

JNC TJ7410 2002-003

立坑及び坑道掘削を伴う地質環境調査  
手法に関する情報の取りまとめ

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

2001年 3月

株式会社 大林組

本資料の全部又は一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせ下さい。

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

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

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)  
2001

立坑及び坑道掘削を伴う地質環境調査手法に関わる情報の取りまとめ

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

河村秀紀\* 納多 勝\*

要 旨

核燃料サイクル開発機構（以下「サイクル機構」）東濃地科学センターでは、地質環境の調査技術・評価手法を開発することを目的として、広域地下水流動研究、超深地層研究所計画を進めている。地層科学研究は現在、超深地層研究所計画の第2段階の準備段階にあり、広域地下水流動研究、東濃鉱山における研究の一部成果を取り入れ、より効率的に超深地層研究所計画を推進することが求められている。

本件では、東濃地科学センターにおいて進められている超深地層研究所の第2、第3段階、および広域地下水流動研究の詳細な調査研究計画を適切に策定するための情報整理の一環として、昨年度取りまとめた地層処分研究開発に関わる国内外の情報を、研究項目の優先度を検討する観点から再分析し、一覧として整理する。また、現状の立坑及び坑道の掘削計画と先に検討する情報の分析及び整理結果を基本に、研究計画策定の一助とするため、サイクル機構が提示する前提条件に沿って地質環境調査手法の実証に向けた合理的な研究工程（案）を例示する。

---

本報告書は、株式会社大林組が、核燃料サイクル開発機構との契約により実施した成果に関するものである。

機構担当部課室：東濃地科学センター 地質環境特性研究グループ

\*：株式会社大林組土木技術本部

**Information Collection and Arrangement for the Investigation Methods of  
Geological Environment due to the Shaft and Drift Excavation**

Hideki Kawamura\* and Masaru Noda\*

**ABSTRACT**

Tono Geo-Science Center of Japan Nuclear Cycle Development Institute, which has been conducting the Regional Groundwater Investigation and Mizunami Underground Facility (MIU) Project in order to develop investigation technologies and evaluation methods. At present, the Geo-Science study, which is facing on the planning stage of the second phase of the MIU Project, is required for promoting the MIU program smoothly and efficiently with regard to the current Japanese HLW program.

According to such situation, this study investigates and summarizes the following issues, which are promoting results from MIU project to be practical and efficient, based on the information collection of oversea countries with respect to their experience and performance in the similar facilities as well as their outcomes of research and development.

---

This study has been carried out by Obayashi Corporation under the contract with Japan Nuclear Fuel Development Institute

JNC Liaison: Geoscience Research Group, Tono Geoscience Center

\*: Civil Engineering Technology Division, Obayashi Corporation

## 立坑及び坑道掘削を伴う地質環境調査手法に関わる情報の取りまとめ

### 目 次

要旨

担当者一覧

1. 目 的 .....	1
2. 実施範囲 .....	1
3. 実施概要 .....	1
4. 実施期間 .....	3
5. 研究項目の優先度を検討するための情報の分析と取りまとめ .....	5.1-1
5.1 地下研究施設における研究課題の整理 .....	5.1-1
5.1.1 地下研究施設における研究計画の整理、分析方針 .....	5.1-1
5.1.2 スイス Mt.Terri における研究全体の枠組み .....	5.1-2
5.1.3 フランス Meuse/Haute- Marte URL における研究 .....	5.1-2
5.1.4 ベルギー Mol HADES における研究全体の枠組み .....	5.1-5
5.1.5 スウェーデン Äspö HRL における研究全体の枠組み .....	5.1-6
5.2 海外地下研究施設における研究項目の抽出 .....	5.2-1
5.2.1 研究項目の抽出・整理方針 .....	5.2-1
5.2.2 地質・地質構造研究 .....	5.2-1
5.2.3 水理研究 .....	5.2-3
5.2.4 地下水の地球化学研究 .....	5.2-8
5.2.5 物質移行研究 .....	5.2-11
5.2.6 岩盤力学研究 .....	5.2-13
5.2.7 工学技術および技術の実証 .....	5.2-17
5.3 対象スケールに対応した研究項目の整理 .....	5.3-1
5.3.1 対象スケール別の地下水概念モデルの詳細 .....	5.3-1

6. 地質環境調査手法の実証に向けた合理的な研究工程（案）の例示	6.1-1
6.1 超深地層研究計画で実施可能な研究項目の整理・分析	6.1-1
6.2 超深地層研究所で展開される必要がある研究開発テーマ	6.2-1
6.3 施設建設に関連した研究工程（案）の例示	6.3-1
6.3.1 東濃地科学センターで展開する研究項目の抽出	6.3-1
6.3.2 超深地層研究工程（案）の例示	6.3-2
7. まとめ	7-1

添付資料

資料－1：スイス Mt.Terri における調査研究	A1-1
資料－2：フランス Meuse/Haute- Marte URL における調査研究	A2-1
資料－3：ベルギー Mol における調査研究	A3-1
資料－4：スウェーデン Äspö HRL における調査研究	A4-1
資料－5：Wellenberg プロジェクト地下水概念モデル	A5-1
資料－6：諸外国における断層の取り扱い事例	A6-1

## 図目次

図 5.1.2-1	Mt. Terri プロジェクトにおける各試験の目的	5.1-4
図 5.1.4-1	MOL における各試験の目的	5.1-5
図 5.1.5-1	Äspö Hard Rock Laboratory における各試験の目的	5.1-6
図 5.3-1	地下水概念モデルの概要	5.3-4
図 5.3-2	モデルの階層と関連	5.3-6
図 5.3-3	ブロックモデルの概念	5.3-8
図 5.3-4	ブロックモデルの例	5.3-9
図 5.3-5	T→K 変換により得られたボーリング孔の透水係数プロファイル	5.3-11
図 5.3-6(a)	透水係数と鉛直応力の関係	5.3-12
図 5.3-6(b)	全体的な変化傾向	5.3-12
図 5.3-7	クリッキングされた母岩の K 分布：処分場レベル平面図	5.3-14
図 5.3-8	クリッキングされた母岩の K 分布：SB1-SB3 断面	5.3-14
図 5.3-9	SB1 及び SB3 の鉛直面に沿った処分場レベルでの、 クリッキングによる透水係数（実線）及び 12 の条件付きシミュレーション結果（細線）	5.3-16
図 5.3-10	Wellenberg 地質統合化におけるデータフロー：水文地質	5.3-18
図 5.3-11	WLB における調査坑道の配置計画案	5.3-21
図 5.3-12	スイスにおける地下水流動モデル概念（その 1）	5.3-22
図 5.3-13	スイスにおける地下水流動モデル概念（その 2）	5.3-23
図 5.3-14	スイスにおける地下水流動モデル概念（その 3）	5.3-24
図 5.3-15	スイスにおける地下水流動モデル概念（その 4）	5.3-25
図 5.3-16	スウェーデンにおける地下水流動モデル概念	5.3-26
図 5.3-17	東濃における地下水流動モデル概念（その 1）	5.3-27
図 5.3-18	東濃における地下水流動モデル概念（その 2）	5.3-28
図 5.3-19	東濃における地下水流動モデル概念（その 3）	5.3-29
図 5.3-20	東濃における地下水流動モデル概念（その 4）	5.3-30
図 6.1-1	第 2 次とりまとめにおける 地質環境と超深地層研究所における実施研究項目	6.1-5
図 6.3-1	超深地層研究所構成部位	6.3-2

図 6.3-2	設計研究において考慮すべき要素と要件 .....	6.3-3
図 6.3-3	設計研究の展開と実施設計への反映 .....	6.3-4
図 6.3-4	超深地層研究所における 2008 年の到達を目標とした計画に基づく 第 2、3 段階の建設計画と研究計画の展開 .....	6.3-8



## 表目次

表 5.1.2-1	Mont Terri プロジェクトにおける各実験の実施期間一覧	5.1-3
表 5.2.2-1	Mt. Terri Project における個々の試験概要 (地質・地質構造)	5.2-2
表 5.2.2-2	Meuse URL における個々の試験概要 (地質・地質構造)	5.2-2
表 5.2.2-3	Mol における個々の試験概要 (地質・地質構造)	5.2-3
表 5.2.2-4	Äspö における個々の試験概要 (地質・地質構造)	5.2-3
表 5.2.3-1	Mt. Terri Project における個々の試験概要 (水理)	5.2-4
表 5.2.3-2	Meuse URL における個々の試験概要 (水理)	5.2-6
表 5.2.3-3	Mol における個々の試験概要 (水理)	5.2-7
表 5.2.3-4	Äspö における個々の試験概要 (水理)	5.2-7
表 5.2.4-1	Mt. Terri Project における個々の試験概要 (地球化学)	5.2-8
表 5.2.4-2	Meuse URL における個々の試験概要 (地球化学)	5.2-9
表 5.2.4-3	Mol における個々の試験概要 (地球化学)	5.2-10
表 5.2.4-4	Äspö における個々の試験概要 (地球化学)	5.2-10
表 5.2.5-1	Mt. Terri Project における個々の試験概要 (物質移行)	5.2-11
表 5.2.5-2	Meuse URL における個々の試験概要 (物質移行)	5.2-11
表 5.2.5-3	Mol における個々の試験概要 (物質移行)	5.2-12
表 5.2.5-4	Äspö における個々の試験概要 (物質移行)	5.2-12
表 5.2.6-1	Mt. Terri Project における個々の試験概要 (岩盤力学)	5.2-14
表 5.2.6-2	Meuse URL における個々の試験概要 (岩盤力学)	5.2-15
表 5.2.6-3	Mol における個々の試験概要 (岩盤力学)	5.2-16
表 5.2.6-4	Äspö における個々の試験概要 (岩盤力学)	5.2-16
表 5.2.7-1	Mt. Terri Project における個々の試験概要 (工学技術)	5.2-18
表 5.2.7-2	Meuse URL における個々の試験概要 (工学技術)	5.2-18
表 5.2.7-3	Mol における個々の試験概要 (工学技術)	5.2-19
表 5.2.7-4	Äspö における個々の試験概要 (工学技術)	5.2-20
表 5.3-1	Wellenberg で用いられた地下水概念モデルの概要	5.3-3
表 5.3-2	T→K 変換のアプローチ	5.3-10
表 5.3-3	地下水流動評価結果のカテゴリー	5.3-19

表 6.1-1	見直しの対象とする調査研究項目 (H11 設計研究報告書より)	6.1-3
表 6.1-2	調査研究項目の比較	6.1-4
表 6.3-1	第1段階 (坑道掘削前) における調査研究項目	6.3-5
表 6.3-2	第2段階 (坑道掘削中) における調査研究項目	6.3-6
表 6.3-3	第2段階 (水平坑道掘削中) における調査研究項目	6.3-7
表 6.3-4	調査研究スケジュール案 (1 : 地質、地質構造)	6.3-9
表 6.3-5	調査研究スケジュール案 (2 : 地下水の水理)	6.3-10
表 6.3-6	調査研究スケジュール案 (3 : 地下水の地球化学、物質移行)	6.3-11
表 6.3-7	調査研究スケジュール案 (4 : 岩盤力学、地震観測)	6.3-12
表 6.3-8	調査研究スケジュール案 (5 : 工学技術、機器開発)	6.3-13

## 1. 目的

東濃地科学センターにおける地層科学研究では、地質環境の調査技術・評価手法を開発することを目的として、広域地下水流動研究、超深地層研究所計画を進めている。地層科学研究は現在、超深地層研究所計画の第2段階の準備段階にあり、広域地下水流動研究、東濃鉦山における研究の一部成果を取り入れ、より効率的に超深地層研究所計画を推進することが求められている。また、超深地層研究所計画の成果を実用的なものとするためには、純粋な技術的研究成果に加え、経済性や作業工程の効率性についても、地層科学研究における研究の優先度を検討していく上では十分考慮する必要がある。

本件では、東濃地科学センターにおいて進められている超深地層研究所の第2、第3段階、および広域地下水流動研究の詳細な調査研究計画を適切に策定するための情報整理の一環として、昨年度取りまとめた地層処分研究開発に関わる国内外の情報を、研究項目の優先度を検討する観点から再分析し、一覧として整理する。また、現状の立坑及び坑道の掘削計画と先に検討する情報の分析及び整理結果を基本に、研究計画策定の一助とするため、サイクル機構殿が提示する前提条件に沿って地質環境調査手法の実証に向けた合理的な研究工程（案）を例示する。

## 2. 実施範囲

- (1) 研究項目の優先度を検討するための情報の分析と取りまとめ
- (2) 地質環境調査手法の実証に向けた合理的な研究工程（案）の例示

## 3. 実施概要

### 3.1 研究項目の優先度を検討するための情報の分析と取りまとめ

報告書「立坑及び坑道掘削に伴う地質環境調査手法に関する情報の収集及び取りまとめ」を基に、また「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ—」（以降、「第2次取りまとめ」と略す）およびその他の関係する報告書や公開文書を参考に、超深地層研究所計画および広域地下水流動研究の研究内容を以下の2点（「研究成果の集約項目」参照）に集約する場合を想定して、以下に示す情報の抽出、分析・整理を行う。

- (1) 海外の研究事例等の情報を基に、以下に示す「研究成果の集約項目」に沿って「研究分野」に示す分野別に研究項目を抽出し、一覧として整理する。
- (2) (1) で整理した研究項目別に優先度を検討するための根拠となる情報を収集し、比較検討用の一覧として取りまとめる。

〈研究成果の集約項目〉

- ① 「第2次取りまとめ」に示された「地層処分システムの安全評価」
- ② 深地層を対象とした大規模な地下施設の設計・施工

〈研究分野〉

- ① 地質・地質構造
- ② 水理
- ③ 地下水の地球化学
- ④ 岩盤力学
- ⑤ 物質移行

また、本件における情報の整理にあたっては、地表からの調査段階と坑道からの調査段階の2つのスケールに区分して情報を取りまとめる。さらに、各研究項目が何故それぞれのスケールで行われるのが望ましいか、その根拠となる情報も併せて整理する。

【対象スケールに対応した研究項目の整理→3.1 (1) の中で検討】

〈調査スケールの設定〉

- ① 地表からの調査段階（数 km 四方の調査領域を想定）
- ② 坑道からの調査段階（坑道内での数百から数十 m 四方の調査領域を想定）

### 3.2 地質環境調査手法の実証に向けた合理的な研究工程（案）の例示

3.1 で検討した結果、また別途サイクル機構から提示される超深地層研究所における坑道の開削工程（案）と超深地層研究所計画用地および用地周辺の地質環境特性に関する情報を参考に、以下に示す情報の整理と研究工程（案）の例示を行う。

- (1) 3.1 における検討結果のうち、広域地下水流動研究および超深地層研究計画

で実施可能な研究項目を抽出し、一覧として整理する。【研究項目の抽出】  
(2) (1)で整理された研究項目を網羅して、効率的に調査研究が進められる施設建設（立坑および坑道）と研究内容を関連づけた工程（案）を例示する。【研究工程（案）の検討】

この作業を実施するにあたり、前提となる項目を以下に記す。

- ① 立坑の開削開始時期：2003年
- ② 立坑の開削終了時期：2008年
- ③ 立坑の開削深度：約1000m（深度約900m以深はスパイラル）
- ④ 立坑の種類：主立坑と換気立坑の2本
- ⑤ 研究坑道の種類：中間部（深度500m付近）と最深部（深度1000m付近）の2ヵ所

上記の検討の中で、優先度は高くとも、施設建設の工程を優先する関係から研究が完結できない項目（特に立坑の開削期間中の調査研究）に、どのように対処するかを具体的（例えば、施設建設計画の工期延長、他のフィールドでの実施など）に検討する。

#### 4. 実施期間

平成12年12月4日

平成13年 3月9日

## 5. 研究項目の優先度を検討するための情報の分析と取りまとめ

### 5.1 地下研究施設における研究課題の整理

#### 5.1.1 地下研究施設における研究計画の整理、分析方針

地下研究所の研究計画における研究の優先度の検討に反映することを目的として、海外の地下研究所の研究や試験などについて調査を行い、参考情報を整備した。研究成果の集約項目となる「地層処分システムの安全評価」と「深地層を対象とした大規模な地下施設の設計・施工」に沿って、下記に示す地下研究施設ごとに研究項目を分類し、研究項目を抽出した。ここでは、まず、整理、分析方針を示す。

調査対象プロジェクトは、昨年度の調査実績を踏まえ、つぎのとおりとした。

- ・スイス Mt. Terri Project (オパリナス粘土 (頁岩))
- ・フランス Meuse URL (粘土質岩)
- ・ベルギー Mol (ブーム粘土)
- ・スウェーデン Äspö Hard Rock Laboratory (HRL) (花崗岩：沿岸部)

調査では、人工バリア性能、地層処分システムの安全評価、施設設計施工、閉鎖 (埋め戻し、グラウト、プラグ) などに関わる情報を幅広く収集することとした。これらの情報に基づき、調査試験の目的、反映先、相互の関連、実施順序などから、地下研究施設全体での戦略やねらい、流れなどを把握し、可能なプロジェクトについてはブロックフロー (あるいは全体工程表) の形で整理した。また、個別の調査試験の目的、内容、成果についても、簡潔に取りまとめ、一覧表に整理した。抽出結果は添付資料として資料-1 から資料-4 までに示す。

#### 目的および調査方法

上記に述べた海外の各地層処分プロジェクトで計画、実施されている個々の研究の内容や地下研究施設での研究開発の全体的な戦略やねらい、流れ (以下、研究開発全体の枠組みと記す) を把握するために、既往の文献に基づき、調査を行うこととした。本調査においては、地下研究施設での研究開発全体の枠組みや個々の研究概要が包括的に記載されている Annual Report などの報告書なども

調査の対象とした。さらに、各研究の内容については、できるかぎりその内容が示されている文献に基づき、調査を進めることとした。付録に本調査で参考とした文献の一覧を示す。

### 5.1.2 スイス Mt. Terri における研究全体の枠組み

スイス北西部のモンテリー道路トンネルの調査用トンネル内において、中生代ジュラ紀のオパリナス粘土層を対象として国際共同研究プロジェクトが実施されている。このプロジェクトの目的は、泥質の堆積岩層が有する水理学、地球化学、岩盤力学的な特性を把握すること、坑道掘削に伴うそれらの特性の変化を評価すること、そして一連の調査研究を通じて適切な調査技術を開発・確立することにある<sup>1)</sup>。それぞれの研究の工程を表 5.1.2-1 に示す。図 5.1.2-1 に目的に応じた個々の試験の分類を示す<sup>(2)</sup>を基に作成)。

個々の試験内容について下記の文献を中心に、Mt. Terri で行われている試験について調査を行った。

- a. Geotechnical Institute Ltd., Saint-Ursanne: Program Overview Work Program of Phase 4(1998)
- b. Geotechnical Institute Ltd., Saint-Ursanne: Program Overview Work Program of Phase 6 Draft(2000)
- c. M. Thury, P. Bossart: Mont Terri Rock Laboratory -Results of the Hydrogeological, Geochemical and Geotechnical Experiments Performed in 1996 and 1997

### 5.1.3 フランス Meuse/Haute-Marte URL における研究

個々の試験内容について下記の文献を中心に、研究所で行われている試験について調査を行った。

- a. ANDRA: State of knowledge and experimental program(1998)

表 5.1.2-1 Mont Terri プロジェクトにおける各実験の実施期間一覧

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
試験:	フェーズ 1+2	フェーズ 3	フェーズ 4	フェーズ 5	フェーズ 6	フェーズ 7	フェーズ 8
FM-A: 地下水流動メカニズム(流量検層)	■						
FM-B: 地下水流動メカニズム(レジン注入)	■						
FM-C: 地下水流動メカニズム(トレーサ)	■						
FM-D: 蒸発散測定	■						
WS-A: 地下水の採取(原位置)	■	■	■	■	■	■	■
WS-B: 間隙水の採取(室内)	■	■	■	■	■		
WS-C: 間隙水化学	■	■	■	■	■		
WS-D: トレーサ物質	■	■	■	■	■		
WS-E: Cl、He 分布	■	■	■	■	■		
GP: 透水性および透気性	■	■	■	■	■		
BF: ボアホール流体による影響	■	■	■	■	■	■	■
DT: ボーリング技術	■	■	■	■	■		
ED-A: EDZ*の透水試験および透気試験	■	■	■	■	■		
ED-B: EDZ*新規空洞周辺の拡がり	■	■	■	■	■		
ED-C: EDZ*地震動特性	■	■	■	■	■		
DM: 変形メカニズム	■	■	■	■	■		
EH: EDZ*自己修復	■	■	■	■	■		
UZ: 不飽和領域	■	■	■	■	■		
OP: オズモティックプレッシャー	■	■	■	■	■	■	■
CW: 高 pH セメントの間隙水	■	■	■	■	■	■	■
GS: ガスによる亀裂の自己修復	■	■	■	■	■	■	■
DI: 岩盤中の拡散	■	■	■	■	■	■	■
MI: 主要な断層における核種移行	■	■	■	■	■	■	■
HE: ヒータ試験	■	■	■	■	■	■	■
IS-A: 地圧(オーバーコアリング/アンダーコアリング)	■	■	■	■	■		
IS-B: 地圧(ボアホールスロッター)	■	■	■	■	■		
IS-C: 地圧(水圧破碎)	■	■	■	■	■		
IS-D: 地圧	■	■	■	■	■		
PP: 間隙水圧	■	■	■	■	■		
RB: 水平レイズ ホーリング	■	■	■	■	■		
SD: 小口径処分坑道	■	■	■	■	■		
GR: 地盤レーダー検層	■	■	■	■	■		
ES: 人工バリアシステム	■	■	■	■	■		
DB: 深いボアホールのシミュレーション	■	■	■	■	■		
FP: 亀裂進展	■	■	■	■	■		
GM: 地質化学, モーリングおよび	■	■	■	■	■		
RA: 岩盤力学解析	■	■	■	■	■		
HA: 水理解析	■	■	■	■	■		
LT: 室内熱特性試験	■	■	■	■	■		
VE: ベンチレーション試験	■	■	■	■	■		
EB: 人工バリア	■	■	■	■	■		



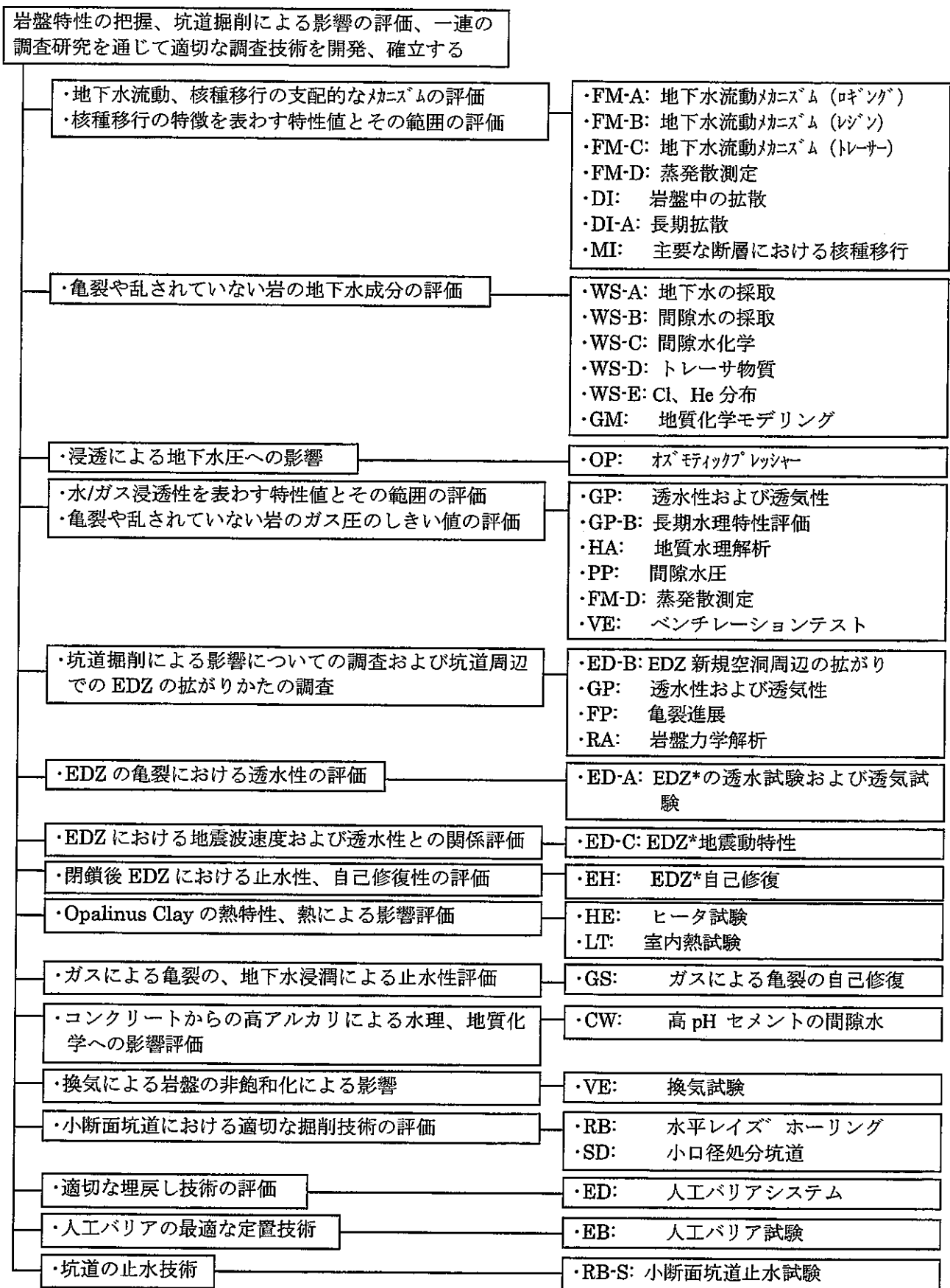


図 5.1.2-1 Mt. Terri プロジェクトにおける各試験の目的  
 (Geotechnical Institute Ltd., Saint-Ursanne: Mt. Terri Project  
 -Programme Overview Work Programme of Phase 4( 1998)を基に作成)

#### 5.1.4 ベルギー Mol HADES における研究全体の枠組み

ベルギーにおいては、CECによる地層処分対象可能母岩の調査結果に基づいて、粘土層が選択された。地質学的条件などからサイト特性研究の場として、モルーデッセル地域の地価約 180~280m に分布する新第三紀のブーム粘土層が対象となった。各試験の目的は、将来処分施設として考えられるブーム粘土層に関するデータと知識の蓄積、最終的に地層処分場としての可能性を問うための長期安全性予測へと収束されるものである。図 5.1.4-1 に目的に応じた個々の試験の分類を示す<sup>3)</sup>。

個々の試験内容について下記の文献を中心に、研究所で行われている試験について調査を行った。表 5.2.1-2 に各試験の概要を示す。

- a. SCK/CEN: HADES Tour Guide Notebook 6th edition( 1999)
- b. SCK/CEN: HADES Tour Guide Notebook 4th edition( 1996)
- c. 吉田英一、山川稔: ベルギー・モル王立原子力研究センターにおける地層処分研究のための地下空間利用( 1989)

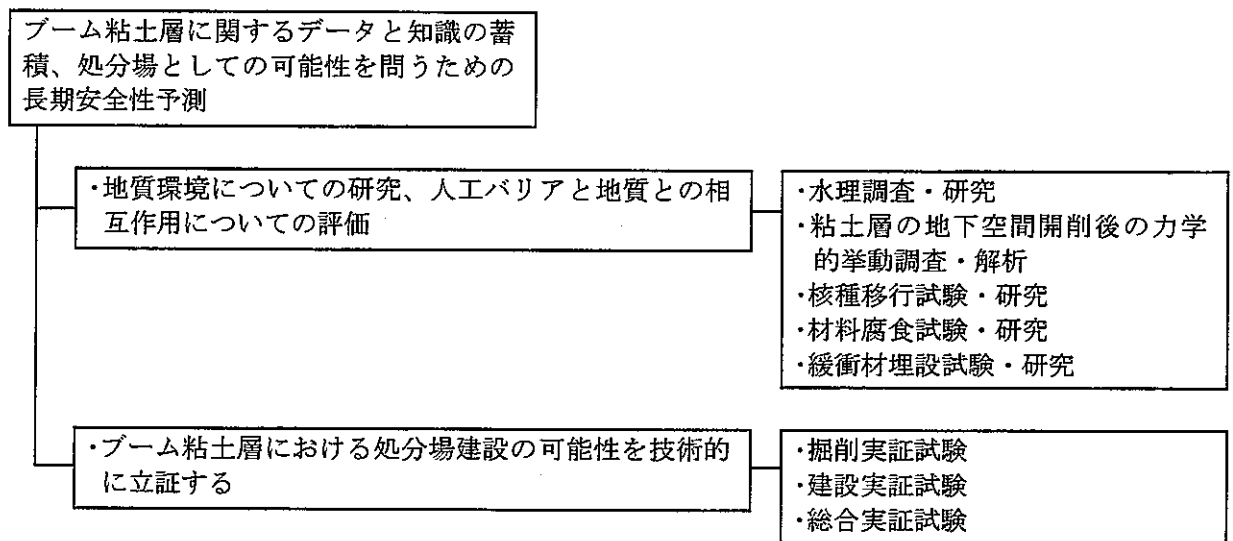


図 5.1.4-1 MOL おける各試験の目的

(吉田英一,山川稔: ベルギー・モル王立原子力研究センターにおける地層処分研究のための地下空間利用(1989)を基に作成)

### 5.1.5 スウェーデン Äspö HRL における研究全体の枠組み

処分場の安全性についての科学的な理解の向上、安全性を損なうことなく費用の削減および処分場概念の単純化についての技術の試験と確認、処分場で使用されるであろう技術のデモンストレーションを地下研究所の全体的な目的としている<sup>4)</sup>。図 5.1.5-1 に目的に応じた個々の試験の分類を示す。

個々の試験内容について下記の文献を中心に、研究所で行われている試験について調査を行った。

#### a. SKB: Äspö Hard Rock Laboratory Annual report 1997(1998)

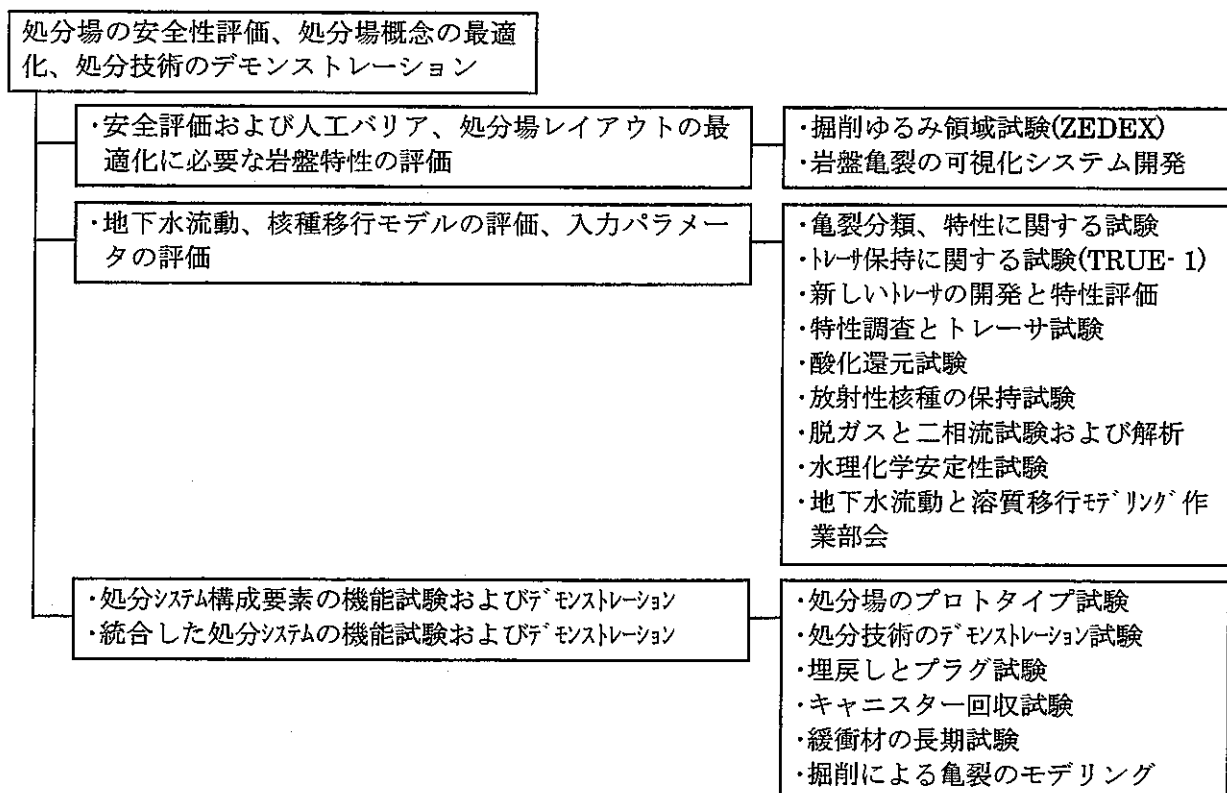


図 5.1.5-1 Äspö Hard Rock Laboratory における各試験の目的  
(SKB: Äspö Hard Rock Laboratory Annual report(1997)を基に作成)

#### (参考文献)

- 1) M.Thury, P.Bossart: Mont Terri Rock Laboratory -Results of the Hydrogeological, Geochemical and Geotechnical Experiments Performed in 1996 and 1997, pp-vii(1999)
- 2) Geotechnical Institute Ltd., Saint-Ursanne: Mt. Terri Project -Programme Overview Work Programme of Phase 4(1998)
- 3) 吉田英一, 山川稔: ベルギー・モル王立原子力研究センターにおける地層処分研究のための地下空間利用(1989)
- 4) SKB: Äspö Hard Rock Laboratory Annual report(1997)

## 5.2 海外地下研究施設における研究項目の抽出

### 5.2.1 研究項目の抽出・整理方針

海外の研究事例等の情報を、研究成果の集約項目となる「地層処分システムの安全評価」と「深地層を対象とした大規模な地下施設的设计・施工」を踏まえて、下記の「研究分野」に示す分野別に研究項目を抽出し、一覧として整理する。その際、整理した研究項目別に優先度を検討するための根拠となる情報に留意し、比較検討できることを念頭にとりまとめる。

〈研究分野〉

- ① 地質・地質構造
- ② 水理
- ③ 地下水の地球化学
- ④ 岩盤力学
- ⑤ 物質移行
- ⑥ 工学技術

### 5.2.2 地質・地質構造研究

地質調査として、以下の試験が実施されている。

- (1) スイス Mt. Terri における研究
  - ・ 蛍光性レジンを注入による亀裂調査
- (2) フランス Meuse/Haute-Meuse URL における研究
  - ・ 油層探鉱による情報の処理
  - ・ コアの採取
  - ・ 地震波探査
  - ・ 電気抵抗試験
- (3) ベルギー Mol HADES における研究
- (4) スウェーデン Äspö HRL における研究
  - ・ 亀裂の分類(亀裂における水移動)

表 5.2.2-1 Mt. Terri Project における個々の試験概要 (地質・地質構造)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
GR Ground penetration radar	・頁岩で、地盤透過レーダー装置を地盤の不均質性測定に適用できるかどうかを評価する	・Mt.Terri の、ポテンシャル不均質性が予測される特性を設定するために、伝達率の法則を定量化する。伝達率は誘電率や伝導性に支配され、頁岩では一般的に高い。	・類似の CEA/IPSN によるフランスでの実験によれば、EDZ は 75cm 以内という結果となっている。
DT Drilling techniques	・最適な掘削 (Drilling)、コアリングおよびオーバーコアリング技術の評価。	・種々の流体や空気、そして種々の装置による掘削 (Drilling) およびコアリング試験を行う。	

表 5.2.2-2 Meuse URL における個々の試験概要 (地質・地質構造)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
地質探査	・地下実験場周辺の広範囲の地質、地層構成を把握する。	・地表地質分布や井戸や泉による水理データ、そして主に地震波測定を用いた油層探査による大量の情報を処理し、地質状況を推定する	・地質断面の結果を得た。具体的には、Haute-Marne の北とミューズの南はほとんど単純で水平な地層で構成されている。また、大きな断層 (fault) が少ない。
コア採取、水理試験	・地質の物理化学や熱、水理特性を特定するためのデータを取得する。	・1 km 程度の深い二つのボアホールを、5km の間隔で穿孔しコアを採取する。またその孔を用いて水理試験を行う。	・地質の透水性が低いことを確認した。また、Callovo-Oxfordian 頁岩層の周りの石灰岩帯からの水の供給が欠乏していることを確認した。
コア採取、地震波探査	・地質データの精密化を計る	・10 個の浅いボアホールを用いて地震波探査を行う。深いボアホールを穿孔し、コアを採取する。このボアホールで調べた地層により、地震波で得た地質構造データの精密化を計る。地下水流を調べるために、水理計測装置 (圧力計) を設ける。	・地層構造を明確にした。深いボアホールにより鉱物学的、地質化学的な性質を調べた。
コア採取、電気抵抗測定	・地層断面や、地質の三次元的な概要を取得する。	・ボアホールを穿孔し、コアを採取する。ボアホールにより岩盤の電気抵抗を測定する。	

表 5.2.2-3 Molにおける個々の試験概要（地質・地質構造）

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
地質メカニクス試験	・坑道の建設可能性、ニアフィールドへの地盤力学的影響および原位置地盤物性について試験を行う。	・全水頭および間隙水圧、変位、試験体としての地下研究施設、調査立坑、調査坑道への地圧荷重について評価した。	・前水頭に関しては分布した値となり、一様ではなかった。間隙水圧は確からしい値を得た。荷重および変位についても確からしい値を得ることができた。

表 5.2.2-4 Äspöにおける個々の試験概要（地質・地質構造）

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
亀裂の分類および特性に関する試験	・岩種に対する亀裂の特性評価方法を進歩させること。また、核種移行の観点から、亀裂の分類方法を進歩させること。	・段階的に試験を進める。データの整理(地質、水理、水理化学)や、水移動の調査方法の整理。水移動の特徴の明確化やデータの収集。データベース解析と亀裂分類のための理論導出。移行モデルに必要な、水移動の単純化概念モデルの導出。	・水移動は、m～10m単位では亀裂に依存する。国内では、亀裂の特性は均質ではなく、同じ特性の長さはm～数10m程度である。

### 5.2.3 水理研究

水理に関わる試験では、トレーサ試験やボアホール壁面からの蒸発量測定、ピエゾメータによる水圧測定などが行われている。以下に試験項目を示す。

#### (1) スイス Mt. Terri における研究

- ・地下水流動測定(トレーサ試験)
- ・EDZ による影響測定(トレーサ試験)
- ・透水係数および貯留係数測定(ボアホール壁面からの蒸発量測定)
- ・浸透係数測定(水圧測定)

透気特性に関しては以下の試験が行われている。

- ・透気試験（間隙水圧や間隙の気体圧力、飽和度の測定）、透気後の自己修復評価

#### (2) フランス Meuse/Haute-Marte URL における研究

- ・透水係数測定(ボアホール内で水を加圧、水頭分布の測定)

- ・掘削による影響試験(水圧、飽和度測定)
- (3) ベルギー Mol HADES における研究
- ・掘削による影響評価(全水頭および間隙水圧測定)
  - ・透水係数試験(ピエゾメータによる水圧測定)
- ガス透気特性に関する試験として、以下の試験が行われている。

- ・ガス移行特性評価(ガス圧、間隙水圧、ガス移行速度測定)
- (4) スウェーデン Äspö HRL における研究

- ・透過率測定(流量測定など)
- ・閉鎖後地下水シナリオ評価(古代気候の調査、古代水理評価)
- ・ゆるみ領域の評価のための透水係数測定

透気特性に関する試験として、以下の試験が行われている。

- ・気液二相流モデル構築のための脱ガス試験、亀裂試料における室内透水試験

表 5.2.3-1 Mt. Terri Project における個々の試験概要 (水理)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
FM-A Flow mechanism	・地下水流動評価。	・低濃度塩水で満たされたボアホールの中に、高濃度塩水を流入させる。	
FM-B Flow mechanism	・地下水流動と岩質の空隙についての特性調査、予備坑道周辺の EDZ について記述する。	・蛍光材を含有したトレーサ材を岩盤に注入し、流路の検出を行う。原位置試験の前にコアの注入による室内試験を行う。注入孔の掘削、トレーサ材の注入、注入孔のオーバーコアリング、UV による構造観察と評価を行う。	・オーバーコアとボアホールのサンプリングによって、流路を部分的に評価した。EDZ の亀裂形状についての知見を得た。
FM-C Flow mechanism: tracer	・O.C.における地下水流、溶質の移流について明確にし、知見を地下水流、移流の概念モデルの構築に用いる。	・パックオフされたボアホールに、約 2 年の間隔を置いてトレーサ混成物を投入する。トレーサ分散結果は、大きなオーバーコアされたドリルコアや平行ボアホールからのコアにマップされる。地下水流や移流についてのパラメータが測定される。	・Phase1 と 2 ではトレーサとしてロジウム、リチウム、クロムとストロンチウムを選定した。研究所試験により OPA サンプルから間隙率と拡散係数を取得した。

表 5.2.3-1(2) Mt. Terri Project における個々の試験概要 (水理)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
FM-D Evaporation logging	・試験水を用いること無しに、高透水性領域を検知すること、低透水性地盤の透過率を調べること。	・鉛直ボアホール内に設けた二つのパッカー間を上下に移動できる温湿度計を用いる。試験区間内換気後、壁面の温湿度と浸透圧の分布を計測する。壁面からの蒸発速度の分布から、透水係数と貯留係数を分析する。	・蒸発性の高さや地質的不連続性との間の相関性は少なく、頁岩面の岩石学的な違いとの相関が大きかった。浸透圧測定器は壁面のゴミ膜のためによく故障した。
GP Hydraulic and gas permeability	・均質な O.C. のガス透過特性と、ガス圧限界値を得る。有効応力や変形などと透水、透気係数との関係を調べる。	・室内試験と幾つかの地質化学状態下での原位置試験を行う。ボアホールから水、ガスの注入を行い、他のボアホールで間隙水圧の変化を測定する。また、飽和度の測定、スライド式のマイクロメータによる岩盤変形の測定を行う。	・間隙のガス圧の変化は地質化学状態に依存するようであるという結果が得られている。
UZ Unsaturated zone	・不飽和領域の範囲と物理特性を定量化する	・水分ポテンシャルと含水量をトンネル壁面からいろいろな距離の地点で測定しつつ、再飽和実験を行う。水分ポテンシャルは小計孔に挿入された熱電対湿度計を用いて測定する。含水量は時間領域反射技術を用いて測定する。	・既存の技術と新しい技術によって不飽和領域のパラメータやその範囲を取得することが可能であることを確認した。
OP Osmotic Pressure	・頁岩の膜の許容される特性を示す。O.C. における浸透効果の有無と、水理試験に対する影響について調べる。	・8m の垂直ボアホールにピエゾメータを設置する。ステンレスフィルターをボアホール壁面にできるだけ近く設置し、膨潤の影響や隙間を最小にする。孔内水位が平衡になると、イオン排除水に置換する。その後、再び平行後、NaCl 溶液に置換する。	・浸透係数は約 $6E-15[m/s]$ で透水係数の約 $1/10$ という結果を得た。ボアホール BOP-1 の水位は、新たなボアホールを掘削した影響により上昇した。
PP Porewater Pressure	・低透水性、低い自由水の含水といった条件下で、間隙水圧を測定する技術と手法を開発、確認すること。	・新しい間隙水圧測定ピエゾメータを開発するに当たり、漏水対策、装置の圧縮性を最小にすることなどに留意した。装置はボアホール内に設置された 4 つのパッカーを有しており、レジンを二重パッカーの中間に注入し長期の止水性を確保する。	・パッカー閉鎖後のパッカー間水圧の時刻歴を取得した。保守的な透水係数 $2 \times 10^{-12}(\pm 0.5)/ms$ を導いた。壁面から 20m 離れた地点での水圧は 2.2MPa 近くと判明した。
DB Deep borehole simulation	・粘土の膨潤などの不確実性を評価する必要がある、最適なボアホール計測などの設計について検討する。	・3 つのボアホールを互いに近距離に穿孔する。それぞれの穿孔は異なる液体を用いる。透水試験は 2~3 このパッカーを用いて、使用中でないボアホールで平行モニタリングを行う。	



表 5.2.3-1(3) Mt. Terri Project における個々の試験概要 (水理)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
BF Borehole fluid effects	・ボアホールを満たす水の成分に対するボアホール安定性を評価する。	・3本の20m垂直ボアホールをベントナイト泥水で穿孔する。その後、1つは低鉱物水に、1つは高塩水に置きかえる。ボアホール径と透水性、温度の測定を3年かけて行い、孔の安定性などを調べる。	・KCl溶液で満たされたボアホールがもっとも安定であった。ボアホール水位の上昇は、内部水にイオンが含まない場合は遅く、KCl溶液は速い結果となった。

表 5.2.3-2 Meuse URL における個々の試験概要 (水理)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
コア採取、水理試験	・地質の物理化学や熱、水理特性を特定するためのデータを取得する。	・1 km 程度の深い二つのボアホールを、5kmの間隔で穿孔しコアを採取する。またその孔を用いて水理試験を行う。	・地質の透水性が低いことを確認した。Callovo-Oxfordian 頁岩層の周りの石灰岩帯からの水の供給が欠乏していることを確認した。
コア採取、地震波探査	・地質データの精密化を計る	・10個の浅いボアホールを用いて地震波探査を行う。深いボアホールを穿孔し、コアを採取する。このボアホールで調べた地層により、地震波で得た地質構造データの精密化を計る。地下水流を調べるために、水理計測装置(圧力計)を設ける。	・地層構造を明確にした。深いボアホールにより鉱物学的、地質化学的な性質を調べた。
透水係数の測定	・試験場を予定している地点における透水係数を測定する	・膨らませることができるパッカーに挟まれたボアホール区間で、水を加圧または減圧する。区間内の水圧変化の速度から透水係数を推定する。	・頁岩層の透水係数は $10^{-11} \sim 10^{-13} [m/s]$ と推定された。サンプルから得られた透水係数 $3 \sim 8 \times 10^{-13} [m/s]$ と良く一致している。
岩盤の透水試験	・地下水流動特性を評価するために必要な、地下水位分布を取得する。	・ボアホールネットワークを地下研に設置し、水頭分布を調べる。10mのボアホールに設けた2つのプラグ間に数ヶ月間水圧を作用させ、透水係数を測定する。	
掘削影響評価試験	・解析に用いる水理モデルの精度を向上させる。	・既設(地下研掘削開始前)のボアホールにより、地下研上部に位置する石灰岩層の水圧、温度、透水係数を数年間にわたり測定する。縦坑掘削前後のデータから、地下水流に対する影響を評価する。	

表 5.2.3-3 Mol における個々の試験概要 (水理)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
許容温度に関する試験 (ATLAS)	・加熱された場における粘性挙動のモデル比較	・小スケールによる試験。ヒーター管と二つの平行モニタリング管を用いて測定を行う。パラメータとしては全水頭、温度、間隙水などを扱う。	・前水頭に関しては分布した値となり、一様ではなかった。モニタリングシステムの統合と最適化を行った。
深層粘土層への大気の水理的影響試験 (PHEBUS)	・建設や処分場の操業による、深い粘土層における水理的な影響を観察する。	・実験プローブを回収された腐食ループの延長物に装備する。全水頭と間隙圧を予測するための装置を粘土に設置する。ニュートロンガンマプローブを採用している。	・要求されたアクセスホール of 正確な穿孔を行った。平行なニュートロンガンマプローブを実現した。
原位置でのガス移行モデリング試験 (MEGAS)	・ガス浸透モデルの妥当性確認のための、実験データを取得するため。	・ガス(ヘリウム)を注入するピエゾメーター(φ90mm)、水平面に60cm および90cm の間隔で設置したピエゾネストを用いる。パラメータとしては、ガス移行速度、ガス圧、水圧を対象とする。	
放射線、間隙水圧、掘削影響試験 (CERBERUS)	・放射線、水頭およびボーリングの、組み合わせさせた影響の直接的な証明(ニアフィールド)。	・444TBq の Co-60 と、試験坑道底盤から2.5m 下に設けた362W の二つの電気ヒーターを用いる。線量、温度、全水頭、間隙水圧を測定、水の採取を行う。	・化学的および水理特性に与える影響について、文献として記録している。
水理調査、研究	・原位置での透水係数を初めとする諸水理定数を測定・解析する。	・原位置で数十個所におよびピエゾメーターの設置を行い、透水係数を測定する。また、平行して、ブーム粘土層中での水質年代も炭素同位体および塩素同位体で調査する。	・透水係数測定の結果、平均 $2\sim3\times 10^{-12}\text{m/s}$ という透水係数を得た。炭素同位体地下水の年代測定から、平均2万5千年という結果を得た。

表 5.2.3-4 Äspö における個々の試験概要 (水理)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
脱ガスと二相流試験および解析	・脱ガスを考慮した気液二相流モデルの構築を行う。	・亀裂における原位置脱ガス試験、室内試験、亀裂に気泡が存在する確立のモデルの構築などを行う。亀裂の幅や間隙水圧をパラメータとして、亀裂中の気泡の長さや存在確立密度について定式化している。大小の亀裂試料で室内透水試験を行う。	・大きな亀裂試料による試験は、少ない流量(0.2L/m)でのみ可能であるが、脱ガスを生じさせるには多くの流量(8L/m)を必要とする。亀裂を再構築する必要がある。

## 5.2.4 地下水の地球化学研究

### (1) スイス Mt. Terri における研究

- ・地下水成分測定、(間隙水サンプリング)

### (2) フランス Meuse/Haute-Marte URL における研究

- ・化学的影響試験(岩盤の劣化、酸化フロントの拡がり測定)

### (4) スウェーデン Äspö HRL における研究

- ・酸化還元試験(酸素との反応率測定)

表 5.2.4-1 Mt. Terri Project における個々の試験概要 (地球化学)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
WS-A Water sampling in situ	・O.C.の過去～現在に至る水理特性を分析すること。 核種収着能力や、処分場の構成要素の挙動を評価すること。	・岩体に平行なボアホールでの地下水収集の可能性について試験することが提案されている。 BWS-A6 ボアホールの地下水は高い鉱物含有率であると考えられる。	・Phase1 から3で、間隙水の化学組成について測定した。3つのBWS-A ボアホールの間隙水が解析された。
WS-B Water sampling laboratory	・個々の交換性陽イオンの濃度を、原位置で測定することが困難なため、実験室にて分析を行う。	・WS-E 試験によるボアホール穿孔によって資料を取得する予定。 O.C.サンプルの陽イオン交換能や陽イオンの量について検討を行う。セレサイト(天青石)、ギブサム(石膏)の $\delta^{34}\text{S}$ と $\delta^{18}\text{O}$ について解析する。同様に地質化学についても検討する。	・ボアホール BWS-A1 における1つの試料のみ、Bradbury と Baeyens による地質化学モデル手法に従った解析を行った。
WS-C Porewater chemistry	・水と粘土の相互作用や間隙水の抽出方法による間隙水成分への影響について研究する。	・間隙水を圧縮して抽出する手法による、間隙水成分におよぼす影響について調べる。そのために25～300MPaの圧力条件下で、主に粘土中のイオン濃度の変化について測定する。	・最初の間隙水は87.5MPaの応力下で、次の間隙水は100MPaの応力下で採取した。現在解析中である。
WS-D Trace elements	・トレースの濃度を解析するための地質学解析コードに必要な、間隙水の化学特性を評価する。	・O.C.の間隙水の試験的なトレース濃度を予測する。ただし、優先的に取り扱う解析データはWS_C 試験によって取得されたものとする。	・手法の試験を目的とした、2つの試料の解析結果について報告されているが、フェーズ3までの段階では有効な結果は出ていない。試験はフェーズ4に持ち越された。

表 5.2.4-1(2) Mt. Terri Project における個々の試験概要 (地球化学)

WS-E Cl and He Profiles	・間隙水中の希ガスの同位体比や安定元素(Cl、H、O)、Cl、Br、Iについて調べる。間隙水の成分についても調べる。	・10本のボアホールを穿孔する。希ガス測定のためのコアは特別な容器に密閉する。安定元素とCl、Br、I測定のためのコアは、アルミニウムホイル容器で状態を維持する。	・10mのボアホールに沿ったサンプルの希ガス濃度は一定であった。坑道から5m離れた地点においても希ガス濃度の変化はなかった。
CW High-pH cement Porewater	・コンクリート成分が間隙水特性(pH等)に及ぼす影響、それがニアフィールドの特性に及ぼす影響を検討する	・ボアホール内に高pH溶液を満たす。期間は1~2年とし、最終段階でボアホールはオーバーコアされるか、それに平行なボアホールを穿孔する。	・ベルン大で分散試験を行い、通常の温度下で短期間(1~2年)での実現可能性を確認した。
GM Geochemich al modelling	・得られた地質化学データベースを統合し、それぞれのデータの有効性を高める検討をする。	・実験チームと協力した、種々の地質学者やモデリンググループが必要である。統合は、異なる知見を有する幅広い専門家を基礎として行う。	・このタスクはフェーズ4から始められる。フェーズ1と2のWS-AとWS-Bの結果に関するモデル化を主とする予備的な統合を行った。

表 5.2.4-2 Meuse URL における個々の試験概要 (地球化学)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
化学的影響 評価試験	・坑道掘削によって外部から持ち込まれる物質(外気、コンクリート、鉄)による化学的影響を調べる。	・処分場によって持ち込まれると予想される化学成分(をボアホールから注入する。サンプルから地質の化学成分に関する影響や、影響の伝達、岩盤の劣化について試験する。酸化フロントの拡がりをボアホールからモニタする。	
地下水分析	・核種移行特性を評価するために必要な、地下水成分を取得する。	・間隙水や岩を損なわないまま取り出すため、間隙水の詳細な化学特性を調べるために特別なボアホール(清潔、無菌、イオン排除そして脱気された水で満たされた)を穿孔する。	

表 5.2.4-3 Mol における個々の試験概要 (地球化学)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
放射線、間隙水圧、掘削影響試験 (CERBERUS)	放射線、水頭およびボーリングの、組み合わさった影響の直接的な証明 (ニアフィールド)。	444TBq の Co-60 と、試験坑道底盤から 2.5m 下に設けた 362W の二つの電気ヒーターを用いる。線量、温度、全水頭、間隙水圧を測定、水の採取を行う。	化学的および水理特性に与える影響について、文献として記録している。
地下水化学および微生物に関する試験 (ARCHIMEDE)	粘土間隙水の化学特性の取得と調節、水、岩の相互作用および Boom Clay における微生物の活動に関する検討を行う。	無菌、嫌気的な間隙水および粘土コアの採取を行う。固相の鉱物学的、物理化学的な特性、間隙水の地質化学的な特性の取得、固相、液相における微生物の採取などを行う。原位置 pH-Eh をオンラインで測定する。	223m 深度の Boom Clay における微生物特性を取得した。酸化、還元測定では、粘土の水の特性はとても敏感である結果となった。

表 5.2.4-4 Äspö における個々の試験概要 (地球化学)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
酸化還元試験	閉鎖後坑道に封じられた酸素の岩盤との反応、岩の酸素消費容量、酸素消費にかかる時間や、酸素の浸透距離の推定。	亀裂面に接している地下水成分の原位置試験に重点を置き、アスポトンネルから 200mm ボアホールを削孔する。原位置試験を支援するため、サンプルと酸素の反応率や機構を測定するために室内試験も行う。	ある程度のサンプルについて酸素消費率を確かめた。閉鎖後処分場では、酸素はバクテリア (methanotrophic bacteria) によって消費されると考えられる。
水理化学安定性試験 (Hydrochemical stability)	地下水化学安定性を明確にすること、閉鎖後、長期の地下水化学シナリオを記述すること。	アスポの気候(15 万年前～)の調査、水理地質、地質化学データの整理と古代水理モデルの確立、古代水理事象 (palaeohydroevents) による影響、採取したコアの亀裂間隙水の研究、同位体解析による亀裂中方解石の測定(年代など)、などを行っている。	古代の気候を調査し、温度などの変遷について示した。方解石の同位体解析から、低温時に生成した可能性がある。生成は後期氷河期よりもまえと予測される。

### 5.2.5 物質移行研究（移行・拡散・吸着特性に関する試験）

物質移行に関わる試験では、トレーサ試験やボアホール壁面からの蒸発量測定、ピエゾメータによる水圧測定などが行われている。以下に試験項目を示す。

- (1) スイス Mt. Terri における研究
  - ・溶質の移流測定(トレーサ試験)
  - ・自己修復 (Self-healing) 評価 (トレーサ試験)
- (2) フランス Meuse/Haute- Marte URL における研究
  - ・拡散試験(トレーサ試験)
- (3) ベルギー Mol HADES における研究
  - ・核種移行試験(トレーサ試験)
- (4) スウェーデン Äspö HRL における研究
  - ・トレーサ開発のためのトレーサ特性取得試験(拡散試験)
  - ・核種移行、保持に関する試験(バッチ試験など)

表 5.2.5-1 Mt. Terri Project における個々の試験概要（物質移行）

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
DI Diffusion in rock	・ボアホールパッカーの品質、岩質部浸透データの取得技術、オーバーコア技術、固相中のトレーサ検出技術の向上。	・7m 程度のボアホールで試験を行う。ボアホールはパッカーによって 2 分割され、間隙水圧と釣り合うように圧力をかける。釣合い後、下方の区間にトレーサを入れる。最後にオーバーコアを行い、トレーサ濃度とボアホール距離の関係を調べる。	

表 5.2.5-2 Meuse URL における個々の試験概要（物質移行）

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
岩盤の拡散試験	・岩盤の拡散係数および核種保有性を評価する。	・拡散係数を取得するため、岩盤と相互作用しないトレーサをボアホールから注入し、距離に応じたトレーサ濃度を調べる。放射性核種と相似の特性をもつトレーサを注入し、移流速度の違いから岩の核種保有性を定量化する。	

表 5.2.5-3 Mol における個々の試験概要 (物質移行)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
原位置での注入、移行試験	・Boom Clay における遅延しない放射性核種の移行挙動のデモンストレーション。	・ポーラス・スクリーンを通して、Boom Clay へのトレーサの注入を行う。注入地点から、決められた距離から水を採取しトレーサの検出を行う。	
核種移行試験・研究	・直接的にブーム粘土層の原位置環境での核種遅延および保持能力を見積もる。	・Eu <sup>152+154</sup> 、Sr <sup>85</sup> 、Cs <sup>134</sup> 、U <sup>233</sup> 、Am <sup>241</sup> の 5 種のトレーサを用いた試験の設置が行われ、Eu <sup>152+154</sup> と Sr <sup>85</sup> の結果が得られている。ミクロスケールでの核種移行現象(遅延・吸着機構)の解明は、有用な情報になると考えられる。	・ブーム粘土での核種移行現象は、低透水性と均質性から主に拡散による効果が強いことが示されている。
原位置浸出移行試験	・遅延性各種移行挙動のデモンストレーション	・二つのブーム粘土試料によって挟まれた放射性核種を対象とする。粘土試料に透水し、採取分析を行う。放射性核種の存在について解析する。	

表 5.2.5-4 Äspö における個々の試験概要 (物質移行)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
トレーサ保持に関する試験(TRUE-1)	・結晶岩を移行する放射性核種の保持に関する理解を深めること、解析モデルの信頼性を高めること。	・コアやボアホール TV などのデータ、三次元可視化されたデータ、構造データなどの解釈によりモデリングを行う。トレーサ試験では、種々の各種を岩盤に注入し、経過時間とフラックスとの関係を測定している。レジンの亀裂浸潤性も測定している。	・種々のトレーサ種についてのブレイクスルー曲線を得た。また、レジンの亀裂における浸潤特性について評価している。
新しいトレーサの開発と特性評価試験	・原位置で使用する前の新しいトレーサの開発と試験、実験室におけるトレーサの特性取得、トレーサの装置への非吸着の証明。	・サイト固有の材料による拡散セルによる実験を行った。ブレイクスルー濃度は定常状態に達しなかった。それよりも厚いセルではブレイクスルーは見られなかった。セルをスライスし、放射線量から濃度プロファイルを測定した。	・バッチ法による Kd 値は、拡散試験による値よりも大きくなることが判明した。ポーラス領域は、アスポドロマイトの吸着性鉱物領域と対応している。

表 5.2.5-4(2) Äspö における個々の試験概要 (物質移行)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
特性調査とトレーサ試験 (TRUE block scale)	・亀裂におけるトレーサ移行の理解と予測の発展、亀裂におけるトレーサ保持メカニズムの重要性評価。	・調査領域に削孔を行い、アコースティック流量測定、ボアホールTV、ボアホールレーダー、二重パッカー流量測定などを行い、透過率などを評価した。地質構造についても調査を行った。構造モデルの妥当性を評価するためにトレーサ試験を行う。	・ボアホールからの調査により、地質構造が明らかになってきている。また、岩盤の透過率を評価した。
放射性核種の保持試験 (CHEMLAB)	・原位置試験により、室内試験による核種保持に関するデータの確証を行い、データの妥当性を示す。	・CHEMLAB 試験は、ベントナイトにおける放射性核種拡散、酸化還元に敏感な各種の移行、核種の溶解度とアクチニド種分化 (speciation)、岩からの核種の脱着、緩衝材から岩への移行、バッチ収着などの試験を行う。	・試験プローブの製作を行った。ベントナイトの拡散試験を行い、拡散濃度プロファイルを取得した。
地下水流動と溶質の移行モデリング作業部会	・アスポ研究プロジェクトを支える組織のフォーラムで、グループは作業部会の選抜者からなっている。	・トレーサ試験(サイトスケール)、アスポトンネル掘削による地下水への影響(サイトスケール)、TRUE-トレーサ保持と試験の第一段階、地下水学や地下水化学モデルの評価などのタスクから成る。	

### 5.2.6 岩盤力学研究

岩盤に関わる力学試験として、以下の試験が実施されている。

#### (1) スイス Mt. Terri における研究

力学に関する試験としては、サンプルコアの加圧試験やボアホール内空変位測定、オーバーコアリングなどによる初期応力測定などが行われている。以下に試験項目を示す。

- ・ボアホール安定性試験
- ・変位測定
- ・地震波速度測定
- ・コアの加圧試験
- ・原位置応力測定(オーバーコアリング、アンダーコアリング、ボアホールスロッター試験、水圧亀裂法による応力測定)



- ・掘削影響領域の評価のための比抵抗試験
- (2) フランス Meuse/Haute-Marte URL における研究
  - ・掘削による影響試験(亀裂の測定)
  - ・初期応力測定(変位測定)
- (3) ベルギー Mol HADES における研究
  - ・空洞端部における吹付けコンクリート安定性評価(変位測定)
  - ・岩盤挙動の長期力学モニタリング(地圧測定、水圧測定)
- (4) スウェーデン Äspö HRL における研究
  - ・ゆるみ領域の評価のための岩盤応力、地震波速度測定

表 5.2.6-1 Mt. Terri Project における個々の試験概要 (岩盤力学)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
ED-A EDZ hydraulic and pneumat. tests	・掘削影響領域における、ニューマチック試験を用いた亀裂ネットワークの特性調査	・ボアホールにおいてニューマチック試験を行う。測定された空気流動や圧力は EDZ 亀裂ネットワークと相関があると考えられる。亀裂ネットワークが繋がっているかどうかなどを調べる。パッカー、水圧センサ、空気フローメーターなどを用いる。	
ED-B EDZ evolution around new gall	・掘削影響領域の進行を地質化学試験、水理試験、力学試験によって評価する。	・14本の計測用ボアホールを予備坑から設け、その後、予備坑と平行で 30m はなれた位置に、径 3.6m の坑道を掘削する。掘削前、掘削中、掘削後について計測を行う。	・新たな EDZ における変位、間隙圧の変化について幾つかの方法で測定した。トモグラフィ試験からは EDZ の拡がり を 解 明 でき る と 考 え ら れ る。
ED-C EDZ: seismic characterization	・坑道周辺の掘削影響領域の拡がりを調べる。その影響度の大きさを地震波や地質電気学を用いて定量化する。	・地震波測定はダウンホール計測、インターバル計測および屈折の計測を行う。電気的性質として、等間隔に並べた電極を用いて地盤の比抵抗を調べる。	・3本のボアホール周辺の地震波速度が低下していることを確認できた。また、その領域は透水係数が増加した領域と関連していることも確認した。
DM Deformation mechanism	・O.C.の力学的構成則を定式化する。結果は設計検討や長期安定性検討に用いられる。	・室内試験と原位置試験を行う。岩盤に対して異なる方向、異なる含水率のコアについて試験を行う。クリープ試験に対応する解析などを行い、構成則を導出する。	・一定ひずみ速度試験によれば、最大偏差応力のひずみ速度に対する依存性は、応力の指数法則で記述される。ベディング面と垂直なコアでは、強度の依存性は少ない。

表 5.2.6-1(2) Mt. Terri Project における個々の試験概要 (岩盤力学)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
GS Gasfrac self-healing	・発生した亀裂に対し、クリープや膨潤による自己治癒機能があるかどうか評価する。	・フェーズ 5 において、二つのボアホール間の水圧亀裂内の人工的な流れを測定する。岩盤の透水係数を測定し、自己治癒のための時間を推定する。自己治癒前後における亀裂内のガス圧と、あるいはガス透気性を測定する。	・小さなコア(mini cores)による試験では、亀裂係数を測定することにより、自己治癒の過程を示すような結果を確認した。
IS-A In situ stress	・原位置における岩盤の応力場の評価。	・オーバーコアリングやアンダーコアリングによる応力測定。	
IS-B IN situ stress	・原位置における岩盤の応力場の評価。	・ボアホールスロットターによる応力測定。	
IS-C In-situ stress, hydraulic fract.	・Mt. Terri のフィールド初期応力を評価する。	・水圧亀裂法による応力測定を予定している。二つのパッカー間に水圧を作用させ亀裂を発生させる。現地応力は強度など、測定された特性値を用いて評価される。試験結果により解析モデルの基準応力を取得し、初期応力場を評価する。	・ボアホール溝法と掘削下法の二通りで計測した原位置応力の間に関連があった。粘土質における原位置試験の方法について検討する必要がある。
FP Fracture propagation	・新しい坑道掘削に伴い、掘削による亀裂の進展について調べる。掘削工法による違いについても調べる。	・坑道壁面から 18 の小計孔を、新しい坑道周辺に EDZ を通るように穿孔する。そこから蛍光性レジンを注入し、亀裂を充填する。そのあとオーバーコアを行い、亀裂ネットワーク配置を調べ、EDZ の拡がりを調べる。	・注入されたレジンの体積から、ロードヘッダ、発破掘削ともに EDZ が発生していること、EDZ における異方性を確認した。

表 5.2.6-2 Meuse URL における個々の試験概要 (岩盤力学)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
掘削に伴う坑道の挙動試験	・実験のために掘削される坑道の挙動を予測する。	・縦坑や横坑の掘削に伴い、地質の構造的な状況を確認する。地下実験を実施するにあたり、坑道壁面に亀裂が発生することがあるかどうかなどの検討に用いる。また試験期間中は、坑道に等間隔に設けられた測定機により構造挙動を観測する。	

表 5.2.6-2(2) Meuse URL における個々の試験概要 (岩盤力学)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
初期応力計測	・地山初期応力を取得する。	・ボアホールの変形を調べる	
掘削影響評価試験	・坑道掘削による影響領域の進展を確認し、評価する。	・試験坑の掘削が進行する前方に 20~40m のボアホールを穿孔する。各種測定器を設置したボアホールの中に坑道を掘削し、切羽の進行に伴う透水係数、変形や波速の変化を調べる。	
掘削影響評価試験	・坑道掘削によって発生すると考えられる、坑道周辺の不飽和状態が閉じ込め性に及ぼす影響を調べる。	・坑道掘削による影響領域において、水圧や飽和度と掘削から経過した時間との関係や、坑道からの距離の関係を調べる。また、サンプルも採取する。	

表 5.2.6-3 Mol における個々の試験概要 (岩盤力学)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
粘土層の地下空間開削後の力学的挙動調査・解析	・地下空間を維持するための岩盤挙動に関わる将来予測などの情報を得るため、掘削に伴うゆるみ領域の調査	・特にブーム粘土層のような軟岩の場合、掘削に伴う長期的変動が予想され、将来予測のためにもその計測が必要である。地下空間掘削に伴うゆるみ領域の調査・測定を行う。	

表 5.2.6-4 Äspö における個々の試験概要 (岩盤力学)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
掘削ゆるみ領域試験 (ZEDEX)	・EDZ の力学的挙動や水理特性の重要性に関する理解を深めることや、EDZ 特性を定量化する装置や方法を試験すること。	・試験は TBM 組立て場付近の約 420m 地下にある二つの試験坑道にて行われ、岩盤特性の測定は、掘削前、掘削中、掘削後にわたって行われた。亀裂、岩盤応力、地震波速度、変位、透水係数などの測定を行った。	・AE モニタリング試験は、最も岩盤亀裂の発生に敏感であった。色素浸入試験によりマクロ亀裂の広がりが見られ、それは坑道床面から 50cm の範囲に存在していた。
岩盤亀裂の可視化システム	・三次元岩盤モデルに関する試験結果を可視化することにより、試験方法を改善するなどの効果を期待できる。	・三次元可視化プログラムを開発した。システムの機能を決めるために、Äspö の主要な実験や SKB の地質学者を必要とした。それは CAD システムに基づいており、データベースエンジンを装備している。	・システムは、ボアホール可視化、亀裂を含む地質のモデリング、トンネルのモデリング、アニメーション、レンダリングや断面の図化を行う描画などの部分からなる。

表 5.2.6-4(2) Äspö における個々の試験概要 (岩盤力学)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
岩盤における掘削による亀裂のモデリング	・機械掘削によって発生する空洞周辺の亀裂を調べる。	・機械掘削による亀裂の長さや深さ、範囲を予測するためのモデリングを行う。そして、3つの岩種、異なる掘削荷重について試験を行い亀裂特性に与える影響を調べる。岩質の不均質性による影響についても調べる。	・亀裂に関する試験を基にしてモデリングを行い、亀裂の深さや範囲、長さを予測するコードを開発した。これにより EDZ を予測できると考えられる。

### 5.2.7 工学技術および技術の実証

実証試験およびその他の試験として、以下の試験が行われている。

(1) スイス Mt. Terri における研究

- ・水平レーズボーラ試験
- ・掘削コアリングの試験
- ・ヒータ試験による温度分布や変位測定

(2) フランス Meuse/Haute-Marte URL における研究

- ・発熱試験(温度、全水頭、間隙水圧、変位測定など)

(3) ベルギー Mol HADES における研究 (実証試験として実規模試験)

- ・実規模坑道掘削試験
- ・埋戻し試験(間隙水圧、飽和後透水係数の測定)
- ・処分場建設試験(温度、全水頭、間隙水圧、変位測定)
- ・発熱試験(温度、間隙水圧、含水量測定、温度による地下水とブーム粘土の反応試験)
- ・原位置腐食試験(腐食速度測定)
- ・微生物活動の測定など

(4) スウェーデン Äspö HRL における研究

- ・実規模処分場建設試験
- ・実規模プラグ建設試験
- ・キャニスター回収試験
- ・三次元可視化プログラムの開発
- ・緩衝材長期挙動評価試験(加熱試験)

表 5.2.7-1 Mt. Terri Project における個々の試験概要 (工学技術)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
EH EDZ: self healing	・地下水と粘土の働きが、EDZの自己治癒を促すかどうかを評価する。	・EDZの特性を把握するために空気圧試験を行う。注入用ボアホールと観測用ボアホールは、空洞支保工を貫通してEDZまで削孔する。空気圧試験とHeトレーサ試験をEDZを飽和させた後に行う。	・ED-A 空気圧試験からは、ロードヘッダ、発破掘削部ともに高透水性領域が存在することが示された。室内規模で、自己治癒機能プロセスの存在が示された。
HE Heater experiment	・緩衝材と母岩の境界に着目し、各材料のTHM応答を観測する。	・ボアホール内に、緩衝材およびその中に発熱機を設置し、母岩の応答、緩衝材の水和や膨潤を測定する。項目としては温度、変形、応力、間隙圧、サクションおよび含水量を予定している。	・フェーズ3で予備解析、予備設計を行った。母岩の力学特性に関する室内試験、検討を開始している。
RB Horizontal raise boring	・水平に近い坑道 sub-horizontally 掘削に対する、水平レイズボーラの適用可能性を示す。	・二つの横坑間に 311mm 径のパイロット孔を穿孔する。その後、1200mm 径で水平方向にリーミングする。レーズボール掘削影響領域に穿孔されたボアホールで、力学、水理特性を測定する。	

表 5.2.7-2 Meuse URL における個々の試験概要 (工学技術)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
プラグの性能試験	・プラグの性能を評価する。	・小規模のプラグをボアホール内に設置し、プラグの吸水および膨潤が完了した後、プラグに水圧を作用させる。試験後、プラグのサンプルから飽和度、透水係数を測定し、プラグの耐久性を調べる。	
実規模プラグ施工試験	・プラグ材料の均質性を調べる。閉鎖後のプラグの密度維持性について知見を得る。	・坑道内に実規模のプラグを構築する。プラグ内に測定器を埋め込み、密度や間隙率、含水率、応力を測定する。小規模プラグによる試験結果と比較する。	
熱影響試験	・廃棄体の発熱による影響や、許容温度を評価する。	・坑道から穿孔した垂直ボアホール内で電気ヒーターを数ヶ月間、発熱させる。発熱体から異なる距離に数箇所計測用ボアホールを穿孔し、温度、水圧、変形、応力を計測する。試験終了後に地下水を採取し、鉱物化学的变化を調査する。	

表 5.2.7-3 Mol における個々の試験概要 (工学技術)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
坑道建設可能性可能性試験 (MINE-BY)	・トンネル技術の直接的なデモンストレーション。	・小口径の調査用立坑と坑道 (L=20m、 $\phi$ =2m)、実規模試験坑道 (L=42m、 $\phi$ =4.7m)、スライディングリブ坑道 (L=12m、 $\phi$ =4.4m) について掘削を行った。	・建設可能性、中期間における健全性ともにを示すことができた。数値解析の結果と観察結果とは適切に一致している。
熱影響試験 (CACTUS)	・HLW 周辺粘土に対する熱影響の直接的なデモンストレーション。	・熱源として GOGEMA による HLW を 50 年間分、疑似している。二つの異なる定置方式を対象としている。パラメータは温度、全水頭、間隙水圧、密度、含水量などである。	・試験結果は理論的な熱水力学モデルの結果と比較された。
試験坑道端部の吹付けコンクリート挙動試験	・坑道端部、切羽前方吹付けコンクリートの長起安定性を検討する。	・平均厚さ約 10cm の吹付けコンクリートを坑道本体の支保工から完全に分離する (隙間 25cm)。吹付けコンクリート上 15 点の変位測定を行う。	
飽和した埋戻し材に関する制御試験 (BACCHUS 2)	・粘土を基本とした製品レベルの埋戻し材 (ペレット) の適用性のデモンストレーション。	・ボアホール ( $\phi$ 520mm) に充填された埋戻し材 (ペレット) の中に、フィルターを設置する。パラメータとしては、含水フロントの進行、間隙水圧、埋戻し材と Boom Clay との境界での水圧、飽和後の原位置透水係数を対象とする。	
HLW 粘土処分のための予備的なデモンストレーション (PRACTLAY)	・トンネル掘削と埋め戻し、HLW 定置概念に基づく発熱が組み合わさった影響ををデモンストレーションする。	・長さは 25-30m、直径 2m、パラメータとしては温度、全水頭、間隙水圧、荷重、変位、含水状態を対象とする。	
掘削実証試験	・大深度において、従来方法である凍結法を用いない掘削法を確立する。	・凍結法を用いない掘削は、調査、研究の立場からの好環境条件を提供することになり、コスト面、地下空間拡大の面から有利である。	・ブーム粘土層中の掘削は機械による (但し水は用いない) 掘削法を用いている。
建設実証試験	・地下空間の拡大に伴うブーム粘土の挙動を調べる。処分場デザインのための基本データとなる。	・実規模の建設、設計を実証するための長期的モニタリングシステムとして、地下空間の拡大に伴うブーム粘土層の挙動を、地下空間中に設置した地 (水) 圧計、応力系などで随時物理変化を測定する。	

表 5.2.7-3(2) Mol における個々の試験概要 (工学技術)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
原位置腐食試験	・中期間における廃棄体と Boom clay との相互作用を評価する。	・粘土と直接接触した 4 つの管、粘土と接触していない 5 つのループ、コンクリート飽和した粘土雰囲気における 2 つのループを用いる。パラメータとしては、気圧(atmosphere)、温度、持続時間および試料の取り扱いである。	・実験室での廃棄体についての確認を行った。例えば、腐食速度は 1~10 $\mu\text{m}/\text{年}$ 、耐腐食材料、腐食材料についての確認など。
材料腐食試験・研究	・サイトに適した工学材料を選定するための試験。	・地下実験場においてブーム粘土層に埋設したヒーターの上に工学材料の候補としての金属、ガラスなどの薄片を取付け、その変質・腐蝕度を調査・研究する。キャニスターの温度を 90℃と 170℃に設定し、3~5 年後、ブーム粘土との反応を解析する。	
緩衝材埋設試験・研究	・ブーム粘土と緩衝材あるいは地下水との反応について調査、解析すること。	・緩衝材としての候補材料をヒーターと一緒に埋設し、ブーム粘土そのものと、あるいは地下水との反応について調査、解析を行う。最低 2~3 年の期間継続測定を実施し、最後にオーバーコアリングによって取出し、解析、研究される。	

表 5.2.7-4 Äspö における個々の試験概要 (工学技術)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
処分場のプロトタイプ試験	・処分場構成材の一体となった機能の試験とデモンストレーション、処分場の部分的な設計や工程のシミュレーション。	・6m 間隔の 6 つの処分孔( $\phi=1.75$ , $h=8\text{m}$ )を想定している。処分孔間隔は最高温度 100℃以下となるように設定された。模擬廃棄体は、使用済み燃料の発熱量を模擬したヒーターを装備している。水の浸潤、熱の分布、膨潤圧、トレーサ移行などを調べる。	・坑道マッピングによるデータの収集整理、レーザー走査、坑道レーダー、地下水流入量、試験坑道の床面における地質マッピングについて報告した。現在進行中である。
処分技術のデモンストレーション試験	・使用済み燃料の封入と処分方法の展開と試験、処分の各ステップを見せることによって示す。	・試験場は深度 420m で幅 6.5m、高さ 6m に設定された。坑道寸法は、廃棄体とベントナイト分割型や一体型の横置き方式、一体型の縦置き方式に対応できるように設定した。	・床のマッピングと予備の地質モデリングは実行された。試験は現在進行中である。

表 5.2.7-4(2) Äspö における個々の試験概要 (工学技術)

試験名	試験の目的	概要	得られた成果
埋戻しとプラグ試験	・プロトタイプ処分場の部分的な準備、埋戻し材やプラグの水理・力学特性を調べる。	・埋戻し材と定置方法、実物大プラグの試験を行う。埋戻し材や近傍岩盤の統合した機能の試験、プラグの水理・力学試験となる。坑道内を埋め戻しし、材飽和後、埋戻し材と近傍岩盤の透水性を坑道に沿った水頭の勾配を用いて調べる。	・最初のステップとして、周囲の岩盤の特性調査を行った。坑道ジオメトリのレーザー測定、地質マッピング、壁面からの地質測定、水の流入量の測定。
キャニスター一回収試験	・緩衝材が膨潤した後でもキャニスターを回収できる用意ができていることを示す。	・実物大回収試験は、緩衝材と銅、鉄のキャニスターを定置した二つの処分孔を用いて行う。キャニスターを安全に遮蔽容器に取り入れ、地上に運ぶまでを対象としている。	
緩衝材の長期試験 (LOT)	・緩衝材の長期事象 (イライト化や塩濃度上昇など) による劣化などを考慮したモデルや仮説の確証。	・縦孔の中に銅管と、その周りに粘土ブロックを配し、銅管表面を高温に保つ。6 個の試験体のうち 3 個は実際と同じ、他の 3 個は粘土の劣化を調べるために過酷な条件とした。加熱期間は温度、水頭、水の成分を調べ、試験終了後粘土試料を採取した。	・2 つの試験体について試験を行い、岩盤と銅管との中央部では 40 日後に飽和が測定された。残り 4 つの試験体については未着手。



## 5.3 対象スケールに対応した研究項目の整理

### 5.3.1 対象スケール別の地下水概念モデルの詳細

#### －Wellenberg プロジェクト地下水概念モデル－

##### (a) 地下水概念モデルの概要

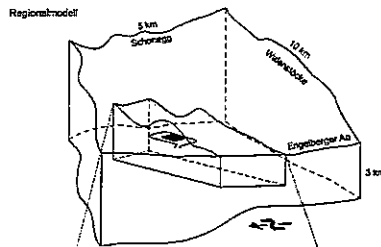
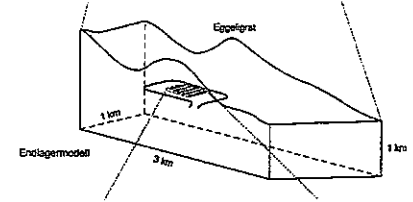
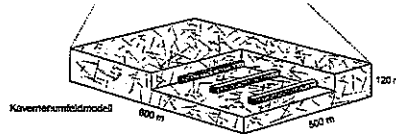
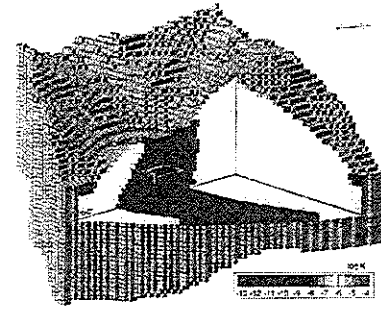
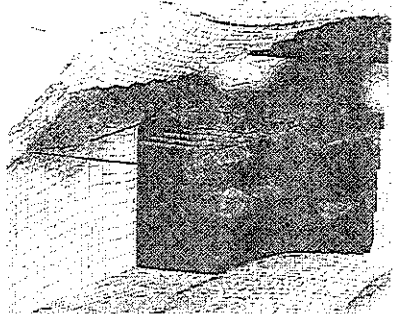
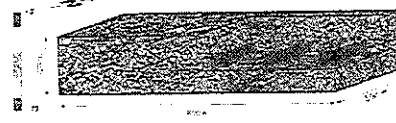
Wellenberg(WLB)サイトにおいては、長尺ボーリングや物理探査、地質探査等のデータの統合及び解釈に基づき、母岩における地下水流動は主として岩盤の不連続部（き裂、せん断領域等）に沿って生じており、堅固な岩盤マトリクスへの寄与については無視できるとの知見が得られている。これらの知見に基づき、性能評価のための地下水概念モデルとしては、限られたボーリング調査結果（決定論的）データを考慮しつつ、かつ、それらを基にした地球統計手法によりモデル化領域全体を確率論的に表現した新しいモデルが採用された。この新しいモデルは、そのモデル化の過程でいくつかの開発を通じた改善がなされており、従来の決定論的モデルと比較して大きく異なる点は以下のとおりである。

- ・ K（透水係数）モデルの採用による確率論的な透水係数分布の表現
- ・ 地下水流動の一時的な挙動（地下施設建設に伴う地下水場の乱れや負圧領域：UPZの消滅）の考慮
- ・ 地下施設（トンネル、空洞、閉鎖ゾーン）の明確なモデル化及び階層的モデル（広域モデル－空洞周辺モデル間）への処分場モデルの導入

実際には、処分場規模及び空洞規模でのフラックスの分布、及び地下施設から浸出域に至る地下水経路の分布の把握に寄与するような地下水モデルが必要である。また、サイト特性の明確化、特に地下調査プログラムの最適化のためには、岩盤特性に関する種々のレイアウトオプション及び保守的な仮定について検討する必要がある。WLBでは、これらの多様かつ複雑な要求を満たすために、3種類の地下水モデルが構築された。それぞれのモデルは目的に応じて、モデル化手法及びモデル化領域が異なり、領域の規模により広域モデル、処分場モデル、空洞周辺モデルに区分された。広域モデルは、分水嶺や谷等の自然の流動条件を境界条件としており、周辺岩盤及び負圧領

域（UPZ）で適用される水頭条件の下で大規模な地下水の流動状況が検討される。その結果としての水頭分布は処分場モデルの境界条件として用いられ、施設レイアウトを考慮した母岩中の地下水状況が計算され、掘削に伴う水頭の攪乱範囲と期間、空洞周辺の掘削攪乱領域（EDZ）の影響、閉鎖システムの保持能力等について検討される。また、空洞周辺モデルでは、空洞近傍の水みちによって支配される流動状況について検討される。表 5.3-1 と図 5.3-1 に WLB で用いられた地下水概念モデルの概要を示す。

表 5.3-1 Wellenberg で用いられた地下水概念モデルの概要

	広域モデル	処分場モデル	空洞周辺モデル
モデリングの目的	<ul style="list-style-type: none"> <li>・周辺岩盤の影響下での母岩中の地下水流動場の展開</li> <li>・地域特有の状態と処分場との間の相互作用の評価</li> <li>・処分場モデルに対する境界条件の定義</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計画施設の影響を考慮した母岩中の地下水流動の場の記述</li> <li>・処分場の建設及び操業による間隙水圧攪乱の期間と範囲</li> <li>・処分場から浸出域までの移流経路及び対流時間の明確化</li> <li>・個々の空洞を通過する地下水量</li> <li>・閉鎖概念及び種々の EDZ 特性の影響の確認</li> <li>・空洞周辺モデルのための境界条件及び出納分布の定義</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計画処分空洞周辺の水みち中の地下水流れの場の定義（地下施設の再飽和後）</li> <li>・処分空洞の近傍における水みち間の地下水流れの分布</li> </ul>
モデル化領域			
数値解析モデル			
境界条件	<p>広域モデルは、分水嶺や谷等の自然の流動条件を境界条件としており、周辺岩盤及び負圧領域 (UPZ) で適用される水頭条件の下で大規模な地下水の流動状況が検討される。</p> <p><b>水頭分布</b> ボーリング、地形及び仮定 (例えば負圧領域について) の組み合わせにより決定された。</p> <p><b>漏出点 (sink)</b> アクセストンネル、処分場</p> <p><b>供給源 (source)</b> 特に考慮せず</p>	<p>広域モデルの結果としての水頭分布は処分場モデルの境界条件として用いられ、施設レイアウトを考慮した母岩中の地下水状況が計算され、掘削に伴う水頭の攪乱範囲と期間、空洞周辺の掘削攪乱領域 (EDZ) の影響、閉鎖システムの保持能力等について検討される。</p> <p><b>水頭分布</b> 広域モデルを用いた評価結果に基づいて設定。</p> <p><b>漏出点 (sink)</b> 開放された空洞 (50~100年)</p> <p><b>供給源 (source)</b> 特に考慮せず</p>	<p>空洞周辺モデルでは、空洞近傍の水みちによって支配される流動状況について検討される。</p> <p><b>水頭分布</b> 処分場モデルを用いた評価結果に基づいて設定。</p>
モデルの詳細	<p><b>モデルの規模</b> 8 x 6 x 3 km</p> <p><b>モデル化手法</b> 等価多孔質媒体 (EPM)</p> <p><b>FEM モデル</b> 要素数: 220,000 節点数: 400,000 要素サイズ: 100 x 100 x 100 m</p>	<p><b>モデルの規模</b> 3 x 2 x 1.5 km</p> <p><b>モデル化手法</b> 等価多孔質媒体 (EPM)</p> <p><b>FEM モデル</b> 要素数: 13,000 節点数: 52,000 要素サイズ: 数 m ~ 数 10m</p>	<p><b>モデル規模</b> 600 x 500 x 120 m</p> <p><b>モデル化手法</b> 割れ目ネットワーク</p>
主な入力パラメータ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・岩盤の透水係数(K-モデル)</li> <li>・アクセストンネル、処分場の等価透水係数</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・岩盤の透水係数(K-モデル)</li> <li>・アクセストンネル、処分場の等価透水係数</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水みちの特性: 広がり、方向、傾度等</li> <li>・透水量係数</li> </ul>
モデリングの成果のカテゴリー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・参照ボーリング及び処分場周辺の水頭分布 [m]</li> <li>・処分場周辺及び処分場レベルでの動水勾配 [-]</li> <li>・処分場周辺の平均地下水流量 [m<sup>3</sup>/a]</li> <li>・採取ボーリング断面内に現時点で存在する移流粒子の、流出経路に対応した、14,000 年前の配置 (モデル化と地下水化学分析結果との適合チェックに寄与する)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トンネルシステムの水頭分布 [m]</li> <li>・処分空洞の長軸方向の動水勾配 [-]</li> <li>・EDZ を含む (代表的な断面の) 処分空洞及びトンネルを通過する地下水流量 [m<sup>3</sup>/a]</li> <li>・空洞から種々の浸出域への地下水経路 (移流軌跡) (プロットとして表現され、浸出域のパーセントとして与えられる)</li> <li>・空洞から与えられた浸出域までの移流時間 [a]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・空洞に現れる水みちの透水量係数分布 [m<sup>2</sup>/s]</li> <li>・空洞壁の水みちのトレース長分布</li> <li>・空洞壁 100m 当たりの水みちの数の分布</li> <li>・水みち間の間隔の分布</li> <li>・水みちの Hydraulic conductance 分布 [m<sup>3</sup>/s]</li> <li>・水みち中の正規化された地下水流量の分布 (1m 当り) [m<sup>3</sup>/s/m<sup>2</sup>]</li> <li>・水みち当りの地下水流量の分布 [m<sup>3</sup>/s]</li> <li>・100m の空洞断面当りの地下水流量の合計 [m<sup>3</sup>/s]</li> </ul>
備考	<p>・それぞれのモデルに関して、各モデルの内部の一貫性、及び結果の整合性については、モデルに適用される基本概念仮定、使用するデータベースの共有、広域モデル-処分場モデル間での有限要素メッシュの適合性等、さまざまな観点からの配慮がなされている。</p>		

出典: Nagra: Geosynthese Wellenberg 1996, Ergebnisse der Untersuchungsphasen I und II, Technischer Bericht 96-01, p358, Figure 7.7-2, p371, Figure 7.7-4, p394, Figure 7.7-18, p419, Figure 7.7-38, (1997)の図を使用して作成

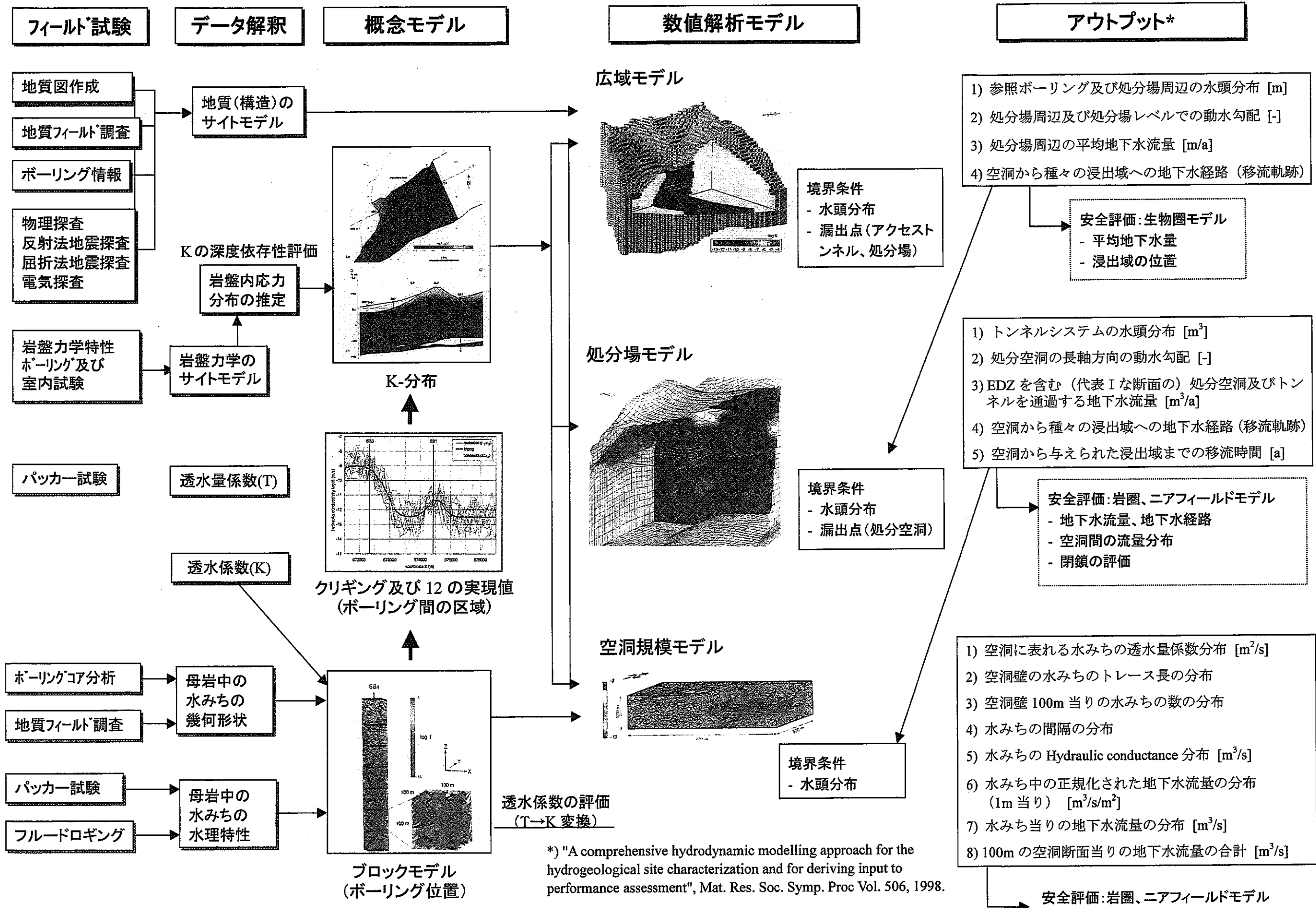


図 5.3-1 地下水概念モデルの概要

\*)参考文献: Nagra: Geosynthese Wellenberg 1996, Ergebnisse der Untersuchungsphasen I und II, Technischer Bericht 96-01, p342, Figure 7.4-6, p371, p344, Figure 7.4-7, p326, Figure 7.3-3, Figure 7.7-4, p394, Figure 7.7-18, p419, Figure 7.7-38, (1997)

## (b) 概念モデルのモデル化手法

3つの概念モデルがそれぞれどのように関連し、かつ組織化されているかを図 5.3-2 に示す。モデル化の手順としては、最初に WBL サイト周辺の地質の幾何学的情報が「サイトモデル（地質モデル）」として決定論的に表現される。次に、母岩の不連続面（き裂、せん断領域等＝水みち）の地質・水文地質的特性を地球統計手法により表現した「ブロックモデル」が構築される。ブロックモデルは、辺長数 100m（WLB においては 100m）の母岩ブロックの形で、透水量情報を有する割れ目ネットワークモデルとして表現され、それぞれのモデルにサイトの水理特性を引き渡す上で中心的役割を果たす。「K-モデル」は、ブロックモデルのボーリング位置周辺での透水係数プロファイル（T→K 変換により決定される）に基づき地球統計的手法を用いて構築され、透水係数の空間的分布を表現したモデルである。

広域モデル及び処分場モデルは、「サイトモデル」の幾何学的情報、及び「K-モデル」の透水係数の空間分布情報に基づき等価多孔質媒体としてモデル化される。また、空洞周辺モデルは「ブロックモデル」の割れ目ネットワーク（幾何形状）、及び「K-モデル」の空洞位置における K→T 変換結果（空洞周辺の透水量係数情報）によりモデル化される。したがって、広域及び処分場モデルは決定論的及び確率論的データに基づいており、空洞周辺モデルは本質的に確率論的データベースに基づいている。

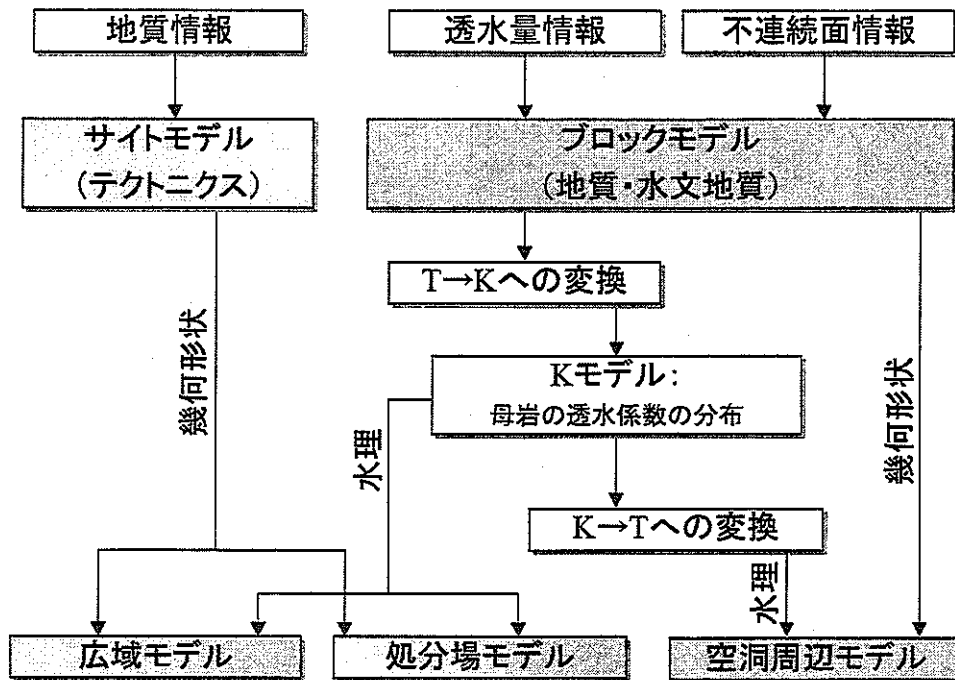


図 5.3-2 モデルの階層と関連

出典：Nagra: Geosynthese Wellenberg 1996, Ergebnisse der Untersuchungsphasen I und II, Technischer Bericht 96-01, p357, Figure 7.7-1, (1997)

概念モデルのモデル化においての重要なポイントは、ブロックモデルの構築から K-モデルの構築に至る過程であり、そのステップを以下に示す。

- ・ ボーリングデータのスケールアップ
- ・ 透水係数の深度依存性の評価
- ・ 透水係数の統計パラメータの地球統計的分析
- ・ クリッキング及び透水係数を評価するための条件付シミュレーション

それぞれのモデルに関して、各モデルの内部の一貫性、及び結果の整合性については、モデルに適用される基本概念仮定、使用するデータベースの共有、広域モデルー処分場モデル間での有限要素メッシュの適合性等、さまざまな観点からの配慮がなされている。

(c) ブロックモデルの構築と T→K 変換

WLB サイトでは、局所的規模での母岩の水理ポテンシャルを決定するため、すべてのボーリング孔内でパッカー試験及び Fluid logging が実施された。これら 2 つの試験結果の総合的解釈により、各ボーリング位置における不連続面（水みち）の透水量係数プロファイルが決定される。ブロックモデルは、前述のように、これらの情報に基いた母岩の不連続面（水みち）の地質・水文地質的特性を表現し、かつ透水量情報を有する割れ目ネットワークモデル、すなわち透水量に関する情報と不連続面に関する情報を統合化したモデルであると言える。図 5.3-3 にブロックモデルの概念を示す。



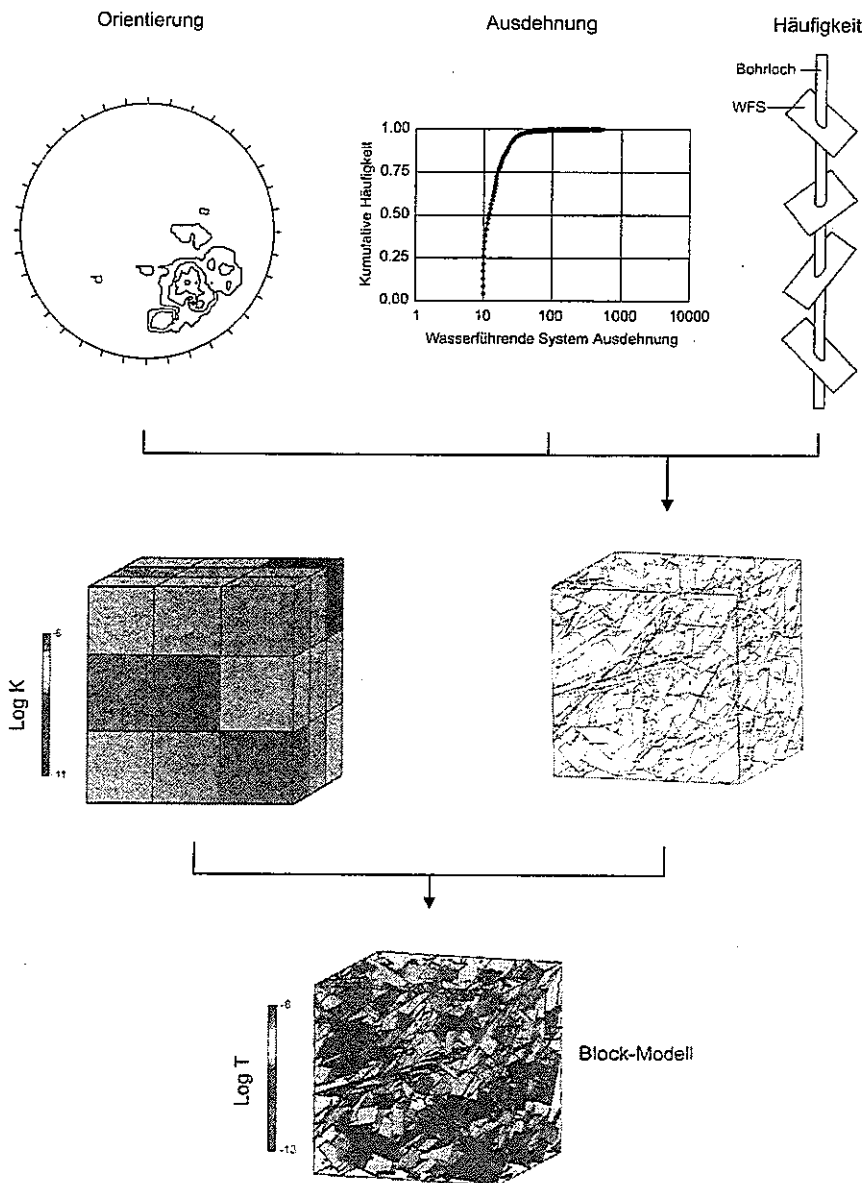


図 5.3-3 ブロックモデルの概念

出典 : Nagra: Geosynthese Wellenberg 1996, Ergebnisse der Untersuchungsphasen I und II, Technischer Bericht 96-01, p316, Figure 7.3-1, (1997)

WLBにおいてブロックモデルは、ボーリング深さに応じた高さで、100m×100mの底面を有する角柱としてモデル化(図5.3-4)された。ボーリング孔は角柱の中心に位置し、ボーリング孔と交差する水みちの水理特性は、測定されたプロファイルから決定され、ボーリング孔と交差しない水みちの水理特性は、透水量係数の全般的な深度方向の傾向、及び個々の孔周辺の変動性より決定された。



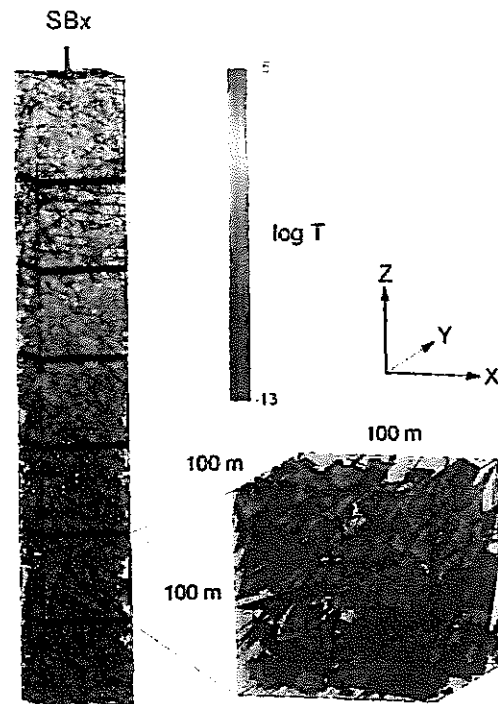


図 5.3-4 ブロックモデルの例

出典 : Nagra: Geosynthese Wellenberg 1996, Ergebnisse der Untersuchungsphasen I und II, Technischer Bericht 96-01, p326, Figure 7.3-3, (1997)

概念モデルのうち広域及び処分場モデルでは、地下水流動の評価は等価多孔質媒体によるアプローチを基本としているため、K-モデルの構築に際して、透水量係数プロファイルを透水係数プロファイルに変換する (T→K 変換) ことが必要である。WLB では T→K 変換のアプローチ手法として表 5.3-2 に示す 3 通りの方法について検討がなされている。表 5.3-2 において、①は相加平均手法であり、水みちが無限に広がり、それらの方向はボーリング軸に対して直角であり、透水量係数は水みちに対して一定であると仮定している。②は①の手法を水みちの方向に関して補正したもの、③はボーリングデータに基づく割れ目ネットワークモデル手法である。相加平均手法に比較して、割れ目ネットワーク手法は、水みちの寸法と分布についてより現実的な仮定に基づいているため、透水係数分布もより現実的に評価可能であると考えられる。この理由により、K-モデルの構築には割れ目ネットワークモデルが使用された。

表 5.3-2 T→K 変換のアプローチ

Assumption	Comments
① Analytical solution $K_{\text{eff}} = (T_{\text{avg}} \times N) / L$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Only T of WCF considered, assuming a perfect connectivity of the WCF within a network.</li> </ul>
② Analytical solution $K_{\text{eff}} = G \cdot T_{\text{avg}} \cdot P_{32} \cdot C + K_{\text{mat}}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fractures are assumed infinite within the unit.</li> <li>• Fractures are perfectly connected.</li> <li>• Orientation &amp; intensity of fractures considered.</li> <li>• Channelling considered (C=1) in our calculations <math>K_{\text{matrix}} = 0</math></li> </ul>
③ Numerical simulation (Code NAPSAC) $K_{\text{eff}(x,y)}$ if preferred orientation of fracture planes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• fracture length can be fixed, modifying the degree of connectivity.</li> <li>• Orientation &amp; intensity are considered.</li> <li>• Transmissivity distribution can be included.</li> <li>• REV can be checked.</li> </ul>

最終的に、この角柱は辺長 100m の立方体に分割され、各立方体の有効透水係数はこのモデルを用いた地下水流動解析 (NAPSAC) により決定された。また、岩盤マトリクスの透水係数は、割れ目ネットワークモデルによっては説明されないため、 $1E-13\text{m/s}$  の値を得られた透水係数プロファイルに加えられた。図 5.3-5 に T→K 変換により得られたボーリング孔 SB1、SB3、SB4、SB4a/v、SB4a/s の透水係数プロファイルを示す。

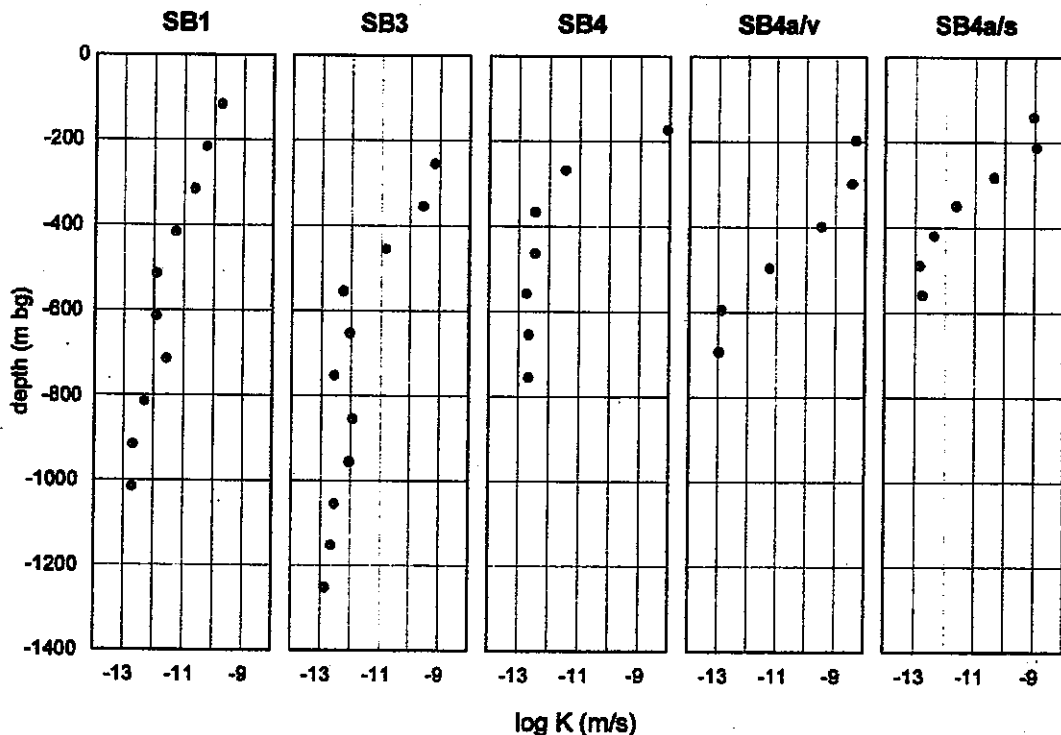


図 5.3-5 T→K 変換により得られたボーリング孔の透水係数プロファイル

出典 : Nagra: Geosynthese Wellenberg 1996, Ergebnisse der Untersuchungsphasen I und II, Technischer Bericht 96-01, p336, Figure 7.4-2, (1997)

(d) K-モデルの構築

K-モデルは、LLW/ILW 処分場サイトの岩盤の透水係数分布を表現するモデルとして NAGRA により提案されたものであり、母岩を透水係数が空間的に分布している水文地質ユニットとして取り扱うという統計的な概念に基づいている。K-モデルにおいて透水係数 (K 値) は、ボーリング位置においては透水量係数のプロファイルによって導かれた有効透水係数と精度良く一致する。また、確率論的変動は全くランダムなものではなく、水平及び垂直方向に空間的な相関関係を持っている。

K-モデルの構築に際しては、まずブロックモデル及び T→K 変換により得られた調査ボーリングの透水係数プロファイルについて、その深度依存性を把握する必要がある。図 5.3-5 によると、透水係数は深部では非常に低く一定しているが、表層部に近づくほど大きくなり、途中で 200~300m 程度の遷移領域がある。しかし、遷移領域の深度は地表の高さとは厳密に相関していないため、深度依存性の把握には地形学的ではない基準が必要となる。WLB ではこの基

準として、等高地表の鉛直応力成分を用いており、図 5.3-6(a)は 5 本のボーリングデータを編集したものである。これを全体的な変化傾向を表す補助誤差関数によりフィッティングしたものが図 5.3-6(b)であり、これにより透水係数の全体的変化傾向の空間分布を得ることができる。

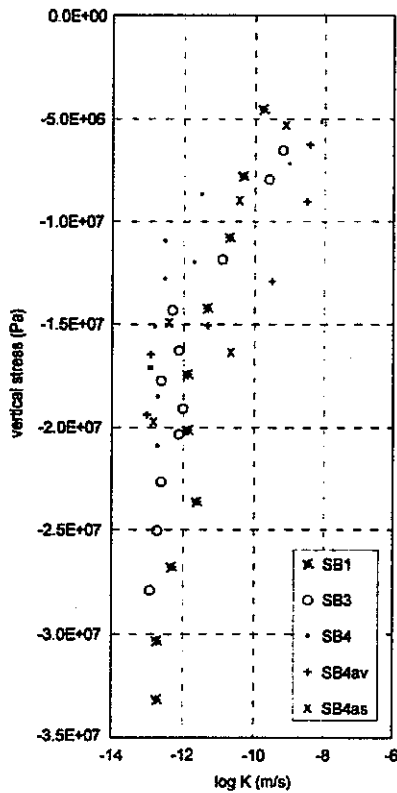


図 5.3-6(a) 透水係数と鉛直応力の関係

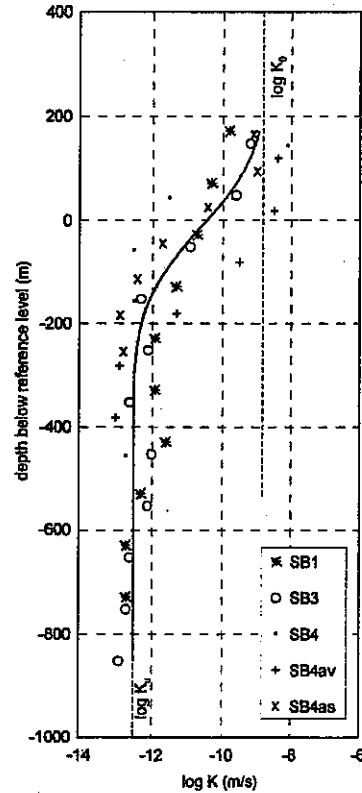


図 5.3-6(b) 全体的な変化傾向

出典 : Nagra: Geosynthese Wellenberg 1996, Ergebnisse der Untersuchungsphasen I und II, Technischer Bericht 96-01, p338, Figure 7.4-3, (1997)

次の段階として、深度依存性評価により得られた透水係数の全体的な傾向に基づき、モデル化領域の空間的な透水係数分布の推定、すなわち K-モデルの構築がなされた。WLB サイトでは、K-モデルの構築手法としてクリッキング手法が採用された。

クリッキング手法は有限個のサンプル値から、それらの空間的分布を合理的に求めるための一手法である。このような手法としては、最小二乗法が一般的に用いられているが、最小二乗法は空間分布の回帰であるため、サンプル点における推定値が必ずしも測定値と一致しない。これに対して、クリッキング手法は測定値のもつ不確実性を空間分布の推定に伴う誤差として確率的に取り扱

うことが可能であり、また、求められる空間分布の推定値は測定位置では一致する。

WLBにおけるクリッキングでは、モデル化領域の各地点において透水係数は2つの成分（決定論的成分とランダム成分）の和であると仮定し、式5.3.1にて表現された。

$$\text{Log } K(x) = m(x) + \text{Log } Kr(x) \quad \dots 5.3.1$$

ここに、 $K(x)$  : 有効透水係数 ( $x$ : 位置ベクトル)

$m(x)$  : 決定論的変化傾向

$Kr(x)$  : ランダム成分

式4.4.3.1において、決定論的変化傾向は前述の全体的な変化傾向により表される。また、ランダム成分はクリッキング手法により評価され、ボーリング位置においては測定値と全体的変化傾向との差（残差）に相当する。ランダム成分の空間的特徴は地球統計技法を用いて分析され、分散及び垂直・水平の相関長が統計パラメータとして決定される。このとき、分散はボーリング位置での残差の合計により直接導かれるが、相関長はバリオグラム分析により決定される。WLBサイトにおいては、垂直の相関係数は200m以下、水平は600mが選択された。

このようにして得られた処分場レベルのK-モデルとして、透水係数の平面分布を図5.3-7に、またボーリングSB1とSB3を通る鉛直断面の透水係数分布を図5.3-8に示す。平面分布的には、母岩の西側において透水係数は $1E-9 \sim 1E-10m/s$ の範囲にあるが、その他の部分においては $1E-11m/s$ 以下を示している。ボーリングSB1とSB3を通る鉛直断面では、透水係数の深度依存性を強調しており、透水係数の遷移領域は地形と関連する結果となった。

広域モデル、処分場モデルでは、このような手順で構築されたK-モデルに基づき、それぞれのモデル領域における透水係数が決定され、解析に必要な数値解析モデルが構築された。

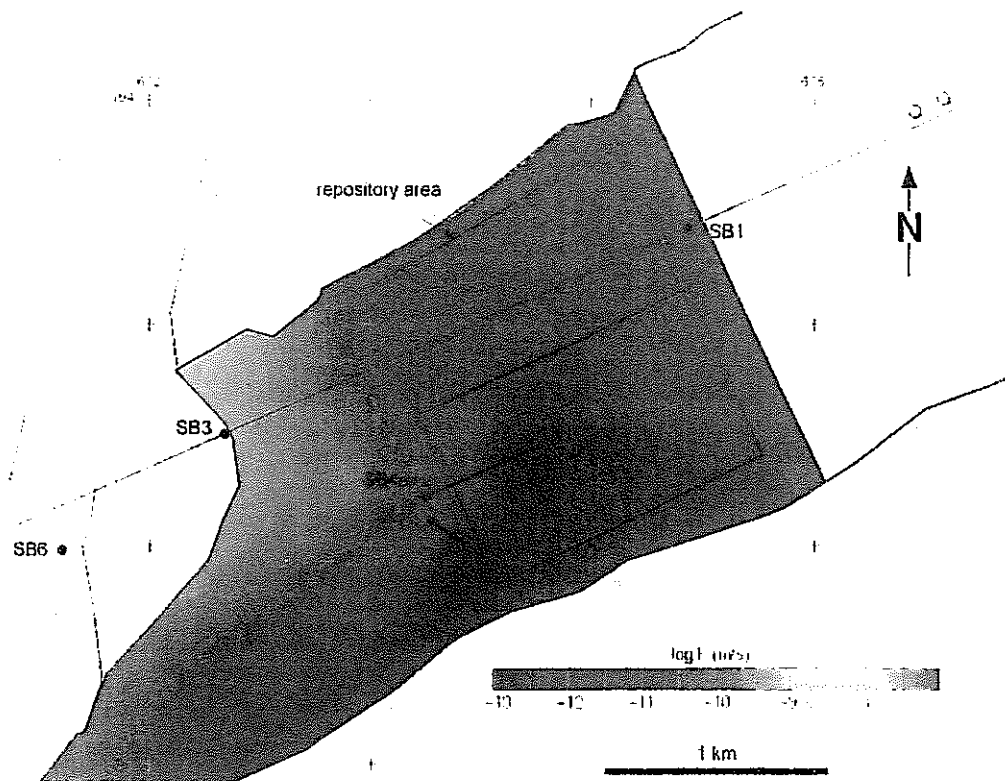


図 5.3-7 クリッキングされた母岩の K 分布：処分場レベル平面図

出典：Nagra: Geosynthese Wellenberg 1996, Ergebnisse der Untersuchungsphasen I und II, Technischer Bericht 96-01, p342, Figure 7.4-6, (1997)

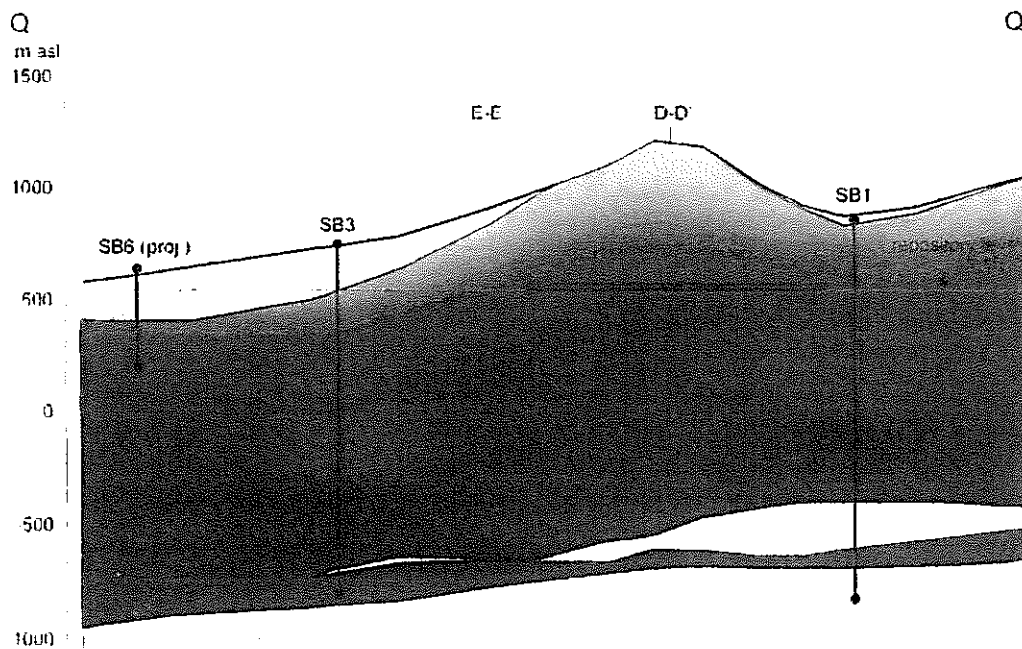


図 5.3-8 クリッキングされた母岩の K 分布：SB1-SB3 断面

出典：Nagra: Geosynthese Wellenberg 1996, Ergebnisse der Untersuchungsphasen I und II, Technischer Bericht 96-01, p342, Figure 7.4-6, (1997)

WLBでは、クリッキングによって評価された透水係数の空間的分布に加えて、現実的な空間的变化を伴う透水係数分布を得るためにいくつかの条件付きシミュレーション（モンテカルロ・シミュレーション）が実施された。シミュレーションの結果については次章で詳述することとするとし、ここでは透水係数分布の推定方法の概要について記す。条件付きシミュレーションでは、ボーリング地点の値は測定結果と等しいが、他の地点での値は計算に用いた地球統計パラメータの値に応じて変化する。このとき、クリッキングによる値は与えられた場所における、複数の条件付きシミュレーション結果の平均値を表す。空間的变化を適切に表現し得るシミュレーションの実施回数は、結果の平均値のクリッキングによる分布に対する収束状況により判断される。WLBにおいては、95%の透水係数値が信頼限界（ $2 \times$ クリッキング標準偏差）内に収まるためには12回の実施が必要であった。図5.3-9に、クリッキングによるSB1-SB3を通る鉛直断面の12の条件付きシミュレーションによる透水係数（細線）の算定結果と、クリッキングにより決定された透水係数（太線）を示す。

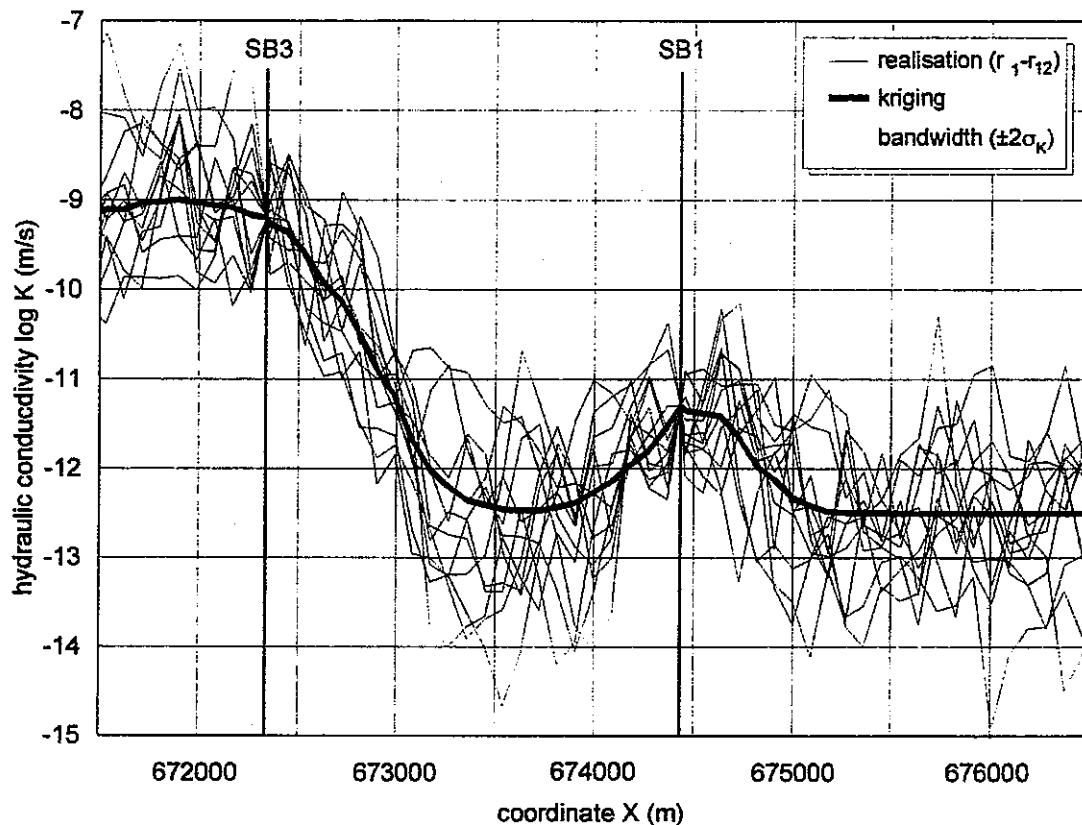


図 5.3-9 SB1 及び SB3 の鉛直面に沿った処分場レベルでの、クリッキングによる  
透水性係数（実線）及び 12 の条件付きシミュレーション結果（細線）

出典：Nagra: Geosynthese Wellenberg 1996, Ergebnisse der Untersuchungsphasen I und II, Technischer Bericht 96-01, p344, Figure 7.4-7, (1997)

(e) K→T 変換と空洞周辺モデル

広域、処分場モデルが K-モデルに基づき、等価多孔質媒体としてモデル化されるのに対して、空洞周辺モデルは、空洞周辺の水みちを確率論的に表現した割れ目ネットワークモデルとしてモデル化される。WLB ではモデル化に際して、水みちの幾何学的な条件はブロックモデルに基づき決定され、透水量に関する条件は K-モデルの空洞周辺部に関するデータに基づき決定された。この場合、K-モデルより得られる情報は透水性係数の空間分布に関するものであり、空洞周辺モデルに適用するためには、透水性係数のプロファイルの透水量係数プロファイルへの変換、すなわち K→T 変換が必要となる。K→T 変換は、K-モデルにおける透水性係数、及び空洞周辺において決定された水みちの情報に基づき実施された。



#### (f) 評価結果の利用

地下水流動を評価する上で重要なことは、現在の時点での調査に限ってみても全てを完全には調査、理解、評価できるわけではなく、さらに長期的な要因を考慮すれば極めて不確定な要因が多く残っていることを強く認識しておくべきである。従って、地下水流動を評価し、安全評価に適切に提供する観点からは、不確実性や不確定性をいかに妥当に推定し、各種の感度解析でその影響を把握しておくことが不可欠であると考えられる。

図 5.3-10 は、WLB プロジェクトにおいて NAGRA により作成された水文地質に関するデータフローであり、すなわち、左端のサイト特性調査におけるフィールドデータから、右端の安全評価へ提供する結果と応用について、常に要求される検討の精度を認識しながら、業務を進めていくことが肝要である。さらに、地下水流動評価に関しては、両者の中間の解釈／概念化／モデル化が非常に大きくかつ重要な業務となり、ここでの合理的なロジックを地質媒体や環境条件等を適切に考慮して構築しておくことが妥当な説明を進めていく上で不可欠であり、また、調査手法仕様に適切にフィードバックするとともに、安全評価への適切な判断をくだす上で重要である。

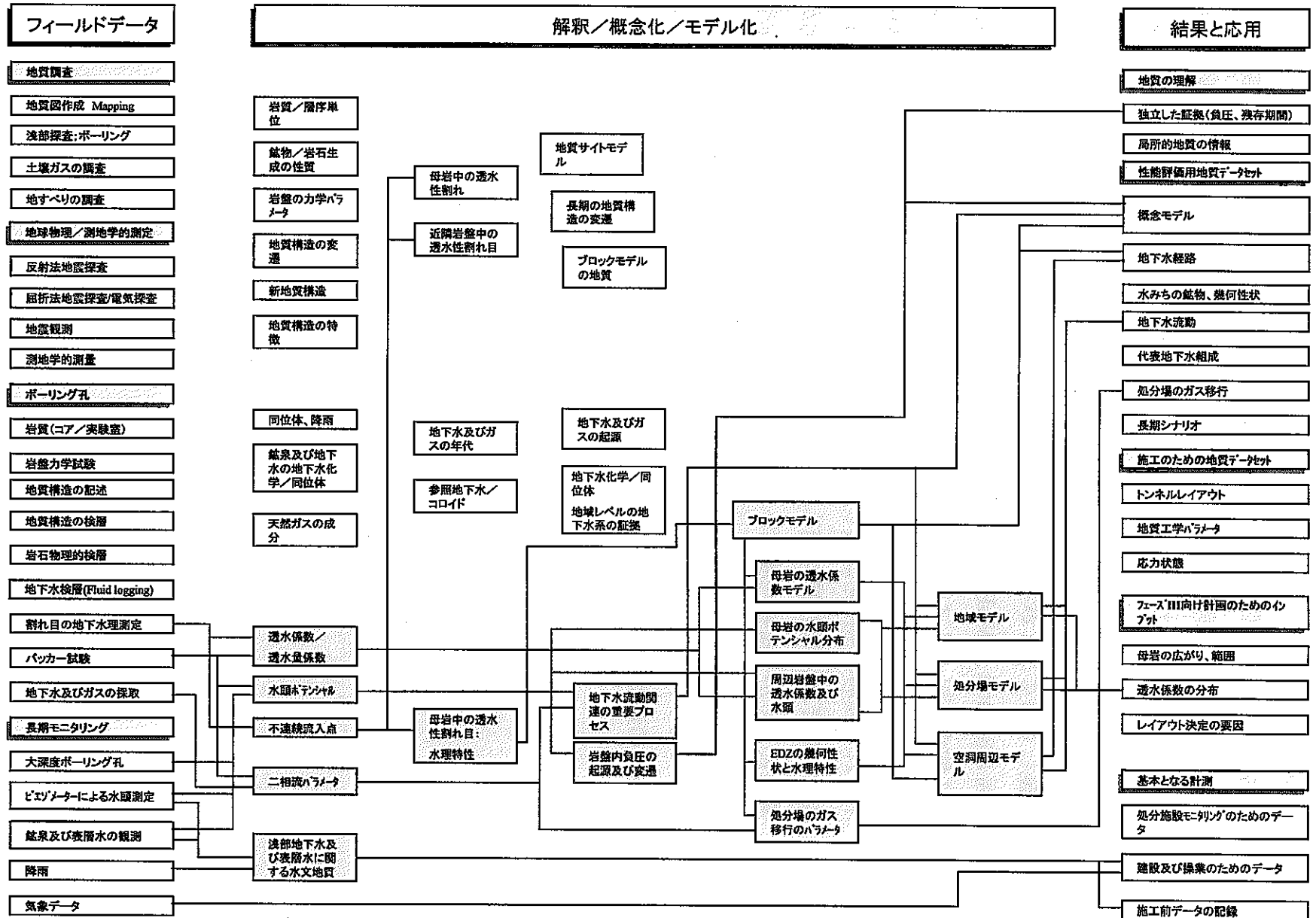


図 5.3-10 Wellenberg 地質統合化におけるデータフロー：水文地質

出典：Nagra: Geosynthese Wellenberg 1996, Ergebnisse der Untersuchungsphasen I und II, Technischer Bericht 96-01, p42, Figure 3.7-1c, (1997)を和訳作成

WLBプロジェクトでは、地下水流動評価の成果として表 5.3-3 にまとめたような出力結果が各モデルから主として得られ、安全評価に提供された。これらの情報は、予め定義されたコントロール点（例えば、観測点等）での全てのスナップショットに関する結果の統計的な分布である。

表 5.3-3 地下水流動評価結果のカテゴリー

成果の定義	広域モデル	処分場モデル	空洞周辺モデル
参照ボーリング及び処分場周辺の水頭分布 [m]	○		
トンネルシステムの水頭分布 [m]		○	
処分場周辺及び処分場レベルでの動水勾配 [-]	○		
処分空洞の長軸方向の動水勾配 [-]		○	
処分場周辺の平均地下水流量 [m <sup>3</sup> /a]	○		
EDZ を含む（代表的な断面の）処分空洞及びトンネルを通過する地下水流量 [m <sup>3</sup> /a]		○	
空洞から種々の浸出域への地下水経路（移流軌跡）（プロットとして表現され、浸出域のパーセンテージとして与えられる）		○	
空洞から与えられた浸出域までの移流時間 [a]		○	
採取ボーリング断面内に現時点で存在する移流粒子の、流出経路に対応した、14,000 年前の配置（モデル化と地下水化学分析結果との適合チェックに寄与する）	○		
空洞に表れる水みちの透水量係数分布 [m <sup>2</sup> /s]			○
空洞壁の水みちのトレース長の分布			○
空洞壁 100m 当りの水みちの数の分布			○
水みち間の間隔の分布			○
水みちの Hydraulic conductance 分布 [m <sup>3</sup> /s]			○
水みち中の正規化された地下水流量の分布（1m 当り） [m <sup>3</sup> /s/m <sup>2</sup> ]			○
水みち当りの地下水流量の分布 [m <sup>3</sup> /s]			○
100m の空洞断面当りの地下水流量の合計 [m <sup>3</sup> /s]			○

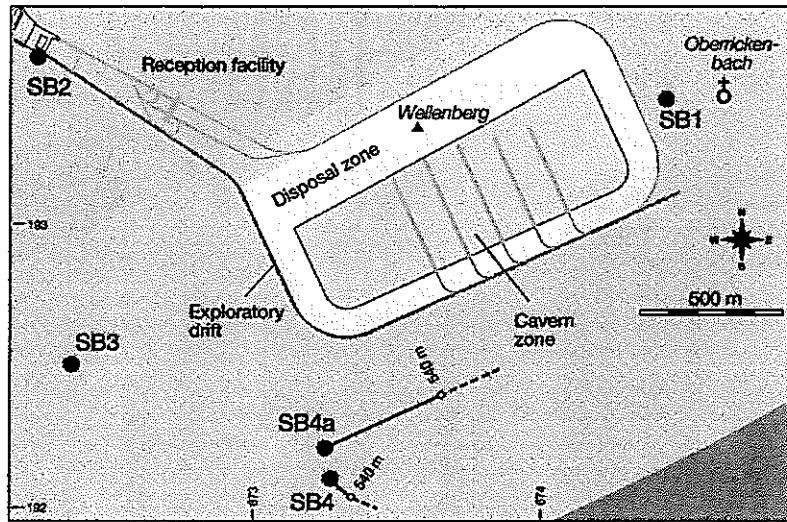
(a) 今後の調査

WLB での地質調査で最も大きな収穫は母岩規模が想定していたよりもかなり大きいことである。これは処分場のレイアウトを柔軟に計画できる可能性が高いことを示しており、極めて重要な要因である。現在、ベースとしている安全評価から、処分空洞近傍に存在する、いわゆるレイアウトで避けるべき断層帯

としては、透水量係数が比較的大きい( $T > 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$  及び  $K > 10^{-9} \text{m/s}$ )ものと想定されており、このような地質構造は現段階までの調査では見つかっていないが、処分領域内の調査は今まで詳細には行われてこなかったため、そのような構造が処分場付近に存在しないとは言い難い。ただし、このような構造がたとえ建設段階で発見されたとしても、母岩が十分に大きいため、レイアウト変更により、十分に避けられるものと考えられる。

自然のシステムは極めて複雑であり、サイト特性調査に完全性を求めることは、ある面では無意味なことであり、従って、現状での知見が不完全であるとしても驚くべきことではない。本質的には、現状の調査結果を踏まえてはじめて、更に調査を必要とする場所と事項等が明確になるのであり、WLB プロジェクトの場合、処分場周辺の地質構造データが特に不足しているといえる。特に、前述の透水量係数が比較的大きい構造の存在と北部母岩の正確な境界に関する情報が不足している。これを効率的に実施するには、1次元的なボーリングのみでは困難であり、調査戦略としては図 5.3-11 に示すような調査坑道による調査が妥当である。これにより、岩盤の直接的観察、測定、調査とともに母岩の原位置試験を実施でき、処分の安全性に関する貴重な情報を得られると期待される。調査坑道はサイト条件の特徴を十分に考慮して、得られる情報を最大化するように計画すべきであり、WLB では図 5.3-11 に示すように、テクニクス規模での大規模走行に対して垂直及び平行な調査坑道配置計画により、母岩の空間的位置を明らかにするとともに、異方性等についても評価することが可能となる。

### Exploratory drift and planned repository layout



#### Legend





-  Limestones of Drusberg nappe
-  Host rock
-  Limestones of Axen nappe
-  Boreholes (SB4 and SB4a are inclined)

図 5.3-11 WLB における調査坑道の配置計画案

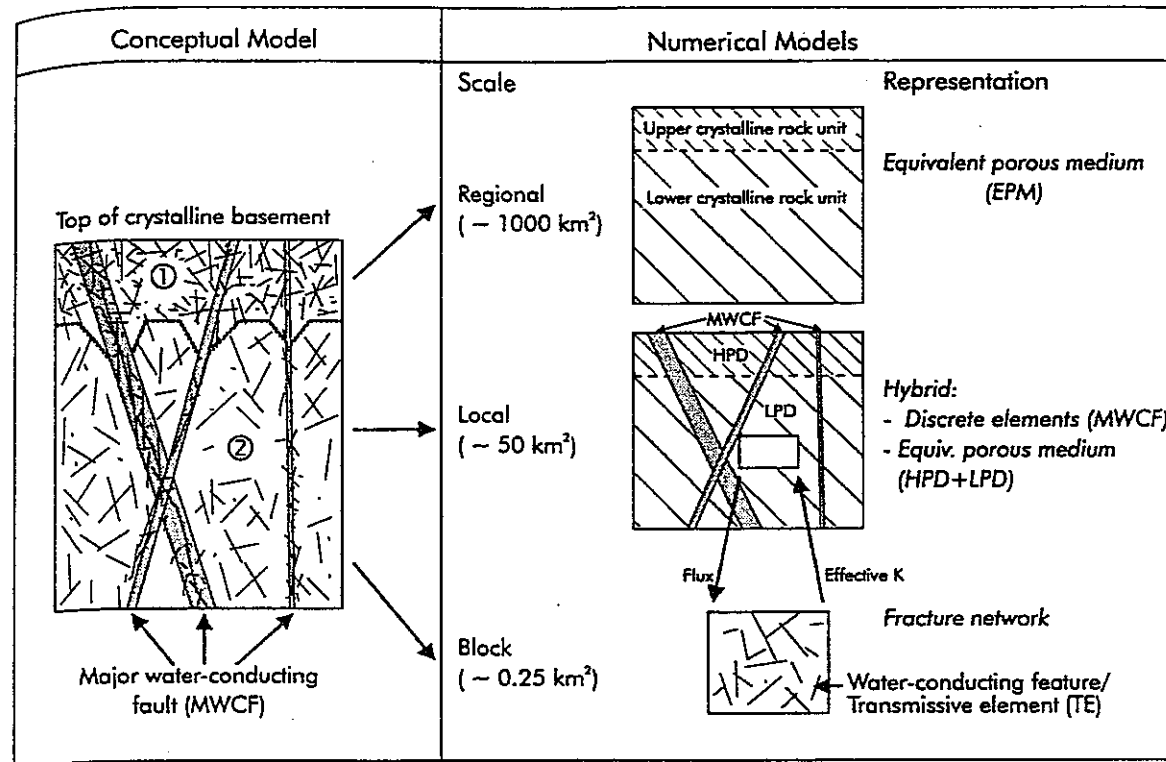
出典 : Nagra: Synthesis of the geological investigations at Wellenberg, nagra bulletin No. 32, p.15, Figure 12, (1999)

# スイスにおける地下水流動モデル概念 → わが国への反映を考慮して

着目点

○それぞれのモデル化のなかで output として → 安全評価モデルへの input  
何を指しているか？

- NF への flux(特にブロック規模におけるわれ目中の透水量分布)
- NF への地球化学特性(地質構造モデルとの対応で)
- 主要な断層(1st,2nd order fault)の地下水特性と物質移動に係わる特性(ボ-リングデータを使用)



① Upper crystalline rock domain; designated as higher-permeability domain (HPD) in area West  
② Lower crystalline rock domain; designated as low-permeability domain (LPD) in area West

出典 : Nagra: Hydrodynamic Synthesis and Modeling of Groundwater Flow in Crystalline Rocks of Northern Switzerland, Technical Report 92-04 (1994), p1-7, Figure 1.2

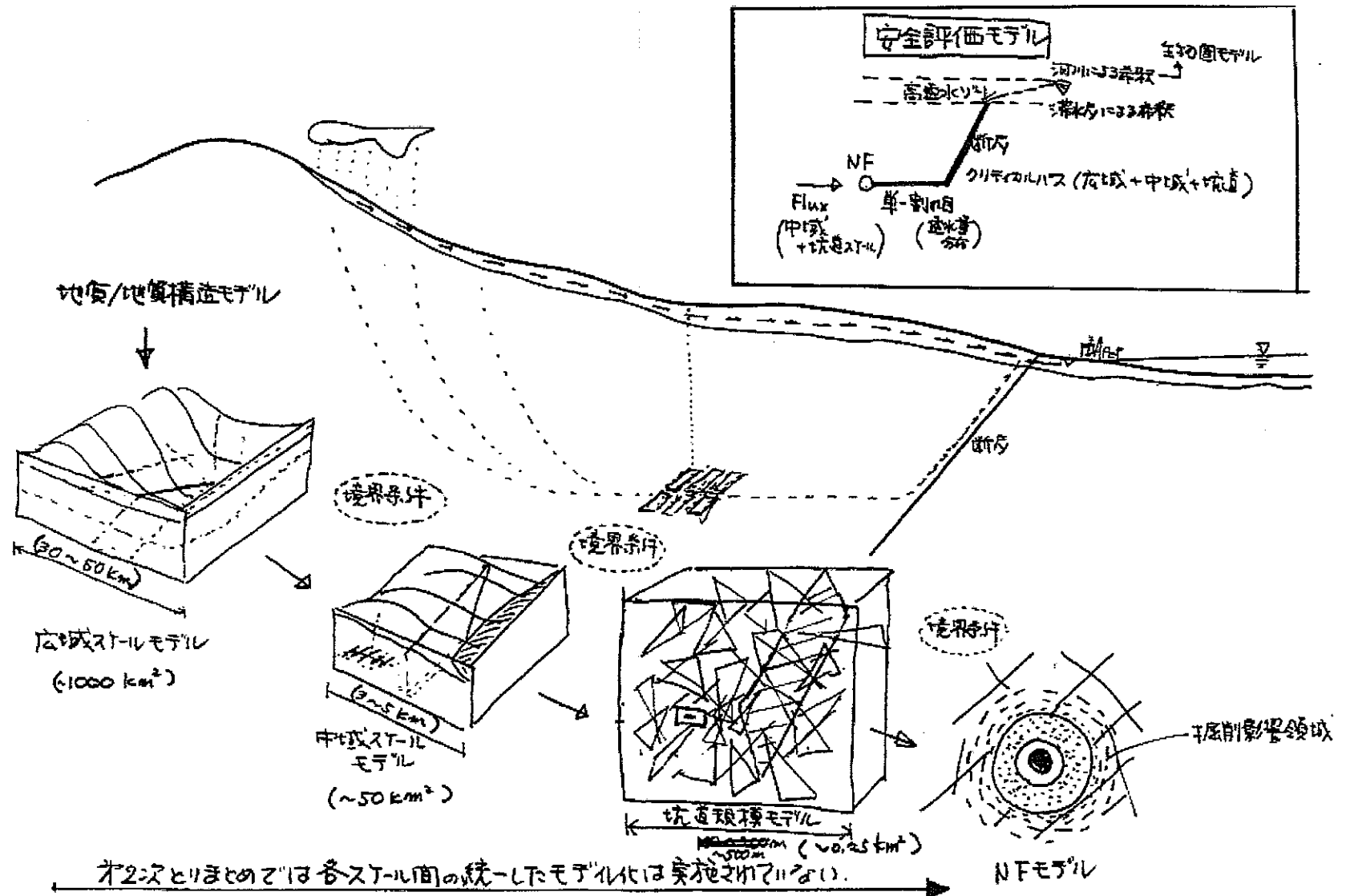


図 5.3-12 スイスにおける地下水流動モデル概念 (その1)

地質構造モデル (露頭観察、反射法) → 広域 (Regional) (~1000km<sup>2</sup>) な断層ネットワークモデル  
 +ボーリングデータ (透水性, われ目の特性) = 広域地下水流動モデル

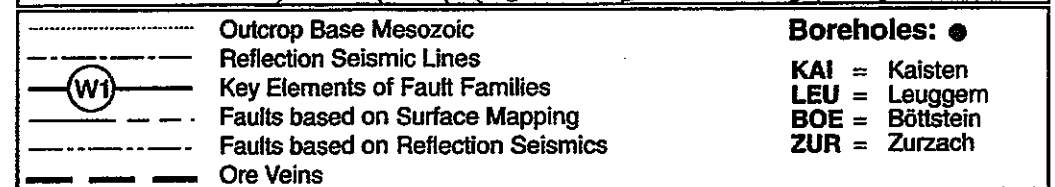
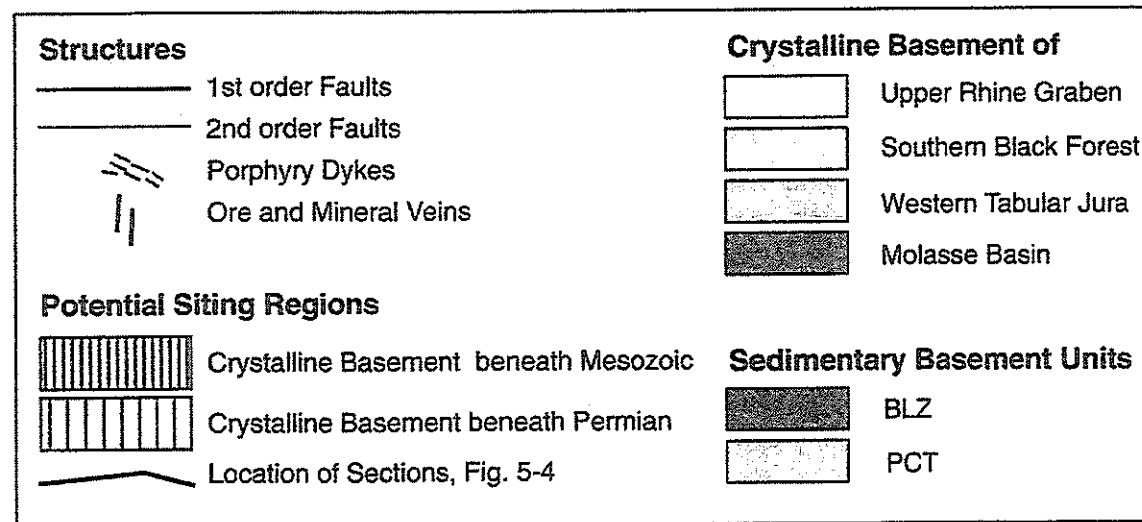
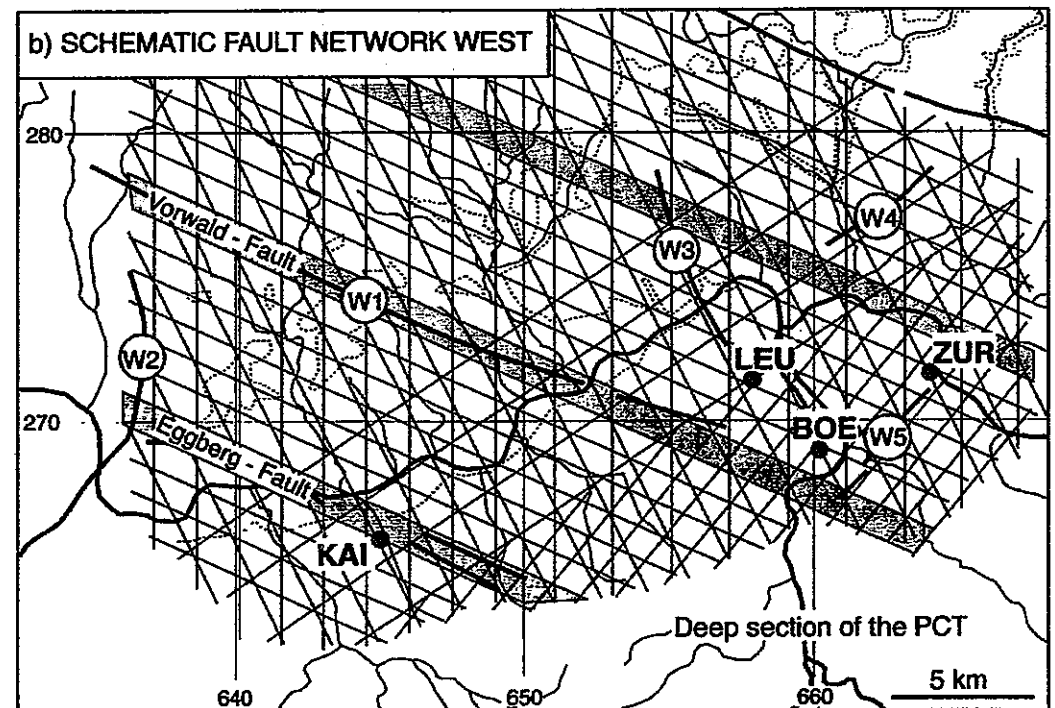
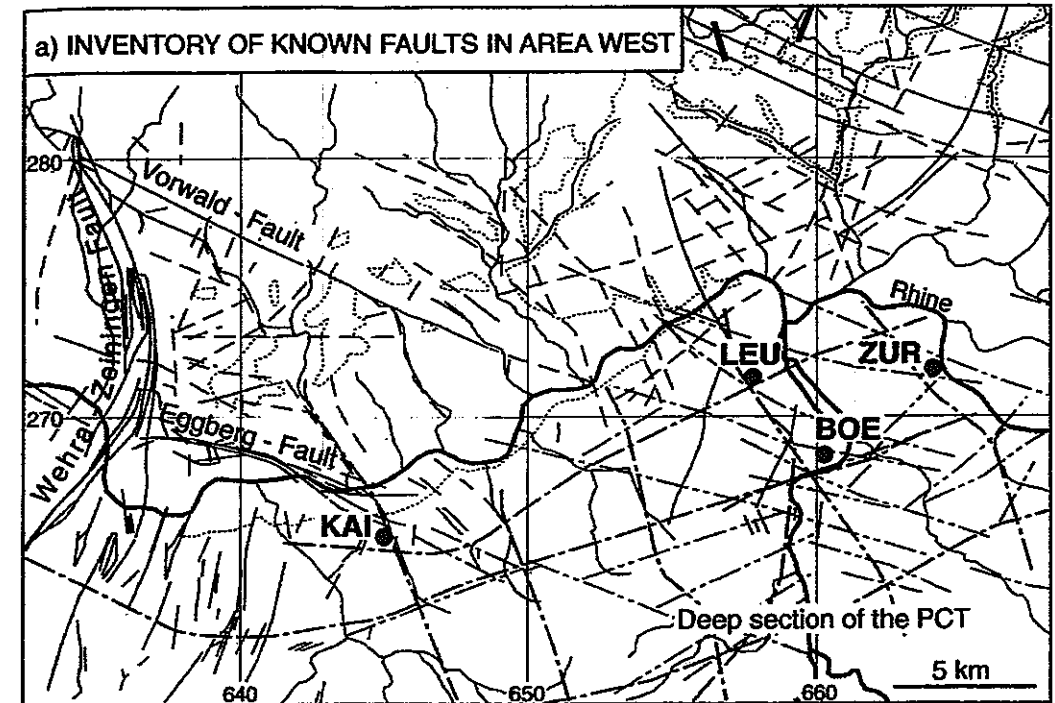
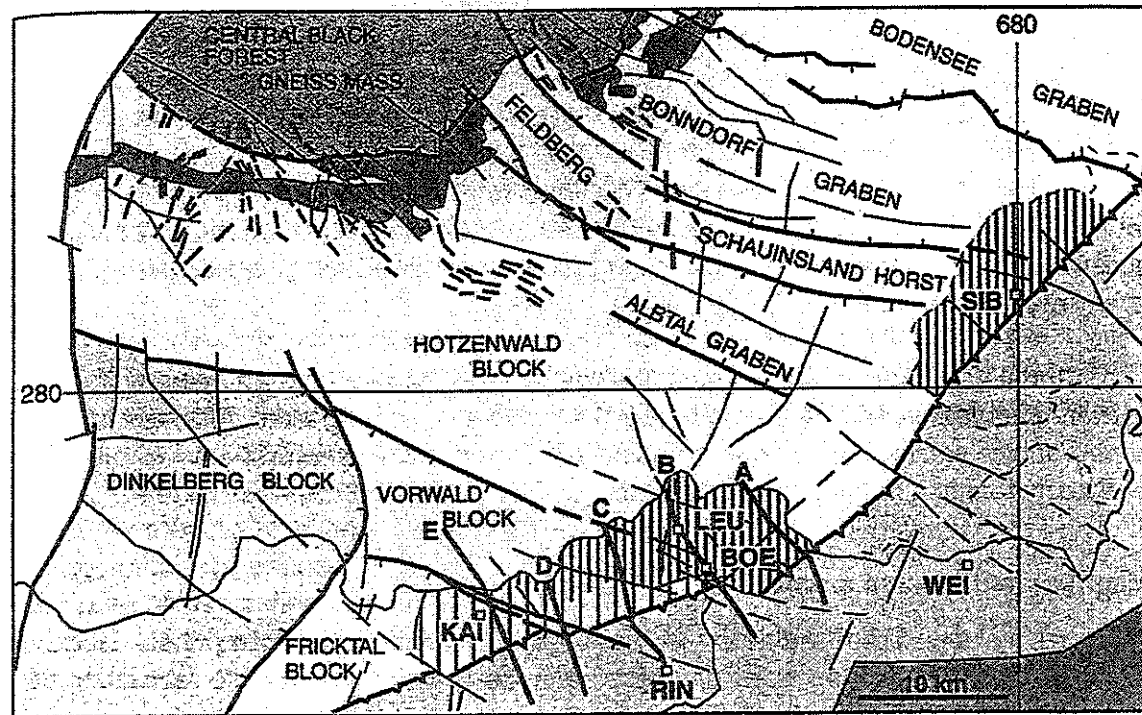
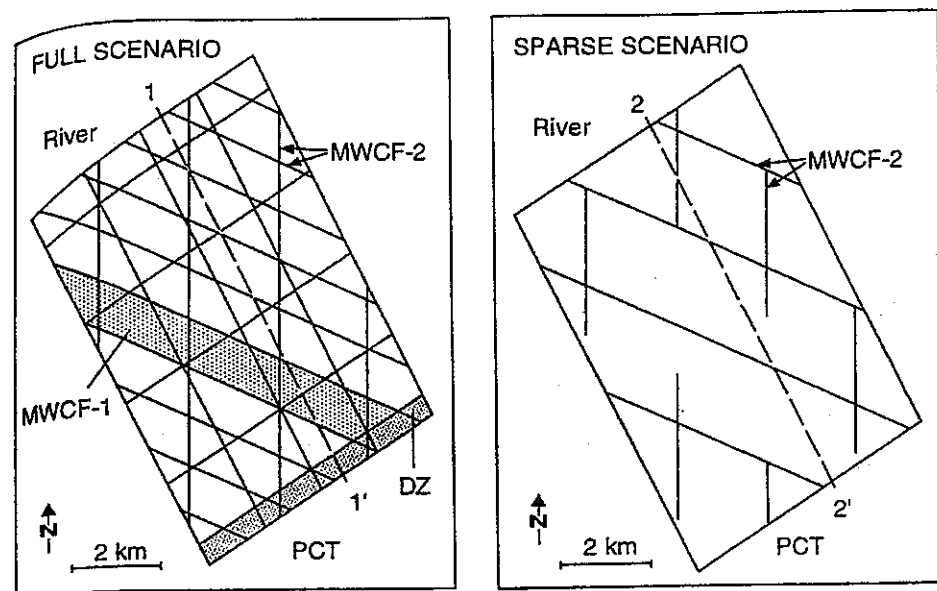


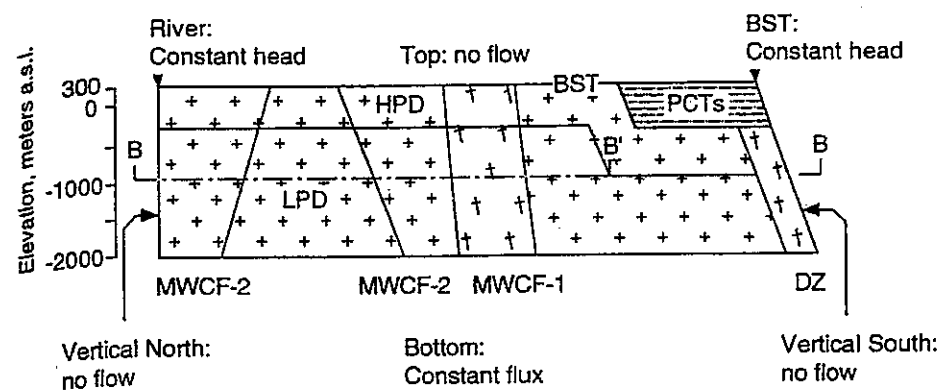
図 5.3-13 スイスにおける地下水流動モデル概念 (その2)

中域 (Local) 地下水流動モデル (~50km<sup>2</sup>) → ブロックスケール (坑道スケール) 地下水流動モデル (~0.25 km<sup>2</sup>)



EXPLANATION

- 1-1', 2-2' Lines of section shown in Fig. 8-18
- MWCF-1 First order major water-conducting faults
- MWCF-2 Second order major water-conducting faults
- DZ Tectonically disturbed zone
- PCT Permo-Carboniferous Trough



Hydrogeological unit

- BST: Buntsandstein aquifer
- PCTs: Permo-Carboniferous Trough (shoulder)
- HPD: Higher-permeability domain
- LPD: Low-permeability domain
- DZ: Tectonically disturbed zone (=MWCF-1)

Effective hydraulic property  
(T=transmissivity; K=hydraulic conductivity)

- / T=1.5 × 10<sup>-5</sup> m<sup>2</sup>/s
- / K=1.0 × 10<sup>-9</sup> m/s
- / K=2.8 × 10<sup>-7</sup> m/s
- / K=4.2 × 10<sup>-11</sup> m/s
- / K=3.2 × 10<sup>-5</sup> m/s

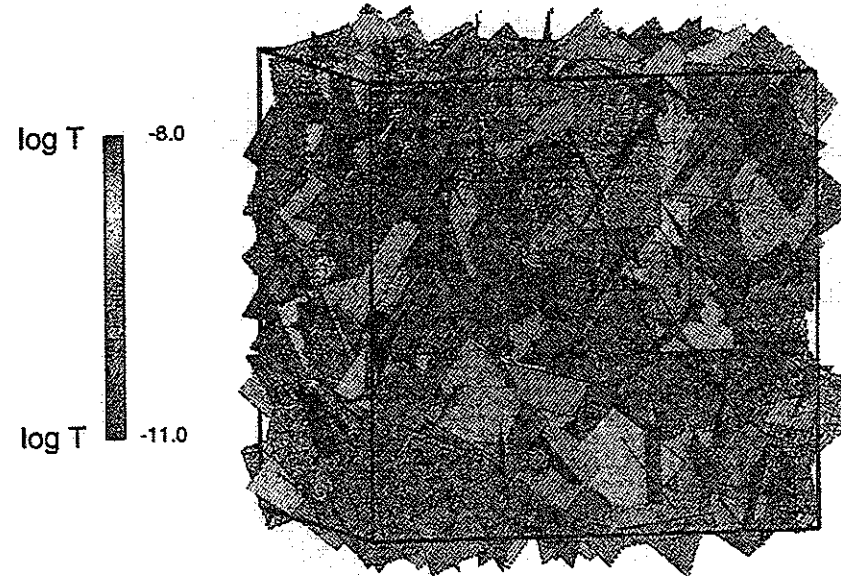
Major water-conducting faults

- MWCF-1: First-order / K=3.2 × 10<sup>-7</sup> m/s
- MWCF-2: Second-order / T=6.4 × 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s

Additional boundary conditions (not shown above):

- VW-Vertical West: Constant flux
- VE-Vertical East: Constant flux

(a) Typical fracture network in a 500m x 500m x 500m volume

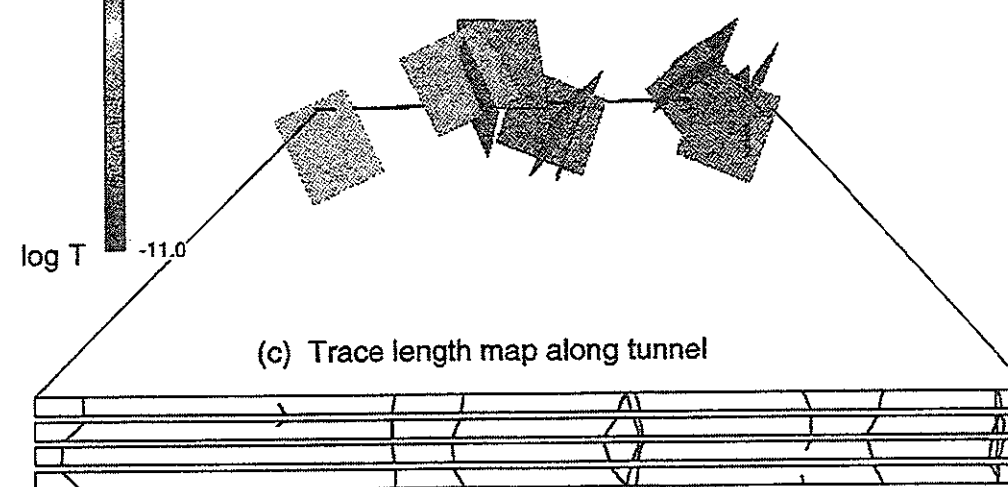


→われ目の透水量  
分布が求まる

〔ボーリングデータ  
との比較〕

↓  
安全評価モデル  
への input

(b) Transmissive elements intersecting tunnel  
(500m x 5m x 5m) in same realization



(c) Trace length map along tunnel

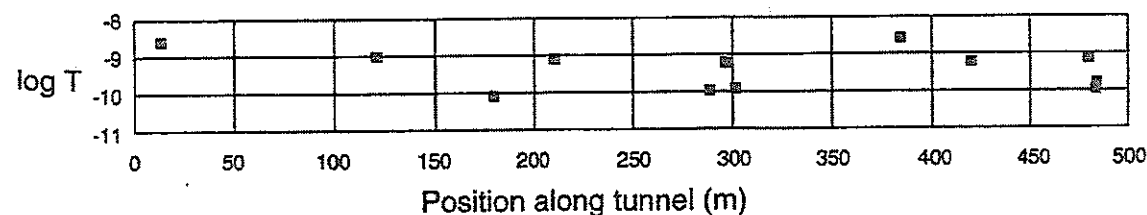


Figure 8-19. Typical fracture network in the low-permeability domain of area West, generated by NAPSAC (LANYON 1992). (a) Full network of transmissive elements (TEs) in a 500 × 500 × 500 m volume; (b) TEs intersecting a fictitious 500 × 5 × 5 m tunnel; (c) trace lengths and log transmissivities of the TEs.

図 5.3-14 スイスにおける地下水流動モデル概念 (その3)

出典: Nagra: Hydrodynamic Synthesis and Modeling of Groundwater Flow in Crystalline Rocks of Northern Switzerland, Technical Report 92-04, p4-8, Figure 4.2, p5-9, Figure 5.2, (1994)



# 地質環境特性の中で安全評価上(天然バリア中の物質移動プロセス)考慮に入れる要素

- ・ 移流／拡散
- ・ マトリックス分散
- ・ 収着
- ・ 放射線崩壊

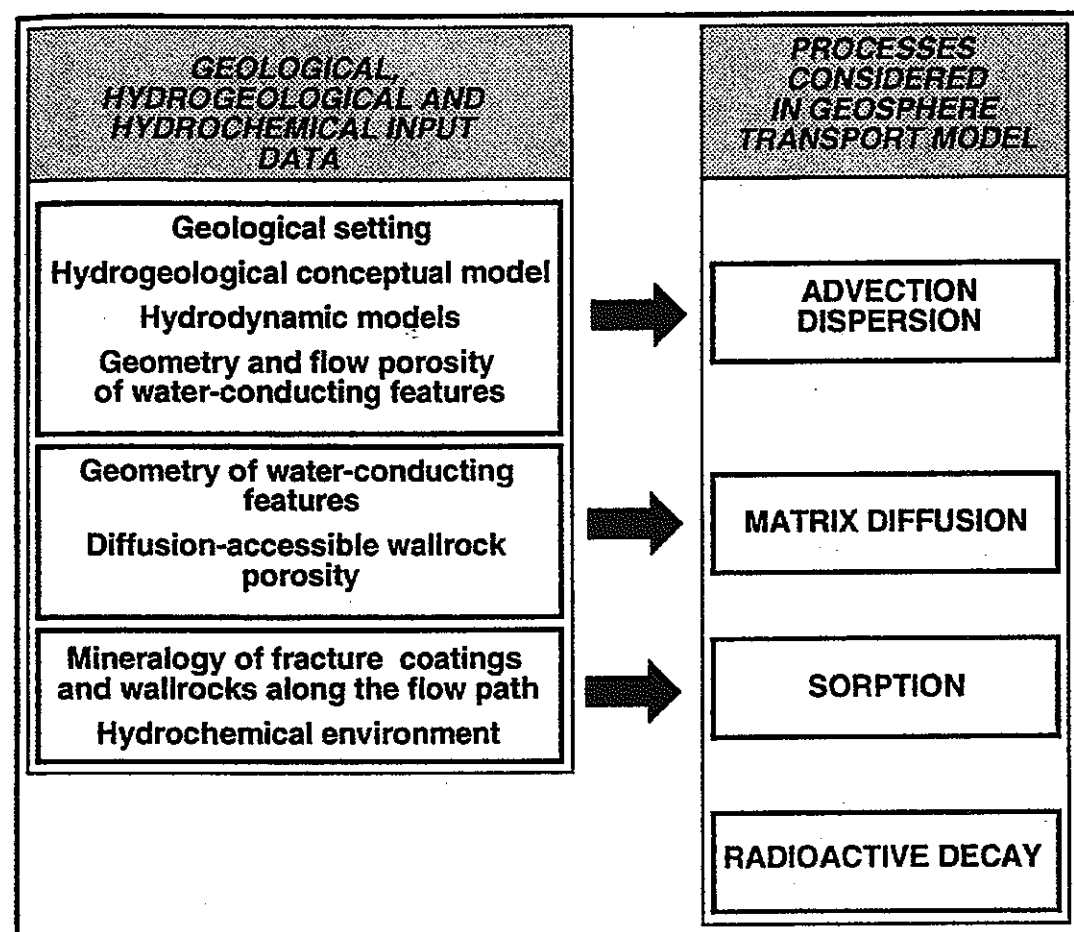
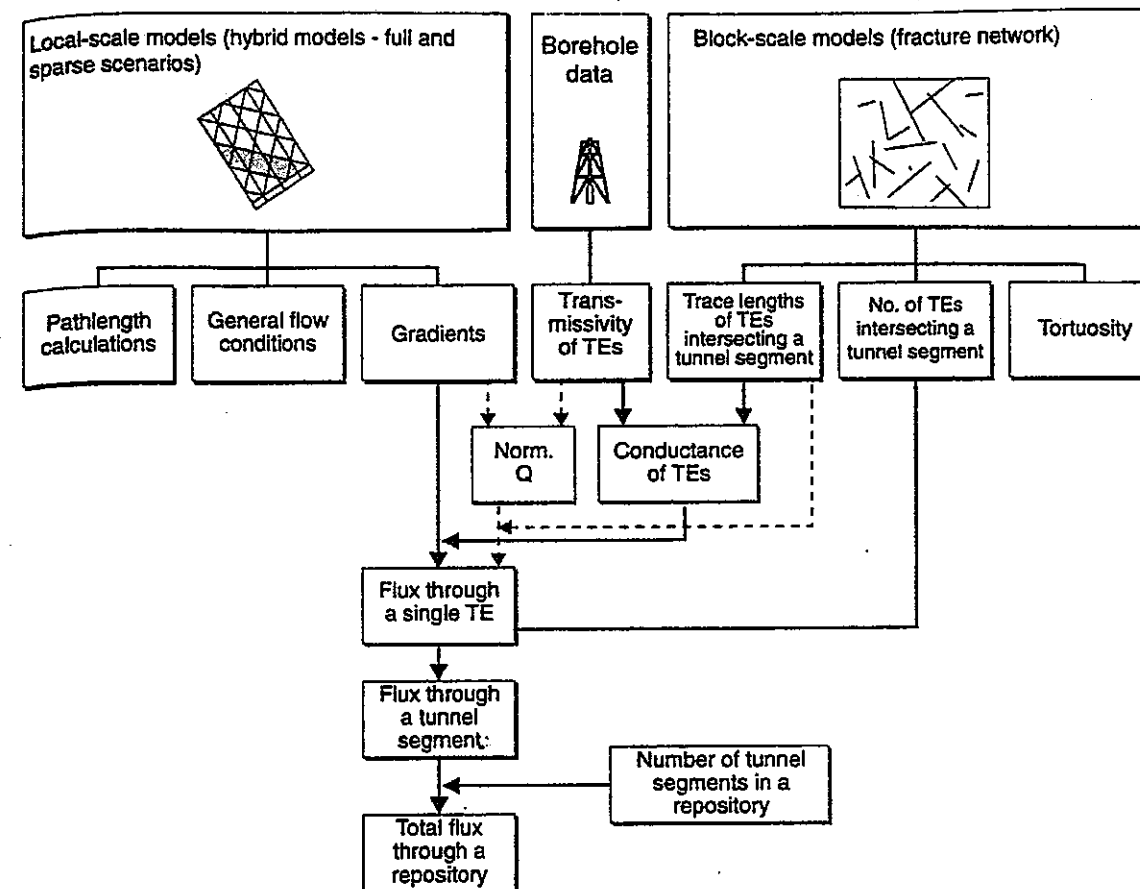


Figure 10-1. Processes taken into account in the safety assessment of geosphere transport and the relation to input data from geological, hydrogeological and hydrochemical investigations.



TE = transmissive element (numerical representation of water-conducting features)  
 Norm. Q = normalized flux in TEs (per unit length)

Figure 10-2. Geometric approach for the derivation of the hydrogeological input for safety analysis, area West (VOMVORIS et al. 1992).

図 5.3-15 スイスにおける地下水流動モデル概念 (その4)

出典 : Nagra: Hydrodynamic Synthesis and Modeling of Groundwater Flow in Crystalline Rocks of Northern Switzerland, Technical Report 92-04, p5-8, Figure 5.1, (1994)

スウェーデンの例

地質構造モデル → 広域地下水流動 / 中域地下水流動モデルへの展開

中域地下水流動モデル  
の境界条件を設定

HYDRASTAR による解析

安全評価モデルへの Input

処分場のレイアウト

・どのわれ目帯を避けるか

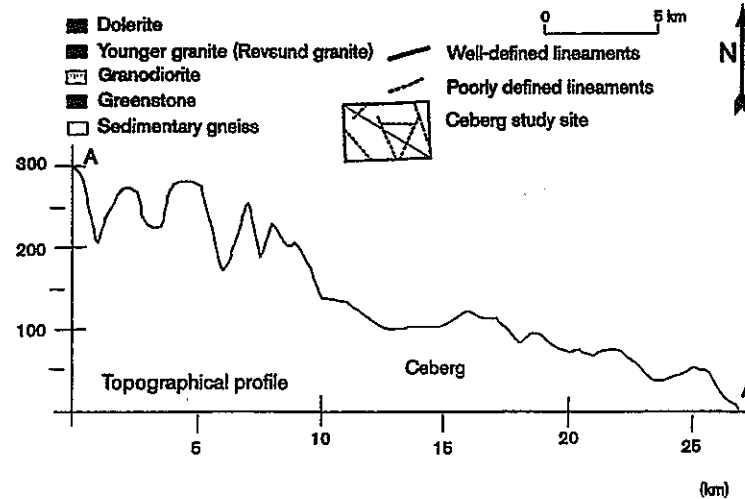
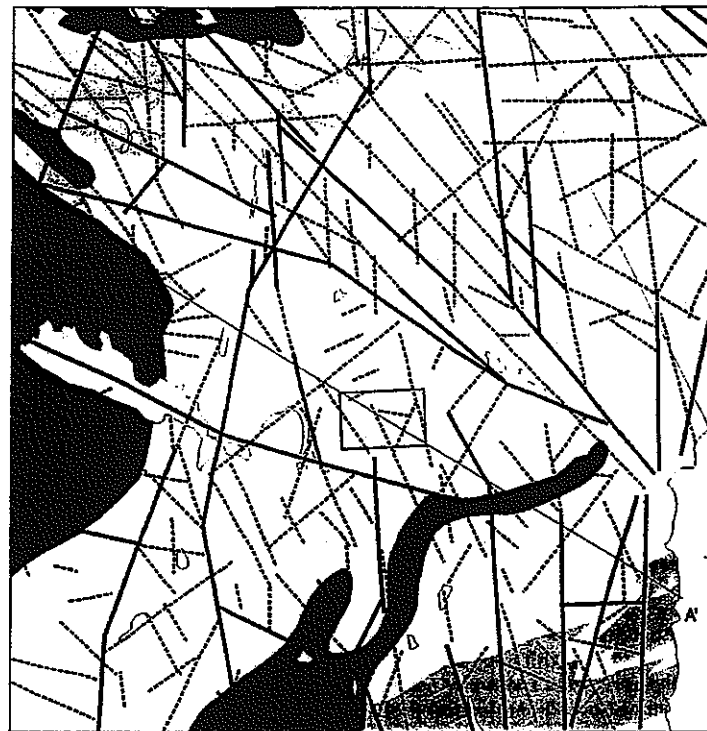


Figure 6-12. Regional geological description of Ceberg/ Ahlbom et al, 1983; Walker et al, 1997. Topographical profile in northwesterly direction / after Walker et al, 1997.

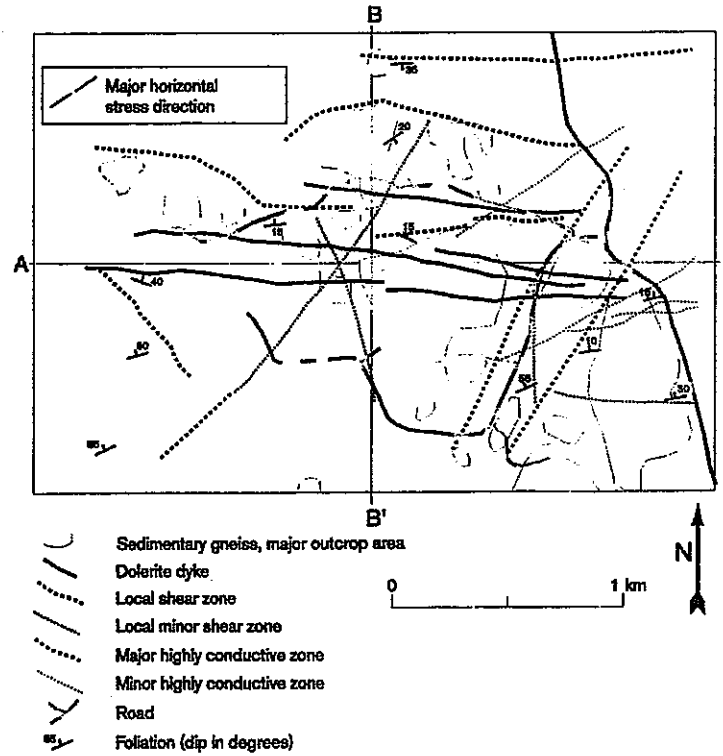


Figure 6-13. Geological-structural model of Ceberg/after Ahlbom et al, 1991; Modified by Hermansson et al, 1997/.

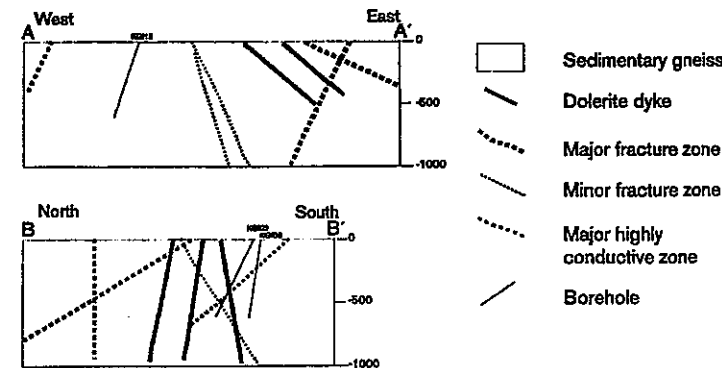
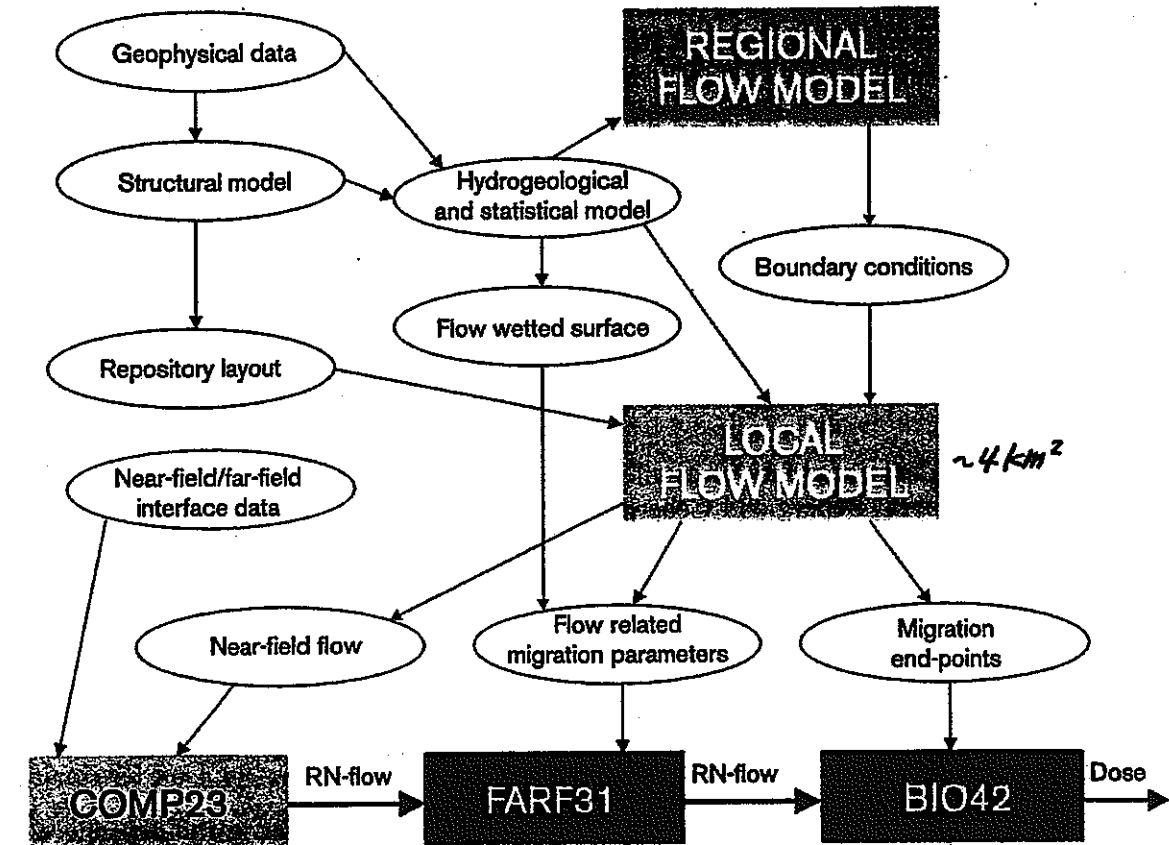


Figure 6-14. Vertical profiles in north-southerly and east-westerly direction/after Ahlbom et al, 1991/.



Modelling tools

- The primary quantities that are calculated with the models on the local scale are :
- groundwater flux (Darcy velocity) at repository depth [m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup> · year)] ,
  - travel paths and advective travel times from canister positions to the boundary between geosphere and biosphere (years),
  - coordinates for exit points at the ground surface.
  - HYDRASTAR, a finite difference model for stochastic continuum simulation of groundwater flow and advective transport.
  - CHAN3D, a channel network model for simulation of groundwater flow and transport,
  - FracMan/MAFIC/PAWorks, a software package for stochastic simulation of groundwater flow and transport in discrete fracture networks,
  - NAMMU, a continuum model for groundwater flow and transport based on the finite element method.

図 5.3-16 スウェーデンにおける地下水流動モデル概念

広域地下水流動研究 / 中領域の地質環境の評価手法  
(地質,地質構造と地下水流動モデル:断層,われ目帯は月吉断層のみを考慮)

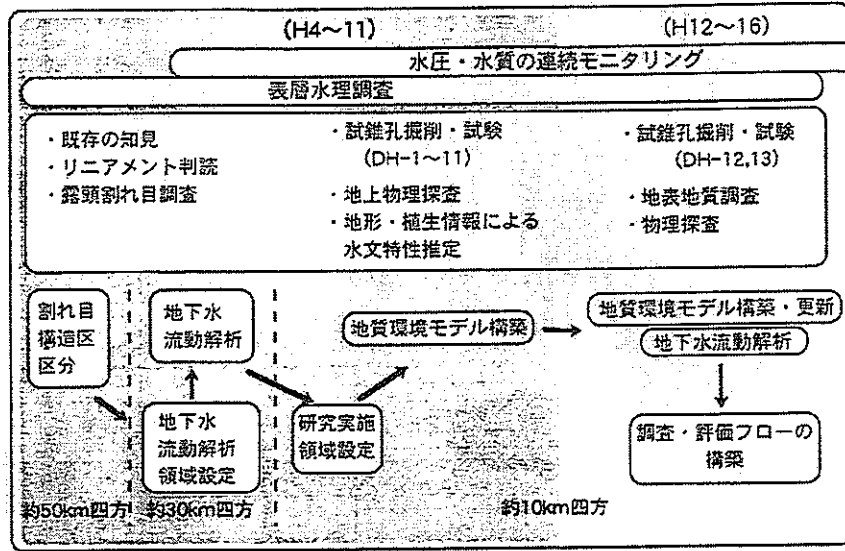


図 5.3-17-1) 広域地下水流動研究のスケジュール

出典:杉原弘造:「広域地下水流動研究と超深地層研究所計画の今後の計画」、核燃料サイクル開発機構平成12年度地層科学研究情報・意見交換会一要旨集一, p.49, 図-2, (2000)

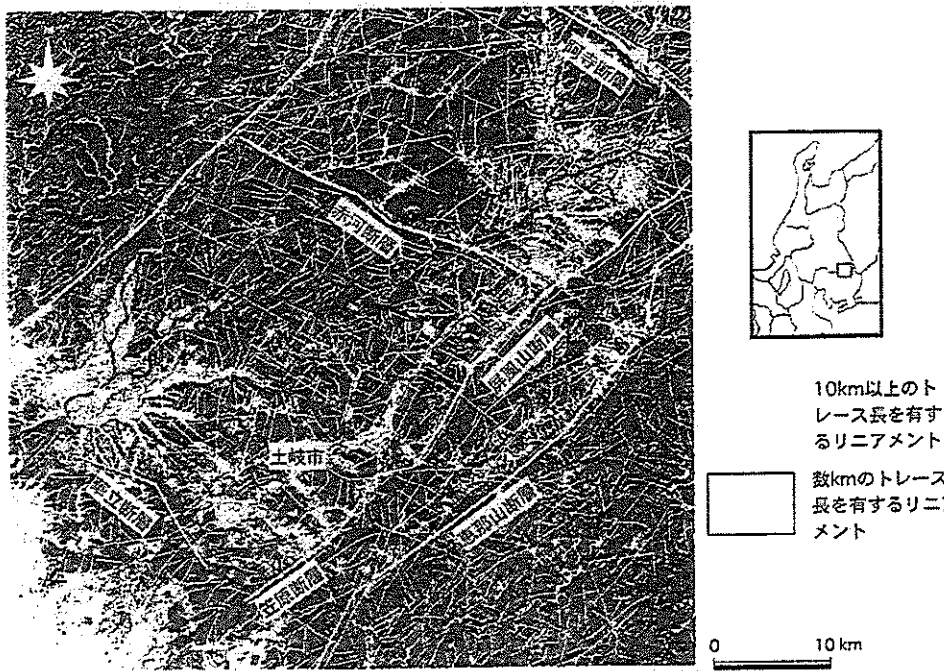


図 5.3-17-2) 約 30km 四方の領域におけるリニアメント分布図 (LANDSAT 衛星画像により判読)

出典:天野建治、前田勝彦、武田裕啓、小出馨:「花崗岩分布域における調査手法について」一土岐花崗岩を例とした地質学的調査について一、核燃料サイクル開発機構平成12年度地層科学研究情報・意見交換会一要旨集一, p.8, 図-1, (2000)

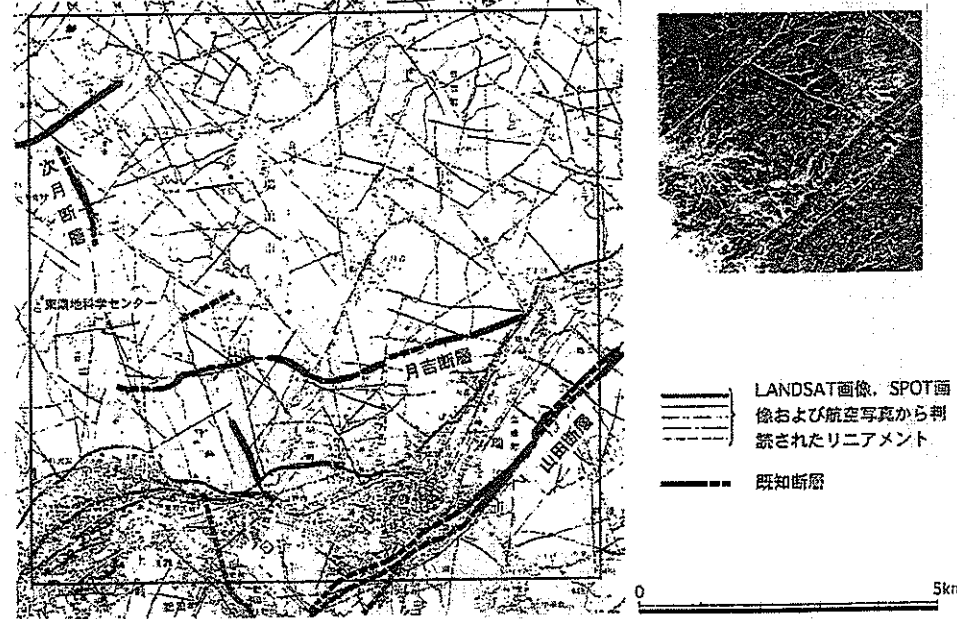


図 5.3-17-3) 約 10km 四方の領域における数スケール規模のリニアメント分布図  
出典:天野建治、前田勝彦、武田裕啓、小出馨:「花崗岩分布域における調査手法について」一土岐花崗岩を例とした地質学的調査について一、核燃料サイクル開発機構平成12年度地層科学研究情報・意見交換会一要旨集一, p.8, 図-2, (2000)



図 5.3-17-4) 約 30km 四方の解析領域  
出典:三枝博光、稲葉薫:「水理地質構造モデルの不確実性と地下水流動解析」、核燃料サイクル開発機構平成12年度地層科学研究情報・意見交換会一要旨集一, p.20, 図-1, (2000)

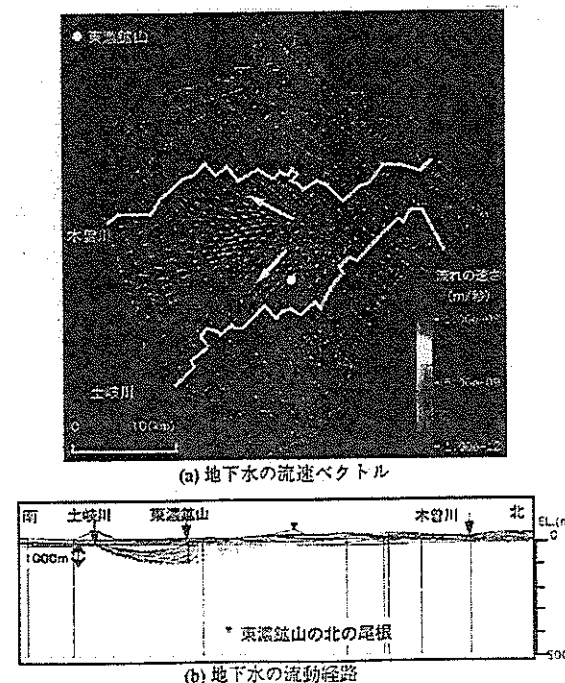


図 5.3-17-5) 約 30km 四方の解析結果  
出典:三枝博光、稲葉薫:「水理地質構造モデルの不確実性と地下水流動解析」、核燃料サイクル開発機構平成12年度地層科学研究情報・意見交換会一要旨集一, p.20, 図-2, (2000):

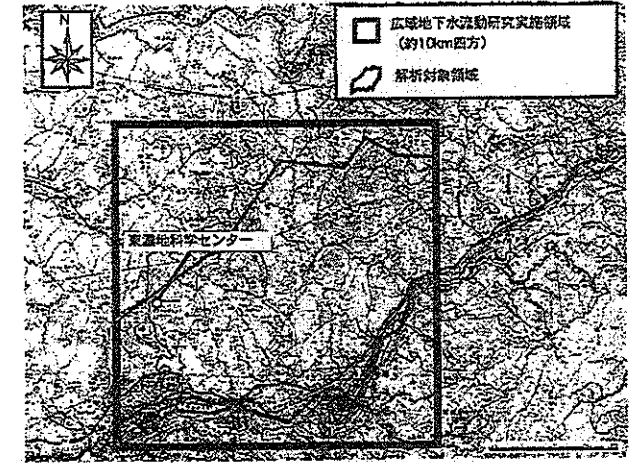


図 5.3-17-6) 広域地下水流動解析領域

出典:三枝博光、稲葉薫:「水理地質構造モデルの不確実性と地下水流動解析」、核燃料サイクル開発機構平成12年度地層科学研究情報・意見交換会一要旨集一, p.21, 図-3, (2000)

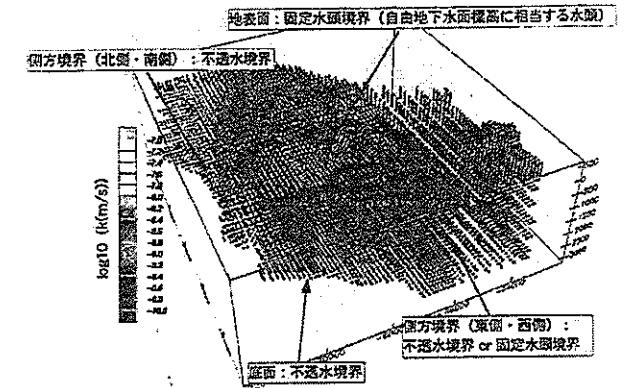


図 5.3-17-7) 広域地下水流動解析領域の水理地質構造モデル

出典:三枝博光、稲葉薫:「水理地質構造モデルの不確実性と地下水流動解析」、核燃料サイクル開発機構平成12年度地層科学研究情報・意見交換会一要旨集一, p.22, 図-4, (2000)

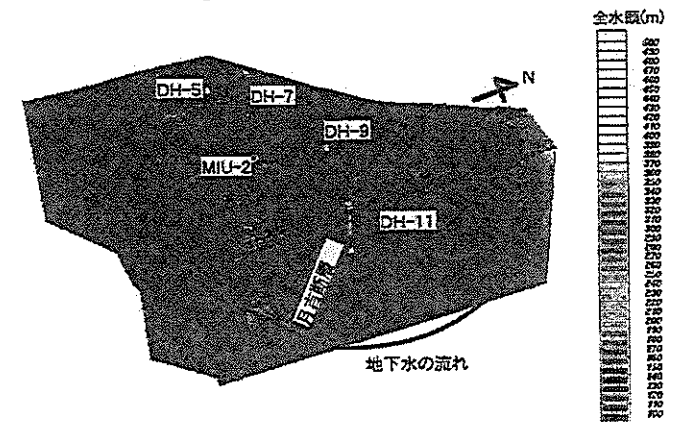


図 5.3-17-8) 広域地下水流動解析結果(1) 水頭分布(南北方向)

出典:三枝博光、稲葉薫:「水理地質構造モデルの不確実性と地下水流動解析」、核燃料サイクル開発機構平成12年度地層科学研究情報・意見交換会一要旨集一, p.22, 図-5, (2000)

→ (坑道スケールのモデルまで)

※ 安全評価モデルに input するのは「核種移行概念モデルの構築」

※ 月吉断層以外の主要なわれ目(核種移行上考慮すべきわれ目)は discrete な形でモデル化されていない → 透水量分布 - 推定困難

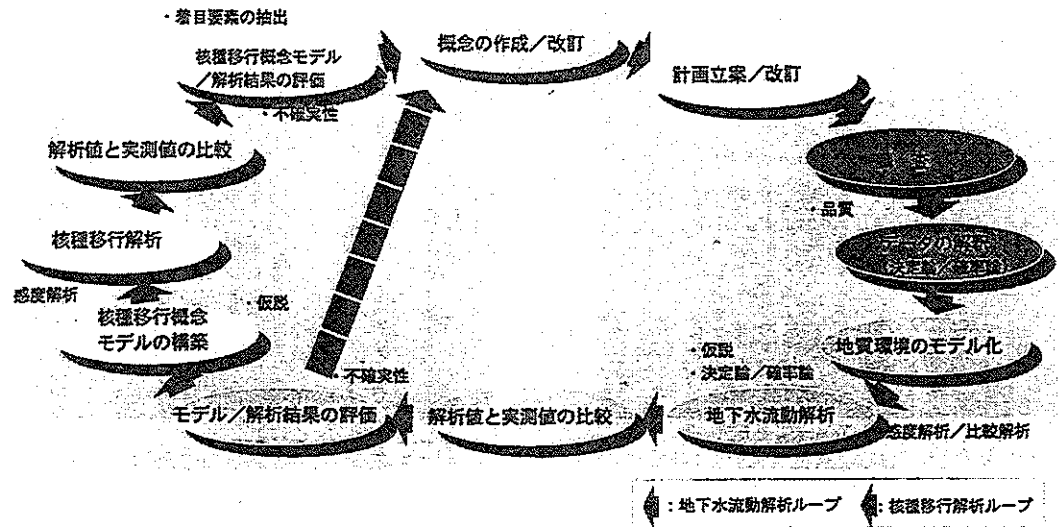


図 5.3-18-(1) 核種移行解析と地下水流動調査・解析の

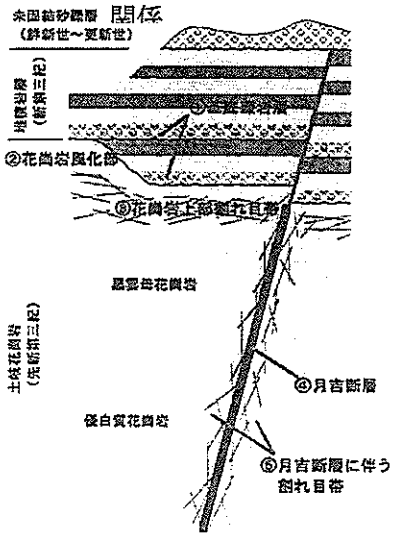


図 5.3-18-(2) 地質構造の概念図

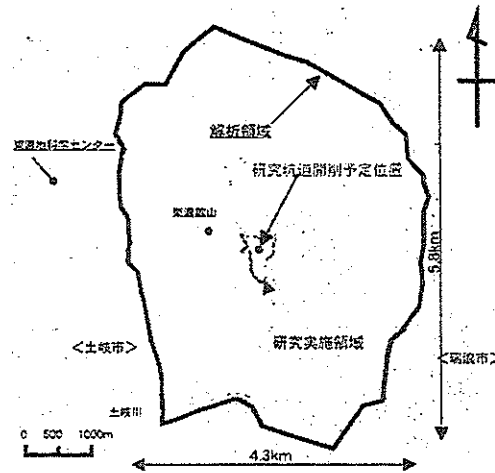


図 5.3-18-(3) 解析領域と研究実施領域

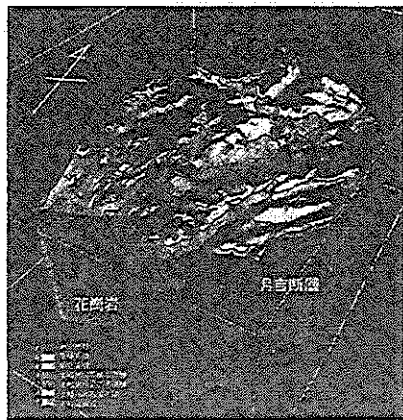


図 5.3-18-(4) 地質構造モデル

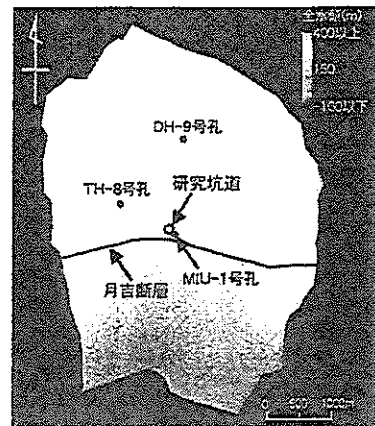
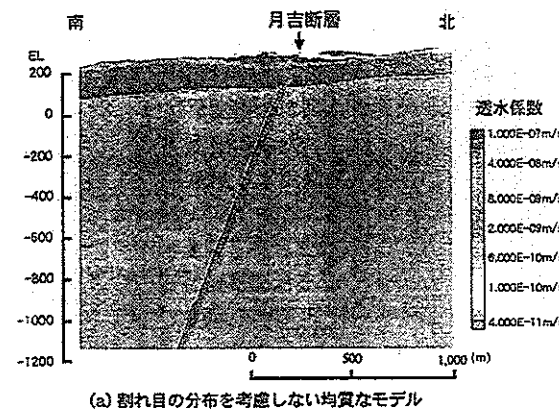
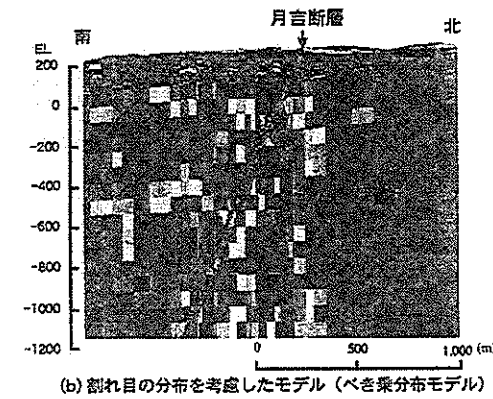


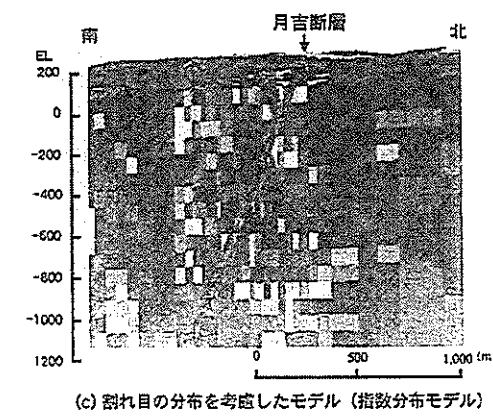
図 5.3-18-(5) 定常解析による全水頭分布



(a) 割れ目の分布を考慮しない均質なモデル

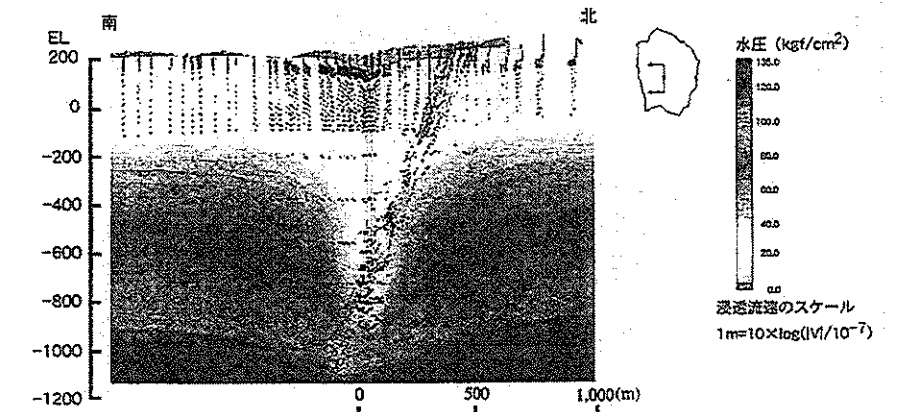


(b) 割れ目の分布を考慮したモデル (ベータ分布モデル)

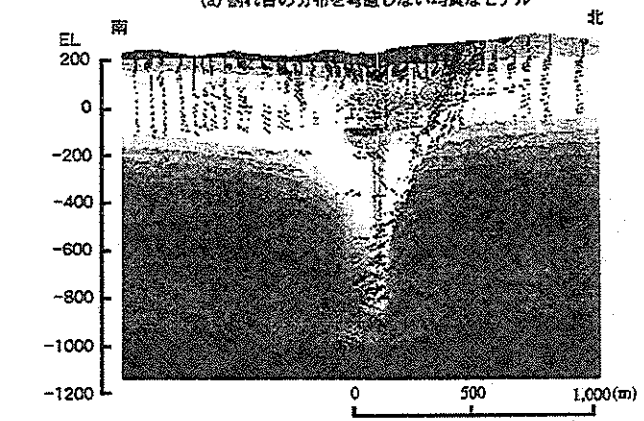


(c) 割れ目の分布を考慮したモデル (指数分布モデル)

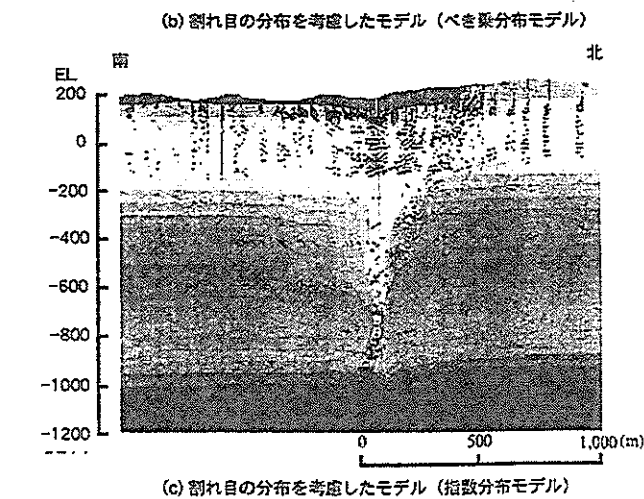
図 5.3-18-(6) 水理地質構造モデル



(a) 割れ目の分布を考慮しない均質なモデル



(b) 割れ目の分布を考慮したモデル (ベータ分布モデル)



(c) 割れ目の分布を考慮したモデル (指数分布モデル)

図 5.3-18-(7) 研究坑道が断層貫通後の水圧分布 (研究坑道を通る南北鉛直断面)

図 5.3-18 東濃における地下水流動モデル概念 (その2)

出典:中野勝志、竹内真司、三枝博光、稲葉薫、山内大祐:「繰り返しアプローチを用いた中領域の地質環境の評価手法について」-地下水流動調査・解析-、核燃料サイクル開発機構平成12年度地層科学研究情報・意見交換会-要旨集-, p.31-34, 図-1,2,3,4,6,8,10, (2000)

# 東濃地科学センターにおける地質・地質構造に関する研究

(10km 四方の領域)

[リニアメント調査,電磁波探査,ボーリング(13本)調査] → 主要な不連続面として 10km 四方の中で既知断層のみがモデル化

→ 地下水流動モデルでは月吉断層のみをモデル化

- ①海外の例と比較してもわれ目のモデル化が少ない
  - ②安全評価における核種はわれ目の中を支配的に移動するモデルで評価される
  - ③処分場レイアウト上どのレベルの不連続面をレイアウト上避けるべきか、どの程度離すべきかの input がこの研究からは見出せない
- } 解析領域と安全評価への input を考慮して、現実的な範囲でのモデル化を行う

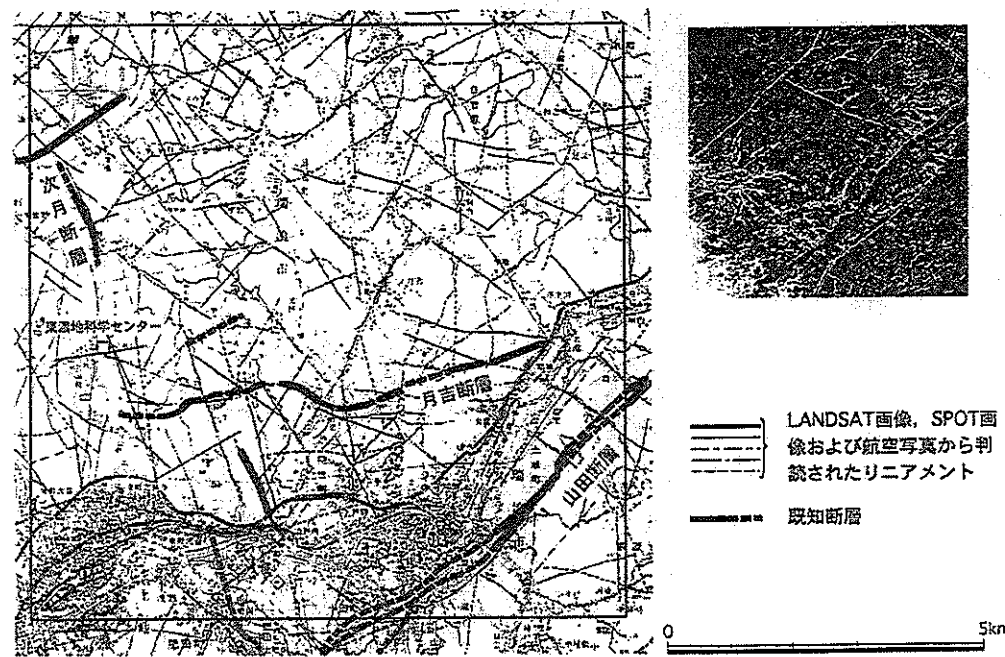


図 5.3-19-1) 約 10km 四方の領域における数 km スケール規模のリニアメント分布図

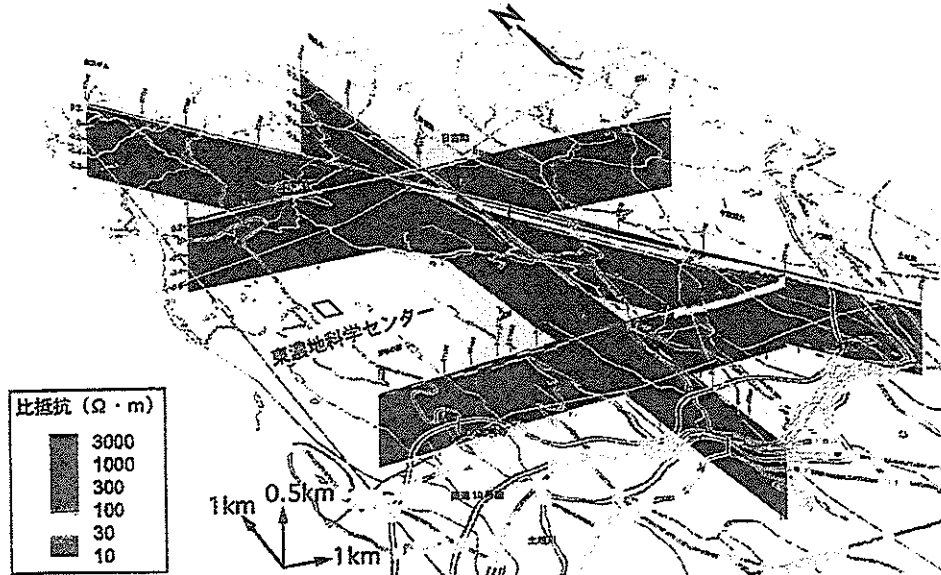


図 5.3-19-2) 約 10km 四方の領域における地上電磁探査結果



図 5.3-19-3) 地質図および試錐孔位置図

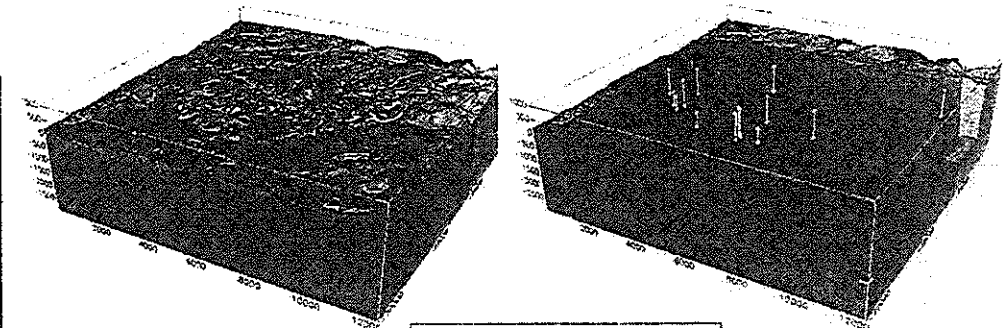
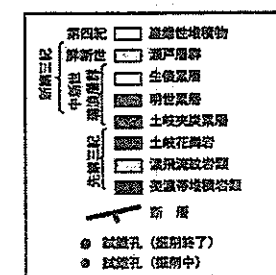


図 5.3-19-4) 約 10km 四方の領域における地質構造モデル

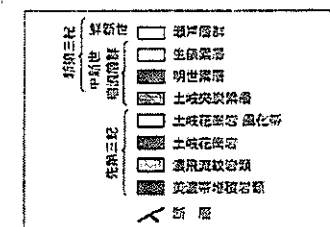
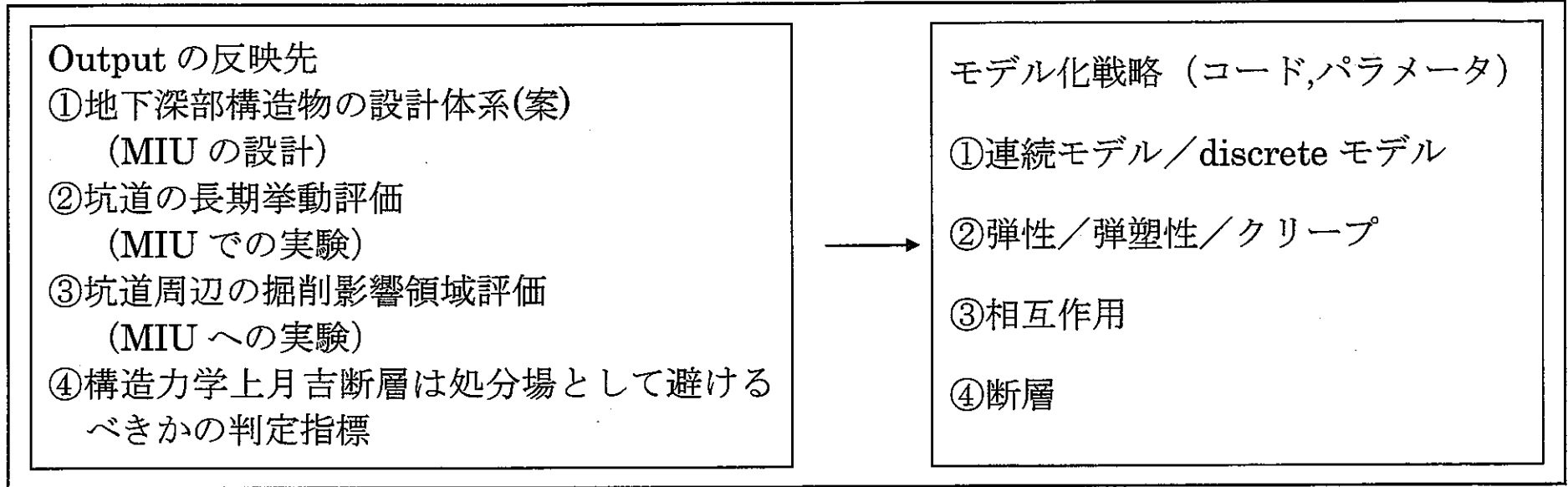


図 5.3-19 東濃における地下水流動モデル概念 (その 3)

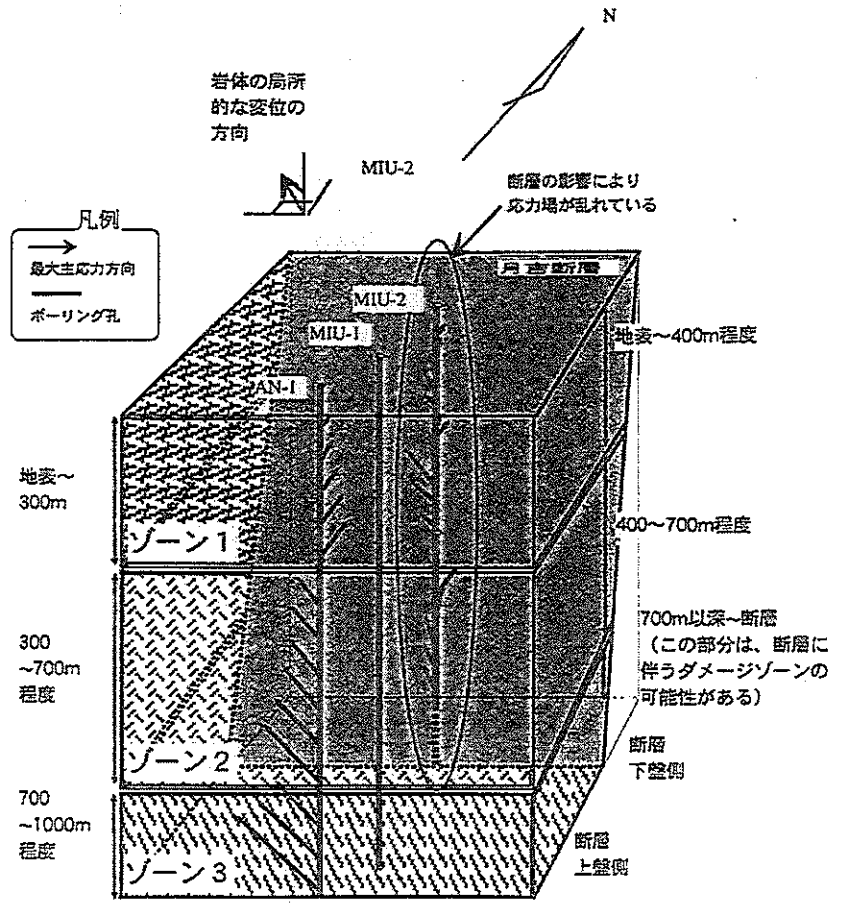
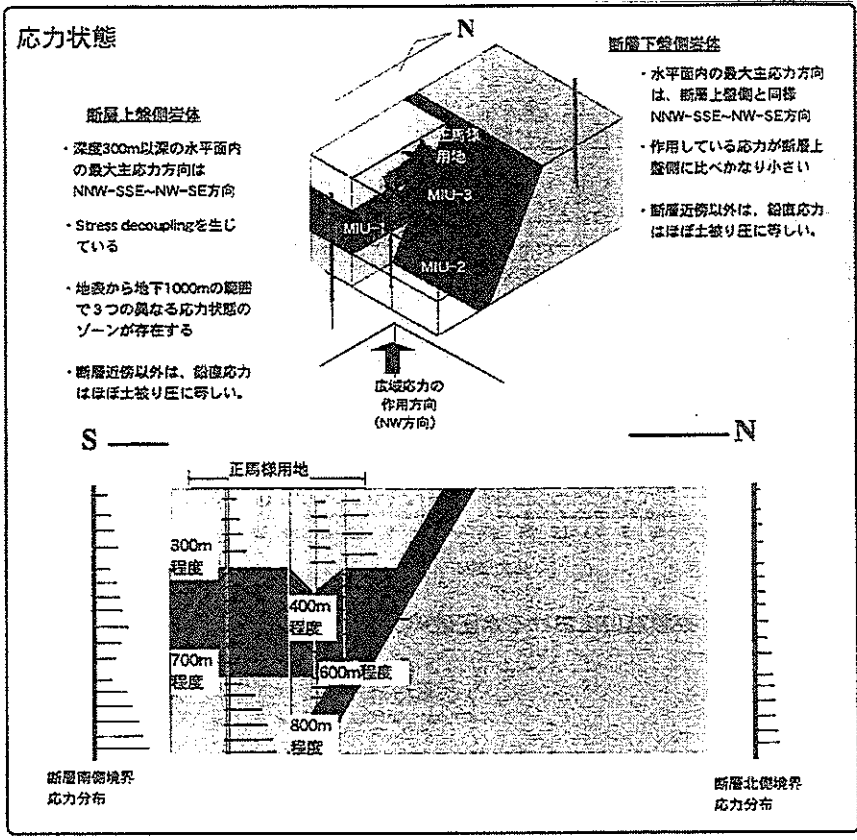
出典:天野建治、前田勝彦、武田裕啓、小出馨:「花崗岩分布域における調査手法について」-土岐花崗岩を例とした地質学的調査について-、核燃料サイクル開発機構平成 12 年度地層科学研究情報・意見交換会-要旨集-, p.8-10, 図-2, 3, 4, 5,(2000)

# 東濃地科学センターにおける地質・地質構造に関する研究

## — 応用分布と物性値分布について —



岩盤力学モデル (応力状態/物性値...)  
岩盤物性の分布 (パラメータ)



<b>ゾーン1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・割れ目が多いゾーン (低角~水平)</li> <li>・マトリックス部の剛性 小</li> <li>・マトリックス部の異方性 不明</li> </ul>
<b>ゾーン2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・割れ目が少ないゾーン</li> <li>・マトリックス部の剛性 大</li> <li>・マトリックス部の力学的異方性 大</li> </ul>
<b>ゾーン3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・割れ目が多いゾーン (高傾斜)</li> <li>・マトリックス部の剛性 小</li> <li>・マトリックス部の異方性 小</li> </ul>

### 岩盤物性

	月吉断層上盤側岩体			月吉断層下盤側岩体	月吉断層周辺部
	ゾーン1	ゾーン2	ゾーン3	ゾーン4	断層上盤側割れ目帯 断層下盤側割れ目帯
岩石マトリックス部の力学特性	剛性 小 力学的異方性 不明	剛性 大 力学的異方性 大	剛性 小 力学的異方性 小	剛性 小 力学的異方性 最小	剛性 最小 力学的異方性 不明
割れ目の分布特性	割れ目が多い 低角~水平傾斜の割れ目が相対的に卓越	割れ目が少ないゾーン	割れ目が多いゾーン 高傾斜の割れ目が卓越	上盤側の岩体に比べ、巨端に割れ目が少ない	割れ目数は相対的に多い 上盤側に比べ、断層下盤側の割れ目帯の方が相対的に割れ目が多い
原位置岩盤の力学特性	剛性 ゾーン2に比べ小さい 局所的な変化が大きい	剛性 最も大きい 局所的な変化は小さい	剛性 ゾーン2に比べ小さい 局所的な変化は大きい	剛性 上盤側岩体とほぼ同等 割れ目密集部や断層破砕部以外の領域では、局所的な変化は最小	剛性 最小値で他の領域の60%程度

図 5.3-20(1) 月吉断層上盤側の岩盤力学的概念モデル

図 5.3-20 東濃における地下水流動モデル概念 (その4)

出典:松井裕哉, 前田信行, 吉川和夫:「繰り返しアプローチを用いた中領域の地質環境の評価手法について」—応力分布と物性値分布について—, 核燃料サイクル開発機構平成 12 年度地層科学研究情報・意見交換会-要旨集-, p.42, 図-9,14, (2000)

## 6. 地質環境調査手法の実証に向けた合理的な研究工程（案）の例示

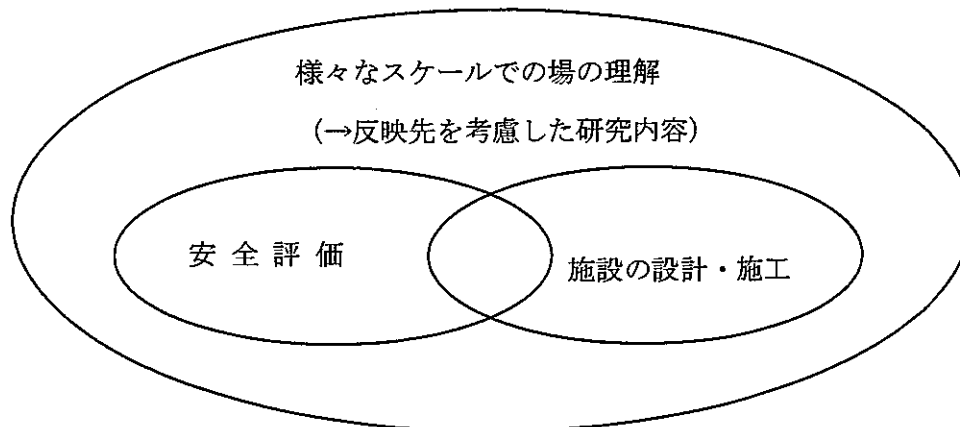
### 6.1 超深地層研究計画で実施可能な研究項目の整理・分析

#### (1) 研究分野とスケールを考慮した研究項目の整理・分析

研究項目の整理分析において、その検討のスケールについては、東濃での研究実績を考慮して、広域（30～50km 四方）、中域（4～5km 四方）、坑道（数m～数百m規模）に分類した。下表にスケールの分類と研究分野のマトリクスを示し、○を記したブロックについて、具体的な研究項目を記述することとする。

例えば、安全評価手法の高度化に反映する必要がある地質・地質構造の研究の必要性について、それぞれのスケールでその着目点、研究内容、その他の研究との関連について、海外等の例も参考に記述する。また、対象の場のスケールと安全評価—設計・施工との関連について、場の理解（特性評価）の項目も考慮して全体系でそれぞれの研究の必要性内容を記述することとする。

研究分野 \ 成果の反映先	第2次取りまとめにおける 地層処分システム の安全評価			深地層を対象とした 大規模な地下施設の 設計・施工		
	広域	中域	坑道	広域	中域	坑道
①地質・地質構造	○	○	○	—	○	○
②水理	○	○	○	—	○	○
③地球化学	○	○	○	—	—	○
④岩盤力学	—	—	○	—	○	○
⑤物質移行	—	○	○	—	—	—



## (2) 研究優先度の比較

研究の優先度は、主たる成果の反映先である処分計画でのアクション・プログラムに大きく依存する。本検討では、(1)の研究項目の優先度を設定する。この場合、東濃地科学センターで実施されている研究の場のスケールを考慮し、どの研究スケールで実施すべきかについて言及する。



表 6.1-1 見直しの対象とする調査研究項目 (H11 設計研究報告書より)

研究分野	調査研究項目	備考
地質構造	<ul style="list-style-type: none"> <li>・立坑坑道調査</li> <li>・水平坑道調査</li> <li>・換気立坑調査</li> <li>・研究試験場調査</li> <li>・3次元地質構造調査</li> <li>・深部領域地質調査</li> </ul>	
地下水の地球化学	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下水の地球化学調査</li> <li>・岩石-地下水による水質形成機構の調査</li> <li>・掘削に伴う地下水の地球化学的性質変化の調査</li> <li>・地下水の地球化学的性質の長期モニタリング</li> <li>・坑道周辺掘削影響領域の酸化還元状態の調査</li> <li>・坑道周辺岩盤領域と地下水が持つ酸化還元能力に関する試験研究</li> <li>・物質移行研究の環境条件設定のための調査</li> <li>・水理/岩盤力学/地球化学複合現象の調査</li> <li>・ベントナイト-地下水相互作用の調査</li> </ul>	
地下水の水理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水文調査</li> <li>・自然状態の地下水挙動調査</li> <li>・アクセス坑道の掘削に伴う地下水挙動調査</li> <li>・地下水長期挙動調査</li> <li>・室内透水試験</li> <li>・試験孔内透水試験</li> <li>・坑道規模透水試験</li> <li>・床盤透水試験</li> <li>・熱応力下の透水試験</li> <li>・単一割れ目を対象とした透水試験</li> <li>・断層を対象とした透水試験</li> </ul>	
物質移行	<ul style="list-style-type: none"> <li>・室内コアサンプル割れ目移行試験</li> <li>・単一割れ目移行試験</li> <li>・大規模物質移行試験</li> <li>・破碎帯を対象とした物質移行試験</li> </ul>	
岩盤力学	<ul style="list-style-type: none"> <li>・掘削影響試験</li> <li>・時間依存性の把握試験</li> <li>・室内力学試験</li> <li>・原位置岩盤試験</li> </ul>	
地震観測	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地震動の観測</li> <li>・地震に伴う地質環境の変化観測</li> <li>・地震時破碎帯挙動調査</li> </ul>	
工学的技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下施設の設計・施工計画構築技術の研究</li> <li>・測定を設計にフィードバックするシステム技術の研究</li> <li>・大深度地質環境下での地下施設の建設技術・施工対策技術の研究</li> <li>・熱-水-応力の連成挙動の研究</li> <li>・坑道閉塞材料の性能確認試験</li> <li>・人工材料の岩盤への長期影響評価研究</li> <li>・大深度地質環境下での坑道損傷修復に必要となる工学技術の開発</li> <li>・安全性を確保する技術の研究</li> </ul>	事業管理、調査技術・機器の開発に関わる項目は除く

出典:栗原雄二、戸井田克、石塚峰夫、山本卓也：超深地層研究所研究坑道の設計研究（平成11年度）、JNC TJ1400 2000-007(1), p5.17, 表 5.3-1, (2000)

表 6.1-2 調査研究項目の比較

研究分野	従来の調査研究項目	取りまとめた調査研究項目
地質構造	<ul style="list-style-type: none"> <li>立坑坑道調査</li> <li>水平坑道調査</li> <li>換気立坑調査</li> <li>研究試験場調査</li> <li>3次元地質構造調査</li> <li>深部領域地質調査</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地質構造調査</li> <li>3次元地質構造調査</li> <li>深部領域地質調査</li> </ul>
地下水の水理	<ul style="list-style-type: none"> <li>水文調査</li> <li>自然状態の地下水挙動調査</li> <li>アクセス坑道の掘削に伴う地下水挙動調査</li> <li>地下水長期挙動調査</li> <li>室内透水試験</li> <li>試錐孔内透水試験</li> <li>坑道規模透水試験</li> <li>床盤透水試験</li> <li>熱応力下の透水試験</li> <li>単一割れ目を対象とした透水試験</li> <li>断層を対象とした透水試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>表層水理調査</li> <li>地下水挙動調査</li> <li>岩盤透水性評価試験</li> </ul>
地下水の地球化学	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水の地球化学調査</li> <li>地下水の地球化学的性質の長期モニタリング</li> <li>岩石-地下水による水質形成機構の調査</li> <li>物質移行研究の環境条件設定のための調査</li> <li>掘削に伴う地下水の地球化学的性質変化の調査</li> <li>坑道周辺掘削影響領域の酸化還元状態の調査</li> <li>坑道周辺岩盤領域と地下水が持つ酸化還元能力に関する試験研究</li> <li>水理/岩盤力学/地球化学複合現象の調査</li> <li>ベントナイト-地下水相互作用の調査</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地球化学的性質の調査及び長期モニタリング</li> <li>3次元坑道規模地球化学特性試験</li> <li>掘削に伴う地下水の地球化学的性質変化の調査</li> <li>(工学的技術、人工材料試験へ)</li> </ul>
物質移行	<ul style="list-style-type: none"> <li>室内コアサンプル割れ目移行試験</li> <li>単一割れ目移行試験</li> <li>大規模物質移行試験</li> <li>破碎帯を対象とした物質移行試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>単一割れ目物質移行試験</li> <li>坑道規模物質移行試験</li> <li>断層物質移行試験</li> </ul>
岩盤力学	<ul style="list-style-type: none"> <li>室内力学試験</li> <li>原位置岩盤試験</li> <li>時間依存性の把握試験</li> <li>掘削影響試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤、岩石物性試験</li> <li>岩盤空洞安定性評価試験</li> <li>岩盤挙動長期時間依存性試験</li> <li>岩盤破壊機構解明試験(新規追加)</li> <li>掘削影響試験</li> </ul>
地震観測	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震動の観測</li> <li>地震に伴う地質環境の変化観測</li> <li>地震時破碎帯挙動調査</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震動の観測</li> <li>地震に伴う地質環境の変化観測</li> <li>地震時破碎帯挙動調査</li> </ul>
工学的技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下施設の設計・施工計画構築技術の研究</li> <li>測定を設計にフィードバックするシステム技術の研究</li> <li>大深度地質環境下での地下施設の建設技術・施工対策技術の研究</li> <li>地下施設の建設による影響評価技術の研究</li> <li>安全性を確保する技術の研究</li> <li>大深度地質環境下での坑道損傷修復に必要な工学技術の開発</li> <li>坑道閉塞試験</li> <li>熱・水・応力の連成挙動の研究</li> <li>人工材料の岩盤への長期影響評価研究</li> </ul>	<p>【大深度地質環境下における工学的技術に関する研究】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>研究坑道の設計・施工計画構築技術の研究(測定を設計にフィードバックするシステム技術の研究、研究の品質を確保する研究を含む)</li> <li>研究坑道の建設技術の研究</li> <li>施工対策技術の研究</li> <li>安全性を確保する技術の研究</li> </ul> <p>【処分技術開発の基盤となる工学的技術に関する研究】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>坑道影響の修復・軽減技術の研究(熱-水-応力連成挙動の研究を含む)</li> <li>人工材料の岩盤への長期影響評価試験</li> </ul>

出典:栗原雄二、戸井田克、石塚峰夫、山本卓也:超深地層研究所研究坑道の設計研究(平成11年度)、JNC TJ1400 2000-007(1), p5.27, 表 5.3-11, (2000)

**地質環境に期待される条件と機能**

- 長期的な安定性
  - ・火山活動がない
  - ・活断層が存在しない
  - ・著しい隆起・浸食が生じない
  - ・気候変動によって著しい影響を受けない
  - ・資源が存在しない

- 人工バリアの設置環境
  - ・好ましい地下水化学（還元性など）
  - ・小さな地下水流束
  - ・力学的安定性
  - ・処分施設がバリア性能を損なわない
  - ・人間環境からの物理的障壁の存在

- 岩盤に期待する安全機能
  - ・放射性核種の移行抑制（小さな地下水流束による移流あるいは拡散、および岩盤基質部へのマトリクス拡散、収着）
  - ・放射性核種の希釈・分散（複雑な間隙構造により、地下水の中の放射性核種はいろいろな方向に分散・希釈）
  - ・岩盤中を移行する間に放射性核種は崩壊により減衰

第1段階 地表からの調査及び評価

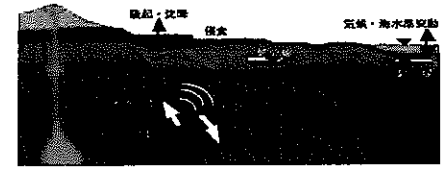
第1段階の評価と合わせて、掘削時または直後において実施

- 地質構造調査および評価
  - ・坑道調査試験（立坑/水平坑道）
  - ・3次元地質構造調査試験
  - ・深部領域地質調査

- 地震観測および地震時挙動確認
  - ・地震時地質環境変化
  - ・地震時破砕帯挙動

●隔離機能やシステムの安全機能に擾乱を与える可能性のある要因

- ・天然現象
  - ・将来の人間活動
  - ・工学的対策に関する初期欠陥
  - ・隕石の落下
  - ・臨界



【分冊1 図1.1-1】

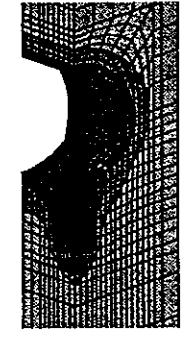
主に研究坑道において実施（掘削時、断層の利用も含む）

- 地下水水理に関する試験
  - ・水文調査
  - ・地下水挙動・流動特性調査
  - ・室内、試験孔、坑道規模透水試験
  - ・常時、掘削影響、熱応力下、長期
  - ・亀裂内地下水挙動
  - ・単一割れ目および断層透水試験

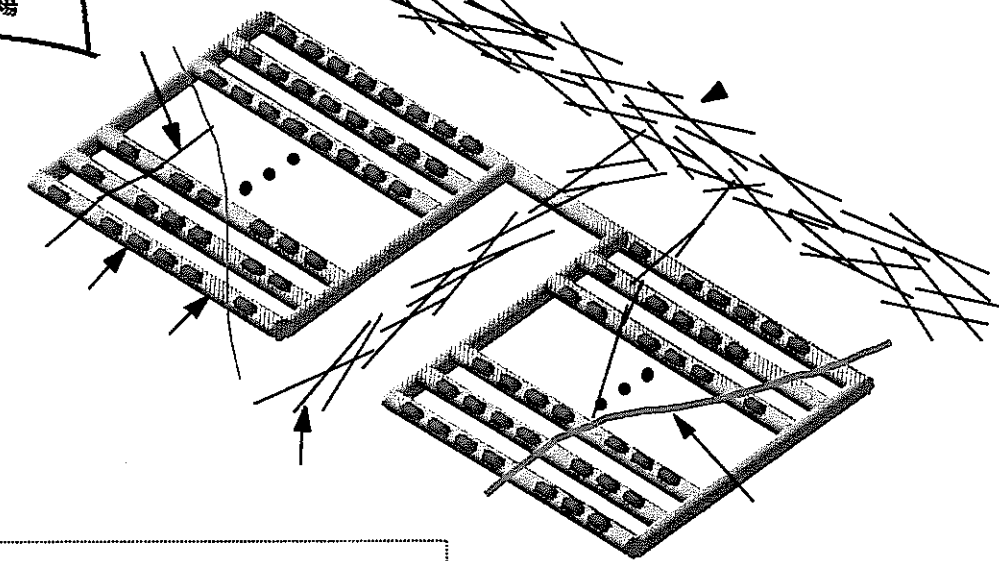
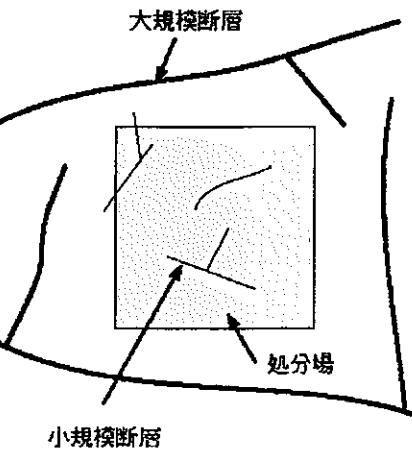
- 地下水の地球化学に関する試験
  - ・地下水の水質形成機構
  - ・地球化学的性質の掘削影響
  - ・酸化還元状態
  - ・地球化学的性質の長期観測
  - ・物質移行環境設定調査試験
  - ・水理/岩盤複合現象調査
  - ・ベントナイト地下水相互作用

- 岩盤力学に関する試験
  - ・熱・力学特性（EDZ）
  - ・掘削影響時間依存性

UVARML	VALUE
04	1.2E-01
05	1.2E+00
06	1.2E+01
07	1.2E+02

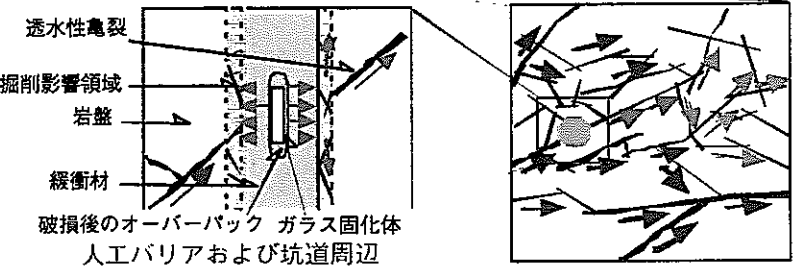
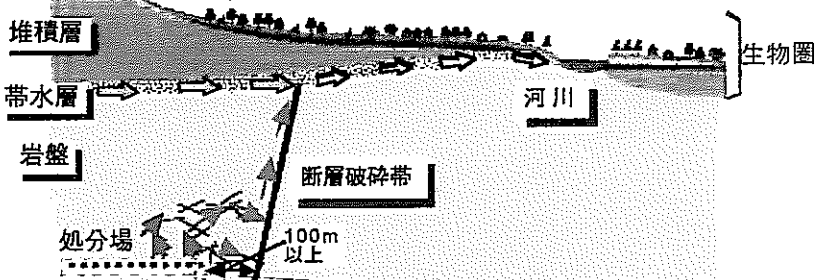
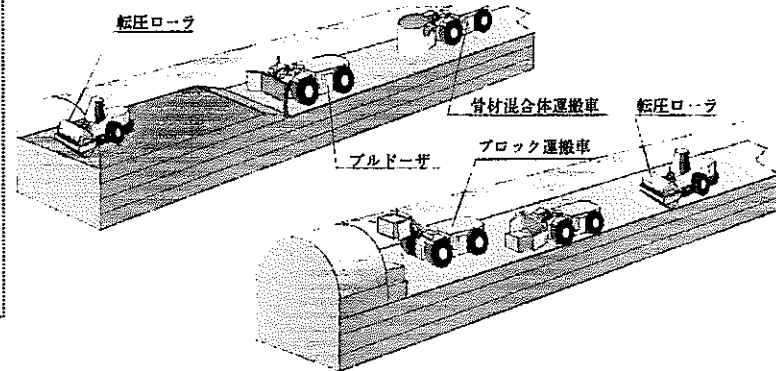


局所安全率分布

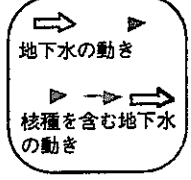


立坑、研究坑道建設時及び研究坑道において実施

- 工学技術に関する試験
  - ・設計/施工計画構築
  - ・情報化施工システム
  - ・建設技術/施工対策の開発・確認
  - ・埋戻し材・プラグ材の性能確認
  - ・人工材料の岩盤への長期影響評価
  - ・坑道修復技術（グラウト等）
  - ・安全性、品質確保技術



地下水シナリオ基本シナリオの概念モデル



周辺岩盤

主に研究坑道において実施

- 物質移行に関する試験
  - ・移行経路、移行特性
  - ・単一割れ目、大規模、破砕帯

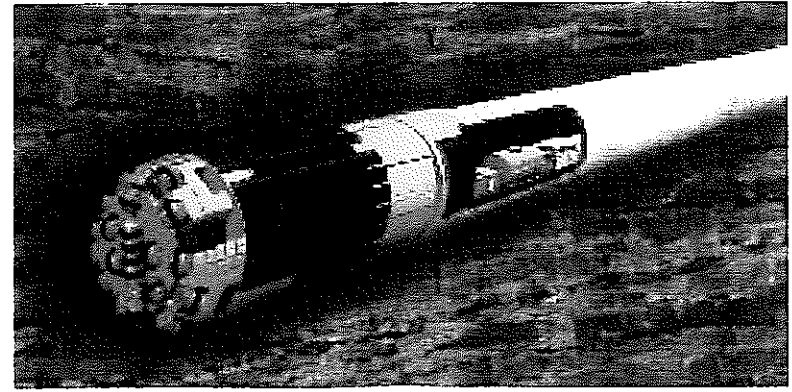
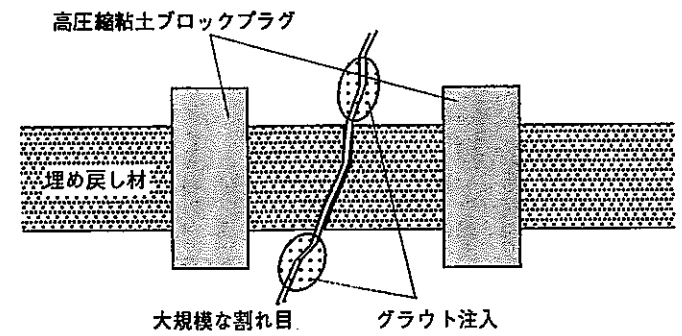
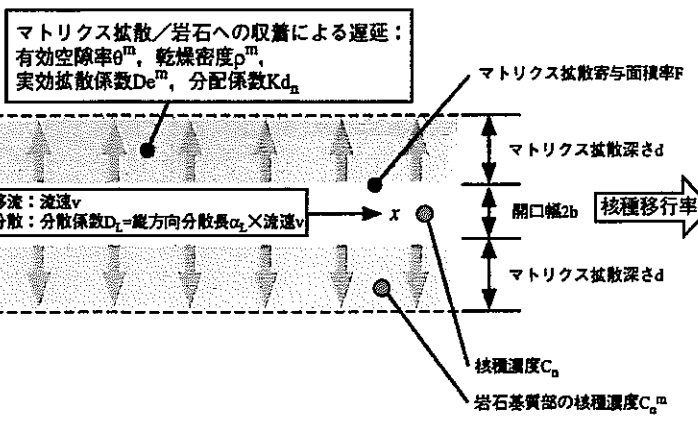


図 6.1-1 第2次とりまとめにおける地質環境と超深地層研究所における実施研究項目

出典（上図で使用した図の出典）：核燃料サイクル開発機構：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ—総論レポート、分冊2 地層処分の工学技術、分冊3 地層処分システムの安全評価（1999）

## 6.2 超深地層研究所で展開される必要がある研究開発テーマ

超深地層研究所で展開される必要がある研究開発テーマを以下に示す。

### ① 地質環境特性調査・評価技術

#### ○ 地質構造調査・評価技術

- ・ リモートセンシング技術
- ・ 物理探査技術
- ・ 深層ボーリング技術
- ・ 断層・破砕帯等不連続面評価技術
- ・ 割れ目分布調査・評価技術
- ・ 離散データの統合化・補間・解釈手法
- ・ 異方性・不均質性を考慮した3次元モデル化技術
- ・ 長期モニタリング技術（地震、ひずみ・応力、傾斜等）

#### ○ 水理地質調査・評価技術

- ・ 表層水文調査・評価技術
- ・ 物理探査技術（滞水層）
- ・ 高透水帯調査・評価技術
- ・ ボーリング孔を利用した水理特性調査・評価技術
- ・ 離散データの統合化・補間・解釈手法
- ・ スケールの異なるモデルの統合化技術
- ・ 局部地下水流モデル化技術
- ・ 長期モニタリング技術

#### ○ 地球化学特性調査・評価技術

- ・ 深部地下水採集・分析技術
- ・ 長期モニタリング技術
- ・ 酸化還元電位分布モデル化技術
- ・ 離散データの統合化・補間・評価技術
- ・ 局所不均質特性把握技術

## ② 物質移動評価技術

### ○ 割れ目帯における物質移動評価技術

- ・ 物質移流・分散・拡散・収着現象モデル化技術
- ・ マトリックス拡散評価技術
- ・ コロイド移行評価化技術
- ・ 亀裂充填物による収着現象解明
- ・ 微生物による影響評価技術
- ・ 溶解度測定・評価技術
- ・ ガス移行モデル化技術

### ○ 断層・破砕帯における物質移動評価技術

- ・ 断層・破砕帯における物質移動・分散・収着現象モデル化技術
- ・ コロイド移行評価技術
- ・ 微生物による影響評価技術
- ・ ガス移行モデル化技術

### ○ 掘削影響領域評価技術

- ・ 掘削領域の測定技術
- ・ 水理特性評価技術
- ・ 物質移行モデル化技術
- ・ コロイド移行評価化技術
- ・ ガス移行モデル化技術

## ③ 工学技術

### ○ 地下空洞設計評価技術

- ・ 空洞安定性評価技術（耐震性評価を含む）
- ・ 支保工設計・評価技術と体系化
- ・ 品質確認検査技術（フィードバック・システムを含む）の体系化

### ○ 地下空洞建設技術

- ・ 立坑建設技術
- ・ 水平坑道（斜坑含む）建設技術

- ・ 支保組立て技術
- ・ 補強技術（グラウト等）
- 安全性確認技術
  - ・ 事前調査・評価技術
  - ・ 排水・換気技術
  - ・ 各種モニタリング技術（変形、温度等）
  
- 突発性事象対応技術
  - ・ 出水対応技術
  - ・ 落盤対応技術
  - ・ 山はね対応技術
  - ・ 火災対応技術
  - ・ ガス突出対応技術
- 埋め戻し・閉鎖技術
  - ・ 埋め戻し・閉鎖設計技術
  - ・ 埋め戻し・閉鎖施工技術
  - ・ 埋め戻し・閉鎖品質確認技術
  - ・ 埋め戻し・閉鎖部モニタリング技術
  
- ④ 長期変動挙動研究
  - 長期変動・変質評価技術
    - ・ 地質構造の変化予測モデル化技術
    - ・ 地下水流動場の変化予測モデル化技術
    - ・ 地球化学特性変化予測モデル化技術
    - ・ 岩盤特性変化予測モデル化技術
    - ・ 地震による地質環境変化予測技術（水理、地球化学）
  - ナチュラル・アナログ
    - ・ 物質移行プロセス
    - ・ 地球化学環境（酸化・還元）
    - ・ ウランの収着現象

- ・ 地下水年代（古水理）
- 深部環境下での人工材料の変質予測技術
  - ・ セメント材料の変質
  - ・ ベントナイト材料の変質
  - ・ 金属材料の変質（腐食等）
  - ・ 周辺岩盤への人工材料変質に伴う影響評価技術
  
- ⑤ プロジェクト管理技術
  - 工程・安全・予実算管理技術
    - ・ 研究工程管理
    - ・ 施工工程管理
    - ・ 安全管理（モニタリング技術を含む）
    - ・ 資金管理
  - 品質管理・保証技術
    - ・ データ管理・保証技術（保存を含む）
    - ・ データ処理、伝達システム
    - ・ 調査・解釈の品質管理・保証
    - ・ 設計・施工の品質管理
    - ・ 試験の品質管理
    - ・ 作業員の品質管理（教育）

### 6.3 施設建設に関連した研究工程（案）の例示

#### 地質環境調査手法の実証に向けた合理的な研究工程（案）の例示

##### 6.3.1 東濃地科学センターで展開する研究項目の抽出

6.1 で検討した優先度の高い「研究項目」を対象に、現在東濃地科学センターで展開されている広域地下水流動研究および超深地層研究計画を踏まえた上で、それぞれの研究の場での収まりを、課題を含めて取りまとめる。

地層処分の観点から超深地層研究の場を現在進められている2つのスケールに分解する。現状での研究内容の整理は、以下のとおりである。

研究対象スケール	広域地下水流動研究	中域地下水流動研究	坑道スケール研究
特性把握の手段	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 30～50km 四方</li> <li>・ 断層マップ</li> <li>・ リニアメント</li> <li>・ 既存地質構造図</li> <li>・ ボーリングデータ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 4～5km 四方</li> <li>・ 断層マップ</li> <li>・ 地表踏査</li> <li>・ 物理探査</li> <li>・ ボーリングデータ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 数 m～数百 m 規模</li> <li>・ 断層観測</li> <li>・ 物理探査</li> <li>・ ボーリングデータ</li> <li>・ 各種試験</li> </ul>
現状の成果品	<p style="text-align: center;">↓</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>3D 地質・地質構造図</li> <li>— リニアメント、断層</li> <li>3D 水理構造図</li> <li>— 地下水流動方向</li> <li>3D 地球化学マップ</li> </ul>	<p style="text-align: center;">↓</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>3D 地質・地質構造図</li> <li>— 断層、割れ目</li> <li>3D 水理構造図</li> <li>— 地下水流動方向</li> <li>3D 地球化学マップ</li> <li>— 還元フロント</li> <li>3D 初期応力マップ</li> <li>— 主応力方向</li> </ul>	<p style="text-align: center;">↓</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 掘削影響予備評価結果 (3D 図)</li> <li>— 坑道周辺地下水</li> <li>— 力学</li> <li>— 地化学</li> <li>・ 支保設計 (変形、応力予測図)</li> <li>・ モニタリング</li> </ul>



### 6.3.2 超深地層研究工程（案）の例示

現在サイクル機構度から提示されている工程（別紙資料）に基づき、上記の研究項目を工程の中に入れ込み、それぞれの段階での展開、そこでの必要時間（準備段階も含めて）、必要となる技術（調査、試験、解釈、評価、モデル化等）について言及する。

この場合、2003年までの開削開始前に準備すべき技術についても、その展開を含めて工程（案）の中に記述する。

#### (1) 検討における留意事項

##### 一 研究対象としての設計

本超深地層研究所は図 6.3-1 に示す部位で構成される。地下施設は、アクセス坑道である主立坑と換気および人員の運搬にも使用される換気立坑で地上と連絡される。地下施設は、概ね 100m ごとに設けられ、換気立坑と連結される予備ステージと主に第三段階の研究が実施される中間ステージ（中間深度レベル）、最深ステージ（最新深度レベル）で構成される。

これらの施設そのものがこれまでに施工実績のない大深度地下に建設される施設となる。したがって、このような地下施設の設計においても既往の経験や事例は少ないと考えられ、本設計研究においては、大深度地下施設に適用する設計そのものが研究の対象と考えられる。立坑や研究坑道の支保の設計においては、既存の地山分類や実績に基づいた設計だけではなく、大深度地下における支保に対する安全性及び最適な設計方法についても検討を行う。

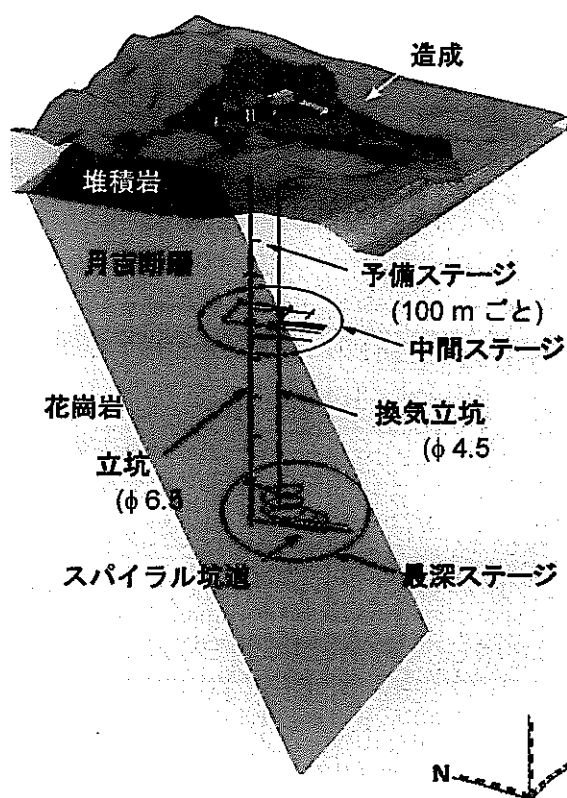


図 6.3-1 超深地層研究所構成部位

出典:窪田茂、納多勝、戸井田克、石塚峰夫：超深地層研究所研究坑道における研究及び施工に関する検討、JNC TJ7400 2001-005(1), p5.3, 図 5.2-1, (2001)

### —大深度地下施設的设计への要件

本設計は、前述のようにこれまでに実績のない大深度での地下施設的设计・施工であり、また、その施設の目的も、超深地層研究所計画で示されているように、地質環境の総合的な調査技術の確立、深部の地質環境に関する情報の取得、深地層における工学的技術の基礎の開発と従来にないものであることからその設計にも特別な要件の考慮が必要と考えられる。

従来の設計と比較して、設計思想、設計体系、施工時の情報のフィードバックの考え方およびそのシステム、個々の設計手法、適用する解析手法、その実証手法などの適切な検討が要求される。また、その施設の性格から、設計・施工およびそれに使用した情報の透明性、追跡性、説明性が要求される。これらの設計研究において考慮すべき要素と要件を図 6.3-2 に示す。

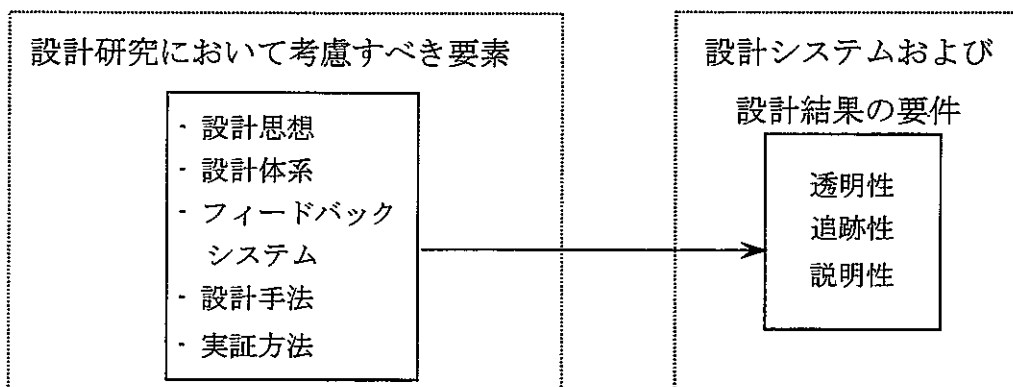


図 6.3-2 設計研究において考慮すべき要素と要件

出典:窪田茂、納多勝、戸井田克、石塚峰夫:超深地層研究所研究坑道における研究及び施工に関する検討、JNC TJ7400 2001-005(1), p5.4, 図 5.2-2, (2001)

－設計研究としての成果の反映

本設計研究は、平成8年度から5年間の計画で実施された設計研究の最終年度分にあたり、引き続き着工までに実施される基本設計、詳細設計に資する検討を実施するという位置づけにある。大深度における地下施設の設計研究という観点からは、将来に展開する地層処分の基盤となる工学的技術として活用することとなる。

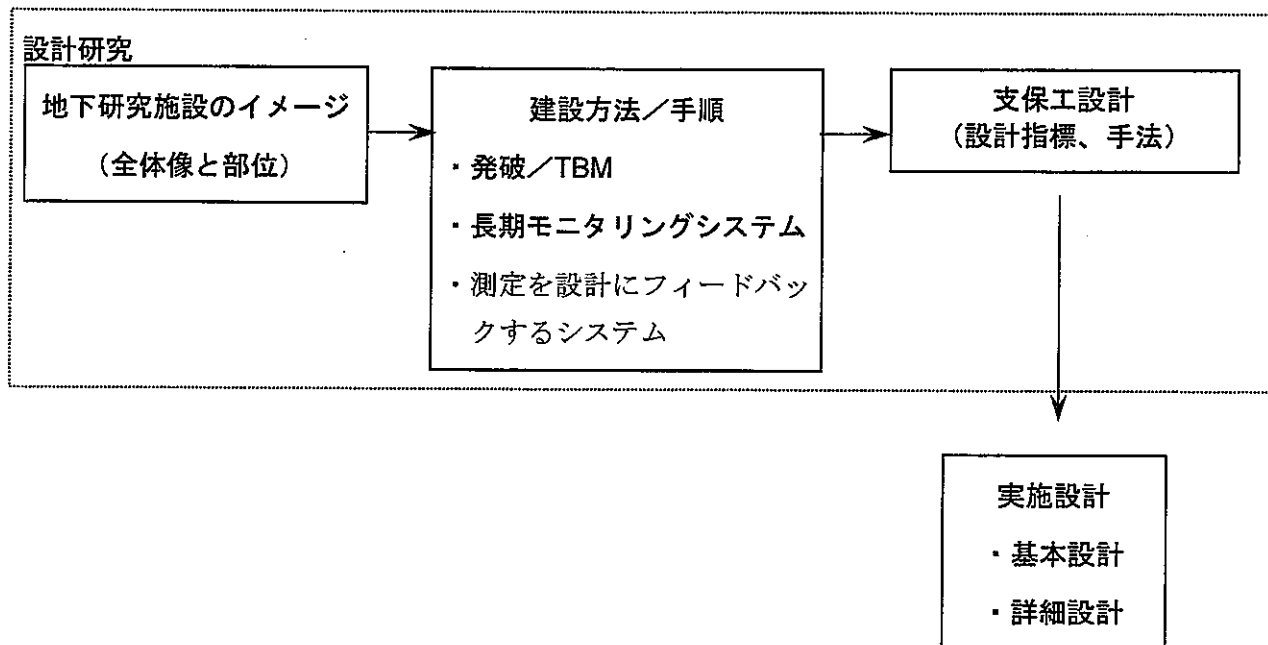


図 6.3-3 設計研究の展開と実施設計への反映

出典:窪田茂、納多勝、戸井田克、石塚峰夫：超深地層研究所研究坑道における研究及び施工に関する検討、JNC TJ7400 2001-005(1), p5.4, 図 5.2-3, (2001)

表 6.3-1 第 1 段階（坑道掘削前）における調査研究項目

研究分野	試験大項目	試験の目的	小項目	調査試験項目	試験概要
地下水の水理	表層水理調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>対象領域の水理地質モデルの地表からの境界条件を与える。</li> <li>調査技術の開発・高度化</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>気象観測</li> <li>表面流出量調査</li> <li>空洞湧出量調査</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地表水、地下水の水収支を把握する。（場所）地表における広域、既存空洞</li> </ul>
	地下水挙動調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>対象領域の地下水圧分布を与える。</li> <li>立坑掘削に伴う地下水場の変化を計測する。</li> <li>地下水の長期変動を評価する。</li> <li>調査技術の開発・高度化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>自然状態</li> <li>立坑掘削時</li> <li>地下水長期挙動観測</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>間隙水圧分布測定</li> <li>水質分布、年代測定</li> <li>流向、流速測定</li> <li>地下水温度測定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水挙動の把握                             <ul style="list-style-type: none"> <li>地下施設建設前の自然状態</li> <li>立坑掘削に伴う周囲の地層中の地下水</li> <li>地下施設掘削後の長期的な地層中の地下水</li> </ul> </li> <li>地下水成分の広域にわたる長期変動現象</li> <li>地下水系の区別 （場所）周辺に設置した試錐孔 地表からの試錐孔（上記と同一） 副ステージからの水平試錐孔 主要ステージからの水平試錐孔</li> </ul>
	岩盤透水性評価試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>各点、各深度の透水係数を与える。</li> <li>坑道規模の透水係数を与える。</li> <li>坑道床盤の軸方向の透水係数を与える。</li> <li>温度変化に伴う透水係数を与える。</li> <li>割れ目の透水係数を与える。</li> <li>断層の透水係数を与える。</li> <li>調査技術の開発・高度化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>試錐孔内透水試験（深層水理試験）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>試錐孔内透水試験</li> <li>JFT、パルス透水試験</li> <li>低圧透水性試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>サイトスケールにおける地下水流動調査モデル化技術の検証</li> <li>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、岩盤の透水性評価法を確立する。 （場所）地表からの試錐孔 副ステージからの水平試錐孔 主要ステージからの水平試錐孔 （条件）孔内透水試験は掘削前に実施</li> </ul>
岩盤力学	岩盤、岩石物性試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>応力場、物性の空間的分布、深度依存性の把握</li> <li>岩盤物性と岩石物性の把握</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コアサンプルによる試験</li> <li>原位置岩盤試験 －孔内力学試験 －坑道内力学試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>物理特性試験</li> <li>力学特性試験</li> <li>熱特性試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>深部地質環境特性－岩石の物理特性、力学特性、熱特性の把握</li> <li>岩石物性の深度依存性の把握 （場所）深度方向に分布 （期間）</li> </ul>
工学的技術	研究坑道の設計・施工計画構築技術の研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>段階的に得られる地質環境情報を基に、柔軟に施設レイアウトを設計・修正する技術の確立</li> <li>段階的に修正したレイアウトの展開に対して最適な施工計画を立案する技術の確立</li> <li>調査・計測情報を設計にフィードバックする技術</li> <li>段階的に得られる地質環境情報や調査・試験研究の品質管理システムの構築、運用による品質管理システムの適用性の確認（研究・情報の品質保証技術の確立）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>研究坑道の設計・施工計画構築技術</li> <li>測定を設計にフィードバックするシステム技術</li> <li>研究の品質を確保する研究</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計・施工計画</li> <li>フィードバックシステム技術の開発</li> <li>研究品質管理技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計手法、設計体系の整備</li> <li>種々の要因による設計の変更およびそれに伴う施工計画の変更に対処できるシステムの構築</li> <li>4次元 CAD システムの適用性検討</li> <li>調査の進展に伴い得られる情報を設計/施工計画に反映する技術の開発</li> <li>超深地層研究所で実施される調査研究の品質を総合的に管理する技術</li> <li>予定地における地下特性調査および実証試験の実施に向けての検討 （期間）設計/施工計画立案フェーズ、変更フェーズ、坑道掘削期間（事前にシステムは開発）2年程度</li> </ul>
	安全性を確保する技術の研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>大深度地下の構造物を対象とした長期の維持補修技術の適用性の確認と、管理体系の構築および地下施設公開を前提とした坑内の環境保全システムおよび安全確保システムの適用性の確認、研究環境の維持</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>長期の維持補修技術</li> <li>安全性確保システム</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期の維持補修技術の適用性確認</li> <li>研究施設の安全性を確保、管理するための総合的なシステムを構築する（換気システム、防災計画等を含む）。</li> </ul>

表 6.3-2 第 2 段階（坑道掘削中）における調査研究項目

研究分野	試験大項目	試験の目的	小項目	調査試験項目	試験概要
地質・地質構造	地質構造調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>地表からの調査予測研究段階で得られた地質構造モデルの妥当性の確認</li> <li>深部領域の地質状況の評価</li> <li>坑道周辺領域の地質・地質構造の評価</li> <li>調査・解析技術の高精度化</li> <li>地質情報の電子化（坑壁画像処理技術）</li> <li>立坑掘削時の安全性の確保</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>岩種、岩質の観察</li> <li>割れ目の観察</li> <li>湧水状況の観察</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地表からの調査で得られた地質構造を確認し、予測の精度を評価し、予測精度を向上する。（場所）立坑、水平坑道、（換気立坑）（期間）3時間/1ステップ（2日間）観察（条件）支保工設置前</li> </ul>
地下水の水理	地下水挙動調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>対象領域の地下水圧分布を与える。</li> <li>立坑掘削に伴う地下水場の変化を計測する。</li> <li>地下水の長期変動を評価する。</li> <li>調査技術の開発・高度化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>自然状態</li> <li>立坑掘削時</li> <li>地下水長期挙動観測</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>間隙水圧分布測定</li> <li>水質分布、年代測定</li> <li>流向、流速測定</li> <li>地下水温度測定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水挙動の把握                             <ul style="list-style-type: none"> <li>地下施設建設前の自然状態</li> <li>立坑掘削に伴う周囲の地層中の地下水</li> <li>地下施設掘削後の長期的な地層中の地下水</li> </ul> </li> <li>地下水成分の広域にわたる長期変動現象</li> <li>地下水系の区別</li> <li>（場所）周辺に設置した地表からの試錐孔 副ステージからの試錐孔 主要ステージからの試錐孔</li> </ul>
地下水の地球化学	地下水の地球化学的性質の調査および長期モニタリング	<ul style="list-style-type: none"> <li>地表からの調査予測研究段階で得られた地下水の地球化学モデルの妥当性の確認</li> <li>岩種、割れ目帯別の地下水の地球化学特性の取得</li> <li>物理化学パラメータ（特にEh）の正確な測定</li> <li>地下水状況の変化に伴う影響評価（長期）</li> <li>調査技術の開発・高度化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水の地球化学的性質の調査</li> <li>地下水の地球化学的性質の長期モニタリング</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>物理化学パラメータ測定（水温、pH、Eh、電気伝導度）</li> <li>主要溶存成分測定</li> <li>同位体測定（水素、酸素、炭素）</li> <li>溶存ガス測定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>立坑掘削時に湧出する地下水の分析（場所）立坑における地下水湧出地点</li> <li>地下施設掘削後の長期的な地球化学的性質の変化を把握。（場所）坑道を横切る透水性亀裂（上記と同一）（期間）長期（～2015）</li> </ul>
	掘削に伴う地下水の地球化学的性質変化の調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水の地球化学的性質変化把握の高精度化（特に影響を受けやすいと思われるEhデータ等）</li> <li>地下水状況の変化に伴う影響評価</li> <li>地下構造物施工（換気、排ガス、支保（覆工、吹付））による影響評価</li> <li>坑道周辺掘削影響領域の酸化還元フロントの移動状態の把握</li> <li>酸化還元能力試験</li> <li>水理/岩盤力学/地球化学複合現象の調査</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>掘削に伴う地下水の地球化学的性質変化の調査</li> <li>坑道周辺掘削影響領域の酸化還元状態の変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>物理化学パラメータ測定</li> <li>主要溶存成分測定</li> <li>同位体測定</li> <li>溶存ガス測定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>坑道掘削に伴う地下水の地球化学的性質の変化を把握。</li> <li>地下水の酸化還元状態の掘削による影響を把握。（場所）坑道を横切る透水性亀裂、掘削影響試験と並行して実施、掘削手前に計測施設（期間）</li> </ul>
岩盤力学	坑道掘削影響試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>掘削影響領域の岩盤物性（力学特性、水理特性）、状態の変化（程度、範囲）の評価</li> <li>影響を及ぼす要因の検証</li> <li>調査技術の開発・高度化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>立坑坑道掘削影響試験</li> <li>水平坑道掘削影響試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤の変位、ひずみ、間隙水圧の測定</li> <li>岩盤の変形性、透水性変化の測定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>掘削影響領域の岩盤物性（力学特性、水理特性）、状態の変化（程度、範囲）の評価（場所）立坑周辺に計測坑道と試錐孔を設置、（期間）10ヶ月（立坑掘削休止期間）（条件）立坑休止期間は副ステージ掘削期間を利用</li> </ul>
	岩盤、岩石物性試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>応力場、物性の空間的分布、深度依存性の把握</li> <li>岩盤物性と岩石物性の把握</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コアサンプルによる試験</li> <li>原位置岩盤試験</li> <li>一孔内力学試験</li> <li>一坑道内力学試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>物理特性試験</li> <li>力学特性試験</li> <li>熱特性試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>深部地質環境特性—岩石の物理特性、力学特性、熱特性の把握</li> <li>岩石物性の深度依存性の把握（場所）深度方向に分布（期間）</li> </ul>
工学的技術	研究坑道の建設技術の研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>大深度地質環境下における掘削工法の適用性の確認</li> <li>大深度地質環境に適用できる支保工の選定・開発</li> <li>施工管理システムの開発</li> <li>前方予知技術の確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>掘削技術・支保工の適用性確認</li> <li>前方予知技術</li> <li>施工管理システム開発</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>大深度地下での掘削工法・支保工の適用性の確認</li> <li>前方予知技術の開発</li> <li>施工管理システムの開発（場所）立坑、水平坑道（期間）（条件）</li> </ul>
	施工対策技術の研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>大深度地質環境下における遭遇事象の予測技術の開発</li> <li>高地圧・高水圧環境下で遭遇が予測される事象に対する各種対策工（新材料支保工、グラウト工、先受け工他）の開発・整備と品質保証</li> <li>実施した対策工が周辺に及ぼす環境を評価する技術の確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>遭遇事象の予測技術</li> <li>対策工の開発</li> <li>地質環境への対策工の影響評価</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>大深度地下における遭遇事象の予測技術の開発</li> <li>各種対策工の適用性確認</li> <li>地質環境への対策工の影響評価（場所）立坑、水平坑道（期間）（条件）</li> </ul>

表 6.3-3 第 2 段階（水平坑道掘削中）における調査研究項目

研究分野	試験大項目	試験の目的	小項目	調査試験項目	試験概要
地質・地質構造	地質構造調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地表からの調査予測研究段階で得られた地質構造モデルの妥当性の確認</li> <li>・深部領域の地質状況の評価</li> <li>・坑道周辺領域の地質・地質構造の評価</li> <li>・調査・解析技術の高精度化</li> <li>・地質情報の電子化（坑壁画像処理技術）</li> <li>・立坑掘削時の安全性の確保</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・岩種、岩質の観察</li> <li>・割れ目の観察</li> <li>・湧水状況の観察</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地表からの調査で得られた地質構造を確認し、予測の精度を評価し、予測精度を向上する。</li> <li>（場所）立坑、水平坑道、（換気立坑）</li> <li>（期間）3時間/1ステップ（2日間）観察</li> <li>（条件）支保工設置前</li> </ul>
地下水の水理	地下水挙動調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対象領域の地下水圧分布を与える。</li> <li>・立坑掘削に伴う地下水場の変化を計測する。</li> <li>・地下水の長期変動を評価する。</li> <li>・調査技術の開発・高度化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自然状態</li> <li>・立坑掘削時</li> <li>・地下水長期挙動観測</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・間隙水圧分布測定</li> <li>・水質分布、年代測定</li> <li>・流向、流速測定</li> <li>・地下水温度測定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下水挙動の把握</li> <li>－地下施設建設前の自然状態</li> <li>－立坑掘削に伴う周囲の地層中の地下水</li> <li>－地下施設掘削後の長期的な地層中の地下水</li> <li>・地下水成分の広域にわたる長期変動現象</li> <li>・地下水系の区別</li> <li>（場所）周辺に設置した地表からの試錐孔</li> <li>副ステージからの試錐孔</li> <li>主要ステージからの試錐孔</li> </ul>
地下水の地球化学	地下水の地球化学的性質の調査および長期モニタリング	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地表からの調査予測研究段階で得られた地下水の地球化学モデルの妥当性の確認</li> <li>・岩種、割れ目帯別の地下水の地球化学特性の取得</li> <li>・物理化学パラメータ（特に Eh）の正確な測定</li> <li>・地下水状況の変化に伴う影響評価（長期）</li> <li>・調査技術の開発・高度化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下水の地球化学的性質の調査</li> <li>・地下水の地球化学的性質の長期モニタリング</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・物理化学パラメータ測定（水温、pH、Eh、電気伝導度）</li> <li>・主要溶存成分測定</li> <li>・同位体測定（水素、酸素、炭素）</li> <li>・溶存ガス測定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・立坑掘削時に湧出する地下水の分析</li> <li>（場所）立坑における地下水湧出地点</li> <li>・地下施設掘削後の長期的な地球化学的性質の変化を把握。</li> <li>（場所）坑道を横切る透水性亀裂（上記と同一）</li> <li>（期間）長期（～2015）</li> </ul>
	掘削に伴う地下水の地球化学的性質変化の調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地下水の地球化学的性質変化把握の高精度化（特に影響を受けやすいと思われる Eh データ等）</li> <li>・地下水状況の変化に伴う影響評価</li> <li>・地下構造物施工（換気、排ガス、支保（覆工、吹付））による影響評価</li> <li>・坑道周辺掘削影響領域の酸化還元フロントの移動状態の把握</li> <li>・酸化還元能力試験</li> <li>・水理/岩盤力学/地球化学複合現象の調査</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・掘削に伴う地下水の地球化学的性質変化の調査</li> <li>・坑道周辺掘削影響領域の酸化還元状態の変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・物理化学パラメータ測定</li> <li>・主要溶存成分測定</li> <li>・同位体測定</li> <li>・溶存ガス測定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・坑道掘削に伴う地下水の地球化学的性質の変化を把握。</li> <li>・地下水の酸化還元状態の掘削による影響を把握。</li> <li>（場所）坑道を横切る透水性亀裂、掘削影響試験と並行して実施、掘削手前に計測施設</li> <li>（期間）</li> </ul>
岩盤力学	坑道掘削影響試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・掘削影響領域の岩盤物性（力学特性、水理特性）、状態の変化（程度、範囲）の評価</li> <li>・影響を及ぼす要因の検証</li> <li>・調査技術の開発・高度化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・立坑坑道掘削影響試験</li> <li>・水平坑道掘削影響試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・岩盤の変位、ひずみ、間隙水圧の測定</li> <li>・岩盤の変形性、透水性変化の測定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・掘削影響領域の岩盤物性（力学特性、水理特性）、状態の変化（程度、範囲）の評価</li> <li>（場所）立坑周辺に計測坑道と試錐孔を設置、</li> <li>（期間）10ヶ月（立坑掘削休止期間）</li> <li>（条件）立坑休止期間は副ステージ掘削期間を利用</li> </ul>
	岩盤、岩石物性試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・応力場、物性の空間的分布、深度依存性の把握</li> <li>・岩盤物性と岩石物性の把握</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コアサンプルによる試験</li> <li>・原位置岩盤試験</li> <li>－孔内力学試験</li> <li>－坑道内力学試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・物理特性試験</li> <li>・力学特性試験</li> <li>・熱特性試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・深部地質環境特性－岩石の物理特性、力学特性、熱特性の把握</li> <li>・岩石物性の深度依存性の把握</li> <li>（場所）深度方向に分布</li> <li>（期間）</li> </ul>
工学的技術	研究坑道の建設技術の研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大深度地質環境下における掘削工法の適用性の確認</li> <li>・大深度地質環境に適用できる支保工の選定・開発</li> <li>・施工管理システムの開発</li> <li>・前方予知技術の確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・掘削技術・支保工の適用性確認</li> <li>・前方予知技術</li> <li>・施工管理システム開発</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・大深度地下での掘削工法・支保工の適用性の確認</li> <li>・前方予知技術の開発</li> <li>・施工管理システムの開発</li> <li>（場所）立坑、水平坑道</li> <li>（期間）</li> <li>（条件）</li> </ul>
	施工対策技術の研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大深度地質環境下における遭遇事象の予測技術の開発</li> <li>・高地圧・高水圧環境下で遭遇が予測される事象に対する各種対策工（新材料支保工、グラウト工、先受け工他）の開発・整備と品質保証</li> <li>・実施した対策工が周辺に及ぼす環境を評価する技術の確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・遭遇事象の予測技術</li> <li>・対策工の開発</li> <li>・地質環境への対策工の影響評価</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・大深度地下における遭遇事象の予測技術の開発</li> <li>・各種対策工の適用性確認</li> <li>・地質環境への対策工の影響評価</li> <li>（場所）立坑、水平坑道</li> <li>（期間）</li> <li>（条件）</li> </ul>

		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
MIU スケジ ュール	立坑掘削				0 - 500m			500 - 927m	
	換気立坑				0 - 500m			500 - 1000m	
	水平坑道掘削					180m (第1期)			360m (第1期)
	水平坑道掘削								
建設 計画	立坑掘削			<p>施工状況：施工速度 30m/月、換気立坑との連絡用予備ステージの施工も含め 27ヶ月の施工期間            時間的制約：1ステップ2日間のサイクルで坑道壁面調査に当てられる時間は3時間</p>			<p>施工状況：施工速度 30m/月、換気立坑との連絡用予備ステージの施工も含め 21ヶ月の施工期間            時間的制約：1ステップ2日間のサイクルで坑道壁面調査に当てられる時間は3時間</p>		
	水平坑道掘削				<p>施工方法：換気立坑よりズリ上げを行い、主立坑の工程に影響を及ぼさない。施工期間は12ヶ月。            時間的制約：空間的制約：全体計画の半分(180m分)</p>			<p>施工方法：主立坑よりズリ上げを行う。換気立坑は昇降設備の設置。施工期間は12ヶ月。            時間的制約：空間的制約：全体計画の半分(360m分)</p>	
研究 計画	地質構造調査試験			立坑地質構造調査			3次元地質(研究試験場)		
	地下水水理試験			地下水挙動調査			深部領域		
	地下水地球化学			地下水の地球化学的特性調査・長期モニタリング					
	物質移行試験								
	岩盤力学試験			坑道掘削影響試験、岩盤・岩石物性試験					
	工学的技術研究 地震観測研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>研究坑道の設計・施工計画 構築技術(測定を設計にフィードバックするシステム技術、研究の品質を確保する研究を含む)</li> <li>安全性を確保する技術の研究</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>研究坑道の建設技術の研究</li> <li>施工対策技術の研究</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>掘削影響の修復・軽減技術の研究</li> <li>人工材料の岩盤への長期影響評価試験</li> <li>地震動観測、地質環境変化</li> </ul>	

図 6.3-4 超深地層研究所における 2008 年の到達を目標とした計画に基づく第 2、3 段階の建設計画と研究計画の展開

表6.3-4 調査研究スケジュール案（1：地質、地質構造）

		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015					
		平成13年	平成14年	平成15年	平成16年	平成17年	平成18年	平成19年	平成20年	平成21年	平成22年	平成23年	平成24年	平成25年	平成26年	平成27年					
超深地層研究所 全体スケジュール		坑口部施工		立坑掘削 (500m)			立坑掘削 (400m)		研究坑道掘削 (360m)		主要ステージ研究					坑底施設					
		立坑仮設備		換気立坑掘削 (500m)		研究坑道掘削 (180m)		換気立坑掘削 (450m)									坑底施設				
地表調査		←→																			
地質構造	地質構造調査	立坑坑道調査(1)			立坑坑道調査(2)																
		水平坑道調査(1)			水平坑道調査(2)																
		換気立坑調査(1)			換気立坑調査(2)																
	3次元地質構造 調査	研究試験場調査(1)			研究試験場調査(2)																
		3次元地質構造調査(1)			3次元地質構造調査(2)																
	深部領域地質 調査	深部領域地質調査(1)			深部領域地質調査(2)																



表6.3-5 調査研究スケジュール案（2：地下水の水理）

		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
		平成13年	平成14年	平成15年	平成16年	平成17年	平成18年	平成19年	平成20年	平成21年	平成22年	平成23年	平成24年	平成25年	平成26年	平成27年	
超深地層研究所 全体スケジュール			坑口部施工			立坑掘削 (500m)		立坑掘削 (400m)		研究坑道掘削 (360m)		主要ステージ研究					
				立坑仮設備	換気立坑掘削 (500m)	研究坑道掘削換気立坑掘削 (180m)		換気立坑掘削 (450m)									坑底施設
地下水の水理	表層水理調査					水文調査											
	地下水挙動調査	自然															
				立坑掘削時地下水挙動													
							立坑掘削時地下水挙動										
												地下水長期挙動(1)					
													地下水長期挙動(2)				
透水性評価試験	試錐孔																
							孔内透水(2)副ステージ										
							坑道規模透水試験										
										床盤透水試験		熱応力下の透水試験					
						単一割れ目透水試験(1)副ステージ											
												単一割れ目透水試験(2)主要ステージ					
													断層透水試験－主要ステージ				

表6.3-6 調査研究スケジュール案（3：地下水の地球化学、物質移行）

		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
		平成13年	平成14年	平成15年	平成16年	平成17年	平成18年	平成19年	平成20年	平成21年	平成22年	平成23年	平成24年	平成25年	平成26年	平成27年	
超深地層研究所 全体スケジュール			坑口部施工			立坑掘削 (500m)		立坑掘削 (400m)		研究坑道掘削 (360m)			主要ステージ研究				
				立坑仮設備	換気立坑掘削 (500m)	研究坑道掘削 (180m)	換気立坑掘削 (450m)										坑底施設
地下水の 地球化学	地下水の地球 化学特性調査			地下水の地球化学調査(湧水調査)、水質形成機構調査											長期モニタリング		
	3次元坑道規模 地球化学特性調査						酸化還元状態の調査		還元能力調査								
	地下水地球化学 の掘削影響評価			掘削に伴う地下水の地球化学的性質の変化の調査													
							物質移行環境、水理/岩盤複合現象										
物質移行	単一割れ目物質 移行試験						コアサンプリング(1)										コアサンプリング(2)
							単一割れ目(1)										単一割れ目移行試験(2)
	坑道規模物質 移行試験						坑道規模物質移行試験										
	断層物質移行 試験												断層物質移行試験				

表6.3-7 調査研究スケジュール案（4：岩盤力学、地震観測）

		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
		平成13年	平成14年	平成15年	平成16年	平成17年	平成18年	平成19年	平成20年	平成21年	平成22年	平成23年	平成24年	平成25年	平成26年	平成27年
超深地層研究所 全体スケジュール			坑口部施工			立坑掘削 (500m)		立坑掘削 (400m)		研究坑道掘削 (360m)		主要ステージ研究				
				立坑仮設備	換気立坑掘削	研究坑道掘削	換気立坑掘削									
岩盤力学	掘削影響試験			立坑掘削影響試験(1)								立坑掘削影響試験(2)				
					水平坑道掘削影響試験(1)					水平坑道掘削影響試験(2)						
	岩盤空洞長期力学的安定性評価試験, 長期時間依存性試験						岩盤空洞安定性評価試験									
	岩盤破壊機構解明試験						岩盤破壊機構解明試験									
地震観測	地震動観測, 地質環境変化観測											地震時挙動				
												地殻ひずみ				
	地震時破碎帯挙動											地震時破碎帯挙動調査				

表6.3-8 調査研究スケジュール案（5：工学技術、機器開発）

		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
		平成13年	平成14年	平成15年	平成16年	平成17年	平成18年	平成19年	平成20年	平成21年	平成22年	平成23年	平成24年	平成25年	平成26年	平成27年	
超深地層研究所 全体スケジュール		坑口部施工		立坑掘削 (500m)			立坑掘削 (400m)		研究坑道掘削 (360m)			主要ステージ研究					
		立坑仮設備		換気立坑掘削 (500m)			研究坑道掘削換気立坑掘削 (180m)		研究坑道掘削換気立坑掘削 (450m)							坑底施設	
工学的技術	研究坑道設計・ 施工計画構築 技術	研究坑道の設計・施工計画構築															
		研究の品質を確保する技術															
	研究坑道 建設技術	立坑・水平坑道建設技術					斜坑建設技術										
	施工対策技術	立坑・水平坑道建設時施工対策技術					斜坑建設時施工対策技術					断層対策技術					
	安全性を 確保する技術	建設時安全性を確保する技術					作業時安全性を確保する技術										
	掘削影響修復・ 軽減技術	掘削影響修復に必要な工学技術の開発・実演															
		建設、掘削影響、坑道修復による影響評価技術															
坑道修復確認試験																	
人工材料の長期 影響試験	熱・水・応力・化学の連成挙動																
	人工材料の岩盤への長期影響試験																
調査技術 調査機器	調査技術・機器 の開発・高度化											モニタリング装置・技術の開発					
												変状調査技術・装置の開発					
												変状対策技術の開発					

# 添 付 資 料

資料-1 : スイス Mt.Terri における調査研究

試験名	FM-A Flow mechanism
試験の目的	・地下水流動評価
概 要	・低濃度塩水で満たされたボアホールの中に、高濃度塩水を流入させる。

試験名	FM-B Flow mechanism
試験の目的	・地下水流動と岩質の空隙についての特性調査、予備坑道周辺のEDZについて記述する。
概 要	・蛍光材を含有したトレース材を岩盤に注入し、流路の検出を行う。原位置試験の前にコアの注入による室内試験を行う。まず、注入孔の掘削、トレース材の注入、注入孔のオーバーコアリング、UVによる構造観察と評価を行う。
得られた成果	・オーバーコアとボアホールのサンプリングによって、流路を部分的に評価した。EDZの亀裂形状についての知見を得た。

試験名	FM-C Flow mechanism: tracer
試験の目的	・O.C.における地下水流、溶質の移流について明確にし、知見を地下水流、移流の概念モデルの構築に用いる。
概要	・パッキングされたボアホールに、約 2 年の間隔を置いてトレーサ混成物を投入する。トレーサ分散結果は、大きなオーバーコアされたドリルコアや平行ボアホールからのコアにマップされる。地下水流や移流についてのパラメータが測定される。
得られた成果	・Phase1 と 2 ではトレーサとしてロジウム、リチウム、クロムとストロンチウムを選定した。研究所試験により OPA サンプルから間隙率と拡散係数を取得した。

試験概要図

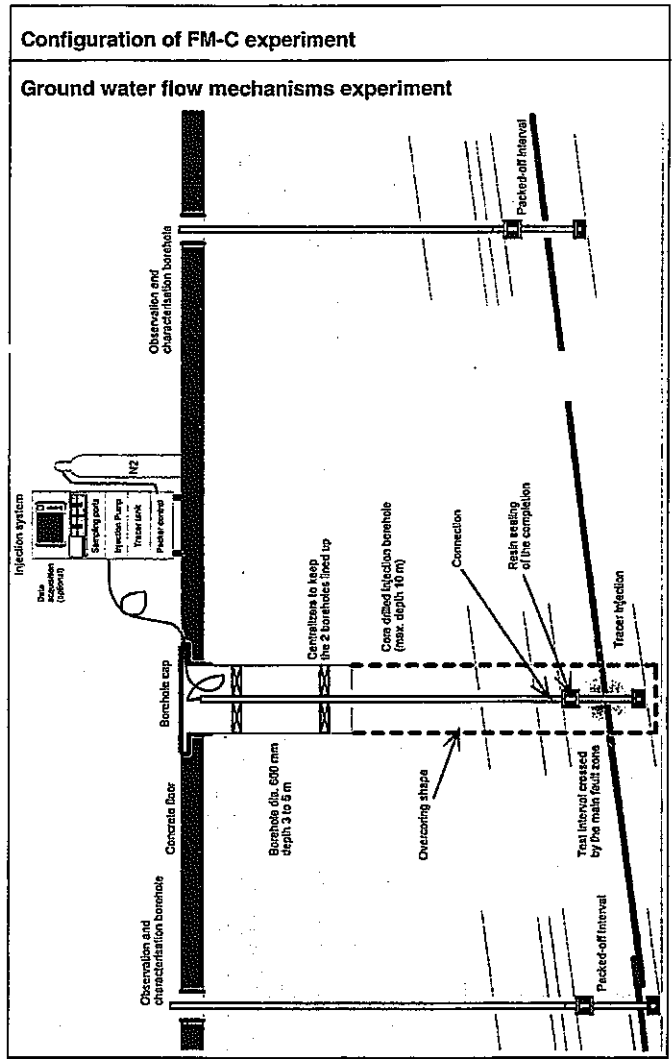


図 A1-1 FM-C:地下水流動メカニズム(トレーサ)  
(Mt. Terri 試験場)

出典 : Geotechnical Institute Ltd., Saint-Ursanne: Mt. Terri Project -Programme Overview Work Programme of Phase 4, (1998)

試験名	FM-D Evaporation logging
試験の目的	・試験水を用いること無しに、高透水性領域を検知すること、低透水性地盤の透過率を調べること。
概要	・鉛直ボアホール内に設けた二つのパッカー間を上下に移動できる温湿度計を用いる。試験区間内換気後、壁面の温湿度と浸透圧の分布を計測する。壁面からの蒸発速度の分布から、透水係数と貯留係数を分析する。
得られた成果	・蒸発性の高さや地質的不連続性との間の相関性は少なく、頁岩面の岩石学的な違いとの相関が大きかった。浸透圧測定器は壁面のゴミ膜のためによく故障した。

試験概要図

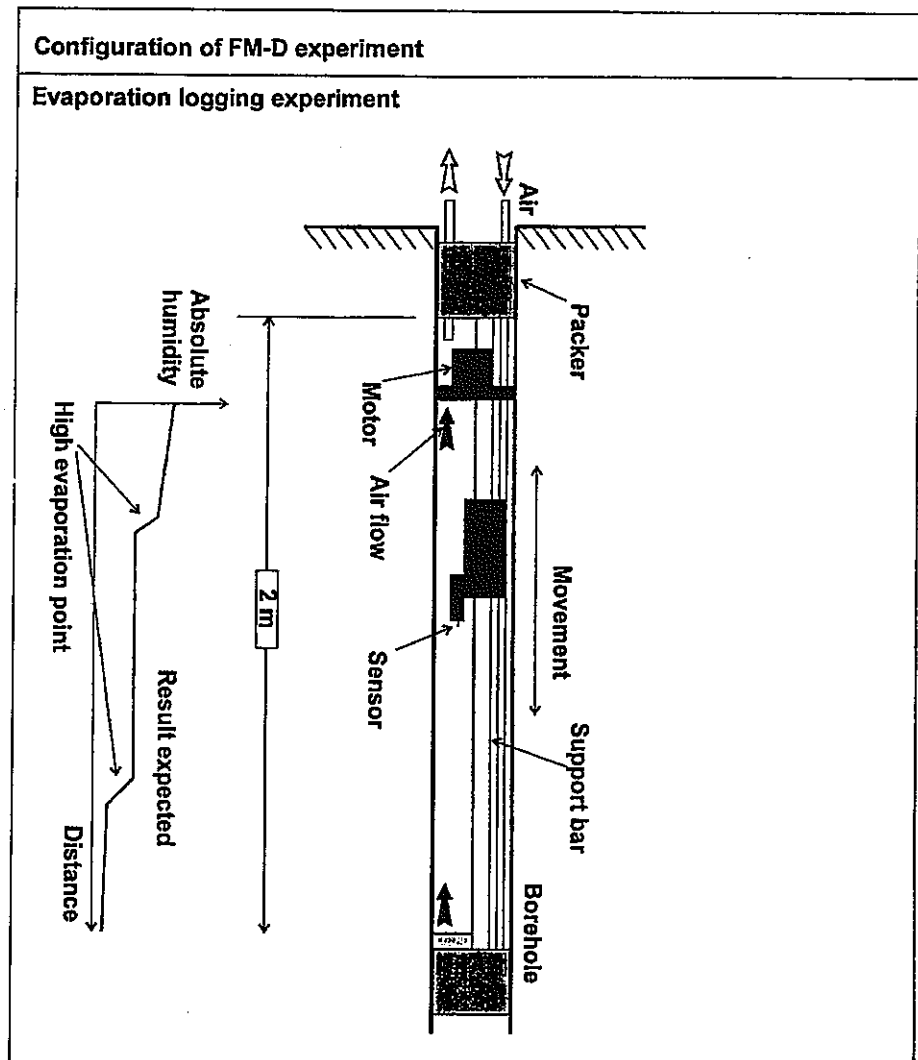


図 A1-2 蒸発散測定 (Mt. Terri 試験場)

出典 : Geotechnical Institute Ltd., Saint-Ursanne: Mt. Terri Project -Programme Overview Work Programme of Phase 4, (1998)

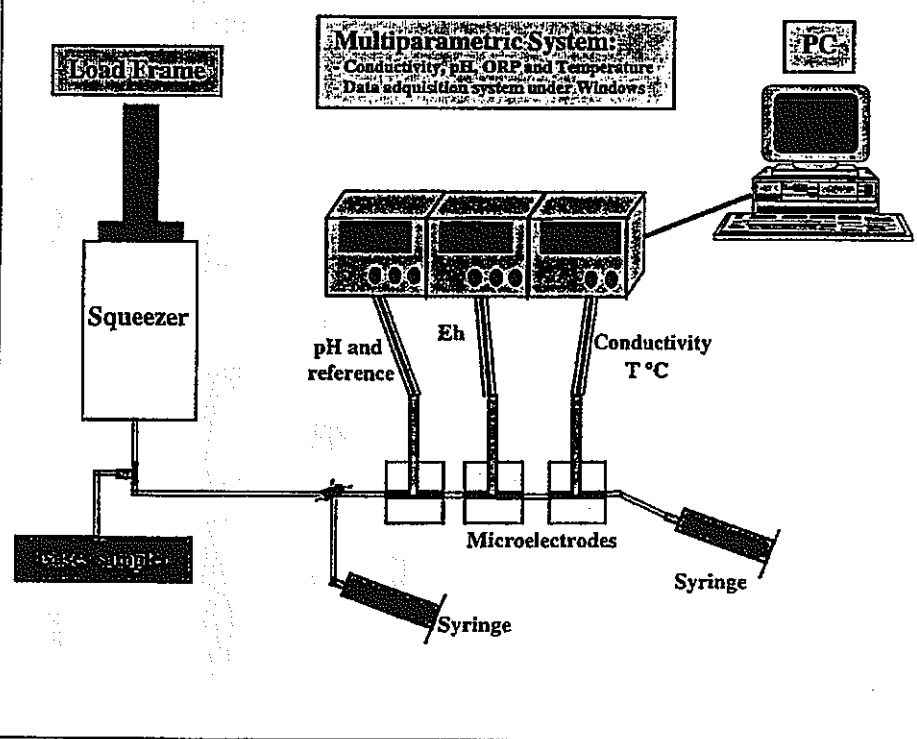


試験名	WS-A Water sampling in situ
試験の目的	・O.C.の過去～現在に至る水理特性を分析すること。核種収着能力や、処分場の構成要素の挙動を評価すること。
概 要	・岩体に平行なボアホールでの地下水収集の可能性について試験することが提案されている。BWS-A6 ボアホールの地下水は高い鉍物含有率であると考えられる。
得られた成果	・Phase1 から 3 で、間隙水の化学組成について測定した。3 つの BWS-A ボアホールの間隙水が解析された。

試験名	WS-B Water sampling laboratory
試験の目的	・個々の交換性陽イオンの濃度を、原位置で測定することが困難なため、実験室にて分析を行う。
概 要	・WS-E 試験によるボアホール穿孔によって資料を取得する予定。O.C.サンプルの陽イオン交換能や陽イオンの量について検討を行う。セレサイト(天青石)、ギプサム(石膏)の $\delta^{34}\text{S}$ と $\delta^{18}\text{O}$ について解析する。同様に地質化学についても検討する。
得られた成果	・ボアホール BWS-A1 における 1 つの試料のみ、Bradbury と Baeyens による地質化学モデル手法に従った解析を行った。

試験名	WS-D Trace elements
試験の目的	・トレースの濃度を解析するための地質学解析コードに必要な、間隙水の化学特性を評価する。
概 要	・O.C.の間隙水の試験的なトレース濃度を予測する。ただし、優先的に取り扱う解析データは WS_C 試験によって取得されたものとする。
得られた成果	・手法の試験を目的とした、2 つの試料の解析結果について報告されているが、フェーズ 3 までの段階では有効な結果は出ていない。試験はフェーズ 4 に持ち越された。

試験名	WS-E Cl and He Profiles
試験の目的	・間隙水中の希ガスの同位体比や安定元素(Cl, H, O)、Cl、Br、I について調べる。間隙水の成分についても調べる。
概 要	・10 本のボアホールを穿孔する。希ガス測定のためのコアは特別な容器に密閉する。安定元素と Cl、Br、I 測定のためのコアは、アルミニウムホイル容器で状態を維持する。
得られた成果	・10m のボアホールに沿ったサンプルの希ガス濃度は一定であった。坑道から 5m 離れた地点においても希ガス濃度の変化はなかった。

試験名	WS-C Porewater chemistry
試験の目的	・水と粘土の相互作用や間隙水の抽出方法による間隙水成分への影響について研究する。
概要	・間隙水を圧縮して抽出する手法による、間隙水成分におよぼす影響について調べる。そのために 25~300MPa の圧力条件下で、主に粘土中のイオン濃度の変化について測定する。
得られた成果	・最初の間隙水は 87.5MPa の応力下で、次の間隙水は 100MPa の応力下で採取した。現在解析中である。
試験概要図	<p style="text-align: center;"><b>Configuration of WS-C experiment</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Porewater chemistry experiment</b></p>  <p style="text-align: center;">図 A1-3 間隙水化学 (Mt. Terri 試験場)</p> <p style="text-align: center;">出典 : Geotechnical Institute Ltd., Saint-Ursanne: Mt. Terri Project -Programme Overview Work Programme of Phase 4, (1998)</p>

試験名	GP Hydraulic and gas permeability
試験の目的	・均質な O.C. のガス透過特性と、ガス圧限界値を得る。有効応力や変形などと透水、透気係数との関係を調べる。
概要	・室内試験と幾つかの地質化学状態下での原位置試験を行う。ボアホールから水、ガスの注入を行い、他のボアホールで間隙水圧の変化を測定する。また、飽和度の測定、スライド式のマイクロメータによる岩盤変形の測定を行う。
得られた成果	・間隙のガス圧の変化は地質化学状態に依存するようであるという結果が得られている。

試験概要図

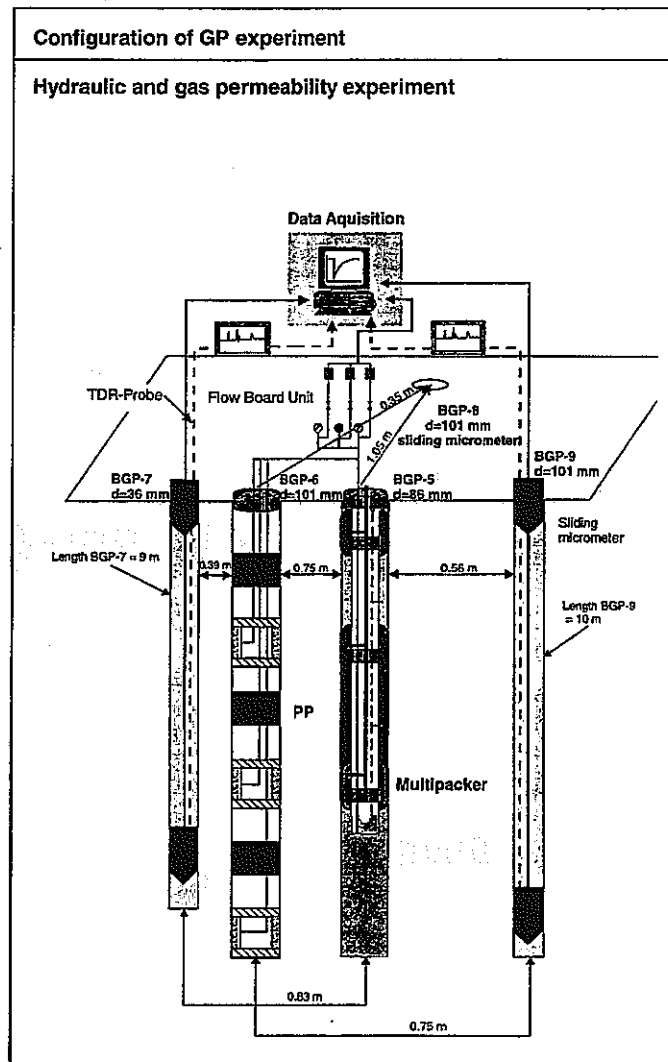
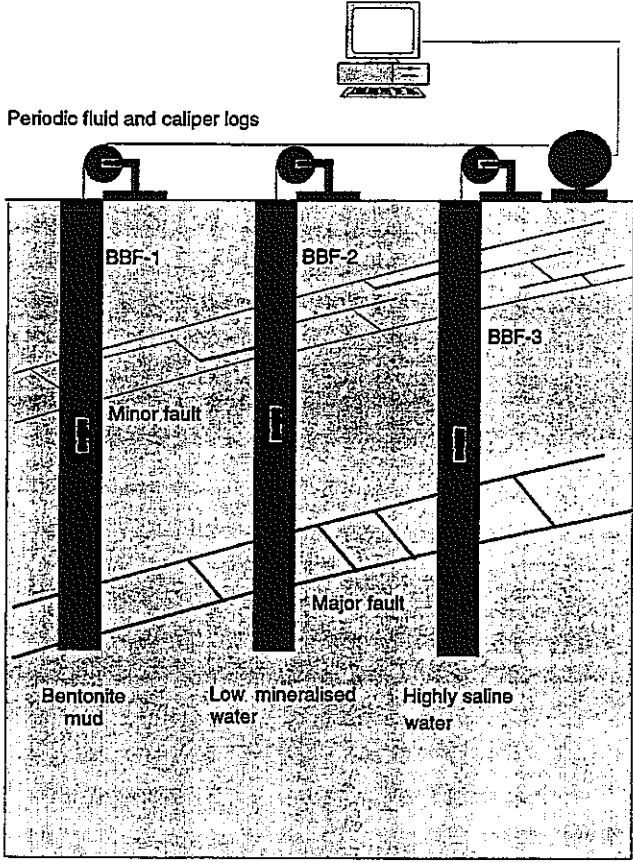


図 A1-4 透水性および透気性 (Mt. Terri 試験場)

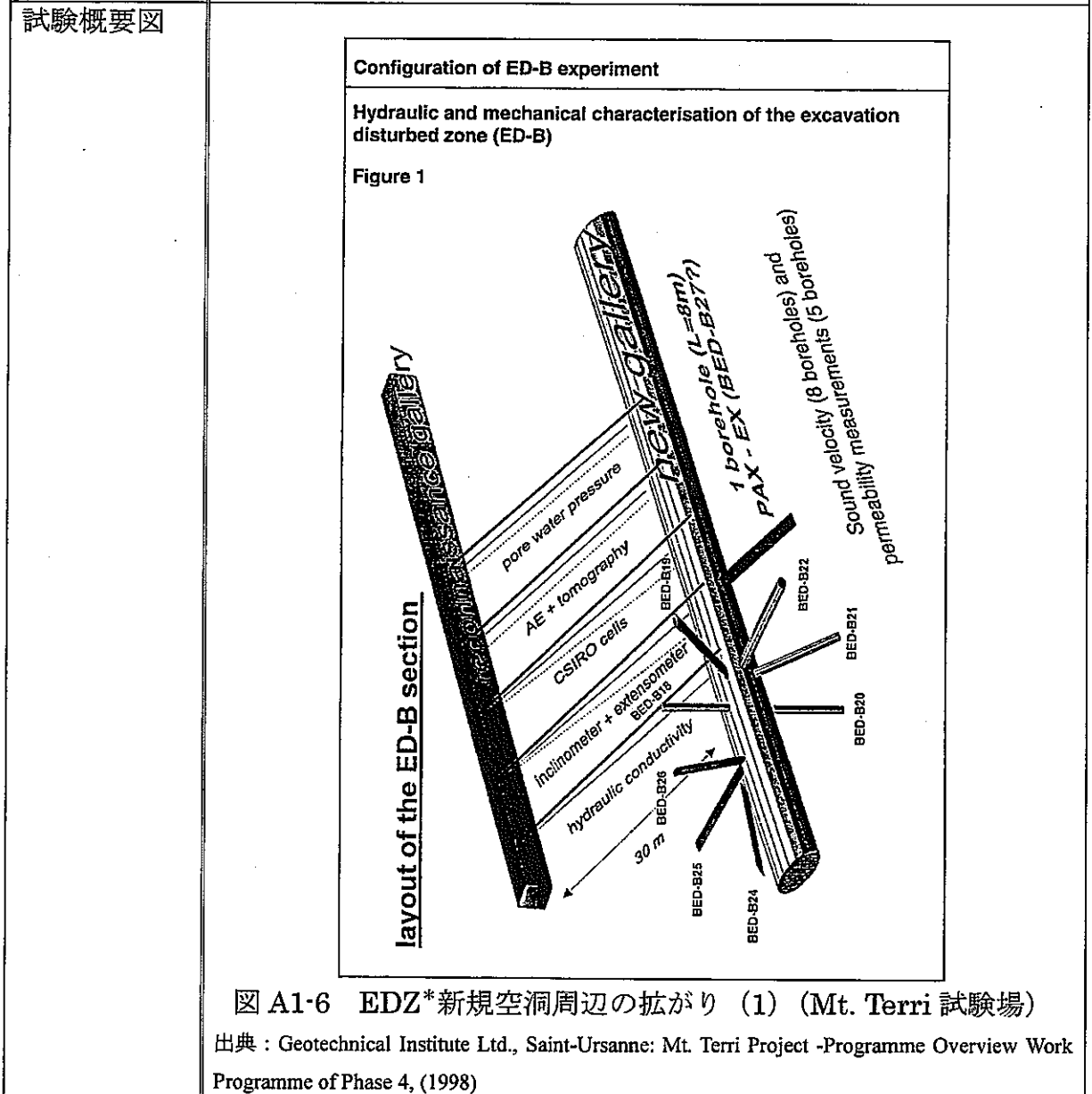
出典 : Geotechnical Institute Ltd., Saint-Ursanne: Mt. Terri Project -Programme Overview Work Programme of Phase 4, (1998)

試験名	BF Borehole fluid effects
試験の目的	・ボアホールを満たす水の成分に対するボアホール安定性を評価する。
概要	・3本の20m垂直ボアホールをベントナイト泥水で穿孔する。その後、1つは低鉱物水に、1つは高塩水に置きかえる。ボアホール径と透水性、温度の測定を3年かけて行い、孔の安定性などを調べる。
得られた成果	・KCl 溶液で満たされたボアホールがもっとも安定であった。ボアホール水位の上昇は、内部水にイオンが含まない場合は遅く、KCl 溶液は速い結果となった。
試験概要図	<div data-bbox="558 757 1334 1816" style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center;"><b>Configuration of BF experiment</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Borehole fluid effects experiment</b></p>  <p style="text-align: center;">Periodic fluid and caliper logs</p> <p style="text-align: center;">BBF-1      BBF-2      BBF-3</p> <p style="text-align: center;">Minor fault</p> <p style="text-align: center;">Major fault</p> <p style="text-align: center;">Bentonite mud      Low mineralised water      Highly saline water</p> </div> <p style="text-align: center;">図 A1-5 ボアホール流体による影響 (Mt. Terri 試験場)</p> <p>出典 : Geotechnical Institute Ltd., Saint-Ursanne: Mt. Terri Project -Programme Overview Work Programme of Phase 4, (1998)</p>

試験名	DT Drilling techniques
試験の目的	・最適な掘削(Drilling)、コアリングおよびオーバーコアリング技術の評価。
概 要	・種々の流体や空気、そして種々の装置による掘削(Drilling)およびコアリング試験を行う。

試験名	ED-A EDZ hydraulic and pneumat. tests
試験の目的	・掘削影響領域における、ニューマチック試験を用いた亀裂ネットワークの特性調査
概 要	・ボアホールにおいてニューマチック試験を行う。測定された空気流動や圧力は EDZ 亀裂ネットワークと相関があると考えられる。亀裂ネットワークが繋がっているかどうかなどを調べる。パッカー、水圧センサ、空気フローメーターなどを用いる。

試験名	ED-B EDZ evolution around new gall
試験の目的	・掘削影響領域の進行を地質化学試験、水理試験、力学試験によって評価する。
概要	・14本の計測用ボアホールを予備坑から設け、その後、予備坑と平行で30mはなれた位置に、径3.6mの坑道を掘削する。掘削前、掘削中、掘削後について計測を行う。
得られた成果	・新たなEDZにおける変位、間隙圧の変化について幾つかの方法で測定した。トモグラフィ試験からはEDZの拡がりを解明できると考えられる。



試験名	ED-C EDZ: seismic characterization
試験の目的	・坑道周辺の掘削影響領域の広がりを調べる。その影響度の大きさを地震波や地質電気学を用いて定量化する。
概要	・地震波測定はダウンホール計測、インターバル計測および屈折の計測を行う。電気的性質として、等間隔に並べた電極を用いて地盤の比抵抗を調べる。
得られた成果	・3本のボアホール周辺の地震波速度が低下していることを確認できた。また、その領域は透水係数が増加した領域と関連していることも確認した。

試験概要図

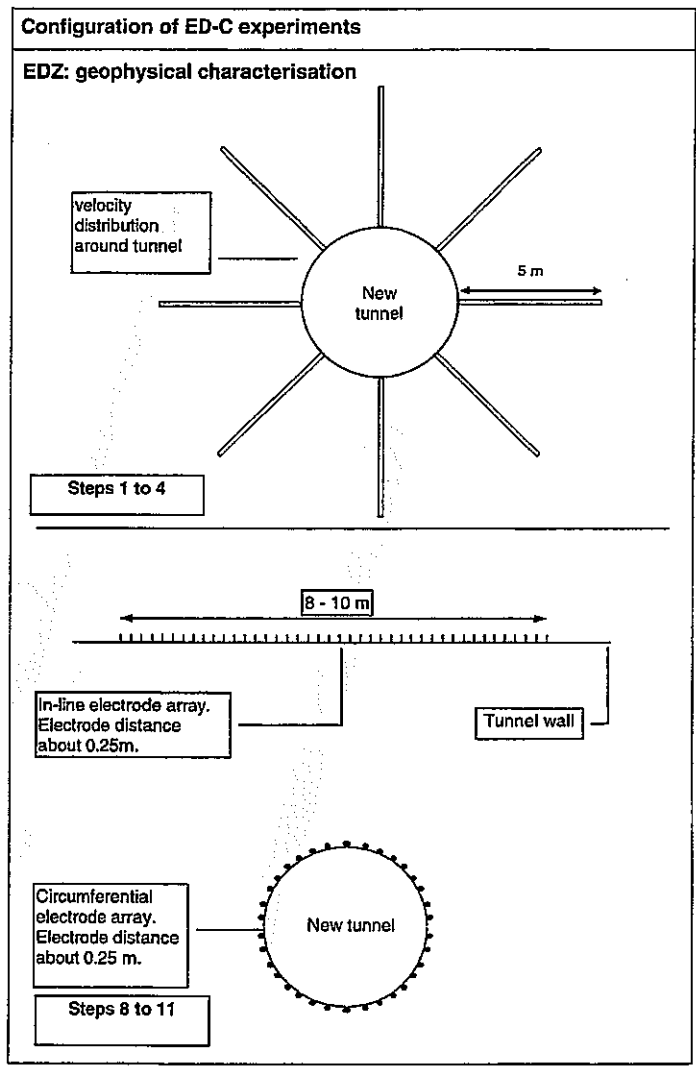
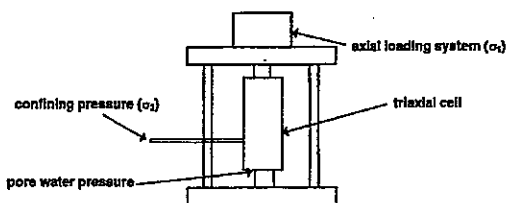
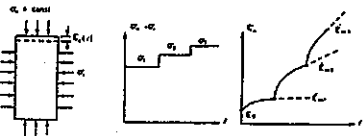
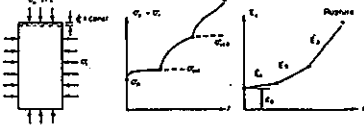
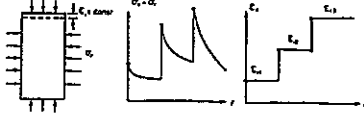


図 A1-7 EDZ\*地震動特性 Mt. Terri 試験場

出典 : Geotechnical Institute Ltd., Saint-Ursanne: Mt. Terri Project -Programme Overview Work Programme of Phase 4, (1998)

試験名	DM Deformation mechanism
試験の目的	・O.C.の力学的構成側を定式化する。結果は設計検討や長期安定性検討に用いられる。
概要	・室内試験と原位置試験を行う。岩盤に対して異なる方向、異なる含水率のコアについて試験を行う。クリープ試験に対応する解析などを行い、構成側を導出する。
得られた成果	・一定ひずみ速度試験によれば、最大偏差応力のひずみ速度に対する依存は、応力の指数法則で記述される。ベディング面と垂直なコアでは、強度の依存性は少ない。
試験概要図	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center;"><b>Configuration of DM experiment</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Deformation mechanism experiment</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Laboratory test in triaxial cell</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Constant homogeneous stress tests*</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Constant strain rate tests*</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Relaxation tests*</b></p>  <p style="font-size: small; text-align: center;">After: Dusseault &amp; Fordham (1993); Time-dependent Behavior of Rocks; in: Comprehensive Rock Engineering, Vol. 3; Pergamon Press.</p> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 20px;"><b>図 A1-8 変形メカニズム Mt. Terri 試験場</b></p> <p style="text-align: center; font-size: small;">出典：Geotechnical Institute Ltd., Saint-Ursanne: Mt. Terri Project -Programme Overview Work Programme of Phase 4, (1998)</p>



試験名	EH EDZ: self healing
試験の目的	・地下水と粘土の働きが、EDZの自己治癒を促すかどうかを評価する。
概要	・EDZの特性を把握するために空気圧試験を行う。注入用ボアホールと観測用ボアホールは、空洞支保工を貫通してEDZまで削孔する。空気圧試験とHeトレーサ試験をEDZを飽和させた後に行う。
得られた成果	・ED-A 空気圧試験からは、ロードヘッダ、発破掘削部ともに高透水性領域が存在することが示された。室内規模で、自己治癒機能プロセスが存在することが示された。

試験概要図

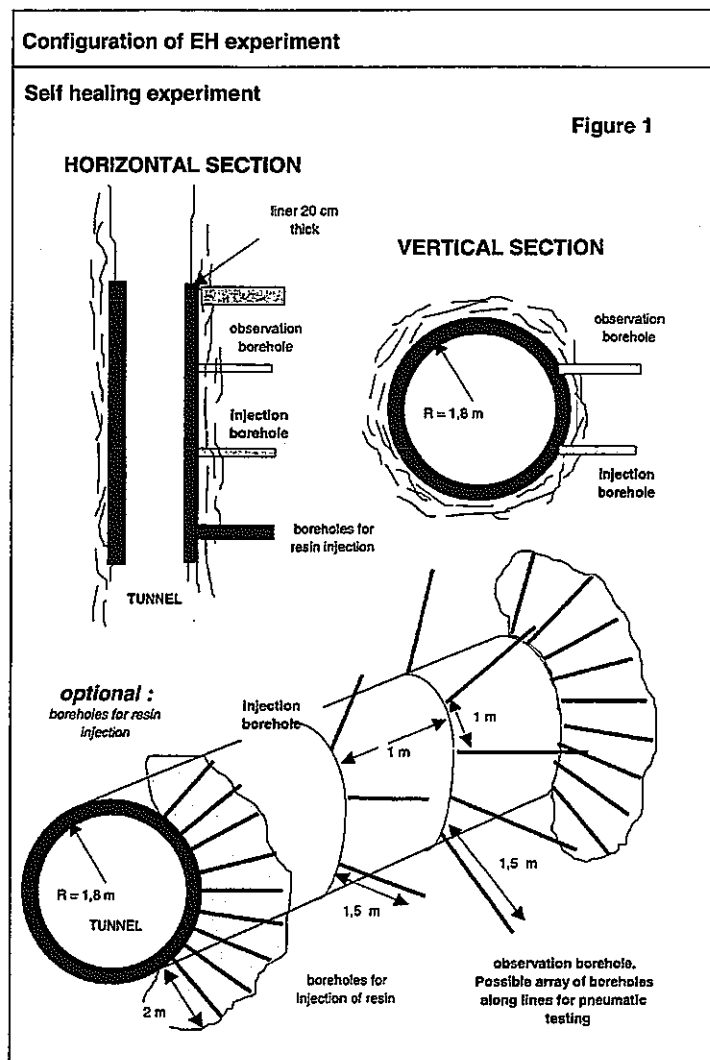


図 A1-9 EDZ\* 自己修復 Mt. Terri 試験場

出典：Geotechnical Institute Ltd., Saint-Ursanne: Mt. Terri Project -Programme Overview Work Programme of Phase 4, (1998)

試験名	UZ Unsaturated zone
試験の目的	・地下水と粘土の働きが、EDZ の自己治癒を促すかどうかを評価する。
概 要	・EDZ の特性を把握するために空気圧試験を行う。注入用ボアホールと観測用ボアホールは、空洞支保工を貫通して EDZ まで削孔する。空気圧試験と He トレーサ試験を EDZ を飽和させた後に行う。
得られた成果	・ED-A 空気圧試験からは、ロードヘッダ、発破掘削部ともに高透水性領域が存在することが示された。室内規模で、自己治癒機能プロセスが存在することが示された。
試験概要図	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center;"><b>Configuration of UZ experiment</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Unsaturated zone experiment</b></p> <div style="text-align: center; margin: 20px 0;"> <p style="text-align: center;">Evapometer (evaluation of the evaporation rate)</p> <p>Thermo-Couple-Psychrometers (TP) (evaluation of the matrix potential)</p> <p style="text-align: center;">2 cm 10 cm 50 cm 80 cm 100 cm 120 cm 150 cm 180 cm 210 cm</p> <p style="text-align: center;">Boreholes BUZ-A1-A8</p> <p style="text-align: center;">if possible</p> <p>Time - Domain-Reflectometry (TDR) (evaluation of the water saturation)</p> <p style="text-align: center;">● 0-50 cm ● 50-100 cm ● 100-150 cm ● 150-200 cm</p> <p style="text-align: center;">Boreholes BUZ-B1-B4</p> <p style="text-align: center;">Surface-TDR</p> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 20px;"><b>図 A1-10 不飽和領域 Mt. Terri 試験場</b></p> <p>出典 : Geotechnical Institute Ltd., Saint-Ursanne: Mt. Terri Project -Programme Overview Work Programme of Phase 4, (1998)</p> </div>

試験名	OP Osmotic Pressure
試験の目的	・頁岩の膜の許容される特性を示す。O.C.における浸透効果の有無と、水理試験に対する影響について調べる。
概要	・8mの垂直ボアホールにピエゾメータを設置する。ステンレスフィルターをボアホール壁面にできるだけ近く設置し、膨潤の影響や隙間を最小にする。孔内水位が平衡になると、イオン排除水に置換する。その後、再び平行後、NaCl溶液に置換する。
得られた成果	・浸透係数は約 $6E-15$ [m/s] で透水係数の約 $1/10$ という結果を得た。ボアホール BOP-1 の水位は、新たなボアホールを掘削した影響により上昇した。

試験概要図

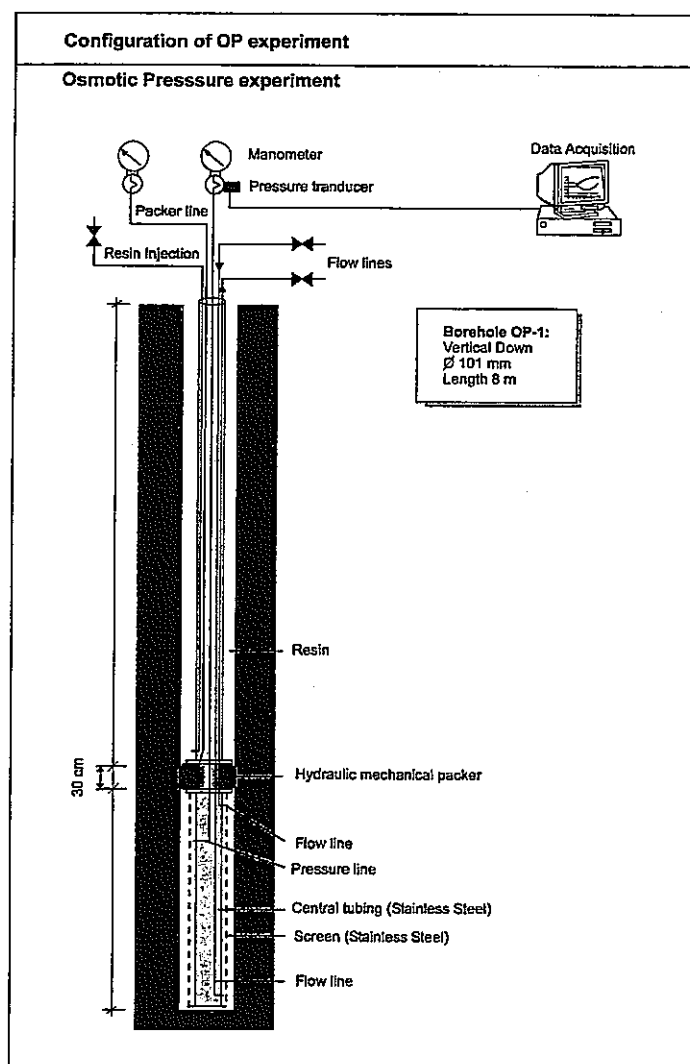


図 A1-11 オズモティックプレッシャーMt. Terri 試験場

出典 : Geotechnical Institute Ltd., Saint-Ursanne: Mt. Terri Project -Programme Overview Work Programme of Phase 4, (1998)

試験名	CW High-pH cement Porewater
試験の目的	・コンクリート成分が間隙水特性(pH 等)に及ぼす影響、それがニアフィールドの特性に及ぼす影響を検討する
概要	・ボアホール内に高 pH 溶液を満たす。期間は 1~2 年とし、最終段階でボアホールはオーバーコアされるか、それに平行なボアホールを穿孔する。
得られた成果	・ベルン大で分散試験を行い、通常の温度下で短期間(1~2 年)での実現可能性を確認した。

試験概要図

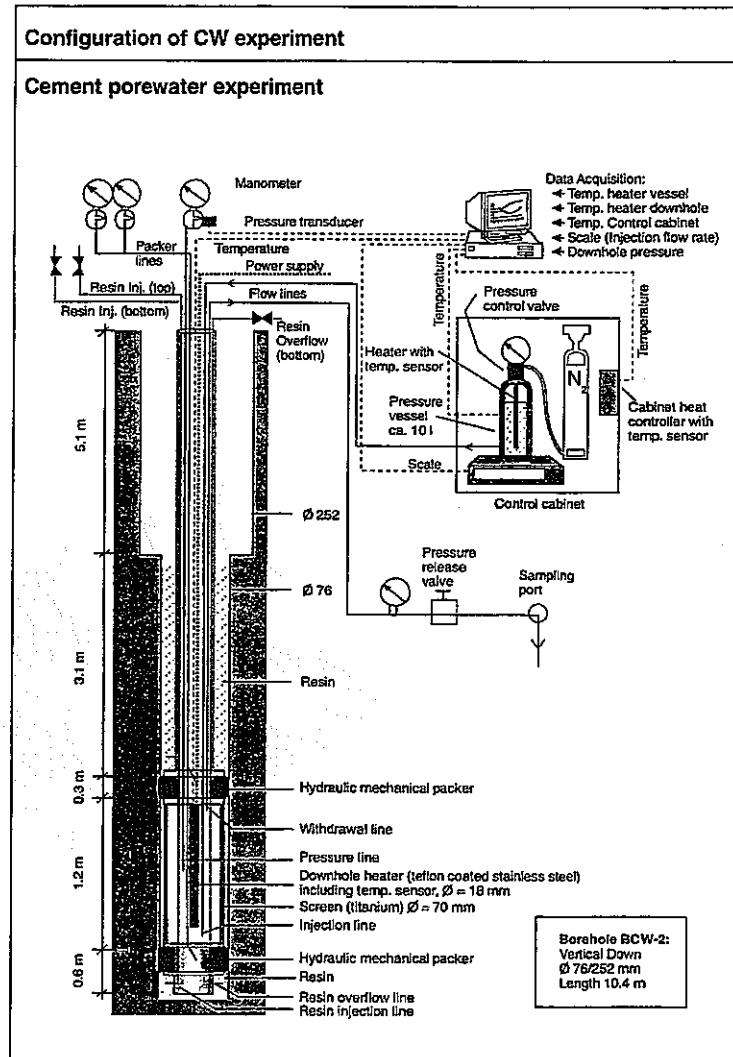


図 A1-12 高 pH セメントの間隙水 Mt. Terri 試験場

出典 : Geotechnical Institute Ltd., Saint-Ursanne: Mt. Terri Project -Programme Overview Work Programme of Phase 4, (1998)

試験名	GS Gasfrac self-healing
試験の目的	・発生した亀裂に対し、クリープや膨潤による自己治癒機能があるかどうか評価する。
概 要	・フェーズ 5 において、二つのボアホール間の水圧亀裂内の人工的な流れを測定する。岩盤の透水係数を測定し、自己治癒のための時間を推定する。自己治癒前後における亀裂内のガス圧と、あるいはガス透気性を測定する。
得られた成果	・小さなコア(mini cores)による試験では、亀裂係数を測定することにより、自己治癒の過程を示すような結果を確認した。
試験概要図	<div data-bbox="464 712 1244 1771" data-label="Diagram"> <p>The diagram, titled 'Configuration of GS experiment' and 'Gasfrac self-healing experiment', illustrates the experimental setup. It features a central rock sample with two boreholes: a 'Hydrofrac borehole (injection)' and an 'Observation borehole (withdrawal)'. A 'Flow board (p, q)' is connected to the observation borehole, which is linked to a 'Data acquisition' system. The diagram also illustrates the 'Propagation of hydrofrac in bedding plane' and the 'Dipole flow field in fracture'. A 'Plane of anisotropy (bedding)' is also indicated.</p> </div> <p data-bbox="471 1787 1260 1821">図 A1-13 ガスによる亀裂の自己修復 Mt. Terri 試験場</p> <p data-bbox="385 1827 1346 1888">出典：Geotechnical Institute Ltd., Saint-Ursanne: Mt. Terri Project -Programme Overview Work Programme of Phase 4, (1998)</p>

試験名	DI Diffusion in rock
試験の目的	・ボアホールパッカーの品質、岩質部浸透データの取得技術、オーバーコア技術、固相中のトレーサ検出技術の向上。
概要	・7m程度のボアホールで試験を行う。ボアホールはパッカーによって2分割され、間隙水圧と釣り合うように圧力をかける。釣り合い後、下方の区間にトレーサを入れる。最後にオーバーコアを行い、トレーサ濃度とボアホール距離の関係を調べる。
試験概要図	<p style="text-align: center;"><b>図 A1-14 岩盤中の拡散 Mt. Terri 試験場</b></p> <p style="text-align: center;">出典：Geotechnical Institute Ltd., Saint-Ursanne: Mt. Terri Project -Programme Overview Work Programme of Phase 4, (1998)</p>

試験名	HE Heater experiment
試験の目的	・緩衝材と母岩の境界に着目し、各材料の THM 応答を観測する。
概要	・ボアホール内に、緩衝材およびその中に発熱機を設置し、母岩の応答、緩衝材の水和や膨潤を測定する。項目としては温度、変形、応力、間隙圧、サクシオンおよび含水量を予定している。
得られた成果	・フェーズ 3 で予備解析、予備設計を行った。母岩の力学特性に関する室内試験、検討を開始している。

試験概要図

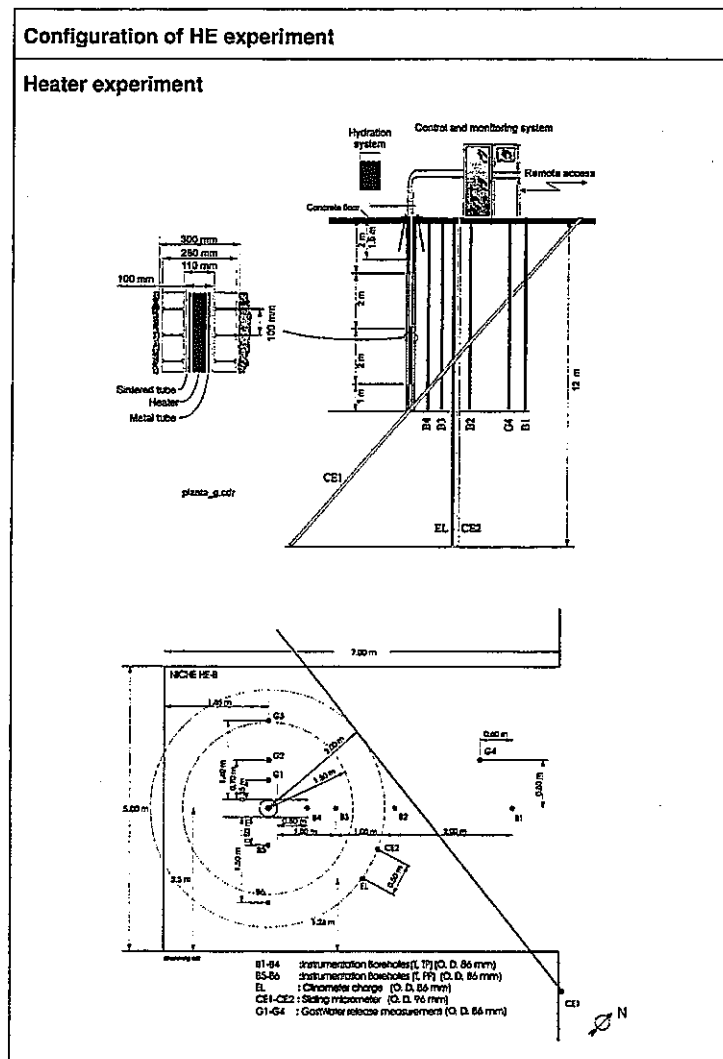


図 A1-15 ヒータ試験 Mt. Terri 試験場

出典 : Geotechnical Institute Ltd., Saint-Ursanne: Mt. Terri Project -Programme Overview Work Programme of Phase 4, (1998)

試験名	IS-A In situ stress
試験の目的	・原位置における岩盤の応力場の評価。
概 要	・オーバーコアリングやアンダーコアリングによる応力測定。

試験名	IS-B IN situ stress
試験の目的	・原位置における岩盤の応力場の評価。
概 要	・ボアホールスロットターによる応力測定。

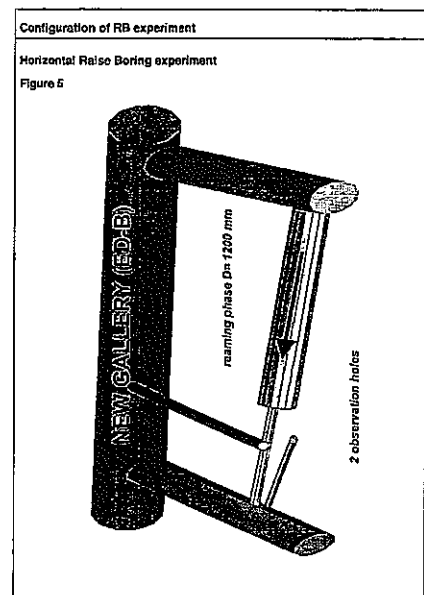
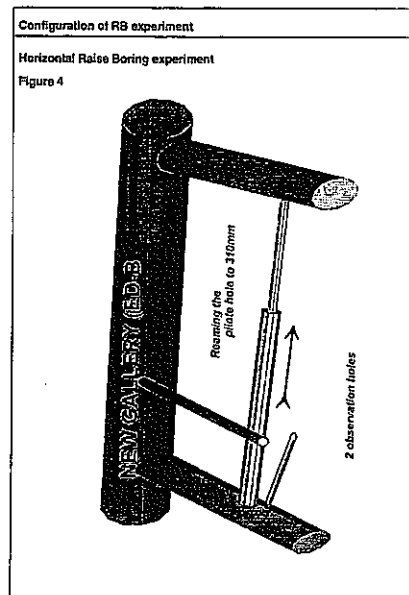


試験名	IS-C In-situ stress, hydraulic fract.
試験の目的	・Mt. Terri のファーフールド初期応力を評価する。
概要	・水圧亀裂法による応力測定を予定している。二つのパッカー間に水圧を作用させ亀裂を発生させる。現地応力は強度など、測定された特性値を用いて評価される。試験結果により解析モデルの基準応力を取得し、初期応力場を評価する。
得られた成果	・ボアホール溝法と掘削下法の二通りで計測した原位置応力の違いがあった。粘土質における原位置試験の方法について検討する必要がある。
試験概要図	<div data-bbox="498 734 1226 1796" data-label="Diagram"> <p style="text-align: center;"><b>Configuration of IS-C experiment</b></p> <p style="text-align: center;"><b>In-situ stress: hydraulic fracturing experiment</b></p> </div> <p style="text-align: center;">図 A1-16 地圧 (水圧破碎) Mt. Terri 試験場</p> <p>出典 : Geotechnical Institute Ltd., Saint-Ursanne: Mt. Terri Project -Programme Overview Work Programme of Phase 4, (1998)</p>

試験名	PP Porewater Pressure
試験の目的	・低透水性、低い自由水の含水といった条件下で、間隙水圧を測定する技術と手法を開発、確認すること。
概要	・新しい間隙水圧測定ピエゾメータを開発するに当たり、漏水対策、装置の圧縮性を最小にすることなどに留意した。装置はボアホール内に設置された4つのパッカーを有しており、レジンを二重パッカーの中間に注入し長期の止水性を確保する。
得られた成果	・パッカー閉鎖後のパッカー間水圧の時刻歴を取得した。保守的な透水係数 $2 \times 10^{-12} (\pm 0.5) / \text{ms}$ を導いた。壁面から 20m 離れた地点での水圧は 2.2MPa 近くと判明した。

試験名	RB Horizontal raise boring
試験の目的	・水平に近い坑道(sub-horizontally)掘削に対する、水平レイズボラの適用可能性を示す。
概要	・二つの横坑間に 311mm 径のパイロット孔を穿孔する。その後、1200mm 径で水平方向にリーミングする。レーズボール掘削影響領域に穿孔されたボアホールで、力学、水理特性を測定する。

試験概要図



A1-17 水平レイズボーリング (1) Mt. Terri 試験場

出典 : Geotechnical Institute Ltd., Saint-Ursanne: Mt. Terri Project -Programme Overview Work Programme of Phase 4, (1998)

試験名	GR Ground penetration radar
試験の目的	<ul style="list-style-type: none"> <li>頁岩で、地盤透過レーダー装置を地盤の不均質性測定に適用できるかどうかを評価する</li> </ul>
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mt.Terri の、ポテンシャル不均質性が予測される特性を設定するために、伝達率の法則を定量化する。伝達率は誘電率や伝導性に支配され、頁岩では一般的に高い。</li> </ul>
得られた成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>類似の CEA/IPSN によるフランスでの実験によれば、EDZ は 75cm 以内という結果となっている。</li> </ul>
試験概要図	<div data-bbox="519 663 1219 1722" style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center;">Configuration of GR experiment</p> <p style="text-align: center;">Ground Penetrating Radar experiment</p> </div> <p style="text-align: center;">図 A1-18 地盤レーダー検層 Mt. Terri 試験場</p> <p>出典 : Geotechnical Institute Ltd., Saint-Ursanne: Mt. Terri Project -Programme Overview Work Programme of Phase 4, (1998)</p>

試験名	DB Deep borehole simulation
試験の目的	・粘土の膨潤などの不確実性を評価する必要があり、最適なボアホール計測などの設計について検討する。
概 要	・3つのボアホールを互いに近距離に穿孔する。それぞれの穿孔は異なる液体を用いる。透水試験は2~3このパッカーを用いて、使用中でないボアホールで平行モニタリングを行う。

試験名	FP Fracture propagation
試験の目的	・新しい坑道掘削に伴い、掘削による亀裂の進展について調べる。 掘削工法による違いについても調べる。
概要	・坑道壁面から 18 の小計孔を、新しい坑道周辺に EDZ を通るように穿孔する。そこから蛍光性レジンを注入し、亀裂を充填する。その後オーバーコアを行い、亀裂ネットワーク配置を調べ、EDZ の拡がりを調べる。
得られた成果	・注入されたレジンの体積から、ロードヘッダ、発破掘削ともに EDZ が発生していること、EDZ における異方性を確認した。

試験概要図

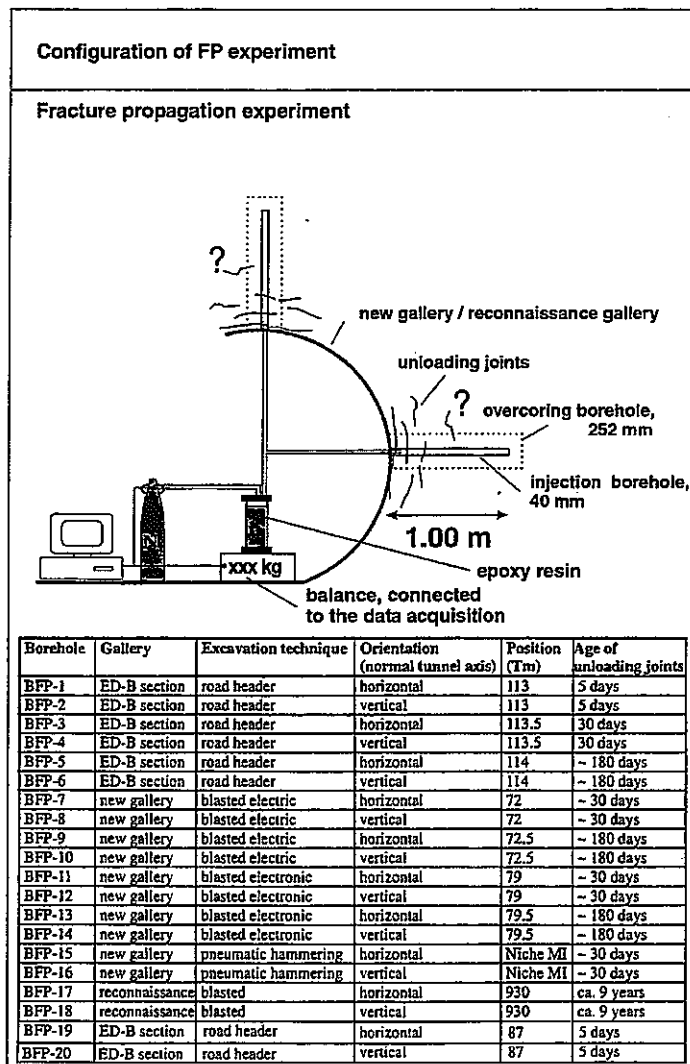


図 A1-19 亀裂進展 Mt. Terri 試験場

出典 : Geotechnical Institute Ltd., Saint-Ursanne: Mt. Terri Project -Programme Overview Work Programme of Phase 4, (1998)

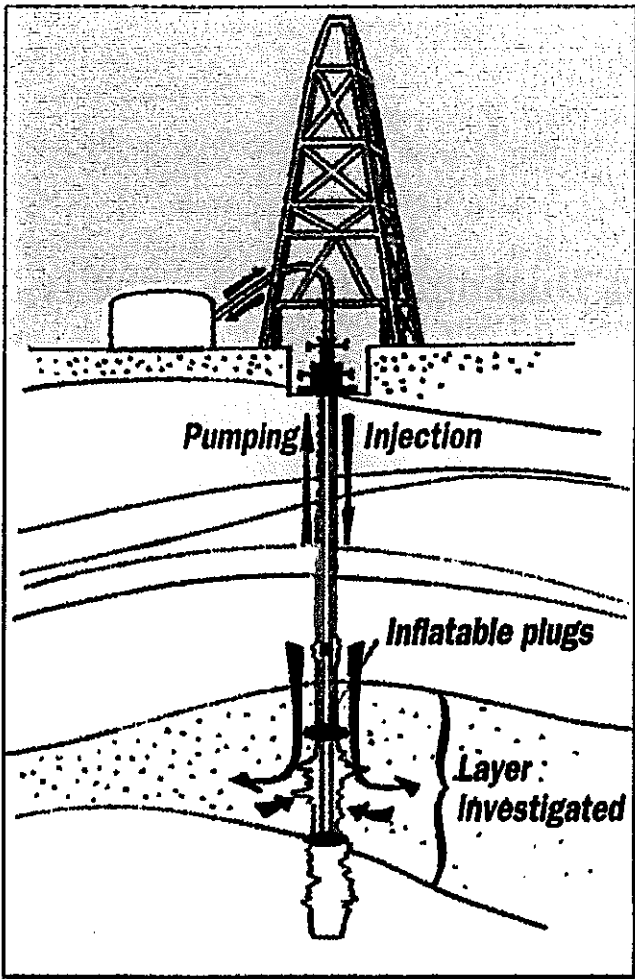
試験名	GM Geochemical modelling
試験の目的	・得られた地質化学データベースを統合し、それぞれのデータの有効性を高める検討をする。
概 要	・実験チームと協力した、種々の地質学者やモデリンググループが必要である。統合は、異なる知見を有する幅広い専門家を基礎として行う。
得られた成果	・このタスクはフェーズ4から始められる。フェーズ1と2のWS-AとWS-Bの結果に関するモデル化を主とする予備的な統合を行った。
試験概要図	

資料-2 : フランス Meuse/Haute-Marne URL における調査研究

試験名	地質探査
試験の目的	・地下実験場周辺の広範囲の地質、地層構成を把握する。
概要	・地表地質分布や井戸や泉による水理データ、そして主に地震波測定を用いた油層探鉱による大量の情報を処理し、地質状況を推定する
得られた成果	・地質断面の結果を得た。具体的には、Haute-Marne の北とミューズの南はほとんど単純で水平な地層で構成されている。また、大きな断層(fault)が少ない。

試験名	コア採取、水理試験
試験の目的	・地質の物理化学や熱、水理特性を特定するためのデータを得る。
概要	・1 km 程度の深い二つのボアホールを、5km の間隔で穿孔しコアを採取する。またその孔を用いて水理試験を行う。
得られた成果	・地質の透水性が低いことを確認した。また、Callovo-Oxfordian 頁岩層の周りの石灰岩帯からの水の供給が欠乏していることを確認した。

試験名	コア採取、地震波探査
試験の目的	・地質データの精密化を計る
概要	・10 個の浅いボアホールを用いて地震波探査を行う。深いボアホールを穿孔し、コアを採取する。このボアホールで調べた地層により、地震波で得た地質構造データの精密化を計る。地下水流を調べるために、水理計測装置(圧力計)を設ける。
得られた成果	・地層構造を明確にした。深いボアホールにより鉱物学的、地質化学的な性質を調べた。

試験名	透水係数の測定
試験の目的	・試験場を予定している地点における透水係数を測定する
概要	・膨らませることができるパッカーに挟まれたボアホール区間内で、水を加圧または減圧する。区間内の水圧変化の速度から透水係数を推定する。
得られた成果	・頁岩層の透水係数は $10^{-11} \sim 10^{-13} [m/s]$ と推定された。サンプルから得られた透水係数 $3 \sim 8 \times 10^{-13} [m/s]$ と良く一致している。
試験概要図	 <p style="text-align: center;"><i>Hydrogeological permeability tests</i></p> <p style="text-align: center;">図 A2-1 透水係数の測定 Meuse URL 試験場 出典：ANDRA: State of knowledge and experimental program, P.17, (1998)</p>



試験名	コア採取、電気抵抗測定
試験の目的	・地層断面や、地質の三次元的な概要を取得する。
概 要	・ボアホールを穿孔し、コアを採取する。ボアホールにより岩盤の電気抵抗を測定する。
得られた成果	
試験概要図	 <p style="text-align: center;"><i>Core examination and analysis.</i></p> <p style="text-align: center;">図 A2-2 コア採取、電気抵抗測定 Meuse URL 試験場 出典：ANDRA: State of knowledge and experimental program, P.17, (1998)</p>

試験名	掘削に伴う坑道の挙動試験
試験の目的	・実験のために掘削される坑道の挙動を予測する。
概要	・竖坑や横坑の掘削に伴い、地質の構造的な状況を確認する。地下実験を実施するにあたり、坑道壁面に亀裂が発生することがあるかどうかなどの検討に用いる。また試験期間中は、坑道に等間隔に設けられた測定機により構造挙動を観測する。
得られた成果	
試験概要図	<p>(1) BOREHOLES DRILLED LATER FOR MECHANICAL AND HYDRAULIC TESTS</p> <p>Mechanical response of siltite to excavation of a gallery</p>
<p>図 A2-3 掘削に伴う坑道の挙動試験 Meuse URL 試験場  出典 : ANDRA: State of knowledge and experimental program (1998) , P.26</p>	

試験名	初期応力計測
試験の目的	・地山初期応力を取得する。
概要	・ボアホールの変形を調べる

試験名	掘削影響評価試験
試験の目的	・坑道掘削による影響領域の進展を確認し、評価する。
概要	・試験坑の掘削が進行する前方に 20~40m のボアホールを穿孔する。各種測定器を設置したボアホールの中に坑道を掘削し、切羽の進行に伴う透水係数、変形や波速の変化を調べる。
得られた成果	
試験概要図	<p>Observation of disturbances due to shaft excavation</p> <p>図 A2-4 掘削影響評価試験 Meuse URL 試験場 出典：ANDRA: State of knowledge and experimental program, P.27, (1998)</p>

試験名	プラグの性能試験
試験の目的	・プラグの性能を評価する。
概要	・小規模のプラグをボアホール内に設置する。プラグの吸水および膨潤が完了した後、プラグに水圧を作用させる。試験後、プラグのサンプルから飽和度、透水係数を測定し、プラグの耐久性を調べる。

試験名	実規模プラグ施工試験
試験の目的	・プラグ材料の均質性を調べる。閉鎖後のプラグの密度維持性について知見を得る。
概要	・坑道内に実規模のプラグを構築する。プラグ内に測定器を埋め込み、密度や間隙率、含水率、応力を測定する。小規模プラグによる試験結果と比較する。
試験概要図	<p>Seal placement test.</p> <p>図 A2-5 実規模プラグ施工試験 Meuse URL 試験場 出典：ANDRA: State of knowledge and experimental program, P.28, (1998)</p>

試験名	掘削影響評価試験
試験の目的	・坑道掘削によって発生すると考えられる、坑道周辺の不飽和状態が閉じ込め性に及ぼす影響を調べる。
概要	・坑道掘削による影響領域において、水圧や飽和度と掘削から経過した時間との関係や、坑道からの距離の関係を調べる。また、サンプルも採取する。

試験名	熱影響試験
試験の目的	・廃棄体の発熱による影響や、許容温度を評価する。
概要	・坑道から穿孔した垂直ボアホール内で電気ヒーターを数ヶ月間、発熱させる。発熱体から異なる距離に数箇所計測用ボアホールを穿孔し、温度、水圧、変形、応力を計測する。試験終了後に地下水を採取し、鉱物化学的变化を調査する。
試験概要図	<p style="text-align: center;">Experiment on responses of argillite to thermal loadings.</p> <p style="text-align: center;">図 A2-6 熱影響試験 Meuse URL 試験場 出典：ANDRA: State of knowledge and experimental program, P.29, (1998)</p>

試験名	化学的影響評価試験
試験の目的	・坑道掘削によって外部から持ち込まれる物質(外気、コンクリート、鉄)による化学的影響を調べる。
概要	・処分場によって持ち込まれると予想される化学成分(をボアホールから注入する。サンプルから地質の化学成分に関する影響や、影響の伝達、岩盤の劣化について試験する。酸化フロントの拡がりをもボアホールからモニタする。

試験名	岩盤の拡散試験
試験の目的	・岩盤の拡散係数および核種保有性を評価する。
概要	・拡散係数を取得するため、岩盤と相互作用しないトレーサをボアホールから注入し、距離に応じたトレーサ濃度を調べる。放射性核種と相似の特性をもつトレーサを注入し、移流速度の違いから岩の核種保有性を定量化する。
試験概要図	<p style="text-align: center;"><i>Reactive tracer test.</i></p> <p style="text-align: center;">図 A2-7 岩盤の拡散試験 Meuse URL 試験場 出典：ANDRA: State of knowledge and experimental program, P.31, (1998)</p>

試験名	地下水分析
試験の目的	・核種移行特性を評価するために必要な、地下水成分を取得する。
概要	・間隙水や岩を損なわないまま取り出すため、間隙水の詳細な化学特性を調べるために特別なボアホール(清潔、無菌、イオン排除そして脱気された水で満たされた)を穿孔する。

試験名	岩盤の透水試験
試験の目的	・地下水流動特性を評価するために必要な、地下水位分布を取得する。
概要	・ボアホールネットワークを地下研に設置し、水頭分布を調べる。 10m のボアホールに設けた 2 つのプラグ間に数ヶ月間水圧を作用させることにより透水係数を測定する。
試験概要図	<p style="text-align: center;">Permeability measurement.</p> <p style="text-align: center;">図 A2-8 岩盤の透水試験 Meuse URL 試験場 出典：ANDRA: State of knowledge and experimental program, P.32, (1998)</p>

試験名	掘削影響評価試験
試験の目的	・解析に用いる水理モデルの精度を向上させる。
概要	・既設(地下研掘削開始前)のボアホールにより、地下研上部に位置する石灰岩層の水圧、温度、透水係数を数年間にわたり測定する。竖坑掘削前後のデータから、地下水流に対する影響を評価する。

資料-3 : ベルギーMolにおける調査研究

試験名	地質メカニズム試験
試験の目的	・坑道の建設可能性、ニアフィールドへの地盤力学的影響および原位置地盤物性について試験を行う。
概要	・全水頭および間隙水圧、変位、試験体としての地下研究施設、調査立坑、調査坑道への地圧荷重について評価した。
得られた成果	・前水頭に関しては分布した値となり、一様ではなかった。間隙水圧は確からしい値を得た。荷重および変位についても確からしい値を得ることができた。
試験概要図	<p style="text-align: center;"><b>CONSTRUCTION TEST DRIFT</b></p> <p style="text-align: right;"><b>SCK-CEN</b> STUDIECENTRUM VOOR KERNENERGIE CENTRE D'ETUDE DE L'ENERGIE NUCLEAIRE</p>
<p style="text-align: center;">図 A3-1 地質メカニズム試験 MOL 試験場 出典:SCK/CEN: HADES Tour Guide Notebook 6th edition, (1999)</p>	



試験名	坑道建設可能性試験(MINE-BY)
試験の目的	・トンネル技術の直接的なデモンストレーション。
概要	・小口径の調査用立坑と坑道(L=20m、φ=2m)、実規模試験坑道(L=42m、φ=4.7m)、スライディングリブ坑道(L=12m、φ=4.4m)について掘削を行った。
得られた成果	・建設可能性、中期間における健全性ともを示すことができた。数値解析の結果と観察結果とは適切に一致している。
試験概要図	<p>The diagram illustrates the MINE-BY test setup. On the left, a vertical 'EXPERIMENTAL SHAFT' is shown, connected to a 'MAIN GALLERY' at the top. Various sensors are installed along the shaft, including 'EXTENSOMETER', 'INCLINOMETER', 'LOAD CELLS', 'PRESSURE CELLS', and 'DIOPHANE CEMENT EXTENSOMETER'. At the bottom, an 'EXPERIMENTAL DRIFT' is shown with 'LOAD CELLS', 'DIAPHRAGM CONVERGENCE', and 'EXTENSOMETER' sensors. The 'SCK-CEN' logo is present. On the right, a 'PIEZOMETER' is shown in a vertical orientation. Below it, a 'CONCEPTUAL VIEW OF THE HORIZONTAL MEASUREMENT' shows a cross-section of the shaft and drift with 'GALLERY', 'CHART', and 'PIEZOMETER' labels. A circular inset shows a 'PIEZOMETER' with a '1.5cm' scale. Text on the right states: 'Conceptual view of the horizontal measurement, for the in-situ injection experiment with filtered water, showing the arrangement and the dimensions of the filters. Purpose: Validation of flow and transport model of radionuclides in Boom clay.'</p> <p>図 A3-2 坑道建設可能性試験 (MINE-BY) MOL 試験場  出典:SCK/CEN: HADES Tour Guide Notebook 4th edition, (1999)</p>

試験名	熱影響試験(CACTUS)															
試験の目的	・HLW 周辺粘土に対する熱影響の直接的なデモンストレーション。															
概要	・熱源として GOGEMA による HLW を 50 年間分、疑似している。 二つの異なる定置方式を対象としている。パラメータは温度、全水頭、間隙水圧、密度、含水量などである。															
得られた成果	・試験結果は理論的な熱水力学モデルの結果と比較された。															
試験概要図	<p><b>CACTUS 1</b></p> <p>DEPTH (m)   INJECTED VOLUME (m³)   THEORETIC VOLUME (m³)</p> <table border="1"> <tr> <td>Concrete</td> <td>2,201</td> <td>2,000</td> </tr> <tr> <td>Cement</td> <td>0,176</td> <td>0,180</td> </tr> <tr> <td>Clay</td> <td>0,105</td> <td>0,105</td> </tr> <tr> <td>Polysol</td> <td>0,361</td> <td>0,472</td> </tr> <tr> <td>Clay grout</td> <td>0,398</td> <td>0,525</td> </tr> </table> <p>View AA: Ø510, Ø550 View BB: Ø545 View CC: Ø500, Ø300</p> <p>ANDRA</p> <p>図 A3-3 熱影響試験 (CACTUS) MOL 試験場 出典:SCK/CEN: HADES Tour Guide Notebook 4th edition, (1999)</p>	Concrete	2,201	2,000	Cement	0,176	0,180	Clay	0,105	0,105	Polysol	0,361	0,472	Clay grout	0,398	0,525
Concrete	2,201	2,000														
Cement	0,176	0,180														
Clay	0,105	0,105														
Polysol	0,361	0,472														
Clay grout	0,398	0,525														

試験名	許容温度に関する試験(ATLAS)
試験の目的	・加熱された場における粘性挙動のモデル比較
概要	・小スケールによる試験。ヒーター管と二つの平行モニタリング管を用いて測定を行う。パラメータとしては全水頭、温度、間隙水などを扱う。
得られた成果	・前水頭に関しては分布した値となり、一様ではなかった。モニタリングシステムの統合と最適化を行った。
試験概要図	<p style="text-align: center;"><b>ATLAS EXPERIMENT</b></p> <p style="text-align: center;">Lay-out of the interday 2 experiment at Mol (top view)</p> <p style="text-align: center;">Legend: B : biaxial stressmeter FJ : flat jacks + piezometers</p> <p style="text-align: center;"><b>SCK-CEN</b> STUKCENTRUM VOOR KERNENERGIE CENTRE D'ETUDE DE L'ENERGIE NUCLEAIRE</p>

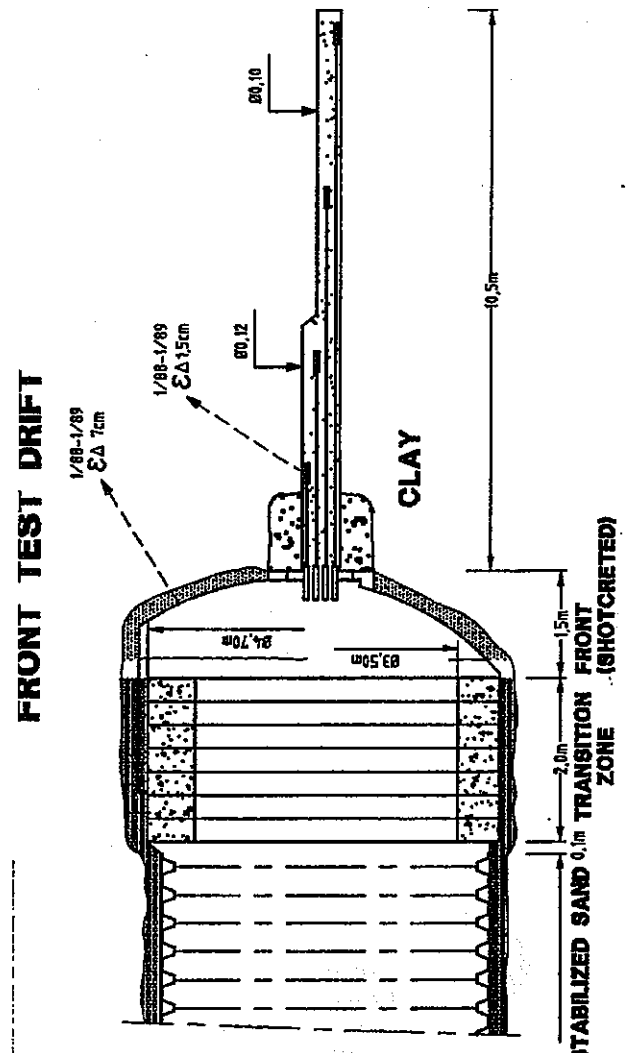
図 A3-4 許容温度に関する試験 (ATLAS) MOL 試験場

出典:SCK/CEN: HADES Tour Guide Notebook 6th edition, (1999)

試験名	深層粘土層への大気の水理的影響試験(PHEBUS)
試験の目的	・建設や処分場の操業による、深い粘土層における水理的な影響を観察する。
概要	・実験プローブを回収された腐食ループの延長物に装備する。全水頭と間隙圧を予測するための装置を粘土に設置する。ニュートロン・ガンマプローブを採用している。
得られた成果	・要求されたアクセスホールを正確な穿孔を行った。平行なニュートロン・ガンマプローブを実現した。
試験概要図	<p>The diagram illustrates the PHEBUS experimental setup. It features a vertical shaft with a 'Salt free lining' and concrete casing. Three tubes are installed: Tube A is horizontal, while Tubes B and C are angled downwards. A probe is positioned at the top of the shaft. The shaft is surrounded by concrete. A scale bar indicates 1, 2, 3, 4, 5 meters. Logos for SCK-CEN and ANDRA are also present.</p>

図 A3-5 深層粘土層への大気の水理的影響試験 (PHEBU)  
MOL 試験場

出典:SCK/CEN: HADES Tour Guide Notebook 6th edition, (1999)

試験名	試験坑道端部の吹付けコンクリート挙動試験
試験の目的	・坑道端部、切羽前方吹付けコンクリートの長起安定性を検討する。
概要	・平均厚さ約 10cm の吹付けコンクリートを坑道本体の支保工から完全に分離する(隙間 25cm)。吹付けコンクリート上 15 点の変位測定を行う。
得られた成果	
試験概要図	 <p>The diagram illustrates a cross-section of a tunnel test setup. At the top, a vertical shaft is labeled 'FRONT TEST DRIFT'. Below it, a section of 'CLAY' is shown. A 'TRANSITION FRONT (SHOTCRETED)' is indicated with a 1.5m vertical dimension. Below the clay is a 'STABILIZED SAND 0.1m' layer. The tunnel structure consists of a top section with a diameter of 84.70m and a lower section with a diameter of 83.50m. Two points on the shaft are labeled 'B0.10' and 'B0.12'. Two points on the drift are labeled '1/88-1/89 ΔΔ 7cm' and '1/88-1/89 ΔΔ 15cm'. A vertical dimension of 80.5m is shown on the right side of the shaft. The SCK·CEN logo is present at the bottom right of the diagram area.</p>
<p>図 A3-6 試験坑道端部の吹付けコンクリート挙動試験 MOL 試験場 出典:SCK/CEN: HADES Tour Guide Notebook 6th edition, (1999)</p>	

試験名	原位置腐食試験
試験の目的	・中期間における廃棄体と Boom clay との相互作用を評価する。
概要	・粘土と直接接触した 4 つの管、粘土と接触していない 5 つの管、コンクリート飽和した粘土雰囲気における 2 つの管を用いる。パラメータとしては、気圧(atmosphere)、温度、持続時間および試料の取り扱いである。
得られた成果	・実験室での廃棄体についての確認を行った。例えば、腐食速度は 1 ~ 10 $\mu\text{m}$ /年、耐腐食材料、腐食材料についての確認など。
試験概要図	<p style="text-align: center;"><b>CORROSION TUBES</b></p> <p style="text-align: center;">Schematic view of the corrosion tube for tests in direct contact with clay (Type II)</p> <p style="text-align: center;">Schematic view of the corrosion tube developed for material testing in a clay derived atmosphere (Type III)</p> <p style="text-align: center;">Schematic view of the tube for corrosion experiments combining exposure to clay and exposure to a concrete saturated clay atmosphere (Type III)</p> <p style="text-align: right;"><b>SCK·CEN</b> STUCCENTRUM VOOR KERNENERGIE CENTRE D'ETUDE DE L'ENERGIE NUCLEAIRE</p> <p style="text-align: center;">図 A3-7 原位置腐食試験 MOL 試験場</p> <p style="text-align: center;">出典:SCK/CEN: HADES Tour Guide Notebook 6th edition, (1999)</p>

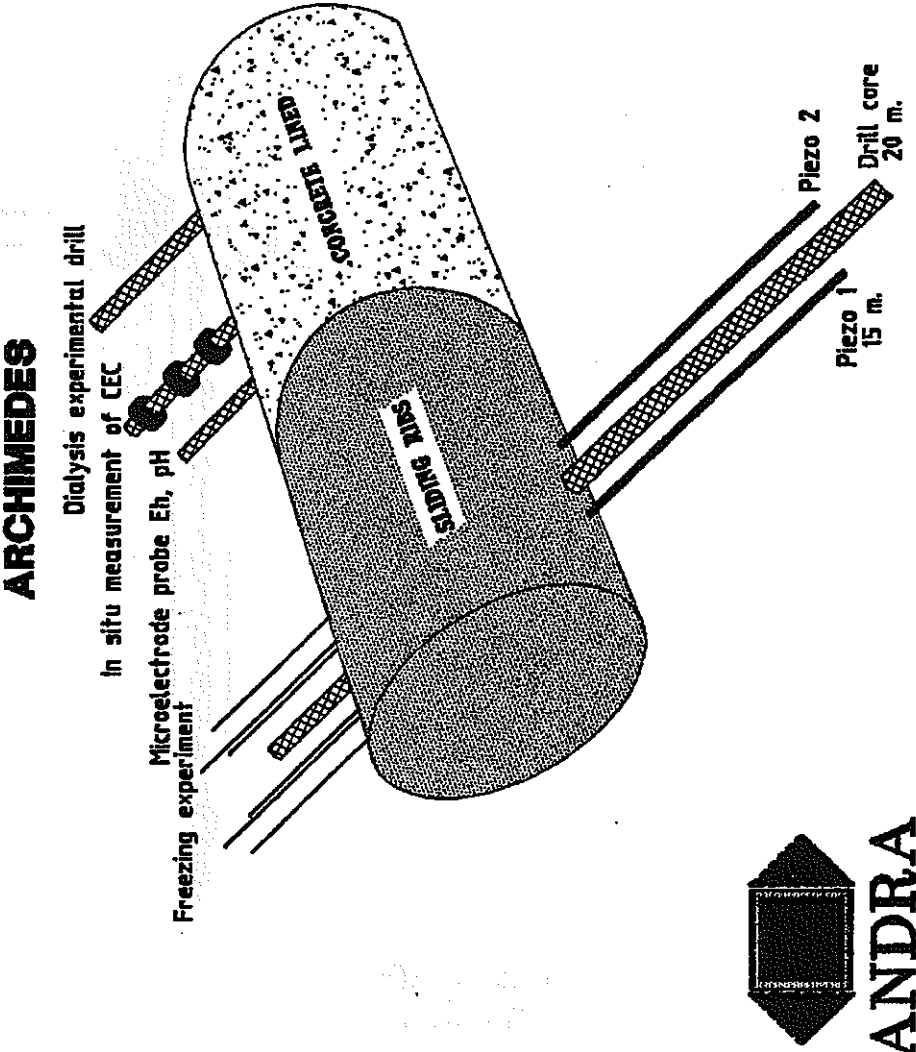
試験名	飽和した埋戻し材に関する制御試験(BACCHUS2)
試験の目的	・粘土を基本とした製品レベルの埋戻し材(ペレット)の適用性のデモンストレーション。
概要	・ボアホール(φ520mm)に充填された埋戻し材(ペレット)の中に、フィルターを設置する。パラメータとしては、含水フロントの進行、間隙水圧、埋戻し材と Boom Clay との境界での水圧、飽和後の原位置透水係数を対象とする。
得られた成果	
試験概要図	<p style="text-align: center;"><b>BACCHUS 2</b></p> <p style="text-align: center;"><b>SCK-CEN</b> STUDEECENTRUM VOOR KERNENERGIE</p> <p>図 A3-8 飽和した埋戻し材に関する制御試験 (BACCHUS2) MOL 試験場</p> <p>出典:SCK/CEN: HADES Tour Guide Notebook 6th edition, (1999)</p>


試験名	原位置でのガス移行モデリング試験 (MEGAS)
試験の目的	・ガス浸透モデルの妥当性確認のための、実験データを取得するため。
概要	・ガス(ヘリウム)を注入するピエゾメーター(φ90mm)、水平面に60cm および 90cm の間隔で設置したピエゾネストを用いる。パラメータとしては、ガス移行速度、ガス圧、水圧を対象とする。
得られた成果	
試験概要図	<p>(B-C) Filters 653.6/50 from 1175 to 15 m  (D) Filters 655.6/50 from 10.5 to 15 m  (A) Filters 667/79 from 11 to 15 m</p> <p>1.2% angle of inclination</p> <p><b>MEGAS</b></p> <p><b>IN SITU GAS INJECTION EXPERIMENT</b></p> <p><b>SCK·CEN</b>  STUKCENTRUM VOOR KERNENERGIE  CENTRE D'ETUDE DE L'ENERGIE NUCLEAIRE</p>
<p>図 A3-9 原位置でのガス移行モデリング試験 (MEGAS)  MOL 試験場</p> <p>出典:SCK/CEN: HADES Tour Guide Notebook 6th edition, (1999)</p>	



試験名	原位置での注入、移行試験
試験の目的	・Boom Clay における遅延しない放射性核種の移行挙動のデモンストレーション。
概要	・ポーラス・スクリーンを通して、Boom Clay へのトレーサの注入を行う。注入地点から、決められた距離から水を採取しトレーサの検出を行う。
得られた成果	
試験概要図	<p style="text-align: center;"><b>IN-SITU INJECTION MIGRATION EXPERIMENT</b></p> <p style="text-align: center;">Tridimensional network of 3 horizontal piezometers installed at the ring 32 (east) in the Test Drift</p> <p style="text-align: center;">Horizontal</p> <p style="text-align: center;">Vertical</p> <p style="text-align: center;">Piezo 3 Injection</p> <p style="text-align: center;">Piezo 1</p> <p style="text-align: center;">Piezo 2</p> <p style="text-align: center;">Horizontal</p> <p style="text-align: center;">Vertical</p> <p style="text-align: center;">Test Drift Ring 41</p> <p style="text-align: center;">Injection filter #8</p> <p style="text-align: center;">Injection filter #8</p> <p style="text-align: center;">Vertical</p> <p style="text-align: center;">SCK-CEN STUCCENTRUM VOOR KERNENERGIE CENTRE D'ETUDE DE L'ENERGIE NUCLEAIRE</p> <p style="text-align: center;">図 A3-10 原位置での注入、移行試験 MOL 試験場 出典:SCK/CEN: HADES Tour Guide Notebook 6th edition, (1999)</p>

試験名	放射線、間隙水圧、掘削影響試験(CERBERUS)
試験の目的	・放射線、水頭およびボーリングの、組み合わせた影響の直接的な証明(ニアフィールド)。
概要	・444TBqのCo-60と、試験坑道底盤から2.5m下に設けた362Wの二つの電気ヒーターを用いる。線量、温度、全水頭、間隙水圧を測定、水の採取を行う。
得られた成果	・化学的および水理特性に与える影響について、文献として記録している。
試験概要図	<p style="text-align: center;"><b>LAY-OUT OF THE CERBERUS TEST</b></p> <p style="text-align: center;"><b>SCK•CEN</b> STUDIECENTRUM VOOR KERNENERGIE CENTRE ETUDE DE L'ENERGIE NUCLEAIRE</p> <p style="text-align: center;">図 A3-11 放射線、間隙水圧、掘削影響試験 (CERBERUS) MOL 試験場</p> <p style="text-align: center;">出典:SCK/CEN: HADES Tour Guide Notebook 6th edition, (1999)</p>

試験名	地下水化学および微生物に関する試験(ARCHIMEDE)
試験の目的	・粘土間隙水の化学特性の取得と調節、水、岩の相互作用および Boom Clay における微生物の活動に関する検討を行う。
概要	・無菌、嫌気的な間隙水および粘土コアの採取を行う。固相の鉱物学的、物理化学的な特性、間隙水の地質化学的な特性の取得、固相、液相における微生物の採取などを行う。原位置 pH・Eh をオンラインで測定する。
得られた成果	・223m 深度の Boom Clay における微生物特性を取得した。酸化、還元測定では、粘土の水の特性はとても敏感である結果となった。
試験概要図	
<p>図 A3-12 地下水化学および微生物に関する試験 (ARCHIMEDE) MOL 試験場</p> <p>出典:SCK/CEN: HADES Tour Guide Notebook 6th edition, (1999)</p>	

試験名	HLW 粘土処分のための予備的なデモンストレーション(PRACLAY)
試験の目的	・トンネル掘削と埋め戻し、HLW 定置概念に基づく発熱が組み合わさった影響ををデモンストレーションする。
概要	・長さは 25-30m、直径 2m、パラメータとしては温度、全水頭、間隙水圧、荷重、変位、含水状態を対象とする。
得られた成果	
試験概要図	<p style="text-align: center;"><b>PRACLAY TEST</b></p> <p style="text-align: center;">Axial layout of test gallery</p> <p style="text-align: right;">NIRAS  ONDRAF</p> <p>図 A3-13 HLW 粘土処分のための予備的なデモンストレーション (PRACLAY) MOL 試験場</p> <p>出典:SCK/CEN: HADES Tour Guide Notebook 6th edition, (1999)</p>

試験名	水理調査、研究
試験の目的	・原位置での透水係数を初めとする諸水理定数を測定・解析する。
概 要	・原位置で数十個所におよびピエゾメータの設置を行い、透水係数を測定する。また、平行して、ブーム粘土層中での水質年代も炭素同位体および塩素同位体で調査する。
得られた成果	・透水係数測定の結果、平均 $2\sim 3 \times 10^{-12} \text{m/s}$ という透水係数を得た。炭素同位体地下水の年代測定から、平均 2 万 5 千年という結果を得た。

試験名	粘土層の地下空間開削後の力学的挙動調査・解析
試験の目的	・地下空間を維持するための岩盤挙動に関わる将来予測などの情報を得るため、掘削に伴うゆるみ領域の調査を行う。
概 要	・特にブーム粘土層のような軟岩の場合、掘削に伴う長期的変動が予想され、将来予測のためにもその計測が必要である。地下空間掘削に伴うゆるみ領域の調査・測定を行う。

試験名	核種移行試験・研究
試験の目的	・直接的にブーム粘土層の原位置環境での核種遅延および保持能力を見積もる。
概 要	・ $\text{Eu}^{152+154}$ 、 $\text{Sr}^{85}$ 、 $\text{Cs}^{134}$ 、 $\text{U}^{233}$ 、 $\text{Am}^{241}$ の 5 種のトレーサーを用いた試験の設置が行われ、 $\text{Eu}^{152+154}$ と $\text{Sr}^{85}$ の結果が得られている。ミクロスケールでの核種移行現象(遅延・吸着機構)の解明は、有用な情報になると考えられる。
得られた成果	・ブーム粘土での核種移行現象は、低透水性と均質性から主に拡散による効果が強いことが示されている。

試験名	材料腐食試験・研究
試験の目的	・サイトに適した工学材料を選定するための試験。
概 要	・地下実験場においてブーム粘土層に埋設したヒーターの上に工学材料の候補としての金属、ガラスなどの薄片を取付け、その変質・腐植度を調査・研究する。キャニスターの温度を $90^\circ\text{C}$ と $170^\circ\text{C}$ に設定し、3~5 年後、ブーム粘土との反応を解析する。

試験名	緩衝材埋設試験・研究
試験の目的	・ブーム粘土と緩衝材あるいは地下水との反応について調査、解析すること。
概要	・緩衝材としての候補材料をヒーターと一緒に埋設し、ブーム粘土そのものと、あるいは地下水との反応について調査、解析を行う。最低2～3年の期間継続測定を実施し、最後にオーバーコアリングによって取出し、解析、研究される。

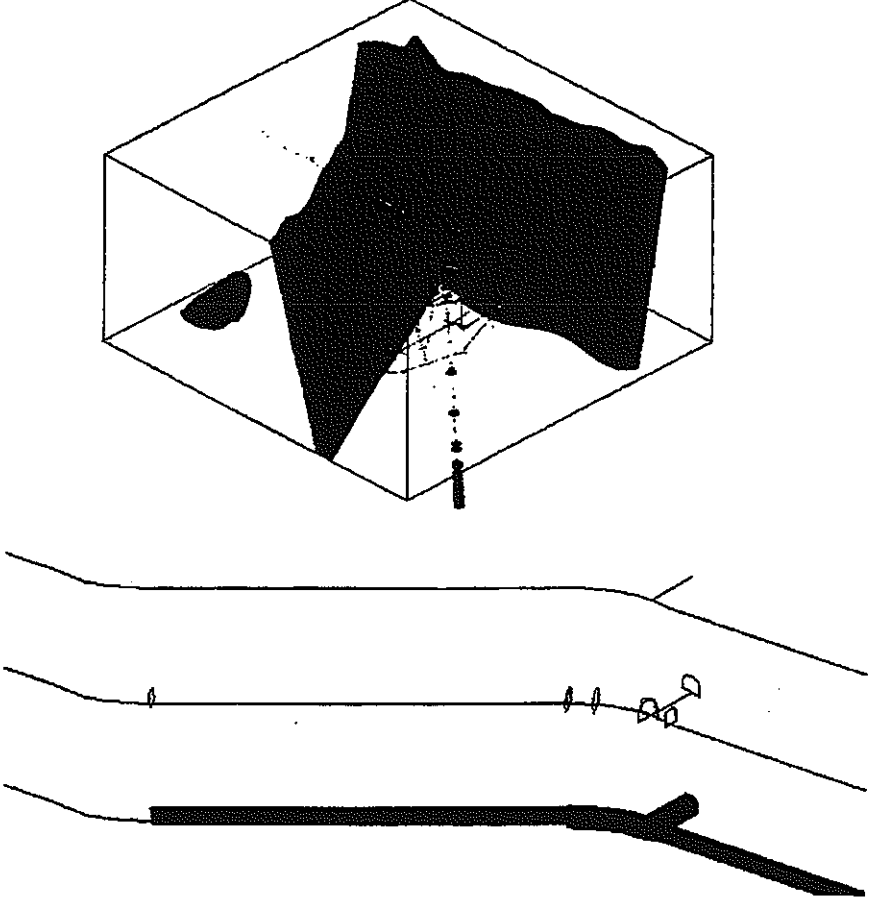
試験名	掘削実証試験
試験の目的	・大深度において、従来の方法である凍結法を用いない掘削法を確立する。
概要	・凍結法を用いない掘削は、調査、研究の立場からの好環境条件を提供することになり、コスト面、地下空間拡大の面から有利である。
得られた成果	・ブーム粘土層中の掘削は機械による(但し水は用いない)掘削法を用いている。

試験名	建設実証試験
試験の目的	・地下空間の拡大に伴うブーム粘土の挙動を調べる。処分場デザインのための基本データとなる。
概要	・実規模の建設、設計を実証するための長期的モニタリングシステムとして、地下空間の拡大に伴うブーム粘土層の挙動を、地下空間中に設置した地(水)圧計、応力系などで随時物理変化を測定する。

試験名	原位置浸出移行試験
試験の目的	・遅延性各種移行挙動のデモンストレーション
概要	・二つのブーム粘土試料によって挟まれた放射性核種を対象とする。粘土試料に透水し、採取分析を行う。放射性核種の存在について解析する。

資料-4 : スウェーデン Aspo HRL における調査研究

試験名	掘削ゆるみ領域試験(ZEDEX)
試験の目的	<ul style="list-style-type: none"> <li>EDZ の力学的挙動や水理特性の重要性に関する理解を深めることや、EDZ 特性を定量化する装置や方法を試験すること。</li> </ul>
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>試験はTBM組立て場付近の約420m地下にある二つの試験坑道にて行われ、岩盤特性の測定は、掘削前、掘削中、掘削後にわたって行われた。亀裂、岩盤応力、地震波速度、変位、透水係数などの測定を行った。</li> </ul>
得られた成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>AE モニタリング試験は、最も岩盤亀裂の発生に敏感であった。色素浸入試験によりマクロ亀裂の広がりが見られ、それは坑道床面から50cmの範囲に存在していた。</li> </ul>
試験概要図	<p>図 A4-1 掘削ゆるみ領域試験 (ZEDEX) ASPO 試験場          出典:SKB: Äspö Hard Rock Laboratory Annual report 1997, p.40, (1998)</p>

試験名	岩盤亀裂の可視化システム
試験の目的	・三次元岩盤モデルに関する試験結果を可視化することにより、試験方法を改善するなどの効果を期待できる。
概 要	・三次元可視化プログラムを開発した。システムの機能を決めるために、ASPO の主要な実験や SKB の地質学者を必要とした。それは CAD システムに基づいており、データベースエンジンを装備している。
得られた成果	・システムは、ボアホール可視化、亀裂を含む地質のモデリング、トンネルのモデリング、アニメーション、レンダリングや断面の図化を行う描画などの部分からなる。
試験概要図	 <p data-bbox="482 1798 1262 1872">図 A4-2 岩盤亀裂の可視化システム ASPO 試験場 出典:SKB: Äspö Hard Rock Laboratory Annual report 1997, p.47, p.51, (1998)</p>



試験名	亀裂の分類および特性に関する試験
試験の目的	・岩種に対する亀裂の特性評価方法を進歩させること。また、核種移行の観点から、亀裂の分類方法を進歩させること。
概 要	・段階的に試験を進める。データの整理(地質、水理、水理化学)や、水移動の調査方法の整理。水移動の特徴の明確化やデータの収集。データベース解析と亀裂分類のための理論導出。移行モデルに必要な、水移動の単純化概念モデルの導出。
得られた成果	・水移動は、m~10m 単位では亀裂に依存する。国内では、亀裂の特性は均質ではなく、同じ特性の長さはm~数10m程度である。

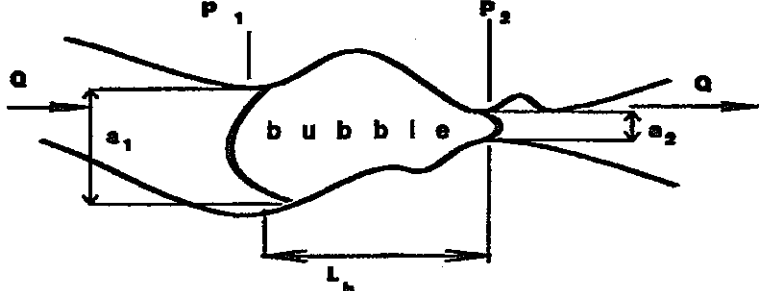
試験名	トレーサ保持に関する試験(TRUE-1)
試験の目的	・結晶岩を移行する放射性核種の保持に関する理解を深めること、解析モデルの信頼性を高めること。
概 要	・コアやボアホールTVなどのデータ、三次元可視化されたデータ、構造データなどの解釈によりモデリングを行う。トレーサ試験では、種々の各種を岩盤に注入し、経過時間とフラックスとの関係を測定している。レジンの亀裂浸潤性も測定している。
得られた成果	・種々のトレーサ種についてのブレイクスルー曲線を得た。また、レジンの亀裂における浸潤特性について評価している。
試験概要図	<p>図 A4-3 トレーサ保持に関する試験 ASPO 試験場 出典:SKB: Äspö Hard Rock Laboratory Annual report 1997, p.57, (1998)</p>

試験名	新しいトレーサの開発と特性評価試験
試験の目的	・原位置で使用する前の新しいトレーサの開発と試験、実験室におけるトレーサの特性取得、トレーサの装置への非吸着の証明。
概要	・サイト固有の材料による拡散セルによる実験を行った。ブレイクスルー濃度は定常状態に達しなかった。それよりも厚いセルではブレイクスルーは見られなかった。セルをスライスし、放射線量から濃度プロファイルを測定した。
得られた成果	・バッチ法による $K_d$ 値は、拡散試験による値よりも大きくなることが判明した。ポーラス領域は、アスポドロマイトの吸着性鉱物領域と対応している。

試験名	特性調査とトレーサ試験 (TRUE block scale)
試験の目的	・亀裂におけるトレーサ移行の理解と予測の発展、亀裂におけるトレーサ保持メカニズムの重要性評価。
概要	・調査領域に削孔を行い、アコースティック流量測定、ボアホールTV、ボアホールレーダー、二重パッカー流量測定などを行い、透過率などを評価した。地質構造についても調査を行った。構造モデルの妥当性を評価するためにトレーサ試験を行う。
得られた成果	・ボアホールからの調査により、地質構造が明らかになってきている。また、岩盤の透過率を評価した。

試験名	酸化還元試験
試験の目的	<ul style="list-style-type: none"> <li>閉鎖後坑道に封じられた酸素の岩盤との反応、岩の酸素消費容量、酸素消費にかかる時間や、酸素の浸透距離の推定。</li> </ul>
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>亀裂面に接している地下水成分の原位置試験に重点を置き、アスポトンネルから 200mm ボアホールを削孔する。原位置試験を支援するため、サンプルと酸素の反応率や機構を測定するために室内試験も行う。</li> </ul>
得られた成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>ある程度のサンプルについて酸素消費率を確かめた。閉鎖後処分場では、酸素はバクテリア( methanotrophic bacteria)によって消費されると考えられる。</li> </ul>
試験概要図	<p style="text-align: center;">図 A4-4 酸化還元試験 ASPO 試験場 出典:SKB: Äspö Hard Rock Laboratory Annual report 1997, p.77, (1998)</p>

試験名	放射性核種の保持試験(CHEMLAB)
試験の目的	・原位置試験により、室内試験による核種保持に関するデータの検証を行い、データの妥当性を示す。
概要	・CHEMLAB 試験は、ベントナイトにおける放射性核種拡散、酸化還元に関与する各種の移行、核種の溶解度とアクチニド種分化 (speciation)、岩からの核種の脱着、緩衝材から岩への移行、バッチ収着などの試験を行う。
得られた成果	・試験プローブの製作を行った。ベントナイトの拡散試験を行い、拡散濃度プロファイルを取得した。
試験概要図	<p>Water inlet</p> <p>Bore hole seal</p> <p>Eh- and pH-electrodes</p> <p>Filter</p> <p>Tracer-reservoirs</p> <p>Multi-channel valve</p> <p>Pumps</p> <p>Multi-channel valve</p> <p>Injection loops</p> <p>Experimental site for transport studies</p> <p>Pressure reducer</p> <p>Multi-channel valves</p> <p>Fraction collectors</p> <p>PACKER</p> <p>CHEMMAC</p> <p>Reservoir part</p> <p>Pump part</p> <p>Experimental part</p> <p>Fraction collector's part</p> <p>Electronic part</p> <p>CHEMLAB</p>
<p>図 A4-5 放射性核種の保持試験 (CHEMLAB) ASPO 試験場 出典:SKB: Äspö Hard Rock Laboratory Annual report 1997, p.78, (1998)</p>	

試験名	脱ガスと二相流試験および解析
試験の目的	・脱ガスを考慮した気液二相流モデルの構築を行う。
概要	・亀裂における原位置脱ガス試験、室内試験、亀裂に気泡が存在する確立のモデルの構築などを行う。亀裂の幅や間隙水圧をパラメータとして、亀裂中の気泡の長さや存在確立密度について定式化している。大小の亀裂試料で室内透水試験を行う。
得られた成果	・大きな亀裂試料による試験は、少ない流量(0.2L/m)でのみ可能であるが、脱ガスを生じさせるには多くの流量(8L/m)を必要とする。亀裂を再構築する必要がある。
試験概要図	 <p>図 A4-6 脱ガスと二層流試験および解析 ASPO 試験場 出典:SKB: Äspö Hard Rock Laboratory Annual report 1997, p.82, (1998)</p>

試験名	水理化学安定性試験(Hydrochemichal stability)
試験の目的	・地下水化学安定性を明確にすること、閉鎖後、長期の地下水化学シナリオを記述すること。
概要	・アスポの気候(15 万年前～)の調査、水理地質、地質化学データの整理と古代水理モデルの確立、古代水理事象(palaeohydroevents)による影響、採取したコアの亀裂間隙水の研究、同位体解析による亀裂中方解石の測定(年代など)、などを行っている。
得られた成果	・古代の気候を調査し、温度などの変遷について示した。方解石の同位体解析から、低温時に生成した可能性がある。生成は後期氷河期よりもまえと予測される。

試験名	地下水流動と溶質の移行モデリング作業部会
試験の目的	・アスポ研究プロジェクトを支える組織のフォーラムで、グループは作業部会の選抜者からなっている。
概要	・トレーサ試験(サイトスケール)、アスポトンネル掘削による地下水への影響(サイトスケール)、TRUE-トレーサ保持と試験の第一段階、地下水学や地下水化学モデルの評価などのタスクから成る。

試験名	処分場のプロトタイプ試験
試験の目的	・処分場構成材の一体となった機能の試験とデモンストレーション、処分場の部分的な設計や工程のシミュレーション。
概要	・6m 間隔の 6 つの処分孔( $\phi=1.75$ 、 $h=8$ m)を想定している。処分孔間隔は最高温度 100℃以下となるように設定された。模擬廃棄体は、使用済み燃料の発熱量を模擬したヒーターを装備している。水の浸潤、熱の分布、膨潤圧、トレーサ移行などを調べる。
得られた成果	・坑道マッピングによるデータの収集整理、レーザー走査、坑道レーダー、地下水流入量、試験坑道の床面における地質マッピングについて報告した。現在進行中である。
試験概要図	<p>図 A4-7 処分場のプロトタイプ試験 ASPO 試験場  出典:SKB: Äspö Hard Rock Laboratory Annual report 1997, p.103, p.104, (1998)</p>

試験名	処分技術のデモンストレーション試験
試験の目的	・使用済み燃料の封入と処分方法の展開と試験、処分の各ステップを見せることによって示す。
概要	・試験場は深度 420m で幅 6.5m、高さ 6m に設定された。坑道寸法は、廃棄体とベントナイト分割型や一体型の横置き方式、一体型の縦置き方式に対応できるように設定した。
得られた成果	・床のマッピングと予備の地質モデリングは実行された。試験は現在進行中である。
試験概要図	<p>Block with 60% bentonite, 50% crushed rock and bentonite pellets</p> <p>Block with 20% bentonite, 80% crushed rock</p> <p>C-ring of bentonite</p> <p>Drainage material</p> <p>30/70 bentonite/crushed rock</p> <p>Crushed rock</p> <p>--- Borehole for measurement of water pressure</p> <p>■ Pressure cylinder</p> <p>○ Borehole for cabling</p> <p>— Filter for application of water</p> <p>● Filter portion</p> <p>A-A</p> <p>図 A4-8 処分技術のデモンストレーション試験 ASPO 試験場 出典:SKB: Äspö Hard Rock Laboratory Annual report 1997, p.108, (1998)</p>

試験名	埋戻しとプラグ試験
試験の目的	・プロトタイプ処分場の部分的な準備、埋戻し材やプラグの水理・力学特性を調べる。
概要	・埋戻し材と定置方法、実物大プラグの試験を行う。埋戻し材や近傍岩盤の統合した機能の試験、プラグの水理・力学試験となる。坑道内を埋め戻しし、材飽和後、埋戻し材と近傍岩盤の透水性を坑道に沿った水頭の勾配を用いて調べる。
得られた成果	・最初のステップとして、周囲の岩盤の特性調査を行った。坑道ジオメトリのレーザー測定、地質マッピング、壁面からの地質測定、水の流入量の測定。



試験名	キャニスター回収試験
試験の目的	・緩衝材が膨潤した後もキャニスターを回収できる用意ができて いることを示す。
概 要	・実物大回収試験は、緩衝材と銅、鉄のキャニスターを定置した二 つの処分孔を用いて行う。キャニスターを安全に遮蔽容器に取り入 れ、地上に運ぶまでを対象としている。

試験名	緩衝材の長期試験(LOT)
試験の目的	・緩衝材の長期事象(イライト化や塩濃度上昇などによる劣化など) を考慮したモデルや仮説の確証。
概 要	・縦孔の中に銅管と、その周りに粘土ブロックを配し、銅管表面を 高温に保つ。6個の試験体のうち3個は実際と同じ、他の3個は粘 土の劣化を調べるために過酷な条件とした。加熱期間は温度、水頭、 水の成分を調べ、試験終了後粘土試料を採取した。
得られた成果	・2つの試験体について試験を行い、岩盤と銅管との中央部では40 日後に飽和が測定された。残り4つの試験体については未着手。

試験名	岩盤における掘削による亀裂のモデリング
試験の目的	・機械掘削によって発生する空洞周辺の亀裂を調べる。
概 要	・機械掘削による亀裂の長さや深さ、範囲を予測するためのモデリ ングを行う。そして、3つの岩種、異なる掘削荷重について試験を 行い亀裂特性に与える影響を調べる。岩質の不均質性による影響に についても調べる。
得られた成果	・亀裂に関する試験を基にしてモデリングを行い、亀裂の深さや範 囲、長さを予測するコードを開発した。これによりEDZを予測で きると考えられる。

## 資料－5：Wellenberg プロジェクト地下水概念モデル

### Wellenberg プロジェクト地下水概念モデル

#### －サイト特性調査のポイントと地下水流動評価との関連－

#### (1) Wellenberg プロジェクトの処分概念、サイト位置及び周辺状況

スイスにおける中低レベル地層処分計画である Wellenberg(WLB)プロジェクトは、スイス中部（図 A5-1 参照）の山岳地帯に位置する Wellenberg 山中に分布する中生代白亜紀後期から古第三紀に堆積した Valanginian Marl(泥灰岩)を母岩として処分するもので、その一軸圧縮強度は平均的に  $200\sim 600\text{kgf/cm}^2$  程度、透水係数は  $10^{-9}\sim 10^{-12}\text{m/s}$  オーダーの低透水性を有する。この地点は、中低の候補地点である 4 サイトのうち科学技術的に最も好ましいとして、1993 年、NAGRA に正式にノミネートされ、1994 年に一般許認可申請を連邦政府に提出、1995 年、村の住民投票では可決されたが、県レベルの住民投票において僅差で否決等の紆余曲折はあったが、現在でも、より詳細な技術開発や検討及び地元等への PA 活動が積極的に展開されている。

処分施設の概念としては、近傍の Engelberg 谷から水平アクセストンネルで、母岩の中央部である所定の位置までアプローチし、この付近の土被り厚は約 700m 程度となる。図 A5-2 は現在想定されている処分トンネルのレイアウト案であり、南側に廻り込む配置の調査坑道により岩盤特性等を詳細に調査する予定であるとともに、処分空洞エリアを囲むようにして北側には操業用トンネルを配置する計画である。右図 A5-1 に示すように、処分用空洞の規模としては 10 数 m 程度のトンネル形式であり、ドラムカンを詰めてセメント系材料で充填したコンテナを空洞内に複数個設置し、その内部にもセメント系材料で埋め戻す、すなわち、主たる要因としては岩盤の低透水性のため、ベントナイト系材料を利用しない人工バリア概念を採用している。

詳細については後述するが、1986 年から開始された原位置調査では、詳細な地表踏査、5 側線に沿う各種物理探査、7 本の長尺ボーリングによる試験等が 1993 年まで行われ、評価結果は地質統合レポートとしてまとめられた。WLB の原位置調査平面図 A5-1 を図 A5-3 に示す。

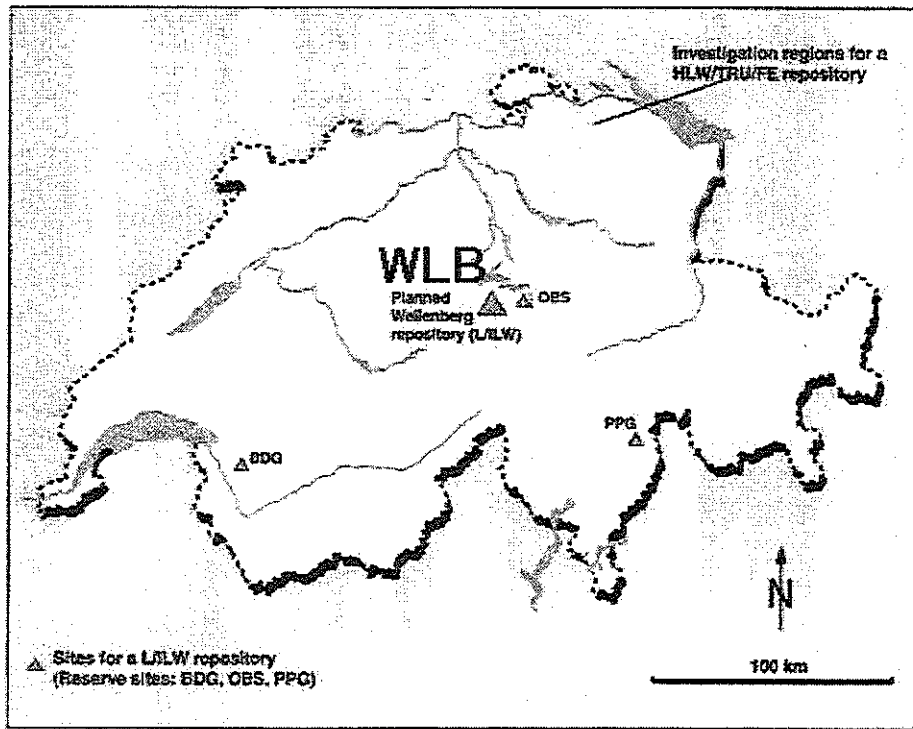


図 A5-1 スイス中低レベル処分場 WLB の位置図

出典 : Nagra: The Planned repository at Wellenberg, bulletin No. 24, p15, Figure 12, p4, Figure 2, (1994)

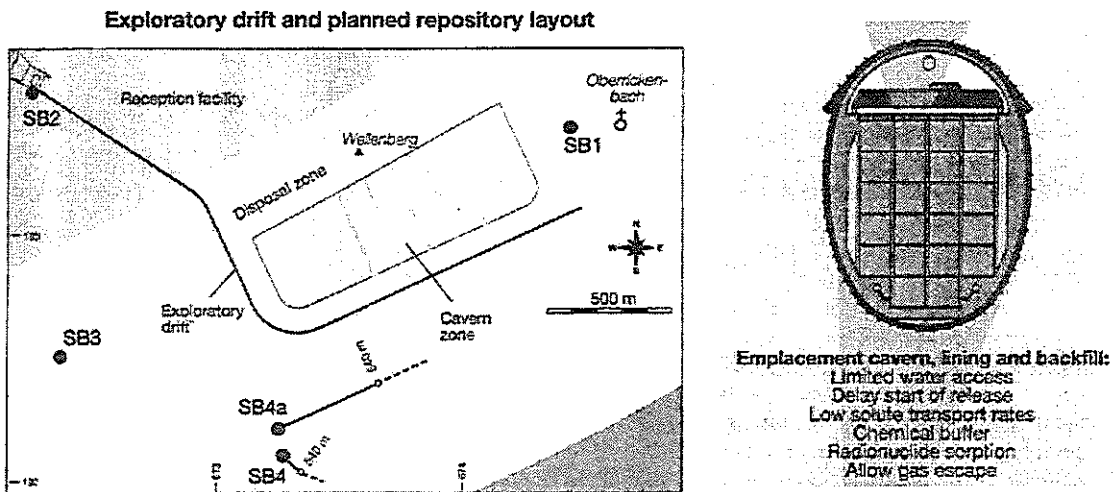
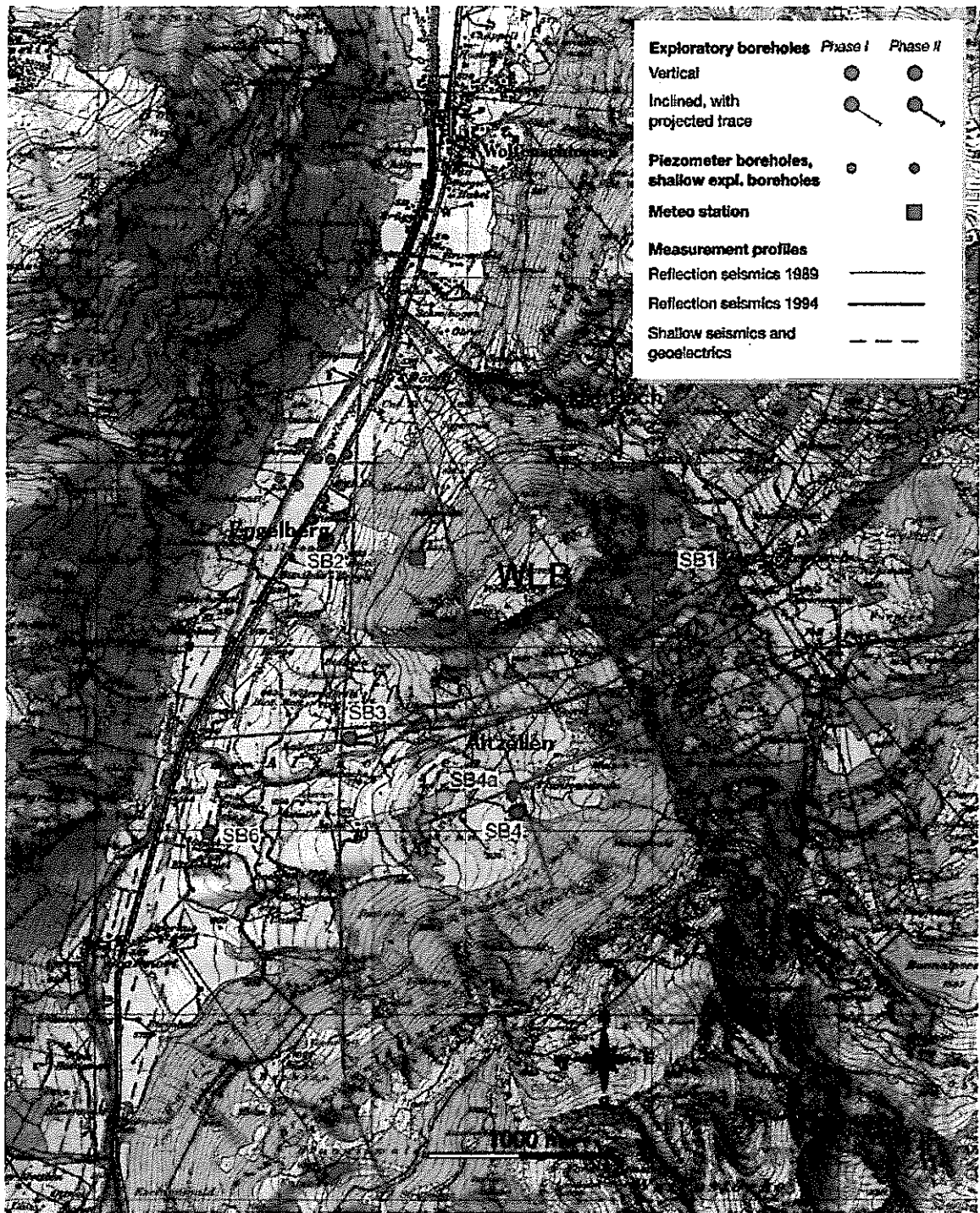


図 A5-2 WLB 処分場の施設概念

出典 : Nagra: Synthesis of the geological investigations at Wellenberg, bulletin No. 32, p15, Figure 12, p4, Figure 2, (1999)



Reproduced with permission of the Federal Office of Topography (27.10.1998)

図 A5-3 WLB における原位置調査の配置等

出典 : Nagra: Synthesis of the geological investigations at Wellenberg, bulletin No. 32, p5, Figure 3, (1999)

## (2) サイト特性調査プログラム

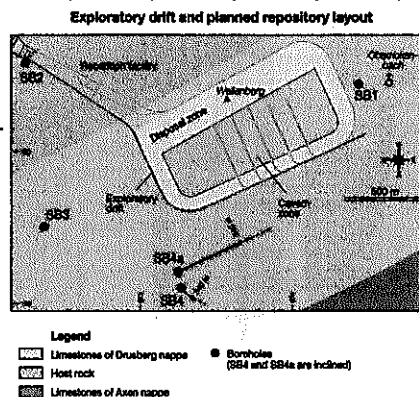
Wellenberg でのサイト調査の実施工程を表 1 に示す。Wellenberg プロジェクトの経緯について見ると、1985 年に Project Gewähr (プロジェクト保証) で 4 カ所のサイト候補地についてプロジェクト実現の可能性が保証され、その後 1993 年に 4 カ所のサイト候補地の中から Wellenberg が最も適しているとして選定された。サイト調査は大きく 2 段階に分割された。まず、フェーズ 1 は 1986 年に着手され、1989 年に原位置調査開始後、1993 年までに、主に、地質構造を調査するための物理探査、水理特性を調査するためのピエゾメータボーリング、サイトの地質及び母岩の力学的、水理特性を把握するための探査ボーリングが実施された。これらの調査によって、テクトニクス及び広域地質構造、周辺地質構造とその長期的変遷、断層破碎帯等の分布、母岩の広がりとその特性について解明された (なお、鉱泉や地下水の観測や地すべり観測については継続して実施されている)。1993 年の候補地選定に際しては、フェーズ 1 の調査結果を踏まえて安全評価等の各種検討が行われたものと考えられる。また、地下水モデル戦略の観点からは、フェーズ 1 の終わりの段階で以下のような重要な決定がなされた。

- ・確率論的実現値と不確定性を考慮した母岩の透水係数分布モデル(K-モデル)の採用
- ・負圧領域、地下施設の建設という地下水流動の一時的挙動の考慮
- ・地下施設の明確なモデル化と処分場モデルも含む階層的モデル構成の導入

次に、これらの決定を受けて、フェーズ 2 では、1994、1995 年に反射法地震探査、ピエゾメータボーリング、探査ボーリングが追加的に実施されており、さらに気象観測が継続的に実施されている。これらの調査は、基本的にはフェーズ 1 の調査を補足するものとして位置づけられており、特に地質構造の不確実性を可能な限り少なくすることを目的に計画、実施されたものである。これらの約 7 年にわたるサイト特性調査は、評価結果というソフトも含めて、1997 年に WLB の地質統合レポートとして集大成され、安全評価等に有効活用されている。

表 A5-1 Wellenberg でのフィールド調査の履歴 (フェーズ 1,2)

調査項目		調査時期	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
許可申請等	Project Gewähr NAGRAによる候補地選定 一般許可申請を連邦政府に提出 村レベルの投票 県レベルの投票	1985 1993 1994 1994 1995.6.25										◎	◎ ○ ○		
フェーズ1	地質詳細図作成 1:10,000 水文地質に関する土地台帳及び定期計測 (谷部の662の鉱泉及び19カ所の地下水観測地点) 地質データの測量(地すべり測定) 物理探査 ・反射法地震探査:5測線(19.6km) ・屈折法地震探査:3平行測線(16.5km) ・電気探査(比抵抗測定):3平行測線(16.5km) 土壌ガス測定 間隙水圧計ボーリング PB01- PB06(深さ30mまで) 調査ボーリング SB4(深さ:757.6m) *斜孔 調査ボーリング SB3(深さ:1546.7m) 調査ボーリング SB1(深さ:1670.3m) 調査ボーリング SB6(深さ:430.6m) 調査ボーリング SB2(深さ:1870.4m)	1986 1987- 1988- 1989 秋 1988-1990 1989/1990 冬 1990.5-1990.9 1990.9-1991.7 1990.11-1991.12 1991.9-1991.12 1992.3-1993.1													
	補足詳細図作成 1:10,000 間隙水圧計ボーリング PB07(深さ130.6m)	1992 1993													
フェーズ2	物理探査 ・反射法地震探査:3測線(8.3km) 間隙水圧計ボーリング PB08- PB11, PB0SB4a, PB0SB4b, PB0SB1 探査ボーリング (*母岩境界調査のため) PB0SE1- PB0SE3 気象観測 調査ボーリング SB4a ・鉛直分岐 SB4a/v(深さ:735.0m) ・斜め分岐 SB4a/s(深さ:858.2m)	1994 1994-1995 1994 1994- 1994.10-1995.2 1995.5-1995.9													
まとめ	地質統合レポートの提出 "Geosynthese Wellenberg 1996"	1997.9													★



A5-5

出典 : Nagra: Geosynthese Wellenberg 1996, Ergebnisse der Untersuchungsphasen I und II, Technischer Bericht 96-01, p35, Figure 3.3-1, (1997)を和訳、加筆

(3) サイト特性調査と地下水流動評価との関連

WLB におけるサイト特性調査と地下水流動評価レポートの経時的な関係を図 A5-4 に示す。調査は 1986 年の事前調査からはじまり、本格的には 1989 年にフェーズ 1 原位置調査を開始、1994~95 年にはフェーズ 2 を行っており、国民投票結果や今後の動向に応じて調査坑道計画も含めたフェーズ 3 の調査を実施する予定である。その間、地下水流動評価については、1994 年に WLB に関する一般許認可申請書をまとめるために、1993 年時点でその安全評価に必要な地下水流動に関する情報等を暫定的にまとめ、同時並行的に進めてきた各種の検討をフェーズ 2 の調査も含めて、幅広く公表するとともに、1997 年に地質統合レポートとして総合的にまとめられた。今後、これらの結果を受けて、さらに高度化された信頼性の高い評価としてまとめられるものと考えられる。

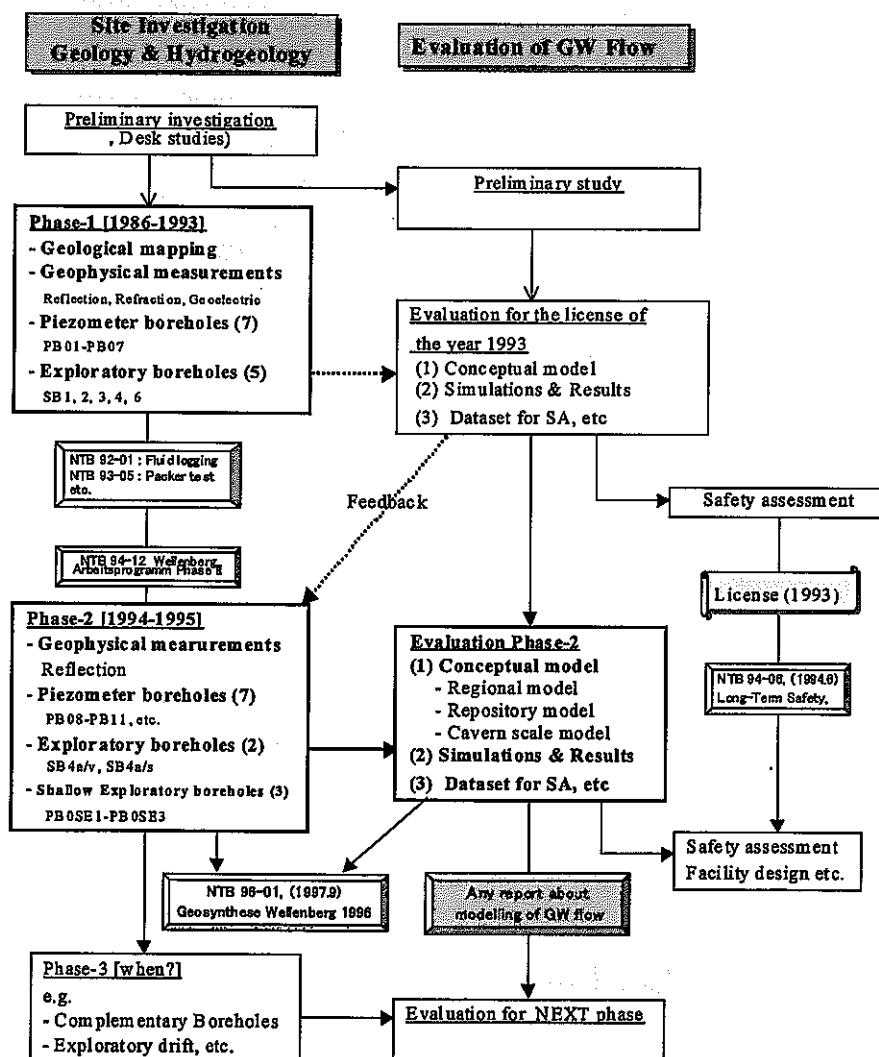


図 A5-4 WLB サイト特性調査と地下水流動評価レポートとの関係

#### (4) 調査成果の概要

処分事業を推進する、特に許認可申請を提出し許可を取得するとともに、地元のコミュニティーからの立地受諾を円滑に進めるために、オンサイトで調査坑道実施のフェーズ以前の状態である現在までに、実施または実施中の Wellenberg サイトでの調査項目と調査概要を表 2 に示す。

表 2 WLB サイト特性調査概要

調査項目	調査概要
地質図 A5- (1:10,000) の作成	局地レベルの地質を調査するための詳細な地質図 A5-の作成
水文地質に関する測定	地表付近の地下水の特性を明らかにするための、鉱泉 (662 ヶ所) 及び地下水 (19 ヶ所) の調査
測地学的手法	サイト(特に Altzellen すべり塊)の地すべり域の挙動を記録
物理探査	サイト領域の地質構成の明確化 Enbelberg 谷の非圧密岩盤層の厚さの調査
反射法地震探査	・ 5 測線 (19.6km) ・ 3 測線 (8.3km)
屈折法地震探査	・ 3 測線 (平行、16.5km)
電気探査	・ 3 測線 (平行、16.5km)
土壌ガス測定	わずかに露頭した母岩の断層域の地質化学のマッピング
ピエゾメータボーリング	地表付近の地下水観測 (14 本)
長尺探査ボーリング	サイトの地質を明確にするとともに、母岩の力学的、水文地質的特性を明らかにすることを目的とした、ボーリング孔を利用した原位置試験の実施、水理ポテンシャルの測定も兼ねたボーリング (7 本) ① SB4 (深さ 757.6m) 斜坑 ② SB3 (深さ 1546.7m) ③ SB1 (深さ 1670.3m) ④ SB6 (深さ 430.6m) ⑤ SB2 (深さ 1870.4m) ⑥ SB4a/v (深さ 735.0m) ⑦ SB4a/s (深さ 858.2m) 斜坑
浅い探査ボーリング	母岩の北方境界を確認するための Secklis Bach 谷での浅いボーリング
気象観測	後の処分場モニタリングのデータベースを供給するために気象観測基地を設置



調査結果としては、極めて多くのデータや情報を収集でき、一部予期せぬ計測結果も得られたが、全体的には期待通りであった。表 3 に主な調査結果をまとめる。

表 3 WLB サイトでの現在までの調査内容と主な結果のまとめ

現在までの Wellenberg での調査内容

- ・ 大規模構造の相互関係についての地域的研究、局地レベルの地質を調査するための詳細なマッピング、サイト特性を明らかにするための構造地質探査
- ・ 地表付近の地下水の特性を明らかにするための水文地質測定に関するプログラム
- ・ サイト（特に Altzellen すべり塊）のすべり塊の挙動を記録するための測地手法
- ・ わずかに露頭した母岩の断層域に関する地質化学マッピングのための土壌ガス測定
- ・ サイト領域の地質構成を確定するため、Engelberg 谷の非圧密岩盤層の厚さを調査するための物理探査（反射法地震探査、屈折法地震探査及び電気探査）
- ・ サイトの地質を明らかにし、母岩の特性を明らかにするための水理、地下水化学、岩盤力学及び物理探査試験プログラムを備えた 7 本の探査ボーリング孔
- ・ 地表付近の地下水観測を目的とした 14 本のピエゾメータボーリング
- ・ 母岩の北方境界を確認するための Secklis Bach 谷での 3 つの浅い探査ボーリング
- ・ 後の処分場モニタリングのデータベースを供給することを目的とした気象観測基地

調査結果／フィールドデータ

- ・ 詳細なマッピングにより、Palfris 層/Vitznau 泥灰層の南北方向の範囲が以前考えられていたものより広いことが明らかとなった。
- ・ ボーリング探査により、非常に厚い Palfris 層/Vitznau 泥灰層(SB1, SB3)、Axen ナップの第三紀頁岩との互層(SB4, SB4a)が連続していることが明らかとなった。
- ・ 予想されたように、Palfris 層の大部分が延性（塑性）もしくは脆性的変形を受けていた。
- ・ 鉱泉とピエゾメータボーリングによる測定と採取により、主に局地的、地表付近の地下水循環系を代表するデータが得られた。水質は  $\text{Ca}\cdot\text{HCO}_3$  型であった。
- ・ 母岩からの深部地下水の採取により、上部の地下水は平均的にミネラルを含む  $\text{Na}\cdot\text{HCO}_3$  型で、約 400m からの地下水はミネラルの多い  $\text{Na}\cdot\text{Cl}$  型であることが判明した。
- ・ ボーリング孔での透水試験により、Palfris 層及び第三紀頁岩の透水量係数は、上部では平均値から低い値に低下し ( $T=3\cdot 10^{-5}\sim 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ )、底部では低い値から非常に低い値に低下 ( $T=10^{-9}\sim 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ ) していることが示唆された。
- ・ 母岩層の深いボーリングで測定された水理ポテンシャルは、上部の静水圧から母岩の中央部での最小値 (SB1 及び SB3 ではおよそ海水面程度) まで低下していた。母岩の基部付近になると、ポテンシャルは再び静水圧以上に上昇していた。

## 資料－6：諸外国における断層の取り扱い事例

断層の検討は、地層処分の「性能評価」と「工学技術の成立性」の2つの観点から重要である。「性能評価」では、地下水移行シナリオにおいて断層が核種の移行経路となることが問題である。ここでは、断層および断層によって擾乱を受ける領域の透水性と核種収着性が焦点となる。一方、「工学技術の成立性」に関しては、まず、断層を力学的な弱面（弱層）にとらえた時の掘削技術の問題がある。次に、断層のずれによる処分坑道、緩衝材、廃棄体の破損と、地震動による処分坑道の破壊および既存のき裂のずれが焦点となる。

このような見地に従い、本章では諸外国における断層の取扱いについて以下の項目で整理する。

- 断層の分類
- 性能評価における断層の扱い：透水係数、収着能力、断層粘土の扱い
- 処分場の設計における断層対策：断層からの、空洞、廃棄体の離れ

具体的な数値（例えば断層を避ける距離）の設定は、岩種や断層の性状に依存し、サイトスペシフィックな問題である。よって本調査では、設計の考え方をできるだけ明らかにすることを目的とした。

### 1 カナダEIS (1994) <sup>1) 2) 3)</sup>

カナダにおける廃棄物処分計画では、“オンタリオ州内のカナダ楯状地の深成岩”へ処分する方針が決められている。つまり、カナダの処分研究は処分サイトは未定ではあるが、地域固有の情報に基づいて進められている。EISでは《fracture》という単語で不連続面を表している。しかし、処分空洞の配置の検討では、活断層《active fault》という言葉が用いられ、活断層を避ける距離が示されている。ただし、『カナダ楯状地は安定しており、プレートの衝突は1億年間起きない。新しい断層はここ百万年間生じていない。火山がない。』と記されるように、きわめて安定な地域であることが評価の前提となっている。

#### 1.1 断層の分類

断層分類は示されていない。地質的に安定な地域であるが、開口き裂の存在は顕著であり、岩体を次のように分類している。

- ① Fracture zone ; 破砕された岩体
- ② Moderately fracture rock ; 不連続の開口き裂が存在する岩体

- ③ Sparsely fractured rock ; マイクロクラックと、わずかな不連続性開口き裂が存在する岩体

## 1.2 性能評価における断層の扱い

URLサイトでの透水試験データをもとに、図-1のような岩体別の透水係数を考慮している。

岩盤の透水係数は、地下150mまで $10^{-8}$ m/s、地下150~300mまでは $10^{-10}$ m/s、地下300m以深は $10^{-12}$ m/sと設定している。また、上記のFracture zoneは $10^{-6}$ m/sとしている。

## 1.3 処分場の設計における断層対策

地震による空洞の破壊確率を計算し、破壊確率が十分小さく（計算結果は $5 \times 10^{-7}$ /年以下）なるように活断層からの離れを求めている。具体的には、カナダの地震危険度マップ<sup>4)</sup>（図-2）を用い、地震域0、1以外のゾーンを除外した（オンタリオ州はほとんどが地震域0と1であるが、東の一部地域は地震域2にかかっている。）。地震危険度（seismic hazard）とは、目標とする期間内にある地点に来襲する地震動の強さを確率的に表したものである。カナダの地震危険度マップでは、地表の構造物の損傷確率を考え、地震域を加速度と対応させて7段階に区分している。ここで、地震域0とはnegligible risk、地震域1とはminor riskと定義されている。マッピングは1970年に作成され、カナダ建築基準（NBCC）に反映されている。

次に、サイティングの対象となる地震域0、1における地下構造物の安定の要件から、次のふたつの条件が設定されている。

条件1：地震によって処分空洞にき裂が発生する確率が $5 \times 10^{-7}$ /年以下となるように活断層からの離れを設定。マグニチュードと地震の影響範囲（=新たなき裂が発生する範囲）の関係から、以下の条件が示される。<sup>5)</sup>

- ① 1キロ以内に長さ2km以上の活断層が存在しない。
- ② 200m以内に長さ500m以上の活断層が存在しない。
- ③ 50m以内に活断層が存在しない。

条件2：地上の加速度が $1.9 \text{ m/s}^2$ 以下であれば、地下掘削に被害は小さい。<sup>6)</sup> また、ごく近傍に断層がなければ建設操業に影響は小さい。<sup>7)</sup>

このふたつの条件設定の考え方をまとめるとつぎのようになる。まず、予想されるマグニチュードを断層の長さから計算する。次に、そのマグニチュードの地震が対象地域で発生する確率を地震の再来期間のデータから得る。また、マグニチュードと断層の影響範囲（き裂が生じる範囲）の関係が得られている。これから、対象とする活断層の近傍に空洞が建設されたときの、地震によるき裂発生確率が得られる。また、影響範囲の外に空洞を配置することによって、空洞が損傷する確率をゼロにすること

ができる。ここで検討対象とする断層は、PGA (Peak Ground Acceleration) が $0.2g \sim 0.5g$ 以上を生じさせるものに限定している。これは、加速度がこの値以下のとき、地下空洞にき裂が生じないという観察データ<sup>6)</sup>に基づく設定である。また、確率論的地震危険度解析によって、対象地点の固有周期と加速度応答スペクトルの関係を発生確率との関係で計算している。<sup>8)</sup>

一方で、透水層としての断層が、トンネルや立坑、ボーリングと交差するときのシーリングの考え方が示されている (図-3)。ここでは、ベントナイトおよびセメントのプラグと埋戻しが組み合わされている。

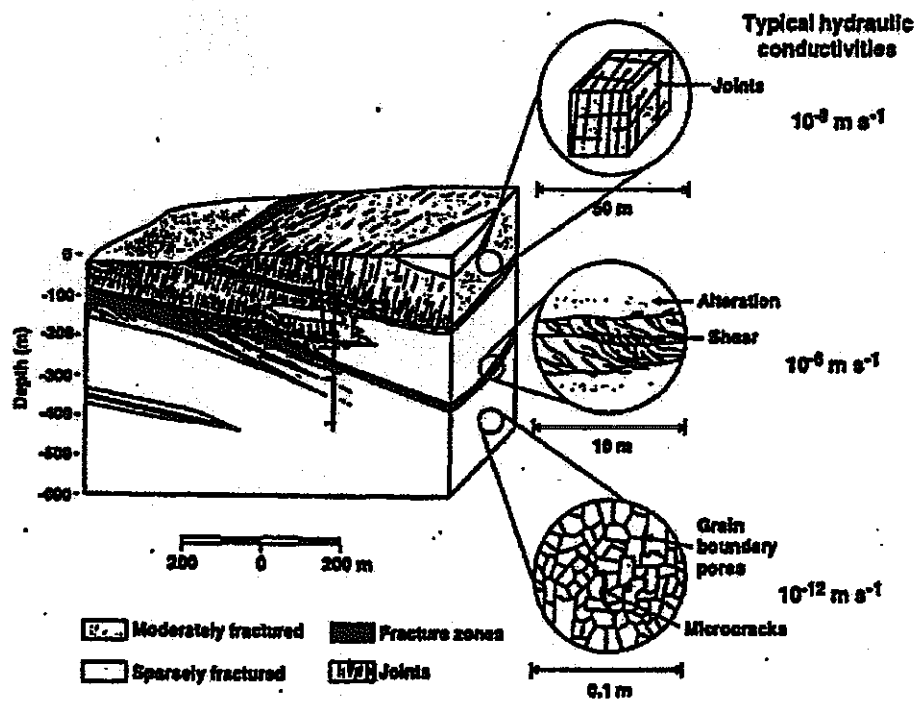


図-1 き裂の種類と岩体の分類<sup>1)</sup>

出典 : AECL: Environmental Impact Statement on the Concept for Disposal of Canada's Nuclear Fuel Waste, AECL-10711, COG-93-1, p.105, Figure 4-5, (1994)

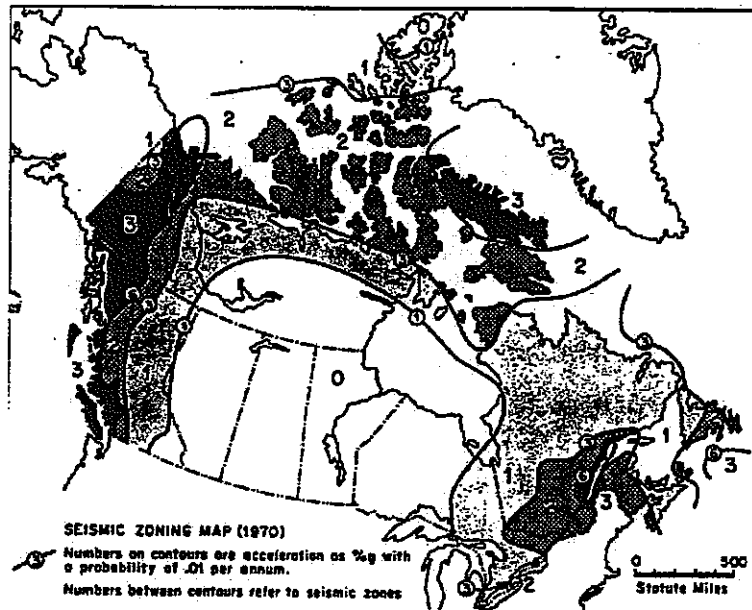


図-2 カナダの地震危険度マップ<sup>4)</sup>

出典 : A.C.Heidebrecht et al.: Engineering applications of new probabilistic seismic ground-motion maps of Canada, CAN.J.CIV.ENG.VOL.10, p.670-680, (1983)

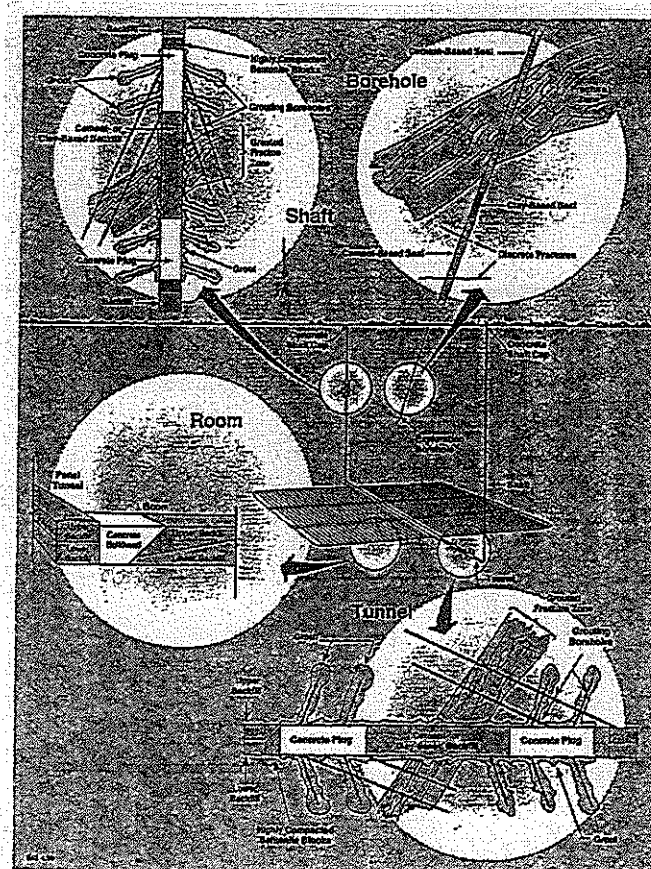


図-3 断層とクロスする空間の処理<sup>3)</sup>

出典 : AECL: Environmental Impact Statement on the Concept for Disposal of Canada's Nuclear Fuel Waste, AECL-10711, COG-93-1, p.122, Figure 4-10, (1994)

## 2 米国Yucca Mt. Viability Assessment (1998) <sup>9)</sup>

Yucca Mt. の特徴は次のとおりである。岩盤は不飽和で1280年前のTopopa Spring tuff(強溶結岩)。また、岩盤は45~85° 西傾斜の高角度断層(ブロック間断層)で、大きさ1~4kmのブロックに分割されている。断層は活断層ではない。Ghost dancing faultに代表されるブロック内断層が存在し、その変位は最大数10mである。処分場の位置は、次の条件で決められる。

- ① 200m以上の土被りがあること。
- ② 処分場の水平度は、トンネル上部で-5mまで、トンネル底盤で+10mまで許容する。
- ③ 地下水レベルから100m以上上部にあること。
- ④ Type I断層からの離れが60m以上あること。ただし、Ghost dancing断層の西側からは120m離れること。

### 2.1 断層の分類<sup>10)</sup>

断層はType I、II、IIIの3つに分類されている(図-4)。

Type IIIは、基本的に変位がない断層である。また、変位があっても処分場の設計及び/又は性能に影響を与えない範囲であり、詳細な調査の必要がない断層をさす。

Type IIは、Type III以外であり、詳細な調査が必要と判断される断層である。

Type Iは、Type IIを詳細に調査した結果、第四紀(200万年)断層と判明されたものである。また、活動時期の決定が正確でない場合を考慮し、次の性質のいずれかを持つときもType Iと判定する。

- ・ 地震と直接関係する。
- ・ 他のType I断層と構造的な関係を持つ(例えば、変位が連動する)。
- ・ 現在の応力場による変位方向と断層の方向が一致する。

以上の区分に従って、最終的にType Iと判定されたもののみが規制の対象となる。

### 2.2 性能評価における断層の扱い

断層の透水係数が潮汐による水頭の変動から調べられている<sup>11)</sup>。断層の幅を3mと仮定すると透水係数は $10^{-6}$ m/s。これは、母岩である凝灰岩の $3 \times 10^{-7}$ m/sよりやや大きい。この平板状の透水ゾーンが、地熱による上向きの流れを生じさせている。しかしこれは、核種の下向きの動きを抑制するものであり望ましいとしている。

不飽和体での地下水の移動に焦点をあて広域の3次元不飽和浸透流解析を実施している。<sup>12)</sup>その結果、処分場を通過して地下水面に到達する水の40%はき裂を水みちと

するFracture flowであることが示されている。また、き裂の鉱物生成、水理への影響などはこれからの課題としている。

### 2.3 処分場の設計における断層対策

Assumption Identifier: Key 023に次の記載がある。『処分場の空洞はType I断層を避ける。避けられない場合は、廃棄体と断層の端部との距離を15m以上離す。』また、『断層を避けるとは、処分場レベルで空洞を断層から60m以上離す。ただし、Ghost dancing断層の西側からは120m。』とある。地震に関しては、頻度-1 (1000年に1度)、頻度-2 (10000年に1度) の地震について、処分場の構造、システム、要素の耐震検討を実施している。(VA Vol.2 Table2-2)

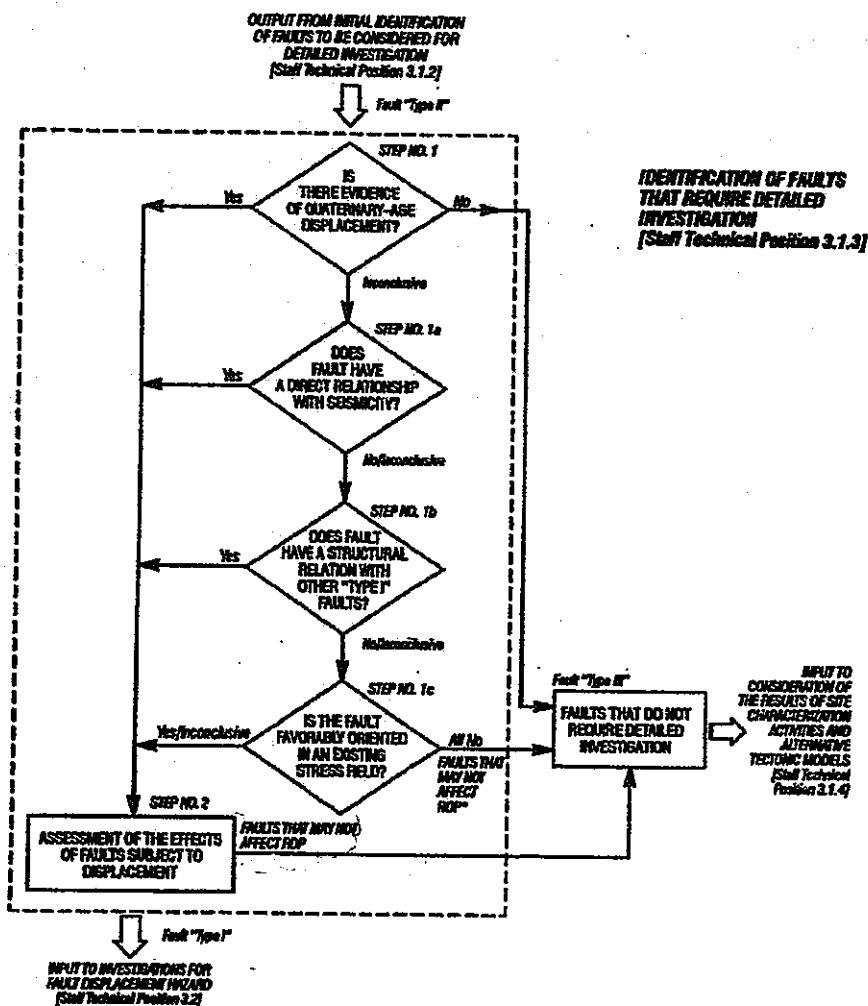


Figure 3 — Staff Technical Position 3.1.3: Detail to the "Approach to the identification of Faults that Require Detailed Investigation (I.e., "Type I" Faults)". Refer to the text for the discussion of this two-step process. Also see Figure 1.  
\* "RDP" means repository design and/or performance.

図-4 ヤッカマウンテンプロジェクトにおける断層分類<sup>10)</sup>

出典 : NRC: Staff Technical Position on Investigation to Identify Fault Displacement Hazards and Seismic Hazards at Geological Repository, NUREG1451, (1992)

### 3 スイスNagra:Kristallin-I(1994) <sup>14)</sup>

Kristallin-Iでは、スイス北部の結晶質岩の地下1000mに処分場を建設した場合の安全性を評価している。この地方では、地表は厚い風化岩に覆われている。このため1000mの大深度が設定されている。

#### 3.1 断層の分類

岩盤のき裂は、第4章の表4-1のとおり分類されている <sup>14)</sup>。このうち、水みちとなる断層はMWCF (Major water-conducting fault) として区分されている。その規模から、MWCFはさらに MWCF -1 (1st order fault)、MWCF -2 (2nd order fault) のふたつに分類される。

#### 3.2 性能評価における断層の扱い

岩盤とフラクチャーゾーンの透水係数が設定されている。岩盤の透水係数は、結晶質の基盤の上端から深度500mまで（この部分は、Higher-permeability domain, HPD と呼ばれる）は $2.8 \times 10^{-7}$ m/s、これより深い範囲（Low-permeability domain, LPD と呼ばれる）は $4.2 \times 10^{-11}$ m/sである。また、フラクチャーゾーンはMWCF-1、MWCF-2ともに $3.2 \times 10^{-7}$ m/sとしている。ただし、MWCF-2は幅20mに設定され、透水量係数として $6.4 \times 10^{-6}$ m<sup>2</sup>/sが用いられている。

主な断層 (major fault) からの離れは、Kristallin-I、Project Gewährともに100mに設定されている <sup>15)</sup>。

また、性能評価上は、MWCFと地表付近のHPDの核種遅延性能は無視しうるほど小さいとし<sup>15)</sup>、保守的に核種の瞬時移行を設定している。

また、MWCFの間隙率はKristallin-Iの分冊に示されている <sup>16)</sup>。ここでは、花崗岩と片麻岩について、変質したき裂面《wall rock》と変質していないき裂面、およびき裂充填物の間隙率を示している。また、変質は高温変質と粘土化変質のふたつに区分されている。その結果、間隙率は0.25～5%の範囲に分布する。しかし、この間隙率の分布をどのように性能評価の解析に用いているかは、明記されていない。

さらに、「断層のずれにより開口巾が変化し水理に影響する」といった力学と水理の連成現象についても触れている。しかし、この変動は、現在のき裂巾分布の範囲内であり、リファレンスシナリオでカバーできるとしている。また、地震による地下水の湧き出し現象もありうるが、これは一時的な現象としている。



### 3.3 処分場の設計における断層対策

断層のずれや地震の影響などについては、「4.3.5長期の地質条件の変化に関連したFEP」<sup>16)</sup>の項に簡単に述べられている。

#### (1) 断層のずれ

主要断層に沿ったずれ量を0~100m/100万年と示している。しかし、ずれは岩盤ブロック単位の動きであるので、1パネルがひとつのブロック内に配置されていればトンネルのシールは健全に維持されると考えている。また、ブロック内に存在する小断層に沿ったずれ量は、数センチ~1m以下/100万年としている。このような断層は、掘削中の地質観察から検知可能で避けることができると述べられている。

#### (2) 地震

地震については、北スイスでは地震危険度が小さいため、シールされた処分場の破壊は考慮していない。シール前の作業中に、地震によってトンネルが損傷する可能性があるがその確率は小さいことをNagraの研究<sup>17) 18)</sup>を引用して示している。上記のように、NagraのKristallin-Iでは、主要断層をさけたパネル配置が基本的な概念としてあり、これによって断層活動や地震に対して対応できることを述べている。

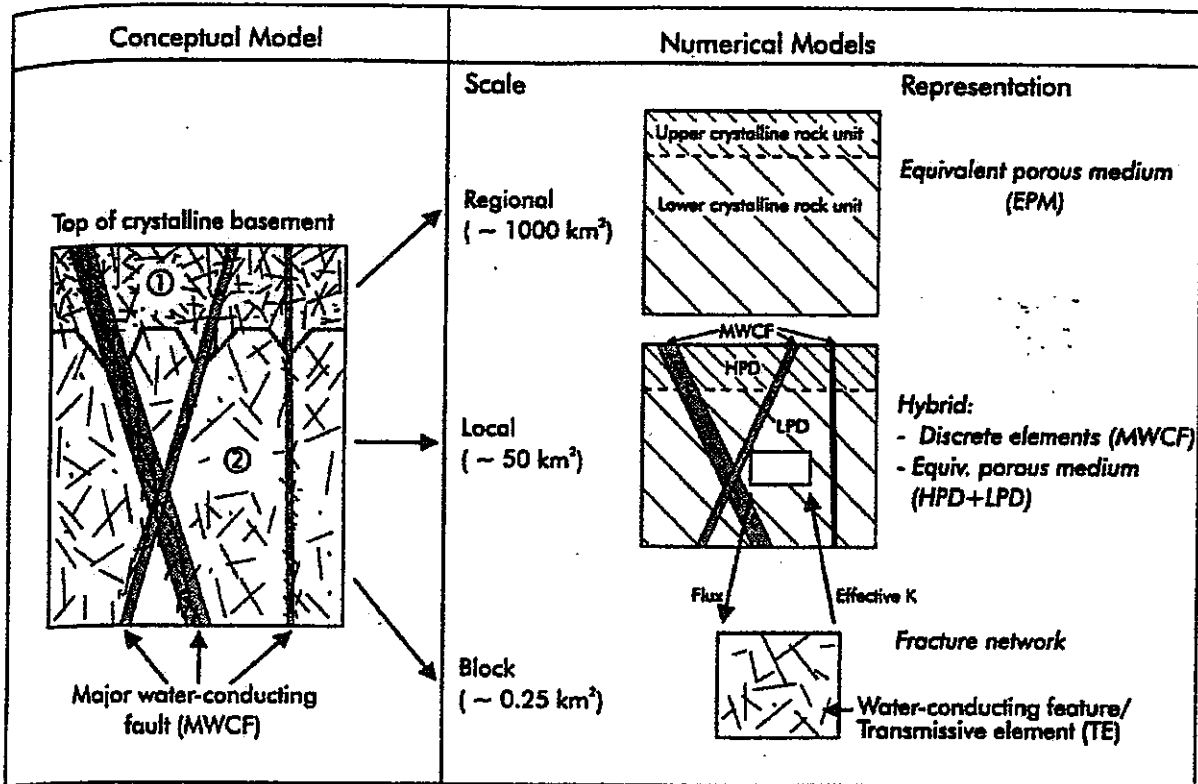


図-5 き裂のモデル化の概念<sup>14)</sup>

出典：Nagra: Hydrodynamic Synthesis and Modeling of Groundwater Flow in Crystalline Rocks of Northern Switzerland, Technical Report 92-04, p.1-7, Fig. 1.2, (1994)

#### 4 スウェーデンSKB SR-97(1999) <sup>19)</sup>

SR-97では、3サイト（呼称として、Aberg;閃緑岩、Beberg;花崗岩、Ceberg;片麻岩）について性能評価を実施している。スウェーデンでは200万年間にわたって地殻の活動状況は変化しておらず、地震活動もマグニチュード4.0をほとんど超えないという安定した状態にある。そのため、SR-97では、《fault》という単語ではなく《fracture zone》という表現を用いている。断層や不連続面の定義と単語の用い方については、今後検討する必要があるが、本調査では《fracture zone》を「断層」と訳し考察を加えた。

##### 4.1 断層の分類

Abergで幅を指標として断層を分類している。幅は0.5m~100mの範囲にあり、5m以上を主要断層《major fracture zone》、他は小断層《minor fracture zone》と定義している。主要断層は16ヶ所観察されている。<sup>19)</sup>他の2サイトについては特に記述はない。また、含水の程度によってless water bearing（記号W）とwater bearing（記号WW）の2種類に断層を区分し、異なる透水量係数を与えている。W断層は $0.3 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$ 、WW断層は $10 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$ である。<sup>20)</sup>

##### 4.2 性能評価における断層のあつかい

3サイトの透水係数あるいは透水量係数を、岩盤と断層に分けて以下のように設定している。

Aberg：100m以深の岩盤 $10^{-8} \text{m}/\text{s}$ 、断層は $10^{-4} \sim 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$ 。

Beberg：100m以深の岩盤 $10^{-8} \text{m}/\text{s}$ 、断層 $10^{-4} \sim 10^{-8} \text{m}^2/\text{s}$ 、ただし低角度傾斜の断層（gently-dipping zone）は $10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$ 。

Ceberg：100m以深の岩盤 $10^{-10} \text{m}/\text{s}$ 、断層 $10^{-5} \sim 10^{-8} \text{m}^2/\text{s}$

##### 4.3 処分場の設計における断層対策

###### (1) 氷河による応力状態の変化とき裂のずれ <sup>19)</sup>

氷河の圧力は30MPaに及び、それによる断層の変化やき裂の発生を検討している。その結果、氷河による新たなき裂は生じないこと、キャニスターを破損するような大きな変位は生じないことを示している。しかし、氷河による、応力と水理の連成は今後の課題としている。

###### (2) 地震によるき裂のずれ <sup>19)</sup>

「スウェーデンでは地震マグニチュードが4.0をほとんど超えない」環境にあるが、地震シナリオが示されている。地震クライテリアの設定のため、地震によって生じる処分ピットのせん断変形がキャニスターを破壊する現象を考慮している。解析の結果、0.1mをピットの許容せん断変位として設定している <sup>21)</sup>。

次に、統計データに基づいて、地震マグニチュードと震源距離から処分ピットのせん断量を計算し<sup>22), 23)</sup>、マグニチュード7.5の地震が100m以内で発生したとき、既存き裂の変位は0.1mに達することを示している (POLY3Dコード)。スウェーデンでは、「地表長さ100kmの断層から100m離す」ことでこの基準を満足することになる。

一方で、地震動によるキャニスターの損傷確率を計算し、100万年の損傷リスクとしてAberg:0.65%=32キャニスター、Bberg:0.12-0.15%=6-7キャニスター、Cberg:0.04%=2キャニスターを示している。ここでは、マグニチュードと地震発生の頻度

(Frequency/magnitude relationships) を用いて、POLY3Dによって動的解析を実施している。また、解析対象である処分場の岩盤モデルは、き裂のトレースデータからき裂を統計的に発生させ (FracMan で100回のリアライゼーション)、100の仮想き裂場を設定している。

## 5 まとめ

4カ国の性能評価書における断層の取扱いの考え方を表-1に示す。

「断層の分類」、「評価上の扱い」、「設計対応」の見地から各国の特徴を記すと以下のようなになる。

「断層の分類」は断層規模に基づいて行なわれる。ここでは、長さ、ずれ長さ、幅が指標として取り上げられている。また、4カ国とも活断層がない、あるいは地震危険度が小さい地域であり、カナダ、スイス、スウェーデンでは、断層分類に活断層の表現はない。しかしYucca のVAレポートでは、断層の活動時期 (第四紀か否か) が、その断層を規制上評価するかどうかの判断の指標となっている。そして、活動時期の判断が困難な場合、規制上重要な断層として取り上げる基準として、その断層が「地震と関係するか」、「第四紀断層と変位の連動があるか」、「応力場との関係があるか」、などが示されている点が特徴的である。

「評価上の扱い」のうち断層の水理学的なモデル化では、各国とも断層を透水層として扱い母岩よりも大きい透水係数を与えている。一方で、VAレポートのき裂生成鉱物の透水性への影響についてのコメントや、Nagra Kristallin-I (スイス) での断層や周辺岩盤の間隙率調査の結果などは、より詳細な断層のモデル化研究の重要性を示している。

一方で、断層の力学的なモデル化については、SR97 (スウェーデン) で地震によるき裂のずれが計算されている。スウェーデンでは、応力場の変化 (氷河の影響など) による結晶質岩のき裂のずれが課題として提示されている。しかし、断層の力学的なモデル化については他の3カ国の性能評価書では特記されていない。

断層の核種移行遅延性能については、断層粘土への核種の収着などが考えられるが、性能評価上の取扱いは明記されていない。反対に、Nagra Kristallin-Iでは、water conducting fault (MWCF) の核種遅延性能は無視しうるほど小さいとしている。

断層と処分施設との離間距離は、各国それぞれの数値を示している。EIS (カナダ) とSR-97 (スウェーデン) はその根拠を明確に示している。前者は、断層活動によって発生するき裂の範囲から空洞をはずすことによって、空洞周辺岩盤の破壊を防ぐ考えである。ここでは、「地震の大きさとき裂が及ぶ領域の関係」が実測データとして与えられている。この関係は岩種によって異なるものであるが、カナダでは地域と岩種が限定されているために影響範囲の設定が可能となっている。一方でSR-97では、処分ピットを横切るき裂のずれの許容値をキャニスターの破壊解析からまず設定し (10cmとしている)、地震の大きさとき裂のずれ変位のデータから、想定する規模の断層からの離れを決定している。

また、断層活動によって岩盤が受ける加速度の確率分布を求め、そこから空洞の破壊危険度を検討する「地震危険度解析」は、EIS (カナダ)、VA (米国)、Kristallin-I (スイス) に記述がある。ただし、実際の処分施設の設計にどのように反映されているかは明確でない。

表-1 諸外国における断層の取扱い

		EIS(1994) カナダ AECL	VA(1998) 米国 Yucca Mt.	Kristallin-I(1994) スイス Nagra	SR-97(1999)スウェーデン SKB
I 断層を分類する	活断層評価		○		
	断層の長さ			○	
	断層のずれ長さ		○	○	
	断層の中			○	○
	断層の含水状態				○
II 断層を水理学的にモデル化する	透水係数	○ Fracture zoneは、 $10^{-6}$ m/s	○ 断層の幅を3mと仮定すると $10^{-6}$ m/s。これは、Tuffの $3 \times 10^{-7}$ よりやや大きい	○ 2つの断層(MWCF-1, MWCF-2)の透水係数を $3.2 \times 10^{-7}$ m/s、厚さ20mとしている。 ・HPD(Higher-permeability domain)は、 $2.8 \times 10^{-7}$ m/s、LPD(Low-permeability domain)は、 $4.2 \times 10^{-11}$ m/s。	○ ・サイトA:100m以深の岩盤 $10^{-8}$ m/s、き裂 $10^{-4} \sim 10^{-7}$ m <sup>2</sup> /s ・サイトB:100m以深の岩盤 $10^{-8}$ m/s、き裂 $10^{-4} \sim 10^{-8}$ m <sup>2</sup> /s、gently-dipping zoneは $10^{-3}$ m <sup>2</sup> /s ・サイトC:100m以深の岩盤10-10m/s、き裂 $10^{-5} \sim 10^{-8}$ m <sup>2</sup> /s
	断層帯の間隙率	・記述されていない。	△ 断層に鉱物が生成されることによる水理への影響はプログラム開発中	△ 水みち断層の間隙率を詳細に調査(0.25~5%)：岩の部分、充填物、岩脈、変質の種類、等で区分	・記述されていない。
	核種移行遅延性能	・記述されていない。	・記述されていない。	△ 性能評価上は、water conducting fault(MWCF)と地表付近のhigher-permeability domain(HPD)は核種の遅延性能は無視しうるほど小さいとしている。	・記述されていない。
III 断層を力学的にモデル化する					○ ・地震によるせん断を計算
IV 断層活動と地震に関する検討を行い設計に反映する		○ ・下記のとおり・前提；地震危険度マップの0(negligible risk)、1(minor risk)の地域を対象。	○ ・下記のとおり	○ ・下記のとおり	○ ・下記のとおり
	断層への対処の考え方を示す 例えば、断層との離間距離の設定	○ ・一定の離間距離をとることによって、処分空洞にき裂が発生する確率を実質ゼロにする。(オンタリオの深成岩では、断層近くでもき裂が発生する確率は $5 \times 10^{-7}$ /y以下と小さいが)。 ・① 1キロ以内に長さ2km以上の活断層が存在しない。② 200m以内に長さ500m以上の活断層が存在しない。③ 50m以内に活断層が存在しない。	○ ・処分場の空洞はType I断層を避ける。断層を避けるとは、処分場レベルで空洞を断層から60m以上離す(ただし、Ghost dancing断層の西側からは120m)ことを意味する。 ・避けられない場合は、廃棄体と断層の端部との距離を15m以上離す。	○ ・主な断層(major fault)からの離れは100m。 ・断層のずれも検討しているが、トンネル内での活断層調査によって廃棄体を避けることによって問題ないとしている。	○ ・既存き裂のずれ(せん断変位)を対象とする。 ・0.1mのせん断変位を許容値とする。(Borgesson 1992 のFEM計算) ・マグニチュード7.5(長さ100kmの断層)の地震が100m以内で発生したとき、既存き裂の変位は0.1mに達する。 ・100万年間でのリスクは、Aberg:0.65%=32キャニスター、Bberg:0.12-0.15%=6-7キャニスター、Cberg:0.04%=2キャニスターとなる。
	断層との離間距離設定の根拠を明示する	○ ・断層の長さからマグニチュードを計算。 ・マグニチュードと影響範囲の関係が断層調査から得られている。→地表に現れている断層の長さから断層活動による2次き裂の発生範囲を計算。 ・マグニチュードと発生確率の関係から影響範囲内の場合の破壊確率を得る。	△ ・今回の調査の範囲では根拠が不明。	○ ・「離れ」の計算手法が示されていない。	○ ・き裂分布の統計データからき裂を発生(Realizationを100ケース)。既存地震のマグニチュードのデータと震源からの距離から、地震解析をおこなう。そして既存き裂のせん断変位の確率分布を求める。
	地震危険度解析の実施	○ ・対象地点の固有周期と加速度応答スペクトルの関係を発生確率ごとに計算	○ ・頻度-1(1000年に1度)、頻度-2(10000年に1度)の地震について、構造、システム、要素の耐震検討を実施。	○ ・北スイスは地震危険度が小さい。 ・シールされた処分場の破壊は考慮しない。 ・作業中のトンネルの損傷の確率は小さい。(DIEBOLD&MULLER1985、BERGER1987)	△ ・上記のきれつのせん断変位解析

○ ; 記述されている。  
△ ; 検討されているが明確に記述されていない。  
ブランク ; 記述されていない。