

# 地層処分システムに関する設計研究

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究内容報告書)

## 概 要

1998年 2 月

大成建設株式会社  
株式会社 大林組  
鹿島建設株式会社  
清水建設株式会社  
株式会社 間 組

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184  
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

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仕様しないよう特に注意して下さい。

本資料の問い合わせは下記に願います。

〒319-1112

茨城県那珂郡東海村村松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

## 地層処分システムに関する設計研究

窪田 茂\*      秋好賢治\*\*      奥津一夫\*\*\*  
堀田政國\*\*\*\*      雨宮清\*\*\*\*\*

### 要 旨

本研究は、地層処分システム全体の詳細検討を行い、我が国の自然環境条件に即した実現可能な処分施設の詳細仕様について検討するとともに、地層処分システムの設計解析手法の整備を進めることを目的とするものである。既往の研究成果及び昨年度実施した「地層処分システムの設計研究」の研究成果を踏まえ、本年度は以下の項目について検討を実施した。

- ①設計研究に係る条件整備
- ②人工バリア及び処分施設に関する設計・製作技術の検討
- ③処分施設に関する事前調査及び建設・操業・閉鎖に関する検討
- ④安全対策及び経済性に関する検討

①では、地層処分システムの具体例を示すための場である仮想地質モデルの作成、設計検討に用いる代表的な岩盤物性値の設定、設計の基本的考え方の整理等を行った。

②では、人工バリアシステム構築のための検討として、緩衝材の力学的安定性の検討、複合現象の評価解析、ガス発生・移行の検討、緩衝材の製作・施工技術に関する検討を行った。また、広域地下水流動解析、空洞安定解析を実施し、その結果に基づき③の検討の前提となる処分場レイアウトを仮想地質モデル中に設計するとともに設計した処分場の評価という位置づけで熱-水連成解析を行った。

③では、主として②で設定した処分場の仕様に基づき、事前調査から閉鎖までの方法及び工程の検討を行うとともに、各段階におけるモニタリング項目の検討を行った。

④では、建設・操業・閉鎖において想定される事故事象の整理及び事故時の対策の考え方の整理、事前調査から閉鎖までの単価についてモニタリングも含めての調査・整理、地層処分施設における安全管理の考え方の整理を行った。

---

本報告書は、大成建設株式会社、株式会社大林組、鹿島建設株式会社、清水建設株式会社、株式会社間組が、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 090D0211

\*：大成建設株式会社エンジニアリング本部      \*\*：株式会社大林組土木技術本部  
\*\*\*：鹿島建設株式会社土木設計本部      \*\*\*\*：清水建設株式会社電力・エネルギー本部  
\*\*\*\*\*：株式会社間組技術本部

## DESIGN RESEARCH ABOUT GEOLOGICAL DISPOSAL FACILITY

S.Kubota\*      K.Akiyoshi\*\*      K.Okutsu\*\*\*  
M.Horita\*\*\*\*      K.Amemiya\*\*\*\*\*

### Abstract

The objectives of this study are to investigate the geological disposal system in detail, to study the specification of the feasible disposal facility in accordance with natural environment conditions in Japan and to develop designing methods for the disposal system. Based on the results of the past studies and 'Design research for geological disposal facility' studied last year, the study in this fiscal year consists of the following sub-tasks.

#### **(1) Preconditioning for design research**

For indicating the concrete geological disposal system, making the imaginary geological model, establishing the representative properties of rock mass, and arranging the basic solution of design were performed.

#### **(2) Investigation of design & manufacturing technology on both EBS and disposal facility**

For making artificial barrier system, investigation of the mechanical stability of buffer materials, analyses of thermal-hydro-stress compound phenomena in the near field, investigation of the generation and transfer of gas, and investigation of the manufacturing and construction technology of buffer materials were performed. And groundwater flow analysis in the far field and mechanical stability analysis of the openings were performed, then the designed layout of geological disposal facility in the imaginary geological model based on the results of these analyses. And for estimating the designed layout, thermal-hydro compound analysis in the far field were performed.

#### **(3) Investigation of required subjects for the pre-investigation, construction, operation and closure of the disposal facility**

According to the designed layout, method and process of construction, operation and closure of the disposal facility were investigated, and monitoring item in each stage were investigated.

#### **(4) Investigation of the safety and economy**

Arrangement of the solution of supposed accident and countermeasure in each stage, investigation of the cost ranging from prior survey to closure including monitoring, and arrangement of the solution of safety management in the geological disposal facility were performed.

-----  
Work performed by Taisei Corporation, Obayashi Corporation, Kajima Corporation, Shimizu Corporation and Hazama Corporation under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

- \* : Taisei Corp., Engineering Division
- \*\* : Obayashi Corp., Civil Engineering Technical Division
- \*\*\* : Kajima Corp., Civil Engineering Design Division
- \*\*\*\* : Shimizu Corp., Power&Energy Project Division
- \*\*\*\*\* : Hazama Corp., Technical Research Division



## 「地層処分システムに関する設計研究」担当者一覧

	大成建設(株)	(株)大林組	鹿島建設(株)	清水建設(株)	(株)間組
実施責任者	茗ヶ原義彦	井上 貞文	山本 正明	飯塚友之助	島辺 賢一郎
実施担当者	窪田 茂	秋好 賢治	奥津 一夫	堀田 政國	雨宮 清
研究担当者	姉崎 進	丸山 誠	広中 良和	石井 卓	山下 亮
	杉原 豊	吉岡 尚也	大田 哲也	岩谷 彰	茂呂 吉司
	山本 卓也	栗原 雄二	池川 真也	桜井 英行	Tran Duc Phi Oanh
	亀村 勝美	河村 秀紀	羽根 幸司	白石 知成	小林 正明
	大矢 敏雄	杉江 茂彦	青柳 孝義	穂刈 利之	澤 正樹
	下野 正人	玉井 昭雄	山崎 久義	中島 均	
	伊藤 文雄	深谷 正明	三村 育広	石塚 峰夫	
	五十嵐孝文	高橋 真一	森川 誠司	富澤 大	
	高橋 美樹	並木 和人	古市 光昭		
		宮崎 裕光			
		中岡 健一			
		斎藤 隆			
		小松 雄一			
		田中 達也			
		山口 敏子			

## 目 次

	頁
1. 研究の目的 .....	1-1
2. 研究の概要 .....	2-1
3. 設計研究に係わる前提条件の整備 .....	3-1
3.1 仮想地質モデルの詳細化 .....	3-1
3.1.1 広域地下水流動解析に適した仮想地質モデルの作成 .....	3-1
(1) 結晶質岩系 .....	3-1
(2) 堆積岩系 .....	3-2
3.1.2 各種物性値の割り当て .....	3-3
(1) 結晶質岩系の岩盤の物性の設定 .....	3-3
(2) 結晶質岩系の割れ目の物性の設定 .....	3-3
(3) 堆積岩系の岩盤の物性の設定 .....	3-4
(4) 堆積岩系の割れ目の物性の設定 .....	3-4
3.1.3 広域調査段階における仮想地質モデル .....	3-5
(1) 広域調査段階における地質情報 .....	3-5
(2) 割れ目分布・物性値の把握状況 .....	3-5
(3) ゾーン物性の設定 .....	3-5
3.1.4 処分施設周辺地域の詳細調査段階における仮想地質モデル .....	3-7
3.1.5 仮想地質モデルの数値化 .....	3-7
(1) 結晶質岩系のモデル .....	3-7
(2) 堆積岩系のモデル .....	3-7
3.2 岩盤物性データの整備 .....	3-10
3.2.1 昨年度データベースの再整理 .....	3-10
3.2.2 新規調査・整理 .....	3-13
(1) 力学特性の深度依存性に関する調査・整理 .....	3-13
(2) 岩石物性から岩盤物性を推定する手法の調査・整理 .....	3-26
(3) 物性の相関関係に関する事例の調査・整理 .....	3-31
3.2.3 室内試験 .....	3-34
(1) 試験目的 .....	3-34
(2) 岩石試料 .....	3-34
(3) 試験装置及び試験方法 .....	3-34
(4) 試験結果およびまとめ .....	3-35
3.3 設計に関する基本的考え方の整備 .....	3-36
3.3.1 設計の基本的な流れ .....	3-36
(1) 基本方針 .....	3-36
(2) 前提条件 .....	3-36

(3) 設計方針	3-36
(4) 設計条件	3-37
(5) 処分システムの基本概念の設定	3-37
(6) 空洞の掘削可能性の概略検討	3-37
(7) 緩衝材仕様（力学的観点からの設計）	3-37
(8) 廃棄体埋設密度の検討	3-37
(9) 部位の設計	3-37
(10) 全体レイアウト	3-37
(11) 建設、操業、閉鎖方法の検討	3-37
3.3.2 基本要件	3-41
4. 人工バリア及び処分施設に関する設計・製作技術の検討	4-1
4.1 人工バリアの構造力学解析評価	4-1
4.1.1 構造力学解析	4-1
(1) 研究の目的	4-1
(2) 解析的検討による緩衝材厚さの検討	4-1
(3) 複合現象の解析評価	4-20
4.1.2 熱-水-応力連成解析	4-24
(1) 概要	4-24
(2) 熱-水-応力連成コードの支配方程式	4-24
(3) 解析条件	4-25
(4) 解析結果	4-27
(5) おわりに	4-30
<参考文献>	4-34
4.1.3 ガス発生・移行の検討	4-35
(1) PNC	4-35
(2) SKB	4-35
(3) NAGRA	4-36
(4) JNFL	4-37
(5) MEGAS	4-38
(6) Nirex	4-38
(7) 岩盤内のガス移行	4-39
<参考文献>	4-40
4.2 緩衝材の製作・施工技術に関する検討	4-41
4.2.1 緩衝材の製作・施工に関する既存データの整理	4-41
(1) 緩衝材材料	4-41
(2) 現場締固め方式に関する既存データ	4-45
(3) ブロック方式	4-79

4.2.2	施工手順と品質管理手法の検討	4-81
(1)	施工手順	4-81
(2)	品質管理手法	4-82
(3)	施工管理	4-89
<参考文献>		4-90
4.3	地層処分施設の設計検討	4-91
4.3.1	広域地下水流動解析	4-91
(1)	解析目的、前提条件の整理	4-92
(2)	解析領域、境界条件の設定及び解析モデルの作成	4-92
(3)	飽和・定常地下水流動解析	4-94
(4)	解析結果及び考察	4-96
(5)	まとめ	4-101
4.3.2	空洞安定解析	4-102
(1)	地質環境モデルに基づく検討	4-102
(2)	仮想地質モデルに基づく検討	4-108
4.3.3	ファーフールドの熱-水連成解析評価	4-120
(1)	目的	4-120
(2)	解析条件	4-120
(4)	解析ケース	4-123
(5)	解析結果	4-123
(6)	まとめ	4-127
4.3.4	処分システムの基本設計	4-128
(1)	検討方針	4-128
(2)	基本設計において考慮する事項の整理	4-129
(3)	検討条件の整理	4-130
(4)	検討項目及び評価指標	4-131
(5)	処分場レイアウトの検討	4-133
(6)	まとめ	4-147
5.	処分施設に関する事前調査及び建設・操業・閉鎖に関する検討	5-1
5.1	建設技術の検討	5-1
5.1.1	立坑、主要・連絡坑道、処分坑道	5-1
(1)	検討条件	5-1
(2)	結晶質岩における検討	5-4
(3)	堆積岩における検討	5-13
5.1.2	処分ピット	5-21
(1)	概要	5-21
(2)	岩盤掘削方法の調査	5-21
(3)	現行工法の検討	5-23

(4) 処分ピット掘削機の検討	5-24
5.2 操業技術の検討	5-28
5.2.1 検討の概要	5-28
5.2.2 検討条件	5-28
(1) 人工バリア仕様の条件	5-28
(2) 操業の検討	5-28
5.2.3 検討内容	5-28
(1) 検討対象施設	5-28
(2) 検討項目	5-28
5.2.4 検討結果	5-29
(1) 地上施設	5-29
(2) アクセス施設	5-37
(3) 地下施設	5-40
(4) 操業に係わる工程、要員の検討	5-47
(5) 地上施設概念のまとめ	5-47
(6) 検討のまとめ	5-47
<参考文献>	5-47
5.3 閉鎖技術の検討	5-51
5.3.1 閉鎖の仕様の検討	5-51
(1) 概要	5-51
(2) 安全確保の考え方	5-52
(3) 各部位の要求機能	5-52
(4) 各部位の仕様	5-53
5.3.2 施工方法・工程の検討	5-56
(1) 一般部（主要・連絡坑道、立坑）の埋戻しの検討	5-56
(2) プラグの施工の検討	5-58
5.3.3 閉鎖後の地下水挙動解析	5-59
(1) 目的	5-59
(2) 解析ケース	5-59
(3) 解析条件	5-59
(4) 解析結果	5-60
5.4 事前調査・建設・操業・閉鎖の各段階におけるモニタリング項目の検討	5-63
5.4.1 検討範囲と検討項目	5-63
5.4.2 処分場管理のための調査・観測項目の検討	5-64
5.4.3 処分場管理のためのモニタリングスケジュールとモニタリング 位置及び数量	5-78

5.5	事前調査から閉鎖までの手順及び工程の検討	5-84
5.5.1	検討の目的	5-84
5.5.2	検討の範囲	5-84
5.5.3	検討の進め方	5-84
5.5.4	前提条件の整理	5-85
	(1) 基本となる処分スケジュールの設定	5-85
	(2) 事前調査、サイト特性調査、建設、操業、閉鎖段階での各工程の 検討における前提条件の整理	5-85
	(3) 全体工程立案に適用する実施手順（基本ケース）の整理	5-86
5.5.5	実施事項および各工程の検討および整理	5-87
	(1) 事前調査およびサイト特性調査段階	5-87
	(2) 建設段階	5-104
	(3) 操業・閉鎖段階	5-104
	(4) 最終閉鎖段階	5-104
5.5.6	全体工程の立案	5-108
5.5.7	全体工程の実現性の評価	5-108
	(1) 影響要因の抽出	5-108
	(2) 今後の課題	5-109
6.	安全対策及び経済性に関する検討	6-1
6.1	F E Pの整理と対策	6-1
6.1.1	各種条件下で想定される事故事象	6-1
6.1.2	建設・操業・閉鎖の各段階で想定される事故事象	6-2
6.1.3	事故事象の分析	6-3
	(1) 事故事象間の関連性	6-3
	(2) 事故事象の重要度分類	6-7
6.1.4	発生要因の分析	6-9
	(1) 火災・爆発	6-9
	(2) 異常出水・水没	6-13
6.1.5	安全対策	6-17
	(1) 安全対策の分類	6-17
	(2) 安全対策上の留意点	6-19
6.1.6	今後の課題	6-22
6.2	経済性の評価	6-23
6.2.1	検討の概要	6-23
	(1) 検討の目的	6-23
	(2) 検討の範囲	6-23
	(3) 検討方針	6-23
6.2.2	事前調査およびサイト特性調査に関する費用	6-24

(1) 費用項目 .....	6-24
(2) モデルサイト .....	6-24
(3) 単価の調査 .....	6-24
(4) 事前調査およびサイト特性調査の費用の検討 .....	6-29
6.2.3 建設・操業・閉鎖に関する単価の見直し .....	6-31
(1) 建設単価 .....	6-31
(2) 操業単価 .....	6-33
(3) 閉鎖単価 .....	6-34
6.2.4 モニタリングに関する費用 .....	6-37
(1) 検討の範囲と前提条件 .....	6-37
(2) 単価の調査 .....	6-37
(3) モニタリング費用の算出 .....	6-39
(4) 費用算出における課題 .....	6-45
6.2.5 まとめと課題 .....	6-47
(1) 事前調査に関する費用 .....	6-47
(2) 建設・操業・閉鎖段階に関する単価見直し .....	6-47
(3) モニタリングに関する費用 .....	6-47
6.3 安全管理の考え方 .....	6-48
6.3.1 事前調査の必要性 .....	6-49
(1) 構造物の設計・施工の安全に係わる調査 .....	6-49
(2) 周辺環境に係わる調査 .....	6-50
6.3.2 現状における法令等 .....	6-51
6.3.3 安全管理のために実施すべき所要の措置 .....	6-52
付録（報告書に使用する単位について） .....	付-1



## 目 次

頁

## 第3章 設計研究に係わる前提条件の整備

## 3.1 仮想地質モデルの詳細化

- 図-3.1.3.1 堆積岩系の広域調査段階の物性ゾーン区分図（鉛直断面図） 3-6
- 図-3.1.5.1 結晶質岩系の広域調査段階の仮想地質モデル  
（30km モデル、鳥かん図） ..... 3-8
- 図-3.1.5.2 結晶質岩系の広域調査段階の仮想地質モデル  
（10km モデル、鳥かん図） ..... 3-8
- 図-3.1.5.3 堆積岩系の広域調査段階の仮想地質モデル  
（30km モデル、鳥かん図） ..... 3-9
- 図-3.1.5.4 堆積岩系の広域調査段階の仮想地質モデル  
（10km モデル、鳥かん図） ..... 3-9

## 3.2 岩盤物性データの整備

- 図-3.2.2.1 弾性波速度の応力依存性の例（Wepfer, 1991） ..... 3-15
- 図-3.2.2.2 女川原子力発電所サイト ..... 3-17
- 図-3.2.2.3 大阪平野地質構造探査 ..... 3-17
- 図-3.2.2.4 女川原子力発電所データの評価（ $V_p$ ） ..... 3-22
- 図-3.2.2.5 女川原子力発電所データの評価（ $V_s$ ） ..... 3-22
- 図-3.2.2.6 大阪平野地質構造探査データの評価（ $V_p, V_s$ ） ..... 3-23
- 図-3.2.2.7 圧縮率と等方圧の関係 ..... 3-24
- 図-3.2.2.8 強度の応力依存性の例 ..... 3-25
- 図-3.2.2.9 寸法効果の例 ..... 3-26

## 3.3 設計に関する基本的考え方の整備

- 図-3.3.1.1 設計の基本的な流れ ..... 3-39

## 第4章 人工バリア及び処分施設に関する設計・製作技術の検討

## 4.1 人工バリアの構造力学解析評価

## 4.1.1 構造力学解析

- 図-4.1.1.1 長期の構造力学的安定性の観点での緩衝材の設計フロー  
（緩衝材必要厚さの設定） ..... 4-2
- 図-4.1.1.2 オーバーパック腐食膨張時の緩衝材モデル ..... 4-3
- 図-4.1.1.3 緩衝材の圧密試験結果（ $e$ -log $P$  曲線：乾燥密度  $1.6\text{g/cm}^3$ 、PNC）  
..... 4-4

図-4.1.1.4	緩衝材厚さと平均有効応力	4-4
図-4.1.1.5	解析モデル（結晶質岩）	4-5
図-4.1.1.6	メッシュモデル	4-5
図-4.1.1.8(a)	各ステップにおける局所安全率分布（全応力解析、結晶質岩）	4-7
図-4.1.1.8(b)	各ステップにおける局所安全率分布（全応力解析、堆積岩）	4-7
図-4.1.1.8(c)	各ステップにおける局所安全率分布（有効応力解析、結晶質岩）	4-8
図-4.1.1.8(d)	各ステップにおける局所安全率分布（有効応力解析、堆積岩）	4-8
図-4.1.1.9	オーバーパックと緩衝材の概要	4-9
図-4.1.1.10	間隙比分布（緩衝材 30cm）	4-14
図-4.1.1.11	間隙比分布（緩衝材 60cm）	4-14
図-4.1.1.12	間隙比分布（緩衝材 98cm）	4-14
図-4.1.1.13	応力経路	4-15
図-4.1.1.14	変位ベクトル図（11000 年後）	4-16
図-4.1.1.15	応力比分布（T=11000 年）	4-17
図-4.1.1.16	変位ベクトル（11000 年後）	4-19
図-4.1.1.17	変位ベクトル	4-22
図-4.1.1.18	応力比の分布（11000 年後）	4-22
図-4.1.2.1	連成解析での相互作用の概念	4-24
図-4.1.2.2	解析モデル概念図	4-25
図-4.1.2.3	解析結果出力点および出力ライン	4-28
図-4.1.2.4	温度の経時変化（結晶質岩）	4-30
図-4.1.2.5	出力ライン上における圧力水頭の経時変化 （結晶質岩；廃棄体、緩衝材定置後）	4-31
図-4.1.2.6	出力ライン上における緩衝材内の体積含水率の経時変化 （結晶質岩）	4-31
図-4.1.2.7	温度の経時変化（堆積岩）	4-32
図-4.1.2.8	出力ライン上における圧力水頭の経時変化 （堆積岩；廃棄体、緩衝材定置後）	4-32
図-4.1.2.9	出力ライン上における緩衝材内の体積含水率の経時変化 （堆積岩）	4-33
図-4.1.2.10	廃棄体、緩衝材定置 1 年後の緩衝材内の飽和度分布（堆積岩）	4-33

## 4.2 緩衝材の製作・施工技術に関する検討

図-4.2.1.1	クニゲル V1 と OT-9607 の粒径加積曲線	4-42
図-4.2.1.2	各種珪砂の粒度分布	4-43
図-4.2.1.3	珪砂量と最大乾燥密度	4-44
図-4.2.1.4	珪砂の粒径加積曲線	4-46
図-4.2.1.5	室内試験のフロー	4-47
図-4.2.1.6	砂の粒度分布条件における締固め曲線	4-49
図-4.2.1.7	ベントナイト砂比における締固め曲線	4-49
図-4.2.1.8	ベントナイトの実質乾燥密度と含水比の関係曲線	4-50
図-4.2.1.9	本試験のフロー	4-53
図-4.2.1.10	乾燥密度の深さ方向の変化	4-54
図-4.2.1.11	乾燥密度の平面分布	4-55
図-4.2.1.12	各種試験方法における乾燥密度	4-56
図-4.2.1.13	珪砂および川砂の粒度分布	4-58
図-4.2.1.14	緩衝材の含水比と乾燥密度の関係（吹付けのみ）	4-60
図-4.2.1.15	緩衝材の含水比と乾燥密度の関係（吹付け後突固め）	4-60
図-4.2.1.16	試験フロー	4-62
図-4.2.1.17	試験フロー	4-65
図-4.2.1.18	舗装用密度計とコアカッター法による乾燥密度の関係	4-66
図-4.2.1.19	乾燥密度と含水比の関係（クニゲル V1）	4-67
図-4.2.1.20	乾燥密度と含水比の関係（粒状ベントナイト）	4-68
図-4.2.1.21	ベントナイトの粒径加積曲線	4-70
図-4.2.1.22	締固め曲線	4-70
図-4.2.1.23	含水比と一軸圧縮強さの関係	4-71
図-4.2.1.24	突固めエネルギーに対する乾燥密度の変化	4-71
図-4.2.1.25	突き固めエネルギーに対する一軸圧縮強さの変化	4-72
図-4.2.1.26	メチレンブルー吸着量の試験結果	4-72
図-4.2.1.27	緩衝材施工および計測機器設置断面	4-74
図-4.2.1.28	施工フロー	4-75
図-4.2.1.29	ピット底面からの高さ方向における含水比の変化	4-76
図-4.2.1.30	乾燥密度の変化	4-77
図-4.2.1.31	乾燥密度の平面的な変化（AC 断面）	4-78
図-4.2.1.32	乾燥密度の平面的な変化（BD 断面）	4-78
図-4.2.1.33	ベントナイト/珪砂の混合比と密度	4-79
図-4.2.1.34	緩衝材製作試験結果	4-80
図-4.2.1.35	BIGBEN 緩衝材乾燥密度	4-80
図-4.2.2.1	ブロック型の製造工程の 1 例	4-88

図-4.2.2.2	現場締固めの施工管理フロー	4-89
図-4.2.2.3	ブロック型方式の施工管理フロー	4-89

#### 4.3 地層処分施設の設計検討

##### 4.3.1 広域地下水流動解析

図-4.3.1.1	広域地下水流動解析検討フロー図	4-91
図-4.3.1.2	解析領域及び境界条件	4-93
図-4.3.1.3	3次元 FEM 解析モデル図	4-95
図-4.3.1.4	EL-750m レベルでの全水頭コンター図 (結晶質岩系)	4-97
図-4.3.1.5	南北方向 (A-A) 断面での全水頭コンター図 (結晶質岩系)	4-98
図-4.3.1.6	EL-500m レベルでの全水頭コンター図 (堆積岩系)	4-99
図-4.3.1.7	南北方向断面での全水頭コンター図 (堆積岩系)	4-100

##### 4.3.2 空洞安定解析

図-4.3.2.1	支保工応力算定 概念図	4-104
図-4.3.2.2	解放率特性曲線	4-104
図-4.3.2.3	覆工厚の変化と支保工にかかる地圧の関係	4-105
図-4.3.2.4	設置可能覆工厚の範囲	4-106
図-4.3.2.5	深度と覆工厚 (結晶質岩, コンクリート覆工のみ)	4-107
図-4.3.2.6	深度と覆工厚 (堆積岩, コンクリート覆工のみ)	4-107
図-4.3.2.7	深度と覆工厚 (堆積岩, コンクリート覆工+H 鋼)	4-107
図-4.3.2.8	深度と覆工厚 (堆積岩, 鋼製セグメント)	4-107
図-4.3.2.9	坑道形状 (結晶質岩)	4-110
図-4.3.2.10	結晶質岩解析モデル (幌形断面)	4-110
図-4.3.2.11	坑道形状および支保パターン (堆積岩)	4-113
図-4.3.2.12	鋼製セグメント断面	4-114
図-4.3.2.13	変形、局所安全率及び最大せん断ひずみ図 (堆積岩, 主要・連絡坑道, 検討深度 500m, STAGE-2)	4-117
図-4.3.2.14	ひずみ軟化挙動とひずみ軟化モデル	4-118

##### 4.3.3 ファーフィールドの熱-水連成解析評価

図-4.3.3.1	結晶質岩モデルにおける解析断面位置 (平面図)	4-121
図-4.3.3.2	堆積岩モデルにおける解析断面位置 (平面図)	4-121
図-4.3.3.3	結晶質岩モデルにおける解析メッシュ	4-122
図-4.3.3.4	堆積岩モデルにおける解析メッシュ	4-122
図-4.3.3.5	温度分布図 (結晶質岩基本ケース: case-k01)	4-124
図-4.3.3.6	温度経時変化図—廃棄体レベル— (結晶質岩基本ケース)	4-125

図-4.3.3.7	温度経時変化図（結晶質岩基本モデル）	4-125
図-4.3.3.8	温度経時変化図—廃棄体レベル—（堆積岩基本ケース）	4-126
図-4.3.3.9	温度経時変化図—地表面レベル—（堆積岩基本ケース）	4-126
図-4.3.3.10	温度経時変化図（結晶岩ケース）熱—水連成解析と熱伝導解析の比較	4-127

#### 4.3.4 処分システムの基本設計

図-4.3.4.1	調査と設計の流れ	4-128
図-4.3.4.2	レイアウト設計の検討フロー	4-131
図-4.3.4.3	処分予定地の絞り込み結果	4-133
図-4.3.4.4	主応力方向と坑道方向	4-134
図-4.3.4.5	主要地下水流動方向と処分場の方向	4-136
図-4.3.4.6	主要処分場の概略全体形状	4-136
図-4.3.4.7	区画配置の決定パターン	4-138
図-4.3.4.8	アクセスパターン	4-142
図-4.3.4.9	坑道の交差本数	4-145
図-4.3.4.10	空洞安定性から設定した坑道の離間距離	4-145
図-4.3.4.11	連絡坑道の基本仕様（結晶質岩）	4-146
図-4.3.4.12	連絡坑道の基本仕様（堆積岩）	4-146
図-4.3.4.13	処分場レイアウト（結晶質岩）	4-149
図-4.3.4.14	処分場レイアウト（堆積岩）	4-151
図-4.3.4.15	処分区画の諸元（結晶質岩1）	4-153
図-4.3.4.16	処分区画の諸元（結晶質岩2）	4-153
図-4.3.4.17	処分区画の諸元（結晶質岩3）	4-154
図-4.3.4.18	処分区画の諸元（堆積岩）	4-154
図-4.3.4.19	建設・閉鎖用アクセス坑道を共用とした場合の例	4-156

### 第5章 処分施設に関する事前調査及び建設・操業・閉鎖に関する検討

#### 5.1 建設技術の検討

図-5.1.1.1	掘削断面の諸元（結晶質岩）	5-2
図-5.1.1.2	掘削断面の諸元（堆積岩）	5-3
図-5.1.1.3	NATMによる立坑の全体施工フロー（結晶質岩）	5-5
図-5.1.1.4	横坑全体施工フロー（結晶質岩）	5-9
図-5.1.1.5	ショートステップ工法による立坑の全体施工フロー（堆積岩）	5-14
図-5.1.1.6	横坑全体施工フロー（堆積岩）	5-17
図-5.1.2.1	ダウンザホールハンマ	5-25

図-5.1.2.2	コア抜き工法	5-25
図-5.1.2.3	オープナー拡孔工法	5-26
図-5.1.2.4	全断面掘削工法	5-26

## 5.2 操業技術の検討

図-5.2.4.1(1/2)	地上施設工程ハンドリングフロー図	5-31
図-5.2.4.1(2/2)	地上施設工程ハンドリングフロー図	5-32
図-5.2.4.2(1/4)	地上施設：廃棄物受け入れ・検査施設機器配置図 (地下1階平面図)	5-35
図-5.2.4.2(2/4)	地上施設：廃棄物受け入れ・検査施設機器配置図 (1階平面図)	5-35
図-5.2.4.2(3/4)	地上施設：廃棄物受け入れ・検査施設機器配置図 (屋上階平面図)	5-36
図-5.2.4.2(4/4)	地上施設：廃棄物受け入れ・検査施設機器配置図 (A-A断面図)	5-36
図-5.2.4.3	アクセス施設ハンドリングフロー	5-38
図-5.2.4.4	アクセス一定置のハンドリング機器構成	5-38
図-5.2.4.5	地下施設での基本的作業フロー	5-41
図-5.2.4.6	下部緩衝材定置装置	5-42
図-5.2.4.7	上部緩衝材定置装置	5-42
図-5.2.4.8	定置装置搬送台車	5-43
図-5.2.4.9	廃棄体定置装置	5-43
図-5.2.4.10	坑道横置定置 作業フロー	5-44
図-5.2.4.11	地下施設における管理区域の概念図	5-48
図-5.2.4.12	管理区域における管理の概念 (処分区画) - 処分坑道6本単位 (横置き) -	5-48
図-5.2.4.13	地上施設全体レイアウト (堆積岩)	5-49

## 5.3 閉鎖技術の検討

図-5.3.1.1	閉鎖システム構築の検討フロー	5-51
図-5.3.1.2	処分場の安全確保の考え方	5-52
図-5.3.1.3	処分場の多重バリア各部位の要求機能	5-52
図-5.3.1.4	透水係数とベントナイト配合率の関係	5-53
図-5.3.1.5	ベントナイトプラグ構造図	5-54
図-5.3.1.6	コンクリートプラグ構造図	5-54
図-5.3.1.7	多重バリア各部位の仕様 (概要)	5-55
図-5.3.2.1	施工区分断面図	5-57



図-5.3.2.2	コンクリートプラグ施工フロー	5-58
図-5.3.2.3	ベントナイトプラグ施工フロー	5-58
図-5.3.3.1	解析断面位置（平面図）	5-59
図-5.3.3.2	解析断面図（メッシュ）	5-60
図-5.3.3.3	圧力水頭コンター及び流速ベクトル	5-61
図-5.3.3.4	湧水量の経時変化	5-62
5.4	事前調査・建築・操業・閉鎖の各段階におけるモニタリング項目の検討	
図-5.4.3.1	処分場管理のためのモニタリング位置図 (1)	5-81
図-5.4.3.1	処分場管理のためのモニタリング位置図 (2)	5-82
図-5.4.3.1	処分場管理のためのモニタリング位置図 (3)	5-83
5.5	事前調査から閉鎖までの手順及び工程の検討	
図-5.5.2.1	全体工程の実現性評価までの検討の流れ	5-84
図-5.5.5.1	調査計画立案に至る検討の流れ	5-87
図-5.5.5.2	サイト選定の流れ	5-89
図-5.5.5.3	処分候補地選定調査段階の処分候補地と調査対象領域の概念図	5-96
第6章	安全対策及び経済性に関する検討	
6.1	FEPの整理と対策	
図-6.1.3.1	事故事象関連図	6-5
図-6.1.4.1	FTA結果（火災・爆発）	6-33
図-6.1.4.2	FTA結果（異常出水・水没）	6-39
付録	報告書に使用する単位について	
図-付.1	S Iの構成	付-1



## 目 次

頁

## 第3章 設計研究に係わる前提条件の整備

## 3.2 岩盤物性データの整備

表-3.2.1.1	データ整理における岩種分類	3-10
表-3.2.1.2	代表岩種別力学特性データシート	3-11
表-3.2.1.3	代表岩種別熱特性データシート	3-12
表-3.2.2.1	文献に示された調査サイト	3-16
表-3.2.2.2	近似式中の定数一覧	3-23
表-3.2.2.3	岩石試験から岩盤特性を推定する方法	3-30
表-3.2.3.1	強度定数	3-35

## 第4章 人工バリア及び処分施設に関する設計・製作技術の検討

## 4.1 人工バリアの構造力学解析評価

表-4.1.1.1	リファレンスデザインの岩盤物性と初期応力状態	4-4
表-4.1.1.2	解析用物性値	4-6
表-4.1.1.3	膨張圧作用時の周辺岩盤塑性領域が、坑道掘削時点での塑性領域よりも小さくなるような内圧の範囲とそれに対する緩衝材の厚さ	4-6
表-4.1.1.4	解析に用いる物性値（複合現象：ABAQUS）	4-12
表-4.1.1.5	解析条件	4-20
表-4.1.2.1	解析に用いた物性値一覧	4-27
表-4.1.3.1	緩衝材の物性値	4-35
表-4.1.3.2	MX-80の物性値	4-36
表-4.1.3.3	SFRに使用される緩衝材の物性値	4-36
表-4.1.3.4	MX-80による実験結果	4-37
表-4.1.3.5	ガス発生量	4-37
表-4.1.3.6	各材料の透気に関する物性値	4-38
表-4.1.3.7	Boom Clayの物性値	4-38

## 4.2 緩衝材の製作・施工技術に関する検討

表-4.2.1.1	ベントナイト製品の基本特性の比較	4-42
表-4.2.1.2	使用材料	4-57
表-4.2.1.3	使用機械一覧	4-58
表-4.2.1.4	各ケースにおける施工性の比較評価	4-69
表-4.2.1.5	施工管理項目と目標値、管理値	4-73

表-4.2.1.6	測定データの平均値	4-76
表-4.2.2.1	現場締固め方式における施工工程と品質管理	4-83
表-4.2.2.2	ブロック型方式における施工工程と品質管理	4-83

#### 4.3 地層処分施設の設計検討

##### 4.3.1 広域地下水流動解析

表-4.3.1.1	境界条件一覧（結晶質岩系及び堆積岩）	4-92
表-4.3.1.3	解析物性値（透水係数）	4-94
表-4.3.1.4	解析検討ケース（結晶質岩系）	4-96
表-4.3.1.5	解析物性値（堆積岩系）	4-96
表-4.3.1.6	解析結果比較表	4-96

##### 4.3.2 空洞安定解析

表-4.3.2.1	検討用岩盤物性一覧	4-102
表-4.3.2.2	支保工物性値一覧	4-103
表-4.3.2.3	解析用物性一覧（結晶質岩モデル）	4-109
表-4.3.2.4	結晶質岩モデル解析ケース	4-111
表-4.3.2.5	FEM 解析結果（結晶質岩，検討深度 1000m）	4-111
表-4.3.2.6	解析用物性一覧（堆積岩モデル）	4-112
表-4.3.2.7	理論解による支保工の概略検討結果	4-113
表-4.3.2.8	支保工物性一覧	4-114
表-4.3.2.9	堆積岩モデル解析ケース	4-115
表-4.3.2.10	FEM 解析結果（堆積岩，検討深度 300m）	4-116
表-4.3.2.11	FEM 解析結果（堆積岩，検討深度 500m）	4-116
表-4.3.2.12	FEM ひずみ軟化解析結果（堆積岩，主要・連絡坑道）	4-118

##### 4.3.3 ファーフールドの熱-水連成解析評価

表-4.3.3.1	結晶質岩モデル	4-123
表-4.3.3.2	堆積岩モデル	4-123

##### 4.3.4 処分システムの基本設計

表-4.3.4.1	検討条件一覧	4-130
表-4.3.4.2	レイアウト検討における検討項目と評価指標	4-132
表-4.3.4.3	区画規模・数のまとめ	4-135
表-4.3.4.4	区画配置代表パターン	4-137
表-4.3.4.5	区画の縦横比と区画面積	4-137
表-4.3.4.6	アクセス方式の分類	4-139

表-4.3.4.7	アクセス坑道における物流方法の比較	4-139
表-4.3.4.8	施工性の比較	4-140
表-4.3.4.9	その他の経済性に係わる要素	4-141
表-4.3.4.10	アクセス坑道の配置に関する比較	4-141
表-4.3.4.11	作業動線の推移（堆積岩モデルの場合）	4-144

## 第5章 処分施設に関する事前調査及び建設・操業・閉鎖に関する検討

### 5.1 建設技術の検討

表-5.1.1.1	立坑の構造（結晶質岩）	5-6
表-5.1.1.2	主要施工数量（立坑、結晶質岩）	5-7
表-5.1.1.3	工期概算（立坑1本当たり、結晶質岩）	5-8
表-5.1.1.4	横坑の工法選定のまとめ（結晶質岩）	5-11
表-5.1.1.5	横坑の工期概算（結晶質岩）	5-12
表-5.1.1.6	立坑の構造（堆積岩）	5-15
表-5.1.1.7	工期概算（立坑1本当たり、堆積岩）	5-16
表-5.1.1.8	横坑の工法選定のまとめ（堆積岩）	5-19
表-5.1.1.9	横坑の工期概算（堆積岩）	5-20
表-5.1.2.1	破碎に要する比エネルギー	5-21
表-5.1.2.2	処分ピット設計条件	5-23
表-5.1.2.3	各処分ピット掘削機のまとめ	5-27

### 5.2 操業技術の検討

表-5.2.4.1	アクセス設備での廃棄体搬送装置（立坑の場合）	5-30
表-5.2.4.2	地上施設ハンドリング工程例	5-33
表-5.2.4.3	管理区域の設定例	5-34
表-5.2.4.4	アクセス設備／地下施設 ハンドリング工程	5-39
表-5.2.4.5	地下施設での移送方式	5-45
表-5.2.4.6	操業に係わる人員	5-47
表-5.2.4.7	今年度検討実施項目および今後実施が必要と思われる項目	5-50

### 5.3 閉鎖技術の検討

表-5.3.2.1	埋戻施工工程日数計算表（立坑）	5-57
表-5.3.2.2	埋戻施工工程日数計算表（主要・連絡坑道）	5-58

### 5.4 事前調査・建設・操業・閉鎖の各段階におけるモニタリング項目の検討

表-5.4.2.1	処分場管理のための調査・観測一覧表（1／10）	5-65
表-5.4.2.1	処分場管理のための調査・観測一覧表（2／10）	5-66

表-5.4.2.1	処分場管理のための調査・観測一覧表 (3 / 10)	5-67
表-5.4.2.1	処分場管理のための調査・観測一覧表 (4 / 10)	5-68
表-5.4.2.1	処分場管理のための調査・観測一覧表 (5 / 10)	5-69
表-5.4.2.1	処分場管理のための調査・観測一覧表 (6 / 10)	5-70
表-5.4.2.1	処分場管理のための調査・観測一覧表 (7 / 10)	5-71
表-5.4.2.1	処分場管理のための調査・観測一覧表 (8 / 10)	5-72
表-5.4.2.1	処分場管理のための調査・観測一覧表 (9 / 10)	5-73
表-5.4.2.1	処分場管理のための調査・観測一覧表 (10 / 10)	5-74
表-5.4.2.2	調査・観測項目一覧表 (1 / 24)	5-75
表-5.4.2.3	調査・モニタリング技術シート一覧	5-76
表-5.4.3.1	処分場の管理スケジュール (1 / 21)	5-79
表-5.4.3.2	処分場管理のためのモニタリングの数量 (1 / 9)	5-80

## 5.5 事前調査から閉鎖までの手順及び工程の検討

表-5.5.5.1	事前調査、サイト特性調査段階の調査の内容と調査期間	5-89
表-5.5.5.2	調査各段階の評価事項 (案)	5-90
表-5.5.5.3	仮想地質モデル設定時の前提条件	5-91
表-5.5.5.4	処分候補地選定調査段階の評価事項と適用する調査/観測手法	5-93
表-5.5.5.5	処分候補地調査段階の評価事項と適用する調査/観測手法	5-93
表-5.5.5.6	処分予定地調査段階の評価事項と適用する調査/観測手法 (その1)	5-94
表-5.5.5.7	処分予定地調査段階の評価事項と適用する調査/観測手法 (その2)	5-95
表-5.5.5.8	処分候補地選定調査段階の調査計画 (2000年~2003年)	5-96
表-5.5.5.9	処分候補地調査段階の調査計画 (結晶質岩ケース)	5-98
表-5.5.5.10	処分候補地調査段階の調査計画 (堆積岩ケース)	5-98
表-5.5.5.11	処分予定地調査段階の調査計画 (結晶質岩ケース)	5-101
表-5.5.5.12	処分候補地調査段階の調査計画 (堆積岩ケース)	5-102
表-5.5.5.13	建設開始から操業開始までの段階の実施事項と各工程のまとめ	5-105
表-5.5.5.14	操業開始から処分区画閉鎖までの段階の実施事項と各工程の まとめ	5-106
表-5.5.5.15	最終閉鎖段階の実施事項と各工程のまとめ	5-107
表-5.5.6.1	結晶質岩ケース、横置き定置 (Case.1) の全体工程	5-112
表-5.5.6.2	堆積岩ケース、横置き定置 (Case.2) の全体工程	5-115

## 第6章 安全対策及び経済性に関する検討

### 6.1 FEPの整理と対策

表-6.1.1.1	各種条件から想定される事故事象	6-1
表-6.1.2.1	建設・操業・閉鎖の各段階で想定される事故事象	6-2
表-6.1.3.1	事故事象の影響一覧	6-8
表-6.1.5.1	安全対策の分類	6-18
表-6.1.5.2	火災・爆発安全対策一覧表	6-20
表-6.1.5.3	異常出水・水没安全対策一覧表	6-21

### 6.2 経済性の評価

表-6.2.2.1	各調査段階に適用する調査/観測手法の単価調査結果	6-26
表-6.2.2.2	事前調査およびサイト特性調査の費用総計のまとめ (建設費含まず)	6-29
表-6.2.2.3	地下施設建設費	6-29
表-6.2.2.4	事前調査およびサイト特性調査の費用総計のまとめ	6-30
表-6.2.3.1	検討ケース	6-31
表-6.2.3.2	処分坑道の鋼鉄セグメント単価 (T-1)	6-32
表-6.2.3.3	主要・連絡坑道の一次支保工単価 (T-1)	6-32
表-6.2.3.4	アクセス坑道の鋼製支保工単価 (T-1)	6-32
表-6.2.3.5	オーバーパック費用 (H9検討とH10検討)	6-33
表-6.2.3.6	操業設備費用	6-33
表-6.2.3.7	緩衝材費用	6-34
表-6.2.3.8	立坑の埋戻し材料単価	6-34
表-6.2.3.9	主要坑道・連絡坑道の埋戻し材料単価	6-35
表-6.2.3.10	処分坑道のプラグ単価	6-35
表-6.2.3.12	立坑上部のコンクリートプラグ単価	6-35
表-6.2.3.13	立坑下部のコンクリートプラグ単価	6-36
表-6.2.3.14	HCBブロックプラグ材料単価 (K-2の場合)	6-36
表-6.2.3.15	HCBブロックプラグ材料単価 (T-1の場合)	6-36
表-6.2.4.1	モニタリングに関する調査・観測手法の単価調査結果	6-38
表-6.2.4.2	費用算出を目的としたモニタリング項目の数量および期間設定 の考え方 (事前調査・サイト特性調査段階)	6-39
表-6.2.4.3	費用算出を目的としたモニタリング項目の数量および期間設定 の考え方 (建設・操業・閉鎖段階)	6-40
表-6.2.4.4	費用算出を目的としたモニタリング項目の数量および期間設定 の考え方 (最終閉鎖段階)	6-43

表-6.2.4.5	費用算出を目的としたモニタリング項目の数量および期間設定の考え方（閉鎖後管理段階）	6-44
表-6.2.4.6	費用算出結果のまとめ	6-45

### 6.3 安全管理の考え方

表-6.3.1.1	構造物の設計・施工の安全に係わる基礎調査資料	6-49
表-6.3.1.2	周辺環境に係わる基礎調査資料	6-50
表-6.3.2.1	建設の安全・環境維持に係わる法令等（1／2）	6-51
表-6.3.3.1	管理のための施工管理体制（1／3）	6-53
表-6.3.3.2	安全施工のための作業および設備に係わる基本的事項（1／18）	6-54
表-6.3.3.3	安全施工のための作業環境に係わる基本的事項（1／6）	6-55
表-6.3.3.4	環境保全に係わる基本的事項（1／2）	6-56

### 付 録 報告書に使用する単位について

表-付.1	S I 基本単位	付-1
表-付.2	S I 補助単位	付-2
表-付.3	固有の名称・記号をもつS I 組立単位	付-2
表-付.4	S I 接頭語	付-3
表-付.5	今後も使用する非S I 単位	付-3
表-付.6	使用が認められている非S I 単位（1）	付-4
表-付.7	使用が認められている非S I 単位（2）	付-4
表-付.8	削除の対象となる非S I 単位	付-5

写 真 目 次

	頁
第4章 人工バリア及び処分施設に関する設計・製作技術の検討	
写真-4.2.1.1 コンクリート吹付機 .....	4-59
写真-4.2.1.2 模擬岩盤 .....	4-59



## 1. 研究の目的

我が国における地層処分の安全確保の仕組みと見通しを示すための第2次とりまとめにおいては、地層処分システムの技術的信頼性及び実現可能性を明示する必要がある。

本研究においては、これまでに実施してきた地層処分システムの個別の要素技術に関する調査研究開発の成果、及び昨年度実施した「地層処分施設の設計研究」において整理された基本条件を基に、地層処分システムに関する詳細検討を行い、仮想地質モデルに基づいた地層処分システムの具体的な概念を構築する。

また、本研究を通じて各種の調査研究開発の成果を集約するとともに、問題点や課題等の抽出及び各研究間の整合性を図り、地層処分技術開発の効果的な推進に資する。

## 2. 研究の概要

### 2.1 設計研究に係る条件整備

- (1) 仮想地質モデルの詳細化
- (2) 岩盤物性データの整備
- (3) 設計に関する基本的考え方の整備

### 2.2 人工バリア及び処分施設に関する設計・製作技術の検討

- (1) 人工バリアの構造力学解析評価
  - (a) 構造力学解析
  - (b) 熱-水-応力三連成解析
  - (c) ガス発生・移行の検討
- (2) 緩衝材の製作・施工技術に関する検討
- (3) 地層処分施設の設計検討
  - (a) 広域地下水流動解析
  - (b) 空洞安定解析
  - (c) ファーフィールドの熱-水連成解析
  - (d) 処分システムの基本設計

### 2.3 処分施設に関する事前調査及び建設・操業・閉鎖に関する検討

- (1) 建設技術の検討
  - (a) 立坑、主要・連絡坑道、処分坑道
  - (b) 処分ピット
- (2) 操業技術の検討
- (3) 閉鎖技術の検討
- (4) 事前調査・建設・操業・閉鎖の各段階におけるモニタリング項目の検討
- (5) 事前調査から閉鎖までの手順及び工程の検討

### 2.4 安全対策及び経済性に関する検討

- (1) F E Pの整理と対策
- (2) 経済性の評価
- (3) 安全管理の考え方

### 3. 設計研究に係わる前提条件の整備

#### 3.1 仮想地質モデルの詳細化

##### 3.1.1 広域地下水流動解析に適した仮想地質モデルの作成

H8年度に仮想地質モデル(10km×10km)を策定したが、当初は広域地下水解析を実施することを前提とはしていなかった。そこで、地下水解析の境界面を設定しやすい地形形状を包含する比較的広域な領域の仮想地質モデルを作りなおした。

領域の面積は、施設領域の最適な位置設定を検討できるような20～30km×30kmの広さとした。したがって、領域の中には海岸線があるものとした。また割れ目の分布密度の不均質性についても配慮した。

#### (1) 結晶質岩系

##### (a) 仮想地形

「地層処分施設の設計研究」報告書の3.1.2(1)(b)で示した設定条件と同等とし、以下のように設定した。

- ①水系パターンは格子状と平行状を含むようにした。
- ②同様に地形傾斜は8～30°程度、最高標高は1200m程度とした。
- ③河川の流域面積や谷密度は前年度に参考とした地域の平均値と同等にした。
- ④10km×10kmの範囲で与えられると仮想した。候補地およびその周辺の広域地下水流動状況を予測する際に、地下水流動解析の境界条件となるような河川、分水嶺や海岸を有する広さとなる地形とした。

以上の条件から25km×30kmの範囲を仮想地質モデルの領域範囲とした。なお標高1200m級の山岳地の南側にはより大きな山地が近接していないものとした。

##### (b) 仮想地質モデル

前年度の10km×10kmの範囲で作成した仮想地質モデルの設定条件と同様の考え方で、30kmモデルの結晶質岩系についても基本的には作成する。割れ目の分布のばらつきや偏りについては「H8年度報告書」で検討した2つの地域のデータと式を参考にして、以下のように設定した。

Aランク割れ目は隅部に1本存在するものとした。

Bランク割れ目は2km～10km間隔で分布するものとした。

Cランク割れ目は0.3km～2km間隔で分布するものとした。

この分布間隔の範囲から、割れ目の存在密度が高い地域と低い地域を作成し、長さのばらつきをもたせた割れ目を配置した。割れ目の空間的広がりについては、水平方向の長さとは垂直方向の長さが等しい板状のものとした。

## (2) 堆積岩系

### (a) 仮想地形

「H8年度報告書」の3.1.2(2)(b)で示した設定条件と同等とし、以下のように設定した。

- ①水系パターンは平行状が主となる。
  - ②同様に地形傾斜は0～15°程度、最高標高700m程度とした。
  - ③直線状の山脈が分水嶺となるようにした。標高700m級の山岳地の南側にはさらに規模の大きな分水嶺は存在しないものとした。
  - ④1河川の流域面積や谷密度は前年度の参考地域の平均になるようにした。
  - ⑤候補地は10km×10kmの範囲で与えられるものと仮想し、候補地およびその周辺の広域地下水流動状況を予測する際に、地下水流動解析の境界条件となるような河川、分水嶺や海岸を有する広さとなる地形とした。
- 以上の条件から20km×30kmの範囲を仮想地質モデルの領域範囲とした。

### (b) 仮想地質モデル

前年度の10km×10kmの範囲で作成した仮想地質モデルの設定条件と同様に、新第三紀堆積岩は結晶質岩の2～3倍の分布間隔として割れ目分布は以下のように設定した。

- ① Aランク割れ目は隅部に1本存在するものとした。
- ② Bランク割れ目は5km～20km間隔で分布するものとした。
- ③ Cランク割れ目は0.5km～5km間隔で分布するものとした。

結晶質岩系・堆積岩系ともに、以上の設定条件から作成した平面図には割れ目の仮想真実とみなすことができる地質情報が示される。実際には広域の全域にわたる詳細調査の実施は現実的ではないため、設計側に提示される仮想地質モデルはより少ない情報が記載される。設計側に提示するモデルについては後章で示す。

### 3.1.2 各種物性値の割り当て

3.2 章「岩盤物性データ整理」において整理された岩盤物性データベースの平均値と標準偏差を参考にして、1～2種類を想定することとした。

#### (1) 結晶質岩系の岩盤の物性の設定

- ・結晶質岩系の岩盤の物性値としては結晶質岩のうち酸性岩（動燃分類RM-1）のデータ群を参考にした。
- ・透水係数については、比較的透水性の小さい値として $10^{-8}$ m/sの1種類を想定した。
- ・飽和密度については平均値2650(kg/m<sup>3</sup>)、標準偏差210(kg/m<sup>3</sup>)であった。2650(kg/m<sup>3</sup>)の1種類を想定した。
- ・静弾性係数は平均値34.40(GPa)標準偏差27.52(GPa)であった。35(GPa)の1種類を想定した。実際の岩盤は割れ目の影響を受けてより小さい値となる。
- ・ポアソン比は平均値0.25 標準偏差0.10であった。硬質岩の一般的な値である0.25に設定した。
- ・熱伝導率は平均値2.78(W/m/K)、標準偏差0.67(W/m/K)であった。2.78(W/m/K)の1種類を想定した。
- ・比熱は平均値0.96(kJ/kgK)(0.23cal/g°C)、標準偏差0.13(kJ/kgK)であった。0.96(kJ/kgK)の1種類を想定した。
- ・地温勾配は1～3°C/100mの範囲であった。3°C/100mの1種類を想定した。地表の平均気温は15°Cとした。
- ・鉛直応力は、飽和密度2650(kg/m<sup>3</sup>)を参考にして、 $\sigma_v=0.027h$ (MPa)とした。側圧係数は $K_0=148/h+1.02$ の近似式とした。
- ・表層風化の影響で物性の劣化が認められる部分をGL.-20mまでとした。
- ・地下水位は平均GL.-10mに存在すると仮定した。

#### (2) 結晶質岩系の割れ目の物性の設定

- ・Aランク、BランクおよびCランク割れ目の透水係数は $10^{-6}$ m/sを想定した。地温勾配と初期応力については差異がないものとした。

### (3) 堆積岩系の岩盤の物性の設定

- ・堆積岩系の岩盤の物性値としては新第三紀以降の堆積岩のうち泥質／凝灰岩（動燃分類RM-4）のデータ群を参考にした。
- ・透水係数については浅い部分のデータが多く参考にしにくい。  
泥岩層は  $10^{-8}$  m/s とし、互層部分については  $10^{-7}$  m/s を想定した。
- ・飽和密度については動燃分類RM-4 の平均値  $2230(\text{kg}/\text{m}^3)$ 、標準偏差  $280(\text{kg}/\text{m}^3)$ であった。泥岩層ならびに砂岩主体の互層についてはいずれも  $2200(\text{kg}/\text{m}^3)$ とした。
- ・静弾性係数は動燃分類RM-4 のデータ群の中から平均値よりも軟質な物性を示すデータセット名称=RM-4-2 を採用し、静弾性係数は  $2.8(\text{Gpa})$ とした。
- ・ポアソン比は、静弾性係数と同様にデータ群RM-4-2 を参考にして  $0.26$  に設定した。
- ・熱伝導率は  $1.88(\text{W}/\text{m}/\text{K})$ の1種類を想定した。
- ・比熱は  $1.26(\text{kJ}/\text{kgK})$ の1種類を想定した。
- ・地温勾配は  $1\sim 3^\circ\text{C}/100\text{m}$  の範囲であった。 $3^\circ\text{C}/100\text{m}$  の1種類を想定した。地表の平均気温は  $15^\circ\text{C}$ とした。
- ・鉛直応力は飽和密度  $2200(\text{kg}/\text{m}^3)$ を参考にして、 $\sigma_v=0.022h(\text{MPa})$ とした。側圧係数は  $K_0=148/h+1.02$  の近似式とした。
- ・GL.-10m まで表土が分布し、風化ゾーンはないものとした。地下水位は平均GL.-5 m に存在すると仮定した。

### (4) 堆積岩系の割れ目の物性の設定

- ・A ランク, B ランクおよびC ランク割れ目の透水係数は  $10^{-6}$  m/s を想定した。地温勾配と初期応力については差異がないものとした。

### 3.1.3 広域調査段階における仮想地質モデル

#### (1) 広域調査段階における地質情報

広域調査段階において入手できる地質情報としては、以下のような調査によって把握できる程度の地質情報を想定した。

- ① 既存の 1/5 万地質図等の文献調査
- ② 空中写真判読
- ③ 地表踏査
- ④ 深部ボーリング 1 孔（透水試験・コアの力学物理試験データ）
- ⑤ 広域物理探査（磁気・重力・ $\gamma$ 線等）

#### (2) 割れ目分布・物性値の把握状況

上記のような調査によって存在が確認できるであろう割れ目は、河川沿いに発見されるものとした。

物性値については 1 孔のみのボーリング調査では地域別の分布は把握できない。

#### (3) ゾーン物性の設定

仮想地質モデルの幾何学的モデルに対して、地層別、割れ目の各々についてゾーン区分をした。また、各ゾーンごとに上記の物性をはめ込み、物性パターンごとのゾーンの位置決めをした。

結晶質岩では割れ目を除き物性値のゾーニングはせず、1 種類の物性値を与える。堆積岩については泥岩と互層部の物性値を区分した。堆積岩系の広域調査段階の物性ゾーン区分図を図-3.1.3.1 に示す。



# 堆積岩系の広域調査段階の物性ゾーン区分図（鉛直断面図）

3-6

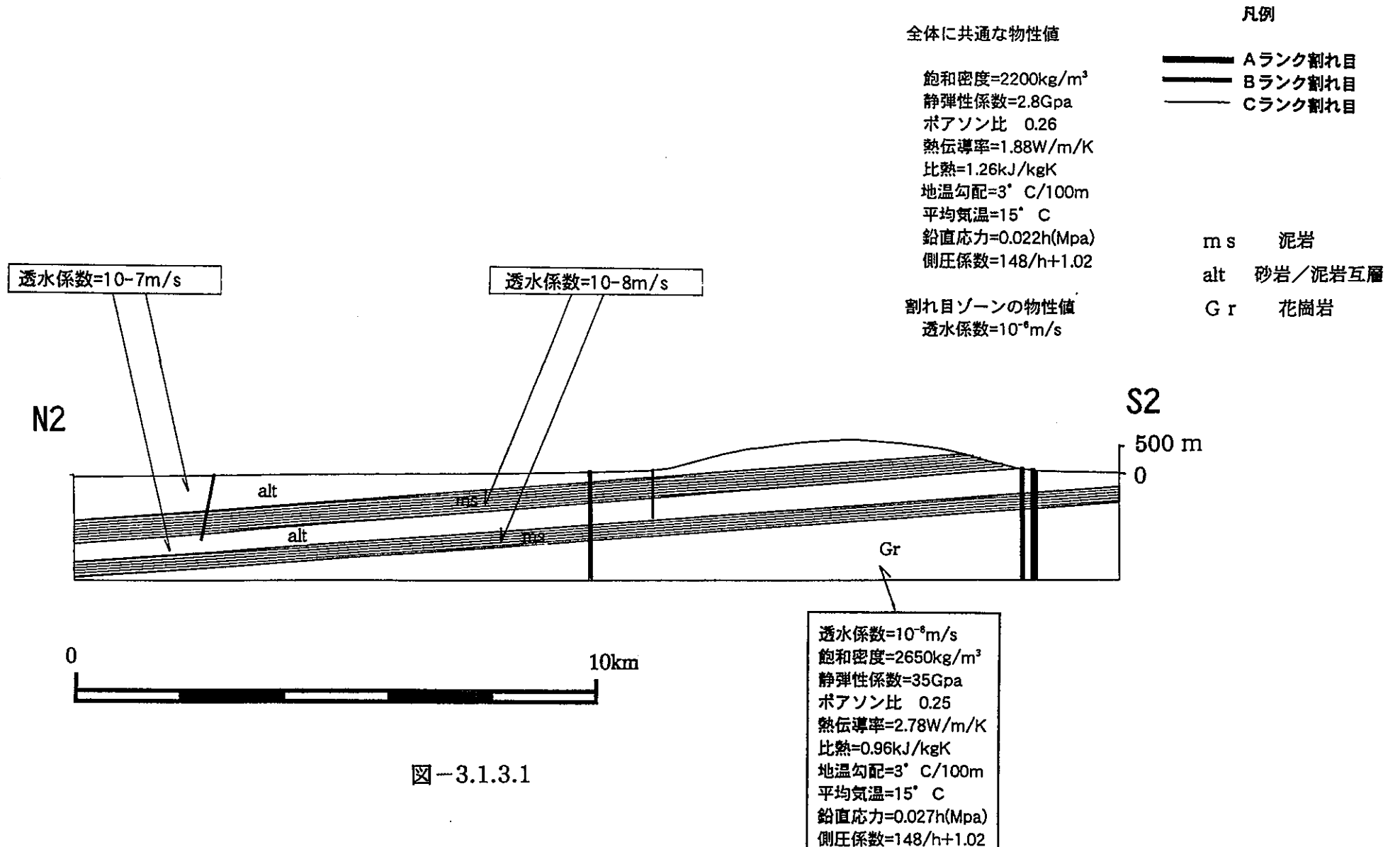


図-3.1.3.1

### 3.1.4 処分施設周辺地域の詳細調査段階における仮想地質モデル

詳細調査段階において10km四方の範囲で入手できる地質情報としては、以下のような調査によって把握できる程度の地質情報を想定した。

- ① 地表地質精査（縮尺1/1000程度）
- ② 深部ボーリング25孔（10km四方に4孔、立地予定地に20孔、透水試験・コアの力学物理試験データ）
- ③ 詳細物理探査

広域調査では未確認であった割れ目が新たに見つかり、物性値の地域分布も把握できると考えて、処分施設周辺での仮想地質モデルを作成した。

### 3.1.5 仮想地質モデルの数値化

上記の仮想地質モデルを三次元データとして数値化するため、ソリッド・モデリング手法による三次元コンピュータ・モデルを作成した。使用したソフトウェアは、I-DEAS Master Series Ver.5（SDRC製）である。

#### （1）結晶質岩系のモデル

結晶質岩系の広域調査段階における仮想地質モデルを図-3.1.5.1に、詳細調査段階における仮想地質モデルを図-3.1.5.2に示す。図中、朱色の岩体が結晶質岩盤であり、割れ目は、茶色の板で表現されている。

#### （2）堆積岩系のモデル

堆積岩系の広域調査段階における仮想地質モデルを図-3.1.5.3に示す。詳細調査段階における仮想地質モデルを図-3.1.5.4に示す。図中、橙色の岩体が泥岩、黄緑色は砂岩泥岩の互層、茶色は花崗岩である。割れ目は、緑色の板で表現されている。

結晶質岩系の広域調査段階の仮想地質モデル (30km モデル, 鳥かん図)

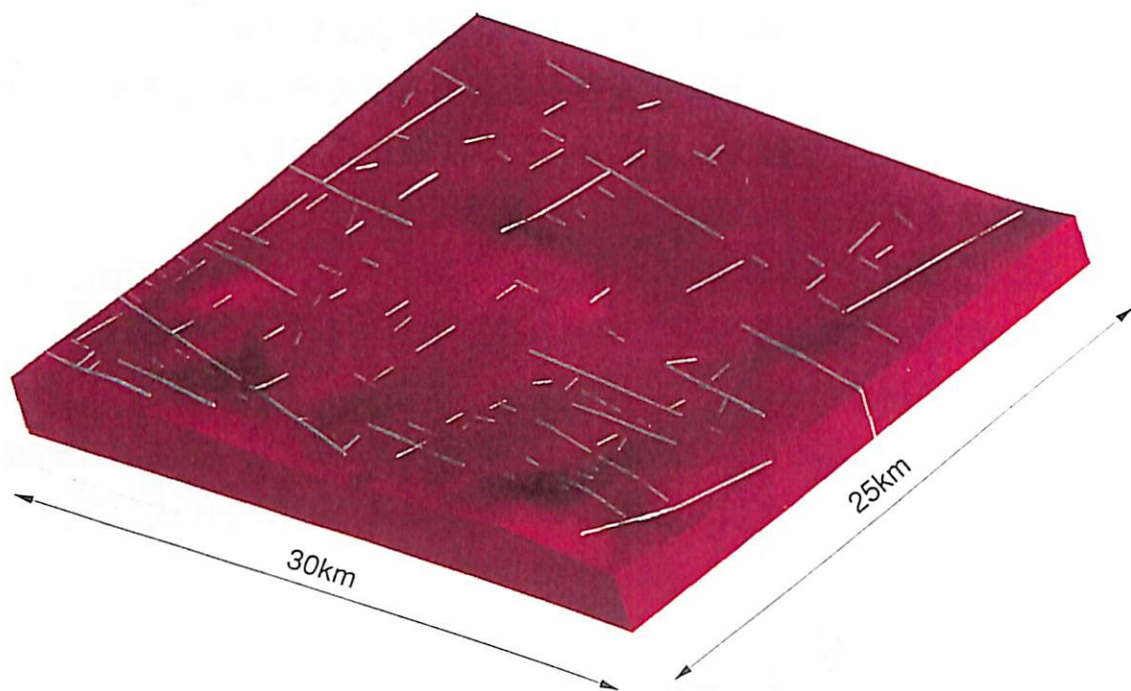


図-3.1.5.1

結晶質岩系の詳細調査段階の仮想地質モデル (10km モデル, 鳥かん図)

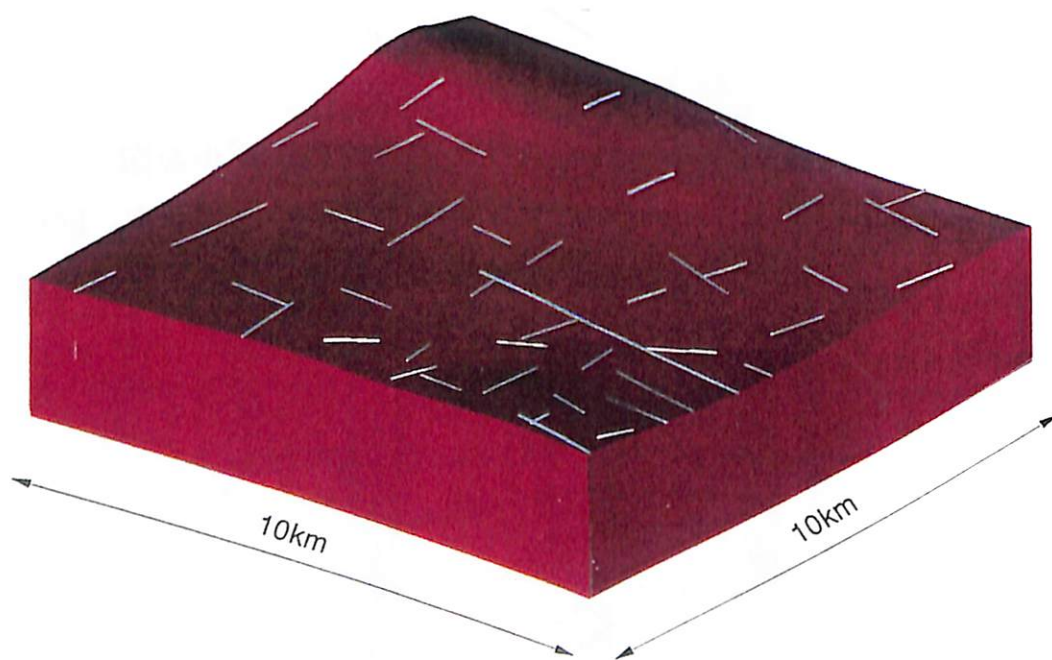


図-3.1.5.2

堆積岩系の広域調査段階の仮想地質モデル (30km モデル, 鳥かん図)

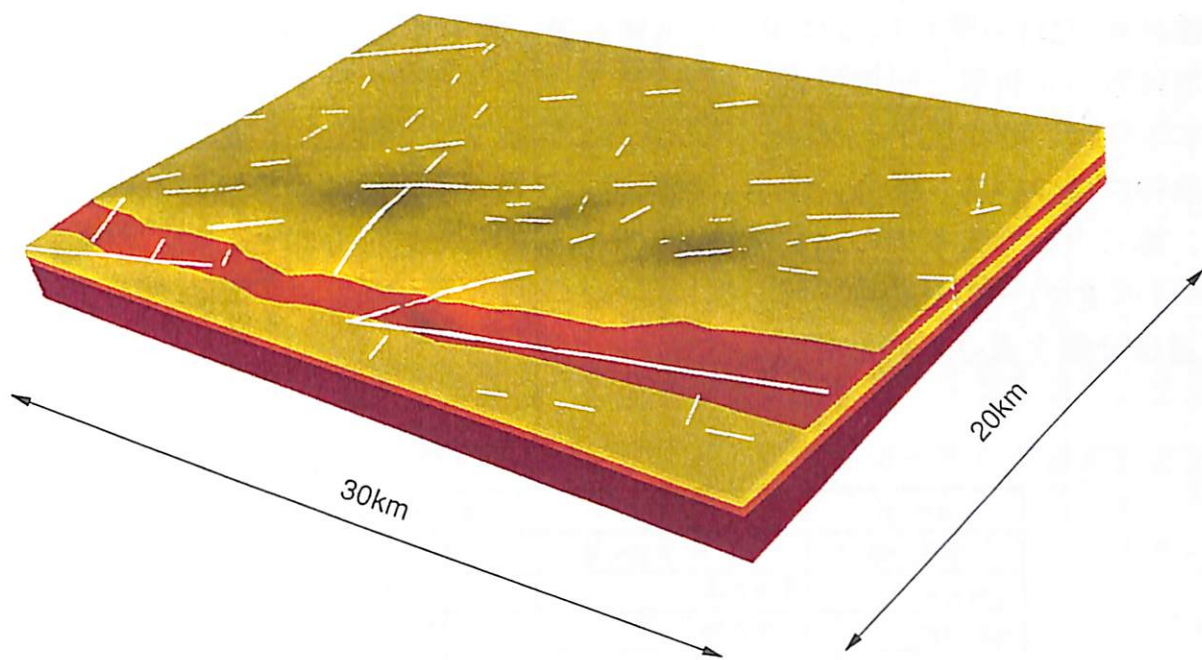


図-3.1.5.3

堆積岩系の詳細調査段階の仮想地質モデル (10km モデル, 鳥かん図)

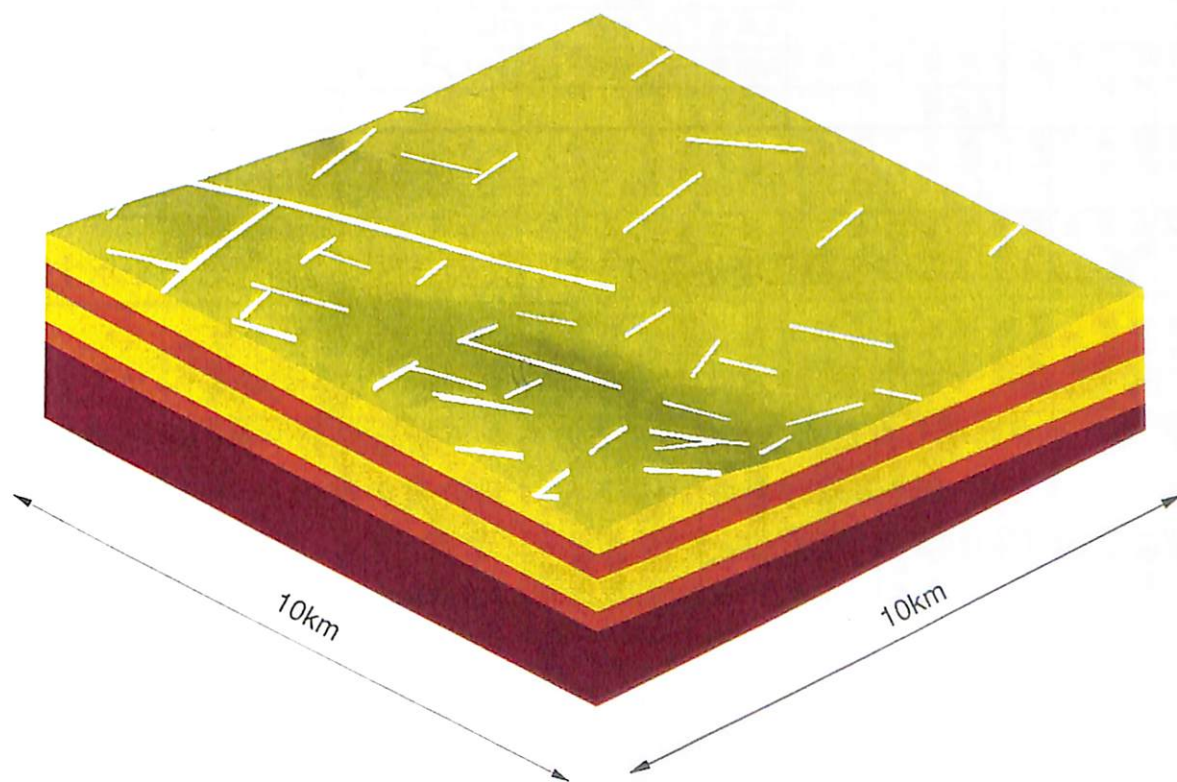


図-3.1.5.4  
3-9

### 3.2 岩盤物性データの整備

#### 3.2.1 昨年度データベースの再整理

昨年度（H8年度）の「岩盤物性データベースの整備」では、第一次とりまとめの際の岩種分類（H3年度）にしたがい、花崗岩類、斑レイ岩類、流紋岩類、玄武岩類、新第三紀堆積岩、先新第三紀堆積岩、石灰岩、片岩の8岩種の分類に基づく整理を行った。

本年度は、昨年度データベースのさらに詳細な整理として、第三紀堆積岩の力学特性及び熱特性について、砂岩、泥岩、凝灰岩、礫岩の4岩種に細分類して再整理を行う。さらに、第二次とりまとめの地質環境モデルに対応した岩種分類として、力学特性及び熱特性についてRM1～RM6の6岩種分類に従った再整理を実施する。本年度のデータ整理における岩種分類を表-3.2.1.1に示す。

表-3.2.1.1 データ整理における岩種分類

H3分類	本年度分類	
岩種分類	岩種分類	代表岩種
花崗岩類	花崗岩類	RM 1
流紋岩類	流紋岩類	結晶質岩（酸性岩）
片岩	片岩	
斑レイ岩類	斑レイ岩類	
玄武岩類	玄武岩類	RM 2
新第三紀堆積岩	新第三紀堆積岩・砂岩	RM 3
	新第三紀堆積岩・れき岩	新第三紀以降堆積岩（砂質岩）
	新第三紀堆積岩・泥岩	RM 4
	新第三紀堆積岩・凝灰岩	新第三紀以降堆積岩（泥質/凝灰岩）
	新第三紀堆積岩・（その他）	—
	新第三紀堆積岩・（記載なし）	
先新第三紀堆積岩	先新第三紀堆積岩・砂岩	RM 5
	先新第三紀堆積岩・れき岩	古第三紀以前堆積岩（砂質岩）
	先新第三紀堆積岩・泥岩	RM 6
	先新第三紀堆積岩・凝灰岩	古第三紀以前堆積岩（泥質/凝灰岩）
	先新第三紀堆積岩・（その他）	—
	先新第三紀堆積岩・（記載なし）	
石灰岩	石灰岩	—

表-3.2.1.2, 3.2.1.3に再整理結果のうち、代表岩種別の整理結果を示す。

なお、データの再整理の際に昨年度データベースにおけるデータ入力漏れや単位の変換漏れ等が判明したため、本年度はこれらを更新してデータの再処理を行った。したがって、本年度の結果は昨年度（H8年度）報告書の統計処理結果とは若干異なっている。本年度の結果が正となる。

表-3.2.1.2 代表岩種別力学特性データシート

岩種		空隙・水			弾性波速度					密度			強度					
		吸水率	含水率	有効 間隙率	超音波速度		動ポア ソン比	動弾性 係数	地山の 弾性波 速度	飽和 密度	自然 密度	乾燥 密度	一軸圧 縮強度	静ポア ソン比	静弾性 係数	圧裂引 張強度	三軸圧縮試験	
					P波	S波											せん断 強度	内部 摩擦角
					km/s	km/s											MPa	(deg)
%	%	%	km/s	km/s	MPa	MPa	MPa	(deg)										
RM 1 結晶質岩 (酸性岩)	個数	402	105	348	781	193	243	226	55	210	597	267	487	165	469	249	211	114
	最大値	27.90	38.70	58.20	9.30	4.03	0.50	88.69	6.00	3.12	3.60	3.11	405.72	0.56	136.22	94.08	52.23	62.00
	最小値	0.10	0.02	0.00	1.04	0.05	0.02	0.03	0.33	1.76	1.05	1.48	0.39	0.04	0.00	0.15	0.00	4.60
	平均値	1.19	2.61	4.17	4.99	2.33	0.27	37.50	3.40	2.65	2.62	2.62	115.15	0.25	34.40	8.14	14.44	37.82
	標準偏差	2.39	6.37	7.74	1.15	0.56	0.10	21.64	1.96	0.21	0.23	0.24	70.82	0.10	27.52	9.52	9.78	11.61
RM 2 結晶質岩 (塩基性岩)	個数	420	24	234	648	176	169	296	128	112	505	217	517	56	436	225	190	59
	最大値	12.25	11.53	25.19	8.08	4.13	0.42	123.38	4.00	3.07	3.37	3.06	437.47	0.50	160.72	23.13	53.61	55.30
	最小値	0.10	0.12	0.10	1.50	0.67	0.10	0.03	0.14	2.15	1.56	1.84	3.87	0.07	0.00	0.51	0.98	5.53
	平均値	1.77	3.61	6.56	4.82	2.40	0.26	25.43	1.20	2.69	2.65	2.62	135.22	0.26	26.46	10.11	22.76	36.26
	標準偏差	1.91	3.84	5.38	1.19	0.61	0.06	25.67	0.76	0.22	0.23	0.23	72.09	0.10	28.00	4.71	9.94	10.04
RM 3 新第三紀以降 堆積岩 (砂質岩)	個数	16	22	110	220	31	1	8	5	87	277	108	78	23	70	15	30	31
	最大値	24.40	53.60	55.10	6.85	2.99	0.25	68.60	3.40	2.64	2.98	2.78	205.80	0.45	82.17	31.36	29.99	62.10
	最小値	0.20	1.10	0.10	0.70	0.25	0.25	0.04	0.41	1.74	1.28	1.09	0.20	0.11	0.01	0.11	0.10	22.00
	平均値	7.25	21.18	17.88	2.83	1.49	0.25	30.69	2.22	2.27	2.20	2.01	31.21	0.32	11.01	7.95	5.25	35.78
	標準偏差	7.83	14.41	13.73	1.20	0.99		30.31	1.10	0.25	0.36	0.39	36.83	0.12	19.65	7.63	6.26	10.76
RM 4 新第三紀以降 堆積岩 (泥質/凝灰岩)	個数	91	106	203	413	57	5	21	3	155	537	183	380	61	364	93	132	149
	最大値	125.00	60.00	55.40	33.30	3.51	0.31	20.29	5.30	2.62	2.99	2.66	377.59	0.50	58.84	54.78	98.00	60.00
	最小値	0.70	0.60	0.20	0.70	0.30	0.21	1.93	2.30	1.40	1.05	0.68	0.00	0.07	0.01	0.11	0.07	7.00
	平均値	14.86	21.66	20.04	2.66	1.38	0.28	14.97	3.37	2.23	2.02	1.99	25.81	0.27	6.67	3.65	5.11	25.81
	標準偏差	19.49	11.61	12.77	1.85	0.59	0.04	5.40	1.68	0.28	0.35	0.41	37.96	0.11	9.36	6.38	11.65	10.78
RM 5 古第三紀以前 堆積岩 (砂質岩)	個数	215	9	124	420	102	47	82	35	48	333	95	355	25	493	72	92	124
	最大値	3.40	4.70	40.00	7.00	4.22	0.45	87.51	5.40	2.79	2.98	2.80	414.54	0.32	150.92	22.05	78.00	61.55
	最小値	0.10	0.00	0.00	1.08	1.39	0.17	0.06	0.50	1.23	1.60	2.45	0.29	0.10	0.03	0.53	0.05	14.00
	平均値	0.69	1.31	6.47	4.57	3.05	0.28	35.12	2.15	2.58	2.52	2.61	134.35	0.20	18.59	8.67	16.93	38.44
	標準偏差	0.58	1.43	9.04	1.24	0.75	0.07	25.98	1.38	0.28	0.26	0.08	83.58	0.07	19.68	5.41	15.48	8.25
RM 6 古第三紀以前 堆積岩 (泥質/凝灰岩)	個数	58	3	53	202	26	19	68	16	18	214	35	178	16	321	40	85	78
	最大値	2.60	0.90	46.00	21.30	3.96	0.39	97.71	5.50	3.05	3.05	3.04	343.98	0.39	105.84	24.70	98.00	45.00
	最小値	0.10	0.60	0.40	1.07	1.46	0.20	1.83	0.90	1.90	1.41	2.08	1.46	0.06	0.19	0.12	0.39	7.00
	平均値	0.57	0.77	7.70	4.67	2.69	0.30	42.94	2.82	2.69	2.48	2.72	104.92	0.26	17.82	7.57	15.93	25.54
	標準偏差	0.52	0.15	11.41	2.01	0.60	0.05	24.32	1.60	0.25	0.38	0.19	76.40	0.09	19.97	6.59	20.79	10.85



表-3.2.1.3 代表岩種別熱特性データシート

岩種		熱伝導率	比熱	線膨張係数
		W/(m·K)	kJ/(kg·K)	×10 <sup>-5</sup> /K
RM 1 結晶質岩 (酸性岩)	個数	117	54	51
	最大値	5.38	1.06	7.64
	最小値	0.18	0.73	0.10
	平均値	2.78	0.94	1.24
	標準偏差	0.67	0.11	0.94
RM 2 結晶質岩 (塩基性岩)	個数	167	30	30
	最大値	4.48	1.06	1.46
	最小値	0.68	0.75	-4.53
	平均値	2.36	0.96	0.50
RM 3 新第三紀以降 堆積岩 (砂質岩)	個数	77	3	3
	最大値	4.74	1.07	102.50
	最小値	0.47	0.90	46.70
	平均値	1.54	1.00	68.47
RM 4 新第三紀以降 堆積岩 (泥質/凝灰岩)	個数	84		
	最大値	3.63		
	最小値	0.35		
	平均値	1.66		
RM 5 古第三紀以前 堆積岩 (砂質岩)	個数			
	最大値			
	最小値			
	平均値			
RM 6 古第三紀以前 堆積岩 (泥質/凝灰岩)	個数	3		
	最大値	3.65		
	最小値	2.19		
	平均値	2.69		
	標準偏差	0.83		

### 3. 2. 2 新規調査・整理

#### (1) 力学特性の深度依存性に関する調査・整理

##### (a) 概 要

本調査では、最初に室内試験の結果を示した文献を収集し、岩石における弾性波速度の応力依存性を調べた。弾性波速度の深度依存性は、同種の岩石であれば主として圧縮応力の大小によって生ずると考えられる。すなわち、高い圧縮応力下では岩石内の空隙が閉塞し、弾性波の散乱や減衰が抑制されるために弾性波速度が増加する。このような弾性波速度の応力依存性は、岩石試料を用いた室内試験により確認されており、実験に基づいた定式化の例などを調査した。

次に、速度検層結果を掲載した文献を調査し、数百メートル以上のボーリング孔内で観測された、深度方向の弾性波速度分布をまとめた。調査した範囲内では、同じ岩種であれば弾性波速度の深度依存性が、室内試験で得られたものと類似の形で観察されるものの、岩種による弾性波速度の変化が、これを上回っている場合が多いことがわかった。

さらに、岩石の変形性や強度の深度依存性についても調査を実施した。ただし、原位置のボーリングで岩盤の変形性や強度を調べた例は希有である。これは、主として深いボーリング孔での载荷試験が困難であることに起因する。したがって、ここでは室内試験結果に限定して調査した。



## (b) 弾性波速度の応力依存性

弾性波速度の応力依存性は、等方圧によるものと、偏差応力によるもの2つに分けることができる。

偏差応力に関するものは、キ裂の進展による弾性波速度の低下現象と、キ裂や空隙に閉塞による弾性波速度の増加現象との2つの側面が現れる。岩石試料への载荷直後は、キ裂や空隙の閉塞現象が先に現れ、弾性波速度は増加する傾向が見られるが、強度に近くなると、むしろキ裂の進展による弾性波速度の低下が顕著になる。この偏差応力による弾性波速度の変化は、岩石の破壊過程を調べる手段の1つになっている。

以下では、等方圧による弾性波速度の影響を述べる。

岩石内に含まれる空隙やキ裂が等方圧によって、閉塞することが知られている。等方圧が小さい時、弾性波は空隙やキ裂によって直線的に伝播することができず迂回していたのが、閉塞によってより直線的に伝播できるようになるため、弾性波速度の増加が見られる。また、等方圧によって岩石自体のヤング率が上昇することによる弾性波速度の増加効果も考えられる。等方圧による弾性波速度の変化を調べるのは、地震関係や石油の物理探査などの地殻深部の状態を調べるためのニーズが多い。そのため、比較的大きな等方圧 (1GPa 程度まで) の実験が行われており (図-3.2.2.1)、その結果は Wepfer(1991)がまとめており、それによると以下の式で近似されている。

$$V=A(P/100\text{MPa})^a+B(1-\exp(-bP)) \quad (3.2.2.1)$$

ただし、 $V$ はP波あるいはS波の弾性波速度、 $P$ は等方圧、 $A$ 、 $a$ 、 $B$ 、 $b$ は定数である。

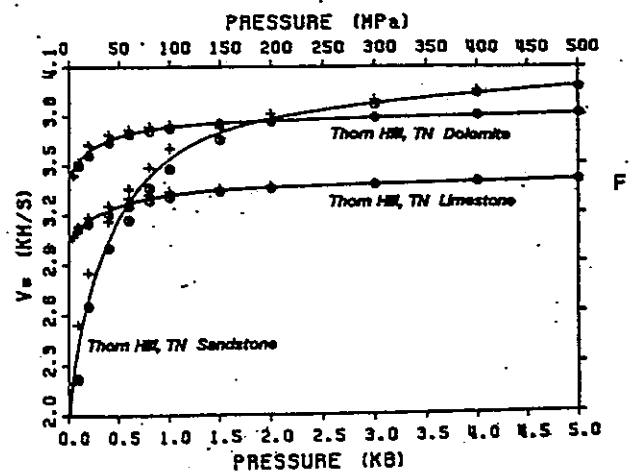
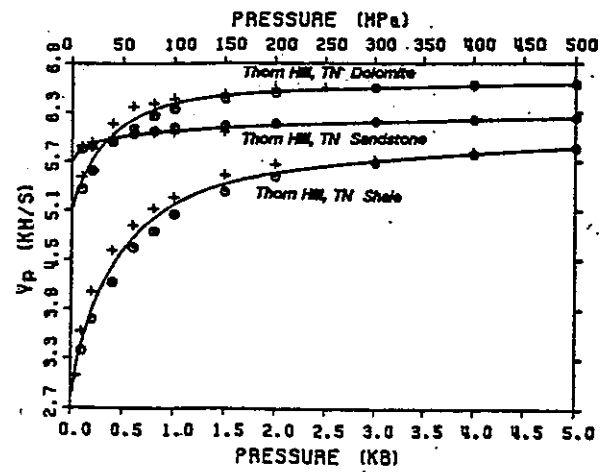
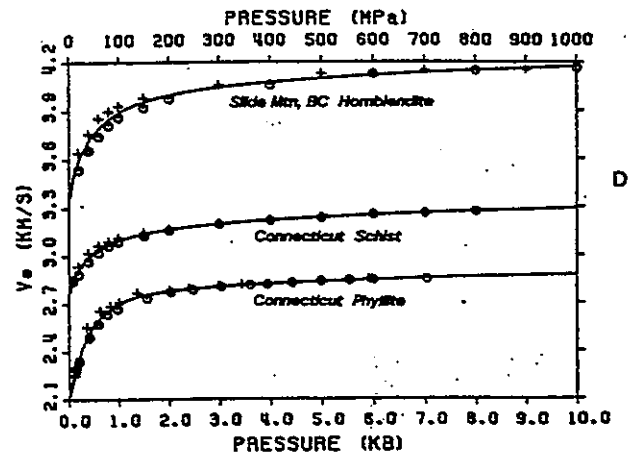
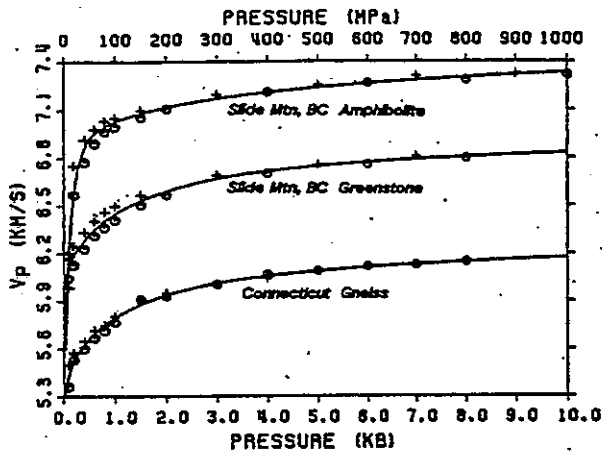
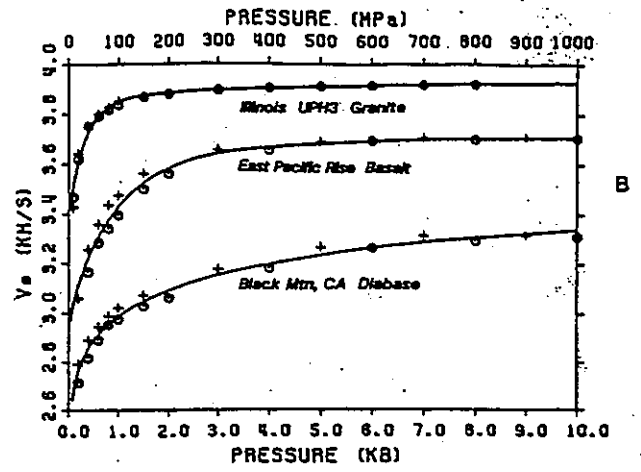
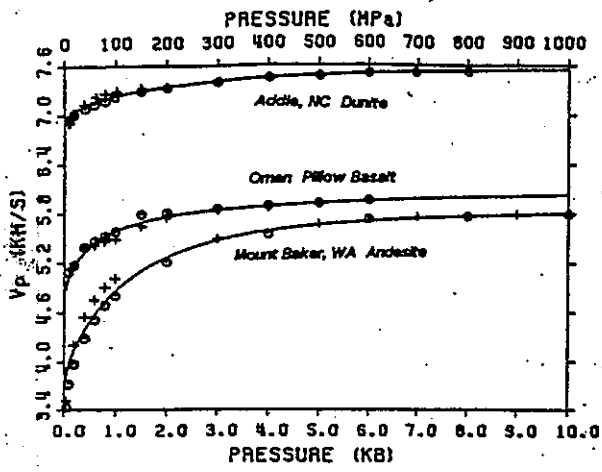


図-3.2.2.1 弾性波速度の応力依存性の例 (Wepfer,1991)

### (c) 速度検層結果

次に、文献より原子力発電所などで実施された速度検層の結果を調べ、弾性波速度の深度依存性を明らかにした。また、岩石試験より得られている、弾性波速度と等方圧の関係が、これらのデータについて適用できるかどうかを調べた。

検層されたそれぞれのサイトは、下表のとおりである。また、結果の例を図-3.2.2.2~3.2.2.3に示す。なお、各ボーリングで得られた柱状図は、資料にまとめて示す。

表-3.2.2.1 文献に示された調査サイト

	サイト名	ボーリング 数量	地層構成
1	女川原子力発電所	4	安山岩
2	福島第一原子力発電所	7	砂岩、頁岩（古生代）
3	滋賀原子力発電所	26	凝灰岩
4	岩槻、下総、府中	3	第3紀以降の堆積岩、下部花崗岩
5	大阪平野	1	第3紀以降の堆積岩、下部花崗岩
6	船岡	1	第3紀以降の堆積岩、下部花崗岩
7	いわき	1	第3紀以降の堆積岩、下部花崗岩
8	富岡	1	第3紀以降の堆積岩、下部花崗岩

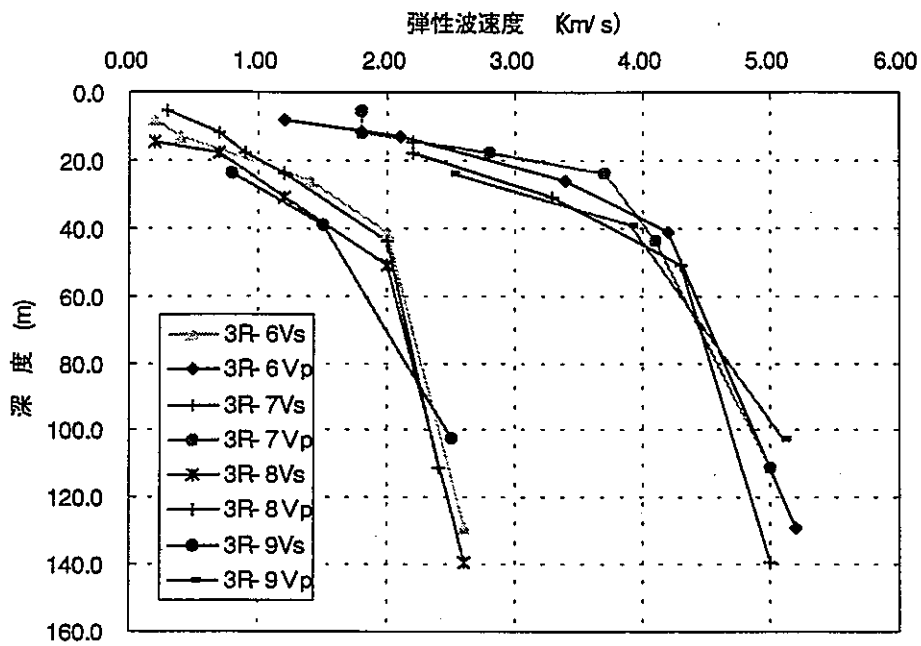


図-3.2.2.2 女川原子力発電所サイト

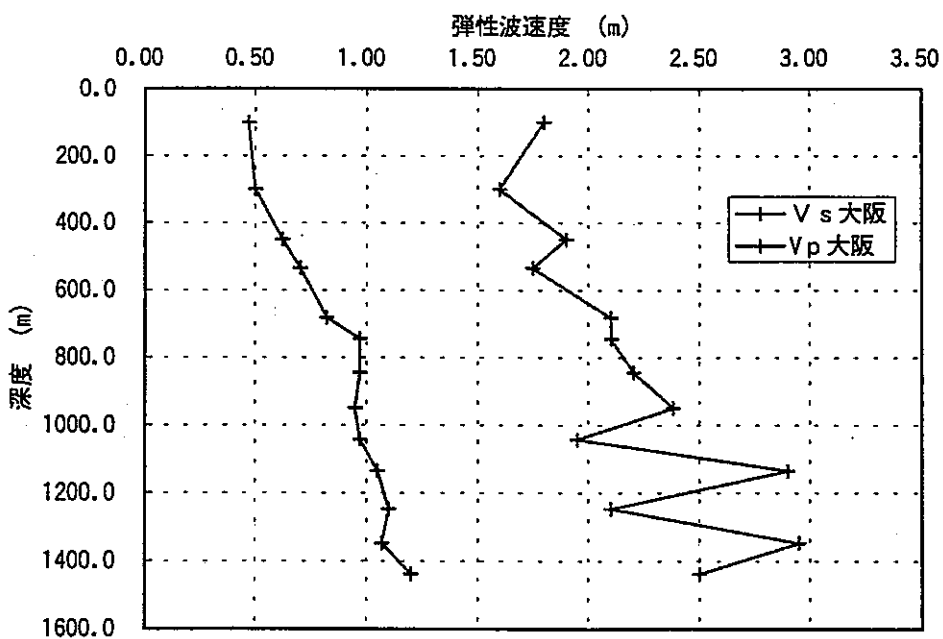
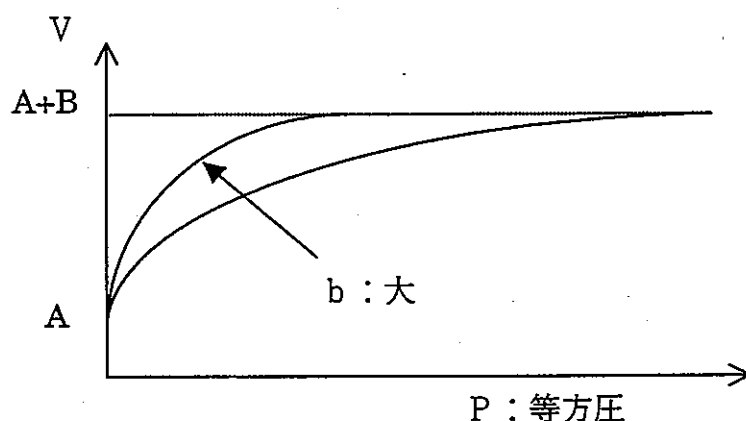


図-3.2.2.3 大阪平野地質構造探査

岩石試験結果からは、弾性波速度の増加が等方圧の指数関数として表されることがわかっている。そこで、ここでは検層結果について岩石試験結果との対比を試みる。

Wepfer の式を再検討すると、式中の定数を岩石試験結果より求めた場合に  $a$  の値が極めて小さいことがわかった。このため、Wepfer の式は次式で近似できる。

$$v = A + B\{1 - \exp(-bP)\} \quad (3.2.2.2)$$



上式は、次のような物理的な意味を持つと考えられる。

弾性波速度は、等方圧の増加にともなって、 $A$  から  $A+B$  まで増加する。 $A$  は大気圧での弾性波速度であり、 $A+B$  は岩石での最大速度である。等方圧による弾性波速度の増加割合は  $b$  に依存し、 $b$  が大きい場合には、弾性波速度は急速に最大速度へ向かう。

$A$  は、岩石の構造骨格の剛性や、空隙率などに依存すると考えられ、 $A+B$  は空隙が十分に閉鎖した場合の弾性波速度と考えられる。 $b$  は空隙や不連続面などの閉鎖しやすさを表す定数と見なせ、例えば薄く細長い空隙を有する岩石では、等方圧によって空隙が閉鎖しやすいことから、 $b$  の値は大きくなると推測できる。

前式を変形すると、次のようになる。

$$-bP = \ln\left(\frac{B+A-v}{B}\right) \quad (3.2.2.3)$$

さらに、深度と等方圧が次式のような関係にあると仮定すると、深度と弾性波速度の関係式が得られる。

$$P = \gamma h \quad (3.2.2.4)$$

$$-b'h = \ln\left(\frac{B+A-v}{B}\right) \quad b' = br \quad (3.2.2.5)$$

ここに、 $\gamma$  は単位体積重量、 $h$  は深度である。

仮に  $A$  と  $B$  を定めたとして、検層により得られた弾性波速度を(3.2.2.5)式にの右辺にしたがって処理し、この値と深度が直線関係となれば、同式がボーリングデータにおいても成立することがわかる。この場合、直線の傾きが  $b'$  を表すことになり、これを  $\gamma$  で除すことで  $b$  を求めることができる。

そこで、次のような前提の下でボーリングデータを加工し、前式の妥当性を検討した。

- (1)  $A$  は地表面近傍の弾性波速度であるが、検層データの最も小さい値を用いることとした。
- (2)  $A+B$  は最大の弾性波速度であるが、検層データの最も大きい値、ないし弾性波速度の収束値としてグラフより推定できる値を用いることとした。
- (3) 対象とするデータは、できるだけ均一な地層での測定値とし、岩槻、下総など、最下部に花崗岩が存在する場合には、花崗岩の存在により急激に速度が増加している点以深を検討から除外した。
- (4) 単位体積重量を  $2.0\text{t/m}^3$  と仮定した。

結果の例を、図 3.2.2.4~6 に示す。図中には回帰式を示したが、 $\ln(x)$ の係数が  $1/b'$ に対応する。また、表 3.2.2.2 には、近似式中の定数をまとめて示した。なお、 $b$  は岩石試験の場合と同じ単位(MPa)に変換した。

これらより得られた知見並びに検討課題は、以下のとおりである。

- (1) 地層がほぼ同種の岩石で構成されている場合の測定結果は、岩石試験結果と整合的であり、深度の増加に対して指数関数的に弾性波速度が増加する傾向にある（女川、福島、滋賀など）。
- (2) 首都圏、大阪、鉛直アレー、高密度アレーでは、下部の花崗岩域に対応する弾性波速度を除外したものの、弾性波速度の変化が指数関数で近似しにくい。これは、検層された地層が第3紀以降の堆積岩であっても、上部と下部では物性が異なることによるものと考えられる。したがって、弾性波速度の深度依存性を検討する上では、地質や岩盤物性が同一であるかどうか十分に注意する必要がある。
- (3) 近似式中の定数は、それぞれのサイトでまちまちであり、サイト間での明瞭な相関は見いだせない。ただし、唯一の火成岩サイトである女川では  $b$  が他に比べ大きく、弾性波速度が急速に最大値に近づく傾向にあることがわかる。
- (4)  $A+B$  は弾性波速度の最大値として推定した値であるが、これと  $b$  には相関が見られる。これは、弾性波速度が高いものほど  $b$  の値が大きく、弾性波速度が急速に最大値に近づく傾向にあることを示している。特に、

首都圏、大阪、鉛直アレー、高密度アレーでは、これらのボーリングが大きな深度（500～2,000m）であるにもかかわらず、A+Bの値はさほど大きくなるしない。

(5) 岩石試験で得られた $b$ とデータ整理で得られた $b'$ では、値が1～2オーダー異なる。これは、岩石試験では最終の収束値が明瞭であるのに対し、データ整理では計測された最大値付近を収束値として捉えざるを得ないことが一因であると考えられる。また、原位置では何らかの原因により弾性波速度の増加が抑制されるためとも考えられる。

(6) これらの考察を総合すると、堆積岩では深度による弾性波速度の増加は、増加の割合も最大の弾性波速度も小さいことが特徴として浮かび上がる。これは、原位置で得られた検層結果の特徴であり、Wepferその他の実験結果からは見て取ることができない。これには、間隙水圧の存在が関与していることが推測できる。

地下深部に向かうにつれ、いわゆる地圧が増加して行くが、同時に間隙水圧も増加する。地下深部の堆積岩では、その成因から考えて空隙は地下水で満たされており、したがって間隙水圧が発生していると推測できる。このような間隙水圧は、地圧（室内試験では等方圧と見なした）の増加による空隙の閉鎖を妨げることは想像に難くない。

今後は、間隙水圧を制御して行われた室内試験のデータを慎重に調査するとともに、原位置での検層結果においても、初期地圧や間隙水圧の計測が同時に行われているものを重点的に調査する必要がある。



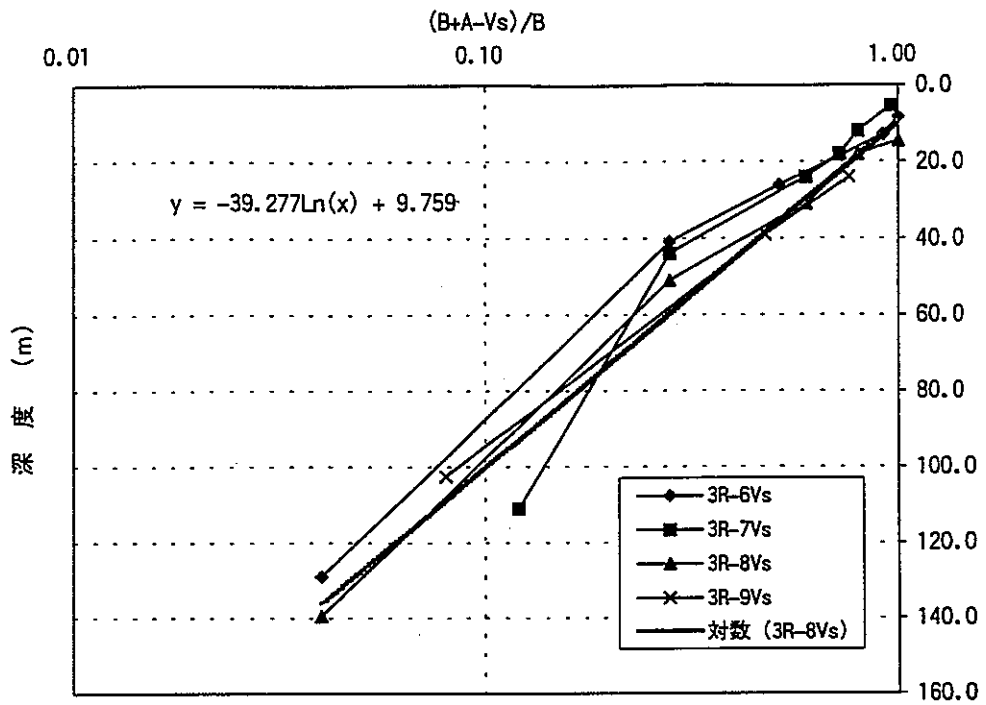


図-3.2.2.4 女川原子力発電所データの評価 ( $V_p$ )

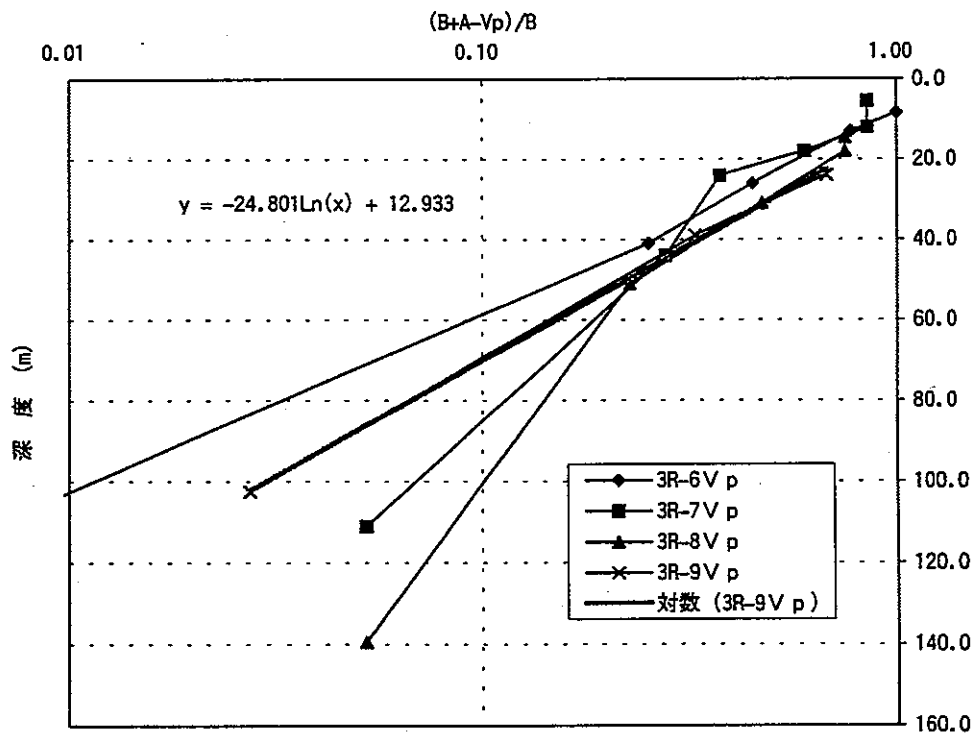


図-3.2.2.5 女川原子力発電所データの評価 ( $V_s$ )

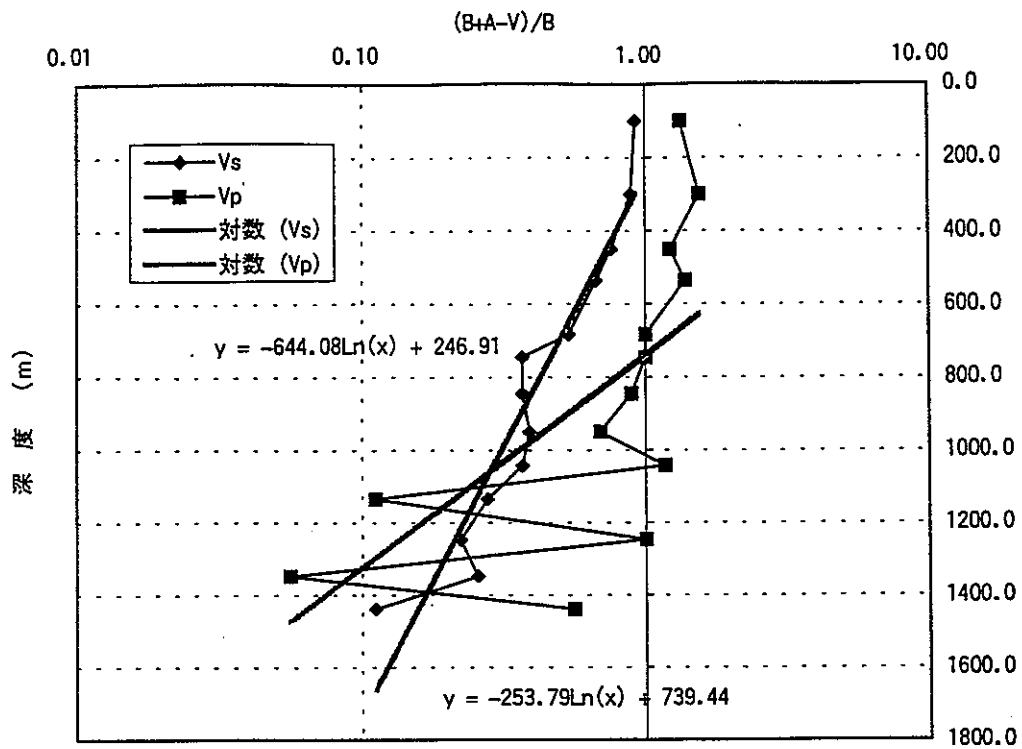


図-3.2.2.6 大阪平野地質構造探査データの評価 (Vp, Vs)

表-3.2.2.2 近似式中の定数一覧

	Vp					Vs				
	A	B	A+B	1/b'	b	A	B	A+B	1/b'	b
首都圏 (岩槻)	1.7	1.3	3	596	0.08	0.4	1.3	1.7	728	0.07
首都圏 (下総)	1.9	0.6	2.5	596	0.08	0.4	0.8	1.2	728	0.07
首都圏 (府中)	1.7	0.5	2.2	596	0.08	0.5	0.7	1.2	728	0.07
福島原子力	1.5	0.5	2	90	0.56	0.2	0.7	0.9	175	0.29
鉛直アレー (いわき)	2.4	1.05	3.45	31	1.61	0.5	1.05	1.55	136	0.37
鉛直アレー (富岡)	2.4	1.05	3.45	203	0.25	0.5	1.05	1.55	406	0.12
高密度アレー (船岡)	1	4.5	5.5	112	0.45	0.1	3	3.1	112	0.45
大阪平野	1.5	1.5	3	254	0.2	0.4	0.9	1.3	644	0.08
女川原子力	1.2	4.01	5.21	25	2	0.2	2.5	2.7	39	1.28
滋賀原子力	2.5	2	4.5	159	0.31	1	1.2	2.2	118	0.42

A, B (km/s) b (1/m) b' (1/Mpa)

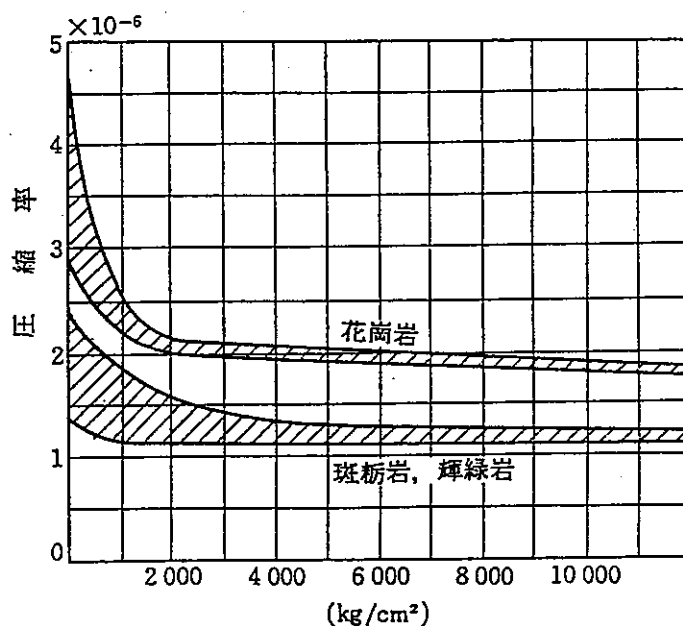
#### (d) 変形特性の応力依存性

高い圧縮応力下では岩石内の空隙が閉塞し、弾性波速度だけではなく、変形性も変化する。文献調査の結果では、等方圧の増加にともなって岩石の剛性が大きくなることが報告されている。

図-3.2.2.7 は、岩石に加えた等方圧と岩石の圧縮率の関係を示している。圧縮率とは、単位の等方圧を加えた際に生ずる岩石に体積変化であるが、等方圧を加えることによって圧縮率が低下していき、岩石がいわば固くなっていく様子がわかる。

固くなっていく傾向は、弾性波速度の場合と酷似しており、等方圧を加えると圧縮率は急激に増加し、その後増加率は緩やかになっていく。

このように、等方圧が加わることによって岩石中の空隙が閉鎖し、弾性波速度や圧縮率など、岩石の構造骨格自身の持つ物性へ岩石のマクロな物性が近づいていくことが推測できる。



岩石の圧縮率に及ぼす周囲圧の影響 (L. H. Adams, 1923 による)<sup>13)19)</sup>

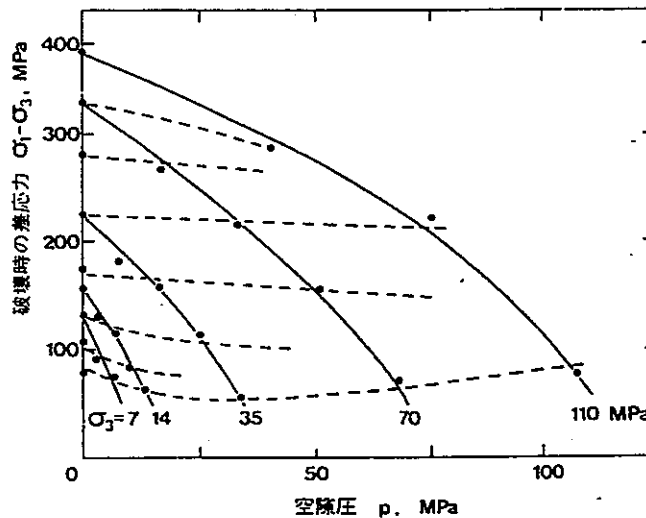
図 3.2.2.7 圧縮率と等方圧の関係

(e) 強度の応力依存性

岩石の強度もまた等方圧の影響を受け、等方圧が大きくなると岩石に強度が増加することはよく知られている。これは、岩石の破壊が内部の微少なキ裂の存在に起因するためであり、等方圧が大きくなるとキ裂の成長が抑制され、結果として強度が増加するのである。

岩石の強度は、いわゆる三軸圧縮試験により求められる。これは、先に示したヤング率の計測と同様に、円柱形の岩石の周方向から一定の圧力（拘束圧、封圧、あるいは周圧と呼ばれる）を加えた状態で、岩石の軸方向からだけ荷重を加えて破壊させ、このときに計測された最大軸応力と拘束圧の差（最大軸差応力と呼ばれる）を岩石の強度と定義する。

図-3.2.2.8には、実験により計測された軸差応力と軸ひずみが示されており、軸差応力の最大値が強度である。この強度は、拘束圧（図では $\sigma_3$ ）が大きくなるにつれ増加している。



空隙率が21%の砂岩を用いてさまざまな封圧 $\sigma_3$ の下での三軸圧縮試験で得られた破壊時の差応力におよぼす空隙圧 $p$ の影響。Terzaghiの有効応力則がほぼ成り立つことを示している。破線は一定の「有効封圧」 $\sigma_3 - p$ を示す。

図-3.2.2.8 強度の応力依存性の例

(2) 岩石物性から岩盤物性を推定する手法の調査・整理

(a) 岩石試験に基づくスケール効果

室内試験で求められる強度は、通常直径数 cm の試験片を用いたものであり、岩石強度として評価されている。さて強度試験に用いる試験片が大きくなるにつれて、強度が低下することが知られている。この試験片の大きさが試験結果に及ぼす影響は寸法効果(scale effect)と呼ばれている。

岩石に関する寸法効果は古くから知られており、1950年代から1970年代にかけて多くの研究が行われている。その研究の大部分は寸法を変化させ、その時の強度と寸法の実験的に調べたものである。その場合の実験式として以下の式の形がよく用いられている。

$$\text{強度} = \text{定数} \cdot (\text{試験片の代表寸法})^{-0.18}$$

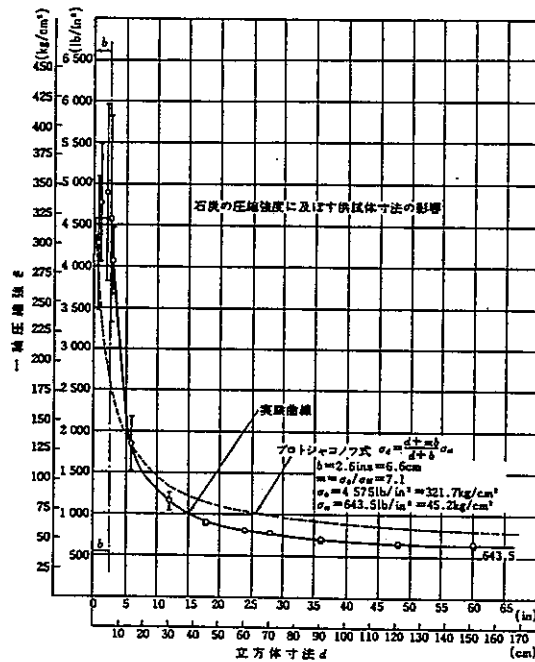


図-3.2.2.9 寸法効果の例

(b) 準岩盤強度

割れ目の判定法としては、ボーリログにより岩盤の一部を採取し、目視により判定する方法（コア採取率、採取コア長、およびRQD等）があるが、ボーリング技術者の能力が岩盤の評価を左右することが生じる。また採取コアを地表に取出すことにより、潜査的な割れ目が開口することも多く、地山の評価としては問題となることがある。岩盤を地山の状態で評価する方法として、弾性波探査による地山弾性波速度  $v_p$  がよく用いられている。この  $v_p$  は地山評価の一つの指標になっているが、この値は地山の割れ目や含水等の状況を含んだものである。割れ目の状況を判定する場合には、割れ目のないインタクトな岩石の弾性波速度  $V_p$  との比較による方法が提案され、実用化されている。これは亀裂係数と呼ばれる値で示され、次式より求められる

(岩盤良好度)

$$D' = (v_p/V_p)^2 = e/E \quad (1 \geq D' > 0) \quad 1 : \text{良好} \quad 0 : \text{不良}$$

(キ裂係数)

$$D' = 1 - (v_p/V_p)^2 = 1 - e/E \quad (1 > D' \geq 0) \quad 0 : \text{良好} \quad 1 : \text{不良}$$

ここに、  $V_p$  : 無亀裂コアの超音波伝播速度値

$e$  : 地山の動弾性係数

$E$  : コアの動弾性係数

池田は、地山の岩盤の強度を設定するために、準岩盤強度  $\sigma_c$  を定義している。これは前式の  $D'$  を、無亀裂岩石と、割れ目を含んだ地山岩盤との低減率と考え、無亀裂岩石の一軸圧縮強度  $\sigma_{cs}$ 、に  $D'$ （池田はこの  $D'$  を亀裂係数としている）を乗じた値が、概念的に地山の岩盤強度に相当すると考えたものである。

$$\sigma_c = \sigma_{cs} \cdot D' = \sigma_{cs} \cdot (v_p/V_p)^2$$

### (c) 低減係数による方法

一般に、割れ目等の影響が少ないとされる軟岩においては、サンプリングした供試体を用いて室内の三軸圧縮試験によって求めた強度を原位置地盤に適用している場合が多い。試験結果よりモールの応力円を描き、破壊包絡線を求める。この破壊包絡線が直線ではなく非線形となることがあるが、設計の応力条件に対応した応力範囲で直線とみなしモール・クーロン式を用いて強度定数 $C$ 、 $\phi$ を求める。ただし、この強度定数は、亀裂の少ない良質な岩石試料の値であり、亀裂、風化などが無視できない場合、地盤の強度定数を必ずしも代表してはいない。そのため、亀裂、風化などを評価して地盤の強度定数を求める必要がある。

この評価法として地盤と供試体の縦波弾性波速度から亀裂係数 ( $C_r$ ) を求め、この亀裂係数に基づいて $C$ 、 $\phi$ の低減係数 ( $K_c$ 、 $K_\phi$ ) を定め、地盤の強度定数を算出する方法が提案されている。

なお、低減係数の求め方は、先に示した準岩盤強度でのキ裂係数と同じものである。

(d) 岩盤分類の活用

フックとブラウンは、岩盤強度の推定に岩盤分類を利用する方法を示した。これは、南アフリカ科学工業研究所 (CSIR)のビニアウスキが提案した分類方法、およびノルウェー地盤工学研究所(NGI)のバートン、リーンとルンデの分類を踏まえたものである。

$$RMR = R_s + R_{RQD} + R_{sd} + R_{cd} + R_w + R_{od}$$

- $R_s$  : 一軸圧縮強度に基づく評点
- $R_{RQD}$  : RQD に基づく評点
- $R_{sd}$  : 節理の間隔に基づく評点
- $R_{cd}$  : 節理の状態に基づく評点
- $R_w$  : 地下水の状態に関する評点
- $R_{od}$  : 節理の方向性に関する評点

$$Q = \left( \frac{RQD}{J_n} \right) \times \left( \frac{J_r}{J_a} \right) \times \left( \frac{J_w}{SRF} \right)$$

- $J_n$  : 節理群の数
- $J_r$  : 節理面の粗さ係数
- $J_a$  : 節理の変質係数
- $J_w$  : 節理内の水による低減係数
- $SRF$  : 応力低減係数

ここに、RMR は CSIR 分類による岩盤評点であり、またQは NGI 分類による岩盤インデックスである。

また、ビニアウスキは、CSIR と NGI の分類システム間の関係として次式を提案している。

$$RMR = 9 \log_e Q + 44$$



(e) まとめ

これまで示した岩盤特性の推定法を、表 3.2.2.3 にまとめて示す。

表 3.2.2.3 岩石試験から岩盤特性を推定する方法

推定方法	低減方法、必要なデータ
スケール効果に基づく方法	強度 = 定数 · (試験片の代表寸法) <sup>-0.18</sup> <input type="checkbox"/> 一軸圧縮試験 <input type="checkbox"/> 試験片と構造物の寸法比
準岩盤強度	$\sigma_c = \sigma_{cs} \cdot D^i = \sigma_{cs} \cdot (vp/Vp)^2$ <input type="checkbox"/> 室内一軸圧縮試験 <input type="checkbox"/> 岩石と岩盤の弾性波速度
低減係数による方法	C、 $\phi$ の低減係数 ( $K_c$ 、 $K_\phi$ ) を算定 <input type="checkbox"/> 室内と岩盤の弾性波速度 (キ裂係数) <input type="checkbox"/> キ裂係数と低減係数のグラフ (実測値)
フックとブラウンの方法	$\sigma_{1n} = \sigma_{3n} + \sqrt{m\sigma_{3n} + s}$ $\tau_n = A(\sigma_n - \sigma_m)^B$ <input type="checkbox"/> 室内三軸圧縮試験 (複数) <input type="checkbox"/> 節理の著しい岩石の三軸圧縮試験 (現実には、文献中の関係式)

### (3) 物性の相関関係に関する事例の調査・整理

#### (a) 概 要

岩石は成因的な本質により、実用問題のうで個々の試験片について数値の精密さを要求することはそれほど意味を持ちえない。既に測定されたある値から他の物性値をある幅で求めることができれば、実用目的に岩石の力学的数値を使用する場合好都合である。このことから岩石の物性間の関係について、種々の検討がなされている。以下では、文献をもとに相関関係を具体的に示す。

#### (b) Judd と Huber の統計

岩石の組織、構造に基づく異方性、不均一性を最小限にし Judd と Huber は岩石物性間の関係を統計的にまとめた。これらの物性値を与えているミクロの機構と、岩石の成因的系統とによって、これらをさらに細分できることも予想され、今後の研究がまたれる。今のところ、これらから、やや一般的にいえる結論は次のとおりである。

- (1) 直線関係 動的に測定されたヤング係数  $E_d$  と静的に測定されたヤング係数  $E_s$  とは最もよい直線関係にある。
  - ・ 圧縮強さ  $\sigma_c$  とヤング係数  $E$ 、剛性率  $G$
  - ・ 曲げ強さと圧縮強さ (したがって  $G$ 、 $E$ )
- (2) ほとんど直線関係 見かけ比重と  $G$ 、 $E$
- (3) 曲線関係 曲げ強さ、じん性とショアはねかえり硬さ
  - ・ 弾性波速度と  $E_d$  (理論的に当然)、 $G$
- (4) 負の曲線関係 比減衰能とじん性、 $\sigma_c$ 、 $E$ 、 $G$
- (5) その他も図のようにだいたいのすう勢がある。

(c) 動的、静的にそれぞれ測定した弾性係数

岩石試験片について、動的に測定した弾性係数 $E_d$ と静的に測定した $E_s$ には強い相関がある。すなわち、岩石が密で固体的であるほど $E_d$ と $E_s$ の値は近づき、軟質のものほど $E_d$ に比べて $E_s$ の値が小さい。このことから $E_s/E_d$ は、岩石の固体らしさの指標になると考えられる。

(d) 弾性波速度と間隙率

岩石あるいは岩盤を伝わる弾性波速度 $V_p$ は、間隙率と密接な関係にあることが実験により示されている。Willieほか(1956)とCarroll(1966)は、次のような実験式を提案している。

$$\frac{1}{V_p} = \frac{(1-n)}{V_m} + \frac{n}{V_f}$$

ここに、 $n$ は間隙率、 $V_m$ は岩石実質部の速度、 $V_f$ は間隙を満たす流体を伝わる速度である。

(d) 弾性係数と間隙率

ヤング率などの弾性係数は、岩石の空隙が多くなると低下することは想像に難くない。空隙の大きな材料は、空隙の開閉によって容易に変形すると考えられるからである。

実験においても、この推測を裏付けるデータが得られている。

(e) 間隙率、密度と一軸圧縮強度

空隙が多数含まれる岩石では、空隙の中に鋭い形状のものが含まれており、この端部に発生した応力集中でキ裂の成長が生じ、これが岩石全体の破壊を引き起こすと考えられている。

したがって、間隙率が大きな岩石や密度の小さい岩石では、強度も低いと考えられるが、実験データもこのことを裏付けている。種々の文献に記載されているデータは、いずれも間隙率あるいは密度と一軸圧縮強度との間に強い相関があることを示している。

#### (f) 弾性波速度と一軸圧縮強度

間隙率と弾性波速度、間隙率と一軸圧縮強度とのそれぞれに相関が認められることから、弾性波速度と一軸圧縮強度にも関連性が期待される。

実験データによれば、弾性波速度（ないしは弾性波速度より求めた弾性係数）と一軸圧縮強度の間には強い相関が認められる。これまでと同様に、弾性波速度の伝搬も一軸圧縮強度も岩石中の空隙の影響を強く受けているため、データに見られるような相関関係が生ずると考えられる。

#### (g) 一軸圧縮強度と引張強度

岩石を圧縮した場合の強度と引張荷重を加えた場合の強度は、強度が空隙の存在に依存していることを考えれば、密接に関連していると考えられる。

これまでの実験では、相関は認められているもののばらつきが大きい。これは、直接的な引張試験が難しいために、点載荷試験や割裂引張試験などの簡便法によって引張強度が求められていることにも原因があると考えられる。

### 3.2.3 室内試験

#### (1) 試験目的

昨年度に引き続き堆積軟岩のひずみ軟化特性を得ることを目的とし、一軸および三軸圧縮試験を実施した。併せて供試体の基本的な特性を調べるため、物理試験を実施し、超音波速度を測定した。

#### (2) 岩石試料

岩石試料は、東濃鉾山北延坑道から採取した土岐夾炭累層に属する堆積軟岩で、岩相は粗粒砂岩である。

#### (3) 試験装置および試験方法

##### (a) 物理試験

物理試験として、湿潤密度試験および有効間隙率試験を実施した。

- ・試験基準：湿潤密度試験 (JGS T 191)、有効間隙率試験 (KDK S 0501)
- ・試験数量：一軸圧縮試験を実施する3供試体および三軸圧縮試験を実施する12供試体についてそれぞれ行った。

##### (b) 超音波速度測定

物理試験と同様の15供試体についてそれぞれ超音波速度測定を行った。

- ・試験基準：物理探鉾技術協会要領
- ・供試体寸法：直径50mm×高さ100mm

##### (c) 一軸圧縮試験

- ・試験基準：JGS T 511、JIS M0302
- ・試験装置：中容量三軸試験装置 (容量5 N)
- ・供試体寸法：直径50mm×高さ100mm
- ・載荷速度：0.10mm/min
- ・試験数量：3供試体

##### (d) 三軸圧縮試験

- ・試験基準：「軟岩の調査・試験の指針 (案)」 (土木学会) に準拠
- ・試験装置：中容量三軸試験装置 (容量5 N)
- ・供試体寸法：直径50mm×高さ100mm
- ・排水条件：圧密排水条件 (CD条件)
- ・載荷速度：0.002%/min
- ・最大軸ひずみ：残留状態を確認するまでを目安とするが、最大で8%程度を標準とした。
- ・有効拘束圧：1、2、3、5 MPa
- ・試験数量：各試験条件3供試体ずつ合計12供試体

(4) 試験結果およびまとめ

- 1) 自然状態の密度は 1.85～2.14 g/cm<sup>3</sup> (平均 1.96g/cm<sup>3</sup>)、有効間隙率は 30.22～46.48% (平均 41%)、吸水率は 16.25～31.37% (平均 27%) の範囲であり、かなりばらつく結果となった。
- 2) P 波速度は 1580～2370 m/sec (平均 2100m/sec)、S 波速度は 785～1020 m/sec (平均 890m/sec) の範囲であり、供試体毎の速度がかなりばらつく結果となった。
- 3) 拘束圧が低い条件では明瞭なひずみ軟化特性を示しているが、拘束圧が高くなるとピーク強度は現れずひずみ硬化の傾向を示す結果となった。ピーク強度が出現した 3 MPa 以下の拘束圧条件下では、最大強度と残留強度の比は 0.28～0.87、破壊ひずみは 0.36～0.88% の範囲であった。
- 4) 最大強度に対する強度定数 C は 2.58MPa、 $\phi$  は 16.5° である。また、残留強度に対する強度定数 C は 0.84MPa、 $\phi$  は 27.5° である。最大強度に対する残留強度の強度定数は、C が 1/3 程度に減少するが、 $\phi$  は増加している。

表-3.2.3.1 強度定数

試料 No	1	2	3	全 体
最大強度 C <sub>p</sub> (MPa)	2.91	2.91	1.91	2.58
$\phi_p$ (°)	11.4	15.4	22.2	16.5
残留強度 C <sub>r</sub> (MPa)	0.73	0.39	1.39	0.84
$\phi_r$ (°)	33.8	34.6	11.6	27.5

- 5) 昨年度実施した細粒砂岩に対する試験結果と比べると、細粒砂岩の場合は物理特性が比較的均一で明瞭なひずみ軟化特性を示したのに対し、粗粒砂岩の場合は物理特性にかなりのばらつきが見られ高い拘束圧条件下 (深度 150 m レベルにおける坑道円周方向応力と同程度) ではひずみ軟化挙動を示さなかった。

### 3.3 設計に関する基本的考え方の整備

処分施設を設計するにあたり、その根本的な設計思想や具体的な手法・評価項目を明確にする必要がある。本節では、国の政策に基づく基本方針から始まり処分施設設計の前提条件、設計方針、設計条件を整理し、地層処分システムにおける設計の基本的な考え方を明示する。

#### 3.3.1 設計の基本的な流れ

図-3.3.1.1 に設計の基本的な流れを示す。この中で、それぞれの検討は、適宜前段階での検討にフィードバックを繰り返しながら進んでいく。

##### (1) 基本方針

基本方針は「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画（平成6年6月 原子力委員会）」及び「高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発等の今後の進め方（平成9年4月15日 原子力委員会 原子力バックエンド部会）」によれば以下4項目に集約される。

- ①高レベル放射性廃棄物は地層処分する。
- ②地層処分システムの地下水に対する安全性は多重バリアシステムにより確保する
- ③地層処分システムの安全評価は放射線量を基本とする
- ④処分場の建設中、操業中、閉鎖後において実際の地質環境状態等が想定した設計条件の範囲内であることを確認する。

##### (2) 前提条件

前提条件とは、設計を実施するにあたって必要とされる条件で、地形・地質や地下水環境等の地質環境条件、廃棄物の特性・仕様などの廃棄物条件、廃棄物処分スケジュール、処分システムの基本的なレイアウト条件等に関連した与条件である。

##### (3) 設計方針

設計方針とは、基本方針・前提条件をふまえた施設設計の考え方である。A.部位、B.建設、操業、閉鎖、C.レイアウトのそれぞれについて要求機能が提示され、それに対する設計方針が明示される。

#### (4) 設計条件

前提条件、設計方針の内容を整理し、その結果を処分システムの設計条件として設定する。

#### (5) 処分システムの基本概念の設定

空洞の概形や大まかなレイアウトなどを設定する。

#### (6) 空洞の掘削可能性の概略検討

設定した設計条件の下で、空洞が処分システムとして成立可能な範囲の大きさを持てるかどうかの概略検討を行う。

#### (7) 緩衝材仕様（力学的観点からの設計）

安全評価の面から与えられた必要仕様に加え、力学的観点から必要な緩衝材の仕様を検討する。

#### (8) 廃棄体埋設密度の検討

緩衝材の仕様を受け、廃棄体の埋設密度を熱解析により検討する。最終的には、建設・操業・閉鎖の観点からの検討がフィードバックされ確定される。

#### (9) 部位の設計

坑道、閉鎖システムなどの各部位について、その仕様を設計する。

#### (10) 全体レイアウト

サイト条件等の前提条件、部位の検討結果等から施設の全体レイアウトを設定する。

#### (11) 建設、操業、閉鎖方法の検討

設定された部位の仕様、全体レイアウトに基づき建設、操業、閉鎖方法の検討を行う。



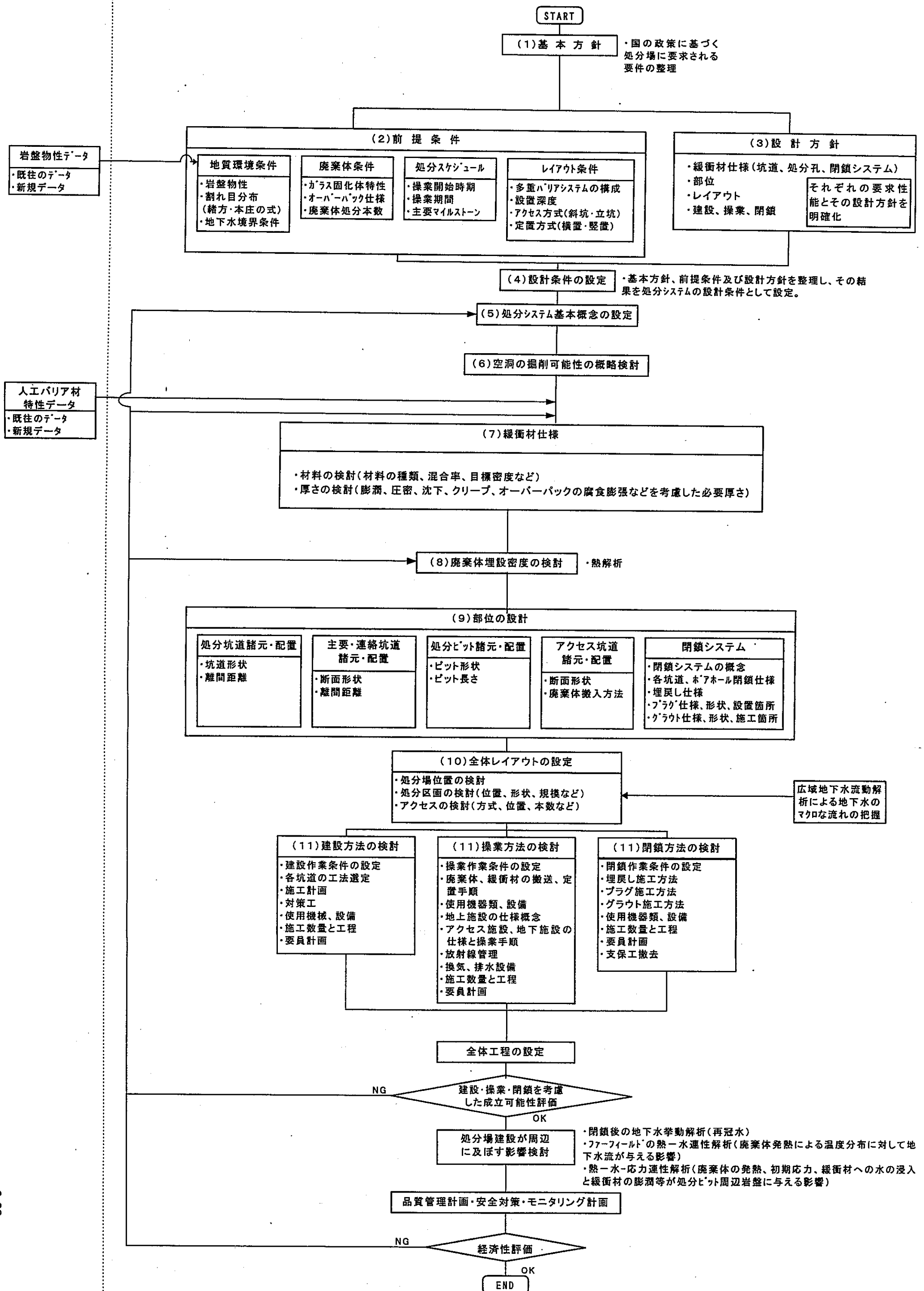


図-3.3.1.1 設計の基本的な流れ

This is a blank page.

### 3.3.2 基本要件

設計の基本要件をまとめると次のようになる。

#### (処分システム)

- ・処分場は放射線の人体への影響に対する安全性を長期的に担保される
- ・安全性の担保は多重バリアシステムによる

#### (多重バリアシステム)

- ・多重バリアシステムは廃棄体の有する特徴、特性を考慮した上で長期的にその性能が保証される
- ・多重バリアシステムの品質管理は十分実施される

#### (建設、操業、閉鎖)

- ・建設、操業、閉鎖の各作業は安全を第一条件として実施される
- ・特に、放射性物質を直接取り扱う操業については放射性防御を考える

#### (モニタリング)

- ・施設設計の妥当性を検証するためにモニタリングを実施する

#### 4. 人工バリア及び処分施設に関する設計・製作技術の検討

##### 4. 1 人工バリアの構造力学解析評価

###### 4. 1. 1 構造力学解析

###### (1)研究の目的

昨年度は、人工バリアの構造力学的な長期安定性を検討するために、長期に渡りその安定性に影響を与える可能性のある種々の現象（緩衝材の膨潤と圧密・せん断変形、岩盤のクリープ変形、オーバーパックの自重と腐食膨張）を複合現象として捉え、これを解析評価する手法を整備した。

本年度は、この手法を用いて緩衝材厚さが人工バリアの長期力学的安定性に与える影響を解析評価し、この要求機能を担保する緩衝材の仕様（必要厚さ）を詳細に検討する。

###### (2)解析的検討による緩衝材厚さの検討

###### (a) 緩衝材厚さの設計フロー

緩衝材の長期に渡る構造力学的な安定性の観点における要求機能として特に重要なものは、①オーバーパック支持性と②応力緩衝性の2項目であり、これらが長期に渡り確保される必要がある。この内前者①に関しては、昨年度の個別現象の解析評価（DAC SARによるオーバーパック自重による沈下解析）の結果、緩衝材は長期にわたり十分なオーバーパック支持性を有することが確認されている。一方後者②に関しては、昨年度整備した複合現象の解析手法（ABAQUS）を用いた評価により、周辺岩盤の力学的安定性、緩衝材自体の力学的安定性、オーバーパックの耐圧性が全て確保される必要がある。また、昨年度の検討課題として挙げた「長期岩盤クリープ変形による地圧回復」という現象に対しても、緩衝材挙動の評価を行い、その力学的安定性を検討する必要がある。この他にも、緩衝材に期待される各種バリア性能（止水性、核種移行遅延性、化学的安定性等）が維持される必要がある。以上を検討した結果、長期の構造力学的安定性の確保を要件とする緩衝材厚さの設計フローを図-4.1.1.1に示す。本年度は、この設計フローに基づき解析的検討を行い、緩衝材の必要厚さを検討する。

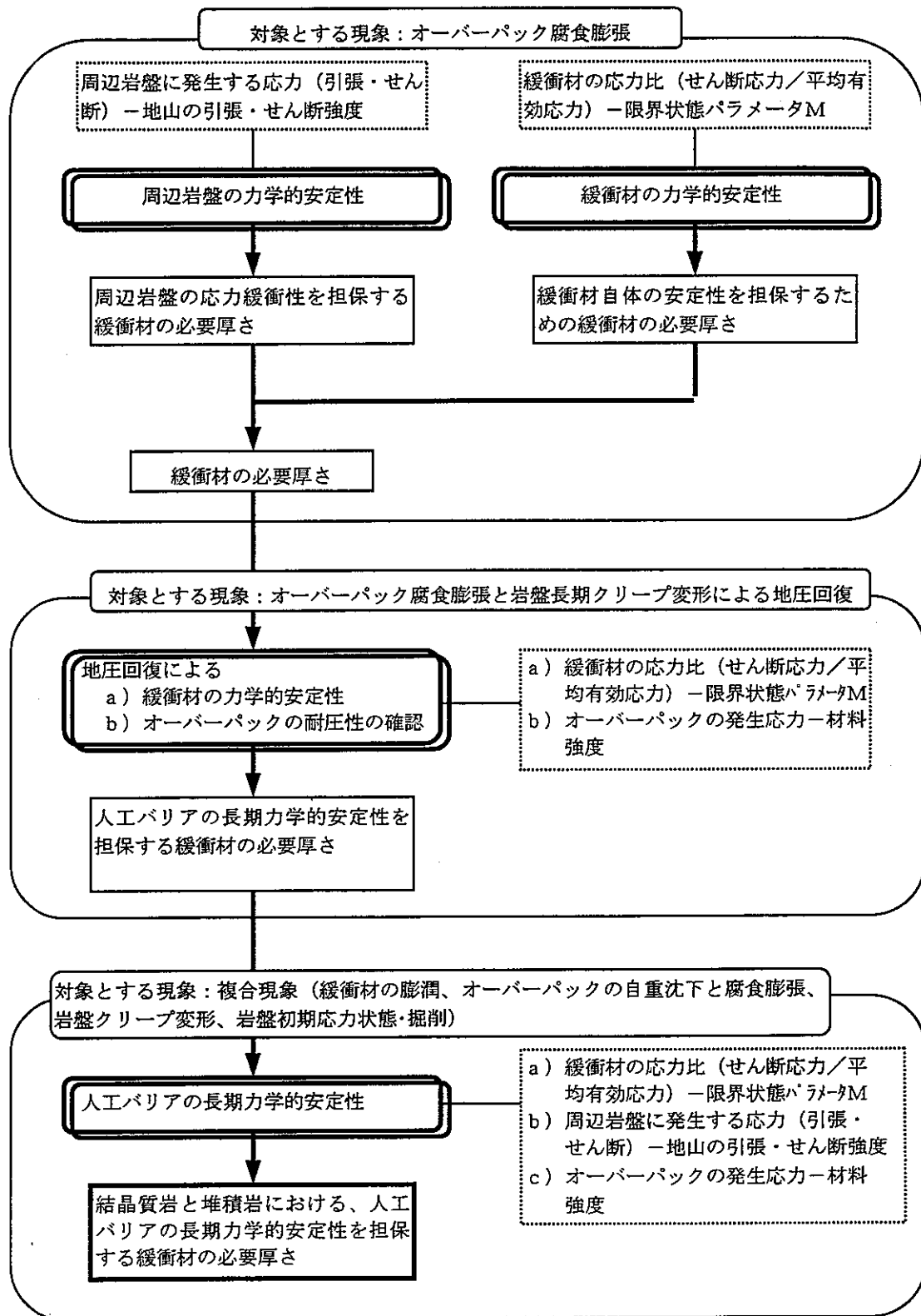


図-4.1.1.1 長期の構造力学的安定性の観点での緩衝材の設計フロー  
(緩衝材必要厚さの設定)

(b)周辺岩盤の力学的安定性

人工バリアの長期力学的安定性に最も影響を及ぼすと考えられる現象は「オーバーパックの腐食膨張」である。本節ではオーバーパックの腐食膨張に対して処分空洞の安定性を確保するために必要となる緩衝材の厚さについて検討する。

i)理論解による評価

オーバーパックの腐食膨張について以下のような仮定を設けると、腐食膨張によってオーバーパックは図-4.1.1.2に示すように半径方向の変形量は16.15(cm)となる。

仮定:オーバーパックは腐食により相似形状で膨張し、全腐食によって体積は3倍になる

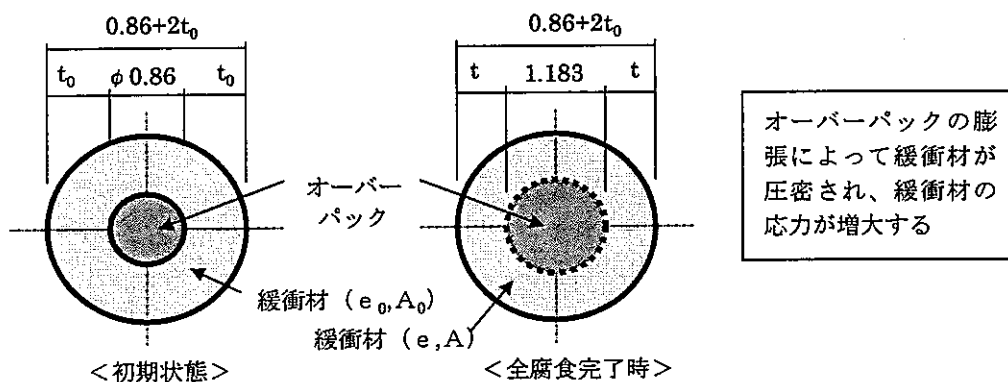


図-4.1.1.2 オーバーパック腐食膨張時の緩衝材モデル 単位(m)

緩衝材の厚さと腐食膨張によって緩衝材に発生する平均有効応力との関係を計算した結果を図-4.1.1.4示す。この関係を導出するにあたって、以下のような仮定を用いて行った。

- ・緩衝材の初期空隙比  $e_0=0.73$  とする(図-4.1.1.3より)
- ・空隙比と圧密荷重の関係として、図-4.1.1.3に示す室内圧密試験結果を用いる
- ・オーバーパックの腐食膨張により岩盤は変形しないと仮定する

結晶質岩と堆積岩2岩種の物性値および初期応力状態を表-4.1.1.1に示す。

岩盤を弾性体とし、空洞の円周方向の応力が引張にならないことを空洞安定性の条件とすると、弾性理論よりオーバーパック腐食膨張圧が初期地圧の1~2倍程度以下であれば岩盤が破壊するには至らないといえる。結晶質岩では表-4.1.1.1より、これに対応する内圧は31.2~61.4(MPa)で、その時の緩衝材の厚さは図-4.1.1.4から46~55(cm)となる。また、堆積岩ではこれに対応する内圧は14~28(MPa)で、その時の緩衝材厚さは54~68(cm)となる。しかしこれらは側圧係数  $K=1$  の等方地圧状態の緩衝材必要厚さであり、実際には両岩種で  $K=1.2$  と  $K=1.3$  であることから、必要厚さは

結晶質岩では50(cm)程度、堆積岩では65(cm)程度

あれば岩盤の長期安定性は確保できると考えられる。

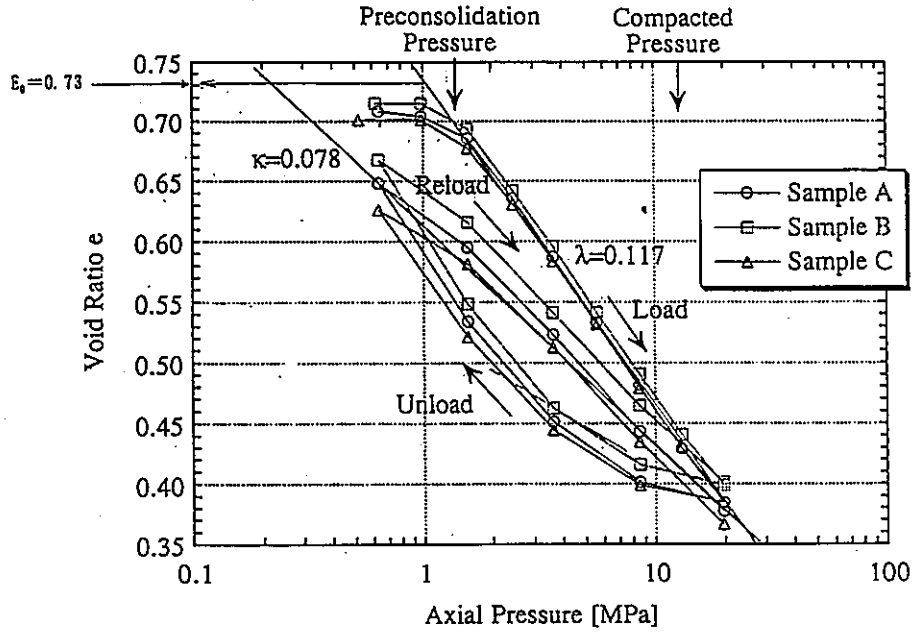


図-4.1.1.3 緩衝材の圧密試験結果  
(e-logP 曲線:乾燥密度 1.6g/cm<sup>3</sup>、PNC)

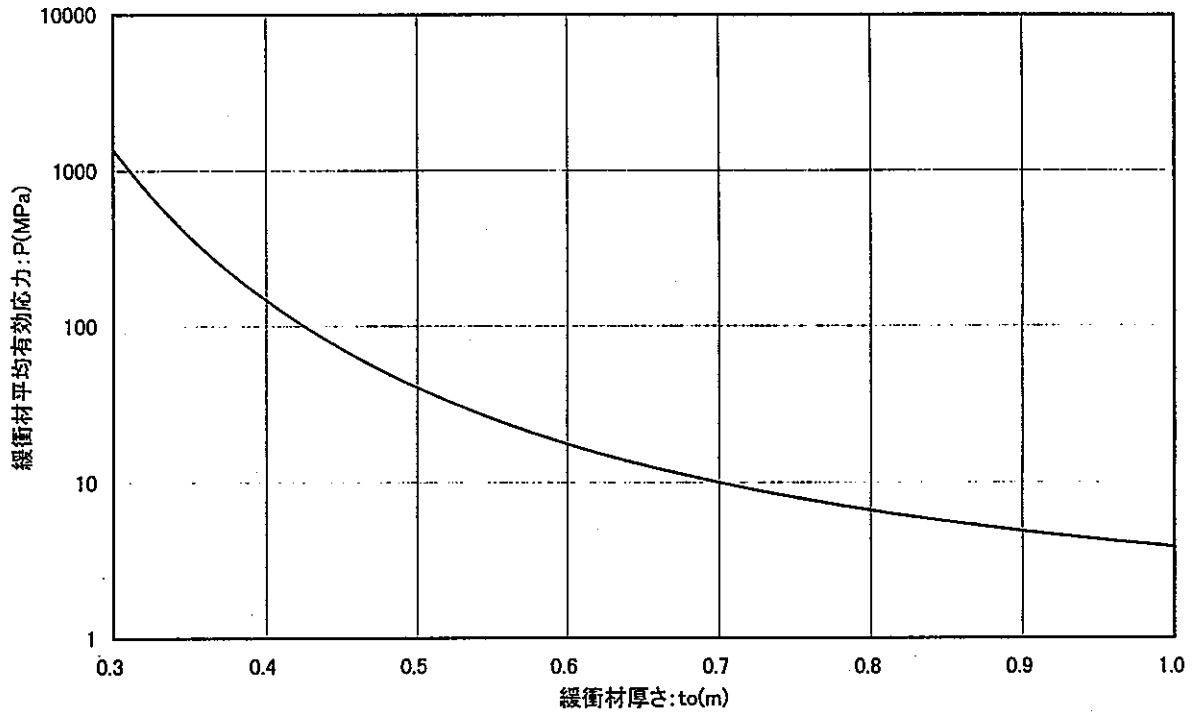


図-4.1.1.4 緩衝材厚さと平均有効応力

表-4.1.1.1 リファレンスデザインの岩盤物性と初期応力状態

岩種	飽和密度	処分深度	側圧係数	初期地圧		初期地圧×2	
				鉛直	水平	鉛直	水平
(単位)	t/m <sup>3</sup>	m	—	MPa	MPa	MPa	MPa
結晶質岩	2.65	1,000	1.2	26.0	31.2	52.0	61.4
堆積岩	2.2	500	1.3	10.8	14.0	21.6	28.0

ii)FEM 解析による評価

7) 目的

坑道掘削後に、オーバーパックの腐食膨張圧が坑道内側から周辺岩盤に内圧として作用する現象を対象として、処分坑道周辺岩盤の長期力学的安定性を FEM 解析により評価する。

1) 解析条件

①構成モデル

- ・岩盤:完全弾塑性体 (Drucker-Prager の降伏条件) でモデル化
- ・オーバーパック、緩衝材:モデル化しない
- ・支保工:長期的には有効断面のロスや化学的変質等により耐荷機能を消失するのでモデル化しない

②解析コード:SIGNAS

③解析モデル:坑道中心間距離 11(m)で接続する。解析モデルとメッシュモデルを図-4.1.1.5 および図-4.1.1.6 に示す。

④物性値:表-4.1.1.2 に結晶質岩と堆積岩の物性値を示す。

⑤解析ケース:結晶質岩と堆積岩のそれぞれ全応力および有効応力状態による解析の 4 ケース

⑥解析手順:下に解析手順を示す。

Step-1・・・初期地圧

Step-2・・・処分坑道掘削解析(無支保)

Step-3・・・オーバーパック腐食膨張

下図にオーバーパック腐食膨張時の荷重について示す。

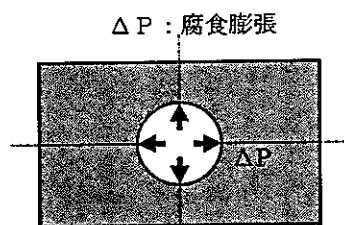


図-4.1.1.7 オーバーパック腐食膨張荷重

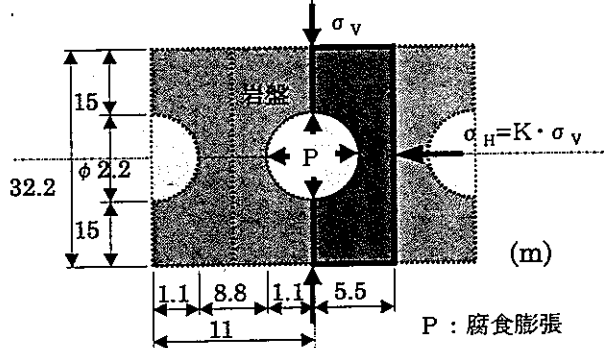


図-4.1.1.5 解析モデル(結晶質岩)

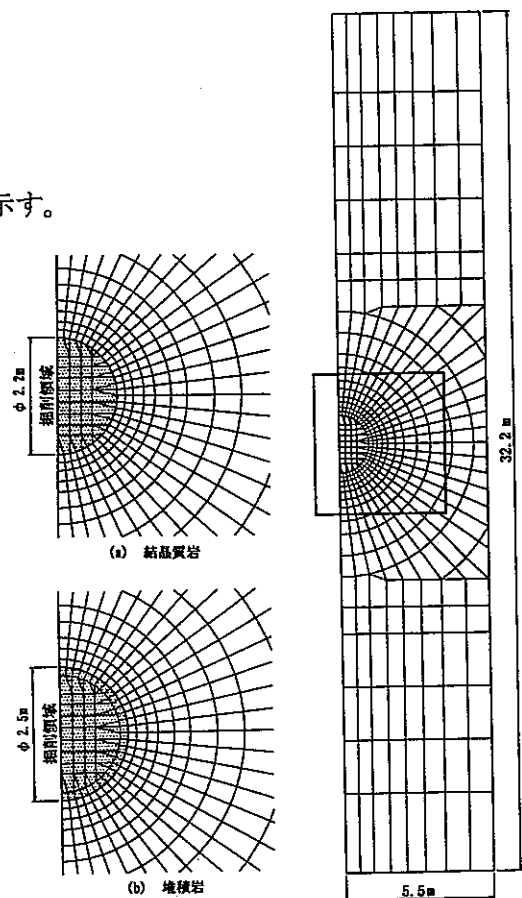


図-4.1.1.6 メッシュモデル



表-4.1.1.2 解析用物性値

岩種	単位	結晶質岩 (RM-1)	堆積岩 (RM-4)	摘要
単位体積重量 $\gamma$	t/m <sup>3</sup>	2.65	2.2	飽和密度
単位体積重量 $\gamma_{sw}$	t/m <sup>3</sup>	1.65	1.2	水中湿潤密度
弾性係数 E	MPa	15,800	2,800	
ポアソン比 $\nu$	—	0.25	0.26	
粘着力 c	MPa	6.6	2.0	
内部摩擦角 $\phi$	deg	38	22	
引張強度 $\sigma_T$	MPa	0	0	保守的に設定 計算上 0.001 を使用
歪硬化パラメータ H'	—	0	0	
処分深度 h	m	1,000	500	
初期地圧 (鉛直) $\sigma_v$	MPa	26.0(16.2)	10.8(6.9)	$\sigma_v = \gamma \cdot g \cdot h$
初期地圧 (水平) $\sigma_H$	MPa	31.2(19.4)	14.0(7.7)	$\sigma_H = K_0 \cdot \sigma_v$
側圧係数 $K_0$	—	1.2	1.3	$K_0 = 148/h + 1.02$

( ):有効応力状態による解析

ウ) 解析結果とまとめ

図-4.1.1.8(a)~(d)に各ステップに対する周辺岩盤の局所安全率を示す。本検討においては、岩盤安定性の評価基準を「オーバーパック腐食膨張圧作用時の周辺岩盤塑性領域が、処分坑道掘削時点での塑性領域よりも広範囲に分布した場合、岩盤は不安定になる」と考えることとする。図よりオーバーパック腐食膨張による内圧と、それに伴って発生する破壊領域は以下のようなものである。

- 全応力による解析・オーバーパックの腐食膨張による発生する内圧が、初期地圧の2倍以下であれば、空洞周辺の破壊領域は掘削時よりも小さくなる
- 有効応力による解析・オーバーパックの腐食膨張に伴って発生する内圧が、初期地圧の2倍に達すると、空洞周辺の破壊領域は掘削時よりも大きくなる

表-4.1.1.3 に空洞が安定である腐食膨張による内圧の範囲と、図-4.1.1.4 から得られる緩衝材の必要厚さを示す。

表-4.1.1.3 膨張圧作用時の周辺岩盤塑性領域が、坑道掘削時点での塑性領域よりも小さくなるような内圧の範囲とそれに対する緩衝材の厚さ

		内 圧		緩衝材厚さ
		初期応力の鉛直成分に対する比	(MPa)	(cm)
理論解	結晶質岩	1 ~ 2	26.0 ~ 52.0	48 ~ 55
	堆積岩	1 ~ 2	10.8 ~ 21.6	57 ~ 68
FEM 解析 全応力	結晶質岩	~2	~52.0	48 ~
	堆積岩	~2	~21.6	57 ~
FEM 解析 有効応力	結晶質岩	~1.6	~25.9	55 ~
	堆積岩	~1.8	~10.6	68 ~

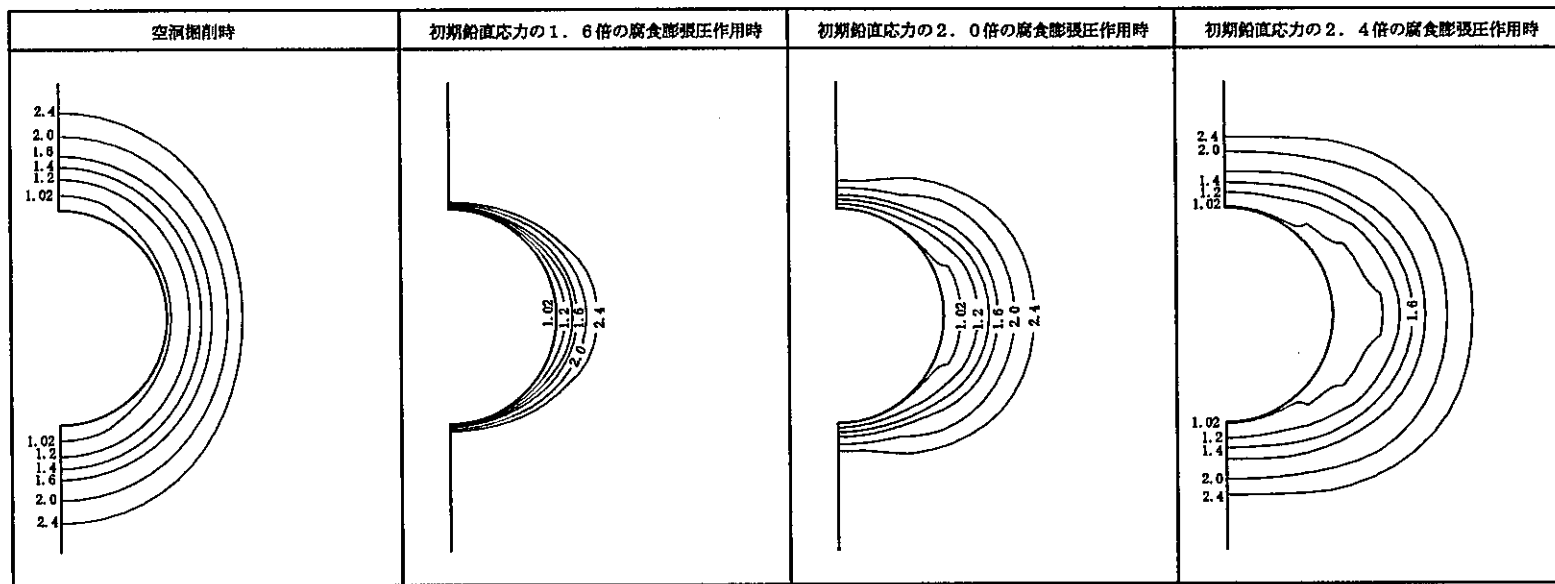


図-4.1.1.8(a)各ステップにおける局所安全率分布(全応力解析、結晶質岩)

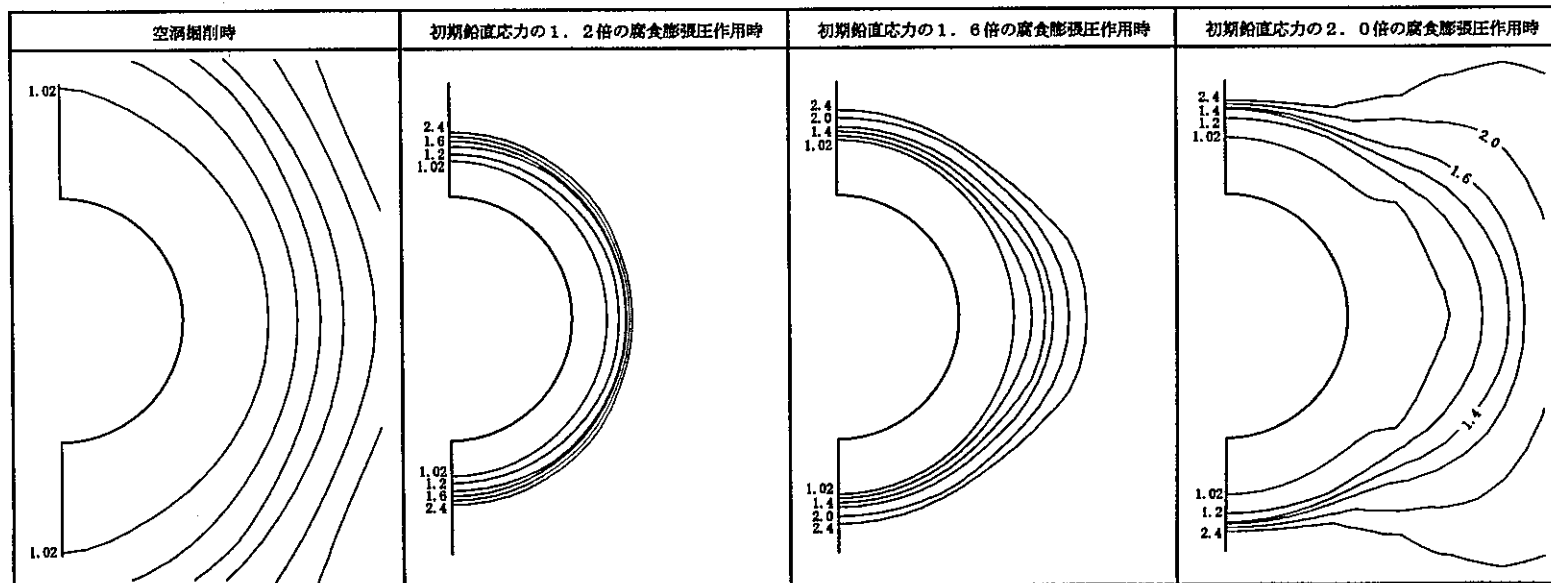


図-4.1.1.8(b)各ステップにおける局所安全率分布(全応力解析、堆積岩)

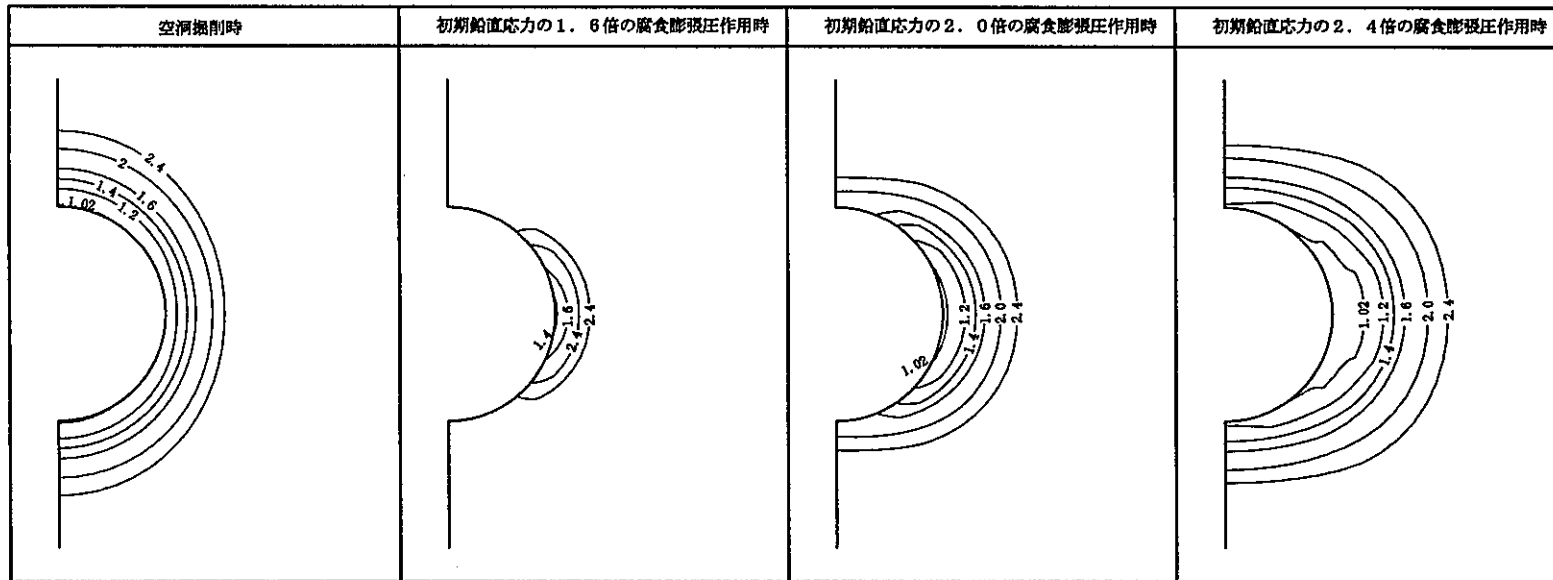


図-4.1.1.8(c)各ステップにおける局所安全率分布(有効応力解析、結晶質岩)

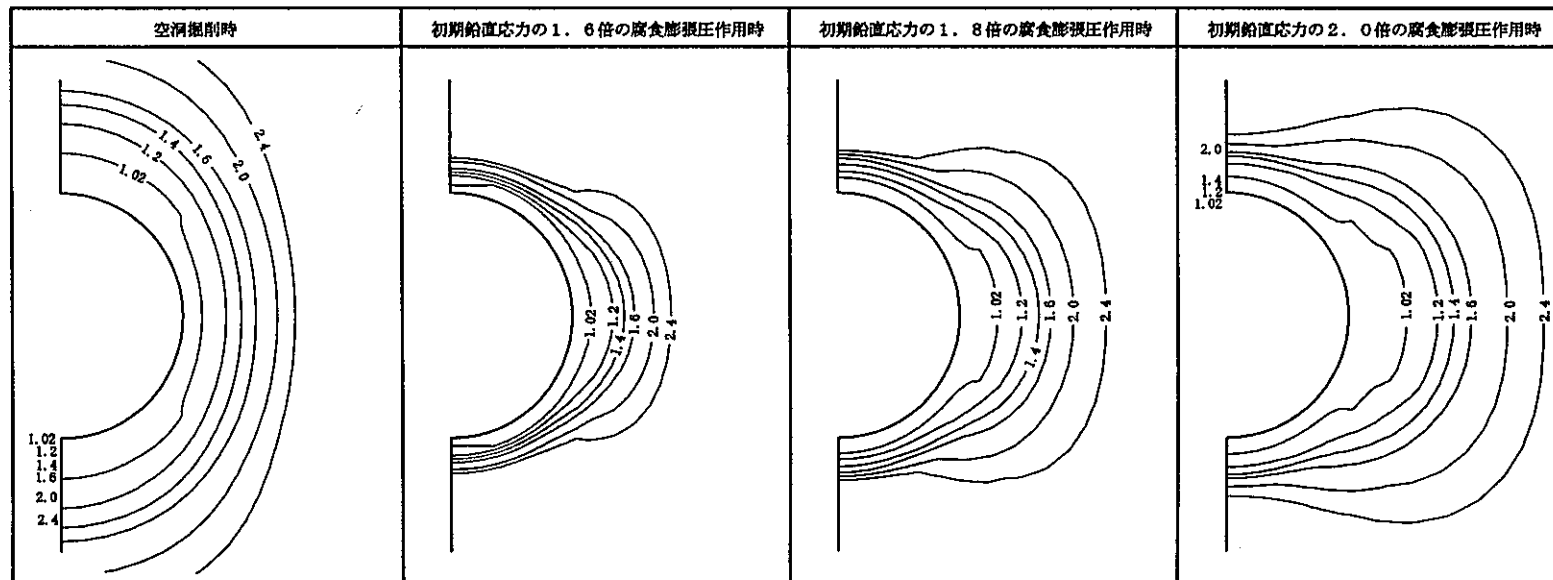


図-4.1.1.8(d)各ステップにおける局所安全率分布(有効応力解析、堆積岩)

(c)緩衝材の力学的安定性

緩衝材の安定性の評価基準を、

- ・ 緩衝材が理論上の限界圧縮量すなわち「真比重  $G_c$ 」に達する
- ・ 緩衝材中の応力比(せん断応力/平均有効応力)から判断されるせん断破壊領域の有無

とし、簡易計算および ABAQUS を用いた(オーバーパック+緩衝材)系の解析結果を以下に行う。

i)簡易計算による評価

図-4.1.1.9 に示すようにオーバーパックが腐食膨張すると、緩衝材が圧密され間隙比が減少し、密度が増加する。緩衝材(100%ケゲル V1)の真比重は、比重試験、飽和含水比および結晶構造からの算出の3通りの結果より、有効数字2桁で「 $G_c=2.7$ 」が得られている。<sup>1)</sup>

ここでは緩衝材の密度が真密度に達しないことと、間隙比が0にならないような緩衝材の厚さについて検討する。

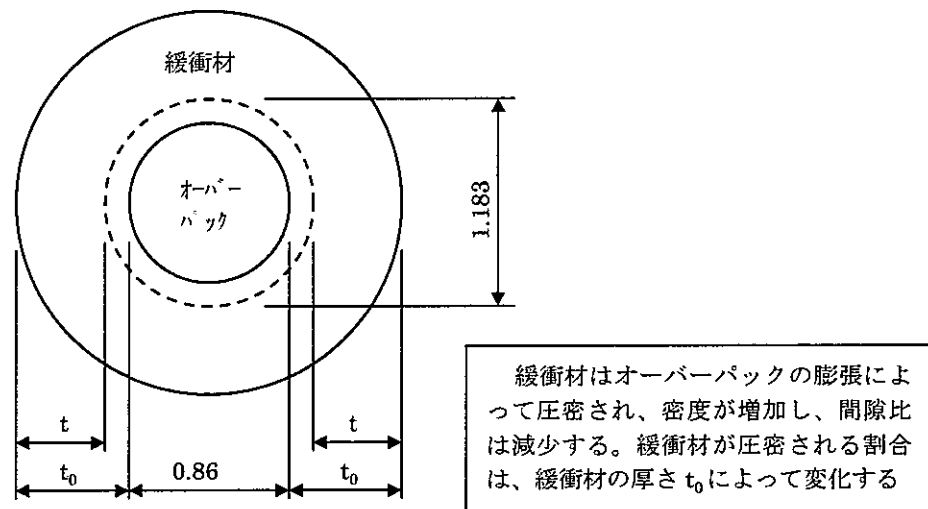


図-4.1.1.9 オーバーパックと緩衝材の概要

オーバーパック腐食膨張後における緩衝材の密度と間隙比は、緩衝材の体積が減少する割合から計算することができる。

緩衝材の密度がオーバーパックの腐食膨張によって真密度 2.7 に達するような緩衝材厚さは 34 (cm)、緩衝材の間隙比がオーバーパックの腐食膨張によって0になるような緩衝材厚さは 33 (cm)となる。以上から、

- 緩衝材の比重がベントナイト粒子の真比重に達しない
- 緩衝材の間隙比が0にならない

ための緩衝材の必要厚さは 34cm 程度であるといえる。

1)動力炉・核燃料開発事業団:緩衝材の特性試験(I)、PNC TN8410 92-057,1992.3

ii) FEM解析による評価

FEM解析による解析対象の現象の整理とそのモデル化は、

「平成8年度設計研究 人工バリアの構造力学解析評価」

と同じ方法を用いて以下の検討を行った。

<検討課題>

平面ひずみモデルを用いた緩衝材厚さの影響評価

軸対称モデルを用いたオーバーパック隅角部の安定性

なお、平成8年度設計研究と今回の検討で、解析条件を変更した主な点は以下の通りである。

<解析条件の主な変更点>

オーバーパックの大きさ： $\phi 84\text{cm}$ （平成8年度の解析条件  $\phi 104\text{cm}$ ）

緩衝材の厚さ：30cm、60cm、98cm（平成8年度の解析条件 98cm）

オーバーパックの単位体積重量：6.68t/m<sup>3</sup>（平成8年度の解析条件 7.24 t/m<sup>3</sup>）

腐食膨張量：体積3倍（平成8年度の解析条件 体積2倍）

7) 緩衝材厚さの影響評価

a. シナリオの想定

処分場の建設から閉鎖後までの各段階を通じて、ニアフィールドに起こる現象とその影響を解析評価するためのシナリオを時系列的に示すと、以下の項目が定される。

- ① 処分場の建設前、 ② 処分坑道の掘削、 ③ 処分坑道の掘削～人工バリアの設置
- ④ 人工バリアの設置：T=0年と設定、 ⑤ 緩衝材の再冠水：T=0～100年程度
- ⑥ オーバーパックの腐食膨張：T=100年程度以降

b. 解析評価の考え方

今回は、平成8年度に引き続き、長期間にわたって様々な外力・内力の影響を受ける緩衝材の、人工バリア材として期待される機能を保持するために必要な構造力学的安定性を検討することを目的に、解析評価を行う。

廃棄体の定置方式は坑道横置、人工バリア材は炭素鋼オーバーパック、ベントナイト緩衝材（クニゲルV1）、岩盤は結晶質岩を対象とした。また、動燃事業団殿からの指示により、オーバーパックの直径は84cm、緩衝材の厚さは60cmとする。なお、動燃事業団殿が現在取得している緩衝材物性値の内、解析に必要な物性値が揃っている「乾燥密度 1.6

g/cm<sup>3</sup>」を基本仕様とする。尚、不飽和状態の緩衝材の長期圧密・クリープデータは不十分なため、緩衝材は完全飽和状態にあるものとして解析評価を行った。

### c. 解析条件

#### a) 評価対象の現象と解析上の取り扱い方

荷重条件は、掘削、オーバーパック重量、緩衝材の膨潤、オーバーパックの腐食膨張の4項目に分けられる。このうち、最も影響が大きな荷重項は、オーバーパックの腐食膨張であると予想され、この挙動のモデル化が最も重要となる。

一方、変形挙動は、坑道掘削に伴う岩盤のクリープ変形、緩衝材の圧密、岩盤の圧縮、緩衝材と岩盤のクリープ変形に大きく分けられる。圧縮とクリープ変形は、各々弾塑性モデルと弾粘性モデルで表現できる。弾粘塑性モデルであれば、性質上その両者の特性を考慮したモデル化が可能である。しかし、一般的に認められた弾粘塑性解析コードで、上記の荷重条件すべてを、特に腐食膨張を表現できるようなものは現状ではないのが現状であろう。そのため、今回の解析検討ではオーバーパック重量、緩衝材の膨潤、オーバーパックの腐食膨張の複数の荷重条件に重点を置き、弾塑性モデルを用いて緩衝材、岩盤の圧密・圧縮挙動の解析を進めた。以下各々の荷重の時間的な取り扱い方について示す。

#### ①緩衝材の膨潤：

- ・緩衝材の設置時(T=0年)に、膨潤圧(1MPa)に相当する内圧を作用させる。これは、緩衝材の圧密試験結果より見かけ上、膨潤圧(1MPa)以上の圧密降伏応力を示しており、しかも圧密降伏応力以下の変形は除荷試験で得られる膨潤曲線に比べても非常に小さい特性を考慮してモデル化したものである。

#### ②オーバーパックの自重

- ・オーバーパック設置時(T=0年)に、物体力としてオーバーパックをモデル化した要素に作用させた。

#### ③オーバーパックの腐食膨張挙動

- ・炭素鋼の腐食速度 0.02mm/年、緩衝材の完全飽和T=100年以降、10,000年間(10,100年後)要するものとした。
- ・体積が3倍となるものとして、半径方向の15.55cmの膨張量を想定した。
- ・腐食膨張挙動は、想定した体積膨張が生じるようにオーバーパックに温度荷重を与えて熱膨張を発生させて模擬した。オーバーパック部分の線膨張係数を  $10.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  上昇温度Tを 26,617 $^{\circ}\text{C}$ とした。

④緩衝材の圧密変形

・緩衝材を弾塑性体（修正 Cam-clay モデル）でモデル化し、岩盤外周部を排水境界とする非定常圧密解析を行った。

b) 構成モデル：オーバーパック：弾性体

緩衝材：弾塑性体（修正 Cam-clay モデル）

岩盤：（結晶質岩）弾性体

c) 解析コード：『ABAQUS』

d) 解析モデル：2次元平面ひずみ条件

e) 物性値：現在動燃事業団殿で取得している緩衝材の試験データを解析物性値として用いた。物性値を表-4.1.1.4 に示す。

表-4.1.1.4 解析に用いる物性値（複合現象：ABAQUS）

対象	項目	単位	定数	出典、備考他	
オーバーパック	弾性係数 E	MPa	$2.1 \times 10^5$	A	
	ポアソン比 $\nu$		0.3	A	
	単位体積重量 $\gamma$	t/m <sup>3</sup>	6.68	D	
緩衝材	土粒子骨格	弾性 圧縮指数 $C_c$		0.261	B
		塑性 膨潤指数 $C_s$		0.108	B
		性 限界状態パラメータ M		0.55	C
		ポアソン比 $\nu$		0.4	A
		初期間隙比 $e_0$		0.73	B
		先行圧密時の静止土圧係数 $K_0$		1.0	
		初期	現在の静止土圧係数 $K_i$		1.0
		初期有効応力 $\sigma_i$	MPa	1.0	正規圧密状態
	間隙水	単位体積重量 $\gamma$	t/m <sup>3</sup>	1.0	
		透水係数 k	m/s	$3 \times 10^{-13}$	A
初期全水頭 H			0	線形 空洞内静水圧	
岩盤	結晶質岩	単位体積重量 $\gamma$	t/m <sup>3</sup>	2.7	A
		弾性係数 E	kPa	$3 \times 10^7$	A
		ポアソン比 $\nu$		0.2	A
		透水係数 k	m/s	$10^{-8}$	A

〔出典〕 A：H3レポート

B：PNC 圧密試験結果の e-logP 曲線より算出

C：PNC 圧密非排水（CU）三軸圧縮試験結果の  $\phi'$  を用いて

$$M = 6 \sin \phi' / (3 - \sin \phi') \text{ より算出}$$

D : H3 レポートを参考にオーバーパック寸法を考慮して算出

H8 年度研究ではH3 レポートを参考に  $7.24t/m^3$  を使用

f) 境界条件

①岩盤外周の変位を拘束、②対称軸のX方向変位を拘束、岩盤外周より排水

g) 解析ケース

オーバーパックの大きさは同じで、緩衝材厚さが 30cm, 60cm, 98cm と異なる合計3 ケースとする。なお、岩盤は結晶質岩を対象とした。

h) 評価期間

今回の解析では、粘性項は無視しているため、非定常現象として圧密現象の収束が確認できる期間を対象とした。すべての荷重の载荷が終了するのが 10,100 年後であるため、解析対象は人工バリア定置からその後 11,000 年までとした。

e. 緩衝材の厚さの影響解析結果

腐食膨張終了後の緩衝材の間隙比の分布状態を図-4.1.1.10~12 に示す。緩衝材厚さが薄いほどの緩衝材の間隙比は小さくなっている。また、腐食膨張終了後の間隙比は、オーバーパックに近いほど小さい傾向を示すとともに、緩衝材厚さが小さくなると、緩衝材の間隙比の差異も小さくなっている。

図-4.1.1.13 には、オーバーパック直下の緩衝材要素における初期状態から腐食膨張終了後まで応力状態の変化を  $p-q$  面上で示した。緩衝材の厚さに関わらず腐食膨張の発生とともに、 $p$ 、 $q$  が大きくなる。オーバーパック腐食膨張終了後の応力状態は、緩衝材の厚さが小さいほど、 $p$ 、 $q$  とも大きくなるものの、図中に示したCSL (限界状態) から離れる方向となっていることがわかる。



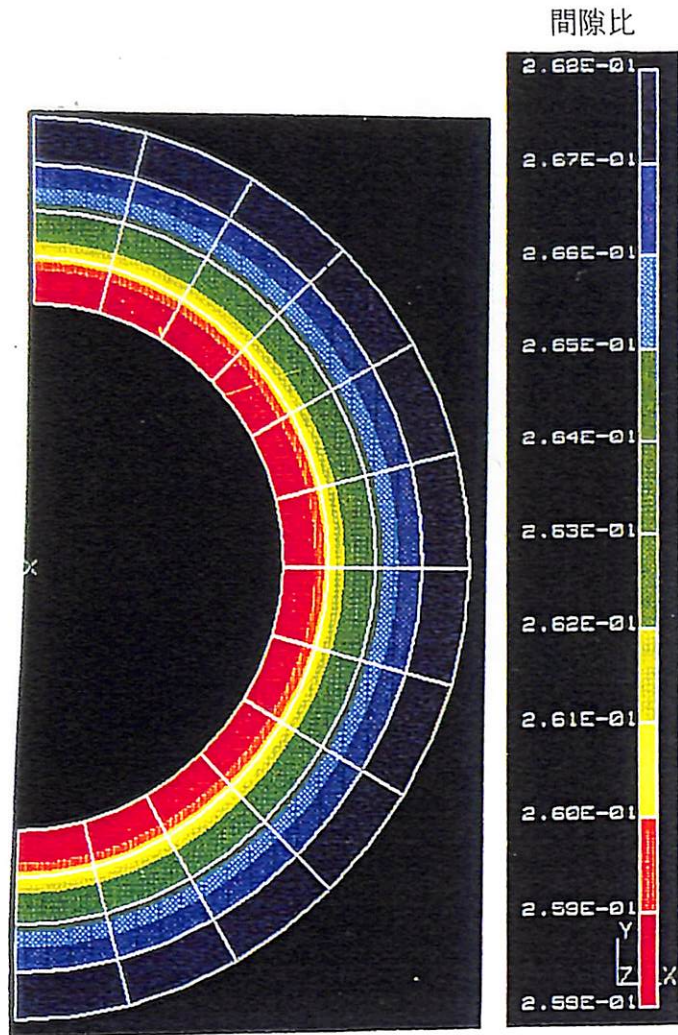


図-4.1.1.10 間隙比分布 (緩衝材 30cm)

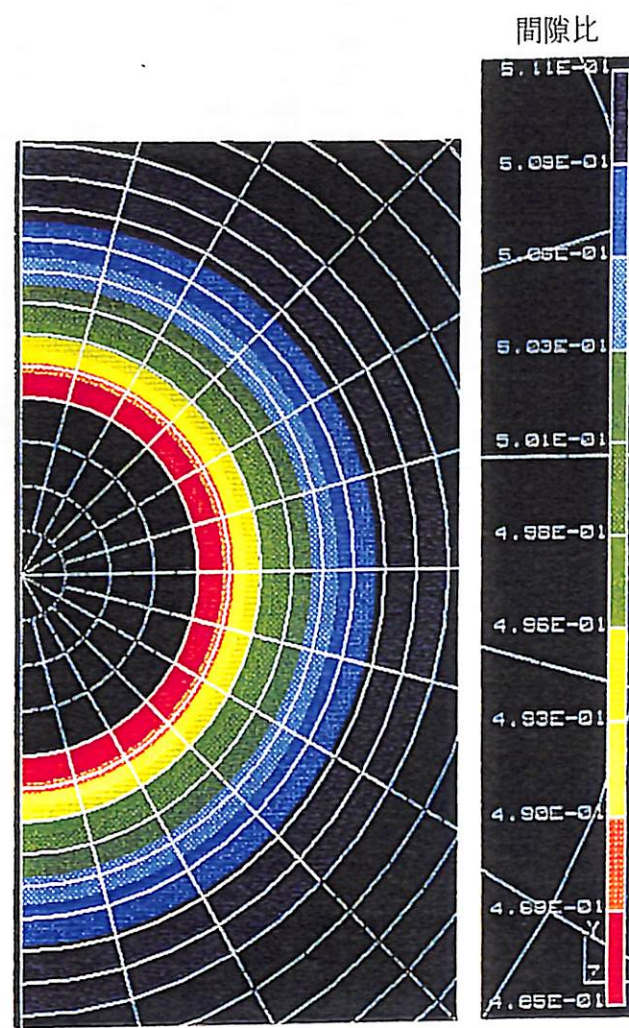


図-4.1.1.11 間隙比分布 (緩衝材 60cm)

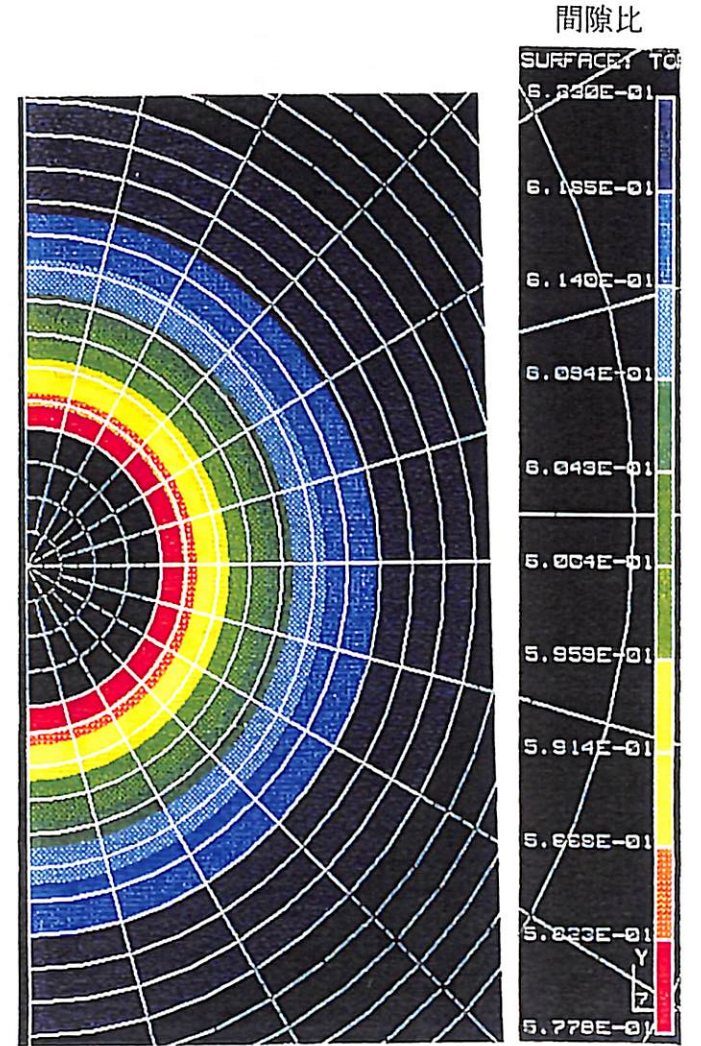


図-4.1.1.12 間隙比分布 (緩衝材 98cm)



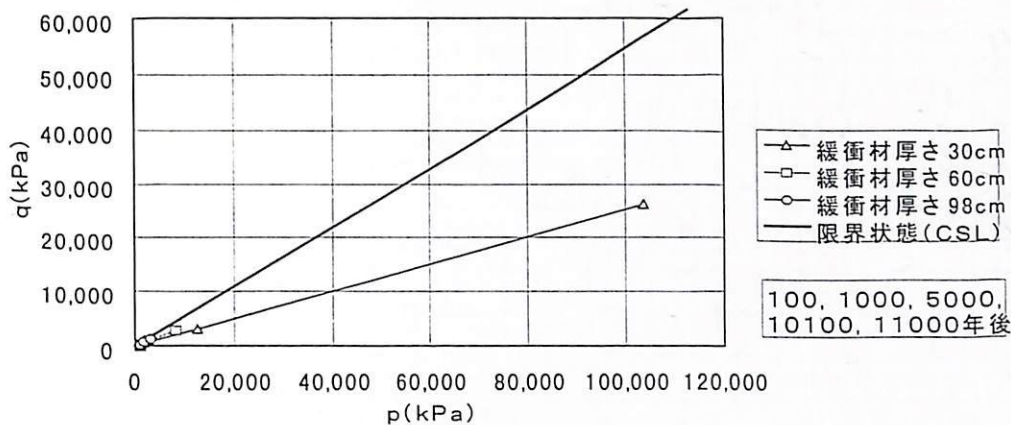


図-4.1.1.13 応力経路

i) オーバーパック隅角部の安定性の検討

a. 解析対象

オーバーパックの腐食変形は、ほぼ相似的な形状で膨張が生じると考えると、隅角部の変形が一番大きくなる。そこでオーバーパック隅角部周辺をモデル化して緩衝材の安定性を検討した。緩衝材厚さの影響を考慮した先の検討断面（2次元平面ひずみモデル）では、隅角部の状況はモデル化できないことから、軸対称モデルを用いて検討した。

b. 解析条件

解析条件、材料定数は、基本的には先の平面ひずみ条件で緩衝材の厚さの検討を行ったものと同様の値を用いた。解析ケースは、緩衝材厚さが60cmおよび100cmの2ケースである。解析に用いたオーバーパックに与える上昇温度は、腐食膨張の方向性の自由度が上がることを考慮して、なおかつ半径方向への変形を平面ひずみ条件と同じ15.55cmの膨張量を模擬するため、上昇温度  $T = 37853^{\circ}\text{C}$  を用いた。物性値は、平面ひずみ状態での緩衝材厚さの検討と同じく、現在動燃事業団殿で取得している緩衝材の試験データを解析物性値として用いた。

c. 解析結果

図-4.1.1.14 に、11000年後の変形ベクトルを示した。変形の最大値は緩衝材の異なる両ケースともオーバーパックの隅各部で現れ、その値は37.6cmである。

図-4.1.1.15 は、11000年後の応力比の分布を示したものである。応力比の最大値は、オーバーパック隅角部近傍で生じているが、最大応力比は限界状態に比べて小さく、一般的な破壊状態には至っていないと考えられる。

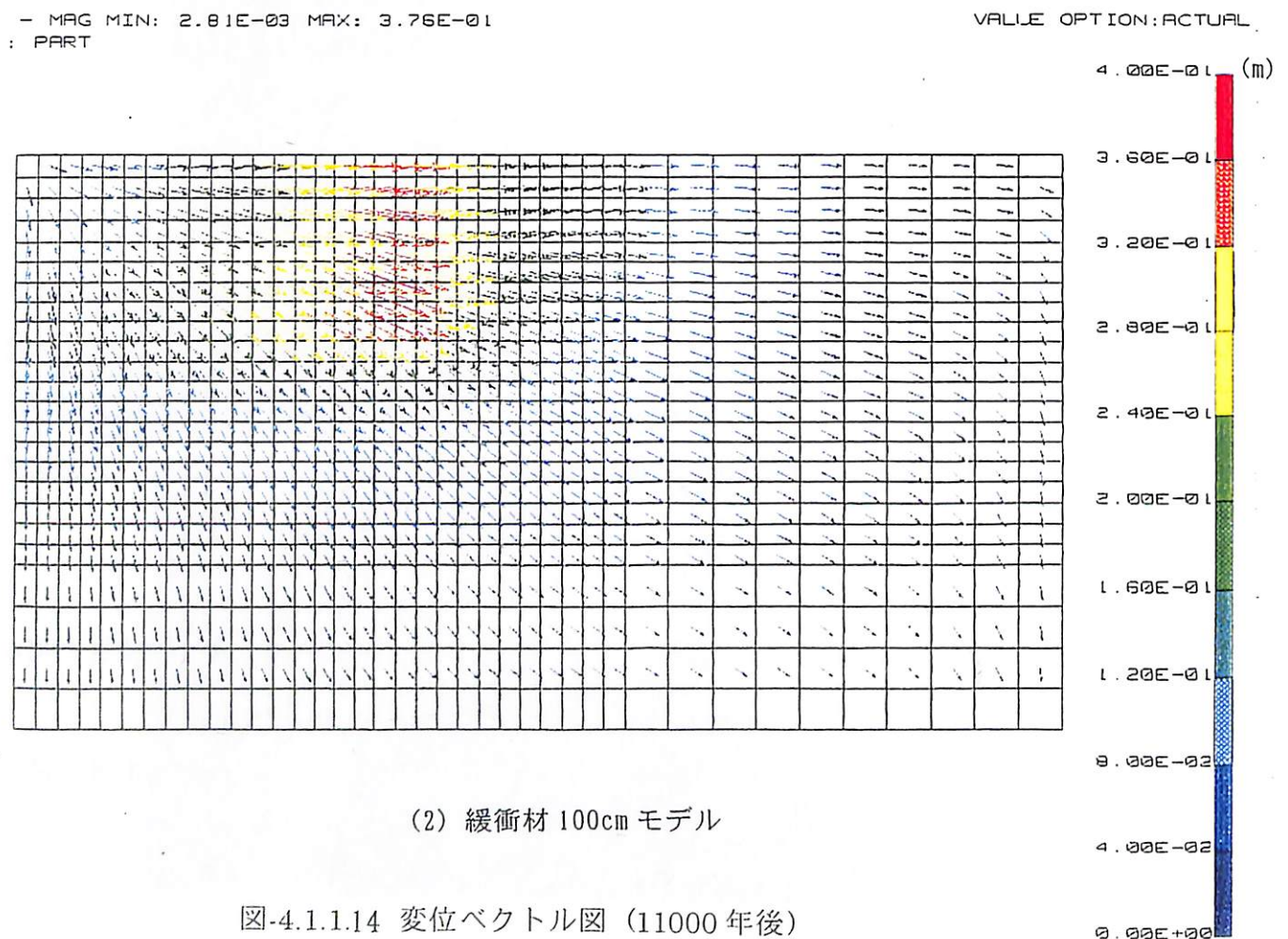
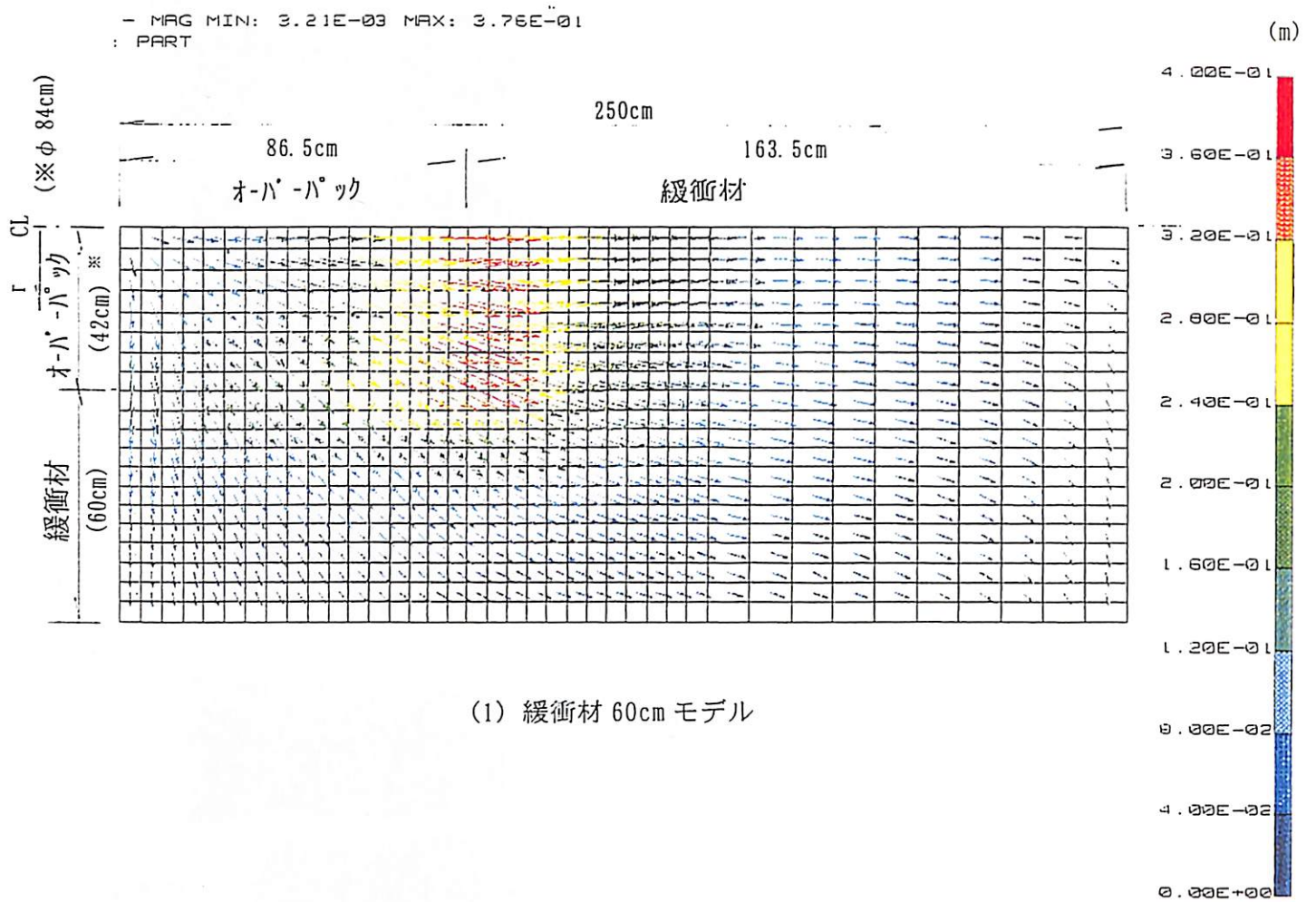
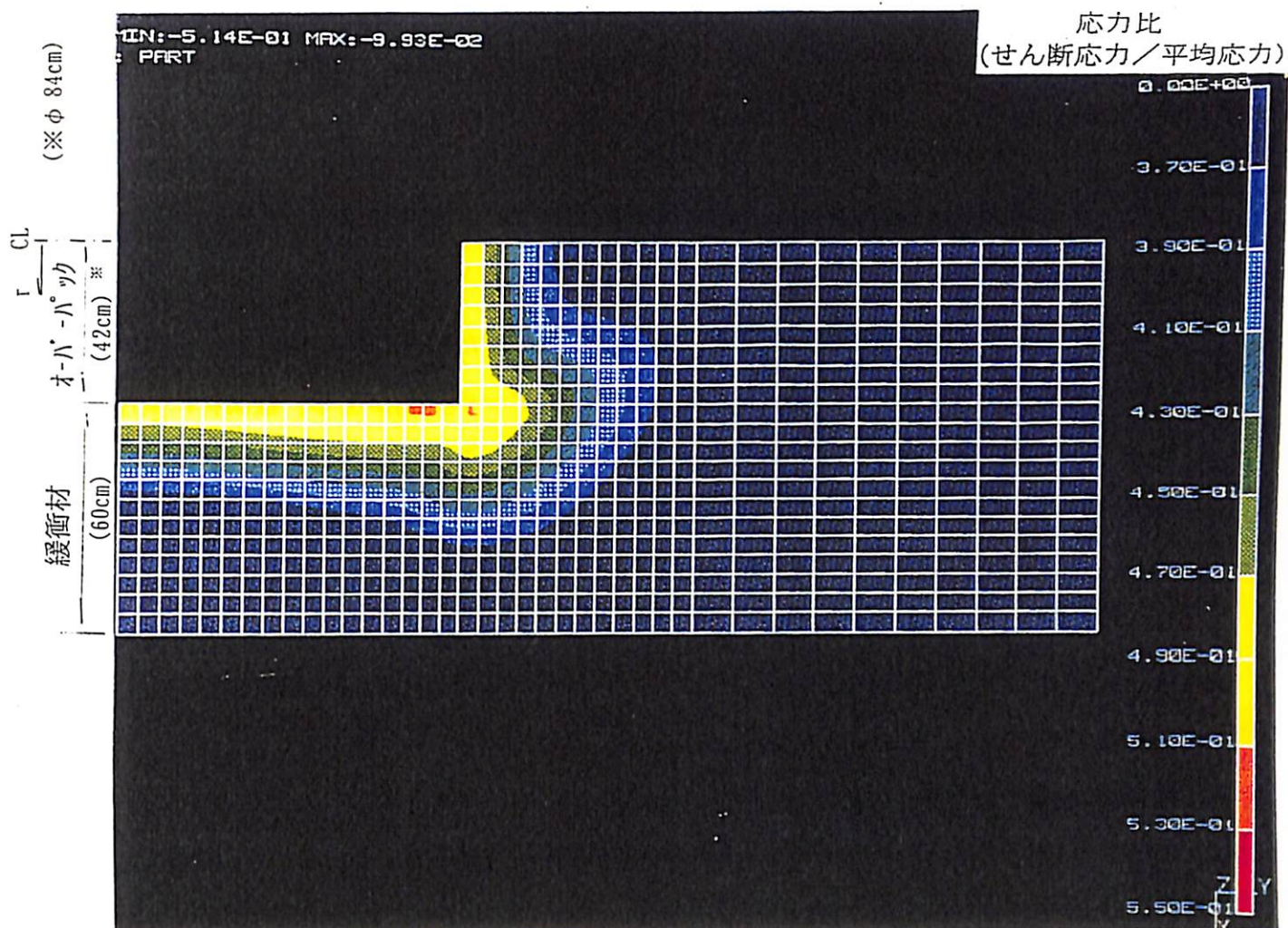
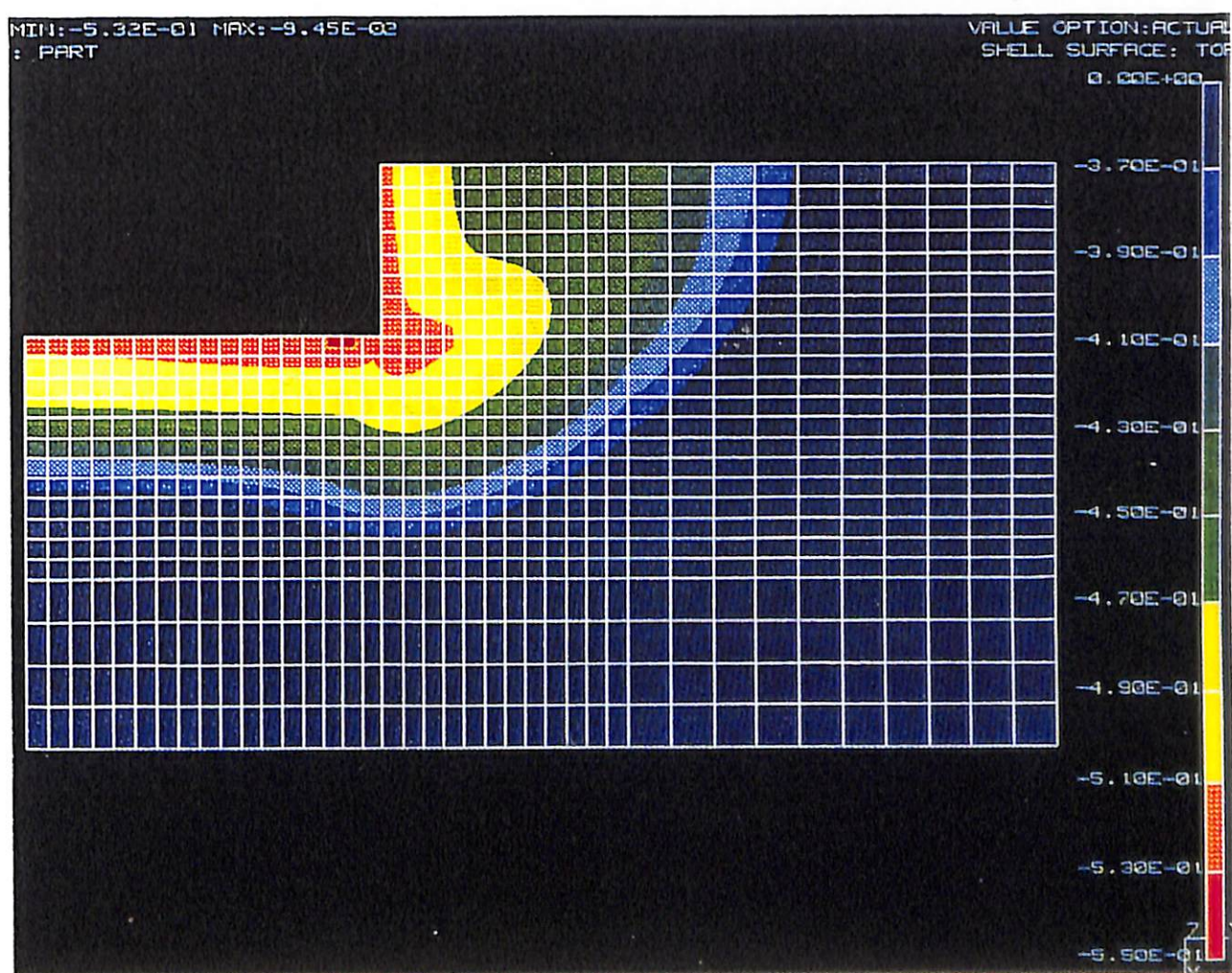


図-4.1.1.14 変位ベクトル図 (11000 年後)





(1) 緩衝材 60cm モデル



(2) 緩衝材 100cm モデル

図-4.1.1.15 応力比分布 (T=11000 年)



#### (d)地圧回復時の緩衝材の力学的安定性

##### ア) FEM解析条件

偏圧載荷状態での緩衝材の安定性を ABAQUS を用いた平面ひずみモデルで検討した。

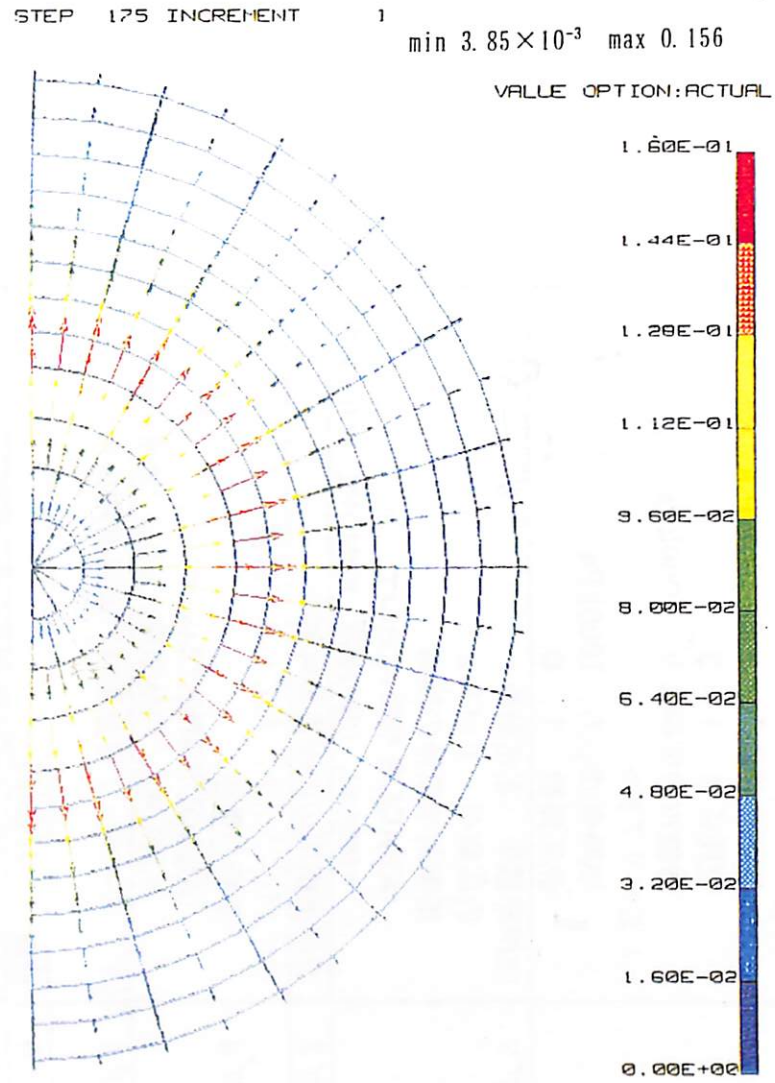
周辺岩盤も含めた解析モデルでは、岩盤部によるアーチ作用が生じ、緩衝材に偏圧が直接載荷された状態とはならないと考えられることから、ここでの解析では、緩衝材の周辺岩盤を除いた範囲をモデル化し、緩衝材周辺から偏圧相当荷重を載荷する方法で解析を行った。なお、物性値については、紙面の都合上割愛する。

解析ケースは、偏圧の条件 ( $K_0$  値) を  $K_0 = 1, 1.3, 2.0$ 、地圧回復時間を 100 年として 3 ケース、 $K_0 = 1.3$  の場合について、地圧回復時間を地圧載荷直後からは 100 年の間で 6 ケース、合計 9 ケース設定して解析を行った。

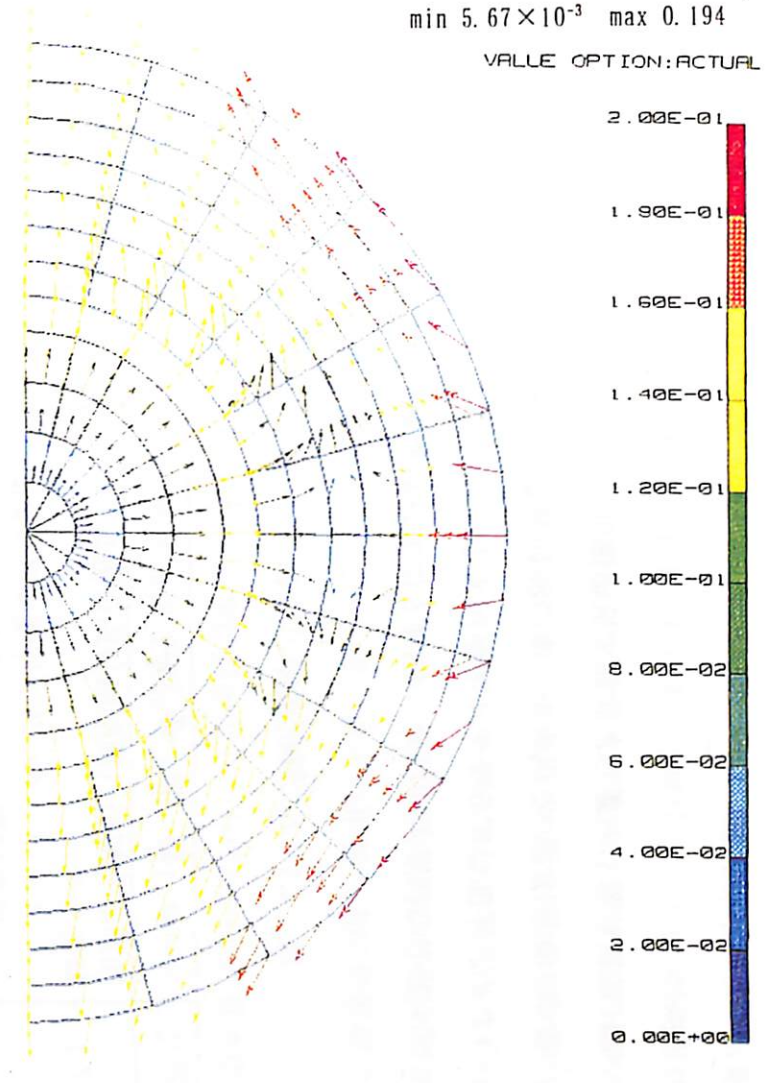
##### イ) 解析結果

図-4.1.1.16 は、オーバーパック腐食膨張終了・圧密終了後の変形ベクトルである。 $K_0 = 2$  の場合は、計算途中で発散して計算できなかった。 $K_0 = 1$  の場合には、オーバーパックの腐食膨張方向がそのまま緩衝材の変形として押し戻された状態ですべて外周方向に向いた状態となっている。そのため 100 年後同様特に局所的な変形は現れていない。これに対して、 $K_0 = 1.3$  のケースでは、オーバーパック周辺ではオーバーパックの腐食膨張の影響で外周方向に変形が生じるものの、緩衝材外周付近では、よくに押し込まれ上下に逃げようような変形が認められている。

また、 $K_0 = 1.3$  で地圧回復時間を変化させた場合の解析結果では、地圧回復時間が小さいほど変形量は大きく、地圧回復時間=0.3 日、5 年など短いケースでは実質破壊する結果が得られた。これは、地圧回復による載荷荷重によって圧密が終了するには、先の解析結果から 10 年前後必要で有るため、圧密して強度が増加する前に大きな偏圧が作用する状態になっていることが、この結果となっている原因と考えられる。このように、偏圧の回復を考える場合には、回復時間の設定が、安定検討上重要であることがわかる。



(1)  $K_0=1.0$



(2)  $K_0=1.3$

図-4.1.1.16 変位ベクトル (11000年後)

(3) 複合現象の解析評価

(a) 解析条件

初期の偏圧载荷状態も考慮した状態で坑道掘削からオーバーパック腐食膨張までの今回の検討の中で対象としている現象を一連の流れとして ABAQUS を用いたモデル化手法の検証を行うため、平面ひずみモデルで検討する。

解析モデルとその初期条件は表-4.1.1.5 にまとめて示した。

表-4.1.1.5 解析条件

ステップ	解析条件	備考
ステップ1	初期応力解析 (掘削部分周辺固定) 解析モデル オーバーパック : 外径 $\phi$ 84 cm 緩衝材厚さ : 60 cm 岩盤厚さ : 15 D (4.2 m)  <岩盤部> 初期有効応力 16.0 MPa 側圧係数 1.2 岩盤内空間部より 1000kPa <人工バリア部> 初期有効応力 1000kPa 側圧係数 1.0	掘削過程
ステップ2	空洞部掘削 (定常解析) 内圧载荷 1 MPa 掘削対象要素の除去 (ABAQUS 解析において *MODEL CHANGE、REMOVE 命令を利用)	
ステップ3	空洞掘削周辺の固定条件解除	
ステップ4	オーバーパック、人工バリア設置 要素の復活 (ABAQUS 解析において *MODEL CHANGE、ADD 命令を利用)	オーバーパック設置 (自重载荷)
ステップ5	オーバーパック自重载荷 (非定常解析)	
ステップ6	放置 (~100年)	
ステップ7	オーバーパック腐食膨張(10,000年間) (熱荷重入力 : 100~10,100年)	オーバーパック腐食膨張 (100年~10100年)
ステップ8	放置 (10,100年~11,000年)	放置

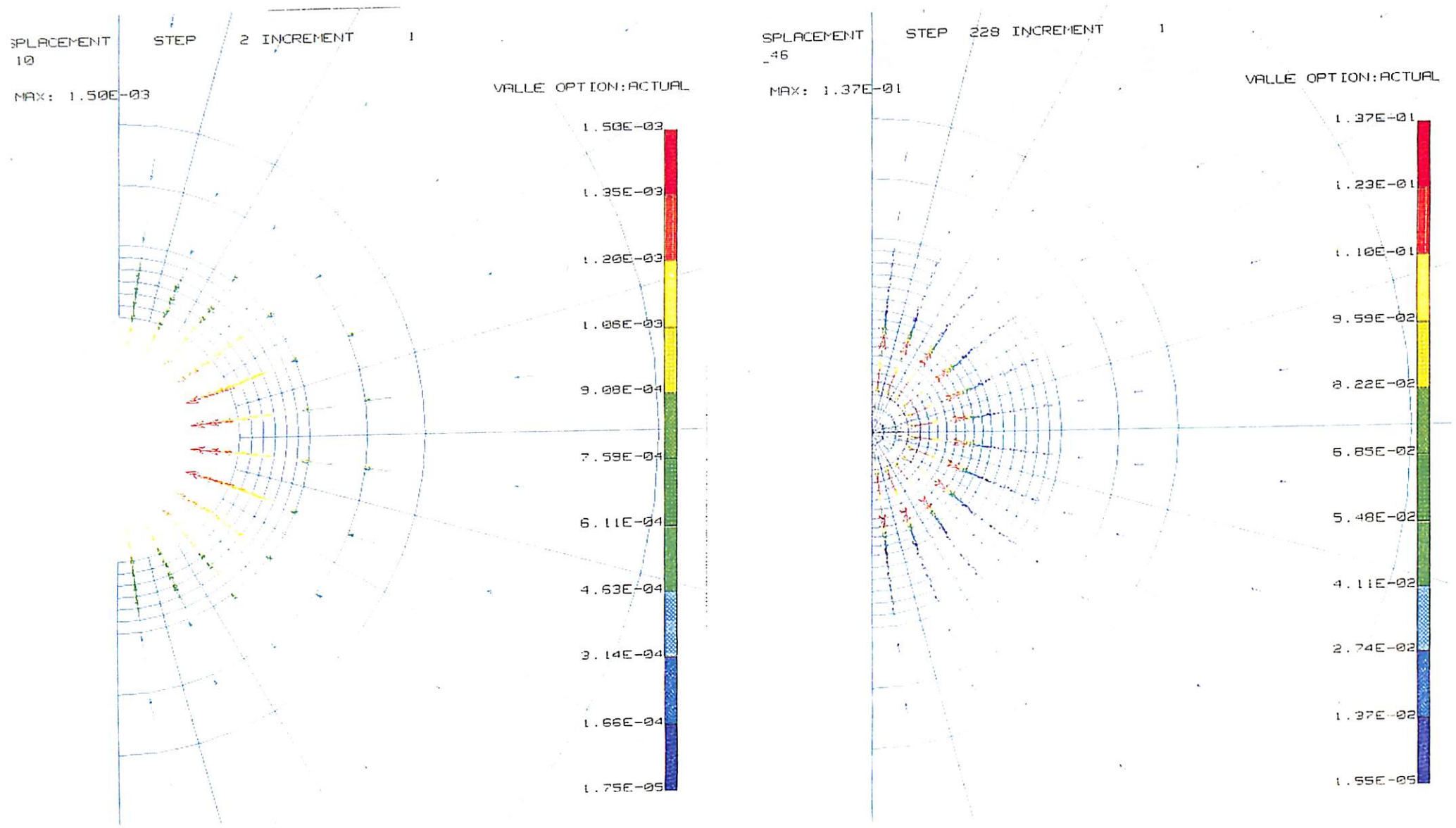
(b) 解析結果

図-4.1.1.17 に掘削直後と解析終了時11000年後の変位ベクトルを示す。

掘削直後は、ほぼ掘削部中心に向かって岩盤部が変形しており、その変形量の最大値は1.5mmと小さい。11000年後の変形状態は、オーバーパックの腐食膨張の影響で緩衝材は外周部に向かって圧縮された状況となっている。両者とも偏圧1.2を再現しているものの、先の偏圧のみの载荷による解析結果に比べて、極端に上下方向に変形する状況は認められず、ほぼ等方圧状態と同様の変形状態を示している。偏圧の影響が主に岩盤部で受け持たれ、緩衝材には大きな影響を与えていない結果と考えられる。

図-4.1.1.18 は、解析終了後の応力比の分布状態を示したものである。最大応力比は、これまでの解析同様にオーバーパック外周部ほぼ全周で生じ、特に局所的に応力比が増大している箇所は発生していない。





(1)掘削直後 (内圧 1000 k P a)

(2) 11000 年後

図-4.1.1.17 変位ベクトル

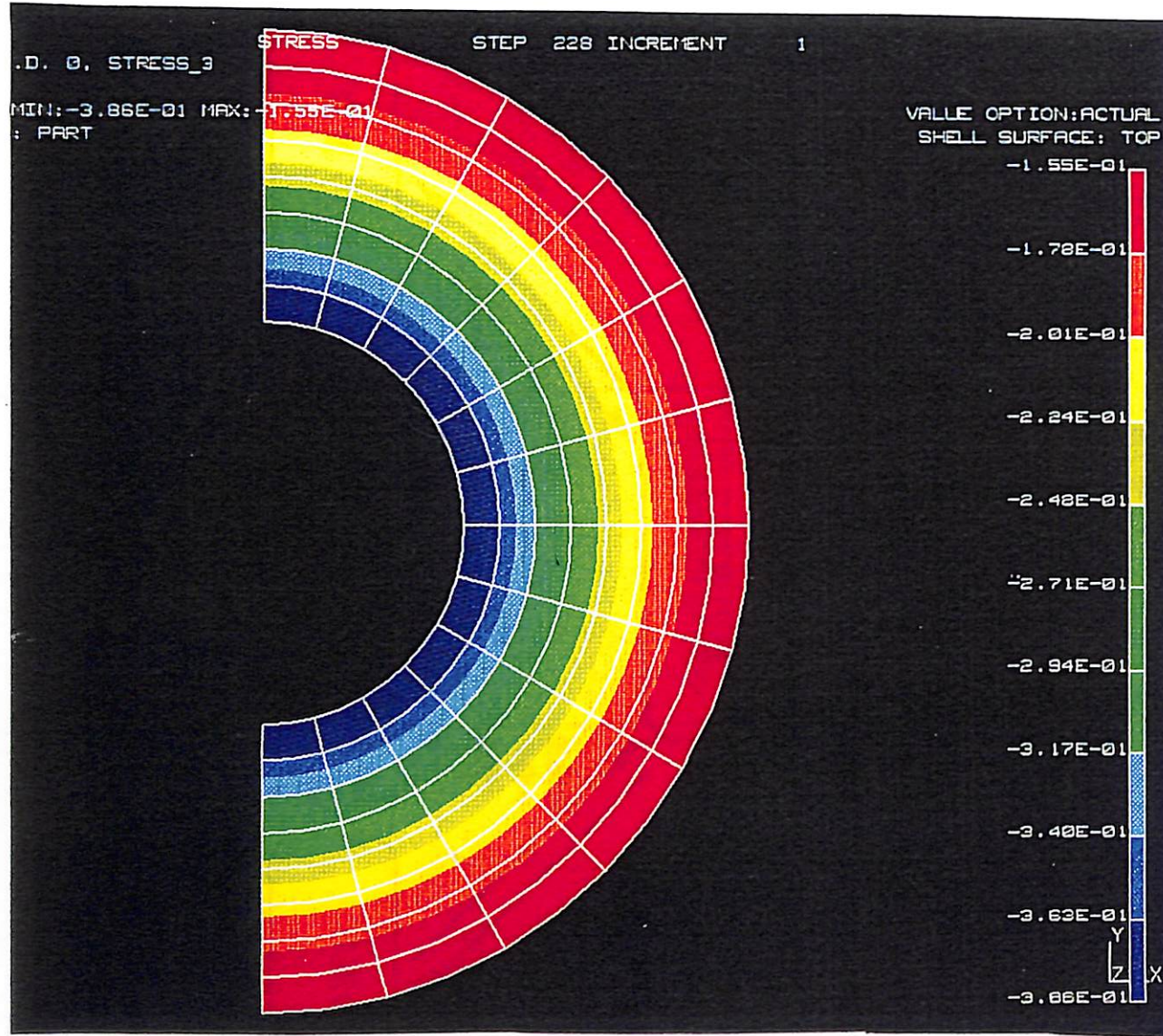


図-4.1.1.18 応力比の分布 (11000 年後)

#### 4.1.2 熱-水-応力連成解析

##### (1) 概要

高レベル放射性廃棄物の地層処分における廃棄体定置後のニアフィールドでは、廃棄体からの放熱、周辺岩盤から人工バリアへの地下水の浸入、地下水の浸入による緩衝材の膨潤圧の発生、周辺岩盤の地圧変化などの現象が相互に影響することが予想される。このような、熱-水-応力連成現象を評価することは、ニアフィールド環境の明確化の観点から重要な課題の一つである (Jing, L. et al., 1996)。

##### (2) 熱-水-応力連成コードの支配方程式

用いる解析モデルは、熱-水-応力連成コード (Ohnishi, Y. et al., 1985) に、不飽和粘土中の水分拡散、温度勾配による水分移動、浸潤に伴う膨潤圧を考慮した連成モデルである (千々松正和ほか, 1995)。連成モデルの概念を図-4.1.2.1に示す。\*の部分が緩衝材の解析用に考慮した部分である。

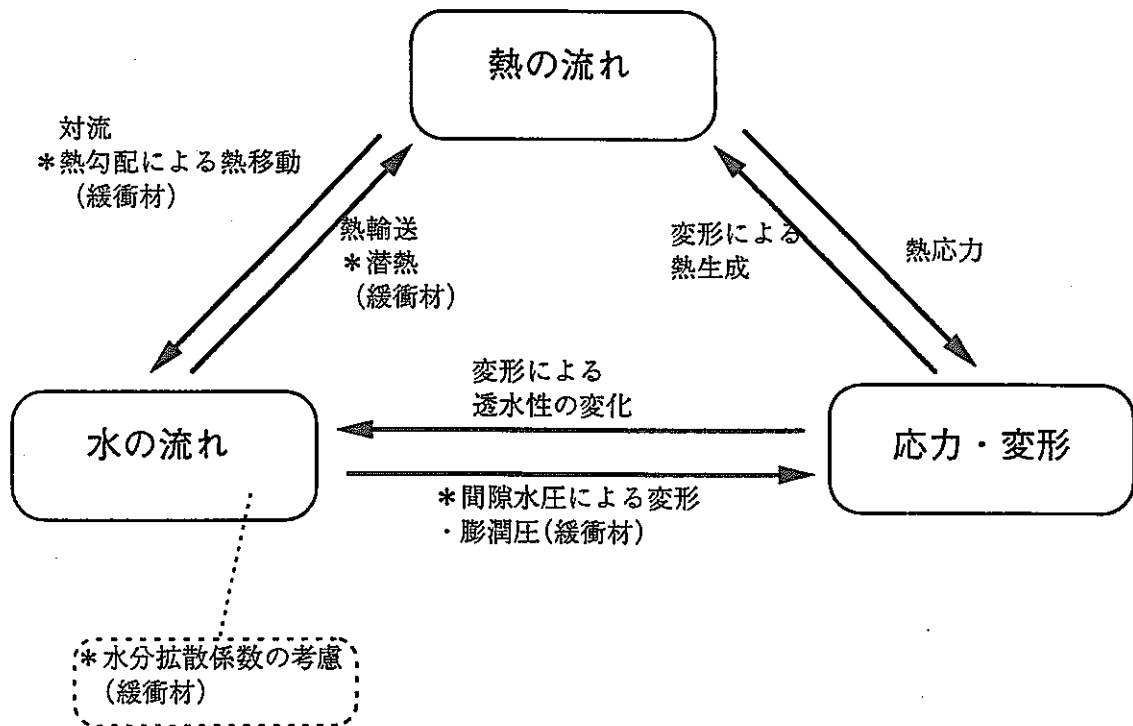


図-4.1.2.1 連成解析での相互作用の概念

支配方程式としては、応力の釣り合い式、地下水の連続式、エネルギー保存式の3つを用い、これらを変位、全水頭、温度に関して解くことになる。

### (3) 解析条件

#### 1) 解析ケース

解析は結晶質岩系、堆積岩系のそれぞれについて1ケースずつ実施する。

#### 2) 解析モデル

解析は処分坑道横置方式について実施し、解析モデルは2次元平面モデルとする。解析モデルの概念図を図-4.1.2.2に示す。処分深度は堆積岩系岩盤の場合は500m、結晶質岩系岩盤の場合は1000mとする。また、側方領域は熱解析の際に設定された坑道離間距離(5.5m)とする。

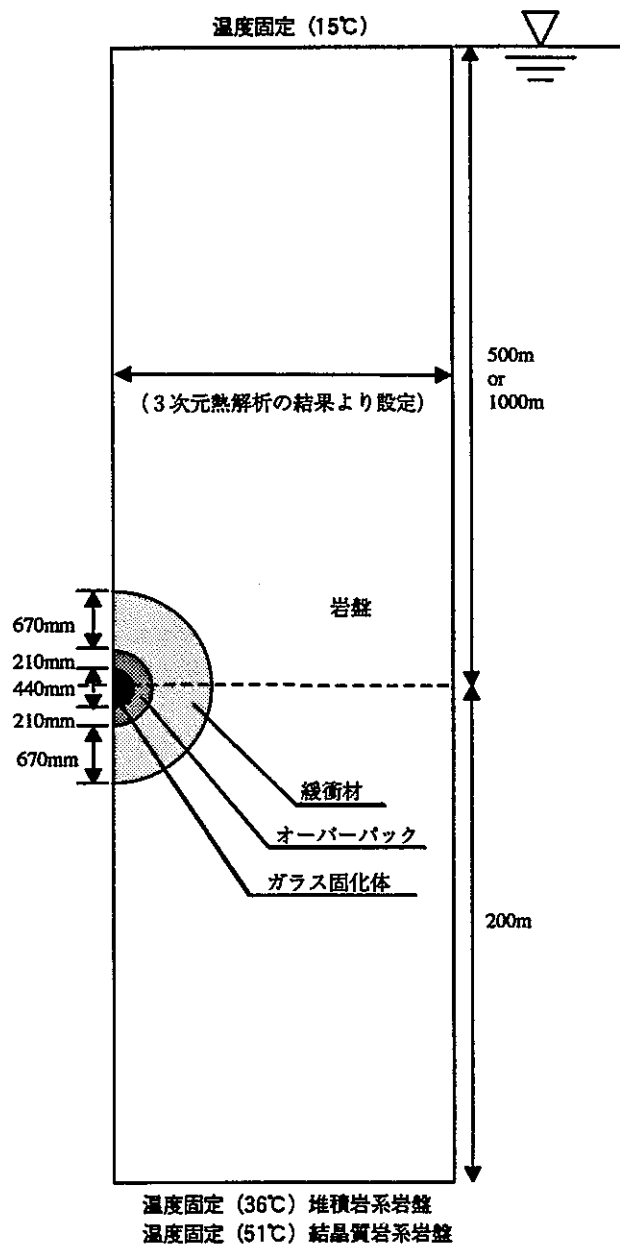


図-4.1.2.2 解析モデル概念図

### 3) 解析条件

熱的初期条件としては、地表面の温度を 15℃とし、深度方向に 3℃/100m の温度勾配を与えた。熱的境界条件については、地表面を 15℃、モデル底面を堆積岩系岩盤の場合は 36℃、結晶質岩系岩盤の場合は 51℃の温度固定境界とし、側面は断熱境界とする。

水理的初期条件は、地表面に地下水面のある静水圧状態とした。そして、処分坑道掘削 5 年後に廃棄体、緩衝材を定置することとした。処分坑道掘削後は坑道面を大気圧で固定した。また、緩衝材設置時の初期含水比は 10.0%とした。

### 4) 廃棄体の発熱特性

3次元の熱解析の結果得られたオーバーパック表面の温度の経時変化を境界条件として与えることとした。

### 5) 解析物性値

解析に用いる物性値のうち、不飽和水分特性曲線、温度勾配による水分移動に関する係数および膨潤応力に寄与する係数は室内で実施された要素試験の結果から逆解析的に設定した。以下に概要を示す。

#### (i) 不飽和水分特性曲線の設定

動燃事業団により求められた水分拡散係数の関数式（鈴木英明ほか，1996）を用い、異なる温度場で実施された浸潤試験の解析を行い、測定結果を再現できるような不飽和水分特性曲線を設定した。不飽和水分特性としては van Genuchten による関数モデルを適用し、浸潤試験の測定結果、および、実測の水分ポテンシャル値  $\psi$  [cm] を再現できるように設定した（van Genuchten, M., 1980）。

#### (ii) 温度勾配による水分移動に関する係数の設定

ここでは、温度勾配による水分移動を表現するパラメータである  $D_T$  の値については L. Borgesson らによって行なわれた温度勾配下の水分移動実験結果（Borgesson, L et al., 1994）を用いて、温度の関数として与えた。

#### (iii) 膨潤応力に寄与する係数

供試体内部において膨潤圧が発生したときに拘束境界面に作用する応力をここでは膨潤応力と定義する。膨潤応力の値はベントナイトの微視的構造による影響等により膨潤圧とは必ずしも等しくならない（中野政詩ほか，1984）。

したがって、膨潤応力に寄与する膨潤圧  $\pi'$  は、膨潤圧  $\pi$  にある係数  $F$  を乗じた次式で

表わされるとし、既往の研究結果に基づき、この係数  $F$  の値は、0.0375 とした。

(iv) その他の解析物性値

緩衝材の比熱、熱伝導係数、および、弾性係数は動燃事業団殿が実施した試験結果より、次式のように含水比の関数として与えた（藤田朝雄ほか，1992）（鈴木英明ほか，1992）。

$$\text{比熱 [kJ/(kg}\cdot\text{K)]} \quad : C = (100.0 + 4.2\omega)/(100.0 + \omega) \quad (4.1.2.1)$$

$$\text{熱伝導率 [W/(m}\cdot\text{K)]} \quad : \lambda = 0.675\omega + 0.365 \quad (4.1.2.2)$$

$$\text{弾性係数 [MPa]} \quad : E = 58.74 - 1.87\omega \quad (4.1.2.3)$$

ここで、 $\omega$  は含水比[%]である。また、その他の物性値に関しては表-4.1.2.1 に示すものを用いた。

表-4.1.2.1 解析に用いた物性値一覧

物性値	ガラス固化体	オーバーパック	緩衝材	岩盤	
				結晶質岩系	堆積岩系
弾性係数 [Mpa]	$8.2 \times 10^4$	$2.0 \times 10^5$	式 (26)	$3.5 \times 10^4$	$2.8 \times 10^3$
ポアソン比 [-]	0.3	0.3	0.3	0.25	0.26
密度 [g/cm <sup>3</sup> ]	2.80	7.80	1.90	2.70	2.20
固有透過度 [m <sup>2</sup> ]	$1.0 \times 10^{-30}$	$1.0 \times 10^{-30}$	$4.0 \times 10^{-21}$	$1.0 \times 10^{-15}$	$1.0 \times 10^{-15}$
比熱 [kJ/(kg·K)]	0.96	0.46	式 (24)	0.96	1.26
熱伝導率 [W/(m·K)]	1.2	53.0	式 (25)	2.78	1.88
熱膨張率 [1/K]	$1.0 \times 10^{-5}$	$1.64 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^{-5}$	$1.0 \times 10^{-5}$	$1.0 \times 10^{-5}$

(4) 解析結果

解析結果は、図-4.1.2.3 に示すポイントおよび出力ラインで比較した。



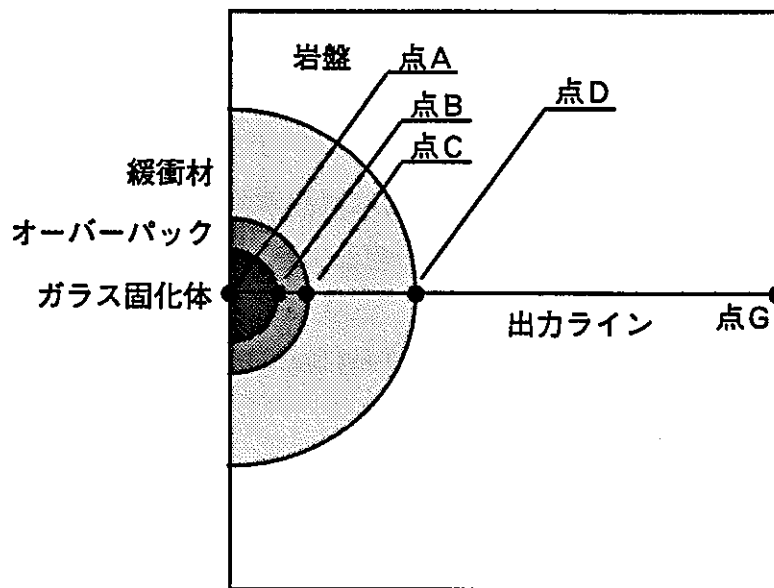


図-4.1.2.3 解析結果出力点および出力ライン

#### 1) 結晶質岩

図-4.1.2.4 には結晶質岩における人工バリア定置後の各出力点上の温度の経時変化を示す。緩衝材の外側（岩盤側）の点（図-4.1.2.3における点D）はかなり高い温度となった。熱解析の結果は緩衝材内側の点が最高温度に達した時点で緩衝材内の温度差が約20℃あるが、今回の解析ではその時点では緩衝材内の温度差はほとんど無い結果となった。ただし、温度上昇過程の定置後1年においては約20℃の温度差がついている。図-4.1.2.5 には、人工バリア定置後の出力ライン上における圧力水頭の変化を示す。同図より人工バリア定置後、岩盤内の圧力水頭は徐々に回復していることが分かる。一方、緩衝材内は定置後初期においては岩盤側で圧力が上昇しオーバーバック側で圧力が低下している。オーバーバック側で圧力が低下しているのは、温度勾配による水分移動によるものである。温度の経時変化と比較すると、緩衝材内で最も大きな温度勾配がついているのは定置後約1年であり、その時点で最も緩衝材のオーバーバック側の圧力水頭が低下している。また、解析結果から、定置後約1年後において緩衝材内側の体積含水率が最も低下していることがわかった。図-4.1.2.6 には緩衝材内の出力ライン上の体積含水率の経時変化を示す。定置後約1年後において緩衝材内側の体積含水率が最も低下していることがわかる。緩衝材内の温度はその後上昇し続け、10年後から20年後で最高温度に達している。しかし、緩衝材は1年後にオーバーバック側で最も乾燥し、その後、緩衝材内の水分は増加し続け、約6年後には飽和していることがわかる。温度上昇中に緩衝材が飽和してしまったのは、今回のモデルでは緩衝材内の温度分布が上手く再現できなかったため温度勾配による水分移動の影響が十分に表現されていないことが一因として挙げられる。

## 2) 堆積岩

図-4.1.2.7 には堆積岩における人工バリア定置後の各出力点上の温度の経時変化を示す。熱解析結果と比較すると、緩衝材の外側（岩盤側）の点（図-4.1.2.3における点D）は結晶質岩の場合と同様にかなり高い温度となった。図-4.1.2.8 には、出力ライン上における人工バリア定置後の圧力水頭の変化を示す。初期に圧力水頭 500m であったものが、掘削 5 年後でライン上の一番外側の部分では約 20m 程度まで低下している。初期の間隙水圧が低いため、全体的にも結晶質岩に比べ、かなり低い値となっていることが分かる。また、図-4.1.2.8 より人工バリア定置後、岩盤内の圧力水頭は結晶質岩の場合と同様に徐々に回復していることが分かるが、その回復の速度は結晶質岩に比べ遅い。図-4.1.2.9 には緩衝材内の出力ライン上の体積含水率の経時変化を示す。この図から、結晶質岩の場合と同様に定置後約 1 年後が緩衝材内側の体積含水率が最も低下していることがわかる。結晶質岩と比べると、緩衝材が飽和する速度は遅くなっている。堆積岩の場合は緩衝材が飽和になるまで約 12 年要している。結晶質岩と堆積岩の場合を比べると、緩衝材内の温度勾配に大きな差は無いことから、これは岩盤の圧力水頭の違いから来ると言える。すなわち、堆積岩の場合、岩盤内の間隙水圧の値が結晶質岩と比べ小さいため、緩衝材の圧力水頭上昇の速度も結晶質岩に比べ遅い結果となっている、言い換えれば、結晶質岩の方が、定置後の岩盤の間隙水圧の上昇が速く値も大きいため、より大きなドライビングフォースが働いたものと考えられる。図-4.1.2.10 には緩衝材内の緩衝材内の定置 1 年後の飽和度分布を示す。結晶質岩と同様に同心円上に水分移動が生じている。



(5) おわりに

今回、熱—水—応力連成解析モデルを用い、処分坑道横置方式（緩衝材；ケイ砂混合ベントナイト、厚さ 67cm）について 2次元平面モデルでニアフィールド熱—水—応力連成解析を行なった。結果および考察は、以下の通りである。

- 1) 人工バリア周辺の温度分布は、3次元熱解析に比べかなり高い結果となった。熱解析の結果と合わせるためには、連成解析も 3次元で実施するか、2次元の場合何らかの工夫が必要である。今回の解析では、緩衝材内に十分な温度勾配が出来なかったため、温度勾配による水分移動は過小評価となっていると考えられる。
- 2) 緩衝材の再冠水時間は結晶質岩で約 6 年、堆積岩で約 12 年となった。結晶質岩と堆積岩の違いは外側岩盤の間隙水圧の値である。今回の解析では、緩衝材外側の間隙水圧が緩衝材内の水分移動のドライビングフォースとなっていると考えられる。
- 3) 現在のところ、高い圧力下でのベントナイト内の水分移動に関する実験は実施されていない。ほとんどが、大気圧による浸潤である。実際の処分場の状況を考えた場合、高圧下の現象を把握しておくことが、ベントナイト内の浸潤挙動を把握する上で重要である。

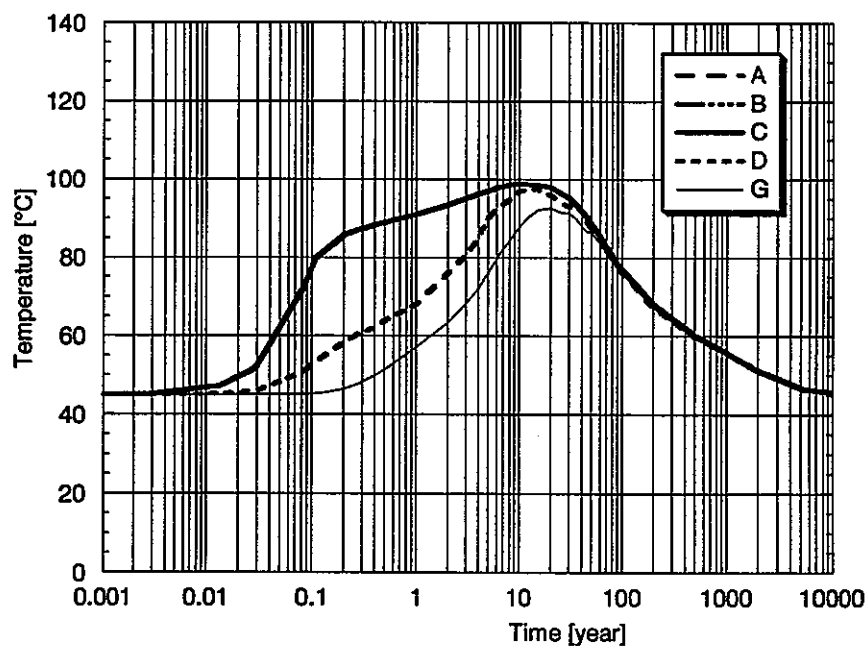


図-4.1.2.4 温度の経時変化（結晶質岩）

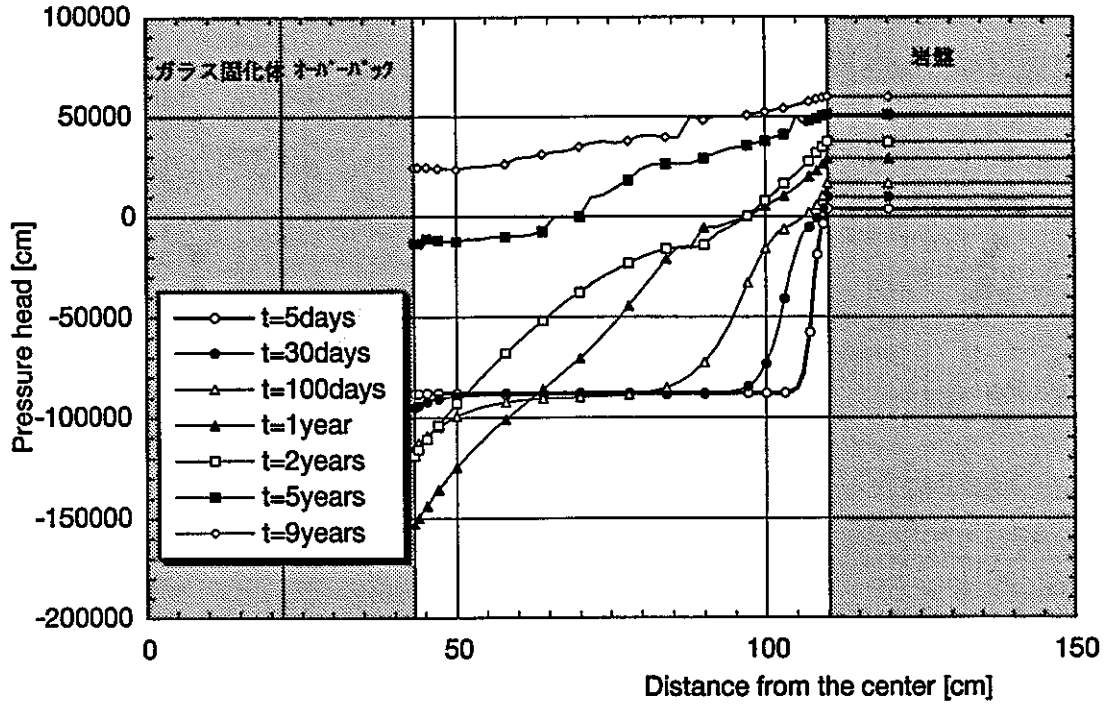


図-4.1.2.5 出カライン上における圧力水頭の経時変化  
(結晶質岩；廃棄体，緩衝材定置後)

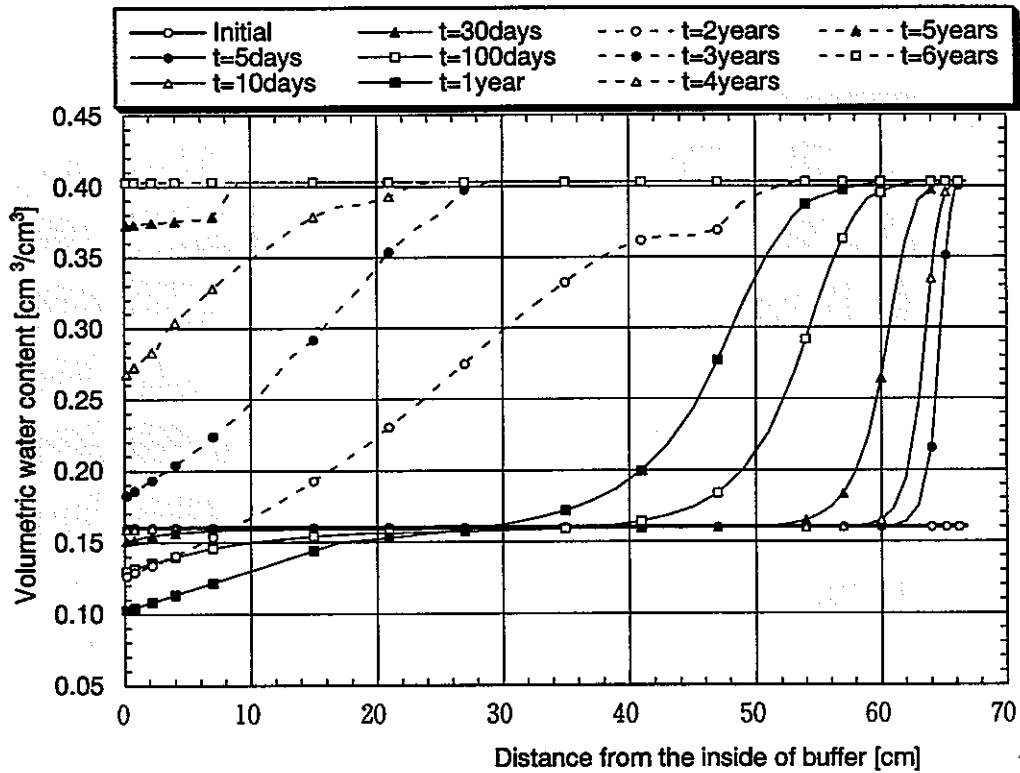


図-4.1.2.6 出カライン上における緩衝材内の体積含水率の経時変化 (結晶質岩)

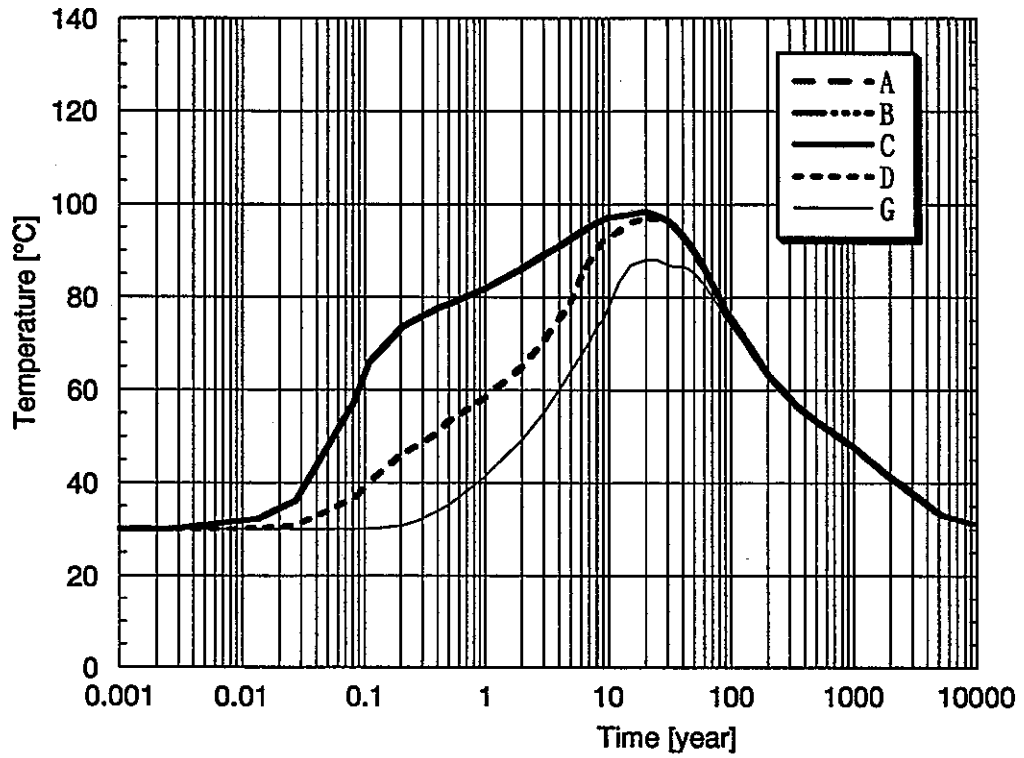


図-4.1.2.7 温度の経時変化 (堆積岩)

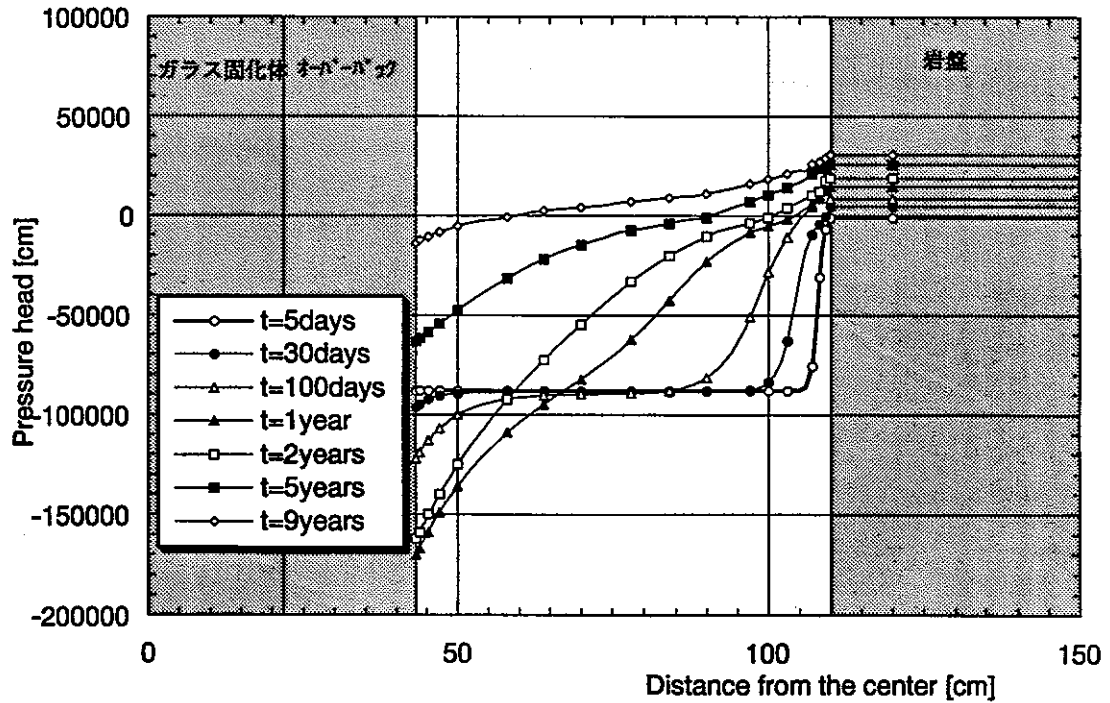


図-4.1.2.8 出力ライン上における圧力水頭の経時変化 (堆積岩; 廃棄体, 緩衝材定置後)

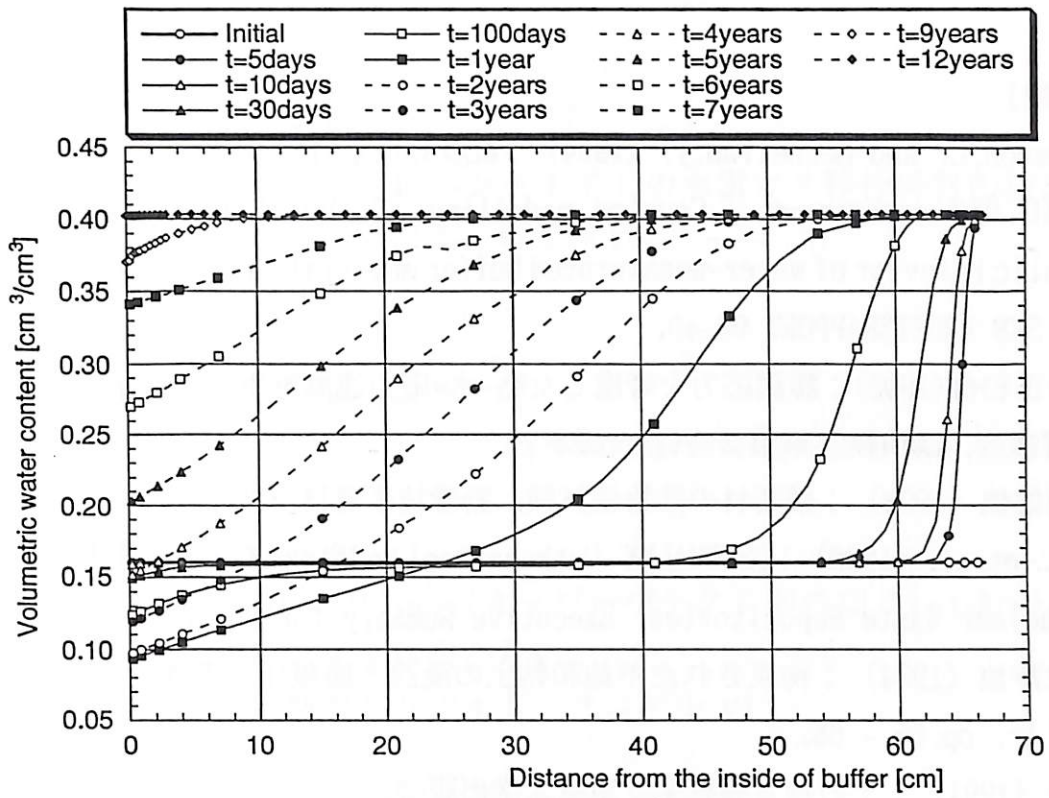


図-4.1.2.9 出力ライン上における緩衝材内の体積含水率の経時変化 (堆積岩)

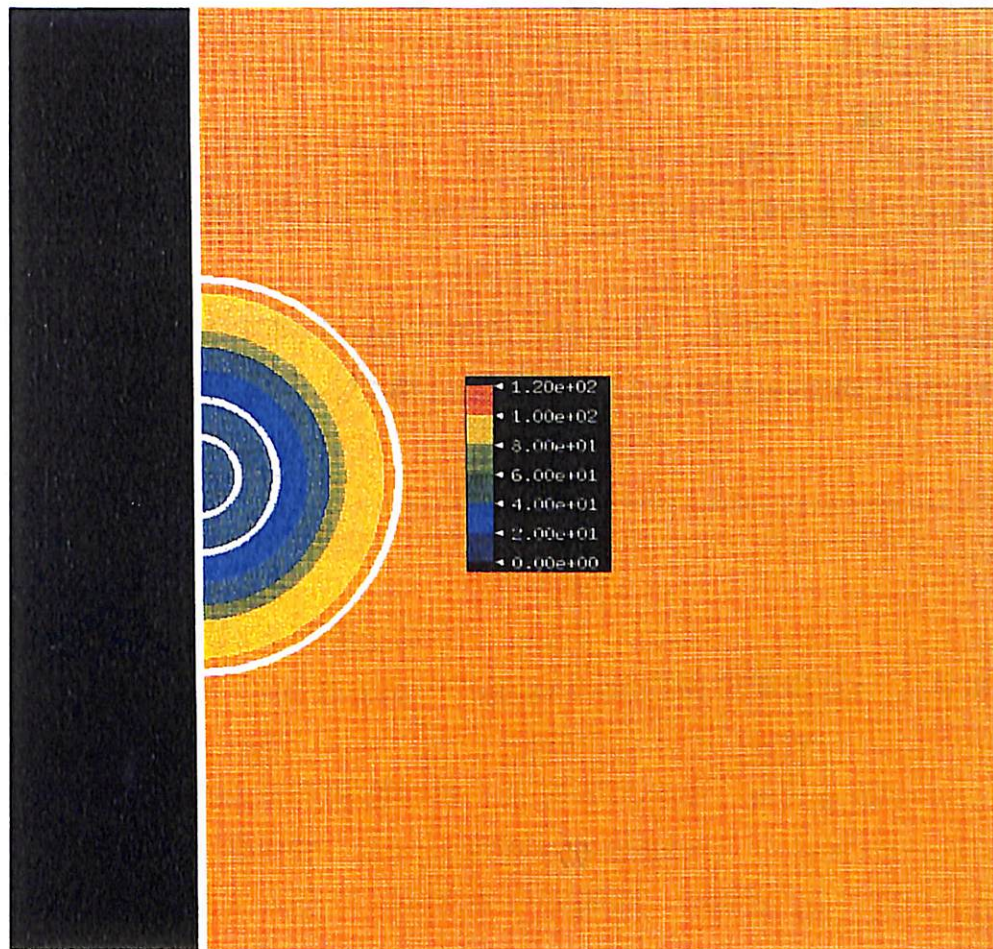


図-4.1.2.10 廃棄体, 緩衝材定置1年後の緩衝材内の飽和度分布 (堆積岩)

[参考文献]

- 1) Borgesson, L. and hernelind, J. (1994) : DECOVALEX TEST CASE 3 -Calculation of the BIG BEN experiment-, Coupled modelling of the thermal, mechanical and hydraulic behavior of water-unsaturated buffer material in a simulated deposition hole, SKB ARBETSRAPPORT 94-49.
- 2) 千々松正和他 (1995) : 膨潤応力を考慮した熱-水-応力連成解析, 土木学会第 50 回年次学術講演会, 講演概要集第 3-A, pp.26-27.
- 3) 藤田朝雄他 (1992) : 緩衝材の熱物性試験, 動燃技術資料, PNC TN 1410 92-052.
- 4) Jing, L. et. al. (1996) : DECOVALEX -Mathematical Models of Coupled T-H-M Processes for Nuclear Waste Repositories, Executive Summary for Phases I, II and III.
- 5) 中野政詩他 (1984) : 拘束された不飽和粘土の浸潤と膨張圧, 農業土木学会論文集, 第 112 号, pp.55 - 66.  
中野政詩 (1991) : 土の物質移動学, 東京大学出版会.
- 6) Ohnishi, Y. et. al. (1985) : Development of Finite Element Code for the Analysis of Coupled Thermo-Hydro-Mechanical Behaviors of a Saturated-Unsaturated Medium, Proc. of Int. Symp. on Coupled Process Affecting the Performance of a Nuclear Waste Repository, Berkeley, pp. 263 - 268.
- 7) 鈴木英明他 (1992) : 緩衝材の特性試験 (I), 動燃技術資料, PNC TN8410 92-057.  
鈴木英明他 (1996) : 緩衝材の水分ポテンシャルと水分拡散係数, 動燃技術資料, PNC TN8410 96-117.
- 8) van Genuchten, M. Th. (1980) : A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil, Soil Sci. Am. J., vol.44, No..5, pp.892-898.

#### 4.1.3 ガス発生・移行の検討

オーバーパックの腐食及び圧縮ベントナイトの水素ガス移行特性の検討を文献調査により行ったので、以下にまとめて示す。

##### (1) PNC

ガス発生機構および発生率<sup>1)</sup>

- ・ ガス発生：オーバーパック炭素鋼の嫌気性腐食反応による水素ガス発生
- ・ 腐食率：0.02mm/y
- ・ ガス発生率：0.6～0.7m<sup>3</sup>/y(オーバーパック1個当たり)、1.3～1.4 m<sup>3</sup>/y(セグメントリング1体当たり)

緩衝材：ナトリウム型ベントナイト クニゲル V1

表-4.1.3.1 緩衝材の物性値<sup>1)</sup>

材料	クニゲル V1	クニゲル V1(70%) +珪砂(30%)
密度, kg/m <sup>3</sup>	1800	1600
空隙率	0.33	0.4034
水分拡散係数, m <sup>2</sup> /s	5 x 10 <sup>-10</sup>	-
透水係数, m/s	1 x 10 <sup>-13</sup>	4.48 x 10 <sup>-13</sup>
膨潤圧, MPa	3.7	0.5～0.6
破過圧, MPa	3.6	-
ガスの浸透率, m <sup>2</sup> (透気係数, m/s)	10 <sup>-20</sup> (≒10 <sup>-15</sup> )	-

##### (2) SKB

ガス発生機構および発生率<sup>2)</sup>

- ・ Advanced Cold Process Canister の銅の硫化物腐食による水素ガス発生、0.12 μ m/y
- ・ 炭素鋼の嫌気性腐食に伴う水素ガス発生、6.5 μ m/y
- ・ ガス発生量評価：0.5～0.05Nm<sup>3</sup>/y canister

緩衝材：ナトリウム型ベントナイト MX-80 100%

表-4.1.3.2 MX-80 の物性値<sup>3)</sup>

No.	密度, kg/m <sup>3</sup>	ガス圧, MPa	透気係数, m/s
1	1860	1.0	8.0 x 10 <sup>-14</sup>
2	2050	10	2.6 - 3.3 x 10 <sup>-14</sup>
3	1990	3.5 - 10.5	1.2 - 1.8 x 10 <sup>-13</sup>

緩衝材

- ・ ナトリウム型ベントナイト OEF 10%+Forsmark ballast”b” 90% (SFR の底部+上部)
- ・ ナトリウム型ベントナイト GEKO/Q1 (SFR の側面)

表-4.1.3.3 SFR に使用される緩衝材の物性値<sup>4)</sup>

材料	OEF 10%+Forsmark ballast”b” 90%	GEKO/Q1 100%
湿潤密度, kg/m <sup>3</sup>	2210	1680
透水係数, m/s	2 × 10 <sup>-9</sup>	4 × 10 <sup>-11</sup>
臨界ガス圧, kPa	15	240
透気係数, m/s (ガス浸透率, m <sup>2</sup> )	4 × 10 <sup>-12</sup> (6 × 10 <sup>-18</sup> )	2 × 10 <sup>-13</sup> (3 × 10 <sup>-19</sup> )
置換水量と全間隙 水量の比, %	0.1~0.4	0.003~0.35

結論：ガス移行が非常に限られた間隙でしか生じないことが確認できた。

(3) NAGRA

ガス発生の機構および発生率<sup>5)</sup>

- ・ ガス発生：廃棄体中の鉄・鋼の腐食による水素ガス発生
- ・ ガス発生率：10mM/m<sup>2</sup>y

緩衝材：ナトリウム型ベントナイト MX-80

結論：ガス破過は膨潤圧と同じオーダーで生じる。



表-4.1.3.4 MX-80 による実験結果<sup>6)</sup>

No.	飽和密度 kg/m <sup>3</sup>	膨潤圧 MPa	透水係数 m/s	破過圧 MPa	透気量 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> s
1	2080	26	< 10 <sup>-13</sup>	5.0	2 × 10 <sup>-7</sup> -10 <sup>-6</sup>
2	2020	18	≒ 10 <sup>-13</sup>	5.0	-
3	1880	1.8	≒ 10 <sup>-13</sup>	1.6	> 2 × 10 <sup>-9</sup>
4	1920	2.7	< 10 <sup>-13</sup>	2.4	-
5	1700	0.1-0.2	3 × 10 <sup>-11</sup>	0.4	-
6	2140	35-45	-	21	-
7	2100	25-30	-	11	> 1.1 × 10 <sup>-10</sup>
8	2120	30-40	-	19	4 × 10 <sup>-8</sup>

(No.1 透気係数 2 × 10<sup>-16</sup>m/s, 2 × 10<sup>-21</sup>m<sup>2</sup>)

(No.8 透気係数 2.7 × 10<sup>-19</sup>m/s, 3 × 10<sup>-24</sup>m<sup>2</sup>)

(4) JNFL

ガス発生機構および発生率<sup>7)</sup>

- ・ 廃棄体中の鉄の嫌気性腐食、0.01 μ m/y (1 × 10<sup>-4</sup>Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>y)
- ・ 廃棄体中のアルミニウムのアルカリ腐食、0.03mm/y (1 × 10<sup>-1</sup>Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>y)
- ・ 廃棄体中のアルミナ溶融体の腐食、1 × 10<sup>-3</sup>Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>y
- ・ 廃棄体中の有機物の微生物分解、4.48 × 10<sup>-5</sup>Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>y

表-4.1.3.5 ガス発生量<sup>7)</sup>

	鉄	Al 薄片	Al 厚さ<0.8mm	Al 厚さ<2mm	Al 厚さ<8mm
ガス発生量 (Nm <sup>3</sup> /yr)	46.4	141.3	208.7	11.7	0.0
発生時間 yr	継続	1.0	13.4	33.6	134.2

緩衝材：ナトリウム型ベントナイト クニゲル V1 15%+段丘堆積砂 85%



表-4.1.3.6 各材料の透気に関する物性値<sup>7)</sup>

材料	変数	値
モルタル層	破過圧	20 kPa
	透気係数 (ガス浸透率)	$1.0 \times 10^{-13}$ m/s ( $1 \times 10^{-18}$ m <sup>2</sup> )
	透水係数	$1.0 \times 10^{-11}$ m/s
側壁コンクリート	破過圧	40 kPa
	透気係数 (ガス浸透率)	$1.0 \times 10^{-13}$ m/s ( $1 \times 10^{-18}$ m <sup>2</sup> )
	透水係数	$1.0 \times 10^{-11}$ m/s
ベントナイト混合土	破過圧	40 kPa
	透気係数 (ガス浸透率)	$1.0 \times 10^{-12}$ m/s ( $1 \times 10^{-17}$ m <sup>2</sup> )
	透水係数	$1.0 \times 10^{-11}$ m/s
	有効ガス間隙率	0.2 %
覆土	厚さ	11 m
	地下水位置	施設の上 9m

(5) MEGAS

Intact Clay: Boom Clay

表-4.1.3.7 Boom Clay の物性値<sup>8)</sup>

物性	値
密度, kg/m <sup>3</sup>	2000 - 2050
間隙率	約 0.4
透水係数, m/s	$1.5 - 7.5 \times 10^{-12}$
破過圧, MPa	0.9 - 3.1
ガス浸透率, m <sup>2</sup> (透気係数, m/s)	$4 - 70 \times 10^{-20}$ ( $3.7 - 65 \times 10^{-15}$ )
飽和度の変化, %	数%

(6) Nirex

Intact Clay: London Clay

臨界ガス圧：3.45～6.21MPa<sup>9)</sup>

(7) 岩盤内のガス移行<sup>10)11)12)</sup>

ガス透過領域

- |                    |             |
|--------------------|-------------|
| A) 坑道周辺の掘削影響域      | 破過圧：数 kPa   |
| B) 処分孔周辺の掘削影響域     | 破過圧：<100kPa |
| C) 割れ目             | 破過圧：数 kPa   |
| D) キャニスター上部のベントナイト | 破過圧：-       |
| E) 高圧縮ベントナイト       | 破過圧：数～6 kPa |
| F) ベントナイト系坑道充填材    | 破過圧：数 kPa   |

ガス透過経路：E) 高圧縮ベントナイト→B) 処分孔周辺の掘削影響域→C) 割れ目→A) 坑道周辺の掘削影響域→透水性の高い割れ目

\*) ガス移行は岩盤よりも高圧縮ベントナイトの特性に依存

## 参考文献

- 1) 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－、1992
- 2) Werme, *Near-field performance of the advanced cold process canister*, SKB TR 90-31, 1990
- 3) Pusch and Forsberg, *Gas migration through bentonite clay*, KBF / KBS TR 83-71, 1983
- 4) Pusch and H. Hokmark, *Megapermeameterstudie av gastransport genom SFR-buffertar*, Sverige geologiska AB, SFR 87-06, 1987 (in Swedish)
- 5) Kreis, *Hydrogen Evolution from Corrosion of Iron and Steel in Low/ / Intermediate Level Waste Repositories*, Nagra TR 91-21, 1991
- 6) Pusch, L. Ranhagen and K. Nilsson, *Gas migration through MX-80 bentonite - Final report*, Nagra TR 85-36, 1985
- 7) Impey, H. Takase and B.M. Watkins, *Technical Evaluation of Gas Effects for the Rokkasho Phase II Shallow Land Burial Facility - Review Report*, QuantiSci, 1997
- 8) Volckaert, L. Ortiz, P.D. Canniere, M. Put (SCK/CEN, B), S.T. Horseman. J.F. Harrington (BGS, UK), V. Fioravante (ISMES, I), M. Impey (INTERA, UK), *MEGAS: Modelling and experiments on gas migration in repository host rocks*, European Commission EUR 16235 EN, 1995
- 9) Lineham, *A laboratory study of gas transport through intact clay samples*, Nirex report NSS/R155, 1989
- 10) Pusch, *Behavior of Hydrogen Gas in Deposition Holes and its Dissipation Through Confining Rock - Application to KBS3-Type Concepts*, SKB AR 90-25, 1990
- 11) Wikramaratna, M. Goodfield, W.R. Rodwell, P.J. Nash and P.J. Agg, *A Preliminary Assessment of Gas Migration from the Copper / Steel Canister*, SKB TR 93-31, 1993
- 12) Rodwell and P.J. Nash, *Mechanisms and Modelling of Gas Migration from Deep Radioactive Waste Repositories*, NSS/R250, 1991

## 4.2 緩衝材の製作・施工技術に関する検討

緩衝材の候補材料として、ベントナイト単体、およびこれに珪砂を混合したものが検討されている。珪砂混合の目的は、熱伝導性、締固め性、経済性の向上等にある。また、製作・施工技術としては、ブロック方式と現場締固め方式等がある。ブロック方式は、あらかじめ製作したベントナイトブロックを現地に定置するものであり、現場締固め方式は、含水比調整した材料を処分空間に供給し、締固め機械を用いて高密度の緩衝材を現場で施工するものである。

本節では、既往の試験事例から、緩衝材材料と製作・施工に関する考え方を整理する。また、製作・施工における手順と品質管理手法についてまとめる。

### 4.2.1 緩衝材の製作・施工に関する既存データの整理

#### (1) 緩衝材材料

##### (a) ベントナイト種類

緩衝材の開発を進めるうえで、一般に製品として流通しているベントナイトが、緩衝材材料として適するか検討する必要がある。雨宮(1989)<sup>1)</sup>、Ishikawa(1990)<sup>2)</sup>は、国産のベントナイト製品を比較し、クニゲル V1 を緩衝材の研究開発を進める上での、標準的材料として選定した。ここでは、国内の主要ベントナイトメーカー8社の12製品(Na型9種類、Ca型3種類)を、供給安定性と表-4.2.1.1に示す18の基本特性から評価している。

一方、緩衝材の締固め性《Compactability》は、ベントナイトの粒度分布の影響を受ける。Fujita(1997)<sup>3)</sup>は、粒状ベントナイト OT-9607 を開発した。これは、クニゲル V1 の最終の分級工程において、粒度 2mm 以下のベントナイトを選別した製品である。図-4.2.1.1に両ベントナイトの粒度分布を示す。また、ベントナイト中のモンモリロナイト含有量評価の指標となるメチレンブルー吸着量は、粒状ベントナイトがクニゲル V1 の平均値 (66mmol/100g) よりわずかに小さい値となっている。

一方、締固めエネルギー84.375kgf・cm/cm<sup>3</sup>の場合、OT-9607 の最大乾燥密度は、クニゲル V1 より 0.1g/cm<sup>3</sup> 以上大きく、優れた Compactability をあらわしている。

このように、特定の鉱床から得られるベントナイトを緩衝材の原料として用いる場合においても、そのモンモリロナイト含有量は製造工程によって変化する。また、ベントナイトの粒度特性は緩衝材の製作性に大きな影響を与える。緩衝材材料の選定においては、ベントナイト粒度特性と締固めエネルギーの関係を検討し製作性の向上を計るとともに、粒度特性が止水性などの緩衝材の基本特性に与える影響も明らかにすることが重要である。

表-4.2.1.1 ベントナイト製品の基本特性の比較<sup>1)</sup>

基本特性	項目	№1	3	4	5	8	11	12	備考
		MT-80	岩本	1270V1	渡辺印	利根	1270F	HTB-X	
鉱物学・化学的特性	1100Å 吸着量	大	○			○		△	1100Å 吸着量の指標 <sup>2)</sup>
	不純物総含量	小	○	△		△	○		X 換回所の面積比
	CEC	大		○		△		△	化学的純潔性、吸着性
	有機物含有量	小			△			○	加熱処理による除去 <sup>3)</sup>
	硫酸イオン量	小	△					○	
	全イオン量	小			△			○	オーバーバック現象
機械的特性	液性限界	大					△	△	液性限界の指標
	収縮限界	大			△		○	○	乾燥収縮の指標
	クワネス指数	大	○					△	液性限界でのせん断破れ
	収縮比	小	△		△				乾燥収縮の指標
	最大乾燥密度	大	○		○				
	最小空隙率	小			○		△		掃面め試験
膨潤特性	膨潤力	大	○				△	△	客観法
	膨潤度	大	○				△		重量法
	3%NaCl 膨潤力低下率	小	△				○	○	
	3%NaCl 膨潤度低下率	小	△				○		地下水中の塩濃度の影響度
特熱性的	熱伝導率	大	○		△				
特水理的	水分拡散係数	小	○	-	○	-	-	-	地下水の浸透速度
備考		小	x						国内産物

- 特に出ている : 平均値から2σ以上良い値にある
- 出ている : 平均値からσ~2σ良い値にある
- 無印 普通 : 平均値±σの範囲にある
- △ 劣る : 平均値からσ~2σ悪い値にある
- x 特に劣る : 平均値から2σ以上悪い値にある

(注: 平均値とσ (標準偏差) は表中の7製品の測定等から算出)

\* c1型のモンモリロナイト (製品№11、12) ではc1型にくらべメチレンブルー吸着量はやや低い値となる。

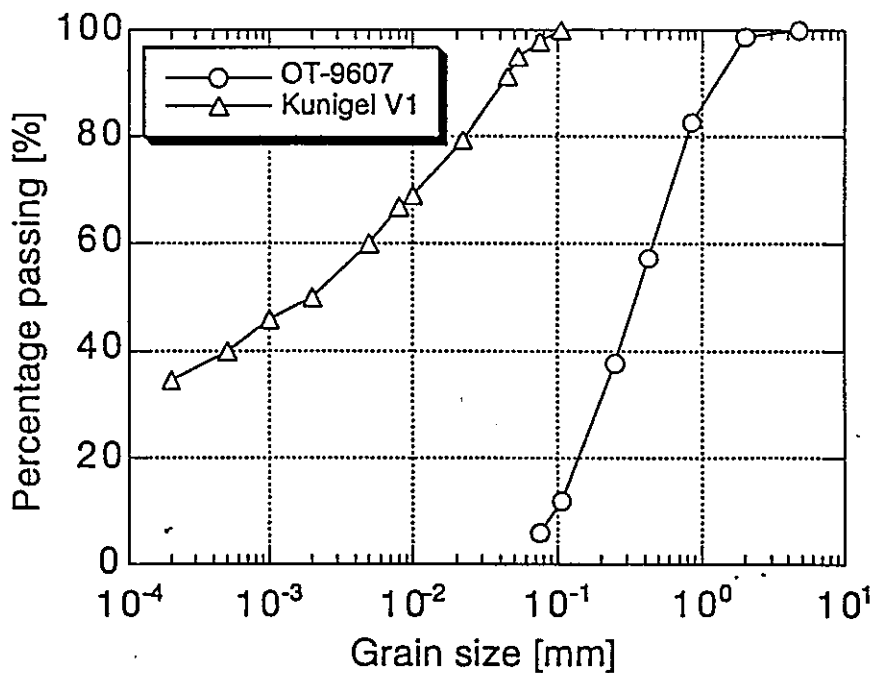


図-4.2.1.1 クニゲル V1 と OT-9607 の粒径加積曲線<sup>3)</sup>

## (b) 珪砂種類

緩衝材の性能向上のための添加材として珪砂がある。珪砂の混合は、熱伝導性の向上という目的のほかに、締固め性の向上、締固め後の強度の上昇、乾燥収縮の減少といった機械的性能の側面からも有利である<sup>1)</sup>。また、珪砂はベントナイトに比較して安価であるため材料費の低減をはかることができる。

図-4.2.1.2に、各種珪砂製品の粒度分布を示す。珪砂の粒径分布は緩衝材の締固め性に影響を与え、化学組成、粒度分布、価格等を考慮して珪砂種類を選択する必要がある。

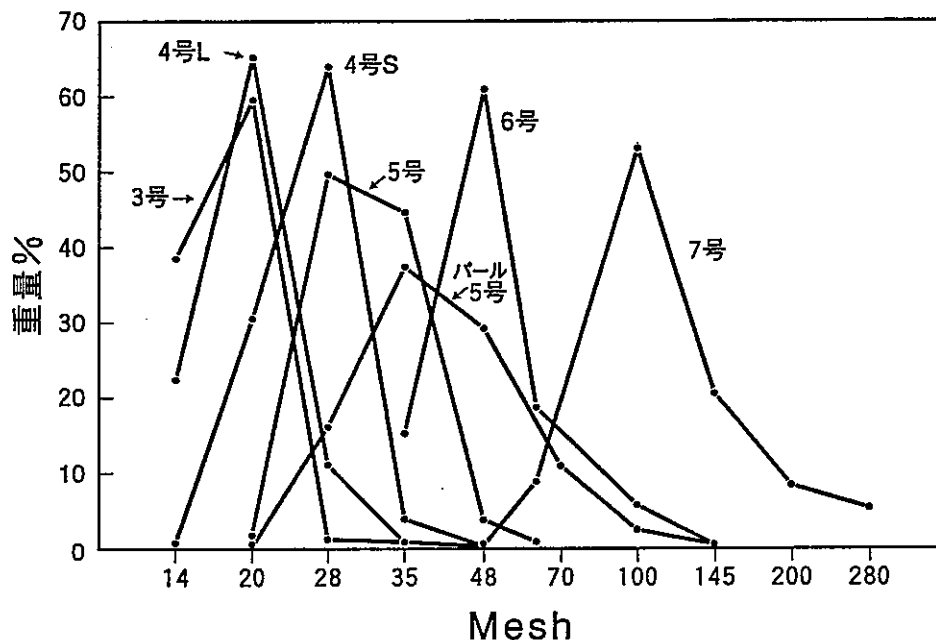


図-4.2.1.2 各種珪砂の粒度分布

## (c) 珪砂混合率

緩衝材の性能向上のために、ベントナイトに珪砂を混合するとき、その混合率（緩衝材の乾燥重量に対する珪砂の割合）は、緩衝材の諸特性を決定する重要な指標である。以下に、混合率を検討した事例を整理する。

佐藤（1990）<sup>5)</sup>は緩衝材大型試験設備（以下、BIGBEN と呼ぶ）に先立ち、珪砂混合率決定のための室内試験を実施した。試料の含水比は10%、成型圧力は10MPaである。その結果、珪砂混合率が30%より大きいとき、締固め後の乾燥密度は $1.8\text{g}/\text{cm}^3$ より大きくなった。さらに、締固め後の試料を $80^\circ\text{C}$ で乾燥させ、ひび割れの観察を行った結果、珪砂混合率30%が最も安定した成型体であることが確認され、BIGBENでの混合率をこれに決定している。

次に、成型圧力が 20 および 50MPa での締固め試験の結果を図-4.2.1.9 に示す。ここでは、上記の 10MPa の締固め試験に比較し、大きな最大乾燥密度が得られている。最も締固まりにくい珪砂混合率 0% の場合でも、20MPa の成型圧力で  $1.8\text{g/cm}^3$  以上の最大乾燥密度が得られている。これから実質乾燥密度 (effective clay dry density; 砂の体積を除いてベントナイトの乾燥密度を計算した指標) を計算すると、珪砂混合率 30% 以下で、 $1.8\text{g/cm}^3$  以上の大きい値を示している。

一方、ランマーを落下させ締固めエネルギーを動的に加える場合の珪砂混合率の検討試験では、ベントナイトの実質乾燥密度は珪砂混合率が 30% の場合に  $1.409\text{g/cm}^3$  と最大になっている。

珪砂混合率に関する試験結果をまとめると以下のとおりである。

- ① 珪砂の混合によって、最大乾燥密度は増大し、最適含水比は小さくなる。
- ② このため、緩衝材の品質の指標となる実質乾燥密度は珪砂を混合することによってベントナイト単体に比べ、増大する場合が生じる。
- ③ 珪砂の混合はベントナイト単体に比べ、体積収縮率を小さくし乾燥ひび割れの発生の低減をもたらす。
- ④ 最適な珪砂混合量は、締固め方法 (静的あるいは動的プレス)、締固め機械の能力、要求される乾燥密度あるいは実質乾燥密度、および経済性等を考慮して検討される。

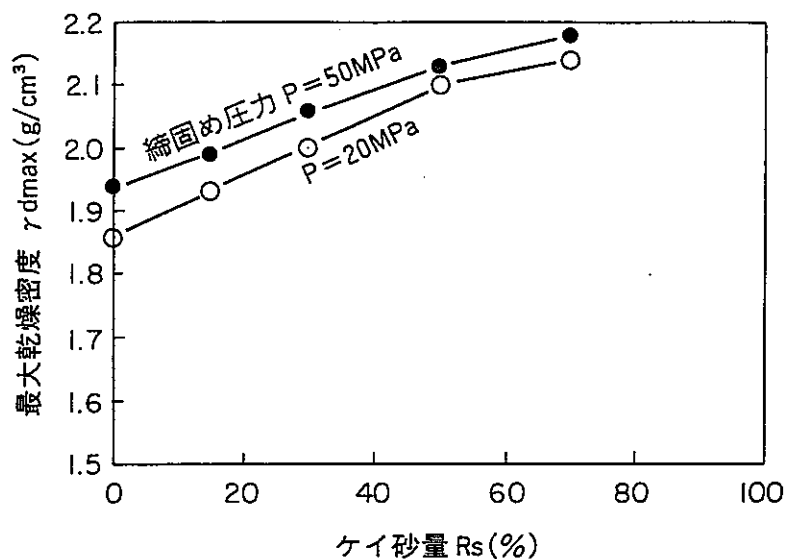


図-4.2.1.3 珪砂量と最大乾燥密度

## (2) 現場締固め方式に関する既存データ

### (a) 珪砂の混合の場合

#### i) 室内試験

##### ア) 試験目的

緩衝材は砂とベントナイトを適当な比率で混合し、現地で締固めて築造する方法が考えられる。本材料の締固め工における品質確保は、材料の練り混ぜ・混合、養生および締固めの条件がそれぞれ重要であると考えられる。

本試験は緩衝材の締固め特性の影響要因として、①材料作成後の養生時間、②珪砂の粒度分布の条件、③ベントナイトと砂の混合比、について室内試験により把握することを目的とした。

また、材料の練混ぜに対する適切なミキサーの仕様を検討する目的でミキサーによる作業性および混合後の材料の均一性の確認試験も行なった。

##### イ) 試験方法

使用ベントナイトはクニゲルV1（クニミネ工業製）、砂は珪砂3号（以後3号と記す）、 $\mu$ -15号（以後5号と記す）および7号（以後7号と記す）で、(3+5号)、(5+7号) および (3+5+7号) の混合材を使用した。

図-4.2.1.4 に粒径加積曲線を示す。



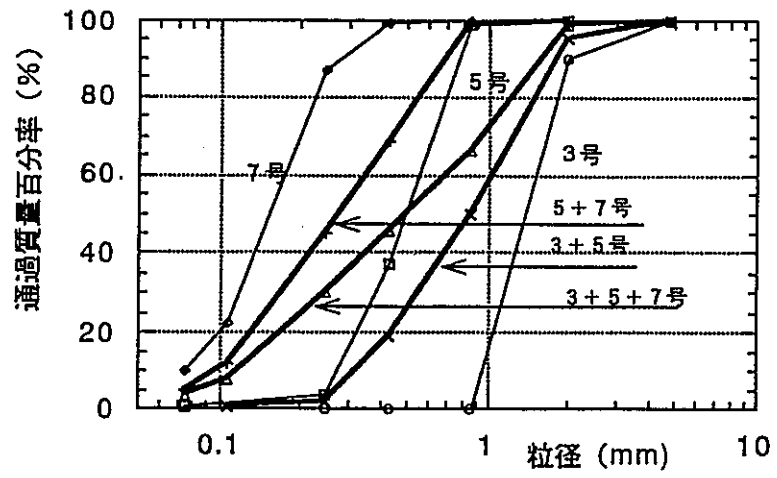


図-4.2.1.4 珪砂の粒径加積曲線

図-4.2.1.5 に試験のフローを示す。

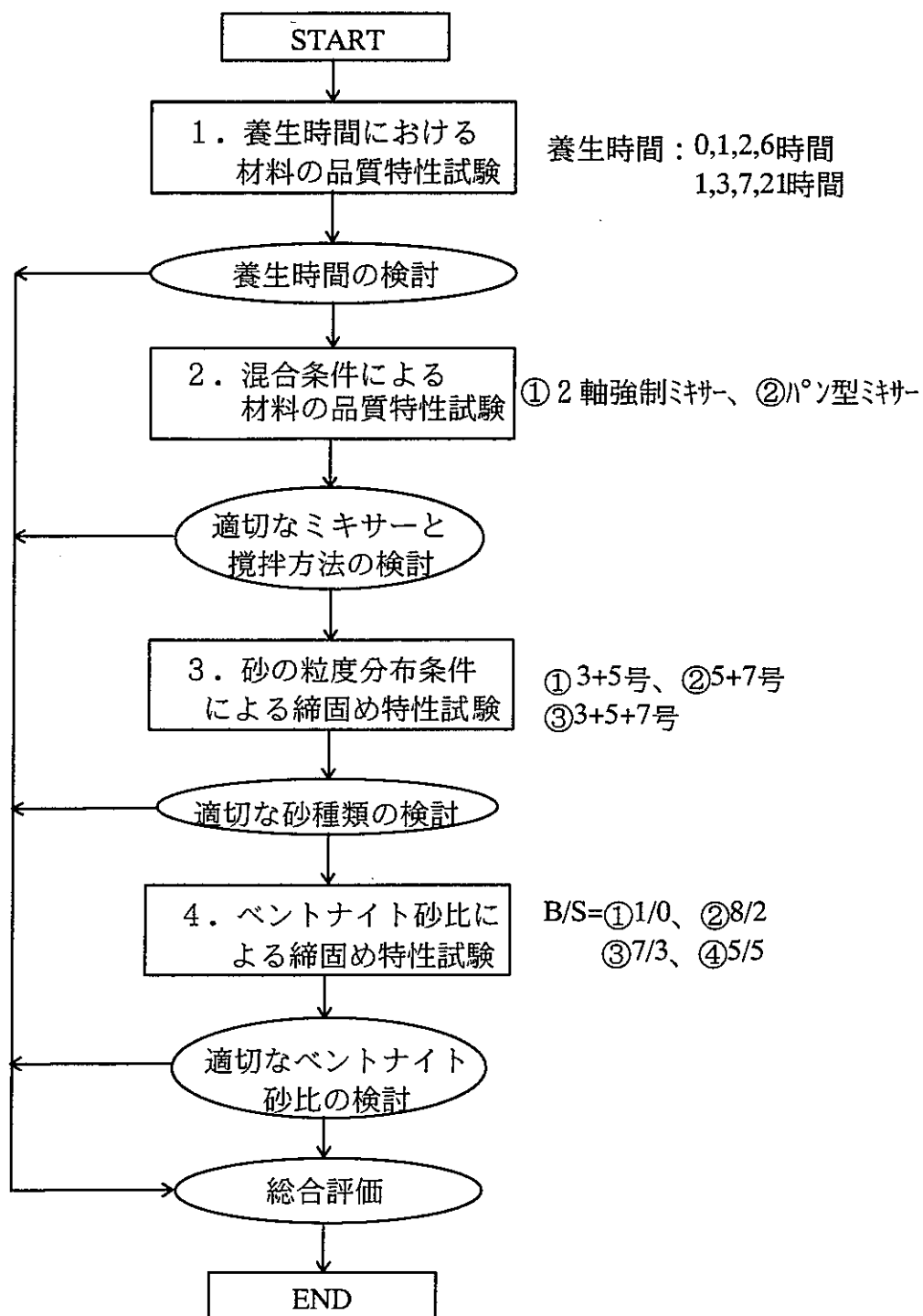


図-4.2.1.5 室内試験のフロー

① 養生時間における締固め特性試験

砂は3号と5号を乾燥重量比1:1で混合したものを使用した。またベントナイト砂比は7:3の一定とした。練混ぜは所定量の砂とベントナイトを2軸強制ミキサー（公称容量60リットル、攪拌速度45rpm, 90rpm）に入れて1分間空練りした後、羽根を回転しながら水を投入し、4分間混合とした。試料混合後、ビニール袋に入れ、気温15~20°Cの室内に保管し養生した。所定の養生期間に達したのち、締固め試験を行った。一回の練混ぜに使用した材料は約35kgで、含水比 $w=16.5\%$ を目標に試料調整を行った。締固め試験は（財）地盤工学会規定（JSF T 711）の方法に準じた。

② 攪拌条件による材料の品質特性試験

2軸強制ミキサー（公称容量60リットル、攪拌速度は45rpm, 90rpm）およびパン型ミキサー（公称容量60リットル、攪拌速度78rpm）を用いた。

③ 砂の粒度分布条件による締固め特性試験

砂の粒度特性条件を（3号と5号を乾燥重量比1:1）、（5号と7号を乾燥重量比1:1）、（3号と5号と7号を乾燥重量比1:1:1）で混合した。ベントナイト砂比は7/3の一定とした。

④ ベントナイト砂比による締固め特性試験

ベントナイトと砂の乾燥重量比 $B/S$ を $B/S=1/0$ （ベントナイトのみ）、 $B/S=8/2$ 、 $B/S=7/3$ 、 $B/S=5/5$ に変化させて締固め試験を実施した。

ウ) 試験結果

緩衝材に関する一連の室内試験を行った結果から次のことが判明した。

- ① 養生時間は材料の均一性の確保、また、施工性を考慮して、材料の作成から施工に供用するまで1日間以上が望ましい。
- ② 材料の混合に使用するミキサーはパン型ミキサーより2軸強制ミキサーの方が含水比のばらつきが小さく、適用性は良いと考えられる。また、回転速度はなるべく大きい方が混合性が良くなると考えられる。
- ③ 珪砂は3号、5号、7号を混合した材料を使用することにより粒度分布が改善され、締固めによる密度が向上された結果となった。（図-4.2.1.6）

しかしながら、各混合材における最大乾燥密度の差は $0.02g/cm^3$ 程度と小さく実

用上無視できると考えられる。一方、(3+5+7号)の混合材を使用する場合、3種類の珪砂を均等に混合するため、手間がかかる。

したがって、現場施工において、品質確保および施工性を考慮して、(3+5号)の混合材は他の2ケースより有利と考えられる。

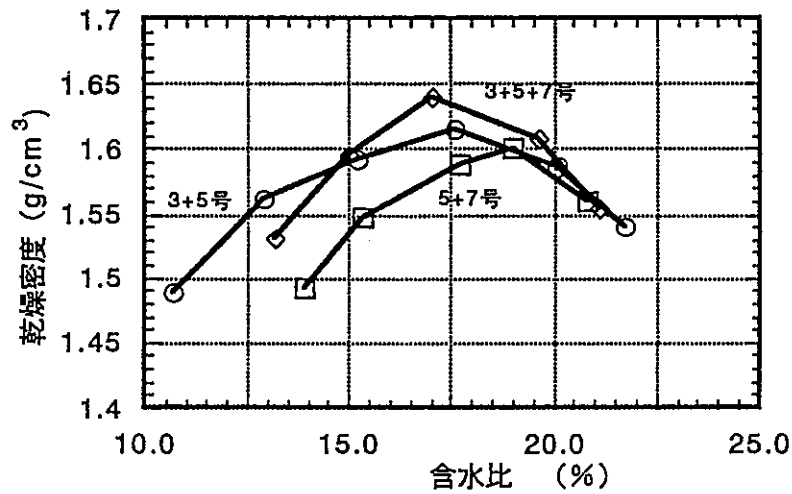


図-4.2.1.6 砂の粒度分布条件における締固め曲線

④ ベントナイト砂比による締固め特性試験

ベントナイト砂比が小さいほど、すなわち砂の含有率が大きいほど、締固め効果が大きくなる。乾燥密度を $1.6\text{g}/\text{cm}^3$ 以上を得るために、ベントナイト砂比は $7/3$ 以下(砂を30%以上混合)が必要である。(図-4.2.1.7)

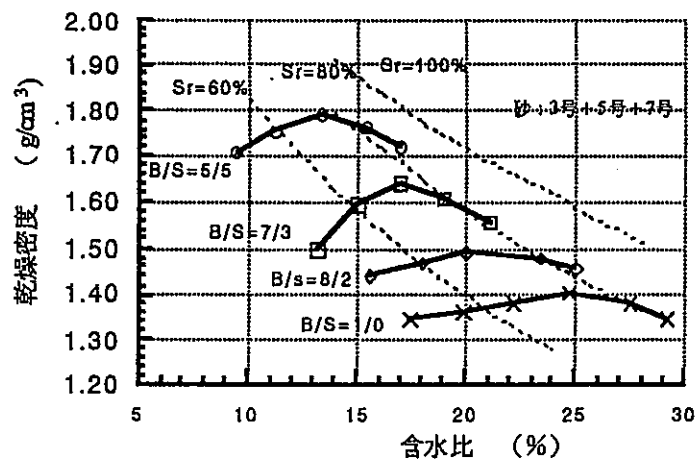


図-4.2.1.7 ベントナイト砂比における締固め曲線

また、ベントナイト実質の乾燥密度に換算すると、ベントナイト砂比B/S=1/0 (砂のみ) とB/S=7/3のケースが最も大きい値を示している。

ただし、実質乾燥密度は次のように算定した。

$$\rho_{db} = M_b / (V_b + V_a) \quad (1)$$

ここに、 $\rho_{db}$  : ベントナイトの実質乾燥密度、 $M_b$  : ベントナイトの乾燥重量、  
 $V_b$  : ベントナイトの容積、 $V_a$  : 間隙の容積、である。

このように、本試験の条件範囲内において、ベントナイト砂比B/S=7/3が最も適切な配合となる。(図-4.2.1.8)

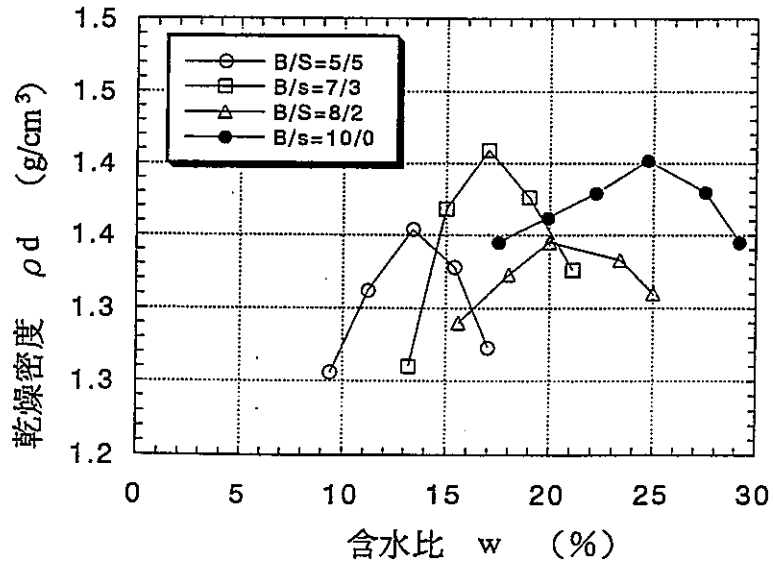


図-4.2.1.8 ベントナイトの実質乾燥密度と含水比の関係曲線

以上の結果により、ベントナイト緩衝材の乾燥密度に大きく影響を与える要因として、次の項目が考えられる。

- ・ 緩衝材の含水比
- ・ 緩衝材の粒度条件
- ・ ベントナイト砂比
- ・ 締固めエネルギー

したがって、乾燥密度を向上するために、次のことが重要と考えられる。

- ・ 含水比を最適含水比付近で施工すること。  
ただし、最適含水比は緩衝材の粒度条件や締固めエネルギーにより異なるため、室内試験により確認する必要がある。
- ・ 緩衝材の粒度の改善、すなわち、材料の粒度曲線が細粒分から粗粒分まで適当な割合で混合すること、および
- ・ 最適なエネルギーで締固めすること等。

## ii) BIGBEN (大型締固め施工確認試験)

### 7) 目的

ベントナイトと珪砂を混合した緩衝材に関して、その適切な製作条件を室内試験により検討し選定した。

本試験は選定された配合条件で、緩衝材の大型試験設備BIGBENを利用して、緩衝材の施工性および品質を確認することを目的とした。

確認項目は施工後緩衝材の密度、含水比、粒度で、複数の試験法により測定した。

### イ) 試験の概要

本試験に先立ち、予備試験として仕上り厚さ5,10,15cmの3種類をまきだし・転圧した後、含水比・密度・粒度試験を実施し、材料のまきだし厚さによる締固め後の材料品質への影響を確認し、適切なまきだし厚さを検討した。

試験に使用した材料および作製方法は次に示す。

- ① ベントナイト：クニゲルV1
- ② 珪砂： $\mu$ - $\mu$ 5号と3号で乾燥重量比；1:1
- ③ ベントナイト砂比B/S=7/3
- ④ 材料作製方法：所定量のベントナイトと砂を2軸強制ミキサーに投入し、5分間混合し、製作した。

図-4.2.1.9 に本試験フローを示す。

試料はクニゲルV1を70%、珪砂（珪砂3号と $\mu$ - $\mu$ 5号の混合）を30%で混合した材料を用いた。含水比は15%程度を目標とした。

所定のまき出し厚さになるように材料を試験ピットに投入し、電動ランマー（50kgf級）を用いて締固める。

締固め後に実施した測定方法は、出来型測量法、コアカッター法、舗装用密度計による方法および砂置換法方法である。

また、試料を採取し、室内で密度や粒度試験を実施した。試験項目は密度、含水比、粒度試験である。

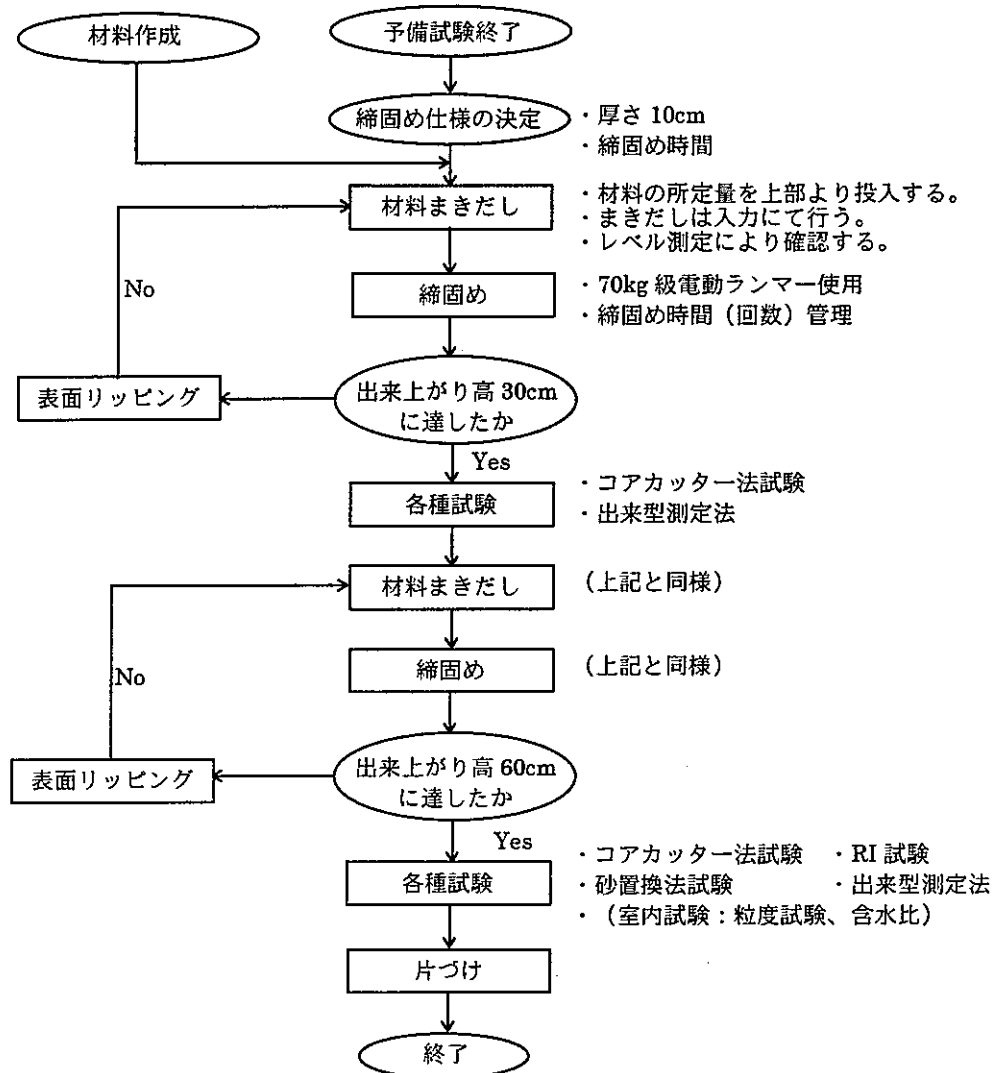


図-4.2.1.9 本試験のフロー



ウ) 試験結果

BIGBEN試験の結果から、次のことが判明した。

- ① 仕上がり層厚さは施工性および品質から10cm/層が今回の試験範囲において最も適切と考えられる。

しかし、層深さ方向における密度の減少が若干見られる。(図-4.2.1.10)

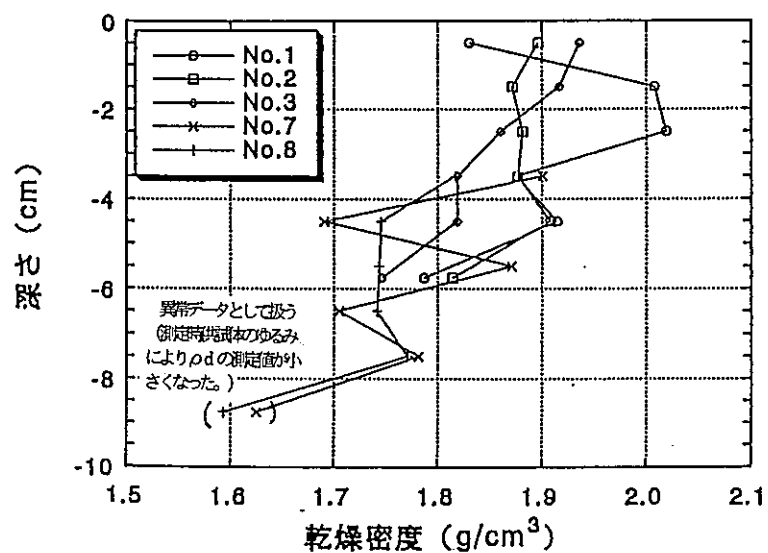


図-4.2.1.10 乾燥密度の深さ方向の変化

- ② 壁面近傍では乾燥密度が小さくなる。これは今回の試験に使用したタンピングランマーの形状によるものと考えられる。したがって、今後、現場に適合した締め機械の改善などが重要である。(図-4.2.1.11)

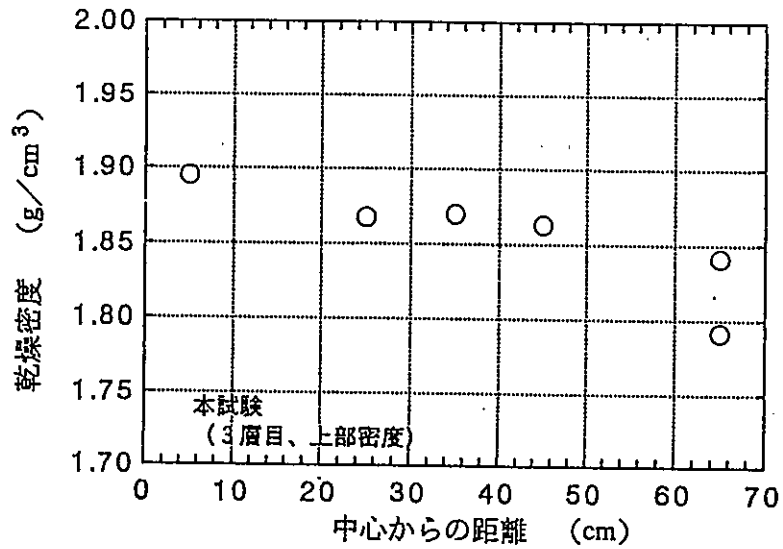


図-4.2.1.11 乾燥密度の平面分布

③ 密度の測定方法は、

- ・ コアカッター法では層の比較的表層部を測定することから密度が平均値より大きく、過大評価になる可能性がある。
- ・ 舗装用密度計による方法はばらつきがあるものの、平均値とよく一致している。
- ・ 砂置換法は最も小さい値を示す。これは、測定時の地表の凹凸等による影響が考えられる。(図-4.2.1.12)

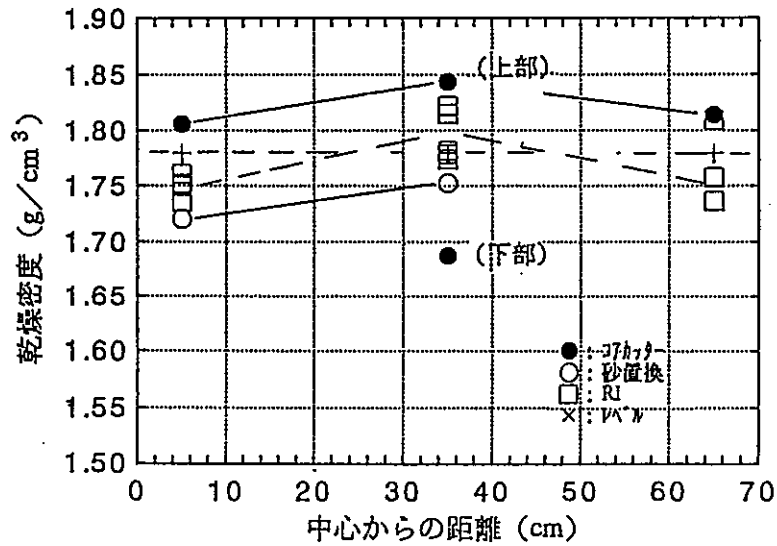


図-4.2.1.12 各種試験方法における乾燥密度

- ④ 設計砂含有率30%に対して砂含有率は29~31%の小さい範囲内に変化する。また、水平方向および深さ方向における変化傾向が見られない。

### iii) 吹付け試験

#### 7) 試験の目的

高レベル放射性廃棄物の地層処分方式のうち、横置方式については吹付け工法が緩衝材の施工方法のひとつとして検討されているが、その試験施工の例はない。

このため、本試験では、既存のコンクリート吹付け機による緩衝材の吹付け作業が可能であるかどうかの確認を主目的とし、あわせてその施工性や得られた緩衝材の密度がどの程度のものかの測定を行ったものである。

#### 1) 試験の概要

##### ① 使用材料

使用材料を表-4.2.1.2 に示す。珪砂および川砂の粒度分布を図-4.2.1.13に示す。なお、ペントナイト砂混合比B/S=7/3の一定とした。

表-4.2.1.2 使用材料

材 料	産 地 等	販売元
ペントナイト	山形県月布産Na-ペントナイト	ケミ工業(株)
珪砂	愛知県瀬戸市産3号珪砂 西豪州産5号珪砂	日陶連原料(株)
川砂	静岡県大井川産川砂	海運建材(株)





写真-4.2.1.1 コンクリート吹付機

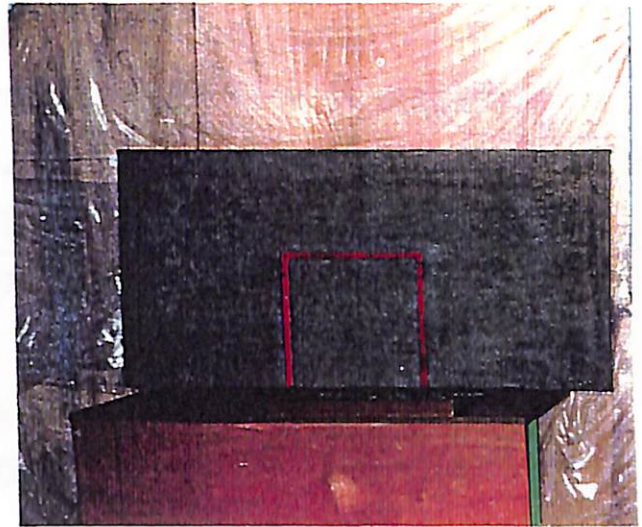


写真-4.2.1.2 模擬岩盤

緩衝材の吹付け厚さ $t$ は、 $t=10, 14, 60\text{cm}$ の3水準とし、ホース先端部から模擬岩盤までの距離は $1.4\text{m}$ とした。また、圧送圧は、 $2\text{kgf/cm}^2$ 以下、圧送量は $2\text{m}^3/\text{H}$ 程度とした。

#### ウ) 試験結果

試験で得られた主な結果を以下にまとめる。

- ① 最適含水比付近（ $16.5\%$ ）とこれを越える含水比の範囲において、コンクリート吹付け機による緩衝材の吹付け作業が可能であることを確認できた。

含水比 $w=16.5\%$ の場合には、練りませ時に塊状の粒子はほとんど生成されないが、吹付け作業時に粉塵が多少見られた。一方、含水比 $w=16.5\%$ を越えて水量が多くなると、塊状粒子は大きくなり、しかも、その量も多くなったが、吹付け作業時に粉塵は見られなかった。

- ② 吹付け作業により得られた緩衝材の乾燥密度は、 $1.0\sim 1.5\text{g/cm}^3$ の範囲内であった。また、緩衝材を吹付けた後に締固めることにより、 $1.5\sim 1.7\text{g/cm}^3$ 程度の乾燥密度が得られることを確認できた。（図-4.2.1.14、4.2.1.15）

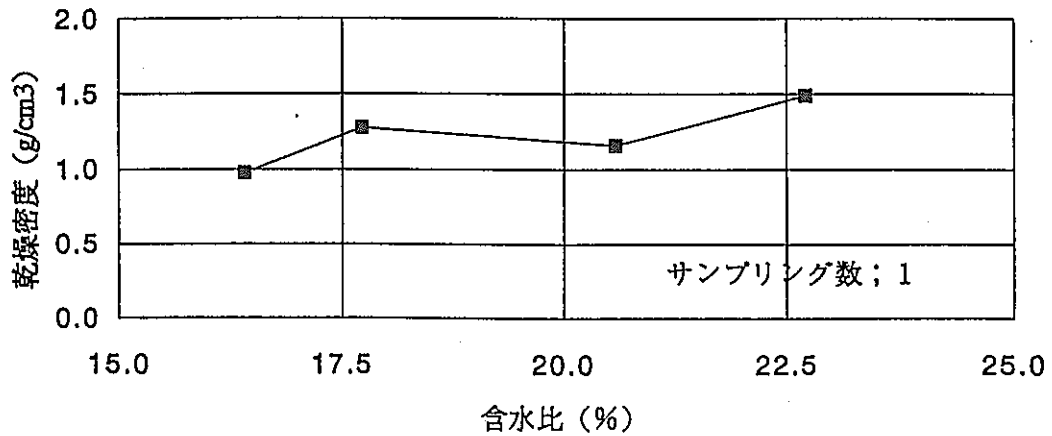


図-4.2.1.14 緩衝材の含水比と乾燥密度の関係（吹付けのみ）

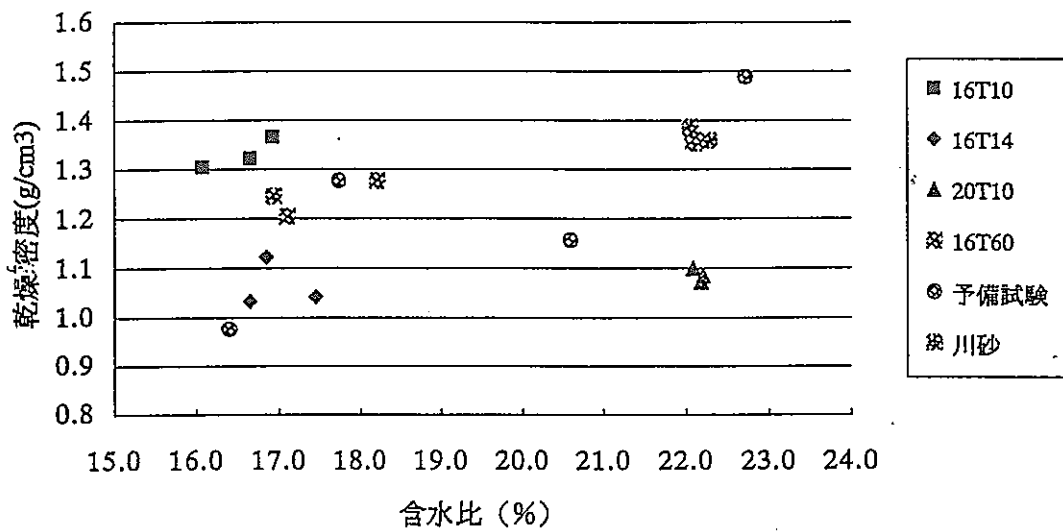


図-4.2.1.15 緩衝材の含水比と乾燥密度の関係（吹付け後突固め）

本試験により、吹付け工法を用いた緩衝材の付着性能の概要を把握できるとともに、吹付け工法による緩衝材の施工方法の可能性を確認できたが緩衝材の施工方法を確立するうえで、今後検討すべき課題を以下にまとめる。

- ① 緩衝材の配合は、吹付け工法における作業性（圧送ホース内の閉塞性、粉塵、リバウンド量、ロス時間）、および緩衝材の品質（乾燥密度）、出来形（後工程である締固め作業に関連する表面の凹凸）に及ぼす影響が大きいと考えられる。したがって、吹付け工法に適した配合を選定することが重要である。

配合を選定する際には、吹付け作業の位置付け、目標密度、等を十分に検討し、施工性の向上およびコストの低減を図る必要があると考えられる。また、最適配合を選定する際のパラメータとして、本試験で実施しなかった混合珪砂の種類（粒度分布）、および吹付け条件（圧送距離・時間、吹付け距離）等についても検討する必要があると考えられる。

- ② 緩衝材の閉塞対策

全吹付量が $1\text{m}^3$ 以下と少量であったが、試験終了時には、ホース内に緩衝材が付着して、閉塞の兆候が認められた。

一般に、吹付け作業において、ホース内の清掃によるロス時間の全作業時間に占める割合が大きい。特に、本試験で対象としているような緩衝材は、粒径が細かく、しかも水洗いによる除去が困難であることから、閉塞対策について検討する必要があると考えられる。

- ③ 現地締固め方法の検討

本試験における試験ケース数は少ないが、吹付け工法のみでは、所要の乾燥密度を得ることが困難であると考えられる。したがって、吹付け後に適度な締固めエネルギーを加えて、所要の密度を得るために、水平横方向に締固める方法および機械を開発する必要があると考えられる。



b) ベントナイト単体の場合

i) 室内試験

ア) 試験目的

釜石原位置試験場で実施した、粘土充填熱負荷実験に先立ち、緩衝材の施工性および品質を室内試験および締固め試験などにより確認し、材料の適性および施工性や品質などを確認した。

図-4.2.1.16に試験全体のフローを示す。

以下は全体フローのうち、室内試験について述べる。

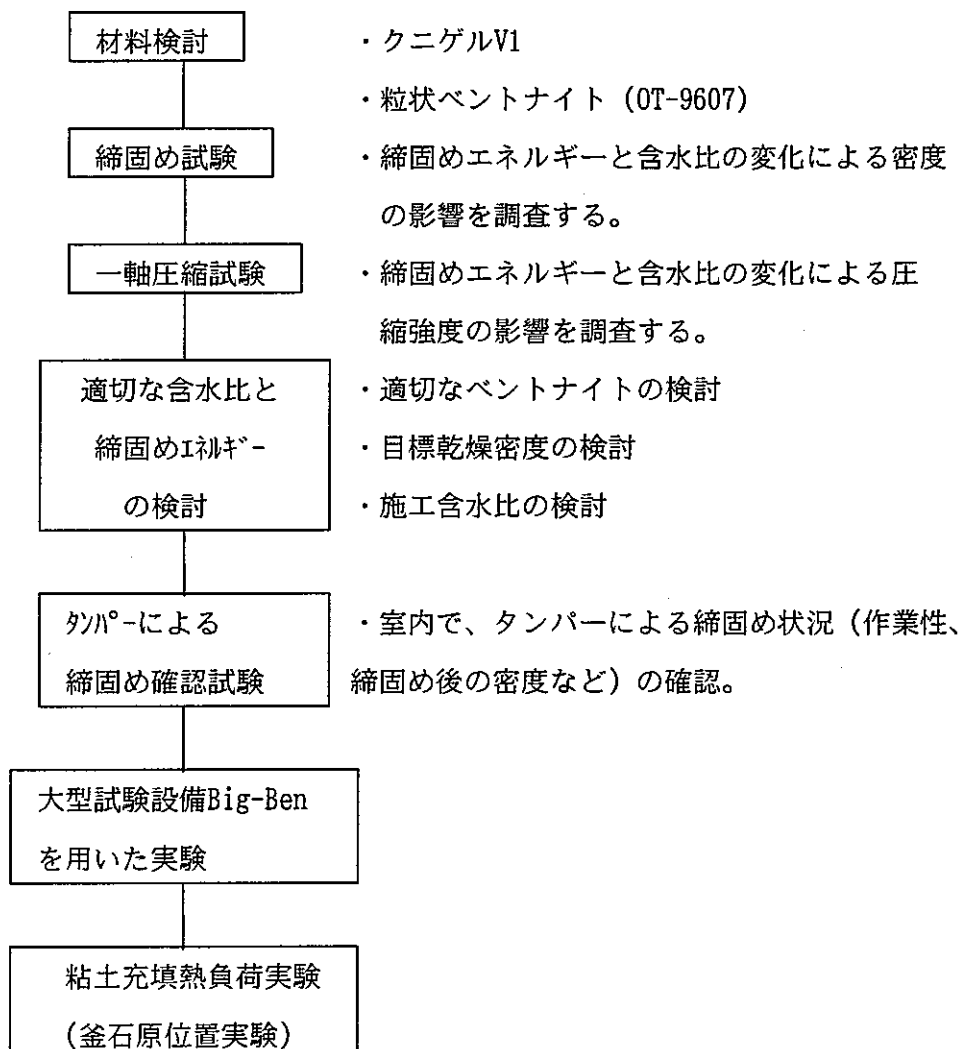


図-4.2.1.16 試験フロー

## イ) 試験方法

### ① 室内締固め試験および一軸圧縮試験

地盤工学会規定のCBR試験の方法 (JSF T 721) に準拠し、突き固めエネルギーを標準エネルギー $E_c$ の0.8~20倍に変化させて行った。試料はクニゲルV1および粒状ベントナイトを用いた。突固め後供試体を用いて一軸圧縮試験を実施した。

### ② タンパーによる締固め確認試験

幅50cm、長さ70cm、高さ45cmの木製箱に所定含水比に調整した試料を1層当たり厚さ14cm程度投入・しき均した後、50kg級電動タンパーを用いて、転圧した。

沈下がほとんどなくなるまでの転圧時間と転圧後の密度を測定した。

試料はクニゲルV1と粒状ベントナイトで、含水比を10~15%に変化させた。

締固め後に出来型測量、コアリング採取などの方法で密度を測定した。

## ウ) 試験結果

室内試験結果から次のことが判明した。

### ① 二軸強制ミキサーの適用性について

ミキサーの1バッチ内の含水比のばらつき (標準偏差) は、 $\sigma_{n-1}=0.13\sim 0.23\%$ で、また、試料作製全工程 (材料計量、加水、混合など) のばらつきを表わす全試料の標準偏差  $\sigma_{n-1}=0.39\sim 0.52\%$ と比較小さい値を示す。したがって、緩衝材の作製に2軸強制ミキサーの使用が可能であると考えられる。

### ② 施工性について

- ・ 試料の含水比 $w=10\%$ 未満では、転圧効果が見られず緩衝材固化体が得られなかった。 $w=12\%$ 程度の場合、転圧効果が見られたが転圧による表面ひび割れが発生し、また凹凸が多く滑らかな仕上げ面ができない。施工中に粉塵が多く発生した。
- ・  $w=14\%$  (粒状ベントナイトのみ) では、転圧による表面クラックの発生がほとんどなく、仕上がり面が滑らかである。また粉塵も比較的少なく、良い施工性を示す。

### ③ 転圧後品質について

クニゲルV1の場合、含水比  $w=13\%$ の試料の転圧後乾燥密度  $\rho_d=1.47\text{g}/\text{cm}^3$  程

度、また供試体表面にひび割れが多く見られた。

これに対して、粒状ベントナイトでは、 $w=12\%$ の場合 $\rho_d=1.66\text{g/cm}^3$ 、 $w=14\%$ の場合 $\rho_d=1.76\sim 1.85\text{g/cm}^3$ 程度になった。また、表面ひび割れは $w=12\%$ の場合、多少発生したが $w=14\%$ ではほとんど見られない。

これらの結果から、

- ・ 施工含水比は、クニゲルV1、粒状ともに、 $w=13\%$ 以上が必要である。
- ・ 材料は、クニゲルV1より粒状ベントナイトの方が乾燥密度は大きく、また施工性がよいと考えられる。

#### ④ 密度測定方法について

転圧後供試体の密度測定にはコアカッター、機械コアリング法、舗装用密度計による測定法（透過型）および出来型レベル測量法を用いた。

コアカッター法は供試体の密度および強度が比較的に大きいため、貫入は困難であった。また、貫入できても、サンプラー先端が変形したり、サンプルを掘り出すのに手間がかかり、周辺地盤がかなりの範囲で乱された。機械コアリング法（コンクリートコア採取用コアリング機械（電動、直径10cm））はサンプラー貫入は可能であったが、サンプラー内に入ったコア（試料）が膨張したためサンプラーからの取り出しができなかった。舗装用密度計による測定法はあらかじめ、ドリルを用いて直径2cm、深さ20cmの穴をあけた後、線源棒を挿入し、密度を測定した。この方法は前記の2方法に比較して測定が容易で、測定時間も早い。また、データの信頼性も高いと考えられる。

しかし、この方法は地盤に穴を開けなければならないこと、幅50cm以下の狭い所では測定できないことなどの欠点が上げられる。

したがって、原位置実験場において、狭い場所にも測定可能な小型の散乱型舗装用密度計が有効と考えられると考えられる。

ii) BIG BEN 試験

7) 試験目的

室内試験結果から選定された試料を用いて、BIGBEN試験を実施し、緩衝材供試体の施工性および施工後の品質などを確認することを目的とした。

なお、本試験はベントナイト単体を対象としたものである。

1) 試験方法

図-4.2.1.17 に試験フローを示す。

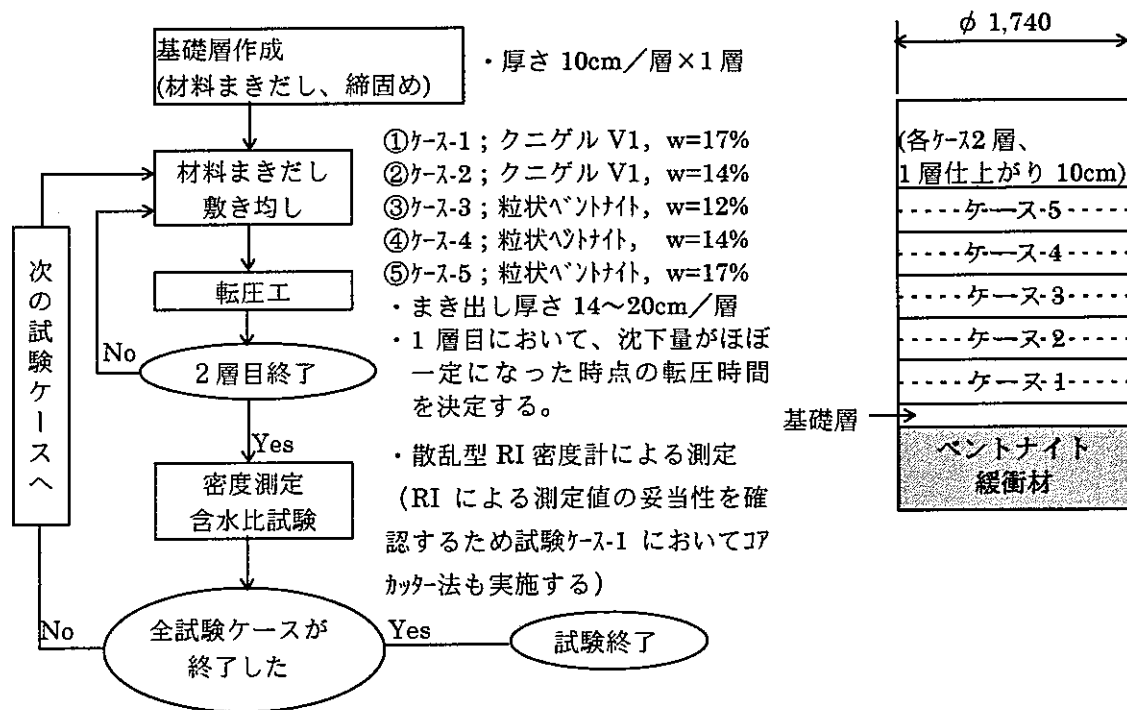


図-4.2.1.17 試験フロー

① 使用材料

クニミネ工業社製クニゲルV1と粒状ベントナイト (OT-9607) の2種類とした。

② 試験ケース

ケース-1: (クニゲルV1, w=17%)、ケース-2: (クニゲルV1, w=14%)、ケース-3: (粒状ベントナイト, w=12%)、ケース-4: (粒状ベントナイト, w=14%)、ケース-5: (粒状ベントナイト, w=17%) の5ケースとした。

③ 締固め

転圧後の出来上がり厚さは10cm/層程度で、各試験ケース毎に2層を施工した。

締固めは電動タンピングランマー（三笠社製MT-M50V、総重量48kg）を用いた。

④ 計測

各試験ケースの第2層目において、密度および含水比を測定した。

密度は舗装用密度計と出来型測量による方法を用いた。

含水比は舗装用密度計による密度測定箇所付近で試料を採取し、地盤工学会基準（JGS T 121）の方法（乾燥炉法）に準じて測定した。

ウ) 試験結果

一連の室内試験および原位置締固め施工確認試験（BIGBEN）の結果から、次のことが判明した。

① クニゲルV1および粒状ベントナイトのいずれの材料においても沈下がほぼなくなるまでに必要な転圧時間は約60分/層となった。

② 舗装用密度計密度計による乾燥密度の測定値はコアカッター法および出来型測定による乾燥密度より小さい。（図-4.2.1.18）

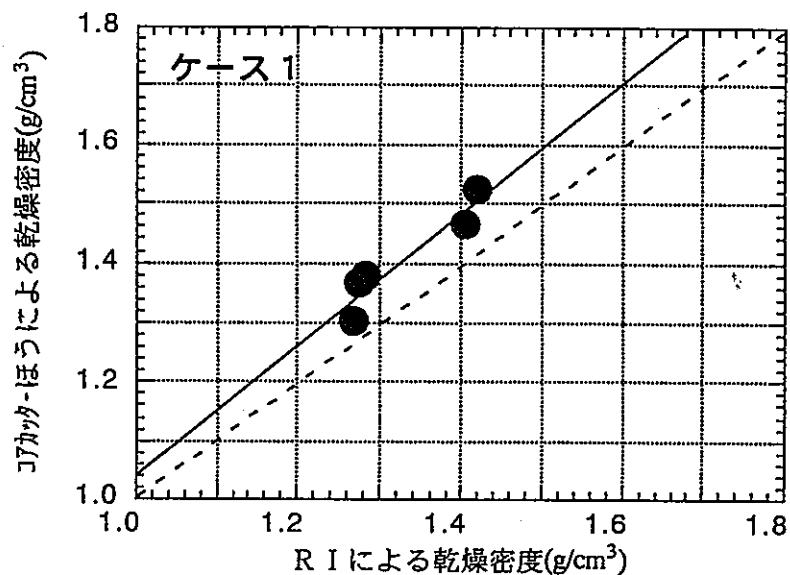


図-4.2.1.18 舗装用密度計とコアカッター法による乾燥密度の関係

舗装用密度計とコアカッター法による乾燥密度の相関関係を回帰分析により次式のように表される。この式を用いて舗装用密度計による測定値を補正することができると考えられる。

$$\rho_{d(c)} = -0.0648 + 1.1070 \times \rho_{d(R)} \quad (\text{g/cm}^3)$$

ここに、 $\rho_{d(c)}$ 、 $\rho_{d(R)}$ ：それぞれコアカッター法、舗装用密度計による乾燥密度を示す。

舗装用密度計による測定値のばらつきを標準偏差で評価すると $\sigma_{n-1} = 0.0145 \text{ g/cm}^3$ と比較的小さく、測定精度が良いと考えられる。

- ③ 施工後のベントナイトの品質のばらつきは、中央部では $\sigma_{n-1} = 0.0522 \text{ g/cm}^3$ 、壁付近部では、 $\sigma_{n-1} = 0.0696 \text{ g/cm}^3$ になり、壁付近部の標準偏差は中央部に比較してわずかながら大きい。
- ④ クニゲルV1より粒状ベントナイトの方が転圧後の密度が大きい。(図-4.2.1.19、4.2.1.20)

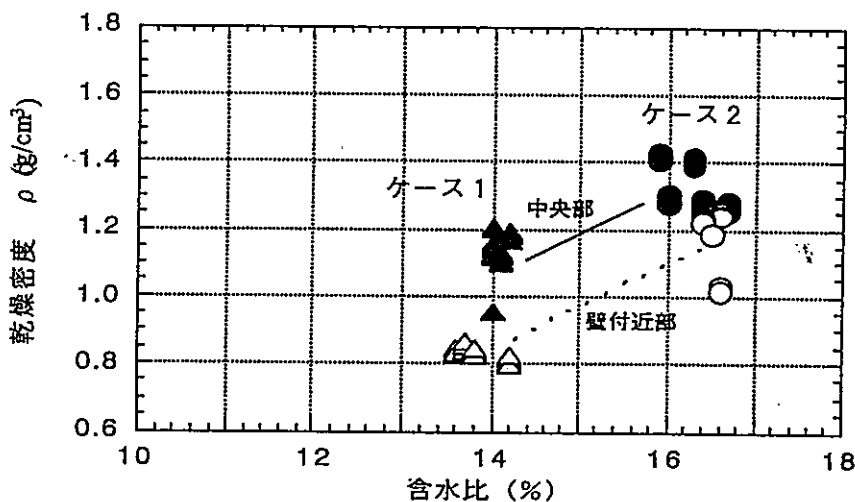


図-4.2.1.19 乾燥密度と含水比の関係 (クニゲルV1)

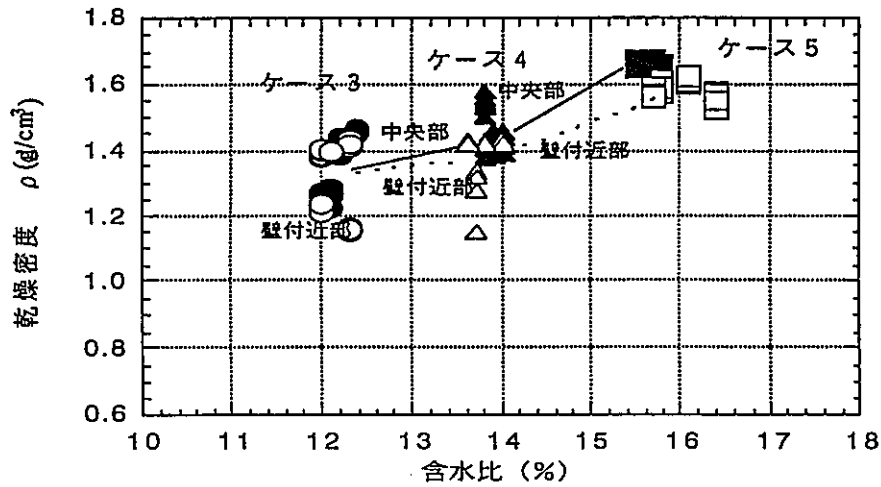


図-4.2.1.20 乾燥密度と含水比の関係 (粒状ベントナイト)

⑤ 含水比は14%程度以下では、転圧中に地表面の剥離や粉塵の大量発生など、施工性が悪い。(表-4.2.1.4)

また、転圧後の乾燥密度が1.4 g/cm<sup>3</sup>以下と小さく、より大きい密度が期待できない。

⑥ 今回の試験条件の範囲内において、粒状ベントナイトで、含水比16%程度の配合が最も大きな乾燥密度が得られた。中央部では $\rho_d=1.662\text{g/cm}^3$ 、壁付近部では $\rho_d=1.581\text{g/cm}^3$ になった。また、前述補正式を用いて補正すると

- ・ 中央部での乾燥密度 (平均) = 1.775 g/cm<sup>3</sup>
- ・ 壁近傍での乾燥密度 (平均) = 1.685 g/cm<sup>3</sup>

になり、壁付近部と中央部ともに、目標値を満足することになる。

表-4.2.1.4 各ケースにおける施工性の比較評価

ケース	材料	表面剥離	粉塵発生	転圧の難易	施工性評価
1	ケゲルV1 w=16.4%	△ (少ない)	△ (あり)	△	△
2	ケゲルV1 w=14%	× (非常に多い)	× (非常に多い)	△	×
3	粒状 w=12.2%	△~× (多い)	△ (あり)	△	×~△
4	粒状 w=13.8%	△ (少ない)	○~△ (多少あり)	△~○	△
5	粒状 w=15.8%	○ (殆どない)	○ (殆どない)	○	○

注) ○: 良い、△: 多少問題あり、×: 問題あり



iii) 現場実験 (釜石粘土充填熱負荷実験 (Ⅲ))

7) 使用ベントナイトの基本物性

クミネ工業社の製品で、粒径をクニゲルV1 より大きく製造したもの (商品名 OT-9607、以下粒状ベントナイトという) を用いた。

図-4.2.1.21 に粒径加積曲線を示す。

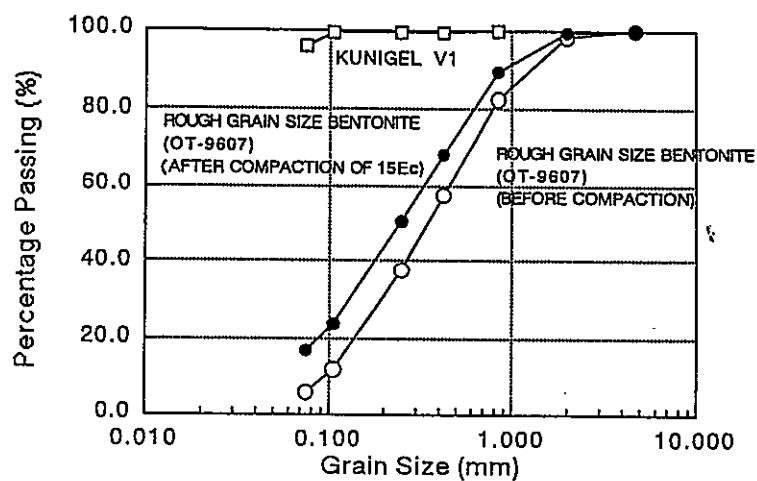


図-4.2.1.21 ベントナイトの粒径加積曲線

② 締固め・強度の特性

図-4.2.1.22、4.2.1.23 に室内締固め試験における締固め曲線、含水比と圧縮強さの関係の曲線を示す。ただし、突固めエネルギーは標準エネルギー- $E_c$  の 15 倍とした。 $(E_c = 2.5\text{kg} \times 30\text{cm} \times 25 \text{回} \times 3 \text{層} / 1000\text{cm}^3 = 5.625\text{cm} \cdot \text{kgf}/\text{cm}^3)$

最適含水比は $w_{opt} = 15\%$ 程度、最大乾燥密度 $\rho_{dmax} = 1.82\text{g}/\text{cm}^3$ である。

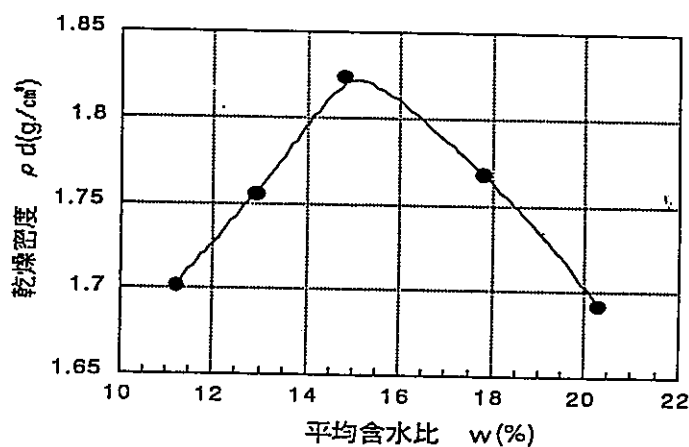


図-4.2.1.22 締固め曲線

図-4.2.1.24、図-4.2.1.25 にそれぞれ突き固めエネルギーに対する最大乾燥密度およびそのときの一軸圧縮強さの変化を示す。

突き固めエネルギーが  $5E_c$  までは乾燥密度、一軸圧縮強さともに急激に増加しており、その後は緩やかに増加していく。

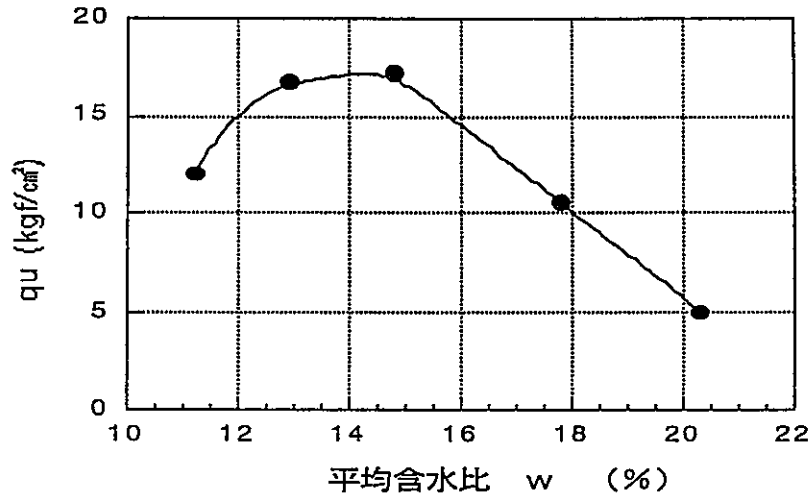


図-4.2.1.23 含水比と一軸圧縮強さの関係

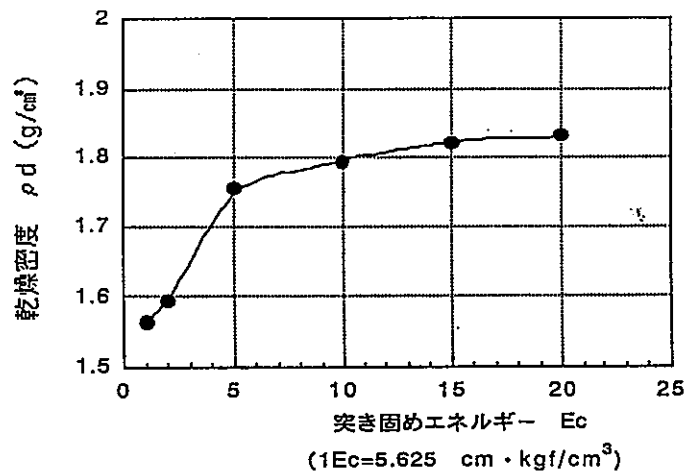


図-4.2.1.24 突き固めエネルギーに対する乾燥密度の変化

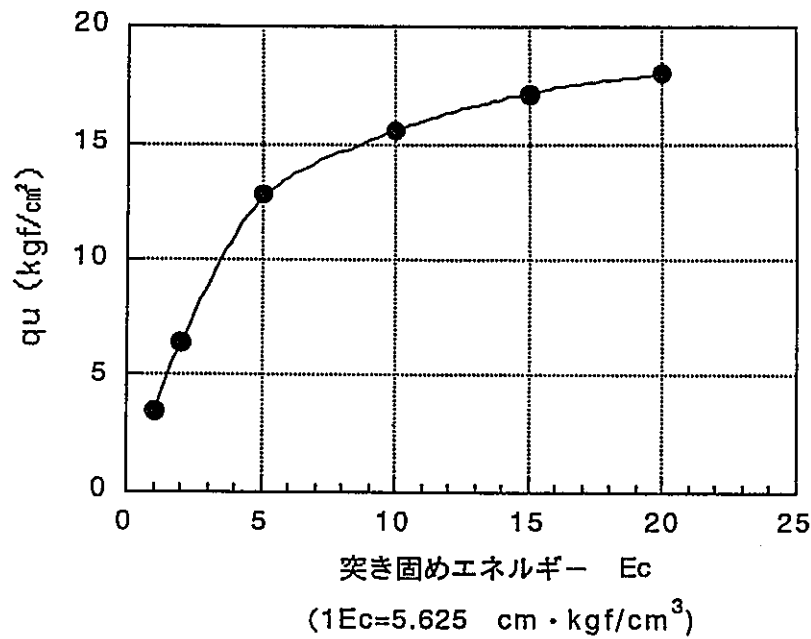


図-4.2.1.25 突き固めエネルギーに対する一軸圧縮強さの変化

③ メチレンブルー吸着量

図-4.2.1.26 は原位置実験に使用した全試料から 16 パッチのサンプルを採取し、メチレンブルー吸着量の測定結果を示したものである。

メチレンブルー吸着量は 60~68 mmol/100g に変化し、平均値は 64mmol/100g (標準偏差 2.48mmol/100g) であり、クニゲル VI (平均約 66mmol/100g) よりわずかながら小さくなっている。これは粒状ベントナイトとクニゲル VI の製造工程の違いによるものか、材料のばらつきによるものかは明らかではない。

メチレンブルー吸着量からモンモリロナイト含有率を推定すると、

モンモリロナイト含有率 =  $97.5 \times 64 / 136 = 45.9\%$  の結果になった。

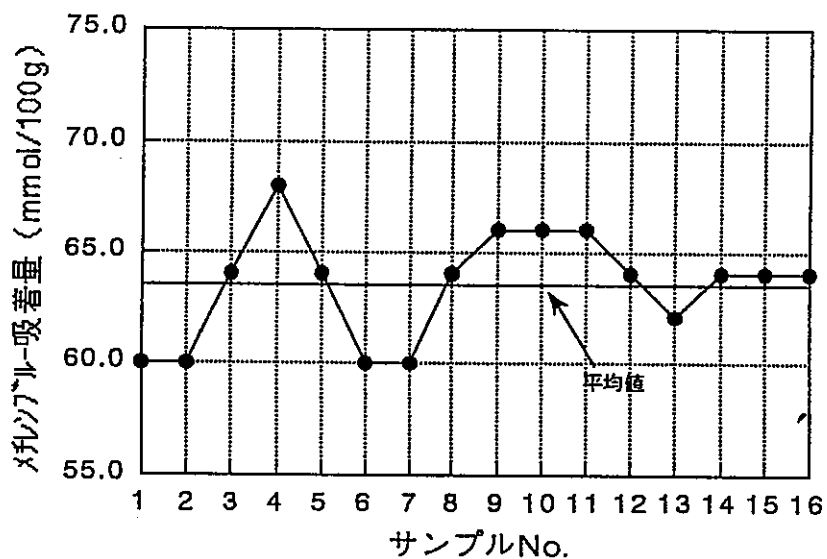


図-4.2.1.26 メチレンブルー吸着量の試験結果

## イ) 施工方法

### ① 施工断面および締固め方法

図-4.2.1.27 に緩衝材施工および計測機器設置断面を示す。

1層当り仕上がり厚さ10cmは44層、厚さ5cmは2層で、合計46層である。

締固め機械は電動タンピングランマー（三笠社製 MT-M50V）およびエアースタンダー（東洋空機製作所社製 T-6）を使用した。

### ② 密度管理方法

出来型測量と舗装用密度計による測定を実施した。

### ③ 施工管理項目および目標値

施工管理項目と目標値を表-4.2.1.5 に示す。

表-4.2.1.5 施工管理項目と目標値、管理値

項目	目標値	管理値
締固め前の材料の含水比 $w$	15%	15±2%
締固め後の乾燥密度 $\rho_d$	1.65g/cm <sup>3</sup>	1.65±0.05g/cm <sup>3</sup>
1層当たりの仕上がり厚さ	10cm <sup>1)</sup>	(特に規定しない)

注1) 発熱体上部やピット上部の層では高さ調整のため、この限りではない。

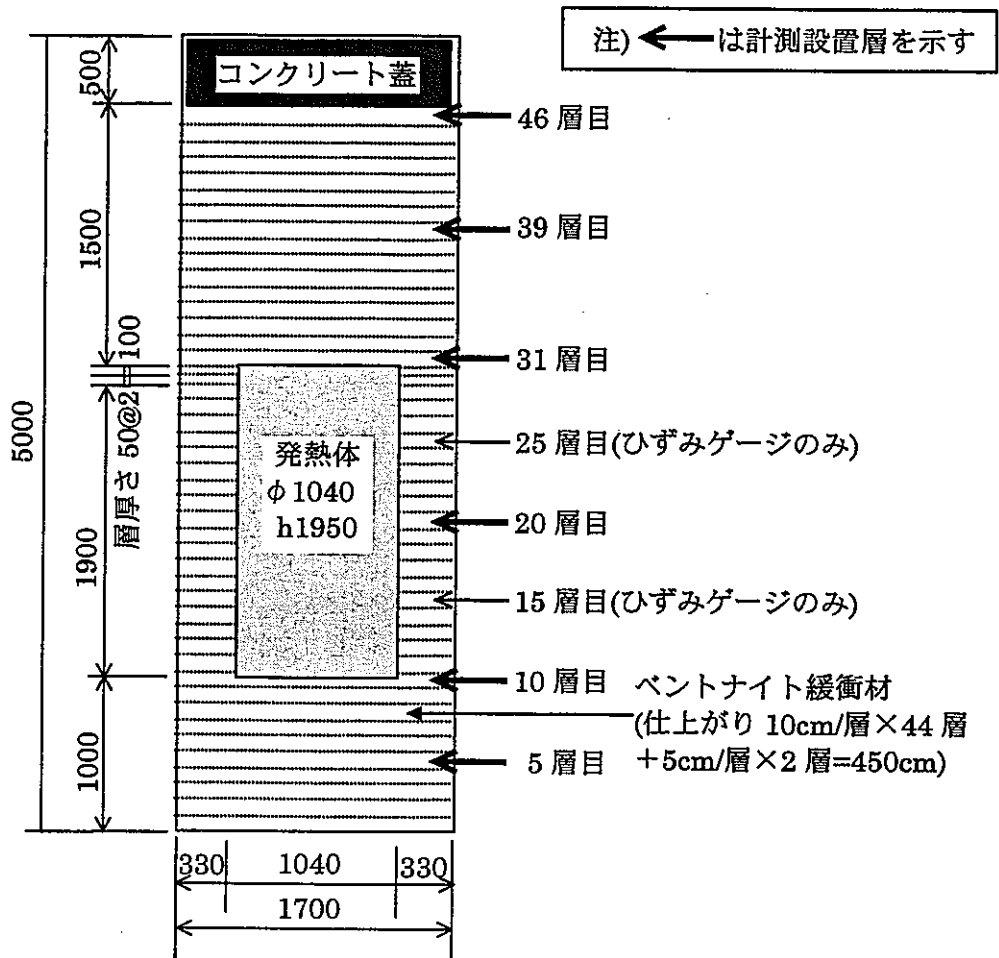


図-4.2.1.27 緩衝材施工および計測機器設置断面

④ 施工フロー

図-4.2.1.28に施工方法を示す。

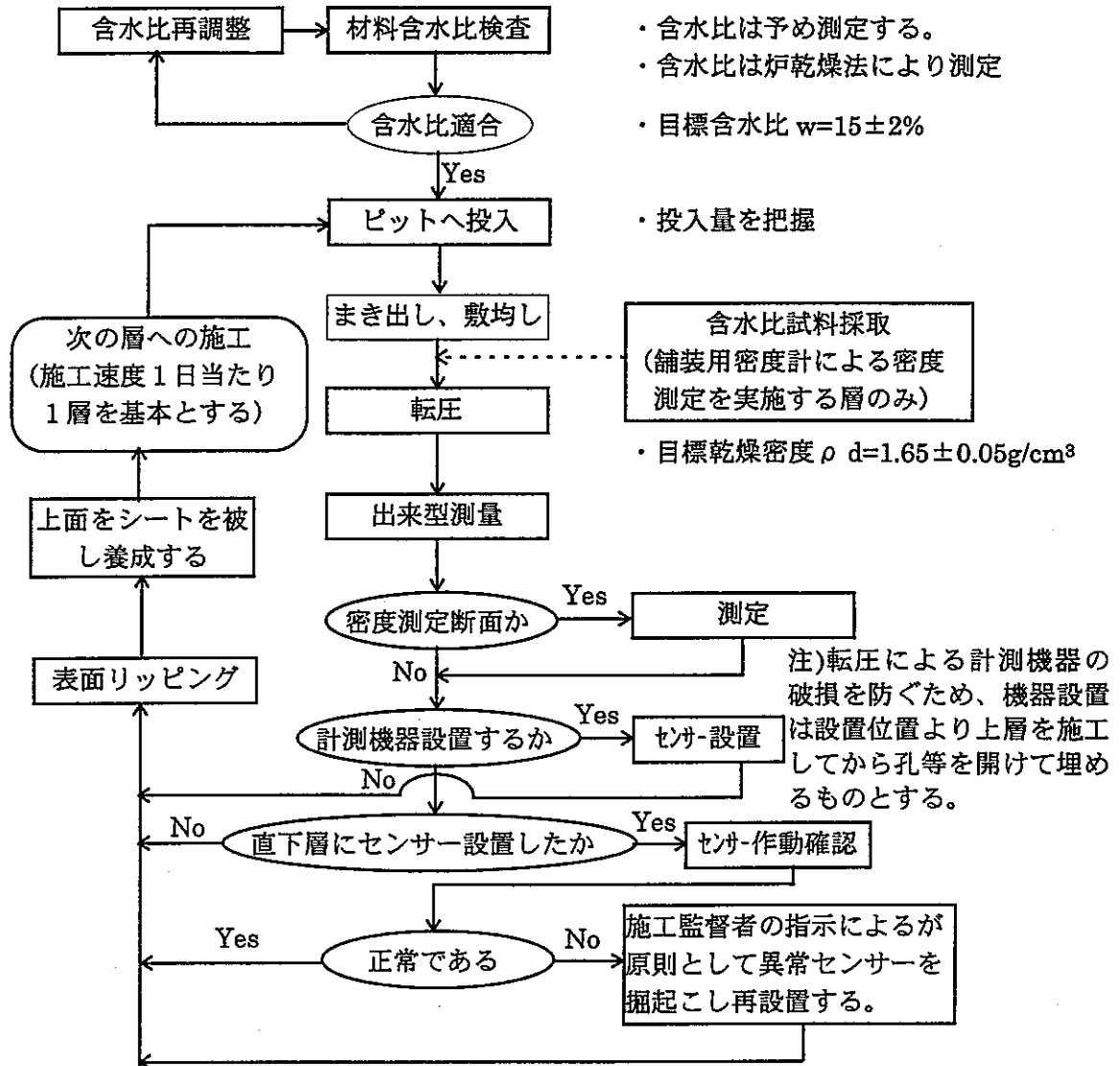


図-4.2.1.28 施工フロー

り) 試験結果

表-4.2.1.6 に測定データの平均値を示す。

表-4.2.1.6 測定データの平均値

項目	平均値	変化幅	標準偏差
含水比(%)	15.03	13.30~16.40	0.80
湿潤密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.900	1.815~2.011	0.046
乾燥密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.645	1.570~1.740	0.041
間隙比	0.604	0.523~0.688	0.039
飽和度(%)	66.16	55.73~79.05	5.09

試験結果から次のことが判明した。

- ① 含水比は 11.3~16.4% (平均 14.95%、標準偏差 0.96%) に変化し、層 No.36 のデータを除いて管理値の  $w = (15 \pm 2\%)$  を満足している。(図-4.2.1.29)

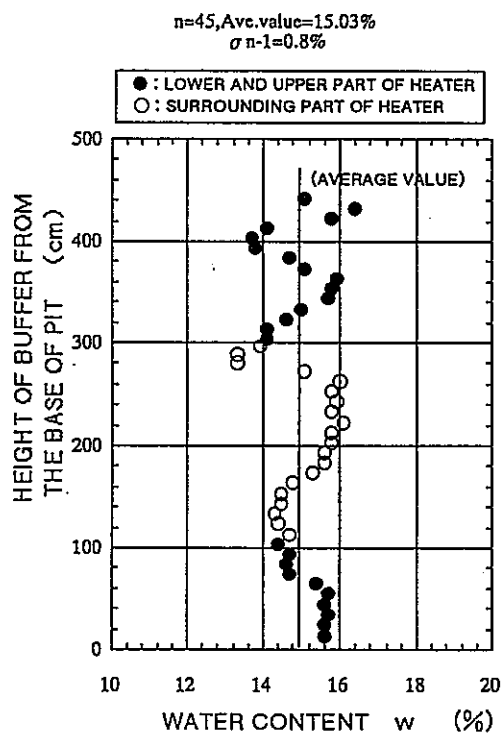


図-4.2.1.29 ピット底面から高さ方向における含水比の変化

② 締固め時間は各層においてかなり変化しており、単位面積当たりの締固め時間はおよそ 15~40 分/m<sup>2</sup> になっている。

締固め時間を締固めエネルギーに換算すると約 (20~55) Ec になる。

③ 乾燥密度は管理範囲の  $\rho_d = 1.6 \sim 1.7 \text{ g/cm}^3$  に対して、大部分が満足しており、また平均値は  $\rho_d = 1.65 \text{ g/cm}^3$  となり、目標値とほぼ同じである。(図-4.2.1.30)

しかしながら、一部のデータでは上記の管理範囲を満足していない。下限値を下回ったデータは、施工初期における測定誤差や含水比の変化によるものと考えられ、今後ピット底面の処理方法や含水比の管理方法を検討する必要がある。

一方、上限値を越えたデータでは、緩衝材の均等性からは望ましくないものの、緩衝材の遮水性、膨潤性や力学的安定性等、諸性能の確保・向上の観点からみると問題はなく、上限値は下限値ほど重要でないと考えられる。

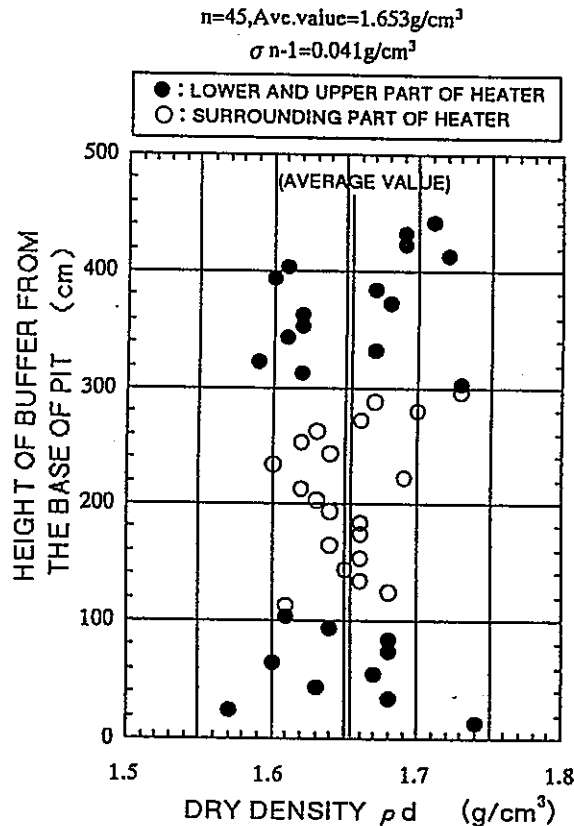


図-4.2.1.30 乾燥密度の変化

舗装用密度計による乾燥密度の平面的な変化の 1 例をみると、ピット壁面近傍では中央部より小さくなる傾向を示し、中央部では  $\rho_d \geq 1.62 \text{ g/cm}^3$  に対して壁面近傍では  $\rho_d \leq 1.62 \text{ g/cm}^3$  と小さくなっている。(図-4.2.1.31、4.2.1.32)



また出来型測量による全データの平均は  $1.62 \text{ g/cm}^3$  程度で、同じ層のバル測量による平均乾燥密度とほぼ同じである。

中央部と壁面の密度の違いは締固め方法に加え、岩壁の放射性による舗装用密度計への影響等も考えられる。したがって、今後、特に壁面近傍における締固め方法や密度の測定方法を検討する必要があると考えられる。

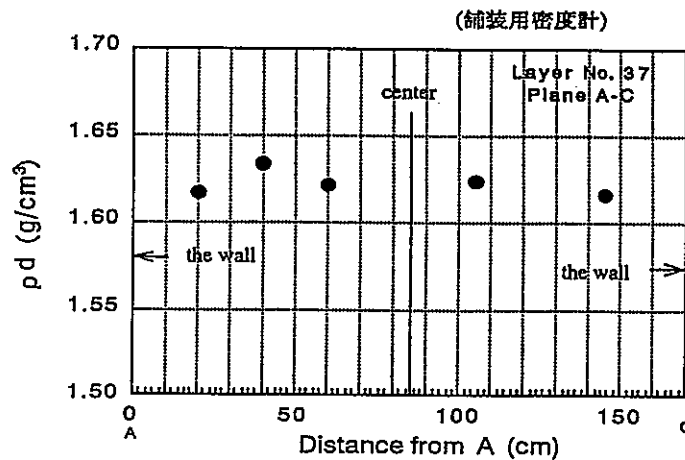


図-4.2.1.31 乾燥密度の平面的な変化 (AC断面)

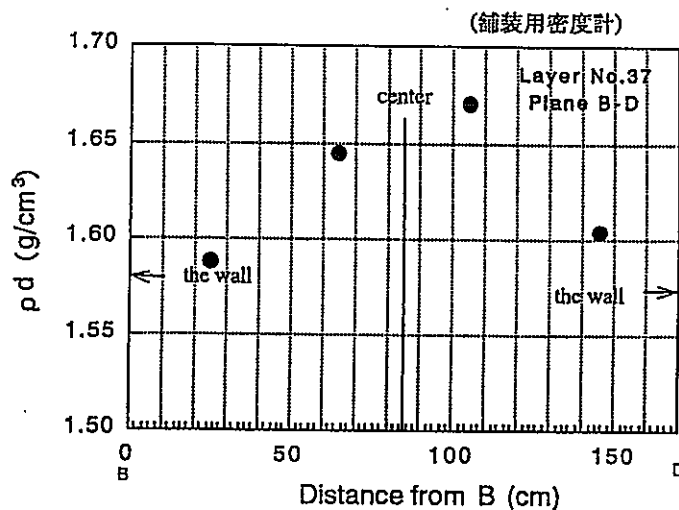


図-4.2.1.32 乾燥密度の平面的な変化 (BD断面)

- ④ 間隙比および飽和度はそれぞれ  $0.52 \sim 0.68$  (平均  $0.60$ )、 $56 \sim 78\%$  (平均  $66.2\%$ ) であり、締固め後の緩衝材は不飽和状態を示す。

### (3) ブロック方式

佐藤(1990)<sup>1)</sup>は、緩衝材の熱-水-応力連成現象の研究のために、実規模の試験設備(緩衝材大型試験設備;以下にBIGBENと呼ぶ)を製作した。ここでは、ブロック方式の緩衝材を採用し、ベントナイトと珪砂の乾燥重量比(以下にB/Sと呼ぶ)をB/S=7/3に設定した。以下に、配合選定のための室内試験とブロックの製作実績をまとめる。

#### (a) 室内試験

珪砂の配合比を決定するために、以下の検討を実施し、10MPaの成型加圧力の場合の最適配合としてB/S=7/3を決定した。試験条件と内容は以下のとおりである。

- (条件)
- ・ベントナイト/珪砂配合比(B/S)  
B/S = 10/0, 7/3, 6/4, 5/5, 4/6 の5条件
  - ・含水比 w=10%

#### (試験項目)

- ①締固め試験:成型圧力  $P=100 \text{ kgf/cm}^2$  (100tプレス機で1000 $\text{cm}^2$ の面をプレスする場合を想定)で試料を成型し、密度を測定する。
- ②熱伝導率測定:湿潤密度  $2 \text{ t/m}^3$ の試料の熱伝導率を非定常熱線法により測定する。
- ③一軸圧縮試験:熱伝導率測定後の試料の一軸圧縮強度およびヤング率を測定する。
- ④水分拡散試験:湿潤密度  $2 \text{ t/m}^3$ に成型した円柱状の試料の片面から蒸留水を浸潤させ、1日後の含水比の分布から水分の拡散速度を評価する。
- ⑤乾燥ひび割れ観察:締固め試験で製作した試料を  $80^\circ\text{C}$ で乾燥させ、乾燥後のひび割れの発生状況を調査する。

試験結果を、図-4.2.1.33に示す。試験の結果から、含水比10%で湿潤密度が  $2.0 \text{ g/cm}^3$ 以上であり、 $80^\circ\text{C}$ で乾燥ひび割れが少ない配合として、B/S=7/3を選定した。

次に、B/S=7/3の配合で、実物大ブロックの締固め試験を行った結果を、図-4.2.1.34に示す。締固め後の乾燥密度はややばらついているが、最大乾燥密度  $1.92 \text{ g/cm}^3$ 、最適含水比は13.6%となった。

また、金型からブロックを取り出した後の緩衝材の体積変化が小さいことから、緩衝材の原料の重量とプレス時の厚さを98mm~101mmに管理することにより、湿潤密度  $2.0 \text{ g/cm}^3$ 以上の高密度の緩衝材が得られることが明らかになった。

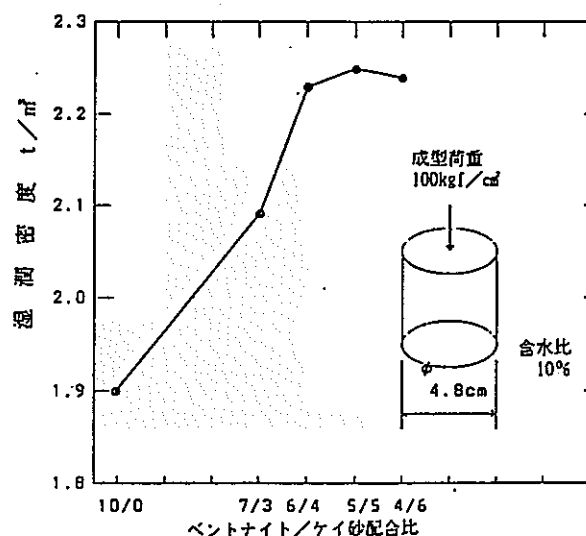


図-4.2.1.33 ベントナイト/珪砂の混合比と密度

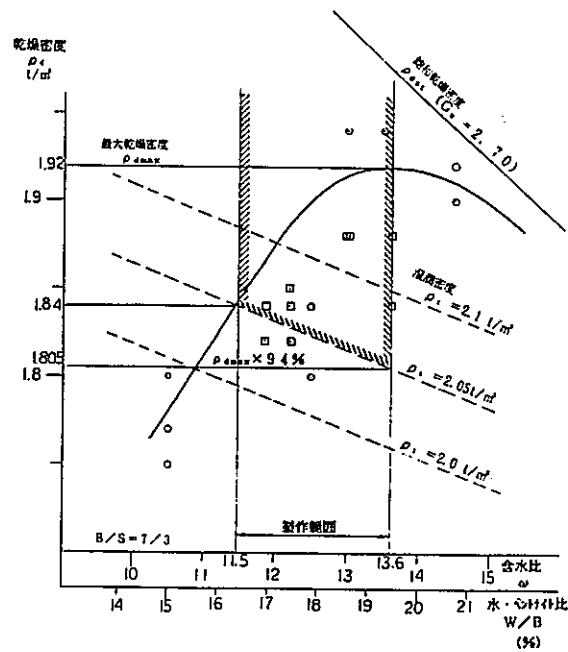


図-4.2.1.34 緩衝材製作試験結果

(b) 緩衝材ブロック製作実績

緩衝材ブロックの製作数は 600 ブロックである。工場で製作された緩衝材は、ビニール袋に梱包後、BIGBEN に搬入し試験孔に設置した。緩衝材ブロックの乾燥密度を図-4.2.1.35 に示す。

BIGBEN では、ブロック全体積  $6.246\text{m}^3$ 、ブロックの平均乾燥密度  $1.849\text{g}/\text{cm}^3$ 、隙間を充填したときの緩衝材の平均乾燥密度（隙間に充填したベントナイト粉も考慮）は  $1.706\text{g}/\text{cm}^3$  となった。

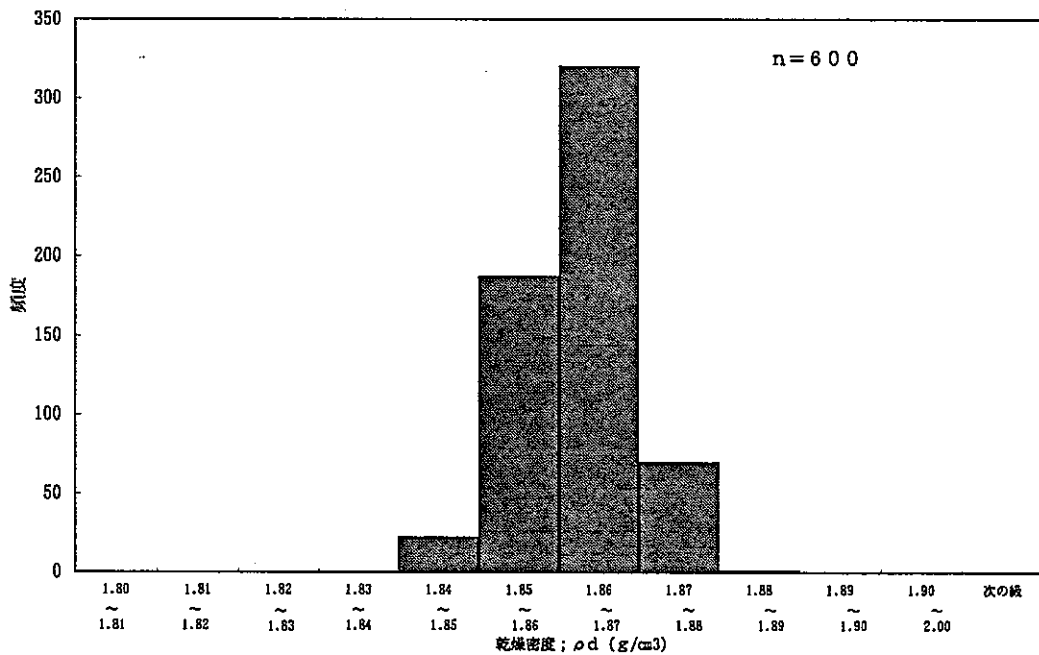


図-4.2.1.35 BIGBEN 緩衝材乾燥密度

#### 4.2.2 施工手順と品質管理手法の検討

緩衝材の製作・施工技術としては、原位置で材料を締め固める現場締め方式と工場で成型したブロックを設置するブロック方式等がある。本項では、既往の試験事例から、製作・施工の手順と品質管理手法についてまとめる。

##### (1) 施工手順

###### (a) 現場締め方式

- ① ベントナイト製造：工場にて所定仕様の材料（ベントナイトと珪砂）を製造する。
- ② 運搬：材料を産地から施工サイトへ運搬する。
- ③ 練混ぜ：珪砂混合の場合、珪砂とベントナイトをミキサーで混合し、含水比を調整する。
- ④ 材料養生、保管：材料を練混ぜて製作した後に、ビニール袋または蓋付きコンテナに入れ、水分の出入りがないように密閉する。
- ⑤ 坑内運搬：地上の保管施設から地下の一時保管場所に材料を運搬する。
- ⑥ 坑内保管：水滴のない場所に仮置きする。
- ⑦ 現地締め：締め後の仕上がり厚さと、目標乾燥密度を設定し、所定量の材料を投入し、敷き均した後に締めを行う。

###### (b) ブロック方式

- ① ベントナイト製造：工場にて所定仕様の材料（ベントナイトと珪砂）を製造する。
- ② 運搬：材料を産地から、施工サイトのブロック製造工場へ運搬する。
- ③ 練混ぜ：珪砂混合の場合、珪砂とベントナイトをミキサーで混合し、含水比を調整する。
- ④ 材料養生、保管：材料を練混ぜて製作した後に、ビニール袋または蓋付きコンテナに入れ、水分の出入りがないように密閉する。
- ⑤ 成型プレス：設計含水比でブロックをプレスする。

- ⑥ ブロック梱包および保管：地上の保管施設でブロックをビニール等で梱包し、保管する。
- ⑦ 坑内運搬：地上の保管場所から地下の一時保管場所にブロックを運搬する。
- ⑧ 坑内保管：水滴のない場所に仮置きする。
- ⑨ 積重ね：処分場所に緩衝材を積重ね設置する。
- ⑩ 隙間処理：ブロックと岩盤あるいは廃棄体との間の隙間を処理する。

## (2) 品質管理手法

表-4.2.2.1、表-4.2.2.2に現場締固め方式とブロック方式の施工工程と品質管理の内容を示す。

表 - 4.2.2.1 現場締固め方式における施工工程と品質管理

工程	作業内容	管理項目、方法、管理値		測定頻度
		珪砂との混合	ベントナイト単体	
ベントナイト製造	粒度,モンモリロナイト量の検査	クニゲルV1 ・メチレンブルー吸着量 ≥ 6 0mmol/100g	OT-9607 ・メチレンブルー吸着量 ≥ 60 mmol/100g ・粒度試験 ・(1.5mm ≤ Dmax ≤ 5mm, 細 粒分 5% ≤ Fs ≤ 15%)	・1回/ロット
運搬(ベントナイト産地→サイト)	生産ロットごとの運搬	・重量検査	・重量検査	
練混ぜ	含水比、砂含有量の管理 (ベントナイト砂比 B/S=7/3)	・砂含有率:水洗い 砂含有率 30±2% ・含水比:炉乾燥法 w=(15±2)%	・含水比:乾燥法 w=(15±2)%	・1回/バッチ
材料養生、保管	平衡含水状態まで養生	・目視:密閉状態 ・養生期間:1日以上	・目視:密閉状態 ・養生期間:1日以上	
坑内運搬(地上施設→地下)	坑内への運搬	・目視:密閉状態	・目視:密閉状態	
坑内保管	坑内での仮置き保管	・目視:密閉状態、 水滴のない場所	・目視:密閉状態、 水滴のない場所	
現地締固め	現地での締固め作業	・含水比:炉乾燥 w=(15±2)% ・仕上がり厚さ:レベル測量 10cm/層を基本とする ・乾燥密度:レベル測量、 舗装用密度計 ρ d ≥ 1.7g/cm <sup>3</sup>	・含水比:炉乾燥 w=(15±2)% ・仕上がり厚さ:レベル測量 10cm/層を基本とする ・乾燥密度:レベル測量、 舗装用密度計 ρ d ≥ 1.6g/cm <sup>3</sup>	・1回/層 ・レベルは1回/層、舗装密度計は1回/m

表 - 4.2.2.2 ブロック型方式における施工工程と品質管理

工程	作業内容	管理項目、方法、管理値		測定頻度
		珪砂との混合	ベントナイト単体	
ベントナイト製造	粒度,モンモリロナイト量の検査	クニゲルV1 ・メチレンブルー吸着量 ≥ 6 0mmol/100g	クニゲルV1 ・メチレンブルー吸着量 ≥ 6 0mmol/100g	・1回/ロット
運搬(ベントナイト産地→サイト)	生産ロットごとの運搬	・重量検査	・重量検査	
練混ぜ	含水比、砂量の管理	・砂含有率:水洗い 砂含有率 30±2% ・含水比:炉乾燥法 11.5 ≤ w ≤ 13.7%	・含水比:炉乾燥法 11 ≤ w ≤ 13%	・1回/バッチ
材料養生	平衡含水状態まで養生	・目視:密閉状態 ・養生期間:1日以上	・目視:密閉状態 ・養生期間:1日以上	
成型プレス	設計含水比での工場プレス	・ブロック厚さ:ノギス法 98 ≤ H ≤ 101mm 乾燥	・ブロック厚さ:ノギス法 98 ≤ H ≤ 101mm 乾燥	・4側線/ブロック
ブロック養生、保管	ブロックの養生と貯蔵	・目視:ひび割れ状態、 破損状態		
ブロック梱包	ブロックの防護			
坑内運搬(地上施設→地下)	坑内への運搬	・目視:ひび割れ状態、 破損状態	・目視:ひび割れ状態、 破損状態	
坑内保管	坑内での仮置き保管	・目視:ひび割れ状態、 破損状態	・目視:ひび割れ状態、 破損状態	
積み重ね	処分場所でのブロック設置	・目視:ひび割れ状態、 破損状態 ・積み重ね精度	・目視:ひび割れ状態、 破損状態 ・積み重ね精度	・1回/廃棄体
隙間処理	隙間、継目の処理	・隙間充填の密度 (未検討)	・隙間充填の密度 (未検討)	

a) 現場締め

各工程段階における品質管理項目と管理値は、次に示す。

① ベントナイトと砂の検査

製造されたベントナイトを出荷する前に工場において、次の試験にて品質管理を行う。

- ・ メチレン吸着量試験（日本ベントナイト工業会標準試験方法 JBAS-107）に準拠）

管理値： $\geq 60\text{mmol}/100\text{g}$

- ・ 含水比試験（日本地盤工学会基準 JSF T 121 に準拠）

管理値は特に設定しないが一般に  $w < 10\%$  程度

- ・ 粒度試験（日本地盤工学会基準 JSF T 131 に準拠）

OT-9607 のみに対して実施する。

管理値：最大粒径  $1.5\text{m} \leq D_{\text{max}} \leq 5\text{mm}$ 、細粒分 ( $-75 \mu\text{m}$ )  $15 \geq F_s \geq 5\%$

試験頻度は各試験項目ともに1ロット (0.5~1.0t) 当り1回とする。

また、砂に対して粒度試験と含水比試験を実施する。

（粒度の管理値は設計する砂の粒度分布範囲内にあること）

② 施工サイトへの運搬

ベントナイトと砂を産地からサイトへ運搬したのち、数量（重量）を検査する。

③ 練混ぜ

練混ぜはサイトに設置した混合プラント（バッチャープラント）を用いて行う。

練混ぜは砂、ベントナイトの順でミキサーに投入し、1分間混合したのち、攪拌しながら水を入れ、2分間混ぜる。

混合後の材料に対して含水比と砂分含有率を品質管理項目とする。

- ・ 含水比の管理値： $15 \pm 2\%$
- ・ 砂分含有率の管理値： $30 \pm 2\%$ （B/S=7/3の場合）

なお、砂分含有率の測定方法は目開き  $75 \mu\text{m}$  のふるいを用いて、予め測定した材料の乾燥重量を水洗いしたのち、残留した分を乾燥炉にて乾燥させたのち、重量を測定し、これを砂分として砂分含有率を算定する。

測定頻度は含水比では1回/パッチ、砂分含有率では適宜（5~10パッチ当り1回程度）実施する。

#### ④ 材料の保管・養生

材料を攪拌・混合した後、袋またはコンテナにて密閉して養生する。養生場所はなるべく直射日光または降雨にさらされないように小屋などの施設内に保管する。混合製作から供用まで1日間以上を養生する。

なお、本保管・養生工程は坑内へ運搬したのち行ってもよい。

#### ⑤ 坑内運搬、保管

材料を地上施設から地下へ運搬したのち、水滴のない場所に仮置きする。

#### ⑥ 現地締固め

締固めの手順は

イ) 材料の投入：処分ピットに1層当りの所定量の材料を投入する。

ロ) 敷ならし：材料を凹凸がないように敷ならす。

ハ) 締固め：所定の密度が得られるまで締固め機械にて締め固める。

施工管理は、平均乾燥密度である。

管理方法は出来型測量（層の出来上がり厚さ）と舗装用密度計を用いる。

・ 管理値  $1.60 \geq \rho_d \geq 1.7g/cm^3$

測定頻度は、出来型測量は1回/層、舗装用密度計による測定は出来型測量の補充の意味で適宜（例1回/10層）実施する。

ニ) 表面リッピング：締固め後の層表面を爪がついた装置等で深さ数cmの溝を多数施工し、次の上部層との密着性を向上させるものである。

締固め機械は現段階では未定であるが所定の品質、施工時間の確保や安全性、経済性が満足できるものが求められる。

締固め方法は動的な方法と静的な方法が考えられるが動的な方法では現場において振動体で締固め方法、静的な方法ではピット内の敷き均した材料上面に加圧版を乗せ、荷重やジャッキなどによってプレスする方法が考えられる。

今後、締め固め機械と方法に関する研究・開発が重要な課題の一つである。

#### b) ブロック方式

ブロック方式の各工程段階における品質管理は、次のようなものが上げられる。

##### ① ベントナイトと砂の検査

検査項目は現場締固め方式と同様である。ただし粒度試験については使用する



クニゲル V1 の粒径が小さく、また商品化されていることから実施しないものとする。

- ・ メチレンブルー吸着量

管理値： $\geq 60\text{mmol}/100\text{g}$

- ・ 含水比

特に規定しないが、 $w < 10\%$ 程度

試験頻度は各試験項目ともに1ロット(0.5~1.0t) 当り1回とする。

また、砂に対して粒度試験と含水比試験を実施する。

#### ② 施工サイトへの運搬

ベントナイトと砂を産地からサイトへ運搬したのち、数量(重量)を検査する。

#### ③ 練混ぜ

練混ぜはサイトに設置した混合プラントを用いて行う。

練混ぜは砂、ベントナイトの順でミキサーに投入し、1分間混合したのち、攪拌しながら水を入れ、2分間混ぜる。

混合後の材料に対して含水比と砂分含有率を品質管理項目とする。

- ・ 含水比の管理値： $11.5 \geq w \geq 13.7\%$  (B/S=7/3の場合)
- ・  $11.0 \geq w \geq 13.0\%$  (ベントナイト(クニゲルV1)のみの場合)
- ・ 砂分含有率の管理値： $30 \pm 2\%$  (B/S=7/3の場合)

測定頻度は含水比では1回/パッチ、砂分含有率では適宜(5~10パッチ当り1回程度)実施する。

練り混ぜた後材料をコンテナなどに入れ蓋して水の出入りを防止する。

また材料製造量(速度)はブロック製造工程と合わせて調整する必要がある。

#### ④ 成型プレス

所定形の型枠に材料を投入し、所定の圧力で加圧してブロックを製作する。

管理項目は投入量、加圧力、出来上がり寸法である。またひび割れや破損の有無を目視で確認する。

投入量は秤、加圧力は圧力計、出来上がり寸法はノギスで測定する。

管理項目は乾燥密度とブロック寸法(厚さ)

- ・ 乾燥密度  $\rho_d \geq 1.8\text{g}/\text{cm}^3$  (岩盤ビット壁との間と廃棄体容器との間の隙間へ自己シール後の平均密度  $\rho_d \geq 1.6\text{g}/\text{cm}^3$ )

- ・ ブロック厚さ  $98 \leq D \leq 101\text{mm}$  (設計厚さ 100mm の場合)
- ⑤ ブロックの梱包・保管・養生
 

ブロックの水分の出入りがないように、また運搬中や取扱い中にブロックが破損されないようにプラスチック製シート等で梱包し、木製型枠などで保護する。

保管・養生場所はなるべく直射日光または降雨にさらされないように小屋などの施設内に保管する。ブロック製作から供用まで1日間以上を養生する。
- ⑥ 坑内運搬、保管
 

ブロックを地上施設から地下へ運搬したのち、水滴のない所に仮置きする。
- ⑦ 積重ね
 

処分ピットにブロックを精度よく積み重ねていく。

管理項目は、使用前のブロックの破損やひび割れ状態および積み上げ鉛直度である。破損、ひび割れは目視、鉛直度は測量による。
- ⑧ 隙間処理
 

ピットの岩盤壁面と緩衝材および廃棄体容器と緩衝材との間の隙間をベントナイト粉末または砂などを充填して処理する。

管理項目は、密度である(充填量から平均密度を算定する)

  - ・ 管理値は現段階ではまだ検討・設計されていない。

図-4.2.2.1 にブロック型の製造工程の1例を示す。

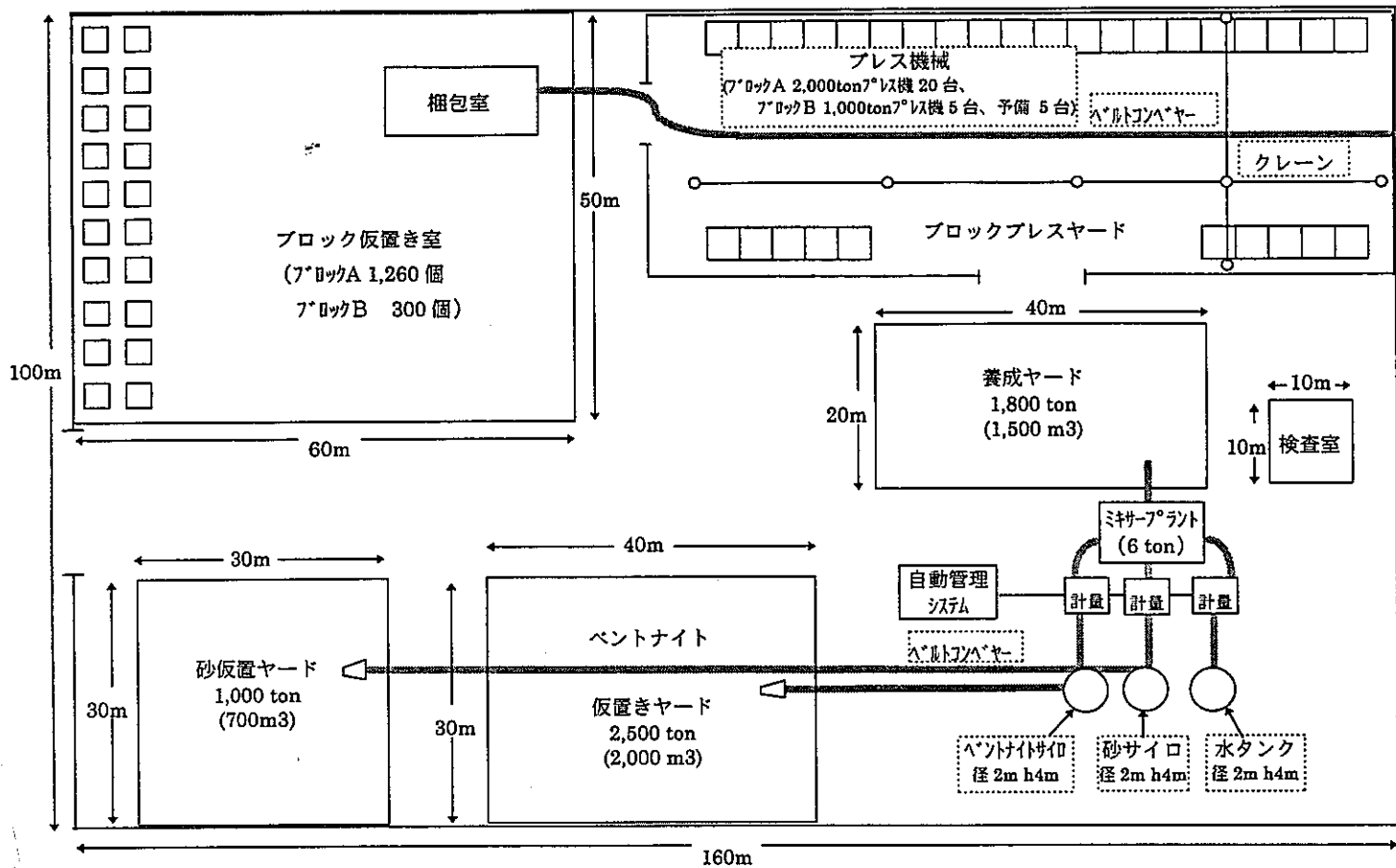


図-4.2.2.1 ブロック型の製造工程の1例

(3) 施工管理

図-4.2.2.2、4.2.2.3 に現場締固め方式、ブロック方式における施工管理フローを示す。

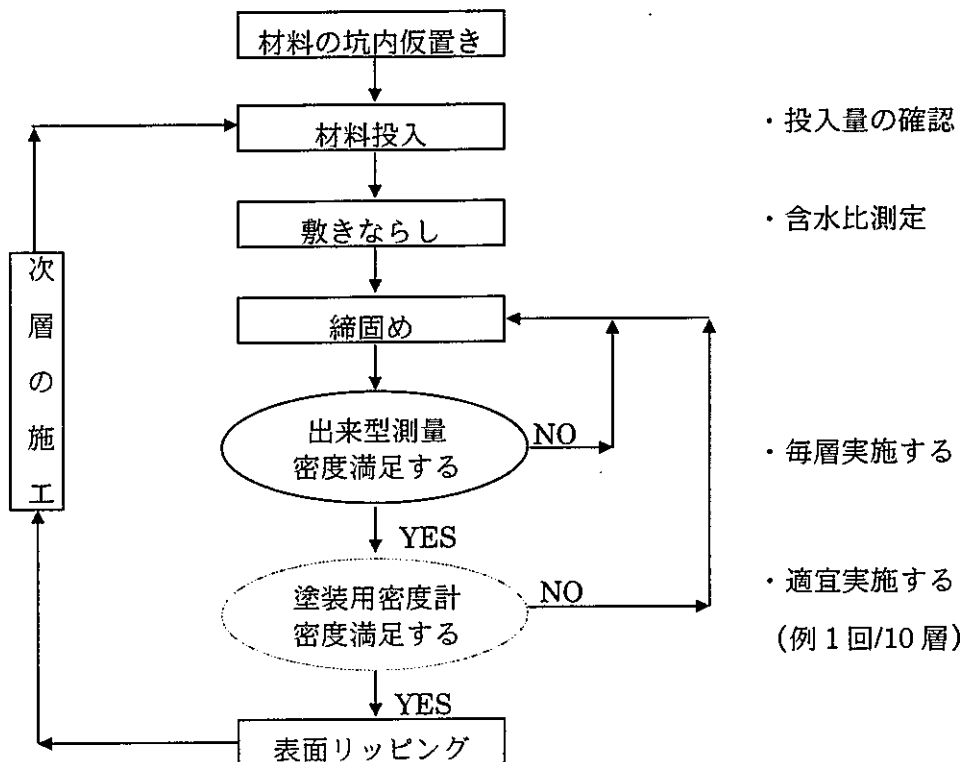


図-4.2.2.2 現場締固めの施工管理フロー

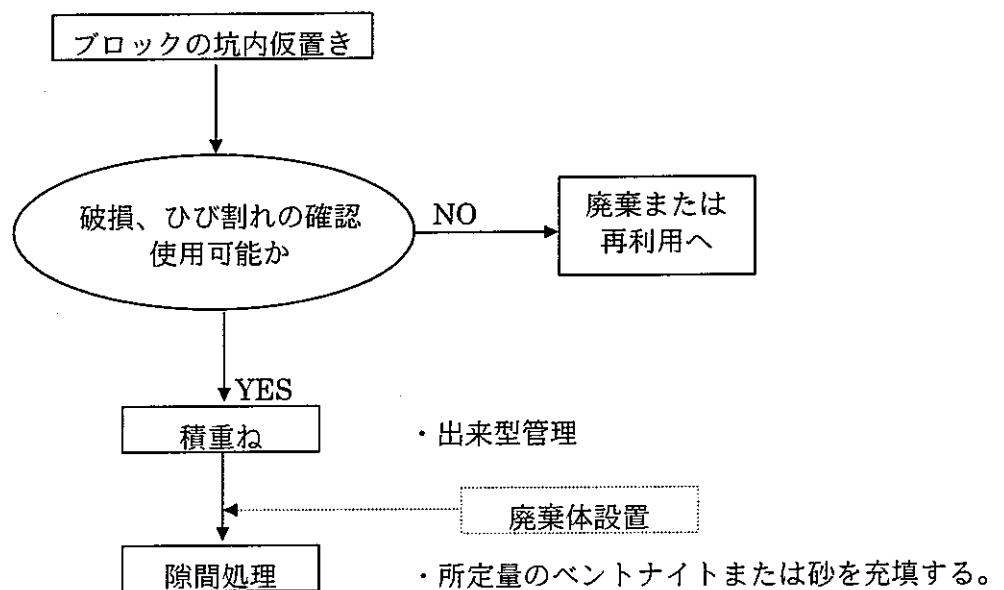


図-4.2.2.3 ブロック型方式の施工管理フロー

[参考文献]

- 1) 雨宮清、柴田雅博、塚根健一、他：「ベントナイトの基本特性調査」、PNC SN8410 89-033、1989.6
- 2) Ishikawa, H., Amemiya, K., et al., Comparison of Fundamental Properties of Japanese Bentonite as Buffer Material for Waste Disposal, *Proc. of the 9th Int. Clay Conf* 1989, pp107-115
- 3) Fujita, T., Chijimatsu M., et al., Fundamental Properties of Bentonite OT-9607, PNC TN8410 97-071, 1997
- 4) Nuttall, K., et al., Engineered Barrier Research in Canada, IAEA-SM-289/21, 1986
- 5) 佐藤信二、他：「緩衝材の熱—水—応力連成試験」、PNC N8410 90-060、1990.6

## 4.3 地層処分施設の設計検討

### 4.3.1 広域地下水流動解析

ここでは広域地下水流動の解析的な評価として、以下に示す検討内容について示す。

- ① 解析目的、前提条件の整理
- ② 解析領域、境界条件の設定
- ③ 飽和・定常3次元地下水流動解析
- ④ 解析結果の考察

図-4.3.1.1 に広域地下水流動解析検討フロー図を示す。

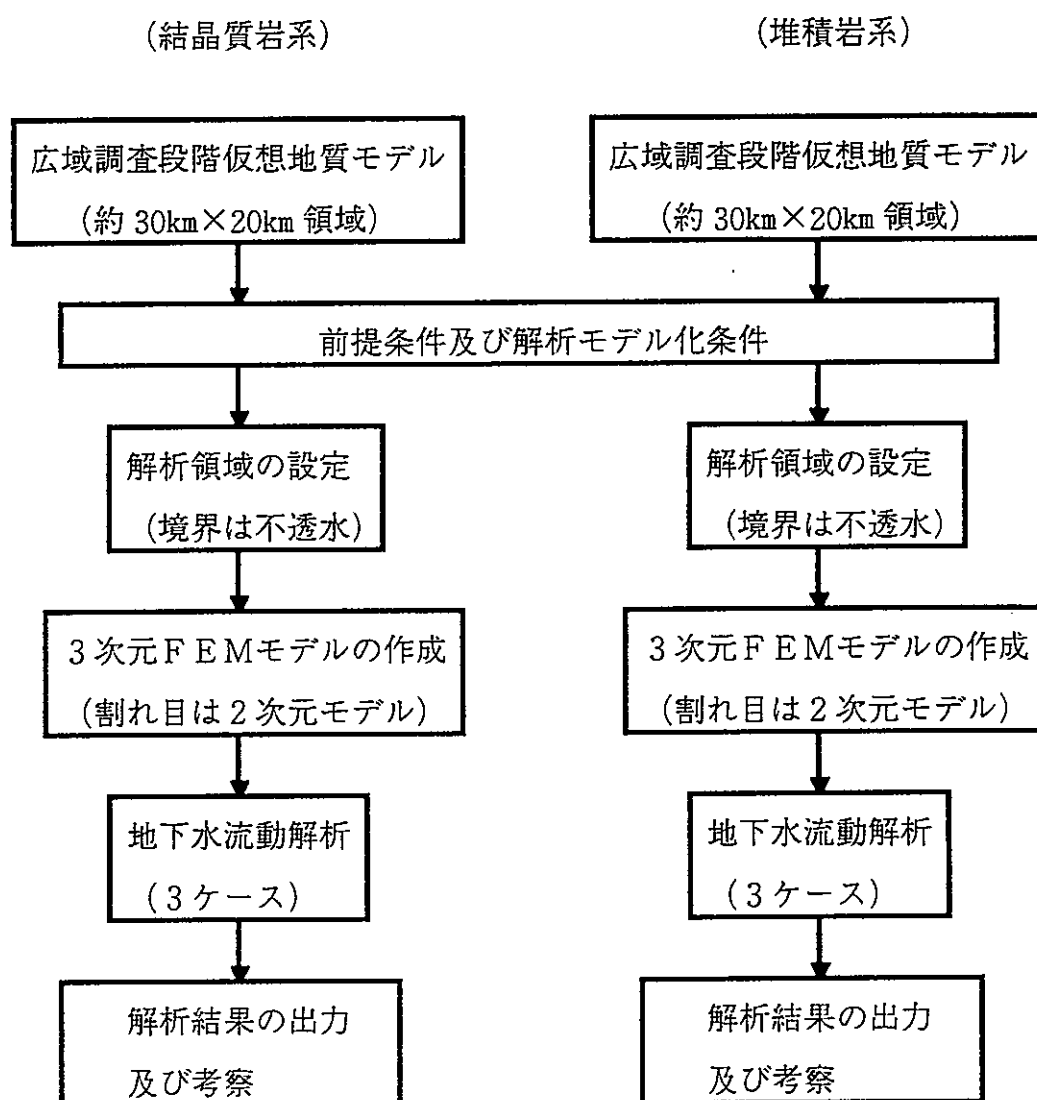


図-4.3.1.1 広域地下水流動解析検討フロー図

(1) 解析目的、前提条件の整理

(a) 解析目的

本解析の目的は、処分施設建設候補地（10km×10km 領域）での地下水流動を解析的に予測し、立地判断に関わる地下水流動状況について、定性的な評価のみでなく解析的な手法を用いることにより定量的なデータとして示すことを目的とする。

(b) 前提条件

i) 基本的な条件

- ① 解析手法：定常・飽和解析手法を用いる。
- ② 解析モデル：3次元FEMモデルとする。（割れ目についてはシェル要素）
- ③ 材料物性：「3.2 岩盤物性データの整備」より設定する。
- ④ その他：簡易な塩淡境界面を考慮した解析を行う。

ii) モデル化条件

- ① 広域調査により得られる範囲の地質データを対象としてモデル化する。
- ② 解析領域については境界条件を考慮し設定する。

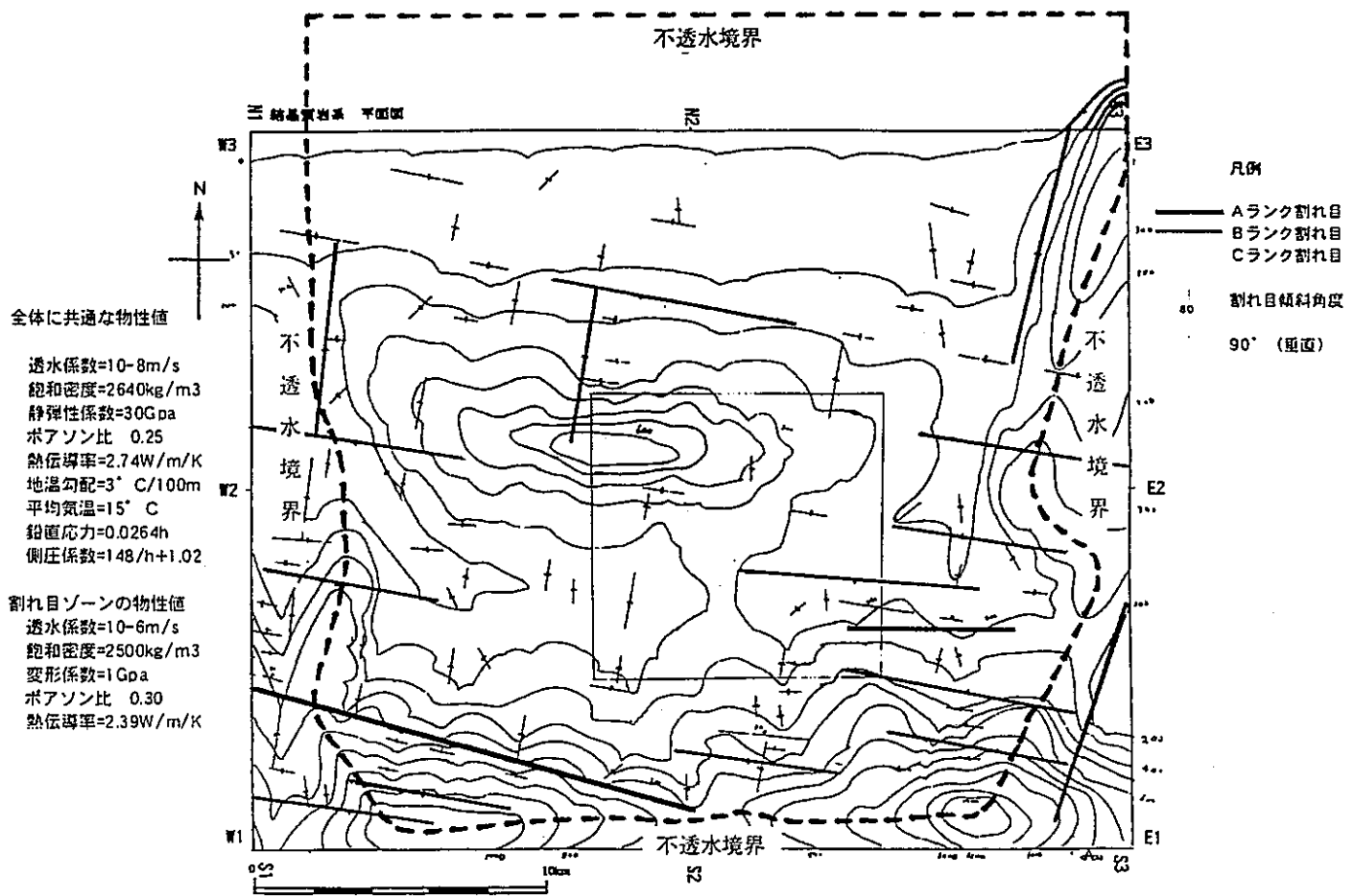
(2) 解析領域、境界条件の設定及び解析モデルの作成

(a) 解析領域、境界条件

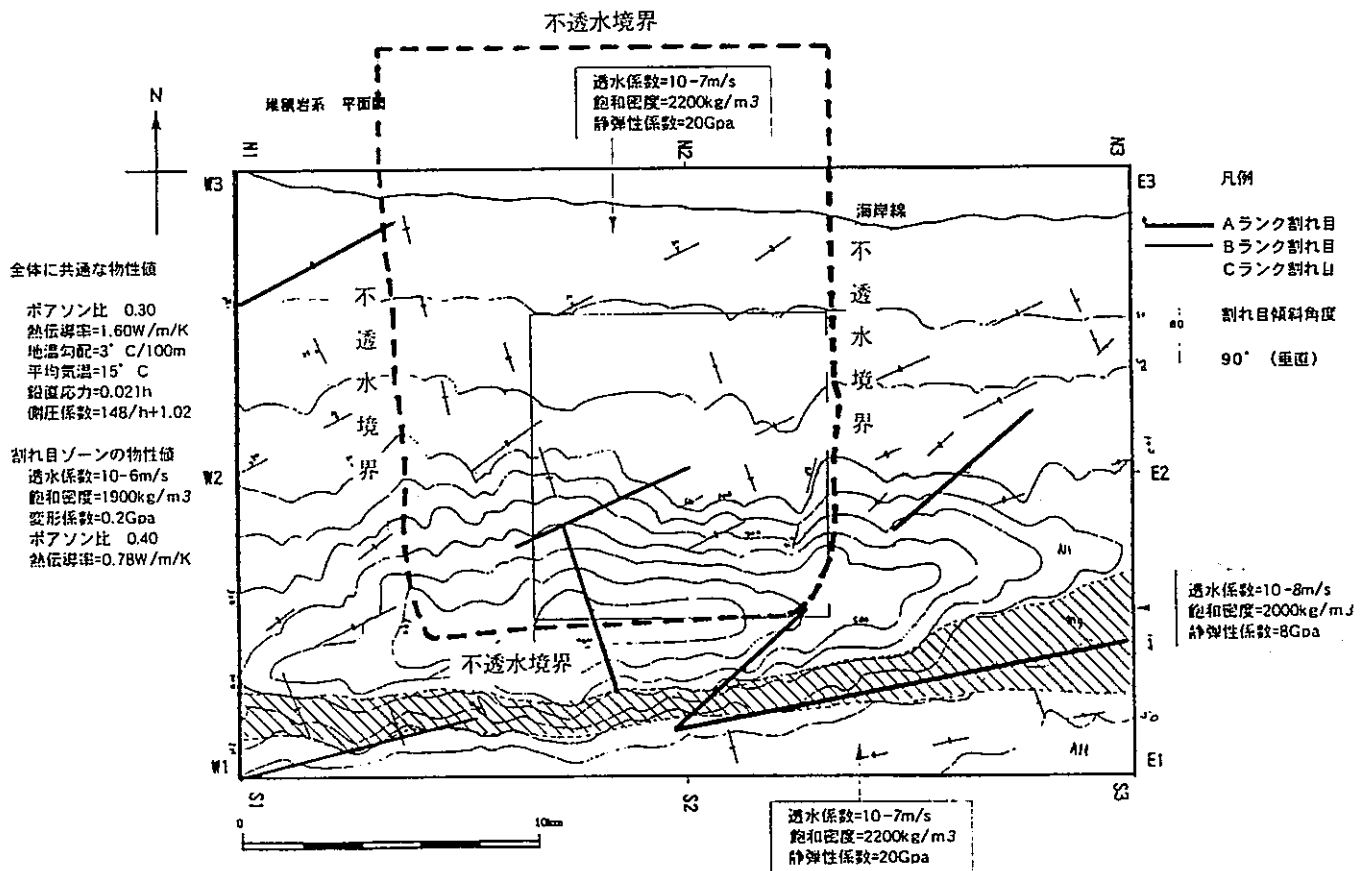
図-4.3.1.2 に設定された結晶質岩系、堆積岩系仮想地質モデルと解析領域（破線領域）及び境界条件を示す。また、表-4.3.1.1 に境界条件を整理して示す。

表-4.3.1.1 境界条件一覧（結晶質岩系及び堆積岩系）

モデル位置	境界条件
モデル上面 : 地表面	大気圧境界（地表面で水頭固定：圧力水頭0）
海底面	海水静水圧境界（海水準：EL±0m、比重：1.03） ※塩淡境界を考慮しない場合は、淡水静水圧境界
モデル側面 : 海側	数 km 沖合い部分で不透水境界
陸側	不透水境界
モデル底面	EL-2,000m 深度で不透水境界



(a) 結晶質岩系



(b) 堆積岩系

図-4.3.1.2 解析領域及び境界条件



(b) 3次元FEMモデルの作成

図-4.3.1.3に作成した3次元FEM解析モデルを示す。

【結晶質岩系解析モデル諸元】

- ・ 節点総数：147,375
- ・ 要素総数：160,902～岩盤部ソリッド要素数：134,946  
割れ目部シェル要素数：25,956
- ・ 要素形状：岩盤部～8節点アイソパラメトリック（ソリッド）要素（六面体）  
割れ目～4節点アイソパラメトリック（シェル）要素（四角形）
- ・ 割れ目幅：Aランク：100 m、Bランク：50 m、Cランク：10 m

【堆積岩系解析モデル諸元】

- ・ 節点総数：33,927
- ・ 要素総数：182,036～岩盤部ソリッド要素数：174,965  
割れ目部シェル要素数：7,071
- ・ 要素形状：岩盤部～4節点アイソパラメトリック（ソリッド）要素（四面体）  
割れ目～3節点アイソパラメトリック（シェル）要素（三角形）
- ・ 割れ目幅：Bランク：50 m、Cランク：10 m（Aランク割れ目なし）

(3) 飽和・定常地下水流動解析

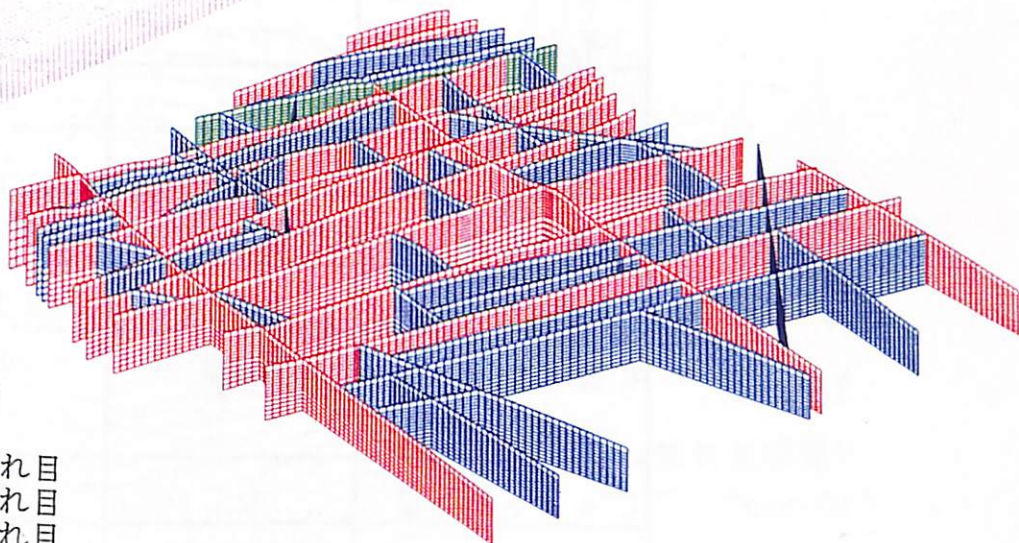
表-4.3.1.3に解析に用いる材料の物性値（透水係数）を整理する。

表-4.3.1.3 解析物性値（透水係数）

（結晶質岩系）	透水係数 (m/s)
岩盤（結晶質岩）	$1.0 \times 10^{-8}$
割れ目ゾーン	$1.0 \times 10^{-6}$
（堆積岩系）	透水係数 (m/s)
岩盤（砂岩主体の互層）	$1.0 \times 10^{-7}$
岩盤（泥岩）	$1.0 \times 10^{-8}$
岩盤（花崗岩）	$1.0 \times 10^{-8}$
割れ目ゾーン	$1.0 \times 10^{-6}$

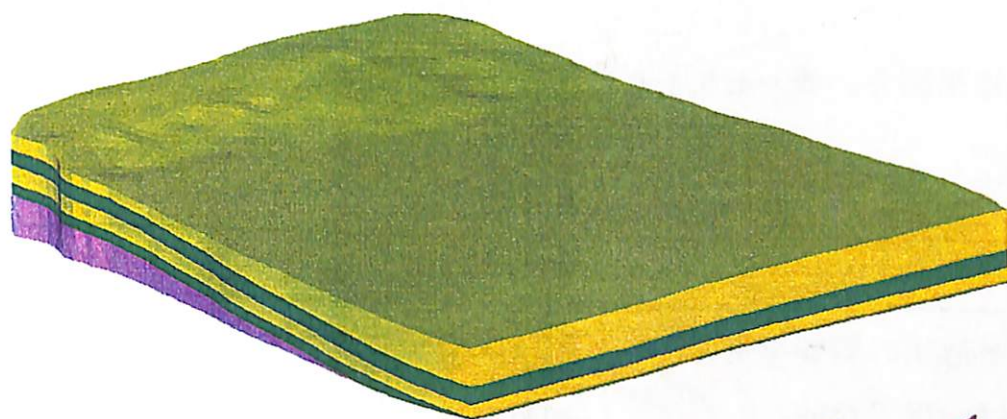
※塩水領域における便宜上の透水係数は、上記の1/100

岩盤（結晶質岩）部ソリッド要素  
 (要素数：134,946)

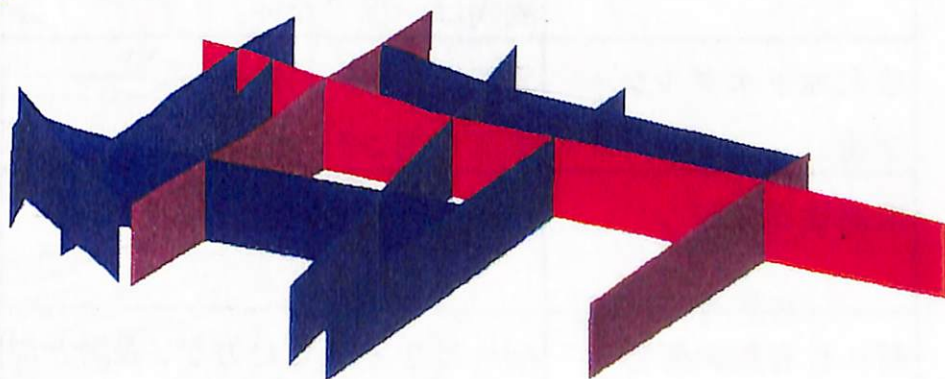


割れ目部シェル要素  
 (要素数：25,956)  
 ※緑色：Aランク割れ目  
 赤色：Bランク割れ目  
 桃色：Cランク割れ目

(a) 結晶質岩系 (節点総数：147,375、要素総数：160,902)



岩盤部ソリッド要素  
 (要素数：174,965)  
 ※黄色：砂岩主体の互層  
 緑色：泥岩  
 桃色：花崗岩



割れ目部シェル要素  
 (要素数：7,071)  
 ※赤色：Bランク割れ目  
 桃色：Cランク割れ目

(b) 堆積岩系 (節点総数：33,927、要素総数：182,036)

図-4.3.1.3 3次元FEM解析モデル図

また表-4.3.1.4 及び表-4.3.1.5 に解析検討ケースを示す。

表-4.3.1.4 解析検討ケース (結晶質岩系)

ケース名	割れ目	塩淡境界
Case-C1 (基本ケース)	考慮	考慮
Case-C2	なし	考慮
Case-C3	考慮	なし

表-4.3.1.5 解析検討ケース (堆積岩系)

ケース名	割れ目	塩淡境界
Case-S1 (基本ケース)	考慮	考慮
Case-S2	なし	考慮
Case-S3	考慮	なし

#### (4) 解析結果及び考察

図-4.3.1.4~7 に解析結果図を、表-4.3.1.6 に解析結果内容について示す。

表-4.3.1.6 解析結果比較表

項目	結晶質岩系	堆積岩系
全水頭分布	地表面形状の影響を受け、地下水 流向は一様でない。	ほぼ南から北への一様流れ場で ある。
最大地下水ダルシー 流速	岩盤内 : 0.112 (m/y) 割れ目内 : 7.488 (m/y)	岩盤内 : 0.977 (m/y) 割れ目内 : 6.410 (m/y)
塩淡境界分布	候補地領域での影響は小さい。	候補地領域北部では、深部に塩水 が浸入する可能性がある。
割れ目有無の影響	割れ目を考慮した方が、表層と深 部の水頭差が小さくなる。	割れ目を考慮した方が、表層と深 部の水頭差が小さくなる。
塩淡境界有無の影響	ほとんど影響 (差) がない。	地下水の上向き流れが生じる。

破線：処分場候補地領域 (10km×10km)

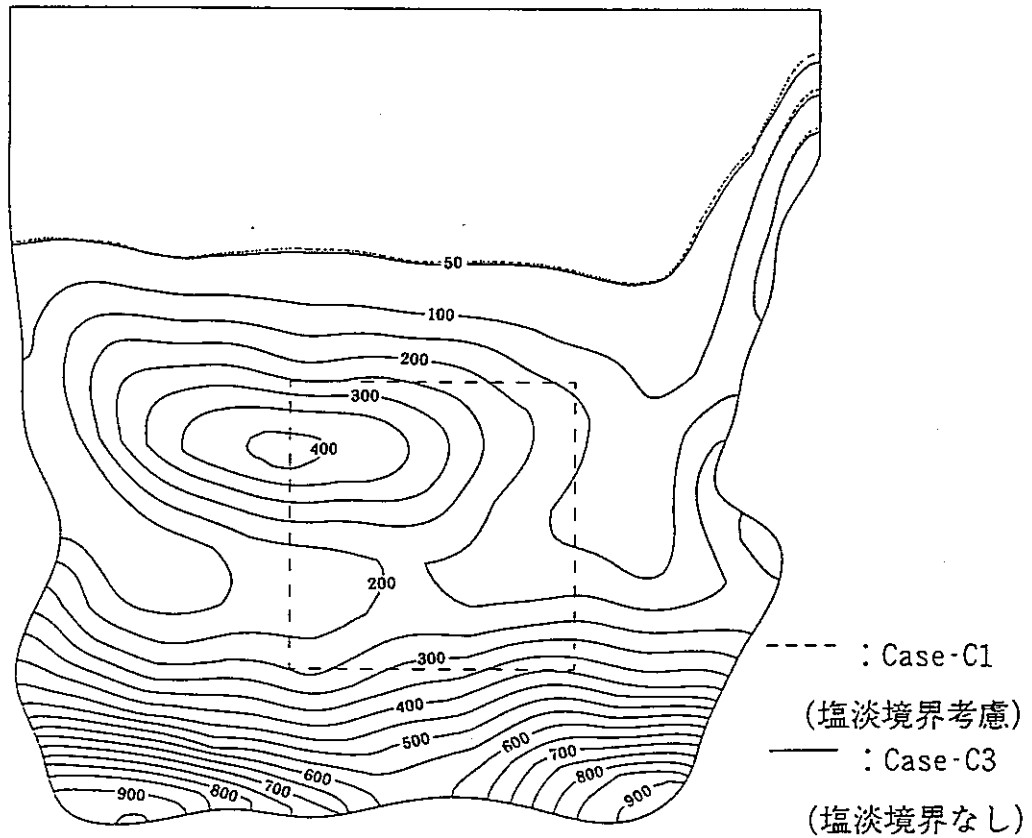
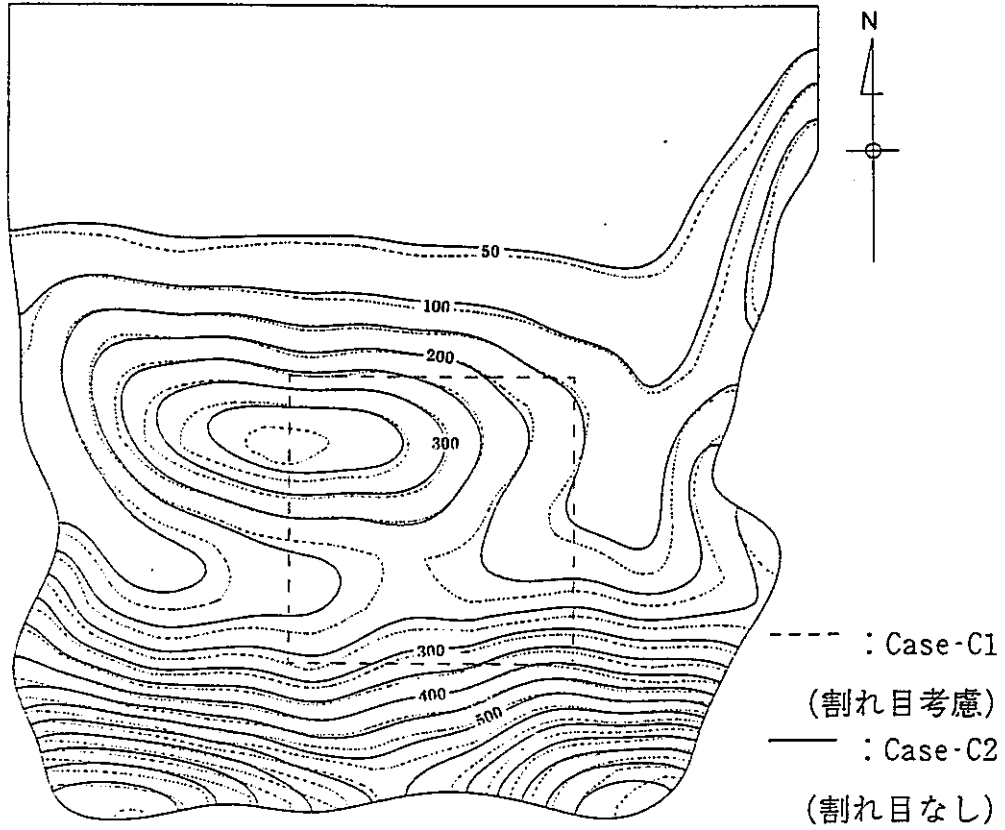


図-4.3.1.4 EL-750mレベルでの全水頭コンター図 (結晶質岩系)

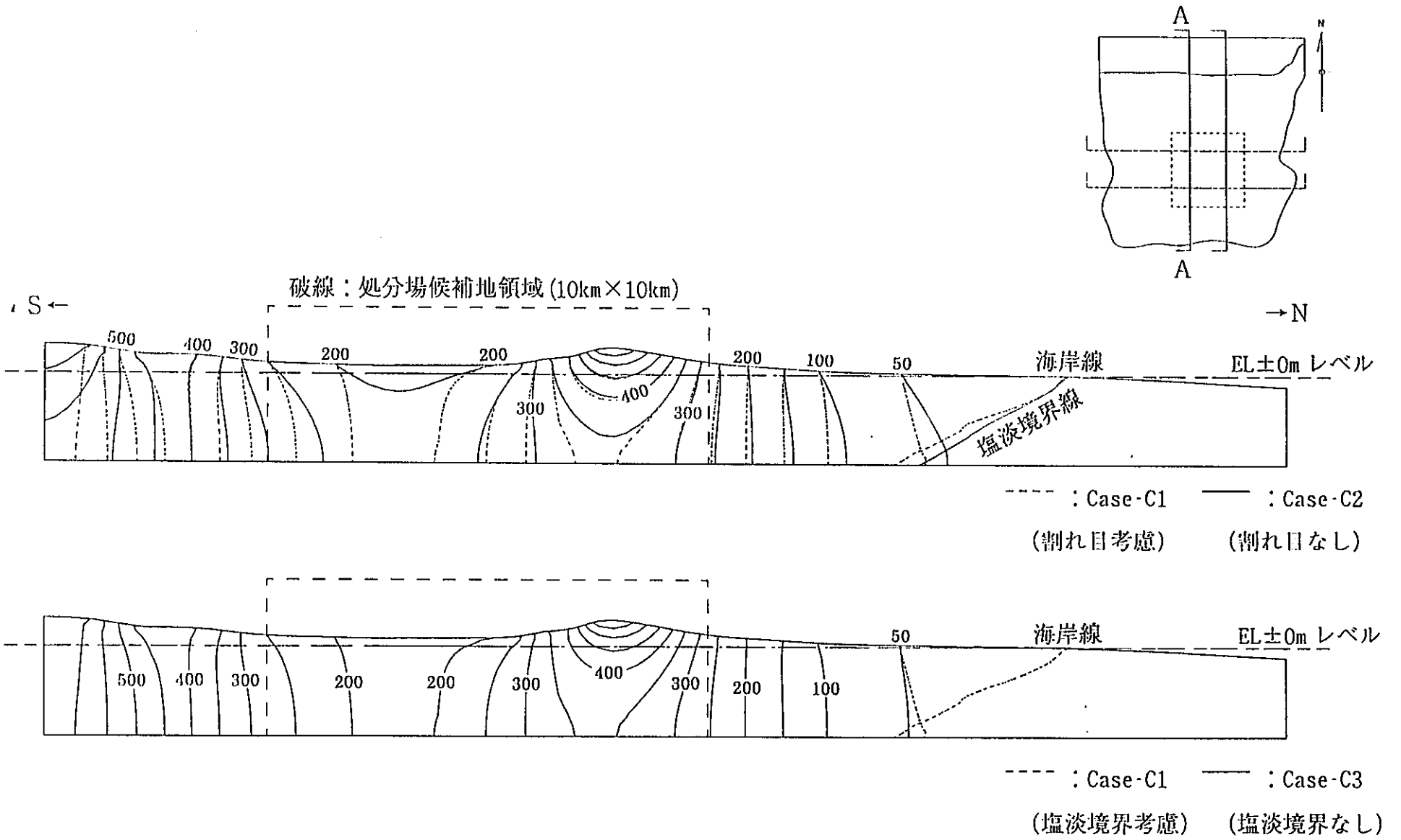


図-4.3.1.5 南北方向 (A-A) 断面での全水頭コンター図 (結晶質岩系)

破線：処分場候補地領域 (10km×10km)

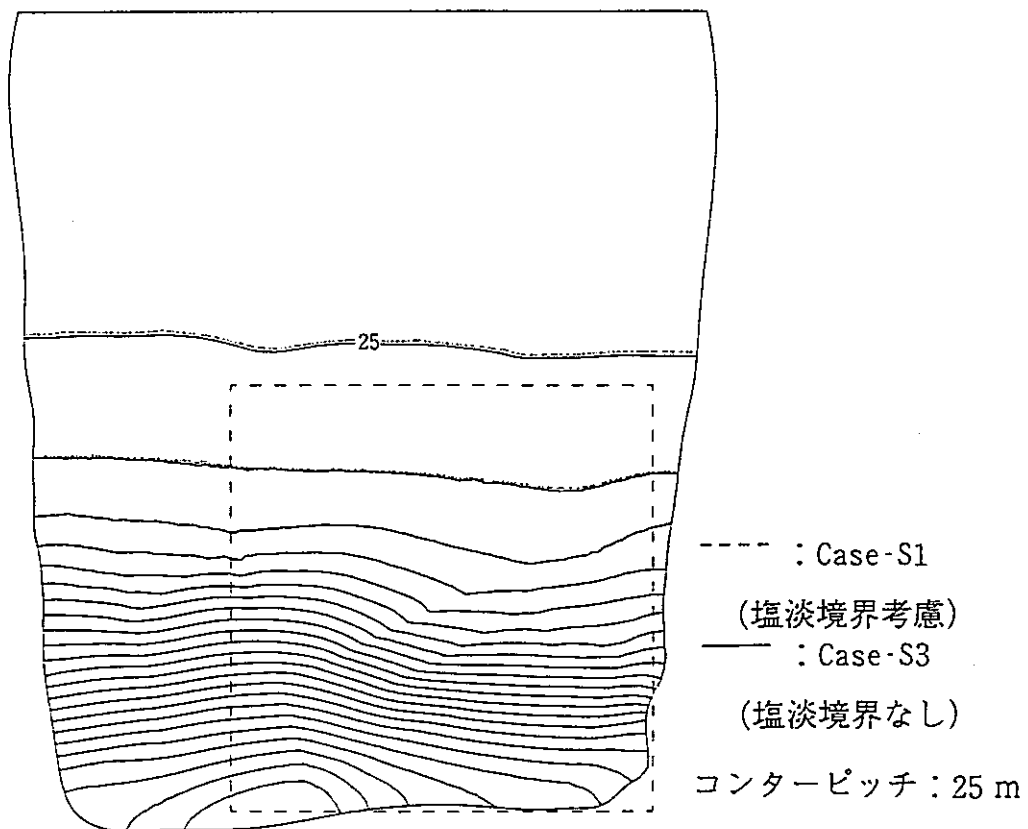
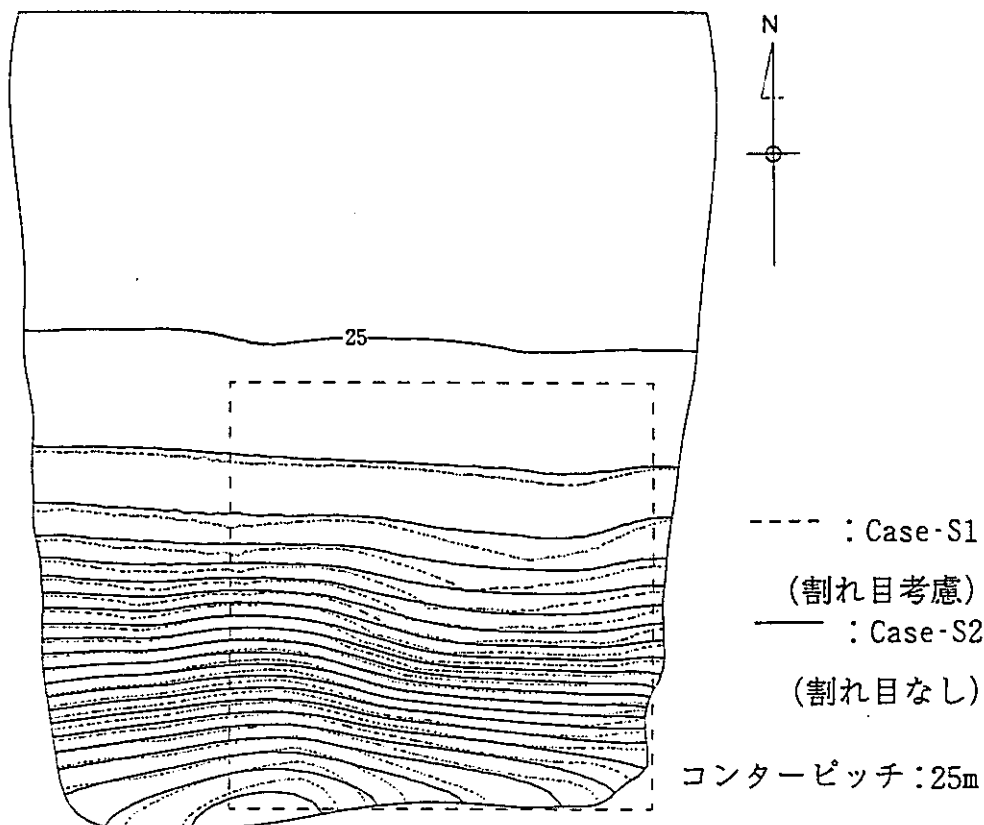


図-4.3.1.6 EL-500mレベルでの全水頭コンター図 (堆積岩系)

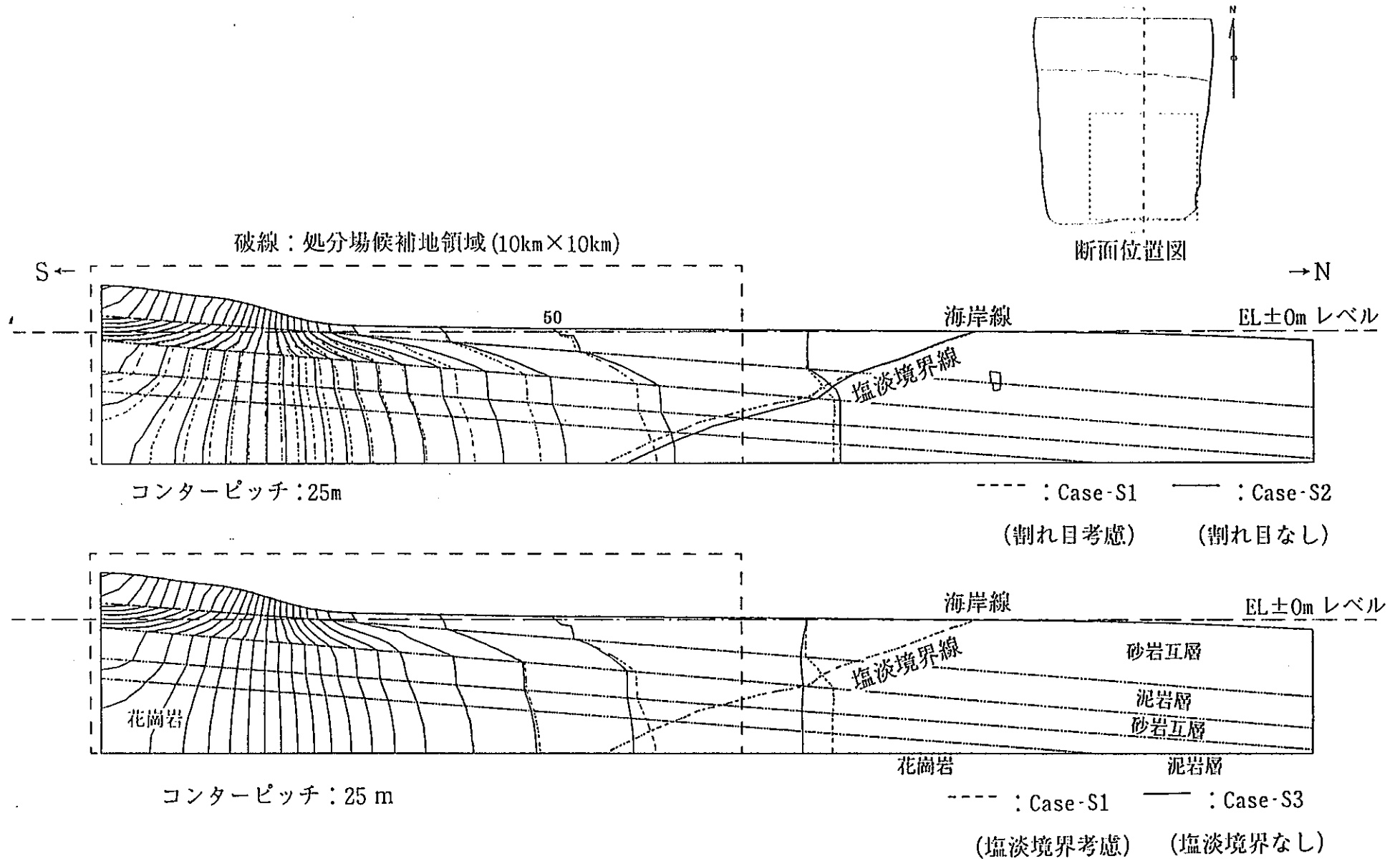


図-4.3.1.7 南北方向断面での全水頭コンター図 (堆積岩系)

## (5) まとめ

### (a) 結晶質岩系

- ・ 処分場候補地領域内の地下水流動は地表面の傾斜の方向、その程度により流向・流速が異なる結果が得られている。またこの傾向は解析モデルの深部にまで及んでおり、同一地点の浅部と深部においては流向の違いはほとんどない。
- ・ 基本的に沢へ地下水が流出する傾向にあり、沢部の地下では上向き流れ成分が存在する。その大きさは0.02 (m/y) 未満 (ダルシー流速) 程度と予測される。
- ・ 山地部地下の方が沢部地下よりも地下水流速が大きい傾向にある。
- ・ 候補地領域内で比較的流速が小さく、下向きの流速成分を有する場所は、北東部領域であると考えられる。
- ・ 塩淡境界は、候補地領域内には存在しない可能性が高く、地下水流動に及ぼす塩淡境界の影響はほとんどないと考えられる。
- ・ 割れ目を考慮しない場合は、透水性の高い割れ目により深部の全水頭値が大きくなるため、深部の流速が小さく評価される。

### (b) 堆積岩系

- ・ 処分場候補地領域内の地下水流動はほぼ一様であり、南部の山地から北部の海へ向かう流れである。
- ・ 領域内に存在する2層の砂岩を主体とした互層が主な帯水層となり、泥岩層がキャップロックとして作用していると考えられる。
- ・ 処分場対象地層と考えられる泥岩層では、上下に存在する砂岩互層の水頭差により、山地部では下向き流れ、平野部では上向き流れとなる傾向にあるが、上向き成分でも0.05 (m/y) 未満 (ダルシー流速) 程度であると予測される。
- ・ 処分場候補地内では、南部の平野部において上向き成分を有するが山地部と比較してかなり流速が小さいと考えられる。
- ・ 割れ目を考慮しない方が泥岩層のキャップロック効果により砂岩互層の水頭差が大きくなる傾向にあるが、流速の違いはさほど大きくない結果が得られた。
- ・ 塩淡境界が候補地領域北部の深部に浸入する可能性があり、候補地領域北部における上向き流れ成分が大きくなると予測されるが、塩淡境界を考慮しない場合においても流速の違いはさほど大きくない結果が得られた。



### 4.3.2 空洞安定解析

#### (1) 地質環境モデルに基づく検討

限界深度を考える際の目安を得るため、アクセス坑道（φ 6.5m円形,立坑方式）を対象とし、理論解析（岡式）により深度と必要支保厚の関係を検討する。

#### (a) 検討条件

##### i) 岩盤物性値

検討は、結晶質岩および堆積岩の2種類の岩盤を対象として行う。物性値は、結晶質岩については地質環境モデル（「3.2.1 岩盤物性データの整備」代表岩種分類参照）におけるRM1を、堆積岩についてはRM4を代表物性として設定した。この内、RM4についてはデータが偏っており、その平均値は高目の物性を与えることから、表-4.3.2.1に示す3種類の物性を設定し、パラメトリックな検討を行うこととした。ここで、RM4-1はRM4の平均、RM4-2は東濃鉱山のコアサンプルの平均（RM4のグループの代表的な物性であると考えられる）、RM4-3はデータの内、一軸圧縮強度10MPa以下のデータセットの平均（脆弱な岩を想定）とした。

表-4.3.2.1 検討用岩盤物性一覧

	結晶質岩	堆積岩		
	RM1 (RM1平均を割れ目 指数により低減*)	RM4-1 (RM4の平均)	RM4-2 (東濃コアサンプル)	RM4-3 (一軸圧縮強度10MPa 以下のデータの平均)
弾性係数 E (MPa)	15800	6700	2800	2000
ポアソン比 ν	0.25	0.27	0.26	0.34
一軸圧縮強度 qu (MPa)	53	26	6.6	3.9
粘着力 C (MPa)	6.6	5.1	2.0	0.9
内部摩擦角 φ (deg)	38	26	22	22

\*低減方法の詳細については、後述の(2) 仮想地質モデルに基づく検討を参照。

##### ii) 支保工パターン

支保工については、覆工、ロックボルト、鋼製支保工などの組み合わせで様々な形態が考えられるが、ここでは結晶質岩および堆積岩に対して、それぞれ以下の支保工パターンについて検討を行うこととした。

##### <結晶質岩>

- ・ 覆工コンクリートのみ

##### <堆積岩>

- ・ 覆工コンクリートのみ
- ・ 覆工コンクリート+H鋼 (H-200@0.5m)
- ・ 鋼製セグメントのみ (計算では鋼板として取り扱う)

なお、H鋼については固定とし、H鋼の本数等でのパラメータスタディーは行わない。パラメータとしては、覆工コンクリートの厚さまたは鋼板の厚さのみを考える。

### iii) 支保工設置時期

支保工設置時期については、実際の施工を考慮して設定する。本検討では、過去の設計研究による事例および既往のトンネル施工における基準を参考に、支保工の設置時期（1#カール掘進長）を掘削径に寄らず一律1.5mと仮定した。

### iv) 支保工物性

支保工は高強度材料を用いることを想定した。解析に用いた支保工の材料物性を以下の表4.3.2.2に示す。覆工コンクリートについては、荷重がコンクリート打設後十分硬化しない間に作用すると考え、弱材令の弾性係数を用いた。H鋼の断面性能については、200×200シリーズの公称値を用いた。

表-4.3.2.2 支保工物性値一覧

支保工物性	弾性係数 (弱材令, MPa)	許容応力度 $\sigma_{ca}$ (MPa)
覆工コンクリート (早強セメント)	$1.15 \times 10^4$	14
H鋼 (H-200)	$2.10 \times 10^5$	210
鋼製セグメント	$2.10 \times 10^5$	210
H鋼断面性能	断面積 ( $\text{cm}^2$ )	
H鋼 (H-200)	63.53	

### v) 検討深度

必要覆工厚を検討する深度として以下のケースを設定した。なお、3深度だけでは深度と必要支保厚の関係が不明確な場合には、随時1~2深度の追加検討を行った。

- ・ RM1 : 1000m, 1300m, 1600m
- ・ RM4-1~4-3 : 300m, 500m, 700m

解析においては、深度の変化は初期地圧の変化として表現される。本検討では、検討深度に応じた初期地圧を、昨年度（H8年度）のデータ整理より得られた以下の関係式により算定した。

- ・ 鉛直初期応力と深度との関係 :  $\sigma_v = \rho h$
- ・ 側圧係数と深度との関係 :  $K_0 = \sigma_H / \sigma_v = 148/h + 1.02$

### vi) 検討ケース

以上の物性値、支保工パターン、検討深度の各組み合わせについて理論解析を行った。解析ケースは以下のとおり。

<結晶質岩>

$$1 \text{ 物性} \times 1 \text{ 支保工パターン} \times 3 \text{ 検討深度} = 3 \text{ ケース} + \alpha$$

<堆積岩>

$$3 \text{ 物性} \times 3 \text{ 支保工パターン} \times 3 \text{ 検討深度} = 27 \text{ ケース} + \alpha$$

(b) 検討方法

i) 支保工にかかる地圧

理論解析には岡の方法を用いた。岡の方法は、等圧状態の岩盤中に素掘円形トンネルを掘削した場合の弾塑性理論解から求められるトンネル壁面応力と、内圧として換算した支保効果との関係から、支保工に生じる応力を算定するものである。

図-4.3.2.1に概念図を示す。空洞掘削が開始されて支保工を設置するまでの間に地山応力が解放され点Aの状態となる。支保工が設置されると、掘削力と支保工の内圧とが釣り合い平衡点Bに達する。よって、空洞の全壁面変位は応力解放による壁面変位と支保工変位との和で表わされ、内圧 $\sigma_{sp}$ に相当する応力が支保工に生じることになる。

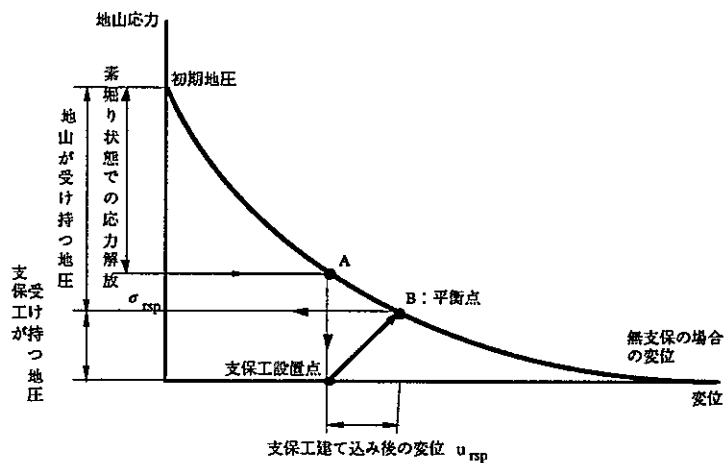


図-4.3.2.1 支保工応力算定概念図

A点の決定、すなわち空洞掘削が開始されて支保工を設置するまでの間に解放される地山応力を見積もるために、図-4.3.2.2に示す解放率特性曲線を用いる。図において縦軸の変化は、切羽存在の影響がないときの、すなわち二次元平面ひずみの解析において素掘りで円形トンネルが掘削されたときの最終的な内空変位を100%として正規化したものである。線形弾性解析においては荷重と変位が比例関係にあることから、内空変位の発生割合を地圧の解放割合と見做すことができ、この割合が掘削解放率となる。図の横軸は切羽と解析対象断面との距離を示している (Dは円形トンネルの直径)。

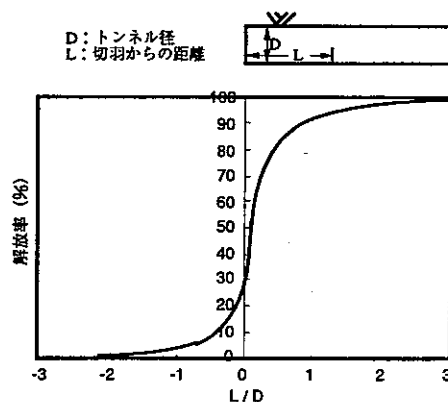


図-4.3.2.2 解放率特性曲線

ここで本検討では、支保工設置時期（1サイクル掘進長L）を掘削径に寄らず一律1.5mと仮定しているため、覆工厚の増加に伴い掘削径が増加（Dの増加）し支保建て込み時の解放率は解放率特性曲線に基づいて減少することになる。一方、コンクリート覆工の剛性は、覆工厚が増加することにより大きくなる。

この両者を勘案することにより、支保工にかかる荷重が算定される。図-4.3.2.3にその概念図を示す。掘進長を一定とした今回の検討では、掘削径の増加に伴い、支保工にかかる荷重（地圧）も増加する。

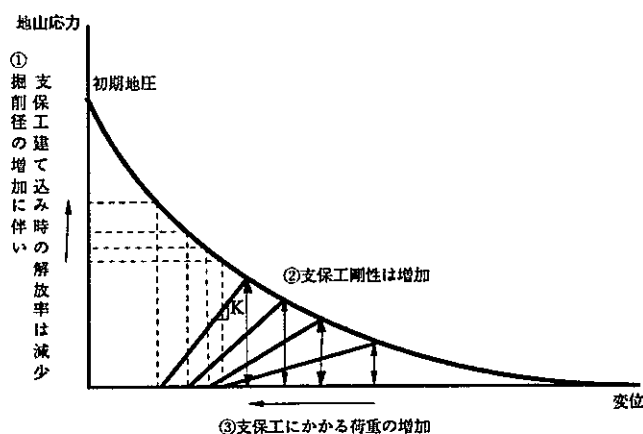


図-4.3.2.3 覆工厚の変化と支保工にかかる地圧の関係

## ii) 極限地圧支持力

覆工コンクリートの許容地圧支持力 $P_{is}$ は、円管の外周に均等圧 $p$ が作用するとき円管内に発生する応力を考慮して次式で与えられる。したがって、覆工厚の増加に伴い極限地圧支持力は増加し、その上限値は $\sigma_{ca}/2$ となる。

$$P_{is} = \frac{a^2 - b^2}{2a^2} \sigma_{ca} \quad \dots\text{式-4.3.2.1}$$

ここに、 $a$ ,  $b$ は円管の外径および内径である。また、 $\sigma_{ca}$ はコンクリートの許容圧縮応力である。

H鋼の許容地圧支持力 $P_{ist}$ は、次式で与えられる。

$$P_{ist} = \frac{A}{b f} \sigma_{sa} \quad \dots\text{式-4.3.2.2}$$

ここに、 $f$ は建込み間隔、 $A$ は断面積、 $b$ は建込み半径である。また、 $\sigma_{sa}$ はH鋼の許容圧縮応力である。

以上の覆工厚と覆工にかかる地圧との関係、および、覆工厚と覆工の極限地圧支持力の関係から深度と必要支保厚の関係を検討する。具体的には、図-4.3.2.4に示すように、覆工にかかる地圧が極限地圧支持力を下回る部分が設置可能な覆工厚の範囲ということになる。

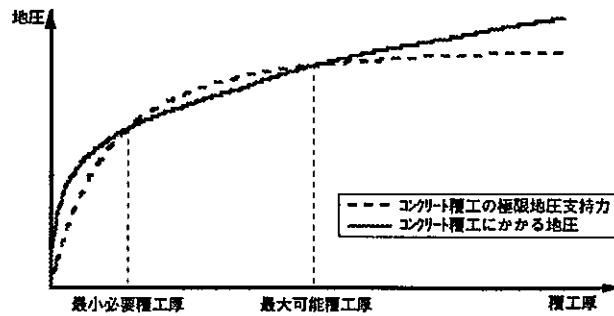


図-4.3.2.4 設置可能覆工厚の範囲

(c) まとめ

図-4.3.2.5～図-4.3.2.8に、検討の結果得られた各支保工パターンおよび各岩種に対する深度と覆工厚の関係をまとめた。検討の結果得られた知見を以下にまとめる。

- ・ 結晶質岩の場合、1000mまでの無支保掘削が可能である。また、1200mの深度がコンクリート覆工を施工することにより空洞の安定性を確保することが出来る限界値となっている。
- ・ 堆積岩の場合には、支保工パターンにより限界深度が異なるが、概ね、RM4-1の岩盤においては400m～500m、RM4-2およびRM4-3においては700m～800mの深度がコンクリート覆工あるいはコンクリート覆工+H鋼により空洞の安定性が保たれる限界値となっている。

ただし、ここでの判定においては、支保工の妥当性については特に考慮していない。限界深度に対して得られている覆工厚の中には、厚さが3.0mに近く、実現性に疑問が残るものもある。鋼製セグメントについても、解析上は鋼板厚を増やすことにより空洞安定性は保たれる結果となっているが、鋼板厚が1.0cm程度以上になるとシールド工事で使われている標準的なセグメントの規格に収まらなくなる。実際には、限界深度は現実の施工を考慮して規定されるものと考えられる。また、今回の検討は、1サイクル掘進長1.5mの全断面掘削の仮定の基での結果であり、あくまで限界深度を考える際の一つの目安と考えられる。

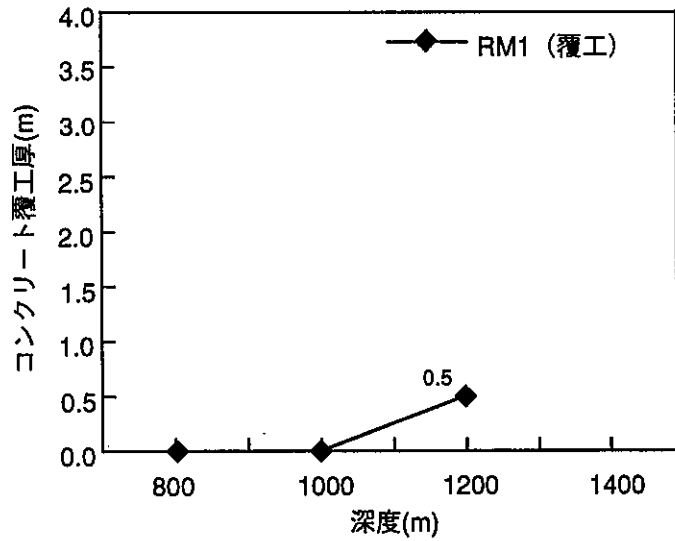


図-4.3.2.5 深度と覆工厚 (結晶質岩,コンクリート覆工のみ)

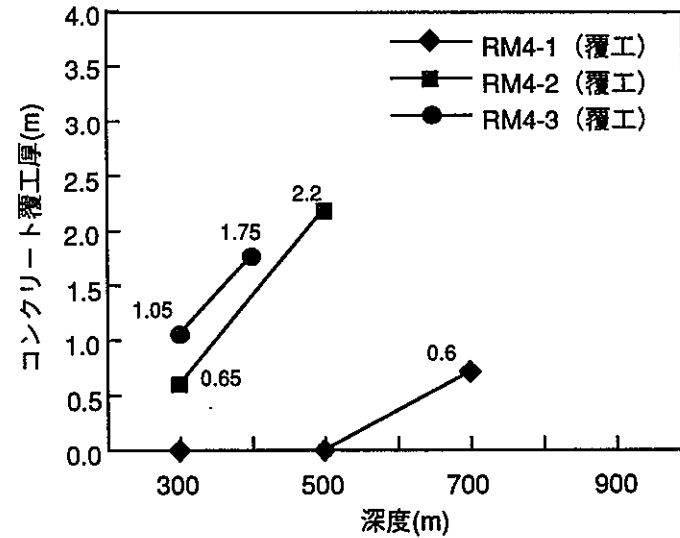


図-4.3.2.6 深度と覆工厚 (堆積岩,コンクリート覆工のみ)

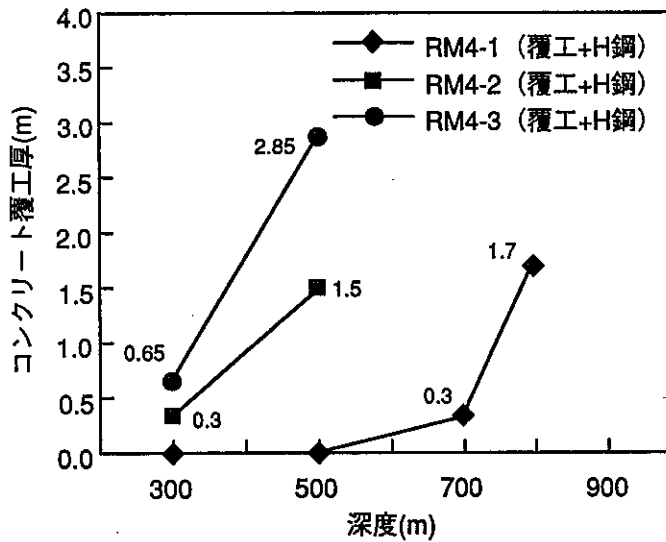


図-4.3.2.7 深度と覆工厚 (堆積岩,コンクリート覆工+H鋼)

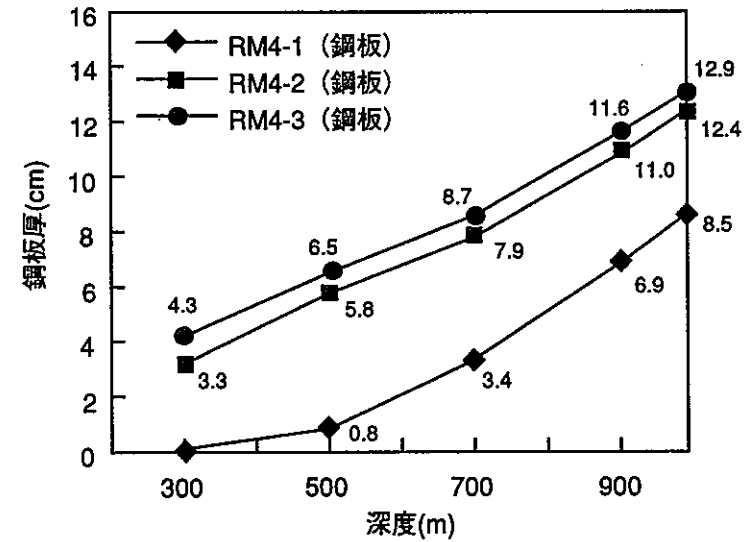


図-4.3.2.8 深度と覆工厚 (堆積岩,鋼製セメント)

## (2) 仮想地質モデルに基づく検討

日本の代表的な地質条件を想定した「仮想地質モデル」を用いて、処分施設を建設する際の空洞の安定性および支保の検討を行う。

### (a) 検討概要

空洞の安定性および支保の検討は、以下のような仮定および手順に従って行う。

- ・ 「仮想地質モデル」として、結晶質岩と堆積岩を対象岩種としたモデルをそれぞれ作成し、二次元弾塑性FEMによる解析検討を行う。解析モデルは均質地盤を想定する。
- ・ 検討対象とする空洞は、地層処分施設の主要な部位であるアクセス坑道、主要・連絡坑道および処分坑道とする。
- ・ 空洞掘削における三次元効果は、解放率特性曲線より求まる掘削解放率により考慮する。支保工の設置時期（サイクル掘進長）については、過去の設計研究による事例および既往のトンネル施工における基準などを基に設定する。
- ・ 堆積岩における支保工については、理論解（岡式）による検討を行い設定する。結晶質岩については、無支保の場合の検討を行う。
- ・ 空洞安定性は、支保工の応力度を照査することによって評価する。また、空洞周辺岩盤における局所安全率の分布や塑性領域の拡がり・連続性などについての考察を行う。
- ・ 参考として限界ひずみによる安定性の評価結果についても併記する。

### (b) 結晶質岩モデルの検討

#### i) 解析条件

##### 7) 岩盤物性

地質環境モデル（「3.2.1 岩盤物性データの整備」代表岩種分類 参照）におけるRM1の平均値を仮想地質モデルにおける結晶質岩の代表物性とした（表-4.3.2.3）。ただし、RM1の物性値は「岩石物性」であるため、割れ目指数（地山とコアの $V_p$ 速度比の2乗）により岩石物性値を低減し、解析に用いる「岩盤物性」とした。低減率は、RM1のデータより以下のように設定した。

$$\text{低減率 } k = (V_p/v_p)^2 = (3.40/4.99)^2 = 0.46$$

ここに、 $V_p$ ：地山弾性波速度、 $v_p$ ：超音波速度P波である。なお、物性値の低減は、静弾性係数、粘着力、引張強度について行った。静ポアソン比と内部摩擦角については、一般にコアと地山岩盤との差はそれほど顕著ではないため、物性値の低減は行わないこととした。

表-4.3.2.3 解析用物性一覧（結晶質岩モデル）

	RM1平均	解析用物性値 (岩盤物性)	参考		電研式岩盤分類 A~B級相当岩盤
			第一次とりまとめ 上限値 (A)	第一次とりまとめ 下限値 (B)	
弾性係数 E (MPa)	34400	15800	30000	10000	8000以上
ポアソン比 $\nu$	0.25	0.25	0.2	0.2	
一軸圧縮強度 $q_u$ (MPa)	115	53	—	—	
粘着力 C (MPa)	14.4	6.6	7.5	6	4以上
内部摩擦角 $\phi$ (deg)	37.8	38	35	35	55~65
引張強度 $\sigma_t$ (MPa)	8.14	0	—	—	
単位体積重量 $\rho$ (tf/m <sup>3</sup> )	2.65	2.7	2.7	2.7	
側圧係数 K <sub>0</sub>		想定深度1000m <148/h+1.02> 1.2	想定深度1000m 1.5	想定深度1000m 1.5	—
初期地圧 $\sigma_v$ (MPa)		27	27	27	—
初期地圧 $\sigma_H$ (MPa)		32	40.5	40.5	—

イ) 検討深度および初期地圧

検討深度は1000mを設定した。初期地圧については、昨年度（H8年度）整理した鉛直初期地圧と深度との関係（ $\sigma_v = \rho h$ ）、および、側圧係数と深度との関係（ $K_0 = \sigma_H / \sigma_v = 148/h + 1.02$ ）に基づき設定した。ここに、 $\sigma_v$ 、 $\sigma_H$ は岩盤初期応力の鉛直および水平成分を表わす。K<sub>0</sub>は側圧係数である。解析に用いた初期地圧については、表-4.3.2.3に示している。

ウ) 坑道形状および支保パターン

坑道形状は、これまでの研究成果に基づき、以下のように設定した。

- ・ アクセス坑道 : 仕上がり径6.5m円形断面、立坑方式
- ・ 主要・連絡坑道 : 天端高5.0mの幌形断面
- ・ 処分坑道 : 仕上がり径2.2mの円形断面、横置き方式  
天端高5.0mの幌形断面、縦置き方式  
(主要・連絡坑道と同じ)

なお、吹付コンクリートは、はだ落ち防止等の作業安全性の観点から施工するものとし、構造部材としては考えないこととした。したがって、解析には考慮しない（解析は無支保）。空洞断面仕様を図-4.3.2.9に、解析モデルの一例を図-4.3.2.10に示す。



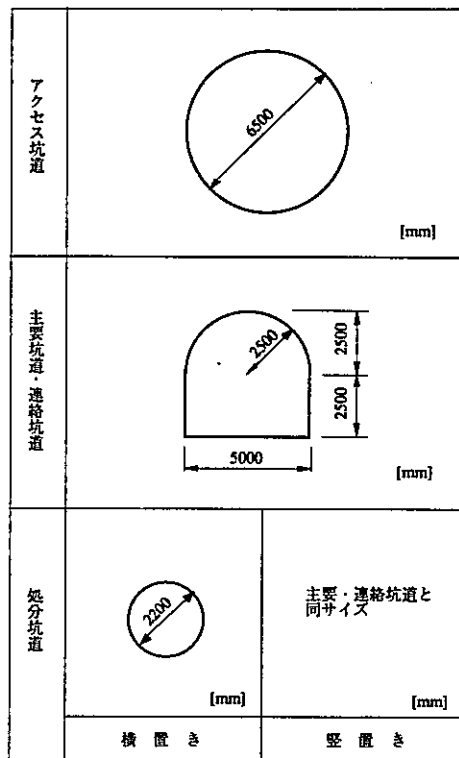


図-4.3.2.9 坑道形状（結晶質岩）

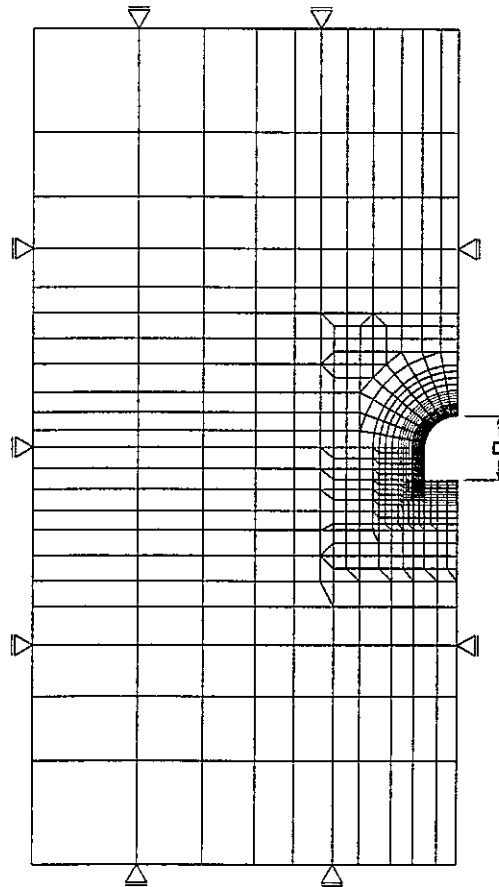


図-4.3.2.10 結晶質岩解析モデル（幌形断面）

エ) 施工工程

本検討では、過去の設計研究による事例および既往のトンネル施工における基準を参考に結晶質岩モデルにおける1サイクルの掘進長を2.0mに設定した。解析ステップは以下のとおり。

STAGE-0 : 初期応力の設定

STAGE-1 : 坑道掘削 (全断面)

解放率特性曲線 ( $L/D = 2.0\text{m} / \text{坑道径}$ ) に基づく掘削解放力を作用 (解放率特性曲線については 図-4.3.2.2 参照)

STAGE-2 : 最終状態

残りの解放力を作用

オ) 解析ケース

結晶質岩モデルでは、1 検討深度 (1000m) × 3 坑道種類 の計 3 ケースの解析を実施した。

表-4.3.2.4 結晶質岩モデル解析ケース

ケース名	岩種	坑道種類	深度
Case C-A-1000	RM-1 結晶質岩 (Crystalline Rock)	アクセス (Access) 坑道	1000 m
Case C-M-1000		主要・連絡 (Main) 坑道	
Case C-D-1000		処分 (Disposal) 坑道	

ii) 解析結果

結晶質岩モデルにおける解析結果を表-4.3.2.5に示す。

表中の判定は塑性領域の拡がり・連続性を総合的に判断して行った。すなわち、最終掘削状態での塑性領域幅は最大 (主要・連絡坑道) で0.65m程度であり、この最大値も発生箇所はインバート下の一部のみである。全体的に塑性領域の発生は少なく、剥落防止等の吹き付けを行えば、空洞の安全性は保たれると判断した。

表-4.3.2.5 FEM解析結果 (結晶質岩, 検討深度1000m)

岩種	岩盤物性	深度 (m)	部位	掘削解放率 (%)	最大壁面変位 (cm)	最大塑性領域幅 (m)	判定	最大せん断ひずみ	限界せん断ひずみ (上限値)	
									ゾーン	
結晶質岩	R	1000	アクセス	75 STAGE-1	0.61	0.00		0.36	0.88	II
				25 STAGE-2	0.95	0.50	○	0.68	0.88	I
	主要連絡		78.4 STAGE-1	0.65	0.00		0.42	0.88	I	
			21.6 STAGE-2	0.87	0.65	○	0.87	0.88	I	
	処分		92.4 STAGE-1	0.28	0.08		0.60	0.88	I	
			7.6 STAGE-2	0.33	0.15	○	0.76	0.88	I	

(c) 堆積岩モデルの検討

i) 解析条件

ア) 岩盤物性

地質環境モデル（「3.2.1 岩盤物性データの整備」代表岩種分類 参照）におけるRM4-2を堆積岩モデルの代表物性とした。RM4-2は、東濃鉦山におけるコアサンプルから得られた物性値であり、体系的にも整備されたものである。解析に用いる「岩盤物性」としては、RM4-2データでは地山の弾性波速度とコアの弾性波速度とに大きな違いが見られないことから、物性の低減は行わず、これをそのまま用いることとした。

表-4.3.2.6 解析用物性一覧（堆積岩モデル）

	解析用物性値（岩盤物性） RM4-2		参考		
			第一次とりまとめ 上限値（A）	第一次とりまとめ 下限値（C）	電研式岩盤分類 C <sub>M</sub> 級相当岩盤
弾性係数 E (MPa)	2800		4000	1000	1500~4000
ポアソン比 ν	0.26		0.3	0.4	
一軸圧縮強度 q <sub>u</sub> (MPa)	6.6		—	—	
粘着力 C (MPa)	2.0		4	1	1~2
内部摩擦角 φ (deg)	22		30	25	30~45
引張強度 σ <sub>t</sub> (MPa)	0		—	—	
単位体積重量 ρ (tf/m <sup>3</sup> )	2.2	2.2	2.3	2.3	
側圧係数 K <sub>0</sub>	設定深度300m <148h+1.02>	設定深度500m <148h+1.02>	設定深度500m	設定深度500m	—
	1.5	1.3	1.5	1.5	
初期地圧 σ <sub>v</sub> (MPa)	6.6	11	11.5	11.5	—
初期地圧 σ <sub>H</sub> (MPa)	9.9	14	17.3	17.3	—

i) 検討深度および初期応力

検討深度は300mと500mの2ケースを設定した。初期応力については、結晶質岩モデルと同様に、昨年度（H8年度）整理した鉛直初期応力と深度との関係（ $\sigma_v = \rho h$ ）、および、側圧係数と深度との関係（ $K_0 = \sigma_H / \sigma_v = 148/h + 1.02$ ）に基づき設定した。ここに、 $\sigma_v$ 、 $\sigma_H$ は岩盤初期応力の鉛直および水平成分を表わす。K<sub>0</sub>は側圧係数である。解析に用いた初期応力については、表-4.3.2.6に示している。

ウ) 坑道形状および支保パターン

坑道形状は、これまでの研究成果に基づき、以下のように設定した。

- ・ アクセス坑道 : 仕上がり径6.5m円形断面、立坑方式
- ・ 主要・連絡坑道 : 3心円馬蹄形断面
- ・ 処分坑道 : 仕上がり径2.2mの円形断面、横置き方式

支保工パターンは、岡式により検討深度に対する最適支保の検討を行い設定した。岡式による検討結果を表-4.3.2.7に示す。なお、主要・連絡坑道は直径5.0mの円形と仮定した。岡式の検討では、深度300mおよび500mのいずれのケースにおいても吹き付けコンクリートレベルの軽い支保工では空洞の安定性が保たれず、覆工コンクリートと鋼製支保工との併用が必要であるとの結果となった。

表-4.3.2.7 理論解による支保工の概略検討結果

坑道種類	検討深度	支保工パターン
アクセス坑道	300m	一次覆工コンクリート 80cm + H-200@1.5m
	500m	一次覆工コンクリート180cm + H-200@0.5m
主要・連絡坑道	300m	一次覆工コンクリート 40cm + H-200@1.5m
	500m	一次覆工コンクリート100cm + H-200@0.5m
処分坑道	300m	鋼板厚 0.50cm
	500m	鋼板厚 1.00cm

\*コンクリートは早強セメント ( $\sigma_{28}=40\text{MPa}$ ) を使用

最終的な空洞断面仕様を図-4.3.2.11に示す。解析モデルの掘削断面サイズは、必要径+覆工コンクリート厚分の余掘りとし、H鋼、覆工コンクリートの各支保部材はビーム要素としてモデル化する。なお、本年度の検討では、支保工は1次覆工を主要支保材と考え、2次覆工は考慮していない。

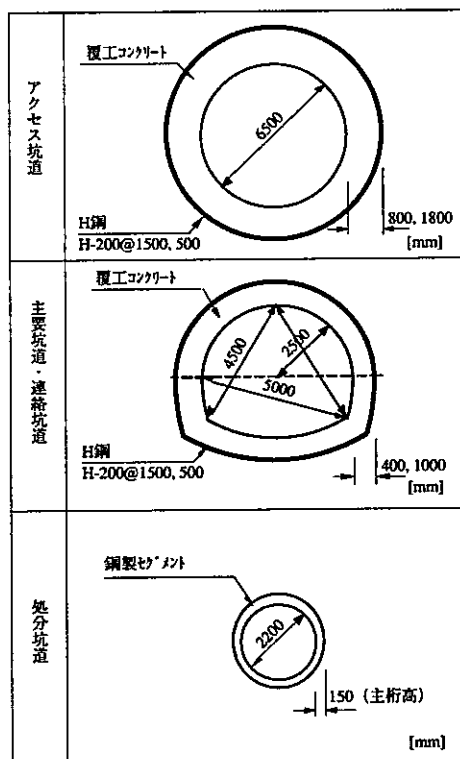
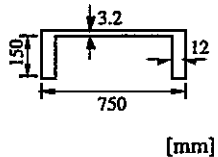
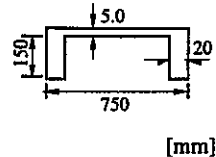


図-4.3.2.11 坑道形状および支保パターン (堆積岩)

ここで、鋼製セグメントの形状としては、岡式による検討において算定された必要断面積を勘案し、図-4.3.2.12に示す断面を設定した。設定に際しては「シールド工所用標準セグメント」を参考とし、検討深度300mの処分坑道については、セグ

メント番号40-2の断面に相当する鋼製セグメント（外径は異なる）を設定した。ただし、検討深度500mの処分坑道については、標準規格の中には、岡式による検討において算定された必要断面積をみたすようなセグメントがないことから、標準セグメントのプロポーシオンを参考に規格外のセグメントを設定した。

	Case S-D-300	Case S-D-500
セグメント形状	 [mm]	 [mm]
断面性能 <sup>10)</sup>	有効断面積 41.1 cm <sup>2</sup>	有効断面積 72.5 cm <sup>2</sup>
	断面2次モーメント 938.1 cm <sup>4</sup>	断面2次モーメント 1746.6 cm <sup>4</sup>

\*2連で用いる

図-4.3.2.12 鋼製セグメント断面

#### エ) 支保工物性

支保工は高強度材料を用いることを想定した。解析に用いた支保工の材料物性を以下の表-4.3.2.8に示す。覆工コンクリートについては、場所打ちとなるため、コンクリート打設後十分硬化しない間に荷重が作用する。したがって、解析には弱材令の弾性係数を用いた。

H鋼の断面性能については、200×200シリーズの公称値を用いた。

表-4.3.2.8 支保工物性一覧

支保工物性	弾性係数 (弱材令, MPa)	許容応力度 $\sigma_{ca}$ (MPa)
覆工コンクリート (早強セメント)	$1.15 \times 10^4$	14
H鋼 (H-200)	$2.10 \times 10^5$	210
鋼製セグメント	$2.10 \times 10^5$	210
H鋼断面性能	断面積 (cm <sup>2</sup> )	断面二次モーメント (cm <sup>4</sup> )
H鋼 (H-200)	63.53	4720.0

なお、覆工コンクリートの断面性能については、今回の検討では覆工断面力は軸力が卓越すると考え、全断面有効な部材として各覆工厚に基づいて算定した。

$$\text{覆工コンクリート断面積} = \text{覆工厚} \times \text{単位幅 (1m)}$$

$$\text{覆工コンクリート断面二次モーメント} = (\text{覆工厚}^3 \times \text{単位幅}) / 12$$

#### オ) 施工工程

本検討では、過去の設計研究による事例および既往のトンネル施工における基準を参考に堆積岩モデルにおける1サイクルの掘進長を1.5mと設定した。解析ステップは以下のとおり。

- STAGE-0 : 初期応力の設定
- STAGE-1 : 坑道掘削 (全断面)  
 解放率特性曲線 ( $L/D = 1.5\text{m} / \text{坑道径}$ ) に基づく掘削解放力を作用 (解放率特性曲線については (1)地質環境モデルに基づく検討参照)
- STAGE-2 : 支保工打設後 最終状態  
 残りの解放力を作用

か) 解析ケース

堆積岩モデルでは、2 検討深度×3 坑道種類の計 6 ケースの解析を行った。

表-4.3.2.9 堆積岩モデル解析ケース

ケース名	岩種	坑道種類	深度
Case S-A-300	RM4-2 堆積岩 (Sedimentary Rock)	アクセス (Access) 坑道	300 m
Case S-M-300		主要・連絡 (Main) 坑道	
Case S-D-300		処分 (Disposal) 坑道	
Case S-A-500		アクセス (Access) 坑道	500 m
Case S-M-500		主要・連絡 (Main) 坑道	
Case S-D-500		処分 (Disposal) 坑道	

ii) 解析結果

結晶質岩モデルにおける検討深度300mに対する解析結果を表-4.3.2.10に示す。表中の判定欄には覆工応力度が許容応力度以下のケースを○で示した。また、検討深度500mに対する解析結果を表-4.3.2.11に示す。図-4.3.2.13には、解析例として主要・連絡坑道における変形、局所安全率及び最大せん断ひずみ図を示した。

解析の結果、検討深度300m、500mのいずれの場合についても、覆工応力度が許容応力度を越えるケースはなく、図-4.3.2.11に設定した支保工パターンで空洞の安定性は確保されることが示された。なお、塑性領域についても、全体的に塑性域の発生は少なく、地盤の安定性についても確保されると判断できる。ただし、主要・連絡坑道については、偏圧の影響によりアーチ上部やインバート下部の一部の範囲で比較的大きな塑性領域が発生する傾向があり、施工の際には、安全性確保のための対策を考慮する必要があると考えられる。

表-4.3.2.10 FEM解析結果 (堆積岩, 検討深度300m)

岩種	岩盤物性	部位	掘削解放率 (%)	最大壁面変位 (cm)	最大塑性領域幅 (m)	最大支保工応力度 (MPa)		判定	最大せん断ひずみ	限界せん断ひずみ (上限値)	ゾーン
							支保工安全率				
堆積岩	R	アクセス	65.5 STAGE-1	1.18	0.23				0.59	1.37	I
			34.5 STAGE-2	1.56	0.70	10.4 (覆工コン) 189.6 (H鋼)	1.35 1.11	○ ○	0.95	1.37	I
	M	主要連絡	72.7 STAGE-1	1.07	1.00				1.48	1.37	0
			27.3 STAGE-2	1.35	1.46	11.7 (覆工コン) * 170.7 (H鋼) *	1.20 1.23	○ ○	1.65	1.37	0
	2	処分	86.5 STAGE-1	0.65	0.61				2.35	1.37	0
			13.5 STAGE-2	0.74	0.71	152.0 (鋼製セグ)	1.38	○	2.48	1.37	0

\*7-7部における最大値を記載

表-4.3.2.11 FEM解析結果 (堆積岩, 検討深度500m)

岩種	岩盤物性	部位	掘削解放率 (%)	最大壁面変位 (cm)	最大塑性領域幅 (m)	最大支保工応力度 (MPa)		判定	最大せん断ひずみ	限界せん断ひずみ (上限値)	ゾーン
							支保工安全率				
堆積岩	R	アクセス	61.8 STAGE-1	2.01	0.41				0.93	1.37	I
			38.2 STAGE-2	2.48	0.78	10.5 (覆工コン) 192.1 (H鋼)	1.33 1.09	○ ○	1.09	1.37	I
	M	主要連絡	69.1 STAGE-1	1.72	1.62				2.03	1.37	0
			30.9 STAGE-2	2.11	2.00	13.1 (覆工コン) * 161.3 (H鋼) *	1.07 1.30	○ ○	2.19	1.37	0
	2	処分	86.5 STAGE-1	1.16	0.77				3.75	1.37	0
			13.5 STAGE-2	1.21	0.83	191.9 (鋼製セグ)	1.10	○	3.85	1.37	0

\*7-7部における最大値を記載  
インパ-トの一部で許容応力度を超える部分が発生するが  
安全性に問題はないと考える

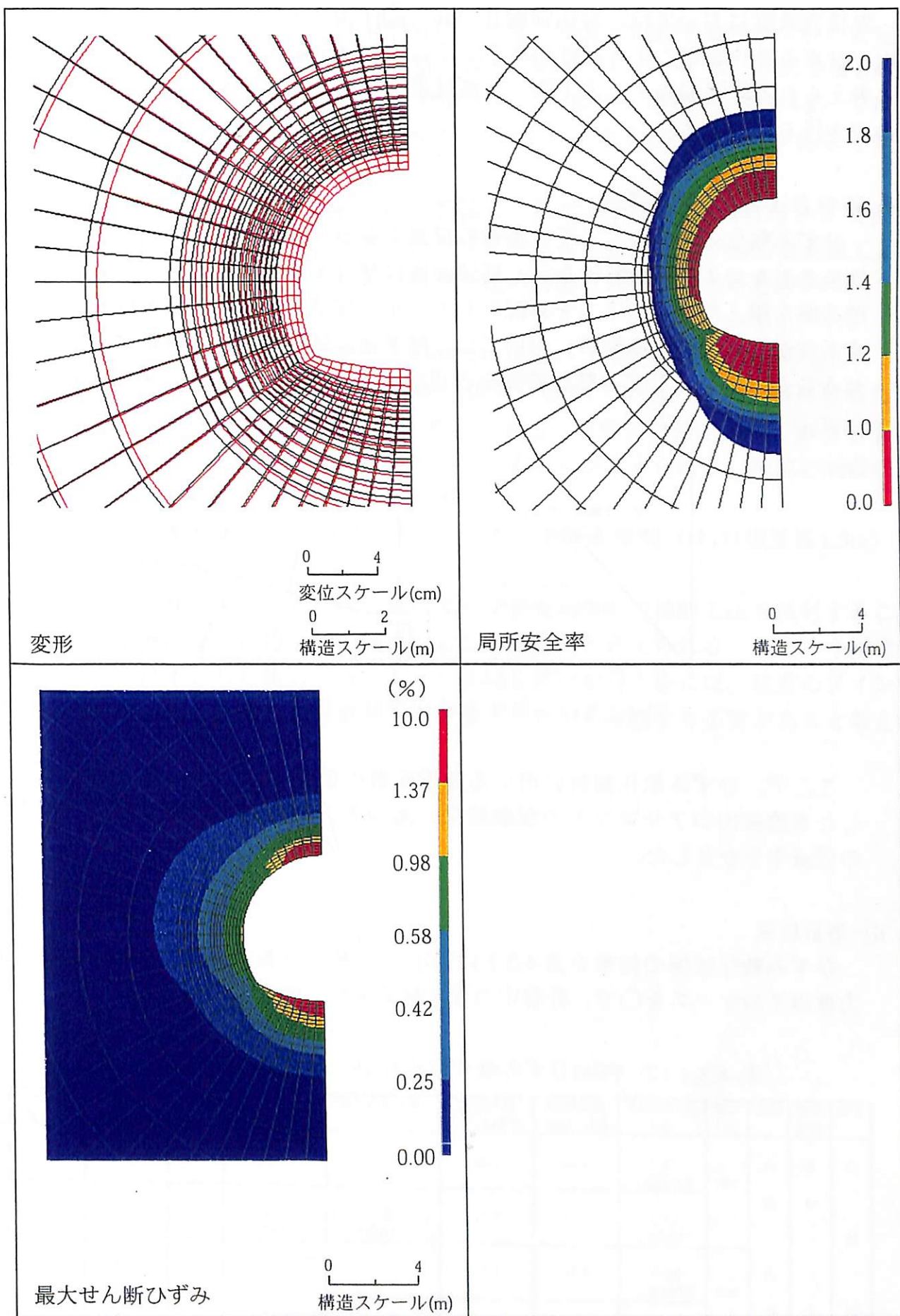


図-4.3.2.13 変形、局所安全率及び最大せん断ひずみ図  
(堆積岩, 主要・連絡坑道, 検討深度500m, STAGE-2)



(d) ひずみ軟化解析

堆積岩地盤においては、地山強度比 ( $q_u / \rho h$ ) が2以下の場合、空洞掘削時に周辺地山がひずみ軟化を起こす可能性がある。そこで、偏圧が作用し地山の応力状態が厳しいと考えられる堆積岩モデルの主要・連絡坑道を対象としてひずみ軟化解析を行い、空洞の安定性を検討する。

i) 解析方法および解析条件

ひずみ軟化のモデルとしては各種の提案がなされているが、本検討では、岩盤は破壊後急激なひずみ軟化特性を示し残留強度に移行すると仮定する。応力再配分法（破壊基準を越えた要素の応力を再配分して、常に破壊後の応力状態を破壊基準上に維持する方法）に基づく本解析においては、破壊後に破壊基準を残留強度状態まで移動させることにより、ひずみ軟化挙動を表現することができる。その概念を図-4.3.2.14に示す。

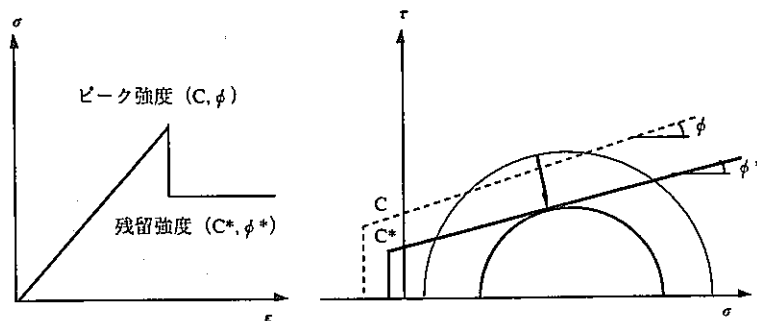


図-4.3.2.14 ひずみ軟化挙動とひずみ軟化モデル

ここで、ひずみ軟化解析に用いる強度定数の低減率は、昨年度（H8年度）に実施した東濃鉱山コアサンプルの試験結果に基づき、粘着力の低減率を1/3、内部摩擦角の低減率を0とした。

ii) 解析結果

ひずみ軟化解析の結果を表4.3.2.12に示す。表中の判定欄には覆工応力度が許容応力度以下のケースを○で、許容応力度を越えるケースを×で示した。

表-4.3.2.12 FEMひずみ軟化解析結果（堆積岩, 主要・連絡坑道）

岩種	岩盤物性	部位	深度 (m)	掘削解放率 (%)	最大壁面変位 (cm)	最大塑性領域幅 (m)	最大支保工応力度 (MPa)		判定	最大せん断ひずみ	限界せん断ひずみ (上限値) ゾーン	
							支保工安全率					
堆積岩	R	主	300	72.7 STAGE-1	1.52	2.09				1.94	1.37	0
				27.3 STAGE-2	2.13	2.51	16.6 (覆工コン) * 237.7 (H鋼) *	0.84 0.88	× ×	2.09	1.37	0
	M	連	500	69.1 STAGE-1	2.37	1.81				2.33	1.37	0
				30.9 STAGE-2	3.15	2.23	14.9 (覆工コン) * 186.2 (H鋼) *	0.93 1.13	× ○	2.43	1.37	0

\*アーチ部における最大値を記載

(e) まとめ

「仮想地質モデル」を用いて、FEM解析により処分施設を建設する際の空洞の安定性および支保の検討を行った。その結果、結晶質岩 (RM1) については、検討深度1000mにおいて無支保掘削が可能であることが示された。また、堆積岩 (RM4-2) では、300mおよび500mの検討深度に対して、図-4.3.2.11に示した支保工パターンにより空洞の安定性が確保されることが示された。

なお、堆積岩において今回設定された支保工、特に検討深度500mに対する支保工は、かなり大規模なものであり、実際の施工性を考えると必ずしも合理的な支保工とは言い難い。この点について考えられる要因と今後の課題を以下にまとめた。

- ① 堆積岩モデルで設定した物性 (RM4-2) が低い (岩盤が脆弱である)。

今回の検討では堆積岩モデルの物性値を、100m～200mの深度で採取された東濃コアサンプルの物性値から設定している。しかし、実際には地下深部における岩盤の力学特性は、浅部の特性とは異なっていることが考えられる。深部の岩盤の力学特性を十分検討することが必要である。

- ② 一次覆工を基本とした検討であり、また、全断面掘削 (1サイクル掘進長1.5m) を想定している。

支保工を軽くするためには、地山改良や先受工などの補助工法を検討することや、段階掘削などの施工法を検討することも重要と考えられる。また、今回は一次覆工を基本とした検討を行ったが、詳細な設計を行う際には、坑道のメンテナンスや設備の設置等を考慮した二次覆工の施工も考慮する必要があると考えられる。

#### 4.3.3 ファーフィールドの熱-水連成解析評価

##### (1) 目的

本解析では、設定された仮想地質モデル及び処分場レイアウトに準じたモデルで熱-水連成解析を実施し、地表面への影響を考察する。解析結果の評価は、地下水の影響を考慮しない熱伝導解析の結果と比較することによって行う。

##### (2) 解析条件

###### (a) 基本解析ケース

今回設定した仮想地質モデル（結晶質岩モデル及び堆積岩モデル）に対して、地下水を考慮した熱-水連成解析及び地下水を考慮しない熱伝導解析を実施し、両者を比較することを基本とする。

###### (b) 解析断面

解析は2次元モデルで実施し、処分場サイトにおいて立坑中心を通る断面を用いるものとする。処分坑道は直径を空洞高さとしてモデル化し、アクセス立坑については今回モデル化しない。解析断面を切る方向は、本検討の趣旨より最も地下水の影響が反映されるよう、地下水流動が最も卓越する方向にとるものとする。したがって「3.1 広域地下水流動解析」の結果に基づき、結晶質岩モデルでは東西方向（図-4.3.3.1）、堆積岩モデルでは南北方向（図-4.3.3.2）に解析断面をとるものとした。

なお、解析領域は境界条件の影響を受けない範囲を対象とするよう、予備検討において熱伝導解析による検討を実施し、その上で設定した。

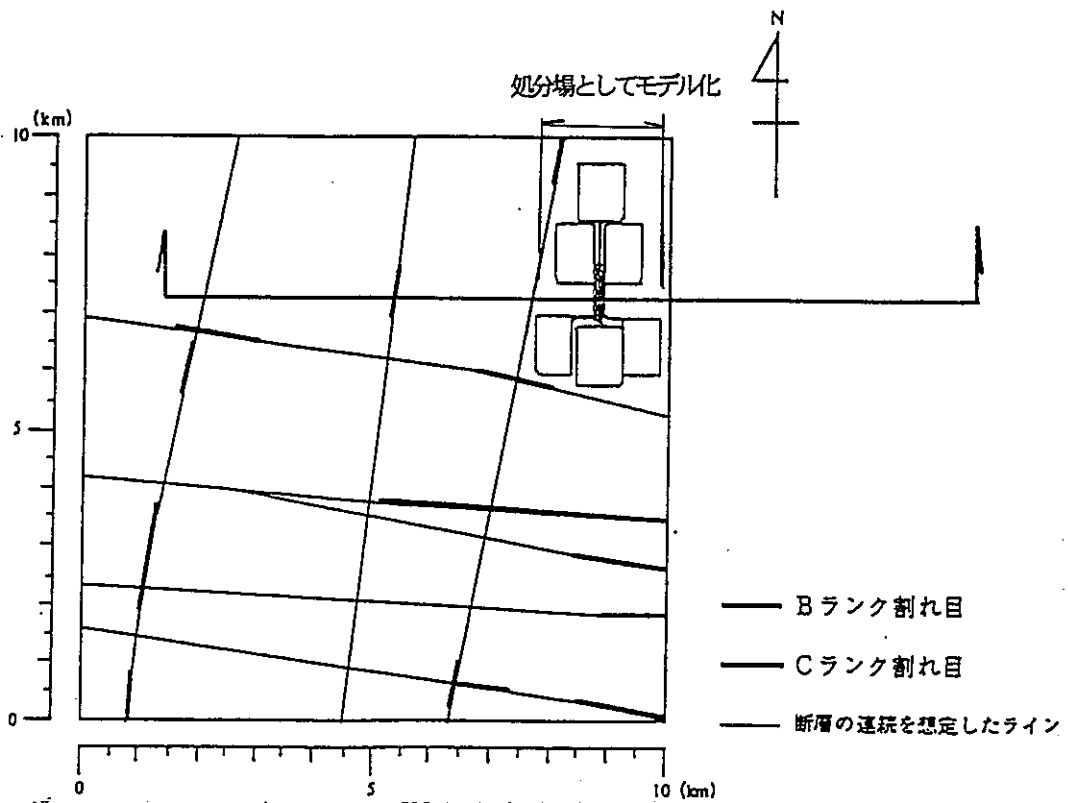


図-4.3.3.1 結晶質岩モデルにおける解析断面位置 (平面図)

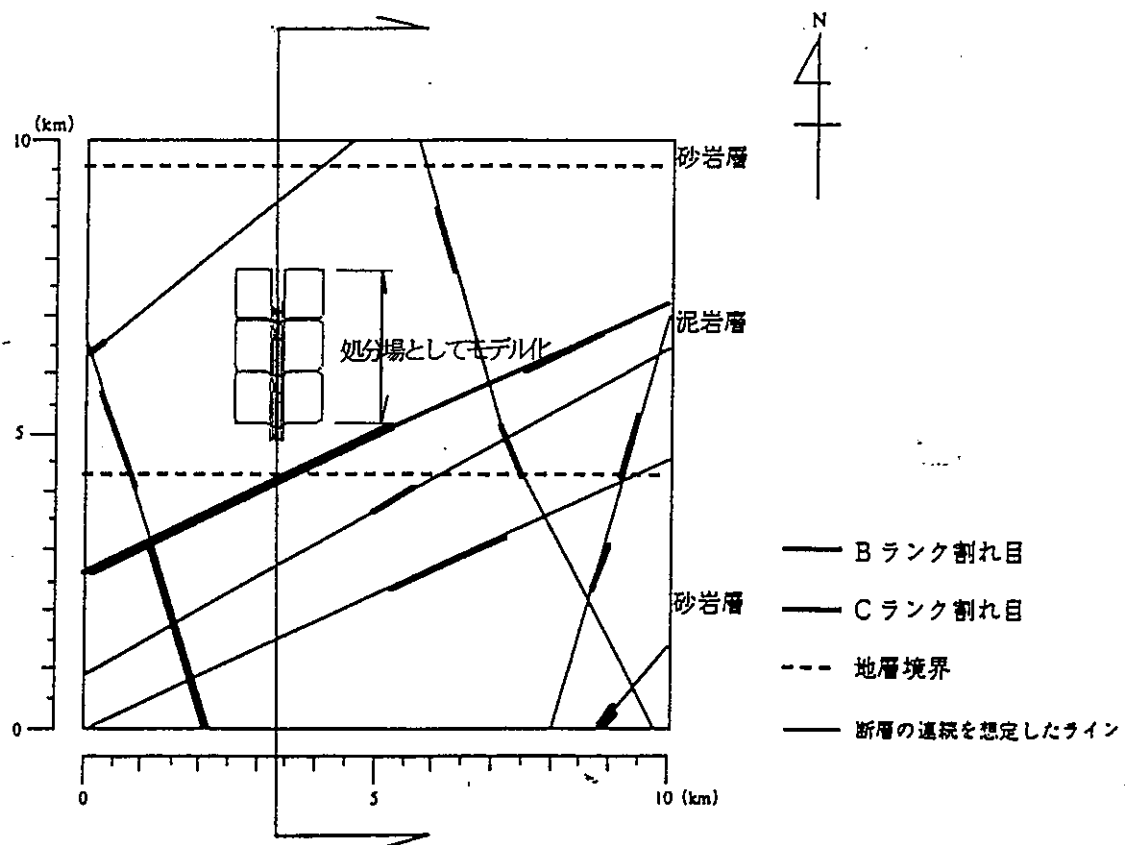


図-4.3.3.2 堆積岩モデルにおける解析断面位置 (平面図)

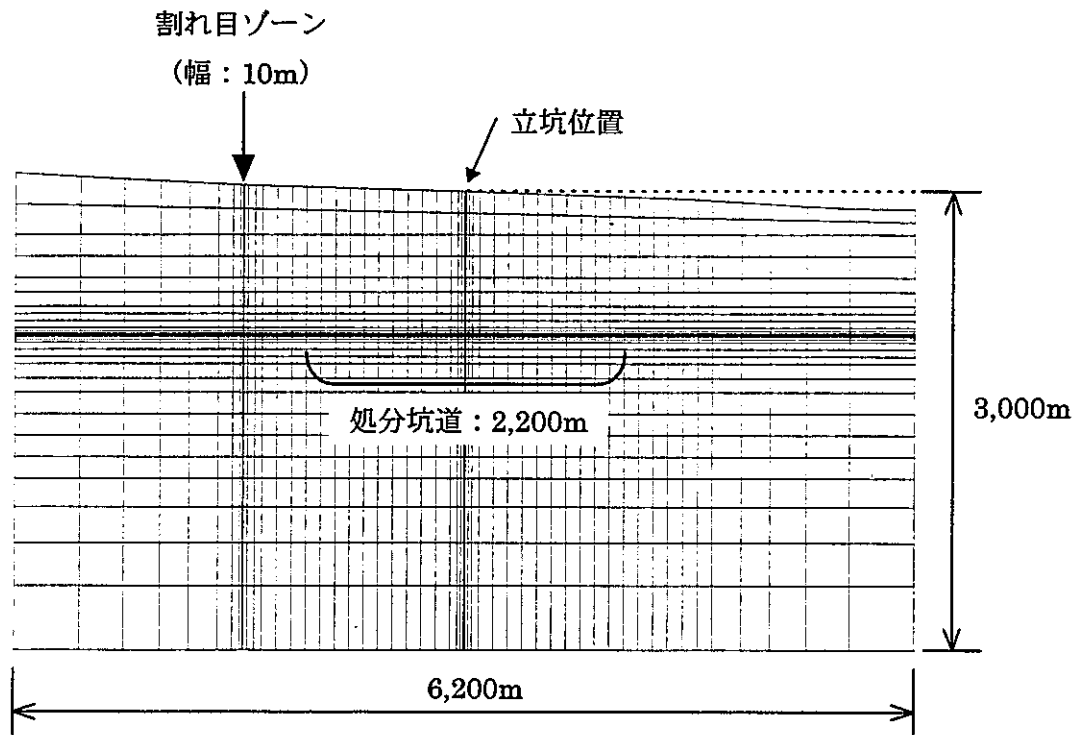


図-4.3.3.3 結晶質岩モデルにおける解析メッシュ

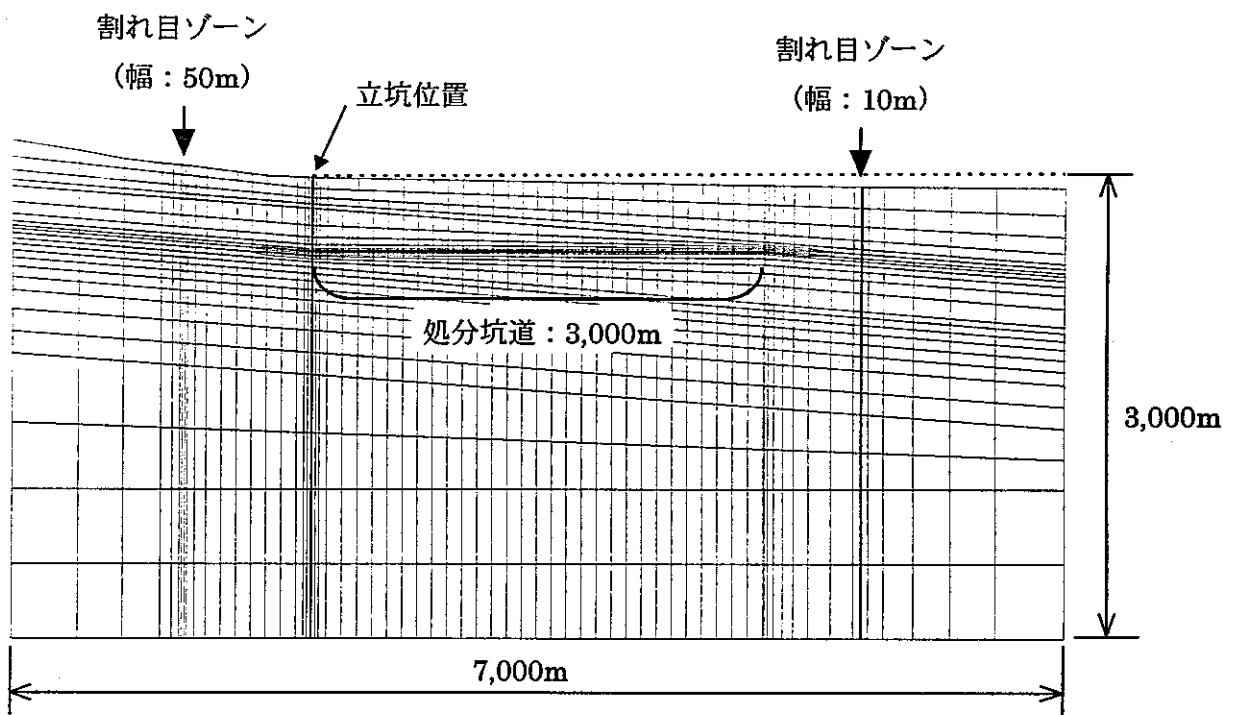


図-4.3.3.4 堆積岩モデルにおける解析メッシュ

#### (4) 解析ケース

解析を行ったケースを表-4.3.3.4, 表-4.3.3.5 に示す。

結晶質岩モデルでは、基本ケース (case-k01), サブケース 1, 2 (case-02, 03) の熱-水連成解析と、基本ケースで地下水の流れを考慮しない熱伝導解析 (case-k11) を行った。

堆積岩モデルでも結晶質岩モデルと同様に、基本ケース (case-t01), サブケース (case-02) の熱-水連成解析と、基本ケースで地下水の流れを考慮しない熱伝導解析 (case-t11) を行った。

堆積岩モデルではこれらに加え、基本ケースの熱-水連成解析において、廃棄体発熱のない状態での解析 (case-t21) と割れ目ゾーンのない状態での解析 (case-t31) もあわせて行った。

表-4.3.3.1 結晶質岩モデル

	物性条件	解析条件	比較項目
case-k01	基本ケース	熱-水連成解析	—
case-k02	サブケース 1	熱-水連成解析	岩盤物性変化
case-k03	サブケース 2	熱-水連成解析	岩盤物性変化
case-k11	基本ケース	熱伝導解析	地下水流なし

表-4.3.3.2 堆積岩モデル

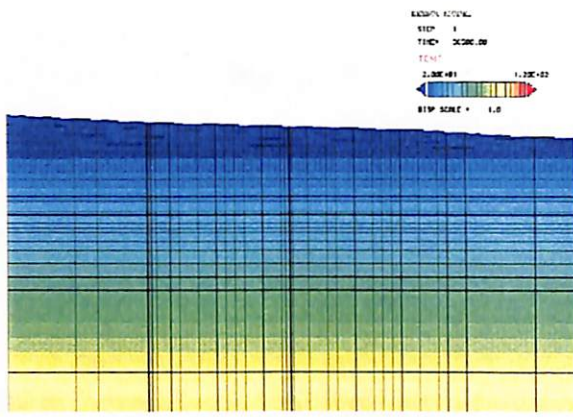
	物性条件	解析条件	比較項目
case-t01	基本ケース	熱-水連成解析	—
case-t02	サブケース	熱-水連成解析	岩盤物性変化
case-t11	基本ケース	熱伝導解析	地下水流なし
case-t21	基本ケース	熱-水連成解析	廃棄体発熱なし
case-t31	基本ケース	熱-水連成解析	割れ目ゾーンなし

#### (5) 解析結果

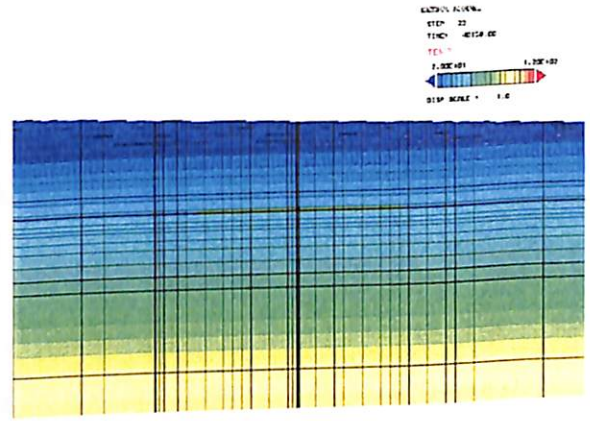
結晶質岩ケースについて図-4.3.3.7 に温度分布図を示す。温度分布図は、基本ケース (case-k01) について、廃棄体発熱開始時より 0 年後、10 年後、100 年後、1000 年後、10000 年後のものを示す。

また、温度の時間的変化の様子を明らかにするために、図-4.3.3.8~4.3.3.11 に結晶質岩基本ケース、堆積岩基本ケースの地表面レベル、廃棄体レベルの点①~⑥における温度経時変化図を作成した。

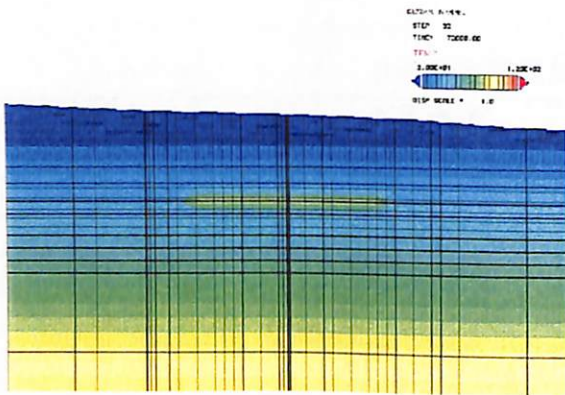
図 4.3.3-12 に結晶質岩ケースにおける熱-水連成解析と熱伝導解析の比較を示す。



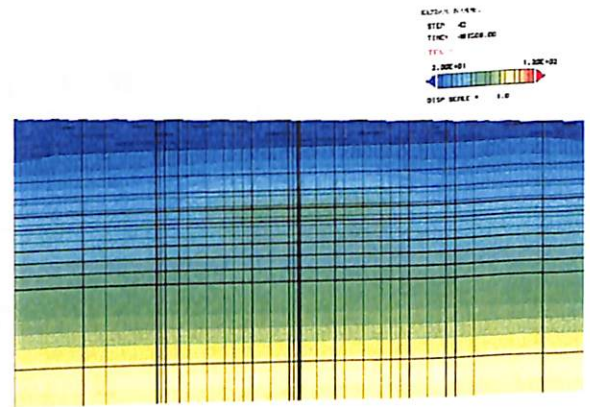
— 0 年後 —



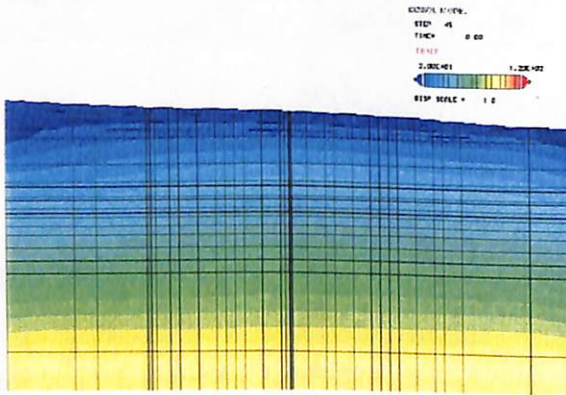
— 10 年後 —



— 100 年後 —



— 1,000 年後 —



— 10,000 年後 —

図-4.3.3.5 温度分布図（結晶質岩基本ケース：case-k01）

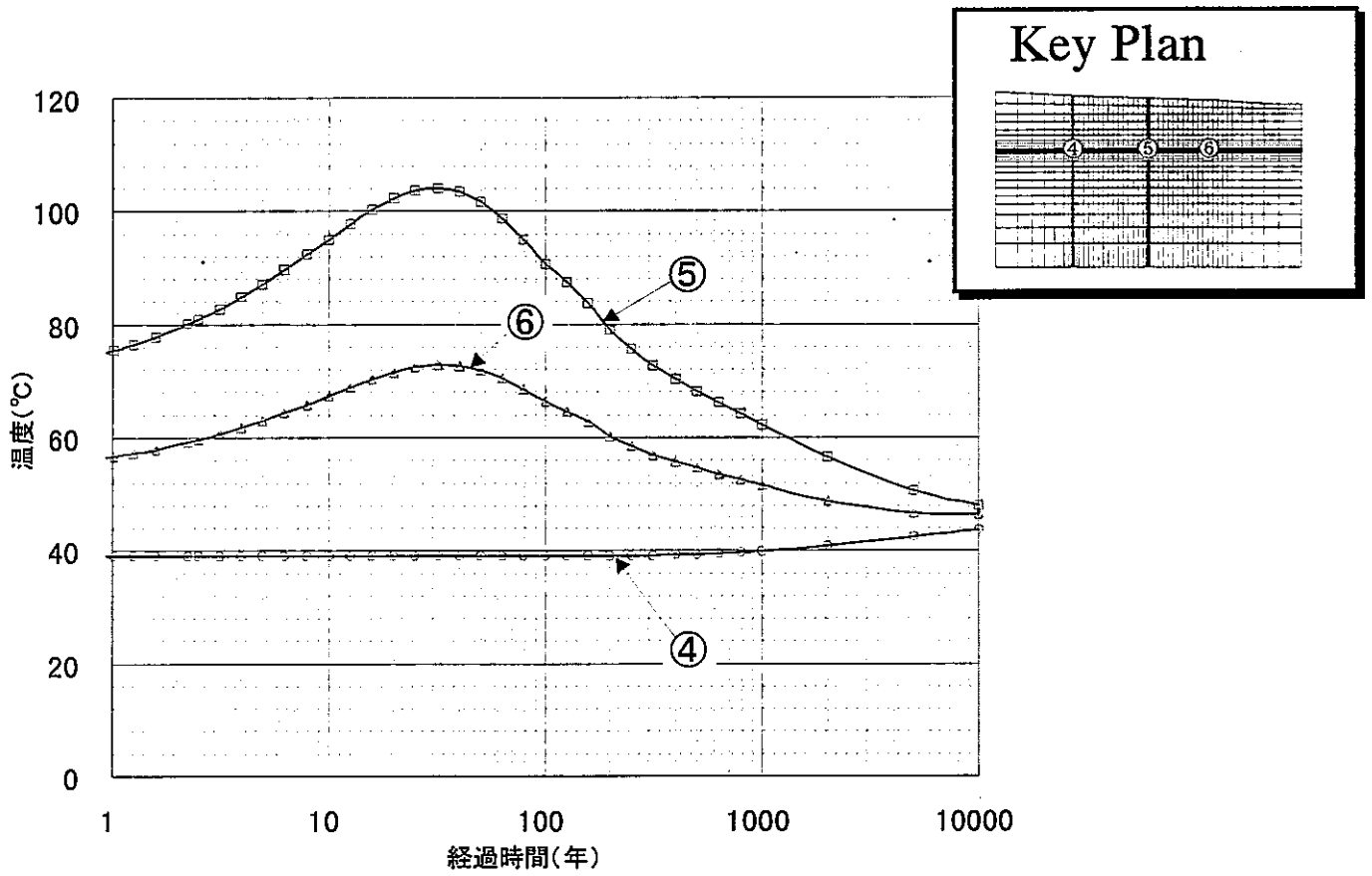


図 4.3.3-6 温度経時変化図—廃棄体レベル（結晶質岩基本ケース）

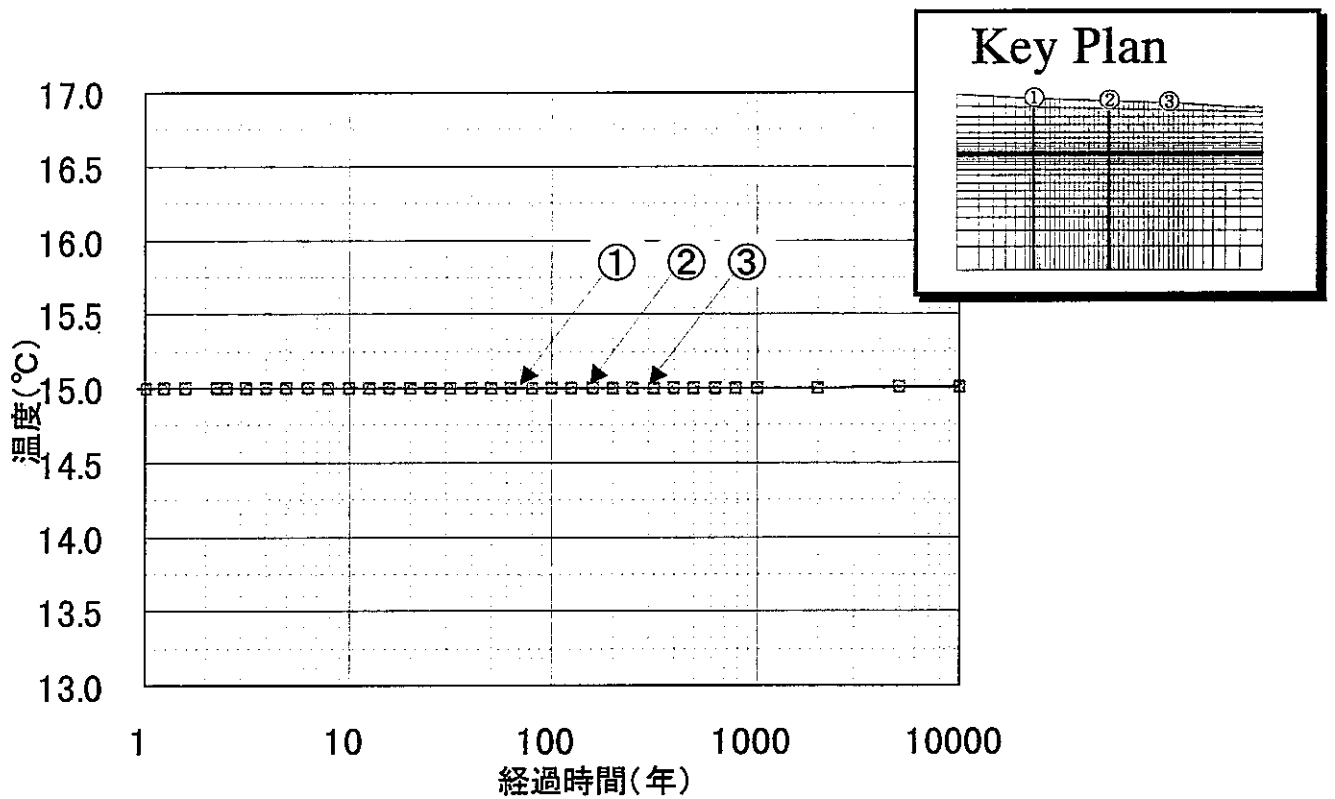


図 4.3.3-7 温度経時変化図—地表面レベル（結晶質岩基本ケース）



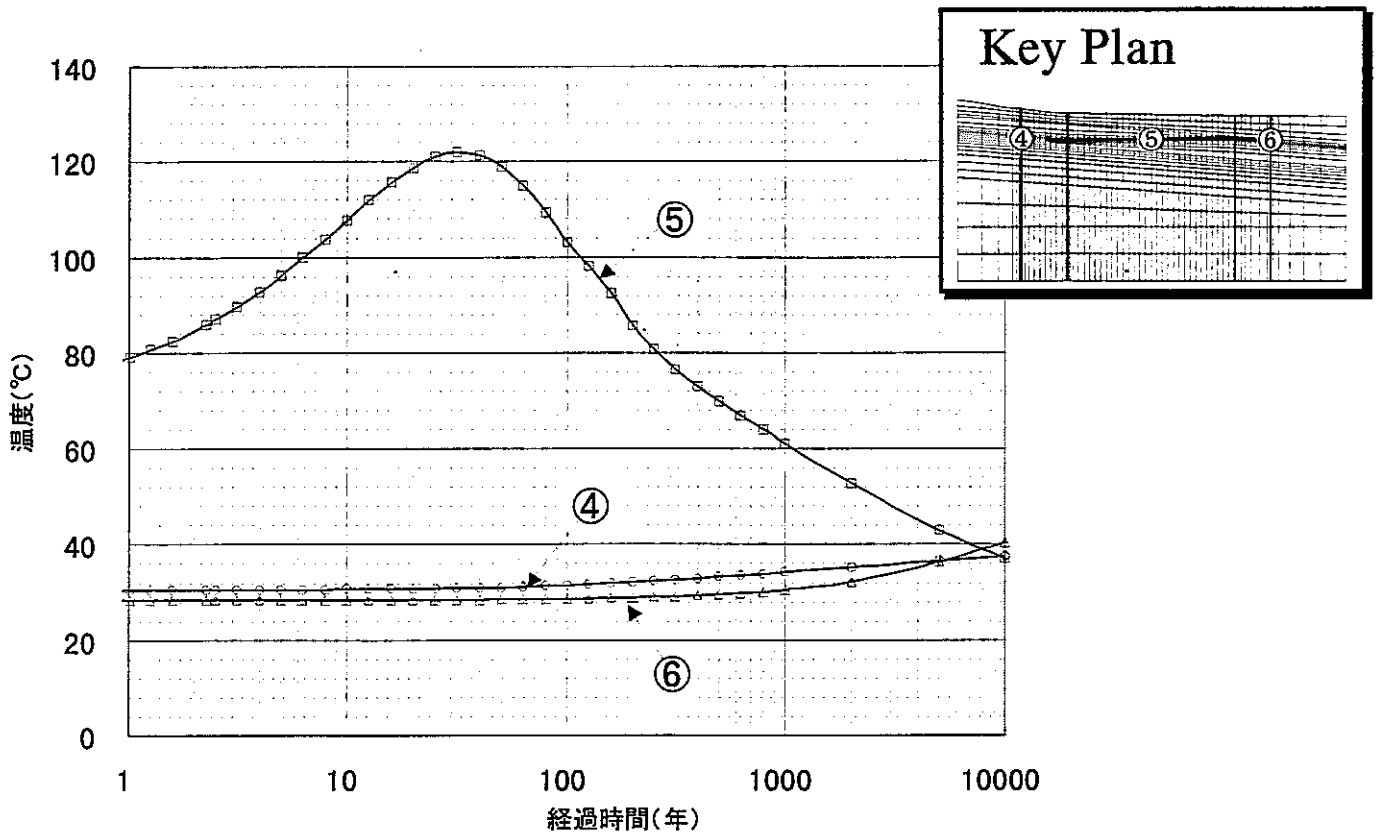


図 4.3.3-8 温度経時変化図－廃棄体レベル（堆積岩基本ケース）

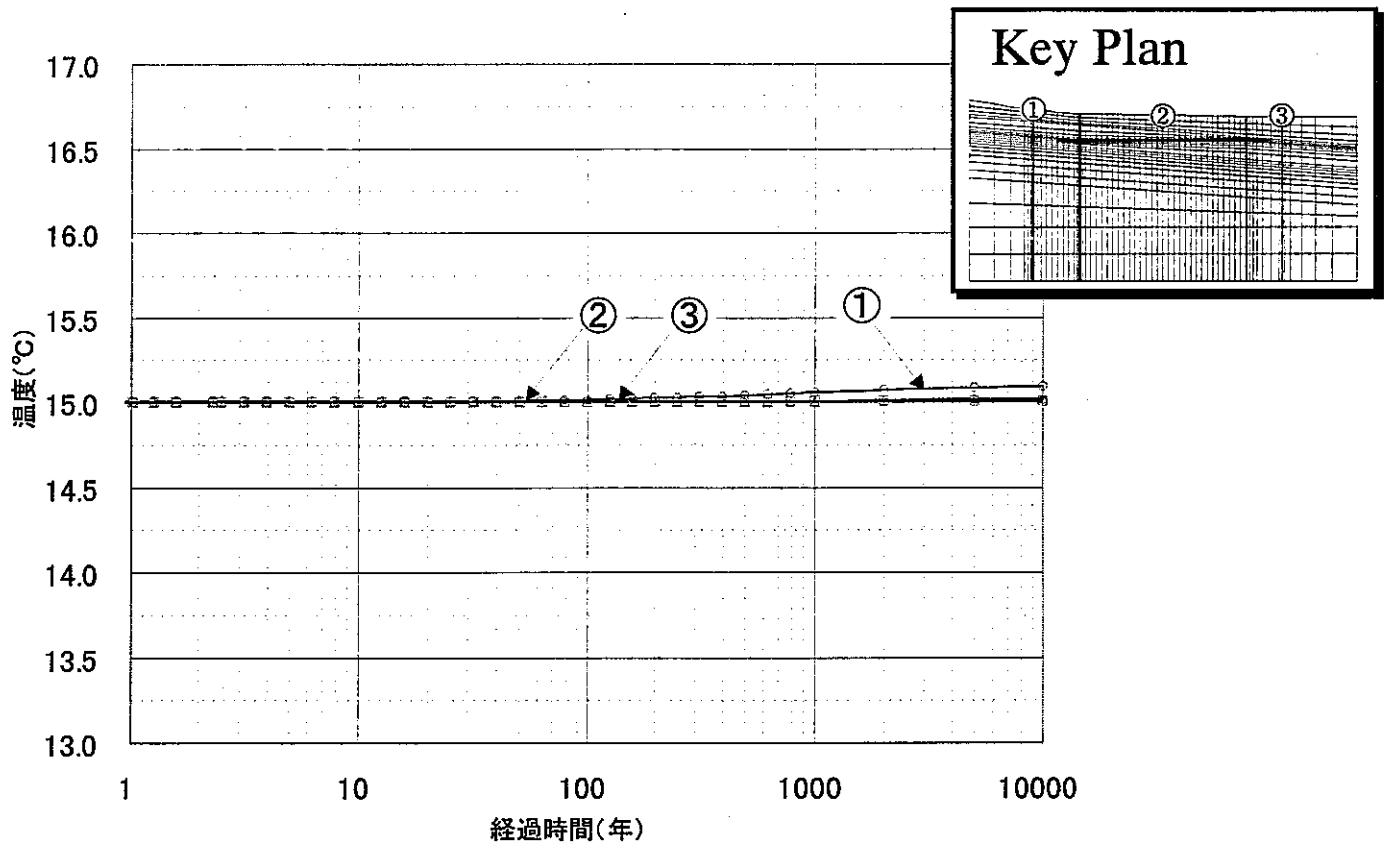


図 4.3.3-9 温度経時変化図－地表面レベル（堆積岩基本ケース）

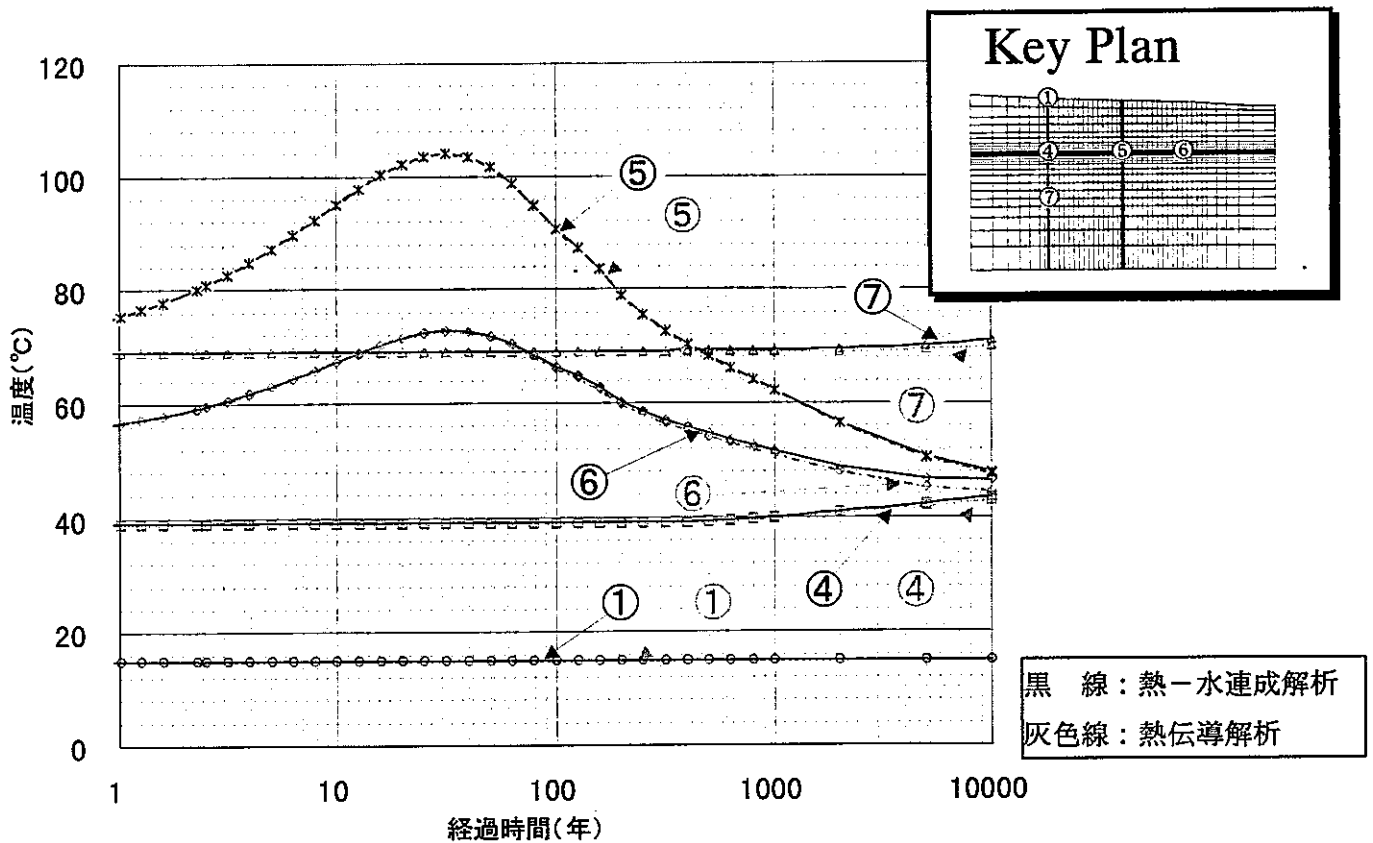


図 4.3.3-10 温度経時変化図（結晶岩ケース）  
熱-水連成解析と熱伝導解析の比較

(6) まとめ

結晶質岩モデルの基本解析ケース (case-k01) の結果、図-4.3.3.7~4.3.3.11 より、廃棄体発熱による温度分布の経時変化の様子が分かる。温度分布の形状はほぼ左右対称であり、地下水流による熱の移流効果はさほど顕著ではない。地下水流については、図-4.3.3.40 及び図-4.3.3.43 に示す通り、結晶質岩モデル、堆積岩モデルとも動水勾配による地下水流動が支配的であり、廃棄体の発熱による対流は生じていない。

堆積岩モデルにおいて、左側の割れ目ゾーン付近で温度が上昇するという現象がおきているが、これは、割れ目ゾーンに沿って上向き流速が生じていることに起因すると思われる、廃棄体の発熱とは無関係である。

また、地表面温度への廃棄体発熱の影響については、図-4.3.3.14 及び図-4.3.3.16 に示す経時変化図より、結晶質岩モデル、堆積岩モデルとも地表面での有意な温度上昇は見られないことから、特に問題ないといえる。

#### 4.3.4 処分システムの基本設計

##### (1) 検討方針

本検討では、地層処分施設に求められる基本要件（「3.3 設計に関する基本的考え方の整備」参照）、及び仮想地質モデルに対する水理、熱、力学の解析検討等の結果に基づき、結晶質岩及び堆積岩それぞれの仮想地質モデル中に処分場のレイアウト設計を行う。

処分候補地の確保から詳細設計に至るまでの手順としては、図-4.3.4.1 のような流れが考えられ、本検討では広域調査での取得情報に基づく基本設計（1）を実施する。この際、10km 四方の仮想地質モデルは、処分候補地として確保されていること（実施主体、地元自治体の立候補等による）を前提とする。

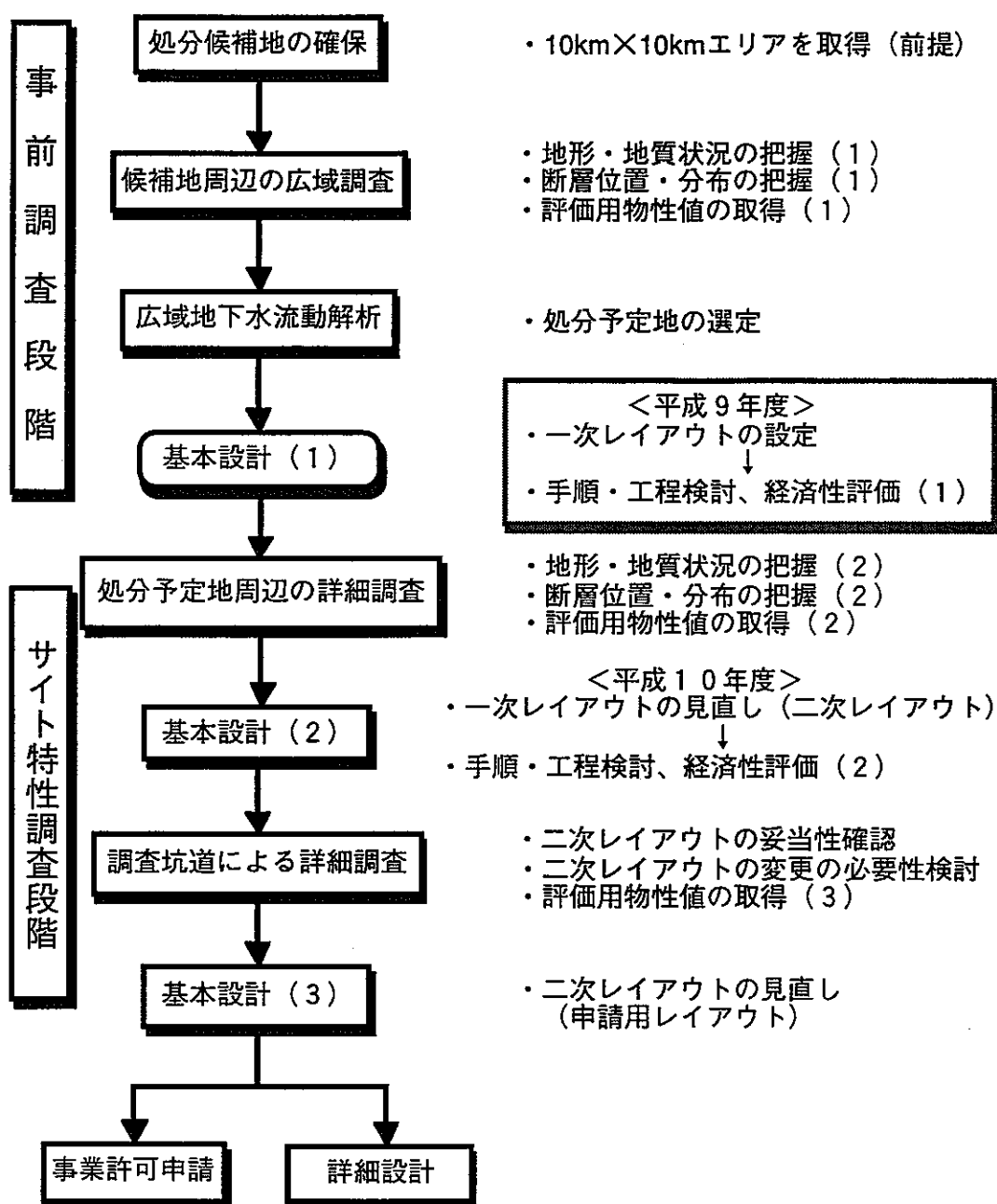


図-4.3.4.1 調査と設計の流れ

## (2) 基本設計において考慮する事項の整理

我が国における地層処分の概念は、安定な状態にガラス固化した廃棄物を、地下深部の地質環境中に、人工的な安全対策を施した上で埋設することにより、長期にわたって人間の生活環境から隔離し、将来の世代にも廃棄物による影響が及ばないようにすることである。この概念を実現するために、本検討では、「3.3 設計に関する基本的考え方の整備」にて整理された基本要件を念頭におき、サイト選定において考慮すべき事項として以下の3項目、設計で対応すべき事項として以下の10項目を考慮する。

### (a) サイト選定において考慮すべき事項

- サ-1 火山活動、断層活動のある地域、隆起・沈降・侵食の顕著な地域を避ける。
- サ-2 人間侵入の機会を与えないように、潜在的な資源の存在する地域を避ける。
- サ-3 多重バリアの機能（核種の閉じ込め及び核種移行遅延）を設計で期待したように発揮させ得る地質環境条件として、主要な地下水移動経路、岩盤の力学特性、熱特性を十分に考慮する。

### (b) 設計において対応すべき事項

- 設-1 人工バリア（ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材）と天然の地層である天然バリアにより構成される多重バリアシステムを構築する。
- 設-2 オーバーパックによるガラス固化体の物理的閉じ込め期間として、1000年以上を確保する。
- 設-3 緩衝材の膨潤性能、低透水性を確保するとともに、緩衝材によってオーバーパックを長期的に保持する。
- 設-4 ボーリング孔、処分坑道、立坑のバックフィル、シーリングによって、潜在的地下水移動経路を閉鎖する。また、主要地下水移動経路に対して処分場を有利に配置する。
- 設-5 緩衝材の温度を100℃未満に制限する。
- 設-6 地震の影響が処分施設の設計の許容範囲内に収める。
- 設-7 処分施設の初期欠陥を極力低減できるようにする。
- 設-8 地質環境条件が設計条件の範囲内であることを確認するために、必要なモニタリングを実施する。
- 設-9 天然事象や将来の人間活動による接近シナリオを起りにくくするとともに、地温・地圧を考慮の上、建設・操業の経済性・効率性を考慮して、処分場の深度として500 m以上を確保する。
- 設-10 処分施設の設計の妥当性が、性能評価により確認できるようにする。

(3) 検討条件の整理

表-4.3.4.1 検討条件一覧

区分	項目	設定条件	
廃棄体及び人工バリアの諸特性に係わる条件	1	廃棄体の処分本数	40000本を一箇所での処分場に処分
	2	中間貯蔵期間	30年（～50年）
	3	オーバーパックスの仕様	炭素鋼、肉厚21cm、直径86cm
	4	緩衝材の仕様、許容上限温度	クニゲルV1とケイ砂の混合土（70：30） 許容上限温度は100℃以下
地形・地質環境に係わる条件	5	断層と坑道の位置関係	処分坑道は断層から100m程度以上離す
	6	主応力の方向性	南北圧縮場
	7	地下水の主要流動方向	結晶質岩モデルでは、南側の山地及び敷地北西部に存在する山からの地下水が敷地東部及び西部の沢へ集まり、沢へ集まった地下水が敷地北西部の山を迂回して北へ向かう流動場である 堆積岩モデルでは、南側の山地から北の海方向へ向かう単調な流動場である
	8	検討深度	結晶質岩：1000m、堆積岩：500m
建設・操業・閉鎖のスケジュールに係わる条件	9	建設・操業・閉鎖作業の同時並行の有無	互いに独立した区画の中で同時並行に実施
	10	操業開始時期	2035年頃（2030年代から2040年代半ば）
	11	操業期間	30年（～50年）
	12	建設・閉鎖の速度	処分区画全体について各30年間
レイアウトに係わる条件	13	処分形態	横置方式
	14	処分区画の数	最低3区画以上
	15	坑道離間距離（中心間）	3D以上（Dは坑道径）
	16	廃棄体埋設密度	結晶質岩：坑道中心間距離→11.0m 廃棄体埋設間隔→7.0m 堆積岩：坑道中心間距離→11.0m 廃棄体埋設間隔→5.4m
	17	各坑道の断面諸元	内空寸法は第一次取りまとめと同様

○国の方針に基づく考え方：1、2、8、10、11

○動燃による別途検討結果：3、4、16

○過去の知見を参考に設定：9、13、14、15

○本年度実施した別途検討結果：7、17

○今回の基本設計用に設定：5、6、12、13

(4) 検討項目及び評価指標

処分場の基本要件を考慮した一般論の検討（技術的成立性、経済性）を主体に進め、最終的に仮想地質モデルの制約（地形条件、断層位置、地下水流動場等）を考慮してレイアウトを決定する。

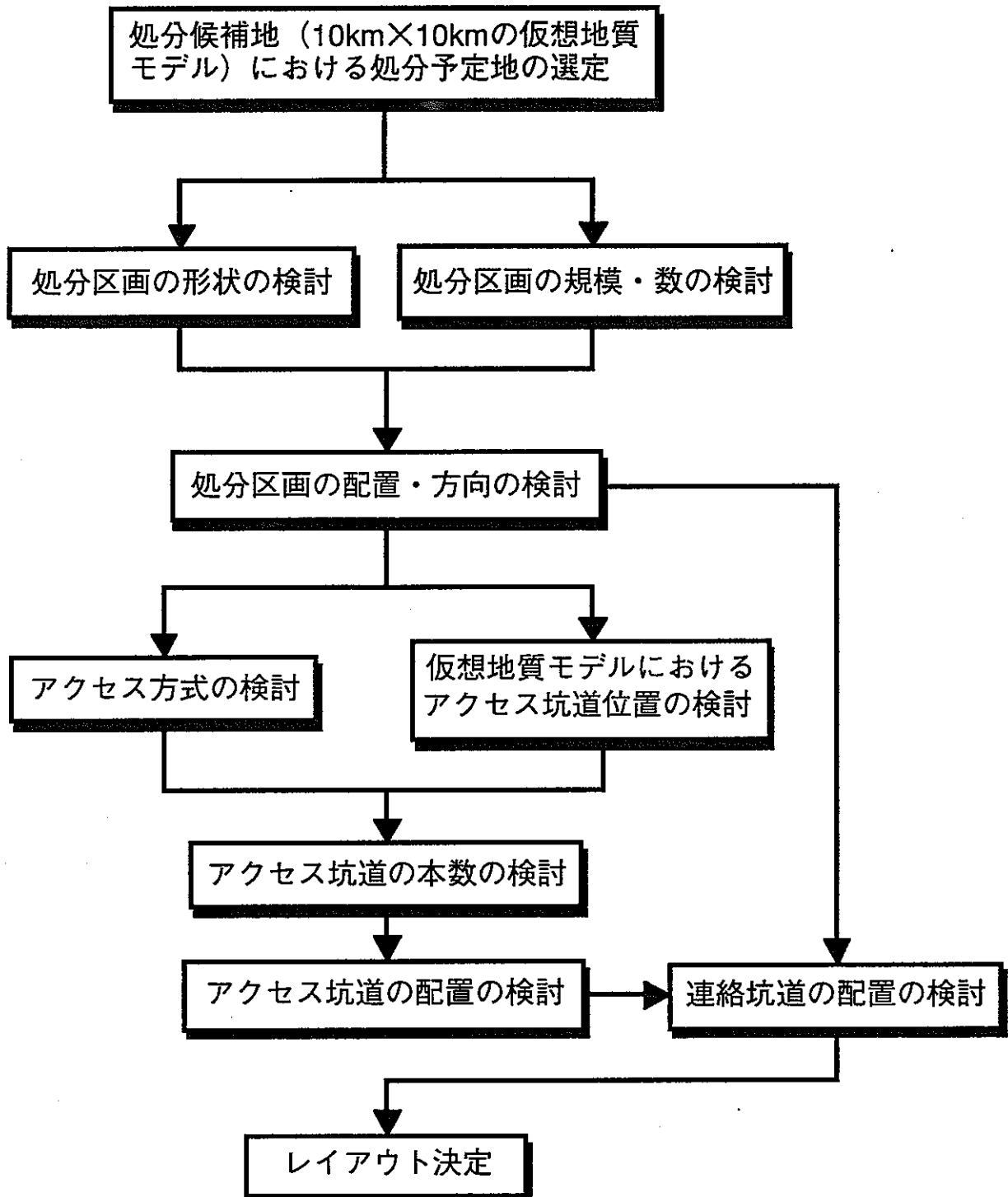


図-4.3.4.2 レイアウト設計の検討フロー

表-4.3.4.2 レイアウト検討における検討項目と評価指標

部 位	検討項目	評 価 指 標	
		一 般	仮想地質モデルの制約
処分区画	位 置	<ul style="list-style-type: none"> <li>急勾配地の回避</li> <li>断層から100m程度以上の距離を確保</li> <li>地下水流速（特に上向き）</li> <li>レイアウトの自由度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地形条件</li> <li>断層の位置</li> <li>地下水流動場</li> </ul>
	形 状	<ul style="list-style-type: none"> <li>空洞の安定性</li> <li>作業性</li> <li>換気・避難ルートの確保</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>断層の位置</li> </ul>
	規模・数	<ul style="list-style-type: none"> <li>操業開始までの期間</li> <li>事故の拡大防止</li> <li>断層から100m程度以上の距離を確保</li> <li>経済性（数量）</li> <li>経済性（全体工程）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>断層の位置</li> </ul>
	配置・方向	<ul style="list-style-type: none"> <li>主要地下水流動方向</li> <li>作業性</li> <li>処分場面積</li> <li>区画の拡張性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地形条件</li> <li>断層の位置</li> <li>地下水流動場</li> </ul>
アクセス坑道	方 式	<ul style="list-style-type: none"> <li>作業性</li> <li>換気・避難ルートの確保</li> <li>新たな地下水経路の可能性</li> <li>経済性（数量）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地形条件</li> </ul>
	位 置	<ul style="list-style-type: none"> <li>急勾配地の回避</li> <li>新たな地下水経路の可能性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地形条件</li> <li>断層の位置</li> <li>地下水流動場</li> </ul>
	本 数	<ul style="list-style-type: none"> <li>建設・操業・閉鎖の同時並行作業</li> <li>輸送能力の確保</li> <li>新たな地下水経路の可能性</li> <li>経済性（数量）</li> </ul>	
アクセス坑道 連絡坑道	配 置	<ul style="list-style-type: none"> <li>建設・操業・閉鎖の同時並行作業</li> <li>作業性</li> <li>空洞の安定性</li> </ul>	

(5) 処分場レイアウトの検討

(a) 処分区画の検討

i) 仮想地質モデルにおける処分子定地の検討

7) 急勾配地の回避

以下の理由より、比較的平坦な場所を選定

- ・侵食が少ない
- ・処分深度の変化が少ない
- ・地上施設へのアクセスが容易
- ・地上施設の基礎地盤の安定性向上

1) 断層から 100 m 程度以上の距離を確保

断層の延長線上は地質的に不安定であると考え、広域調査より判明した断層は保守的に連続しているものと想定する。

ウ) 地下水流速

- ・地下水流速が遅い → 山地部の回避
- ・上向流速が遅い → 急勾配から緩勾配へ急変する場所の回避
- ・地下水流量が少ない → 沢部の回避

エ) レイアウトの自由度

レイアウトの自由度を高める → エリア広さ、エリア形状

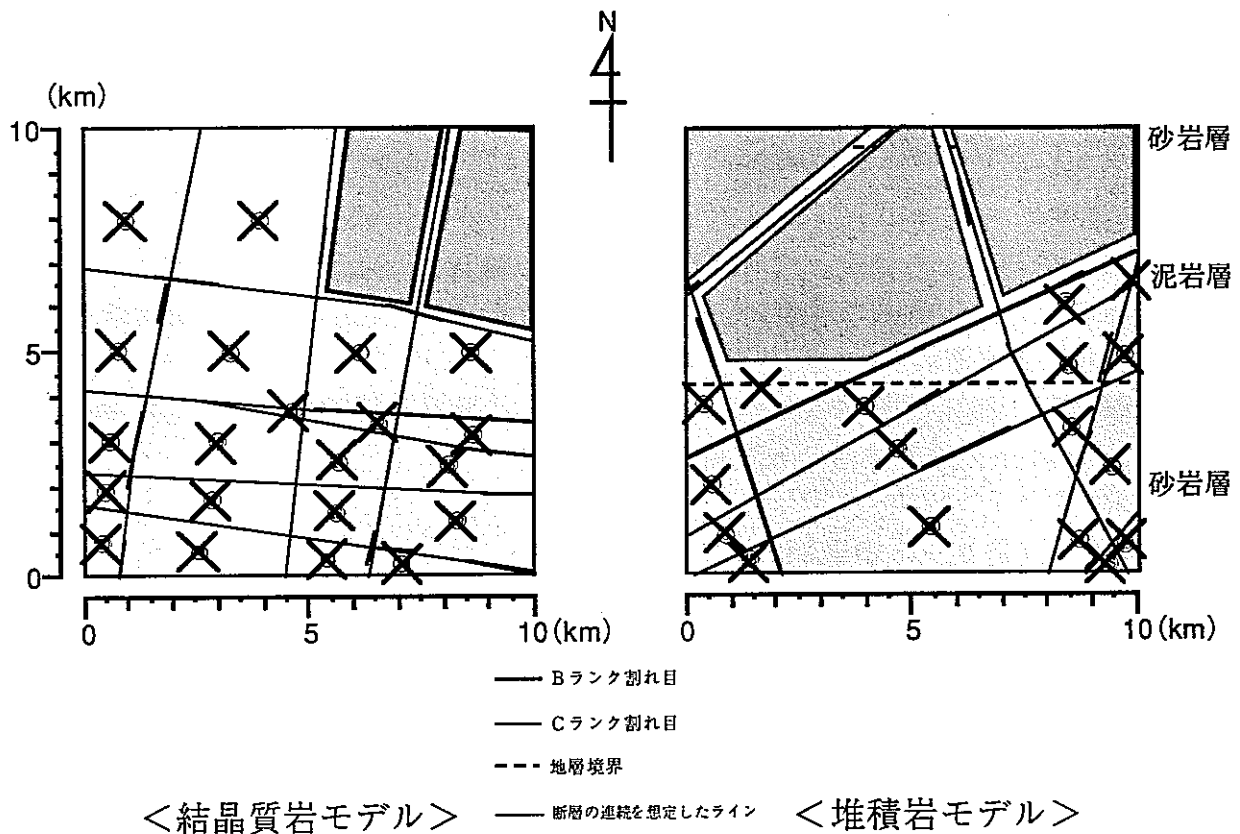


図-4.3.4.3 処分子定地の絞り込み結果



## ii) 処分区画の形状の検討

### 7) 空洞の安定性

空洞安定性の観点から処分区画形状設定のための目安として、以下の2項目を設定

- ・坑道の変形を小さくするため、仮想地質モデルにおける南北方向を、なるべく処分坑道の軸方向と一致させる。
- ・交差部は一般部に比べて地山の応力が増加する。応力増加に対しては、支保等で適宜対処することを基本とするが、坑道の接続角度は交差部の応力増加の程度に大きく影響するため、なるべく高角度とする。

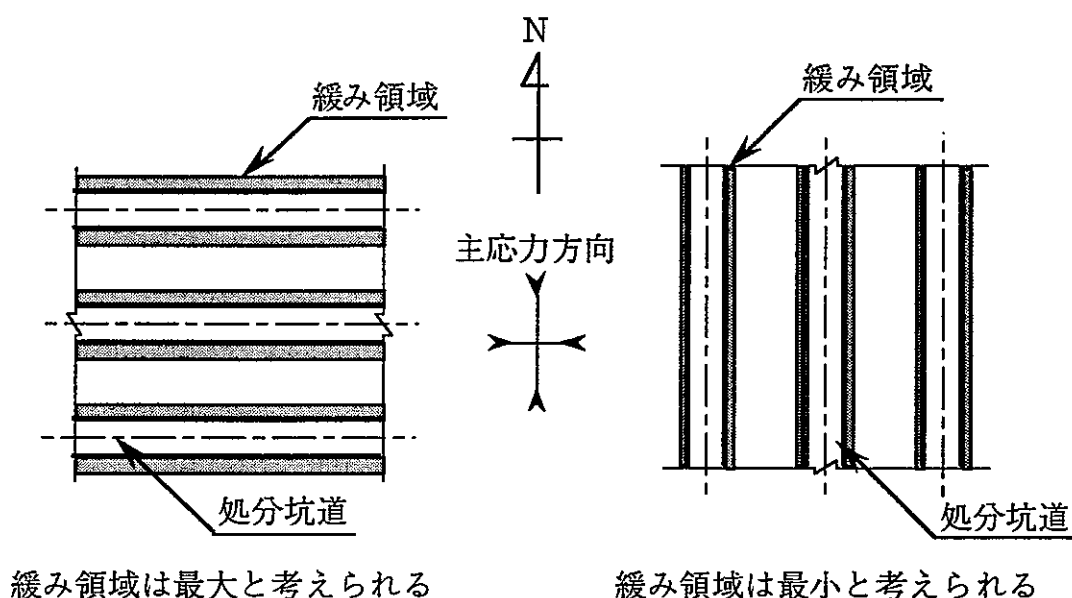


図-4.3.4.4 主応力方向と坑道方向

### 1) 作業性

作業性の観点から処分区画形状設定のための目安として、以下の2項目を設定

- ・できるだけ一方通行の物流ルートを確認するために、処分区画は主要坑道で取り囲むものとする。
- ・車輛運行の確実性を図るために、坑道交差部における接続角度は、斜め接続の曲率半径 40 m を確保することを目安とする。

### ウ) 換気・避難ルートの確保

- ・換気ルートは基本的に物流ルートと同様 → 主要坑道全周包囲とする。
- ・換気効率から圧力損失低減 → 坑道交差部は高角度斜め接続とする。
- ・避難方向は換気ルートに対して風上側 → 主要坑道全周包囲とする。

iii) 処分区画の規模・数の検討

表-4.3.4.3 区画規模・数のまとめ

評価指標	検討結果
断層から100m程度以上の距離を確保	断層間隔が狭いところは処分場候補地から除外する前提で、最大区画規模の一つの目安として 結晶質岩：1.5km <sup>2</sup> 堆積岩：7.3km <sup>2</sup> を設定するが、レイアウトに制約を与えるものではない。
操業開始までの期間	区画規模が同一で、区画毎の作業速度が同一であれば、区画数が多いほど操業開始時期は早くなる。
事故の拡大防止	事故の拡大範囲、避難ルートの延長から、区画規模が小さい（区画数が多い）ことが望ましい。
経済性（全体工程）	区画規模が同一で、区画毎の作業速度が同一であれば、工期は（30+60/区画数）年となり、区画数が多いほど全体工程は短くなる。
経済性（数量）	区画数が増えるにしたがい数量は全て増える。例えば区画数4と16の場合の処分坑道延長を比較すると 区画数4→289.6km 区画数16→300.8km となる。

本検討では、区画数はむやみに増やさないこととし、結晶質岩モデル及び堆積岩モデルともに区画数は6とする。また、区画規模は均等、区画毎の作業速度は同一とする。

iv) 処分区画の配置・方向の検討

ア) 主要地下水流動方向

- ・卓越した水みちが生活圏と連続しないこと
- ・処分場を通過する地下水流量が少ないこと

を考慮の上、今回の基本設計では卓越した水みちとなり得る緩み領域をできるだけ小さくすることを重要視し、処分坑道の軸方向を主応力卓越方向（南北方向）となるべく一致させる。また、卓越した水みちが生活圏と連続しないよう、処分坑道の最下流側は断層からなるべく距離を確保すること、処分坑道の下流付近にアクセス坑道を設けないように配慮する。

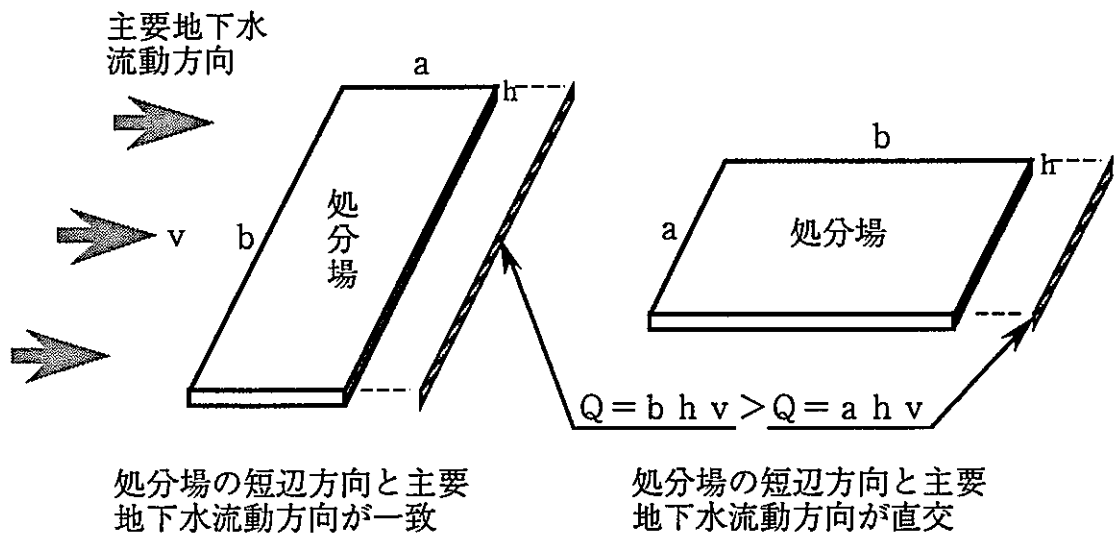


図-4.3.4.5 主要地下水流動方向と処分場の方向

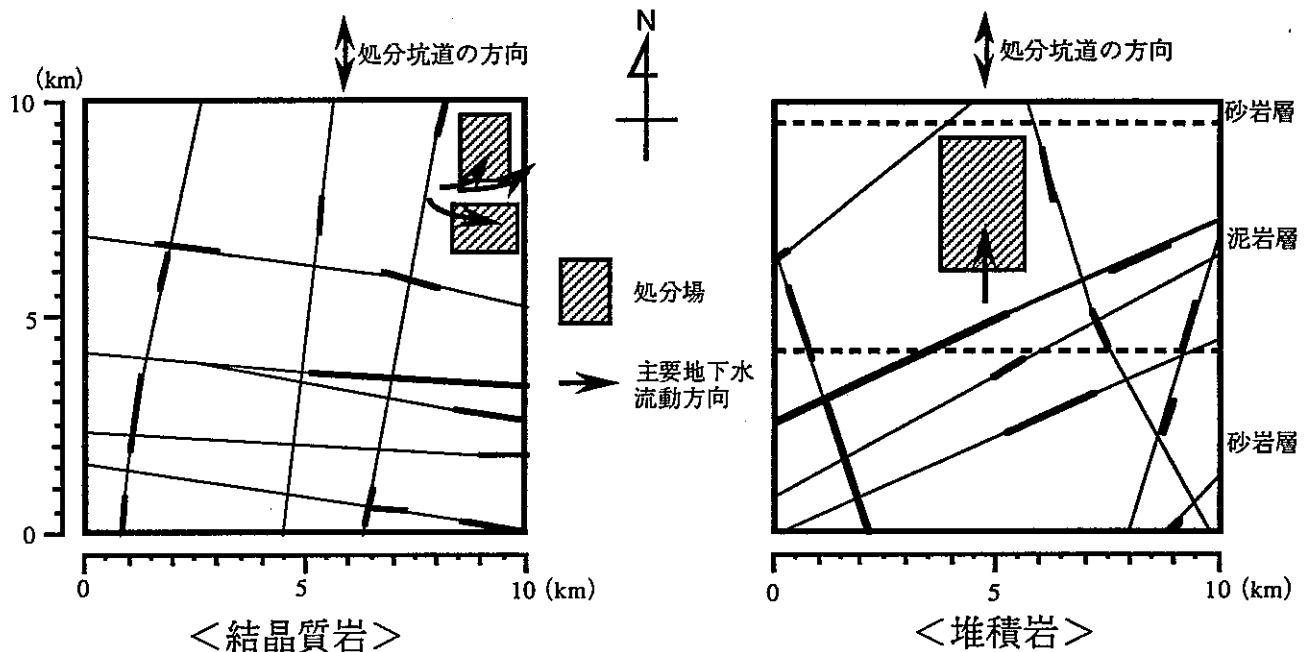


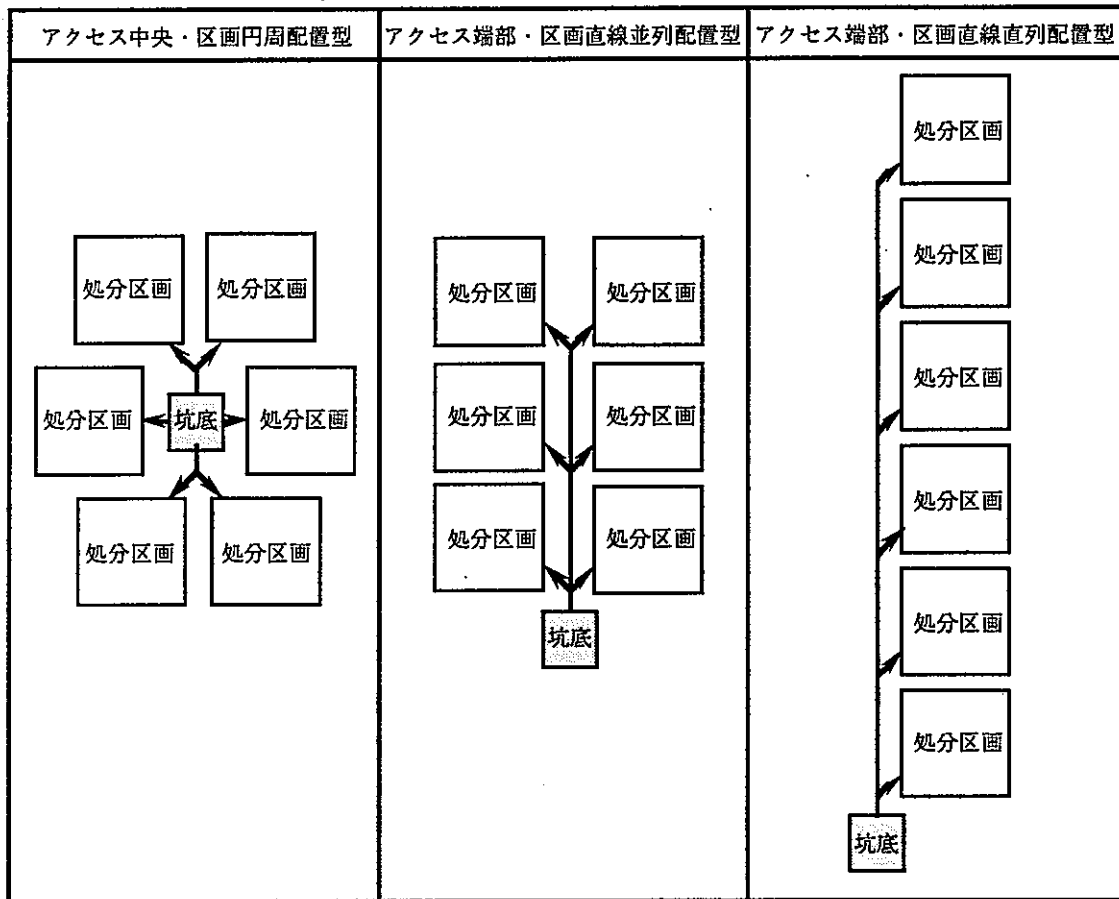
図-4.3.4.6 主要処分場の概略全体形状

1) 作業性

物流の円滑性を確保するため、処分区画形状設定のための目安として、以下の2項目を設定

- ・物流は水平搬送を基本として、処分区画は一平面内に配置することが望ましい(多平面内配置の場合、水平搬送、鉛直搬送、斜路搬送が混在する)。
- ・区画配置に規則性を持たせ、アクセス坑道坑底部から各区画への搬送が効率的に行えるように代表パターンを設定

表-4.3.4.4 区画配置代表パターン



最終的な区画配置は、仮想地質モデルにおける断層位置や主要地下水流動方向を考慮して、上表に示した3つのパターンを適宜組み合わせて設定する。

ウ) 処分場面積

- 健全な岩体規模の制約を考慮すると、全体面積は水平面への投影面積ができるだけ小さいことが望まれる。
- 断層の間隔を考慮すると、全体形状の長手方向の長さができるだけ短いことが望まれる。

表-4.3.4.5 区画の縦横比と区画面積

<結晶質岩>

区画形状	区画面積 (km <sup>2</sup> )	処分坑道延長 (m)	主要坑道延長 (m)	掘削数量 (m <sup>3</sup> ) *
正方形 1 辺長約 750	0.57	48,750	3,000	244,14
長方形 長辺長 950	0.57	48,195	3,080	243,60
長方形 長辺長 1150	0.58	48,090	3,290	247,32

<堆積岩>

区画形状	区画面積 (km <sup>2</sup> )	処分坑道延長 (m)	主要坑道延長 (m)	掘削数量 (m <sup>3</sup> ) *
正方形 1 辺長約 660	0.45	37,990	2,660	196,57
長方形 長辺長 805	0.45	37,600	2,710	196,07
長方形 長辺長 1015	0.45	37,370	2,910	199,12

\* ) 処分坑道は直径 2.2 m の円形、主要坑道は直径 5.0 m の円形として算出

今回の基本設計では、結晶質岩の場合は長辺長さが 950 m の長方形、堆積岩の場合は長辺長さが 805 m の長方形を基本区画形状とする。

#### エ) 区画の拡張性

処分区画の建設中に断層に遭遇したような場合は、区画を拡張する必要があり、その際に隣接する区画との位置関係の制約により拡張の自由度は変化する。

- ・断層に遭遇した区画の周囲が区画で包囲されると、区画を拡張する自由度がほとんどなくなる。
- ・拡張可能方向が直交する 2 方向に確保できれば拡張の自由度は高いと考えられ、その点ではアクセス中央・区画円周配置型が最も有利である。
- ・拡張可能方向としては、処分坑道の軸方向となるべく一致していることが望ましいと考えられる。(∵拡張エリアに主要坑道を設けないような場合は単純に処分坑道を延長するだけで済む)

以上の処分区画の検討から区画配置決定要因をまとめると以下のようになる。

- ①処分区画数は 6 とする。
- ②処分区画形状は長方形（結晶質岩：950 m×590 m、堆積岩：805 m×550 m）とし、各区画は同一規模・形状とすることを基本とする。また、オプションとして正方形（結晶質岩：一辺約 750 m、堆積岩：一辺約 660 m）を考える。
- ③空洞安定性から、処分坑道の軸方向はなるべく主応力卓越方向（南北方向）とする。
- ④主要地下水流動方向から処分場の概略全体形状は、結晶質岩モデルでは、北側に 3 区画を南北に長く配置し、南側に 3 区画を東西に長く配置する。堆積岩モデルでは、6 区画を南北に長く配置する。
- ⑤物流の効率性から、区画配置は規則的なパターン（アクセス中央・区画円周配置型、アクセス端部・区画直線並列配置型、アクセス端部・区画直線直列配置型）を適宜組み合わせて設定する。

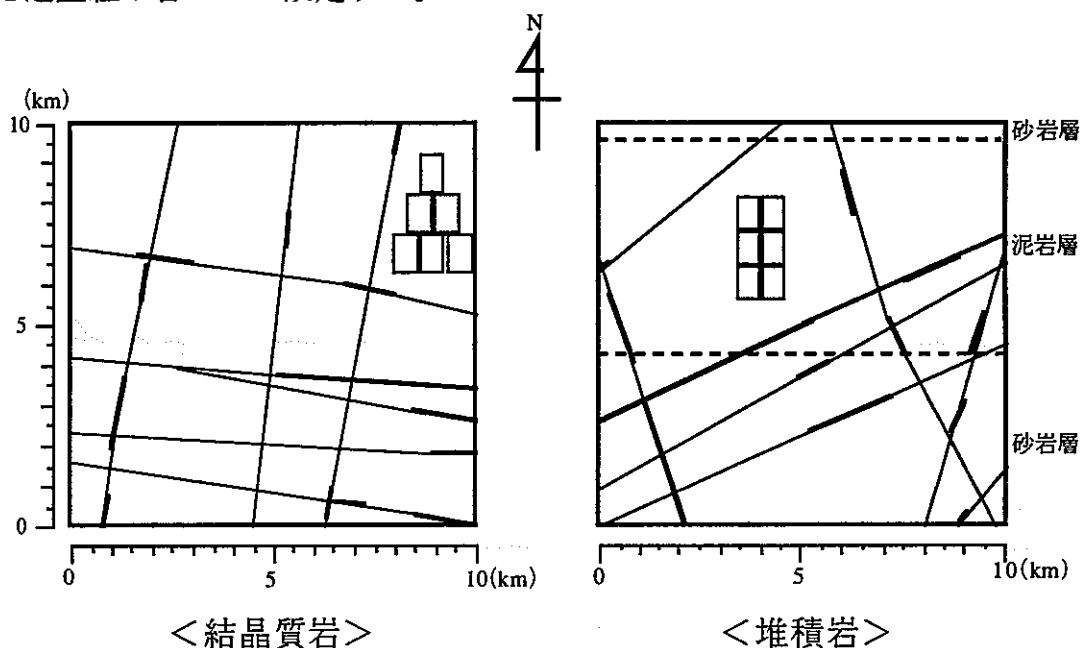


図-4.3.4.7 区画配置の決定パターン

(b) アクセス坑道の検討

i) アクセス方式の検討

表-4.3.4.6 アクセス方式の分類

アクセス方式	線形	勾配	物流手段
斜坑	直線	急勾配 (10%以上)	軌道方式 (インクライン)
		緩勾配 (10%以下)	トラック方式
	曲線 (らせん)	急勾配 (10%以上)	軌道方式 (インクライン)
		緩勾配 (10%以下)	トラック方式
立坑	直線		エレベータ方式

7) 物流

表-4.3.4.7 アクセス坑道における物流方法の比較

項目	立坑	斜坑		
	エレベータ	トラック	インクライン	その他
勾配	鉛直	~10%	10%以上	
搬送能力	断続的な搬送となるが、従来の検討では、建設段階及び作業段階での要求には満足できる見通しが得られている。	在来の地下建設工事でも実績があり、必要な搬送能力を確保できる。	急角度の斜坑において使用されている実績があるが、搬送距離が長くなると能力不足となる。	ベルトコンベア方式など、建設時の掘削ズリなど、搬送する用途によっては、適用出来る可能性がある。
搬送距離	エレベータの鋼製ワイヤの自重による制限がある。乗換なしでは1000m以上の実績がある。	制限はないが、実績有る内燃機関動力では、換気に留意しなければならない。	制限はないが、速度が遅く、実用上は延長が大きくなると問題がある。	ベルトコンベア方式の場合、中継設備を設ければ対応可能である。実績は数百m程度である。
設備	坑外に巻き上げ設備が必要である。	有人で操作する場合は、照明設備や、逸走防止設備が必要。また、制動機(ブレーキ)加熱防止のため、水平坑道部分を導入する必要あり。	動力源であるバッテリーの充電施設が必要である。	ベルトコンベア方式では大きな坑底施設が必要
その他	基本的に照明設備は不要。	有人で10km程度の単調な地下坑道を走行するのは、労働安全性の面から課題がある。	通常の粘着式軌道では3.5%勾配が限度。	用途が限定される

1) 換気・避難

・換気

坑道の延長が短いことから、立坑が有利である。また、緩勾配の斜坑で内燃方式の輸送手段を選んだ場合、アクセス坑道の換気用に別途立坑が必要になる。

・避難ルートの確保

いずれのアクセス方式でも可能である。特徴としては、避難方法・避難時間は、立坑の場合はエレベータによる高速・断続的な避難、斜坑の場合は複数車両により低速・連続的な避難となる。一方、地上までの自力避難が必要となった場合は、500～1000mの高低差の意味は大きい。

2) 施工性

表-4.3.4.8 施工性の比較

項目	立坑	斜坑	
		急勾配	緩勾配
地質に対する適用性	深度が大きい場合、地圧が大きくなる。地圧が水平に等方等圧である場合、断面が円形であるため地質に対する適用性は最も大きい。	評価としては、立坑と緩勾配斜坑の中間に位置する。	一般の水平トンネルと同様と考えられるが、地圧に方向性があり同様でないこと、車両の走行から円形断面を採用しにくいことから、構造的には不利で、地質に対する適用性は最も不利である。
断面	矩形断面も例があるが、大深度の場合、円形断面である場合が多い。力学的には有利なもの、搬送機器からの制約もあり、一般に水平トンネルほどの大断面は無い。	比較的大きな径の断面は最近のものに限定される。	一般のトンネルと同様である。力学的には不利であるが、施工例が圧倒的に多いため、大断面での実績も多い。
施工性	急勾配斜坑より施工例が多く1000mを越える同様な実績もある。湧水に対しての対処が最も難しい。墜落や飛来落下物対策が必要である。	施工精度は立坑よりも劣る。また、墜落や飛来落下は立坑と同様発生するが、斜坑内を反射衝突しながら落下する場合もあり、立坑より危険な場合もある。	ズリだしや資機材の搬出入などの点で、最も施工性が良い。墜落や飛来落下の点で安全。
コスト	単位長さあたりで比較すると、同様の大きさの断面で、水平トンネルの約3倍程度とされている。		単位長さあたりで比較すると、同様の大きさの断面で、立坑の場合の約1/3程度である。

3) 地上施設位置の自由度

地下施設の位置によって必然的にその建設位置が定められる立坑より、斜坑の方が自由度が大きい。

4) 新たな地下水経路の可能性

アクセス坑道周辺の緩み領域が地下水経路となり得ることを考慮すると、距離の長い斜坑の方が立坑より有利である。

か) 経済性

建設単価は立坑が最も高いが、施工延長の差から立坑が不利にはならない。

表-4.3.4.9 その他の経済性に係わる要素

項目	内容	立坑	斜坑
付帯設備 (照明)	立坑における搬送施設はエレベータのみであり、一般に照明設備は無い。斜坑で、トラック輸送の場合は坑内の照明が必要である。	○	△
付帯設備	斜坑を採用するメリットはトラック等による大量輸送であるが、トラック場合、逸走防止用に分岐や、エアブレーキのエア供給用の水平道などの施設も考慮しなければならない	○	△
換気設備	斜坑では総延長が長く、内燃機関によるトラック搬送では、アクセス坑道の換気用立坑設備が必要となる。	○	△
坑道維持	トラックが走行する斜坑では、道路維持に関わる費用が必要である。	○	△
搬送装置	立坑の場合、エレベータに関わる初期投資の他、定期的なケーブルの交換などの維持費が必要。これに対して斜坑では、地表で通行する車両に対するものでよい。	△	○
閉鎖費用	立坑では距離が短い分、閉鎖に関する費用は少ない。また、施工方法も立坑のほうが容易と考えられる。	○	△

今回の基本設計では、立坑の大深度での実績、経済性を重要視し、アクセス方式として立坑を採用する。

ii) 仮想地質モデルにおけるアクセス坑道位置の検討

7) 新たな地下水経路の可能性

アクセス坑道が処分場を通過した地下水の卓越した水みちとならないことに配慮し、廃棄体が定置されている処分区画より下流側に立坑を配置しないこととする。また、主要地下水流動方向の上流側への複数立坑配置が容易である集中配置方式が望ましい。

表-4.3.4.10 アクセス坑道の配置に関する比較

項目	集中配置	分散配置
定義	必要な立坑のすべてを、処分場の特定の区域に集中的に配置する方式	必要な立坑を、処分場の特定の区域・場所に集中的に配置するのではなく、分散させる方式
管理上の特徴	立坑の出入口が互いに近接しているため、出入りの管理は比較的容易である。また、出入口全部を同一の敷地内に設けるのに必要な敷地は比較的少なく済む。	出入口が広範囲に分散しているため、出入りの管理は比較的煩雑となる。また、出入口全部を同一の敷地内に設けるには広大な敷地が必要となる。
換気効率	分散配置より劣ると考えられる。	換気用として立坑を使用する場合は、分散配置の方がより効率的であると考えられる。
新たな地下水経路の可能性	すべての立坑を、処分場に対して主要地下水流動方向の上流側に配置することは比較的容易である。	すべての立坑を、処分場に対して主要地下水流動方向の上流側に配置することは困難である。



### イ) 急勾配地の回避

敷地造成、地上施設へのアクセス道路の勾配を考慮すると、急勾配地は望ましくない。

以上よりアクセス坑道位置の位置は、以下のように設定する。

- ・新たな地下水経路の可能性に関しては、立坑の位置は、主要地下水流動方向に対して処分区画の上流側（下流側にならない）に配置する。
- ・処分区画に対する上流側配置の容易さから、立坑は集中配置とする。
- ・地上施設位置（アクセス坑底施設の直上位置）が、急勾配地となることをできるだけ回避する。

#### <結晶質岩モデル>

処分場の概略全体形状において、北側3区画と南側3区画の中間位置は、緩やかな尾根地形となっており、地下水流動のミクロな分水嶺を形成している。したがって、当該位置は、地下水流動においてそれぞれ南側、北側に配置された処分区画に対して上流側に当たる。

#### <堆積岩モデル>

地下水流動は南側から北側へ向かう単調な流動場であるので、6つの処分区画全体の南側が地下水流動において処分区画に対して上流側に当たる。

### iii) アクセス坑道の本数の検討

#### ア) 建設・操業・閉鎖の同時並行作業

各作業エリアの放射線管理の面からの区別、いずれかの作業で生じた不具合の他作業への波及を考慮し、建設・操業・閉鎖の各作業エリアの放射線管理を地上部から区分し、アクセス坑道は各作業毎に専用に分けるものとする。したがって、アクセス坑道の本数は最低3本以上となる。

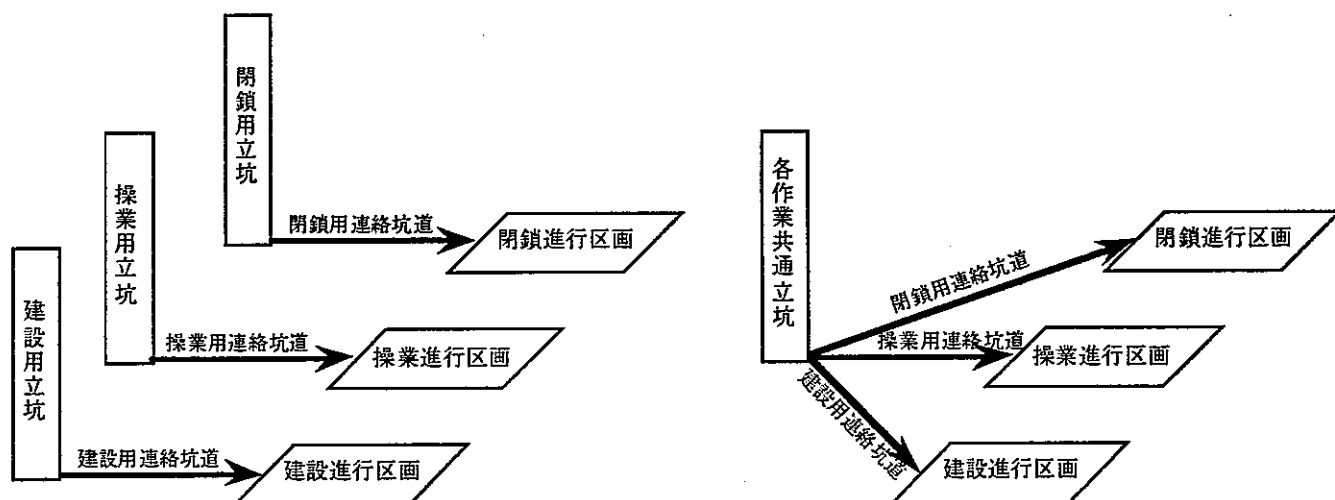


図-4.3.4.8 アクセスパターン

#### イ) 輸送能力の確保

アクセス坑道の役割としては、

- ・ 人員の運搬路（緊急避難も含む）
- ・ 資材の運搬路（機材、支保材、掘削ズリ、緩衝材、閉鎖材料等）
- ・ 廃棄体の搬入路
- ・ 各種ユーティリティ設備の設置（換気、給・排水、給電、通信等）

が挙げられる。建設用立坑は以下の点を考慮し、2本（1本はズリ搬出専用）以上とする。

- ・ 人員運搬用と資材運搬用の搬送機の適用安全率の相違
- ・ 建設工程の遅れによる以降の操業・閉鎖工程への波及
- ・ 操業開始時期の制約
- ・ 断層遭遇+区画拡張に伴う掘削数量の増加の可能性

操業用立坑は、具体的な作業手順や数量の検討結果に基づき判断する必要があるが、遠隔操作による廃棄体搬送を考慮し、2本（1本は廃棄体搬入専用）以上とする。

閉鎖用立坑は、具体的な作業手順や数量の検討結果に基づき判断する必要があるが、人員運搬用と資材運搬用の搬送機の適用安全率の相違を考慮し、2本とする。

#### ウ) 新たな地下水経路の可能性

新たな地下水経路の可能性を減らす観点から、アクセス坑道の本数は必要最小限にする。

#### エ) 経済性（数量）

- ・ 本数増 → 掘削数量増
- ・ 本数減 → 輸送能力低下 → 全体工期の延長

アクセス坑道の本数は、処分スケジュールが達成可能な所要の輸送能力を確保する範囲において最小限にする。

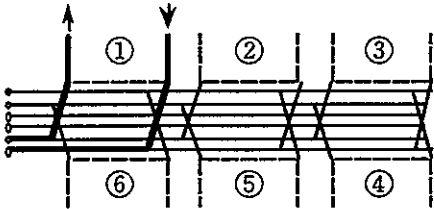
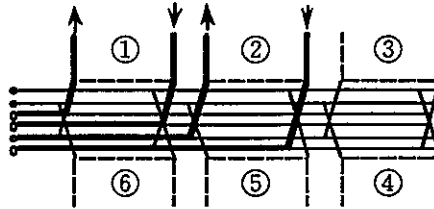
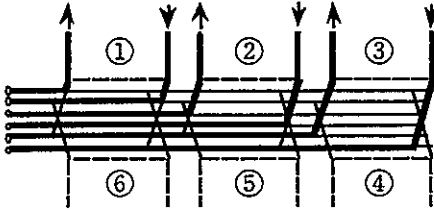
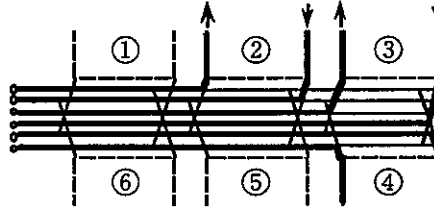
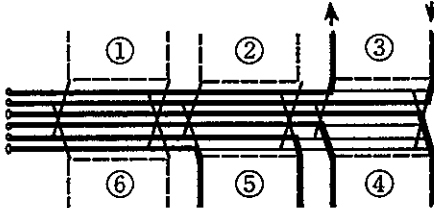
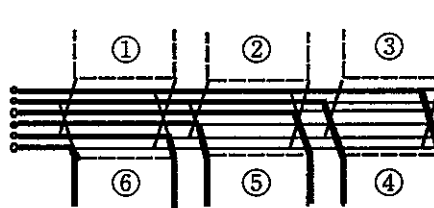
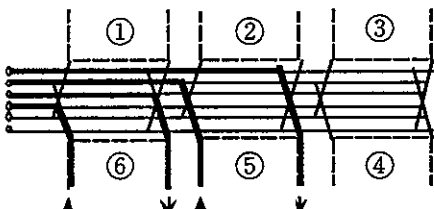
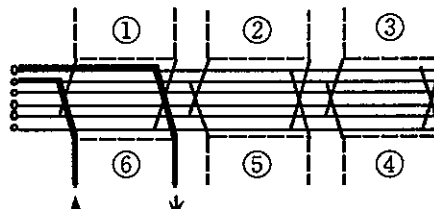
以上の検討結果を踏まえ、今回の基本設計では、アクセス坑道の本数を、所要の輸送能力や専用立坑の必要性等を考慮の上、必要最小限にすることを念頭において、建設・操業・閉鎖の各作業毎に立坑を2本ずつ設ける。

iv) アクセス坑道・連絡坑道の配置の検討

7) 建設・操業・閉鎖の同時並行作業

アクセス坑道→処分区画→アクセス坑道の作業動線を各作業毎にクローズさせ、各作業の動線同志を交差させないこととする。

表-4.3.4.11 作業動線の推移 (堆積岩モデルの場合)

<p>①建設</p> 	<p>②建設、①操業</p> 
<p>③建設、②操業、①閉鎖</p> 	<p>④建設、③操業、②閉鎖</p> 
<p>⑤建設、④操業、③閉鎖</p> 	<p>⑥建設、⑤操業、④閉鎖</p> 
<p>⑥操業、⑤閉鎖</p> 	<p>⑥閉鎖</p> 

4) 空洞の安定性

- ・坑道中心間距離 → 掘削径の3倍以上確保する。
- ・交差部が多い坑道 → 等価な掘削径を2倍見込むこととする。
- ・応力集中部 → なるべく近接させない。

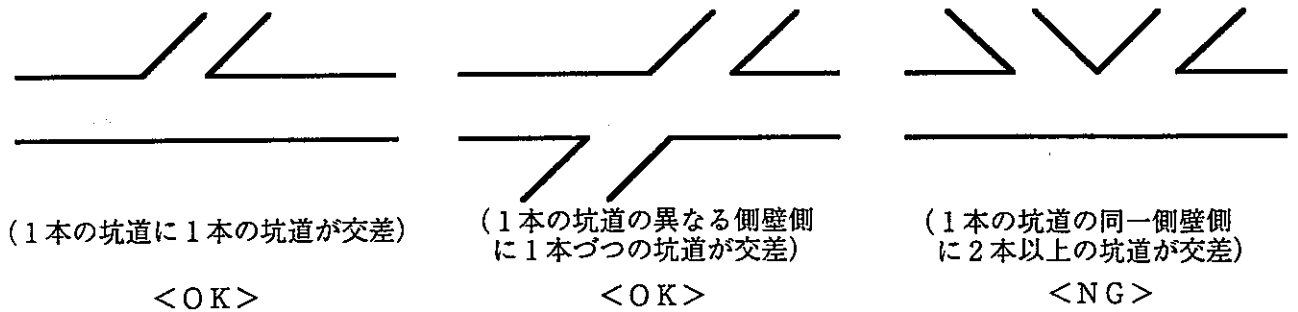


図-4.3.4.9 坑道の交差本数

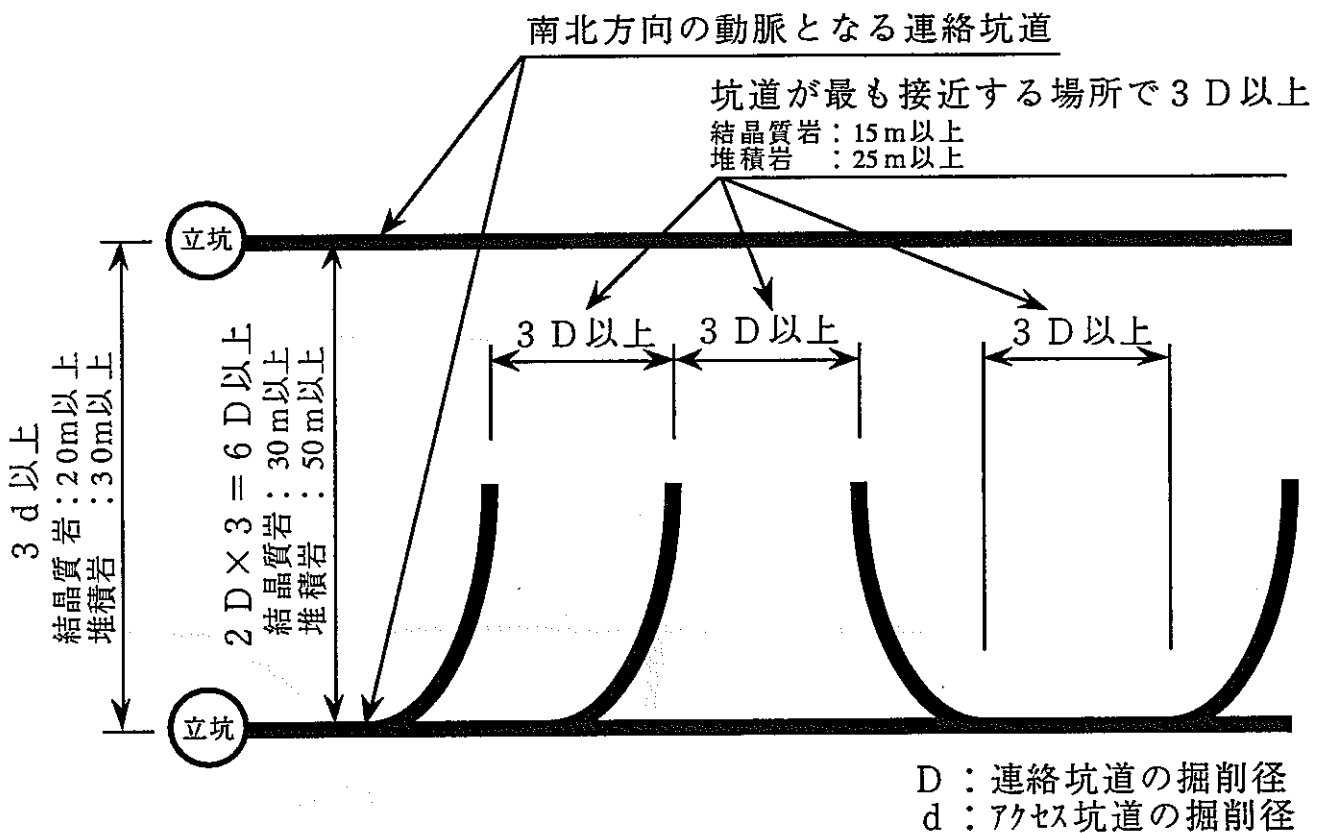


図-4.3.4.10 空洞安定性から設定した坑道の離間距離

ウ) 作業性

車輛運行の確実性確保を考慮し、坑道交差部の接続は斜め接続で曲率半径 40 m を確保する。また、立坑坑底から最も近い連絡坑道間坑道までの離隔距離は、坑底施設配置のためのスペースを若干考慮して暫定的に 50 m 確保する。

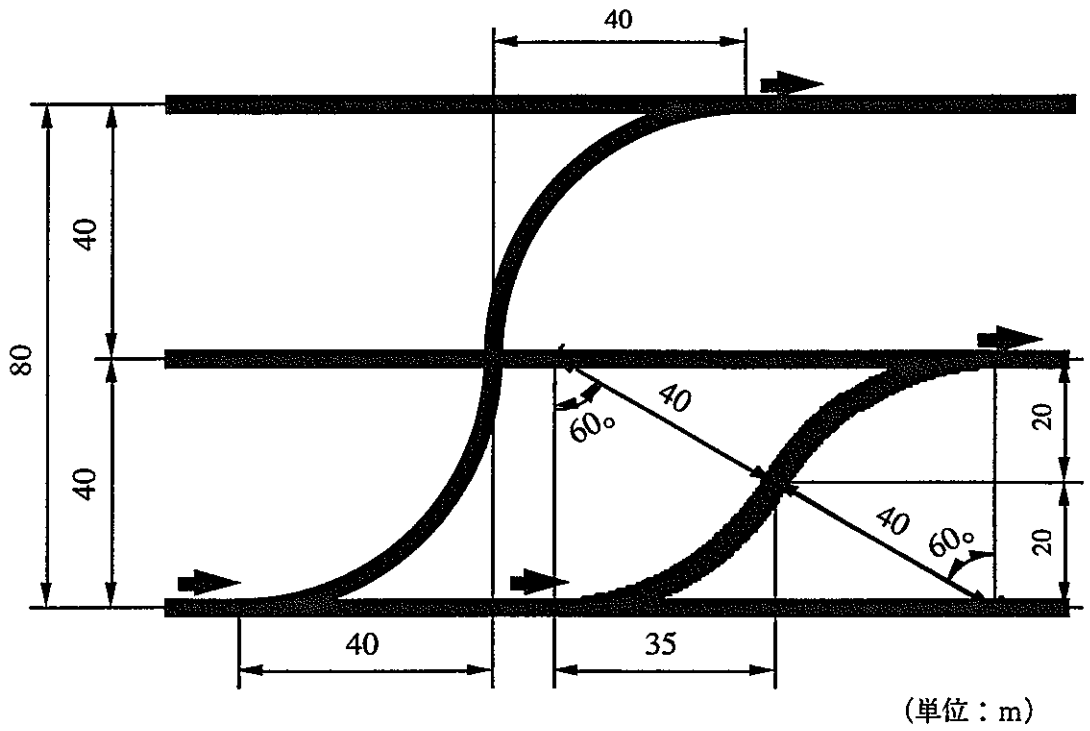


図-4.3.4.11 連絡坑道の基本仕様（結晶質岩）

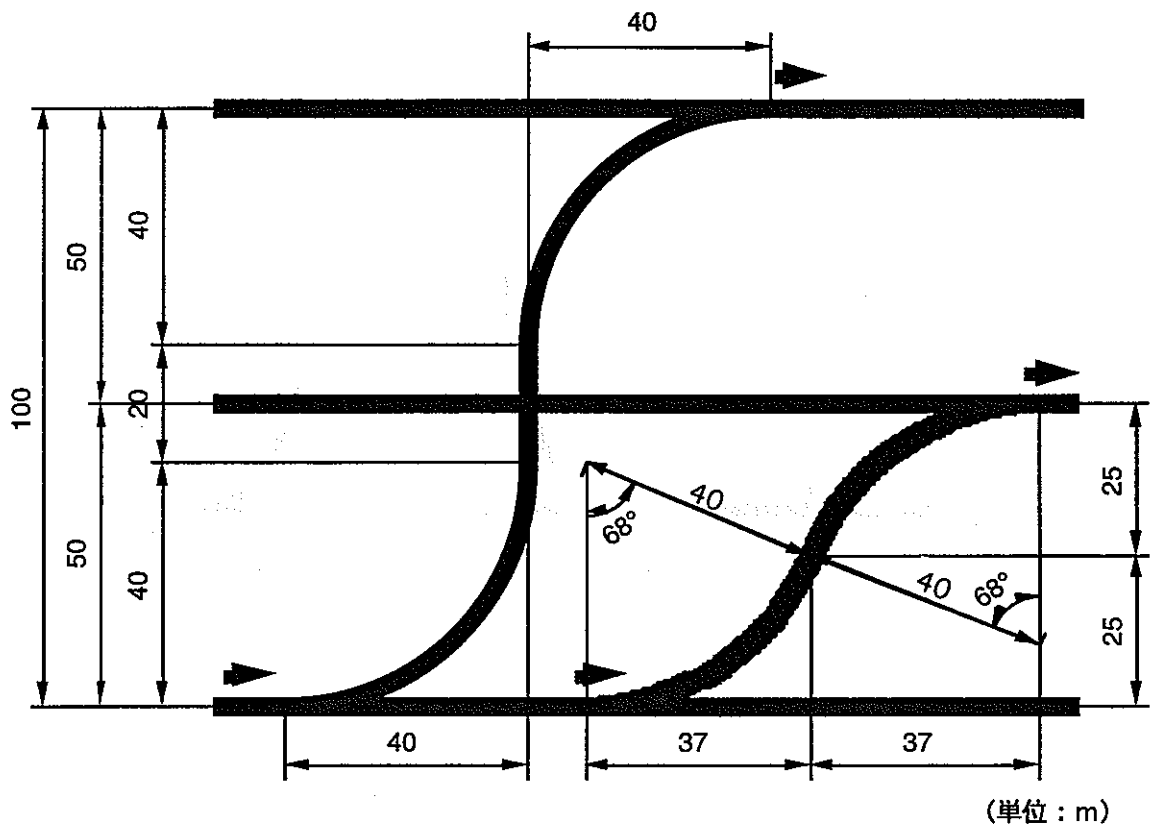


図-4.3.4.12 連絡坑道の基本仕様（堆積岩）

(6) まとめ

(a) 処分場のレイアウト

前項までの検討成果を集約し、以下の点を考慮して調整した処分場のレイアウトを、結晶質岩については図-4.3.4.13、堆積岩については図-4.3.4.14 に示す。

- ① 連絡坑道→主要坑道→処分坑道→主要坑道→連絡坑道の物流がスムーズに行えるよう、各坑道の接続部には適宜曲率半径 40 m の 1 / 4 円弧を設けることとする。また、処分坑道において、1 / 4 円弧の曲線端部から廃棄体までの距離は、若干の余裕として 5 m 程度を確保するものとする。これより設定した処分区画の寸法を、結晶質岩については図-4.3.4.15～図-4.3.4.17、堆積岩については図-4.3.4.18 に示す。
- ② 結晶質岩モデルの処分場については、連絡坑道の延長を短くする観点から、南側の 3 区画のうち両側の区画については若干北側へ移動させる。南側の 3 区画については、主要地下水流動方向（概ね東西方向）に対して細長い形状を形成する区画配置を設定することとしているので、当該変更は問題とはならないと考える。

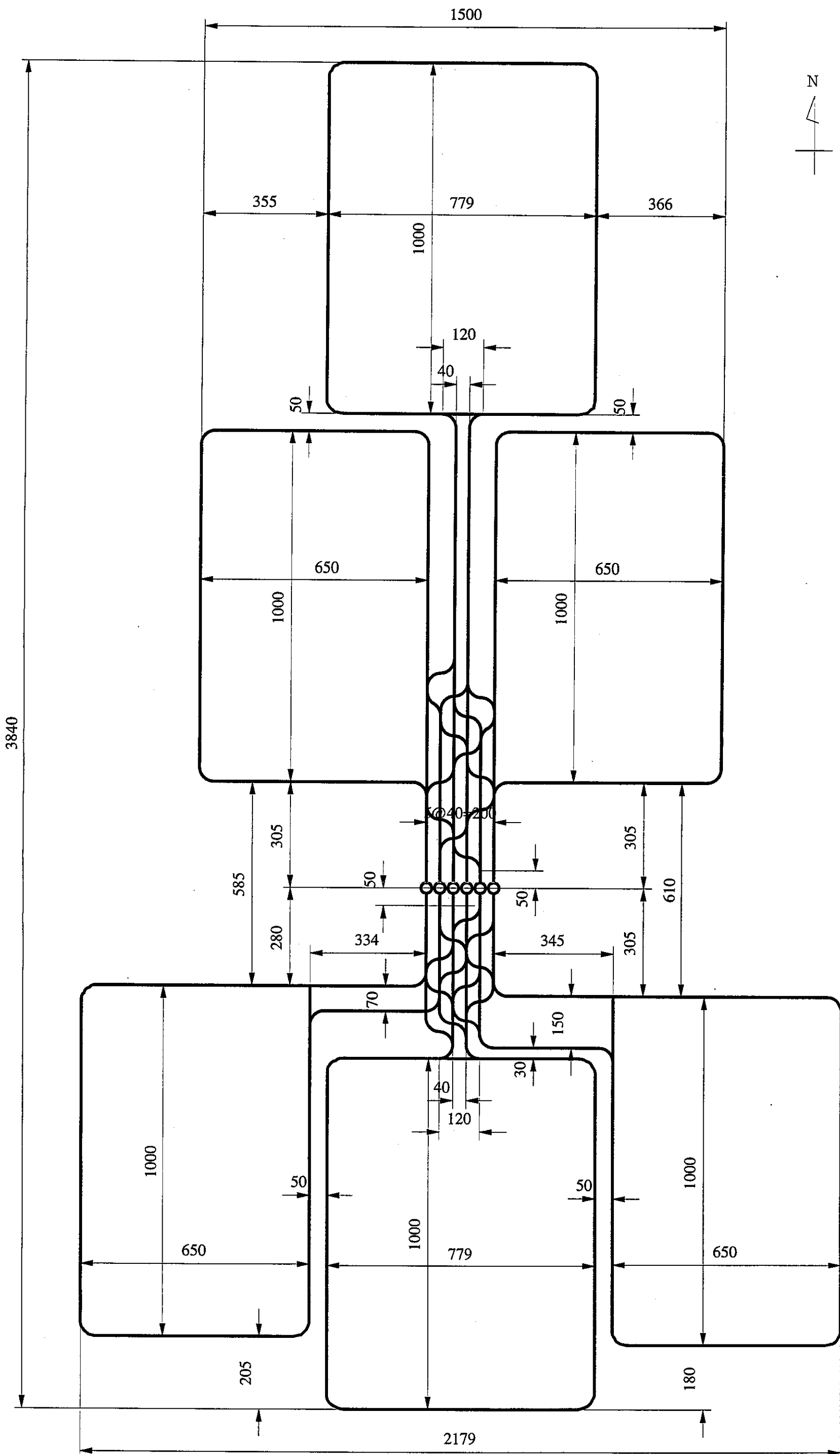


図-4.3.4.13 処分場レイアウト (結晶質岩)

(単位：m)

This is a blank page.



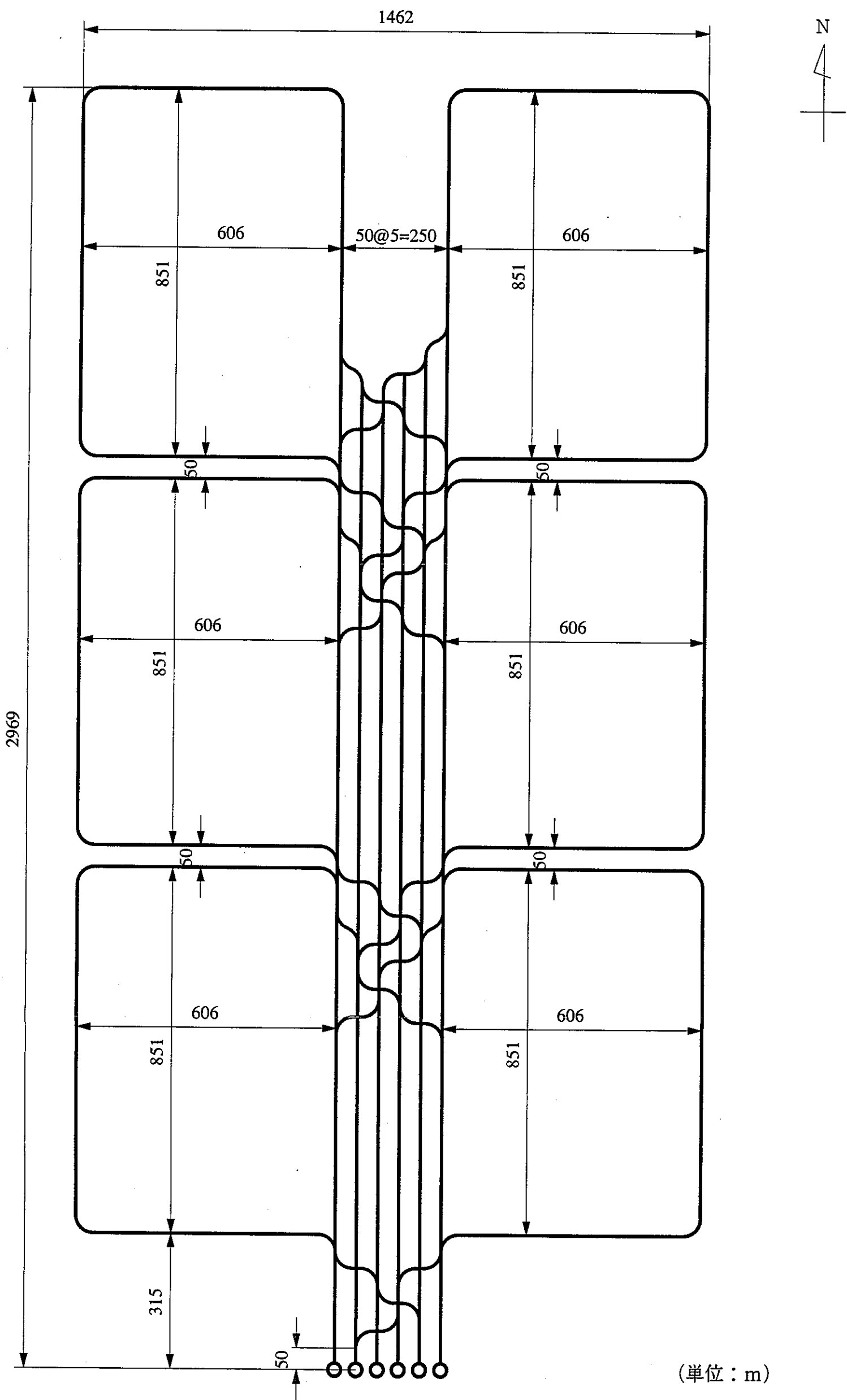


図-4.3.4.14 処分場レイアウト (堆積岩)

(単位：m)

This is a blank page.



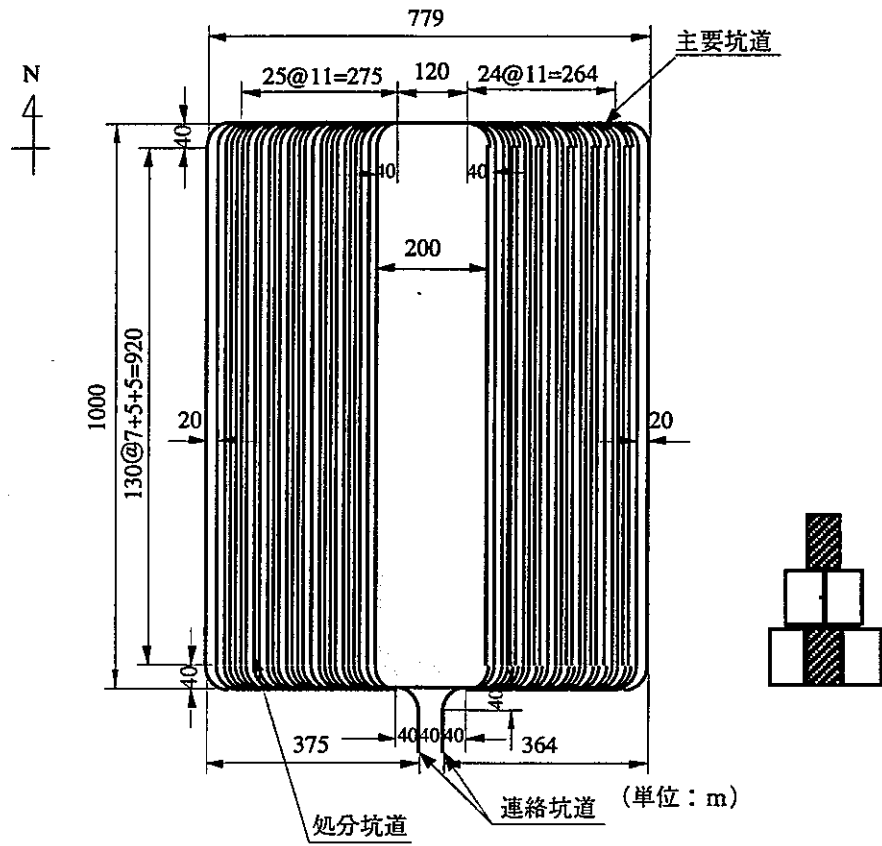


図-4.3.4.17 処分区画の諸元（結晶質岩3）

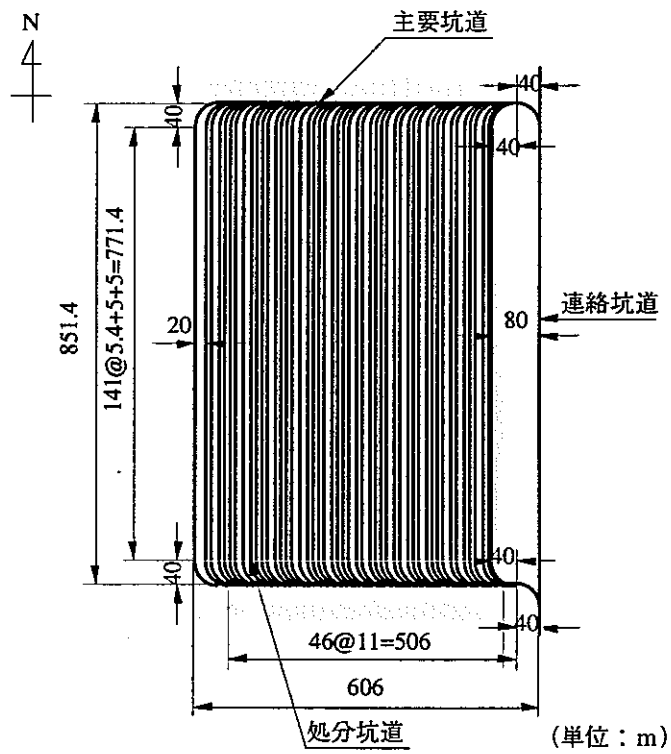


図-4.3.4.18 処分区画の諸元（堆積岩）

## (b) 今後の課題

本年度の検討では、図-4.3.4.1に示したフローの中で【基本設計（1）】を実施した。ここでは、与えられた仮想の場に対し、広域調査段階の情報に基づく地形、断層分布、地下水流動状況等を考慮するとともに、過去の知見等を参考にして一次レイアウトを設定した。一次レイアウト設定を通して、明確な根拠がないが定性的な判断から設定したこと、代替案との優劣判定が困難で特定の要件を重視して設定したこと、技術的信頼性・経済性を高めるために更に検討が必要であると考えられることがある。これらについては、今後の課題として検討の進め方を明らかにしていくことが必要であり、次年度実施予定の基本設計（2）に反映させることが望まれる。

### ★明確な根拠がないが定性的な判断から設定したこと

#### 【課-1 処分区画の規模】

処分本数が増加して健全な岩体規模が十分に確保できないエリアを選定、ガラス固化体の発生速度が変化（例えば、後半にスローダウン）、ガラス固化体の発生源別に区画を区分（例えば、海外からの返還廃棄物、国内再処理工場から発生した廃棄物を区別）といった条件下では、各区画規模が異なることも考えられる。これらの条件は政策に依存する面が大きいですが、区画規模が不均一である場合の処分システムへの影響を把握する必要があると考えられる。

#### 【課-2 処分区画の数】

最適な処分システムを構築するため、区画数をパラメータの一つとした検討が必要になると考えられる。

### ★代替案との優劣判定が困難で特定の要件を重視して設定したこと

#### 【課-3 区画配置】

健全な岩体規模が必ずしも十分でない場合には、断層を挟んで区画を展開する他に、処分場全体の水平面への投影面積を小さくするために、区画の設置レベルを変えて鉛直方向に重ねるような多層配置の形態を採用することも考えられる。多層配置については、各区画の深度、上下方向の廃棄体の熱的相互干渉、地下水流動に対する処分場の前面積の増加等の検討すべき課題がある。

#### 【課-4 アクセス方式】

堆積岩サイトのように対象深度が浅く、斜坑方式を採用した場合の経済的デメリットが比較的少ないケースについては、斜坑方式を採用したレイアウトに対して建設・操業・閉鎖の検討を実施し、処分システムの問題や経済性評価を行う必要があると考えられる。そして、両方式のメリットを生かした組合せを検討していくことも必要であると考えられる。

★技術的信頼性・経済性を高めるために更に検討が必要であると考えられること

【課-5 調査段階に応じた設計の位置づけの明確化】

調査段階に応じた設計の位置づけ（いつの段階で、何の情報に基づき、どのようなグレードの設計を実施するのか）を明確にするとともに、情報の詳細化に伴う当初設計の見直し、更には設計の妥当性を確認するための調査坑道を用いた事前調査計画、調査坑道の本設への転用を考慮したレイアウトを検討していく必要があると考えられる。

【課-6 坑道交差部】

坑道交差部については、処分システムの技術的信頼性を向上させるために、3次元解析等によるデータの蓄積を行い、設計・施工における対応を検討していく必要があると考えられる。特に、比較的岩盤強度が低い堆積岩については、技術的成立性に係わる重要な問題であると考えられる。

【課-7 アクセスの本数】

建設及び閉鎖については同レベルの放射線管理も十分に想定されることから、アクセス坑道の共用も考えられる。図-4.3.4.19には、建設と閉鎖用のアクセス坑道を共用とした場合に考えられるアクセスの配置例を示す。この場合、操業は専用の立坑、建設・操業は共用の斜坑といった組合せも考えられる。アクセス方式と関連させて、アクセスの本数や組合せについて複数のパターンに対する比較検討が今後必要になる。

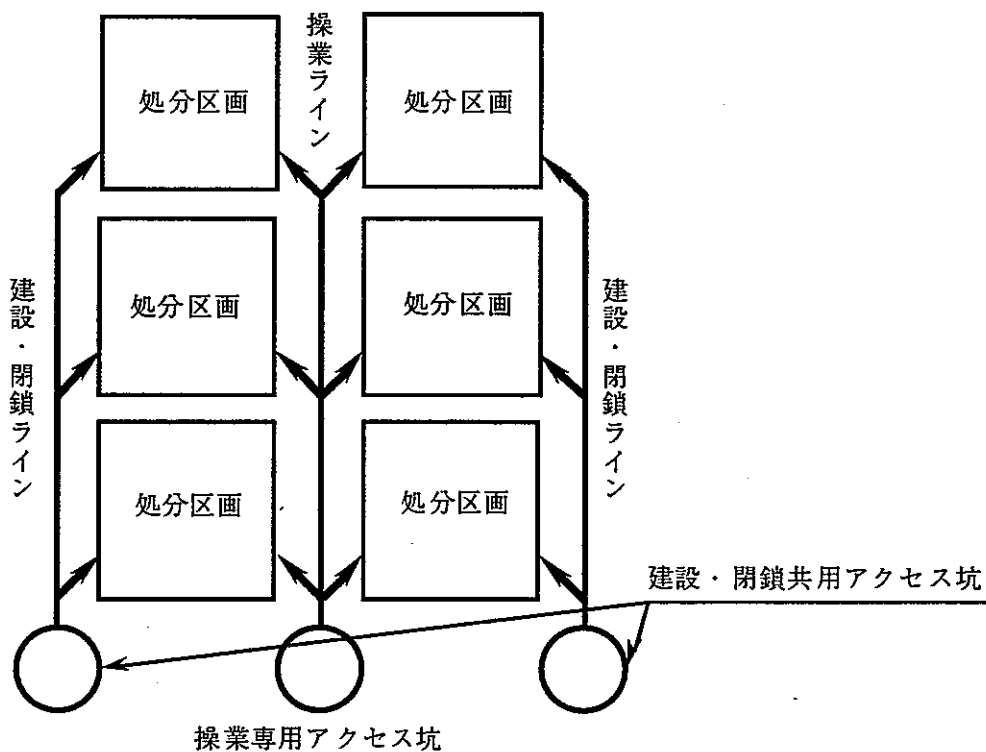


図-4.3.4.19 建設・閉鎖用アクセス坑道を共用とした場合の例

#### 【課-8 アクセス坑道間の連絡、坑底施設の配置】

アクセス坑道間の連絡については、各アクセス坑道の用途、建設・操業・閉鎖計画と坑底施設の配置を十分に考慮して設定する必要がある。その際、緊急避難時における他の作業用アクセス坑道の利用、遊休アクセス坑道の効率的利用（例えば、最終区画の閉鎖時における建設用及び操業用のアクセス坑道利用）といったことを考慮する必要があると思われる。「5.1～5.3 建設・操業・閉鎖技術の検討」の結果を受けて次年度見直すこととする。

## 5. 処分施設に関する事前調査及び建設・操業・閉鎖に関する検討

### 5. 1 建設技術の検討

#### 5. 1. 1 立坑，主要・連絡坑道，処分坑道

##### (1) 検討条件

##### (a) 地質条件

掘削区分については、「建設省土木工事積算基準 平成9年度版」により結晶質岩ケースを掘削区分をBとし、堆積岩ケースを掘削区分をDとする。

##### (b) 湧水量

##### i) 結晶質岩ケース

恒常的な湧水量として、立坑では $0.5\text{m}^3/\text{min}$ を、横坑部分（処分坑道及び主要・連絡坑道）では $8.0\text{m}^3/\text{min}$ を想定する。

##### ii) 堆積岩ケース

恒常的な湧水量として、立坑では $0.2\text{m}^3/\text{min}$ を、横坑部分（処分坑道及び主要・連絡坑道）では $6.0\text{m}^3/\text{min}$ を想定する。

##### (c) 地熱

地表付近の温度を $15^\circ\text{C}$ とし、地熱の上昇は深度方向に $3^\circ\text{C}/100\text{m}$ とする。したがって結晶質岩ケースでは $1000\text{m}$ 坑底での初期岩盤温度は $45^\circ\text{C}$ 、堆積岩ケースでは $500\text{m}$ 坑底での初期岩盤温度は $30^\circ\text{C}$ と設定される。

##### (d) 作業条件

作業条件を以下のように設定し、これに基づいてサイクルタイム等の検討を行うものとする。

- ・実稼働日数：23日／月
- ・実稼働時間：8時間×2方 とする。



(e) 坑道断面

i) 結晶質岩ケース

「4.3.2 空洞安定解析」より、結晶質岩ケースでは無支保にて掘削可能であるが、供用期間が長期であること、また剥離防止の目的などから、吹き付けコンクリート及び二次覆工を施工するものとする。ここでは、「建設省土木工事積算基準 平成9年度版」に準拠して覆工厚さを設定した。

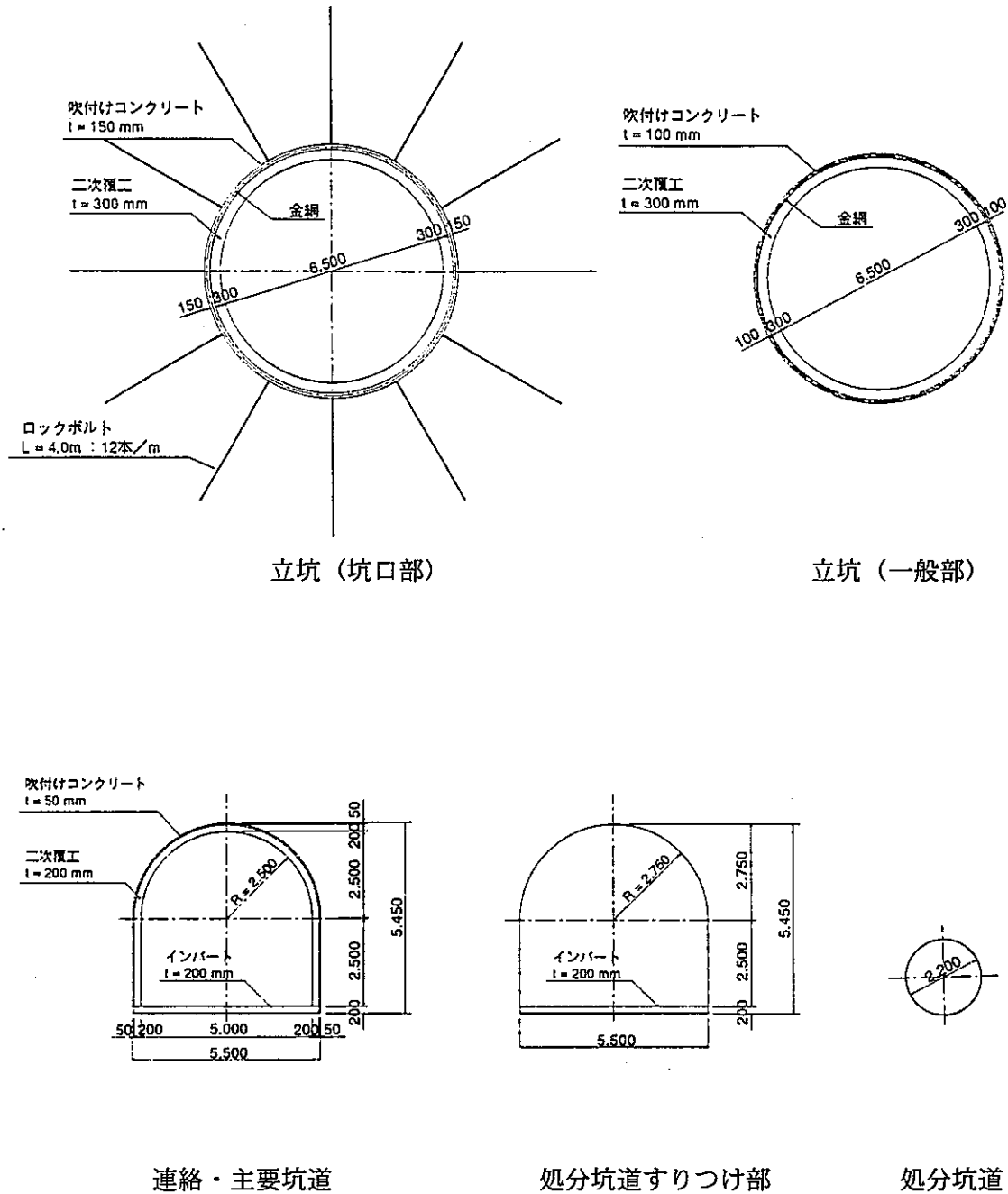
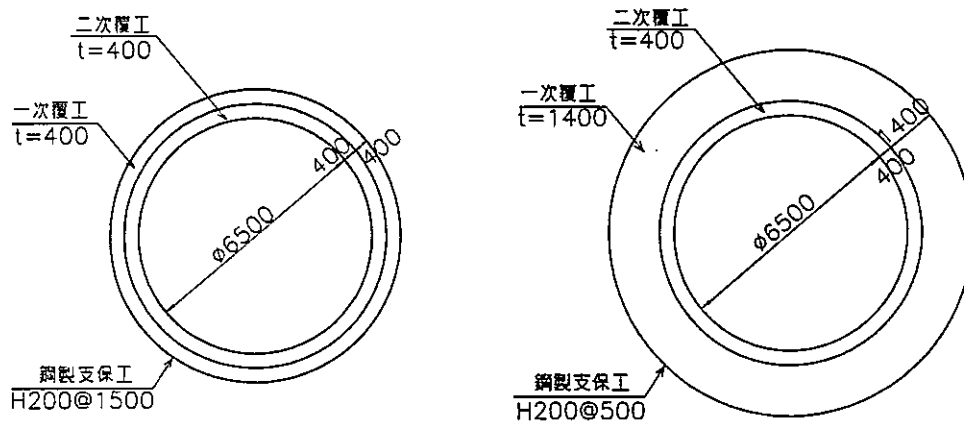


図-5.1.1.1 掘削断面の諸元 (結晶質岩)

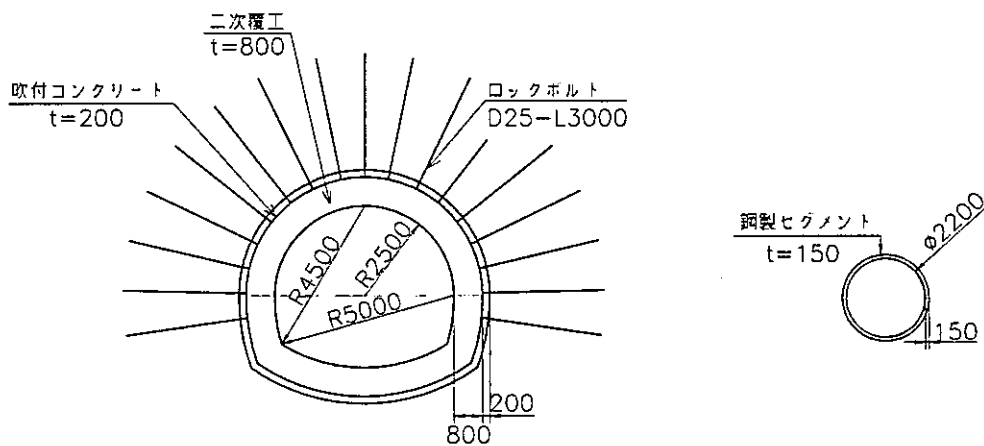
ii) 堆積岩ケース

「4.3.2 空洞安定解析」より、堆積岩ケースの空洞断面を以下のように設定する。



立坑 ( ~深度 300m)

立坑 (深度 300~500m)



連絡・主要坑道・処分坑道すりつけ部

処分坑道

図-5.1.1.2 掘削断面の諸元 (堆積岩)

## (2) 結晶質岩における検討

### (a) 立坑

#### i) 工法

地山の有する支保能力を最大限利用する NATM が最も経済的な工法であると判断される。

#### ii) 施工概要

NATM による立坑の全体施工フローを図-5.1.1.3 に、また立坑の構造を表-5.1.1.1 に示す。

#### iii) 施工数量と工程

立坑の主要な施工数量を表-5.1.1.2 に、立坑 1 本当たりの工期の概算を表-5.1.1.3 に示す。1 立坑の建設に約 50 ヶ月を要する。

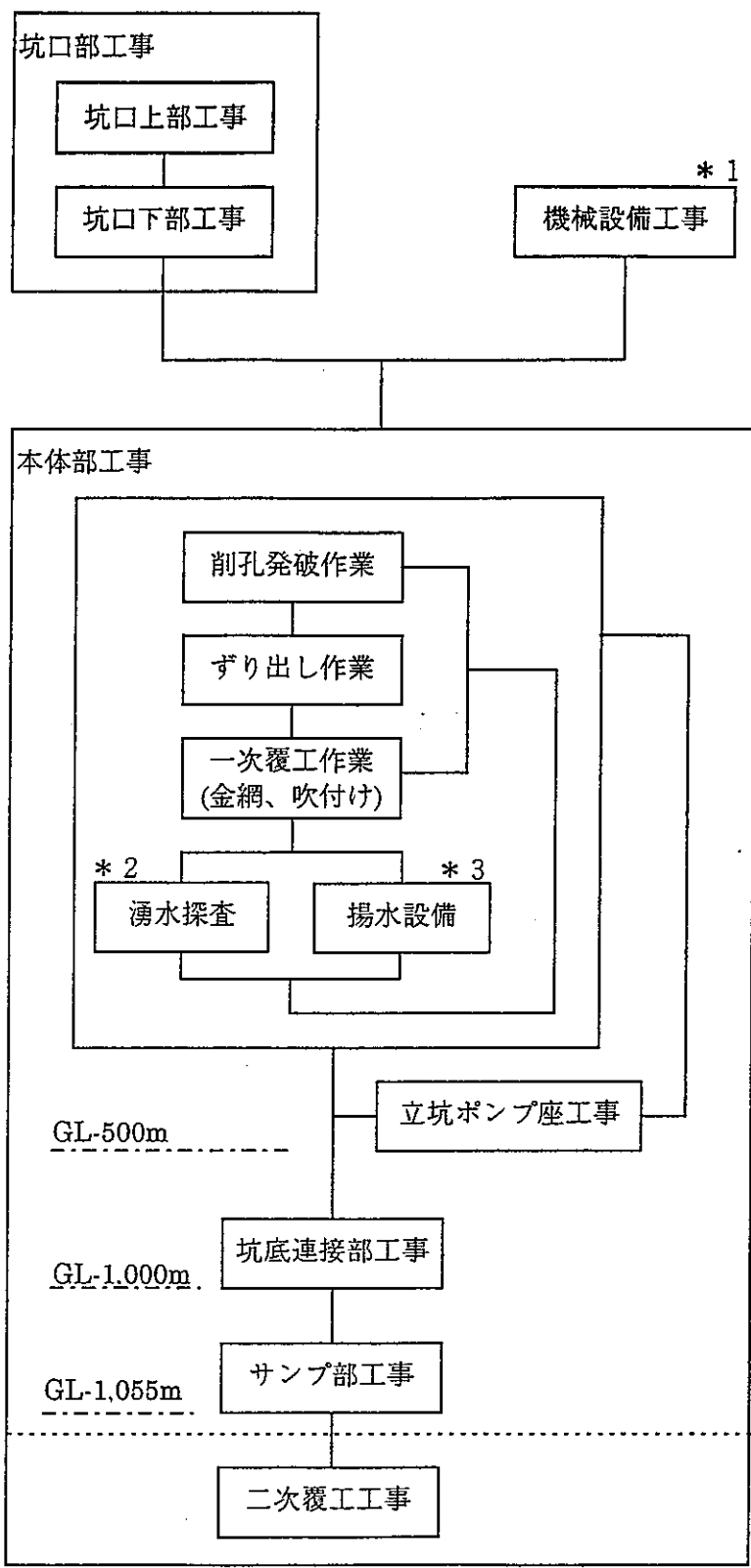
### (b) 横坑

#### i) 施工概要

横坑の施工に当たっての建設工事の施工フローを図 5.1.1.4 に示す。横坑施工の工法選定のまとめを表-5.1.1.4 に示す。

#### ii) 工期

横坑の工期の概算を表-5.1.1.5 に示す。



\* 1  
 機械設備工事(仮設建物を  
 含む)は、本体工事着手前  
 に坑口上下部の工事と並  
 行して行なう。

\* 2  
 湧水探査工事は、坑口下部  
 工事終了後、本体部工事と  
 交互に 30m ピッチで行な  
 う。  
 (湧水探査の結果、湧水が  
 想定される場合には防  
 水工事を行なう。)

\* 3  
 揚水設備工事(仮設ポンプ  
 座設置)は、本体部工事と  
 交互に 100m ピッチで行  
 なう。

図-5.1.1.3 NATMによる立坑の全体施工フロー (結晶質岩)

表-5.1.1.1 立坑の構造 (結晶質岩)

深度 (m)	構造	名称	区間長 (m)	地質区分	覆工厚 (cm)		備考
					一次	二次	
3.0		坑口部	上部 3.0	風化層	(RC)100		開削工法
30.0			下部 27.0		15		
		本坑一般部	458.0	塊状岩盤	10	30	NATM
500.0		立坑*座	13.0				
		本坑一般部	489.0				
1000.0		坑底接続部	11.0				
1055.0		サンプル部	54.0				

表-5.1.1.2 主要施工数量（立坑、結晶質岩）

区 分	工事長 (m)	掘削 (m <sup>3</sup> )	吹付けコン クリート (m <sup>3</sup> )	ロックボル ト (本)	二次覆工コ ンクリート (m <sup>3</sup> )	止水シート 面積 (m <sup>2</sup> )
立坑1本当りの設計数量						
計		44,281	2,378	324	6,765	22,545
立坑1本当りの施工数量						
坑	上部	3	430		19	70
口	下部	27	1,290	324	272	629
本坑一般部		971	45,216	5,631	9,768	22,635
サンプル部		54.6	2,543	317	549	1,273
計		1,055.6	49,479	6,183	10,608	24,607
立坑6本当りの施工数量						
設計数量			265,686	14,268	1,944	40,590
施工数量			296,871	37,096	1,944	63,650

注1) 掘削量には余掘り20cmを含む。余掘りは吹付けコンクリート4cm、覆工コンクリート16cmで負担する。

注2) 吹付けコンクリートの材料準備量は補正係数K=2.6として算出する。

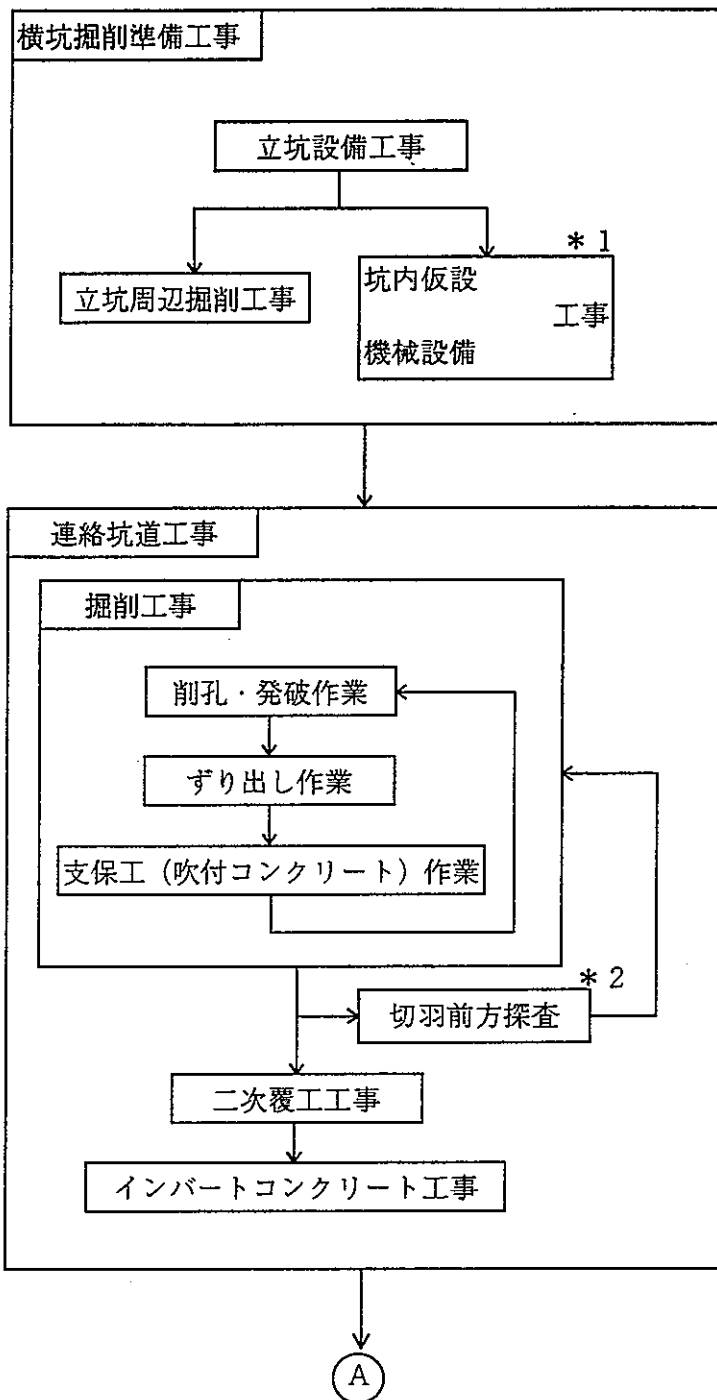
注3) ロックボルトは立坑ポンプ座、坑底接続部の交差部補強に使用し、概算数量として各100本を計上している。

注4) 立坑ポンプ座、坑底接続部の立坑掘削は本坑一般部に含める。

注5) 立坑ポンプ座、坑底接続部の横坑掘削数量は含んでいない。

表-5.1.1.3 工期概算（立坑1本当たり、結晶質岩）

工事区分	工事延長 (m)	工期 (月)	備 考
仮設工事		6.0	
立坑本体工事	坑口上部工事	3.0	(1.0) 仮設工事と並行作業
	坑口下部工事	27.0	(1.0) 同上
	本坑一般部工事	971.0	26.7 サイクルタイムより算出
	サンブ部工事	54.6	1.5 同上
	二次覆工工事	1055.0	11.0 同上
立坑ポンプ座工事		2.0	横坑部に関する工期
坑底接続部工事		1.0	同上
設備撤去工事		2.0	
合 計		50.2	

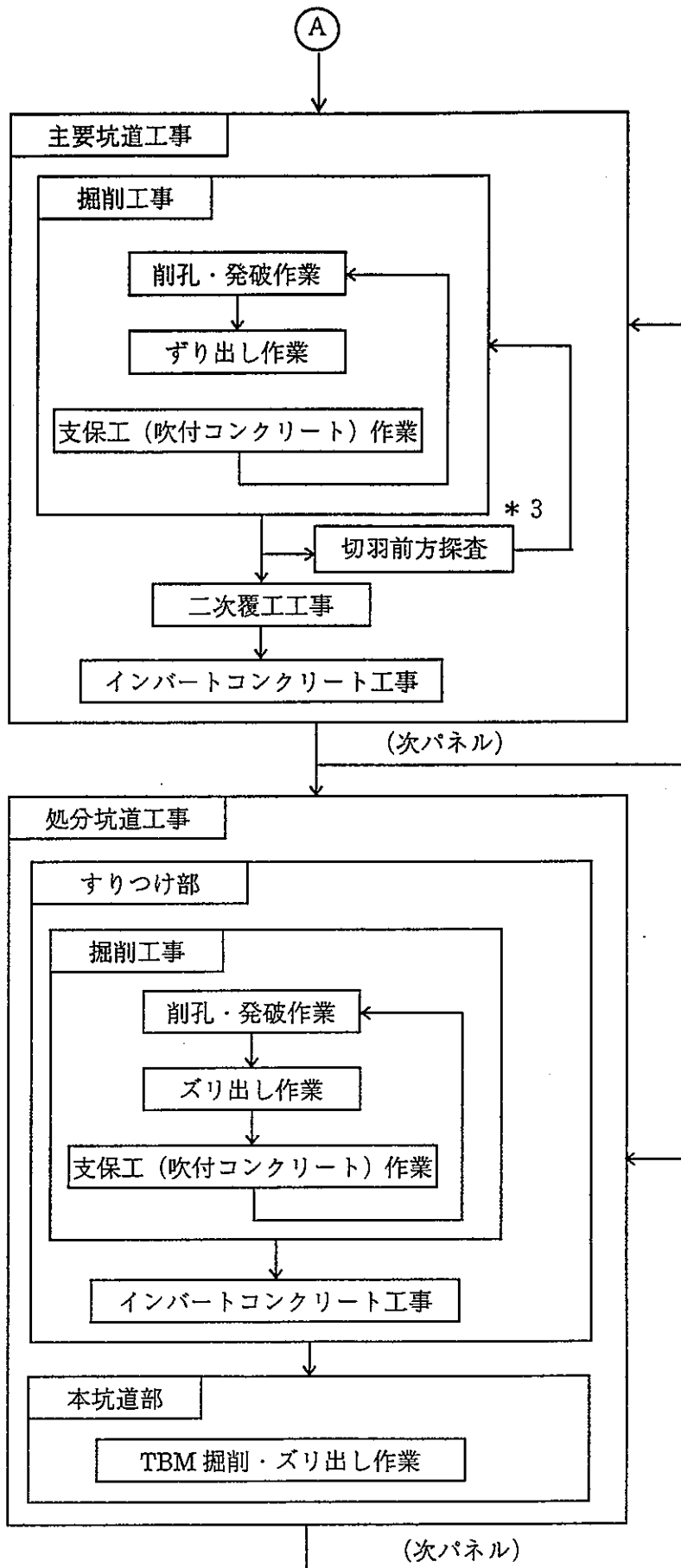


\* 1  
坑内仮設・機械設備  
工事は、立坑周辺掘  
削工事と並行して行  
なう。

\* 2  
連絡坑道の切羽前方  
探査は約 100m 毎に  
TSP を、また必要に  
応じて調査用ボーリ  
ングを実施する。

図-5.1.1.4 横坑全体施工フロー（結晶質岩、その1）





\* 3  
 連絡坑道の切羽前方探査は約 100m 毎に TSP を、また必要に応じて調査用ボーリングを実施する。

図-5.1.1.4 横坑全体施工フロー（結晶質岩、その2）

表-5.1.1.4 横坑の工法選定のまとめ（結晶質岩）

項目	提案工法	提案（選定）理由
連絡・主要坑道	掘削方式・工法 発破方式（スムーズプラスチング） 全断面工法	発破方式選定理由 ・破砕能力が最も高く経済的である。 ・断面形状、掘進長等に対して施工の自由度が高い。 ただし、発破による地山損傷を極力抑制するためにスムーズプラスチングを採用する。
	ずり出し方式	レール方式 ・走行による坑内粉塵、排気ガス等の発生（換気問題）がない。 ・長距離の大量ずり運搬に適する。
	支保工	吹付けコンクリート ・NATMの考え方により、地山の劣化を防ぎ、施工時の安全性を確保する。
	二次覆工	全断面スライドセントル ・クラウン部のコンクリート充填性が良く、一般的な方式である。
処分坑道（円形）	掘削方式・工法	全断面TBM ・発破による地山損傷もなく地山のゆるみ領域を最小限にできる。 ・円形坑道に対し最もロスのない掘削方式である。 ・硬岩地山に対する実績もあり、施工能力も高い。 ・省力化が図れ、安全性も高い。
	ずり出し方式	レール方式 ・走行による坑内粉塵、排気ガス等の発生（換気問題）がない。 ・長距離の大量ずり運搬に適する。
	支保工	原則としてなし

表-5.1.1.5 横坑の工期概算（結晶質岩）

工事区分		工事長 (m)	工期 (月)	備 考	
連 絡 坑 道	立坑設備工事	一式	12.0		
	立坑周辺掘削工事	一式	6.0		
	坑内仮設工事	一式	4.0	立坑周辺掘削工事と並行作業	
	本体部工事	13,273	25.3	6切羽並進	
	二次 覆工	直線部	9,556	11.5	6箇所同時作業、セトル組立、解体1月含む
		曲線部	3,717	12.0	6箇所同時作業、セトル組立、解体1月含む
		インバート工事	13,273	6.4	6箇所同時作業
		撤去工事	一式	1.0	
		計		46.3	二次覆工及びインバート工は本体掘削完了後、それぞれ1月後、2月後に完了させる。
主 要 坑 道 ル 当 り	準備工事	一式	1.0		
	本体部工事	3,067	17.5	2切羽並進	
	二次 覆工	直線部	2,815	10.2	2箇所同時作業、セトル組立、解体1月含む
		曲線部	252	2.4	2箇所同時作業、セトル組立、解体1月含む
		インバート工事	3,067	4.4	2箇所同時作業
		撤去工事	一式	1.0	
		計		24.9	二次覆工は本体掘削完了後、1月後に完了させる
処 分 坑 道 当 り	す り 付 部 本 坑 道	準備工事	一式	0.5	2箇所の合計
		本体部工事	146	1.4	
		インバート工事	146	0.4	
		撤去工事	一式	0.5	2箇所の合計
		準備工事	一式	0.5	TBMの搬入、組立含む
		本体部工事	930	2.4	
		撤去工事	一式	0.5	TBMの解体含む
	計		6.2		

注1) パネルは3タイプがある。表中の主要坑道の1パネル当り工事長はその平均値で示してある。

注2) 補助工法を用いた場合にはこれより長い工期となる。

### (3) 堆積岩における検討

#### (a)立坑

##### i) 工法

堆積岩における立坑の工法としては、最も実績のあるショートステップ工法が最も適用性が高いと考えられる。

##### ii) 施工概要

ショートステップ工法による立坑の全体施工フローを図-5.1.1.5 に、また立坑の構造を表-5.1.1.6 に示す。

##### iii) 工期

立坑1本当たりの工期の概算を表-5.1.1.7 に示す。1立坑の建設に約47ヶ月を要する。

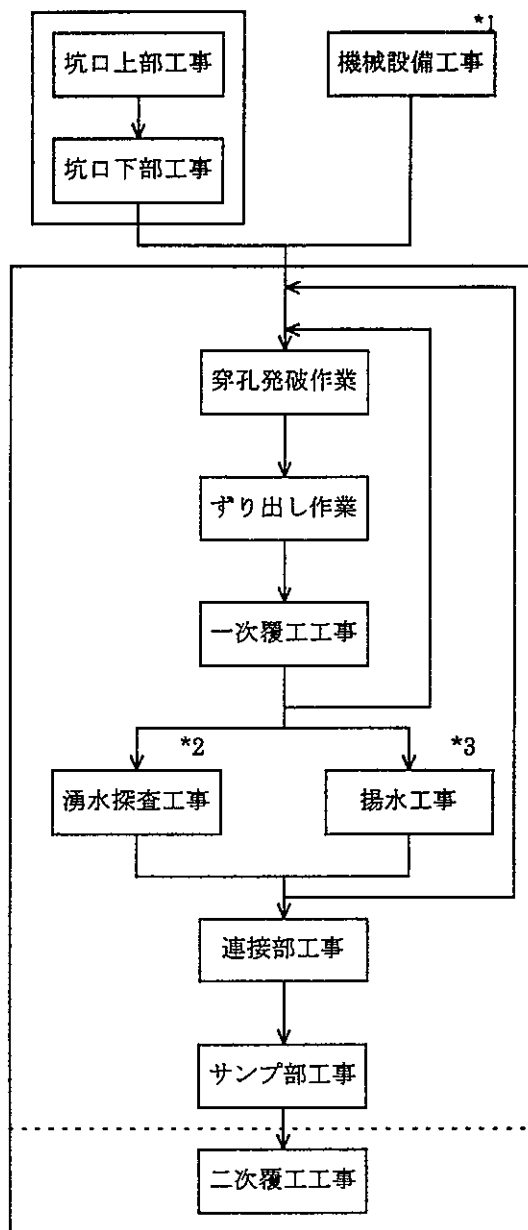
#### (b)横坑

##### i) 施工概要

横坑の施工に当たっての建設工事の施工フローを図5.1.1.6 に示す。横坑施工の工法選定のまとめを表-5.1.1.8 に示す。

##### ii) 工期

横坑の工期の概算を表-5.1.1.9 に示す。



\* 1  
機械設備工事（仮設建物を含む）は、本坑工事着手前に坑口上下部の工事と並行して行う。

\* 2  
湧水探査工事は、坑口下部工事終了後、本坑部（サンプル部を含む）工事と交互に 30m ピッチで行う。  
（湧水探査工事の結果、湧水が予想される場合には、防水工事を行う）

\* 3  
揚水工事（ポンプ座）は、本坑部工事と交互に 100 m ピッチで行う

図-5.1.1.5 ショートステップ工法による立坑の全体施工フロー（堆積岩）

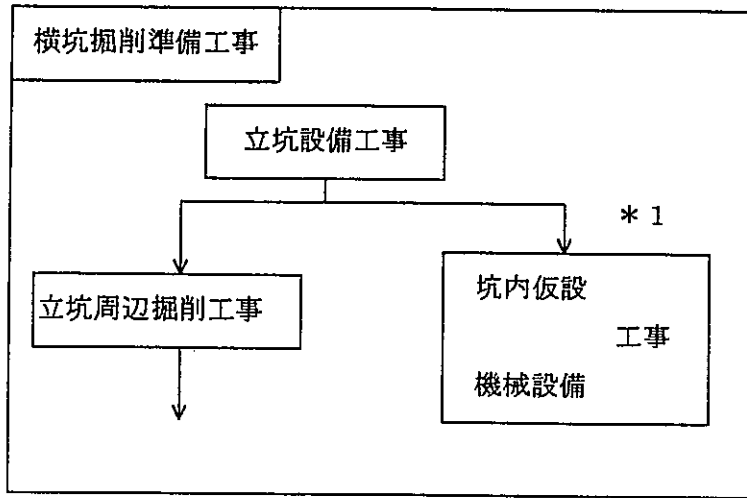
表-5.1.1.6 立坑の構造 (堆積岩)

深度 (m)	構造	名称		区間長 (m)	地質区分	覆工厚 (cm)		備考
						一次	二次	
5.0		坑口部	上部	5.0	砂岩・泥岩互層	(RC)100		開削工法
20.0		坑口部	下部	15.0		280.0		
300.0		本坑部	本坑上部	280.0	泥岩		40	
						本坑部		本坑下部
500.0	接続部							ショートステップ工法
	サンプ部			35.0				

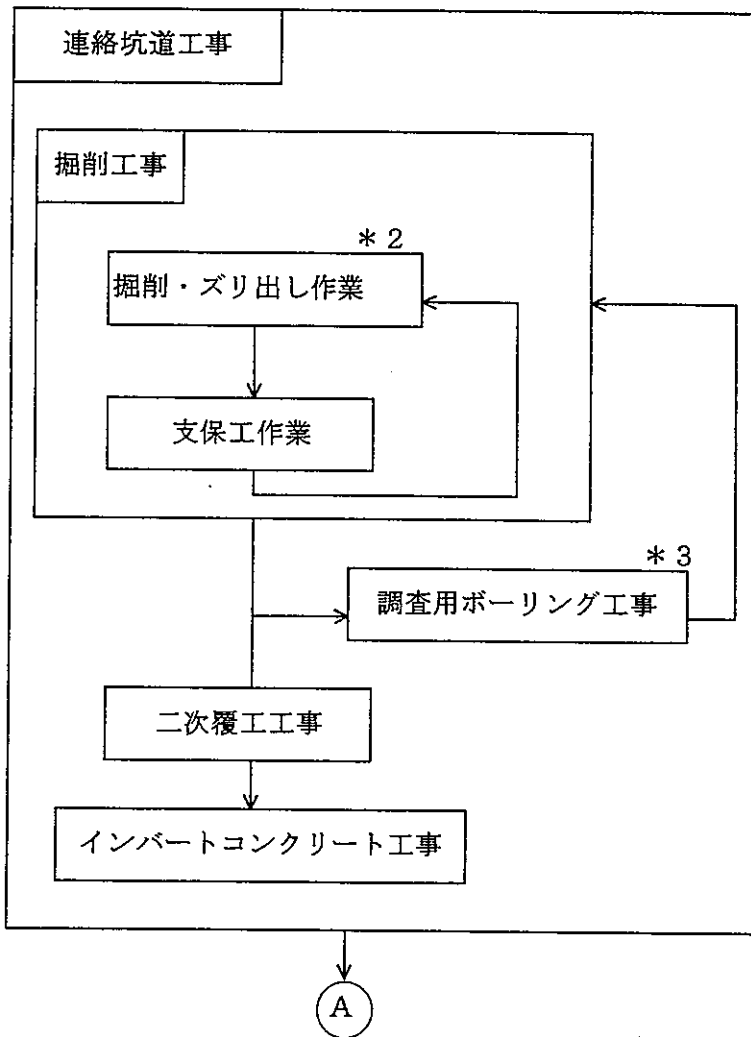
Vp は地山弾性波速度  
qu は一軸圧縮強度

表-5.1.1.7 工期概算（立坑1本当たり、堆積岩）

工事区分		工事長 (m)	工期 (月)	備 考
仮設工事		—	5.0	
立坑	坑口上部工事	5.0	(1.2)	仮設工事と並行作業
	坑口下部工事	15.0	(1.5)	同上
本体	本体部工事	447.2	28.8	表-5.1.1.32 サイクルタイムより
	接続部工事	34.3	2.0	1箇所、両方接続
	サンブ部工事	34.3	2.2	
工	二次覆工工事	535.0	5.6	
	坑底接続部工事		2.0	
設備撤去工事			2.0	
合計			47.6	



\* 1  
坑内仮設・機械設備工事は立坑周辺掘削工事と並行して行う。



\* 2  
掘削・ズリ出し作業はブーム式掘削機による。

\* 3  
連絡坑道の調査用ボーリング工事は6本の坑道のうち、先行する2本の坑道で45mごとに行う。

図 5.1.1.6 横坑全体施工フロー（堆積岩、その1）



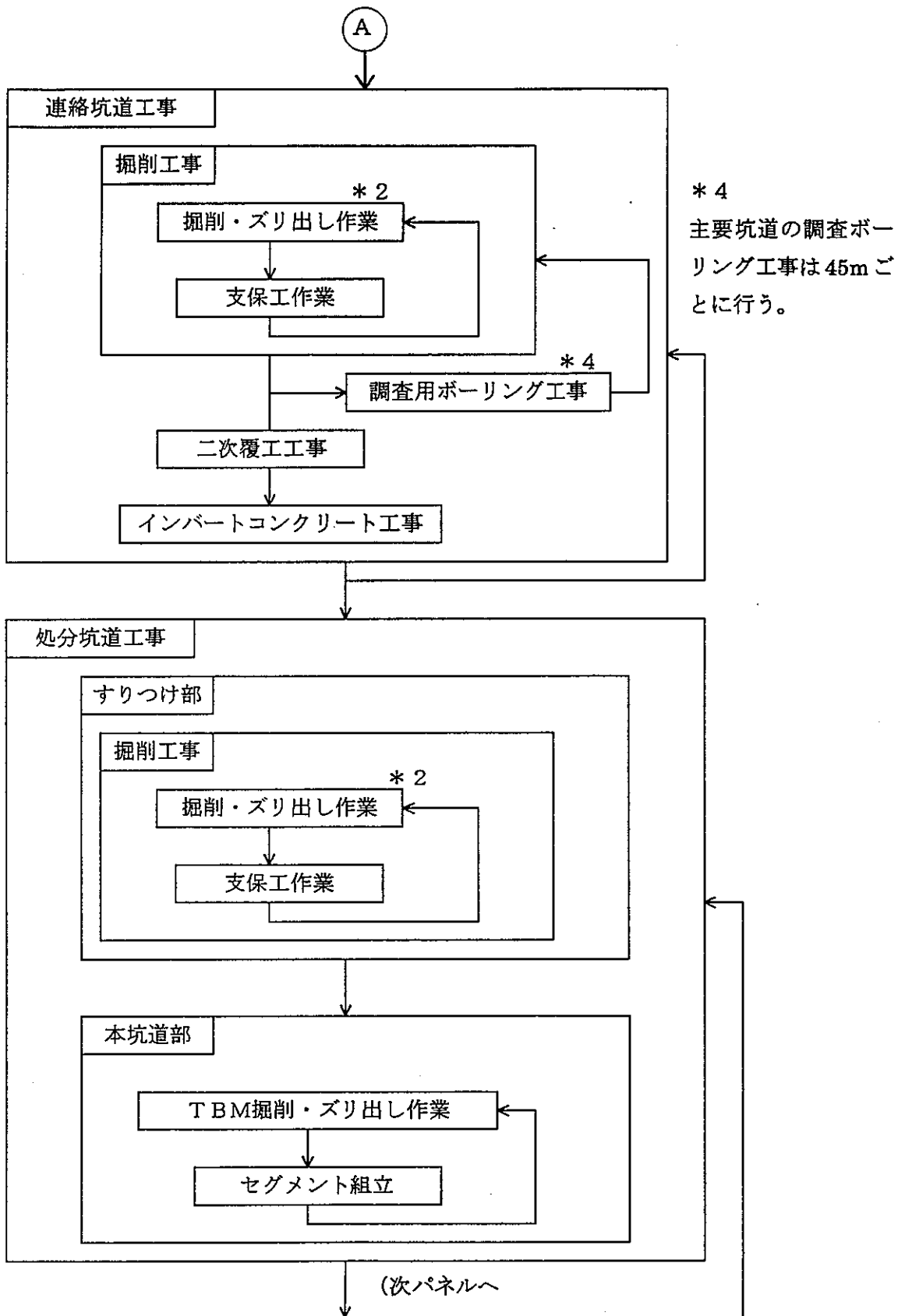


図 5.1.1.6 横坑全体施工フロー（堆積岩、その2）

表-5.1.1.8 横坑の工法選定のまとめ（堆積岩）

項 目	提案工法	提案理由	
連絡・主要坑道	掘削工法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全断面工法</li> <li>・NATM</li> <li>・ブーム式機械掘削工法</li> </ul>	<p>NATM 選定理由</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・堆積岩の地山条件、土被り圧から非常に大きな地圧と地山の押し出しが予想される。</li> <li>・地山に適度な変形を許して地圧を軽減し、地山の有する強度を利用した合理的、経済的な工法である。</li> <li>・地山条件に応じて吹付コンクリート・ロックボルト・鋼製支保工を適宜組み合わせ、地質変化への高い対応性を示す。</li> <li>・膨張性地山での実績も多く、その有効性が認められている。</li> </ul> <p>ブーム式機械掘削工法の選定理由</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・堆積岩の強度に対して十分対応可能であり、施工能力も高い。</li> <li>・発破による地山損傷も無く、地山のゆるみ領域も最小限に制御できる。</li> <li>・部分掘削が可能であり、地質の変化に対応した切羽の分割施工にも問題がない。</li> <li>・安全性が高い。</li> </ul>
	ずり出し工法	レール方式	<p>レール方式選定理由</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・走行による坑内粉塵（換気問題）がない。</li> <li>・長距離の大量ずり運搬に適する。</li> </ul>
	支保工	<ul style="list-style-type: none"> <li>・吹付コンクリート</li> <li>・ロックボルト</li> <li>・鋼製支保工</li> </ul>	
	二次覆工	<ul style="list-style-type: none"> <li>・吹き上げ式スライドセントル</li> </ul>	<p>クラウン部のコンクリートの充填性がよく、一般的な工法である。</p>
処分坑道	掘削工法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・TBM</li> </ul>	<p>TBM選定理由</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・円形坑道に対して最もロス（余掘）のない掘削方式である。</li> <li>・発破による地山損傷もなく地山のゆるみ領域も最小限に制御できる。</li> <li>・安全性が高く、施工能力も高い。</li> </ul>
	ずり出し工法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ベルコン方式＋レール方式</li> </ul>	<p>ベルコン方式選定理由</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・掘進に伴う連続的なずり搬出が可能である。</li> <li>・小断面トンネルにおけるずり出し方式としては最も適している。</li> </ul>
	支保工	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鋼製セグメント</li> </ul>	<p>鋼製セグメントの選定理由</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・コンクリートに比べ覆工厚を小さくできる。</li> <li>・施工性がよい。</li> </ul>

表-5.1.1.9 横坑の工期概算（堆積岩）

		工事長 (m)	工期(月)	備 考	
連 絡 坑 道	立坑設備工事	一式	12		
	立坑周辺掘削工	一式	6		
	坑内仮設工事	一式	4	立坑周辺部工事と並進	
	本体部工事	19,580	55.6	6切羽並進	
	二次 覆 工	直線部	15,086	19.2	6箇所同時作業、セトル組立・解体1月含む
		曲線部	506	2.6	6箇所同時作業、セトル組立・解体1月含む
	インバート工事	19,580	9.5	6箇所同時作業	
	撤去工事	一式	1.0		
	計		76.6	二次覆工及びインバート工は本体掘削後、それぞれ1月後、2月後に完了させる	
主要坑道（1パネル当り）	準備工事	一式	1.0		
	本体部工事	2,074	35.9	1切羽	
	二次 覆 工	直線部	1,823	14.2	セトル組立・解体1月含む
		曲線部	251	5.9	セトル組立・解体1月含む
	インバート工事	2,074	6.0		
	撤去工事	一式	1.0		
	計		44.9	二次覆工は本体掘削後1月後に完了させる	
処分坑道（1本当り）	すり つけ 部	準備工事	一式	0.5	2箇所の合計
		本体部工事	145.6	2.5	
		撤去工事	一式	0.5	2箇所の合計
	本坑道	準備工事	一式	1	TBMの搬入・組立含む
		本体部工事	781.4	3.7	
		撤去工事	一式	0.5	TBMの解体含む
	計		8.7		

注) 補助工法を用いた場合にはこれより長い工期になる

## 5.1.2 処分ピット

### (1) 概要

処分孔たて置方式における処分ピットの構築においては、①すでに応力集中が生じている処分坑道の底盤をさらに掘削する、②限定された狭い作業空間内で、掘削長の短い大口径の硬岩盤掘削（高さ 5m、幅 5m の処分坑道内で直径 2.2m、深さ 5m の処分ピットの掘削）を行うという特殊な条件のため、周辺岩盤の損傷に留意し施工効率の良い掘削機を用いた掘削工法の開発が必要となる。

そのためここでは、現状における大口径ボーリング掘削などの岩盤掘削方法の内容・特長を調査し、掘削方法の絞り込み後処分ピット掘削工法および掘削機の検討を行う。

### (2) 岩盤掘削方法の調査

#### (a) 破碎作用の原理

岩盤などの破碎は、溶融・気化、温度差による剥離、機械的応力、化学的作用といった基本原理を応用している。その基本原理の概要を以下に記す。

- i) 溶融作用 : 岩石を加熱し、溶解または気化させて穿孔する方法。
- ii) 温度差による剥離作用 : 岩石の表面を 380~600℃に急速に熱し、鱗片状に剥離させる方法。
- iii) 機械的応力 (作用): 機械的に岩石中に歪みを発生させて岩石を破碎する方法。
- iv) 化学的作用 : フッ素などの高化学反応剤を大量に使用して岩石を化学的反応により溶解する方法。

#### (b) 破碎に必要なエネルギー

前述の各作用における岩石破碎に要する比エネルギーは表-5.1.2.1の通りである。

表-5.1.2.1 破碎に要する比エネルギー

作用名	エネルギー (J/cm <sup>3</sup> )
溶融作用	5,000
温度差による剥離作用	1,500
機械的応力	200~500
化学作用	Not Available
(参考) 水ジェット	2,000~4,000

表-5.1.2.1 からわかるように、小さいエネルギー（≒低コスト）で岩石を破碎（掘削）する方法は、機械的応力を利用するのが最適であると言える。

以下に、適用性が一番高いと思われる機械的応力による掘削について述べる。

(c) 機械的応力による掘削

一般に機械的応力による掘削は、刃先を掘削対象地盤に押し当てて食い込ませ、地盤を破壊して行うが、刃先の違いによる掘削方法には次の3種類がある。

- i) 切削型ビット : 刃先を刃先荷重により地盤に食い込ませ、刃先を進めて地盤を掻き取る形式のビットである。
- ii) ローラビット : 刃先の軸の周りで回転する刃先を刃先荷重により地盤に食い込ませ、地盤を圧壊による破砕で掘削するビットである。
- iii) 衝撃式ビット : 刃先を地盤に押し当てて、その後部より衝撃を加えて掘削するビットである。

(d) 大口径岩盤削孔工法

岩盤削孔技術協会によると、岩盤に対する大口径（直径 600 mm以上）掘削の方法として、4種類の工法が挙げられている。以下に4種類の工法について説明をする。

- i) オーガ掘削工法 : 切削型のオーガビットを回転させる掘削工法であり、アースオーガ機を使用して掘削する工法である。
- ii) ロータリー掘削工法 : ドリルパイプ先端に取り付けたローラビットにドリルカラーで荷重をかけ、ロータリーテーブルまたはパワースイベルでドリルストリングスを回転させ岩盤を掘削する工法である。
- iii) パーカッション掘削工法 : 本工法は重錘またはハンマによる衝撃力を利用して岩盤を掘削する工法で、掘削方式により以下の2種類に分類される。
  - ア) 重錘式 : 2重筒状の重錘を、ずり搬出管をガイドとして油圧駆動ウインチにより任意の高さに巻き上げた後、クラッチの切断による自由落下を繰り返すことにより、岩に衝撃を加えて掘削する方式である。
  - イ) ダウンザホールハンマ方式 : ドリルロッドの先端にエアハンマを接続して、削孔深度に応じて上部にロッドを継ぎ足す方式である。(図-5.1.2.1参照)
- iv) ケーシング回転掘削工法 : ケーシングチューブを掘削孔全長にわたり回転・圧入しながらハンマーグラブなどでケーシング内の土砂を掘削・排土する工法である。
- v) 大口径岩盤掘削工法のまとめ

大口径岩盤掘削工法の4工法について同一条件で施工した場合の施工コストは、パーカッション掘削工法が一番高く、ロータリー掘削工法、オーガ削孔工法、ケーシング回転掘削工法の順で安くなる。

### (3) 現行工法の検討

#### (a) 処分ピットの設計条件

処分ピットの設計仕様に対する現行工法の評価を行うために、処分ピットの設計条件を表-5.1.2.2にまとめる。

表-5.1.2.2 処分ピット設計条件

項目		数値その他	備考
処分坑道	形状	上半円弧下半角型	
	幅	5m	
	高さ	5m	
処分ピット	直径	2.2m	
	標準深さ	3.85m	
	最大深さ	5m	
岩盤	岩質	結晶質岩	均一とする
	一軸圧縮強度	80MPa	
施工速度		1pit/day	
日当たり稼働時間		16h	1日2方
仕上がり面		最小半径と円筒形状を確保	

#### (b) 大口径岩盤掘削工法の検討

表-5.1.2.2で示したように、掘削対象岩盤が均一で処分ピットが大口径であり、かつ掘削機械の設置場所（処分坑道）が限られており、さらには壁面状態の粗度条件が厳しいことなどから、本工法の選択において大きな要因となる。

以下に、4種類の大口徑岩盤削孔工法について、処分ピット掘削に対する適性の検討を行う。なお掘削対象岩盤の1軸圧縮強度は80Mpaとしているが、ここでは実際の施工を考慮し1軸圧縮強度100Mpa以上の超硬岩盤も含めた検討を行う。

- i) オーガ掘削工法：切削型のオーガビットは、均質な硬岩を掘削するには刃先の摩耗が早いため、処分ピット掘削適用には難しいと思われる。
- ii) ロータリー掘削工法：一般的にはローラビットを使用する全断面掘削工法である。掘削径2m前後の掘削や狭い作業空間での実績は多く、処分ピット掘削への適用候補の一つであると考えられる。ただし、超硬岩盤掘削の実績は少ない。
- iii) パーカッション掘削工法：ダウンザホールハンマ方式では硬岩を確実に掘削でき（超硬岩盤掘削の実績例が多いのはダウンザホールハンマ方式だけであり、一軸圧縮強度が300Mpaクラスの超々硬岩掘削も掘削可能である）、大口徑掘削には数本のダウンザホールハンマを使用し対応することができる。

掘削径 2m 以上の実績は少ないが、掘削径 2m 未満の掘削や狭い作業空間での実績があり、超硬岩盤を確実に掘削できるという点では、ロータリー掘削工法よりも処分ピット掘削への適用性は断然高いものと思われる。

iv) ケーシング回転掘削工法 : 大口径のケーシング鋼管をドライブするには大きなトルクが必要であるため、そのため機械も大型になり狭い作業空間での施工は不可能である。また同工法は場所打杭工法（地盤を削孔した後にコンクリートを打設する工法）でもあるので、ピット掘削へ適用するのは難しいと思われる。

#### (c) 現行工法の検討結果

現行工法の処分ピットへの適用の検討を行った結果、以下の 3 項目

- ① 確実に硬岩盤を掘削することができる。
- ② 掘削と掘削ずりの搬出作業が同時に行われ施工性が良い。
- ③ 狭い作業空間での施工が可能である。

を全て満たしているパーカッション掘削工法のダウンザホールハンマ方式（マルチハンマ工法）が、ピット掘削に一番適している工法と思われる。

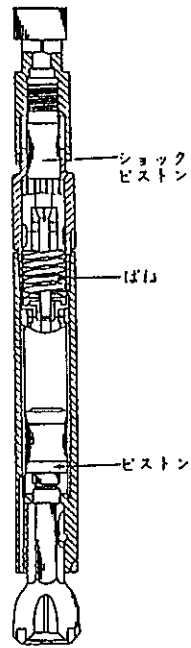
#### (4) 処分ピット掘削機の検討

現状では処分ピットを完全掘削できる工法および掘削機は存在しないため、処分ピット的设计条件（表-5.1.2.2 参照）に基づいて可能な限り開発要素が少なくなるように掘削機の概略検討を行う。

ここでは、現在最も処分ピット掘削に適用性の高いダウンザホールハンマ方式を応用した ①コア抜き工法（図-5.1.2.2 参照）、②オープナー拡孔工法（図-5.1.2.3 参照）、③全断面掘削工法（図-5.1.2.4 参照）の 3 種類の工法について検討し、各処分ピット掘削機のまとめを表-5.1.2.3 に示す。

#### (a) 処分ピット掘削機の今後の展開

硬岩盤を確実に掘削できるのは、ダウンザホールハンマ方式のみであることは前にも記述したが、今後は前述 3 工法の詳細検討・試験機による実証実験を行い、施工速度やメンテナンスサイクルなどの正確な施工データを収集することが必要であろう。



ダウンザホールハンマ方式の特長	
①	エア掘削工法は、掘削時の循環流体として水の代わりに空気を使用するので、給水設備に関係なく何処でも作業できる。
②	シンプルな構造のため消耗部品が極めて少なく、分解・組立が容易である。
③	ビット荷重が少なくて良いため鉛直精度がよい。

図-5.1.2.1 ダウンザホールハンマ

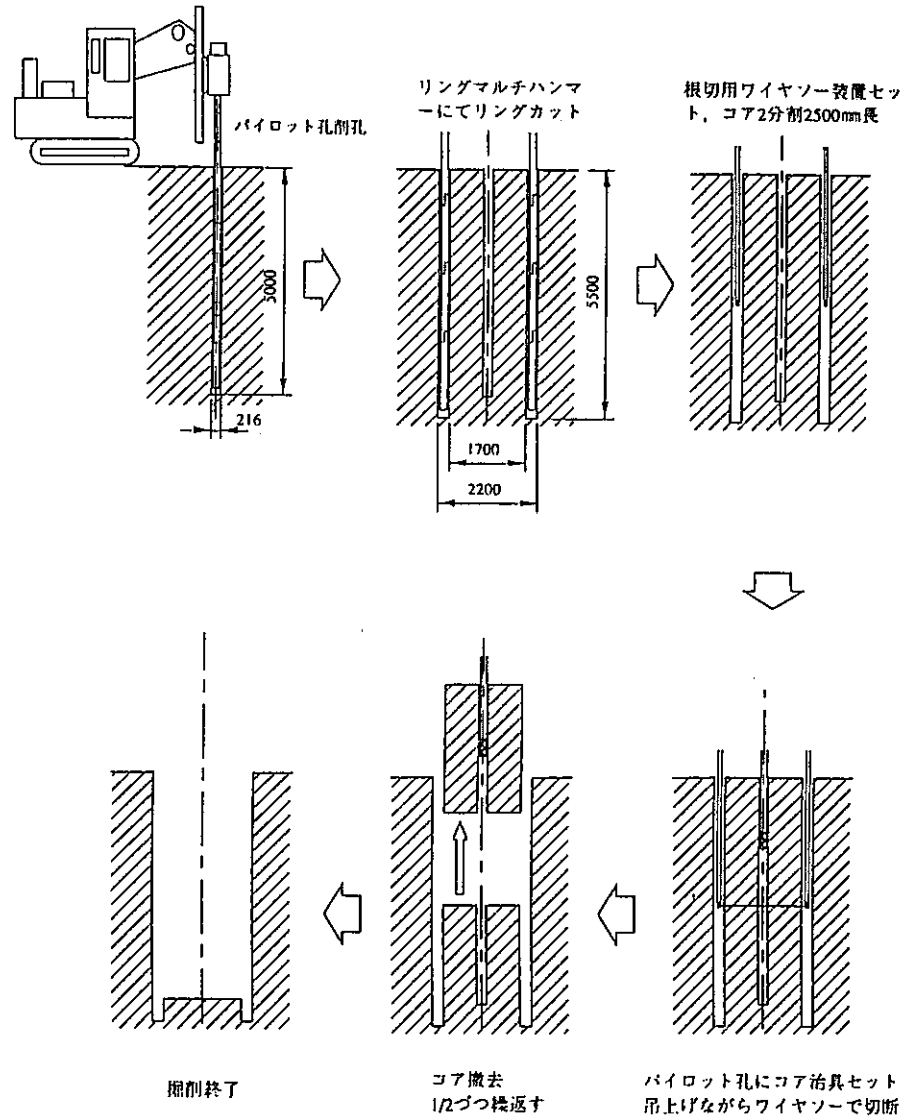


図-5.1.2.2 コア抜き工法



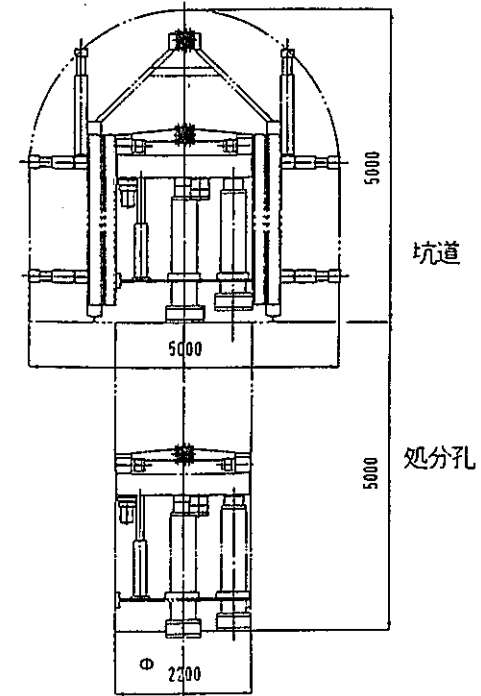
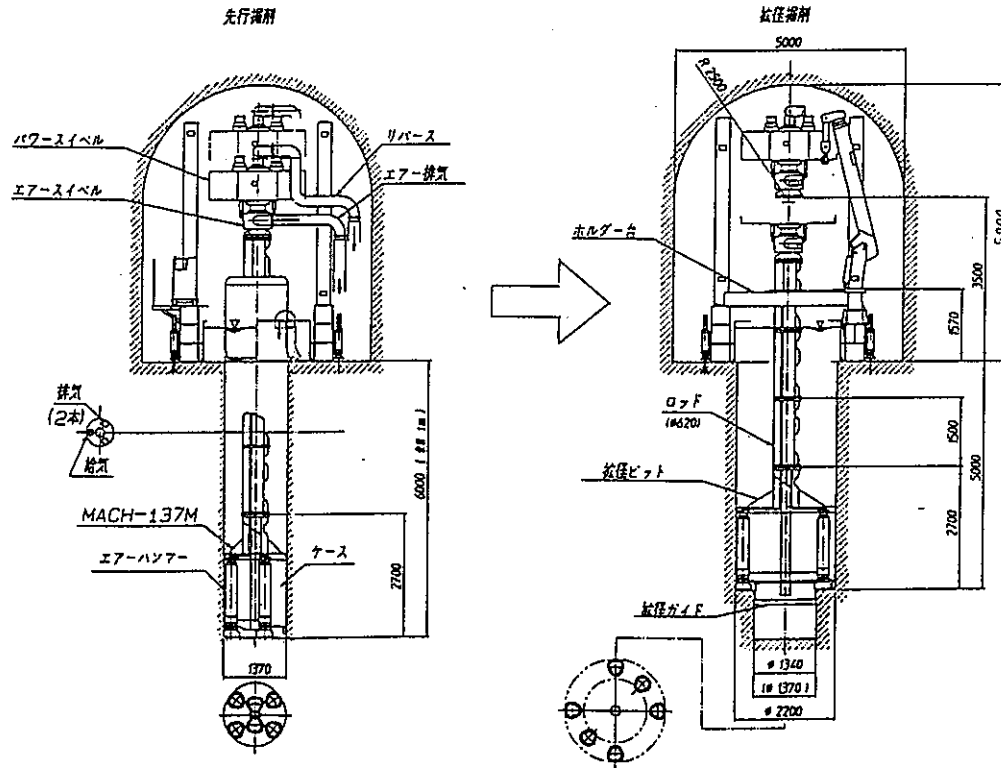
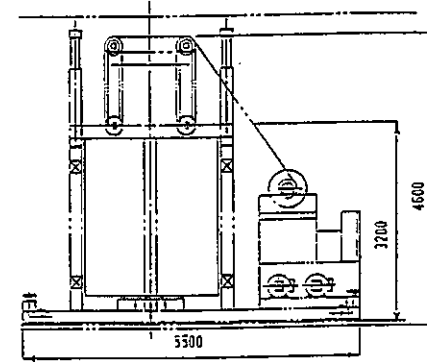
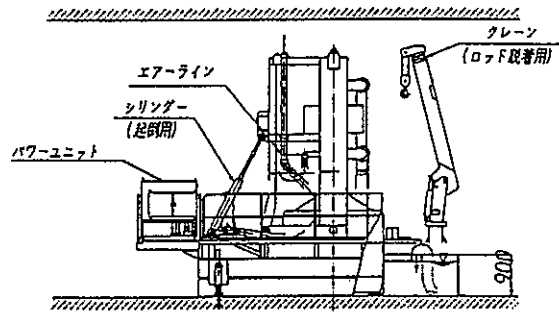


図-5.1.2.3 オープナー掘削工法

図-5.1.2.4 全断面掘削工法

表-5.1.2.3 各処分ビット掘削機のとまとめ

掘削工法	コア抜き工法	オープナー拡孔工法	全断面掘削工法	備考
仕上がり壁面状態	通常のダウンザホールハンマ施工とほぼ同様	通常のダウンザホールハンマ施工とほぼ同様	地山側に 10 mm以内の凹凸	
鉛直精度	機械セット時に決定される (数値表現は不可)	1/200~1/500 程度	孔底で 10 mm以内	
周辺岩盤への影響	無し	全く無し	全く無し	
操作性	6 工程 (掘削、ずり搬出は別工程)	2 工程 (先行+拡孔) (掘削、ずり搬出は同時)	1 工程 (掘削、ずり搬出は同時)	
掘削時間 (h/ビット)	(14)	(26)	(32)	予想値
現在の状況	ベースマシンは既存機械の応用	既存機械の応用	従来工法の応用	
開発要素	ベースマシン、ダウンザホールハンマ以外	リングマルチハンマ (拡孔掘削機本体)	マルチハンマ (掘削機本体)	
掘削ずり処理	エアリバース方式	リバースサーキュレーション方式	リバースサーキュレーション方式	
周辺設備	集塵装置 エアコンプレッサー	サクシヨンポンプ、エアコンプレッサー、 水槽タンクなど	サクシヨンポンプ、エアコンプレッサー、 水槽タンクなど	
適用性	開発要素が多く、適用には他工法に比べ時間がかかる	レベルは高い (2~3年後に実現可能と思われる)	レベルは高い (2~3年後に実現可能と思われる)	試験機による実証実験含む

## 5.2 操業技術の検討

### 5.2.1 検討の概要

操業技術の検討として、廃棄体、緩衝材等に関して地上施設、アクセス施設および地下施設における手順、方法について検討を行い、さらにこれらの作業に必要な機器類の抽出、概念の検討を行う。また、廃棄体および緩衝材に係わる施設、これらの施設およびアクセス、地下施設の操業を維持・管理するための諸施設の概念検討も行う。

### 5.2.2 検討条件

#### (1) 人工バリア仕様の条件

- ① ガラス固化体：日本原燃仕様、中間貯蔵期間30年、処分量40,000本
- ② オーバーパック：材質は炭素鋼、形状寸法は厚さ210mm、直径φ860mm、高さ1,765mmとする。また、ハンドリングするための吊り部構造を持つ。
- ③ 緩衝材：緩衝材の厚さは、670mmとする。緩衝材の材質は、クニゲルV1/ケイ砂混合比(70/30)、乾燥密度1.6g/cm<sup>3</sup>(充填後状態)とする。

#### (2) 操業の検討

- ① 操業計画：廃棄体の総処分本数を40,000本、1日の処分本数を6本、操業期間を2035～2065年の30年間、廃棄体定置間隔を7mピッチとする。
- ② 処分場概念：処分深度を結晶質岩は1,000m、堆積岩は500m、建設・操業・閉鎖作業の独立性確保、換気ルートの独立性確保、処分場パネル数を6パネル、処分場各坑道の形状寸法は「4.3.4 処分システムの基本設計」の検討結果とする。
- ③ 検討ケース：結晶質岩、堆積岩・横置きを基本ケースとして検討を行う。

### 5.2.3 検討内容

#### (1) 検討対象施設

検討対象とする施設は、地上施設、アクセス施設、地下施設とした。

#### (2) 検討項目

##### (a) 地上施設

- ① 作業手順(工程)とその方法の検討
- ② 機器類の検討
- ③ その他の技術検討(操業スケジュール、管理区域の考え方)

##### (b) アクセス施設

- ① 作業手順(工程)とその方法の検討
- ② 機器類の検討
- ③ その他の技術検討(操業スケジュール、管理区域・熱対策・換気の考え方)

(c) 地下施設

- ① 廃棄体／緩衝材搬送方法の検討
- ② 廃棄体／緩衝材の設置方法の検討
- ③ 機器類の検討
- ④ その他の技術検討（操業スケジュール、管理区域・熱対策・換気の方）

(d) 操業に係わる工程、要員の検討

操業に係わる工程、および必要となる要員について検討した。

(e) 地上施設概念のまとめ

主要施設（ガラス固化体受入、廃棄体封入施設等）の概念図の作成、および本検討以外において構築されたその他の施設の概念をまとめた。

(f) 検討のまとめ

本年度検討および未検討により今後検討が必要と思われる項目をまとめた。

#### 5.2.4 検討結果

廃棄体／緩衝材は、地上施設からアクセス施設を通り最終的に地下施設に定置される。ここでは、地上施設、アクセス設備、地下施設に分類して操業手順等の検討を実施した。

(1) 地上施設

(a) H12仕様におけるH3仕様からの変更点とその影響

H12仕様のオーバーパック厚さは210mmであり、ガラス固化体を収納後のその表面線量当量率はおよそ数mSv/hと予想される。このことより、ガラス固化体をオーバーパックに収納する工程以降の廃棄体取扱作業は、遠隔操作が前提となる。また、検査においても、オーバーパックの表面線量当量率よりRT検査は実施不可能と考えられ、その他の非破壊検査方法の選定が必要となる。

(b) 地上での作業手順

地上施設における操業に係わる作業の内、主な検討項目について以下に示す。

i) キャスクの受入

キャスクの受け入れは、地上施設により行う。キャスクを一時保管するエリアとして、地上施設とは別建屋の一時保管建屋を想定した。

ii) ガラス固化体の検査

H3仕様では、標識確認の他は外観検査のみとなっている。返還固化体受入貯蔵施設では、汚染や核種漏えい等を考慮し標識確認、外観、発熱量、寸法／重量、表面汚

染、放射能量、閉じ込め（核種漏洩の有無）検査を検査項目としている。

検査に不合格となったガラス固化体の処置について、以下が考えられる。

- ① 施設内での補修
- ② 補修容器への封入
- ③ 逆動線による払出し

iii) ガラス固化体のオーバーパックへの封入

ガラス固化体をオーバーパックに収納し、蓋を溶接する。ガラス固化体の補修として補修容器に封入した場合は、オーバーパックは専用の物を用いる必要がある。

iv) 廃棄体の検査

廃棄体の溶接の良否および健全性確認のために検査を実施する。検査項目としては外観検査、溶接部検査、表面汚染検査、放射線量測定等が考えられる。異常が確認されたオーバーパックについては、必要に応じて補修、再検査が行われる。

- ① 溶接部検査：RTの代替としてUT検査と漏洩検査が適当と考えられる。
- ② 廃棄体の補修：遠隔による補修が必要となる。

vii) 廃棄体の搬出

検査に合格した廃棄体は、アクセス施設に搬送する。廃棄体の搬送に関しては、アクセス方式（斜坑／立坑）により、表-5.2.4.1に示すような搬送手段が考えられる。

表-5.2.4.1 アクセス設備での廃棄体搬送装置（立坑の場合）

アクセス方式	搬送機器	備考
立坑	専用搬送台車	・立坑の坑道断面積を最適化可能。 ・地下での廃棄体受け渡しが必要。
	定置装置	・横置定置でオーバーパックを横置搬送する場合、立坑の坑道断面積が大きくなる可能性がある。 ・地下での廃棄体受け渡しが不要となる。

一連の廃棄体ハンドリングに係わる地上施設内での作業フローを図-5.2.4.1に示す。

(c) 作業スケジュール

ハンドリング工程に対して設定したタイムスケジュールの例を表-5.2.4.2に示す。

(d) 地上施設の配置検討

地上施設の主要な機能、付帯的機能としての運転管理、放射線管理、防消火、二次廃棄物管理、ユーティリティー供給等を考慮して検討した配置結果を図-5.2.4.2に示す。

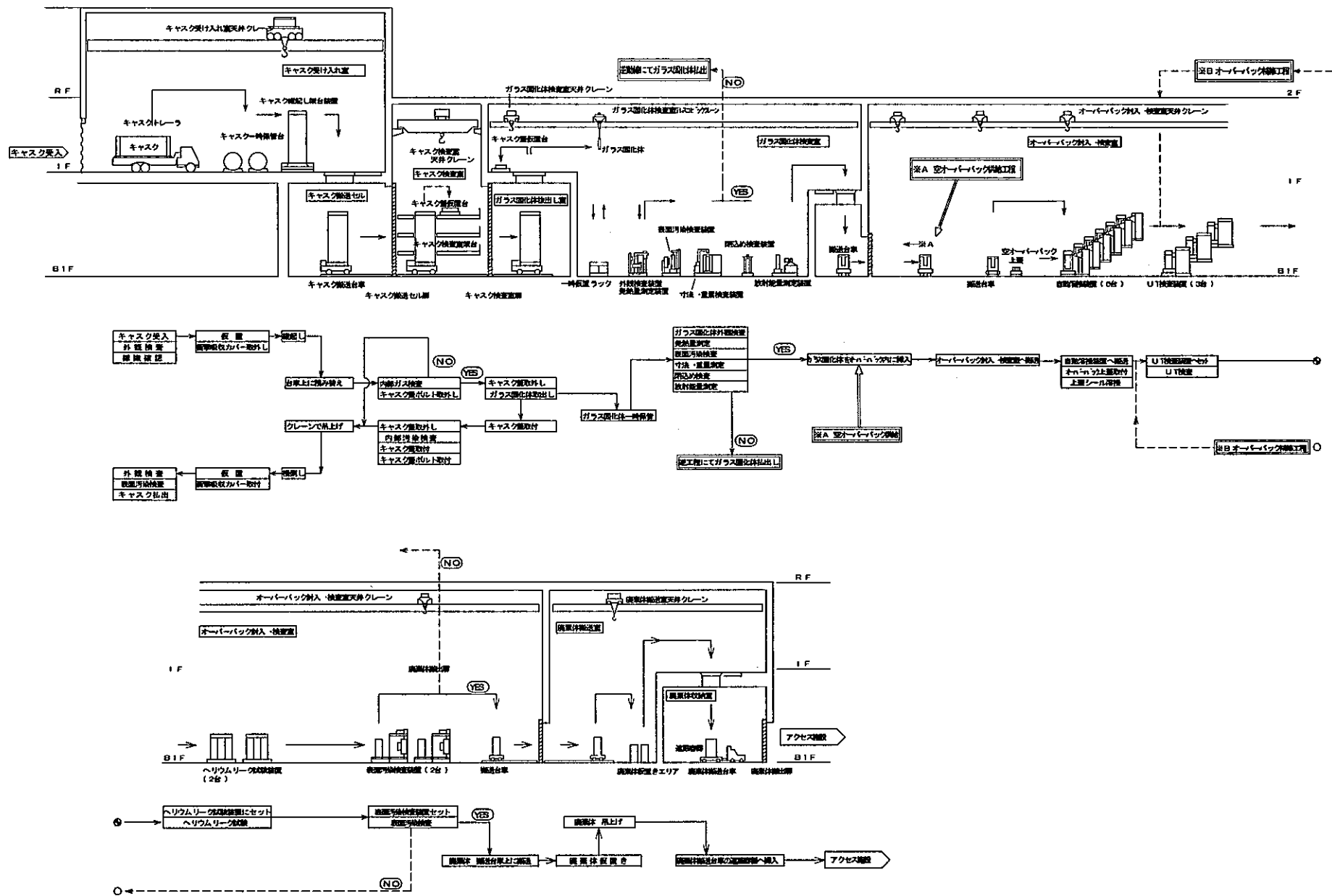
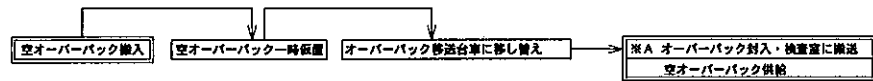
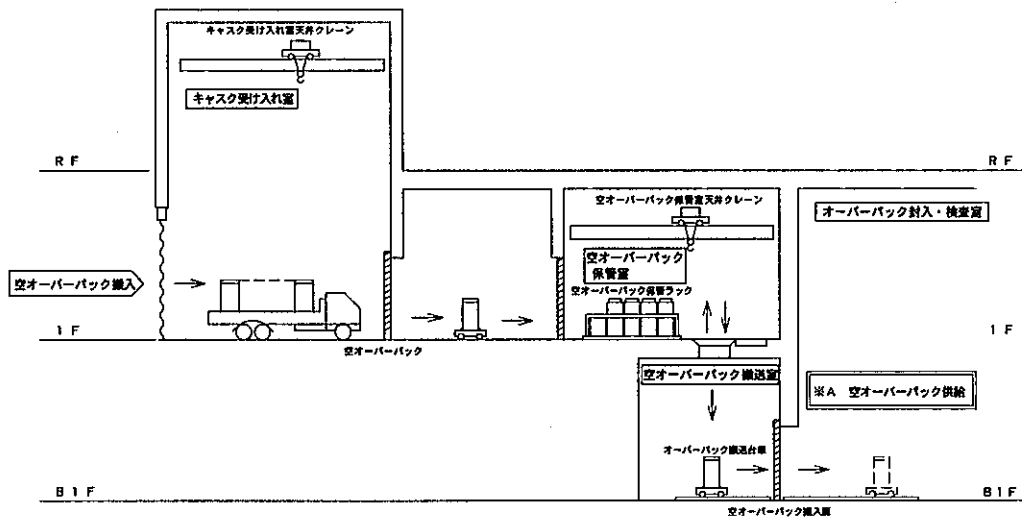
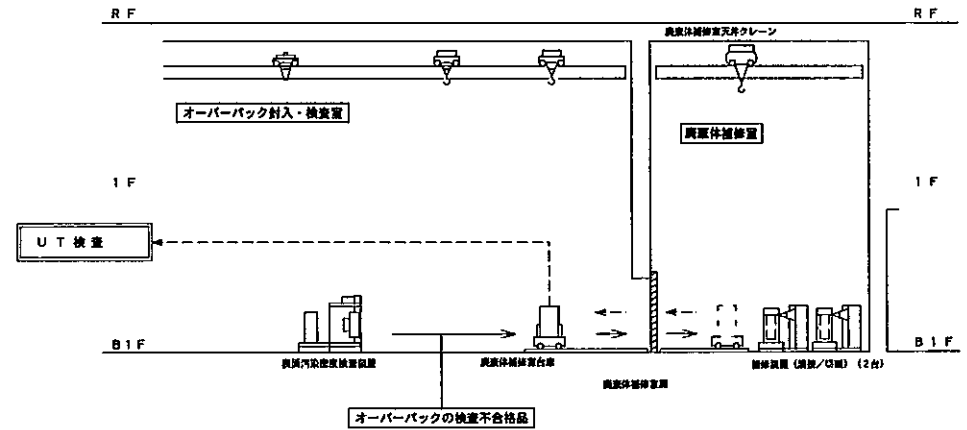


図-5.2.4.1 (1/2) 地上施設工程ハンドリングフロー図



※A 空オーバーバック供給工程



※B オーバーバック補修工程

図5.2.4.1 (2/2) 地上施設工程ハンドリングフロー図

表-5.2.4.2 地上施設ハンドリング工程例

地上施設ハンドリング工程表

→ 廃棄体：1本目  
 → 廃棄体：2本目  
 → 廃棄体：3本目  
 → 廃棄体：4本目  
 → 廃棄体：5本目  
 → 廃棄体：6本目

工程/作業名称		分	機器名称	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
<b>廃棄体検査工程</b>				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
廃棄体搬送	10		① 廃棄体搬入・検査室天井クレーンB																									
UT検査	240		UT検査装置A																									
			UT検査装置B																									
			UT検査装置C																									
廃棄体搬送	10		② 廃棄体搬入・検査室天井クレーンB																									
ヘリウムリーク試験	60		ヘリウムリーク試験装置A																									
			ヘリウムリーク試験装置B																									
廃棄体搬送	10		③ 廃棄体搬入・検査室天井クレーンB																									
反転	20		反転装置																									
廃棄体搬送	10		④ 廃棄体搬入・検査室天井クレーンC																									
表面汚染密度検査	120		表面汚染密度検査装置A																									
			表面汚染密度検査装置B																									
廃棄体搬送	10		⑤ 廃棄体搬入・検査室天井クレーンC																									
台車移動	10		廃棄体搬送台車																									
廃棄体位置き	10		廃棄体搬送室天井クレーン																									
<b>廃棄体搬送工程（立坑）</b>				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
遮蔽容器内挿入	20		搬送室クレーン																									
遮蔽容器蓋取り付け	20		↓																									
蓋ボルト締め付け	60		-																									
搬送台車移動	20		地下へい物搬送台車																									
エレベータに固定	10		立坑エレベーター																									
地下施設へ																												
<b>廃棄体搬送工程（斜坑）</b>				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
遮蔽容器内挿入	20		搬送室クレーン																									
遮蔽容器蓋取り付け	20		↓																									
蓋ボルト締め付け	60		-																									
遮蔽容器積み込み	40		搬送室クレーン																									
斜坑搬送装置に固定	10		斜坑搬送台車																									
地下施設へ																												



(e) 管理区域

i) 基本的考え方

ここでは、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（以下「炉規制法」と言う）の「第五章の二 廃棄の事業に関する規制」を参考にする。

炉規制法第五十一条の十六第一項及び第二項においては、以下の条件のいずれかを超えるおそれのある区域について管理区域とすることが定められている。

- ① 外部放射線に係る線量当量：1週間につき  $300 \mu Sv$
- ② 空気中の放射性物質濃度：1週間についての平均濃度が科技庁告示 20 号別表第 1 第 4 欄の濃度の  $3/10$
- ③ 表面汚染密度：汚染されたものの表面の放射性物質の密度が科技庁告示 20 号第 5 条表面密度限度の  $1/10$

設計においては、空間線量当量率の大小（項目 I）、汚染のおそれの大小（項目 C）で施設内の各区域をレベル分けをすることにより管理区域を設定する。

ii) 地上施設における管理区域の設定の考え方

六ヶ所村再処理施設、廃棄物管理施設（日本原燃株）の設計実績を参考に、地上施設に対する管理区域について、表-5.2.4.3 に示すように設定した。項目（I）は、空間線量当量率に関するしゃへい設計区分を、項目（C）は、汚染に関する汚染区分を示す。

表-5.2.4.3 管理区域の設定例

区 域		遮蔽設計区分	汚染区分	備考
ガラス固化体を収納したキャスクを扱う区域	蓋取外し前	I4	C1	管理区域
	蓋取外し後		C2 以上	
ガラス固化体を扱う区域	検査前	I5	C2 以上	管理区域
	検査後		C1	
廃棄体を扱う区域		I5	C1	管理区域
廃棄体を収納した搬送装置を扱う区域		I4	C1	管理区域

I：基準線量当量率による区分。I1－非管理区域、I2 以上管理区域。

C：汚染の可能性の有無、汚染の程度による区分。C1－非管理区域、C2 以上管理区域。

また、廃棄物動線、換気経路及び運用のし易さ等を考慮して管理区域とする区域も存在する。例えば運用のし易さの観点から、管理区域と管理区域とを結ぶ廊下等は、便宜上管理区域とする。

(f) 今後の検討課題

i) ガラス固化体の補修について

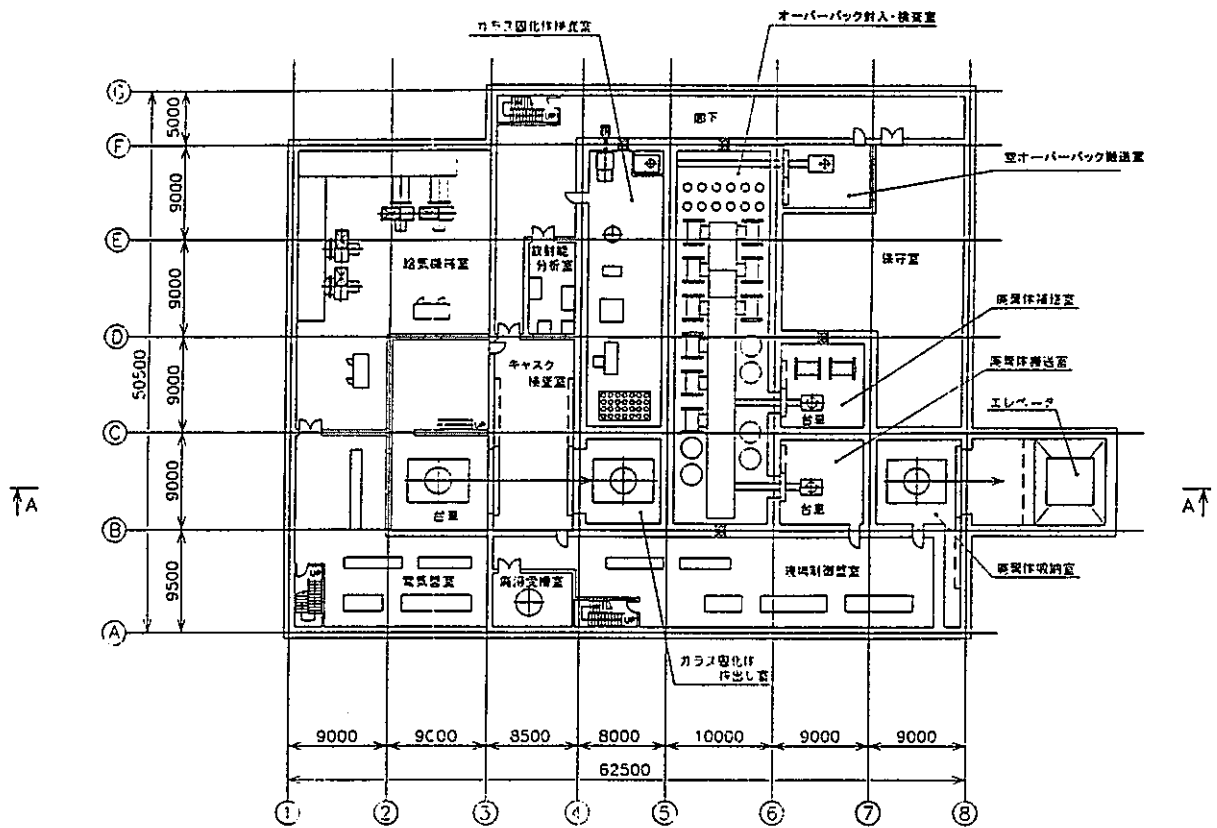


図-5.2.4.2(1/4) 地上施設：廃棄物受け入れ・検査施設機器配置図（地下1階平面図）

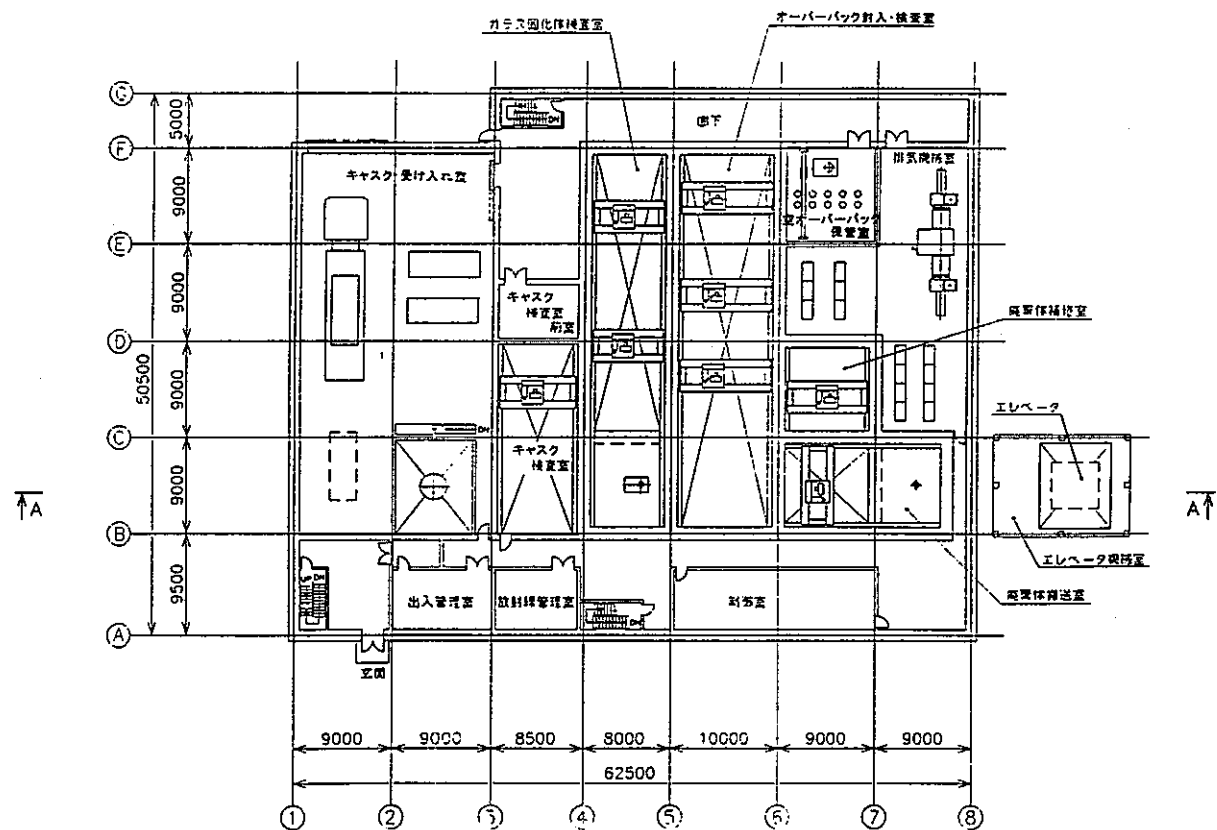


図-5.2.4.2(2/4) 地上施設：廃棄物受け入れ・検査施設機器配置図（1階平面図）

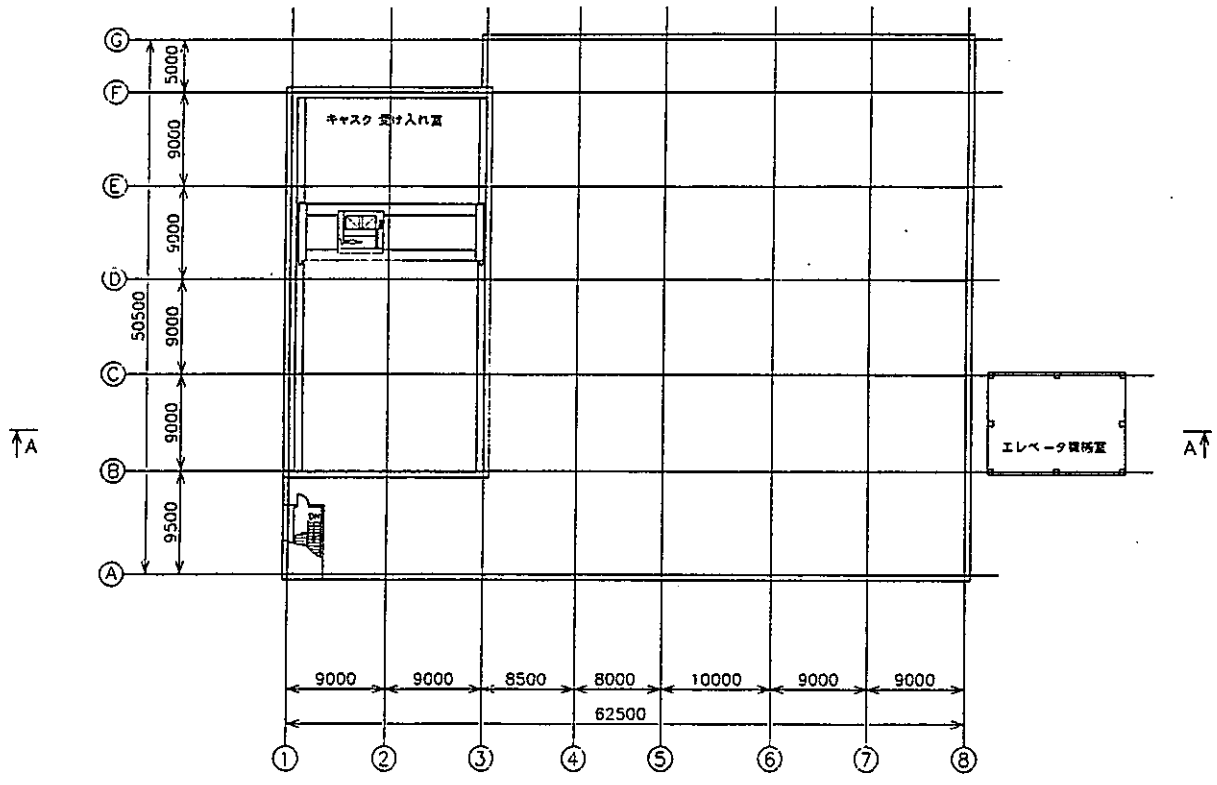


図-5.2.4.2(3/4) 地上施設：廃棄物受け入れ・検査施設機器配置図（屋上階平面図）

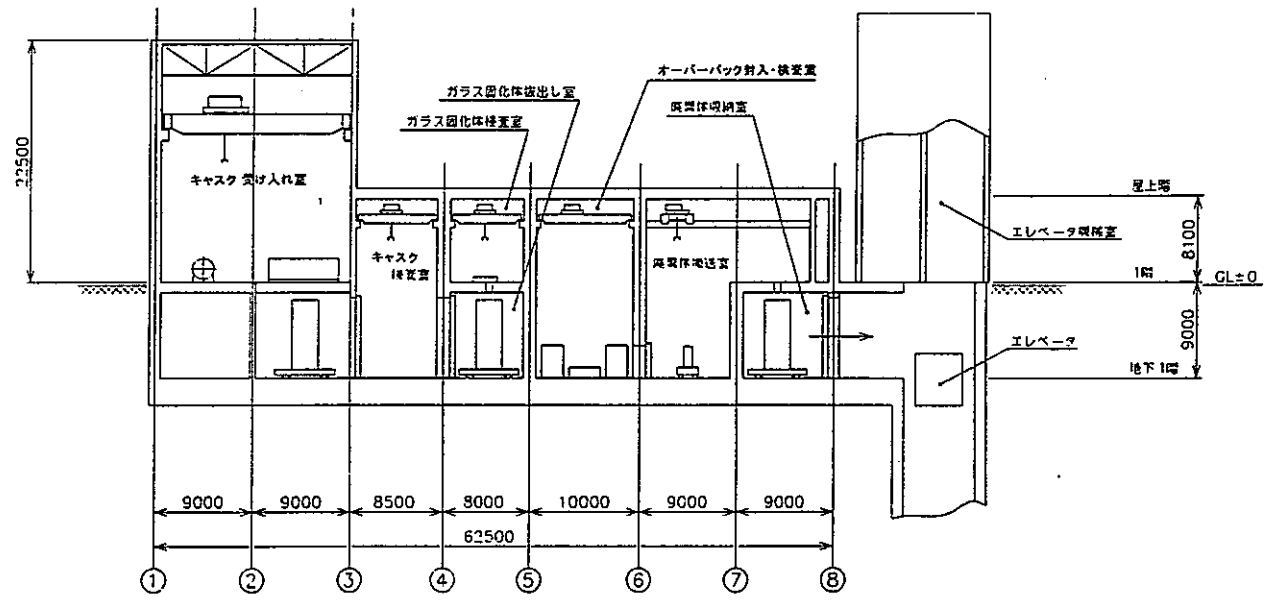


図-5.2.4.2(4/4) 地上施設：廃棄物受け入れ・検査施設機器配置図（A-A断面図）

返還固化体受入貯蔵施設のように補修容器への封入を適用する場合、性能評価上問題ないかの確認が必要である。施設内でガラス固化体が落下等により変形した際補修を施設内で行う場合、あらゆるケースに対応した補修を行うことは不可能である。ここでは、ガラス固化体の補修工程を本施設内には持たず、払出しラインの確保のみとすることを考えている。補修は別施設にて行うものとし、別途検討する必要がある。

## ii) 廃棄体の補修について

落下等による変形や封入溶接における溶接不良が発生する可能性を考慮し、本施設内で遠隔で補修することとして検討した。補修の方法としては、補修溶接、変形部分の切除等が考えられる。また、補修不可能な場合に備えて、オーバーバックからのガラス固化体の抜き出しも検討した。ガラス固化体の抜き出しを検討しておくことで、あらゆるケースに対応可能となる。ここで、変形や変形部分の切除がどの程度まで許容されるのか、検討する必要がある。

## (2) アクセス施設

アクセス施設における作業項目としては、坑口積み込みからエレベータによる立坑内搬送がある。また、廃棄体の積み込み形態としては、以下の2形態が考えられる。

- ① 廃棄体単体でのクレーンまたはフォークリフト等による積み込み
- ② 移動式車両（キャスクカー）に収納し、キャスクカー毎の積み込み

ここでは、積み込み作業を無人化するとともに、可能な限り迅速に実施可能と考えられる②を検討することとする。

### (a) H12仕様におけるH3仕様からの変更点とその影響

立坑エレベータに関して仕様変更による影響は、ほとんど無いと考えられる。

### (b) アクセス施設での作業手順

アクセス設備で考えられる作業手順は、坑口積み込み、立坑内搬送、坑底積み降ろしとなる。図-5.2.4.3にアクセス設備ハンドリングフロー<sup>2)</sup>を示す。

### (c) 設備検討

アクセス設備は立坑エレベータで構成する。立坑エレベータに関しては、ケージの寸法、負荷重量ともH3以前に検討された仕様からの大きな変更はない。

### (d) 操業時間の検討

表-5.2.4.4にアクセス設備（立坑設備）のタイミングチャートを示す。

### (e) アクセス方式の比較検討

アクセス設備搬送方式、アクセス設備搬送方式と定置方式との組合せによる優劣等について検討を行った。図-5.2.4.4にアクセス方式と定置方式別検討した搬送概念を示す。

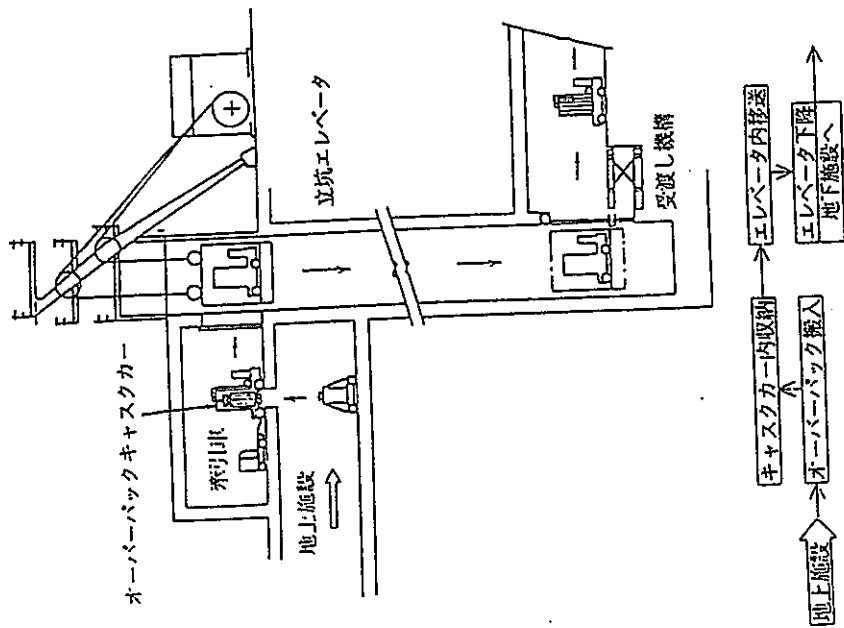


図-5.2.4.3 アクセス設備ハンドリングフロー

アクセス方式	定置方式	搬送に使用する機器の方式			坑底での作業	
		積み込み	搬送姿勢	機器		
立坑	坑道横置定置		縦置搬送	キャスクカー	①傾転 → ②移し替え	
	処分孔縦置定置	トップローディング	縦置搬送	キャスクカー	移し替え	
	処分孔縦置定置	ボトムローディング	縦置搬送	着脱式キャスク + 移動台車	移し替え(キャスクごと)	
斜坑	坑道横置定置		横置搬送	キャスクカー	移し替え	
	処分孔縦置定置	トップローディング	横置搬送	キャスクカー	①傾転 → ②移し替え	

図-5.2.4.4 アクセス一定置のハンドリング機器構成

表-5.2.4.4 アクセス設備/地下施設 ハンドリング工程

→廃棄体：1本目  
 →廃棄体：2本目  
 →廃棄体：3本目  
 →廃棄体：4本目  
 →廃棄体：5本目  
 →廃棄体：6本目

工程/作業名称	分	機群名称	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
<b>アクセス設備 ハンドリング工程表 (廃棄体)</b>																											
<b>立坑エレベータ</b>																											
搬送台車(立坑装置)固定	10	立坑エレベータ																									
搬送(立坑エレベータ)	10	▽																									
搬送台車(立坑装置)取外	10	-																									
搬送台車移動	10	進へい移動搬送台車																									
-追加工程-																											
搬送台車(空)固定	10	立坑エレベータ																									
搬送(立坑エレベータ)	10	▽																									

地下施設 ハンドリング工程表 (廃棄体1本分)

下部縦新材搬送～定置																											
機群名称	分	機群名称	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
縦新材移し替え	10	定置装置搬送台車																									
縦新材搬送(主要坑道)	60	▽																									
縦新材搬送(処分坑道)	20	定置装置																									
定置装置位置決め	10	-																									
縦新材定置	15分	-																									
定置位置確認	10	-																									
定置装置取送(処分坑道)	10	▽																									
定置装置取送(主要坑道)	30	定置装置搬送台車																									

廃棄体搬送～定置																											
機群名称	分	機群名称	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
廃棄体移し替え	10	定置装置搬送台車																									
廃棄体搬送(主要坑道)	60	▽																									
廃棄体搬送(処分坑道)	20	定置装置																									
定置装置位置決め	10	-																									
廃棄体定置	30	-																									
定置位置確認	10	-																									
定置装置取送(処分坑道)	10	▽																									
定置装置取送(主要坑道)	30	定置装置搬送台車																									

上部縦新材搬送～定置																											
機群名称	分	機群名称	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
縦新材移し替え	10	定置装置搬送台車																									
縦新材搬送(主要坑道)	60	▽																									
縦新材搬送(処分坑道)	20	定置装置																									
定置装置位置決め	10	-																									
縦新材定置	30	-																									
定置位置確認	10	-																									
定置装置取送(処分坑道)	10	▽																									
定置装置取送(主要坑道)	30	定置装置搬送台車																									

中間部縦新材搬送～定置																											
機群名称	分	機群名称	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
縦新材移し替え	10	定置装置搬送台車																									
縦新材搬送(主要坑道)	60	▽																									
縦新材搬送(処分坑道)	20	定置装置																									
定置装置位置決め	10	-																									
縦新材定置	40	-																									
定置位置確認	10	-																									
定置装置取送(処分坑道)	10	▽																									
定置装置取送(主要坑道)	30	定置装置搬送台車																									

ここで、基本ケースにおいてアクセスに必要となる機器を以下に示す。

- ・ アクセス方式                    : 立抗
- ・ 定置方式                        : 坑道横置定置
- ・ 搬送に使用する機器           : キャスクカー
- ・ 地上での積み込み方式       : トップローディング
- ・ 搬送姿勢                        : 縦置搬送

#### (f) 管理区域の設定

ここでの管理区域の設定に関する考え方については、地下施設における検討に含めるとし、検討結果については後述するものとする。

#### (g) 熱対策

対策としては、換気による冷却が考えられる。温度上昇の原因としては、そのほとんどが地熱であり、立坑設備、搬送設備からの発熱の影響はほとんど無いと考える。これらのことから、操業に係わることとして熱に対する特別な考慮は必要ないと考えられる。

#### (h) 換気設備

アクセス施設は地下施設と密接に関わっており、地下施設に含めた検討とする。

#### (i) 今後の課題

##### i) エレベータの落下防止対策

立坑エレベータにおいて落下防止対策は、安全管理上最も重要な項目となる。これは、核種漏洩の可能性が最も高い事象のひとつであることに起因する。

##### ii) 坑底の必要エリアおよび必要機器

坑底における必要機器に関しては、アクセス方式および定置方式別にハンドリング機器としての観点から洗い出しを実施した。今後は、保守を含めた一連の作業を実施する上で、必要となる坑底のスペースと機器を検討していく必要がある。

#### (3) 地下施設

地下施設内での作業としては、廃棄体定置位置までの移送と廃棄体の定置作業がある。これらの作業は図-5.2.4.5 の基本的作業フローに示すように廃棄体の定置方式によって、その方法が異なる。

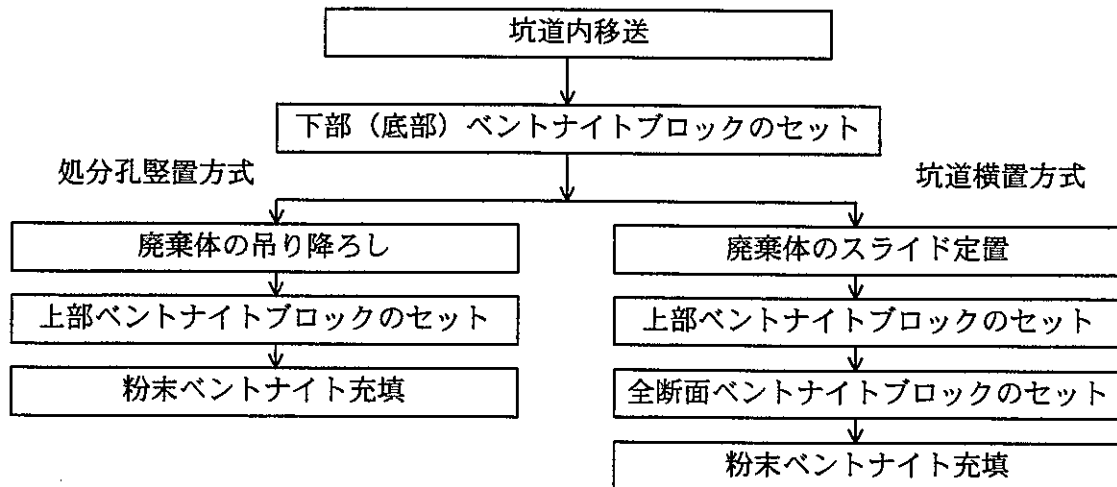


図-5.2.4.5 地下施設での基本的作業フロー

(a) H1 2仕様におけるH3仕様からの変更点とその影響

H3仕様では、処分孔縦置および処分坑道横置き定置における緩衝材定置装置について、概念検討が実施されていたが、本検討において定置装置の考え方を整理し、定置方法を含めて装置の見直しを行った。

(b) 地下施設での作業手順

図-5.2.4.5 に作業手順を示した。

(c) ハンドリング機器の検討

ここでは、基本ケースとなる処分坑道横置き定置における検討結果を示す。

横置き定置は、下部緩衝材の定置、廃棄体の定置、上部緩衝材の定置の手順で行うこととし、緩衝材の形状は、製作、装置の機構、定置時間等を考慮して2分割とした。

図-5.2.4.6、図-5.2.4.7 に下部および上部緩衝材の定置装置の構造及び動作概念を示す。また、定置装置を載せて連絡・主要坑道を移動する搬送台車を図-5.2.4.8 に示す。

図-5.2.4.9 には、廃棄体定置装置の構造及び動作概念を示す。

図-5.2.4.10 に、これら一連の定置作業とそれぞれの定置装置による廃棄体および緩衝材定置の作業フローを示す。

(d) 操業時間の検討

表-5.2.4.4 に地下施設（定置作業）のタイミングチャートを示す。



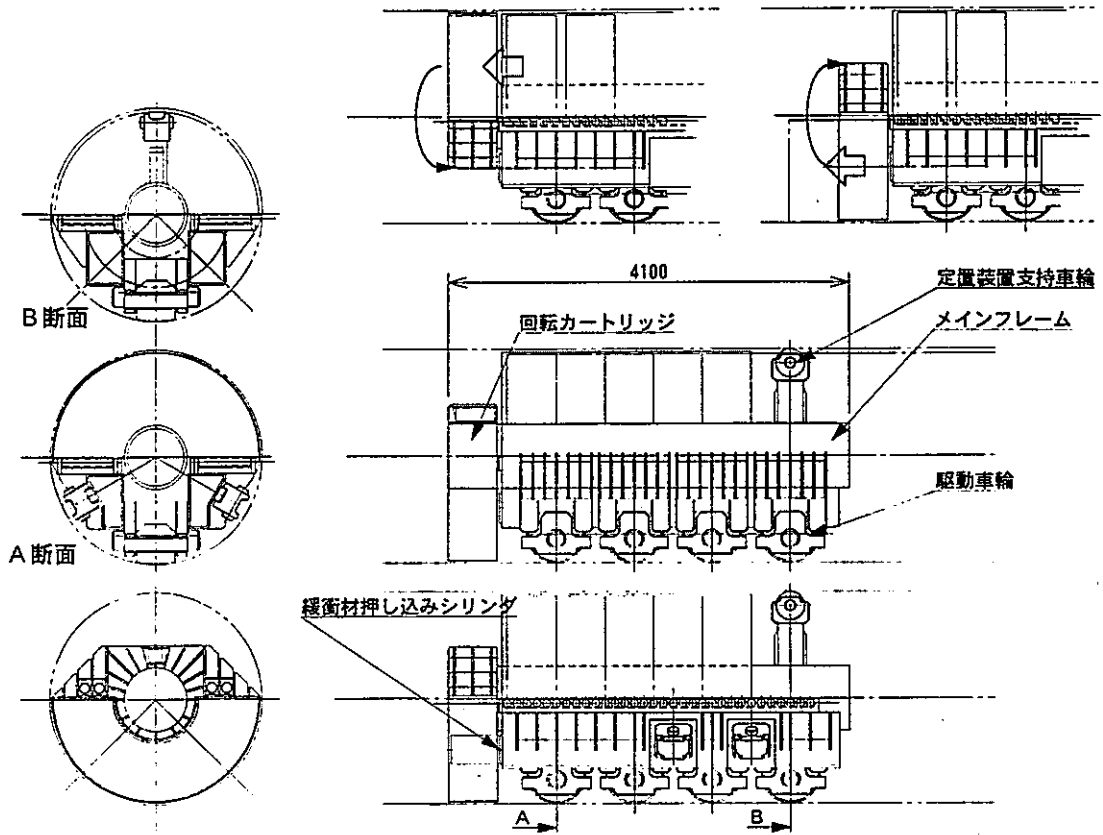
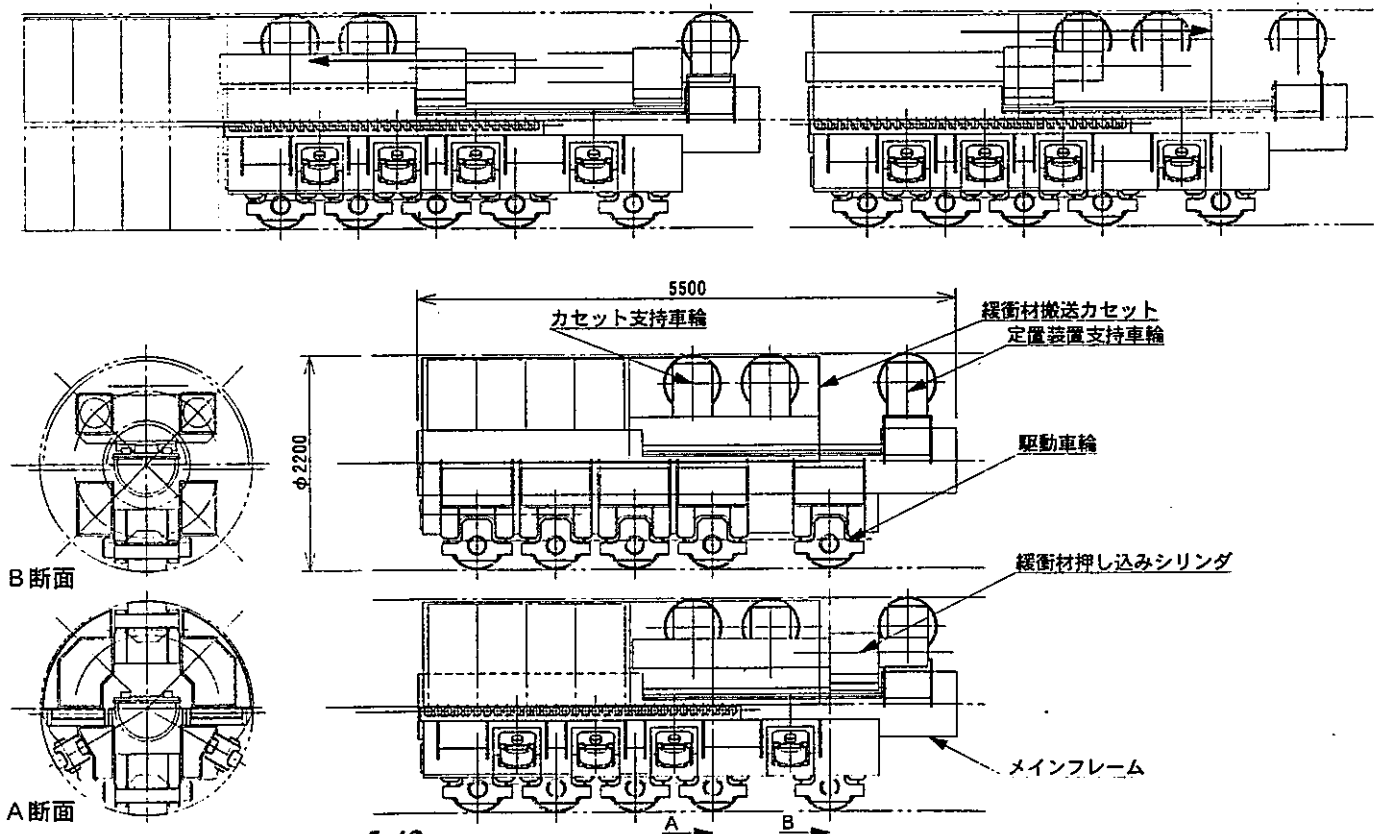


図-5.2.4.6 下部緩衝材定置装置



5-42

図-5.2.4.7 上部緩衝材定置装置

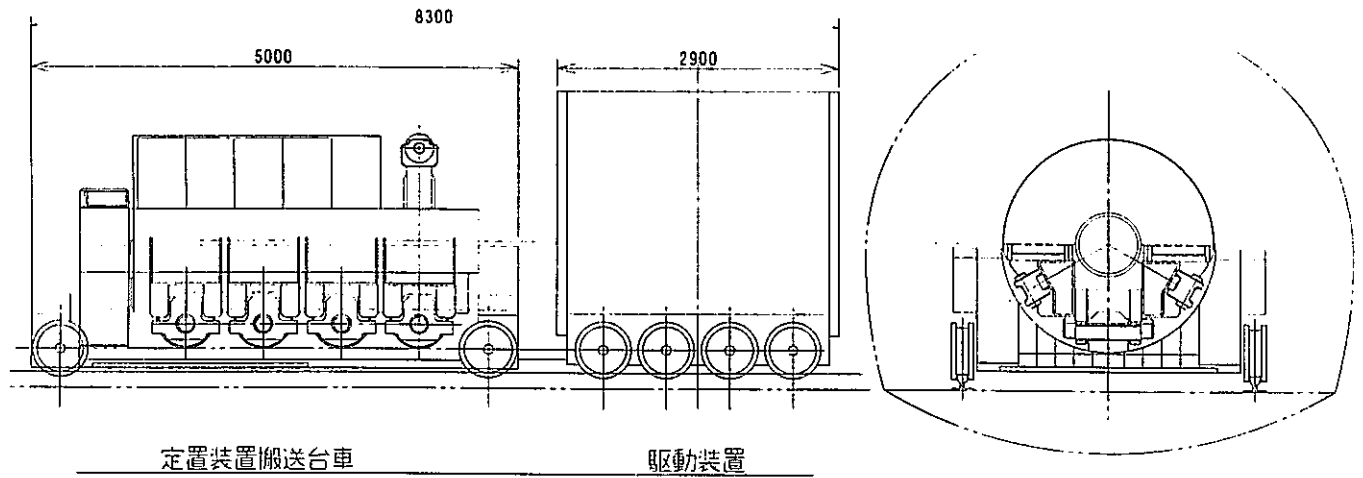


図-5.2.4.8 定置装置搬送台車

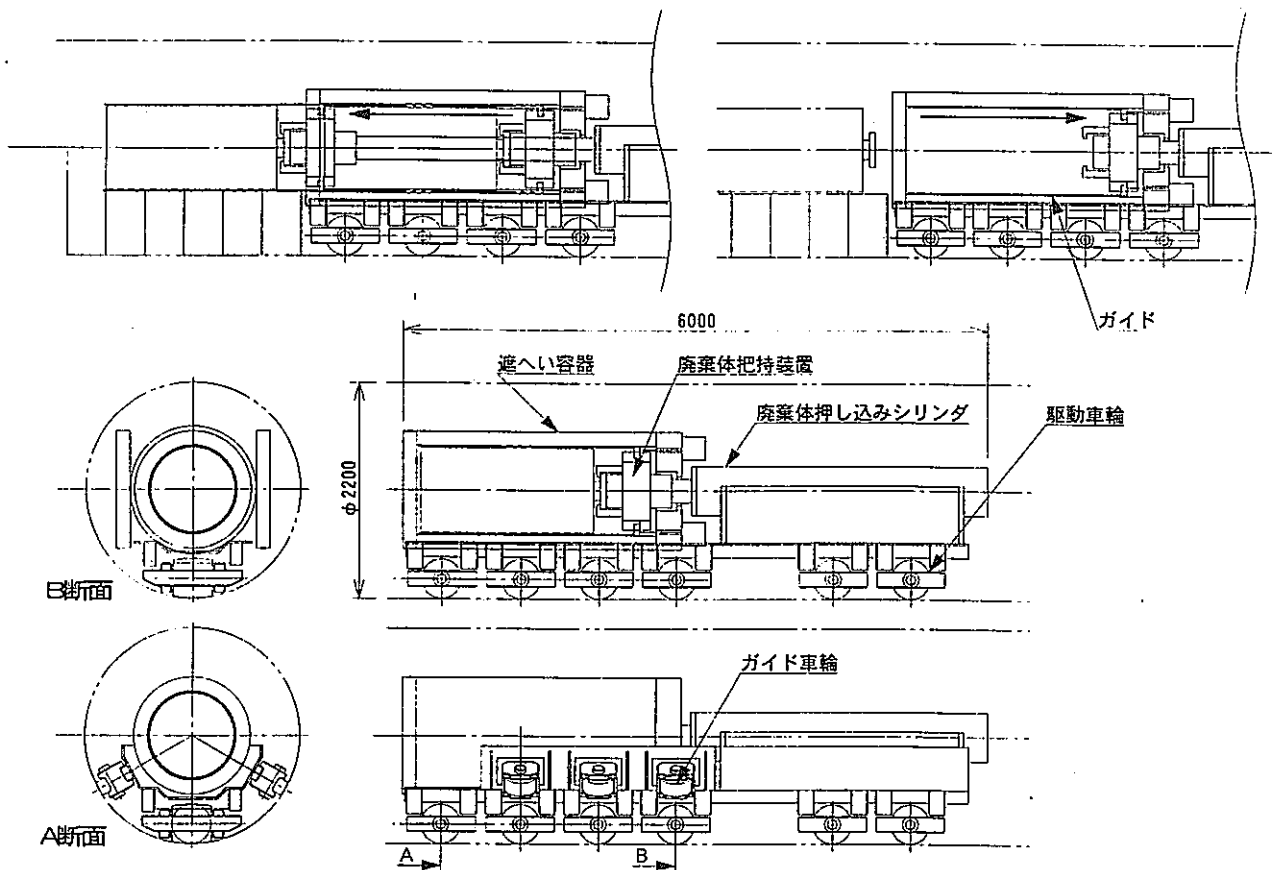
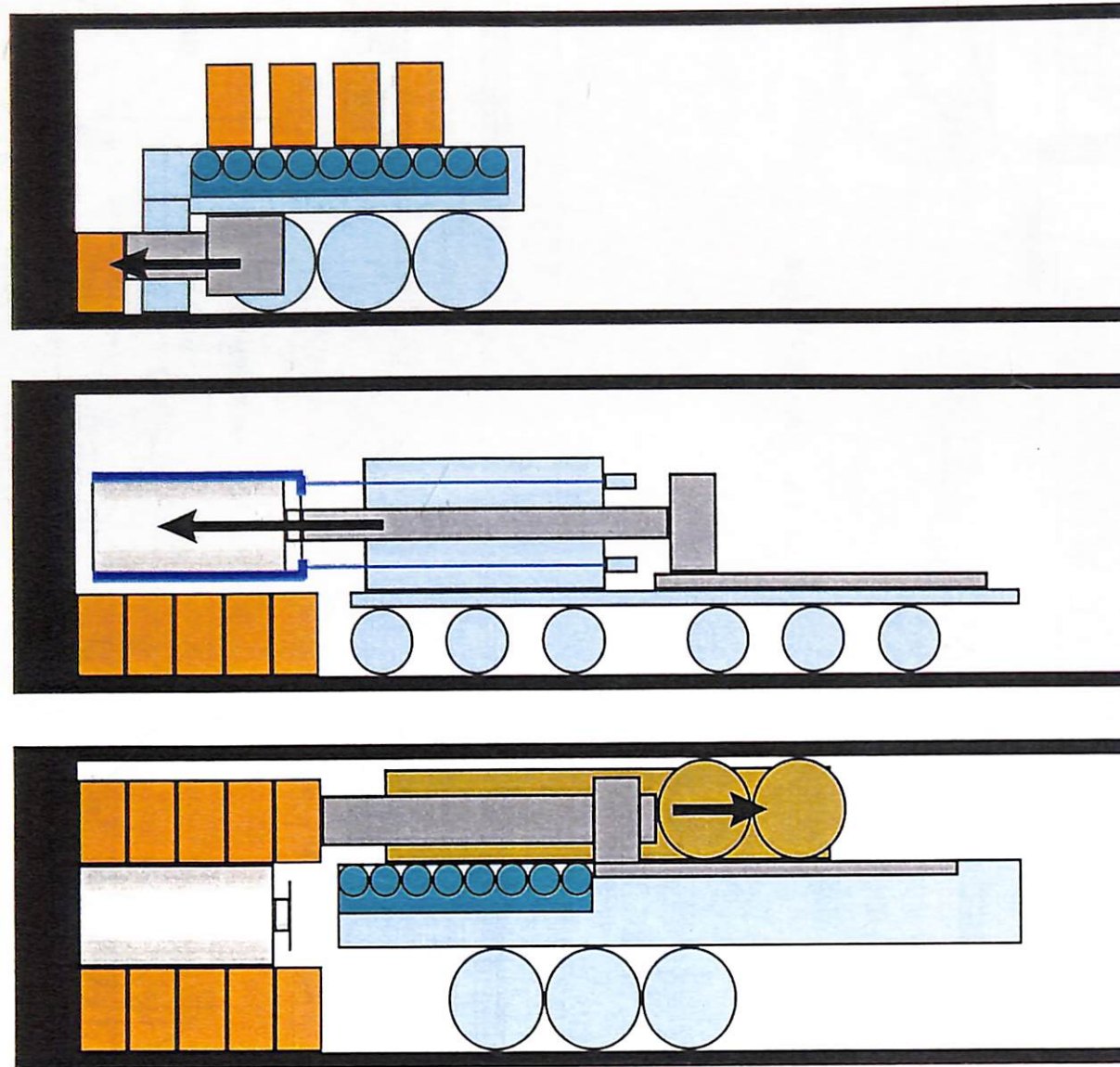


図-5.2.4.9 廃棄体定置装置  
5-43



1. 下部緩衝材の定置

2. 廃棄体の定置

3. 上部緩衝材の定置

図-5.2.4.10 坑道横置定置 作業フロー

#### (e) 移送方式の比較

チェーンコンベア方式、レール式および無軌道式について比較検討を行った。検討により、地下施設での移送において、チェーンコンベア方式を採用することは困難であると考えられるが、レール式と無軌道式とではそれぞれの特長を生かした使い分けが可能であることがわかった。表-5.2.4.5 に地下施設での移送方式適用箇所を示す。

表-5.2.4.5 地下施設での移送方式

移送方式	適用箇所
レール式	主要坑道 (坑道横置定置／処分孔縦置定置) 処分坑道 (処分孔縦置定置)
無軌道式	処分坑道 (坑道横置定置)

#### (f) 緩衝材ハンドリング方式の比較検討

ブロック型緩衝材の利点は、地上で性能を確認できる点と固体であるため機械的なハンドリングが可能である点である。その反面、定置精度の確保と定置位置確認技術が要求されるという欠点がある。

粉体搬送現地締め固めの利点は、現地で圧密するために施工後に水道が形成されない点にある。また位置精度の管理が必要ない点も利点である。欠点は、地下で締め固めた後の密度測定を実施する必要がある点、密度分布が発生する可能性がある点、搬送すべき緩衝材の体積が大きい点が挙げられる。解決すべき課題としては自動化と施工速度の向上、施工後の品質確認方法の確立等が挙げられる。

#### (g) 地下施設における管理区域

地下施設は汚染のないエリアであるという前提で検討を進められ、地下施設の管理区域は、廃棄体のしゃへい上の取り扱い方に大きく関係し、予想される最大の空間線量当量率を想定して設定される。

##### i) 管理区域の設定

廃棄体を搬送する工程においては、搬送装置等にしゃへい機能を付加することにより、炉規制法第五十一条の十六第一項及び第二項のうち事業所内の運搬に関わる措置を適用することが考えられる。廃棄体の暴露する廃棄体積み替えセル及び処分坑道では、空間線量当量率が管理区域の境界条件を超えるため管理区域として操業する必要があるものと考えられる。

以上より、地下における管理区域の概念を図-5.2.4.11 に示すが、管理の負担低減の観点から本来管理区域とする必要のない区画を管理区域とすることも考えられる。

## ii) 管理区域の移動

管理区域として、定置作業中の処分坑道 6 本のみを設定と処分区画単位での設定の 2 つの考え方がある。これらは、処分場全体システムとしての運用のし易さ及び経済性の観点から判断すべきであると考えられる。

## iii) 管理区域における管理

管理区域における放射線モニタリングは、個人モニタリング、空間線量モニタリング、および念のためという位置づけより汚染に関するモニタリングを実施するものとする。例として、処分坑道 6 本のみを管理区域とする場合の概念を図-5.2.4.12 に示す。

## iv) 海外事例

ユッカマウンテン（米）や AECL（カナダ）においては、たとえば建設エリアと操業エリアの換気システムを独立させる等の設計により操業時の安全性を確保するとしている。ただし、管理区域に対する具体的な記述（レベルの設定など）は見あたらない。

## (h) 熱対策

横置きの場合には、廃棄体がすぐに緩衝材などにより埋め戻され、定置作業が無人・遠隔によることから、廃棄体の発熱による作業環境への影響は考慮しなくてよいと考えられる。また、定置設備による発熱も軽微であり影響は無いと考えられる。

縦置きの場合には、廃棄体の発熱による処分坑道等への熱の影響を考慮する必要があるが、横置きと同様に無人・遠隔によることから、特別に立ち入りが必要な場合等にテナポラリーな熱に対する対応が可能と考えられる。

## (i) 換気設備

操業における換気設備の考え方としては、管理区域の考え方との整合が重要である。管理区域との対応により以下の 3 点を考慮する必要がある。

- ① 管理区域の考え方との整合
- ② 非常時の対応方法
- ③ ルートの独立性

## (j) 今後の課題

### i) 定置技術

処分孔縦置定置は、現有技術を用いて対応可能だが、位置決め等のシステムを検討していく必要がある。

坑道横置定置に関しては、処分坑道の仕様をある程度明確にし、装置側への要求仕様（クリアランス、坑道径誤差、坑道面仕上げ精度、坑道の円筒度、許容荷重等）を決定する必要がある。

ii) 管理区域

管理区域における課題としては、以下に示す3つの課題がある。

- ① 湧水の扱い
- ② 換気システム
- ③ 放射線管理

(4) 操業に係わる工程、要員の検討

ここでは、操業に係わる要員の検討として、地上施設、アクセス施設、地下施設における廃棄体、緩衝材に係わる人員について検討した。検討した結果を表-5.2.4.6に示す。

表-5.2.4.6 操業に係わる人員

施設／工程	人員数	
	H8 設計研究	H9 設計研究
地上施設		
・ 輸送容器・ガラス固化体 受入・取扱等	11	11
・ 輸送容器・ガラス固化体 検査等	7	14
・ 廃棄体封入・検査・取扱等	7	18
・ 放射線・施設管理等	13	18
小計	38	61
アクセス・地下施設		
・ エレベータ操作・工程監視等	3	6
・ 定置装置操作等	6	12
・ 施設管理等	8	8
小計	17	26
合計	61人	87人

(5) 地上施設概念のまとめ

ここでは、それぞれの検討において構築された施設の概念をまとめた。図-5.2.4.13に堆積岩の地上施設全体レイアウトを一例として示す。

(6) 検討のまとめ

本年度において検討を実施した項目、および今後検討が必要と思われる項目について、まとめたものを表-5.2.4.7に示す。

〔参考文献〕

- 1) 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 ー平成3年度ー」、PNC TN1410 92-081, 1992.9
- 2) 日揮(株)；「地層処分における操業システムの研究」平成元年度、PNC SJ 4281 '90-001、1990.3

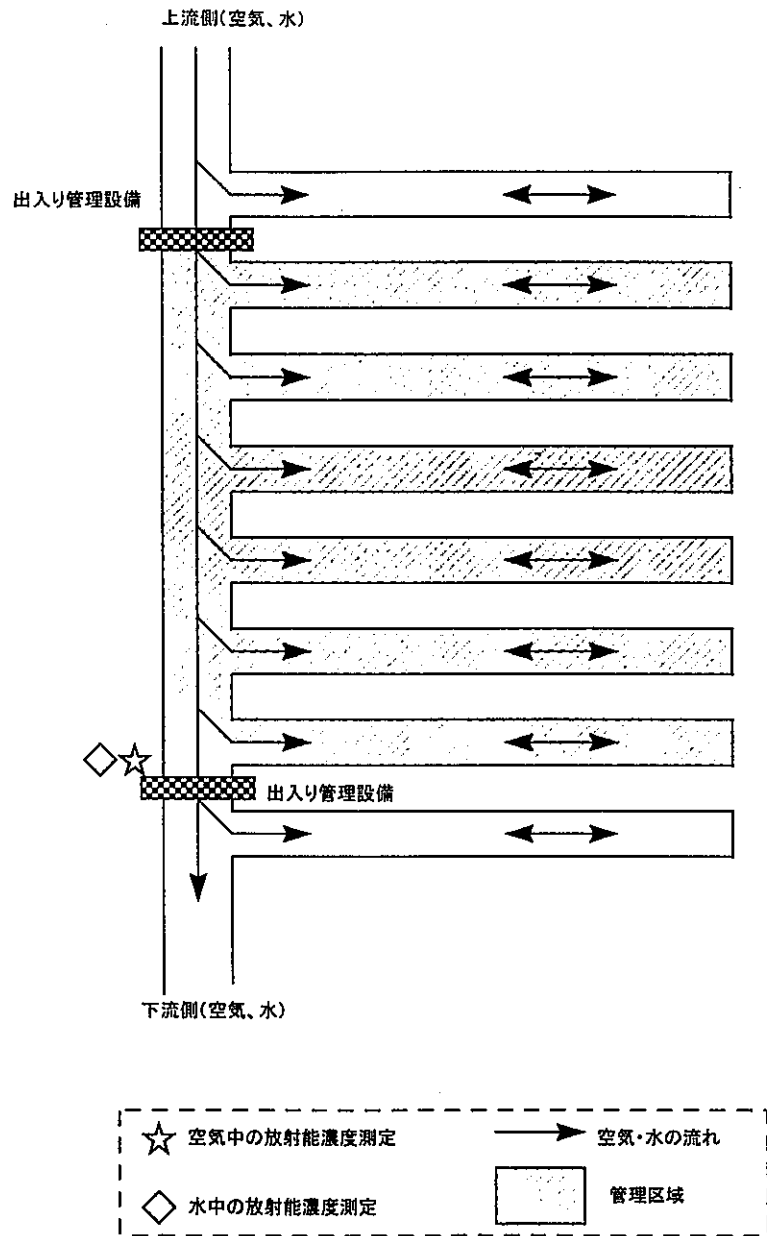


図-5.2.4.12 管理区域における管理の概念(処分区画)  
- 処分区画6本単位(横置き) -

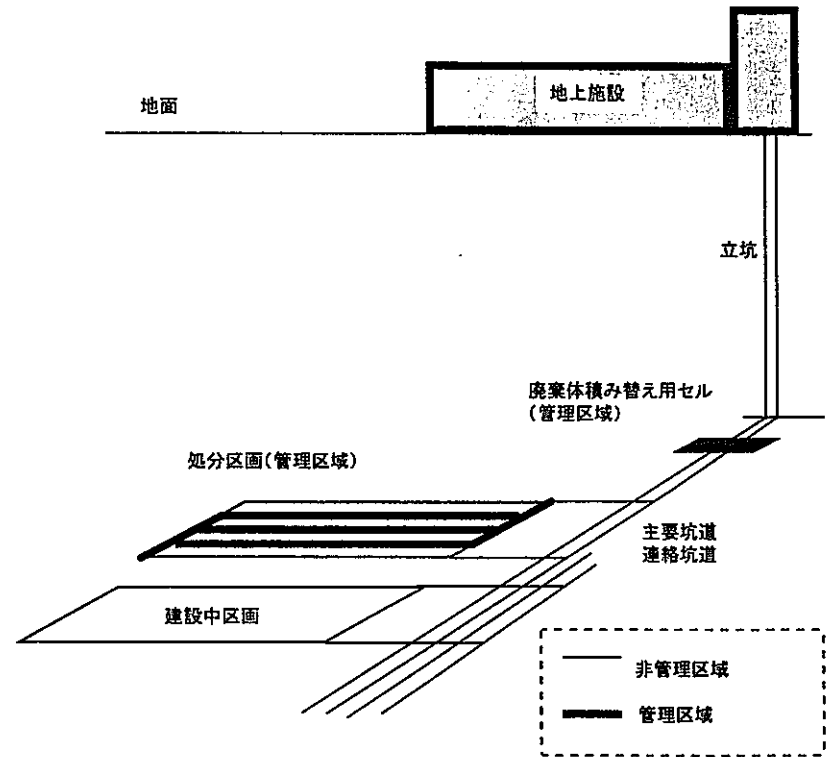


図-5.2.4.11 地下施設における管理区域の概念図

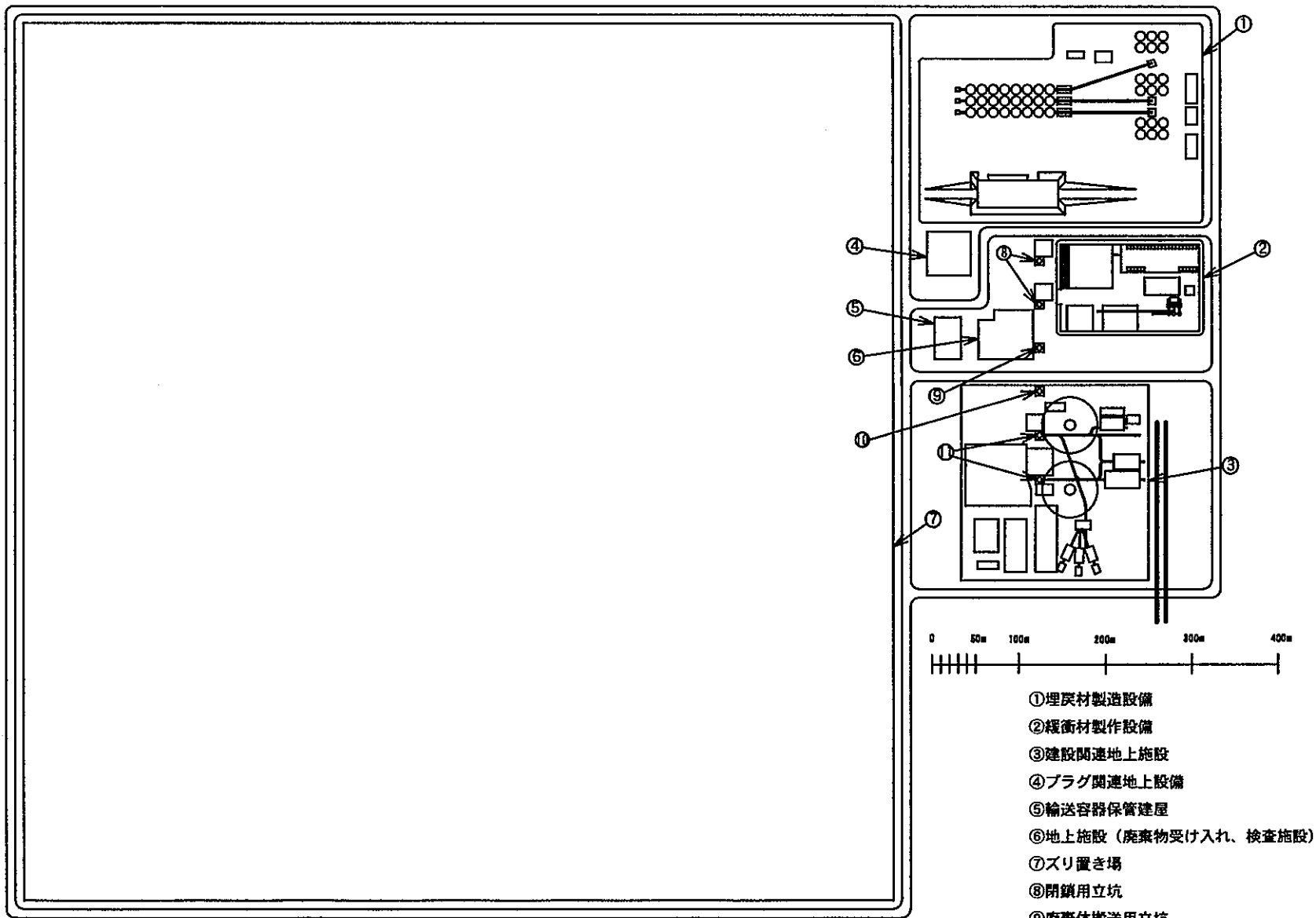


図-5.2.4.13 地上施設全体レイアウト(堆积岩)



表-5.2.4.7 今年度検討実施項目および今後検討が必要と思われる項目

検討項目	検討内容
(1) 地上	
・ガラス固化体	<ul style="list-style-type: none"> <li>・工程</li> <li>・検査項目</li> <li>・ガラス固化体補修の考え方</li> </ul>
・廃棄体	<ul style="list-style-type: none"> <li>・工程</li> <li>・検査方法、項目</li> <li>・廃棄体補修の考え方</li> </ul>
・地上施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・施設概念</li> <li>・タイムスケジュール</li> <li>・管理区域の考え方、設定</li> </ul>
(2) アクセス	
・廃棄体	<ul style="list-style-type: none"> <li>・搬送方法</li> </ul>
・アクセス施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・立坑タイムスケジュール</li> <li>・管理区域の考え方</li> <li>・熱対策、換気の考え方</li> </ul>
(3) 地下	
・廃棄体	<ul style="list-style-type: none"> <li>・定置方法、定置機構</li> <li>・定置装置概念</li> </ul>
・緩衝材	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ハンドリング形状</li> <li>・定置方法、機構</li> <li>・定置装置概念</li> </ul>
・地下施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・タイムスケジュール</li> <li>・管理区域の考え方</li> <li>・管理区域設備</li> <li>・熱対策、換気の考え方</li> </ul>
(4) その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人員</li> <li>・地上全体レイアウト</li> <li>・物量による操業費の見直し。</li> </ul>
未検討項目	内容
(1) 地上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・廃棄体封入方法</li> </ul>
(2) アクセス	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アクセス設備概念</li> <li>・斜坑タイムスケジュール</li> <li>・緩衝材アクセス方法、設備</li> </ul>
(3) 地下	<ul style="list-style-type: none"> <li>・坑底施設概念</li> <li>・施工管理</li> <li>・操業制御、管理方法</li> <li>・すきま充填方法</li> <li>・現地転圧機器概念</li> </ul>
(4) その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・H9年度検討結果による操業費用の見直し。</li> </ul>

### 5.3 閉鎖技術の検討

#### 5.3.1 閉鎖の仕様の検討

##### (1) 概要

これまで実施してきた核種移行解析や緩衝材の物性試験等の研究成果に基づき、閉鎖システムの構築を行う。安全確保の考え方及び各部位の要求機能を検討し、各坑道の閉鎖の仕様を設定する。図-5.3.1.1に閉鎖システムの構築の検討フローを示す。

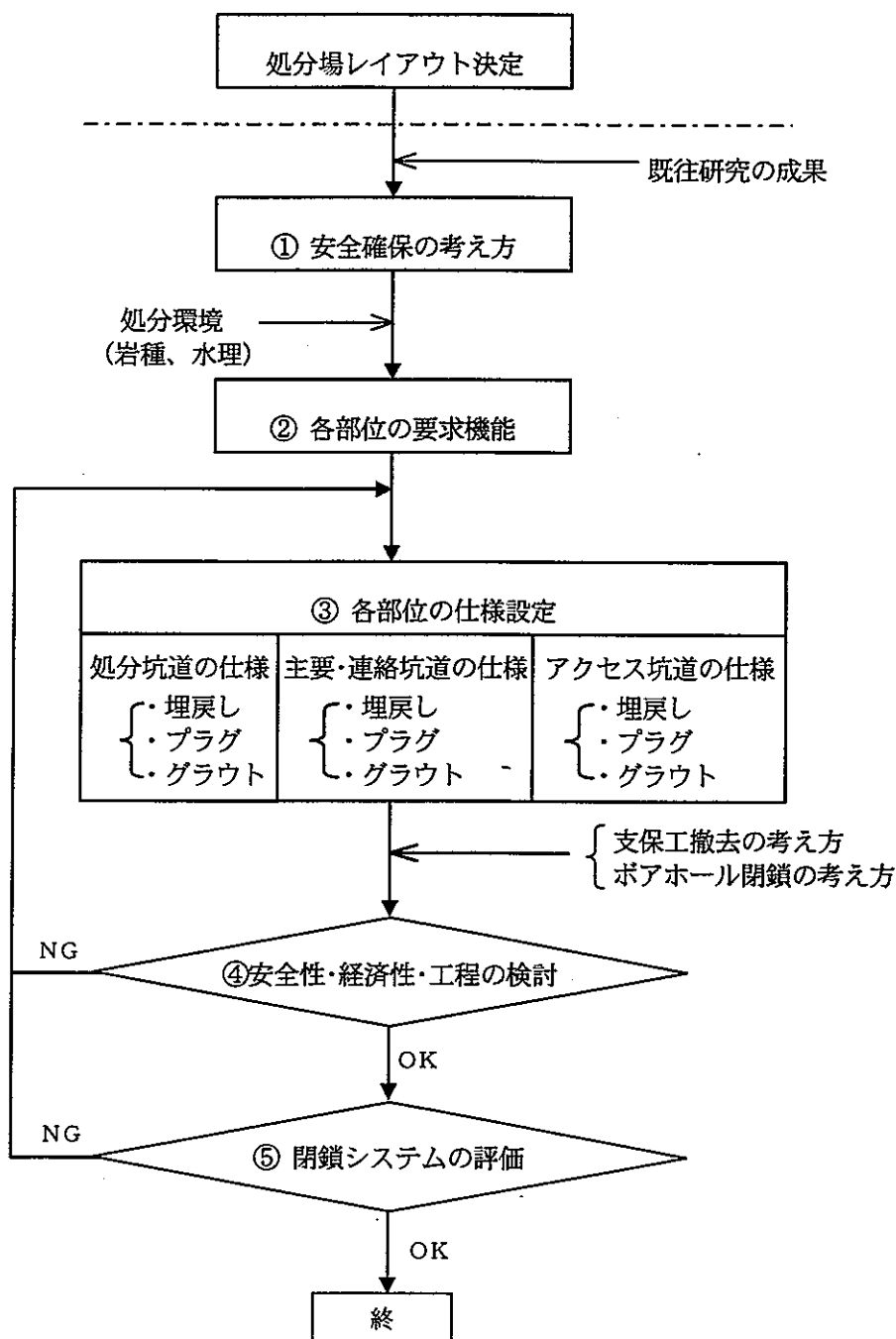


図-5.3.1.1 閉鎖システム構築の検討フロー

## (2) 安全確保の考え方

処分場の安全性は、廃棄体から漏出する放射線核種の人体への影響を充分低いレベルに抑えることで確保される。本検討では「核種濃度評価点（以下評価点）」を定義する。処分場の安全性の確保は、この廃棄体から評価点までの多重バリア内に核種移行速度が周辺の健全な岩盤よりも早くなる部分を作らないことで可能となる。

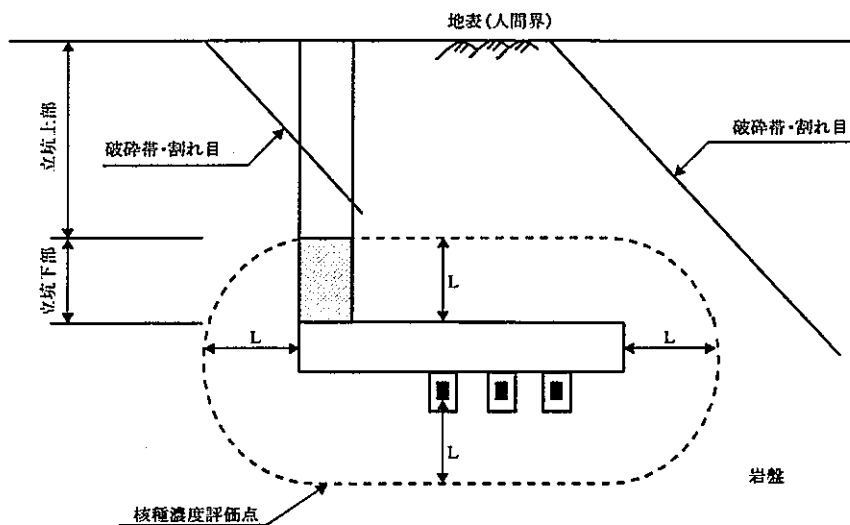


図-5.3.1.2 処分場の安全確保の考え方

## (3) 各部位の要求機能

安全確保の考え方に基づき、処分場の多重バリア各部位の要求機能を下図のように設定する。

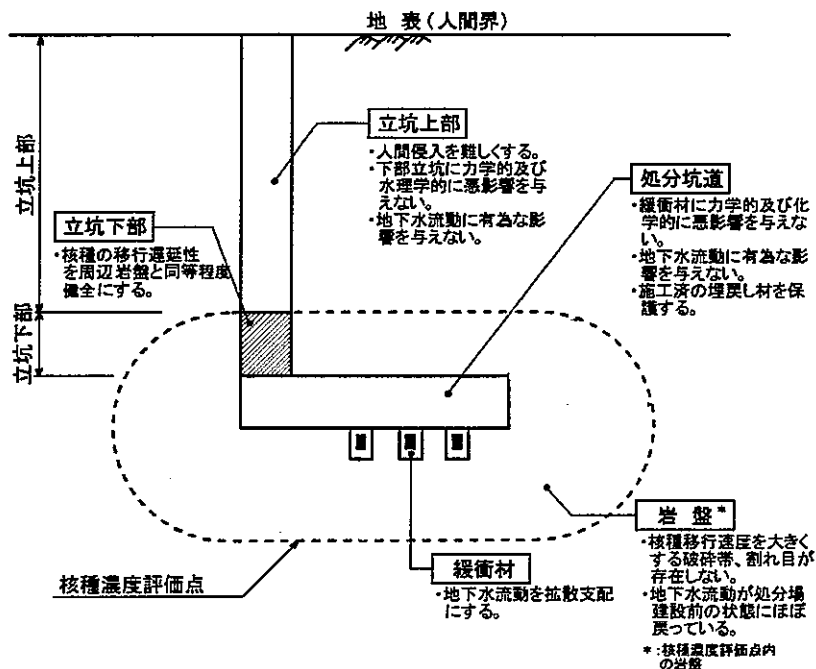


図-5.3.1.3 処分場の多重バリア各部位の要求機能

(4) 各部位の仕様

(a) ベントナイト混合土の配合

各部位の要求機能に適したベントナイト混合土の仕様(配合)は、ベントナイト配合率と透水係数kの関係を示した図-5.3.1.4に基づき設定する。

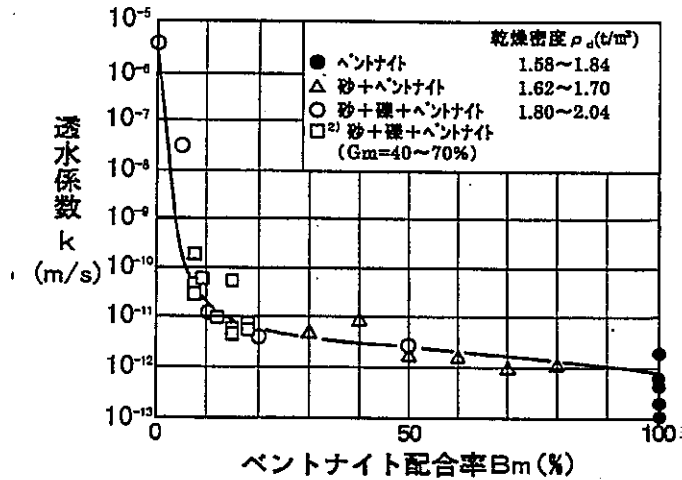


図-5.3.1.4 透水係数とベントナイト配合率の関係

(b) 立坑上部

①埋戻し

施工箇所：立坑

材料：ベントナイト混合土

配合：ベントナイト：15% 礫・砂：85%

密度： $\rho = 1.80 \text{ t/m}^3$

②コンクリートプラグ

設置箇所：立坑坑口（地表面）

(c) 立坑下部

①埋戻し

施工箇所：立坑

材料：ベントナイト混合土

配合：ベントナイト：15% 砂：85%

密度： $\rho = 1.80 \text{ t/m}^3$

②ベントナイトプラグ

設置箇所：立坑下部

形状：厚さ 3.0m

：直径 11.5m

材料：ベントナイト混合土

配合：ベントナイト：70% 砂：30%

密度： $\rho = 1.60 \text{ t/m}^3$

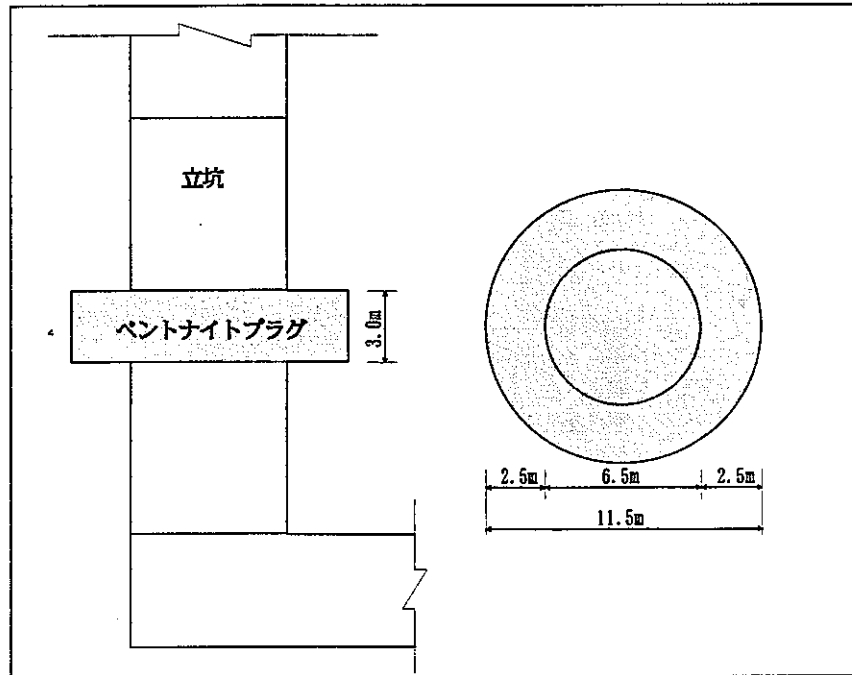


図-5.3.1.5 ベントナイトプラグ構造図

③グラウト

施工箇所：立坑下部及びプラグ位置周辺の岩盤緩み域。

材 料：粘土系注入材

(d) 処分坑道

①埋戻し

施工箇所：処分坑道

材 料：ベントナイト混合土

配合：ベントナイト：10%（下部），20%（上部）

礫・砂：90%（下部），80%（上部）

密度： $\rho = 1.80 \text{ t/m}^3$

②コンクリートプラグ

設置箇所：坑道の両端部

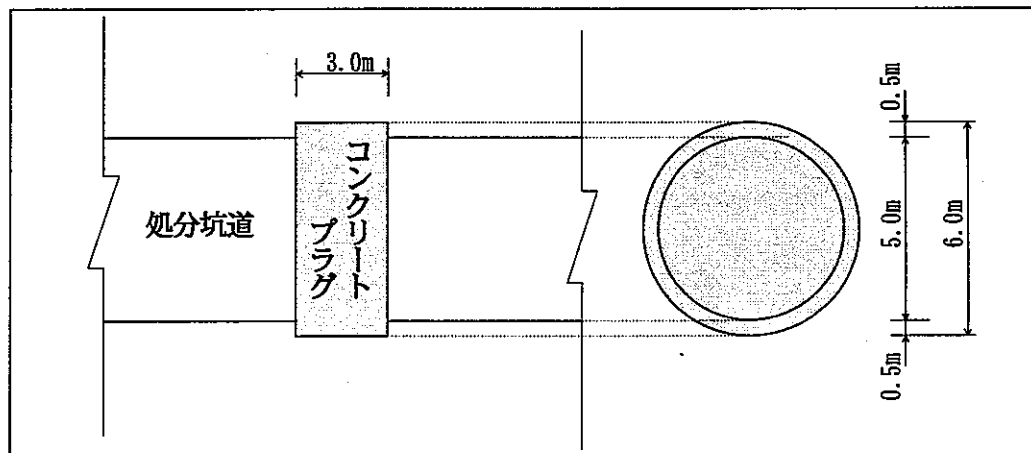


図-5.3.1.6 コンクリートプラグ構造図

以上のように設定した多重バリア各部位の仕様の概要をまとめて図-5.3.1.7に示す。

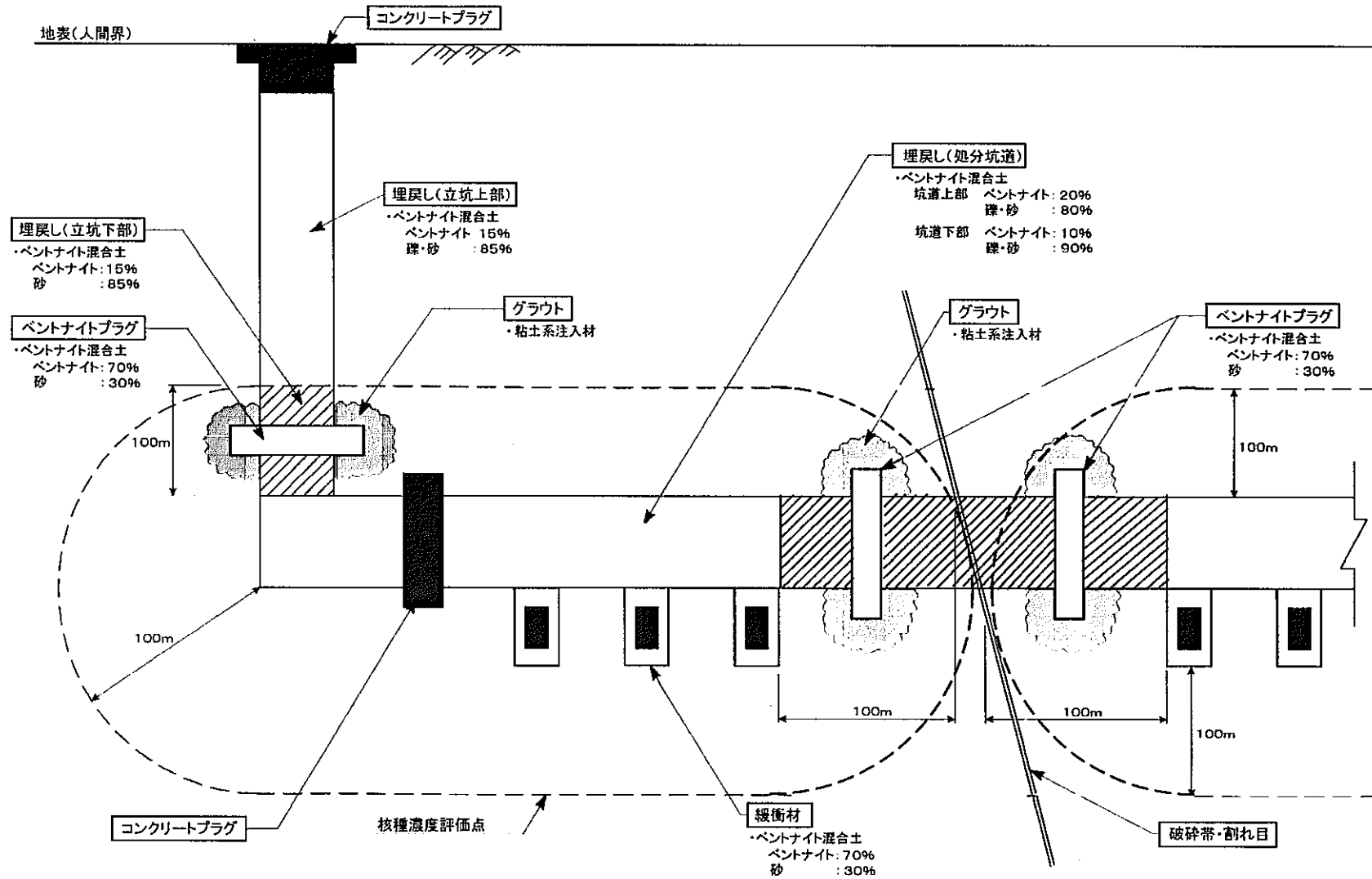


図-5.3.1.7 多重バリア各部位の仕様(概要)

### 5.3.2 施工方法・工程の検討

一般部（主要・連絡坑道、立坑）の埋戻し及びプラグの施工について施工方法・工程を検討した。

#### (1) 一般部（主要・連絡坑道、立坑）の埋戻しの検討

##### (a) 検討条件

- ・埋戻し工事と坑内の他作業（処分坑道への廃棄物搬入作業など）との競合がないものとする。
- ・坑内の路盤は舗装されているものとする。
- ・坑内環境は換気・放射線とも十分に安全なレベルが保証されているものとする。
- ・使用可能な立坑は2本とする。
- ・坑外・坑内の各種設備・運搬工法選定に関して制約がないものとする。
- ・埋戻材の製造設備は坑外に設置され、製造能力には制約がないものとする。
- ・埋戻しに際して、支保工の撤去は行わないものとする。

##### (b) 工法選定

###### i) 埋戻材製造設備の検討

ベントナイト混合材製造方式はバッチャープラントによる混合方式とする。

###### ii) 埋戻材輸送設備の検討

###### A) 坑外の輸送

バッチャープラントと立坑を連絡する輸送手段はアジテータトラックによるものとする。

###### B) 立坑の輸送

スキップ方式を採用し、ベッセルの規模は立坑寸法より 4.5m<sup>3</sup>規模のものとする。

###### C) 水平坑道の輸送

タイヤ方式（ダンプトラック）とする。しかし、坑道が狭いことから回転半径の小さなクローラードンプを使用する。また、エンジンの排気が多いので十分な能力を備えた換気設備が必要である。

(c) 埋戻工法

i) 断面部位による工法選定

埋戻作業は断面の部位により作業条件が異なることから3種類の工法を採用する。

- |        |          |  |
|--------|----------|--|
| 下半の中央部 | : 機械施工   | 作業場所が広く施工数量が多い   |
| 下半の側壁部 | : 人力施工   | ・ 機械の作業高さが確保できない<br>・ 側壁直近では細かい作業を要する                    |
| 上半     | : 吹き込み工法 | 下半部のような巻きだし転圧施工が出来ないことからコンクリート吹き付け機により埋戻面に埋戻材を吹き込む工法とする。 |

図-5.3.2.1 に主要・連絡坑道断面の施工区分を示す。

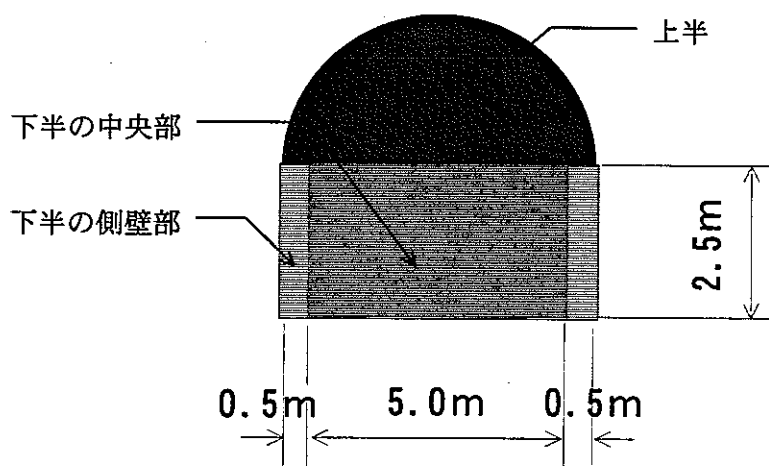


図-5.3.2.1 施工区分断面図

d) 実働日数の検討

立坑及び主要・連絡坑道の埋戻施工能力より立坑及び主要・連絡坑道の埋戻に要する実働日数を表-5.3.2.7、表-5.3.2.8 に示す。

表-5.3.2.1 埋戻施工工程日数計算表 (立坑)

深度	施工延長 m	進捗 m/日	実働日数 日
500m	3,215	0.574	5601
1,000m	6,330	0.574	11028



表-5.3.2.2 埋戻し施工工程日数計算表（主要・連絡坑道）

深度	施工延長 m	進捗 m/日	実働日数 日
500m	32,025	57.6	556
1,000m	31,675	32.0	990

(2) プラグの施工の検討

本節では、処分坑道の締切りに用いられるコンクリートプラグの施工及び立坑下部における核種移行の遅延効果のために設置するベントナイトプラグの施工について検討する。

(a) コンクリートプラグの施工の検討

施工フローを図-5.3.2.2に示す。

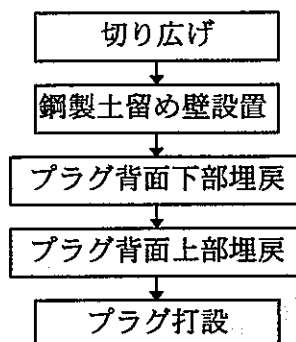


図-5.3.2.2 コンクリートプラグ施工フロー

(b) ベントナイトプラグの施工の検討

立坑に設置するベントナイトプラグの施工フローを図-5.3.2.3に示す。

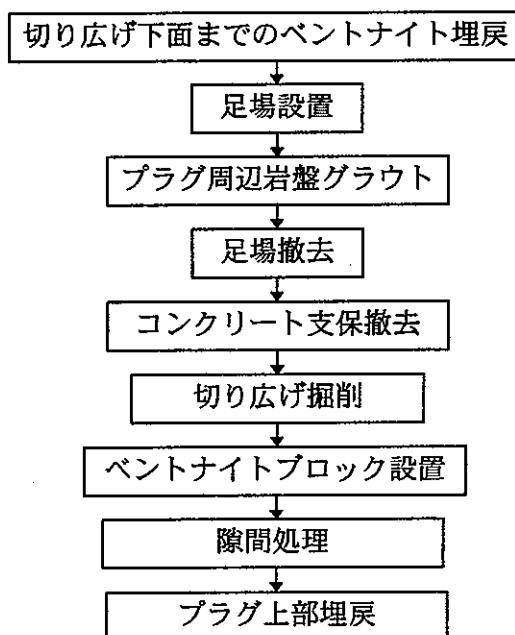


図-5.3.2.3 ベントナイトプラグ施工フロー

### 5.3.3 閉鎖後の地下水挙動解析

#### (1) 目的

処分場の性能評価上、基本シナリオとなる地下水挙動を把握することは処分システムを構築する上で重要な課題の一つである。ここでは処分場が埋戻し材で閉鎖されることにより、処分場内の浸透流が時間的にどのように変化するかを解析的に検討する。

#### (2) 解析ケース

今回設定されている仮想地質のモデルのうち、処分深度が深い結晶質岩モデルについて解析を実施する。

#### (3) 解析条件

##### (a) 解析モデル

解析は2次元FEMモデルで実施し、立坑及び処分坑道の直径を空洞の幅(高さ)としてモデル化する。解析断面は立坑中心を通る断面とし、地下水の流れが卓越する方向にとる。

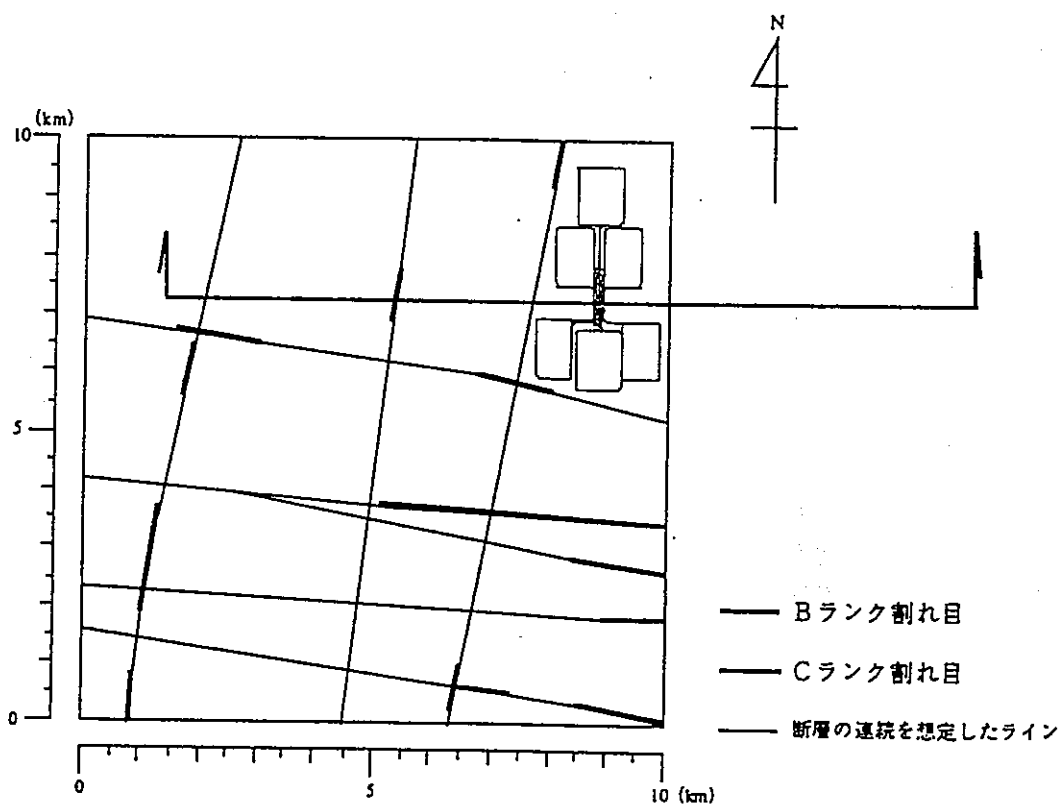


図-5.3.3.1 解析断面位置(平面図)

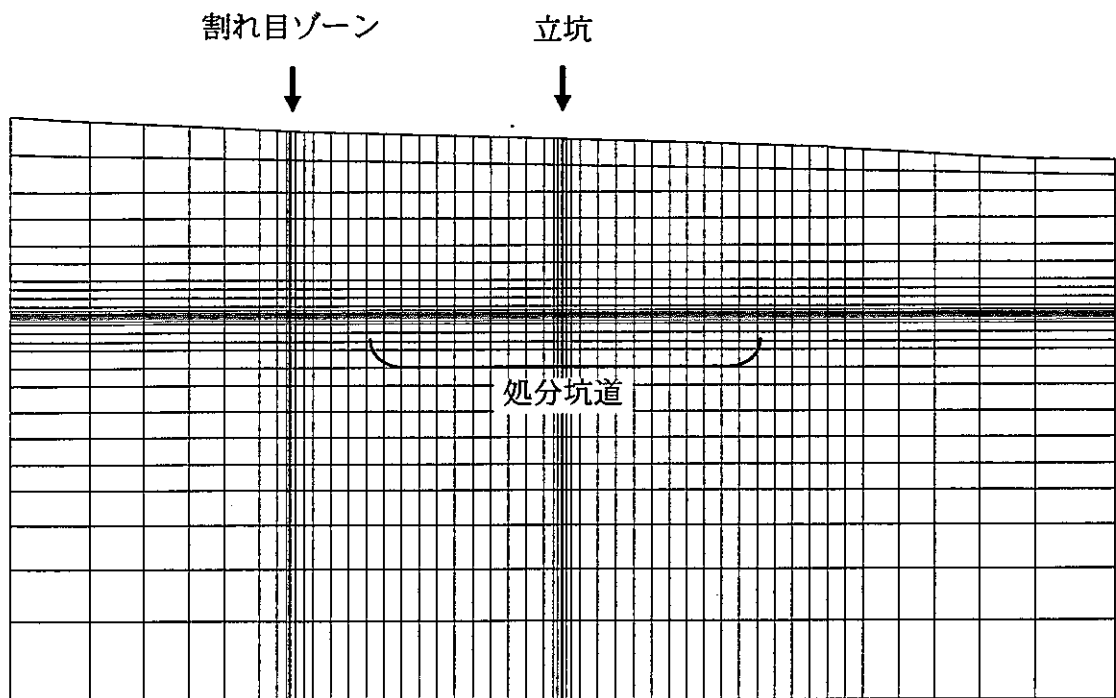


図-5.3.3.2 解析断面図(メッシュ)

(b) 掘削・埋戻し工程

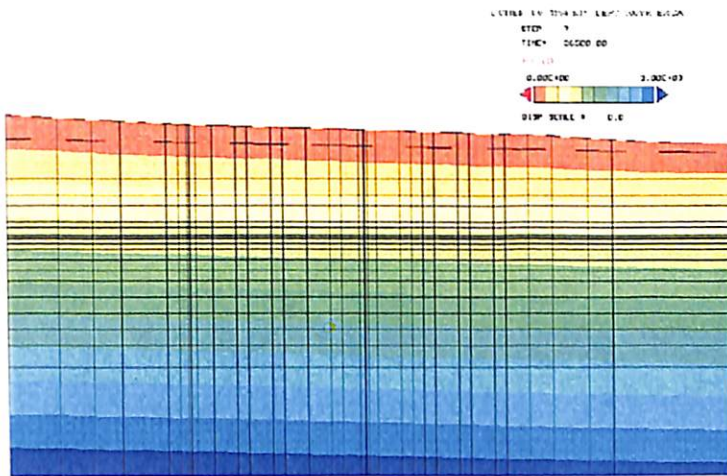
掘削及び埋戻しの解析ステップは、昨年度の動燃殿委託研究を参考に、以下のように設定する。

	10年	20年	30年	40年	50年	60年
立坑掘削	■					
横坑掘削		■	■			
横坑埋戻し				■	■	
立坑埋戻し						■

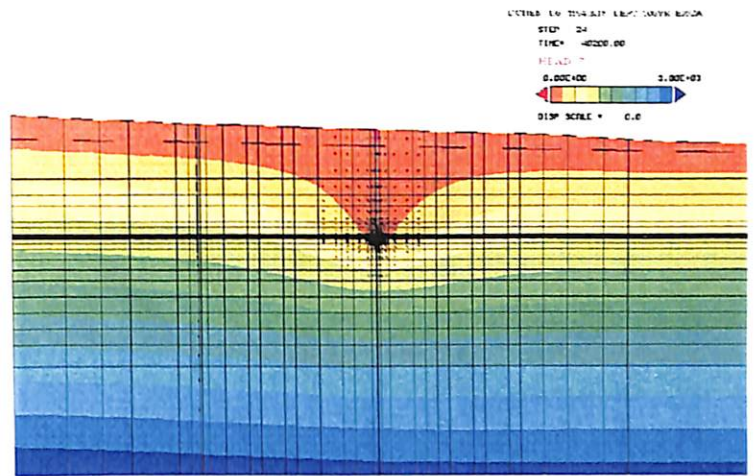
(4) 解析結果

涵養量が 1.0mm/day の場合について解析結果を示す。

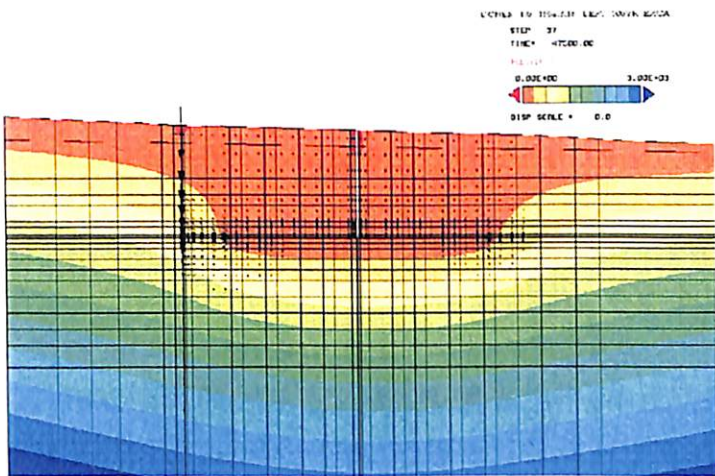
さらに、空洞構築による湧水量の経時変化を図-5.3.3.4 に示す。各タイムステップにおける湧水量は、その時点における全空洞壁面からの湧水量の総和である。



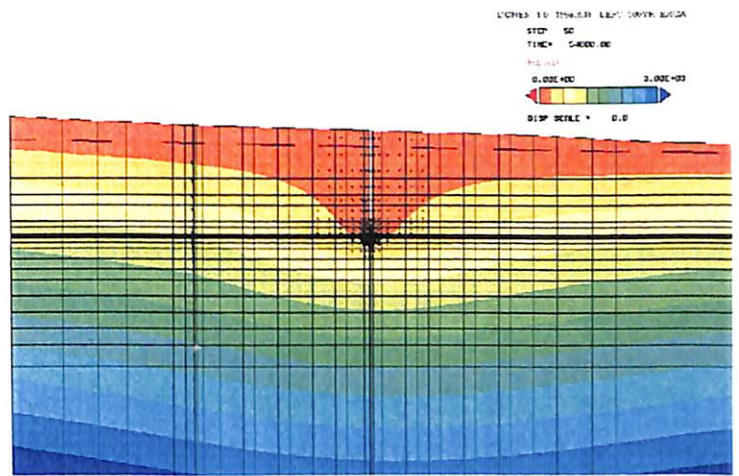
—掘削開始直後—



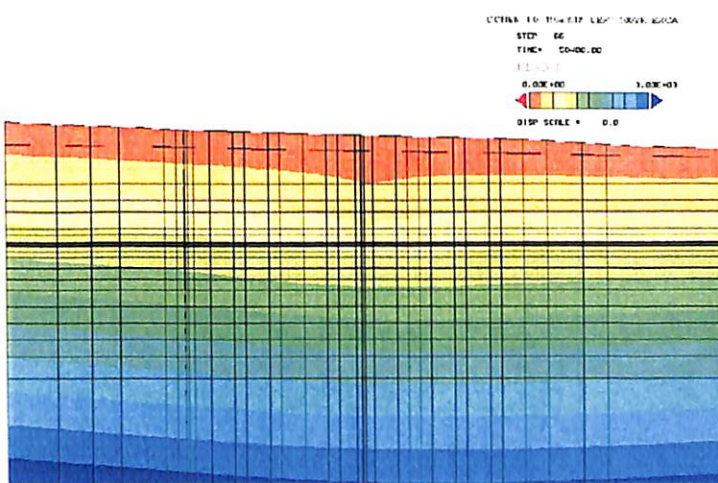
—掘削開始後 10 年：立坑掘削完了—



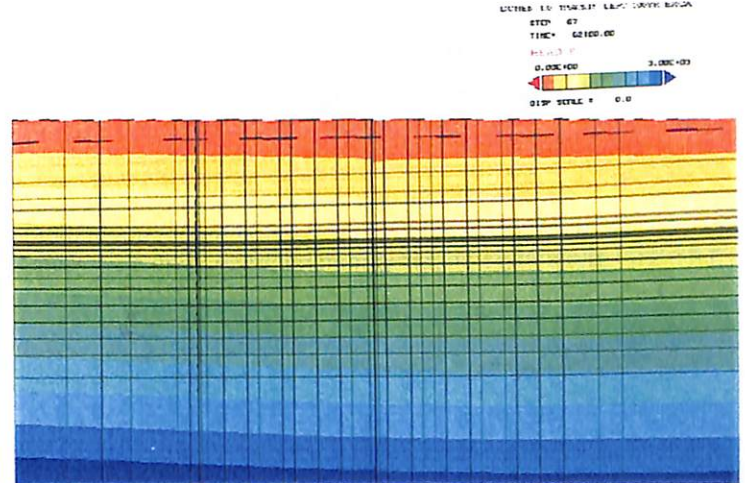
—掘削開始後 30 年：処分坑道掘削完了—



—掘削開始後 50 年：処分坑道埋戻し完了—



—掘削開始後 60 年：立坑埋戻し完了—



—掘削開始後 70 年：処分場埋戻し完了後 10 年—

図-5.3.3.3 圧力水頭コンター及び流速ベクトル

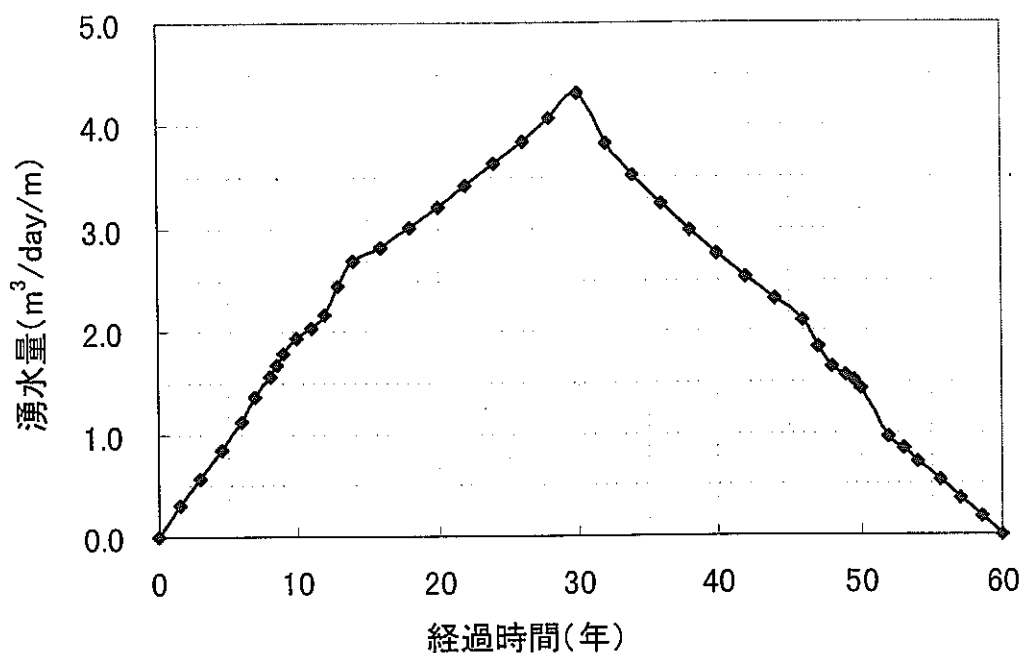


図-5.3.3.4 湧水量の経時変化

(c) まとめ

仮想地質モデル上にレイアウトされた処分施設（結晶質岩ケース）を2次元でモデルし、処分施設の掘削・埋戻しによる地下水流動への影響を確認した。

いずれの場合も、処分場掘削終了時において、処分場の端からおよそ数百～1000m程度の範囲で水頭コンターに影響が見られる。また掘削・埋戻し過程において、自由水面が立坑付近で大きく変化しているが、処分坑道及び立坑埋戻しと同時に水頭コンターが回復していくのが分かる。

地下水流は、掘削・埋戻し過程に伴って、立坑及び処分坑道から数百 m 程度の範囲内で掘削面への流入が顕著に認められる。流速ベクトル図より、掘削直後（＝境界条件が不透水境界から浸出面境界に変更された直後）の掘削面付近の流速が最も大きくなる。ただし、立坑埋戻し完了後まもなく、地下水流は初期の状態に戻っていくことが分かる。

2次元モデルという保守的な条件下で、処分場埋戻し後数十年と経ないうちに、地下の水理場はほぼ初期状態に戻っていくことが解析結果より確認された。

## 5. 4 事前調査・建設・操業・閉鎖の各段階におけるモニタリング項目の検討

### 5. 4. 1 検討範囲と検討項目

処分場の管理に必要なモニタリング項目の検討を行うに当たって、本設計研究における検討は下記の範囲である。

- (1) 地層処分システムの性能評価の初期条件に係わる情報管理のうち、空洞周辺岩盤人工バリアの力学的、熱的特性を中心としたモニタリング。
- (2) 処分施設及び人工バリアの設計施工管理に関わる品質のモニタリング。
- (3) 建設、操業、閉鎖時の労働安全環境管理のうち、一般労働安全、一般作業環境の安全管理におけるモニタリング。

従って、本節では、上記の範囲において、以下の検討を行った。

- (1) 処分場管理のための調査・観測項目の検討
- (2) 処分場管理のためのモニタリングスケジュールとモニタリング位置及び数量

#### 5. 4. 2 処分場管理のための調査・観測項目の検討

##### (1) 表-5.4.2.1 処分場管理のための調査・観測一覧表の作成

5. 4. 1 に示した本設計研究における検討範囲において、検討対象とする調査・観測項目を平成8年度の成果を基に、各段階、目的別に項目を抽出・整理。

##### (2) 表-5.4.2.2 調査・観測項目一覧表の作成

表-5.4.2.1 処分場管理のための調査・観測一覧表を基に、調査・観測手法（試験名、計測機器名）、対象物、調査目的、計器・装置の仕様（測定範囲、精度、耐久性、メンテナンス）などを記載。

##### (3) 表-5.4.2.3 調査・モニタリング技術シートの作成。

調査・観測機器のデータベース用資料となる、計器・装置名称、仕様、測定方法・状況、出力例、出力結果から読み取れる内容、出力データ管理方法、コストなどを記載。

なお、表-5.4.2.1(1/10～10/10)処分場管理のための調査・観測一覧表

表-5.4.2.2(1/24～24/24)調査・観測項目一覧表

表-5.4.2.3(5.4.2.3-0～5.4.2.3-157)調査・モニタリング技術シート

のうち、

表-5.4.2.1(1/10～10/10)処分場管理のための調査・観測一覧表

表-5.4.2.2(1/24)調査・観測項目一覧表

表-5.4.2.3(5.4.2.3-0：一覧表、5.4.2.3-69)調査・モニタリング技術シート

を、サンプルとして添付した。



表-5.4.2.1 処分場管理のための調査・観測一覧表(1/10)

A:性能評価のための管理、B:設計施工管理の品質管理、C:安全管理

段階	特性項目、要求性能	調査大項目	調査小項目	計測データ項目	利用目的	管理分野	備考	
5-65 サイト特性調査時に開始	地質学特性	地形	地形条件	地形図	調査計画、設計条件 坑口部設計及び施工計画 施設の位置、深度、配置の決定 地質モデル作成	B		
			地すべり・崩壊地	災害事例				
		地質構造	岩種・岩質	地質分布				分布
			断層・破砕帯	形状				追跡
				走向				傾斜
			シーム・節理等	充填物				分布
				連続性				間隔
			風化・変質	性状				状況
		固結度		地質年代				
		初期地圧	断層活動性	主応力				
	方向							
	岩盤特性	地震動	強震記録	地震波(加速度、変位)	想定地震波の設定	B		
				物理特性	単位体積重量			設計解析の基本データ
		物理的性質	物理特性	乾燥密度	軟岩地山の評価			
				含水比				
				粒度				
				比重				
				コンシステンシー(液・塑性限界)				
				間隙比				
		鉱物化学的性質	鉱物組成	粘土鉱物	軟岩地山の評価			
スレーキング特性				スレーキング指数(SI)				
吸水・膨潤特性	吸水率							
膨潤圧	吸水膨潤率							
強度特性	最大強度	一軸圧縮強度	設計解析の基本データ					
		粘着力	弾性解析					
	残留強度	内部摩擦角	弾塑性解析					
		せん断強度	粘弾塑性解析					
		引張強度	不連続性を考慮した解析					
		粘着力						
	不連続面強度	内部摩擦角						
		せん断強度						
		引張強度						
		粘着力						
変形特性	線形特性(弾性)	変形係数						
	非線形特性(塑性)	ポアソン比						
	クリープ特性	クリープ率						
	不連続面特性	遅延係数						
		垂直剛性						
		せん断剛性						



表-5.4.2.1 処分場管理のための調査・観測一覧表(2/10)

A:性能評価のための管理、B:設計施工管理の品質管理、C:安全管理

段階	特性項目、要求性能	調査大項目	調査小項目	計測データ項目	利用目的	管理分野	備考
サイト特性調査時に開始	岩盤特性	熱的特性	熱的定数	熱電導率 比熱(比熱容量) 熱拡散性(熱拡散率) 熱膨張率	熱-水連成解析	A, B	
		動的特性	動的定数	せん断弾性係数 減衰比 ポアソン比 弾性波速度	動的解析	B	
		透水特性	透水特性	透水係数	浸透流解析	A, B	
	水理学特性	水文地質(水理地質)	帯水層構造	帯水層の分布 帯水層の規模 レベル(地下水位)	地下水流動解析	A, B	
			地下水帯水層特性	透水係数 比貯留係数 間隙水圧 間隙率			
		水収支	水循環系	降水量 気温(+湿度) 表流量 蒸発散量 水源 間隙水圧			
			地下水流動状況	流量 流速 流向 地下水流動位置			
	労働安全環境の安全管理 注:労働安全環境に関わる調査項目を抽出したが、これらの項目は労働安全環境のみに関わるものでなく、設計、施工に関わる項目であるので、他の項目と重複する調査項目があるが、ここに記載する。	地形	崖錐地、地すべり、崩壊地等の不安定地形 土砂流、なだれ、洪水など既往の災害 災害防止関係法による指定区域、規制区域		災害防止対策 坑口部施工対策 空洞の安定性、切羽の自立性 湧水による崩壊 異常出水、ガス発生等による災害防止	B, C	
		地質	岩種、岩石名、風化の程度 弾性波速度、物理的性質、亀裂の状態 断層破碎帯 地耐力、切羽の自立性、内空断面の変化、膨張性の有無				
		地下水	トンネル最大湧水量の想定、帯水層、地下水の分布 湧水による崩壊、異常出水の可能性のある場所 地下水の種類、被圧水頭、温度、水質等				
有毒ガス、酸素欠乏空気		有害ガス発生の可能性、酸素欠乏の危険性の有無 高地熱地帯、温泉湧出の有無					
気象、河象、海象		河川の降雨期、融雪期における高水位等水文調査 河川の形態、水位、流速、流量、洗掘、堆積状況 潮位、潮差、水深、波高、海蝕の状況等					

表-5.4.2.1 処分場管理のための調査・観測一覧表(3/10)

A:性能評価のための管理、B:設計施工管理の品質管理、C:安全管理

段階	特性項目、要求性能	調査大項目	調査小項目	計測データ項目	利用目的	管理分野	備考
設置 サイト 特性調査時に開始	労働安全環境の安全管理	障害物	施工の障害となる近接構造物の有無	埋設物	障害物の防護方法と施工の安全対策	B, C	
		環境	施工区域の法規制と騒音、振動  濁水による生活水への影響(水収支)  施工区域の法規制と排水の影響を受ける場所の水質  地盤  近接構造物  植生分布 植生活力 植生方形区 産業廃棄物処分・処理	環境振動 特定振動 環境騒音 特定騒音 低周波空気振動(100Hz以下) 地下水位(間隙水圧) 湧水圧・湧水量 降雨雪量 蒸発量 河川流量 ため池水位 水利用状況 水源状況 水源の流量 水源の水質 水質(PH、B5含む) 流速 水温 排水量 地盤沈下 温度 地中変位 応力 弾性波速度 透水係数 傾斜 移動・沈下 クラック幅・進行速度 変位・たわみ 林相図 樹木活力の推移 方形区における植生推移	周辺環境保全対策(公害防止)	C	
建設時に開始	空洞の安定性	地山	坑内地質状況 内空変位 天端沈下 地中変位  温度 ゆるみ領域	切羽部地質観察 内空変位量 天端沈下量 地中変位量 ひずみ ジョイント変位 地中温度 弾性波速度 透水係数 岩盤内のきれつ状況観察 切羽部湧水状況観察	空洞の安定性	B	
		鋼製支保工	変形・変状  基礎反力 移動・沈下 応力・ひずみ 鋼材温度	変形測定 変状観察 基礎反力 移動・沈下量 応力・ひずみ 温度	空洞の安定性(支保工の健全性)	B	
		吹付けコンクリート	応力 コンクリート温度 クラック・変状 湧水状況	応力 温度 クラック・変状観察 既施工区間変状観察			

表-5.4.2.1 処分場管理のための調査・観測一覧表(4/10)

A:性能評価のための管理、B:設計施工管理の品質管理、C:安全管理

段階	特性項目、要求性能	調査大項目	調査小項目	計測データ項目	利用目的	管理分野	備考
段階建設時に開始	空洞の安定性	ロックボルト	軸力	軸力			
			鋼材温度	温度			
		PSアンカー	ベアリングプレートの変状	既施工区間変状観察			
			緊張力	緊張力			
		覆工コンクリート	応力(ひずみ)	コンクリート応力			
				鉄筋応力			
			温度	コンクリート温度			
			鉄筋温度				
			背面地圧	地圧測定			
			クラック・変状	既施工区間変状観察			
		インバートコンクリート	応力	コンクリート応力			
				鉄筋応力			
	温度		コンクリート温度				
	鉄筋温度						
		クラック・変状	既施工区間変状観察				
		内空断面の変形	内空断面変形量				
		湧水状況	既施工区間変状観察				
	出来形	空洞	位置	座標	施工管理(出来形管理)	B	
			基準高	底盤レベル			
			幅高さ	幅高さ			
		鋼製支保工	建込間隔	間隔			
			建込位置				
		吹付けコンクリート	厚さ	厚さ			
		ロックボルト	長さ	長さ			
			間隔	間隔			
PSアンカー		突出量	突出量				
		長さ	長さ				
覆工コンクリート		間隔	間隔				
		厚さ	厚さ				
インバートコンクリート		内空断面	内空断面寸法				
	厚さ	厚さ					
壁面粗さ(処分坑道・処分孔)	基準高	敷高レベル					
	凹凸	平滑度					
処分孔の掘削後の段階	処分孔の安定	孔内地質状況	切羽部地質観察	空洞の安定性	B		
		湧水状況	切羽部湧水状況観察				
処分孔の出来形		位置	座標	施工管理(出来形管理)	B		
		基準高	底盤レベル				
		径	径				
		深さ	深さ				
作業環境	坑内環境	温度、炭酸ガス	温度	施工管理(安全管理)	C		
		炭酸ガス濃度	炭酸ガス濃度				
	視界、照明	照度					
	換気	通気量					
	粉じん	粉じん濃度					
	振動、騒音	騒音					
	可燃性ガス	ガス濃度					
	酸欠、有毒ガス	酸欠	酸素濃度				
有毒ガス		硫化水素濃度 有毒ガス濃度					

表-5.4.2.1 処分場管理のための調査・観測一覧表(5/10)

A:性能評価のための管理、B:設計施工管理の品質管理、C:安全管理

段階	特性項目、要求性能	調査大項目	調査小項目	計測データ項目	利用目的	管理分野	備考	
5-69 段階 建設時に開始・グラウト関連	セメント系 グラウト	ボーリング孔管理	孔設置位置検査	削孔位置	注入孔出来形管理 注入材料管理 注入管理	B		
				削孔方向				
		削孔深さ						
		孔曲がり						
		岩盤状況の確認	コアの岩質・岩級					
			割れ目の状態					
		注入管理	注入材料管理	セメント 製造所試験成績書の確認、保管				地下水位(湧水圧)
								湧水・逸水
			配合					成分
								各種物理試験
			注入管理					配合 材料LOT、製造LOT
								注入圧力
		ルジオンテスト管理	試験加圧圧力					注入速度
								注入量
限界圧力			岩盤変位					
			グラウト注入圧					
地下水水位測定			限界圧力					
			流量増加点					
ルジオン値		地下水水位測定						
		P-Q線図						
			地下水補正					
			管内抵抗補正					
5-69 段階 建設時に開始・グラウト関連	ベントナイト 系グラウト	ボーリング孔管理	孔設置位置検査	削孔位置	注入孔出来形管理 注入材料管理 注入管理	B		
				削孔方向				
		削孔深さ						
		孔曲がり						
		岩盤状況の確認	コアの岩質・岩級					
			割れ目の状態					
		注入管理	注入材料管理	ベントナイト 製造所試験成績書の確認、保管				地下水位(湧水圧)
								湧水・逸水
			配合記録					製造LOT
								水分
			配合計量装置精度					膨潤力
								PII
		注入管理		導電率				
				浸出陽イオン量				
ルジオンテスト管理	試験加圧圧力		陽イオン交換容量					
			メチレンブルー吸着量					
	限界圧力		材料LOT					
			配合重量					
	地下水水位測定		配合LOT付番					
			注入圧力					
ルジオン値		注入速度						
		注入量						
			岩盤変位					
			グラウト注入圧					
			限界圧力					
			流量増加点					
			地下水水位測定					
			P-Q線図					
			地下水補正					
			管内抵抗補正					

表-5.4.2.1 処分場管理のための調査・観測一覧表(6/10)

A:性能評価のための管理、B:設計施工管理の品質管理、C:安全管理

段階	特性項目、要求性能	調査大項目	調査小項目	計測データ項目	利用目的	管理分野	備考				
建設時に開始・人工バリア関連	人工バリア施工 (ベントナイト系 緩衝材現場締固 方式の場合)	配合品質管理	材料検査	ベントナイト 製造所試験成績書の確 認、保管  混合材	製造LOT	施工管理 (品質管理)	B				
					粒度分布						
					含水比						
					膨潤力						
					PH						
		導電率									
		浸出陽イオン量									
		陽イオン交換容量									
		メチレンブルー吸着量									
		化学組成									
鉱物組成											
粒度分布											
自然含水比											
配合記録		材料LOT		配合重量		配合時含水比		配合LOT付番		配合サンプリング品質(砂含有率)	
現場品質管理	転圧機械の性能	日常始業時点検									
			施工仕様		まきだし厚さ		転圧回数		施工位置・範囲、配合LOT		まきだし時含水比
			現場品質		厚さ		密度				
			サンプリング品質	透水特性?							
人工バリア施工 (ベントナイト系 緩衝材ブロック 方式の場合)	ブロック製造品質管理	材料検査	ベントナイト 製造所試験成績書の確 認、保管  混合材	製造LOT	施工管理 (品質管理)	B					
				粒度分布							
				含水比							
				膨潤力							
				PH							
		導電率									
		浸出陽イオン量									
		陽イオン交換容量									
		メチレンブルー吸着量									
		化学組成									
鉱物組成											
粒度分布											
自然含水比											
配合記録		材料LOT		配合重量		配合時含水比		配合サンプリング品質(砂含有率)			
成型記録		圧力		加圧速度		外形寸法		重量			
製品検査				外観		密度 (非破壊)		不均一性			
				製品LOT付番		製品サンプリング品質(透水特性)					

表-5.4.2.1 処分場管理のための調査・観測一覧表(7/10)

A:性能評価のための管理、B:設計施工管理の品質管理、C:安全管理

段階	特性項目、要求性能	調査大項目	調査小項目	計測データ項目	利用目的	管理分野	備考			
人工バリア施工 (ベントナイト系 緩衝材ブロック 方式の場合)	ブロック製造品質管理	製品貯蔵管理		湿度						
	現場品質管理	配合計量装置精度 成型装置性能								
廃棄体、人工バリア 設置後の段階	周辺状況監視		設置状況	設置位置・製品LOT すきま等の外観検査	周辺状況監視	A				
			緩衝材	温度 飽和度 応力(膨潤圧) 間隙水圧 ひずみ 腐食状況						
閉鎖時に開始	配合品質管理	材料検査	オーバーバック	製造LOT	施工管理(品質管理)	B				
			ベントナイト 製造所試験成績書の確認、保管	水分 膨潤力 PH 導電率 浸出陽イオン量 陽イオン交換容量 メチレンブルー吸着量						
			混合材	化学組成 鉱物組成 粒度分布 自然含水比						
			配合記録	材料LOT 配合重量 配合時含水比 配合LOT付番 配合サンプリング品質(メチレンブルー吸着量)						
			配合計量装置精度							
			現場品質管理	転圧機械の性能				日常始業時点検		まきだし厚さ 転圧回数
				施工仕様						施工位置・範囲、配合LOT
				現場品質						厚さ 密度
				サンプリング品質				透水特性?		

表-5.4.2.1 処分場管理のための調査・観測一覧表(8/10)

A：性能評価のための管理、B：設計施工管理の品質管理、C：安全管理

段階	特性項目、要求性能	調査大項目	調査小項目	計測データ項目	利用目的	管理分野	備考	
閉鎖時に開始	コンクリートブロックの施工	製造品質管理	材料	セメント 製造所試験成績書の確認、保管	成分 各種物理試験	施工管理（品質管理）	B	
				骨材	産地、岩種 粒度分布			
			鉄筋 製造所試験成績書の確認、保管	成分 強度				
		配合		配合 材料LOT、製造LOT				
		強度		一軸圧縮強度				
	現場品質管理			スランプ 空気量 一軸圧縮強度 配筋ノ型枠 出来形				
閉鎖後開始	ベントナイトブロックの施工（ベントナイト系材ブロック方式の場合）	ブロック製造品質管理	材料検査	ベントナイト 製造所試験成績書の確認、保管	製造LOT 水分 膨潤力 pH 導電率 浸出陽イオン量 陽イオン交換容量 メチレンブルー吸着量	施工管理（品質管理）	B	
				混合材	化学組成 鉱物組成 粒度分布 自然含水比			
				配合記録	材料LOT 配合重量 配合時含水比			
				成型記録	圧力 加圧速度			
				製品検査	外形寸法 重量 外観 密度（非破壊） 不均一性 製品LOT付番			
				製品貯蔵管理	湿度			
				配合計量装置精度				
				成型装置性能				
				現場品質管理	現場品質			設置位置・製品LOT すきま等の外観検査
調査ボーリング孔の埋め戻し	埋め戻し管理	・注）注入材はベントナイト系	・管理項目は今後の課題である		施工管理（品質管理）	B		

表-5.4.2.1 処分場管理のための調査・観測一覧表(9/10)

A:性能評価のための管理、B:設計施工管理の品質管理、C:安全管理

段階	特性項目、要求性能	調査大項目	調査小項目	計測データ項目	利用目的	管理分野	備考	
建設時に開始(建設段階)	施工時の資材の品質管理項目を以下に示す(鋼製支保、吹付けコンクリート、ロックボルト、PSアンカー、コンクリート、鉄筋、溶接金網) 空洞の安定	鋼製支保工	鋼材	外観 形状寸法 製造工場の規格証明書	施工管理(品質管理)	B		
			吹付けコンクリート	計量装置				計量器の原器 配合設定装置 自動計測装置と計量記録装置 計量器の目盛
			ミキサ	ミキサ混ぜ性能				
			セメント	製造工場の規格証明書				
			水	水質				
			粗骨材	表面水率				
				粒度				
				比重(表乾)				
				吸水率				
				単位容積重量				
				実積率				
				粘上塊				
				洗い試験で失われるもの				
				比重1.95の液体に浮くもの				
				有機不純物				
耐久性								
塩分含有量								
粗骨材	表面水率							
	粒度							
	比重(表乾)							
	吸水率							
	単位容積重量							
	実積率							
	粒形判定実積率							
	粘上塊							
	洗い試験で失われるもの							
	比重1.95の液体に浮くもの							
耐久性								
アルカリ骨材反応								
製造工場の規格証明書								
配合								
スランプ(湿式のみ)								
初期強度								
採取したコア強度								
金網	鋼材	製造工場の規格証明書						
ロックボルト	定着材(ドライモルタル)	製造工場の規格証明書						
	配合							
	コンシステンシー(70-値)							
ロックボルト、ヘアリングプレート	圧縮強度							
	外観							
	形状寸法							
	製造工場の規格証明書							
ロックボルト工	強度(ロックボルト引抜強さ)							
PSアンカー	削孔	削孔位置						
		削孔角度						
		削孔長						
		製造工場の規格証明書						
	グラウト(セメント、混和剤、膨張剤)	配合						
	フロー値							
	ブリーディング率							
	膨張率							
	圧縮強度							
	注入圧							



表-5.4.2.1 処分場管理のための調査・観測一覧表(10/10)

A:性能評価のための管理、B:設計施工管理の品質管理、C:安全管理

段階 建設時に開始(建設段階)	特性項目、要求性能	調査大項目	調査小項目	計測データ項目	利用目的	管理分野	備考	
	空洞の安定	PSアンカー	PSアンカー	注入量 外観 形状寸法 製造工場の規格証明書				
			PSアンカー工	引抜き試験(試験施工) 引張り試験 確認試験				
			覆工コンクリート (コンクリート) (インパクトコンクリートも同じ)	計量装置				計量器の原器 配合設定装置 自動計測装置と計量記録装置 計量器の目盛
				ミキサ セメント 水 細骨材				ミキサ練混ぜ性能 製造工場の規格証明書 水質 表面水率 粒度 比重(表乾) 吸水率 単位容積重量 実積率 粒形判定実積率(砕砂のみ) 粘土塊 洗い試験で失われるもの 比重1.95の液体に浮くもの 有機不純物 耐久性 アルカリ骨材反応
		(鉄筋) (インパクトコンクリートも同じ)	粗骨材	塩分含有量 表面水率 粒度 比重(表乾) 吸水率 単位容積重量 実積率 粒形判定実積率 粘土塊 砕かい石片 洗い試験で失われるもの 比重1.95の液体に浮くもの 耐久性 すりへり減量(舗装版) アルカリ骨材反応				
			混和剤 配合及び強度等	品質 配合 運搬、打込み時間 スランプ 空気量 温度 塩化物含有量 圧縮強度				
		鉄筋	品質 引張 曲げ 曲げ戻し					
		鉄筋圧接	引張 外観 溶接欠陥					

表-5.4.2.2 調査・観測項目一覧表(1/24)

段階	調査・観測項目	調査・観測手法	測定対象及び 主要な場	調査目的	計器・装置の仕様					
					測定範囲	精度	耐久性	メンテナンス	現状の問題 及び今後の課題	
サイト特性調査 時に開始する調査・観測	地形	地形条件 地すべり・崩壊地	資料調査、空中写真判読 資料調査、空中写真判読	地表環境 (a-1,4)	地質学特性の把握	(測定によらない)				
	地質構造	岩種・岩質 (地質分布) 断層・破砕帯 (分布、形状、走向傾斜、充填物) シーム・節理等 (分布、連続性、間隔、性状) 風化・変質 (状況、固結度)	空中磁気探査 空中電磁探査 空中放射能探査 地上地質探査 磁気探査 重力探査 電磁探査(MT法) 電磁垂直探査 層析法地震探査 反射法地震探査 比抵抗探査 物理検層(電気検層) (音波検層) (温度検層) (密度検層) (γ線検層)	地質環境 (a-1,4)		(測定によらない)	適用深度：10～200m	最小感度：0.01nT		
						(測定によらない)	適用深度：5000～10000m	感度：0.05nT～0.01nT 精度：5μ～10μ cm/s <sup>2</sup> センサー最小感度： 0.007gamma/Hz		
						測定範囲：17000nT～ 100000nT 適用深度：0～300m程度 測定レンジ：7cm/s <sup>2</sup> 適用深度：5000～10000m	適用深度は測線長に依存 適用深度：10m～数km 適用深度は測線長に依存 するが、300m程度	測定深度：2000m、耐 温：0～150℃・測定レン ジ：±0、100、200、 500、1000、2000mV 適用深度：2000m	精度：±2%FS	
						適用深度：2000mまで 温 度範囲：70℃まで 適用深度：2000m、適用 孔径：66～220mm・測定 範囲：1～3g/cm <sup>3</sup> 測定深度：3000mまで、 耐圧：100MPa、耐温：80 ～150℃・測定範囲：32 ～300mm	感熱応答 水中0.3～1.0 秒 空中3.0～5.0秒			

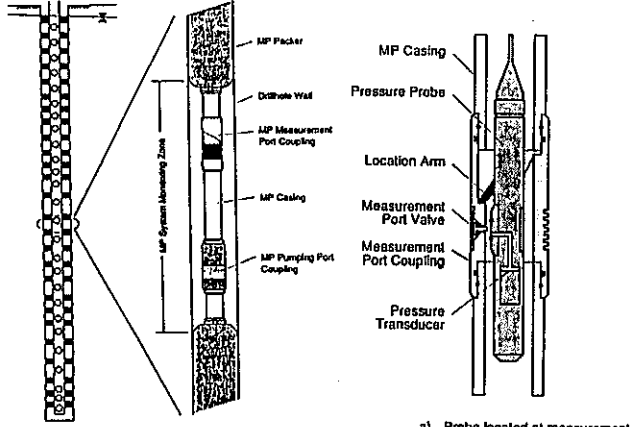
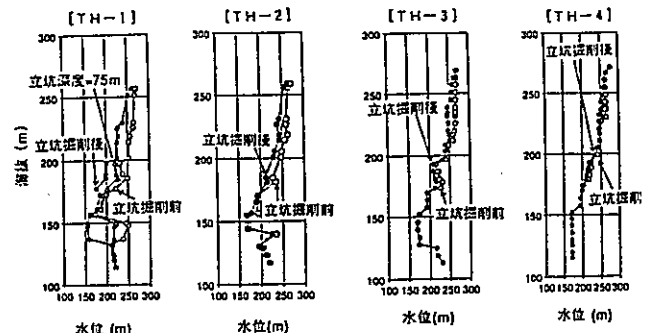
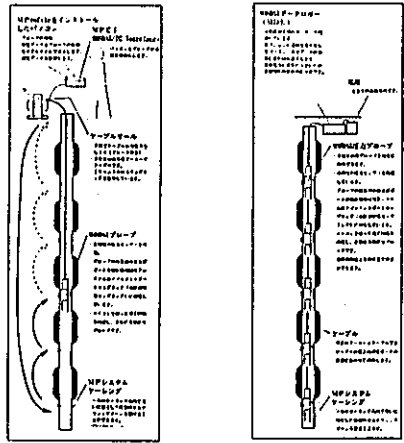
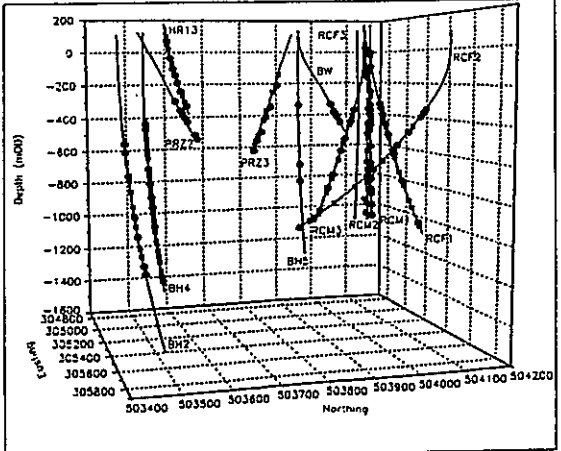
S-75

a:地表、a-1:サイト外地表、a-2:サイト外試錐孔、a-3:サイト外沿岸、a-4:サイト内地表、a-5:地上施設周辺、a-6:サイト内試錐孔、a-7:立坑口、b:地下のアクセス部分、b-1:立坑壁、b-2:立坑底、b-3:連絡坑道分岐、b-4:連絡坑道壁、  
b-5:試錐孔、b-6:透水性断層、c:建設用処分区画、c-1:連絡坑道入口、c-2:掘削箇所、c-3:掘削後空洞、c-4:湧水箇所、c-5:廃棄体搬送ルートとの連絡部、d:定置用(実証用)処分区画、d-1:連絡坑道入口、d-2:定置箇所、  
d-3:定置済埋設部両端or片方端、d-4:緩衝材、d-5:廃棄体周辺岩盤、d-6:廃棄体アクセス部

表-5.4.2.3-0 調査・モニタリング技術シート一覧

調査・観測手法	シート番号	調査・観測手法	シート番号	調査・観測手法	シート番号
空中物理探査		岩盤熱的特性 (室内試験)		空洞の安定性 (地山)	
空中電磁探査	5.4.2.3-1	平板比較法 (定常法)	5.4.2.3-51	掘削レーダー調査 (割れ目の分布)	5.4.2.3-82
空中電磁探査	5.4.2.3-2	熱線法 (非常常法)	5.4.2.3-52	内空変位計測	5.4.2.3-83
空中放射能探査	5.4.2.3-3	混合法	5.4.2.3-53	地中変位測定	5.4.2.3-84
地上物理探査		ブラッシュ法	5.4.2.3-54	ひずみ計測	5.4.2.3-85
磁気探査	5.4.2.3-4	欠番	5.4.2.3-55	ジョイント変位計測	5.4.2.3-86
重力探査	5.4.2.3-5	定速昇温法	5.4.2.3-56	PS検層 (坑道の掘削影響)	5.4.2.3-87
電磁探査 (MT法)	5.4.2.3-6	膨張計法	5.4.2.3-57	屈折法地層探査 (坑道の掘削影響)	5.4.2.3-88
電磁透直探査	5.4.2.3-7	X線回折法	5.4.2.3-58	弾性波トモグラフィー (坑道の掘削影響)	5.4.2.3-89
屈折法地層探査	5.4.2.3-8	岩盤動的特性		EDZ周辺での透水試験 (坑道の掘削影響)	5.4.2.3-90
反射法地層探査	5.4.2.3-9	動的変形試験 (室内試験)	5.4.2.3-59	シグナルルーガー探査 (坑道の掘削影響)	5.4.2.3-91
北振探査	5.4.2.3-10	動的強度試験 (室内試験)	5.4.2.3-60	空洞の安定性 (鋼製支保工)	
単一の試錐孔を用いた地上物理探査		動的平板載荷試験	5.4.2.3-61	支保工に作用する荷重測定	5.4.2.3-92
物理検層		超音波速度試験 (室内試験)	5.4.2.3-62	応力ひずみ測定	5.4.2.3-93
磁気検層	5.4.2.3-11	VSP探査	5.4.2.3-63	温度計測	5.4.2.3-94
音波検層	5.4.2.3-12	岩盤透水性		空洞の安定性 (吹付けコンクリート)	
温度検層	5.4.2.3-13	①ポット孔を利用した		応力ひずみ測定	5.4.2.3-95
密度検層	5.4.2.3-14	透水試験 (1000m対応水理試験)	5.4.2.3-64	温度計測	5.4.2.3-96
キャリブレーション検層	5.4.2.3-15	長期揚水試験 (1000m対応表層)	5.4.2.3-65	空洞の安定性 (ロックボルト)	
ポトメトリ	5.4.2.3-16	②室内試験		応力ひずみ測定	5.4.2.3-97
ポトメトリ検層 (ヒトバ型微流速計)	5.4.2.3-17	室内透水試験	5.4.2.3-66	空洞の安定性 (PSアンカー)	
ポトメトリ検層 (ヒトバ型微流速計)	5.4.2.3-18	水理学特性 (水文地質、水収支)		荷重測定	5.4.2.3-98
シグナルルーガー探査	5.4.2.3-19	高密度比抵抗電気探査	5.4.2.3-67	空洞の安定性 (覆工コンクリート)	
ハイパソンVSP調査	5.4.2.3-20	水収支観測	5.4.2.3-68	地圧測定	5.4.2.3-99
複数試錐孔を用いた物理探査		水圧観測 (MPシステム)	5.4.2.3-69	坑内環境	
弾性波トモグラフィー	5.4.2.3-21	流向流速測定 (流向・流速)	5.4.2.3-70	温度計測	5.4.2.3-100
北振探査トモグラフィー	5.4.2.3-22	地下水検層	5.4.2.3-71	ガス検度計測	5.4.2.3-101
レーダートモグラフィー	5.4.2.3-23	水質		酸素検度	5.4.2.3-102
放射年代測定法	5.4.2.3-24	表層水物理化学パラメータの測定	5.4.2.3-72	照度計測	5.4.2.3-103
初期地圧		深層水物理化学パラメータの測定	5.4.2.3-73	風速計測	5.4.2.3-104
①試錐孔を利用した測定		埋設物調査		粉じん計測	5.4.2.3-105
応力解放法	5.4.2.3-25	地下レーダー	5.4.2.3-74	グラウト注入管理	
水圧破砕法	5.4.2.3-26	電磁誘導法	5.4.2.3-75	自己圧力流量計	5.4.2.3-106
②コアの室内試験による測定		孔内磁気検層	5.4.2.3-76		
AE法	5.4.2.3-27	P波速度検層	5.4.2.3-77	乗乗体・人工バリア設置後の人工バリアの品質性能の確認	
DPA法	5.4.2.3-28	環境		(ニアフィールド環境の把握)	
ASR法	5.4.2.3-29	振動レベルの測定 (振動レベル計)	5.4.2.3-78	温度計測	5.4.2.3-151
DSCA法	5.4.2.3-30	騒音レベルの測定 (音通騒音計)	5.4.2.3-79	含水率計測	5.4.2.3-152
地震動観測	5.4.2.3-31	湧水圧測定 (JET試験)	5.4.2.3-80	前版水圧計測	5.4.2.3-153
岩盤物理特性 (室内試験)		沈下観測井による層別地盤収縮量測定	5.4.2.3-81	確認試験	5.4.2.3-154
密度試験	5.4.2.3-32			ひずみ計測	5.4.2.3-155
含水率試験	5.4.2.3-33				
粒度試験	5.4.2.3-34				
比重試験	5.4.2.3-35				
コンパクター試験	5.4.2.3-36				
鉱物化学的性質					
X線回折	5.4.2.3-37				
簡易ルーラー試験 (浸水崩壊度試験)	5.4.2.3-38				
吸水率試験	5.4.2.3-39				
吸水膨張試験 (膨張圧試験含む)	5.4.2.3-40				
岩盤強度特性					
一軸圧縮試験 (室内試験)	5.4.2.3-41				
三軸圧縮試験 (室内試験)	5.4.2.3-42				
岩盤せん断試験	5.4.2.3-43				
せん断試験 (室内試験)	5.4.2.3-44				
引張り試験 (室内試験)	5.4.2.3-45				
岩盤変形特性					
孔内載荷試験	5.4.2.3-46				
半環載荷試験	5.4.2.3-47				
一軸カーブ試験 (室内試験)	5.4.2.3-48				
応力緩和試験 (室内試験)	5.4.2.3-49				
三軸クリープ試験 (室内試験)	5.4.2.3-50				
				施工時の資材に関する品質管理	
				吹付けコンクリート (細骨材)	
				①細骨材品質	
				表面水率 JIS A 1111	5.4.2.3-107
				粒度 JIS A 1102	5.4.2.3-108
				比重 (乾燥) JIS A 1109	5.4.2.3-109
				単位容積重量 JIS A 1104	5.4.2.3-110
				粘土塊 JIS A 1137	5.4.2.3-111
				洗い試験で失われるもの JIS A 1103	5.4.2.3-112
				比重 1.95の液体に浮くもの JIS A 5308 (付属書 2)	5.4.2.3-113
				有機不純物 JIS A 1105	5.4.2.3-114
				耐久性 JIS A 1122, KODAN303	5.4.2.3-115
				塩分含有量 KODAN 306	5.4.2.3-116
				塩分含有量 KODAN 307	5.4.2.3-117
				塩分含有量 KODAN 308	5.4.2.3-118
				②粗骨材品質 (表示の無い項目は細骨材と同じ試験)	
				表面水率 JIS A 1125	5.4.2.3-119
				比重 (乾燥) JIS A 1110 (吸水率含む)	5.4.2.3-120
				アルカリ骨材反応 JIS A 5308 (モルタル法)	5.4.2.3-121
				アルカリ骨材反応 JIS A 5308 (化学法)	5.4.2.3-122
				③配合・強度	
				スランプ (湿式のみ) JIS A 1101	5.4.2.3-123
				初期強度 KODAN701, 702	5.4.2.3-124
				採取したコア強度 KODAN703, 704	5.4.2.3-125
				ロックボルト	
				①定着材 (ドライモルタルなど)	
				コンステンション (70-値) JIS R 5201	5.4.2.3-126
				圧縮強度 JIS R 5201	5.4.2.3-127
				②ロックボルト工	
				強度 (ロックボルト引抜き試験) KODAN705	5.4.2.3-128
				PSアンカー	
				①グラウト材	
				フロー値	5.4.2.3-129
				フリージング率	5.4.2.3-130
				膨張率	5.4.2.3-131
				圧縮強度	5.4.2.3-132
				②PSアンカー工	
				引抜き試験 (試験施工)	5.4.2.3-133
				引張り試験	5.4.2.3-134
				確認試験	5.4.2.3-135
				覆工コンクリート	
				①細骨材品質	
				吹付けコンクリートの項参照	
				②粗骨材品質 (表示の無い項目は細骨材と同じ試験)	
				軟かい石片 JIS A 1126	5.4.2.3-136
				すりへり減量 (簡便版) JIS A 1121	5.4.2.3-137
				③配合・強度	
				空気量 JIS A 1115, 1128	5.4.2.3-138
				塩化物含有量 (簡易塩分測定器)	5.4.2.3-139
				④鉄筋	
				引張試験 JIS Z 2201, 2241	5.4.2.3-140
				曲げ試験 JIS Z 2204, 2248	5.4.2.3-141
				曲げ戻し試験 (日本道路公団管理基準)	5.4.2.3-142
				⑤鉄筋圧接	
				超音波探傷	5.4.2.3-143

表-5.4.2.3-69 調査・モニタリング技術シート

<p>計測・試験名称 水圧観測 - 大深度対応地下水</p>						
<p>計器・装置名称 MPシステム</p>						
<p>概略 大深度地下における水理観測手法の一つにMPシステムがある。MPシステムでは多段パッカーで区切られた任意の測定区間のバルブを開閉することにより、各区間の水圧を圧力センサーによって計測する。MPシステムの設置実績は以下のとおりである。 日本: 深度20~800m 本数40孔以上 耐用年数9年(現在継続中) 英国: 深度1600m 本数30孔以上 その他: 本数200孔以上 耐用年数11年(現在継続中)</p>	<p>計器・装置</p>  <p>Figure 1. MP System Installation with measuring zones isolated by packers.</p>	<p>出力例</p>  <p>TH-1~4での水位変化</p>				
<p>仕様 MPシステム 水圧計測 範囲: -0.5~150kgf/cm<sup>2</sup> 水圧計測 精度: 0.01kgf/cm<sup>2</sup> 計測限界: 深度1600m 温度: 1℃~50℃ φ125mm試錐孔内に設置 (注) 100kgf/cm<sup>2</sup>は約9.8MPa (SI単位)である。</p>						
<p>測定方法 (概念図)</p> 	<p>計測・試験状況</p>  <p>Diagrammatic Layout of Monitoring Network in RCF Area</p>	<p>出力結果から読みとれる内容 深度別の水圧分布 深度別の温度分布</p> <p>異常時における所要の措置 測定ゾンデについては、挿入式のため検定を行う 遮水性能については、再度インフレーション作業により回復可能</p> <p>データ管理方法 1回/月データ保存</p> <table border="1" data-bbox="1478 1309 2150 1419"> <tr> <td>イニシャルコスト</td> <td>メンテナンスコスト</td> </tr> <tr> <td>ケーシングシステム 10万円/m 計測システム(32点分) 1億円</td> <td>300万円/年</td> </tr> </table>	イニシャルコスト	メンテナンスコスト	ケーシングシステム 10万円/m 計測システム(32点分) 1億円	300万円/年
イニシャルコスト	メンテナンスコスト					
ケーシングシステム 10万円/m 計測システム(32点分) 1億円	300万円/年					

5-77

(1) Eldred, C. D., J. A. Scarrow and A. Smith: "An integrated System for Ground water Monitoring at Sellafield, U.K.", Int. High-level Radioactive Waste Management in Las Vegas, 1995.  
(2) 杉原、吉岡、今井、松井: 『新第3系堆積岩における立坑掘削影響試験の概要』、立坑掘削影響試験ワークショップ、動燃事業団、1992, p.A43-A51

5. 4. 3 処分場管理のためのモニタリングスケジュールとモニタリング位置及び数量  
モニタリングの考え方としては、「処分事業の安全管理に必要なデータおよび処分サイトの性能および特性を評価するデータを得るために行う観察と測定」というように、広く捉える場合と、「処分システムが影響を及ぼす可能性のある領域の状態を継続的にまたは断続的に測定すること」と、長期計測的なものに範囲を限定する場合が考えられる。ここでは、前者のようにできるだけ広く捉えることとする。

本設計研究で対象とする検討範囲は、5. 4. 1に示した範囲であり、したがって、前節で抽出した処分場管理のための調査・観測項目の全項目が、処分場管理のためのモニタリング項目となる。

(1) 表-5.4.3.1 処分場の管理スケジュールの作成

主要な実施場所と管理期間を記載した処分場の管理スケジュールを示した。

(2) 表-5.4.3.2 処分場管理のためのモニタリングの数量表の作成

モニタリングの数量に関しては、構造物の出来形測定や品質管理計測は、施工の一部と考えられることから、モニタリングとして独自に実施するもののみを対象にし、モニタリングの数量一覧を示した。

表中で、主な実施時期を▼で示した。物理探査や地表ボーリングのように一度に実施できるものについては▼で、坑道掘削時の変位計測のように場所を移動しながら繰り返し計測するものについては、実施する可能性のある期間について▼▼▼▼▼を記した。また、計測機器設置後、継続して計測するものについては、その継続期間にわたって▼                    を記した。

モニタリングの主な実施場所については、図-5.4.3.1に示した。図中の(a-1)、(d-2)等は、表-5.4.3.1の中の「測定対象および主要な場」の欄に記載された記号に対応する。

なお、表-5.4.3.1(1/21~21/21)処分場の管理スケジュール

表-5.4.3.2(1/9~9/9)処分場管理のためのモニタリングの数量

のうち

表-5.4.3.1(1/21)処分場の管理スケジュール

表-5.4.3.2(1/9)処分場管理のためのモニタリングの数量

をサンプルとして添付した。

表-5.4.3.1 処分場の管理スケジュール(1/21)

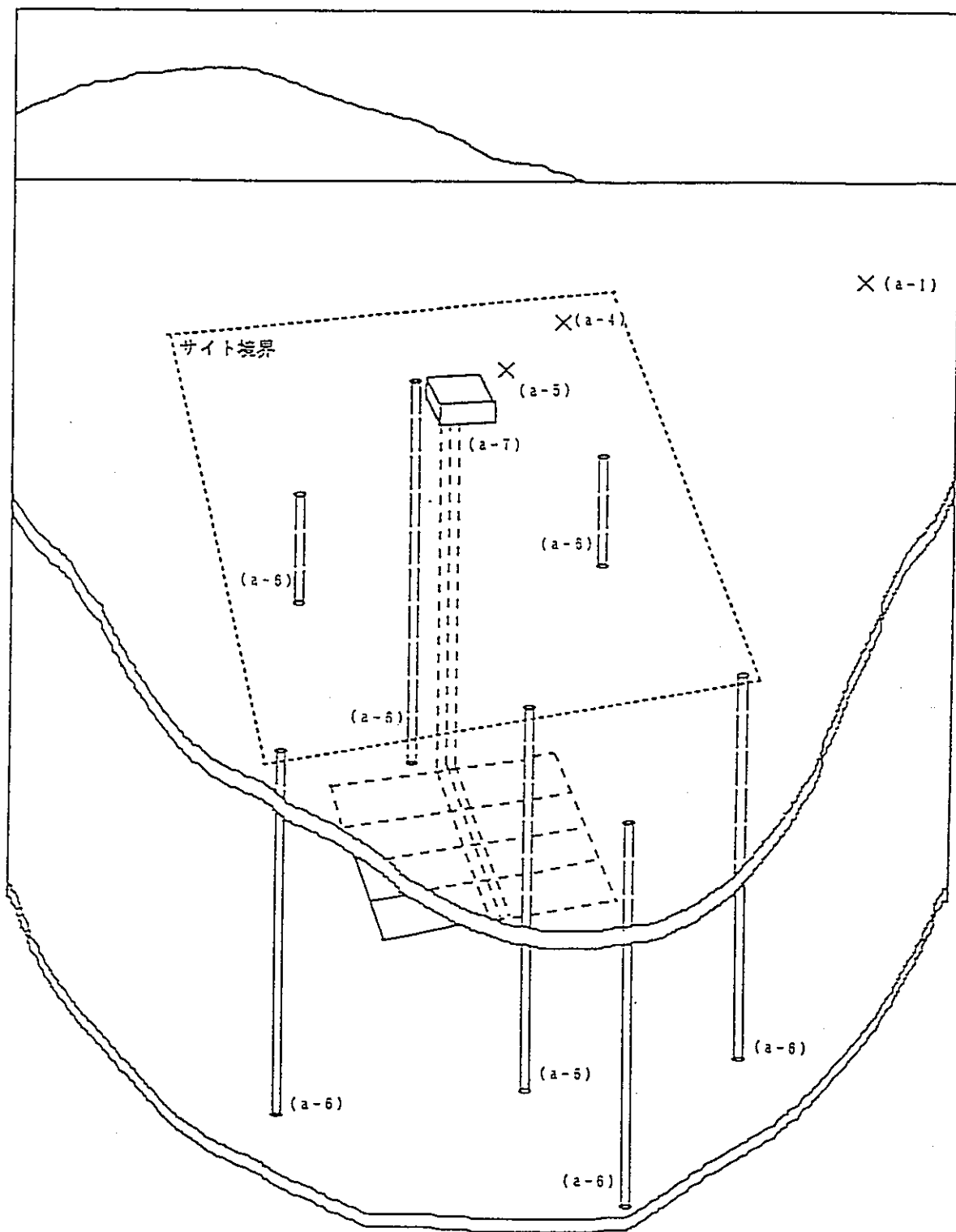
段階	調査・観測項目	調査・観測手法	測定対象及び 主要な場	調査・長期観測手順										サイト特性調査		処分場の管理					
				資料 調査	現地 調査	空中 地表 調査	地表か らのホ ーリング	調査 坑内 調査	地下ア クセス 部調査	建設中 部調査	定置中 部調査	定置後 部調査	サイト選定 段階 10年	サイト特性調査 (処分技術実証) 段階 15年	地層処分事業段階						
															建設段階 10年	操業段階 30年	閉鎖段階 11年(監視期間 は含まない)	閉鎖後 管理段階(安全が 確認できるまで)			
サイト特性調査 時に開始する調 査・観測	地形	地形条件	資料調査、空中写真判読	地表環境 (a-1,4)	○		○														
		地すべり・崩壊地	資料調査、空中写真判読	地表環境 (a-1,4)	○		○														
	地質構造	岩種・岩質 (地質分布)	空中磁気探査 空中電磁探査	地質環境 (a-1,4)			○														
		断層・破砕帯 (分布、形状、走向 傾斜、充填物)	空中放射能探査 地上地質踏査	地質環境 (a-1,4)			○														
		シーム・節理等 (分布、連続性、 間隔、性状)	重力探査 電磁探査(MF法)	地質環境 (a-1,4)			○														
		風化・変質 (状況、固結度)	屈折法地震探査 反射法地震探査 比抵抗電気探査	地質環境 (a-1,4)			○														
		地質年代 (地層年代) (断層活動性)	物理検層(電気、音波、温度、 密度、ヤング)	物理検層(電気、音波、温度、 密度、ヤング)	地質環境 (a-2,6)				○												
			ボアホール	ボアホール	地質環境 (a-2,6)				○												
			ローナー検層	ローナー検層	地質環境 (a-2,6)				○												
			シンクホーラー探査	シンクホーラー探査	地質環境 (a-2,6)				○												
			パトリックVSP調査	パトリックVSP調査	地質環境 (a-2,6)				○												
			弾性波トモグラフィ	弾性波トモグラフィ	地質環境 (a-2,6)				○												
			比抵抗トモグラフィ	比抵抗トモグラフィ	地質環境 (a-2,6)				○												
		レーザトモグラフィ	レーザトモグラフィ	地質環境 (a-2,6)				○													
		初期地圧 (主応力、方向)	コア観察	コア観察	地質環境 (a-2,6)				○												
			応力解放法	応力解放法	地質環境 (a-2,6)				○												
	水圧破砕法		水圧破砕法	地質環境 (a-2,6)				○													
	AE法		AE法	地質環境 (a-2,6)				○													
	DRA法		DRA法	地質環境 (a-2,6)				○													
	地震動	地震波	ASR法	地質環境 (a-2,6)				○													
			DSCA法	地質環境 (a-2,6)				○													
地震動観測			地震動観測	地質環境(a-4)			○														

a:地表、a-1:サイト外地表、a-2:サイト外試錐孔、a-3:サイト外沿岸、a-4:サイト内地表、a-5:地上施設周辺、a-6:サイト内試錐孔、a-7:立坑口、b:地下のアクセス部分、b-1:立坑壁、b-2:立坑底、b-3:連絡坑道分岐、b-4:連絡坑道壁、  
b-5:試錐孔、b-6:透水性断層、c:建設用処分区分画、c-1:連絡坑道入口、c-2:掘削箇所、c-3:掘削後空洞、c-4:湧水箇所、c-5:廃棄体搬送ルートとの連絡部、d:定置用(実証用)処分区分画、d-1:連絡坑道入口、d-2:定置箇所、  
d-3:定置清埋股部両端or片方端、d-4:緩衝材、d-5:廃棄体周辺岩盤、d-6:廃棄体アクセス部

表-5.4.3.2 処分場管理のためのモニタリングの数量(1/9)

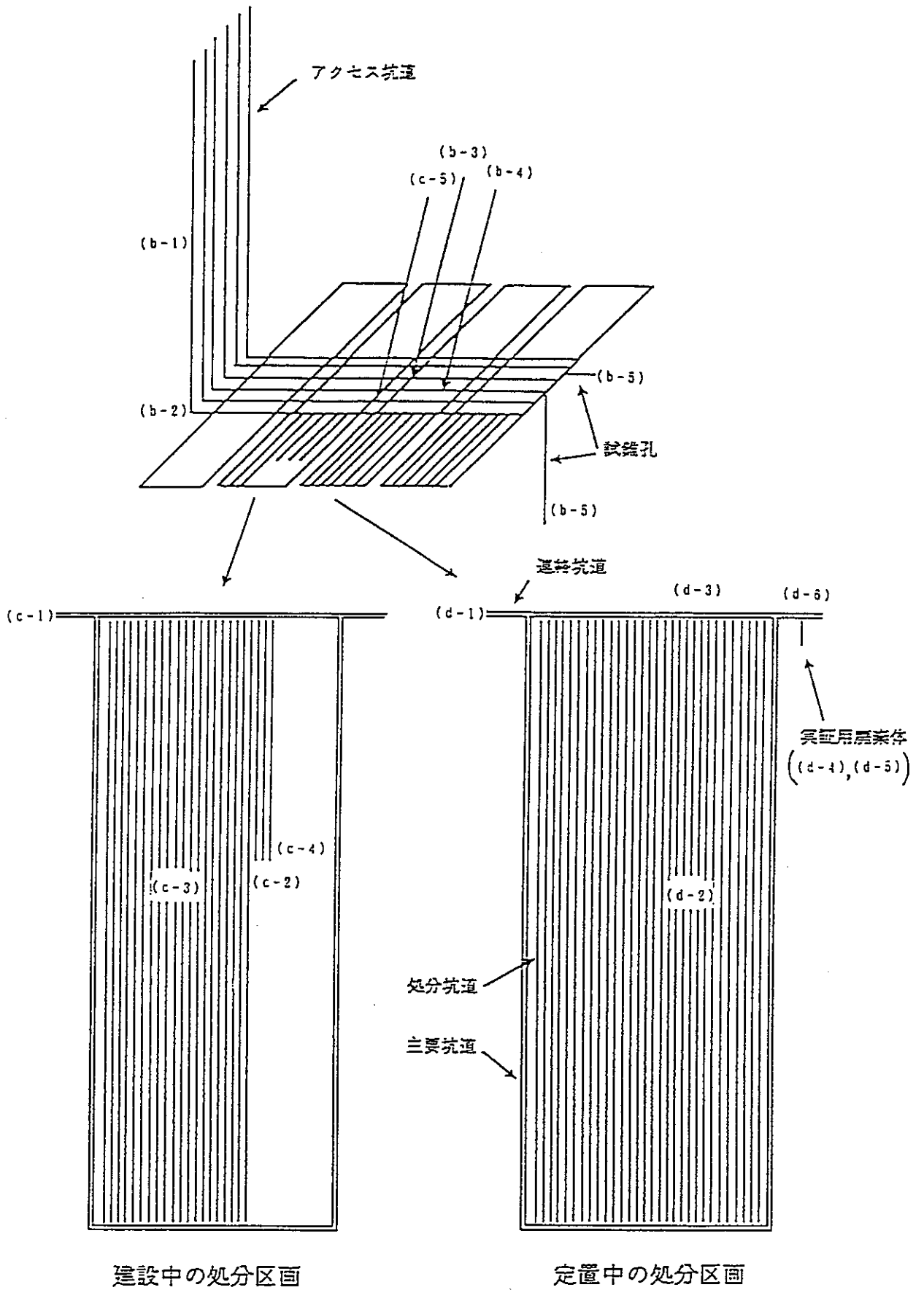
段階	調査・観測項目	調査・観測手法		測定対象及び 主要な場	数量			数量算出条件	
					単位	合計数量			
						堆積岩	結晶質岩		
サイト特性調査 時に開始する調 査・観測	地形	地形条件	資料調査、空中写真判読	地表現境	km <sup>2</sup>	600	600	広域調査対象エリア20kmx30km	
		地すべり・崩壊地	資料調査、空中写真判読	(a-1,4)	km <sup>2</sup>	600	600	広域調査対象エリア20kmx30km	
	地質構造	岩種・岩質 (地質分布)	空中磁気探査	地質環境 (a-1,4)	地質環境 (a-2,6)	km <sup>2</sup>	600	600	広域調査対象エリア20kmx30km
			空中電磁探査			km <sup>2</sup>	600	600	広域調査対象エリア20kmx30km
		断層・破砕帯 (分布、形状、走向 傾斜、充填物)	空中放射能探査	km <sup>2</sup>		600	600	広域調査対象エリア20kmx30km	
			地上地質踏査	km <sup>2</sup>		716	716	広域調査対象エリア20kmx30km, 候補地調査対象エリア10kmx10km, サイト特性調査対象エリア4kmx4km	
		シーム・節理等 (分布、連続性、 間隔、性状)	磁気探査	km <sup>2</sup>		700	700	広域調査対象エリア20kmx30km, 候補地調査対象エリア10kmx10km	
			重力探査	km <sup>2</sup>		700	700	広域調査対象エリア20kmx30km, 候補地調査対象エリア10kmx10km	
		風化・変質 (状況、固結度)	電磁探査(MT法)	km <sup>2</sup>		700	700	広域調査対象エリア20kmx30km, 候補地調査対象エリア10kmx10km	
			屈折法地震探査	km		254	254	広域調査対象エリア20kmx4+30kmx3, 候補地調査対象エリア10kmx3+10kmx3, サイト特性調査対象エリア4kmx3+4kmx3	
		物理検層(電気、音波、温度、 密度、キャパシタンス)	反射法地震探査	km		254	254	広域調査対象エリア20kmx4+30kmx3, 候補地調査対象エリア10kmx3+10kmx3, サイト特性調査対象エリア4kmx3+4kmx3	
			比抵抗電気探査	km		254	254	広域調査対象エリア20kmx4+30kmx3, 候補地調査対象エリア10kmx3+10kmx3, サイト特性調査対象エリア4kmx3+4kmx3	
			物理検層(電気、音波、温度、 密度、キャパシタンス)	m		17,500	30,000	堆積岩：(広域調査対象エリア"リング"1本+候補地調査対象エリア"リング"4本+サイト特性調査対象エリア"リング"20本)x"リング"深度700m 結晶質岩：(広域調査対象エリア"リング"1本+候補地調査対象エリア"リング"4本+サイト特性調査対象エリア"リング"20本)x"リング"深度1,200m	
			ボアホールテレビ	m		17,500	30,000	(広域調査対象エリア"リング"1本+候補地調査対象エリア"リング"4本+サイト特性調査対象エリア"リング"20本)x"リング"深度	
			70-MHz検層	m		17,500	30,000	(広域調査対象エリア"リング"1本+候補地調査対象エリア"リング"4本+サイト特性調査対象エリア"リング"20本)x"リング"深度	
			シンクロナイズド探査	m		17,500	30,000	(広域調査対象エリア"リング"1本+候補地調査対象エリア"リング"4本+サイト特性調査対象エリア"リング"20本)x"リング"深度	
			ハイトフォンVSP調査	m		17,500	30,000	(広域調査対象エリア"リング"1本+候補地調査対象エリア"リング"4本+サイト特性調査対象エリア"リング"20本)x"リング"深度	
			弾性波トモグラフィ	ヶ所		22	22	サイト特性調査対象エリア"リング"20本の孔間22ヶ所	
			比抵抗トモグラフィ	ヶ所		22	22	サイト特性調査対象エリア"リング"20本の孔間22ヶ所	
			レーザートモグラフィ	ヶ所		22	22	サイト特性調査対象エリア"リング"20本の孔間22ヶ所	
		コア観察	m	17,500		30,000	(広域調査対象エリア"リング"1本+候補地調査対象エリア"リング"4本+サイト特性調査対象エリア"リング"20本)x"リング"深度		
		地質年代 (地層年代)	放射年代測定法	地質環境		式	30	30	岩相10種、断層20地点
	化石年代測定法		(a-1,2,4,6)	式	30	30	岩相10種、断層20地点		
	(断層活動性)		過去の活動調査	式	10	10	活動性の可能性のある断層10本		
			トレンチ調査 (地震動観測の項参照)	式	1	1	各ケース1ヶ所		
	初期地圧 (主応力、方向)		応力解放法	地質環境 (a-2,6)	ヶ所	12	12	サイト特性調査対象エリア"リング"4本x3深度	
		水圧破砕法	ヶ所	12	12	サイト特性調査対象エリア"リング"4本x3深度			
		AE法	式	12	12	サイト特性調査対象エリア"リング"4本x3深度			
		BRA法	式	12	12	サイト特性調査対象エリア"リング"4本x3深度			
		ASR法	式	12	12	サイト特性調査対象エリア"リング"4本x3深度			
DSCA法		式	12	12	サイト特性調査対象エリア"リング"4本x3深度				
地震動	地震波	地震動観測	地質環境(a-4)	ヶ所	4	4	三角形観測アレイx2		

a:地表、a-1:サイト外地表、a-2:サイト外試験孔、a-3:サイト外沿岸、a-4:サイト内地表、a-5:地上施設周辺、a-6:サイト内試験孔、a-7:立坑口、b:地下のアクセス部分、b-1:立坑壁、b-2:立坑底、b-3:連絡坑道分岐、b-4:連絡坑道壁、  
b-5:試験孔、b-6:透水性断層、c:建設用処分区画、c-1:連絡坑道入口、c-2:掘削箇所、c-3:掘削後空洞、c-4:湧水箇所、c-5:廃棄体搬送ルートとの連絡部、d:定置用(実証用)処分区画、d-1:連絡坑道入口、d-2:定置箇所、  
d-3:定置済埋設部両端or片方端、d-4:緩衝材、d-5:廃棄体周辺岩盤、d-6:廃棄体アクセス部

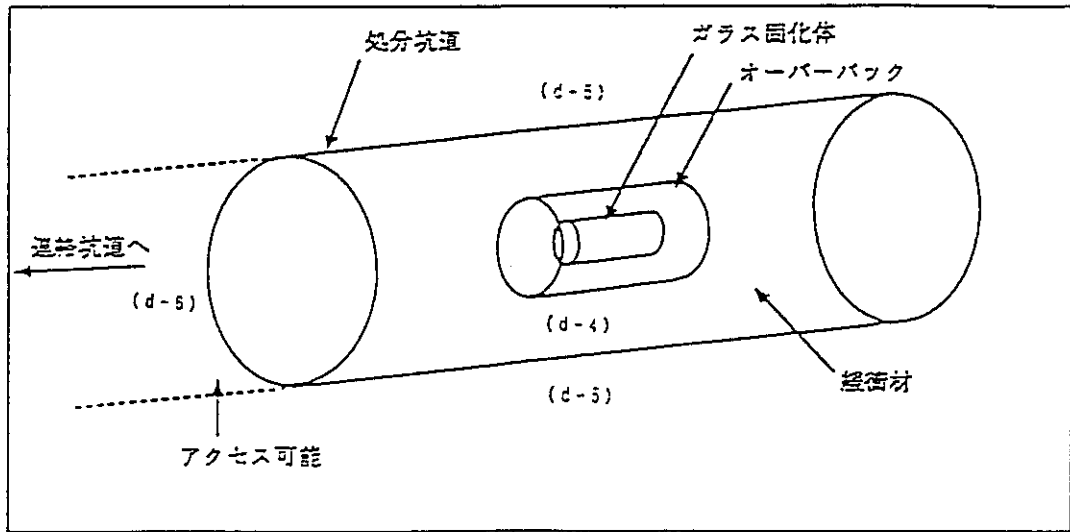


図一5.4.3.1 処分場管理のためのモニタリング位置図 (1)





図一5.4.3.1 処分場管理のためのモニタリング位置図 (2)



図一5.4.3.1 処分場管理のためのモニタリング位置図 (3)

## 5.5 事前調査から閉鎖までの手順及び工程の検討

### 5.5.1 検討の目的

実施主体設立後の事前調査の開始から処分場の閉鎖に至る各工程を基本として、全体工程の立案を行うことにより、処分事業スケジュールの技術的実現性を評価することを目的とする。

### 5.5.2 検討の範囲

全体工程立案の範囲としては、事前調査が開始される2000年過ぎから、アクセス坑道の閉鎖完了までとする。

事前調査およびサイト特性調査の工程については、本節において調査内容や数量、各調査項目の工程の検討を行い、調査計画の立案を行う。

建設、操業、閉鎖の各実施項目およびその工程は、前述の「5.1 建設技術の検討」、「5.2 操業技術の検討」、「5.3 閉鎖技術の検討」の結果を基本とする。

全体工程の立案は、上記の事前調査から建設、操業、および閉鎖までの各実施事項および工程を組合せて行う。全体工程における各項目の実施手順は、原則として昨年度の検討「地層処分システムの設計研究」における基本ケースをベースとする。

### 5.5.3 検討の進め方

本検討の目的となる全体工程の技術的実現性の評価に至る検討の進め方を図-5.5.2. 1に示す。

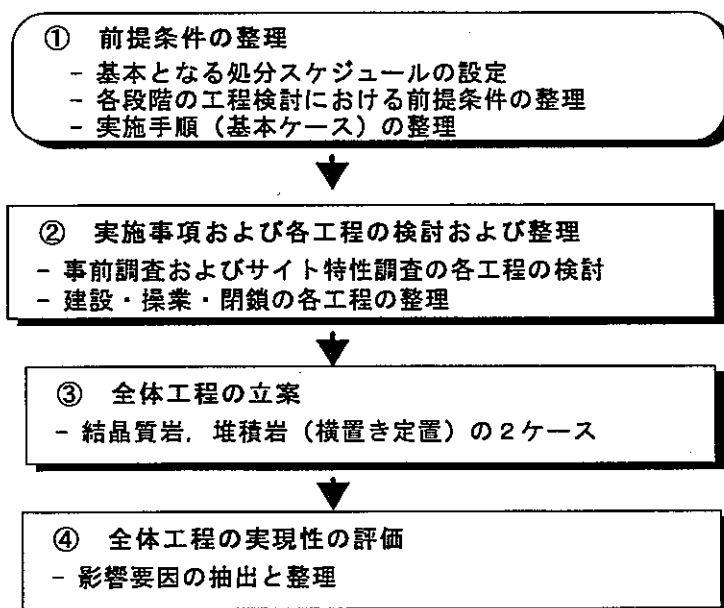


図-5.5.2. 1 全体工程の実現性評価までの検討の流れ

#### 5.5.4 前提条件の整理

##### (1) 基本となる処分スケジュールの設定

基本スケジュールは、原子力開発利用長期計画、高レベル事業推進準備会（SHP）の中間とりまとめ、および本報告書で前述した「設計における基本的考え方の整備（3.3）」を勘案して設定した。

全体工程立案の基本スケジュールは、以下のとおりである。

- ・ 2000年：実施主体の設立
  - ↓ 予備的な調査段階（以下、事前調査段階と示す）
- ・ 2010年：選定された処分予定地での調査開始
  - ↓ サイト特性調査段階
- ・ 2025年：処分場の建設開始
  - ↓ 建設段階
- ・ 2035年：操業開始
  - ↓ 操業および閉鎖段階
- ・ 2065年：操業終了
  - ↓ 閉鎖段階（継続後終了）

後述する全体工程の実現性評価は、上記の基本スケジュールをベースとするものであり、基本スケジュールの設定変更とともに評価・分析結果も変動することに留意する必要がある。

##### (2) 事前調査、サイト特性調査、建設、操業、閉鎖段階での各工程の検討における前提条件の整理

###### (a) 実施項目として取り扱う範囲

全体工程に組込む実施項目は、フィールドで実施する事項を中心として設定する。調査結果の解析や設計、申請書の作成などのデスクワーク、国の確認および事業許可申請等の工程については、直接的に全体工程に係わるもののみを対象とする。

###### (b) 事前調査およびサイト特性調査段階

基本スケジュールから、2000年から2025年（25年間）を対象とした調査計画を立案する。

処分地選定までの期間となる2000年から2015年の手順には、多様なプロセスが想定される。本検討では、建設、操業および閉鎖技術の検討のベースとした仮想地質モデルを前提として、1つの調査手順案を設定し、仮想地質モデル（結晶質岩系および堆積岩系）で設定した地質情報等の取得を調査の目標レベルとした2ケースの調査計画を立案する。

サイト特性調査では、地下施設の建設および調査が行われる。調査のための地下施設は、「平成8年度 地層処分システムの設計研究」の報告を基本として、以下のように設定する。

- ・ 地下施設へのアクセスは調査立坑（2本）により行う。
- ・ 地下施設では、サイト特性調査と処分技術の実証が行われるが、サイト特性調査に係わる工程を検討の対象とする。
- ・ サイト特性調査を行う調査坑道は、サイト特性調査段階の処分場レイアウトを基本として、施設全域を概略カバーするレイアウトで設定する。
- ・ アクセス坑道となる調査立坑および調査横坑は、事業許可後に処分施設として利用することを前提とした仕様とする。

#### (c) 建設・操業・閉鎖段階

「5.1 建設技術の検討」「5.2 操業技術の検討」「5.3 閉鎖技術の検討」の結果をベースとして、2025年の建設開始から閉鎖終了までの全体工程を立案する。各種工程の設定に係わる前提条件は、以下である。

- ・ 対象岩種：結晶質岩系および堆積岩系の仮想地質モデルを対象
- ・ 処分深度：結晶質岩系では1000m、堆積岩系では500m
- ・ 処分本数：4万本
- ・ 処分形態：横置き定置
- ・ 建設・操業・閉鎖の各作業手順：互いに独立した区画の中で同時併行に行われる
- ・ 操業期間と廃棄体搬入回数：2035年からの30年間、6本/1日とする
- ・ 処分場レイアウトおよび各部位の仕様：「5.1 建設技術の検討」により結晶質岩系および堆積岩系でそれぞれ設定（アクセス立坑6本、6区画のパネル配置）

#### (3) 全体工程立案に適用する実施手順（基本ケース）の整理

「平成8年度 地層処分システムの設計研究」では、実施手順に関するオプション（代

替ケース)を設定し、各ケースについての全体工程への影響の程度を検討した。本検討での各影響要因の取り扱いを以下に示す。

- ① 調査手順：段階的な調査手順を想定
- ② 調査立坑および調査坑道掘削時に必要となる時間：4時間/日
- ③ 調査坑道の配置：処分エリアを概略カバーする領域
- ④ 実証エリアの配置：処分エリア外に配置
- ⑤ 連絡坑道、主要坑道、処分坑道掘削時の調査：考慮せず
- ⑥ 調査坑道の最終利用法：処分施設として利用しない

(安全側の工程として連絡坑道のサイクルタイムを採用)

- ⑦ 建設用立て坑の掘削開始時期：サイト特性調査段階

#### 5.5.5 実施事項および各工程の検討および整理

##### (1) 事前調査およびサイト特性調査段階

仮想地質モデルをベースとして、事前調査およびサイト特性調査段階のサイト選定および調査手順、実施項目および各工程を検討し、調査計画を立案する。

##### (a) 検討の進め方

調査計画の立案に至る検討の流れを図-5.5.5.1に示す。

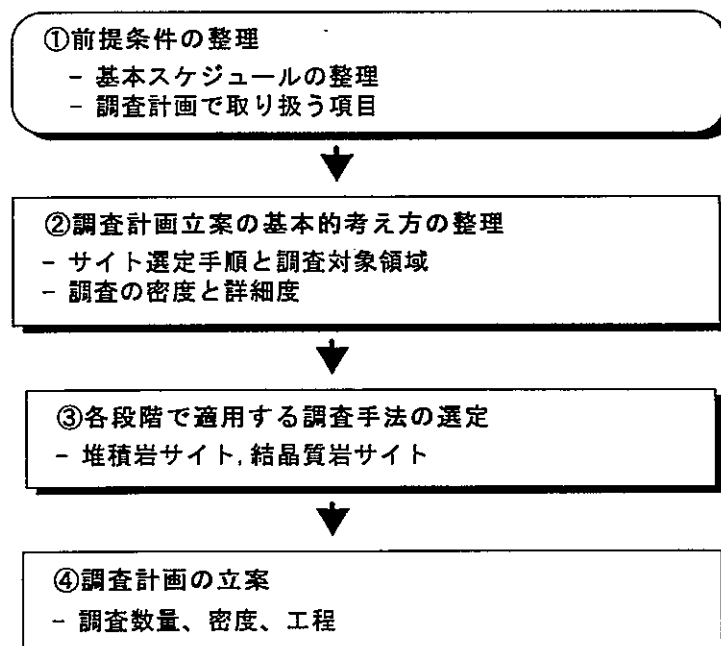


図-5.5.5.1 調査計画立案に至る検討の流れ

調査計画の立案は、当該サイトの長期的な安定性評価、処分施設の設計・建設技術の実現性評価、施設の安全性評価など様々な観点からの要求に応える地質環境条件の取得を目標とするものであり、サイト選定の手順および段階的な評価のレベルにより、現実的には様々なパターンが考えられる。図中の②調査計画立案の基本的考え方では、調査計画立案における仮想地質モデルの取り扱い方や、サイト選定の手順や各段階の調査の目標レベル設定の考え方について示している。次に続く③各段階で適用する調査手法の選定および④調査計画の立案は、②で示す基本的考え方に従う設定とする。

#### (b) 前提条件

##### i) 基本スケジュールの整理

実施主体の設立（2000年）から、処分候補地の選定調査、処分予定地の選定および国の確認終了までの期間（2025年）を対象とする。

##### ii) 調査計画で取り扱う項目

処分候補地の選定結果および候補地での調査開始に対する地元の合意や、実施主体の処分候補地、処分予定地および処分地の選定に対する国による確認に要する期間など、技術的な行為以外の項目については、その内容が不明確で必要となる期間（工程）の設定が困難であるため、工程に直接的に影響する項目のみ、期間を仮定して設定する。

#### (c) 調査計画立案の基本的考え方

##### i) サイト選定手順と調査対象領域

本検討の基本とする事前調査段階開始からサイト特性調査段階終了までのサイト選定の流れを、図-5.5.5.2に示す。事前調査およびサイト特性調査の調査計画の立案は、図中の①～③の流れに従い段階的に実施する。段階的な実施とは、①から③へと調査が進展していくに従い、調査対象領域を絞り込み、調査の密度・詳細度を段階的に高めることを意味している。

調査計画は、調査の内容、期間および対象領域（広さ）に大きく影響を受ける。特に事前調査におけるサイト選定手順および調査対象領域の設定は、現段階では断定的に想

定が困難な事項であり、現実的にはサイトの立地および社会的な影響を含めて多様な手順が考えられる（「平成8年度 地層処分システムの設計研究」参照）。

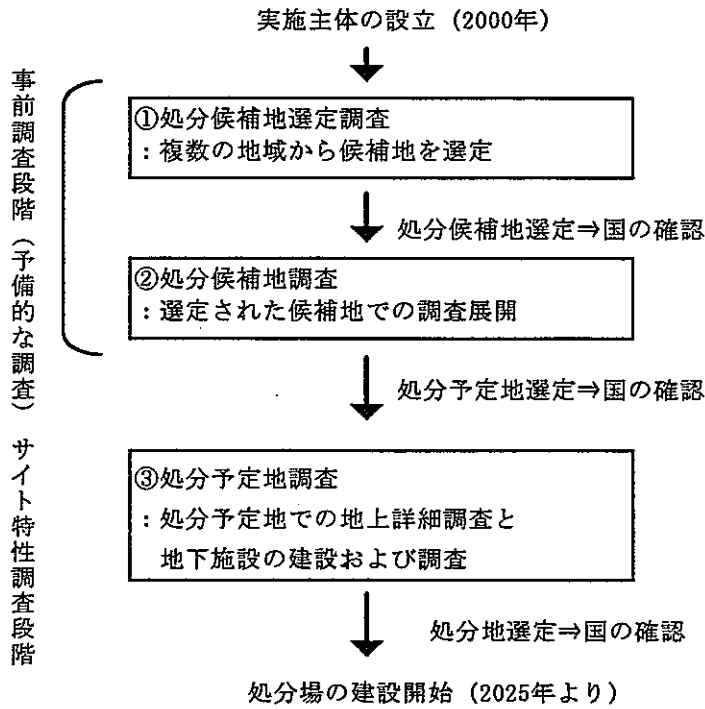


図-5.5.5. 2 サイト選定の流れ

調査計画立案のベースとなる各段階の調査の内容、調査の期間、調査対象領域（広さ）を、本検討では表-5.5.5. 1のように仮定する。調査対象領域の設定は、処分候補地として100km<sup>2</sup>程度の敷地を前提としている。

表-5.5.5. 1 事前調査、サイト特性調査段階の調査の内容と調査期間

段階 (大項目)	調査段階 (小項目)	調査の内容	調査期間	調査対象領域
事前調査 (2000~2010年)	処分候補地選定調査	・文献調査他	3年間	候補地 (10 × 10km)を含む広域エリア 30×20km程度
	処分候補地調査	・地表からの調査+少数の試錐孔を利用した調査	5年間 + 2年間の国の確認期間	同上
サイト特性調査 (2010~2025年)	処分予定地調査	・複数の試錐孔を用いた地表詳細調査 ・地下施設建設および調査	15年間 (地下施設の建設期間含む)	事前調査段階で設定された処分施設 (4×4km)を中心とした周辺エリア



ii) 調査の密度と詳細度

処分候補地の選定から、処分予定地の選定および処分地の選定まで、図-5.5.5.2に示した段階的な進め方を想定した場合、各段階でどの程度の密度・詳細度の地質環境条件の取得を目標レベルとするかにより、調査計画は異なる。

調査の目標レベルは、各段階で実施する評価事項からの要求を満足するように設定することが現実的である。調査計画の立案には、調査の段階的な展開に対応した評価事項とその要求を整理することが重要である。

調査の段階的な進展に対応した評価事項を想定して表-5.5.5.2に示す。評価事項は当該地域の長期の安定性、処分施設の建設・操業・閉鎖技術の適用および処分施設の長期の安全性（性能評価）に係わる事項について整理している。

調査の密度および詳細度は、施設レイアウトを例とした前述の流れと同様に、当該地域の長期安定性および処分場の建設・操業・閉鎖、処分の安全性確保に係わる評価事項からのモデル作成に必要な評価領域、パラメータの種類、品質（ばらつき）等を想定して設定することとなる。そのため、調査および評価の一連の流れを考慮した計画の立案および見直しが可能なよう、全体工程を立案することが重要となる。

表-5.5.5.2 調査各段階の評価事項（案）

段階（大項目）	調査段階（小項目）	評価事項
事前調査 (2000～2010年)	処分候補地選定調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>・長期安定性が確保される見通しの評価</li> <li>・処分場の建設に係わる技術的実現性について見通しの評価</li> <li>・処分の安全性確保の見通しの評価</li> </ul>
	処分候補地調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>・処分候補地の長期安定性の適正評価</li> <li>・設計した処分施設での操業・閉鎖を含めた技術的実現性の適正評価</li> <li>・処分の安全性確保の適正評価</li> </ul>
サイト特性調査 (2010～2025年)	処分予定地調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>・上記評価の確認と適用した技術の実証</li> </ul>

本報告書では、堆積岩系および結晶質岩系それぞれについて、広域および詳細調査段階の2つの仮想地質モデルをベースとして施設のレイアウトおよび各施設部位の仕様設定等を行っている。表-5.5.5.3に仮想地質モデル設定時の前提となる調査項目および調査数量を整理する。表中右側には、設定した前提条件が本調査計画のどの段階に含まれるかの対応を示している。

表-5.5.5. 3 仮想地質モデル設定時の前提条件

仮想地質モデル	前提条件	調査段階（小項目）	対応する調査手法
30×20kmモデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>・文献調査</li> <li>・空中写真判読</li> <li>・地表踏査</li> <li>・深部試錐孔調査（1孔、透水試験・室内力学試験）</li> <li>・広域物理探査</li> </ul>	処分候補地選定調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>・文献調査</li> <li>・空中写真判読</li> </ul>
		処分候補地調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地表踏査</li> <li>・深部試錐孔調査（1孔）</li> <li>・広域物理探査</li> </ul>
10×10kmモデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地表地質調査</li> <li>・深部試錐孔調査（10km四方に4孔、<u>立地予定地</u>に20孔、透水試験・室内力学試験）</li> <li>・詳細物理探査</li> </ul>	処分予定地調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地表地質調査</li> <li>・深部試錐孔調査（10km四方に4孔、<u>処分予定地</u>に20孔、透水試験・室内力学試験）</li> <li>・詳細物理探査</li> </ul>

調査計画は上記表の調査手法をベースとするが、処分施設の設計・建設以外の評価事項（処分エリアの長期安定性および施設の安全性評価（性能評価））への地質環境情報の提供を想定した実施事項も抽出し、包括的な計画を立案する。

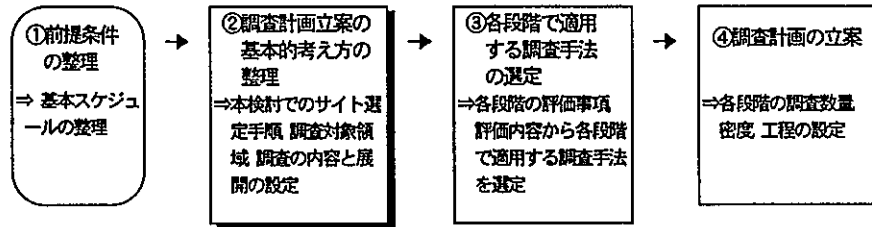
以上に示した本検討における事前調査およびサイト特性調査計画立案の基本的な考え方を整理して、次頁に示す。

次節より、本基本的考え方をベースとした各段階で適用する調査手法の選定および調査計画の立案を行う。

# 事前調査およびサイト特性調査計画の立案

## - 計画立案の基本的考え方 -

### 1. 調査計画立案までの検討の流れ



### 2. 基本スケジュールの設定 (H6 長計, SHP 中間とりまとめをベースにした前提条件)

- ① 事前調査段階
  - 処分候補地選定調査: 複数の地域から、数地点または1地点の処分候補地を選定する
  - 処分候補地調査: 選定された処分候補地の調査により処分予定地を選定する
  - ⇒ 2000年から2010年
- ② サイト特性調査段階
  - 処分予定地調査: 処分予定地における地表詳細調査と地下施設の建設・調査
  - ⇒ 2010年から2025年
- ③ 建設段階 (操業開始まで)
  - ⇒ 2025年から2035年
- ④ 操業段階 (建設・操業・閉鎖・閉鎖後段階)
  - ⇒ 2035年から30年程度
- ⑤ 最終閉鎖段階
  - ⇒ 連絡坑道およびアクセス坑道閉鎖

### 3. 調査計画立案の基本的考え方

- ① サイト選定手順と調査対象領域 (図 - a 参照)
  - 段階的な進め方 (調査対象領域・調査の内容) を基本
  - 処分候補地領域を 100km<sup>2</sup> 程度と想定
  - ⇒ 現状では想定が困難となるサイト選定手順等について本検討の考え方を整理
- ② 調査の密度と詳細度 (図 - b 参照)
  - 各段階で評価すべき事項 (目標レベル) の設定
  - ⇒ 処分候補地選定調査: 長期安定性、処分場の建設の実現性、処分の安全性確保の見通しの評価
  - ⇒ 処分候補地調査: 長期安定性、処分場の建設・操業・閉鎖の実現性、処分の安全性確保の適正評価
  - ⇒ 処分予定地調査: 前段階の評価結果の詳細評価 (確認) と適用した技術の実証
  - 調査計画立案時の試錐孔の数量、調査密度 (ピッチ) 設定の考え方を整理

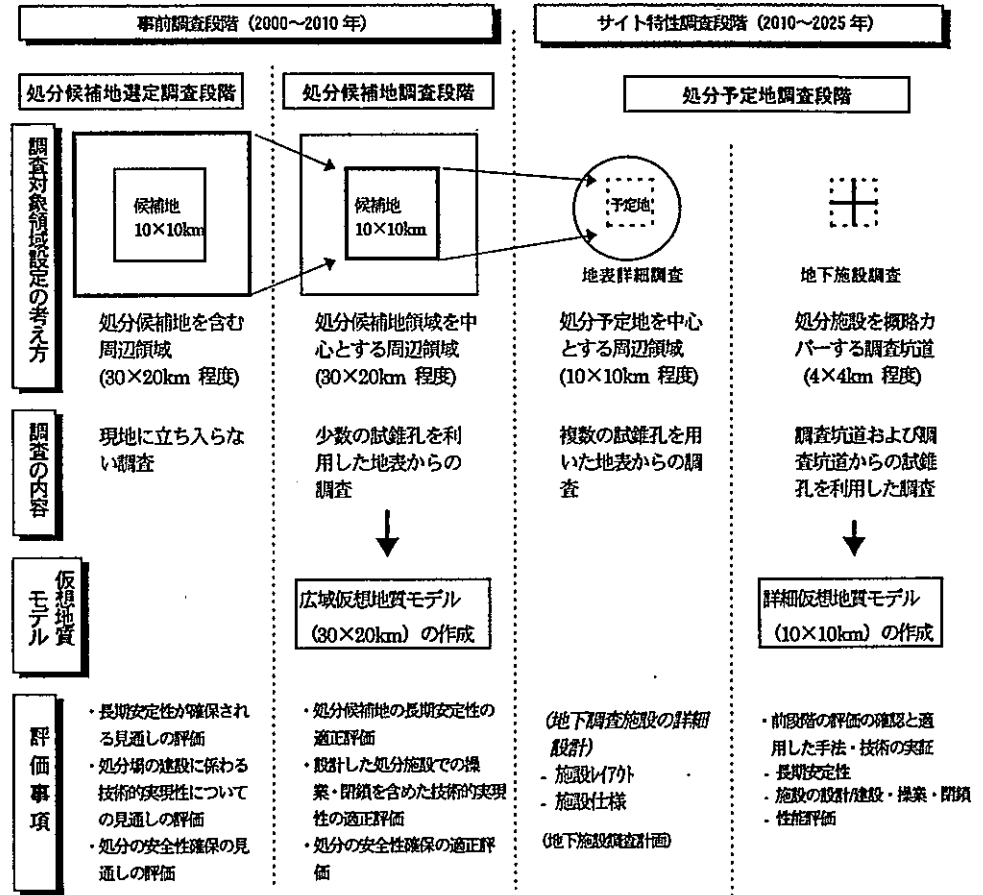


図 - a サイト選定手順と調査・評価の段階的な進展 (本検討設定案)

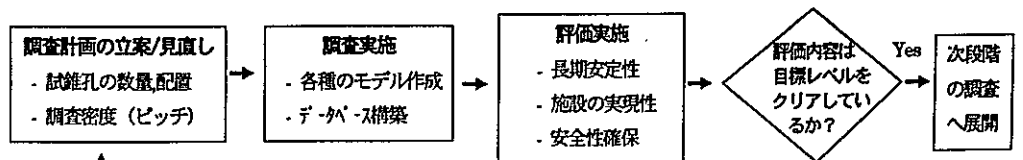


図 - b 調査の密度と詳細度の設定の考え方

(c) 各段階で適用する調査手法の選定

調査計画立案への基本的な考え方および設定した調査手順をベースに各段階で適用する調査手法の選定を行う。

i) 処分候補地選定調査段階 (2000~2003年)

本段階の評価事項 (表-5.5.5. 2参照) をベースに評価の内容と適用する調査/観測手法を整理して表-5.5.5. 4に示す。本段階では処分候補地領域 (10×10km) を含む広域領域 (30×20km) を対象とした調査の実施を想定している。

表-5.5.5. 4 処分候補地選定調査段階の評価事項と適用する調査/観測手法

評価事項	評価内容	調査/観測手法	備考
・長期安定性が確保される見通しの評価	・地形, 地質・地質構造の特徴 (褶曲, 隆起/沈降, 断層, 火成活動, 侵食等)	・文献資料調査 ・空中写真判読 ・空中電磁探査	・地形判読, 断層活動性 ・航空写真 ・電気・磁気探査
・処分場の建設に係わる技術的実現性について見通しの評価	・母岩の特性 (分布, 強度特性)	・文献資料調査 ・空中電磁探査	・地形判読, 断層活動性 ・電気・磁気探査
・処分の安全性確保の見通しの評価	・資源の賦存分布	・文献資料調査 ・空中電磁探査	・地形判読, 断層活動性 ・電気・磁気探査

ii) 処分候補地調査

本段階の評価事項 (表-5.5.5. 2参照) をベースに評価の内容と適用する調査/観測手法を整理して表-5.5.5. 5に示す。

表-5.5.5. 5 処分候補地調査段階の評価事項と適用する調査/観測手法

評価事項	評価内容	調査/観測手法	備考
・処分候補地の長期安定性の適正評価	・地形, 地質・地質構造の特徴  ・将来予測 (褶曲, 隆起/沈降, 断層, 火成活動, 侵食等)	・地上地表踏査 ・電気探査 ・重力探査 ・電磁探査 ・各種物理検層 ・試錐孔調査 ・地上地表踏査 ・地震動観測	・1/5000  ・電気, 温度, PS, 密度 ・コア, BTV観察 ・1/5000
・設計した処分施設での建設・操業・閉鎖の技術的実現性評価	・主要地形 ・断層・破碎帯の分布 ・地下施設の概略レイアウト・仕	・地上地表踏査 ・断層活動性調査  【力学・熱特性】 ・室内物理試験	・1/5000 ・トレンチ調査  ・密度, 含水量他

	<ul style="list-style-type: none"> <li>様</li> <li>・地下施設概略レイアウト・仕様</li> <li>・人工バリア概略仕様</li> <li>・操業・閉鎖概略仕様と計画</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・室内強度/変形試験</li> <li>・初期地圧測定</li> <li>・室内熱伝導試験</li> <li>【水理学特性】</li> <li>・地上地表踏査</li> <li>・水文調査</li> <li>・水収支調査</li> <li>・地下水検層</li> <li>・長期水圧測定</li> <li>・原位置透水試験</li> <li>・室内透水試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・一軸, 三軸圧縮, せん断, 圧裂, 一軸クリープ試験, 動的特性</li> <li>・伝導率, 比熱他</li> <li>・1/5000</li> <li>・涵養量, 地下水位</li> <li>・水源, 水利用</li> <li>・JFT, ルジオン試験</li> <li>・トランジェントパルス</li> </ul>
・処分の安全性確保の適正評価	・地下水シナリオを基本とした概略評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>【水理学特性】</li> <li>・上記に含む</li> <li>【地化学特性】</li> <li>・水質観察</li> <li>・室内鉱物化学特性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地形判読, 断層活動性</li> <li>・電気・磁気探査</li> <li>・Eh, pH, 電導率</li> <li>・鉱物組成, 溶解度</li> </ul>

iii) 処分予定地調査段階

本段階の調査は地表からの詳細調査、地下施設（アクセス立坑）の建設中の調査および地下施設の調査坑道での調査に分類される。本段階の評価事項（表-5.5.5.2参照）をベースに評価の内容と適用する調査/観測手法を整理して表-5.5.5.6に示す。本段階では複数の試錐孔を用いた調査を中心とした調査を用いた詳細評価を目標とする。

地下施設の調査坑道での調査における評価事項と適用する調査/観測手法を整理して表-5.5.5.7に示す。調査坑道では、坑道を利用した調査および坑道からの試錐孔を利用した調査を中心に実施する。

表-5.5.5.6 処分予定地調査段階の評価事項と適用する調査/観測手法（その1）

評価事項	評価内容	調査/観測手法	備考
・処分候補地の長期安定性の評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地形, 地質・地質構造の特徴</li> <li>・将来予測 (褶曲, 隆起/沈降, 断層, 火成活動, 侵食等)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地上地表踏査</li> <li>・電気探査</li> <li>・重力探査</li> <li>・電磁探査</li> <li>・弾性波探査</li> <li>・各種物理検層</li> <li>・その他検層</li> <li>・試錐孔調査</li> <li>・地上地表踏査</li> <li>・地震動観測</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1/2500</li> <li>・電気, 温度, PS, 密度</li> <li>・フローメータ, レーダ</li> <li>・コア・BTV観察</li> <li>・1/2500</li> </ul>
・設計した処分施設での建設・操業・閉鎖の技術的実現性評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・主要地形</li> <li>・断層・破砕帯の分布</li> <li>・地下施設の概略レイアウト・仕様</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地上地表踏査</li> <li>・断層活動性調査</li> <li>【力学・熱特性】</li> <li>・室内物理試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1/2500</li> <li>・トレンチ調査</li> <li>・密度, 含水量他</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>様</li> <li>地下施設概略レイアウト・仕様</li> <li>人工バリア概略仕様</li> <li>操業・閉鎖概略仕様と計画</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>室内強度/変形試験</li> <li>初期地圧測定</li> <li>室内熱伝導試験</li> <li>【水理学特性】</li> <li>地上地表踏査</li> <li>水文調査</li> <li>水収支調査</li> <li>地下水検層</li> <li>長期水圧測定</li> <li>原位置透水試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>一軸, 三軸圧縮, せん断, 圧裂, 一軸, 三軸クリープ試験, 不連続面, 動的特性</li> <li>伝導率, 比熱他</li> <li>1/2500</li> <li>涵養量, 地下水位</li> <li>水源, 水利用</li> <li>JFT, 水圧試験</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>処分の安全性確保の評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水シナリオを基本とした概略評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>【水理学特性】</li> <li>上記に含む</li> <li>【地化学特性】</li> <li>水質観察</li> <li>室内鉱物化学特性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地形判読, 断層活動性</li> <li>電気・磁気探査</li> <li>Eh, pH, 電導率</li> <li>鉱物組成, 溶解度</li> </ul>

表-5.5.5. 7 処分予定地調査段階の評価事項と適用する調査/観測手法 (その2)

評価事項	評価内容	調査/観測手法	備考
<ul style="list-style-type: none"> <li>処分候補地の長期安定性の評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地形, 地質・地質構造</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>坑道壁面観察</li> <li>試験孔調査</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1/5000</li> <li>コア, BTV観察</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>設計した処分施設での建設・操業・閉鎖の技術的実現性評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>断層・破碎帯の分布</li> <li>地下施設の概略レイアウト・仕様</li> <li>地下施設概略レイアウト・仕様</li> <li>人工バリア概略仕様</li> <li>操業・閉鎖概略仕様と計画</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>各種トモグラフィ</li> <li>【力学・熱特性】</li> <li>室内物理試験</li> <li>室内強度/変形試験</li> <li>初期地圧測定</li> <li>原位置平板載荷試験</li> <li>原位置せん断試験</li> <li>室内熱伝導試験</li> <li>【水理学特性】</li> <li>坑道内湧水量調査</li> <li>長期水圧測定</li> <li>原位置透水試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>必要に応じて</li> <li>密度, 含水量他</li> <li>一軸, 三軸圧縮, せん断, 圧裂, 一軸クリープ試験, 動的特性</li> <li>伝導率, 比熱他</li> <li>低圧水圧試験</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>処分の安全性確保の評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水シナリオを基本とした概略評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>【水理学特性】</li> <li>上記に含む</li> <li>【地化学特性】</li> <li>水質観察</li> <li>室内鉱物化学特性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地形判読, 断層活動性</li> <li>電気・磁気探査</li> <li>Eh, pH, 電導率</li> <li>鉱物組成, 溶解度</li> </ul>

(d) 調査計画の立案

i) 処分候補地選定調査段階 (2000年～2003年)

2000年の実施主体の設立から、処分候補地の選定までの期間に該当する。

本段階では、実施主体の公募あるいは申し入れに応えた複数の地域に対して、候補

地としての適正を評価し、処分候補地を選定する。

本段階の実施項目は以下の3項目となる。

- ① 処分候補地の公募と調査計画の立案
- ② 現地に立ち入らない調査の実施
- ③ 調査報告書および次段階の計画の立案

②で適用される調査手法を表-5.5.5.5より整理すると、以下のとおりとなる。

- ・ 資料調査
- ・ 空中写真判読
- ・ 空中磁気探査

これらは、処分候補地領域（10×10km）を中心とする周辺領域を含むエリアを対象として実施する。対象とする領域は、結晶質岩および堆積岩とも30×20km（600km<sup>2</sup>）とする。処分候補地と調査対象エリアの概念図を図に示す。

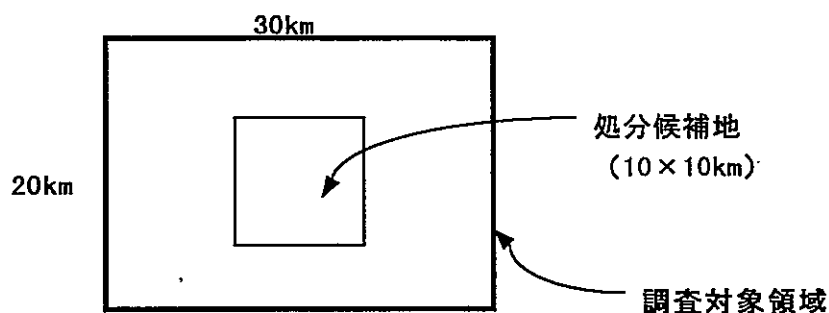


図-5.5.5.3 処分候補地選定調査段階の処分候補地と調査対象領域の概念図

本段階の調査計画を表-5.5.5.8に示す。調査計画は、堆積岩および結晶質岩ケースとも同様である。

表-5.5.5.8 処分候補地選定調査段階の調査計画（2000年～2003年）

調査手法\年	2000	2001	2002	備考
公募と計画立案	■			
空中写真判読		■		解析・評価含む
資料調査		■		
空中電磁探査		■		解析・評価含む
調査報告書の作成			■	次段階計画書含

ii) 処分候補地調査段階（2003年～2010年）

選定された複数あるいは1つの処分候補地を対象として、処分予定地の選定を開始する。処分候補地調査は処分予定地選定評価に対する国の確認期間を含めて7年間とする。

調査は、選定された処分候補地（10×10km）を中心に実施することとなるが、広域の地下水流動や候補地周辺に分布する断層・破碎帯の調査などを目的として、処分候補地周辺エリアでの調査も実施する。

各実施項目で適用される調査手法を前述の表-5.5.5.5から整理すると、以下のとおりとなる。また、各調査手法に対応した調査の範囲および数量についても示す。

- ① 地表地質踏査：地質・割れ目調査 ⇒ 30×20km
- ② 各種物理探査：電気・重力・電磁探査 ⇒ 全て30×20km
- ③ 試錐孔の掘削：処分候補地内に大深度試錐孔を1本と処分候補地内の割れ目帯を対象とした試錐孔  
⇒結晶質岩：1200m、堆積岩：700m、その他 100mの斜め試錐孔を10本と仮定
- ④ 試錐孔を利用した調査：BTV観察，物理検層
- ⑤ トレンチ調査：処分候補地周辺のAランク割れ目を対象⇒両ケースとも1箇所
- ⑥ 地表水文・水収支調査：降水量, 蒸発散量他 ⇒ 候補地内に5～6地点を仮定  
：水源調査, 水利用調査 ⇒ 文献・地表踏査
- ⑦ 原位置透水試験：地下水位観測，JFTおよびルジオン試験⇒ 全ての試錐孔
- ⑧ 地下水水質調査：Eh, pH, 電導率
- ⑨ 各種室内試験：各種岩石物性試験
- ⑩ 調査結果の評価（各種解析）：地下水流動, 力学安定解析, 物質移行評価など
- ⑪ 処分施設の概略設計書
- ⑫ 国の確認

両ケースの本段階の調査計画をそれぞれ表-5.5.5.9, 表-5.5.5.10に示す。



表-5.5.5 9 処分候補地調査段階の調査計画（結晶質岩ケース）

調査手法\年	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	備考	
地表地質踏査	[Timeline bar from 2003 to 2004]								
各種物理探査	[Timeline bar from 2003 to 2004]								
試錐孔の掘削 (大深度：1200m)	[Timeline bar from 2004 to 2006, with a dashed line from 2006 to 2007]								計画の見直し試錐追加を想定
試錐孔を利用した調査	[Timeline bar from 2004 to 2006, with a dashed line from 2006 to 2007]								BTV, 各種検層
トレンチ調査	[Timeline bar from 2004 to 2005]								
地表水文, 水収支調査, 水質調査	[Timeline bar from 2003 to 2004]								
原位置透水試験	[Timeline bar from 2004 to 2005]								
地下水水質調査	[Timeline bar from 2004 to 2005]								
各種室内試験	[Timeline bar from 2004 to 2005]								
調査結果の評価	[Timeline bar from 2006 to 2008]								
施設の概念設計	[Timeline bar from 2007 to 2008]								
国の確認	[Timeline bar from 2008 to 2009, shaded]								



 : 基本スケジュールで設定した確認期間（2年間を仮定）

表-5.5.5 10 処分候補地調査段階の調査計画（堆積岩ケース）

調査手法\年	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	備考	
地表地質踏査	[Timeline bar from 2003 to 2004]								
各種物理探査	[Timeline bar from 2003 to 2004]								
試錐孔の掘削 (大深度：700m)	[Timeline bar from 2004 to 2006, with a dashed line from 2006 to 2007]								計画の見直し試錐追加を想定
試錐孔を利用した調査	[Timeline bar from 2004 to 2006, with a dashed line from 2006 to 2007]								BTV, 各種検層
トレンチ調査	[Timeline bar from 2004 to 2005]								
地表水文, 水収支調査	[Timeline bar from 2003 to 2004]								
原位置透水試験	[Timeline bar from 2004 to 2005]								
地下水水質調査	[Timeline bar from 2004 to 2005]								
各種室内試験	[Timeline bar from 2004 to 2005]								
調査結果の評価	[Timeline bar from 2006 to 2008]								
施設の概念設計	[Timeline bar from 2007 to 2008]								
国の確認	[Timeline bar from 2008 to 2009, shaded]								5ヶ月余裕

 : 基本スケジュールで設定した確認期間（2年間を仮定）

### iii) 処分予定地調査段階

選定された処分予定地を対象として、処分地の選定を開始する。処分予定地の調査は、事業許可申請に対する審査期間を含めて25年間とする。

調査は、地表詳細調査と地下施設の掘削・調査に分類される。地表からの調査は、選定された処分予定地（4×4km）を中心に実施することとなるが、地下施設掘削期間中のモニタリングおよび処分予定地周辺領域の地下深部の情報取得を目的として、処分予定地を含むやや広いエリアまで展開する。

地表詳細調査および地下施設建設中の地表からの調査の実施項目は、以下の10項目となる。各実施項目で適用される調査手法を前述の表-5.5.5.6から整理すると、以下のとおりとなる。

- ① 地表地質踏査：地質・割れ目調査 ⇒ 10×10km
- ② 各種物理探査：電磁, 重力, 電気, 弾性波探査
- ③ 試錐孔の掘削：処分予定地内に大深度試錐孔を20本と処分予定地を中心とする処分予定地周辺エリアに大深度試錐孔を4本配置する。  
⇒結晶質岩：1200m、堆積岩：700m

なお、試錐孔の配置は、処分予定地（4×4km）内に1km程度のグリッド配置、および処分予定地を中心とした周辺エリア（10×10km）内に4方向の配置とする。

- ④ 試錐孔を利用した調査：BTV観察, 物理検層 ⇒ 全試錐孔を対象
- ⑤ 地表水文・水収支調査：前段階の継続モニタリング
- ⑥ 原位置透水試験：水位観測, JFTおよびブルジオン試験 ⇒ 全試錐孔を対象
- ⑦ 原位置力学試験：地圧測定, 孔内載荷試験 ⇒ 予定地内の数本の試錐孔
- ⑧ 地下水水質調査：Eh, pH, 電導率
- ⑨ 各種室内試験：各種岩石物性調査 ⇒ 全試錐孔を対象
- ⑩ 用地の造成と地上施設の建設

地下施設建設中のアクセス立坑内での調査および地下施設の調査坑道での調査の実施項目は、以下の12項目となる。

各実施項目で適用される調査手法を前述の表-5.5.5.7から整理すると、以下のとお

りとなる。

- ① 調査用立坑掘削：処分施設仕様での掘削 ⇒ 結晶質岩：1000m, 堆積岩：500m
- ② 立坑掘削時の調査：壁面地質調査 ⇒ 立坑壁面全域
- ③ バントン工事, 坑底施設の建設：調査坑道取り付け部も含む
- ④ 調査坑道の掘削：処分施設を概略カバーする配置
  - ⇒ 結晶質岩：4000m + 2400m×2本のキ字配置
  - ⇒ 堆積岩：3000m + 1550m×2本のキ字配置

追加調査坑道は、これら新に確認された割れ目のうち評価上優位な影響を示すことが想定される割れ目を対象として展開される。本検討では、設定した施設レイアウトに交差する割れ目を対象として追加坑道を展開するとした。

- ⑤ 調査坑道からの試錐孔掘削：調査坑道から十字配置
  - ⇒ 結晶質岩：1350m×6本 + 1200m×6本
  - ⇒ 堆積岩：1050m×6本 + 800m×6本
- ⑥ 試錐孔を利用した調査
  - ⇒ BTV観察、検層
- ⑦ 追加調査坑道および試錐孔の掘削：処分施設に交差する割れ目を対象に配置
  - ⇒ 結晶質岩：割れ目(a), (b), (c)を対象に、700, 600, 300mの追加坑道をそれぞれ掘削
  - ⇒ 堆積岩：割れ目(a)を対象に600mの追加坑道を掘削
- ⑧ 調査試錐孔を利用した調査：各種トモグラフィー
  - ⇒ 処分施設に交差する割れ目を対象に配置
- ⑨ 各種室内試験：各種岩石物性試験
- ⑩ 調査結果の評価（各種解析） ⇒ 2年間を仮定
- ⑪ サイト特性調査報告書および事業許可申請書 ⇒ 1年間を仮定
- ⑫ 事業許可申請の審査 ⇒ 2年間を仮定

結晶質岩ケースおよび堆積岩ケースの本段階の調査計画をそれぞれ、表-5.5.5 11, 表-5.5.5. 12 に示す。

表-5.5.5 11 処分予定地調査段階の調査計画（結晶質岩ケース）

調査手法\年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	備考	
地表地質踏査	[Timeline bar from 2010 to 2011]										
各種物理探査	[Timeline bar from 2010 to 2011]										
試錐孔の掘削	[Timeline bar from 2010 to 2012]										
試錐孔を利用した調査	[Timeline bar from 2010 to 2012]										BTV, 各種検層
地表水文, 水収支調査, 水質調査	[Timeline bar from 2010 to 2011]										
原位置透水試験	[Timeline bar from 2012 to 2013]										
原位置力学試験	[Timeline bar from 2012 to 2013]										
地下水水質調査	[Timeline bar from 2012 to 2013]										
各種室内試験	[Timeline bar from 2012 to 2013]										
用地の造成他	[Timeline bar from 2011 to 2013]										
調査用立坑掘削	[Timeline bar from 2013 to 2017]										58ヶ月
坑底施設建設	[Timeline bar from 2017 to 2018]										12ヶ月
調査坑道の掘削	[Timeline bar from 2013 to 2018]										最大6切羽並進

調査手法\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	備考	
調査坑道の掘削	[Timeline bar from 2019 to 2021]										湧水量調査含む
坑道を利用した調査	[Timeline bar from 2021 to 2022]										平板載荷, せん断試験
試錐孔の掘削	[Timeline bar from 2021 to 2022]										試錐座掘削含む
試錐孔を利用した調査	[Timeline bar from 2021 to 2022]										BTV, 各種検層
追加坑道掘削	[Timeline bar from 2023 to 2024]										3坑道
追加調査	[Timeline bar from 2023 to 2024]										トモグラフィ他
各種室内試験	[Timeline bar from 2023 to 2024]										
調査結果の評価	[Timeline bar from 2023 to 2025]										
評価書作成	[Timeline bar from 2024 to 2025]										
申請書の審査	[Timeline bar from 2025 to 2027]										2年4ヶ月程度の工程遅れ




 : 基本スケジュール  
 で設定した審査期間  
 (2年間を仮定)

表-5.5.5.12 処分候補地調査段階の調査計画（堆積岩ケース）

調査手法\年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	備考	
地表地質踏査	[Timeline bar from 2010 to 2018]										
各種物理探査	[Timeline bar from 2010 to 2011]										
試錐孔の掘削	[Timeline bar from 2010 to 2011]										
試錐孔を利用した調査	[Timeline bar from 2010 to 2011]										BTV, 各種検層
地表水文, 水収支調査, 水質調査	[Timeline bar from 2010 to 2011]										
原位置透水試験	[Timeline bar from 2011 to 2012]										
原位置力学試験	[Timeline bar from 2011 to 2012]										
地下水水質調査	[Timeline bar from 2011 to 2012]										
各種室内試験	[Timeline bar from 2011 to 2012]										
用地の造成他	[Timeline bar from 2010 to 2012]										
調査用立坑掘削	[Timeline bar from 2012 to 2017]										55ヶ月
坑底施設建設	[Timeline bar from 2017 to 2018]										12ヶ月
調査坑道の掘削	[Timeline bar from 2018 to 2019]										最大6切羽並進

調査手法\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	備考	
調査坑道の掘削	[Timeline bar from 2019 to 2022]										湧水量調査含む
坑道を利用した調査	[Timeline bar from 2022 to 2023]										平板載荷, せん断試験
試錐孔の掘削	[Timeline bar from 2021 to 2022]										試錐座掘削含む
試錐孔を利用した調査	[Timeline bar from 2022 to 2023]										BTV, 各種検層
追加坑道掘削	[Timeline bar from 2023 to 2024]										1坑道
追加調査	[Timeline bar from 2023 to 2024]										トモグラフィ他
各種室内試験	[Timeline bar from 2023 to 2024]										
調査結果の評価	[Timeline bar from 2023 to 2025]										
評価書作成	[Timeline bar from 2024 to 2025]										
申請書の審査	[Timeline bar from 2025 to 2027]										2年10ヶ月程度の工程遅れ

 : 基本スケジュールで設定した審査期間（2年間を仮定）

処分予定地調査段階の両計画から、基本スケジュール（図中 ）に対して、結晶質岩ケースでは2年4ヶ月、堆積岩ケースでは2年10ヶ月の期間、工程が遅れる結果となる。両計画では、地表からの詳細調査段階の試錐孔の掘削・調査は1展開としており、これらの調査結果をうけて、より詳細な調査データの取得を目的とした試錐孔の掘削・調査の再展開は、工程上かなり困難となることがわかる。一方、両ケースの仮想地質モデルより、地下施設の掘削および調査では、坑道の掘削および坑道からの試錐孔を利用した調査から、前段階までに確認されていない割れ目帯、割れ目（Bランク）が認められる。そのため、それらの割れ目特性（地質・水理・力学）の取得を目的とした追加坑道の掘削および調査を調査計画に含めている。追加坑道の掘削と調査には、両ケースとも1.5年程度の期間が必要となり、工程上一つのクリティカルパスとなる。仮想地質モデルを利用した現実的な調査計画の立案により、明確となった項目と言える。

処分予定地調査段階では、前述のように調査用立坑の掘削と調査坑道の掘削・調査期間が工程上クリティカルな項目となる。調査用立坑の掘削期間については、1000m程度の大深度構造物という不確実性はあるが、既存の構造物の施工実績および調査による工程の遅れも勘案していることから、現実的な設定といえる。一方、地下施設建設後の調査坑道の掘削・調査期間は、掘削時の切羽の並進が困難となることから、坑道の配置、すなわちこの段階で想定した施設レイアウトが工程に直接的にリンクすること、本計画で想定して取り入れた追加調査坑道の掘削・調査計画の設定の考え方が不明確なことなど、工程立案への不確実な要因が多い。また、地下施設実施される処分技術の実証については、実施事項および必要となる期間など、その目的、位置づけも含めて現状では明確でない。

以上より、基本スケジュールをベースとした調査立坑掘削後の期間（結晶質岩ケース：約5年、堆積岩ケース：約5.5年）は、全体工程の実現性に重要な要素となる。

## (2) 建設段階

「5.1 建設技術の検討」の結果から、本段階の実施項目およびその工程を整理し、基本スケジュールで設定した2025年の建設開始から、操業が開始される2035年までの全体工程を立案する。全体工程の立案ケースは結晶質岩と堆積岩を対象とした2ケースである。

本段階の実施事項と工程を整理して、表-5.5.5.13に示す。

## (3) 操業・閉鎖段階

「5.2 操業技術の検討」、「5.3 閉鎖技術の検討」の結果から、本段階の実施項目およびその工程を整理し、基本スケジュールで設定した2035年の操業開始から、処分区画の閉鎖終了までの全体工程を立案する。全体工程の立案ケースは結晶質岩と堆積岩を対象とした2ケースである。

本段階の実施事項と工程を整理して表-5.5.5.14に示す。

## (4) 最終閉鎖段階

「5.3 閉鎖技術の検討」の結果から、本段階の実施項目およびその工程を整理し、処分区画の閉鎖終了から立坑の閉鎖完了（最終閉鎖段階）までの全体工程を立案する。全体工程の立案ケースは結晶質岩と堆積岩を対象とした2ケースである。

本段階の実施事項と工程を整理して表-5.5.5.15に示す。

表-5.5.5.13 建設開始から操業開始までの段階の実施事項と各工程のまとめ

建設開始から操業開始まで（パネル①）（2025～2035年）

実施項目	工 程	基本的な考え方	備 考
①インフラ施設の整備と用地の造成	24ヶ月	予定地の地理的、地形的条件により決定 (本検討では仮定)	
②地上施設の建設	60ヶ月		・施設の掘削と並行に実施
③建設用立坑の掘削	(下記連絡坑道工程に含む)	サイト特性調査段階の2本の立坑を流用。 ズリ出し施設としての坑底施設の建設が対象となる	・操業用、閉鎖用は順次建設
④連絡坑道の掘削	Case.1 47ヶ月 Case.2 77ヶ月	坑底施設建設、立坑周辺掘削、坑内仮設工事、本体 工事、二次覆工、インパ-ト、撤去工事よりなる	
パネル①の主要坑道の 掘削開始までの期間	Case.1 28ヶ月 Case.2 8ヶ月	連絡坑道掘削により、パネル①主要坑道が掘削とな るまでの期間を設定	
⑤パネル①主要坑道掘削	Case.1 25ヶ月 Case.2 45ヶ月	2切羽の並進としてサイクルタイムから算出	
パネル①の処分坑道の 掘削開始までの期間	Case.1 25ヶ月 Case.2 33ヶ月	堆積岩 Case.2では、主要坑道掘削完了前に処分坑道 の掘削を開始	・堆積岩では、主要坑道掘削と処分坑道掘 削が輻輳 ⇒2035年の操業開始を目標
⑥パネル①処分坑道	Case.1 30ヶ月 Case.2 36ヶ月	1パネルあたり8～9切羽の並進	
⑦操業計画の立案と埋設の承認	24ヶ月	机上の検討、国の実施事項：仮定	
パネル②掘削～パネル③掘削			



表-5. 5. 5. 14 操業開始から処分区画閉鎖までの段階の実施事項と各工程のまとめ

操業開始から処分区画閉鎖までの段階（2035年～）

実施項目	工 程	基本的な考え方	備 考
①廃棄体定置の準備	12ヶ月	定置作業へのルート確保等の準備期間（仮定）	
②パネル①の緩衝材と廃棄体の定置	Case. 1 57ヶ月 Case. 2 56ヶ月	横置き：6系列で1本/日 120本/月から、各パネルの定置本数（結晶質岩：6681本、堆積岩：6674本）より算出	・6本/日の廃棄体受け入れ（20日/月）、合計4万本定置を大前提
③定置状況の確認と閉鎖の承認	48ヶ月	国の実施事項：仮定	
④処分坑道両端部のプラグ設置	Case. 1 12ヶ月 Case. 2, 3 11ヶ月	プラグ総数（結晶質岩100～102ヶ所、堆積岩94ヶ所）より、28日/1ヶ所、6系列、12切羽並進の9サイクルを想定	・1パネルあたり工程
⑤主要坑道埋戻し	Case. 1 2.7ヶ月 Case. 2 3.3ヶ月	転圧締固め及び吹込みのサイクルタイム（結晶質岩：57.6m/日、堆積岩：32.0m/日）から算出	・1パネルあたり工程
⑥最終閉鎖の確認	24ヶ月	国の実施事項：仮定	

表-5.5.5.15 最終閉鎖段階の実施事項と各工程のまとめ

最終閉鎖段階

実施項目	工 程	基本的な考え方	備 考
①連絡坑道の埋戻し	Case.1 2ヶ月 Case.2 3ヶ月	連絡坑道の総延長（結晶質岩：13273m、堆積岩：13273m）を57.6m/日の6切羽の並進で実施	
②坑底施設および実証エリアの埋戻し	Case.1 24ヶ月 Case.2 24ヶ月	立坑埋戻しのサイクルタイムから1本あたり8ヶ月と算出 建設、操業、閉鎖立坑を2本ずつ3サイクルで実施	・実証試験エリアの埋戻し期間は仮定
③立坑の埋戻し	Case.1 93.6ヶ月 Case.2 48.3ヶ月	立坑埋戻しのサイクルタイム（57.7cm/日）、立坑下部のペントナイトプラグ、立坑上部のコンクリートプラグの合計2ヶ所の施工工程（各長さ3m, 20m、各工程55日、28日）より、立坑1本あたりの工程を算定 建設、操業、閉鎖立坑を2本ずつ3サイクルで実施	・立坑6本に対する全工程は、 Case.1：280.8ヶ月 Case.2：144.9ヶ月

### 5.5.6 全体工程の立案

本検討で設定した基本スケジュールとの比較を目的として、全体計画は以下の枠組みで作成する。

- ①2000年の実施主体設立から、2025年の処分施設の建設開始まで
- ②2025年の建設開始から、2035年の区画の操業開始を経て区画の閉鎖まで
- ③最終閉鎖終了まで

結晶質岩ケース Case.1の全体工程を表-5.5.6.1に、堆積岩ケース Case.2の全体工程を表-5.5.6.2に示す。

### 5.5.7 全体工程の実現性の評価

#### (1) 影響要因の抽出

結晶質岩ケースおよび堆積岩ケースを対象とした全体工程より、工程の実現性にクリティカルになる項目を抽出する。

本検討で設定した実施手順により、基本スケジュールを満足できない段階として、2010年から2025年のサイト特性調査段階がある。サイト特性調査段階は、前段階で選定された処分予定地を対象として、処分地を選定する段階である。調査は、地表からの詳細調査と地下施設を利用した調査に大きく分類され、全体工程では、調査立坑の掘削および地下施設（調査坑道）の建設・調査に要する期間がクリティカルとなる。全体工程では、結晶質岩ケースで2年4ヶ月、堆積岩ケースで2年10ヶ月、基本スケジュールに遅れる結果となる。特に地下施設（調査坑道）の建設・調査については、調査坑道の配置の考え方、追加坑道の掘削および調査の必要性や、調査の内容の設定の考え方など、現状では不確定な要素が多い。本検討では、平成8年度「地層処分システムの設計研究」から、既存の原子力発電所での試掘坑調査の考え方をベースとした調査坑道の配置および追加坑道の調査を設定した。しかしながら、処分施設として施設深度でどのような情報（データ）を取得・確認すべきか、またその詳細度（調査密度）としてどのようなレベルを設定すべきかなどは現状では明確でなく、調査計画の立案からも今後解決・準備すべき重要な課題と考えられる。重要なことは、地表からの詳細調査により得るべき情報、そして地下施設で得るべき情報をサイトの長期的な安定性、施設の設計・建設、施設の安全性評価（性能評価）の

段階的な評価の観点から、整理することである。

次に、全体工程は基本スケジュールを満足しているが、実施手順の変更により全体工程への影響が大きい項目として、2025年の処分施設の建設開始から2035年の操業開始に至るパネル①の掘削完了までの期間がある。パネル①の処分坑道掘削終了までの期間は、調査立坑の建設立坑への流用、連絡坑道と主要坑道の並進など、工程を最適化することにより、結晶質岩ケースで107ヶ月、堆積岩ケースで93ヶ月となる（24ヶ月の承認期間も含む）。建設用立坑の掘削期間は、結晶質岩ケースで58ヶ月、堆積岩ケースで49ヶ月であり、立坑の建設を2025年から開始する場合には、2035年での操業開始が困難となる。建設用立坑は、現状では2本必要と考えられることから、許認可申請以前のサイト特性調査段階に2本の立坑の掘削が可能か、そして、調査用立坑を施設の坑道として流用することが可能かの2点が問題となる。本検討では、調査用立坑を施設として流用するという技術的観点から、本設の立坑と同一の仕様で調査用立坑を建設するとしたが、サイト特性調査段階に2本の立坑の掘削が可能かについては、技術的な観点以外の項目も含めて注意が必要と考えられる。

## (2) 今後の課題

全体工程の実現性にクリティカルとなる上記の要因の検討結果を踏まえ、より詳細度および精度の高い全体工程立案への課題を整理する。

### (a) 施設の設計・建設技術に係わる課題

#### ①アクセス立坑の急速施工

建設用立坑（2本）の掘削期間は、全体工程上のクリティカルな工程であり、本検討では、その影響によりサイト特性調査段階の工程が15年間の基本スケジュールを満足しない結果となる。急速施工技術については土木分野の技術として開発が行われているが、例えば、建設段階に2本目の建設用立坑を掘削する場合など、工法についてのオプションが設定可能な状況を想定し、工期短縮を目的とした大深度立坑の設計・建設手法を準備しておく必要がある。

#### ②調査坑道の配置と施設レイアウト

本検討ではサイト特性調査段階の地表からの詳細調査を踏まえて設定された施設レイアウトを基本として調査坑道の配置計画を立案した。調査坑道の掘削は、地下施設

のアクセス立坑から一切羽での進行が中心となり、調査坑道の掘削完了までの期間は工程上クリティカルとなる。調査期間の掘削期間の短縮は、調査坑道のレイアウトおよび仕様が関連する。本検討では、結晶質岩ケースの立坑が施設エリアのほぼ中心に配置されていることから、工程上クリティカルとなる調査坑道の掘削延長が堆積岩ケースと比較して短くなる結果となる。また、調査坑道の仕様は、処分施設への流用を想定しない場合には、より小断面で設定が可能と考えられる。工期短縮を目的とした調査坑道（処分施設）のレイアウト、調査後の利用（例えば排水用坑道など）を含めた調査坑道の仕様等、調査段階のみではなく、建設・操業・閉鎖段階での工程を踏まえた検討が必要である。

## (b) 工程および手順設定に係わる課題

### ①地下施設でのサイト特性調査

上述のように、処分技術（建設・操業・閉鎖）と性能評価を横断する評価事項から、調査への目標レベルの整理を行うことが、重要な課題となる。本検討では仮想地質モデルで設定されたBクラスの割れ目を追加調査坑道の対象としたが、どのレベルの割れ目、割れ目帯ならば、詳細な調査が必要かは評価事項からの要求レベルによる。施設の設計・建設技術の観点から、具体的な例としては、どの程度の割れ目・割れ目帯の存在が、施設の変更を伴うか、あるいはプラグ等の設置で対処するかなどである。処分技術および性能評価技術をリンクして、地質環境条件（評価パラメータ）の変更、不確実性が及ぼす影響度を整理する必要がある。特に、処分施設深度でどのような情報を確認・取得すべきかの観点から、現状の地上からの調査レベルをベースに整理することが重要である。

### ②地下施設での処分技術の実証

事業許可申請と係わる事項として、どのような技術を当該サイトで実証すべきかなど、地下施設で実施すべき実証の目的および考え方を構築する必要がある。地下施設での実証は、サイト特性調査段階のアクセス立坑掘削後の行為となり、全体工程では結晶質岩ケースで5年、堆積岩ケースで5.5年間の期間が適用可能となる。処分技術の実証に必要な試験項目、各試験実施に必要なエリア（試験エリア配置）、

および各試験実施目標の完了までに必要となる期間など、具体的な実証試験計画を立案し、約5年間での実施の実現性についても検討しておく必要がある。また、処分技術の実証は、後述する「6.2.4 モニタリングに関する費用」にも係わる事項であり、処分場の管理スケジュールの観点からも今後検討が必要な事項と考えられる。

表-5.5.6.1 結晶質岩ケース、横置き定置 (Case.1) の全体工程 (その1)

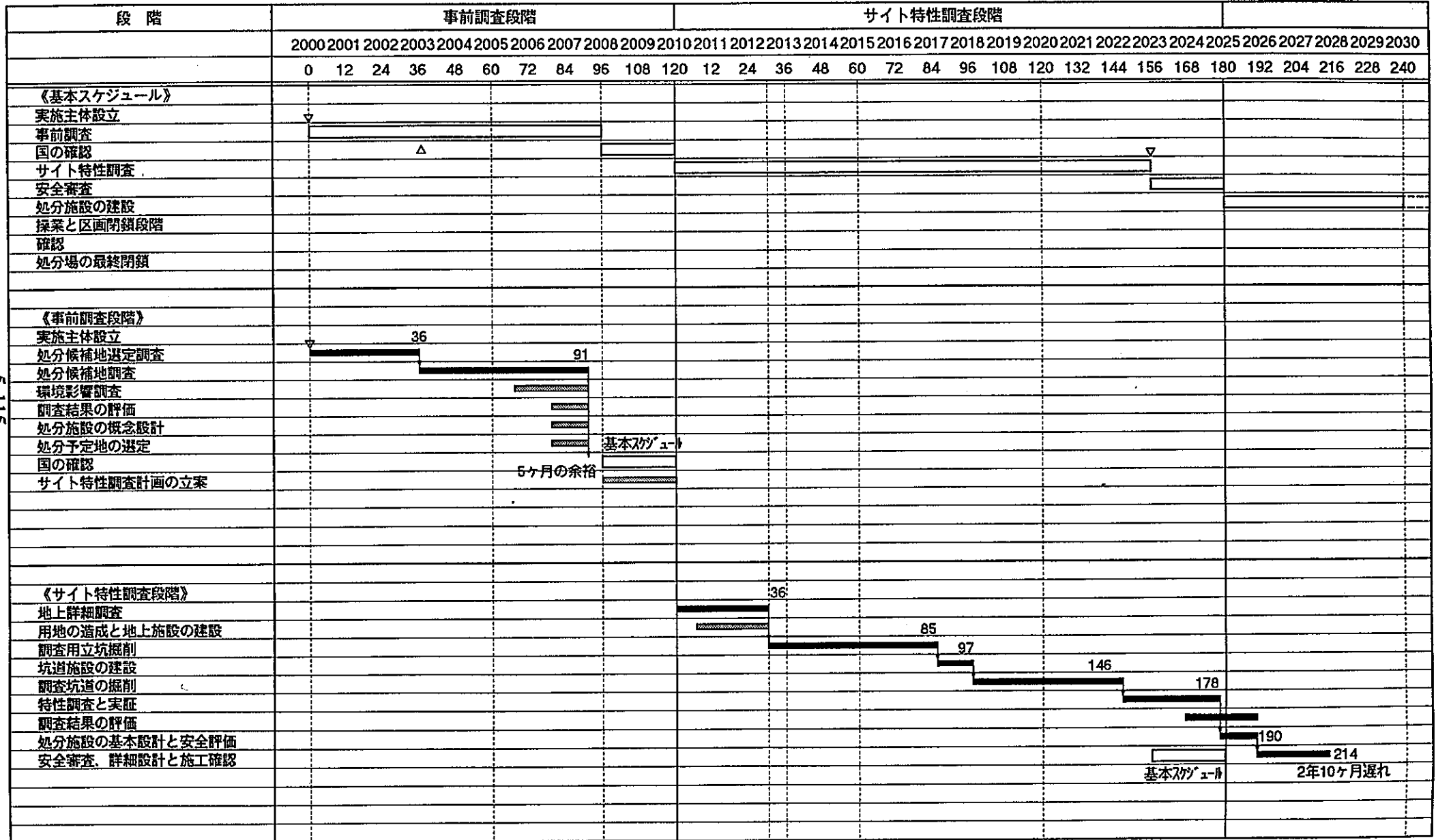
段階	事前調査段階												サイト特性調査段階																				
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030		
	0	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144	156	168	180	192	204	216	228	240		
<b>《基本スケジュール》</b>																																	
実施主体設立	▼																																
事前調査	△																																
国の確認	▽																																
サイト特性調査																																	
安全審査																																	
処分施設の建設																																	
採掘と区画閉鎖段階																																	
確認																																	
処分場の最終閉鎖																																	
<b>《事前調査段階》</b>																																	
実施主体設立	▼																																
処分候補地選定調査	36																																
処分候補地調査	96																																
環境影響調査																																	
調査結果の評価																																	
処分施設の概念設計																																	
処分予定地の選定	120																																
国の確認																																	
サイト特性調査計画の立案																																	
<b>《サイト特性調査段階》</b>																																	
地上詳細調査	36																																
用地の造成と地上施設の建設	94																																
調査用立坑掘削	106																																
坑道施設の建設	142																																
調査坑道の掘削	172																																
特性調査と実証	160																																
調査結果の評価	184																																
処分施設の基本設計と安全評価	208																																
安全審査、詳細設計と施工確認	基本スケジュール 2年4ヶ月遅れ																																







表-5.5.6.2 堆積岩ケース、横置き定置 (Case.2) の全体工程 (その1)







## 6. 安全対策及び経済性に関する検討

### 6.1 F E Pの整理と対策

地層処分施設の建設・操業・閉鎖の各段階で発生する可能性のある事故事象について、昨年度成果の見直しを行うとともに、事故の影響範囲やその程度等について検討を行い、地層処分に係わる重要と考えられる事故事象の抽出を行う。更に、抽出された事故事象のうち重要なものについては、発生要因の分析、事故に至る過程の検討を行う。

また、重要事故の発生時における安全対策上の留意点等を検討し、安全対策の基本的考え方を整理する。

#### 6.1.1 各種条件下で想定される事故事象

地層処分施設において発生する可能性のある事故事象の抽出に当たり、事故の原因となる要素を以下の4条件に大別し、それぞれの条件から想定される事故事象を抽出する。

- ・ 気象条件
- ・ 地質条件
- ・ 作業環境条件
- ・ 設備条件

それぞれの条件から想定される事故事象をまとめると、表-6.1.1.1のようになる。

表-6.1.1.1 各種条件から想定される事故事象

<ul style="list-style-type: none"><li>・ 坑外設備の損壊</li><li>・ 水没</li><li>・ ガス噴出</li><li>・ 火薬類の爆発</li><li>・ 坑内設備の損傷</li><li>・ 崩壊、落盤</li><li>・ 山はね</li><li>・ 盤膨れ、押出し</li><li>・ 異常出水</li><li>・ 酸欠</li><li>・ ガス中毒</li><li>・ ガス爆発</li><li>・ 坑道或いは支保の損傷</li><li>・ 高温岩盤・熱水の噴出</li><li>・ 火傷</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 放射性物質の漏洩</li><li>・ 施設の放射能汚染</li><li>・ 人体の被爆</li><li>・ 難聴</li><li>・ 塵肺</li><li>・ 視界不良</li><li>・ 接触事故</li><li>・ 火災</li><li>・ クレーンからの落下事故</li><li>・ 廃棄体の破損</li><li>・ ベントナイトブロックの破損、ベントナイト粉末の飛散</li><li>・ 車両の逸走、追突、衝突、脱線</li><li>・ エレベータの落下事故</li><li>・ 周辺環境汚染</li></ul>
---	--

### 6.1.2 建設・操業・閉鎖の各段階で想定される事故事象

各種条件から想定される事故事象を建設・操業・閉鎖の各段階毎に整理する。各段階で想定される事故事象を表-6.1.2.1 に示す。

表-6.1.2.1 建設・操業・閉鎖の各段階で想定される事故事象

建設段階	操業段階	閉鎖段階
<ul style="list-style-type: none"> <li>・坑外設備の損壊</li> <li>・水没</li> <li>・ガス噴出</li> <li>・坑内設備の損傷</li> <li>・崩壊・落盤</li> <li>・山はね</li> <li>・盤膨れ、押し出し</li> <li>・異常出水</li> <li>・酸欠</li> <li>・ガス中毒</li> <li>・ガス爆発</li> <li>・坑道、支保の損傷</li> <li>・高温岩盤の出現、 熱水の噴出</li> <li>・火傷</li> <li>・難聴</li> <li>・塵肺</li> <li>・視界不良</li> <li>・接触事故</li> <li>・火災</li> <li>・クレーンからの落下</li> <li>・エレベータの落下</li> <li>・車両の逸走、衝突、 脱線</li> <li>・周辺環境汚染</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・坑外設備の損壊</li> <li>・水没</li> <li>・ガス噴出</li> <li>・坑内設備の損傷</li> <li>・盤膨れ、押し出し</li> <li>・酸欠</li> <li>・ガス中毒</li> <li>・ガス爆発</li> <li>・坑道、支保の損傷</li> <li>・塵肺</li> <li>・視界不良</li> <li>・接触事故</li> <li>・火災</li> <li>・火傷</li> <li>・クレーンからの落下</li> <li>・廃棄体の破損</li> <li>・ベントナイトブロックの破損 ベントナイト粉末の飛散</li> <li>・エレベータの落下</li> <li>・車両の逸走、衝突、 脱線</li> <li>・周辺環境汚染</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・坑外設備の損壊</li> <li>・水没</li> <li>・ガス噴出</li> <li>・坑内設備の損傷</li> <li>・崩壊・落盤</li> <li>・山はね</li> <li>・盤膨れ、押し出し</li> <li>・異常出水</li> <li>・酸欠</li> <li>・ガス中毒</li> <li>・ガス爆発</li> <li>・坑道、支保の損傷</li> <li>・高温岩盤の出現、 熱水の噴出</li> <li>・火傷</li> <li>・難聴</li> <li>・塵肺</li> <li>・視界不良</li> <li>・接触事故</li> <li>・火災</li> <li>・クレーンからの落下</li> <li>・ベントナイトブロックの破損 ベントナイト粉末の飛散</li> <li>・エレベータの落下</li> <li>・車両の逸走、衝突、 脱線</li> <li>・周辺環境汚染</li> </ul>

### 6.1.3 事故事象の分析

前項で抽出した事故事象について、事故の影響などを分析し、地層処分施設における事故事象の重要度分類を試みる。まず、事故事象の相互の関連性について検討し、事故事象を分類、整理する。次に、分類されたいくつかの事故事象について、事故の影響や被害の程度を整理し、地層処分施設において影響の大きい事故事象を抽出する。

#### (1) 事故事象間の関連性

抽出された事故事象の内、ある事故事象は他の事故事象の原因にもなるように、事故事象は相互に密接な関係がある。事故事象の相互の関連性を図-6.1.3.1に示す。図中の矢印で結ばれた二つの事故事象は、矢印の上流の事故事象が原因となって下流の事故事象が発生することを示す。

図-6.1.3.1 から、地層処分施設において想定される事故事象を以下の事故事象のグループに分類する。

##### ①放射性物質の漏洩に係わる事故事象

放射性物質の漏洩に起因して生起する事故事象であり、図-6.1.3.1 の上部に示される放射性物質の漏洩及び施設の放射能汚染、人体の被爆がこれに相当する。

##### ②廃棄体・人工バリアに係わる事故事象

廃棄体及び人工バリア材の破損などの事故事象であり、図の中央部の廃棄体の破損及びベントナイトブロックの破損・ベントナイト粉末の飛散がこれに相当する。

##### ③ハンドリング・搬送に係わる事故事象

廃棄体や人工バリア材のハンドリングや搬送設備に関連する事故事象であり、図の左側のクレーンからの落下、エレベータの落下及び車両の逸走・衝突・転覆がこれに相当する。

##### ④火災・爆発

事故により引き起こされる現象が類似していると考えられる火災と爆発関係をひとまとめにしたものであり、図の中央や右側の火災、ガス爆発および火薬類の爆発がこれに相当する。

##### ⑤地質条件に係わる事故事象

地質条件から想定される事故事象であり、地層処分施設においては多くの事故事象が考えられる。図の下方の異常出水、崩壊・落盤、盤膨れ・押し出し、山はね、高温岩盤・熱水の噴出及びガス噴出がこれに相当する。

##### ⑥その他

上記以外の事故事象であり、主に上記の事故事象から誘発されるもの、或いは他の事故事象との関連性が低いものである。

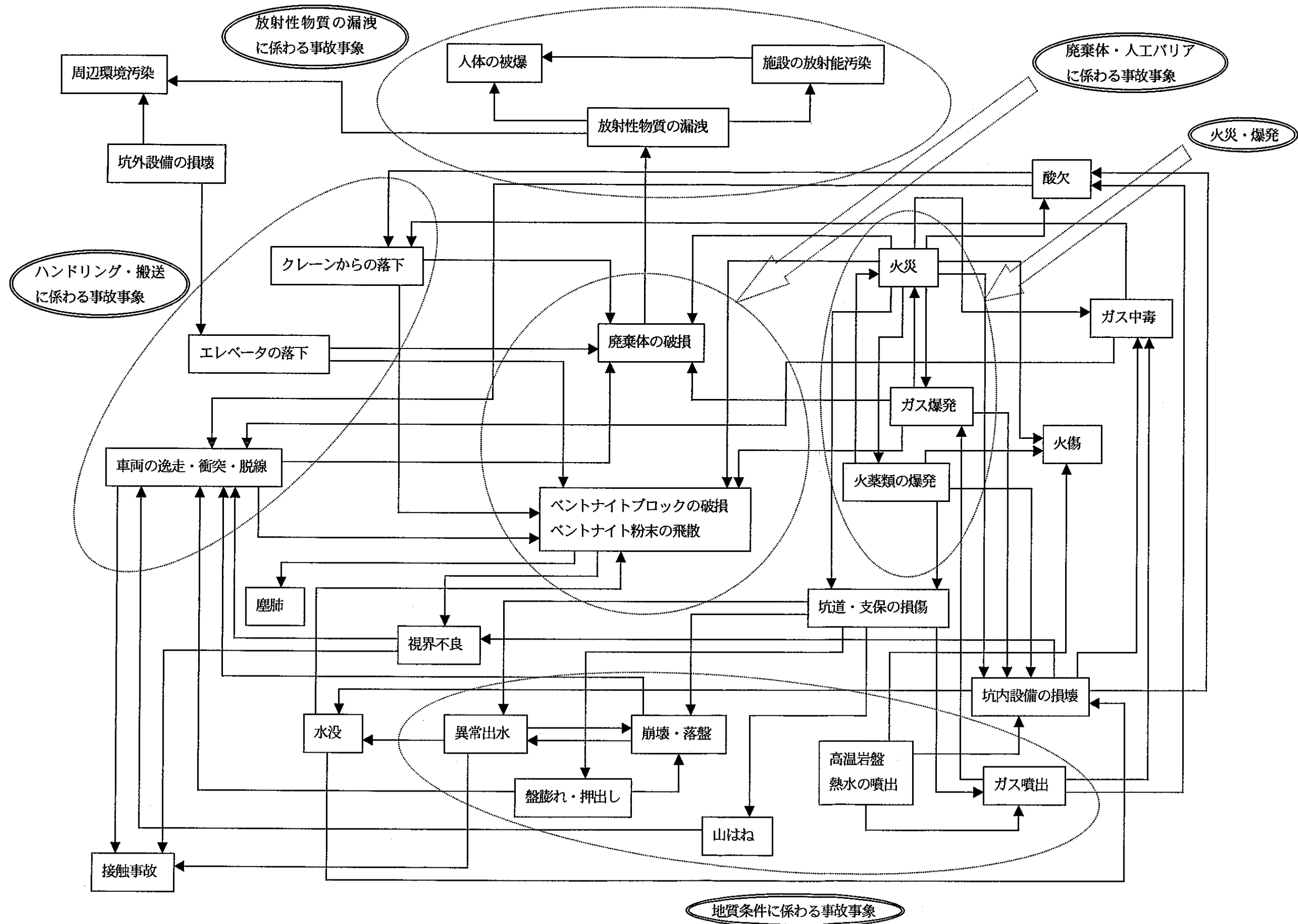


図-6.1.3.1 事故事象関連図



This is a blank page.

## (2) 事故事象の重要度分類

地層処分施設は放射性物質を取り扱う施設であるため、放射性物質の漏洩による人体の被曝、施設或いは周辺環境の汚染は、最も危惧される事故事象である。しかしながら、放射性物質の漏洩はガラス固化体が破損するような事故が起こらない限り生じないと考えられる。したがって、地層処分施設における事故事象の重要度を分類、整理する上で、廃棄体が破損するに至るような事故事象を検討することが重要である。また、緩衝材や埋戻し材に影響を及ぼすような事故事象も、施設の性能、核種の閉じ込め性に重要な影響を及ぼすため、地層処分施設において重要な事故事象と考えることができる。

地層処分施設が建設される地下 500 m 以深は大きな地圧や地下水圧が作用しており、また広い範囲にわたって建設されるため、地質条件に起因する予測できない事故事象に遭遇する可能性が高い。さらに、通常の地下構造物やトンネルの建設で経験した規模以上の事故事象に遭遇する可能性もある。したがって、地質条件から想定される事故事象についても、その影響や被害の程度を十分検討しておく必要がある。

上記の観点から、廃棄体・人工バリアに係わる事故事象の直接的な原因となりうるハンドリング・搬送に係わる事故事象、火災・爆発及び地質条件に係わる事故事象を取り上げて、その影響やその程度を分析し、事故事象の重要度分類を試みる。

事故事象の分析に当たっては、以下の項目について整理する。

- ①事故事象の影響の及ぶ範囲とその程度
- ②他の事故事象への拡大・発展の可能性
- ③復旧の難易度

各事故事象について、上記の項目に対する評価をまとめて一覧にしたものを表-6.1.3.1 に示す。

ハンドリング・搬送に係わる事故事象からエレベーターの落下と車両の逸走・衝突・転覆が廃棄体の破損に至る可能性が高いことから重要な事故事象として捉えることができる。火災・爆発は、作業員、設備、施設の性能に多くの重大な影響を及ぼす、事故の拡大・発展の可能性が高い、更に復旧にも多大な労力を要することから重要事故事象として考えられる。地質条件に係わる事故事象からは、被害の及ぶ範囲や復旧の難易度から、異常出水が重要事故事象と考えられる。

エレベーターや搬送車両に関する事故の発生要因は、これらのシステムの構成に多くの部分は依存していると考えられ、発生要因の分析のためには詳細な仕様が必要となる。現状では、これらの詳細な仕様は明示されていないので、火災・爆発と異常出水・水没を取り上げて、次項で発生要因を分析する。

表-6.1.3.1 事故事象の影響一覧

事故事象		影響の及ぶ範囲とその程度					空間的 広がり	拡大・ 発展の 可能性	復旧の 難易度	備 考
		対 象								
		人体	設備	施設の性能						
廃棄体	緩衝材 埋戻し材			ニアフィールド 岩盤						
大分類	小分類									
ハンドリング ・搬送に係わ る事故事象	エレベータの落下	◎	○	◎	◎	△	△	○	○	
	クレーンからの落下	△	△	△	○	△	△	△	△	
	車両の逸走・衝突・脱線	◎	△	○	◎	△	△	△	△	
火災・爆発		◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
地質条件に 係 わる事故事象	崩壊・落盤	○	△	△	△	△	△	○	△	
	山はね	○	△	△	△	△	△	△	△	
	盤膨れ・押し出し	△	△	△	△	△	○	△	○	
	異常出水	○	◎	△	○	△	◎	○	◎	
	ガス噴出	○	△	△	△	△	○	○	△	
	高温岩盤、熱水の噴出	○	△	△	○	○	○	○	△	

・影響の及ぶ範囲とその程度（対象）

- ◎：対象とするものへの被害、影響を与える可能性が特に高い事故事象
- ：対象とするものへの被害、影響を与える可能性が高い事故事象
- △：対象とするものへの被害、影響を与える可能性が低い事故事象

・影響の及ぶ範囲とその程度（空間的広がり）

- ◎：特に広い範囲に影響が及ぶ、或いは施設全体に被害が及ぶ可能性の高い事故事象
- ：広い範囲に影響が及ぶ可能性の高い事故事象
- △：発生箇所にはほぼ限定される事故事象

・拡大・発展の可能性

- ◎：特に多くの事故事象へ拡大・発展する可能性が高い事故事象
- ：他の事故事象へ拡大・発展する可能性が高い事故事象
- △：他の事故事象へ拡大・発展する可能性が低い事故事象

・復旧の難易度

- ◎：特に事故への対応や復旧に労力を要する、或いは処分工程に与える影響の大きい事故事象
- ：事故への対応や復旧に労力を要する、或いは処分工程に与える影響の大きい事故事象
- △：比較的すぐに対応でき、処分工程に与える影響の小さい事故事象

#### 6.1.4 発生要因の分析

前項にて絞り込まれた重要な事故事象について、発生要因を分析するためにフォールトツリー解析 (Fault Tree Analysis: F T A) を実施する。

##### (1) 火災・爆発

火災とは、消火の必要な燃焼現象である。燃焼が生じるためには、以下の3要素が同時に存在することが必要である。

- ①可燃性物質
- ②火源
- ③酸素供給体

通常は、空気中の酸素によって燃焼が生じるので、空気が酸素供給体となる。したがって、地層処分施設における火災・爆発の発生要因を評価するためには、想定される可燃性物質と火源を明らかにする必要がある。

##### ①地層処分施設において想定される可燃性物質

- ・可燃性ガス
- ・可燃性液体および蒸気
- ・可燃性固体
- ・難燃性物質

##### ②地層処分施設において想定される火源

- ・火気
- ・高熱物
- ・電気火花
- ・衝撃による火花、摩擦による熱
- ・自然発火および化学反応熱
- ・断熱圧縮熱
- ・静電気火花

以上の発生要因をまとめた火災・爆発のF T A結果を図-6.1.4.1 に示す。

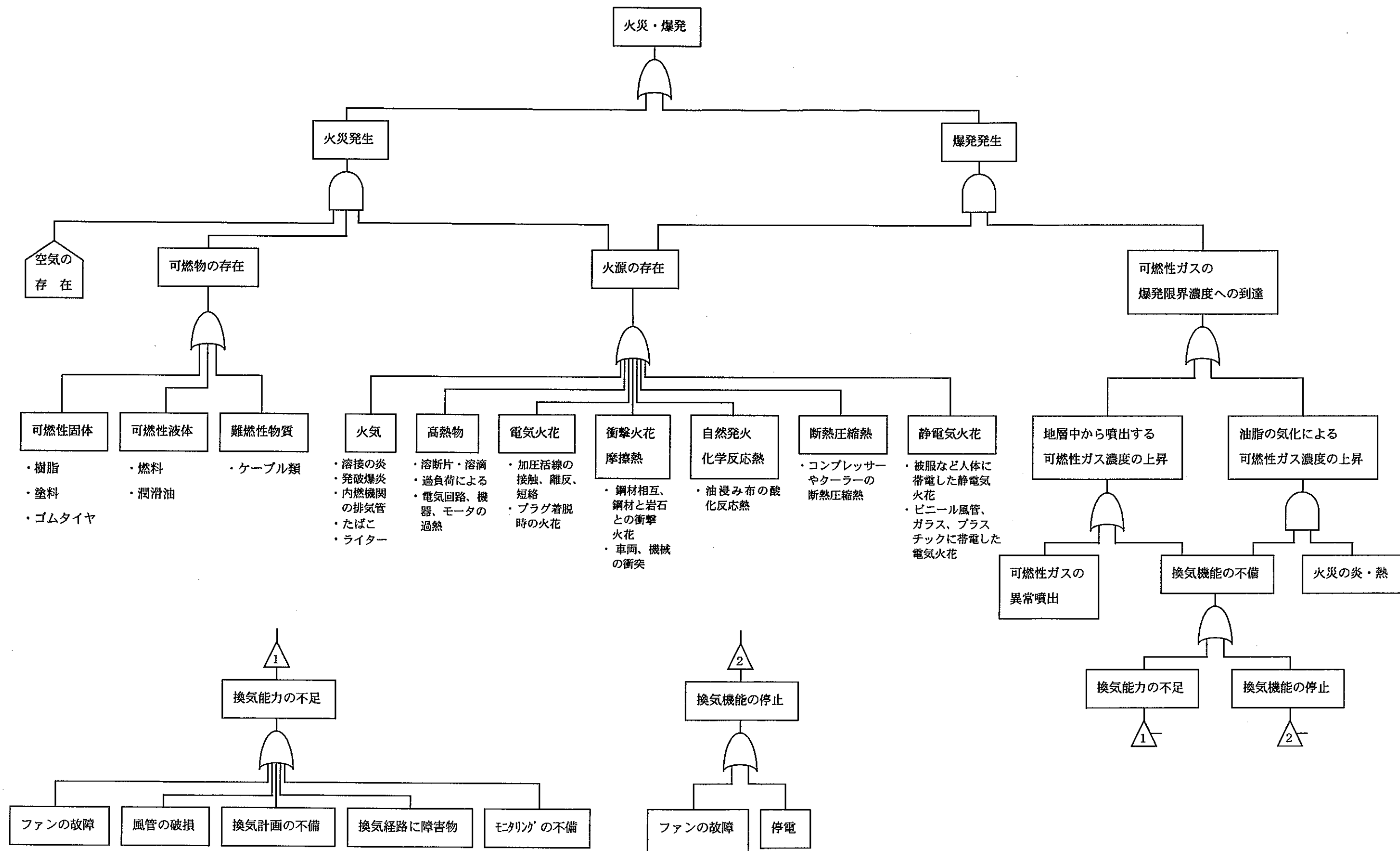


図-6.1.4.1 FTA結果 (火災・爆発)

This is a blank page.

## (2) 異常出水・水没

地層処分施設において考慮すべき異常出水・水没の要因を以下に示す。

### ①掘削中に出水源に遭遇

地層処分施設では十分な事前調査が行われ、事前に湧水量の予測を行うと考えられる。施設内すべての場所の出水を予想することは困難と考えられ、予期できなかった出水源に遭遇する可能性がある。

### ②新規水みちの発生

活発な断層活動、火山活動の可能性のある場所は、地層処分施設のサイト選定の段階でかなり除外されていると考えられ、新規の断層や火山活動による水みちの形成は考慮する必要はない。ただし、地震による水みちの形成や水理状況の変化は考慮する必要があると考えられる。

### ③止水工の不備

出水を予測し、止水を行いながら施工したとしても、止水の効果が不十分である場合には異常出水の可能性はある。

### ④排水機能の不備

排水設備（排水ポンプ、配水管等）の機能が十分でない場合、異常出水に対応できず、施設が水没に至る可能性がある。排水機能の不備としては、次の2つの場合が考えられる。

- ・排水能力の不足
- ・排水機能の停止

排水能力の不足は、排水ポンプの故障、配水管の破損、出水量等のモニタリングの不備、設計の不備によって生じる。排水機能の停止は、排水ポンプの停止、あるいは配水管の破損によって生じる。

異常出水・水没のF T A結果を図-6.1.4.2に示す。

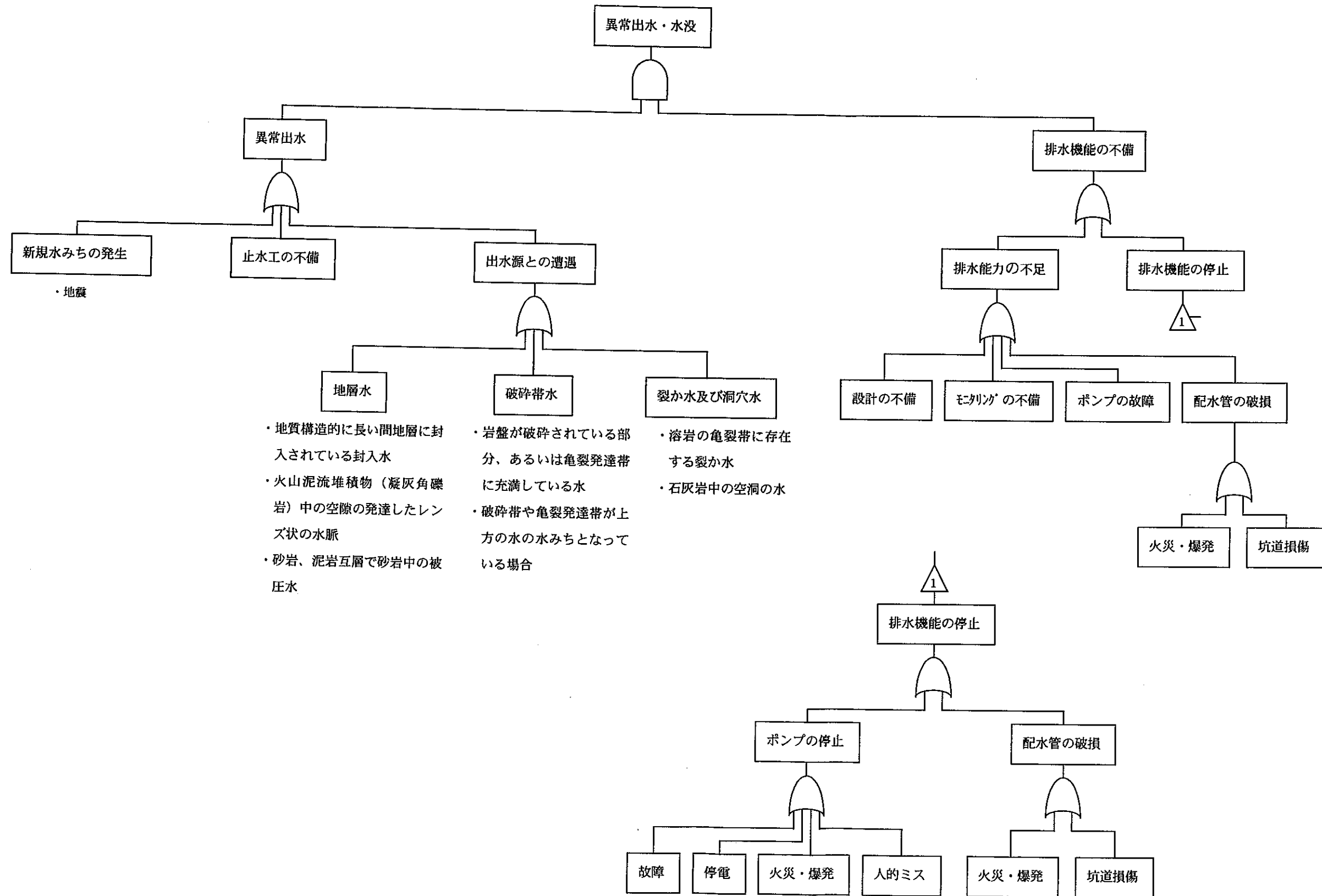


図-6.1.4.2 FTA結果（異常出水・水没）



This is a blank page.

### 6.1.5 安全対策

まず、一般的な安全対策をその目的や方法によって分類、整理し、安全対策の仕分けを行う。次に、絞り込まれた重要な事故事象の安全対策を整理するとともに、事故時における安全対策上の問題点や留意点を抽出する。

#### (1) 安全対策の分類

事故に対する安全対策は、その目的、あるいは事故の段階によって次の3つに大別される。

- ・ 事故の予防対策
- ・ 事故時に備えての対策
- ・ 事故時の対策

事故の予防対策は、未然に事故の発生を防止することが中心となる。また、事故を事前に予知できる場合には、事故の予知、予測に関する対策も含まれると考えられる。

事故時に備えての対策は、事故を検知し、通報することを目的とした対策、事故が拡大することを防止することを目的とした対策、さらに避難・救助を目的とした対策に分けられる。

事故時の対策は、基本的には事故時に備えての対策と同じであり、事故時に備えての対策の円滑な遂行である。

また、安全対策は、その方法によって次の3つに大別される。

- ・ 管理的対策
- ・ 設備的対策
- ・ 空間的対策

管理的対策は、それぞれの目的に対応した規則やルールの整備、設備や空間の管理や利用のコントロールによって被害の低減を図る方法である。

設備的対策は、安全に関連する設備や機器の設置によって、被害の低減を図る方法である。

空間的対策は、事故の被害が低減できるように施設の構造や特質を改善する方法である。

安全対策を以上の目的の違い、方法の違いによって分類整理した結果を表-6.1.5.1に示す。

表-6.1.5.1 安全対策の分類

安全対策の目的の 違いによる分類		安全対策の方法の違いによる分類		
		管理的対策	設備的対策	空間的対策
事故の予防	発生の防止	<ul style="list-style-type: none"> <li>・事故を起こさないための規則</li> <li>・発生要因となるものの管理や点検</li> <li>・安全教育</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発生要因となるものを排除する設備の設置</li> <li>・発生要因にならない設備や機器の使用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発生要因となるものを隔離</li> <li>・発生要因となるものを使用しない構造の採用</li> </ul>
	事故の予知	<ul style="list-style-type: none"> <li>・モニタリング、測定記録の管理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・事故の前兆、前駆現象を捉える設備や機器の設置</li> </ul>	
事故時に備えての対策	検知・通報	<ul style="list-style-type: none"> <li>・通報、連絡体制の確立</li> <li>・監視員、巡視員の配置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・感知、検知設備や機器の設置</li> <li>・通報設備の設置</li> <li>・警報設備の設置</li> <li>・監視システムの確立</li> </ul>	
	拡大防止	<ul style="list-style-type: none"> <li>・事故の拡大を防止する組織、体制の確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・事故の拡大を防止する設備、機器の設置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・事故の拡大を防止する構造の採用</li> <li>・事故が拡大しない区画の設定</li> </ul>
	避難・救助	<ul style="list-style-type: none"> <li>・連絡体制の確立</li> <li>・避難訓練の実施</li> <li>・避難用具の管理</li> <li>・救護組織の編成</li> <li>・救護用具の管理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・避難、誘導システムの確立</li> <li>・避難用具の設置</li> <li>・緊急避難所の設置</li> <li>・救護設備の設置</li> <li>・人体に危害を及ぼすものを排除する設備や機器の設置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・避難エリアの確保</li> <li>・避難経路の確保、整備</li> </ul>
事故時の対策	検知・通報	<ul style="list-style-type: none"> <li>・事故の検知</li> <li>・通報、警報の発令</li> <li>・施設内の状況確認</li> </ul>		
	拡大防止	<ul style="list-style-type: none"> <li>・拡大防止活動</li> <li>・拡大防止設備の起動、運転</li> </ul>		
	避難・救助	<ul style="list-style-type: none"> <li>・避難、誘導</li> <li>・負傷者の救護、救出</li> <li>・施設内の機能維持</li> </ul>		

## (2) 安全対策上の留意点

火災・爆発および異常出水・水没について、事故の予防対策と事故に備えての対策を整理する。さらに、それぞれの事故時における安全対策上の留意点を検討する。

### (a) 火災・爆発

火災・爆発の予防対策と発生時に備えての対策の具体的内容を表-6.1.5.2に示す。

火災・爆発に対する事故時における安全対策上の留意点を以下に示す。

#### ①火災の拡大防止

##### ・火災の早期検知

監視員、巡視員の配置と火災発生の可能性の高い箇所の火災感知器の設置により、火災の早期発見に努めることが重要である。

##### ・延焼防止

初期消火が可能なように、火気の使用場所等に消火器や消火栓などを配置し、十分な訓練を行い、消火体制、システムの充実を図る必要がある。また、外部の消火活動が期待しにくいので、本格的消火設備（スプリンクラー等）の設置も検討する必要がある。

施設内の不燃化や難燃化を図る、あるいは防火帯や防火扉を適切な位置に設置して延焼範囲をできるだけ小さくする。

#### ②避難・救助

##### ・状況の把握と的確な誘導システム

出火の確認、作業員の位置の把握とそれに応じた適切な誘導ができるようなシステムを確立しておく必要がある。

##### ・避難設備、器具の充実

安全な避難ができるように、避難設備や器具を常に整備、点検しておく。特に、空気の供給や有毒ガス用救命器具を火災時に維持することが大切である。また、地層処分施設は地下深部に広範囲に建設されるため、緊急避難所の設置位置など検討しておく必要がある。

##### ・換気設備、換気方式の検討

換気は避難を行う際、あるいは消火を行う際に非常に重要であり、火災時においても換気機能が維持されるようにしなければならない。また、火災時に出火位置、火災の進行経路、避難経路等を把握して、適切な換気経路、換気方式が作動できるシステムを構築しておく必要がある。

表-6.1.5.2 火災・爆発安全対策一覧表

火災 予 防 対 策	火災 発 生 防 止	火源の管理	管理的対策	ガス溶接・溶断作業の管理 火気使用場所の火災防止措置 危険物がある場所における火気の使用制限		
			設備的対策	電気設備の出火防止 防爆構造機器の使用（可燃性ガスがある場合）		
		可燃物の管理	管理的対策	可燃性資材の管理 ポロ布及び油脂類の処理 火薬類の管理 易燃性材料等を使用しない工法の採用		
			設備的対策	可燃性ガスの希釈、排出 可燃性ガスの噴出、突出の抑制		
			空間的対策	材料の不燃化		
		火災 発 生 時 に 備 え て の 対 策	検知・ 通報		管理的対策	火気使用箇所での監視人の配置 通報設備の設置及びその明示 通報、連絡系統の確保
					設備的対策	通報設備の設置及びその明示 警報設備の設置及びその明示 火災感知器の設置 可燃性ガスの自動検知器の設置及び測定
			拡大 防 止	延焼防止	管理的対策	可燃性資材の整理整頓
					設備的対策	防火扉の設置 スプリンクラーの設置
空間的対策	坑内設備の不燃化 完全不燃エリア（防火帯）の確保					
防排煙	管理的対策			有毒ガス発生物質の管理		
	設備的対策			防煙幕の設置 排煙設備の設置		
	空間的対策			発煙の少ない材料の使用		
消火	管理的対策			初期消火訓練の実施		
	設備的対策			消火器、消火砂等の設置及び保守、点検 防火水槽の設置 坑内消火栓の設置 本格的消火設備の設置（スプリンクラー等）		
	空間的対策			消火のためのエリア、通路の確保		
避難 ・ 救 助	避難		管理的対策	連絡体制の確保 避難訓練の実施		
			設備的対策	避難用具の設置及び管理		
			空間的対策	安全通路の確保 緊急避難所の設置		
	救護・救出		管理的対策	救護組織の編成 入坑人員の確認 連絡体制の確認 救護訓練の実施		
			設備的対策	救護、救出用具の確保 救急医療品等の整備 有害ガス測定器の設置及び管理		

(b) 異常出水・水没

異常出水・水没の予防対策と発生時に備えての対策の具体的内容を表-6.1.5.3に示す。

表-6.1.5.3 異常出水・水没安全対策一覧表

予 防 対 策	発 生 防 止	排水機能の管理	管理的対策	排水ポンプの管理・点検 配水管の管理・点検
		湧水処理	設備的対策	水抜き工法の採用 止水工法の採用
		出水の予知	管理的対策	モニタリング記録の管理 モニタリング設備の点検
			設備的対策	湧水量モニタリング設備の設置 湧水圧モニタリング設備の設置 水質モニタリング設備の設置
異 常 出 水 発 生 に 備 え て の 対 策	検 知 ・ 通 報		管理的対策	監視員、巡視員の配置 通報設備の設置及びその明示 通報、連絡系統の確保
			設備的対策	通報設備の設置及びその明示 警報設備の設置及びその明示
	拡 大 防 止		設備的対策	予備ポンプの設置 防水扉の設置 バッファータンクの設置
			空間的対策	防水区画の配置（排水ポンプ、バッファータンク、 防水扉等の最適設計） 坑道の勾配設計
	避 難 ・ 救 助	避 難	管理的対策	連絡体制の確保 避難訓練の実施
			設備的対策	避難用具の設置及び管理
			空間的対策	安全通路の確保 緊急避難所の設置
		救護・救出	管理的対策	救護組織の編成 入坑人員の確認 連絡体制の確認 救護訓練の実施
			設備的対策	救護、救出用具の確保 救急医療品等の整備

異常出水・水没の事故時における安全対策上の留意点を以下に示す。

①異常出水・水没の拡大防止

・排水設備

高揚程、大容量排水に備えて、複数の非常用ポンプを複数箇所に配置しておく必要がある。同時に、配水管についても、複数系統の配管が必要である。また、電力についても、複数系統の供給が必要である。

・防水区画設備

地層処分施設に適合した防水扉等を設置する必要がある。また、その最適な配置計画を検討することが重要である。

②避難・救助

・状況の把握と的確な誘導システム

出水の確認、作業員の位置の把握とそれに応じた適切な誘導ができるようなシステムを確立しておく必要がある。

・集水バック

集水バック、特にアクセス坑道底に設置される集水バックは、アクセス坑道からの避難の裕度を与えるため非常に重要であり、十分な容量を確保しておく必要がある。また、集水バックは常に排土して有効容量を確保しておく必要がある。

6.1.6 今後の課題

・仕様の詳細化

想定される事故事象の発生要因や安全対策をさらに検討するためには、施設や機器・設備類の仕様のさらに詳細化する必要がある。特に、機器・設備の仕様に強く支配されている事故事象では、詳細な仕様の明示が必要である。また、事故時における避難の際、換気機能は非常に重要であり、換気機能の詳細化は避難対策の検討に不可欠である。

## 6.2 経済性の評価

### 6.2.1 検討の概要

#### (1) 検討の目的

事前調査に関する単価の調査を行うと共に、建設から閉鎖までの単価をまとめることにより、動燃殿における積算システムのデータベースに資することを目的とする。

#### (2) 検討の範囲

①事前調査に関する経済性の検討は、「5.5 事前調査から閉鎖までの手順及び工程の検討」において設定した事前調査、サイト特性調査計画をベースに単価の調査を行うとともに、費用を概算する。

②昨年度における操業と閉鎖に関する単価の調査結果、及び一昨年度における建設に関する単価の調査結果を見直し、動燃殿において設定されている単価と対比させる形にとりまとめる。

③先に検討した「5.4 事前調査・建設・操業・閉鎖の各段階におけるモニタリング項目の検討」結果に基づき、モニタリングの各単価を調査するとともに、その費用を概算する。

#### (3) 検討方針

単価の調査は出来るだけ公開資料によることとする。但し、公開資料にない調査項目については、過去の実績から推定することとする。

単価のまとめ方としては、動燃殿における積算システムの単価項目に合わせた形式を基本とする。

留意事項として、事前調査・建設・操業・閉鎖に係るコストの内、間接費、一般管理費、年間維持費等は例えば建設コストなど初期投資金額に連動する場合、処分施設は建設後数十年におよぶ施設であることから、貨幣価値や金利変動の影響を受けることが予想される。しかし、本検討において調査算出する単価は現時点での値とし、将来に対する価値換算や変動予測等を行わない。



## 6.2.2 事前調査およびサイト特性調査に関する費用

事前調査およびサイト特性調査段階（2000年～2025年）において実施される調査事項の内、調査ボーリング工及び地下特性調査施設坑道掘削の単価を調査するとともに、主として現地において実施される調査項目に関して費用を概算する。

### （1）費用項目

対象とする費用項目は、以下の3項目とする。

- ① 現地で実施される調査試験の費用（地表踏査、物理探査、ボーリング、検層、原位試験等）
- ② サイト特性調査における坑道掘削の費用
- ③ 環境影響評価に係わる費用の内、現地における環境調査の費用

なお、以下の項目については、現時点において不確実性が高く、類推の域を出ないものと考えられることから、本年度の検討においては検討対象から除外することとする。

- ① 社会環境に関する調査単価（交通量調査、アンケート調査等）
- ② 机上調査の費用
- ③ 調査結果のとりまとめ・評価の費用（地質構造モデル等の構築、地下水流動解析、予定地のスクリーニング作業）
- ④ 許認可に係わる費用（安全評価、処分場の設計、環境影響評価、事業許可申請）
- ⑤ 処分技術の実証に係わる費用（実証施設の建設、各種の実証試験）
- ⑥ 事前調査に付随する費用（調査用地上施設の建設費、同左の土地造成費、データ管理システム、試料の保管管理等）

### （2）モデルサイト

調査対象は、仮想地質モデルとして設定された、結晶質岩系岩盤と堆積岩系岩盤の2地域とする。2010年までの候補地選定段階では、それぞれ複数の候補地となる可能性もあるが、ここでは両地域とも当初から1サイトと考える。

### （3）単価の調査

「5.5 事前調査から閉鎖までの手順及び工程の検討」で設定した結晶質岩・堆積岩の両ケースを対象として抽出した事前調査およびサイト特性調査段階で適用する各調査手法の単価を調査する。

調査手法の単価は、現状の適用レベルにより以下に示す3つの観点から設定した。

- ① 建設物価による地質調査費からの設定

② 調査に係わる直接・間接費を含めた外注費用としての設定（適用事例より）

③ 研究開発ベースの適用（実績をベースに想定）

単価調査結果を表-6.2.2.1に示す。表中の設定レベル欄には、単価調査での上記の3つの適用を分類して示している。また、上記①の設定レベルは、調査に係わる直接費（サンプルング、探査・計測・試験費）を示すことから、間接費を直接費の35%と仮定して、調査単価（直接費+間接費）を整理した。

表-6. 2. 2. 1 各調査段階に適用する調査/観測手法の単価調査結果

事前調査段階 (1/2) (処分候補地選定調査および処分候補地調査)

特性項目/要求	調査項目	調査/観測手法	内容	単位	直接費単価 (千円/単位)	単価(千円/単位)	設定レベル	その他/備考		
地質学特性	地形	文献資料調査	文献、地形判読	式	—	10,000	②	1/50000地質図		
		空中写真判読	航空写真	km <sup>2</sup>	—	420	②			
		地表地質踏査	1/5000	km <sup>2</sup>	—	750	②			
	地質、地質構造	空中電磁探査	磁気探査含む	km <sup>2</sup>	—	—	473	②	100m間隔	
		電気探査	比抵抗法	km	—	—	10,000	②	井配置4測線	
		重力探査		km <sup>2</sup>	—	—	80	②	250mグリッド	
		電磁探査	CSAMT法	km <sup>2</sup>	—	—	483	②	250mグリッド	
		試錐孔削孔費	コア観察含む	m	—	—	248	②	結晶質岩	
			コア観察含む	m	—	—	161	②	堆積岩	
		ホーホールドレバ観測		m	—	—	31	②		
		物理検層	電気(ノーマル)	百m	—	—	1,042	1,407	①	
			温度	百m	—	—	1,042	1,407	①	
			PS(速度)	百m	—	—	4,232	5,713	①	
	密度		百m	—	—	1,264	1,706	①	キャリバー検層含む	
	地層年代	断層活動性調査	資料/現地調査	式	—	—	300,000	②	トレンチ調査含む、Aランク割れ目	
年代測定		放射/化石法	式	—	—	500	②	踏査採取試料		
初期地圧	AE法		ヶ所	—	—	300	②	コア整形費含む		
地震動	地震動観測	掘削/設置/計測	式	—	—	200,000	①			
岩盤特性	物理特性	土質/岩石試験	密度、含水量	個	21	29	①	コア整形費含む		
			粒度、比重他	個	21	29	①	コア整形費含む		
			超音波速度	個	56	76	①	コア整形費含む		
	鉱物化学特性	鉱物組成	X線分析	個	62	83	①	コア整形費含む		
			スレーキング特性	乾湿繰返し法	個	50	68	①	コア整形費含む	

事前調査段階 (2/2) (処分候補地選定調査および処分候補地調査)

特性項目/要求	調査項目	調査/観測手法	内容	単位	直接費単価 (千円/単位)	単価(千円/単位)	設定レベル	その他/備考	
岩盤特性	強度/変形特性	一軸圧縮	ホアツク比測定	個	61	82	①	コア整形費含む	
		三軸圧縮		個	213	288	①	コア整形費含む	
		一面せん断		個	77	103	①	コア整形費含む	
		圧裂引張		個	38	51	①	コア整形費含む	
		一軸クリープ	2週間測定	個	—	250	②	コア整形費含む	
	透水特性	原位置透水	JFT	ヶ所	—	—	2,000	②	
		室内透水試験	トランジエントパルス法	個	—	—	500	③	コア整形費含む
	熱的特性	熱伝導率		個	—	—	77	②	コア整形費含む
		比熱		個	—	—	77	②	コア整形費含む
		熱拡散率		個	—	—	77	②	コア整形費含む
		熱膨張率		個	—	—	51	②	コア整形費含む
	動的特性	動的三軸	側圧3段階	個	—	—	900	③	コア整形費含む
	水理学特性	水理地質	地上地表踏査	1/5000	式	—	—	—	前出調査に含む
水収支		降水量調査	設置費	ヶ所	60	81	①	5年毎の更新	
		降水量調査	観測費	ヶ所	34	46	①	年12回計測・整理	
(水循環系)		河川流量調査	現地測定	式	—	—	10,000	②	5地点の観測を想定
		蒸発散量調査	現地測定	式	—	—	50,000	②	5地点の観測を想定
		地下水水位観測	設置費	ヶ所	126	170	①	5年毎の更新	
		地下水水位観測	観察費	ヶ所	408	551	①		
水文環境		水源調査	資料/現地調査	式	—	—	5,000	②	
		水利用調査	資料/現地調査	式	—	—	5,000	②	
地下水流動		地下水検層		m	—	—	10	①	
	間隙水圧測定		ヶ所	—	—	2,500	②	5年間、1000m深度試験孔対象	
地化学特性	水質	深層水水質測定	Eh, pH, 電導率	ヶ所	498	672	①		

サイト特性調査段階 (1/4) (地表からの詳細調査)

特性項目/要求	調査項目	調査/観測手法	内容	単位	直接費単価 (千円/単位)	単価(千円/単位)	設定レベル	その他/備考		
地質学特性	地形	文献資料調査	地形判読含む	式	—	10,000	②	1/25000地質図		
		空中写真判読	航空写真	km <sup>2</sup>	—	420	②			
		地表地質踏査	1/2500	km <sup>2</sup>	—	750	②	対象100km <sup>2</sup>		
	地質・地質構造	電磁探査	CSAMT法		km <sup>2</sup>	—	483	②	200mグリッド	
		重力探査			km <sup>2</sup>	—	80	②	200mグリッド	
		電気探査	比抵抗法		km	—	10,000	②	#配置	
		弾性波探査	屈折法		km	—	5,349	②	測線10km×4本、結晶質岩	
		弾性波探査	反射法		km	—	5,349	②	堆積岩	
		試錐孔削孔	コア観察含む		m	—	248	①	結晶質岩	
		試錐孔削孔	コア観察含む		m	—	161	①	堆積岩	
		ボアホールテレビ観測			m	—	31	②		
		物理検層	電気検層			百m	1,042	1,407	①	
			温度検層			百m	1,042	1,407	①	
			PS検層			百m	4,232	5,713	①	
			密度検層			百m	1,264	1,706	①	キャリバー検層含む
		フローメータ検層			m	—	15	③	上下流動	
		シングルレーザ検層			m	—	12	②		
	ハイドリオンVSP			式	—	20,000	②			
	地層年代	断層活動性調査			式	—	300,000	②	現地トレンチ調査含む	
		地層年代測定	放射/化石法		式	—	500	②	ホーリング試料	
	初期地圧	水圧破壊法			ヶ所	—	3,000	③		
		AE法			ヶ所	—	300	②	コア整形費含む	
		DRA法			ヶ所	—	300	②	コア整形費含む	
地震動	地震動観測	掘削/設置/計測		式	—	200,000	①			

サイト特性調査段階 (2/4) (地表からの詳細調査)

特性項目/要求	調査項目	調査/観測手法	内容	単位	直接費単価 (千円/単位)	単価(千円/単位)	設定レベル	その他/備考	
岩盤特性	物理特性	土質/岩石試験	密度、含水量	個	21	29	①	コア整形費含む	
			粒度、比重	個	21	29	①	コア整形費含む	
			超音波速度	個	56	76	①	コア整形費含む	
	鉱物化学特性		鉱物組成	X線分析	個	62	83	①	コア整形費含む
			スレーキング特性	乾湿繰り返し法	個	50	68	①	コア整形費含む
			吸水膨張		個	86	116	①	コア整形費含む
岩盤特性	強度/変形特性		一軸圧縮	ホアソソ比測定	個	61	82	①	コア整形費含む
			三軸圧縮		個	213	288	①	コア整形費含む
			一面せん断		個	77	103	①	コア整形費含む
			圧裂引張		個	38	51	①	コア整形費含む
			不連続面	鉛直/せん断剛性	個	—	150	②	コア整形費含む
			長期変形特性		一軸クリープ	1ヶ月測定	個	—	400
	応力緩和				個	—	800	②	コア整形費含む
	三軸クリープ				個	—	800	②	コア整形費含む
	熱的特性		熱伝導率		個	—	77	②	コア整形費含む
			比熱		個	—	77	②	コア整形費含む
			熱拡散率		個	—	15	②	コア整形費含む
			熱膨張率		個	—	51	②	コア整形費含む
	動的特性		動的三軸		個	—	900	②	コア整形費含む
			透水特性	原位置透水	低圧パルス	ヶ所	—	2,000	②
	JFT	ヶ所			—	2,000	②		
室内透水	トランジエントパルス法	個			—	500	③	コア整形費含む	

サイト特性調査段階 (3/4) (地表からの詳細調査)

特性項目/要求	調査項目	調査/観測手法	内容	単位	直接費単価 (千円/単位)	単価(千円/単位)	設定レベル	その他/備考	
水理学特性	水理地質	文献資料調査	帯水層	式	6,600,000	6,600	②		
		電気探査	比抵抗法	式	10,000,000	10,000	②		
	水収支 (水循環系)	降水量測定	設置費		ヶ所	60	81	①	
		降水量測定	観測費		ヶ所	34	46	①	
		河川流量測定	現地測定		式	—	10,000	②	
		蒸発散量測定	現地測定		式	—	50,000	②	
		地下水水位測定	設置費		式	126	170	①	
	地下水流動	地下水水位測定	観測費		式	408	551	①	
		間隙水圧測定			ヶ所		2,500	②	5年間、1000m深度試験孔対象
地下水検層				m	10	14	①		
地化学特性	水質	深層水水質測定	Eh, pH, 電導率	ヶ所	498	672	①		

サイト特性調査段階 (地下施設特性調査)

特性項目/要求	調査項目	調査/観測手法	内容	単位	直接費単価 (千円/単位)	単価(千円/単位)	設定レベル	その他/備考	
地質学特性	地質構造	坑道壁面観察	割れ目・湧水状況	式	30,000	30,000	②		
		試験孔削孔費	コア観察含む	m	—	248	②		
		ホアールテレビ観測		m	—	31	②		
		区間湧水量計測		点	—	250	②		
	初期地圧	水圧破砕法			ヶ所	—	3,000	②	
		AE法			ヶ所	—	300	②	
		DRA法			ヶ所	—	300	②	
	地質構造	弾性波トモグラフィ			式	—	20,000	②	
比抵抗トモグラフィ				式	—	20,000	②		
岩盤特性	物理特性	土質/岩石試験	密度、含水量	個	21	29	①	コア整形費含む	
			粒度、比重	個	21	29	①	コア整形費含む	
			超音波速度	個	56	76	①	コア整形費含む	
	鉱物化学特性	鉱物組成	X線分析	個	62	83	①	コア整形費含む	
			スレーキング特性	乾燥繰り返し法	個	50	68	①	コア整形費含む
			吸水膨張		個	86	116	①	コア整形費含む
	強度/変形特性	一軸圧縮	ポアソン比測定		個	61	82	①	コア整形費含む
			三軸圧縮		個	213	288	①	コア整形費含む
			一面せん断		個	77	103	①	コア整形費含む
			圧裂引張		個	38	51	①	コア整形費含む
			不連続面	鉛直/せん断剛性	個	—	150	②	コア整形費含む
			原位置平板載荷試験		ヶ所	—	30,000	②	
			原位置せん断試験		ヶ所	—	20,000	②	
			長期変形特性	一軸クリープ	1ヶ月測定		個	—	400
	応力緩和				個	—	800	②	コア整形費含む
	三軸クリープ				個	—	800	②	コア整形費含む
	熱的特性	熱伝導率			個	—	77	②	コア整形費含む
			比熱		個	—	77	②	コア整形費含む
			熱拡散率		個	—	15	②	コア整形費含む
			熱膨張率		個	—	51	②	コア整形費含む
	動的特性	動的三軸	側圧3段階	式	—	900	②		
	水理学特性	透水特性	原位置透水	低圧/ジオン	ヶ所	—	2,000	②	
				JFT	ヶ所	—	2,000	②	
室内透水			ランジェントバルス法	個	—	500	③	コア整形費含む	

(4) 事前調査およびサイト特性調査の費用の検討

(a) 調査に係わる費用

「5.5 事前調査から閉鎖までの手順及び工程の検討」で設定した結晶質岩・堆積岩の両調査計画に基づき、事前調査およびサイト特性調査の費用を検討する。

結晶質岩ケース、堆積岩ケースの費用は原位置における調査に対する項目のみを対象とし、机上調査、解析、評価書作成および用地取得等の費用は含まれていない。両ケースの費用総計をまとめて表-6.2.2.2に示す。

表-6.2.2.2 事前調査およびサイト特性調査の費用総計のまとめ（建設費含まず）

岩種	事前調査（千円）	サイト特性調査（千円）		合計（千円）
		地表詳細調査	地下施設調査	
結晶質岩	3,959,735	16,840,779	6,091,303	26,891,817
堆積岩	3,560,581	8,973,983	3,624,219	16,158,783

(b) 地下施設の建設に係わる費用

処分施設の基本設計より設定された処分エリアに対して、地下特性調査施設をレイアウトする。調査施設は地表から処分深度までを繋ぐアクセス立坑と横坑から成る。尚、アクセス立坑は調査横坑の建設とそこでの調査試験、災害時の待避を考慮して、2本を本設立坑仕様（内径φ6.5m）で建設し、調査完了後は本設に転用することとする。調査横坑は連絡坑道仕様の建設とし、キ字配置とする（「5.5 事前調査から閉鎖までの手順および工程の検討」参照）。坑道延長は、結晶質岩サイトで10.4km、堆積岩サイトで6.7kmとなる。両岩種についての地下施設建設費を表-6.2.2.3に示す。

表-6.2.2.3 地下施設建設費

岩種	部位	建設単価（千円/m）	坑道延長（m）	合計（千円）
結晶質岩	アクセス立坑	4200	2000	8,400,000
	調査坑道	720	10400	7,488,000
堆積岩	アクセス立坑	4200	1000	4,200,000
	調査坑道	500	6700	3,350,000

(c) 調査費の総合計

地下施設建設費を含めた事前調査およびサイト特性調査の総合計を表-6.2.2.4に示す。

表- 6.2.2.4 事前調査およびサイト特性調査の費用総計のまとめ

岩種	事前調査 (千円)	サイト特性調査 (千円)		合計 (千円)
		調査費	施設建設費	
結晶質岩	3,959,735	22,932,082	15,888,000	42,779,817
堆積岩	3,560,581	12,598,202	7,550,000	23,708,783

### 6. 2. 3 建設・操業・閉鎖に関する単価の見直し

これまで、PNC殿で開発されている積算システムにおける単価項目に準じて、平成7年度には建設に係わる単価を、平成8年度には操業と閉鎖に係わる単価の調査を行っている。

本検討では、処分場仕様がH3レポートの仕様や条件と著しく異なり、平成7、8年度における設定単価がそのまま適用出来ない項目について設定済みの単価見直しを行う。一方、仕様が類似する場合には、適用可能と考え、昨年度までの単価を準用する。

なお、建設・操業・閉鎖の単価見直しは、表-6.2.3.1に示す3ケースを対象とする。

表-6.2.3.1 検討ケース

対象岩種	定置方式	処分深度	検討ケース名
結晶質岩	処分孔縦置方式	1,000m	K-1
	坑道横置定置方式		K-2
堆積岩		500m	T-1

#### (1) 建設単価

建設単価の見直しが必要な項目は以下の項目である。

- ② 堆積岩ケース(T-1)の処分坑道の支保工単価：鋼製セグメントの仕様が、リング周長9.425mで桁高200mmから、リング周長6.912mで桁高150mmに変更。
- ③ 堆積岩ケース(T-1)の主要・連絡坑道の支保工単価：支保工がNATM標準の吹付コンクリート、ロックボルト、鋼製支保工および覆工コンクリートから、鋼製支保工(H-200@0.5m)及び覆工コンクリート(t1m)の一次支保に変更。
- ④ 堆積岩ケース(T-1)のアクセス坑道(立坑)の支保工単価：覆工コンクリート(t1m)の他に鋼製支保工(H-200@0.5m)が追加。

処分坑道については掘削径が3,000mmから2,200mmに変更となるが、このクラスの径におけるTBM工法では、 $m^3$ 当りの掘削単価はほとんど変わらないため、一昨年度の単価を使用できるものとする。

#### (a) 支保工単価

##### i) 鋼製セグメント

T-1ケース処分坑道の鋼製セグメントについては、リング周長比により単価の見直しを行う。結果を表-6.2.3.2に示す。



表-6.2.3.2 処分坑道の鋼製セグメント単価 (T-1)

	H8検討	H10検討	摘要
主な仕様	周長9.425m 桁高200mm	周長6.912m 桁高150mm	
材料単価	350,000円/m <sup>4)</sup>	257,000円/m (=385,500円/1.5m)	6.912/9.425×350,000 =256,679円/m (1掘進長=1.5m)

ii) 主要・連絡坑道の一次支保工単価

T-1ケース主要・連絡坑道の鋼製支保工 (H-200@0.5m) 及び覆工コンクリート (t1m) の一次支保単価の見直しを行う。結果を表-6.2.3.3に示す。

表-6.2.3.3 主要・連絡坑道の一次支保工単価 (T-1)

支保分類		H8検討	H10検討	摘要
鋼製支保工	主な仕様	H-125@1m、 w23.8kg/m (SS41) 全周長13.3m(上半)	H-200@0.5m w56.2kg/m (SS41) 全周長21.2m	
	材料単価	(25,127円/m) <sup>4)</sup>	149,000円/組 (447,000円/1.5m)	125円/kg×(21.2×56.2) <sup>6)</sup> (1掘進長=1.5m)
覆工コンクリート	主な仕様	t30cm(上下半)	t100cm(全断面) V21.2m <sup>3</sup> /m	
	材料単価	(29,740円/m) <sup>4)</sup>	29,740円/m <sup>3</sup> (945,800円/1.5m)	(1掘進長=1.5m)

iii) アクセス坑道の鋼製支保工単価

T-1ケースアクセス坑道の鋼製支保工 (H-200@0.5m) 単価の見直しを行う。結果を表-6.2.3.4に示す。

表-6.2.3.4 アクセス坑道の鋼製支保工単価 (T-1)

支保分類		H8検討	H10検討	摘要
鋼製支保工	主な仕様	無し	H-200@0.5m w56.2kg/m (SS41) 全周長26.1m	
	材料単価	-	184,000円/組 (552,000円/1.5m)	125円/kg×(26.1×56.2) <sup>6)</sup> (1掘進長=1.5m)

## (2) 操業単価

操業に関しては、H10検討では人工バリアの仕様に変更されたため、以下の項目について単価が変更となると考えられる。

- ① オーバーパック単価：オーバーパックの厚さが300mmから210mmに変更されたため、一体当りの単価を見直す。
- ② 操業設備のうち定置設備：緩衝材と廃棄体の重量減少による定格荷重の低下およびオーバーパックの遮蔽性能見直しに伴う定置装置救援方式の変更により、緩衝材定置装置および廃棄体定置装置の費用が変更となる。

### (a) オーバーパック

本年度では、オーバーパックの厚さが変更され体積が減少していることから、昨年度算出した $m^3$ 単価を基としてH10仕様での単価の算出を試みた。

算出結果をまとめたものを表-6.2.3.5に示す。

表-6.2.3.5 オーバーパック費用 (H9検討とH10検討)

	H9検討	H10検討
外形寸法 [mm]	$\phi 1,040 \times 1,950L$	$\phi 860 \times 1,770L$
体積 [ $m^3$ ]	1.45	0.82
容積単価 [千円/ $m^3$ ]	5,448	5,448
一体当りの単価 [千円/一体]	7,900	4,500

### (b) 操業設備

人工バリア仕様の変更に伴い、

- ・緩衝材と廃棄体の重量減少による定格荷重の低下
- ・オーバーパックの遮蔽性能見直しに伴う定置装置救援方式の変更

を要因として、緩衝材および廃棄体定置装置の費用が変更となると考えられる。今回の見直しにおいては、各々の定置装置に関し適宜補正を行い、両設備を含む坑道の操業費について単価を表-6.2.3.6のように類推した。また設備費変更に伴って、ランニングコストについても見直しを行う。

表-6.2.3.6 操業設備費用

	H9検討	H10検討
坑道 (百万円)	9,069	11,155
ランニングコスト (百万円)	33,021	36,323

(3) 閉鎖単価

(a) 緩衝材

オーバーパックと同様にH10年度では人工バリアの仕様が変更されたため、昨年度実施した緩衝材の単価について、変更点を考慮した見直しを行った。ここでは、結晶質岩および堆積岩のそれぞれの横置き定置方式について費用の算出を行った。

算出結果をまとめたものを表-6.2.3.7に示す。

表-6.2.3.7 緩衝材費用（H9検討およびH10検討：横置き定置）

	H9検討	H10検討	
		結晶質岩	堆積岩
オーバーパック寸法 [mm]	φ1,040×1,950L	φ860×1,765L	
材料	クニゲルV1-100%	クニゲルV1-70% ケイ砂-30%	
乾燥密度 [g/cm <sup>3</sup> ]	1.8	1.6	
厚さ [cm]	98	67	
廻分坑道径 [mm]	3,000	2,200	2,200
廃棄体定置間隔 [mm]	7,000	7,000	5,400
ベントナイト材料単価 [円/ton]	41,000	41,000	
ケイ砂(3号と5号)材料単価 [円/ton]	-	22,000	
緩衝材容積単価 [円/m <sup>3</sup> ]	82,000	61,572	61,572
廃棄体一体当りの体積 [m <sup>3</sup> ]	47.82	25.58	19.50
廃棄体一体当りの材料単価 [千円/一体]	3,921.2	1,575.0	1,200.7
廃棄体一体当りの設備費 [千円/一体]	165.8	165.8	165.8
廃棄体一体当りの加工費 [千円/一体]	30.0	30.0	30.0
廃棄体一体当りの検査費 [千円/一体]	15.0	15.0	15.0
廃棄体一体当りの単価 [千円/一体]	4,132.0	1,785.8	1,411.5

(b) 埋戻し材料

立坑と主要坑道、連絡坑道の埋戻し材の基本仕様に変更となったため、材料費の単価の見直しを行う。

昨年度との比較を表-6.2.3.8に示す。

表-6.2.3.8 立坑の埋戻し材料単価

	H9検討	H10検討
仕様	ベントナイト：砂=20:80	ベントナイト：砂=15:85
単価 (円/m <sup>3</sup> )	42,000円	40,500円

主要坑道・連絡坑道の埋戻し材の基本仕様に変更となったため、単価の見直しを行う。

H9検討との比較を表-6.2.3.9に示す。

表-6.2.3.9 主要坑道・連絡坑道の埋戻し材料単価

埋戻し位置		H9検討	H10検討
坑道上部	仕様	ヘントナイト：砂=50:50	ヘントナイト：砂=30:70
	単価（円/m <sup>3</sup> ）	50,900円	44,900円
坑道下部	仕様	ヘントナイト：砂=20:80	ヘントナイト：砂=20:80
	単価（円/m <sup>3</sup> ）	42,000円	42,000円

(c) プラグ工

各坑道におけるコンクリートプラグについて、以下のような変更点があった。

- ① 処分坑道：坑道の径が変わったため、プラグ一箇所当りの単価が変更となる。
- ② 立坑上部：人間の侵入を防ぐ等の目的で、新規にコンクリートプラグを設置する。

以下に、それぞれの坑道について単価の見直しを行う。

処分坑道のプラグ工をプラグの体積比により算定し、結果を表-6.2.3.10に示す。

表-6.2.3.10 処分坑道のプラグ工単価

		H9検討	H10検討	摘要
K-2	主な仕様	293 (m <sup>3</sup> /ヶ所)	16 (m <sup>3</sup> /ヶ所)	$(3.2)^2 * \pi / 4 * 2.0$
	単価（材 工共）	137,648,402 （円/ヶ所）	7,516,700 （円/ヶ所）	16/293 * 137,648,402円
T-1	主な仕様	354 (m <sup>3</sup> /ヶ所)	19 (m <sup>3</sup> /ヶ所)	$(3.5)^2 * \pi / 4 * 2.0$
	単価（材 工共）	152,079,977 （円/ヶ所）	8,162,500 （円/ヶ所）	19/354 * 152,079,977円

立坑上部にコンクリートプラグを新しく設置することとした。このプラグに関してはまだ詳細設計が行われていないため、コンクリートプラグ打設費のみを計上し、処分坑道のコンクリートプラグ工打設費で用いた30,000円/m<sup>3</sup>（型枠工含む）と同額と設定する。

表-6.2.3.12 立坑上部のコンクリートプラグ単価

		H9検討	H10検討
コンクリートプラグ工	主な仕様	無し	仕様、数量等は未定
	単価（型枠工含む）	—	30,000円/m <sup>3</sup>

立坑下部に設置するプラグの仕様がコンクリートプラグとHCBプラグとの組合わせから、HCBプラグのみに変更になったため、コンクリートプラグの単価を計上しないものとする。表-6.2.3.13に昨年度との比較を示す。

表-6.2.3.13 立坑下部のコンクリートプラグ単価

		H9検討	H10検討
コンクリートプラグ工	主な仕様	φ9500、t=6000	無し
	単価（型枠工含む）	30,000円/m <sup>3</sup>	-

HCBブロックプラグの単価は一ヶ所当りで算出しているため、寸法の異なる各坑道について材料単価を表-6.2.3.14、表-6.2.3.15に示す。

また定置については、ブロックの寸法及び定置方法の詳細が不明なため、1 m<sup>3</sup>当りの運搬定置単価は昨年度と同じと考える。

表-6.2.3.14 HCBブロックプラグ材料単価（K-2の場合）

		H9検討	H10検討	摘要
主要・連絡坑道	主な仕様	214 (m <sup>3</sup> /ヶ所)	214 (m <sup>3</sup> /ヶ所)	
	単価	18,404,000 (円/ヶ所)	13,176,400 (円/ヶ所)	61,572 * 214
立坑下部	主な仕様	394 (m <sup>3</sup> /ヶ所)	311 (m <sup>3</sup> /ヶ所)	φ 11.5m、t=3.0m
	単価	34,314,000 (円/ヶ所)	19,148,900 (円/ヶ所)	61,572 * 311

表-6.2.3.15 HCBブロックプラグ材料単価（T-1の場合）

		H9検討	H10検討	摘要
主要・連絡坑道	主な仕様	256 (m <sup>3</sup> /ヶ所)	256 (m <sup>3</sup> /ヶ所)	
	単価	22,016,000 (円/ヶ所)	15,762,400 (円/ヶ所)	61,572 * 256
立坑下部	主な仕様	529 (m <sup>3</sup> /ヶ所)	311 (m <sup>3</sup> /ヶ所)	φ 11.5m、t=3.0m
	単価	45,494,000 (円/ヶ所)	19,148,900 (円/ヶ所)	61,572 * 311

## 6.2.4 モニタリングに関する費用

### (1) 検討の範囲と前提条件

本節では、「5.4 事前調査・建設・操業・閉鎖の各段階におけるモニタリング項目の検討」の検討結果を基本として、①適用する各モニタリング項目の単価調査および②モニタリング費用の算出を行う。両検討項目の検討の範囲および前提条件について、以下に示す。

#### ①モニタリング項目の単価調査

「5.4 事前調査・建設・操業・閉鎖の各段階におけるモニタリング項目の検討」で抽出された処分場管理のための調査・観測項目に対して、単価の調査を行う。各調査・観測項目の単価は、既存の構造物を対象とした現状の適用事例、技術レベルにより設定の根拠・詳細度等が異なる。そのため、単価調査結果表では各項目に対して設定レベル（根拠）を記載した。

#### ②モニタリング費用の算出

「5.4 事前調査・建設・操業・閉鎖の各段階におけるモニタリング項目の検討」で検討された処分場管理スケジュールおよびモニタリング配置計画を基本として、モニタリング費用を算出する。費用算定の対象ケースは、全体工程で対象とした結晶質岩および堆積岩を想定した横置き定置の2ケースとする。モニタリングの期間設定の基本となる建設・操業・閉鎖の手順および工程は、全体工程の結果をベースとする。

### (2) 単価の調査

「5.4 事前調査・建設・操業・閉鎖の各段階におけるモニタリング項目の検討」で設定したモニタリング調査・観測手法の単価を調査する。

調査・観測手法の単価は、現状の適用レベルにより以下に示す3つの観点から設定した。

- ① 建設物価による地質調査費からの設定
- ② 調査に係わる直接・間接費を含めた外注費用としての設定（適用事例より）
- ③ 研究開発ベースの適用（実績をベースに想定）

単価調査結果を表-6.2.4. 1に示す。表中の設定レベル欄には、単価調査での上記の3つの適用を分類して示している。また、上記の①の設定レベルは、調査に係わる直接費（サブリック、探査・計測・試験費）を示すことから、間接費を直接費の35%と仮定して、調査単価（直接費+間接費）を整理した。

表-6.2.4.1 モニタリングに関する調査・観測手法の単価調査結果

モニタリング費用調査単価

調査・観測項目	調査・観測手法	測定場所	単位	直接費単価 (千円/単位)	単価(千円/単位)	設定レベル	備考
水文地質	地下水水位観測 (設置費)	掘削内外試錐	ヶ所	125.6	170	①	5年毎の更新, 間接費: 直接費+35%
	地下水水位観測 (観測費)	掘削内外試錐	ヶ所	408	551	①	間接費: 直接費+35%
水収支	間隙水圧観測	掘削内外試錐	ヶ所	-	2,500	③	5年間の単価, 1000m深度試錐対象
	流向流速測定	掘削内外試錐	ヶ所	251	1,017	①	間接費: 直接費+35%
	地下水検層	掘削内外試錐	m	10	41	①	年3回計測, 間接費: 直接費+35%
労働安全環境	深層水水質測定	掘削内外試錐	ヶ所	498	672	①	年3回計測, 間接費: 直接費+35%
	気象, 河象, 海象調査 (雨量観測設置)	掘削内外地表	ヶ所	60	81	①	5年毎の更新, 間接費: 直接費+35%
	気象, 河象, 海象調査 (観測費)	掘削内外地表	ヶ所	34	551	①	年12回計測・整理
地盤動	地震動観測 (観測費)	掘削内地表	ヶ所	-	20,000	②	
労働安全環境	地表水水質測定	掘削内外地表	ヶ所	498	672	①	年3回計測, 間接費: 直接費+35%
周辺環境 (騒音, 振動)	振動レベル測定	掘削内外地表	ヶ所	1493	1,697	①	年3回計測, 間接費: 直接費+35%
	騒音レベル測定	掘削内外地表	ヶ所	4098	5,532	①	年3回計測, 間接費: 直接費+35%
周辺環境 (地盤)	水準測量	掘削内外地表	十km	204.6	276	①	年3回計測, 間接費: 直接費+35%
	層別地盤収縮量測定 (設置費)	掘削内外試錐	本	1300	1,755	①	5年毎の更新, 間接費: 直接費+35%
	層別地盤収縮量測定 (観測費)	掘削内外試錐	本	84	113	①	年3回の計測, 間接費: 直接費+35%
周辺環境 (植生)	動植物調査	掘削内外地表	ka2	-	4,000	②	
空洞周辺岩盤の変形挙動	岩盤内変位計測 (設置+設備費)	処分区画坑道	本	-	208	③	1年毎の更新, データ回収は施工管理
	試錐孔削孔費	処分区画坑道	m	-	248	②	
	ひずみ計測 (設置+設備費)	処分区画坑道	ヶ所	-	66	③	1年毎の更新, データ回収は施工管理
	ジョイント変位計測 (設置+設備費)	処分区画坑道	ヶ所	-	2,700	③	1年毎の更新, データ回収は施工管理
	温度検層 (調査費)	処分区画坑道	百m	1042	1,407	①	間接費: 直接費+35%
	PS検層 (調査費)	処分区画坑道	百m	4232	5,713	①	間接費: 直接費+35%
	屈折法弾性波探査	処分区画坑道	km	8682	11,721	①	間接費: 直接費+35%
	弾性波トモグラフィ	処分区画坑道	ヶ所	-	2,700	③	
	坑内弾性波速度測定	処分区画坑道	十m	-	1,500	③	
	EDZ周辺の透水性 (設置+設備費)	処分区画坑道	ヶ所	-	317	③	
支保工の健全性	支保工の作用荷重測定	処分区画坑道	ヶ所	-	321	②	1年毎の更新, データ回収は施工管理
	支保工の変位測定	処分区画坑道	ヶ所	-	321	②	1年毎の更新, データ回収は施工管理
	応力ひずみ測定	処分区画坑道	ヶ所	-	321	②	1年毎の更新, データ回収は施工管理
	ロッド軸力測定	処分区画坑道	ヶ所	-	321	②	1年毎の更新, データ回収は施工管理
	PSアール緊張力測定	処分区画坑道	ヶ所	-	321	②	1年毎の更新, データ回収は施工管理
覆工コンクリートの健全性	覆工コンクリートの応力・ひずみ	処分区画坑道	ヶ所	-	321	②	1年毎の更新, データ回収は施工管理
イバートコンクリートの健全性	イバートコンクリートの応力・ひずみ	処分区画坑道	ヶ所	-	321	②	1年毎の更新, データ回収は施工管理
坑内環境	温度計測	処分区画坑道	ヶ所	-	446	②	1年毎の更新, データ回収は施工管理
	ガス濃度計測	処分区画坑道	ヶ所	-	308	②	1年毎の更新, データ回収は施工管理
	酸素濃度計測	処分区画坑道	ヶ所	-	284	②	1年毎の更新, データ回収は施工管理
	照度計測	処分区画坑道	ヶ所	-	132	②	1年毎の更新, データ回収は施工管理
	通気量計測	処分区画坑道	ヶ所	-	209	②	1年毎の更新, データ回収は施工管理
	粉塵濃度計測	処分区画坑道	ヶ所	-	1,148	②	1年毎の更新, データ回収は施工管理
	騒音計測	処分区画坑道	ヶ所	479	647	①	間接費: 直接費+35%
	振動計測	処分区画坑道	ヶ所	535	722	①	間接費: 直接費+35%

(3) モニタリング費用の算出

(a) 事前調査およびサイト特性調査段階

i) モニタリング項目の整理

「5.4 事前調査・建設・操業・閉鎖の各段階におけるモニタリング項目の検討」により抽出された本段階のモニタリング項目を整理する。

モニタリング費用の算出を目的とした各モニタリング調査・観測手法の数量および計測期間設定の考え方を表-6.2.4. 2に示す。

表-6.2.4. 2 費用算出を目的としたモニタリング項目の数量および期間設定の考え方  
(事前調査・サイト特性調査段階)

調査・観測手法	数量	期間	備考
①振動レベル測定	調査および施工実施点を中心的に5カ所で年3回の計測実施と仮定	サイト特性調査開始前の事前調査段階終了時から開始するとし、2008年からの開始を想定	調査員が原位置に立入り、計測ポイントでの測定を実施 (2008~2025)
②騒音レベル測定	調査および施工実施点を中心的に5カ所で年3回の計測実施と仮定	サイト特性調査開始前の事前調査段階終了時から開始するとし、2008年からの開始を想定	調査員が原位置に立入り、計測ポイントでの測定を実施 (2008~2025)
③水準測量	処分予定地領域を包含するエリア(4×4km程度)で測線のグリッド配置(合計40km)、年1回の測量実施を仮定	サイト特性調査開始前の事前調査段階終了時から開始するとし、2008年からの開始を想定	原位置に調査員が立入り、測量を展開 (2008~2025)
④層別地盤収縮量測定	深度30m程度の試錐孔をサイト内外地表に5カ所掘削し、計器を設置、年3回の計測と仮定	サイト特性調査段階開始後、地下施設の建設(2013)までに計測を開始(2012~2025)	試錐孔の掘削とケーシングの設置が必要 原位置に調査員が立入り、データを回収
⑤植生調査	処分予定地領域を包含するエリア(4×4km程度)を対象として処分予定地選定前に実施	2008年の処分予定地の選定までに実施と仮定	環境影響評価については、どの時期に実施すべきかの検討はなされていない。

ii) モニタリング費用 (事前調査・サイト特性調査段階)

事前調査・サイト特性調査段階の両ケースの費用合計は、以下のとおりである。

- 結晶質岩ケース : 6億5千万円
- 堆積岩ケース : 6億5千万円

試錐孔および地下施設を利用した調査は、事前調査およびサイト特性調査費に含まれる



ことから、両ケースに費用の差異はない。

(b) 建設・操業・閉鎖段階

i) モニタリング項目の整理

「5.4 事前調査・建設・操業・閉鎖の各段階におけるモニタリング項目の検討」により抽出された本段階のモニタリング項目を整理する。基本的な空洞形状の計測や出来形管理、施工材料の品質確認などであり、これらは空洞の掘削費に含まれる項目と考え、本費用算出の対象外とした。

建設・操業・閉鎖段階のモニタリング費用の算出の対象となる調査・観測項目および手法（表中網掛け）は、以下の2つに分類される。

- ① サイト特性調査の継続となるモニタリング項目
- ② 建設した坑道周辺のモニタリング項目

本検討では建設・操業・閉鎖段階のモニタリングの目的を『最終閉鎖段階に至る審査に必要とされる項目の取得』と仮定し、抽出されたモニタリング項目を整理した。

本費用算出を目的とした各調査・観測手法の数量および計測期間設定の考え方を表-6.2.4.3に示す。

表-6.2.4.3 費用算出を目的としたモニタリング項目の数量および期間設定の考え方  
(建設・操業・閉鎖段階)

分類 調査・観測項目	調査・観測手法	数量	期間	備考
① サイト特性調査の 継続となる項目 -最終閉鎖段階への 審査に必要となる 項目	水収支観測 (地下水位、降水量、その他は気象、河象、海象調査を含む)	サイト特性調査の延長として立坑を中心とした8地点、連続計測	建設開始から最終閉鎖に向けた確認開始までの40年間	
	水圧観測 流向流速測定 地下水検層	処分予定地内の施設周辺4本と、広域の8本の試錐孔(合計12本)を利用した年3回の移動計測	建設開始から最終閉鎖に向けた確認開始までの40年間	試錐孔の維持管理費は含めない
	深層水水質測定	合計12本の試錐孔を利用した年3回の移動計測	建設開始から最終閉鎖に向けた確認開始までの40年間	
	気象、河象、海象調査	サイト内外6地点と処分予定地	建設開始から最終閉鎖に向けた	降水量調査+資料調査を想定

		を対象とした外部資料	確認開始までの40年間	
①サイト特性調査の継続となる項目 -社会的な観点からの実施項目	地震動観測	許認可申請後の計測として処分予定地内に1カ所、連続計測と仮定	建設開始から最終閉鎖に向けた確認開始までの40年間	
	地表水水質測定	サイト内外6地点と仮定	建設開始から最終閉鎖に向けた確認開始までの40年間	
	振動レベル測定 騒音レベル測定	処分予定内の5カ所で、年3回測定と仮定	建設開始から最終閉鎖に向けた確認開始までの40年間	
	水準測量 層別地盤収縮量測定 温度検層	年3回計測と仮定。 温度検層は、処分予定地内の施設周辺試錐4本で実施	建設開始から最終閉鎖に向けた確認開始までの40年間	
	植生調査	環境影響評価として建設開始前に実施	2025年前	環境影響評価については、どの時期に実施すべきかの検討はなされていない。
②建設した坑道周辺のモニタリング項目 -坑道の品質確認モニタリング	岩盤内変位計測 ひずみ計測 ジョイント変位計測 温度検層	処分区画の代表坑道を、隣接する連絡坑道(1000m程度)と処分坑道1本(1000m程度)と仮定し、連続計測を実施	・連絡坑道： 建設開始から最終閉鎖に向けた確認開始までの40年間 ・処分坑道： 建設開始から区画閉鎖の確認までの7年間	品質確認モニタリングの代表地点の考え方の詳細な検討はなされておらず、今後の課題である
	PS検層 屈折法弾性波探査 弾性波トモグラフィ 坑内弾性波速度測定 EDZ周辺の透水試験	処分区画の代表坑道を、処分坑道1本(1000m程度)と仮定し、計測を実施	各区画の処分坑道建設後に、作業開始前の確認として代表坑道で実施	人工バリアシステムの品質確認を含めたEDZへの要求事項は整理されておらず、代表地点の考え方も併せて、今後の課題である。
	支保工の作用荷重測定 支保工の変位測定 応力ひずみ測定 温度計測 ロックボルト軸力測定 PS7ンカ緊張力測定	処分区画の代表坑道を、隣接する連絡坑道(1000m程度)と処分坑道1本(1000m程度)と仮定し、連続計測を実施	建設開始から区画閉鎖の確認までの7年間	品質確認モニタリングの代表地点の考え方の詳細な検討はなされておらず、今後の課題である
	覆工コンクリートの 応力・ひずみ・クラック・変状他 インバートコンクリートの 応力・ひずみ・クラック・変状他			
②建設した坑道周辺のモニタリング項目	温度計測 ガス濃度計測	処分区画の代表坑道を、主要坑	・処分区画： 各区画の建設開	管理区域の考え方のリンクが

- 作業の安全確認 モニタリング	酸素濃度計測 照度計測 通気量計測 粉塵濃度計測 騒音計測 振動計測	道部と仮定し、 300mピッチで連 続計測 連絡坑道部と換 気立坑1本を代 表坑道(2 仮定 し、連続計測	始から区画閉鎖 の確認までの 7 年間 ・連絡+立坑： 建設開始から最 終閉鎖に向けた 確認開始までの 40 年間	必要  各区画の建設時 の切羽近傍のモ ニタリングは施 工管理に含む
---------------------	---	---	--	---

ii) モニタリング費用（建設・操業・閉鎖段階）

建設・操業・閉鎖段階の両ケースのモニタリング費用の合計は、以下のとおりである。

- 結晶質岩ケース：510 億 2 千万円
- 堆積岩ケース：385 億 3 千万円

両ケースの費用の相異は、立坑、主要・連絡坑道の延長および調査に利用する試錐孔の長さの違い（結晶質岩 1200m, 堆積岩 700m）による調査数量の増減による。

(c) 最終閉鎖段階

i) モニタリング項目の整理

「5.4 事前調査・建設・操業・閉鎖の各段階におけるモニタリング項目の検討」により抽出された本段階のモニタリング項目を整理する。

本検討では、本段階のモニタリングの目的を『最終閉鎖終了後の処分施設周辺の環境回復を確認するモニタリング』と仮定し、抽出したモニタリング項目を技術的な観点と社会的な観点から2つに分類した。処分坑道および主要坑道を利用したモニタリングは、最終閉鎖の確認後は実施しないと仮定し、連絡坑道の閉鎖の仕様、品質確認は施工管理に含まれるとした。

本段階のモニタリングの目的から、抽出した調査・観測手法を以下に示すよう整理した。

- ①技術的な観点からのモニタリング項目
- ②社会的な観点からのモニタリング項目

以上の各モニタリング項目の考え方を基本として、本費用算出を目的とした各調査・観測手法の数量および計測期間設定の考え方を表-6.2.4. 4に示す。

表-6.2.4. 4 費用算出を目的としたモニタリング項目の数量および期間設定の考え方

(最終閉鎖段階)

分類	調査・観測手法	数量	期間	備考
施設周辺の環境回復を確認するモニタリング (技術的な観点から)	水収支観測 (地下水位のみ、その他は気象、河象、海象調査に含む)	サイト特性調査の延長として立坑を中心とした8地点、連続計測	最終閉鎖期間 結晶質岩：25年 堆積岩：24年	
	水圧観測 流向流速測定 地下水検層	処分予定地内の施設周辺4本と、広域の8本の試錐孔(合計12本)を利用した年1回の移動計測	最終閉鎖期間 結晶質岩：25年 堆積岩：24年	試錐孔の維持管理費は含めない
	地表水水質測定 深層水水質測定	サイト内外6地点の地表と、合計12本の試錐孔を利用した年1回の移動計測	最終閉鎖期間 結晶質岩：25年 堆積岩：24年	
	気象、河象、海象調査	サイト内外6地点と処分予定地を対象とした外部資料	最終閉鎖期間 結晶質岩：25年 堆積岩：24年	河川流量調査+資料調査を想定
施設周辺の環境回復を確認するモニタリング (社会的な観点から)	地震動観測	処分予定地内に1カ所、連続計測と仮定	最終閉鎖期間 結晶質岩：25年 堆積岩：24年	
	振動レベル測定 騒音レベル測定	処分予定内の5カ所で、年3回測定と仮定	最終閉鎖期間 結晶質岩：25年 堆積岩：24年	
	水準測量 層別地盤収縮量測定 温度検層	年3回計測と仮定。 温度検層は、処分予定地内の施設周辺試錐4本で実施	最終閉鎖期間 結晶質岩：25年 堆積岩：24年	

ii) モニタリング費用 (最終閉鎖段階)

最終閉鎖段階の両ケースのモニタリング費用の合計は、以下のとおりとなる。

- 結晶質岩ケース：255億4千万円
- 堆積岩ケース：148億6千万円

両ケースの相異は、調査に利用する試錐孔の長さの違い (結晶質岩 1200m, 堆積岩 700m) による調査数量の増減による。

(d) 閉鎖後管理段階

i) モニタリング項目の整理

「5.4 事前調査・建設・操業・閉鎖の各段階におけるモニタリング項目の検討」により

抽出された本段階のモニタリング項目を整理する。本閉鎖後管理段階の項目は、地表および地表からの試錐孔を利用した実施となるが、その目的、位置づけなど現状では明確でない点が多く、その適用期間の設定およびモニタリングの終了の考え方など、今後の課題が大きく残されている。本検討では、費用の積算を実施する観点から、調査項目および期間を仮定する。

本費用算出を目的とした各調査・観測手法の数量および計測期間設定の考え方を表-6.2.4.5に示す。

表-6.2.4.5 費用算出を目的としたモニタリング項目の数量および期間設定の考え方  
(閉鎖後管理段階)

分類	調査・観測手法	数量	期間	備考
施設周辺の環境回復を確認するモニタリング (技術的な観点から)	水収支観測 (地下水位のみ)	サイト特性調査の延長として立坑を中心とした8地点、連続計測	広域地下水流動解析結果より、再冠水までの期間を10年間と仮定	
	水圧観測	処分予定地内の施設周辺4本と、広域の8本の試錐孔(合計12本)を利用した年3回の移動計測	広域地下水流動解析結果より、再冠水までの期間を10年間と仮定	試錐孔の維持管理費は含めない
	深層水水質測定	合計12本の試錐孔を利用した年3回の移動計測	地下水流動解析とリンクさせて10年間と仮定	
施設周辺の環境回復を確認するモニタリング (社会的な観点から)	地表水水質測定	サイト内外6地点と仮定	100年間と仮定	
	地震動観測	処分予定地内に1カ所、連続計測と仮定	100年間と仮定	
	層別地盤収縮量測定	年3回移動計測。	100年間と仮定	

ii) モニタリング費用 (閉鎖後管理段階)

閉鎖後管理段階の両ケースのモニタリング費用の合計は以下のとおりである。

- 結晶質岩ケース：27億7千万円
- 堆積岩ケース：20億6千万円

両ケースの費用の相異は、調査に利用する試錐孔の長さの違い(結晶質岩1200m, 堆積岩700m)による調査数量の増減による。

(e) 費用算出結果のまとめ

事前調査・サイト特性調査段階、建設・操業・閉鎖段階、最終閉鎖段階、閉鎖後管理段階の費用算出結果をまとめて、表-6.2.4. 6に示す。

表-6.2.4. 6 費用算出結果のまとめ

段階	事前調査 サイト特性調査	建設・操業・ 区画閉鎖	最終閉鎖	閉鎖後管理	合計 (千円)
費用(千円) 結晶質岩ケース	650,633	51,024,242	25,540,065	2,770,469	79,985,409
費用(千円) 堆積岩ケース	650,633	38,533,633	14,861,426	2,067,089	56,112,781

表より、両ケースのモニタリング費の総合計は、以下のとおりとなる。

- 結晶質岩ケース：799億8千万円
- 堆積岩ケース：561億1千万円

(4) 費用算出における課題

(a) 調査項目の単価

放射性廃棄物施設での調査・観測手法（モニタリング）の適用は、その設定深度が深いこと、そして適用期間が長期であるという特徴を有し、技術的な適用性（仕様どおりの性能を発揮するか）およびハード的な耐久性についても未知な点も多い。本検討の単価調査は、それらの各手法の技術的不確実性を包含する設定レベルとして、3段階の設定を実施した。特に設定レベル「③研究開発ベースでの適用」は、適用する手法の技術的不確実性を指摘したものであり、データの品質保証の観点から、今後の開発および検証が必要とされる。

また、本検討ではデータの収集および整備についての特別なシステムを考慮していない。前述のデータの品質保証からは、事前調査およびサイト特性調査を含めて複数の分野・項目に跨るデータをシステムチックに収集し、整備（データベース化）するデータ収集・管理システムを開発・適用することが現実的である。データ収集・管理システムは、得られ得るデータの利用、調査を適用する段階（同時に実施する各種調査）、調査を適用する場

(地表、地表からの試錐、処分施設内など)を勘案して構築することになる。

#### (b) 調査項目の数量

建設・操業・閉鎖段階の空洞の品質確認モニタリングは、処分施設内の坑道のうち、代表坑道を設定して適用する考え方を示した。本検討では、調査の内容により、各区画内に2000m程度の代表坑道を仮定したが、モニタリングに要求されるデータ取得密度といった観点からの根拠はない。例えば、建設・操業・閉鎖段階のモニタリングを各区画の操業確認および最終閉鎖への確認と位置付けるなど、モニタリングの実施目的を明確にし、人工バリアの定置技術（ハンドリング装置からの要求精度）および閉鎖後の人工バリアシステムの品質確認への要求事項の観点から、調査・確認すべき事項とその重要性を整理することが今後の課題と考えられる。

また、上記の課題と関連して、人工バリア、プラグ、埋戻しのシステムとしての品質確認に、原位置試験等の大規模かつ長期の調査・モニタリングが必要となれば、建設・操業・閉鎖作業の実施の観点から、処分施設レイアウトへの見直しも必要になると考えられる。また、再取り出し性を含めた処分場閉鎖終了前後の管理および期間の設定も処分施設レイアウトや建設・操業・閉鎖計画に係わる課題と考えられる。このような課題は、代表坑道の設定および地下施設で実施する実証試験の考え方に密接に係わる事項となる（スウェーデンの Demonstration Deposition など）。特に地下施設で実施する実証試験は、サイト特性調査段階から実施・展開することになり、最終閉鎖段階に向けた長期の原位置品質・性能確認等の試験の実施も可能となる。サイト特性調査段階の処分技術の実証は、その内容、位置づけ等が現状では明確でなく、今後研究すべき課題となる。

#### (c) 調査の適用期間

閉鎖後管理段階の調査の適用期間は、適用する調査項目の特性と併せて、今後検討すべき課題である。特に技術的な観点からのモニタリングを実施する場合には、その目的および適用期間を技術的な根拠をもって示す必要があり、調査手法の開発および検証と併せて今後研究すべき課題となる。

## 6.2.5 まとめと課題

### (1) 事前調査に関する費用

「5.5 事前調査から閉鎖までの手順および工程の検討」で設定した結晶質岩および堆積岩の2ケースの調査計画をベースに、適用する調査の単価および調査費用の算出を実施した。両ケースの費用の差は、施設設置深度（結晶質岩1000m、堆積岩500m）の違いによる試錐孔の削孔費、試錐孔を利用した調査費、建設費（アクセス立坑）の相異により生ずる。各段階の調査目標が明確でなく、かつ地質構造そのものが有する不均質性、異方性等の特性から、現状では、調査計画立案への方策および考え方（目標レベル）を各段階で整備することが重要な課題と考えられる。費用積算については、合理的な方策を踏まえた調査計画の変更を想定した積算システムを構築、準備することが課題と考えられる。

### (2) 建設・操業・閉鎖段階に関する単価見直し

今回は「仮想地質モデル」をベースとした場合、平成7、8年度における設計と比較して条件が大きく変わるものについて単価の見直しを行った。今回の見直しに関しては、主にプラグの寸法や埋戻し材、緩衝材の配合等の変更による数値的な見直しが主体であったため、不確定要素による工事費の変更の可能性は引き続き残っている。また、いわゆる設計ではなく、要求される性能を満足するよう地山状態に応じた情報化施工が行われる工種も多く含まれ、本検討で調査した実績単価は、対象とする岩盤性状により大きく変動する可能性が高い。

### (3) モニタリングに関する費用

「5.4 事前調査・建設・操業・閉鎖の各段階におけるモニタリング項目の検討」をベースとして、処分場管理に係わる項目およびモニタリング費用を算出した。

課題項目としては、以下の5点である。

- ① 工学的技術開発として、調査の段階的な展開を考慮したデータ収集・管理システムの開発・構築
- ② 建設・操業・閉鎖段階の調査数量の設定に係わる代表坑道の考え方の構築
- ③ 再取り出し性を含めた処分場閉鎖前後のモニタリングの考え方の構築
- ④ 処分技術の実証の考え方と長期モニタリング方策（上記②とも関連）
- ⑤ 閉鎖後の管理に対するモニタリングの適用期間の考え方



### 6.3 安全管理の考え方

本節では、一般労働安全、一般作業環境（非放射線安全）の観点から、処分立地周辺住民ならびに作業従事者に対する安全対策、安全管理について検討した。

#### （1）処分場の地下施設としての特徴と基本的な対処の思想

地下処分場施設は、地下深部に建設されるトンネル群および、それらトンネル群と地上を結ぶ数本の立坑から構成され、その規模から、大規模な山岳トンネル工事として位置づけられる。

落盤や異常出水、坑内火災等、重大災害の対策はもちろんのこと、振動や粉じん等作業従事者に対する安全衛生に関する対策、また、濁水、水質汚濁、騒音・振動や、交通事故等、処分場周辺の住民に対する安全対策や、環境保全対策を十分考慮に容れて、計画を立案し、かつ実行にあたるのが社会的責務であると考ええる。

過去に発生した事故や環境保全上の不具合をみると、計画の段階における事前調査や評価が不十分であったり、また、施工中に必要な安全対策が十分講じられなかったことが原因となって発生したと考えられる事例が少なくない。

よって、地下処分場施設の建設にあたっては、事業の調査・計画・設計の段階における安全衛生、公害防止、環境保全等に係わる管理（以下では広義に安全管理とする）に関しての事前評価（セーフティーアセスメント）を実施し、建設工事の進捗の各段階に応じ、これらの事前評価に修正を加えて、事故防止と環境維持に努める必要がある。

#### （2）検討項目

6.3.1節において、地下処分場建設工事の調査・計画・設計の段階で事前評価に必要とされる安全管理に関わる基礎調査事項を示した。

6.3.2節においては、現状の法規制について関連しそうなものを整理した。

6.3.3節においては、安全管理のために実施すべき所要の措置について示した。

### 6. 3. 1 事前調査の必要性

目的とする地下構造物の設計・施工上の安全を確保するためには、計画段階からの適切な調査が重要である。安全管理のための基礎調査としては、地盤強度などのように対象構造物自体の設計と、施工時の安全に係わる事項に関する調査および近接建物などのように、構造物を建設することが周辺環境に及ぼす影響についての調査がある。

#### (1) 構造物の設計・施工の安全に係わる調査

地下処分場施設の建設計画に際して、調査・計画・設計の段階において基礎的に必要とされる基礎資料を表-6. 3. 1. 1 に示した。

表-6. 3. 1. 1 構造物の設計・施工の安全に係わる基礎調査資料

基本的事項	調査資料	判断事項
(a) 地形・地質 構造	2.5 万の1 地形図 1/2, 500 平面図 航空写真	地形, 地勢, 土地利用形態等 建設環境, 地質, 坑口地形, 植生, リニアメント
(b) 指定地域	官公署発行 都市計画図、急傾 斜地・地すべり防災地域指定図等 国立公園, 鉱区等	公園・防災計画等指定地域
(c) 地表環境	土被り, 地上家屋等工作物, 崖地 海岸・河川・湖沼・溜池・井戸 集落, 交通状況	所要対策の有無 ずり・資材等搬出搬入計画
(d) 詳細地質	弾性波, 比抵抗等物理探査 ボーリング, 諸試料試験等	地質縦(横)断図作成 断層, 破碎帯, 風化深度, 岩石の特性値 膨張性・流動性地質の予見
(e) 水文地質	岩種, 地形・地質構造(断層, 走 行, 傾斜, 水盆) 透水性試験, 揚 水試験, 降水・流況特性等 水源・溜池等	地下水の分布・被圧の有無・ 恒常湧水量・突発湧水等の予 測
(f) 有害ガス等	有毒ガス, 酸欠空気, 可燃性ガス 温泉・鉱毒水	施工の安全, 保守設備の検討
(g) 建設関連条 例等規制	(表-6. 3. 2. 1参照)	所要の安全対策
(h) 近隣・類似 工事の記録	文献, 施工記録, 研究報告, 保守 管理記録等 膨張性地質, 突発湧水, 地すべり 履歴, 有害ガス等情報	施工法, 加背割, 支保構造, 補助工法等の検討 対応施工設備

(2) 周辺環境に係わる調査

地下処分場施設の建設にあたって、事業の調査・計画・設計の段階における公害防止、環境保全等、周辺環境維持のため事前に考慮すべき基礎資料を表-6.3.1.2に示した。

表-6.3.1.2 周辺環境に係わる基礎調査資料

基本的事項	調査資料	判断事項
(a) 濁水予測 ・水文地質	前記(表-6.3.1.1 参照)に加えて 地下水の流向・流速・水温・水質 季節変動 地表水の流量、比流量	濁水対策 湧水量 水位低下予測 (量, 範囲, 時期)
・水文気象	降水量・蒸発量等の年間統計等	
・水利環境	井戸, 溜池, 水利施設, 水利権	
(b) 周辺工作物 ・地上設備等	前記(表-6.3.1.1 参照)に加えて 土地利用状況、地上建造物および近接構造物	地表沈下, 工作物の変状対策
・地下構造物	基礎構造物, 地中埋設物, 地中内近接構造物	
(c) 建設環境 ・排水汚濁 ・大気汚染 ・騒音・振動 ・交通障害	公的基準および対象地域の規制値 公的基準 公的基準および対象地域の規制値 道路状況、交通容量	公害防止対策 ずり搬出・資材搬入経路

### 6. 3. 2 現状における法令等

地下処分場施設の建設にあたって、建設事業者および施工従事者が周知しておくべき安全ならびに環境維持等に係わる法令、もしくは法令に基づく基準等を整理した。

関連法令等を表-6.3.2.1 に示し、また、建設にあたり準拠すべき法例関連の技術基準等・規格等は表-6.3.2.2 に示し、その他関連の技術指針、示方書、手引き等については表-6.3.2.3 に示した。以下に表-6.3.2.1を添付した。

表-6.3.2.1 建設の安全・環境維持に係わる法令等 (1/2)

a. 安全施工対策に関する基本法令	建設業法	S24.5
	労働基準法（労基法）	S22.4
	労働安全衛生法（安衛法）	S47.6
b. 安衛法施行令及び施行規則並びに関連規程等	労働安全衛生法施行令（安衛令）	S47.8
	労働安全衛生規則（安衛則）	S47.9労働省令
	ボイラー及び圧力容器安全規則	同上
	クレーン等安全規則	同上
	高気圧作業安全衛生規則	同上
	電離放射線障害防止規則	同上
	酸素欠乏症等防止規則	同上
	事務所衛生基準規則	同上
	有機溶剤中毒予防規則	同上
	特定化学物質等障害予防規則	同上
	性能検査代行機関等に関する規則	同上
	機械等検定規則（機械検定則）	同上
	粉じん障害防止規則	S54.4労働省令
事務所衛生基準規則	S47.9労働省令	
作業環境測定基準	S51.4労働省告示	
作業環境評価基準	S63.9労働省告示	
その他関係法令	じん肺法	S35.3
	同施行規則	S35.3労働省令
	火薬類取締法／同施行規則	S25.5
	作業環境測定法	S50.5
	同施工令	S50.8
	同 施工規則	S50.8労働省令
	消防法／同施行令／同施行規則	S23.7
	危険物の規制に関する政令／同規則	S34.9
c. 公害防止関連	公害対策基本法	S42.8
	公害紛争処理法	S45.6
	騒音規制法／同施行令／同施行規則	S43.6
	騒音に係る環境基準について	S46.5閣議決定
	振動規制法／同施行令／同施行規則	S51.6
	悪臭防止法	S46.6
	下水道法	S33.4

### 6. 3. 3 安全管理のために実施すべき所要の措置

地下処分場施設の建設工事の工事実施計画において、考慮しなければならないと考えられる作業安全および周辺環境保全に係わる基本的事項を、次の項目ごとに整理し、要旨と関連法令とともに示した。

#### (1) 安全管理のための施工管理体制

安全管理のための施工管理体制に係わる基本的事項を表-6. 3. 3. 1に示した。

#### (2) 安全管理のための作業および設備

安全管理のための作業および設備に係わる基本的事項を表-6. 3. 3. 2に示した。

#### (3) 安全施工のための作業環境

安全施工のための作業環境に係わる基本的事項を表-6. 3. 3. 3に示した。

#### (4) 環境保全

環境保全に係わる基本的事項を表-6. 3. 3. 4に示した。

以下、表-6. 3. 3. 1 (1/3~3/3)、表-6. 3. 3. 2 (1/18~18/18)、表6. 3. 3. 3 (1/6~6/6)、表6. 3. 3. 4(1/2~2/2)のサンプルとして表-6. 3. 3. 1 (1/3)、表-6. 3. 3. 2 (1/18)、表6. 3. 3. 3 (1/6)、表6. 3. 3. 4(1/2)を添付した。

表-6.3.3.1 管理のための施工管理体制 (1/3)

基本的事項	要旨/内容	関連法令等
a. 施工管理組織 ①現場代理人等	次に掲げる者を選任する 現場代理人の選任 主任技術者 〃 : 下請け合計契約額 3,000万円未満の特定/一般建設業 監理技術者 〃 : 〃 3,000万円以上の特定建設業	建設業法 1902 ; 標準請負契約約款 建設業法 26条 〃
②管理組織規定	職務内容が明確化された、関係請負人を含む管理組織規定を作成し掲示する 元請の職務分担、安全管理組織および二次、三次も含む協力業者の各工事分担、(施工体制管理台帳制度による)、安全衛生責任者等職務、氏名、業務内容等を明確に文書化しておく	
③関係請負人の選定	施工成績・安全衛生成績=施工能力、雇用管理、労働管理、労働福祉環境、関係請負人との取引等考慮	建設省行政指導(平成3年2月5日)
b. 安全衛生管理 ①安全衛生管理体制	次に掲げる者を選任する 統括安全衛生管理者 : 常時 100人以上の労働者を使用する事業場 安全管理者 : 常時 50人以上 衛生管理者 : 常時 50人以上 安全衛生推進者 : 常時 10人以上50人未満の労働者を使用する事業場 産業医 : 常時 50人以上の労働者を使用する事業場 統括安全衛生責任者 : 元方事業者及び関係請負人の労働者の作業が同一の場所で行われる現場=「混在作業現場」であって、労働者の総数が30人以上である元方事業者 元方安全衛生管理者 : 統括安全衛生責任者を選任すべき事業者 店社安全衛生管理者 : 「混在作業現場」であり、労働者の総数が20~29人規模であるところの①すい道工事/圧気工事/橋梁工事の元方事業者 安全衛生責任者 : 統括安全衛生責任者を選任すべき事業者以外の請負人 すい道等救護技術管理者 : 出入口からの距離が1,00m以上の場所において作業を行うこととなる工事又は深さ50m以上となるたて坑の掘削を伴う工事を行う事業者  次に掲げる委員会、組織を設置する 安全委員会 : 常時 50人以上の労働者を使用する事業場 衛生委員会 : 常時 50人以上の労働者を使用する事業場 災害防止協議会 : 「混在作業現場」の事業場; 月1回開催、議事記録の保管	安衛法10, 令 2, 則 2, 3 安衛法11, 令 3, 則 4~6 安衛法12, 令 4, 則 7~12 安衛法1202, 則1202~1204 安衛法13, 令 5, 則13~15  安衛法15, 令 7, 則20 安衛法1502, 則1803~1805, 20 安衛法1503, 則1806~1808, 20 安衛法16, 則19, 20 安衛法2502, 3002, 令 902, 則2402~2408, 64303  安衛法17~19, 令 8, 9, 則21~23 安衛法17~19, 令 8, 9, 則21~23 安衛法30, 則 635
②作業主任者	労働災害を防止するために管理を必要とする作業がある場合、作業主任者を選任し、労働者の指揮その他の事項を行わせること。 高圧室内-、お溶接、コンクリート破砕器、地山の掘削、土止め支保、すい道等の掘削、すい道等の覆工、碎石のための掘削、はい作業、型枠支保工の組立等、コンクリート造構造物の解体、足場の組立等、特定化学物質等作業、酸素欠乏危険作業、有機溶剤作業、その他 作業主任者は、それぞれの作業について、所定の免許もしくは技能講習を修了した者であること。	安衛法14, 令 6①~22) 別表1, 3, 6, 602  安衛法14, 令 6, 則 16 別表1 上欄の作業 -高圧則 10 -酸欠則 11 安衛法14, 令 6, 則 16 別表1 中欄の資格
③作業指揮者	次に掲げる作業は、作業を指揮する者を指名してその指揮で作業を行わせること。 車両系建設機械の修理又はアタッチメント装着・取外し作業 コンクリートポンプ車の輸送管等の組立または解体作業 くい打機、くい抜機、ホリングマシンの組立・解体 危険物を製造又は取扱う作業 導火線発破、電気発破作業 停電作業、高圧・特別高圧電路の活線作業、特別高圧活線の近接作業 クレーンならびに移動式クレーン、建設用リフトの組立・解体作業	安衛法 則 165 則 17103 則 190 則 251 則 319, 320 則 350, 339, 341, 342, 344, 345 クレーン則 33, 7502, 191







表-6.3.3.4 環境保全に係わる基本的事項 (1/2)

基本的事項	要旨/内容	関連法令等
a. 騒音・振動	<ul style="list-style-type: none"> <li>・施工区域の騒音・振動に対する法規制を把握し、必要に応じ騒音・振動の調査をすること。</li> <li>・騒音・振動の発生源としては建設機械、発破、車両走行などがある。</li> <li>・防止対策には、発生源対策、伝播経路での対策、受音点・受信点での対策があるが、発生源対策が基本である。</li> <li>・低騒音・低振動機械および工法の採用の検討</li> <li>・設備機械等の遮音（防音壁など）・防振施設や発破の防音扉の設置。</li> <li>・作業時間帯、作業工程の設定の検討</li> </ul>	<p>騒音規制法 第14条 振動規制法 第14条</p>
b. 濁水	<ul style="list-style-type: none"> <li>・施工区域の濁水による生活水への影響を把握し、調査すること。</li> <li>・対象となる地域の水利利用実態の事前の詳細把握と事前の対策検討</li> <li>・対策としては、地表水の漏洩を防ぐ漏洩防止工（水路、貯水池などの切り回し、シート等による被覆、水田などの床締めなど）</li> </ul>	
c. 地盤変状	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地盤沈下の影響を点検する必要がある周辺の道路、家屋、構造物等について変状を調査すること。</li> <li>・地上に家屋や構造物等がある場合は処分場の場合、まず有り得ないと考えられるが、予め沈下量を予測し、必要に応じて事前に防止対策を講じておく。</li> <li>・施工にあたっては、沈下を最小限に留めるような施工法と、十分な計測管理体制を取るよう検討する。</li> <li>・対策工法としては、先受け工法、支保工沈下対策、場合によっては裏込充てん工法等がある。</li> </ul>	
d. 汚濁排水	<ul style="list-style-type: none"> <li>・施工区域の排水に対する法規制を把握し、排水の影響を点検する必要がある河川、海、湖等について水質調査すること。</li> <li>・トンネル工事に伴う汚濁排水の要因には、坑内湧水、パッチャープラント等の設備からの排水、各種機械、車両等の洗浄水等である。</li> <li>・着工前に汚濁水の発生源とその影響の有無、程度および関連法令、規制値等を調査し、適切な浄化処理の実施し排出のこと。</li> </ul>	<p>公害防止基本法環境基準 水質法 排水基準 下水道法 各都道府県の 公害防止条例上乗せ基準</p>
e. 建設廃棄物	<ul style="list-style-type: none"> <li>・建設廃棄物の排出が予想される場合は、法規を把握し、発生量及び廃棄物処理地の状況並びに受入れ基準、運搬処分の許可業者等について調査すること。</li> <li>・廃棄物は発生そのものより、その処理方法の適否が環境面からとらえて問題となるものであり、適正な処理計画を行う必要がある。</li> </ul>	<p>廃処法 衛産 第37号</p>
f. 交通支障	<ul style="list-style-type: none"> <li>・交通規制を十分把握し、資機材等の輸送経路及び当該路の状況について調査すること。</li> <li>・資機材の輸送が公共施設や一般住民に与える影響を調査すること。</li> <li>・交通事故を含め各種の支障を防止するためには運転者管理、車両管理、運行管理の徹底が必要。</li> </ul>	<p>道交法 第77条 第58条</p>

## 報告書に使用する単位について

1992年5月の計量法改正（1993年11月施行）に伴い、JISをはじめとした多くの分野で国際単位系（SI単位）への統一が進められている。

本報告書では、計量法で定める移行猶予期限（1999年9月30日）、2000年レポートへの反映を考慮し、原則としてSI単位に統一（計量法で使用が認められる非SI単位を含む）するものとする（下記1）。ただし、SI単位に修正することによって著しく不都合が生じるような場合には、下記2のようにSI単位を併記するものとする。また、参考文献から引用した図表等に用いられている従来単位はそのまま表示するものとする。

1. SI単位のみ表記
2. 従来単位（SI単位）

以下に、本報告書に使用する単位の原則的なルールを示す。

- ① SI単位の構成は図-付.1のとおりとする。同図に示す基本単位と補助単位は表-付.1及び表-付.2のとおりである。

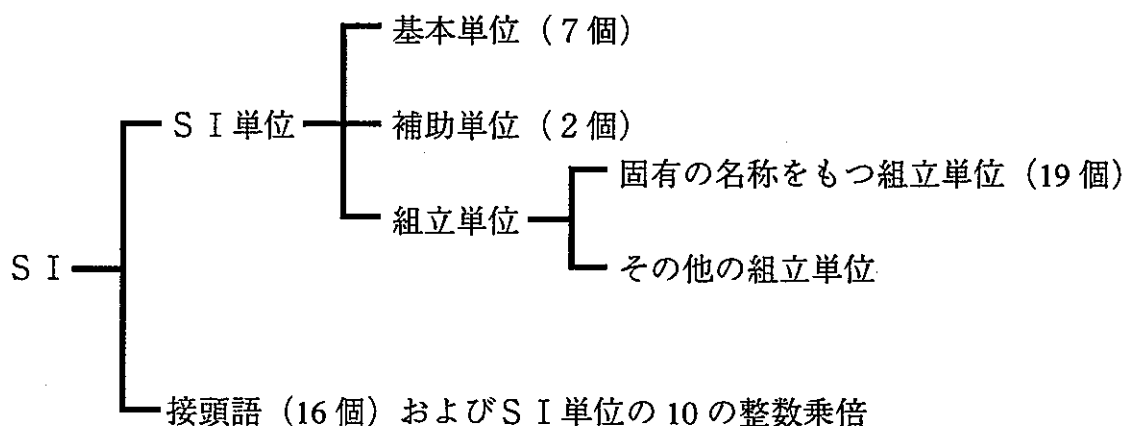


図-付.1 SIの構成

表-付.1 SI基本単位

量	名 称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
光学	カンデラ	cd
物質質量	モル	mol

表一付.2 S I 補助単位

量	名 称	記号
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

② 図一付.1 中、固有の名称をもつ組立単位は、表一付.3 に示す 19 個である。

表一付.3 固有の名称・記号をもつ S I 組立単位

量	名 称	記 号	他の単位による表記
周波数	ヘルツ	Hz	
力	ニュートン	N	
圧力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	N・m
工率、放射束	ワット	W	J/s
電気量、電荷	クーロン	C	A・s
電圧、電位	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>
磁束	ウェーバ	Wb	V・s
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	℃	
放射能	ベクレル	Bq	
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	
光束	ルーメン	lm	
照度	ルクス	lx	

③ 接頭語は表一付.4 に示す 16 種類を適宜使用し、数字は 0.1~1000 の間に入るようにする。ただし、同一の表・文中では、幾つかの数字が 0.1~1000 の範囲をこえても同一の接頭語を用いるのが望ましい。

表-付.4 S I 接頭語

名 称	記 号	単位に乗じる倍数
エクサ	E	$10^{18}$
ペタ	P	$10^{15}$
テラ	T	$10^{12}$
ギガ	G	$10^9$
メガ	M	$10^6$
キロ	k	$10^3$
ヘクト	h	$10^2$
デカ	da	$10^1$
デシ	d	$10^{-1}$
センチ	c	$10^{-2}$
ミリ	m	$10^{-3}$
マイクロ	$\mu$	$10^{-6}$
ナノ	n	$10^{-9}$
ピコ	p	$10^{-12}$
フェムト	f	$10^{-15}$
アト	a	$10^{-18}$

- ④非S I 単位については、原則として以下のように取り扱う。  
 ・非S I 単位のうち表-付.5 に示すものは、今後とも使用する。

表-付.5 今後とも使用する非S I 単位

量	名 称	記 号
時間	分	min
	時	h
	日	d
	年	y
平面角	度	°
	分	'
	秒	"
体積	リットル	l、L
質量	トン	t

- ・S I の中に規定された単位がないため、表-付.6 に示す非S I 単位は使用が認められている。

表一付.6 使用が認められている非S I単位 (1)

量	名 称	記 号
無効電力	バール	v a r
皮相電力	ボルトアンペア	V A
無効電力量	バール秒	v a r · s
	バール時	v a r · h
皮相電力量	ボルトアンペア秒	V A · s
	ボルトアンペア時	V A · h
電磁波の減衰量	デシベル	d B
音圧レベル	デシベル	d B
振動加速度レベル	デシベル	d B

・表一付.7に示す非S I単位は、特定の分野（表中の備考欄に記載）に限って使用が認められる単位であるが、S Iの中で別の単位が規定されているので、なるべく使用しないものとする。

表一付.7 使用が認められている非S I単位 (2)

量	名 称	記 号	備 考
長さ	海里	M、n m	海面に係わる長さ 光学、結晶学
	オングストローム	Å	
質量	カラット	c t, c a r	宝石の質量 真珠の質量
	もんめ	m o m	
角度	点	p t	航海、航空
面積	アール	a	土地の面積
体積	トン	T	船舶の体積
速さ	ノット	k n、k t	航海、航空
加速度	ガル	G a l	地球物理学
回転速度	回毎分	r p m	
	回毎秒	r p s	
圧力	気圧	a t m	医療関係 血圧測定
	トル	T o r r	
	水銀柱ミリメートル	m m H g	
粘度	ポアズ	P	
動粘度	ストークス	S t	
熱量	カロリー	c a l	栄養関係
濃度	質量百分率	質量%、w t %	
	体積百分率	体積%、v o l %	
	ピーエッチ	p H	

・表-付.8 に示す非 S I 単位は、削除の対象となる単位であるので、原則として使用しないものとする。

表-付.8 削除の対象となる非 S I 単位

量	従来単位	使用猶予期限	S I 単位
力	d y n	1995 年 9 月 30 日	N
仕事	e r g	同上	J
放射能	d p s、d p m	同上	B q
長さ	ミクロン ( $\mu$ )	1997 年 9 月 30 日	m
周波数	c、c/s	同上	H z
圧力	T o r r	同上	P a
磁界の強さ	A T/m、O e	同上	A/m
起磁力	A T	同上	A
磁束密度	G	同上	T
磁束	M x	同上	W b
音圧レベル	ホン	同上	d B
濃度	規定 (N o r、N)	同上	m o l/m <sup>3</sup>
力	k g f	1999 年 9 月 30 日	N
モーメント	k g f · m	同上	N · m
圧力	k g f/m <sup>2</sup> m H g m H <sub>2</sub> O	同上	P a
応力	k g f/m <sup>2</sup>	同上	P a
仕事	k g f · m	同上	J
工率	k g f · m/s	同上	W
熱量	c a l	同上	J
熱伝導率	c a l / (s · m · °C)	同上	W / (m · K)
比熱容量	c a l / (k g · °C)	同上	J / (k g · K)

〔参考文献〕

- 1) : 土質工学における S I の使い方、土質工学会
- 2) : S I (国際単位系) への移行方策実施のお知らせ、1993、土と基礎、土質工学会
- 3) : 土質工学における S I、1994、土と基礎、土質工学会