>3</sup> 2~3 g/cm <sup>3</sup>	約380mm×220mm×180mmH φ129mm×770mmH (金属容器寸法)	紙,ウエス,酢酸ビニル,ポリエチレン,廃油等 (GB,セル外)	φ600mm×H900mm	27kg		327kg(固化体3個)	387kg(固化体8本)	
		焼却+圧縮 (+セメント充填)	—	2,222	—	—										
極低レベル 難燃性廃棄物	200ℓドラム缶	(焼却+溶融 +セメント充填)	—	323	—	—				ゴム手袋,チューブ,塩化ビニル等 (GB,セル外)	φ600mm×H900mm	27kg				
極低レベル 不燃性雑固体	200ℓドラム缶	溶融 +セメント充填	3,773	—	—	—	金属鋳塊：約100kg 灰溶融固化体：約25kg 金属容器：約20kg	約7.8g/cm <sup>3</sup> 2~3 g/cm <sup>3</sup>	約380mm×220mm×180mmH φ129mm×770mmH (金属容器寸法)	ハイパルフ,フィル等類等 (GB,セル外) (圧縮性) 雑金属,ガラス類等 (GB,セル外) (非圧縮性)	φ600mm×H900mm	27kg		327kg(固化体3個)	387kg(固化体8本)	
		圧縮(+溶融 +セメント充填)	—	1,394	—	—										
		圧縮 (+セメント充填)	—	24,242	—	—										
		(セメント充填)	—	505	—	—										
廃活性炭	200ℓドラム缶	(焼却 +圧縮成型 +セメント充填)	—	869	—	—				使用済粒状活性炭のスラリ	φ600mm×H900mm	27kg				
廃銀吸着材	200ℓドラム缶	(解体 +セメント混)	—	970	—	—				使用済銀系吸着材	φ600mm×H900mm	27kg				
遠心分離ケーキスラリー	500ℓキャニスター	セメント	—	—	—	1,493	17kg	1.78±0.02			φ800mm×H1,192mm	135+69kg	927kg	1,148kg	BFC:OPC=10:1,水セメント比:0.35	
MEBクワット +炭酸バリウムスラリー	500ℓキャニスター	セメント	—	—	—	303	320kg	1.90±0.01			φ800mm×H1,192mm	135+69kg	591kg	1,115kg	廃棄物混合比率 MEBクワット：炭酸バリウム=8.5：7 BFC:OPC=10:1,水セメント比:0.44	
スワーフ	500ℓキャニスター	セメント	—	—	—	3,733	151kg	1.97			φ800mm×H1,192mm	130+80kg	834kg	1,195kg	BFC:OPC=7:3~9:1,水セメント比:0.30~0.37	
再処理工場解体	200ℓドラム缶		3,300	—	—	—					φ600mm×H900mm	27kg				
合計			83,378	96,549	13,929											
			193,856													

表-1.2.7 廃棄体特性一覧表 (その2-1)

廃棄体種類	容器	固化形態	発生源	廃棄体特徴		熱特性			体積減少	初期空隙
				放射能濃度・主要核種	線量当量率	発熱率	熱伝導率	熱容量		
ハル・エント・ビース	140ℓキャニスター	圧縮	PNC			410w/本(0.5年)				約30%
		圧縮 +セメント充填	JNFL			発熱性あり (詳細不明)				
ハル・エント・キャップ +雑固体	140ℓキャニスター	圧縮	返還 COGEMA	total α : 5.3E+11 Bq/容器 total β γ : 1.6E+14 Bq/容器	表面 : 50 Gy/hr	19 W/容器				54.0%(ミクロ)
ハル・エント	500ℓキャニスター	セメント	返還 BNFL	PWR : 1.4E+11 (α), 1.5E+14 (β γ) (Bq/容器)	表面 : 16 Gy/hr, at1m : 1.4Gy/hr	21 W/容器	1.6~1.7 w/m℃		10~30%(セメント)	13.0%(ミクロ)
				BWR : 7.0E+10 (α), 6.4E+13 (β γ) (Bq/容器)	表面 : 5.8 Gy/hr, at1m : 0.42Gy/hr	7 W/容器				
低レベル廃液	200ℓドラム缶	アスファルト	PNC	処理廃液 10 <sup>9</sup> ~10 <sup>12</sup> Bq/m <sup>3</sup> 主要核種 Cs, Ru, Sr ドラム缶表面線量率1500 mR/h (max)					約30%(アスファルト)	
		セメント	PNC						10~30%(セメント)	
		乾燥+圧縮 (+セメント充填)	JNFL						充填材の10~30%(セメント)	
		ビチューメン	返還 COGEMA	80・total α +total β γ ≤5.18E+12 Bq/容器	表面 : 0.75 Gy/hr, at1m : 0.05 Gy/hr		0.21±0.01 (at30℃) w/m℃	1.3~1.4 (J/g℃)	約30%(アスファルト)	21.2% (上部)
極低レベル廃液	200ℓドラム缶	アスファルト	PNC	処理廃液 10 <sup>9</sup> ~10 <sup>12</sup> Bq/m <sup>3</sup> 主要核種 Cs, Ru, Sr ドラム缶表面線量率 1500 mR/h (max)					約30%(アスファルト)	
		セメント	PNC						10~30%(セメント)	
		乾燥+圧縮 (+セメント充填)	JNFL						充填材の10~30%(セメント)	
廃溶媒	200ℓドラム缶	プラスチック +セメント充填	PNC	廃溶媒 1.5×10 <sup>9</sup> Bq/m <sup>3</sup> 主要核種 Ru					充填材の10~30%(セメント)	
		セメント	PNC						10~30%(セメント)	
		熱分解+圧縮 (+セメント充填)	JNFL						充填材の10~30%(セメント)	
スラッジ	200ℓドラム缶	セメント	PNC						10~30%(セメント)	
チャンネルボックス	200ℓドラム缶	切断 (+セメント充填)	JNFL			発熱性あり (詳細不明)			10~30%(セメント)	
ハートアップ・イソ	200ℓドラム缶	切断 (+セメント充填)	JNFL			発熱性あり (詳細不明)			10~30%(セメント)	
低レベル 可燃性雑固体	200ℓドラム缶	溶融 +セメント充填	PNC						充填材の10~30%(セメント)	
低レベル 可燃性雑固体 低レベル 難燃性廃棄物 廃樹脂	200ℓドラム缶	焼却+溶融 +セメント充填	JNFL						充填材の10~30%(セメント)	

表-1.2.7 廃棄体特性一覧表 (その2-2)

廃棄体種類	容器	固化形態	発生源	廃棄体特徴		熱特性			体積減少	初期空隙
				放射能濃度・主要核種	線量当量率	発熱率	熱伝導率	熱容量		
低レベル 不燃性雑固体	200ℓドラム缶	溶融 +セメント充填	PNC						充填材の10~30%(セメント)	
		(溶融 +セメント充填)	JNFL						充填材の10~30%(セメント)	
		(除染 +セメント充填)	JNFL						充填材の10~30%(セメント)	
		(セメント混練)	JNFL						10~30%(セメント)	
		(セメント充填)	JNFL						10~30%(セメント)	
極低レベル 可燃性雑固体	200ℓドラム缶	溶融 +セメント充填	PNC						充填材の10~30%(セメント)	
		焼却+圧縮 (+セメント充填)	JNFL						充填材の10~30%(セメント)	
極低レベル 難燃性廃棄物	200ℓドラム缶	(焼却+溶融 +セメント充填)	JNFL						充填材の10~30%(セメント)	
極低レベル 不燃性雑固体	200ℓドラム缶	溶融 +セメント充填	PNC						充填材の10~30%(セメント)	
		圧縮(+溶融 +セメント充填)	JNFL						充填材の10~30%(セメント)	
		圧縮 (+セメント充填)	JNFL						充填材の10~30%(セメント)	
		(セメント充填)	JNFL						10~30%(セメント)	
廃活性炭	200ℓドラム缶	(焼却 +圧縮成型 +セメント充填)	JNFL						充填材の10~30%(セメント)	
廃銀吸着材	200ℓドラム缶	(解体 +セメント混練)	JNFL						10~30%(セメント)	
遠心分離ケーキスラリー	500ℓキャニスター	セメント	返還 BNFL	total α : 3.8E+11, 2.3E+11 Bq/容器 total β γ : 4.0E+13, 3.6E+13 Bq/容器	表面 : 1.5 Gy/hr, at1m : 0.15, 0.12 Gy/hr	3.6, 3.3 W/容器	0.71~0.72 w/m℃		10~30%(セメント)	24.0%(ミクロ)
MEBクラフト +炭酸バリウムスラリー	500ℓキャニスター	セメント	返還 BNFL	total α : 3.6E+08 Bq/容器 total β γ : 3.1E+11 Bq/容器	表面 : 0.1 Gy/hr, at1m : 0.01 Gy/hr	8.2E-02 W/容器			10~30%(セメント)	4.1% (上部) 46.0%(ミクロ)
スワーフ	500ℓキャニスター	セメント	返還 BNFL	total α : 3.2E+11 Bq/容器 total β γ : 7.5E+13 Bq/容器	表面 : 3.5 Gy/hr, at1m : 0.3 Gy/hr	7.2 W/容器	2.7 w/m℃		10~30%(セメント)	10.0%(ミクロ)
再処理工場解体	200ℓドラム缶		PNC							

表-1.2.8 固化形態による廃棄物の分類

固化形態	廃棄物種類	容器	発生量 (本)			計 (本)
			PNC	INFL	返還	
圧縮  (圧縮+セメント充填を含む)	バル・イント・ピース	140ℓキャニスター	3593	16161	—	81,046
	バル・イント・キャップ +雑固体	140ℓキャニスター	—	—	4667	
	低レベル廃液	200ℓドラム缶	—	2828	—	
	極低レベル廃液	200ℓドラム缶	—	24242	—	
	廃溶媒	200ℓドラム缶	—	2222	—	
	極低レベル 可燃性雑固体	200ℓドラム缶	—	2222	—	
	極低レベル 不燃性雑固体	200ℓドラム缶	—	24242	—	
	廃活性炭	200ℓドラム缶	—	869	—	
アスファルト (ビチューメン)	低レベル廃液	200ℓドラム缶	24099	—	—	57,561
	極低レベル廃液	200ℓドラム缶	32132	—	—	
	低レベル廃液	200ℓドラム缶	—	—	1330	
セメント	バル・イント	500ℓキャニスター	—	—	2403	23,547
	低レベル廃液	200ℓドラム缶	165	—	—	
	極低レベル廃液	200ℓドラム缶	220	—	—	
	廃溶媒	200ℓドラム缶	27	—	—	
	スラッジ	200ℓドラム缶	10779	—	—	
	低レベル 不燃性雑固体	200ℓドラム缶	—	3919	—	
	極低レベル 不燃性雑固体	200ℓドラム缶	—	505	—	
	遠心分離ケーキスラリー	500ℓキャニスター	—	—	1493	
	MEBクワット +炭酸バリウムスラリー	500ℓキャニスター	—	—	303	
	スワーフ	500ℓキャニスター	—	—	3733	
溶融 +セメント充填	低レベル 可燃性雑固体	200ℓドラム缶	33	—	—	9,718
	低レベル 難燃性廃棄物	200ℓドラム缶	—	127	—	
	廃樹脂	200ℓドラム缶	—	—	—	
	低レベル 不燃性雑固体	200ℓドラム缶	1078	2828	—	
	極低レベル 可燃性雑固体	200ℓドラム缶	162	—	—	
	極低レベル 難燃性廃棄物	200ℓドラム缶	—	323	—	
	極低レベル 不燃性雑固体	200ℓドラム缶	3773	1394	—	
プラスチック +セメント充填	廃溶媒	200ℓドラム缶	4017	—	—	4,017
切断+セメント	チャンセルボックス	200ℓドラム缶	—	11919	—	13,697
	パーナブルボックス	200ℓドラム缶	—	1778	—	
解体+セメント	廃銀吸着材	200ℓドラム缶	—	970	—	970
再処理工場解体		200ℓドラム缶	3300	—	—	3,300
						193,856

表-1.2.9 廃棄体容器による廃棄体の分類

容器	廃棄体種類	発生量 (本)			計 (本)
		PNC	JNFL	返還	
140ℓキャニスター	ハル・エント・ビース	3593	16161	—	24,421
	ハル・エント・キャップ +雑固体	—	—	4667	
200ℓドラム缶	低レベル廃液	24264	2828	1330	161,503
	極低レベル廃液	32352	24242	—	
	廃溶媒	4044	2222	—	
	スラッジ	10779	—	—	
	チャンネルボックス	—	11919	—	
	パーナブルボックス	—	1778	—	
	低レベル 可燃性雑固体	33	127	—	
	低レベル 難燃性廃棄物	—			
	廃樹脂	—			
	低レベル 不燃性雑固体	1078	6747	—	
	極低レベル 可燃性雑固体	162	2222	—	
	極低レベル 難燃性廃棄物	—	323	—	
	極低レベル 不燃性雑固体	3773	26141	—	
	廃活性炭	—	869	—	
	廃銀吸着材	—	970	—	
再処理工場解体	3300	—	—		
500ℓキャニスター	ハル・エント	—	—	2403	7,932
	遠心分離ケーシラリー	—	—	1493	
	MEBクレンジ +炭酸バリウムスラリー	—	—	303	
	スワーフ	—	—	3733	
					193,856

## (2) 廃棄体の特徴

以下に、表-1.2.8に示した固化形態の分類毎に発生量、発熱特性、有害空隙、体積減少について詳述する。

### (a) 圧縮固化体（セメント充填含む）

#### ① 発生量

140ℓキャニスターに換算して、動燃殿から3,593本、JNFLから16,161本、返還廃棄物から4,667本、合計24,421本が発生する。また、200ℓドラム缶に換算してJNFLからのみ56,625本が発生する。したがって、140ℓキャニスターと200ℓドラム缶の合計は、81,046本となる。

140ℓキャニスターの内訳は、ハル・エンドピース19,754本（動燃：3,593本、JNFL：16,161本）及びハル・エンドキャップ+雑固体4,667本（返還(COGEMA)）である。200ℓドラム缶の内訳は、低レベル廃液2,828本、極低レベル廃液24,242本、廃溶媒2,222本、極低レベル可燃性雑固体2,222本、極低レベル不燃性雑固体24,242本、廃活性炭869本である。

#### ② 発熱特性

T R U核種を含む放射性廃棄物の大部分は非発熱性であるが、ハル・エンドピース（動燃、JNFL）及びハル・エンドキャップ+雑固体（返還(COGEMA)）においては放射能濃度が高く、放射化生成物による発熱性を有している。ハル・エンドキャップ+雑固体に関しては、廃棄体1本あたり19Wというデータが示されている（巻末付録3参照）が、どの段階での発熱率であるか、また経時変化についても不明である。さらにJNFLのハル・エンドピースについても現状詳細は不明である。そこで以下においては動燃殿におけるハル・エンドピースの発熱特性について詳述し、本研究における熱的検討にはそのデータを適用する。

ハル・エンドピースの発熱特性は、動燃殿が実施した結果を適用する。ハル・エンドピース圧縮固化体の発熱特性は、表-1.2.10に示す条件で、燃焼計算コード ORIGEN2 (Croff, 1980)を用いて計算した。その結果を表-1.2.11に示す。また、図-1.2.1は、表-1.2.11に示される一部のデータをグラフ化したものである。

表-1.2.10 ハル・エンドピース圧縮固化体の発熱特性を計算するための条件

燃焼条件	燃焼度(BURNUP) : 28,000MWD/MTU 比出力(POWER) : 35MW/MTU フラックス(FLUX) : $2.49 \times 10^{14} \text{N/cm}^2 \cdot \text{sec}$		
元素の除去率	FISSION PRODUCTS (核分裂生成物:FP)	H (トリチウム)	(吸蔵) 60.0% (溶解) 40.0% × Ave0.05%
		Kr	(吸蔵) 0.1% (希ガス) 99.9%
		Ru	(吸蔵) 1.1% (溶解) 98.9% × Ave0.05%
		Cs,Ce,Eu	(吸蔵) 0.2% (溶解) 99.8% × Ave0.05%
		Xe	(希ガス) 100.0%
		上記核種以外	(溶解) 100.0% × Ave0.05%
	ACTINIDES+DAUGHTERS (アクチノイド+娘核種:AC)	Pu	(吸蔵) 0.06% (溶解) 99.94% × 1.0%
		U	(溶解) 100.0% × 1.0%
		上記核種以外	(溶解) 100.0% × Ave0.05%
	ACTIVATION PRODUCTS (放射化生成物:AP)	全核種	全量

表-1.2.11 廃棄体熱特性

炉からの取り出し年	Watts	Kcal/h
5.0E-01	4.10E+02	3.53E+02
1.0E+00	1.76E+02	1.52E+02
5.0E+00	5.69E+01	4.89E+01
1.0E+01	2.94E+01	2.53E+01
1.5E+01	1.15E+01	9.89E+00
2.0E+01	7.80E+00	6.71E+00
3.0E+01	4.20E+00	3.61E+00
5.0E+01	2.57E+00	2.22E+00
1.0E+02	1.47E+00	1.27E+00
5.0E+02	5.95E-01	5.12E-01
1.0E+03	5.51E-01	4.74E-01
5.0E+03	4.21E-01	3.62E-01
1.0E+04	3.10E-01	2.67E-01

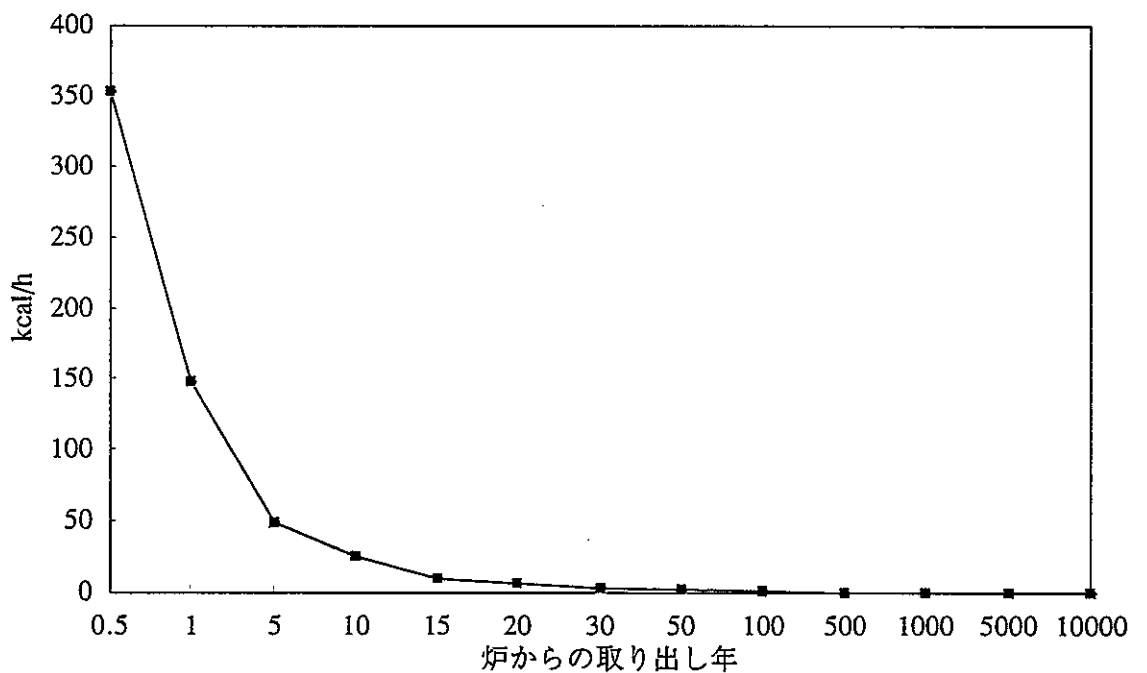


図-1.2.1 ハル・エンドピース圧縮固化体キャニスター1本当たりの発熱量の経時変化



### ③ 有害空隙

ハル・エンドピース圧縮固化体中には、図-1.2.2に示すように固化体製作上、内部に空隙を有している。動燃殿の仕様では、圧縮体1個あたりφ39cm×H約9cm、重量約57kg（巻末付録4参照）である。そして1本の廃棄体（140ℓキャニスター）中にはこの圧縮体が13個（140ℓ分）収納される。ここでハル・エンドピースの密度を6.55kg/ℓとすると、全圧縮体140ℓ中に約27ℓの空隙が存在する。しかし、140ℓキャニスターの実際の容器内容積は165ℓ（φ418mm×H1,200mm）であるから、空隙量の合計は、52ℓ（165ℓに対し約32vol.%）となる。

$$140\ell - (57 \times 13)\text{kg} / 6.55\text{kg}/\ell = 27\ell$$

$$(165 - 140)\ell + 27\ell = 52\ell$$

$$(52/165) \times 100 = 32\text{vol.}\%$$

一方、ハル・エンドキャップ+雑固体（返還(COGEEMA)）については、54.0vol.%のミクロ空隙率というデータが示されている（巻末付録3参照）が、どの体積を基準としたものか不明である。また、JNFLから発生するその他の廃棄体に関しては、現状不明である。

現在、圧縮固化のみでセメント充填が想定されていない動燃殿のハル・エンドピース及びハル・エンドキャップ+雑固体（返還(COGEEMA)）に対しては、強度あるいは体積減少の観点から今後の検討如何によって、充填材の充填という要求が発生する可能性がある。

### ④ 体積減少

セメント充填を想定している廃棄体においては、セメント水和物の溶出による体積減少が生じる可能性がある。その場合、セメント固化体と同様に、充填材として用いられるセメント系材料の10～20vol.%とする。

また、有害空隙を内部に有する廃棄体においては、閉鎖後の高圧力による圧縮変形が生じる可能性がある。

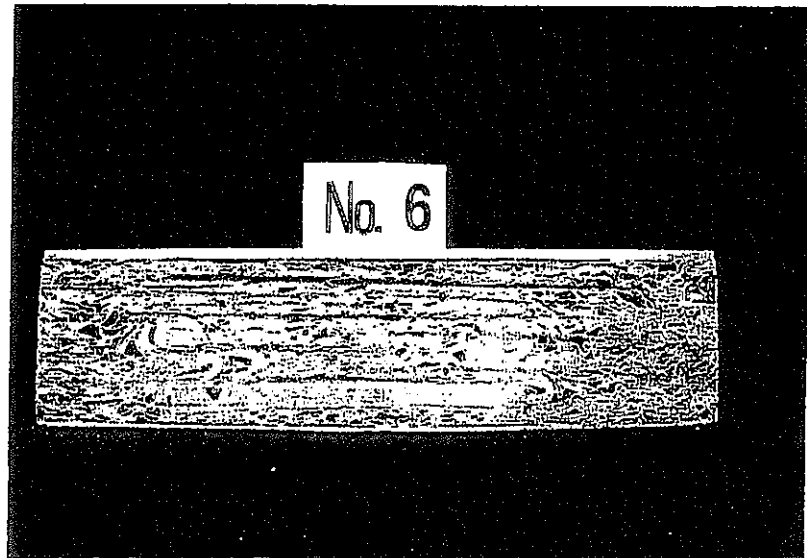
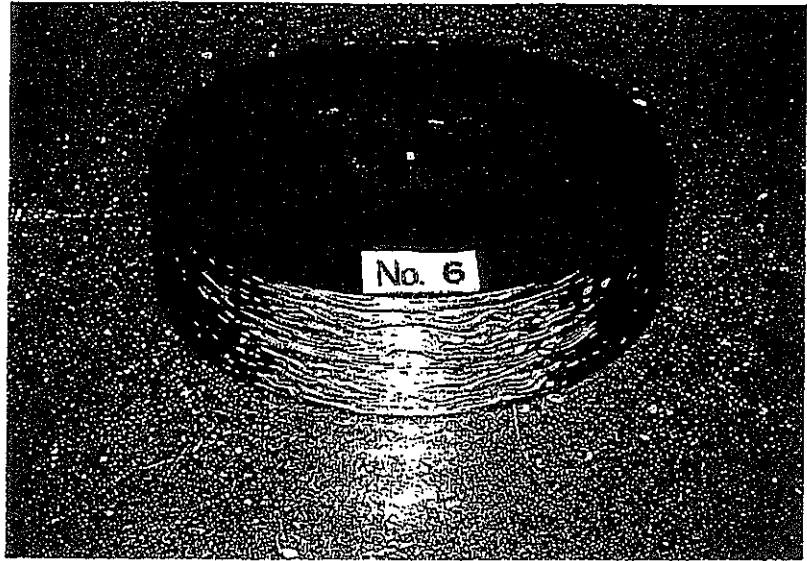


図-1.2.2 ハル・エンドピース圧縮固化体断面状況

(b) アスファルト（ビチューメン）固化体

① 発生量

200ℓドラム缶に換算して、動燃殿から56,231本、返還廃棄物から1,330本、合計57,561本が発生する。その内訳は、低レベル廃液25,429本（動燃：24,099本、返還(COGEA)：1,330本）、極低レベル廃液32,132本（動燃）である。

② 発熱特性

発熱しない。

③ 有害空隙

低レベル廃液（返還(COGEA)）は21.2vol.%の上部空隙を有している（巻末付録3参照）。ただし、どの体積を基準としたものか不明である。また、動燃殿から発生するその他の廃棄体に関しては、現状不明である。

④ 体積減少

アスファルト固化体には、可溶性の硝酸塩（25℃の水に対する溶解度92g/100g<sup>2)</sup>）が含まれている。アスファルト固化体の地下深部への処分において想定される事象として「アスファルト固化体からの硝酸塩の地下水への流出」が考えられる。

アスファルト固化体中には硝酸塩が最大で重量の50%程度含まれている<sup>3)</sup>ため、硝酸塩が流出することによりアスファルト固化体の体積が減少する。このため、アスファルト固化体中に含まれる硝酸塩の体積を以下の仮定に基づき算定した。

○前提条件

- ・アスファルト固化体の比重を1.4とする<sup>3)</sup>。
- ・硝酸塩の含有量を固化体の50wt.%とする<sup>3)</sup>。
- ・硝酸塩は、全てNaNO<sub>3</sub>の化学形態とする。
- ・NaNO<sub>3</sub>の比重を2.3とする<sup>2)</sup>。

○計算結果

固化体の体積をV<sub>s</sub>(cm<sup>3</sup>)、NaNO<sub>3</sub>の体積をV<sub>n</sub>(cm<sup>3</sup>)とすると、次式が成り立つ。

$$\frac{2.3 \times V_n}{1.4 \times V_s} = 0.5$$
$$V_n = 0.3V_s$$

以上より、アスファルト固化体の30vol.%（約60ℓ）がNaNO<sub>3</sub>となり、溶出による体積減少が生じる可能性がある。

なお、アスファルトの比重は、1.01となる。この値は、ブローンアスファルト単体の比重とほぼ同じである。

(c) セメント固化体

① 発生量

200ℓドラム缶に換算して動燃殿から11,191本、JNFLから4,424本、合計15,615本が発生する。500ℓキャニスターに換算して返還廃棄物（BNFL）からのみ7,932本が発生する。したがって200ℓドラム缶と500ℓキャニスターの合計は、23,547本が発生する。

200ℓドラム缶の内訳は、低レベル廃液165本、極低レベル廃液220本、廃溶媒27本、スラッジ10,779本（以上動燃）及び低レベル不燃性雑固体3,919本、極低レベル不燃性雑固体505本（以上JNFL）である。500ℓキャニスターの内訳は、ハル・エンド2,403本、遠心分離ケーキスラリー1,493本、MEBクラッド+炭酸バリウムスラリー303本、スワーフ3,733本である。

② 発熱特性

動燃殿及びJNFLから発生する廃棄体は発熱しないが、BNFLから返還される廃棄体に関しては発熱性を有する。以下に廃棄体1本当たりの発熱量を示す（巻末付録2参照）が、どの段階での発熱率であるか、また経時変化についても不明である。

ハル・エンド(PWR)	: 21W/廃棄体
ハル・エンド(BWR)	: 7W/廃棄体
遠心分離ケーキスラリー	: 3.3or3.6W/廃棄体
MEBクラッド+炭酸バリウムスラリー	: 8.2E-02W/廃棄体
スワーフ	: 7.2W/廃棄体

③ 有害空隙

BNFLから返還される廃棄体に関しては、以下の有害空隙を有する（巻末付録3参照）。ただし、どの体積を基準としたものか不明である。また、動燃殿及びJNFLから発生する廃棄体に関しては、現状不明である。

ハル・エンド	: ミクロ空隙率13.0vol.%
遠心分離ケーキスラリー	: ミクロ空隙率24.0vol.%
MEBクラッド+炭酸バリウムスラリー	: ミクロ空隙率46.0vol.%及び上部空隙4.1vol.%
スワーフ	: ミクロ空隙率10.0vol.%

④ 体積減少

充填材として用いられているセメント系材料の10～20vol.%とする。セメント系材料の体積減少に関しては、(2)で詳述するがここでは一般論について述べる。

セメント水和物中の水酸化カルシウム（ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ）は、 $\text{SO}_4^{2-}$ イオンや $\text{Cl}^-$ と反応して可溶性の $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ （石膏）や $\text{CaCl}_2$ （塩化カルシウム）を生成し、地下水中に溶出する。このため、長期的にはセメント水和物の体積減少が生じる。しかしながら、その体積減少量は定量的に把握されていない。

図-1.2.3<sup>4)</sup>に、一般的な硬化コンクリートの構成を示す。図-1.2.3に示すとおり、硬化コンクリート全体の25~30vol.%は、空隙を含むセメント硬化体組織である。空隙は、後述する要因により発生し、硬化コンクリート全体の数~10数vol.%で存在する。また、水酸化カルシウムの生成量は、(C<sub>3</sub>S+C<sub>2</sub>S)の量がセメント重量の75%の場合（通常のポルトランドセメント）、約40wt.%<sup>5)</sup>である。

○空隙の発生要因

- ・セメントの硬化機構から不可逆的に生じる毛管空隙およびゲル空隙
- ・成型時の材料分離による空隙
- ・施工時締固め不良による空隙
- ・界面活性剤（AE剤等）を用いることによる微小独立気泡

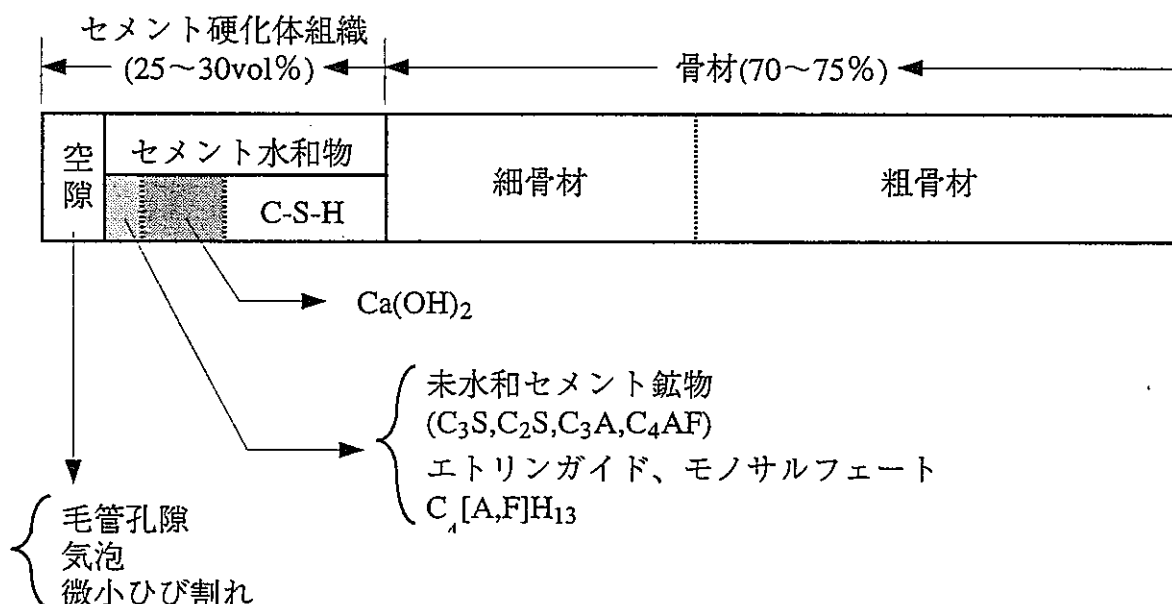


図-1.2.3 硬化コンクリートの構成<sup>4)</sup>

一方、生成されたCaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>Oは、セメント硬化体中の3CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>や3CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>Oと反応し、エトリンガイド (3CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·3CaSO<sub>4</sub>·32H<sub>2</sub>O) と呼ばれる物質を生成する。この際に体積の膨張を伴い、硬化体のひび割れや破壊を引き起こす可能性がある。他方においてはこの性質を膨張材として利用し、グラウト材やコンクリート部材の乾燥収縮の補償、さらにはセルフプレストレスの導入に活用されている。しかしながら、本検討における処分システム全体への影響という観点から体積膨張量を鑑みると、その量は微小である。したがって、処分システムに結果的なダメージを与えるとは考えにくい。

(d) 溶融+セメント充填固化体

① 発生量

200ℓドラム缶に換算して動燃殿から5,046本、JNFLから4,672本、合計9,718本が発生する。その内訳は、低レベル可燃性雑固体33本、低レベル不燃性雑固体1,078本、極低レベル可燃性雑固体162本、極低レベル不燃性雑固体3,773本（以上動燃）及び低レベル可燃性雑固体と低レベル難燃性雑固体、廃樹脂を合わせて127本、低レベル不燃性雑固体が2,828本、極低レベル難燃性雑固体323本、極低レベル不燃性雑固体1,394本（以上JNFL）である。

② 発熱特性

発熱性はない。

③ 有害空隙

現状不明である。

④ 体積減少

セメント固化体と同様に、充填材として用いられているセメント系材料の10～20vol.%とする。

(e) プラスチック+セメント充填固化体

① 発生量

200ℓドラム缶に換算して、PNC殿からのみ4,017本が発生する。その全てが、廃溶媒である。

② 発熱特性

発熱しない。

③ 有害空隙

現状不明である。

④ 体積減少

セメント固化体と同様に、充填材として用いられているセメント系材料の10～20vol.%と設定した。

(f) 切断+セメント充填固化体

① 発生量

200ℓドラム缶に換算して、JNFLから13,697本が発生する。その内訳は、チャンネルボックスが11,919本、バーナブルポイズンが1,778本である。

② 発熱特性

チャンネルボックス、バーナブルポイズンともに発熱性を有するが、詳細は不明である。

③ 有害空隙

現状不明である。

④ 体積減少

セメント固化体と同様に、充填材として用いられているセメント系材料の10～20vol.%と設定した。

(g) 解体+セメント充填固化体

① 発生量

200ℓドラム缶に換算して、JNFLから970本が発生する。その内訳は、すべて廃銀吸着材である。

② 発熱特性

発熱しない。

③ 有害空隙

現状不明である。

④ 体積減少

セメント固化体と同様に、充填材として用いられているセメント系材料の10～20vol.%と設定した。

(h) 再処理工場解体廃棄物

200ℓドラム缶に換算して、PNCから3,300本発生することが分かっているが、その他の固化形態や廃棄体特性に関しては現状不明である。

## 1.2.2 サイト特性

サイト特性としては、岩盤の力学特性及び水理特性、人間生活に起因する社会的現象等が考えられる。この内、本検討においては、空洞安定性に大きく影響する岩盤の力学特性を主として考慮する。岩盤の水理特性に対しては、施工性ならびにコストに影響を及ぼす湧水量に着目する。また、本検討では地層処分を前提としていること、さらにはシステムの成立性を地下水シナリオの観点から評価することを前提にしていることから、人間生活に起因する社会的現象については対象外とする。

### (1) 岩盤の力学特性

本検討に用いる処分場の対象岩盤は、結晶質岩系岩盤と堆積岩系岩盤とする。岩盤の力学的特性は、結晶質岩系岩盤には日本に広く分布する花崗岩を、堆積岩系岩盤には第三紀の堆積岩をそれぞれ代表的な岩種とする。また、結晶質岩系岩盤については2種類の物性値を、堆積岩系岩盤については3種類の物性値を検討用に設定する。表-1.2.12に検討に用いる岩盤物性値を示す。

表-1.2.12 岩盤物性値

岩種	物性	単位体積重量 (kgf/m <sup>3</sup> )	弾性係数 (MPa)	ポアソン比	粘着力 (MPa)	内部摩擦角 (deg)	一軸圧縮強度 (MPa)
	結晶質岩系 岩盤	A	2,700	30,000	0.2	7.5	35
B		2,700	10,000	0.2	6.0	35	88
堆積岩系 岩盤	A	2,300	4,000	0.3	4.0	30	67
	B	2,300	2,000	0.3	2.0	30	44
	C	2,300	1,000	0.4	1.0	25	20

なお上記の岩盤物性値は、動力炉・核燃料開発事業団の「高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書 ー平成3年度ー」（平成4年9月）<sup>6)</sup>の値を参考に設定を行った。



(2) 岩盤の水理特性

本検討においては、岩盤の水理特性として、施工性並びにコストに影響を及ぼす湧水量に着目する。

湧水量については地盤の透水係数と表面積から求める方法がある。しかし、ここではより実際に近いと考えられる実態調査に基づくデータによって想定する。実態調査のデータを図-1.2.4に示す。

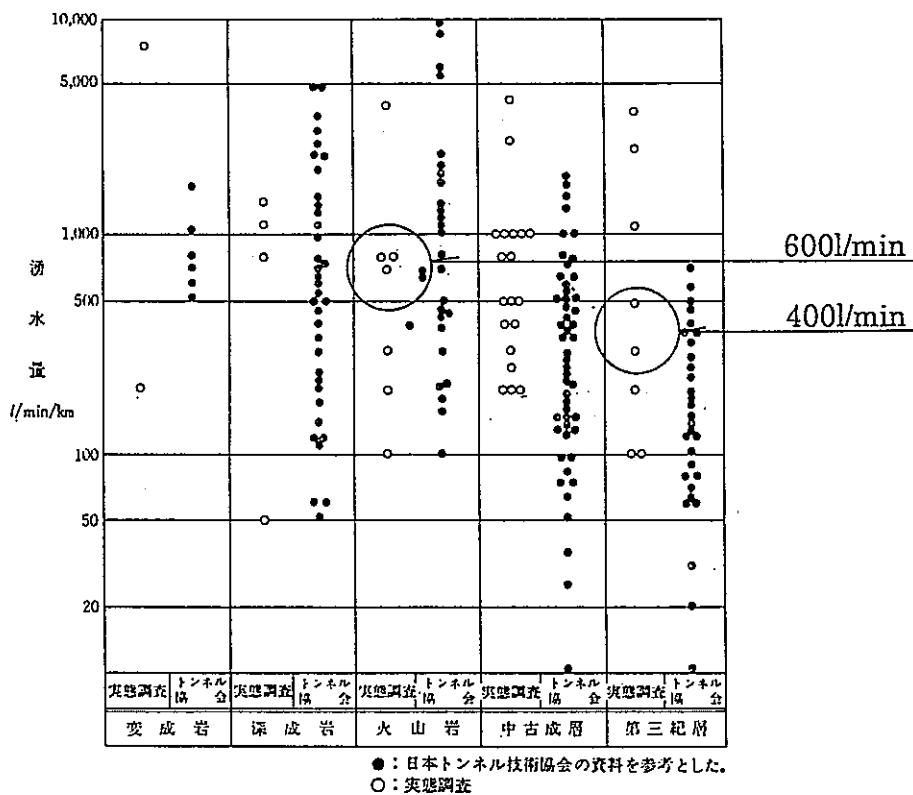


図-1.2.4 地質と湧水量<sup>7)</sup>

図-1.2.4より、地下施設の掘削に伴う空洞1kmあたりの湧水量を、次のように想定する。この値は、トンネルを掘削を行うときの湧水量の想定に一般的に用いられる値である。

- ・ 結晶質岩系岩盤      0.6m<sup>3</sup>/min/km
- ・ 堆積岩系岩盤        0.4m<sup>3</sup>/min/km

### 1.2.3 検討対象施設

ここでは、TRU廃棄物処分施設における地上施設、地下施設、工事中設備の検討対象施設についての説明および検討レベルについて述べる。

#### (1) 主要施設

##### (a) 地上施設

TRU廃棄物処分施設における地上施設を構成するものとして、次に示す施設が挙げられる。

##### ① 港湾施設

再処理工場から船舶にて輸送されてきたTRU廃棄物を荷揚げし、陸走車両へ積み替えする施設、及び廃棄物輸送用船舶の港としての防波堤、バースおよび護岸等の施設。

##### ② 輸送施設

TRU廃棄物を港湾から処分施設まで輸送するための専用道路あるいは鉄道施設および関連する付帯施設。

##### ③ 地上受入施設

廃棄物の受け入れ、一時保管、パッケージング、検査など操業の中核をなす施設。

##### ④ 搬出検査施設

パッケージングされた廃棄物を処分場へ搬入する前の最終検査を行う施設。

##### ⑤ 換気施設

地上施設としての換気施設には、建設エリア換気施設、操業・閉鎖エリア換気施設などがある。

##### ⑥ 排水施設

地上施設としての排水施設には、建設エリア排水施設、操業・閉鎖エリア排水施設などがある

##### ⑦ 供給施設

電力、水の供給を行うための施設。受・変電設備、非常用発電設備、給水ポンプ、貯水槽などからなる。

##### ⑧ 管理施設

管理施設には、地上施設管理、処分場内設備管理、一般事務施設、コンピュータ施設

などがある。処分施設全体の管理を行う施設で、コントロールルームを中心に通信施設も設置される。

### ⑨ その他の施設

その他の施設として、放射性物質を取り扱うため警備棟や敷地、エリア境界のフェンスなどの警備施設、消防施設・ヘリポートなど火災時のための緊急施設、従業員のための宿舎・運動施設・売店・食堂などの厚生施設、来訪者へのPR施設、環境整備のための植樹・植芝・花壇などの緑化施設、従業員や来訪者用の駐車場などが挙げられる。

### (b) 地下施設

#### ① アクセス坑道

アクセス坑道は、地上と廃棄体を収容する地下施設を結ぶ経路であり、地下作業で必要とされるあらゆる機能が集約した動脈となる。アクセス坑道に要求される機能には、以下の項目が挙げられる。

表-1.2.13 アクセス坑道に要求される機能

	建設	操業	閉鎖
TRU廃棄体搬入	—	○	—
作業員の入出	○	○	○
各種建設材料の搬入	○	○	○
掘削ズリの搬出	○	—	—
換気（排気，送気）	○	○	○
地下水の排水	○	○	○
エネルギーの供給	○	○	○
給水，給電	○	○	○
通信	○	○	○
緊急避難	○	○	○

これらの機能のうち、TRU廃棄体搬入、作業員の入出、各種建設材料の搬入、掘削ズリの搬出、換気、緊急避難口の6つに関しては、アクセス坑道の断面を決定する上で、特に重要な項目である。他の機能はアクセス坑道断面の一部を利用することにより対処可能である。

またアクセス坑道の方式は、一般的に立坑方式と斜坑方式（スパイラル方式を含む）に大別される。

## ② 主要坑道

主要坑道とは、アクセス坑道と処分エリアを接続する坑道である。その役割は、廃棄体の搬送等処分作業に必要な経路と、処分区画建設に必要な経路に分類される。

## ③ 連絡坑道

連絡坑道とは、処分エリア内に配置されており、処分空洞と主要坑道を接続するための坑道である。

## ④ 処分空洞

処分空洞とは、TRU廃棄物を収納するための空洞である。廃棄体の特性に応じて空洞の形状には岩洞型・トンネル（坑道）型やサイロ型が用いられる。処分空洞内には廃棄体を搬送、定置するためのハンドリング施設が設置される。

## ⑤ 地下付帯施設

地下に設置される付帯施設としては、建設・操業・閉鎖作業を安全に進めるための管理施設、各作業に使用する機械類のメンテナンスなどを行うワークスペース、掘削ズリ資材などの仮置きスペース、防災施設、受変電施設、充填材圧送基地等が挙げられる。

## (c) 工事中設備

### ① コンクリート・モルタル製造設備

コンクリート・モルタルの製造に必要な設備には以下に挙げるものが考えられる。

- ・掘削ズリ仮置きヤード
- ・骨材製造設備
- ・セメントサイロ
- ・コンクリートミキサー

### ② ベントナイト・ベントナイト混合土製造設備

ベントナイト・ベントナイト混合土製造に必要な設備には以下に挙げるものが考えられる。

- ・掘削ズリ仮置きヤード（コンクリート製造設備と共有する）
- ・骨材製造設備（コンクリート製造設備と共有する）
- ・ベントナイトサイロ
- ・ベントナイト混合土製造ミキサー
- ・ベントナイトブロック製造プラント
- ・ベントナイトブロック仮置きヤード

③ 建設準備施設

建設準備施設には、以下のようなものが挙げられる。

- ・ 建設用資材置場
- ・ 建設用機材置場
- ・ 機材，設備修理工場
- ・ 濁水処理プラント
- ・ 鉄筋加工工場

④ 土捨て場

掘削により発生した残土の捨て場

(2) 各施設の検討範囲

「(1) 主要施設」で挙げた地上施設，地下施設，工事中設備の各施設について，本検討での検討レベルを表-1.2.14に示す。

表-1.2.14 各施設の検討方法

施設名		検討レベル	
		詳細検討	概略検討
地上施設	港湾施設	—	—
	輸送施設	—	—
	地上受入施設	—	○
	搬出検査施設	—	○
	換気施設	—	○
	排水施設	—	○
	供給施設	—	○
	管理施設	—	○
	その他の施設	○	—
地下施設	アクセス坑道	○	—
	主要坑道	○	—
	連絡坑道	○	—
	処分空洞	○	—
	地下付帯施設	—	○
工事中設備	コンクリート製造設備	—	○
	ペントナイト混合土製造設備	—	○
	建設準備施設	—	○

### 1.2.4 その他の前提条件

#### (1) 廃棄体の搬入スケジュール

廃棄体の処分場への搬入スケジュールは、表-1.2.6に示した約20万本の廃棄体を40年間で処分場へ入れることとする。これは空洞の施工スピードと廃棄体搬入スピードを勘案した上で作業的に可能な期間として、後述するように1日に処分場へ搬入する廃棄体量を約20本、1年に約5000本処分するという観点から設定した。処分場の概略スケジュールを表-1.2.15に示す。

また、処分場はいくつかのエリアに分割し、作業や管理を実施することとする。この分割されたエリアを本検討では「処分パネル」と定義する。処分パネルの定義についての詳細は、後述する。

表-1.2.15 概略スケジュール

項目	工程	備考
アクセス坑道施工		
主要坑道施工		
連絡坑道・ 処分空洞施工		1 パネル建設完了後 廃棄体の搬入開始
廃棄体搬入		20万本を40年間で 処分
閉鎖		主要坑道、アクセス の閉鎖期間も含む
デコミッション		地上施設の解体・撤 去

(2) 放射線管理（放射線管理区域と非放射線管理区域の区分）の考え方

本検討での放射線管理の考え方は以下のとおりとする。

- ・ 処分場全体を放射線管理区域と非放射線管理区域とに区分する。
- ・ 放射線管理区域とは廃棄体の搬送・定置などの廃棄体の移動作業が伴う区域とする。
- ・ 非放射線管理区域とは、廃棄体の移動作業がない区域とする。

放射線管理の考え方は建設・操業・閉鎖の各作業ごとに区分して考える必要がある。建設・操業・閉鎖の各作業を行っている区間をそれぞれここでは建設区間、操業区間、閉鎖区間と称することとし、以下にその定義と放射線管理の考え方について示す。

建設区間とは、処分空洞を建設している区間のことである。廃棄体を搬送する作業が無い場合非放射線管理区域とする。

操業区間とは、処分空洞内に廃棄体を搬入・定置している区間のことである。廃棄体をハンドリングする作業を行っているため放射線管理区域とする。

閉鎖区間とは、定置した廃棄体周囲を充填材により埋戻しを行っている区間のことである。作業の性格上、放射線管理区域とするが、空洞の閉鎖作業を行っている処分パネルのみを放射線管理区域とし、閉鎖するために用いる充填材等を搬送する主要坑道やアクセス坑道は放射線管理区域に含まないこととする。したがって、建設と閉鎖を併用する場合の主要坑道、連絡坑道、アクセス坑道は非放射線管理区域とする。

なお、主要坑道、連絡坑道、アクセス坑道等の概念については後述する。

以上の考え方を表-1.2.16に整理する。

表-1.2.16 管理区域の考え方

		放射線管理区域	非放射線管理区域
建設区間		—	○
操業区間		○	—
閉鎖区間		○（処分パネルのみ）	—
併用区間	建設と操業	○	—
	建設と閉鎖	—	○



### (3) その他

以下に本検討で前提条件とする項目を列挙する。

- ・高レベル廃棄物処分施設との併設は考えない。
- ・廃棄体の再取り出しは考えない。
- ・土木技術的観点に的を絞り進める。したがって、核種移行解析結果の処分形式・処分式等へのフィードバックは考慮しない。
- ・コスト試算の検討範囲は建設・操業・閉鎖までの間とする。また関連施設のデコミッションも考慮する。コスト試算の対象施設は1.2.3において挙げた施設とする。
- ・全体スケジュールとして検討する範囲は、建設開始後から閉鎖終了までとする。
- ・操業時および閉鎖時のモニタリングは考えない。
- ・処分場建設に先立って原地盤の調査を行うために作られる地下調査施設については本検討では考慮しない。また、そのための事前技術調査費もコスト試算では考慮しないととする。ただし地下調査施設の考え方として、処分場の建設に先行して立坑を掘削し、その立坑を施設として利用する方法がある。
- ・廃棄体の埋設密度に対する条件は、廃棄体の熱特性および廃棄体の体積変化をベースに考える。

#### 参考文献

- 1) 鹿島建設株式会社：TRU 廃棄物の処分概念の検討，動力炉・核燃料開発事業団研究内容報告書，1996年3月
- 2) 岩波理科学事典 第4版，岩波書店，1989年2月
- 3) 動力炉・核燃料開発事業団，アスファルト固化技術開発施設（パンフレット）
- 4) 小林一輔：コンクリート構造物の早期劣化と耐久性診断，森北出版株式会社，pp. 48，1991年7月
- 5) 樋口芳郎，村田二郎，小林春夫：分かり易い土木講座 10 コンクリート工学（I）施工，彰国社，昭和58年7月
- 6) 動力炉・核燃料開発事業団，高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書－平成3年度－，PNC TN 1410 92-08，平成4年9月
- 7) 社団法人 日本建設機械化協会：建設工事に伴う濁水対策ハンドブック，pp. 174，昭和60年

### 1.3 基礎検討

#### 1.3.1 処分場設置深度

設計研究の前提となる処分空洞の設置深度は、地層処分であること、及び諸外国で計画されている処分場の深度を参考に、パラメータとして300m及び700mを設定した。

表-1.3.1に諸外国における処分深度を示す。

表-1.3.1 諸外国での処分深度<sup>1)</sup>

国名	処分場名	処分深度	備考
アメリカ	YUCCA Mountain	360m	高レベル・TRU
	WIPP	650m	CH-TRU,RH-TRU
スウェーデン	SFR	60m	中・低レベル
	SFL	500～550m	高レベル, 中・低レベル
スイス	B Type	数百m (山腹)	水平坑道 中・低レベル
	C Type	1200m	中・高レベル
フランス	ANDRA検討	150～200m	中・低レベル(TRU含む)
ベルギー	Mol-Dessel	180～270m	中レベル・ $\alpha$ 廃棄物
ドイツ	コンラッド	1100～1200m	中・低レベル
	ゴアレーベン	660～900m	すべての廃棄物
イギリス	セラフィールド	200～1000m	中・低レベル
フィンランド	VLJ	70～100m	中・低レベル

### 1.3.2 アクセスの形式

#### (1) 基本的な考え方

地上から地下へのアクセス方法としては、大別すると立坑方式と、スパイラル方式を含む斜坑方式の2種類が考えられる。どちらの方式を選択するかは処分場概念作成上のパラメータとなるが、本検討ではこれを種々の観点から定性的に比較を行うことにより、適切なアクセス方式の設定を行う。

立坑と斜坑を、主に建設と操業の観点から、掘削距離、コスト、廃棄体搬送方法、搬送能力、アクセス距離、施工の項目で比較を行うと表-1.3.2のようになる。

表-1.3.2 立坑と斜坑の比較

項目	立坑	斜坑
掘削距離	短い。	長い。
コスト	深度が200m程度以深になると大幅に経済的となるとされている。	深ければ深いほど掘削距離は長くなり不経済となる。
搬送方法	エレベーターによる。	車両・鉄道による。
搬送能力	車両と比較すると少量しか輸送できない。	大量の資材が輸送でき、効率的である。
アクセス距離	短い。	長い。
施工	現状技術レベルで対処可能である。	現状技術レベルで対処可能である。

定性的には表-1.3.2に示すような比較ができるが、立坑と斜坑のどちらを選択するか他の要因として

- ・ 処分施設の立地点の自然環境  
(地形、地質構造、岩盤特性等)
- ・ 地上施設の用地確保

などが挙げられる。ただしこれらの要因については本検討では直接的な要因になり得ないと考えられるため、表-1.3.1に挙げた項目についての比較で検討を行う。

#### (2) 諸外国のアクセス方式と本検討での設定

本検討でのアクセス方式を設定するにあたり、ここで諸外国の放射性廃棄物処分場の計画で、検討しているアクセス方式と処分深度を示す。2)

表-1.3.3 諸外国でのアクセス方式<sup>2)</sup>

国名	処分場名	処分深度	アクセス方式		備考
			立坑	斜坑	
アメリカ	Yucca Mountain	360m	—	○	高レベル・TRU
	WIPP	650m	○	—	CH,RH-TRU
スウェーデン	SFR	60m	—	○	中・低レベル
	SFL	500~50m	○	—	高・中・低レベル
スイス	B Type	数百m (山腹)	○	—	水平坑道, 中・低レベル
	C Type	1200m	○	—	中・高レベル
フランス	ANDRA検討	150~200m	○	—	中・高レベル(TRU)
ベルギー	Mol-Dessel	180~270m	○	—	中レベル・ $\alpha$ 廃棄物
ドイツ	コンラッド	1100~1200m	○	—	中・低レベル
	ゴアレーベン	660~900m	○	—	すべての廃棄物
イギリス	セラフィールド	200~1000m	○	—	中・低レベル
フィンランド	VLJ	70~100m	○	○	中・低レベル

諸外国の処分場では、処分深度にかかわらず立坑を検討している国が多い。

諸外国でのアクセス方式、及び表-1.3.3の比較表の内容を考慮し、本検討ではアクセス方式を立坑とし、斜坑はオプションとして考えることとする。

### 1.3.3 掘削可能径の検討

#### (1) 処分空洞の規模

##### (a) 基本的な考え方

通常、地下空洞を掘削する場合、掘削に伴い発生する緩み荷重を支保するために、吹付コンクリートやロックボルト等の支保工を設置する。しかし、数百年から数千年、数万年といった長期間に亘って支保工が、初期の性状を保ち続けられるか否かは不明である。現状の技術レベルからは、不可能と判断せざるを得ない。

したがって、放射性廃棄物の処分空洞を掘削するにあたっては、長期的な支保工の効果は期待せず、極力岩体のみで安定性を保つことが可能な規模とする必要がある。

##### (b) 検討方法

処分深度および岩盤物性毎に、弾塑性理論解析を用いて掘削可能な空洞の規模を検討する。空洞の安定解析については、近年、計算機の普及や性能の向上を背景に有限要素法による弾塑性解析が実設計として多く適用されている。しかし、本検討においては設定した条件における概略検討を目的として、前述の弾塑性理論解析を選択した。

弾塑性理論解析としては、図-1.3.1に示すように円形トンネルを対象とし、モール・クーロンの破壊規準を用いた弾塑性理論（岡，1977）を適用する。

解析に用いる岩盤物性値は表-1.2.12の値を用いる。また、解析にあたっては岩盤の初期応力を設定する必要があるが、初期応力も等方であるとは限らない。しかし、本検討は詳細な設計ではなく、ある深度で掘削可能なトンネル径の見通しを得ることが目的であるので、モデルは円形モデルを用いる。初期応力は、図-1.3.2に示すような国内のトンネル・地下発電所・鉱山での土被りと側圧係数の実測データ<sup>3)</sup>を参考にすると、その関係は0.5～2.0程度の間集中しておりそのほとんどが1.5以下であることから、本検討では土被り圧の1.5倍の値が等方等圧に作用するものと仮定する。支保による内圧は、前述したように岩体のみで安定性を確保させるため考慮しない。しかし、この場合においても作業の安全確保の観点から、厚さ10cmの吹付コンクリートおよび緩み領域の1.5倍以上のロックボルトを施工する。また、降伏後の岩盤挙動としてバイリニア型の完全弾塑性モデルを用いる。

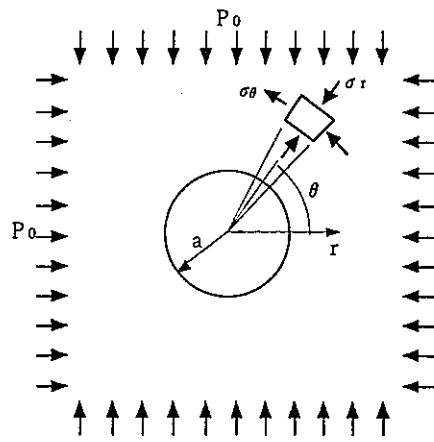


図-1.3.1 解析概念図

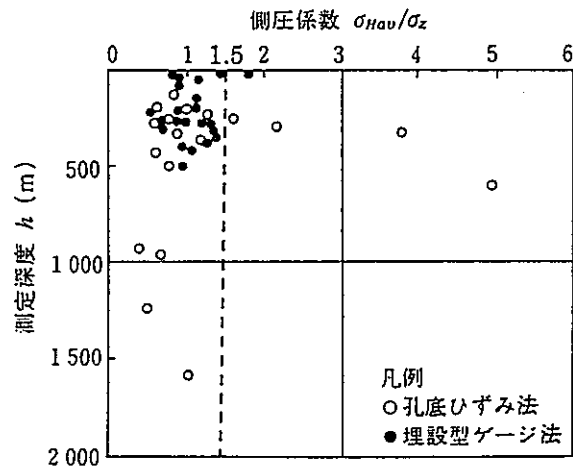


図-1.3.2 土被り $h$ と側圧係数 $\sigma_{Hav}/\sigma_z$ の関係

以下に解析に用いる式を示す。

モール・クーロンの破壊基準は次式で示すことができる。

$$\sigma_{\theta} = \lambda \sigma_r + q_u \quad (1.3.1)$$

ここで、

$$\lambda = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \quad (1.3.2)$$

$$q_u = \frac{2 \cdot c \cdot \cos \phi}{1 - \sin \phi} \quad (1.3.3)$$

ここに、 $\sigma_{\theta}$ :接線方向応力  
 $q_u$ :一軸圧縮強度  
 $\sigma_r$ :半径方向応力  
 $\phi$ :内部摩擦角  
 $c$ :粘着力

破壊領域の応力は、

$$\sigma_r = \left\{ \frac{r}{a} \right\}^{\lambda-1} \cdot \left\{ p_i + \frac{q_u}{\lambda-1} \right\} - \frac{q_u}{\lambda-1} \quad (1.3.4)$$

$$\sigma_{\theta} = \lambda \left\{ \frac{r}{a} \right\}^{\lambda-1} \cdot \left\{ p_i + \frac{q_u}{\lambda-1} \right\} - \frac{q_u}{\lambda-1} \quad (1.3.5)$$

ここに、 $p_i$ :内圧  
 $r$ :任意円の半径  
 $a$ :空洞半径

となる。

弾性領域と破壊域の境界半径Rは、

$$R = a \left\{ \frac{2}{\lambda+1} \cdot \frac{p_0(\lambda-1) + q_u}{p_i(\lambda-1) + q_u} \right\}^{\frac{1}{\lambda-1}} \quad (1.3.6)$$

ここに、 $p_0$ :地山の初期応力

である。

境界半径の応力状態は、

$$\sigma_{r,R} = \frac{2p_0 - q_u}{\lambda + 1} = p' \quad (1.3.7)$$

$$\sigma_{\theta,R} = \frac{2p_0\lambda + q_u}{\lambda + 1} \quad (1.3.8)$$

である。一方、境界半径の変位  $u_R$  は、

$$u_R = \frac{(1 + \nu)(p_0 - p')}{E} \cdot \frac{R^2}{a} \quad (1.3.9)$$

ここに、 $\nu$ :ポアソン比  
 $E$ :弾性係数

である。



トンネル壁面での変位量  $u_i$  は、次式になる。

$$u_i = \frac{(1 + \nu)(p_0 - p')}{E} \cdot \frac{R^2}{a} \quad (1.3.10)$$

以上の解析式を用いて実際に掘削可能径を求める場合には、境界条件を設定する必要がある。境界条件としては、以下に記す2種類がある。

i. 許容緩み領域を設定する方法

ii. 許容変位量を設定する方法

許容緩み領域  $R_a$  は、表-1.3.4<sup>4)</sup>を参考に、極力発生しない場合として1.5mを仮定する。したがって、式(1.3.6)で示される弾性領域と破壊域の境界半径  $R$  は、許容緩み領域  $R_a$  と空洞半径  $a$  の和として表される。

許容変位量  $u_a$  は、既施工の地下発電所における事例調査<sup>5)</sup>の結果から4cmと設定する。

調査結果によると、空洞断面積に関わらず変位量が4cmを越えたサイトでは、岩盤の一部崩落、変位の急激な増加、コンクリートのクラック発生といった変状を生じている。

また、解析条件によっては、掘削可能径が無限大となる場合もあり得るが、本検討においては従来の施工実績を鑑みてトンネルと地下発電所空洞の間を取り直径30mを上限とする。

表-1.3.4 緩み領域実測例<sup>4)</sup>

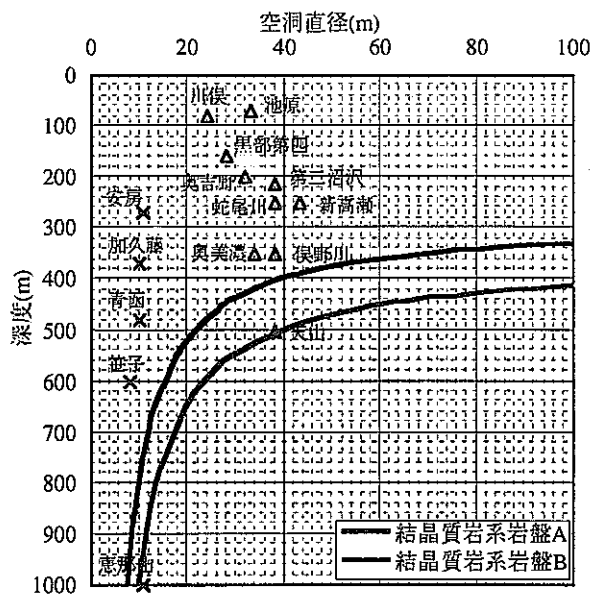
トンネル名	線名	地質	緩み領域(m)	備考
青函		第三紀泥岩	1.2~2.0	調査坑
		凝灰岩	1.2~1.4	
			0.8~1.1	
神居	函館	蛇紋岩	3.0~3.5	試験坑
新登川	紅葉山	〃	3.5	導坑
劉城	北陸	第三紀泥岩	9~10	
			7	
矢立	奥羽	第三紀凝灰岩	3.0	
徳重	鹿児島	風化安山岩	8~10	単線

(c) 検討結果

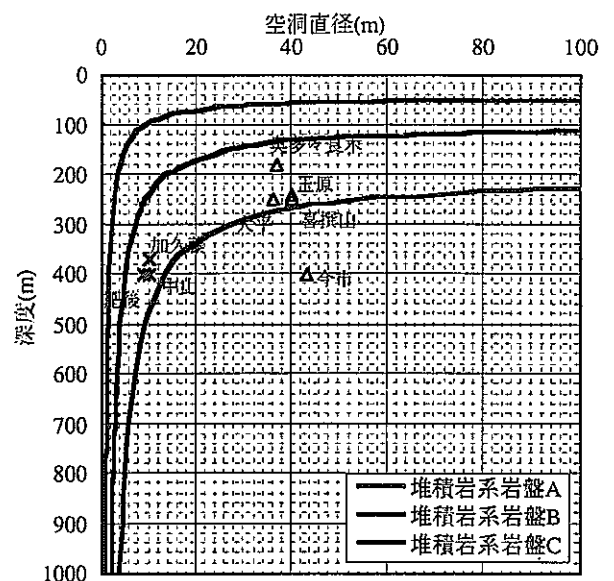
図-1.3.3,図-1.3.4に掘削可能径と施工実績との関係を示す。

まず、図-1.3.3について、許容緩み領域を $R_a=1.5\text{m}$ として解析を行ったところ、結晶質岩系岩盤については、グラフ上で施工実績が解析結果による曲線より上側に位置しており、また堆積岩系岩盤についても岩盤物性値によっては施工実績が上側に位置している。この結果より許容緩み領域 $R_a=1.5\text{m}$ を満足すれば掘削可能な空洞径であると言える。

また、図-1.3.4について、許容変位量を $u=4\text{cm}$ として解析を行ったところ、結晶質岩系岩盤については、グラフ上で施工実績が解析結果による曲線よりほぼ上側に位置している。一方、堆積岩系岩盤については、施工実績が曲線より下側に位置しているものも見られる。結晶質岩系岩盤については、 $u=4\text{cm}$ を満足すれば、掘削可能な空洞径であると言えるが、堆積岩系岩盤については、岩盤物性値と空洞径を考慮し、許容変位量を $u=4\text{cm}$ とする必要がある。



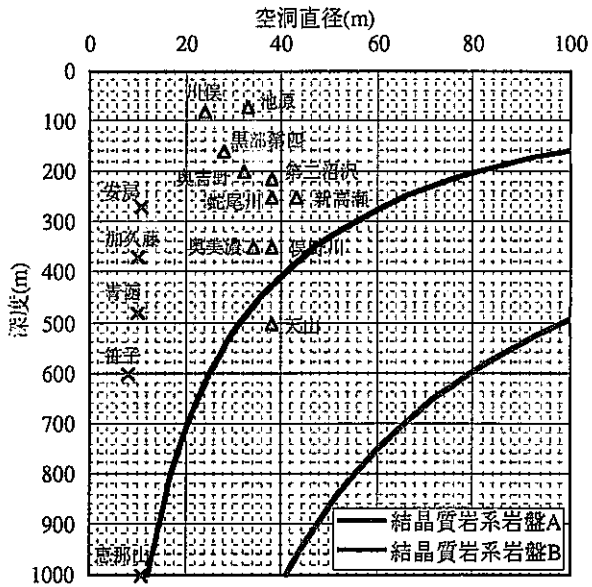
結晶質岩系岩盤



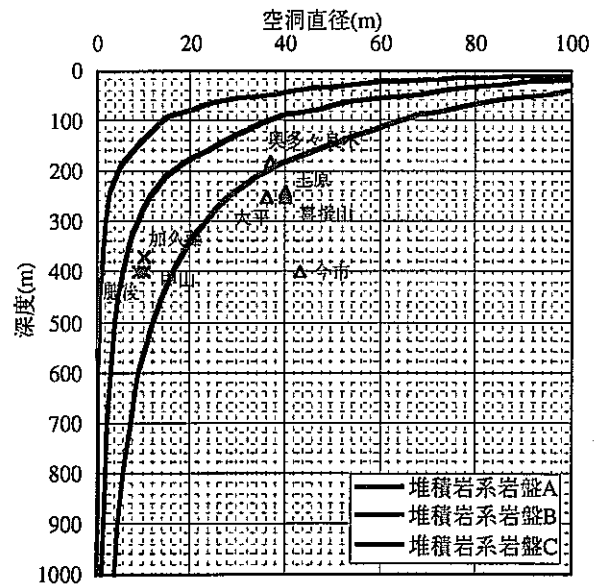
堆積岩系岩盤

×：トンネル施工実績  
△：地下発電所施工実績

図-1.3.3 許容緩み領域1.5mとした場合の掘削可能径と施工実績との関係



結晶質岩系岩盤



堆積岩系岩盤

×：トンネル施工実績  
△：地下発電所施工実績

図-1.3.4 許容変位量4cmとした場合の掘削可能径と施工実績との関係

① 許容緩み領域を設定する方法

許容緩み領域をRa=1.5mとして解析を行った。

表-1.3.5に、本検討において対象とする処分深度における結果を整理する。

また表-1.3.5は、本検討において対象とする処分深度における結果を整理する。

表-1.3.5 許容緩み領域を設定する方法による解析結果

		処分深度300m				処分深度700m			
		直径 $\phi$ (m)	壁面変位 u(cm)	緩み領域 w(m)	ボルト長 l(m)	直径 $\phi$ (m)	壁面変位 (cm)	緩み領域 (m)	ボルト長 l(m)
結晶質岩 系岩盤	A	30	0.7	0.0	0.0	17	1.0	1.5	3.0
	B	30	2.1	0.1	1.0	12	2.3	1.5	3.0
堆積岩 系岩盤	A	27	4.6	1.5	3.0	6	3.3	1.5	3.0
	B	7	3.0	1.4	3.0	3	5.2	1.5	3.0
	C	2	3.5	1.3	2.0	1	10.0	1.4	3.0

注) 吹付コンクリート厚：10cm  
支保内圧：0.0MPa  
ボルト長=緩み領域の1.5倍以上

② 許容変位量を設定する方法

前述したように許容変位量ua=4cmとして解析を行った。

表-1.3.6に、本検討において対象とする処分深度における結果を整理する。

表-1.3.6 許容変位量を設定する方法による解析結果

		処分深度300m				処分深度700m			
		直径 $\phi$ (m)	壁面変位 u(cm)	緩み領域 w(m)	ボルト長 l(m)	直径 $\phi$ (m)	壁面変位 u(cm)	緩み領域 w(m)	ボルト長 l(m)
結晶質岩 系岩盤	A	30	0.7	0.0	0.0	30	1.8	2.6	4.0
	B	30	2.1	0.1	1.0	20	3.9	2.5	4.0
堆積岩 系岩盤	A	23	3.9	1.3	2.0	7	3.8	1.7	3.0
	B	9	3.9	1.8	3.0	2	3.5	1.0	2.0
	C	2	3.7	1.3	2.0	不可能	—	—	—

注) 吹付コンクリート厚：10cm  
支保内圧：0.0MPa  
ボルト長=緩み領域の1.5倍以上

(d) 空洞規模の設定

表-1.3.7に2種類の境界条件による空洞安定解析結果を整理する。表中の円は掘削可能径を示し、円から出ている放射状の線はロックボルトの必要性を模式的に表現したものである。

表-1.3.7 空洞安定解析結果のまとめ

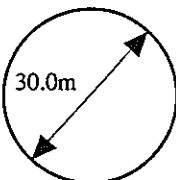
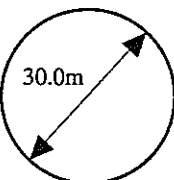
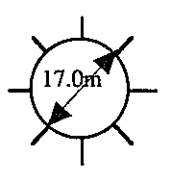
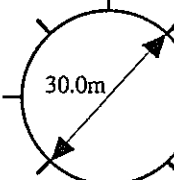
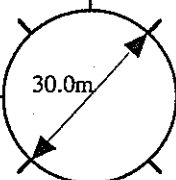
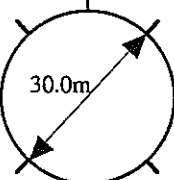
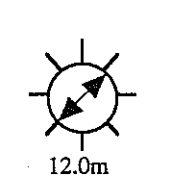
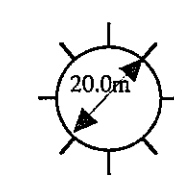
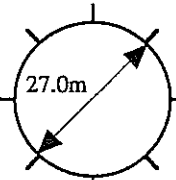
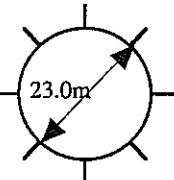
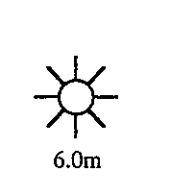
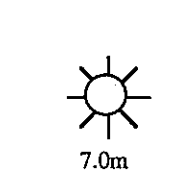
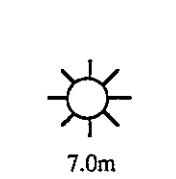
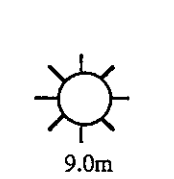
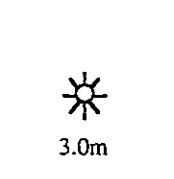
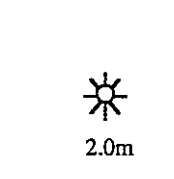
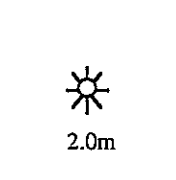
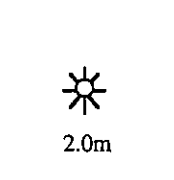
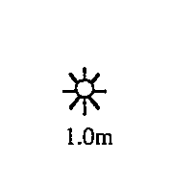
		処分深度300m		処分深度700m	
		許容緩み領域	許容変位量	許容緩み領域	許容変位量
結晶質岩系岩盤	A				
	B				
堆積岩系岩盤	A				
	B				
	C				成立せず

表-1.3.7を踏まえ、本検討において適用する岩種および処分深度に対する掘削最大径を表-1.3.8のように設定する。また本研究では10m以下のものについては無視することとする。

表-1.3.8 掘削最大径

		深度300m	深度700m
結晶質岩系岩盤	A	30m	30m
	B	30m	20m
堆積岩系岩盤	A	20m	—
	B	—	—
	C	—	—

## (2) 処分空洞の形態

「(1) 処分空洞の規模」において掘削可能な最大径を各岩種と処分深度に対して弾塑性理論解析により求めた。その結果を基に、本検討で対象とする処分空洞の形態の設定を行う。

地下に建設される構造物には、一般的にトンネル・サイロ・地下発電所などの大断面岩洞が挙げられる。

一方TRU廃棄物は、低レベル放射性廃棄物と比較して、放射能レベルが高くかつ半減期が長い核種を含有することや、高レベル放射性廃棄物と比較して発生量が多いことなどから、それらの処分空洞形態とは異なったコンセプトを構築する必要がある。そこで本検討ではこれらを考慮して、処分空洞として上記3種類（トンネル・サイロ・大断面岩洞）の構造形態を考える。

「(1) 処分空洞の規模」で求められた掘削可能径と、トンネル・サイロ・大断面岩洞などの構造形態との関連について、本検討では以下のように設定を行った。

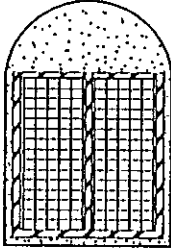
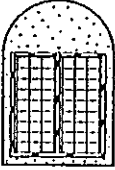

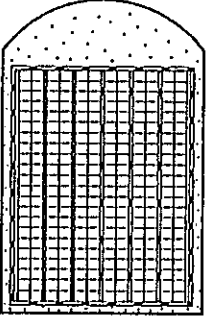
- ・掘削径30mは大規模地下発電所にほぼ相当する。（大断面岩洞方式）
- ・掘削径20mは地下発電所とトンネルの中間程度の大きさとなり小規模の岩洞と考えられる。（小断面岩洞方式）
- ・掘削径10mはトンネルにほぼ相当する。（坑道方式）
- ・岩洞を縦型に設置するという観点から掘削径20mのサイロ構造物を考える。（サイロ方式）

これらの構造形式の内、どの処分形態を選択するかについては、施工性・操業性・性能評価・経済性など、様々な観点による比較検討を行う必要がある。ここでは下記の4項目についての比較を行う。

- ・施工性（実績について）
- ・操業性（操業のしやすさなど）
- ・性能評価（熱、体積変化に対する評価など）
- ・経済性（掘削、埋設密度について）

比較を表-1.3.9に示す

表-1.3.9 比較表

項目	岩洞方式		坑道方式	サイロ方式	
	大断面岩洞方式	小断面岩洞方式			
概念図					
施工性	・地下発電所での施工実績があり、施工可能である。	・同左	・トンネルでの施工実績があり、施工可能である	・神岡鉱山での地下実験装置の実績がある。また圧縮空気の岩盤内貯蔵システムにおいても、同様な空洞が考えられている。	
操業性	断面形状が大きく、1ヶ所にまとめて処分できることから操業性はかなり良い。	大断面岩洞方式と比較すると断面が小さくなり若干操業性は落ちる。	断面の大きさが小さくなるため、1ヶ所にまとめて処分できないことから操業性は悪い。	大断面岩洞方式と同様、1ヶ所にまとめて処分できるため操業性は良い。クレーンの移動距離が短く、作業がコンパクトである。	
性能評価	断面が大きいため発熱性廃棄物、体積変化の大きい廃棄物、放射能濃度の高い廃棄物をまとめて処分すると人工バリア等に影響を及ぼす。	大断面岩洞方式と同様、発熱性廃棄物、体積変化の大きい廃棄物、放射能濃度の高い廃棄物の処分は処分方法を検討する必要がある。	埋設密度が他の方式に比べ小さいため、発熱性廃棄物、体積変化の大きい廃棄物の処分に有利である。	大断面岩洞方式と同様、発熱性廃棄物、体積変化の大きい廃棄物、放射能濃度の高い廃棄物をまとめて処分すると人工バリアに影響を及ぼす。	
経済性	掘削費	坑道延長が最も短くなり掘削費は安い。	大断面岩洞方式よりも坑道延長は長くなり、掘削費は若干高くなる。	坑道延長が長くなり、掘削費が他の方式より高い可能性がある。	施工用の坑道が余分に必要のため、岩洞方式より高くなる可能性がある。
	埋設密度*	高い。	高いが大断面岩洞方式に比べるとやや落ちる。	低い	高い

\*：埋設密度=廃棄物本数/掘削体積

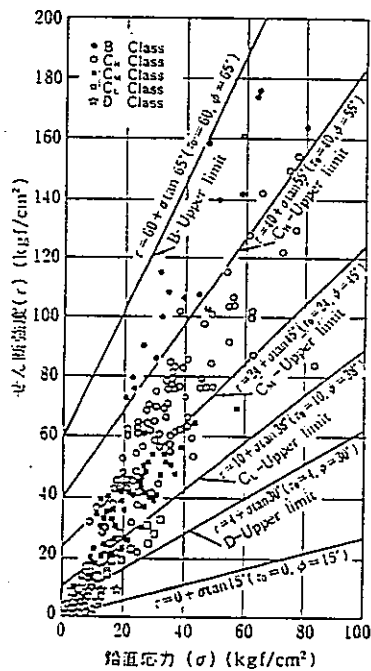


(参考) 岩盤物性値の見直しと最大掘削径

(i) 岩盤物性値の見直し

表-1.3.5～表-1.3.8に示した解析の結果は、表-1.2.12の岩盤物性値の値を用いたものである。この表-1.2.12の岩盤物性値が、我が国における一般的な岩盤物性値であるかどうかを検討する。また表-1.2.12の岩盤物性値を見直す必要がある場合には、その見直した岩盤物性値で弾塑性理論解析を実施し、掘削可能な最大径を算出する。

我が国における一般的な岩盤物性値を整理したものの一つに図-1.3.5のグラフが挙げられる。⑥このグラフは岩盤等級と原位置せん断試験結果の関係を表している。このグラフ中に実線で示されている、各岩盤等級での粘着力と内部摩擦角の上限値を取り出し、その関係を図示すると、図-1.3.6のようなグラフができあがる。図-1.3.6には表-1.2.12に示された各岩盤種類での粘着力と内部摩擦角の値も併せて示す。但し、図-1.3.5は、鉛直応力80kgf/cm<sup>2</sup>（深度に換算して約300m）以下のデータに基づく関係であるため、本検討においては処分深度300mのみに関して適用する。



電 研	A	B	C <sub>H</sub>	C <sub>M</sub>	C <sub>L</sub>	D
旧 国 鉄	V <sub>N</sub>	IV <sub>N</sub>	III <sub>N</sub>	II <sub>N</sub>	I <sub>N</sub>	I <sub>s,L</sub>
道路公団	A	B	C	D, E		

地山分類	弾性波速度 V <sub>p</sub> (km/s)				
	1	2	3	4	5
電 中 研	A				
	B				
	C <sub>H</sub>				
	C <sub>M</sub>				
	C <sub>L</sub>				
	D				
旧 国 鉄	V <sub>N</sub>				A <sub>c</sub> , B <sub>c</sub>
	IV <sub>N</sub>				A <sub>c</sub> , B <sub>c</sub>
	III <sub>N</sub>				A <sub>c</sub> , B <sub>c</sub>
	II <sub>N</sub>				A <sub>c</sub> , B <sub>c</sub>
	I <sub>N</sub>				A <sub>c</sub> , B <sub>c</sub>
注1) 鉄 団	I <sub>s,L</sub>	A <sub>c</sub> , B <sub>c</sub>			
道 路 公 団	A				
	B				
	C				
	D				
	注2) 団	E			

注1) 岩種区分  
 A: 古生層, 中生層, 深成岩, 半深成岩, 火山岩(玄武岩), 変成岩  
 B: 剝離性の著しい変成岩, 細層理の古生層, 中生層  
 C: 中生層, 火山岩(流紋岩, 安山岩), 古第三紀層の一部  
 注2) 岩種区分  
 a: 深成岩, 変成岩(片岩, 片麻岩)  
 b: 古生層, 中生層

図-1.3.5 塊状岩盤における岩盤等級と原位置せん断試験結果との関係⑥

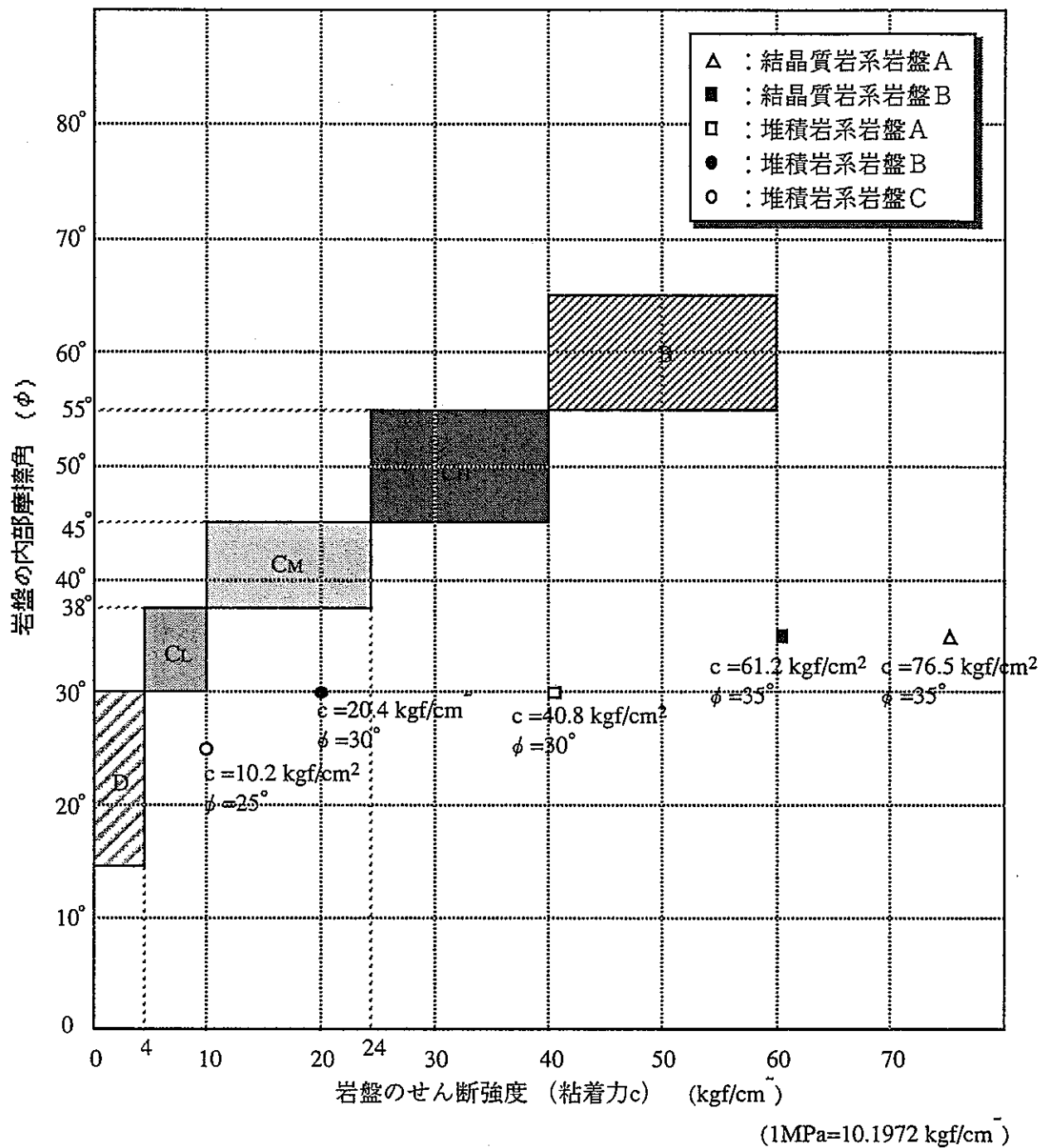


図-1.3.6 岩盤の粘着力と内部摩擦角の関係 (その1)

図-1.3.6中の網掛けされている部分が、図-1.3.5の実線で示されていた各岩盤等級での粘着力と内部摩擦角の関係を範囲で示したものである。

表-1.2.12の岩盤物性値のプロットと、各岩盤等級の粘着力-内部摩擦角の範囲を比較する。表-1.2.12の岩盤物性値は、粘着力が10~70kgf/cm<sup>2</sup>と幅があり、岩盤等級の分布の幅にほぼ対応しているのに対し、内部摩擦角は30°前後の値しかなく小さな値で設定されていると考えられる。そこで、表-1.2.12の粘着力の値に対応する内部摩擦角の値を一般的な岩盤等級のもの置き換えると図-1.3.7のように考えられる。

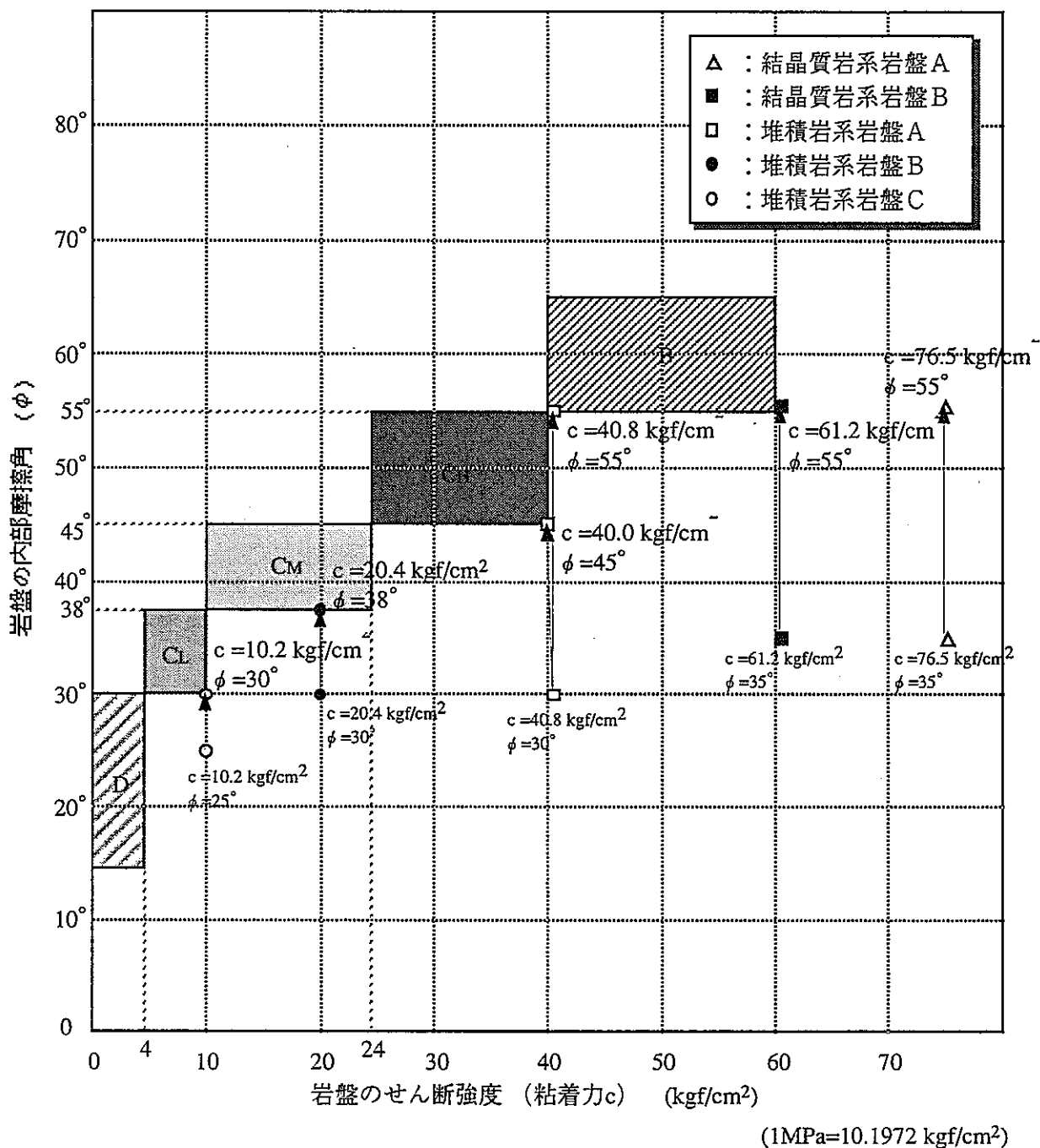


図-1.3.7 岩盤の粘着力と内部摩擦角の関係 (その2)

図-1.3.7より結晶質岩系岩盤AとBの粘着力は、各岩盤等級の範囲からははずれているがB級岩盤の内部摩擦角の最小値は期待できると考えた。また堆積岩系岩盤Aの粘着力は、CH級岩盤とCM級岩盤のほぼ境界値であることから、両者の内部摩擦角の最小値を設定した。また堆積岩系岩盤Cの粘着力も、CM級岩盤とCL級岩盤の境界値であるが、こちらは強度的に弱いと考えられるCL級岩盤の内部摩擦角の値を採用することとした。

(ii) 弾塑性理論解析の実施

図-1.3.7に示した、見直した岩盤物性値で弾塑性理論解析を実施し、掘削可能な空洞径を算定する。検討方法は「(1)(b)検討方法」と同じとするが、岩盤物性値は見直した値を用いる。

① 許容緩み領域を設定する方法

許容緩み領域 $R_a=1.5m$ とした場合の解析を行った。表-1.3.10に本検討において対象とする処分深度における結果を整理する。

表-1.3.10 許容緩み領域を設定する方法による解析結果（その2）

		処分深度 300m			
		直径 $\phi$ (m)	壁面変位 $u$ (cm)	緩み領域 $w$ (m)	ボルト長 $l$ (m)
結晶質 岩系岩盤	A	30	0.7	0.0	0.0
	B	30	2.2	0.0	0.0
堆積岩系 岩盤	A1	30	5.0	0.0	0.0
	A2	30	5.0	0.2	1.0
	B	13	5.4	1.5	3.0
	C	3	5.3	1.5	3.0

注) 吹付コンクリート厚：10cm  
支保内圧：0.0MPa  
ボルト長=緩み領域の1.5倍以上

② 許容変位量を設定する方法

許容変位量 $u_a=4cm$ とした場合の解析を行った。表-1.3.11に本検討において対象とする処分深度における結果を整理する。

表-1.3.11 許容変位量を設定する方法による解析結果（その2）

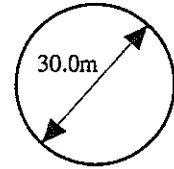
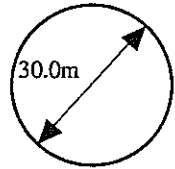
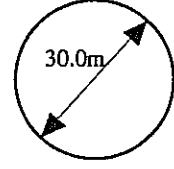
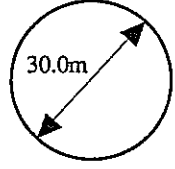
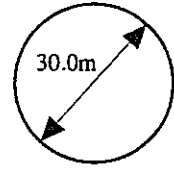
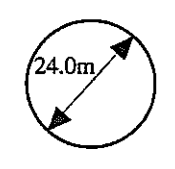
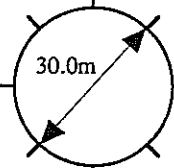
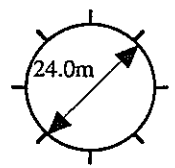
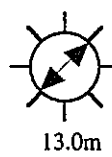
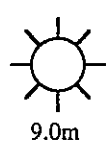


		処分深度 300m			
		直径 $\phi$ (m)	壁面変位 $u$ (cm)	緩み領域 $w$ (m)	ボルト長 $l$ (m)
結晶質 岩系岩盤	A	30	0.7	0.0	0.0
	B	30	2.2	0.0	0.0
堆積岩系 岩盤	A1	24	4.0	0.0	0.0
	A2	24	4.0	0.1	1.0
	B	9	3.9	1.1	2.0
	C	2	3.8	1.0	2.0

注) 吹付コンクリート厚：10cm  
支保内圧：0.0MPa  
ボルト長=緩み領域の1.5倍以上

③ 空洞規模の設定

表-1.3.12に2種類の境界条件による空洞安定解析結果を整理する。表中の円は掘削可能径を示し、円から出ている放射状の線はロックボルトの必要性を模式的に表現したものである。物性値を見直した解析結果では、空洞径の増大が見られる。

表-1.3.12 空洞安定解析結果のまとめ (その2)

		処分深度300m	
		許容緩み領域	許容変位量
結晶質岩系 岩盤	A		
	B		
堆積岩系岩盤	A1		
	A2		
	B		
	C		

### 1.3.4 人工バリアの基本概念

#### (1) 人工バリアの目的

本検討における人工バリアとは、岩盤（天然バリア）と廃棄体の間に設置または充填される材料のことを指す。

人工バリアの目的は、

「廃棄体から溶出する放射性核種が天然バリアに移行する時間を遅延させること」である。この目的を達成するために人工バリアには、要求性能に応じた構成、材料、構造が求められる。以下においては、これらについて述べる。

#### (2) 人工バリアの基本構成

本検討における人工バリアは、図-1.3.8に示すように構造材及び充填材、緩衝材から構成されるシステムを基本とする。

また、一般には廃棄体の固化に用いるセメント、アスファルト、プラスチック等や廃棄体容器も人工バリアの範疇に入る<sup>7)</sup>。しかし本検討では、「1.2 検討条件」で示したとおり、これらを与条件として扱い、検討の対象としない。岩盤は、天然バリアに分類される。

緩衝材には、地下水の侵入と核種の溶出・移行を抑制するといった長期間にわたって担保しなければならない性能を保有させる。構造材及び充填材については、廃棄体の安定かつ効率的な定置や構造材内部に発生する間隙の充填といった短期的な性能を主として保有させる。

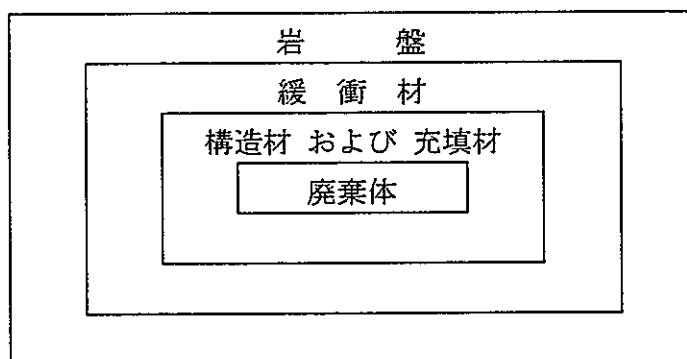


図-1.3.8 人工バリアの基本構成

### (3) 人工バリアの候補材料

#### (a) 構造材

##### ① 要求性能

処分空洞内には、廃棄体を安定かつ効率的に定置するための処分施設として構造材を設置する。構造材については、このような操業性の他に熱伝導性や化学的緩衝性が要求される。

構造材の主な要求性能としては、以下に示す項目が挙げられる。

- i. 廃棄体の安定かつ効率的な定置 → 操業性
- ii. 廃棄体からの放熱による人工バリアの温度上昇の抑制 → 熱伝導性
- iii. 人工バリア間隙中における地下水のpHの適正な維持 → 化学的緩衝性
- iv. 廃棄物から溶出する放射性核種移行の遅延 → 核種吸着遅延性

##### ② 候補材料とその特徴

前述した要求性能を満足する材料として、鉄筋コンクリートが挙げられる。コンクリートには、以下に示す特長があり、多くの土木・建築用構造材として用いられている。

- ・ 任意の形状・寸法の部材および構造物を造ることが可能である。
- ・ 構造物全体を単体的に造ることが容易である。
- ・ 材料の入手および材料の運搬が容易である。
- ・ 任意の強度のものを利用することが容易である。
- ・ 品質のばらつきが少ない。
- ・ 施工にあたって特別の熟練工を必要としない。

以下においては、コンクリートの特徴を要求性能毎に整理する。

##### (i) 操業性

廃棄体を安定かつ効率的に定置していくためには、処分施設としての鉄筋コンクリートを設置することが効果的であると考えられる。鉄筋コンクリートは、前述した特長を有しており、現在の土木構造材として最も優れた材料である。

##### (ii) 熱伝導性

コンクリートの熱伝導率は、約 $1.2\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$ <sup>8)</sup>程度である。後述するベントナイトと同等もしくはそれ以上の熱伝導率を有している。

##### (iii) 化学的緩衝性

地下水のpHが高いアルカリ環境においては、ウラン(U)、プルトニウム(Pu)、アメリシウム(Am)といった溶解度が低くなる核種が存在する。そのため人工バリア内の地下水を高pHに保つことは、核種溶解の遅延という観点からは重要な要素である。

一般にセメントペーストのpHは、概ね12~13<sup>9)</sup>と言われており、人工バリア内の地下

水を高pHに維持する性質を有している。

一方、後述するベントナイトが高pHの地下水と接触すると、ゼオライトという鉱物に変質することが知られている。しかし、ゼオライト化が緩衝材に要求される性能にどの程度影響するかは知られておらず、今後の研究成果を待つ必要がある。

#### (iv) 核種吸着遅延性

T R U廃棄物に含まれる放射性核種の内、炭素( $C_{14}$ )やヨウ素( $I_{129}$ )といった核種は、後述する緩衝材（ベントナイト）には核種吸着遅延性を期待できないことが知られている。

炭素( $C_{14}$ )は、廃棄体中において $CO_3^{2-}$ の形態で存在する。他方、セメント系材料の主要成分である水酸化カルシウム( $Ca(OH)_2$ )は、Caイオンとして地下水中に溶解する。この両者が結合し、炭酸カルシウム( $CaCO_3$ )の形態に変化し、沈殿する。沈殿した炭酸カルシウムは、分子が大きく緩衝材から外部に出にくい状態となる。

一方、ヨウ素( $I_{129}$ )に対しては、炭素( $C_{14}$ )ほど明確なセメント系材料の核種吸着遅延性は確認されていない。しかしながら、セメント系材料への期待は大きく、今後の研究成果を待つ必要がある。

### (b) 充填材

#### ① 要求性能

構造材の内部に定置された廃棄体間には、隙間が発生する。主として、この隙間を物理的安定性の観点から埋める材料として充填材を設置する。充填材については、このような物理的安定性の他に充填性や熱伝導性、化学的緩衝性が要求される。

充填材の主な要求性能としては、以下に示す項目が挙げられる。

- i. 構造材内部に発生する隙間の充填 → 自己充填性、物理的安定性
- ii. 廃棄体からの放熱による人工バリアの温度上昇の抑制 → 熱伝導性
- iii. 人工バリア隙間中における地下水のpHの適正な維持 → 化学的緩衝性
- iv. 廃棄物から溶出する放射性核種移行の遅延 → 核種吸着遅延性

#### ② 候補材料とその特徴

前述した要求性能を満足する材料として、セメントモルタルが挙げられる。セメントモルタルは、六ヶ所における低レベル放射性廃棄物埋設施設の充填材として採用されており、優れた自己充填性を有している。またセメントモルタルは、コンクリートから粗骨材を除いたものであり、前述したコンクリートと同様の長を有している。

以下においては、セメントモルタルの特徴を要求性能毎に整理する。

##### (i) 自己充填性、物理的安定性



セメントモルタルは、その要求性能に応じた混和剤を混入することにより、前述したように優れた自己充填性を発揮する。このことから、岩盤の割れ目やロックアンカー等のグラウト材として、多くの土木工事において用いられている。

このように人工バリア内の間隙を充填材によって充填することは、バリア内の有害空隙を無くし、物理的に一体化した安定な構造体を実現する。

(ii) 熱伝導性

構造材（コンクリート）と同様。

(iii) 化学的緩衝性

構造材（コンクリート）と同様。

(iv) 核種吸着遅延性

構造材（コンクリート）と同様。

(c) 緩衝材

① 要求性能

岩盤と構造材および充填材の間には、地下水の侵入と核種の溶出・移行を抑制するための緩衝材を設置する。緩衝材については、このような止水性、吸着性の他に様々な物理的、化学的緩衝性が要求される。

緩衝材の主な要求性能としては、以下に示す項目が挙げられる<sup>10)</sup>。

- i. 廃棄体への地下水の接触の遅延および地下水で飽和後の人工バリア中の地下水移動の抑制 → 止水性
- ii. 廃棄体の化学的反応から発生するガスの処分場内からの逸散 → 透気性
- iii. 周辺岩盤との間隙および亀裂開口部等の充填 → 自己シール性
- iv. 廃棄物から溶出する放射性核種移行の遅延 → 核種吸着遅延性
- v. 廃棄体からの放熱による人工バリアの温度上昇の抑制 → 熱伝導性
- vi. 廃棄体の固定・保持 → 廃棄体支持性
- vii. 周辺岩盤の変形等により生じる応力（歪）の緩和 → 力学的緩衝性

② 候補材料とその特徴

前述した要求性能を比較的よく満足する材料として、天然に産出する粘土が注目されている<sup>10)</sup>。これは、粘土が一般的に低透水性であり、吸着性を有すること、さらに、天然で産出するため処分を考えなければならない長期間の安定性が期待できることなどによる。

また、天然に産出するベントナイトは交換性陽イオンの種類により、Na型とCa型に大別される。その内、Na型の方が前述した要求性能をより満足することが知られている。

現在、国内における高レベル放射性廃棄物地層処分研究<sup>10)</sup>においては、Na型ベント

ナイトを緩衝材の候補材料として研究が進められている。また、六ヶ所における低レベル放射性廃棄物埋設施設においても、同様の材料を用いた施設建設が進めらようとしている。

一方、海外の研究機関（スウェーデンSKB、スイスNagra、カナダAECL等）においても、Na型ベントナイトを緩衝材の候補材料とした研究が進められている。

このような材料自身が有する特長や国内外の研究動向を鑑み、本研究においてもNa型ベントナイトを緩衝材の候補材料として採用する。以下においては、Na型ベントナイトの特徴を要求性能毎に整理する。

#### (i) 止水性

圧縮されたベントナイトは、非常に低い透水性を示し、緩衝材中での水の動きを抑制する優れた性能を有している。

ベントナイトの透水係数は、密度に依存することが知られている（第3章参照）。乾燥密度約 $1.8\text{g/cm}^3$ では、透水係数は約 $10^{-13}\text{m/sec}$ 以下の難透水性を示す<sup>1)</sup>。

また、ベントナイトとケイ砂を混合したベントナイト混合土の透水係数は、配合比3:7、乾燥密度 $1.7\text{g/cm}^3$ で、約 $10^{-11}\text{m/sec}$ 以下の難透水性を示す<sup>2)</sup>。

#### (ii) 透気性

透気性と透水性の間には、ある程度の相関関係を有し、透気性は透水性より小さいことが一般に知られている。したがって、ベントナイトの透気係数は、上記の透水係数より小さくなることが予想される。ガス発生に伴う透気対策は、今後の課題である。

#### (iii) 自己シール性

圧縮されたベントナイトは、水の浸潤に伴い膨張し、緩衝材中の隙間や隣接する岩盤中の割れ目を充填する性能を有している。この膨潤性は、Puschら(1991)の研究によると以下に示す2つのメカニズムにより発生すると考えられている<sup>10)</sup>。

- ・電荷を帯びた粒子が持つ電気二重層による粒子間の反発力
- ・層状構造を持つモンモリロナイト結晶の層間陽イオンの水和、層状粘土結晶と水分子の分子間力等による層間の拡大

ベントナイトの膨潤圧力は、密度に依存することが知られている（第3章参照）。乾燥密度 $1.79\text{g/cm}^3$ では膨潤圧力は $4.8\text{MPa}$ であり、また $1.58\text{g/cm}^3$ でも $1.2\text{MPa}$ の膨潤圧力を示す<sup>11)</sup>ことから、人工バリア内の空隙や岩盤の亀裂等を自己シールできる膨潤性を有していると考えられる。

また、ベントナイトとケイ砂を混合したベントナイト混合土の膨潤圧力は、配合比7:3、乾燥密度 $1.66\text{g/cm}^3$ で $0.23\text{MPa}$ <sup>2)</sup>となる。ケイ砂と混合することにより、極端に膨潤圧力が低下する特徴を有している。

#### (iv) 核種吸着遅延性<sup>10)</sup>

一般に物質の収着には、化学吸着と物理吸着がある。化学吸着のメカニズムとしては、静電引力によるイオン交換、錯体生成反応による表面錯体生成等が考えられる。

ベントナイトの主成分であるモンモリロナイトは、結晶構造中に $Si^{4+} \Rightarrow Al^{3+}$ ,  $Al^{3+} \Rightarrow Mg^{2+}$ といったイオンの同形置換を有することにより、負の電荷を帯びている。この負の電荷により、モンモリロナイトは一般に80~150meq/100gの大きな陽イオン交換容量を持っている。

また、モンモリロナイトは結晶の端面に水酸基を持つこと、800m<sup>2</sup>/g程度の比較的大きな比表面積を持つことから、表面錯体の生成や物理吸着に関しても優れた特性を有していると考えられる。

さらに、ベントナイトの圧縮成形体中の物質の移行においては、間隙構造による分子ふるい効果、電荷によるイオン排除効果等が期待される。

#### (v) 熱伝導性<sup>10)</sup>

圧縮ベントナイトの熱伝導率は、乾燥密度、含水比等に依存する。したがって、密度が大きいほど、含水比が高いほど、熱伝導率は大きい。乾燥密度1.8g/cm<sup>3</sup>の場合、初期含水比10%の乾燥状態においても熱伝導率は、約1.0W・m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>という値が得られている。

また、ベントナイトにケイ砂を混合すると、ケイ砂の割合が大きいほど、熱伝導率は大きくなる。したがって、熱伝導性を向上させるためには、乾燥密度を上げる他にケイ砂を混合することが有効であると考えられる。

一方、ベントナイトの主成分であるモンモリロナイトは、熱によりイライトという鉱物に変化すること（イライト化）が知られている。イライトを起こすことにより、緩衝材に要求される止水性、自己シール性、核種吸着遅延性といった性能が低下することが知られている。

天然における続成作用等でイライト化が認められるのは約50~60℃程度以上の温度であるが、約100℃以下の温度ではイライト化変質は顕著ではなく、その進行は非常に遅い。また、100℃を越える温度条件であっても、時間や環境条件によりイライト化が進行しない場合もあるが、詳細については今後の研究成果を待つ必要がある。以上のことから、現状においてはベントナイトの温度が100℃を越えないように処分システムを構築することが肝要である。

(vi) 廃棄体支持性と力学的緩衝性

これまでの知見<sup>10)</sup>によると、ベントナイトは乾燥密度 $1.8\text{g/cm}^3$ の場合、約 $5\text{MPa}$ の一軸圧縮強度を有している。この値は、通常の土木構造物の設計・施工で取り扱う粘土に置き換えると、「固結した」( $0.4\text{MPa}$ 以上)という最も硬い分類に入る。したがって、粘土としてはかなりの支持力を有していると考えられる。

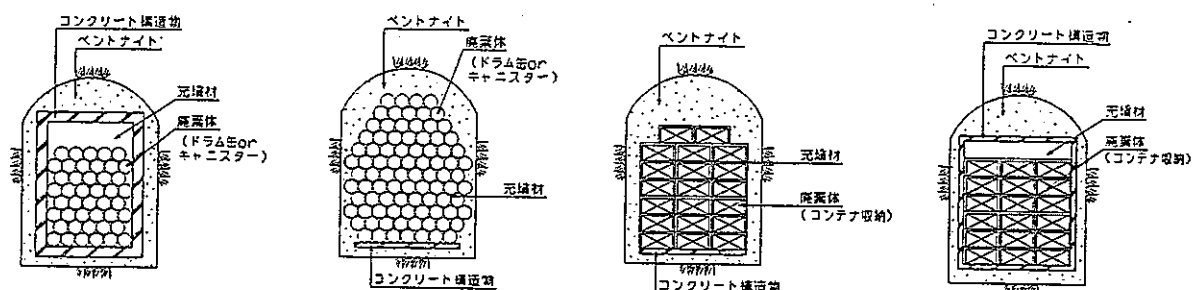
しかし、ベントナイトには前述した膨潤特性の他、粘土材料としての圧密特性（一次圧密）およびクリープ特性（二次圧密）を有している。実際の長期的なベントナイトの力学的挙動は、これらの特性が複雑に絡み合って発生するものと考えられる。したがって、今後はこれらの特性を説明するデータを精力的に取得していくとともに、緩衝材の力学挙動モデルの開発が課題である。

#### (4) 人工バリアの基本構造

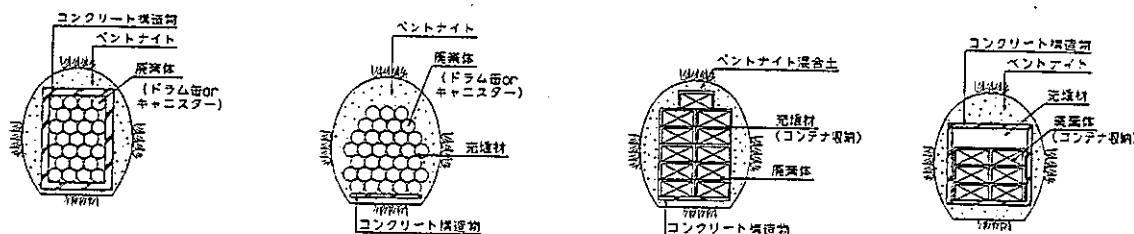
これまでの述べてきた人工バリアの基本構成および候補材料を念頭に、各処分空洞方式（岩洞方式，坑道方式，サイロ方式）に対して考えうる人工バリアの基本構造形態を図-1.3.9に示す。

ここで「コンテナ」という新しい概念が登場する。これは廃棄体を数本取りまとめて収納する，コンクリート製の矩形の箱である。放射線のしゃへい，操業性の向上，落下時の強度担保といった性能を期待し，導入した。コンテナに関する詳細は後述する。

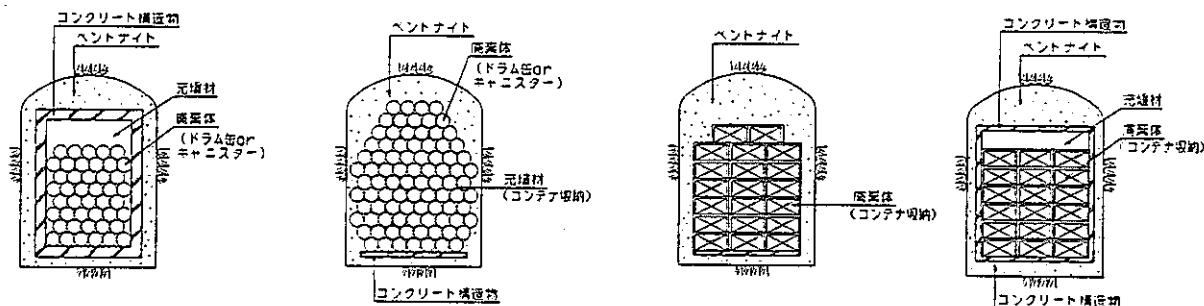
また表-1.3.13においては，図-1.3.9に示す3種類の人工バリア基本構造形態に対する特徴の比較を行う。



岩洞方式の人工バリア材構造



坑道方式の人工バリア構造



サイロ方式の人工バリア構造

図-1.3.9 各処分空洞方式に対する人工バリアの基本構造形態

表-1.3.13 人工バリア基本構造形態の特徴比較

基本構造形態	特 徴	評価
<p>○ガイド有り乱積処分</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 廃棄体の定置時における物理的安定性は、ガイド（コンクリートピット）により保持される。</li> <li>● コンクリートピットを設置するため、廃棄体の定置以前に底部および側部のベントナイトの施工が可能である。</li> <li>● 1断面あたりに廃棄体量を多量に処分できる。</li> <li>● 廃棄体をむき出しで搬送・定置しなければならず、放射線しゃへいの観点から問題がある。</li> </ul>	<p>×</p>
<p>○乱積処分</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 廃棄体の定置時における物理的安定性に、欠如している。</li> <li>● 廃棄体の定置とベントナイトの施工を同時進行する必要があり、作業と閉鎖という2つの作業が錯綜する。</li> <li>● 1断面あたりに廃棄体量を多量に処分できる。</li> <li>● 廃棄体をむき出しで搬送・定置しなければならず、放射線しゃへいの観点から問題がある。</li> </ul>	<p>×</p>
<p>○ガイド有り コンテナ積み処分</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 廃棄体の定置時における物理的安定性は、ガイド（コンクリートピット）およびコンテナにより、この中で最も安定に保持される。</li> <li>● コンクリートピットを設置するため、廃棄体の定置以前に底部および側部のベントナイトの施工が可能である。</li> <li>● コンテナを使用する分、1断面あたりの廃棄体量が制限される。</li> <li>● 廃棄体をコンテナに収納して搬送・定置するため、放射線しゃへいの観点から安全性が確保される。</li> <li>● コンクリートピットの設置およびコンテナの使用により、処分コストがこの中で最も高くなる。</li> </ul>	<p>○</p>
<p>○コンテナ積み処分</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 廃棄体の定置時における物理的安定性は、コンテナによりある程度保たれるが、ガイドが無い分不安定要素は大きい。</li> <li>● 廃棄体の定置とベントナイトの施工を同時進行する必要があり、作業と閉鎖という2つの作業が錯綜する。</li> <li>● コンテナを使用する分、1断面あたりの廃棄体量が制限される。</li> <li>● 廃棄体をコンテナに収納して搬送・定置するため、放射線しゃへいの観点から安全性が確保される。</li> </ul>	<p>×</p>

本検討においては、これまでに示してきた4種類の基本構造形態の中から、コスト的には不利な側面もあるが、それに勝る長所を有していると判断される「コンクリートピットを使用したコンテナ積処分」を採用する。その理由は以下に示すとおりである。

- i.コンクリートピットを設置するため、廃棄体の定置以前に底部および側部のベントナイトの施工が可能である。このことにより、品質の高いベントナイトが施工できると考える。また、作業が錯綜せずに済む。
- ii.廃棄体をコンテナに収納して搬送・定置するため、放射線しゃへいの観点から安全性が確保される。さらに、安定性、落下強度および耐埋設荷重強度の向上、有害空隙の減少といったプラス効果が期待できる。
- iii.コンクリートピットとコンテナを用いることにより、廃棄体の定置時における物理的安定性が、格段に向上する。

### 1.3.5 廃棄体収納方法及び定置方法

#### (1) 廃棄体収納方法

##### (a) 基本的な考え方

本検討では、処分施設搬入時における廃棄体の形態として以下の3種類を考慮する。

- ・ 200 ℓ (φ 600mm×H900mm) ドラム缶
- ・ 140 ℓ (φ 430mm×H1,343mm, φ 440mm×H1,345mm) キャニスター
- ・ 500 ℓ (φ 800mm×H1,192mm) キャニスター

上記の廃棄体を地下処分空洞に搬入し定置する一連の操業の流れを検討するには、廃棄体の搬送・定置をどのような形態で行うかを設定することが必要となる。この廃棄体の搬送・定置時の形態とその重量は、搬送方法、定置方法を検討する上で基本的な要素の一つであり、主として次の項目と関連する。

- ・ 搬送車輛の仕様  
最大積載重量，廃棄体積載数，寸法，搬送車輛への廃棄体積載方法等
- ・ 廃棄体ハンドリング機器の仕様  
地上施設，地下施設での廃棄体ハンドリング機器の仕様
- ・ 廃棄体の定置方法及び定置数量
- ・ 操業時のサイクルタイム及び工程スケジュール

操業における廃棄体のハンドリング・搬送・定置作業の安全性と効率を考慮すると、廃棄体を数本まとめて収納した容器（以下、廃棄体コンテナと言う）を用いることが考えられる。廃棄体の最終処分形状とその重量は、この廃棄体コンテナを想定し検討する。

##### (b) 本検討での設定

###### ① 廃棄体コンテナの形状

廃棄体を搬送するときの廃棄体コンテナの形状についての検討を行う。

###### a. 対象廃棄体

表-1.3.14に対象とする廃棄体の寸法，容積，重量，密度を示す。また表-1.3.15に表-1.3.14で示した廃棄体のうち，廃棄体コンテナの形状検討に用いる廃棄体を示す。



表-1.3.14 対象廃棄体

発生機関	呼び名	寸法	廃棄体容積 (m <sup>3</sup> )注2	廃棄体重量 (tf)注4	密度 (tf/m <sup>3</sup> )	備考
PNC JNFL	140ℓキャニスター	φ430×H1,343	0.18	0.9	5.00	ハル・エント・ピース
	200ℓドラム缶	φ600×H900注1	0.225注3	0.387	1.72	灰溶融固化体
COGEMA	140ℓキャニスター	φ440×H1,345	0.205	0.685	3.34	ハル・エント+雑固体
	200ℓドラム缶	φ586×H883	0.225	0.250	1.11	低レベル廃液
BNFL	500ℓキャニスター	φ800×H1,192	0.56	1.562	2.79	ハル・エント(BWR)

注1：JIS Z 1600に基づき変更

注2：廃棄体容器も含む容積

注3：JIS Z 1600には記載されていないため、COGEMAと同じとした。

注4：廃棄体重量と廃棄体容器重量の合計

表-1.3.15 検討に用いる廃棄体

呼び名	寸法	廃棄体容積(m <sup>3</sup> )	廃棄体重量(tf)	密度(tf/m <sup>3</sup> )
140ℓキャニスター	φ440×H1,345	0.18	0.9	5.00
200ℓドラム缶	φ600×H900	0.225	0.387	1.72
500ℓキャニスター	φ800×H1,192	0.56	1.562	2.79

注：200ℓドラム缶の重量は、LLW2期において0.4～0.8tf/本の範囲であり、上記の値はかなり小さめの値と考えられる。ここでは、仮に廃棄体重量が0.8本tf/本になったとしてもコンテナ部材に発生する応力度が許容値を満足することとする。少なくとも0.387tfにはセメント充填分の重量が見込まれていない。

#### b. コンテナ形状の設定

以下に示す条件でコンテナ形状を設定する。

- ・1つのコンテナには、同形状の廃棄体を収納する。
- ・廃棄体間、廃棄体とコンテナ間（側部）には、搬送機のつかみ代として5cm程度のクリアランスを考慮する。
- ・上部のクリアランスは、特に考慮せず、設定した廃棄体が入る高さとする。
- ・コンテナ部材厚は、応力度照査により決定する。
- ・コンテナの平面形状は、正方形を基本とする。
- ・1つのコンテナの総重量が、各廃棄体形状でほぼ等しくなるようにする。（搬送機器を考える上で、重量にばらつきが少ない方が効率的と考えた。）

したがって、各廃棄体でのコンテナ形状は以下のようになる。

140ℓキャニスター（3×3本）

部材厚：15cm

平面：0.44×3+0.15×2+0.05×4=1.82 → 1.8m

$$\begin{aligned} \text{高さ} &: 1.345 + 0.15 \times 2 = 1.645 && \rightarrow 1.7\text{m} \\ 200 \ell \text{ ドラム缶 (3} \times \text{3本)} & & & \\ \text{部材厚} &: 15\text{cm} & & \\ \text{平面} &: 0.6 \times 3 + 0.15 \times 2 + 0.05 \times 4 = 2.3 && \rightarrow 2.3\text{m} \\ \text{高さ} &: 0.9 + 0.15 \times 2 = 1.2 && \rightarrow 1.2\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 500 \ell \text{ キャニスター (2} \times \text{2本)} & & & \\ \text{部材厚} &: 15\text{cm} & & \\ \text{平面} &: 0.8 \times 2 + 0.15 \times 2 + 0.05 \times 3 = 2.05 && \rightarrow 2.1\text{m} \\ \text{高さ} &: 1.192 + 0.15 \times 2 = 1.492 && \rightarrow 1.5\text{m} \end{aligned}$$

### c. コンテナの重量

コンクリート及びモルタルの単位体積重量は、コンクリート標準示方書に基づく。また、コンクリートに対しては、安全側の値として最大値を適用した。

#### 140 ℓ キャニスター

$$\begin{aligned} \text{廃棄体} &: 0.9 \times 9 = 8.1\text{tf} \\ \text{コンクリート} &: \{(1.8^2 \times 1.7) - (1.5^2 \times 1.4)\} \times 2.5 = 5.9\text{tf} \\ \text{充填モルタル} &: \{(1.5^2 \times 1.4) - 0.18 \times 9\} \times 2.15 = 3.3\text{tf} \\ \text{計} &: 8.1 + 5.9 + 3.3 = 17.3\text{tf} \end{aligned}$$

#### 200 ℓ ドラム缶

$$\begin{aligned} \text{廃棄体} &: 0.8 \times 9 = 7.2\text{tf} \\ \text{コンクリート} &: \{(2.3^2 \times 1.1) - (2.0^2 \times 0.9)\} \times 2.5 = 6.9\text{tf} \\ \text{充填モルタル} &: \{(2.0^2 \times 0.9) - 0.225 \times 9\} \times 2.15 = 3.4\text{tf} \\ \text{計} &: 7.2 + 6.9 + 3.4 = 17.5 \end{aligned}$$

#### 500 ℓ キャニスター

$$\begin{aligned} \text{廃棄体} &: 1.562 \times 4 = 6.2\text{tf} \\ \text{コンクリート} &: \{(2.1^2 \times 1.5) - (1.8^2 \times 1.2)\} \times 2.5 = 7.6\text{tf} \\ \text{充填モルタル} &: \{(1.8^2 \times 1.2) - 0.56 \times 4\} \times 2.15 = 3.5\text{tf} \\ \text{計} &: 6.2 + 7.6 + 3.5 = 17.3\text{tf} \end{aligned}$$

d. コンテナ部材厚の照査

部材厚の照査は、コンテナの底版部と側壁部で行う。

底版部は、側壁内側で固定支持された4辺固定版として照査する。この時、コンテナ内の廃棄体、充填材及び内空面積に相当する覆いと底版の重量を考慮する。

側壁部は、大断面岩洞方式において想定されるコンテナ段数を考慮して、最下段のコンテナ側壁に作用する軸圧縮力で照査する。この時、部材厚は底版部と同じとする。また、鉄筋は、最小鉄筋量を満足させるものとする。

覆いは、現状、設計上問題となる荷重がないため、部材厚は底版と同じとし、鉄筋は最小鉄筋量を満足させるものとする。

○底版部の照査

140ℓ キャニスター

・設計荷重

廃棄体：8.1tf

コンクリート： $(1.5^2 \times 0.15 \times 2) \times 2.5 = 1.7\text{tf}$

充填モルタル：3.3tf

計：13.1tf

$$\therefore w = 13.1\text{tf} / (1.5\text{m})^2 = 5.8\text{tf/m}^2$$

・設計断面力

図-1.3.10に示すノモグラム<sup>12)</sup>より

最大曲げモーメント： $M_{\max} = 0.053 \times 5.8 \times 1.5^2 = 0.7\text{tf} \cdot \text{m/m}$

最大せん断力： $Q_{\max} = 0.44 \times 5.8 \times 1.5 = 3.8\text{tf/m}$

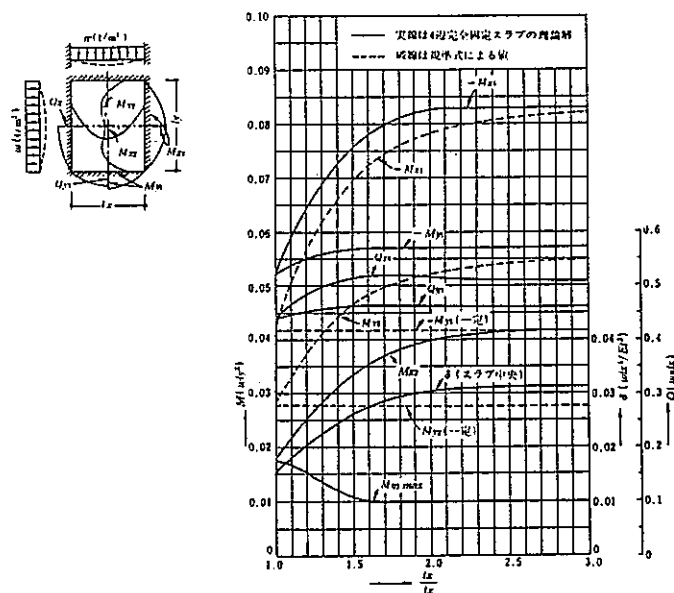


図-1.3.10 等分布荷重時4辺固定スラブの応力図と中央点のたわみ $\delta$  ( $\nu=0$ )<sup>12)</sup>

・応力度照査

図-1.3.11に示すような、芯かぶりを5cmとした複鉄筋長方形断面にて応力度照査を行うと、

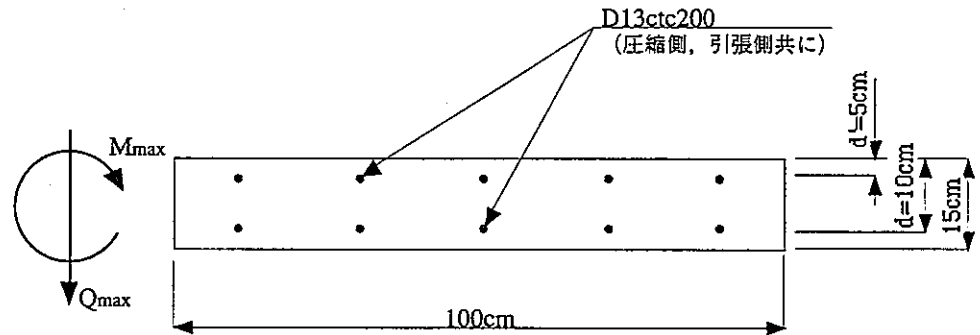


図-1.3.11 応力度照査用断面図 (140ℓ キャニスター)

コンクリートの設計基準強度  $f_{ck}=240\text{kgf/cm}^2$

鉄筋の材質 S D295

コンクリート圧縮応力度:  $\sigma_c=47\text{kgf/cm}^2 < \sigma_{ca}=90\text{kgf/cm}^2$  OK

鉄筋引張応力度:  $\sigma_s=1,165\text{kgf/cm}^2 < \sigma_{sa}=1,800\text{kgf/cm}^2$  OK

せん断応力度:  $\tau=4.3\text{kgf/cm}^2 < \tau_a=4.5\text{kgf/cm}^2$  OK

200ℓ ドラム缶

・設計荷重

廃棄体: 7.2tf

コンクリート:  $(2.02 \times 0.15 \times 2) \times 2.5 = 3.0\text{tf}$

充填モルタル: 3.4tf

計: 13.6tf

$$\therefore w = 13.6\text{tf} / (2.0\text{m})^2 = 3.4\text{tf/m}^2$$

・設計断面力

図-1.3.10に示したノモグラムより

最大曲げモーメント:  $M_{\text{max}} = 0.053 \times 3.4 \times 2.02 = 0.7\text{tf} \cdot \text{m/m}$

最大せん断力:  $Q_{\text{max}} = 0.44 \times 3.4 \times 2.0 = 3.0\text{tf/m}$

・応力度照査

図-1.3.12に示すような、芯かぶりを5cmとした複鉄筋長方形断面にて応力度照査を行うと、

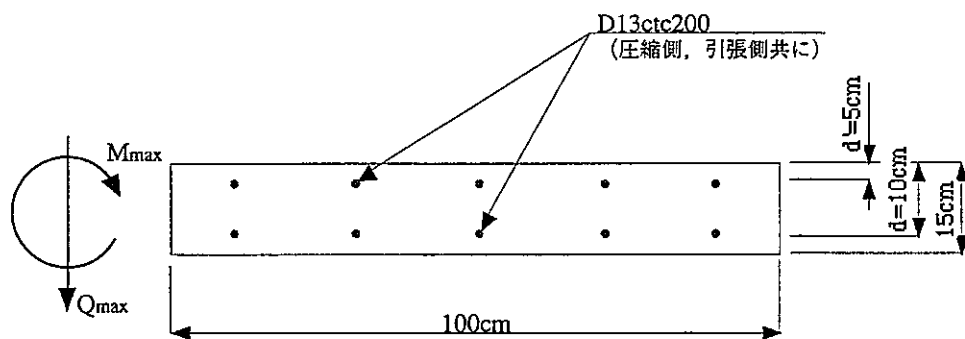


図-1.3.12 応力度照査用断面図 (200ℓドラム缶)

コンクリート圧縮応力度： $\sigma_c=47\text{kgf/cm}^2 < \sigma_{ca}=90\text{kgf/cm}^2$  OK

鉄筋引張応力度： $\sigma_s=1,165\text{kgf/cm}^2 < \sigma_{sa}=1,800\text{kgf/cm}^2$  OK

せん断応力度： $\tau=3.5\text{kgf/cm}^2 < \tau_a=4.5\text{kgf/cm}^2$  OK

#### 500ℓキャニスター

##### ・設計荷重

廃棄体：6.2tf

コンクリート： $(1.82 \times 0.15 \times 2) \times 2.5 = 2.4\text{tf}$

充填モルタル：3.5tf

計：12.1tf

$$\therefore w = 12.1\text{tf} / (1.8\text{m})^2 = 3.7\text{tf/m}^2$$

##### ・設計断面力

図-1.3.10に示したノモグラムより

最大曲げモーメント： $M_{\max} = 0.053 \times 3.7 \times 1.82 = 0.6\text{tf} \cdot \text{m/m}$

最大せん断力： $Q_{\max} = 0.44 \times 3.7 \times 1.8 = 2.9\text{tf/m}$

##### ・応力度照査

図-1.3.13に示すような、芯かぶりを5cmとした複鉄筋長方形断面にて応力度照査を行うと、

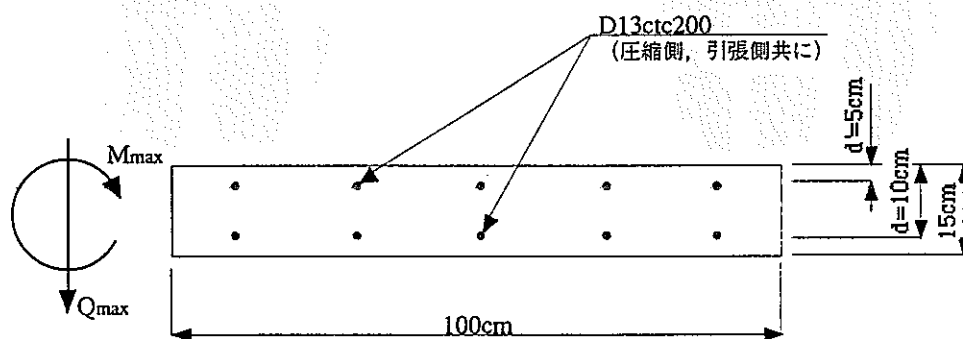


図-1.3.13 応力度照査用断面図 (500ℓキャニスター)

コンクリート圧縮応力度： $\sigma_c=40\text{kgf/cm}^2 < \sigma_{ck}=90\text{kgf/cm}^2$  OK

鉄筋引張応力度： $\sigma_s=998\text{kgf/cm}^2 < \sigma_{sa}=1,800\text{kgf/cm}^2$  OK

せん断応力度： $\tau=3.3\text{kgf/cm}^2 < \tau_a=4.5\text{kgf/cm}^2$  OK

○側壁部

140ℓ キャニスター

- ・設計段数：12段
- ・設計荷重（最下段のコンテナに作用する荷重）

$$11 \times 17.3 = 190.3\text{tf}$$

- ・側壁断面に作用する圧縮応力度

$$190.3 / (1.8^2 - 1.5^2) = 192.2\text{tf/m}^2 = 19.2\text{kgf/cm}^2 < \sigma_{ca} = 90\text{kgf/cm}^2 \quad \text{OK}$$

200ℓ ドラム缶

- ・設計段数：17段
- ・設計荷重（最下段のコンテナに作用する荷重）

$$16 \times 17.5 = 280.0\text{tf}$$

- ・側壁断面に作用する圧縮応力度

$$280.0 / (2.3^2 - 2.0^2) = 217.1\text{tf/m}^2 = 21.7\text{kgf/cm}^2 < \sigma_{ca} = 90\text{kgf/cm}^2 \quad \text{OK}$$

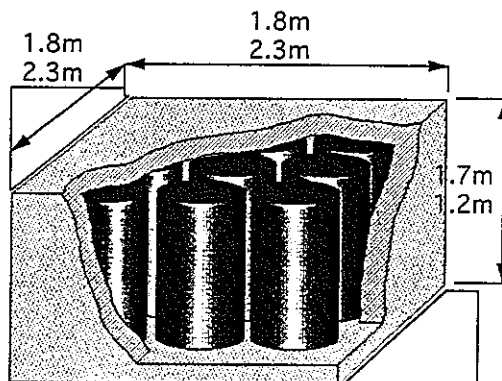
500ℓ キャニスター

- ・設計段数：14段
- ・設計荷重（最下段のコンテナに作用する荷重）

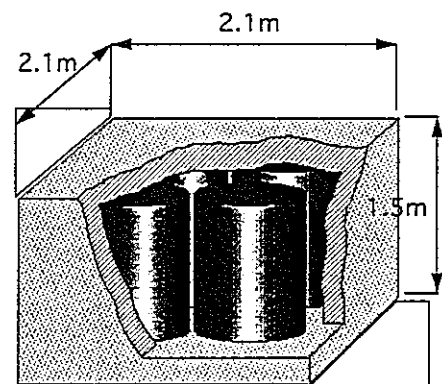
$$13 \times 17.3 = 224.9\text{tf}$$

- ・側壁断面に作用する圧縮応力度

$$224.9 / (2.1^2 - 1.8^2) = 192.2\text{tf/m}^2 = 19.2\text{kgf/cm}^2 < \sigma_{ca} = 90\text{kgf/cm}^2 \quad \text{OK}$$



上段：140ℓ キャニスター用，下段：200ℓ ドラム缶用



500ℓ キャニスター

140ℓ キャニスター

200ℓ ドラム缶

図-1.3.14 廃棄体コンテナ形状図

## (2) 廃棄体の定置方法

### (a) 基本的な考え方

廃棄物地層処分空洞の形状としては、坑道型と地下発電所の例に見られる岩洞型及びサイロ型の3つが考えられる。一般的には廃棄体の定置方法は、この処分空洞の形状及び廃棄体特性の違いに対応して異なったものとなる。

しかし本検討では、廃棄体は全て形状が類似した廃棄体コンテナに収納して処分する。従って、定置方法の検討では、廃棄体特性の違いによる影響は少なく、主として坑道・岩洞型とサイロ型の違いが重要になると言える。

廃棄体の熱特性による定置方法への影響は、発熱性廃棄体を処分空洞内にどのように分散させて定置するかなど熱解析の結果を反映して検討する必要がある。本検討では同じ形状の廃棄体コンテナを処分空間に積み上げていく作業となるため、発熱性廃棄体を任意の位置に定置することが容易に可能である。そのため、定置方法の検討上特に廃棄体の特性を考慮する必要はないと言える。

### (b) 本検討での設定

#### ① 定置作業の基本仕様

定置作業は次の理由により自動化を目指したものを想定する。

- ・放射性物質を取り扱うため、作業員の被ばくを回避するため。
- ・長期間に渡る同一作業の繰り返しとなるため。
- ・高効率化したシステムを構築するため。
- ・操業開始までの期間内に信頼性のある定置作業機器の開発は可能と考えられる。

#### ② 坑道型・岩洞型の定置方法

##### a. 定置作業機器

定置作業機器としては、比較的大きな断面の岩洞型では天井クレーンにより、比較的小さい断面の坑道型ではフォークリフトが考えられる。本検討で設定した処分施設での処分ピットの高さは23.0m（大断面岩洞方式）、13.0m（小断面岩洞方式）、6.1m（坑道方式）であることから、処分ピットの高さ6.1mの坑道型以外はフォークリフトでは対応不可能であり天井クレーンを採用することになる。また、フォークリフトで対応可能なピットの高さである場合でも、前述のように自動化することを考慮すると安全性と信頼性の観点から優位な天井クレーンの採用が望まれる。

以上のことから、本検討では廃棄体の定置作業には天井クレーンを用いることとする。

#### b. 処分ピットの区分形式

廃棄体コンテナを定置するために構築するコンクリートピットは、構造上の力学的条件から隔壁により幾つかに分割する必要がある。分割の大きさを設定する要素として、定置作業を天井クレーンで行うことによる定置精度・安全性及び構造上の要求が考えられる。

本検討では、処分ピットを構造上必要な隔壁間隔により分割することとする。坑道型と岩洞型断面の隔壁で分割したピットの大きさは以下のとおりである。なお、廃棄体形状に応じた廃棄体コンテナ形状のため、処分の効率性の観点から、極力無駄なスペースを作らないようにしなければならない。

・大断面岩洞方式	幅7.5m×奥行き10.0m
・小断面岩洞方式	幅5.5m×奥行き5.5m
・坑道方式	幅5.0m×奥行き5.0m

### ③ サイロ型の定置方法

#### a. 定置作業機器

坑道型、岩洞型の場合と同様に天井クレーンにより定置作業を行うものとする。

#### b. 処分ピットの区分形式

坑道型・岩洞型の場合と同じ理由から、処分ピットを幾つかに分割する。本検討で設定したサイロ空洞処分ピットの高さは27.5mであることから、定置精度が坑道型・岩洞型の場合より問題になると考えられる。

本検討では、廃棄体コンテナの大きさが比較的大きいため、処分ピットを矩形（直径方向）に区切るとサイロ1基あたりに処分可能な廃棄体コンテナの個数が少なくなり、処分の効率が悪くなることを考慮し処分ピットを円形（円周方向）に区切ることを基本とした。ただしこの場合においても構造上必要な間隔と定置精度をもつ大きさとする。



### 1.3.6 処分空洞の断面形状

「1.3.3 (2) 処分空洞の形態」にて設定、比較を行った4タイプの処分空洞形式について、それぞれの具体的な断面形状を設定する。

#### (1) 断面形状の設定

以下に断面形状を設定するための条件を示す。

- ・ 処分空洞形状は、過去の地下発電所などの施工実績を参考にして設定を行う。
- ・ 処分空洞の断面の大きさは、弾塑性理論解析で求めた掘削可能最大径の面積に相当する断面積を持つ大きさとする。
- ・ 処分空洞内の人工バリアの構造はベントナイト、コンクリート（セメントモルタル）によることとする。なお、人工バリアの概念や構造についての詳細は「1.3.4 人工バリアの基本概念」にて前記した。
- ・ 処分空洞内には廃棄体の定置のためにコンクリートピットを構築することとし、その部材厚は構造的安定性より求める。なお、この概略検討については「(2) コンクリート構造物の側壁部材厚の概略検討」に示す。

以上の条件で設定した大断面岩洞方式、小断面岩洞方式、坑道方式、サイロ方式の断面形状図及び、表-1.3.5及び表-1.3.6に示した弾塑性理論解析結果から設定した支保工図（代表断面）について図-1.3.15～1.3.18に示す。

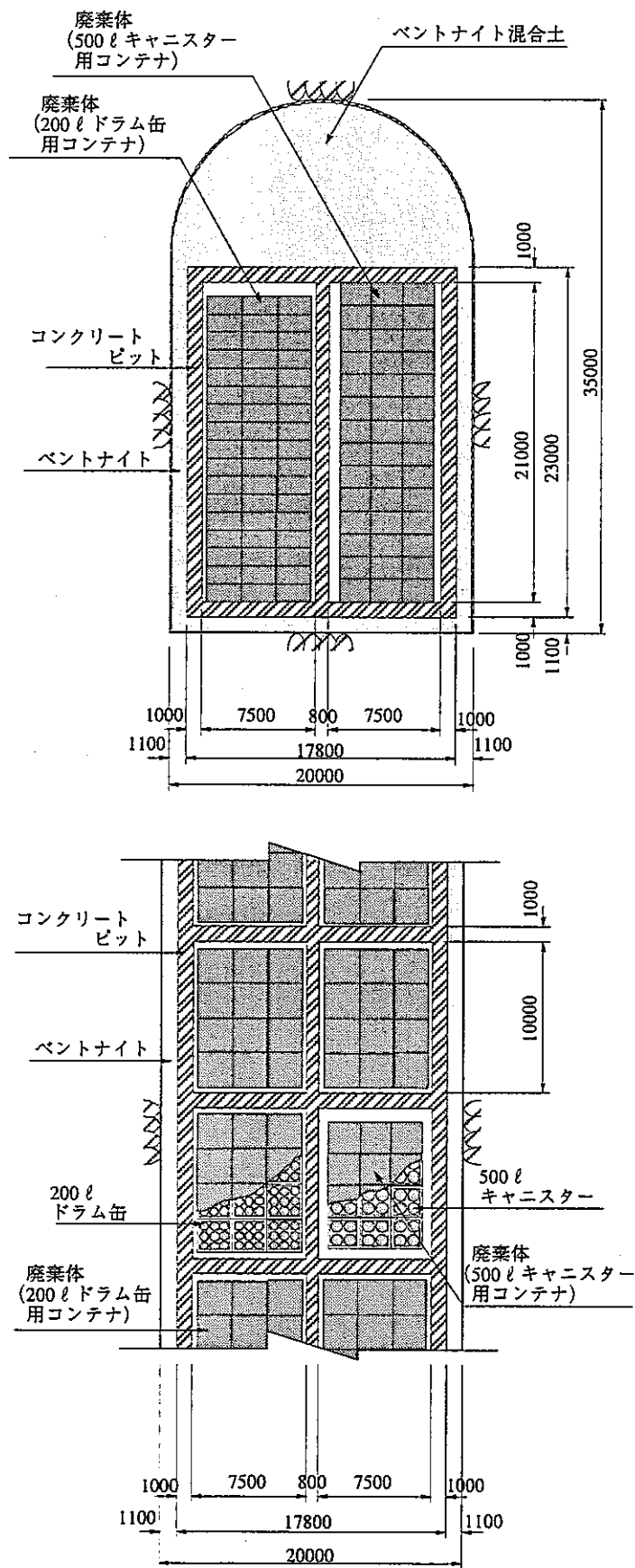


図-1.3.15① 大断面岩洞方式 断面形状図

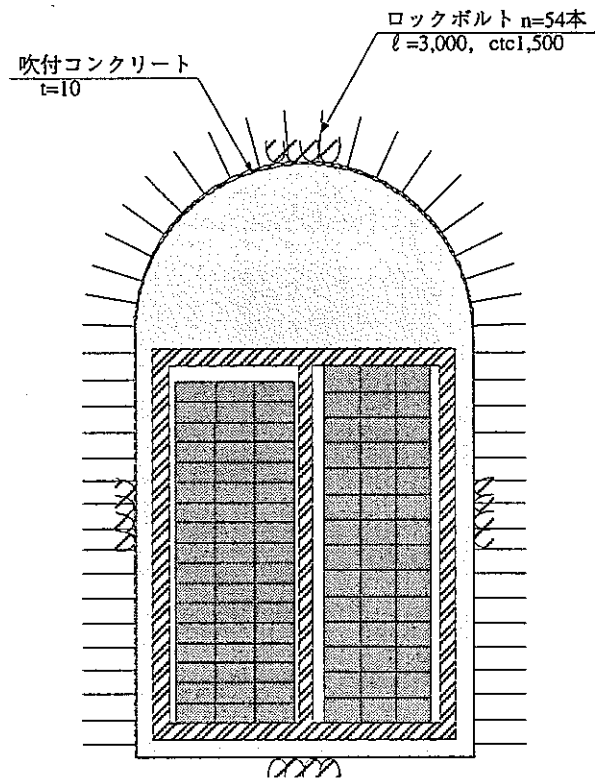


図-1.3.15② 大断面岩洞方式 支保工図

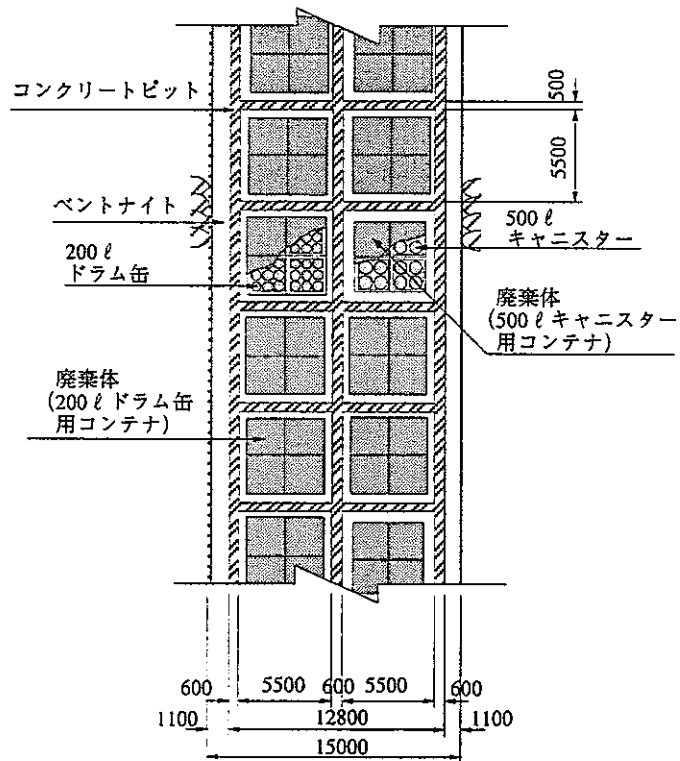
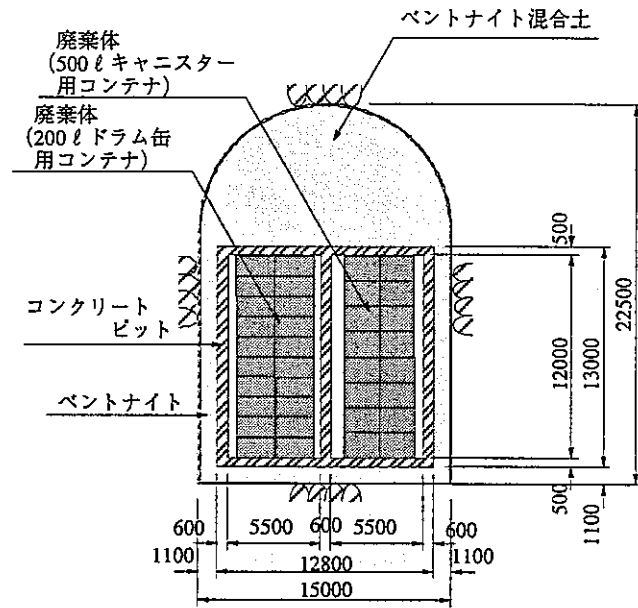


図-1.3.16① 小断面岩洞方式 断面形状図

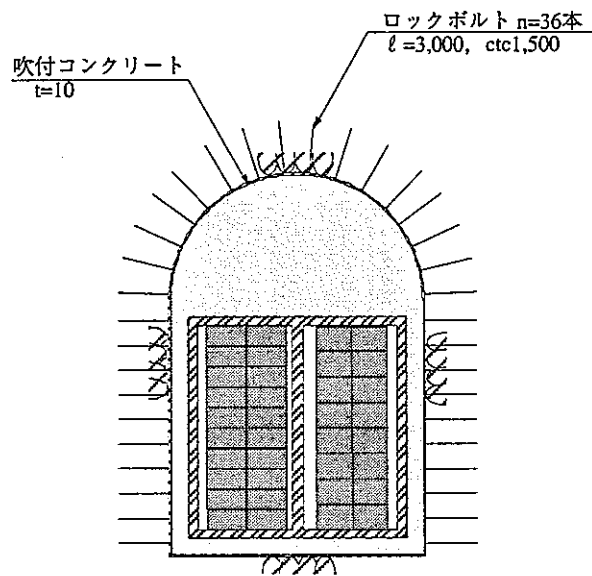


図-1.3.16② 小断面岩洞方式 支保工図

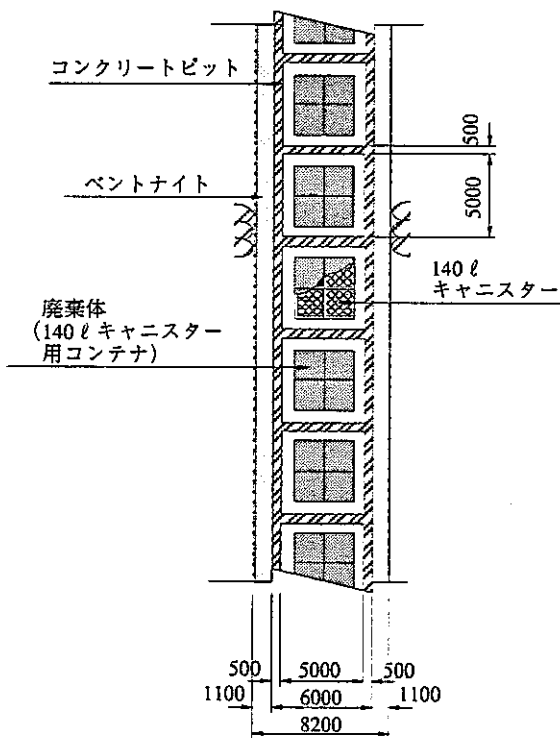
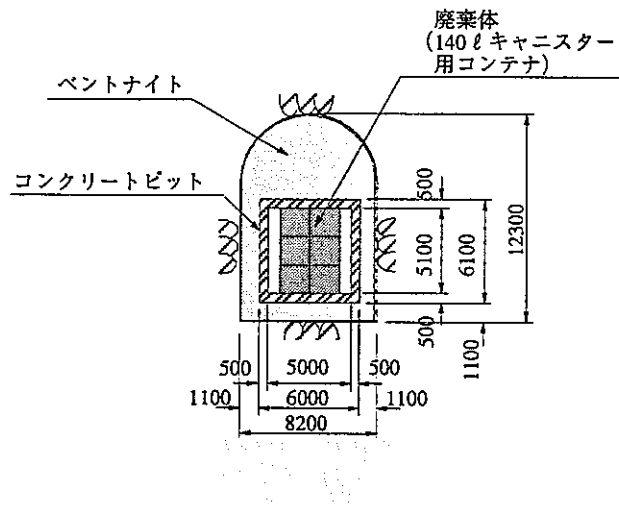


図-1.3.17① 坑道方式 断面形状図

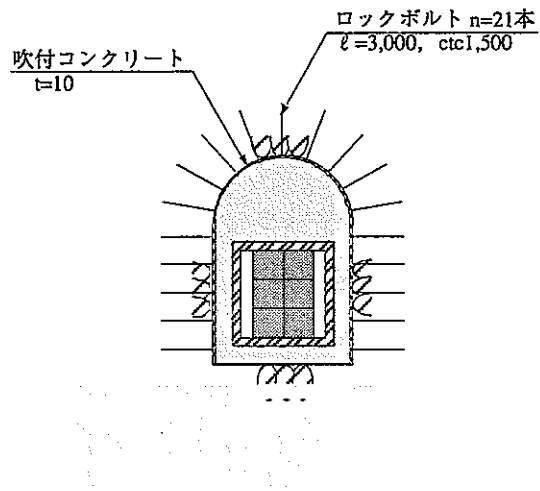


図-1.3.17② 坑道方式 支保工図

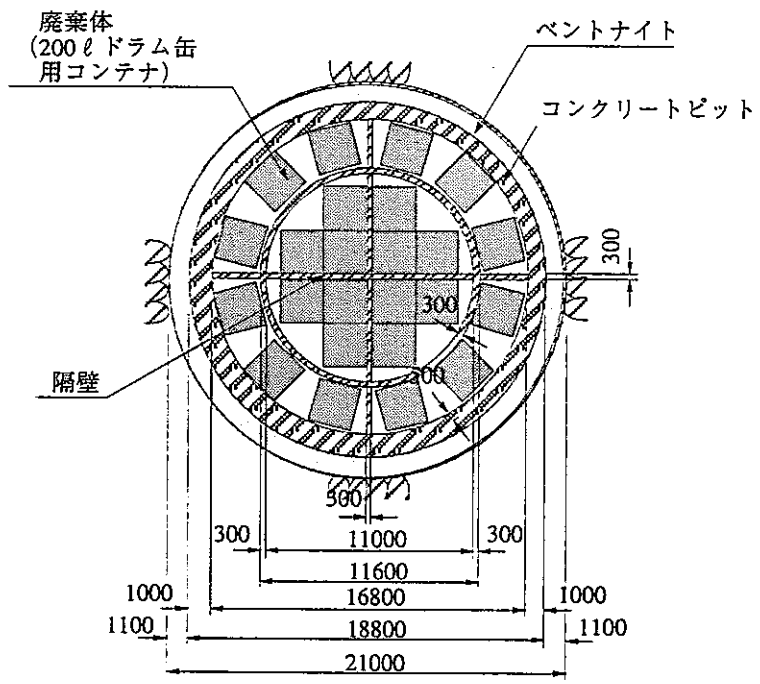
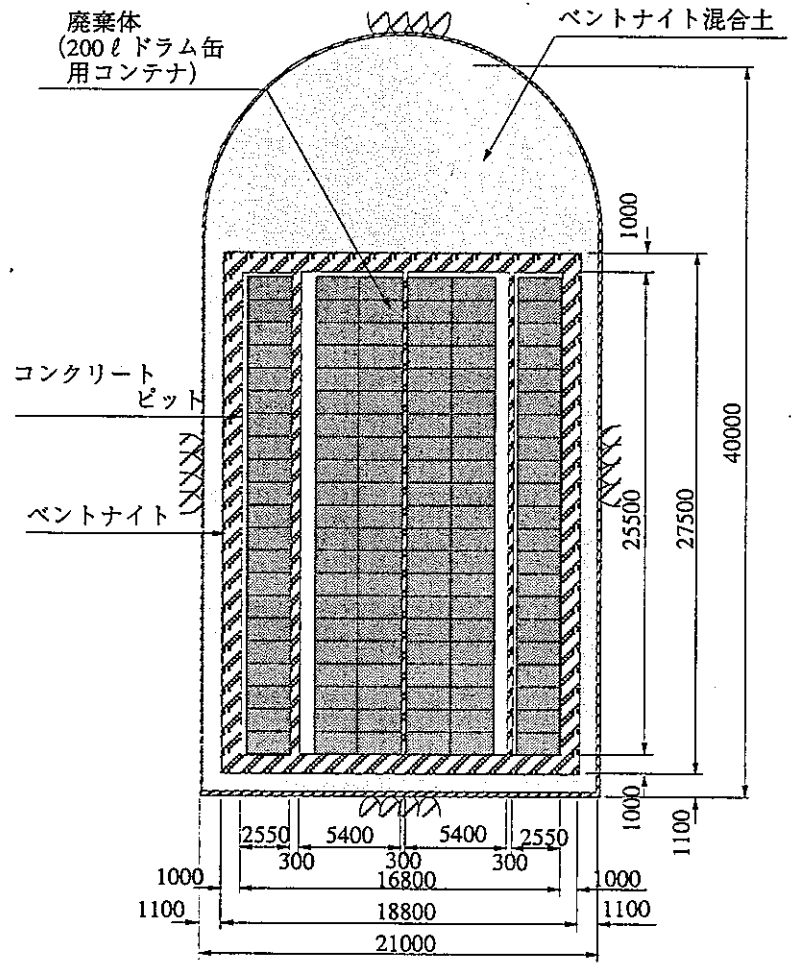


図-1.3.18① サイロ方式 断面形状図



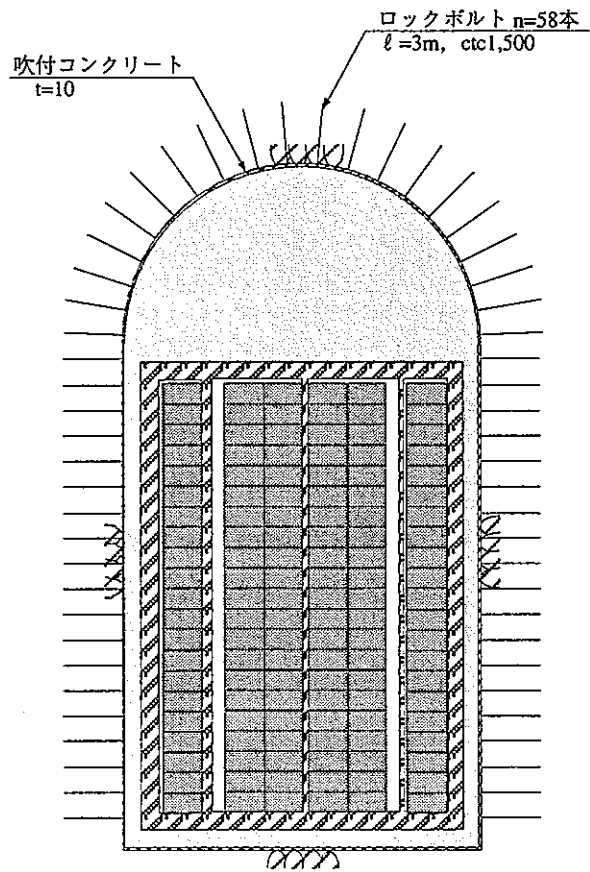


図-1.3.18② サイロ方式 支保工図

## (2) コンクリート構造物の側壁部材厚の概略検討

廃棄物処分施設として岩盤中に掘削された岩洞・坑道および大断面空洞（サイロ）には、廃棄体定置のためにコンクリート構造物（ピット）を構築する。そこで、コンクリートピットの構造的安定性及び側壁部材厚についての検討を行う。

### (a) 検討条件

#### ① 検討対象断面

検討対象断面は、岩洞方式の大断面岩洞方式（ $\phi=30\text{m}$ 相当）、小断面岩洞方式（ $\phi=20\text{m}$ 相当）、坑道方式（ $\phi=10\text{m}$ 相当）及びサイロ方式について検討する。それぞれのコンクリートピットの側壁高さは22m, 12.5m, 5.6m, 26.5mとなる。また岩洞・坑道縦断方向には隔壁を設置する。これはコンクリートピットの構造的安定性と廃棄体定置のために設置するものである。隔壁間隔は、大断面岩洞方式は10m, 小断面岩洞方式は5.5m, 坑道方式は5.0mとして検討を行う。

検討は「コンクリート標準示方書（土木学会）平成3年度版」に基づいて行うものとする。

#### ② 単位体積重量

水： $\gamma_w=1.0\text{tf/m}^3$

ベントナイト混合土： $\gamma=2.0\text{tf/m}^3$ （湿潤重量）

#### ③ 材料

##### (i) コンクリート

弾性係数： $E_c=2.55\times 10^5\text{kgf/cm}^2$

設計基準強度： $f_{ck}^1=250\text{kgf/cm}^2$

##### (ii) 鉄筋

弾性係数： $E_s=2.1\times 10^6\text{kgf/cm}^2$

鉄筋はSD345を使用

##### (iii) 許容応力度

コンクリート： $\sigma_{ca}=93.3\text{kgf/cm}^2$

$\tau_{a1}=4.58\text{kgf/cm}^2$

$\tau_{a2}=20.3\text{kgf/cm}^2$

鉄筋： $\sigma_{sa}=2,000\text{kgf/cm}^2$

#### ④ 設置深度

300mと700mの2ケースとする。なお概略検討のため、それぞれの深度は底版上面の深度とする。

## ⑤ 荷重

荷重については、コンクリートピットに荷重が作用する以下の2ケースについて考える。

- ・閉鎖完了後、地下水の再冠水によってコンクリートピット側壁に水圧及びベントナイト土圧が作用する場合
- ・建設時の側部ベントナイト施工時に、ベントナイト土圧のみがコンクリートピット側壁に作用する場合

なお、ベントナイト土圧作用時の側圧係数は、砂質土、粘性土の一般的な値として「道路橋示方書・同解説（日本道路協会）」に示されている0.5程度を考える。

### (b) 検討モデル

岩洞方式及び坑道方式のコンクリートピット内部には、空洞縦断方向に隔壁を設置するため、コンクリートピット側壁を版とみなし部材厚検討を行う。

ただし前記の荷重ケースにより、版のモデル化が異なる。コンクリートピット側壁に水圧が作用する場合は、閉鎖完了後のためコンクリートピット頂版が施工されている。したがって、コンクリートピット側壁を4辺固定版にモデル化することによって行う。一方、土圧作用時はコンクリートピット頂版は未施工のため、コンクリートピット側壁を3辺固定1辺自由版として検討を行う。図-1.3.19～図-1.3.22に3辺固定1辺自由版及び4辺固定版のノモグラムを示す。12) これらのノモグラムを用い、側壁に発生する最大断面力を求め、複鉄筋断面として許容応力度設計法により、部材の応力度を照査する。

一方、サイロ方式はコンクリートピットが円筒状であるため、周圧を受けるシェルとして最大断面力を算定し、許容応力度設計法により部材に応力度を照査する。

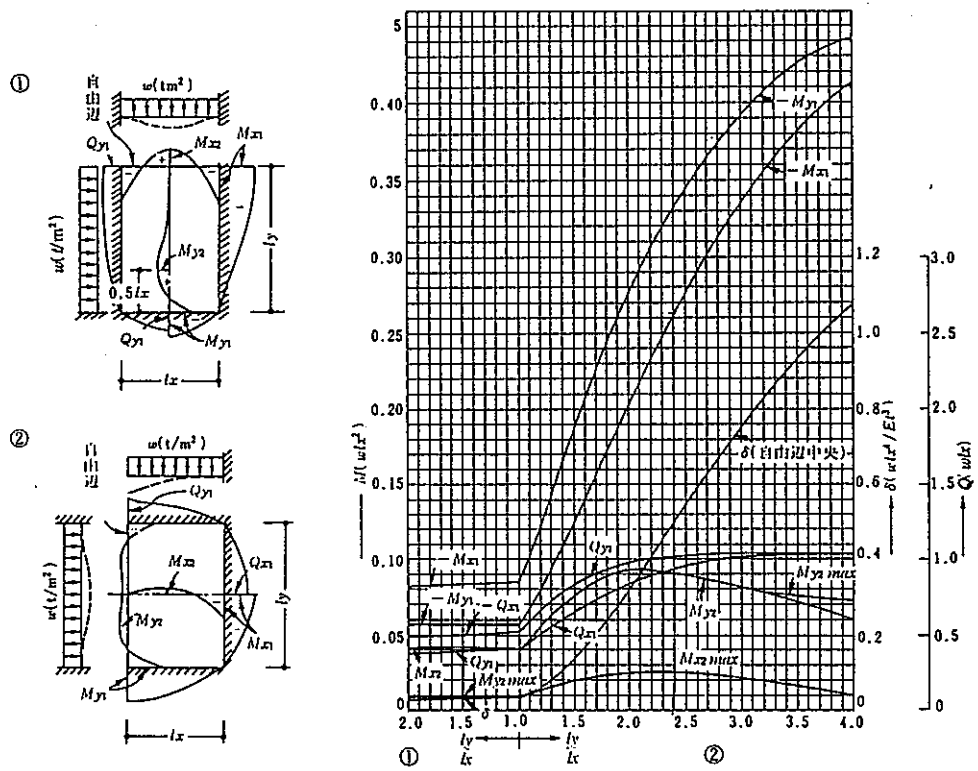


図-1.3.19 等分布荷重時3辺固定1辺自由スラブの応力図と自由辺のたわみ<sup>12)</sup>

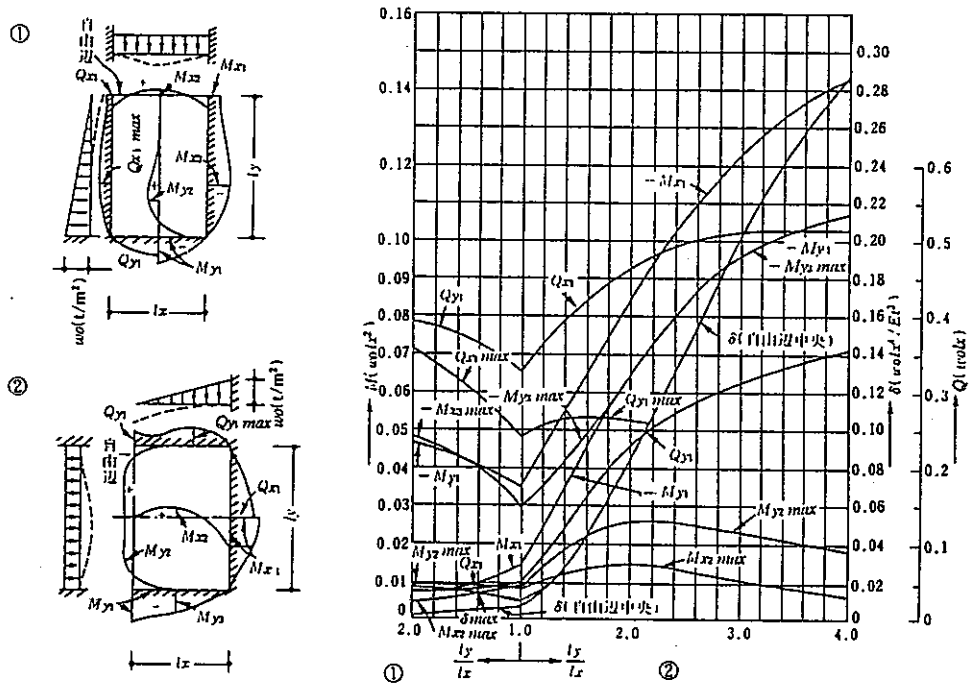


図-1.3.20 等変分布荷重時3辺固定1辺自由スラブの応力図と自由辺のたわみ<sup>12)</sup>

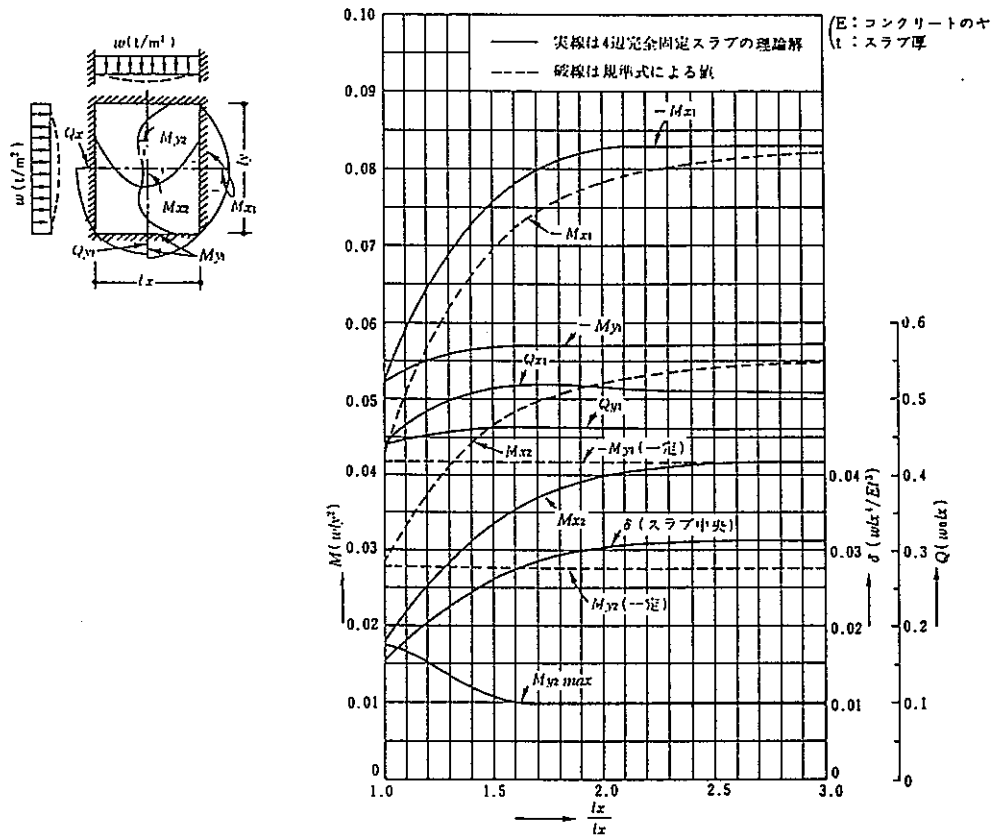


図-1.3.21 等分布荷重時4辺固定スラブの応力図と中央点のたわみ<sup>12)</sup>

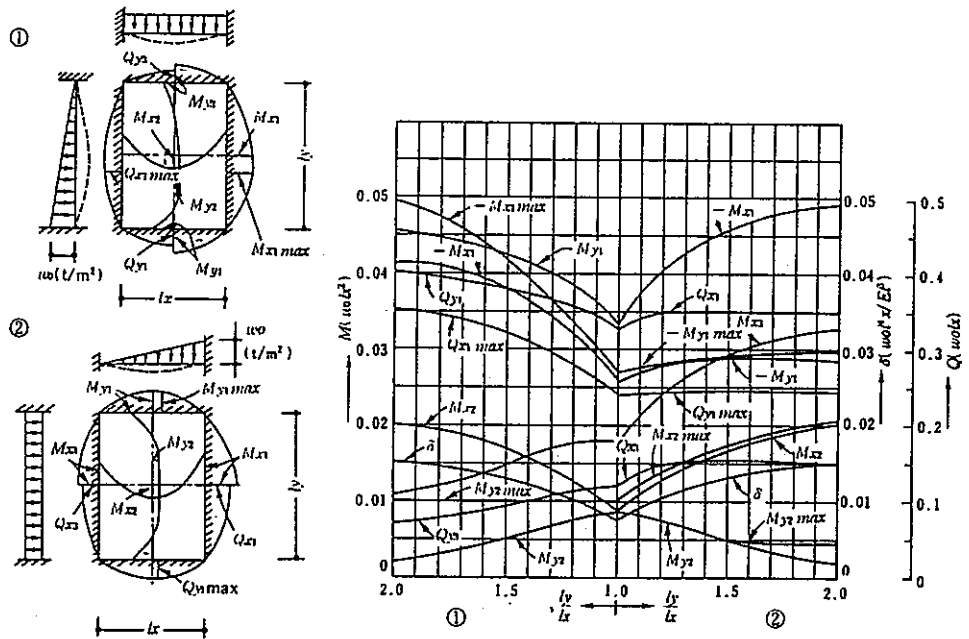


図-1.3.22 等変分布荷重時4辺固定スラブの応力図と中央点のたわみ<sup>12)</sup>

(c) 検討結果

以下に各ケースごとの検討結果について示す。

① 水圧が作用する場合

(i) 設置深度300m, 大断面岩洞方式の場合

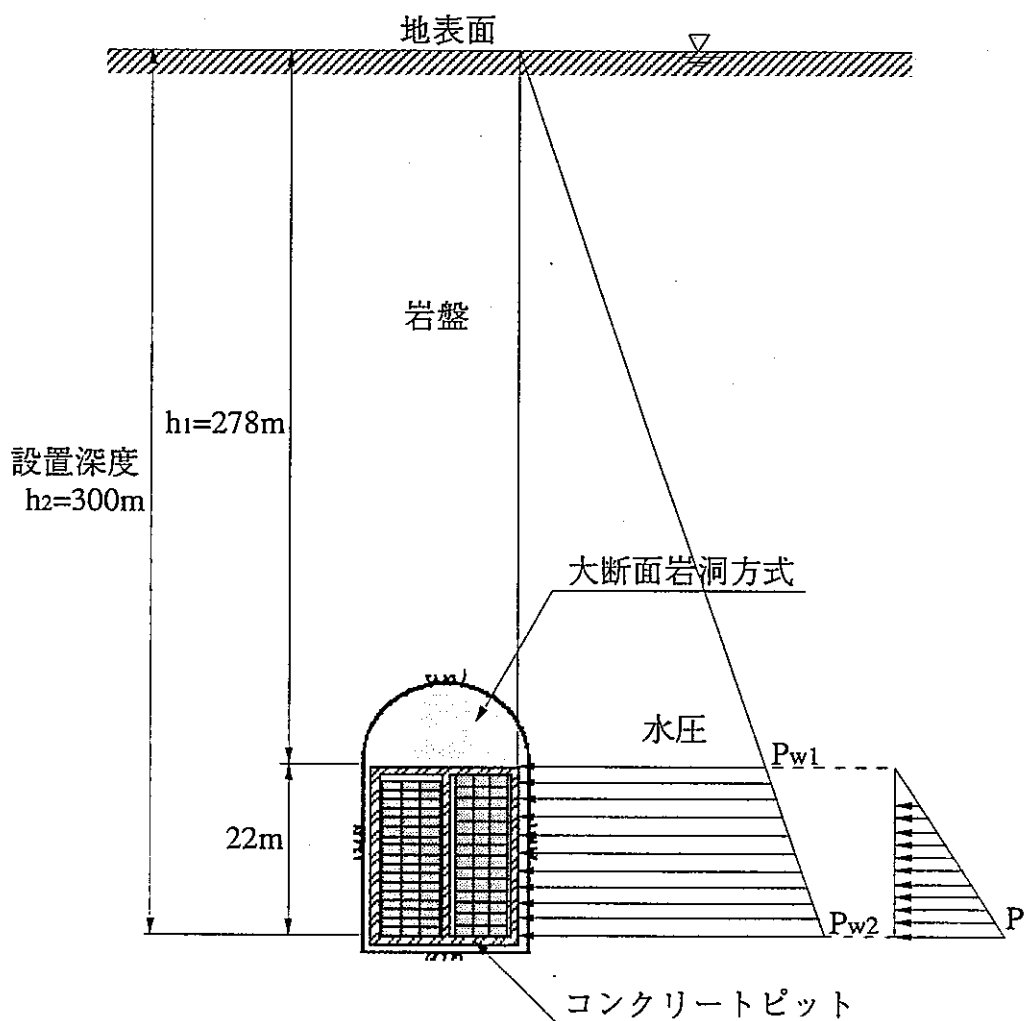


図-1.3.23 荷重図 (水圧作用：大断面岩洞方式)

$$P_{w1} = \gamma_w \cdot h_1 = 1.0 \times 278 = 278 \text{tf/m}^2$$

$$P_{w2} = \gamma_w \cdot h_2 = 1.0 \times 300 = 300 \text{tf/m}^2$$

$$P = K_0 \cdot \gamma \cdot h = 0.5 \times 2.0 \times 22 = 22 \text{tf/m}^2$$

4辺固定版とみなし図-1.3.21及び図-1.3.22より, 側壁に発生するモーメントの最大値は,  $l_y/l_x=22/10=2.2 \div 2.0$ より,

$$\begin{aligned} M_{\max} &= 0.083 \times 278 \times 10^2 + 0.049 \times (300-278) \times 10^2 + 0.049 \times 22 \times 10^2 \\ &= 2,523 \text{tf} \cdot \text{m/m} \end{aligned}$$

図-1.3.24に示すように壁厚を5m，鉄筋を引張側，圧縮側共に10-D38（D38の鉄筋を1mあたり10本）を配置し，鉄筋のかぶりを10cmとした場合でMmaxが作用したときの応力度照査を行うと，

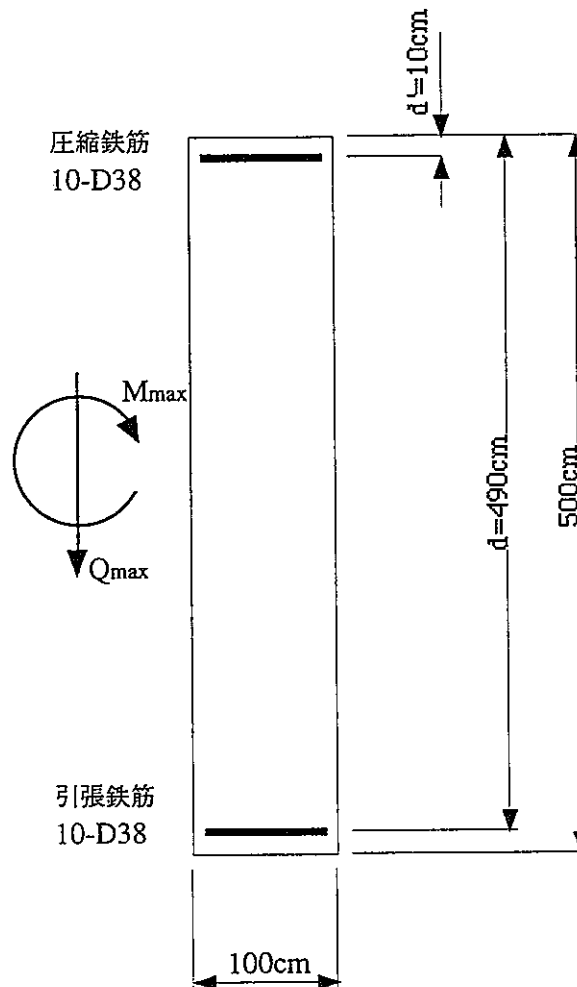


図-1.3.24 応力度照査用断面図（水圧作用：大断面岩洞方式）

コンクリートの圧縮応力度

$$\sigma_c = 112\text{kgf/cm}^2 > \sigma_{ca} = 93.3\text{kgf/cm}^2 \quad \text{NG}$$

鉄筋の引張応力度

$$\sigma_s = 4,747\text{kgf/cm}^2 > \sigma_{sa} = 2,000\text{kgf/cm}^2 \quad \text{NG}$$

となる。また壁厚を10mとし鉄筋量を引張側，圧縮側共に10-D38（かぶり10cm）を入れた場合でMmaxが作用した場合には，

コンクリートの圧縮応力度

$$\sigma_c = 39\text{kgf/cm}^2 < \sigma_{ca} = 93.3\text{kgf/cm}^2 \quad \text{OK}$$

鉄筋の引張応力度

$$\sigma_s = 2,320\text{kgf/cm}^2 > \sigma_{sa} = 2,000\text{kgf/cm}^2 \quad \text{NG}$$

となり許容応力度を大きく上回ってしまう。したがって設計として成り立たない。

(ii) 設置深度300m, 坑道方式の場合

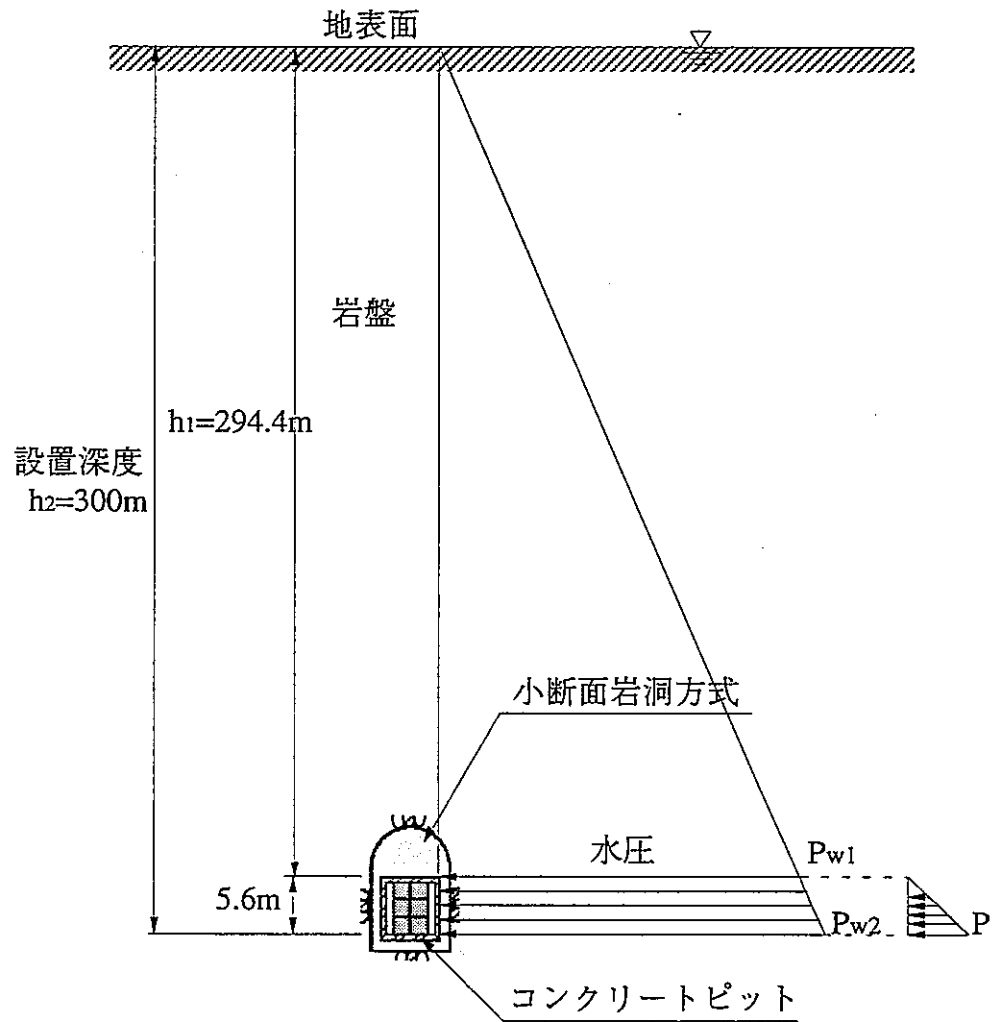


図-1.3.25 荷重図 (水圧作用: 坑道方式)

$$P_{w1} = \gamma_w \cdot h_1 = 1.0 \times 294.4 = 294.4 \text{ tf/m}^2$$

$$P_{w2} = \gamma_w \cdot h_2 = 1.0 \times 300 = 300 \text{ tf/m}^2$$

$$P_s = K_0 \cdot \gamma \cdot h = 0.5 \times 2.0 \times 5.6 = 5.6 \text{ tf/m}^2$$

4辺固定版とみなし図-1.3.21及び図-1.3.22より, 側壁に発生するモーメントの最大値は,

$$\begin{aligned} M_{\max} &= 0.06 \times 294.4 \times 5.0^2 + 0.037 \times (300 - 294.4) \times 5.0^2 + 0.037 \times 5.6 \times 5.0^2 \\ &= 452 \text{ tf} \cdot \text{m/m} \end{aligned}$$

図-1.3.26に示すように壁厚を2m, 鉄筋を引張側, 圧縮側共に10-D29を配置し, 鉄筋のかぶりを10cmとした場合で $M_{\max}$ が作用したときの応力度照査を行うと,



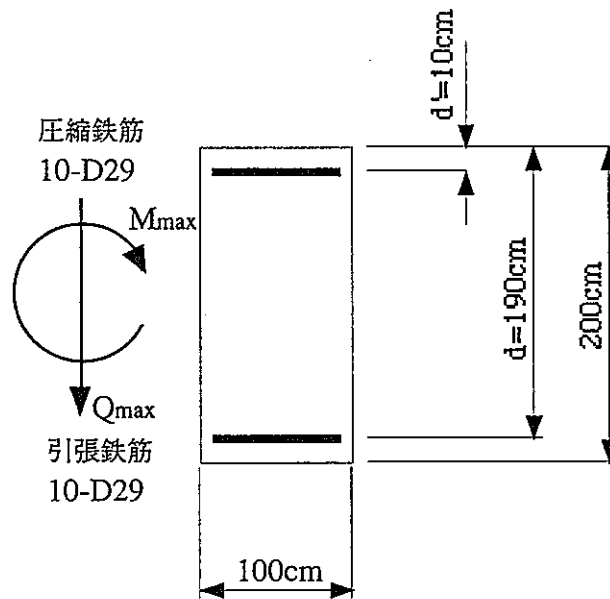


図-1.3.26 応力度照査用断面図（水圧作用：坑道方式）

コンクリートの圧縮応力度

$$\sigma_c = 114\text{kgf/cm}^2 > \sigma_{ca} = 93.3\text{kgf/cm}^2 \quad \text{NG}$$

鉄筋の引張応力度

$$\sigma_s = 3,949\text{kgf/cm}^2 > \sigma_{sa} = 2,000\text{kgf/cm}^2 \quad \text{NG}$$

となり，大断面岩洞方式同様，許容応力度を上回るため設計として成り立たない。

(iii) 小断面岩洞方式及び設置深度700mの場合

a), b)と同様，設計として成り立たないため，ここでは記述を省略する

② ベントナイト土圧が作用する場合

この場合は、岩洞・坑道内に構築されたコンクリートピットと岩盤との間にベントナイトを充填したときの荷重のみを作用させる。したがってコンクリートピットの部材厚は、設置深度と関係なく一定となる。

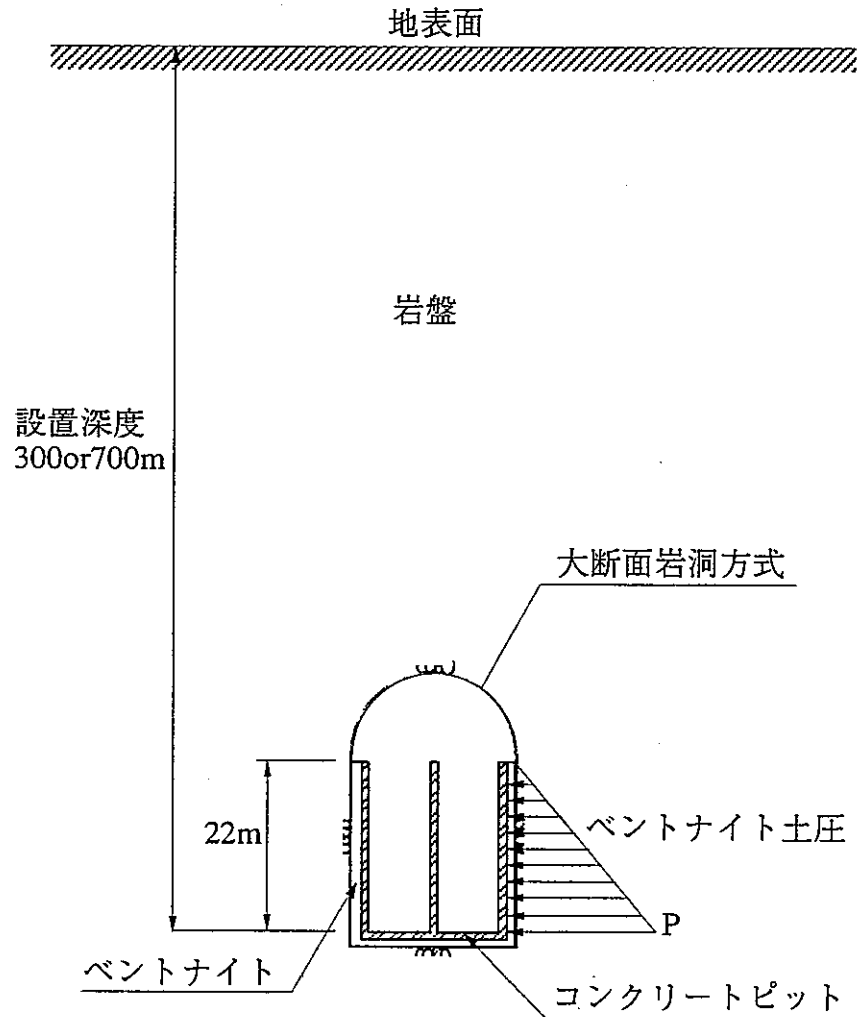


図-1.3.27 荷重図 (ベントナイト土圧作用)

(i) 大断面岩洞方式の場合 (壁高 $h=22\text{m}$ )

$$P = K_0 \cdot \gamma \cdot h = 0.5 \times 2.0 \times 22 = 22.0 \text{tf/m}^2$$

図-1.3.20より、側壁に発生する断面力の最大値は、 $l_y/l_x=22/10=2.2 \approx 2.0$ より、

$$M_{\max} = 0.049 \times 22.0 \times 10^2 = 107.8 \text{tf} \cdot \text{m/m}$$

$$Q_{\max} = 0.39 \times 22.0 \times 10 = 85.8 \text{tf/m}$$

図-1.3.28に示すように壁厚を1m, 鉄筋を引張側, 圧縮側共にD38ctc150を配置し, 鉄筋のかぶりを10cmとした場合でM<sub>max</sub>及びQ<sub>max</sub>が作用したときの応力度照査を行うと,

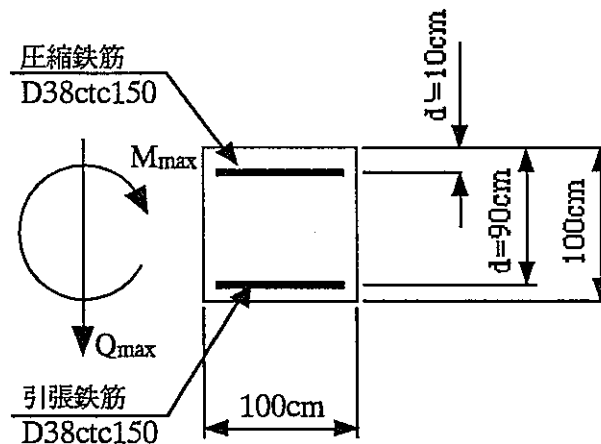


図-1.3.28 応力度照査用断面図 (ベントナイト土圧: 大断面岩洞方式)

コンクリートの圧縮応力度

$$\sigma_c = 82\text{kgf/cm}^2 < \sigma_{ca} = 93.3\text{kgf/cm}^2 \quad \text{OK}$$

鉄筋の引張応力度

$$\sigma_s = 1,740\text{kgf/cm}^2 < \sigma_{sa} = 2,000\text{kgf/cm}^2 \quad \text{OK}$$

コンクリートのせん断応力度

$$\begin{aligned} \tau_c &= 11\text{kgf/cm}^2 > \tau_{a1} = 4.58\text{kgf/cm}^2 \quad \text{NG} \\ &< \tau_{a2} = 20.3\text{kgf/cm}^2 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

となる。ここでせん断応力度が許容値 $\tau_{a1}$ を上回るため, 斜引張鉄筋 (スターラップ) の計算を行う。

斜引張鉄筋以外 (コンクリート) が負担するせん断力 $Q_c$ は,

$$\begin{aligned} Q_c &= \frac{1}{2} \cdot \tau_{a1} \cdot b \cdot j \cdot d \\ &= 1/2 \times 4.58 \times 100 \times 7/8 \times 90 = 18.0 \times 10^3 \text{kgf} = 18.0\text{tf} \end{aligned}$$

スターラップが負担するせん断力は,

$$Q_s = Q_{\max} - Q_c = 85.8 - 18.0 = 67.8\text{tf}$$

スターラップの必要鉄筋量は, ピッチ $s=15\text{cm}$ で設置する場合,

$$\begin{aligned} A_{w\text{req}} &= \frac{Q_s \cdot s}{\sigma_{sa} \cdot j \cdot d} \\ &= \frac{67.8 \times 10^3 \times 15}{2000 \times 7/8 \times 90} \\ &= 6.46\text{cm}^2 \end{aligned}$$

となる。

(ii) 小断面岩洞方式の場合 (壁高 $h=12.5\text{m}$ )

$$P=K_0 \cdot \gamma \cdot h = 0.5 \times 2.0 \times 12.5 = 12.5\text{tf/m}^2$$

図-1.3.20より, 側壁に発生する断面力の最大値は,  $l_y/l_x=12.5/5.5=2.3 \div 2.0$ より,

$$M_{\max}=0.049 \times 12.5 \times 5.5^2 = 18.5\text{tf} \cdot \text{m/m}$$

$$Q_{\max}=0.39 \times 12.5 \times 5.5 = 26.8\text{tf/m}$$

図-1.3.29に示すように壁厚を60cm, 鉄筋を引張側, 圧縮側共に5-D29を配置し, 鉄筋のかぶりを10cmとした場合で $M_{\max}$ 及び $Q_{\max}$ が作用したときの応力度照査を行うと,

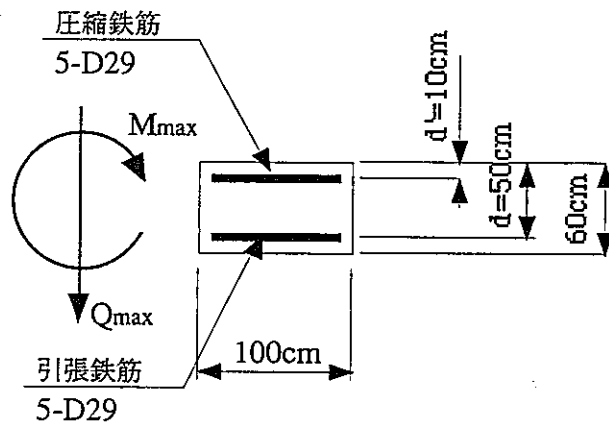


図-1.3.29 応力度照査用断面図 (ベントナイト土圧: 小断面岩洞方式)

コンクリートの圧縮応力度

$$\sigma_c = 56\text{kgf/cm}^2 < \sigma_{ca} = 93.3\text{kgf/cm}^2 \quad \text{OK}$$

鉄筋の引張応力度

$$\sigma_s = 1,278\text{kgf/cm}^2 < \sigma_{sa} = 2,000\text{kgf/cm}^2 \quad \text{OK}$$

コンクリートのせん断応力度

$$\begin{aligned} \tau_c &= 6\text{kgf/cm}^2 > \tau_{a1} = 4.58\text{kgf/cm}^2 \quad \text{NG} \\ &< \tau_{a2} = 20.3\text{kgf/cm}^2 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

となる。ここでせん断応力度が許容値 $\tau_{a1}$ を上回るため, 斜引張鉄筋 (スターラップ) の計算を行う。

斜引張鉄筋以外 (コンクリート) が負担するせん断力 $Q_c$ は,

$$\begin{aligned} Q_c &= \frac{1}{2} \cdot \tau_{a1} \cdot b \cdot j \cdot d \\ &= 1/2 \times 4.58 \times 100 \times 7/8 \times 50 = 10.0 \times 10^3\text{kgf} = 10.0\text{tf} \end{aligned}$$

スターラップが負担するせん断力は,

$$Q_s = Q_{\max} - Q_c = 26.8 - 10.0 = 16.8\text{tf}$$

スターラップの必要鉄筋量は, ピッチ $s=20\text{cm}$ で設置する場合,

$$A_{wreq} = \frac{Q_s \cdot s}{\sigma_{sa} \cdot j \cdot d}$$

$$= \frac{16.8 \times 10^3 \times 20}{2000 \times 7/8 \times 50}$$

$$= 3.84 \text{cm}^2$$

となる。

(iii) 坑道方式の場合 (壁高  $h = 5.6\text{m}$ )

$$P = K_0 \cdot \gamma \cdot h = 0.5 \times 2.0 \times 5.6 = 5.6 \text{tf/m}^2$$

図-1.3.20より, 側壁に発生する断面力の最大値は,  $l_y/l_x = 5.6/5 = 1.12$ より

$$M_{\max} = 0.037 \times 5.6 \times 5^2 = 5.2 \text{tf} \cdot \text{m/m}$$

$$Q_{\max} = 0.34 \times 5.6 \times 5.0 = 9.5 \text{tf/m}$$

図-1.3.30に示すように壁厚を50cm, 鉄筋を引張側, 圧縮側共にD25ctc150を配置し, 鉄筋のかぶりを10cmとした場合で  $M_{\max}$ が作用したときの応力度照査を行うと,

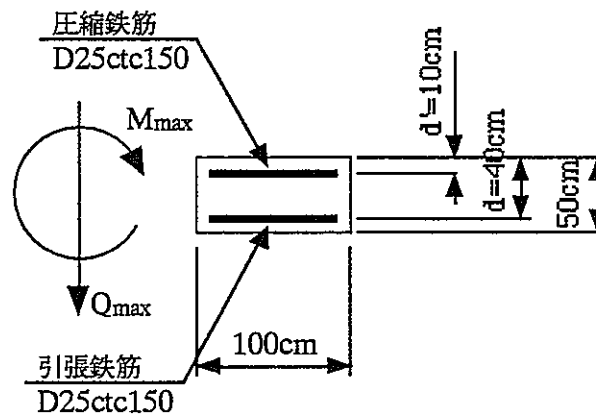


図-1.3.30 応力度照査用断面図 (ベントナイト土圧: 坑道方式)

コンクリートの圧縮応力度

$$\sigma_c = 80 \text{kgf/cm}^2 < \sigma_{ca} = 93.3 \text{kgf/cm}^2 \quad \text{OK}$$

鉄筋の引張応力度

$$\sigma_s = 1,533 \text{kgf/cm}^2 < \sigma_{sa} = 2,000 \text{kgf/cm}^2 \quad \text{OK}$$

コンクリートのせん断応力度

$$\tau_c = 8 \text{kgf/cm}^2 > \tau_{a1} = 4.58 \text{kgf/cm}^2 \quad \text{NG}$$

$$< \tau_{a2} = 20.3 \text{kgf/cm}^2 \quad \text{OK}$$

となる。ここでせん断応力度が許容値  $\tau_{a1}$  を上回るため, 斜引張鉄筋 (スターラップ)

の計算を行う。

斜引張鉄筋以外（コンクリート）が負担するせん断力 $Q_c$ は、

$$Q_c = \frac{1}{2} \cdot \tau_{al} \cdot b \cdot j \cdot d$$
$$= 1/2 \times 4.58 \times 100 \times 7/8 \times 40 = 8.0 \times 10^3 \text{kgf} = 8.0 \text{tf}$$

スターラップが負担するせん断力は、

$$Q_s = Q_{\max} - Q_c = 9.5 - 8.0 = 1.5 \text{tf}$$

スターラップの必要鉄筋量は、ピッチ $s=15\text{cm}$ で設置する場合、

$$A_{w\text{req}} = \frac{Q_s \cdot s}{\sigma_{sa} \cdot j \cdot d}$$
$$= \frac{1.5 \times 10^3 \times 15}{2000 \times 7/8 \times 40}$$
$$= 0.32 \text{cm}^2$$

となる。

(iv) サイロ方式の場合（壁高 $h=26.5\text{m}$ ）

サイロ方式の場合は、コンクリートピットに土圧が作用した場合に、側壁に発生する円周方向軸圧縮力と許容値を比較することにより検討を実施する。

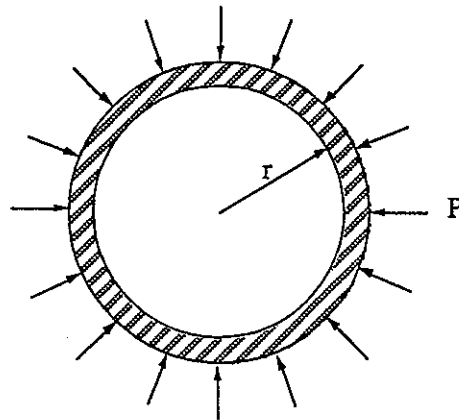


図-1.3.31 荷重状態図

図-1.3.31に示すような周圧 $P$ が半径 $r$ の円筒に作用した場合に、部材に発生する円周方向軸圧縮力 $N$ は次式で求めることができる。

$$N = P \cdot r$$

コンクリートピット下端に作用する土圧 $P$ は、図-1.3.32より

$$P = K_0 \times \gamma \times h = 0.5 \times 2.0 \times 26.5 = 26.5 \text{tf/m}^2$$

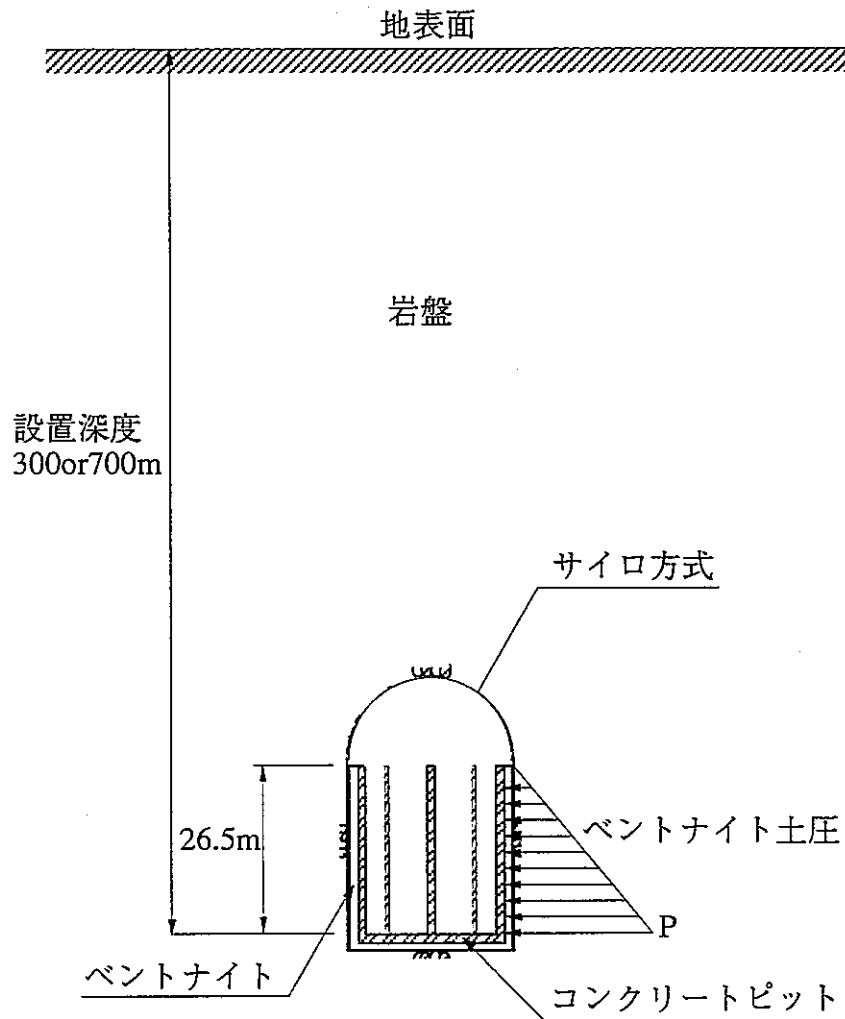


図-1.3.32 荷重図 (ベントナイト作用)

したがってコンクリートピット側壁に発生する円周方向最大軸圧縮応力度は、側壁厚を1.0mとすると

$$N = P \cdot r = 26.5 \times (16.8/2 + 1.0/2) = 235.85 \text{ tf/m} = 2358.5 \text{ kgf/cm}$$

コンクリートの圧縮応力度は

$$\sigma_c = N/t = 2358.5/100 = 23.6 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{ca} = 93.3 \text{ kgf/cm}^2 \quad \text{OK}$$

以上より、本検討では、

- ・コンクリートピットに水圧が作用した場合には設計として成り立たないことから、再冠水以後の力学的強度は期待しない。
- ・コンクリートピットは、廃棄体定置のためのガイドとして利用し、その壁厚は側部

ベントナイト施工時に作用する土圧によって決める。  
こととする。したがって、各処分方式でのコンクリートピットの壁厚を

大断面岩洞方式：1.0m

小断面岩洞方式：0.6m

坑道方式：0.5m

サイロ方式：1.0m

と設定する。



## 参考文献

- 1) 鹿島建設株式会社:TRU 廃棄物処分システムにおける人工バリアの長期力学的挙動の研究, 動力炉・核燃料開発事業団 研究内容報告書, PNC ZJ 1100 94-004, 1995年3月
- 2) 鹿島建設株式会社:地層処分システムにおけるシーリング研究(Ⅲ), 動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書, PNC PJ 1100 94-002, 1994年2月
- 3) 鹿島建設株式会社 土木設計本部編:土木設計の要点① 設計の基本知識, 鹿島出版会, pp.172, 1994年4月
- 4) 社団法人 土質工学会編:岩の工学的性質と設計・施工への応用, 昭和60年2月
- 5) 野崎隆司, 伊藤洋, 日比野敏:大規模地下空洞における各種安定化対策工とその考察, 電力土木, No.209, pp.40~48, 1987年7月
- 6) 岩盤分類編集委員会 WG:国内における岩盤分類の現状, 日本応用地質学会・応用地質特別号, 岩盤分類, pp.134, 1984年
- 7) 財団法人 原子力環境整備センター:放射性廃棄物関連用語解説集, 昭和61年6月
- 8) 日本機械学会:伝熱工学資料 改訂第4版, pp.322, 1986年
- 9) 岩崎訓明:コンクリートの特性, 共立出版株式会社, 昭和53年6月
- 10) 動力炉・核燃料開発事業団:高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書 -平成3年度-, PNC TN 1410 92-08, 平成4年9月
- 11) 鹿島建設株式会社:地層処分におけるシーリング研究(Ⅱ), 動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書, PNC PJ 1100 93-001, 1993年2月
- 12) 日本建築協会:鉄筋コンクリート構造計算基準, 同解説, pp.448~449, 1975年

## 1.4 処分システムの長期安定性に係わる重要事項の検討

本章では、処分システムの長期安定性に係わる重要事項の検討として、以下の7項目について検討を行う。

- ・ 処分システムの長期安定性に係わるシナリオの検討
- ・ 熱解析
- ・ ベントナイトの透水性変化の検討
- ・ ベントナイトの圧密解析
- ・ ガス蓄圧の影響評価
- ・ 大空洞長期挙動の予備的検討
- ・ 処分システムの成立性の検討

### 1.4.1 処分システムの長期安定性に係わるシナリオの検討

平成7年度のシナリオ検討では、処分場コンセプトに影響を及ぼすと考えられる熱的・力学的・水理学的な事象を、国内外の研究を参考にして抽出を行い、各事象の相関について予備的な検討を行った。

本年度の検討では、昨年度の検討結果を踏まえ、さらに動燃事業団におけるこれまでの研究成果<sup>1)2)3)4)</sup>を参考にTRU廃棄物処分システムの長期安定性に係わると考えられるFEP(Feature, Event, Process)の抽出を行った(表-1.4.1参照)(巻末付録5参照)。その中でも本研究では、土木工学の立場から熱的・力学的・水理学的現象・特性に着目し、FEPの内容整理とその相関関係についてまとめた。さらにそれらの中から処分場の成立性に係わる重要事象を抽出し、その検討項目・検討方法について整理した。

表-1.4.1は、前述のようにTRU廃棄物処分システムの長期安定性に係わると考えられるFEPを処分場の部位及び現象・特性毎に階層マトリックスとして検討、整理したものである。また、ファーフールド母岩については高レベル放射性廃棄物処分研究(以下、HLW研究と記す。)と同様と判断し、検討から割愛した。また、表-1.4.1中の網掛けは、本研究において内容や原因、結果などを整理したFEPを示している。それらは、付録として巻末に添付している。

表-1.4.2は、上記の検討結果を受けて処分システムの成立性に関する事象を抽出することを目的に、熱的現象・力学的現象・水理学的現象毎のFEPの原因となる項目、FEPが処分システムに影響する事象、その事象が起こしうる不具合について一覧表に整理したものである。さらに想定された不具合に対しては、処分システムの成立性の観点から現状の評価を示した。

表-1.4.3は、表-1.4.2において評価した処分システムの成立性に関連する不具合とその不具合の原因となる事象を処分システムの部位毎に再整理した上で、さらにそれらの検討項目、検討方法を一覧表にまとめたものである。表中に枠で囲んだ項目は、処分シ

システムの概念検討という本研究の目的を鑑みた場合、特に重要な項目と判断されるものである。次節以降においては、これらに関する具体的なアプローチを実施している。

表-1.4.1 TRU放射性廃棄物処分場・階層FEPマトリックス

	ニアフィールド母岩	ベントナイト	セメント系材料	廃棄体
1.熱的現象・特性	H-1 NF母岩の熱的現象・特性 H-1.1 NF母岩の温度 H-1.2 NF母岩の熱特性	B-1 ベントナイトの熱的現象・特性 B-1.1 ベントナイトの温度 B-1.2 ベントナイトの熱物性 B-1.3 ベントナイトの熱膨張	C-1 セメント系材料の熱的現象・特性 C-1.1 セメント系材料の温度 C-1.2 セメント系材料の熱物性 C-1.3 セメント系材料の熱膨張	W-1 廃棄体の熱的現象・特性 W-1.1 廃棄体の温度 W-1.2 廃棄体の熱物性 W-1.3 廃棄体の熱膨張
	2.水理学的現象・特性	H-2 NF母岩の水理学的現象・特性 H-2.1 NF母岩の地下水流動 H-2.2 NF母岩の水理地質構造 H-2.3 NF母岩の不飽和	B-2 ベントナイトの水理学的現象・特性 B-2.1 ベントナイトの冠水 B-2.2 ベントナイトの水理特性	C-2 セメント系材料の水理学的現象・特性 C-2.1 セメント系材料の冠水 C-2.2 セメント系材料の水理特性
3.力学的現象・特性	H-3 NF母岩の力学的現象・特性 H-3.1 NF母岩の初期地圧 H-3.2 NF母岩の応力 H-3.3 NF母岩の力学特性 H-3.4 NF母岩のクリープ変形	B-3 ベントナイトの力学的現象・特性 B-3.1 ベントナイトの膨潤 B-3.2 ベントナイトの応力 B-3.3 ベントナイトの力学物性 B-3.4 ベントナイトの流出 B-3.5 ベントナイトの圧密・クリープ変形	C-3 セメント系材料の力学的現象・特性 C-3.1 セメント系材料の応力 C-3.2 セメント系材料の力学物性 C-3.3 セメント系材料の体積変化 C-3.4 鋼材の腐食膨張	W-3 廃棄体の力学的現象・特性 W-3.1 廃棄体の応力 W-3.2 廃棄体の力学物性 W-3.3 廃棄体の体積変化 W-3.4 廃棄体の腐食膨張
	4.化学的現象・特性	H-4 NF母岩の化学的現象・特性 H-4.1 NF母岩中の地下水化学 H-4.2 NF母岩の鉱物組成・特性 H-4.3 NF母岩中のガス（空気） H-4.4 NF母岩中の微生物の活動 H-4.5 NF母岩中の有機物 H-4.6 天然コロイドの形成 H-4.7 NF母岩中の水素ガス等発生	B-4 ベントナイトの化学的現象・特性 B-4.1 ベントナイト空隙水の化学 B-4.2 ベントナイトの鉱物組成・特性 B-4.3 ベントナイト中のガス（空気） B-4.4 ベントナイト中の微生物の活動 B-4.5 ベントナイト中の有機物 B-4.6 ベントナイトコロイドの形成 B-4.7 ベントナイト中の水素ガス等形成 B-4.8 塩の蓄積	C-4 セメント系材料の化学的現象・特性 C-4.1 セメント系材料空隙水の化学 C-4.2 セメント系材料の鉱物組成・特性 C-4.3 セメント系材料中のガス（空気） C-4.4 セメント系材料中の微生物の活動 C-4.5 セメント系材料中の有機物 C-4.6 セメント系材料成分の溶解 C-4.7 セメント系材料成分の溶解によるコロイドの形成 C-4.8 鋼材の腐食 C-4.9 セメント系材料中の水素ガス等発生 C-4.10 セメント系材料中の腐食生成物生成 C-4.11 セメント系材料中の腐食生成物コロイドの形成
5.放射線学的現象・特性	H-5 NF母岩の放射線学的現象・特性 H-5.1 NF母岩中の地下水の放射線分解 H-5.2 NF母岩の放射線損傷	B-5 ベントナイトの放射線学的現象・特性 B-5.1 ベントナイト空隙水の放射線分解 B-5.2 ベントナイトの放射線損傷	C-5 セメント系材料の放射線学的現象・特性 C-5.1 セメント系材料空隙水の放射線分解 C-5.2 セメント系材料の放射線損傷 C-5.3 セメント系材料中腐食生成物の放射線損傷	W-5 廃棄体の放射線学的現象・特性 W-5.1 廃棄体中での放射線崩壊 W-5.2 廃棄体の放射線損傷 W-5.3 廃棄体腐食生成物の放射線損傷 W-5.4 廃棄体空隙水の放射線分解 W-5.5 廃棄体のインベントリ
6.物質移動現象・特性	H-6 NF母岩の物質移動現象・特性 H-6.1 NF母岩中の核種移行 H-6.2 NF母岩中のコロイド移行 H-6.3 NF母岩中のガス移行 H-6.4 NF母岩空隙水の溶質の移行	B-6 ベントナイトの物質移動現象・特性 B-6.1 ベントナイト中の核種移行 B-6.2 ベントナイトによるフィルター効果 B-6.3 ベントナイト中のガス移行 B-6.4 ベントナイト空隙水の溶質の移行	C-6 セメント系材料の物質移動現象・特性 C-6.1 セメント系材料中の核種移行 C-6.2 セメント系材料中のガス移行 C-6.3 セメント系材料空隙水の溶質の移行	W-6 廃棄体の物質移動現象・特性 W-6.1 核種の溶解度
7.イベント	H-7.1 地質環境 H-7.2 処分場レイアウト H-7.3 建設・操業・閉鎖			W-7.1 廃棄体中の空隙

表-1.4.2① TRU処分システムのFEPとその評価(目的: 成立性に関する事象の抽出)(その1)

分類	原因となる項目			FEP	処分システムに影響する事象	処分システムに生じる可能性のある不具合	成立性との関連*2	対応方法
	対象とする部位	項目名	原因及び程度に関わる要素*1					
熱的現象	NF母岩	温度	◎廃棄体の熱量 ・ベントナイトの種類と熱物性 ・コンクリート材料系の熱物性 ・母岩の水理特性 ・地下水流動 ・自然状態での地熱 ・処分場の設置深度 ・建設、操業、閉鎖時の影響(換気)	NF母岩の温度変化	①水蒸気の発生 ②地下水流動の変化 ③地下水の化学的变化 ④母岩の鉱物組成、特性の変化 ⑤母岩の膨張収縮に起因する機械的風化と化学的風化の促進 ⑥母岩の熱物性の変化 ⑦母岩の温度応力の発生 ⑧母岩のクリープ変形の増大 ⑨母岩の核種移行、ガス移行の特性変化 ⑩微生物の活動変化	・流動地下水の増大(動水勾配の増大)(①、②) ・有機物分解によるガス発生促進(⑩) ・天然バリアの透水係数増大(④、⑤、⑦、⑧) ・人工バリアへの荷重増加(⑤、⑦、⑧) ・核種移行、ガス移行特性の低下(②、③、④、⑤、⑦、⑧、⑨)	△ × × × △	高レベル設計研究で検討中である。
		熱物性	・母岩の熱膨張係数 ・母岩の熱伝導率 ・母岩の比熱					
	ベントナイト	温度	◎廃棄体の熱量 ・母岩の温度、熱特性 ・ベントナイトの種類と熱特性 ・コンクリート材料系の熱特性 ・処分場の設置深度 ・処分場のレイアウト	ベントナイトの温度変化	①ベントナイトの熱特性変化 ②ベントナイトの熱膨張 ③ベントナイトの乾燥収縮、温度応力の発生 ④ベントナイトの水分移動の発生と冠水特性の変化 ⑤ベントナイトの水理特性の変化 ⑥ベントナイトの膨潤特性の変化 ⑦ベントナイトの力学特性の変化 ⑧ベントナイトの空隙水の化学的变化 ⑨ベントナイトの鉱物組成、特性の変化(イライト化、列状化、ゼオライト化) ⑩微生物の活動変化 ⑪ベントナイト中への塩の蓄積 ⑫ベントナイトの核種移行、ガス移行の特性変化 ⑬ベントナイト空隙水中の溶質移行特性の変化	・人工バリア(ベントナイト)の水理、力学的機能の低下(②、⑤、⑥、⑦、⑧、⑨) ・有機物分解によるガス発生促進(⑩) ・廃棄体、コンクリート部材への荷重増加、破損(②、③、⑥、⑦) ・ベントナイト膨潤量の低下(⑥) ・核種移行、ガス移行特性の低下(④、⑤、⑧、⑨、⑪、⑫、⑬)	▲ × × × △	ベントナイトの限界温度(例えば、100°C)を設定すれば設計の段階で温度を抑えることは可能である。
		熱物性	・ベントナイトの熱膨張係数 ・ベントナイトの熱伝導率 ・ベントナイトの比熱 ・ベントナイトの温度、含水比、冠水 ・ベントナイトの応力					
		熱膨張	・ベントナイトの熱膨張係数 ・ベントナイトの温度 ・ベントナイトの応力的拘束					
	セメント系材料	温度	◎廃棄体の熱量 ・母岩の温度、熱特性 ・ベントナイトの種類と熱特性 ・コンクリート材料系の熱特性 ・処分場の設置深度 ・処分場のレイアウト	セメント系材料の温度変化	①セメント系材料の熱特性変化 ②セメント系材料の熱膨張 ③セメント系材料の乾燥収縮、温度応力の発生 ④セメント系材料の水分移動の発生と冠水特性の変化 ⑤セメント系材料の水理特性の変化 ⑥セメント系材料の力学特性の変化(強度、変形特性) ⑦セメント系材料の空隙水の化学的变化 ⑧微生物の活動変化 ⑨セメント系材料の成分の溶出過程の変化 ⑩鋼材腐食速度の変化 ⑪セメント系材料中の腐食成生物の変化 ⑫セメント系材料の核種移行、ガス移行の特性変化 ⑬セメント系材料の空隙水中の溶質移行特性の変化(溶質の拡散特性)	・人工バリア(セメント系材料)透水係数の増大(②、③、⑤、⑩) ・有機物分解によるガス発生促進(⑧) ・廃棄体、人工バリア材への荷重増加、破損(②、③、⑥) ・セメント系材料の劣化の促進(③、⑤、⑥、⑨、⑪) ・セメント系材料の体積減少量の増大(⑨) ・核種移行、ガス移行特性の低下(④、⑤、⑦、⑨、⑪、⑫、⑬)	× × × × ● △	セメント系材料に止水機能は求めない。 考えられる最大の体積減少量で検討する。
		熱物性	・セメント系材料の熱膨張係数 ・セメント系材料の熱伝導率 ・セメント系材料の比熱 ・セメント系材料の熱拡散率 ・セメント系材料の温度、含水比、冠水					
		熱膨張	・セメント系材料の熱膨張係数 ・セメント系材料の温度 ・セメント系材料の応力的拘束					
	廃棄体	温度	◎廃棄体の熱量 ・ベントナイトの種類と熱物性 ・コンクリート材料系の熱物性 ・母岩の水理特性 ・地下水流動 ・自然状態での地熱 ・処分場の設置深度	廃棄体の温度変化	①廃棄体の熱特性変化 ②廃棄体の熱膨張 ③廃棄体の温度応力の発生 ④廃棄体の力学特性の変化 ⑤廃棄体の空隙水の化学的变化 ⑥微生物の活動変化 ⑦廃棄体の成分の溶出過程の変化 ⑧廃棄体の腐食速度の変化 ⑨廃棄体の腐食成生物の変化 ⑩廃棄体核種の溶解度の変化	・廃棄体の体積減少量の促進(⑦) ・有機物分解によるガス発生促進(⑥) ・人工バリア材への荷重増加、破損(②、③、④、⑧) ・廃棄体の強度低下の促進(④、⑧、⑨) ・廃棄体の体積増加量の促進(⑧、⑨) ・核種移行条件の変化(⑤、⑦、⑩)	● × × × × △	考えられる最大の体積減少量で検討する。
		熱物性	・廃棄体の熱膨張係数 ・廃棄体の熱伝導率 ・廃棄体の比熱 ・廃棄体の発熱特性					
		熱膨張	・廃棄体の熱膨張係数 ・廃棄体の温度 ・廃棄体の応力的拘束					

\*1 ◎: 直接的な原因  
・: FEPの程度に関連する要素

\*2 ○: 関連があり対応方法の検討を必要とするもの  
●: 関連があり対応方法の検討を必要とするもの(本研究で考慮)  
×: 関連しないか又は関係があるか否かが不明確で、当面成立性との関連についての検討は行わないもの  
△: 関連があり対応方法が明確なもの  
▲: 関連があり対応方法が明確なもの(本研究で考慮)

表-1.4.2② TRU処分システムのFEPとその評価(目的: 成立性に関する事象の抽出) (その2)

分類	原因となる項目			FEP	処分システムに影響する事象	処分システムに生じる可能性のある不具合	成立性との関連 *2	対応方法
	対象とする部位	項目名	原因及び程度に関わる要素 *1					
水理学的 現象	NF母岩	地下水 流動	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎母岩の水理地質構造</li> <li>・母岩の温度(廃棄体の熱量、地熱)</li> <li>・母岩の水理特性</li> <li>・放射線の影響</li> <li>・母岩中のガス移行、水蒸気</li> <li>・建設、操業、閉鎖時の影響(掘削、止水グラウト等)</li> </ul>	NF母岩の地下水流動の変化	<ul style="list-style-type: none"> <li>①母岩の核種移行、ガス移行の特性変化</li> <li>②母岩空隙水の溶質移行の変化</li> <li>③流速増加によるベントナイト流失の可能性の増大</li> <li>④流失ベントナイトが亀裂に侵入することによる水理地質構造の変化</li> <li>⑤建設、操業、閉鎖工の選定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・核種移行、ガス移行特性の低下(①、②)</li> <li>・人工バリア(ベントナイト)の水理、力学的機能の低下(③)</li> </ul>	△	
		水理地質 構造	<ul style="list-style-type: none"> <li>・流失ベントナイト</li> <li>・母岩のクリープ変形</li> <li>・建設、操業、閉鎖時の影響(掘削、止水グラウト、ロックボルトの施工等)</li> <li>・処分場建設位置、設置深度</li> </ul>					
		不飽和	<ul style="list-style-type: none"> <li>・建設、操業時の影響(排水、換気)</li> </ul>					
	ベントナイト	冠水	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎母岩の水理特性</li> <li>・ベントナイトの温度(廃棄体の熱量)</li> <li>・ベントナイトの水理特性</li> <li>・ベントナイトの種類(鉱物組成・特性)</li> </ul>	ベントナイトの冠水、湿潤	<ul style="list-style-type: none"> <li>①ベントナイトの熱特性変化</li> <li>②ベントナイトの膨潤特性の変化</li> <li>③ベントナイトへの高水圧の発生</li> <li>④ベントナイトの力学物性の変化</li> <li>⑤ベントナイトの圧密、クリープ変形の発生</li> <li>⑥ベントナイトの空隙水の化学的変化</li> <li>⑦ベントナイトの鉱物組成、特性の変化</li> <li>⑧ベントナイトの水理特性の変化</li> <li>⑨ベントナイトの飽和過程での浸潤フロントの形成</li> <li>⑩ベントナイトの冠水、飽和によるセメント系材料の冠水</li> <li>⑪ベントナイトの核種移行、ガス移行の特性変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人工バリア(ベントナイト)の水理、力学的機能の低下(④、⑤、⑥、⑦、⑧)</li> <li>・ベントナイト膨潤量の低下(自己シール性の低下)(②、⑥、⑦)</li> <li>・廃棄体、コンクリート部材への荷重増加、破損(②、③、④、⑤)</li> <li>・核種移行、ガス移行特性の低下、変化(⑥、⑦、⑨、⑩、⑪)</li> </ul>	●	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ ベントナイト膨潤後の密度変化を実験で検討する。</li> <li>→ ベントナイトの自己シール性の実験で検討する。</li> </ul>
		水理特性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ベントナイトの温度</li> <li>・ベントナイトの熱膨張</li> <li>・ベントナイトの膨潤特性</li> <li>・ベントナイトの応力</li> <li>・ベントナイトの流出</li> <li>・ベントナイトの空隙水の化学(地下水との化学反応)</li> <li>・ベントナイトの鉱物組成・特性(地下水との化学反応)</li> <li>・放射線</li> <li>・ベントナイト中のガス、水蒸気の移行</li> </ul>					
	セメント系材料	冠水	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎ベントナイトの冠水</li> <li>・セメント系材料の温度(廃棄体の熱量)</li> <li>・セメント系材料の水理特性</li> </ul>	セメント系材料の冠水、湿潤	<ul style="list-style-type: none"> <li>①セメント系材料の熱特性変化</li> <li>②セメント系材料への高水圧の発生</li> <li>③セメント系材料の湿潤による体積変化</li> <li>④セメント系材料の空隙水の化学的変化</li> <li>⑤セメント系材料の鉱物組成、特性の変化</li> <li>⑥セメント系材料の成分溶出</li> <li>⑦セメント系材料の鋼材腐食の促進</li> <li>⑧セメント系材料の放射線の影響</li> <li>⑨セメント系材料の冠水、飽和による廃棄体の冠水</li> <li>⑩セメント系材料の核種移行、ガス移行の特性変化</li> <li>⑪ベントナイトのCa化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人工バリア(セメント系材料)透水係数の増大(②、⑥、⑦)</li> <li>・廃棄体、人工バリア材(セメント系材料)への荷重増加、破損(②)</li> <li>・セメント系材料の劣化、強度低下の促進(④、⑤、⑥、⑦)</li> <li>・セメント系材料の体積減少量の増大(⑥)</li> <li>・セメント系材料の体積増加(⑦)</li> <li>・放射線分解による水素ガス発生(⑧)</li> <li>・核種移行、ガス移行特性の低下(②、④、⑤、⑥、⑦、⑩)</li> <li>・人工バリア(ベントナイト)透水係数の増大、膨潤性能の低下(⑥、⑪)</li> </ul>	×	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ セメント系材料に止水機能は求めない。</li> <li>→ セメント系材料に高水圧に耐える機能は求めず、操業時のガイド機能を期待する。</li> <li>→ 考えられる最大の体積減少量で検討する。</li> <li>→ Ca化したベントナイトの特性試験を実施する。</li> </ul>
		水理特性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・セメント系材料の温度</li> <li>・セメント系材料の応力</li> <li>・セメント系材料の空隙水の化学(地下水との化学反応)</li> </ul>					
	廃棄体	冠水	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎セメント系材料の冠水</li> <li>・セメント系材料の水理特性</li> <li>・廃棄体の温度(廃棄体の熱量)</li> </ul>	廃棄体と空隙水との接触	<ul style="list-style-type: none"> <li>①廃棄体への高水圧の発生</li> <li>②廃棄体の体積変化(セメント系固化材、アスファルト系固化材の膨潤)</li> <li>③廃棄体の空隙水の化学的変化</li> <li>④廃棄体の腐食促進</li> <li>⑤廃棄体中の成分(固化材料、セメント成分、アスファルト成分、核種)の溶出</li> <li>⑥ベントナイトのCa化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・廃棄体の体積減少量の促進、破壊(①、②、④、⑤)</li> <li>・人工バリア材への荷重増加、破損(②、④)</li> <li>・廃棄体の強度低下の促進(④、⑤)</li> <li>・人工バリア(ベントナイト)透水係数の増大、膨潤性能の低下(⑤、⑥)</li> </ul>	●	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ 考えられる最大の体積減少量で検討する。</li> <li>→ Ca化したベントナイトの特性試験を実施する。</li> </ul>

\*1 ◎: 直接的な原因  
・: FEPの程度に関連する要素

\*2 ○: 関連があり対応方法の検討を必要とするもの  
●: 関連があり対応方法の検討を必要とするもの(本研究で考慮)  
△: 関連があり対応方法が明確なもの  
▲: 関連があり対応方法が明確なもの(本研究で考慮)  
×: 関連しないか又は関係があるか否かが不明確で、当面成立性との関連についての検討は行わないもの

表-1.4.2③ TRU処分システムのFEPとその評価(目的: 成立性に関する事象の抽出) (その3)

原因となる項目				FEP	処分システムに影響する事象	処分システムに生じる可能性のある不具合	成立性との関連 *2	対応方法
分類	対象とする部位	項目名	原因及び程度に関わる要素 *1					
力学的現象  (つづく)	NF母岩	初期地圧	◎母岩の物性 ・地形、地殻造営運動、地質構造 ・処分場の設置深度	NF母岩の応力・変形状態と 力学物性の変化	①母岩の空洞掘削時におけるゆるみ域、変形の変化 ②母岩の長期的なクリープ変形量の変化 ③母岩のゆるみ圧、塑性地圧の変化 ④母岩からの人工バリアへの荷重作用の変化 ⑤母岩の水理地質構造の変化 ⑥ベントナイトの熱物性の変化 ⑦ベントナイトの水理特性の変化 ⑧セメント系材料の水理特性の変化 ⑨建設、操業、閉鎖工の選定	・長期的変形(クリープ変形)による処分空間の減少(②) ・空洞安定性の低下(①、②、③) ・支保工への荷重増加(①、③) ・天然バリアの透水性係数増加(①、②、③、⑤) ・天然バリア、人工バリアの核種移行、ガス移行特性の低下(①、②、③、⑤、⑦、⑧) ・人工バリア(ベントナイト)の水理、力学的機能の低下(②、④、⑦) ・人工バリア、廃棄体への荷重増加、破損(②、③、④)	▲ →	解析モデル調査を実施した。
		応力	・母岩の温度 ・母岩の初期地圧 ・母岩の力学物性 ・ガス蓄圧 ・地質状態(堅岩、軟岩、破碎帯) ・処分場以外(空洞の形状・配設) ・建設、操業、閉鎖時の影響(掘削、ロックボルト等の施工) ・廃棄体、人工バリアの体積変化(腐食による体積増大、ベントナイトの膨潤体積減少)				△	
		力学物性	・密度 ・弾性係数、ポアソン比、クリープ係数 ・内部摩擦角、粘着力、せん断強度 ・一軸圧縮強度、引張強度 ・母岩の温度、熱物性 ・母岩の鉱物組成、特性の変化				×	
		クリープ変形	・母岩の温度 ・母岩の応力 ・母岩の力学物性 ・人工バリアの体積変化(ベントナイト流失、セメント系材料及び廃棄体の体積減少)				×	
	ベントナイト	膨潤	◎ベントナイトの冠水 ・ベントナイトの温度(廃棄体の熱量) ・ベントナイトの応力 ・ベントナイトの種類(鉱物組成・特性) ・ベントナイトの力学特性(密度、含水量) ・ベントナイトの圧密、クリープ変形 ・ベントナイト空隙水の化学(pH、イオン) ・廃棄体、セメント系材料の体積変化	ベントナイトの応力・変形状態と 力学物性の変化	①母岩応力の変化 ②セメント系材料、廃棄体の応力変化 ③ベントナイトの水理特性の変化 ④ベントナイトの力学物性の変化 ⑤ベントナイトの周辺岩盤亀裂中への流失(膨潤圧、ガス移行)、ベントナイトコロイドの形成 ⑥ベントナイトの圧密、クリープ変形の変化(密度の変化層厚の減少) ⑦ベントナイトのフィルター効果の変化 ⑧ベントナイトの核種移行、ガス移行の特性変化 ⑨ベントナイト空隙水の溶質移行の特性変化 ⑩ベントナイトの膨潤特性の変化 ⑪ベントナイト種類の選定 ⑫建設、操業、閉鎖工法の選定	・人工バリア(ベントナイト)の水理、力学的機能の低下(③、④、⑤、⑥、⑩、⑪) ・ベントナイト膨潤量の低下(自己シール性の低下)(⑤、⑥、⑩、⑪) ・廃棄体、コンクリート部材への荷重増加、破損(①、②、⑩、⑪) ・核種移行、ガス移行特性の低下(③、⑤、⑥、⑦、⑧、⑨)	● →	圧密解析を実施した。 ベントナイトの自己シール性の実験で検討する。
		応力	・母岩の応力 ・母岩のクリープ変形 ・ベントナイトの温度 ・ベントナイトの膨潤 ・ベントナイトの力学物性 ・ベントナイトの流出 ・ベントナイト中のガス、水蒸気の移行 ・セメント系材料の応力(腐食膨張、体積減少)				×	
		力学物性	・ベントナイトの冠水 ・ベントナイトの温度(廃棄体の熱量) ・ベントナイトの膨潤 ・ベントナイトの応力 ・ベントナイトの流失 ・ベントナイトの圧密、クリープ変形 ・ベントナイト空隙水の化学(pH、イオン) ・ベントナイトの種類(鉱物組成・特性)				△	
		流失	・母岩の地下水流動、水理地質構造 ・母岩の地下水化学、鉱物塑性・特性 ・ベントナイトの冠水、膨潤、応力 ・ベントナイトのガス移行					
		圧密、 クリープ 変形	・ベントナイトの冠水 ・ベントナイトの応力 ・ベントナイトの力学物性					

\*1 ◎: 直接的な原因  
・: FEPの程度に関連する要素

\*2 ○: 関連があり対応方法の検討を必要とするもの  
●: 関連があり対応方法の検討を必要とするもの(本研究で考慮)  
×: 関連しないか又は関係があるか否かが不明確で、当面成立性との関連についての検討は行わないもの  
△: 関連があり対応方法が明確なもの  
▲: 関連があり対応方法が明確なもの(本研究で考慮)



表-1.4.2④ TRU処分システムのFEPとその評価(目的: 成立性に関する事象の抽出) (その4)

原因となる項目				FEP	処分システムに影響する事象	処分システムに生じる可能性のある不具合	成立性との関連 *2	対応方法
分類	対象とする部位	項目名	原因及び程度に関わる要素 *1					
力学的現象	セメント系材料	応力	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎セメント系材料の冠水</li> <li>◎ベントナイトの膨潤、応力</li> <li>◎廃棄体の応力(重量)</li> <li>・セメント系材料の熱膨張(廃棄体の熱量)</li> <li>・セメント系材料の力学特性</li> <li>・セメント系材料の体積変化</li> <li>・鋼材、鉄筋の腐食膨張</li> <li>・廃棄体の体積変化</li> </ul>	セメント系材料の応力・変形状態と力学物性の変化	<ul style="list-style-type: none"> <li>①ベントナイトの応力の変化</li> <li>②廃棄体の応力の変化</li> <li>③セメント系材料の水理特性の変化(ひびわれ)</li> <li>④セメント系材料の力学特性の変化(ひびわれ)</li> <li>⑤セメント系材料の鋼材腐食の促進</li> <li>⑥セメント系材料の体積変化</li> <li>⑦母岩のクリープ変形の増大</li> <li>⑧セメント系材料の核種移行、ガス移行の特性変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人工バリア(セメント系材料)透水係数の増大(③、⑥)</li> <li>・人工バリア(ベントナイト)透水係数の増大(⑥)</li> <li>・廃棄体、人工バリア材(ベントナイト)への荷重増加、破損(①、②、④、⑤、⑥、⑦)</li> <li>・セメント系材料の劣化、強度低下の促進(④、⑤)</li> <li>・セメント系材料の体積減少量の増大(⑥)</li> <li>・セメント系材料の体積増加(⑤)</li> <li>・核種移行、ガス移行特性の低下(①、③、⑧)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>×</li> <li>●</li> <li>×</li> <li>×</li> <li>●</li> <li>×</li> <li>△</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→セメント系材料に止水機能は求めない。</li> <li>→体積変化に伴う透水係数の変化を評価した。</li> <li>→考えられる最大の体積減少量で検討する。</li> </ul>
		力学物性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・セメント系材料の温度</li> <li>・セメント系材料の種類</li> <li>・単位体積重量</li> <li>・弾性係数、ポアソン比、クリープ係数</li> <li>・圧縮強度、引張強度、曲げ強度</li> </ul>					
		体積変化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・セメント系材料の冠水</li> <li>・セメント系材料の熱膨張</li> <li>・セメント系材料の応力</li> <li>・セメント系材料成分の鉱物組成、特性</li> <li>・セメント系材料成分の溶解</li> </ul>					
		腐食膨張	<ul style="list-style-type: none"> <li>・セメント系材料の冠水</li> <li>・セメント系材料の応力</li> <li>・セメント系材料成分の鉱物組成、特性</li> <li>・セメント系材料成分の溶解</li> <li>・鋼材、鉄筋の腐食</li> </ul>					
	廃棄体	応力	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎セメント系材料の応力</li> <li>◎廃棄体の自重</li> <li>・廃棄体の体積変化</li> <li>・廃棄体の温度(廃棄体の熱量)</li> <li>・廃棄体の熱膨張</li> <li>・廃棄体と空隙水の接触</li> <li>・廃棄体の力学物性</li> <li>・廃棄体の腐食膨張</li> </ul>	廃棄体の応力・変形状態と力学物性の変化	<ul style="list-style-type: none"> <li>①廃棄体の体積変化</li> <li>②天然バリア、人工バリアの応力、変形の変化</li> <li>③母岩のクリープ変形の増大</li> <li>④ベントナイトの膨潤特性の変化</li> <li>⑤廃棄体の定置方法への影響</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・廃棄体の体積減少量の促進、破壊(①、②、③、④)</li> <li>・人工バリア材への荷重増加、破損(②、④)</li> <li>・天然バリアのクリープ変形の促進(②、③)</li> <li>・ベントナイト膨潤量の低下(②、④)</li> <li>・人工バリア(ベントナイト)透水係数の増大(①)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●</li> <li>×</li> <li>△</li> <li>△</li> <li>●</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→考えられる最大の体積減少量で検討する。</li> <li>→体積変化に伴う透水係数の変化を評価する。</li> </ul>
		力学物性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・廃棄体の温度</li> <li>・廃棄体の固化材料</li> <li>・廃棄体定置方法</li> </ul>					
		体積変化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・廃棄体の熱膨張</li> <li>・廃棄体と空隙水の接触</li> <li>・廃棄体の応力</li> <li>・廃棄体の固化材料</li> <li>・廃棄体成分の溶解</li> <li>・廃棄体の腐食膨張</li> <li>・廃棄体中での放射性崩壊、膨潤</li> <li>・廃棄体中の空隙</li> </ul>					
		腐食膨張	<ul style="list-style-type: none"> <li>・廃棄体の腐食生成物の生成</li> <li>・廃棄体と空隙水の接触</li> <li>・廃棄体の材料(ドラム缶、鉄廃棄物)</li> </ul>					

\*1 ◎: 直接的な原因  
 ・: FEPの程度に関連する要素

\*2 ○: 関連があり対応方法の検討を必要とするもの  
 ●: 関連があり対応方法の検討を必要とするもの(本研究で考慮)  
 △: 関連があり対応方法が明確なもの  
 ▲: 関連があり対応方法が明確なもの(本研究で考慮)  
 ×: 関連しないか又は関係があるか否かが不明確で、当面成立性との関連についての検討は行わないもの



表-1.4.2⑤ TRU処分システムのFEPとその評価(目的: 成立性に関する事象の抽出) (その5)

原因となる項目				FEP	処分システムに影響する事象	処分システムに生じる可能性のある不具合	成立性との関連 *2	対応方法
分類	対象とする部位	項目名	原因及び程度に関わる要素 *1					
化学的現象	廃棄体	水素ガス等の発生	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎廃棄体の金属材料(ドラム缶、鉄廃棄物)の腐食</li> <li>◎廃棄体内有機物の母岩中のバクテリア、微生物による分解</li> <li>・廃棄体と空隙水の接触</li> <li>・放射線の影響</li> </ul>	・廃棄体からのガス発生	<ul style="list-style-type: none"> <li>①ガス圧の発生</li> <li>②人工バリア(セメント系材料、ベントナイト)の応力の変化</li> <li>③天然バリアの応力の変化</li> <li>④廃棄体の応力の変化</li> <li>⑤廃棄体から人工バリアへの核種移行、ガス移行の促進</li> <li>⑥廃棄体、人工バリア、天然バリアの透水特性の変化</li> <li>⑦腐食速度の変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ガス圧の上昇による人工バリア、天然バリア特性の低下及び変化 (①、②、③、④、⑥)</li> <li>・廃棄体、人工バリア材、天然バリアへの荷重増加、破壊 (①、②、③、④)</li> <li>・核種移行、ガス移行特性の低下、変化 (①、⑤、⑥、⑦)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● →</li> <li>▲</li> <li>×</li> </ul>	定常状態でのガス圧検査を実施する。

\*1 ◎: 直接的な原因  
 ・: FEPの程度に関与する要素

\*2 ○: 関連があり対応方法の検討を必要とするもの  
 ●: 関連があり対応方法の検討を必要とするもの(本研究で考慮)  
 △: 関連があり対応方法が明確なもの  
 ▲: 関連があり対応方法が明確なもの(本研究で考慮)  
 ×: 関連しないか又は関係があるか否かが不明確で、当面成立性との関連についての検討は行わないもの

表-1.4.3 TRU処分システムの成立性に関する事象のまとめ

システム構成		(長期的に)予想される事象	左記による不具合	成立性評価のための 検討・評価項目	検討方法		成立性に関わる その他の課題
部位	要求機能				解析	実験	
廃棄体	-	① セメント成分の溶出 ② アスファルト成分の溶出 ③ 金属腐食による水素ガス発生 ④ 空隙の減少 ⑤ 有機物分解によるメタンガス発生 ⑥ 金属腐食による膨張	○ 廃棄体強度の低下(①,②,③) ○ 廃棄体体積の減少(①,②,④) (人工バリアの機能低下) ○ ガス圧の上昇(③,⑤) (人工バリア・天然バリアの機能低下)	○ 各廃棄体の強度と体積減少量の評価(経時変化, 最終値) ○ 発生ガス量, ガス圧の評価(経時変化) ○ 人工バリア, 天然バリアの健全性評価	○ 最終値は設定可能  ○ 保守的な解析を実施('96)		・廃棄体強度
セメント系材料 (充填材・コンクリート部材)	・廃棄体定置 ・空間充てん ・化学環境 (ex 核種移行時間の抑制) ・岩盤の支保	① セメント成分の溶出(セメントの劣化) ② 鉄筋・鋼材の腐食膨張	○ 部材強度の低下(①,②,③) ○ 部材体積の減少(①) (人工バリアの機能低下) ○ 支保部材の劣化(①,②) (ベントナイトの流出) (空洞の安定性低下)	○ セメントの強度と体積変化量の評価(経時変化, 最終値)	○ 最終値は設定可能 ○ 変質予測解析	○ 変質予測手法の確認実験 (鹿島・東工大で共研実施 '96~'98)	
ベントナイト系材料 (人工バリア)	・地下水移行時間の抑制 ・(核種吸着)	① 膨潤 ② 圧密変形 ③ クリープ変形 ④ (Ca化) ⑤ 廃棄体, コンクリートピット破壊に伴う荷重増大(ベントナイト層の破壊) ⑥ 岩盤クリープによる荷重増大(ベントナイト層の破壊) ⑦ ベントナイトの岩盤割れ目への流失 ⑧ 再冠水による圧力増加(ベントナイト層の破壊)	○ 透水係数の低下(①,④,⑤,⑥,⑧) ○ バリア層厚の減少(②,③,⑤,⑥,⑦) ○ 膨潤量の低下(④) (自己シール性低下) ○ コンクリート部材破壊による局所的な流動(⑤) ○ ベントナイトの力学的安定性低下(①,②,③) 	○ 廃棄体やセメント系材料の変形に対するベントナイトの変形, 応力の評価(経時変化と最終値) ○ 廃棄体やセメント系材料の体積変化に対する自己修復性の限界の評価 ○ 終局状態における機能(止水性)を保持することの可能性評価	○ 廃棄体変形に伴う歪み分布解析を実施('96)	○ ベントナイトの配合率/密度/透水係数 ○ ベントナイトの配合率/密度/膨潤量  ○ ベントナイトの隙間の大きさ/自己シール性 ○ 膨潤後の密度変化	・底部ベントナイト層の支持力
岩盤 (天然バリア)	・処分空間の保持 ・(核種移行時間の抑制)	① 長期的変形	○ 処分空間の減少 ○ 人工バリアへの荷重増加(ベントナイト層の機能低下) ○ 岩盤透水係数の増加	○ 長期的変形量の評価(経時変化, 最終量)	○ 大久保モデル ( '96 :調査, '97, '98 :解析)		

## 1.4.2 熱解析

### (1) 検討の位置付け

各処分方式の内、坑道方式は放熱性がよいと考えられることから発熱性を有するハル・エンドピース廃棄体を処分する可能性がある。また大断面岩洞方式・小断面岩洞方式及びサイロ方式においても、発熱性廃棄物の定置密度を低くしたり、廃棄体を処分する前段階に中間貯蔵の概念を取り入れれば、ある程度温度の下がった発熱性廃棄体を処分することも可能となることが考えられる。

そこで本検討では熱解析を実施し、発熱性廃棄体の定置密度についての検討を行う。処分空洞に発熱性廃棄体を処分した場合の、ベントナイト及び周辺岩盤の温度上昇を求め、バリア材としての機能が損なわれないような発熱性廃棄物の定置密度の検討を行う。

また、隣り合う空洞間の熱的干渉の影響についても検討する。

### (2) 検討方法

本検討における熱解析は、有限要素法による解析コード「ANSYS」を用いて計算した。

#### (a) 解析モデル

解析は図-1.4.1に示す2次元軸対称モデルを用いた。廃棄体の集合を円形とし、その周囲を厚さ50cmのコンクリート及び100cmのベントナイトで囲んでいるとしてモデル化した。廃棄体の量は空洞断面の大きさに応じて3ケース（空洞断面直径：10m, 20m, 30m）を設定した。

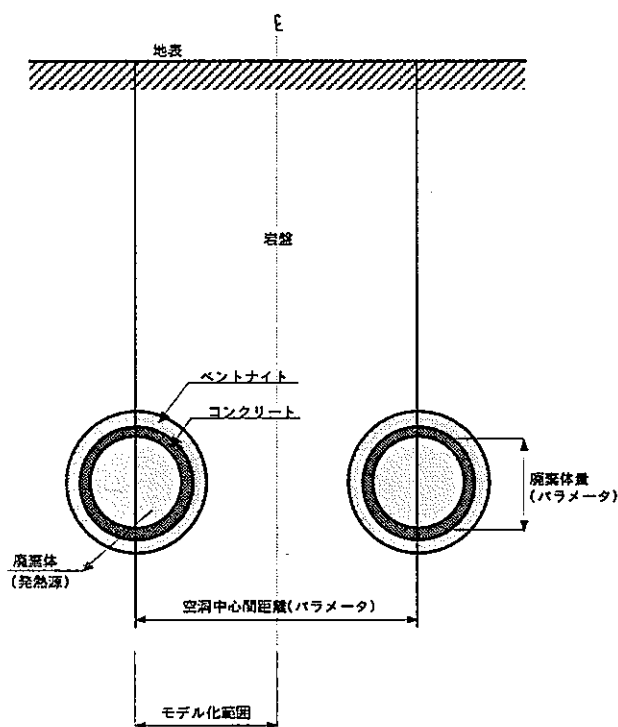


図-1.4.1 解析モデル

(b) 要素分割及び境界条件

図-1.4.2と図-1.4.3のそれぞれに解析に用いた要素分割図の全体図と、廃棄体部分の拡大図，図-1.4.4に境界条件を示す。また表-1.4.4にパラメータの値を示す。

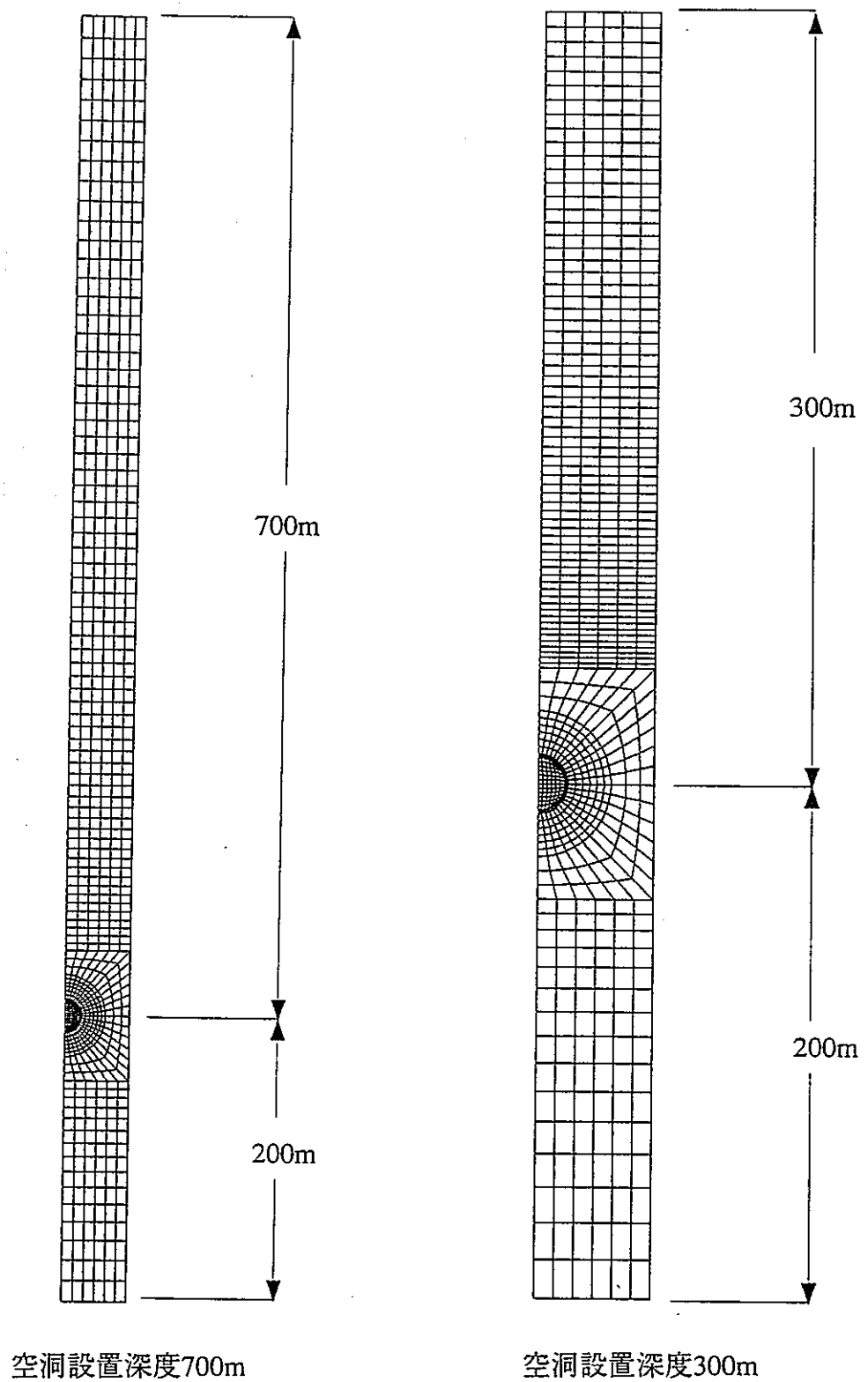
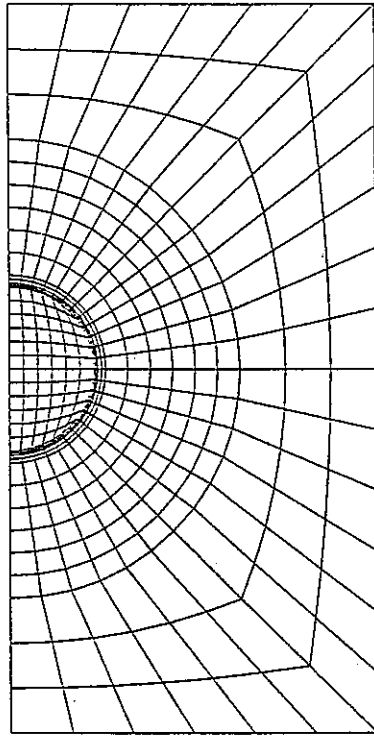
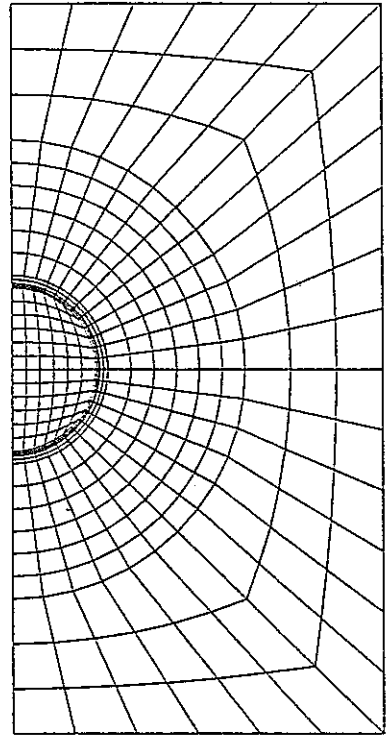


図-1.4.2 要素分割図 (全体図)



空洞設置深度700m



空洞設置深度300m

図-1.4.3 要素分割図（廃棄体部分拡大図）

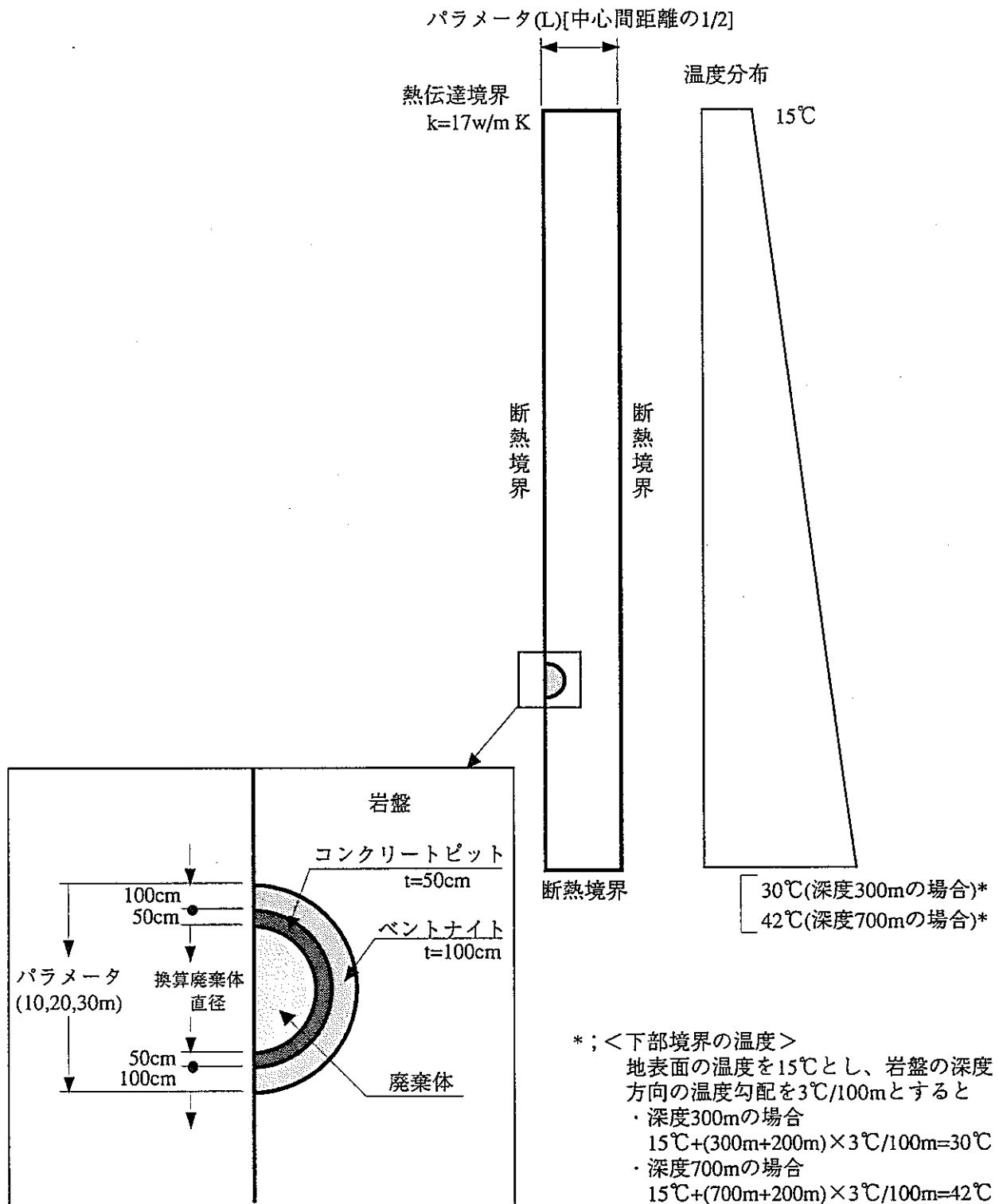


図-1.4.4 境界条件

表-1.4.4 廃棄体量及び空洞中心間距離

		廃棄体量 (本/m)	換算廃棄体直径 (m)	空洞中心間距離 2×L(m)		
				3D	4D	5D
空洞直径 D(m)	10	15	4.2	30	40	50
	20	150	12.4	60	80	100
	30	410	20.3	90	120	150

表-1.4.4に示した廃棄体量は、設定した空洞断面に対する奥行き1mあたりの本数である。本数は、空洞直径から片側1.5m（ベントナイト厚+吹付コンクリート厚と仮定）、計3.0mを差し引いた円形内に収まるコンクリートピット（厚さ50cmと仮定）を想定し、定置可能なコンテナ数より求めた。このとき、コンテナの寸法は幅1,510mm×奥行き1,510mm×高さ1,300mmとし、1コンテナあたり4本の廃棄体を収納するものとした。コンテナに関する詳細は、後述する。

換算廃棄体直径は、解析上の発熱条件を付与する範囲を示すもので、コンクリートピット内側の矩形面積を等価な円に換算することにより算定した。この円内に、前記の廃棄体量が平均的に収まっているとして解析を実施する。

図-1.4.5に各断面形状に対する廃棄体量及び換算廃棄体直径の算定方法を示す。

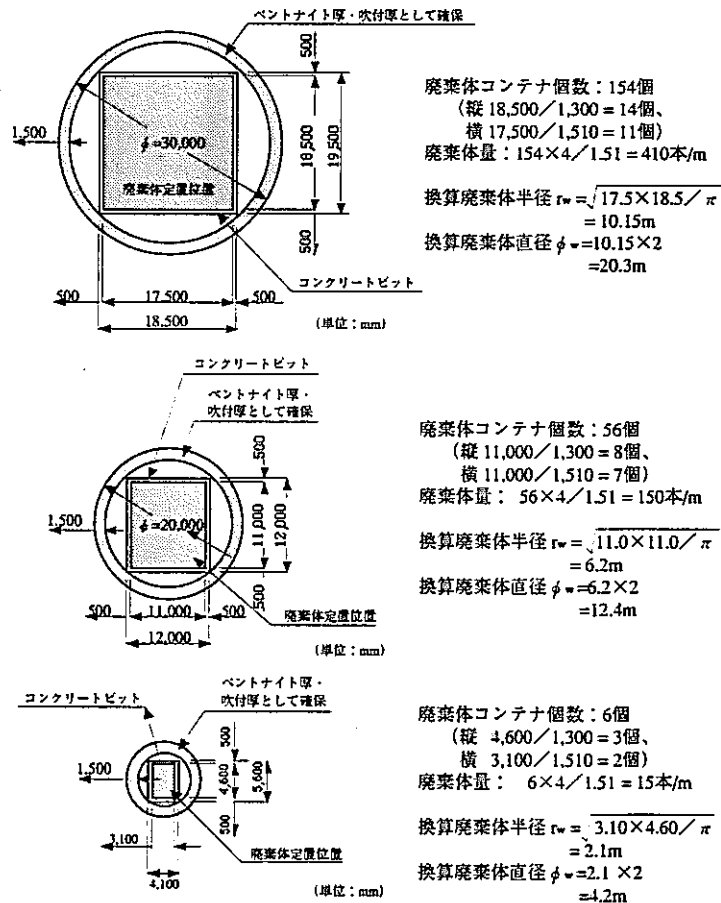


図-1.4.5 廃棄体量と換算廃棄体直径

(c) 解析用物性値

表-1.4.5に本解析で使用した材料ごとの物性値を示す。5)

ハル・エンドピース廃棄体の熱伝導率及び比熱については、現在データが取得されていない。しかし、換算廃棄体直径内の90vol%近くはコンテナや充填材のセメント系材料で占められており、コンクリートの熱物性で代表できるものとした。

表-1.4.5 材料の物性値5)

		熱伝導率 (W/(m·K))	比熱 (KJ/(kg·K))	単位体積重量 (kgf/cm <sup>3</sup> )
廃棄体		1.2	0.90	2,400
コンクリート*		1.2	0.90	2,400
ベントナイト混合土		0.9	0.60	1,900
岩盤	結晶質岩系岩盤	2.9	0.84	2,700
	堆積岩系岩盤	2.3	0.84	2,300

\*：コンクリートの物性値は参考文献6)による。

(d) 廃棄体の発熱特性

解析は15年の冷却期間をおいた場合で実施する。廃棄体取り出し直後（冷却期間0年）での予備解析を実施したところ、設定した処分システムが全て成立しない結果となった。そこで処分システムを成り立たせるために、冷却期間として15年程度が必要であると考へ解析を実施する。

15年の時点での廃棄体の熱特性は表-1.2.11に示したとおり、1本あたり11.5Wである。1本あたりの発熱特性に、各空洞形状ごとに設定した廃棄体量を乗じ、換算廃棄体直径が占める面積で除した平均の発熱密度を熱源として与えた。表-1.4.6に各ケースの発熱密度を示す。また発熱密度の経時変化を図-1.4.6に示す。

表-1.4.6 発熱密度

	空洞直径 D(m)		
	10	20	30
発熱密度(W/m <sup>3</sup> )	12.5	14.3	14.6

空洞直径10mの場合の発熱密度（奥行き1mあたり）の算定方法を参考に示す。

$$\text{発熱密度} = \frac{11.5(\text{W/本}) \times 15(\text{本/m})}{\pi \times (4.2/2)^2(\text{m}^2)} = 12.5(\text{W/m}^3)$$



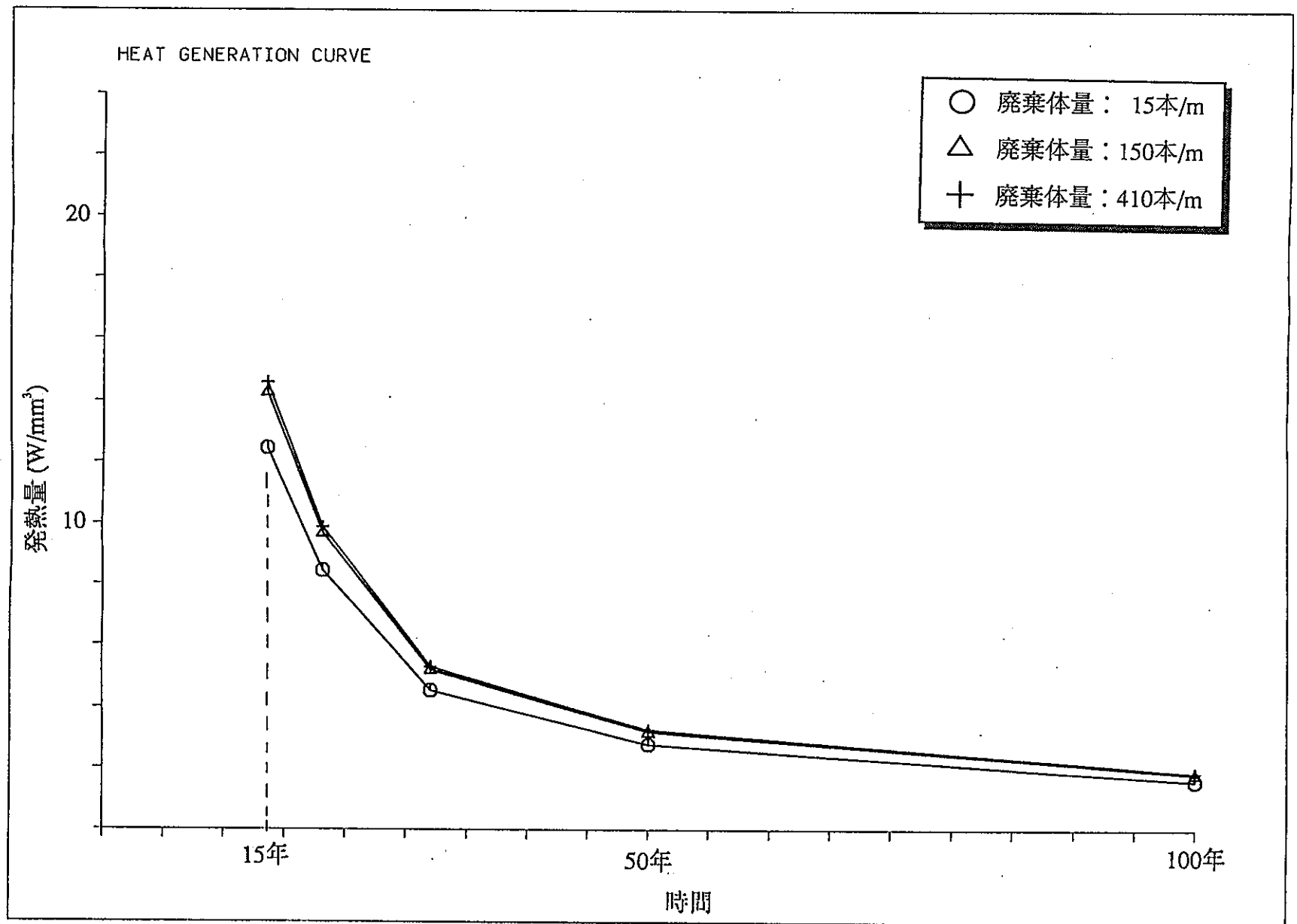


図-1.4.6 発熱特性

### (3) 検討結果

#### (a) 解析ケース

実施した解析ケースの一覧を表-1.4.7に示す。


#### (b) 解析による温度算定位置

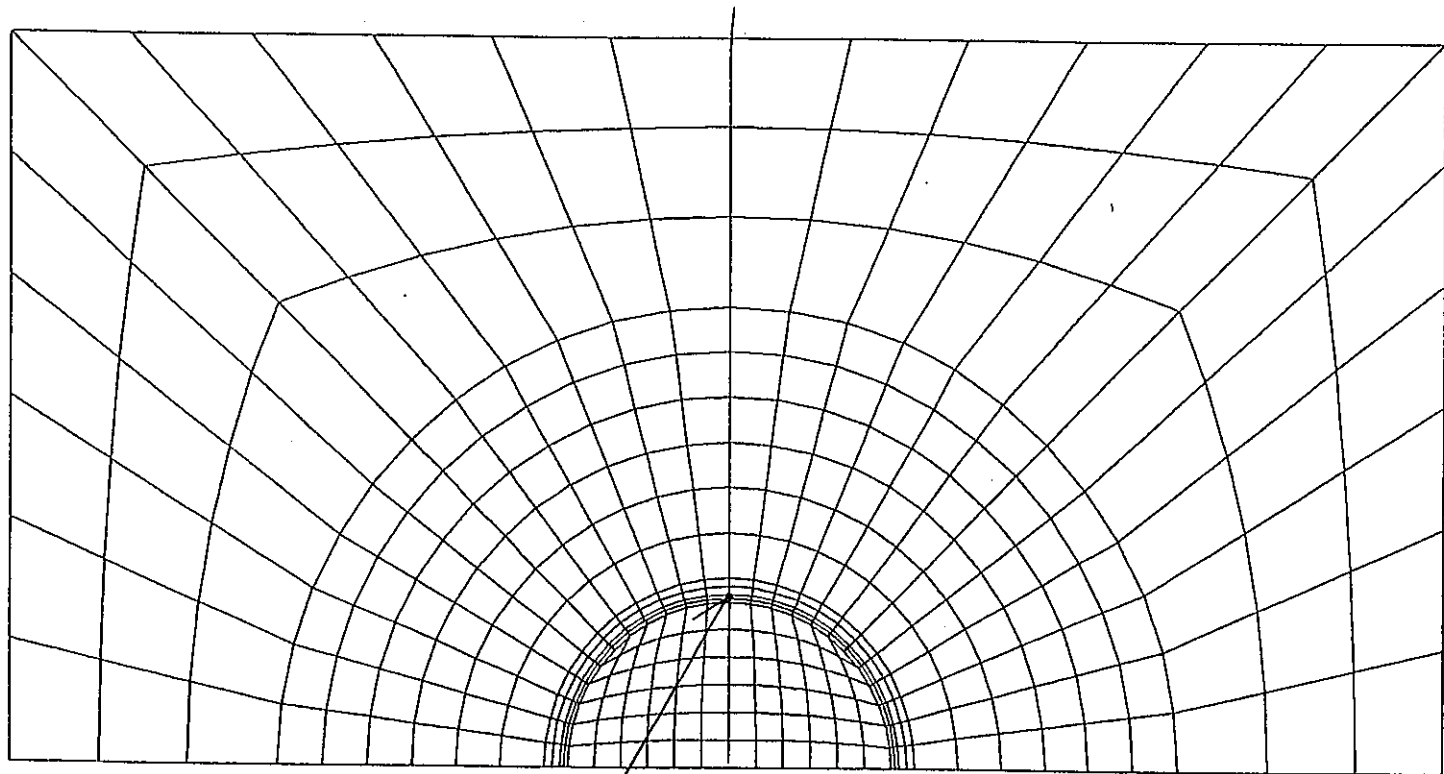
熱解析を実施し、各部位の温度の経時変化を見る。図-1.4.7に、温度算定位置を示す。

表-1.4.7 解析ケース一覧

深度	岩 質		結 晶 質 岩			堆 積 岩			廃棄体量 (本 / m)
	離間距離		3D	4D	5D	3D	4D	5D	
300m	空 洞 直 径 D (m)	10	CASE3101K	CASE3102K	CASE3103K	CASE3101T	CASE3102T	CASE3103T	15
		20	CASE3201K	CASE3202K	CASE3203K	CASE3201T	CASE3202T	CASE3203T	150
		30	CASE3301K	CASE3302K	CASE3303K	CASE3301T	CASE3302T	CASE3303T	410
700m	空 洞 直 径 D (m)	10	CASE7101K	CASE7102K	CASE7103K	CASE7101T	CASE7102T	CASE7103T	15
		20	CASE7201K	CASE7202K	CASE7203K	CASE7201T	CASE7202T	CASE7203T	150
		30	CASE7301K	CASE7302K	CASE7303K	CASE7301T	CASE7302T	CASE7303T	410

MODEL-1 : z=700 m

ORIGINAL  2.997



トンネル内面

1.4-19

図-1.4.7 解析による温度算定位置

(c) 温度算定結果

解析結果を図-1.4.8~1.4.11に示す。図-1.4.8~11は各ケースについてのベントナイト内面での最高温度と離間距離の関係のグラフである。

これらのグラフより以下のことが言える。

- ・ピークの温度は空洞直径 $\phi=30\text{m}$ （大断面岩洞方式），空洞直径 $\phi=20\text{m}$ （小断面岩洞方式），空洞直径 $\phi=10\text{m}$ （坑道方式）の順に高くそれぞれのベントナイト内面での最高温度はそれぞれ $250^{\circ}\text{C}$ ， $150^{\circ}\text{C}$ ， $50^{\circ}\text{C}$ 程度まで上昇する。断面が大きくなるに従って最高温度が高いのは，空洞内の廃棄体量が多くなるためである。これより15年の冷却期間をおいた場合でも大断面岩洞方式では，ベントナイト内面の温度が $100^{\circ}\text{C}$ を大幅に上回るため，発熱性廃棄体の処分は困難であると考えられる。一方，坑道方式は発熱性廃棄体のみを処分することが可能になると考えられる。小断面岩洞方式は非発熱性廃棄体と発熱性廃棄体を半数程度ずつ混在させた形態をとると処分が可能であると考えられる。
- ・処分深度の違い（ $300\text{m}$ と $700\text{m}$ ）による比較では，地温の差以上の差異は認められない。
- ・岩種の違いによる比較では，堆積岩系岩盤の方が結晶質岩系岩盤と比較して，空洞径が大きくなるに従って最高温度が高くなった。これは堆積岩系岩盤の熱伝導率が結晶質岩系岩盤に比べて小さいことと，単位体積重量が小さいため結晶質岩系岩盤より少ない熱エネルギーで温度が上昇するためである。
- ・ $3\text{D}\sim 5\text{D}$ の範囲では，空洞中心間距離による影響はほとんどない。

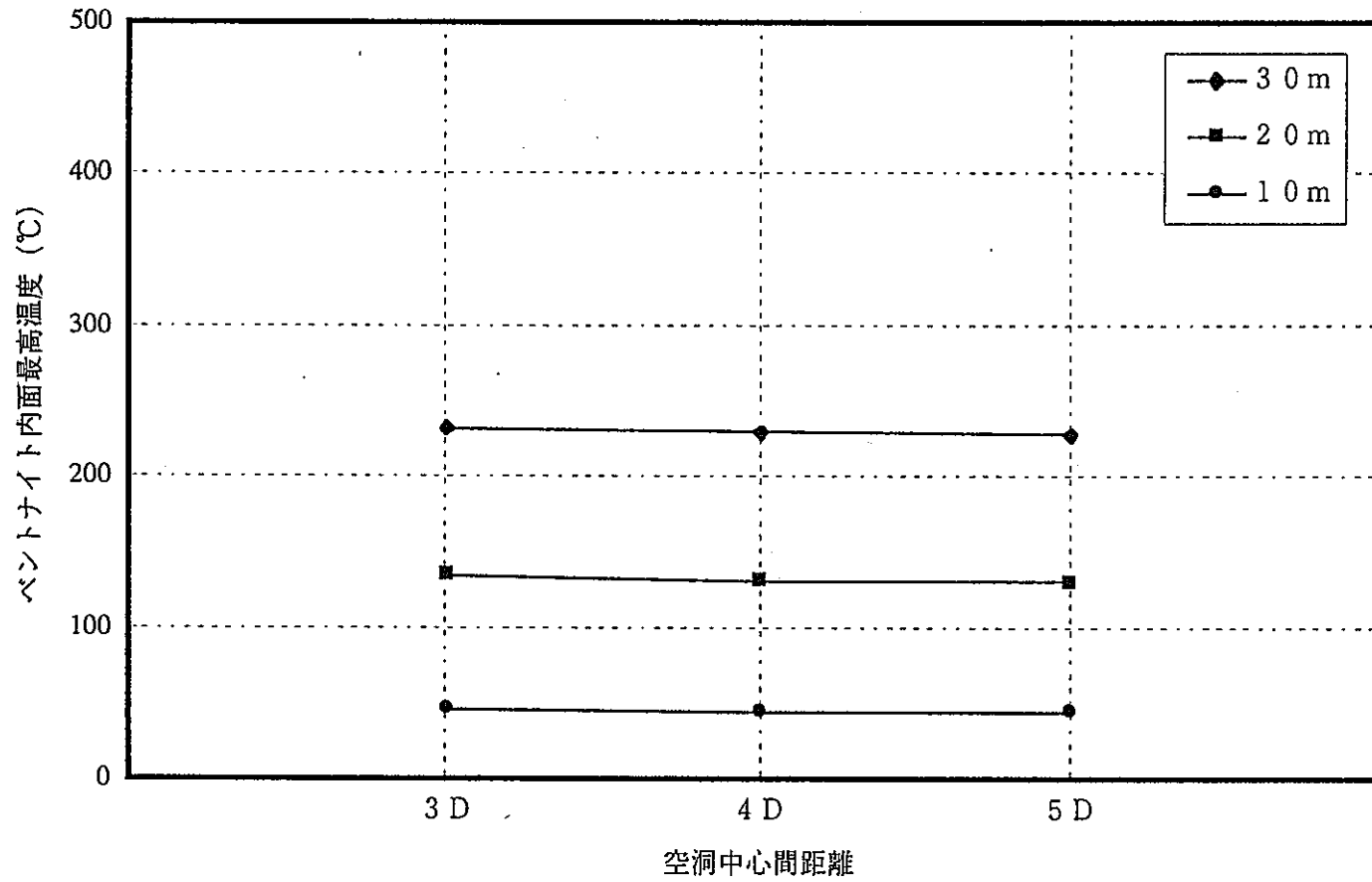


図-1.4.8 最高温度と空洞中心間距離 (ベントナイト内面, 深さ=300m, 結晶質岩)

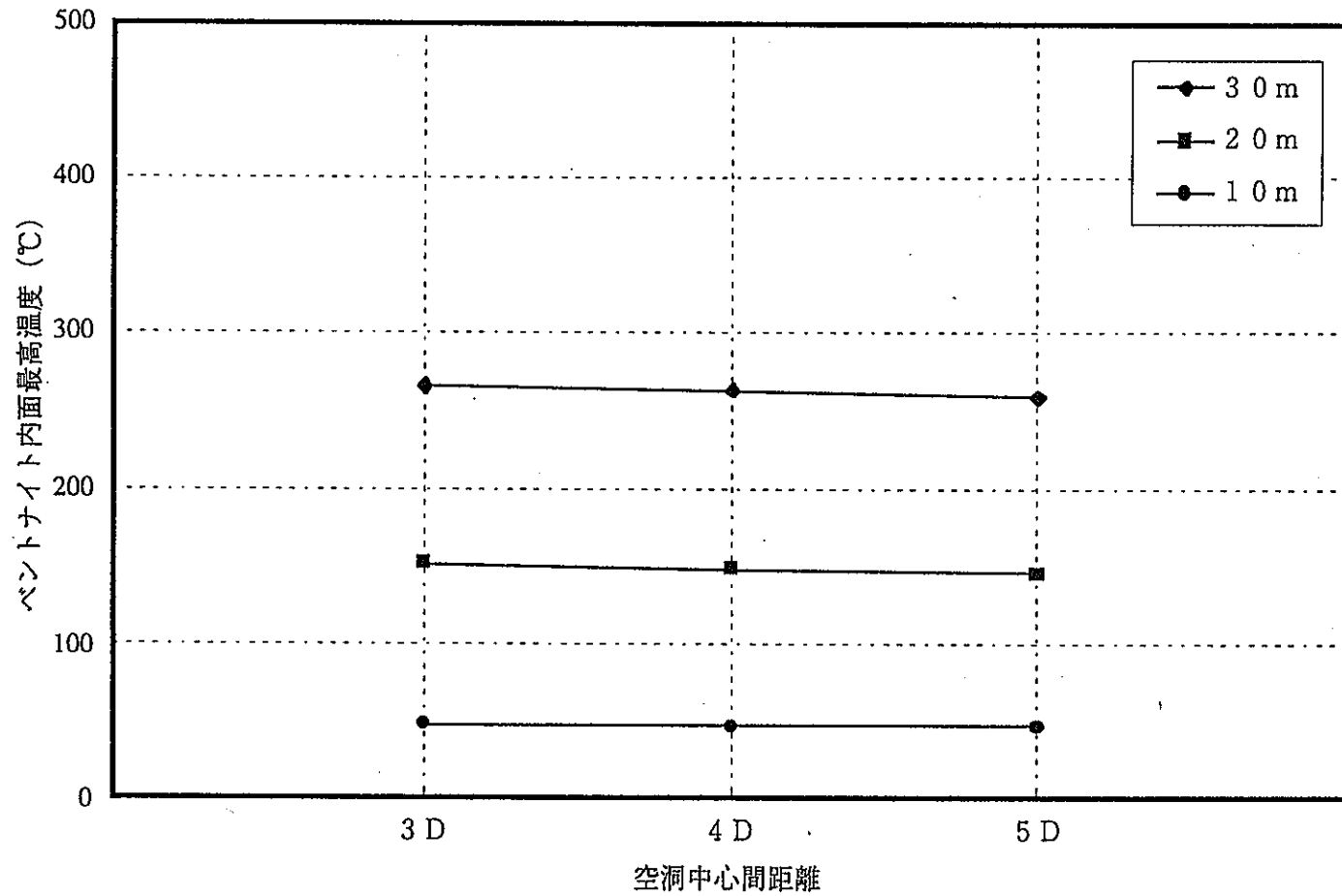


図-1.4.9 最高温度と空洞中心間距離 (ベントナイト内面, 深さ=300m, 堆積岩)

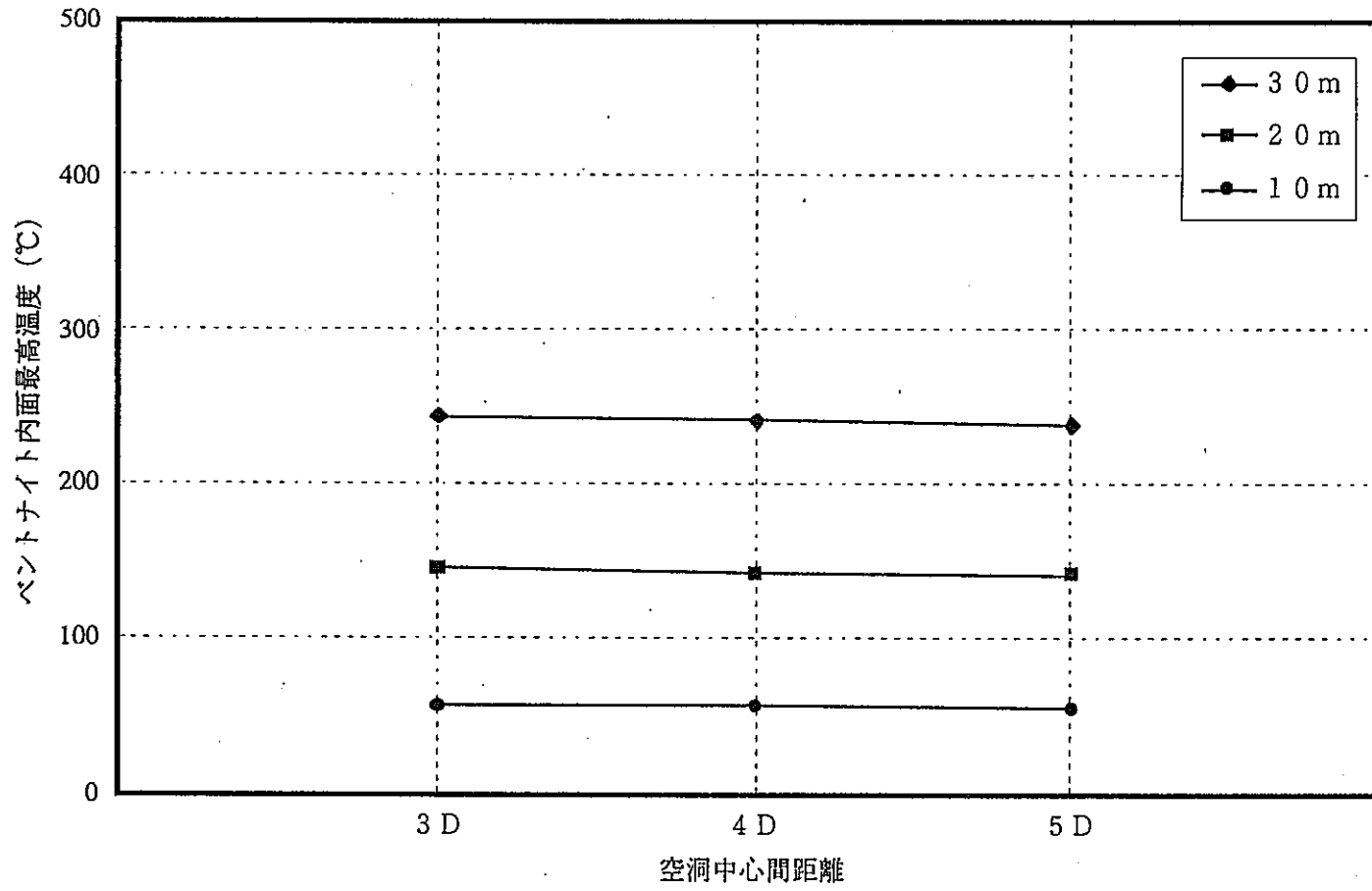


図-1.4.10 最高温度と空洞中心間距離 (ベントナイト内面, 深さ=700m, 結晶質岩)



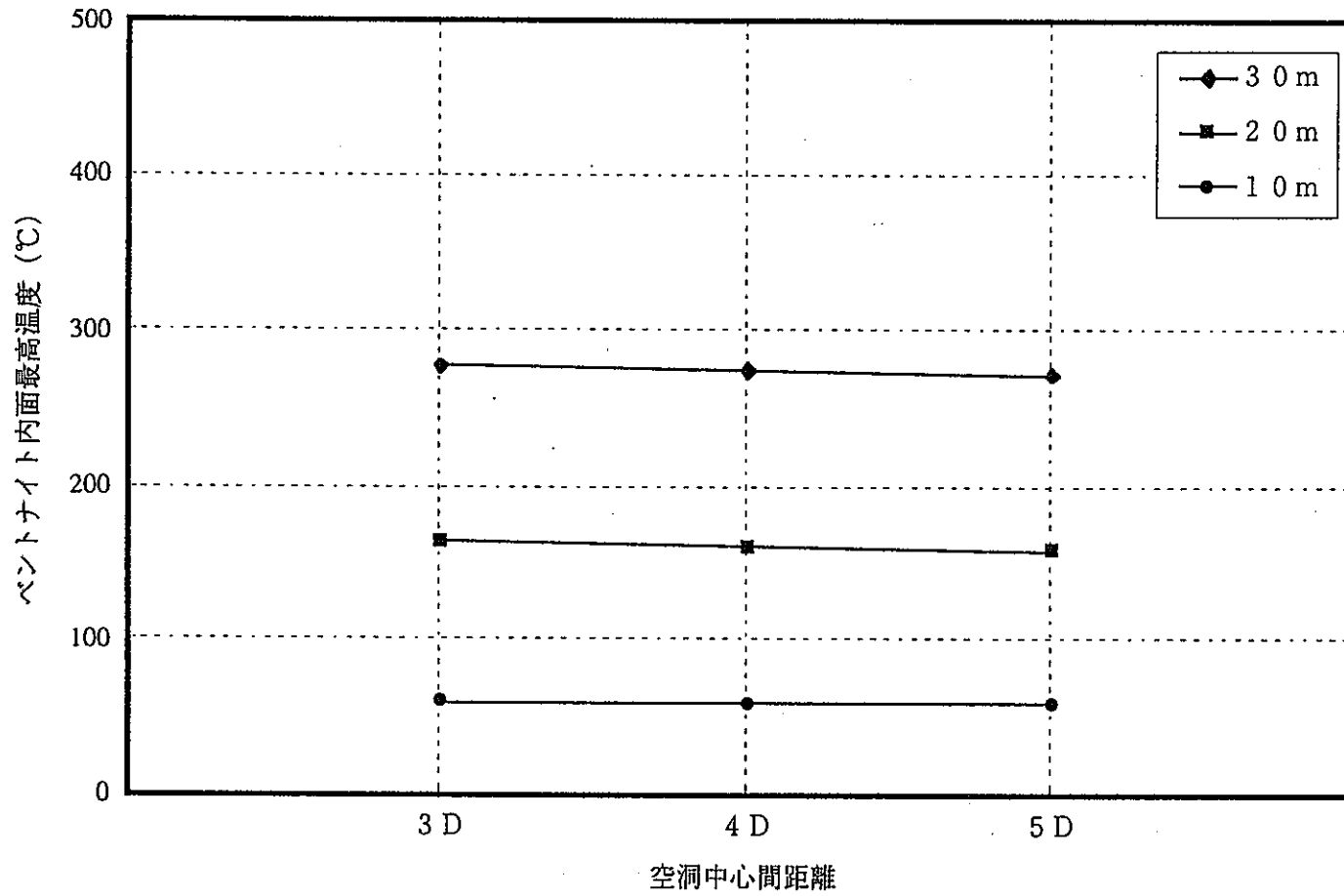


図-1.4.11 最高温度と空洞中心間距離 (ベントナイト内面, 深さ=700m, 堆積岩)

### 1.4.3 ベントナイトの透水性変化の検討

#### (1) セメント成分溶出量の検討<sup>7)</sup>

##### (a) 現状の仮定と問題点

コンクリートやモルタルなどセメント系材料を用いた硬化体の経年劣化は、設置・暴露環境によって様々な形態をとる。TRU廃棄物の処分環境においては、特別な因子がセメント系硬化体に侵入するようなアグレッシブな劣化ではなく、地下水などの周囲の接触水に硬化体成分が徐々に溶解する、いわゆる「溶出・溶脱」と呼ばれる比較的マイルドな劣化の進行が想定される。

セメント系材料を用いた硬化体のうち、水に溶解する可能性のある成分（あるいは溶解速度を考慮することが工学的に有意である成分）はセメント系固化材の水和生成物であり、可溶成分の体積が全体の体積低減に寄与するとした。

セメント系固化材の水和物は単一ではなく、複数の物質の混合物であり、個々の物質種類によって水への溶解性も異なる。平成7年度の検討では、セメント系固化材の水和生成物のうち、比較的溶解性の高い $\text{Ca}(\text{OH})_2$ のみが可溶性であると仮定し、これを前提として体積収縮などの解析的検討を実施している。

しかし多くの研究結果から、主要水和生成物で難溶性のCSHも超長期には極めて徐々にではあるが水に溶解することが知られており<sup>8) 9)</sup>、前述の仮定は楽観的過ぎるきらいがあった。また、本年度は高炉スラグセメントやフライアッシュセメントなどの混合セメントも検討対象とするが、これらの混合セメントは刺激剤として、あるいはポゾラン反応によって $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (CH) が消費され、著しい場合はCHが全く生成しない場合も報告されている。平成7年度の仮定によれば、この場合は溶解成分に起因する体積低減が生じないことになり現実的ではない。

これより今後は、

- ・CHは可溶性である。
- ・主要生成物であるCSHも条件付きで可溶性である。

の仮定がより正確であると思われる。以上より、本年度は平成7年度に実施した普通ポルトランドセメントも含めた以下のセメント種類について、上述した新たな条件のもとに溶出・溶脱による体積変化を予測することを試みた。

- 各種ポルトランドセメント
  - ・普通ポルトランドセメント
  - ・ビーライトポルトランドセメント
  - ・中庸熱ポルトランドセメント
- 各種混合セメント
  - ・高炉セメント
  - ・フライアッシュセメント

ただし、セメント系材料の超長期にわたる挙動には未だ不明な点も多く、今回実施し

た計算も他の多くの仮定条件を設けて実施したことを予め報告する。

(b) 各種セメント系材料の溶出・溶脱による体積変化予測<sup>7)</sup>

① 基本反応機構と量論

ポルトランドセメント系材料の主要構成物であるC<sub>3</sub>SおよびC<sub>2</sub>Sと水の反応がCSHを生成し、Ca(OH)<sub>2</sub>を副成する。体積変化は、Ca(OH)<sub>2</sub>溶脱およびCSHからのCaOがCa(OH)<sub>2</sub>として溶脱することを前提として算定するため、これらの反応について量論的な仮定・解説を以下に示す。

○ C<sub>3</sub>Sの反応

$$2C_3S + 6H_2O \rightarrow C_3S_2H_3 + 3Ca(OH)_2$$

重量 (g)	456.6	108.1	342.5	222.3
比重	3.15	1.00	2.71	2.23
容積 (cm <sup>3</sup> )	145.0	108.1	126.4	99.7

○ C<sub>2</sub>Sの反応

$$2C_2S + 4H_2O \rightarrow C_3S_2H_3 + Ca(OH)_2$$

重量 (g)	344.6	72.1	342.5	74.1
比重	3.26	1.00	2.71	2.23
容積 (cm <sup>3</sup> )	105.1	72.1	126.4	33.2

② 各種ポルトランドセメント

以下に示す化合物組成の各種ポルトランドセメントを算定対象とした。

表-1.4.8 算定対象とした各種ポルトランドセメントの化合物組成構成比

セメント種類	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	比重
普通ポルトランドセメント	53	29	9	9	3.15
ハイライトセメントNo.1	21	67	2	10	3.22
ハイライトセメントNo.2	0	90	2	18	3.26
中庸熟ポルトランドセメント	48	37	2	13	3.22

セメントの水和に伴う一般的な現象について以下のような仮定を設けた。<sup>7) 9)</sup>

- 1) セメントが完全に水和すると重量で25%の水を化学的に結合する。
- 2) 化学的に結合した水の25%の体積が圧縮される。
- 3) セメントが完全に水和すると重量で15%の水をゲル水として物理的に結合させる。
- 4) その他の余剰な水分は毛細管水となる。
- 5) 3)で述べた圧縮分の容積減少は空隙となる。

これらの仮定は、厳密には普通ポルトランドセメントのみに適用されるものであるが、ここではポルトランドセメント全体に拡張して適用した。

また、本報告における算定はセメントペーストに限定した。ペースト単体でも、水セメント比および空気量が異なれば、溶出に伴う体積変化算定値は当然変化するが、ここではペーストの配合も水セメント比50%に固定して計算した。

前述の1)~5)の仮定より、完全水和した水セメント比50%のセメントペーストの基本体積比率は以下のように算出される。100gのセメントと水50mlについて、空気泡が混入しないとすれば、ペーストの体積は $100/3.1+50=82.3\text{ml}$  (3.1はセメントの比重)の容積となりその39.2%がセメント、60.8%が水で占められる。このセメントが完全に水和してしまったとすると、25gの水を化学的に結合して125gの水和生成物となり、その容積は $100/3.1+25\times 3/4=51\text{ml}$ となる。51/82.3で62%が水和生成物となる。空隙は水の圧縮分、すなわち $25\times 1/4$ で6.3mlで容積比で約8%となる。ゲル水はセメントの15%であるので、15ml、容積で18%であり、残りの12%が毛細管水となる。まとめると、

水和生成物；62%

ゲル水；18%

毛細管水；12%

空隙；8%

水和生成物（62%）の内訳は、化合物組成の相違により以下のように計算される。

表-1.4.9 ポルトランドセメント水和生成物量の体積比率 (%)

(水セメント比50%)

セメント種類	CSH	Ca(OH) <sub>2</sub>	その他
普通ポルトランドセメント	31.0	17.6	13.4
ハイライトセメントNo.1	37.5	13.6	10.9
ハイライトセメントNo.2	40.9	10.8	10.3
中庸熟ポルトランドセメント	33.1	17.3	11.5

表-1.4.9の計算例；例えば普通ポルトランドセメントのCSHの場合、セメント100gと水50mlのペーストの総体積は82.3mlである。セメント100gのうち、表-1.4.8より53gがC<sub>3</sub>Sで29gがC<sub>2</sub>Sである。表-1.4.8の上部に記載したC<sub>3</sub>SとC<sub>2</sub>Sの水和反応化学式より、C<sub>3</sub>Sがすべて反応したときに生成するCSHの重量は $53\text{g}\times 342.5/456.6=39.8\text{g}$ で、C<sub>2</sub>Sがすべて反応したときに生成するCSHの重量は $29\text{g}\times 342.5/344.6=28.8\text{g}$ となり、CSH総重量は68.6g、CSHの比重は2.71より総体積は25.3mlとなる。25.3/82.3は約31%である。

ここで、溶脱によって消失する可能性のある水和生成物等を

- i) 溶脱によって消失するのはCa(OH)<sub>2</sub>のみ
- ii) 溶脱によってCa(OH)<sub>2</sub>およびCSH中のCaOもCa(OH)<sub>2</sub>の形で消失
- iii) 上記に加え、物理的ゲル水も消失
- iv) アルミナ系の化合物からもCaOがCa(OH)<sub>2</sub>の形で消失

(つまり、セメント硬化体中のすべてのCaOがCa(OH)<sub>2</sub>の形で消失)

の順で悲観的に考えると、ペーストの体積変化は次表のように計算される。

表-1.4.10 各仮定における各種ポルトランドセメントペースト中の空隙率算定結果 (体積%)  
(水セメント比50%)

仮定	セメント種類				解 説
	普通	ビーライト 1	ビーライト 2	中庸熱	
i)	37.6	33.6	30.8	37.3	表-1.4.9 Ca(OH) <sub>2</sub> 値+毛細管水12%+空隙8%
ii)	62.1	63.2	63.1	63.4	仮定 i)算定分+表-1.4.9CSH値×0.789 (0.789はCSH中のCa(OH) <sub>2</sub> としての体積分率)
iii)	80.1	81.2	81.1	81.4	仮定 ii)算定分+ゲル水18%
iv)	88.1	87.7	87.3	88.3	仮定 iii)算定分+表-1.4.9その他値×0.6 (0.6は他の生成物中のCa(OH) <sub>2</sub> みかけ体積分率)

これより、もっとも緩やかな(楽観的な)仮定であるCa(OH)<sub>2</sub>のみの溶出・溶脱(仮定 i))を想定した場合にはビーライトセメントと普通・中庸熱ポルトランドセメント間に有意な差が算定されるが、CSHからの溶出・溶脱を想定するとCa(OH)<sub>2</sub>生成量が少ないというビーライトセメントの特徴がなくなり、セメント種類間に有意な差は算定されなくなる。また、最も悲観的に考えた場合は、ペースト部の90%近くの体積変化量となる。

### ③ 各種混合セメント

次に、同様の手順によって各種混合セメントの体積変化の算定を試みる。しかし、混和材の水和反応機構には未だ解明されていないことが多く、また化学組成の制御がセメントほど厳密に行われていないことから、これを量論的に扱うことは大変難しい。

主な混合セメント種類としては、

高炉セメント

フライアッシュセメント

## シリカセメント

が挙げられるが、シリカセメントに用いられるポゾランの組成は種類によって特に大きく変動するので今回は算定の対象とはしなかった。

また、高炉セメント、フライアッシュセメントについても代表的な組成のものについてのみ算定した。

### a.高炉セメント

高炉スラグは、 $\text{Ca(OH)}_2$ 等のアルカリを刺激剤として消費することが特徴である。したがって、混合比率が大きくなるに伴いクリンカーの反応から供給される $\text{Ca(OH)}_2$ の消費量も大きくなり、全体としての反応生成物組成も変化する。スラグの含有量は20%（A種）、45%（B種）、60%（C種）の3種について算定した。また水セメント比も50%に固定した。

スラグの反応による主要生成物はCSHであり、セメントクリンカー単体の反応の場合と似通っていることから、ポルトランドセメントに対して使用した以下の仮定をそのまま拡張適用することとした。

- 1) セメントが完全に水和すると重量で25%の水を化学的に結合する。
- 2) 化学的に結合した水の25%の体積が圧縮される。
- 3) セメントが完全に水和すると重量で15%の水をゲル水として物理的に結合させる。
- 4) その他の余剰な水分は毛細管水となる。
- 5) 3)で述べた圧縮分の容積減少は空隙となる。

算定に使用したスラグの化学組成を表-1.4.11に示す。

表-1.4.11 スラグの主な化学組成

	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$
重量%	33.7	14.4	41.7
モル比 (mol/100gスラグ)	0.56	0.14	0.74

スラグの反応の最大の特徴は、前述のアルカリの消費でありその傾向（消費量・消費効率）について数多くの報告<sup>7) 8) 9)</sup>があるが、ここでは、

「スラグは含有量の5%（重量）にあたる $\text{Ca(OH)}_2$ を刺激剤として消費する。」

という仮定を設けた。

Ca(OH)<sub>2</sub>の供給源はクリンカーの水和反応であり、この一部がスラグの含有量と上記の仮定に相当する分消費されることになる。また、スラグの反応生成物は低Ca/Si比のCSHとカルシウムアルミネート化合物の混合物となることが知られているが<sup>10) 11)</sup>、ここではその比率をモル比で4:1になると仮定した。

これはスラグからのCSHのCa/Si比を1、カルシウムアルミネートの形態をC<sub>4</sub>AH<sub>x</sub>と仮定した場合の化学組成からの当量比から求めた。これより、スラグ中のCaOのCSHおよびC<sub>4</sub>AH<sub>x</sub>への分配率は等しくなる。

これらより水和生成物組成を計算した結果を表-1.4.12に示す。

表-1.4.12 高炉セメント水和生成物量の体積比率 (%)

(水セメント比50%)

セメント種類	通常CSH	低Ca/Si CSH	遊離Ca(OH) <sub>2</sub>	その他
(普通ポルトランドセメント)	31.0	0	17.6	13.4
高炉A種(20%スラグ)	24.5	4.1	13.4	20.0
高炉B種(45%スラグ)	16.8	9.3	8.3	27.6
高炉C種(65%スラグ)	10.6	13.3	4.3	33.8

\* 普通ポルトランドセメントは参考

高炉セメントに対する溶脱によって消失する可能性のある水和生成物等を、

- i) 溶脱によって消失するのはCa(OH)<sub>2</sub>のみ
- ii) 溶脱によってCa(OH)<sub>2</sub>およびCSH (通常, 低Ca/Si比双方) 中のCaOもCa(OH)<sub>2</sub>の形で消失
- iii) 上記に加え, 物理的ゲル水も消失
- iv) アルミナ系の化合物からもCaOがCa(OH)<sub>2</sub>の形で消失

(つまり, セメント硬化体中のすべてのCaOがCa(OH)<sub>2</sub>の形で消失)

の順で悲観的に考えると, ペーストの体積変化は次表のように計算される。

表-1.4.13 各仮定における各種高炉セメントペースト中の空隙率算定結果（体積%）

（水セメント比50%）

仮定	セメント種類				解 説
	（普通ポルトランド）	高炉A 20%スラグ	高炉B 45%スラグ	高炉C 65%スラグ	
i)	37.6	33.4	28.3	24.3	表-1.4.12 Ca(OH) <sub>2</sub> 値+毛細管水12%+空隙8%
ii)	62.1	56.0	48.9	43.2	仮定 i)算定分+表-1.4.12CSH値（計）×0.789 （0.789はCSH中のCa(OH) <sub>2</sub> としての体積分率）
iii)	80.1	74.0	66.9	61.2	仮定 ii)算定分+ゲル水18%
iv)	88.1	86.0	83.5	81.5	仮定 iii)算定分+表-1.4.12その他値×0.6 （0.6は他生成物中のCa(OH) <sub>2</sub> みかけ体積分率）

\* 普通ポルトランドセメントは参考

これより、普通ポルトランドセメントに比較すると全ての仮定において溶出体積は減少し、スラグの含有率が大きくなるほど体積変化抑制効果が高くなり、スラグの高Al含有量およびアルカリ（遊離石灰）の消費効果が有意であると算定される。

#### b.フライアッシュセメント

フライアッシュセメントの反応はガラス化率や化学組成によって大きく変化するため<sup>12)</sup>、より複雑である。このため、溶出・溶脱による体積変化を算定するための反応系に関するいかなる仮定も、現状ではかなり大胆であると言わざるを得ない。

これを踏まえた上で、以下の反応系に関する仮定を設けた。

- ・フライアッシュは含有量の10%（重量）にあたるCa(OH)<sub>2</sub>をポズラン反応として消費する
- ・クリンカーの反応はフライアッシュと相互作用がなく独立である
- ・フライアッシュが元来含有するCaOと上記のクリンカーから供給されるCa(OH)<sub>2</sub>の和に対応して、Ca/Si比が1.5となるCSH系の水和物が生成する

Ca(OH)<sub>2</sub>消費量をスラグの場合の5%より大きな値としたのは、スラグが基本的には自



硬性を有してCa(OH)<sub>2</sub>は刺激剤として機能するのに対し、フライアッシュの場合はポゾラン反応としてより積極的にCa(OH)<sub>2</sub>を消費すると想定したためである。

スラグの場合と同じく、混合比率が大きくなるに伴いクリンカーの反応から供給されるCa(OH)<sub>2</sub>の消費量も大きくなり、全体としての反応生成物組成も変化する。フライアッシュの含有量7.5% (A種), 15% (B種), 25% (C種) の3種について算定した。

また、全体の量論的な仮定はポルトランドセメントについて設けたものと同じとした。

算定対象としたフライアッシュの化学組成を表-1.4.14に示す。

表-1.4.14 フライアッシュの化学組成

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO
重量%	52.0	27.0	5.0
モル比 (mol/100g <sup>73g</sup> )	0.87	0.26	0.09

表-1.4.14および前述の仮定から水和生成物量の体積比率 (水和生成物62%の内訳) を求めた結果を表-1.4.12に示す。

表-1.4.15 フライアッシュセメント水和生成物量の体積比率 (%)  
(水セメント比50%)

セメント種類	CSH	遊離 Ca(OH) <sub>2</sub>	その他
(普通ポルトランドセメント)	31.0	17.6	13.4
FA-A種 (7.5%-FA)	29.3	15.7	17.0
FA-B種 (15%-FA)	27.6	13.9	20.5
FA-C種 (25%-FA)	25.5	11.5	25.0

\*普通ポルトランドセメントは参考

フライアッシュセメントに対する溶脱によって消失する可能性のある水和生成物等を,

- i) 溶脱によって消失するのはCa(OH)<sub>2</sub>のみ
- ii) 溶脱によってCa(OH)<sub>2</sub>およびCSH中のCaOもCa(OH)<sub>2</sub>の形で消失
- iii) 上記に加え、物理的ゲル水も消失
- iv) アルミナ系の化合物からもCaOがCa(OH)<sub>2</sub>の形で消失  
(つまり、セメント硬化体中のすべてのCaOがCa(OH)<sub>2</sub>の形で消失)

の順で悲観的に考えると、ペーストの体積変化は次表のように計算される。

表-1.4.16 各仮定における各種フライアッシュセメントペースト中の空隙率算定結果 (体積%)  
(水セメント比50%)

仮定	セメント種類				解 説
	(普通ポルトランド)	FA-A種 7.5%FA	FA-B種 15%FA	FA-C種 25%FA	
i)	37.6	35.7	33.9	31.5	表-1.4.15 Ca(OH) <sub>2</sub> 値+毛細管水12%+空隙8%
ii)	62.1	58.8	55.7	51.5	仮定 i)算定分+表-1.4.15CSH値×0.789 (0.789はCSH中のCa(OH) <sub>2</sub> としての体積分率)
iii)	80.1	76.8	73.7	69.5	仮定 ii)算定分+ゲル水18%
iv)	88.1	87.0	85.0	84.5	仮定 iii)算定分+表-1.4.15その他値×0.6 (0.6は他生成物中のCa(OH) <sub>2</sub> みかけ体積分率)

\* 普通ポルトランドセメントは参考

これより、普通ポルトランドセメントに比較すると全ての仮定において溶出体積は減少し、フライアッシュの含有率が大きくなるほど体積変化抑制効果が高くなる。潜在的にはスラグよりもAIの高含有量およびアルカリ（遊離石灰）の消費効果、および不活性効果が大きい。しかしフライアッシュの場合は、現在の規準では含有量をさほど大きくできないため、みかけ上効果が小さくなってしまう。

以上フライアッシュについては特に仮定が多く、それらの信頼性についても不明であるので、この算定結果は予備的なものであることに留意されたい。

## (2) 体積変化解析

### (a) 検討の位置付け

#### ① 問題となる点

本研究で想定した処分システムは断面積 $100\text{m}^2\sim 600\text{m}^2$ 程度の空洞に廃棄体定置用コンクリートピットを設置し、その中にコンテナに収納された廃棄体を定置する。この場合コンクリートピット周辺にはベントナイトを設置することを前提とする。

廃棄体には有害空隙が存在するものがあり、超長期的には空隙が押しつぶされることが想定される。またアスファルト固化中の硝酸塩やセメント系固化材中の水和成分が溶出することも想定される。さらに、コンテナやコンクリートピット、充填モルタルといったセメント系材料からも水和成分が溶出すると想定される。その結果、図-1.4.12中の廃棄体及びコンテナ+コンクリートピット部分の体積が減少することになる。

内部の体積が減少すれば周辺のベントナイトはその性質上それに追従する形で膨潤することが予想される。体積減少量が多い場合には、周辺ベントナイトの膨張量が増大し、密度が低下する。その結果、透水係数が大きくなり、所定の止水機能がそこなわれる恐れがある。

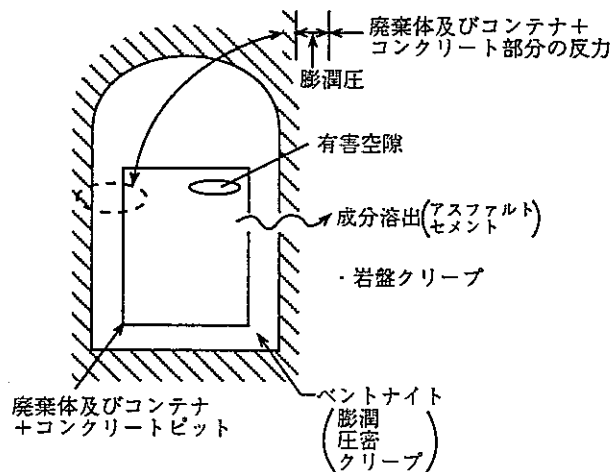


図-1.4.12 体積減少に係わる要因

#### ② ベントナイトの挙動

体積減少に対してベントナイトの健全性を評価するためにはベントナイトの挙動を正しく評価する必要がある。ベントナイトの挙動に関連する現象等を整理すると、

1. 廃棄体特性 (有害空隙量)
2. 廃棄体及びコンテナ+コンクリートピットの劣化現象 (成分溶出, 剛性低下, 強度低下)
3. ベントナイトの膨潤現象
4. ベントナイトの圧密現象
5. ベントナイトのクリープ現象

## 6.岩盤のクリープ現象

となる。

ベントナイトの挙動は以上の現象をそれぞれ連成させたモデルを構築すれば、解析することができる。

### ③ システム成立性の評価方法

②で列挙した現象を全て連成させたモデルが理想だが、現状では難しい解析である。よってここでは、廃棄体及びコンテナ+コンクリートピット部の体積減少は本研究で想定しているシステムに対して重大な影響を与えることが予想されることより、成立性を評価する目的でベントナイトの機能低下に焦点をあてた検討を行った。

#### a.方法1：簡易計算法による検討

この方法は、おおまかに密度低下と透水係数の関係を把握するために行い、廃棄体及びコンテナ+コンクリートピット部分の体積減少量がすべて均一に周囲ベントナイトに吸収されてしまうという考え方に基づいている。このため、変形に伴う局所的なベントナイト密度のバラツキは考慮していない。また、岩盤クリープは体積減少量を減らす方向に作用することが考えられるので無視した。

#### b.方法2：有限要素法による検討

方法1では体積減少量をすべてのベントナイトで一樣均一に吸収すると考えたが、部分的に体積減少が集中する場合、方法1では危険側の解析になることがある。そこで、この効果を評価するために体積減少量に場所的な変化をつけた解析を実施した。

### ④ 検討の位置付けのまとめ

以上のようにシステムの超長期に対する成立性を、②ベントナイトの挙動で挙げた1.廃棄体特性（有害空隙量）や2.廃棄体及びコンテナ+コンクリートピットの劣化現象（成分溶出、剛性低下、強度低下）に焦点をあてた検討を行う。

この検討については、周辺に設置したベントナイトの健全性の観点から検討を行い、解析方法としては、簡易計算法や有限要素法を用いて、最終変形状態でのベントナイトの止水機能について1つの評価を与えるものとする。

(b) 体積変化解析

(a)において述べたとおり検討は以下に示す2通りで行う。

- ・方法1：簡易計算法による検討
- ・方法2：有限要素法による検討

① 方法1：簡易計算法による検討

この方法では、廃棄体及びセメント系材料が、図-1.4.13に示すように4方向へ等しい変形が生じた場合についてのベントナイトの透水性の変化を、簡易計算法によって求める方法である。

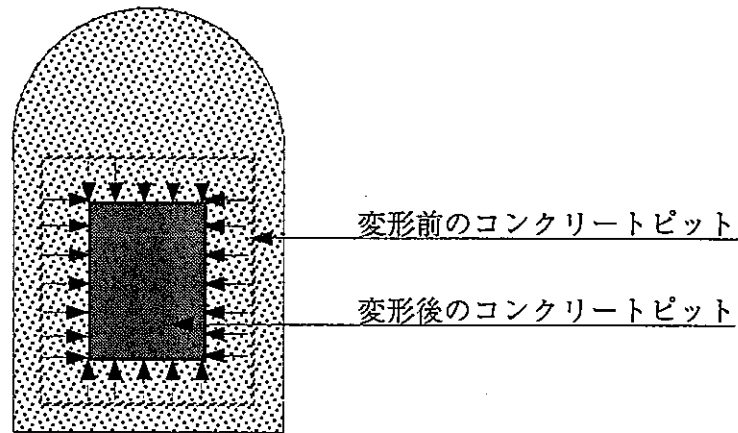


図-1.4.13 変形概念図

(i) 検討方法

1) ベントナイトの変形量

ベントナイトの変形量は、以下に記す2通りの方法により算定した。

- 廃棄体と全てのセメント系材料（コンテナ、充填モルタル、コンクリートピット）の体積変化を考慮した場合
  - コンクリートピットを鋼製ピットと仮定し、ピットの体積変化を考慮しない場合  
ここで各方法の考え方について示す。
- 廃棄体と全てのセメント系材料の体積変化を考慮した場合  
廃棄体の体積変化に加え、コンテナや充填モルタル、コンクリートピットなどのセメント系材料の成分溶出に伴う体積変化にも着目したものである。廃棄体空隙率は廃棄体1本あたり30, 20, 10, 0vol.%とする。一方、セメント系材料の体積変化率は(2)で述べた理由から、セメントペーストの40%が溶出する場合 ( $0.3 \times 0.4 \times 100 = 12 \text{vol.}\%$ ) と、セメントペーストの90%が溶出する場合 ( $0.3 \times 0.9 \times 100 = 27 \text{vol.}\%$ ) の2ケースとした。
  - ピットの体積変化を考慮しない場合  
a)の考え方と同様であるがコンクリートピットを鋼製ピットに置き換え、ピットが

らの成分溶出は考えない方法である。この場合は、廃棄体空隙率が30vol.%の場合のみとし、セメント系材料の成分溶出量は12vol.%と27vol.%の2ケースで検討を実施した。

## 2) 変形後のベントナイト密度の算定

変形後のベントナイト密度は(1.4.1)式を用いて計算する。

$$\rho = \frac{A_0}{A_1} \times \rho_0 \quad (1.4.1)$$

ここで、 $\rho$ ：変形後のベントナイトの密度(t/m<sup>3</sup>)  
 $A_0$ ：変形前のベントナイトの面積(m<sup>2</sup>)  
 $A_1$ ：変形後のベントナイトの面積(m<sup>2</sup>)  
 $\rho_0$ ：変形前のベントナイトの密度(=1.8t/m<sup>3</sup>)

なおサイロ方式に関しては(1.2.2)式を用いて計算を行う。

$$\rho = \frac{V_0}{V_1} \times \rho_0 \quad (1.4.2)$$

ここで、 $\rho$ ：変形後のベントナイトの密度(t/m<sup>3</sup>)  
 $V_0$ ：変形前のベントナイトの体積(m<sup>3</sup>)  
 $V_1$ ：変形後のベントナイトの体積(m<sup>3</sup>)  
 $\rho_0$ ：変形前のベントナイトの密度(=1.8t/m<sup>3</sup>)

## 3) 変形後のベントナイトの透水係数の算定

変形後のベントナイトの透水係数は、本研究で想定している体積変化が起こる時点では、ベントナイトのCa化が予想されるため、これまでに実施したCa型化クニゲルV1における乾燥密度と透水係数の関係から推定する。

図-1.4.14に示すこれまでの試験結果から、乾燥密度と透水係数の対数が概ね線形関係にあることが明らかとなっている。これらのデータを基に最小自乗法により回帰直線式を求めると、(1.4.3)式の様になる。

$$k_{wi} = 6.58 \times 10^{-4.38 \rho d - 6} \quad (1.4.3)$$

ここに、 $k_{wi}$ ：変形後の透水係数(m/sec)  
 $\rho d$ ：変形後の乾燥密度(t/m<sup>3</sup>)

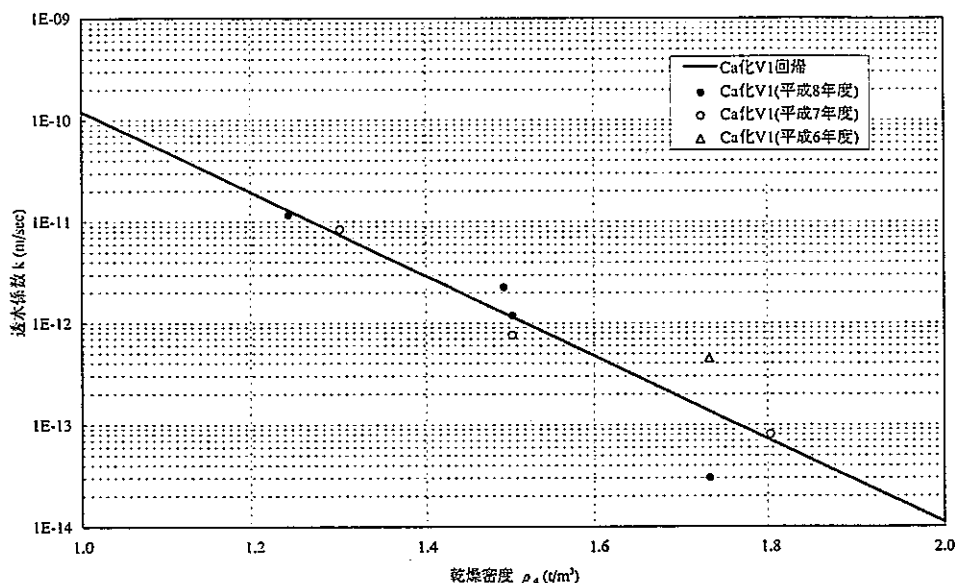


図-1.4.14 Ca型化クニゲルV1における乾燥密度と透水係数の関係

(ii) 検討条件

対象とする処分空洞は大断面岩洞方式、小断面岩洞方式、坑道方式、サイロ方式である。図-1.3.10～図-1.3.13より、表-1.4.17に検討条件を示す。表-1.4.17に示した体積の内、大断面・小断面岩洞方式と坑道方式に関しては、奥行き1.51m（廃棄体コンテナ長さ）あたりの体積である。また、サイロ方式の体積はサイロ1基あたりの体積を示している。

表-1.4.17 検討条件

	大断面岩洞方式	小断面岩洞方式	坑道方式	サイロ方式
空洞断面積(m <sup>2</sup> )	657.1	313.4	93.7	—
ピット内面積(m <sup>2</sup> )	409.4	166.4	36.6	—
ベントナイト部面積(m <sup>2</sup> )	247.7	147.0	57.1	—
キャスター体積(m <sup>3</sup> /1個)	0.195 (φ430×H1343mm)			
廃棄体本数(本)	432	189	54	3,240
廃棄体体積(m <sup>3</sup> )	84.2	36.9	10.5	631.8
ピット内部総体積(m <sup>3</sup> )	736.9	299.5	65.9	7,633.8
セメント系材料体積(m <sup>3</sup> )	652.7	262.6	55.4	7,002.0
ベントナイト部体積(m <sup>3</sup> )	—	—	—	5,077.7
ピット体積(m <sup>3</sup> )	—	—	—	2,119.9

注) 廃棄体本数及び各種体積の値は大断面岩洞、小断面岩洞、坑道方式は奥行き1.8mあたり（コンテナ1個奥行き）、サイロ方式はサイロ1基あたりの値を示す。ピット内部総体積は、ピット自身の体積も含む。

(iii) 検討結果

1) 廃棄体と全てのセメント系材料の体積変化を考慮した場合

・大断面岩洞方式，廃棄体空隙率30vol.%，セメント系材料空隙率12vol.%の場合  
計算手順を以下に示す。

廃棄体空隙量  $84.2 \times 0.3 = 25.3 \text{m}^3$

セメント系材料空隙量  $652.7 \times 0.12 \div 78.3 \text{m}^3$

換算空隙率  $(25.3 + 78.3) / 736.9 \times 100 \div 14.1\%$

変形後のピットの面積  $409.4 \times (1 - 0.141) \div 351.7 \text{m}^2$

総変形量  $\sqrt{409.40} - \sqrt{351.70} = 1.48 \text{m}$

変形量  $1.48 / 2 = 0.74 \text{m}$

変形後のベントナイトの面積  $247.7 + 409.4 \times 0.141 \div 305.4 \text{m}^2$

変形後のベントナイトの密度  $247.7 / 305.4 \times 1.8 \div 1.46 \text{t/m}^3$

変形後のベントナイトの透水係数  $6.58 \times 10^{-4.38} \times 1.46^{-6} \div 2.65 \times 10^{-12}$

上述した考え方で大断面岩洞方式，小断面岩洞方式，坑道方式，サイロ方式の場合  
について，廃棄体空隙率0～30vol.%，セメント系材料空隙率12vol.%，27vol.%の場合  
の総計32ケースについての計算結果を表-1.4.18～表-1.4.21に示す。

表-1.4.18 検討結果（廃棄体空隙率0%の場合）

	セメント系材料12vol.%				セメント系材料27vol.%			
	大断面 岩洞	小断面 岩洞	坑道	サイロ	大断面 岩洞	小断面 岩洞	坑道	サイロ
変形量(cm)	55.1	34.9	15.7	46.6	129.1	81.5	36.5	110.8
密度 (t/m <sup>3</sup> )	1.53	1.61	1.69	1.54	1.29	1.42	1.57	1.31
透水係数 (m/sec)	1.31 ×10 <sup>-12</sup>	5.84 ×10 <sup>-13</sup>	2.61 ×10 <sup>-13</sup>	1.18 ×10 <sup>-12</sup>	1.47 ×10 <sup>-11</sup>	3.97 ×10 <sup>-12</sup>	8.74 ×10 <sup>-13</sup>	1.21 ×10 <sup>-11</sup>

表-1.4.19 検討結果（廃棄体空隙率10%の場合）

	セメント系材料12vol.%				セメント系材料27vol.%			
	大断面 岩洞	小断面 岩洞	坑道	サイロ	大断面 岩洞	小断面 岩洞	坑道	サイロ
変形量(cm)	61.6	39.2	18.3	50.2	136.2	90.5	39.3	114.9
密度 (t/m <sup>3</sup> )	1.51	1.59	1.67	1.53	1.27	1.39	1.56	1.29
透水係数 (m/sec)	1.60 ×10 <sup>-12</sup>	7.15 ×10 <sup>-13</sup>	3.19 ×10 <sup>-13</sup>	1.31 ×10 <sup>-12</sup>	1.80 ×10 <sup>-11</sup>	5.37 ×10 <sup>-12</sup>	9.67 ×10 <sup>-13</sup>	1.47 ×10 <sup>-11</sup>



表-1.4.20 検討結果 (廃棄体空隙率20%の場合)

	セメント系材料12vol.%				セメント系材料27vol.%			
	大断面 岩洞	小断面 岩洞	坑道	サイロ	大断面 岩洞	小断面 岩洞	坑道	サイロ
変形量(cm)	67.5	43.3	20.5	54.2	142.6	90.5	42.2	118.9
密度 (t/m <sup>3</sup> )	1.48	1.57	1.66	1.51	1.26	1.39	1.54	1.29
透水係数 (m/sec)	2.17 ×10 <sup>-12</sup>	8.74 ×10 <sup>-13</sup>	3.53 ×10 <sup>-13</sup>	1.60 ×10 <sup>-12</sup>	1.99 ×10 <sup>-11</sup>	5.37 ×10 <sup>-12</sup>	1.18 ×10 <sup>-12</sup>	1.47 ×10 <sup>-11</sup>

表-1.4.21 検討結果 (廃棄体空隙率30%の場合)

	セメント系材料12vol.%				セメント系材料27vol.%			
	大断面 岩洞	小断面 岩洞	坑道	サイロ	大断面 岩洞	小断面 岩洞	坑道	サイロ
変形量(cm)	74.0	47.5	23.7	57.8	149.1	95.4	45.1	122.9
密度 (t/m <sup>3</sup> )	1.46	1.55	1.64	1.50	1.24	1.37	1.53	1.28
透水係数 (m/sec)	2.65 ×10 <sup>-12</sup>	1.07 ×10 <sup>-12</sup>	4.32 ×10 <sup>-13</sup>	1.77 ×10 <sup>-12</sup>	2.44 ×10 <sup>-11</sup>	6.57 ×10 <sup>-12</sup>	1.31 ×10 <sup>-12</sup>	1.63 ×10 <sup>-11</sup>

2) ピットの体積変化を考慮しない場合

1)の考え方と同様に計算した結果を表-1.4.22に示す。先にも記したとおり、このケースは廃棄体空隙率を30vol.%の場合のみ検討を行う。

表-1.4.22 検討結果 (ピットの体積変化を考慮しない場合, 廃棄体空隙率30vol.%)

	セメント系材料12vol.%				セメント系材料27vol.%			
	大断面 岩洞	小断面 岩洞	坑道	サイロ	大断面 岩洞	小断面 岩洞	坑道	サイロ
変形量(cm)	58.9	39.2	17.4	43.2	113.1	74.7	30.9	86.8
密度 (t/m <sup>3</sup> )	1.52	1.59	1.62	1.56	1.33	1.44	1.60	1.39
透水係数 (m/sec)	1.45 ×10 <sup>-12</sup>	7.15 ×10 <sup>-13</sup>	5.28 ×10 <sup>-13</sup>	9.67 ×10 <sup>-13</sup>	9.84 ×10 <sup>-12</sup>	3.24 ×10 <sup>-12</sup>	6.46 ×10 <sup>-13</sup>	5.37 ×10 <sup>-12</sup>

以上の検討結果をまとめると、大断面岩洞方式とサイロ方式については、変形量が比較的大きく、ベントナイトの膨張量が増大することで密度が低下し、その結果、透水係数が大きくなり、止水機能を低下させる結果となっている。さらに廃棄体空隙率の増加によって、透水係数はさらに大きい値となっている。ただし、ピットの体積変化を考慮しない場合は、比較的小さい値となっている。これより特に大断面岩洞方式とサイロ方式の場合には、ベントナイトの止水機能からシステムの成立性に影響しないか検討する必要がある。

## ② 方法2：有限要素法による検討

ここでは、以下の点に着目して有限要素法による解析を行う。図-1.4.15に検討フローを示す。

### ・ひずみ分布に着目した解析

①で検討したような4方向の均等な変形を考えた場合、隅角部は2方向の変形が生じ、辺中央部より密度低下が大きいのが、考慮されていなかった。これを考慮するため有限要素法により部分毎の変形（ひずみ）分布を算定し、さらに透水係数分布を推定する。

### ・変形パターンを考慮した解析

①では上下左右の変形のみについて検討を行ったが、現状考える範囲でパラメータスタディーを行う。

## a.前提条件

以下に解析にあたっての条件を示す。

### 1) 空洞断面は変化しない

岩盤クリープは方法1と同様体積減少量を減らす方向に作用するので考慮していない。また、再冠水に伴い岩盤にはベントナイトの膨潤圧が作用するが、せいぜい1~5Mpaであり、岩盤強度と比較して小さいこと。また、岩盤とベントナイトの剛性を比較すると当然前者の方が大きいことを考慮して空洞断面は変化しないとした。

### 2) ベントナイトは膨潤して内部の変形に追随すると共に岩盤面から離れない

廃棄体及びコンテナ+コンクリートピット部分の体積減少が起こり、ベントナイトが膨潤するとき、ベントナイトとコンクリートピット及び岩盤の接触面は、滑動したり離れる可能性がある。しかし、ベントナイトとコンクリートピット及び岩盤の境界面を固定した場合、ベントナイトには境界面での滑りを考慮した解析より大きな体積ひずみが生じることは明らかである。

このため、保守的な解析となると考えられる。

### 3) 自重や廃棄体等重量は考慮しない

本解析がベントナイトに生じる応力を問題にしているのではなく、あくまでも形状変化に起因する体積ひずみを問題にしているので考慮しなかった。重量を考慮した場合は重力は下向きに作用するのでベントナイトは必ずしまる傾向にある。すなわち、本解析の方が保守的な解析となると考えられる。

### 4) ベントナイトの圧密・クリープは考慮しない

3)と同様に体積ひずみに注目しているために考慮しなかった。また、考慮した場合、3)と同様にベントナイトはしまる方向にあるので本解析が保守的な解析となると考えられる。なお、コンクリートピット下側の圧密沈下量は断面岩洞で1cm以下と計算されている。

### 5) 金属の腐食膨張を無視した

超長期的には腐食膨張量は体積減少に比較して少ないと考えられる。また、膨張はベントナイトがしまる方向の現象なので考慮しなかった。

### 6) ベントナイトを弾性体と仮定した

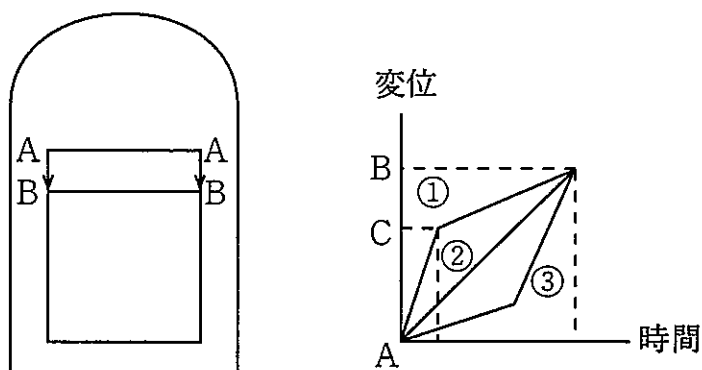


図-1.4.15 体積ひずみ分布図

内部がA→Bに変化した場合、もし、ベントナイトを弾性体と仮定すれば、B状態における体積ひずみ分布はA→Bの変化経路によらず同一である。すなわち、上右図で①、②、③いずれかの経路を通して変化しても最終の体積ひずみ分布は同一である。一方、非弾性体であれば、①、②、③の経路に応じて、最終的に異なったひずみ分布が生じる。

解析の目的が最終的なシステムの成立性についての目安をもとめることであるので最終的な体積ひずみ量が体積変化量の経時変化に依存しないよう、ベントナイトを弾性体として取り扱った。

弾性体と仮定することは、例えば右上図中C状態で生じた体積ひずみは保存され、C→B間ではC状態で生じているひずみにさらにB→C間で生じるひずみが加

算される。しかし、実際の現象は超長期間を経て生じるものであるので、いったん生じた体積ひずみも均一化される傾向があることが予想される。このことを考えると弾性体と取り扱えば保守的な解析になっているとも言える。

#### b.解析方法

解析は、前述のとおり、変形を考慮する辺に強制変位を与えることにより、弾性体としてのベントナイト挙動をシミュレートする。

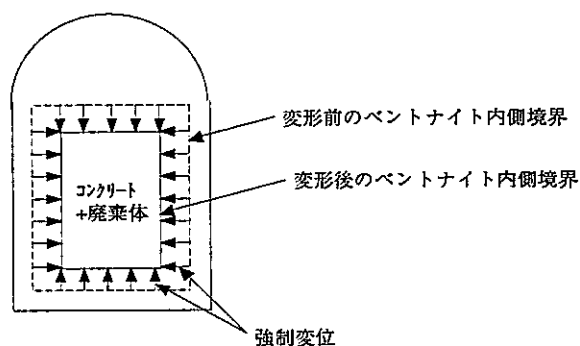


図-1.4.16 検討概念図 (4辺変形の場合)

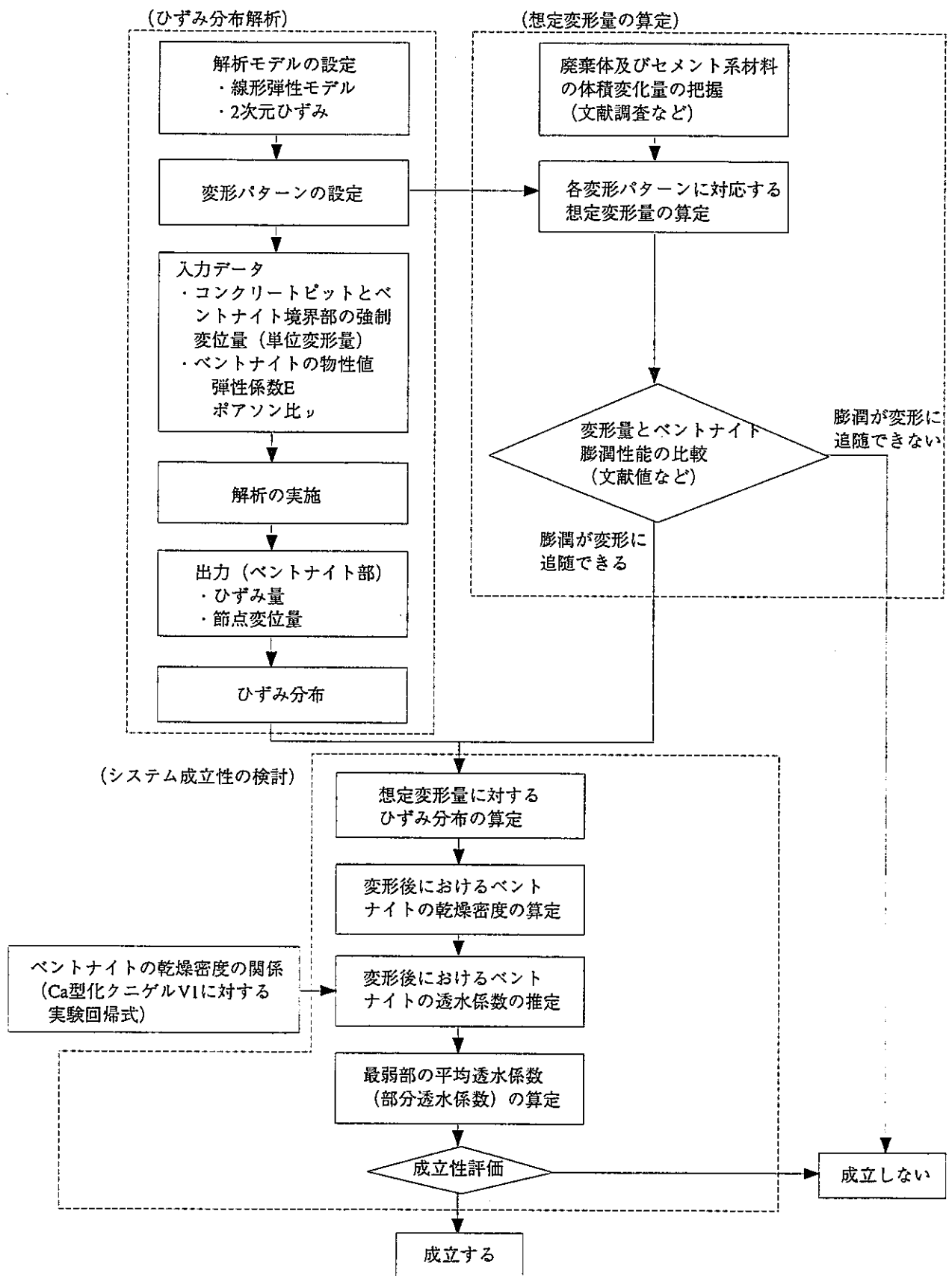


図-1.4.17 検討フロー

### c.解析条件

- 1) 解析手法：有限要素法による2次元鉛直断面弾性解析
- 2) 解析コード：GEOTECHS（鹿島建設所有コード）
- 3) 解析モデル：図-1.4.18に解析モデル図を示す。ベントナイト部のみを平板要素でモデル化する。岩盤部及びコンクリートピット内部は、後述する境界条件として定義する。

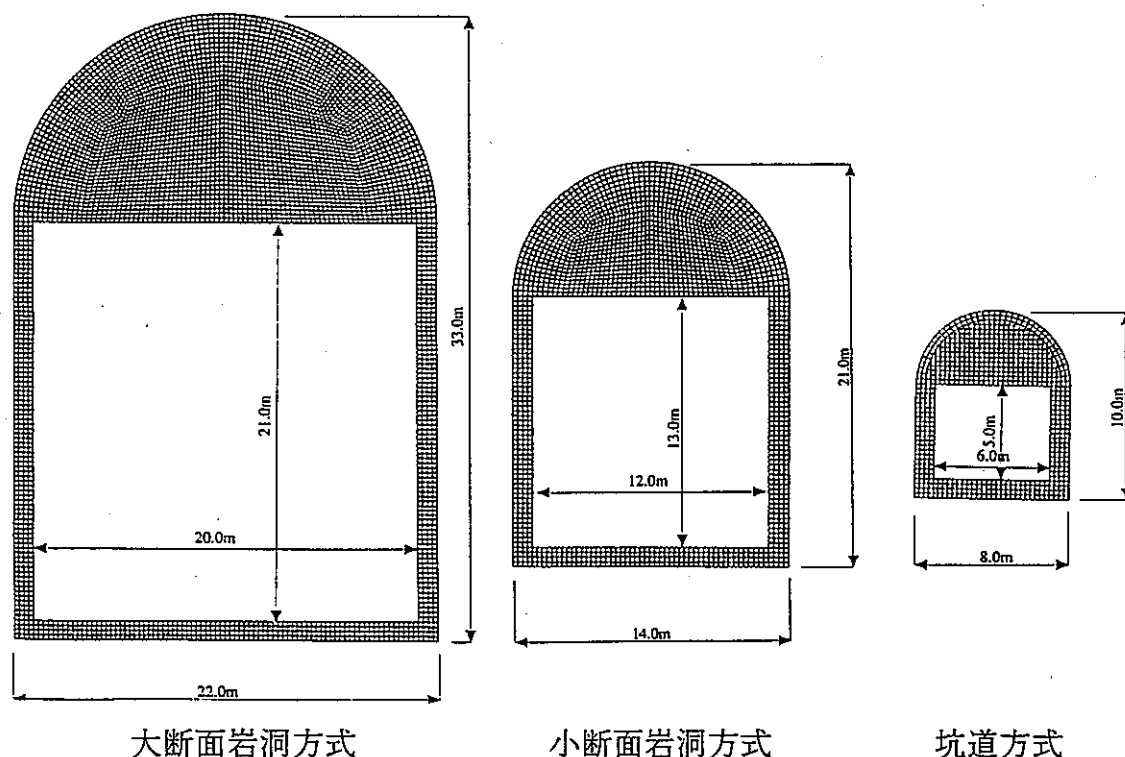
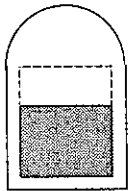
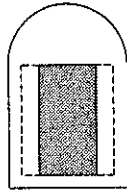
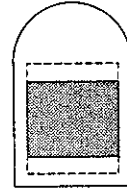
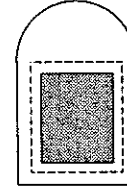
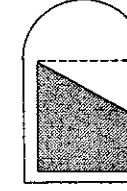


図-1.4.18 解析モデル図

### 4) 変形パターンと解析ケース

廃棄体の体積変化及びセメント系材料の成分溶出に起因するピットの変形過程及び変形後の形状については、廃棄体、セメント系材料、ベントナイトのそれぞれの経時的な挙動が複雑に絡み合うため、現時点で定量的もしくは定性的に予測することは困難である。そこで、本検討では幾何学的に考えられる変形パターンで解析を行うこととした。変形パターンは、方法1の検討において考慮した4方向均等変形の他に、コンクリートピット内は基本的に左右対称であること、重力の影響で上から下への変形が卓越すると考えられることから、表-1.4.23に示す5パターンを設定した。なお、左右2方向+上1方向の3方向に変形するパターンが考えられるが、左右及び上下2方向による変形の方が厳しくなるため、ここでは省略した。

表-1.4.23 変形パターンと解析ケース

変形パターン	パターン1	パターン2	パターン3	パターン4	パターン5
					
	上1方向	左右2方向	上下2方向	4方向	上1方向傾斜
大断面岩洞方式	○	○	○	○	○
小断面岩洞方式	○	○	○	○	○
坑道方式	○	○	○	○	○

5) 境界条件

境界条件を表-1.4.24に示す。

表-1.4.24 境界条件

	外側境界 (岩盤部)	内側境界 (変形を考慮しない辺)	
		水平方向の辺	鉛直方向の辺
水平方向	固定	フリー	固定
鉛直方向	固定	固定	フリー
回転	固定	フリー	フリー

6) 強制変位量

解析上、変形を考慮する辺に与える強制変位量は、弾性解析であることから単位変形量(mm)とする。そして、体積変化により想定される変形に対するひずみ量は、単位変形量から求められるひずみ量に想定される変形量と単位変形量の比を乗ずることにより算定する。

また、単位変形量は、各パターンの相関関係が把握できるようにパターン1において1mmとし、他のパターンにおいてはパターン1と体積変化量が同等となる強制変位量を与える。表-1.4.25に各解析ケースにおける強制変位量を示す。

表-1.4.25 各解析ケースにおける強制変位量

	パターン1	パターン2	パターン3	パターン4	パターン5
大断面岩洞方式	1mm	0.476mm	0.5mm	0.247mm	2mm
小断面岩洞方式	1mm	0.462mm	0.5mm	0.245mm	2mm
坑道方式	1mm	0.6mm	0.5mm	0.288mm	2mm

## 7) 物性値

解析に用いる物性値は、ベントナイトのみである。乾燥密度 $1.8\text{g/cm}^3$ 、飽和度100%のベントナイトを用いることとする。ただし、Ca型化ベントナイトに対する強度定数が得られていないため、H3レポート8)を参考にクニゲルV1に関する定数を用いる。

弾性係数  $E=70\text{MPa}$

ポアソン比  $\nu=0.4$

## d. 解析結果

有限要素法解析を、c.で示した条件で実施した。表-1.4.26～表-1.4.28に解析によって得られたひずみ分布図を示す。また、解析により生じた最大ひずみの値も併せて示す。凡例で示したように、赤色に近づくにしながら大きな引張ひずみが生じている。逆に青色に近づくにしながら大きな圧縮ひずみが生じている。



表-1.4.26 ひずみ分布図 (大断面岩洞方式)

		パターン1	パターン2	パターン3	パターン4	パターン5																					
変形パターン																											
	解析結果																										
	最大ひずみ	$-5.00 \times 10^{-4}$	$4.89 \times 10^{-4}$	$5.13 \times 10^{-4}$	$2.52 \times 10^{-4}$	$-9.58 \times 10^{-4}$																					
備考	<p>変形パターンの体積変化量は各パターンで一定</p> <p>ひずみ分布凡例</p> <table border="0"> <tr> <td style="background-color: #cccccc; width: 10px; height: 10px;"></td> <td>5.0000E-4</td> <td>引張</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #cccccc; width: 10px; height: 10px;"></td> <td>3.3333E-4</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="background-color: #cccccc; width: 10px; height: 10px;"></td> <td>1.6667E-4</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="background-color: #cccccc; width: 10px; height: 10px;"></td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="background-color: #cccccc; width: 10px; height: 10px;"></td> <td>-1.6667E-4</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="background-color: #cccccc; width: 10px; height: 10px;"></td> <td>-3.3333E-4</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="background-color: #cccccc; width: 10px; height: 10px;"></td> <td>-5.0000E-4</td> <td>圧縮</td> </tr> </table>							5.0000E-4	引張		3.3333E-4			1.6667E-4			0			-1.6667E-4			-3.3333E-4			-5.0000E-4	圧縮
	5.0000E-4	引張																									
	3.3333E-4																										
	1.6667E-4																										
	0																										
	-1.6667E-4																										
	-3.3333E-4																										
	-5.0000E-4	圧縮																									

表-1.4.27 ひずみ分布図 (小断面岩洞方式)

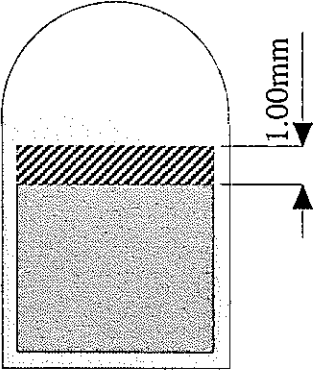
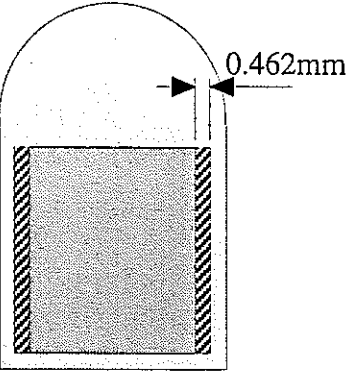
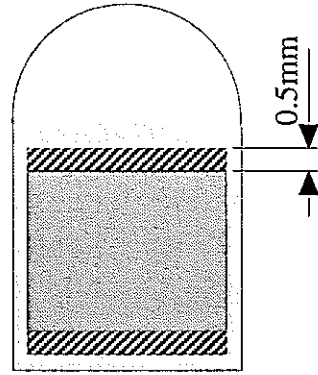
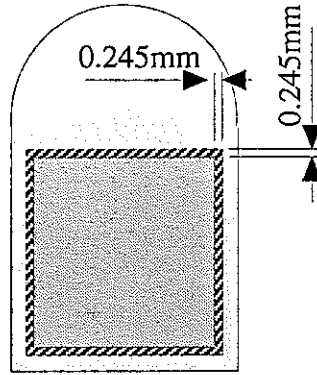
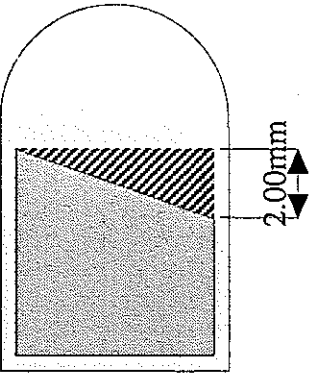
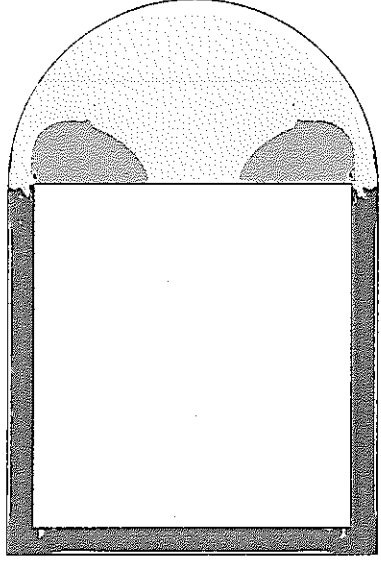
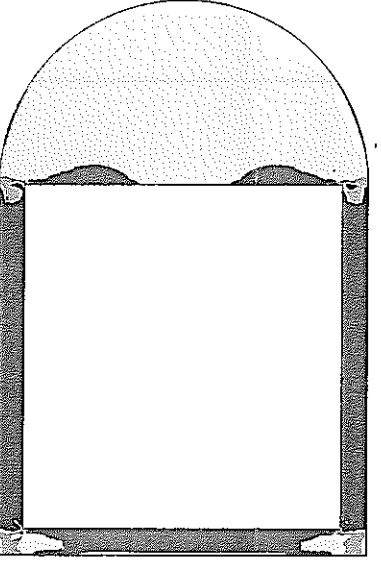
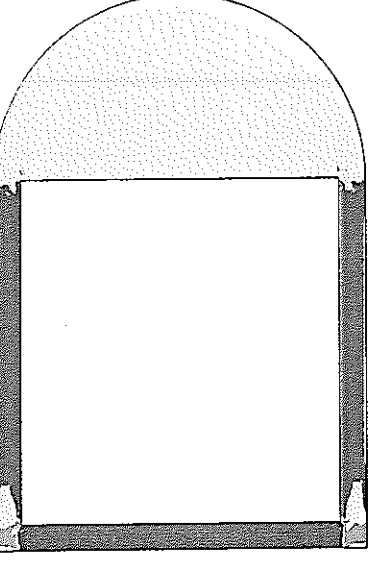
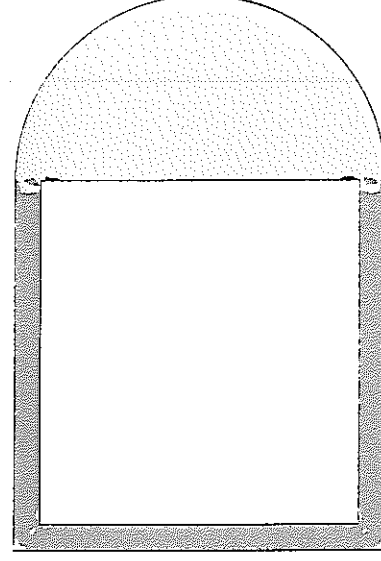
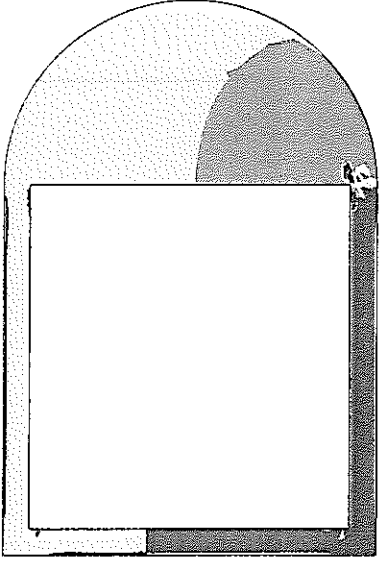
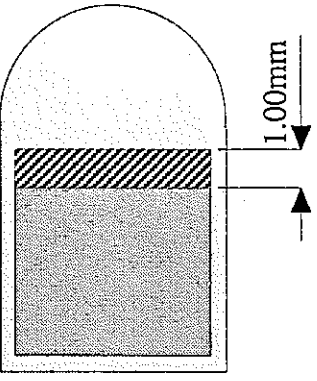
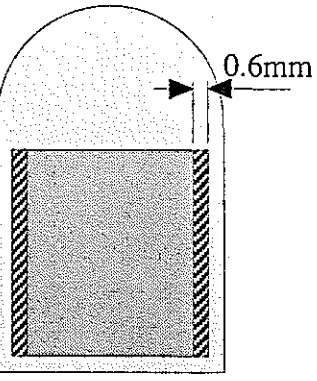
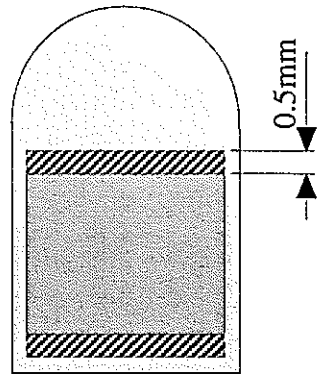
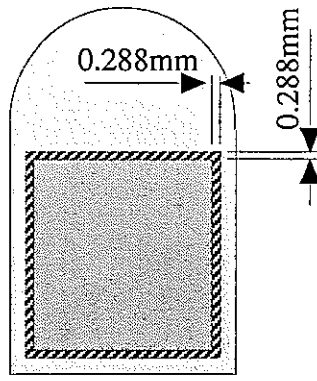
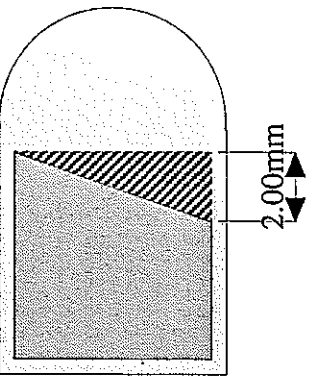
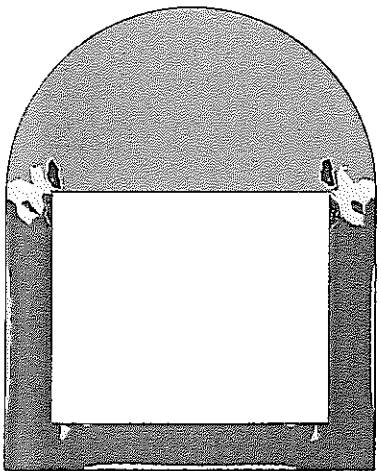
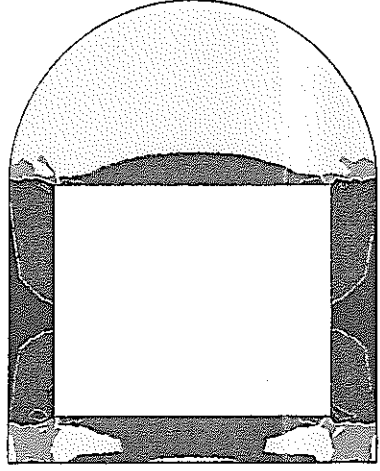
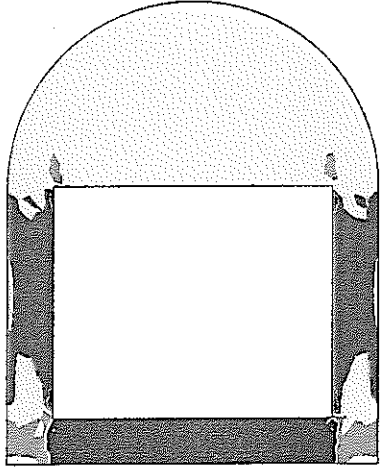
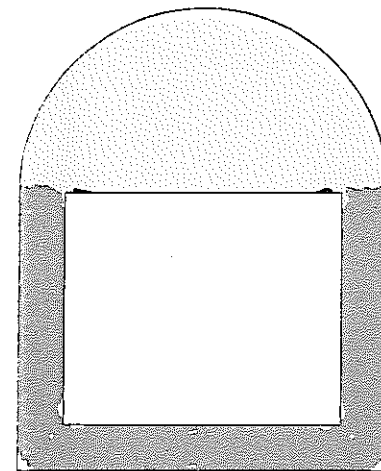
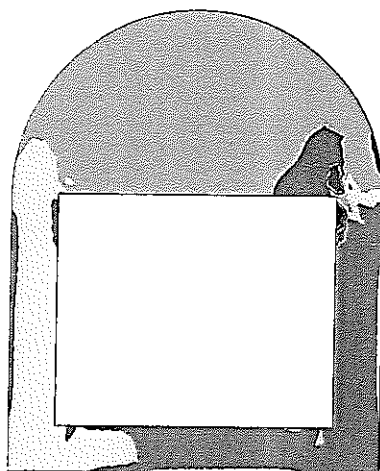
		パターン1	パターン2	パターン3	パターン4	パターン5																
変形パターン																						
解析結果	ひずみ分布																					
	最大ひずみ	$-5.33 \times 10^{-4}$	$4.73 \times 10^{-4}$	$5.13 \times 10^{-4}$	$2.48 \times 10^{-4}$	$-10.00 \times 10^{-4}$																
備考		<p>変形パターンの体積変化量は各パターンで一定</p> <p>ひずみ分布凡例</p> <table border="0"> <tr> <td style="width: 10px; height: 10px; background-color: #cccccc;"></td> <td>5.0000E-4</td> <td rowspan="5" style="vertical-align: middle;">引張</td> </tr> <tr> <td style="width: 10px; height: 10px; background-color: #999999;"></td> <td>3.3333E-4</td> </tr> <tr> <td style="width: 10px; height: 10px; background-color: #666666;"></td> <td>1.6667E-4</td> </tr> <tr> <td style="width: 10px; height: 10px; background-color: #333333;"></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td style="width: 10px; height: 10px; background-color: #000000;"></td> <td>-1.6667E-4</td> </tr> <tr> <td style="width: 10px; height: 10px; background-color: #333333;"></td> <td>-3.3333E-4</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">圧縮</td> </tr> <tr> <td style="width: 10px; height: 10px; background-color: #666666;"></td> <td>-5.0000E-4</td> </tr> </table>						5.0000E-4	引張		3.3333E-4		1.6667E-4		0		-1.6667E-4		-3.3333E-4	圧縮		-5.0000E-4
	5.0000E-4	引張																				
	3.3333E-4																					
	1.6667E-4																					
	0																					
	-1.6667E-4																					
	-3.3333E-4	圧縮																				
	-5.0000E-4																					

表-1.4.28 ひずみ分布図 (坑道方式)

		パターン1	パターン2	パターン3	パターン4	パターン5																					
変形パターン																											
解析結果	ひずみ分布																										
	最大ひずみ	$-5.98 \times 10^{-4}$	$5.94 \times 10^{-4}$	$5.05 \times 10^{-4}$	$2.79 \times 10^{-4}$	$-10.89 \times 10^{-4}$																					
備考		<p>変形パターンの体積変化量は各パターンで一定</p> <p>ひずみ分布凡例</p> <table border="0"> <tr> <td style="background-color: #cccccc; width: 10px;"></td> <td>5.0000E-4</td> <td>引張</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #999999; width: 10px;"></td> <td>3.3333E-4</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="background-color: #666666; width: 10px;"></td> <td>1.6667E-4</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="background-color: #333333; width: 10px;"></td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="background-color: #000000; width: 10px;"></td> <td>-1.6667E-4</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="background-color: #333333; width: 10px;"></td> <td>-3.3333E-4</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="background-color: #666666; width: 10px;"></td> <td>-5.0000E-4</td> <td>圧縮</td> </tr> </table>						5.0000E-4	引張		3.3333E-4			1.6667E-4			0			-1.6667E-4			-3.3333E-4			-5.0000E-4	圧縮
	5.0000E-4	引張																									
	3.3333E-4																										
	1.6667E-4																										
	0																										
	-1.6667E-4																										
	-3.3333E-4																										
	-5.0000E-4	圧縮																									

## e. 透水係数の推定

### 1) ひずみの算定

ひずみは基本的に体積ひずみであるが、解析が2次元平面ひずみ問題（Z方向のひずみは生じない）を対象としているため、各要素の面積変化として捉えることができる。したがって、 $\epsilon_i = \Delta S_i / S_i$ で表現される。

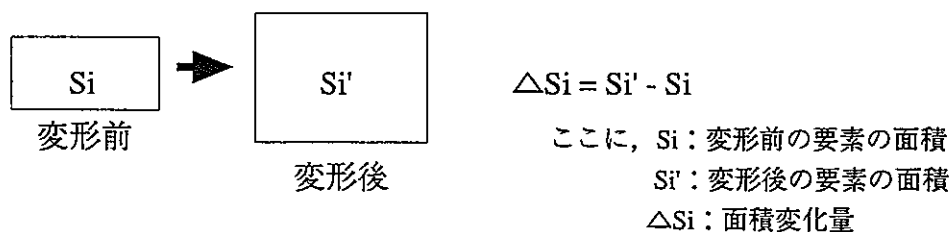


図-1.4.19 ひずみの概念図

また、文献調査などから明らかとされる処分場で想定すべき変形量に対するひずみ量は、想定される変形量と強制変位量の比を乗ずることにより算定する。

想定される変形量は①の簡易計算法による検討で算定された表-1.4.18～表-1.4.22に示す変形量（ただしサイロ方式は除く）を用いることとする。したがって、この検討においても空隙率をパラメータとし、廃棄体空隙率は30, 20, 10, 0vol.%、の4ケース、セメント系材料の空隙率は12, 27vol.%の2ケースの計8ケースを大断面岩洞方式、小断面岩洞方式、坑道方式にて検討を行う。

### 2) 変形後の乾燥密度の算定

各要素における変形後の乾燥密度は、(1.4.4)式により算定される。

$$\rho_i = \frac{\rho_{0i}}{(1 + \epsilon_i)} \quad (1.4.4)$$

ここに、 $\rho_i$ ：変形後の乾燥密度(g/cm<sup>3</sup>)  
 $\rho_{0i}$ ：変形前の乾燥密度(g/cm<sup>3</sup>)  
 $\epsilon_i$ ：ひずみ

### 3) 変形後のペントナイトの透水係数の算定

①の検討と同様に(1.4.3)式を用いて透水係数の算定を行う。

$$k_{wi} = 6.58 \times 10^{-4.38 \rho_i - 6}$$

ここに、 $k_{wi}$ ：変形後の透水係数(m/sec)  
 $\rho_i$ ：変形後の乾燥密度(g/cm<sup>3</sup>)

4) 成立性評価に適用する透水係数

成立性評価に適用する透水係数は、各要素における変形後の透水係数を基に以下に記す3種類の考え方ができる。

- ① 推定された各要素の透水係数の内、最大の値を評価する。
- ② 推定された透水係数分布から最弱経路を探索し、その経路における平均透水係数（部分透水係数と称する）を評価に適用する。
- ③ システム全体を一つの系と考え、全体の平均透水係数を評価に適用する。

本年度の検討においては、昨年度の検討より保守的かつ合理的な検討を行うことを念頭に、②による部分透水係数を成立性評価に適用する。

以下では、部分透水係数の考え方について記す。

図-1.4.20に示すような異なった透水係数を有する層で構成された全体の平均透水係数は、各層における流量の連続条件が満足されるとすれば、次式によって表現される。透水係数分布が離散的に求めれば、(1.4.5)式を用いて最弱経路に沿った部分透水係数を求めることが可能である。

$$\bar{k}_w = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{x_1/k_1 + x_2/k_2 + \dots + x_n/k_n} \quad (1.4.5)$$

$\bar{k}_w$ ：第1層～第n層の平均透水係数

$k_i$ ：第i層の透水係数

$x_i$ ：第i層の層厚

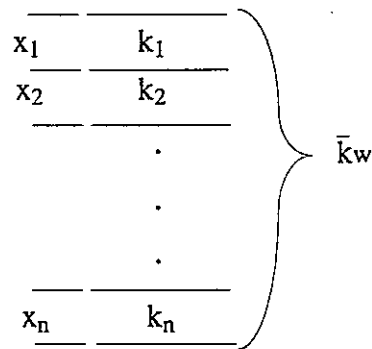


図-1.4.20 平均透水係数の概念図

#### f. システム成立性の評価

ベントナイトに要求される最重要機能として、人工バリア内の物質移行を拡散支配にすることが挙げられる。このことから、変形後の透水係数によって拡散場を維持できるか否かをシステム成立性の評価基準とする。

場が、拡散支配であるか、あるいは移流支配であるかの指標としてペクレ数を用いて判断した。

##### 1) 判断方法

人工バリア内の物質移行を拡散支配にする透水係数を圧縮ベントナイトが確保すべき透水係数とする。ここでは、(1.4.6)式に示すペクレ数(Pe)と呼ばれる移流効果と拡散効果との比で表される無次元数にて判断することとする。すなわちペクレ数が1より大きくなると移流支配、1より小さくなると拡散支配である。

$$Pe = \frac{v \cdot L}{De} \quad (1.4.6)$$

ここで、 $v$ ：ダルシー流速[L/T] =  $k \cdot i$   
 $k$ ：透水係数[L/T]  
 $i$ ：動水勾配[-]  
 $L$ ：代表長さ[L]  
 $De$ ：核種の実効拡散係数[L<sup>2</sup>/T]

ここでは、Peが1となるベントナイトの透水係数を算出した。代表長さについては、処分空洞の直径を想定して10及び30mとした。圧縮ベントナイト中の核種の実効拡散係数については、廃棄物中に含まれている核種の中で最も大きな実効拡散係数を示すCsのものを使用し、 $3 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$ とした。結果を以下に示す。

動水勾配 [-]	代表長さ [m]	Peが1となる圧縮ベントナイト の透水係数[m/s]	圧縮ベントナイトの透水係数 目標値[m/s]
0.05	10	$6 \times 10^{-10}$	$6 \times 10^{-11}$
	30	$2 \times 10^{-10}$	$2 \times 10^{-11}$

ここに示した値は、Peが1となる圧縮ベントナイトの透水係数であり、人工バリア内の物質移行を完全に拡散支配にするには、この値より一桁小さな値にすべきと考えることから $10^{-11} \text{m}/\text{sec}$ 程度を目標値とする。

## 2) 部分透水係数と成立性評価

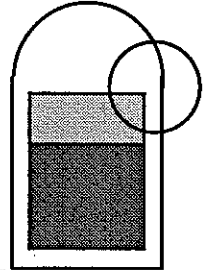
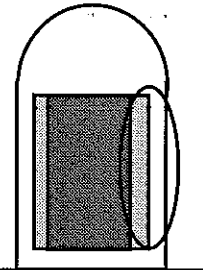
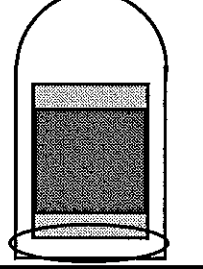
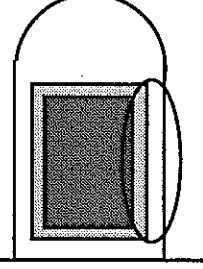
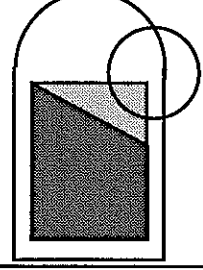
表-1.4.29～表-1.4.36に解析結果から算定した部分透水係数を示す。廃棄体空隙率が、表-1.4.29と1.4.30は30%、表-1.4.31と1.4.32は20%、表-1.4.33と1.4.34は10%、表-1.4.35と1.4.36が0%の場合をそれぞれ示している。併せて①の簡易計算法で得られた透水係数の値についても記す。また廃棄体空隙率30%の場合の表-1.4.29と1.4.30には、ピットを鋼製ピットと仮定した場合の透水係数の値も括弧書きで併記した。

透水係数が最大となる要素が存在するのは、パターン1及びパターン5では右上隅角部、パターン2及びパターン4では側部、パターン3では底部である。したがってその部分での最弱経路を求め、部分透水係数を算定した。なお、表中の網掛け部分は1)で目標値とした透水係数の値 $10^{-11}$ m/sec以下を満足しているものである。

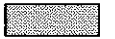
表-1.4.29～1.4.36の透水係数の算定結果より、場合によっては各形式において要求される透水係数を上回る結果となっているが、非現実的とならない範囲でベントナイト厚を増すことにより目標値が確保できると思われる。



表-1.4.29 部分透水係数 (その1-1: 廃棄体空隙率30%, セメント系材料空隙率12%の場合)

		大断面岩洞方式	小断面岩洞方式	坑道方式	サイロ方式
方法 1	ベントナイトの密度を平均化した考え方	$3 \times 10^{-12}$ ( $1 \times 10^{-12}$ )	$1 \times 10^{-12}$ ( $7 \times 10^{-13}$ )	$4 \times 10^{-13}$ ( $5 \times 10^{-13}$ )	$2 \times 10^{-12}$ ( $1 \times 10^{-12}$ )
方法 2	パターン1 	$1 \times 10^{-11}$	$8 \times 10^{-12}$	$2 \times 10^{-12}$	—
	パターン2 	$4 \times 10^{-9}$	$4 \times 10^{-10}$	$2 \times 10^{-11}$	—
	パターン3 	$5 \times 10^{-9}$	$6 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-11}$	—
	パターン4 	$2 \times 10^{-10}$	$3 \times 10^{-11}$	$2 \times 10^{-12}$	—
	パターン5 	$3 \times 10^{-11}$	$3 \times 10^{-11}$	$5 \times 10^{-12}$	—

廃棄体の有害空隙を体積の30%, コンクリートからの成分溶出量を体積の12%とした場合

 : ベントナイト内側が拡散場になる。透水係数が $10^{-11}$ オーダー以下

(単位: m/sec)

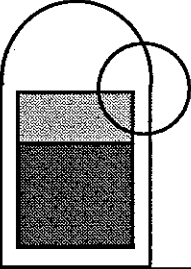
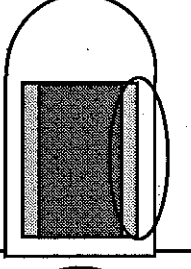
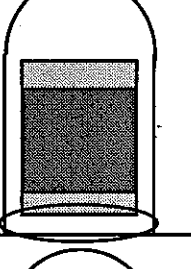
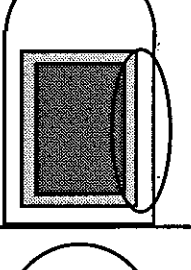
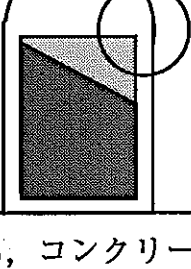
方法1: 密度  $\rho = \frac{\text{ベントナイト変形前の面積} \times \rho_0}{\text{ベントナイト変形前の面積} + \text{廃棄体} \cdot \text{セメント系材料の変形分の面積}}$ , ベントナイト密度  $\rho_0 = 1.8 \text{g/cm}^3$ , 透水係数  $k = 6.58 \times 10^{-4.38 \rho - 6}$

方法2: 密度  $\rho = 1 \times \rho_0 / (1 + \varepsilon)$ , ベントナイト密度  $\rho_0 = 1.8 \text{g/cm}^3$ , 透水係数  $k = 6.58 \times 10^{-4.38 \rho - 6}$


図中の○印の部分で透水係数を評価



表-1.4.30 部分透水係数 (その1-2: 廃棄体空隙率30%, セメント系材料空隙率27%の場合)

		大断面岩洞方式	小断面岩洞方式	坑道方式	サイロ方式
方法 1	ベントナイトの密度を平均化した考え方	$2 \times 10^{-11}$ ( $1 \times 10^{-11}$ )	$7 \times 10^{-12}$ ( $3 \times 10^{-12}$ )	$1 \times 10^{-12}$ ( $6 \times 10^{-13}$ )	$2 \times 10^{-11}$ ( $5 \times 10^{-12}$ )
方法 2	パターン1 	$2 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-11}$	—
	パターン2 	$6 \times 10^{-8}$	$9 \times 10^{-9}$	$3 \times 10^{-10}$	—
	パターン3 	$7 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-8}$	$2 \times 10^{-10}$	—
	パターン4 	$4 \times 10^{-9}$	$5 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-11}$	—
	パターン5 	$5 \times 10^{-10}$	$6 \times 10^{-10}$	$4 \times 10^{-11}$	—

廃棄体の有害空隙を体積の30%, コンクリートからの成分溶出量を体積の27%とした場合

 : ベントナイト内側が拡散場になる。透水係数が $10^{-11}$ オーダー以下

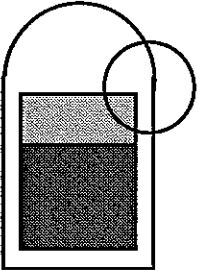
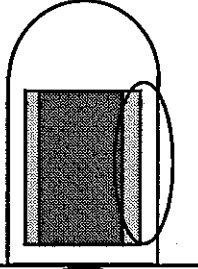
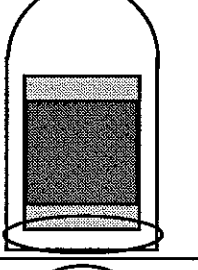
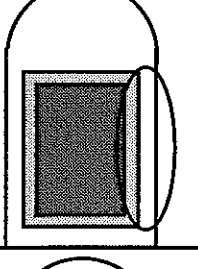
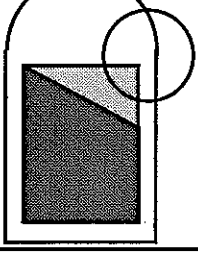
(単位: m/sec)

方法1: 密度  $\rho = \text{ベントナイト変形前の面積} \times \rho_0 / (\text{ベントナイト変形前の面積} + \text{廃棄体} \cdot \text{セメント系材料の変形分の面積})$ , ベントナイト密度  $\rho_0 = 1.8 \text{g/cm}^3$ , 透水係数  $k = 6.58 \times 10^{-4.38} \rho^{-6}$


方法2: 密度  $\rho = 1 \times \rho_0 / (1 + \epsilon)$ , ベントナイト密度  $\rho_0 = 1.8 \text{g/cm}^3$ , 透水係数  $k = 6.58 \times 10^{-4.38} \rho^{-6}$

図中の ○ 印の部分で透水係数を評価

表-1.4.31 部分透水係数 (その2-1: 廃棄体空隙率20%, セメント系材料空隙率12%の場合)

		大断面岩洞方式	小断面岩洞方式	坑道方式	サイロ方式
方法 1	ベントナイトの密度を平均化した考え方	$2 \times 10^{-12}$	$9 \times 10^{-13}$	$4 \times 10^{-13}$	$2 \times 10^{-12}$
方法 2	パターン1 	$9 \times 10^{-12}$	$6 \times 10^{-12}$	$1 \times 10^{-12}$	—
	パターン2 	$2 \times 10^{-9}$	$3 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-11}$	—
	パターン3 	$3 \times 10^{-9}$	$4 \times 10^{-10}$	$7 \times 10^{-12}$	—
	パターン4 	$1 \times 10^{-10}$	$2 \times 10^{-11}$	$1 \times 10^{-12}$	—
	パターン5 	$2 \times 10^{-11}$	$2 \times 10^{-11}$	$3 \times 10^{-12}$	—

廃棄体の有害空隙を体積の20%, コンクリートからの成分溶出量を体積の12%とした場合

 : ベントナイト内側が拡散場になる。透水係数が $10^{-11}$ 以下

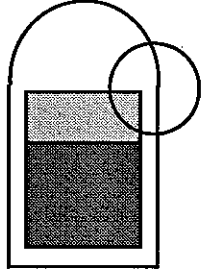
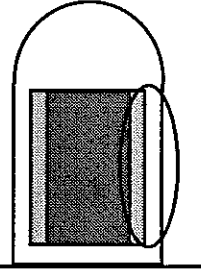
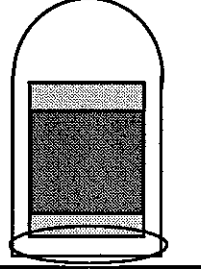
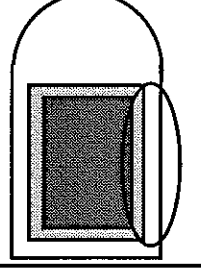
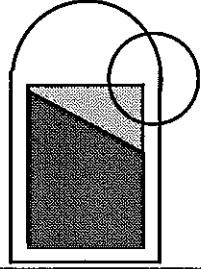
(単位: m/sec)


方法1: 密度  $\rho = \frac{\text{ベントナイト変形前の面積} \times \rho_0}{\text{ベントナイト変形前の面積} + \text{廃棄体} \cdot \text{セメント系材料の変形分の面積}}$ , ベントナイト密度  $\rho_0 = 1.8 \text{g/cm}^3$ , 透水係数  $k = 6.58 \times 10^{-4.38 \rho - 6}$

方法2: 密度  $\rho = 1 \times \rho_0 / (1 + \epsilon)$ , ベントナイト密度  $\rho_0 = 1.8 \text{g/cm}^3$ , 透水係数  $k = 6.58 \times 10^{-4.38 \rho - 6}$

図中の○印の部分で透水係数を評価

表-1.4.32 部分透水係数 (その2-2: 廃棄体空隙率20%, セメント系材料空隙率27%の場合)

		大断面岩洞方式	小断面岩洞方式	坑道方式	サイロ方式
方法 1	ベントナイトの密度を平均化した考え方	$2 \times 10^{-11}$	$5 \times 10^{-12}$	$1 \times 10^{-12}$	$1 \times 10^{-11}$
方法 2	パターン1 	$2 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-11}$	—
	パターン2 	$5 \times 10^{-8}$	$7 \times 10^{-9}$	$2 \times 10^{-10}$	—
	パターン3 	$6 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-10}$	—
	パターン4 	$3 \times 10^{-9}$	$4 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-11}$	—
	パターン5 	$4 \times 10^{-10}$	$5 \times 10^{-10}$	$3 \times 10^{-11}$	—

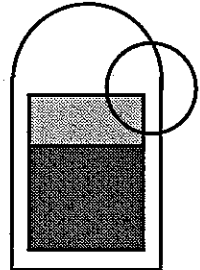
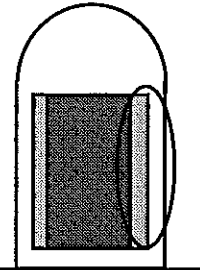
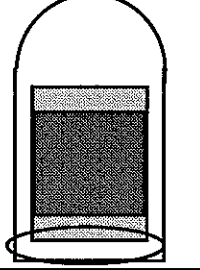
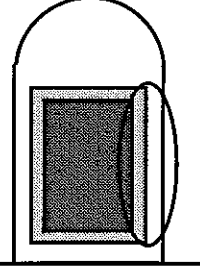
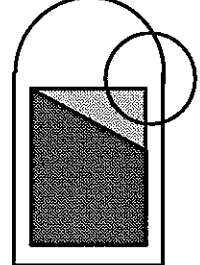
廃棄体の有害空隙を体積の20%, コンクリートからの成分溶出量を体積の27%とした場合  : ベントナイト内側が拡散場になる。透水係数が $10^{-11}$ 以下  
 方法1: 密度  $\rho = \frac{\text{ベントナイト変形前の面積} \times \rho_0}{\text{ベントナイト変形前の面積} + \text{廃棄体・セメント系材料の変形分の面積}}$ , ベントナイト密度  $\rho_0 = 1.8 \text{g/cm}^3$ , 透水係数  $k = 6.58 \times 10^{-4.38} \rho^{-6}$   
 方法2: 密度  $\rho = 1 \times \rho_0 / (1 + \epsilon)$ , ベントナイト密度  $\rho_0 = 1.8 \text{g/cm}^3$ , 透水係数  $k = 6.58 \times 10^{-4.38} \rho^{-6}$

図中の ○印の部分で透水係数を評価


(単位: m/sec)



表-1.4.33 部分透水係数 (その3-1: 廃棄体空隙率10%, セメント系材料空隙率12%の場合)

		大断面岩洞方式	小断面岩洞方式	坑道方式	サイロ方式
方法 1	ベントナイトの密度を平均化した考え方	$2 \times 10^{-12}$	$7 \times 10^{-13}$	$3 \times 10^{-13}$	$1 \times 10^{-12}$
方法 2	パターン1 	$7 \times 10^{-12}$	$5 \times 10^{-12}$	$1 \times 10^{-12}$	—
	パターン2 	$2 \times 10^{-9}$	$2 \times 10^{-10}$	$7 \times 10^{-12}$	—
	パターン3 	$2 \times 10^{-9}$	$3 \times 10^{-10}$	$5 \times 10^{-12}$	—
	パターン4 	$8 \times 10^{-11}$	$1 \times 10^{-11}$	$1 \times 10^{-12}$	—
	パターン5 	$1 \times 10^{-11}$	$1 \times 10^{-11}$	$2 \times 10^{-12}$	—

廃棄体の有害空隙を体積の10%, コンクリートからの成分溶出量を体積の12%とした場合

 : ベントナイト内側が拡散場になる。透水係数が $10^{-11}$ オーダー以下

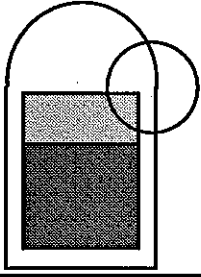
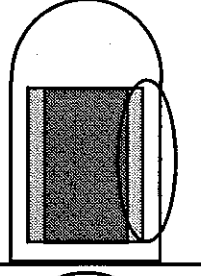
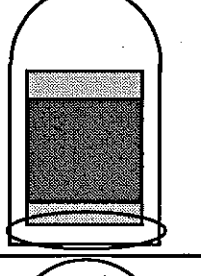
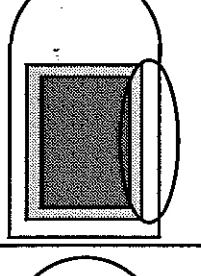
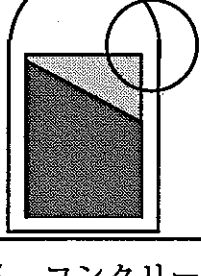
(単位: m/sec)


方法1: 密度  $\rho = \frac{\text{ベントナイト変形前の面積} \times \rho_0}{\text{ベントナイト変形前の面積} + \text{廃棄体} \cdot \text{セメント系材料の変形分の面積}}$ , ベントナイト密度  $\rho_0 = 1.8 \text{g/cm}^3$ , 透水係数  $k = 6.58 \times 10^{-4.38 \rho - 6}$

方法2: 密度  $\rho = 1 \times \rho_0 / (1 + \epsilon)$ , ベントナイト密度  $\rho_0 = 1.8 \text{g/cm}^3$ , 透水係数  $k = 6.58 \times 10^{-4.38 \rho - 6}$

図中の ○印の部分で透水係数を評価

表-1.4.34 部分透水係数 (その3-2: 廃棄体空隙率10%, セメント系材料空隙率27%の場合)

		大断面岩洞方式	小断面岩洞方式	坑道方式	サイロ方式
方法 1	ベントナイトの密度を平均化した考え方	$2 \times 10^{-11}$	$5 \times 10^{-12}$	$1 \times 10^{-12}$	$1 \times 10^{-11}$
方法 2	パターン1 	$1 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-10}$	$8 \times 10^{-12}$	—
	パターン2 	$4 \times 10^{-8}$	$7 \times 10^{-9}$	$1 \times 10^{-10}$	—
	パターン3 	$5 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-8}$	$9 \times 10^{-11}$	—
	パターン4 	$3 \times 10^{-9}$	$4 \times 10^{-10}$	$8 \times 10^{-12}$	—
	パターン5 	$3 \times 10^{-10}$	$5 \times 10^{-10}$	$3 \times 10^{-11}$	—

廃棄体の有害空隙を体積の10%, コンクリートからの成分溶出量を体積の27%とした場合  : ベントナイト内側が拡散場になる。透水係数が $10^{-11}$ 以下

(単位: m/sec)

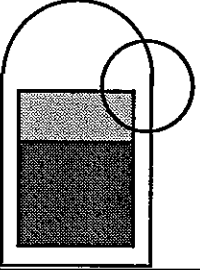
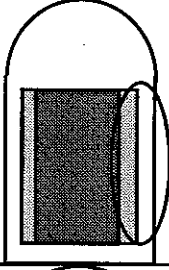
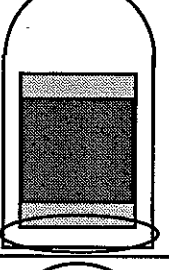
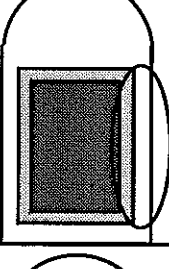
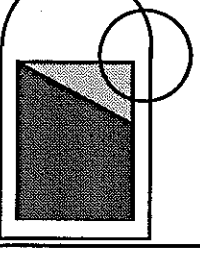
方法1: 密度  $\rho = \frac{\text{ベントナイト変形前の面積} \times \rho_0}{\text{ベントナイト変形前の面積} + \text{廃棄体} \cdot \text{セメント系材料の変形分の面積}}$ , ベントナイト密度  $\rho_0 = 1.8 \text{g/cm}^3$ , 透水係数  $k = 6.58 \times 10^{-4.38 \rho - 6}$

方法2: 密度  $\rho = 1 \times \rho_0 / (1 + \epsilon)$ , ベントナイト密度  $\rho_0 = 1.8 \text{g/cm}^3$ , 透水係数  $k = 6.58 \times 10^{-4.38 \rho - 6}$


図中の○印の部分で透水係数を評価



表-1.4.35 部分透水係数 (その4-1: 廃棄体空隙率0%, セメント系材料空隙率12%の場合)

		大断面岩洞方式	小断面岩洞方式	坑道方式	サイロ方式
方法 1	ベントナイトの密度を平均化した考え方	$1 \times 10^{-12}$	$6 \times 10^{-13}$	$3 \times 10^{-13}$	$1 \times 10^{-12}$
方法 2	パターン1 	$5 \times 10^{-12}$	$3 \times 10^{-12}$	$8 \times 10^{-13}$	—
	パターン2 	$1 \times 10^{-9}$	$1 \times 10^{-10}$	$4 \times 10^{-12}$	—
	パターン3 	$1 \times 10^{-9}$	$1 \times 10^{-10}$	$3 \times 10^{-12}$	—
	パターン4 	$5 \times 10^{-11}$	$8 \times 10^{-12}$	$7 \times 10^{-13}$	—
	パターン5 	$1 \times 10^{-11}$	$1 \times 10^{-11}$	$2 \times 10^{-12}$	—

廃棄体の有害空隙を体積の0%, コンクリートからの成分溶出量を体積の12%とした場合

 ベントナイト内側が拡散場になる。透水係数が $10^{-11}$ 以下

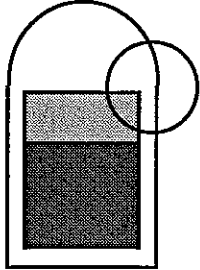
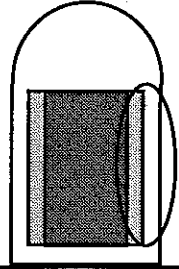
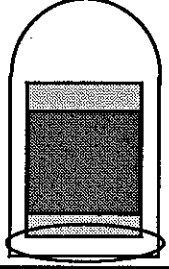
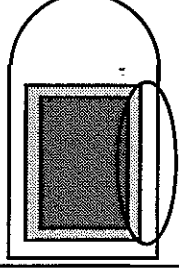
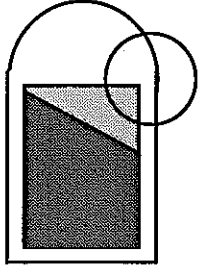
(単位: m/sec)

方法1: 密度  $\rho = \frac{\text{ベントナイト変形前の面積} \times \rho_0}{\text{ベントナイト変形前の面積} + \text{廃棄体} \cdot \text{セメント系材料の変形分の面積}}$ , ベントナイト密度  $\rho_0 = 1.8 \text{g/cm}^3$ , 透水係数  $k = 6.58 \times 10^{-4.38} \rho^{-6}$


方法2: 密度  $\rho = 1 \times \rho_0 / (1 + \epsilon)$ , ベントナイト密度  $\rho_0 = 1.8 \text{g/cm}^3$ , 透水係数  $k = 6.58 \times 10^{-4.38} \rho^{-6}$

図中の○印の部分で透水係数を評価

表-1.4.36 部分透水係数 (その4-2: 廃棄体空隙率0%, セメント系材料空隙率27%の場合)

		大断面岩洞方式	小断面岩洞方式	坑道方式	サイロ方式
方法1	ベントナイトの密度を平均化した考え方	$1 \times 10^{-11}$	$4 \times 10^{-12}$	$9 \times 10^{-13}$	$1 \times 10^{-11}$
方法2	パターン1 	$1 \times 10^{-10}$	$6 \times 10^{-11}$	$6 \times 10^{-12}$	—
	パターン2 	$4 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-9}$	$1 \times 10^{-10}$	—
	パターン3 	$4 \times 10^{-8}$	$7 \times 10^{-9}$	$6 \times 10^{-11}$	—
	パターン4 	$2 \times 10^{-9}$	$3 \times 10^{-10}$	$7 \times 10^{-12}$	—
	パターン5 	$3 \times 10^{-10}$	$3 \times 10^{-10}$	$2 \times 10^{-11}$	—

廃棄体の有害空隙を体積の0%, コンクリートからの成分溶出量を体積の27%とした場合

: ベントナイト内側が拡散場になる。透水係数が $10^{-11}$ 以下

(単位: m/sec)

方法1: 密度  $\rho = \text{ベントナイト変形前の面積} \times \rho_0 / (\text{ベントナイト変形前の面積} + \text{廃棄体・セメント系材料の変形分の面積})$ , ベントナイト密度  $\rho_0 = 1.8 \text{g/cm}^3$ , 透水係数  $k = 6.58 \times 10^{-4.38 \rho - 6}$

方法2: 密度  $\rho = 1 \times \rho_0 / (1 + \epsilon)$ , ベントナイト密度  $\rho_0 = 1.8 \text{g/cm}^3$ , 透水係数  $k = 6.58 \times 10^{-4.38 \rho - 6}$

図中の○印の部分で透水係数を評価

### (c) 解析の確認実験の提案

前提条件で仮定した体積変化解析に関する妥当性を確認するために、自己シール性試験を実施することを提案する。その試験を行いシステムの成立性を確認した上で、解析の高度化及び大型の室内試験を実施し、より定量的な評価を加える。

#### ① 提案内容

廃棄体とコンクリート部の体積減少に応じて、周囲のベントナイトは、膨潤するが、膨潤の仕方には次の2ケースがあると予想される。

ケース1：体積減少の原因が廃棄体の有害空隙や成分溶出によって形成された空隙による場合は、ベントナイトは空隙を埋める形で膨潤する。

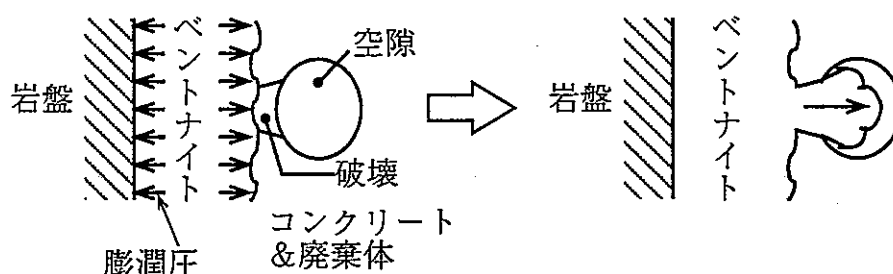


図-1.4.21 膨潤の仕方 (ケース1)

ケース2：体積減少の原因がアスファルト固化体中にアスファルトと練り混ぜられた硝酸塩やセメント成分の溶出によるものであり、体積減少が溶出に伴い非常にゆっくりと徐々に起こる場合は、ベントナイトは内側のコンクリートピットに接した形で膨潤する。

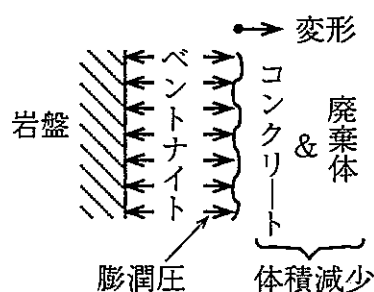


図-1.4.22 膨潤の仕方 (ケース2)

膨潤圧が長期間に渡って、維持されるのであれば、廃棄体とコンクリートのどのような変形に対してもベントナイトは追随していくはずである。

ここで問題となるのは

①急激な体積変化つまりベントナイトに接した位置に空隙ができた場合、空隙を膨潤現象により埋める挙動を示すか？

②長期間に渡るゆっくりとした体積変化に対しては膨潤特性の限界まで追随するか？

である。そこで、その両者を確認するためにケース1による試験の実施を提案する。



## ② ベントナイト系材料の自己シール性確認試験

### (i) 試験目的

人工バリア材のうち、緩衝材（ベントナイト系）は、廃棄体の中でハルエンドピースに有害空隙が存在すること、及びアスファルト固化材料・セメント固化体の廃棄体やセメント系材料からの成分溶出に伴う空隙の発生による長期的な体積変化が予測される。

本試験は、空隙による緩衝材であるベントナイトが膨潤変化することによる自己シール状況の把握と、止水性能の確認、及び体積変化後の緩衝材の密度分布変化を調べることを目的とする。

### (ii) 試験概要

試験概要のフローを図-1.4.23に示す。

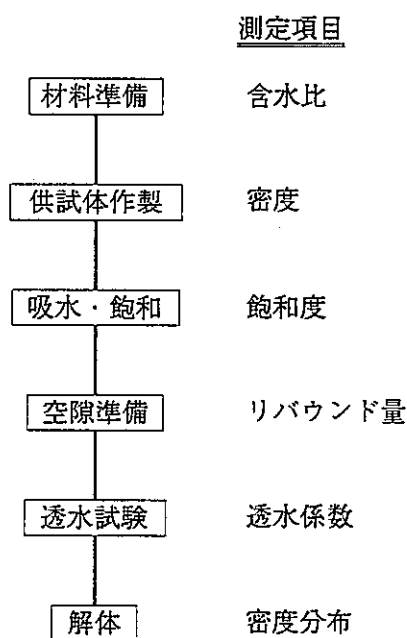


図-1.4.23 実験概要フロー

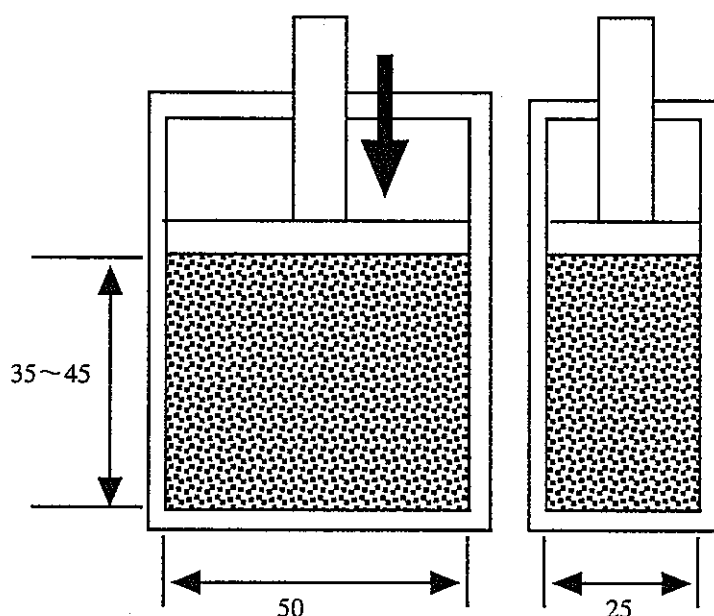


図-1.4.24 供試体作製方法

#### 1) 材料

実験に供するベントナイトは自然含水比状態のクニゲルVIである。

#### 2) 供試体作製

供試体は図-1.4.24に示す締固め治具を用いて静的圧縮加圧法により、表-1.4.37に示す寸法に成型する。なお、仕上がり密度は $1.6\text{g/cm}^2$ とする。

表-1.4.37 供試体の仕様

供試体番号	1	2	3
空隙 (%)	10	20	30
寸法 (mm)	45×25×50	40×25×50	35×25×50

3) 吸水・飽和

供試体を図-1.4.25に示す所定の空隙を確保できるスペーサーを有する透水試験器内にセットする。所定の空隙を確保した後、通水を開始し、吸水が停止するまで通水を継続する（約一ヶ月間）。

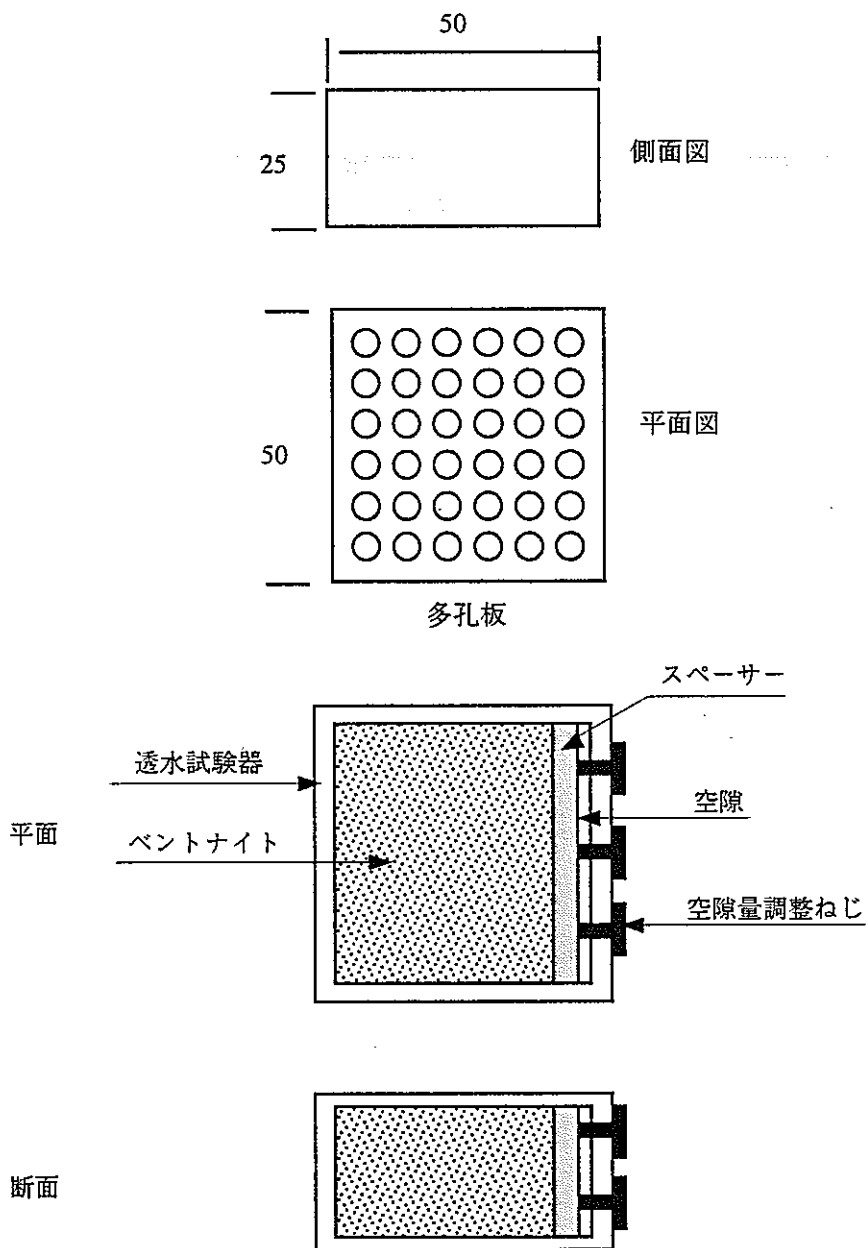


図-1.4.25 透水試験器

#### 4) 空隙の準備

空隙部を準備するため、スペーサーを取り外し、供試体のリバウンド量を測定して、実質空隙量の確認を行う。

#### 5) 透水試験

図-1.4.26に示すように、空隙を設けた状態で透水試験装置をセットして、通水を開始する。通水量は入力側と出力側の両方で計測する。なお、通水開始直後は動水勾配を小さくして、通水によるベントナイトの流出を防ぐ（空隙部のシールが終了するまで）。

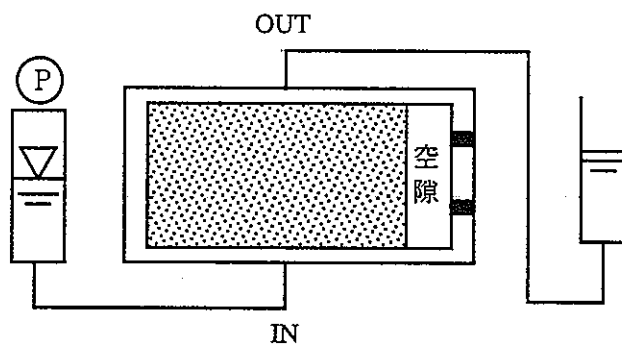


図-1.4.26 透水試験装置

#### 6) 解体

装置解体後、供試体と容器壁部の自己シール状況の観察を行い、供試体を分割して膨潤に伴う密度分布を調べる。

#### (iii) 全体工程

表-1.4.38に試験の全体工程計画を示す。

表-1.4.38 ベントナイト系材料自己シール性確認試験 工程表

	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98	105	112	119	126	133	140	147	154	161	168	175	182	
①装置製作																											
搬入・検収 組立																											
②予備実験																											
(a)供試体作製 (密度分布)																											
(b)自己シール状況 (アクリル容器)																											
③クニゲルV1 $\rho_d=1.6$																											
(a)供試体作製																											
空隙率10%																											
空隙率20%																											
空隙率30%																											
(b)セット・飽和																											
(c)透水試験																											
(d)供試体分析																											

1.4-67

#### 1.4.4 ベントナイトの圧密解析

##### (1) 検討の位置付け

処分場の閉鎖後において、処分空洞の底部に設置されたベントナイトには、廃棄体、コンクリートピット及び上部ベントナイトの荷重が作用し、力学的挙動を生ずることが考えられる。このうち長期的な力学的挙動としての圧密沈下現象は処分空洞への悪影響が懸念されるため、予測解析を行った。

##### (2) 解析条件

###### (a) 解析方法

土の力学的挙動を表現するモデルとして弾塑性理論に基づく構成式が挙げられる。土の弾塑性構成式には様々なモデルが提案されているが、その中でも代表的なモデルとして、Cam-Clayモデル、関口・太田モデルが挙げられる。Cam-Clayモデルは、粘土のせん断・圧密現象を統一的に表現できるモデルとして解析によく用いられている。また関口・太田モデルは、Cam-Clayモデルと等価な弾塑性モデルであるが、土要素の異方応力状態、主応力の回転さらにそれに伴うダイレイタンスー効果の変化等を表現できるとされている。

そこで本検討では、この関口・太田の弾塑性モデルを用いた有限要素法解析を実施し、底部ベントナイトの圧密沈下量の検討を行う。解析コードは鹿島建設所有の「LIMDAC」である。

###### (b) 解析用物性値

関口・太田モデルで解析するために必要な物性値を表-1.4.39に示す。物性値はNa型ベントナイトのクニゲルV1（乾燥密度： $\gamma_d=1.8$ ）の値を用いた。

表-1.4.39 解析用物性値

デ ー タ		
飽和密度 $\rho_s$	(tf/m <sup>3</sup> )	2.0
弾性係数 E	(Mpa)	70
ポアソン比 $\nu$	(-)	0.4
透水係数 k	(m/s)	$1.0 \times 10^{-13}$
初期間隙化 $e_0$	(-)	0.50
圧縮指数 $C_c$	(-)	0.27
膨潤指数 $C_s$	(-)	0.18
critical state パラメータ M	(-)	0.50
ダイレイタンスー係数 $D_{*1}$	(-)	0.0521
鉛直先行圧密応力	(MPa)	6.0
静止土圧係数 $k_0 * 2$	(-)	0.77
水の単位体積重量 $\gamma_w$	(tf/m <sup>3</sup> )	1.0

上記物性値の内、飽和密度、弾性係数、ポアソン比、及び透水係数については、文献5)から引用した。また初期間隙比、圧縮指数、膨潤指数およびcritical stateパラメータMは、動力炉・核燃料開発事業団殿より受領した図-1.4.27の三軸圧密試験結果より設定した。

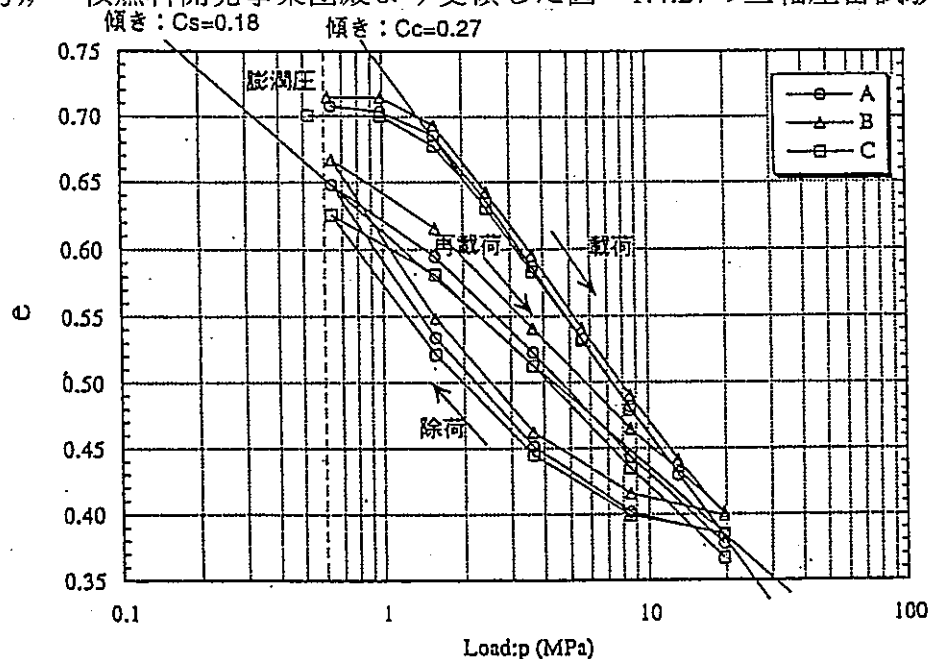


図-1.4.27 クニゲルV1の三軸圧密試験結果

\* 1 : ダイレイタンシー係数D

ダイレイタンシー係数D (ダイレイタンシーによる体積変化に比例する定数) と critical

stateパラメータMには以下に示す関係式がある。

$$M = (\lambda - \kappa) / D (1 + e_0)$$

$$\text{ここに } \lambda = 0.434C_c$$

$$\kappa = 0.434C_s$$

これより,

$$D = (\lambda - \kappa) / M (1 + e_0)$$

$$= 0.434 (0.27 - 0.18) / 0.50 (1 + 0.50)$$

$$= 0.0521$$

となる。

\* 2 : 静止土圧係数

$$k'_0 = 1 - \sin \phi$$

ここに  $\phi$  は土の内部摩擦角であり, critical stateパラメータMとのあいだに

$$M = 6 \sin \phi / (3 - \sin \phi)$$

なる関係式があることから,  $M = 0.5$ より  $\phi = 13.3^\circ$ ,  $k'_0 = 0.77$ となる。

(c) 解析モデル

解析は、図-1.4.28に示す大断面岩洞方式の底部ベントナイト部を取り出し、軸対称でモデル化した。図-1.4.29に解析用要素分割図を示す。

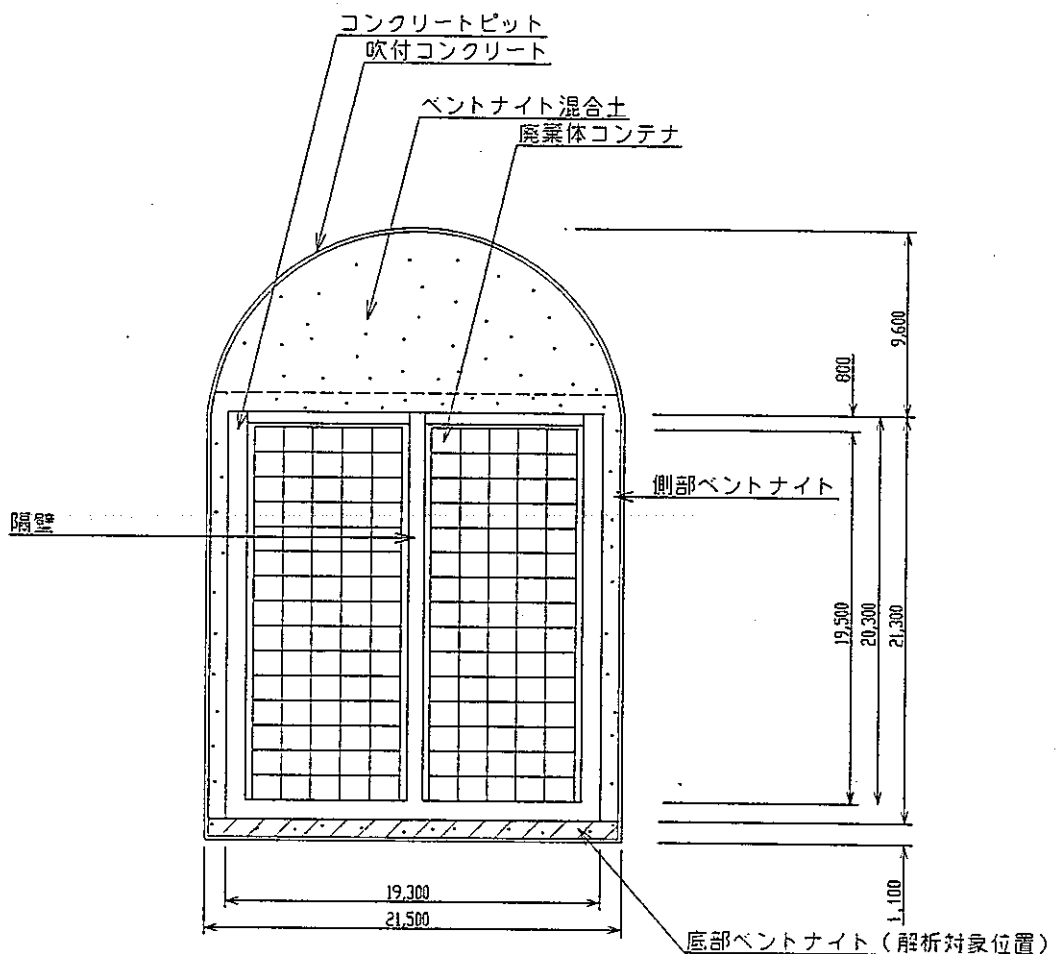


図-1.4.28 解析対象位置

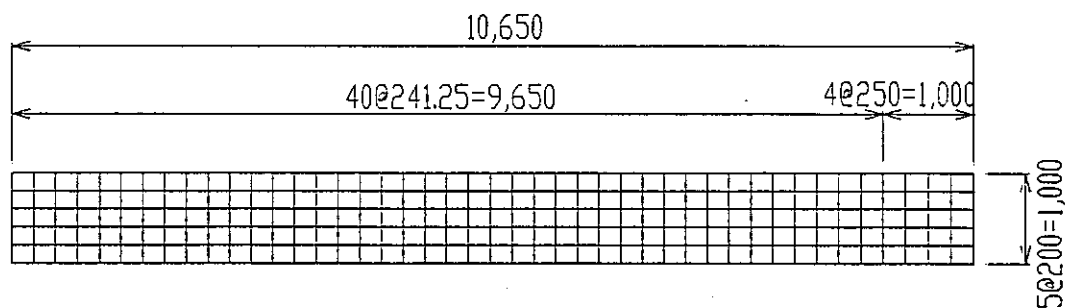


図-1.4.29 解析モデル



(d) 解析ケース

側部ベントナイトの影響を考察するため、以下の2ケースで解析を行った。

表-1.4.40 解析ケース

ケース1	ケース2
弾塑性一次元解析	弾塑性二次元解析

(e) 排水条件

側部ベントナイトの影響はケース2において排水条件により考慮した。

① ケース1（一次元解析）の場合上下面は排水とし、側面は非排水とする。

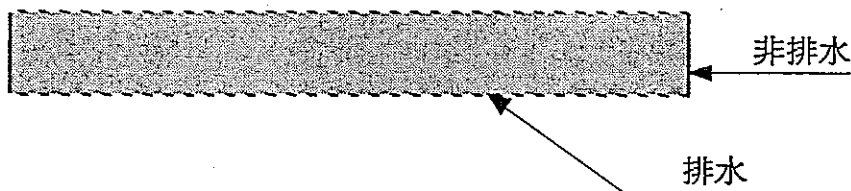


図-1.4.30 排水条件（一次元解析の場合）

② ケース2（二次元解析）の場合

解析モデル上面において、側部ベントナイトと接している部分は非排水とし、残りの部分は排水とする。また、下面は全て排水とし、対称軸（左側面）は非排水とし、右側面は排水とする。

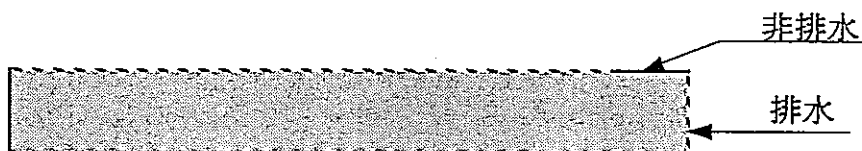


図-1.4.31 排水条件（二次元解析の場合）

(f) 荷重条件

底部ベントナイトに作用する荷重は、上部及び側部ベントナイト重量、コンクリートピット重量、廃棄体重量である。ただし、廃棄体重量に関しては現在データが取得されてない。そこで廃棄体定置部分のほとんどは廃棄体コンテナ及びセメント系材料で占められることから、コンクリートの重量と同じとした。

荷重は、解析モデル上面に一様な等分布荷重が載荷するものとして以下のように算定した。

$$P=P_C+P_B$$

ここで、P：底部ベントナイトに載かる上乗荷重

$P_C$ ：コンクリートピット部重量 ( $\gamma_C=2.3\text{tf/m}^3$ )

$P_B$ ：上部、側部ベントナイト部重量 ( $\gamma_B=2.0\text{tf/m}^3$  (飽和密度))

ただし、廃棄体の単位体積重量は、コンクリートの単位体積重量と等しいものとし、コンクリートピット部重量に含む。

したがって、

$$P_C=A_C \times \gamma_C \quad (A_C: \text{コンクリートピット部の面積})$$

$$=19.3 \times 21.3 \times 2.3$$

$$=945.5\text{tf/m}$$

$$P_B=A_B \times \gamma_B \quad (A_B: \text{上部ベントナイト部の面積})$$

$$= \{ (1.0 \times 21.3 \times 2) + (\pi \times 9.62) / 2 \} \times 2.0$$

$$=374.7\text{tf/m}$$

$$P=945.5\text{tf/m} + 374.7\text{tf/m}$$

$$=1320.2\text{tf/m}$$

となり、底部ベントナイトに作用する荷重は、底部ベントナイト幅で除し、

$$1320.2\text{tf/m} / 21.3\text{m} = 62.0\text{tf/m/m}$$

となる。

また、荷重載荷の過程を模擬するため、便宜的に全工程 (20年) とピットの総数から1断面の廃棄に要する日数を65日とし、1日当たり0.95tf/mの等分布荷重を62.0tf/mになるまで載荷させた。

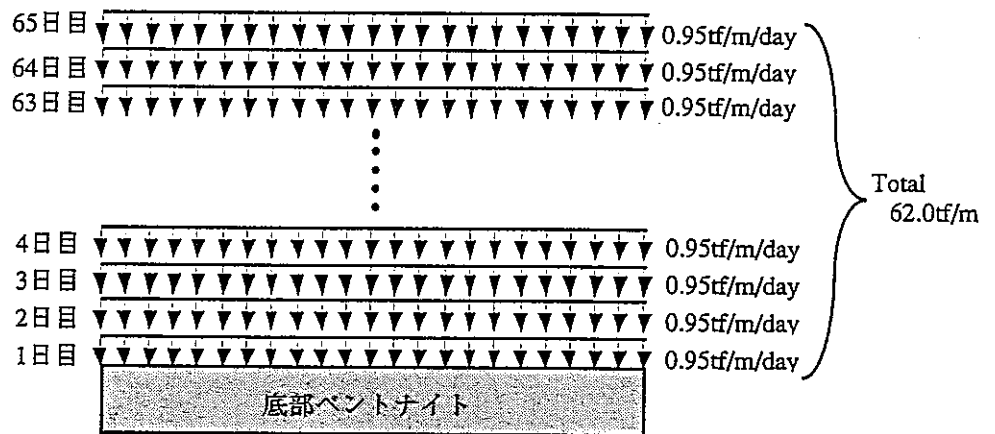


図-1.4.32 荷重図

なお、各要素の鉛直先行圧密応力に乾燥密度1.8g/cm<sup>3</sup>のクニゲルV1に対し試験より得られている膨潤圧 (P=6.0MPa)と要素自身の自重を考慮した。解析は、ベントナイトを正規圧密状態 (過圧密比1.0) と仮定し、鉛直先行圧密圧力=圧密降伏応力として行った。

(g) 境界条件

境界条件は以下のように設定した。

側面……鉛直ローラとする。

下面……岩盤に支持されているため、固定境界とする。



図-1.4.33 境界条件

(3) 解析結果

解析結果を以下に示す。表-1.4.41に各ケースでのモデル対称軸上面での最終沈下量と圧密時間 $t_{95}$ を示す。また図-1.4.34にケース2の圧密終了時の変位図を、図-1.4.35に各ケースの圧密時間と圧密沈下量の関係を、それぞれ示す。

ベントナイトの最大圧密沈下量はケース1（弾塑性一次元解析）で5.6mm（モデル対称軸上面部），ケース2（弾塑性二次元解析）で8.6mm（側部ベントナイト隅角部）となった。ただし，ケース2のモデル対称軸上面部での最終沈下量は5.7mmとなったことから，ケース2での側部ベントナイト隅角部の沈下は，排水条件の違いによる局所的な変位によるものと考えられる。

図-1.4.35の圧密時間-圧密沈下量の関係は，解析モデル対称軸上面の沈下量をプロットしたものである。

表-1.4.41 解析結果

	ケース1	ケース2
最終沈下量S (モデル対称軸上面)	5.6mm	5.7mm
圧密時間 $t_{95}$ *	9.6年	9.8年

\*.....  $t_{95}$ は，圧密度95%時の圧密時間を表す。

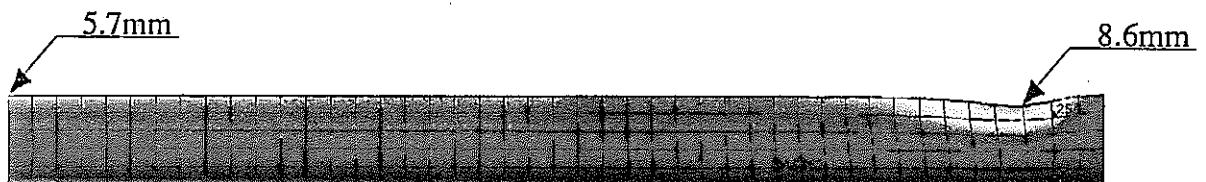


図-1.4.34 ケース2の圧密終了時における変位図

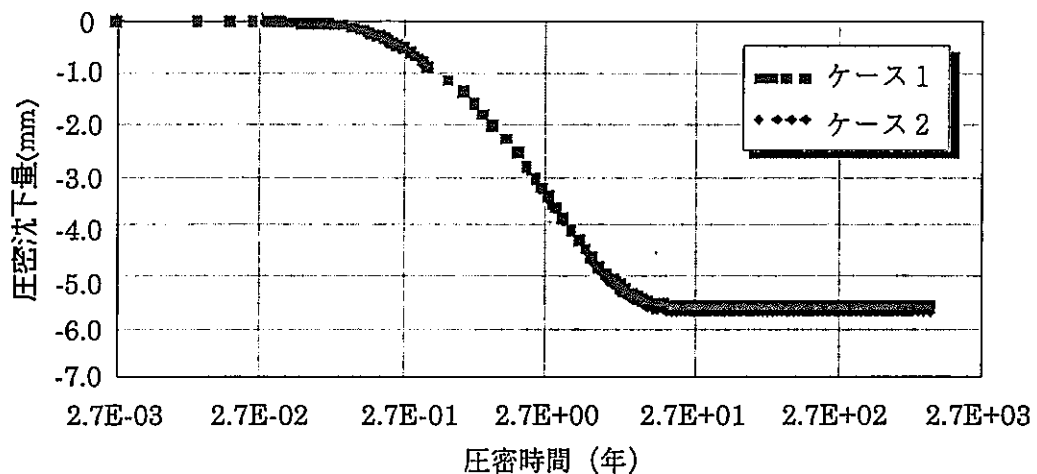


図-1.4.35 圧密時間と圧密沈下量の関係

#### 1.4.5 ガス蓄圧の影響評価

本検討においては、処分空洞形状として大断面岩洞方式、小断面岩洞方式、坑道方式、サイロ方式という4種類の方式にてコンセプトの構築を行っている。これらの処分システムに対し種々の観点から評価を行い、廃棄体の特性に応じた最適な形態を選択する必要がある。この評価項目の一つとして、処分場内で金属の腐食により発生し蓄圧するガスに対する力学的安全性が挙げられる。

ここでは、各処分システムにおける処分場内のガス圧力を算定したものにより、岩盤に及ぼす影響を評価する。なお、本検討において対象とするガス圧力は、ベントナイト破壊後に到達する定常透気状態における平衡ガス圧である。

##### (1) 平衡ガス圧の算定方法

###### (a) 平衡ガス圧の算定方法

処分場内におかれる金属が還元性環境で腐食することにより発生する水素ガスの移行が定常に達したものと仮定し、ガス透過係数式及び気体の状態方程式より処分場内のガス圧（ベントナイト内側）を算定する。

大気下における一軸透気試験に基づくガス浸透率は、(1.4.7)式により表される<sup>14)</sup>。

$$K_g = \frac{2 Q \mu P}{A} \cdot \frac{L}{(P_0^2 - P_1^2)} \quad (1.4.7)$$

ここに、 $K_g$ ：ガス浸透率( $m^2$ )

$Q$ ：透気流量( $m^3/s$ ) (大気圧にて測定)

$\mu$ ：ガスの粘性係数( $Pa \cdot s$ )

$P$ ：大気圧( $Pa$ )

$L$ ：透気長さ( $m$ )

$A$ ：透気面積( $m^2$ )

$P_0$ ：流入ガス圧=処分場内の平衡ガス圧 (ベントナイトにかかるガス圧) ( $Pa$ )

$P_1$ ：出口側水圧=静水圧( $Pa$ )

式(1.4.7)より平衡ガス圧 $P_0$ は、(1.4.8)式により算定される。

$$P_0 = \sqrt{\frac{2 Q \mu P}{A} \cdot \frac{L}{K_g} + P_1^2} \quad (1.4.8)$$

一方、気体の状態方程式は、(1.4.9)式により表される。

$$P \cdot Q = n \cdot R \cdot T \quad (1.4.9)$$

ここに、 $P$ ：ガスの圧力( $Pa$ )

$Q$ ：ガスの流量( $m^3/s$ )

$n$ ：ガス発生速度 (モル数) ( $mol/s$ )

$R$ ：気体定数( $8.314510J/(mol \cdot K)$ )

$T$ ：環境温度( $K$ ,  $0^\circ C = 273K$ )

(1.4.9)式におけるガスの圧力Pを大気圧とし、(1.4.8)式に代入すると、(1.4.10)式が得られる。よって、平衡ガス圧は、ガス発生速度(mol/s)の関数として定義される。

$$P_0 = \sqrt{\frac{2 nRT \mu}{A} \cdot \frac{L}{Kg} + P_1^2} \quad (1.4.10)$$

(1.4.10)式において透気長さLは、ベントナイト厚とする。透気面積Aは、ガスが処分場内上方に蓄圧すると仮定し、ベントナイト上面内側の面積とする。

また、大気下の任意温度における水素ガスの粘性係数は、(1.4.11)式<sup>15)</sup>により算定される。

$$\mu = \eta \left( \frac{T_1 + C}{T_2 + C} \right) \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{3/2} \quad (1.4.11)$$

ここに、 $\mu$  : 大気下の任意温度における水素ガスの粘性係数(Pa·s)

$\eta$  : 1atm, 温度 $T_1$ における水素ガスの粘性係数

( $T_1=293K$ の場合,  $8.8 \times 10^{-6} \text{Pa} \cdot \text{s}$ )

$T_1$  :  $20^\circ\text{C}$  (293K)

$T_2$  : 粘性係数を求めたい温度(K)

C : サザランドの定数( $C=72$ )

#### (b) 計算に考慮する金属

計算に考慮する金属は、表-1.4.42に示すとおりである。

現状、ハル・エンドピース廃棄体及びその他の廃棄体に区分することができる。

表-1.4.42 廃棄体区分及び計算に考慮する金属

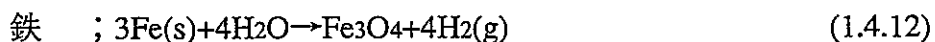
廃棄体	廃棄体容器	廃棄物	鉄筋
ハル・エンドピース	140ℓ キャニスタ(SUS)	ハル・エンドピース(ジルカロイ)	ピット, コナ主鉄筋(炭素鋼)
その他	200ℓ ドラム缶	※	ピット, コナ主鉄筋(炭素鋼)

※現状においては、性状及び量が不明のため。

(c) 金属の腐食反応式

鉄(Fe)及びジルコニウム(Zr)の腐食反応式は、式(1.4.12)及び式(1.4.13)による<sup>16)</sup>。

表-1.4.42における炭素鋼は、鉄を主成分とした合金であり、鉄として取り扱う。また、ステンレス鋼(SUS)は、鉄、クロム、ニッケルを主成分とする合金であるが、保守側を考え全てFeとして計算する。ジルカロイもジルコニウムを主成分とする合金であり、同様に全てジルコニウムとして計算する。



(d) 金属の腐食速度

金属の腐食速度は、文献<sup>16)</sup>を参考に以下のとおり設定する。

$$\text{鉄} \quad ; 10^{-6}\text{m/y}$$

$$\text{ジルコニウム} ; 10^{-8}\text{m/y}$$

(e) ガス発生速度 (モル数) 算定式

ガス発生速度 (モル数) は、式(1.4.14)及び式(1.4.15)により算定する。式中の数値は、鉄及びジルコニウムの原子量である。

$$\text{鉄} \quad ; n=W_{\text{Fe}}/55.847 \quad (1.4.14)$$

$$\text{ジルコニウム} ; n=W_{\text{Zr}}/91.224 \quad (1.4.15)$$

ここに、 $n$ ：ガス発生速度 (モル数) (mol/s)

$W_{\text{Fe}}$ ：鉄、SUSの単位時間における腐食質量(g/s)

$W_{\text{Zr}}$ ：ジルカロイの単位時間における腐食質量(g/s)

(f) 廃棄体1本当たりのガス発生量 (モル数)

① ハル・エンドピース廃棄体 (140Lキャニスター)

a. キャニスター

キャニスターの形状を  $\phi 43\text{cm} \times \text{H}135\text{cm}$  とする。

キャニスターは内外から同時に腐食すると仮定し、その腐食面積は以下のとおりである。

$$A = \{(0.43/2)^2 \pi \times 2 + 1.35 \times 0.43 \pi\} \times 2 = 4.23\text{m}^2$$

したがって、年間に腐食するSUS (鉄と仮定) の体積及び質量は、以下のとおりである。ただし、鉄の密度を  $7.86\text{g/cm}^3$  とする。

$$V=4.23 \times 10^{-6}=4.23 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{y}$$

$$W=4.23 \times 10^{-6} \times 7.86 \times 10^6=33.25 \text{g/y}$$

故に、キャニスター1本当たりのガス発生速度は、(1.4.12)式及び(1.4.14)式より、以下のとおりである。

$$n = \frac{33.25}{55.847} \times \frac{4}{3} \times \frac{1}{60 \times 60 \times 24 \times 365} = 2.52 \times 10^{-8} \text{mol/s}$$

#### b. ハル

キャニスター1本当たりに収納されるハルの全表面積（内外）は400m<sup>2</sup>とする。

したがって、年間に腐食するハル（ジルコニウム）の体積及び質量は、以下のとおりである。ただしジルコニウムの密度を6.53g/cm<sup>3</sup>とする。

$$V=400 \times 10^{-8}=4.00 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{y}$$

$$W=4.00 \times 10^{-6} \times 6.53 \times 10^6=26.12 \text{g/y}$$

故に、キャニスター1本当たりに収納されるハルのガス発生速度は(1.4.13)式及び(1.4.15)式より以下のとおりである。

$$n = \frac{26.12}{91.224} \times 2 \times \frac{1}{60 \times 60 \times 24 \times 365} = 1.82 \times 10^{-8} \text{mol/s}$$

#### c. 合計

1本のキャニスター及びそれに収納されるハルのガス発生速度は、以下のとおりである。

$$n = 2.52 \times 10^{-8} + 1.82 \times 10^{-8} = 4.34 \times 10^{-8} \text{mol/s}$$

#### ② 200Lドラム缶

ドラム缶の形状をφ60cm×H90cmとする。(JIS Z 1600)

ドラム缶は内外から同時に腐食すると仮定し、その腐食面積は以下のとおりである。

$$A = \{(0.6)^2 \pi \times 2 + 0.9 \times 0.6 \pi\} \times 2 = 4.52 \text{m}^2$$



したがって、年間に腐食する鉄の体積及び質量は、以下のとおりである。ただし、鉄の密度を7.86g/cm<sup>3</sup>とする。

$$V = 4.52 \times 10^{-6} = 4.52 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{y}$$

$$W = 4.52 \times 10^{-6} \times 7.86 \times 10^6 = 35.53 \text{g/y}$$

故にドラム缶1本当たりのガス発生速度は、(1.4.12)式及び(1.4.14)式より、以下のとおりである。

$$n = \frac{35.53}{55.847} \times \frac{4}{3} \times \frac{1}{60 \times 60 \times 24 \times 365} = 2.69 \times 10^{-8} \text{mol/s}$$

(2) 大断面岩洞方式の平衡ガス圧の算定

設置深度300mにおける大断面岩洞方式にハル・エンドピース廃棄体のみを処分した場合の平衡ガス圧を算定する。

(a) 大断面岩洞方式

処分システムにおける人工バリアの基本概念は、外側よりベントナイト、コンクリートピット、廃棄体で構成される。さらに廃棄体は、コンクリート製のコンテナに9本1組として収納される。

(b) 計算条件

表-1.4.43に計算条件を示す。

前述したように、表-1.4.43における透気長さLはベントナイト厚とし、透気面積Aはガスが処分場内上方に蓄圧すると仮定し、ベントナイト上面内側の面積とする。

また、環境温度はハル・エンドピース廃棄体の発熱が終了した状態を想定し、地表面温度15℃、地下深部の温度勾配を3℃/100mとして算出する。

表-1.4.43 計算条件

項目		適用値	備考 (計算式)
処分深度		300m	
環境温度	T <sub>2</sub>	24℃(297K)	15℃+300m×3℃/100m
静水圧	P <sub>1</sub>	3×10 <sup>6</sup> Pa	300m×1tf/m <sup>3</sup>
内空寸法		W17.8m×H23.0m×L11.0m	ベントナイト内側，軸方向1区画分
透気面積	A	195.8m <sup>2</sup>	17.8m×11.0m
透気長さ	L	1.0m	ベントナイト厚
コンテナ数		408個	3×17×4×2
廃棄体数		3,672本	(140ℓキャニスター)
ガス透過係数	K <sub>g</sub>	6×10 <sup>-21</sup> m <sup>2</sup>	文献15) (ベントナイト ρ <sub>d</sub> =1.8g/cm <sup>3</sup> )

(c) 平衡ガス圧の算定

① 水素ガスの粘性係数の算定

式(1.4.11)より,

$$\begin{aligned}\mu &= \eta \left( \frac{T_1+C}{T_2+C} \right) \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{3/2} \\ &= 8.8 \times 10^{-6} \left( \frac{293+72}{297+72} \right) \left( \frac{297}{293} \right)^{3/2} \\ &= 8.8 \times 10^{-6} \text{Pa}\cdot\text{s}\end{aligned}$$

② ガス発生速度

ガスの発生は、コンクリートピット、コンテナ、ドラム缶廃棄体から生じることから、それぞれのガス発生速度を算出する。

a. コンクリートピット

まず鉄筋の腐食面積を求める。

大断面岩洞方式で使用する鉄筋D38ctc150における鉄筋1mあたりの表面積は、

$$0.12\text{m} \times 1\text{m} = 0.12\text{m}^2 \quad (\text{D38ctc150})$$

コンクリートピットあたりの鉄筋表面積は

$$\begin{aligned}0.12\text{m}^2 \times 100/15 \times 4 \times \{ (23\text{m} \times 3 + 17.8\text{m} \times 2) \times 11\text{m} + 17.8\text{m} \times 23\text{m} \} \\ = 4992\text{m}^2\end{aligned}$$

鉄の密度 =  $7.86\text{g}/\text{cm}^3$

鉄の腐食速度 =  $10^{-6}\text{m}/\text{y}$

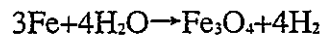
1年間に腐食する鉄筋の体積は

$$V = 4992\text{m}^2 \times 10^{-6}\text{m}/\text{y} = 4.99 \times 10^{-3}\text{m}^3/\text{y}$$

1年間に腐食する質量は

$$W = 4.99 \times 10^{-3}\text{m}^3/\text{y} \times 7.86 \times 10^6\text{g}/\text{m}^3 = 3.92 \times 10^4\text{g}/\text{y}$$

ガス発生速度は



$$\text{鉄} : n = W_{\text{Fe}} / 55.847$$

$n$  : ガス発生速度 (モル数) (mol/s)

$W_{\text{Fe}}$  : 鉄の単位時間における腐食質量(g/s)

よって

$$n = \frac{3.92 \times 10^4}{55.847} \times \frac{4}{3} \times \frac{1}{60 \times 60 \times 24 \times 365} = 2.97 \times 10^{-5}\text{mol}/\text{s}$$

b. コンテナ

まず鉄筋の腐食面積を求める。

コンテナに使用する鉄筋D13の1 mあたりの表面積は

$$0.04\text{m} \times 1\text{m} = 0.04\text{m}^2$$

コンテナ1個あたりの鉄筋長は

$$0.04\text{m}^2 \times 20\text{本} \times (1.5 \times 1.5 \times 2 + 1.8 \times 1.7 \times 2 + 1.5 \times 1.7 \times 2) = 12.58\text{m}^2$$

鉄の密度 =  $7.86\text{g/cm}^3$

鉄の腐食速度 =  $10^{-6}\text{m/y}$

1年間に腐食する鉄筋の体積は

$$V = 12.58\text{m}^2 \times 10^{-6}\text{m/y} = 12.58 \times 10^{-6}\text{m}^3/\text{y}$$

1年間に腐食する質量は

$$W = 12.58 \times 10^{-6}\text{m}^3/\text{y} \times 7.86 \times 10^6\text{g/m}^3 = 9.89 \times 10^1\text{g/s}$$

よって

$$n = \frac{98.9}{55.847} \times \frac{4}{3} \times \frac{1}{60 \times 60 \times 24 \times 365} = 7.49 \times 10^{-8}\text{mol/s}$$

コンテナ数は408個より

$$n = 7.49 \times 10^{-8} \times 408 = 3.06 \times 10^{-5} \text{ (mol/s)}$$

c. ハルエンドピース廃棄体

廃棄体1本当たりのガス発生量（モル数）は、

$$n = 4.34 \times 10^{-8}\text{mol/s}$$

ハルエンドピース廃棄体は3672本より

$$n = 4.34 \times 10^{-8} \times 3672 = 1.59 \times 10^{-4} \text{ (mol/s)}$$

計算対象領域におけるガス発生速度は

$$n = 1.59 \times 10^{-4} + 3.06 \times 10^{-5} + 2.97 \times 10^{-5} = 2.19 \times 10^{-4} \text{ (mol/s)}$$

③ 平衡ガス圧の算定

式(1.4.10)より,

$$P_0 = \sqrt{\frac{2 nRT \mu}{A} \cdot \frac{L}{Kg} + P_1^2}$$
$$= \sqrt{\frac{2 \times 2.19 \times 10^{-4} \times 8.31451 \times 297 \times 8.9 \times 10^{-6}}{195.8} \cdot \frac{1.0}{6 \times 10^{-21}} + (3 \times 10^6)^2}$$

$$= 4.15 \times 10^6 \text{Pa}$$

$$= 4.15 \text{MPa}$$

(3) 処分システムの比較

「(2)大断面岩洞方式の平衡ガス圧の算定」と同様の方法により、各処分システムにおける平衡ガス圧を算出する。

表-1.4.44に計算条件及び計算結果を示す。

表-1.4.44 各処分システムにおける平衡ガス圧

項目	大断面岩洞方式	小断面岩洞方式	坑道方式	サイロ方式
処分深度(m)	300m			
環境温度(°C)	24°C(297K)			
静水圧(Pa)	$3 \times 10^6$			
ガス透過係数(m <sup>2</sup> )	$6 \times 10^{-21}$			
H <sub>2</sub> 粘性係数(Pa·s)	$8.9 \times 10^{-6}$			
透気長さ(m)	1.0			
内空寸法(m)	W17.8×H23.0×L11.0	W12.8×H13.0×L6.0	W6.0×H6.1×L5.5	φ18.8×H27.5
透気面積(m <sup>2</sup> )	195.8	76.8	33.0	277.6
コンテナ数(個)	408	80	12	504
廃棄体数(本)	3,672	720	108	4,536
ガス発生速度(mol/s)	$2.19 \times 10^{-4}$	$4.31 \times 10^{-5}$	$8.17 \times 10^{-6}$	$2.60 \times 10^{-4}$
平衡ガス圧(MPa)	4.15	3.62	3.29	3.98

表-1.4.44に示すように平衡ガス圧は、3.2~4.2MPaという算定結果となった。この平衡ガス圧が周辺岩体及び人工バリア材へ及ぼす影響を検討する。

(a) 周辺岩体への影響

処分深度300mでの平衡ガス圧は表-1.4.44に示したように3.2~4.2MPaといった結果となった。この平衡ガス圧が周辺岩体に及ぼす影響について検討を行う。

方法は処分深度300mでの土被り荷重と平衡ガス圧を比較することにより行う。

処分深度300mでの土被り荷重は、岩盤の単位体積重量を結晶質岩系2.7tf/m<sup>3</sup>、堆積岩系2.3tf/m<sup>3</sup>とすると、

$$\text{結晶質岩系} \quad 300 \times 2.5 = 750 \text{t/m}^2 \approx 7.5 \text{MPa}$$

$$\text{堆積岩系} \quad 300 \times 2.3 = 690 \text{t/m}^2 \approx 6.9 \text{MPa}$$

となり平衡ガス圧の2倍程度の余裕がある。また処分深度700mについては、深度300mよりも土被り荷重が大きいため2倍以上の余裕がある。

(b) 人工バリア材への影響

人工バリア材としてここではベントナイトを考える。算定された平衡ガス圧と比較するためのベントナイトの強度を示すものに、一軸圧縮強さが挙げられる。ベントナイトの一軸圧縮強さは、試験結果より乾燥密度 $1.6\sim 1.8\text{t/m}^3$ の場合の平均的な値として $3\text{MPa}$ 程度の値が得られている。しかし実際に施工された処分場のベントナイトを想定すると、一軸圧縮試験時と異なり、四方が拘束状態にあることから、一軸圧縮強さよりは大きな強度が期待される。したがって、この拘束状態でのベントナイトの強度とガス圧を比較した場合、ガス圧による破壊は生じないと考えられる。

今回の平衡ガス圧による評価は、図-1.4.36に示すガス圧の経時変化のイメージ図の内、定常状態のガス圧と岩盤及び人工バリアの比較を行ったものとして捉えることができる。したがって、今後の検討としては破過時のガス圧（図-1.4.36に示す $P_{g\max}$ ）を用いた検討が必要である。

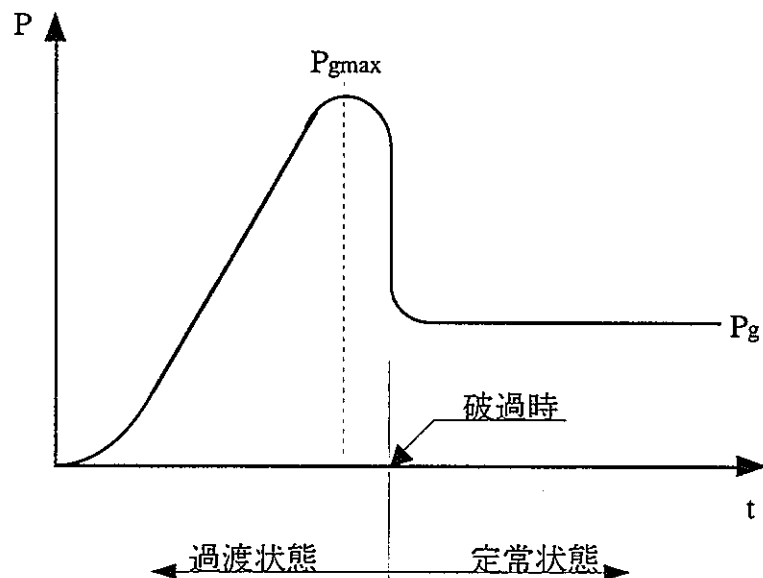


図-1.4.36 ガス圧の経時変化イメージ図

#### 1.4.6 大空洞長期挙動の予備検討

##### (1)解析モデル及びデータに関する文献調査<sup>17)</sup>

岩盤の粘弾性構成則として現在までに提案されている主なものを以下に挙げる。いずれもスプリング（ばね要素）、ダッシュポット（粘性要素）、スライダー（降伏体）といった力学模型を組み合わせでモデル化されている。Maxwell 模型～Bingham 模型は単純で、よく知られた力学模型である。

- ・ Maxwell 模型
- ・ Voigt 模型
- ・ Burgers 模型
- ・ Bingham 模型
- ・ Dragon のモデル
- ・ Gioda のモデル
- ・ Kaiser のモデル
- ・ Dawson のモデル
- ・ 山富のモデル
- ・ 大久保のモデル

Maxwell 模型はスプリングとダッシュポットを直列に、voigt 模型は並列に組み合わせたモデルである。Burgers 模型は Maxwell 模型と Voigt 模型を直列に繋いだモデルである。これらはいずれも線形粘弾性モデルで、実際の岩石のクリープ挙動を精度よく表現するものとは言えない。

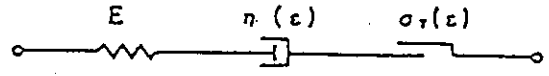
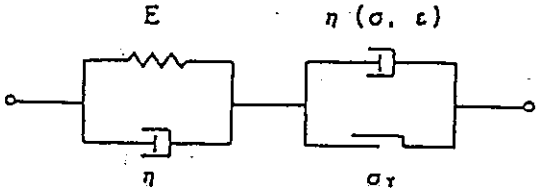
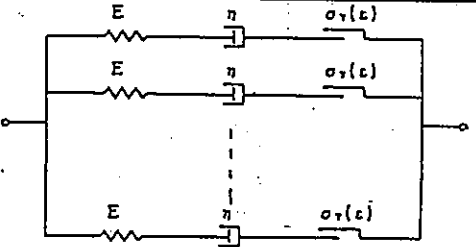
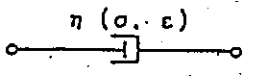
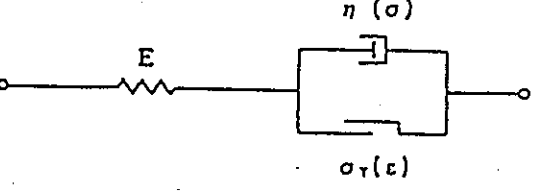
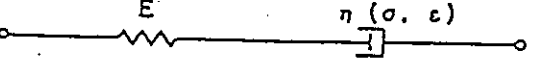
表-1.4.45 に、Dragon モデル以下の調査文献リストを示す。また、表-1.4.46 にそれらの構成則について特徴を示す。このうち、大久保のモデルは 1 次クリープから 3 次クリープまでの挙動を説明でき、定歪速度試験、クリープ試験ともかなりよい精度で実験結果を再現することができる。また構成方程式がシンプルなためパラメータも少なく、解析解をもつことによる利便性もある。ここでは大久保のモデルについて、概要を示す。



表-1.4.45 調査文献リスト

モデル名	著者名・タイトル	文献・雑誌名	Vol.	No.	頁	年
Dragon のモデル	A.Dragon and Z.Mroz : Model for plastic Creep of rock-Like Materials Accounting for the Kinetics of Fracture	Int.J.Rock Meck.Min.Sci.& Geomech.Abstr	16		253~259	1979
Gioda のモデル	G.Goda : A Finite Element Solution of Non-Linear Creep Problems in Rocks	Int.J.Rock Meck.Min.Sci.& Geomech.Abstr	18		35~46	1981
Kaiser のモデル	P.K.Kaiser and N.R.Morgenstern : Phenomenological Model for Rock with time-Dependent Strength	Int.J.Rock Meck.Min.Sci.& Geomech.Abstr	18		153~165	1981
Dawson のモデル	P.R.Dawson and D.E.Munson : Numerical Simulation of Creep Deformations around a Room in a Deep Potash Mine	Int.J.Rock Meck.Min.Sci.& Geomech.Abstr	20		33~42	1983
山富のモデル	山富次郎 : 岩石の粘塑性構成方程式と粘塑性解析法について	日本鉱業会 春季大会講演集			257~258	1983
大久保のモデル	山口勉, 大久保誠介, 西松裕一 : 三城目安山岩の非線形レオロジーモデル	日本鉱業会誌	100	8	631~635	1984
	大久保誠介, 西松裕一 : 三城目安山岩と河津凝灰岩のクリープ特性と構成方程式	日本鉱業会誌	102	7	395~400	1986
	大久保誠介, 西松裕一, 緒方義弘 : 非線形粘弾性モデルによる坑道変形のシミュレーション	日本鉱業会誌	103	5	293~296	1987
	大久保誠介 : 岩石のクリープ	資源, 素材学会誌	107	5	245~252	1991
	大久保誠介 : コンプライアンス可変型構成方程式の解析的検討	資源, 素材学会誌	108	8	601~606	1992
	大久保誠介, 金豊年 : 非線形粘弾性モデルによる円形坑道周辺岩盤挙動のシミュレーション	資源と素材	109	3	209~214	1993
	緒方義弘, 山口勉, 厨川道雄, 大久保誠介, 西松裕一 : 粘弾性的挙動を示す岩盤の坑道掘進に伴う時間依存性変形のシミュレーション	資源と素材	110	14	1082~1088	1994

表-1.4.46 提案されている主な構成方程式

提案者	モデル概念図	定義及び特徴
Dragon (1979)		<p>左図に示すように歪を弾性歪と非弾性歪とに分け、さらに非弾性歪を時間に依存しない歪と依存する歪とに分けて考えたモデル。クリープでは微小クラックが時間の経過と共に徐々に伸び、その進展速度（クリープ歪速度）は応力と降伏応力の差に比例するとしている。</p> <p>主として2次、3次クリープに注目したモデルである。</p>
Gioda (1981)		<p>有限要素法でクリープの数値実験をするために開発したクリープ専用モデル。</p> <p>Gioda はクリープ変形は偏差応力により、降伏応力は Drucker-Prager の条件に従い、随伴流れ則が成り立つという3点を仮定している。基本的には1次クリープを Voigt モデルにより、2次クリープと3次クリープをスライダと粘性要素とを並列に繋いだモデルで考えている。偏差応力がスライダで表されるある値を超すと2次クリープが生じ、2次クリープ歪がある値となると3次クリープとなるとしている。歪速度の応力依存性については、関数形は明示されていない。</p> <p>数値計算に向くように良く考えられたモデルであるが、1次クリープを単に線形なモデルで表したことで、クリープにのみ注目しており定歪速度試験の結果と比べて検証ができないこと、応力依存性の判然としないことなどの問題点がある。</p>
Kaiser (1981)		<p>左図のように、バネ要素・線形粘性要素・降伏要素とを直列に繋いだ要素からなる。降伏要素はある応力が加わるまでは動かず、その後は一定の残留応力を発生する。降伏応力と残留応力との値が異なることが通常のスライダと違う。ここで Kaiser はこのような要素を並列に多数並べたモデルは一般的にどのような挙動も表現できるとしている。</p> <p>しかし、非線形粘性をもったモデルと、線形粘性要素と降伏要素を持ったモデルとは似て異なるもので、Kaiser の提案したモデルでは、定歪速度試験で一軸圧縮強度とヤング率がともに歪速度に比例して大きくなってしまおうという問題がある。</p>
Dawson (1983)		<p>1次、2次クリープに対するクリープ専用モデルである。</p> <p>Dawson は、クリープ速度が次のように表されるとした。</p> $\dot{\epsilon} \propto \sigma^n$ <p>ここに、<math>\sigma</math> は偏差応力</p> <p>室内実験から構成方程式の含むパラメータを導き、さらに現場での8年にわたる内空変位の計測結果と計算結果とが良く合ったとしている。</p>
山富 (1984)		<p>山富は、ばね要素、粘性要素、スライダからなる粘弾塑性モデルを提案している。</p> <p>ここで言うスライダは、歪硬化と歪軟化を共に考慮した要素で従来のスライダを拡張したものである。増分形の構成方程式を導き、仮想仕事の原理と陰性時間積分に基づいた FEM プログラムを開発した。</p> <p>このモデルは、1次、2次、3次クリープとも考慮したレオロジーモデルであり、定歪速度試験にも適用可能である。</p>
大久保 (非線形 Maxwell モデル) (1986)		<p>岩石のクリープ試験結果により、応力-歪関係を非線形 Maxwell モデルとして提案したもの。</p> $\begin{cases} \epsilon = \epsilon_1 + \epsilon_2 \\ \epsilon_1 = \sigma / E \\ \epsilon_2 = (C_1 \epsilon_2^{-m} + C_2 + C_3 \epsilon_2^p) \sigma^n \end{cases}$ <p>と仮定し、<math>d\lambda/dt = a \cdot \sigma^m \cdot \lambda^m</math> を提案している。</p> <p>(<math>C_1 \sim C_2, m, n, p</math> はパラメータ) <span style="float: right;">(<math>\lambda = 1/E</math>)</span></p>

参考文献：岩石のクリープ（大久保 誠介／資源・素材学会誌 1991）他.

大久保の提案した非線形 Maxwell モデルの概要を以下に示す。

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \quad \text{----- (1)}$$

まず歪を弾性歪と非弾性歪とに分ける。ここで、

$$\varepsilon_1 = \sigma / E \quad \text{----- (2)}$$

$$\varepsilon_2 = (C_1 \varepsilon_2^{-m} + C_2 + C_3 \varepsilon_2^p) \sigma^n \quad \text{----- (3)}$$

( $C_1, C_2, C_3, m, p, n$  はパラメータ)

ヤング率  $E$  は一定とする。実際には破壊現象の進行と共に  $E$  は変化していくが、 $E$  の変化による歪の増加も  $\varepsilon_2$  の中に入れて考える。

非弾性歪速度は 3 項よりなっているが、各々 1 次クリープ (過渡クリープ)、2 次クリープ (定常クリープ)、3 次クリープ (加速クリープ) に対応する項である。一定応力下で  $\varepsilon_2$  が充分小さいとして第一項のみを考えて解くと、以下の式が得られる。

$$\varepsilon_2 \propto t^{-m/(m+1)}$$

次に  $\varepsilon_2$  が大きく第 3 項が支配的とすれば次式が得られる。

$$\varepsilon_2 \propto Tr^{-p/(p-1)}$$

( $Tr$ : 残存寿命 =  $t_c - t$ )

$m$  が 1 より充分大きければ 1 次クリープ領域で対数クリープ則が成り立ち、歪速度が経過時間に反比例して減少することが説明できる。また  $p$  が 1 より充分大きければ、3 次クリープ領域で歪速度が残存寿命に反比例することも再現している。

(3) 式を書き直してみると、

$$\frac{d\varepsilon_2}{(C_1 \varepsilon_2^{-m} + C_2 + C_3 \varepsilon_2^p)} = \sigma^n dt$$

となり、 $\sigma^n$  の履歴積分が  $\varepsilon_2$  を支配していることがわかり、歪の項と応力の項が分離した形になっている。

$$\varepsilon_2 = f(\varepsilon_2) \cdot g(\sigma)$$

上式のように変数分離形で書けるためには、 $\varepsilon_2/g(\sigma)$  と  $\varepsilon_2$  との関係がクリープ応力によらないことが必要である。三城目安山岩の場合には既にこのことが実験的に確認されている。

以上から(1)式を両辺  $t$  で微分した式

$$\varepsilon = \sigma / E + f(\varepsilon_2) \cdot g(\sigma) \quad \text{----- (4)}$$

が得られる。特にクリープの場合は、 $\sigma = 0$  より

$$\varepsilon = f(\varepsilon_2) \cdot g(\sigma) \quad \text{----- (5)}$$

となる。

歪みと応力の比  $\varepsilon / \sigma$  をコンプライアンス  $\lambda$  と呼ぶこととし、 $d\lambda/dt$  が  $\lambda$  の関数  $f(\lambda)$  と  $\sigma$  の関数  $g(\sigma)$  の積に等しいと仮定すると、

$$d\lambda/dt = f(\lambda)g(\sigma) \text{-----}(6)$$

ここで、 $f(\lambda)$  と  $g(\sigma)$  を

$$f(\lambda) = a\lambda^m$$

$$g(\sigma) = \sigma^{n_0}$$

と仮定すると、

$$d\lambda/dt = a \cdot \sigma^{n_0} \cdot \lambda^m \text{-----}(7)$$

上式は、一軸圧縮応力下における岩石の変形挙動のモデルとして大久保が提案した構成方程式である。

ここに、 $\lambda$  はコンプライアンス (=ヤング率の逆数)、 $\sigma$  は一軸圧縮応力、 $n_0$  は歪速度と一軸圧縮強度との関係を表す値、 $m$  は強度破壊後の応力-歪関係を表す値、 $a$  は比例定数である。

(2) データの設定方法及び取得方法の整理

大久保はさらに(7)式を三軸圧縮応力下に拡張した(8)式を提案している。

$$d\lambda^*/dt = a(\Delta\sigma^*)^n(\lambda^*)^m \quad \text{----- (8)}$$

ここで、 $\lambda^*$ は初期コンプライアンス $\lambda_0$ で正規化した正規化コンプライアンス、 $\Delta\sigma^*$ は三軸圧縮強度（破壊時の差応力） $\Delta\sigma_0$ で正規化した正規化差応力である。

図-1.4.1に $\lambda_0$ 、 $\Delta\sigma^*$ 、 $\Delta\sigma_0$ 、 $\Delta\varepsilon_0$ および $\Delta\varepsilon^*$ の関係を示す。

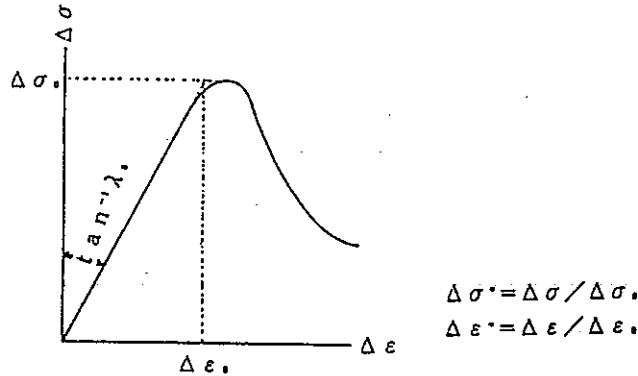


図-1.4.36 正規化した差応力と歪みの定義

また、比例定数 $a$ は次式で表すことができる。

$$a = \{m / (n_0 + 1)\}^{m / (n_0 - m + 1)} / t_0 \quad \text{----- (9)}$$

ここで、 $t_0$ は定歪速度試験を行って強度を求める際に、歪が $\Delta\varepsilon_0$ となるまでの所要時間であり、 $t_0 = 2 \text{ min}$ を標準とする。

次に、三軸圧縮強度 $\Delta\sigma_0$ と一軸圧縮強度 $\sigma_c$ 、一軸引張強度 $\sigma_t$ および周圧 $\sigma_3$ との間にはJanachの提案した破壊条件が成立すると仮定し、この破壊条件を用いると、

$$\Delta\sigma_0 = \sigma_c(1 + \sigma_3 / \sigma_t)^{0.5} - \sigma_3 \quad \text{----- (10)}$$

が得られる。また、(8)式における構成方程式の正規化差応力のべき乗数 $n$ に対しては次の仮定をう。

$$n = (\Delta\sigma_0 / \sigma_c) n_0 \quad \text{----- (11)}$$

一般に周圧が増大するに伴って、三軸圧縮強度 $\Delta\sigma_0$ は増大するので、(11)式から計算される $n$ の値も大きくなる。なお、同じく(8)式で用いられる $m$ に関しては、周圧によってその値は変化しないものとする。さらに、岩石は破壊の進行とともに体積膨張を示すことが多いため、これを考慮して次の仮定をう。

$$\begin{cases} \lambda^* < 15 \rightarrow \nu = \nu_0 \\ \lambda^* > 15 \rightarrow \nu = 0.49 \end{cases}$$

または、
$$\nu = 0.5 - \frac{0.5 - \nu_0}{\lambda^*}$$

ここに、 $\nu_0$ は弾性領域でのポアソン比である。

以上より、大久保モデルの入力パラメータは以下の6個である。

- ①一軸圧縮強度： $\sigma_c$
- ②一軸引張強度： $\sigma_t$
- ③初期コンプライアンス： $\lambda_0$
- ④ポアソン比： $\nu_0$
- ⑤べき定数： $n_0$
- ⑥降伏以後の応力-歪曲線の傾きを決めるパラメータ： $m$

大久保モデルのパラメータ設定法は表-1.4.47に示す通りである。

表-1.4.47 大久保モデルの入力パラメータと設定方法

入力パラメータ	設定方法
一軸圧縮強度 $\sigma_c$	一軸圧縮試験より
一軸引張強度 $\sigma_t$	一軸引張試験または圧裂引張試験より
初期コンプライアンス $\lambda_0$	一軸圧縮試験より*1)
ポアソン比 $\nu_0$	一軸圧縮試験より
べき定数 $n_0$	定歪速度試験より*2)
パラメータ $m$	定歪速度試験より*3)

- \*1) 初期コンプライアンス $\lambda_0$ は解析結果に大きく影響するため、原位置変形試験の結果を考慮して慎重に設定する必要がある。
- \*2,3)  $n, m$ については定歪速度による一軸、及び三軸圧縮試験のシミュレーションにより、実験結果との比較の上で適当な値を設定する必要がある。 $n_0$ の信頼性限界について、大久保は10~40程度であるとしている。

#### 1.4.7 処分システムの成立性の検討

「1.4.3 ベントナイトの透水性変化の検討」での廃棄体の有害空隙や成分溶出による体積変化が人工バリアの透水性に与える影響について検討を行った。また「1.4.5 ガス蓄圧の影響評価」では、廃棄体の金属部分から発生するガスが母岩及び人工バリアに及ぼす影響についての検討を実施した。

ここでは、これらの検討結果を含め、本検討での処分システムの設定と廃棄体の特性に適した処分空洞方式の設定を行う。

設定を行うにあたって、次に示す基礎的な検討を行う。

- ・ 廃棄体の収納・定置方法の異なる処分システムの提示とそれらの成立性についての基礎的な比較検討。
- ・ 廃棄体特性に対する処分システムの成立性の評価検討。

##### (a) 処分システムの設定

本検討では、廃棄体を処分する空洞方式として大断面岩洞方式、小断面岩洞方式、坑道方式、サイロ方式の4種類の方式を設定している。また、ベントナイトの透水性変化の検討で実施した体積変化解析等では、人工バリア材としてベントナイトを設置すること及び廃棄体コンテナ、コンクリートピットといったセメント系材料を使用することを前提としている。そこで、ピットの有無、ピットの材質及び廃棄体コンテナの有無といった観点から、6種類の収納・定置方法の異なる処分システムを考え、それら各システムについて廃棄体の安定性、処分効率、操業性、安全性、経済性の面での評価と各処分空洞方式への適用性検討を行った。その検討一覧表を表-1.4.48に示す。

同表をもとに、各処分システムの成立性の比較をまとめると次のことが言える。

- ・ ピットの有無に関しては、無加工の廃棄体の場合及び廃棄体コンテナ使用の場合とも経済性の面では有利であるが、積み上げ時の物理的安定性の確保と操業性に問題があり、特に安定性については処分空洞が大きいと対応に別途工夫が必要である。
- ・ 廃棄体を無加工とするかコンテナを使用するかについては、廃棄体の処分効率と経済性では無加工の方が有利であるが、定置時の物理的安定性、放射線遮へい等安全性や操業性の面でコンテナ使用の方が有利である。処分空洞への適用性については、坑道方式でのコンテナ使用が経済性の面で不利になる可能性がある。
- ・ ピットを鋼製にするか鉄筋コンクリートにするかについては、鋼製の方が壁厚が薄くなるため廃棄体の処分効率の面で優位であるが、鋼製ピットの人工バリアとしての適性評価の検討が今後必要となる。

以上の比較検討より、本検討では経済性の観点からは不利であるが、放射性廃棄物を取り扱うことから安全性を優先することとし、鉄筋コンクリート製ピットを有するコ

ンテナを利用した処分システムを設定する。鋼製ピットの使用については、今後の検討の進展で人工バリアとしての適性が確認できれば採用することも考えられる。

#### (b) 廃棄体の特性に適した処分空洞方式の設定

廃棄体の体積変化やガス蓄圧等の現象は、廃棄体自身の持つ特性から生じるものであり、処分場の性能に影響を与えると考えられる。廃棄体の持つ特性を考慮すると、その特性に応じて処分することが可能な空洞方式が自ずと限られてくる。そこで、廃棄体の持つ主要な特性に対する処分空洞方式・処分システムの成立性を検討評価した。その結果を表-1.4.49に示す。同表には成立性の評価結果を○×方式で示すとともに、現在の検討状況も合わせて示した。

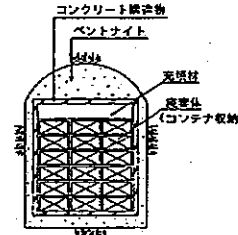


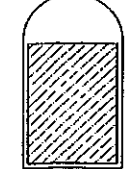
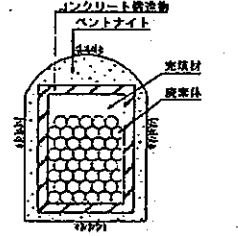
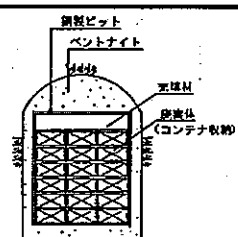
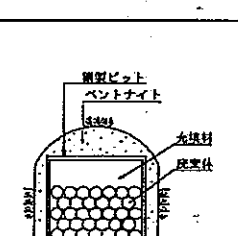
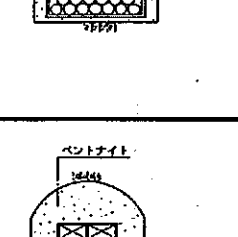
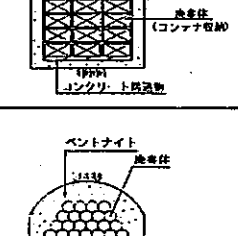
評価結果から、発熱性を有するハル・エンド・ピース圧縮固化体が坑道方式にのみ処分可能である以外、他の廃棄体はどの処分空洞方式にたいしても処分可能である、

従って、本検討では、発熱性廃棄体のハル・エンド・ピース圧縮固化体は坑道方式に処分するものとし、他の廃棄体は処分効率で有利な大断面岩洞方式、小断面岩洞方式もしくはサイロ方式の処分空洞に処分するものと設定する。

処分システムのレイアウトの設定は、以上の検討結果と設定を踏まえて行う。その詳細は1.5で示す。



表-1.4.48 廃棄体収納・定置方法の基礎検討

廃棄体収納・定置方式		評 価					特 徴		処分空洞方式への適用性評価				
ピットの有無	ピットの材質	概念図	廃棄体定置時の物理的安定性	廃棄体処分効率	操 業 性	安 全 性	経 済 性	長 所	短 所	大断面岩洞方式	小断面岩洞方式	坑道方式	サイロ方式
有り	鉄筋コンクリート	 <p>Type A</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ピットによるガイドとコンテナにより、廃棄体定置時の物理的安定性は他と比べ優れている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンテナを使用する分1断面当りの廃棄体処分量は制限される。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ピットを設置するため、定置前にベントナイトの施工が可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>廃棄体をコンテナに収納しているため、放射線しゃへいの面で安全性が高い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ピットを設置すること、コンテナを使用することから他と比べ処分コストが高い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>定置時の物理的安定性、操作性、及び安全性の面で他の方式に比べ優れている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分コストが高い。</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>コンテナにより廃棄体に作用する荷重を制限できるため、多数の廃棄体の積上げが可能。</li> <li>廃棄体は安定して定置できる。</li> </ul>	同 左	 <ul style="list-style-type: none"> <li>断面が小さいため廃棄体に作用する荷重は小さく、また安定性の確保も容易である。</li> <li>コンテナ使用は経済性の面で不利となる可能性がある。</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>大断面岩洞方式の場合と同じ</li> </ul>
		 <p>Type B</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ピットによるガイドにより廃棄体定置時の物理的安定性はよい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンテナを使用しない分1断面当りの廃棄体処分量は多くなる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ピットを設置するため、定置前にベントナイトの施工が可能。</li> <li>定置作業工数がコンテナの場合と比べ増加する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>廃棄体をむき出しのまま搬送定置するため、コンテナ使用の場合と比べ放射線しゃへいの面で安全性は劣る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンテナを使用しない分、処分コストは低い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>定置時の物理的安定性及び操作性の面で優れている。</li> <li>コンテナを使用しない分経済的である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンテナ使用に比べ廃棄体定置時安定性は低い。</li> <li>コンテナ使用に比べ放射線しゃへいの面での安全性が低い。</li> <li>形状の異なる廃棄体に対する対応性は低い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>廃棄体への作用荷重を制限するためのスラブ設置や充填材の考慮が必要。</li> <li>廃棄体は安定して定置できる。</li> </ul>	同 左	<ul style="list-style-type: none"> <li>断面が小さいため廃棄体に作用する荷重の問題は小さい。</li> <li>廃棄体定置時の安定性と精度の確保は比較的容易である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>大断面岩洞方式の場合と同じ</li> </ul>
	鋼 製	 <p>Type C</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ピットによるガイドとコンテナにより、廃棄体定置時の物理的安定性は他と比べ優れている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンテナを使用する分1断面当りの廃棄体処分量は制限される。</li> <li>コンクリート製ピットと比べピット壁厚が薄くなる分処分量の面で有利。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ピットを設置するため、定置前にベントナイトの施工が可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>廃棄体をコンテナに収納しているため、放射線しゃへいの面で安全性が高い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ピットを設置すること、コンテナを使用することから他と比べ処分コストが高い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>定置時の物理的安定性、操作性、及び安全性の面で他の方式に比べ優れている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分コストが高い。</li> <li>鋼製ピットの人工バリアとしての適性検討を要する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンテナにより廃棄体に作用する荷重を制限できるため、多数の廃棄体の積上げが可能。</li> <li>廃棄体は安定して定置できる。</li> </ul>	同 左	<ul style="list-style-type: none"> <li>断面が小さいため廃棄体に作用する荷重は小さく、また安定性の確保も容易である。</li> <li>コンテナ使用は経済性の面で不利となる可能性がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>大断面岩洞方式の場合と同じ</li> </ul>
		 <p>Type D</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ピットによるガイドにより、廃棄体定置時の物理的安定性はよい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンテナを使用しない分1断面当りの廃棄体処分量は多くなる。</li> <li>コンクリート製ピットと比べピット壁厚が薄くなる分、処分量の面で有利。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ピットを設置するため、定置前にベントナイトの施工が可能。</li> <li>定置作業工数がコンテナの場合と比べ増加する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>廃棄体をむき出しのまま搬送定置するため、コンテナ使用の場合と比べ放射線しゃへいの面で安全性は劣る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンテナを使用しない分、処分コストは低い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>定置時の物理的安定性及び操作性の面で優れている。</li> <li>コンテナを使用しない分経済的である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンテナ使用に比べ廃棄体定置時安定性は低い。</li> <li>コンテナ使用に比べ放射線しゃへいの面での安全性が低い。</li> <li>鋼製ピットの人工バリアとしての適性検討を要する。</li> <li>形状の異なる廃棄体に対する対応性は低い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>廃棄体への作用荷重を制限するためのスラブ設置や充填材による荷重分担の考慮が必要。</li> <li>廃棄体は安定して定置できる。</li> </ul>	同 左	<ul style="list-style-type: none"> <li>断面が小さいため廃棄体耐力の問題は小さい。</li> <li>廃棄体定置時の安定性と精度の確保は比較的容易である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>大断面岩洞方式の場合と同じ</li> </ul>
無し	-	 <p>Type E</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンテナにより廃棄体定置時の物理的安定性はある程度保たれるが、ピットによるガイドが無い分不安定要素は大きい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンテナを使用する分1断面当りの廃棄体処分量は制限される。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>廃棄体定置とベントナイト施工とが同時進行となるため、ピット有りとは比べ操作性は劣る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>廃棄体をコンテナに収納しているため、放射線しゃへいの面で安全性が高い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンテナを使用する分処分コストは高くなるが、ピット有りよりは低コストになる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ピット有りとは比べ、1断面当りの廃棄体処分量が多く、またピットを設置しないため経済性に優れている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ピットが無い分廃棄体定置時の安定性が劣る。</li> <li>ピット有りとは比べ操作性に劣る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンテナにより廃棄体に作用する荷重を制限できるため、多数の廃棄体の積上げが可能。</li> <li>積上げたコンテナ全体の安定性が問題となる</li> </ul>	同 左	<ul style="list-style-type: none"> <li>断面が小さいため積上げたコンテナ全体の安定性の問題は小さい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>大断面岩洞方式の場合と同じ</li> </ul>
		 <p>Type F</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>廃棄体定置時の物理的安定性に欠如している。</li> <li>別途安定性を確保するための工夫が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>他と比べ1断面当りの廃棄体処分量は最も多い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>廃棄体定置とベントナイト施工とが同時進行となるため、ピット有りとは比べ操作性は劣る。</li> <li>他と比べ定置作業手間がかかる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>廃棄体をむき出しのまま搬送定置するため、コンテナ使用の場合と比べ放射線しゃへいの面で安全性は劣る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>他と比べ最も処分コストは低くなる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1断面当りの廃棄体処分量が多く、またピットとコンテナを使用しないため、他と比べ最も経済性に優れている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>廃棄体定置時の物理的安定性と操作性に劣る。</li> <li>コンテナ使用に比べ放射線しゃへいの面での安全性が低い。</li> <li>形状の異なる廃棄体に対する対応性は低い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>廃棄体への作用荷重を制限する対策を取り難い。</li> <li>廃棄体定置時の物理的安定性の確保に問題があり、廃棄体への工夫が必要。</li> </ul>	同 左	<ul style="list-style-type: none"> <li>断面が小さいため、積上げによる廃棄体耐力の問題は小さい。</li> <li>廃棄体定置時の物理的安定性の確保には廃棄体への工夫が必要。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>大断面岩洞方式の場合と同じ</li> </ul>

注：廃棄体への工夫は別途検討。

表-1.4.49 廃棄物特性と処分システムの成立性評価

廃棄物特性			大断面岩洞方式			小断面岩洞方式			坑道方式			サイロ方式	
			Type-A	Type-C		Type-A	Type-C		Type-A	Type-B	Type-D	Type-A	Type-C
空洞方式			コンクリート製ビット + コンテナ使用	鋼製ビット + コンテナ使用		コンクリート製ビット + コンテナ使用	鋼製ビット + コンテナ使用		コンクリート製ビット + コンテナ使用	コンクリート製ビット + コンテナ無し	鋼製ビット + コンテナ無し	コンクリート製ビット + コンテナ使用	鋼製ビット + コンテナ使用
廃棄物	評価項目	特性											
M・I・E-ス 圧縮固化体	体積変化 (減少)	・有害空隙 (廃棄物容器の約30%)	△	△		△	△		○	○	○	△	△
	体積変化 (増加)		未検討 #1	未検討 #1		未検討 #1	未検討 #1		未検討 #1	未検討 #1	未検討 #1	未検討 #1	未検討 #1
	発熱性	・有り	×	×		×	×		○	○	△ (未検討)	×	×
	ガス発生	金属	処分空洞内ガス蓄圧	○	○		○	○		○	○	○	○
有機物		処分空洞内ガス蓄圧	未検討 #2	未検討 #2		未検討 #2	未検討 #2		未検討 #2	未検討 #2	未検討 #2	未検討 #2	未検討 #2
アスファルト 固化体	体積変化 (減少)	・バクテリアによるアスファルト成分の分解 (減少量不明) ・アスファルト成分溶出 (廃棄物容器の約30%)	△	△		△	△		○	○	○	△	△
	体積変化 (増加)		未検討 #1	未検討 #1		未検討 #1	未検討 #1		未検討 #1	未検討 #1	未検討 #1	未検討 #1	未検討 #1
	発熱性	・無し	○	○		○	○		○	○	○	○	○
	ガス発生	金属	処分空洞内ガス蓄圧	○	○ (未検討)		検討中	○ (未検討)		○	○	○ (未検討)	○
有機物		処分空洞内ガス蓄圧	未検討 #2	未検討 #2		未検討 #2	未検討 #2		未検討 #2	未検討 #2	未検討 #2	未検討 #2	未検討 #2
セメント 固化体	体積変化 (減少)	・セメント成分溶出とコンクリート 内空隙 (セメント系材料の約15%)	△	△		△	△		○	○	○	△	△
	体積変化 (増加)		未検討 #1	未検討 #1		未検討 #1	未検討 #1		未検討 #1	未検討 #1	未検討 #1	未検討 #1	未検討 #1
	発熱性	・無し	○	○		○	○		○	○	○	○	○
	ガス発生	金属	処分空洞内ガス蓄圧	○	○ (未検討)		○	○ (未検討)		○	○	○ (未検討)	○
有機物		処分空洞内ガス蓄圧	未検討 #2	未検討 #2		未検討 #2	未検討 #2		未検討 #2	未検討 #2	未検討 #2	未検討 #2	未検討 #2
プラスチック 固化体 (セメント充填)	体積変化 (減少)	・セメント成分溶出とコンクリート 内空隙 (セメント系材料の約15%)	△	△		△	△		○	○	○	△	△
	体積変化 (増加)		未検討 #1	未検討 #1		未検討 #1	未検討 #1		未検討 #1	未検討 #1	未検討 #1	未検討 #1	未検討 #1
	発熱性	・無し	○	○		○	○		○	○	○	○	○
	ガス発生	金属	処分空洞内ガス蓄圧	○	○ (未検討)		○	○ (未検討)		○	○	○ (未検討)	○
有機物		処分空洞内ガス蓄圧	未検討 #2	未検討 #2		未検討 #2	未検討 #2		未検討 #2	未検討 #2	未検討 #2	未検討 #2	未検討 #2
溶融固化体 (セメント充填)	体積変化 (減少)	・セメント成分溶出とコンクリート 内空隙 (セメント系材料の約15%)	△	△		△	△		○	○	○	△	△
	体積変化 (増加)		未検討 #1	未検討 #1		未検討 #1	未検討 #1		未検討 #1	未検討 #1	未検討 #1	未検討 #1	未検討 #1
	発熱性	・無し	○	○		○	○		○	○	○	○	○
	ガス発生	金属	処分空洞内ガス蓄圧	○	○ (未検討)		○	○ (未検討)		○	○	○ (未検討)	○
有機物		処分空洞内ガス蓄圧	未検討 #2	未検討 #2		未検討 #2	未検討 #2		未検討 #2	未検討 #2	未検討 #2	未検討 #2	未検討 #2

注) 核種移行評価は、別研究にて検討。

#1: 成立性に直接関係しないと考えられるので検討しないもの。  
#2: 今後検討していくべきもの。

○: 成立する。  
△: 条件付きで成立する。  
×: 成立は困難である。

#### 1.4.8 今後の課題

##### (1)体積変化解析について

廃棄体及びセメント系材料の体積変化による周辺ベントナイトへの影響について、体積変化解析を実施した。しかし、幾つかの仮定のもとに解析を行っているため、今後は解析条件・解析モデルの妥当性の検証を行い、解析の高度化をはかる必要がある。

##### (2)ガス蓄圧の影響評価について

平成8年度の検討では、ガスの発生量とベントナイト層を透過するガス透気量が平衡する状態でのシステム安全性（岩体安定）について検討した。一般に、平衡状態に達する以前に廃棄体周辺のガス圧が最大になる場合も想定されるので、この最大ガス圧に対するシステムの安全性を検討する必要がある。

##### (3)ベントナイトの圧密解析について

平成7年度の検討では、廃棄体コンテナ格納用のコンクリートピット底部のベントナイトの再冠水後における圧密挙動について考察した。今後は、コンクリートピット構築、廃棄体定置後に再冠水に至るまでの底部ベントナイトの変形挙動（圧縮変形、圧密変形）を検討すると共に、底部ベントナイトの支持力について検討する必要がある。

## 参考文献

- 1) 動力炉・核燃料開発事業団：地層処分システム性能評価におけるシナリオ開発のための情報ベース化に関する研究，PNC ZN 1410 95-，平成7年
- 2) 動力炉・核燃料開発事業団：動燃事業団におけるFEPデータベースの現状，第1回「地層処分性能評価シナリオに関連するFEPの検討会」，平成8年7月11日
- 3) 動力炉・核燃料開発事業団 環境技術開発推進本部：TRU廃棄物処分に係わる研究開発の現状調査(1)，PNC TN 1420 96-014，平成6年3月
- 4) 動力炉・核燃料開発事業団 東海事業所 環境技術開発部 地層処分開発室：TRU廃棄物処分研究の現状，I-96-6-009，1996年10月22日
- 5) 動力炉・核燃料開発事業団：高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書－平成3年度－，PNC TN 1410 92-08，平成4年9月
- 6) 日本機械学会：伝熱工学資料 改訂第4版，pp.322，1986年
- 7) 山田順治，有泉昌，鹿島出版会：分かり易いセメントとコンクリートの知識
- 8) F. M. Lea and C. H. Desch：The Chemistry of Cement and Concrete，Edward Arnold LTD. London，1956
- 9) W. チェルニン著，徳根吉郎訳：建設技術者のためのセメント・コンクリート化学，技報堂，1969
- 10) 内川浩：混合セメントの素岩および構造形式に及ぼす混和材の効果<その4>，セメント・コンクリート，No.488，pp.33-48，1987.10
- 11) 内川浩ら：混合セメントモルタル及びコンクリートの硬化体構造が強度発現性に及ぼす影響，セメントコンクリート論文集，No.44，pp.330-335，1990
- 12) 内川浩：混合セメントの素岩および構造形式に及ぼす混和材の効果<その2>，セメント・コンクリート，No.484，pp.81-93，1987.6
- 13) 動力炉・核燃料開発事業団：高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書－平成3年度－，PNC TN 1410 92-08，平成4年9月
- 14) 棚井憲治，クリストフガレ，菅野毅：圧縮ベントナイトの水素ガス移行特性評価，原子力学会，1996年
- 15) 国立天文台編：理科年表 机上版，pp.448，1990年
- 16) Marie Wiborgh：Prestudy of final disposal of long-lived low and intermediate level waste，SKB TECHNICAL REPORT 95-03，pp.80
- 17) 岩盤構成則に関する文献

## 1.5 処分場コンセプトの構築

### 1.5.1 部位の設計

#### (1) 処分空洞の概要

処分空洞については、主に以下の点について考慮する必要がある。

- ① 処分空洞の長さ
- ② 処分空洞の離間距離
- ③ 処分空洞の配置
- ④ 主要坑道の断面・配置・本数
- ⑤ 連絡坑道の断面・配置
- ⑥ 処分パネルの概念
- ⑦ 処分パネルの配置
- ⑧ 処分パネルの大きさ
- ⑨ アクセス坑道の本数・断面・配置
- ⑩ 廃棄体の埋設密度

ここで、主要坑道、連絡坑道、アクセス坑道、処分パネルについてそれぞれ定義する。

「主要坑道」・・・立坑と処分空洞につながっている坑道とを接続し、建設時の建設機材及び資材の搬出入、作業時の廃棄体の搬入、閉鎖時の充填材の搬入を行う坑道である。

「連絡坑道」・・・主要坑道と処分空洞を接続し、建設機材及び資材の搬出入、作業時の廃棄体の搬入、閉鎖時の充填材の搬入を行う坑道である。

「アクセス坑道」・・・廃棄体搬入立坑、作業員の入出用と各種建設材料の搬入及び掘削ズリの搬出用立坑及び換気用立坑のこととする。

「処分パネル」・・・処分空洞を何本かずつにまとめることにより、処分場全体をいくつかのグループに分け、そのグループのこととする。構成としては、処分空洞と連絡坑道からなるものとする。

#### (2) 処分空洞の長さ

##### (a) 基本的な考え方

廃棄体を処分空洞に処分する考え方には、大きく分けて下記の2通りが挙げられる。

- ・ 廃棄体特性や廃棄体の処分スケジュールに係わらず、廃棄体を混合して同じ空洞に全ての廃棄体を処分する方法
- ・ 廃棄体自身の持つ特性や形状、種類毎に廃棄体を分類し、廃棄体ごとに処分する空洞を変える方法

本年度の検討においては、廃棄体を格納容器（キャニスター・ドラム缶）の種類毎に

分類し、廃棄体コンテナもそれぞれの格納容器の寸法に適合するものを設定した。したがって、処分場レイアウトを設定する場合においても、廃棄体を廃棄体形状毎に分類して、処分する空洞も廃棄体毎に異なるものにする考え方をを用いる。

#### (b) 廃棄体特性に応じた処分空洞の選定

本検討において、処分コンセプトに影響を与えている廃棄体特性には、次のものがある。

- ・ 廃棄体の体積変化
  - セメント固化体からの成分の溶出
  - アスファルト固化体中にアスファルトと練り混ぜられた硝酸塩の溶出
- ・ 廃棄体の有害空隙
- ・ 廃棄体の発熱

格納容器毎に上記3つの観点から処分可能な空洞を考察する。

#### ○140ℓキャニスター

140ℓキャニスターを格納容器とする廃棄体はハル・エンドピース廃棄体のみである。このハル・エンドピース廃棄体は大きな発熱量を持つことがわかっており、熱解析を実施した結果からは、坑道方式ならば処分が可能という結論が得られた。また、ハル・エンドピース廃棄体は廃棄体製作（圧縮固化）時に体積の約30%の空隙を生ずることが分かっている。体積変化解析の結果から、現状のコンセプトでは有害空隙の多い廃棄体は、比較的大きな断面に処分することは困難であるという傾向を得た。これより、ハル・エンドピース廃棄体は、発熱量も多く、多量の有害空隙を保持しているため大きな断面の空洞に処分することは、処分場のコンセプト及び長期的な安全評価の観点から困難であると考えられる。したがって処分場レイアウトを考える場合、ハル・エンドピース廃棄体は、坑道方式に処分することとする。

#### ○200ℓドラム缶

200ℓドラム缶については、多種多様な廃棄体が格納される計画となっており、一概に処分空洞を限定することは困難である。しかし、発熱性を持つ廃棄体がほとんど無いことや有害空隙、体積変化もハル・エンドピース廃棄体に比べて少ないことから、坑道方式以外の大断面岩洞方式、小断面岩洞方式、サイロ方式の処分空洞にも処分が可能であると考えられる。ただし、アスファルト固化体については、体積の約30%の成分溶出が考えられるため注意が必要である。

### ○500ℓキャニスター

500ℓキャニスターには、返還廃棄物の一部が格納される。この返還廃棄物には発熱性を持つものが含まれている。ただし表1.2.7-廃棄体特性一覧表によって発熱率の比較をすると、ハル・エンドピース廃棄体に比べて発熱率は低く、微小な発熱量である。また有害空隙も200ℓドラム缶に格納される廃棄体とほぼ同程度と考えられることから、500ℓキャニスターに関しても200ℓドラム缶と同様、いずれの空洞にも処分が可能であると考えられる。

上述したように、140ℓキャニスターは坑道方式に、200ℓドラム缶及び500ℓキャニスターはいずれの処分空洞にも処分が可能であると考えられる。ただし、200ℓドラム缶と500ℓキャニスターを処分する空洞形態を同じものとする場合（例えば両者とも小断面岩洞方式に処分するといった場合）には、それぞれの廃棄体コンテナの形状寸法が異なることから、処分空洞の効率的な利用を考え、同じ形状のコンテナはまとめて処分を行う。そこで、更に以下のことを考慮する必要がある。

- ・200ℓドラム缶用の空洞と500ℓキャニスター用の空洞をそれぞれ設置し、別々に分けて処分する方法
- ・空洞ごとに分けるのではなく、処分空洞内の廃棄物ピットで区分して処分する方法

本検討では、500ℓキャニスターの本数が200ℓドラム缶の本数の1割以下の発生量であることを考慮し、空洞内の廃棄物ピットで区分する方法で検討を行う。

### (c) 処分空洞の組み合わせ

前項において、140ℓキャニスターは坑道方式へ、200ℓドラム缶と500ℓキャニスターはいずれの処分空洞にも処分が可能であると述べた。そこで、ここでは200ℓドラム缶及び500ℓキャニスター用の処分空洞を設定し、1パネルの処分空洞の長さを算定する。

考えられる組み合わせは以下の通りである。

表-1.5.1 処分空洞の組み合わせ

	140ℓキャニスター	200ℓドラム缶, 500ℓキャニスター
case1	坑道方式	小断面岩洞方式
case2		大断面岩洞方式
case3		サイロ方式

ここで、200ℓドラム缶と500ℓキャニスターは発熱も少ないことなどから、処分空洞に坑道方式を用いるメリットはなく、大きな空洞にまとめて処分した方が効率的であることから、200ℓドラム缶と500ℓキャニスター用の処分空洞に坑道方式を用いるケースは考えないこととする。

(d) 処分空洞長の算定

表-1.5.1のうち、3ケースについて1パネルあたりの処分空洞長の算定を行う。

・200ℓドラム缶と500ℓキャニスター用に小断面岩洞方式を用いる場合

a.前提条件

○廃棄体本数

140ℓキャニスター：24421本

200ℓドラム缶：161503本

500ℓキャニスター：7932本

○廃棄体コンテナ収納可能本数

140ℓ用コンテナ：9本

200ℓ用コンテナ：9本

500ℓ用コンテナ：4本

○コンテナ寸法（幅×長さ×高さ）

140ℓ用コンテナ：1.8m×1.8m×1.7m

200ℓ用コンテナ：2.3m×2.3m×1.2m

500ℓ用コンテナ：2.1m×2.1m×1.5m

○コンクリートピット隔壁間距離（1マスの奥行き長）

大断面岩洞方式：10m

小断面岩洞方式：5.5m

坑道方式：5m

○隔壁厚さ

大断面岩洞方式：1m

小断面岩洞方式，坑道方式：0.5m

○処分パネル数

8パネル

b.処分空洞長算定

総コンテナ数は、

140ℓ用：24421本/9本/個≒2714個

200ℓ用：161503本/9本/個≒17945個



500ℓ用：7932本/4本/個 $\div$ 1983個

空洞断面あたりに処分可能な廃棄体コンテナ数は、140ℓ用を坑道方式に処分した場合は6個、200ℓ用を小断面岩洞方式に処分した場合は40個、500ℓ用を小断面岩洞方式に処分した場合は32個である。したがって空洞奥行き方向の総コンテナ列数は、

140ℓ用：2714/6 $\div$ 453列

200ℓ用：17945/40 $\div$ 449列

500ℓ用：1983/6 $\div$ 62列

となる。隔壁間（左側または右側の1マスあたり）に処分可能なコンテナ列数は、

140ℓ（坑道方式）：5m/1.8m $\div$ 2列

200ℓ用（小断面岩洞方式）：5.5m/2.3m $\div$ 2列

500ℓ用（小断面岩洞方式）：5.5m/2.1m $\div$ 2列

である。また、1パネルあたりの総奥行きコンテナ列数は、

140ℓ用：453/8 $\div$ 57列

200ℓ用：449/8 $\div$ 57列

500ℓ用：62/8 $\div$ 8列

である。したがって、1パネルあたりの空洞奥行き方向のマス数は、

140ℓ用（坑道方式）：57/2 $\div$ 29マス

200ℓ用（小断面岩洞方式）：57/2 $\div$ 29マス

500ℓ用（小断面岩洞方式）：8/2=4マス

となるため、1パネルでの処分空洞の長さは以下のようになる。

坑道方式           ：29マス $\times$ 5m/マス+(29+1) $\times$ 0.5m+1m+1m（ベントナイト厚さ）  
                          =162.0m

小断面岩洞方式：(29+4)マス $\times$ 5.5m/マス+(29+4+1) $\times$ 0.5m+1m+1m  
                          =200.5m

上記と同様の考え方で、他の2ケースを計算した結果を表-1.5.2に示す。

表-1.5.2 処分空洞長算定結果

	坑道方式 (140ℓ)	小断面岩洞方式 (200ℓ・500ℓ)	大断面岩洞方式 (200ℓ・500ℓ)	サイロ方式 (200ℓ・500ℓ)
case1	162m	200.5m	—	—
case2	162m	—	80m	—
case3	162m	—	—	6基

注) case1：坑道方式+小断面岩洞方式  
 case2：坑道方式+大断面岩洞方式  
 case3：坑道方式+サイロ方式  
 サイロ方式の前提条件は以下の通り

- ・サイロ1基のコンテナ収納可能高さ：25.5m
- ・断面（平面）あたり収納可能コンテナ数
  - 140ℓ用：33個
  - 200ℓ用：26個
  - 500ℓ用：26個
- ・サイロ1基あたり収納可能コンテナ段数（縦方向）
  - 140ℓ用：15段
  - 200ℓ用：21段
  - 500ℓ用：17段

ただし昨年度の検討では、小断面岩洞方式及び大断面岩洞方式の処分空洞長の長さを100m程度までとしている。算定結果において小断面岩洞方式は約200mとなったが、100m以上の空洞を掘削することは技術的に可能なので、レイアウトを設定する場合は、

- ・約200mの小断面岩洞方式を1本設置する場合
  - ・約100mの小断面岩洞方式を2本設置する場合
- の2通りを考える。

### (3) 処分空洞の離間距離

処分施設は処分空洞が並列して配置されるような形態をとるため、施工時の岩盤掘削によって生じる緩み領域が、隣接する空洞間で互いに干渉しないような離間距離を保つ必要がある。以下に本検討での設定の考え方を各格納施設形態について示す。

#### (a) 基本的な考え方

##### ① 岩洞・坑道方式の離間距離

岩洞・坑道方式の離間距離は、鉄道・道路トンネル及び地下発電所・地下石油備蓄基地などの大規模地下空洞の施工実績を参考にすることができる。また、各種指針・基準類によっても必要離間距離が規定されている<sup>1)</sup>。設計要領 第三集（日本道路公団）によると力学的にはトンネルの中心間隔を掘削幅の2倍、粘土などの軟弱な地山中でも5倍を確保すればほとんど相互に影響がないと言われている。地下発電所や地下石油備蓄基地の指針<sup>2)</sup>においては、算定式によって離間距離を求める方法も示されている。一方、鉄道や道路トンネルの施工実績を見ると、離間距離は直径の2～3倍程度としているものが多い。

詳細な設定方法としては、有限要素法などの数値解析を用いる方法がある。掘削によって生じる空洞の緩み領域を求め、隣接空洞が相互干渉しないような離間距離を設定する。

##### ② サイロ方式の離間距離

サイロ方式の離間距離の検討については、我国では実施された例がほとんどない。しかし、揚水式地下発電所や地下原子力発電所の検討では、離間距離の提案式が存在し、その提案式によると直径程度の離間距離をとればよいとされている。またLNG地下タンクの指針によると直径の1/2以上とればよいとされている。また岩洞・坑道方式の離間距離の設定方法と同様に数値解析を用いて設定する方法もある。

#### (b) 力学的な方法による離間距離の検討

##### ① 岩洞・坑道方式の離間距離

本検討では各種指針・基準類のうち、算定式によって離間距離を求める方法が示されている消防法、岩盤タンクの適用基準（昭和62年5月19日通達）に着目した。それによると、空洞相互間の距離は次式から算定される値L以上を確保することと定められている。

$$L = \frac{B_1 + H_1 + B_2 + H_2}{4} + R_1 + R_2 \quad (1.5.1)$$

ここに、 $L$ ：確保すべき距離（当該岩盤空洞の空間の内壁面から隣接する空間の内壁面までの距離）

$B_1$ ：当該空間の内壁面の最大幅

$H_1$ ：当該空間の内壁面の最大高さ

$B_2$ ：隣接する空間の内壁面の最大幅

$H_2$ ：隣接する空間の内壁面の最大高さ

$R_1$ ：当該空間を構成する岩盤の緩み領域の幅

$R_2$ ：隣接する空間を構成する岩盤の緩み領域の幅

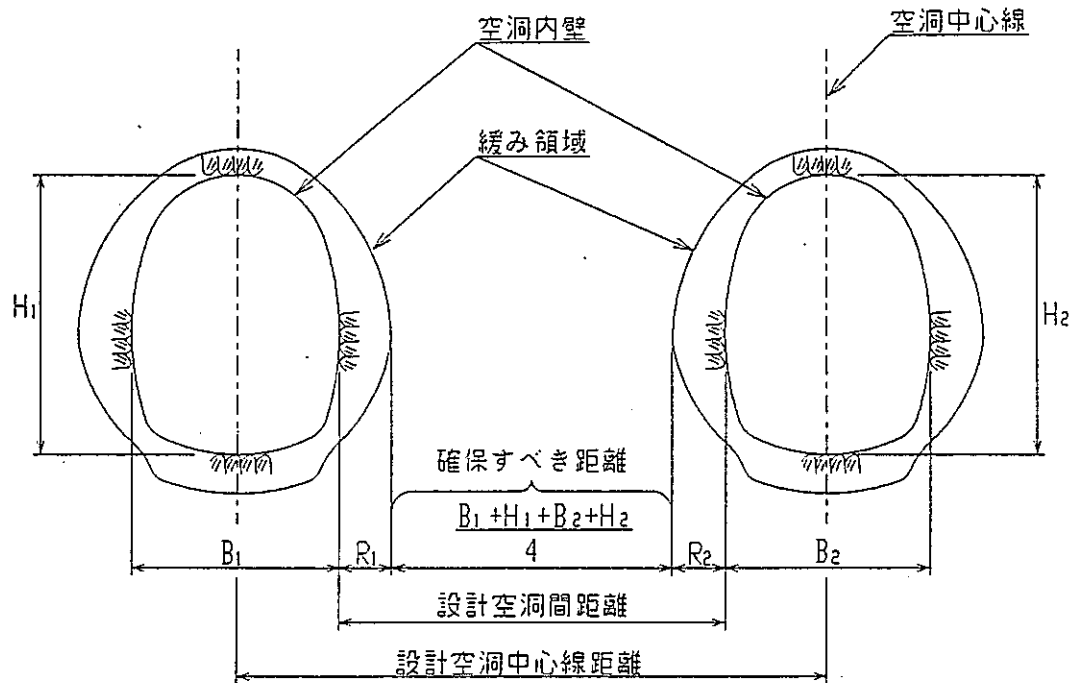


図-1.5.1 離間距離の概念図（消防法、岩盤タンクの適用基準）

先に設定した処分空洞の組合せ（表-1.5.1参照）及び小断面岩洞方式を2本設置する場合を考慮した、岩種別離間距離（設計空腔間距離）を表-1.5.3～表-1.5.5に示す。計算は処分空洞を円形断面として行い、空腔径10.0mは坑道方式、同20.0mは小断面岩洞方式、同30.0mは大断面岩洞方式にそれぞれ対応している。緩み領域は、許容変位量を4cmとした場合に円形断面を対象とした弾塑性理論解析から算定される値である。

表-1.5.3 離間距離算定結果 (結晶質岩系岩盤A) (単位:m)

深度300m					深度700m				
当該空洞径	緩み領域	隣接空洞径	緩み領域	離間距離	当該空洞径	緩み領域	隣接空洞径	緩み領域	離間距離
10.0	0.0	10.0	0.0	10.0	10.0	0.9	10.0	0.9	11.8
10.0	0.0	20.0	0.0	15.0	10.0	0.9	20.0	1.7	17.6
10.0	0.0	30.0	0.0	20.0	10.0	0.9	30.0	2.6	23.5
20.0	0.0	20.0	0.0	20.0	20.0	1.7	20.0	1.7	23.4

表-1.5.4 離間距離算定結果 (結晶質岩系岩盤B) (単位:m)

深度300m					深度700m				
当該空洞径	緩み領域	隣接空洞径	緩み領域	離間距離	当該空洞径	緩み領域	隣接空洞径	緩み領域	離間距離
10.0	0.0	10.0	0.0	10.0	10.0	1.3	10.0	1.3	12.6
10.0	0.0	20.0	0.1	15.0	10.0	1.3	20.0	2.5	18.8
10.0	0.0	30.0	0.1	20.1	—	—	—	—	—
20.0	0.1	20.0	0.1	20.2	—	—	—	—	—

表-1.5.5 離間距離算定結果 (堆積岩系岩盤A) (単位:m)

深度300m					深度700m				
当該空洞径	緩み領域	隣接空洞径	緩み領域	離間距離	当該空洞径	緩み領域	隣接空洞径	緩み領域	離間距離
10.0	0.6	10.0	0.6	11.2	—	—	—	—	—
10.0	0.6	20.0	1.1	16.7	—	—	—	—	—
20.0	1.1	20.0	1.1	22.2	—	—	—	—	—

表-1.5.3~1.5.5の当該空洞と隣接空洞の値は空洞径を示す。離間距離の算定結果は、円形断面での弾塑性理論解析から得られた緩み領域の数値を基に算定したものである。10.0mは坑道方式、20.0mは小断面岩洞方式、30.0mは大断面岩洞方式にそれぞれ対応している。現在設定している処分空洞の断面形状の掘削による緩み領域については別の解析方法(例えば有限要素法解析など)を用いると求めることができるが、本検討では、現在設定している処分空洞断面に対する離間距離の設定を、上記の離間距離算定結果、過去の施工実績、各種指針・基準類から総合的に判断して、表-1.5.6に示す値とした。基本的には消防法の式に各断面方式の空洞幅、空洞高、弾塑性理論解析より求められた緩み領域を代入して得られる値かつ隣接する空洞幅の平均値の2倍以上とし、若干の余裕値を加えたものを離間距離とした。

表-1.5.6 空洞幅と離間距離（力学的検討による）

隣接する空洞方式						離間距離
当該空洞	空洞幅	空洞高	隣接空洞	空洞幅	空洞高	
坑道方式	8.2m	12.3m	坑道方式	8.2m	12.3m	20.0m
坑道方式	8.2m	12.3m	小断面岩洞方式	15.0m	22.5m	30.0m
坑道方式	8.2m	12.3m	大断面岩洞方式	20.0m	35.0m	40.0m
小断面岩洞方式	15.0m	22.5m	小断面岩洞方式	15.0m	22.5m	30.0m

表-1.5.6の値は表-1.5.3~1.5.5に示した離間距離の算定結果の値をすべて上回るため、力学的な方法による離間距離の検討結果は表-1.5.6の値とする。

## ②サイロ方式の離間距離

本検討でのサイロ方式の離間距離の検討方法は岩洞・坑道方式に準じることとし、空洞直径の2倍以上を確保する。したがってサイロ方式の離間距離は $2 \times 20.0 = 40.0\text{m}$ 以上確保すればよい。

## (c) 熱解析の結果による離間距離の検討

昨年度の検討で示したように処分空洞に発熱性廃棄体を処分した場合、発熱量によっては周囲の人工バリア及び天然バリアに熱的な影響を与える。したがって隣接する処分空洞への熱的影響が考えられる。そこで熱解析の結果から離間距離の検討を行う。処分空洞に発熱性廃棄体を処分した場合に、廃棄体の発熱が人工バリア材及び周辺岩盤などの程度の距離まで影響するかを求め、隣接する空洞との相互影響がないような離間距離を設定することとする。

昨年度実施した熱解析の結果より、空洞間隔を中心間距離で3D、4D、5D（D：空洞直径）として熱解析を実施した結果、離間距離による温度の大きな違いは見られなかった。

## (d) 本検討での設定

離間距離の検討を、力学的な観点及び熱的な観点から行った。それぞれの検討結果を考慮し、本検討では力学的な方法による結果から、離間距離は空洞幅の2倍以上とし、表-1.5.7に示す値とする。

表-1.5.7 空洞幅と離間距離

隣接する空洞方式		離間距離
坑道方式	坑道方式	20.0m
坑道方式	小断面岩洞方式	30.0m
坑道方式	大断面岩洞方式	40.0m
小断面岩洞方式	小断面岩洞方式	30.0m
サイロ方式	サイロ方式	40.0m

#### (4) 処分空洞の配置

##### (a) 基本的な考え方

処分空洞の配置を設定するにあたっては、処分空洞以外に設置される施設との位置関係が大きく関与してくる。処分空洞以外の施設とは「1.2.3 (b) 地下施設」で挙げた主要坑道、連絡坑道等である。また処分パネルの考え方にも関係してくる。ここでは、処分パネル内において処分空洞をどのように配置するかについてを検討する。

処分空洞の配置を考える上で処分パネル内に配置されるものに連絡坑道がある。これらをどのように配置するか検討するのに考慮する要因には以下のものが挙げられる。

- ・ 廃棄体処分空洞形態
- ・ 処分場の地質条件
- ・ 工学的掘削可能性や空洞離間距離
- ・ 廃棄体特性や廃棄体の搬入速度
- ・ 建設、操業、閉鎖の作業性や作業速度
- ・ 処分スケジュール
- ・ 経済性
- ・ 物流、換気、避難ルートの確保

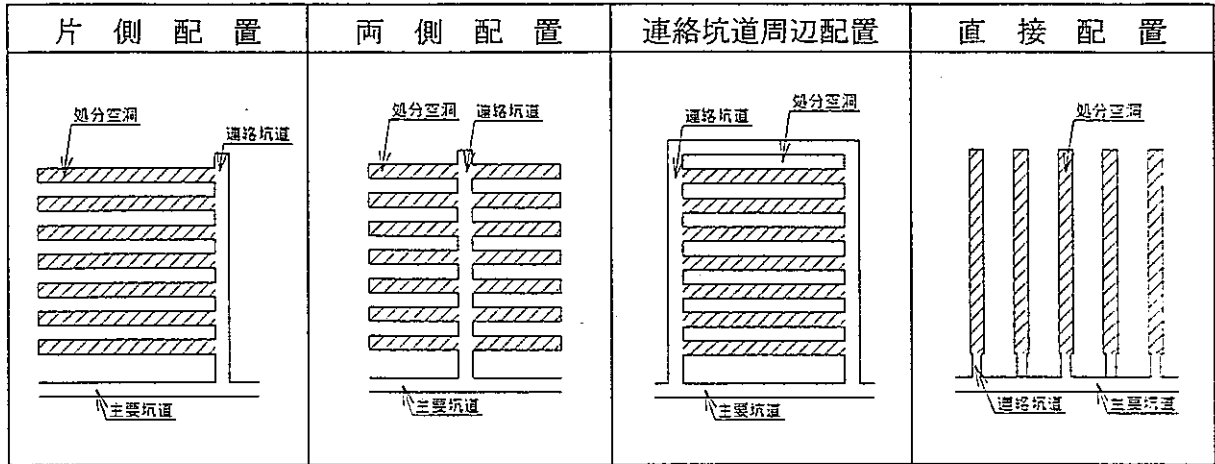
これらを総合的に勘案して、処分空洞の配置の設定をする必要がある。ただし処分場の地質条件に関しては、具体的な地質が示されていないため、ここでは考慮しない。

##### (b) 本検討での設定

処分空洞と連絡坑道の配置オプションとしては、行き止まりの処分空洞とするか、向かい側の連絡坑道に抜けられるかの2種類に代表されると考えられる。そこで本検討では、その2種類について考えられる配置形態のうち、表-1.5.8に挙げる形態を想定する。



表-1.5.8 処分空洞配置案



「(2) 処分空洞の長さ」において各方式の処分空洞長及び1パネル(処分パネルの概念については後述する)ごとの処分空洞本数を設定した。それによると岩洞・坑道方式の1パネルあたりの処分空洞本数は、大断面岩洞方式で1本、小断面岩洞方式で2本、坑道方式で9本である。これらの1パネルあたりの処分空洞本数に対し、以下の見解が得られる。

- ・片側配置及び両側配置は、処分空洞が多数存在する場合では、主要坑道からの分岐が各パネルにつき1本であることから、パネル区分や作業区分を明確に分離することができる。しかし本検討では処分空洞本数が大断面岩洞方式で1本、小断面岩洞方式で2本、坑道方式でも9本と少ないため、表-1.5.8に示したように連絡坑道と直角に処分空洞を配置する必要性はないと考えられる。また片側配置や両側配置のように連絡坑道と処分空洞を直角に接続した場合、重機の転回、廃棄体の積み換えなど掘削作業性や廃棄体定置作業性が極端に低下することも考えられる。処分場の全体レイアウトを考えた場合には、主要坑道と平行に処分空洞が配置されることとなる。したがって、全体レイアウトは極端な長方形になり、掘削距離の増加や、廃棄体搬入の作業性が悪くなることが考えられる。
- ・連絡坑道周辺配置は、換気の観点では空気の流れがよいが、掘削量の増加・閉鎖量の増加となるためコスト高になる。処分空洞両側からの廃棄体搬入が可能となるが、基本的には片側配置及び両側配置と同様、少ない処分空洞数ではあまり効率的とは言えない。
- ・直接配置は主要坑道からの分岐が処分空洞の数量だけ存在し、パネル区分及び作業区分は主要坑道もしくは分岐点で行わなければならない。しかし連絡坑道としての必要最小限の長さの掘削のみで機能するため掘削量は比較的少ないと考えられる。また同じパネル内の他の処分空洞と独立しており、かつ連絡坑道と処分空洞がほぼ

一体化しているため廃棄体搬入の作業性が良いことや、処分空洞の閉鎖に引き続き連絡坑道の閉鎖が可能になることなどのメリットが挙げられる。

以上の観点から、本検討での岩洞・坑道方式の処分空洞の配置は直接方式で考えることとする。ただし岩洞方式に関しては断面が非常に大きいため2方向からの掘削作業となり、掘削用の坑道が必要となってくる。したがってパネルごとにではなく、2パネルに1本の割合で処分空洞をとりまくような連絡坑道を配置する。

サイロ方式については「(2) 処分空洞の長さ」に示した表-1.5.7よりサイロの基数が24基となったため、1パネルあたり3基となる。ここでサイロ1基あたり連絡坑道1本の直接配置を採用した場合、併設する処分空洞の離間距離の条件から全体の配置が極端な長方形になることが予想される。したがってサイロ方式については片側配置を基本形とする。

ただし岩洞方式と同様に掘削用の連絡坑道が必要になってくるため、片側配置と連絡坑道周辺配置を併用した配置にする。またサイロ方式も岩洞方式と同様に2パネルに1本の割合で連絡坑道を配置する。

以上の各方式での処分空洞の配置図を図-1.5.2～1.5.5に示す。

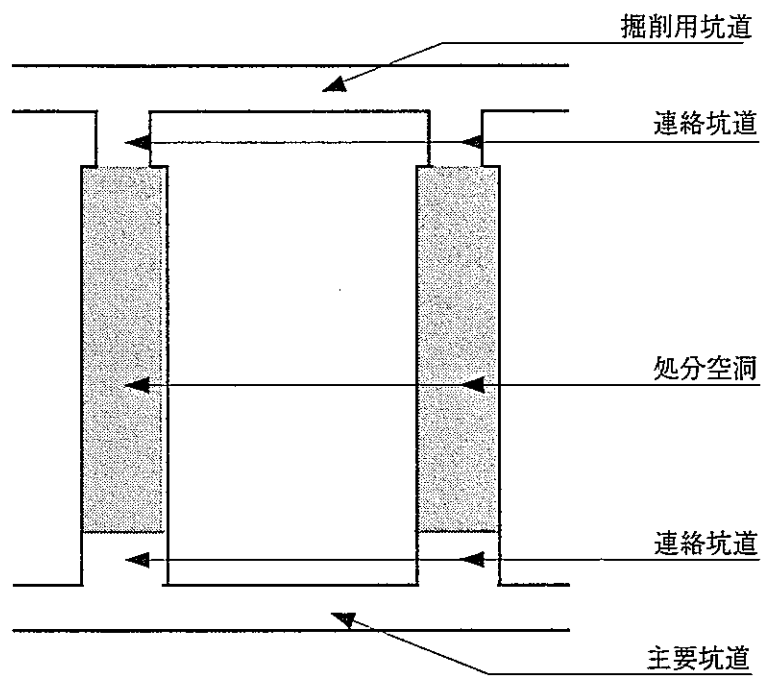


图-1.5.2 大断面岩洞方式 処分空洞配置図

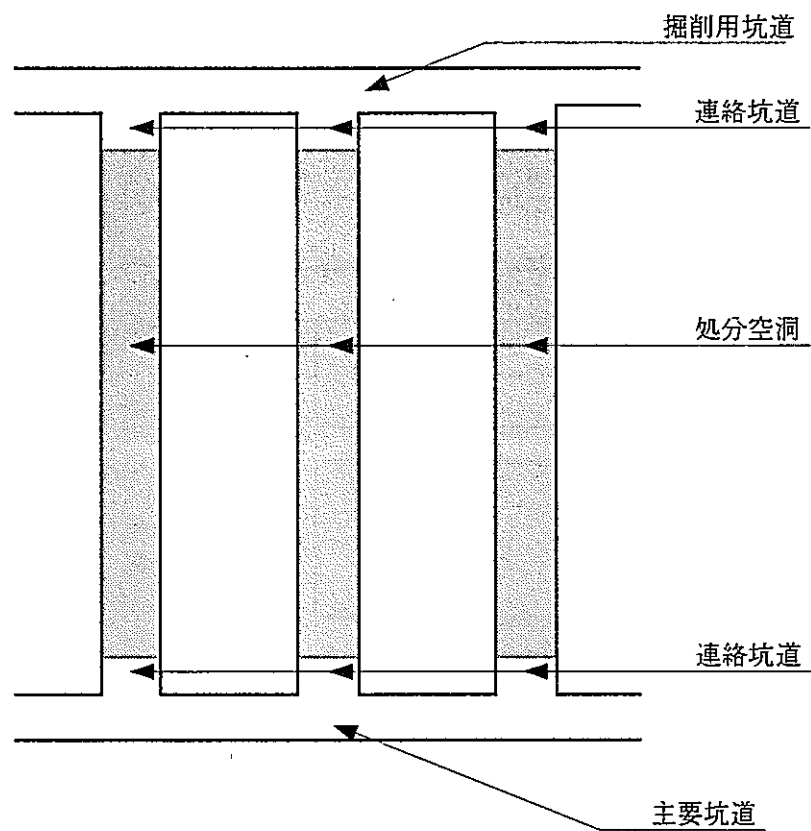


图-1.5.3 小断面岩洞方式 処分空洞配置図

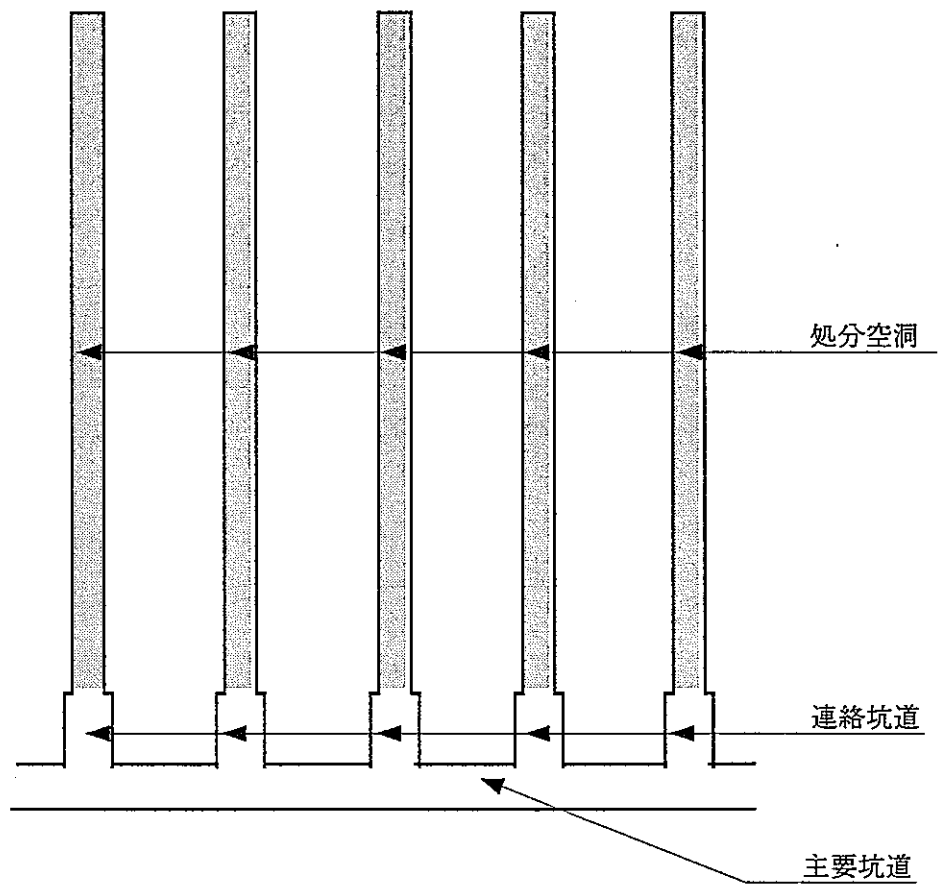


図-1.5.4 坑道方式 処分空洞配置図

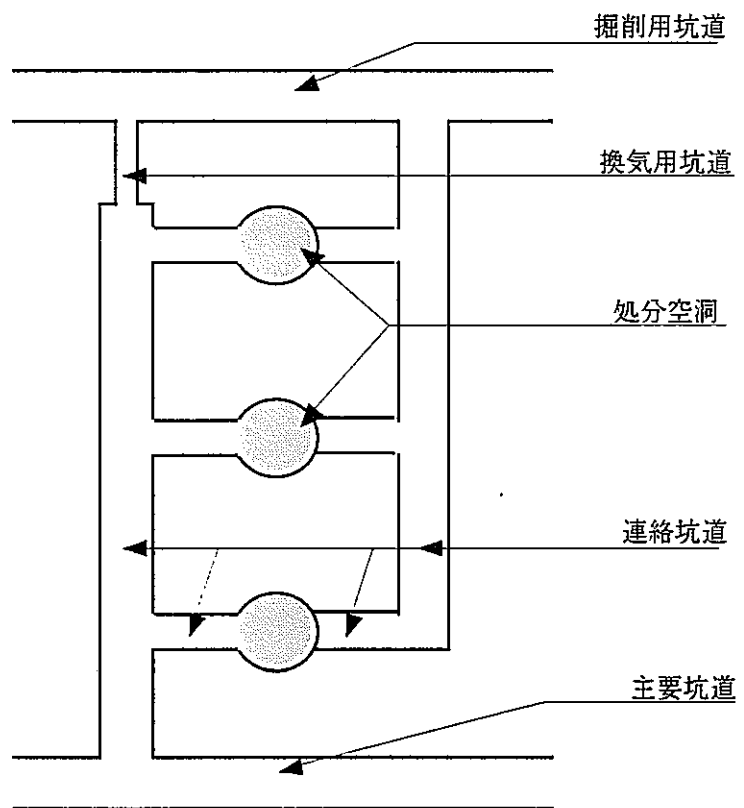


図-1.5.5 サイロ方式 処分空洞配置図

## (5) 主要坑道の断面・配置・本数

### (a) 基本的な考え方

主要坑道の断面形状及び配置の設定において最も重視しなければならない項目は、機能性についてである。主要坑道の役割は、アクセス坑道と連絡坑道を接続し、建設時の建設機材及び資材の搬出入、作業時の廃棄体の搬入、閉鎖時の充填材の搬入が挙げられる。また、主要坑道内には給水、排水、換気、エネルギー供給等のユーティリティー施設が設置される。そのためそれぞれの役割及び機能が効率よくかつ経済的に働くような断面、配置の設定をする必要がある。また建設・作業・閉鎖の並行作業性及び処分パネルの配置やアクセス坑道との位置関係を勘案して設定を行う必要がある。一方放射線管理の面から見ると、管理が容易に行える配置や本数の設定が必要となる。

### (b) 本検討での設定

#### ① 断面形状

断面形状の設定では、以下の点に着目して設定を行う。

- ・ 建設用車両、機材が容易に通行できる幅員、高さ
- ・ 廃棄体搬送車両が容易に通行できる幅員
- ・ 空洞の安定性

主要坑道には、建設時に建設用車両のとして大型ダンプトラックや、大型建設用重機が通行することが考えられる。そこで幅員については、大型ダンプトラックが2台通行できる程度の幅員は最低でも必要と考えられる。これは建設用車両が故障によって停止した場合に、1台分の幅員では主要坑道が故障車両によって閉鎖されてしまい、建設作業及び作業、閉鎖作業に至る処分場全体の機能が停止してしまう恐れがあるからである。

高さについては、主要坑道天井部に換気用ダクトを設置したうえで、建設用大型重機が通行できる高さが必要となる。以上の条件と空洞の安定性及び経済性を考慮すると主要坑道の断面形状は、馬蹄形や幌形となると考えられる。

本検討では以上の理由から主要坑道の断面形状を、図-1.5.6に示す断面形状とした。

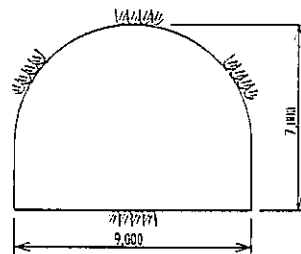


図-1.5.6 主要坑道断面形状図

## ② 配置・本数

主要坑道の配置の設定において考慮する項目には、

- ・放射線管理のしやすさ
- ・作業性
- ・安全性

等が挙げられる。これらの項目を踏まえた上で、本検討では主要坑道の配置を設定するにあたって、以下のような前提条件を設定した。

- ・処分場全体のレイアウト形状が極端な長方形にならないようにする。このことは処分空洞建設時や、廃棄体搬入時の作業性を良くすることにも繋がる。
- ・複雑な経路とならないために、主要坑道の本数はできる限り少なくする。
- ・作業の安全性から主要坑道内は一方通行とする。したがって最低でも2本の坑道を平行に配置する。
- ・車両の通行が頻繁に行われると考えられるため、安全性から交差部を極力作らない。
- ・建設の容易さ、作業性、安全性の観点から直線形状を基本とする。
- ・放射線管理区域と非放射線管理区域での作業の分割が明確にできるような配置にする。

以上の前提条件から主要坑道を処分場の中央部に2本を直線状に配置し、端部は曲線形状で繋がっている環状になっている形式を設定する。図-1.5.7に概念図を示す。

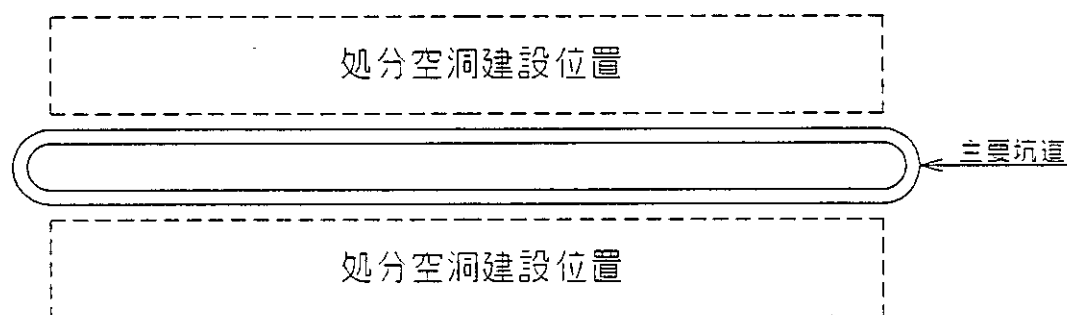


図-1.5.7 主要坑道概念図

## (6) 連絡坑道の断面・配置

### (a) 基本的な考え方

連絡坑道の断面形状の設定においても、主要坑道の断面形状の設定と同様に建設・操業・閉鎖各作業の効率性、機能性の面を重視する。連絡坑道の役割は主要坑道と処分空洞を接続し、建設機材及び資材の搬出入、操業時の廃棄体の搬入、閉鎖時の充填材の搬入が挙げられ、主要坑道とほぼ同じである。したがってそれぞれの役割及び機能が効率よくかつ経済的に働くような断面、配置の設定をする必要がある。

連絡坑道の配置に関しては、「(4) 処分空洞の配置」でも述べたように、種々の形態が考えられるが、建設作業の容易さ、建設・廃棄体定置・閉鎖の並行作業性、経済性を勘案して設定する必要がある。また、処分空洞の形態や本数に応じて、連絡坑道の配置形態や長さも変わってくると考えられるため、処分空洞の形態に応じた連絡坑道の設定が必要となってくる。このことは全体レイアウトに関しても影響してくることであるため十分な検討が必要であると考えられる。

### (b) 本検討での設定

#### ① 断面形状

連絡坑道の断面形状の設定においては、主要坑道の断面設定と同様に以下の点に着目して検討を行う。

- ・ 建設用車両、機材が容易に通行できる幅員、高さ
- ・ 廃棄体搬送車両が容易に通行できる幅員
- ・ 空洞の安定性

連絡坑道も主要坑道と同様に、建設時には大型ダンプトラック及び大型建設用重機の通行が考えられる。したがって連絡坑道においても、主要坑道と同様に大型ダンプトラックが2台通行できる幅員を確保する。

さらに連絡坑道の断面形状の設定で考慮しなければならない条件として、大型建設用重機が主要坑道と連絡坑道の接続部を曲れるような幅員を確保しなければならないことが挙げられる。連絡坑道と主要坑道の接続部についての詳細は②にて記述する。

また、連絡坑道は処分空洞に直接接続されるため、処分空洞の形状（空洞幅、空洞高さ）についても考慮する必要がある。

本検討では主要坑道に接続されている連絡坑道の幅を、大断面岩洞方式と小断面岩洞方式は、施工性の観点から処分空洞の幅に合わせることにする。また、坑道方式及びサイロ方式は重機が曲ることができる幅を確保することで空洞幅を設定する。

空洞の安定性の観点から見た場合には、断面形状は馬蹄系や幌形になると考えられる。

以上の考え方より本検討で設定した連絡坑道の断面形状図とその位置図を各処分空方

式ごとに図-1.5.8~1.5.11に示す。

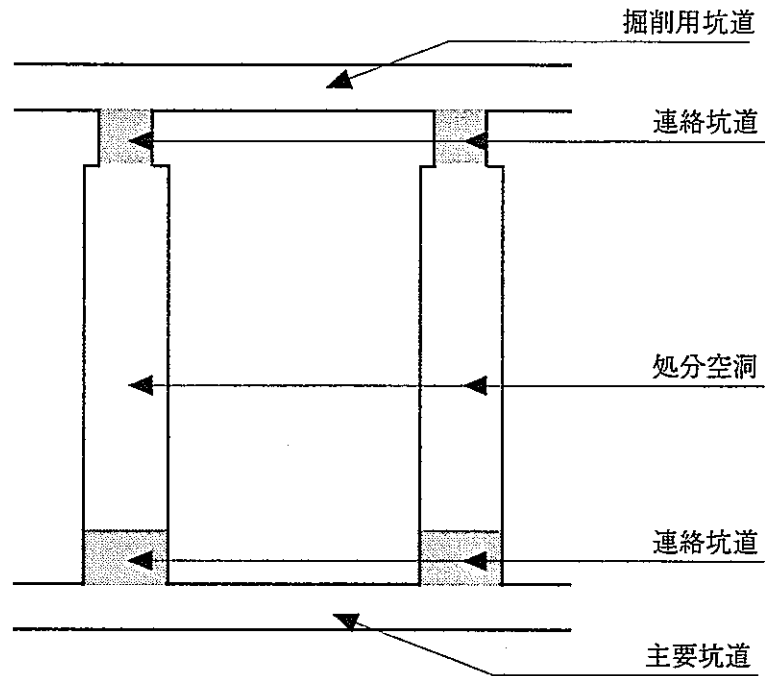


図-1.5.8 大断面岩洞方式 連絡坑道断面図

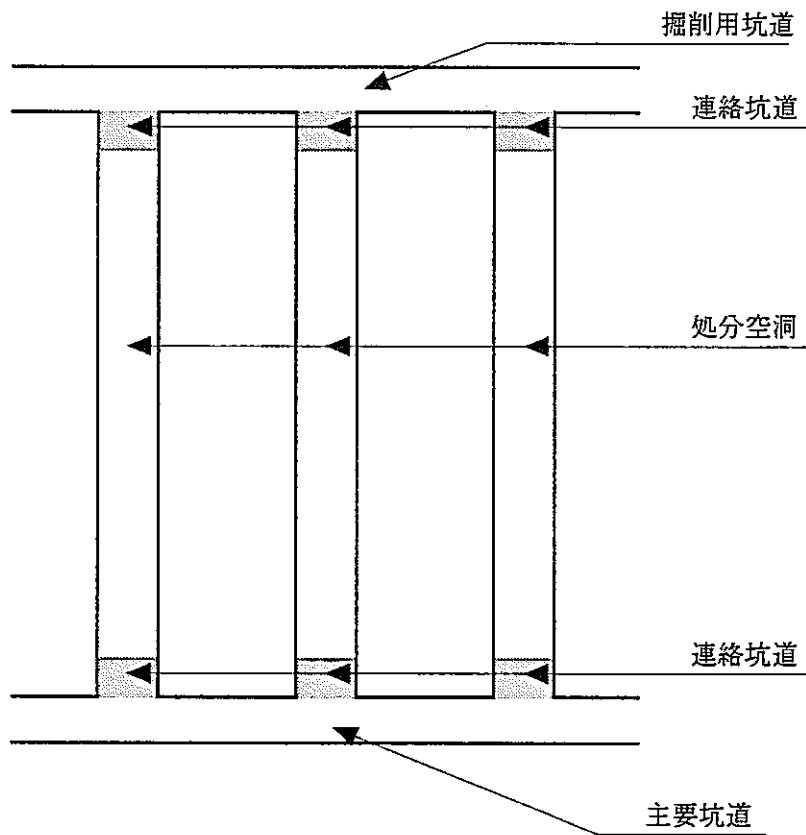


図-1.5.9 小断面岩洞方式 連絡坑道断面図



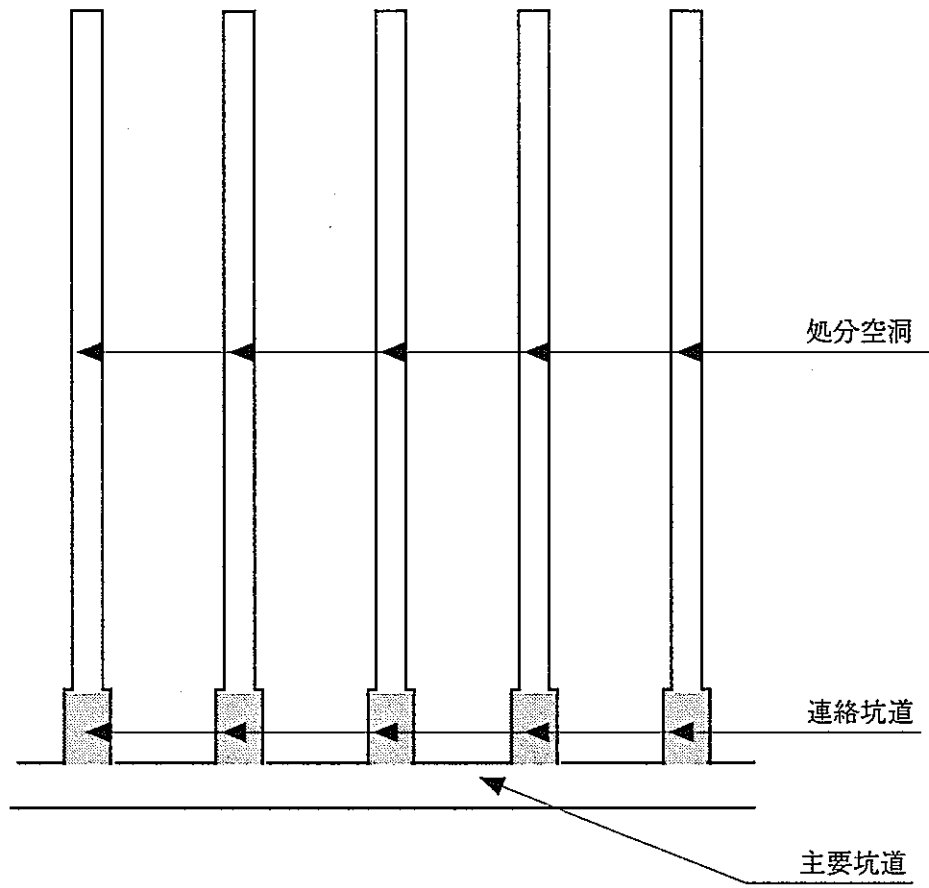


図-1.5.10 坑道方式 連絡坑道断面図

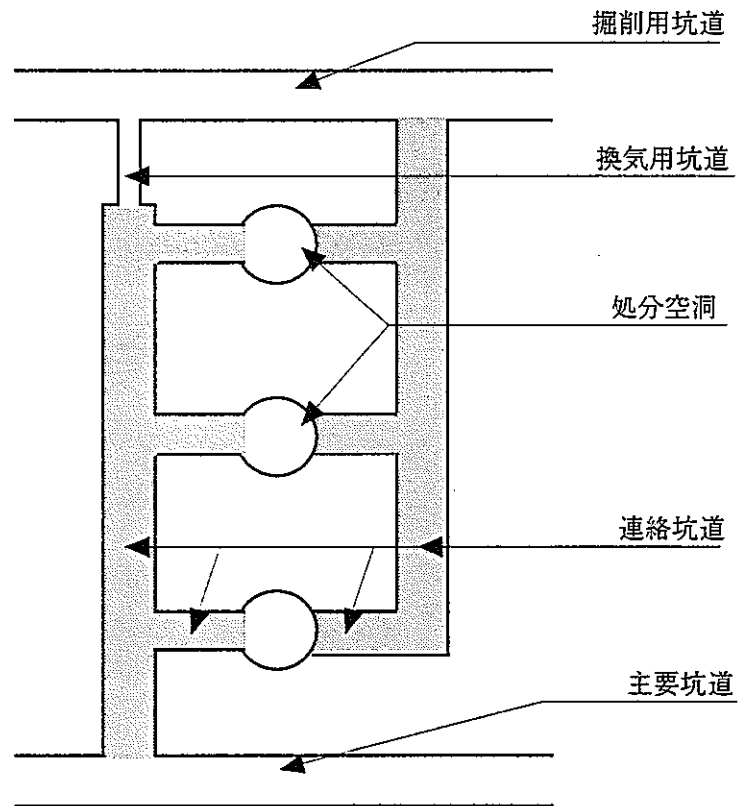


図-1.5.11 サイロ方式 連絡坑道断面

## ② 配置

連絡坑道の基本的な配置形態は「(4) 処分空洞の配置」の表-1.5.8で挙げたような4種類が考えられる。「(4) 処分空洞の配置」において述べたように本検討での連絡坑道の配置は図-1.5.8~1.5.11に示したとおりとする。

連絡坑道と主要坑道の接続部に関しては、図-1.5.12に示したような直角に接続する方法と角度をつけて接続する方法の2つが挙げられる。

角度をつけて接続した場合（下右図）には、主要坑道は一方通行であるため大型建設用重機の連絡坑道への出入りが困難になる。

また、無人での操業を考え、誘導員の配置が不可能な場合を考慮すると、安全性の観点から角度をつけて接続した場合は見通しが悪くなる。

したがって連絡坑道と主要坑道の接続は直角に接続することとする。

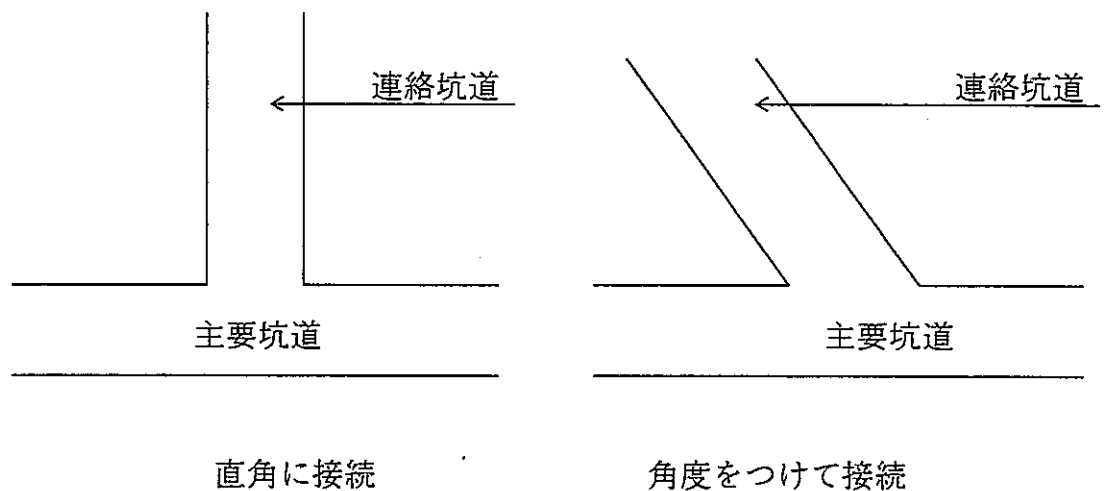


図-1.5.12 連絡坑道接続概念図

#### (7) 処分パネルの概念

処分空洞の建設、操業、閉鎖の各作業を行っていく時に、それぞれ1本ごとに作業や管理を行っていくのは、処分空洞数が多い場合には非常に困難であると考えられる。また建設、操業、閉鎖の各作業を並行して行っていく場合においては、複雑なシステムになると考えられる。そこで、処分空洞を何本かずつにまとめることにより、処分場全体をいくつかのグループに分け、そのグループごとに作業や管理を行っていく方式をとることとする。

そのグループを、本検討では「処分パネル」と定義する。処分パネルの構成は、処分空洞と連絡坑道からなる。

## (8) 処分パネルの配置

### (a) 基本的な考え方

TRU廃棄物処分場の処分パネルの配置及びパネル分け、枚数の設定は、以下の項目について考慮する必要がある。

#### ① 放射線管理

処分パネルの配置並びにパネル枚数の設定においては、操業時などの放射線管理区域と、建設時などの非放射線管理区域との明確な区別が必要になってくる。建設・操業・閉鎖の各作業は、一般的にはパネル毎に区分して行うと想定されるため、それらの作業が輻射しないような配置が望ましい。

#### ② 作業工程

パネル配置・枚数の設定には、建設・操業・閉鎖の各作業工程を考慮する必要がある。あらかじめ定まっている処分場操業スケジュールや廃棄体搬入スケジュールに対して、建設のスケジュールをそれらに対応させて設定する必要があるため、パネル配置は建設工程と合致するような計画をする必要がある。

#### ③ 地盤条件

パネルの大きさを設定するには、原地盤の岩体がどのように分布しており、その岩体の分布の広さを考慮する必要がある。

### (b) 本検討での設定

#### ① 前提条件

(a)に挙げた項目のうち、地盤条件については処分場建設予定地が未定で、具体的な岩盤条件が設定されていないため理想的な岩盤の基での検討を行うものとし、直接的な要因とはせず考慮しない。したがって本検討の処分パネルの設定には、放射線管理及び作業工程について考慮し設定を行うこととする。本検討で処分パネルの配置及び枚数を設定する際に、前提とした条件を以下に示す。

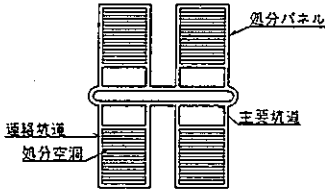
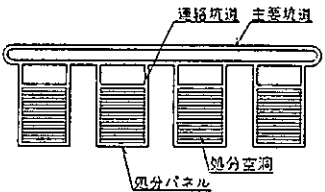
- ・建設、操業、閉鎖の3作業を放射線管理の面から分離する。
- ・処分パネル数の設定は、廃棄体処分スケジュールと処分場建設開始～処分場閉鎖完了までの期間で設定する。
- ・放射線管理の考え方は、閉鎖時の主要坑道は非放射線管理区域とする。
- ・可能な限り主要坑道の数は少なくする。
- ・主要坑道内は一方向通行とする（交差点を避けるため）。
- ・岩盤条件は、処分場の具体的な設置地域が想定されていないことから、理想的な物

性値を持つ岩盤とし、一様な物性値の岩盤が広範囲にわたって分布しているものと仮定する。

## ② パネル配置の比較

パネル配置について一般的に想定される配置パターン2ケースで、安全評価、放射線管理、建設・操業・閉鎖についての比較を行った。表-1.5.9にその比較を示す。

表-1.5.9 パネル配置の比較

		核種移行解析	放射線管理	建設・操業・閉鎖	坑道長さ
両側配置	<p>主要坑道の両側に処分パネルを配置する方法</p>  <p>(概念図)</p>	本検討では考慮しない。	左右もしくは、上下に分離することにより各作業における放射線管理が行える。	主要坑道のパネルを配置することにより、坑道を効率よく使用できる。	占有面積は両配置方式ともほぼ等しいが、両側配置は集中的に配置され、主要坑道が短い。
片側配置	<p>主要坑道の両側に処分パネルを配置する方法</p>  <p>(概念図)</p>	本検討では考慮しない。	両側配置と同様に、左右もしくは上下に分離することにより各作業での放射線管理が行える。	主要坑道の片側にのみ処分パネルを配置することから、坑道の有効利用がはかれない場合がある。	パネルの枚数が増加すると、極端な長方形になる可能性があり、坑道の長さが長くなる。搬送距離の増加。

上記の比較表より、放射線管理の観点では両者で大きな違いはないと考えられる。一方、建設・操業・閉鎖の観点と占有面積の観点において、両側配置の方が有利となることがわかる。また経済性の観点から、片側配置は両側配置と比較して、坑道が長くなり、搬送距離も長くなるため経済性に劣る。

したがって本検討では、主要坑道の両側に処分パネルを配置する両側配置の形式を採用する。

### ③ 処分パネルと放射線管理

「② パネル配置の比較」において主要坑道の両側に処分パネルを配置することとした。その配置に従って、放射線管理について考える。放射線管理は建設、操業、閉鎖作業が同時に進行することができ、かつ放射線管理区域と非放射線管理区域の区分が明確に行われる必要がある。また処分場を細かく分割して放射線管理を行うよりも、大きく区分した方が作業性、放射線管理の考え方について容易になると考えられる。

本検討においては、処分パネルを主要坑道の両側配置としたことから、放射線管理区域と非放射線管理区域を大きく2つ（上下、左右など）に分ける。分け方については主要坑道に平行な軸で上下に分ける方法と、主要坑道に垂直な軸で左右に分ける方法があるが、本検討では後者の左右に分ける方法を採用することとする。

### ④ 処分パネルの枚数

処分パネルの枚数は、③において示した放射線管理の考え方を基に設定を行う。③において放射線管理区域と非放射線管理区域を処分場中心で左右に分けて考えることにした。したがって処分パネルの枚数は左右とも同じ枚数にする。これは建設、操業、閉鎖の各作業を並行して行うためである。その考え方は⑤に示す。

具体的な枚数については「(2) 処分空洞の長さ」において大断面岩洞方式の処分空洞長を100m程度としたときに処分空洞数が8本となったことから、処分パネルの枚数は1パネル1本で左右それぞれに4枚ずつの計8枚とする。小断面岩洞方式、坑道方式、サイロ方式もこれに従い、それぞれ8パネルとする。

### ⑤ 処分パネルの配置と建設・操業・閉鎖の関係

建設・操業・閉鎖の輻輳作業の関係を図-1.5.13に示す。同時に放射線管理区域と非放射線管理区域についても示す。図-1.5.13に示すように主要坑道の中心でエリアを左右に分割し、放射線管理区域と非放射線管理区域を明確に区分する。建設及び閉鎖と、操業が同じエリア内で行うことのないような作業計画を設定する必要がある。

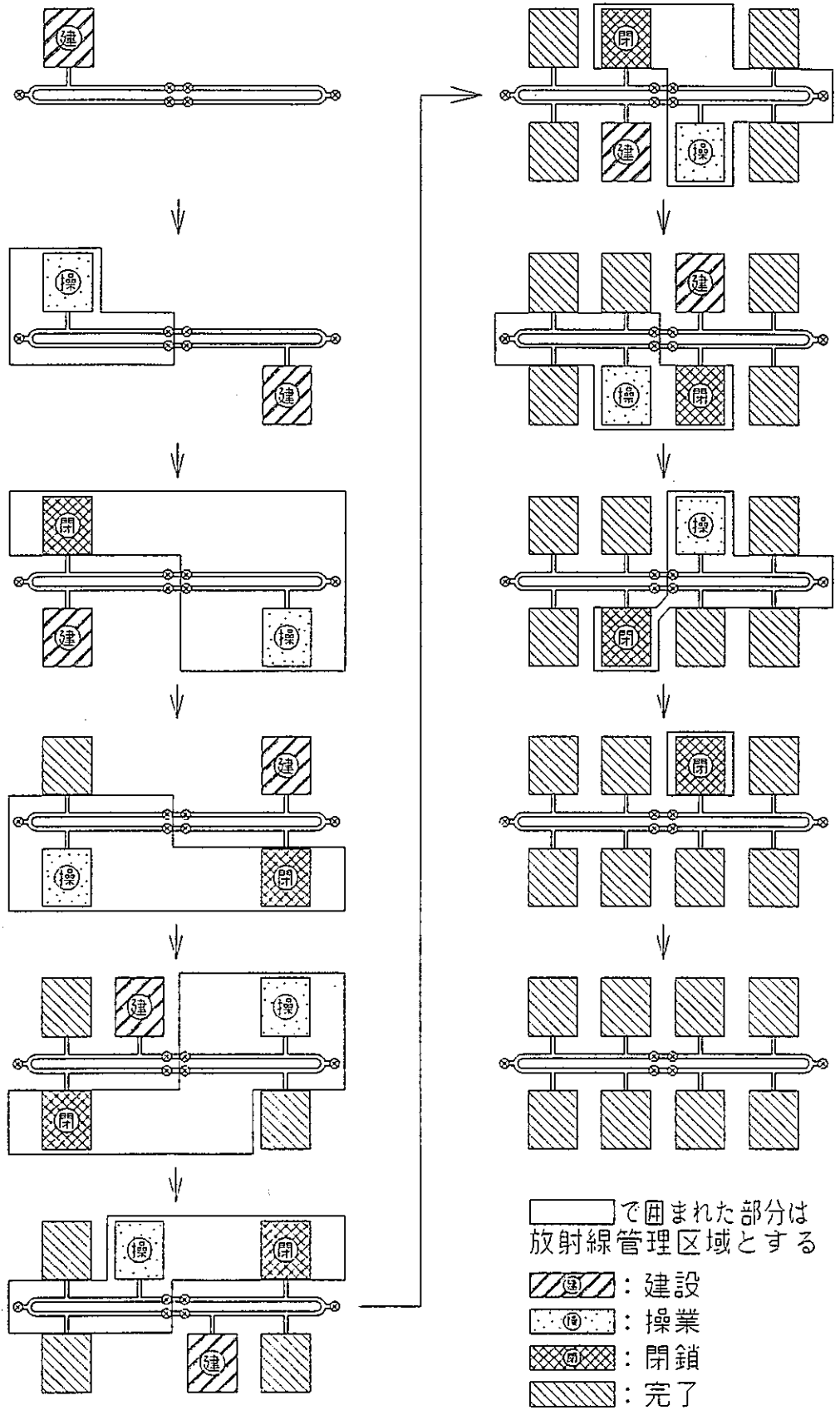


図-1.5.13 放射線管理区域と建設・操業・閉鎖作業の関係

(9) 処分パネルの大きさ

(a) 基本的な考え方

TRU廃棄物処分場の処分パネルの大きさを設定するための要因としては、以下のものが挙げられる。

- ・ 処分空洞の形状（岩洞，坑道，サイロ）
- ・ 処分空洞の大きさ，空洞長さ
- ・ 処分空洞の数量（岩洞・坑道方式の場合は本数，サイロ方式の場合は基数）
- ・ 処分空洞の離間距離

処分空洞方式が岩洞・坑道方式の場合は，複数の岩洞又は坑道が並列して配置されることとなる。そのため，パネルの大きさは必然的に岩洞・坑道の長さ，岩洞・坑道間の離間距離に左右されることとなる。

処分空洞方式がサイロ方式の場合は，単独のサイロがある離間距離をとって配置されることとなる。

廃棄物処分場の処分パネルの大きさは，上記の要因及び岩盤条件などを総合的に判断して設定する必要があるが，本検討では現時点で不確定な岩盤条件については考慮せず，処分空洞に関するもののみで設定することとする。

(b) 本検討での設定

本検討では，廃棄物処分場の建設予定地を具体的に想定していないため，岩盤条件については考慮せず，理想的な岩盤物性値の岩体が広範囲にわたって分布しているものと仮定する。表-1.5.10に処分パネルの大きさの設定条件となる値を示す。

表-1.5.10 処分パネルの設定条件

処分形式	坑道+大断面岩洞		坑道+小断面岩洞		坑道+サイロ	
	坑道	大断面岩洞	坑道	小断面岩洞	坑道	サイロ
処分空洞幅	8.2m	20.0m	8.2m	15.0m	8.2m	21.0m
パネル処分空洞数	2本	1本	2本	2本	1本	6基
処分空洞長	85m	80m	162m	100m	162m	21.0m
離間距離	坑道-大断面	40.0m	坑道-小断面	30.0m	坑道-サイロ	42.0m
	坑道-坑道	20.0m	坑道-坑道	20.0m	坑道-坑道	21.0m
			小断面-小断面	30.0m	サイロ-サイロ	42.0m

表-1.5.10の中の，処分空洞幅，処分空洞長，離間距離，1パネル処分空洞数を用いて各処分空洞方式での処分パネル図を図-1.5.14~1.5.17に示す。



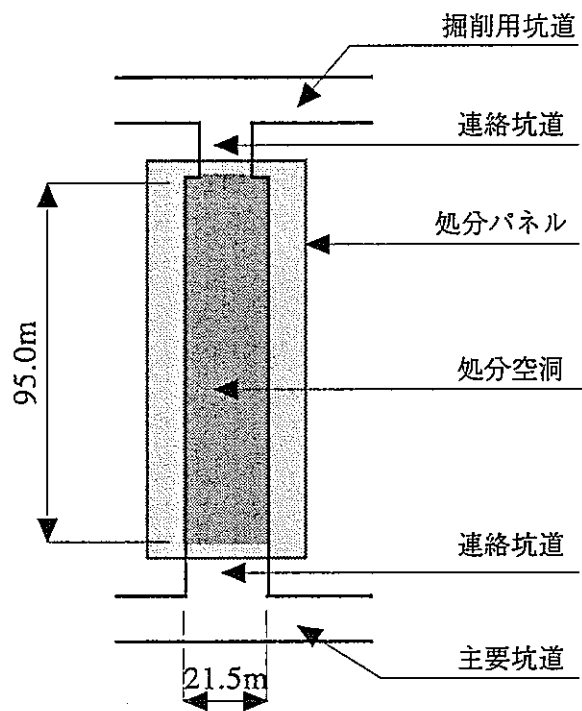


図-1.5.14 大断面岩洞方式 処分パネル図

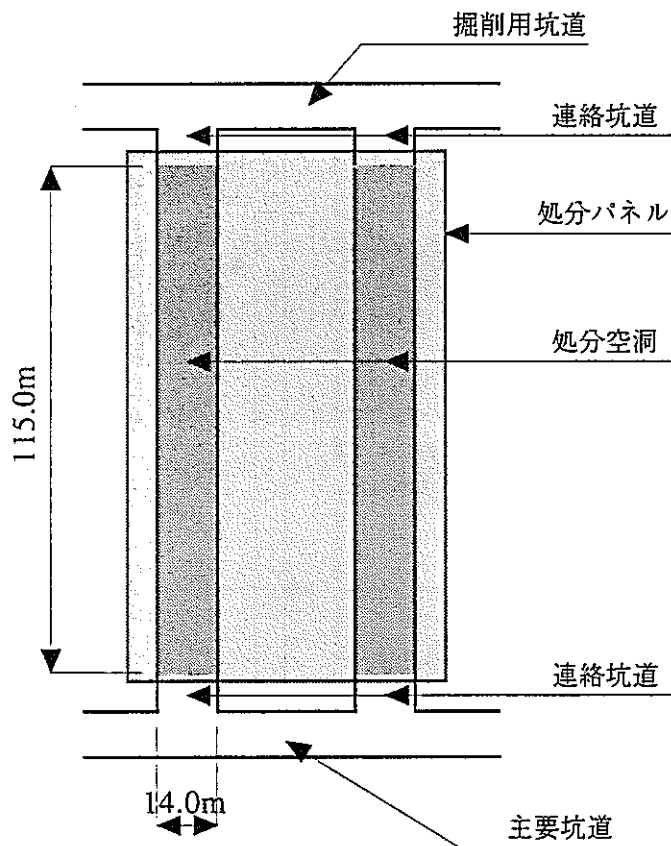


図-1.5.15 小断面岩洞方式 処分パネル

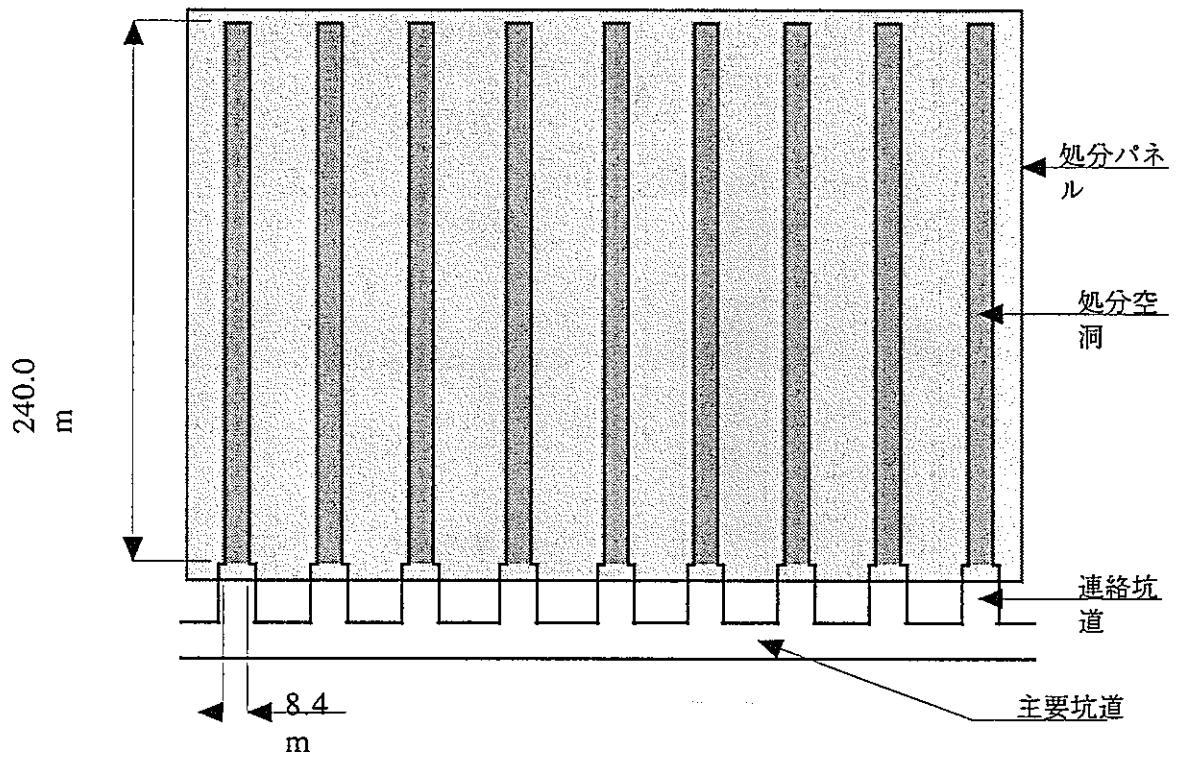


図-1.5.16 坑道方式 処分パネル図  
掘削用坑道

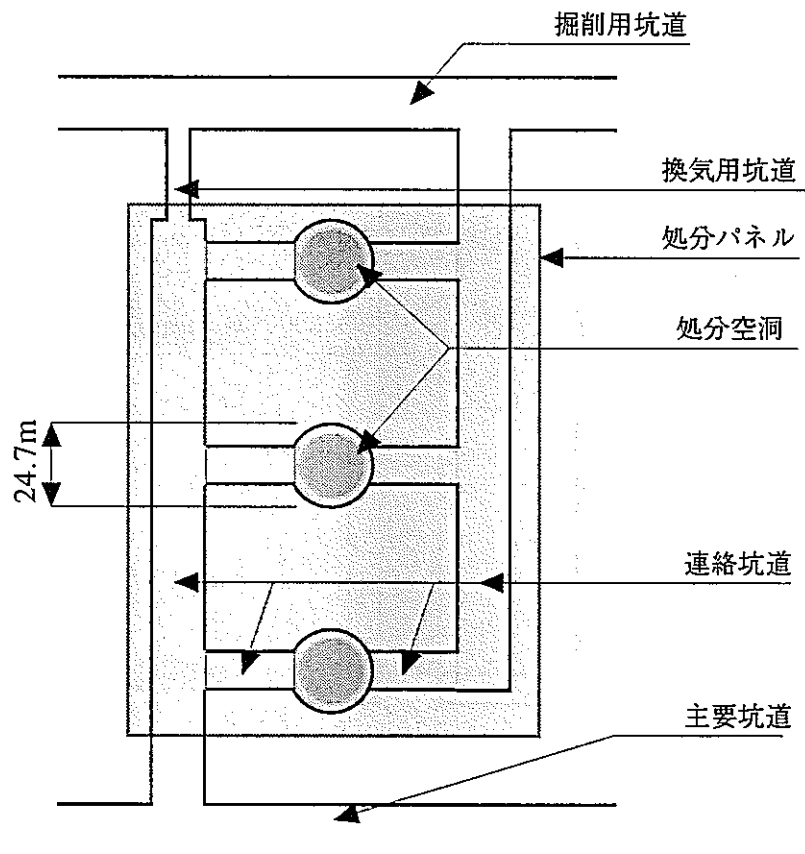


図-1.5.17 サイロ方式 処分パネル

## (10) アクセス坑道の本数・断面・配置

### (a) 基本的な考え方

#### ① 立坑の本数

立坑は、「1.2.3 検討対象施設 (1) 主要施設 (b) 地下施設 ① アクセス坑道」の表-1.2.13で述べたような多用な目的に使用される。そこで、ここでは立坑についての仕様を設定する。立坑は多用な目的のため、地下施設の安全性確保の観点から、廃棄体を搬送する経路（放射線管理区域）と処分施設の建設・閉鎖時の工事車両が通行する経路（非放射線管理区域）とを分割する必要がある。また、建設・操業・閉鎖の並行作業を考慮することから、複数の計画本数を考える。

#### ② 立坑の断面

立坑の断面についても本数の設定の考え方と同様に、目的及び機能に応じた断面を設定する。廃棄体及び資機材の搬入、掘削ズリの搬出など、物流のクリティカルパスとならないような直径及び断面を設定する必要がある。

#### ③ 立坑の配置

立坑の配置には、

ア.立坑をある場所に集中させて近接配置する集中方式

イ.立坑を分散させて配置する分散方式

の2種類が考えられる。位置的に見ると、集中方式では、

- ・中央集中配置
- ・端部集中配置

が考えられる。一方、分散方式では

- ・中央周辺配置
- ・周辺分散配置
- ・2ヶ所分散配置
- ・3ヶ所分散配置

などがあり、様々なオプションが考えられる。配置は各作業性や地下処分施設のレイアウトを極力小さくすること及び地上施設の占有面積を勘案し、集中方式が有利となると考えられる。ただし、周辺岩盤の安定性を考慮して、立坑間にも適当な離間距離をとる必要がある。

(b) 本検討での設定

① 本数

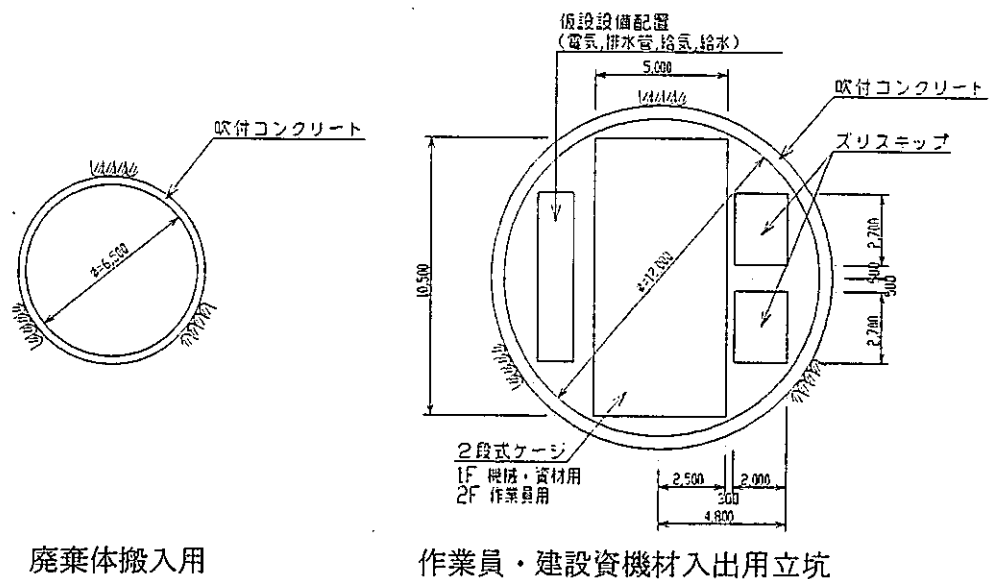
立坑の本数は、「1.2.3 検討対象施設 (1) 主要施設 (b) 地下施設 ① アクセス坑道」で挙げた各項目に基づいて設定を行う。本検討では建設・操業・閉鎖の各作業の独立性も考慮して、廃棄体搬入立坑を2本、作業員の入出用と各種建設材料の搬入及び掘削ズリの搬出用立坑を2本、換気用立坑を2本の計6本を設置することとする。なお、避難用としての立坑は換気用立坑と兼用することとし、給排水・エネルギー供給・通信は、作業員・材料運搬用立坑と兼用することとする。

② 断面

立坑の断面の決定方法は以下のものが挙げられる。

- ・過去の大深度立坑施工実績
- ・廃棄体搬入エレベーター仕様
- ・建設機材、資材搬入用エレベーター仕様

これらを総合的に考慮して立坑径を設定する必要がある。廃棄体搬入用立坑については、エレベーター設置スペースを考慮に入れると、直径6m～7mの円形断面となることから、本検討では直径6.5mの円形断面とする。一方、作業員・建設資機材入出用立坑については、最初にその立坑を用いて、建設に用いる大型建設重機及び大型ダンプトラックを地下に搬入する必要がある。大型建設重機及び大型ダンプトラックを分解し部品ごとに運び込み、地下で組み立てた上で建設作業にとりかかる。したがって重機の部品の大きさによってエレベーターの仕様が決まり、立坑断面が定まってくると考えられる。その方法により立坑断面を定めると、作業員・建設資材入出用立坑は直径12mの円形断面が必要となる。それぞれの断面形状図を図-1.5.18に示す。



### ③ 配置

配置は作業性の観点から集中方式とする。また設置位置は、換気用立坑は換気の効率を良くするために主要坑道の両端に配置することとし、他の立坑は中央に配置する。

## (11) 廃棄体の埋設密度

### (a) 基本的な考え方

廃棄体の埋設密度は、廃棄体の処分形態や定置方法にも大きく関与してくる項目である。廃棄体の埋設密度を設定する際に関係してくるものとして廃棄体特性及び廃棄体の体積変化が挙げられる。

廃棄体特性のうち、熱的観点から見ると、一般的に廃棄体は非発熱性のものと発熱性のものに大きく分類される。非発熱性廃棄体は集中定置が可能であるが、発熱性廃棄体はその発熱量によっては、集中配置は不可能である。その場合には、後述する2方策が考えられる。一つは、非発熱性廃棄体中に発熱性廃棄体を一様に分散定置し温度上昇量を抑える「分散方式」である。もう一つは、それぞれを分別し、さらに発熱性廃棄体については温度上昇量が問題にならない密度で定置する「分別方式」である。

一方、廃棄体の体積変化の観点から見るとハル・エンドピースは体積の約30%の有害空隙が存在する。またアスファルト固化体は、硝酸塩の溶出による約30%の体積変化を生ずる。そのため、これらの廃棄体を集中して処分した場合、廃棄体の変形からコンクリートピットの変形、さらにはベントナイトの変形と繋がり、変形量が過大な場合は人工バリアの要求性能に影響を及ぼすことが考えられる。したがって体積変化の大きい廃棄体についても体積変化の影響が少ない処分方式で埋設するか、あるいは体積変化の少ない廃棄体と混在させて処分する必要がある。

### (b) 本検討での設定

本検討では、大断面岩洞方式、小断面岩洞方式、坑道方式、サイロ方式について発熱性廃棄体を収納した場合を想定して熱解析を実施し、人工バリア材及び周辺岩盤の熱的な経時変化を求め、人工バリア材の機能を破壊するような熱量が発生しないように、廃棄体定置量や廃棄体定置密度を求める。

また、体積変化の影響についても有害空隙量を仮定し人工バリアの変形量を求め、要求性能を満たすような定置密度を求める。

## 1.5.2 全体レイアウト

全体レイアウトを設定する際に考慮する施設の仕様についての検討を行った。表-1.5.11と表-1.5.12その仕様と設定結果をまとめて示す。

表-1.5.11 レイアウト検討における検討条件①

仕 様	設 定 結 果	備 考
岩 種	結晶質岩系岩盤，堆積岩系岩盤	
廃棄体処分量	200,000本	ドラム缶，キャニスターの本数
建設・操業・閉鎖スケジュール	全て並行して行う。	
操業期間	40年間	約20万本の廃棄体を年間5千本のペースで処分
建設速度	操業と同一速度とする。 (40年間)	処分空洞の建設を対象とする。
閉鎖速度	操業と同一速度とする。 (40年間)	処分空洞の閉鎖を対象とする。
作業の競合の有無	建設，操業，閉鎖はパネル毎に独立して行う。付随する物流ルートも独立する。	建設と閉鎖は同じルートを使用。
処分場設置深度	300m，700mの2ケースをとする。	結晶質岩，堆積岩共に2ケース想定する。
アクセス坑道の形式	立坑とする。	斜坑はオプション
アクセス坑道の本数	6本（廃棄体搬入用2本，作業員入出用・材料搬入・ズリ出し2本，換気用2本）とする。	避難用，給排水，エネルギー供給，通信用は立坑と兼ねる。
アクセスの坑道配置	集中方式とする。ただし換気用立坑は主要坑道の両端に配置する。	
主要坑道の配置	中央部に2本を並行に配置，端部は接続し環状にする。	
連絡坑道と処分空洞の配置	直接配置型を基本形とする。ただしサイロ方式は片側配置とする。	2パネル毎に建設用の連絡坑道を周辺配置
処分空洞の配置	主要坑道に垂直に配置する。	

表-1.5.12 レイアウト検討における検討条件②

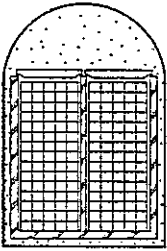
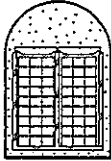

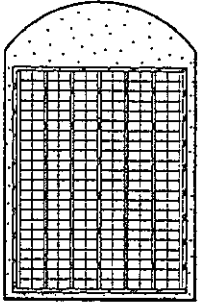
		大断面岩洞	小断面岩洞	坑道	サイロ	備考
処分空洞 形状及び 処分形態	処分 空洞					
	処分 形態	各方式ともコンクリートピットを構築する。ドラム缶又はキャニスターを入れた廃棄体コンテナをクレーンにて運搬，定置する。				

表-1.5.11と表-1.5.12を基に，各処分空洞方式の全体レイアウト図を図-1.5.19～1.5.22に示す。



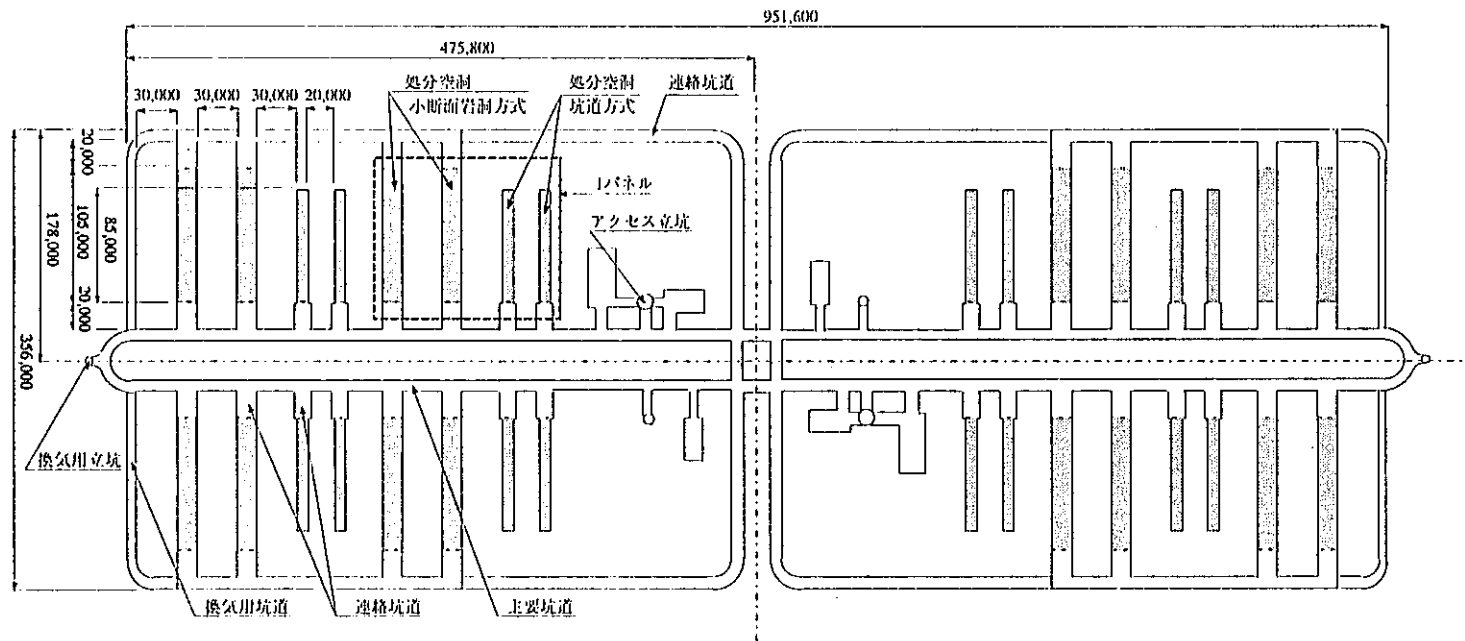


図-1.5.19 処分場レイアウト図（坑道方式+小断面岩洞方式・その1）

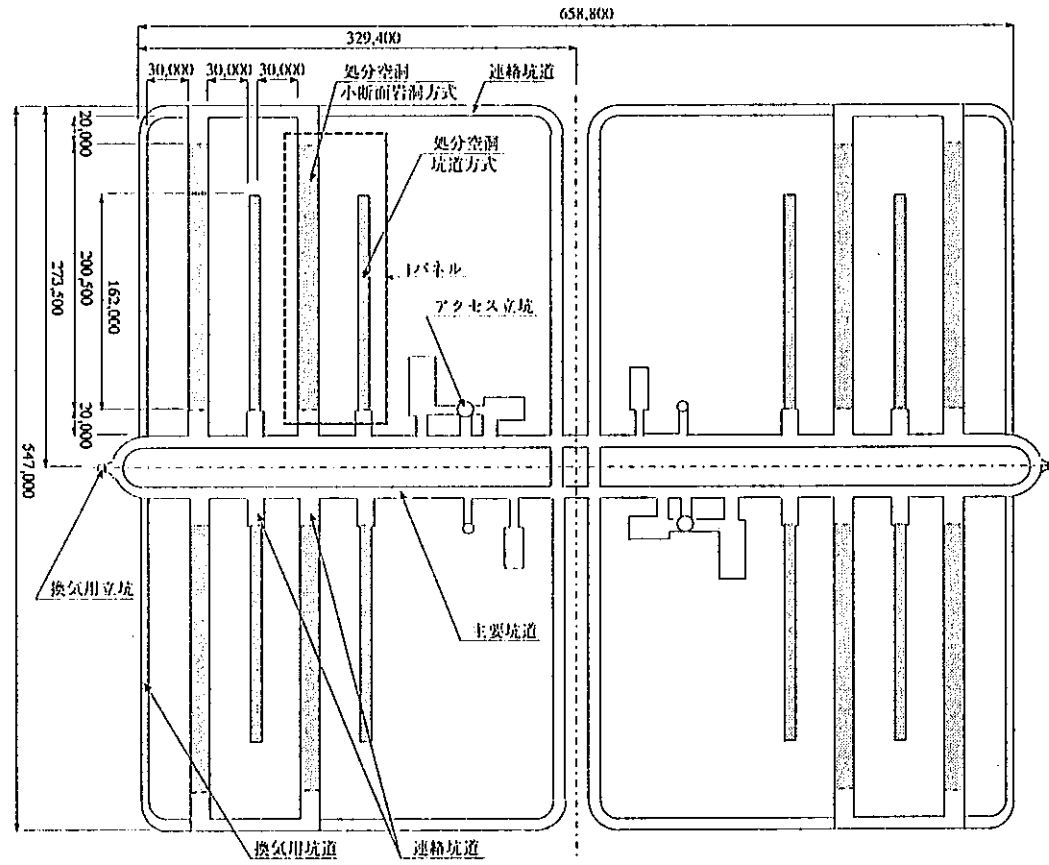


図-1.5.20 掘分場レイアウト図 (坑道方式+小断面岩洞方式・その2)

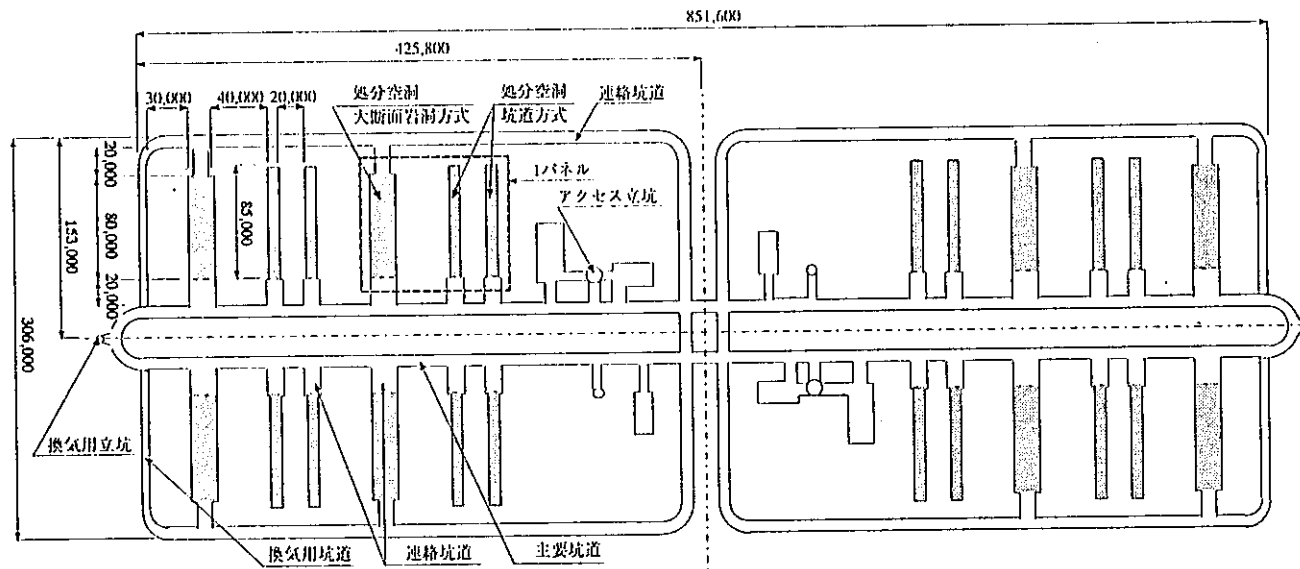


図-1.5.21 処分場レイアウト図 (坑道方式+大断面岩洞方式)

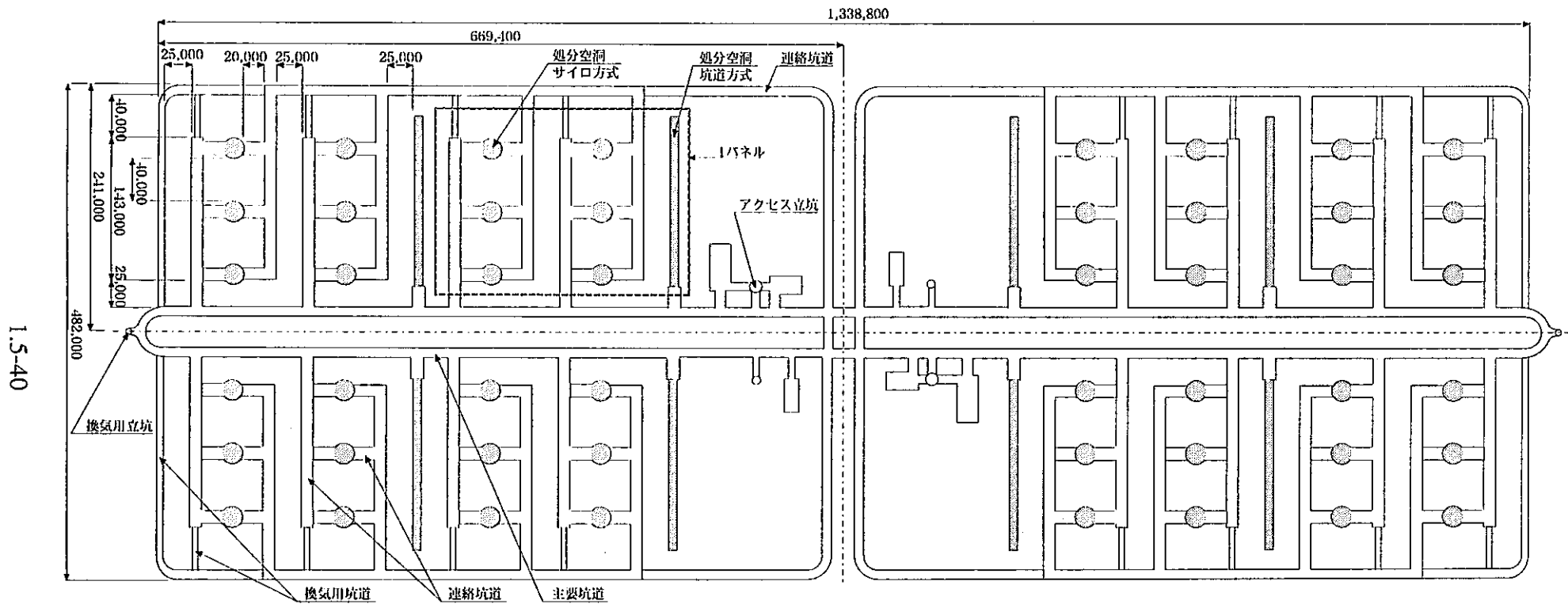


図-1.5.22 処分場レイアウト図（坑道方式+サイロ方式）

### 1.5.3 建設計画

ここでは、地下施設建設の施工手順、施工方法及び人工バリア製造設備の仕様についての検討を行う。

#### (1) 施工手順

##### (a) 基本的な考え方

地下施設は、アクセス坑道、主要坑道、連絡坑道及び処分空洞からなる。これらの施設の建設手順は、次の事項を条件に検討する。

- ・工期短縮を考慮する。
- ・操業、閉鎖工程との整合性を考慮する。

##### (b) 本検討での設定

工期に大きく影響するものとしてアクセス坑道の施工手順がある。

アクセス坑道の施工手順としては、各立坑を順次施工する方法と同時に施工する方法が考えられる。各立坑を順次施工する方法とした場合は、最初に掘削した立坑から主要坑道の一部を掘削することで、他の立坑に切上り工法や先進導坑で切広げ掘削する工法を適用することが可能になり、同時施工する方法に比べコスト面で有利になると考えられるが、逆に同時に施工する方法より工期は長くなる。

本検討では、工期が短縮できることを優先し、6本のアクセス坑道(立坑)同時に施工する方法を採用することとする。

操業・閉鎖工程との整合性は、処分パネルの配置の検討(1.5.1(7) 参照)示した順序で連絡坑道・処分空洞を施工することで確保できる。

本検討で設定した地下施設の施工手順を図-1.5.23に示す。

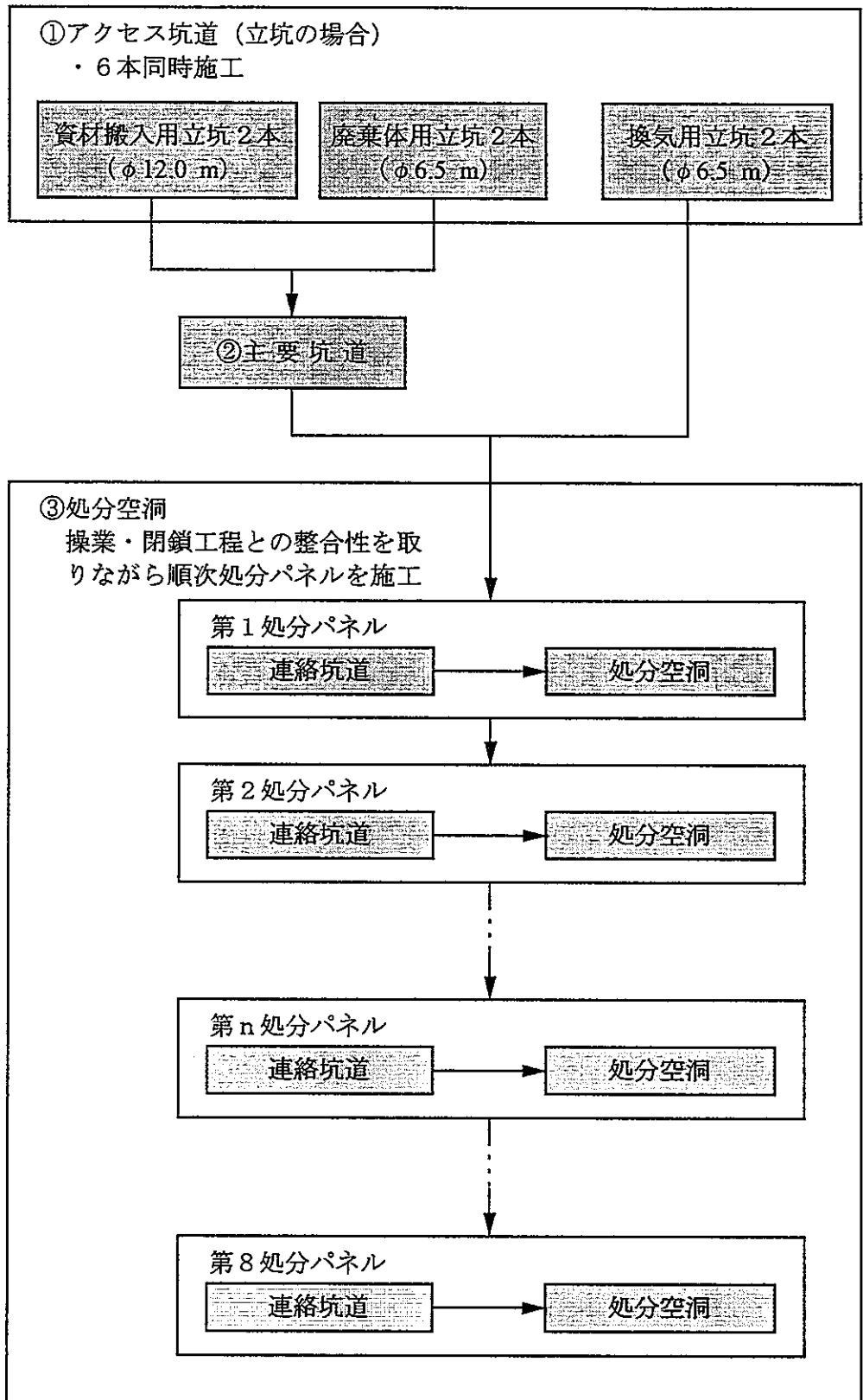


図-1.5.23 地下施設の施工手順

## (2)岩盤の掘削方法，支保工・覆工方式

### (a)基本的な考え方

岩盤の掘削方法，支保工・覆工方式については，坑道の種類に関係なく共通して次のことが求められる。

- ・周辺岩盤への影響が小さい工法
- ・坑道断面形状に適合した工法
- ・坑道施工延長に適合した工法
- ・地質の変化，湧水，断面変更等への対応が容易な工法
- ・工期を満足し，経済的にも妥当な工法

岩盤の掘削方法としては，発破による方法とロードヘッダ等の機械による方法がある。処分施設の場合，周辺岩盤を極力緩めないことが掘削方法を選定する上での重要な事項の一つであることから，機械掘削の適用が考えられる。しかし，機械掘削の場合は，対象とする岩盤の硬さによっては技術面および経済面で問題となる可能性がある。

支保工・覆工には，掘削深度が300m，700mで高い地圧が想定されるため，急速施工の可能な工法が求められる。また，地質の変化や湧水および断面の変更等に容易に対応できる工法が望まれる。

### (b)本検討での設定

#### ①岩盤の掘削方法

本検討で設定している岩盤の一軸圧縮強度( $q_u$ )は，堆積岩系岩盤の場合で50MPa以上と想定され，現状の技術においては，岩盤強度の観点から機械掘削の適用には経済性や作業効率で問題があると考えられる。そこで，本検討では，堆積岩系岩盤および結晶質岩系岩盤とも発破により掘削することとし，発破工法として周辺岩盤の緩みを極力抑えることができる制御発破を採用する。今後の技術の進展によっては機械掘削の適用も考えられる。

周辺岩盤の緩みを極力抑える制御発破としては，プレスプリッティングやスムーズブラッシング等の工法がある。また，発破による掘削方法では，断面形状による制限はなく，施工延長の長短による技術面，経済性の面での問題も少ないと考えられる。

#### ②支保工・覆工方式

支保工・覆工の方法としては，現状技術からみてNATM工法が最適と考えられる。以下にNATM工法が有する長所を示す。

- ・地質の変化，湧水に対して即応できる。

- ・状況に応じて断面を自由に変更できる。
- ・坑道と坑道との連結部施工が容易である。

従って、本検討では、坑道や岩盤の種類に係わらず、岩盤の掘削方法と支保工・覆工の方式を次のように設定する。

- ・掘削方法は、発破によるものとし、周辺岩盤の緩みを低減するためプレスプリッティングもしくはスムーズブラスティングなどの制御発破工法を用いる。
- ・支保工・覆工は、ロックボルトと吹付けコンクリート(NATM工法)による方式とする。

結晶質岩系岩盤の場合、岩盤が良質であることから無支保とすることも考えられるが、施工の安全性確保から少なくとも吹付けコンクリートは必要と考えられる。



### (3)アクセス坑道

#### (a)基本的な考え方

アクセス坑道(立坑の場合)の掘削方法、支保工・覆工方式については、(2)で述べた事項に加え次のことが求められる。

- ・掘削深度(300m, 700m)と断面形状( $\phi$  6.5m,  $\phi$  12.0m)の建設が可能な工法

アクセス坑道は、掘削深度が300m, 700mと深いため、現状技術の中から施工実績のある方法や掘削深度に制限が少ない方法とする必要がある。また、立坑6本を同時施工するため、施工は地上から順次掘り下げることになる。

#### (b) 本検討での設定

立坑掘削工法の現状技術の一般的な分類比較と、それら掘削工法の処分場への適用性を評価した結果を表-1.5.12にまとめて示す。

ここで、立坑掘削工法の適用性評価をする上で検討した事項を以下に示す。なお、検討では堆積岩系岩盤か結晶質岩系岩盤かによる差はなく、両岩盤に対して同じことが言える。

- ・掘削は発破によることから、発破が可能な工法が検討対象となる。従って、泥水を使用するリバーサーキュレーション工法及びロードヘッダやディスクカッタを使用する工法は除外される。
- ・立坑6本を同時施工することから、立坑下部に坑道を必要とする切上り工法は除外され切下り工法が検討対象となる。
- ・切下り工法は、掘削深度に対し特に制限がなく、300m, 700mの掘削は可能と考えられる。
- ・切下り工法として、一回の発破ごとに掘削し逆巻で覆工を行うショートステップ工法と、地山を一次支保工で押え20m~30m程度ごとに順巻でまとめて覆工するロングステップ工法が挙げられる。本立坑の場合は、高い地圧を受けることと周辺岩盤の緩みを出来る限り抑える必要があることから、掘削後早期の支保工・覆工の施工が可能なショートステップ工法が適している。

以上より、本検討ではアクセス坑道(立坑の場合)の施工方法を次のように設定する。

- ・施工方法は、プレスプリッティングもしくはスムーズブラスティングなどの制御発破によるショートステップ工法とする。
- ・支保工・覆工は、ロックボルトと吹付けコンクリート(NATM工法)とする。

表-1.5.13 立坑掘削工法（現状技術）と適用性評価

工法の分類		工 法 の 特 徴									処分場への適用性評価				
		工 法	工法の概要	適応地質	適用深度	断面形状	設 備	安 全 性	緩 み の 程 度	発 破 に よ る 掘 削	下 部 坑 道 不 要	掘 削 深 度 (700 m)	岩 盤 の 緩 み	岩 盤 硬 さ へ の 適 用 性	総 合 評 価
立 坑 掘 削 工 法	発 破 掘 削 切下り工法	ショートステップ 工法	1回の発破ごとに掘削覆工を 繰り返す（逆巻）	軟岩～硬岩（地質に対する 適応性大）	制限なし（短 いと割高）	制限なし（φ4.0m以 下で非効率の的）	やや 大	普通	中	○	○	○	○ *1	○	○
		ロングステップ工 法	地山を一次覆工で押え、20～3 0m毎に順巻で覆工する	中硬岩～硬岩（軟弱、不良地 質には不適）	同 上	同 上	やや 大	普通	やや 大	○	○	○	△	○	△
	発 破 掘 削 切上り工法	人力切上り工法	立坑枠を組み、それを足場と して切上がる	中硬岩～硬岩	100m以下	4.0～8.0m <sup>2</sup> （矩形）	小	悪	大	-	×	-	-	-	-
		クライマー工法	アリマッククライマーを用い て切上がる	中硬岩～硬岩（亀裂の多い 場合は不適）	200m以下	4.0～6.0m <sup>2</sup> （矩形）	やや 大	悪	大	-	×	-	-	-	-
		ステージカットプ ラスト工法	長孔穿孔発破による切上がる	同 上	100m以下	制限なし	小	良	大	-	×	-	-	-	-
	機 械 掘 削 工 法	レイズボラ工法	パイロット孔を掘下げ（上げ） リーミングアップ（ダグ）する	軟岩～中硬岩（崩落性、膨張 性地山には不適。硬岩の場 合はコスト高）	200m以下	φ1.0～2.0m	やや 大	良	小	×	○	×	○	×	×
		リバースサーキュ レーション工法	泥水を使用し全断面を掘下げ る	軟岩（膨張性、崩落性地山に は不可。硬岩の場合は割高）	500m以上可	φ1.0～7.5m	大	良	小	×	○	○	○	×	×
		シールド切上り工 法	シールド工法で掘り上がる	軟岩～硬岩（膨張性、崩落 性地山でも可）	60～80m以下	φ1.2～1.5m	やや 大	良	小	-	×	-	-	-	-
		全断面立坑掘削機 による工法	支保工・覆工をしながら全断 面を掘削機械で掘下がる	中硬岩～硬岩（不良地質で は不可）	500mの実績 有り	φ4.5～9.0m	特に 大	良	小	×	○	△	○	○	×
		自由断面掘削機に よる工法	発破掘削用の足場にロードヘ ッドを設置し切削	軟 岩	制限なし	制限なし	やや 大	良	小	×	○	○	○	×	×
	シャフトボーリン グ機による工法	発破掘削用の足場下で堅型テ ィスカップを回転させ切削	中硬岩～硬岩	制限なし	制限なし	大	良	小	×	○	○	○	○	×	

注) 表中「-」は、下部坑道を利用した工法であるため評価を行わないことを示す（本検討では、立坑は同時施工としているため、下部坑道を利用する工法は対象外となる）。

\*1: 制御発破を採用することで、処分場への適用に問題はないと考えられる。

#### (4)主要坑道，連絡坑道及び換気坑道

##### (a)基本的な考え方

主要坑道，連絡坑道等の掘削方法，支保工・覆工方式については，(2)で検討したように，掘削は周辺岩盤の緩みを極力低減するために，プレスプリッティングもしくはスムーズブラスティングなどの制御発破工法が，支保工・覆工はロックボルトと吹付けコンクリート(NATM工法)による方式が適する。

ここで，機械掘削工法は周辺岩盤を緩めないことを考慮すると優れている。しかしながら，機械掘削の適用には，(2)で述べたように岩盤の硬さから経済性或作業効率の面に問題があることに加え，TBM工法やシールド工法を円形ではない掘削断面に適用すること，坑道施工延長によっては汎用性が少ないことから設備費が過大となる可能性があること等の問題がある。

##### (b)本検討での設定

掘削工法の現状技術の一般的な分類比較と，それら掘削工法の処分場への適用性を評価した結果を表-1.5.12にまとめて示す。

同表より，本検討では主要坑道，連絡坑道及び換気坑道の施工方法を次のように設定する。

- ・施工方法は，プレスプリッティングもしくはスムーズブラスティングなどの制御発破により掘削する。
- ・支保工・覆工は，ロックボルトと吹付けコンクリート(NATM工法)とする。

表-1.5.14 主要坑道、連絡坑道及び換気坑道の掘削工法（現状技術）と適用性評価

工法の分類		工 法 の 特 徴						処 分 場 へ の 適 用 性 評 価							
		工法の概要	適応地質	断面形状	設 備	安全性	緩みの程度	発破による掘削	岩盤の緩み	断面形状への適用性	施工延長に対する経済性	岩盤硬さへの適用性	地質変化への対応	断面変化への対応	総合評価
発破掘削（NATM工法）		発破ズリ出し後、直ちに支保工・覆工を行い地山を拘束する	軟岩～硬岩	制限なし	普通	普通	中	○	○*1	○	○	○	○	○	○
機械掘削	全断面掘削機（TBM）	地山に反力を取り掘削しながら推進し、機械後方で支保工を行う。	中軟岩～硬岩（不良地質は不可）	円形	大	良	小	×	○	△ (円形以外の場合技術的、経済的問題がある)	△	△	×	×	×
	シールド工法	シールド機内でセグメントを組立て、これに反力を取り推進する。	軟岩～硬岩	円形	大	良	小	○	○	△ (円形以外の場合技術的、経済的問題がある)	△	△	△	×	×

\*1：制御発破を採用することで、処分場への適用に問題はないと考えられる。

## (5)処分空洞

### (a)基本的な考え方

本検討では、処分空洞として岩洞方式(大断面岩洞方式、小断面岩洞方式)、坑道方式及びサイロ方式の3方式を設定している。処分空洞の掘削方法、支保工・覆工方式については、(2)で述べたように掘削は周辺岩盤の緩みを極力低減するために、プレスプリッティングもしくはスムーズブラスティングなどの制御発破工法が、支保工・覆工はロックボルトと吹付けコンクリート(NATM工法)による方式が適する。

一方、岩洞方式とサイロ方式は掘削断面が大きく、上記項目に加え掘削の施工手順の検討が重要となる。施工手順としては、規模及び形状の観点から類似している地下発電所と同様にするのが適切と考えられる。

処分空洞には、空洞掘削後に人工バリア材(ベントナイト混合土)を施工した上に廃棄体コンテナを定置するコンクリート製処分ピットを構築する。この人工バリア材は冠水すると膨潤するため、処分空洞の掘削が完了した後、処分空洞内の地山湧水が発生しないように十分な止水対策(閉鎖完了まで担保されるもの)を行う必要がある。また、処分ピットの施工については、人工バリア材に悪影響がないようにすることが要求される。

### (b)本検討での設定

#### ①掘削方法、支保工・覆工方式

処分空洞の掘削方法、支保工・覆工方式は、(2)で述べたように次のように設定する。

- ・施工方法は、プレスプリッティングもしくはスムーズブラスティングなどの制御発破により掘削する。
- ・支保工・覆工は、ロックボルトと吹付けコンクリート(NATM工法)とする。

#### ②掘削の施工手順

##### (i) 岩洞方式の場合

掘削の施工手順は、地下発電所の施工実績から以下のように設定する。

- ・岩洞上部連絡坑道及び下部連絡坑道を施工する。
- ・岩洞頂部(頂設)を掘削後、吹付けコンクリートとロックボルトを施工する。
- ・頂設下面と下部連絡坑道間にズリ出し用立坑(グローリホールφ2.0m～2.5m程度)を施工する。
- ・頂設下部からベンチカット(1ベンチ高さ5.0m程度)により制御発破で分割掘削する。
- ・掘削ズリはグローリホールより岩洞下部に施工した連絡坑道に落とし搬出する。
- ・資材は天井クレーンを設置しベンチ部に供給する。吹付けコンクリートはシュートにて供給する。

施工手順の概念を図-1.5.24に示す。

1.5-50

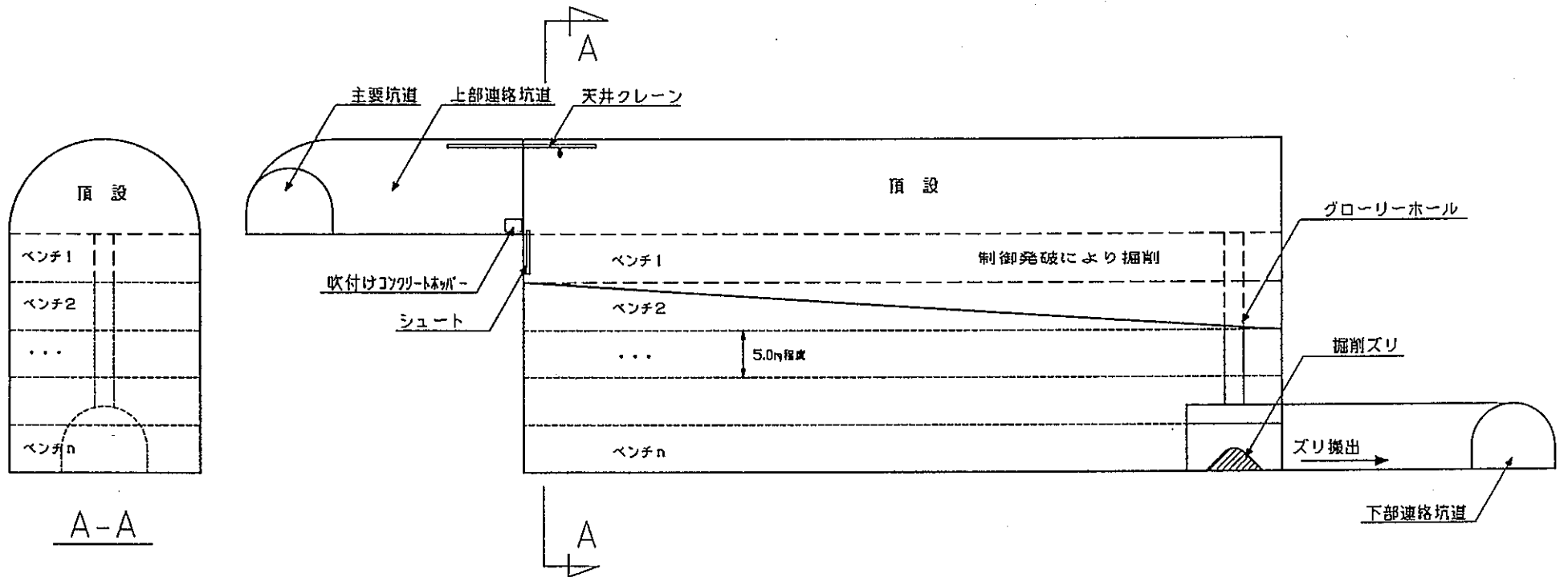


図-1.5.24 処分空洞施工手順の概念 (岩洞方式の場合)

(ii) サイロ方式の場合

掘削の施工手順は岩洞方式と同様に、地下発電所の施工実績から以下のように設定する。

- ・サイロ上部連絡坑道及び下部連絡坑道を施工する。
- ・サイロ上部連絡坑道からアーチ部をアーチ切払げ方式により掘削する。
- ・掘削後、アーチ部の吹付けコンクリートとロックボルトを施工する。
- ・アーチ部下面と下部連絡坑道間にズリ出し用立坑(グローリホールφ2.0m～2.5m程度)を施工する。
- ・アーチ部下面からベンチカット(1ベンチ高さ1.5m程度)により制御発破で分割掘削する。
- ・掘削ズリはグローリホールよりサイロ下部に施工した連絡坑道に落とし搬出する。
- ・資材は天井クレーンを設置しベンチ部に供給する。吹付けコンクリートは、シユートにて供給する。

施工手順の概念を図-1.5.25に示す。

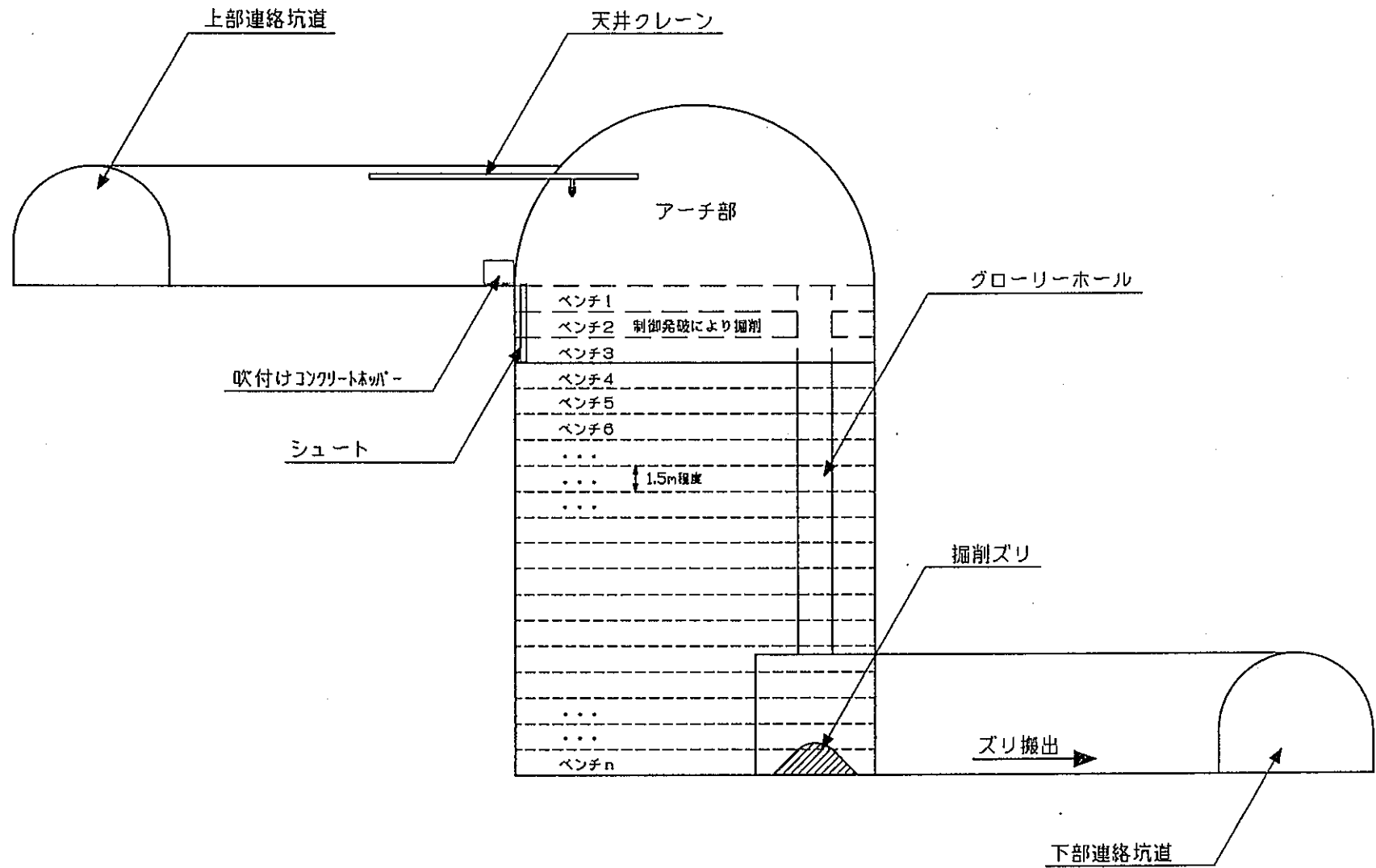


図-1.5.25 処分空洞施工手順の概念 (サイロ方式の場合)



### ③処分ピットの施工

処分ピットの基礎部には人工バリア材(ベントナイト混合土)を施工する。人工バリア材は冠水すると膨潤し人工バリアとしての性能に対し問題が生じることが考えられるため、水の供給が無いようにする必要がある。

人工バリア材への水の供給としては、地山湧水と処分ピット施工時のコンクリートからの余剰水がある。対応策として、地山湧水に対しては止水グラウトの施工、盲暗渠や砂等による排水層の設置等が考えられ、コンクリートの余剰水に対しては処分ピットのプレキャスト工法化、鋼殻やP C型枠の使用等が考えられるが、今後の検討課題の一つである。

以上のことを踏まえ、本検討では処分ピットの施工方法を次のように設定する。

- ・空洞掘削後、入念に地山湧水に対する止水を行う。
- ・空洞下面に盲暗渠等を設ける。
- ・基礎部人工バリア材に水の供給がない工法で処分ピットを施工する。

### (6)人工バリア製造設備

建設、操業及び閉鎖段階で使用する人工バリア材(セメント系材料、ベントナイト系材料)の製造は地上で実施するものとする。

製造に必要な主な設備を以下に挙げる。

- ・掘削ズリ置きヤード
- ・骨材製造設備
- ・骨材置きヤード
- ・セメントサイロ
- ・ベントナイトサイロ
- ・コンクリート製造プラント(ミキサー)
- ・ベントナイト混合土製造プラント(ミキサー)
- ・ベントナイトブロック製造プラント(圧縮成型機)
- ・ベントナイトブロック仮置きヤード
- ・品質管理設備

これらの設備の規模や仕様は、それぞれの1日の最大使用量を計画し、その量から必要なサイロ容量、ミキサー容量、圧縮成型機台数、ヤード広さ等を検討し設定する。

#### 1.5.4 操業計画

ここでは、地下施設への廃棄体の搬送方法、定置作業等操業についての検討を行う。

##### (1) 操業計画の範囲

処分場の操業は、廃棄体の特性、処分空洞の建設と閉鎖などと深く係わるため、操業計画として検討すべき項目を明確にしておくことが必要である。

操業全般に係わる検討項目と、その項目の処分場概念の構築との関係と重要度分類を行った結果を表-1.5.15及び表-1.5.16に示す。

同表の内、廃棄体に関する項目の「廃棄体特性」、「廃棄体のグループ分け」及び定置方法に関する項目の「定置形態」については、空洞形状やレイアウト等の設定に係わることから前章(1.2.1 廃棄体特性及び1.3.5 廃棄体収納方法及び定置方法)で検討している。ここではそれらの結果をもとに、主として重要度欄に○印をした以下の項目について検討を行う。

- ・ 廃棄体の地下施設での搬送方法
- ・ 廃棄体の定置作業の方法
- ・ 操業全体の流れと工程

表-1.5.15 操業に係わる検討項目 (その1)

検討項目	内 容	概念構築との関係	重要度
操業の定義	操業計画の範囲	操業計画に係わる事項の明確化	○
	廃棄体特性	廃棄体の受入れ検査, 地下施設へ搬送方法, 定置方法等の検討に必要なデータとしてまとめる。 ・廃棄体種類, 固化形態 ・発熱特性, 有害空隙率 ・形状寸法, 重量 ・表面放射線量 ・強度特性	◎
廃棄体に関する項目	廃棄体のグループ分け	廃棄体をその特性に基づき分類し, 定置に適する処分空洞を検討する。分類は次の特性に着目して行うことが考えられる。 ・発熱特性 ・体積変化特性 体積変化率の異なる廃棄体を混合した定置は, 長期的に応力集中が生じることが考えられるため避けるべきと考えられる。 ・表面放射線量 その量の多少によってハンドリング方法及び放射線管理方法を変えることが考えられる。	◎
	廃棄体の物流システム	・廃棄体の搬出から定置までの基本的な流れを物流システムとしてまとめる。 ・操業に必要な施設とその機能をまとめる。	△
廃棄体物流に関する項目	地上での運搬システム	廃棄物搬出時から, 処分施設までの運搬方法の検討 ・海上輸送, 陸上輸送の方法 ・必要施設とその仕様	△
	地上施設での搬送方法	地上施設での受入から, 地下施設への搬入準備までの手順の検討。 ・受入れ, 検査, オーバーバック等の方法 (廃棄体のハンドリング方法) ・必要設備とその仕様	△
	地下施設での搬送方法	地下施設への搬入から定置位置までの搬送方法の検討。 ・アクセス坑道での搬送方法 ・地下坑道内での搬送方法 ・必要設備とその仕様 ・建設, 閉鎖との関連性検討	○

重要度欄記号の説明

◎: 概念設計と関係が深く, 重点的に検討を行う必要がある事項

○: 概念設計と関係するものの, その影響が限定されると考えられるため, 必要な検討のみを行う事項

△: 概念設計とは独立して検討することが可能と考えられたため, 今回は検討しない事項

表-1.5.16 操業に係わる検討項目 (その2)

検討項目	内 容	概念構築との関係	
			重要度
定置方法に関する項目	定置形態 (1)廃棄体容器 (廃棄体コンテナ) を使用する 方法 ・形状寸法, 重量 ・数量 ・定置時安定性の検討 ・強度の検討 ・定置精度 ・閉鎖方法 (埋戻し) との関係 (2)俵積みによる方法 ・数量 ・定置時安定性の検討 ・強度の検討 ・定置精度 ・閉鎖方法 (埋戻し) との関係 (3)その他の方法	・閉鎖仕様 ・空洞形状	◎
	定置作業 他の作業との関連から, いくつかの方法がある と考えられる。いくつかの案について, 次の 項目に関して比較検討し効率的な方法を考 える。 ・定置に使用する設備, 機器類の基本仕様 ・定置作業手順 ・建設, 閉鎖作業との関連性検討	・建設, 操業, 閉鎖工程の関連を考慮し た効率的なV/A外 ・閉鎖仕様 ・空洞形状	○
安全に関する事項	放射線管理 ・放射線管理の考え方と方法 ・関連法規との関係 ・管理区域と非管理区域の設定 ・放射線管理を考慮した操業方法 ・排気, 排水の方法	・排気, 排水を考慮したV/A外	△
	事故対策 ・操業時に発生する可能性のある事故の想定 ・事故の影響評価と対応策の検討		△
操業工程に関する事項	計画した方法による操業性能の検討。 ・廃棄体の定置処分能力の検討 (1日当 り処分量) ・建設, 閉鎖スケジュールとの整合性検 討 ・全体処分スケジュールとの整合性検討	・操業の合理的実施が可能なV/A外	○

重要度欄の記号説明

◎: 概念設計と関係が深く, 重点的に検討を行う必要がある事項

○: 概念設計と関係するものの, その影響が限定されると考えられるため, 必要な検討のみを行う事項

△: 概念設計とは独立して検討することが可能と考えられたため, 今回は検討しない事項

## (2) 廃棄体の搬送方法

### (a) 基本的な考え方

本検討では、「1.3.5 廃棄体収納方法及び定置方法」で述べたように、廃棄体の処分を廃棄体数本を収納したコンテナを用いて行う。ここでは、この廃棄体コンテナを地上施設から地下施設へ搬入し、所定の処分空洞内の定置位置に搬送する方法を検討する。

操業では、長期間にわたり同一作業を繰り返し行うこと及び放射線管理を要する廃棄体を取り扱うことから、搬送や後述する定置等の各作業は出来る限り自動化しかつ効率の良いものにすることが望まれる。

搬送方法の検討事項としては次のことが考えられる。

- ・アクセス坑道(立坑)での搬送方法
- ・地下施設内での搬送方法
- ・搬送設備の仕様
- ・搬送車輛の通行方法と搬送経路

### (b) 本検討での設定

廃棄体物流の観点から、廃棄体コンテナの製造施設から地下施設への搬送方法を設定した上で、基本的な考え方で示した搬送方法の検討を行う。

#### ① 廃棄体コンテナの製造

廃棄体コンテナは、地上施設において発熱性廃棄体と非発熱性廃棄体とをそれぞれ別の系統でコンテナに収納して作製し、検査後地下施設へ搬送されるものとする。この廃棄体コンテナ製造施設には、廃棄体の一時保管機能と製造した廃棄体コンテナの仮置き機能があるものとする。

廃棄体コンテナの製造施設と地下施設への搬送方法の概念を図-1.5.26に示す。

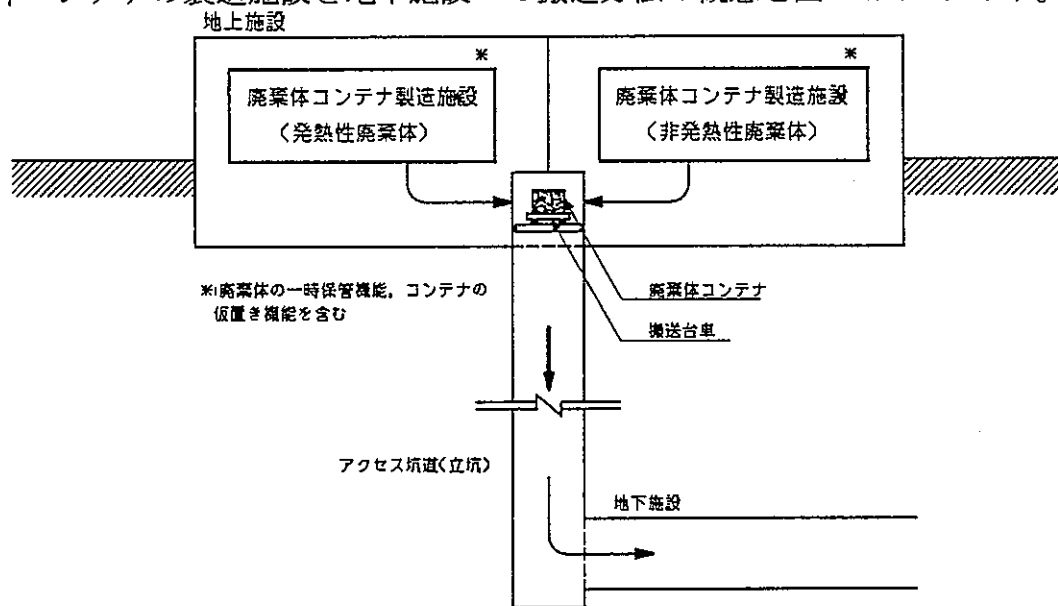


図-1.5.26 廃棄体コンテナの製造施設と地下施設への搬送方法(概念)

## ②アクセス坑道(立坑)での搬送方法

アクセス坑道(立坑)では、エレベータにより廃棄体コンテナを地上施設から地下施設へ搬送することになる。従って、立坑の地上部及び地下部で廃棄体コンテナの積み降し作業が発生する。この際、廃棄体コンテナを積み替える作業は安全性と作業効率の面から避けるのが良いと考えられる。

本検討では、廃棄体コンテナを直接操作する作業を減らすことができ、かつ効率的な方法として搬送台車を用いることとする。搬送台車は出来る限り軽量化した自走機能のない車輛とする。この方式では廃棄体コンテナの立坑エレベータへの積み降しを搬送台車ごと行うため、廃棄体コンテナを直接操作する作業は地上施設での積み込みと、処分空洞内の所定位置での荷降しのみとなる。

## ③地下施設内での搬送方法

地下施設内では廃棄体コンテナを積載した搬送台車を立坑エレベータより降し、牽引車でその搬送台車を牽引し、所定の処分空洞の定置位置近くまで搬送する。

搬送方式としては、大別して次のものが考えられる。

- ・軌道方式
- ・無軌道方式

これらの方式にはそれぞれ特質があるが、本検討では無軌道方式を採用する。無軌道方式を採用する理由として次のことが挙げられる。

- ・処分パネルの移動に伴う搬送経路変更への対応性が良い。
- ・主要坑道は、コンテナの搬送車輛だけでなく、操業作業用の車輛、建設・閉鎖作業に関連した車輛やその他多くの交通に使用されるため、軌道方式にすると軌道の形状によっては他の車輛の通行の障害となる。
- ・他の車輛による軌道破損等の事故の可能性が考えられる。

一方、無軌道方式については信頼性に問題があることも考えられるが、今後の技術の進展により解決できるものと考えられる。無軌道方式は、上述の搬送経路変更への対応性や軌道の保守方法等の問題が解決されれば、採用することも考えられる方式である。

## ④搬送設備の仕様

主要な搬送設備として、①と②の検討から次のものが挙げられる。

- ・アクセス坑道(立坑)エレベータ
- ・搬送台車
- ・牽引車

ここでは、これらの設備の基本的な仕様を検討する。

## (i) 搬送台車

搬送台車の大きさ・積載可能重量及び総重量は、廃棄体コンテナの寸法・重量、立坑エレベータのゴンドラ寸法・積載可能重量、各坑道の断面寸法等に関係する。ここでは、まず搬送台車に廃棄体コンテナ1個を積載するものとしてその仕様を設定する。立坑エレベータの仕様は、ここで設定した搬送台車の仕様に基づき検討する。

### 1)搬送台車の総重量

搬送台車の総重量は、廃棄体コンテナ1個を積載するものとして設定する。

廃棄体コンテナ重量 17.5 ton (最大値：200ℓドラム缶の場合 1.3.5章より)

搬送台車重量 8.0 ton (想定値)

合計(搬送台車総重量) 25.5 ton

これより、搬送台車の廃棄体コンテナ積載時総重量は25.5tonと設定する。

### 2)搬送台車の寸法

本検討で設定している廃棄体コンテナの最大形状を以下に示す。

コンテナ 幅×奥行き(max)	2.3m × 2.3m (1.3.5章より)
高さ(max)	1.7m (1.3.5章より)

搬送台車の長さとは幅は、廃棄体コンテナ1個を積載するとして、コンテナ固定器具の取付け及び余裕を考慮しても3.5m×3.5m以下になると想定できる。搬送台車の高さは、安定性の観点から低い程良いと考えられるが、1.0mと想定すると、廃棄体コンテナを積載した時の台車全高さは2.7m程度となる。

一方、搬送台車が通行する坑道は主要坑道と連絡坑道であり、2車線通行が想定される。坑道断面は連絡坑道より主要坑道の方が小さく、本検討では建設時に必要な断面として幅9.0m、高さ7.0mと設定している。そこで、2車線通行に対する余裕と坑道壁面に対する余裕をそれぞれ1.0mと想定すると、搬送台車が通るために必要となる幅は片側で5.0m(1.0m+3.5m+1.0m/2)となる。もう一方の車線幅は4.0m(9.0m-5.0m)となり、同様の余裕を考慮すると通行できる車輛の幅は2.5m(4.0m-1.0m-1.0m/2)で、20tonトラック程度の標準的な工事車輛の通行は可能である。

坑道壁面と廃棄体コンテナとのクリアランスは、坑道の高さは側壁高が2.5m(7.0m-9.0m/2)に対し、搬送台車の高さは2.7mで0.2m程度が坑道アーチ部にかかるが、1.5m以上を確保でき搬送上問題はないと言える(図-1.5.27参照)。

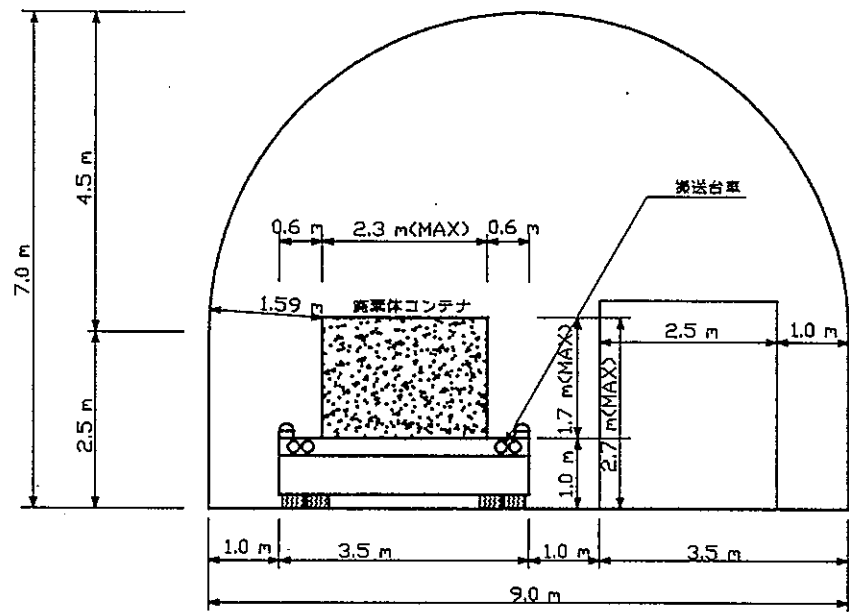


図-1.5.27 主要坑道での搬送台車通行時のクリアランス

以上より、搬送台車の寸法は幅3.5m、長さ3.5m、高さ1.0m(想定)、廃棄体コンテナ積載時最大高さ2.7m(想定)と設定する。

### 3)搬送台車の最小回転半径

搬送台車は、主要坑道から連絡坑道へとカーブすることになるため、基本的な仕様の目安として最小回転半径を設定する。両坑道の幅を9.0mとして、最小回転半径は図-1.5.28に示す次の値とする。

$$R_{\min} = 8.38\text{m} \approx 8\text{m} \text{ (余裕として}0.38\text{mを想定する)}$$

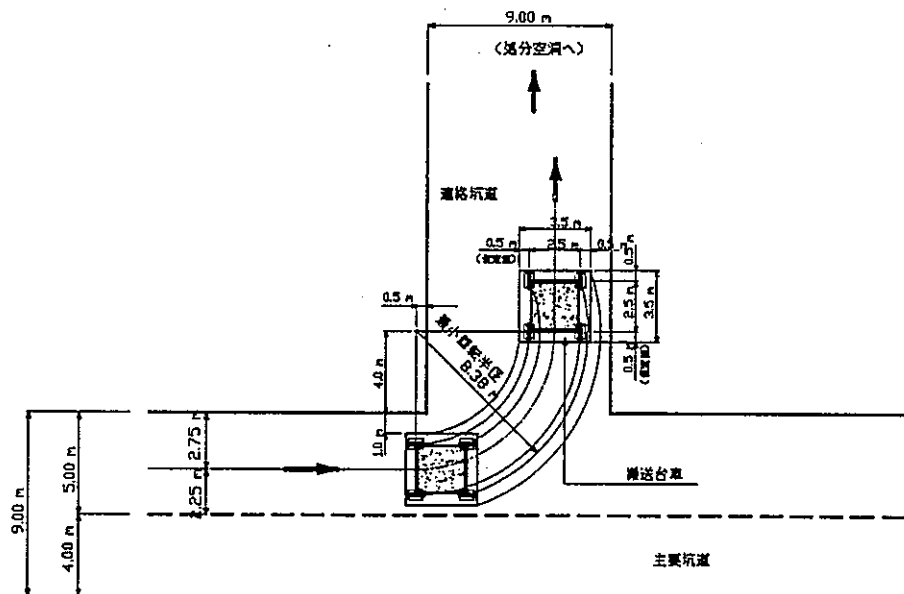


図-1.5.28 搬送台車の最小回転半径



## (ii) 牽引車

牽引車の仕様は、地下施設への搬入方法、寸法・重量、搬送台車の牽引台数、動力及び走行速度等について設定する。

### 1) 牽引車の搬入方法

牽引車は、廃棄体用立坑(φ6.5m)を利用して地下施設へ搬入することとする。

### 2) 牽引車の寸法、重量

牽引車の搬入は廃棄体用立坑を使用することから、搬送台車と同じ寸法及び重量を仕様(制限値)として設定する。ただし、牽引車の場合は分解して搬入することが可能と考えられるため、部品の最大値に対する制限として設定する。詳細な仕様の設定は今後の検討による。

### 3) 搬送台車の牽引台数

閉鎖空間での放射性廃棄体の搬送であることから、運転の安全性を重視し搬送台車の牽引は1台とする。処分スケジュール上問題となる場合は、牽引車台数を増やすことで対処することとする。

### 4) 牽引車の動力

地下施設は閉鎖された空間であるため、換気設備の容量や負荷を小さくすることや作業環境を向上させることを考慮すると、電気を動力とすることが望まれる。電気を動力とする方式としては、蓄電池による方法、架線やサイドレールによる方式が考えられる。近年においては電気自動車の開発が進んでいるものの、本検討で設定している搬送台車及び牽引車は一般の車輛に比べかなり重量があることや運転時間が長いこと等から、現状での採用は困難と想定される。架線方式等は、前述のように処分パネルの移動に伴う搬送経路変更への対応性が悪いことや他の車輛による設備破損等の事故の可能性が考えられることから、採用は難しいと考えられる。

以上のことから、本検討では牽引車の動力はディーゼル機関によるものと設定する。今後の技術開発の状況によっては、電池を搭載した方法も考えられる。

### 5) 走行速度

往路、復路とも6 km/hと設定する。

### 6) 最小回転半径

搬送台車の場合と同じとする。

最小回転半径の設定値  $R_{\min} = 8 \text{ m}$

### 7) 安全対策

主要な安全対策として、非常時の自動停止装置及び誘導装置を備えたものとする。

(iii) アクセス坑道(立坑)エレベータ

立坑エレベータに積載する主要なものは、コンテナ1個を積載した搬送台車と牽引車である。牽引車は大きさ・重量とも搬送台車を上回る仕様とはならないよう想定していることから、搬送台車が最大の積載物となる。

現在存在する大型のエレベータの一例として、以下の仕様のものがある。

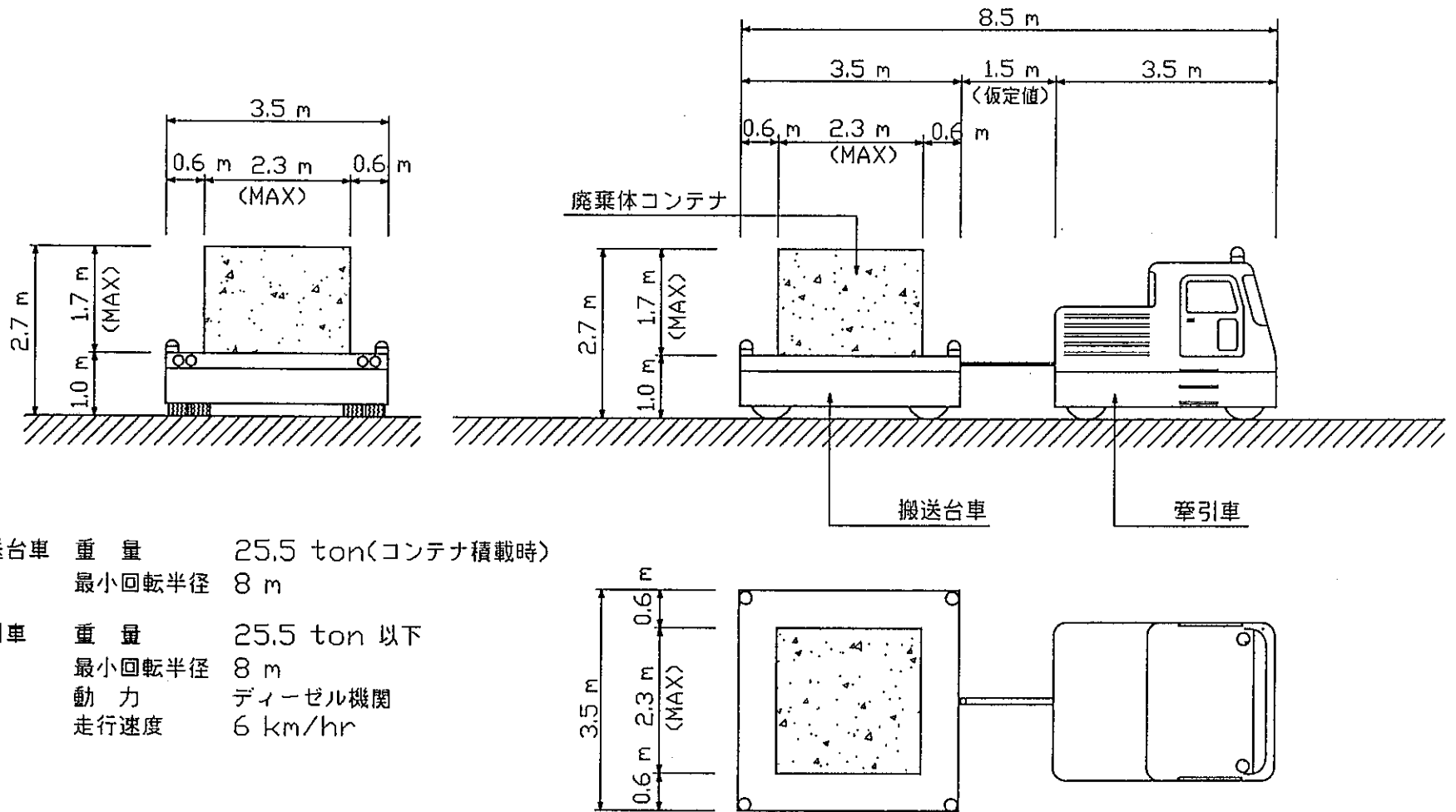
ゴンドラ形状：開口(幅)	5.2 m
奥行き	14.5 m
高さ	4.2 m
最大積載重量：	30 ton
高低差：	10 m(上昇方向)

このエレベータを使用すると仮定した場合、ゴンドラ形状及び重量の仕様については問題はないと言える。一般に、高低差は積載重量が小さい程大きくでき、また積載物を降ろす場合の方が大きくできるが、本検討では結晶質岩系岩盤で700m規模の高低差が必要であり、高低差に関しては今後技術開発の必要があると言える。

以上の現状を踏まえ、本検討では立坑エレベータの仕様を次のように設定する。

ゴンドラ形状：開口(幅)	4.0 m以上	(搬送台車の幅3.5m+余裕0.5m)
奥行き	4.0 m以上	(搬送台車の長さ3.5m+余裕0.5m)
高さ	3.2 m以上	(搬送台車の高さ2.7m+余裕0.5m)
最大積載重量：	25.5 ton	
最大高低差：堆積岩系	300 m	(今後の技術開発が必要と考えられる)
結晶質岩系	700 m	(今後の技術開発が必要と考えられる)

設定した搬送設備の基本仕様の概念を図-1.5.29、図-1.5.30にまとめて示す。



- ・搬送台車 重量 25.5 ton(コンテナ積載時)  
最小回転半径 8 m
- ・牽引車 重量 25.5 ton 以下  
最小回転半径 8 m  
動力 ディーゼル機関  
走行速度 6 km/hr

図-1.5.29 搬送台車・牽引車の基本仕様

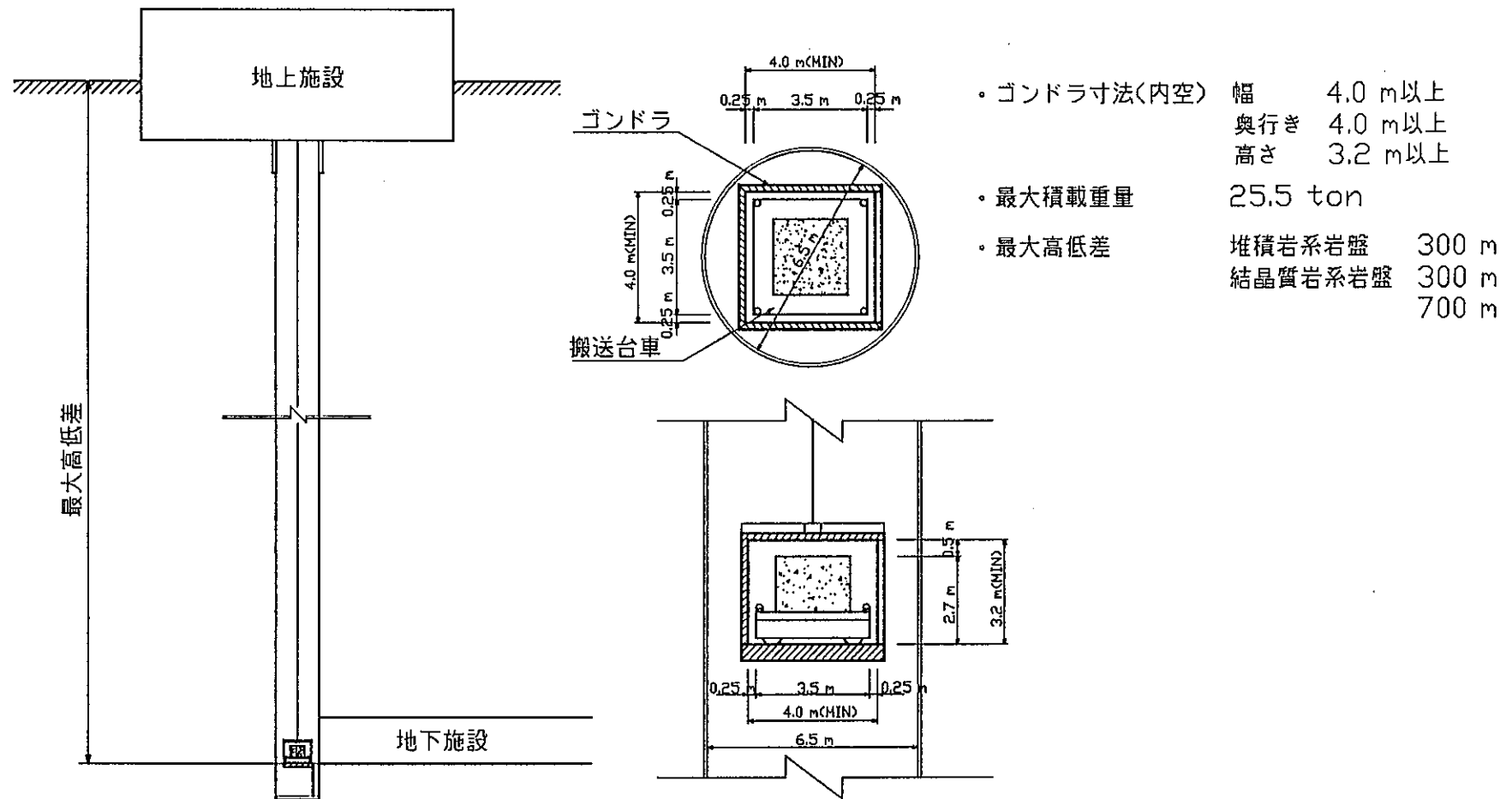


図-1.5.30 アクセス坑道(立坑)エレベータの基本仕様

### ⑤搬送車輛の通行方法と搬送経路

#### (i) 搬送車輛の通行方法

地下施設内での廃棄体コンテナ搬送車輛の通行方法を、安全性を考慮して次の様に設定する。

- ・主要坑道内は2車線一方通行とし、通行方向はアクセス坑道(立坑)から主要坑道を左折する方向とする。通行方向を左折する方向とすることで、廃棄体コンテナを積載した状態で処分場中央の交差点を通過することがなくなり、安全性の面で合理的となる。
- ・搬送車輛は左車線通行とする。左車線通行とすることで、主要坑道から連絡坑道へ曲がる時に他方の車線を横断しないことになる。

ここで、車線幅は次のとおりである。

廃棄体コンテナ搬送車輛の車線	左車線	5.0 m
その他車輛の車線	右車線	4.0 m

#### (ii) 搬送経路

上述の通行方法に従った搬送車輛の地下施設内での経路を図-1.5.31のように設定する。

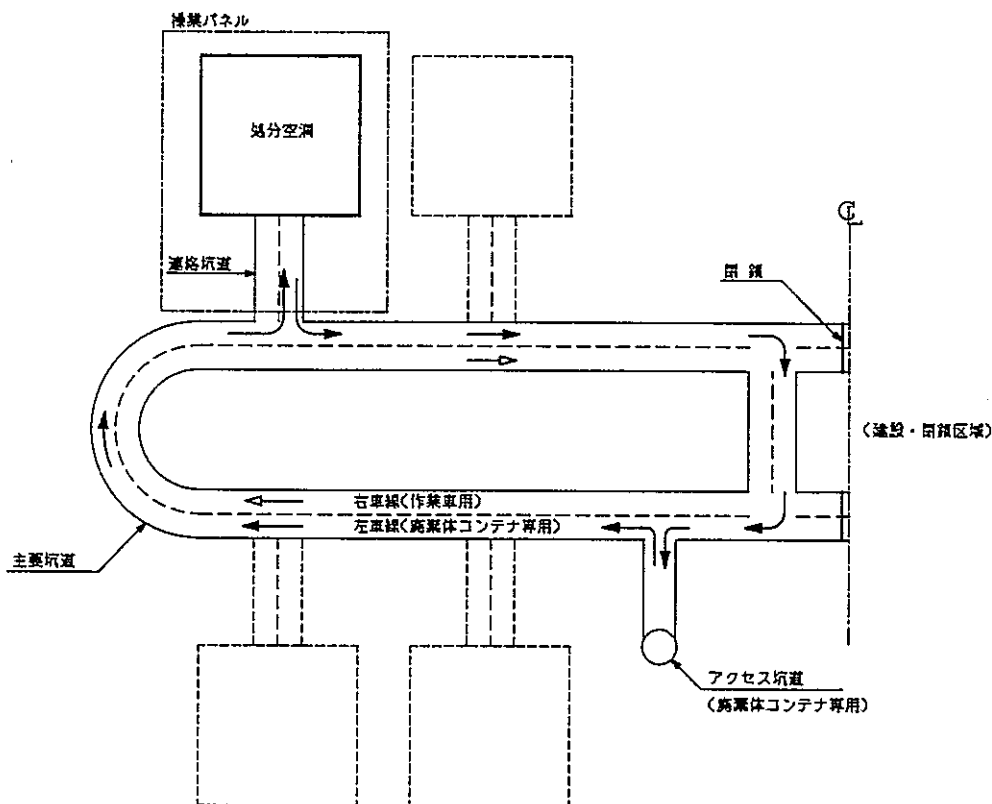


図-1.5.31 搬送車輛の通行方法と搬送経路

### (3)廃棄体の定置作業方法

ここでは、搬送された廃棄体コンテナを処分空洞の所定位置に定置する作業の方法を検討する。

#### (a)基本的な考え方

廃棄体はその特性に適した方式の空洞に定置する。本検討では廃棄体をコンテナに収納しコンテナごと定置し処分する方式を採用していることから、定置作業の検討は、この廃棄体コンテナを安全性や効率性と他の作業との関連性を考慮して、搬送車輛から降り処分空洞内の所定の位置に適切な精度で置くまでの方法について行う。

廃棄体コンテナは3種類設定しており、その特徴を定置作業の観点からまとめると次のようになっている。

- ・コンテナの平面形状は正方形である。(1.8m×1.8m～2.3m×2.3m)
- ・コンテナ重量はほぼ同じである。(17.3ton～17.5ton)
- ・コンテナの高さは、1.2m～1.7mである

これらの特徴から、ハンドリング方法や定置機器の仕様等の検討には、廃棄体コンテナの種類の影響を考慮する必要はないと考えられる。従って、定置作業の検討は主として処分空洞方式の違いに着目して行うこととする。

定置作業の検討事項としては次のことが挙げられる。

- ・定置作業の基本仕様
- ・建設、閉鎖作業との関係
- ・定置作業に使用する機器類の仕様
- ・定置作業の手順

#### (b)本検討での設定

##### ①定置作業の基本仕様

定置作業は、次の理由により自動化を目指したものを想定する。

- ・放射性物質を取り扱うため、作業員の被ばくを回避する。
- ・長期間に渡る同一作業の繰り返しであるため、自動化による効率化の効果が大きい。
- ・操業開始までの期間内に信頼性のある自動化定置作業機器の開発が可能と考えられる。

##### ②建設、閉鎖作業との関係

廃棄体コンテナの定置作業は処分パネルの建設終了後に、閉鎖は操業終了後に始めるのが基本である。定置作業の検討をするためには、定置作業は建設工程後のどのような

状態の処分空洞から始めるのか、また、閉鎖は操業工程後のどのような状態から始めるのか等建設、閉鎖作業との関係を明確しておく必要がある。

本検討では、処分空洞内の建設、操業及び閉鎖の関連を次のように設定する。

- ・建設工程としては基礎部ベントナイト混合土(t=1.0m)、上部床版を除く処分ピットまでを施工し、その後操業工程へと移る。
- ・操業工程としては廃棄体コンテナの処分ピット内への定置完了後、処分ピット内の充填材施工を行い閉鎖工程へと移る。

ここで、処分ピット内の充填材は、ピット内に積み上げられる廃棄体コンテナの物理的安定性を得るためや放射線遮へいの面から数段コンテナを積み上げた段階で施工することが考えられる。しかし、作業工程が複雑になることや、放射性物質を操作する定置作業と競合する作業は避ける方が望ましいこと等の定置作業の効率と安全性の観点から、充填材の施工はすべての廃棄体コンテナ定置後に処分空洞単位で行うこととする。

廃棄体コンテナの物理的安定性については、定置時にスペーサーを入れる等で対応できると考えられる。放射線については、廃棄体コンテナ本体及び処分ピットのコンクリートで十分な遮へいが可能と考えられる。

設定した処分空洞内の建設、操業及び閉鎖の関係を図-1.5.32に示す。

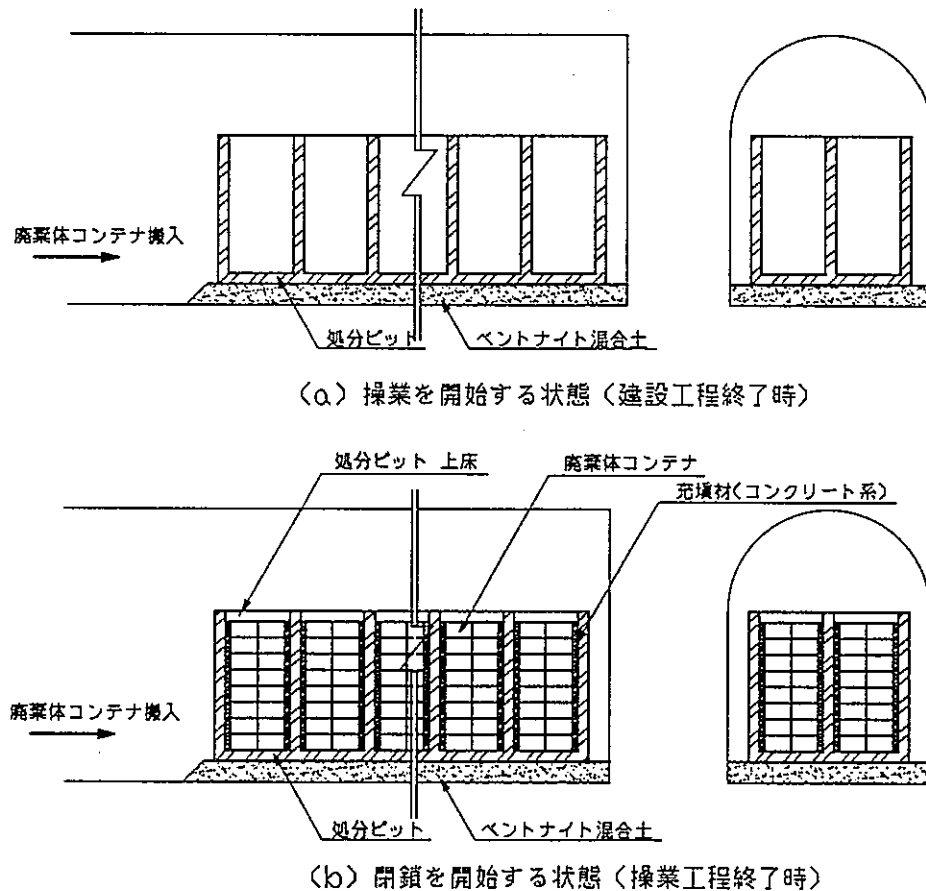


図-1.5.32 処分空洞内の建設、操業及び閉鎖の関係

### ③定置作業に使用する機器類の仕様

定置作業の内容は、廃棄体コンテナを搬送台車から吊り上げ、所定の定置位置まで移動し、処分ピット内に下降させ一定の精度で置くことである。

坑道方式及び岩洞方式の場合の定置作業機器としては、クレーンとフォークリフトが考えられる。

本検討で設定した処分空洞底面から処分ピット上面までの高さを図-1.5.33に示す。

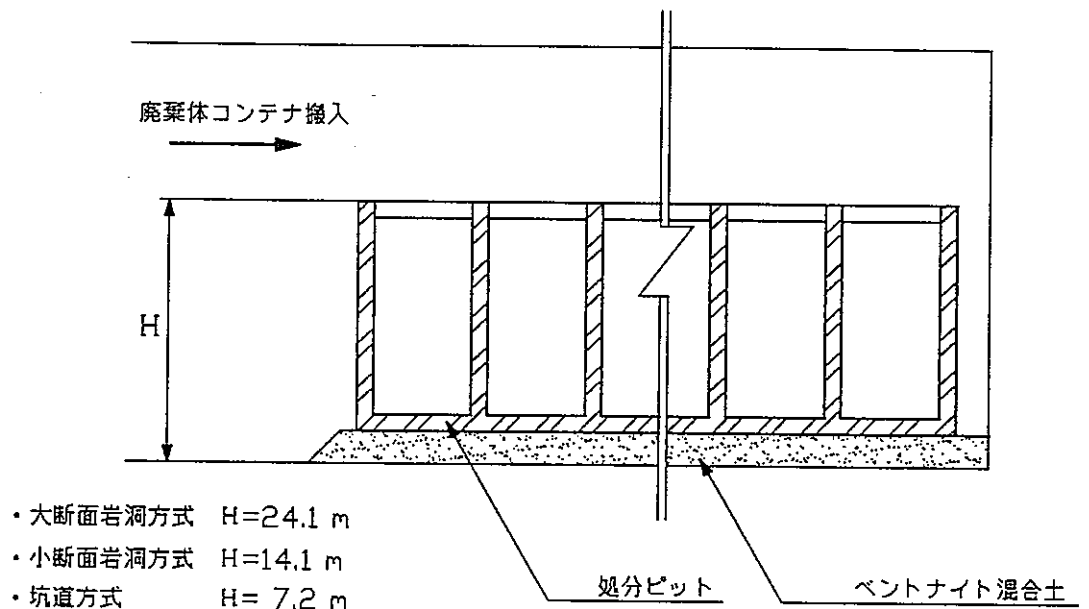
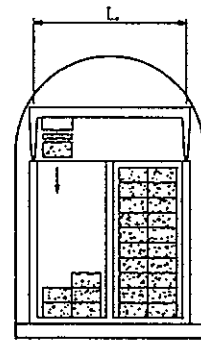
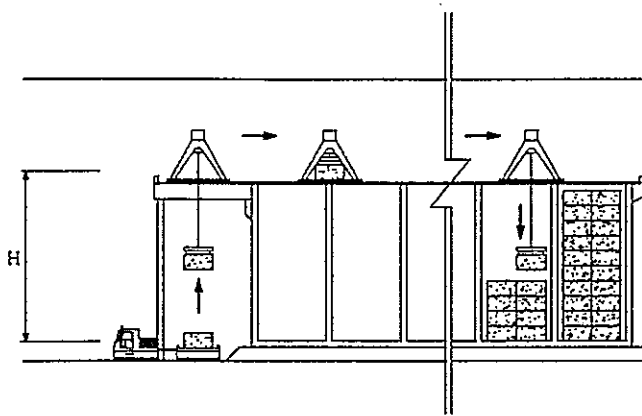


図-1.5.33 処分空洞底面から処分ピット上面までの高さ

廃棄体コンテナは処分ピットの隔壁を越えて定置する必要があるが、処分ピット上面の最も低い坑道方式の場合でも7.2mあり、通常のフォークリフトでは対応が困難である。また、フォークリフトを適用する場合は処分空洞の奥のピットに廃棄体コンテナを定置するために、処分ピットの隔壁を定置作業と併行して施工することになる。この方法は②で述べたように定置作業の効率と安全性の観点から好ましくないと考えられる。

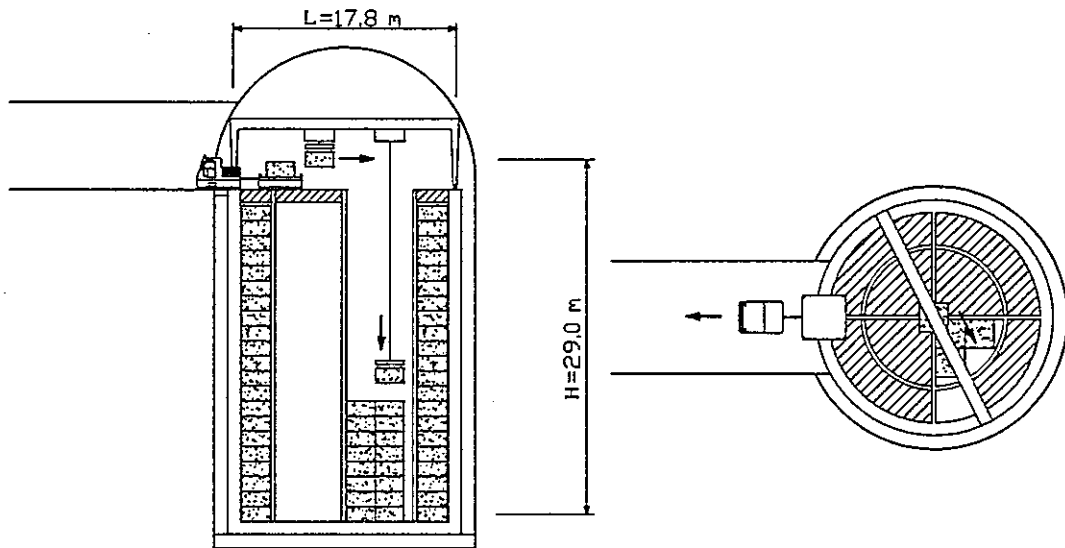
以上より、坑道方式及び岩洞方式での定置作業はクレーンで行うこととする。一方、サイロ方式での定置作業は構造上クレーンで行うことになる。図-1.5.34に定置作業に用いるクレーンの基本仕様を示す。





- 大断面岩洞方式    スパン L=16.8 m  
吊り上げ高さ H=23.5 m
- 小断面岩洞方式    スパン L= 12.3 m  
吊り上げ高さ H=13.5 m
- 坑道方式            スパン L= 5.5 m  
吊り上げ高さ H= 6.5 m

〈a〉 岩洞方式・坑道方式



- スパン L= 17.8 m
- 吊り上げ高さ H= 29.0 m

〈b〉 サイロ方式

図-1.5.34 定置作業に用いるクレーンの基本仕様

#### ④定置作業の手順

定置作業は次の手順で行う。

- ・搬送台車は定置用のクレーンが廃棄体コンテナを吊り上げることができる所定の位置まで進入し停車する。

停車する位置は処分空洞方式により次のとおりとする。

坑道方式・岩洞方式の場合	連絡坑道内
サイロ方式の場合	処分ピット上部

サイロ方式の場合は、搬送台車を処分ピット上まで進入させるため、ピットの上部には各セルに取り外し可能な蓋が必要となる。

- ・定置用のクレーンにより廃棄体コンテナを吊り上げ、所定の位置に定置する。

廃棄体コンテナを定置する時にはその精度が問題となる。精度に関する事項として次のことが考えられる。

コンテナの製作精度

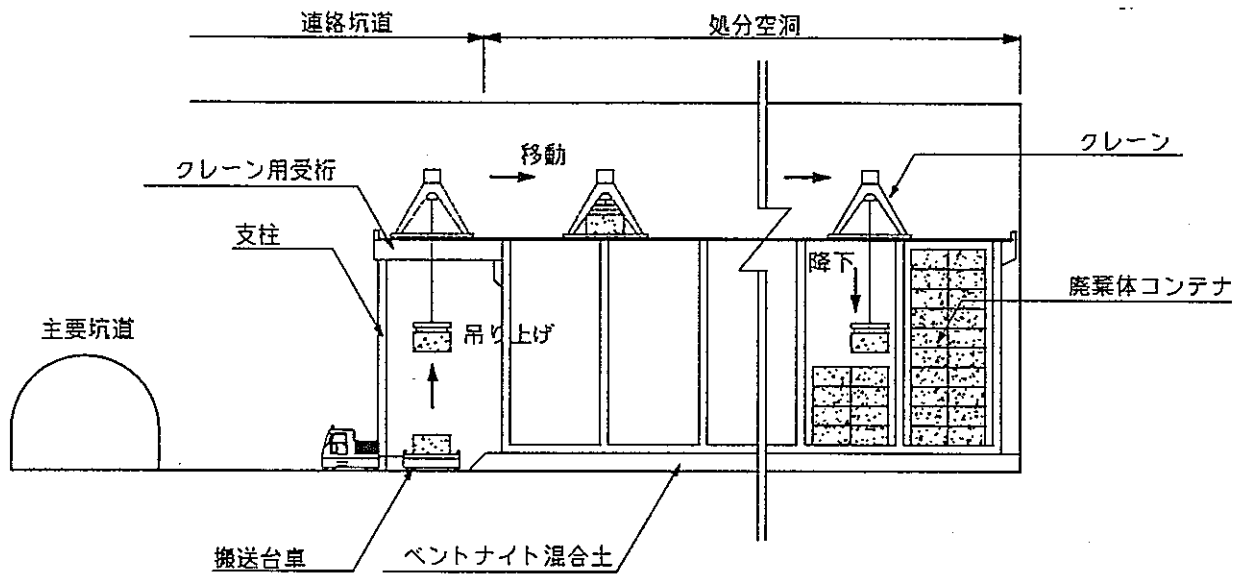
最初に定置するコンテナの定置方向と水平の精度

2個目以降のコンテナの積み上げ精度

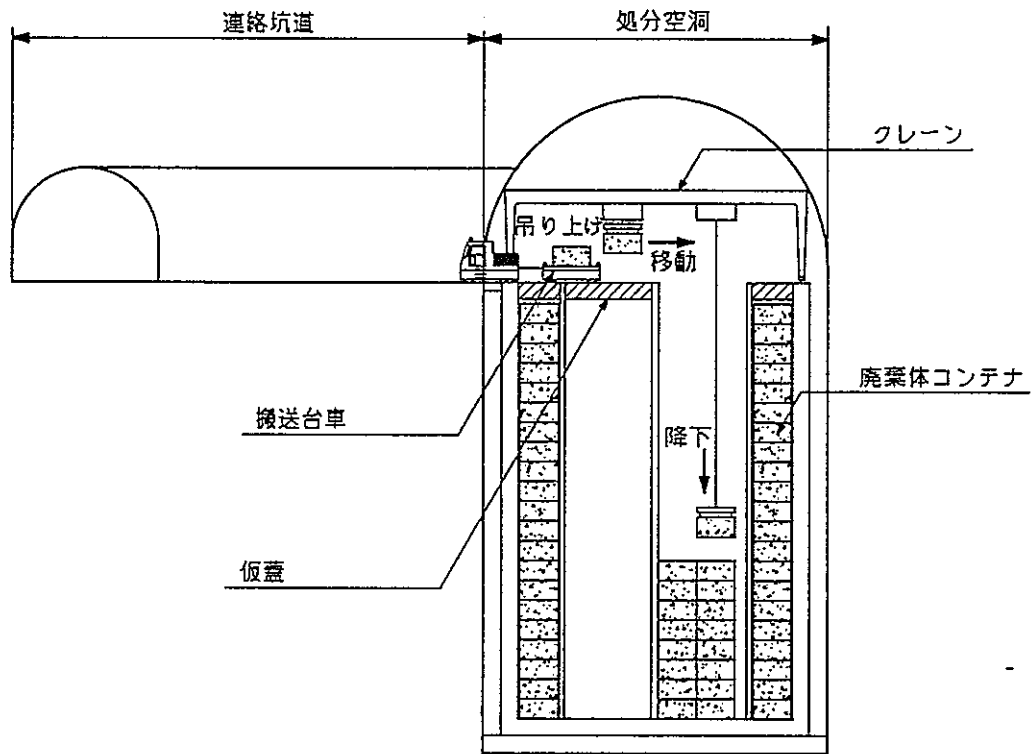
コンテナの製作精度は、工場生産であり品質管理で対応できると考えられる。最初に定置するコンテナの定置方向と水平の精度は、処分ピット底版上面の仕上がり精度に関する。2個目以降の廃棄体コンテナの積み上げ精度については、廃棄体コンテナを降下し定置させる作業の精度に関係し、精度よく降下させるガイド、残りの降下距離を計測する機器、監視カメラ等を設備することで対応することが可能と考えられる。

廃棄体コンテナの定置精度については、クレーンの制御能力や必要とされる精度等と合わせ、今後検討を要する事項と考えられる。

本検討で設定した定置作業の手順と作業状況の概念を図-1.5.35に示す。



(a) 岩洞方式・坑道方式



(b) サイロ方式

図-1.5.35 定置作業の手順と作業状況の概念

(4)操業全体の流れと工程

(1)～(3)で操業の主要な要素について検討し、操業の方法と機器類の基本的な仕様の設定を行った。ここでは、この検討結果を含め操業の基本的要件をまとめる。さらに、操業全体の流れの概念を示し、それに基づき定置作業の所要時間を想定して操業計画の工程と成立性を検討する。

(a)操業の基本的要件

(1)～(3)で検討した結果を含めて操業の基本的要件をまとめて表-1.5.17に示す。

表-1.5.17 操業の基本的要件

項目	設定内容	備考	
廃棄体に関する要件	廃棄体形状	<ul style="list-style-type: none"> <li>・140ℓキャニスター(φ430×H1343, φ440×H1345)</li> <li>・200ℓドラム缶 (φ600×H900)</li> <li>・500ℓキャニスター(φ800×H1192)</li> </ul>	
	処分量	約200,000本	
	最終処分形態	コンクリート製廃棄体コンテナによる <ul style="list-style-type: none"> <li>・140ℓキャニスター用 B1.8m×L1.8m×H1.7m 重さ 17.3tf</li> <li>・200ℓドラム缶用 B2.3m×L2.3m×H1.2m 重さ 17.5tf</li> <li>・500ℓキャニスター用 B2.1m×L2.1m×H1.5m 重さ 17.3tf</li> </ul>	
	廃棄体コンテナ個数	全部で22,642個 <ul style="list-style-type: none"> <li>・140ℓキャニスター用 2,714個</li> <li>・200ℓドラム缶用 17,945個</li> <li>・500ℓキャニスター用 1,983個</li> </ul>	
	処分期間	40年間	
搬送に関する要件	処分速度	廃棄体コンテナの処分速度 <ul style="list-style-type: none"> <li>・約570個/年</li> <li>・3個/日 (年250日稼働)</li> </ul>	
	処分深度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・結晶質岩系岩盤の場合 300m 700m</li> <li>・堆積岩系岩盤の場合 300m</li> </ul>	
	操業と他の作業との関係	操業は建設・閉鎖と同時期に行うが、地下処分施設を中央で2分割し、一方で操業、他方で建設・閉鎖を行う。従って、搬送経路は基本的に分離しており、操業は建設・閉鎖作業と独立して行う。	
	廃棄体コンテナ搬送方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・搬送台車に廃棄体コンテナを1個積載し、牽引車によりアクセス坑道から処分空洞まで搬送する。</li> <li>・アクセス坑道(立坑)ではエレベータを使用し、廃棄体コンテナは搬送台車ごと載せる。</li> <li>・アクセス坑道(立坑)は廃棄体コンテナ搬送専用として使用する。</li> </ul>	
定置に関する要件	処分空洞方式	以下の4方式とする。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・坑道方式</li> <li>・大断面岩洞方式</li> <li>・小断面岩洞方式</li> <li>・サイロ方式</li> </ul>	
	定置方法	どの処分空洞もクレーンにより廃棄体コンテナを定置する。	

(b) 操業全体の流れ

操業全体の流れの概念を図-1.5.36に示す。

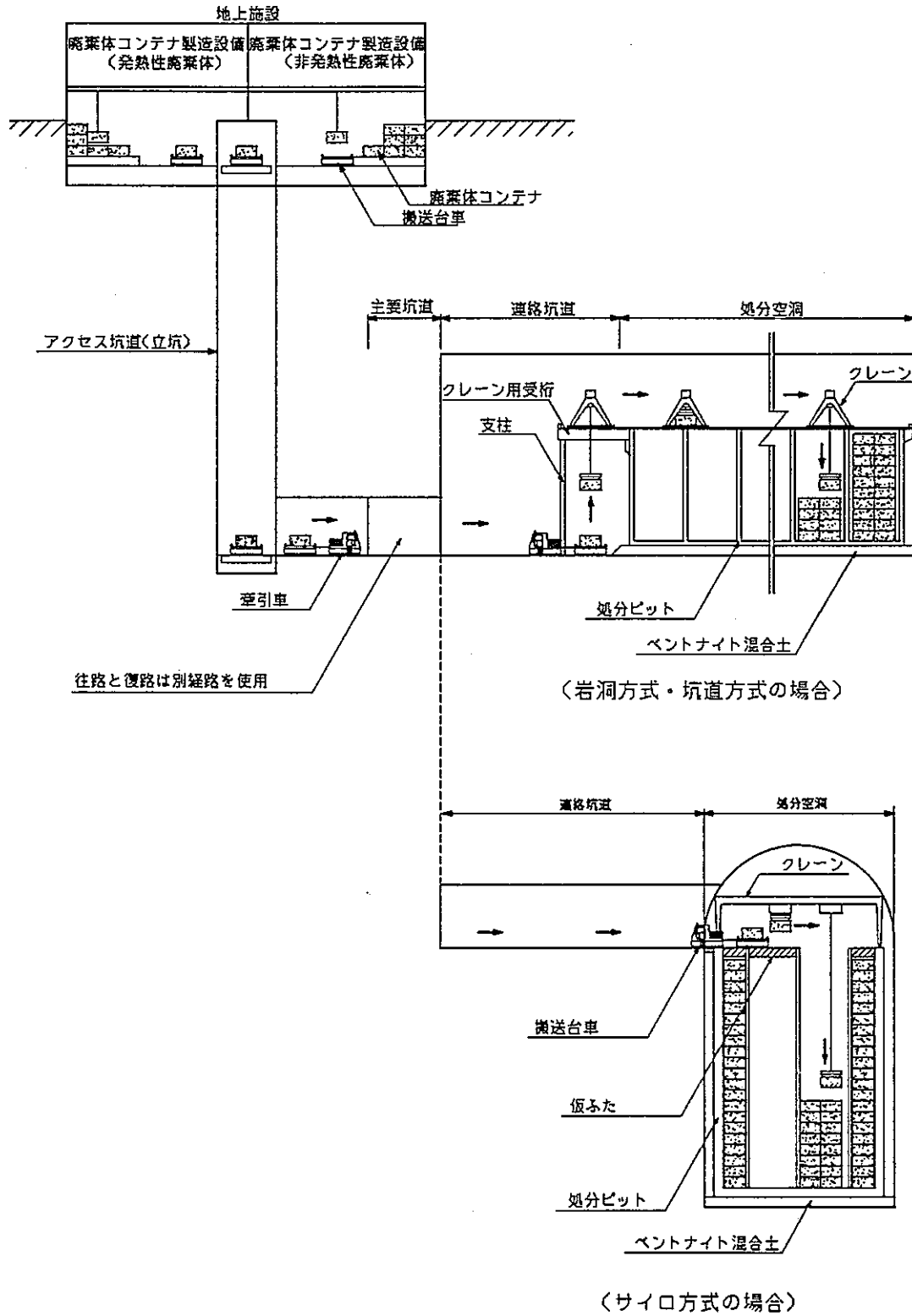


図-1.5.36 操業全体の流れ (概念)

(c)搬送距離

ここでは、本検討で設定した処分場レイアウトに基づく地下施設内での廃棄体コンテナ搬送距離を、牽引車とクレーンについてまとめ表-1.5.18に示す。

表-1.5.18 地下施設内でのコンテナの牽引車とクレーンによる搬送距離

レイアウトの方式	定置する処分空洞方式	牽引車による搬送距離(m)				クレーンによる搬送距離(m)
		アクセス坑道～主要坑道間(往復)	主要坑道部	連絡坑道部(往復)	合計	処分空洞全長*(往復)
坑道方式 + 大断面岩洞方式	坑道方式	40	940	40	1020	170
	大断面岩洞方式					160
坑道方式 + 小断面岩洞方式	坑道方式	40	1040	40	1120	170
	小断面岩洞方式					210
坑道方式 + サイロ方式	坑道方式	40	1420	40	1500	340
	サイロ方式			370	1830	40

\*: 最大値として、処分空洞の全長とした(サイロ方式の場合は直径)。

注) 各数値は処分場レイアウト図に基づく。

(d)定置作業の所用時間

コンテナ1個当りの定置にかかる時間を検討した結果を表-1.5.19に示す。

表-1.5.19 定置作業の想定所用時間(コンテナ1個当り)

作業項目	作業内容	使用機器, その他	所要時間		
廃棄体 コンテナ 搬入作業	立 坑	搬送台車, エレベータへの積み込み	地上施設の設備	10分	
		立坑エレベーター降下	エレベーター 100m/min *1	立坑 300mの場合 3分 立坑 700mの場合 7分	
		搬送台車の降し		2分	
		空搬送台車積み込み, 入れ替え *2		10分	
		立坑エレベーター上昇	エレベーター 100m/min *1	立坑 300mの場合 3分 立坑 700mの場合 7分	
		空搬送台車の降し	地上施設の設備	2分	
		合 計 (立坑 300mの場合)		30分	
		合 計 (立坑 700mの場合)		38分	
		地下施設内 搬送作業	坑 道 + 大断面岩洞	搬送車輛走行前点検 *3	
牽引車による搬送(往復)	1020m/100m/min			11分	
処分空洞での荷降ろし, 入れ替え *4				10分	
合 計 (坑道+大断面岩洞の場合)				22分	
搬送車輛走行前点検 *3				1分	
坑 道 + 小断面岩洞	牽引車による搬送(往復)		1120m/100m/min	13分	
	処分空洞での荷降ろし, 入れ替え *4			10分	
	合 計 (坑道+小断面岩洞)			24分	
	坑 道 + サイロ		搬送車輛走行前点検 *3		1分
			牽引車による搬送(往復)	サイロ 1830m/100m/min *5	19分
処分空洞での荷降ろし, 入れ替え *4				10分	
合 計 (坑道+サイロ)				30分	
定置作業			坑 道 + 大断面岩洞	クレーン走行速度 20m/min *6 走行距離 (大断面岩洞) 160m *7	8分
	クレーン昇降速度 5m/min *8 昇降距離 (大断面岩洞) 23.5m			10分	
	定 置			10分	
	合 計 (大断面岩洞)	$T = (160/20 + 23.5/5 \times 2) + 10 = 28$		28分	
	坑 道 + 小断面岩洞	クレーン走行速度 20m/min *6 走行距離 (小断面岩洞) 210m *7	11分		
		クレーン昇降速度 5m/min *8 昇降距離 (小断面岩洞) 13.5m	6分		
		定 置	10分		
		合 計 (小断面岩洞)	$T = (210/20 + 13.5/5 \times 2) + 10 = 27$	27分	
	坑 道 + サイロ	クレーン走行速度 20m/min *6 走行距離 (坑道) 340m *7	17分		
		クレーン昇降速度 5m/min *8 昇降距離 (坑道) 6.5m	3分		
		定 置	10分		
		合 計 (坑道)	$T = (340/20 + 6.5/5 \times 2) + 10 = 30$	30分	

- \*1：立坑エレベータの昇降速度については実績値が無いため、ここでは搬送車輛の設定値と同じ値を仮定した。
- \*2：空搬送台車積み込み、入れ替えには、牽引車の入れ替え連結変更と後退による空搬送台車のエレベータへの積み込みの時間を含む。
- \*3：搬送車輛走行前点検には、搬送台車連結部、廃棄体コンテナ固定具及び制御装置の点検作業時間を含む。
- \*4：処分空洞での荷降ろし、入れ替えには、牽引車の入れ替え連結変更と後退による搬送台車の定位置への移動、廃棄体固定具の外し及びクレーン吊り具の取付け作業等の時間を含む。
- \*5：坑道方式と比較し所要時間が長いサイロ方式の値とした。
- \*6：事例を参照し20m/minと設定した。
- \*7：全定置作業時間が長い方の値を示した。
- \*8：事例を参照し5m/minと設定した。

#### (e)操業計画の工程と成立性

定置作業の想定所要時間を基に工程を検討し、1日に定置可能な廃棄体コンテナ数を想定して、本検討で設定した操業計画の成立性を確認する。

表-1.5.19によると、定置作業は27分～30分であるのに対し、廃棄体コンテナを地上施設から処分空洞まで搬送する時間は、搬送台車を1台使用するとして最小でも50分程度となるため、定置作業は次の廃棄体コンテナが搬送されてくるまでに終了する。従って、所要時間の検討は、立坑による地上施設から地下施設への搬入と搬送台車による搬送に要する時間を用いて行う。

所要時間は地下施設の深さや処分空洞方式の違いにより異なるが、どの場合でも数分の差であると想定できるため、ここでは廃棄体コンテナ1個を定置するのに要する時間として、最大の値を用いて検討することとする。

所要時間を求めるための各作業に要する時間の最大値を以下に示す。

- ・立坑による地上施設から地下施設への搬入作業

立坑700mの場合を採用

地上施設～地下施設(往復) 38分

- ・搬送台車による搬送作業

坑道+サイロ方式の場合を採用

立坑～処分空洞(往復) 30分

これより、搬送台車を1台設備するとして、廃棄体コンテナ1個を定置するための所用時間は約1.2時間(68分)時間程度と想定される。



1日で処分できる廃棄体コンテナ数は、1日の作業時間を8時間として、

$$N = 8 \text{ 時間/日} / 1.2 \text{ 時間/個} = 6 \text{ 個/日}$$

ここで、N：1日で処分できる廃棄体コンテナ数となる。

以上の結果から、どの処分場レイアウトの場合も操業の基本的要件で示した処分速度3個/日を満足する。

一方、操業では廃棄体コンテナをすべて定置した後に処分ピット内の充填材の施工を行うが、6個/日の処理能力が想定できること、搬送車輛を増やすことで処理能力をさらに上げることができること等から、全体工程で操業工程がクリティカルになることはないと考えられる。

### 1.5.5 閉鎖計画

#### (1) 閉鎖の目的及び要求性能

閉鎖の目的のうち最も重要視される要件は、閉鎖部が核種移行におけるクリティカルパスにならないように適度な難透水性を保有させることにある。岩盤中に坑道及び立坑を掘削すると、それらの周辺には掘削に伴う緩み領域が発生するが、それらを閉鎖するにあたっては、緩み領域も含めて合理的に要求される性能を達成させることが必要になる。閉鎖部の要求性能については、本来安全評価から設定されるべきものであるが、ここでは便宜的に周辺岩盤部（健全部）が本来有している核種移行に関する特性と同等と考え、廃棄体から漏出した核種の地上に到達する時間が、周辺岩盤部を通過する場合と閉鎖部を通過する場合とを比較し、同等であることを目標とする。

上記要求性能を満足させるためには、

- ・ 水理学的地質環境の維持
- ・ 化学的地質環境の維持

等が求められる。

閉鎖への要求性能として他に挙げられるものには、

- ・ 地上からの人の侵入防止
- ・ 周辺岩盤の物理的変形の防止

などがある。

#### (2) 閉鎖の要素技術

閉鎖システムは、埋戻し、プラグ、グラウトの3つの要素技術から構成する。各要素についての説明を以下に示す。

##### (a) 埋戻し

埋戻しとは、廃棄体を処分位置に定置後、処分空洞や立坑等の開口部を難透水性材料によって埋戻し、岩盤中に人工的に設けられた開口部をフローパスとする核種移行を妨げることを目的とする。埋戻し材によって空洞部を充填することにより、空洞部が地下の水理機構に与える影響を少なくすることを目的とする。埋戻し材の透水係数は、周辺岩盤部よりも1オーダー程度低いものを想定する。材料は、要求性能、経済性、掘削ズリの処理等を考慮して、掘削ズリを利用した骨材とベントナイトの混合土を候補材料とする。世界的にも埋戻しには掘削ズリを利用する方向である。閉鎖時は覆工コンクリー

ト及びロックボルトなどの支保部材は残したまま埋め戻すが、プラグ設置部分については、支保部材の部分が水みちとなり、核種移行のクリティカルパスとなることを防ぐ目的から、撤去した後に埋め戻すこととする。

#### (b) プラグ

プラグ設置の主な目的は、①難透水性の粘土系材料やセメント系材料またはそれらの混合材料によるプラグを設置することにより、岩盤中に人工的に設けられた立坑等の開口部をフローパスとする核種移行を妨げ、埋戻しだけでは期待できない母岩の緩み領域の地下水流入出のフローバリアとしての役割を果たすこと、②母岩と埋戻しの境界部の接着不良に対するフローバリアとしての役割を果たすこと、③地圧及び上載荷重の応力機構としての役割を果たすこと、の3つに集約される。日本では長期耐久性、難透水性の観点からベントナイトを第一の候補材料としている。

#### (c) グラウト

空洞建設時に傷めた部分の修復、プラグの設置地点の周辺岩盤の補強（特に止水性の観点から）等を目的とする。具体的には、プラグ周辺岩盤の難透水性の確保、予測しきれない割れ目、弱部に対する透水性の観点からの補強、建設段階の一時的な止水対策などである。

坑道の閉鎖は、これらの3つの要素技術が場所と目的に応じて組み合わせられて設計・施工される。

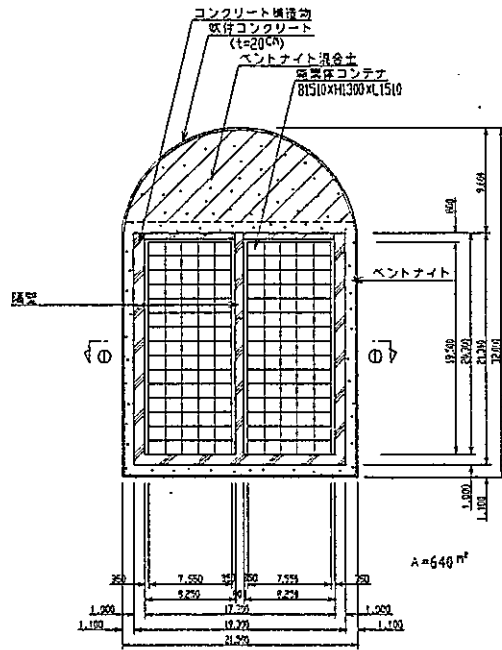
### (3) 閉鎖の候補材料

前述した要求性能は人工バリアとほぼ同等であるため、閉鎖の要求性能を満足させる可能性のある材料としては、人工バリアと同様にセメント系材料やベントナイト系材料が考えられるが前述の通り、難透水性、経済性、長期耐久性の観点からベントナイト系材料を基本と考える。

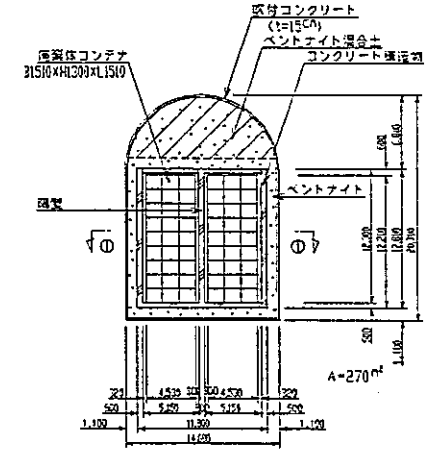
経済性の検討においては単に材料・施工の比較のみでなく、掘削ズリの処理も検討対象にする必要がある。

### (4) 処分空洞の閉鎖

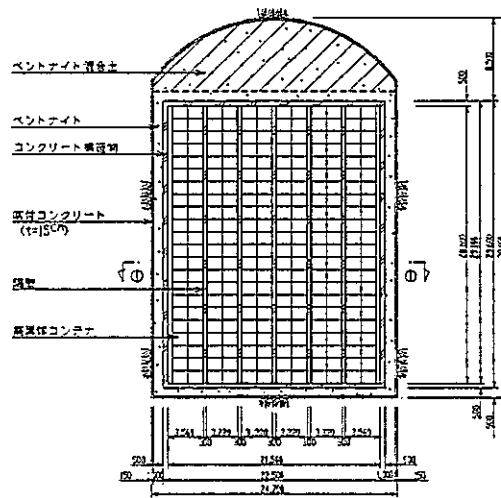
処分空洞の断面形状は図-1.5.37に示す通りであり、閉鎖に関する検討対象として斜線部分を取り上げる。また3次元的に捉えた概念図を、図-1.5.38に示す。



大断面岩洞方式



小断面岩洞方式



サイロ方式

図-1.5.37 各処分空洞方式の閉鎖

なお、坑道方式については全断面を人工バリアとして取り扱うこととする。

閉鎖材料は、経済性及び掘削土砂の処理を考慮して基本的に掘削ズリを利用したベントナイト混合土を用いることとする。

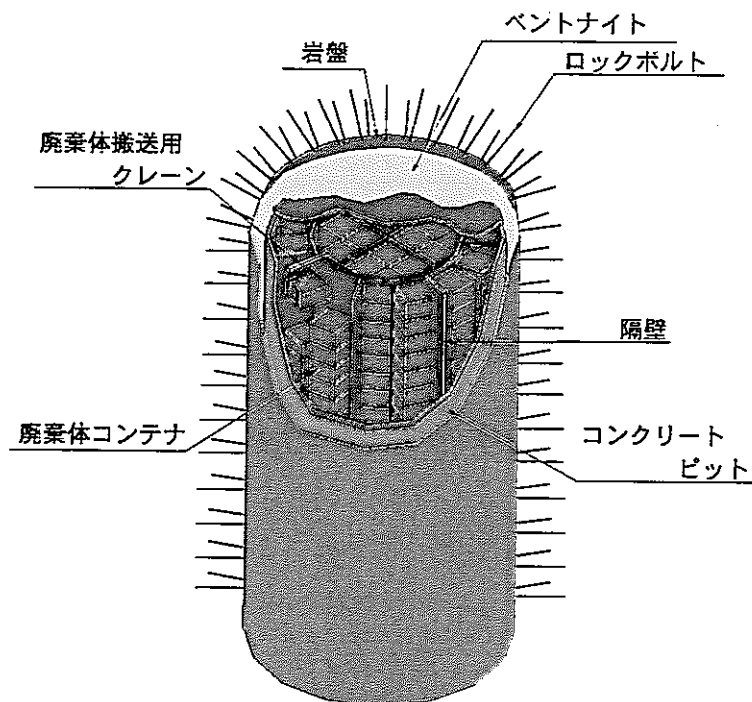
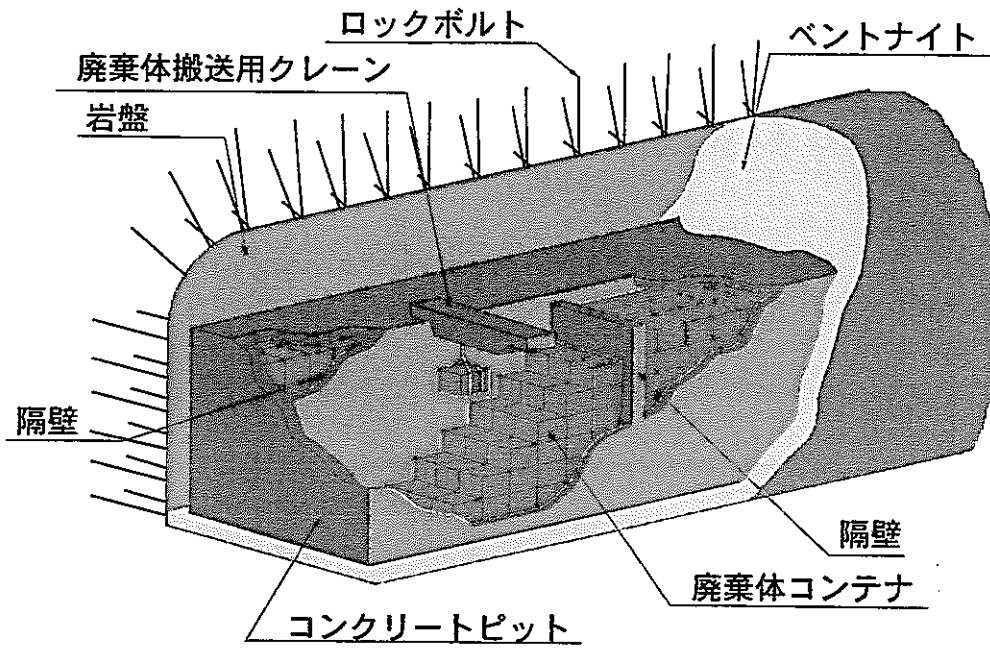


図-1.5.38 処分空洞概念図

田中ら<sup>1)</sup>によると礫及びケイ砂を混入したベントナイト混合土のベントナイト混合率(Bm)と透水係数の関係は、図-1.5.39の通りである。ベントナイト混合率が約12%以上で $10^{-9}$  cm/sec以下の難透水性が得られることがわかる。(試験室レベル) 図中Gmは、礫混合率を示し、ベントナイト及び礫以外の部分はケイ砂である。また、混合率は重量比である。

一方、ベントナイト混合率が約12%以下になると透水係数の増え方が急勾配になる。ここではベントナイト混合率を15%に設定する。

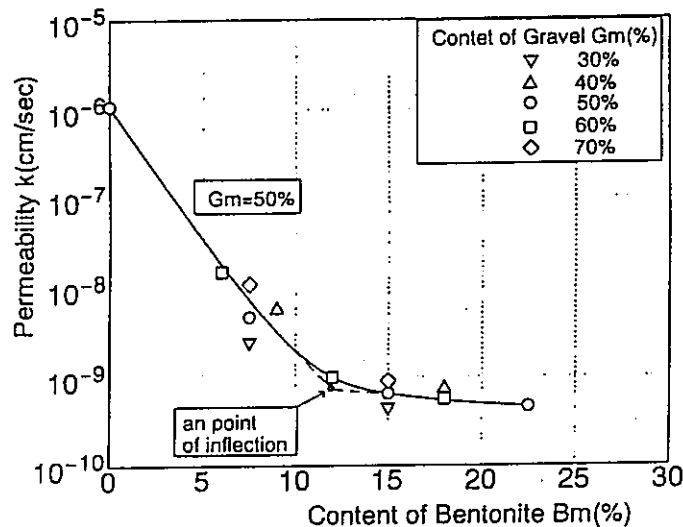


図-1.5.39 透水係数とベントナイト混合率の関係<sup>1)</sup>

閉鎖の方法としては、機械施工が可能な高さまでは埋戻し材を敷き詰めて振動ローラーによって転圧・締め固めを行う。残りの部分については、ベントナイト混合土ブロックを積み上げる。またベントナイト混合土ブロックと周辺岩盤の間隙には、ベントナイトパウダーを吹き込むこととする。

閉鎖作業が終了したエリアについては、埋戻し材の変形を防止するために処分空洞と連絡坑道の間コンクリートプラグを設置する。

ベントナイト混合土ブロックの大きさについては、以下の点から20cm×20cm×40cmの

直方体とする。

①ベントナイト混合土ブロックの積み上げが手作業になる可能性があることから、取り扱い易さの面より30kg/個程度とする。

②自重による引張破壊に対する安全率( $F_s$ )として $F_s=2.0$ を考える。

なお強度面からのブロックの大きさの検討については実験室レベルの試験が必要である。

#### (5) アクセス坑道・主要坑道・連絡坑道の閉鎖

閉鎖に対する要求性能のうち最も重要視されるものは止水性能であり、特に処分場建設のために閉鎖されるアクセス坑道は、核種を乗せた地下水が生活圏に達するクリティカルパスになる可能性がある。従って、アクセス坑道・主要坑道・連絡坑道の閉鎖に対しても、周辺健全岩盤部と同等の難透水性を保有させることとする。

具体的には、埋戻し材としては処分空洞の閉鎖と同様のベントナイト混合土を用いることとし、さらに周辺岩盤の緩み部分や周辺岩盤部と埋戻し部の隙間が水みちにならないように軸方向に一定間隔でプラグを設置することとする。

プラグには難透水性、膨張性及び長期耐久性を期待することから、材料としてはベントナイトを利用する。またプラグの周辺部については、掘削方法の開発、グラウトの利用等により止水性をより完全なものにする。

立坑部の埋戻しは、ベントナイト混合土を下部より順次転圧・締め固めを行うこととする。一方、トンネル部の埋戻しについては処分空洞と同様の方法によるものとしベントナイトブロックと周辺岩盤の間隙はベントナイトパウダーで充填することとする。

### 1.5.6 その他

ここでは、地下施設の換気システム及び排水システムを建設・操業・閉鎖の各段階を考慮して検討する。

#### (1)換気システム

##### (a)基本的な考え方

地下施設の換気システムに要求される機能として次のことが考えられる。

- ・作業員、作業空間への良質な空気の供給
- ・作業用機器類からの排気ガスの除去と希釈
- ・建設時の発破による後ガス、粉塵、地山からのガス及びその他有害なガスの除去と希釈
- ・放射線管理を考慮した換気
- ・地熱や作業用機器類からの熱の除去

換気の基本システムは、新鮮な空気を資材搬入用立坑(φ12.0m：2本)から給気し換気立坑(φ6.5m：2本)から排気するものとし、操業区域を分担する系統と建設・閉鎖区域を分担する系統の2系統からなるものとする。

また、放射線管理の観点から管理区域である操業区域と閉鎖パネルからの排気は、非管理区域からの排気と分離して行い、地上施設にてモニタリングを行う。

##### (b)本検討での設定

###### ①建設段階

建設段階での換気システムは、資材搬入用立坑と換気立坑が主要坑道により接続する前と後、また、処分空洞と処分場外周の換気坑道が接続する前と後で異なる。

資材搬入立坑と換気立坑が主要坑道で接続する前は、送風機と風管による地上からの送風で換気する。接続後は、換気立坑地上部に送風機を設置し、坑道内の空気を排出する。これによって、地下施設の基幹となる換気システムが確保される。

次に、換気坑道と下部連絡坑道の建設につづき、処分パネル単位で連絡坑道と処分空洞の建設が行われる。処分空洞が換気坑道と接続される前では、処分空洞の換気は連絡坑道に送風機を設置して風管による送風で行う。接続後は、処分空洞に送風された空気は下部連絡坑道、換気坑道を通り換気立坑から排出される。坑道方式の処分空洞の場合は、連絡坑道に設置した送風機による送風で換気する。

一方、岩洞方式やサイロ方式の処分空洞では、1回の発破規模が大きくなるため別途発破による後ガスを排出するための専用の換気設備を設置することとする。



## ②操業段階

廃棄体コンテナ搬入経路，操業パネル等の操業区域は放射線管理区域となる。そこで，地下施設中央で主要坑道を空気の入りが無いように閉鎖し，放射線管理区域と非管理区域と分離する。さらに，処分空洞内には多数の廃棄体が定置されていくため，処分空洞内の排気は風管を用いて他の操業区域内の排気とは区別し，換気立坑に排出するものとする。

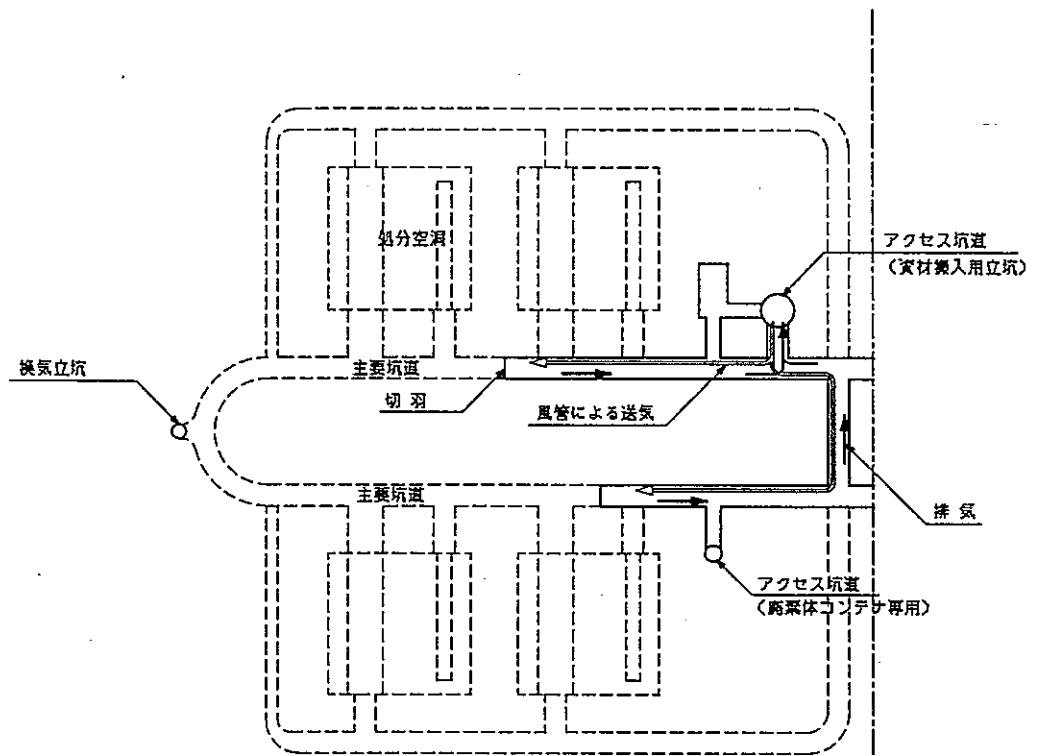
坑道方式を除く処分空洞では，処分場外周の下部連絡坑道に設置した送風機により処分空洞内の空気を吸気し，風管により換気坑道を通り換気立坑に排出する。坑道方式の処分空洞では，処分坑道の奥から風管により空気を吸気し，処分坑道・連絡坑道及び主要坑道を通り換気立坑に排出する。

放射線管理区域を通過した排気はすべて地上換気設備でモニタリングを行う。また，操業を終了したパネルは閉鎖作業開始まで立ち入り禁止とし，空気の入りが無いように管理する。

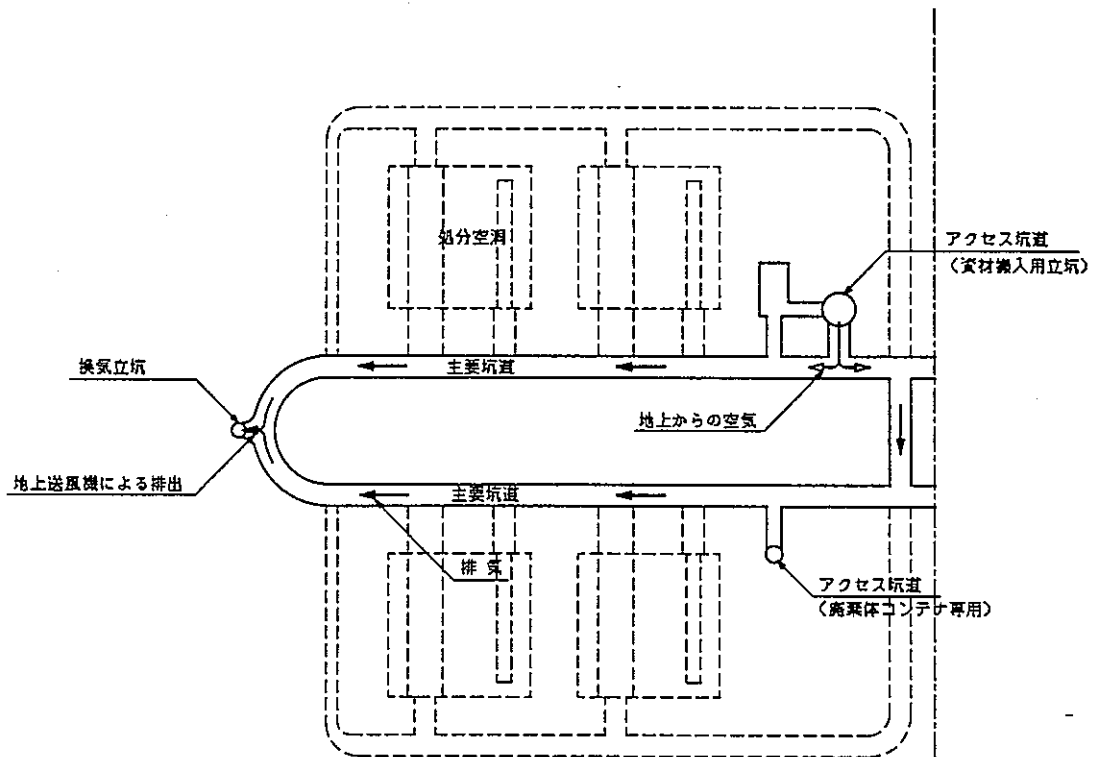
## ③閉鎖段階

閉鎖パネル内は放射線管理区域であるため，建設その他の区域からの排気と分離して排出する必要がある。処分空洞は人工バリア材で埋め戻されるため，操業時の坑道方式の場合と同様に，処分空洞の奥から風管で空気を吸気し，処分空洞・連絡坑道及び主要坑道内を通り換気立坑まで導く。閉鎖パネルと建設パネルからの排気は同じ換気立坑を使用するため，閉鎖パネルからの排気は，換気立坑内にも風管を設置し地上施設まで分離して排出するものとしモニタリングを行う。

以上の設定に基づく換気システムを図－1.5.40，図－1.5.41に示す。



(a) アクセス坑道～換気立坑間接続前



(b) アクセス坑道～換気立坑間接続後

図-1.5.40 建設の進捗状態に対応した換気システム概念

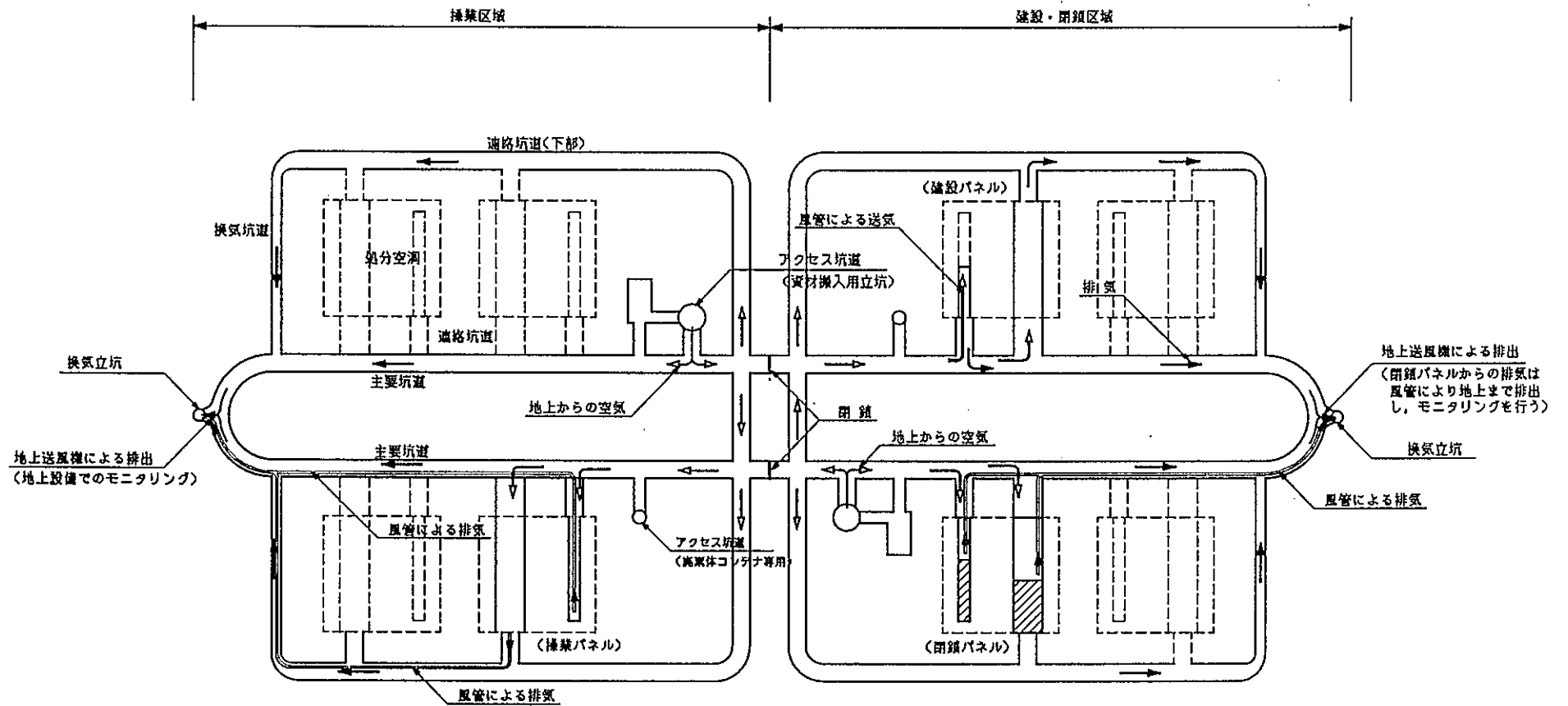


図-1.5.41 換気システムの概念

## (2)排水システム

### (a)基本的な考え方

地下施設の排水システムに要求される機能として次のことが考えられる。

- ・地山湧水の排水
- ・削孔や吹付けコンクリート施工等工事に伴う水の排水
- ・その他雑水の排水

排水の基本システムは、地下施設内で発生した排水を施設中央に設置した中継ポンプ室に集水し、沈殿槽で処理した後、資材搬入立坑(φ12.0m：2本)から地上へポンプ排水するものとし、操業区域を分担する系統と建設・閉鎖区域を分担する系統の2系統からなるものとする。

放射線管理区域からの排水についてはモニタリングを行う。なお、処分空洞の掘削が完了し、処分ピット基礎部の人工バリア材(ベントナイト)の施工が開始されるまでには、処分空洞内の地山湧水が発生しないように十分な止水対策(閉鎖完了まで担保されるもの)が施されるものとする。

### (b)本検討での設定

#### ①建設段階

アクセス坑道(立坑)及び換気立坑の建設では、自然流下で排水ができないため排水用配管と可動ポンプにより地上へ排水する。

中継ポンプ室が建設されるまでの主要坑道や連絡坑道からの排水は、坑道に排水溝を設け自然流下で資材搬入用立坑底部に集水し、可動ポンプで立坑から地上に排出する。

中継ポンプ室建設後は、地下施設内で建設に伴い生じる地山からの湧水や工事排水をすべて中継ポンプ室に集水し、土砂等を沈殿させた後ポンプで地上へ排出する。

岩洞方式及び坑道方式の処分空洞内の排水は、坑道内の排水溝により自然流下で主要坑道の排水溝へ排出する。サイロ方式の場合は、処分場外周の下部連絡坑道の排水溝へ排出する。下部連絡坑道の排水は、ポンプにより主要坑道の排水溝へ排出する。

#### ②操業段階

操業段階では、主要坑道、連絡坑道等の地山からの湧水、処分ピット内のコンクリート充填作業及びそれに伴う圧送配管の洗浄等による排水が生じる。処分空洞の地山からの湧水については、建設段階で十分に止水対策が行われているものとする。

操業段階での排水は、建設段階と同様に、岩洞方式及び坑道方式の場合は坑道内の排水溝により自然流下で主要坑道の排水溝へ排出し、サイロ方式では下部連絡坑道の排水溝へ排出する。すべての排水は中継ポンプ室に集水し、土砂等を沈殿させた後ポンプで地上へ排水する。操業区域は放射線管理区域のため、上記排水は地上設備にてモニタリングを行う。

作業完了時点で作業パネルからは排水がないよう十分な止水対策を行い、閉鎖作業開始まで立ち入り禁止とし、水の出入りが無いように管理する。

### ③閉鎖段階

閉鎖段階では連絡坑道閉鎖時に排水溝も閉鎖し、閉鎖パネルからの排水が無いようにする。閉鎖パネル内は放射線管理区域のため、閉鎖時においてもパネル内から排水がある場合は作業時と同じ方法で排水しモニタリングを行う。

閉鎖プラグ施工時の排水は、処分空洞内の人工バリア材による埋戻し完了後に発生するため、非放射線管理区域からの排水として取り扱う。

### ④中継ポンプ室

中継ポンプ室への排水は、処分施設内から連絡坑道・主要坑道等の排水溝を通して集められるため、土砂が混入している。また、コンクリート工事やロックボルトの施工による排水はスラリー状の汚泥を含んでおり、そのままではポンプにより地上へ排水するには困難な面がある。そこで、中継ポンプ室には圧送ポンプと貯水槽に加え、沈殿槽と汚泥をケーキ状にして排出するための脱水設備を設置するものとする。

中継ポンプ室は、地下施設を中央で2分割した作業区域側と建設・閉鎖区域側それぞれに設置する。

### ⑤想定排水量

排水システムの必要処理能力は、地下施設の地山からの湧水と削孔やコンクリート打設等に伴う工事排水の量を想定し設定する。湧水量については地盤の透水係数と表面積から求める方法があるが、ここではより実際に近いと考えられる実態調査に基づくデータを用いて想定する。

「1.2.2 サイト特性 (2)岩盤の水理特性」より、地下施設の掘削に伴う空洞1km当りの地山からの湧水量を次のように想定する。

- ・結晶質岩系岩盤  $0.6\text{m}^3/\text{min}/\text{km}$
- ・堆積岩系岩盤  $0.4\text{m}^3/\text{min}/\text{km}$

空洞延長は処分空洞方式により異なる。本検討では、次に示す条件に基づき湧水に係する空洞延長を設定する。

- ・作業パネル及び閉鎖パネルについては、建設段階で十分な止水対策がとられるため湧水については考慮しない。
- ・アクセス坑道、換気立坑からの湧水は別途設備により排水する。

上記条件から、湧水に係する空洞延長は主要坑道、外周の下部連絡坑道、換気坑道

及び建設パネルの連絡坑道と処分空洞となる。

「1.5.2 全体レイアウト」の処分場レイアウト図に基づいて算定した湧水に関する空洞延長を表-1.5.20に示す。

表-1.5.20 湧水に関する空洞延長 (m)

レイアウトの方式	主要坑道	換気坑道	連絡坑道	処分空洞	合計
坑道方式 + 大断面岩洞方式	940m	130m×2=260m	<ul style="list-style-type: none"> <li>・主要坑道側 20m×3 =60m</li> <li>・外周側 20m×1 =20m</li> <li>540m×2=1080m</li> <li>・計 1160m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・坑道部 85m×2 =170m</li> <li>・岩洞部 80m×1 =80m</li> <li>・計 250m</li> </ul>	2610m
坑道方式 + 小断面岩洞方式	1040m	150m×2=300m	<ul style="list-style-type: none"> <li>・主要坑道側 20m×4 =80m</li> <li>・外周側 20m×2 =40m</li> <li>610m×2=1220m</li> <li>・計 1340m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・坑道部 85m×2 =170m</li> <li>・岩洞部 105m×2 =210m</li> <li>・計 380m</li> </ul>	3060m
坑道方式 + サイロ方式	1420m	210m×2=420m	<ul style="list-style-type: none"> <li>・主要坑道側 265m×2+20m×1 =550m</li> <li>・外周側 265m×2 =530m</li> <li>860m×2 =1720m</li> <li>・計 2800m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・坑道部 160m×1 =160m</li> <li>・サイロ部 40m×6 =240m*1</li> <li>・計 400m</li> </ul>	5040m

注：中継ポンプ室は2個所に設置されるため、上表の値は地下施設の片側半分の値である。

\*1：サイロ高さを適用した。

上表より、地山からの湧水量は、最も多くなるサイロ方式のレイアウトで次のように想定できる。

・結晶質岩系岩盤の場合  $V=5.04\text{km} \times 0.6\text{m}^3/\text{min}/\text{km} \doteq 3.02\text{m}^3/\text{min}$

・堆積岩系岩盤の場合  $V=5.04\text{km} \times 0.4\text{m}^3/\text{min}/\text{km} \doteq 2.02\text{m}^3/\text{min}$

一方、建設に伴う工事排水は一般的な値として $0.2\text{m}^3/\text{min}$ と想定できる。

以上より、本検討では、処分空洞方式により異なるが、最も排水量が多くなるサイロ方式の場合の値を排水システムの仕様として次のように設定する。

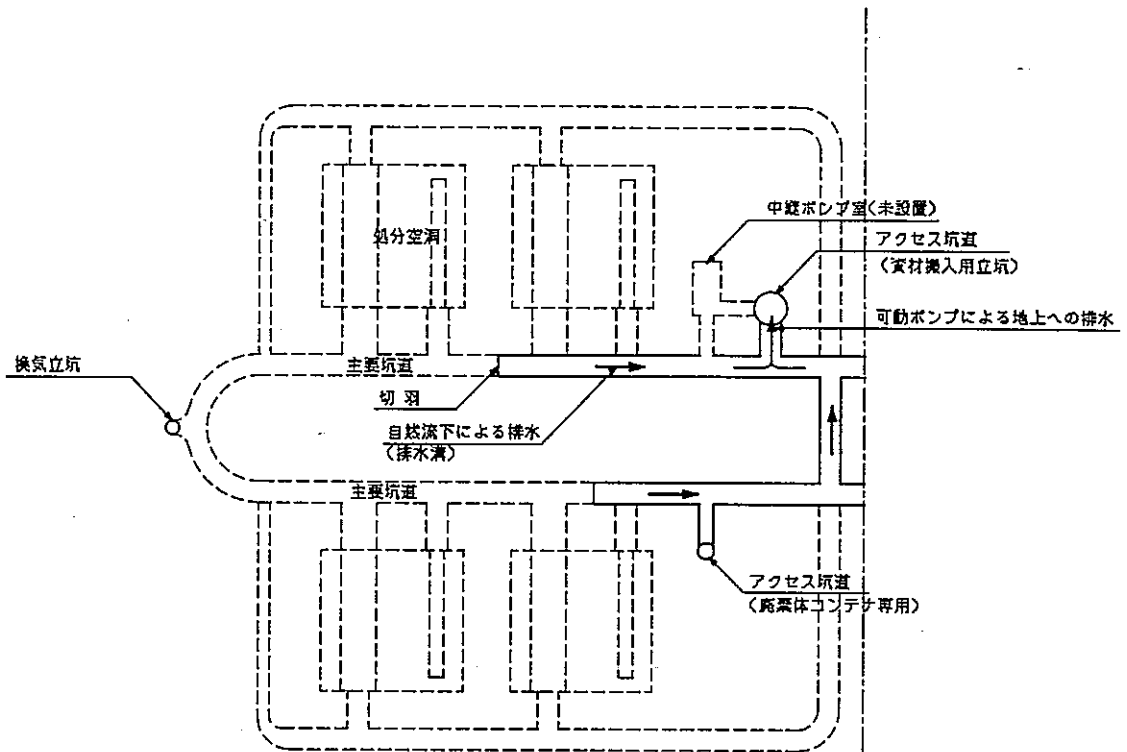
・結晶質岩系岩盤の場合

$$V=5.04\text{km} \times 0.6\text{m}^3/\text{min}/\text{km} + 0.2\text{m}^3/\text{min} = 3.22\text{m}^3/\text{min} \doteq 4 \text{ m}^3/\text{min}$$

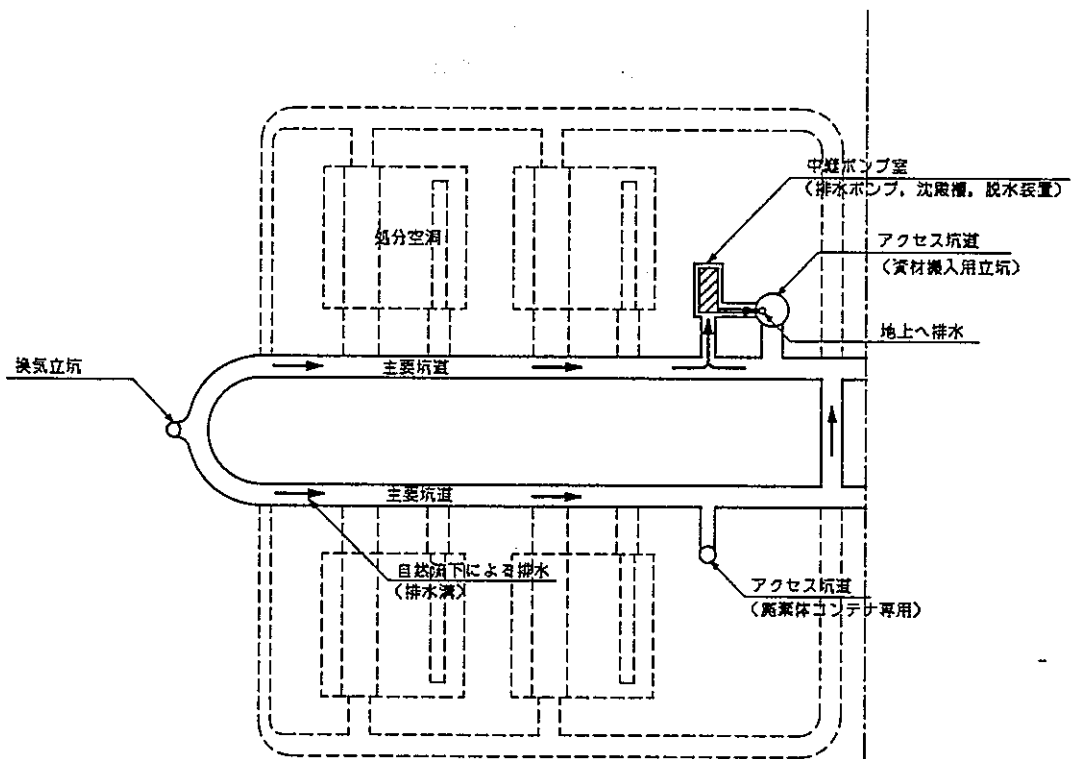
・堆積岩系岩盤の場合

$$V=5.04\text{km} \times 0.4\text{m}^3/\text{min}/\text{km} + 0.2\text{m}^3/\text{min} = 2.22\text{m}^3/\text{min} \doteq 3 \text{ m}^3/\text{min}$$

①～⑤の検討結果をまとめた排水システムの概念を図-1.5.42、図-1.5.43に示す。



(a) 中継ポンプ設備設置前(可動ポンプによる排水)



(b) 中継ポンプ設備室設置後

図一1.5.42 建設の進捗状態に対応した排水システム概念

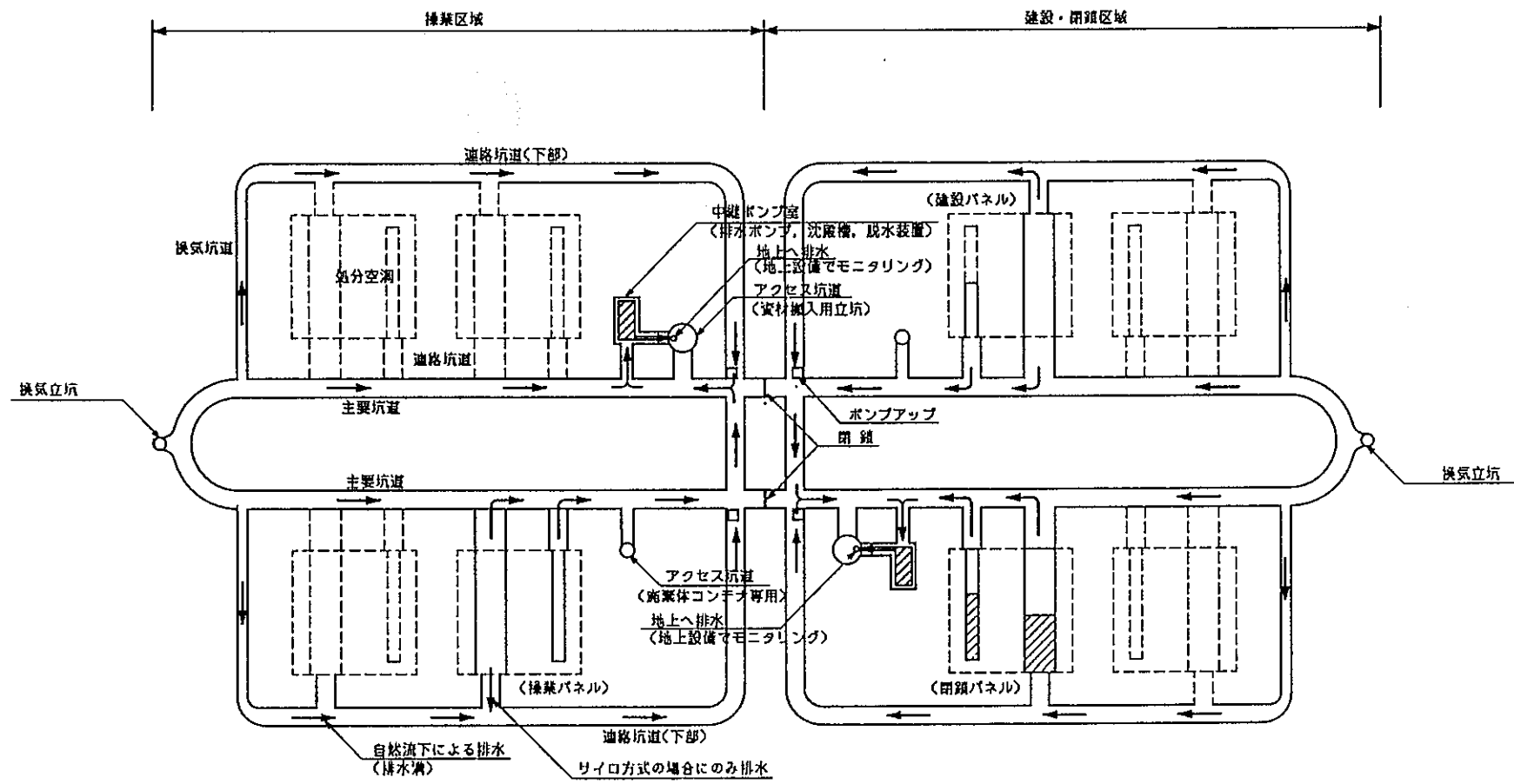


図-1.5.43 排水システムの概念



参考文献

- 1) 田中俊行, 深沢栄造, 平和男, 須山泰宏: 人工地盤構築材料の開発 (その3) - 礫混入ベントナイト混合土の透水特性 -, 鹿島技術研究年報, Vol. 43, pp. 205, 1995年12

## 第2章 人工バリア材料の力学的特性データの取得

### 2.1 目的

本試験は、人工バリア材（ベントナイト）の長期力学的挙動を把握するために、Na型ベントナイト、Na型ベントナイトを強制的にCa型に変質させたベントナイト（以下Ca化ベントナイト）、Ca型ベントナイト、ケイ砂とCa化ベントナイトの混合材料（ケイ砂の混合率を変化させたもの）の基本特性データ（膨潤圧、透水係数、強度定数等）を取得することを目的として実施したものである。

### 2.2 使用材料

本試験で使用したベントナイトは、表-2.2.1に示すようにNa型ベントナイトとしてクニミネ工業製、クニゲルV1、Ca化ベントナイトとしてNa型ベントナイト（クニゲルV1）を強制的にCa型に変質させたもの（以下Ca化クニゲルV1）、Ca型ベントナイトとしてクニミネ工業製、クニボンドである。また、使用したケイ砂は、ひさご屋製、栃木県上都芭産ケイ砂3、5および6号である。

表-2.2.1 使用材料

種類	分類	製造元および商品名
ベントナイト	Na型ベントナイト	クニミネ工業製、クニゲルV1
	Ca化ベントナイト	クニミネ工業製、クニゲルV1を強制的にCa型に変質させたもの
	Ca型ベントナイト	クニミネ工業製、クニボンド
砂	ケイ砂3号	ひさご屋製、栃木県上都芭産
	ケイ砂5号	
	ケイ砂6号	

なお、これまでTRU廃棄物処分研究ではケイ砂6号を用いたベントナイト混合土に関するデータを取得してきたが、今年度からは動燃事業団におけるHLW研究との整合を図るために、ケイ砂3号および5号を乾燥重量比1:1で混合した砂を用いることにした。HLW研究において混合ケイ砂が用いられている理由として、締め固めの程度に影響する均等係数の向上が挙げられる。また、この切り替えが本研究着手後に判断されたため、一部ケイ砂6号によるデータも取得されている。

図-2.2.1にベントナイトの粒度特性（クニミネ工業資料値）を、図-2.2.2にケイ砂の粒度特性（当社測定値）を示す。また、使用材料の物理特性を表-2.2.2に示す（当社測定値。ただし土粒子の密度を除く）。クニゲルV1およびCa化クニゲルV1の土粒子の密度 $\rho_s$ は、既往の研究結果<sup>9)</sup>等を参考にして $2.70\text{t/m}^3$ と一定にした。

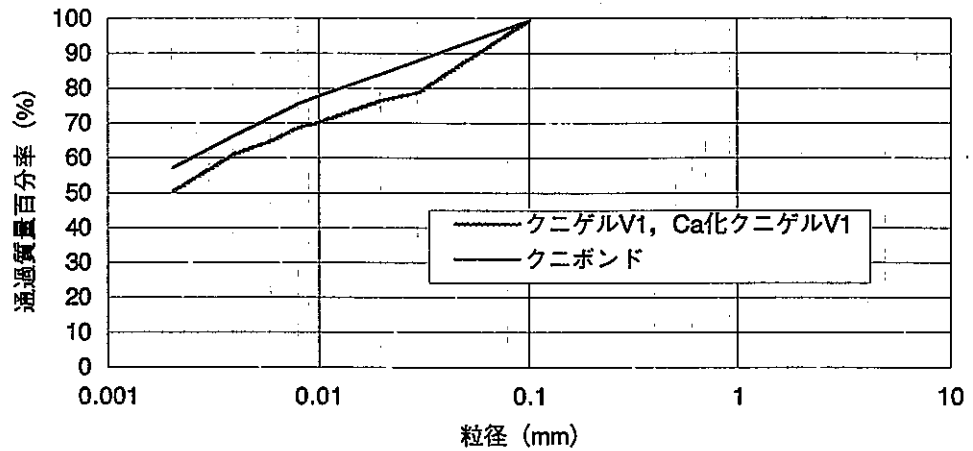


図-2.2.1 ベントナイトの粒度特性

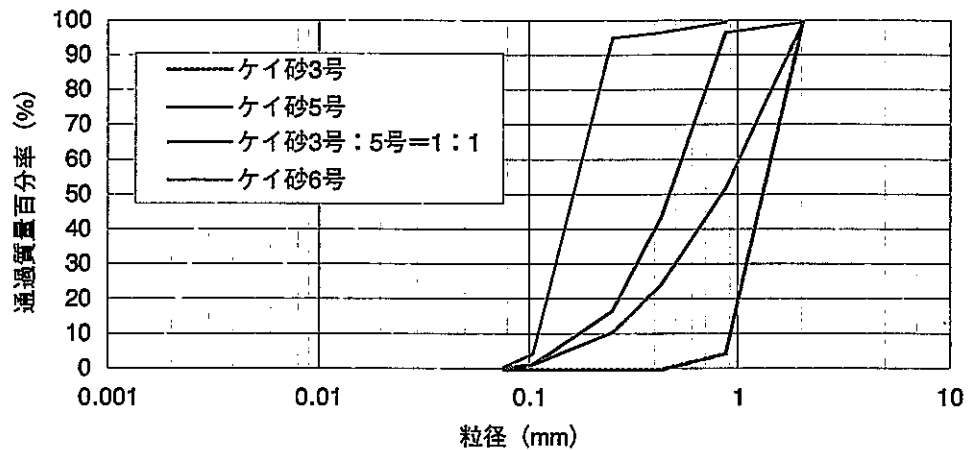


図-2.2.2 ケイ砂の粒度特性

表-2.2.2 使用材料の物理特性

種類	名称	自然含水比 $w_n$ (%)	土粒子の密度 $\rho_s$ ( $t/m^3$ )	液性限界 $W_L$ (%)	塑性限界 $W_p$ (%)	塑性指数 $I_p$ (%)
ベントナイト	クニゲルV1	5.8	2.70	419.2	18.4	400.8
	Ca化クニゲルV1	6.5	2.70	121.0	23.9	97.1
	クニボンド	9.9	2.64	144.5	63.9	80.6
砂	ケイ砂3号+5号	0.0	2.70	—	—	—
	ケイ砂6号	0.2	2.68	—	—	—

表-2.2.3にクニゲルV1, Ca化クニゲルV1, クニボンドの化学特性(クニミネ工業資料値)を示す。Ca化処理を行うことにより、Na型ベントナイト(クニゲルV1)中に最も多く含まれる、交換性陽イオン $Na^+$ が $Ca^{2+}$ と交換される。Ca化されたことの判断は、昨年度

と同様に処理後のベントナイト中に含まれるNa<sup>+</sup>量を一つの目安とし、技術的に置換されずに残るNa<sup>+</sup>量が5~10meq/100gであることから、10meq/100g以下を基準とした。また、クニボンドはCa化クニゲルV1よりCa化の程度が小さい。

表-2.2.3 クニゲルV1, Ca化クニゲルV1, クニボンドの化学特性

		クニゲルV1	Ca化クニゲルV1	クニボンド
pH		10.1	9.4	9.5
MB吸着量	mmol/100g	68	71	106
溶出イオン量	Na <sup>+</sup>	55.6	5.2	18.1
	K <sup>+</sup>	0.9	1.4	2.4
	Ca <sup>2+</sup>	49.4	102.8	74.2
	Mg <sup>2+</sup>	16.5	7.0	8.1
	Total	122.4	116.4	102.8
陽イオン交換容量	meq/100g	60.7	60.8	86.5

### 2.3 試験条件

表-2.3.1に実施する項目と求める物性値を、表-2.3.2に配合条件と試験数量を示す。対象とする材料は、①Na型ベントナイト、②Ca化ベントナイト、③Ca型ベントナイト、④ケイ砂とCa化ベントナイトの混合材料である。

表-2.3.1 実施項目と物性値

試験項目	試験方法	供試体寸法	物性値
膨潤圧試験		φ 4cm×h2cm	最大膨潤圧 P (MPa)
透水試験		φ 4cm×h2cm	透水係数 k (m/sec)
一軸圧縮試験	JIS A 1216	φ 5cm×h10cm	一軸圧縮強さ q <sub>0</sub> (MPa) 変形係数 E <sub>50</sub>
三軸圧縮試験 (CU)	JSFT 523 に準ずる	φ 5cm×h10cm	強度定数 c, φ 変形係数 E, ポアソン比 ν

表-2.3.2 配合条件と試験数量

		砂配合率 (%)	ベントナイト配合率 (%)	設定乾燥密度 $\rho_s$ (t/m <sup>3</sup> )	初期含水比 w (%)	膨潤圧試験	透水試験	一軸圧縮試験	三軸圧縮試験
Na型ベントナイト	①	0	100	1.6	10.0	—	—	—	1**
Ca化ベントナイト	①	0	100	1.3	自然含水比	2	2	3	—
	②	0	100	1.5	自然含水比	2	2	1	—
	③	0	100	1.8	自然含水比	1	1	3	—
	④	0	100	1.6	10.0	—	—	—	1**
Ca型ベントナイト	①	0	100	1.0	自然含水比	3	3	3	—
	②	0	100	1.2	自然含水比	3	3	3	—
	③	0	100	1.4	自然含水比	3	3	3	—
ケイ砂3号+5号+Ca化ベントナイト	①	30	70	1.8	自然含水比	1	2	2	—
	②	50	50	1.8	自然含水比	1	2	2	—
	③	70	30	1.8	自然含水比	1	2	—*	—
ケイ砂6号+Ca化ベントナイト	①	30	70	1.8	自然含水比	1	—	2	—
	②	50	50	1.8	自然含水比	1	—	2	—
	③	70	30	1.8	自然含水比	1	—	2	—

\*自然含水比では供試体の成型が困難

\*\*拘束圧は0.5, 1.0, 2.0MPaとする

Ca型ベントナイトの場合、今回使用した圧縮固化装置では1.5t/m<sup>3</sup>前後に締固めるが限界であり、またNa型ベントナイトの1.8t/m<sup>3</sup>とCa型ベントナイトの1.4t/m<sup>3</sup>がほぼ同じ応力で締固めを行うことが出来ることから、最大乾燥密度を1.4t/m<sup>3</sup>と設定した。

なお、試験は蒸留水を使用し、20℃前後に保たれた室内で行った。

### 2.3.1 Na型ベントナイト

本年度は三軸圧縮試験 ( $\overline{CU}$ ) を行った。

### 2.3.2 Ca化ベントナイト

平成6年度<sup>2)</sup>、平成7年度<sup>3)</sup>の試験結果を補間する目的で膨潤圧試験、透水試験、一軸圧縮試験を実施した。三軸圧縮試験 ( $\overline{CU}$ ) も同時に行った。

### 2.3.3 Ca型ベントナイト

本年度は基本特性を把握するために各試験を実施した。

#### 2.3.4 ケイ砂とCa化ベントナイトの混合材料

平成7年度の試験結果を補間するために実施した。また、前述のとおりケイ砂は、3号と5号の混合砂（乾燥重量比1:1）および6号を使用した。

## 2.4 試験方法

### 2.4.1 圧縮固化方法

ベントナイトは粉体であるため、実際の人工バリア材料として使用するためには圧縮成型する必要がある。均質な圧縮固化体の供試体は、図-2.4.1に示す圧縮装置を用いて、一定の荷重で静的に圧縮して作製した。

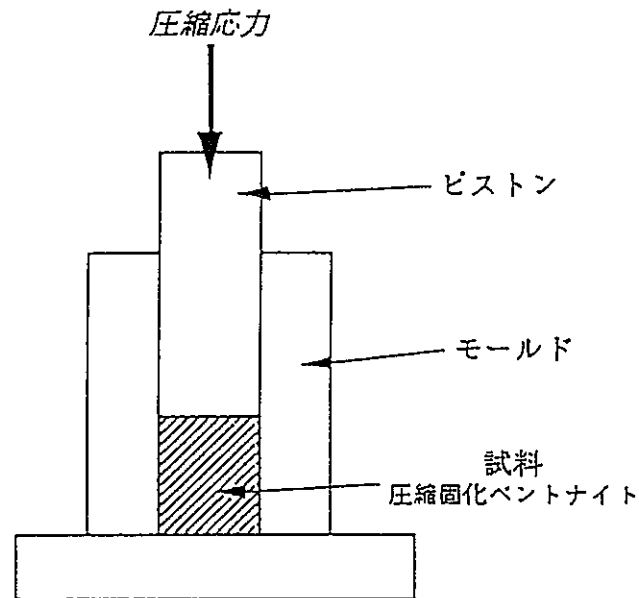
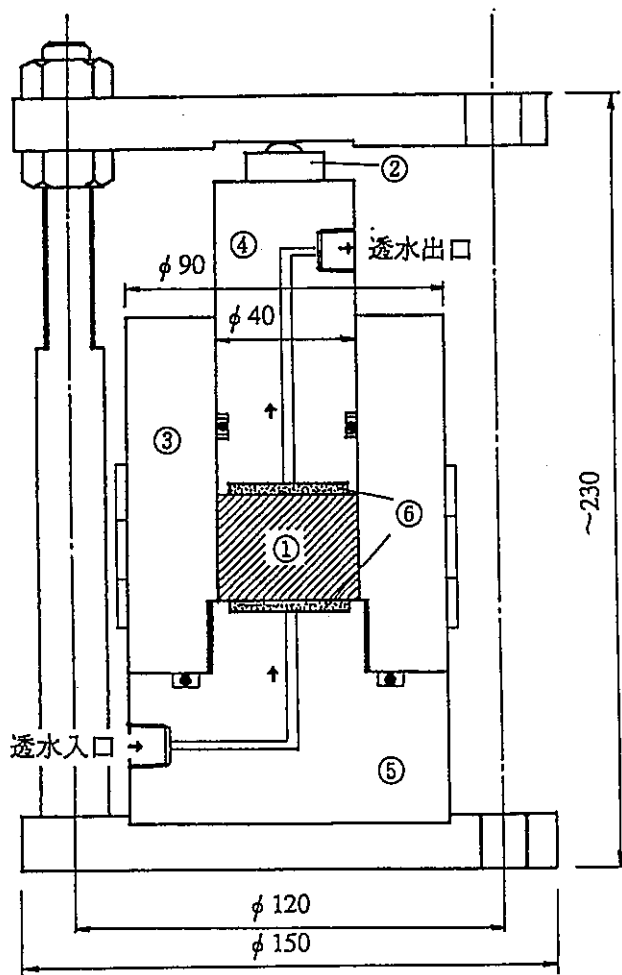


図-2.4.1 圧縮固化方法

### 2.4.2 膨潤圧試験

図-2.4.2に膨潤圧試験装置を示す。この試験装置は、円筒のモールド内に圧縮固化した供試体（ $\phi 4\text{cm} \times h2\text{cm}$ ）が、多孔質体を介して体積変化しないように設置されている。この装置に上下から蒸留水を供給して、ピストンと固定枠の間に入れた小型のロードセルで膨潤圧力を測定する。試験手順を以下に示す。

- ①円筒のモールドの中に所定の重量に測定した試料を入れ、一軸圧縮試験装置を用いて、軸方向に圧縮固化する。
- ②圧縮固化後、試験体の割れが無いかチェックして、円筒セルを固定枠にセットする。
- ③供試体内を上下から真空度を徐々に高めていき、負圧（ $-0.1\text{MPa}$ ）の状態ですばらく保持する。
- ④負圧を保持して、水頭差約100cmで上下より吸水させて、膨潤圧の測定を行う。
- ⑤膨潤圧が一定になった後、約5日間放置して試験を終了する。



- ①試料 (圧縮固化ベントナイト)
- ②超小型ロードセル
- ③円筒セル
- ④上部ピストン
- ⑤下部底板
- ⑥ポーラスメタル

図-2.4.2 膨潤圧試験装置

### 2.4.3 透水試験

図-2.4.3に透水試験装置を示す。透水係数は、圧縮固化したベントナイト中を流れる浸透水がDarcy (ダルシー) の法則に従うと仮定して、定水位透水試験によって式-2.4.1を用いて算定した。

$$k_{20} = \frac{Q}{Ait} \text{ (m / sec)} \quad (2.4.1)$$

ここに、 $k_{20}$ ：測定時の温度20℃に対する透水係数、 $Q$ ：浸透流量、 $A$ ：供試体の断面積、 $i$ ：動水勾配 (=H/L、 $H$ ：水頭差、 $L$ ：供試体寸法)、 $t$ ：測定時間



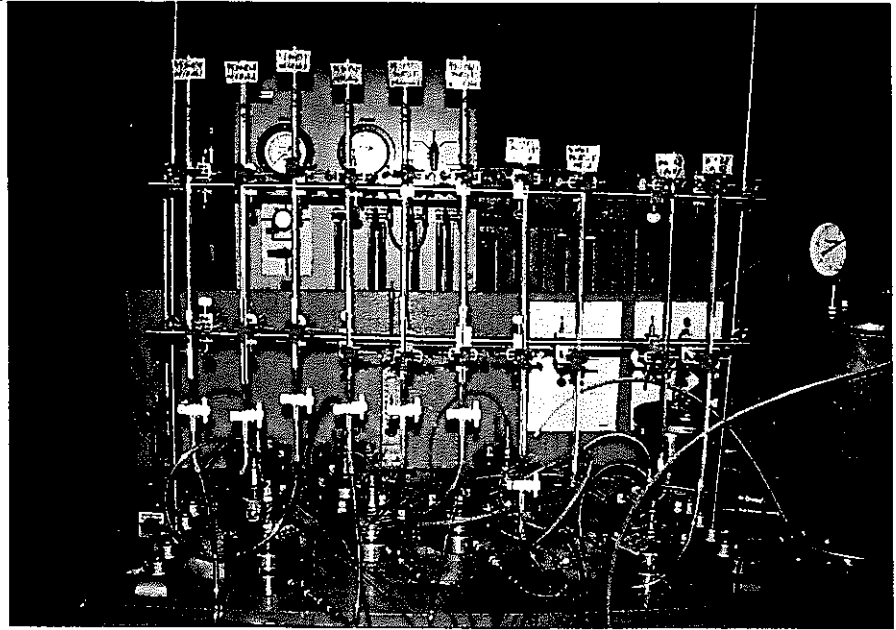


図-2.4.3 透水試験装置

#### 2.4.4 一軸圧縮試験

図-2.4.4に一軸圧縮試験状況を示す。供試体は、所定のモールド（ $\phi 5\text{cm} \times h10\text{cm}$ ）に設定した乾燥密度、含水比で圧縮固化したものを、試験は以下の手順で行った。

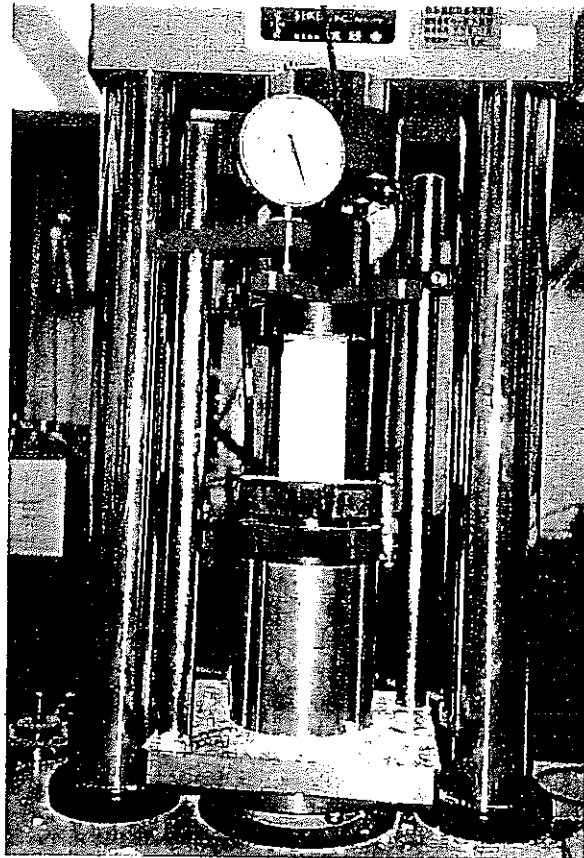


図-2.4.4 一軸圧縮試験状況

- ①供試体を試験機に設置する。
- ②ひずみ速度1%/min.で連続的に圧縮する。
- ③圧縮中は、圧縮量と圧縮力をはかる。
- ④圧縮ひずみが15%に達したら圧縮を終了する。
- ⑤供試体の変形・破壊状況などを観察し、記録する。

#### 2.4.5 三軸圧縮試験

ベントナイトの三軸圧縮試験（ $\overline{CU}$ 条件）において、ベントナイトの飽和に長期間要するため、図-2.4.5に示す試験フローに基づいて実施した。

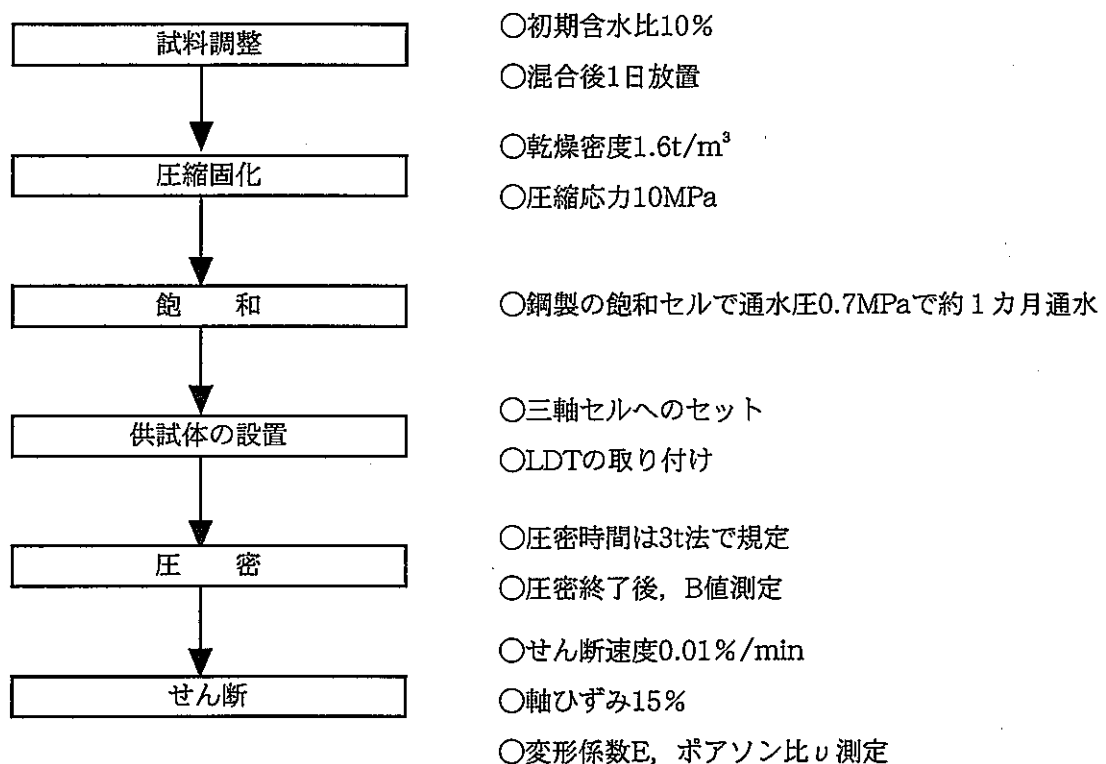


図-2.4.5 ベントナイトの三軸圧縮試験（ $\overline{CU}$ ）の試験フロー

##### (1) 試料調整

粉末のベントナイトを必要重量測定し、含水比10%になるように水を霧吹きで散布し、十分に混合する。混合後は、水がベントナイトに十分行きわたるように24時間放置する。

##### (2) 圧縮固化

混合したベントナイトを設定の乾燥密度に必要な湿潤重量を測定し、圧縮固化体作製治具に投入して、一軸圧縮試験装置を用いて、圧縮応力10MPa程度で所定の供試体寸法（径 $\phi$ 50mm×高さh100mm）になるように静的に固化させる。図-2.4.6に示す圧縮固化したベントナイトを示す。

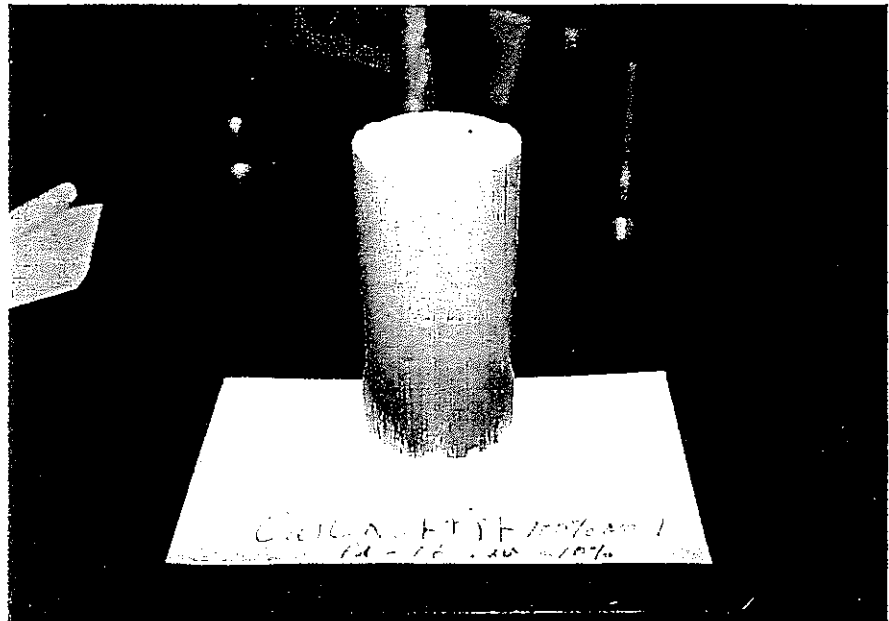


図-2.4.6 圧縮固化したベントナイト

### (3) 飽和過程

圧縮固化したベントナイトは、飽和に長時間要するため、以下の方法で行った。

- ①供試体を図-2.4.7に示すように、飽和セルにろ紙を介して設置する。
- ②上下から真空度を徐々に高めていき、負圧（ $-0.1\text{MPa}$ ）の状態に24時間保持する。
- ③負圧を徐々に解除して、上下から吸水させた後、通水圧 $0.7\text{MPa}$ で30日間以上吸水させる。

図-2.4.8に飽和状況を示す。

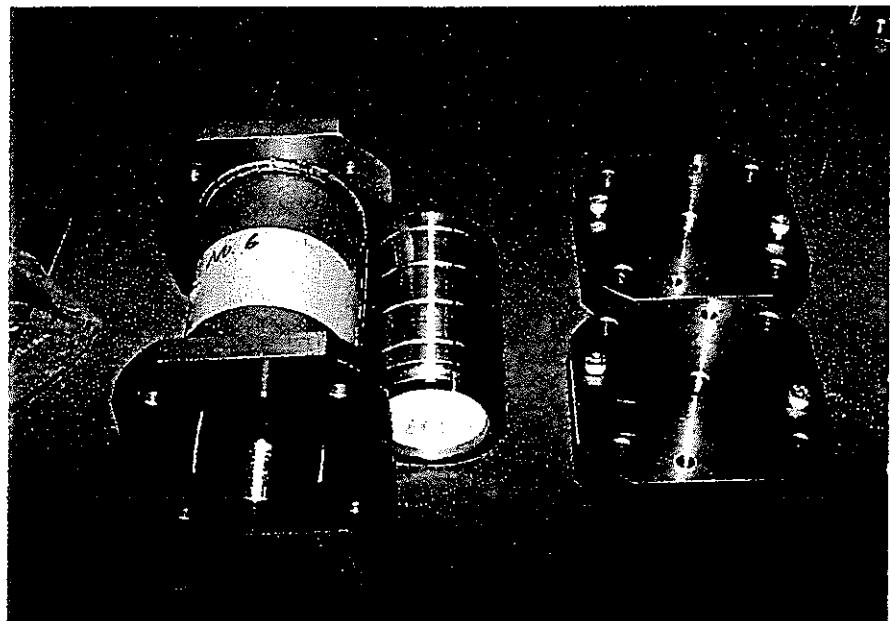


図-2.4.7 ベントナイト飽和セル

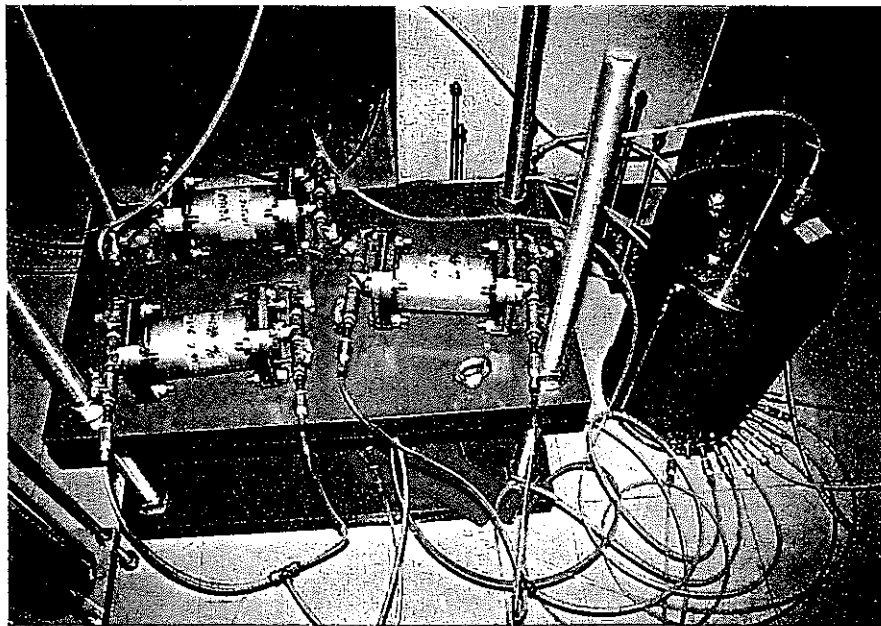


図-2.4.8 飽和状況

#### (4) 供試体の設置

飽和セルから供試体を取り出した後、ろ紙を外し、径 $\phi$ 、高さ $h$ 、重量 $W$ を測定して、図-2.4.9に示す三軸圧縮試験装置に設置した。図-2.4.10に三軸セルへの設置状況を示す。手順は以下のとおり行った。

- ①ポラスストーンと一体になったペDESTAL上にもろ紙を敷き、供試体を置く。
- ②供試体側面には、新たにペーパードレーン（ろ紙）を巻き、上端面にもろ紙を敷く。
- ③供試体の側面に軸ひずみ測定のためのストレインゲージ型供試体局所軸ひずみ測定装置（以下LDT）を設置する。
- ④ゴムスリーブをかぶせキャップを置き、上下のゴムスリーブをシールする。
- ⑤上下端面からの排水設備のセットを行う。
- ⑥三軸セルをセットし、セル内に水を充満させる。

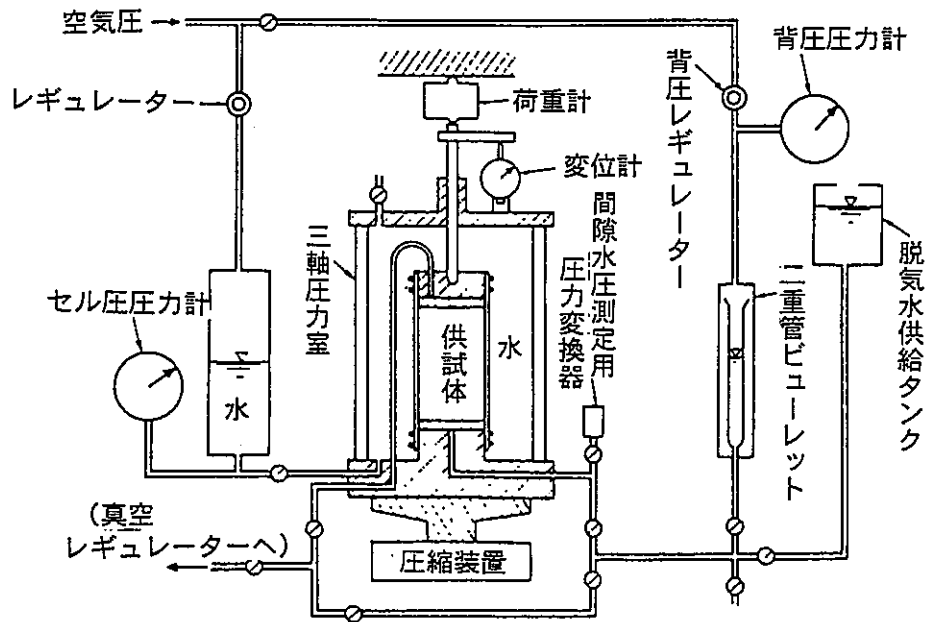


図-2.4.9 三軸圧縮試験装置

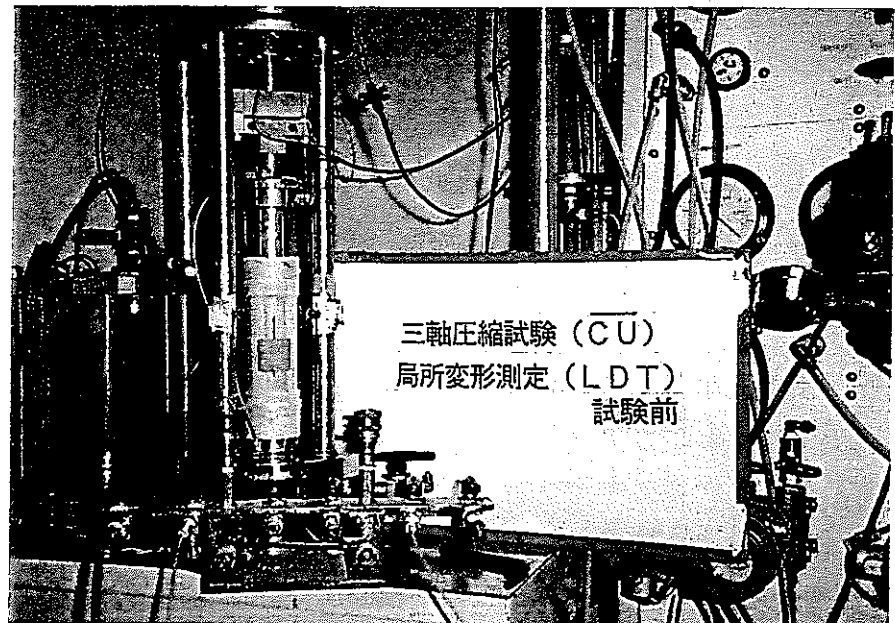


図-2.4.10 供試体へのLDTの設置

LDTは、供試体の変形に伴う2つのヒンジ間の距離の変化(=供試体変形量)  $\Delta L$ をひずみゲージの出力変化 $\Delta V$ として検出し、2つのヒンジ部を供試体の上下端面から各々5cmほど離して軸方向にセットすることにより、供試体上下端面のベディグエラーを含まない供試体の平均的な軸ひずみを測定するものである。

この方法は、①安価、②製作に熟練を要しない、③微小ひずみから中ひずみ( $10^{-6} \sim 10^{-3}$ )の連続測定が可能である等の長所があり、近年高い精度を要する三軸圧縮試験や動的変形試験等でよく用いられている。

(5) 圧密過程

供試体を三軸セルに設置した後、上下のコックをあけて側圧に所定の拘束圧力  $\sigma_3$  をかけて、圧密を開始する。圧密終了時間の規定方法は種々あるが、その中で最も一般的な図-2.4.11に示す方法を採用した。この方法は、 $d-\log t$  曲線の最急勾配部の接線を時間軸方向に3倍平行移動した直線に、圧密量  $d$  と圧密時間  $\log t$  曲線が到達した時点で圧縮時間を規定するもの (3t法) である<sup>4)</sup>。図-2.4.12に圧密状況を示す。

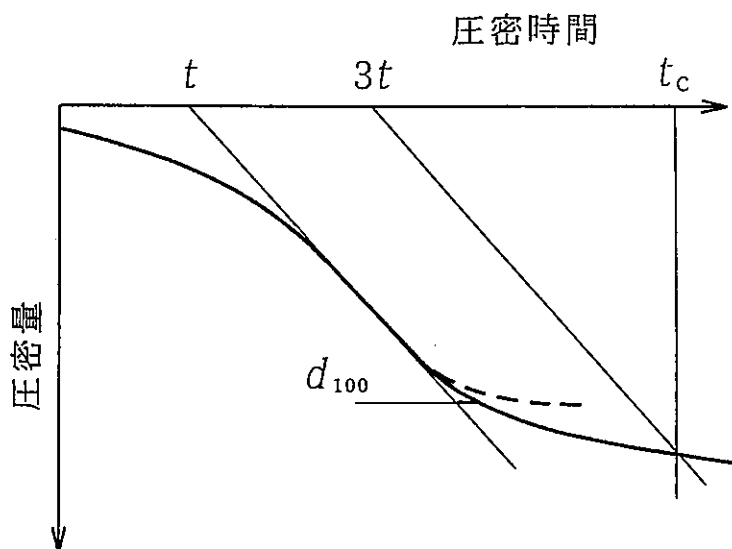


図-2.4.11 3t法

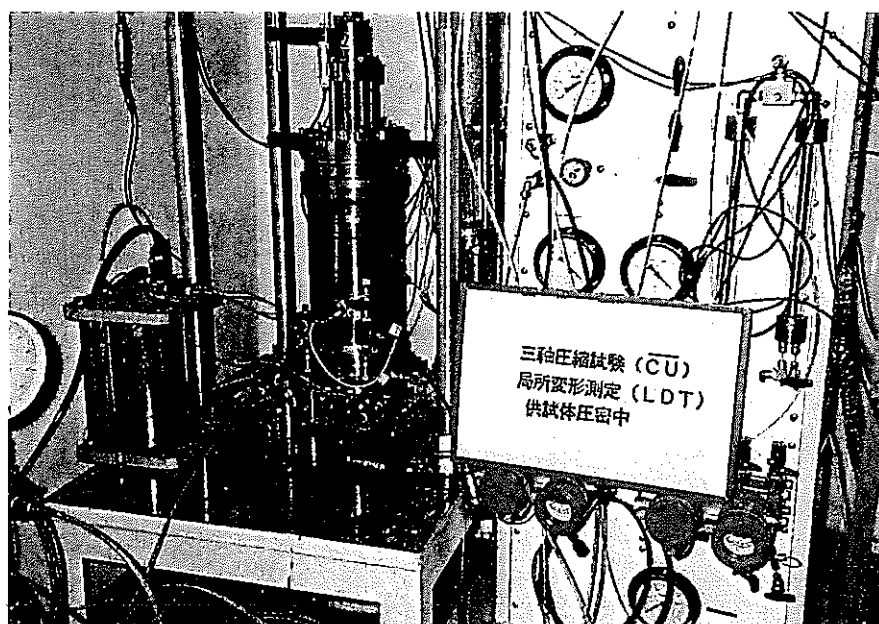


図-2.4.12 圧密状況

圧密終了後、供試体が飽和しているか判断する方法の一つとして、図-2.4.13に示す Skempton (スケンプトン) が提案した間隙水圧係数B値を測定した<sup>9)</sup>。式-2.4.2に間隙水圧式を示す。

$$\Delta u = B\{\Delta\sigma_3 + A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)\} \quad (2.4.2)$$

ここに、B, A：間隙水圧係数， $\Delta\sigma_1, \Delta\sigma_3$ ：主応力，側圧の変化量， $\Delta u$ ： $\Delta\sigma_1, \Delta\sigma_3$ に伴う間隙水圧の変化量

応力が等方的 ( $\Delta\sigma_1 = \Delta\sigma_3$ ) に変化する場合、 $B = \Delta u / \Delta\sigma_3$  となり、拘束圧  $\sigma_3$  の変化に対する間隙水圧  $u$  の変化の割合がB値となる。B値と飽和度の関係は、種々の要因によって変化するので一概には言えないが、一般的に  $B > 0.95$  が飽和の目安とされている<sup>9)</sup>。

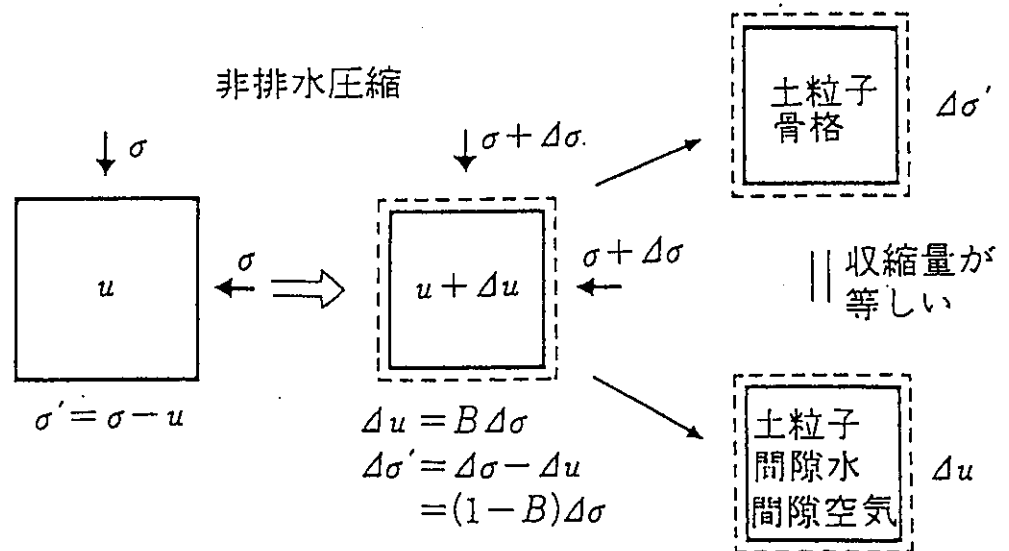


図-2.4.13 間隙水圧係数B値

#### (6) せん断過程

三軸セルの上下のコックを閉じて、非排水状態にしてできるだけ小さいひずみ速度 (0.01%/min) で軸載荷を行うとともに、軸方向のひずみをLDTで、横方向ひずみをギャップ (Gap) センサーで測定する。ひずみが15%を超えたら載荷を停止する。図-2.4.14にせん断後の供試体を示す。

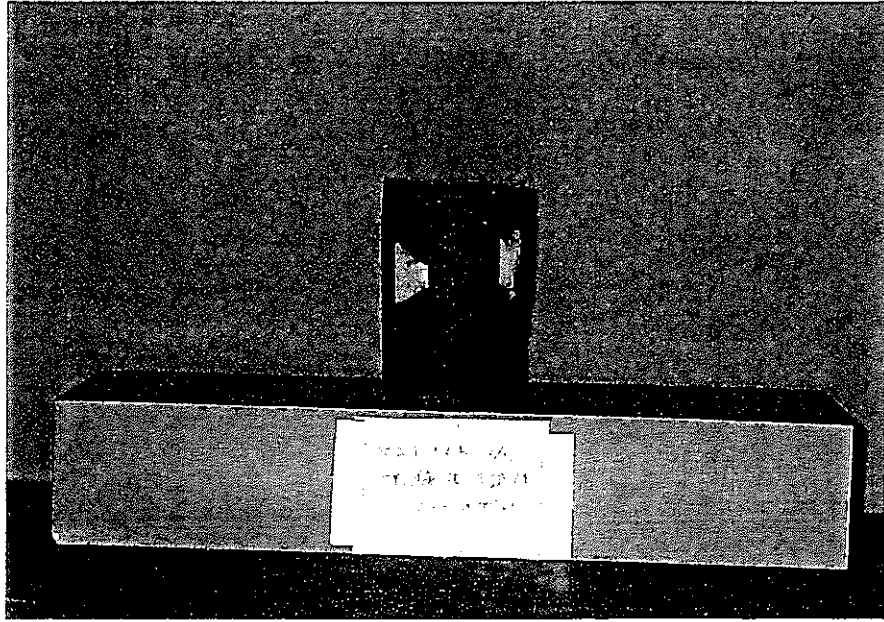


図-2.4.14 せん断後の供試体



## 2.5 試験結果

### 2.5.1 Ca化ベントナイト

#### (1) 膨潤圧

試験は乾燥密度を3種類に変化させて行った。設定乾燥密度1.3, 1.5, 1.8t/m<sup>3</sup>の試料について、自然含水比 (w<sub>n</sub>=6.5%) で圧縮固化を行って作製した。試料の初期飽和度S<sub>r0</sub>は15.6~30.5%, 試験後の飽和度S<sub>r</sub>は約100%であった。

表-2.5.1~2.5.2に膨潤圧試験結果を示す。なお参考のため、Ca化クニゲルV1の試験結果(平成7年度<sup>3)</sup>および6年度<sup>2)</sup>), クニゲルV1の試験結果(平成4年度<sup>7)</sup>およびH3レポート<sup>8)</sup>)も記す。図-2.5.1に膨潤圧と経過時間の関係(一部)を、図-2.5.2に膨潤圧と乾燥密度の関係を示す。

表-2.5.1 膨潤圧試験結果(1)

	乾燥密度 $\rho_d$ (t/m <sup>3</sup> )	初期飽和度 S <sub>r0</sub> (%)	最終飽和度 S <sub>r</sub> (%)	最大膨潤圧 P <sub>max</sub> (MPa)
Ca化クニゲルV1	1.32	16.4	100.0	0.16
	1.33	15.6	99.0	0.15
	1.52	22.0	100.0	1.00
	1.52	21.4	100.0	0.76
	1.82	30.5	100.0	4.10
Ca化クニゲルV1 (平成7年度)	1.30	16.2	100.0	0.10
	1.50	21.9	100.0	0.50
	1.80	0.0	100.0	6.70
Ca化クニゲルV1 (平成6年度)	1.73	33.6	99.2	2.4
	1.76	35.5	97.4	5.5
	1.77	35.8	97.7	6.7
クニゲルV1 (平成7年度)	1.10	16.5	100.0	0.1
	1.40	21.8	99.9	0.5
クニゲルV1 (平成4年度)	1.84	40.4	97.3	9.8
	1.79	37.2	97.7	4.8
	1.78	36.6	99.8	5.0
	1.71	32.7	100.0	2.2
	1.69	31.6	98.9	2.8
	1.67	30.6	100.0	1.8
	1.58	26.7	100.0	1.2

表-2.5.2 膨潤圧試験結果(2)

	乾燥密度 $\rho_d$ (t/m <sup>3</sup> )	初期飽和度* Sr <sub>0</sub> (%)	最終飽和度** Sr (%)	最大膨潤圧 P <sub>max</sub> (MPa)
クニゲルV1 (H3レポート)	1.5	33.8	—	1.11
			—	0.95
			—	0.81
	1.6	39.3	—	1.69
			—	1.56
			—	1.60
	1.8	54.0	—	4.99
			—	5.30
			—	4.93
			—	4.70
			—	4.92
			—	4.41
			—	5.35
			—	4.84
			—	4.62
			—	4.93
	2.0	77.1	—	18.9
			—	14.7

\*クニゲルV1の真密度を2.7t/m<sup>3</sup>とし、含水比10%より算定

\*\*測定結果無し

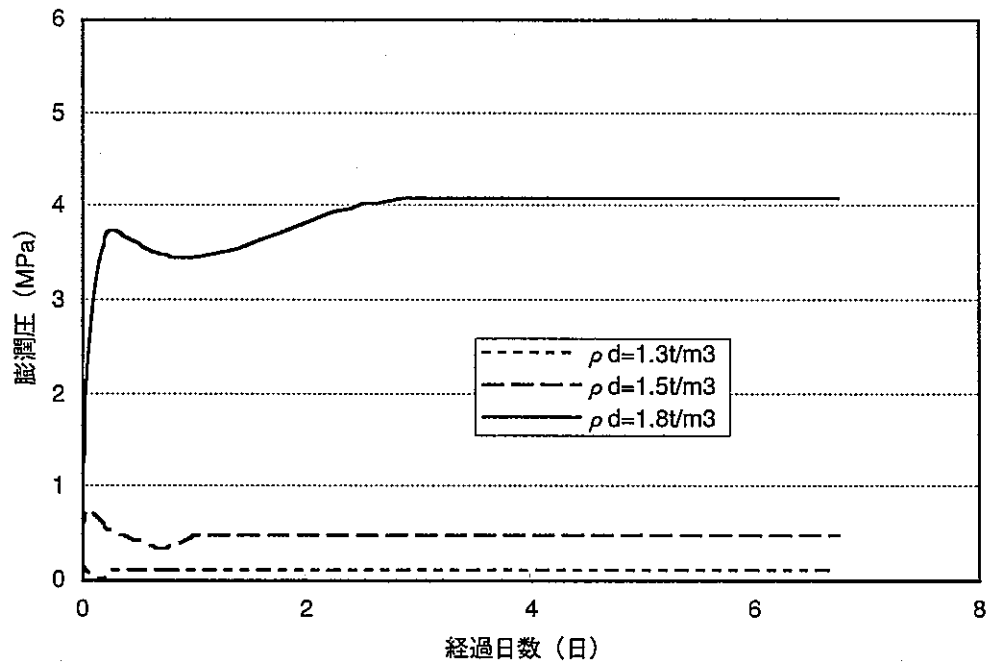


図-2.5.1 膨潤圧と経過日数の関係

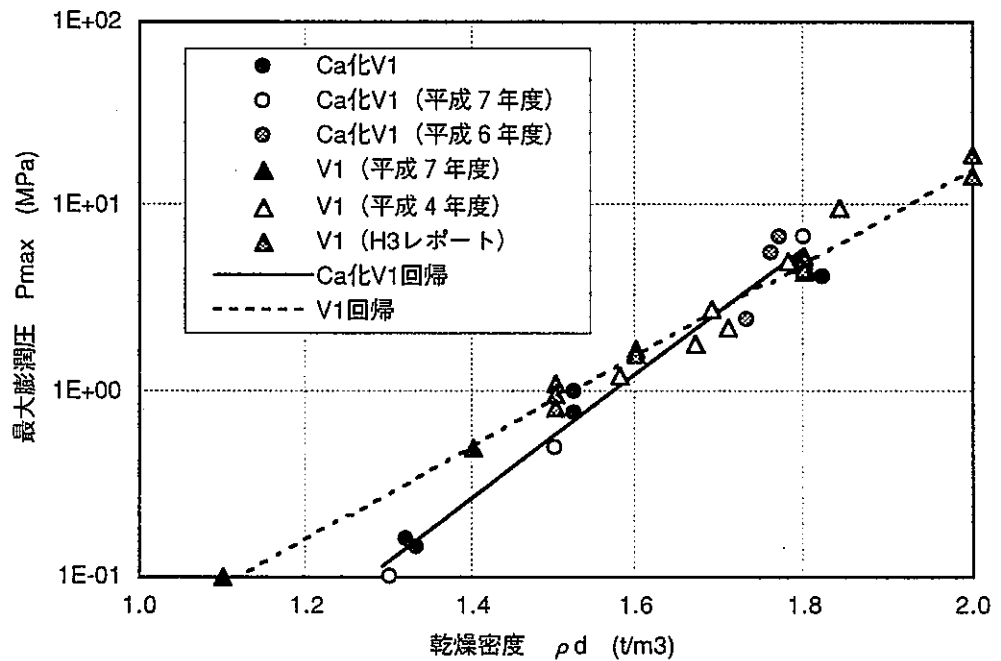


図-2.5.2 最大膨潤圧と乾燥密度の関係

図-2.5.1に示したように、吸水を開始してすぐに第一のピークが得られ、一度減少した後再び増加して一定値を保持する傾向がある。この2つのピークをとる現象は、既往の知見<sup>9), 10)</sup>でも種々報告されている。Pusch<sup>11)</sup>はNaベントナイトを用いて、膨潤圧と膨潤の発現時間の関係について図-2.5.3に示す傾向があることを指摘している。この図から、膨潤

圧は2つのピークが現れることを示し、第1のピークは主に圧縮変形することによる弾性エネルギーの関数によるもので、更に膨潤すると膨潤圧が低下する。原因は粒子間距離が増加することによる膨潤圧の低下やベントナイトのせん断変形による圧力の低下と考えられている。第2のピークは粘土粒子の再配列によって、膨潤圧が増加した降伏点であると考えている。

本年度得られたCa化クニゲルV1の膨潤圧の平均は、 $\rho_d \doteq 1.3\text{t/m}^3$ で0.16MPa、 $1.5\text{t/m}^3$ で0.88MPa、 $1.8\text{t/m}^3$ で4.1MPaであった。最大膨潤圧と乾燥密度の関係では、乾燥密度の増加に伴って最大膨潤圧は大きくなっており、既往のCa化クニゲルV1の試験値と同等の傾向を示した。これまでの試験結果を総合すると、乾燥密度 $1.7\text{t/m}^3$ 以上でCa化クニゲルV1とクニゲルV1の最大膨潤圧はほとんど変わらず、それ以下ではややCa化クニゲルV1の最大膨潤圧が小さくなる。

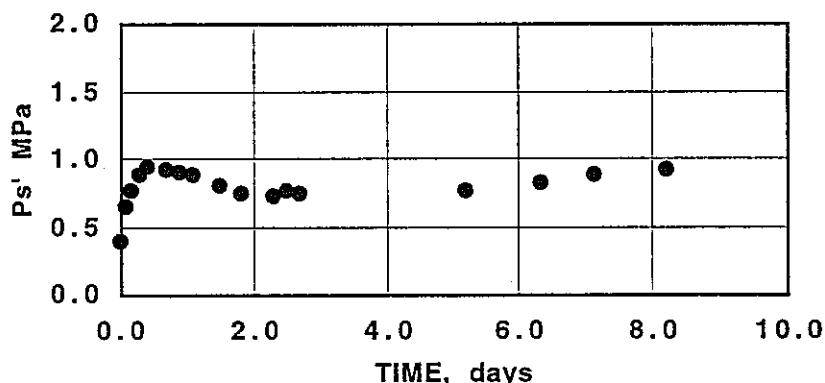


図-2.5.3 膨潤圧と膨潤の発現時間

(2) 透水係数

表-2.5.3~2.5.4に透水試験結果を示す。なお参考のため、Ca化クニゲルV1の試験結果（平成7年度および6年度），クニゲルV1の試験結果（平成4年度およびH3レポート<sup>12)</sup>も記す。図-2.5.4に透水係数と経過時間の関係（一部）を，図-2.5.5に透水係数と乾燥密度の関係を示す。

表-2.5.3 透水試験結果(1)

	乾燥密度 $\rho_d$ (t/m <sup>3</sup> )	初期飽和度 Sr <sub>0</sub> (%)	最終飽和度 Sr (%)	透水係数 k (m/sec)	通水圧 (MPa)
Ca化クニゲルV1	1.24	14.9	99.1	$2.91 \times 10^{-11}$	0.10
	1.24	14.9	99.0	$2.87 \times 10^{-11}$	0.10
	1.50	22.1	100.0	$2.99 \times 10^{-12}$	0.24
	1.49	22.0	100.0	$3.17 \times 10^{-12}$	0.24
	1.73	34.9	100.0	$7.55 \times 10^{-14}$	1.27
Ca化クニゲルV1 (平成7年度)	1.30	16.3	100.0	$8.4 \times 10^{-12}$	0.6
	1.50	21.9	99.6	$7.6 \times 10^{-13}$	0.6
	1.80	0.0	100.0	$8.1 \times 10^{-14}$	0.6
Ca化クニゲルV1 (平成6年度)	1.73	33.6	99.2	$4.5 \times 10^{-13}$	0.6
クニゲルV1 (平成4年度)	1.84	40.4	100.0	$6.6 \times 10^{-14}$	
	1.78	36.6	100.0	$2.1 \times 10^{-13}$	
	1.78	36.6	100.0	$1.1 \times 10^{-13}$	
	1.72	33.2	100.0	$6.5 \times 10^{-13}$	
	1.69	31.6	98.7	$2.0 \times 10^{-12}$	
	1.67	30.6	100.0	$4.6 \times 10^{-13}$	
	1.58	26.7	100.0	$4.6 \times 10^{-13}$	

表-2.5.4 透水試験結果(2)

	乾燥密度 $\rho_d$ (t/m <sup>3</sup> )	初期飽和度* Sr <sub>0</sub> (%)	最終飽和度** Sr (%)	透水係数 k (m/sec)	通水圧 (MPa)
クニゲルV1 (H3レポート)	1.2	21.6	—	$1.1 \times 10^{-12}$	0.8
			—	$1.3 \times 10^{-12}$	
			—	$1.2 \times 10^{-12}$	
			—	$1.2 \times 10^{-12}$	
			—	$7.5 \times 10^{-12}$	
	1.4	29.1	—	$4.6 \times 10^{-13}$	
			—	$4.1 \times 10^{-13}$	
			—	$4.3 \times 10^{-13}$	
			—	$3.8 \times 10^{-13}$	
			—	$5.5 \times 10^{-13}$	
			—	$5.1 \times 10^{-13}$	
	1.6	39.3	—	$6.0 \times 10^{-13}$	
			—	$3.7 \times 10^{-13}$	
			—	$3.7 \times 10^{-13}$	
			—	$5.5 \times 10^{-13}$	
	1.8	54.0	—	$5.3 \times 10^{-13}$	
			—	$1.3 \times 10^{-13}$	
			—	$9.5 \times 10^{-14}$	
	2.0	77.1	—	$1.7 \times 10^{-13}$	
			—	$5.2 \times 10^{-14}$	
			—	$5.0 \times 10^{-14}$	
			—	$5.7 \times 10^{-14}$	

\*クニゲルV1の真密度を2.7t/m<sup>3</sup>とし、含水比10%より算定

\*\*測定結果無し

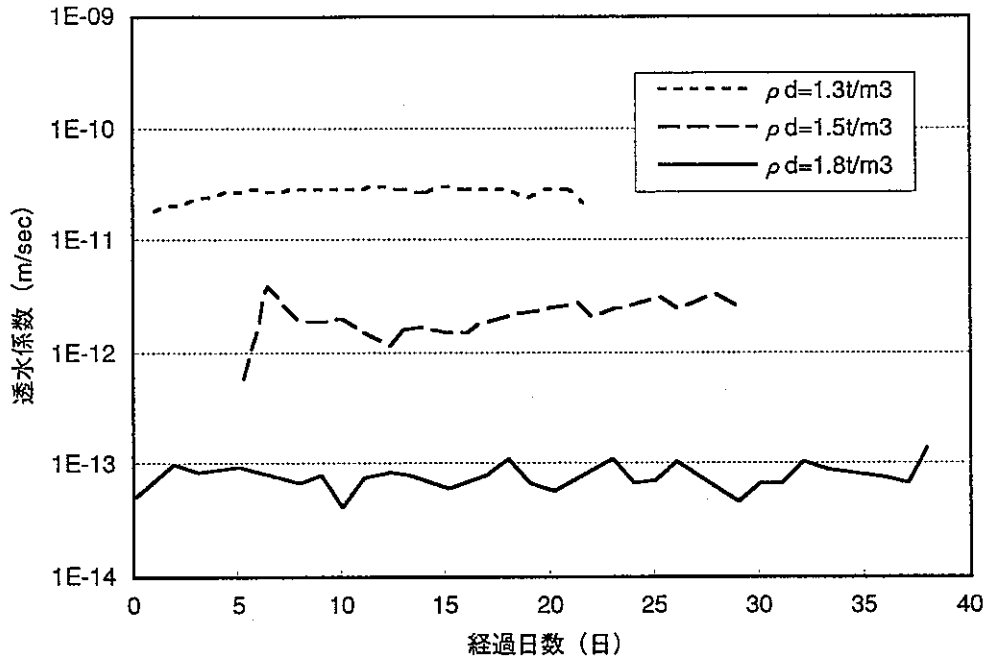


図-2.5.4 透水係数と経過日数の関係

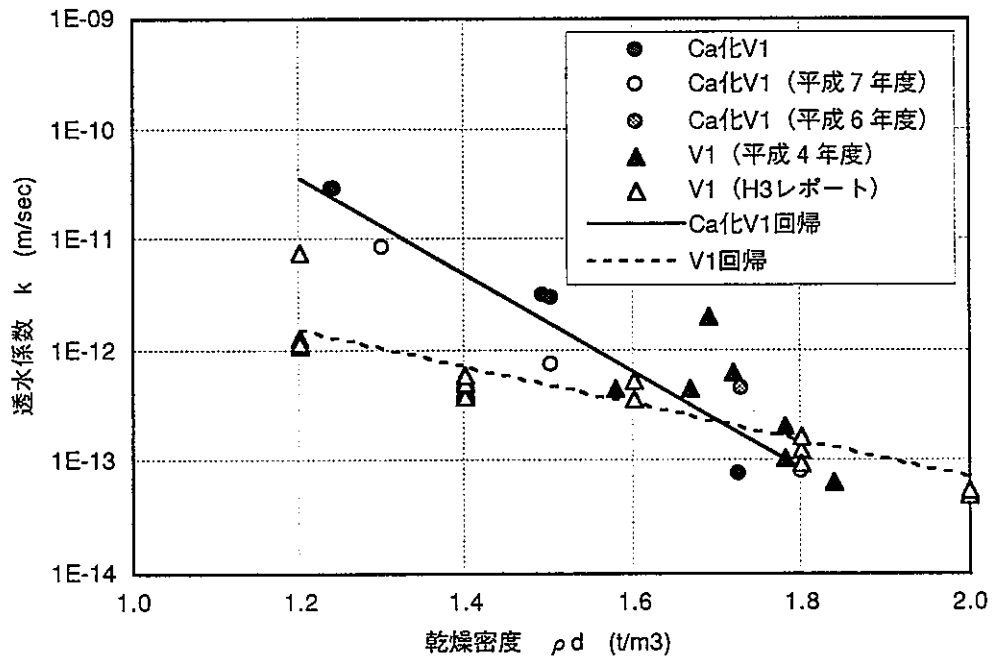


図-2.5.5 透水係数と乾燥密度の関係

本年度得られたCa化クニゲルV1の透水係数の平均は、 $\rho_d \doteq 1.3\text{t/m}^3$ で $2.9 \times 10^{-11}\text{m/sec}$ 、 $1.5\text{t/m}^3$ で $3.1 \times 10^{-12}\text{m/sec}$ 、 $1.7\text{t/m}^3$ で $7.6 \times 10^{-14}\text{m/sec}$ であった。透水係数と乾燥密度の関係では、乾燥密度の増加に伴って透水係数は小さくなる傾向を示し、既往のCa化クニゲルV1の試験値と同様の結果を示した。これまでの試験結果を総合すると、乾燥密度 $1.7\text{t/m}^3$ 程度

の高乾燥密度領域ではCa化クニゲルV1とクニゲルV1の透水係数はほとんど変わらず、乾燥密度1.2t/m<sup>3</sup>程度の低乾燥密度領域では一桁程度Ca化クニゲルV1の透水係数が大きくなる。

また、人工バリア内の物質移行を拡散支配にするには、透水係数が10<sup>-11</sup>m/secオーダーであることが望まれ（1.4.3(2)参照）、室内試験では10<sup>-12</sup>m/secオーダーが必要と考えられる。今回の試験結果から、この条件を満足するのに、1.3t/m<sup>3</sup>程度の乾燥密度が必要と考えられる。



(3) 一軸圧縮強さ

表-2.5.5に一軸圧縮試験結果を示す。なお参考のため、Ca化クニゲルV1の試験結果（平成7年度）およびクニゲルV1（平成7年度およびH3レポート<sup>13)</sup>）も記す。図-2.5.6に一軸圧縮強さ $q_u$ と乾燥密度 $\rho_d$ の関係を示す。

表-2.5.5 一軸圧縮試験結果

	乾燥密度 $\rho_d$ (t/m <sup>3</sup> )	含水比 w (%)	間隙比 e	飽和度 Sr <sub>0</sub> (%)	一軸圧縮強さ $q_u$ (MPa)	変形係数 E <sub>50</sub> (MPa)
Ca化クニゲルV1	1.22	6.8	1.21	15.1	0.30	53.0
	1.24	6.8	1.18	15.6	0.27	39.2
	1.23	6.5	1.20	14.7	0.14	39.2
	1.40	6.7	0.93	19.4	1.05	144.2
	1.67	6.7	0.61	29.4	6.11	521.7
	1.67	6.4	0.61	28.0	6.04	558.0
	1.68	6.5	0.61	28.7	5.40	450.1
Ca化クニゲルV1 (平成7年度)	1.59	7.6	0.70	29.4	2.57	367.8
	1.57	7.4	0.72	27.9	4.00	405.0
クニゲルV1 (平成7年度)	1.58	5.4	0.71	20.5	1.84	223.6
	1.56	5.4	0.73	19.8	1.52	126.5
	1.65	5.7	0.64	24.2	1.07	205.9
	1.69	5.6	0.60	25.2	1.52	223.6
	1.72	5.7	0.57	27.1	2.71	310.9
クニゲルV1 (H3レポート)	1.4	10	0.93*	29.1**	0.89 (0.68) ***	66
	1.5	10	0.80*	33.8**	1.65 (1.27) ***	121
	1.6	10	0.69*	39.3**	2.43 (1.87) ***	179
	1.7	10	0.59*	45.9**	3.91 (3.01) ***	257
	1.8	10	0.50*	54.0**	5.65 (4.35) ***	307
	2.0	10	0.35*	77.1**	7.61 (6.08) ***	483

\*クニゲルV1の真密度を2.7t/m<sup>3</sup>として算定

\*\*クニゲルV1の真密度を2.7t/m<sup>3</sup>とし、含水比より算定

\*\*\*H3レポートの試験供試体はφ48mm×h48mm。PNCの事前検討では、高さ/径の比が1の結果は、高さ/径の比が2のものより1.3倍程度大きくなること示されているため、()内の数値を用いて検討を行った。()内は供試体形状の影響補正をした値。

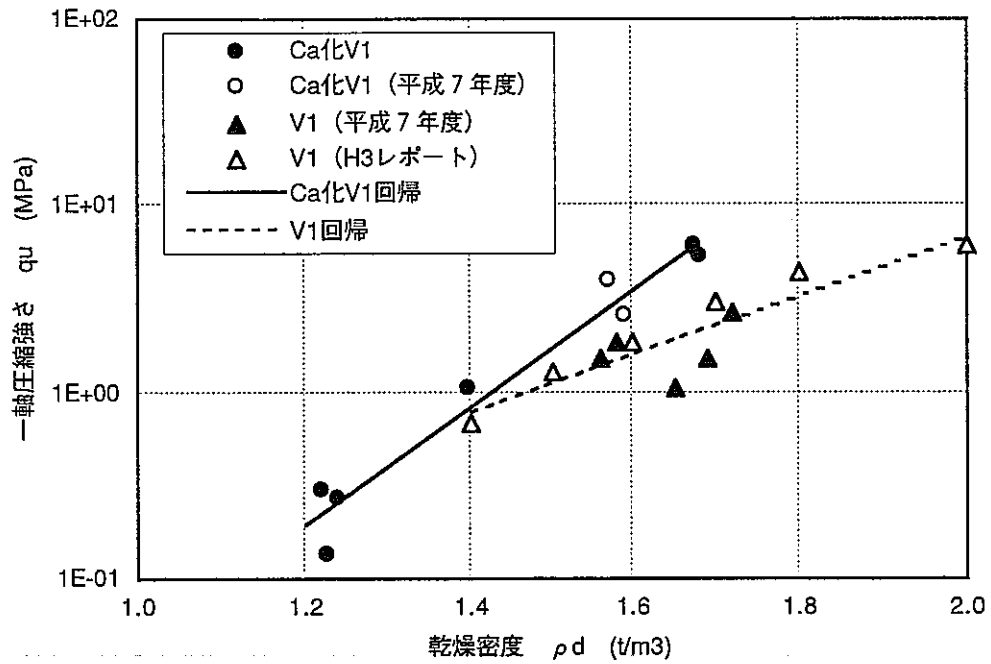


図-2.5.6 一軸圧縮強さと乾燥密度の関係

本年度得られたCa化クニゲルV1の一軸圧縮強さの平均は、 $\rho_d \approx 1.2 \text{ t/m}^3$ で0.2MPa、 $1.4 \text{ t/m}^3$ で1.0MPa、 $1.7 \text{ t/m}^3$ で5.9MPaであった。乾燥密度と一軸圧縮強さの関係では、乾燥密度の増加に伴って大きくなる傾向を示した。本年度得られた結果により、既往のCa化クニゲルV1の試験値だけでは判断できなかった乾燥密度と一軸圧縮強さの関係が明らかになった。

また、平成7年度の試験結果でCa化クニゲルV1の一軸圧縮強さは、クニゲルV1と比べ乾燥密度 $1.4 \text{ t/m}^3$ 以上の高乾燥密度領域でやや大きめの値をとったが、今年度の試験結果も同様の結果となった。

## 2.5.2 Ca型ベントナイト

### (1) 膨潤圧

試験は乾燥密度を3種類に変化させて行った。設定乾燥密度1.0, 1.2, 1.4t/m<sup>3</sup>の試料について、自然含水比 (w<sub>n</sub>=9.9%) で圧縮固化を行って作製した。試料の初期飽和度S<sub>r0</sub>は15.8~29.7%, 試験後の飽和度S<sub>r</sub>は約100%であった。

表-2.5.6に膨潤圧試験結果を示す。図-2.5.7に膨潤圧と経過時間の関係(一部)を、図-2.5.8に膨潤圧と乾燥密度の関係を示す。なお参考のため、図-2.5.2に示したクニゲルV1とCa化クニゲルV1の試験結果も記す。

表-2.5.6 膨潤圧試験結果

	乾燥密度 $\rho_d$ (t/m <sup>3</sup> )	初期飽和度 S <sub>r0</sub> (%)	最終飽和度 S <sub>r</sub> (%)	最大膨潤圧 P <sub>max</sub> (MPa)
クニボンド	1.02	15.8	100.0	0.33
	1.00	16.0	97.7	0.13
	1.04	15.9	99.8	0.37
	1.19	21.7	100.0	1.88
	1.21	21.8	100.0	1.76
	1.20	21.8	100.0	1.69
	1.40	29.7	100.0	5.65
	1.41	29.7	100.0	5.62
	1.40	29.5	100.0	4.45

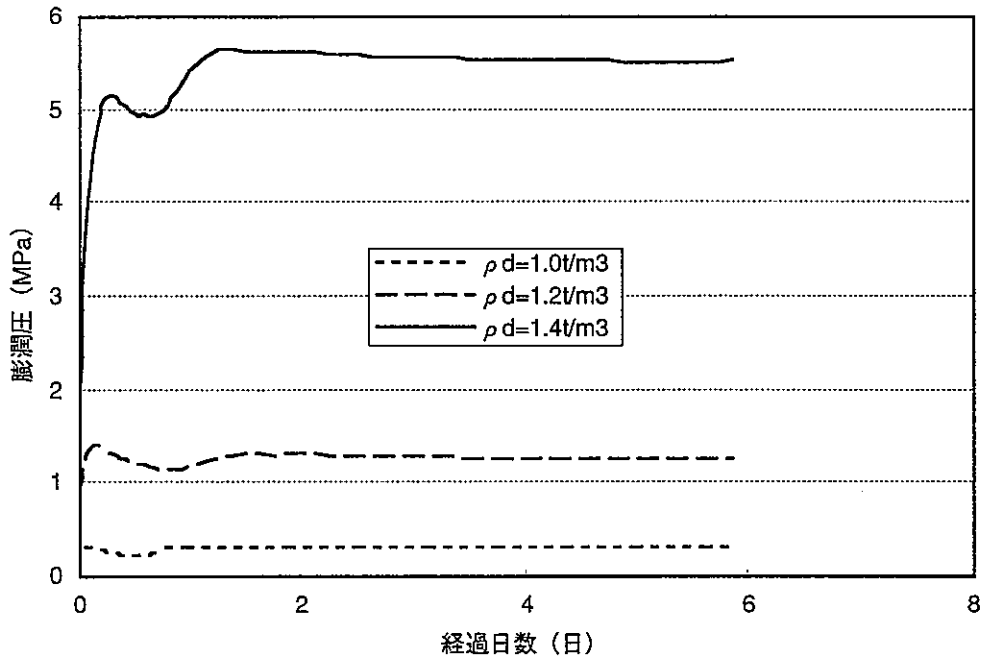


図-2.5.7 膨潤圧と経過日数の関係

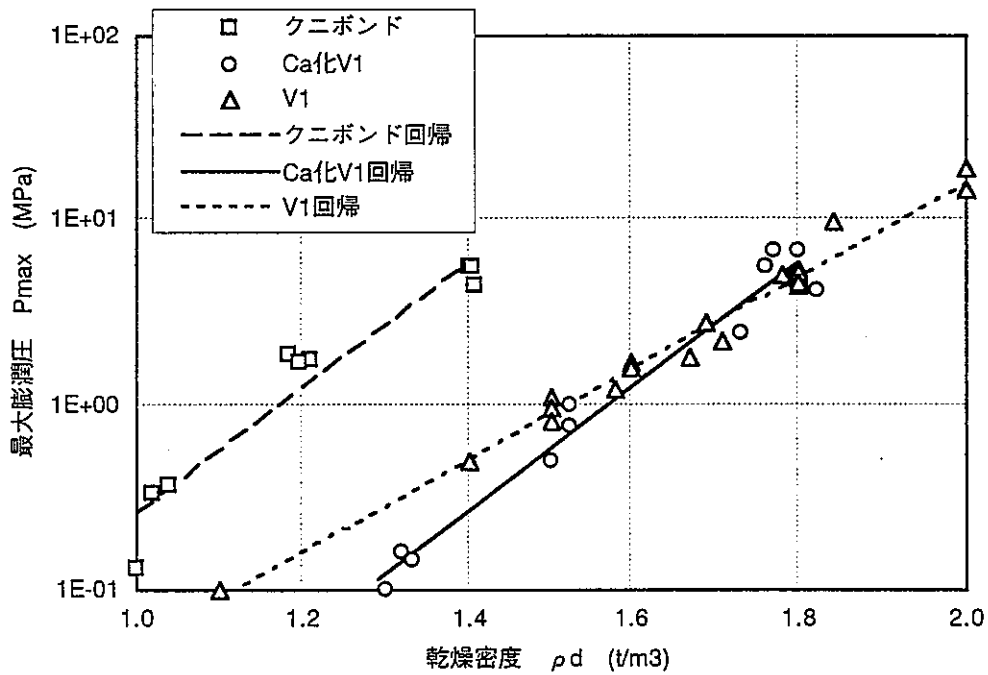


図-2.5.8 最大膨潤圧と乾燥密度の関係

本年度得られたクニボンドの最大膨潤圧の平均は、 $\rho_d \doteq 1.0 \text{ t/m}^3$ で0.3MPa、 $1.2 \text{ t/m}^3$ で1.8MPa、 $1.4 \text{ t/m}^3$ で5.2MPaであった。乾燥密度と最大膨潤圧の関係では、乾燥密度の増加に伴って最大膨潤圧が大きくなっており、既往のCa化クニゲルV1や、クニゲルV1の試験値と同様の傾向を示した。しかし、Ca化クニゲルV1やクニゲルV1と比べ、同乾燥密度に

において一桁程度大きい値を示した。

(2) 透水係数

表-2.5.7に透水試験結果を示す。図-2.5.9に透水係数と経過時間の関係（一部）を、図-2.5.10に透水係数と乾燥密度の関係を示す。なお参考のため、図-2.5.5に示したクニゲルV1とCa化クニゲルV1の試験結果も記す。

表-2.5.7 透水試験結果

	乾燥密度 $\rho_d$ (t/m <sup>3</sup> )	初期飽和度 $Sr_0$ (%)	最終飽和度 $Sr$ (%)	透水係数 $k$ (m/sec)	通水圧 (MPa)
クニボンド	1.00	15.9	99.7	$3.33 \times 10^{-12}$	0.10
	1.00	15.9	99.2	$2.59 \times 10^{-12}$	0.10
	1.00	15.9	99.8	$4.07 \times 10^{-12}$	0.10
	1.19	21.7	100.0	$5.76 \times 10^{-13}$	0.39
	1.22	22.6	100.0	$3.46 \times 10^{-13}$	0.39
	1.20	22.2	100.0	$6.92 \times 10^{-13}$	0.39
	1.34	29.2	100.0	$1.77 \times 10^{-13}$	0.98
	1.35	29.2	100.0	$2.22 \times 10^{-13}$	0.98
	1.35	29.8	100.0	$3.55 \times 10^{-13}$	0.98

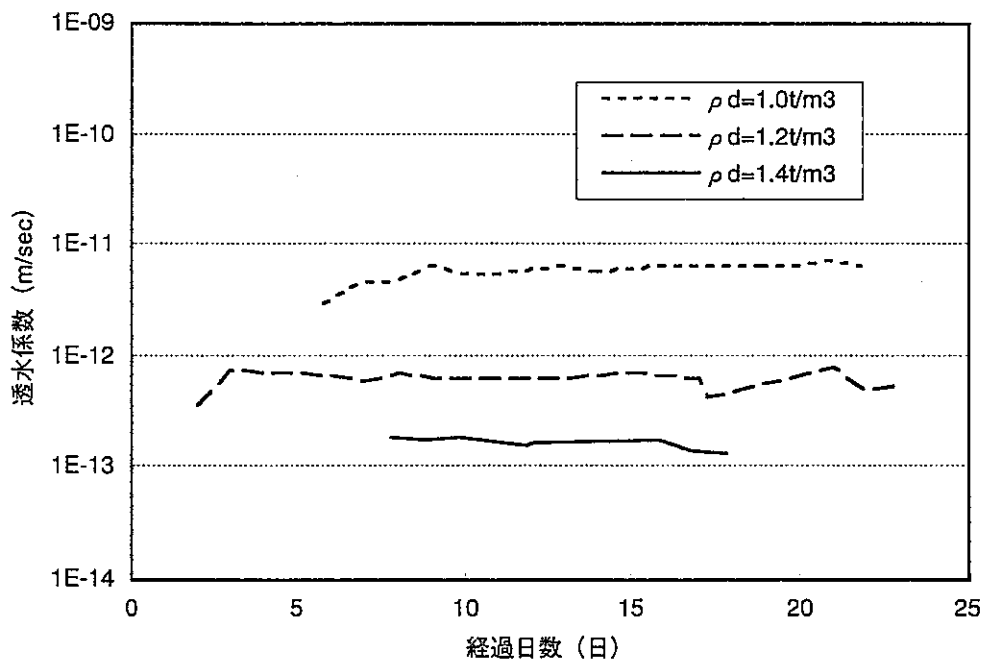


図-2.5.9 透水係数と経過日数の関係

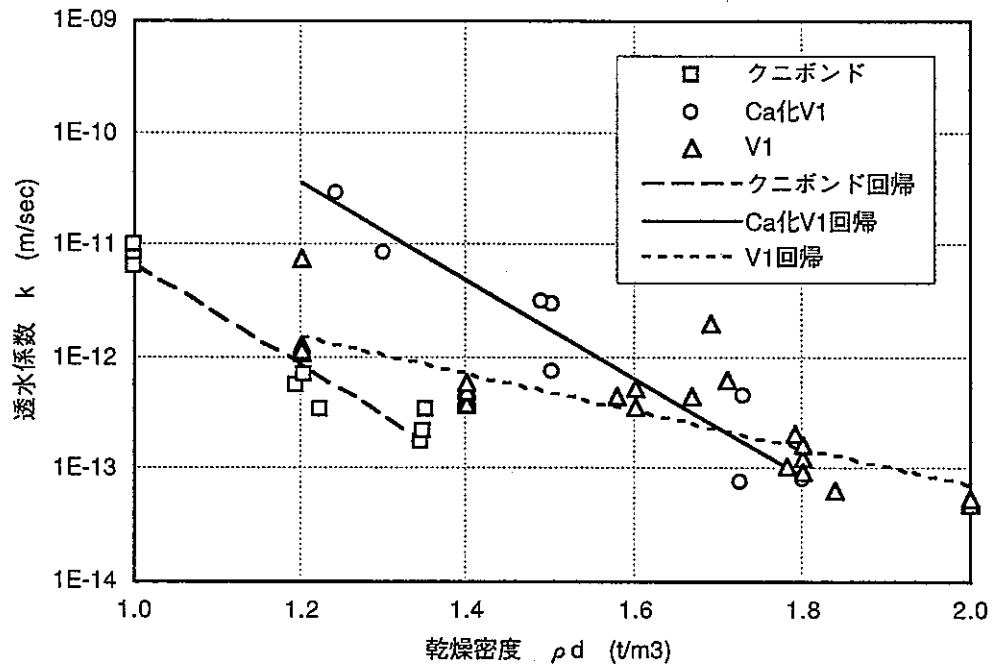


図-2.5.10 透水係数と乾燥密度の関係

本年度得られたクニボンドの透水係数の平均は、 $\rho_d \doteq 1.0 \text{ t/m}^3$ で $3.3 \times 10^{-12} \text{ m/sec}$ 、 $1.2 \text{ t/m}^3$ で $5.4 \times 10^{-13} \text{ m/sec}$ 、 $1.4 \text{ t/m}^3$ で $2.5 \times 10^{-13} \text{ m/sec}$ であった。透水係数と乾燥密度の関係では、乾燥密度の増加に伴って透水係数は小さくなる傾向を示した。

(3) 一軸圧縮強さ

表-2.5.8に一軸圧縮試験結果を示す。図-2.5.11に一軸圧縮強さ $q_u$ と乾燥密度 $\rho_d$ の関係を示す。なお参考のため、図-2.5.6に示したクニゲルV1とCa化クニゲルV1の試験結果も記す。

表-2.5.8 一軸圧縮試験結果

	乾燥密度 $\rho_d$ (t/m <sup>3</sup> )	含水比 w (%)	間隙比 e	飽和度 S <sub>r0</sub> (%)	一軸圧縮強さ $q_u$ (MPa)	変形係数 E <sub>50</sub> (MPa)
クニボンド	1.02	10.0	1.60	16.5	0.39	34.3
	1.02	10.1	1.59	16.7	0.40	29.4
	1.01	10.3	1.63	16.8	0.48	27.5
	1.20	10.3	1.20	22.8	1.04	115.7
	1.19	10.0	1.20	22.0	1.05	114.7
	1.20	10.2	1.20	22.4	1.22	109.8
	1.40	10.1	0.89	30.2	4.74	455.0
	1.40	10.7	0.89	31.9	5.19	287.3
	1.40	10.3	0.88	30.7	5.77	321.7

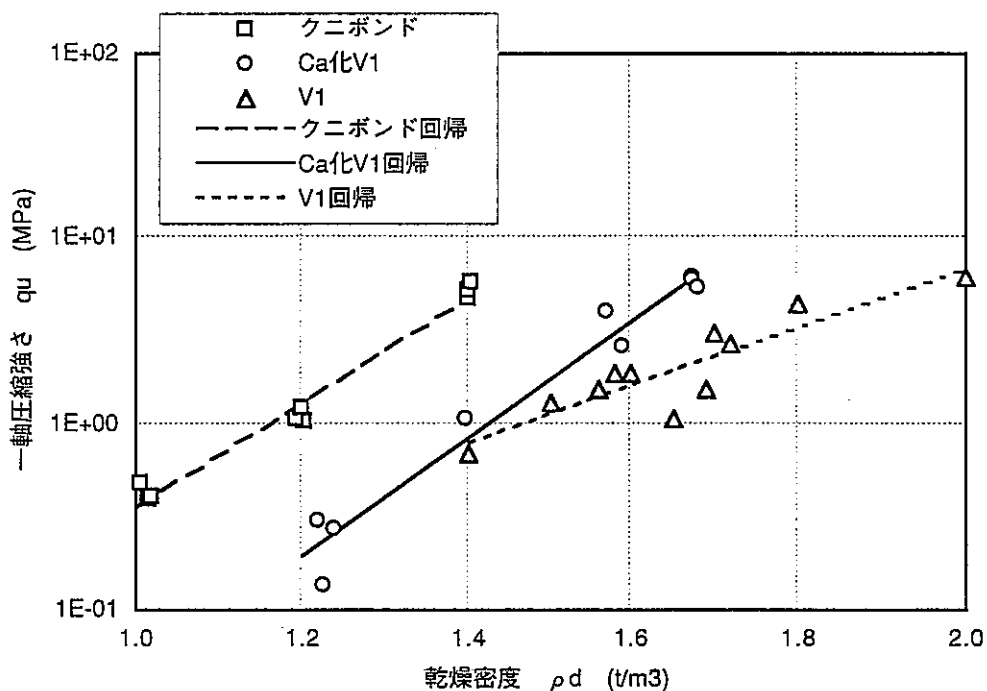


図-2.5.11 一軸圧縮強さと乾燥密度の関係



本年度得られたクニボンドの一軸圧縮強度の平均は、 $\rho_d \cong 1.0\text{t/m}^3$ で0.4MPa、 $1.2\text{t/m}^3$ で1.1MPa、 $1.4\text{t/m}^3$ で5.2MPaであった。乾燥密度と一軸圧縮強さの関係では、乾燥密度の増加に伴って一軸圧縮強さが大きくなっており、既往のCa化クニゲルV1やクニゲルV1の試験値と同様の傾向を示した。しかし、Ca化クニゲルV1やクニゲルV1と比べ、同乾燥密度において5倍程度大きい値を示した。

### 2.5.3 ケイ砂とCa化ベントナイトの混合材料

#### (1) 膨潤圧

試験はケイ砂とベントナイトの配合率を変化させて行った。ケイ砂は3号と5号の比率を乾燥重量比1:1で配合したもの、または6号を用いた。試料はすべて自然含水比（ケイ砂3号+5号0.0%，ケイ砂6号0.2%，Ca化クニゲルV1 6.5%）で十分に混合し、設定の乾燥密度 $1.80\text{t/m}^3$ に圧縮固化した。試料の初期飽和度 $Sr_0$ は配合率によって異なるが、10.4～30.5%となり、試験後の飽和度は約100%であった。

表-2.5.9に膨潤圧試験結果を示す。なお参考のため、Ca化クニゲルV1の試験結果（平成7年度<sup>3)</sup>）およびクニゲルV1の試験結果（平成5年度<sup>14)</sup>）も記す。図-2.5.12および2.5.13に膨潤圧と経過時間の関係（一部）を、図-2.5.14に膨潤圧とベントナイト配合率の関係を示す。

表-2.5.9 膨潤圧試験結果

	ケイ砂 配合率 (%)	ベント ナイト 配合率 (%)	乾燥密度 $\rho_d$ ( $\text{t/m}^3$ )	含水比 $w$ (%)	初期飽和度 $Sr_0$ (%)	最終飽和度 $Sr$ (%)	最大膨潤圧 $P_{\max}$ (MPa)
Ca化クニゲルV1 +ケイ砂3号+5号	70	30	1.79	1.9	10.4	97.3	0.07
	50	50	1.80	3.2	17.4	100.0	0.31
	30	70	1.80	4.5	24.1	100.0	1.51
Ca化クニゲルV1 +ケイ砂6号	70	30	1.81	2.1	11.5	93.6	0.15
	50	50	1.86	3.3	19.5	100.0	0.70
	30	70	1.83	4.6	25.0	95.2	2.47
Ca化クニゲルV1 +ケイ砂6号 (平成7年度)	70	30	1.70	1.9	10.0	99.1	0.04
	50	50	1.70	3.6	16.5	100.0	0.11
	30	70	1.69	5.2	23.5	100.0	0.58
クニゲルV1 +ケイ砂6号 (平成5年度)	70	30	1.70	7.0	32.1	97.7	0.11
	50	50	1.69	7.0	31.6	97.4	0.23
	30	70	1.66	7.0	30.2	99.2	0.23

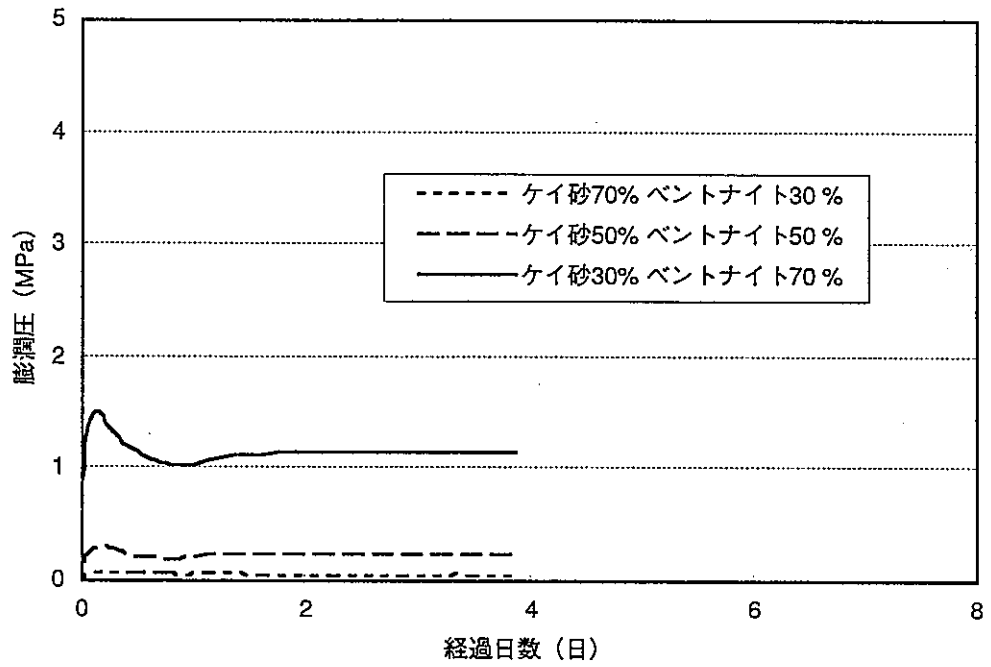


図-2.5.12 膨潤圧と経過時間の関係  
(ケイ砂3号+5号とCa化ベントナイトの混合材料)

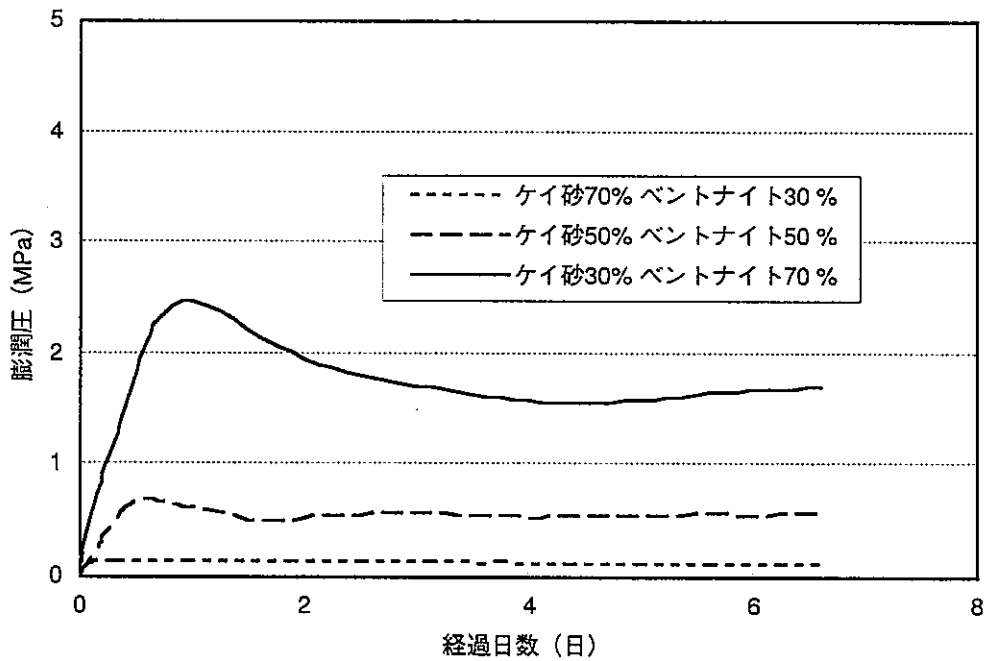


図-2.5.13 膨潤圧と経過時間の関係  
(ケイ砂6号とCa化ベントナイトの混合材料)

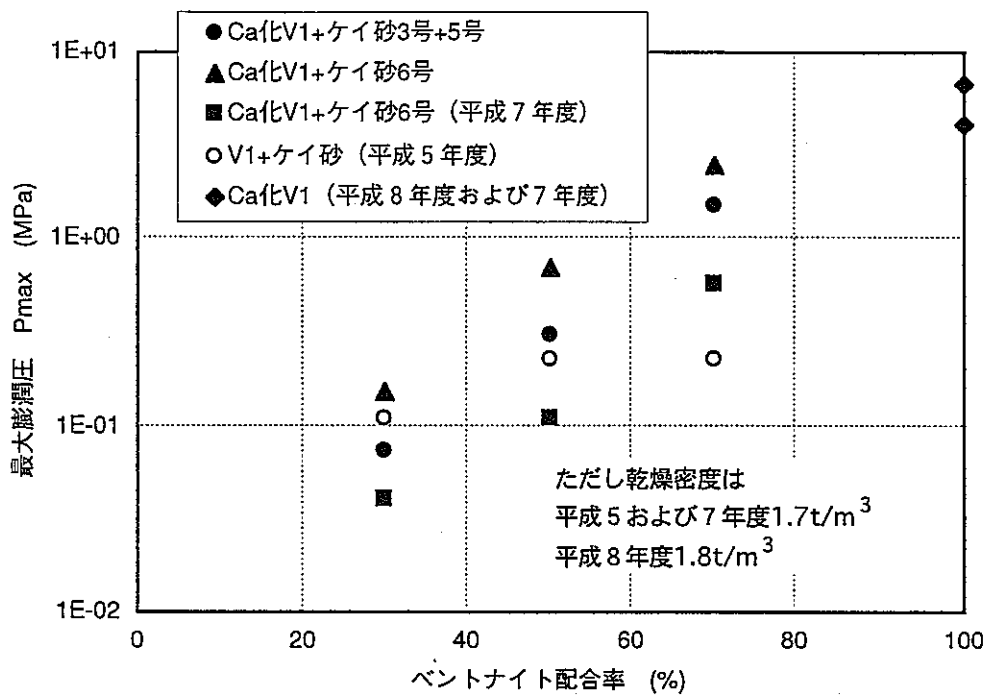


図-2.5.14 最大膨潤圧とベントナイト配合率の関係  
(ケイ砂とCa化ベントナイトの混合材料)

本年度得られたケイ砂3号+5号とCa化クニゲルV1の混合材料の最大膨潤圧は、ベントナイト配合率が30%で0.07MPa、50%で0.31MPa、70%で1.51MPaであった。また、ケイ砂6号とCa化クニゲルV1の混合材料の最大膨潤圧は、ベントナイト配合率が30%で0.15MPa、50%で0.70MPa、70%で2.47MPaであった。最大膨潤圧とベントナイト配合率の関係では、ベントナイト配合率の増加に伴って最大膨潤圧が大きくなっており、既往の試験値と同様の傾向を示した。

今回の結果から混合材料の乾燥密度を1.8t/m<sup>3</sup>に調整した場合、ケイ砂6号を使用した方が、ケイ砂3号+5号の混合砂を使用した場合より、約2倍程度最大膨潤圧が大きくなる傾向にあった。このことから混合するケイ砂の種類(粒度)が、最大膨潤圧に何らかの影響を与えていることが想像される。また、当然のことながら設定乾燥密度(ベントナイト量)が小さい方が最大膨潤圧は小さい。

Ca化クニゲルV1とクニゲルV1の明確な相違は把握できなかった。

(2) 透水係数

表-2.5.10に透水試験結果を示す。なお参考のため、Ca化クニゲルV1の試験結果（平成7年度<sup>3)</sup>）およびクニゲルV1の試験結果（平成5年度<sup>14)</sup>）も記す。図-2.5.15に透水係数と経過時間の関係（一部）を、図-2.5.16に透水係数とベントナイト配合率の関係を示す。

表-2.5.10 透水試験結果

	ケイ砂 配合率 (%)	ベント ナイト 配合率 (%)	乾燥密度 $\rho_d$ ( $t/m^3$ )	含水比 w (%)	初期飽和度 $Sr_0$ (%)	最終飽和度 Sr (%)	透水係数 k (m/sec)	通水圧 (MPa)
Ca化クニゲルV1 +ケイ砂3号+5号	70	30	1.78	1.9	11.2	98.2	$2.66 \times 10^{-10}$	0.05
	70	30	1.78	1.9	12.0	99.1	$2.70 \times 10^{-10}$	0.05
	50	50	1.81	3.2	18.0	100.0	$7.27 \times 10^{-12}$	0.07
	50	50	1.80	3.2	19.1	100.0	$3.32 \times 10^{-12}$	0.07
	30	70	1.79	4.5	24.7	100.0	$6.50 \times 10^{-13}$	0.24
	30	70	1.79	4.5	24.7	100.0	$4.33 \times 10^{-13}$	0.24
Ca化クニゲルV1 +ケイ砂6号 (平成7年度)	70	30	1.69	2.4	11.0	97.3	$5.20 \times 10^{-9}$	0.02
	50	50	1.79	4.0	21.3	100.0	$1.18 \times 10^{-11}$	0.08
	30	70	1.71	4.4	20.4	100.0	$2.76 \times 10^{-12}$	0.08
クニゲルV1 +ケイ砂6号 (平成5年度)	70	30	1.70	1.7	37.0	97.7	$4.62 \times 10^{-12}$	0.05
	50	50	1.69	2.9	37.4	97.4	$1.63 \times 10^{-12}$	
	30	50	1.66	4.1	38.5	99.2	$9.26 \times 10^{-13}$	

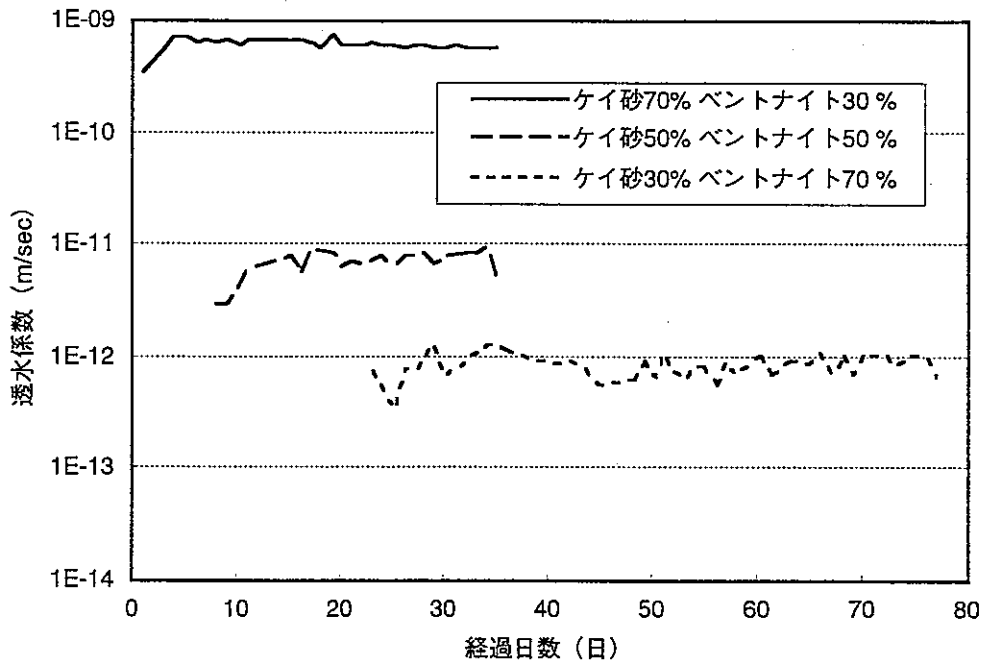


図-2.5.15 透水係数と経過日数の関係

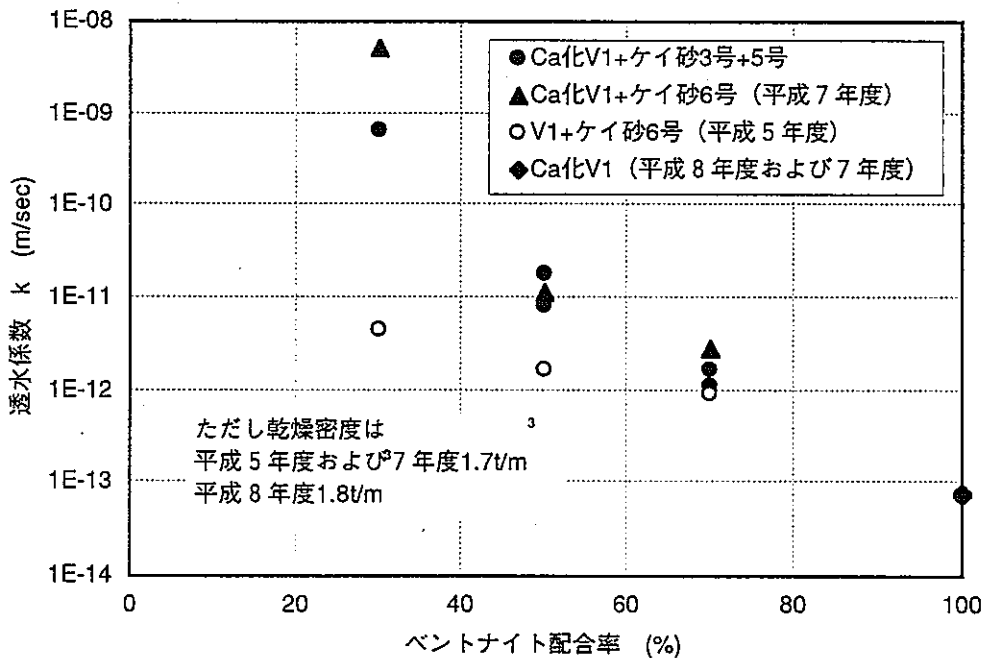


図-2.5.16 透水係数とベントナイト配合率の関係

本年度得られたケイ砂3号+5号とCa化クニゲルV1の混合材料の透水係数の平均は、ベントナイト配合率が30%で $2.7 \times 10^{-10}$  m/sec, 50%で $5.3 \times 10^{-12}$  m/sec, 70%で $5.4 \times 10^{-13}$  m/secであった。透水係数とベントナイト配合率の関係では、ベントナイト配合率の増加に伴って透水係数が小さくなっており、既往の試験値と同様の傾向を示した。

今回の結果からベントナイト配合率が50%以上の場合、ベントナイトの種類、ケイ砂の種類および乾燥密度による相違は認められなかった。ベントナイト配合率が30%の場合は、前述の要因が結果で一桁程度影響するようである。

(3) 一軸圧縮強さ

表-2.5.11に一軸圧縮試験結果を示す。なお参考のため、Ca化クニゲルV1+ケイ砂6号の試験結果（平成7年度<sup>3)</sup>）も記す。図-2.5.17に一軸圧縮強さ $q_u$ とベントナイト配合率の関係を示す。

表-2.5.11 一軸圧縮試験結果

	ケイ砂 配合率 (%)	ベントナイト 配合率 (%)	乾燥密度 $\rho_d$ ( $t/m^3$ )	含水比 $w$ (%)	間隙比 $e$	飽和度 $S_r$ (%)	一軸圧縮強さ $q_u$ (MPa)	変形係数 $E_s$ (MPa)
Ca化V1 +ケイ砂3号+5号	30	70	1.72	4.9	0.57	23.3	1.27	117.7
	30	70	1.75	5.5	0.54	27.5	3.37	240.3
	50	50	1.76	4.0	0.54	20.2	0.92	68.6
	50	50	1.77	3.9	0.52	20.4	1.13	101.0
Ca化V1 +ケイ砂6号	30	70	1.73	5.0	0.56	24.4	1.91	185.4
	30	70	1.71	4.9	0.57	23.0	1.96	156.9
	50	50	1.70	3.7	0.58	17.1	0.65	72.6
	50	50	1.68	4.1	0.60	18.2	0.28	25.5
	70	30	1.66	2.3	0.62	10.0	0.05	7.8
	70	30	1.72	2.4	0.56	11.3	0.06	12.7
Ca化V1 +ケイ砂6号 (平成7年度)	70	30	1.68	7.1	0.61	31.3	0.31	40.2
	70	30	1.68	7.3	0.61	32.2	0.34	41.2
	50	50	1.65	7.1	0.64	30.2	0.42	91.2
	50	50	1.66	7.1	0.63	30.5	0.43	70.6
	30	70	1.62	7.4	0.67	29.9	1.41	142.2
	30	70	1.60	7.6	0.68	30.0	1.06	139.3
クニゲルV1 +ケイ砂6号 (平成7年度)	70	30	1.73	6.7	0.56	32.2	0.14	45.1
	70	30	1.67	7.1	0.62	31.3	0.16	24.5
	50	50	1.68	6.9	0.61	30.4	0.43	45.1
	50	50	1.65	6.8	0.64	28.7	0.20	69.6
	30	70	1.63	6.9	0.66	28.3	0.79	87.3
	30	70	1.63	6.9	0.66	28.2	0.68	85.3



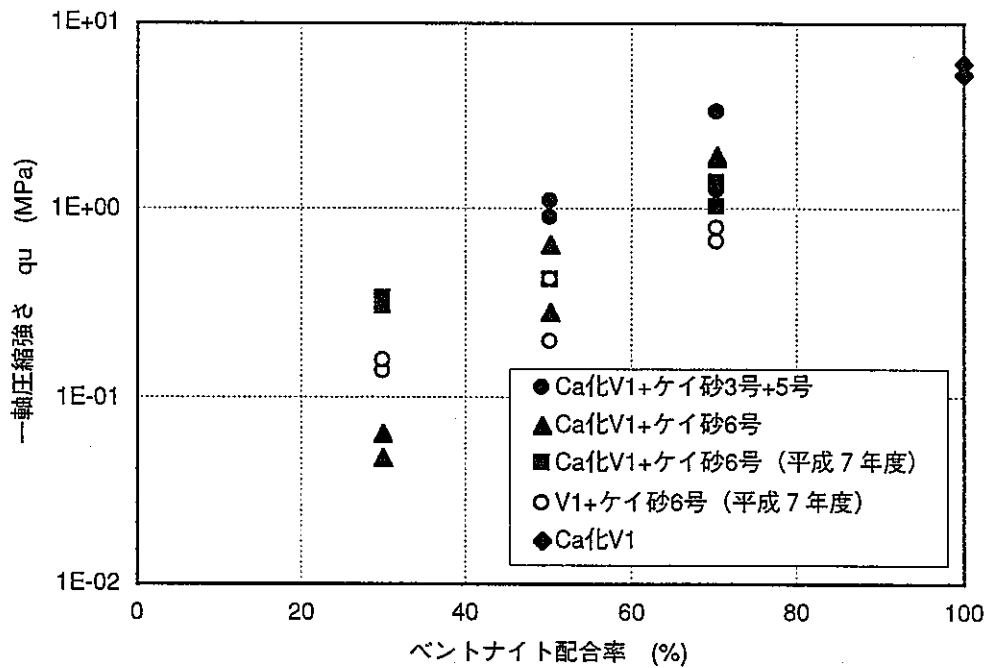


図-2.5.17 一軸圧縮強さとベントナイト配合率の関係

本年度得られたケイ砂3号+5号とCa化クニゲルV1の混合材料の一軸圧縮強さの平均は、ベントナイト配合率が70%で2.32MPa、50%で1.03MPaであった。また、ケイ砂6号とCa化クニゲルV1の混合材料の一軸圧縮強さの平均は、ベントナイト配合率が70%で1.9MPa、50%で0.5MPa、30%で0.06MPaであった。一軸圧縮強さとベントナイト配合率の関係では、ベントナイト配合率の増加に伴って一軸圧縮強さが大きくなっており、既往の試験値と同様の傾向を示した。

Ca化クニゲルV1とクニゲルV1の明確な相違は把握できなかった。

#### 2.5.4 三軸圧縮強さ

表-2.5.12に三軸圧縮試験結果 (CU) 一覧表を示す。表中に乾燥密度  $\rho_d$ 、供試体作製時の飽和度  $S_{r0}$  および飽和後の最終飽和度  $S_r$ 、全応力表示の粘着力  $C_{cu}$ 、内部摩擦角  $\phi_{cu}$ 、有効応力表示の  $C_{cu}'$ 、 $\phi_{cu}'$ 、変形係数  $E_0$ 、 $E_{s0}$ 、ポアソン比  $\nu$  を示す。

##### (1) 飽和

表-2.5.13に供試体作製時および飽和後の乾燥密度  $\rho_d$ 、含水比  $w_0$ 、 $w$ 、飽和度  $S_{r0}$ 、 $S_r$ 、圧密後の間隙水圧係数  $B$  値を示す。なお、土粒子の密度  $\rho_s$  は、クニゲルV1、Ca化クニゲルV1とも  $2.70\text{t/m}^3$  とした。

$S_r$  は式-2.5.1を用いて算定した。

$$S_r = \frac{w}{\frac{\rho_w}{\rho_d} - \frac{1}{\rho_s}} \quad (2.5.1)$$

ここに、 $\rho_w$ ：水の密度

また、 $B$  値は所定の拘束圧  $\sigma_3$  で圧密終了後、 $\sigma_3$  を  $0.5\text{MPa}$  の減圧させたときの間隙水圧の変化  $\Delta u$  を測定して、式-2.5.2から算定した。

$$B = \frac{\Delta u}{\sigma_3} = \frac{u_1 - u_2}{\sigma_3 - 0.5} \quad (2.5.2)$$

ここに、 $u_1$ 、 $u_2$ ：減圧前、減圧後の間隙水圧

乾燥密度は供試体作製時に比べて、飽和後の方が若干小さくなっている。これは、飽和セルから取り出した後、ベントナイトが膨潤したため、若干大きくなったためである。また、試験後の最終飽和度  $S_r$  は、95～99%の値となっており、ベントナイトの  $\rho_d = 1.6\text{t/m}^3$  の場合、 $0.7\text{MPa}$  程度の圧力で一ヶ月程度吸水させると、95%以上の飽和度に達していると考えて良いだろう。しかし、圧密後測定した  $B$  値は  $0.89 \sim 0.90$  となっており、一般的な飽和状態の基準値  $0.95$  まで達していない。

表-2.5.12 ベントナイトの三軸圧縮試験結果 (CU) 一覧表

ベントナイト種類	拘束圧 $\sigma_3$ (MPa)	乾燥密度 $\rho_d$ (t/m <sup>3</sup> )	初期飽和度* Sr <sub>0</sub> (%)	最終飽和度** Sr (%)	全応力		有効応力		変形係数		ポアソン比 $\nu$
					C <sub>cu</sub> (MPa)	$\phi_{cu}$ (°)	C' <sub>cu</sub> (MPa)	$\phi'_{cu}$ (°)	E <sub>0</sub> (MPa)	E <sub>50</sub> (MPa)	
クニゲルV1	0.5	1.521	38.6	101.4	0.03	9.1	0.03	13.4	1397	16	0.25
	1.0	1.562	40.2	101.1					423	41	0.36
	2.0	1.631	40.2	101.3					425	67	0.37
Ca化クニゲルV1	0.5	1.583	24.0	98.8	0.11	8.6	0.10	11.4	323	40	0.39
	1.0	1.483	24.7	97.6					250	54	0.33
	2.0	1.596	33.3	95.0					417	103	0.27

表-2.5.13 供試体飽和過程一覧表

ベントナイト種類	拘束圧 $\sigma_3$ (MPa)	供試体作製後			飽和後				圧密後
		乾燥密度 $\rho_d$ (t/m <sup>3</sup> )	初期含水比 w <sub>0</sub> (%)	初期飽和度* Sr <sub>0</sub> (%)	吸水日数 (日)	乾燥密度 $\rho_d$ (t/m <sup>3</sup> )	最終含水比 w (%)	最終飽和度** Sr (%)	間隙水圧係数 B
クニゲルV1	0.5	1.60	10.1	38.6	30日以上	1.52	29.1	100.0	0.85
	1.0	1.62	10.1	40.2	30日以上	1.56	27.3	100.0	0.81
	2.0	1.62	10.1	40.2	30日以上	1.63	24.6	100.0	0.92
Ca化クニゲルV1	0.5	1.60	6.2	24.0	30日以上	1.58	25.8	98.8	0.89
	1.0	1.62	6.2	24.7	30日以上	1.48	29.7	97.6	0.89
	2.0	1.58	9.0	33.3	30日以上	1.60	24.3	95.0	0.90

\*初期飽和度は供試体作製時の値

\*\*最終飽和度はせん断後の値

(2) 圧密

表-2.5.14に圧密過程の結果の一覧表を示す。図-2.5.18にCa化クニゲルV1 ( $\sigma_3=1.0\text{MPa}$ ) の場合の、等方圧密中における経過時間と体積圧縮量 $\Delta V$ ・軸変位量 $\Delta H$ の関係を示す。

表-2.5.14 圧密過程結果一覧表

ベントナイト種類	拘束圧 $\sigma_3$ (MPa)	圧密前		圧密後		
		乾燥密度 $\rho_d$ (t/m <sup>3</sup> )	乾燥密度 $\rho_d$ (t/m <sup>3</sup> )	軸圧縮量 $\Delta H$ (cm)	体積圧縮量 $\Delta V$ (cm <sup>3</sup> )	圧密時間 t (min)
クニゲルV1	0.5	1.521	1.541	0.347	2.60	10080
	1.0	1.562	1.598	0.414	4.80	10080
	2.0	1.631	1.707	0.716	8.89	10080
Ca化クニゲルV1	0.5	1.583	1.599	0.311	1.93	10080
	1.0	1.483	1.599	3.292	14.44	10080
	2.0	1.596	1.727	2.170	14.92	10080

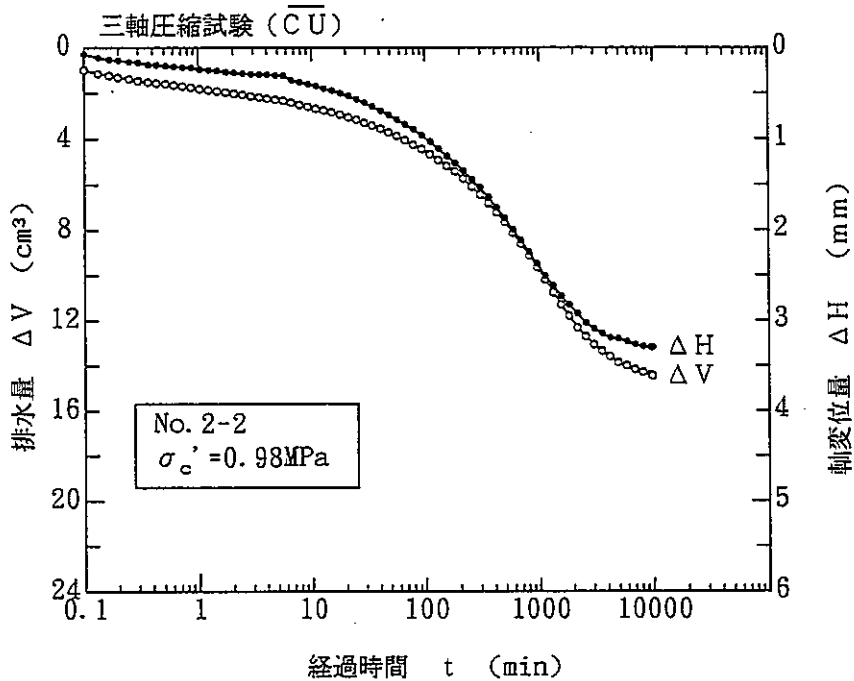


図-2.5.18 経過時間と体積圧縮量・軸変位量の関係

圧縮量は $\sigma_3$ の増加に伴って大きくなる傾向を示す。 $\sigma_3=0.5, 1.0\text{MPa}$ の場合、膨潤圧の異方性が考えられるが、拘束圧が膨潤圧と同等もしくはそれ以下となっているため、圧縮量は小さくなっている。しかし、今回の試験ではCa化クニゲルV1の $\sigma_3=1\text{MPa}$ の場合、飽和終了後に膨潤を許したため、圧縮量が増加している。今回の試験で、圧密時間を3t法で

規定した場合，実施した条件（ベントナイト  $\rho_d=1.6t/m^3$ ，  $\sigma_3=0.5\sim 2.0MPa$ ）では，圧密度は1週間程度で収束することができた。

(3) 応力とひずみの関係

図-2.5.19にCa化クニゲルV1の  $\sigma_3=0.5, 1.0, 2.0MPa$ の場合の主応力差 $q$  ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) とひずみ  $\epsilon$  の関係を，図-2.5.20に間隙水圧  $\Delta u$  とひずみ  $\epsilon$  の関係を示す。

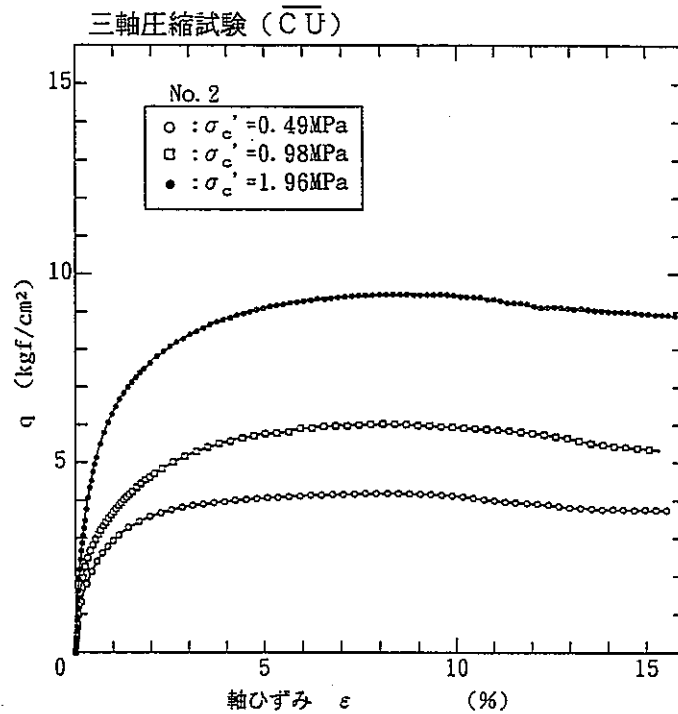


図-2.5.19 主応力差 $q$ とひずみ  $\epsilon$  の関係

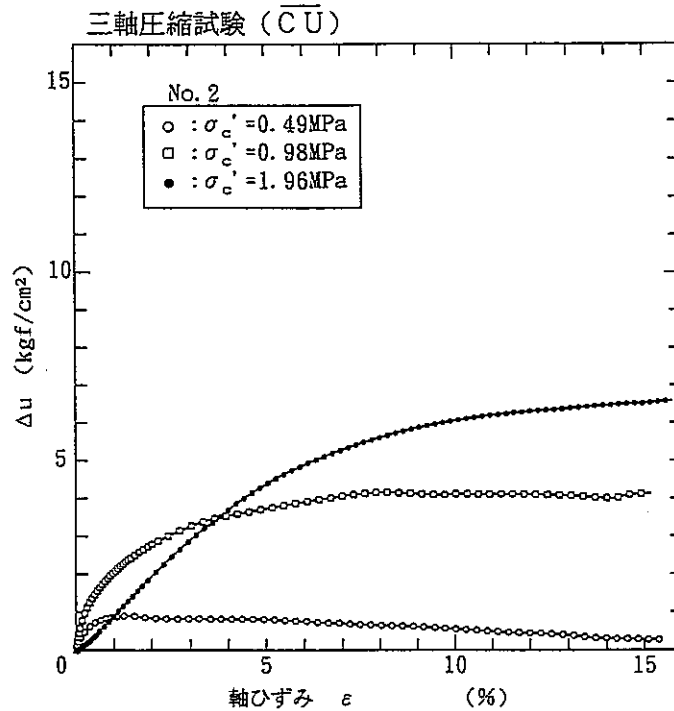


図-2.5.20 間隙水圧  $\Delta u$  とひずみ  $\varepsilon$  の関係

応力とひずみの関係において、応力はクニゲルV1, Ca化クニゲルV1とも  $\sigma_3$  によらず、 $\varepsilon \approx 8\%$ 程度でピーク値をとりやがて減少する。また、 $\Delta u$ は  $\sigma_3 = 0.5 \text{ MPa}$ のとき  $\varepsilon \approx 1\%$ でピークを、 $\sigma_3 = 1.0 \text{ MPa}$ のとき  $\varepsilon = 8\%$ でほぼ一定の値をとる。しかし、 $\sigma_3 = 2.0 \text{ MPa}$ のとき、体積は減少する傾向にあるため、間隙水圧は増加する。

#### (4) せん断強さ

土のせん断強さは、クーロンの破壊規準として知られているクーロン式で表わされる。

$$\tau = C + \sigma \tan \phi \quad (2.5.3)$$

ここに、 $\tau$  : せん断強さ、 $C$  : 粘着力、 $\sigma$  : 破壊面の土粒子間に働く垂直応力、 $\phi$  : 内部摩擦角

図-2.5.21にせん断強さ  $\tau$  と全応力  $\sigma$  の関係を、図-2.5.22にせん断強さ  $\tau'$  と有効応力  $\sigma'$  の関係を示す。クニゲルV1は全応力で  $C_{cu} = 0.03 \text{ MPa}$ 、 $\phi_{cu} = 9.1^\circ$ 、有効応力で  $C'_{cu} = 0.03 \text{ MPa}$ 、 $\phi'_{cu} = 13.4^\circ$ 、Ca化クニゲルV1は全応力で  $C_{cu} = 0.11 \text{ MPa}$ 、 $\phi_{cu} = 8.57^\circ$ 、有効応力で  $C'_{cu} = 0.10 \text{ MPa}$ 、 $\phi'_{cu} = 11.3^\circ$  の値をとっている。すなわち、ほぼ同一の乾燥密度、初期含水比の条件下では、粘着力や内部摩擦角はほぼ同程度の値をとり、せん断強さも等しいと考えられる。

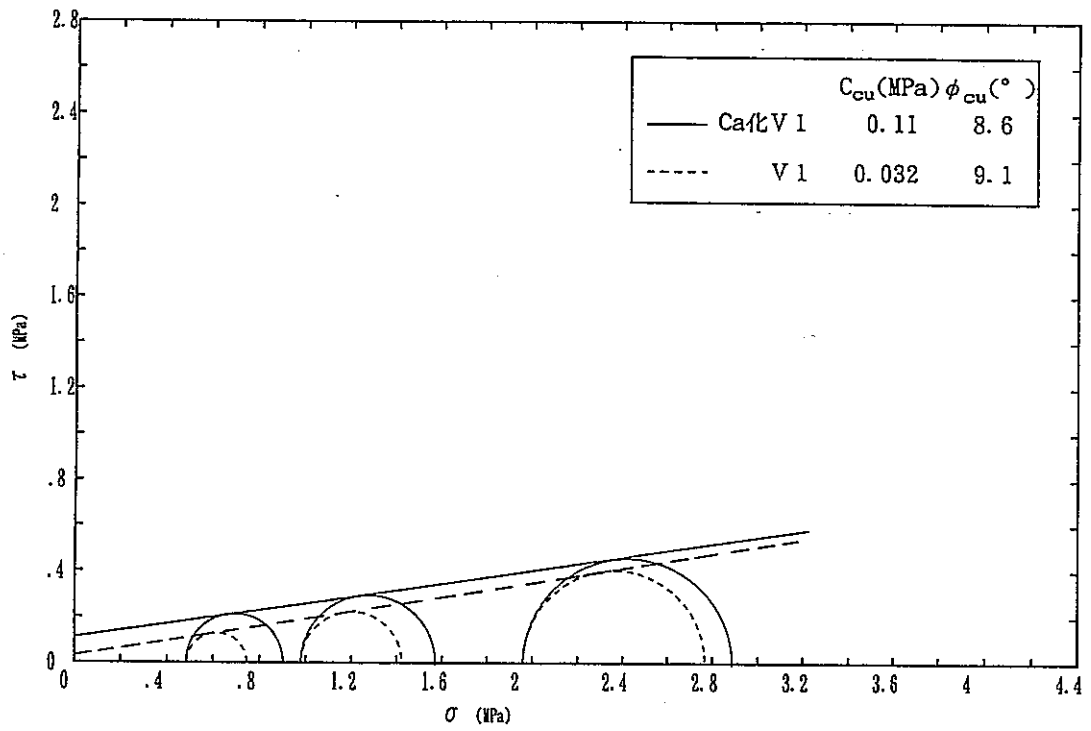


図-2.5.21 せん断強さと全応力の関係

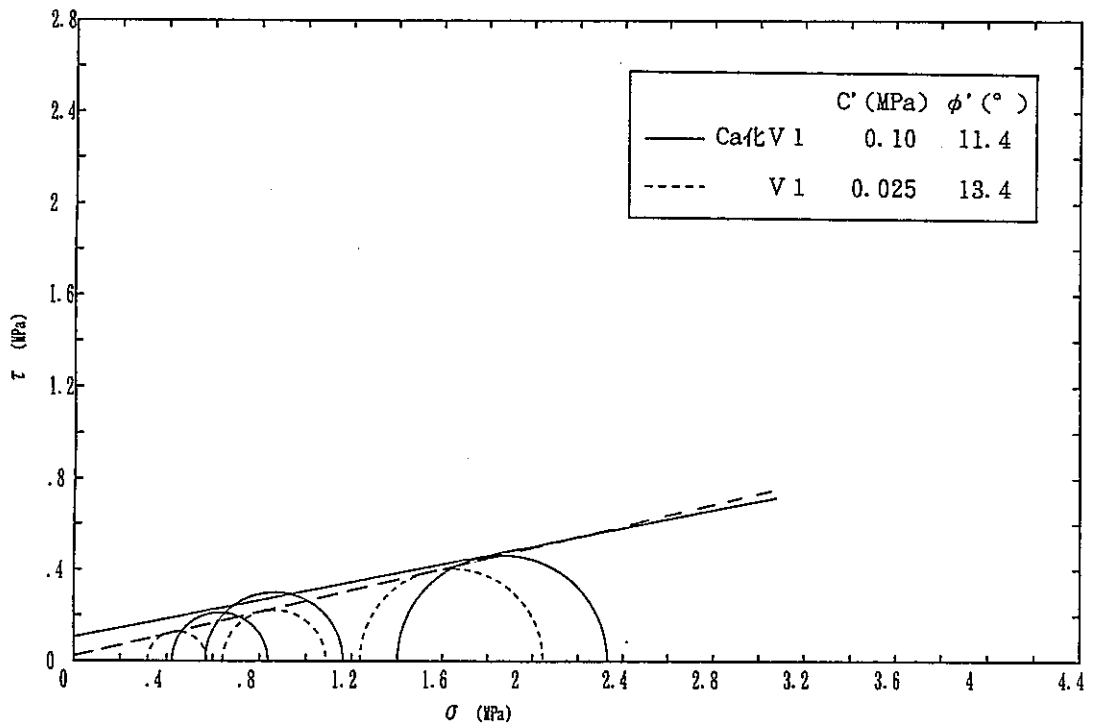


図-2.5.22 せん断強さと有効応力の関係

(5) 応力経路

図-2.5.23に主応力差 $q$ と平均有効応力 $q'$  ( $= (\sigma_1' + 2\sigma_3') / 2$ ) の関係を示す。

三軸圧縮試験 (CU)

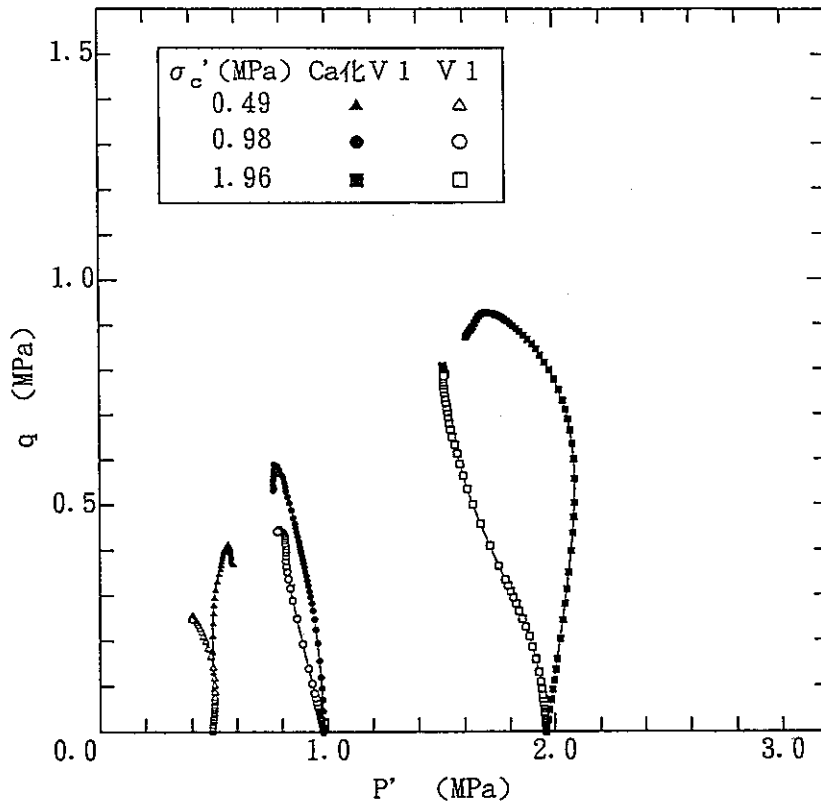


図-2.5.23 有効応力経路

(6) 変形係数

通常、土の変形係数は、一軸圧縮試験や三軸圧縮試験から得られる応力とひずみ曲線から、図-2.5.24に示すように一軸圧縮強さまたは主応力差の1/2の応力点と原点とを結んで得られる直線の勾配（割線係数 $E_{50}$ （式2.5.4））とすることが多い。

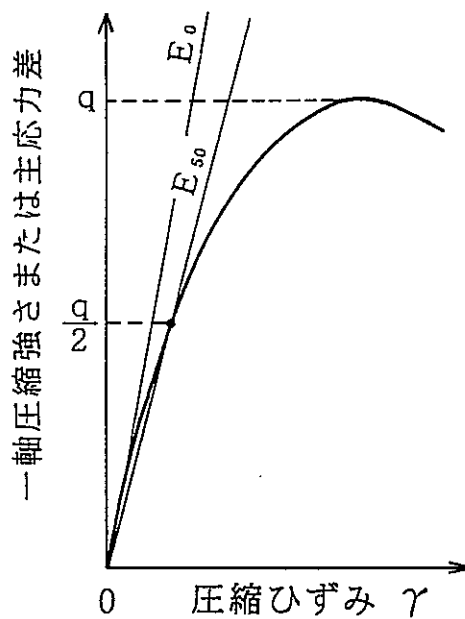


図-2.5.24 土の変形係数のとり方



$$E_{50} = \frac{\sigma/2}{\epsilon_{50}} \text{ (MPa)} \quad (2.5.4)$$

ここに、 $\sigma$ ：一軸圧縮強さ $q_u$ または主応力差 $q (= \sigma_1 - \sigma_3)$ ， $\epsilon_{50}$ ： $\sigma/2$ に対する圧縮ひずみ

しかし、実際の変形係数は原点からの接線（初期接線係数 $E_0$ ）を用いるべきであるが、試験の精度による読取りの不具合が生じたり、また、測定方法によってはかなり値にばらつきがあるという問題がある。このため、設計においては安全側の解（大きな変形量）が得られる割線係数 $E_{50}$ が用いられることが多い。

そこで、今回の試験では軸方向のひずみをLDTで $E_0$ を測定し、従来の $E_{50}$ との比較をした。図-2.5.25にCa化クニゲルV1、 $\sigma_3=0.5\text{MPa}$ の場合の $E_0$ と $\epsilon$ の関係を示す。また、 $E_{sec}$ を用いた $E_0$ の値は $\epsilon=0.001\sim 0.01\%$ 間の安定している値をとった。

変形係数のひずみ依存性について、 $E_0$ は $\epsilon=0.01\%$ 以下の低ひずみ領域で一定値をとり、 $\epsilon \approx 0.02\%$ でピークをとり、その後、ひずみの増加とともに0に近づく傾向を示す。

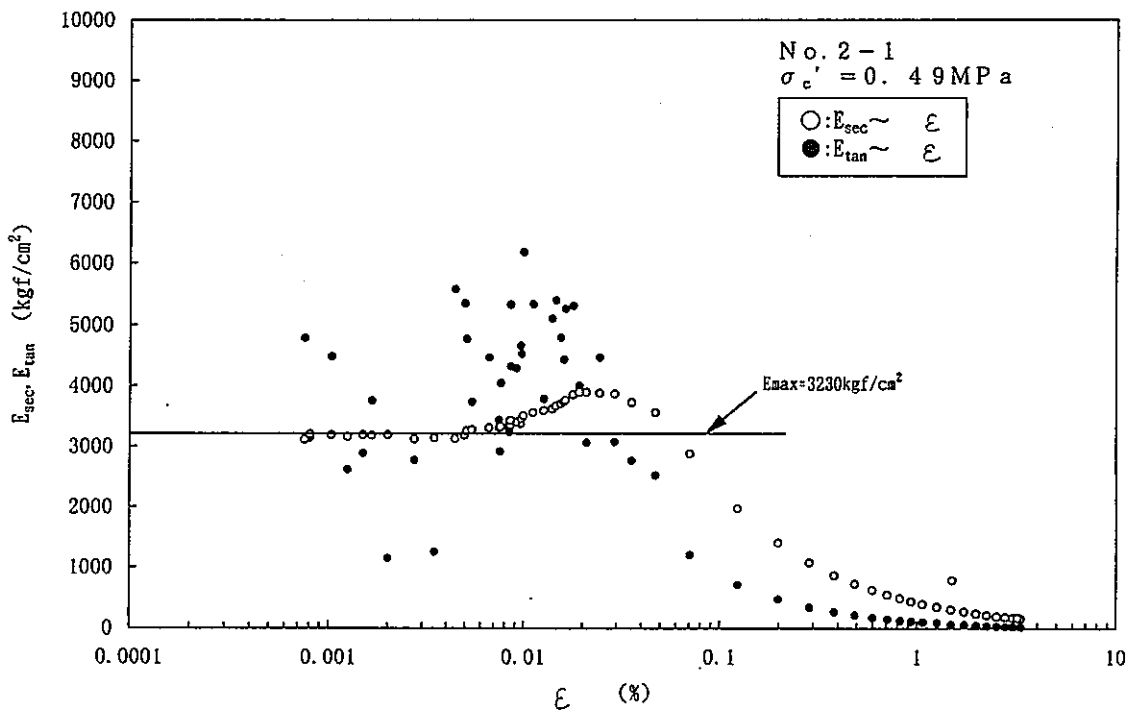


図-2.5.25 変形係数とひずみの関係

図-2.5.26にCa化クニゲルV1での $E_0$ 、 $E_{50}$ と $\sigma_3$ の関係を示す。変形係数は $E_0$ 、 $E_{50}$ とも $\sigma$ の増加に伴って大きくなっており、LDTで求めた $E_0$ の方が $E_{50}$ より4~8倍程度大きい値を示しており、設計上どちらの値を採用するかは処分施設の形状および成立性を含めて十分考慮すべきであると考えられる。

なお、クニゲルV1とCa化クニゲルV1の変形係数は表-2.5.12に示すように差が見られた。すなわち、 $E_0$ はクニゲルV1の方が大きく、 $E_{50}$ はCa化クニゲルV1の方が大きい傾向を

示した。

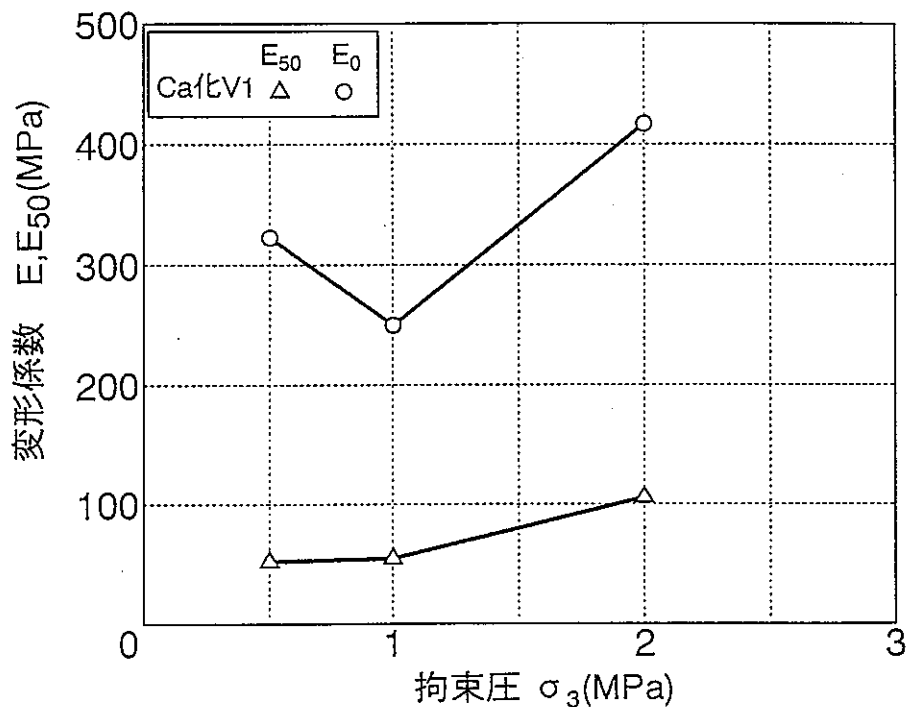


図-2.5.26 変形係数と拘束圧力の関係

(7) ポアソン比

ポアソン比  $\nu$  は、軸対称三軸圧縮の場合、試料の体積を  $V$ 、長さを  $L$  とすれば、体積ひずみ  $\epsilon_v$  は (式2.5.5) となり、 $\nu$  は (式2.5.6) で与えられる。

$$\epsilon_v = \epsilon + 2\epsilon_r \quad (2.5.5)$$

$$\nu = -\frac{\epsilon_r}{\epsilon} = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{\epsilon_v}{\epsilon} \right) = \frac{1}{2} \left( \frac{1 - \Delta V/V}{\Delta L/L} \right) \quad (2.5.6)$$

ここに、 $\epsilon$  : 軸方向のひずみ、 $\epsilon_r$  : 横方向のひずみ

今回の試験では、軸方向のひずみをLDTで、横方向のひずみをGapセンサーで測定して  $\nu$  を求めた。図-2.5.27にCa化クニゲルV1について  $\sigma_3=0.5, 1.0, 2.0$ MPaの場合の  $\nu$  と  $\epsilon$  の関係を示す。ポアソン比のひずみ依存性について、低ひずみ領域  $\epsilon=1\%$ 以下の範囲では  $\nu$  は変動が大きいですが、この範囲より大きいひずみ域では、 $\nu$  はやがて安定し、収束値をとる。

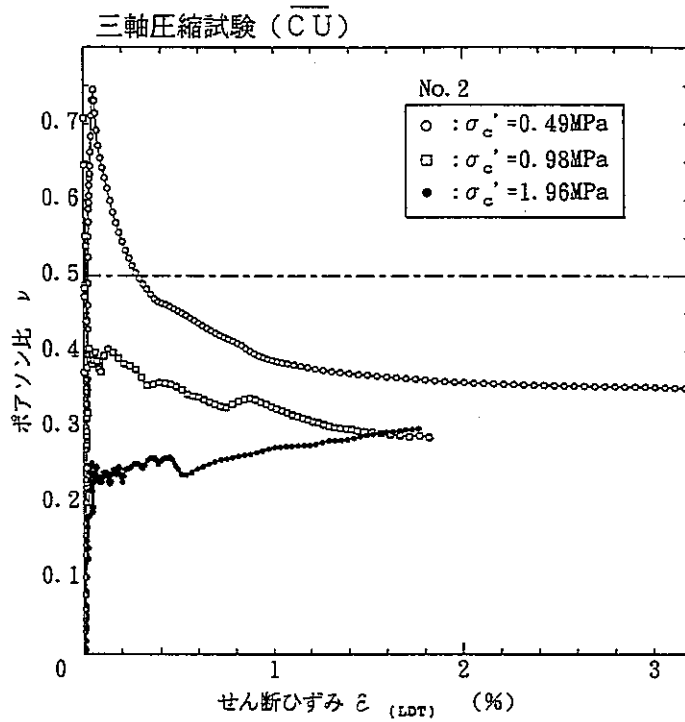


図-2.5.27 ポアソン比とひずみの関係

図-2.5.28に1%ひずみに対する $\nu$ と $\sigma_3$ の関係を示す。 $\nu$ はクニゲルV1で $\sigma_3=0.5 \text{ MPa}$ のとき0.25,  $\sigma_3=1.0 \text{ MPa}$ のとき0.36,  $\sigma_3=2.0 \text{ MPa}$ のとき0.37の値をとり, Ca化クニゲルV1で $\sigma_3=0.5 \text{ MPa}$ のとき0.39,  $\sigma_3=1.0 \text{ MPa}$ のとき0.33,  $\sigma_3=2.0 \text{ MPa}$ のとき0.27の値をとる。 $\nu$ はベントナイトの種類によらずほぼ近似している。一般的に軸対称三軸の場合, 飽和した粘土では0.5に近く, 砂質土では0.3に近いと言われている。今回の試験結果で $\nu$ は0.3~0.4の値を示したことから, 飽和した粘土に相応する結果が得られていると言えよう。

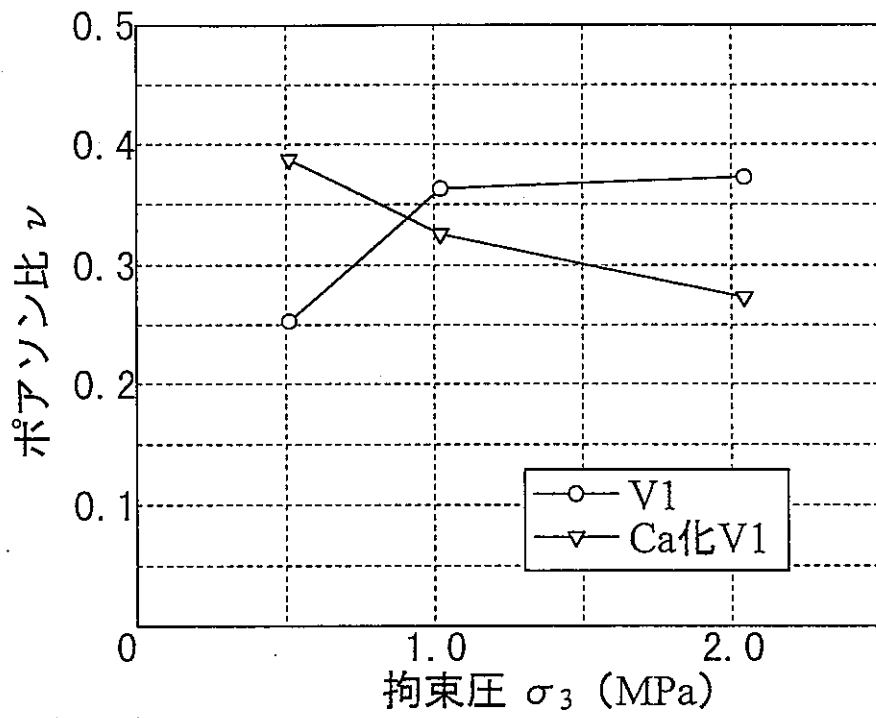


図-2.5.28 ポアソン比と拘束圧力の関係

## 2.6 力学特性の評価

ベントナイトにケイ砂を混合した材料では、ケイ砂の種類や乾燥密度が異なるため、ベントナイト配合率（ケイ砂配合率）のみで単純に力学特性を比較することが困難である。

そこで本研究は、力学特性が砂を除いたベントナイト締固め状態に関係していると考えて、ベントナイトと間隙部分の乾燥密度を  $\rho_{dB}$  と定義し、この指標で最大膨潤圧、透水係数および一軸圧縮強さを再整理した。

$\rho_{dB}$  は式 (2.6.1) で表される。

$$\rho_{dB} = \frac{W_B}{V_B + V_V} \quad (2.6.1)$$

ここに、 $W_B$ ：ベントナイトの乾燥土重量、 $V_B$ ：ベントナイトの体積、 $V_V$ ：間隙の体積  
この式を整理すると、式 (2.6.2) のようになる。

$$\rho_{dB} = \rho_w \left( \frac{B_m(\%)}{\frac{B_m(\%)}{G_B} + \frac{100w(\%)}{S_r(\%)}} \right) \quad (2.6.2)$$

ここに、 $B_m$ ：ベントナイト配合率 ( $=W_B / (W_s + W_B) \times 100\%$ 、 $W_s$ ：砂の乾燥土重量)、  
 $S_r$ ：初期飽和度、 $w$ ：初期含水比、 $G_B$ ：ベントナイトの土粒子の密度

## 2.6.1 膨潤圧

図-2.6.1に膨潤圧と有効ベントナイト乾燥密度の関係を示す。なお参考のため、ケイ砂6号とCa化クニゲルV1の混合材料の試験結果（平成7年度），Ca化クニゲルV1の試験結果（平成8年度）も記す。ケイ砂3号+5号と6号では，ほぼ一直線上にプロットされ，ケイ砂の種類による違いは見られなかった。また，Ca化クニゲルV1も同じ直線上にプロットする事ができた。

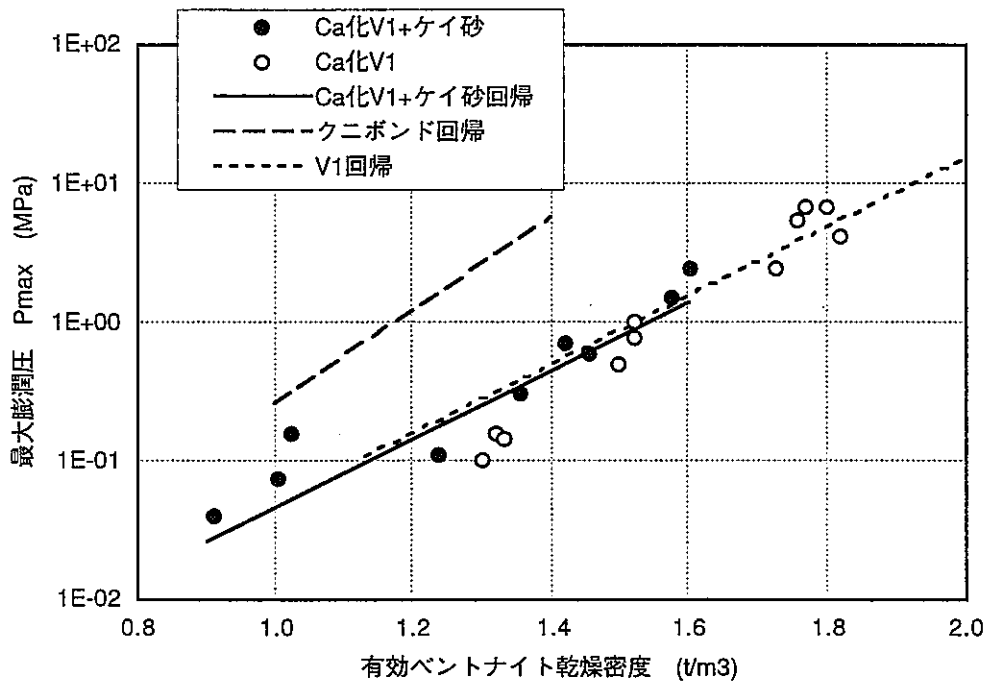


図-2.6.1 膨潤圧と有効ベントナイト乾燥密度の関係

## 2.6.2 透水係数

図-2.6.2に透水係数と有効ベントナイト乾燥密度の関係を示す。なお参考のため、ケイ砂6号とCa化クニゲルV1の混合材料の試験結果（平成7年度），Ca化クニゲルV1の試験結果（平成8年度）も記す。ケイ砂3号+5号と6号では，ほぼ一直線上にプロットされ，ケイ砂の種類による違いは見られなかった。また，Ca化クニゲルV1も同じ直線上にプロットする事ができた。

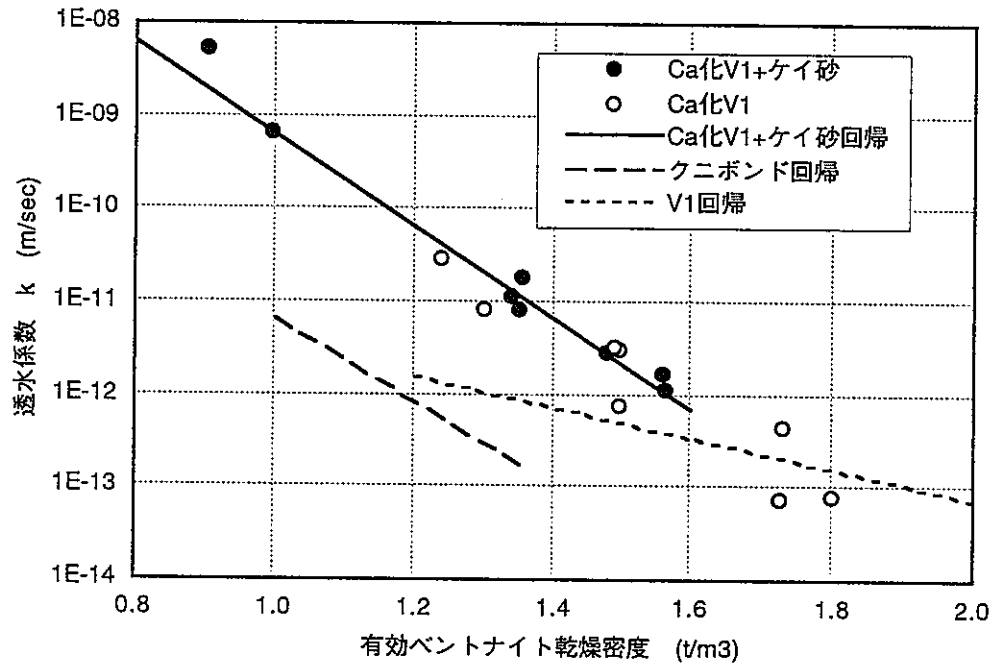


図-2.6.2 透水係数と有効ベントナイト乾燥密度の関係

### 2.6.3 一軸圧縮強さ

図-2.6.3に一軸圧縮強さと有効ベントナイト乾燥密度の関係を示す。なお参考のため、ケイ砂6号とCa化クニゲルV1の混合材料の試験結果（平成7年度），Ca化クニゲルV1の試験結果（平成8年度）も記す。乾燥密度が $1.2\text{t/m}^3$ より大きいとき，ケイ砂3号+5号と6号では，ほぼ一直線上にプロットされ，ケイ砂の種類による違いは見られなかった。乾燥密度が $1.2\text{t/m}^3$ より小さいとき，同じ砂を用いても，一軸圧縮強さにばらつきが見られた。

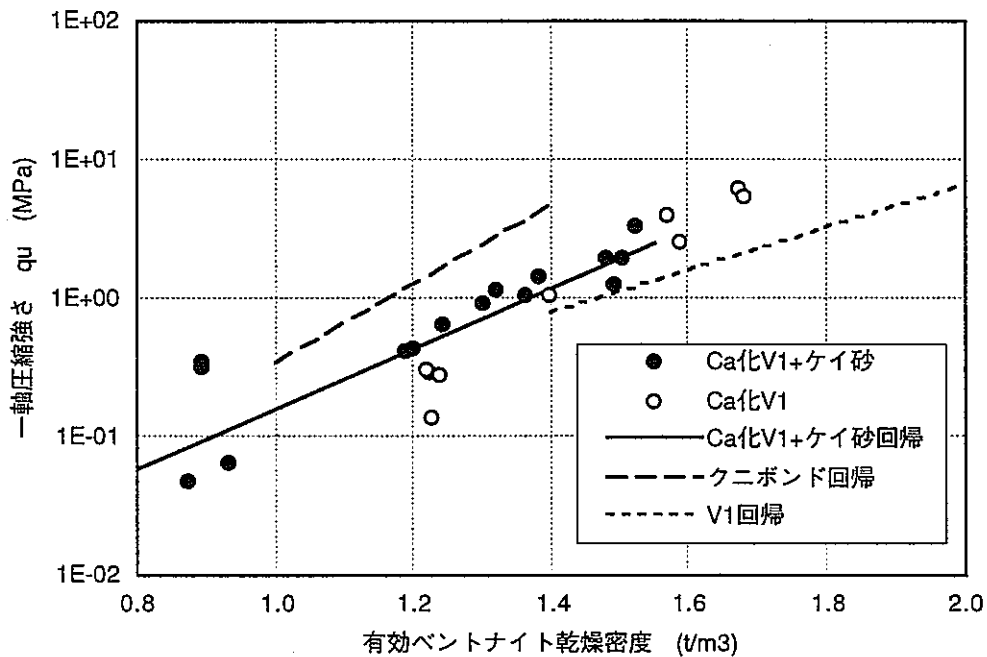


図-2.6.3 一軸圧縮強さと有効ベントナイト乾燥密度の関係



#### 2.6.4 ベントナイト種類による評価

ベントナイト系の人工バリア材料として、クニゲルV1、Ca化クニゲルV1、クニボンドの3種類の力学特性データ（膨潤圧、透水係数、一軸圧縮強さ）と乾燥密度の関係について図-2.6.4~2.6.6に示した。また、表-2.6.1に各々の相関関係式と重相関係数を示す。

各々のベントナイトの種類によって力学特性は異なっていることがわかる。今後の課題として、ベントナイト材料の物理特性等の指標を用いて評価する必要があると考えられる。

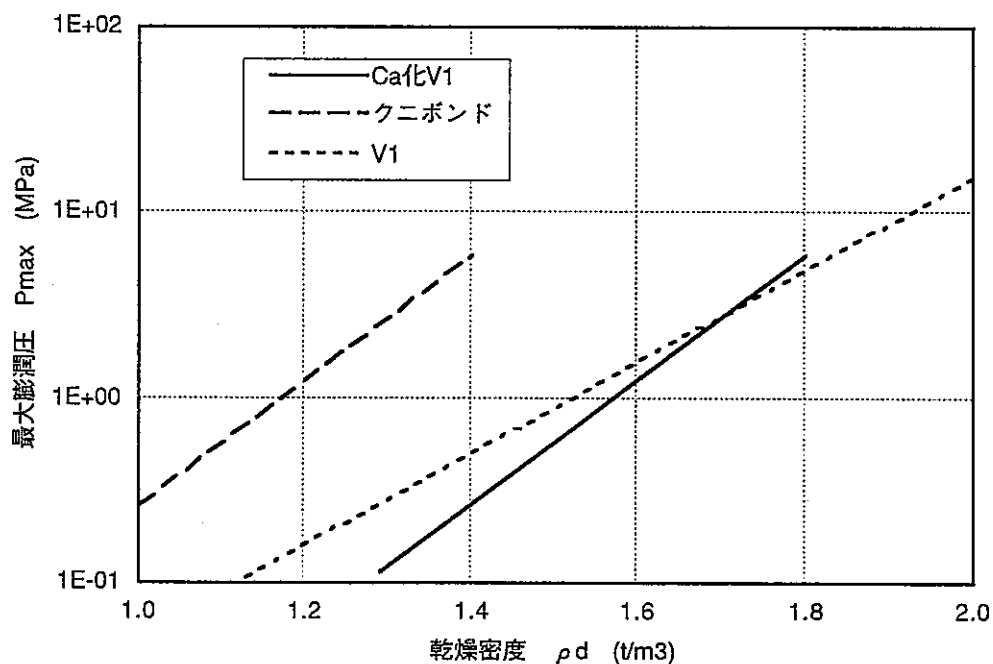


図-2.6.4 最大膨潤圧と乾燥密度の関係

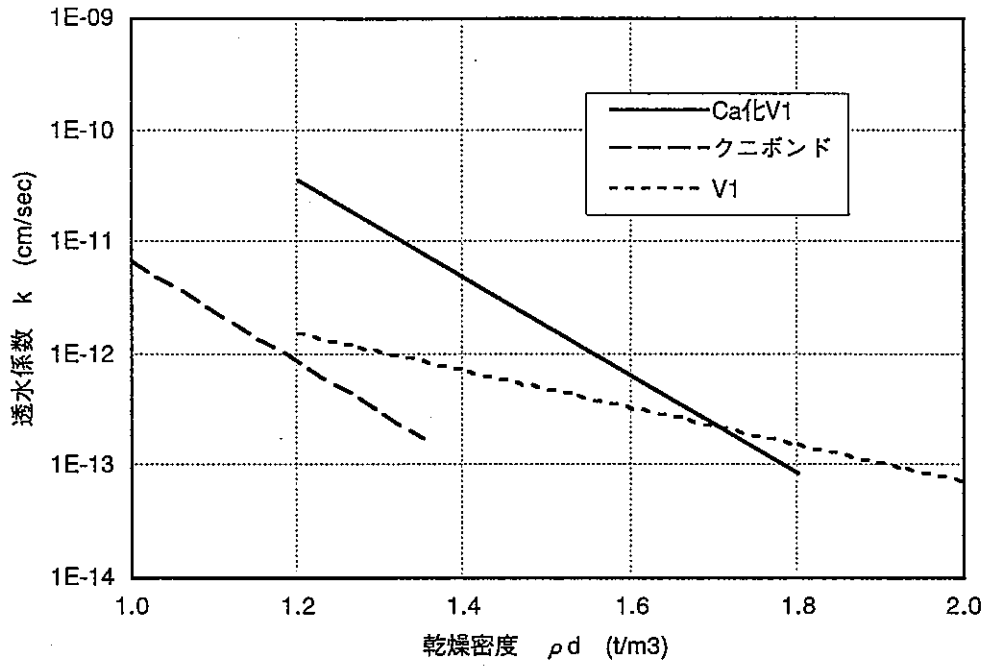


図-2.6.5 透水係数と乾燥密度の関係

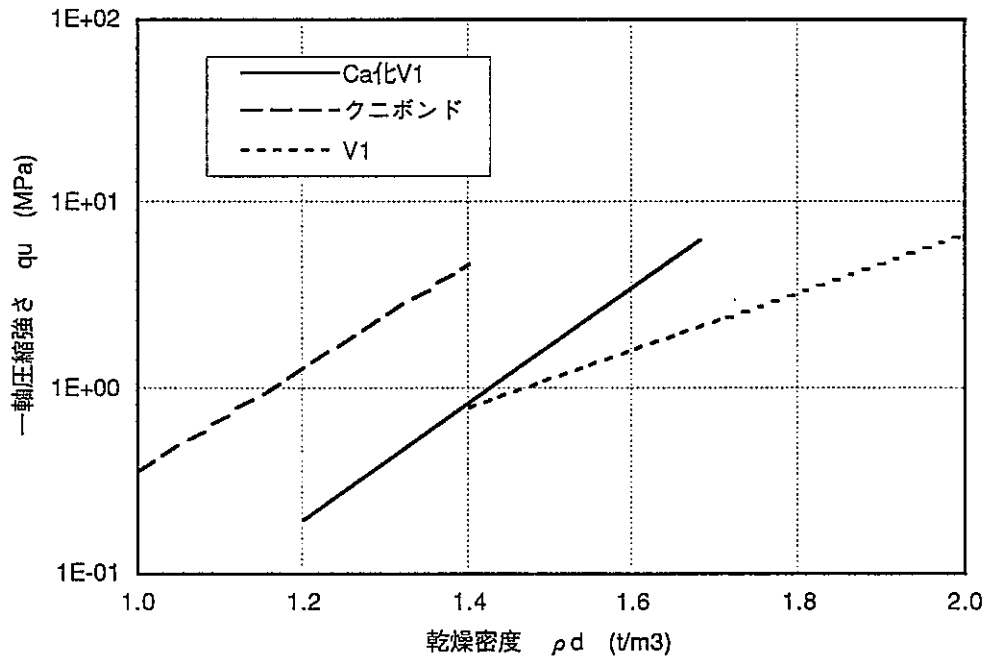


図-2.6.6 一軸圧縮強さと乾燥密度の関係

表-2.6.1 ベントナイトによる相関関係式

ベントナイト材料	膨潤圧 $P_{\max}$ (MPa)	透水係数 $k$ (m/sec)	一軸圧縮強さ $q_u$ (MPa)
CaクニゲルV1	$P_{\max} = 5.12 \times 10^{3.37\rho_d-6}$	$k = 6.58 \times 10^{-4.38\rho_d-6}$	$q_u = 3.05 \times 10^{3.16\rho_d-5}$
	R=0.98	R=0.96	R=0.98
クニボンド	$P_{\max} = 1.05 \times 10^{3.40\rho_d-4}$	$k = 2.25 \times 10^{-4.52\rho_d-7}$	$q_u = 5.29 \times 10^{2.82\rho_d-4}$
	R=0.96	R=0.97	R=0.99
クニゲルV1	$P_{\max} = 1.63 \times 10^{2.49\rho_d-4}$	$k = 1.50 \times 10^{-1.65\rho_d-10}$	$q_u = 5.26 \times 10^{1.55\rho_d-3}$
	R=0.99	R=0.83	R=0.90

## 2.7 まとめと今後の課題

### 2.7.1 Ca化ベントナイト

#### (1) 膨潤圧

Ca化ベントナイトの膨潤圧は、平成7年度までの試験の補間を目的に行った。乾燥密度 $1.7\text{t/m}^3$ 以上でCa化クニゲルV1とクニゲルV1の最大膨潤圧はほとんど変わらず、それ以下ではややCa化クニゲルV1の最大膨潤圧が小さくなる。乾燥密度が小さい場合のNa型ベントナイトのデータが不足しているため、必要に応じて今後取得する必要がある。

#### (2) 透水係数

Ca化ベントナイトの透水係数は、平成7年度までの試験の補間を目的に行った。乾燥密度 $1.7\text{t/m}^3$ 程度の高乾燥密度領域でCa化クニゲルV1とクニゲルV1の透水係数はほとんど変わらず、乾燥密度 $1.2\text{t/m}^3$ 程度の低乾燥密度領域では一桁程度Ca化クニゲルV1の透水係数が大きくなる。

#### (3) 一軸圧縮強さ

Ca化ベントナイトの一軸圧縮強さは、平成7年度までの試験の補間を目的に行った。乾燥密度 $1.4\text{t/m}^3$ 以上の高乾燥密度領域でCa化クニゲルV1とクニゲルV1の一軸圧縮強さはやや大きい値を示した。

### 2.7.2 Ca型ベントナイト

#### (1) 膨潤圧

乾燥密度と最大膨潤圧の関係では、乾燥密度の増加に伴って最大膨潤圧が大きくなっており、既往のCa化クニゲルV1や、クニゲルV1の試験値と同様の傾向を示した。しかし、Ca化クニゲルV1やクニゲルV1と比べ、同乾燥密度において一桁程度大きい値を示した。

#### (2) 透水係数

乾燥密度と透水係数の関係では、乾燥密度の増加に伴って透水係数が小さくなっており、既往のCa化クニゲルV1や、クニゲルV1の試験値と同様の傾向を示した。しかし、Ca化V1と比べ、同乾燥密度において一桁以上小さい値を示した。

#### (3) 一軸圧縮強さ

乾燥密度と一軸圧縮強さの関係では、乾燥密度の増加に伴って一軸圧縮強さが大きくなっており、既往のCa化クニゲルV1やクニゲルV1の試験値と同様の傾向を示した。しかし、Ca化クニゲルV1やクニゲルV1と比べ、同乾燥密度において5倍程度大きい値を示した。

## 2.7.3 ケイ砂とCa化ベントナイトの混合材料

### (1) 膨潤圧

ケイ砂6号を使用した方が、ケイ砂3号+5号の混合砂を使用した場合より、約2倍程度最大膨潤圧が大きくなる傾向にあった。有効ベントナイト乾燥密度で評価すると、ケイ砂3号+5号と6号では、ほぼ一直線上にプロットされ、ケイ砂の種類による違いは見られなかった。また、Ca化クニゲルV1も同じ直線上にプロットする事ができた。

### (2) 透水係数

ベントナイト配合率が50%以上の場合、ベントナイトの種類、ケイ砂の種類および乾燥密度による相違は認められなかった。ベントナイト配合率が30%の場合は、前述の要因が結果で一桁程度影響するようである。有効ベントナイト乾燥密度で評価すると、ケイ砂3号+5号と6号では、ほぼ一直線上にプロットされ、ケイ砂の種類による違いは見られなかった。また、Ca化クニゲルV1も同じ直線上にプロットする事ができた。

### (3) 一軸圧縮強さ

一軸圧縮強さとベントナイト配合率の関係では、ベントナイト配合率の増加に伴って一軸圧縮強さが大きくなっており、既往の試験値と同様の傾向を示した。有効ベントナイト乾燥密度で評価すると、乾燥密度が $1.2\text{t/m}^3$ より大きいとき、ケイ砂3号+5号と6号では、ほぼ一直線上にプロットされ、ケイ砂の種類による違いは見られなかった。乾燥密度が $1.2\text{t/m}^3$ より小さいとき、同じ砂を用いても、一軸圧縮強さにばらつきが見られた。

## 2.7.4 三軸圧縮強さ

### (1) 飽和

ベントナイト  $\rho_d=1.6\text{t/m}^3$  の場合、通水圧 $0.7\text{MPa}$ 程度で約30日間通水させると、飽和度は95~100%を得られることができた。また、そのときの間隙水圧係数B値は0.81~0.92であった。

### (2) 圧密

ベントナイト  $\rho_d=1.6\text{t/m}^3$ 、拘束圧  $\sigma_3=0.5\sim 2.0\text{MPa}$  の場合、3t法によって規定した結果、今回はほぼ1週間で収束した。

### (3) 応力とひずみの関係

応力はクニゲルV1、Ca化クニゲルV1とも拘束圧  $\sigma_3$  によらず、 $\epsilon \cong 8\%$ 程度でピーク値を示した。

### (4) 強度定数

クニゲルV1は全応力で $C_{cu}=0.03\text{MPa}$ ,  $\phi_{cu}=9.1^\circ$ , 有効応力で $C_{cu}'=0.03\text{MPa}$ ,  $\phi_{cu}'=13.4^\circ$ , Ca化クニゲルV1は全応力で $C_{cu}=0.11\text{MPa}$ ,  $\phi_{cu}=8.57^\circ$ , 有効応力で $C_{cu}'=0.10\text{MPa}$ ,  $\phi_{cu}'=11.3^\circ$  の値となった。

#### (5) 変形係数

変形係数は $E_0$ ,  $E_{50}$ とも $\sigma$ の増加に伴って大きくなっており, LDTで求めた $E_0$ の方が $E_{50}$ より4~8倍程度大きい値を示した。また,  $E_0$ はクニゲルV1の方が大きく,  $E_{50}$ はCa化クニゲルV1の方が大きい傾向が見られた。

#### (6) ポアソン比

$\nu$ はクニゲルV1で $\sigma_3=0.5\text{MPa}$ のとき0.25,  $\sigma_3=1.0\text{MPa}$ のとき0.36,  $\sigma_3=2.0\text{MPa}$ のとき0.37の値をとり, Ca化クニゲルV1で $\sigma_3=0.5\text{MPa}$ のとき0.39,  $\sigma_3=1.0\text{MPa}$ のとき0.33,  $\sigma_3=2.0\text{MPa}$ のとき0.27の値をとった。

### 2.7.5 今後の課題

#### (1) Ca化ベントナイト

Ca型に変質させたベントナイト(クニゲルV1)単体およびケイ砂を混合した材料について, 蒸留水を含水させた系での膨潤圧, 透水係数, 一軸圧縮強さ等の力学特性データを取得した。今後は, 処分サイトが海水の影響を受ける場合も考えられるので, 海水を含水させた系での基本特性データの取得も必要と思われる。

#### (2) Ca型ベントナイト

天然のCa型ベントナイト単体の特性データを取得するため, クニボンドを用いて試験を実施した。クニボンドはCa型に変質させたベントナイト(クニゲルV1)単体に比べ, 締固めにくい(同じ締固めエネルギーでも小さい密度しか得られない)が, 基本物性は優れていることが確認された。

クニボンドは化学特性でCa化程度を判断すると, Ca化クニゲルV1に比較してその程度は小さい。しかし, クニボンドは産地, 鉱物組成等, クニゲルV1と異なるため, 単純にCa化の程度で比較評価することは難しい。今後, クニボンドを利用する方向で考えた場合, 基本物性の充実と共に周辺データの取得(埋蔵量等)が必要である。

- 1)小峰秀雄・緒方信英：膨潤性土質材料の物理的性質と締固め特性，電力中央研究所報告，U90024，1990.8.
- 2)鹿島建設株式会社：TRU廃棄物処分システムにおける人工バリアの長期力学的挙動の研究，動力炉・核燃料開発事業団 研究内容報告書，1995.3.
- 3)鹿島建設株式会社：TRU廃棄物の処分概念の検討，動力炉・核燃料開発事業団 研究内容報告書，1996.3.
- 4)社団法人地盤工学会：土質試験の方法と解説，pp.304～305，1990
- 5)木村孟・日下部治：新土木実験指導書－土質編－，1993.2
- 6)社団法人地盤工学会：土質試験の方法と解説，pp.365，1990
- 7)鹿島建設株式会社：地層処分におけるシーリング研究（監），動力炉・核燃料開発事業団委託研究成果報告書，1993.2.
- 8)動力炉・核燃料開発事業団：緩衝材の特性試験（特），PNC TN8410 92－057，pp.35
- 9)吉田宏・西謙治：固化ベントナイトの止水技術への応用に関する研究，鹿島技術研究所年報第38号，1990.10.
- 10)小峰秀雄・緒方信英・西好一：高レベル放射性廃棄物地層処分のために緩衝材の力学特性（その1）－締固めたベントナイトの吸水膨潤メカニズムの実験的検討－，電力中央研究所報告，U92039，1992.12.
- 11)Pusch, R：Swelling pressure of highly compacted bentonite，SKBF/KBS Technical report 80－13，1980.
- 12)動力炉・核燃料開発事業団：緩衝材の特性試験（特），PNC TN8410 92－057，pp.49
- 13)動力炉・核燃料開発事業団：緩衝材の特性試験（特），PNC TN8410 92－057，pp.18
- 14)鹿島建設株式会社：地層処分におけるシーリング研究（監），動力炉・核燃料開発事業団委託研究成果報告書，1994.2.

### 第3章 コストの試算

#### 3.1 コスト試算の基本的な考え方

本検討におけるコスト試算の考え方について以下に示す。

##### 3.1.1 対象施設

本検討でコスト試算の対象となりうる施設・設備の一覧を表-3.1.1に示す。

表-3.1.1 対象施設一覧

施設 / 設備 名	地質環境調査研究施設	
	地上施設	地上受入施設 搬出検査施設 換気施設 排水施設 供給施設 管理施設
	地下施設	アクセス坑道 主要坑道 連絡坑道 処分空洞 地下付帯施設
	工 事 用 設 備	
	サイト周辺施設	道路施設 港湾施設 土捨て場

##### 3.1.2 コスト試算範囲

コスト試算は表-3.1.1の内，地上施設の建設，地下施設の建設・閉鎖，工事中施設の建設，操業を対象とする。ただし，用地取得費用や地質環境調査研究施設，サイト周辺施設及びモニタリングの費用は含まない。



(1) 地上施設

地上受入施設、搬出検査施設及び管理施設については、概略の施設規模を設定しコスト試算を行う。

換気施設、供給施設及び排水施設については、地下施設の建設費用に含め試算する。

(2) 地下施設

設定した施設概念に基づき積算する。

(3) 工事用設備

工事用設備は地下施設の建設費用に含め試算する。

(4) 操業関連

操業に含まれる費用は、

a) 廃棄体（キャニスター、ドラム缶）をコンクリート製コンテナに格納する費用

b) 作製したコンテナを地上より地下の定置位置まで通常の方法で搬送する費用

である。放射性廃棄物としての特別必要な費用は含まれていない。

3.1.3 地上施設の建設費用

地上受入施設及び搬出検査施設は、

建屋容積：250,000m<sup>3</sup> (地上2階，地下1階)

建設単価：300,000円/m<sup>3</sup>

を想定する。

また管理建屋は

床面積　：　3,000m<sup>3</sup> (地上2階)

建設単価：1,000,000円/m<sup>3</sup>

を想定する。

### 3.1.4 地下施設の建設費用

#### (1)積算ベース

本検討でのコスト算定に当たっての積算のベースを以下に示す。

- ・ 施工計画，工程計画及びコスト算定は平成7年度版「建設省土木工事積算基準」<sup>1)</sup>をベースに計画した。
- ・ 使用材料単価は，建設物価 1996年 2月版<sup>2)</sup>を参考とした。
- ・ 職種別単価は，平成7年度三省協定単価とした。

#### (2)コスト算定での仮定

以下にコスト算定上の仮定条件を示す。

- ・ 工程計画は20万本を40年間で処分することを基本とし，アクセス・主要坑道・処分空洞の掘削は1ヶ月の実作業日数を平均23日とした。1日2方作業とし，1方の実作業時間を8時間とした。その他の作業については，1ヶ月23日・1日1方作業とし，1方の実作業時間を8時間とする。
- ・ 処分場は沿岸の平地を想定し計画する。
- ・ 掘削による湧水は，図-3.1.1を参考にして

結晶質岩系岩盤：600l/min/km

堆積岩系岩盤：400l/min/km

として想定し，排水設備・濁水処理を計画する。

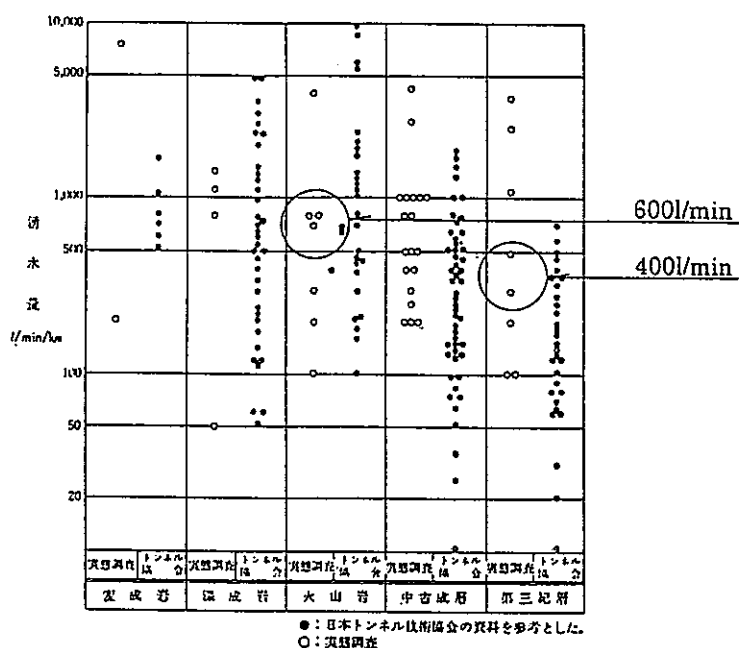


図-3.1.1 掘削による湧水量

- ・掘削残土（ズリ）はアクセス坑口より1 km離れた地点まで運搬し、押し土・整形の処分とする。
- ・処分場のアクセス方式は立坑によるものとする。
- ・地質構造の変化，高地熱（一般的に深度30m 毎に1℃上昇），閉鎖工施工時の空洞湧水のベントナイトに与える影響，PSアンカー工，ボーリンググラウト等の，地下深部に建設する際に予想される不確定要素の出費を直接工事費の，建設・操業時は100%を，閉鎖時は30%を考慮する。
- ・構造物の高品質を確保するため，技術管理費として直接工事費の30%を計上する。
- ・経費の率計上は，積算基準に基づいた。ただし，現場管理費に関しては，大深度でのトンネル・空洞の建設という観点から，通常の1.5倍の値を用いることとする。

したがって経費の率計上は，

共通仮設費（率分）	6.44%
現場管理費	26.84% (17.89%×1.5)
一般管理費	9.39%

とする。

#### 参考文献

- 1) 建設省土木工事積算基準，平成7年度版
- 2) 建設物価 1996年 2月版

## 3.2 コスト試算

### 3.2.1 検討ケース

表-3.2.1に検討ケース一覧表を示す。岩盤特性と埋設深度及び空洞規模との関連で、成立する処分形式は限定される。想定した処分形式（坑道方式，岩洞方式，サイロ方式）についてすべて比較することができるのは，結晶質岩系岩盤（深度300m，700m）である。

### 3.2.2 検討結果

#### (1)地上施設

地上施設については岩盤種類，処分形式によらず全て同一であると考えた。

・地上受入施設及び搬出検査施設	750億円
・管理施設	30億円
合計	780億円

#### (2)地下施設

表-3.2.2に地下施設の建設・閉鎖，及び操業に関するコスト試算結果を示す。また図-3.2.1～3.2.3にコスト試算結果を示す。ただし，岩種ごとに掘削単価を設定していないため，岩種によるコスト差は表れていない。

例えば，表-3.2.2によれば，結晶質岩系岩盤（深度300m）では，建設，操業，閉鎖の総費用は

坑道+大断面岩洞方式	2,757億円（ケース1）
坑道+小断面岩洞方式	3,039億円（ケース3）
坑道+サイロ方式	3,991億円（ケース5）

となっている。坑道+大断面岩洞方式，坑道+小断面岩洞方式，坑道+サイロ方式の順に経済的である。また，閉鎖費用が全体費用の中で相当分を占めている。このような傾向はその他の岩種でも同様であると言える。

表-3.2.1 検討ケース一覧表

		結 晶 質		堆 積 岩		
形 式	深度	A	B	A	B	C
坑道+大断面 岩洞方式	300	1	1	×	×	×
	700	2	×	×	×	×
坑道+小断面 岩洞方式	300	3	3	7	×	×
	700	4	4	×	×	×
坑道+サイロ 方式	300	5	5	×	×	×
	700	6	×	×	×	×

表-3.2.2 コスト試算結果一覧 (億円)

ケース	地上施設	地下施設の建設	操 業	地下施設の閉鎖	小 計	合 計
1	780	1,026	681	1,050	2,757	3,537
2	780	1,313	691	1,255	3,259	4,039
3	780	1,121	669	1,249	3,039	3,819
4	780	1,413	685	1,451	3,549	4,329
5	780	1,525	615	1,851	3,991	4,771
6	780	1,814	634	2,052	4,500	5,280
7	780	1,120	668	1,248	3,036	3,816

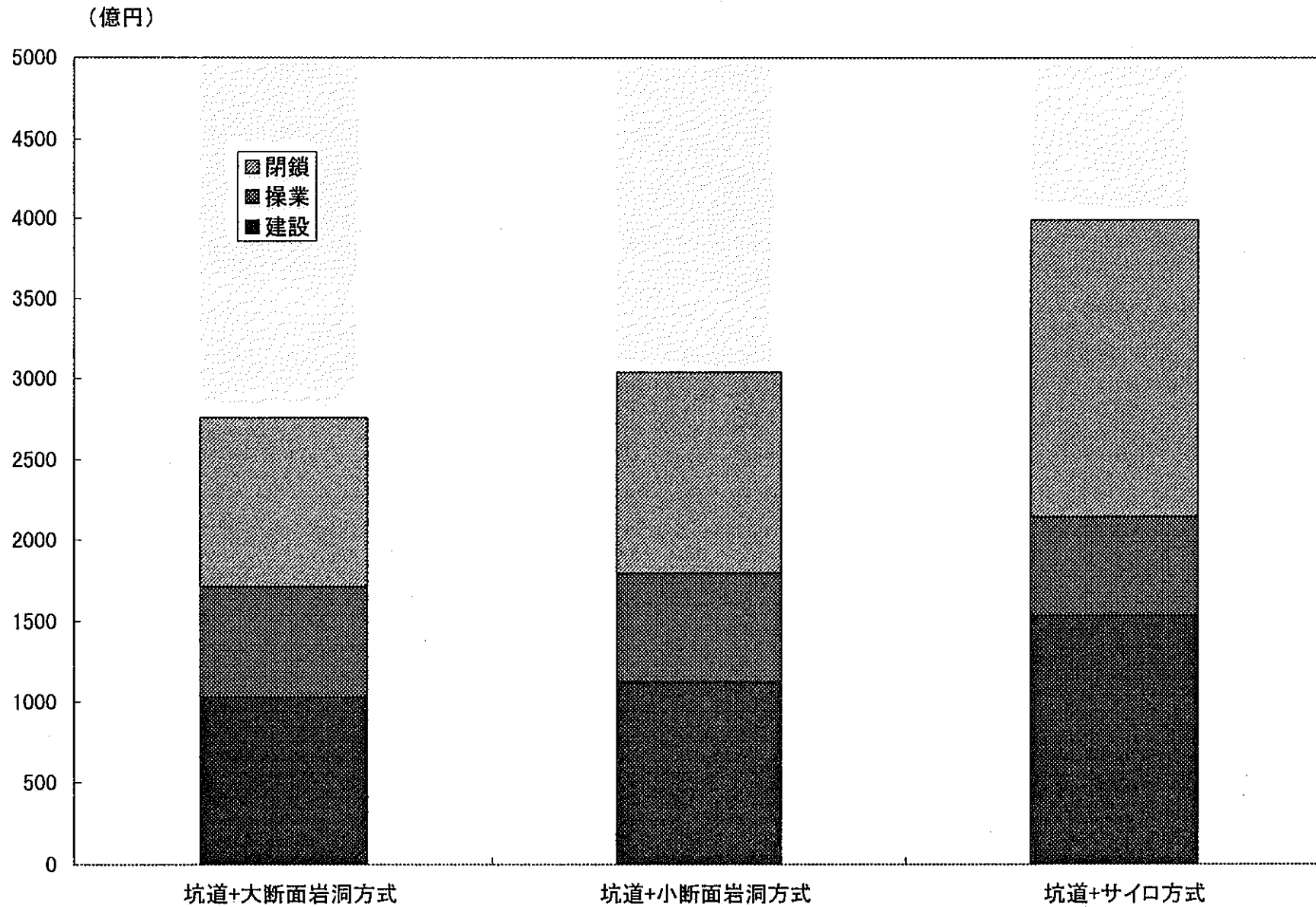


図-3.2.1 地下施設の建設・閉鎖及び操業に関するコスト試算結果(結晶質岩系岩盤300m)

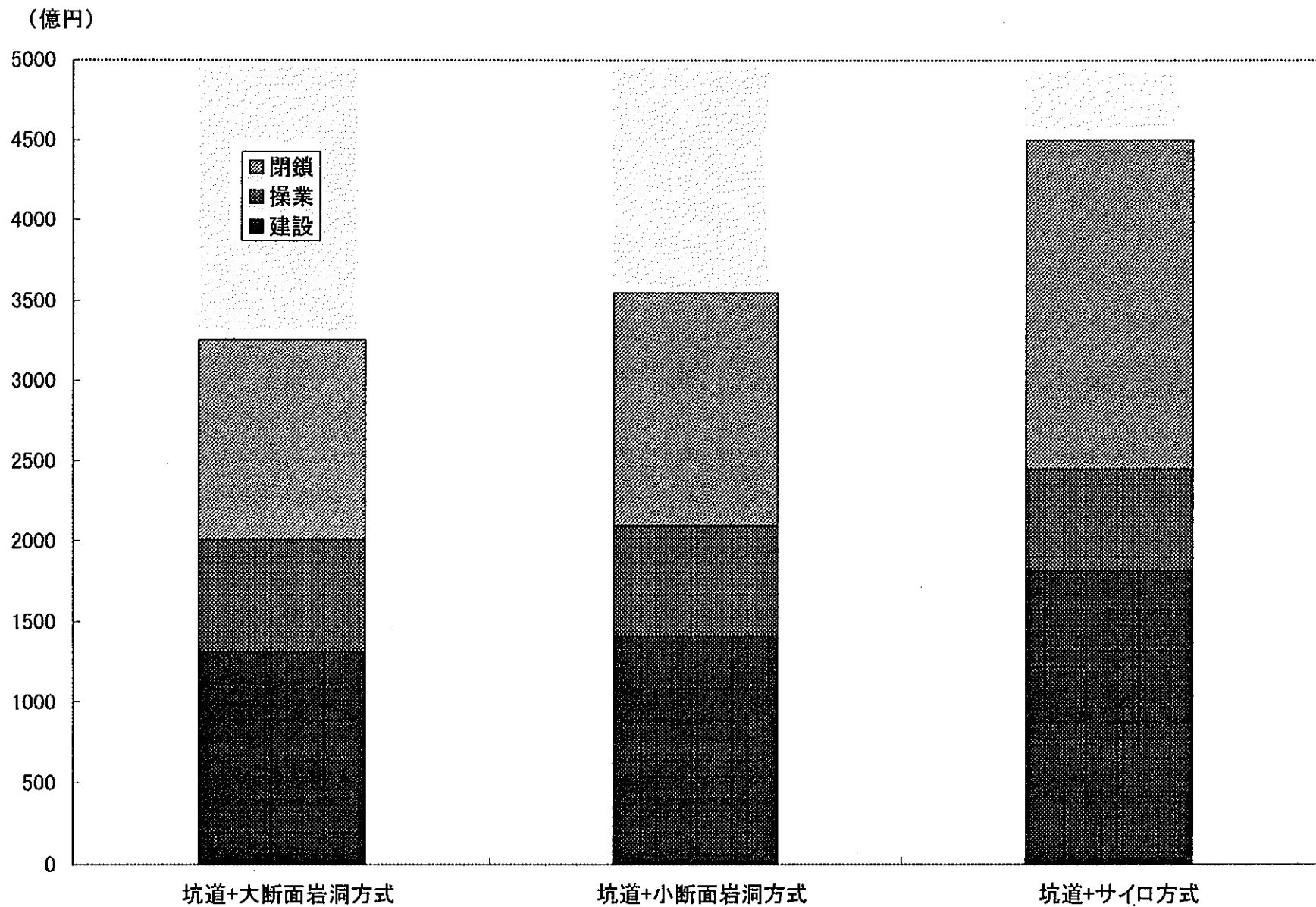


図-3.2.2 地下施設の建設・閉鎖及び操業に関するコスト試算結果(結晶質岩系岩盤700m)

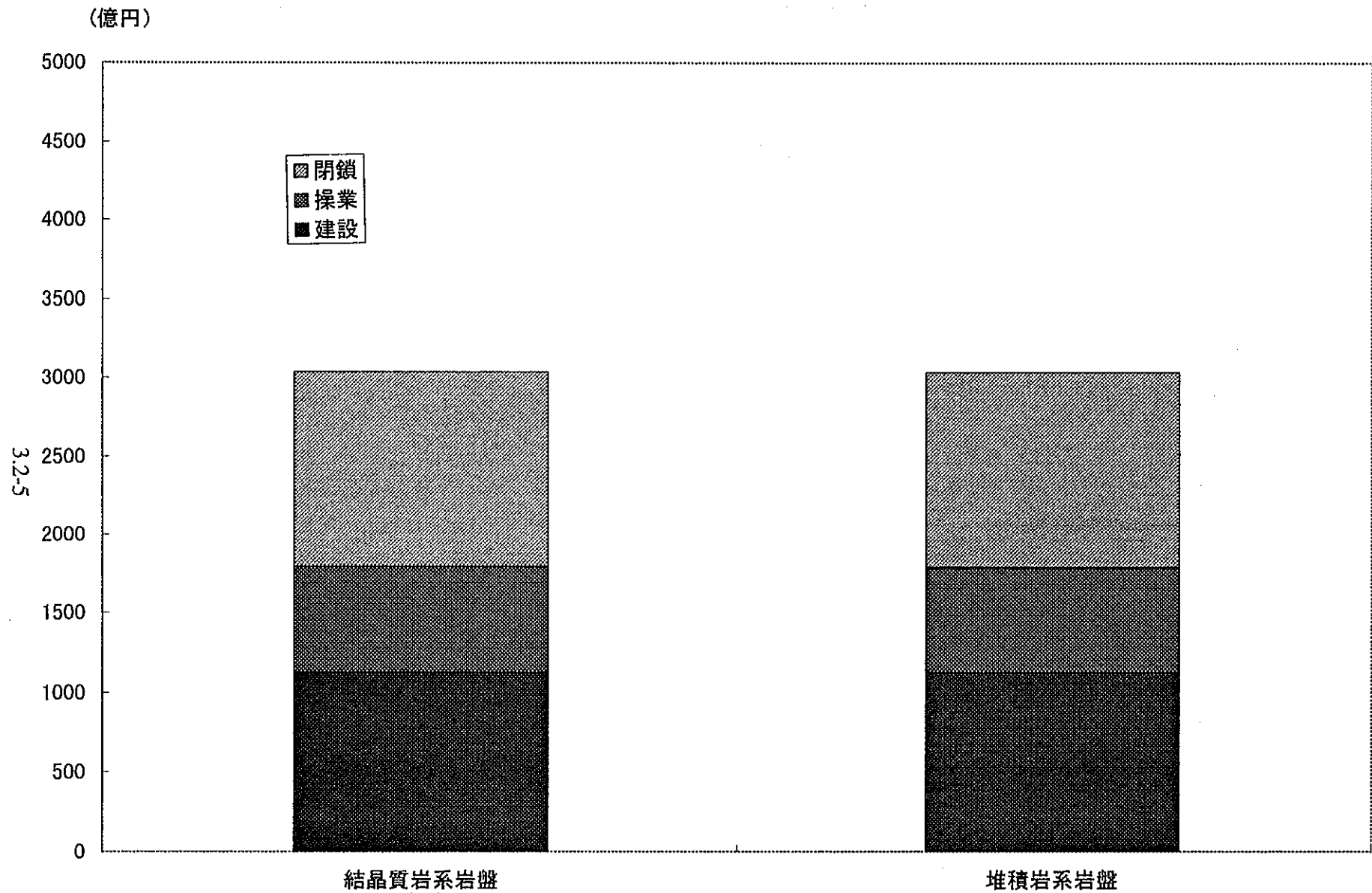


図-3.2.3 地下施設の建設・閉鎖及び操業に関するコスト試算結果(結晶質岩系岩盤300m, 堆積岩系岩盤300m)



### 3.2.3 コスト試算の結果

本節では前節での試算結果を基に、建設段階と閉鎖段階について試算内容の分析を試みる。対象とするケースは全ての処分形式が成立する結晶質岩系岩盤（深度300m）とする。

#### (1)建設段階

図-3.2.4は建設段階の工事費内訳を各方式ごとに示したものである。この図で「アクセス坑道」には、地表と地下施設を接続する立坑や換気用の坑道、さらには主要坑道を含んでいる。また「処分空洞」には、処分空洞と連絡坑道が含まれる。

各方式とも直接工事費として掘削費用が多いが、コンクリート構造物の建設費用がかなりの割合を占めている。本研究におけるコンクリート構造物の目的あるいは位置付けは、操業時定置作業の効率化と信頼性向上であり、処分施設全体の信頼性の寄与面から考えるとその役割は低いと言える。したがって、コンクリート構造物の機能を代替する構造物や方法の検討は、処分施設概念をより合理的にする上で必要であると考えられる。

処分空洞の容積のみに着目すれば、サイロ方式が一番効率的であると言える。しかし、図-3.2.4によれば全体の掘削費用が一番安価なのは大断面岩洞方式である。これは、サイロ方式では処分空洞を掘削するために補助的な坑道を、サイロ部分の上下に1本ずつ2本構築する必要があり、その坑道部分の容積を加えると掘削費が岩洞方式に比して多くなることに起因する。

建設

注1) [ ]内数値は、大断面岩洞方式工事費を1とした場合の比率を示す。

注2) ( )内の ( ) 内数値はその方式の全工事費に対する比率を示す。

注3) ( ) 外の ( ) 内数値は各工事の大断面岩洞方式を1とした場合の比率を示す。

[1.00]			[1.11]			[1.58]		
アクセス坑道 (13%)	掘削(7%) 覆工(5%)	(1.00) 坑底設備(1%)	アクセス坑道 (12%)	掘削(6%) 覆工(5%)	(1.05) 坑底設備(1%)	アクセス坑道 (12%)	掘削(4%) 覆工(6%)	(1.27) 坑底設備(1%) その他(1%)
処分空洞 (20%)	掘削(8%) コンクリート 構造物 (10%)	(1.00) その他(1%) 連絡坑道(1%)	処分空洞 (21%)	掘削(9%) コンクリート 構造物 (10%)	(1.19) 連絡坑道(2%)	処分空洞 (25%)	掘削(9%) 連絡坑道(7%) コンクリート 構造物 (9%)	(2.02)
その他 (67%)	運転経費 仮設費 管理費	(1.00)	その他 (67%)	運転経費 仮設費 管理費	(1.10)	その他 (64%)	運転経費 仮設費 管理費	(1.52)
坑道 + 大断面岩洞方式			坑道 + 小断面岩洞方式			坑道 + サイロ方式		

図-3.2.4 工事費内訳比較 建設の場合(300m)

## (2) 閉鎖段階

図-3.2.5は、閉鎖段階の工事費内訳を各方式ごとに示したものである。工事費のうち、材料費が25%~35%を占めている。(注;仮設費や管理費は直接工事費(材料費+施工費)の割掛けで算定するので、全工事費のうち材料費に関連する費用の割合はさらに多い)これは、主として人工バリア材等として使用するベントナイトが高価であることに起因する。

例証として、図-3.2.6にベントナイトの混合比率をパラメータとした場合のベントナイト混合土の単価について示す。横軸は混合比率(重量比)、縦軸はベントナイト混合土単価である。例えば、ベントナイトを100%使用する場合に比して30%にすれば、単価は約3分の1となることが判る。したがって、人工バリア材や埋戻し材の仕様は処分施設の経済性に大きな影響を与えると言え、安全評価の観点も含め慎重に決定する必要がある。

閉鎖

注1) [ ]内数値は、大断面岩洞方式工事費を1とした場合の比率を示す。

注2) ケラ内の ( ) 内数値はその方式の全工事費に対する比率を示す。

注3) ケラ外の ( ) 内数値は各工事の大断面岩洞方式を1とした場合の比率を示す。

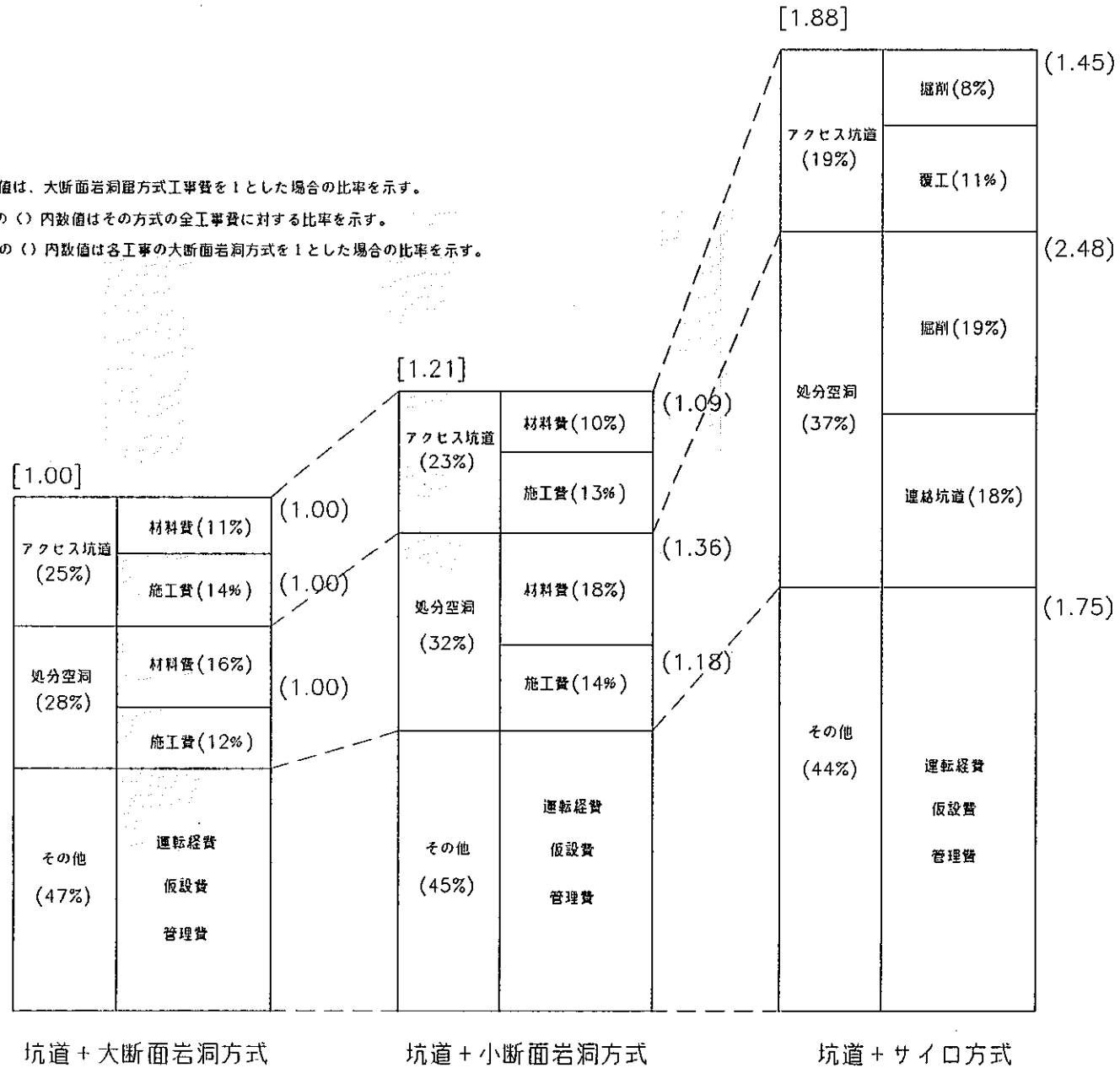


図-3.2.5 工事費内訳比較 閉鎖の場合(300m)

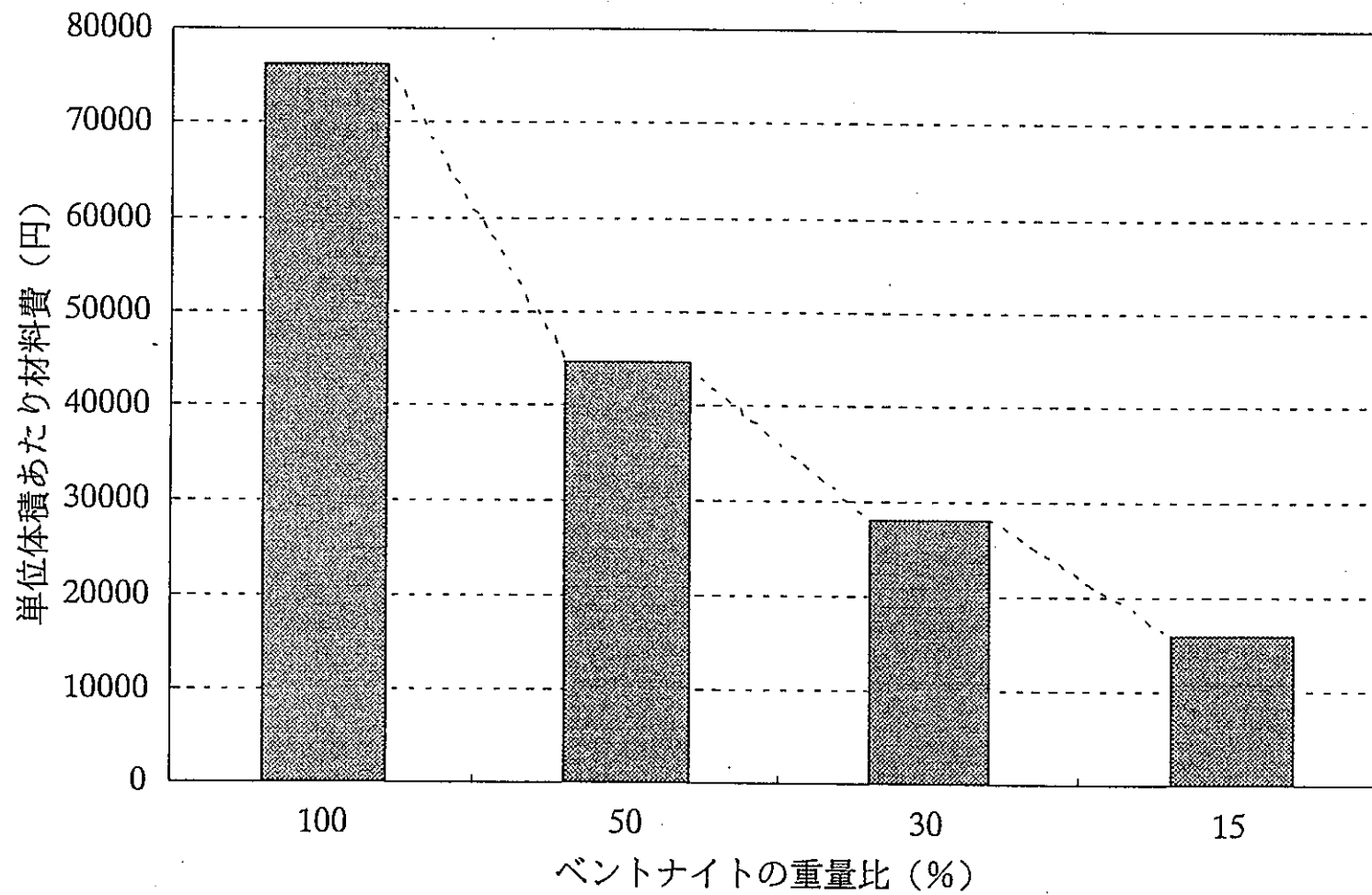


図-3.2.6 ベントナイト混合比率の違いによる単価の相違

## 第4章 今後の課題

今後検討すべき課題について以下に示す。

### 4.1 システムの成立性について

#### (1)体積変化解析について

廃棄体及びセメント系材料の体積変化による周辺ベントナイトへの影響について、体積変化解析を実施した。しかし、幾つかの仮定のもとに解析を行っているため、今後は解析条件・解析モデルの妥当性の検証を行い、解析の高度化をはかる必要がある。

#### (2)ガス蓄圧の影響評価について

平成8年度の検討では、ガスの発生量とベントナイト層を透過するガス透気量が平衡する状態でのシステム安全性（岩体安定）について検討した。一般に、平衡状態に達する以前に廃棄体周辺のガス圧が最大になる場合も想定されるので、この最大ガス圧に対するシステムの安全性を検討する必要がある。

#### (3)ベントナイトの圧密解析について

平成7年度の検討では、廃棄体コンテナ格納用のコンクリートピット底部のベントナイトの再冠水後における圧密挙動について考察した。今後は、コンクリートピット構築、廃棄体定置後に再冠水に至るまでの底部ベントナイトの変形挙動（圧縮変形、圧密変形）を検討すると共に、底部ベントナイトの支持力について検討する必要がある。

#### (4)大空洞長期挙動について

平成8年度の検討では、予備検討として文献調査を行い、岩盤の粘弾性構成則について資料の収集を行った。今後は、岩盤の長期挙動に対して解析的検討が必要である。

#### (5)セメント劣化の経時変化について

地下水の再冠水により、セメント系材料と地下水が接触することによって、セメントの劣化が起こる。その長期的な劣化機構と劣化速度については不明であり、今後調査する必要がある。

#### (6)閉鎖方法について

閉鎖方法について、処分空洞やアクセス坑道等に関する埋戻しの手順及び方法の検討を行う必要がある。また、埋戻し材に要求される機能を検討し、施工方法の検討を行う必要がある。

## 4.2 人工バリア材料の力学特性データの取得について

### (1) Ca化ベントナイトについて

Ca型に変質させたベントナイト（クニゲルV1）単体およびケイ砂を混合した材料について、蒸留水を含水させた系での膨潤圧、透水係数、一軸圧縮強さ等の力学特性データを取得した。今後は、処分サイトが海水の影響を受ける場合も考えられるので、海水を含水させた系での基本特性データの取得が必要である。

### (2) Ca型ベントナイトについて

天然のCa型ベントナイト単体の特性データを取得するため、クニボンドを用いて試験を実施した。クニボンドはCa型に変質させたベントナイト（クニゲルV1）単体に比べ、締固めにくい（同じ締固めエネルギーでも小さい密度しか得られない）が、基本物性は優れていることが確認された。

クニボンドは化学特性でCa化程度を判断すると、Ca化クニゲルV1に比較してその程度は小さい。しかし、クニボンドは産地、鉱物組成等、クニゲルV1と異なるため、単純にCa化の程度で比較評価することは難しい。今後、クニボンドを利用する方向で考えた場合、基本物性の充実と共に周辺データの取得（埋蔵量等）が必要である。

## 卷末付録 1

### 廃棄物発生量の推定



## 廃棄物発生量の推定

平成8年11月13日

### 1. 前提条件

#### (1) 動燃事業団東海再処理工場の運転

1995年度末までに約864トンの再処理実績

1996年～2005年 75 t/y

2006年～2015年 40 t/y

RETFについては今回は評価せず

#### (2) 動燃事業団MOX燃料加工施設の運転

実績に基づいて推定

#### (3) 返還低レベル廃棄物

COGEMA委託分、BNFL委託分のいずれも2005年から5年間に亘って返還されるものとした。

#### (4) 民間再処理工場の運転

2003年に運転を開始し、段階的に年間再処理量を増加させていき、2008年以降、800 t/yのフル操業を想定

2003年～2008年の間の操業予定量は、40、200、360、520および680トン

#### (5) 民間MOX燃料加工施設の運転

今回は評価せず

#### (6) 動燃事業団東海再処理工場の解体

図面などに基づき物量を評価 (RANDEC評価)

#### (7) 動燃事業団MOX燃料加工施設の解体

図面などに基づき物量を評価 (RANDEC評価)

## 2. 廃棄物発生量

(廃棄体に処理したとして2030年までに発生する量を200リットル・ドラム缶換算で推定)

(1) 動燃事業団東海再処理工場の運転	79,000
(2) 動燃事業団MOX燃料加工施設の運転	
(3) 返還低レベル廃棄物	24,430
(4) 民間再処理工場の運転 (高減容)	91,700
(中間体)	(229,950)
(5) 民間MOX燃料加工施設の運転	
(6) 動燃事業団東海再処理工場の解体	3,300
(7) 動燃事業団MOX燃料加工施設の解体	

卷末付録 2

廃棄物特性

返還低レベル廃棄物の廃棄体仕様一覧表

	廃棄体の種類	容器	質量II (kg)	質量III (kg)	質量II容積 (m <sup>3</sup> )	質量III容積 (m <sup>3</sup> )	上部空隙 (%)	マイクロ空隙率 (%)	容器厚 (mm)	容器重量 (kg)	廃棄体密度 (g/cm <sup>3</sup> )	返還体質量 (kg)	容積 (m <sup>3</sup> )				
COGEMA	ハル・エンドキャップ+雑固体 (圧縮体)	440φ×1345H	685	ジルコイ 382 インコル 19 ステンレス 184 合計 585	0.205	0.183	—	54.0	5	100	—	4,000	820				
	ビチューメン固化体	586φ×883H	≧250	質量II : 90 (39wt%)	0.225	0.21	21.2	0.0	1	20	1.39 (1.33~1.45)	1,140	257				
BNFL	ハル・エンド	800φ×1192H	BWR 1,547 PWR 1,495	BWR 517 PWR 441	0.56	0.50	0.0	13.0	2.3 (側面)	ドラム 115 キャップ 69 合計 184	BWR : 2.72 PWR : 2.62	2,060	1,154				
	遠心分離ケーキスラリー		1,148	254(質量:12kg)						0.0	24.0			ドラム 135 キャップ 69 合計 204	1.78±0.02	1,280	717
	MEDクラッド+塩化リウムスラリー		1,115	320(質量:60kg)						4.1	46.0			合計 204	1.90±0.01	260	146
	スワーフ		1,195	151						0.0	10.0			ドラム 130 キャップ 80 合計 210	1.97	3,200	1,792

- \*1: 廃棄体重量、廃棄物重量、廃棄体容積、容器内容積、マイクロ空隙率、容器厚、容器重量及び固化体密度は、COGEMA/BNFLの仕様書記載値(補足情報、公称諸元)である。
- \*2: COGEMAのハル・エンドキャップ+雑固体(圧縮体)の廃棄体容積は仕様書記載値がないため、容器の外径及び全高から算出した。容器内容積は、COGEMAの気密試験情報に基づく。
- \*3: COGEMAのハル・エンドキャップ+雑固体(圧縮体)のマイクロ空隙率は、各廃棄物(金属)重量と真密度(ジルコイ:6.5, インコル:8.51, ステンレス:7.96g/cm<sup>3</sup>)から算出した。
- \*4: 上部空隙は、(容器内容積 - (廃棄体重量 - 容器重量) / 固化体密度) / 容器内容積から算出した。但し、遠心分離ケーキは空隙率がマイナス値となるため、0.0とした。

TRU核種を含む放射性廃棄物の分類

種類	内容	期間		動力炉・核燃料開発事業団									
		使用	現計画処理	現計画中間貯蔵形態	将来処理候補	将来処理による減容率	種類	処理	中間貯蔵形態	将来処理候補	将来処理による減容率		
低レベル濃縮廃液	低レベル濃縮廃液(1)	NaNO <sub>3</sub> 主成分の液体状廃棄物(αが比較的高い)		乾燥・圧縮成型	200lドラム缶	+セメント充填	0.1	アスファルト固化	200lドラム缶	核種除去・蒸発固化・NaNO <sub>3</sub> 再利用	0.05		
	低レベル濃縮廃液(2)	NaNO <sub>3</sub> 主成分の液体状廃棄物(αが比較的低い)					0.29	アスファルト固化	200lドラム缶	核種除去・蒸発固化・NaNO <sub>3</sub> 再利用	0.05		
廃液	廃液	TBP、ドデカンおよびこれらの劣化物の液体状廃棄物		熱分解・圧縮成型	200lドラム缶	+セメント充填	0.36	プラスチック固化	200lドラム缶	残留分解・水熱固化or熔融固化	0.17		
廃樹脂	廃樹脂	イオン交換樹脂の含水物		未	貯槽内貯蔵	焼却・熔融・セメント充填	可燃α、難燃αと二種処理	未発生につき種類は未定	未発生につき中間貯蔵形態は未定				
ハル・エンドピース	ハル・エンドピース	ジルカロイハル、エンドピース		未	1000lドラム		0.39	未	ハル缶	圧縮	0.25		
	その他	マニピュレーターツボース、ボリ容器、工具類、装置類等											
チャンネルボックス	チャンネルボックス	BWR燃料集合体の前面カバー(主要材質ジルカロイ)		切断	200lドラム缶	+セメント充填	0.24		ハル缶	熔融			
バーナブルボイズン	バーナブルボイズン	ほうろくガラスを内包するステンレス鋼(PWR燃料)		切断	200lドラム缶	+セメント充填	0.26						
複合体廃棄物	低レベル可燃性廃棄物	紙、布、紙、ビニル、ポリエチレン、麻ジャグ等(GB、セル内)		未	角型容器	焼却・熔融・セメント充填	0.1	麻ジャグ その他	未 未	20lポリ容器 ドラム缶	焼却・熔融	0.02 0.01	
	低レベル可燃性廃棄物	塩化ビニル等(GB、セル内)		未	角型容器	熔融・セメント充填	0.1	HEPAフィルタ	未	ドラム缶	焼却・熔融	0.02	
	低レベル不燃性廃棄物	廃薬にともない定期的に発生する雑廃棄物、設備廃材、雑金		未	角型容器	熔融・セメント充填	1.38	その他(金属系)	未	ドラム缶、コンテナ	熔融	0.10	
		塩、ガラス等(GB、セル内)		未	角型容器等	セメント充填		(無機物)				0.10	
	極低レベル可燃性廃棄物	紙、ウエス、紙、ビニル、ポリエチレン、廃油等(GB、セル外)		焼却・圧縮成型	200lドラム缶	+セメント充填	0.01		焼却	ドラム缶	焼却・熔融	0.01	
	極低レベル可燃性廃棄物	ゴム手袋、チューブ、塩化ビニル等(GB、セル外)		圧縮減容	200lドラム缶	焼却・熔融・セメント充填	0.01		未	ドラム缶	焼却・熔融	0.02	
	極低レベル可燃性廃棄物	パイプ、バルブ、フィルタ類等(GB、セル外)	圧縮性	HEPAフィルタ	圧縮減容	200lドラム缶	熔融・セメント充填	0.07	HEPAフィルタ	未	長ドラム缶	焼却・熔融	0.10
	極低レベル可燃性廃棄物	パイプ、バルブ、フィルタ類等(GB、セル外)	非圧縮性	その他	圧縮減容	200lドラム缶	+セメント充填	0.25	その他(金属系)	未	ドラム缶、コンテナ	熔融	0.10
	極低レベル可燃性廃棄物	雑金属、ガラス類等(GB、セル外)		未		200lドラム缶	セメント充填	0.86	(無機物)			0.10	
	極低レベル可燃性廃棄物	使用済性状活性炭のスラリ		脱水	200lドラム缶	+焼却・圧縮成型・セメント充填	0.07	?	焼却	?			
極低レベル可燃性廃棄物	使用済顕微鏡		未	角型容器		0.96		未					
スラッジ	化学スラッジ	(Fe(OH) <sub>3</sub> +CaCO <sub>3</sub> )、炭酸(SiO <sub>2</sub> )											
可燃性α廃棄物(MOX)	燃料加工施設の可燃性廃棄物			未				未	貯槽内貯蔵				
難燃性α廃棄物(MOX)	燃料加工施設の難燃性廃棄物			未				未	貯槽内貯蔵				
不燃性α廃棄物(MOX)	燃料加工施設の不燃性廃棄物			未				未	貯槽内貯蔵				
				未				焼却灰	灰溶解	ドラム缶			
				未				小物金属	金属溶解	ドラム缶			
				未				その他	未	ドラム缶、コンテナ			

TRU核種を含む放射性廃棄物の処理方法と発生量

2. 現状処理技術（中間貯蔵）

廃棄物	生廃棄物 発生量 (m <sup>3</sup> /MTU)	処理方法	減容比	処理後の発生量 (m <sup>3</sup> /MTU)	処理後の発生量 (本/MTU)
低レベル濃縮廃液(1)	2.5E-01	乾燥+圧縮成型	0.09	2.2E-02	2.3E-01
低レベル濃縮廃液(2)	7.3E-01	乾燥+圧縮成型	0.26	1.9E-01	2.0E+00
廃溶媒	5.1E-02	熱分解+圧縮成型	0.41	2.1E-02	1.9E-01
廃樹脂	1.1E-02	未処理	-	1.1E-02	-
ハル・エンドピース	4.0E-01	未処理	1.00	4.0E-01	2.5E+00
チャンネルボックス	2.3E-01	切断	0.51	1.2E-01	6.0E-01
バーナブルポイズン	5.9E-02	切断	0.29	1.7E-02	8.8E-02
低レベル可燃性廃棄物	8.8E-02	未処理	4.95	4.4E-01	5.0E-01
低レベル難燃性廃棄物	2.0E-02	未処理	4.55	9.1E-02	1.0E-01
低レベル不燃性廃棄物	3.3E-01	未処理	5.08	1.7E+00	2.0E+00
極低レベル可燃性廃棄物	3.0E+00	焼却+圧縮成型	0.01	2.2E-02	1.1E-01
極低レベル難燃性廃棄物	3.8E-01	未処理	0.33	1.3E-01	6.4E-01
極低レベル不燃性廃棄物	1.1E-01	未処理	0.26	2.7E-02	1.4E+00
廃活性炭	1.0E-01	未処理	1.25	1.3E-01	6.3E-01
廃銀吸着材	6.0E-03	未処理	6.63	4.0E-02	5.0E-02

TRU核種を含む放射性廃棄物の処理方法と発生量

1. 高減容処理技術

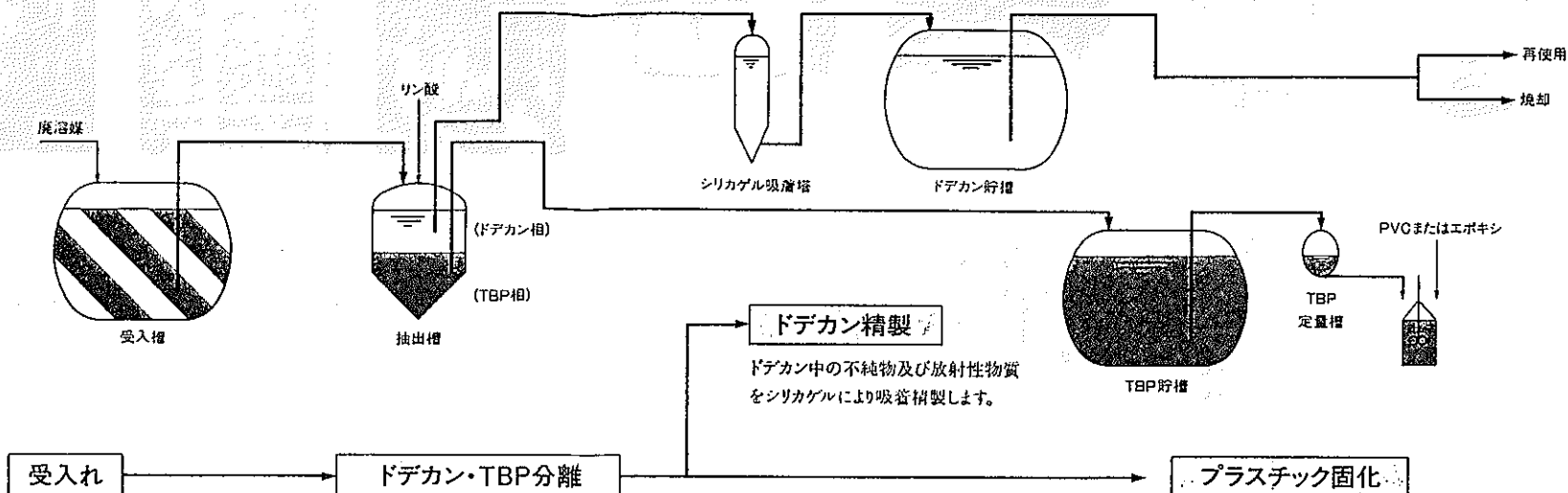
廃棄物	生廃棄物 発生量 (m3/MTU)	処理方法	減容比	処理後の発生量 (m3/MTU)	処理後の発生量 (本/MTU)
低レベル濃縮廃液(1)	2.5E-01	乾燥+圧縮成型(+セメント充填)	0.10	2.5E-02	1.4E-01
低レベル濃縮廃液(2)	7.3E-01	乾燥+圧縮成型(+セメント充填)	0.29	2.1E-01	1.2E+00
廃溶媒	5.1E-02	熱分解+圧縮成型(+セメント充填)	0.36	1.8E-02	1.1E-01
ハル・エンドピース	4.0E-01	(圧縮+セメント充填)	0.39	1.6E-01	5.6E-01
チャンネルボックス	2.3E-01	切断(+セメント充填)	0.24	5.5E-02	5.9E-01
バーナブルポイズン	5.9E-02	切断(+セメント充填)	0.26	1.5E-02	8.8E-02
低レベル可燃性廃棄物	1.2E-01	(焼却+溶融+セメント充填)	0.10	1.2E-02	6.3E-03
低レベル難燃性廃棄物					
廃樹脂					
低レベル不燃性廃棄物	HEPA、小物金属	(溶融+セメント充填)	0.10	1.7E-02	1.4E-01
	機器廃品	(除染+セメント充填)	1.38	1.1E-01	2.0E-02
	機器廃品除染廃液	(セメント混練)	-	-	1.0E-01
	その他	(セメント充填)	-	-	7.4E-02
極低レベル可燃性廃棄物	3.0E+00	焼却+圧縮成型(+セメント充填)	0.01	3.0E-02	1.1E-01
極低レベル難燃性廃棄物	3.8E-01	(焼却+溶融+セメント充填)	0.01	3.8E-03	1.6E-02
極低レベル不燃性廃棄物	HEPA	圧縮(+溶融+セメント充填)	0.07	1.2E-02	6.9E-02
	圧縮性	圧縮(+セメント充填)	0.25	2.2E-01	1.2E+00
	非圧縮性	(セメント充填)	0.86	4.4E-03	2.5E-02
廃活性炭	1.0E-01	(焼却+圧縮成型+セメント充填)	0.07	7.1E-03	4.3E-02
廃銀吸着材	6.0E-03	(解体+セメント混練)	0.96	5.8E-03	4.8E-02

# 廃溶媒処理技術開発施設 主要工程と概念図

## 施設の目的

再処理工場から発生する廃溶媒は、液体廃棄物として一時貯蔵しています。本施設では廃溶媒をより安定な固化体とするため、以下の技術を開発しています。

- ① 廃溶媒をドデカンとTBPに分離し、ドデカンはシリカゲルにより放射性物質を除去して、再処理工場で再使用できるようにします。
- ② 安定な状態で貯蔵するために、TBPはPVCまたはエポキシのいずれかの方法でプラスチック固化体とします。



廃棄物処理場等で一時貯蔵されている廃溶媒を受入れます。

廃溶媒にリン酸を添加し、ドデカンとTBPに分離します。

回収したTBPは、PVCまたはエポキシのいずれかのプラスチック固化体にして貯蔵します。なおプラスチック固化体の品質管理のため、検査工程において固化体表面の硬度を測定します。

### 廃溶媒の代表的な組成

成分	ドデカン	70%
	TBP	30%
放射能	$1.5 \times 10^{10} \text{Bq/m}^3$ (主要核種 Ru)	

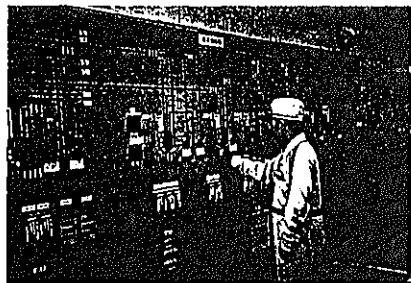
### 分離後の各成分中の不純物濃度

ドデカン (精製後)	TBP 放射能	$< 20 \text{ppm}$ $< 4.0 \times 10^8 \text{Bq/m}^3$
TBP	ドデカン 放射能	10% $1.0 \times 10^9 \text{Bq/m}^3$

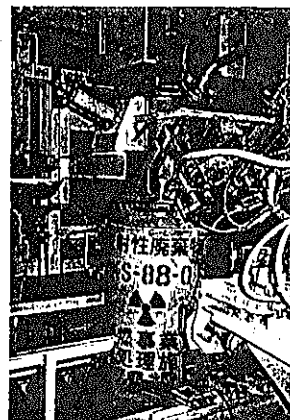
### プラスチック固化体仕様

TBP含有率	50%
固化体質量	120kg
固化体体積	100ℓ
固化体表面硬度	50ショアA

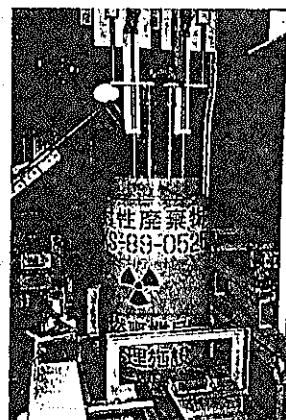
制御室



プラスチック固化工程



プラスチック固化体検査工程

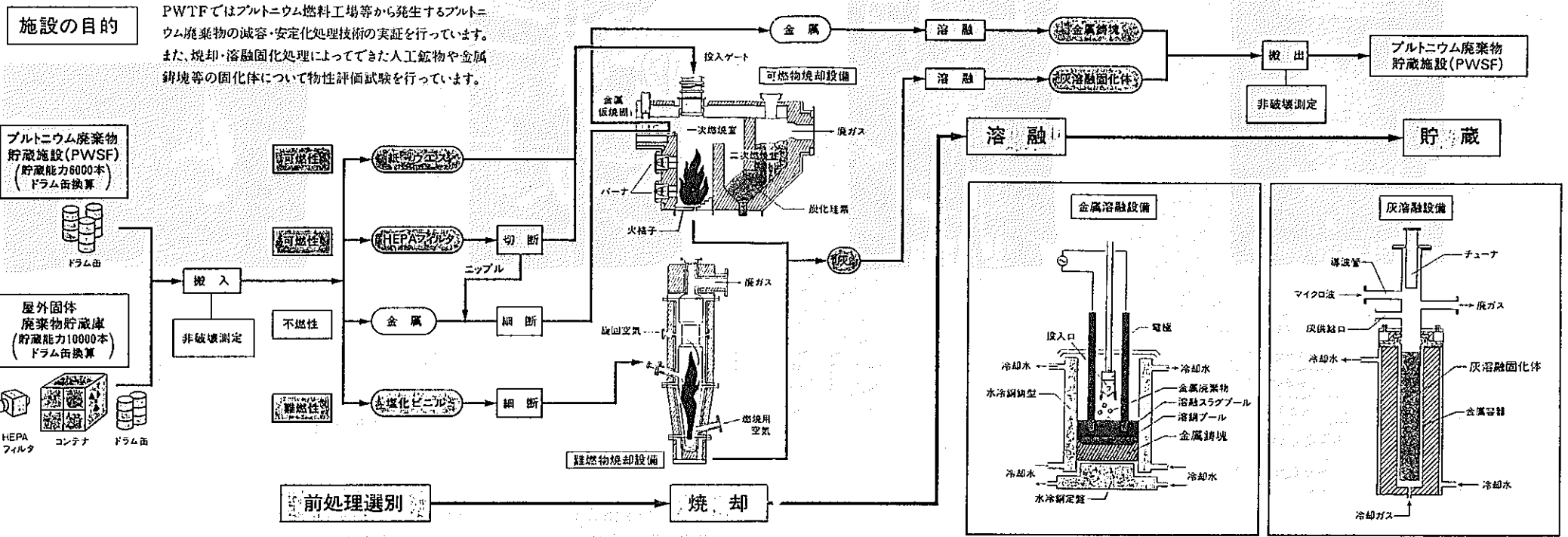


キャッピング工程

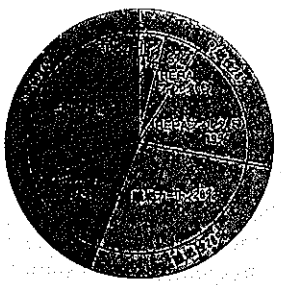




# PWTFにおける廃棄物処理の流れ



プルトニウム廃棄物の発生割合



焼却設備

設備	廃棄物供給形態	焼却方式	処理温度(℃)	処理能力(kg/日)
可燃物焼却設備	袋詰可燃物(2kg/袋)	可動火格子式 焼却炉	一次燃焼室 約800	約200
	HEPAフィルタ切断物 (30cm角以下)		二次燃焼室 約900	
	金属鋤片(5cm以下)		金属鋤塊 約900	
難燃物焼却設備	細断物(5mm以下)	自燃式 サイクロン焼却炉	約800	約30

金属溶融設備

方式	エレクトロslag溶融式
炉構造	水冷式鋼製型
炉容積	約50ℓ
処理対象物	SUS、SS材
処理能力	約100kg/バッチ
投入方法	1.2kg/1.2分
溶融温度	約1800℃

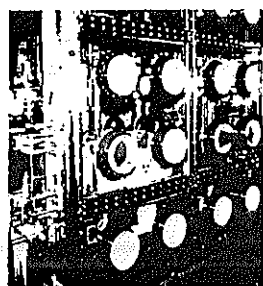
灰溶融設備

方式	マイクロ波加熱式
溶融方式	共振型
マイクロ波周波数	2450MHz
マイクロ波発振器出力	最大10kW
処理能力	約5kg/h
投入方法	連続又はバッチ
溶融温度	約1400℃

固化体仕様

灰溶融固化体	金属鋤塊
内容物	
重量 約25kg	重量 約100kg
体積 約10ℓ	寸法 約380mm×220mm×180mmH
密度 2~3g/cm <sup>3</sup>	密度 約7.8g/cm <sup>3</sup>
金属容器	
材料 SUS 304 5mm <sup>1</sup>	
寸法 φ123mm×170mmH	
重量 約20kg	

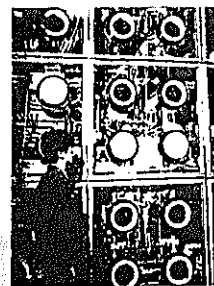
廃棄物搬入・選別



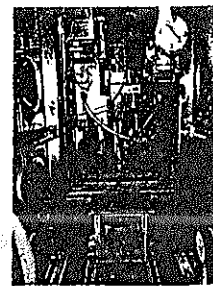
難燃物焼却炉



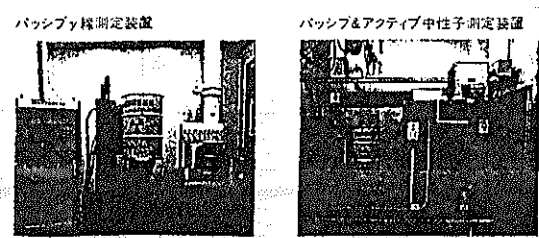
金属溶融炉



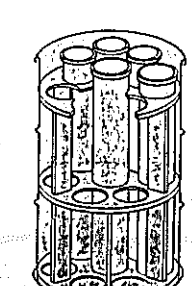
灰溶融炉



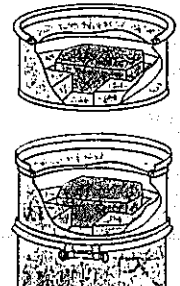
非破壊測定 (NDA)



灰溶融固化体保管形態



金属鋤塊保管形態



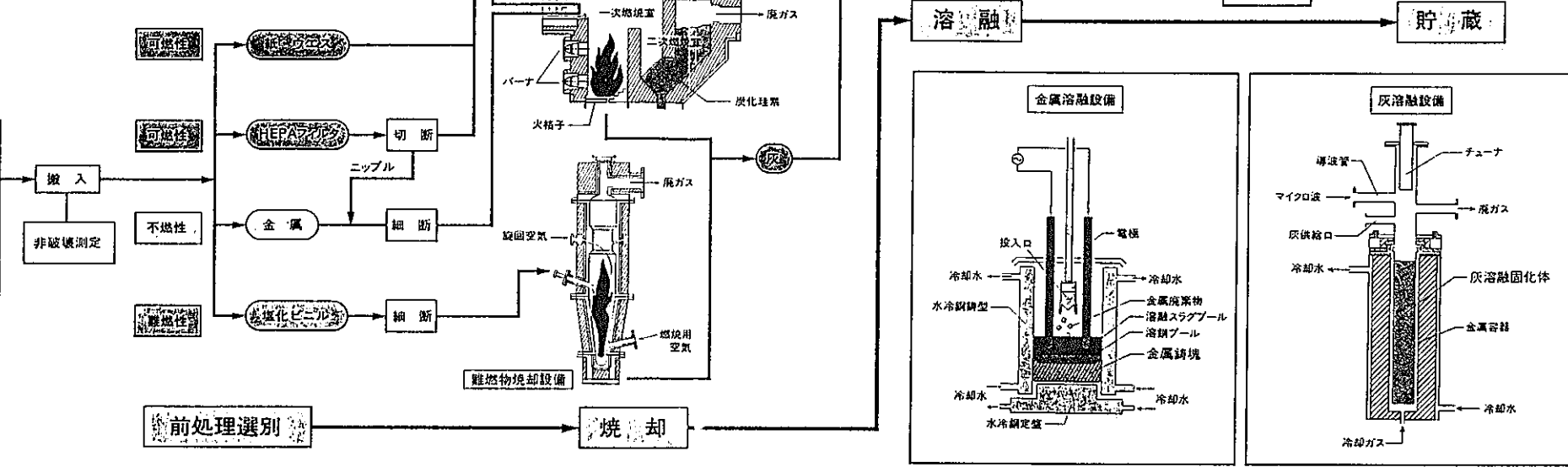
施設の目的

PWTFではプルトニウム燃料工場等から発生するプルトニウム廃棄物の減容・安定化処理技術の実証を行っています。また、焼却・溶融固化処理によってできた人工鉱物や金属鉚塊等の固化体について物性評価試験を行っています。

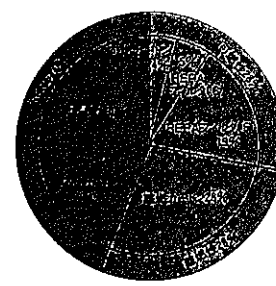
プルトニウム廃棄物貯蔵施設(PWSF)  
貯蔵能力6000本  
(ドラム缶換算)



屋外固体廃棄物貯蔵庫  
貯蔵能力10000本  
(ドラム缶換算)



プルトニウム廃棄物の発生割合



焼却設備

設備	廃棄物供給形態	焼却方式	処理温度(℃)	処理能力(kg/日)
可燃物焼却設備	袋詰可燃物(2kg/袋)	可動火格子式 焼却炉	一次燃焼室 約800	約200
	HEPAフィルター切断物 (30cm角以下)		二次燃焼室 約900	
	金属細片(5cm以下)		金属仮焼塊 約800	
難燃物焼却設備	細断物(5mm以下)	自然式 サイクロン焼却炉	約800	約30

金属溶融設備

方式	電ロスラグ溶融式
炉構造	水冷式鋼構型
炉容積	約50ℓ
処理対象物	SUS、SS材
処理能力	約100kg/バッチ
投入方法	1.2kg/1.2分
溶融温度	約1800℃

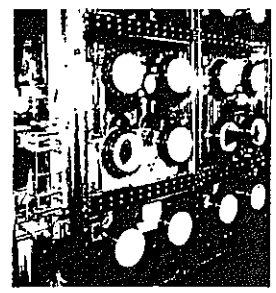
灰溶融設備

方式	マイクロ波加熱式
溶融方式	共振型
マイクロ波周波数	2450MHz
マイクロ波発振器出力	最大10kW
処理能力	約5kg/h
投入方法	連続又はバッチ
溶融温度	約1400℃

固化体仕様

灰溶融固化体	金属鉚塊
内容物	
重量 約25kg	重量 約100kg
体積 約10ℓ	寸法 約380mm×220mm×180mmH
密度 2~3g/cm <sup>3</sup>	密度 約7.8g/cm <sup>3</sup>
金属容器	
材料 SUS 304 5mm <sup>1</sup>	
寸法 φ129mm×770mmH	
重量 約20kg	

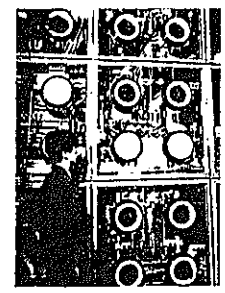
廃棄物搬入・選別



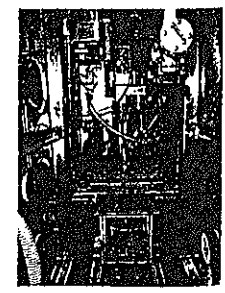
難燃物焼却炉



金属溶融炉



灰溶融炉

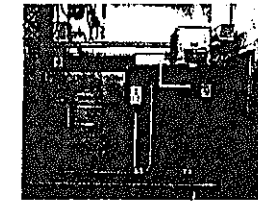


非破壊測定(NDA)

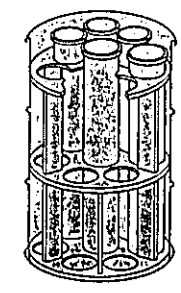
バックシールド測定装置



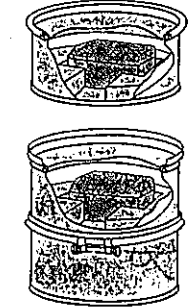
バックシールド&アクティブ中性子測定装置



灰溶融固化体保管形態



金属鉚塊保管形態



## 卷末付録 3

### 発熱特性

返還低レベル廃棄物の廃棄体仕様（仕様書記載値）

		COGEMA		BNFL					
		ハル等圧輸体	低レベル廃液	ハル・エンド		MEDクラフト+MEDパブリシティ		遠心分離ケーキ	スワープ
固 化 体 （ 廃 棄 体 ）	処理方法	圧 縮	ビチューメン固化	セメント充填固化		セメント混練固化		セメント混練固化	セメント充填固化
	固化体組成	ジルカロイ : 382kg インコネル : 19kg ステンレス鋼 : 184kg (内部容器72kgを含む)	乾燥固形分 : 39wt% ビチューメン : 58wt% 界面活性剤 : 1wt% 水 分 : 2wt%	廃棄物量 (wt%) PWR BWR 33.7 38.0		廃棄物混合比率 MEDクラフト MEDパブリシティ 8.5 : 7			
	固型化材料種類	—	80/100ストリート777A1	BFS:OPC = 7:1 水セメント比 : 0.36		BFS:OPC = 10:1 水セメント比 : 0.44		BFS:OPC = 10:1 水セメント比 : 0.35	BFS:OPC = 7:3~9:1 水セメント比 : 0.30~0.37
	重 量(kg/容器)			PWR BWR					
	クラウト 廃棄物 廃棄体	585 685	250	869 845 442 518 1.510 1.562	591 320 1.115		927 17 1.148	834 151 1.200	
	密 度(g/cm <sup>3</sup> )		1.33~1.45 (at25°C)	2.62 2.72	1.90±0.01		1.78±0.02	1.98	
	熱伝導率(W/m°C)		0.21±0.01 (at30°C)	1.6 ~ 1.7			0.71~0.72	2.7	
	熱容量(J/g°C)		1.3 ~ 1.4						
	放射能濃度 (Bq/容器)	total α : 5.3E+11 total β γ : 1.6E+14	80-total α + total β γ ≤ 5.18E+12	1.4E+11 7.0E+10 1.5E+14 6.4E+13	3.6E+08 3.1E+11		3.8E+11 2.3E+11 4.0E+13 3.6E+13	3.2E+11 7.5E+13	
	発熱率(W/容器)	19		21 7	8.2E-02		3.6 3.3	7.2	
線量当量率(Gy/hr)	50	0.75 0.05	16 5.8 1.4 0.42	0.1 0.01		1.5 1.5 0.15 0.12	3.5 0.3		
水素放出率(m <sup>3</sup> /y)			2.1E-04 1.1E-04 8.4E-02 2.8E-02	1.0E-10 3.3E-04		6.8E-04 4.1E-04 1.2E-02 1.2E-02	4.9E-04 2.7E-02 2.3E-02		
容 器	材 質		22 CN 17-12, Z8 CT17	DS 1449 316 S11 (オーステナイト系ステンレス鋼)					
	寸 法(mm)	440φ×1,345H	586φ×883H	800φ×1,192H					
	容 器 厚(mm)		1	2.3					
	内 容 積(L)		210	500					
	外 容 積(L)		225						
	空容器重量(kg)	100	20	130	135	135	130		

卷末付録 4

廃棄体の重量

## ハル・エンドピース廃棄体の重量（空隙充填無し）

### ○キャニスター-SUS 部体積

$$\begin{aligned}
 \text{頂部突起蓋} &: 1/4 \times \pi \times 22^2 \times 1.8 &= 684\text{cm}^3 \\
 \text{頂部突起側部} &: 1/4 \times \pi \times (17^2 - 15^2) \times 4 &= 201\text{cm}^3 \\
 \text{本体上面} &: 1/4 \times \pi \times 43^2 \times 1.1 &= 1,597\text{cm}^3 \\
 \text{本体下面} &: 1/4 \times \pi \times 43^2 \times 0.8 &= 1,162\text{cm}^3 \\
 \text{本体側面} &: 1/4 \times \pi \times (43^2 - 41.8^2) \times 120 &= 9,591\text{cm}^3 \\
 \text{底部スカート} &: 1/4 \times \pi \times (41^2 - 39.8^2) \times 7.4 &= 564\text{cm}^3 \\
 \text{計} &&= 13,799\text{cm}^3
 \end{aligned}$$

### ○キャニスター体積（内部容積含む）

$$\begin{aligned}
 \text{頂部突起蓋} &: 1/4 \times \pi \times 22^2 \times 1.8 &= 684\text{cm}^3 \\
 \text{頂部突起部} &: 1/4 \times \pi \times 17^2 \times 4 &= 908\text{cm}^3 \\
 \text{本体} &: 1/4 \times \pi \times 43^2 \times (120 + 1.1 + 0.8) &= 177,023\text{cm}^3 \\
 \text{底部スカート} &: 1/4 \times \pi \times (41^2 - 39.8^2) \times 7.4 &= 564\text{cm}^3 \\
 \text{計} &&= 179,179\text{cm}^3 (\doteq \underline{180\text{L}, 0.18\text{m}^3})
 \end{aligned}$$

### ○キャニスター重量

キャニスター材質 SUS の密度を  $7.85\text{g/cm}^3$  とする。（RC 示方書における鋼を適用）

$$\therefore W_c = 13,799 \times 7.85 = 108,322\text{g} \quad (108\text{kg})$$

### ○ハル・エンドピース圧縮体重量

ハル圧縮体 1 個あたり約  $57\text{kg}$ 。キャニスター 1 本あたり 13 個収納。

$$\therefore W_h = 57 \times 13 = 741\text{kg}$$

### ○ハル・エンドピース廃棄体重量（空隙充填無し）

ハル圧縮体 1 個あたり約  $57\text{kg}$ 。キャニスター 1 本あたり 13 個収納。

$$\therefore W_{hw} = 108 + 741 = 849\text{kg} \quad (\doteq \underline{850\text{kg}})$$

## ハル・エンドピース廃棄体の重量（空隙充填考慮）

○キャニスター内部体積

$$1/4 \times \pi \times 41.8^2 \times 120 = 164,673 \text{cm}^3$$

○ハル・エンドピース圧縮体体積

ハル圧縮体 1 個あたり  $\phi$  39cm×H9cm。キャニスター1 本あたり 13 個収納。

$$\therefore V_h = 1/4 \times \pi \times 39^2 \times 9 \times 13 = 139,767 \text{cm}^3$$

○空隙体積

$$\therefore V_p = 164,673 - 139,767 = 24,906 \text{cm}^3$$

○空隙充填材重量

充填材としてセメントモルタル、単位体積重量  $2.15 \text{gf/cm}^3$  を考慮。（RC 示方書）

$$\begin{aligned} \therefore W_p &= 24,906 \times 2.15 = 53,548 \text{g} \\ &= 54 \text{kg} \end{aligned}$$

○ハル・エンドピース廃棄体重量（空隙充填考慮）

$$\therefore W_{hw} = 849 + 54 = 903 \text{kg} (\approx 900 \text{kg})$$

## 卷末付録 5

### FEP 内容の詳細



## HLWとの相違点

特になし。

## 他の性能評価レポートでの取り扱い

Kristallin-I (Nagra, 1994)

ベントナイトの飽和やそこでの水理解析については、ニアフィールド内温度の時間的变化を考慮していない (Carnahan, C. C., 1988)。

## 文献リスト

- ・動力炉・核燃料開発事業団 (1992) : 高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書  
—平成3年度—, PNC TN 1410 92-081, p3-52
- ・鹿島建設株式会社 (1996) : TRU廃棄物の処分概念の検討: 熱解析報告書
- ・Nagra (1994) : Kristallin-I: Safety Assessment Report, NTB 93-22E
- ・Carnahan, C. C. (1988) : Theory and calculation of water distribution in bentonite in a thermal field., Sci. Basis Nucl. Waste Manag., XII, pp729-739
- ・Roland Pusch, Harald Håkmark (1992) : Mechanisms and consequences of creep in the nearfield rock of KBS-3 repository, SKB TECHNICAL REPORT 93-10
- ・IAEA (1983) : Effects of Heat from High-level Waste on Performance of Deep Geological Repository Components, IAEA-TECDOC-319, Stockholm
- ・土質工学会編 (1985) : 岩の工学的性質と設計・施工への応用, p22-23

FEP名 ニアフィールド母岩の熱物性

No. H-1.2

キーワード ニアフィールド母岩  
熱物性  
熱膨張係数  
熱伝導率  
比熱

改定日 97.01.24

Version 1

作成者 鹿島

## 内 容

ニアフィールド母岩の熱物性は、処分場の温度を評価する上で重要なパラメータである。ニアフィールド母岩の熱物性としては、熱膨張係数、熱伝導率及び比熱が挙げられる。

## 原 因

NF母岩の温度

「NF母岩の温度」結果参照。

## 結 果

NF母岩の温度

「NF母岩の温度」原因参照。

NF母岩の力学物性

鉱物種の熱膨張係数の差による差別的膨張収縮に起因する機械的風化は、ニアフィールド母岩の力学物性に影響を与える。

NF母岩の鉱物組成・特性

鉱物種の熱膨張係数の差による差別的膨張収縮に起因する機械的風化は、鉱物組成を細粒化し、化学的風化を促進する（土質工学会, 1985）。

ベントナイトの温度

ニアフィールド母岩の熱物性は、発熱性廃棄体に起因するベントナイトの温度変化量に影響する。

セメント系材料の温度

ニアフィールド母岩の熱物性は、発熱性廃棄体に起因するセメント系材料の温度変化量に影響する。

廃棄体の温度

ニアフィールド母岩の熱物性は、発熱性廃棄体に起因する廃棄体の温度変化量に影響する。

## 性能評価上の取り扱い

【想定期間：処分場閉鎖後】

性能評価上、建設・操作中に起こる温度変化は考慮する必要がないと考えられるため、処分場閉鎖後の熱物性が問題となる。現時点では、具体的サイトが特定されていないため、代表的な岩盤に対する代表値あるいは平均値を適用する。

## モデル化に関する記述

H3レポート（動燃事業団, 1992）を参考に、結晶質岩系岩盤には熱伝導率2.9 (W/mK)、比熱0.84 (kJ/kgK) を、堆積岩系岩盤には熱伝導率2.3 (W/mK)、比熱0.84 (kJ/kgK) を適用している。

FEP名 ニアフィールド母岩の温度

No. H-1.1

キーワード ニアフィールド母岩  
温度  
地熱

改定日 97.01.23

Version 1

作成者 鹿島

## 内 容

処分場のニアフィールド母岩は、自然状態において一般に深部に向かうほど高い温度（地熱）を有している。

また、処分場の閉鎖後においては、発熱特性を有する廃棄物から発生する熱が、セメント系材料やベントナイトを介してニアフィールド母岩に伝わるため温度上昇することが考えられている。この影響は、廃棄物から発生する熱が有意となる期間に渡って継続する。

## 原 因

### NF母岩の熱物性

ニアフィールド母岩の熱物性は、発熱性廃棄体に起因するニアフィールド母岩の温度変化量に影響する。

### 処分場レイアウト

岩盤中の任意の位置における温度（地熱）は、一般的に深度に比例すると考えられている。

### 建設・操業・閉鎖

ニアフィールド母岩が掘削され換気されることにより、NF母岩の温度が変化する。

### ベントナイトの熱物性

発熱性廃棄体に起因するニアフィールド母岩の温度変化量は、ベントナイトの熱物性に影響される。

### セメント系材料の熱物性

発熱性廃棄体に起因するニアフィールド母岩の温度変化量は、セメント系材料の熱物性に影響される。

### 廃棄体の温度

ニアフィールド母岩の温度変化量は、廃棄体の温度に影響される。

### 廃棄体の熱物性

発熱性廃棄体に起因するニアフィールド母岩の温度変化量は、廃棄体の熱物性に影響される。

## 結 果

### NF母岩の熱物性

ニアフィールド母岩の熱物性は、温度に依存することが想定される。

### NF母岩の地下水流動

ニアフィールド母岩の温度は、地下水の粘性を変化させるなどして、地下水流動に影響することが想定される。

### NF母岩の応力

温度応力が発生することが考えられる。

### NF母岩の力学物性

ニアフィールド母岩中の温度差による岩石の膨張収縮に起因する機械的風化は、ニアフィールド母岩の力学物性に影響を与える。

### NF母岩のクリープ変形

ニアフィールド母岩の温度は、ニアフィールド母岩のクリープ変形に影響する（R. Pusch et al, 1992）。

<b>NF母岩中の地下水化学</b>
ニアフィールド母岩中における温度変化は、鉱物-水反応や鉱物の変質に影響を与えるため、ニアフィールド母岩中の地下水化学に影響を与える。また、処分場の温度と圧力によっては、地下水が水蒸気化し、体積膨張する恐れがある。
<b>NF母岩の鉱物組成・特性</b>
ニアフィールド母岩中における温度変化は、鉱物-水や鉱物の変質に影響を与え、ニアフィールド母岩の鉱物組成・特性を変化させる。IAEAによれば、岩石の変質温度は150～300℃である（IAEA, 1983）。 温度差による岩石の膨張収縮に起因する機械的風化は、鉱物組成を細粒化し、化学的風化を促進する（土質工学会, 1985）。
<b>NF母岩中の微生物の活動</b>
ニアフィールド母岩中の温度は、微生物によって異なるが、その生息や活動に影響を与える。自然状態の地熱においては、十分生息可能と考えられる。
<b>NF母岩中の核種移行</b>
ニアフィールド母岩中の温度は、収着などの核種移行に影響を与える可能性がある。
<b>NF母岩中のガス移行</b>
ニアフィールド母岩中の温度は、ニアフィールド母岩中のガス移行に影響すると考えられる。
<b>建設・操業・閉鎖</b>
ニアフィールド母岩の温度（地熱）は、建設・操業中の作業環境確保の観点から換気に影響する。
<b>ベントナイトの温度</b>
ベントナイトの温度は、ニアフィールド母岩と廃棄体の温度との相互作用によって決まる。
<b>セメント系材料の温度</b>
セメント系材料の温度は、ニアフィールド母岩と廃棄体の温度との相互作用によって決まる。
<b>廃棄体の温度</b>
ニアフィールド母岩の温度（地熱）は、廃棄体の温度変化に影響する。

## 性能評価上の取り扱い

<b>【想定期間：処分場閉鎖後】</b>
建設・操業中に起こる一時的なニアフィールド母岩の温度変化は、性能評価上考慮する必要がないと考えられる。 処分場閉鎖後、廃棄物から発生する熱が有意な期間及び部分においては、最大温度を考慮する。発熱終了後及び影響が無い部分においては、処分場閉鎖後に到達する定常状態の温度を考慮する。

## モデル化に関する記述

現状ではH3レポートと同様（動燃事業団, 1992）に、地表面の温度を15℃、深度方向に3℃/100mの温度勾配を考慮している。 炉からの取り出し後15年冷却したハル・エンドピース廃棄体を熱源とする廃棄体からニアフィールド母岩までの熱解析を解析コード「ANSYS」により解析した。その結果、ニアフィールド母岩内側の温度は、最高で約240℃（深度700m、大断面岩洞方式（φ30m）、堆積岩系岩盤）、最低で約40℃（深度300m、坑道方式（φ10m）、結晶質岩系岩盤）であった。処分空洞の中心間距離による影響はわずかであった（鹿島建設, 1996）。
---

## HLWとの相違点

特になし。

## 他の性能評価レポートでの取り扱い

### 文献リスト

- ・土質工学会編（1985）：岩の工学的性質と設計・施工への応用，p22-23
- ・動力炉・核燃料開発事業団（1992）：高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書  
－平成3年度－，PNC TN 1410 92-081，p3-52

## FEP名 ニアフィールド母岩の地下水流動

No. H-2.1

キーワード ニアフィールド母岩  
地下水流動

改定日 97.01.24

Version 1

作成者 鹿島

### 内 容

元来、ニアフィールド母岩の地下水流動は、母岩の水理地質構造によって規定されているが、処分場を建設することにより変動する可能性がある。また、ベントナイト中を移行してきたガス圧や地下水の水蒸気拡散によっても影響を受けることが想定される。

### 原 因

#### NF母岩の温度

「NF母岩の温度」結果参照。

#### NF母岩の水理地質構造

ニアフィールド母岩の地下水流動は、母岩の水理地質構造によって規定される。

#### NF母岩の放射線損傷

放射線は原子レベルでニアフィールド母岩の構造に対して損傷をもたらすかもしれない。それゆえ放射線損傷によりニアフィールド母岩が有する低透水性に対して影響を与えることが想定される。

#### NF母岩中のガス移行

金属の腐食や有機物の微生物分解、放射性分解により発生するガスの圧力は、ベントナイトを介してニアフィールド母岩中の地下水流動の潜在的な駆動力になることが考えられる。またハル・エンドピース廃棄体の崩壊熱が有意な期間において、ベントナイトを浸透してきた地下水の蒸発によって二相流を形成することも考えられる。

#### 建設・操業・閉鎖

建設・操業中の止水を目的としたグラウトは、ニアフィールド母岩中の地下水流動を変化させる。

### 結 果

#### 建設・操業・閉鎖

ニアフィールド母岩からの湧水や地山流出といった現象は、グラウトや排水設備などの補助工法に影響する。

#### NF母岩中の核種移行

ニアフィールド母岩の地下水流動は、ニアフィールド母岩中の核種移行に影響する。

#### NF母岩中のコロイド移行

ニアフィールド母岩の地下水流動は、ニアフィールド母岩中のコロイド移行に影響する。しかし深部地下での地下水流速は非常に小さいため、ベントナイトの流出は顕著に起こらないと考えられる（動燃事業団, 1992）。よってニアフィールド母岩中のコロイド移行は有意ではないと考えられる。

#### NF母岩空隙水の溶質の移行

ニアフィールド母岩の地下水流動は、ニアフィールド母岩空隙水の溶質の移行に影響する。

#### ベントナイトの流出

亀裂に侵入したベントナイトのソフトゲルが地下水流によって浸食される可能性がある。しかし深部地下での地下水流速は非常に小さいため、ベントナイトの流出は顕著に起こらないと考えられる（動燃事業

団, 1992)。また、ベントナイトの粒子間力と地下水流速の抗力を比較して、 $10^{-4}$ m/sの流速が臨界値となり、これ以下の流速では浸食の影響は無視できるという報告がある (Pusch, 1983)。

## 性能評価上の取り扱い

【想定期間：】

## モデル化に関する記述

### HLWとの相違点

## 他の性能評価レポートでの取り扱い

## 文献リスト

- ・動力炉・核燃料開発事業団 (1992) : 高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書  
—平成3年度—, PNC TN 1410 92-081
- ・Pusch (1983) : Stability of bentonite gels in crystalline rock - physical aspects, SKBF/SKB TR 83-04

# FEP名 ニアフィールド母岩の水理地質構造

No. H-2.2

キーワード ニアフィールド母岩  
水理地質構造  
多孔質岩盤  
亀裂性岩盤

改定日 97.01.24

Version 1

作成者 鹿島

## 内 容

地下水は岩盤の間隙や亀裂などを媒体として浸透・流動または貯留する。したがって、地下水の水理学的特性を規定、支配するものは岩盤自体の空隙の性質・形態といえる。このような岩盤は、水理学的特性の観点から多孔質岩盤と亀裂性岩盤に大きく分けられる。

多孔質岩盤は、粒状ないし単塊状の固体とこれを取り巻く空隙部分が比較的混在した集合体である。第四紀の未固結層や新第三紀の堆積岩の一部などが多孔質岩盤に分類される。多孔質岩盤は地下水の賦存や流動において、一般的に等方的な性質を示す。ただし、層理面に平行な方向と垂直な方向では、水の流れ易さに多少の違いがあると考えられる。

亀裂性岩盤は、緻密・堅硬であるが節理や断層、破碎帯などの割れ目を有する岩盤で、主に火成岩・変成岩及び古第三紀以前の堆積岩がこれに相当する。岩盤中の割れ目は、岩石の生成時やその後の応力履歴に伴って生じたものである。亀裂性岩盤中の地下水の動きや動水勾配は、割れ目の方向、大きさや分布によって不規則に変化する。(動燃事業団, 1992)

## 原 因

### NF母岩のクリープ変形

ニアフィールド母岩のクリープ変形は、亀裂の開口、破碎部の連結といったニアフィールド母岩の水理地質構造に影響することが予想される。

### 建設・操業・閉鎖

掘削に伴い発生するニアフィールド母岩中の掘削影響領域 (EDZ: Excavation Damaged Zone) やロックボルト挿入のためのせん孔は、亀裂を発生あるいは拡大し、母岩が初期にもっていた水理地質構造に変化をきたす可能性がある。

### ベントナイトの流出

ベントナイトがニアフィールド母岩の亀裂中に侵入し、ニアフィールド母岩の水理地質構造が変化する可能性がある。

## 結 果

### NF母岩の地下水流動

「NF母岩の地下水流動」原因参照。

### 処分場レイアウト

以下に記す水理地質構造を有する地域における処分場建設は、極力避けるべきである。

被圧水を伴った破碎帯は、掘削の際土砂流出を伴った湧水が突然起こったり、長い区間に渡って土砂崩壊を生じたりする。不透水層に覆われた第三紀～第四紀の固結度の低い含水砂礫層や含水火山噴出物といった帯水層は、掘削中崩壊を起こす可能性が大きいとともに、地下水の枯渇や地表沈下を招く恐れがある。温泉地帯は、高温による作業の困難や温泉の枯渇の問題が生じる。(土質工学会, 1985)

### 建設・操業・閉鎖

被圧水を伴った破碎帯を突破するためには特殊工法(迂回坑、水抜きボーリングなど)を必要とし、多大の工費と工期がかかる(土質工学会, 1985)。



#### ベントナイトの流出

ニアフィールド母岩中の亀裂の開口幅や表面粗さが流出に大きく影響することが想定される。亀裂幅が0.1mm程度と小さい場合は、この流出はほとんど起こらないことが報告されている (Pusch, 1983)。

#### 性能評価上の取り扱い

【想定期間：】

#### モデル化に関する記述

##### HLWとの相違点

特になし。

#### 他の性能評価レポートでの取り扱い

#### 文献リスト

- ・動力炉・核燃料開発事業団 (1992) : 高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書  
—平成3年度—、PNC TN 1410 92-081, p2-41
- ・土質工学会編 (1985) : 岩の工学的性質と設計・施工への応用, p383, 387, 394
- ・Pusch (1983) : Stability of bentonite gels in crystalline rock - physical aspects,  
SKBF/SKB TR 83-04

FEP名 ニアフィールド母岩の不飽和

No. H-2.3

キーワード ニアフィールド母岩  
不飽和

改定日 97.01.24

Version 1

作成者 鹿島

## 内 容

深地層処分場のニアフィールド母岩は、地下水面以下に位置すると考えられる。そして、地下水面以下の地盤の間隙は、全てが水で飽和されていると想定される。そのため処分場の建設・操業・閉鎖作業を行うにあたっては、処分場内及びその周辺の母岩をドライアップする必要がある。したがって、この期間、ニアフィールド母岩は、一度不飽和の状態に置かれる。

## 原 因

建設・操業・閉鎖

処分場の建設・操業中において、地下水の排水及び換気が行われることによりニアフィールド母岩は不飽和の状態に置かれる。

## 結 果

NF母岩中のガス（空気）

ニアフィールド母岩が不飽和の状態に置かれることにより、ニアフィールド母岩中に空気を取り込まれる。

## 性能評価上の取り扱い

【想定期間：処分場着工後～再冠水】

## モデル化に関する記述

HLWとの相違点

他の性能評価レポートでの取り扱い

文献リスト

FEP名 ニアフィールド母岩の初期地圧

No. H-3.1

キーワード ニアフィールド母岩  
初期地圧

改定日 97.01.24

Version 1

作成者 鹿島

## 内 容

地下の岩盤に自然の状態で生じている応力を初期地圧と言う。初期地圧は、岩盤内に空洞を掘削した時に周辺岩盤にゆりみや変形を発生させる主たる荷重となる。そのため地下施設の構成要素である空洞の安定性の検討を行うためには、深部岩盤内の初期応力状態を把握する必要がある。鉱山やトンネルなどにおいては初期地圧の測定例があり、最近では地震予知のための測定が実施されているが、まだ、深部での測定データは少ない。

Kanagawaら（1986）は地下数百mまでの実測データから、初期地圧の鉛直成分の大きさはほぼ土被り荷重に等しいこと、水平成分は鉛直成分より大きく偏圧状態になっていることを報告している。

斉藤・石田ら（1988）は同じく地下千数百mまでの実測データから、初期地圧の鉛直成分と土被りの関係は直線近似され、その傾きは実際の岩盤の密度とほぼ一致すること。水平成分と鉛直成分の比（側圧係数）が、深くなるにつれて1以下となる傾向を示すことを報告している。

本島・日比野（1986）は国内の地下発電所建設地点の実測結果から、鉛直成分は土被り圧に相当する値の0.8～1.2倍の値であるとしている。

Hoek and Brown（1982）による諸外国の3,000m程度までの実測データに基づく研究においても同様の傾向が報告されている。（動燃事業団, 1992、鹿島建設, 1993）

## 原 因

### NF母岩の岩盤物性

ニアフィールド母岩の初期地圧は、岩盤の自重や岩盤物性の不均質性に影響される。（鹿島建設, 1993）

### 地質環境

ニアフィールド母岩の初期地圧は、地形、地殻造営運動、地質構造などに影響される。（鹿島建設, 1993）

### 処分場レイアウト

ニアフィールド母岩の初期地圧の鉛直成分は、土被り荷重、すなわち深度に比例する。また、水平成分は、鉛直成分に側圧係数を乗ずることによって算定される。（Kanagawaら, 1986、斉藤ら, 1988）

## 結 果

### NF母岩の応力

ニアフィールド母岩の初期地圧は、岩盤内に空洞を掘削した時に周辺岩盤にゆりみや変形を発生させる主たる荷重となる。

## 性能評価上の取り扱い

### 【想定期間：処分場着工後】

具体的サイトの実測データが得られるまでは、既存の知見に基づいた保守側の設定を行う。

## モデル化に関する記述

現状では空洞の安定性検討にH3レポート（動燃事業団、1992）と同様の弾塑性理論を適用している。弾塑性理論は、等方等圧の初期地圧が作用する場合に適用できる。具体的には、保守側の設定として土被り圧の1.5倍の値が等方等圧に作用するものと仮定している。これは、鉛直成分が土被り圧の0.8~1.2倍に比例し、水平成分が地下深部においては鉛直成分に等しいという報告に基づいている。

## HLWとの相違点

特になし。

## 他の性能評価レポートでの取り扱い

なし。

## 文献リスト

- ・ Kanagawa, T, Hibino, S, Ishida, T, Hayashi, M, Kitahara, Y (1986) : 4. In Situ Stress Measurements in the Japanese Islands : Over-coring Results from a Multi-element Gauge Used at 23
- ・ 斉藤、石田ほか (1988) : 実測結果に基づくわが国の地下岩盤内の初期地圧状態の検討, 土木学会論文集第349号III-9, pp71-78
- ・ 本島、日比野 (1986) : 既設揚水式発電所地下空洞の実績調査と数値解析による安定性検討, 電力中央研究所報告 No. 385041
- ・ Hoek, E. and Brown, E. T. (1982) : Underground Excavations in Rock, the Institution of Mining and Metallurgy, London
- ・ 動力炉・核燃料開発事業団 (1992) : 高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書 -平成3年度-, PNC TN 1410 92-081, pp2-37-38
- ・ 鹿島建設土木設計本部 (1993) : 設計の基本知識 土木設計の要点①, p151

FEP名 ニアフィールド母岩の応力

No. H-3.2

キーワード ニアフィールド母岩  
応力  
二次地圧  
塑性地圧  
ゆるみ圧

改定日 97.01.24

Version 1

作成者 鹿島

## 内 容

ニアフィールド母岩中に空洞を掘削すると、周辺の岩盤に応力の変化（掘削影響領域 EDZ: Excavation Damaged Zone）が起こる。この応力の変化によって生ずる圧力を初期地圧に対し二次地圧といい、発生原因から以下のように分類される（土質工学会, 1985）。

- ・ 塑性地圧：原因－残留応力、活造山運動、潜在応力の解放。  
現象－山はね。空洞周辺の押し出し、崩壊。  
地質－堅岩（亀裂、湧水少）。破碎帯、軟岩、造山帯の岩石。
- ・ ゆるみ圧：原因－掘削、発破、壁面の風化などによる地山のゆるみ。  
現象－天井圧、側圧、崩落。  
地質－亀裂のほとんどない堅岩を除く岩石。
- ・ 膨張圧：原因－岩石の物理・化学的变化、沈下、先行荷重の解放。  
現象－空洞周辺の押し出し。  
地質－膨潤性粘土鉱物を含む岩石（蛇紋岩、泥岩、凝灰岩、温泉余土など）
- ・ 偏 圧：原因－傾斜破碎帯や傾斜層理面。地山の部分的膨張。併設空洞、切取り発破、地震など。  
現象－支保工、覆工の変状、崩壊、押し出し。  
地質－地質状態が非対称。破碎帯、膨潤性粘土鉱物を含む岩石。

## 原 因

### NF母岩の温度

「NF母岩の温度」結果参照。

### NF母岩の初期地圧

「NF母岩の初期地圧」結果参照。

### NF母岩の力学物性

ニアフィールド母岩の応力に影響する力学物性としては、密度、弾性係数、ポアソン比、せん断強度、内部摩擦角、引張強度などがある。

### NF母岩中のガス移行

ガスが蓄圧した場合、ニアフィールド母岩の応力は影響を受ける。また、ニアフィールド母岩中を移行する際に亀裂が発生する可能性がある。

### 地質環境

ニアフィールド母岩の応力変化により発生する地圧は、地質状態（堅岩、軟岩、破碎帯など）に影響される。

### 処分場レイアウト

ニアフィールド母岩に発生する応力は、空洞形状に影響される。

### 建設・操業・閉鎖

掘削によってニアフィールド母岩中の初期地圧が解放され、応力の再分配が行われる。応力の再分配の結

果、地山強度を超過した場合、塑性地圧が発生する。また、塑性地圧が発生しなくても掘削、発破や岩石の風化などによってゆるみ圧が発生する。併設空洞の距離が近い場合には、偏圧が発生する。

ニアフィールド母岩中に挿入されたロックボルトが腐食膨張し、母岩中の応力状態を変化させる可能性がある。

ベントナイトの応力

ベントナイトの応力がニアフィールド母岩に作用する。特に、ベントナイトの膨潤に伴う膨潤圧の作用が考えられる。

## 結 果

NF母岩のクリープ変形

ニアフィールド母岩の応力は、ニアフィールド母岩のクリープ変形に影響する。

処分場レイアウト

処分場の深度や空洞形状の決定は、ニアフィールド母岩に発生する応力を考慮して行われる。

建設・操業・閉鎖

ニアフィールド母岩中に発生する塑性地圧やゆるみ地圧は、掘削方法や支保工の選定に影響を与える。

ベントナイトの応力

ニアフィールド母岩の応力がベントナイトに作用する。ただし、処分空洞が完全に自立している場合は、ニアフィールド母岩からベントナイトに応力が伝達されることはない。

## 性能評価上の取り扱い

【想定期間：処分場着工後】

ニアフィールド母岩の応力は、岩盤自体で空洞の安定を保つことができるレベルに抑える。

## モデル化に関する記述

力学的な計算に基づくニアフィールド母岩の応力算定方法は、大きく理論解析法と数値解析法に分類される。現状においては理論解析法のうち、H3レポート（動燃事業団、1992）と同様のモール・クーロンの破壊規準を用いた弾塑性理論（岡、1977）を適用している。この理論解析法は、他のそれと比較して様々な地山挙動（ひずみ軟化）に対する壁面変位・塑性域が評価できる特徴を有している。

しかし弾塑性理論は等方等圧の一様地盤中に円孔を開けた場合の解析であり、実設計における適用には限界がある。空洞断面形状、初期地圧の異方性、岩盤物性の不均質性、不連続面、掘削手順、支保効果を定量的に把握するためには、有限要素法（FEM）、境界要素法（BEM）、個別要素法（DEM）、離散化極限解析法（RBSM）による数値解析が有効である。現時点においては有限要素法による掘削解析が最もよく用いられており、過去の適用実績が多いことから結果に対する信頼性も高いといえる（鹿島建設、1993）。

## HLWとの相違点

TRU廃棄物処分場は、HLWで考えられている空洞より大きくなる。したがって、処分空洞周辺の岩盤物性が不均質となる可能性がある。

## 他の性能評価レポートでの取り扱い

## 文献リスト

- ・土質工学会編（1985）：岩の工学的性質と設計・施工への応用，p411

- ・動力炉・核燃料開発事業団（1992）：高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書  
－平成3年度－，PNC TN 1410 92-081，p2-45
- ・岡行俊（1977）：NATNにおける支保理論，施工技術 Vol.10 No.11，pp6-12
- ・鹿島建設土木設計本部（1993）：設計の基本知識 土木設計の要点①，pp30-31

## FEP名 ニアフィールド母岩の力学物性

No. H-3.3

キーワード ニアフィールド母岩  
力学物性  
密度  
弾性係数  
ポアソン比

改定日 97.01.24

Version 1

作成者 鹿島

### 内 容

ニアフィールド母岩の力学物性としては、密度、弾性係数、ポアソン比、せん断強度、内部摩擦角、一軸圧縮強度、引張強度、クリープ係数などがある。

また、温度差による岩石の膨張収縮や鉱物種の熱膨張係数の差による差別的膨張収縮により機械的風化が起こる。機械的風化は、岩石が化学的变化を伴わずに細粒化される過程であり、細粒化されることにより化学的風化が促進される（土質工学会, 1985）。このような風化作用が生じることによりニアフィールド母岩の力学物性は、変化する。

### 原 因

#### NF母岩の温度

「NF母岩の温度」結果参照。

#### NF母岩の熱物性

「NF母岩の熱物性」結果参照。

#### NF母岩の鉱物組成・特性

風化などによるニアフィールド母岩の鉱物組成・特性の変化は、ニアフィールド母岩の力学物性に影響を与える。

### 結 果

#### NF母岩の初期地圧

「NF母岩の初期地圧」原因参照。

#### NF母岩の応力

「NF母岩の応力」原因参照。

#### NF母岩のクリープ変形

ニアフィールド母岩の力学物性のうち、クリープ係数はニアフィールド母岩のクリープ変形に影響する。

#### 建設・操業・閉鎖

ニアフィールド母岩の力学特性は、掘削方法や支保工の選定に影響を与える。

### 性能評価上の取り扱い

【想定期間：処分場着工後】

具体的サイトの実測データが得られるまでは、既存の知見に基づいた保守側の設定を行う。



## モデル化に関する記述

現在のところ密度、弾性係数、ポアソン比、せん断強度、内部摩擦角については、H3レポート（動燃事業団、1992）と同様の値を設定している。同レポートでは、結晶質岩系岩盤としては日本に広く分布する花崗岩を、堆積岩系岩盤としては第三紀の堆積岩を代表的な岩種とし、いくつかの実測例を参考にして、結晶質岩系岩盤については2種類の物性を、堆積岩系岩盤については岩盤強度が小さく、支保工が重要なことから3種類の物性を検討用に設定している。一軸圧縮強度、引張強度については、土屋（1986）によりせん断強度及び内部摩擦角から推定する方法が提案されている。クリープ係数については、地下発電所の安定解析において設定された例がある（電力土木技術協会、1986）が、耐用年数の違いからせいぜい数年で収束し、クリープひずみ量は最大でも弾性ひずみの2倍である。TRU廃棄物処分場に要求されるような長期挙動を記述できるデータは取得されていないのが現状であり、今後の課題である。

## HLWとの相違点

HLWより大きな断面を有する処分空洞となることが想定されるため、周辺岩盤の不均質性を考慮する必要がある。

## 他の性能評価レポートでの取り扱い

### 文献リスト

- ・土質工学会編（1985）：岩の工学的性質と設計・施工への応用，pp22-23
- ・動力炉・核燃料開発事業団（1992）：高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書  
－平成3年度－，PNC TN 1410 92-081，p3-44
- ・土屋敏（1986）：ロックボルト・吹付けコンクリートトンネル工法の設計に関する研究
- ・電力土木技術協会編（1986）：電力施設地下構造物の設計と施工，p398

FEP名	ニアフィールド母岩のクリープ変形	No.	H-3.4
キーワード	ニアフィールド母岩 クリープ変形 粘弾性 粘弾塑性	改定日	97.01.24
		Version	1
		作成者	鹿島

**内 容**

クリープは、応力を瞬間的に与えそれを長期間一定に保った時、瞬間的には弾性ひずみを生ずるが、時間の経過とともにひずみが増大する粘性的な現象である。しかしながら、一般土木構造物の耐用年数（50年程度）を越える岩盤のクリープ現象については、未だ不明な点が残されている。

**原 因**

NF母岩の温度	「NF母岩の温度」結果参照。
NF母岩の応力	「NF母岩の応力」結果参照。
NF母岩の力学物性	「NF母岩の力学物性」結果参照。
ベントナイトの応力	ニアフィールド母岩のクリープ変形は、ベントナイトの応力と釣り合い収束することが考えられる。
ベントナイトの流出	ニアフィールド母岩のクリープは、ベントナイトのニアフィールド母岩への流出に伴う密度低下により、促進される可能性がある。
セメント系材料の体積変化	ニアフィールド母岩のクリープは、セメント系材料の成分溶解に伴う体積減少により、促進される可能性がある。
廃棄体の体積変化	ニアフィールド母岩のクリープは、廃棄体の空隙や成分溶解に伴う体積減少により、促進される可能性がある。

**結 果**

NF母岩の水理地質構造	「NF母岩の水理地質構造」原因参照。
ベントナイトの応力	ニアフィールド母岩のクリープ変形により処分空洞が徐々に極小化することを仮定した場合、ベントナイトは圧縮力を受け、圧密することが考えられる。

**性能評価上の取り扱い**

【想定期間：処分場着工後】  
ニアフィールド母岩のクリープ変形は、処分空洞内部に存在する種々の材料と力学的に釣り合うまで進行す

ると予想される。この時、人工バリアや廃棄体には相当大きな圧力が作用し、健全性が損なわれる可能性がある。したがって性能評価上、重要な課題と考えられる。しかしながら、これまでのところ評価に適用すべきモデルやデータが明確化しておらず、実際にどの程度人工バリアに影響を及ぼすか検討されていない。

## モデル化に関する記述

岩盤のクリープ変形を記述するモデルとしてMaxwell、Kelvin/Voigt、サブナン、ビンガム、Burgerなどの粘弾性モデルが提案されている（土質工学会, 1985）。しかし、これらのモデルは比較的耐用年数の少ない一般土木構造物を対象としているため、TRU廃棄物処分場で想定されるような長期への適用にあたっては検討の余地がある。また、人工バリアや廃棄体への影響を評価する場合、ニアフィールド母岩のみの構成モデルを考えて解析的に予測しても意味が無く、人工バリアや廃棄体とニアフィールド母岩の相互作用を考慮しなければならない（鹿島建設, 1995）。

## HLWとの相違点

HLWより大きな断面を有する処分空洞となることが想定されるため、周辺岩盤の不均質性を考慮できるモデルにする必要がある。

## 他の性能評価レポートでの取り扱い

### 文献リスト

- ・Roland Pusch, Harald Håkmark (1992) : Mechanisms and consequences of creep in the nearfield rock of KBS-3 repository, SKB TECHNICAL REPORT 93-10
- ・土質工学会編（1985）：岩の工学的性質と設計・施工への応用, pp211-218
- ・鹿島建設株式会社（1995）：TRU廃棄物処分システムにおける人工バリアの長期力学挙動の研究, PNC ZJ1100 95-004, p4-1

FEP名 地質環境

No. H-7.1

キーワード 地質環境  
活断層  
破碎帯  
褶曲帯  
膨張性岩石

改定日 97.01.23

Version 1

作成者 鹿島

## 内容

このFEPには、活断層、破碎帯幅の広い断層や褶曲帯及び膨張性岩石といった処分場建設地点周辺の地質環境に関する内容を包含する。

## 原因

## 結果

NF母岩の初期地圧

「NF母岩の初期地圧」原因参照。

NF母岩の応力

「NF母岩の応力」原因参照。

処分場レイアウト

以下に記す地質環境（土質工学会, 1985）を有する地域における処分場建設は、極力避けるべきである。  
活断層は、地震の原因になるほか、地震を伴わなくても徐々に動くものもある。破碎帯幅の広い断層や褶曲帯は、工費・工期の増大をきたし、特殊工法を必要とする。膨張性岩石は、掘削中はもちろんのこと完成後も問題を残す。火山帯は、高温による作業の困難が生じる。

## 性能評価上の取り扱い

【想定期間：処分場計画・設計開始後】

地質環境は、直接的に性能評価へ影響しない。

## モデル化に関する記述

特になし。

## HLWとの相違点

特になし。

## 他の性能評価レポートでの取り扱い

## 文献リスト

・土質工学会編（1985）：岩の工学的性質と設計・施工への応用，p380-381，385，394

FEP名 処分場レイアウト

No. H-7.2

キーワード 処分場  
レイアウト  
位置  
処分深度  
空洞形状

改定日 97.01.23

Version 1

作成者 鹿島

## 内 容

現状、処分場サイトに関しては限定されていない。現在、唯一示されているものは、「アルファ核種の放射能濃度が比較的高い放射性廃棄物の処分に当たっては、人工バリア等が高度化された処分や地層処分等の浅地中処分以外の処分方法が適切と考えられる。」（原子力委員会, 1991）ということだけである。

このFEPには、位置、処分深度及び空洞形状といった処分場の計画・設計に関する内容を包含する。

## 原 因

NF母岩の応力

「NF母岩の応力」結果参照。

NF母岩の水理地質構造

「NF母岩の水理地質構造」結果参照。

地質環境

「地質環境」結果参照。

ベントナイトの熱物性

発熱を有する廃棄体を処分する場合、ベントナイトが温度上昇により熱変質しない程度の埋設密度や処分空洞の離間距離が要求される。

## 結 果

NF母岩の温度

「NF母岩の温度」原因参照。

NF母岩の初期地圧

「NF母岩の初期地圧」原因参照。

NF母岩の応力

「NF母岩の応力」原因参照。

## 性能評価上の取り扱い

【想定期間：処分場計画・設計開始後】

処分場レイアウトは、直接的に性能評価へ影響しない。

## モデル化に関する記述

平成3年度の高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発（動燃事業団, 1992）で適用された空洞安定解析手法（理論解析法）及び岩盤物性値を用い、岩盤自体で空洞の安定を保つことを条件として、結晶質岩系岩盤及び堆積岩系岩盤に対する掘削可能径の評価を実施した（三原他, 1996）。処分深度については海外の研究事例を参考に、深度300m、700mを設定した。大断面空洞の建設という観点から直径10m未満を「成立せず」と評価した。軟岩の部類に入る堆積岩系岩盤では大空洞の建設が困難な場合もあるが、比較的強度の高い結晶質岩系岩盤では成立の見通しを得た。

## HLWとの相違点

位置は、TRU廃棄物と同様に未決定である。

処分深度に関しても「地下数100メートルより深い地層中に処分する」とだけ記されており、具体的数値の決定には至っていない。しかし、空洞安定解析においては300m、500m、1,000m、また熱解析においては500m、1,000mとパラメトリックに取り扱っている。

処分空洞の形状は、結晶質系岩盤の場合、坑道横置方式では内径3.0mの円形、また処分孔縦置方式では高さ5.0mの幌型処分坑道に直径1.7mの処分孔を併設している。堆積岩系岩盤の場合、内径3.0mの坑道横置方式のみを提案している。（動燃事業団, 1992）

## 他の性能評価レポートでの取り扱い

### 文献リスト

- ・原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会（1991）：TRU核種を含む放射性廃棄物の処理処分について、p9
- ・動力炉・核燃料開発事業団（1992）：高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書  
—平成3年度—、PNC TN 1410 92-081, p3-47, 49, 57, pp3-44~46
- ・三原守弘他（1996）：TRU廃棄物処分研究の現状、地層処分研究開発レポート I-96-6-009, p31

FEP名 建設・操業・閉鎖

No. H-7.3

キーワード 建設  
操業  
閉鎖  
掘削  
支保工

改定日 97.01.23

Version 1

作成者 鹿島

## 内 容

- ① 建設：建設には、掘削、支保工、グラウト、排水、換気といった内容が含まれる。地下施設の施工手順として、次の順序を設定した。アクセス坑道（立坑） → 主要坑道及び換気坑道 → 連絡坑道 → 処分空洞 → 人工バリア（ベントナイト及びコンクリートピット）。坑道及び空洞の掘削には施工性及び経済性を考慮し、極力地山を傷めない制御発破を用い、支保・覆工には吹付コンクリートとロックボルトによるNATM工法を考えた。ベントナイト及びコンクリートピットの施工は、まず底部ベントナイトを設置し、次にピット底版を構築する。その後は、数m間隔でピット側壁と側部ベントナイトを順次立ち上げていくものとする。また、ピット覆い及び頂部ベントナイトの施工は、廃棄体の定置完了後行うこととした。
- ② 操業：廃棄体は、放射線の遮へい及び定置時の安定性の観点等からコンクリート製のコンテナに収納し、搬送・定置する。地上施設において検査が終了した廃棄体は、4本一組としてコンテナに収納する。コンテナは2個一組として搬送台車に乗せ、搬送台車ごと廃棄体搬送用立坑エレベータにより地下空間に下ろす。処分空洞までの搬送は、搬送台車に牽引車を連結し移送する。処分空洞内での搬送・定置作業は、天井クレーンにより行う。
- ③ 閉鎖：地下空間の閉鎖は、埋戻し、プラグ、グラウトの3つの要素技術から構成されるとした。埋戻しは、空洞部を充填することにより周辺岩盤部と同等、またはそれ以上の難透水性の確保を目的とする。候補材料としては、掘削ズリを利用したベントナイト混合土が挙げられる。プラグは、充填物が周辺の岩盤と十分に適合するまで、充填物の移動・流出を防護するとともに、空洞周辺のゆるみ域が水みちになることを防止する。グラウトは、空洞建設時に傷めた部分の修復、プラグの設置地点の周辺岩盤の補強等の目的を有する。

## 原 因

NF母岩の温度	「NF母岩の温度」結果参照。
NF母岩の地下水流動	「NF母岩の地下水流動」結果参照。
NF母岩の水理地質構造	「NF母岩の水理地質構造」結果参照。
NF母岩の応力	「NF母岩の応力」結果参照。
NF母岩の力学物性	「NF母岩の力学物性」結果参照。
NF母岩中の地下水化学	地下環境の温度、圧力が変化することにより、地下水中に溶解していた成分が気化する可能性がある。有毒ガス、可燃性ガスが出る場合には、適当なガス検知器を用いて測定し、状況に応じて換気の強化、火気禁止、入坑禁止などの処置を講ずる必要がある。
NF母岩中のガス（空気）	地下に送気した空気中の酸素がニアフィールド母岩中の地下水に溶解し、酸欠になる可能性がある。
ベントナイトの力学物性	ベントナイトの力学特性のうち密度は、締固めにおける施工機械や工法の選定に影響する。また、ベントナイトをブロックで施工する場合には、ブロック形状の決定に影響する。

<p><b>廃棄体の温度</b></p> <p>廃棄体の温度は、操業時における作業員の安全確保の観点より搬送方法に影響する。また機器に悪影響を及ぼすかもしれない。</p>
<p><b>廃棄体の応力</b></p> <p>廃棄体に発生する応力は、俵積みにするかコンテナを使用するかといった定置方法に影響する。</p>
<p><b>廃棄体中での放射性崩壊</b></p> <p>廃棄体の表面線量は、操業時における作業員の被ばく防止の観点より搬送方法に影響する。法規制を遵守する必要がある。また機器に悪影響を及ぼすかもしれない。</p>

## 結 果

<p><b>NF母岩の温度</b></p> <p>「NF母岩の温度」原因参照。</p>
<p><b>NF母岩の地下水流動</b></p> <p>「NF母岩の地下水流動」原因参照。</p>
<p><b>NF母岩の水理地質構造</b></p> <p>「NF母岩の水理地質構造」原因参照。</p>
<p><b>NF母岩の応力</b></p> <p>「NF母岩の応力」原因参照。</p>
<p><b>NF母岩の不飽和</b></p> <p>「NF母岩の不飽和」原因参照。</p>
<p><b>NF母岩中の地下水化学</b></p> <p>以下に示す事項は、ニアフィールド母岩中の地下水化学に影響する可能性がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・発破掘削時に発生する後ガス (CO, NO<sub>x</sub>)</li> <li>・亀裂へのグラウトやロックボルト充填材、吹付けコンクリートなどのセメント系材料</li> <li>・建設・操業期間中において、処分場内に残置された油などの材料</li> </ul>
<p><b>NF母岩中のガス（空気）</b></p> <p>処分場の建設・操業期間中において、坑道からニアフィールド母岩中に空気が自由に供給される。 ロックボルト挿入のためのせん孔は、ニアフィールド母岩と空気の接触面を拡大する。</p>
<p><b>NF母岩中の微生物の活動</b></p> <p>処分場の建設・操業期間中において、地上からニアフィールド母岩中に微生物が持ち込まれる可能性がある。また、建設・操業期間中において、処分場内に残置された油などは、微生物の活動に影響する可能性がある。</p>
<p><b>NF母岩中の有機物</b></p> <p>建設・操業期間中において、処分場内に油などの有機物が残置される可能性がある。</p>
<p><b>NF母岩中の水素ガス等発生</b></p> <p>ニアフィールド母岩中に挿入されたロックボルトが嫌気性腐食することにより水素ガスが発生する。</p>
<p><b>NF母岩中の核種移行</b></p> <p>亀裂へのグラウトやロックボルト充填材、吹付けコンクリートなどのセメント系材料中に添加される有機系混和材料は、ニアフィールド母岩の取着特性を低下させる可能性がある。</p>



#### NF母岩中のコロイド移行

実際の岩の亀裂開口部は一般に亀裂充填物で占有されており、さもなければグラウト注入されることが想定される。よってニアフィールド母岩中のコロイド移行は有意ではないと考えられる。

#### NF母岩中のガス移行

埋戻された立坑は、ガス移行経路となる可能性がある。

#### ベントナイトの流出

実際の岩の亀裂開口部は一般に亀裂充填物で占有されており、さもなければグラウト注入されることが想定される。よってベントナイトの流出が抑制される。

#### ベントナイト中のガス（空気）

建設・操業・閉鎖中のベントナイトは不飽和であり、間隙中には空気が含まれている。

#### ベントナイト中の有機物

建設・操業期間中において、ベントナイト中に油などの有機物が残置される可能性がある。

#### セメント系材料中のガス（空気）

セメント系材料中には、自然（エントラップトエア）に、あるいは性質を改善するため（エントレインドエア）に空気が連行される。一般的なコンクリートの場合、4～5vol.%の空気が連行されている。

#### セメント系材料中の有機物

セメント系材料には、その性質を改善や変更するために混和剤が添加される。混和剤には有機物系のものがある。

### 性能評価上の取り扱い

#### 【想定期間：処分場着工後】

建設・操業・閉鎖は、直接的に性能評価へ影響しない。

### モデル化に関する記述

特になし。

### HLWとの相違点

処分孔堅置方式の場合はスムーズプラスティングによる発破工法、坑道横置方式の場合は特に高い仕上がり精度が要求されること、また周辺岩盤への影響を最小限とすることからTBM工法の採用が考えられる（動燃事業団, 1992）。

### 他の性能評価レポートでの取り扱い

### 文献リスト

- ・動力炉・核燃料開発事業団（1992）：高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書  
—平成3年度—, PNC TN 1410 92-081, p3-61

FEP名 ベントナイトの温度

No. B-1.1

キーワード ベントナイト  
温度

改定日 97.01.24

Version 1

作成者 鹿島

## 内 容

ベントナイトの温度、特にその最高温度は、処分場を設計する際の重要な条件のひとつであり、これによって処分場の規模が決まる。ベントナイトの温度は、廃棄体とニアフィールド母岩の温度との相互作用によって決まる。ベントナイトの温度は、ベントナイトの多くの性質（機械的、物理/化学的、核種移行など）に影響を及ぼすことが想定される。

## 原 因

### NF母岩の温度

「NF母岩の温度」結果参照。

### NF母岩の熱物性

「NF母岩の熱物性」結果参照。

### ベントナイトの熱物性

ベントナイトの熱物性は、発熱性廃棄体に起因するベントナイトの温度変化量に影響する。  
熱解析を行う際に、熱物性の変化を考慮する必要がある。しかし、浸潤に伴う熱伝導率の変化を無視して乾燥状態での熱物性を用いることにより保守的な熱解析を行うことができる。

### セメント系材料の熱物性

セメント系材料の熱物性は、発熱性廃棄体に起因するベントナイトの温度変化量に影響する。

### 廃棄体の温度

廃棄体の温度変化に伴いベントナイトの温度が変化する。

### 廃棄体の熱物性

廃棄体の熱物性は、発熱性廃棄体に起因するベントナイトの温度変化量に影響する。

## 結 果

### 処分場レイアウト

「処分場レイアウト」原因参照。

### ベントナイトの熱物性

ベントナイトの熱物性は、温度に依存することが想定される。  
100℃以下では、ベントナイト(Na型)の熱電導率への温度の影響は小さいことが確認されている(藤田ほか, 1992)。その他の熱物性についても影響は小さいと予想される。

### ベントナイトの熱膨張

ベントナイトの温度が上昇することによりベントナイトが熱膨張する。また、温度の上昇によりベントナイトが乾燥収縮する場合は、この熱膨張量に影響することが考えられる。

ベントナイトの線膨張係数(茂呂, 1994)により熱応力を評価する。また、ベントナイトの乾燥収縮量を実験的に把握する必要がある(Kanno et al., 1993)。

### ベントナイトの冠水

ベントナイト中の温度勾配より水分移動が起こり、冠水特性が変化する。

Philip-de Vries型のモデルによりベントナイト中の温度勾配による水分移動現象を評価することが必要であると考えられる (Kanno et al., 1996)。
<b>ベントナイトの水利特性</b> ベントナイトの水利特性は、温度に依存する。したがって、透水性を表す物性パラメータ (透水係数、水分拡散係数等) の温度依存性 (Kanno et al., 1994、竹内ほか, 1995) を定量的に検討する必要がある。
<b>ベントナイトの膨潤</b> ベントナイトの膨潤状態は、温度に依存する。したがって、膨潤状態 (膨潤圧、膨潤量) に及ぼす温度の影響を把握する必要がある。ただし、この影響はあまり大きくないと考えられる。
<b>ベントナイトの力学物性</b> ベントナイトの力学特性は温度に依存することが想定される。したがって、温度をパラメータとしたベントナイトの力学試験を行う必要がある。ただし、この影響はあまり大きくないと考えられる。
<b>ベントナイト空隙水の化学</b> ベントナイトの温度変化は、鉱物-水反応に影響を与えるため、ベントナイト空隙水の化学に影響を与える可能性がある。したがって、地熱や発熱性廃棄体による温度上昇を考慮した熱力学データを整備する必要がある。
<b>ベントナイトの鉱物組成・特性</b> ベントナイトの温度は、鉱物-水反応やイライト化 (柴田ら, 1992)、シカメンテーション等の鉱物変質に影響を与える。約100°C以下ではイライト化は顕著ではなく、進行は非常に遅い (Anderson, 1984、Weaver, 1989)。シカメンテーションは、イライト化に伴って観察されることが多く、また石英、SiO <sub>2</sub> の溶解よっても起こりうる (Pusch, 1983、Johnston他, 1985)。前者は顕著ではなく、後者は約100°C以下では影響が小さいと考えられている。また高温かつ高pHの条件では、ベントナイトのイライト化が進行するとの報告がある (動燃事業団, 1994)。
<b>ベントナイト中の微生物の活動</b> ベントナイトの温度は、微生物によって異なるが、その生息や活動に影響を与える。
<b>塩の蓄積</b> ベントナイト中での温度勾配が塩の蓄積の重要な要因となる。塩の蓄積は、温度勾配下でのベントナイト中において、ストリップでのBuffer Mass Test等 (Pusch, 1985、Pusch et al., 1993) や室内試験 (Karnland and Pusch, 1995) で認められている。しかし、溶質塩濃度の増加や沈殿は、いずれも可逆の反応であり、ベントナイトの温度が低下した後においては塩の存在の不均一性は無視し得ると考えられる。
<b>ベントナイト中の核種移行</b> ベントナイトの温度は、収着等の核種移行に影響を与える可能性がある。収着については、常温と地温程度 (50~70°C) の間に大きな違いは無いと考えられる。拡散については、活性化エネルギーが得られており、これに基づく評価を行う。
<b>ベントナイト中のガス移行</b> ベントナイト中の温度は、ベントナイト中のガス移行に影響すると考えられる。
<b>ベントナイト空隙水中の溶質の移行</b> ベントナイトの温度は、溶質の拡散に影響を与える可能性がある。拡散については、活性化エネルギーが得られており、これに基づく評価を行う。

## 性能評価上の取り扱い

### 【想定期間：処分場閉鎖後】

処分場閉鎖後、廃棄物から発生する熱が有意な期間及び部分においては、最大温度を考慮する。発熱終了後及び発熱の影響が無い部分においては、処分場閉鎖後に到達する定常状態の温度を考慮する。

## モデル化に関する記述

炉からの取り出し後15年冷却したハル・エンドピース廃棄体を熱源とする廃棄体からニアフィールド母岩までの熱解析を解析コード「ANSYS」により解析した。その結果、ベントナイト内側の温度は、最高で約280℃（深度700m、大断面岩洞方式（φ30m）、堆積岩系岩盤）、最低で約45℃（深度300m、坑道方式（φ10m）、結晶質岩系岩盤）であった。処分空洞の中心間距離による影響はわずかであった（鹿島建設, 1996）。

## HLWとの相違点

HLWとは異なり、セメント系材料を多量に使用することが予想されるTRU廃棄物処分場では、Na型ベントナイトのCa化を考慮する必要がある。但し、発熱性廃棄体の影響を考慮する場合、発熱が有意な期間中にCa化するかを見極める必要がある。

## 他の性能評価レポートでの取り扱い

Kristallin-I (Nagra, 1994)

処分坑道離間距離を40m、廃棄体定置間隔を5m、処分深度を1,200mとした場合、緩衝材の最大温度上昇量は約150℃になり、緩衝材の厚さを半分以下にしても100℃を越える結果となっている。また、温度の高い期間は50年よりも短い。

## 文献リスト

- ・藤田朝雄、杉田裕、納多勝、幾世橋広（1992）：緩衝材の熱物性試験、動燃技術資料 PNC TN1410 92-052
- ・茂呂吉司、藤田朝雄、菅野毅、小林晃（1994）：緩衝材大型試験設備（BIG-BEN）における熱-水-応力連成試験、放射性廃棄物研究 1.
- ・T.Kanno and H.Wakamatsu (1993) : Moisture adsorption and volume change of partially saturated bentonite buffer materials, Master. Res. Soc. Proc. 294
- ・T.Kanno, K.Kato and J.Yamagata (1996) : Moisture movement under a temperature gradient in highly compacted bentonite, Engineering Geology 41
- ・T.Kanno, S.Takeuchi, H.Suzuki (1994) : Temperature dependence of hydraulic conductivity of compacted bentonite, PNC TN1100 94-003
- ・竹内真司、原啓二、中野政詩（1995）：圧縮ベントナイトの水分拡散係数と水の移動形態、地盤工学会論文報告集
- ・柴田ら（1992）：ベントナイトの長期安定性評価、PNC TN8410-165
- ・Anderson, D.M. (1984) : Smectite Alteration, KBS TR 84-11
- ・Weaver, C.E. (1989) : Clays Muds and Shales, Developments in Sedimentology 44, Elsevier
- ・Pusch, R. (1983) : Stability of Deep-Sited Smectite Minerals in Crystalline Rock - Chemical Aspects, KBS 83-16,
- ・Johnston, R. and Miller, H.G. (1985) : Hydrothermal Stability of Bentonite-Based Buffer Materials, ACEL-8376
- ・動力炉・核燃料開発事業団 環境技術開発推進本部（1994）：TRU廃棄物処分に係る研究開発の現状調査(1), PNC TN1420 96-014, p70
- ・Pusch, R (1985) : Final Report of the buffer Mass Test -Volume II Test Results, Stripa Project TR 85-12

- Pusch, R et al. (1993) : Hydrothermal Field Test with French Candidate Clay Embedding Steel Heater in the Stripa Mine, SKB-TR 93-02
- Karnland, O and Pusch, R (1995) : Cementation Phenomena of Importance for the Performance of Smectite Clay
- Buffer in HLW Repositories, Radioactive Waste Management and Environmental Remediation-asme
- 鹿島建設株式会社 (1996) : TRU廃棄物の処分概念の検討 熱解析報告書
- Nagra (1994) : Kristallin-I : Safety Assessment Report, NTB 93-22E

FEP名	ベントナイトの熱物性	No.	B-1.2
キーワード	ベントナイト 熱物性 熱膨張係数 熱伝導率 比熱	改定日	97.01.24
		Version	1
		作成者	鹿島

## 内 容

ベントナイトの熱物性は、処分場の温度を評価する上で重要なパラメータである。ベントナイトの熱物性としては、熱膨張係数、熱伝導率及び比熱が挙げられる。

ベントナイトの熱物性は、温度、含水比、応力（乾燥密度）に依存することが想定される。

## 原 因

ベントナイトの温度	「ベントナイトの温度」結果参照。
ベントナイトの冠水	ベントナイトの冠水による含水比の変化に伴い熱物性も変化する。ベントナイト（Na型）の熱伝導率に関しては、含水比依存性のデータが取得済みである（鈴木ほか, 1992）。含水比の増加とともに熱伝導率も増加する傾向にある。 熱解析を行う場合、浸潤に伴う熱伝導率の変化を無視して乾燥状態での熱物性を用いることにより保守的な熱解析を行うことができる。
ベントナイトの応力	ベントナイトの応力によりベントナイトの密度が変化し、それに伴い熱物性が変化することが予想される。ベントナイト（Na型）の熱伝導率に関しては、乾燥密度依存性のデータが取得済みである（鈴木ほか, 1992）。乾燥密度の増加とともに熱伝導率も増加する傾向にある。 ベントナイトの応力からひずみを算出し、そのひずみ量に対する乾燥密度から熱物性を評価する（鈴木ほか, 1992）。
ベントナイトの鉱物組成・特性	ベントナイトの鉱物組成や特性は、ベントナイトの熱物性に影響を与えられられる。ケイ砂を混合すると、ケイ砂の混合割合が大きいほど熱伝導率が大きくなることが確認されている（動燃事業団, 1992）。

## 結 果

NF母岩の温度	「NF母岩の温度」原因参照。
ベントナイトの温度	「ベントナイトの温度」原因参照。
ベントナイトの熱膨張	ベントナイトの熱物性のうち熱膨張係数は、ベントナイトの熱膨張量に影響する。
セメント系材料の温度	ベントナイトの熱物性は、発熱性廃棄体に起因するセメント系材料の温度変化量に影響する。
廃棄体の温度	ベントナイトの熱物性は、発熱性廃棄体の温度変化量に影響する。

## 性能評価上の取り扱い

### 【想定期間：処分場閉鎖後】

処分場の熱解析においては、乾燥状態の熱物性値を適用し、含水比依存性に対して保守側の解析を行う。応力（乾燥密度）依存性に関しては、HLWの研究成果を待つ。温度依存性は、比較的小さいと考えられる。

## モデル化に関する記述

H3レポート（動燃事業団, 1992）を参考に、乾燥状態（含水比6%、乾燥密度 $1.8\text{g/cm}^3$ ）のNa型ベントナイトに対し、熱伝導率 $0.9\text{ (W/mK)}$ 、比熱 $0.6\text{ (kJ/kgK)}$ を適用している。ちなみに飽和状態（含水比19%）では、熱伝導率 $1.7\text{ (W/mK)}$ 、比熱 $1.0\text{ (kJ/kgK)}$ である。

## HLWとの相違点

HLWとは異なり、セメント系材料を多量に使用することが予想されるTRU廃棄物処分場では、Na型ベントナイトのCa化を考慮する必要がある。但し、発熱性廃棄物の影響を考慮する場合、発熱が有意な期間中にCa化するかを見極める必要がある。

## 他の性能評価レポートでの取り扱い

### Kristallin-I (Nagra, 1994)

熱伝導率と比熱について、その温度と含水比依存性を考慮している模様（温度： $30\sim 150^\circ\text{C}$ 、含水比7～10%）であるが詳細は不明。

## 文献リスト

- ・鈴木英明、柴田雅博、山形順二、広瀬郁郎、寺門一馬（1992）：緩衝材の特性試験（I），動燃技術資料 PNC TN1410 92-057
- ・動力炉・核燃料開発事業団（1992）：高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書—平成3年度—，PNC TN 1410 92-081, p3-32, 3-52
- ・Nagra（1994）：Kristallin-I: Safety Assessment Report, NTB 93-22E

FEP名 ベントナイトの熱膨張

No. B-1.3

キーワード ベントナイト  
熱膨張

改定日 97.01.24

Version 1

作成者 鹿島

## 内 容

廃棄体の発熱により温度が上昇し、ベントナイトが熱膨張することが想定される。熱膨張量は温度と熱膨張係数及び応力的な拘束条件に依存する。

## 原 因

ベントナイトの温度

「ベントナイトの温度」結果参照。

ベントナイトの熱物性

「ベントナイトの熱物性」結果参照。

ベントナイトの応力

ベントナイトに作用する応力により熱膨張量が制限される。

## 結 果

ベントナイトの応力

熱膨張が拘束されることによりベントナイト中に熱応力が発生する。

ベントナイトの水理特性

ベントナイトの熱膨張は、空隙を増加させ透水係数などの水理特性に影響する可能性がある。

## 性能評価上の取り扱い

【想定期間：処分場閉鎖後】

現状、ベントナイトの熱膨張は考慮されていない。

## モデル化に関する記述

HLWにおける熱-水-応力連成解析の成果を待つ。

## HLWとの相違点

HLWとは異なり、セメント系材料を多量に使用することが予想されるTRU廃棄物処分場では、Na型ベントナイトのCa化を考慮する必要がある。但し、発熱性廃棄体の影響を考慮する場合、発熱が有意な期間中にCa化するかを見極める必要がある。

## 他の性能評価レポートでの取り扱い

不明

## 文献リスト



FEP名 ベントナイトの冠水

No. B-2.1

キーワード ベントナイト  
冠水  
不飽和

改定日 97.01.24

Version 1

作成者 鹿島

## 内 容

ニアフィールド母岩は、処分場の建設・操業中において、一度不飽和の状態に置かれる。この時に設置されるベントナイトも不飽和の状態である。しかし、処分場閉鎖後、ニアフィールド母岩が再飽和することによりベントナイトが冠水する。冠水後、ベントナイト中に水が徐々に浸透していくもの考えられる。

## 原 因

### ベントナイトの温度

「ベントナイトの温度」結果参照。

### ベントナイトの水利特性

不飽和ベントナイトの飽和過程は、ベントナイトの水利特性に影響される。水分拡散係数を用いて水分の浸潤特性を概略評価することが可能である（動燃事業団, 1992）。

### ベントナイトの鉱物組成・特性

鉱物組成や特性は、ベントナイトと地下水との化学反応によって変化し（油井ら, 1992）、ベントナイトの冠水に影響を与える。ベントナイト中のスメクタイトは、地下水の侵入に伴い膨潤し空隙構造や透水性が変化するためベントナイトの冠水挙動に影響を与える。侵入した空気中の酸素による鉄酸化物の冠水による影響は、スメクタイトの膨潤による影響に比べ顕著ではないと考えられる。

## 結 果

### ベントナイトの熱物性

「ベントナイトの熱物性」原因参照。

### ベントナイトの膨潤

ベントナイトの冠水によりベントナイト中のモンモリロナイト鉱物の層間に水分子が数個取り込まれる（中野ほか, 1984、山形ほか, 1992）ことにより層間が広がり膨潤が起こる。

### ベントナイトの応力

ベントナイトは難透水性であるため、冠水により水圧が作用する可能性がある。

### ベントナイトの力学物性

ベントナイトの力学物性は、含水比（飽和度）に依存する。藤田ほか（1992）は、非圧密非排水（UU）条件下での三軸圧縮試験によるNa型ベントナイトのせん断強度と弾性係数が飽和度に依存することを確認している。

### ベントナイトの圧密・クリープ変形

ベントナイトが冠水し、含水比を増すことにより、ベントナイトの圧密やクリープ変形が起こる。

### ベントナイト空隙水の化学

ベントナイトの冠水に伴い、空隙水化学はベントナイトと地下水との化学反応によって変化していく（油井ら, 1992）。

ベントナイトの冠水中に黄鉄鉱の酸化が生じ、処分場の建設・操業に伴い侵入した空気中の酸素は消費されていく。また空気中の二酸化炭素は地下水に吸収され、ベントナイト中の方解石と溶解平衡になる。

#### ベントナイトの鉱物組成・特性

ベントナイトの冠水に伴い鉱物組成や特性は、ベントナイトと地下水との化学反応によって変化していく（油井ら, 1992）。建設・操業に伴い侵入した空気中の酸素は、ベントナイトの冠水中に黄鉄鉱の酸化により消費されていく。この際酸化物が生成する。また空気中の二酸化炭素は、地下水に吸収され、空隙水化学に応じてベントナイト中の方解石の溶解あるいは沈殿が起こる。

#### 塩の蓄積

ベントナイトの飽和過程で浸潤フロントが形成される。

#### セメント系材料の冠水

ベントナイトが冠水し飽和することにより、セメント系材料の冠水が起こる。

### 性能評価上の取り扱い

#### 【想定期間：処分場閉鎖後】

現状、TRU廃棄物処分研究においてはベントナイトの飽和過程を検討していない。  
ベントナイトの圧密解析や核種移行計算には、飽和までの時間を無視している。

### モデル化に関する記述

ベントナイトが飽和に到る過程は、ベントナイトの特性が全体に均一であること、周辺母岩が飽和していること、ベントナイト中の地下水移行が拡散支配であることを仮定し、二次元軸対象モデルを用いて解析することが可能である（藤田ほか, 1992）。HLWでは、閉鎖後約100年で完全に飽和することが示されている。

### HLWとの相違点

特になし。

### 他の性能評価レポートでの取り扱い

#### Kristallin-I (Nagra, 1994)

ベントナイトが飽和するのに要する時間は、ベントナイトと周辺母岩の水理特性に依存するが、廃棄物からの熱の影響や掘削による母岩特性の変化のため廃棄体埋設後の挙動を正確に評価するには困難が伴う。モデル解析の結果によると、飽和までの時間は条件によって異なり、100年以内から1,000年以上までの範囲（Andrews et al., 1986）にある。圧縮ベントナイトの透水係数が極めて小さい値（ $10^{-13}$ ～ $10^{-14}$ m/s）であることからベントナイト中の物質移行は拡散支配となる（Pusch, 1980）。また、処分坑道周辺の水理解析によりベントナイト中の流速は、その周辺部に比べて極めて小さいことが示されている（Nagra, 1985）。また、ベントナイトの飽和やそこでの水理解析にニアフィールド内温度の時間的変化を考慮していない。周辺母岩からベントナイト中に不均一に侵入した地下水フロントが、廃棄体からの熱の影響によって均一化される効果が評価されている（Carnahan, 1988）。

### 文献リスト

- ・動力炉・核燃料開発事業団（1992）：高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書  
－平成3年度－，PNC TN 1410 92-081, p3-24
- ・油井ら（1992）：高レベル廃棄物地層処分の人工バリアシステムによる地下水の化学的緩衝作用とモデル化，PNC TN8410 92-162
- ・中野政詩、雨宮悠、藤井克己、石田朋靖、石井明俊（1984）：拘束された不飽和粘土の浸潤と膨潤圧，濃土論集 112
- ・山形順二、鈴木英明、柴田雅博（1992）：緩衝材の特性試験（II），PNC TN8410 92-169

- ・藤田朝雄、五月女敦、原啓二 (1992) : 緩衝材の力学試験, 動燃技術資料 PNC TN8410 92-0170
- ・藤田朝雄、五月女敦、原啓二、納多勝 (1992) : 人工バリアの構造力学的検討, 動燃技術資料 PNC TN1410 92-053
- ・Nagra (1994) : Kristallin-I : Safety Assessment Report, NTB 93-22E
- ・Andrews, R. W.、LaFleur, D. W. and Pahawa, S. B. (1986) : Resaturation of backfilled tunnels in granite,  
Nagra Technical Report NTB 86-27
- ・Pusch, R. (1980) : Swelling pressure of highly compacted bentonite, KBS TR 80-13
- ・Nagra (1985) : Project Gewähr 1985, Project Report NGB 85-09
- ・Carnahan, C. C. (1988) : Theory and calculation of water distribution in bentonite in a thermal field, Nucl. Waste Manag. XVIII, pp729-739

FEP名	ベントナイトの水理特性	No.	B-2.2
キーワード	ベントナイト 水理特性 透水係数 水分拡散係数	改定日	97.01.24
		Version	1
		作成者	鹿島

## 内 容

ベントナイトは低透水性の性質を有するため、ニアフィールド母岩からの地下水の流入を制限することになる。ベントナイトへの水の浸潤は、水分拡散係数を用いて評価することが可能である。ベントナイトは水が浸潤していくと膨潤する性質を有しており、これにより透水性（透水係数）は不飽和時に比べさらに小さくなる。そのためベントナイト空隙水中での物質移動は、分子拡散によって支配されることが想定される。また、ベントナイト中を移行してきたガス圧や地下水の水蒸気拡散によっても影響を受けることが想定される。

## 原 因

ベントナイトの温度	「ベントナイトの温度」結果参照。
ベントナイトの熱膨張	「ベントナイトの熱膨張」結果参照。
ベントナイトの膨潤	ベントナイトの膨潤によりベントナイト中の間隙構造が変化し、それに伴い間隙中を流れる水の透水性が変化する。
ベントナイトの応力	ベントナイト中の応力によりベントナイトの密度が変化し、水理特性（透水係数）が変化する。ベントナイトの応力からひずみを算出し、そのひずみ量に対応する乾燥密度における透水係数として評価することが可能である。
ベントナイトの流出	ベントナイトのニアフィールド母岩への流出により、境界付近における水理特性（透水係数）の変化が想定される。
ベントナイトの圧密・クリープ変形	ベントナイトの圧密やクリープ変形によりベントナイトの密度が変化し、水理特性（透水係数）が変化する。ベントナイトのひずみ量に対応する乾燥密度における透水係数として評価することが可能である。
ベントナイト空隙水の化学	ベントナイトの水理特性は、ベントナイト空隙水化学に依存する。ベントナイトの透水性は高イオン強度の溶液で高くなることが知られているが、その変化はベントナイト中の溶質の拡散支配を覆す程度には大きくない。
ベントナイトの鉱物組成・特性	鉱物組成や特性は、ベントナイトと地下水との化学反応によって変化し（油井ら、1992）、ベントナイトの水理特性に影響を与える。ベントナイト中のスメクタイトは、地下水の侵入に伴い膨潤し空隙構造や透水性が変化するためベントナイトの水理特性に影響を与える。
ベントナイトの放射線損傷	放射線はベントナイトの構造に対して損傷を与え、水理特性（低透水性）に影響を与えるかもしれない。

#### ベントナイト中のガス移行

金属の腐食や有機物の微生物分解、放射性分解により発生するガスの圧力は地下水流動の潜在的な駆動力になることが考えられる。またハル・エンドピース廃棄体の崩壊熱が有意な期間において、ベントナイトを浸透してきた地下水の蒸発によって二相流を形成することも考えられる。したがって、ベントナイト中での地下水流動を表現するためには、不飽和流と水蒸気拡散とを考慮する必要がある。

### 結果

#### ベントナイトの冠水

「ベントナイトの冠水」原因参照。

#### ベントナイト中の核種移行

飽和状態のベントナイトは極めて低い透水性を有しており、ベントナイト中の核種の移行は、濃度勾配によって引き起こされる拡散によって支配される。

#### ベントナイト空隙水の溶質の移行

飽和状態のベントナイトは極めて低い透水性を有しており、ベントナイト中の溶質の移行は、濃度勾配によって引き起こされる拡散によって支配される。

### 性能評価上の取り扱い

#### 【想定期間：処分場閉鎖後】

移流効果と拡散効果の比で示される無次元数のペクレ数を算出し、ベントナイト中に存在する核種や溶質は、拡散支配によって周辺母岩に向かって移行することを確認する（動燃事業団, 1994）。

また、セメント系材料を多量に使用することが予想されるTRU廃棄物処分場では、Na型ベントナイトのCa化が考えられる。したがって、Ca型化したベントナイトの水理特性を把握した上で、十分にNa型と比較検討し、保守側のパラメータ設定を行う。

### モデル化に関する記述

現在、Na型ベントナイトを強制的にCa型化した材料に対し透水係数の取得を実施している（鹿島建設, 1996）。Na型、Ca型化ともに乾燥密度が大きくなるほど透水係数は小さくなる。乾燥密度が小さい場合、Ca型化ベントナイトの透水係数は、Na型と比較して大きくなる傾向にあり、乾燥密度 $1.2\text{g/cm}^3$ では一桁程度大きくなっている。しかし、乾燥密度が大きい場合（ $1.8\text{g/cm}^3$ ）は、両者の透水係数はほぼ同じ値を示している。

また、Na型及びCa型化ベントナイトとケイ砂を混合した試験では、ともにベントナイト配合率が大きくなるほど透水係数は小さくなる。ベントナイト配合率が小さい場合、Ca型化ベントナイトの透水係数は、Na型と比較して大きくなる傾向にあり、ベントナイト配合率30wt.%では三桁程度大きくなっている。

現状、ベントナイトの厚み、組成等も未定であり、これらについての値がある程度明確になった段階で解析が必要と思われるが、解析手法はHLWに対するものと同一で良いと思われる（動燃事業団, 1994）。

### HLWとの相違点

HLWとは異なり、セメント系材料を多量に使用することが予想されるTRU廃棄物処分場では、Na型ベントナイトのCa化を考慮する必要がある。但し、発熱性廃棄体の影響を考慮する場合、発熱が有意な期間中にCa化するかを見極める必要がある。

## 他の性能評価レポートでの取り扱い

Kristallin-I (Nagra, 1994)

ナチュラルアナログの研究結果から、処分場の温度を60°Cとすれば、100万年を越える期間において透水係数に大きな変化はないと考えられる。

Westsik等

密度2.1g/cm<sup>3</sup>前後におけるNaベントナイトに比し、Caベントナイトは、透水係数が2倍程度大きくなる（動燃事業団, 1994）。

大谷等

ベントナイト配合率20%、乾燥密度1.6~2.0g/cm<sup>3</sup>において、Na型はCa型より透水係数が1~2桁小さく、密度依存性も小さい。しかし高密度になるほど透水係数の差が小さくなる傾向にある（動燃事業団, 1994）。

## 文献リスト

- ・油井ら (1992) : 高レベル廃棄物地層処分の人工バリアシステムによる地下水の化学的緩衝作用とモデル化, PNC TN8410 92-162
- ・鹿島建設 (1996) : TRU廃棄物の処分概念の検討, 動燃委託研究 PNC ZJ1100 96-005, pp2-10~11、2-15~16
- ・動力炉・核燃料開発事業団 環境技術開発推進本部 (1994) : TRU廃棄物処分に係る研究開発の現状調査(1), PNC TN1420 96-014, p25、70
- ・Nagra (1985) : Project Gewähr 1985, Project Report NGB 85-09

FEP名 ベントナイトの膨潤

No. B-3.1

キーワード ベントナイト  
膨潤  
膨潤応力

改定日 97.01.24

Version 1

作成者 鹿島

## 内容

ベントナイトへの地下水の浸潤に伴い、モンモリロナイト層間に微視的な膨潤圧が発生し、これが巨視的な応力（膨潤応力）となる。この膨潤応力は、人工バリア及びニアフィールド母岩における応力場を決定する重要な要因の一つとなりうる。膨潤応力は地下水がベントナイト中に浸潤するにつれ徐々に発生し、その大きさはベントナイトの種類、密度、含水量、温度及び空隙水の化学的特性に依存する。さらに膨潤によりベントナイト中に密度分布が生じる可能性がある。ニアフィールド母岩中の亀裂を充填したり、ベントナイト/母岩の境界及びベントナイト/セメント系材料の境界のギャップを埋めることや、ベントナイト中に生じた亀裂の自己修復が期待される。ただし、ニアフィールド母岩の亀裂幅が大きい場合は、膨潤によりベントナイトが亀裂中に流出することが想定される。

## 原因

### ベントナイトの温度

「ベントナイトの温度」結果参照。

### ベントナイトの冠水

「ベントナイトの冠水」結果参照。

### ベントナイトの応力

ベントナイトに作用する応力により、膨潤量が制限される。

### ベントナイトの力学物性

ベントナイトの最大膨潤圧は、乾燥密度に依存する（鹿島建設, 1996）。

### ベントナイトの圧密・クリープ変形

底部ベントナイトが圧密沈下やクリープ変形した場合、他の部分におけるベントナイトの膨潤が促進される可能性がある。

### ベントナイト空隙水の化学

ベントナイトの膨潤状態は、空隙水の化学（pH、イオン強度、溶存イオン種の濃度など）に依存することが想定される。ただし、既存データでは、あまり大きな影響は報告されていない（Pusch, 1980）。

### ベントナイトの鉱物組成・特性

ベントナイト中のスメクタイトは、地下水の浸潤により膨潤する。したがってベントナイトの膨潤量は、ベントナイトの種類（スメクタイト量）によって影響を受ける。

### セメント系材料の体積変化

セメント系材料が体積減少した場合、ベントナイトの膨潤が促進される可能性がある。

### 廃棄体の体積変化

廃棄体が体積減少した場合、ベントナイトの膨潤が促進される可能性がある。

## 結果

### NF母岩の応力

「NF母岩の応力」原因参照。

ベントナイトの水利特性	「ベントナイトの水利特性」原因参照。
ベントナイトの応力	ベントナイトの膨潤が周辺のニアフィールド母岩やセメント系材料により拘束される場合、膨潤応力が発生する。
ベントナイトの力学物性	ベントナイトの膨潤により体積が増加する場合、密度（単位体積重量）が変化する。
ベントナイトの流出	膨潤によりベントナイトが周辺岩盤の亀裂中へ侵入し流出することが想定される。小型模擬試験により、膨潤で亀裂に侵入する場合のベントナイトの変位は、時間の平方根（Kanno et al., 1991）や対数（Pusch, 1983）に比例するという実験式が得られている。流出したベントナイトゲルの先端の含水比は、その粘土の液性限界値にほぼ一致する（Boisson, 1989）。また、亀裂幅が0.1mm程度と小さい場合は、流出はほとんど起こらないことが報告されている（Pusch, 1983）。
ベントナイト空隙水の化学	膨潤に伴いベントナイトは、微細空隙構造を持つことが知られている。このような微細空隙構造は、乾燥密度1.8g/cm <sup>3</sup> で、スメクタイトの層間が均一に分布しているとすれば、層間隔は約5Åと推定される。この値は、X線回折で報告されている底面間隔の値等（山形ら, 1992、藤井ら, 1984）とも一致する。空隙水化学は、このような微細空隙構造での溶液化学を扱うものであり、空隙壁面とイオンの相互作用により影響を受ける（大江ら, 1995）。
ベントナイトの鉱物組成・特性	膨潤に伴いベントナイトは、微細空隙構造を持つことが知られている。このような微細空隙構造は、乾燥密度1.8g/cm <sup>3</sup> で、スメクタイトの層間が均一に分布しているとすれば、層間隔は約5Åと推定される。この値は、X線回折で報告されている底面間隔の値等（山形ら, 1992、藤井ら, 1984）とも一致する。鉱物表面の電気化学特性は、このような微細空隙中では溶液中のイオンとの相互作用により影響を受ける（大江ら, 1995）。
セメント系材料の応力	ベントナイトの膨潤圧がセメント系材料に作用することにより、セメント系材料の応力は影響を受ける。

## 性能評価上の取り扱い

【想定期間：処分場閉鎖後】

現状、ベントナイトの膨潤応力は、底部ベントナイトの圧密解析における先行圧密応力として検討に加えている。しかし、想定する乾燥密度に対する最大膨潤圧が圧密期間中に発現するかどうか不確かな所があり、今後再検討の余地がある。

また、ニアフィールド母岩、セメント系材料及び廃棄体への影響は検討していない。

## モデル化に関する記述

現在、Na型ベントナイトを強制的にCa型化した材料に対し最大膨潤圧の取得を実施している（鹿島建設, 1996）。Na型、Ca型化ともに乾燥密度が大きくなるほど最大膨潤圧は大きくなる。乾燥密度が小さい場合、Ca型化ベントナイトの最大膨潤圧は、Na型と比較して小さくなる傾向にある。しかし、乾燥密度が大きい場合（1.8g/cm<sup>3</sup>）は、両者の最大膨潤圧はほぼ同じ値を示している。

また、Na型及びCa型化ベントナイトとケイ砂を混合した試験では、ともにベントナイト配合率が大きくなるほど最大膨潤圧は大きくなる。ベントナイト配合率が小さい場合、Ca型化ベントナイトの最大膨潤圧は、Na型と比較して小さくなる傾向にあるが、データ数が少ないため明確ではない。



## HLWとの相違点

HLWとは異なり、セメント系材料を多量に使用することが予想されるTRU廃棄物処分場では、Na型ベントナイトのCa化を考慮する必要がある。但し、発熱性廃棄物の影響を考慮する場合、発熱が有意な期間中にCa化するかを見極める必要がある。

## 他の性能評価レポートでの取り扱い

Kristallin-I (Nagra, 1994)

飽和によるベントナイトの体積増加は、処分坑道の体積によって妨げられる。ベントナイトの膨潤圧については、周辺岩盤の亀裂やクラックを塞ぐかもしれないが、安全評価では無視している。母岩の破壊を避けるために、膨潤圧が静岩圧30MPaを越えないようなベントナイトの乾燥密度が選択される。母岩からベントナイトへの水の浸潤は局部的に限定されることが想定されるが、ベントナイト中での浸潤フロントが温度場によって均一化されることを示している研究もある (Carnahan, 1988)。

130°Cを越えるとSiがモンモリロナイトから溶脱しえる。これは結果的に膨潤特性に影響を与えることになる (Meike, 1989, Pusch et al, 1988, Pusch et al, 1990)。150°Cを越える温度で水蒸気処理を施すと、Na型ベントナイトの膨潤特性が著しく損なわれるという報告 (Couture, 1985) もあるが、完全に膨潤能力が無くなるわけではない。ナチュラルアナログの研究結果から、処分場の温度を60°Cとすれば、100万年を越える期間において膨潤特性に大きな変化はないと考えられる。

## 文献リスト

- ・鹿島建設 (1996) : TRU廃棄物の処分概念の検討, 動燃委託研究 PNC ZJ1100 96-005, pp2-7~8, 2-13~14
- ・Pusch (1980) : Swelling pressure of highly compacted bentonite, SKBF/KBS TR 80-13
- ・山形ら (1992) : 緩衝材の特性試験 (II), PNC TN8410 92-169
- ・藤井ら (1984) : ベントナイト吸着水の化学ポテンシャルについて, 濃土論集 112, pp55-65
- ・大江ら (1995) : 緩衝材間隙水中での核種溶解度の解析評価, 日本原子力学会「秋の大会」予稿集, p644
- ・Nagra (1994) : Kristallin-I : Safety Assessment Report, NTB 93-22E
- ・Meike (1989) : Transmission electron microscope study of illite/smectite mixed layers, NAGRA NTB 89-03
- ・Pusch et al (1988) : Geologic evidence of smectite longevity. The Sardinian and Gotland cases, SKB TR 88-26
- ・Pusch et al (1990) : Preliminary report on longevity of montmorillonite clay under repository-related conditions, SKB TR 90-44
- ・Couture (1985) : Steam rapidly reduces the swelling pressure of bentonite, Nature 318, pp50-52

FEP名 ベントナイトの応力

No. B-3.2

キーワード ベントナイト  
応力

改定日 97.01.24

Version 1

作成者 鹿島

## 内 容

廃棄体の発熱、ベントナイトの膨潤圧、ニアフィールド母岩のクリープ変形、ベントナイト・セメント系材料・廃棄体の自重などによりベントナイトには応力が発生する。ベントナイトの応力変化により、それと接するニアフィールド母岩、セメント系材料、さらには廃棄体の応力状態も変化する。ベントナイトの応力変化に伴い、密度が変化し様々な特性が変わることが想定される。特に、処分場底部に設置されるベントナイトにおいては、最も応力状態が厳しいと考えられ、支持力や圧密・クリープ変形といった事象が問題となる。

## 原 因

### NF母岩の応力

「NF母岩の応力」結果参照。

### NF母岩のクリープ変形

「NF母岩のクリープ変形」結果参照。

### ベントナイトの熱膨張

「ベントナイトの熱膨張」結果参照。

### ベントナイトの膨潤

「ベントナイトの膨潤」結果参照。

### ベントナイトの力学物性

力学物性の変化に伴い、ベントナイトの応力が変化する。したがって、応力解析の中でベントナイトの力学物性の変化を適正に考慮する必要がある。

### ベントナイトの流出

流出によってベントナイト量が減り、ベントナイトの応力状態が変化するが想定される。流出量が小さい場合は、応力的な影響はほとんどないと考えられる。

### ベントナイト中のガス移行

ガスが蓄圧した場合、ベントナイトの応力は影響を受ける。また、ベントナイト中を移行する際に亀裂が発生する可能性がある。

### セメント系材料の応力

セメント系材料の応力がベントナイトに作用する。特に、廃棄体の腐食膨張に伴う応力やセメント系材料及び廃棄体自重による影響が大きいものと想定される。

## 結 果

### NF母岩の応力

「NF母岩の応力」原因参照。

### NF母岩のクリープ変形

「NF母岩のクリープ変形」原因参照。

### ベントナイトの熱物性

「ベントナイトの熱物性」原因参照。

ベントナイトの熱膨張	「ベントナイトの熱膨張」原因参照。
ベントナイトの水理特性	「ベントナイトの水理特性」原因参照。
ベントナイトの冠水	「ベントナイトの冠水」原因参照。
ベントナイトの膨潤	「ベントナイトの膨潤」原因参照。
ベントナイトの力学物性	ベントナイトの力学物性が応力に依存することが想定される。そのため三軸試験により応力依存性に関するデータを取得する必要がある。また、ベントナイトの応力変化に伴い発生する密度変化は、乾燥密度依存性の高いベントナイトの力学物性に影響を与える。
ベントナイトの流出	ベントナイトの流出特性は、ベントナイトの膨潤応力に依存すると考えられる。
ベントナイトの圧密・クリープ変形	ベントナイトの圧密やクリープといった現象は、ベントナイト中の応力状態に依存する。
セメント系材料の応力	ベントナイトの応力がセメント系材料に作用する。特に、ベントナイトの膨潤に伴う膨潤圧の作用が考えられる。

### 性能評価上の取り扱い

【想定期間：処分場閉鎖後】

現状、ベントナイトの応力評価は、検討されていない。

### モデル化に関する記述

ベントナイトは、一般の粘性土とは異なり大きな膨潤特性を有しているため、この膨潤特性を考慮可能な応力解析モデルが望まれる。

### HLWとの相違点

HLWとは異なり、セメント系材料を多量に使用することが予想されるTRU廃棄物処分場では、Na型ベントナイトのCa化を考慮する必要がある。但し、発熱性廃棄体の影響を考慮する場合、発熱が有意な期間中にCa化するかを見極める必要がある。

また、大断面の処分空洞を採用した場合には、底部ベントナイトに大きな荷重が作用するため十分な支持力（強度）を保有させる必要がある。

### 他の性能評価レポートでの取り扱い

Kristallin-I (Nagra, 1994)

母岩の破壊を避けるために、膨潤圧が静岩圧30MPaを越えないようなベントナイトの乾燥密度が選択される。鉄の腐食による磁鉄鉱の形成は、キャニスターの体積を2倍にし、ベントナイト中の応力を増加させる。応力解析では、100cmの厚みのベントナイトであれば、応力はベントナイト内で緩衝され、岩盤には影響のないことが示されている (Saotome, 1991)。

### 文献リスト

• Nagra (1994) : Kristallin-I : Safety Assessment Report, NTB 93-22E

• Saotome et al. (1991) : Study of mechanical stability of engineered barrier system for deep geological isolation of

high-level radioactive waste, In Proc. 11th Int. Conf. on Structural Mechanics in Reactor

FEP名 ベントナイトの力学物性

No. B-3.3

キーワード ベントナイト  
力学物性  
せん断強度  
内部摩擦角  
膨潤指数

改定日 97.01.27

Version 1

作成者 鹿島

## 内容

ベントナイトの力学物性としては、密度、弾性係数、ポアソン比、せん断強度、内部摩擦角、一軸圧縮強度、引張強度、圧縮指数、膨潤指数、クリープ係数などがある。これらの力学物性のうちどのデータが必要かは、力学モデルの選定が前提となる。したがって、使用する力学モデルを選定した上で、必要なデータを適正な条件かつ方法により取得することが肝要である。その際、力学物性の温度、含水比（飽和度）、応力依存性についても検討する必要がある。

## 原因

ベントナイトの温度 「ベントナイトの温度」結果参照。
ベントナイトの冠水 「ベントナイトの冠水」結果参照。
ベントナイトの膨潤 「ベントナイトの膨潤」結果参照。
ベントナイトの応力 「ベントナイトの応力」結果参照。
ベントナイトの流出 ベントナイトのニアフィールド母岩への流出により、境界付近における力学物性の変化が想定される。
ベントナイトの圧密・クリープ変形 ベントナイトの圧密やクリープ変形により密度の増大が想定される。
ベントナイト空隙水の化学 ベントナイトの力学物性は、ベントナイト空隙水の化学に依存する可能性がある。ベントナイト空隙水の化学は、粘弾性などの特性に影響することは考えられるが、その程度は緩衝材料として期待される特性を著しく損なうものではなく、無視しうると考えられる。
ベントナイトの鉱物組成・特性 ベントナイトの鉱物組成や特性は、ベントナイトの力学物性に影響を与えられとされる。ケイ砂を混合すると、ケイ砂の混合割合が大きいほど一軸圧縮強度が小さくなることが確認されている（鹿島建設, 1996）。

## 結果

建設・操業・閉鎖 「建設・操業・閉鎖」原因参照。
ベントナイトの膨潤 「ベントナイトの膨潤」原因参照。
ベントナイトの応力 「ベントナイトの応力」原因参照。

#### ベントナイトの圧密・クリープ変形

ベントナイトの力学物性（圧密係数、密度など）は、ベントナイトの圧密及びクリープ変形量に大きく影響する。

#### ベントナイト中の核種移行

密度が変化することにより、ベントナイト中の核種移行への影響が想定される。変化後の乾燥密度における核種移行特性を評価することが可能である。

#### ベントナイトによるフィルター効果

密度が変化することにより、ベントナイトによるフィルター効果への影響が想定される。変化後の乾燥密度におけるフィルター効果を評価することが可能である。

#### ベントナイト中のガス移行

密度が変化することにより、ベントナイト中のガス移行への影響が想定される。変化後の乾燥密度におけるガス移行特性を評価することが可能である。

#### ベントナイト空隙水の溶質の移行

密度が変化することにより、ベントナイト空隙水中の溶質移行への影響が想定される。変化後の乾燥密度における溶質の移行特性を評価することが可能である。密度が増加する場合は溶質の拡散係数が減少するため、この現象は保守的に無視しうる。

### 性能評価上の取り扱い

【想定期間：処分場着工後】

セメント系材料を多量に使用することが予想されるTRU廃棄物処分場では、Na型ベントナイトのCa化が考えられる。したがって、Ca型化したベントナイトの力学物性を把握した上で、十分にNa型と比較検討し、保守側のパラメータ設定を行う。

### モデル化に関する記述

現在、Na型ベントナイトを強制的にCa型化した材料に対し、自然含水状態での一軸圧縮強度の取得を実施している（鹿島建設, 1996）。Na型、Ca型化ともに乾燥密度に対する依存性は見られず、両者ともオーダー的にはほぼ同程度の値を示している。

また、Na型及びCa型化ベントナイトとケイ砂を混合した試験では、ともにベントナイト配合率が大きくなるほど一軸圧縮強度は大きくなる。各ベントナイト配合率で比較した場合、両者ともほぼ同程度の値を示している。

### HLWとの相違点

HLWとは異なり、セメント系材料を多量に使用することが予想されるTRU廃棄物処分場では、Na型ベントナイトのCa化を考慮する必要がある。但し、発熱性廃棄体の影響を考慮する場合、発熱が有意な期間中にCa化するかを見極める必要がある。

### 他の性能評価レポートでの取り扱い

不明。

### 文献リスト

- ・鹿島建設（1996）：TRU廃棄物の処分概念の検討，動燃委託研究 PNC ZJ1100 96-005，pp2-12、2-17～18

FEP名 ベントナイトの流出

No. B-3.4

キーワード ベントナイト  
流出  
ソフトゲル

改定日 97.01.27

Version 1

作成者 鹿島

## 内 容

膨潤したベントナイトの可塑性により、ベントナイトが周辺母岩の亀裂に流入することが考えられる。以下のプロセスが、ベントナイトの好ましい特性を損じるかもしれない。

- ・流入するベントナイトの先端がソフトゲルを形成する。
- ・ソフトゲルが地下水流によって浸食される。
- ・浸食されたソフトゲルに相当する量が処分空洞から補給される。
- ・処分空洞中のベントナイトの量が減少し続ける。

## 原 因

### NF母岩の地下水流動

「NF母岩の地下水流動」結果参照。

### NF母岩の水理地質構造

「NF母岩の水理地質構造」結果参照。

### NF母岩中の地下水化学

「NF母岩中の地下水化学」結果参照。

### NF母岩の鉱物組成・特性

「NF母岩の鉱物組成・特性」結果参照。

### 建設・操業・閉鎖

「建設・操業・閉鎖」結果参照。

### ベントナイトの冠水

「ベントナイトの冠水」結果参照。

### ベントナイトの膨潤

「ベントナイトの膨潤」結果参照。

### ベントナイトの応力

「ベントナイトの応力」結果参照。

### ベントナイト中のガス移行

ベントナイト中をガスが移行する際に、ベントナイトを押し出す可能性がある。

## 結 果

### NF母岩の水理地質構造

「NF母岩の水理地質構造」原因参照。

### NF母岩のクリープ変形

「NF母岩のクリープ変形」原因参照。

### NF母岩の鉱物組成・特性

「NF母岩の鉱物組成・特性」原因参照。

### ベントナイトの水理特性

「ベントナイトの水理特性」原因参照。

ベントナイトの応力 「ベントナイトの応力」原因参照。
ベントナイトの力学物性 「ベントナイトの力学物性」原因参照。
ベントナイトコロイドの形成 周辺岩盤に侵入したベントナイトが地下水に浸食されて、ベントナイトコロイドが形成される可能性がある。

### 性能評価上の取り扱い

<p>【想定期間：処分場閉鎖後】</p> <p>HLW研究の成果を待つ。</p> <p>実際の岩盤の亀裂開口部は、一般に亀裂充填物で占有されており、さもなければ開口亀裂はグラウト注入されることが想定される。このため、流出プロセスを考慮することは非常に保守的であると考えられる。深部地下での地下水流は非常に小さいため、ベントナイトの浸食は処分場では起こらないと考えられる（動燃事業団, 1992）。</p>
--

### モデル化に関する記述

<p>HLW研究の成果を待つ。</p> <p>ベントナイトの膨潤による亀裂への侵入現象については、粘性流体モデルや拡散モデルが適用されている。粘性流体モデルでは、流体として不合理な高い粘度が得られている。また、拡散モデルは現象論的なアプローチである。明確なメカニズムを含むより詳細なモデルとしては、粘・弾塑性挙動を示す固体としてのモデル化が妥当であると考えられる。</p>
--

### HLWとの相違点

<p>HLWとは異なり、セメント系材料を多量に使用することが予想されるTRU廃棄物処分場では、Na型ベントナイトのCa化を考慮する必要がある。但し、ベントナイトの流出に対しては、Ca型化の影響は少ないものと考えられる。</p>
---

### 他の性能評価レポートでの取り扱い

<p>Kristallin-I (Nagra, 1994)</p> <p>ベントナイトの浸食の速度を計算した結果、良好に設置されかつ低流速が期待される場合には重要でないことが示されている (Nagra, 1987, Brenner, 1988)。その反面埋戻しが十分でなかったり、高透水性の含水領域の近くにキャニスターを設置した場合には、浸食の影響が大きくなることもありうるが、その可能性は品質保証や坑道掘削及び定置前の特性調査により低くすることができる。このため、このプロセスは今後の検討から除外することができる。</p>
--

### 文献リスト

- ・動力炉・核燃料開発事業団 (1992) : 高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書  
-平成3年度-, PNC TN 1410 92-081
- ・Nagra (1994) : Kristallin-I : Safety Assessment Report, NTB 93-22E



FEP名 ベントナイトの圧密・クリープ変形

No. B-3.5

キーワード ベントナイト

改定日 97.01.27

圧密

クリープ

変形

Version 1

作成者 鹿島

## 内 容

クリープは、応力を瞬間的に与えそれを長期間一定に保った時、瞬間的には弾性ひずみを生ずるが、時間の経過とともにひずみが増大する粘性的な現象である。ベントナイトは良好な可塑性を有しているが、充填密度に依存してベントナイトの圧密やクリープ変形が生ずるかもしれない。特に、作用荷重の大きい底部ベントナイトは、その影響が大きいと考えられる。その場合、核種移行経路の長さを減少させたり、ベントナイトの密度を増加させ水理特性を変化させるかもしれない。

## 原 因

ベントナイトの冠水

「ベントナイトの冠水」結果参照。

ベントナイトの応力

「ベントナイトの応力」結果参照。

ベントナイトの力学物性

「ベントナイトの力学物性」結果参照。

## 結 果

ベントナイトの膨潤

「ベントナイトの膨潤」原因参照。

ベントナイトの力学物性

「ベントナイトの力学物性」原因参照。

ベントナイトの水理特性

「ベントナイトの水理特性」原因参照。

ベントナイトの核種移行

ベントナイトが圧密及びクリープ変形することにより初期に確保した厚さが減少し、核種移行経路の長さを減少させるかもしれない。

## 性能評価上の取り扱い

【想定期間：処分場閉鎖後】

作用荷重が最も大きいと考えられる底部ベントナイトに着目した、圧密及びクリープ解析を行う。その結果を核種移行計算に反映させる。

## モデル化に関する記述

圧密についてはBiotの圧密理論（弾性体）を適用するものが主流である。これに弾塑性問題を組み込んだものとしてCam-Clayモデルと関口・太田モデルがある。Cam-Clayモデルは、土を一種の弾塑性材料と仮定し、弾塑性材料となる条件を降伏曲面で表し、さらに応力ひずみ関係は塑性ひずみ増分の方向がこの降伏曲面と直交するという塑性論より誘導したものである。関口・太田モデルは、Cam-Clayモデルと基本的には

等価であるが、土の異方応力状態、主応力の回転及びそれに伴うダレイタンスー効果を表現可能にしたものである。クリープについては、粘弾塑性モデル（弾塑性モデルに粘性効果を考慮）を取り扱える関口・太田モデルがある（鹿島建設, 1995）。これまでTRU廃棄物処分研究では、大断面岩洞方式（ $\phi 30\text{m}$ ）を対象に、底部ベントナイト（乾燥密度  $\rho_d = 1.8\text{g/cm}^3$ 、初期厚1m）の圧密解析を関口・太田の弾塑性モデルにより実施した。その結果、底部ベントナイト上面中央で数mmの最終沈下量が得られた（鹿島建設, 1996）。

### HLWとの相違点

HLWとは異なり、セメント系材料を多量に使用することが予想されるTRU廃棄物処分場では、Na型ベントナイトのCa化を考慮する必要がある。但し、圧密やクリープが発生する期間中にCa化するかを見極める必要がある。

### 他の性能評価レポートでの取り扱い

Kristallin-I (Nagra, 1994)

ベントナイトが飽和した状態で通常の土質力学のクリープ-ひずみ方程式及び短期の圧縮試験データを用いた解析では、10,000年間における最大沈下量は1~5mmであり、時間とともに減少することが示された（Whittle et al., 1991）。核種移行に対しては、20cm沈下（20%ずれ）の場合には緩衝材からの総拡散フラックスに影響を与えず、70cm沈下（50%ずれ）の場合でも総フラックスが20%増えるだけである（Mckinley et al., 1992）。しかしながら、非常に長期の時間スケールに渡って応力ひずみ硬化となる性質の固体として圧縮ベントナイトをモデル化することが適切かどうかについては不確かなものとなっている。

### 文献リスト

- ・鹿島建設（1995）：TRU廃棄物処分システムにおける人工バリアの長期力学的挙動の研究，動燃委託研究 PNC ZJ1100 95-004, pp3-6~15
- ・鹿島建設（1996）：TRU廃棄物の処分概念の検討，動燃委託研究 PNC ZJ1100 96-005, pp1.3-2~8
- ・Nagra（1994）：Kristallin-I: Safety Assessment Report, NTB 93-22E

## FEP名 セメント系材料の温度

キーワード セメント系材料  
温度

No. C-1.1

改定日 97.01.27

Version 1

作成者 鹿島

### 内 容

セメント系材料の温度は、廃棄体とニアフィールド母岩の温度との相互作用によって決まる。セメント系材料の温度は、セメント系材料の多くの性質（機械的、物理/化学的、核種移行など）に影響を及ぼすことが想定される。

### 原 因

#### NF母岩の温度

「NF母岩の温度」結果参照。

#### NF母岩の熱物性

「NF母岩の熱物性」結果参照。

#### ペントナイトの熱物性

「ペントナイトの熱物性」結果参照。

#### セメント系材料の熱物性

セメント系材料の熱物性は、発熱性廃棄体に起因するセメント系材料の温度変化量に影響する。

#### 廃棄体の温度

廃棄体の温度変化に伴いセメント系材料の温度が変化する。

#### 廃棄体の熱物性

廃棄体の熱物性は、発熱性廃棄体に起因するセメント系材料の温度変化量に影響する。

### 結 果

#### セメント系材料の熱物性

コンクリートの熱物性は、その温度によってかなりの幅で変動する（土木学会, 1996）。コンクリートの熱膨張係数は、使用骨材の種類及び配合によって異なるが、100℃程度までの通常の温度変化の範囲内で $(7\sim 13) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度（大塚他, 1992）となる（日本コンクリート工学協会, 1996）。

#### セメント系材料の熱膨張

セメント系材料には、その温度変化及び熱膨張係数に応じた熱膨張（ひずみ）が発生する。

#### セメント系材料の冠水

セメント系材料中の温度勾配より水分移動が起こり、冠水特性が変化する。

#### セメント系材料の水理特性

健全なセメント系材料の水理特性は、温度に依存することが想定される。しかし、水圧の作用により破壊した後は、あまり影響の無い事象と考えられる。

#### セメント系材料の力学物性

圧縮強度の低下は100℃前後までは比較的小さいが、それ以上では温度に反比例して残存圧縮強度比が小さくなる傾向を示す。しかし、50～80℃で一度極小値を示し、その後、温度を上昇させると圧縮強度が回復し、その後さらに温度を上昇させると、温度に反比例して残存圧縮強度比が小さくなるという報告（岸谷

他, 1982) や、150℃で長期間保存した場合に崩壊したという報告 (赤石他, 1982) もある。静弾性係数は、100℃以下の温度でも温度に反比例して減少する傾向が認められる (日本コンクリート工学協会, 1996)。
<b>セメント系材料空隙水の化学</b> セメント系材料の温度変化は、鉱物-水反応に影響を与えるため、セメント系材料空隙水の化学に影響を与える可能性がある。
<b>セメント系材料の鉱物組成・特性</b> 骨材は造岩鉱物の種類や生成時に熱作用を受けたかどうかによって異なるが、一般には高温の熱を受けて膨張する傾向を示す (日本コンクリート工学協会, 1996)。
<b>セメント系材料中の微生物の活動</b> セメント系材料の温度は、微生物によって異なるが、その生息や活動に影響を与える。
<b>セメント系材料成分の溶解</b> セメント系材料成分の溶出過程において温度が影響することが考えられる。
<b>鋼材の腐食</b> 溶存酸素の存在する水溶液中では、温度の上昇によって対流や拡散が促進されるため腐食速度が増加する。しかし、開放系では温度の上昇とともに酸素の溶解度が低下するため、約80℃以上では温度の上昇とともに腐食速度は減少する。
<b>セメント系材料中の腐食生成物生成</b> 温度により生成する腐食生成物の種類や特性は、異なる可能性がある。
<b>セメント系材料中の核種移行</b> セメント系材料の温度は、収着等の核種移行に影響を与える可能性がある。
<b>セメント系材料中のガス移行</b> セメント系材料の温度は、セメント系材料中のガス移行に影響すると考えられる。
<b>セメント系材料空隙水中の溶質の移行</b> セメント系材料の温度は、溶質の拡散に影響を与える可能性がある。

## 性能評価上の取り扱い

### 【想定期間：処分場閉鎖後】

処分場閉鎖後、廃棄物から発生する熱が有意な期間及び部分においては、最大温度を考慮する。発熱終了後及び発熱の影響が無い部分においては、処分場閉鎖後に到達する定常状態の温度を考慮する。

## モデル化に関する記述

炉からの取り出し後15年冷却したハル・エンドピース廃棄体を熱源とする廃棄体からニアフィールド母岩までの熱解析を解析コード「ANSYS」により解析した。その結果、セメント系材料の温度は、最高で約300℃ (深度700m、大断面岩洞方式 (φ30m)、堆積岩系岩盤)、最低で約50℃ (深度300m、坑道方式 (φ10m)、結晶質岩系岩盤) であった。処分空洞の中心間距離による影響はわずかであった (鹿島建設, 1996)。

## HLWとの相違点

HLWでは、処分場システムにセメント系材料の使用を想定していない。

## 他の性能評価レポートでの取り扱い

不明。

## 文献リスト

- ・土木学会 (1996) : コンクリート標準示方書 平成8年版 設計編, pp25~26
- ・大塚浩司他 (1992) : コンクリート工学, p131
- ・日本コンクリート工学協会 (1996) : コンクリート便覧 第二版, p262、pp265~266
- ・岸谷孝一、蒿秀雄、他 (1982) : 20~300°Cの高温にさらされたコンクリートの性状に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北), pp317~318
- ・赤石博、川瀬清孝 (1982) : 高温下 (80~250°C) におけるコンクリートの強度性状について (その5), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北), pp321~322
- ・鹿島建設株式会社 (1996) : TRU廃棄物の処分概念の検討 熱解析報告書

## FEP名 セメント系材料の熱物性

No. C-1.2

キーワード セメント系材料  
熱物性  
熱膨張係数  
熱伝導率  
比熱

改定日 97.01.27

Version 1

作成者 鹿島

### 内 容

セメント系材料の熱物性としては、熱膨張係数、熱伝導率、比熱及び熱拡散率が挙げられる。

コンクリートの熱物性は、一般に体積の大部分を占める骨材の特性によって大きく影響され、また、同一配合のコンクリートでも、その含水状態や温度によってかなりの幅で変動する（土木学会, 1996）。コンクリート標準示方書（土木学会, 1996）では、コンクリートの熱特性は、実験あるいは既往のデータに基づいて定めることを原則としており、熱膨張係数のみ一般に $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ としている。

### 原 因

#### セメント系材料の温度

「セメント系材料の温度」結果参照。

#### セメント系材料の冠水

コンクリートの熱物性は、その含水状態によってかなりの幅で変動する（土木学会, 1996）。したがって、セメント系材料の冠水は、熱物性に影響を与える。

#### セメント系材料の力学物性

コンクリートの熱物性のうち、熱伝導率 $\lambda_c$ 、熱拡散率 $h_c^2$ 及び比熱 $c_c$ は、密度 $\rho$ を介して、 $h_c^2 = \lambda_c / (c_c \cdot \rho)$ の関係にある（土木学会, 1996）。

#### セメント系材料の鉱物組成・特性

コンクリートの熱物性は、一般に体積の大部分を占める骨材の特性によって大きく影響される（土木学会, 1996）。熱膨張係数は、一般には石英質の骨材を用いると大きくなり、砂岩、花崗岩、玄武岩、石灰岩の順に小さくなる。また、セメントペーストの熱膨張係数は $22 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度（村田, 1992）で骨材よりも大きいので、セメントペースト量の多いコンクリートの方が熱膨張係数は大きくなる（日本コンクリート工学協会, 1996）。

### 結 果

#### NF母岩の温度

「NF母岩の温度」原因参照。

#### バントナイトの温度

「バントナイトの温度」原因参照。

#### セメント系材料の温度

「セメント系材料の温度」原因参照。

#### セメント系材料の熱膨張

セメント系材料の熱物性のうち熱膨張係数は、セメント系材料の熱膨張量に影響する。

#### 廃棄体の温度

セメント系材料の熱物性は、発熱性廃棄体の温度変化量に影響する。

## 性能評価上の取り扱い

【想定期間：処分場閉鎖後】

処分場の熱解析においては保守側の設定を行うことを基本とする。

## モデル化に関する記述

保守側の熱解析を実施する観点より、コンクリート標準示方書より小さな熱伝導率が示されている伝熱工学資料（日本機械学会, 1986）を参考とした（鹿島建設, 1996）。同書によると温度293K、密度2,400kg/m<sup>3</sup>における石灰岩コンクリートの熱伝導率及び比熱は、各々1.2 (W/mK)、0.90 (kJ/kgK) である。ちなみにコンクリート標準示方書（土木学会, 1996）では、熱伝導率2.6 (W/mK)、比熱1.05 (kJ/kgK) である。

## HLWとの相違点

HLWでは、処分場システムにセメント系材料の使用を想定していない。

## 他の性能評価レポートでの取り扱い

不明。

## 文献リスト

- ・土木学会（1996）：コンクリート標準示方書 平成8年版 設計編, pp25～26
- ・村田二郎（1992）：土木材料 コンクリート, pp119～120
- ・日本コンクリート工学協会（1996）：コンクリート便覧 第二版, p262
- ・鹿島建設（1996）：TRU廃棄物の処分概念の検討, 動燃委託研究 PNC ZJ1100 96-005, pl. 1-45

FEP名 セメント系材料の熱膨張

No. C-1.3

キーワード セメント系材料  
熱膨張

改定日 97.01.27

Version 1

作成者 鹿島

## 内 容

廃棄体の発熱により温度が上昇し、セメント系材料が熱膨張することが想定される。熱膨張量は温度と熱膨張係数及び応力的な拘束条件に依存する。

## 原 因

セメント系材料の温度

「セメント系材料の温度」結果参照。

セメント系材料の熱物性

「セメント系材料の熱物性」結果参照。

セメント系材料の応力

セメント系材料に作用する応力により熱膨張量が制限される。

## 結 果

セメント系材料の応力

熱膨張が拘束されることによりセメント系材料中に熱応力が発生する。

セメント系材料の体積変化

熱膨張により体積が変化する。

## 性能評価上の取り扱い

【想定期間：処分場閉鎖後】

セメント系材料は、熱膨張により応力が発生し、拘束条件によってひび割れ等が生じる。一般の土木構造物では重要な問題であるが、冠水後の水圧により破壊することを想定しているTRU廃棄物処分場においては重要な事象とはならない。

## モデル化に関する記述

無拘束のコンクリート部材に生じる熱膨張量は、温度上昇量、熱膨張係数及び部材厚（長）の積で求められる。例えば、大断面処分方式において温度上昇量 $300^{\circ}\text{C}$ 、熱膨張係数 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 、部材厚 $1\text{m}$ とした場合、厚さ方向に $3\text{mm}$ の熱膨張が生じる。これは $75\text{MPa}$ 程度の応力が作用したのに等しい。

## HLWとの相違点

HLWでは、処分場システムにセメント系材料の使用を想定していない。

## 他の性能評価レポートでの取り扱い

不明。



# 文献リスト

大野 隆一 (2009)

1. 大野 隆一 (2009)

2. 大野 隆一 (2009)

3. 大野 隆一 (2009)

4. 大野 隆一 (2009)

5. 大野 隆一 (2009)

6. 大野 隆一 (2009)

7. 大野 隆一 (2009)

8. 大野 隆一 (2009)

9. 大野 隆一 (2009)

10. 大野 隆一 (2009)

11. 大野 隆一 (2009)

12. 大野 隆一 (2009)

13. 大野 隆一 (2009)

14. 大野 隆一 (2009)

15. 大野 隆一 (2009)

16. 大野 隆一 (2009)

17. 大野 隆一 (2009)

18. 大野 隆一 (2009)

19. 大野 隆一 (2009)

20. 大野 隆一 (2009)

21. 大野 隆一 (2009)

22. 大野 隆一 (2009)

23. 大野 隆一 (2009)

24. 大野 隆一 (2009)

25. 大野 隆一 (2009)

26. 大野 隆一 (2009)

27. 大野 隆一 (2009)

28. 大野 隆一 (2009)

29. 大野 隆一 (2009)

30. 大野 隆一 (2009)

31. 大野 隆一 (2009)

32. 大野 隆一 (2009)

33. 大野 隆一 (2009)

34. 大野 隆一 (2009)

35. 大野 隆一 (2009)

36. 大野 隆一 (2009)

37. 大野 隆一 (2009)

38. 大野 隆一 (2009)

39. 大野 隆一 (2009)

40. 大野 隆一 (2009)

41. 大野 隆一 (2009)

42. 大野 隆一 (2009)

43. 大野 隆一 (2009)

44. 大野 隆一 (2009)

45. 大野 隆一 (2009)

46. 大野 隆一 (2009)

47. 大野 隆一 (2009)

48. 大野 隆一 (2009)

49. 大野 隆一 (2009)

50. 大野 隆一 (2009)

51. 大野 隆一 (2009)

52. 大野 隆一 (2009)

53. 大野 隆一 (2009)

54. 大野 隆一 (2009)

55. 大野 隆一 (2009)

56. 大野 隆一 (2009)

57. 大野 隆一 (2009)

58. 大野 隆一 (2009)

59. 大野 隆一 (2009)

60. 大野 隆一 (2009)

61. 大野 隆一 (2009)

62. 大野 隆一 (2009)

63. 大野 隆一 (2009)

64. 大野 隆一 (2009)

65. 大野 隆一 (2009)

66. 大野 隆一 (2009)

67. 大野 隆一 (2009)

68. 大野 隆一 (2009)

69. 大野 隆一 (2009)

70. 大野 隆一 (2009)

71. 大野 隆一 (2009)

72. 大野 隆一 (2009)

73. 大野 隆一 (2009)

74. 大野 隆一 (2009)

75. 大野 隆一 (2009)

76. 大野 隆一 (2009)

77. 大野 隆一 (2009)

78. 大野 隆一 (2009)

79. 大野 隆一 (2009)

80. 大野 隆一 (2009)

81. 大野 隆一 (2009)

82. 大野 隆一 (2009)

83. 大野 隆一 (2009)

84. 大野 隆一 (2009)

85. 大野 隆一 (2009)

86. 大野 隆一 (2009)

87. 大野 隆一 (2009)

88. 大野 隆一 (2009)

89. 大野 隆一 (2009)

90. 大野 隆一 (2009)

91. 大野 隆一 (2009)

92. 大野 隆一 (2009)

93. 大野 隆一 (2009)

94. 大野 隆一 (2009)

95. 大野 隆一 (2009)

96. 大野 隆一 (2009)

97. 大野 隆一 (2009)

98. 大野 隆一 (2009)

99. 大野 隆一 (2009)

100. 大野 隆一 (2009)

大野 隆一 (2009)

大野 隆一 (2009)

大野 隆一 (2009)

大野 隆一 (2009)

大野 隆一 (2009)

大野 隆一 (2009)

FEP名 セメント系材料の冠水

No. C-2.1

キーワード セメント系材料  
冠水

改定日 97.01.27

Version 1

作成者 鹿島

## 内 容

ニアフィールド母岩は、処分場の建設・作業中において、一度不飽和の状態に置かれる。この時に設置されるセメント系材料も不飽和の状態である。しかし、処分場閉鎖後、ニアフィールド母岩が再飽和することによりベントナイトさらにはセメント系材料が冠水する。冠水後、深地層処分場のセメント系材料には、高水圧が作用する。

## 原 因

### ベントナイトの冠水

「ベントナイトの冠水」結果参照。

### セメント系材料の温度

「セメント系材料の温度」結果参照。

### セメント系材料の水理特性

不飽和のセメント系材料における飽和過程は、セメント系材料の水理特性に影響される。

## 結 果

### セメント系材料の熱物性

「セメント系材料の熱物性」原因参照。

### セメント系材料の応力

深地層処分場のセメント系材料が冠水することにより高水圧が作用する。ただし、ベントナイトが難透水性であるため、ベントナイトが冠水した段階でセメント系材料に水圧が作用することも考えられる。

### セメント系材料の体積変化

湿潤によりセメント系材料の体積変化が起こる（日本コンクリート工学協会, 1996）。ただし、影響は小さいと考えられる。

### セメント系材料空隙水の化学

セメント系材料の冠水に伴い、空隙水化学はセメント系材料と地下水との化学反応によって変化していくことが考えられる。

### セメント系材料の鉱物組成・特性

セメント系材料の冠水に伴い鉱物組成や特性は、セメント系材料と地下水との化学反応によって変化していくことが考えられる。

### セメント系材料成分の溶解

セメント系材料と地下水が接触することにより、セメント系材料中の水酸化カルシウム等の成分溶出が想定される。

### 鋼材の腐食

鋼材と地下水が接した時点から鋼材が腐食する。セメント系材料が地下水で飽和した後は酸素の供給が制限されるため、水の還元による鋼材（鉄筋ほか）の嫌気性腐食が進行するものと想定される。

### セメント系材料の放射線分解

模擬廃棄物を混入させたセメントにγ線を照射した試験により、含水比が高くなると水素ガスの発生が大き

くなり、また乾燥させた場合には低下することが報告されている（動燃事業団, 1994）。

#### 廃棄体と空隙水の接触

セメント系材料が冠水し飽和することにより、廃棄体と空隙水の接触が起こる。

### 性能評価上の取り扱い

【想定期間：処分場閉鎖後】

現状、TRU廃棄物処分研究においてはセメント系材料の飽和過程を検討していない。

核種移行計算には、飽和までの時間を無視している。

### モデル化に関する記述

#### HLWとの相違点

HLWでは、処分場システムにセメント系材料の使用を想定していない。

### 他の性能評価レポートでの取り扱い

不明。

### 文献リスト

- ・日本コンクリート工学協会（1996）：コンクリート便覧 第二版, p261
- ・動力炉・核燃料開発事業団 環境技術開発推進本部（1994）：TRU廃棄物処分に係る研究開発の現状(1)  
、PNC TN1420 96-014, p133

## FEP名 セメント系材料の水理特性

No. C-2.2

キーワード セメント系材料  
水理特性  
透水係数

改定日 97.01.27

Version 1

作成者 鹿島

### 内 容

コンクリートに代表されるセメント系材料は多孔材料であり、内部に数nmから数mmまでの種々の大きさの穴が多数存在する。したがって、セメント系材料は、健全な状態において透水係数 $10^{-20}$ m/sec程度の難透水性を有している（日本コンクリート工学協会, 1996）。しかしながら、深地層処分場における高水圧に耐えうるコンクリート構造物とするためには部材厚が非常に厚くなり非現実的である（鹿島建設, 1996）。そのため処分場閉鎖以後のセメント系材料には構造部材としての機能は期待せず、作業時のガイドとしての役割を期待する。したがって、セメント系材料は水圧によるひび割れが生じ、高透水性となる。一方、セメント系材料の周囲は、飽和状態においては極めて低い透水性を有するベントナイトによって取り囲まれているため、物質の移動は拡散が支配的であると考えられる。

### 原 因

#### セメント系材料の温度

「セメント系材料の温度」結果参照。

#### セメント系材料の応力

深地層処分場におけるセメント系材料は、高水圧によるひび割れが生じ、高透水性となる。

#### セメント系材料の鉱物組成・特性

水セメント比が55%を越えると、透水係数が急に大きくなる（日本コンクリート工学協会, 1996）。ただし、水圧作用によるセメント系材料のひび割れ発生を想定しているため、この事象は重要ではない。

#### セメント系材料成分の溶解

水酸化カルシウム等の成分が地下水中に溶解することにより結合力を失い、ひび割れ発生以上に高透水性となる。

### 結 果

#### セメント系材料の冠水

「セメント系材料の冠水」原因参照。

#### セメント系材料中の核種移行

ひび割れや成分溶出によりセメント系材料は高透水性となることが想定される。しかし、セメント系材料の周囲は、飽和状態においては極めて低い透水性を有するベントナイトによって取り囲まれている。そのためセメント系材料中の核種移行は、濃度勾配によって引き起こされる拡散によって支配されることが考えられる。

#### セメント系材料空隙水の溶質の移行

ひび割れや成分溶出によりセメント系材料は高透水性となることが想定される。しかし、セメント系材料の周囲は、飽和状態においては極めて低い透水性を有するベントナイトによって取り囲まれている。そのためセメント系材料中の溶質の移動は、濃度勾配によって引き起こされる拡散によって支配されることが考えられる。

## 性能評価上の取り扱い

【想定期間：処分場閉鎖後】

性能評価上、セメント系材料は高透水ゾーンとして評価する。難透水性は、期待しない。

## モデル化に関する記述

モデル化の必要なし。

## HLWとの相違点

HLWでは、処分場システムにセメント系材料の使用を想定していない。

## 他の性能評価レポートでの取り扱い

不明。

## 文献リスト

- ・日本コンクリート工学協会（1996）：コンクリート便覧 第二版，p265
- ・鹿島建設（1996）：TRU廃棄物の処分概念の検討，動燃委託研究 PNC ZJ1100 96-005，pp1.1-73～81

FEP名 セメント系材料の応力

No. C-3.1

キーワード セメント系材料  
応力  
ひび割れ

改定日 97.01.24

Version 1

作成者 鹿島

## 内 容

深地層処分場における高水圧に耐えうるコンクリート構造物とするためには部材厚が非常に厚くなり非現実的である（鹿島建設, 1996）。そのため処分場閉鎖以後のセメント系材料には構造部材としての機能は期待せず、操業時のガイドとしての役割を期待する。したがって、セメント系材料は水圧によるひび割れが生じる。

処分場閉鎖以前のセメント系材料のうちコンクリートピットは、ベントナイト土圧や廃棄体重量などを考慮した設計を行う。

## 原 因

### ベントナイトの膨潤

「ベントナイトの膨潤」結果参照。

### ベントナイトの応力

「ベントナイトの応力」結果参照。

### セメント系材料の熱膨張

「セメント系材料の熱膨張」結果参照。

### セメント系材料の冠水

「セメント系材料の冠水」結果参照。

### セメント系材料の力学特性

セメント系材料に発生する応力は、力学物性に依存する。

### セメント系材料の体積変化

セメント系材料は多かれ少なかれ拘束されており、体積変化が生じると応力が発生する。

### 鋼材の腐食膨張

鉄は、発錆によって腐食生成物を生じ、約2.5倍に体積膨張する。この膨張圧によってかぶりコンクリートにひび割れを生じさせたり、かぶりコンクリートのはく離を生じさせたりする（日本コンクリート工学協会, 1996）。

### 廃棄体の腐食膨張

鉄は、発錆によって腐食生成物を生じ、約2.5倍に体積膨張する（日本コンクリート工学協会, 1996）。これによりセメント系材料に膨張圧が作用する。

### 廃棄体の応力

廃棄体の応力がセメント系材料に作用する。

## 結 果

### ベントナイトの応力

「ベントナイトの応力」原因参照。

### セメント系材料の熱膨張

「セメント系材料の熱膨張」原因参照。

セメント系材料の水理特性
「セメント系材料の水理特性」原因参照。
セメント系材料の力学特性
水圧作用後、セメント系材料にはひび割れが生じることが想定される。これによりセメント系材料の力学物性は、影響を受ける。
セメント系材料の体積変化
セメント系材料に作用する外力により弾性変形やクリープ変形が生じ、セメント系材料の体積変化が起こる。
セメント系材料中のガス移行
水圧作用後、セメント系材料にはひび割れが生じることが想定される。これによりセメント系材料の内側にはガスが蓄圧せず、移行すると考えられる。
廃棄体の応力
セメント系材料の応力が廃棄体に作用する。

### 性能評価上の取り扱い

【想定期間：処分場閉鎖後】
深地層処分場における高水圧に耐えうるコンクリート構造物とするためには部材厚が非常に厚くなり非現実的である（鹿島建設, 1996）。そのため処分場閉鎖以後のセメント系材料には構造部材としての機能は期待しない。

### モデル化に関する記述

処分場閉鎖前のセメント系材料に対しては、一般の土木構造物の設計に用いられる応力解析モデルが適用できる。
処分場閉鎖後においては、不明。

### HLWとの相違点

HLWでは、処分場システムにセメント系材料の使用を想定していない。
-----------------------------------

### 他の性能評価レポートでの取り扱い

不明。
-----

### 文献リスト

- ・日本コンクリート工学協会（1996）：コンクリート便覧 第二版, p280
- ・鹿島建設（1996）：TRU廃棄物の処分概念の検討, 動燃委託研究 PNC ZJ1100 96-005, pp1. 1-73~81

FEP名 セメント系材料の力学物性

No. C-3.2

キーワード セメント系材料  
力学物性  
弾性係数  
圧縮強度  
引張強度

改定日 97.01.24  
Version 1  
作成者 鹿島

## 内 容

セメント系材料の力学物性としては、単位体積重量、弾性係数、ポアソン比、圧縮強度、引張強度、曲げ強度、クリープ係数などがある。これらの力学物性のうちどのデータが必要かは、力学モデルの選定が前提となる。物性値は、コンクリート標準示方書（土木学会）などの既存指針類に基づき設定される。

## 原 因

セメント系材料の温度

「セメント系材料の温度」結果参照。

セメント系材料の鉱物組成・特性

セメント系材料の力学物性は、使用するセメントの種類や配合に影響を受ける。

## 結 果

セメント系材料の熱物性

「セメント系材料の熱物性」原因参照。

セメント系材料の応力

「セメント系材料の応力」原因参照。

## 性能評価上の取り扱い

【想定期間：処分場閉鎖後】

深地層処分場における高水圧に耐えうるコンクリート構造物とするためには部材厚が非常に厚くなり非現実的である（鹿島建設, 1996）。そのため処分場閉鎖以後のセメント系材料には構造部材としての機能は期待しない。

## モデル化に関する記述

処分場閉鎖前のセメント系材料に対しては、コンクリート標準示方書（土木学会）などの既存指針類に基づいた設定が可能である。

処分場閉鎖後においては、不明。

## HLWとの相違点

HLWでは、処分場システムにセメント系材料の使用を想定していない。

## 他の性能評価レポートでの取り扱い

不明。

## 文献リスト



## FEP名 セメント系材料の体積変化

No. C-3.3

キーワード セメント系材料  
体積変化  
成分溶解  
水酸化カルシウム

改定日 97.01.27

Version 1

作成者 鹿島

### 内 容

硬化コンクリートの体積変化には、①温度変化によるもの、②乾燥あるいは湿潤によるもの、③自己収縮、④外力によるもの、⑤クリープによるもの、⑥コンクリート内部での化学反応によるものに分けることができる（日本コンクリート工学協会, 1996）。このうちTRU廃棄物処分場の成立性の観点から特に問題となるのは、⑥コンクリート内部での化学反応によるものである。すなわち水和反応により生成された水酸化カルシウム等が長期には空隙水中に溶出し、体積を減少するといった問題である。通常のポルトランドセメントを用いたコンクリートでは全体の10vol.%弱が水酸化カルシウムと考えられ（鹿島建設, 1996）、全てが溶出した場合の体積変化量は他の要因と比して大きなものとなる。

### 原 因

#### セメント系材料の熱膨張

「セメント系材料の熱膨張」結果参照。

#### セメント系材料の冠水

「セメント系材料の冠水」結果参照。

#### セメント系材料の応力

「セメント系材料の応力」結果参照。

#### セメント系材料成分の鉱物組成・特性

硫酸塩の影響により生じるエトリンガイトは膨張し、石こうは水に溶解する。

#### セメント系材料成分の溶解

水和反応により生成された水酸化カルシウム等が長期には空隙水中に溶出し、体積を減少する。通常のポルトランドセメントを用いたコンクリートでは全体の10vol.%弱が水酸化カルシウムと考えられ（鹿島建設, 1996）、全てが溶出した場合の体積変化量は他の要因と比して大きなものとなる。

### 結 果

#### NF母岩のクリープ変形

「NF母岩のクリープ変形」原因参照。

#### ベントナイトの膨潤

「ベントナイトの膨潤」原因参照。

#### セメント系材料の応力

「セメント系材料の応力」原因参照。

### 性能評価上の取り扱い

【想定期間：処分場閉鎖後】

セメント系材料の体積変化（体積減少）によるベントナイトへの影響、特に透水係数を評価する。

## モデル化に関する記述

固化体及びセメント系材料成分の溶解による体積減少の影響を概略計算した。その結果、大断面及び小断面岩洞方式では $\mu$ オーダー、坑道方式では数10cmオーダーの変形がベントナイトに生じると予想された。したがって、体積減少の原因を内在しているハル・エンドピース圧縮体やアスファルト固化体の処分に対し、現状のシステム構成における大断面及び小断面岩洞方式は不向きと考えられる。一方、坑道方式の場合は、体積減少の影響が小さいものと判断される（鹿島建設, 1996）。

## HLWとの相違点

HLWでは、処分場システムにセメント系材料の使用を想定していない。

## 他の性能評価レポートでの取り扱い

不明。

## 文献リスト

- ・日本コンクリート工学協会（1996）：コンクリート便覧 第二版, p261
- ・鹿島建設（1996）：TRU廃棄物の処分概念の検討, 動燃委託研究 PNC ZJ1100 96-005, pp1.1-8～9、1.1-55～1.1-60

FEP名 鋼材の腐食膨張

No. C-3.4

キーワード セメント系材料  
鋼材  
鉄筋  
腐食膨張

改定日 97.01.27

Version 1

作成者 鹿島

## 内 容

鉄は、発錆によって腐食生成物を生じ、約2.5倍に体積膨張する。この膨張圧によってかぶりコンクリートにひび割れを生じさせたり、かぶりコンクリートのはく離を生じさせたりする（日本コンクリート工学協会, 1996）。

## 原 因

セメント系材料中の腐食生成物生成

鋼材（鉄筋など）の腐食により鉄が酸化鉄に変化して体積が増大する。この腐食生成物による体積膨張は、約2.5倍である（日本コンクリート工学協会, 1996）。

## 結 果

セメント系材料の応力

「セメント系材料の応力」原因参照。

## 性能評価上の取り扱い

【想定期間：処分場閉鎖後】

処分場閉鎖後のセメント系材料には、健全性を期待しないため、評価上あまり重要な事象ではないと考えられる。

## モデル化に関する記述

### HLWとの相違点

HLWでは、処分場システムにセメント系材料の使用を想定していない。

## 他の性能評価レポートでの取り扱い

Kristallin-I (Nagra, 1994)

腐食生成物によってニアフィールド内に発生する応力の具体的な計算評価はなされていない。

## 文献リスト

- ・日本コンクリート工学協会（1996）：コンクリート便覧 第二版, p280
- ・Nagra (1994) : Kristallin-I : Safety Assessment Report, NTB 93-22E

## FEP名 廃棄体の温度

No. W-1.1

キーワード 廃棄体  
温度  
ハル・エンドピース

改定日 97.01.27

Version 1

作成者 鹿島

## 内 容

TRU廃棄物のうちハル・エンドピース廃棄体は、放射能濃度が他の廃棄体と比較して高く、放射性崩壊による発熱特性を有している。したがって、ハル・エンドピース廃棄体の冷却期間や埋設密度によって、発熱が有意な期間中処分場の温度が規定される。

## 原 因

### NF母岩の温度

「NF母岩の温度」結果参照。

### NF母岩の熱物性

「NF母岩の熱物性」結果参照。

### ベントナイトの熱物性

「ベントナイトの熱物性」結果参照。

### セメント系材料の熱物性

「セメント系材料の熱物性」結果参照。

### 廃棄体の熱物性

廃棄体の熱物性は、その温度変化量に影響する。

### 廃棄体中での放射性崩壊

ハル・エンドピース廃棄体は、放射能濃度が他の廃棄体と比較して高く、放射性崩壊による発熱特性を有している。

## 結 果

### NF母岩の温度

「NF母岩の温度」原因参照。

### 建設・操業・閉鎖

「建設・操業・閉鎖」原因参照。

### ベントナイトの温度

「ベントナイトの温度」原因参照。

### セメント系材料の温度

「セメント系材料の温度」原因参照。

### 廃棄体の熱物性

廃棄体の熱物性は、温度に依存するかもしれない。

### 廃棄体の熱膨張

廃棄体の発熱に伴い、熱膨張するかもしれない。

### 廃棄体の力学物性

廃棄体の温度は、その力学物性に影響を与える。特に、アスファルト固化体では、影響が顕著と考えられる。

#### 廃棄体空隙水の化学

廃棄体の温度変化は、鉱物-水反応に影響を与えるため、廃棄体空隙水の化学に影響を与える可能性がある。

#### 廃棄体中の微生物の活動

廃棄体の温度は、微生物によって異なるが、その生息や活動に影響を与える。

#### 廃棄体の腐食

溶存酸素の存在する水溶液中では、温度の上昇によって対流や拡散が促進されるため腐食速度が増加する。しかし、開放系では温度の上昇とともに酸素の溶解度が低下するため、約80℃以上では温度の上昇とともに腐食速度は減少する。

#### 廃棄体の腐食生成物生成

温度により生成する腐食生成物の種類や特性は、異なる可能性がある。

#### 廃棄体成分の溶解

廃棄体成分（例えば、アスファルト固化体中の硝酸塩）の溶出過程において温度が影響することが考えられる。

#### 核種の溶解度

廃棄体の温度は、核種の溶解度に影響を与える。

### 性能評価上の取り扱い

#### 【想定期間：処分場閉鎖後】

処分場閉鎖後、廃棄物から発生する熱が有意な期間及び部分においては、最大温度を考慮する。発熱終了後及び発熱の影響が無い部分においては、処分場閉鎖後に到達する定常状態の温度を考慮する。

### モデル化に関する記述

炉からの取り出し後15年冷却したハル・エンドピース廃棄体を熱源とする廃棄体からニアフィールド母岩までの熱解析を解析コード「ANSYS」により解析した。その結果、廃棄体の温度は、最高で約450℃（深度700m、大断面岩洞方式（φ30m）、堆積岩系岩盤）、最低で約60℃（深度300m、坑道方式（φ10m）、結晶質岩系岩盤）であった。処分空洞の中心間距離による影響はわずかであった（鹿島建設, 1996）。

### HLWとの相違点

全てが発熱性を有するHLWとは異なり、2010年時点の国内で発生が想定される約30万本のうち20%程度が発熱性を有するハル・エンドピース廃棄体である。

### 他の性能評価レポートでの取り扱い

#### 文献リスト

- ・鹿島建設株式会社（1996）：TRU廃棄物の処分概念の検討 熱解析報告書

## FEP名 廃棄体の熱物性

No. W-1.2

キーワード 廃棄体  
熱物性  
発熱特性  
熱伝導率  
比熱

改定日 97.02.05

Version 1

作成者 鹿島

## 内 容

廃棄体の熱物性としては、熱膨張係数、熱伝導率、比熱及び発熱特性が挙げられる。これらは、固化材料の種類に大きく依存すると考えられる。

## 原 因

### 廃棄体の温度

「廃棄体の温度」結果参照。

### 廃棄体の固化材料

廃棄体の熱物性は、アスファルトやセメント系材料といった固化材料に影響される。

## 結 果

### NF母岩の温度

「NF母岩の温度」原因参照。

### バントナイトの温度

「バントナイトの温度」原因参照。

### セメント系材料の温度

「セメント系材料の温度」原因参照。

### 廃棄体の温度

「廃棄体の温度」原因参照。

### 廃棄体の熱膨張

廃棄体の熱物性のうち熱膨張係数は、廃棄体の熱膨張量に影響する。

## 性能評価上の取り扱い

【想定期間：処分場閉鎖後】

## モデル化に関する記述

発熱特性は、ハル・エンドピース廃棄体の燃焼条件（燃焼度、比出力、フラックス）及び元素の除去率から燃焼計算コード「ORIGEN2」を用いて計算した。その結果、炉からの取り出し年半年では410Wの発熱を有しているが、炉からの取り出し年50年では2.6Wとなり影響は少なくなる。（鹿島建設, 1996）。

また、熱膨張係数、熱伝導率及び比熱データの取得は、現在行われていない。そのため、熱解析で必要となる熱伝導率及び比熱に対しては、コンクリートピット内側においては90vol.%近くがセメント系材料であるため、その値を代用した（鹿島建設, 1996）。

## HLWとの相違点

全てが発熱性を有するHLWとは異なり、2010年時点の国内で発生が想定される約30万本のうち20%程度が発熱性を有するハル・エンドピース廃棄体である。

## 他の性能評価レポートでの取り扱い

### 文献リスト

- ・鹿島建設（1996）：TRU廃棄物の処分概念の検討，動燃委託研究 PNC ZJ1100 96-005，pp1.1-4～5、  
p1.1-45

FEP名 廃棄体の熱膨張

No. W-1.3

キーワード 廃棄体  
熱膨張

改定日 97.02.05

Version 1

作成者 鹿島

## 内 容

廃棄体の発熱により温度が上昇し、廃棄体自身が熱膨張することが想定される。熱膨張量は温度と熱膨張係数及び応力的な拘束条件に依存する。

## 原 因

廃棄体の温度

「廃棄体の温度」結果参照。

廃棄体の熱物性

「廃棄体の熱物性」結果参照。

廃棄体の応力

廃棄体に作用する応力により熱膨張量が制限される。

## 結 果

廃棄体の応力

熱膨張が拘束されることにより廃棄体中に熱応力が発生する。

廃棄体の体積変化

熱膨張により体積が変化する。

## 性能評価上の取り扱い

【想定期間：処分場閉鎖後】

## モデル化に関する記述

### HLWとの相違点

全てが発熱性を有するHLWとは異なり、2010年時点の国内で発生が想定される約30万本のうち20%程度が発熱性を有するハル・エンドピース廃棄体である。

## 他の性能評価レポートでの取り扱い

## 文献リスト



## FEP名 廃棄体と空隙水の接触

No. W-2.1

キーワード 廃棄体  
空隙水  
接触

改定日 97.02.05

Version 1

作成者 鹿島

### 内容

ニアフィールド母岩は、処分場の建設・操業中において、一度不飽和の状態に置かれる。この時に設置される廃棄体も不飽和の状態である。しかし、処分場閉鎖後、ニアフィールド母岩が再飽和することによりベントナイトさらにはセメント系材料が冠水する。その後、人工バリア内を通過した地下水が廃棄体と接触することになる。冠水後、深地層処分場の廃棄体には、高水圧が作用する。

### 原因

#### セメント系材料の冠水

「セメント系材料の冠水」結果参照。

### 結果

#### 廃棄体の応力

深地層処分場の廃棄体とセメント系材料を通過した空隙水が接触することにより高水圧が作用する。ただし、ベントナイトが難透水性であるため、ベントナイトが冠水した段階で廃棄体に水圧が作用することも考えられる。

#### 廃棄体の体積変化

湿潤によりセメント系固化材の体積変化が起こるかもしれない。ただし、影響は小さいと考えられる。アスファルト固化材では、アスファルト中での水の拡散とアスファルト中の物質による水の取り込みにより膨潤が起こる（動燃事業団, 1994）。

#### 廃棄体空隙水の化学

廃棄体と空隙水の接触に伴い、空隙水化学は廃棄体と地下水との化学反応によって変化していくことが考えられる。

#### 廃棄体の腐食

廃棄体容器や金属廃棄物と地下水が接した時点からそれらが腐食する。廃棄体が地下水で飽和した後は酸素の供給が制限されるため、水の還元による金属（ドラム缶、キャニスター、その他金属廃棄物など）の嫌気性腐食が進行するものと想定される。

#### 廃棄体成分の溶解

廃棄体と地下水が接触することにより、廃棄体中の成分（固化材料や核種）溶出が想定される。

#### 廃棄体からの核種放出

廃棄体からの核種放出は、核種の空隙水中への溶解により起こる。

### 性能評価上の取り扱い

#### 【想定期間：処分場閉鎖後】

現状、TRU廃棄物処分研究においては廃棄体と空隙水が接触するまでの過程を検討していない。核種移行計算には、飽和までの時間を無視している。

## モデル化に関する記述

### HLWとの相違点

HLWにおけるガラス固化体は、周囲に設置されるオーバーパックにより処分から1,000年程度の期間、地下水と接触しないように設計される。一方、TRU廃棄物にはオーバーパックの設置が考えられていないため、ベントナイトの低透水性以外の遅延効果は期待できない。

### 他の性能評価レポートでの取り扱い

### 文献リスト

- ・動力炉・核燃料開発事業団 環境技術開発推進本部 (1994) : TRU廃棄物処分に係る研究開発の現状調査(1), PNC TN1420 96-014, p60

FEP名 廃棄体の応力

No. W-3.1

キーワード 廃棄体  
応力

改定日 97.02.05

Version 1

作成者 鹿島

## 内 容

廃棄体の発熱、セメント系材料を介して伝達されるベントナイトの膨潤圧、ニアフィールド母岩のクリープ変形、ベントナイト・セメント系材料・廃棄体の自重などにより廃棄体には応力が発生する。廃棄体の応力変化により、それと接するセメント系材料、さらにはベントナイトやニアフィールド母岩の応力状態も変化する。また、廃棄体定置時に発生する応力レベルによって、俵積みが可能か、あるいはコンテナ等の補強材が必要かが判断される。

## 原 因

### セメント系材料の応力

「セメント系材料の応力」結果参照。

### 廃棄体の熱膨張

「廃棄体の熱膨張」結果参照。

### 廃棄体と空隙水の接触

「廃棄体と空隙水の接触」結果参照。

### 廃棄体の力学物性

廃棄体に発生する応力は、力学物性に依存する。

### 廃棄体の体積変化

廃棄体は多かれ少なかれ拘束されており、体積変化が生じると応力が発生する。

### 廃棄体の腐食膨張

鉄は、発錆によって腐食生成物を生じ、約2.5倍に体積膨張する（日本コンクリート工学協会, 1996）。廃棄体は多かれ少なかれ拘束されており、廃棄体の腐食膨張が生じると応力が発生する。

## 結 果

### 建設・操業・閉鎖

「建設・操業・閉鎖」原因参照。

### セメント系材料の応力

「セメント系材料の応力」原因参照。

### 廃棄体の熱膨張

「廃棄体の熱膨張」原因参照。

### 廃棄体の体積変化

廃棄体に作用する外力により弾性変形やクリープ変形が生じ、廃棄体の体積変化が起こる。

## 性能評価上の取り扱い

【想定期間：処分場閉鎖後】

処分場閉鎖以降、廃棄体の強度には期待しない。

### HLWとの相違点

HLWにおけるガラス固化体は、周囲に設置されるオーバーパックにより外力に対する耐圧性のある期間有している。一方、TRU廃棄物にはオーバーパックの設置が考えられていないため、耐圧性を見込むことが困難である。

### 他の性能評価レポートでの取り扱い

#### 文献リスト

- ・日本コンクリート工学協会（1996）：コンクリート便覧 第二版、p280

FEP名 廃棄体の力学物性

No. W-3.2

キーワード 廃棄体  
力学物性

改定日 97.02.05

Version 1

作成者 鹿島

## 内 容

廃棄体の力学物性のうち廃棄体強度は、定置方法（俵積み/コンテナ）に影響を与える。また、廃棄体の力学物性は、固化材料の種類に大きく依存すると考えられる。

## 原 因

廃棄体の温度

「廃棄体の温度」結果参照。

廃棄体の固化材料

廃棄体の力学物性は、アスファルトやセメント系材料といった固化材料に影響される。

## 結 果

廃棄体の応力

「廃棄体の応力」結果参照。

## 性能評価上の取り扱い

【想定期間：処分場閉鎖後】

処分場閉鎖以降、廃棄体の強度には期待しない。

## モデル化に関する記述

### HLWとの相違点

HLWにおけるガラス固化体は、周囲に設置されるオーバーパックにより外力に対する耐圧性のある期間有している。一方、TRU廃棄物にはオーバーパックの設置が考えられていないため、耐圧性を見込むことが困難である。

## 他の性能評価レポートでの取り扱い

## 文献リスト

FEP名 廃棄体の体積変化

No. W-3.3

キーワード 廃棄体  
体積変化

改定日 97.02.05

Version 1

作成者 鹿島

## 内 容

廃棄体の体積変化には、①温度変化によるもの、②外力によるもの、③化学反応によるもの、④廃棄体中の空隙によるものに分けることができる。このうちTRU廃棄物処分場の成立性の観点から特に問題となるのは、③化学反応によるもの及び④廃棄体中の空隙によるものである。前者は、アスファルト固化体中に含まれる硝酸塩やセメント系固化材成分が空隙水中に溶解し、体積を減少するといった問題である。アスファルト固化体の約30vol.%が硝酸塩と考えられる（鹿島建設, 1996）。後者は、固化材の充填ができずに残った空隙がつぶれ、体積を減少するといった問題である。全てが溶出した場合の体積変化量は他の要因と比して大きなものとなる。ハル・エンドピース廃棄体の約30vol.%が空隙と考えられる（鹿島建設, 1996）

## 原 因

### 廃棄体の熱膨張

「廃棄体の熱膨張」結果参照。

### 廃棄体と空隙水の接触

「廃棄体と空隙水の接触」結果参照。

### 廃棄体の応力

「廃棄体の応力」結果参照。

### 廃棄体の固化材料

固化材の種類により体積変化挙動が異なる。

### 廃棄体成分の溶解

アスファルト固化体中に含まれる硝酸塩やセメント系固化材成分が空隙水中に溶解し、体積を減少する可能性がある。

### 廃棄体中での放射性崩壊

La Haugeのアスファルト固化施設で作られた代表的なアスファルト固化体（11.5TBq  $\beta$   $\gamma$ 、30GBq  $\alpha$ ）の膨潤を6年間に渡り測定した結果、約16%の体積増加が見られている。一方、いくつかのモデルが開発されているが、これらの予測によると、37TBq/m<sup>3</sup>の $\alpha$ 放出体装荷の元では顕著な膨潤は見られず（<1%）、また、実際の再処理廃棄物のアスファルト固化体は最大でも0.2TBq/m<sup>3</sup>の $\alpha$ 放出体を含むだけであり、したがってアスファルト固化体の膨潤全般に対するそれらの寄与は完全に無視できないにしても非常に限定されたものであろう（動燃事業団, 1994）。

### 廃棄体中の空隙

廃棄体中の空隙がつぶされ、体積を減少する可能性がある。

## 結 果

### NF母岩のクリープ変形

「NF母岩のクリープ変形」原因参照。

### ペントナイトの膨潤

「ペントナイトの膨潤」原因参照。

### 廃棄体の応力

「廃棄体の応力」原因参照。

## 結 果

### NF母岩のクリープ変形

「NF母岩のクリープ変形」原因参照。

### ベントナイトの膨潤

「ベントナイトの膨潤」原因参照。

### 廃棄体の応力

「廃棄体の応力」原因参照。

## 性能評価上の取り扱い

【想定期間：処分場閉鎖後】

廃棄体の体積変化（体積減少）によるベントナイトへの影響、特に透水係数を評価する。

## モデル化に関する記述

固化体及びセメント系材料成分の溶解による体積減少の影響を概略計算した。その結果、大断面及び小断面岩洞方式では $\mu$ オーダー、坑道方式では数10cmオーダーの変形がベントナイトに生じると予想された。したがって、体積減少の原因を内在しているハル・エンドピース圧縮体やアスファルト固化体の処分に対し、現状のシステム構成における大断面及び小断面岩洞方式は不向きと考えられる。一方、坑道方式の場合は、体積減少の影響が小さいものと判断される（鹿島建設, 1996）。

## HLWとの相違点

廃棄体の体積変化によりベントナイトの透水係数が影響を受ける事象は、想定されていない。

## 他の性能評価レポートでの取り扱い

### 文献リスト

- ・鹿島建設（1996）：TRU廃棄物の処分概念の検討，動燃委託研究 PNC ZJ1100 96-005, pp1.1-6～7, 1.1-55～1.1-60
- ・動力炉・核燃料開発事業団 環境技術開発推進本部（1994）：TRU廃棄物処分に係る研究開発の現状調査(1) , PNC TN1420 96-014, pp60-61

FEP名 廃棄体の腐食膨張

No. W-3.4

キーワード 廃棄体  
腐食膨張

改定日 97.02.05

Version 1

作成者 鹿島

## 内 容

鉄は、発錆によって腐食生成物を生じ、約2.5倍に体積膨張する（日本コンクリート工学協会, 1996）。この膨張圧によって廃棄体及び周辺のセメント系材料は、応力的に影響を受ける。

## 原 因

廃棄体の腐食生成物生成

ドラム缶や鉄廃棄物などの腐食により鉄が酸化鉄に変化して体積が増大する。この腐食生成物による体積膨張は、約2.5倍である（日本コンクリート工学協会, 1996）。

## 結 果

セメント系材料の応力

「セメント系材料の応力」原因参照。

廃棄体の応力

「廃棄体の応力」原因参照。

## 性能評価上の取り扱い

【想定期間：処分場閉鎖後】

## モデル化に関する記述

### HLWとの相違点

厚さ30cmの炭素鋼オーバーパックを使用した場合のHLWと比較すると、廃棄体1個あたりの腐食膨張量は少ないと考えられる。

## 他の性能評価レポートでの取り扱い

Kristallin-I (Nagra, 1994)

腐食生成物によってニアフィールド内に発生する応力の具体的な計算評価はなされていない。

## 文献リスト

- ・日本コンクリート工学協会（1996）：コンクリート便覧 第二版, p280
- ・Nagra（1994）：Kristallin-I: Safety Assessment Report, NTB 93-22E



FEP名 廃棄体中の空隙

No. W-7.1

キーワード 廃棄体  
空隙

改定日 97.02.05

Version 1

作成者 鹿島

## 内 容

ハル・エンドピース圧縮体中には、圧縮しきれずに残存する空隙を内部に有している。その空隙量は、約30vol.%と言われている（鹿島建設, 1996）。さらにキャニスター上部には構造上の空隙を有している。また、アスファルト固化体などの他の廃棄体においても、固化材充填時に上部空隙が発生する。

## 原 因

## 結 果

### 廃棄体の体積変化

「廃棄体の体積変化」原因参照。

### 廃棄体中のガス（空気）

廃棄体が大気中で製作された場合、空隙には空気が入っていると考えられる。

## 性能評価上の取り扱い

【想定期間：処分場閉鎖後】

廃棄体内の全空隙を体積減少の原因として評価する。

## モデル化に関する記述

現状、体積変化解析には、ハル・エンドピース廃棄体の30vol.%を考慮している。

## HLWとの相違点

HLWには、空隙は想定されていない。

## 他の性能評価レポートでの取り扱い

## 文献リスト

- ・鹿島建設（1996）：TRU廃棄物の処分概念の検討，動燃委託研究 PNC ZJ1100 96-005, pp1.1-6