

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)

概要

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。については、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

T R U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)

概要

1997年3月

鹿島建設株式会社

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***
 吉市 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少ないため、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、掘削可能な径の検討、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

MARCH, 1997

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 isokation 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の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是、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、定位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 基本概念の構築方法とその進め方	1.1
1.2 検討条件	1.1
1.2.1 廃棄体特性	1.1
1.2.2 サイト特性	1.3
1.2.3 検討対象施設	1.4
1.2.4 その他の前提条件	1.4
1.3 基礎検討	1.5
1.3.1 処分場設置深度	1.5
1.3.2 アクセスの形式	1.5
1.3.3 掘削可能径の検討	1.5
1.3.4 人工バリアの基本概念	1.8
1.3.5 廃棄体収納方法及び定置方法	1.10
1.3.6 処分空洞の断面形状	1.12
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	1.16
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	1.16
1.4.2 熱解析	1.16
1.4.3 ベントナイトの透水性変化の検討	1.17
1.4.4 ベントナイトの圧密解析	1.28
1.4.5 ガス蓄圧の影響評価	1.29
1.4.6 大空洞長期挙動の予備的検討	1.31
1.4.7 処分システムの成立性の検討	1.32
1.4.8 今後の課題	1.32
1.5 処分場コンセプトの構築	1.33
1.5.1 部位の設計	1.33
1.5.2 全体レイアウト	1.39
1.5.3 建設計画	1.44
1.5.4 操業計画	1.48
1.5.5 閉鎖計画	1.52
1.5.6 その他	1.53

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	2-1
2.3.1 Na型ペントナイト	2-2
2.3.2 Ca化ペントナイト	2-2
2.3.3 Ca型ペントナイト	2-2
2.3.4 ケイ砂とCa化ペントナイトの混合材料	2-2
2.4 試験結果	2-2
2.4.1 Ca化ペントナイト	2-2
2.4.2 Ca型ペントナイト	2-4
2.4.3 ケイ砂とCa化ペントナイトの混合材料	2-6
2.5 まとめと今後の課題	2-8
2.5.1 Ca化ペントナイト	2-8
2.5.2 Ca型ペントナイト	2-8
2.5.3 ケイ砂とCa化ペントナイトの混合材料	2-9
2.5.4 三軸圧縮強さ	2-9
2.5.5 今後の課題	2-10
第3章 コストの試算	3.1
3.1 コスト試算の基本的な考え方	3.1
3.1.1 対象施設	3.1
3.1.2 コスト試算範囲	3.1
3.1.3 地上施設の建設費用	3.1
3.1.4 地下施設の建設費用	3.1
3.2 コスト試算	3.2
3.2.1 検討ケース	3.2
3.2.2 検討結果	3.2
3.2.3 コスト試算の結果	3.4
第4章 今後の課題	4-1

図一覧

- 図－1.3.1 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－1.3.2 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－1.3.3 各処分空洞方式に対する人工バリアの基本構造形態
図－1.3.4 大断面岩洞方式 断面形状図
図－1.3.5 小断面岩洞方式 断面形状図
図－1.3.6 坑道方式 断面形状図
図－1.3.7 サイロ方式 断面形状図
図－1.4.1 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－1.4.2 ケース2の圧密終了時における変位図
図－1.4.3 圧密時間と圧密沈下量の関係
図－1.4.4 ガス圧の経時変化イメージ図
図－1.5.1 大断面岩洞方式 処分空洞配置図
図－1.5.2 小断面岩洞方式 処分空洞配置図
図－1.5.3 坑道方式 処分空洞配置図
図－1.5.4 サイロ方式 処分空洞配置図
図－1.5.5 処分場レイアウト図（坑道方式＋小断面岩洞方式・その1）
図－1.5.6 処分場レイアウト図（坑道方式＋小断面岩洞方式・その2）
図－1.5.7 処分場レイアウト図（坑道方式＋大断面岩洞方式）
図－1.5.8 処分場レイアウト図（坑道方式＋サイロ方式）
図－1.5.9 地下施設の施工手順
図－1.5.10 定位置作業の手順と作業状況の概念
図－1.5.11 操業全体の流れ（概念）
- 図－2.4.1 膨潤圧と経過日数の関係
図－2.4.2 最大膨潤圧と乾燥密度の関係
図－2.4.3 透水係数と経過日数の関係
図－2.4.4 透水係数と乾燥密度の関係
図－2.4.5 一軸圧縮強さと乾燥密度の関係
図－2.4.6 膨潤圧と経過日数の関係
図－2.4.7 最大膨潤圧と乾燥密度の関係
図－2.4.8 透水係数と経過日数の関係
図－2.4.9 透水係数と乾燥密度の関係
図－2.4.10 一軸圧縮強さと乾燥密度の関係

- 図-2.4.11 膨潤圧と経過時間の関係
- 図-2.4.12 膨潤圧と経過時間の関係
- 図-2.4.13 最大膨潤圧とベントナイト配合率の関係
- 図-2.4.14 透水係数と経過日数の関係
- 図-2.4.15 透水係数とベントナイト配合率の関係
- 図-2.4.16 一軸圧縮強さとベントナイト配合率の関係

- 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（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（700m）
- 図-3.2.3 工事費内訳比較 建設費
- 図-3.2.4 工事費内訳比較 閉鎖費

表一覧

- 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 固化形態による廃棄体の分類
- 表-1.2.5 廃棄体容器による廃棄体の分類
- 表-1.2.6 岩盤物性値
- 表-1.3.1 空洞安定解析結果のまとめ
- 表-1.3.2 対象廃棄体
- 表-1.3.3 検討に用いる廃棄体
- 表-1.4.1 検討結果（廃棄体空隙率0%の場合）
- 表-1.4.2 検討結果（廃棄体空隙率10%の場合）
- 表-1.4.3 検討結果（廃棄体空隙率20%の場合）
- 表-1.4.4 検討結果（廃棄体空隙率30%の場合）
- 表-1.4.5 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-1.4.6 ひずみ分布図（大断面岩洞方式）
- 表-1.4.7 ひずみ分布図（小断面岩洞方式）
- 表-1.4.8 ひずみ分布図（坑道方式）
- 表-1.4.9 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-1.4.10 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-1.4.11 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-1.4.12 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-1.4.13 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-1.4.14 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-1.4.15 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-1.4.16 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-1.4.17 解析結果

表-1.4.18 各処分システムにおける平衡ガス圧

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-2.3.1 配合条件と試験数量

表-3.1.1 対象施設一覧

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。

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、放射能量、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。

諸検討より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。

表-1.2.1に、固化形態による廃棄体の分類を、また表-1.2.2に廃棄体容器による廃棄体の分類を示す。

表-1.2.1 固化形態による廃棄体の分類

固化形態	廃棄体種類	容器	発生量(本)			計(本)
			PNC	JNFL	返還	
圧縮 〔圧縮+セメント充填 を含む〕	ハル・エンド・ピース	140ℓキャニスター	3593	16161	—	81,046
	ハル・エンド・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	ハル・エンド	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	—	
	遠心分離ケキスラリー	500ℓキャニスター	—	—	1493	
	MEBクラット +炭酸ハリウムスラリー	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	127	—	9,718
	低レベル 難燃性廃棄物	200ℓドラム缶	—			
	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	チャンネルボックス	200ℓドラム缶	—	11919	—	13,697
	バーナブルボイシン	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-1.2.2 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		
140 l キャニスター	ハル・エント・ピース	3593	16161	—	24,421	
	ハル・エント・キャップ +雑固体	—	—	4667		
200 l 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	—		
	ハーナフ・ルボ・イシン	—	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	—	—		
500 l キャニスター	ハル・エント	—	—	2403	7,932	
	遠心分離ケースラー	—	—	1493		
	MEBクラット +炭酸バリウムスラリー	—	—	303		
	スワーフ	—	—	3733		
					193,856	

1.2.2 サイト特性

(1) 岩盤の力学特性

表-1.2.3に検討に用いる岩盤物性値を示す。

表-1.2.3 岩盤物性値

岩種		物性	単位体積重量 (kgf/m ³)	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	118	
	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

(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。

1.2.3 検討対象施設

ここでは、T R U廃棄物処分施設における地上施設、地下施設、工事用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

- ① 港湾施設、② 輸送施設、③ 地上受入施設、④ 搬出検査施設、⑤ 換気施設
- ⑥ 排水施設、⑦ 供給施設、⑧ 管理施設⑨ その他の施設

(b) 地下施設

- ① アクセス坑道、② 主要坑道、③ 連絡坑道、④ 処分空洞、⑤ 地下付帯施設

(c) 工事用設備

- ① コンクリート・モルタル製造設備、② ベントナイト・ベントナイト混合土製造設備
- ③ 建設準備施設、④ 土捨て場

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、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。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。

(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

- ・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。

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。

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。本検討では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。

(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。

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

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。

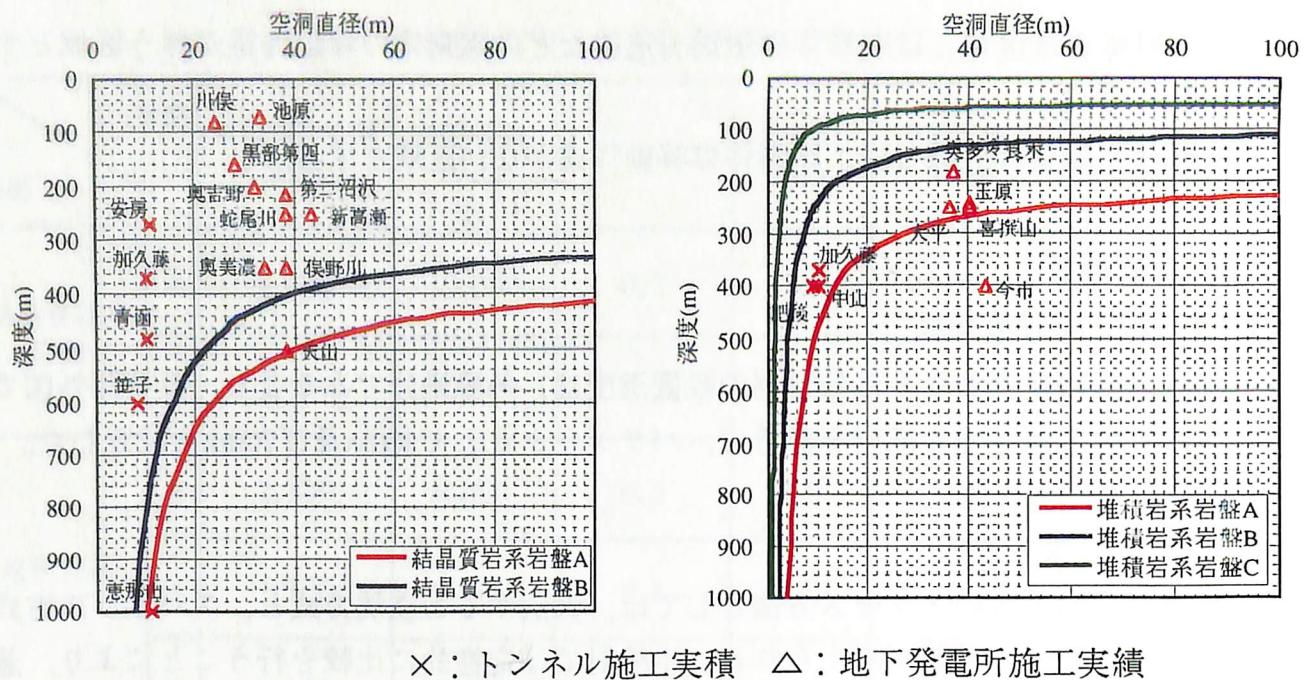


図-1.3.1 許容緩み領域1.5mとした場合の掘削可能径と施工実績との関係

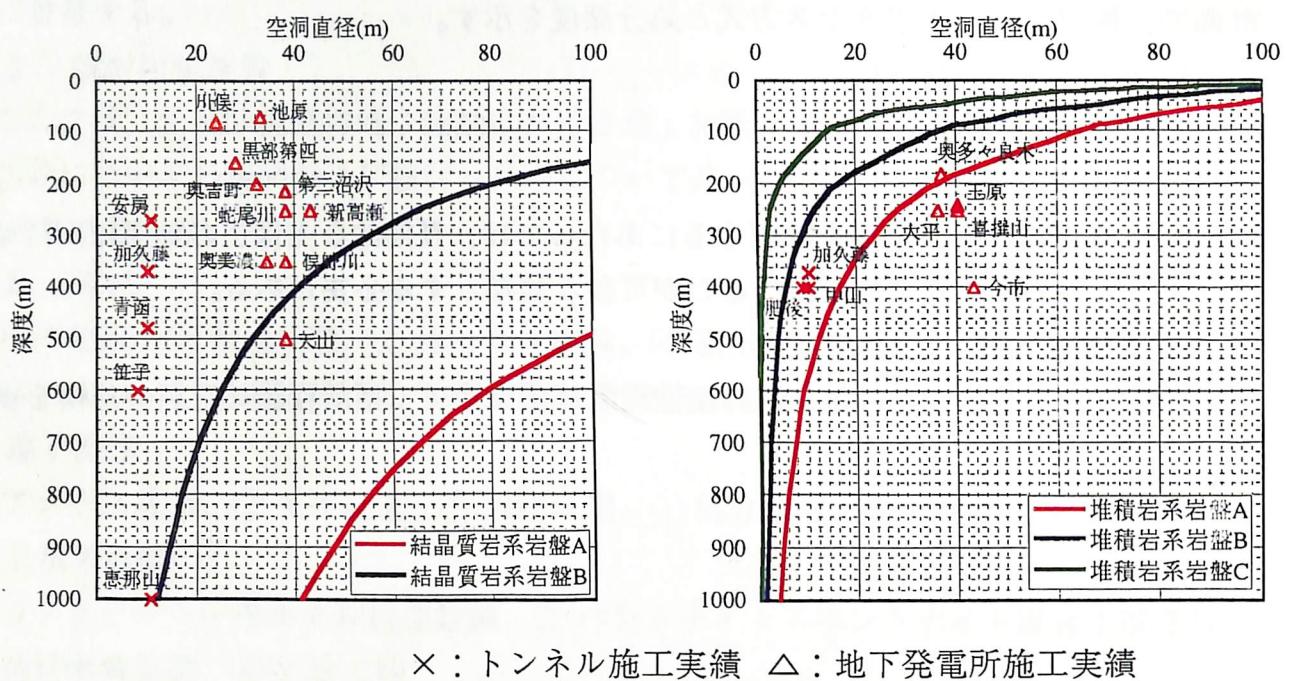


図-1.3.2 許容変位量4cmとした場合の掘削可能径と施工実績との関係
(c)検討結果

図-1.3.1,図-1.3.2より許容緩み領域 $R_a=1.5m$ を満足すれば掘削可能な空洞径であると言える。結晶質岩系岩盤については、 $u=4cm$ 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 $u=4cm$

とする必要がある。

(d) 空洞規模の設定

表-1.3.1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-1.3.1 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

(2) 処分空洞の形態

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。

1.3.4 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。

(2) 人工バリアの基本構成

本検討における人工バリアは、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。

(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。

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。

(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。

② 候補材料とその特徴

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。

(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。

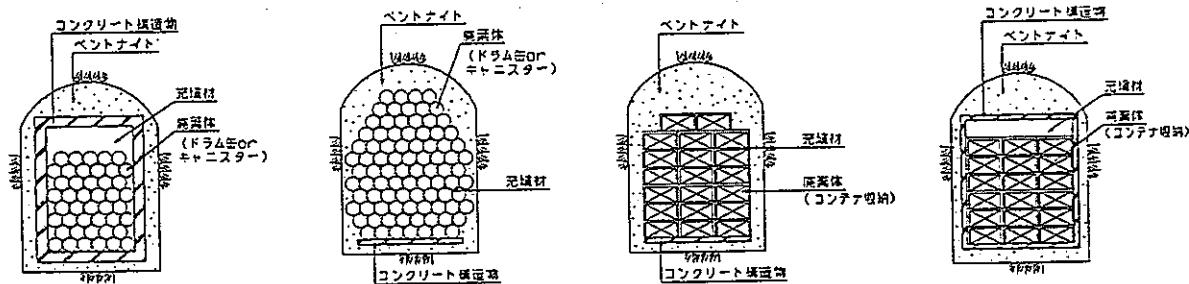
② 候補材料とその特徴

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¹⁰⁾。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で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。

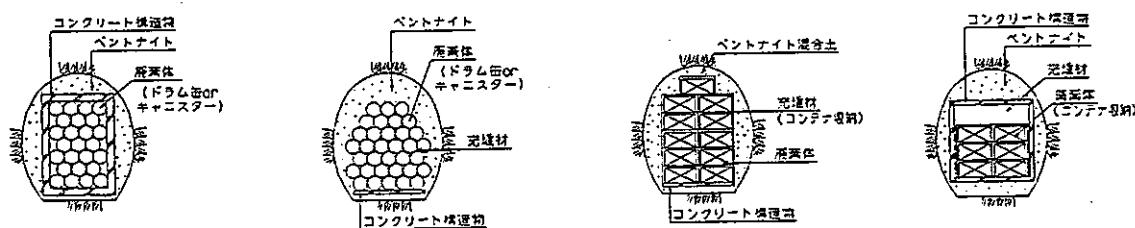
また、天然に産出するベントナイトは交換性陽イオンの種類により、Na型とCa型に大別される。その内、Na型の方が前述した要求性能をより満足することが知られている。

(4) 人工バリアの基本構造

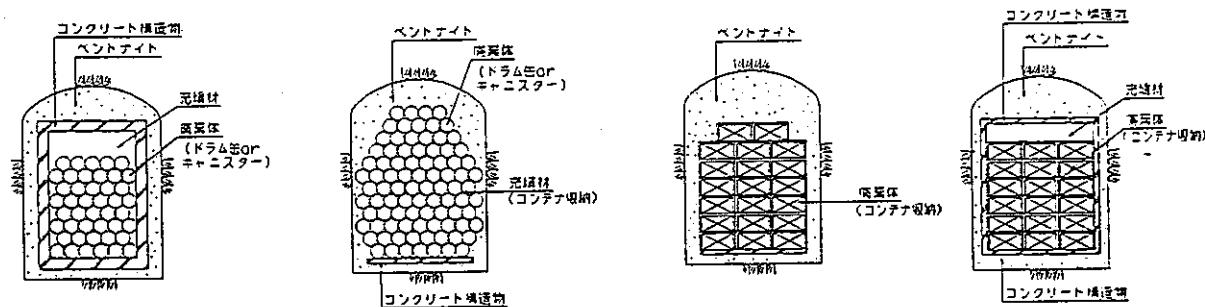
各処分空洞方式（岩洞方式，坑道方式，サイロ方式）に対して考えうる人工バリアの基本構造形態を図－1.3.3に示す。



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－1.3.3 各処分空洞方式に対する人工バリアの基本構造形態

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

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示す。

表-1.3.2に対象とする廃棄体の寸法、容積、重量、密度を示す。また表-1.3.3に表-1.3.2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-1.3.2 対象廃棄体

発生機関	呼び名	寸法	廃棄体容積 (m ³) ^{注2}	廃棄体重量 (tf) ^{注4}	密度 (tf/m ³)	備考
PNC JNFL	140 l キニスター	φ 430×H1,343	0.18	0.9	5.00	ハル・エント・ピース
	200 l ドラム缶	φ 600×H900 ^{注1}	0.225 ^{注3}	0.387	1.72	灰溶融固化体
COGEMA	140 l キニスター	φ 440×H1,345	0.205	0.685	3.34	ハル・エント+雑固体
	200 l ドラム缶	φ 586×H883	0.225	0.250	1.11	低レベル廃液
BNFL	500 l キニスター	φ 800×H1,192	0.56	1.562	2.79	ハル・エント(BWR)

表-1.3.3 検討に用いる廃棄体

呼び名	寸法	廃棄体容積(m ³)	廃棄体重量(tf)	密度(tf/m ³)
140 l キニスター	φ 440×H1,345	0.18	0.9	5.00
200 l ドラム缶	φ 600×H900	0.225	0.387	1.72
500 l キニスター	φ 800×H1,192	0.56	1.562	2.79

(2) 廃棄体の定置方法

(a) 基本的な考え方

廃棄体は全て類似した形状の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。

(b) 本検討での設定

① 定置作業の基本仕様

定置作業は自動化を目指したものと想定する。

② 坑道型・岩洞型の定置方法

a. 定置作業機器

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

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。

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

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。

1.3.6 処分空洞の断面形状

(1) 断面形状の設定

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を示す。

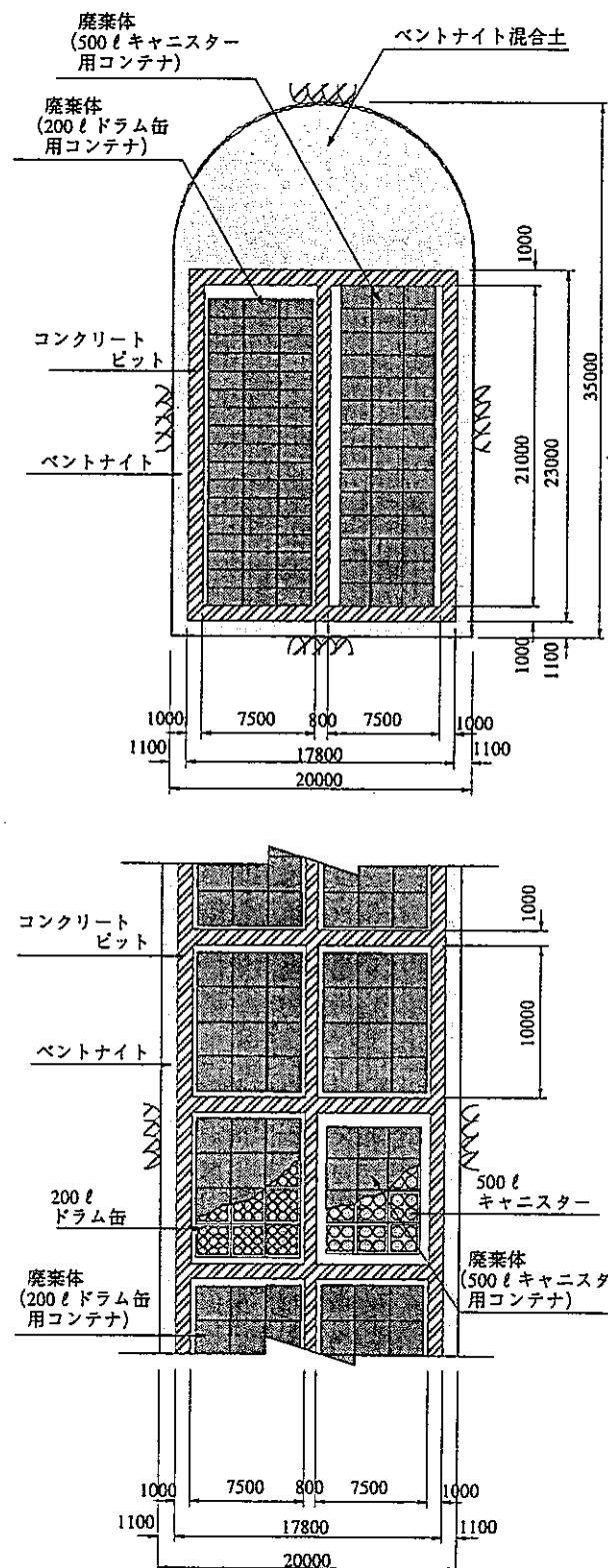


図-1.3.4 大断面岩洞方式 断面形状図

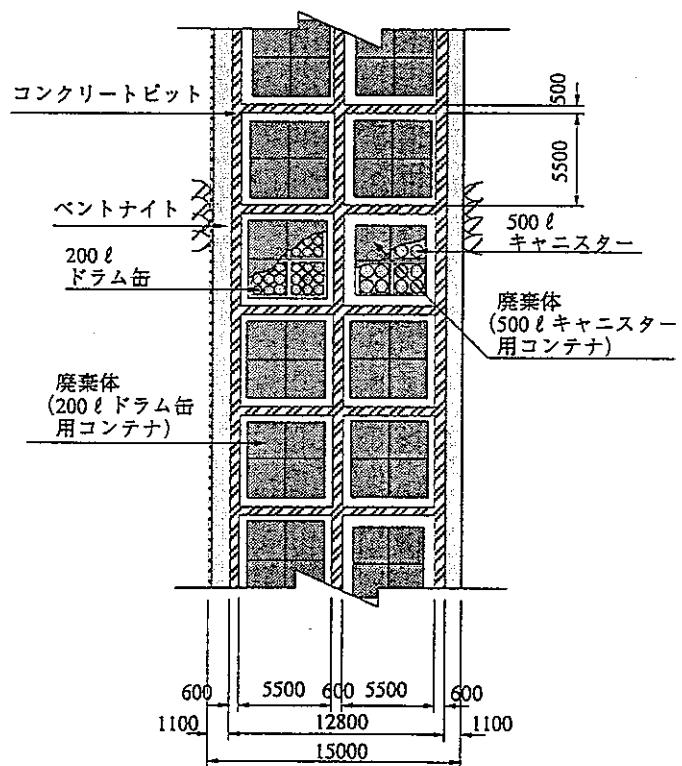
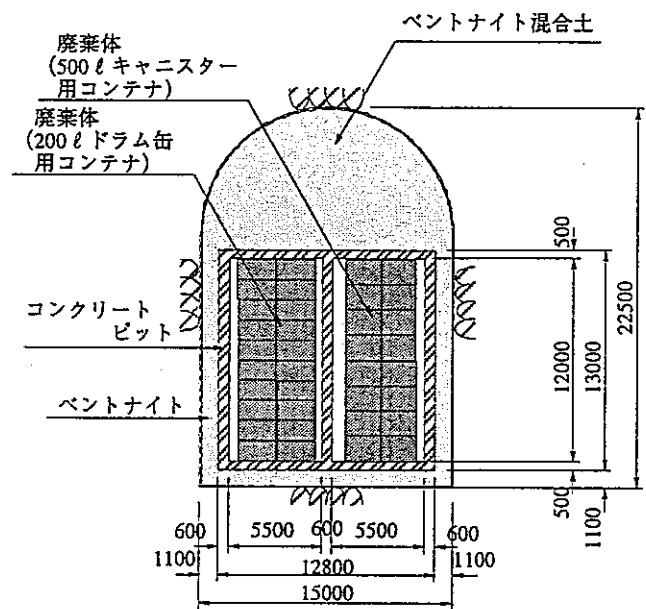


図-1.3.5 小断面岩洞方式 断面形状図

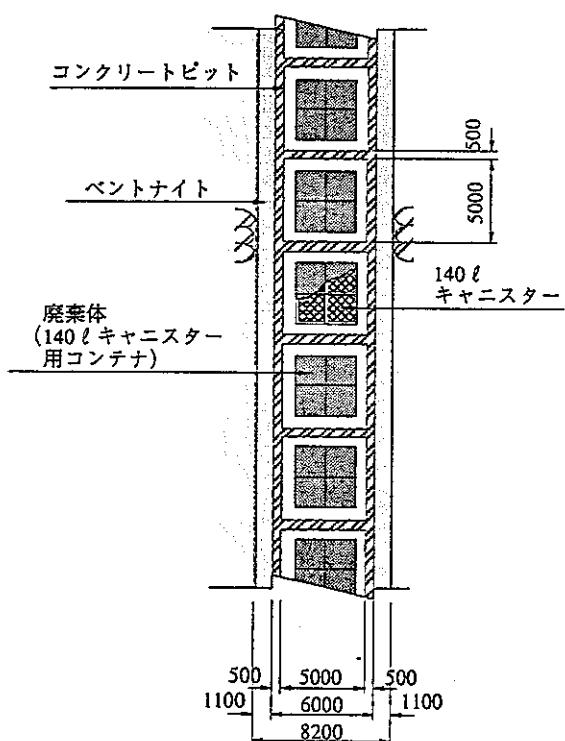
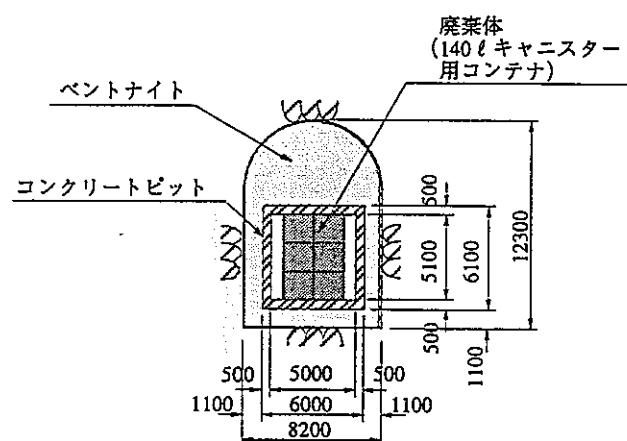


図-1.3.6 坑道方式 断面形状図

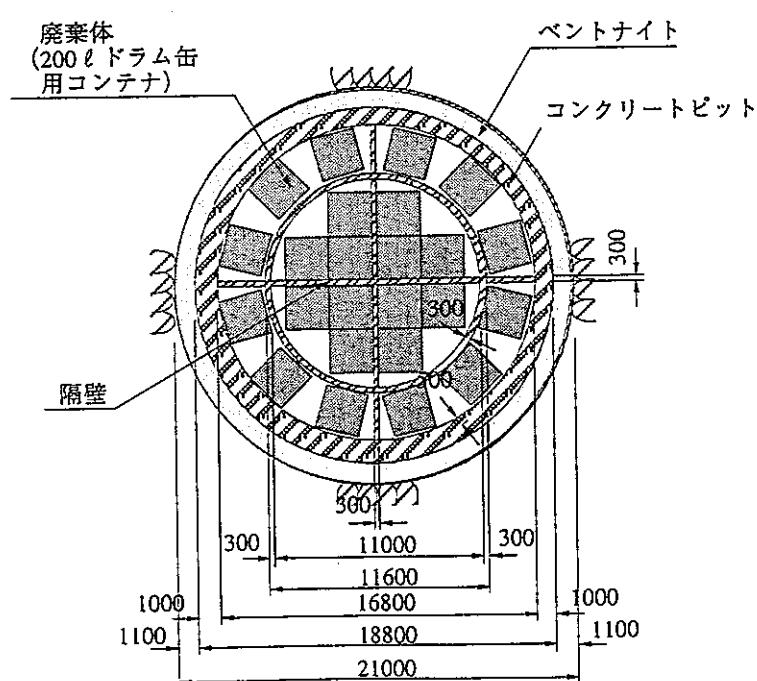
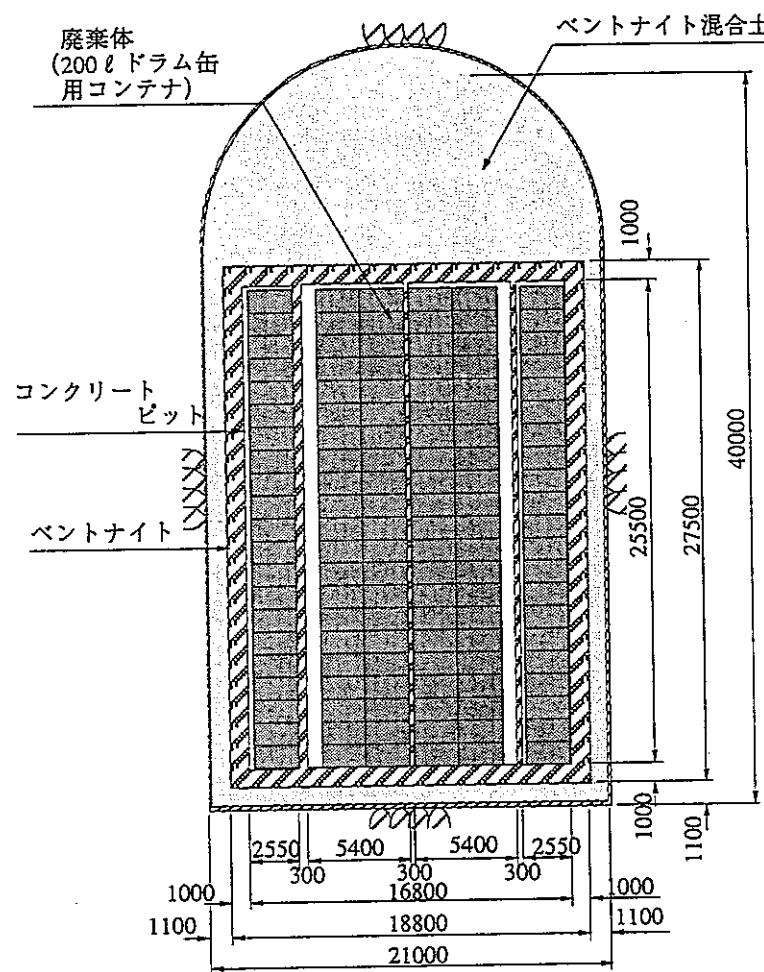


図-1.3.7 サイロ方式 断面形状図

(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。照査については、ペントナイト土圧で行った。

検討結果より、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。

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 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。

本検討では、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FEP(Feature, Event, Process)の抽出を行った。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。

1.4.2 熱解析

(1) 検討の位置付け

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、ペ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。

(3) 検討結果

解析結果を図-1.4.1に示す。図-1.4.1は各ケースについてのペ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。

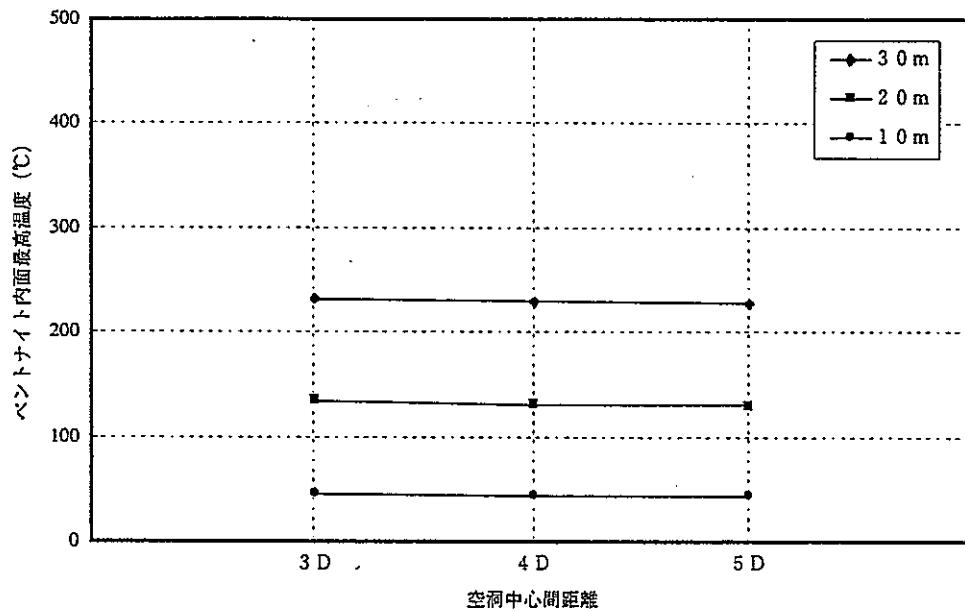


図-1.4.1 最高温度と空洞中心間距離（ベントナイト内面、深さ=300m、結晶質岩）

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

(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。

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もある条件下では極めて徐々にではあるが水に溶解することが報告されている。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、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。

(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 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C₃SおよびC₂Sと水の反応がCSHを生成し、Ca(OH)₂を副成する。体積変化は、Ca(OH)₂溶脱およびCSHからのCaOがCa(OH)₂として溶脱することを前提として算定する。

② 各種ポルトランドセメント

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。

③ 各種混合セメント

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。

(2) 体積変化解析

(a) 検討の位置付け

① 問題となる点

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、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ペントナイトはその性質上それに追随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、周辺ペ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。

② ペントナイトの挙動

体積減少に対してペントナイトの健全性を評価するためにはペントナイトの挙動を正しく評価する必要がある。ペントナイトの挙動は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ペ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ペ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。

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ペントナイトで一様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ペ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。

(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

表-1.4.1 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 ³)	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 ⁻¹²	5.84 ×10 ⁻¹³	2.61 ×10 ⁻¹³	1.18 ×10 ⁻¹²	1.47 ×10 ⁻¹¹	3.97 ×10 ⁻¹²	8.74 ×10 ⁻¹³	1.21 ×10 ⁻¹¹

表-1.4.2 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 ³)	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 ⁻¹²	7.15 ×10 ⁻¹³	3.19 ×10 ⁻¹³	1.31 ×10 ⁻¹²	1.80 ×10 ⁻¹¹	5.37 ×10 ⁻¹²	9.67 ×10 ⁻¹³	1.47 ×10 ⁻¹¹

表-1.4.3 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 ³)	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 ⁻¹²	8.74 ×10 ⁻¹³	3.53 ×10 ⁻¹³	1.60 ×10 ⁻¹²	1.99 ×10 ⁻¹¹	5.37 ×10 ⁻¹²	1.18 ×10 ⁻¹²	1.47 ×10 ⁻¹¹

表-1.4.4 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 ³)	1.46	1.55	1.64	1.50	1.24	1.37	1.53	1.28
透水係数 (m/sec)	2.65 $\times 10^{-12}$	1.07 $\times 10^{-12}$	4.32 $\times 10^{-13}$	1.77 $\times 10^{-12}$	2.44 $\times 10^{-11}$	6.57 $\times 10^{-12}$	1.31 $\times 10^{-12}$	1.63 $\times 10^{-11}$

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-1.4.5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-1.4.5 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 ³)	1.52	1.59	1.62	1.56	1.33	1.44	1.60	1.39
透水係数 (m/sec)	1.45 $\times 10^{-12}$	7.15 $\times 10^{-13}$	5.28 $\times 10^{-13}$	9.67 $\times 10^{-13}$	9.84 $\times 10^{-12}$	3.24 $\times 10^{-12}$	6.46 $\times 10^{-13}$	5.37 $\times 10^{-12}$

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、ペ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、ペ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

解析結果

有限要素法解析を実施した。表-1.4.6～表-1.4.8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、赤色に近づくにしたがって大きな引張ひずみが生じている。逆に青色に近づくにしたがって大きな圧縮ひずみが生じている。また、表-1.4.9～表-1.4.16に部分透水係数の結果を示す。

表-1.4.6 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	-5.00×10^{-4}	4.89×10^{-4}	5.13×10^{-4}	2.52×10^{-4}	-9.58×10^{-4}
備考	変形パターンの体積変化量は各パターンで一定 ひずみ分布凡例 				

表-1.4.7 ひずみ分布図（小断面岩洞方式）

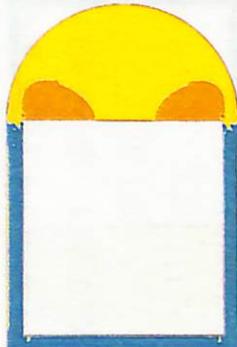
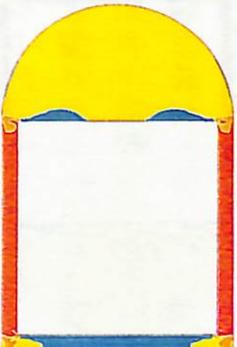
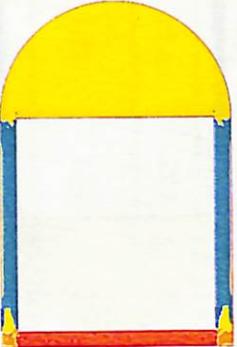
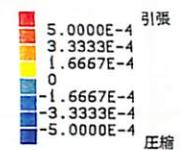
変形パターン	パターン1	パターン2	パターン3	パターン4	パターン5	
解析結果	ひずみ分布					
最大ひずみ	-5.33×10^{-4}	4.73×10^{-4}	5.13×10^{-4}	2.48×10^{-4}	-10.00×10^{-4}	
変形パターンの体積変化量は各パターンで一定						
ひずみ分布凡例 						
備考						

表-1.4.8 ひずみ分布式（坑道方式）

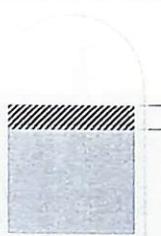
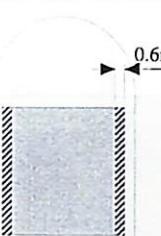
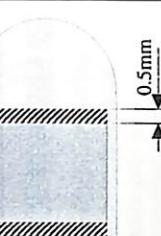
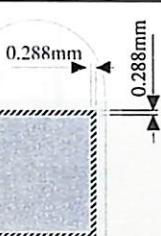
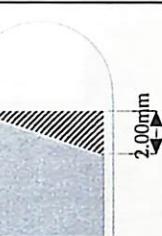
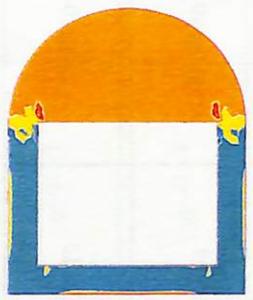
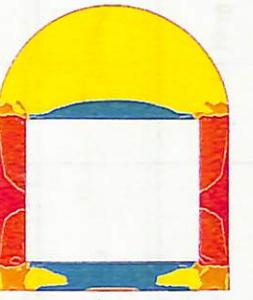
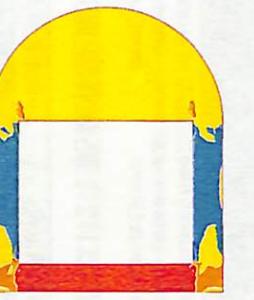
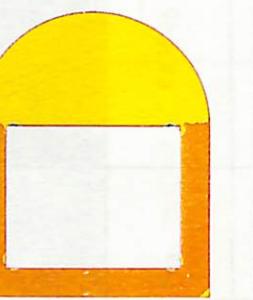
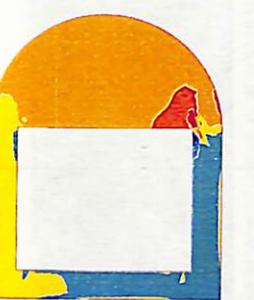
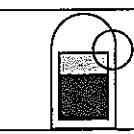
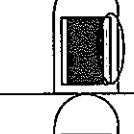
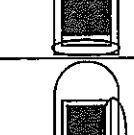
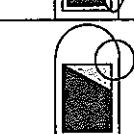
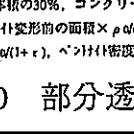
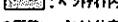
	パターン1	パターン2	パターン3	パターン4	パターン5														
変形パターン																			
解析結果	ひずみ分布																		
	最大ひずみ	-5.98×10^4	5.94×10^4	5.05×10^4	2.79×10^4	-10.89×10^4													
備考	変形パターンの体積変化量は各パターンで一定																		
	ひずみ分布凡例																		
	 <table> <tr><td>引張</td><td>$5.0000E-4$</td></tr> <tr><td></td><td>$3.3333E-4$</td></tr> <tr><td></td><td>$1.6667E-4$</td></tr> <tr><td></td><td>0</td></tr> <tr><td></td><td>$-1.6667E-4$</td></tr> <tr><td></td><td>$-3.3333E-4$</td></tr> <tr><td>圧縮</td><td>$-5.0000E-4$</td></tr> </table>					引張	$5.0000E-4$		$3.3333E-4$		$1.6667E-4$		0		$-1.6667E-4$		$-3.3333E-4$	圧縮	$-5.0000E-4$
引張	$5.0000E-4$																		
	$3.3333E-4$																		
	$1.6667E-4$																		
	0																		
	$-1.6667E-4$																		
	$-3.3333E-4$																		
圧縮	$-5.0000E-4$																		

表-1.4.9 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%）

		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	ペントナイトの密度を平均化した考え方	3×10^{-12} (1×10^{-12})	1×10^{-12} (7×10^{-13})	4×10^{-13} (5×10^{-13})	2×10^{-12} (1×10^{-12})
方法2	パターン1	 1×10^{-11}	8×10^{-12}	2×10^{-12}	—
	パターン2	 4×10^{-9}	4×10^{-10}	2×10^{-11}	—
	パターン3	 5×10^{-9}	6×10^{-10}	1×10^{-11}	—
	パターン4	 2×10^{-10}	3×10^{-11}	2×10^{-12}	—
	パターン5	 3×10^{-11}	3×10^{-11}	5×10^{-12}	—

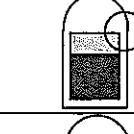
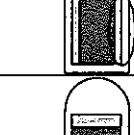
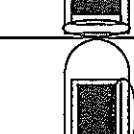
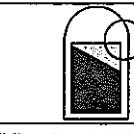
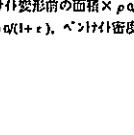
廃棄体の有効空隙を体積の30%，コンクリートからの成分溶出量を体積の12%とした場合  : ベントナイト内側が拡散場になる。透水係数が 10^{-11} m/sec 以下

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 $\rho = 1 \times \rho_0 / (1 + r)$ 、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-1.4.10 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%）

		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	ペントナイトの密度を平均化した考え方	2×10^{-11} (1×10^{-11})	7×10^{-12} (3×10^{-12})	1×10^{-12} (6×10^{-13})	2×10^{-11} (5×10^{-12})
方法2	パターン1	 2×10^{-10}	1×10^{-10}	1×10^{-11}	—
	パターン2	 6×10^{-8}	9×10^{-9}	3×10^{-10}	—
	パターン3	 7×10^{-8}	1×10^{-8}	2×10^{-10}	—
	パターン4	 4×10^{-9}	5×10^{-10}	1×10^{-11}	—
	パターン5	 5×10^{-10}	6×10^{-10}	4×10^{-11}	—

廃棄体の有効空隙を体積の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} m/sec 以下

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 $\rho = 1 \times \rho_0 / (1 + r)$ 、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-1.4.11 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%）

		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	ペントナイトの密度を平均化した考え方	2×10^{-12}	9×10^{-13}	4×10^{-13}	2×10^{-12}
方法 2	パターン1	9×10^{-12}	6×10^{-12}	1×10^{-12}	—
	パターン2	2×10^{-9}	3×10^{-10}	1×10^{-11}	—
方法 2	パターン3	3×10^{-9}	4×10^{-10}	7×10^{-12}	—
	パターン4	1×10^{-10}	2×10^{-11}	1×10^{-12}	—
方法 2	パターン5	2×10^{-11}	2×10^{-11}	3×10^{-12}	—

廃棄体の有効空隙を体積の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並設場になる。透水係数が 10^{-14} m/sec 以下

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 $k = 6.58 \times 10^{-4} \cdot 38 \rho^{-6}$

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 $k = 6.58 \times 10^{-4} \cdot 38 \rho^{-6}$ 図中の ○印の部分で透水係数を評価

(単位: m/sec)

表-1.4.12 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%）

		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	ペントナイトの密度を平均化した考え方	2×10^{-11}	5×10^{-12}	1×10^{-12}	1×10^{-11}
方法 2	パターン1	2×10^{-10}	1×10^{-10}	1×10^{-11}	—
	パターン2	5×10^{-8}	7×10^{-9}	2×10^{-10}	—
方法 2	パターン3	6×10^{-8}	1×10^{-8}	1×10^{-10}	—
	パターン4	3×10^{-9}	4×10^{-10}	1×10^{-11}	—
方法 2	パターン5	4×10^{-10}	5×10^{-10}	3×10^{-11}	—

廃棄体の有効空隙を体積の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並設場になる。透水係数が 10^{-14} m/sec 以下

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 $k = 6.58 \times 10^{-4} \cdot 38 \rho^{-6}$

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 $k = 6.58 \times 10^{-4} \cdot 38 \rho^{-6}$ 図中の ○印の部分で透水係数を評価

(単位: m/sec)

表-1.4.13 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%）

		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	ペントナイトの密度を平均化した考え方	2×10^{-12}	7×10^{-13}	1×10^{-13}	4×10^{-12}
方法2	パターン1	7×10^{-12}	5×10^{-12}	1×10^{-12}	—
	パターン2	2×10^{-9}	2×10^{-10}	7×10^{-12}	—
	パターン3	2×10^{-9}	3×10^{-10}	5×10^{-12}	—
	パターン4	8×10^{-11}	1×10^{-11}	1×10^{-12}	—
	パターン5	1×10^{-11}	1×10^{-11}	2×10^{-12}	—

廃棄体の有客空隙を体積の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
■：ペントナイト内側が拡散場になる。透水係数が 10^{-11} m/s 以下
方法1：密度 $\rho = \text{ペントナイト変形前の面積} \times \rho_0 / (\text{ペントナイト変形前の面積} + \text{廃棄体・セメント系材料の変形分の面積})$ 、ペントナイト密度 $\rho_0 = 1.8 \text{ g/cm}^3$ 、透水係数 $k = 6.58 \times 10^{-4} \cdot 38 \rho^{-6}$
方法2：密度 $\rho = 1 \times \rho_0(1+\epsilon)$ 、ペントナイト密度 $\rho_0 = 1.8 \text{ g/cm}^3$ 、透水係数 $k = 6.58 \times 10^{-4} \cdot 38 \rho^{-6}$
図中の○印の部分で透水係数を評価

表-1.4.14 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%）

		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	ペントナイトの密度を平均化した考え方	2×10^{-11}	5×10^{-12}	1×10^{-12}	1×10^{-11}
方法2	パターン1	1×10^{-10}	1×10^{-10}	8×10^{-12}	—
	パターン2	4×10^{-8}	7×10^{-9}	1×10^{-10}	—
	パターン3	5×10^{-8}	1×10^{-8}	9×10^{-11}	—
	パターン4	3×10^{-9}	4×10^{-10}	8×10^{-12}	—
	パターン5	3×10^{-10}	5×10^{-10}	3×10^{-11}	—

廃棄体の有客空隙を体積の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
■：ペントナイト内側が拡散場になる。透水係数が 10^{-11} m/s 以下
方法1：密度 $\rho = \text{ペントナイト変形前の面積} \times \rho_0 / (\text{ペントナイト変形前の面積} + \text{廃棄体・セメント系材料の変形分の面積})$ 、ペントナイト密度 $\rho_0 = 1.8 \text{ g/cm}^3$ 、透水係数 $k = 6.58 \times 10^{-4} \cdot 38 \rho^{-6}$
方法2：密度 $\rho = 1 \times \rho_0(1+\epsilon)$ 、ペントナイト密度 $\rho_0 = 1.8 \text{ g/cm}^3$ 、透水係数 $k = 6.58 \times 10^{-4} \cdot 38 \rho^{-6}$
図中の○印の部分で透水係数を評価

表-1.4.15 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%）

		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	ペントナイトの密度を平均化した考え方	1×10^{-12}	6×10^{-13}	3×10^{-13}	1×10^{-12}
パターン1		5×10^{-12}	3×10^{-12}	8×10^{-13}	—
		1×10^{-9}	1×10^{-10}	4×10^{-12}	—
パターン3		1×10^{-9}	1×10^{-10}	3×10^{-12}	—
		5×10^{-11}	8×10^{-12}	7×10^{-13}	—
パターン5		1×10^{-11}	1×10^{-11}	2×10^{-12}	—

廃棄体の有効空隙を体積の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
ペントナイト内側が拡散場になる。透水係数が 10^{-11} m/sec 以下
方法1：密度 $\rho = \text{ペントナイト変形前の面積} \times \rho_0 / (\text{ペントナイト変形前の面積} - \text{廃棄体・セメント系材料の変形分の面積})$ 、ペントナイト密度 $\rho_0 = 1.8 \text{ g/cm}^3$ 、透水係数 $k = 6.58 \times 10^{-4.38 \rho - 6}$
方法2：密度 $\rho = 1 \times \rho_0(1 + \epsilon)$ 、ペントナイト密度 $\rho_0 = 1.8 \text{ g/cm}^3$ 、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-1.4.16 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%）

		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	ペントナイトの密度を平均化した考え方	1×10^{-11}	4×10^{-12}	9×10^{-13}	1×10^{-11}
パターン1		1×10^{-10}	6×10^{-11}	6×10^{-12}	—
		4×10^{-8}	5×10^{-9}	1×10^{-10}	—
パターン3		4×10^{-8}	7×10^{-9}	6×10^{-11}	—
		2×10^{-9}	3×10^{-10}	7×10^{-12}	—
パターン5		3×10^{-10}	3×10^{-10}	2×10^{-11}	—

廃棄体の有効空隙を体積の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
ペントナイト内側が拡散場になる。透水係数が 10^{-11} m/sec 以下
方法1：密度 $\rho = \text{ペントナイト変形前の面積} \times \rho_0 / (\text{ペントナイト変形前の面積} - \text{廃棄体・セメント系材料の変形分の面積})$ 、ペントナイト密度 $\rho_0 = 1.8 \text{ g/cm}^3$ 、透水係数 $k = 6.58 \times 10^{-4.38 \rho - 6}$
方法2：密度 $\rho = 1 \times \rho_0(1 + \epsilon)$ 、ペントナイト密度 $\rho_0 = 1.8 \text{ g/cm}^3$ 、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

1.4.4 ベントナイトの圧密解析

(1) 検討の位置付け

処分場の操業～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

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。

(3) 解析結果

解析結果を以下に示す。表-1.4.17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-1.4.2にケース2の圧密終了時の変位図を、図-1.4.3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-1.4.17 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。

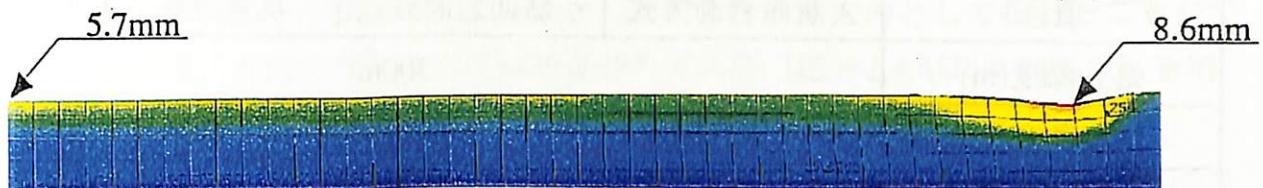


図-1.4.2 ケース2の圧密終了時における変位図

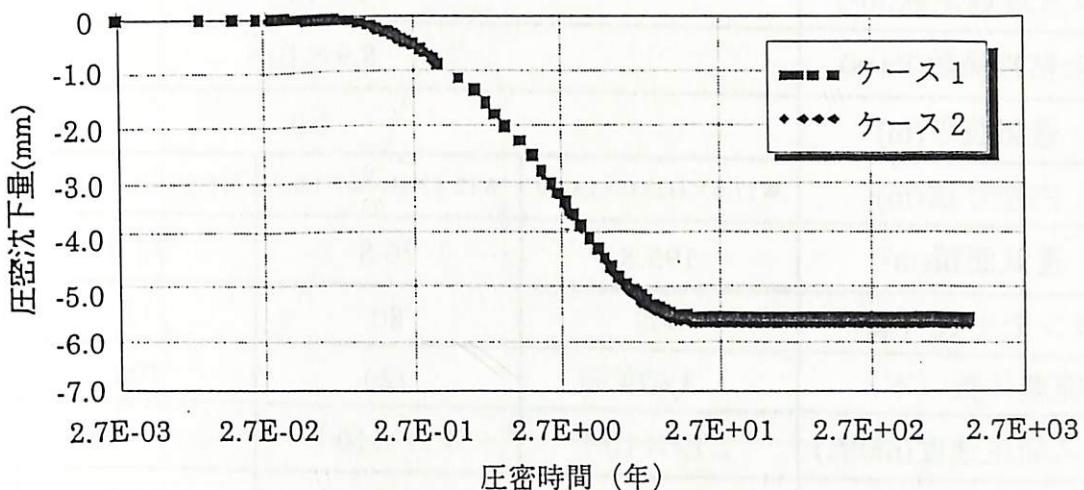


図-1.4.3 圧密時間と圧密沈下量の関係

1.4.5 ガス蓄圧の影響評価

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。

(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。

(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。

(3) 処分システムの比較

表-1.4.18に計算条件及び計算結果を示す。

表-1.4.18 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(℃)		24℃(297K)		
静水圧(Pa)		3×10^6		
ガス透過係数(m ²)		6×10^{-21}		
H ₂ 粘性係数(Pa·s)		8.9×10^{-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 ²)	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)	2.19×10^{-4}	4.31×10^{-5}	8.17×10^{-6}	2.60×10^{-4}
平衡ガス圧(MPa)	4.15	3.62	3.29	3.98

表-1.4.18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-1.4.18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/m³、堆積岩系2.3tf/m³とすると、

$$\text{結晶質岩系 } 300 \times 2.5 = 750 \text{t/m}^2 \doteq 7.5 \text{MPa} \quad \text{堆積岩系 } 300 \times 2.3 = 690 \text{t/m}^2 \doteq 6.9 \text{MPa}$$

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ので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ペ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ペ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。ペントナイトの一軸圧縮強さは、試験結果より乾燥密度1.6～1.8t/m³の場合の平均的な値として3MPa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ペ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、この拘束状態でのペ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-1.4.4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-1.4.4に示す P_{gmax} ）を用いた検討が必要である。

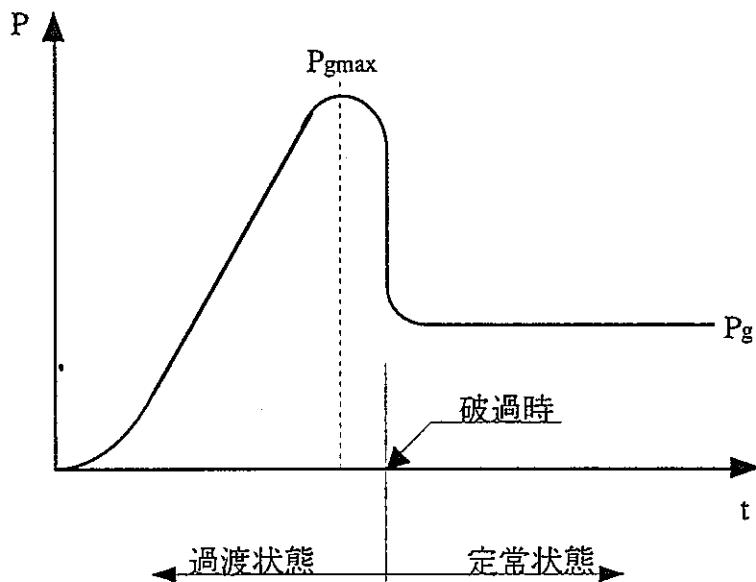


図-1.4.4 ガス圧の経時変化イメージ図

1.4.6 大空洞長期挙動の予備検討

岩盤の粘弾性構成則として今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て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。

1.4.7 処分システムの成立性の検討

(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。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。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。

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。

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

(2) 処分空洞の長さ

(a) 基本的な考え方

したがって、処分場レイアウトを設定する場合において、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用いる。

(b) 廃棄体特性に応じた処分空洞の選定

140 l キャニスターは坑道方式に、200 l ドラム缶及び500 l 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る。

(c) 処分空洞の組み合わせ

前項において、140 l キャニスターは坑道方式へ、200 l ドラム缶と500 l 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200 l ドラム缶及び500 l 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。

表-1.5.1 処分空洞の組み合わせ

	140 l キャニスター	200 l ドラム缶、500 l 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

(d) 処分空洞長の算定

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 (140 ℓ)	小断面岩洞方式 (200 ℓ・500 ℓ)	大断面岩洞方式 (200 ℓ・500 ℓ)	サイロ方式 (200 ℓ・500 ℓ)
case1	162m	200.5m	—	—
case2	162m	—	80m	—
case3	162m	—	—	6基

(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

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。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。

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。

(b) 力学的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）

B₁ : 当該空間の内壁面の最大幅

H₁ : 当該空間の内壁面の最大高さ

B₂：隣接する空間の内壁面の最大幅

H₂：隣接する空間の内壁面の最大高さ

R₁：当該空間を構成する岩盤の緩み領域の幅

R₂：隣接する空間を構成する岩盤の緩み領域の幅

岩種別離間距離（設計空洞間距離）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、空洞径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-1.5.6 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。

(4) 処分空洞の配置

各方式での処分空洞の配置図を図-1.5.1～1.5.4に示す。

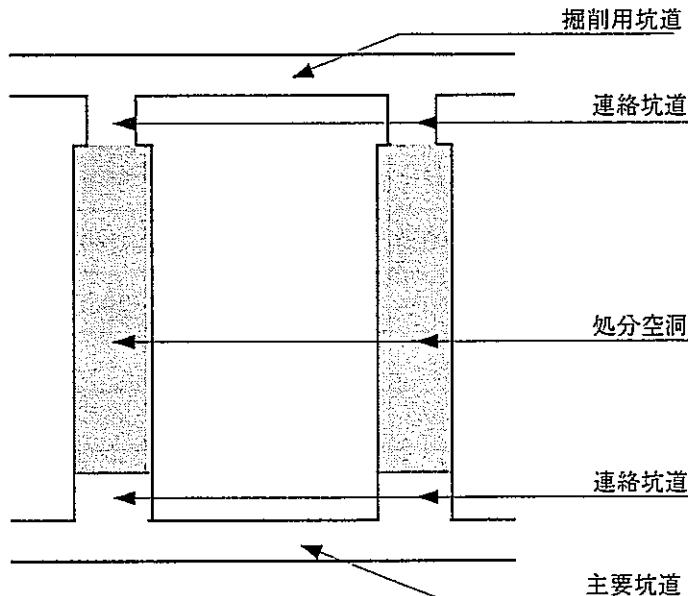


図-1.5.1 大断面岩洞方式 処分空洞配置図

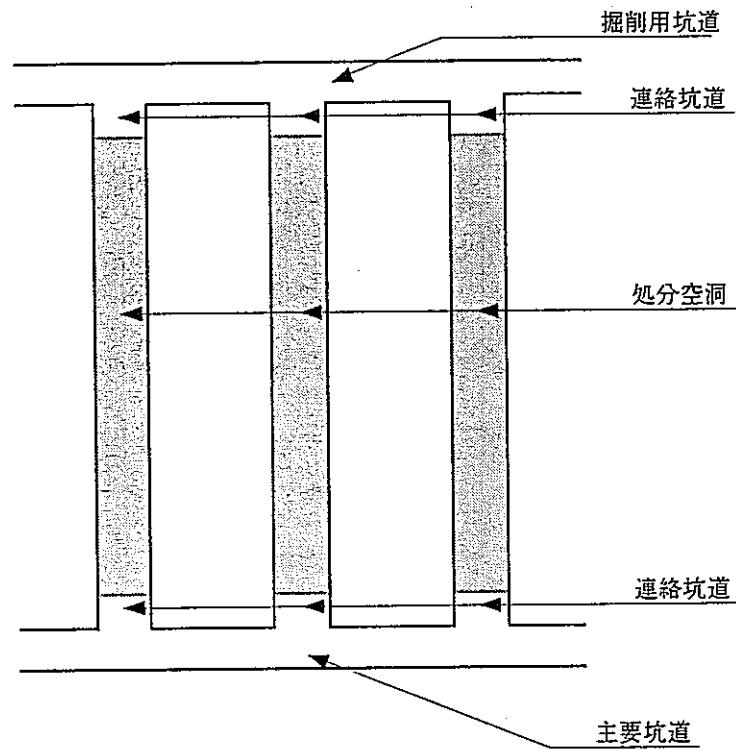


図-1.5.2 小断面岩洞方式 処分空洞配置図

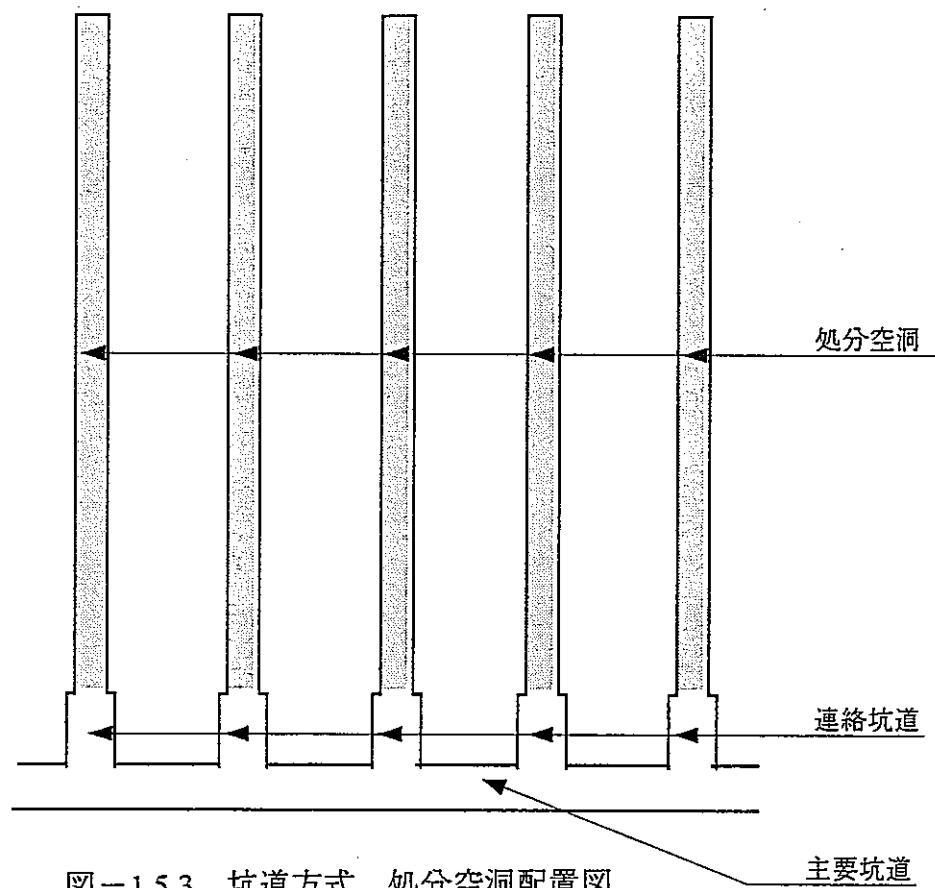


図-1.5.3 坑道方式 処分空洞配置図

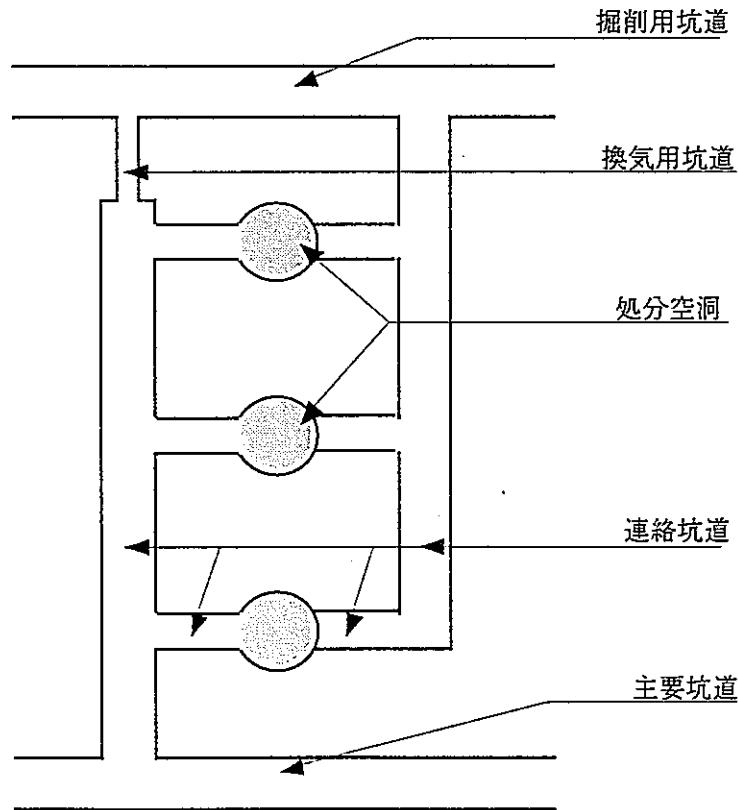


図-1.5.4 サイロ方式 処分空洞配置図

(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。また建設・操業・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

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。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。

② 配置・本数

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。

(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。

(b) 本検討での設定

① 断面形状

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、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。

② 配置

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。

(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

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。また、パネルの枚数は8パネルとする。

(9) 処分パネルの大きさ

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。

(10) アクセス坑道の本数・断面・配置

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、作業員の出入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。

(11) 廃棄体の埋設密度

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

各処分空洞方式の全体レイアウト図を図-1.5.5～1.5.8に示す。

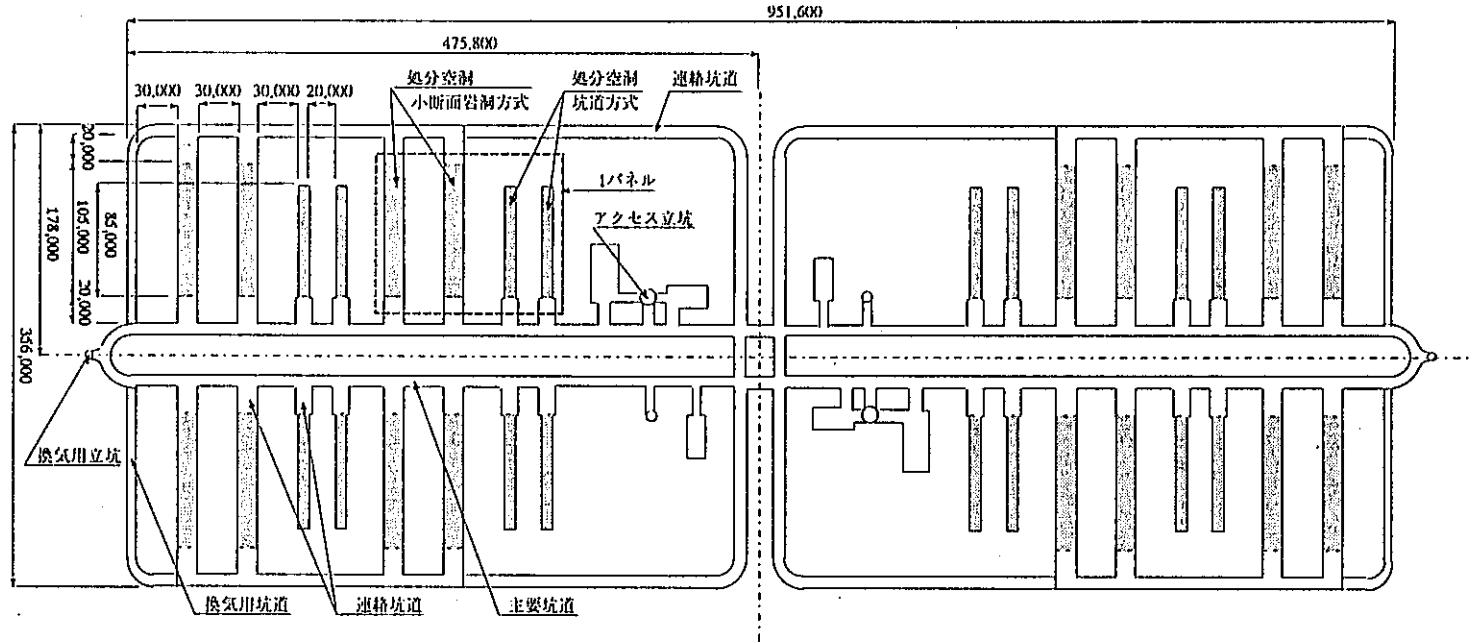


図-1.5.5 処分場レイアウト図（坑道方式+小断面岩洞方式・その1）

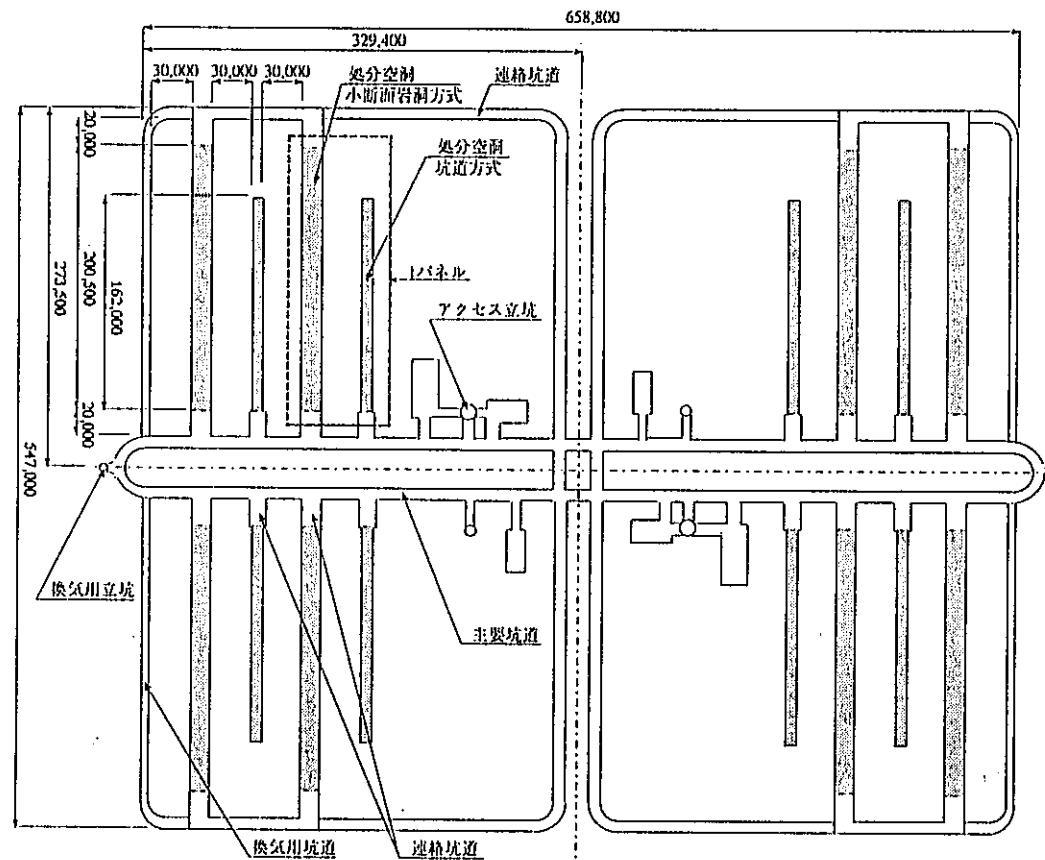


図-1.5.6 処分場レイアウト図（坑道方式+小断面岩洞方式・その2）

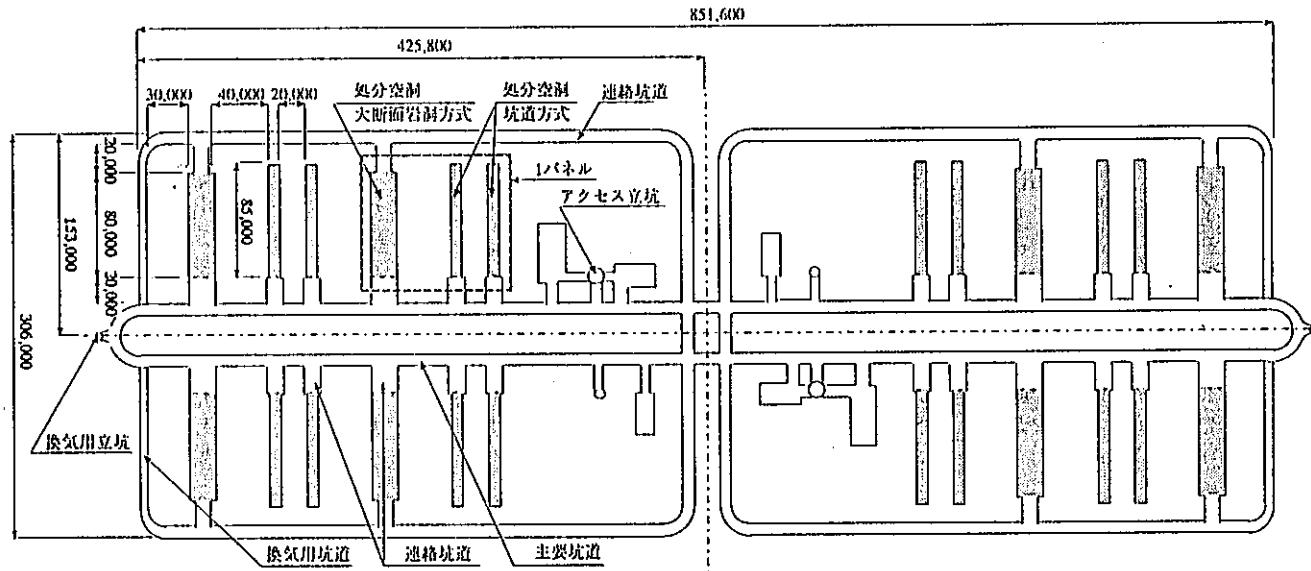


図-1.5.7 処分場レイアウト図（坑道方式+大断面岩洞方式）

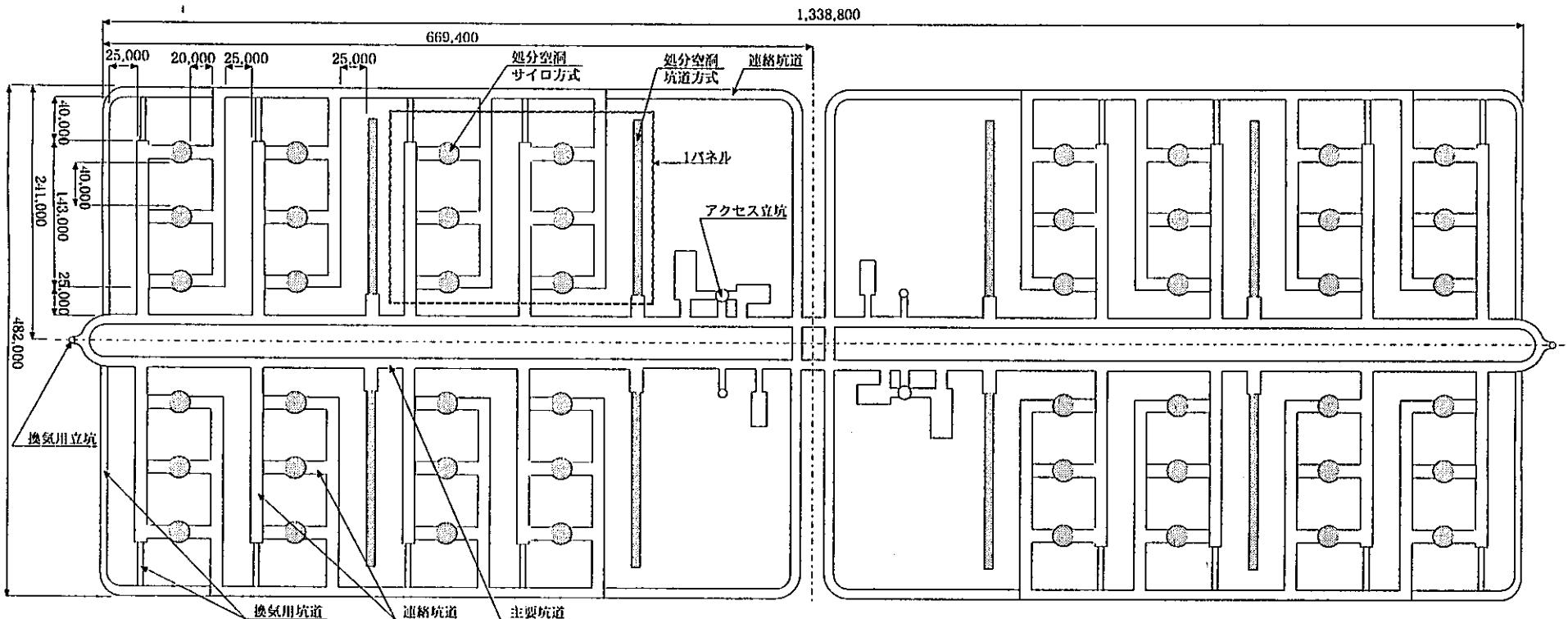


図-1.5.8 処分場レイアウト図（坑道方式＋サイロ方式）

1.5.3 建設計画

(1)施工手順

本検討で設定した地下施設の施工手順を図-1.5.9に示す。

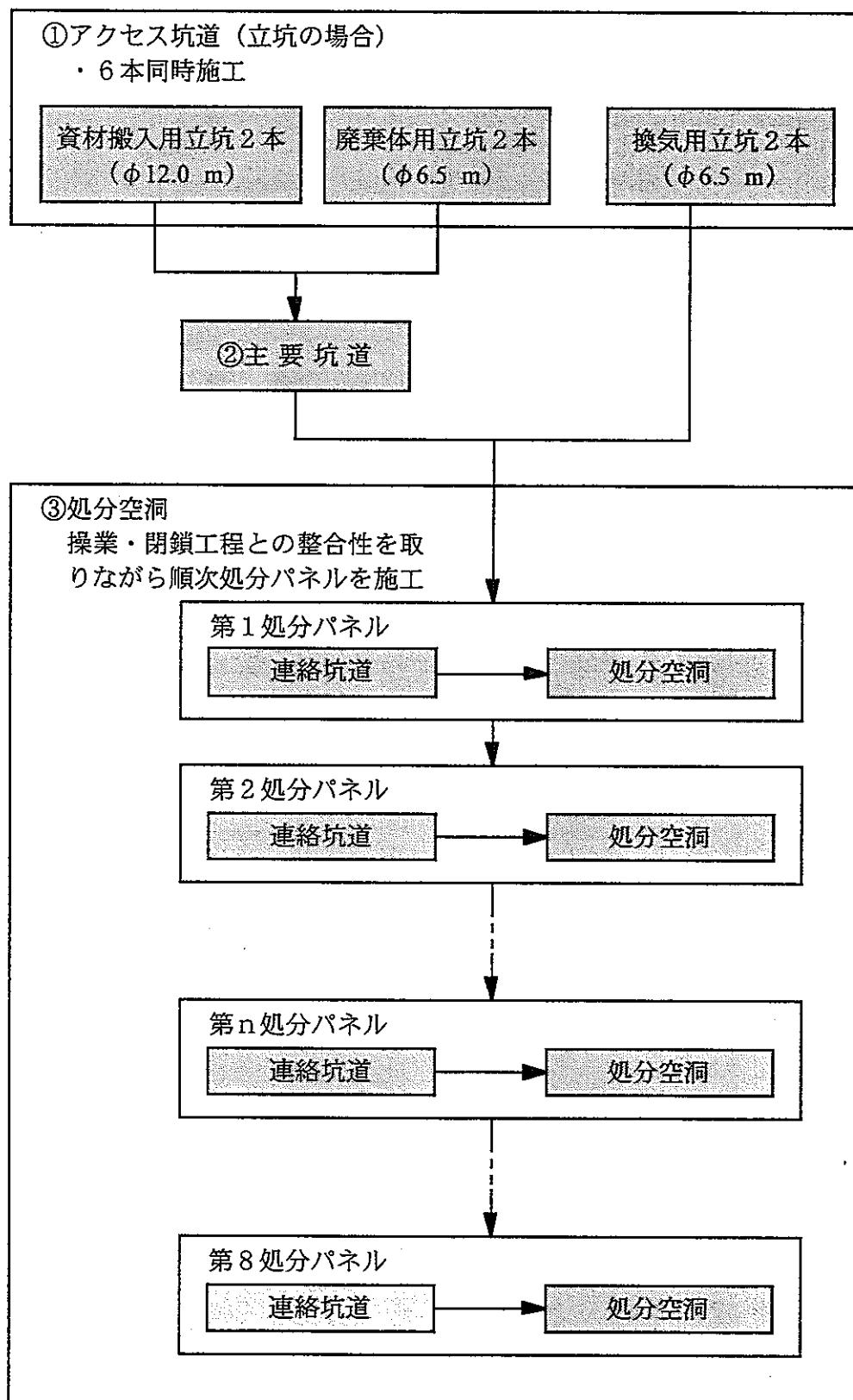


図-1.5.9 地下施設の施工手順

(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。

(b) 本検討での設定

① 岩盤の掘削方法

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プ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うことになる。

(b) 本検討での設定

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プ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。

(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プ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。

(b) 本検討での設定

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プ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。

(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プ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。

(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プ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 ϕ 2.0m~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

ートにて供給する。

(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拡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 $\phi 2.0\text{m} \sim 2.5\text{m}$ 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、シートにて供給する。

③処分ピットの施工

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。

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。

ここでは主として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

(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。

(b) 本検討での設定

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。

② アクセス坑道(立坑)での搬送方法

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輌とする。

③ 地下施設内での搬送方法

無軌道方式を採用する。

④ 搬送設備の仕様

(i) 搬送台車

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。

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。

(ii) 牽引車

牽引車の動力はディーゼル機関によるものと設定する。

⑤搬送車輌の通行方法と搬送経路

(i) 搬送車輌の通行方法

- ・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。
- ・搬送車輌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輌の車線	左車線 5.0 m
その他車輌の車線	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輌の地下施設内での経路を設定する。

(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。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。

(b)本検討での設定

①定置作業の基本仕様

自動化を目指したものと想定する。

②建設、閉鎖作業との関係

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。

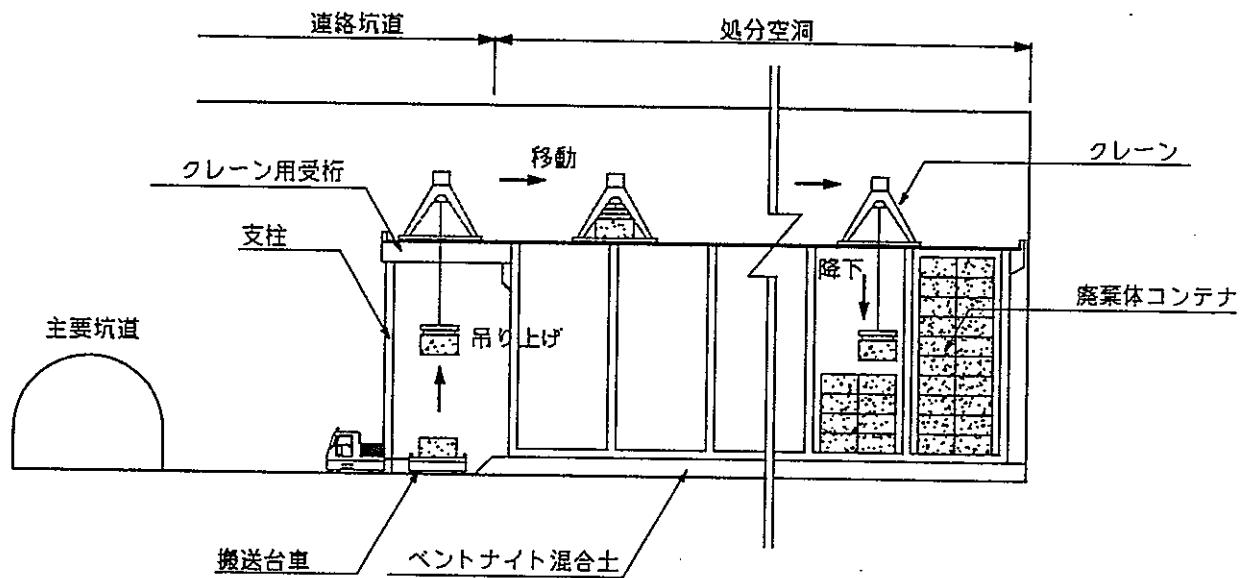
- ・建設工程としては基礎部ベントナイト混合土($t=1.0m$)、上部床版を除く処分ピットまでを施工し、その後操業工程へと移る。
- ・操業工程としては廃棄体コンテナの処分ピット内への定置完了後、処分ピット内の充填材施工を行い閉鎖工程へと移る。

③定置作業に使用する機器類の仕様

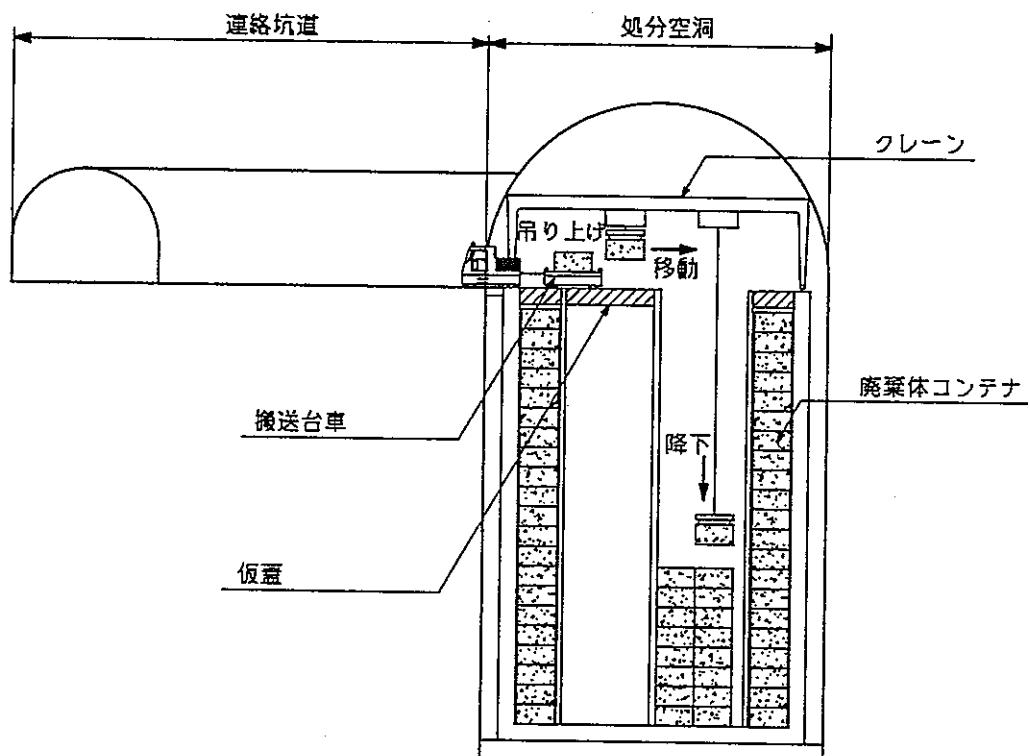
坑道方式及び岩洞方式での定置作業はクレーンで行うこととする。一方、サイロ方式での定置作業は構造上クレーンで行うことになる。

④定置作業の手順

定置作業の手順と作業状況の概念を図-1.5.10に示す。



(a) 岩洞方式・坑道方式



(b) サイロ方式

図-1.5.10 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

操業全体の流れの概念を図-1.5.11に示す。

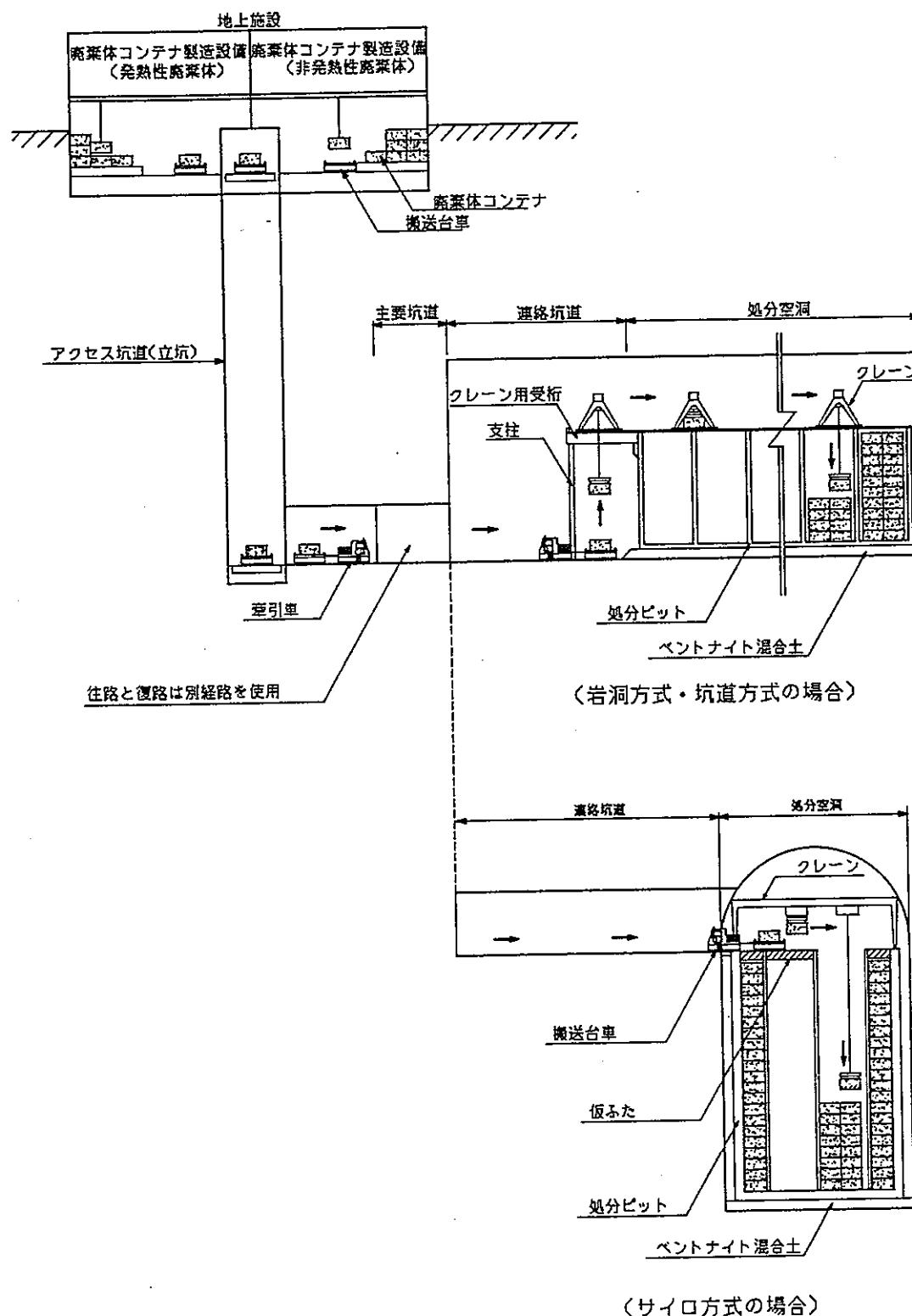


図-1.5.11 操業全体の流れ（概念）

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当な難透水性を保有させることにある。閉鎖部の要求性能については、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。

(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。

(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ペ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ペントナイト系材料を基本と考える。

(4) 処分空洞の閉鎖

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、ペントナイト混合土ブロックを積み上げる。またペントナイト混合土ブロックと周辺岩盤の間隙には、ペントナイトパウダーを吹き込むこととする。

(5) アクセス坑道・主要坑道・連絡坑道の閉鎖

埋戻し材としては処分空洞の閉鎖と同様のペ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、材料としてはペ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、ペ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ペントナイトブロックと周辺岩盤の間隙はペ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

換気の基本システムは、新鮮な空気を資材搬入用立坑($\phi 12.0\text{m}$ ：2本)から給気し換気立坑($\phi 6.5\text{m}$ ：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。

(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。

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出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。

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。

(2)排水システム

(a)基本的な考え方

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($\phi 12.0\text{m}$ ：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。

(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。

②操業段階

操業完了時点で操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。

④中継ポンプ室

中継ポンプ室は、地下施設を中央で2分割した操業区域側と建設・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。

第1章 参考文献

- 1) 岩波理科学事典 第4版 岩波書店, 1989年2月

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、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。

2.3 試験条件

表-2.3.1に配合条件と試験数量を示す。

表-2.3.1 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 ρ_s (t/m ³)	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**
	①	0	100	1.0	自然含水比	3	3	3	—
Ca型ベントナイト	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	—
	①	30	70	1.8	自然含水比	1	2	2	—
ケイ砂3号+5号+ Ca化ベントナイト	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	—*	—
	①	30	70	1.8	自然含水比	1	—	2	—
ケイ砂6号+ Ca化ベントナイト	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

2.3.1 Na型ペントナイト

本年度は三軸圧縮試験 (CU) を行った。

2.3.2 Ca化ペントナイト

平成 6 年度¹⁾、平成 7 年度²⁾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 (CU) も同時に行った。

2.3.3 Ca型ペントナイト

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化ペ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。

2.4 試験結果

2.4.1 Ca化ペントナイト

(1) 膨潤圧

図-2.4.1に膨潤圧と経過時間の関係（一部）を、図-2.4.2に膨潤圧と乾燥密度の関係を示す。

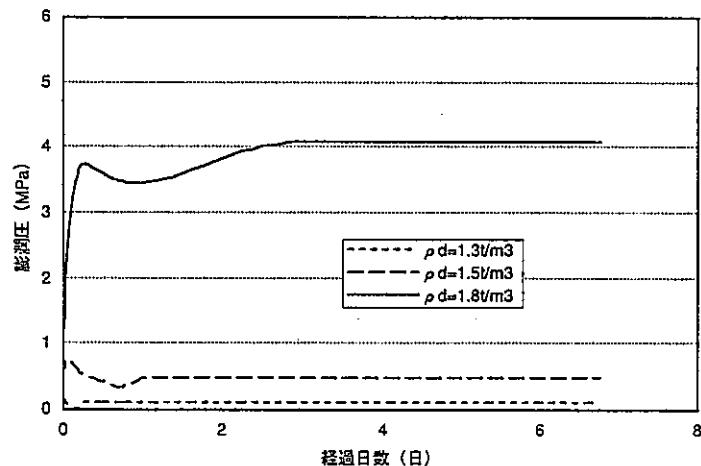


図-2.4.1 膨潤圧と経過日数の関係

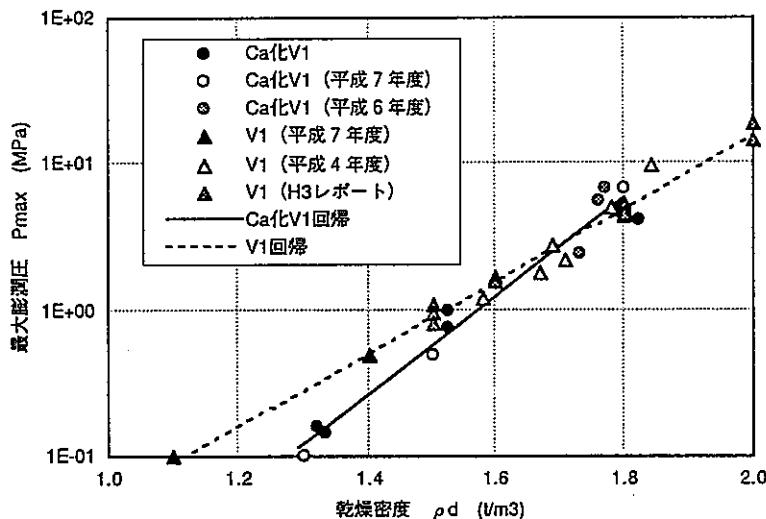


図-2.4.2 最大膨潤圧と乾燥密度の関係

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います。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 1.7t/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。

(2) 透水係数

図-2.4.3に透水係数と経過時間の関係（一部）を、図-2.4.4に透水係数と乾燥密度の関係を示す。

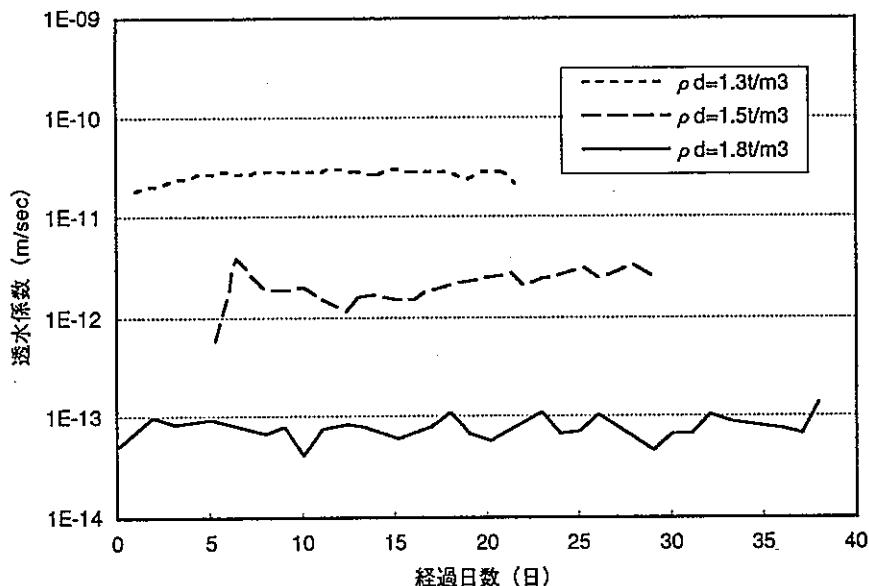


図-2.4.3 透水係数と経過日数の関係

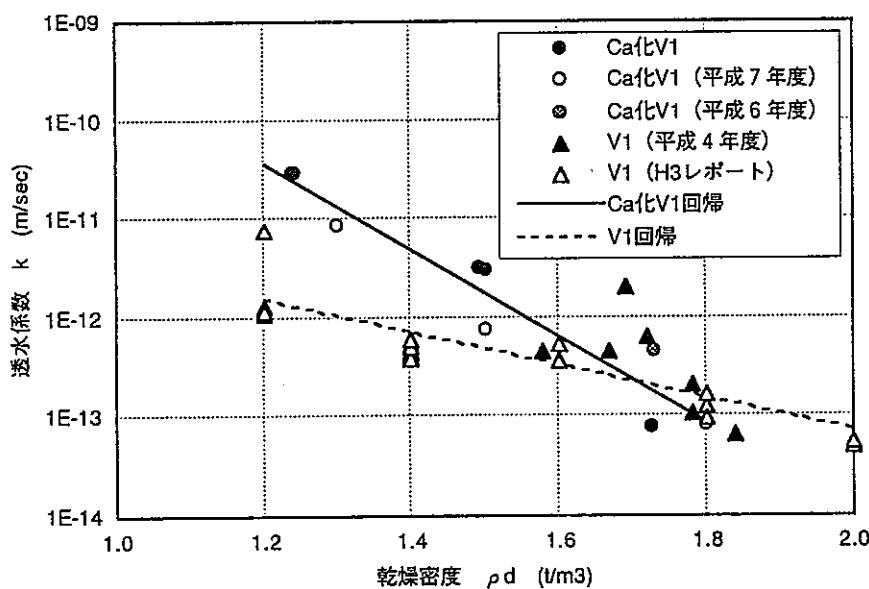


図-2.4.4 透水係数と乾燥密度の関係

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^{-11}m/sec オーダーであることが望まれ、室内試験では 10^{-12}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^3 程度の乾燥密度が必要と考えられる。

(3) 一軸圧縮強さ

図-2.4.5に一軸圧縮強さ q_u と乾燥密度 ρ_d の関係を示す。

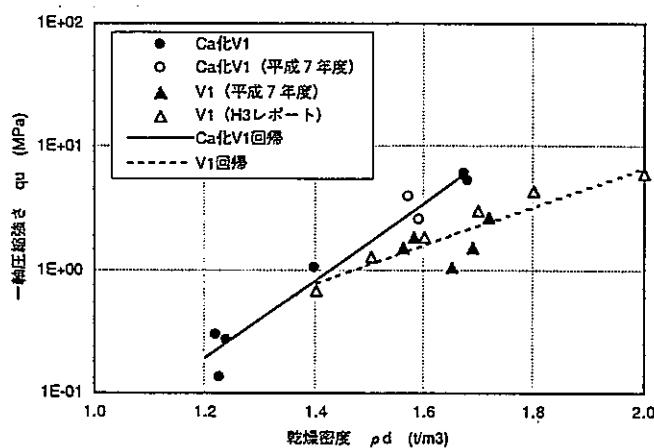


図-2.4.5 一軸圧縮強さと乾燥密度の関係

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。

2.4.2 Ca型ベントナイト

(1) 膨潤圧

図-2.4.6に膨潤圧と経過時間の関係（一部）を、図-2.4.7に膨潤圧と乾燥密度の関係を示す。

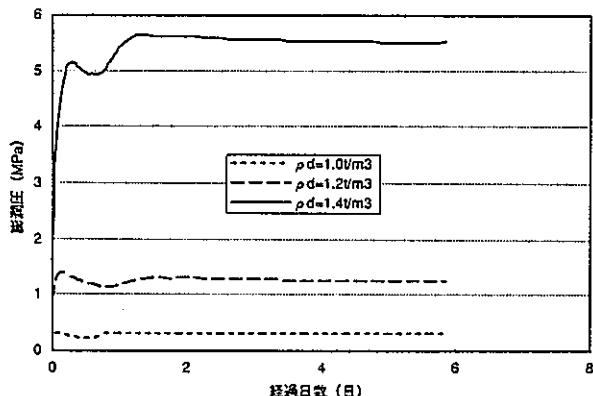


図-2.4.6 膨潤圧と経過日数の関係

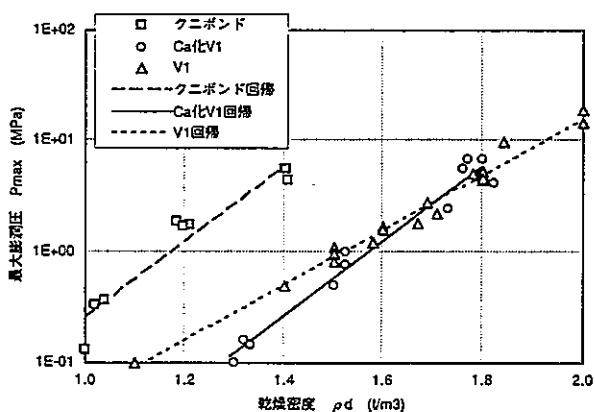


図-2.4.7 最大膨潤圧と乾燥密度の関係

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います。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ました。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ました。

(2) 透水係数

図-2.4.8に透水係数と経過時間の関係（一部）を、図-2.4.9に透水係数と乾燥密度の関係を示す。

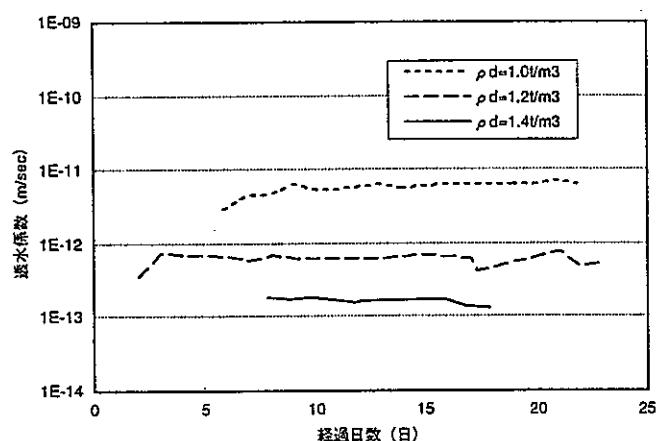


図-2.4.8 透水係数と経過日数の関係

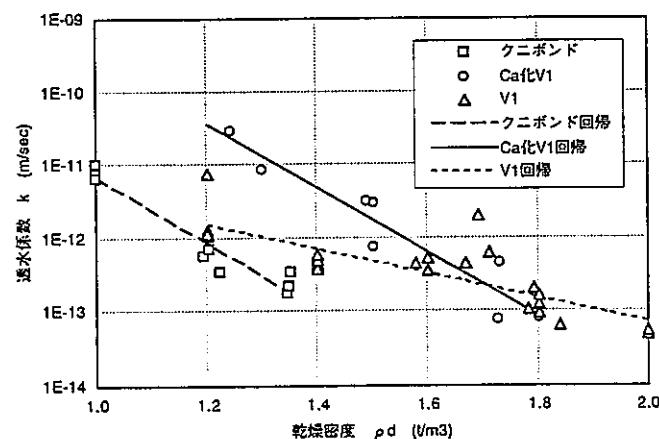


図-2.4.9 透水係数と乾燥密度の関係

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

図-2.4.10に一軸圧縮強さ q_u と乾燥密度 ρ_d の関係を示す。

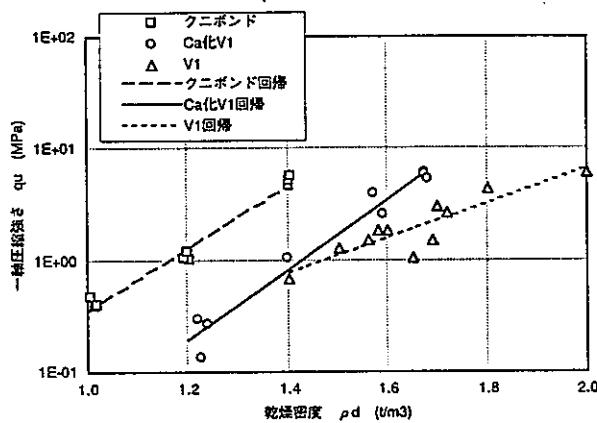


図-2.4.10 一軸圧縮強さと乾燥密度の関係

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います。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。

2.4.3 ケイ砂とCa化ベントナイトの混合材料

(1) 膨潤圧

図-2.4.11および2.4.12に膨潤圧と経過時間の関係（一部）を、図-2.4.13に膨潤圧とベントナイト配合率の関係を示す。

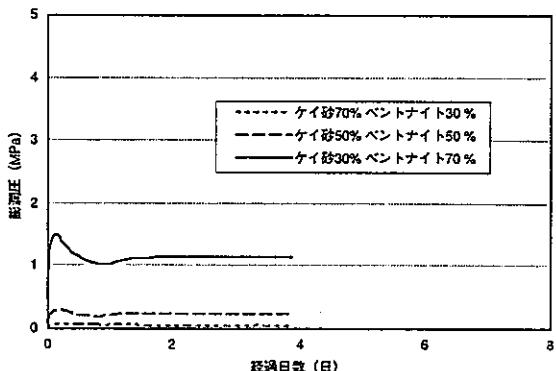


図-2.4.11 膨潤圧と経過時間の関係

（ケイ砂3号+5号とCa化ベントナイトの混合材料）

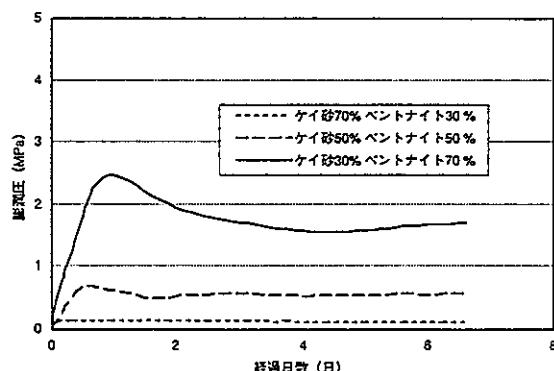


図-2.4.12 膨潤圧と経過時間の関係

（ケイ砂6号とCa化ベントナイトの混合材料）

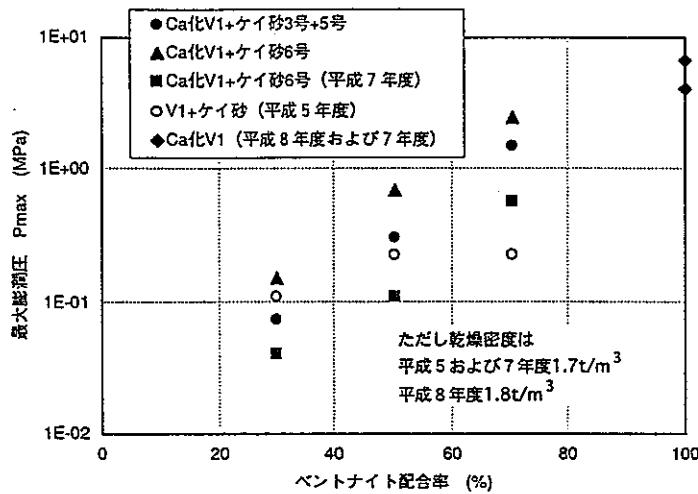


図-2.4.13 最大膨潤圧とベントナイト配合率の関係
(ケイ砂とCa化ベントナイトの混合材料)

今回の結果から混合材料の乾燥密度を $1.8\text{t}/\text{m}^3$ 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

図-2.4.14に透水係数と経過時間の関係(一部)を、図-2.4.15に透水係数とベントナイト配合率の関係を示す。

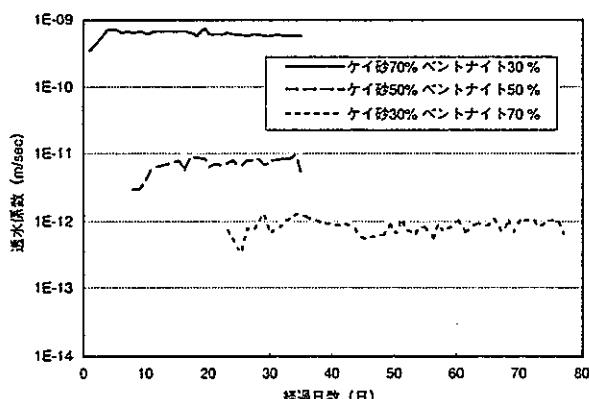


図-2.4.14 透水係数と経過日数の関係

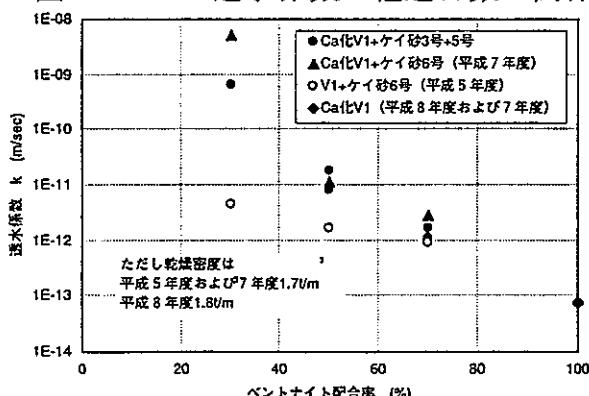


図-2.4.15 透水係数とベントナイト配合率の関係

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

図-2.4.16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。

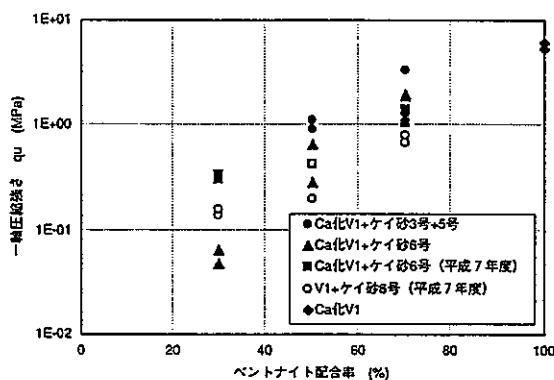


図-2.4.16 一軸圧縮強さとベントナイト配合率の関係

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 まとめと今後の課題

2.5.1 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1.7t/m³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1.7t/m³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1.2t/m³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1.4t/m³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。

2.5.2 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いる。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いる。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いる。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化ペ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。有効ペ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

ペントナイト配合率が50%以上の場合、ペントナイトの種類、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。ペ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。有効ペ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

一軸圧縮強さとペントナイト配合率の関係では、ペ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いる。既往の試験値と同様の傾向を示した。有効ペントナイト乾燥密度で評価すると、乾燥密度が $1.2\text{t}/\text{m}^3$ 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 $1.2\text{t}/\text{m}^3$ より小さいとき、同じ砂を用いても、一軸圧縮強さにはばらつきが見られた。

2.5.4 三軸圧縮強さ

(1) 飽和

ペントナイト $\rho_d=1.6\text{t}/\text{m}^3$ の場合、通水圧 0.7MPa 程度で約30日間通水させると、飽和度は95~100%を得られる事ができた。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

ペントナイト $\rho_d=1.6\text{t}/\text{m}^3$ 、拘束圧 $\sigma_3=0.5\sim2.0\text{MPa}$ 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 σ_3 によらず, $\epsilon \approx 8\%$ 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_{so} とも σ の増加に伴って大きくなっている, LDTで求めた E_0 の方が E_{so} 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_{so} 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

ν 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。

2.5.5 今後の課題

(1) Ca化ペントナイト

Ca型に変質させたペントナイト(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型ペントナイト

天然のCa型ペ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型に変質させたペントナイト(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。

第2章 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、1995.3.
- 2)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.

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、工事用施設の建設、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。

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：250,000m³（地上2階、地下1階）建設単価：300,000円/m³を想定する。また管理建屋は床面積：3,000m²（地上2階）建設単価：1,000,000円/m²を想定する。

3.1.4 地下施設の建設費用

(1) 積算ベース

- 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」¹⁾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²⁾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た。
- 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、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。
- 掘削残土（ズリ）はアクセス坑口より1km離れた地点まで運搬し処分する。
- 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、閉鎖工施工時の空洞湧水のペ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。
- 構造物の高品質確保のため、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。

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。

3.2 コスト試算

3.2.1 検討ケース

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

図-3.2.1～3.2.2にコスト試算結果を示す。例えば、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）、坑道+小断面岩洞方式（3,039億円）、坑道+サイロ方式（3,991億円）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。

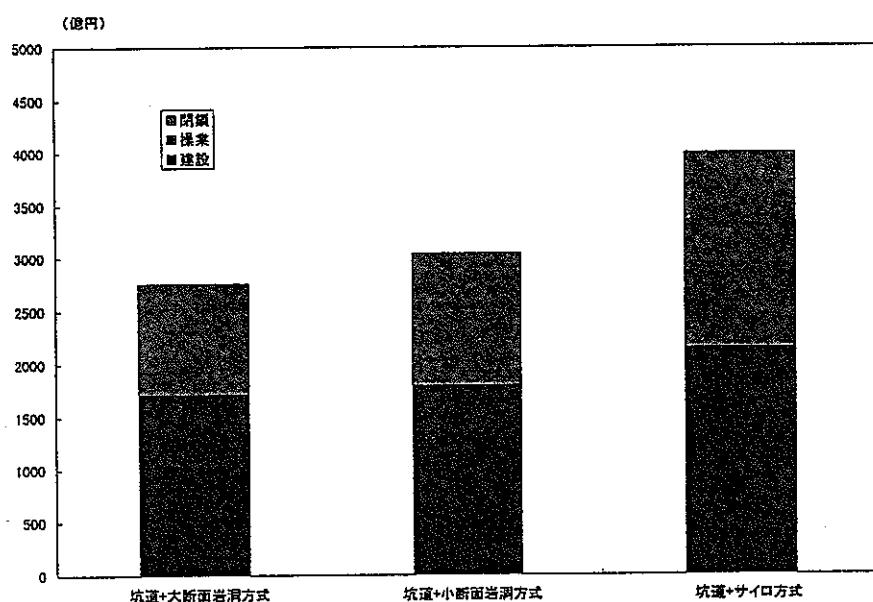


図-3.2.1 地下施設の建設・閉鎖及び操業に関するコスト試算結果(300m)

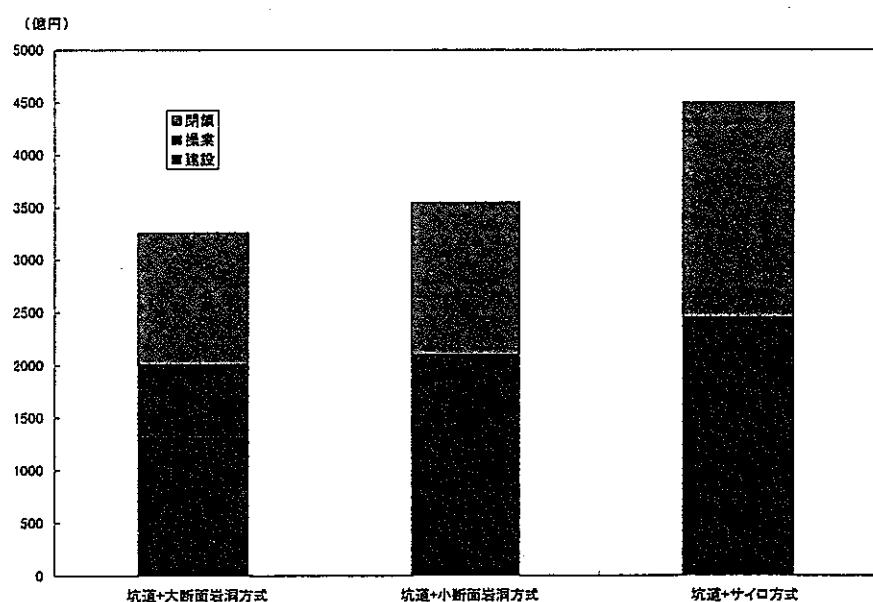


図-3.2.2 地下施設の建設・閉鎖及び操業に関するコスト試算結果(700m)

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-3.2.3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。

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-3.2.3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。

(2)閉鎖段階

図-3.2.4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。

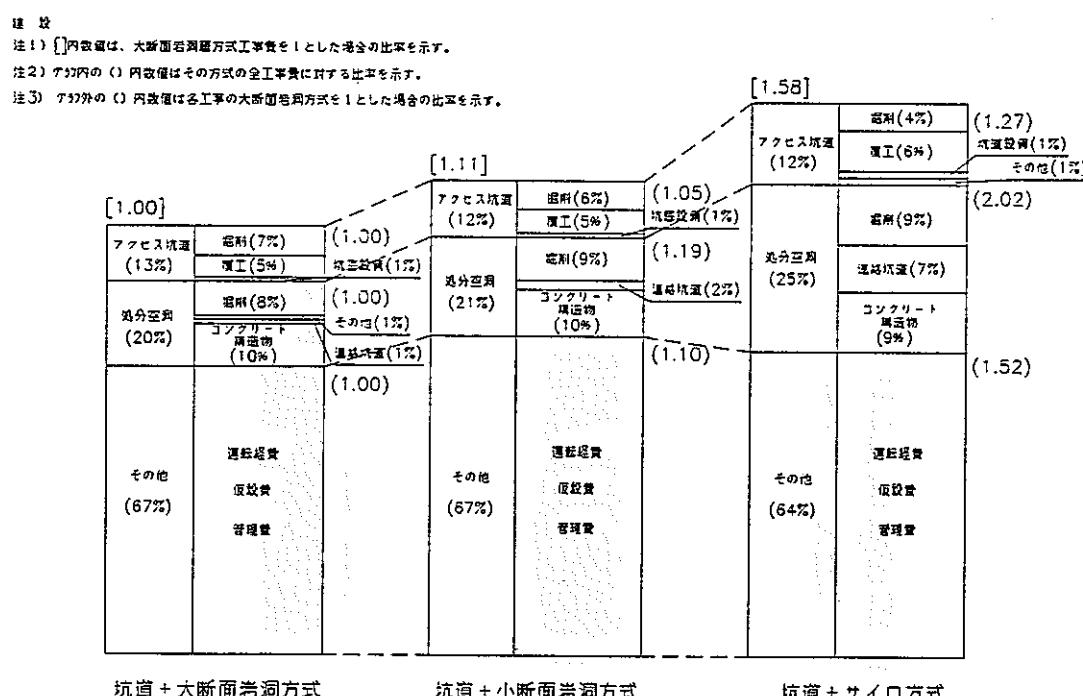


図-3.2.3 工事費内訳比較 建設費

用語
 注1) () 内数値は、大断面岩洞掘方式工事費を1とした場合の比率を示す。
 注2) グループ内の () 内数値はその方式の全工事費に対する比率を示す。
 注3) グループ外の () 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。

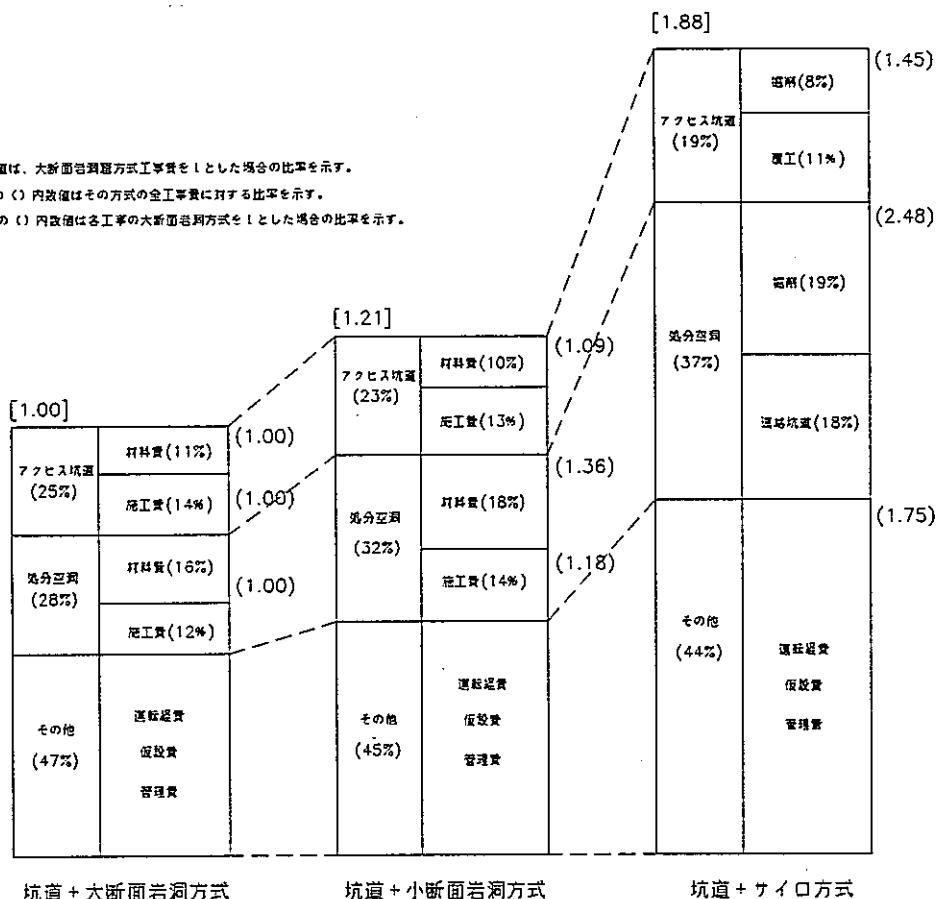


図-3.2.4 工事費内訳比較　閉鎖費

第3章 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

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化ペントナイトについて

Ca型に変質させたペントナイト（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型ペントナイトについて

天然のCa型ペ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型に変質させたペントナイト（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。