

# 地下研究施設の設計研究 (昭和63年度)

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

昭和63年12月

三菱金属株式会社

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technical Evaluation and Patent Office, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 9-13, 1-chome, Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

1988 年12月

## 地下研究施設の設計研究

\*) \*) \*) \*) \*)  
下田 收 前川一彦 室井正行 齋藤茂幸 大場一鋭

### 要 旨

高レベル放射性廃棄物の地層処分に關する研究開発を円滑に推進するためには、地質的・人為的にあまり乱されていない地下岩盤中に研究施設を設け、各種の調査・試験を行って必要なデータの取得とモデル等の評価手法の検証を行うことが必要である。そのような地下研究施設は研究対象とする岩盤中に設置することが望ましい。

そこで本研究では、地下研究施設の位置づけを明確にするため、先ず、主要な処分研究の課題について検討を行い、処分研究を構成する個別研究項目の整理を行った上、それらの相互關連性について検討し、既存の処分研究施設ならびに近い将来予想される処分研究施設での、それぞれの特性に応じた研究開発課題を明らかにした。

また、海外の事例調査に基づき、地下研究施設で実施すべき試験内容を整理し事前調査項目を検討した。さらに各調査項目について、研究の構造と具体的な方法・内容を検討した。

---

本報告書は、三菱金属株式会社が動力炉・核燃料開発事業団殿の委託により実施した研究の成果である。

契約番号：630D087

事業団担当者：古路太一

\*) 原子力技術センター

DECEMBER, 1988

The Design and Study of the Underground Research Facilities

\*) \*) \*) \*)

Atsumu Simoda, Kazuhiko Maekawa, Shigeyuki Saito, Kazutoshi Oba

A b s t a c t

In order to drive forward the research and development of the geological disposal of HLW smoothly, it is necessary that the research facility be established in the underground base rock which has not been disturbed geologically or artificially. In the facility, it is necessary to collect required data and verify the ways of assessing modelings through several investigations and examination. It is desirable that such an underground research laboratory should be located in the base rock is the object of the study.

In this study, therefore, first we will discuss the major issues concerning disposal study to clarify the position of the underground research laboratories. Next, after arranging the individual research items which constitute the whole study, we will discuss how they are related. Then we will clarify and characterize the research and development assignments to be done at each existing disposal research laboratory as well as at those laboratories which we anticipate building in the ner future.

In addition, based on foreign case studies, we will arrange the content of the examinations which should be held at the underground laboratories, and we will discuss the items of preparatory research. Furthermore, we will discuss the structure, concrete methods and content of study in regard to each research item.

---

Work performed by Mitsubishi Metal Corporation under constract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

PNC Liaison: Taichi Furumichi

\*) Nuclear Engineering Center

## 目 次

1. 地層処分研究方策の検討 .....	1- 1
1.1 主要研究課題の検討 .....	1- 1
1.1.1 地質環境特性評価研究の概要 .....	1- 3
1.1.2 安全性研究・性能評価研究の概要 .....	1- 4
1.1.3 地層処分場建設可能性評価研究の概要 .....	1- 6
1.1.4 オペレーションシステム研究・PA支援研究 .....	1- 7
1.2 処分研究を構成する個別研究項目の整理 .....	1- 8
1.2.1 F-WBS項目の整理 .....	1- 8
1.2.2 PC-WBS項目の整理 .....	1-14
1.2.3 F-WBS, PC-WBS項目を考慮した主要検討項目の摘出 .....	1-24
1.3 個別研究項目における入出力パラメータの検討 .....	1-30
1.3.1 高レベル放射性廃棄物管理の必要性の明示に資する研究 .....	1-30
1.3.2 地層処分研究開発の必要性の明示に資する研究 .....	1-30
1.3.3 我が国の地層処分システムにおける 安全確保の考え方の明示に資する研究 .....	1-31
1.3.4 地層処分に関する我が国固有の条件の明示に資する研究 .....	1-32
1.3.5 地層処分システムの技術的実現性の明示に資する研究 .....	1-33
1.3.6 地層処分システムの経済性評価研究 .....	1-34
1.3.7 地層処分システムの長期的性能の明確化に資する研究 .....	1-34
1.3.8 地層処分システムの長期安全性確認 .....	1-35
1.4 個別研究の相互関連性の検討 .....	1-36
1.4.1 高レベル放射性廃棄物管理の必要性の明示に資する研究 .....	1-36
1.4.2 地層処分の必要性の明示に資する研究 .....	1-37

1.4.3	我が国の地層処分システムにおける 安全確保の考え方の明示に資する研究 .....	1-40
1.4.4	地層処分に関する我が国固有の条件の明示に資する研究 .....	1-41
1.4.5	地層処分システムの技術的実現性の明示に資する研究 .....	1-45
1.4.6	地層処分の経済性評価研究 .....	1-46
1.4.7	地層処分システムの長期的性能の明確化に資する研究及び 長期安全性確認 .....	1-46
1.5	施設の特性に応じた研究開発課題の整理 .....	1-48
1.5.1	施設群の特性 .....	1-48
1.5.2	各主要施設の研究内容の検討 .....	1-51
1.5.3	F-WBS項目との対比 .....	1-59
1.5.4	地層処分の実現に向けた各施設間の相互関係 .....	1-73
2.	地下研究施設の位置づけの検討 .....	2-1
2.1	深地層試験場に関する試験内容の検討の整理 .....	2-1
2.2	海外事例調査による本試験内容の整理 .....	2-9
2.3	海外事例調査による事前調査項目の検討 .....	2-17
2.3.1	事例調査Ⅰ（WIPP/岩塩） .....	2-17
2.3.2	事例調査Ⅱ（ネバダーユッカマウンテン/タフ） .....	2-22
2.4	調査・試験項目の設定に関する主要検討事項の整理 .....	2-27
2.5	花崗岩中地下研究施設の位置づけの検討 .....	2-35
2.5.1	花崗岩中地下研究施設および花崗岩中既存空洞を用いた 試験施設の位置づけの検討 .....	2-35
2.5.2	花崗岩中地下研究施設および花崗岩中既存空洞を用いた 試験施設で行われるべき試験項目の検討 .....	2-41

3. 地下研究施設における調査・試験の研究 .....	3- 1
3.1 地下研究施設における調査試験項目 .....	3- 1
3.2 地下研究施設における研究の構造と調査試験の流れ .....	3- 3
3.3 地下研究施設における研究課題と調査試験の概要 .....	3-26
3.4 地下研究施設における調査試験の内容 .....	3-30
4. 地下研究施設の構造 .....	4- 1

List of figures

Fig.1-1 Mutual relationship of the assignment and the studies.....1- 2  
about the geological disposal

Fig.1-2 Mutual relationship of the studies about the site .....1- 4  
characteristic assesment and its investigations

Fig.1-3 Mutual relationship of the elements which consist .....1- 5  
of the studies of performance assesment and safty studies  
at closure phase

Fig.1-4 Summary of the study of the construction possibility .....1- 7  
analysis about the geological underground facility

Fig.1-5 Mutual relationship of main four facilities .....1-7 4

Fig.4-1 Three types of underground research laboratorie .....4- 3  
and their examples



## List of tables

Table 1-1	Mutual relationship of main issues of WBS .....	1-23
Table 1-2	Characteristics of main facilities .....	1-49, 50
Table 1-3	Examination items at main facilities .....	1-61, 63
Table 1-4	Comparison between the items of F-WBS and .....	1-65
	the examination items at the ground cold research facilities	
Table 1-5	Comparison between the items of F-WBS and .....	1-67, 69
	the examination items at the underground cold research facilities	
Table 1-6	Comparison between the items of F-WBS and .....	1-71
	the examination items at the ground and underground hot research facilities	
Table 2-1	Investigations and the examinations .....	2-3, 5, 7
	required at the deep geological laboratories	
Table 2-2	Study of the contents of the examination .....	2-11, 13, 15
	at the underground facilities in several foriegn countries	
Table 2-3	Construction of WIPP R&D programs .....	2-18
Table 2-4	Contents of the investigations for the .....	2-20
	demonstration of the site and the preliminary design	
Table 2-5	Investigation apparatus for the demonstration .....	2-20
	of the preliminary design	
Table 2-6	Arrangements of the items of the preparatory .....	2-21
	investigations and the examinations at WIPP site	
Table 2-7	Arrangements of the items of the preparatory .....	2-25, 26
	investigations and the examinations at YUCCA mountain site	

Table 2-8	Correspondence of the items of the examinations ..... at each laboratory and the details of the items of the examinations	2-33, 34
Table 2-9	Comparison and discussion with main effective ..... characteristics between the examinations using the existing vaults and the examinations at the underground resarch laboratories	2-37, 38
Table 2-10	Comparison between the examinations using ..... the existing vaults and the examinations at the underground resarch laboratories	2-39, 40
Table 2-11	Comparison of characteristic of each item ..... between the examinations using the existing vaults and the examinations at the underground resarch laboratories	2-49 ~2-59
Table 3-1	Items of the investigations and the ..... examinations at the underground research laboratories	3- 2
Table 3-2	Construction of the study and the flow of ..... the investigation at the underground resarch laboratories	3- 4 ~3-25
Table 3-3	Examination items and their contents at the ..... underground research laboratories	3-27
Table 4-1	Comparison of the three types of underground ..... research laboratories	4- 4

## 1. 地層処分研究方策の検討

### 1.1 主要研究課題の検討

高レベル放射性廃棄物処分を安全に実施するため、必要とされる課題とその前提条件として把握しておくべき事項は次のように整理される。

#### 把握事項

##### ① 高レベル放射性廃棄物の長期的発生量予測

本項目については、適宜、現状に則した見直しが必要がある。

##### ② 高レベル放射性廃棄物の処分に関わる国の基本方針

現時点においては、科学技術庁等によりまとめられた下記計画が拠り所である。

- ・原子力開発利用長期計画（昭和62年6月、原子力委員会）
- ・地層処分研究開発5ヶ年計画（昭和61年11月、科学技術庁原子力局）
- ・放射性廃棄物処理処分方策について  
（昭和60年10月、原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会）
- ・高レベル放射性廃棄物等安全研究年次計画  
（昭和60年8月、原子力安全委員会放射性廃棄物安全規制専門部会）

##### ③ 海外の処分に関わる方策

参考事例として海外における処分方策の動向を調査・把握する。

##### ④ 代替処分法（群分離・消滅処理等）に関する研究開発の進展・国の基本方針

#### 必要とされる課題

##### ① 処分シナリオの明確化

##### ② 処分シナリオの具現化に必要な研究開発の実施

- i. 地質環境特性評価研究
- ii. 安全性研究・性能評価研究
- iii. 地層処分場建設可能性評価研究
- iv. オペレーションシステム研究
- v. PA支援研究

③ 高レベル放射性廃棄物の発生に関する現状と将来予測を考慮した処分の実施に至るスケジュールの策定

上記課題は相互に関連しており、個々の課題の解明が進むにつれ、他の課題の解明も促進されるという関係にある。

②で示される i ~ v の課題が地層処分の実施に向けて必要とされるものであり、研究開発の主要部分をなす。ただし、i は ii・iii と密接に結びつけられるべき課題であり、iii は ii によって明らかにされる地層処分システムの有すべき性能を担保する範囲内で実施される制約を有している。その意味では iii は ii に対して従属関係にある。また、iv・v は技術的な重要性の観点からは補佐的役割の研究である。これらの相互関連性を包括的に示すと以下の通りとなる。

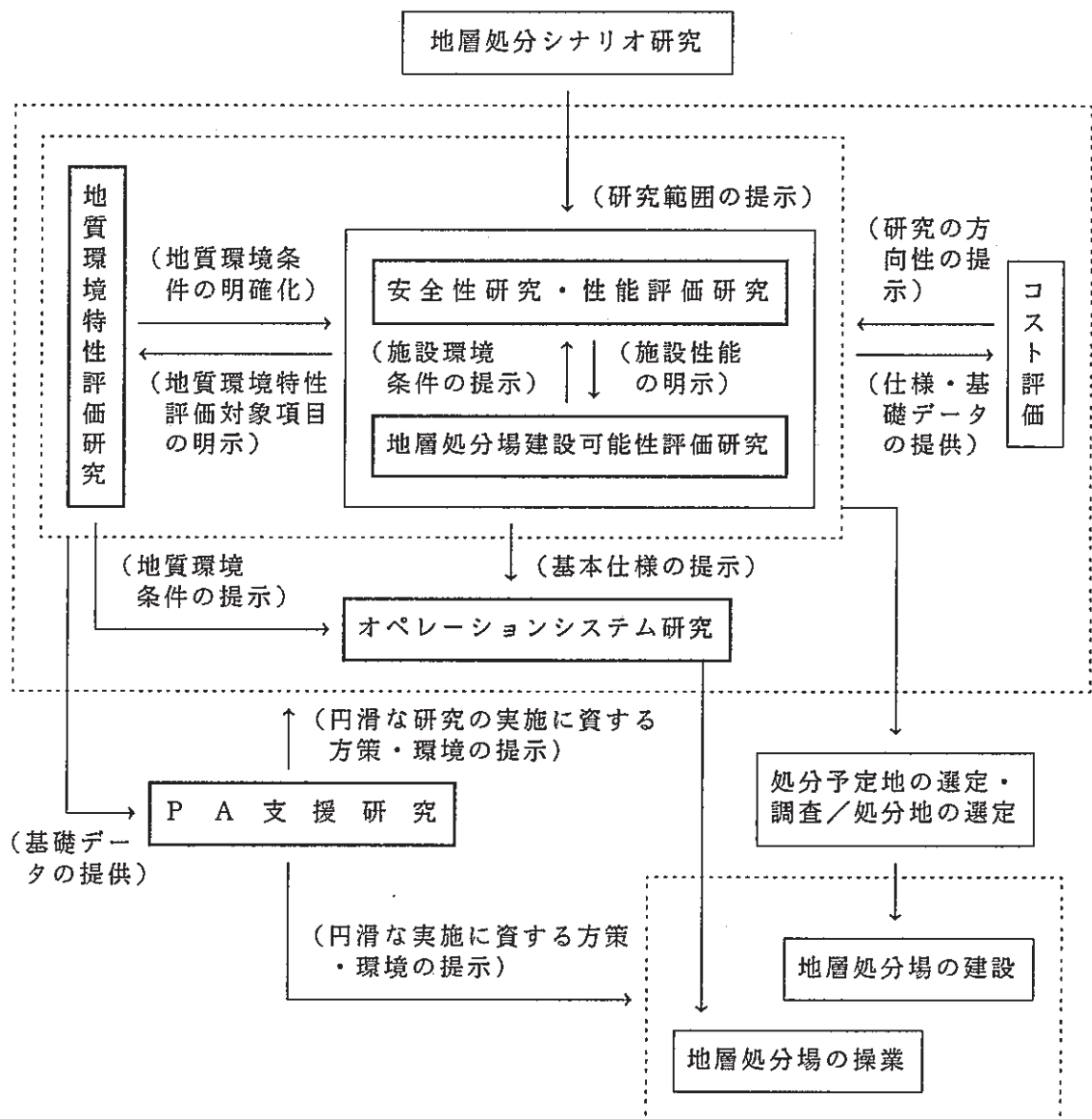


Fig1 - 1 Mutual relationship of the assignments and the studies about the geological disposal  
地層処分研究課題の相互関係

### 1.1.1 地質環境特性評価研究の概要

地層処分場あるいは同予定地を選定するためには、選定するある広がりをもつサイトをその周辺の地質環境条件を調査し、把握しておく必要がある。どのような項目について把握しておくべきであるのかは、例えば米国のエネルギー省により法令化された地層処分場サイト推薦のためのガイドライン10CFR Part 960等がある場合にはその項目に従うのが適切と思われる。その場合、技術開発の進展によっては付加的に把握しておくべき項目の追加もありうる。

しかしながら、そのような法律が示されていない場合には適切な調査項目を示す必要がある。その場合には、1.1.2・1.1.3で示す安全性研究・性能評価研究、地層処分場建設可能性評価研究の両者、特に前者の成果から事前に把握しておくべき調査項目として提示されることになる。この場合にも、技術開発の進展によっては調査対象項目の取捨選択は当然行われるべきものである。

これら項目を例示すると以下の通りとなる。

- ・自然的要因：地質特性・水理特性・地質工学特性・地球化学特性など
- ・社会的要因：資源・土地利用・人口分布・社会的基盤など

これらの項目は、対象面積・選定段階により適宜取捨選択され、またその調査精度を違えて項目内容の把握がなされる。その結果、調査精度・対象面積に応じた地質環境条件が把握され、サイトスペシフィックな安全性研究・性能評価研究、地層処分場建設可能性評価研究・コスト評価にフィードバックされる。また、後の段階においてはオペレーションシステム研究、PA支援研究に直接的・間接的に資することとなる。

サイト選定後は、特定されたサイトの要求されるレベルを満たす地質環境特性調査が実施される。本調査は地下施設建設前から地下施設の建設を通じて実施され、必要とされる環境条件が把握される。

これら地質環境特性評価研究及び調査の主要調査・研究項目とその関連性をFig 1-2に示す。同図における調査技術開発が本項目の主要な研究開発項目であり、試錐孔を用いた地下水理データ取得技術開発などがこれに含まれる。また、動燃事業団で実施されている地質環境調査は主として、調査技術開発及びサイト特性調査に位置づけられる。

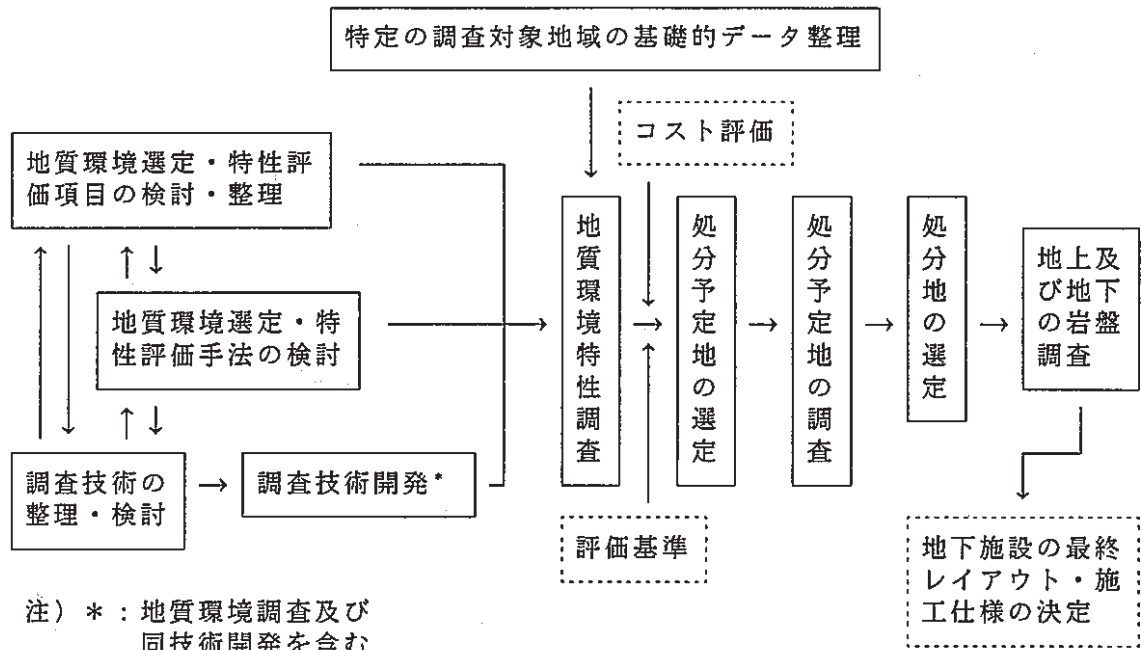


Fig.1-2 Mutual relationship of the studies about the site characteristic assesment and its investigations  
地質環境特性評価研究及び同調査の相互関係

1.1.2 安全性研究・性能評価研究の概要

本研究は処分場の建設から閉鎖までの段階と閉鎖後の段階に大きく分けて考える。

建設から閉鎖までの段階においては、建設・操業に伴う作業安全性と環境モニタリングに関する安全性の研究であり、地層処分研究における位置づけは大きなものではない。

閉鎖後の段階における安全性研究・性能評価研究が地層処分研究の主要な部分をなす。さらに、地下水移行シナリオ以外の人間接近シナリオ等のシナリオ研究も当然行われるものの、地下水移行シナリオに基づく安全性研究・性能評価研究が主体をなす。

地層処分は人工バリア・天然バリアよりなる多重バリアにより、その性能を担保する処分方法である。したがって、バリアの明確化とバリア性能の長期的評価が必要となる。その際、バリアの置かれる環境条件の長期評価も必要となる。それらを可能とならしめる方法はモデルによる性能評価が唯一の方法である。そして、モデルは実験室試験・原位置試験・ナチュラルアナログにより部分的あるいは全体的な実証がなされる。

一方、モデルには現象説明のためのモデルと地層処分システムが安全であることを示すための必ずしも現象に忠実でないモデルがある。両者の関係は充分把握されるべきであるものの、後者のモデルを用い、かつ最終的な人間の被ばく評価まで実施するのが安全性研究である。信頼に足る安全性研究を実施するためには、適切なモデルの開発、パラメータの適切な設定及びその実証が求められる。

本研究の成果は処分場構成要素の性能目標あるいは技術開発目標を与える。したがって、地層処分場建設可能性評価研究における人工バリアと見なしうる構築物の設計目標を提供することになる。その際、個々のバリアに個別の目標を設定するのと、トータルシステムとして目標を設定する方法が考えられる。

一方、天然バリアの持つべき性能が示されれば、地層処分場サイトの選定方法としてその性能を満たすサイトを選定する方法を採用することが考えられる。あるいは、その性能に満たないサイトであっても、どのような人工バリア性能を有する人工バリアを組み合わせれば、トータル性能を満たすサイトを選定できるかの判断が可能となる。この意味で、地質環境特性評価研究に与える影響には大きいものがある。

以上をまとめ、かつ閉鎖後段階を想定した本研究を構成する主要事項の相互関連性を Fig.1-3 に示す。

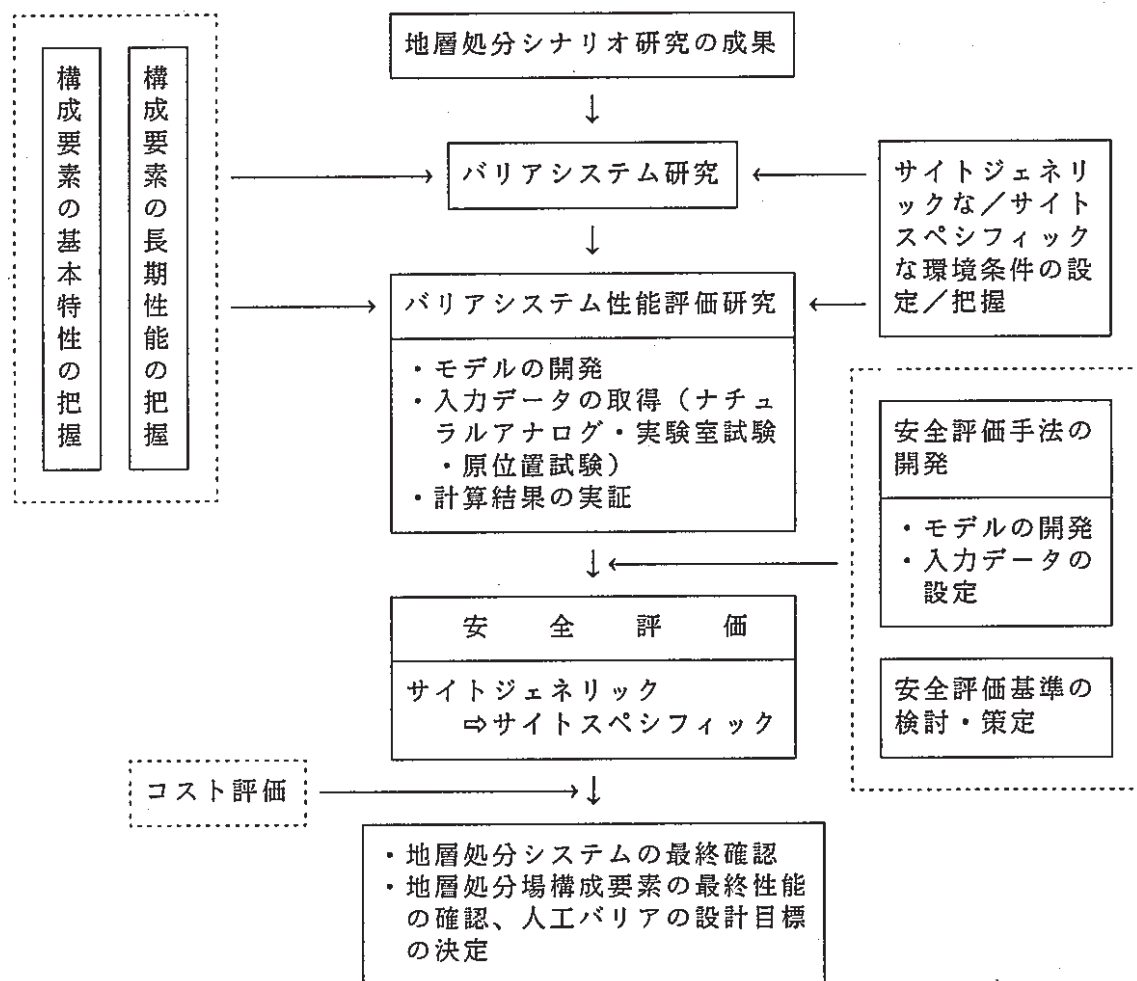


Fig.1-3 Mutual relationship of the elements which consist of the studies of performance assesment and safty studies at closure phase  
閉鎖後段階を対象とした安全性研究、性能評価研究構成要素の相互関連

### 1.1.3 地層処分場建設可能性評価研究の概要

本研究には下記の主要テーマを含む。ただし、本項以降においては特に断らない限り、地層処分場とは地下施設のことを示すものとし、地層処分場に不可欠な地上受入れ施設等は除くものとする。

- ・地層処分場の設計研究
- ・地層処分場の主要施設を構成する施工箇所のバリアシステムにおける位置づけの検討
- ・上記箇所の長期的バリア性能評価研究

地層処分場の設計研究とは地層処分場として具備すべき機能を有する施設の仕様を定める研究であり、地層処分システム研究・処分量予測・処分スケジュール・既存関連技術・環境（サイト）条件等を基にして実施される。この研究にはサイトジェネリック⇒サイトスペシフィックな方向性があり、また、基礎的条件の詳細さから概念設計⇒基本設計⇒詳細設計という必然的な方向性がある。

一方、地層処分場を構成する立坑・運搬坑道・埋設坑道等は既存技術をベースにした施工がなされる。したがって、どの部分にどのような技術が適用されて、どのような人工構造物が施工されるのかは施工部分のバリア性能を評価する上で重要である。すなわち、どのような施工をされた部分がどのようなバリア性能を期待されるのかを明らかにする。バリア性能を期待されない部分については、施工・操業時の安全性と他のバリア部分への悪影響の無さを示し得れば充分である。個々の異なる人工構造物に対して以上のような検討を必要とする。

上記検討を受けて、バリア機能を期待される部分については、材質と施工技術を考慮した長期バリア性能評価が必要となる。この評価は1.1.2と一部重複するものの、施設建設の立場からの評価となり、評価結果は最終的な設計に反映される。また、最終のスペックは施設の具備する環境条件として、安全性研究・性能評価研究への重要な入力データとなる。さらに、施設を設計する立場からのサイトの具備すべき条件の範囲が求められ、地質環境特性評価研究に還元される。また、施設が具体化されることにより、オペレーションシステムの具体的なシステム研究が可能となる。

以上を整理すると地層処分場建設可能性評価研究に関わる概要はFig.1-4のごとく示すことができる。



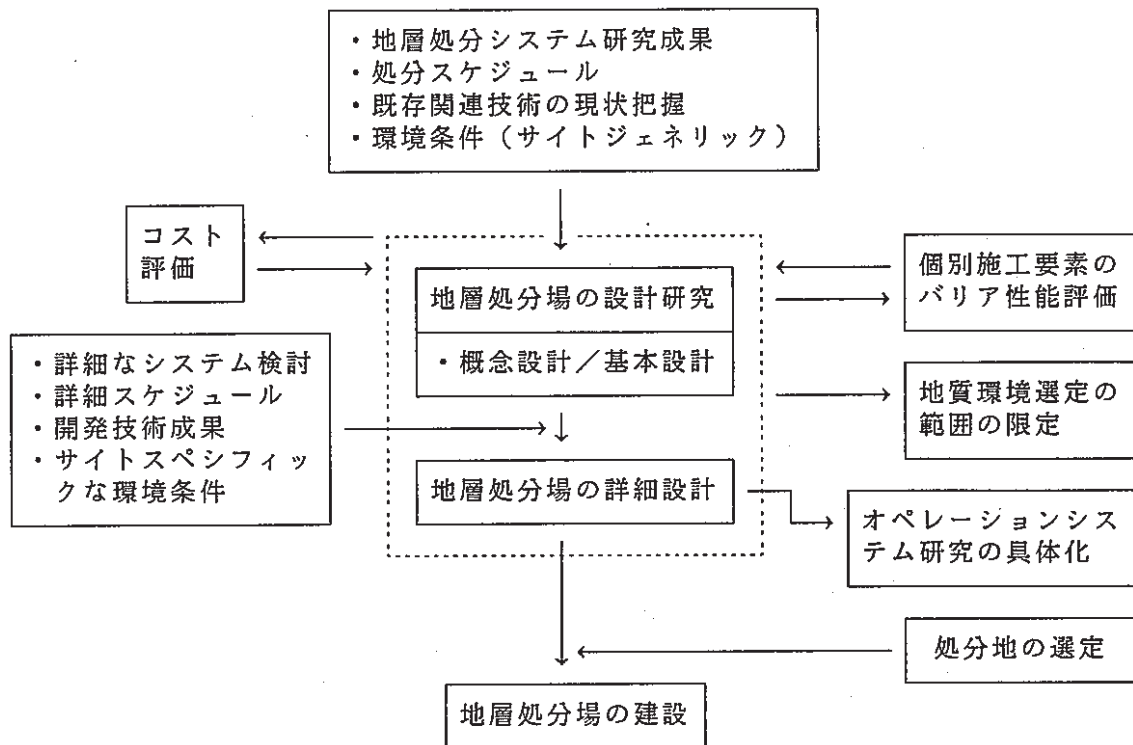


Fig.1-4 Summary of the study of the construction possibility analysis about the geological underground facility  
地層処分場の建設可能性評価に関する研究の概要

#### 1.1.4 オペレーションシステム研究・PA支援研究

オペレーションシステム研究は所要のバリア機能と操業能力を有する地層処分場内における廃棄体及び他の資材の搬出入に関するシステム性能評価研究である。基本的には現有技術とシステムで充分対応できることがほぼわかっており、焦点は実廃棄体を扱うことから生じる廃棄体の遠隔操作・自動化・無人化等に向けられると思われる。

また、操業時のモニタリングシステム研究・再取り出し技術評価研究がその他の主要な研究として挙げうる。

一方、PA支援研究としては各種技術開発現場・成果の積極的な開示、判りやすい説明方法の検討とその実施等を挙げうる。

これらの重要性は処分の円滑な実施において重要ではあるものの、本研究の趣旨である技術開発の視点での検討とは趣を異にする。したがって、本報告書における以下の検討においては必要最低限の箇所を除き、基本的に当該項目については割愛することとする。

## 1.2 処分研究を構成する個別研究項目の整理

本節においては動燃事業団殿より提示を受けたWBS (Work Breakdown Structure) 項目の分類整理を行う。その際、基本的には元資料を尊重するものの、必要に応じ、本研究において適切と思われる表現への加筆訂正を行う。また、地層処分に関する研究開発の実施は前提条件として受け入れる。したがって、他の処分法に関する検討は除外する。また、シナリオ検討上、あるいは環境条件の検討上、明らかに除外されるべき項目を除く。さらに、当該項目の定性的かつ相対的な重要性について検討する。

### 1.2.1 F-WBS項目の整理

F-WBSとはFunctional - Work Breakdown Structureの略語であり、地層処分研究開発課題に関してのある“行為”を示す用語群であり、例えばデータの取得方法、調査方法、検討方法等を示したものである。本項目は1.2.2項に示すPC-WBS項目と対になって、何を目的として、どのような調査・試験を行うのかが示される。

本項においては、本研究を進めるにあたって動燃事業団殿より提示されたF-WBS項目の整理を行うものである。

#### ①高レベル放射性廃棄物についての管理の必要性の明示に資する研究

- ・高レベル放射性廃棄物の危険性の検討
  - ・放射線的性質
    - 〔放射エネルギー・放射線強度・毒性・発熱量〕
  - ・化学的毒性
- ・高レベル廃棄物管理の至急性の検討
  - ・発生プロセス調査
  - ・発生量調査
    - ・発生箇所
    - ・経時変化
      - 〔使用済燃料・固化体〕

## ②地層処分選定理由の明示に資する研究

- ・地層処分システムの検討
- ・技術的実現性の検討
  - 〔現状技術のレベル・技術的課題・必要な研究開発期間・研究開発費用〕
- ・安全性の検討
  - 〔放射線的安全性・非放射線的安全性〕
- ・経済性の検討
- ・放射性廃棄物対策全般との適合性の検討
- ・環境への影響の検討
- ・社会、経済的影響の検討
- ・生態系への影響の検討

## ③我が国の地層処分システムの概念明示に資する研究

- ・長期放射線防護目標の検討
- ・安全確保の考え方の検討
  - 〔放射能の経時変化への対応・多重バリアの構成と役割〕

## ④地層処分に関する我が国固有の条件の明示に資する研究

- ・処分予定地選定に直接関わらない調査
  - ・室内試験によるデータ取得
    - 〔詳細試験・工学規模試験・大規模試験〕
  - ・フィールド試験によるデータ取得
    - 〔人形峠・東濃鉱山・釜石鉱山〕
  - ・ナチュラルアナログ研究によるデータ取得
- ・処分予定地選定のための調査
  - ・フィールド試験によるデータ取得
    - 〔人形峠・東濃鉱山・釜石鉱山〕
  - ・地質環境調査によるデータ取得
    - ・地表調査によるデータ取得
      - 〔広域現地調査・リモートセンシング〕

- ・ 深部地質環境調査によるデータ取得

〔地表物理探査・地表地質調査・試錐〕

- ・ 社会環境調査によるデータ取得
- ・ 処分予定地における調査

⑤地層処分システムの技術的実現性の明示に資する研究

- ・ システム設計上の要件の検討
  - ・ 処分対象物からの要求
    - 〔総量・操業期間・属性〕
  - ・ 法的要求
  - ・ 安全性の要求
    - ・ 建設上の要件〔作業時の安全性、長期的安全性〕
    - ・ 操業上の要件〔作業時の安全性、長期的安全性〕
    - ・ 閉鎖上の要件〔作業時の安全性、長期的安全性〕
- ・ システム仕様の設定の検討
  - ・ 構成要素
    - ・ 構成要素の設定
    - ・ 構成要素の仕様設定
      - ・ 共通仕様
        - 〔レイアウト・ユーティリティ・その他〕
      - ・ 個別仕様
  - ・ 作業工程
    - ・ 建設工程の設定
    - ・ 操業（廃棄物搬入、定置）工程の設定
    - ・ 閉鎖工程の設定
- ・ システム要件への適合性確認のための検討
  - ・ 処分対象物からの要求の適合性確認
    - 〔総量・操業期間・属性〕
  - ・ 法的要求への適合性確認
  - ・ 安全性の要求の適合性確認

- ・建設上の要件〔作業時の安全性、長期的安全性〕
- ・操業上の要件〔作業時の安全性、長期的安全性〕
- ・閉鎖上の要件〔作業時の安全性、長期的安全性〕

#### ⑥地層処分の経済性評価研究

- ・経済性評価
  - ・研究開発費用
  - ・資本費用（建設＋閉鎖）
    - 〔処分場建設、シナリオの設定・経済性評価モデルの開発・評価の実施〕
  - ・運転（操業）費用
    - 〔進展シナリオの設定・経済性評価モデルの開発・評価の実施〕

#### ⑦長期的性能の明確化に資する研究

- ・長期的性能の評価
  - ・シナリオ解析
    - ・シナリオ解析用データ取得
      - ・処分予定地選定に直接関わらない調査試験
      - ・処分予定地選定のための調査試験
      - ・処分予定地における調査試験
    - ・シナリオ解析用データセット
    - ・シナリオidentification
    - ・シナリオ発生確率の付与
    - ・シナリオスクリーニング
  - ・影響解析
    - ・影響解析モデル作成
      - ・影響解析モデル作成用データ取得
        - ・処分予定地選定に直接関わらない調査試験
        - ・処分予定地選定のための調査試験
        - ・処分予定地における調査試験
      - ・影響解析モデル作成用データセット作成

- ・ 詳細プロセスモデル作成〔決定論モデル・確率論的モデル〕
- ・ 簡略プロセスモデル作成〔決定論モデル・確率論的モデル〕
- ・ 詳細コンポーネントモデル〔決定論モデル・確率論的モデル〕
- ・ 簡略コンポーネントモデル作成〔決定論モデル・確率論的モデル〕
- ・ 詳細サブシステムモデル作成〔決定論モデル・確率論的モデル〕
- ・ 簡略サブシステムモデル作成〔決定論モデル・確率論的モデル〕
- ・ 詳細統合モデル作成〔決定論モデル・確率論的モデル〕
- ・ 簡略統合モデル作成〔決定論モデル・確率論的モデル〕
- ・ 影響解析用データ取得
  - ・ 処分予定地選定に直接関わらない調査試験
  - ・ 処分予定地選定のための調査試験
  - ・ 処分予定地における調査試験
- ・ 影響解析用データセット作成
  - ・ 決定論的影響解析用データセット作成  
〔基本ケースについて・代替ケースについて〕
  - ・ 確率論的影響解析用データセット作成
- ・ 影響解析の実施  
〔決定論的影響解析・確率論的影響解析・不確実性解析〕
- ・ 長期的性能の保証のための研究
  - ・ 評価手法の正当性の明示
    - ・ シナリオ解析手法の正当性の明示
      - ・ シナリオ解析用データ取得方法の正当性の明示
      - ・ 各シナリオの科学的根拠の明示
      - ・ シナリオスクリーニングの正当性の明示
    - ・ 影響解析手法の正当性の明示
      - ・ 影響解析モデルの科学的根拠の明示
        - ・ 影響解析モデル作成用データ取得方法の正当性の明示
        - ・ プロセスモデルの科学的根拠の明示
        - ・ モデル統合手法の正当性の明示
      - ・ 影響解析用データセットの科学的根拠の明示

- ・影響解析用データ取得方法の正当性明示
- ・影響解析用データセットの整合性の明示
- ・影響解析の実施におけるエラー可能性の否定
- ・長期的現象に対する評価結果の適合性の明示
  - ・時間に依存せずに成立する評価内容の明示
    - ・時間に依存せずに成立するプロセスモデルの明示
    - ・時間に依存せずに適合性を有するデータの明示
  - ・長期的現象についての観察結果との比較による適合性明示
    - ・シナリオの適合性明示
      - 〔ナチュラルアナログ研究における観察結果との比較によって・加速試験結果との比較によって〕
    - ・影響解析モデルの適合性明示
      - 〔ナチュラルアナログ研究における観察結果との比較によって・加速試験結果との比較によって〕
    - ・観察結果と解析結果との差異に関する不確実性解析
- ・複合的現象に対する評価結果の適合性明示
  - ・相互作用を有さないプロセスの組合せ明示
  - ・複合的現象についての観察結果との比較
    - ・シナリオの適合性明示
      - 〔原位置試験結果との比較によって・複合試験結果との比較によって  
・ナチュラルアナログ研究における観察結果との比較によって〕
    - ・影響解析モデルの適合性明示
      - 〔原位置試験結果との比較によって・複合試験結果との比較によって  
・ナチュラルアナログ研究における観察結果との比較によって〕
    - ・観察結果と解析結果との際に関する不確実性解析
- ・従来の評価例との比較及び差異の分析

### ⑧地層処分システムの長期的安全性確認

## 1.2.2 PC-WBS項目の整理

PC-WBSとはProject Control - Work Breakdown Structureの略語であり、地層処分研究開発課題に関して“研究対象”を示す用語群である。例えば、設計に関しては設計対象を、調査に関しては調査項目を、評価に対しては評価対象（現象）を示している。本項目は前1.2.1項で示したF-WBSと対になり、地層処分研究における研究開発課題を浮かび上がらせるものである。

本項においては、前項と同様、動燃事業団殿より提示を受けたPC-WBS項目の整理を行うものである。

### ①地層処分

#### ・処分施設

##### ・地上施設

〔建屋・設備〕

##### ・地下施設

〔坑道・坑道付帯設備・操業設備〕

##### ・地下連絡坑道

##### ・地質環境

#### ・ニアフィールド

〔ガラス固化体・キャニスタ・オーバーパック・緩衝材・シーリング材・

仮設材（構造物）・周辺母岩〕

#### ・ファーフィールド

〔地域・サイト〕

#### ・生物圏

〔気象・植物・動物・人間・地表水〕

### ②地層処分に関する我が国の自然的社会的条件

#### ・自然的条件

##### ・地形

##### ・気象



〔降水量・蒸発量・気温・湿度〕

・地表水系

〔河川・湖水・海岸線・比流量〕

・母岩

・岩種

・鉱物組成、組織

・異種岩体（岩脈など）の存在

・地球化学的条件（成分）

・変質鉱物—変質分帯

〔熱水変質によるもの・風化によるもの〕

・力学的特性

〔圧縮強度・引張強度・せん断強度・変形特性（クリープ特性）・地圧・動的特性〕

・基本物性

〔密度・空隙率〕

・熱特性

〔熱伝導率・比熱・熱膨張率・地温勾配・熱流量〕

・地質構造

〔断層破碎帯・節理・層序・褶曲構造・その他〕

・水理地質

〔透水係数・空隙率・支配的な地下水移行経路（チャンネルリング・パイプ等）

・水資源の利用〕

・地下水流動

〔動水勾配—ポテンシャル分布・流線・流向、流速、流量〕

・地下水の地球化学

〔成分・pH・Eh・温度〕

・地殻変動

〔隆起—沈降・水平変位・応力・地震・活断層・活褶曲・海水準変動〕

・社会的条件

・資源

- ・水利用  
〔飲料水としての利用・農業用水・工業用水・水力発電〕
- ・土地利用
- ・人口分布
- ・生態系と食物連鎖

### ③地下水移行シナリオ

- ・ニアフィールドからの核種放出
  - ・人工バリアシステムの再冠水  
〔周辺母岩からの水の侵入・緩衝材の含水・緩衝材に侵入した地下水の性状変化〕
  - ・オーバーパックの劣化、破損
    - ・オーバーパックの腐食
      - ・湿食
        - ・全面腐食
        - ・局部腐食  
〔孔食・隙間腐食・粒界腐食・脱合金腐食〕
        - ・流電腐食  
〔酸素消費型流電腐食・水素発生型流電腐食〕
        - ・濃淡電池腐食
        - ・応力腐食割れ
        - ・水素脆化
        - ・腐食疲労
        - ・微生物腐食
      - ・オーバーパックの腐食に伴う地下水性状の変化
  - ・ガラス固化体からの核種放出
    - ・ガラス固化体による核種の保持
      - ・ガラスの溶解に伴う核種の放出（一致溶解）
      - ・本来のガラスの溶解  
〔固相内拡散・ガラスマトリクスの溶解・析出物（表面層）の溶

## 解平衡]

- ・ ガラスの変質
  - ・ 温度効果による変質
    - [結晶化・液-液分離・Yellow phaseの生成]
  - ・ 亀裂増大
  - ・ 照射効果による変質
- ・ 温度効果により変質したガラスの溶解
  - [結晶化したガラス・液-液分離したガラス・Yellow phaseを有するガラス]
- ・ 亀裂の増大したガラスの溶解
- ・ 照射により変質したガラスの溶解
- ・ ガラス溶解による地下水性状の変化
- ・ 核種の選択的浸出
- ・ 核種の溶解
  - ・ アクチニドの溶解
    - [U・Pu・Np・Am・Ra・Th・Cm・Rn・Pa・Ac]
  - ・ 核分裂生成物の溶解
    - [Se・Pd・I・Tc・Nb・Cs・Zr・Sm・Ho]
- ・ 人工バリア中の核種移行
  - ・ オーバーパック部の核種の通過
    - [核種の吸着・核種の移行]
  - ・ 緩衝材中の核種の移流
    - ・ 緩衝材中の地下水流速
    - ・ 緩衝材中の動水勾配
    - ・ 緩衝材の透水性
      - [初期状態で・熱変質後の]
  - ・ 核種の分散
- ・ 緩衝材中の核種の拡散
  - ・ アクチニドの拡散
    - [U・Pu・Np・Am・Ra・Th・Cm・Rn・Pa・Ac]

- ・核分裂生成物の拡散
  - 〔S e ・ P d ・ I ・ T c ・ N b ・ C s ・ Z r ・ S m ・ H o 〕
- ・緩衝材への核種吸着
  - ・アクチニドの吸着
    - 〔U ・ P u ・ N p ・ A m ・ R a ・ T h ・ C m ・ R n ・ P a ・ A c 〕
  - ・核分裂生成物の吸着
    - 〔S e ・ P d ・ I ・ T c ・ N b ・ C s ・ Z r ・ S m ・ H o 〕
- ・周辺母岩中の核種移行
- ・ニアフィールド条件の変化
  - ・温度分布
    - 〔ガラス固化体の発熱・ニアフィールド内の熱伝導〕
  - ・応力分布
    - 〔地圧・緩衝材の膨潤圧・ニアフィールド内の応力場形成〕
  - ・放射線
    - 〔ガラス固化体からの放射線発生・ニアフィールド内の放射線場形成・地下水の放射線分解〕
  - ・地球化学的條件
    - ・地下水性状
      - 〔化学組成・pH・Eh〕
    - ・緩衝材の性状
      - 〔化学組成・鉱物組成〕
    - ・周辺母岩の組成
      - 〔化学組成・鉱物組成〕
  - ・バリア形状
    - 〔ガラス固化体・オーバーパック・緩衝材・周辺母岩〕
- ・ファーフィールド中の核種移行
  - ・亀裂状媒体中の核種移行
    - ・亀裂中の核種移行
      - ・亀裂中での核種の移流
      - ・亀裂中での核種の分散

- ・亀裂中での移行遅延
  - ・亀裂表面への核種収着
    - ・アクチニドの吸着
      - { U · P u · N p · A m · R a · T h · C m · R n · P a · A c }
    - ・核分裂生成物の吸着
      - { S e · P d · I · T c · N b · C s · Z r · S m · H o }
  - ・亀裂内充填物への核種収着
    - ・アクチニドの吸着
      - { U · P u · N p · A m · R a · T h · C m · R n · P a · A c }
    - ・核分裂生成物の吸着
      - { S e · P d · I · T c · N b · C s · Z r · S m · H o }
  - ・亀裂中での核種の固定化
- ・岩体マトリックスへの拡散
- ・核種の再沈澱
  - ・アクチニドの沈澱
    - { U · P u · N p · A m · R a · T h · C m · R n · P a · A c }
  - ・核分裂生成物の沈澱
    - { S e · P d · I · T c · N b · C s · Z r · S m · H o }
- ・多孔質媒体中の核種移行
  - ・多孔質媒体中での核種の移流
  - ・多孔質媒体中での核種の分散
  - ・多孔質媒体中での収着による移行遅延
    - ・アクチニドの収着
      - { U · P u · N p · A m · R a · T h · C m · R n · P a · A c }
    - ・核分裂生成物の収着
      - { S e · P d · I · T c · N b · C s · Z r · S m · H o }
  - ・多孔質媒体中での核種の固定化
- ・ファーフィールドの水理

- ・亀裂状媒体中の水理
  - ・単一亀裂中の水理
    - 〔動水勾配－ポテンシャル分布・流線・流向、流速、流量〕
  - ・亀裂ネットワーク中の水理
    - 〔動水勾配－ポテンシャル分布・流線・流向、流速、流量〕
- ・多孔質媒体中の水理
  - ・単一層中の水理
    - 〔動水勾配－ポテンシャル分布・流線・流向、流速、流量〕
  - ・多層中の水理
    - 〔動水勾配－ポテンシャル分布・流線・流向、流速、流量〕
- ・水収支
- ・地形
- ・水理を規定する地質構造
- ・ファーフィールドの地球化学条件
  - ・地下水の化学的性状
    - 〔化学組成・pH・Eh・温度〕
- ・生物圏における核種移行、被ばく

#### ④その他の要因

- ・自然事象
  - ・気候変化
  - ・水理変化
  - ・海水位変化
  - ・浸食による処分場露出
  - ・河川による浸食作用
  - ・氷食作用
  - ・洪水
  - ・堆積作用
  - ・統成作用
  - ・ディアピリズム

- ・断層発生－地震
- ・岩石－地下水相互作用
- ・隆起沈降
  - 〔造山作用によるもの・造陸作用によるもの・アイソスタシーによるもの〕
- ・未検出の特徴
  - 〔せん断帯・角礫岩岩脈・溶岩トンネル〕
- ・火成活動
  - 〔貫入・噴出〕
- ・人間活動の影響
  - ・検出されない過去の侵入
    - 〔試錐孔・鉞山の立坑〕
  - ・不適當な設計
    - 〔立坑シールの失敗・調査用立坑シールの失敗〕
  - ・不適切な操業（廃棄体定置の誤操作）
  - ・移行媒体の導入
    - 〔灌漑・貯水・意図的な地下水の注入、汲み上げ・液体性化学廃棄物の処分〕
  - ・気候のコントロール
  - ・広域地下水理の変更
  - ・意図的侵入
    - 〔戦争・サボタージュ・廃棄物の回収〕
  - ・不注意な侵入
    - 〔調査坑掘削・考古学上の発掘・採鉞〕
- ・廃棄物、あるいは処分場に起因する効果
  - ・熱的效果
    - 〔弾性応答の相違・非弾性応答・流体の圧力、密度、粘性変化・流体の移動〕
  - ・化学的效果
    - 〔廃棄体と岩体との相互作用・ガス発生〕
- ・機械的作用
  - 〔廃棄体の転位・局所的亀裂発生〕

・放射線的効果

〔物性の変化・放射線分解・崩壊によるガス発生・臨界〕

F-WBS主要項目とPC-WBS主要項目間の相対的関連性はTable1-1に示すようにまとめられている。



Table 1-1 Mutual relationship of main issues of WBS  
WBS主要項目の相互関連

○：関連性が強い

F-WBS 主要項目 (行為・方法)	PC-WBS 主要項目 (研究対象)	① 地層 処分	② 地層 処分 に関する 我が国の 社会的 自然条件	③ 地下 ナリ 移行	④ その 他の 要因
①高レベル放射性廃棄物についての管理の必要性の明示に資する研究		○	-	-	-
②地層処分選定理由の明示に資する研究		○	-	-	-
③我が国の地層処分システムの概念明示に資する研究		○	-	-	-
④地層処分に関する我が国固有の条件の明示に資する研究		-	○	-	-
⑤地層処分システムの技術的実現性の明示に資する研究		○	-	-	-
⑥地層処分の経済性評価研究		○	-	-	-
⑦長期的性能の明確化に資する研究		-	-	○	○
⑧地層処分システムの長期的安全性確認		-	-	-	-

### 1.2.3 F-WBS、PC-WBS項目を考慮した主要検討項目の抽出

1.2.2項に示すF-WBS、PC-WBS項目はかなり網羅的に挙げられたものとなっている。ある項目について試験研究を行う場合、通常類似した項目は同時になされることが多い。また、本研究の本章における趣旨は研究内容の細部を検討することではなく、あくまで地層処分研究全体のあり方、それにおける主要研究課題の位置づけを明らかにすることである。この観点から、上記項目を最低限の検討単位（機能上、一つの試験・調査項目あるいは検討項目に相当するもの）に再分類する。この際、適宜項目表現の加筆修正・削除を行う。さらに、技術的に、より重要性の高い項目については下線を付し、重要性の相対的に低い項目については割愛することとする。

#### (1) F-WBS項目

##### ①高レベル放射性廃棄物管理の必要性の明示に資する研究

- ・高レベル放射性廃棄物の放射線的危険性の明示に関する検討
- ・高レベル放射性廃棄物の発生予測に基づく処分の至急性の検討

##### ②地層処分の必要性の明示に資する研究

- ・地層処分シナリオの検討
- ・地層処分システムの検討
- ・技術的実現可能性の検討
- ・安全性の検討
- ・経済性の検討
- ・政策上の適合性の検討
- ・環境影響評価

##### ③我が国の地層処分システムにおける安全確保の考え方の明示に資する研究

- ・長期放射線防護目標の検討
- ・多重バリアシステムにおける安全確保の考え方の検討

##### ④地層処分に関する我が国固有の条件の明示に資する研究

- ・処分予定地選定に直接関わらない調査

- ・室内試験
- ・フィールド調査・試験
  - 〔既存空洞・地下研究施設・深地層試験場〕
- ・ナチュラルアナログ研究
- ・処分予定地選定のための調査
  - ・フィールド調査・試験
    - 〔既存空洞・地下研究施設・深地層試験場〕
  - ・地質環境調査
    - 〔リモートセンシング・広域現地調査・地表物理探査・地表地質踏査・試錐〕
  - ・社会環境調査
- ・処分予定地における調査

#### ⑤ 地層処分システムの技術的実現性の明示に資する研究

- ・システム設計上の要件の検討
  - ・廃棄体対象物からの要件の検討
  - ・法的要件の検討
  - ・建設、操業、閉鎖の各段階における作業安全性、長期的安全性の要件の検討
- ・システム仕様の設定に資する研究
  - ・構成要素の機能、仕様の検討、設定
  - ・建設、操業、閉鎖の各段階における工程の検討、設定

#### ⑥ 地層処分の経済性評価研究

- ・経済性評価
  - ・研究開発費用の算出
  - ・建設、操業、閉鎖段階における経済性評価シナリオの検討とモデルの開発および評価の実施

#### ⑦ 地層処分システムの長期的性能の明確化に資する研究

- ・長期的性能の評価

・シナリオ解析

〔シナリオ検討・解析用データの取得・発生確率の検討・スクリーニング〕

・影響解析

・影響解析モデルの作成

〔モデル作成用データの取得・決定論的、確率論的モデルの作成〕

・影響解析用データの取得

〔文献調査、各種現場試験によるデータの取得〕

・影響解析の実施

〔決定論的、確率論的解析・不確実性解析〕

・長期的性能の保証のための研究（解析手法・結果の信頼性評価）

・評価手法の正当性の明示

〔シナリオ解析手法、影響解析手法構成プロセスの正当性の確認〕

・長期的現象に対する評価結果の適合性の明示

・長期的現象についての観察結果との比較による適合性明示

〔ナチュラルアナログ研究、加速試験結果との比較によるシナリオの適合性及び影響解析モデルの適合性の明示・観察結果と解析結果の差異に関する不確実性解析〕

・複合的現象に対する評価結果の適合性の明示

・従来の評価例との比較及び差異の分析

⑧地層処分システムの長期安全性確認

(2) PC-WBS項目

①地層処分

・処分施設

・地上施設

・地下施設

・構成要素

〔立坑・主要運搬坑道・サービス坑道・補助空洞・埋設坑道・埋設孔〕

- ・機能分類要素

[グラウト・ライニング・プラグ・シール・埋戻し材・ブルワーク・ボクシングアウト]

- ・ニアフィールド

[固化体・キャニスタ・オーバーパック・緩衝材・(シール、プラグ)・周辺母岩]

- ・ファーフィールド

[ニアフィールド周囲の母岩・周辺サイト環境]

- ・生物圏

[気象・植物・動物・人間・地表循環水系]

## ② 地層処分に関する我が国の自然的社会的条件

- ・自然的条件

[地形・気象・地表循環水系・地質・地質構造・地殻変動・岩石の地質工学特性・岩石の地球化学特性・水理特性・地下水賦存状況・地下水の地球化学]

- ・社会的条件

[資源分布・水利用・土地利用・人口分布・生態系]

## ③ 地下水移行シナリオ

- ・ニアフィールドからの核種の放出

- ・人工バリアシステムの地下水による飽和
- ・緩衝材中地下水の長期的性状変化
- ・オーバーパックの止水機能の劣化
  - ・各種形態の腐食の進展
  - ・腐食の進展に伴う地下水の長期的性状変化
  - ・応力による破損

- ・固化体からの核種の放出

- ・ガラスの溶解
  - ・ガラス成分の固相内拡散、溶解、析出
  - ・ガラスの温度、照射効果による変質
  - ・変質ガラスの溶解

- ・ ガラスの溶解に伴う地下水の長期的性状変化
- ・ ガラスの溶解に伴う核種の選択的浸出
- ・ アクチニド、核分裂生成物の接触地下水中への溶解
- ・ 腐食したあるいは破断したオーバパック部の核種の移行  
〔核種の吸着・核種の移行（拡散）〕
- ・ 緩衝材中の核種の移行
  - ・ 緩衝材中の地下水流速  
〔動水勾配・熱履歴後の透水係数〕
  - ・ 核種の分散
  - ・ アクチニド、核分裂生成物の拡散、吸着
- ・ 近接周辺母岩中の核種の移行
  - ・ 母岩中の地下水流速  
〔動水勾配・熱履歴後の透水係数〕
  - ・ 核種の分散
  - ・ アクチニド、核分裂生成物の拡散、吸着
- ・ ニアフィールド条件の変化
  - ・ 発熱、熱伝導による温度分布
  - ・ 地圧、緩衝材の膨潤圧、腐食物質の増大による加圧等による応力分布
  - ・ 地下水の放射線分解による水質の変化
  - ・ 地下水、緩衝材、周辺母岩の地球化学的特性の変化
  - ・ バリア要素の形態変化
- ・ ファーフィールド中の核種移行
  - ・ 割れ目系岩体中の核種移行
    - ・ 割れ目内の核種移行  
〔核種の移流、分散・割れ目充填物、割れ目表面へのアクチニド、核分裂生成物の吸着・鉱物化等の固定化〕
    - ・ 岩体マトリックス（細孔内）への核種の拡散、収着
    - ・ チャンネリング
  - ・ 多孔質系岩体中の核種移行
    - ・ 核種の移流、分散

- ・アクチニド、核分裂生成物の収着、固定化
  - ・ファーフィールドの水理
    - ・割れ目系岩体中での水理
      - 〔単一割れ目中および割れ目ネットワーク中の動水勾配－ポテンシャル分布
        - ・流線・流向・流速・流量・割れ目分布パターン〕
    - ・多孔質系岩体中での水理
      - 〔単一層中および多層中での動水勾配－ポテンシャル分布・流線・流向・流速・流量・地層の分布パターン〕
    - ・水収支
    - ・地形
  - ・ファーフィールドにおける地下水の地球化学的特性
  - ・生物圏における核種移行、被ばく
- ④その他のシナリオによる漏洩核種の被ばく評価あるいはバリア性能評価
- ・自然事象
    - 〔気象・地表における地質事象・地殻変動〕
  - ・人間活動の影響
    - 〔過去の活動の未検出・廃棄体の埋設活動に伴うもの・将来の意図的・非意図的侵入〕
  - ・不可避の内的起因事象
    - 〔発生熱の影響・化学的影響・放射線の影響・力学的影響〕

## 1.3 個別研究項目における入出力パラメータの検討

本節においては前1.2.3項で抽出した主要検討項目のうち、調査・研究行為を示すF-WBSに属する項目（すなわち、調査研究開発）を実施するうえで必要となる検討のための事前把握事項（入力パラメータ）と結果（出力パラメータ）を個別に考察する。

その際、対応するPC-WBS項目を考慮する。

## 1.3.1 高レベル放射性廃棄物管理の必要性の明示に資する研究

F-WBS項目	主要入力パラメータ	主要出力パラメータ
<ul style="list-style-type: none"> <li>高レベル放射性廃棄物の放射線的危険性の明示に関する検討</li> </ul>	含有核種の種類・放射エネルギー放射線強度	単位量当たりの経時的な潜在的毒性評価 危険性に基づく研究開発の必要性
<ul style="list-style-type: none"> <li>高レベル放射性廃棄物の発生予測に基づく処分の至急性の検討</li> </ul>	再処理シナリオ発生プロセス	高レベル廃液発生予測 返還廃棄物の返還予測 至急性の必要性の判断結果

## 1.3.2 地層処分研究開発の必要性の明示に資する研究

F-WBS項目	主要入力パラメータ	主要出力パラメータ
<ul style="list-style-type: none"> <li>地層処分シナリオの検討</li> </ul>	高レベル放射性廃棄物の発生予測・特性 安全確保の考え方 環境条件・関連基礎データ	地層処分の概念的実施方策・システム
<ul style="list-style-type: none"> <li>地層処分システムの検討</li> </ul>	高レベル放射性廃棄物の発生予測・特性 地層処分の概念的方策 関連要素技術・システム 環境条件 経済性の検討結果	具体的処分システム システム要素の性能
<ul style="list-style-type: none"> <li>技術的実現可能性の検討</li> </ul>	具体的処分システム 開発すべき課題の明確化 関連技術の現状 開発目標	経時的達成レベル 開発目標との乖離状況
<ul style="list-style-type: none"> <li>安全性の検討</li> </ul>	地層処分システム バリアシステム要件 安全評価手法 安全確保の考え方	システムの概念的安全性



F-WBS項目	主要入力パラメータ	主要出力パラメータ
<ul style="list-style-type: none"> <li>・経済性の検討</li> <li>・政策上の適合性の検討</li> <li>・環境影響評価</li> </ul>	処分場システム 技術的実現可能性 経済性評価結果  国の地層処分に関する基本方針 国の代替処分法に関する考え方 技術開発状況・原子力に関するPA状況を考慮した最新のコンセンサス 各種検討・研究結果  ソースターム 地層処分システム 概念的サイト条件・処分条件データ 特定サイト条件・サイトスペシフィックな処分条件データ 社会環境条件	経済的な実現可能性  国の方針との適合性  環境への漏出量評価結果・被ばく線量評価結果 地域経済に与える経済性評価結果 地域社会に与える人文社会学的影響評価結果

### 1.3.3 我が国の地層処分システムにおける安全確保の考え方の明示に資する研究

F-WBS項目	主要入力パラメータ	主要出力パラメータ
<ul style="list-style-type: none"> <li>・長期放射線防護目標の検討</li> <li>・多重バリアシステムにおける安全確保の考え方の検討</li> </ul>	ソースターム 地層処分シナリオ 地層処分システム 既存の放射線防護目標  地層処分システム 多重バリアシステムの目的 核種漏洩シナリオ バリア材の知識と性能 放射能の経時変化	全体システムの性能目標 個別システムの性能目標  バリア機能劣化の進展を抑止する方策 現有材料性能・評価手法上でのバリア性能の長期予測

1.3.4 地層処分に関する我が国固有の条件の明示に資する研究

F-WBS項目	主要入力パラメータ	主要出力パラメータ
<ul style="list-style-type: none"> <li>・室内試験</li> </ul>	システム環境条件 システム性能 解明すべき事象・データ項目 人工バリアの材料性能 建設に用いる材料特性 (調査・試験方法) 他データ取得試験結果	母岩の地質工学特性・地球化学特性・水理特性 人工バリア材の力学・熱・水理化学特性 地下水の地球化学 ニアフィールド条件の変化 機能分類した地下施設材料の施工に関する基礎物性
<ul style="list-style-type: none"> <li>・既存空洞を用いた調査・試験</li> </ul>	既存空洞周辺的环境条件 解明すべき事象・データ項目 人工バリアの材料性能 建設に用いる材料特性 (調査・試験方法)	母岩(花崗岩)の地質工学特性・地球化学特性・水理特性 サイトの地殻変動 地下水の地球化学 ニアフィールド条件の変化 機能分類した地下施設の施工性能
<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下研究施設における調査・試験</li> </ul>	地下研究施設設置サイトの環境条件 解明すべき事象・データ項目 人工バリアの材料性能 建設に用いる材料特性 (調査・試験方法)	母岩(花崗岩)の地質工学特性・地球化学特性・水理特性 サイトの地殻変動 地下水の地球化学 ニアフィールド条件の変化 ファーフィールドの水理・地球化学特性 機能分類した地下施設の施工性能
<ul style="list-style-type: none"> <li>・深地層試験場における調査・試験</li> </ul>	幌延サイトの環境条件 解明すべき事象・データ項目 人工バリアの材料性能 建設に用いる材料特性 (調査・試験方法)	堆積岩の原位置地質工学特性・地球化学特性・水理特性 堆積岩の原位置地質構造の水理特性・地質変動特性 幌延サイトの地殻変動 地下水の地球化学 ニアフィールド条件の変化 ファーフィールドの水理・地球化学特性 機能分類した地下施設の施工性能
<ul style="list-style-type: none"> <li>・地質環境調査</li> </ul>	地質環境調査サイトの環境条件 調査すべきデータ項目 (調査方法・試験方法)	サイトの自然的条件(地形・気象・地表循環水系・地質・地質構造・岩石の地質工学特性・岩石の地球化学特性・水理特性・地下水賦存状況・地下水の地球化学)

F-WBS項目	主要入力パラメータ	主要出力パラメータ
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ナチュラルアナログ研究</li> <li>・社会環境調査</li> </ul>	アナログ対象事象・アナログ対象バリア材の項目 調査サイト・対象物の環境条件の過去の履歴 (調査方法・試験方法)  社会環境調査サイトの位置 調査すべきデータ項目 (調査方法)	(想定) 特定環境条件におけるバリア材の調査対象機能の安定性・変化特性  サイトの社会的条件(資源分布・水利用・土地利用・人口分布・生態系)

### 1.3.5 地層処分システムの技術的実現性の明示に資する研究

F-WBS項目	主要入力パラメータ	主要出力パラメータ
<ul style="list-style-type: none"> <li>・システム設計上の要件(廃棄体対象物からの要件)の検討</li> </ul>	ガラス固化体(パッケージ)の材料物性・発熱特性・放射線学的特性・浸出特性 対象廃棄体総量・単位時間当たり埋設量 放射線防護目標 多重バリアシステム目標 ハンドリングシステム・処分システムの仕様	目標値に対する評価値の安全裕度
<ul style="list-style-type: none"> <li>・システム設計上の要件(法的要件)の検討</li> </ul>	埋設後の想定される線量目標値 作業時の被ばく線量限度 処分場の操業に関する法的規制値 ハンドリングシステム・処分システムの仕様	目標値・規制値に対する評価値の裕度
<ul style="list-style-type: none"> <li>・システム設計上の要件(建設・操業・閉鎖の各段階における作業安全性・長期的安全性の要件)の検討</li> </ul>	建設スケジュール・仕様 操業スケジュール 閉鎖スケジュール・仕様 建設・閉鎖に関する詳細工程 ハンドリングシステム・処分システム 作業時の被ばく線量限度 埋設後の想定される線量目標値	目標値に対する評価値の安全裕度
<ul style="list-style-type: none"> <li>・システム仕様(構成要素に関して)の設定</li> </ul>	システム性能 地下施設構成要素 類似施設要素の機能範囲 関連技術の信頼性 概略埋設スケジュール	施設構成要素の設計目標

F-WBS項目	主要入力パラメータ	主要出力パラメータ
・システム仕様（作業工程に関して）の設定	システム性能 地下施設構成要素 類似施設要素の機能範囲 関連技術の信頼性 埋設量・処理能力 施設構成要素の設計目標	建設工程 操業工程 閉鎖工程

1.3.6 地層処分の経済性評価研究

F-WBS項目	主要入力パラメータ	主要出力パラメータ
・経済性評価	研究開発内容 研究開発スケジュール 地層処分システム仕様 処分場の仕様 建設・操業・閉鎖スケジュール (経済性評価モデル)	研究開発費用 建設・操業・閉鎖費用 構成要素別費用

1.3.7 地層処分システムの長期的性能の明確化に資する研究

F-WBS項目	主要入力パラメータ	主要出力パラメータ
・シナリオ解析	漏洩核種による人間の被ばくに至る各種シナリオ 上記シナリオの設定に必要な各種現場・実験室・文献データ	シナリオの信頼性・発生確率 シナリオの優劣
・影響解析	漏洩核種による人間の被ばくに至る各種シナリオ 影響解析モデル作成用各種現場・実験室・文献データ 影響解析用入力各種現場・実験室・文献データ (決定論的・確率論的モデル)	決定論的及び確率論的な長期的性能 長期的不確実性 シナリオの優劣 シナリオの信頼性・発生確率

F-WBS項目	主要入力パラメータ	主要出力パラメータ
・長期的性能の保証のための研究	シナリオ解析用データ取得方法 シナリオの科学的根拠 シナリオスクリーニングの手法 影響解析モデルの科学的根拠 影響解析モデルのデータ取得方法 ナチュラルアナログ研究成果 加速試験研究成果 複合現象に関する観察結果	シナリオ解析結果の信頼性 影響解析結果の信頼性

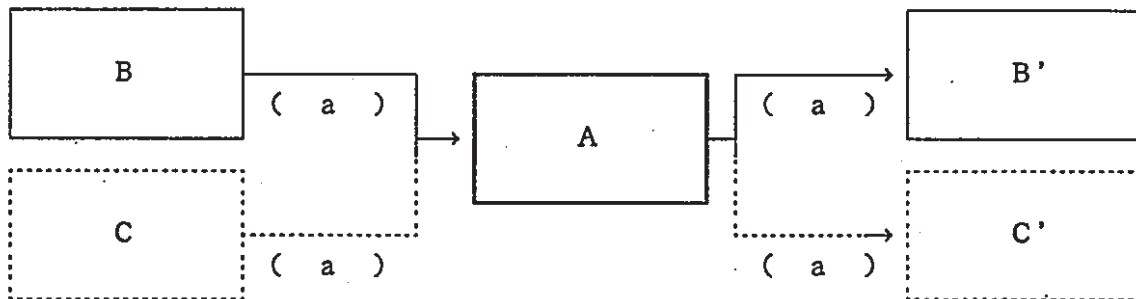
## 1.3.8 地層処分システムの長期安全性確認

F-WBS項目	主要入力パラメータ	主要出力パラメータ
・地層処分システムの長期安全性確認	シナリオ解析結果 影響解析結果 解析結果のナチュラルアナログ測定データ・加速試験データ	解析結果の測定データ・試験データとの整合性 解析結果の測定データ・試験データに対する安全裕度

### 1.4 個別研究項目の相互関連性の検討

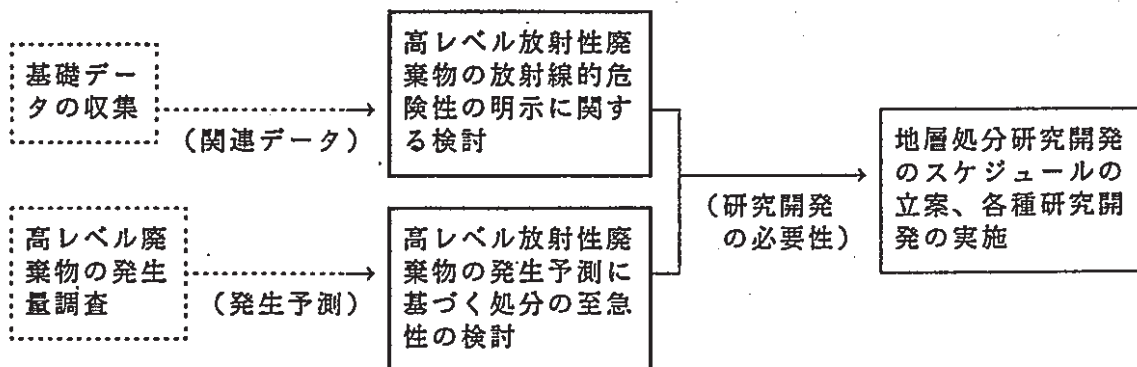
前節でのF-WBS項目の入出力パラメータの検討結果を受け、F-WBS項目相互の関連性について検討する。この検討は各試験項目（F-WBS項目）は独立あるいはそれだけで完結しているのではなく、研究成果が相互に、あるいは一方向に関連しているはずである、との認識によるものである。換言すれば、そのような有機的繋がりがあってこそ、各々の試験成果は地層処分研究において意義を有することとなる。以下においては主要テーマごとに、その関連性について検討する。

検討結果の表示は以下の要領に従った。

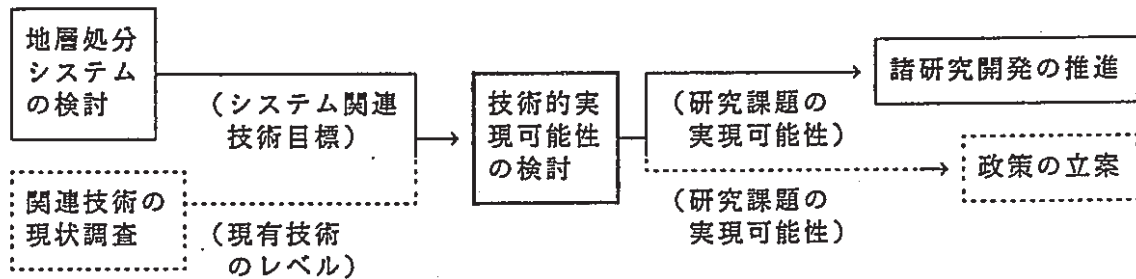
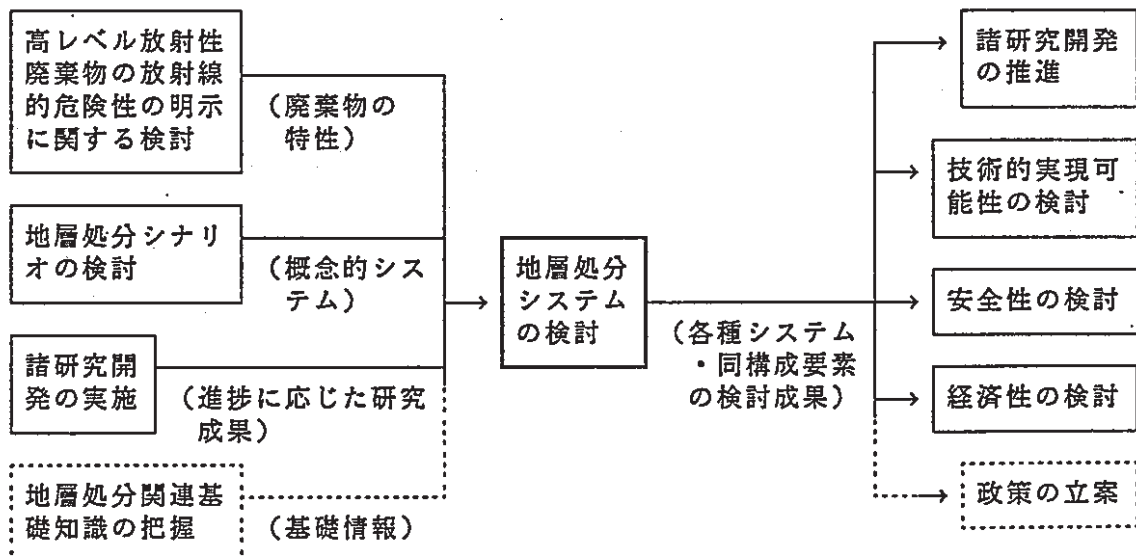
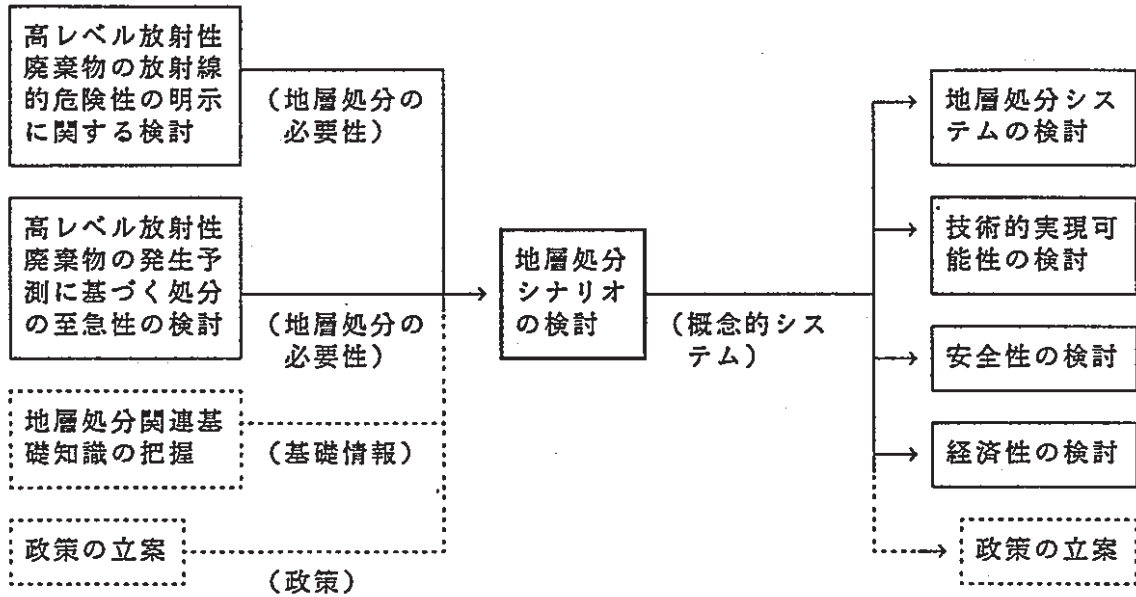


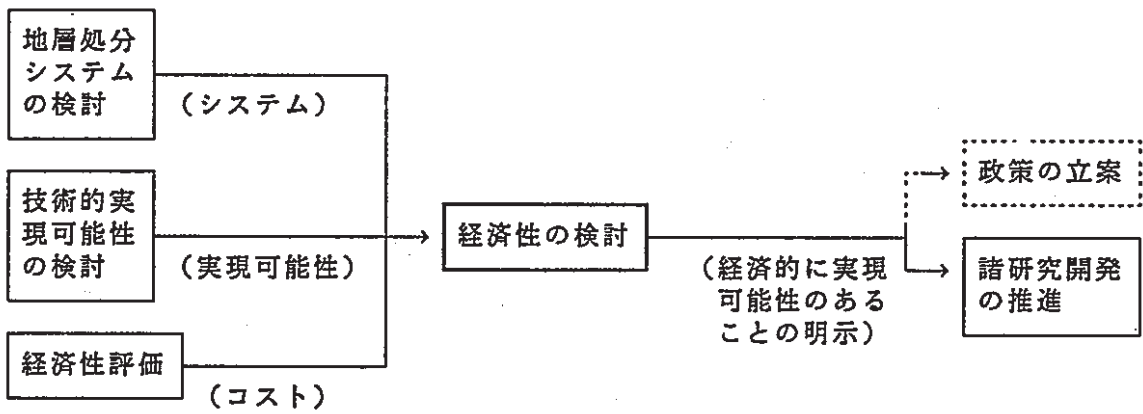
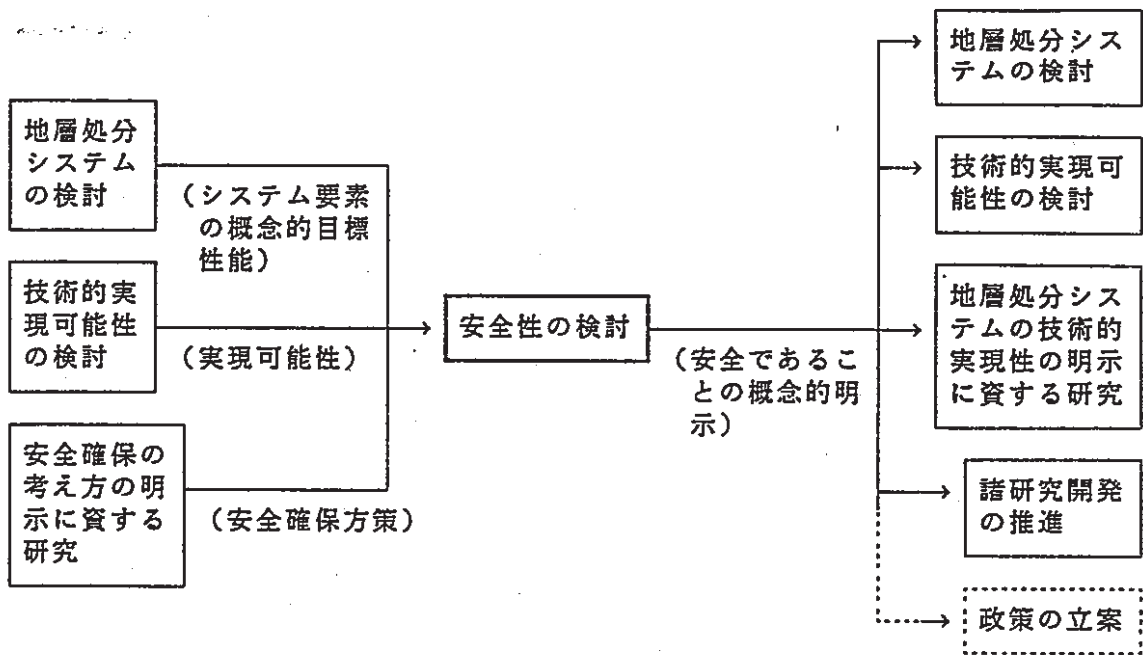
- A : 検討対象とするF-WBS項目
- B : 1.3節で示されているF-WBS研究項目  
(Aの実施のために事前に実施してあることが必要、あるいは望ましいもの)
- C : 本研究で新たに加えたF-WBS相当の主要研究項目・実施項目 ( 同上 )
- B' : 1.3節で示されているF-WBS研究項目  
(Aの実施の結果、実施することが必要、あるいは望ましいもの)
- C' : 本研究で新たに加えたF-WBS相当の主要研究項目・実施項目 ( 同上 )
- a : 研究項目間の主要入出力パラメータ

#### 1.4.1 高レベル放射性廃棄物管理の必要性の明示に資する研究

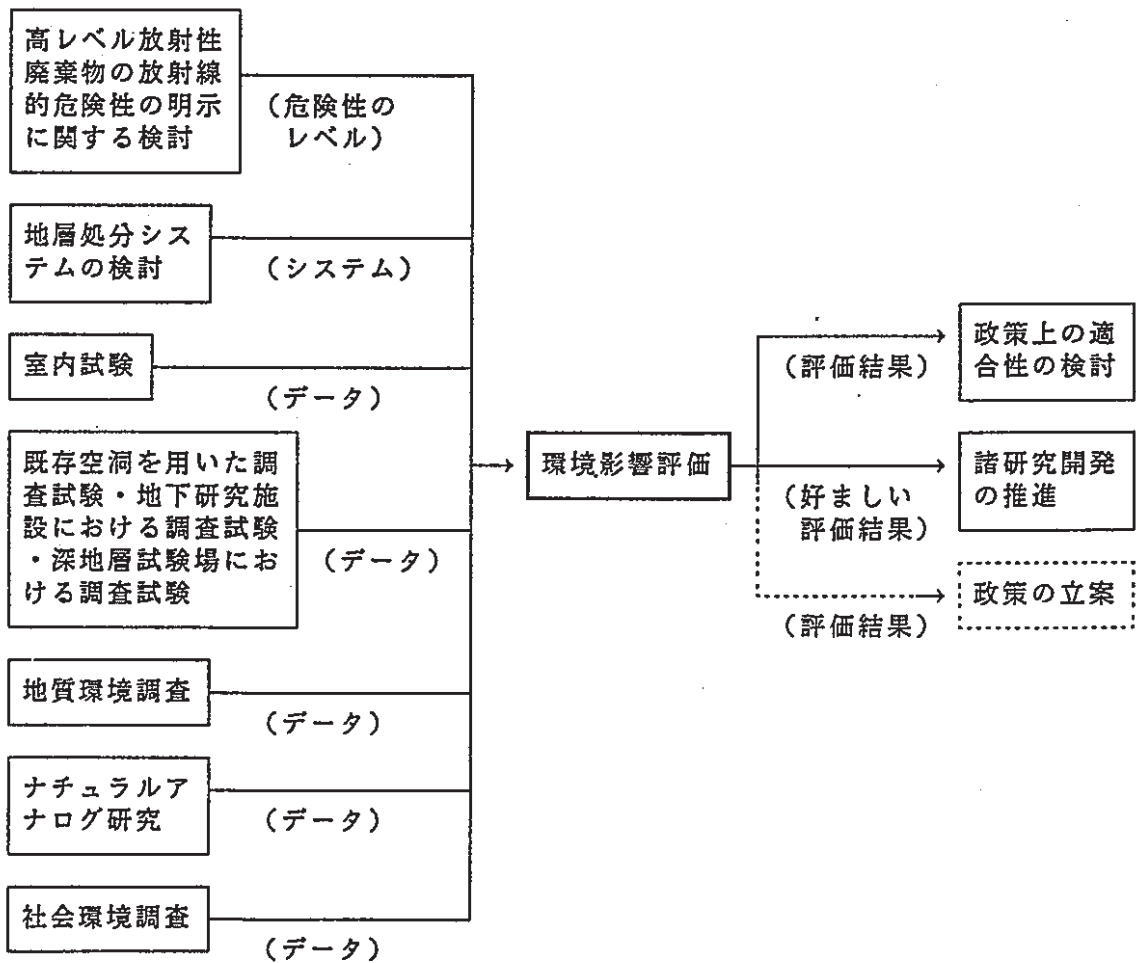
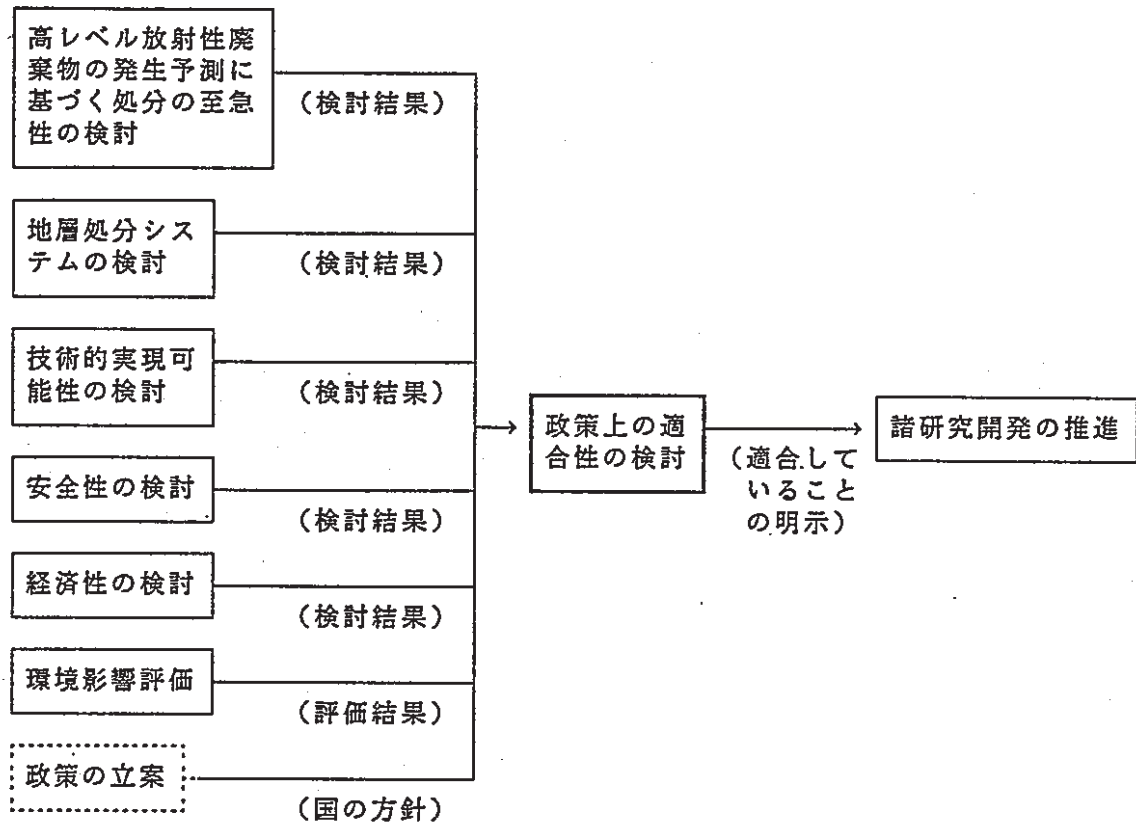


1.4.2 地層処分の必要性の明示に資する研究

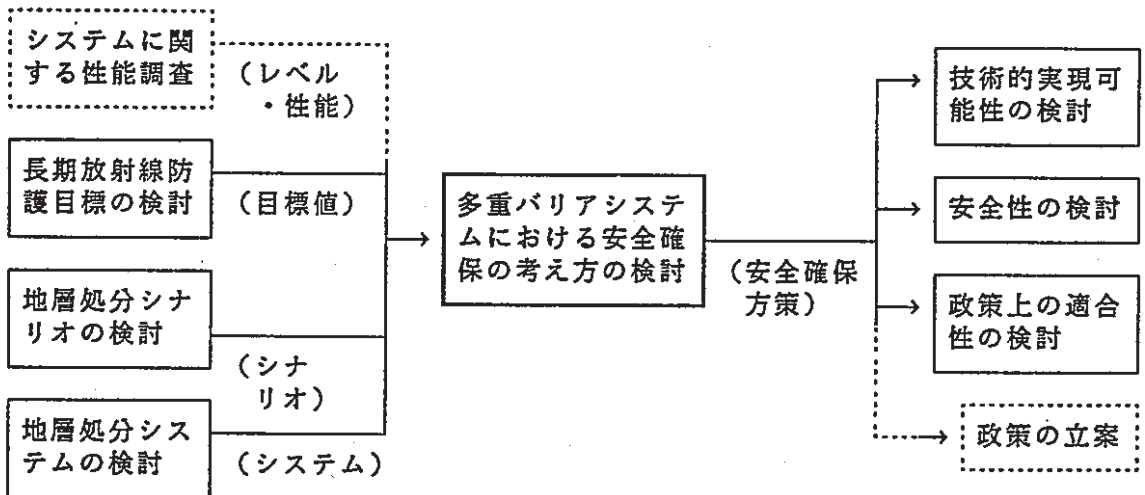
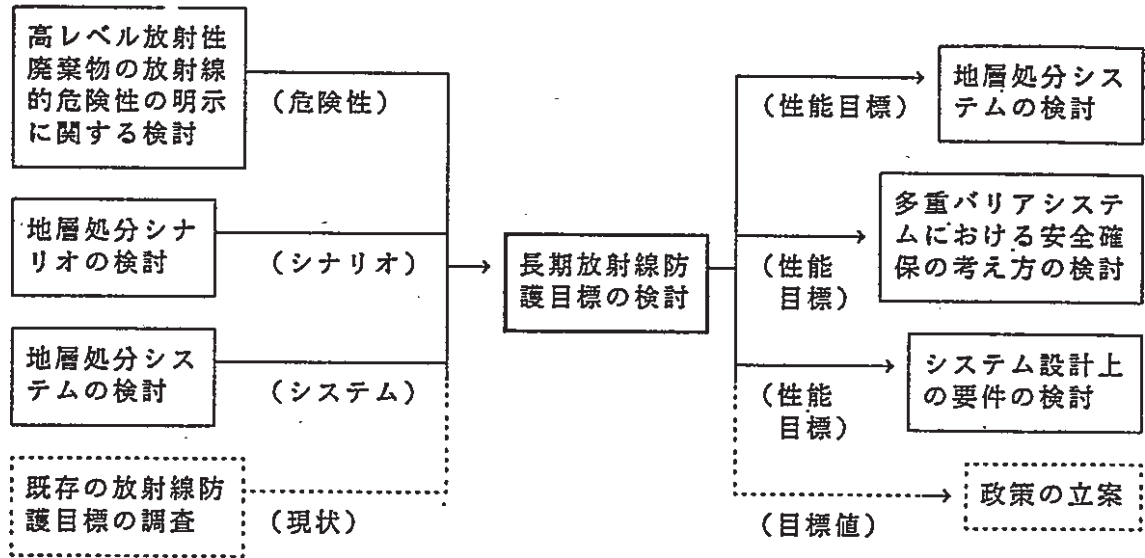




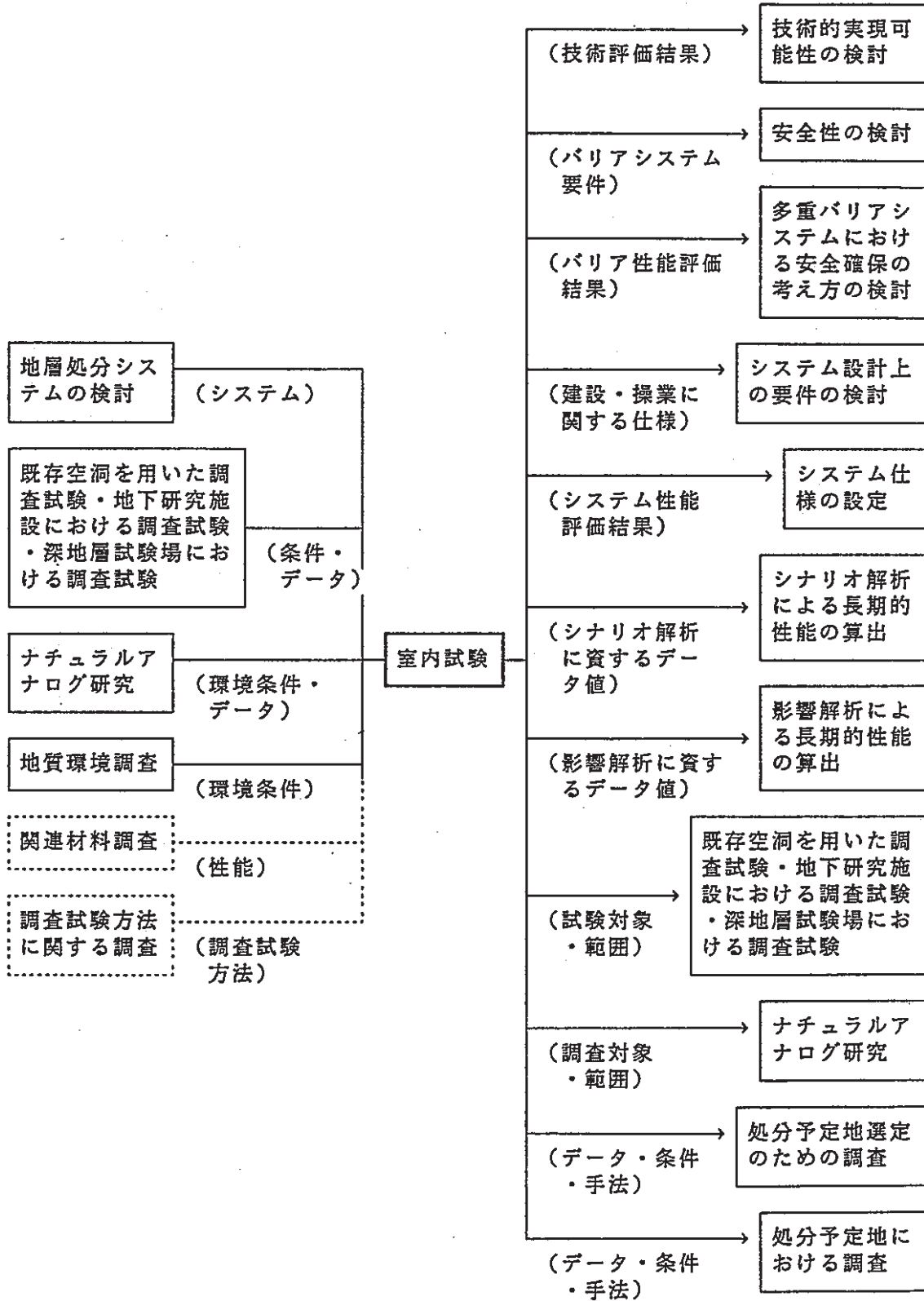


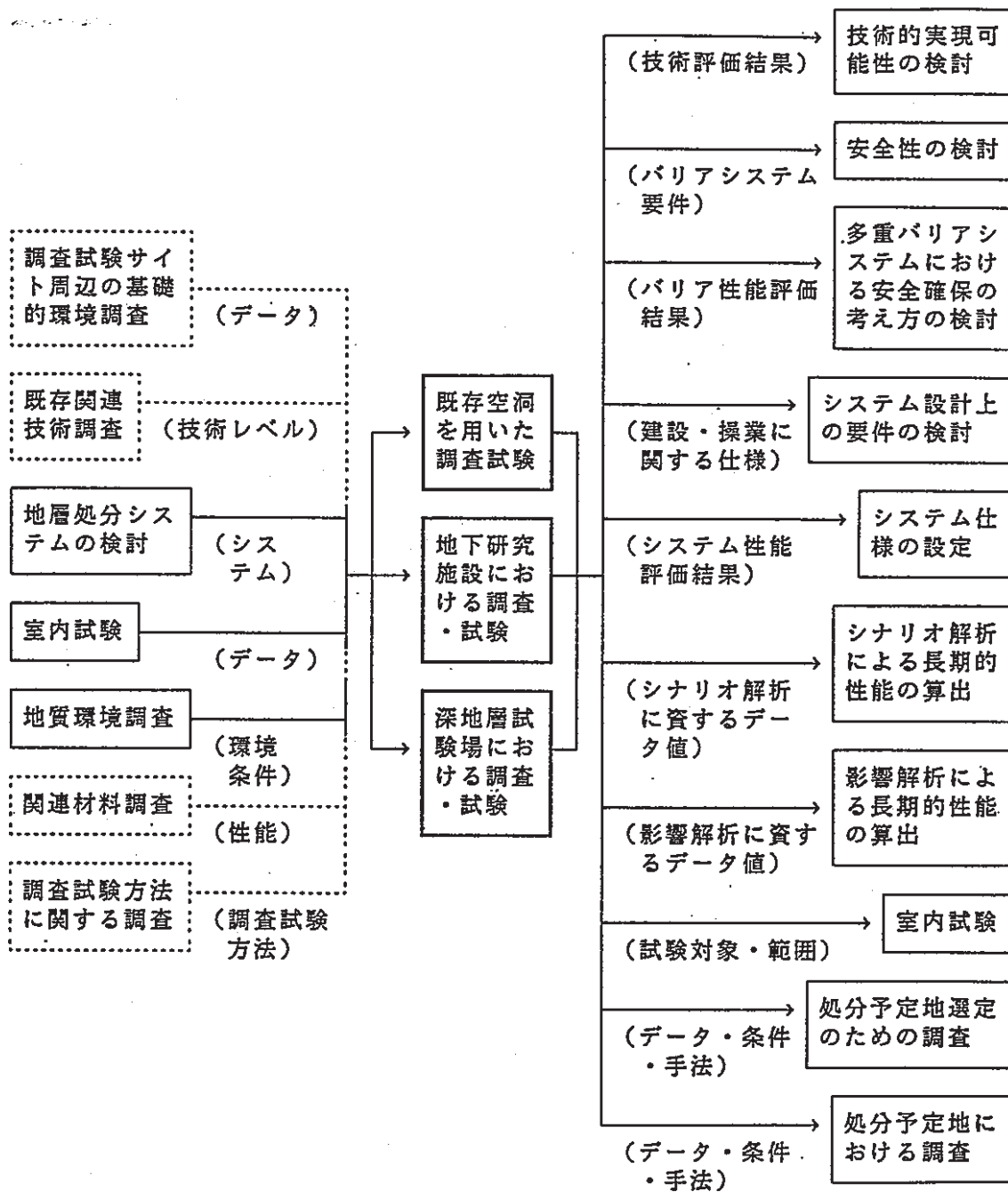


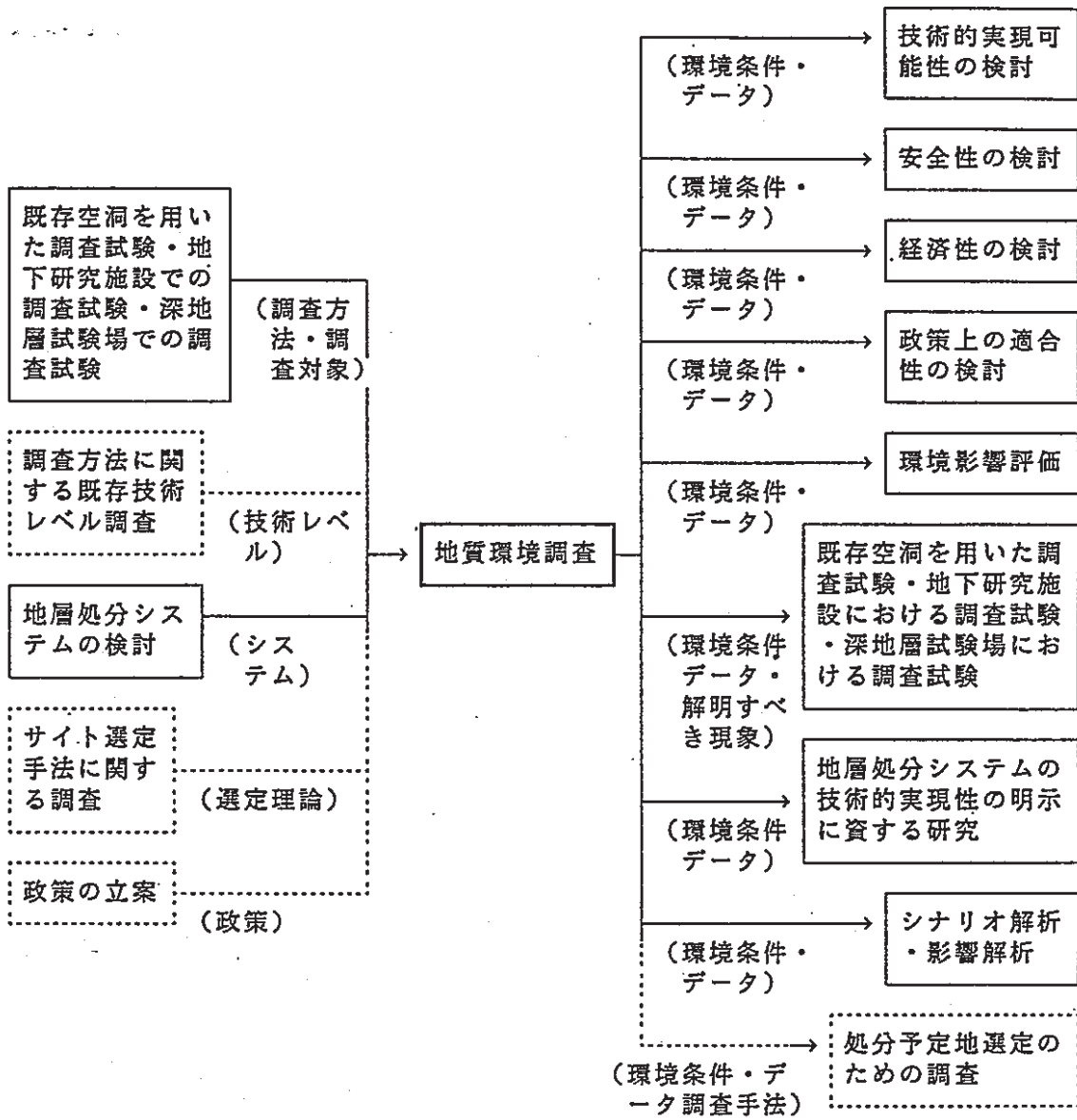
1.4.3 我が国の地層処分システムにおける安全確保の考え方の明示に資する研究

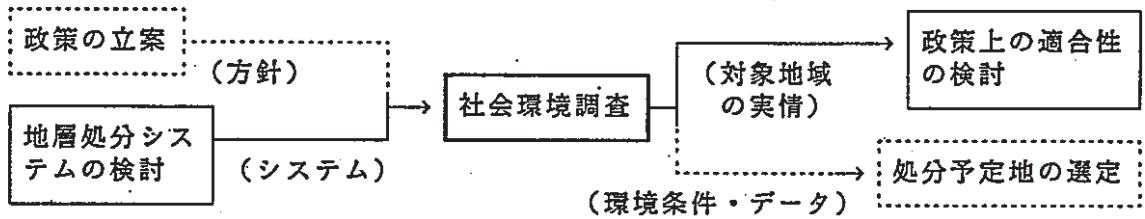
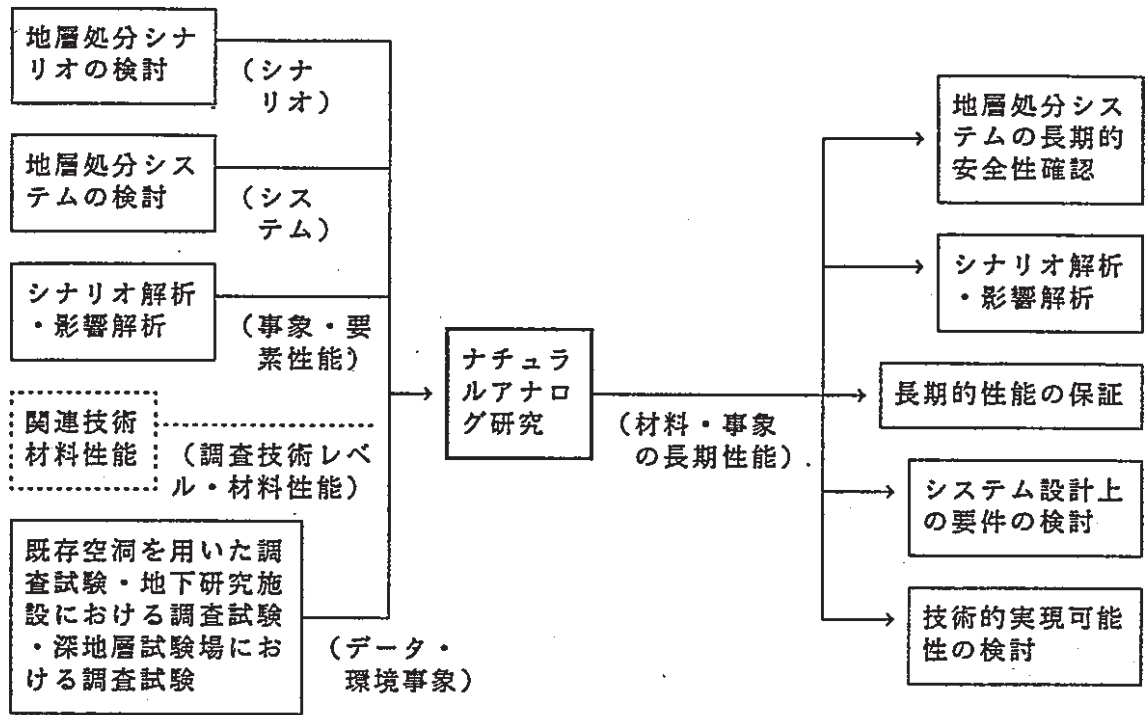


1.4.4 地層処分に関する我が国固有の条件の明示に資する研究

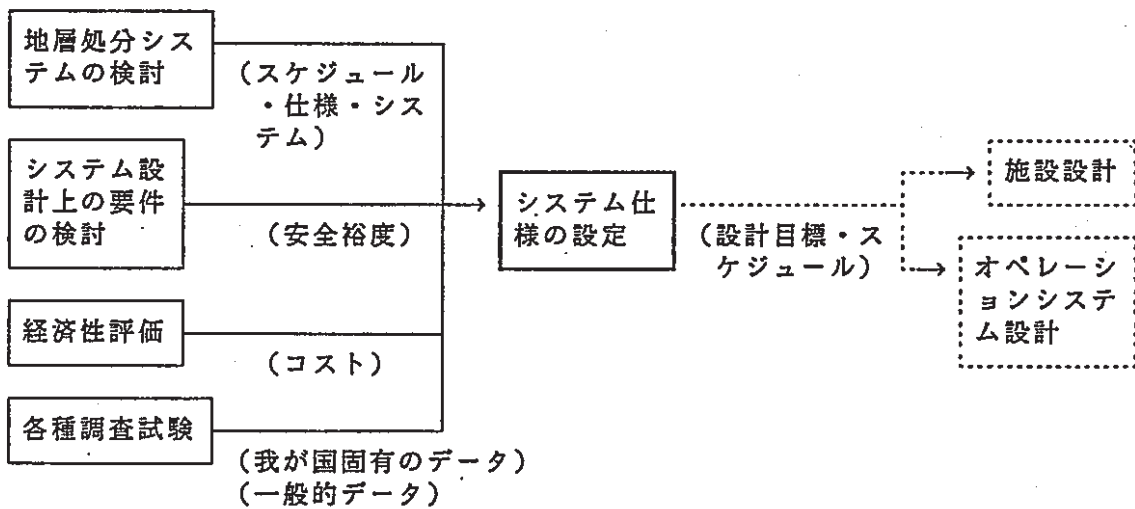
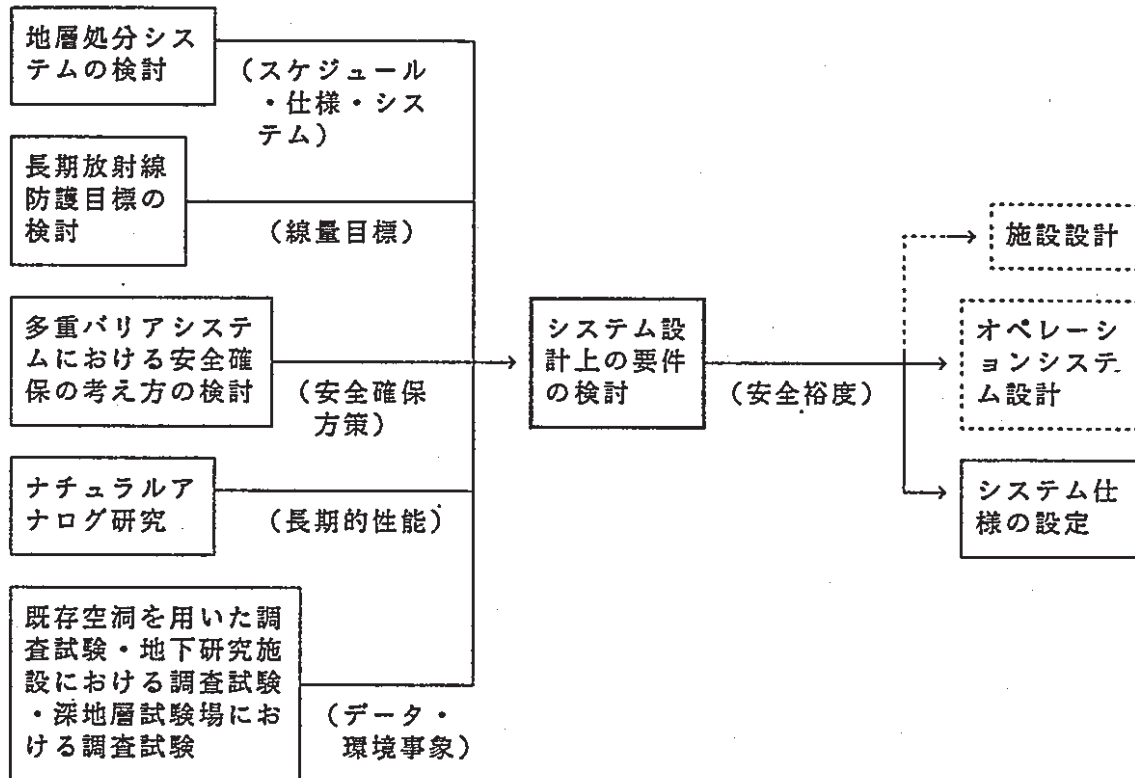




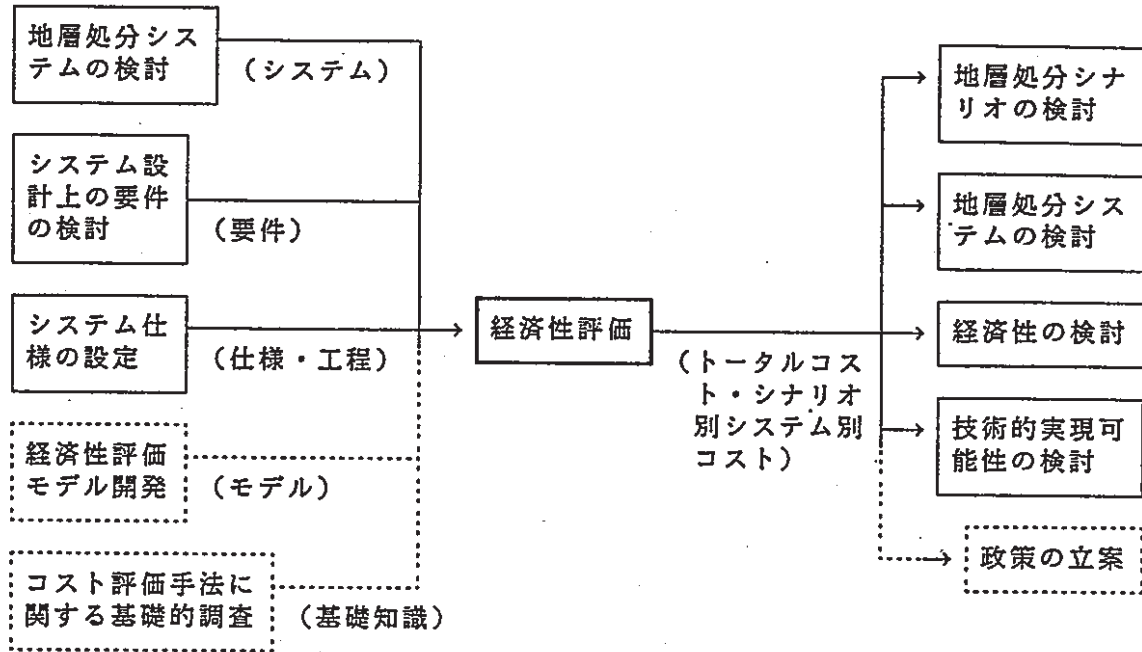




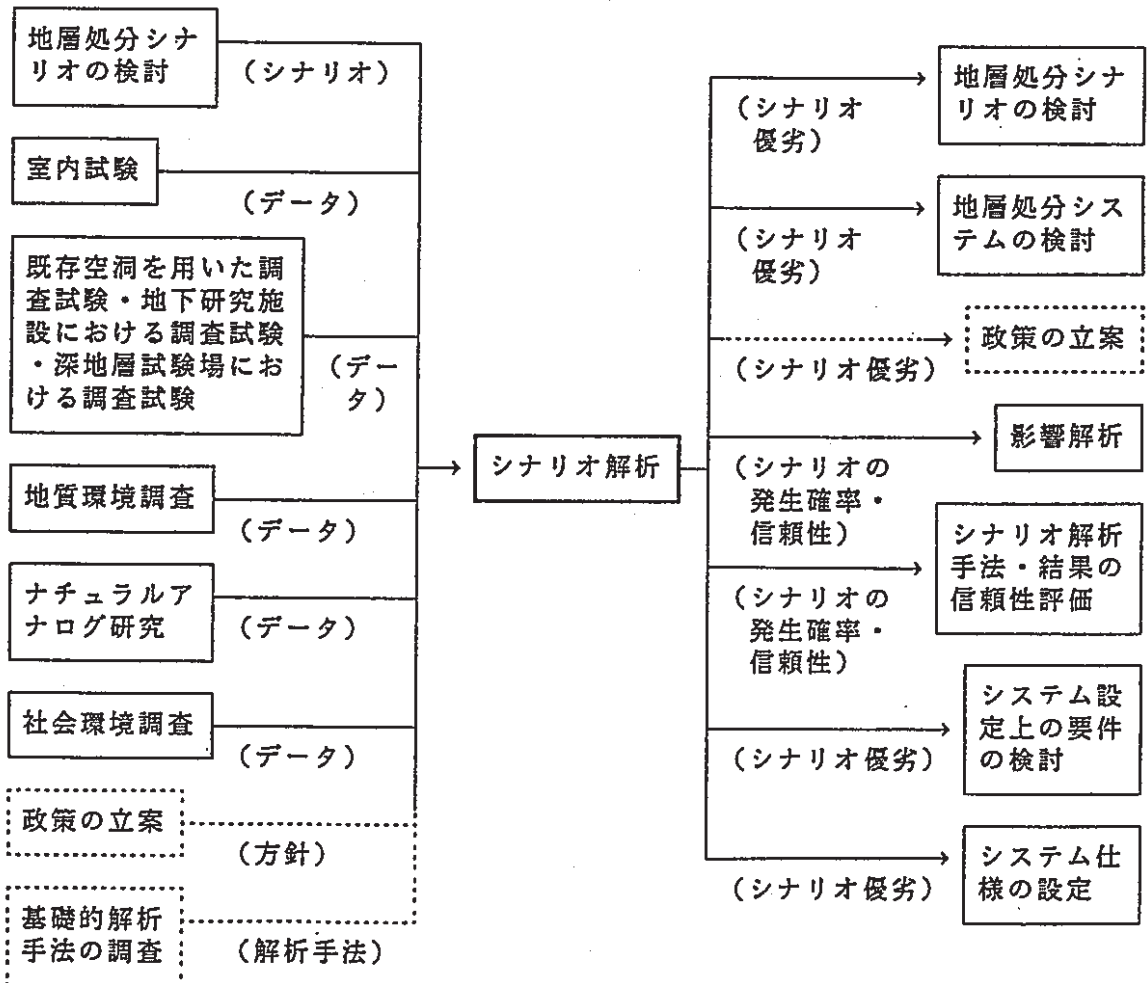
1.4.5 地層処分システムの技術的実現性の明示に資する研究



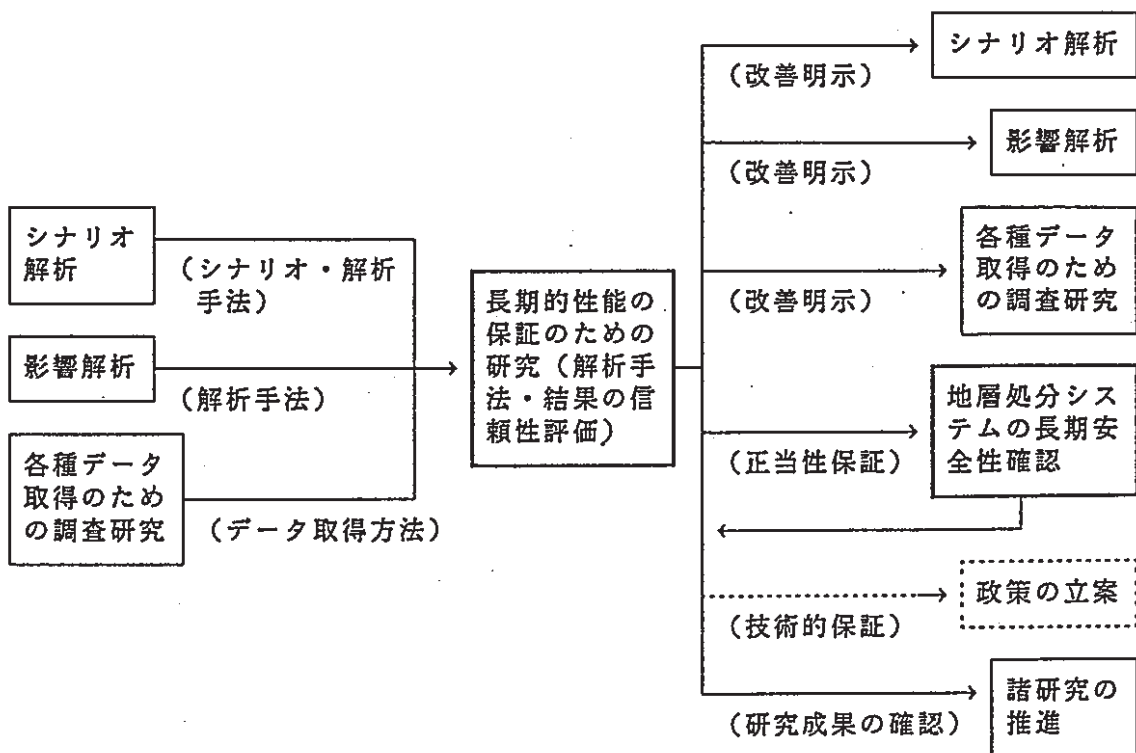
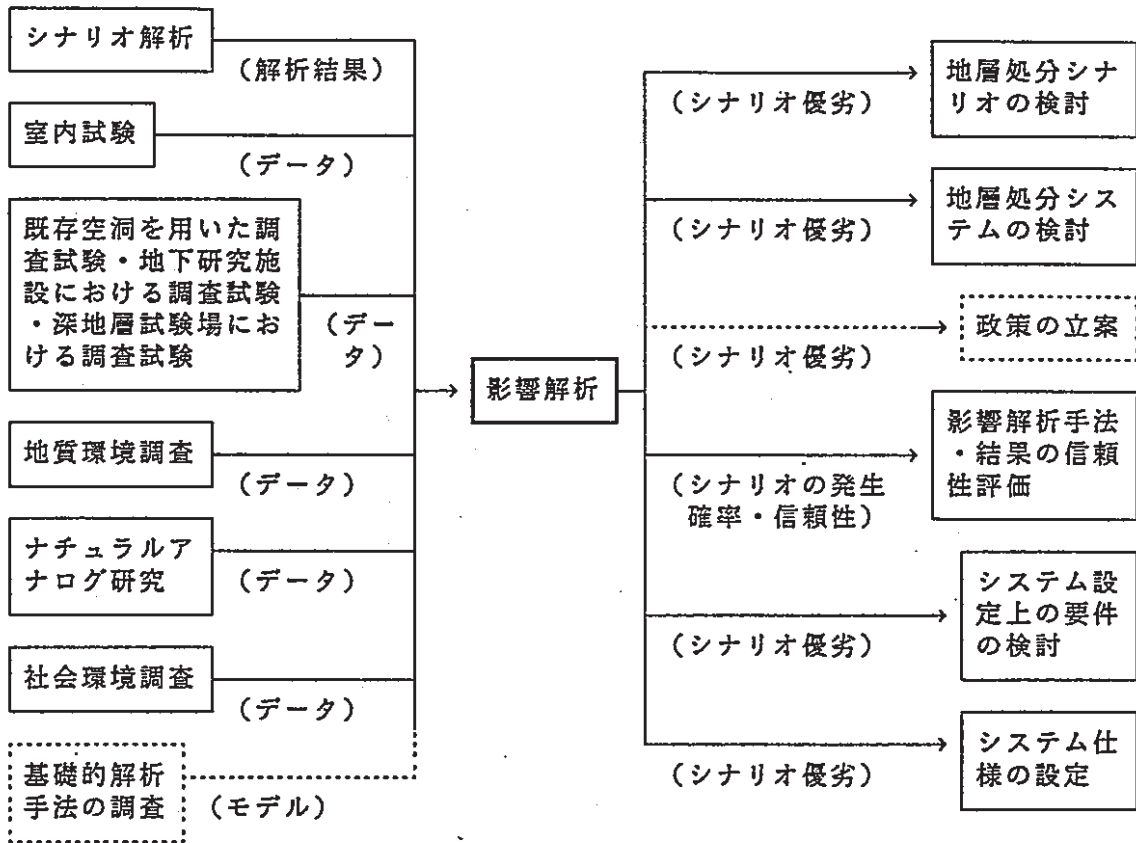
1.4.6 地層処分の経済性評価研究



1.4.7 地層処分システムの長期的性能の明確化に資する研究及び長期安全性確認







## 1.5 施設の特性に応じた研究開発課題の整理

地層処分研究開発を進める上での、研究開発実施の場、即ち施設としては動燃事業団以外の機関の施設をも含めて、以下のものを網羅的に挙げるができる。この時、施設分類の着眼点としては、原子力に関わる研究施設であるということ、核種を扱う試験であるのか否かを挙げるができる。また、地層処分は主として地下の現象を扱う分野であるので、実際の地下で行う試験か否かを分類基準とするのも適切である。これらを受けると、個々の具体的研究施設（計画も含めて）は次の特徴的な4施設に分類しうる。

- ・地上コールド試験施設

（エントリー・大学試験施設・その他研究機関のコールド施設）

- ・地上ホット試験施設

（動燃C P F・環境工学試験施設・大学試験施設・その他研究機関のホット施設）

- ・地下コールド試験施設

（地下研究施設・深地層試験場・既存空洞を用いた試験施設）

- ・地下ホット試験施設

（なし：研究開発の進展、将来の政策次第によってはその建設がありうるものの、現状においては既存施設・計画施設とも存在しない。）

その他、地層処分研究の一部である特定地域の地質調査等の諸調査をも含めると、特定の施設に関係しない“施設”相当の場として「有効な地層の分布する地域」を挙げるができる。しかしながら、これについては、本節での検討課題ではないので必要のある場合以外、検討の対象から割愛する。

### 1.5.1 施設群の特性

地上コールド試験施設、地上ホット試験施設、地下コールド試験施設、地下ホット試験施設の主要な特徴についてTable1-2にまとめる。同表における地下ホット試験施設に関する検討内容としては、施設を設けると仮定した場合の、好ましい、あるいは考えうる試験状況、試験条件を示した。

Table 1-2 (1) Characteristics of main facilities  
 主要施設の特徴

検討項目	地上施設		地下施設	
	コールド	ホット	コールド	ホット*
<b>場所・位置</b>				
・設置場所	地表	地表	地下	地下
・設置深度	—	—	-200, 300 ～1000m	(同左)
・調査対象深度	—	—	0～ 1,500m程	設置深度 付近のみ
<b>施設特性</b>				
・施設規模	小規模～大規模	小規模～大規模	大規模	大規模
・一施設の建設から 閉鎖までの期間	～数10年	～数10年	数年～ 20, 30年	10数年程
・一施設の稼働期間	～数10年	～数10年	数年～ 20, 30年	10年程
・本研究目的のみの 施設建設可能性	なし (一部あり)	あり (～一部なし)	あり	当面なし
・施設建設自体の有す る研究対象として の重要性	なし	なし	あり	あり
・他施設からの 利用可能性	大きい	あり	なし (一部あり)	なし
・他施設への 転用可能性	あり	あり	あり	なし(?)
<b>試験試料</b>				
・使用核種	安定核種	放射性核種	安定核種	放射性核種
・試験水の種類	蒸留水・水道水 模擬地下水・ 採取地下水	蒸留水・水道水 模擬地下水・ 採取地下水	水道水・ 現場地下水	現場地下水
・試験水の水質	制御～(自然)	制御～(自然)	(制御)～自然	(制御)～自然
・岩石供試体の 力学的性状	初期地圧 開放状態	初期地圧 開放状態	初期地圧状態	初期地圧状態
・岩石供試体含有水 の化学的性状	擾乱 (～未擾乱)	擾乱 (～未擾乱)	未擾乱 (～擾乱)	未擾乱
・岩石供試体の種類	種々の岩石	種々の岩石	原位置岩石 (花崗岩・堆積岩)	原位置岩石 (同左)
・岩石供試体規模	微小～数m	微小～数10cm	数10cm～ 数100m	数10cm～数m
・岩石供試体の形状	岩石粉体, 円柱 直方体	岩石粉体, 円柱 直方体	原位置形状, 一部切り出し	原位置形状
・人工バリア供試体 の種類	種々	種々	種々	種々
・人工バリア供試体 の規模	材料片 ～小規模 ～実規模	材料片 ～小規模	材料片 ～小規模 ～実規模	(材料片) ～小規模 ～大規模
・人工バリア供試体 の形状	種々	種々	種々	同等の形状

\* : 想定

Table 1-2 (2) Characteristics of main facilities  
主要施設の特徴

検討項目	地上施設		地下施設	
	コールド	ホット	コールド	ホット*
<u>試験環境条件</u>				
・試験雰囲気	制御	制御	制御～自然	制御～自然
・温度条件	室温～高温	室温～高温	原位置温度 (20～40℃)	原位置温度 (20～40℃)
・圧力条件	開放～高圧	開放～高圧	(開放)～原位置初期地圧	(開放)～原位置初期地圧
・一試験用装置の規模	数10cm～10数m	数10cm～数m	数m～数100m	数m～数10m
・一試験の実施期間	～数年	～数年	数時間～数年	数日～数年
<u>試験成果</u>				
・対象とする主要特性	基礎物性・ 力学特性・ 熱特性・ 化学特性・ 水理特性	放射線的特性・ 化学特性	基礎物性・ 力学特性・ 熱特性・ 化学特性・ 水理特性	放射線的特性・ 化学的 特性
・その他成果	ハンドリング性 ・現象理解	ハンドリング性	ハンドリング性 ・施工性	ハンドリング 性
<u>研究の位置づけ</u>				
・地層処分研究における試験成果の主たる適用段階	初期段階～ (中期段階)	初期段階～ 中期段階	初期段階～ 中期段階	中期段階 ～後期段階
・試験成果の他の原子力分野への適用性	小さい	大きい	小さい	小さい
・試験成果の基礎学問への適用性	大きい	小さい	大きい	小さい
・試験成果の原子力以外の工学分野への適用性	大きい	小さい	非常に大きい	小さい
<u>PA上の役割</u>	小さい～ 一部大きい	やや大きい	大きい	大きい
<u>研究実施主体</u>	動燃事業団 大学 国公立研究機関 民間企業	動燃事業団 大学 国公立研究機関 民間企業	動燃事業団 国公立研究機関 諸外国研究機関	動燃事業団 国公立研究 機関(?) 諸外国研究 機関(?)
<u>安全規制</u>				
・適用法規	労働安全衛生法	労働安全衛生法 障害防止法 (原子炉等規制法)	労働安全衛生法 or 鉱山保安法	労働安全衛生 法・原子炉等 規制法・障害 防止法
<u>監督官庁</u>	———	科学技術庁	(通産省)	科学技術庁

\* : 想定

これらの検討の中で、地下施設はコールド・ホット両施設とも規模の大きい施設であるが、地上施設はコールド施設としては個別の基礎的試験所のごとき小規模のものからエントリーのごとき大規模の施設があり、またホット施設としても放射性同位体を扱う比較的小規模の試験施設から環境工学試験施設のごとき大規模の施設があることに留意する必要がある。

### 1.5.2 各主要施設の研究内容の検討

地上コールド試験施設、地上ホット試験施設、地下コールド試験施設、地下ホット試験施設について、その主要な研究内容としての特徴を考察する。

#### (1) 地上コールド試験施設

地上コールド試験施設においては、地層処分研究開発課題のうち、バリア及び施設を構成する材料の基礎的物性を把握するための試験、バリア性能評価上必要ではあるが、核種の挙動把握に本質的に関わらない試験、核種の挙動評価に本質的に関わる試験であるものの、核種を除外しても取り敢えず、環境条件を把握することができ、したがって事前にその把握を行うべき試験、及び地下環境で生じる（長期的）現象の概念的把握と地下試験・ホット試験の理解を進めるための試験に分けることができる。すなわち、

#### 地上コールド試験施設における試験

- ① 基礎的物性把握試験
- ② 核種の挙動評価に本質的に関わらないバリア性能評価試験
- ③ 核種挙動評価のための環境条件の事前把握試験
- ④ 現象及び他の試験の理解に資する試験

上記各試験のモデルの開発・検証との関係では、次のように対応させることができる。

モデル開発に用いる試験：②・③

開発したモデルへの入力用データを提供する試験：①・②・③

モデルの検証に用いる試験：②・③・④

(a) 基礎的物性把握試験

本試験はバリア材（岩石・人工バリア）の基礎的物性把握試験と施設構造材の力学的長期健全性把握試験に大別できる。

(i) バリア材の基礎的物性把握試験

本試験を構成する個別の試験として以下の試験項目を挙げることができる。

- ・岩石の力学・熱・化学・水理特性把握試験
- ・地下水の化学特性把握試験
- ・緩衝材との接触及びオーバーパックスの腐食によって形成される地下水の化学特性把握試験
- ・ガラスの力学・熱・化学・浸出特性把握試験
- ・オーバーパックス材（キャニスタ材を含む）の力学・腐食特性把握試験
- ・腐食物質の化学特性把握試験
- ・圧密緩衝材の力学・熱・化学・水理特性把握試験
- ・埋め戻し材の力学・化学・水理特性把握試験
- ・プラグ・シール材の力学・化学・水理特性把握試験

(ii) 施設構造材の力学的長期健全性評価試験

本試験は地層処分場の建設・操業・閉鎖の数十年間にわたる期間、施設構造材が損傷して施工・オペレーションに支障を与えることのないよう、その設計性能を把握するために行う試験である。本項目試験は地下での実環境における調査・試験と密接な関係をしている

本試験は以下の項目で構成される。

- ・構造材（岩石・コンクリート材料・金属材料・充填材等）の力学特性試験（圧縮・せん断・引っ張り・クリープ等の条件下）
- ・施工条件を考慮した力学特性試験

処分場閉鎖後の施設の力学的健全性については、地下水移行シナリオにおいてそれらの力学的劣化時のバリアに影響を与える事象が考慮される必要があり、そのための試験はバ

リアの性能評価試験に含まれる。

(b) 核種の挙動評価に本質的に関わらないバリア性能評価試験

本試験は地下水移行シナリオのうち、地下水が廃棄体に接触して核種が浸出するまでの現象を把握するための試験である。

本試験を構成する個別の試験として以下の試験項目を挙げることができる。

- ・緩衝材の地下水による飽和過程の把握に関する試験
- ・緩衝材の地下水による飽和後の特性に関する試験
- ・同上過程の地下水の水質の把握に関する試験
- ・緩衝材の熱負荷による特性変化の把握試験
- ・オーバーパックの力学的耐久性に関する試験
- ・オーバーパックの製作方法の上記特性への影響を把握する試験

(c) 核種挙動評価のための環境条件の事前把握試験

本試験はホット試験の実施に際して、適切な試験条件を与えるために事前に行われることが望まれる試験である。本試験には供試体性状からくる試験環境条件の限界の把握、試験装置の性能範囲からくる試験環境条件の限界の把握が含まれる。地下環境の調査結果とともに、試験成果が活用される。

本試験は地下水移行シナリオを構成する特定の事象を把握する試験ごとに行われるのが望ましい。核種浸出までのシナリオに関する試験は上記(i)で述べた。浸出以降は浸出率・溶解度・分配係数・拡散係数等のパラメータを把握する際に必要な環境条件を示すパラメータとして地圧・水圧・温度・水質の各項目を挙げることができる。これらはシナリオ上想定される、及び調査により把握された環境条件を中心として、上記限界を探ることとなる。本試験は予備的な位置づけが強く、文献調査で代替しうる場合もありうる。

本試験は以下の項目で構成される。

- ・地圧条件把握試験
- ・水圧条件把握試験
- ・温度条件把握試験（地温と崩壊熱の複合によるもの）

・水質条件把握試験

(d) 現象及び他の試験の理解に資する試験

本試験はホット試験・地下試験での実施が望まれる試験について、その実施に先立って試験内容あるいは試験対象事象の理解を進めるために行う試験であり、地層処分研究従事者や政策担当者、一般公衆の現象理解の一助としうる。また、試験結果の解釈を開発したモデルの検証手段として用いることも可能である。

試験は、個別の詳細な特性、あるいは事象評価試験ではなく、大きな現象を対象とするものとなる。試験規模は大きく、例えばエントリーなどの施設で行う試験にこの種の試験の性格を持たせることが可能である。

試験項目としては以下のものを挙げうる。

- ・地質変動特性評価試験
- ・岩盤の地震動特性評価試験
- ・地下水流動特性評価試験
- ・ニアフィールド力学応答特性評価試験
- ・ニアフィールド地球化学特性評価試験

(2) 地上ホット試験施設

本施設で行われる試験は核種の特性評価、地下水移行シナリオ上の核種漏洩に関する事象評価のための試験であり、安全評価モデル・現象解析モデルの開発と密接な相互関係を有している。本試験の成果はモデルの開発のために、また入力用パラメータ値として用いられ、さらに解析結果の検証用データとして用いられる。

本試験項目は以下のごとくまとめることができる。

バリア性能評価試験

- ・核種のガラス固化体内挙動評価試験
- ・ガラス固化体からの浸出特性評価試験
- ・放射線のニアフィールドに与える影響評価試験
- ・各種水質の地下水中溶解度測定



- ・腐食生成物への収着特性評価試験
- ・緩衝材への収着特性評価試験
- ・緩衝材中拡散特性評価試験
- ・ニアフィールド及びファーフィールド岩盤内収着特性評価試験
- ・ニアフィールド及びファーフィールド岩盤内移流特性評価試験
- ・生物圏における核種の移行・摂取に関わる評価試験

上述の収着現象には様々な機構が含有されており、それぞれの機構を対象とした現象解明的試験が鋭意実施される必要がある。

さらに、以下の試験を挙げることができる。ただし、処分の実施に先立つ貯蔵等の研究開発において、地下環境をイメージした貯蔵も考えられるところであり、したがってこの種の試験も行われている可能性がある。ただし、貯蔵概念と埋設孔への処分概念が異なるものであれば、試験の必要性は増す。しかしながら、前述のバリア性能評価試験との比較においては重要性は低い。

#### 実固化体ハンドリング試験

- ・模擬地下環境における実固化体パッケージハンドリング試験

#### (3) 地下コールド試験施設

地下コールド試験施設・同試験としては、過去に行われたもの、計画中のものを含めて、以下の施設・試験を挙げることができる。

- ・下川鉾山における原位置試験（終了、輝緑岩）
- ・細倉鉾山における原位置試験（終了、凝灰岩）
- ・東濃鉾山におけるフィールド試験（実施中、堆積岩・花崗岩）
- ・釜石鉾山における既存空洞を用いた試験（実施中、花崗岩）
- ・幌延深地層試験場における深地層試験（計画中、堆積岩）
- ・人形峠事業所における地下研究施設（計画中、花崗岩）

母岩の相違による試験内容の相違は後の章で述べる。本項においては、地下コールド試験施設として総合した研究課題を示す。

1.1節で述べた主要研究課題との関係で試験目的を整理すると以下の通りとなる。

- ①安全性・性能評価のための試験研究
- ②地層処分場建設可能性評価のための試験研究
- ③サイト特性評価のための試験研究
- ④オペレーションシステム評価のための試験研究
- ⑤PA支援のための試験研究

(a) 安全性・性能評価のための試験研究

地下コールド試験の一つの主要な部分をなす試験である。他の施設での試験と試験成果が相互にやりとりされる。また、机上でのモデル開発研究とも密接な関係がある。

但し、地下の実規模の試験であるため、試験内容は以下のものにまとめられる。

ファーフィールド事象を対象としたバリア性能評価試験

- ・水理特性に影響を与える地質構造特性評価試験
- ・水理特性評価試験
- ・水理特性に影響を与える地震動特性評価試験
- ・プラグ・シールの止水性能抑制評価試験
- ・グラウトの地下水流動抑制機能評価試験
- ・空洞壁面近傍岩盤の水理特性評価試験

ニアフィールド事象を対象としたバリア性能評価試験

- ・熱負荷の水理特性への影響評価試験
- ・熱負荷の地下水化学への影響評価試験
- ・ニアフィールド規模の岩盤の水理を規定する地質構造特性評価試験
- ・ニアフィールド規模の岩盤の水理特性評価試験
- ・施工した緩衝材の性能評価試験
- ・オーバーパック候補材料の原位置腐食特性評価試験

## (b) 地層処分場建設可能性評価のための試験研究

本項目は地層処分場としての機能を有する地下施設を設計通りに建設できるかどうかを評価する試験であり、それに影響を与える事象の評価試験を含む。

本試験項目は次のようにまとめられる。

- ・立坑・横坑掘削可能性評価試験
- ・処分孔掘削可能性評価試験
- ・空洞壁面近傍岩盤の力学的挙動特性評価試験
- ・プラグギング・シーリング評価試験
- ・グラウチング評価試験
- ・坑道ライニングの力学特性評価試験
- ・空洞の地震動特性評価試験

## (c) 地質環境特性評価のための試験研究

本項目は処分予定地選定のための、また選定された処分予定地における特性把握のための調査技術に関する試験であり、調査方法の開発評価が主体となる。したがって、岩盤・地下水が試験対象となる。試験内容は以下のようにまとめられる。

- ・試験錐孔を利用したジオトモグラフィ技術開発に資する調査・試験
- ・試験錐孔を利用した深部地質構造把握技術開発に資する調査・試験
- ・試験錐孔を利用した深部地下水水理特性把握に資する調査・試験
- ・試験錐孔を利用した深部地下水水質把握に資する調査・試験
- ・各種物理探査・検層技術の性能向上に資する調査・試験

また、上記種々の調査・試験に共通の課題として、以下の解析技術開発を行う必要がある。

- ・岩盤の不均質性の評価研究（地質統計学等）
- ・孔間、孔－地表間の地下岩盤特性の評価研究

## (d) オペレーションシステム評価のための試験研究

本項目は処分場建設後の廃棄体及び緩衝材・埋め戻し材等を安全に、かつ効率的に搬入し、定置するシステムに関する試験研究である。処分場の設計には当然本項目の成果が反映されるものの、地層処分システムの主体をなすバリアシステムの設計に影響を与える項目ではない。また、他の試験項目に比して緊急性は落ちる。

一方、処分場の閉鎖に関して再取り出し性や保管としての概念を考慮するのであれば、それに関連する技術の研究開発が必要となる。また、その期間のモニタリングシステムについても考慮される必要がある。これらをまとめると以下のように示される。

- ・ 模擬廃棄体の搬入・定置システム実証研究
- ・ 緩衝材・埋め戻し材の搬入・定置システム実証研究
- ・ 立坑・横坑内資材搬入システム評価研究
- ・ 再取り出し技術評価研究
- ・ 保管システム評価研究
- ・ モニタリングシステム評価研究

## (e) PA支援のための試験研究

地層処分研究各々はそれ自体、好ましい研究成果を出すことにより、PAを支援する特長を有している。特に、オペレーションシステム評価のための試験研究がこの特徴を有している。本項では特に、PA支援を目的とした試験研究（実体はデモンストレーション）項目を挙げる。また、試験研究の概念を拡大して考慮することとする。

- ・ 坑内地下環境の現状の提示
- ・ 坑内地下環境が安全であることの提示
- ・ 坑内でのオペレーションシステムが安全であることの提示
- ・ 廃棄体定置作業が安全に行われることの提示
- ・ 地下環境でのバリアシステムの多重防護性の提示

## (4) 地下ホット試験施設

本施設の建設は政策的、社会環境的に現時点においては困難な状況にある。基本的には

地下コールド施設に核種を扱うことに伴う安全処置を施せば、その実現は技術的には可能と思われる。

本施設を建設しうるとの仮定のもとに、試験内容を考察すると以下の試験項目が挙げられる。

この際の試験内容としては、核種を直接扱う試験と実固化体パッケージを試験対象とする試験の二つに大きく分類できる。また、内容的にはバリア性能に関わる試験とハンドリングに関わる試験に分けうる。本試験成果は、地層処分の安全性を明らかにする諸試験のなかにおいては、相対的にモデル解析結果の検証手段として用いられる特徴を有している。これは、サイトスペシフィックな試験であることにもよる。

#### 核種を扱う試験

- ・バリア性能評価試験
  - ・核種移行試験（小領域、短半減期、且つ濃度分析を可能ならしめる程度の低濃度）
    - ・緩衝材・ニアフィールド岩盤複合系での核種移行試験
    - ・岩盤中での核種移行試験

#### 実固化体パッケージ試験

- ・バリア性能評価試験
  - ・実固化体パッケージ埋設による緩衝材の放射線特性評価試験
  - ・実固化体パッケージ埋設によるニアフィールド岩盤の放射線的特性評価試験
- ・実固化体ハンドリング試験
  - ・実固化体パッケージ定置試験
  - ・実固化体パッケージ再取り出し技術評価試験

上記(1)～(4)で検討した試験項目の一覧をTable 1-3(1), (2)に示す。

#### 1.5.3 F-WBS項目との対比

前項で検討した試験項目を1.2.3項で挙げたF-WBS項目と対比する。対比結果をTable 1-4～1-6に示す。

Table 1-3 (1) Examination items at main facilities  
主要施設における試験項目

主要施設名	大 分 類	小分類記号	小 分 類
地上コールド試験施設	基礎的物性把握試験 ・バリア材の基礎的物性把握試験	SC-①-①	岩石の力学・熱・化学・水理特性把握試験
		SC-①-②	地下水の化学特性把握試験
		SC-①-③	緩衝材との接触及びオーバーバックの腐食によって形成される地下水の化学特性把握試験
		SC-①-④	ガラスの力学・熱・化学・浸出特性把握試験
		SC-①-⑤	オーバーバック材の力学・腐食特性把握試験
		SC-①-⑥	腐食物質の化学特性把握試験
		SC-①-⑦	圧密緩衝材の力学・熱・化学・水理特性把握試験
		SC-①-⑧	埋め戻し材の力学・化学・水理特性把握試験
		SC-①-⑨	プラグ・シール材の力学・化学・水理特性把握試験
	・施設構造材の力学的長期健全性評価試験	SC-①-⑩	構造材（岩石・コンクリート材料・金属材料・充填材等）の力学特性試験 （圧縮・せん断・引っ張り・クリープ条件下）
		SC-①-⑪	施工条件を考慮した力学特性試験
	核種の挙動評価に本質的に関わらないバリア性能評価試験	SC-②-①	緩衝材の地下水による飽和過程の把握に関する試験
		SC-②-②	緩衝材の地下水による飽和後の特性に関する試験
		SC-②-③	同上過程の地下水の水質の把握に関する試験
		SC-②-④	緩衝材の熱負荷による特性変化の把握試験
		SC-②-⑤	オーバーバックの腐食機構の把握に関する試験
		SC-②-⑥	オーバーバックの力学的耐久性に関する試験
		SC-②-⑦	オーバーバックの製作方法の上記特性への影響を把握する試験
	核種挙動評価のための環境条件の事前把握試験	SC-③-①	地質変動特性評価試験
		SC-③-②	地圧条件把握試験
SC-③-③		水圧条件把握試験	
SC-③-④		温度条件把握試験	
SC-③-⑤		水質条件把握試験	
現象及び他の試験の理解に資する試験	SC-④-①	岩盤の地震動特性評価試験	
	SC-④-②	地下水流動特性評価試験	
	SC-④-③	ニアフィールド力学応答特性評価試験	
	SC-④-④	ニアフィールド地球化学特性評価試験	
地上ホット試験施設	バリア性能評価試験	SH-①-①	核種のガラス固化体内挙動評価試験
		SH-①-②	ガラス固化体からの浸出特性評価試験
		SH-①-③	放射線のニアフィールドに与える影響評価試験
		SH-①-④	各種水質の地下水中核種溶解度測定
		SH-①-⑤	腐食生成物への収着特性評価試験
		SH-①-⑥	緩衝材への収着特性評価試験
		SH-①-⑦	緩衝材中拡散特性評価試験
		SH-①-⑧	ニアフィールド及びファーフィールド岩盤内収着特性評価試験
		SH-①-⑨	ニアフィールド及びファーフィールド岩盤内移流特性評価試験
		SH-①-⑩	生物圏における核種の移行・摂取に関わる評価試験
	実固化体ハンドリング試験	SH-②-①	模擬地下環境における実固化体パッケージハンドリング試験

Table 1-3 (2) Examination items at main facilities  
 主要施設における試験項目

主要施設名	大 分 類	小分類記号	小 分 類
地下コールド試験施設	安全性・性能評価のための試験研究 ・ファーフールド事象を対象としたバリア性能評価試験	UC-①-①	水理特性に影響を与える地質構造特性評価試験
		UC-①-②	水理特性評価試験
		UC-①-③	水理特性に影響を与える地震動特性評価試験
		UC-①-④	プラグ・シールの止水性能評価試験
		UC-①-⑤	グラウトの地下水流動抑制機能評価試験
		UC-①-⑥	空洞壁面近傍岩盤の水理特性評価試験
	・ニアフィールド事象を対象としたバリア性能評価試験	UC-①-①	熱負荷の水理特性への影響評価試験
		UC-①-②	熱負荷の地下水化学への影響評価試験
		UC-①-③	ニアフィールド規模の岩盤の水理を規定する地質構造特性評価試験
		UC-①-④	ニアフィールド規模の岩盤の水理特性評価試験
		UC-①-⑤	施工した緩衝材の性能評価試験
		UC-①-⑥	オーバーバック候補材料の原位置腐食特性評価試験
	地層処分場建設可能性評価のための試験研究	UC-②-①	立坑・横坑掘削可能性評価試験
		UC-②-②	処分坑掘削可能性評価試験
		UC-②-③	空洞壁面近傍岩盤の力学的挙動特性評価試験
		UC-②-④	ブラッキング・シーリング評価試験
		UC-②-⑤	グラウチング評価試験
		UC-②-⑥	坑道ライニングの力学特性評価試験
		UC-②-⑦	空洞の地震動特性評価試験
	地質環境特性評価のための試験研究	UC-③-①	試錐孔を利用したジオトモグラフィ技術開発に資する調査・試験
		UC-③-②	試錐孔を利用した深部地質構造把握技術開発に資する調査・試験
		UC-③-③	試錐孔を利用した深部地下水水理特性把握技術開発に資する調査・試験
		UC-③-④	試錐孔を利用した深部地下水水質把握技術開発に資する調査・試験
		UC-③-⑤	各種物理探査・検層技術の性能向上に資する調査・試験
		UC-③-⑥	(岩盤の不均質性の評価研究、地質統計学等による)
		UC-③-⑦	(孔間、孔一地表間の地下岩盤特性の評価研究)
	オペレーションシステム評価のための試験研究	UC-④-①	模擬廃棄体の搬入・定置システム実証研究
		UC-④-②	緩衝材・埋め戻し材の搬入・定置システム実証研究
		UC-④-③	立坑・横坑内資材搬入システム評価研究
		UC-④-④	再取り出し技術評価研究
UC-④-⑤		保管システム評価研究	
UC-④-⑥		モニタリングシステム評価研究	
PA支援のための試験研究	UC-⑤-①	坑内地下環境の現状の提示	
	UC-⑤-②	坑内地下環境が安全であることの提示	
	UC-⑤-③	坑内でのオペレーションシステムが安全であることの提示	
	UC-⑤-④	廃棄体定置作業が安全に行われることの提示	
	UC-⑤-⑤	地下環境でのバリアシステムの多重防衛性の提示	
	UC-⑤-⑥		
地下ホット試験施設	核種を扱う試験 ・バリア性能評価試験	UH-①-①	緩衝材・ニアフィールド岩盤複合系での核種移行試験
		UH-①-②	岩盤中での核種移行試験
	実固化体パッケージ試験 ・バリア性能評価試験	UH-②-①	実固化体パッケージ埋設による緩衝材の放射線の特性評価試験
		UH-②-②	実固化体パッケージ埋設によるニアフィールド岩盤の放射線の特性評価試験
	・実固化体ハンドリング試験	UH-②-③	実固化体パッケージ定置試験
		UH-②-④	実固化体パッケージ再取り出し技術評価試験

Table 1-4 Comparison between the items of F-WBS and the examination items at the underground cold research facilities  
地上コールド試験施設における試験項目のF-WBS 項目との対比

F-WBS項目 施設ごとの 検討試験名 大分類名 小分類記号		地層処分の必要性の明示 に資する研究							地層処分に関する我が国固有 の条件の明示に資する研究						地層処分システムの技術的実現性 の明示に資する研究						地層処分の 経済性評価 研究						地層処分システムの長期的性能の明確化に資する研究														
		地層処分シナリオの検討 地層処分システムの検討 技術的実現可能性の検討 安全性の検討 経済性の検討 政策上の適合性の検討 環境影響評価							処分予定地選 定に直に関わ らない調査			処分予定地 選定のため の調査			処分予 定地にお ける調査			システム設計上 の要件の検討			システム仕様 の設定に資 する研究			研究開 発費用の 算出			建設開 始前 ・開 業 ・閉 鎖 の 取 得			シナリオ 解析 ・取 得			影響解 析 ・取 得			影響解 析 ・取 得			影響解 析 ・取 得		
									室内試験	フィールド調査・試験	フィールド調査・試験	地質環境調査	社会環境調査	廃棄物 の 取 得	法的 要 件 の 取 得	建設 各 業 に 関 する 性 能 の 取 得	安全 性 の 取 得	構成 要 素 の 取 得	建設 各 業 に 関 する 性 能 の 取 得	建設 各 業 に 関 する 性 能 の 取 得	建設 各 業 に 関 する 性 能 の 取 得	建設 各 業 に 関 する 性 能 の 取 得	建設 各 業 に 関 する 性 能 の 取 得	建設 各 業 に 関 する 性 能 の 取 得	建設 各 業 に 関 する 性 能 の 取 得	建設 各 業 に 関 する 性 能 の 取 得	建設 各 業 に 関 する 性 能 の 取 得	建設 各 業 に 関 する 性 能 の 取 得	建設 各 業 に 関 する 性 能 の 取 得	建設 各 業 に 関 する 性 能 の 取 得	建設 各 業 に 関 する 性 能 の 取 得	建設 各 業 に 関 する 性 能 の 取 得	建設 各 業 に 関 する 性 能 の 取 得	建設 各 業 に 関 する 性 能 の 取 得	建設 各 業 に 関 する 性 能 の 取 得	建設 各 業 に 関 する 性 能 の 取 得	建設 各 業 に 関 する 性 能 の 取 得	建設 各 業 に 関 する 性 能 の 取 得	建設 各 業 に 関 する 性 能 の 取 得	建設 各 業 に 関 する 性 能 の 取 得	
長期健全性評価試験	核種の挙動評価 に本質的に関 わらないバリア 性評価試験	核種挙動評価のための 環境条件の事前把握試験	現象及び他の試験の 理解に資する試験	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
基礎的 物性把握 試験	バリア材の基礎 的物性把握試験	SC-①-①																																							
	施設構造材の力学的 長期健全性評価試験	SC-①-⑩			○													○																							
	核種の挙動評価 に本質的に関 わらないバリア 性評価試験	SC-②-①																																							
	核種挙動評価のための 環境条件の事前把握試験	SC-③-①																																							
	現象及び他の試験の 理解に資する試験	SC-④-①																																							
		SC-④-②			○																																				
		SC-④-③			○																																				
		SC-④-④			○																																				
		SC-④-⑤			○																																				



Table 1-5(1) Comparison between the items of F-WBS and the examination items at the underground cold facilities  
 地下コールド試験施設における試験項目のF-WBS 項目との対比

F-WBS項目  施設ごとの 検討試験名  大分類名 小分類記号	地層処分の必要性の明示 に資する研究							地層処分に関する我が国固有 の条件の明示に資する研究				地層処分システムの技術的実現性 の明示に資する研究					地層処分の 経済性評価 研究	地層処分システムの長期的性能の明確化に資する研究														
	地層 処分 シナリオ の 検討	地層 処分 シス テム の 検討	技 術 的 実 現 可 能 性 の 検 討	安 全 性 の 検 討	経 済 性 の 検 討	政 策 上 の 適 合 性 の 検 討	環 境 影 響 評 価	処分予定地選 定に直性関わ らない調査		処分予定地選 定のため の調査		システム設計上の 要件の検討		システム仕様 の設定に資す る研究			研 究 開 発 費 用 の 算 出	長期的性能の評価				長期的性能の保証のため の研究(解析手法・結果の信 頼性評価)										
								室内試験		フィールド調 査・試験		フィールド調 査・試験		地質環境調 査		社会環境調 査		構築仕 要様の 検討能 ・設定		建設各 種の 操業に 対する 費用の 算出		シナリオ解析		影響解析		長期結 果の 現像性 に 対し る 評 価						
								ナ チ ュ ラ ル ア ナ ロ グ 研 究		フ ィ ー ル ド 調 査 ・ 試 験		フ ィ ー ル ド 調 査 ・ 試 験		地 質 環 境 調 査		社 会 環 境 調 査		構 造 仕 要 様 の 検 討 能 ・ 設 定		建 設 各 種 の 操 業 に 対 す る 費 用 の 算 出		シ ナ リ オ 解 析		影 響 解 析 モ デ ル の 作 成		評 価 手 法 の 正 当 性 の 明 示		長 期 結 果 の 現 像 性 に 対 し る 評 価		長 期 結 果 の 現 像 性 に 対 し る 評 価		
								廃 棄 カ ラ イ の 象 物 件 の 検 討		法 的 要 件 の 検 討		建 設 各 業 安 全 操 業 に 性 能 に 対 し る 要 件 の 検 討		構 造 仕 要 様 の 検 討 能 ・ 設 定		建 設 各 種 の 操 業 に 対 す る 費 用 の 算 出		シ ナ リ オ 解 析		影 響 解 析 モ デ ル の 作 成		評 価 手 法 の 正 当 性 の 明 示		長 期 結 果 の 現 像 性 に 対 し る 評 価		長 期 結 果 の 現 像 性 に 対 し る 評 価						
研究		建設		建設		建設		建設		建設		建設		建設		建設		建設		建設		建設										
安全性・ 性能 の 評価 試験 研究	ファーフィールド 事象を対象とした バリア性能評価試験	UC-①-①																														
		UC-①-②																														
		UC-①-③																														
		UC-①-④																														
		UC-①-⑤																														
		UC-①-⑥																														
	ニアフィールド事 象を対象としたバ リア性能評価試験	UC-①-⑦																														
		UC-①-⑧																														
		UC-①-⑨																														
		UC-①-⑩																														
		UC-①-⑪																														
		UC-①-⑫																														
地層処分建設可能性 評価のための試験研究	UC-②-①																															
	UC-②-②																															
	UC-②-③																															
	UC-②-④																															
	UC-②-⑤																															
	UC-②-⑥																															
	UC-②-⑦																															

注) ○: 相当する試験、あるいは含まれる試験

Table 1-5(2) Comparison between the items of F-WBS and the examination items at the underground cold facilities  
 地下コールド試験施設における試験項目のF-WBS との対比

F-WBS項目 施設ごとの 検討試験名  大分類名 小分類記号		地層処分の必要性の明示に資する研究								地層処分に関する我が国固有の条件の明示に資する研究						地層処分システムの技術的実現性の明示に資する研究						地層処分の経済性評価研究		地層処分システムの長期的性能の明確化に資する研究												
		地層処分シナリオの検討		地層処分システムの検討	技術的実現可能性の検討	安全性の検討	経済性の検討	政策上の適合性の検討	環境影響評価	処分予定地選定に直性関与しない調査		処分予定地選定のための調査		処分予定地における調査		システム設計上の要件の検討		システム仕様の設定に資する研究		研究開発費用の算出	建設・開業および評価と廃止の検討	長期的性能の評価				長期的性能の保証のための研究(解析手法・結果の信頼性評価)										
										室内試験	フィールド調査・試験	フィールド調査・試験	地質環境調査	社会環境調査	法的要件の検討	建設各業安全段安全性に性的・お・要閉け長件鎖る期の的	構成要素の検討	建設各段の操業に討・お・閉け設鎖る定の工	シナリオ検討			解析用データの取得	発生確率の検討	影響解析モデルの作成	影響解析用データの取得	評価手法の正当性の明示	長期結果の象対性する明評示価	長期適的現象と明につ比較てにのよ観る	複合結果の象対性する明評示価	従来びの差評異の例分と折の比較及						
										地層処分シナリオの検討	フィールド調査・試験	フィールド調査・試験	地質環境調査	社会環境調査																						
地質環境特性評価のための試験研究	UC-③-①									○	○											○														
	UC-③-②			○						○	○																○									
	UC-③-③			○						○	○																○									
	UC-③-④			○						○	○																○									
	UC-③-⑤			○						○	○																○									
オペレーションシステム評価のための試験研究	UC-④-①		○	○																			△													
	UC-④-②		○	○															○																	
	UC-④-③		○	○																																
	UC-④-④		○	○																																
	UC-④-⑤		○	○																																
	UC-④-⑥		○	○																																
PA支援のための試験研究	UC-⑤-①																																			
	UC ⑤ ②																																			
	UC ⑤ ③																																			
	UC ⑤ ④																																			
	UC ⑤ ⑤																																			

注) ○: F-WBS試験項目に相当あるいは一部含まれる試験, △: F-WBS試験項目への入力データを与える試験

Table 1-6 Comparison between the items of F-WBS and the examination items at the ground and underground facilities  
地上ホット及び地下ホット試験施設における試験項目のF-WBS項目との対比

施設ごとの 検討試験名		F-WBS項目		大分類名		小分類記号		地層処分システムの長期的性能の明瞭化に資する研究						地層処分の経済性評価研究															
								地層処分の必要性の明示に資する研究						地層処分システムの技術的実現性の明示に資する研究						長期的性能の評価			長期的性能の保証のための研究(解析手法・結果の信頼性評価)						
								地層処分シナリオの検討		技術的実現可能性の検討		安全性の検討		経済性の検討		政策上の適合性の検討		環境影響評価		地層処分に関する我が国固有の条件の明示に資する研究		地層処分システム設計上の要件の検討		システム仕様設定に資する研究		シナリオ解析		影響解析	
								室内試験	フィールド調査・試験	フィールド調査・試験	地質環境調査	社会環境調査	処分予定地選定に直に関わらない調査	処分予定地選定のための調査	処分予定地における調査	廃棄体からの対象物の検討	法的要件の検討	建設各業安全・段操縦全性の検討	構成仕様の検討	建設各段の操縦検査・お・閉鎖の工	研究開発費用の算出	建設・開発の検討	シナリオ解析	解析用データの取得	発生確率の検討	影響解析モデルの作成	影響解析の実施	評価手法の正当性の明示	長期結実の象徴に合対性する明示
地上 ホット 試験	バリア性能評価試験	SH-①-①																											
		SH-①-②																											
		SH-①-③																											
		SH-①-④																											
		SH-①-⑤																											
		SH-①-⑥																											
		SH-①-⑦																											
		SH-①-⑧																											
		SH-①-⑨																											
		SH-①-⑩																											
	実固化体ハンドリング試験	SH-②-①																											
地下 ホット 試験	核種を扱う試験	7/7性能評価試験	UH-①-①																										
			UH-①-②																										
	実固化体パッケージ試験	7/7性能評価試験	UH-②-①																										
			UH-②-②																										
	実固化体ハンドリング試験	UH-②-③																											
		UH-②-④																											

注) ○: 相当する試験、あるいは含まれる試験

#### 1.5.4 地層処分の実現に向けた各施設間の相互関係

地層処分の実現に向けて、今後鋭意研究開発がなされ、第2段階（前半、後半）、第3段階を経て、第4段階の処分場の建設・操業に到達する。それまでの、本節で検討している主要4施設は次のような相互関係のもとに、運営されていくことが適切である。

地上コールド施設は基礎データの鋭意提供と、他の施設での試験条件の提供を担う。一部はシナリオ解析・影響解析の検証としての役割を担う。

地下コールド試験施設は地上コールド試験施設に対して、規模・原位置等の加味された比較データを提供する。また、地上ホット試験施設に対しても、比較データの提供と原位置環境の試験条件（状況）の提供を担う。また、一部、シナリオ解析・影響解析の検証の場を提供する。また、将来の処分予定地における処分技術の実証のためのハンドリング技術の提供を行いうる。

地上ホット試験施設は核種・廃棄体に関するデータを提供するとともに、シナリオ解析・影響解析の検証の場を提供する。また、地下ホット試験施設の実現の有無に関わらず、将来の処分予定地における処分技術の実証に対する基礎データを提供する。

想定しうる地下ホット試験施設は地上ホット試験施設に対して、比較データの提供をする。また、将来の処分予定地における処分技術の実証試験のあり方に関する情報を提供する。

以上の関係をFig.1-5に示す。

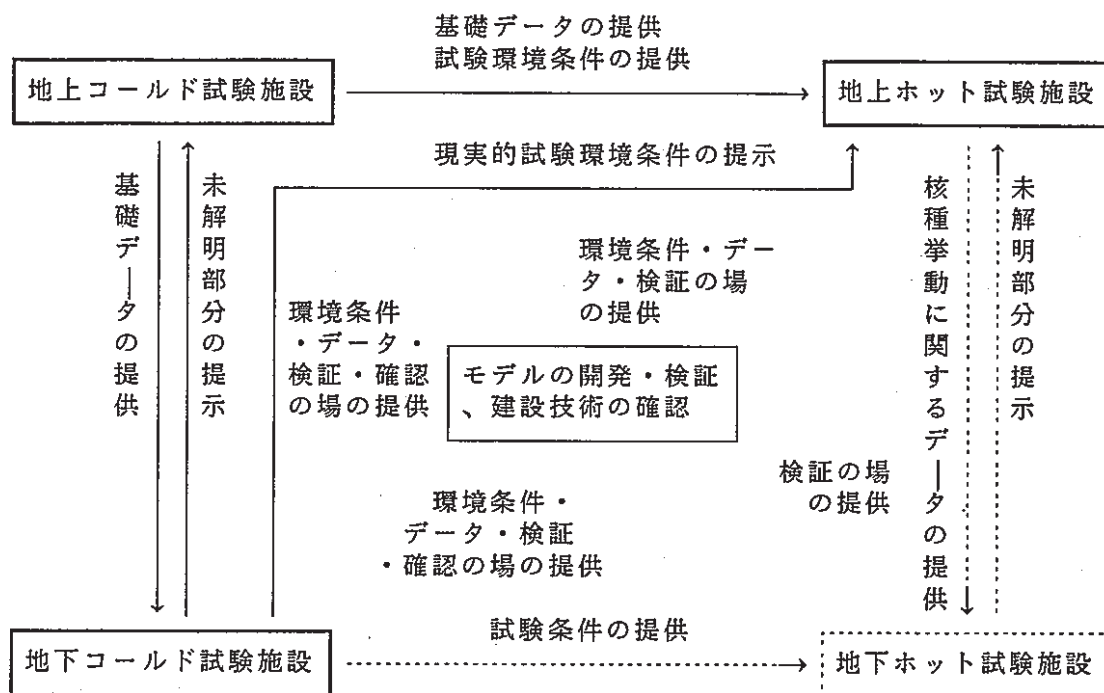


Fig. 1 - 5 Mutual relationship of main four facilities  
 主要 4 施設の相互関係

## 2. 地下研究施設の位置づけの検討

前章の検討結果と深地層試験場を対象として実施されてきた施設の位置づけ及び試験内容の検討結果をもとに本章において地下研究施設の位置づけの検討を行う。

まず、昨年度までの深地層試験場を対象とした成果を総括し、海外での検討事例をも対象として、試験内容を検討する。そして、既存空洞及深地層試験場との対比を行い、前章での検討結果を十分考慮して処分研究計画の中での地下研究施設の位置づけを検討する。

### 2.1 深地層試験場に関する試験内容の検討の整理

昭和62年度まで、堆積岩の分布する幌延地域に建設が計画されている貯蔵工学センターの一主要施設である深地層試験場において実施されるべき試験内容の検討が行われてきた。本章においては、深地層試験場における調査試験項目とそれら項目が挙げられた意義について整理する。

深地層試験場において地層処分技術に関する研究開発を実施する主要な目的は以下の3項目として示されている。

- ① サイト選定に必要とされる地表から地下深部の広大な岩体の特性を把握するための調査手法を、開発・検証すること（地質環境特性評価技術開発）
- ② 地層処分システム設計のための天然バリア・人工バリアのメカニズム研究を行い、モデリング技術、施設の設計・施工技術を開発し、検証すること（処分技術開発）
- ③ わが国の地下深部岩盤の諸特性に関する情報を取得し、設計研究に必要なデータとすること（データの取得）

そして、実核種を用いる試験や、現象の機構解明のための室内実験等環境工学試験施設において実施されるべき試験項目を除いた以下の項目が深地層試験場において行われるべき調査・試験項目として挙げられた。

基礎物性

- ・岩盤の特性に関する調査

水理特性

- ・水文特性に関する調査・試験
- ・深地層における水理機構の調査
- ・岩盤の透水性に関する試験

熱特性

- ・地下水挙動に対する熱の影響に関する試験
- ・岩盤に対する熱の影響に関する調査・試験

力学特性

- ・建設技術と岩盤の安定性に関する調査・試験
- ・掘削による岩盤の劣化に関する試験

施設性能

- ・施設の長期健全性に関する観測

バリア性能

- ・人工バリアに関する試験
- ・充填材、プラグ等の性能確認試験
- ・廃棄物パッケージ材料の健全性試験

その他

- ・地震動の観測
- ・ハンドリングシステムの実証試験

上記調査・試験項目を事前調査段階・施工段階・試験坑道完成段階の3段階に対応させて整理した調査試験項目はTable 2-1 のとおりである。

Table 2-1(1) Investigations and the examinations required at the geological laboratories  
 深地層試験場において実施すべき調査試験

研究課題	研究の目的	調査・試験項目		調査・試験内容	調査・試験手法	時期	意義		
							計画・選定技術開発	処分技術開発	データの取得
サイトの水理機構の調査	地層処分の安全評価は、地下水移行シナリオに従う。そこで地下水の流れを規定する水理機構と水理機構を規定する地質構造を評価スケールに応じたサイズで調査する。	地質構造調査	H-1	広範囲大規模地質構造、地質区分を明らかにし、流動系の区分を行う。	・地質調査 ・物理探査 ・孔内探査	事前調査段階	○		○
		水文調査	H-2	地表水理データを把握する。	・気象観測 ・地表水文調査		○		○
		地下水賦存状況調査	H-3	地層、構造との関係における地下水賦存状況を把握する。	・水質分析、年代測定 ・地下水圧測定		◎	◎	○
		透水性に関する調査	H-4	地下水流動系を規定する水理特性値を求める。	・孔内透水性試験		◎	○	○
		岩盤割れ目調査	H-5	小規模な不連続の分布・性状が水理特性に与える影響を把握する。	・孔内観察 (BTV等) ・ボーリングコア観察		◎	○	
岩盤の力学特性に関する調査試験	地下深部の空洞の安定性は、地圧条件と岩盤の力学特性で規定される。また、水理特性や岩盤の熱的・力学特性は地圧応力に依存する。そこで、岩盤の力学特性と地圧状態を明らかにする。	ボーリング孔を利用した力学特性の調査	M-1	深部岩盤の力学特性、特に変形・強度定数を把握する。	・室内試験 ・孔内探査 (PS検層) ・孔内載荷・せん断試験 ・孔内三軸試験	施工段階	◎		○
		初期地圧測定	M-2	地下深部の乱されていない状態の岩盤の応力分布状況を把握する。	・水圧破砕法 (スリーブフラクチャリング)		○		○
深地層における水理機構の調査	立坑・坑道掘削に伴う地下水理の変化を把握する。同時に、この変化から空洞周辺の水理機構を明らかにする。	立坑掘削に伴う地下水挙動調査	H-6	ボーリング孔を利用して立坑の建設に伴う周辺地下水の挙動を把握する。	・間隙水圧分布測定 ・トレーサー試験 (断層を含む) ・流向、流速測定 (坑内流速) ・地下水位測定	施工段階		○	○
		深地層試験場周辺の地下水挙動に関する調査	H-7	試験場周辺の地下水挙動を調査し、事前調査の結果と比較検討する。	・孔内透水性試験 ・孔内観察 ・地下水分析 ・間隙水圧測定			◎	
岩盤の力学特性に関する現位置試験	深地層試験場の合理的な設計を行うための岩盤の変形・強度特性を把握する。また、事前調査の精度を確認するためのデータを取得する。	現位置岩盤試験	M-3	岩盤の力学定数を取得する。	・平板載荷試験 ・岩盤せん断試験 ・岩盤クリープ試験 ・現位置動的繰返し試験	施工段階			◎
		初期地圧測定	M-2	岩盤内の応力状態を把握する。	・応力開放法				◎
深地層における地質環境特性調査	事前調査によって予測した地下の地質環境の予測精度を評価し、最終的な試験実施位置を選定するための基礎データを集積するとともに、建設時の安全確保のための探査を行う。	坑内地質調査	G-1	地表からの物理探査やボーリング孔を利用した各種検層等の結果から予測された地質状況を空洞内で直接確認するための地質構造調査を実施する。	・空洞壁面観察	施工段階		○	
		坑内探査	G-2	掘削時の安全確保ならびに試験結果への影響把握のために、ガスや圧力水あるいは炭化物等の分布状況を探査する。	・地中レーダー探査 ・先行ボーリング		○		○
掘削による岩盤の劣化に関する試験	岩盤内に掘削した立坑や坑道の壁面近傍の岩盤では、掘削前に比べて亀裂が拡大し、透水性の増大する可能性がある。そこで、立坑および坑道の掘削による壁面近傍岩盤の劣化状況を把握する。	立坑掘削による壁面近傍岩盤の劣化に関する試験	E-1	立坑、水平坑道の掘削に伴うゆるみ域の発生とその力学特性・水理特性の変化を把握する。	・岩盤変位、地圧変化測定 ・間隙水圧、透水性、その他の物性変化測定	施工段階		◎	
		坑道の掘削による壁面近傍岩盤の劣化に関する試験	E-2					○	



Table 2-1(2) Investigations and the examinations required at the geological laboratories  
 深地層試験場において実施すべき調査試験

研究課題	研究の目的	調査・試験項目	調査・試験内容	調査・試験手法	時期	意義		
						サト選定技術開発	処分技術開発	データの取得
充填材、プラグ等の性能確認試験	良好な岩盤中に処分場を立地させても、立坑、調査ボーリング孔等の人工的に形成された水みちを確実にシールしなければならない。これらの処置については、小規模室内試験性能を確認しておくが、大規模施工によっても同様の性能を実現できるか確認しておく。	ボアホールプラグ試験	A-1 地表から坑道掘削深度までに分布する岩石を対象として、ボアホールプラグ技術の確認試験を行う。	・立坑中心孔のプラグギング ・立坑掘削時のプラグ状況調査	施工段階		○	
深地層における水理機構の調査	核種の移行媒体である地下水の流動系を地質構造との関係において把握する。	深地層試験場周辺の地下水挙動に関する調査	H-7 試験場周辺の広域的な地質構造と地下水挙動を長期連続的に調査する。	・間隙水圧測定 ・坑内湧水量測定 ・地下水分析、年代測定 ・クロスホールテスト ・揚水/回復試験	運		◎	○
		地下深部における小規模掘削目系の調査	H-8 小規模な掘削目系の分布・性状が水理特性に与える影響を把握する。	・孔内観察 ・孔内透水性試験			○	○
岩盤の透水性に関する試験	地下水の流れを規定する主要な特性である岩盤の透水性を評価する。	岩盤の透水性試験	P-1 比較的大きい規模の岩盤ブロックの平均的透水係数を把握し、これに影響を与える掘削目系の規模、性状を明らかにするとともに、孔内透水性試験結果との関係性を評価する。	・ベンチレーションテスト	運		◎	◎
		不飽和岩盤の透水性試験	P-2 強制的に不飽和にした岩盤の平均的透水係数をもとめる。	・ベンチレーションテスト			○	
岩盤の核種収着能に関する	天然バリアの機能を考える上で重要な漏れ核種の地層環境内における移行の遅延状況を把握する。	岩盤の核種収着能試験	P-3 実際の地下水条件ならびに水理地質的環境条件における核種収着能を求めめる。	・トレーサー試験 (断層内トレーサー含む)	転		◎	
地下水挙動に対する熱の影響に関する試験	処分坑道周辺のニアフィールドにおいて、廃棄体の発熱によって地下水流動システムがうける影響を把握する。	熱応力状態下の透水性試験	P-4 廃棄体定置後の岩盤温度を想定し、その温度範囲内における透水性等の変化を求めめる。	・水圧、水温を変化させた水室試験 ・室内透水試験				○
深地層における化学的特性の調査	岩石、地下水の化学的特性の把握およびそれらに影響をあたえる諸因子に関するデータの収集を行う。	水質調査	C-1 湧水の水質調査を行い、地層、岩相別の水質、化学成分を把握する。また、岩盤温度が水質に与える影響を把握する。	・水質分析	階			◎
		岩石学、鉱物学的調査	C-2 各地層、岩相別の鉱物組成、化学組成を把握する。	・岩石鑑定 ・化学分析				◎
岩盤に対する熱の影響に関する試験	廃棄体の発熱に伴う周辺岩盤内の温度上昇特性ならびに、温度上昇時の熱的、力学的特性を把握する。	現位置熱物性試験(室内試験?)	T-1 岩盤内の温度分布予測に必要な特性値を求めめる。	・点熱源を用いた3次元温度測定(タイムスケール試験)	階			◎
		シングルヒーター試験	T-2 実規模岩盤の熱応力挙動ならびに熱的な強度を把握する。	・シングルヒーター試験			○	○
		フラットジャッキ試験	T-3 岩盤の高温下の変形特性と熱応力の予測に必要な特性値を把握する。	・ヒーテッドフラットジャッキ試験			○	○
掘削による岩盤の劣化に関する試験	立坑および坑道を工法を変えて掘削し、掘削工法が周辺岩盤の劣化に及ぼす影響を把握する。異なる地層境界付近の挙動も把握する。	立坑周辺岩盤の劣化に関する掘削工法の比較試験	E-3 立坑、水平坑道を数種の発破工法、機械掘削工法を用いて試験的に掘削しこれにともなうゆるみ域の発生状況と、その力学特性、水理特性の変化を把握する。	・試験掘削に伴う岩盤変位、地圧変化、間隙水圧変化の測定 ・試験掘削前後の岩盤の変形性、透水性の変化測定 ・弾性波探査(ゆるみ調査)	階		○	
		坑道周辺岩盤の劣化に関する建設工法の比較	E-4					◎
空洞の長期健全性に関する試験	地質処分施設では、固化体に格納を開始してから格納を終了し閉鎖するまでには、一般の土木構造物の耐用年数を上回る期間を必要とする場合が考えられる。そこで、試験坑道を長期観測することによって、長期安定性に関する技術を開発し検証する。	長期健全性観測試験	E-5 E-4試験において掘削工法、支保方法等を変えて建設工法の比較を行った試験坑道に対して、長期間の安定性モニタリングを行う。また、T-2試験を長期に持続し熱応力環境下の長期安定性をモニタリングする。	・岩盤変位、地圧変化、間隙水圧変化の長期計測 ・岩盤の変形性、透水性の時間経過に伴う変化の把握 ・シングルヒーター試験の持続			◎	

Table 2-1(3) Investigations and the examinations required at the geological laboratories  
 深地層試験場において実施すべき調査試験

研究課題	研究の目的	調査・試験項目	調査・試験内容	調査・試験手法	時期	意義		
						技術開発	処分技術開発	データの取得
充填材、プラグ等の性能確認試験	立坑、坑道、調査ボーリング等の人工的に形成された水みちを確実にシールし、天然に存在する割れ目や坑道周辺の劣化帯を改良する技術を確認する。これらの人工的な処置については、小規模室内試験で技術開発を行うが、土木技術による大規模施工によっても同様の性能が実現できることを確認する。	ポアホールプラグ試験 A-1	地表から坑道掘削深度までに分布する岩石を対象として、ポアホールプラグング技術の確認試験を行う。	・オーバコアリングによるプラグ部の採取と性能確認	運		○	
		埋め戻し材及び壁面近傍岩盤の透水性試験 A-2	坑道を埋め戻し材を用いて一定方法で充填、閉塞し周辺岩盤を含めた埋め戻し部位の透水性を評価する。	・埋め戻し材の試験施工 ・ベンチレーションテスト			◎	
		埋め戻し材とプラグの止水性能試験 A-3	立坑を埋め戻し材とプラグを用いて閉塞し、周辺岩盤を含めた埋め戻し、プラグ部分の透水性を求め、埋め戻し材とプラグの止水性能を評価する。	・埋め戻し材とプラグの試験施工 ・ベンチレーションテスト			◎	
		グラウトの止水性能試験 A-4	グラウトによって改善した岩盤部分の透水性を求め、グラウト止水性能を評価する。	・A-2試験のグラウティング ・ベンチレーションテスト			○	
廃棄物パッケージの健全性に関する試験	廃棄物パッケージの研究は主として室内試験によって行うべきものであるが、室内試験結果の検証のために、地下深部の地球化学条件下で簡単な耐久性の試験を実施する。	廃棄物パッケージの材料健全性評価 A-5	廃棄物パッケージ材料を現位置条件下に定置して、材料の変質状況を観測する。	・パッケージ材料の耐久性試験	転		○	
地震動、地殻変動に関する調査	地下深部岩盤内空洞の耐震安全性を定量的に保証し、地下深部における地殻変動状況を明らかにするための観測を実施する。	地震動の観測 S-1	地下深部の地震動特性および地下空洞の地震時挙動を把握する。	・断層内加圧変動観測 ・加速度計を用いた地震動の観測 ・ひずみ計を用いた地震時のひずみ分布の測定			○	◎
		地殻変動観測 S-2	岩盤内の応力、ひずみ分布が長期間にわたるゆっくりとした地殻の変動によって、どのように変化するかその傾向を把握する。	・精密変ひずみ測定(長期) ・震度測定地震計によるモニタリング		○		○
ハンドリングシステムに関する試験	実規模固化体を用いてハンドリングシステムの適用性を確認するとともに、このシステムのオペレーション状況を公開し広報活動の一環とする。	ハンドリングシステムの適用化試験 M0-1	深地層試験場の一角に模擬処分施設を設置し、固化体のハンドリング機器、エレベーター運搬機器等の適用化試験を実施する。また、これらの機器を用いたハンドリング作業を常時公開できる体制を整える。	・ハンドリングシステムのモックアップ試験	階		◎	
実証試験技術の予備的開発	人工バリア、天然バリアの総合性能を実証するための予備的な試験として、コールドによる原位置の処分模擬試験を行い、人工バリアと天然バリアの実処分条件下での現象を観測するための総合試験の技術を開発する。	人工バリア・天然バリアの総合試験 Ba-1	実際の処分と同等の条件下で実物スケールのコールド試験を実施する。	・実規模コールド試験(バップファマス試験)				◎
岩盤内の物質移行に関する調査試験	長時間の岩石物性変化、熱負荷あるいは掘削に伴う温度分布の変化による水質変化を把握する。	水質調査 岩石学、鉱物学的調査	坑道の埋め戻しによる地下水水質の復元過程に関するメカニズムの把握。 グラウト、プラグ、シールによる周辺地層内の水質変化の把握	・立坑、横坑周辺の岩盤の化学的特性の変化のモニタリング(酸化還元電位、鉱物組成、いおう含有量等)			◎	◎

## 2.2 海外事例調査による本試験内容の整理

本節においては、海外の地下研究施設（及びそれに相当する施設）での試験実施内容（計画を含む）を整理する。

そのとりまとめは動燃事業団殿の三菱金属㈱への委託研究「貯蔵工学センター処分研究施設の活用に関する調査（Ⅱ）（昭和62年度）」の研究成果を参照して行う。

Table 2-2 にそのとりまとめ結果を示す。米国ハンフォードは玄武岩を対象とした地質環境であり、検討の対象から除外した。対象地域は以下の通りである。同表では、岩塩層と粘土層は堆積岩に含めて整理した。

### 花崗岩地域

- ・ネバダクライマックス（米国）
- ・ホワイトシェルURL（カナダ）
- ・グリムゼル（スイス）
- ・ストリパ（スウェーデン）

### 堆積岩（岩塩・粘土層）地域

- ・WIPP（米国）
- ・モル（ベルギー）

Table 2-2 (1) Study of the contents of the discussion at the underground facilities in several foreign countries  
諸外国における地下研究施設試験内容の検討

目的	試験研究項目		諸外国における試験項目・内容	岩石		対応する段階			
	研究題目	研究項目		調査	建設	調査	建設	作業	
地層 処 分 の 安 全 性 の 実 証	天然バリアの研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>水理機構及び水理機構に影響を与える地質構造の把握</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>大規模及び中規模な割れ目の調査</li> <li>小規模割れ目の調査</li> <li>地下水の賦存に関する調査</li> <li>立坑掘削に伴う地下水流動調査</li> <li>深地層試験場周辺の地下水挙動に関する試験</li> <li>地下深部における小規模な割れ目の調査</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地形調査、降水量・蒸散量調査、水位分布測定、飽和滞水域の深度調査(Climax)</li> <li>地表踏査・リニアメント解析・岩石試料分析による地下水流動に関連する地質構造の把握(Whiteshell)</li> <li>地表水理データの把握(Whiteshell)</li> <li>立坑掘削前後にわたる水位変化の把握(Whiteshell)</li> <li>建設に伴う施設周辺地下水位挙動の把握(Whiteshell)</li> <li>立坑の掘下がりに伴う間隙水圧の変化の把握(Whiteshell)</li> <li>三次元トレーサ試験(Stripa)</li> <li>割れ目の方向と間隔を考慮した透水性の方向性の把握(Stripa)</li> <li>深部滞水層・広域的な水理機構・ラストラ層の評価(WIPP)</li> <li>フィールド試験(WIPP)</li> <li>広域的な地質構造及び地下水流動システムの解明(Mol)</li> </ul>	○	○	○	○	○
		<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤の水理特性に関する試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤の透水性試験</li> <li>不飽和岩盤の透水性試験</li> <li>割れ目を含むブロックの全体透水性試験</li> <li>不飽和/飽和状態の水理地質状況の把握</li> <li>岩盤温度の相違による透水性の変化の把握</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>試験孔利用の排水による透水性試験(Climax)</li> <li>建設段階の透水性試験(透水性異方性・動水分散特性・壁面損傷の影響)(Whiteshell)</li> <li>掘削後の壁面近傍のゆるみ域の透水性評価(Whiteshell)</li> <li>割れ目帯の透水性・間隙率・圧縮率の把握(Whiteshell)</li> <li>岩盤水理試験(Grimmel)</li> <li>換気透水試験(Grimmel)</li> <li>ヒルドアップ試験・注入試験・干渉試験による水理地質学に関する調査方法の開発及び孔内で使用する装置の開発と設置方法の検討(Stripa)</li> <li>割れ目特性の把握と透水量予測値と実測値との相関性の評価(Stripa)</li> <li>サイト評価手法と考え方の検討(Stripa)</li> <li>換気透水試験(Stripa)</li> <li>透水性試験(WIPP)</li> <li>ブーム粘土層の上下位の砂層の透水性の把握(Mol)</li> </ul>	○	○	○	○	○
		<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤内の核種移行に関する試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>割れ目のない均質な岩盤部分の模擬核種移行試験</li> <li>各種規模の断層の模擬核種移行試験</li> <li>割れ目を含むブロック内の模擬核種移行試験</li> <li>微生物調査</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>単一割れ目内の移行収着試験(Whiteshell)</li> <li>割れ目系大岩体中の溶質の移行評価(Whiteshell)</li> <li>マイグレーション試験(Grimmel)</li> <li>単一割れ目核種移行試験(Stripa)</li> <li>地下水移行・核種移行予測値と比較するための原位置データ測定(Stripa)</li> </ul>	○	○	○	○	○
		<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水挙動に対する熱の影響に関する試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱負荷下の透水性試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>温度勾配による塩水の移行試験(WIPP)</li> </ul>		○			○
		<ul style="list-style-type: none"> <li>深地層の化学的特性に関する試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>湧水の水質調査</li> <li>水質の濃度、位置による変化の把握</li> <li>岩石の化学組成とその位置による変化の把握</li> <li>割れ目充填物の鉱物組成と化学組成の把握</li> <li>熱負荷あるいは温度分布の相違による水質変化の把握</li> <li>グラウト・プラグ・シールによる周辺岩盤内の水質変化の把握</li> <li>長時間の岩石の物性変化と水質変化との関係把握</li> <li>溶存酸素の開放に関する研究</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>立坑掘削前後の孔内地下水水質測定(Whiteshell)</li> <li>塩分起源調査・同位体測定による地下水起源と長期滞留時間の把握(Stripa)</li> <li>ストリパ地下水の水質・酸素同位体比・炭素同位体比・イオウ同位体比・塩素同位体比・流体包有物測定による地下水起源及び履歴の把握(Stripa)</li> <li>深部溶解に関する解析、塩水貯留部の試験、岩石と液相の地球化学的分析(WIPP)</li> </ul>	○	○	○	○	○
		<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤に対する熱の影響に関する試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原位置熱物性試験</li> <li>シングルヒータ試験</li> <li>ジョイントブロック試験</li> <li>割れ目の分布と熱応力の発生・伝達状況の把握</li> <li>熱応力の割れ目・断層に与える影響の把握</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用済燃料埋設後の加熱による岩石試料の岩石学的・鉱物学的調査、ヒータ近傍のマイクロクラックのクラックパラメータの把握(Climax)</li> <li>埋設孔周辺の温度分布測定(Climax)</li> <li>埋設による加熱及び再取り出し後の冷却による岩盤変位と応力の変化の把握(Climax)</li> <li>多様な応力条件下における割れ目を含む岩盤ブロックの熱的、力学的挙動の研究(Whiteshell)</li> <li>岩盤加熱時の温度分布及び変形挙動の把握(Grimmel)</li> <li>熱負荷に対する花崗岩の長期熱的機械的応答特性の評価(Stripa)</li> <li>短期間及びニアフィールドの熱負荷に伴う影響の評価(Stripa)</li> <li>粘土層の原位置熱伝導特性の把握(Mol)</li> </ul>	○	○	○	○	○

Table 2-2 (2) Study of the contents of the discussion at the underground facilities in several foreign countries  
諸外国における地下研究施設試験内容の検討

目的	試験研究項目			諸外国における試験項目・内容	岩石		対応する段階				
	研究題目	研究項目	試験項目		花崗岩	堆積岩	調査	建設	操業		
地層処分 の安全性の 実証	人工バリアの研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>容器・緩衝材・埋め戻し材・プラグ等の性能確認試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ボアホールプラグ試験</li> <li>埋め戻し材及び壁面近傍岩盤の透水性に関する試験</li> <li>埋め戻し材とプラグの止水性能確認試験</li> <li>グラウトの止水性能試験</li> <li>埋め戻し材・プラグ等の性能変化の把握</li> <li>緩衝材・埋め戻し材の熱伝導率、膨張率の測定技術開発</li> <li>緩衝材・埋め戻し材・プラグ中の含水率分布、膨張圧の経時変化と施工法との関係の把握</li> <li>緩衝材中の温度分布に対する含水率、発熱密度の影響の把握</li> <li>膨潤による緩衝材の割れ目への浸入の評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>金属材料の破損・腐食に対する冶金学的研究(Climax)</li> <li>実規模緩衝材-容器-岩盤系の挙動の把握、熱負荷及び力学的負荷時の容器の挙動の把握、単一・実規模処分孔周りの岩盤と緩衝材内の温度・応力分布評価(Whiteshell)</li> <li>孔内にシール材を設置する現状技術の有効性の確認及びシールの透水性評価(Whiteshell)</li> <li>立坑シール設置の現状技術評価、実条件下における種々のシール成分の特性・挙動評価(Whiteshell)</li> <li>パッファマステスト(Stripa)</li> <li>試験孔・立坑のシーリング試験(Stripa)</li> <li>岩盤割れ目のシーリング試験(Stripa)</li> <li>熱負荷下におけるバックフィル材の応力吸収特性、固化特性の評価(WIPP)</li> <li>プラグ候補材料に要求される透水性決定のための母岩の透水性の把握(WIPP)</li> <li>各種スケールの空洞を対象としたプラグ及びシール性能に及ぼすサイズ効果の把握、バックフィル充填技術と固化技術の開発(WIPP)</li> <li>プラグ候補材料の充填技術の開発、地下水・プラグ・母岩からなる系の長期地球化学的両立性の評価(WIPP)</li> <li>シールシステム性能評価(WIPP)</li> <li>粘土環境における種々の金属の腐食特性評価(Stripa)</li> <li>バックフィル材・シール材・緩衝材の特性評価(Stripa)</li> </ul>	○	○			○	○	○
	建設技術に関わるデータ取得	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤の力学的特性に関する調査・試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ボーリング孔を利用した力学特性の調査</li> <li>初期地圧試験</li> <li>平板載荷試験</li> <li>岩盤せん断試験</li> <li>力学特性の広域的分布を判定する技術</li> <li>力学特性の水理・化学・熱特性に与える影響の評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地表踏査・探査試験・コア観察・トレンチ調査・空洞壁面観察による施設設計とその安全確保に有用な地質構造データの取得(Climax)</li> <li>オーバーコアリング法による応力分布状態の把握(Climax)</li> <li>原位置岩盤の変形評価及び熱が岩盤の変形性に与える影響の評価(Climax)</li> <li>AE、弾性波モニタリングの岩盤安定性・透水性評価に対する有効性の評価(Climax)</li> <li>地下岩盤内の地圧分布状況、岩盤の力学特性の把握(Whiteshell)</li> <li>岩盤のマクロ変形特性・異方性・力学熱複合特性の把握、未擾乱岩盤の微小破壊及び割れ目密度の異なる未擾乱岩盤の挙動の把握(Whiteshell)</li> <li>岩盤内応力計測(初期応力に関する既存の手法及び景気の地下深部での適用性の評価)(Grimsel)</li> <li>ディルトメータによる孔内微小変形の計測(Grimsel)</li> <li>水圧破壊法とオーバーコアリング法による初期応力の把握(Stripa)</li> <li>岩盤の孔内応力測定(Stripa)</li> <li>クリープ破壊の評価(WIPP)</li> <li>ハイドロフラクチャリング法・プレッシャーセル法・オーバーコアリング法による初期応力状態の把握(WIPP)</li> <li>直接せん断試験による応力-ひずみ-応答性、粘土層の摩擦係数の把握(WIPP)</li> </ul>	○	○	○	○	○	○	○
処分施設 の健全性 の評価	施設の長期健全性に関する観測	<ul style="list-style-type: none"> <li>支保工の相違による岩盤壁面の安定性試験</li> <li>地質構造の相違による岩盤壁面の安定性試験</li> <li>岩盤物性の時間依存性試験</li> <li>換気系の長期健全性システムの開発</li> <li>長期モニタリング技術開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>擾乱帯の研究、プレッチャパイプの研究(WIPP)</li> <li>立坑・横坑・試験ルームでの間隙水圧・変位・地圧・ひずみ・傾斜等の測定による施設空間の長期安定性の評価(WIPP)</li> <li>熱のルームの安定性に及ぼす影響の把握(WIPP)</li> <li>ピラー加熱時の力学特性の把握(WIPP)</li> </ul>	○	○			○	○	○	
	掘削による岩盤の劣化に関する試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>立坑掘削による壁面近傍岩盤の安定性及び透水性に関する試験</li> <li>立坑周辺岩盤の劣化に関する掘削工法の比較試験</li> <li>坑道の掘削による壁面近傍岩盤の劣化に関する試験</li> <li>坑道周辺岩盤の劣化に関する建設方法の比較試験</li> <li>地質・地質構造の相違による劣化の程度の相違の把握</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>キャニスタ埋設孔周辺岩盤の損傷評価(Climax)</li> <li>地下施設掘削時の岩盤変位・応力測定(Climax)</li> <li>掘削に伴う応力・変位変化等の岩盤挙動の把握(Whiteshell)</li> <li>滑らかな掘削面の得られる発破掘削技術の確立及び掘削に伴う岩盤損傷の評価技術の開発(Whiteshell)</li> <li>破砕帯を含む岩盤の掘削に伴う力学的・水理的挙動評価(Whiteshell)</li> <li>空洞掘削の前中後における変位・応力・間隙水圧・透水性等に関する周辺岩盤挙動の評価及びその工法依存性の把握(Grimsel)</li> <li>既存空洞の挙動に与える空洞掘削の影響の評価(WIPP)</li> <li>立坑・主要坑道建設時の変位測定等の岩盤挙動計測(Mol)</li> </ul>	○	○			○	○	○	○
耐震安全性の研究	地震動の観測	<ul style="list-style-type: none"> <li>動的せん断試験</li> <li>地震動の観測</li> <li>地殻変動観測</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震観測・水準測量(WIPP)</li> </ul>	○	○			○	○	○	

Table 2-2 (3) Study of the contents of the discussion at the underground facilities in several foreign countries  
諸外国における地下研究施設試験内容の検討

目的	試験研究項目			諸外国における試験項目・内容	岩石		対応する段階		
	研究題目	研究項目	試験項目		花崗岩	堆積岩	調査	建設	操業
オペレーションシステムの実証	オペレーションシステムに関する研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>ハンドリングシステム研究</li> <li>モニタリングシステム研究</li> <li>再取り出しシステム研究</li> <li>作業安全性に関する研究</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>地下作業員の岩盤からのラドン被ばく線量評価(Climax)</li> <li>エレベータシステム・地下運搬システム及び孔内埋設方法の適用性の実証(Climax)</li> <li>通気モデルの妥当性評価のための空気流量・乾球温度・露点温度の測定(Climax)</li> <li>地下空洞内γ放射線レベルの測定、空气中放射性物質の測定、放射線医学的モニタと人体線量測定、地下でのラドン・トロン測定(Climax)</li> <li>処分トンネルの実規模シミュレーション(Climax)</li> <li>DHLW廃棄物の定置方法の検討、ルックアップ材の除去と再取り出し方法の評価(WIPP)</li> <li>DHLW廃棄物パッケージの定置・再取り出しの技術・方法の確立、それらに必要な装置の設計・製作(WIPP)</li> <li>CH・RH TRU廃棄物パッケージのハンドリング・定置・再取り出しのデモンストレーション、手順と機器の開発(WIPP)</li> <li>実廃棄物のハンドリング方法に関する予備データの取得(WIPP)</li> <li>TRU 廃棄物の実規模オペレーションのデモンストレーション(WIPP)</li> <li>実DHLWキャニスタの安全なハンドリング方法の確立(WIPP)</li> <li>DHLW処分に関して適切な技術的経験と換業経験確立のための試験(WIPP)</li> </ul>	○	○			○
PA取得支援	公衆に対する内容の明示	<ul style="list-style-type: none"> <li>ハンドリングシステムの公開</li> <li>モニタリングシステムの公開</li> <li>再取り出しシステムの公開</li> <li>坑内環境の実情の公開</li> <li>試験・研究方法の解説</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>連邦及び州の環境基準充足確認のための地下水・地表水の水質測定(Whiteshell)</li> <li>連邦及び州の環境基準充足確認のためのバックグラウンド線量の測定(Whiteshell)</li> <li>定置・印付け・再取り出しに關した安全な操作の明示のためのモックアップ試験(WIPP)</li> <li>DOE と他の連邦政府機関の安全に關する要件に合致していることの保証を示すためのモックアップ試験(WIPP)</li> </ul>	○	○	○		○
地質環境選定・評価手法の開発	調査技術及び評価技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>地質・地質構造・水理機構の把握に関する調査研究</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ジオトモグラフィ技術開発</li> <li>クロスホール技術開発</li> <li>物探技術の向上</li> <li>ジオスタティスティクスの適用性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>各種物探法の適用性の検討(Whiteshell)</li> <li>空洞開削時の地質調査結果による地表踏査・ボーリング調査結果から予測した地下地質情報の予測精度の確認(Whiteshell)</li> <li>岩盤内高透水帯・破砕帯の予知及び破砕損傷等の壁面からの距離に依存する特性の評価を可能とする物理探査手法の開発(Whiteshell)</li> <li>電磁高周波探査による岩盤内割れ目及び弱層の位置確認(Grimsel)</li> <li>クロスホール法弾性波探査による破砕部・岩脈部の調査(Grimsel)</li> <li>孔内各種物理検層、Mise a la Masse 法による孔間測定法の検討、関連装置の開発(Stripa)</li> <li>電磁法・地震法・透水試験法による割れ目帯の検出と特性把握のためのクロスホール技術開発(Stripa)</li> <li>地質環境特性調査・妥当性評価方法の検討(Stripa)</li> <li>物理探査法の開発向上(Stripa)</li> <li>地質環境妥当性確認プランに關する調査の実施(WIPP)</li> </ul>	○	○	○	○	○
		最適調査量の把握に関する研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>直接得られるデータの周辺岩盤部位における代表性の把握</li> <li>岩盤諸特性値の統計的分布特性の把握</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>最適試験法の決定及び試験仕様書の確立(Stripa)</li> <li>地質環境妥当性確認プランの開発(WIPP)</li> </ul>	○	○	○	○	○
		選定基準設定に關	<ul style="list-style-type: none"> <li>水理・地球化学・熱・力学特性に關する研究</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>地質環境資格規準の確認(WIPP)</li> </ul>		○	○	○
その他	基礎的・一般的データの取得			<ul style="list-style-type: none"> <li>対象地域の地形図作成(Whiteshell)</li> <li>URL 敷地全般の地質学的評価、URL 施設建設地点の選択のための地質調査(Whiteshell)</li> <li>花崗岩体の広がり・形状・位置、破砕帯の位置・性状、堆積物の厚さの把握のための物探(Whiteshell)</li> <li>URL 施設掘削地点選定のための詳細な地質環境調査(Whiteshell)</li> <li>掘削後の選定地点での一般的な地質・地球物理学特性の把握(Whiteshell)</li> <li>URL 以深の地質情報の収集のための物探(Whiteshell)</li> </ul>	○	○	○	○	○

## 2.3 海外事例調査による事前調査項目の検討

本節においては、海外の地下研究施設（及びそれに相当する施設）の建設のために行われた調査についてまとめる。具体的には調査対象はWIPPとネバダの建設に伴って行われた調査を対象とする。

### 2.3.1 事例調査 I（WIPP／岩塩）

#### (1) 実施内容

WIPPのR&Dプログラムで示されている主要な課題とそれに対応する段階は

- ①地質環境特性調査及び評価（事前調査）
- ②処分場の開削・設置（建設及び建設に伴う調査）
- ③廃棄物パッケージと岩塩との相互作用（試験ルームにおける狭義の原位置試験）

とされている。これらの課題は技術開発→コールド原位置試験→ホット原位置試験という試験方法の発展的段階との関係でTable2-3に示すように位置づけられている。

#### (a) 地質環境特性調査及び評価

地質環境特性調査及び評価は処分場としての地質環境の適性を評価するために行われるものである。地表及び地下施設の安全な施工と廃棄物の長期隔離のために、地質的・水理的環境が適切であることが重視されている。

地質環境特性調査及び評価で行われた調査内容は

- ・広域的地質特性把握のための試錐の掘削と検層・地質調査（試錐調査・地質調査）
- ・地震動調査を含めた物理探査（物探）
- ・地質環境周辺の岩石と地下水の特性を明らかにするための広域的及び局所的水理調査と種々の室内試験（室内試験）

である。

地質環境特性調査では、地質的、水理的研究の他に生物学的、気象学的、経済学的研究も行われた。

Table 2-3 Construction of WIPP R & D programs

WIPP R&D プログラムの構造

	技術開発	→ コールド原位置試験	→ ホット原位置試験
	モデル開発/ 室内試験法/ 現場試験	地質環境及び予的 設計実証/ 技術実証試験/ 操業技術実証	放射線源試験/ 実HLW試験/ TRU, HLW を用いた 技術実証
①地質環境特性調査と評価	○/○/○	○/—/—	—/—/—
②処分場開発			
・熱力学相互作用	○/○/○	○/○/—	—/—/—
・プラグ・シール	○/○/○	—/○/—	—/—/—
・操業技術	—/○/○	—/—/○	—/—/○
③廃棄物・岩塩相互作用			
・性能評価	○/○/○	—/○/—	○/○/—
・ニアフィールドの現象	○/○/○	—/○/—	○/—/—

○：試験が考慮されていることを示す

地質調査で行われたのは、

- ・既存文献・既存データの調査と新規データの継続的収集
  - ：標準的な石油及び金属鉱山業における技術を適用
  - ：物理探査データと試錐データの整合に注意
  - ：物理探査法で最も使用したのは、反射法による弾性波探査（延長 152マイル）と比抵抗探査（9,000 測点）
  - ：カリ資源を評価するために21本、層序の把握のために16本、岩塩の融解特性の把握のために15本の試錐調査を実施、このうち3孔においては地質環境外にて岩塩層下



部の帯水層まで掘削

- ・ サイト内での従来法と特殊な方法による水理データの取得
- ・ 水理特性把握のための物理検層
  - ： 圧力測定・流体採取・透水係数測定は標準的、及び改良したdrill-stem試験を利用
  - ： スラッグ注入試験・同排出試験で透水量係数と貯留係数に関するデータを取得
  - ： 試験孔内での地下水位測定により、主要な帯水層の上位面を測定

一方、DOEとニューメキシコ州との間で結ばれた協定による地質環境特性調査内容は以下の通りであった。

- ・ サラド層下位の深部岩塩溶解に関する解析
- ・ 擾乱帯の研究と解析
- ・ ブレッチャパイプに関する研究
- ・ デラウエアマウンテン層群の水理に関する報告
- ・ 広域的水理に関する報告
- ・ 天然資源の可能性とその影響に関する報告
- ・ ブライン貯留層に関する試験と報告
- ・ トレーサ試験と水理モデルの作成を含めたラストラー層中の帯水層に関する特性把握
- ・ 地表面の沈降を把握するための詳細な水準測量
- ・ 地震動の観測
- ・ サイト内の岩石と流体の化学分析

(b) 地質環境及び予備的設計実証

さらにWIPPの地質特性把握のためのサイト及び予備的設計実証プログラムが計画された。これはその後のWIPPプロジェクトの方針決定に利用されたものである。

このプログラムは次の二つの特性を有している。

- ① 地質環境特性調査過程での信頼性を高めるためと、サイトがWIPPプロジェクトに適していることを確証するための、サイトの実証 (Table 2-4 参照)
- ② アクセス立坑と水平坑道の安定性と全体的な挙動評価のための、予備的設計実証 (Table 2-5 参照)

Table 2-4 Contents of the investigations for the demonstration of  
the site and the preliminary design  
地質環境及び予備的設計実証のための調査内容

調査目的	調査活動内容
地下施設設置層準の厚さ	: 立坑・横坑・試錐孔のスケッチと物理探査・検層
地下施設設置層準の水平方向の 広がり・連続性・傾斜	: 915mの長さの南向き試錐2孔、同北向き2孔の テレビ観察・物理検層、横坑のスケッチ、高分 解能重力探査、孔内検層データの相互関係
ブラインとガス含有量	: 熱重量分析及び流体試料の種々の分析
鉱物学的含有量	: 試料のX線蛍光分析・X線回折分析・EPMA
挟在層の特性	: 成分分析・力学特性試験・透水性試験
帯水層の特性	: 立坑への流出量・立坑での間隙水圧・地下水採取
地下施設層準の流体ポテンシャル	: 横坑への流出量・溶解物質の組成
地下施設層準の透水性	: 室内試験試料の試験

Table 2-5 Investigation apparatus for the demonstration of  
the preliminary design  
予備的設計実証調査機器

立坑において:

- ・ひずみゲージ, 間隙水圧計, 伸縮計, ロックボルト・圧力計, 変位計

横坑において:

- ・多軸伸縮計, ロックボルト・圧力計, 放射状閉塞測定機器, 応力測定ゲージ

設計実証試験ルームにおいて:

- ・多軸伸縮計, 収斂計, 放射状閉塞測定機器, 応力計, 圧力計, 傾斜計, witness  
sighting point

## (2) 実施内容の整理

前(1)で整理した実施内容を時間軸（立坑掘削前か後か）、調査事象及びWIPP（岩塩）に特異的か否かでまとめると以下の通りとなる。

Table 2-6 Arrangements of the items of the preparatory investigations and examinations at WIPP site  
WIPPでの事前調査試験項目の整理

段階	調査対象	調査手法
立坑掘削までの 事前調査段階	地質・地質構造に関する調査研究 ・岩塩層内の擾乱体の把握** ・ブレッチャパイプの把握	試錐（16孔）・反射法弾性波探査 ・比抵抗探査・既存文献調査
	水理特性に関する調査研究 ・特定地層の水理の把握 ・広域的水理特性の把握 ・ブライン貯留層の把握*	試錐・坑内検層・drill-stem試験 スラッグ注入排出試験・水位測定
	化学的特性に関する調査研究 ・岩塩溶解の研究* ・岩石・流体の化学分析	試錐（15孔）・化学分析
	力学的特性に関する研究 ・地震動の観測	——
	熱的特性に関する研究 ・（なし）	——
	その他の調査研究 ・天然資源の調査 ・水準測量	試錐（21孔）・測量
立坑掘削時の 段階	地質・地質構造に関する調査研究	スケッチ・検層・試錐・テレビ観察 ・物探（重力探査）・X線蛍光分析 ・X線回折分析・EPMA
	水理特性に関する調査研究	透水性試験・流出量測定・間隙水圧 測定・室内試験
	化学特性に関する調査研究	熱重量分析・その他種々の分析・ 成分分析
	力学特性に関する調査研究	力学特性試験（室内及び原位置？） ・ひずみ測定・変位測定・圧力測定
	熱的特性に関する調査研究 その他の調査研究	—— ——

\*：岩塩に特異的な研究

\*\*：岩塩にやや特異的な研究

## 2.3.2 事例調査Ⅱ（ネバダ－ユッカマウンテン／タフ）

## (1) 実施内容

ネバダ州のユッカマウンテンは米国における商業用使用済燃料及び高レベル放射性廃棄物の第1処分場として選定された地質環境である。同地質環境の選定にあたっては、1982年核廃棄物政策法によって必要とされた環境影響評価が事前に実施された。その環境影響評価は米国エネルギー省により布告された10 CFR Part 960 のサイト選定ガイドラインを満足することを確認したものである。

その中において、既存の文献を主体にまとめたユッカマウンテン周辺の調査項目は以下の通りである。

- ・位置／地形／土地利用調査
- ・地質（層序／火山活動／地質構造／地震動／地下資源）
- ・水理（表層／地下水流動／地下水水質／水利用）
- ・環境（土地利用／生態系／輸送／社会経済状態）

さらにユッカマウンテンが処分場として適切であるかどうかを判断するために地質環境特性調査が行われる予定である。同調査で実施される調査項目は以下の通りである。

- ・フィールド調査
  - ：探査用試錐（コア観察・化学分析・物理特性の把握・検層・初期応力測定・地下水位面下の水理特性・不飽和帯の調査・地下水の採取と分析）
  - ：物理探査（反射法及び屈折法弾性波探査・重力探査・磁探・電探）
  - ：地質調査（航空写真解析・地質踏査・トレンチ調査）
- ・探査立坑（小規模地下研究施設に相当）
  - ：探査立坑と横坑（不飽和帯の水理を乱さないことに留意、掘削水・コンクリート固結水などにはすべてトレーサを含める、使用した水量・入気湿度・排気湿度を測定する）
  - ：建設段階の試験（立坑深度は450m、主要横坑レベルは370m）
    - （1発破ごとの立坑壁のスケッチ・写真撮影・岩石試料採取、
    - 全立坑深度のうち15～30か所で採取した大規模試料中間隙水の化学組成分析、
    - 同上試料水のCl-36を用いた年代測定、
    - 同岩石試料の地質工学特性の室内測定、

宙水の採取分析、

地質・水理状況の事前確認のための垂直・水平ボーリングによるコア採取、

初期応力測定のためのオーバーコアリング、

実規模空洞の建設可能性と安定性評価のための中段ルームにおける試験、

160mと370mレベル間の立坑のひずみ試験)

：原位置試験段階の試験

(試験ルームの坑壁スケッチによる割れ目間隔と方向の把握、

水平ボーリングのコア採取による地層の連続性と構造の把握、

透水性試験と浸透試験による水理データの取得、

核種遅延性評価のための地化学試験、

熱負荷時の地質工学特性試験、

開削空洞の安定性試験、

空洞の安全設計のための原位置試験、

廃棄体・人工バリアの最適設計の為の埋設孔周辺の物理的・化学的特性評価試験)

：原位置試験終了後

(施設は処分場の一部に組み入れられる予定である。)

・その他

：測地学的調査(地殻変動のモニタリング)

：水平試錐技術開発(探査立坑内で使用する無水試錐コア採取技術開発)

：過去の水理状態の研究(古水理状態の調査・湖沼堆積物の採取・化石化した鼠の糞の研究)

：テクトニクス・地震動・火山活動の研究(断層の頻度・大きさ・分布、現在の地震動の解析、鮮新世・更新世における火山活動史と侵食堆積速度の研究；ボーリング・トレンチ・地質踏査・物探・地震観測のデータを利用する)

：地下核実験により生じる地震動の研究(孔内及び地表での距離・深度・規模の関数としての地震動を記録する)

：G—トンネルでの試験(熱的・力学的特性評価のための小孔径ヒータ試験・加熱ブロック試験；ひずみ・熱伝導率・熱膨張率・割れ目透水係数・(間隙水圧計、超音波検層・中性子検層による)水分率の調査)

：室内試験（化学組成・鉱物組成・岩石学・鉱物の安定・地質年代・立坑と試錐孔のシール技術などに関する研究）

## (2) 実施内容の整理

前(1)で整理した実施内容を時間軸、調査対象及びユッカマウンテン（ネバダタフ）に特異的か否かでまとめると以下に示す表 2-7 の通りとなる。前項でまとめた範囲においては、探査立坑は地質環境特性把握のための事前調査の一つという位置づけであるが、将来の処分場の一施設となる可能性もあり、WIPP の場合と同様の取扱をしておくこととする。

なお、ネバダタフの不飽和帯中に将来処分場が設けられることとしており、不飽和帯の水理特性の研究が重要視されている。この不飽和帯は飽和／不飽和を繰り返す不飽和帯ではなく、乾燥地帯の下部に位置する常にほぼ一定の不飽和状態を維持しているゾーンである。その意味では日本の不飽和帯とは異なる。したがって、この不飽和特性に関する調査／試験／研究についてはネバダタフにやや特異的な研究と位置づけた。

Table 2-7(1) Arrangements of the items of preparatory investigations and the examinations at YUCCA mountain site  
 ユッカマウンテン（ネバダ）での事前調査試験項目の整理

段階	調査対象	調査手法
立坑掘削までの 事前調査段階	地質・地質構造に関する調査研究 <ul style="list-style-type: none"> <li>・層序の把握</li> <li>・火山活動史の把握</li> <li>・地質構造の把握</li> <li>・断層の性状・分布の把握</li> <li>・侵食堆積速度の研究</li> </ul>	試錐・コア観察・物理特性試験・ 検層・反射法／屈折法弾性波探査 ・重力探査・磁探・電探・航空写 解析・地質踏査・トレンチ調査・ 年代測定
	水理特性に関する調査研究 <ul style="list-style-type: none"> <li>・表層水理の把握</li> <li>・地下水流動の把握</li> <li>・古水理状態の把握</li> <li>・透水係数／水分率**の把握</li> </ul>	試錐・地下水位面下の水理試験・ 不飽和帯調査・G—トンネルでの 原位置試験・間隙水圧計・超音波 検層・中性子検層・その他検層
	化学的特性に関する調査研究 <ul style="list-style-type: none"> <li>・タフの化学組成の把握</li> <li>・地下水水質の把握</li> </ul>	試錐・コア化学分析・地下水分析
	力学的特性に関する研究 <ul style="list-style-type: none"> <li>・地震動の観測</li> <li>・ひずみ測定</li> </ul>	(物理特性試験・検層)・初期応力 測定・G—トンネルでの原位置試験
	熱的特性に関する研究 <ul style="list-style-type: none"> <li>・熱伝導率／熱膨張率の測定</li> <li>・熱特性／熱応力特性の把握</li> </ul>	G—トンネルでの原位置試験
その他の調査研究 <ul style="list-style-type: none"> <li>・位置／地形</li> <li>・地殻変動調査</li> <li>・無水試錐コア採取技術開発**</li> <li>・シール技術開発</li> <li>・水利用／地下資源</li> <li>・土地利用／生態系／輸送</li> <li>・社会経済状態</li> </ul>	モニタリング・その他手法	

\*：ネバダタフに特異的な研究

\*\*：ネバダタフにやや特異的な研究

Table 2-7(1) Arrangements of the items of preparatory investigations and the examinations at YUCCA mountain site  
 ユッカマウンテン(ネバダ)での事前調査試験項目の整理

段階	調査対象	調査手法
立坑掘削時の段階	地質・地質構造に関する調査研究	スケッチ・写真撮影・岩石試料採取 ・地質工学特性の室内測定・コア採取
	水理特性に関する調査研究 ・掘削水/コンクリート固結水/空气中水分の量的把握	使用水のトレーサ分析・入排気湿測定・コア採取
	化学特性に関する調査研究	大規模試料中の間隙水の化学分析** /年代測定・宙水分析**
	力学特性に関する調査研究	初期応力測定・建設可能性/安定性評価試験・ひずみ試験
	熱的特性に関する調査研究 その他の調査研究	— —
原位置試験空洞完成後の段階	地質・地質構造に関する調査研究 ・割れ目間隔/方向の把握 ・地層の連続性/構造の把握	スケッチ・コア採取
	水理特性に関する調査研究 ・水理データ取得	透水性試験・浸透試験
	化学特性に関する調査研究 ・核種遅延性評価	地化学試験
	力学特性に関する調査研究	開削空洞の安定性試験・空洞安全設計のための原位置試験
	熱的特性に関する調査研究 その他の調査研究 ・廃棄体/人工バリア最適設計	熱負荷時の地質工学特性試験 埋設孔周辺物理的, 化学的特性評価試験

\* : ネバダタフに特異的な研究  
 \*\* : ネバダタフにやや特異的な研究



## 2.4 調査・試験項目の設定に関する主要検討事項の整理

本節においては、既存空洞の存在しない花崗岩中に新規の地下研究施設を設ける場合に考慮すべき事項について検討する。

地下研究施設が担うべき役割を高レベル廃棄物処分の実現に向けてなすべき課題の中において整理すると以下の通りとなる。

まず原子力委員会が昭和62年6月22日にまとめた「原子力開発利用長期計画」に示されている高レベル廃棄物の地層処分に関連する部分については、次の表現がある。

『再処理施設において使用済燃料から分離される高レベル放射性廃棄物は、安定な形態に固化した後、30年間から50年間程度冷却のための貯蔵を行い、その後、地下数百メートルより深い地層中に処分する（以下「地層処分」という。）ことを基本的な方針とする。』

『高レベル放射性廃棄物の地層処分は、これまでの「有効な地層の選定」（第1段階）の成果を踏まえ、今後、「処分予定地の選定」（第2段階）、「処分予定地における処分技術の実証」（第3段階）及び「処分施設の建設・操業・閉鎖」（第4段階）という4段階の手順で進める。』

『第2段階においては、国の重要プロジェクトとして、①地層処分技術の確立を目指した研究開発、②地質環境等の適性を評価するための調査及び③処分予定地の選定を実施する。』

『また、国は、処分予定地の地質環境に求められる技術的な条件を明らかにするとともに、処分施設の立地に至る今後の計画が円滑に進められるよう、所要の施策の検討を行う。』

『動力炉・核燃料開発事業団の貯蔵工学センター計画は、地層処分技術を確立するための深地層試験等の研究開発と、高レベル放射性廃棄物等の貯蔵とを行う総合研究センターを目指したものであり、円滑な実施に配慮しつつ、その着実な推進を図ることとする。』

『また、高レベル放射性廃棄物処分施設の建設のために必要となる技術は、地球科学技術の進展及び地底の高度利用の推進に寄与することが期待される。』

この中においては「地下研究施設」という表現は用いられていないものの、当該施設にも当てはめうる役割を整理すると次の通りとなる。

- ① 地下数百メートルより深い地層中に処分できる技術開発の一翼を担う。
- ② 地層処分技術の確立を目指した研究開発の一翼を担う。
- ③ 地質環境等の適性を評価するための調査に関わる技術開発に資する。
- ④ 処分予定地の地質環境に求められる技術的な条件の明確化に資する研究を行う。
- ⑤ 地層処分技術を確立するための深地層試験等の研究開発を実施する。
- ⑥ 地球科学技術の進展及び地底の高度利用の推進に寄与する技術開発とする。

上記項目は総論的表現が用いられており、「地下研究（及び、同施設）」という用語を地層処分の実現のために必要な施設（及び、試験）として広義に用いた場合、地下研究施設における調査・試験内容の検討に当たっては次の事項を考慮することが必要であると考えられる。

① 実施時期：

研究開発の4段階のうち、どの段階に実施するのか。また、どの段階のどの時期に開始して、どの段階のどの時期に終了させるのか。

② 事前調査の位置づけ：

地下研究施設における試験空洞での調査・試験内容は、処分予定地の選定と処分予定地での地質環境特性調査及び処分場の建設という一連の業務の遂行に関する技術開発を念頭に置いたものとなるが、地下研究施設の前段階における調査・試験内容は、試験空洞での調査・試験内容と同じ位置づけとするのか、あるいは単に、試験空洞での調査・試験内容の向上のための必要データの取得に必要な調査・試験と位置づけるのか。

③ 地下研究施設建設の段階：

地下研究施設は基本的に、立坑と立坑下底部（及び、一部中段部）での試験空洞たるべき横坑とから構成される。各調査・試験が地下研究施設の建設から閉鎖までのどの段階に対応する試験であり、段階別に考慮した場合、各調査・試験はどのような特徴を有しているのか。

## ④ 対象事象：

各調査・試験項目はどのような事象の解明を対象としたものなのか。

## ⑤ 位置的特徴：

地下研究施設の本来有する位置的特徴から、どのような分類分けが可能なのか。

## ⑥ 目的：

処分研究全体から見た時、どのような目的を有しているのが好ましいのか。

上記各事項の検討結果は以下の通りにまとめられる。

## (1) 実施時期

現在は第2段階の前半に位置しており、国の計画にも示されている地質環境調査が文献調査と物探を主体として鋭意行われている。現在は実施されていないものの、近い将来試験調査が実施されるものと考えられる。日本全国から選ばれた適当な何地域かの地質環境調査報告書が第2段階後半の適当な時期までに完成させられ、それらを考慮して実施主体による処分予定地の選定がなされるものと考えられる。

この想定される研究開発の進捗を考慮すると、現在適用されている技術には当然間に合うものではないが、近い将来適用される技術に対しては、地下研究施設に関連した研究開発が可及的かつ速やかに開始されるのであれば、充分その成果が適用されるものと考えられる。逆に言えば、第2段階前半中に地下研究施設が開始されれば、第2段階後半で必要とされる技術に資することができるであろう。

処分予定地の選定がどのようになされるかは現時点では不明である。しかしながら、複数の処分予定候補地が選ばれて、その中から処分予定地が選ばれと想定するのは自然と思われる。その際、複数の処分予定候補地は処分予定地が選定される際の規準の観点では、どれも皆充分それを満足しているものと考えられる。したがって、最終的に選ばれる処分予定地は技術的観点のみでない諸々の観点からの判断がなされるものと考えられる。処分予定地の数は将来の処分場の操業規模を考慮して経済性と想定廃棄体数量から決められるであろうが、1か所と考えるのが妥当であろう。その処分予定地が選定されて以降は、処分予定地の特性を考慮した「処分技術の実証」（第3段階）と処分場の建設・操業・閉鎖すなわち実処分の実施（第4段階）がなされる。この中で第3段階の処分技術の実証は研究開発段階に含まれると考えるのが妥当である。しかしながら、処分場となるべき箇所

あるので、適切な実証行為である必要がある。それは処分予定地で試行錯誤的に行うことも不可能ではないであろうが、他の箇所で開発された手法が適用されるとするのが妥当であろう。

その場合、他の箇所とは地下研究試験施設が主体となるものであるのは論を待たない。したがって、第3段階半ばまでは地下研究施設での調査・試験研究がなされるとするのが適当と考えられる。第2段階・第3段階が実際どれだけの長さの期間となるかは、諸情勢により変化するであろう。廃棄体の冷却のための貯蔵期間が30年～50年とされていることと、処分場の建設に必要な期間を考慮すると、両段階ですくなくとも20年要すると考えられる。

## (2) 事前調査の位置づけ

地下研究施設の調査・建設段階での調査・試験は当然、処分研究開発の中での位置づけが論じられるべきである。それは狭義には地下研究施設で行われるべき調査・試験の中で調査・建設段階で主体となるもの、主体ではないが補佐的機能を有する試験に分けられる。また、広義には処女地に設ける地下研究施設を模擬処分場と位置づけ、処分場の地質環境特性調査で行われるべき調査・試験を検証するために、同一あるいは類似の計画で地下研究施設サイトを対象として地質環境特性調査を行うものである。

ただし、両者は同一のものを見方を変えて眺めている面がある。すなわち、地質環境特性調査とは換言すれば、処分の実施に必要な特性を有していることを事前に把握するものであり、地下研究施設での試験課題の主題をなす課題と同じ最終目的である。

## (3) 地下研究施設建設の段階

地下研究施設の調査・建設・操業・閉鎖の各段階に1.5節で検討した地下コールド試験施設における主要試験項目を対応させると次のようになると考えられる。

主要項目	調査	建設	操業	閉鎖
・安全性・性能評価のための試験研究				
・ファーフィールド事象を対象とした バリア性能評価試験		○	◎	○
・ニアフィールド事象を対象とした バリア性能評価試験			◎	
・地層処分場建設可能性のための試験研究		◎	○	○
・地質環境特性評価のための試験研究	◎	◎	○	
・オペレーションシステム評価のための 試験研究			○	
・PA支援のための試験研究		○	○	○

○ …… 対応するもの  
◎ …… 対応する度合いが強いもの

#### (4) 対象事象

対象とする事象は主要な安全評価シナリオである地下水移行シナリオにおいて主要な事象、すなわち地下水の移行挙動（水理）と核種の挙動（化学）が主要事象となる。ただし、核種の挙動については、行いうる試験内容が制限される。そして、他の熱事象・力学事象はその補佐的位置づけにあると考えられる。

また、場を示す事象として地質事象を挙げうる。これは、前述の事象の複合されたものであるが、場の物理的性状を提供するものとして挙げておくべきものである。この事象も補佐的位置づけにある。

#### (5) 位置的特徴

地下研究施設を設ける位置に関連するパラメータとしては、地形・岩石の種類・植生・風化状況・気象・土地利用・水文等を挙げうる。

花崗岩分布地域の位置に関わる特性としては次のように限定される。

- ・地形：なだらかな丘陵～一部山地系
- ・植生：松等、ただし、緯度と気候により異なる。
- ・風化状況：過去及び現在置かれている気象により異なる。北日本は相対的に薄く、南日本は相対的に厚い。厳密には調査を必要とする。
- ・気象：東北表日本・中国地方で特徴分けできる。
- ・土地利用：地形・気象・都市との距離により、種々様々である。
- ・水文：地形・気象・岩石の種類により異なる。

(6) 目的

地下研究施設の主な役割は地層処分システムの長期安全性を示すための性能評価研究の一端を担うことであり、具体的な役割は以下の通りである。

- ① 地質環境が生来的に備えている諸作用を確認するとともに、そのことを確認するための地質環境調査技術の開発を行うこと
- ② 人工バリアの性能評価のための支援データを取得すること
- ③ 処分施設の技術的実現可能性を確認すること
- ④ 地質環境に関する調査技術の開発と関連のあるデータを取得すること

(7) 試験項目の設定

地下研究施設の役割を果たすために必要な研究項目と試験は次のようになる。

地下研究施設における項目とそのための試験

研究項目	試験項目
遅延、分散作用をもたらす地下水理の機構	地質構造調査 地下水流動試験 岩盤の透水性試験 岩盤の熱特性試験 核種移行試験（コールド）
遅延作用をもたらす吸着・鉱物化等の放射性核種-地下水-岩石間の反応機構	地化学特性調査 核種移行試験（コールド）
坑道掘削が地質環境の諸作用に及ぼす影響	掘削影響試験
地震等の地殻変動の影響	地殻変動の影響調査
処分施設に必要な技術の実現可能性の評価	人工バリア特性試験 模擬固化体搬送技術試験 総合試験（バッファマス試験） 埋戻し試験
地質環境に関する調査技術の開発と関連のあるデータの取得	地表及び地下からの総合的データの収集

これらの試験項目を再整理して詳細に分類するとTable2-8の様になる。また、この表には深地層試験場において考えた試験項目との対応も示した。

Table 2-8(1) Correspondence of the items of the examinations at each laboratory and the details of the items of the examinations  
試験項目の詳細と各試験場における試験項目の対応

地下研究施設における試験項目		深地層試験場における試験項目	
広域構造調査 岩盤構造調査 岩盤割れ目調査	G-1 G-2 G-3	H-1 G-1 H-5 H-8	地質構造調査 岩盤構造調査 岩盤割れ目調査 地下深部における小規模 割れ目系の調査
坑内調査	G-4	G-2	坑内探査
自然状態の地化学特性調査	C-1	C-1 C-2	水質調査 岩石学・鉱物学的調査
建設・閉鎖に伴う地化学 特性変化調査	C-2	C-3	水質調査・岩石学・鉱物学 的調査
水文調査 自然状態における地下水挙 動調査	H-1 H-2	H-2 H-3	水文調査 地下水賦存状況調査
立坑掘削に伴う地下水挙動 調査	H-3	H-6	立坑掘削に伴う地下水挙動 調査
地下研究施設周辺の地下水 長期挙動調査	H-4	H-7	深地層試験場周辺の地下水 挙動に関する調査
室内透水性試験 ボーリング孔内透水性試験 大規模透水性試験 不飽和岩盤の大規模透水性 試験	P-1 P-2 P-3 P-4	H-4 H-4 P-1 P-2	透水性に関する調査 透水性に関する調査 岩盤の透水性試験 不飽和岩盤の透水性試験
熱応力下の透水性試験	P-5	P-4	熱応力状態下の透水性試験
室内力学試験 ボーリング孔内力学試験	E-1 E-2	M-1	ボーリング孔を利用した力 学特性の調査
初期地圧測定	E-3	M-2	初期地圧測定
原位置岩盤試験	E-4	M-3	原位置岩盤試験
立坑・坑道掘削影響試験	E-5	E-1,2	立坑掘削及び横坑掘削によ る壁面近傍岩盤の劣化に関 する試験
掘削工法比較試験	E-6	E-3,4	立坑周辺岩盤・坑道周辺岩 盤の劣化に関する掘削工法 の比較試験
長期健全性観測試験	E-7	E-5	長期健全性観測試験
地震時挙動観測	D-1	S-1	地震動の観測
地殻ひずみ観測	D-2	S-2	地殻変動観測
室内熱物性試験 原位置熱物性試験 シングルヒーター試験 マルチヒーター試験 ジョイントブロック試験	T-1 T-2 T-3 T-4 T-5	T-3 T-1 T-2	フラットジャッキ試験 原位置熱物性試験 シングルヒーター試験

Table 2-8(2) Correspondence of the items of the examinations at each laboratory and the details of the items of the examinations  
試験項目の詳細と各試験場における試験項目の対応

地下研究施設における試験項目		深地層試験場における試験項目	
室内ブロック割れ目移行試験	M-1	P-3	岩盤の核種収着能試験
単一割れ目移行試験	M-2	P-3	
大規模核種移行試験	M-3	P-3	
ボアホールプラグ試験	A-1	A-1	ボアホールプラグ試験
グラウト性能試験	A-2	A-4	グラウトの止水性能試験
プラグ性能試験	A-3	A-3	埋戻し材とプラグの止水性能試験
埋戻し材性能試験	A-4	A-2	埋戻し材および壁面近傍岩盤の透水性試験
緩衝材の長期挙動試験	A-5		
パッケージ材料耐久性試験	A-6	A-5	廃棄物パッケージの材料健全性試験
固化体運搬・格納システムのモックアップ試験	M <sub>0</sub>	M <sub>0</sub> -1	ハンドリングシステムの適用化試験
総合試験	B <sub>0</sub>	B <sub>0</sub> -1	人工バリア・天然バリアの総合試験



## 2.5 花崗岩中地下研究施設の位置づけの検討

2.1～2.4の検討結果を受けて、花崗岩中での建設が予定されている地下研究施設の位置づけと試験項目の検討を行う。同時に、花崗岩中の既存空洞を用いた試験施設の位置づけについても同様に考察する。

### 2.5.1 花崗岩中地下研究施設及び花崗岩中既存空洞を用いた試験施設の位置づけの検討

2.4で母岩の種類を問わない一般的な地下研究施設の実現において検討されるべき事項を検討した。本項では、母岩として花崗岩を、また空洞の特質として処女空洞と既存空洞を利用する場合を挙げ、その位置づけを検討する。

Table2-9には既存空洞を用いた試験及び地下研究施設に影響を与える主要な特徴として以下の項目を挙げ、比較検討を行った。

- ・空洞の分布とその影響
- ・試験サイト周辺の地質状況
- ・作業安全上の適用法規
- ・ユーティリティ
- ・地元対策

Table 2-10 には、地上コールド試験施設・地上ホット試験施設・地下コールド試験施設・地下ホット試験施設の特徴の比較を示したTable1-2の検討項目と、花崗岩に特徴的な検討項目を加えた既存空洞を用いた試験（及びその実施施設）と地下研究施設試験（地下研究施設）の比較対象を行った。

Table 2-10 に示される既存空洞を用いた試験の特性は、基本的には既存空洞をそのまま用いる場合のものであり、既存空洞から開削する新規空洞の規模や既存部との位置関係で大きく変わる。既存空洞から十分離れた位置に新規空洞を開削し、全面的に試験を実施する場合には地下研究施設試験と何ら変わるところはない。そこで、ここでは既存空洞をほとんどそのまま利用して実施する既存空洞を用いた試験と地下研究施設試験との比較を示している。

Table2-8, Table2-10 などから、地下研究施設を用いる試験の意義は以下のようにまとめることができる。

- ・既存空洞の存在にかかわらず処女地を設けられるため、処分サイト選定規準に適合しないと考えられる既存空洞付近よりも、より処分サイトに近い条件での試験ができる。
- ・上記を更に確実にするために、実規模、実深度、同質岩盤での試験を実施できる。
- ・地化学的環境、応力的環境、水理的環境の処女状態から調査ができる。いいかえれば、非常に長期的にはその状態に回復すると考えられる初期状態を調査できるとともに、開削から閉鎖までの影響を調査することができる。

逆に、既存空洞を用いる試験の意義は以下のようにまとめることができる。

- ・地下空洞そのもの、あるいは空洞付近の岩盤を使用する試験は安価に、かつ、短期間で実施することができる。
- ・既知の基礎的なデータを利用できる。
- ・空洞開削以降の経時変化のデータ（例えば、湧水量、空洞変位など）を測定していれば、有効に利用できる。
- ・開削後時間の経過した岩盤条件での試験ができる。

Table 2-9(1) Comparison and discussion with main effective characteristics between the examinations using the existing vaults and the examinations at the underground research laboratories  
 既存空洞を用いた試験及び地下研究施設試験に影響を与える主要な特徴の比較検討

項 目	既存空洞を用いた試験	地下研究施設における試験
空洞の分布とその影響	<p>“既存空洞”とは、しばしば稼行中あるいは閉塞した鉱山内の各種空洞のことを意味して用いられる。したがって、既存空洞は通常平面的、垂直的に、ある広がりをもっていることとなる。そして、その空洞の分布する領域内、及びその周辺領域は試錐による探査が行われているのが一般的である。その場合、過去に行われた試錐状況（深度・径・方向等）については不明の場合もありうる。特に、新規開発鉱山でない限り、古い時代の記録は喪失していたり、不十分であることが多い。</p> <p>このような状況においては、それら空洞分布の把握の不十分さが試験結果の解析を不十分ならしめる可能性がある。</p>	<p>地下研究施設は既存空洞のない処女地に設けられる。しかしながら、既存空洞とは鉱山のことを意味することが多いため、鉱山とは無関係の既存空洞（主に試錐孔）が存在する可能性についても検討されていなければならない。石油・石炭・鉱物資源等を対象とした試錐探査孔はもとより、温泉脈の探査のための試錐孔がそれらに含まれる。しかしながら、それら試錐は地質専門家が対象資源の賦存可能性ありと判断した所に実施されるものであり、同等以上の技量を有する地質専門家であれば、過去の探査活動の有無の推定が可能である。ただし、過去の活動が想定されたとしても記録がなければ、その概要把握は困難である。</p> <p>すなわち、坑道が存在しないことは確認できても、対象とするサイトの広さと過去の当該活動状況の把握状況によっては、試錐孔等の存在が必ずしも100%確認できない可能性もある。</p>
試験サイト周辺の地質状況	<p>既存空洞が鉱山に掘るものである場合（特に金属鉱山）は、その場所は地質学的に対象資源（金属）の濃集している岩石の分布している箇所である。</p> <p>その他の施設（トンネル、地下水力発電所など）の場合は、特殊な条件はない。</p>	<p>既存空洞周辺の地質よりは、資源的に価値の低い地質が分布している。通常、日本ではそれらは、堆積岩あるいは火成岩のシリカ分に富む比較的均質な岩石となる。</p> <p>岩石学的には上記のように、比較的均質性を有しているものと言えるが、地質構造的には岩石の種類ではなく、その岩石の置かれた場によりむしろその特性が定まる。</p> <p>地質構造的場の把握が必要である。</p>
水理・地化学	<p>水理的には、空洞ができてからの長期間の影響を受けており、初期の状態を知ることが困難である。逆に、空洞掘削から長い期間経過した後の状態を知ることができる。地下水の性状の変化は、比較的小さい。</p>	<p>擾乱を受ける前の状態、又は、掘削の影響による変化を調べることができる。</p>

Table 2-9(2) Comparison and discussion with main effective characteristics between the examinations using the existing vaults and the examinations at the underground research laboratories  
 既存空洞を用いた試験及び地下研究施設試験に影響を与える主要な特徴の比較検討

項 目	既存空洞を用いた試験	地下研究施設における試験
作業安全上の適用法規	<p>鉱山の場合、坑内の試験エリアは労働安全衛生法が適用され、その試験エリアに到るアクセス坑道に対しては鉱山保安法が適用される。労働安全衛生法は労働基準監督署（労働省）の、鉱山保安法は鉱山保安監督部（通産省）の監督の基に運用される。</p> <p>その他の施設のばあいは、地下研究施設と同じである。</p>	<p>新規に開削する坑道であり、その坑道が資源探査に供するものではないため、鉱山保安法の適用を受けず、全施設が労働安全衛生法の適用を受けることとなる。</p>
ユーティリティ	<p>既存のユーティリティを利用できることのメリットは大きい。初期投資額が低いことは勿論、ランニングコストの低さは無視できない。</p>	<p>ユーティリティは全て自前で賄う必要があり、初期投資・ランニングコストが大きい。</p>

Table 2-10(1) Comparison between the examinations using the existing vaults and the examinations at the underground research laboratory  
 既存空洞を用いた試験と地下研究施設での試験の対比

項目	既存空洞を用いた試験	地下研究施設での試験
<b>場所・位置</b>		
・実施場所	既存空洞（鉦山）及び既存空洞に隣接あるいは近接した新規開削空洞	既存空洞のない処女地
・試験場設置深度	200～400m程（利用可能な既存空洞の深度に主として限定される）	1000m程まで（基本的に任意に深度を設定しうる）
・試験対象深度	0～1000m程 （試験空洞より可能な試錐の鉛直方向の深度に左右される）	0～1000m程 （同左）
<b>期間</b>		
・試験空洞での試験期間	数年（～10数年？） （処分予定地の選定期間によって左右される）	10年～20年（それ以上？） （同左、ただし左記よりも長期間であると想定される）
<b>施設特性</b>		
・施設規模	比較的小規模	大規模
・施設建設期間	短期間（既存空洞の整備期間と一部新規空洞の開削期間を要するのみ）	比較的長期間（基本的に立坑と横坑・試験空洞開削までの数年の期間を要す、試験空洞の深度により異なる）
・施設建設自体の有する研究対象としての重要性	あまり重要ではない、ただし、一部の新規開削空洞はこの限りではない。	非常に重要（計画的な調査・試験がなされるべきである）
・他施設への転用可能性	ほとんどなし	地下に関する基礎学問の研究施設として使いうる
・試験実施に至る施設利用状況	既存施設（立坑・横坑・その他ユーティリティ）の積極的利用	新規の施設建設が必要、また付帯するインフラ整備も必要
・試験実施時の施設の利用状況	既存施設（立坑・横坑・その他ユーティリティ）の積極的利用	新規施設の積極的利用
<b>試験対象</b>		
・使用核種	安定核種	（同左）
・核種の使用目的	水理特性把握のためと収着状況の把握のため	（同左）
・核種の使用状況	全体試験の中の一部	（同左）
・試験水の種類	水道水・地表流水・現場流出地下水	（同左）
・試験水の水質	大気と接触～やや接触した地下水水質（既存空洞内・既存空洞周辺の擾乱帯を通過した地下水が多い）	大気と接触していない地下水水質
・水理系	立坑・既存空洞等へ向かう地下水の流れが形成されている。	擾乱のない初期状態からの水理系の変化を追うことができる。
・試験場周辺の試験開始時の、岩盤状況	ゆるみ域有、擾乱（一部未擾）  壁面近傍岩盤の風化変質有	ゆるみ域無、未擾乱の状態から、ゆるみ域有、擾乱へ変化 壁面近傍岩盤の風化変質の無い状態から風化変質有へ変化
・水理状況	地下水位面は低下して一定	掘削により新規に水位面低下

Table 2-10(2) Comparison between the examinations using the existing vaults and the examinations at the underground research laboratory  
 既存空洞を用いた試験と地下研究施設試験の対比

項目	既存空洞を用いた試験	地下研究施設での試験
・水質状況	pH, Eh, Diss. O <sub>2</sub> 濃度等が変化している可能性がある。	pH, Eh, Diss. O <sub>2</sub> 濃度等が初期状態のまま ないしは初期状態から変化
<u>試験環境条件</u>		
・試験雰囲気	地下深部の環境条件とは限らない。	雰囲気制御に留意することで地下深部のそのままの雰囲気を示しうる。
・温度条件	地域・深度により決まる。	(同左)
・圧力条件	初期地圧状態から空洞周辺は変化している可能性がある。	初期地圧状態
・試験規模	数10mスケール (一部数100mスケール)	数100mスケールまで (下記のケースはこの限りでない)
・調査技術開発の対象領域	比較的局所的(地下空洞を利用した技術開発に主として絞られる)	局所的～広域的(地表及び地下を対象とした大規模な技術開発が可能、また開発技術の実証がスムーズに行なえる)
・建設技術開発の主要範囲	横坑・試錐孔のプラグギング、支保工	左記及び実規模、実深度、実岩盤水理状況下での立坑のプラグギング
・一試験の実施期間	数時間～(数年)	数時間～数年(左記よりやや長い)
<u>試験成果</u>		
・解明可能な主要プロセス	熱・力学(一部水理・化学)	熱・力学・水理・化学
・対象とする主要特性	基礎物性・力学特性・熱特性・化学特性・水理特性	(同左)
・その他成果	ハンドリング性・施工性	(基本的に同左)
・主要試験目的	地質環境調査技術の開発 人工バリア性能評価支援データの取得(一部) 処分の技術的実現可能性の確認 地質環境調査技術の開発と関連のあるデータの取得(一部)	地質環境調査技術の開発 人工バリア性能評価支援データの取得 処分の技術的実現可能性の確認 地質環境調査技術の開発と関連のあるデータの取得
・他の各種試験との相互関係	地下研究施設の実施に資する、室内試験との相互補完	他の地下研究施設・ホット/コールド試験施設との相互補完

## 2.5.2 花崗岩中地下研究施設及び花崗岩中既存空洞を用いた試験施設で行われるべき試験項目の検討

2.1～2.3の堆積岩を対象とした試験項目、海外事例調査をまとめた試験項目を参考とし、前2.5.1項で検討した位置づけ・比較のもとに花崗岩中地下研究施設及び花崗岩中既存空洞を用いた試験施設で行われるべき試験項目を最終的に決定する。

試験項目ごとに地下研究施設及び既存空洞を用いた試験の役割を、2.4(6)の地層科学研究の役割の観点から検討する。

### ① 地質構造調査

地質環境の備えている諸作用、人工バリアの環境条件をマクロな構造の面から把握するものであるが、既存空洞においては、空洞の存在する深度と試験を行う深度が一致すれば、ほぼ既知のデータで対応することができる。しかし、地下研究施設では調査の必要がある。調査技術の開発の観点からはほとんど同等であるが、既存空洞による擾乱を避けえない場合は地下研究施設の方が有利になる。

予測技術の開発の観点からは、事前の地質構造調査によって予測し、設計の前提とした地質構造を、実際の掘削後の調査で確認し、技術の現状を示すことができる。ただし、これは新たな空洞を建設する場合のことであり、既存空洞においては当てはまらない。

地質環境調査技術の開発は原位置であればどこでも可能であるが、むしろ参照データの多い既存空洞の方が有利になる。ただし、既存空洞の展開の状況にもより、その空洞による擾乱を避けることができないような状況では開発した技術の適用は困難になる。

一連のデータ取得の観点からは、地下研究施設においてのみ後出の地化学特性や地下水流動試験などの参照データとしての意味がある。単独でのデータの意味はない。

### ② 地化学特性調査

地質環境の備えている諸作用、人工バリアの環境条件を把握する両面から、本分野では重要な課題であり、かつ、他分野のデータ蓄積の少ない課題である。すなわち、核種の地層中挙動に際しては、地層の有する透水性や収着性と並んで地層の地化学的特性が大きく影響する。したがって、地下研究施設及び既存空洞における重要な課題である。既存空洞周囲における擾乱は、対象とする空洞の掘削自身によるものは、その空洞のごく近傍に限られており、わずかな掘削で処女岩盤に近いデータが取得できる。ただし、近接して他の

空洞が存在する場合は、全体として広い範囲の擾乱が起きている場合もある。また、既存空洞付近では人間による擾乱を避けることができても、鉱脈などによる天然の影響も考えられるし、地下研究施設の方がより処分地質環境に近い条件であると考えられるため、地下研究施設の方が有利である。

人工バリアの性能評価のための支援データは、温度、応力、地化学的環境などに関するものであり、人工バリアの劣化及びそこから放射性核種の放出に大きく影響する。したがって、その環境条件の把握が後出する核種移行試験や人工バリア材料特性試験並びに室内ホット試験などの解析に重要な寄与を果たす。

また、本分野特有の問題を含むため、一部のデータについては調査技術の開発を必要とするが、この点については、地下研究施設及び既存空洞とも同等である。

しかし、地質環境評価、人工バリアの設計・評価に際しての参照データとして一連のデータ取得が必要である。地化学特性は空洞の状態に応じて変化するものであり、本分野で必要とする閉鎖後の地化学特性は建設、空洞の存在及び閉鎖に伴う一連の地化学的变化を把握して推測することができる。このような一連のデータは地下研究施設において取得することができる。

### ③ 地下水流動試験

地質環境の有する諸作用のうち、地下水の移行速度が遅いことを示す意味で最も重要になる。しかし、直接的な値は試験施設における試験研究では意味がなく、そのデータを用いた流動解析モデルの検証と改良が必要である。

現在の技術では、多孔媒質における2次元問題に関しては十分対応できるが、割れ目系における3次元問題は今後の課題といえる。後出する物質の移行解析と合わせた地下水・物質の移行解析モデルの開発と検証は原位置における重要な課題のひとつである。本モデルの検証は小規模なモデルに対しては地下研究施設でも既存空洞でも同等であるが、大規模なモデルに対しては、擾乱のない地下研究施設の方が有利である。

人工バリアの環境条件の把握の観点からは、人工バリアに接触し、内部に浸透する地下水の量はサイトの条件に依存するとはいえ、実測例は少なく、地下研究施設や既存空洞における試験により想定することが必要になろう。マクロには、前記の地下水流動解析の結果から推定されるデータではあるが、人工バリア周囲の擾乱域については現象観察レベルから検討しておく必要がある。この面に関しては、擾乱があることが前提であるので、新



規空洞である必要はなく、また鉱山であれば通常、排水量やその変化などについて過去からのデータが存在し有利である。

地層処分システムの実現性の観点から、その最も重要な要素である広域の地下水流動の事前調査による予測が、掘削に伴う変化、空間の存在に伴う変化、閉鎖に伴う変化などを踏まえて現実と整合するかの確認を行うことが必要になる。この点については、地下研究施設でなければ不可能な項目である。

また、深地層における水理特性は、現状技術ではほとんど測定限界以下であり、実際のデータもほとんどない。したがって、調査技術を開発するとともに、データの蓄積が必要である。特に、割れ目系の取扱いについてはその評価上の取扱いと並行して調査技術の開発が必要になる。また、地下水の流速あるいは環境への移行時間を推測するデータについては、年代測定などあらゆる手法を利用して取得するべきである。この面については地下研究施設でも既存空洞でも同等である。

さらに、地表データから地下データにわたる一連のデータが必要になるが、そのような一連のデータは数少なく、地下研究施設において取得すべきデータである。

#### ④ 岩盤の透水性試験

前記の地下水流動試験のうち、小単位の物性値を与える試験である。また、種々の影響因子の効果はマクロにみることは困難であるため、本試験のような小規模試験によって推測することになる。

地質環境の有する諸作用の観点からは、多孔媒質について、あるいは割れ目系をマクロにみる限りではモデル化は終了している。ただし、割れ目系を考慮した解析については、割れ目の観察からの試験研究が必要になる。そして、このような試験の場合、地下水というよりも地下水・物質の移行を解明するため、割れ目の性状観察とそのモデル化がひとつの課題になる。

人工バリア周囲の擾乱域については、各種の影響、例えば熱や熱応力を考慮した透水性試験も可能であるが、核種の人工バリアからの放出後の挙動を想定した場合にはその重要度は低く、むしろ、熱や応力による人工バリア劣化環境の変化として把握するべきである。したがって、透水性試験による地化学的特性の変化として実施することが必要になる。調査技術の開発の観点からは、目的とする性能とその性能のうちわけにもよるが、単に透水係数を測定するためには現状技術で十分であり、今後は割れ目系のモデル化に係わる調

査技術開発が必要とされる。

一連のデータの意義は薄く、本項目に関しては既存空洞でも地下研究施設でも同様の意義を有するが、地下水流動試験に伴いその一部のデータ取得として実施することが必要な試験である。

#### ⑤ 掘削影響試験

地質環境の備えている諸作用の確認の一貫としては、シナリオの妥当性を示すために必要になる試験である。ただし、「そのようなシナリオは発生しないこと、あるいは影響は小さいこと」を示すこと、あるいはそのことが可能な工法を示すことが要求される。その意味で他の試験研究とは意味合いを異にする。

したがって、主として、地層処分システムの実現可能性を示すことに重点があるが、地質構造調査の確認・検証にも有効になる。当然、地下研究施設が必要になるが、既存空洞においても新たな空洞掘削が可能であれば、問題はない。

#### ⑥ 地殻変動の影響調査

地殻構造調査と合わせ、深地層における一連のデータとしてのみ意味を有する。

なお、本分野に関しては地球科学的な面からの技術開発やデータ取得の必要性は多く、その意味で試験研究の意義はある。

既存空洞にしても、地下研究施設にしてもそのデータの価値はあるが、擾乱が少ないと考えられるため、地下研究施設の方が望ましい。

#### ⑦ 岩盤の熱特性試験

地質環境の備えている諸作用の確認の観点からの試験研究の意義はない。

人工バリアの環境の観点から、人工バリア周囲の擾乱域についての熱や熱応力による人工バリア劣化環境の変化として試験研究を行う。したがって、加熱による地化学的特性の変化として実施することが必要になる。

影響因子ではあるが、そのために変化を予測することが必要であり、データ取得とモデル化が必要になる。しかし、単独のプロセスとしては研究段階は終了し、地下水移行や物質移行との複合プロセスとしての評価が必要な段階である。

しかし、地層処分システム実現性の観点から、高い耐久性を有する測定機器の開発は意

義を有する。

この試験については、既存空洞でも地下研究施設でも実施可能である。

#### ⑧ 核種移行試験

原位置における核種移行試験では、実際の核種移行における低濃度領域の挙動を模擬できない。また、試験で可能な期間における核種の移行距離はごく限られる。その意味で、原位置における核種移行試験は、地下水に運ばれる物質移行試験として解釈するべきである。

地質環境の重要な作用のひとつであるが、原位置においては室内試験などの条件を示すことが主であり、そのあと、最終的に室内試験などから開発されたモデルの検証を行うにとどまる。

したがって、試験というよりも、地化学的環境、割れ目の性状や頻度、鉱物組成などの調査を実施し、室内試験へのデータ提供を行うことが必要である。原位置では室内では模擬できない割れ目系のマクロの移行特性の把握を行い、現象を観察するとともに、モデル検証のデータを取得する。

しかし、広域では実施できず、空洞の周辺あるいはボーリング孔を利用した試験であるため、地下研究施設でも既存空洞でも同等である。

#### ⑨ 人工バリア材料特性試験

人工バリアが地層処分場において置かれる環境に類似した環境に直接置いて、その現象を観察することは、人工バリア材料の変化及び人工バリアと地質環境の相互影響を観察するために有意義ではあるが、試験期間が短くなる。

そのため、人工バリア自体の変化ではなく、その影響因子である地下水、温度、応力、地化学的変化を測定し、その影響が小さいことを確認する。

そのような影響域は極めて小さいことから、試験は地下研究施設でも既存空洞でも同様に実施することができる。しかし、実際の処分環境により近いという観点から地下研究施設の方がやや有利である。

また、プラグやグラウトなど施工法によって性能が変化するバリアは実際の地下環境で施工し、その性能を測定することによって、地層処分システムの実現可能性を示す。

このような試験も、地下研究施設でも既存空洞でも同様に実施することができる。

#### ⑩ 模擬固化体搬送技術試験

地層処分システムの実現可能性を示す試験であり、地下研究施設でも既存空洞でも、あるいは場合によっては地表施設でも同様に実施することができる。

#### ⑪ 総合試験

前記の各試験とそれに伴う技術開発が終了した時点で、総合的に地層処分システムの実現可能性を示すために、地層処分システムを模擬した総合試験を行う。例えば、バッファーマステストに近い概念になるが、技術開発の目標と達成度により、適宜計画することが必要である。このような試験はモデル化のための現象解明や技術開発のためには役に立たないが、見落とされた現象のないことの確認、技術の総合性の確認、社会的受容の確保などのためには有効である。

総合試験であるから、実際の処分環境により類似し、かつ、一連のデータが整備されている地下研究施設の方が有利である。

調査・試験項目をさらに細分化し、既存空洞と地下研究施設における試験の特性を比較した結果を表 2-11 に示す。同表においては調査・試験項目ごとに試験実施に関わる留意点を示した。

これらをまとめると、地下研究施設と既存空洞を用いた調査・試験の役割の分担は以下のようなになる。

#### 地下研究施設において実施することが望ましい調査・試験

##### ① 地下研究施設の設計・建設に必要なデータを得る調査・試験

(例) 広域構造調査、初期地圧測定、各種の岩石・岩盤特性試験など

##### ② 擾乱されていない岩盤を必要とする調査・試験

(例) 自然状態における地下水挙動調査、掘削に伴う地下水挙動調査、掘削影響調査など

##### ③ 実際の処分環境に類似した環境でのデータが必要な調査・試験

(例) 自然状態の地化学特性調査、建設・閉鎖に伴う地化学特性変化調査、パッケージ材料耐久性試験、総合試験など

## ④ 一連のデータがあることが望ましい調査・試験

(例) 地下水の長期挙動調査、総合試験など

既存空洞において実施することが望ましい調査・試験

## ① 過去からのデータの蓄積があることが望ましい調査・試験

(例) 水文調査、長期健全性観測試験など

## ② 種々の条件下で実施することが望ましい調査・試験

(例) 岩盤割れ目調査、掘削工法比較試験、長期健全性観測試験など

どちらで実施しても同等の調査・試験

## ① 空洞周辺の水理・地質などの基礎データを得るための調査・試験

(例) 広域構造調査、岩盤割れ目調査、水文調査、各種の岩石・岩盤特性試験など

## ② 空洞そのものを使用する調査・試験

(例) 固化体運搬、格納システムのモックアップ試験など

## ③ 広域を対象とする、あるいは影響範囲の広い調査・試験

(例) 地下水の長期挙動調査、地震時挙動調査、地殻ひずみ測定など

## ④ 空洞周辺の岩盤を使用し、その外部の影響を受けない調査・試験

(例) 各種の透水性試験、核種移行試験、熱物性試験、シングルヒータ試験など

## ⑤ ボーリング孔を利用することによって、擾乱の影響を避けることのできる調査・試験

(例) ボーリング孔の各種調査・試験、孔内探査など

## ⑥ 擾乱の影響の小さい調査・試験

(例) グラウト性能試験、プラグ性能試験、埋戻し材性能試験など

## ⑦ 地質環境調査技術の開発のための調査・試験

(例) 技術開発の伴う調査・試験のすべて

Table 2-11(1) Comparison of characteristic of each item between the examinations using the existing vaults and the examinations at the underground research laboratories  
 既存空洞を用いた試験及び地下研究施設試験の項目別特性比較

調査・試験項目	調査・試験内容	調査・試験手法	有為性	難易度	既存空洞を用いた試験	有為性	難易度	地下研究施設における試験
広域構造調査 (G-1)	広域の大規模な地質構造、地質区分を明らかにし、流動系の概略を把握する。	・地質調査 ・物理探査 ・孔内検層 ・流動系の把握	○ ○ ○ △	易 易 易 易	既存空洞周辺の地質データが一般的に存在しており、それらを利用することにより、より詳細な解析に移行しやすい。鉱区内での活動においては、試験の実施が容易であり、したがって孔内検層のデータの取得が容易である。既存空洞存在条件下での流動系の把握となる。	○ ○ ○ ○	易 易 易 並	地質調査の初期段階から実施せざるをえない。しかしながら地質が相対的に複雑でないため、地質構造を把握しやすい。試験活動の実施においては、相対的に活動状況に制限が加わる可能性があり、その場合には孔内検層のデータの取得が困難となる。
岩盤割れ目調査 (G-3)	小規模な不連続の分布・性状が水理特性に与える影響を把握する。	・孔内観察 ・ボーリングコア観察	○ ○	易 易	坑内でのデータの取得が容易である。	○ ○	並 易	試験の実現可能性が鍵となる。また、それが可能であっても地下深部になるほど、データの取得が困難となる。
水文調査 (H-1)	地表水理データを把握する。	・気象観測 ・地表水文調査	○ △	易 易	既存空洞を有する鉱山では、通常気象データを集積しており、過去の蓄積データを利用できる利点がある。既存空洞の存在の影響を受けた地表水文状態の調査となる。	△ ○	易 易	場所によっては、過去のデータがほとんどない場合もありうる。
自然状態における地下水挙動調査 (H-2)	地質、地質構造との関係における地下水賦存状況を把握する。	・水質分析 ・年代測定 ・地下水圧測定	△ △ △	易 易 易	鉱山活動によって、乱れたあるいは変更された水理状況でのデータ取得となり、未擾乱の系でのデータ取得は相対的に困難となる。ただし、そのような系であってもデータ取得の相対的な容易さから、変更された系での解析は十分実施しうる。また、その解析は処分場の操業段階を想定して模擬したものとすることができる。	○ ○ ○	一 難 並	データ取得計画を綿密にたてることにより、未擾乱の系での十分なデータ取得が期待できる。しかしながら、一点での継続的データ取得は可能であっても、その点数を領域的に拡大するには困難を伴う。
ボーリング孔内透水性調査 (H-4)	地下水流動系に影響を与える水理特性値を求める。	・孔内透水性試験 ・坑内での孔内透水性試験	○ ○	易 易	坑内において試験の実施に比較的容易に取り掛かることができる。地表からの孔内試験と坑内からの孔内試験の比較対象が比較的容易にできる。	○ ○	易 一	地表からの孔内透水性試験の実施が主体となり、坑内での試験の実施が遅れる。地表からの制層による地下深部での孔内透水性試験においては、取得データの信頼性が技術的制約から低下する。
ボーリング孔内力学試験 (E-2)	深部岩盤の力学特性、特に変形・強度定数を把握する。	・孔内検層 (PS検層) ・孔内載荷/せん断試験 ・孔内三軸試験	○ ○ ○	易 易 易	坑内からの孔内力学特性試験の実施が容易である。	○ ○ ○	易 易 易	試験の実現可能性が鍵となる。また、岩盤の力学特性と深度によっては、この種の孔内力学特性試験の実施が困難な場合もある。
初期地圧測定 (E-3)	地下深部の乱されていない状態の岩盤の応力分布状況を把握する。	・水圧破碎法	○	易	既存空洞より更に深部、あるいは水平的に離れた箇所に向けて試験を行い、その箇所での測定を行う。	○	易	試験の実施可能性が鍵となる。実施しえた場合には有用なデータを取得できる。
以上、事前調査段階での調査・試験			既に既存空洞が存在するため、この段階を特に分類する必要はない。			試験の実現可能性・実施状況が成果に大きな影響を与える。		
以下、施工段階での調査・試験			新規に試験空洞を開削することにより、この段階に対応可能である。			初期状態のデータを取得する意味で重要な段階である。		
立坑掘削に伴う地下水挙動調査 (H-3)	ボーリング孔を利用して立坑の建設に伴う周辺地下水の挙動を把握する。H-3・4に一連の、あるいはそれを補佐する試験となる。	・間隙水圧分布測定 ・トレーサ試験 (断層内を含む) ・流向/流速測定 (坑内流量) ・地下水位計測	△ △ △ △	難 難 難 易	坑内の既存空洞よりさらに深部に立坑を設ける場合には考慮しうる。しかしながら、その場合においても十分な試験成果は得がたい。	○ ○ ○ ○	難 難 難 易	試験計画を綿密にたてることにより、十分な成果を期待しうる。

注) 有為性: ○; 試験の実施に意義のあるもの, △; 試験の実施にやや意義のあるもの, ×; 試験の実施の意義が薄いもの  
 難易度: 難; 技術的・環境条件的に難しいもの, (並); 技術的・環境条件的にやや難しいもの, (易); 技術的・環境条件的に易しいもの

Table 2-11(2) Comparison of characteristic of each item between the examinations using the existing vaults and the examinations at the underground research laboratories  
 既存空洞を用いた試験及び地下研究施設試験の項目別特性比較

調査・試験項目	調査・試験内容	調査・試験手法	有為性	難易度	既存空洞を用いた試験	有為性	難易度	地下研究施設における試験
地下研究施設周辺の地下水長期挙動調査 (H-4)	試験場周辺の地下水挙動を調査し、事前調査の結果と比較検討する。	・孔内透水性試験 ・孔内観察 ・地下水分析 ・地下水（間隙水圧）測定	△ △ △ △	易 易 易 難	既存空洞からは水平に坑道展開して、新規空洞を設ける場合に適用しうる。しかしながら、近接した空洞の建設の場合には得られる成果は大きくない。	○ ○ ○ ○	易 易 易 難	H-6に引き続いて実施するもので、綿密な試験計画を立てることにより、十分な成果を期待しうる。
原位置岩盤試験 (E-4)	岩盤の力学定数を得る。	・平板載荷試験 ・岩盤せん断試験 ・岩盤クリープ試験 ・原位置動的繰り返し試験	△ △ △ △	易 易 易 易	既存空洞が既に存在するという意味で、試験場設計データを取得することの意味は相対的に低い。基礎的データを取得するという意味では、充分対応可能である。	○ ○ ○ ○	易 易 易 易	H-7に引き続いて実施することにより、初期状態のデータを得やすい。
初期地圧測定 (E-3)	岩盤内の応力状態を把握する。	・応力開放法	△	易	新規に開削した空洞では実施可能である。	○	易	実施可能である。
岩盤構造調査 (G-2)	地表からの物理探査やボーリング孔を利用した各種検層等の結果から予測された地質状況を空洞内で直接確認するための地質構造調査を実施する。H-1の検証と他の試験の基礎データを得ることを目的とする。	・空洞壁面調査 ・コア調査	○ ○	易 易	H-1の検証という意味では重要性は低い。他の試験の試験箇所を選定・試験内容の吟味等のための重要性は高い。	○ ○	易 易	H-1の技術的評価を下す上で、重要である。必須の基礎的作業である。
孔内探査 (G-4)	掘削時の安全確保ならびに試験結果への影響把握のために、ガスや圧力水あるいは炭化物等の分布状況を調査する。	・地中レーダ探査 ・先行ボーリング	△ ×	並 易	地質的な擾乱の予想される箇所でない限り、その重要性は低い。	△ △	並 易	ガス・帯水層・炭化物の含有の可能性のある堆積岩を除いては、あまり重要性を有しない。
立坑・坑道掘削影響試験 (E-5)	立坑、横坑の掘削に伴うゆるみ域の発生とその力学特性、水理特性の変化を把握する。	・岩盤変位/地圧変化測定 ・間隙水圧/透水性/その他物性の変化測定	△ △	易 難	特に横坑に対しては、試験の実施は充分可能である。また、ゆるみの長期間発生した場として既存空洞壁面を試験対象としうる。	○ ○	易 難	新規掘削面でのデータの取得が図れる。
ボアホールプラグ試験 (A-1)	地表から坑道展開深度までに分布する岩石を対象として、ボアホールプラグging技術の検証試験を行う。	・立坑中心孔のプラグging ・立坑掘削時のプラグging状況調査	△ △	難 難	新規に立坑を施工することにより試験の実施は可能である。	○ ○	難 難	同左

注) 有為性: ○; 試験の実施に意義のあるもの, △; 試験の実施にやや意義のあるもの, ×; 試験の実施の意義が薄いもの  
 難易度: 難; 技術的・環境条件的に難しいもの, (並; 技術的・環境条件的にやや難しいもの, ) 易; 技術的・環境条件的に易しいもの

Table 2-11(3) Comparison of characteristic of each item between the examinations using the existing vaults and the examinations at the underground research laboratories  
 既存空洞を用いた試験及び地下研究施設試験の項目別特性比較

調査・試験項目	調査・試験内容	調査・試験手法	有為性	難易度	既存空洞を用いた試験	有為性	難易度	地下研究施設における試験
以下、運転段階での調査・試験			この段階が初期から始まると考慮するのが妥当である。			充分計画された試験により大きな成果が期待される。		
地下研究施設周辺の地下水長期挙動調査 (H-4)	試験場周辺の広域的地質構造と地下水挙動を長期間継続的に調査する。	・間隙水圧測定 ・坑内湧水量測定 ・地下水分析 ・年代測定 ・クロスホールテスト ・揚水/回復試験	△	難易 易	既存空洞周辺のほぼ水理的に定常状態になった状態での調査・試験となる。	○	難易 易	H-3・7に継続して実施されるべき重要な項目である。長期間の地下水挙動変化を予測し、それを検証する。
岩盤割れ目調査 (G-3)	小規模な割れ目の分布・性状が水理特性に与える影響を把握する。	・孔内観察 ・孔内透水性試験	○	易	充分対応可能である。	○	易	同左
岩盤の透水性試験 (P-3)	比較的大きい規模の岩盤ブロックの平均的透水係数を把握し、これに影響を与える割れ目の規模・性状を明らかにするとともに、孔内透水性試験結果との関係の評価する。	・ベンチレーションテスト	○	難	新規に試験空洞を設けることにより、基本的に実施可能である。手法の開発そのものが課題である。	○	難	一つの重要な試験項目である。手法の開発そのものが課題である。
不飽和岩盤の透水性試験 (P-4)	強制的に不飽和にした岩盤の平均的透水係数を求める。	同上	△	並	既存空洞では不飽和状態であり、長期に放置された空洞壁面を使用しない限り、充分対応可能である。	△	並	岩盤の透水性によっては充分な不飽和状態に達するのに時間を要する場合がある。堆積岩の場合には非常に粘土質でない限り、対応可能である。
熱応力状態下の透水性試験 (P-5)	廃棄体定置後の岩盤温度を想定し、その温度範囲内における透水性等の変化を求める。	・水圧、水温を変化させた水室(?)試験	○	並	充分実施可能である。	○	並	同左
単一割れ目・大規模核種移行試験 (M-2,3)	実際の地下水条件ならびに水理地質的環境条件における核種収着能を評価する。	・トレーサ試験	○	並	収着性評価においては、大規模な試験領域は必要ではない。したがって、充分対応可能である。	○	並	一つの重要な試験項目である。
自然状態の地化学特性調査 (C-1)	湧水の水質調査を行い、地層・岩相別の水質・化学成分を把握する。また、岩盤温度が水質に与える影響を把握する。	・水質分析	○	並	湧水の認められる箇所のみ実施可能。湧水が認められても、流路の把握あるいは検討が必要である。地温勾配の変化の水質に与える影響については、同一岩相で深度方向に連続する場合は把握しやすいが、岩相が変化する場合はその影響評価が難しい。	○	並	岩相変化と湧水箇所・量の正確な把握により、ある流量が得られれば充分な評価結果を期待できる。

注) 有為性: ○; 試験の実施に意義のあるもの, △; 試験の実施にやや意義のあるもの, ×; 試験の実施の意義が薄いもの  
 難易度: 難; 技術的・環境条件的に難しいもの, (並; 技術的・環境条件的にやや難しいもの, ) 易; 技術的・環境条件的に易しいもの



Table 2-11(4) Comparison of characteristic of each item between the examinations using the existing vaults and the examinations at the underground research laboratories  
 既存空洞を用いた試験及び地下研究施設試験の項目別特性比較

調査・試験項目	調査・試験内容	調査・試験手法	有為性	難易度	既存空洞を用いた試験	有為性	難易度	地下研究施設における試験
自然状態の地化学特性調査 (C-1)	核地層・岩相別の岩石の鉱物組成・化学組成を把握する。	・岩石鑑定 (X線・顕微鏡) ・化学分析	○	易	充分実施可能である。	○	易	同左
建設・閉鎖に伴う地化学特性変化調査 (C-2)	坑道の埋め戻しによる地下水水質の復元仮定に関するメカニズムの把握 グラウト・プラグ・シールによる周辺地層内の水質変化の把握	・立坑/横坑周辺岩盤の化学的特性の変化のモニタリング (酸化還元電位/鉱物組成/イオン含有量等)	○	並	湧水の認められる箇所のみ実施可能。また、水質は深地層条件を反映したものが望まれるが、この点で難がある。	○	並	掘削した坑道を早期に埋め戻し、他の試験空洞開削の影響を制限しうるのであれば、充分実施可能である。
原位置熱物性試験 (T-2)	岩盤内の温度分布予測に必要な特性値を求める。	・点熱源を用いた3次元温度測定 (タイムスケール試験)	○	易	数m規模の試験であり、充分実施可能である。	○	易	同左
シングルヒータ試験 (T-3)	実規模岩盤の熱応力挙動ならびに熱的な強度を把握する。	・シングルヒータ試験	○	易	同上	○	易	同上
マルチヒータ試験 (T-4)	実規模岩盤の熱応力挙動ならびに熱的な強度を把握する。	・マルチヒータ試験	○	易	同上	○	易	同上
ジョイントブロック試験 (T-5)	岩盤の変形特性と熱応力の予測のために必要な熱的、力学的特性を把握する。	・ジョイントブロック試験	○	並	同上	○	並	同上
掘削工法比較試験 (E-6)	立坑・水平坑道を数種の発破工法、機械掘削工法を用いて試験的に掘削し、これに伴うゆるみ域の発生状況とその力学特性・水理特性の変化を把握する。	・試験掘削に伴う岩盤変位/地圧変化/間隙水圧変化の測定 ・試験掘削前後の岩盤の変形性/透水性の変化測定 ・弾性波探査 (ゆるみ調査)	○	並	既存空洞の影響のほとんどない既存空洞から離れた箇所に立坑・横坑を設ける場合には、試験評価が可能である。	○	並	試験坑道及びそれに至る立坑・横坑で実施可能である。
長期健全性観測試験 (E-7)	E-4試験において、掘削工法・支保方法等を変えて建設工法の比較を行った試験坑道に対して、長期間の安定性モニタリングを行う。また、T-2試験を長期に継続し、熱応力環境下の長期安定性をモニタリングする。	・岩盤変位/地圧変化/間隙水圧変化の長期計測 ・岩盤の長期変形性/透水性の時間経過に伴う変化の把握 ・シングルヒータ試験の継続	○	易	基本的に試験が実施可能であれば、試験継続は可能である。	○	易	一つの重要な試験項目である。

注) 有為性: ○; 試験の実施に意義のあるもの, △; 試験の実施にやや意義のあるもの, ×; 試験の実施の意義が薄いもの  
 難易度: 難; 技術的・環境条件的に難しいもの, (並); 技術的・環境条件的にやや難しいもの, (易); 技術的・環境条件的に易しいもの

Table 2-11(5) Comparison of characteristic of each item between the examinations using the existing vaults and the examinations at the underground research laboratories  
 既存空洞を用いた試験及び地下研究施設試験の項目別特性比較

調査・試験項目	調査・試験内容	調査・試験手法	有為性	難易度	既存空洞を用いた試験	有為性	難易度	地下研究施設における試験
ボアホールプラグ試験 (A-1)	地表から坑道展開深度までに分布する岩盤を対象として、ボアホールプラグング技術の検証試験を行う。	・オーバーコアリングによるプラグ部の採取と性能確認	○	並	充分実施可能である。早期の試験着手が図れ、プラグ施工期間を様々にとりうる。	○	並	試験・プラグング施工は事前調査段階から実施可能であるものの、検証は坑道展開した後となる。
グラウト性能試験 (A-2)	グラウトによって改善した岩盤部分の透水性を求め、グラウトの止水性能を評価する。	・A-4試験のグラウティング ・ベンチレーションテスト ・グラウト部位の加圧注水試験	○	易 ○ 難 ○ 易	充分実施可能である。	○	易 ○ 難 ○ 易	同左
プラグ性能試験 (A-3)	坑道を埋め戻し材を用いて閉塞し、周辺岩盤を含めた埋め戻し・プラグ部分の透水性を求め、埋め戻し材とプラグの止水性能を評価する。	・埋め戻し材とプラグの試験施工 ・ベンチレーションテスト ・強制的プラグング透水試験	○	難 ○ 難 ○ 難	既存空洞より離れた箇所新規に空洞を設けて試験を行う場合には実施可能であり、データの取得と解析が可能である。	○	難 ○ 難 ○ 難	充分実施可能である。
埋め戻し材性能試験 (A-4)	坑道を埋め戻し材を用いて一定方法で充填・閉塞し、周辺岩盤を含めた埋め戻し部位の透水性を評価する。	・埋め戻し材の試験施工 ・ベンチレーションテスト	○	難 ○ 難	同上	○	難 ○ 難	同上
緩衝材の長期挙動試験 (A-5)	空洞を埋め戻した場合の岩盤内の水圧変化や緩衝材の力学的安定性、止水性を評価する。	・間隙水圧測定 ・岩盤、埋め戻し材の応力測定 ・岩盤、埋め戻し材の力学的、水理学的特性試験	○	難 ○ 難 ○ 難	同上	○	難 ○ 難 ○ 難	同上
パッケージ材料耐久性試験 (A-6)	廃棄物パッケージ材料を原位置条件下に定置して、材料の変質状況を観測する。	・パッケージ材料の耐久性試験	△	易	湧水の認められる箇所が得られることが必要である。さらに、湧水の水質条件が真の地下深部条件を反映したものであることが望まれる。	△	易	湧水の認められる箇所でも充分実施可能である。湧水が長期間継続して認められる可能性の評価しておく必要がある。
地震時挙動観測 (D-1)	地下深部の地震動特性および地下空洞の地震時挙動を把握する。	・断層内加速度観測 ・加速度計を用いた地震動観測 ・ひずみ計を用いた地震時のひずみ分布の測定	○	易 ○ 易	既存空洞の展開状況によっては、初期の段階で有効な配置と観測の実施を開始することができる。	○	易 ○ 易	空洞の開削に時間を要するため、平面的・垂直的加速度計の設置と観測の開始には時間がかかる。
地殻ひずみ観測 (D-2)	岩盤内の応力・ひずみ分布が長期間にわたる、ゆっくりとした地殻の変動によって、どのように変化するか、その傾向を把握する。	・長期精密変位測定 ・震度測定地震計によるモニタリング	△	並 △ 並	既存空洞の開削に伴う初期段階の変化は把握できない。既存空洞存在条件下での観測となる。ただし、早期に着手可能である。	△	並 △ 並	空洞の開削に伴う初期段階の変化から観測データを取得することができる。長期の観測が必要となる。

Table 2-11(6) Comparison of characteristic of each item between the examinations using the existing vaults and the examinations at the underground research laboratories  
 既存空洞を用いた試験及び地下研究施設試験の項目別特性比較

調査・試験項目	調査・試験内容	調査・試験手法	有為性	難易度	既存空洞を用いた試験	有為性	難易度	地下研究施設における試験
固体運搬・格納システム のモックアップ試験 (Mo)	空洞の一角に模擬処分施設を設置し、固体体のハンドリング機器・エレベータ・運搬機器等の適用化試験を実施する。また、これらの機器を要したハンドリング作業を常時公開できる体制を整える。	・ハンドリングシステムのモックアップ試験	△	易	実施可能である。技術的な意義は低い。むしろ、PA上の意義がある。	△	易	同左
総合試験 (Ba) (Ba-1)	実際の処分と同等の条件下で実物スケールのコールド試験を実施する。	・実規模コールド試験 (バッフアマス試験)	△	並	応力・水理等の条件で実際の処分と同等の条件では自然状態では得にくい。既存空洞より新たな立坑・横坑の掘削を必要とする。	△	並	深度の設定によっては、実際の処分と同等の条件をうることが可能であり、その場合には実施可能である。ただし、全く同等の条件は得られない。

注) 有為性: ○; 試験の実施に意義のあるもの, △; 試験の実施にやや意義のあるもの, ×; 試験の実施の意義が薄いもの  
 難易度: 難; 技術的・環境条件的に難しいもの, (並; 技術的・環境条件的にやや難しいもの, ) 易; 技術的・環境条件的に易しいもの

### 3. 地下研究施設における調査・試験の研究

2.5.2においては地下研究施設において行われるべき11の試験項目の果たす役割り、意義についてすでに検討が行われているので本節においては、地下研究施設において実施する調査、試験の内容を把握し、各試験項目の構造と研究の流れを検討するとともにこれら研究の概要と内容について説明する。

#### 3.1 地下研究施設における調査試験項目

地下研究施設において実施すべき試験項目はTable2-11(1)からTable2-11(6)に示される様に多種多様にわたっている。これらの研究課題、調査試験項目を実施時期及びR & Dの評価・解析項目との関係について整理するとTable3-1の通りになり、この表をベースに事項以降の研究の展開を説明する。

Table 3-1 Items of the investigations and the examinations at the underground research laboratories  
地下研究施設における調査試験項目

研究課題	調査試験項目		評価・解析項目	実施時期
1. 地質構造調査	広域構造調査	G-1	地質構造モデルの構築, 検証 (深部地質環境の把握と 把握技術の開発)	事前調査段階 立坑, 横坑掘削時
	岩盤構造調査	G-2		
	岩盤割れ目調査	G-3		
	坑内探査	G-4		
2. 地化学特性調査	自然状態の地化学特性調査	C-1	(深部岩盤内地化学環境 と地化学変化挙動の把握)	事前調査段階 ～施設完成
	建設・閉鎖に伴う地化学特性変化調査	C-2		
3. 地下水流動試験	水文調査	H-1	地下水流動モデルの構築, 検証 (地下水流動調査技術の開発)	事前調査段階 立坑掘削時 施設完成後
	自然状態における地下水挙動調査	H-2		
	立坑掘削に伴う地下水挙動調査	H-3		
	地下研究施設周辺の地下水長期挙動調査	H-4		
4. 岩盤の透水性試験	室内透水性試験	P-1	岩盤の透水性評価技術の開発 岩盤内透水性モデルの開発	事前調査段階 試験場完成後
	ボーリング孔内透水性試験	P-2		
	大規模透水性試験	P-3		
	不飽和岩盤の大規模透水性試験	P-4		
	熱応力下の透水性試験	P-5		
5. 掘削影響試験	室内力学試験	E-1	岩盤の安定性予測モデルの 構築と検証 地質構造モデルの確認, 検証	事前調査段階 立坑, 横坑掘削時 試験場完成後
	ボーリング孔内力学試験	E-2		
	初期地圧測定	E-3		
	原位置岩盤試験	E-4		
	立坑・坑道掘削影響試験	E-5		
	掘削工法比較試験	E-6		
	長期健全性観測試験	E-7		
6. 地殻変動の影響調査	地震時挙動観測	D-1		試験場完成後
	地殻ひずみ観測	D-2		
7. 岩盤の熱特性試験	室内熱物性試験	T-1	岩盤の熱挙動モデルの構築と 検証 岩盤の熱特性評価技術の開発	試験場完成後
	原位置熱物性試験	T-2		
	シングルヒーター試験	T-3		
	マルチヒーター試験	T-4		
	ジョイントブロック試験	T-5		
8. 核種移行試験	室内ブロック割れ目移行試験	M-1	核種移行モデルの検証	試験場完成後
	単一割れ目移行試験	M-2		
	大規模核種移行試験	M-3		
9. 人工バリア材料特性試験	ボアホールプラグ試験	A-1	人工バリア材料の性能評価 技術の開発	試験場完成後
	グラウト性能試験	A-2		
	プラグ性能試験	A-3		
	埋戻し材性能試験	A-4		
	緩衝材の長期挙動試験	A-5		
	パッケージ材料の耐久性試験	A-6		
10. 模擬固化体搬送技術試験	固化体運搬・格納システムのモックアップ試験	Mo	(搬送技術の確認)	試験場完成後
11. 総合試験	多重バリアシステムのコールド試験	Ba	性能評価モデルの検証技術開発	試験場完成後

### 3.2 地下研究施設における研究の構造と調査試験の流れ

地下研究施設における研究の構造は、Table3-1の分類の研究課題ごとに研究の目的、調査試験項目、研究の構造、期待される成果についてTable3-2(1)からTable3-2(11)に示した。これらの表のなかで研究の構造については各調査の実施場所、実施時期、成果を一連のフローでしめしたもので研究開発の思想が反映されたものである。

地下研究施設における研究の流れについては、各研究課題ごとに研究施設の建設時期をベースに調査試験、解析、成果を分類したものでTable3-2(12)からTable3-2(22)に示す。

Table 3-2(1) 研究の構造		研究課題	地質構造調査
研究の目的	地表から地下深部までの地層構造を把握し、他の調査試験を実施する上での基礎資料となる地質構造モデルを構築するとともに、地質構造調査技術の適用性を確認する。		
調査試験項目	①広域構造調査、②岩盤構造調査、③岩盤割れ目調査、④坑内探査		
研究の構造	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>&lt;地表からの調査&gt;</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 150px;"> <p>広域構造調査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・リモートセンシング</li> <li>・物理探査</li> <li>・地表地質調査</li> </ul> <p>岩盤構造調査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ボーリング調査</li> <li>・検層</li> <li>・ジオモグラフィー</li> </ul> <p>岩盤割れ目調査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・JF観察</li> <li>・孔内観察</li> </ul> </div> </div> <div style="text-align: center;"> <p>&lt;解析&gt;</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 100px;"> <p>地質構造モデルの作成</p> </div> </div> <div style="text-align: center;"> <p>&lt;坑内における調査&gt;</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 150px;"> <p>岩盤構造調査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ボーリング調査</li> <li>・検層</li> <li>・ジオモグラフィー</li> </ul> <p>岩盤割れ目調査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・JF観察</li> <li>・孔内観察</li> <li>・孔内壁面観察</li> </ul> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 150px; margin-top: 10px;"> <p>坑内探査</p> <p>→掘削時の安全性確保</p> </div> </div> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 20px;">                     ↓                      地質構造の把握      地質構造調査技術の適用性の検証      坑内探査（掘削切羽前方予知）技術の開発                 </p> <p style="text-align: center; margin-top: 20px;">                     ↓      ↓      ↓                      地下水流動モデル      力学解析モデル      熱解析モデル                 </p>		
期待される成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地表から地下深部までの地質構造の把握</li> <li>・地下深部の現状における地質構造調査技術の適用性の検証</li> <li>・坑内探査（掘削切羽前方予知）技術の開発</li> </ul>		

Table 3-2(2) 研究の構造		研究課題	地化学特性調査
研究の目的	<p>廃棄体中の放射性核種が漏出して地下水中に溶解し、人間環境へ移行する地下水移行シナリオにおいて重要な役割を果たす地下水と人工バリアとの化学反応、核種の地下水への浸出反応、溶出した核種の地下水中での化学反応を明らかにするために、原位置の地化学特性と地化学変化挙動を把握する。また、これに必要な調査手法、評価技術を開発する。</p>		
調査試験項目	<p>①自然状態の地化学特性調査、②建設・閉鎖に伴う地化学特性変化調査</p>		
研究の構造	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>&lt;地表からの調査&gt;</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40%;"> <p>自然状態の地化学特性調査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・地表水、深部ボーリング孔内水の採水分析</li> <li>・深部ボーリング孔内における原位置水質測定</li> <li>・岩石と割れ目充填物の採取、分析</li> </ul> </div> </div> <div style="text-align: center;"> <p>&lt;坑内における調査&gt;</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40%;"> <p>建設、閉鎖に伴う地化学特性変化調査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・坑内湧出水の長期にわたる採水、分析</li> <li>・人工バリア共存環境下の地下水、岩石等の採取、分析</li> </ul> </div> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%; margin: 0 auto;"> <p>採水方法・分析手法の確立</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p>花崗岩体中の地化学環境の把握</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p>処分場環境の地化学特性の把握</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p>地下水成分の広域・長期変動現象の 説明と予測モデルの作成</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 20%;"> <p>核種移行特性</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 20%;"> <p>人工バリア材料特性</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%;"> <p>地下水流動モデル</p> </div> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; width: 30%; border-style: dashed;"> <p>バリア性能評価モデル</p> </div> </div>		
期待される成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・深部地化学環境データの把握</li> <li>・人工バリア共存環境下の地化学データの把握</li> </ul>		



Table 3-2(3) 研究の構造		研究課題	地下水流動試験
研究の目的	比較的に広い範囲の地下水流動に係わる調査手法，モデル化技術，解析・検証方法を開発し，岩盤内の地下水流動機構を明らかにするとともに，系統だった一連の地下水流動の検討・評価システムを構築する。		
調査試験項目	①水文調査，②自然状態における地下水挙動調査，③立坑掘削に伴う地下水挙動調査 ④地下研究施設周辺の地下水の長期挙動調査		
研究の構造	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>&lt;事前調査・地表からの調査&gt;</span> <span>&lt;解析&gt;</span> <span>&lt;施工時・完成後の調査&gt;</span> </div> <p>             ^ 調査試験・解析 v              ^ 成果 v              ^ 関連事項 v         </p>		
期待される成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>比較的に広い範囲の地下水流動機構の解明，モデル化</li> <li>地下水流動現象の調査，評価，解析の一貫システムの確立</li> </ul>		

Table 3-2(4) 研究の構造	研究課題	岩盤の透水性試験
研究の目的	地下水流動モデルを作成する上で必要とされる岩盤の透水性の評価方法を開発する。	
調査試験項目	①室内透水性試験, ②ボーリング孔内透水性試験, ③大規模透水性試験, ④不飽和岩盤の透水性試験, ⑤熱応力下の透水性試験	
研究の構造	<div style="display: flex; justify-content: space-around; text-align: center;"> <span>&lt;地表からの調査・試験&gt;</span> <span>&lt;解析&gt;</span> <span>&lt;完成後の坑内における試験&gt;</span> </div> <pre> graph TD     A[地表構造調査] --&gt; B[地下水流動試験]     B --&gt; C[地下水流動解析]     D[室内透水性試験 ボーリング孔内透水性試験] --&gt; C     E[ボーリング孔内透水性試験 大規模透水性試験] --&gt; C     C --&gt; F[透水性におけるスケール効果 核種透水性試験結果の相互関係]     G[不飽和岩盤の大規模透水性試験] --&gt; H[巨視的平均透水係数の把握]     I[熱応力下の透水性試験] --&gt; H     H --&gt; J[near fieldにおける透水性の評価]     F --&gt; K[岩盤の透水性評価法の確立]     K --&gt; L[地下水流動モデル]     J --&gt; M[連成解析モデル]     M --&gt; L     </pre>	
期待される成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>地質構造との関係に基づく岩盤の透水性評価法の確立</li> <li>調査結果に基づく岩盤の透水性評価法の確立 (容易に実施可能な調査手法を用いた透水性評価法の確立)</li> <li>岩盤の巨視的平均透水係数の把握</li> </ul>	

Table 3-2(5) 研究の構造		研究課題	掘削影響試験
研究の目的	掘削が周辺の岩盤に及ぼす影響の調査・解析手法を開発し、深部岩盤内空洞の力学的安定性評価モデルを確立する。また、空洞周辺岩盤の掘削影響範囲内の物性、特に透水性の変化データを取得し、掘削影響の評価方法を開発する。		
調査試験項目	①室内力学試験、②ボーリング孔内力学試験、③初期地圧測定、④原位置岩盤試験 ⑤立坑・坑道掘削影響試験、⑥掘削工法比較試験、⑦掘削後の健全性観測試験、		
研究の構造	<p style="text-align: center;">&lt; 事前および建設時の調査 &gt;    &lt; 評価・解析 &gt;    &lt; 完成後の試験 &gt;</p>		
期待される成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 深部岩盤空洞の力学安定性評価モデルの検証</li> <li>・ 空洞周辺岩盤の掘削影響圏の物性（特に透水性）評価データの取得</li> <li>・ 機械掘削工法、発破工法の適用性の検証</li> </ul>		

Table 3-2(6) 研究の構造		研究課題	地殻変動の影響調査
研究の目的	岩盤内空洞の耐震安全性，地殻変動に対する安定性を定量的に保証するために、耐震設計手法を検証し、地殻変動状況を把握する。		
調査試験項目	①地震時挙動観測，②地殻ひずみ観測		
研究の構造	<div style="display: flex; justify-content: space-around; text-align: center;"> <div style="width: 30%;"> <p>&lt;初期調査&gt;</p> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">地質構造調査</div> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;">室内力学試験 原位置岩盤試験</div> </div> <div style="width: 30%;"> <p>&lt;解析&gt;</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">耐震設計モデルの動的解析</div> </div> <div style="width: 30%;"> <p>&lt;長期観測&gt;</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">地震時挙動観測</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">地殻ひずみ観測</div> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">耐震設計法の検証</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">地殻変動状況の把握</div> </div> <p style="margin-top: 20px;">^ 調査・解析 v</p> <p style="margin-top: 20px;">^ 成果 v</p>		
期待される成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地震時安定性評価手法の開発と耐震設計法の検証</li> <li>・地域の活動性，地殻変動状況の把握</li> </ul>		

Table 3-2(7) 研究の構造		研究課題	岩盤の熱特性試験
研究の目的	<p>深部地下環境下における熱伝導挙動に関する調査試験，評価・解析手法を開発し，検証する。また，岩盤の温度依存挙動（連成挙動）の機構を明らかにし，連成解析手法の開発を進める。</p>		
調査試験項目	<p>①室内熱物性試験，②原位置熱物性試験，③シングルヒーター試験 ④マルチヒーター試験，⑤ジョイントブロック試験，</p>		
研究の構造	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span>&lt;基礎調査試験&gt;</span> <span>&lt;評価・解析&gt;</span> <span>&lt;規模の大きな試験&gt;</span> </div> <pre> graph TD     subgraph "基礎調査試験"         A[地質構造調査]         B[室内熱物性試験]         C[原位置熱物性試験]         D[室内力学試験 原位置岩盤試験]         E[岩盤の透水性試験]     end      subgraph "評価・解析"         F[入力物性値の評価]         G[熱伝導解析]     end      subgraph "規模の大きな試験"         H[シングルヒーター試験]         I[マルチヒーター試験]         J[ジョイントブロック試験]         K[連成解析]     end      B --&gt; F     C --&gt; F     D --&gt; F     E --&gt; F     F --&gt; G     G --&gt; H     G --&gt; I     G --&gt; K     J --&gt; K     K --&gt; L[深部地下環境下における岩盤の熱物性データの取得]     G --&gt; M[熱伝導解析モデルの検証]     K --&gt; N[連成解析モデルの開発と検証]     J --&gt; O[連成挙動のメカニズムの把握]     N --&gt; P[総合試験]     </pre> <p>△ 調査・試験・解析 ↓</p> <p>△ 成果 ↓</p> <p>△ 関連事項 ↓</p>		
期待される成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 深部地下環境下における熱物性データの取得</li> <li>・ 熱伝導解析モデルの検証</li> <li>・ 連成挙動の基礎的メカニズムの把握</li> </ul>		

Table 3-2(8) 研究の構造		研究課題	核種移行試験
研究の目的	割れ目系岩盤の核種移行特性を把握・評価するため、岩盤割れ目内の地下水流動機構（チャンネルリング）と核種移行機構を明らかにし、多数の割れ目を含有する割れ目系岩盤の核種移行モデルを検証する。		
調査試験項目	①室内ブロック割れ目移行試験，②単一割れ目移行試験，③大規模核種移行試験		
研究の構造	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span>&lt;予備調査，小規模試験&gt;</span> <span>&lt;解析&gt;</span> <span>&lt;規模の大きな試験&gt;</span> </div>		
期待される成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>単一割れ目の核種移行特性及び割れ目系岩盤の等価均質核種移行特性の把握</li> <li>岩盤の核種移行特性のモデル化及び評価方法の検証，確立</li> <li>岩盤の等価均質移行特性の原位置試験方法の確立</li> </ul>		

Table 3-2(9) 研究の構造		研究課題	人工バリア材料特性試験
研究の目的	実際の処分環境に近い深部地下環境において人工バリア施工技術の適用性を確認し、実規模施工の人工バリアの材料特性データを取得する。 また、人工バリア材料の深部地化学条件下における耐久性を確認する。		
調査試験項目	・ボアホールプラグ試験、 ・グラウト性能試験、 ・プラグ性能試験、 ・埋戻し材性能試験 ・緩衝材の長期挙動試験、 ・パッケージ材料の耐久性試験		
研究の構造	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;"> <p>△調査・試験・解析▽</p> <p>既存の材料・施工技術</p> <p>材料製造技術、 施工技術の改善</p> <p>△成果▽</p> <p>施工技術の実証</p> <p>△関連事項▽</p> </div> <div style="width: 40%; text-align: center;"> <p>&lt;試験&gt;</p> <p>ボアホールプラグ試験</p> <p>グラウト性能試験</p> <p>プラグ性能試験</p> <p>埋戻し材性能試験</p> <p>緩衝材の長期挙動試験</p> <p>パッケージ材料の耐久性試験</p> <p>室内試験データ</p> </div> <div style="width: 25%; text-align: right;"> <p>&lt;評価&gt;</p> <p>人工バリアの長期健全性評価</p> <p>人工バリア材料の耐久性の確認</p> </div> </div>		
期待される成果	材料製造技術・施工技術の実証 ・人工バリアの擬似処分環境下特性データの取得		

Table 3-2(10) 研究の構造	研究課題	模擬固化体搬送技術試験
研究の目的	実規模の模擬固化体を用いて、ハンドリングシステムの適用性を確認する。	
調査試験項目	・ 固化体運搬，格納システムのモックアップ試験	
研究の構造	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>&lt;他施設における技術開発&gt;</p> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; width: 200px;"> <p>他施設における 固化体搬送機器の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ リモートコントロール技術の適用</li> <li>・ 重量物搬送技術の確立</li> <li>・ 固化体埋設技術の実用化</li> </ul> </div> </div> <div style="text-align: center;"> <p>&lt;地下研究施設における試験&gt;</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 250px;"> <p>固化体運搬・格納システムの モックアップ試験</p> <p>地上施設内受入・搬送システム， 垂直搬送システム， 坑底・処分坑道内水平搬送システム， ピット内格納・埋設システム等のモックアップ</p> </div> </div> </div> <p style="text-align: center; margin: 10px 0;">↔</p> <div style="text-align: center;"> <p>↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 200px; margin: 0 auto;"> <p>固化体搬送機器の適用性の実証 処分場施設のモックアップによる PR</p> </div> </div>	
期待される成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 固化体運搬，格納技術の実証</li> <li>・ 処分場施設のモックアップによる PR</li> </ul>	



Table 3-2(11) 研究の構造		研究課題	総合試験
研究の目的	人工バリア及び天然バリアの総合性能を実証するための総合試験技術を開発し、模擬廃棄体及び非放射性核種を用いるコールド試験による多重バリアシステムの特性データを取得し、多重バリアシステムの性能を確認する。		
調査試験項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>人工バリアの長期健全性確認試験</li> <li>模擬的実規模核種移行試験</li> <li>コールド試験</li> </ul>		
研究の構造	<p>The flowchart is organized into three main columns: &lt;調査・試験&gt; (Investigation/Experiments), &lt;予測シミュレーション&gt; (Prediction Simulation), and &lt;総合試験&gt; (Comprehensive Test).          - Under &lt;調査・試験&gt;, there are six dashed boxes: 地質構造調査, 地化学特性調査, 岩盤の透水性試験, 掘削影響試験, 岩盤の熱特性試験, 核種移行試験, and 人工バリア材料特性試験. Arrows from these boxes point to the simulation column.          - Under &lt;予測シミュレーション&gt;, there are three solid boxes: ニア・フィールド核種移行予想シミュレーション, 人工バリアの劣化予測シミュレーション, and リアリストック・モデル予測シミュレーション. Arrows from the simulation column point to the comprehensive test column.          - Under &lt;総合試験&gt;, there are four solid boxes: 模擬的核種移行試験, 人工バリアの長期健全性確認試験, コールド試験, and 総合試験技術の確立. At the bottom, a box for 長期モニタリング技術 has an arrow pointing up to the comprehensive test column.          - Horizontal double-headed arrows connect the simulation boxes to the comprehensive test boxes: ニア・フィールド核種移行予想シミュレーション ↔ 模擬的核種移行試験, 人工バリアの劣化予測シミュレーション ↔ 人工バリアの長期健全性確認試験, and リアリストック・モデル予測シミュレーション ↔ コールド試験.          - Vertical double-headed arrows connect the comprehensive test boxes: 模擬的核種移行試験 ↔ 人工バリアの長期健全性確認試験, and 人工バリアの長期健全性確認試験 ↔ コールド試験.          - On the left side, vertical arrows indicate the flow of information: 調査試験・解析 (upward), 成果 (downward), and 関連事項 (downward).</p>		
期待される成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期モニタリング技術を始めとする総合試験技術</li> <li>長期観測による多重バリア性能予測モデルの検証</li> <li>多重バリアシステムの特性データ（コールド）の取得</li> </ul>		

Table 3-2 (12) 研究の流れ

研究課題		地質構造調査	
	調査 試験	評価 解析	成果
建設前	広域構造調査 <ul style="list-style-type: none"> <li>・リモートセンシング</li> <li>・物理探査</li> <li>・地表地質調査</li> </ul> 岩盤構造調査 <ul style="list-style-type: none"> <li>・地表ボーリング 調査</li> <li>・検層</li> <li>・地表ボーリング 孔を利用した ソトモグラフィ</li> </ul> 岩盤割れ目調査 <ul style="list-style-type: none"> <li>・地表ボーリング のJ観察</li> <li>・地表ボーリング 孔内観察</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・岩質、割れ目の分布状況推定</li> <li>・地質構造モデル の作成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地質構造の把握</li> <li>・地質構造の地下水流動モデル ・力学解析モデル ・熱解析モデル への反映</li> </ul>
建設時	岩盤構造調査 <ul style="list-style-type: none"> <li>・坑内ボーリング 調査</li> <li>・検層</li> <li>・坑内ボーリング 孔を利用した ソトモグラフィ</li> </ul> 岩盤割れ目調査 <ul style="list-style-type: none"> <li>・坑内ボーリング のJ観察</li> <li>・坑内ボーリング 孔内観察</li> <li>・立坑、主要坑道の壁面観察</li> </ul> 坑内探査 <ul style="list-style-type: none"> <li>・岩盤レーザ探査</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・岩質、割れ目の分布状況の推定と確認</li> <li>・地質構造モデル の検証と再作成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地質構造の把握</li> <li>・地質構造調査技術の適用性の検証</li> <li>・坑内探査技術の開発</li> </ul>
完成後	岩盤構造調査 <ul style="list-style-type: none"> <li>・坑内ボーリング 調査</li> <li>・(検層)</li> <li>・坑内ボーリング 孔を利用した ソトモグラフィ</li> </ul> 岩盤割れ目調査 <ul style="list-style-type: none"> <li>・坑内ボーリング のJ観察</li> <li>・坑内ボーリング 孔内観察</li> <li>・試験空洞の壁面観察</li> </ul> 坑内探査 <ul style="list-style-type: none"> <li>・岩盤レーザ探査</li> <li>・その他の坑内探査</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・岩質、割れ目の分布状況の推定と確認</li> <li>・地質構造モデル の検証と再作成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地質構造の把握</li> <li>・地質構造調査技術の適用性の検証</li> <li>・地質構造モデル 化技術の確立</li> <li>・坑内探査技術の確立</li> <li>・地質構造モデル の地下水流動モデル 力学解析モデル ・熱解析モデル への適用</li> </ul>

Table 3-2 (13) 研究の流れ

研究課題		地化学特性調査		
	調査 試験	評価 解析	成果	
建設前	自然状態の地化学特性調査 ・地表水, 深部ボーリング 孔内水の採水・分析 ・深部ボーリング 孔内における原位水質測定 ・ボーリング から得られる岩石と割れ目充填物の採取・分析		・採水方法, 分析手法の確立 ・花崗岩体中の地化学環境の把握	
建設時	建設, 閉鎖に伴う地化学特性変化調査 ・深部ボーリング 孔内水の定期採水分析 ・坑内湧出水の定期採水・分析 ・坑内における岩石と割れ目充填物の採取分析		・花崗岩体中の地化学環境の把握 ・地下水成分の広域・長期変動現象の解明と予測モデル作成への反映 ・地下水流動モデルへの反映	
完成後	建設, 閉鎖に伴う地化学特性変化調査 ・深部ボーリング 孔内水の定期採水分析 ・坑内湧出水の定期採水・分析 ・人工閉鎖共存環境下の地下水, 岩石等の採取・分析		・地下水成分の広域・長期変動現象の解明と予測モデル作成への反映 ・地下水流動モデルへの反映 ・処分場環境の地化学特性の把握 ・核種移行特性, 人工閉鎖材料特性把握のための基礎データの提供 ・閉鎖性能評価モデルへの反映	

Table 3-2 (14) 研究の流れ

研究課題		地下水流動試験		
	調査 試験	評価 解析	成果	
建設前	水分調査 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 気象観測</li> <li>・ 表面流出量調査</li> <li>・ 既存空洞湧水量調査</li> <li>・ 地下水利用状況調査</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地下水流動モデルの作成</li> <li>・ 自然状態における地下水流動解析</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地下水調査技術の確立</li> <li>・ 地下水流動モデル化技術の開発</li> </ul>	
	自然状態における地下水挙動調査 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地下水圧分布測定</li> <li>・ 水質分析, 年代測定</li> <li>・ 孔内流向, 流速測定</li> </ul> 地質構造調査 地化学特性調査 岩盤の透水性試験			
建設時	立坑掘削に伴う地下水挙動調査 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地下水圧分布測定</li> <li>・ 水質分析, 年代測定</li> <li>・ 孔内流向, 流速測定</li> <li>・ 立坑内湧水量調査</li> <li>・ トレーサ- 試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地下水流動モデルの検証と再作成</li> <li>・ 建設時(立坑掘削時)の地下水流動解析</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地下水流動モデル化技術の開発</li> <li>・ 地下水流動解析技術ならびに地下水流動モデル検証技術の開発</li> </ul>	
	地質構造調査 地化学特性試験 岩盤の透水性試験			
完成後	地下研究施設周辺の地下水の長期挙動調査 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地表および坑内からのボーリング孔を利用した地下水圧分布測定</li> <li>・ 地下水分析, 年代測定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地下水流動モデルの検証と再作成</li> <li>・ 施設完成後の地下水流動解析</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地下水流動モデル化技術の確立</li> <li>・ 地下水流動解析技術ならびに地下水流動モデル検証技術の確立</li> <li>・ 地下水流動機構の解明</li> <li>・ far field における核種移行モデルへの反映</li> </ul>	
	地質構造調査 地化学特性調査 岩盤の透水性試験			

Table 3-2 (15) 研究の流れ

研究課題		岩盤の透水性試験		
	調査 試験	評価 解析	成果	
建設前	室内透水性試験 ・地表ホーリング のコアを用いた透水性試験  ホーリング 孔内透水性試験 ・地表ホーリング 孔を利用した透水性試験  地質構造調査 地下水流動試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>透水性におけるスケール効果の評価</li> <li>地下水流動解析に用いる透水係数の評価</li> <li>自然状態における地下水流動解析</li> <li>地質構造（岩盤内割れ目分布）との関係に基づく岩盤の透水性評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤の透水性評価法の開発</li> <li>岩盤の透水性評価に適した透水性試験技術の開発</li> </ul>	
	室内透水性試験 ・坑内ホーリング のコアを用いた透水性試験  ホーリング 孔内透水性試験 ・坑内ホーリング 孔を利用した透水性試験  大規模透水性試験 ・立坑揚水試験……立坑掘削に伴う湧出水量と周辺の間隙水圧分布の測定  地質構造調査 地下水流動試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>透水性におけるスケール効果の評価</li> <li>地質構造（岩盤内割れ目分布）との関係に基づく岩盤の透水性評価</li> <li>地下水流動解析に用いる透水係数の評価</li> <li>立坑掘削時の地下水流動解析</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤の透水性評価法の開発</li> <li>岩盤の透水性評価に適した透水性試験技術の開発</li> </ul>	
	室内透水性試験 ホーリング 孔内透水性試験 大規模透水性試験 ・坑道排水試験 不飽和岩盤の大規模透水性試験 熱応力下の透水性試験 地質構造調査 地下水流動試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤の透水性におけるREV の評価</li> <li>地質構造（岩盤内割れ目分布）との関係に基づく岩盤の透水性評価</li> <li>地下水流動解析に用いる透水係数の評価</li> <li>施設完成後の地下水流動解析</li> <li>near field における透水性の評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤の巨視的平均透水係数の把握</li> <li>岩盤の透水性評価法の確立</li> <li>岩盤の透水性評価法に適した透水性試験技術の確立</li> <li>near field における透水性の連成解析モデルへの反映</li> </ul>	

Table 3-2 (16) 研究の流れ

研究課題		掘削影響試験		
	調査 試験	評価 解析	成果	
建設前	室内力学試験 ・ホーリングコアを用いた物理・力学特性試験  ホーリング孔内力学試験 ・孔内検層（P S検層） ・孔内載荷試験  初期地圧測定 ・ホーリングコアを用いたA E法 ・地表ホーリング孔における水圧破砕法  地質構造調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>力学モデルの作成</li> <li>力学モデル入力物性値の評価</li> <li>力学モデルを用いた空洞安定性予測解析（空洞の設計解析）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤空洞の安定性評価モデルの開発</li> <li>設計定数設定法の開発</li> </ul>	
	室内力学試験 初期地圧測定 ・立坑試験室における応力解放法  原位置岩盤試験 ・立坑試験室における平板載荷試験，岩盤せん断試験  立坑，坑道掘削影響試験 ・掘削に伴う岩盤挙動の測定 ・掘削前後の岩盤の物性変化測定  地質構造調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>力学モデルの検証と再作成</li> <li>力学モデル入力物性値の検証，確認と再評価</li> <li>力学モデルを用いた掘削時の空洞安定性解析</li> <li>岩盤に対する掘削影響の評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤空洞の安定性評価モデルの開発</li> <li>設計定数設定法の開発</li> <li>掘削影響評価手法の開発</li> </ul>	
	立坑，坑道掘削影響試験 掘削工法比較試験 ・掘削に伴う岩盤挙動の測定 ・掘削前後の岩盤の物性変化測定  掘削後の健全性観測試験 ・空洞周辺の地圧挙動の長期計測 ・岩盤物性の時間依存変化の測定	<ul style="list-style-type: none"> <li>力学モデルの検証と再作成</li> <li>力学モデル入力物性値の検証，確認と再評価</li> <li>力学モデルを用いた空洞安定性解析</li> <li>岩盤に対する掘削影響の評価</li> <li>掘削工法の適用性評価</li> <li>岩盤の長期健全性（空洞の時間依存挙動に対する安定性）の評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤空洞の安定性評価モデルの確立</li> <li>設計定数設定法の確立</li> <li>掘削影響評価技術の確立</li> <li>掘削工法の選定と工法の妥当性の確認</li> <li>長期健全性評価手法の開発</li> </ul>	

Table 3-2 (17) 研究の流れ

研究課題		地殻変動の影響調査	
	調査 試験	評価 解析	成果
建設前	<p>地質構造調査 室内力学試験 ・ポリングの動的三軸試験</p> <p>地殻ひずみ観測 ・地表における精密変歪測量</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐震設計モデルの作成</li> <li>耐震設計モデル入力物性値の評価</li> <li>耐震設計モデルを用いた空洞安定性予測解析（空洞の耐震設計解析）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤空洞の耐震設計モデルの開発</li> <li>設計定数設定法の開発</li> </ul>
建設時	<p>室内力学試験 ・ポリングおよびロックサルの動的三軸試験</p> <p>原位置岩盤試験 ・動的載荷試験</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐震設計モデル入力物性値の再評価</li> <li>耐震設計モデルを用いた空洞安定性予測解析</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤空洞の耐震設計モデルの開発</li> <li>設計定数設定法の開発</li> </ul>
完成後	<p>地震時挙動観測 ・加速度計を用いた地震動観測 ・空洞壁面の動ひずみ観測 ・地下水位（水圧）変動観測</p> <p>地殻ひずみ観測 ・地表における精密変歪測量 ・深部岩盤内のひずみ、傾斜変化の精密測定</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐震設計モデルの検証と再作成</li> <li>耐震設計モデル入力物性値の検証，確認と再評価</li> <li>耐震設計モデルを用いた空洞安定性解析</li> <li>地殻変動特性の評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤空洞の耐震設計モデルの確立</li> <li>設計定数設定法の確立</li> <li>地殻変動状況の把握</li> </ul>

Table 3-2 (18) 研究の流れ

研究課題		岩盤の熱特性試験		
	調査 試験	評価 解析	成果	
建設前	室内熱物性試験 ・地表ボリガア を用いた熱物性測定 ・地表ボリガアの高温下における物理試験, 力学試験  地質構造調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱伝導解析モデルの作成</li> <li>熱伝導解析モデル 入力物性値の評価</li> <li>熱伝導解析モデル を用いた予備解析 (試験場で行う大規模熱特性試験の予備設計)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱伝導解析モデルの開発</li> <li>熱伝導モデル 解析用入力定数設定法の開発</li> <li>大規模熱特性試験の予備的計画</li> </ul>	
	室内熱物性試験 ・坑内ボリガア およびフックガナル を用いた熱物性測定  原位置熱物性試験 ・面状熱源を用いた熱伝導試験  地質構造調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱伝導解析モデル 入力物性値の再評価</li> <li>熱伝導解析モデル を用いた試験場で行う大規模熱特性試験の設計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱伝導モデル 解析用入力定数設定法の開発</li> <li>大規模熱特性試験の実施計画</li> </ul>	
	シングルヒーター試験 マルチヒーター試験 ジョイントブロック試験  地質構造調査  ( 室内力学試験 原位置岩盤試験 岩盤の透水性試験 )	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱伝導解析モデルの検証と再作成</li> <li>熱伝導解析モデル 入力物性値の検証, 確認と再評価</li> <li>熱伝導モデル 解析</li> <li>連成解析モデルの作成と検証</li> <li>連成解析モデル 入力物性値の評価と検証</li> <li>連成解析モデル を用いたジョイントフック試験の計画設計</li> <li>連成モデル 解析</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱伝導解析モデルの確立</li> <li>深部地下環境下における岩盤の熱物性データの把握</li> <li>連成解析モデルの開発と検証</li> <li>連成挙動のメカニズムの把握</li> <li>岩盤の熱特性, 連成挙動特性の総合試験への反映</li> </ul>	



Table 3-2 (19) 研究の流れ

研究課題		核種移行試験		
	調査 試験	評価 解析	成果	
建設前				
建設時				
完成後	室内70℃割れ目移行試験 単一割れ目移行試験 地化学特性調査 地質構造調査(割れ目調査) 岩盤の透水性試験  大規模核種移行試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・単一割れ目移行モデルの作成・解析</li> <li>・割れ目系移行モデルの作成・解析</li> <li>・割れ目系移行モデルの検証</li> <li>・等価均質3D移行モデルの作成・解析・検証</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・単一割れ目の核種移行特性の把握</li> <li>・岩盤の核種移行特性モデルの確立</li> <li>・岩盤の核種移行評価方法の確立</li> <li>・岩盤の等価均質移行特性モデルの確立</li> <li>・岩盤の核種移行特性原位置試験方法の確立</li> <li>・割れ目岩盤の透水性評価モデルへの反映</li> <li>・総合試験への反映</li> </ul>	

Table 3-2 (20) 研究の流れ

研究課題		人工バリア材料特性試験		
	調査 試験	評価 解析	成果	
建設前				
建設時	ボアホールプラグ試験 グラウト性能試験 プラグ性能試験			
完成後	埋戻し材性能試験 緩衝材の長期挙動試験 パッケージ材料の耐久性試験 地化学特性調査	・人工バリアの長期健全性評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人工バリア材料施工技術の確証</li> <li>・人工バリアの擬似処分環境下における特性の把握</li> <li>・人工バリア材料の耐久性の確認</li> </ul>	

Table 3-2 (21) 研究の流れ

研究課題		模擬固化体搬送技術試験		
	調査 試験	評価 解析	成 果	
建設前				
建設時				
完成後	<p>固化体運搬・格納システムのモックアップ試験</p> <p>地上施設内受入・搬送システム, 垂直搬送システム, 坑底・処分坑道内水平搬送システム, ピット内格納・埋設システム等のモックアップ</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・固化体搬送機器の適用性の実証</li> <li>・処分場施設のモックアップによるPR</li> </ul>	

Table 3-2 (22) 研究の流れ

研究課題		総合試験		
	調査 試験	評価 解析	成果	
建設前	地質構造調査			
	地化学特性調査			
建設時	岩盤の透水性試験			
	掘削影響試験			
	岩盤の熱特性試験			
	核種移行試験			
	人工バリア材料特性試験			
完成後	総合試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・near field 核種移行予想シミュレーション</li> <li>・人工バリアの劣化予測シミュレーション</li> <li>・リアリスティック・モデル予測シミュレーション</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・多重バリアシステム特性把握</li> <li>・多重バリアシステムシミュレーション技術の開発, 検証</li> <li>・総合試験技術の確立</li> <li>・長期モニタリング技術への発展</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・模擬的核種移行試験</li> <li>・人工バリアの長期健全性確認試験</li> <li>・コールド試験</li> </ul>			

### 3.3 地下研究施設における研究課題と調査試験の概要

地下研究施設における研究課題と調査試験項目についてはTable3-1に示した通りであるが、ここでは研究の概要を把握する意味において研究の目的と調査・試験の概略を整理し、再び研究課題ごとでの分類を行った。これらの結果をTable3—3(1)からTable3-3(3)に示す。

Table 3-3 (1) Examination items and their contents at the underground research laboratories  
地下研究施設における調査試験項目とその内容

研究課題	研究の目的	調査・試験項目	調査・試験内容	調査・試験手法
1. 地質構造調査	すべての調査試験を実施する上で基礎資料となる地表から地下深部までの地質構造を把握するとともに、地質構造調査技術の適用性を確認する。  坑内探査(坑道切羽前方予知)技術を開発する。	広域構造調査	G-1 地表および上空からの調査により、広域にわたる大規模な地形、地質構造、地質区分を明らかにし、岩体の広がりや流動系を把握する。	・リモートセンシング ・物理探査 ・地表地質調査
		岩盤構造調査	G-2 地表から地下深部までの岩体内の断層や割れ目帯等の地質情報を把握し、地質構造モデルを構築する。	・ボーリング調査 ・検層 ・ジオトモグラフィ
		岩盤割れ目調査	G-3 岩盤の透水性や変形性に影響を与える割れ目の分布や性状を把握する。	・コア観察 ・ポアホールTVによる孔内観察 ・坑道壁面観察 ・ジオトモグラフィ
		内探査	G-4 掘削時の安全を確保し、施工上の障害となる湧水割れ目を事前に予知するための坑内探査技術を開発する。	・岩盤レーダー探査 ・その他非破壊探査
2. 地化学特性調査	核種の地下水移行シナリオにおいて重要な、地下水と人工バリアの化学反応、核種の地下水への溶出反応、溶出核種の地下水中での化学反応を明らかにするために、原位置の地化学特性と地化学変化挙動を把握する。また、これに必要な調査手法、評価技術を開発する。	自然状態の地化学特性調査	C-1 地表から地下深部までの地下水・岩盤の地化学データを取得し、地下水成分の広域にわたる長期変動現象を明らかにする。	・地表水、深部ボーリング孔内水の長期にわたる採水・分析 ・深部ボーリング孔内における原位置水質測定 ・岩石と割れ目充填物の採取、分析
		建設・閉鎖に伴う地化学特性変化調査	C-2 空洞掘削後ならびに人工バリア共存下での地下水質変化データを取得し、処分環境下における地化学特性を明らかにする。	・坑内湧出水の長期にわたる定期採水分析 ・人工バリア材料特性試験実施位置周辺の地下水、岩石等の採取、分析
3. 地下水流動試験	比較的広い範囲の地下水流動現象の調査手法、解析・検証手法を開発し、岩盤内の地下水流動機構を明らかにする。	水文調査	H-1 地表と既存空洞を利用し、地表水と一部地下水の水収支を把握する。	・気象観測 ・表面流出量調査 ・既存空洞湧水量調査 ・地下水利用状況調査
		自然状態における地下水挙動調査	H-2 地表ボーリング孔を利用し、自然状態(立坑掘削前)の地下水流動状況を把握する。	・地下水圧分布測定 ・水質分析、年代測定 ・孔内流向、流速測定 ・(トレーサー試験)
		立坑掘削に伴う地下水挙動調査	H-3 地表および坑内からのボーリング孔を利用し、立坑掘削に伴う地下水挙動を把握する。	・地下水圧分布測定 ・水質分析、年代測定 ・孔内流向、流速測定 ・トレーサー試験
		地下研究施設周辺の地下水の長期挙動調査	H-4 施設完成後の長期的な地下水挙動を、地表および坑内からのボーリング孔を利用してモニターする。	・地下水圧分布測定 ・地下水分析、年代測定
4. 岩盤の透水性試験	地下水流動モデルを作成する上で必要とされる岩盤の透水性の評価方法を開発する。	室内透水性試験	P-1 ボーリングコアを用いた各種の透水性試験を実施し、岩石の透水性を評価する。	・定水位試験 ・トランジェント・パルス試験
		ボーリング孔内透水性試験	P-2 地下水流動モデルの作成に必要な多地点の透水性データを取得し、また、室内あるいは大規模透水性試験結果との比較によって岩盤の透水性評価法を検討する。	・低圧透水性試験(低圧ルジオン、湧水圧・湧水量測定) ・JFT ・パルス透水性試験 ・孔間透水性試験
		大規模透水性試験	P-3 坑道規模の岩盤の平均的な透水性を把握し、これに影響を与える割れ目特性を明らかにするとともに、孔内透水性試験との関係から岩盤の透水性評価法を検討する。	・坑道排水試験(ベンチレーションテスト) ・立坑揚水試験
		不飽和岩盤の大規模透水性試験	P-4 強制的に不飽和にした岩盤の平均的な透水性を把握する。	・ベンチレーションテスト
	廃棄体の発熱によって岩盤の透水性が受ける影響を明らかにする。	熱応力下の透水性試験	P-5 廃棄体定置後の温度範囲内における岩盤の透水性の変化を把握する。	・温度条件を変化させた室内透水性試験 ・ボーリング孔内透水性試験 ・ベンチレーションテスト ・坑道注水試験

Table 3-3 (2) Examination items and their contents at the underground research laboratories  
地下研究施設における調査試験項目とその内容

研究課題	研究の目的	調査・試験項目	調査・試験内容	調査・試験手法
5. 掘削影響試験	掘削が周辺の岩盤に及ぼす影響の調査・解析方法を開発し、深部岩盤内空洞の力学的安定性評価モデルを確立する。  空洞周辺岩盤の掘削影響範囲内の物性、特に透水性の評価データを取得する。	室内力学試験	E-1 ボーリングコアを用いた各種の室内試験を行い、岩石の基本的な物理的性質と変形・強度特性を把握する。	・物理・力学特性試験 ・物性試験
		ボーリング孔内力学試験	E-2 ボーリング孔を利用して深部岩盤の変形・強度特性を把握する。	・孔内検層（PS検層） ・孔内載荷試験
		初期地圧測定	E-3 岩盤内の初期応力分布状態を把握する。	・A E法 ・水圧破砕法 ・応力解放法
		原位置岩盤試験	E-4 施設の合理的な設計に資する岩盤の変形・強度特性を把握する。室内試験、孔内試験結果との比較により、岩盤の力学定数の評価法について検討する。	・平板載荷試験 ・岩盤せん断試験 ・動的載荷試験
		立坑・坑道掘削影響試験	E-5 掘削に伴う周辺の岩盤挙動と周辺岩盤の力学特性、水理特性の変化を把握し、掘削影響を定量的に評価する。	・掘削に伴う岩盤挙動、地圧変化、間隙水圧変化の測定 ・掘削前後の岩盤の物性、変形性、透水性の変化測定
		掘削工法比較試験	E-6 複数の発破工法や機械掘削工法を用いて空洞を掘削し、これに伴う岩盤挙動や力学特性、水理特性の変化を把握し、工法の違いによる掘削影響を評価する。	同上
		掘削後の健全性観測試験	E-7 掘削影響試験やヒーター試験を実施した空洞に対して長期間のモニタリングを行い、安定性の評価とモニタリング法の開発を行う。	・空洞周辺の岩盤変位、地圧変化、間隙水圧変化の長期計測 ・岩盤物性の時間依存変化の測定
6. 地殻変動の影響調査	地下深部岩盤内空洞の耐震安全性、地殻変動に対する安定性を定量的に保証するために、耐震設計手法を検証し、地殻変動状況を把握する。	地震時挙動観測	D-1 地下深部の地震動特性と地下空洞の地震時挙動を把握する。	・加速度計を用いた地震動観測 ・空洞壁面の動ひずみ観測 ・地下水位（水圧）変動観測
		地殻ひずみ観測	D-2 岩盤のひずみ分布が広域的な地殻の変動によってどのように変化するか、地表および地下深部において計測する。	・精密変歪測量（地表） ・深部岩盤内のひずみ、傾斜変化の精密測定
7. 岩盤の熱特性試験	深部地下環境下における熱の影響に関する調査・試験、解析手法を開発し、検証する。  岩盤の温度依存挙動（連成挙動）の機構を明らかにし、解析手法の開発と検証を行う。	室内熱物性試験	T-1 ボーリングコアや岩石ブロックを用いた室内試験によって、岩石の基本的な熱物性と、高温下における物理的、力学的特性を把握する。	・熱物性試験（熱伝導率、比熱、線膨張係数の測定） ・高温下における物理試験、力学試験
		原位置熱物性試験	T-2 坑道壁面に面状熱源を設置し、岩盤を加熱した際の温度分布状態を測定することで、岩盤の温度伝導率を求める。	・面状熱源を用いた熱伝導試験
		シングルヒーター試験	T-3 実物大規模キャニスター（電気ヒーター）をピット内に設置し、廃棄体の発熱に伴う周辺岩盤の熱挙動を把握する。	・単一熱源を用いた岩盤加熱試験
		マルチヒーター試験	T-4 実物の1/√10程度のスケールの複数のヒーターを設置し、複数の廃棄体の発熱に伴う周辺岩盤の長期間にわたる熱的挙動を把握する。	・複数熱源を用いた岩盤加熱試験
		ジョイントブロック試験	T-5 原位置岩盤において、大型ブロックを形成し、これに任意の熱応力条件を作用させて、天然の割れ目を含んだ岩盤の熱、力学、水理特性と、熱・水・力の連成挙動を把握する。	・加圧試験 ・加熱試験 ・加熱変形試験 ・加圧透水性試験 ・加熱透水性試験

Table 3-3(3) Examination items and their contents at the underground research laboratories  
 地下研究施設における調査試験項目とその内容

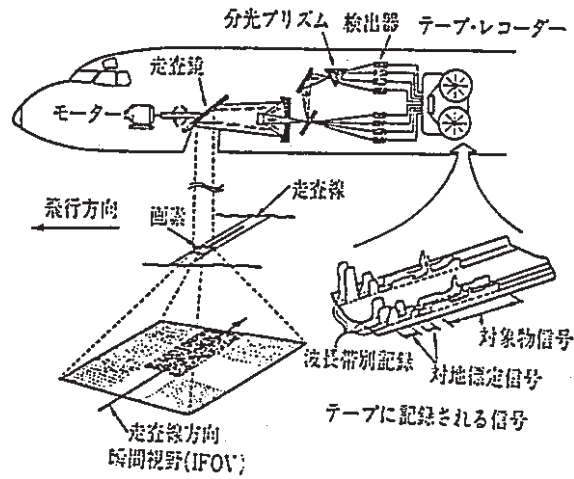
研究課題	研究の目的	調査・試験項目	調査・試験内容	調査・試験手法	
8. 核種移行試験	岩盤割れ目内の地下水流動機構を明らかにし、核種の地層環境内における移行遅延特性を把握して、割れ目系岩盤における基礎的な核種移行モデルを開発する。	室内ブロック 割れ目移行試験	M-1 単一割れ目を有する岩石ブロックを用いて、割れ目内の地下水流動特性ならびに核種の移行・吸着特性を把握する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>割れ目内トレーサー試験</li> <li>割れ目および岩石中に吸着した核種の定量分析</li> </ul>	
		単一割れ目移行試験	M-2 坑道と斜交する岩盤内の単一割れ目を対象に、数種類の非放射性核種を用いて、自然状態の割れ目内の地下水流動特性ならびに核種の移行・吸着特性を把握する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>割れ目内トレーサー試験</li> <li>注入水量、浸出水量の測定と浸出水の成分分析</li> <li>割れ目および岩石中に吸着した核種の定量分析</li> </ul>	
		大規模核種移行試験	M-3 自然状態の複数の割れ目を含む岩盤に対し、非放射性核種を坑道規模で浸透させ、割れ目を含む岩盤のマスとしての核種移行(遅延)特性を把握する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>割れ目分布測定</li> <li>坑道間のトレーサー試験</li> <li>ボーリング孔を利用した地下水中の核種濃度分布測定</li> <li>岩盤パブリグと吸着核種の分析</li> </ul>	
9. 人工バリア材料 特性試験	人工バリア施工技术を原位置に適用し、深部地下環境における実規模施工の人工バリアの材料特性データを取得する。 また、人工バリア材料の地下深部の地化学条件下における耐久性を確認する。	ボアホールプラグ試験	A-1 立坑掘削予定地点のボーリング孔にボアホールプラグを試験施工し、立坑掘削時に任意深度でこれをサンプリングすることで、プラグの品質、性能を確認する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>立坑掘削時のプラグ充填状況の観測</li> <li>プラグ材を含む岩石のサンプルの透水性試験</li> </ul>	
		グラウト性能試験	A-2 割れ目帯、湧水帯、変質帯等にグラウトを試験施工し、グラウトの品質と性能を把握する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>グラウト区間掘進時のグラウト材充填状況の観測</li> <li>グラウト区間の大型コアサンプルの室内試験</li> <li>グラウト区間の孔内透水性試験</li> <li>グラウト区間周辺の湧水量、間隙水圧分布の測定</li> </ul>	
		プラグ性能試験	A-3 坑道規模の透水性を評価できる水室注水試験を実施し、岩盤部分ならびに周辺岩盤を含めたプラグ部分の透水性を求め、プラグの止水性能を把握する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>水室注水試験</li> <li>周辺岩盤内の間隙水圧分布測定</li> </ul>	
		埋戻し材性能試験	A-4 坑道(立坑)に埋戻し材を試験施工し、施工品質と埋戻し性能を把握する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>埋戻し材内の透水性試験、水分測定</li> <li>岩盤と埋戻し部境界の孔内透水性試験</li> <li>水室注水試験</li> </ul>	
		緩衝材の長期挙動試験	A-5 実寸法のウレタン系緩衝材を原位置の模擬処分ピットに設置し、地下水浸透、膨潤、廃棄体荷重による長期変形挙動、高温下における水分変化等の挙動を把握する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>水分量変化測定</li> <li>膨潤圧、膨潤量測定</li> <li>圧密沈下測定</li> <li>温度分布測定</li> </ul>	
		パッケージ材料の 耐久性試験	A-6 原位置環境下にパッケージ材料(ガラス系、金属系)、人工バリア材料(金属系、ウレタン系、セメント系)を、定置し、周辺の長期にわたる水質変化および材料特性の変化状況を把握する。また、高温環境下における材料の変質や水質変化状況も把握する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>材料の定期的成分分析、重量測定</li> <li>水質分析</li> </ul>	
10. 模擬固化体 搬送技術試験	実規模模擬固化体を用いて、ハンドリングシステムの適用性を確認する。	固化体運搬・ 格納システムの モックアップ試験	M。	地下研究施設の一角に模擬処分施設を設置し、固化体の運搬・格納機器等の適用化試験を実施する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>固化体ハンドリング機器、エレベーター、運搬機器等のモックアップ試験</li> </ul>
11. 総合試験	人工バリア・天然バリアの総合性能を実証するための総合試験技術を開発し、多重バリアシステムの特性データを取得する。	コールド試験	B。	実寸法の模擬処分システム(処分坑道、処分ピット、廃棄体、人工バリア、埋戻し材)を試作し、原位置の地圧・地下水・地化学環境下におけるシステムの長期挙動を観測し、バリア性能の変化を把握する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤の変形・応力・間隙水圧・温度測定</li> <li>埋戻し材・緩衝材の水分変化、膨潤、変形、応力、間隙水圧、温度測定</li> <li>廃棄体の変形・応力・温度測定</li> <li>地下水、人工バリア材料の定期分析</li> </ul>



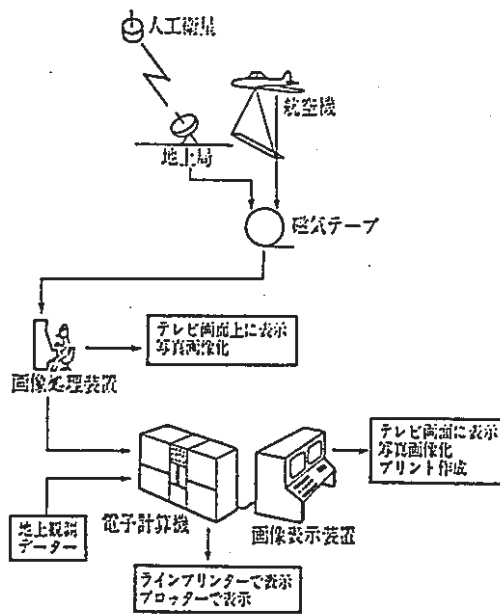
### 3.4 地下研究施設における調査試験の内容

地下研究施設における調査試験の内容は、各調査試験項目毎に G-1からBaに示す通りである。これらの各項目については、試験研究のイメージを具体的に把握しやすいように、試験方法についてはその概念図（リモートセンシング、弾性波探査法等）を、調査結果についてはその結果の一例（水質調査結果例、ボーリング柱状図等）を示すこととした。

調査試験項目	広域構造調査	(G-1)
実施目的	サイトを含ま広い地域の地形・地質および水理に関する特性の概略を把握する。	
実施項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 既往資料調査</li> <li>・ リモートセンシング</li> <li>・ 地表踏査</li> <li>・ 空中写真</li> </ul> <p style="text-align: center;">など</p>	
方法・内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 既往資料調査……研究施設周辺の地形・地質（岩石、層序、構造、発達史他）に関する文献、資料（学術論文、地形、地質図、水理地質図等）を収集し、まとめる。</li> <li>・ リモートセンシング ……航空機や人工衛星等に搭載された検知器を用いて、対象物から反射・放射される電磁波を測定・記録・解析することにより、その地域の広い範囲にわたって地形形態等を調査する。</li> <li>・ 地表踏査……山野で地形、地質を観察すると同時に採集した岩石等を分析し、地層や岩石の分布状況、地史、地質構造、また、不連続面（層理面、節理、断層等）の分布を調べる。</li> <li>・ 空中写真……空中から撮影された写真を利用して地形を地質学的に判読し地層の分布や構造の発達を広域的に把握する。</li> </ul>	
成果および他の関連	<p>上記調査より、以下の情報を得る。</p> <p>①不安定地形（崖錐地、ケルンコル・バット、傾斜変換部など）②岩質（種類、年代、風化の程度、層理面の走向・傾斜など）③地質構造（地質分布、地層の成層状態及び走向・傾斜、リニアメント、褶曲、断層など）④地表水及び地下水（地下水の有無、湧水位置、帯水層及び地下水面の位置など）⑤その他（植生分布、鳥瞰図など）など</p>	
実施上の注意点・開発課題	<p>広域構造調査により得られる情報は、対象とする地域の地質構成などを把握するのが主要な役割であり、調査の精度には限界がある。これに対し、ボーリング調査、物理探査、検層などは、点あるいは線のように一部に限って計測し、直接的かつ定量的に把握されるため、精度の高い調査・試験であると考えられる。このように前者と後者では対象とする領域の次元を異にし、前者の成果と後者の成果を対応させて調査全域の立体的構成及び定量的評価を行うことが重要である。</p>	

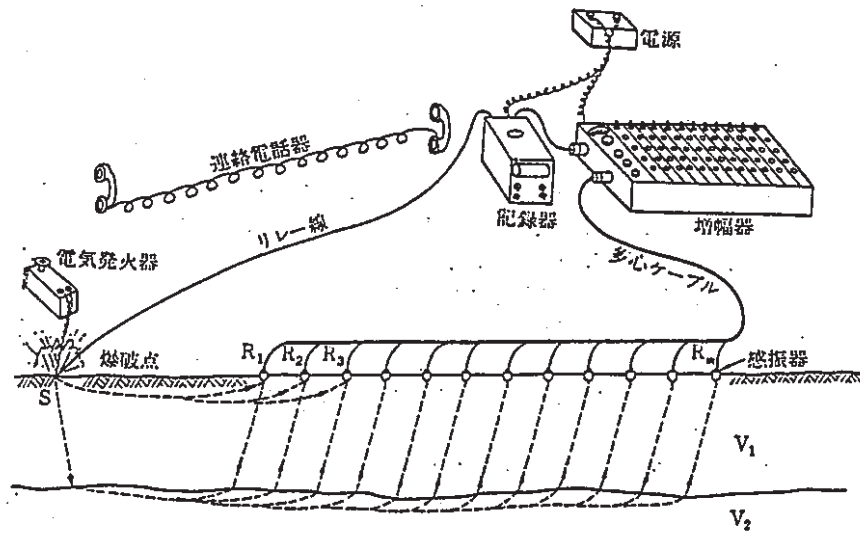


リモートセンシングの概念図

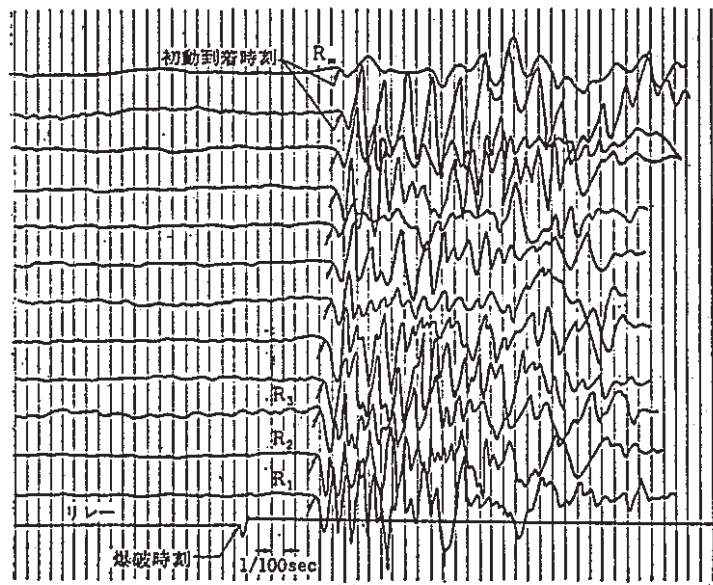


リモートセンシングデータの流れ

調査試験項目	岩盤構造調査	(G-2)
実施目的	<p>地表から岩盤内部の各種物理特性を測定し、地質構造、岩盤物性、地下水状況等を把握する。</p>	
実施項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・弾性波探査</li> <li>・電気探査</li> <li>・重力探査</li> <li>・地震探査</li> </ul>	
方法・内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>・弾性波探査……発破などにより発生する弾性波を、地上に設置した受振点で観測し、発振源から受振点に到るまでの時間により、地質構造や岩盤の状態を推定する。 方法としては、屈折波法や反射波法などがあるが、前者の方が一般的である。</li> <li>・電気探査……岩盤の比抵抗、自然電位などの電気的性質より、岩盤の性状、地質構造を求める。比抵抗は特に地下水位、地下水路、帯水層、表層堆積物、風化層、地質の判別に有効である。</li> </ul> <p>重力探査、地震探査などの方法は、いずれも岩盤力学的側面よりも、地球物理学的側面が強い。ここではこれらの探査の方法・内容については省略する。</p>	
成果および他の関連	<ul style="list-style-type: none"> <li>・弾性波速度、比抵抗、自然電位、重力値などを得る。これらは地質構造モデルのデータとなる。</li> <li>・弾性波速度は、速度分布図としてまとめられ、また、P波速度を基に、岩盤分類、動弾性係数の決定を行う。</li> </ul>	
実施上の注意点・開発課題	<p>本調査は地表面から岩盤内部を調べるものであり、結果の解釈には、他の調査（広域構造調査、岩盤割れ目調査、孔内探査）との総合的な判断が必要である。</p>	



弾性波探査法概念図

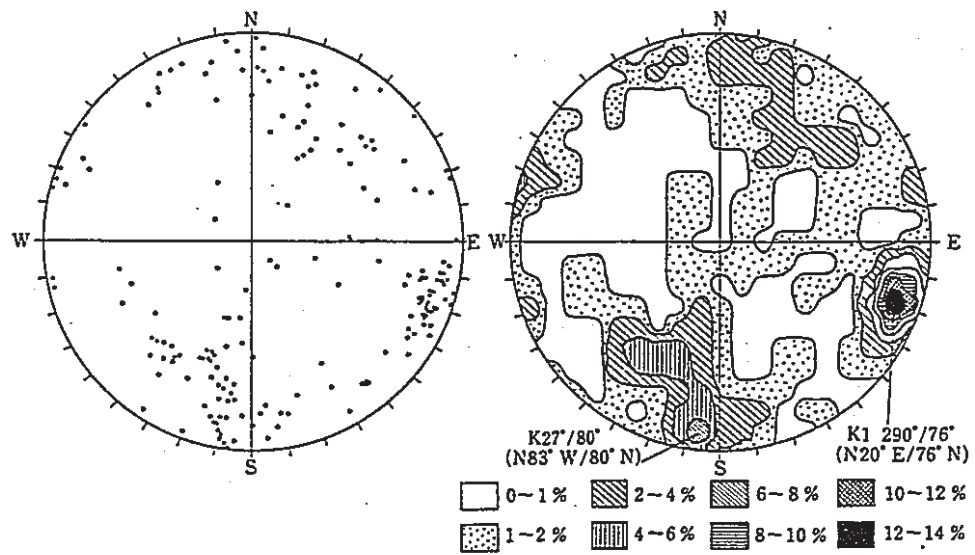


波形記録例

調査試験項目	岩盤割れ目調査	(G-3)
実施目的	結晶質岩において重要である不連続性岩盤の割れ目の情報を得る。	
実施項目	<p>小規模割れ目の分布状況調査</p> <p>注) 小規模割れ目：亀裂、ひび割れ、風化部</p>	
方法・内容	<p>小規模割れ目の分布状況調査……地質踏査、ボーリング調査、弾性波探査、ボアホールテレビ、電気検層、密度・水分検層、音波検層、温度検層（次表参照）</p> <p>坑内探査（坑道壁面観察・AE計測）</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">非破壊計測の実施</p>	
成果および他の関連	<p>小規模割れ目分布状況調査より、コンターマップで節理系の方向分布が得られる。これらのデータをシュミット投影等によって整理することで、地質構造モデルの構築に必要な岩盤の断層の方向、主要節理の方向分布が得られる。</p>	
実施上の注意点・開発課題	<p>本調査で得られたデータは、1次元、または2次元的に得られたものであり、割れ目の3次元的なひろがりや分布を判断するためには、他の調査結果（広域構造調査、岩盤構造調査、孔内探査）と総合的な解釈が必要となる。</p>	

(表) 岩盤割れ目調査試験一覧表

設計パラメータ		地層構成	小規模の割れ目分布状況	大規模の割れ目分布状況
調査・試験名				
既往資料調査		○		○
地質踏査		○	○	○
ボーリング調査		○	○	○
物理探査	弾性波探査	○	○	○
	電気探査	○		
	重力探査	○		
	放射能探査	○		
リモートセンシング		○		○
物理検層	ポアホールテレビ		○	
	電気検層		○	
	密度・水分検層		○	
	音波検層		○	
	温度検層		○	

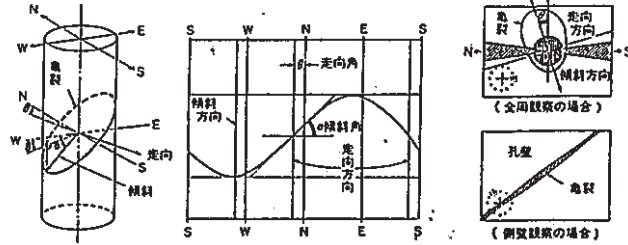


ポイントダイヤ  
グラム

シュミット  
コンター図

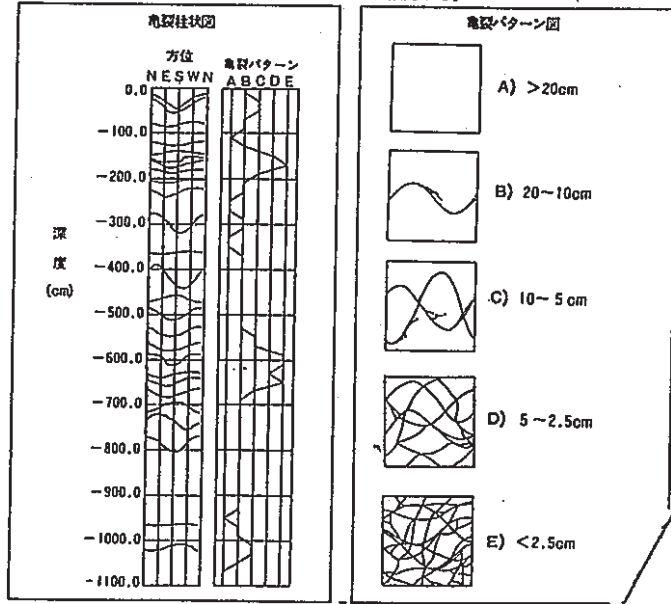


〔ボアホールテレビ観察結果の解析〕



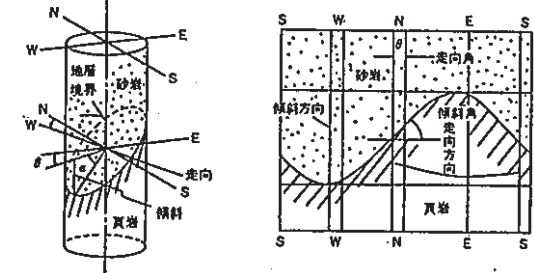
テレビ画面での亀裂の見え方

(ex) 北からθ度西の走向をもち南にφ度傾く亀裂がボーリング孔を横切っているとすると、孔壁の展開図上で亀裂はサインカーブとして展開される。

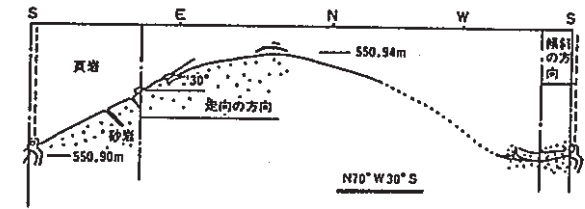


〔ボアホールテレビ観察結果の見方〕

地層境界の展開図<sup>(a)</sup>



頁岩と砂岩との地層境界の解析<sup>(b)</sup>



砂岩層内の頁岩の薄層との地層境界の解析<sup>(c)</sup>

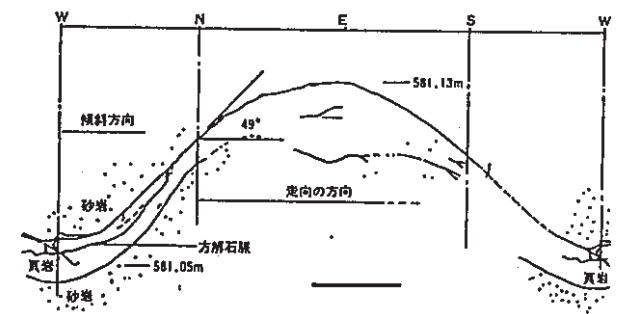
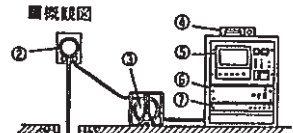
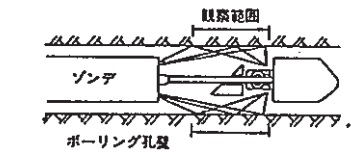


図1 全周観察時の観察状況<sup>(a)</sup>



No	名称	備考
①	ボアホールテレビカメラ	φ42mm
②	深度検出部	
③	ケーブルドラム	11心 12φ
④	VTR	SLO-350
⑤	制御盤ユニット	KBT-2001
⑥	深度ユニット	KBT-2002
⑦	キャラクターユニット	KBT-2003

ボアホールテレビ観察概念図

調査試験項目	坑内探査	(G-4)
実施目的	地下深部の地質構造、地質特性の把握を行う。	
実施項目	<p>各種孔内検層</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ボーリング調査</li> <li>・中性子検層</li> <li>・GEOTOMO</li> <li>・温度検層</li> <li>・音波検層</li> <li>・孔間弾性波速度測定</li> <li>・電気検層</li> <li>・密度検層</li> <li>・自然放射能検層</li> <li>・X-Yキャリパー検層</li> </ul>	
方法・内容	ボーリング孔を利用して上記各種孔内検層を行う。一般にボーリング孔を数本利用して行い、平面的・立体的な温度、比抵抗、弾性波速度等の分布を測定する。	
成果および他の関連	<p>地質構造モデルの構築に必要な深度方向の岩盤の地質構造、地質特性についての情報が得られる。</p> <p>広域構造調査、岩盤構造調査、岩盤割れ目調査のいずれの調査も、坑内探査の結果が基本データとなっていることを考慮して、これと関連づけて検討する必要がある。</p>	
実施上の注意点・開発課題	本試験の結果と地表踏査、文献調査などの結果と合わせて、サイト周辺の地質構造、地質特性を総合的に判断する。	

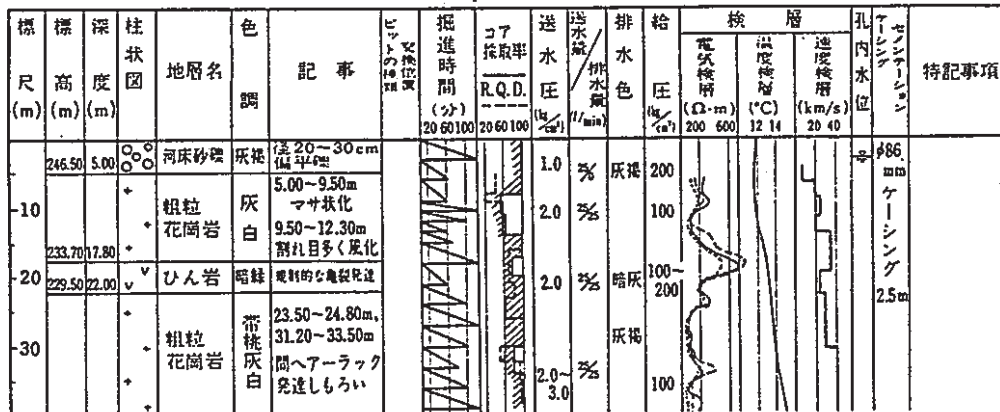
名称	記号	分類基準
棒状コア		1 片の長さが10cm 以上の円筒状コア
片状コア (稜状コア)		1 片の長さが5 cm 以上で、かつコアの外周の一部が認められるもの
角礫状コア		コアの外周の一部も認められてない礫状のもの
砂礫状コア (スライム)		主として砂からなるもの、角礫状コアの混入
粘土状コア		主として粘土状のもの (岩質、断層、風化変質ほか)
無採取		コアの採取ができないもの (記事欄に理由を書く)

コアの記号表示例

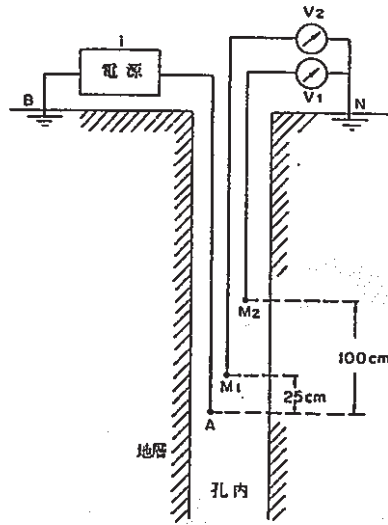
名称	記号					分類基準
	I	II	III	IV	V	
長柱状コア						割れ目間隔 20cm 以上
柱状コア						割れ目間隔 10~20cm
短柱状コア						割れ目間隔 10cm 以下円筒状コア
岩片状コア						岩片~細片状、コアは復元不可能
土砂状 粘土状コア						土砂状~粘土状 (断層部、風化部)

コア分類の棒グラフ表示例

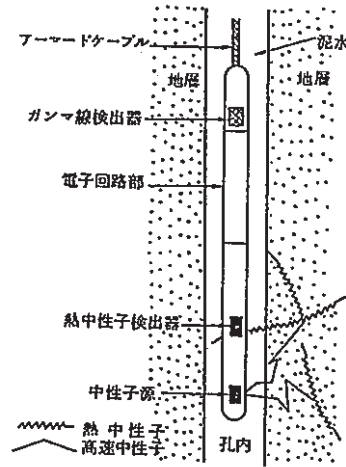
工事名		発注	
ボーリング No.		線 起点	
期間	年 月 日	コア採取長	m
使用機械		コア採取率	%
孔口標高	m	全掘進時間	時
方向角度	孔	平均掘進長	m/時
径	mm		
総掘進長	m		



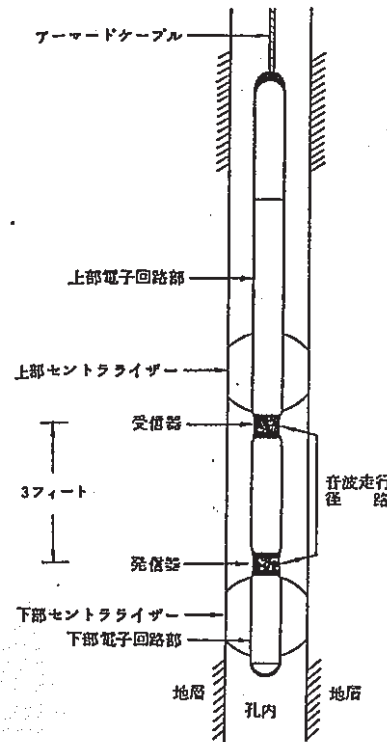
ボーリング柱状図



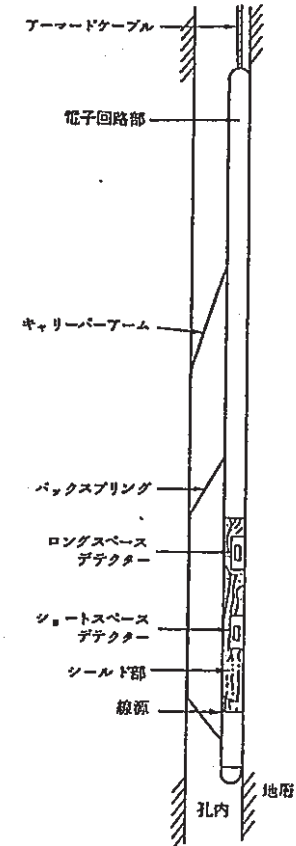
電気検層



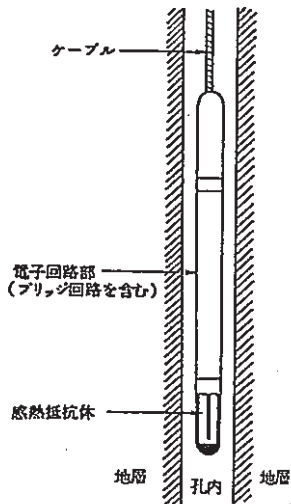
中性子検層



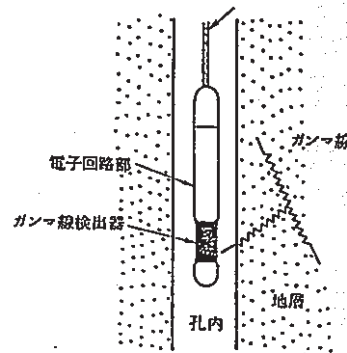
音波検層



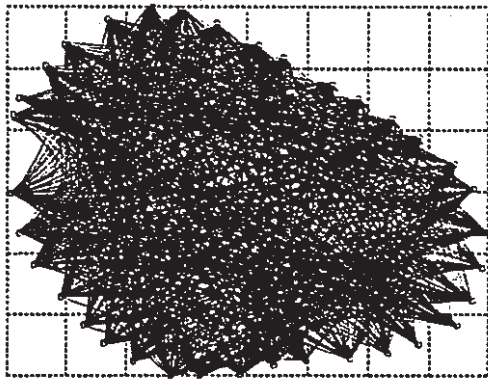
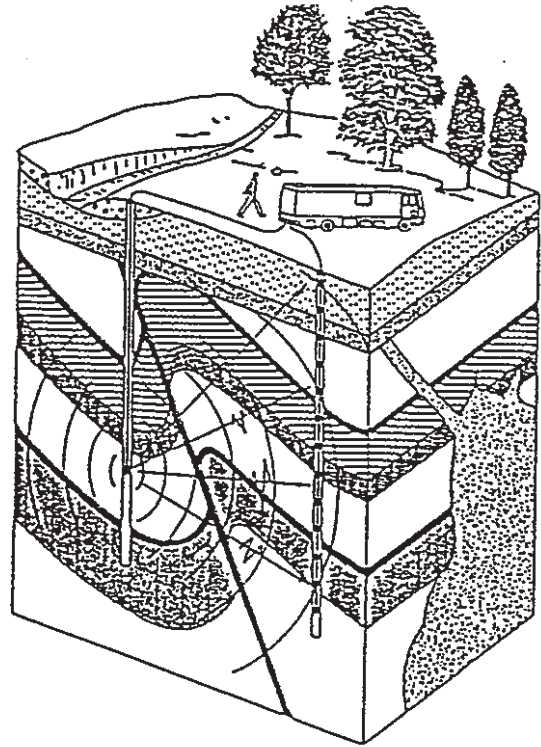
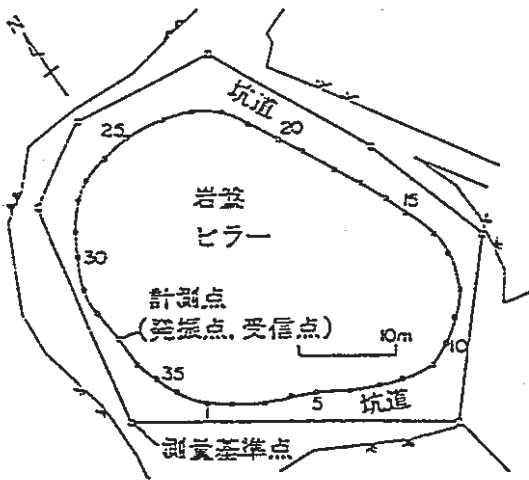
X-Y キャリパー検層



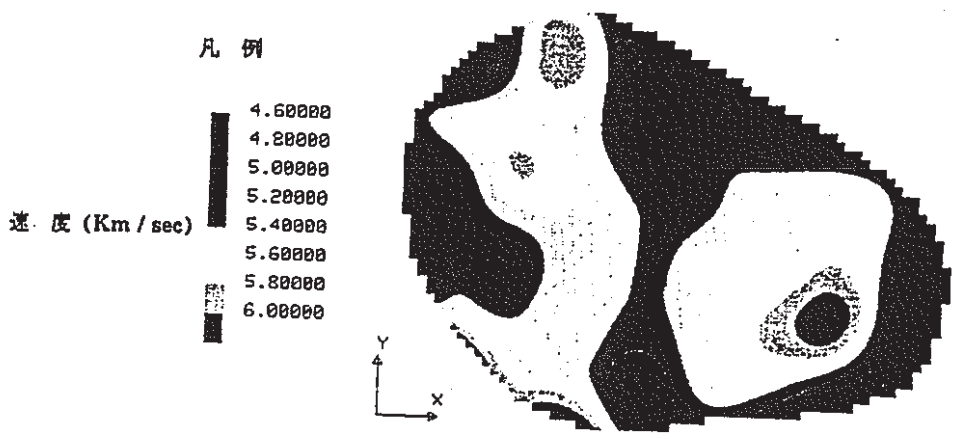
温度検層



自然放射能検層

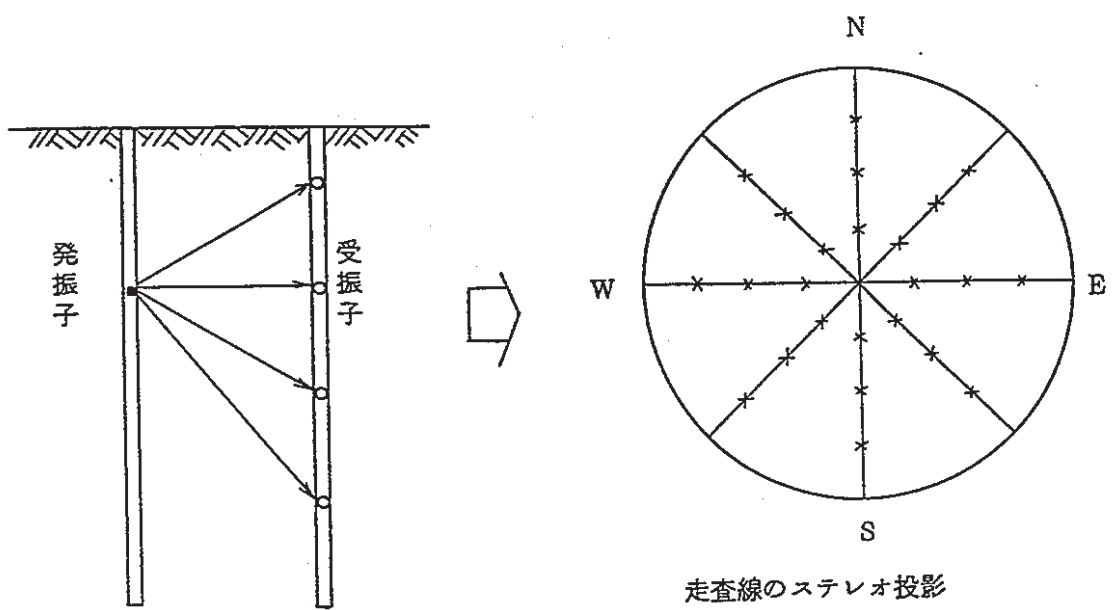


波線図



速度構造解析結果 (波線データ数 = 223 本)

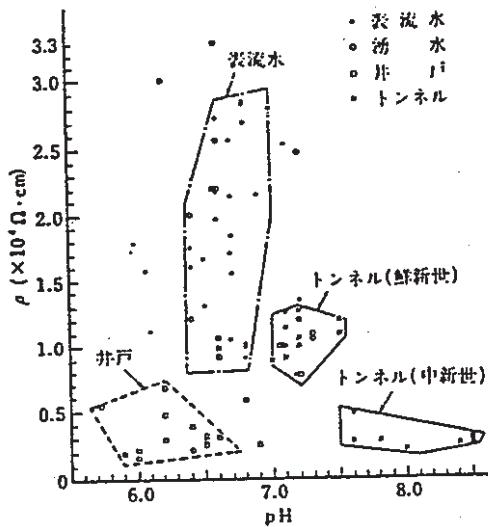
# GEOTOMO概要図



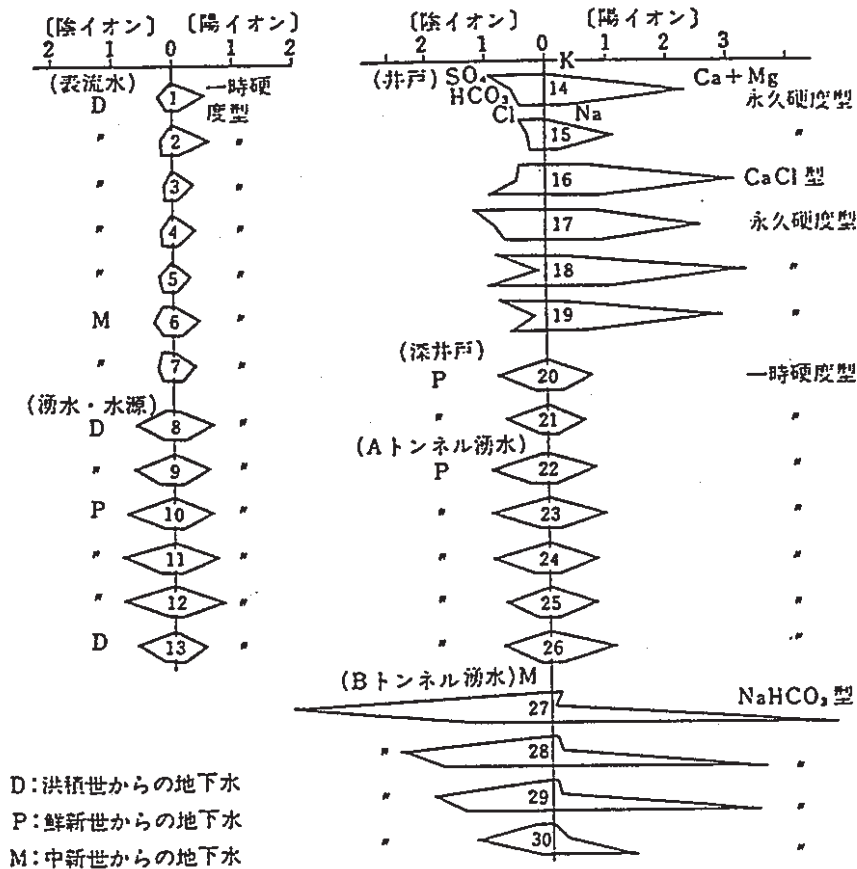
走査線のステレオ投影

### 孔間弾性波速度試験概念図

調査試験項目	水質調査	(C-1)
実施目的	地下水系の区分、地下水流動方向の把握、水文地盤構造の検討を目的として行う。	
実施項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現地水質調査</li> <li>・地下水分析 (室内)</li> </ul>	
方法・内容	<p>①現地水質調査：河川、湖沼、湧泉、井戸、トンネルなどの水について、水温 (T)、水比抵抗 (<math>\rho</math>)、水素イオン濃度 (pH) を現地で測定する。</p> <p>②工業用水試験法に基づく水質分析：        現地水質調査で判明しない地下水系の把握を目的とする。  <math>\text{Na}^+</math>、<math>\text{K}^+</math>、<math>\text{Ca}^{++}</math>、<math>\text{Mg}^{++}</math>の陽イオンと、<math>\text{Cl}^-</math>、<math>\text{HCO}_3^-</math>、<math>\text{SO}_4^{--}</math>の陰イオン、非解離成分としての<math>\text{SiO}_2</math>、さらにMアルカリ度、全硬度、全蒸発残留物についての水質分析を行う。</p>	
成果および他の関連	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現地水質調査……水温 (T)、水比抵抗 (<math>\rho</math>)、水素イオン濃度 (Eh) など</li> <li>・地下水分析 (室内) ……<math>\text{Na}^+</math>、<math>\text{Ca}^{2+}</math>、<math>\text{SO}_4^{2-}</math>、<math>\text{HCO}_3^-</math> 等イオン濃度</li> </ul> <p><math>\rho</math> と pH は比較的地質特性を示しており、地下水系区分が現地で把握できる場合が多い。        結果は、水質分析に示す菱形ダイヤグラム、およびヘキサダイヤグラムにまとめて検討する。</p>	
実施上の注意点・開発課題	<p>以上の試験は、サイトの特性調査の一貫として、施工前に実施されるとともに、空洞掘削後の変動をモニターする目的で、施工時および試験時を通じて実施される。</p>	



pH-ρ 関係図



水質分析結果例 (ヘキサダイアグラム)

水質調査調査結果例



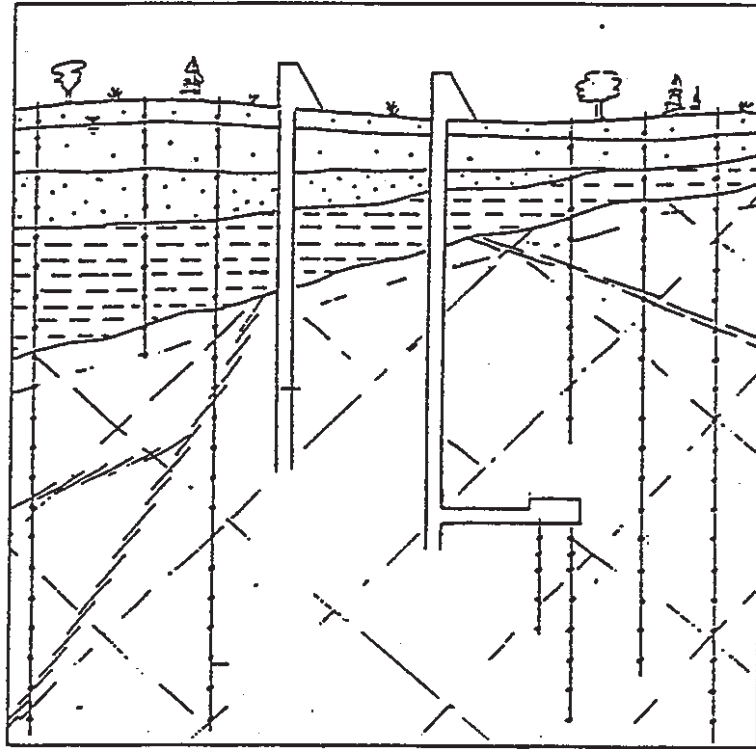
調査試験項目	岩石学・鉱物学的調査	(C-2)
実施目的	深部岩盤内地化学環境を把握する。	
実施項目	・ボーリングによって得られた岩盤深部の岩石を用いて薄片を作製し、各種調査を行う。	
方法・内容	・岩盤深部で採取した岩石の薄片を用いて顕微鏡観察、X線回析分析、岩石の化学分析を行う。	
成果および他の関連	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査・測定の結果、岩石名・部類の調査、化石・鉱物含有の度合、鉱物成分・構造組成、有機物の定量、成分鉱物の組成、気体物質の化学組成を得る。</li> <li>・地下深部の岩盤の地質年代の把握が行なえる。</li> <li>・この結果は、トレーサー試験に用いるトレーサー選定の基礎データとなる。</li> </ul>	
実施上の注意点・開発課題	本調査結果は、水質調査結果と総合的に判断する必要がある。	

試番号	NKS-1	試料名	NKS-1 444.0m	採取地	444.00m	岩石名	Hamblende-bearing biotite granite									
試料の用途 同様の試料	栗浜石の成層により茶紅色に着色した Granite (dilute: microcline: 1%)															
鉱物名	形	大きさ				量				色	備考					
		自形	半自形	他形	>5mm	5-1mm	1-0.1mm	0.1mm<	多			中	少	微		
石英系	Quartz		0			(1.5-2.5)mm		0								
	Orthoclase		0			(1.5-2.5)mm		0								* turbid, perthite texture 認められず
	Plagioclase		0			(2.5-4.0)mm		0								心, turbid, 微細な microcline 析出 (1.5-2.5)mm (薄片観察時除去。 顕微鏡による観察)
	Biotite		0			(1.5-2.5)mm		0								部分のみ chlorite → Epidote に交代
	Hamblende	0				(0.2-0.5)mm					0					
副鉱物系	Magnetite	0	0	0	0	(0.2-0.5)mm					0					
	Apatite	0	0	0	0	(0.2-0.5)mm					0					
	Titanium	0	0	0	0	(0.2-0.5)mm					0					
	Zircon	0	0	0	0	(0.2-0.5)mm					0					
	Stilbite	0	0	0	0	(0.2-0.5)mm					0					pinkish
その他	Calcite	0	0	0	0	(0.2-0.5)mm					0					
	Holocrystalline equigranular texture										スケール					
備考	顕微鏡観察 (Magnetite 系別) 交代作用: Illite: 中-少量 (vein-like-network 状, Granitic 結晶初期の脱水作用による生成?) Chlorite: 少量 (Chlorite の一部を交代して生成) Epidote: 微量 (Chlorite の一部を交代して生成) Analcite: 微量 (Epidote の一部を交代して生成)															

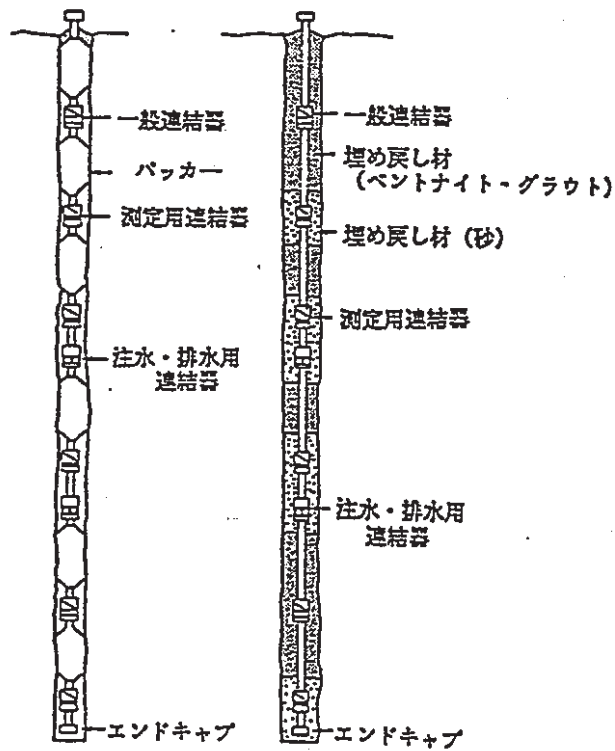
顕微鏡記載カード

調査試験項目	水文調査	(H-1)
実施目的	<p>サイト周辺の広い地域にわたる地下水流動の概略を把握する。</p>	
実施項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水文調査</li> <li>・気象調査</li> </ul>	
方法・内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地表水・地下水調査</li> <li>・水収支調査（降水量調査、河川流量調査、地下水位調査、蒸発散量測定）</li> <li>・水文環境調査（水源調査、水利用調査）</li> <li>・事例調査</li> </ul>	
成果および他の関連	<p>サイト周辺の地下水流動系を把握する。 地下水流動の概略を把握することにより「自然状態の地下水挙動調査」、「立坑掘削に伴う地下水挙動調査」の計画作成時の基礎データが得られる。（降水量、河川流量、地下水位、蒸発散量等）</p>	
実施上の注意点・開発課題	<p>水文調査の対象領域の設定には、リモートセンシング、空中写真判読、物理探査等を用いて合理的に行う。 岩盤の透水性を支配する不連続面（断層、リニアメント、節理等）の分布等をも考慮した調査とする。</p>	

調査試験項目	自然状態における地下水挙動調査	(H-2)
実施目的	掘削等によって岩盤が乱される前の自然状態での地下水挙動を把握する。	
実施項目	・地下水挙動調査	
方法・内容	調査領域にボーリング孔を配置し、MPシステムを用いて間隙水圧、流量、流速を同時に測定する。	
成果および他の関連	地下水位の変動、動水勾配、岩盤の透水係数が得られる。 本試験データは地下水流動モデルの初期条件となり、「立坑掘削に伴う地下水挙動」を評価する上での基礎データとなる。	
実施上の注意点・開発課題	観測用ボーリング孔は、立坑、試験横坑配置および地層構成等を考慮に入れてシステマチックな配置とする必要がある。	



概要図



パッカー法

バックフィル法

各種センサー詳細図

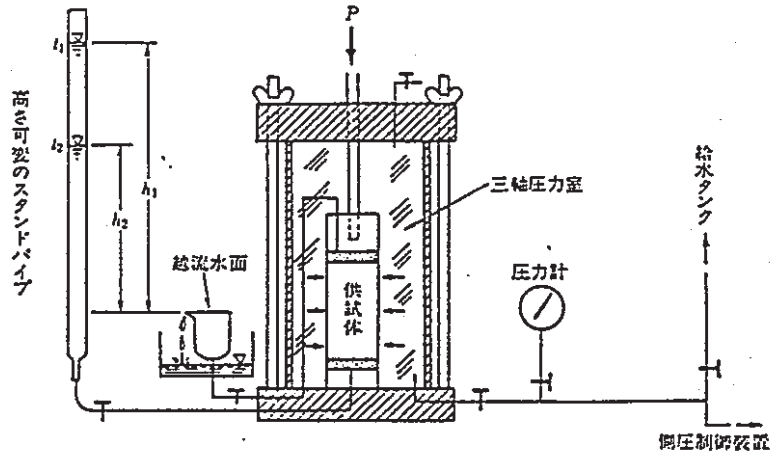
# MPシステムによる地下水流動観測

調査試験項目	掘削に伴う地下水挙動調査	(H-3)
実施目的	地下水流動に及ぼす空洞掘削の影響について調査する。	
実施項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・MPシステムを用いた地下水挙動調査</li> <li>・立坑、横坑における湧水量測定</li> </ul>	
方法・内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査領域内にボーリング孔を配置し、間隙水圧、流量、流速を測定する。</li> <li>・横坑・立坑において湧水量の連続的な測定を行う。</li> </ul>	
成果および他の関連	<p>空洞掘削が地下水挙動（間隙水圧、流量、流速、動水勾配、透水係数）に与える影響          岩盤の透水性に関する試験データとの関連あり。</p>	
実施上の注意点・開発課題	<p>難透水性岩盤における湧水量の計測手法の開発が必要である。</p>	

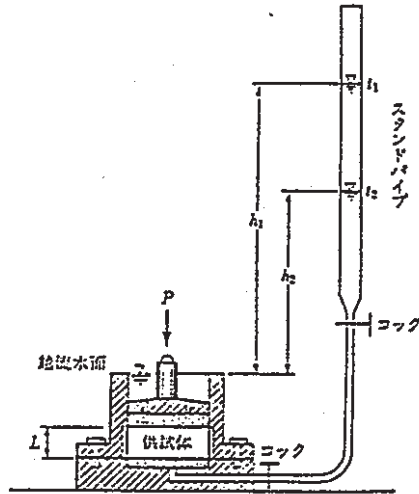
調査試験項目	地下研究施設周辺の地下水長期挙動調査	(H-4)
実施目的	地下水流動モデルの構築・検証の為に地下水の長期挙動についてのデータを得る。	
実施項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・MPシステムを用いた地下水挙動調査</li> <li>・立坑・横坑においての湧水量の長期測定</li> </ul>	
方法・内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>・長期領域内にボーリング孔を配置し、間隙水圧、流量、流速を測定する。</li> <li>・横坑・立坑において湧水量の測定を行う。</li> </ul>	
成果および他の関連	地下研究施設周辺の地下水流動モデルの構築、検証に必要な地下水の長期挙動についてのデータ（間隙水圧、流量、流速、動水勾配、透水係数等）が得られる。	
実施上の注意点・開発課題	長期データ収集システムの開発が必要である。	

調査試験項目	室内透水試験	(P-1)
実施目的	岩盤の透水性を評価する際の基本データとなる岩石の透水特性を得る。	
実施項目	室内透水試験	
方法・内容	<p>室内透水試験</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・結晶質岩のように透水係数の比較的小さいものに適用できる試験方法としては以下のものが挙げられる。</li> <li>・三軸圧縮試験装置を用いる透水試験（変水位法、定水位法）</li> <li>・圧密試験装置を用いる変水位透水試験</li> <li>・トランジェントパルス法</li> </ul>	
成果および他の関連	岩石の透水特性である、透水係数、貯留係数を得る。	
実施上の注意点・開発課題	室内透水試験の試料は割れ目を含まない比較的新鮮な岩盤のものが多いため、必ずしも原位置における巨視的な岩盤の透水性を正しく表現しているとは限らない。	

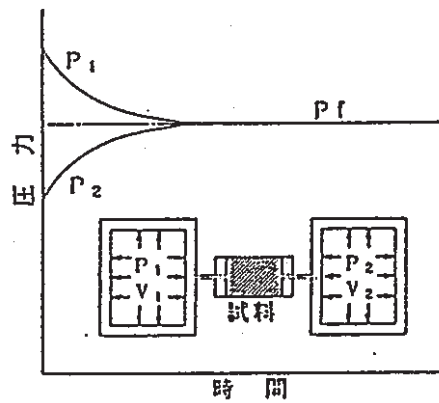




三軸圧力室を用いる変水位透水試験概念図



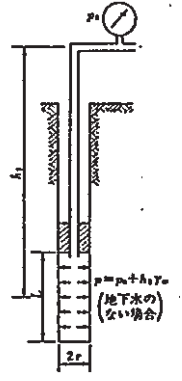
圧密容器を用いる変水位透水試験



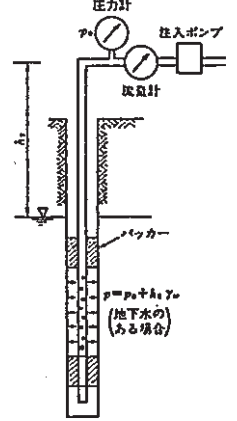
トランジェントパルス法の概念図

室内透水試験

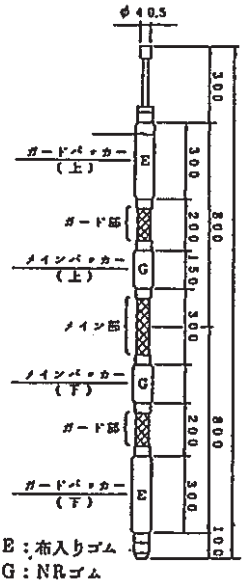
調査試験項目	ボーリング孔内透水性試験	(P-2)
実施目的	原位置岩盤の透水性を調査する。	
実施項目	ボーリング孔内透水性試験	
方法・内容	<p>ボーリング孔を用いた透水試験は大きく別けて以下の3つに分類できる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 孔内にパッカーを設けて清水を注入し、その注入量から岩盤の透水係数を求める方法 注水試験、ルジオン試験、原位置透水試験（トリプルパッカー方式） 自然圧注水法</li> <li>・ ボーリング孔内で人為的に地下水位の変化を起こし、その変化状態から岩盤の透水係数を求める方法 湧水圧試験（JFT）</li> <li>・ 揚水孔から一定量の揚水を行い、観測孔における各時間 <math>t</math> の水位 <math>H</math> を測定し、透水係数、貯留係数を求める方法 揚水試験</li> </ul>	
成果および他の関連	<p>岩盤の透水特性である透水係数、貯留係数を得る。 また、ボーリング孔内のキ裂観察によって岩盤のキ裂と透水性の関係についての資料が得られる。</p>	
実施上の注意点・開発課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 亀裂の卓越する方向がボーリング孔に平行でない場合、精度の低下が懸念される。事前にボーリングコア等から亀裂分布を把握しておく必要がある。</li> <li>・ 注入圧は、岩盤に損傷を受けないよう、注意して設定する。</li> <li>・ 試験法によって、得られる岩盤の透水係数が異なるため、試験結果の解釈には総合的な判断が必要である。</li> </ul>	



(a) シングルパッカー方式



(b) ダブルパッカー方式

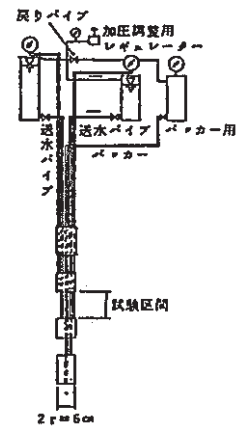


(c) トリプルパッカー方式

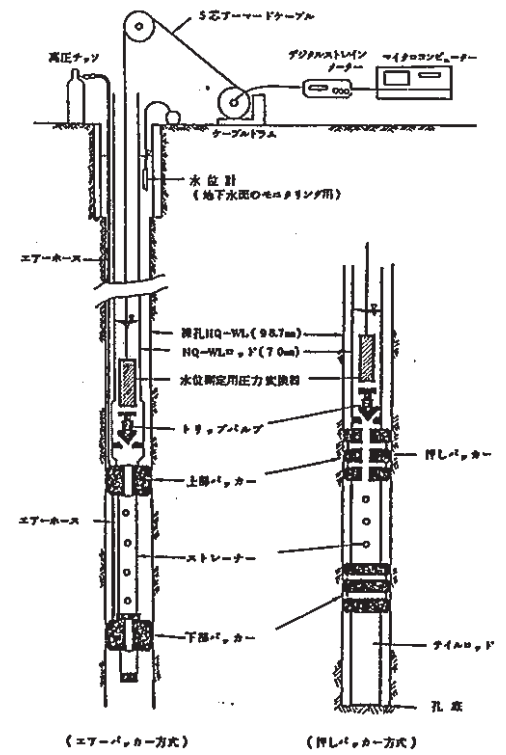
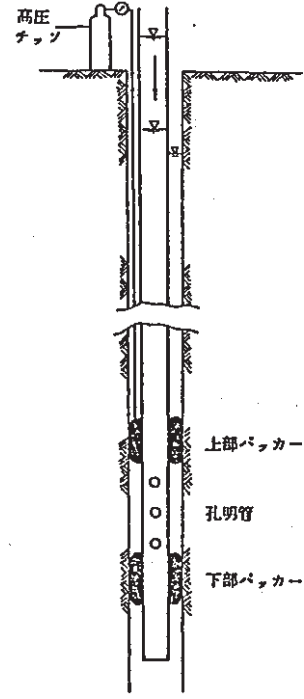
E : 布入りゴム  
G : NRゴム

仕様

- トリプルパッカー方式により、試験坑周辺の流れを放射状に整流化する。

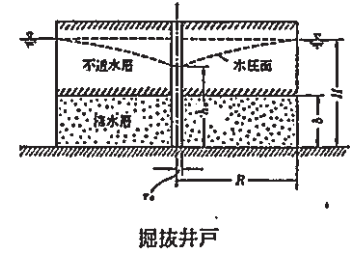


試験対象区画

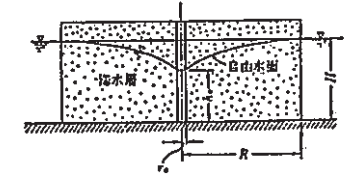


(エアーパーカー方式) (押しパッカー方式)

JFTの計測システム



掘抜井戸



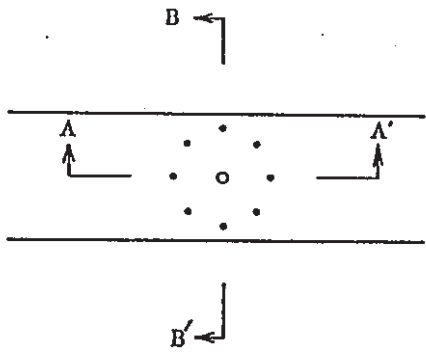
重力井戸

揚水試験

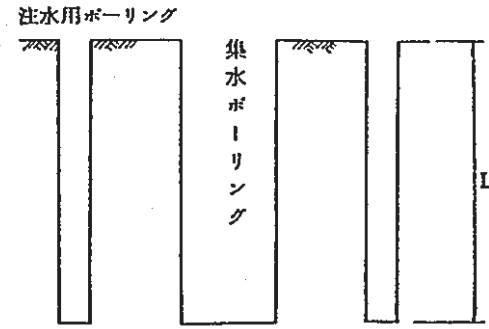
注水試験

ボーリング孔内透水性試験

調査試験項目	大規模透水性試験	(P-3)
実施目的	原位置岩盤の三次元的な透水特性を得る。	
実施項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・集水型注水加圧試験</li> <li>・換気試験</li> </ul>	
方法・内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>・集水型注水加圧試験：中央ボーリング孔の周辺に放射状に配置したボアホールより、流れを発生させて岩盤の巨視的透水係数を測定する。</li> <li>・換気試験：トンネルの一部を密閉し、この密閉した空洞内に流入してくる微小な湧水量を換算する。同時にこの空洞周辺の間隙水圧を計測して岩盤内の動水勾配を求めて、湧水量と動水勾配よりマクロな透水係数を求める。</li> </ul>	
成果および他の関連	<ul style="list-style-type: none"> <li>・岩盤の巨視的な透水係数を得る。</li> </ul>	
実施上の注意点・開発課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・換気試験は、空洞周辺の間隙水圧を計測して動水勾配を算定することから、地質条件としては大きな破碎帯が存在すればこの影響を強く受けることになるので、このような大きな破碎帯の存在する部分は避けるべきである。</li> </ul>	



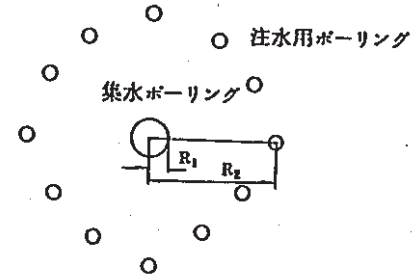
- 中央孔 (φ300mm)
- 周辺孔 (φ60mm)



A-A' 断面

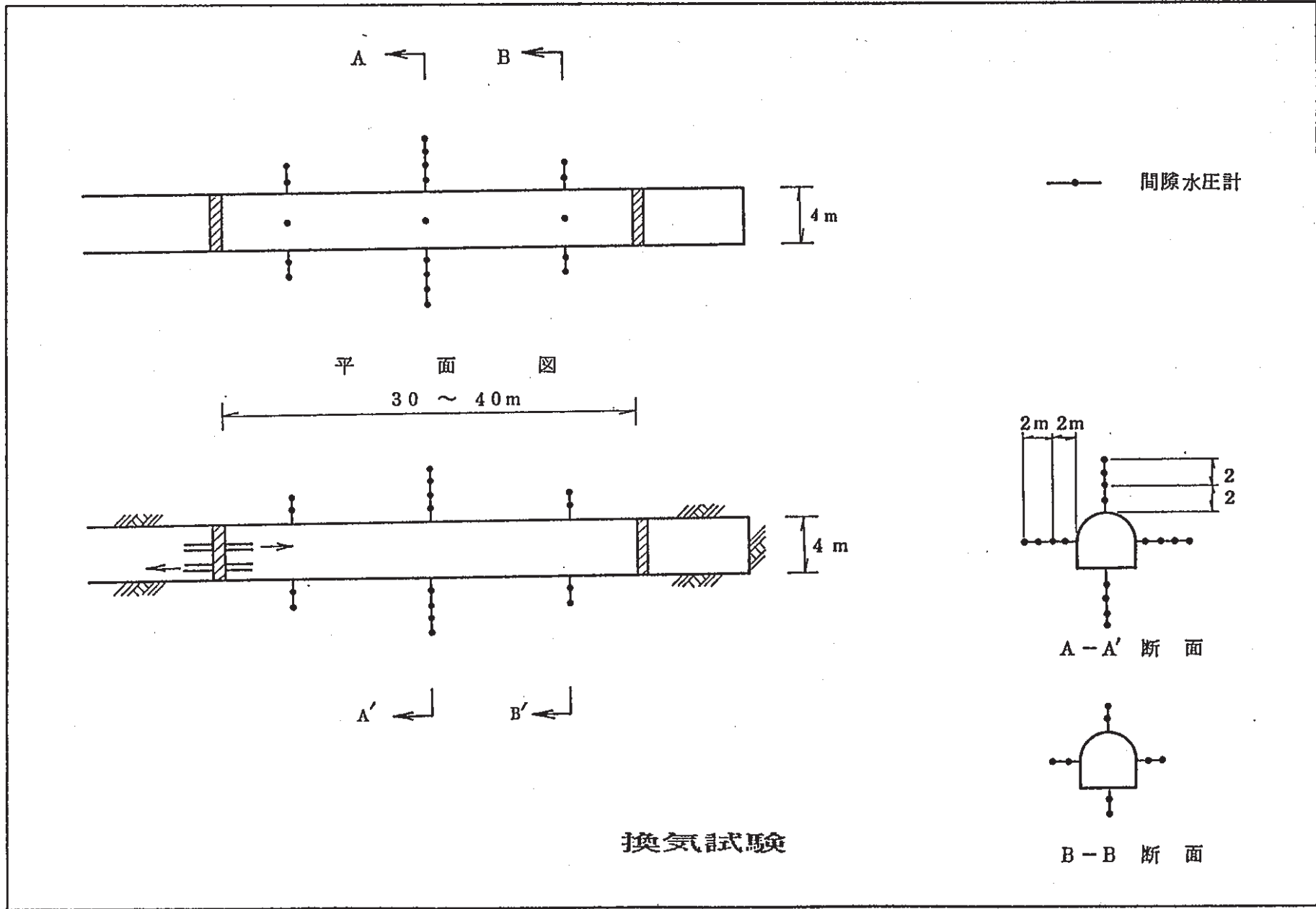


B-B' 断面



平面図 (拡大)

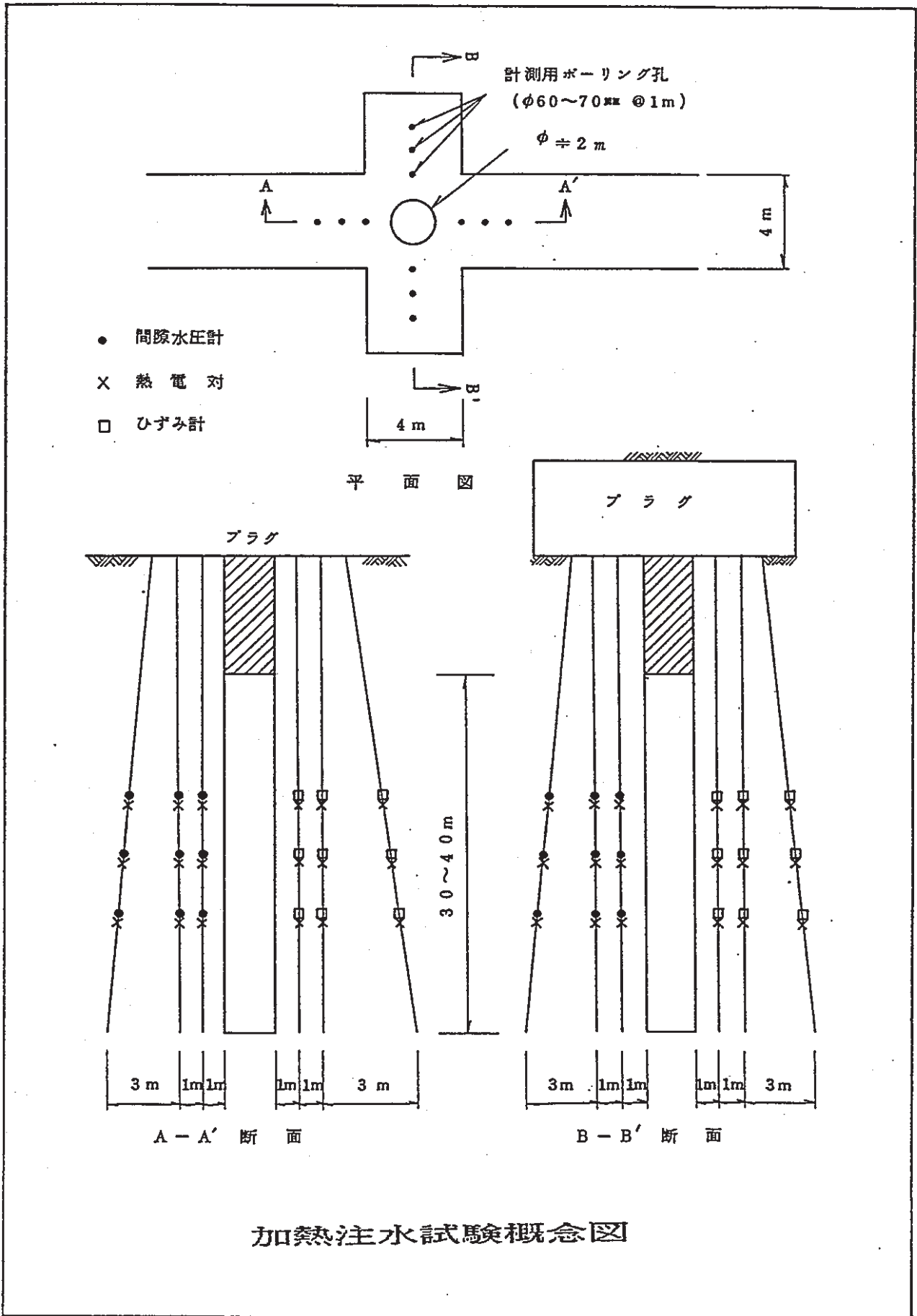
### 集水型注水試験



調査試験項目	不飽和岩盤の大規模透水性試験		(P-4)
実施目的	結晶質岩のような透水性の低い材料から成る岩盤の透水特性を得る。		
実施項目	・換気試験		
方法・内容	<p>実験方法は図2.3.3.1に示すように、30～50mの横坑を掘削後、坑壁の入念なマッピングを行ったのち、プラグで密閉して、この空洞内に流入してくる流量を、集水ピットでの流量変化と空洞内の湿度変化とから求める。また、この空洞周辺には間隙水圧を設置して圧力変化を計測する。この計測器の配置は、空洞方向への流れによる間隙水圧変化を正確にとらえるために空洞に対して横坑内部から放射状に配置するものとする。しかし、試験用横坑道から上方へのボアホールを用いての間隙水圧計の設置は、技術的にやや困難であるが、ダブルパッカー方式等に改良した空洞内に流入してくる微小な湧水量を換算する。同時にこの空洞周辺の間隙水圧を計測して岩盤内の動水勾配を求めて、湧水量と動水勾配よりマクロな透水係数を求める。</p>		
成果および他の関連			
実施上の注意点・開発課題	<p>この試験は、空洞周辺の間隙水圧を計測して動水勾配を算定することから、地質条件としては多量の破碎帯が存在すればこの影響を強く受けることになるので、このような大きな破碎帯の存在する部分は避けるべきである。</p>		

調査試験項目	熱応力下の透水性試験	(P-5)
実施目的	岩盤の透水性と温度の関係について把握する。	
実施項目	・大口径ボーリングによる加熱注水試験（大口径注水試験）	
方法・内容	<p>注水加熱試験は、次図に示すようにφ2 m程度の大口徑ボーリング掘削後プラグで密閉し、その内に圧力水を注入して、一定圧力を維持するのに必要な注入量と、周辺岩盤の動水勾配からマクロな透水係数を算定するものである。</p> <p>この試験における計測システムは、間隙水圧計のみでなく、圧力水（温水）の注入による岩盤内の変形挙動をモニターする必要がある。</p>	
成果および他の関連	<p>注入量、注水圧、間隙水圧、温度が測定され、その温度における透水係数が算定される。</p> <p>注入水の圧力のみならず、温度を変化させることで透水特性の圧力・温度依存性を求める。</p>	
実施上の注意点・開発課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・流量一定試験では、注水圧が周囲の岩盤に損傷を与えないように注意する。</li> <li>・各試験孔では、事前に亀裂分布を調査しておく。</li> </ul>	

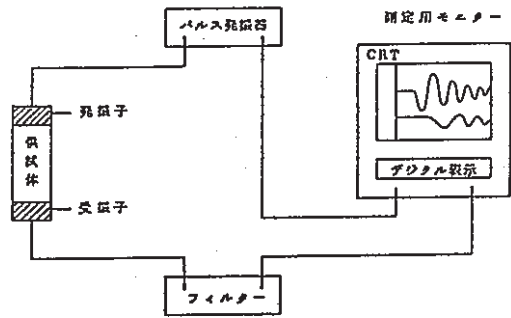




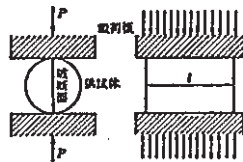
調査試験項目	室内力学試験	(E-1)
実施目的	<p>岩盤の力学的性質を把握する。室内試験では種々の試験の基礎試料として、岩石の物理、化学的性質の調査を行うとともに、岩盤の構成材料としての岩石の力学的性質を詳細に検討する。</p>	
実施項目	<p>次表に示すとおり、岩石の物理的、力学的性質について様々な実験を行う。</p>	
方法・内容	<p>次表参照。</p>	
成果および他の関連	<p>得られたデータや、岩石の物性（表1）参照）は、原位置での岩盤力学試験結果を解釈する上で、また、数値シミュレーションの入力データとして、重要な役割を果たす。</p>	
実施上の注意点・開発課題	<p>試験状態のわずかな違いにより測定値は大きな変動を示すので試験状態を十分注意して設定する必要がある。  試験条件として考慮されなければならないものに、(i) 試験片の形 (ii) 試験片の大きさ (iii) 試験片の仕上げの程度、とくに上下の加圧面の仕上げ (iv) 圧縮試験機の加圧板と試験片の加圧面との間の接触状況 (v) 乾燥の程度 (vi) 荷重の加え方—荷重速度、ひずみ速度 が挙げられる。</p>	

(表) 室内力学試験一覧

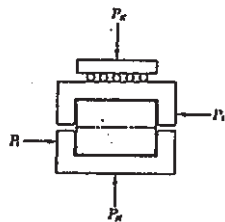
実施項目		方法・内容	成果
物理的性質	比重試験 吸水率・間隙率測定 粒度試験 単体体積重量試験	岩石比重の測定 吸水率、間隙率の測定 岩石構造骨格の粒子構成 含水量等の測定	比重 空隙特性 粒度 単位体積重量
力学的性質	超音波速度試験 一軸、三軸圧縮試験  引張試験 せん断試験  硬度、摩耗試験 AE計測  クリープ試験  くり返し載荷試験	速度、減衰特性の測定 圧縮過程に於ける岩石の応力-ひずみ特性の測定  引張過程での強度の測定 直接せん断の手法により、岩石の応力-ひずみ特性の測定 構成鉱物の硬度の測定 圧縮、引張過程に於ける岩石内部の微小破壊音の計測 定荷重又は定変位条件下での応力、ひずみ特性の測定 くり返し載荷時の強度特性	動的弾性定数 剛性、強度 破壊後の挙動 引張強度 せん断強度、破壊後の挙動 硬度 微小破壊特性 初期応力 クリープ曲線 静的疲労特性 動的疲労特性



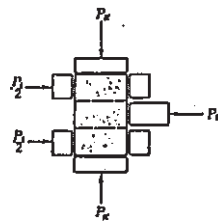
弾性波速度試験概念図



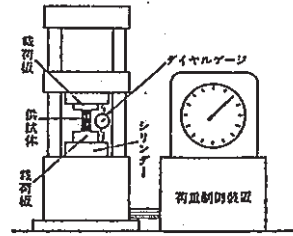
円柱供試体による引張試験法



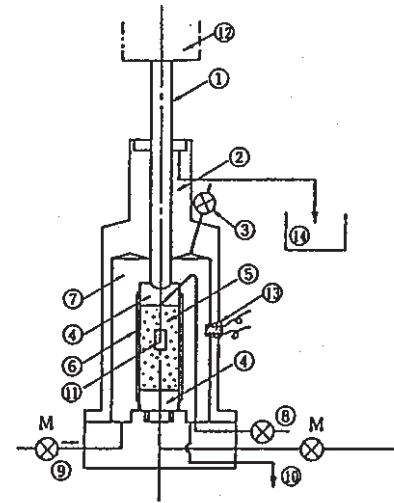
一面せん断試験



二面せん断試験

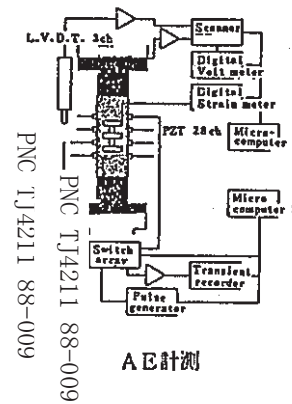


一軸圧縮試験概念図



- ①加圧ピストン
- ②金属製円筒 (三軸室)
- ③三軸室空気抜き
- ④加圧板
- ⑤試料
- ⑥耐油性ゴムスリーブ
- ⑦加圧油
- ⑧間隙水圧測定回路
- ⑨油導入回路
- ⑩油排出回路
- ⑪ストレインゲージ
- ⑫圧縮試験機
- ⑬リード線取出口
- ⑭漏洩オイル受け

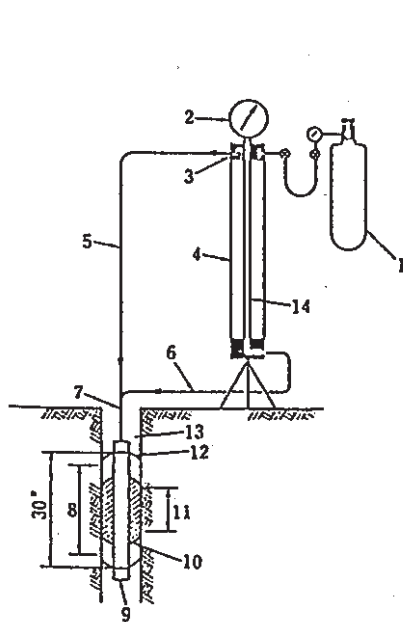
岩石三軸圧縮試験装置



AE計測

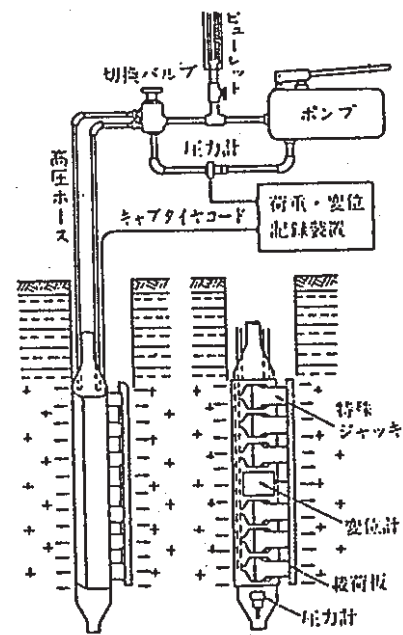
室内力学試験

調査試験項目	ボーリング孔内力学試験	(E-2)
実施目的	ボーリング孔内を利用して、岩盤の力学的特性を把握する目的で行う。	
実施項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 孔内水平載荷試験</li> <li>・ 孔壁せん断試験</li> </ul>	
方法・内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 孔内水平載荷試験は、ボーリング孔の孔壁に載荷して、荷重と変形の関係より岩盤の変形特性を求める試験である。孔壁に載荷する方法には、ゴムチューブなどを用いて載荷する方法に分けられる。</li> <li>・ 孔壁せん断試験は、孔壁にせん断プレートを垂直圧力載荷用ジャッキを用いて、種々の垂直力に対してせん断破壊強度を求めるものである。</li> </ul>	
成果および他の関連	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 変形係数</li> <li>・ せん断強度</li> </ul> <p>これら孔内試験で得られた値は、室内試験で得られた値と比較する必要がある。</p>	
実施上の注意点・開発課題	<p>ボーリング孔内で行うため、載荷面積が小さく、節理などを含んだ岩盤としての値を求めているのか否かの検討や、孔壁の円周方向には引張応力が作用していることに留意しておく必要がある。</p>	



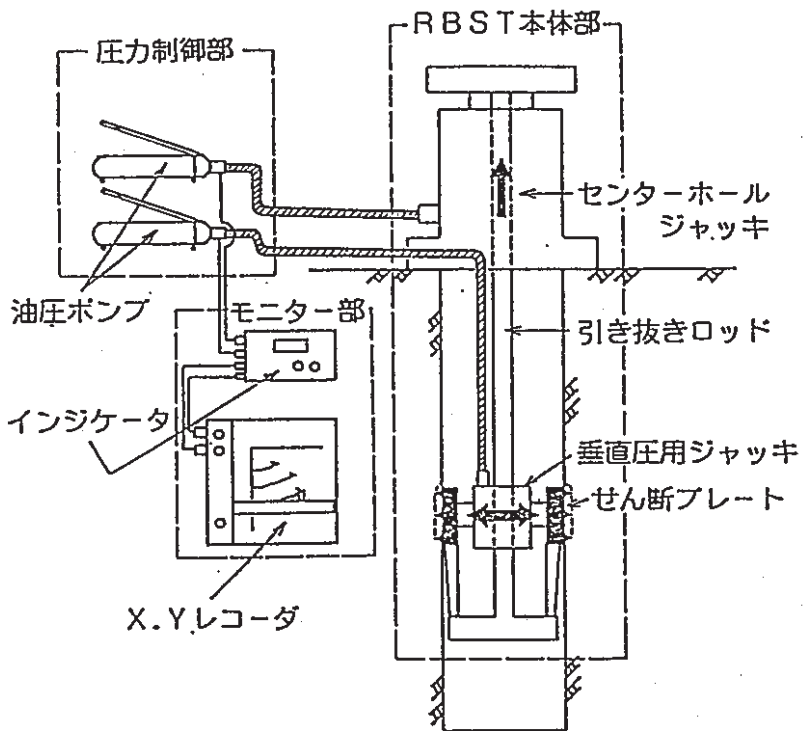
液体圧により載荷する方法

1. 圧縮ガス
2. 圧力ゲージ
3. 安全弁
4. 圧力容積測定器
5. ガスライン
6. 水ライン
7. 同心チューブ
8. 応力範囲
9. 膨張部 (プローブ)
10. 内部測定セル
11. 測定範囲
12. 外部保護セル
13. ボーリング孔
14. マノメーター

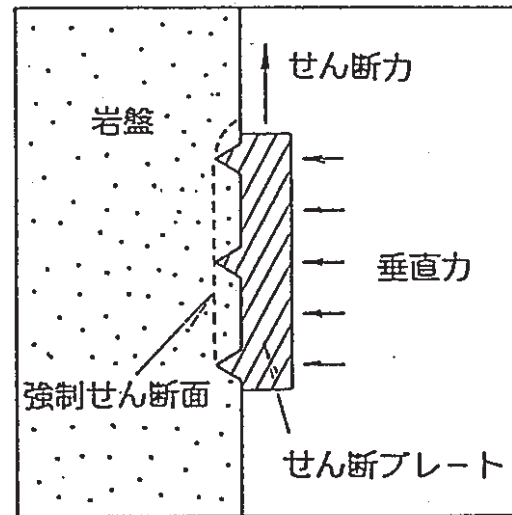


剛な載荷板を用いた  
載荷する方法

### 孔内水平載荷試験



孔壁せん断試験装置の模式図



孔壁せん断試験の測定原理図

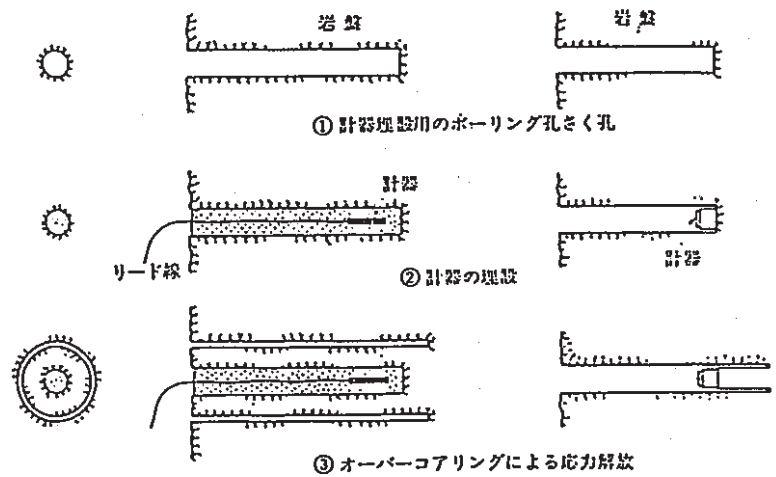
### 孔壁せん断試験

調査試験項目	初期地圧測定	(E-3)
実施目的	処女状態の地圧、あるいは、深さ方向に於ける地圧分布を求めることを目的とする。	
実施項目	初期地圧測定を行う。次表参照。	
方法・内容	次表・図参照。	
成果および他の関連	初期地圧が成果として得られ、これは、岩盤の安定性を評価する上での数値シミュレーションの初期設定において、非常に重要な項目である。	
実施上の注意点・開発課題	同一位置において、各試験法により測定した初期地圧の値は同一とはならない。応力測定に関しての大きな問題は、測定を行う過程で乱した領域内で測定をしなければならないということであり、この問題を解決していかなければならない。	

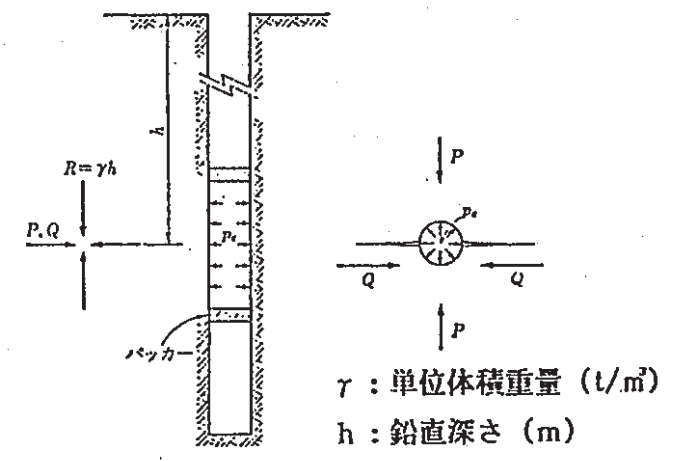


(表) 初期地圧測定

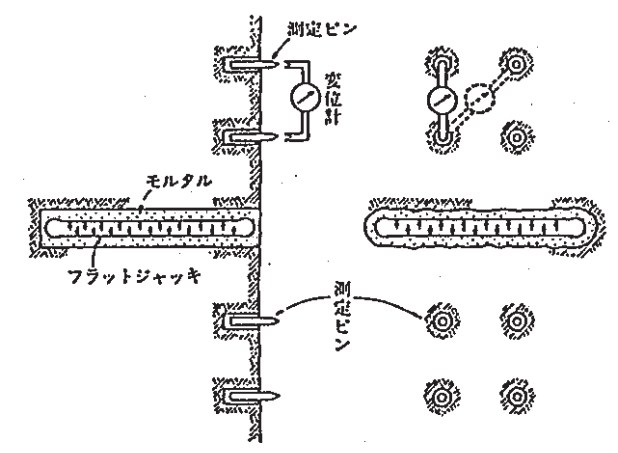
実施項目	成 果	
	計 測 項 目	成 果
オーバーコアリング法	ひずみ	初期地圧
水圧破碎法	水圧と亀裂方向	
AE法	荷重-AE関係	
フラットジャッキ法	変位	



(a) 孔内のひずみ計測 (b) 孔底のひずみ計測  
 応力解放法による地圧測定



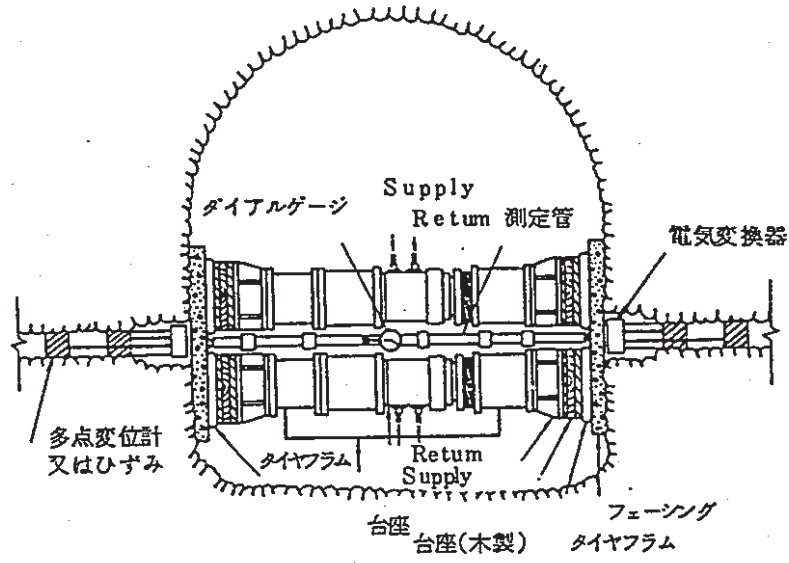
水圧破碎法による地圧測定



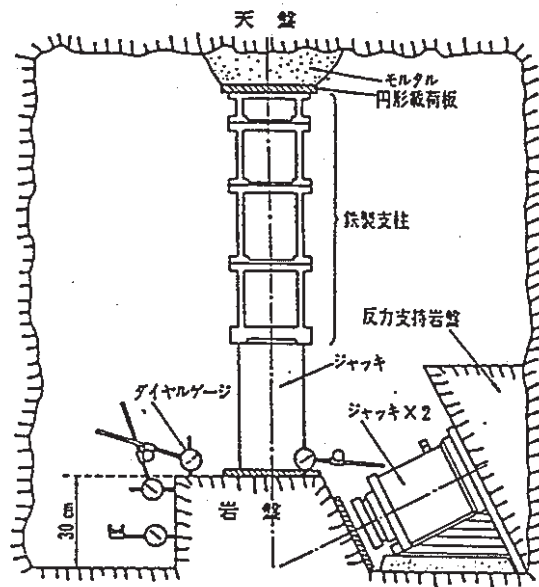
フラットジャッキ法による地圧測定

初期地圧測定

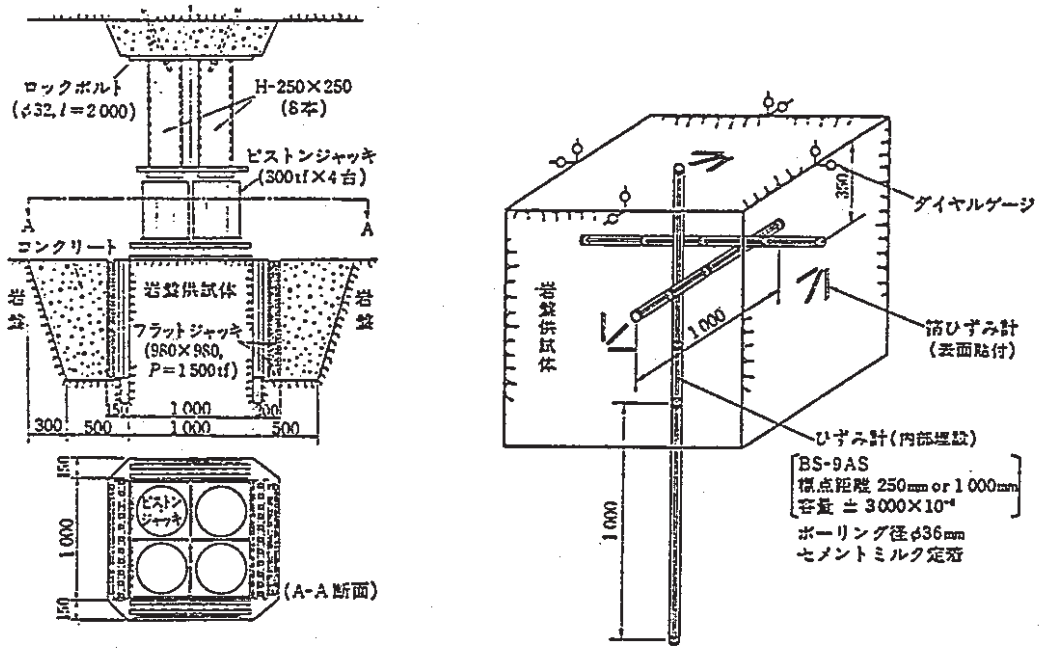
調査試験項目	原位置岩盤試験	(E-4)
実施目的	岩盤の変形特性、強度特性を求める。	
実施項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ジャッキ試験</li> <li>・岩盤せん断試験</li> <li>・岩盤三軸圧縮試験（原位置）</li> <li>・岩石および岩盤の動的物性試験（原位置動的繰返し試験、坑内弾性波試験）</li> <li>・超音波速度試験、動的くり返し試験、水室試験、平板載荷試験、ブロックせん断試験</li> </ul>	
方法・内容	各試験概略図参照。	
成果および他の関連	<ul style="list-style-type: none"> <li>・岩盤の変形係数、粘着力、内部摩擦角、動的変形係数、粘性係数等が成果として求まる。</li> <li>・岩盤は、岩石・岩塊と、層理面、亀裂面といった各種の間隙面とが不規則に接合しているものであり、原位置岩盤試験で得られた値は、コアを用いた室内試験結果よりも、それら不規則な接合などの影響をより多く考慮した状態での変形特性を求められる。</li> </ul>	
実施上の注意点・開発課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・試験区間や岩盤ブロックについては、節理、層理面等を詳細に観察、記録しておく。</li> <li>・岩盤ブロックの形状と大きさ、荷重の決定方法、荷重の作用点とその方向、岩塊表面の仕上げ方法等がまだ規格化されていない。</li> </ul>	



ジャッキ試験



岩盤せん断試験

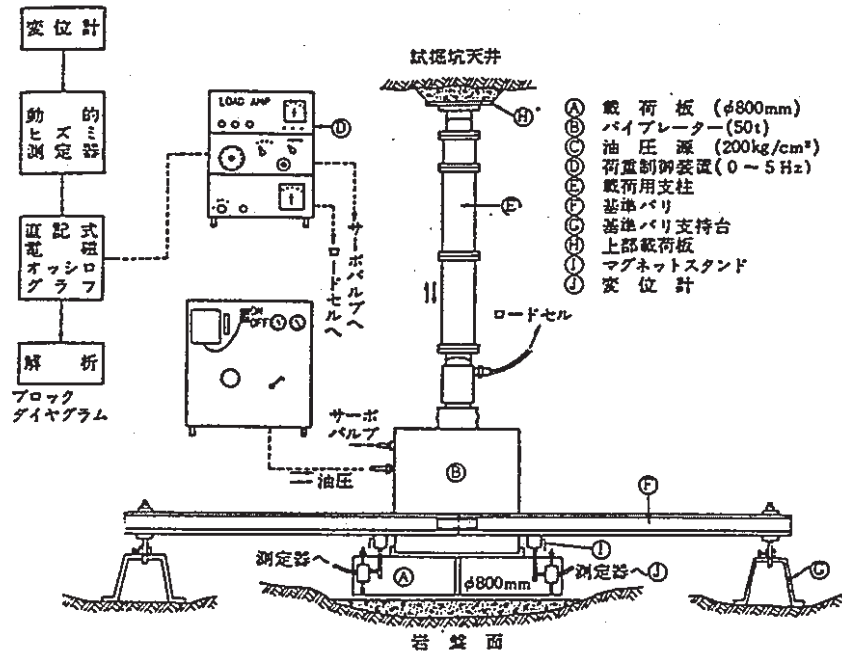


岩盤三軸圧縮試験の例

岩盤供試体の変形計測例

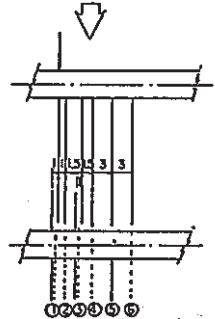
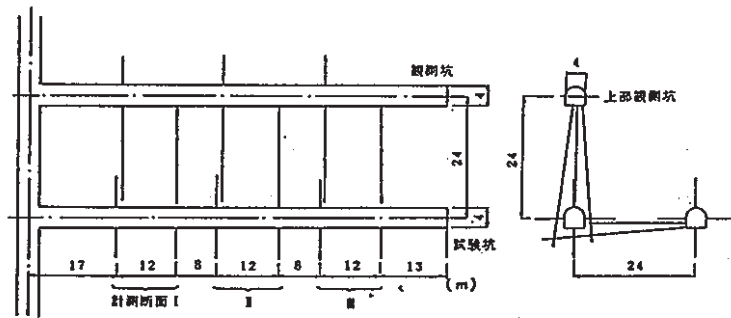
### 岩盤三軸圧縮試験

#### 試験装置



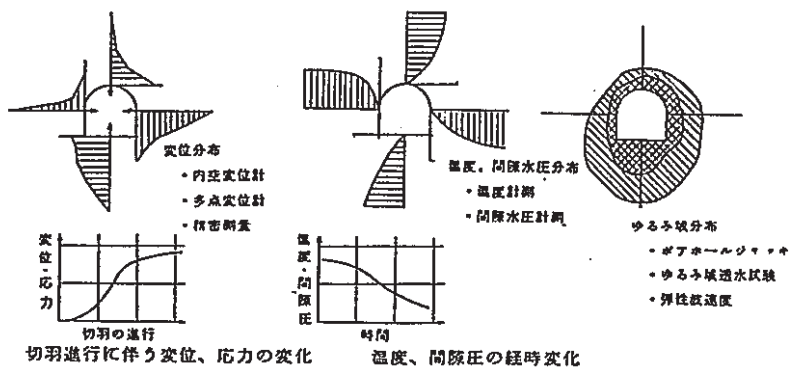
### 原位置動的繰返し試験

調査試験項目	立坑・坑道掘削影響試験	(E-5)
実施目的	<p>本試験は、空洞を掘削しながら、周囲の岩盤挙動を計測するもので、空洞の掘削（地山応力の解放過程）に対する岩盤の力学的、水理学的応答より、空洞周辺の応力状態やゆるみ域等を推定する。</p>	
実施項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・掘削試験</li> </ul>	
方法・内容	<p>弾性波探査、間隙水圧測定、透水性試験などにより、空洞掘削に対する岩盤の力学的、水理学的応答（弾性波速度、間隙水圧、透水係数など）を計測する。 計測に際しては、先行ボーリング孔や計測のためのボーリング孔等を利用する場合と（試験坑掘削前に）計測坑を設けるMine-By 試験とがある。</p>	
成果および他の関連	<ul style="list-style-type: none"> <li>・弾性波速度</li> <li>・間隙水圧</li> <li>・ゆるみ域透水係数</li> <li>・変形係数</li> <li>・内空変位、地中変位</li> </ul> <p>等が計測される。 これらの成果は、切羽進行に伴う変位・応力の変化図・分布図、温度・間隙水圧の経時変化図・分布図にまとめるなどして、空洞掘削による緩み領域の評価データとなる一方、ひきつづき長期安定性試験の一部をなすものである。</p>	
実施上の注意点・開発課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・切羽の進行を正確に記録しておく必要がある。</li> <li>・発破により測定器が損傷を受けないよう十分な配慮が必要。</li> <li>・本試験は、地下研究施設の試験に対し、基礎的なデータを提供するものであり、データの収集は慎重に行わなければならない。</li> </ul>	

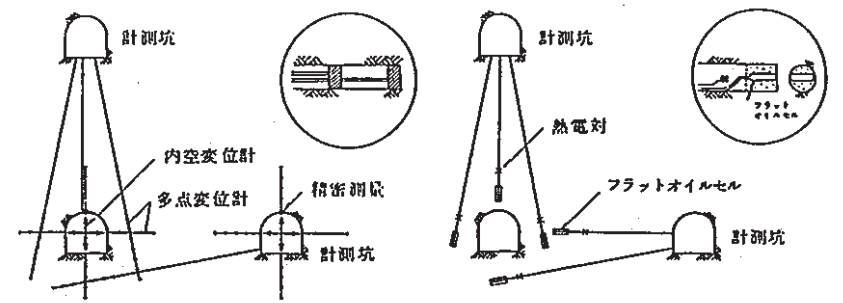


- 仕様
- ① 内空変位計、多点変位計断面
  - ② 応力計、温度計断面
  - ③ ボアホールジャッキ断面
  - ④ 間隙水圧計断面
  - ⑤ 弾性波速度断面
  - ⑥ ゆるみ域透水試験断面

Mine-By 試験概念図

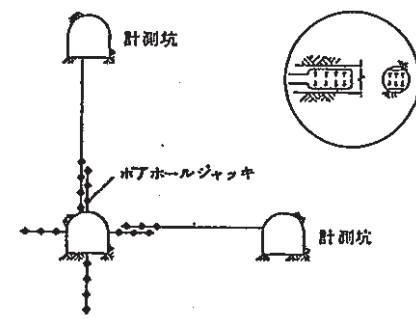


計測結果のまとめ例と緩み域の評価

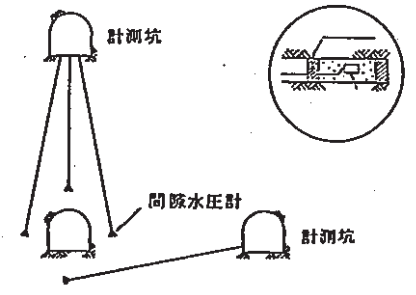


多点変位計及び内空変位計  
 試験孔  $\phi 76 \times 25 \times 3$   
 $\phi 76 \times 19 \times 1$   
 $\phi 76 \times 6 \times 8$

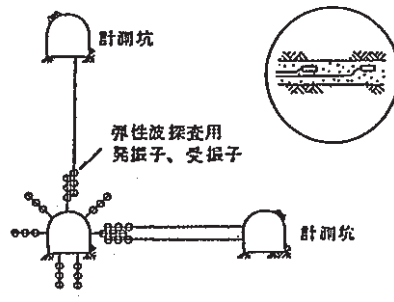
応力計及び温度計  
 試験孔  $\phi 76 \times 25 \times 3$   
 $\phi 76 \times 19 \times 2$



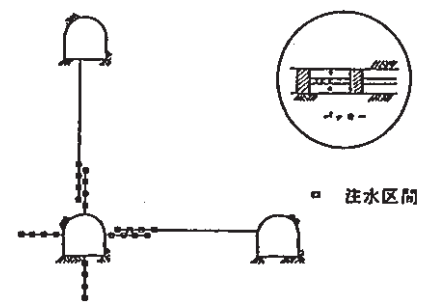
ボアホールジャッキテスト  
 試験孔  $\phi 76 \times 19 \times 2$   
 $\phi 76 \times 6 \times 2$



間隙水圧計  
 試験孔  $\phi 76 \times 25 \times 3$   
 $\phi 76 \times 19 \times 1$



弾性波探査  
 試験孔  $\phi 76 \times 19 \times 3$   
 $\phi 76 \times 6 \times 7$



ゆるみ域透水試験  
 試験孔  $\phi 76 \times 19 \times 2$   
 $\phi 76 \times 6 \times 2$

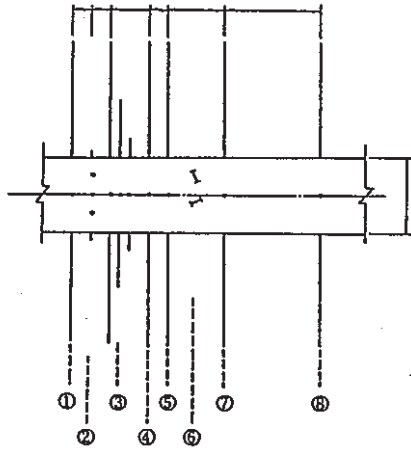
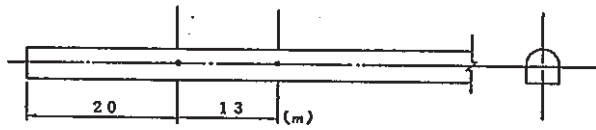
各計測断面におけるボーリング孔及び計測器

Mine-By 試験

調査試験項目	掘削工法比較試験	(E-6)
実施目的	<p>本試験は、空洞を掘削しながら、周囲の岩盤挙動を計測するもので、この点は（E-5）の試験に同じであるが、掘削後方の相違による岩盤の緩みについて検討することを目的とする。</p>	
実施項目	<p>・掘削試験</p> <p>※（E-5）に同じ。</p>	
方法・内容	<p>掘削工法を発破工法と機械工法の2工法で行い、それぞれ（E-5）掘削試験を行う。</p>	
成果および他の関連	<p>得られる成果は、（E-5）に同じであるが、発破工法と機械工法の2工法におけるそれらの結果データの比較により、工法の違いによるゆるみ領域の違いを把握する。</p>	
実施上の注意点・開発課題	<p>（E-5）に同じ。</p>	



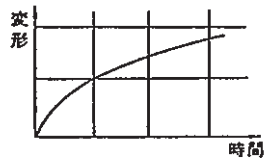
調査試験項目	長期健全性観測試験	(E-7)
実施目的	岩盤物性の経時変化や、これに伴う空洞の変形、ゆるみ域の拡大等を測定し、長期にわたる空洞の安定性を検討する。	
実施項目	長期安定性試験	
方法・内容	(E-5) 掘削試験の計測の延長と、さらに透水試験等の長期計測を行う。	
成果および他の関連	各計測断面における試験結果としての変形、間隙水圧、岩盤の剛性・亀裂分布等の経時変化は、試験期間よりも長期の期間における経時変化予測解析のデータとなる。	
実施上の注意点・開発課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本試験は長期にわたり計測を続けるため、耐久性の高い計測器の選択、開発が必要である。</li> <li>また、連続観測に適した計測システムの開発も検討しておかなければならない。</li> <li>・試験区間は、できるだけ自然な状態、(温度、湿度、支保材)になるよう配慮する。</li> </ul>	



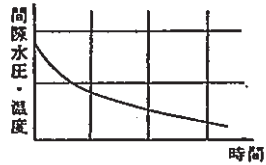
長期安定性試験概念図

仕様

- ① AE計測断面
- ② 高感度内空変位計断面
- ③ 高感度多点変位計断面
- ④ 間隙水圧計断面
- ⑤ ボアホールTV断面
- ⑥ キ裂計断面
- ⑦ ボアホールジャッキ断面
- ⑧ 弾性波探査断面



変形の経時変化



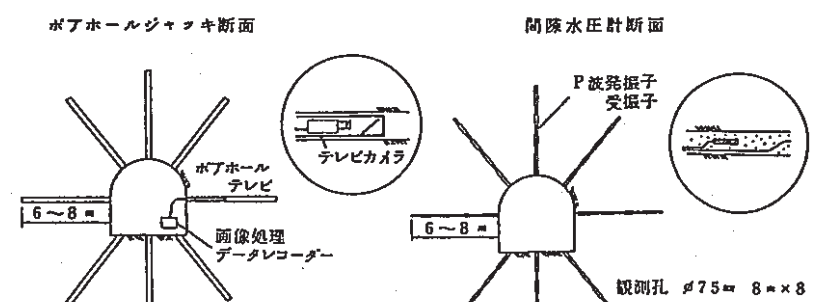
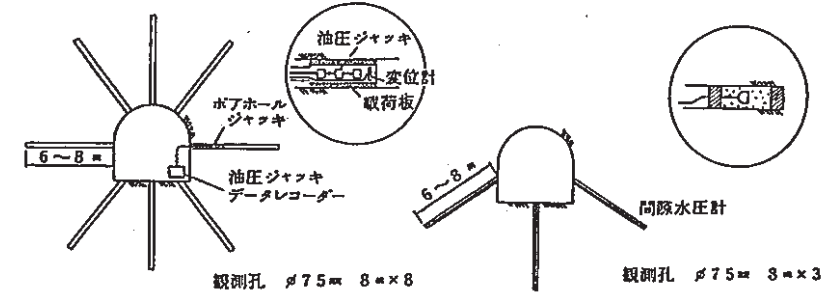
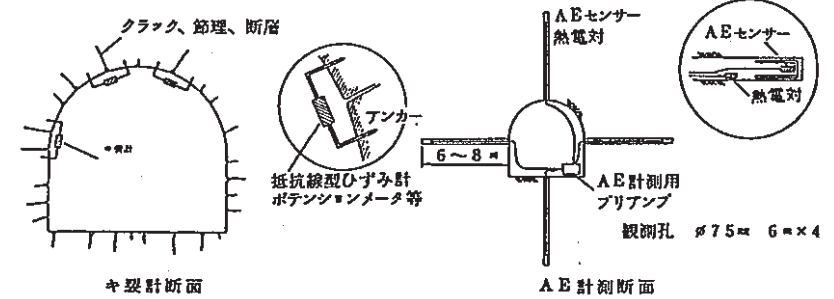
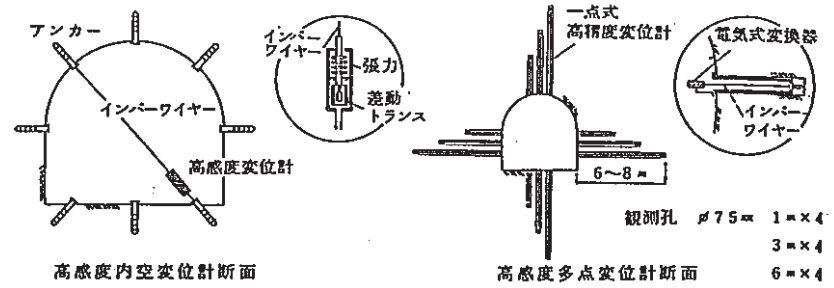
圧力・温度の経時変化

計測結果のまとめ例

・本試験では、岩盤物性の経時変化を把握する目的で、以下の各項に着目し整理する。

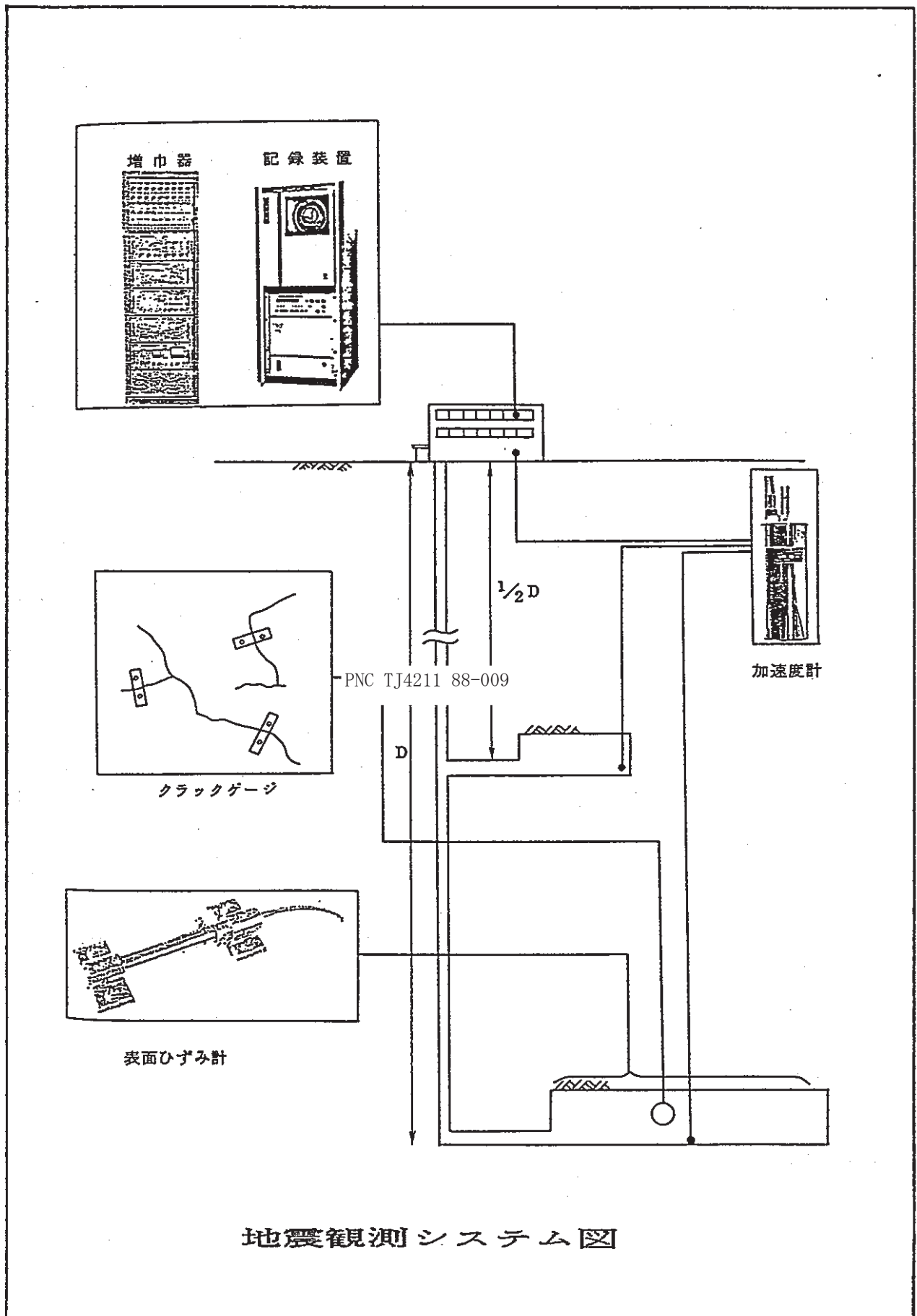
- 1) 変形、間隙水圧温度の経時変化
- 1) 岩盤剛性の経時変化
- 2) キ裂分布の経時変化
- 3) ゆるみ域分布の経時変化

長期安定性試験



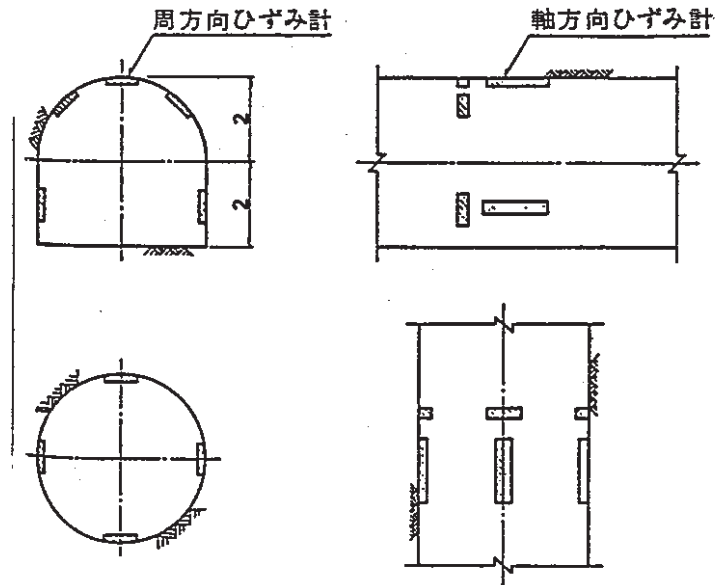
各計測断面

調査試験項目	地震時挙動観測	(D-1)
実施目的	<p>岩盤の長期安定性について検討を行うために、地震時における地下空洞の挙動を観測する。</p>	
実施項目	<p>・地震観測（岩盤の加速度観測、岩盤の動ひずみ観測、空洞における加速度覆工ひずみの観測、クラック挙動観測）</p>	
方法内容	<p>(i)岩盤の加速度観測……加速度計を水平2方向、鉛直1方向に設置し、地震動の入射方向を測定する。                      (ii)岩盤の動ひずみ観測…岩盤内には球形ひずみ計を埋設し、地震時に生じる岩盤内のひずみを観測する。                      (iii)空洞における覆工ひずみの観測                      ……立坑及び試験坑にひずみ計を周方向と軸方向の2方向に設置し、空洞の地震時挙動を計測する。                      (iv)クラック挙動計測……試験坑壁面のクラックにひずみ計を設置し、地震時におけるクラックの開閉を連続観測する。</p>	
成果および他の関連	<p>加速度を用いてスペクトル解析、最大応答値分析、統計分析を行い、サイトにおける設計地震動を設定する。                      動ひずみより、空洞変形解析、応力解析、クラック挙動解析を行い耐震解析等の長期安定性を評価するプログラムについて開発・検証を行うことができる。</p>	
実施上の注意点・開発課題	<p>・長期データ収集システムの開発が必要である。                      ・経済的な地震動の計測機器の開発が望まれる。</p>	

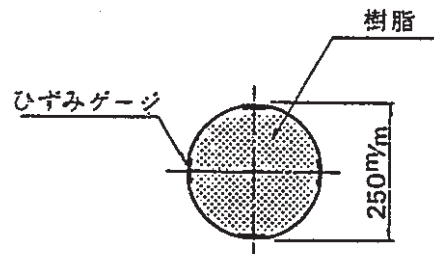


- 加速度観測

- 空洞の動ひずみ観測

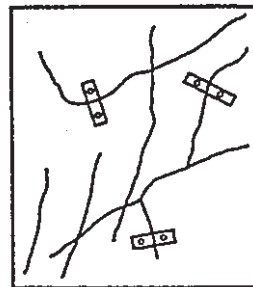


- 岩盤内の動ひずみ観測



球形動ひずみ計

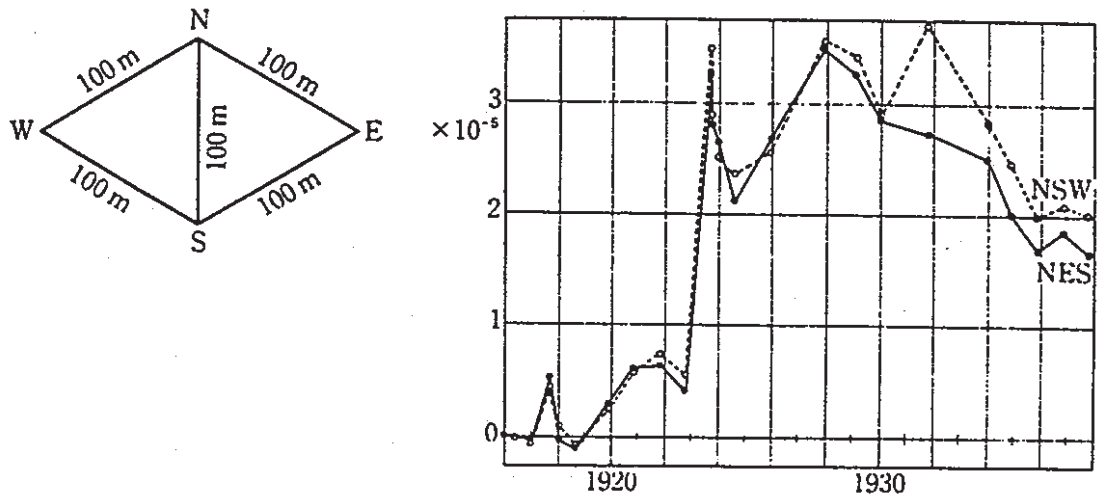
- クラック挙動観測



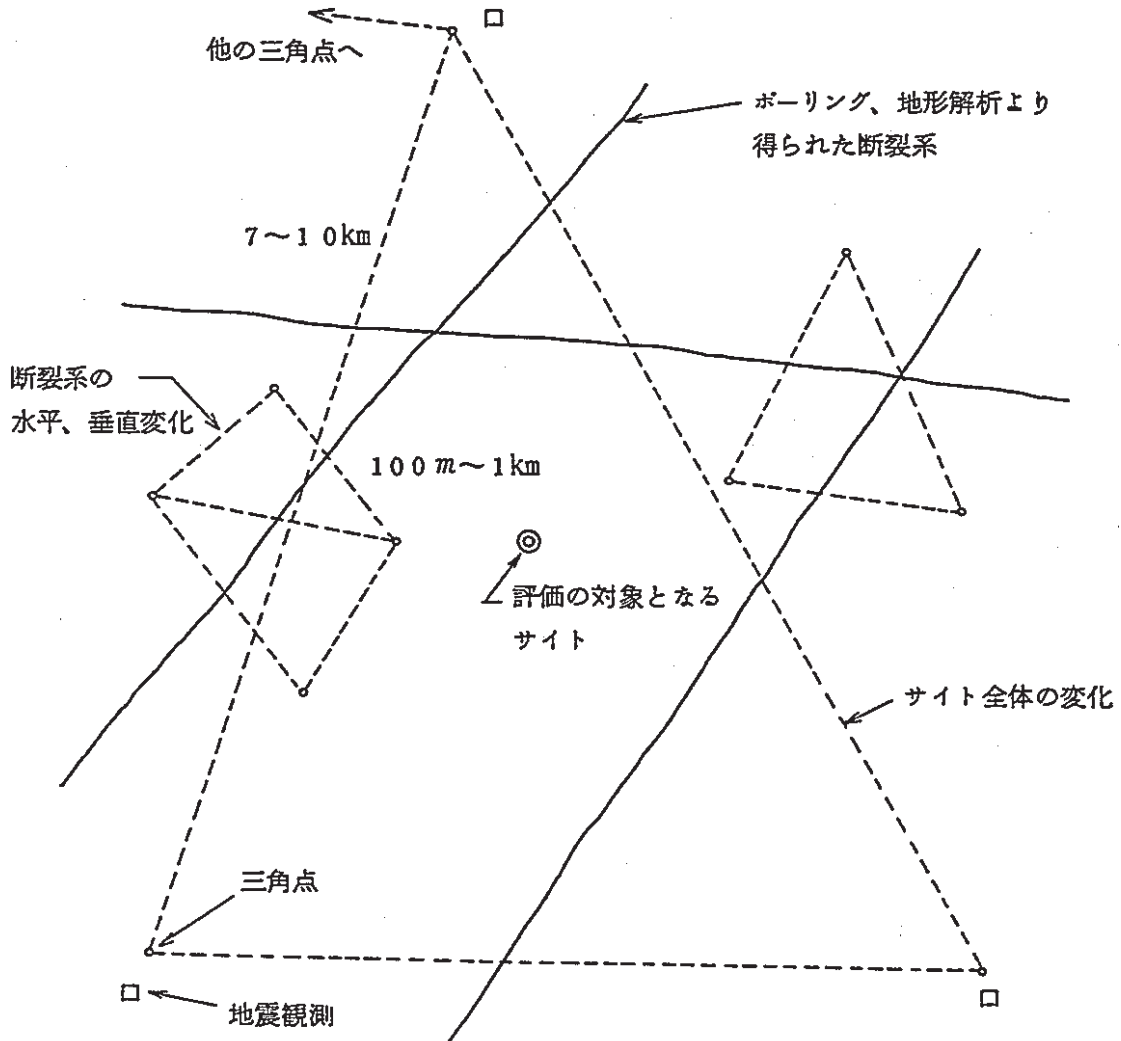
キ裂計

# 地震観測概要

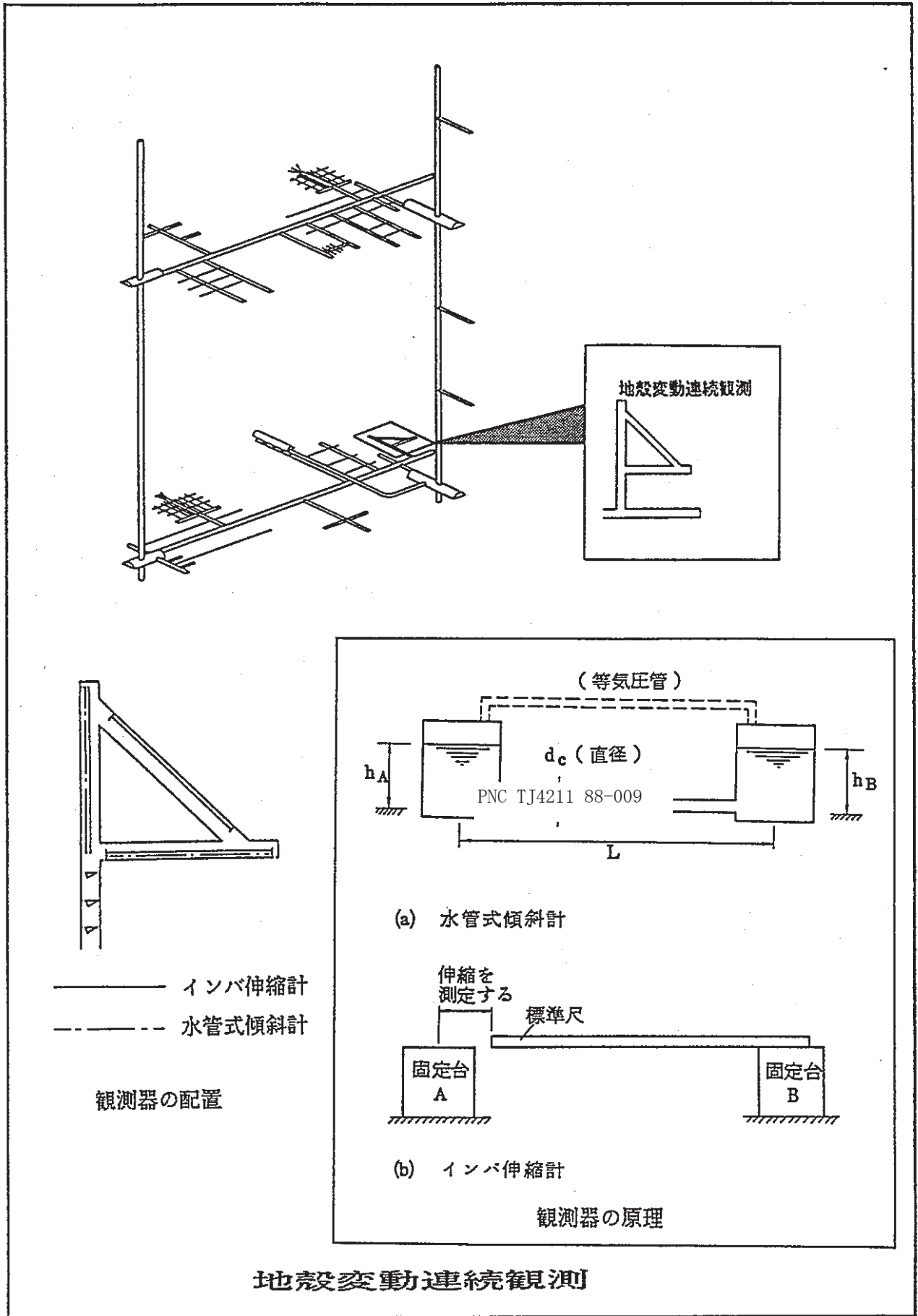
調査試験項目	地殻ひずみ観測	(D-2)
実施目的	岩盤の長期安定性について検討を行う為に、地殻ひずみの長期観測を行う。	
実施項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・精密水準・三角測量による相対変位の測定</li> <li>・傾斜計、伸縮計による地殻変動の連続観測</li> </ul>	
方法・内容	<p>サイト全体の変位挙動観測：サイト周辺に三角網を形成し、精密水準・三角測量による相対変位の測定を行う。</p> <p>地殻変動の連続観測：水晶管式伸縮計と水管式傾斜計を設置し、地殻変動の連続観測を行う。</p> <p>水晶管伸縮計：水晶の棒を物尺として、地盤の伸縮を直接測定する。</p> <p>水管傾斜計：連通管の原理により、長い水を満たした管の両端での水面の高さを比較することにより、地盤の傾きの変化を検出する。</p>	
成果および他の関連	<ul style="list-style-type: none"> <li>・長期にわたる地殻の変位計測から調査領域の地殻変動の活動状況が把握できる。</li> <li>・サイトの地球物理学的特性を知るデータが得られる。</li> <li>・広域地質構造調査によって得られる活断層の総合的調査研究の成果を考慮する必要がある。</li> </ul>	
実施上の注意点・開発課題	地殻変動の長期計測システムの開発が必要である。	



三角測量によって得られる地盤のひずみ

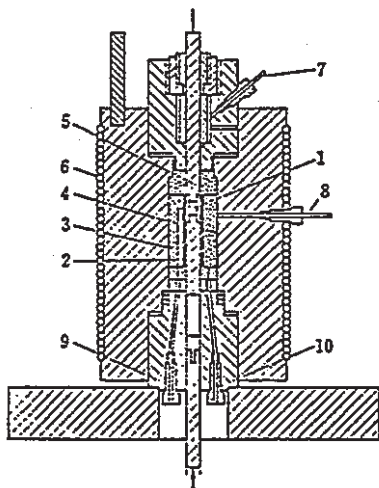


サイトの活動性評価のための三角測量



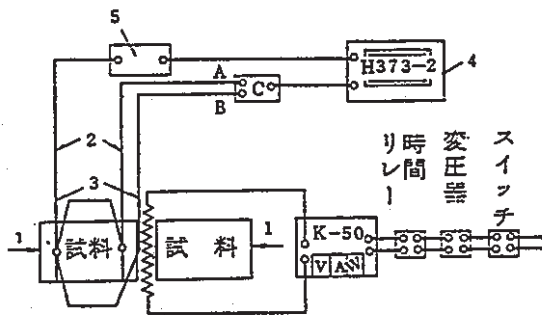


調査試験項目	室内熱物性試験	(T-1)
実施目的	<p>岩盤の熱特性を評価する際の基礎データとなる岩石の熱物性を得ることを目的とする。</p>	
実施項目	<p>加熱三軸圧縮試験 熱伝導試験 熱膨張試験</p>	
方法・内容	<p>加熱三軸圧縮試験：温度および圧力を変化させ、岩石の変形、強度特性を調べる。 熱伝導試験：岩石中の熱伝導特性、およびこれの温度依存について調べる。 試験方法としては、平板比較法、平板直接法、非定常細線加熱法半径方向熱流法が挙げられる。 熱膨張試験：岩石の熱膨張特性を調べる。</p> <p>各試験装置の概念図を次図に示す。</p>	
成果および他の関連	<p>上記の試験により、岩石の以下の熱特性、熱物性が得られる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 岩石の剛性の温度依存</li> <li>・ 岩石強度の温度依存</li> <li>・ 熱伝導係数</li> <li>・ 比熱</li> <li>・ 熱膨張係数</li> </ul> <p>また、この結果は、熱伝導・熱膨張モデル構築のための重要なデータである。</p>	
実施上の注意点・開発課題	<p>室内熱物性試験は、供試体を用いて行うために、得られた熱物性値がそのまま原位置での熱物性であるとは言えない。</p>	



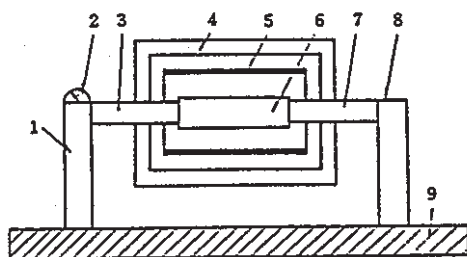
- 1. 岩石試料
- 2. 加熱コイル
- 3. 炭ろうり石製ライニング
- 4. 熱電対
- 5. プレス
- 6. 冷却コイル
- 7. パッキング圧入口
- 8. 作動圧入口
- 9. 熱電対用電線
- 10. 加熱コイル用電線

高温三軸圧縮試験 (装置)



- 1. 止め金
- 2, 3. 熱電対
- 4. 解析装置
- 5. 抵抗箱

熱伝導試験 (装置)



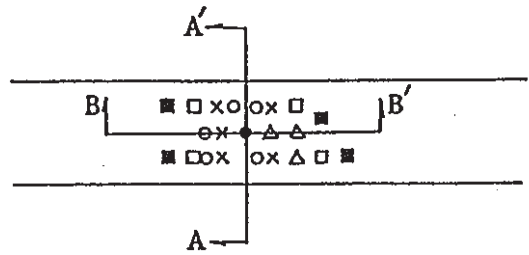
- PNC TJ4211 88-009
- 1. 8 ヲホー
  - 2. 温度計
  - 3. 可動石英棒
  - 4. 冷却カバー
  - 5. 加熱体
  - 6. 岩石試料
  - 7. 固定棒
  - 9. 架台

熱膨張試験 (装置)

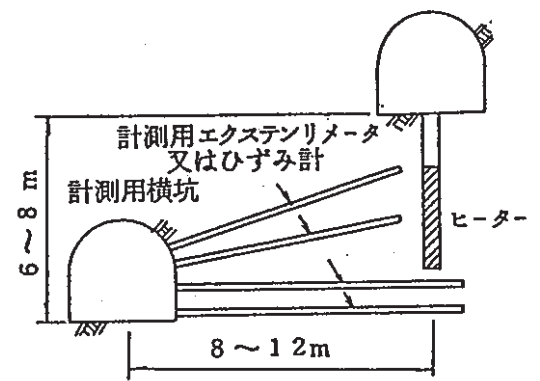
室内熱物性試験

調査試験項目	原位置熱物性試験	(T-2)
実施目的	原位置における岩盤の熱物性を得る。	
実施項目	原位置熱伝導試験	
方法・内容	岩盤内に、ヒーターおよび熱電対設置用のボーリング孔を設け、ヒーター周辺の温度分布を求めることにより、岩盤の熱伝導率を測定する。	
成果および他の関連	岩盤の膨張係数、熱伝導率が得られる。 本試験結果と室内熱物性試験結果を総合的に検討し、岩盤の熱特性を判断する必要がある。	
実施上の注意点・開発課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・岩盤の熱力学的性質は、節理や層理面の影響を強く受けるため、事前に充分観察しておく。</li> <li>・一般に、岩盤では節理等の存在により、剛性、熱膨張係数が異方性を呈するため、簡単には求められず、これを考慮した結果整理が必要である。</li> </ul>	

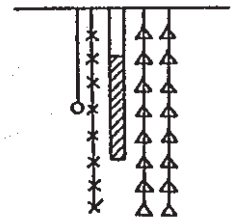
調査試験項目	シングルヒーター試験	(T-3)
実施目的	<p>岩盤を加熱し、岩盤の変形挙動や、岩盤が受ける損傷を調べるとともに、熱伝導特性、熱膨張特性を得る。</p>	
実施項目	<p>シングルヒーター試験</p>	
方法・内容	<p>次図に示すように、坑道下盤に設置したヒーターで、岩盤を加熱し、この時の岩盤の温度、応力、変形、間隙水圧を坑道や計測用横坑から配置した計測器より測定する。</p> <p>① ヒーター周囲の温度変化は、熱電対により測定する。  ② 加熱、冷却に伴う岩盤の変形は、ヒーター周囲に配したひずみ計、および観察坑からのボーリング孔に埋設したひずみ計により測定する。  ③ ヒーター周囲の岩盤の損傷を調べるため、弾性波探査、およびAE計測を実施する。</p>	
成果および他の関連	<p>岩盤の以下の熱物性が得られる</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・熱伝導係数、熱膨張係数</li> <li>・比熱</li> </ul> <p>本試験は、解析シミュレーションをする上でモデル化が容易であることから、熱伝導・熱膨張モデルの検証を行うことができる。  岩盤の安定性に与える熱の影響を検討することができる。</p>	
実施上の注意点・開発課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・最もシンプルな方法の試験であり、実施例が多い。</li> <li>・電気ヒーターの出力を増大すればボアホール壁面の岩盤の温度が上昇し、やがて破壊に至らしめることができる。すなわち、破壊試験が可能であり、岩盤の熱応力に対する強度が測定できる。</li> <li>・試験を開始する際に、ボアホール内にたまった地下水の排除、および試験中の地下水の浸入を防止する工夫が必要である。</li> </ul>	



- メーンヒーター
- × 熱伝対
- 応力計
- △ エクステンリメータ又はひずみ計
- 弾性波探査用ボーリング孔
- AE計測用ボーリング孔



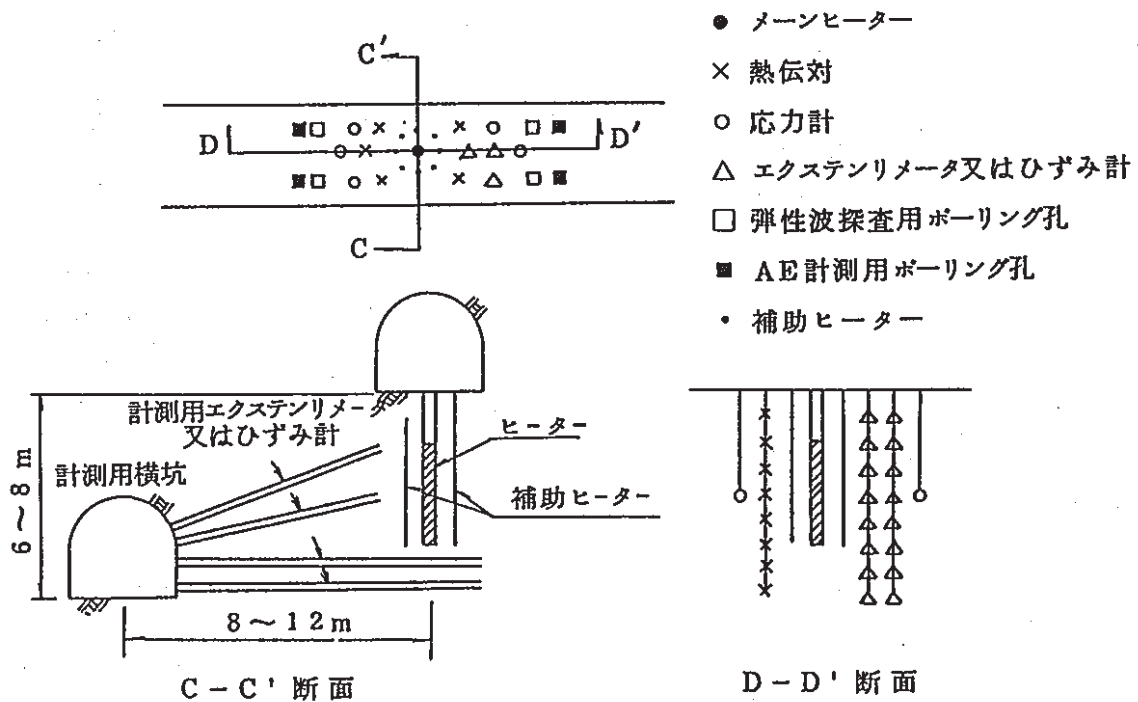
A - A' 断面



B - B' 断面

### シングルヒーター試験

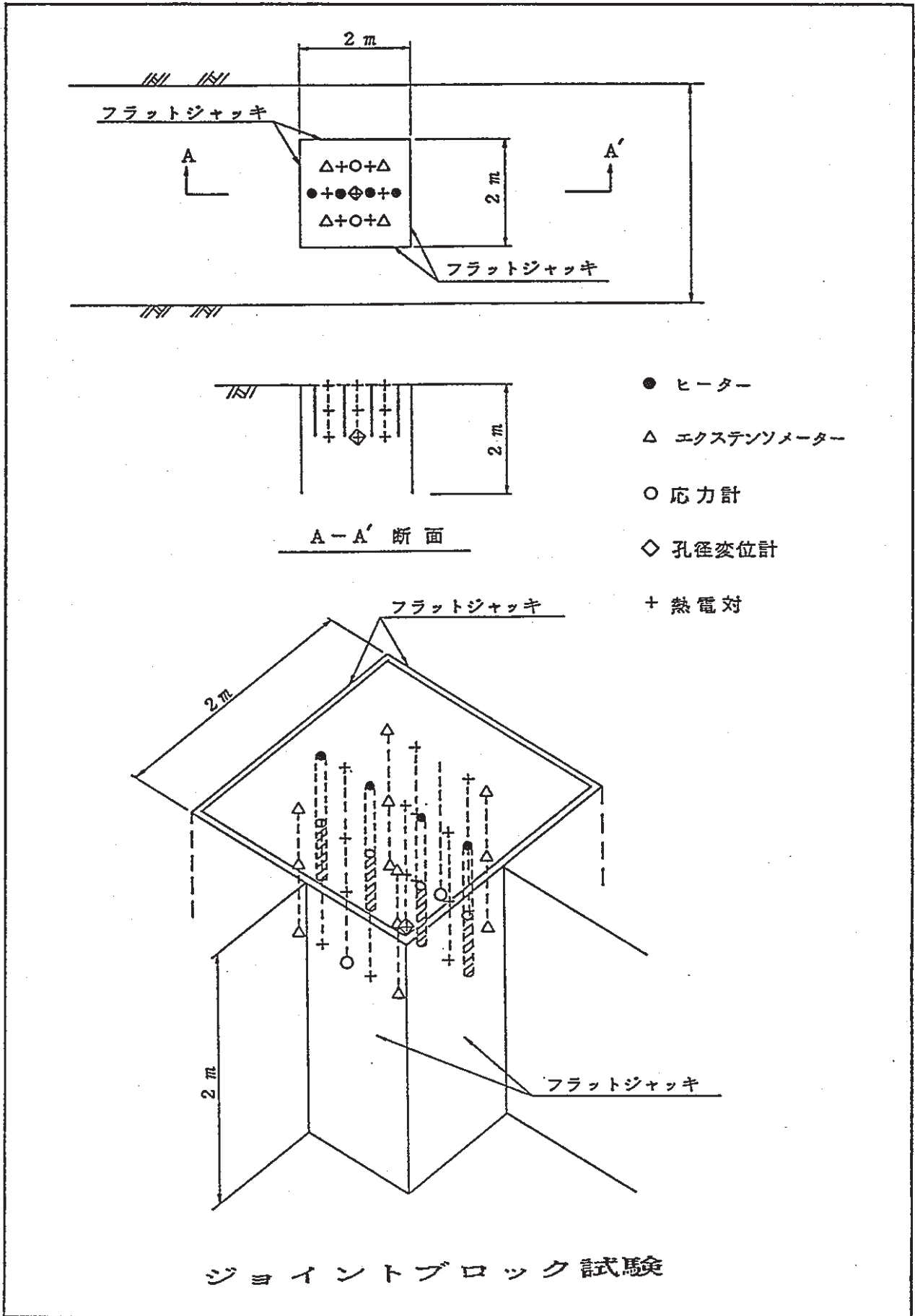
調査試験項目	マルチヒーター試験	(T-4)
実施目的	<p>岩盤を加熱し、岩盤の変形挙動や岩盤が受ける損傷を調べるとともに熱伝導特性、熱膨張特性を得る。</p>	
実施項目	<p>マルチヒーター試験</p>	
方法・内容	<p>次図に示すように坑道下盤に設置したヒーターで岩盤を加熱し、この時の岩盤の温度、応力、変形、間隙水圧を坑道や計測横坑から配置した計測器より測定する。本試験では、メインヒーター周辺に同心円状に補助ヒーターを配置することで、ヒーター間の相互作用についても検討を行う。</p> <p>① ヒーター周囲の温度変化は、熱電対により測定する。  ② 加熱、冷却に伴う岩盤の変形は、ヒーター周囲に配したひずみ計、および観察坑からのボーリング孔に埋設したひずみ計により測定する。  ③ ヒーター周囲の岩盤の損傷を調べるため、弾性波検査、およびAE計測を実施する。</p>	
成果および他の関連	<p>岩盤の以下の熱特性が得られる。  ・熱伝導係数、熱膨張係数  ・比熱</p> <p>熱による岩盤の損傷についてのデータが得られる。(損傷領域の把握)  岩盤の安定性に与える熱の影響を評価できる。</p>	
実施上の注意点・開発課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・単一ヒーター試験の次にシンプルな方法の試験であり、実施例もいくつかある。</li> <li>・メインヒーターの周囲に配置してある周辺ヒーターが実際の隣接キャニスターの影響を模擬しているので、実際の地層処分場と等しい熱源の密度が得られる。</li> <li>・熱的な破壊試験が可能である。</li> <li>・周辺ヒーターが存在するために、解析コードを用いてシミュレーションする場合のモデル化は、単一ヒーター試験よりも複雑である。</li> </ul>	



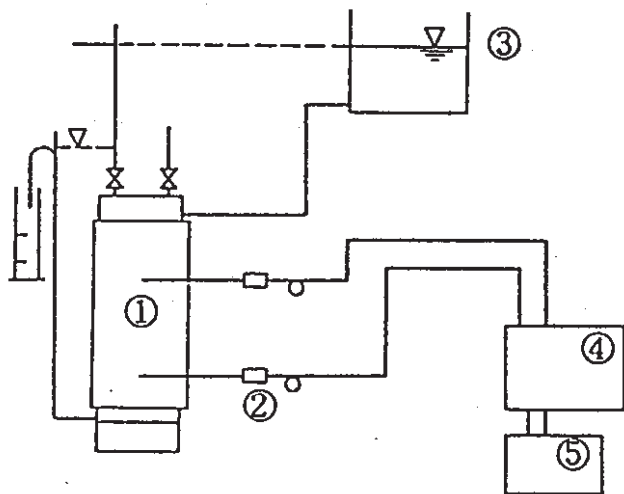
マルチヒーター試験

調査試験項目	ジョイントブロック試験	(T-5)
実施目的	<p>岩盤の高温下における変形特性と熱応力の予測に必要な岩盤の熱的、力学的特性を得ることを目的とする。</p>	
実施項目	<p>ジョイントブロック試験</p>	
方法・内容	<p>このブロック試験は、原位置岩盤にスロット掘削によって大型のブロックを形成し、そのブロックに対して作用応力と温度を任意に変化させ、岩盤の熱的・力学的特性を把握する。</p>	
成果および他の関連	<p>この試験により以下のパラメータが評価される。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・変形係数</li> <li>・ポアソン比</li> <li>・クリープ係数</li> <li>・熱伝導率</li> <li>・熱拡散率</li> <li>・熱膨張係数</li> <li>・垂直せん断特性 (ジョイント部も含む)</li> <li>・透水係数</li> <li>・温度、応力依存性</li> <li>・弾性波速度</li> </ul> <p>また、熱・応力・水の条件を種々にコントロールした試験を行うことによって岩盤の熱的挙動、連成挙動を把握することができる。 岩盤の透水性 (亀裂分布) の評価も重要である。</p>	
実施上の注意点・開発課題	<p>スロット内での载荷装置であるフラットジャッキは、ストロークが小さく、ブロックに大きな変形を与えられないので破壊試験まではできない。 これらに加えて、透水試験を行うところによって、透水特性の拘束圧依存性および温度依存性までも調べようというものである。割れ目を含んだブロックを用いることにより、割れ目の物理的・力学的性質も把握することができる。</p>	



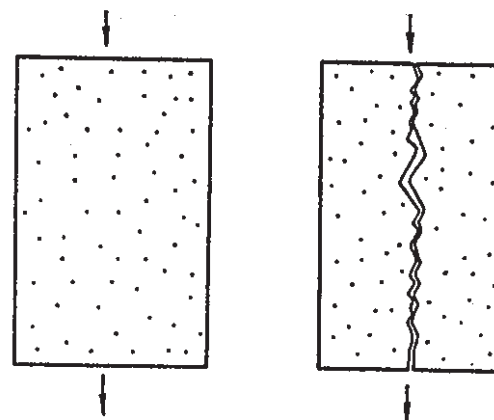


調査試験項目	室内ブロック割れ目移行試験	(M-1)
実施目的	岩盤ブロックの割れ目を通る物質の移動特性を調べる。	
実施項目	室内トレーサー試験	
方法・内容	原位置より採取した岩盤ブロック中の単一割れ目に着目し、核種移行試験を行う。核種を含んだ人工地下水を用いて、トレーサー試験を行い、物質の移動特性について検討する。	
成果および他の関連	<p>原位置岩盤の物質移動特性を判断するための基礎データが得られる。(岩塊の分配係数)</p> <p>本試験結果は、単一割れ目移行試験、大規模核種移行試験実施の際の基礎データとなる。</p> <p>本試験結果と核種移行モデルを用いた予測計算を比較することにより、核種移行モデルの検証を行うことができる。</p>	
実施上の注意点・開発課題	<p>試験に用いるトレーサーは、次の条件を考慮して選定すること</p> <p>①試験地の水質で、その性質が変化しないもの、また試験装置に腐食などの影響を与えないもの。</p> <p>②無害であること。</p> <p>③岩盤への吸着が少ないこと。</p> <p>④所定の動水勾配において、トレーサー自体の沈降が少ないこと。</p> <p>⑤地下水中にバックグラウンドとして含まれている量が少ないこと。</p> <p>⑥検出が容易なこと。</p>	



実験装置

- ① 岩石供試体
- ② トレーサーセンサー
- ③ トレーサータンク
- ④ 濃度計
- ⑤ 記録計

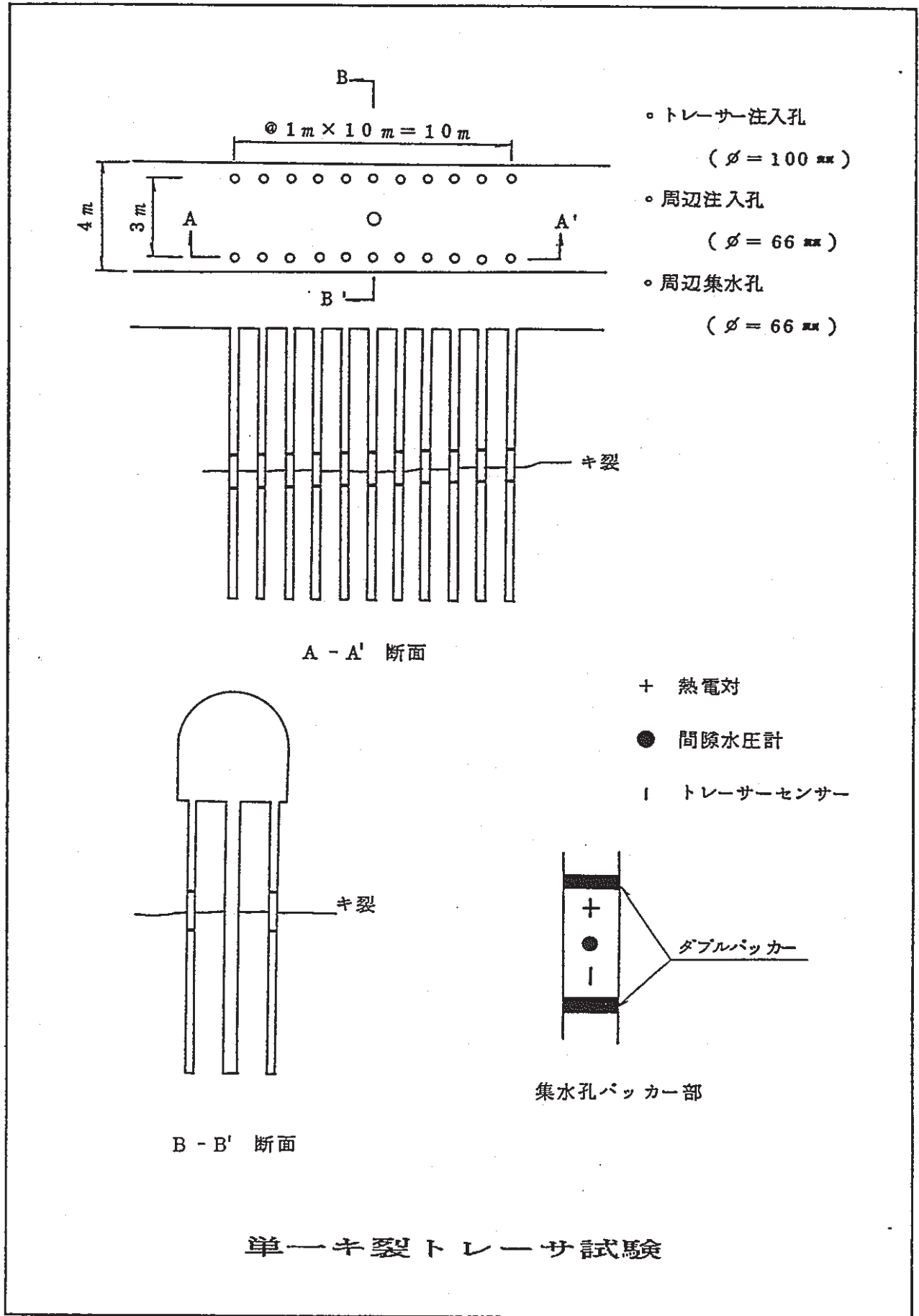


① 岩石供試体

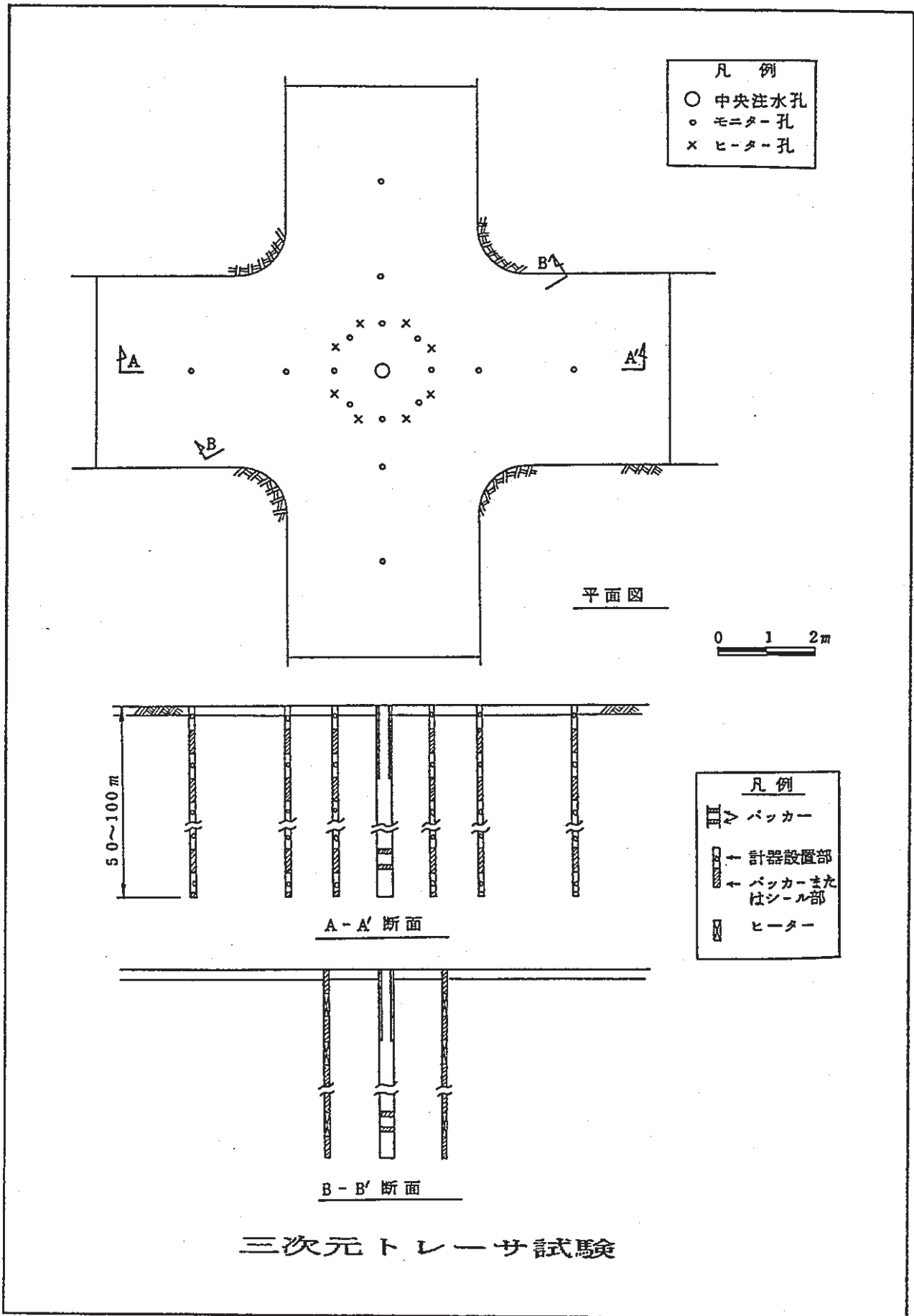
・実験は透水試験の要領で行い、健岩部，キ裂部について行う。

室内トレーサ試験

調査試験項目	単一割れ目移行試験	(M-2)
実施目的	岩盤内の単一割れ目を通る物質の移動特性と、これに及ぼす圧力、温度の影響について調べる。	
実施項目	単一キ裂トレーサー試験	
方法・内容	原位置において、一様な流れおよび温度の場を発生させるように、図のごとく平行な二列のボーリング群を配置する。トレーサーの注水孔は、両ボーリング列の中間に設けられ、ここから、何種類かの地下水流、温度条件のもとにトレーサーを注入し、集水側のボーリング孔内に設置した検出器により、トレーサーの移動時間および濃度変化を測定する。	
成果および他の関連	孔内の温度変化・圧力変化、トレーサーの濃度変化、圧力水の流量より原位置岩盤の物質移行特性（分配係数、拡散係数、有効間隙率等）が得られる。また、物質のキ裂内移動に関する温度場、地下水圧力場の影響を把握することができる。また、ここで得られるデータは解析モデルの精度検証に用いられる。	
実施上の注意点・開発課題	本試験は、原位置地盤の地下水流動状況や化学的な核種の拡散、吸着を把握するための重要な試験である。しかし試験結果は、その場所の割れ目及び弱層部の分布に大きく左右されるため、そのことを考慮して、試験結果を判断する。	



調査試験項目	大規模核種移行試験	(M-3)
実施目的	<p>岩盤内における三次元的な物質移行挙動に関するデータの収集、及びこれに及ぼす圧力、温度の影響について調べる。</p>	
実施項目	<p>三次元トレーサー試験</p>	
方法・内容	<p>図に示すように、注水孔、ヒーター孔、モニター孔を三次元的に配置し、様々な圧力、温度条件のもとにトレーサー試験を行う。</p>	
成果および他の関連	<p>① キ裂の三次元的分布、特に複数のキ裂の交叉が、物質の移行挙動に与える影響、みかけの分散係数、遅延効果、水理学的空隙率          ② 地下水圧および地下水温度分布の物質移行挙動に与える影響          ③ 地下水およびトレーサーの化学的性質と物質移行挙動の関係          以上のものが成果として挙げられる。</p> <p>岩盤の方向透水性、物質移行特性に与えるキ裂特性、トレーサーの吸着性、地下水の温度および圧力等の影響を定性的かつ定量的に評価する。また、ここで得られるデータは、解析モデルの精度検証に用いられる。          岩盤の透水性調査の結果を反映させる。</p>	
実施上の注意点・開発課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・各ボーリング孔では、コア、及び孔壁の観察をボアホールテレビ等により十分にを行い三次元的なキ裂分布を調べておく。</li> <li>・1つのボーリング孔に数種の計測器を埋設するため、設置にあたっては十分な注意を払う。</li> <li>・ヒーターによる温度の上昇で気泡が発生しないよう、事前に数値シミュレーション等により確認しておく必要がある。</li> </ul>	



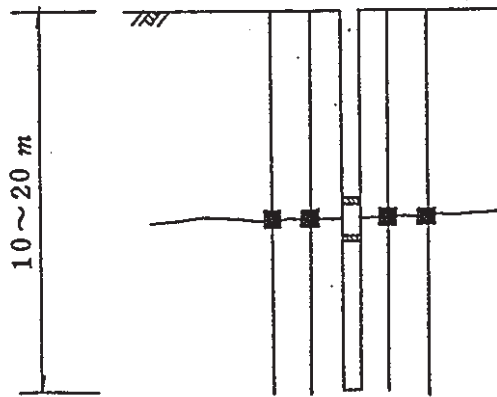
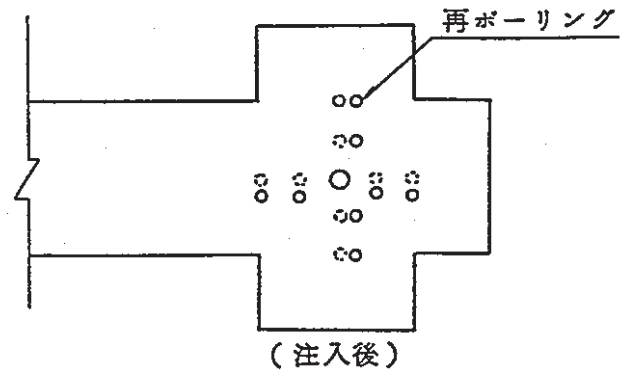
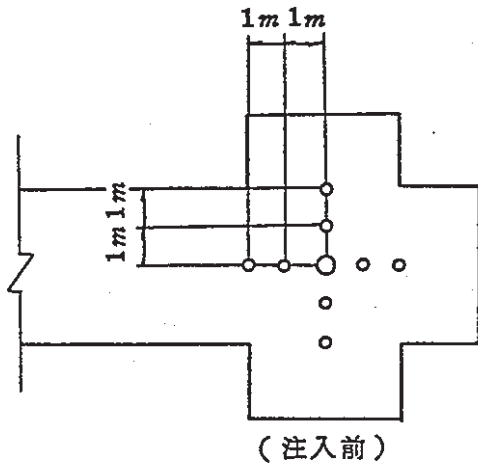
調査試験項目	ボアホールプラグ試験	(A-1)
実施目的	ボアホール内にプラグを施工し、立坑掘削時に、その施工精度について検討を行う。	
実施項目	ボアホールプラグ試験	
方法・内容	ボアホール内にプラグを施工する。その後、立坑掘削時に本プラグを回収、サンプリングして、この止水性について透水試験を行う。	
成果および他の関連	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本実験により得られる原位置岩盤でのプラグの設置施工精度（プラグの出来形寸法、止水性能）のデータより、止水性能の大きいプラグの施工法を開発する。</li> </ul>	
実施上の注意点・開発課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本試験を行う上で、プラグ材料の基本特性（力学特性、透水性）を把握しておく必要がある。</li> </ul>	



調査試験項目	グラウト性能試験	(A-2)
実施目的	グラウト材の止水効果の確認とグラウト工法の技術開発を目的とする。	
実施項目	グラウト性能試験	
方法・内容	<p>a) 岩盤力学、水理試験 ボーリング孔内試験およびコアを用いた室内試験により、グラウト前後の岩盤の力学的、水理学的特性の変化を把握する。</p> <p>b) 坑内において多点の弾性波探査を実施し、地質断面法により岩盤内の速度分布の変化を把握し、グラウトの充填状況を評価する。</p> <p>c) 試験立坑にグラウトを施工し、グラウトによる岩盤の止水特性の変化を把握する。</p>	
成果および他の関連	<ul style="list-style-type: none"> <li>・グラウト材による岩盤の止水効果の確認が行なえる。プラグ施工、埋戻しを同時に行うことによって総合的な止水技術の開発、検討が行なえる。</li> <li>・グラウト性能の定量的評価手法の開発が必要である。</li> </ul>	
実施上の注意点・開発課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本試験を行う上で、グラウト材料の基本特性（力学特性、透水性）を把握しておく必要がある。</li> </ul>	

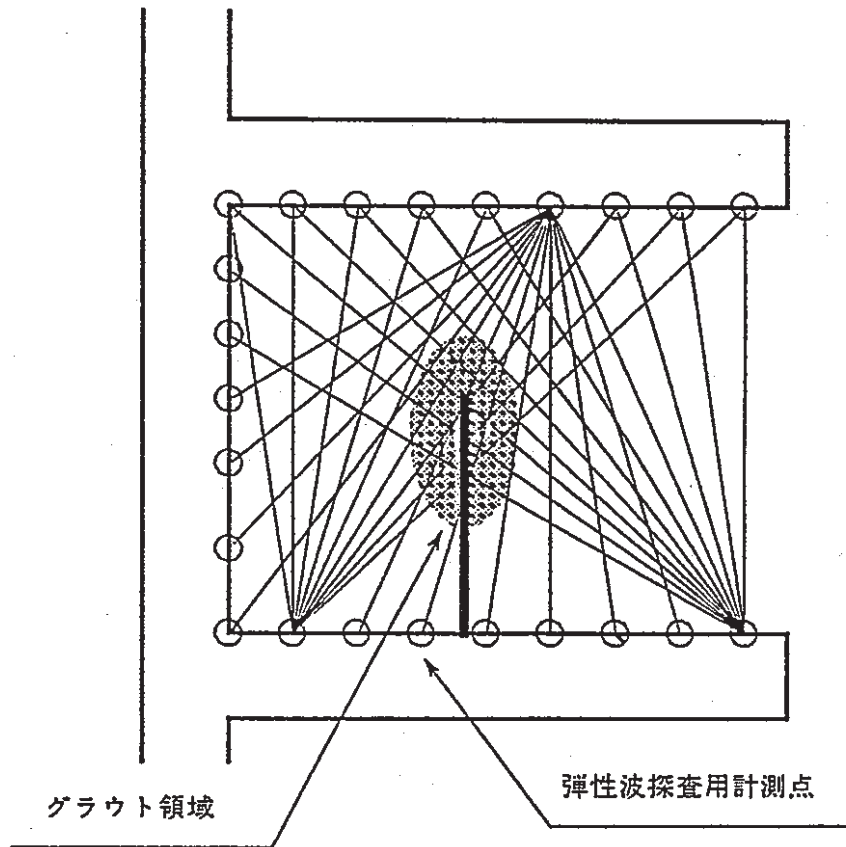
○ 中央孔 (φ 70 ~ 80 mm)

○ 周辺ボーリング孔 (φ 66 mm)



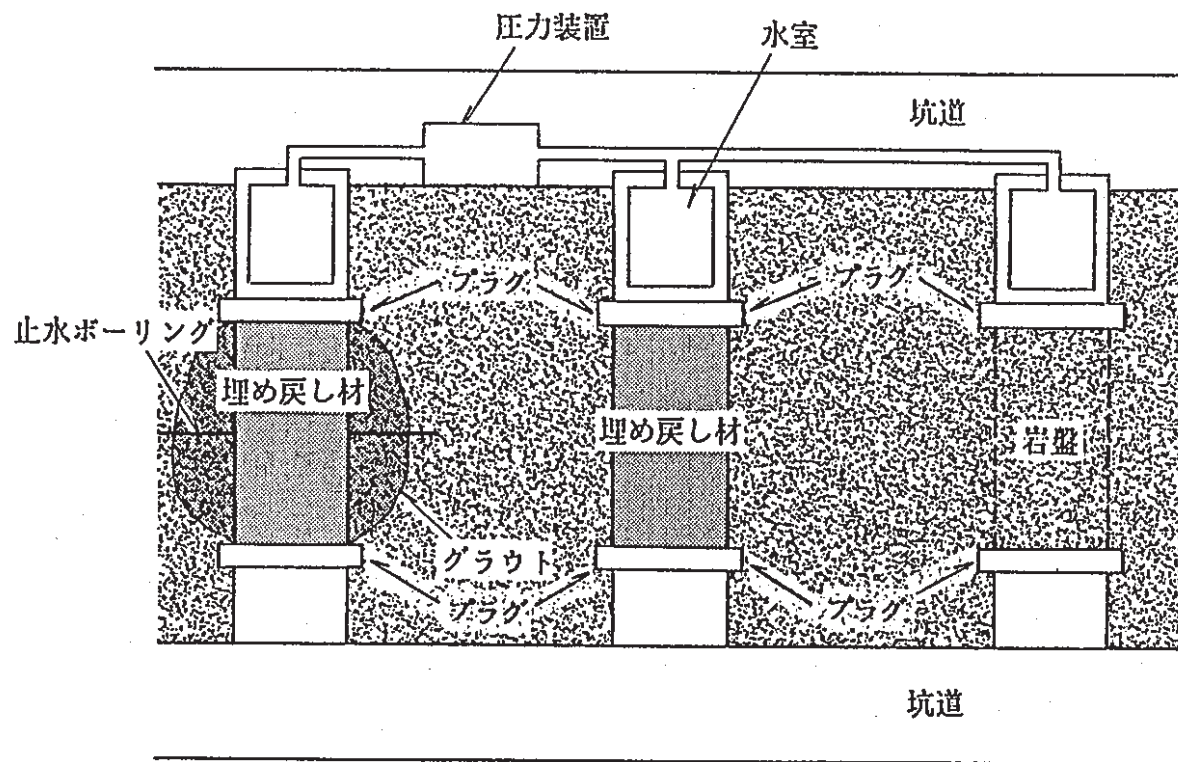
■ ダブルパッカー方式による間隙水圧計

グラウト性能試験 (ボーリングコア採取による力学・水理学的試験)



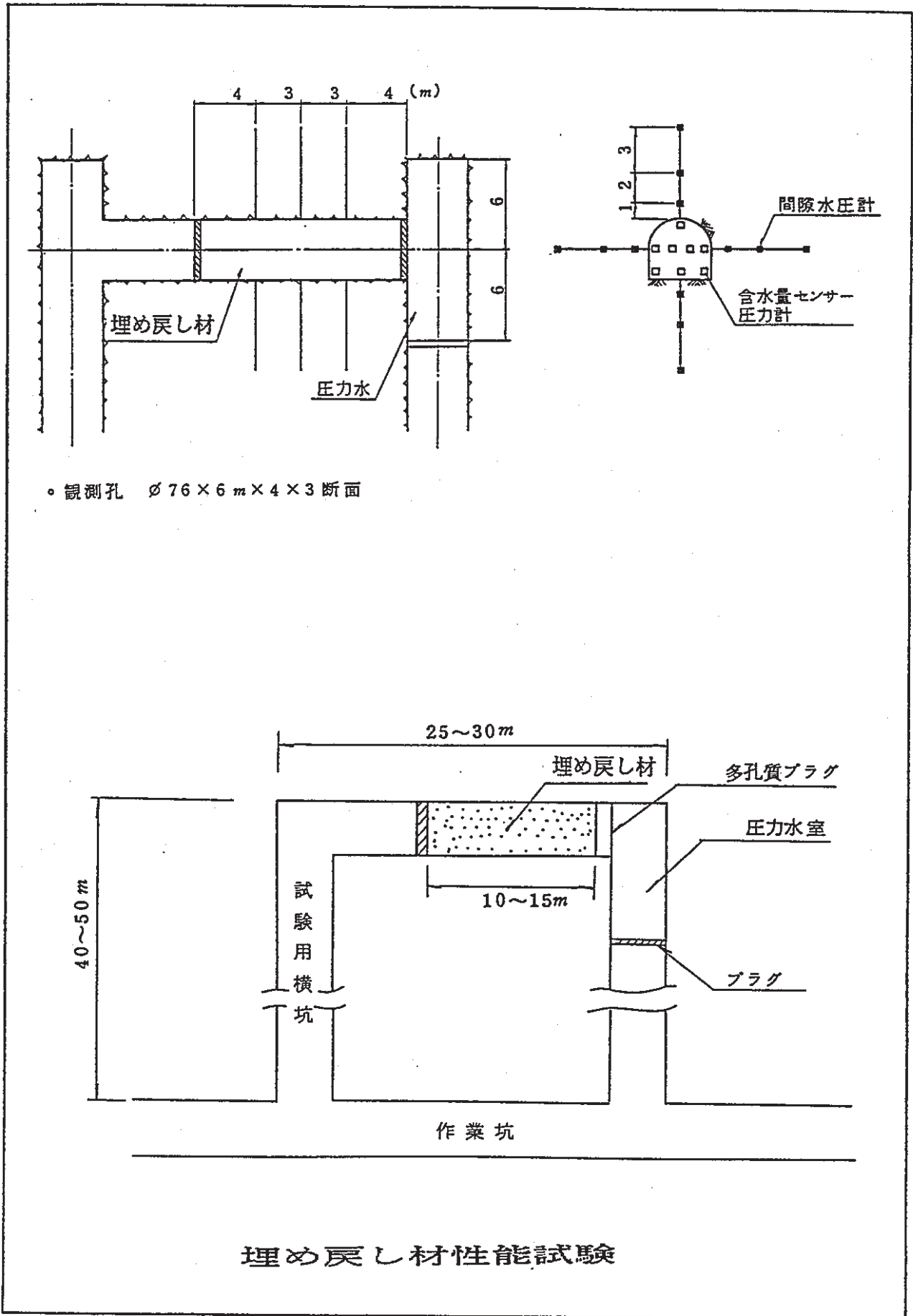
グラウト性能試験 (弾性波探査)

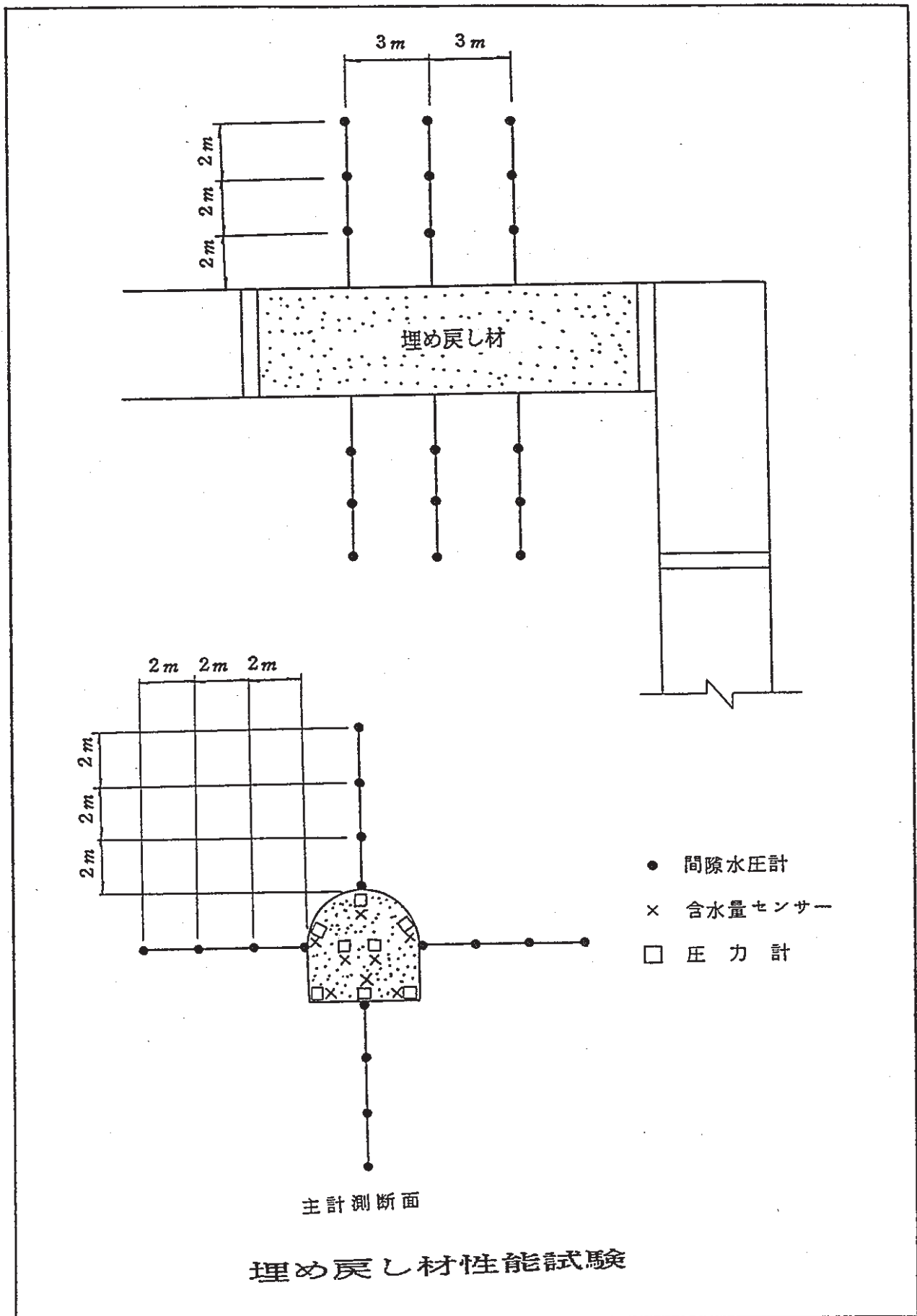
調査試験項目	プラグ性能試験	(A-3)
実施目的	プラグ材の止水効果の確認と、プラグ工法の開発	
実施項目	プラグ性能試験	
方法・内容	<p>試験立坑にプラグを施工し、このプラグに対し水圧を作用させ、密閉構造全体としての止水特性を把握する。</p> <p>密閉構造としては次図のように3種類を考える。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 岩盤を残しプラグのみ施工</li> <li>2) プラグおよび埋め戻しを実施</li> <li>3) プラグ、埋め戻しおよびグラウトを実施</li> </ol>	
成果および他の関連	<p>プラグ材による岩盤の止水効果の確認が行なえる。グラウト施工、埋戻しを行うことによって総合的な止水技術の開発・検討が行なえる。</p> <p>本試験は、グラウト、埋戻し材についての性能評価試験と同時に行うものである。</p>	
実施上の注意点・開発課題	<p>・本試験を行う上で、プラグ材料の基本特性（力学特性、透水性）を把握しておく必要がある。</p>	



プラグ性能試験

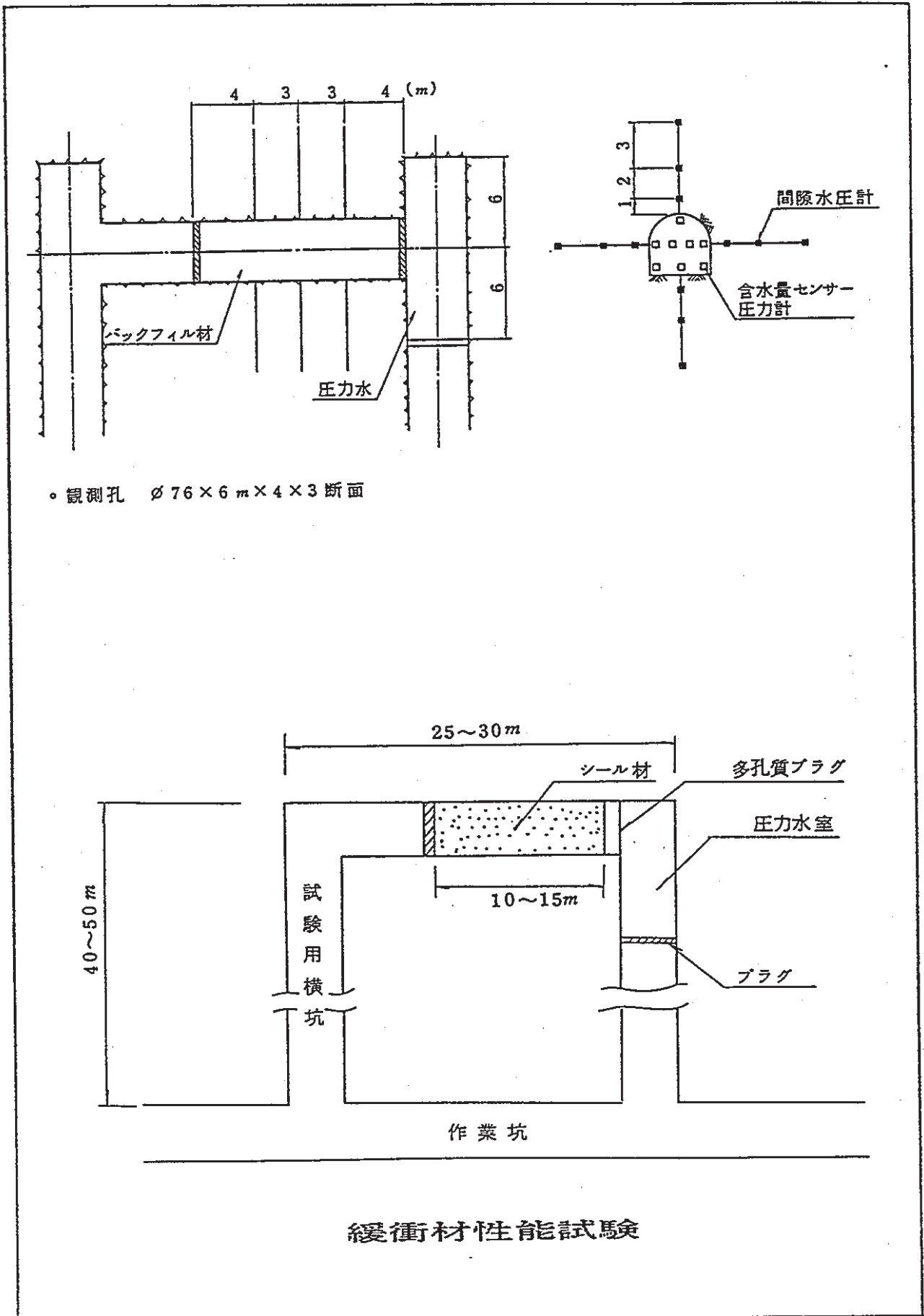
調査試験項目	埋め戻し材性能試験	(A-4)
実施目的	空洞を埋戻した場合の岩盤内の水圧変化や埋戻し材の力学的安定性、止水性を調査する。	
実施項目	埋め戻し材性能試験	
方法・内容	<p>次図に示すように、並設の試験坑を先端で連結させた坑道内で、その一部を埋戻し、プラグを設置する。その後、片側の横坑に設けた水室から圧力水を注水して、埋戻し材の止水性及び膨張特性を調べる。</p> <p>計測項目は、次の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) 間隙水圧</li> <li>b) 岩盤および埋め戻し材の応力</li> <li>c) 岩盤および埋め戻し材の力学的、水理学的特性試験</li> </ul>	
成果および他の関連	<ul style="list-style-type: none"> <li>・埋戻し材の膨潤圧、間隙水圧、含水量を計測し、原位置で施工された埋戻し材の透水性、膨張特性が得られる。</li> </ul>	
実施上の注意点・開発課題	<p>本試験を実施する上で、埋戻し材の基本特性（力学特性、透水性）を把握しておく必要がある</p>	





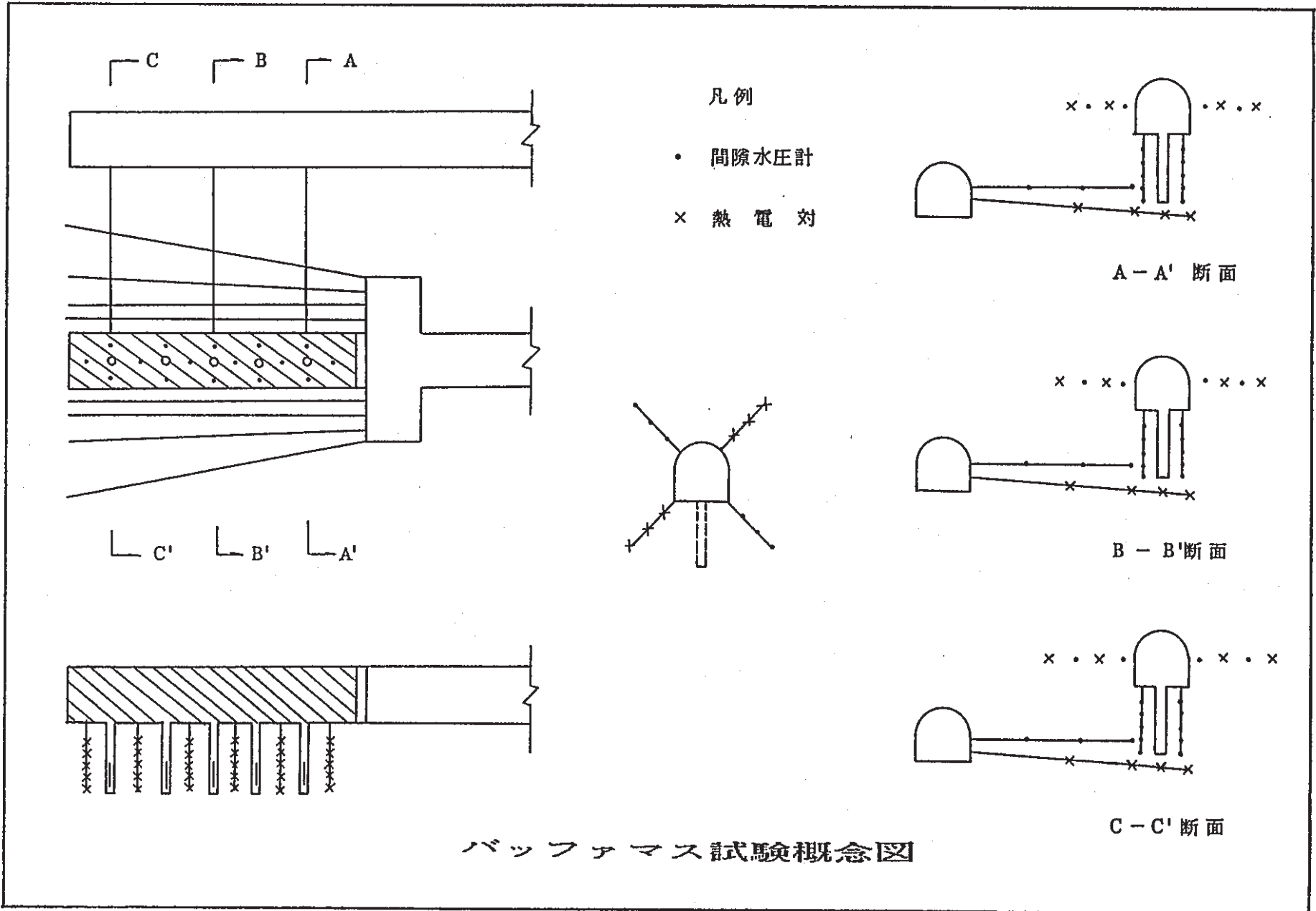


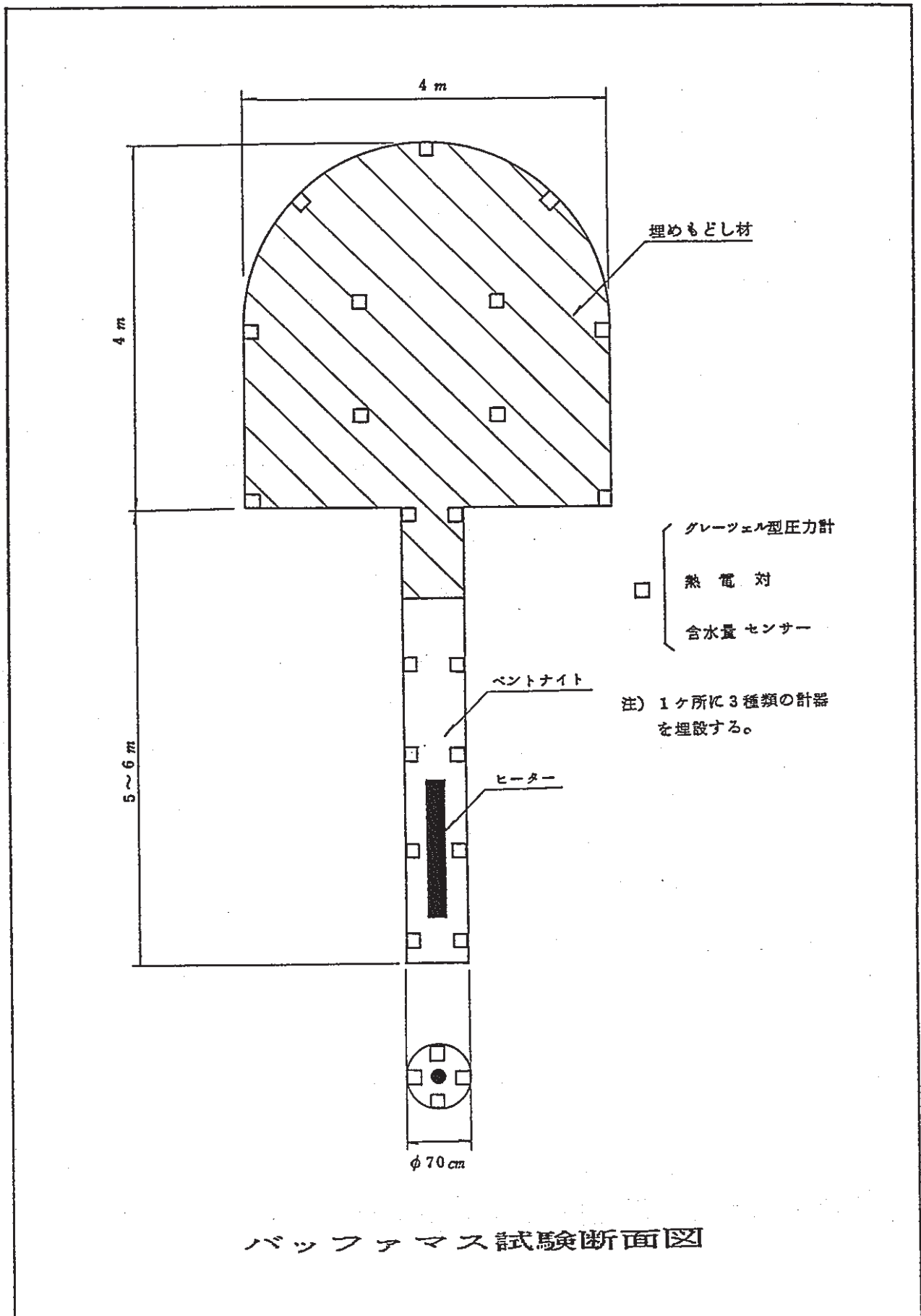
調査試験項目	緩衝材の長期挙動試験	(A-5)
実施目的	<p>空洞を埋戻した場合の岩盤内の水圧変化や緩衝材の力学的安定性、止水性を調査する。</p>	
実施項目	<p>緩衝材の長期挙動試験</p>	
方法・内容	<p>次図に示すように、並設の試験坑を先端で連結させた坑道内で、その一部に緩衝材を充填し、プラグを設置する。その後、片側の横坑に設けた水室から圧力水を注水して、緩衝材の止水性及び膨張特性を調べる。 計測項目は、次の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) 間隙水圧</li> <li>b) 岩盤および埋め戻し材の応力</li> <li>c) 岩盤および埋め戻し材の力学的、水理学的特性試験</li> </ul>	
成果および他の関連	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 緩衝材の膨潤圧、間隙水圧、含水量を計測し、原位置で施工された緩衝材の透水性、膨張特性が得られる。</li> </ul>	
実施上の注意点・開発課題	<p>本試験を実施する上で、緩衝材の基本特性（力学特性、透水性）を把握しておく必要がある</p>	



調査試験項目	パッケージ材料の耐久性試験	(A-6)
実施目的	パッケージ材料の深部岩盤条件下における長期耐久性について検討する。	
実施項目	パッケージ材料の耐久性試験	
方法・内容	<p>パッケージ材料を坑道内の模擬処分孔に設置し、以下の項目について計測を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・パッケージ材料の腐食量、部分腐食の有無、応力、変形</li> <li>・周辺環境のモニタリング               <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 地下水 (P h、E h、温度、水圧、組成)</li> <li>2) 岩盤 (含水率、地圧、変形、温度)</li> </ol> </li> </ul>	
成果および他の関連	<p>原位置岩盤条件下でのパッケージ材料の耐久性能が得られる。 この成果により、最適なパッケージ材料の選定が行なえる。</p>	
実施上の注意点・開発課題	<p>本試験を行う上で、パッケージ材料の基本特性 (力学特性、透水性) を把握しておく必要がある。</p>	

調査試験項目	バッファーマステスト	(B a)
実施目的	<p>岩盤深部で幾何学的・温度的に実際の処分施設と同じ条件下で、バッファ材、バックフィル材の吸水膨潤特性、熱伝動特性および岩盤の相互作用を調査する。</p>	
実施項目	<p>・バッファーマステスト</p>	
方法・内容	<p>試験は、図に示すような試験坑を砂とベントナイトの混合物（バックフィル材）で埋めもどし、後の工学バリアの止水性および断熱性について調査する。 計測は、図に示すようにバックフィル材内部および試験坑との壁面に計測器を設置して以下の項目について観測を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>i) 加熱時の温度、間隙水圧、圧力の経時変化</li> <li>ii) 温度、間隙水圧、変形、圧力の分布</li> <li>iii) バックフィル材の有無によるこれらの変化</li> </ul>	
成果および他の関連	<p>本試験によってバッファ材およびバックフィル材の膨潤圧、温度、含水量、間隙水圧が計測される。これらはそれぞれ、人工バリアの膨潤圧力及び岩盤との相互作用、人工バリア内部及び周辺岩盤内への熱伝導特性、人工バリアの吸水特性および亀裂の止水性、周辺岩盤内の地下水挙動および人工バリアの止水性の検討のためのデータとなる。</p>	
実施上の注意点・開発課題	<p>・フルスケールヒーター試験、シール試験により、岩盤やバックフィル材の熱力学、水理特性を充分検討した後、本試験を実施する。</p>	





#### 4. 地下研究施設の構造

地下研究施設は、通常、地下深部へ到達するための立坑と、地下深部で試験を行うための試験エリアと、それらを結ぶ横坑から構成される。ここでは、その構成案とそれぞれの特徴を検討する。

図4-1に海外などの地下研究施設の構造の例を示す。

一般に、試験エリアは実施を予定する試験の種類と数及びその試験が必要とする岩盤の種類によって規定され、横坑は立坑の位置と試験エリアの展開状況によって決まる。いいかえれば、地下研究施設における骨格は其中で実施する試験とその試験が必要とする岩盤の性格によって決まる。その意味で、地下研究施設における立坑、横坑の配置は地下研究施設で実施する試験によって決められるものである。

しかし、地下研究施設の骨格を構成する立坑、横坑は、

- ① 人員・資材の搬出入
- ② 電気・水などのユーティリティの経路
- ③ 通気経路
- ④ 万一の場合の避難路

であり、かつ、

- ⑤ 地層処分システムのひとつの構成要素としての立坑、横坑の建設及び閉鎖の技術的実現可能性とその影響の確認
- ⑥ 地層処分システムにおける搬送経路の模擬としての意味も有する。

したがって、本来は中で実施する試験によって決められる地下研究施設の構成も、上記の立坑、横坑の役割を加味して決定する必要がある。

##### (1) 地下深部への到達経路

地表から地下深部への到達の手段として、立坑と斜坑が考えられる。斜坑は建設や搬送の機械化に有利な面があり、大規模開発には適しているが、地下の特定深度に到達するための距離は立坑よりもはるかに大きくなり、地下深部で行う研究施設には、特殊な地形を除いて適当ではない。

立坑の本数は、1本の場合と、2本以上の場合がある。地下研究施設において3本以上の立坑を設ける必然性はなく、コストの観点から1本又は2本になる。1本の場合は、周囲を擾乱する度合いは小さくコスト的にも有利である。しかし、この場合、立坑を各種の試験に使用することはほとんど不可能になり、また、施設の通気、事故時の複数の避難ルート確保などの点に関しては、2本の立坑が有利である。

試験の性格上、横坑は水平的に縦横に展開することが必要になり、直線的にクロスさせるか、回廊を形成することになる。コスト及び建設と並行して試験を実施し、必要に応じてエリアを拡大する観点からは、直線的な配置の方が望ましいが、通気及び避難経路の観点からは回廊の方が望ましい。

試験岩盤の未擾乱性の確保の観点からは、いずれにせよ、横坑から新たに試験空洞を掘削することが必要であり、直線にせよ、回廊にせよ、その差は小さい。



基本構造		PNC TJ4211 88-009
①	<p style="text-align: center;">shaft ground level gallery</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nevada</li> <li>• Mol</li> </ul>
②	<p style="text-align: center;">shaft 1    shaft 2 ground level gallery</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• URL (AECL)</li> </ul>
③	<p style="text-align: center;">shaft 1    shaft 2 ground level gallery</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ———</li> </ul>

Fig 4.1 Three types of under ground laboratories and their examples  
 地下研究施設の基本構造とその具体例

Table 4.1 Comparison of the three types of under ground laboratories  
 地下研究施設の基本構造の比較

	① 立坑 1本 横坑 直線状	② 立坑 1本 横坑 直線状	③ 立坑 2本 横坑 回廊状
処女岩盤の確保	○	○	○
建設コスト	○	△	△
通気・輸送経路 の確保	×	○	○
安全性の確保	×	○	○
建設と試験遂行 の柔軟性	×	○	△