幌延深地層研究計画
第2，第3段階における全体研究計画案

平成16年3月

核燃料サイクル開発機構　幌延深地層研究センター
深地層研究グループ

本資料の全部または一部を複写・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村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部技術協力課
電話：029-282-1122（代表）
ファックス：029-282-7980
電子メール：jserv@jnc.go.jp

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

©核燃料サイクル開発機構
Japan Nuclear Cycle Development Institute
2003

TN 5400 2003-004
2003 年 3 月

幌延深地層研究計画
第 2，第 3 段階における全体研究計画案

松井裕哉*、栗原雄二**、牧野仁史**

要旨

本資料は、上記の幌延深地層研究計画の進め方に従い、平成 12 年度から開始している第 1 段階（地上からの調査研究段階）で得られている地質環境特性に関する諸特性・知見及び並行して進められている地下施設の設計研究の成果を考慮しつつ、第 2，3 段階の研究計画を検討したものである。

検討中の調査試験項目は以下の通りである。

第 2 段階
（深地層の科学的研究）
- 立坑内での地質観察、湧水量測定
- 立坑周辺岩盤中の水圧・水質および変形挙動計測
- 立坑周辺岩盤中の EDZ の調査及び立坑掘削影響試験
- 覆工応力・支保工応力測定
- 立坑／坑道周辺部の地質環境詳細調査
- 水平坑道掘削影響試験／不飽和・REDOX 試験

（処分技術の信頼性向上）
- 低アルカリ性コンクリート施工性確認試験
- ガス移行挙動試験
-

第 3 段階
（深地層の科学的研究）
- 双設坑道安定性評価試験
- 坑道周辺岩盤の長期安定性評価試験
- 断層／割れ目帯及びその周辺の地質環境特性調査
- 地震時の地質環境変動に関する観測

（処分技術の信頼性向上）
- T-H-M-C 試験/定置精度確認試験
- オーバーパック腐食試験
- セメント影響試験
- 岩盤・緩衝材クリープ試験
- 坑道閉鎖試験
- 人工バリア中／天然バリア中／断層及びその周辺部を対象としたトレーサー試験

*幌延深地層研究センター　深地層研究グループ
**東海事業所　環境保全研究センター　処分研究部

Horonobe Underground Research Laboratory Project
The plan for the in-situ experiments in Phase II and Phase III

Hiroya MATSUI*, Yuji KURIHARA**, Hitoshi MAKINO**

Abstract

This report is described for preliminary plan in Phase II and Phase III taken into consideration of expected geological environment at position of URL based on the results of the investigations until FY 2002/2003. The project progress, duration of construction phase and total cost are considered as important factors for planning as well. The below items of in-situ experiments in Phase II and Phase III are planning.

Phase II
(In-situ experiments for understanding of geological environment)
/Geological survey at drift face
/Inflow measurement in three shafts
/Water pressure monitoring and groundwater sampling around a shaft during excavation of URL
/ Investigation for EDZ around a shaft
/ Stress measurement on support
/ Detail investigations for geological environment around 250m drift and 550m drift
/ Excavation disturbance experiment in a drift
/ Investigation for desaturation zone and redox condition around a drift.
(Engineered barrier system)
/ In-situ experiment on low-alkari concrete
/ In-situ experiment for gas migration in engineering barrier system

Phase III
(In-situ experiments for understanding of geological environment)
/ EDZ experiment for stress interference
/ Investigation of long-term behavior of EDZ around a drift
/ Detail investigation on fault/fault zone
/ Monitoring for the change of geological environment at earthquake
/ Backfill test in borehole
(Engineered barrier system)
/ T-H-M-C experiment
/ In-situ experiment for corrosion of overpack
/ Investigation of the influence of a concrete to engineering barrier system and geological environment
/ In-situ experiment for interference between backfill material and geological environment
/ Backfill test in a drift
(Safety assessment)
/ Tracer tests in engineering barrier system, natural barrier and fault/fault zone

*Horonobe Underground Research Center, Geotechnical Science and Engineering Group
** Tokai Works, Waste Management and fuel cycle research center, Waste isolation Research Division

目次

ページ番号

1. はじめに 1

2. 幌延深地層研究計画で対象とする地質環境及び地下施設建設時に想定される諸現象 2

3. 地下研究施設の仕様及び建設工程について 4

4. 第２，３段階研究計画策定に当たっての基本的考え方 6

5. 第 2, 3 段階研究計画案

5. 1 第 2 段階研究項目 7

5. 2 第 3 段階調査研究項目 23

5. 3 調査技術開発 34

6. 地質環境のモデル化・解析 37

7. 深地層の科学的研究・処分技術の信頼性向上・安全評価手法の高度化研究の相互関連について 38

8. 研究スケジュール 40

9. 参考文献

1. はじめに

幌延深地層研究計画（例えば、サイクル機構, 2002）は、平成６年の原子力長計においてその位置づけ、重要性が示されている「深地層の研究施設計画」の一つであり、岐阜県瑞浪市で実施中の「超深地層研究所計画」と対をなすものである。

本研究は、約２０年のプロジェクトとなっており、以下に示す段階毎に調査研究を進めることとなっている。

第１段階：地上からの調査研究段階
第２段階：坑道掘削時（地下施設建設時）の調査研究段階
第３段階：地下施設での調査研究段階

地上からの調査研究段階においては、地表からの調査（空中・地上物理探査、地質調査、試錐調査）等を実施し、調査対象となる地質環境のモデル化を行うとともに、第２段階以降に実施する地下施設建設に伴う地質環境の影響を予測する。これは、現在実施中である。

坑道掘削時の調査研究段階では、坑道掘削中の地質調査、水理調査、地球化学調査及び岩盤力学的調査を実施し、データを取得するとともに、第１段階での予測結果と比較することにより、第１段階で実施した調査・モデル化・予測の妥当性を検証する。

地下施設での調査研究段階では、坑道周辺部の地質環境特性の詳細調査を実施するとともに、地層処分研究開発のための原位置試験を実施する。

本資料は、上記の幌延深地層研究計画の進め方に従い、平成 12 年度から開始している第１段階（地上からの調査研究段階）で得られている地質環境特性に関する諸特性・知見及び並行して進められている地下施設の設計研究の成果を考慮しつつ、第２，３段階の研究計画を検討したものである。

2. 幌延深地層研究計画で対象とする地質環境及び地下施設建設時に想定される諸現象

第2，3段階の計画を検討する上では、ベースとなる地質環境及び地下施設建設時に想定される事象を検討しておく必要がある。図 2.1 に第1段階に研究所設置地区及びその周辺地区を対象に掘削した試錐孔の配置及び地下施設建設候補地点を示す。平成 14 年度までに地上物理探査、地表地質調査、試錐調査等で取得したデータ（サイクル機構，2003）に基づき、現時点で地下施設の建設予定地点（大曲断層の西側）の地質環境を類推すると以下のようになると考えられる。

2.1 地質構造

地表から深度 700m の範囲においては、珪藻質泥岩（主として声問層に対応）と硬質頁岩（主として稚内層に対応）で構成されるが、両者とも珪藻が堆積してできた岩石である。珪藻質泥岩と硬質頁岩の層境は深度 300ー400m 程度の範囲内であると推測される。同領域では相対的に亀裂は少ない。また、既存の地質学的知見や地表物理探査結果から推定すると、地層構造や岩相は大曲断層に直交する方向では複雑に変化するが、平行な方向に大きく変化する可能性は低いと想定される。

2.2 水理

稚内層の透水係数は、岩石コアを用いた透水試験及び原位置水理試験結果から国内に分布する新第三紀堆積岩とほぼ同程度と考えられる。水圧は、掘削中のモニタリングデータや検層結果から、一部逸水や湧水区間があるものの、大きな被圧帯は確認されていない。透水試験時の初期水頭はほぼ地表面レベルにあることから、ほぼ静水圧分布しているものと想定される。また、これまでに実施してきた広域地下水流動解析によれば、研究所設置地区における地下水流動方向は大局的には東西に近い方向であると推測されている。

2.3 地球化学

岩石コアの抽出水の分析結果と岩盤としての透水係数が小さく地表水の浸透速度は遅い可能性が高いと判断されることから、地下水はごく浅い部分から塩分が含まれる可能性が高いと想定される。地下水中にはメタンを主体とする溶存ガスが含まれている。

2.4 岩盤力学

珪藻質泥岩と硬質頁岩はいずれも工学的には堆積軟岩に分類されるが、岩盤の物理的・力学的性質は異なっていると考えられる。また、珪藻質泥岩層と硬質頁岩層の間に急激に物性変化が生じる遷移層が存在すると考えられる。初期応力状態は、水平面内で見た場合、深度 250m 以深ではほぼ東西方向が最大主応力方向であると考えられる。

深度 300m 以深からボアホールブレークアウト現象が見られ、坑道掘削時にも坑道壁面に同様の破壊現象が生じることが想定される。

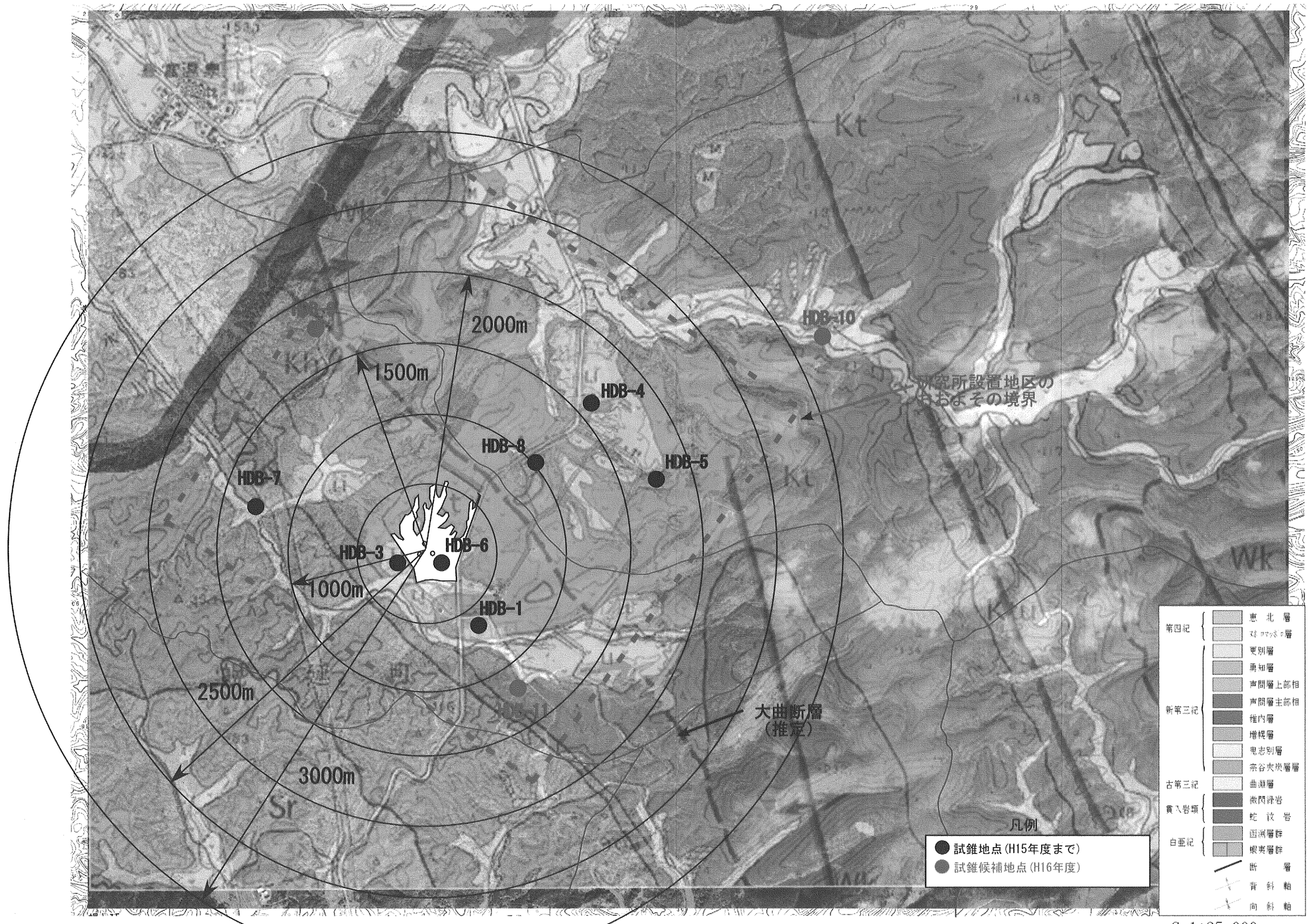


図2.1　平成16年度までの試錐孔位置

3. 地下研究施設の仕様及び建設工程について

図 3.1 に、平成 14 年度設計研究において検討された、現段階での最新の地下施設仕様を示す。

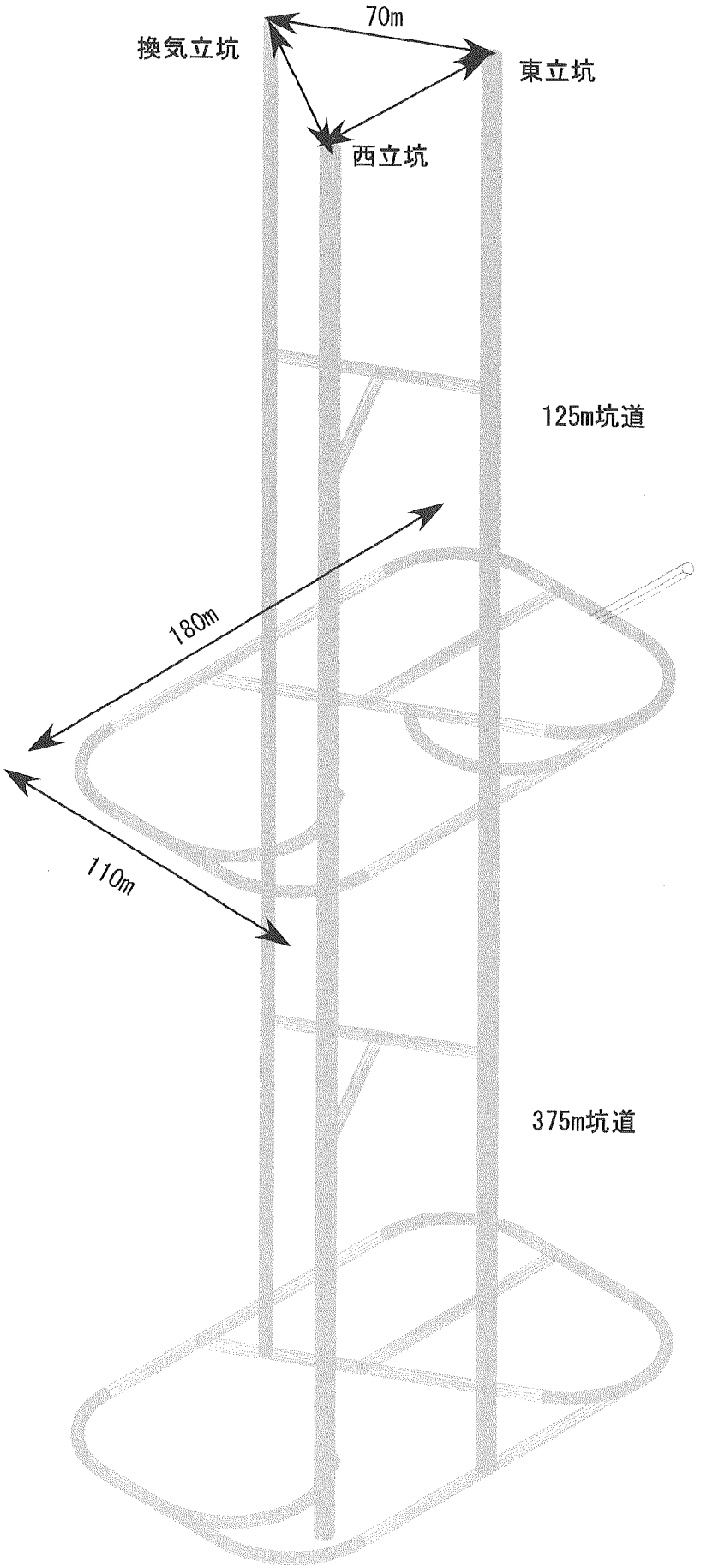
研究施設は、３本の立坑（東立坑、西立坑及び換気立坑）とそれを連絡する坑道（以下、125m 坑道、375m 坑道と呼ぶ）及び第３段階の研究の主要実施場所となるループ坑道（以下、250m 坑道及び 500m 坑道と呼ぶ）及び各ループ坑道から延びる試験用坑道より構成される。３本の立坑を掘削する理由は、地下施設のどの位置で火災等が発生した場合にも、施設内に留まることなく、通気を確保しつつ安全に地上まで避難できることを大前提としているためである。

125m 坑道・375m 坑道は、主に施工上必要な機材を置く中継地点と通気上の観点から各立坑を連絡するために存在する坑道である。

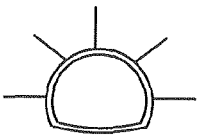
250m 及び 500m 坑道は、各立坑を取り巻く形でループを形成している。ループを形成する理由は、第２，第３段階の調査・試験において、調査研究の進展に伴いどの方向にも調査が展開できるように配慮したためである。

坑道支保については、立坑部では 40cm 程度の覆工コンクリート、125, 250, 375, 500m 坑道（水平坑道）では 10ー20cm の吹き付けコンクリート、ロックボルト及び鋼製支保工を導入する計画としている。

平成１４年度検討した掘削手順については、第２段階の調査研究を実施しつつ建設工程及び工費を最小とするため、基本的には３本の立坑を同時に着工する予定となっている。このうち、換気立坑は、地表ー深度 500m まで切羽がとまることなく掘削し、1 年程度で掘削を完了する。また、東立坑・西立坑は、途中で調査試験及び 125m, 250m, 375m, 500m 坑道を掘削しながら進行することとなっている。建設工法は、全ての坑道とも現状では機械掘削及び発破掘削の両方のケースについて検討している。

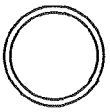


水平坑道部は、基本的に三心円形状



内空高さ：4～5m
内空幅　：4～5m
覆工厚　：15～20cm程度

立坑部は、円形



仕上内径：6.5m（東、西立坑）
4.5m（換気立坑）
覆工厚　：40cm程度

①掘削工法
発破掘削，機械掘削及び発破掘削＋機械掘削いずれかの方法から選択

②掘削手順
・125m坑道までは３本の立坑がほぼ同時に進行。
・各水平坑道（125m,250m,375m,500m坑道）は東立坑、西立坑を用いて掘削する。
・換気立坑は、常時坑道換気を可能とするため、125m以深も切羽を止めることなく掘削する。

図3.1　地下施設仕様・掘削の概要(H14年度時点)

4. 第２，３段階研究計画策定に当たっての基本的考え方

2. 及び 3. に示した地下施設建設時に推定される地質環境、地下施設の仕様を踏まえた、第２、第３段階での計画策定の基本的な考え方を以下に示す。

4.1 全体

a) 基本的には、これまで得られた研究所設置地区内の地質環境の知見に基づき、地下施設建設時に生じると予測される諸現象を考慮しつつ、現在の研究施設の坑道レイアウト・工程をできる限り踏襲し調査研究計画を検討する。
b) 幌延深地層研究計画では、深地層の科学的研究・処分技術の信頼性向上・安全評価手法の高度化に関する研究すべてを実施することが可能であることから、それらが合理的・体系的に進められるものとなっている必要がある。

4.2 第２段階調査計画

a) 研究対象地層である声問層、稚内層それぞれについて可能な限り３次元的な地質環境データの取得を試みる。これにより、第１段階で構築した地質環境モデルの検証及びその更新に際して信頼性が向上する。
b) 第３段階の研究の中心となる 250m 坑道、500m 坑道周辺の地質環境に関する詳細なデータ取得を試みる。これは、第３段階の調査試験計画を最適化するとともに、成果の一般化（地質環境への掘削影響を合理的に説明するメカニズムの解明）に寄与する。
c) 建設工程への影響を最小限にとどめるような調査試験計画とする（特に立坑部から実施しなければならない調査試験は最低限とする）。

4.3 第３段階調査計画

a) 現状の施設レイアウトでは、声問層及び稚内層それぞれに研究ステージ（250m 坑道及び 500m 坑道）が設けられることとなるが、両ステージの完成時期が異なることから、深部においてデモンストレーションが必要な試験と長期間にわたる試験期間が必要な試験を分離して検討することとする。すなわち、人工バリア及びその周辺部を対象とした試験は、緩衝材への地下水流入が相対的に期待できる 500m 坑道で、岩盤や地下水を対象とし、かつできるだけ長期の観測が必要な調査試験は主に 250m 坑道にて行うこととする。
b) 処分技術の信頼性の向上に関する研究のうち、支保部材の施工性あるいは耐久性を見るための試験は、施工による地質環境への影響を検討し、他の調査試験への影響がないと考えられかつ建設工程に大きな影響を及ぼさない場所で実施する。

上記のような考え方に基づき検討した、第２，第３段階の調査試験研究計画案を以降に述べる。

5. 第2,3段階研究計画案

本章では、2.に示した地下研究施設において想定される地質環境と4.で示した基本的考え方に基づき抽出した調査試験項目の概要を示す。なお、地上からの調査予測段階で地表からの試錐孔に設置した長期モニタリングシステム、GPS観測システム、地震計ならびにMT観測システムについては、地下研究施設建設に伴う地質環境への影響把握の観点から、第3段階終了時まで継続実施することとする。

5.1 第2段階研究項目

第2段階における調査試験は、2.に述べた想定される地質環境を考慮した①第1段階での予測結果の検証データの取得、②長期にわたる原位置試験、③施工中でなければ実施できない調査試験（立坑部における掘削影響調査など）が主体となる。

第2段階における調査試験計画を考える上では、調査試験が地下施設施工中に実施されること、及び地下施設の建設は可能な限り短い期間で終了することを要求されていることを考慮に入れる必要がある。このため調査試験は、掘削工程との調整を考慮し、地上からのアクセス部となる立坑部、立坑／坑道周辺部および水平坑道部における調査試験に分けて考えることとする。

5.1.1 深地層の科学的研究

5.1.1.1 立坑部

立坑部における調査は、掘削工程に直接的な影響を与える。従って、坑道掘削の工期・費用・安全管理上の問題を考慮すると、調査試験に多くの時間を取れない可能性が高いため、短時間で可能な試験並びに第1段階において実施した予測の検証データの取得が主要課題となる。このため、立坑内での作業を要する調査は、第1段階で構築した地質環境モデル及びそれを用いた影響予測解析結果の検証データの取得と、立坑周辺部の掘削影響領域を把握するための調査のみとする。

一方、図3.1に示した平成13年度の地下施設レイアウトでは、125m, 250m, 375, 500mレベルに立坑間の連絡坑道が設置されることとなっている。これらを有効に利用し、それらの空間から試錐孔掘削及び各種調査を行うことにより、地下施設周辺の地質環境データ（地質・地質構造、水理、地下水の地球化学、岩盤力学）を相当の頻度でかつ三次元的に取得することが可能となる。また、立坑からも設けられる数カ所の拡幅部にエレベータでアクセスできるようにしておけば、そこでの調査は長期モニタリングにも対応しうるものとなる。一方、立坑掘削自体が機械掘削で行われる場合には、通気による粉塵排除が問題とならなければ、発破に伴う作業場からの待避行為が必要なくなり、坑道内での同時作業が可能となると考えられ、工程に与える影響は最小限にとどめられる。

(1) 立坑から実施する調査試験

第1段階で実施した地質環境（地質・地質構造、水理、地球化学、岩盤力学）への影響予測解析結果を検証するためのデータ取得を目的とした調査を実施する。調査は、立坑部が対象となるため、工程に及ぼす影響を考慮し、ルーチンワークとして掘削サイクルに考慮しやすいもの、立坑内より最大50m程度の短い試錐孔を用い短時間で機器の設置や調査が終了するもので構成する。

①地質観察

a) 目的

第1段階で構築した地質・地質構造モデルの検証及び坑道スケールにおける地質学的な観点からの不均質性評価のためのデータ取得

b) 実施位置

各立坑の側壁及び切羽面

c) 測定時期/頻度

1掘削毎

d) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

立坑部は覆工や掘削により坑道壁面・切羽を後から観察することが不可能であるため。

e) 実施内容

切羽及び坑壁のスケッチ、写真撮影、サンプリングなど

f) 期待される成果

地質構造の3次元的な不均質性の把握

g) 留意事項

サイクルタイムへの影響を最小限にする方法を検討する必要あり（現在の設計研究の中では地質観察の時間は約2時間としている）。

②立坑への湧水量測定

a) 目的

第1段階で実施した地下施設建設に伴う地下水流動影響予測結果及び構築した水理地質構造モデルの妥当性の検討

b) 実施内容

125m, 250m, 375m, 500m 坑道深度に集水リングを設け、立坑壁面からの区間湧水量を経時的に計測する。

c) 実施位置

125m, 250m, 375m, 500m 坑道レベル立坑部

d) 測定時期/頻度

連続観測

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

後述する試錐孔を利用した調査と同一地点で行うことにより、単なる検証データの取得のみではなく、坑道周辺部で生じる水理学的掘削影響の発生メカニズムまで検討することが可能となる。

f) 期待される成果

地下水流動影響予測結果の精度の検討、坑道周辺部で生じる水理学的掘削影響の発生メカニズムの検討

g) 留意事項

坑壁近傍では、溶存ガスがバブル化することにより見かけの透水係数がさらに小さくなり、結果として湧水量はその影響を受けた物となる可能性がある。また、透水係数が元々小さいため、湧水量として測定できるレベルの地下水が流れるかは不明である。薬液注入やグラウトを伴う補助工法が導入されるような掘削区間では基本的に実施する意味がないため、測定地点の変更もしくは中止が必要。

③周辺岩盤中の地下水の圧力分布調査

a) 目的

第1段階で実施した地下施設建設に伴う地下水流動影響予測結果及び構築した水理地質構造モデルの妥当性の検討並びに坑道スケールにおける水理学的な観点からの不均質性評価のためのデータ取得。

b) 実施内容

125m, 250m, 375m, 500m 坑道深度レベルより、水平方向（3－4方向が望ましい）に立坑径の 10 倍程度（実際の試錐孔長は、地下水流動結果などから決定）の長さの試錐孔を掘削し、マルチパッカーシステムにより坑壁からの深度が異なる地点での地下水圧の計測を行う。

c) 実施位置

湧水量測定と同一箇所

d) 測定時期/頻度

連続観測

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

前述の湧水量調査と合わせ、掘削影響の発生メカニズムまで検討することが可能となることと、第3段階の調査試験エリアを含む範囲の地質環境に関する初期条件データを把握する必要があること（モニタリングを念頭に置く）。

f) 期待される成果

地下水流動影響予測結果の妥当性の検討、坑道壁面近傍におけるガスの有無及びそれが湧水量に及ぼす影響（＋岩盤が有する水理学的不均質性の評価）

g) 留意事項

掘削する試錐孔長が長いために、その間の切羽停止期間が掘削サイクルに与える影響を考慮する必要がある。立坑部は一度設置するとメンテナンスには多大な時間と費用を要するため、その点を考慮した測定機器を使用する必要がある。薬液注入やグラウトを伴う補助工法が導入されるような掘削区間では基本的に実施する意味がないため、測定地点の変更もしくは中止が必要。

④　周辺岩盤中の地下水の水質分布調査

a) 目的

第１段階で実施した地下施設建設に伴う地下水の化学的影響予測結果及び構築した水理地質構造モデルの妥当性の検討。

b) 実施内容

③の計測装置より、地下水の採水・分析を実施する。

c) 実施位置

湧水量測定、水圧観測と同一深度

d) 測定時期/頻度

設置直後は短いスパンで、定常的な状態になったら数ヶ月に１度の頻度。

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

前述の湧水量調査、水圧観測と合わせ、現象の発生メカニズムまで検討することが可能となることと、地球化学的な不均質性（鉱物組成や地下水組成等）のスケールに関する情報がないこと及び第３段階の調査試験エリアを含む範囲の地質環境の初期条件データを取得する必要があること。

f) 期待される成果

地下水の化学的影響予測結果の妥当性の検討、岩盤が有する化学的不均質性の評価、坑道壁面近傍におけるガスの有無及びそれが地下水の化学組成に及ぼす影響

g) 留意事項

掘削する試錐孔長が長いために、その間の切羽停止期間が掘削サイクルに与える影響を考慮する必要がある。立坑部は一度設置するとメンテナンスには多大な時間と費用を要するため、その点を考慮した測定機器を使用する必要がある。薬液注入やグラウトを伴う補助工法が導入されるような掘削区間では基本的に実施する意味がないため、測定地点の変更もしくは中止が必要。

⑤　立坑周辺岩盤中の掘削影響領域の物性に関する調査

a) 目的

第１段階で実施した地下施設建設に伴う周辺岩盤への影響、予測結果及び構築した岩盤力学モデルの妥当性の検討。

b) 実施内容

立坑より、立坑径の 1ー2 倍程度の長さの試錐孔を水平方向（４方向程度）に掘削、弾性波探査(PS 検層等)、孔内載荷試験、透水試験などを実施する。弾性波探査は坑壁から連続的に、孔内載荷試験・透水試験は、坑道壁面からの距離を変え 4ー5 箇所程度実施する。

c) 実施位置

125m, 250m, 375m, 500m 坑道レベル立坑部

d) 測定時期/頻度

調査用試錐孔掘削後すみやかに実施（掘削時に発生した EDZ の物性の取得)。

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

岩盤力学モデルの検証データの三次元的な取得(物性、応力)を把握する情報を提供するとともに、坑道周辺部の水理状態変化の情報（湧水量測定や地下水の水圧/水質観測位置）と合わせ空洞周辺岩盤中の水-応力連成挙動評価に寄与するデータを提供する。

f) 期待される成果

力学的な掘削影響予測解析結果の精度の検討（力学的物性の変化＋立坑径の違いが変形挙動に及ぼす影響)、岩盤が有する力学的不均質性の評価、掘削に伴う物性変化の程度と範囲の深度変化（立坑周辺部の EDZ が安全評価に影響を及ぼす可能性があるか否かのバックグラウンドデータ)

g) 留意事項

全坑道展開後に測定地点へのアクセスルートが確保できた場合は、同じ調査用試錐孔で立坑部周辺に発生した EDZ の長期的な変化を見るための試験を実施できるため、立坑掘削作業での孔口部の損傷を避ける措置が必要。

⑥立坑周辺岩盤の変形挙動計測

a) 目的

第１段階で実施した地下施設建設に伴う周辺岩盤への影響予測結果及び構築した岩盤力学モデルの妥当性の検討、地表ー地下深部までの連結経路となる可能性がある立坑周辺の EDZ の範囲とその物性の深度変化の把握

b) 実施内容

立坑部から、水平方向（3ー4 方向が望ましい）に最大立坑径の３倍の長さの試錐孔を掘削し、多点式地中変位計により坑壁からの深度が異なる地点での変形計測を行う。

c) 実施位置

湧水量測定、水圧観測、地球化学的調査と同一箇所（ただし、内空変位計測も含め、施工管理の意

味からはより細かいピッチで行う必要あり）

d) 測定時期/頻度

連続観測

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

前述の湧水量調査、水圧観測等と合わせ、現象の発生メカニズム（特に水—応力連成挙動）まで検討することが可能となることと、第３段階の調査試験エリアを含む範囲の地質環境の初期条件データを取得する必要があること。

f) 期待される成果

力学的な掘削影響予測解析結果の妥当性の検討、岩盤が有する力学的不均質性の評価

g) 留意事項

試錐孔掘削のために、その間の切羽停止期間が掘削サイクルに与える影響を考慮する必要がある。立坑部は一度設置するとメンテナンスには多大な時間と費用を要するため、その点を考慮した測定機器を使用する必要がある。補助工法が導入されるような掘削区間では基本的に実施する意味がないため、測定地点の変更もしくは中止が必要。

⑦支保工応力測定

a) 目的

第１段階で実施した地下施設設計の妥当性の評価

b) 実施内容

断面内 4ー8 箇所程度でのコンクリート覆工内の応力計測及び覆工背面の地圧計測

c) 実施位置

湧水量測定、水圧観測、地球化学的調査と同一箇所＋施工管理の意味からはより細かいピッチで行う必要あり。

d) 測定時期/頻度

連続観測（基本的には切羽離れの影響がなくなるまで）

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

前述の湧水量調査、水圧観測等と合わせ、現象の発生メカニズム（特に水—応力連成挙動）まで検討することが可能となることと、経験上多数の測定点が必要なこと。

f) 期待される成果

覆工内応力及び覆工背面に作用する地圧を直接計測することによる、第１段階の地下施設設計の妥当性の評価

g) 留意事項

覆工応力計及び背面地圧計は、これまでの経験上適切に動作するものが少ないことから、多点での計測が必要。なお、本計測は設計の妥当性を検討するデータを得ることが主目的なため、補助工法が導入されるような掘削区間でも実施する。

⑧支保工変形測定（鋼製支保工を入れる場合のみ）

a) 目的

第１段階で実施した地下施設設計の妥当性の評価

b) 実施内容

鋼製支保工の変形計測（ひずみゲージ等による）

c) 実施位置

鋼製支保が必要となる箇所のみ

d) 測定時期/頻度

連続観測（基本的には切羽離れの影響がなくなるまで）

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

ひずみゲージを直接貼る計測は鋼製支保以外の箇所では不可能なため。

f) 期待される成果

鋼製支保工の変形及び作用応力を計測することによる地下施設設計の妥当性の評価

g) 留意事項

覆工応力、背面土圧と同様に多点での計測が必要。

主として立坑部で実施する以上の調査試験レイアウト概念図を図 5.1 に示す。

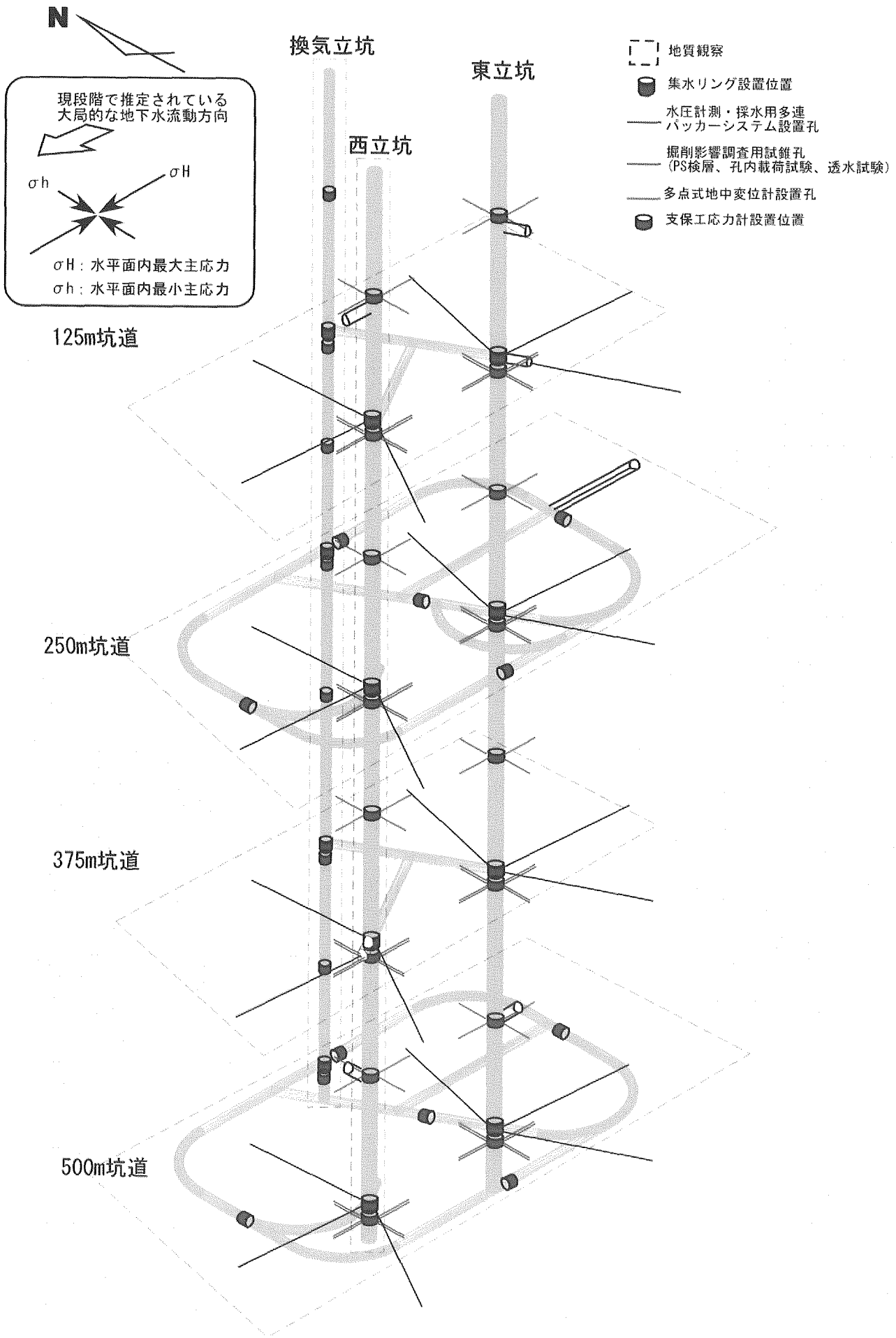


図5.1　第２段階調査試験レイアウトの概念図（立坑部）

(2) 立坑周辺岩盤を対象とした掘削影響試験

堆積軟岩では、掘削に伴い坑道周辺岩盤中には水ー応力連成現象が発生する可能性がある。坑道掘削が機械掘削されることを考慮すると、掘削影響の発生メカニズムは、水ー応力連成現象で発生することが想定される。このため、立坑掘削中に生じる同現象のメカニズムの把握が、5.1.1.1⑤で把握した掘削影響領域の範囲や物性変化の評価および同知見の一般化に重要である。この計測は、立坑部の掘削中に実施する必要があることと、地下施設の建設工程への影響を最小限にとどめる観点から、以前東濃で実施した第2立坑の方法と同様の方法を取る。以下に具体的な実施内容を示す。

①周辺岩盤中の応力分布及び応力変化の計測

a) 目的

第1段階で実施した地下施設建設に伴う周辺岩盤への影響、予測結果及び構築した岩盤力学モデルの妥当性の検討および掘削影響発生メカニズムの解明

b) 実施内容

立坑坑道軸に平行な方向に、坑道壁面からの距離を変えて（立坑径とほぼ同程度(0ー6m程度)の範囲で4本程度）試錐孔を掘削し、深度の異なる数カ所にひずみ計を埋設し、切羽進行に伴う周辺岩盤の変形挙動のモニタリングを行う。

c) 実施位置

125m坑道から250m坑道まで（声問層中)、375m坑道から500m坑道（稚内層中）までそれぞれ掘削し、その範囲内で測定を行う。

d) 測定時期/頻度

立坑軸方向のひずみ計設置深度は基本的に50mピッチとする。

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

掘削影響予測の検証データの三次元的な取得（物性、応力）を把握する情報を提供するとともに、立坑部より実施する調査結果（坑道周辺部の地下水の水圧/水質データ、変形計測データ及び掘削影響領域内の力学的・水理学的特性）と合わせ水—応力連成挙動評価に寄与するデータを提供する。

f) 期待される成果

力学的な掘削影響予測解析結果の精度の検討（＋立坑径の違いが変形挙動に及ぼす影響)、岩盤が有する力学的不均質性の評価

g) 留意事項

掘削サイクルへの影響を最小限とする試錐掘削数及び試験方法を採用する(応力測定であれば円錐孔底法)。

②周辺岩盤の力学物性変化

a) 目的

第1段階で実施した地下施設建設に伴う周辺岩盤への影響、予測結果及び構築した岩盤力学モデルの妥当性の検討および物性変化と掘削影響発生メカニズムとの関連評価

b) 実施内容

・広範囲の調査

後述する(3)①の地質構造詳細調査で利用した試錐孔を用い、250m坑道及び500m坑道掘削後に地質構造詳細調査と同様の仕様でトモグラフィー調査を実施する。

・狭範囲の調査

125m, 375m坑道レベルに拡幅部を設け、立坑坑道軸に平行な方向に試錐孔を掘削して深度の異なる数カ所で孔内載荷試験を実施するとともに、切羽が測定位置通過後に再度同地点での載荷試験を行う。

c) 実施位置

立坑軸方向に平行な試錐孔は、125m坑道から250m坑道まで（声問層中)、375m坑道から500m坑道までそれぞれ掘削する。

d) 測定時期/頻度

孔内載荷試験の深度は、基本的に50mピッチとする。

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

岩盤力学モデルの検証データの三次元的な取得(物性、応力)を把握する情報を提供するとともに、水-応力連成挙動評価に寄与するデータを提供する。

f) 期待される成果

力学的な掘削影響予測解析結果の精度の検討(力学的物性の変化＋立坑径の違いが変形挙動に及ぼす影響)、岩盤が有する力学的不均質性の評価、掘削に伴う物性変化の程度と範囲の深度変化

g) 留意事項

水平坑道レベルから掘削・調査するため、掘削サイクルへの影響は最小限と考えるが、できる限り水理学的な計測を実施している地点近傍で実施することが望ましい（連成的な挙動をする可能性があるため）。

③周辺岩盤中の透水性変化

a) 目的

第１段階で実施した地下施設建設に伴う周辺岩盤への影響、予測結果及び構築した岩盤力学モデルの妥当性の検討および物性変化と掘削影響発生メカニズムとの関連評価

b) 実施内容

125m および 375m 水平坑道レベルに設けた拡幅部より、立坑坑道軸に平行な方向に試錐孔を掘削して深度の異なる数カ所で透水試験を実施するとともに、切羽が測定位置通過後に再度同地点での透水試験を行う。同時に地下水のサンプリング/分析も試みる。

c) 実施位置

立坑軸方向に平行な試錐孔は、125m 坑道から 250m 坑道まで（声問層中）、375m 坑道から 500m 坑道までそれぞれ掘削する。

d) 測定時期/頻度

透水試験の深度は、基本的に 50m ピッチとする。

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

岩盤力学モデルの検証データの三次元的な取得（物性、応力）を把握する情報を提供するとともに、水-応力連成挙動評価に寄与するデータを提供する。

f) 期待される成果

力学的な掘削影響予測解析結果の精度の検討（力学的・水理学的物性の変化＋立坑径の違いが変形挙動に及ぼす影響）、岩盤が有する水理学的不均質性の評価、掘削に伴う物性変化の程度と範囲の深度変化

g) 留意事項

水平坑道レベルから掘削・調査するため、掘削サイクルへの影響は最小限と考えるが、できる限り、水理学的な計測を実施している地点近傍で実施することが望ましい（連成的な挙動をする可能性があるため）。

(3) 立坑／水平坑道周辺部の調査

第３段階の調査研究実施場所の選定および計画策定に反映するために、第３段階における調査試験研究の中心となる中間及び500m坑道とその周辺を対象とした詳細な地質環境の調査と、第１段階で構築した地質環境モデル（場のモデル）の検証に必要となるデータ取得を目的とした調査を行う。

３次元的に試錐孔を配置すること、試錐孔長が長いこと及び調査数量が多いことから、建設工程に影響の大きい立坑内からの掘削ではなく、水平坑道展開後に試錐孔を掘削し実施する。

①立坑／水平坑道周辺領域の地質環境詳細調査

a) 目的

第１段階で実施した地質環境モデルの妥当性評価及び第３段階調査試験研究のための地質環境モデルの不均質性に関する評価

①-1 地質・地質構造に関する調査

b) 実施内容

・250m坑道より浅い領域を対象とした調査

125m坑道部（最も浅い連絡坑道）より250m坑道の外側領域へ試錐孔を掘削し、コア観察、物理検層（BBS or EMI）を実施する。さらに、250m坑道掘削後、ループ坑道等を利用したトモグラフィー調査（比抵抗、弾性波）を実施する。

・250m坑道～500m坑道までを対象とした調査

250m坑道掘削後、同ステージから500m坑道を囲むように試錐孔を掘削し、コア観察、物理検層（BBS or EMI）や孔間トモグラフィー調査（比抵抗、弾性波、水理）を実施する。また、さらに、500m坑道掘削後、ループ坑道等を利用したトモグラフィー調査（比抵抗、弾性波）を実施する。

c) 実施位置

試錐孔掘削は、125m坑道及び250m坑道から実施する。調査対象範囲は、125m坑道～250m坑道及び250m坑道～500m坑道。

d) 測定時期/頻度

250m, 500m坑道掘削前

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

地質環境の３次元構造（不均質性・不確実性を含む）を把握する情報を提供するとともに、第３段階における調査試験位置（特にトレーサ試験）に不可欠な情報を提供する。さらに水平断面内の調査スケールの違いによる、不均質性評価の精度比較が可能となる。

f) 期待される成果

３次元地質モデルの精度の検討（不均質性・不確実性を含む）、岩盤が有する力学的不均質性の評価（鉛直断面方向、水平方向）

g) 留意事項

5.2.1.1.1-2示す調査のため、初期値取得の観点から両調査とも、最低限250m坑道及び500m坑道掘削前に終了する必要がある。

①-2 水理・地球化学・岩盤力学に関する調査

b) 実施内容：

・250m坑道より浅い領域を対象とした調査

125m坑道部より水平孔及び斜孔を掘削し、力学・水理・地球化学に関する調査を行う。ベースとなる調査（コア観察・物理検層）の他、力学については、応力測定（応力解放法）・孔内載荷試験を数カ所で実施し、それが終了後多連式パッカーシステムを用いた水圧観測・採水/分析を実施する。

・250m坑道～500m坑道までを対象とした調査

375m坑道部より水平孔及び斜孔を掘削し、力学・水理・地球化学に関する調査を行う。ベースとなる調査（コア観察・物理検層）の他、力学については、応力測定（応力解放法）・孔内載荷試験を数カ所で実施し、それが終了後多連式パッカーシステムを用いた水圧観測・採水/分析を実施する。

c) 実施位置

試錐孔掘削は、125m坑道及び375m坑道より実施する。力学的調査は、立坑掘削の影響がないと考えられる立坑径の３倍以上離れた領域において数カ所実施する。水圧観測等についてはやはり立坑掘削による影響範囲外において１孔あたり数箇所程度の水圧観測及びサンプリングを実施する。

d) 測定時期/頻度

125m、375m坑道展開後

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

地質環境の３次元構造（不均質性・不確実性を含む）を把握する情報を提供するとともに、第３段階における調査試験位置選定（特に孔間トレーサー試験）に不可欠な情報を提供する。

f) 期待される成果

３次元地質環境モデルの精度の検討、地質環境の不均質性の評価

g) 留意事項

(2)②の調査や 5. 2. 3②のトレーサ試験前の孔間水理試験にも使用する観点から、保孔はしない形で保持するが、泥水がまわりの地質環境に及ぼす影響（特に地下水の化学的性質）についての検討が必要。また、事前に不均質性を同定するためのパラメータ（比抵抗、弾性波 etc.）を吟味する必要あり。

主として立坑部以外で実施する以上の調査試験レイアウト概念図を図 5. 2, 5. 3 に示す。

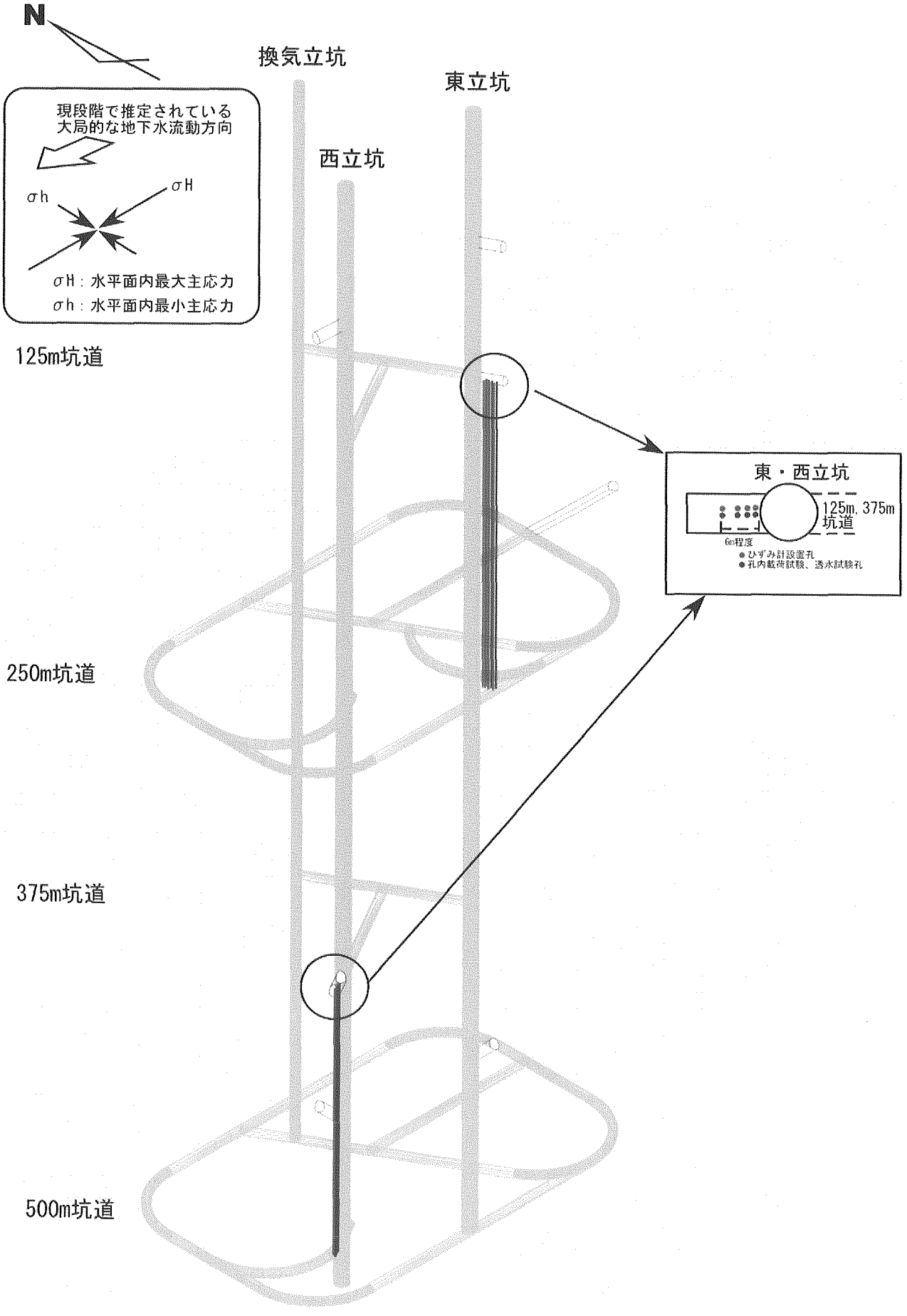


図5.2　第２段階調査試験レイアウトの概念図（立坑周辺岩盤を対象とした掘削影響試験）

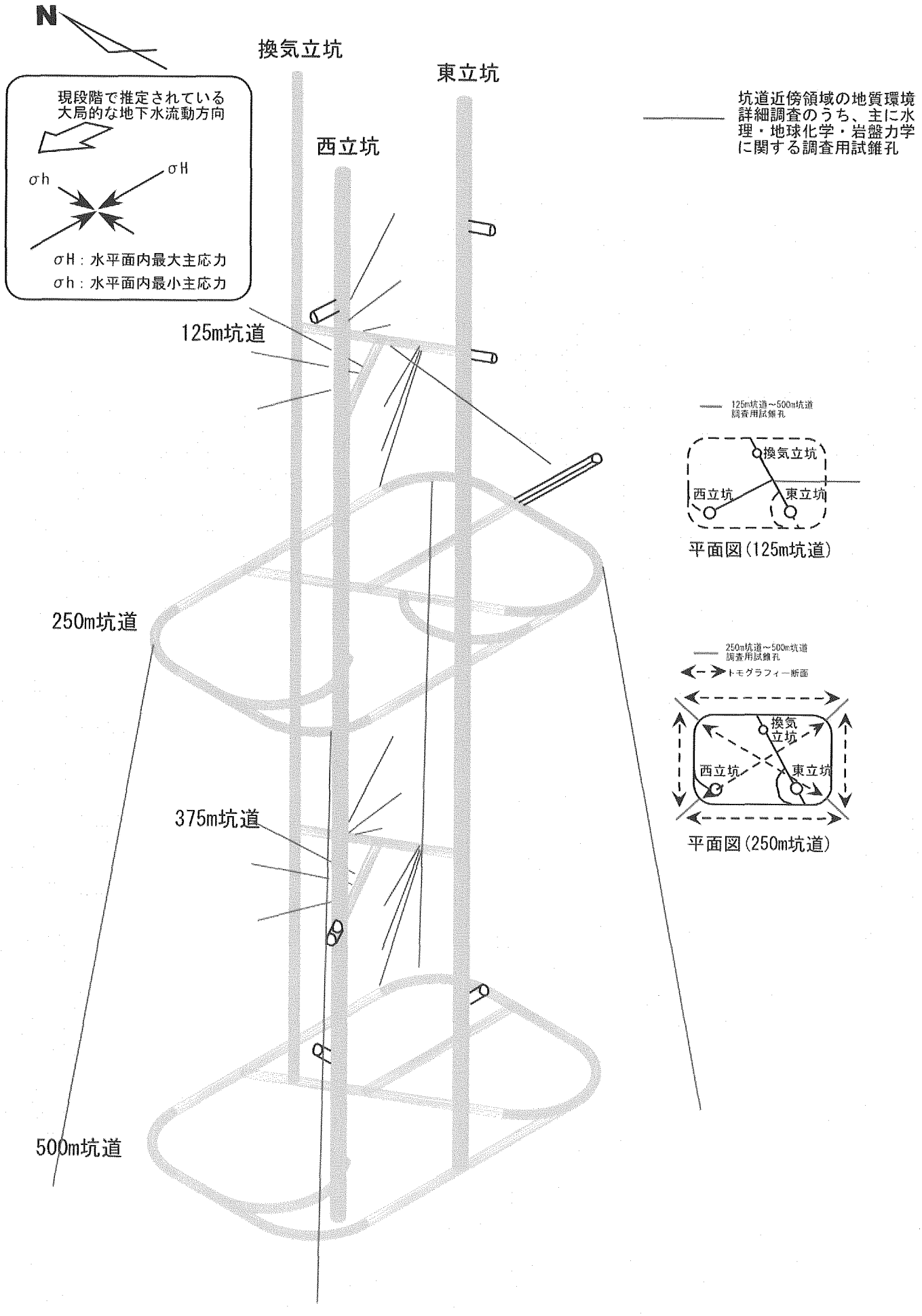


図5.3　第２段階調査試験レイアウトの概念図（立坑部以外）

5.1.1.2　水平坑道部

水平坑道部では、坑道掘削前の初期値と坑道掘削直後からの変化を把握しておく必要がある試験および第３段階の試験期間では不十分な長期観測を伴う試験を実施する。前者の観点からの試験では、坑道掘削により周辺岩盤中に生じる地質環境の変化の発生メカニズムやその範囲を評価する手法を構築することが可能となる。なお、水平坑道部は、立坑部に比べると相対的に建設工程に及ぼす影響が少ないことから、より詳細な試験が可能である。以下に調査試験項目を示す。

(1) 水平坑道で実施する調査試験

① 水平坑道掘削影響試験

a) 目的

堆積軟岩中に発生する掘削直後の EDZ の発生メカニズムの把握、EDZ の範囲とその物性値の取得

b) 実施内容

東濃鉱山で実施した坑道掘削影響試験とほぼ同等の調査項目にて実施する。具体的には、観測用坑道掘削後、調査用試錐孔を掘削し力学的・水理学的物性の初期状態を把握するとともにモニタリング用の計測装置を設置する。その後、試験坑道（発破掘削と機械掘削区間を設ける）を掘削し、試験坑道掘削中の周辺岩盤中の挙動変化及び坑道掘削後の力学的・水理学的調査を行う。ただし、計測用の装置については、想定される水-応力連成挙動が把握可能な装置（釜石原位置試験で使用した Pac-ex 等）を用いることとする。

c) 実施位置

500m 坑道から掘削する計測用坑道

d) 測定時期/頻度

坑道掘削前・中・後に計測を実施。

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

第３段階での主要な研究領域となる硬質頁岩を対象とした掘削影響の範囲や程度に関するデータを得るため。

f) 期待される成果

単一水平坑道掘削に伴う掘削影響の範囲や程度及びその不均質性の把握、掘削影響の発生メカニズムの評価（＋その工法依存性）に関する知見が得られる。

g) 留意事項

事前に調査用試錐孔を配置する必要があることから、試験用坑道掘削は周辺坑道掘削終了後に掘削前調査を実施後に開始する必要がある。

②不飽和・REDOX 調査試験

a) 目的

低透水性や圧力解放に伴うガスの発生等により想定される不飽和現象の発生メカニズムやその範囲、それに伴い発生する地下水化学組成変化領域の範囲を把握する。

b) 実施内容

調査用試錐孔を掘削し、多連式パッカーシステムを設置後、初期状態のデータを取得するとともに、試験坑道掘削中・掘削後の地下水圧の連続観測・採水/分析、坑道内の湧水量を計測する。また、不飽和の発生が見られる場合には、坑道壁面から試錐孔を掘削し、採取したコアの鉱物組成等についての詳細な分析を行うとともに、東濃にて開発した不飽和計測装置を用いて、坑道壁面からの不飽和進展状況を把握する。

c) 実施位置

上記掘削影響試験と同一箇所 とし、不飽和領域の外側までの範囲で坑道壁面からの距離を変えた測定を実施する。

d) 測定時期/頻度

水圧は連続観測。採水・分析は、測定装置設置直後は、1回/数時間ー1日程度とし、定常状態に近付いたら1回／数週間ー数カ月程度とする。

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

掘削影響試験と同位置・同時期に実施することにより、坑道掘削前及び掘削中の地質環境変化データが取得され、複合的な検討が可能となるため。

f) 期待される成果

これまでデータのほとんどない難透水性岩盤における不飽和領域の進展状況（発生するか否かも含

む）と岩盤物性に与える影響、その発生メカニズムに関する知見が得られる。また、掘削影響試験の結果と合わせて評価することにより、坑道周辺岩盤の地質環境を表すモデル及び坑道周辺の地質環境変化を予測する手法が構築される。

g) 留意点

不飽和領域発生メカニズムの把握のためには、事前に調査用試錐孔と計測システムを配置する必要があることから、試験用坑道掘削は周辺坑道掘削終了後に掘削前調査を実施後に開始する必要がある。

5.1.2 処分技術の信頼性向上

5.1.2.1 水平坑道部

処分技術の信頼性向上に関わる原位置試験は、長期間に渡るモニタリングを含むものがほとんどである。このため、立坑部やその周辺部のように掘削停止期間がほとんどなく掘削作業が行われ、日々周辺の地質環境が変化しうる領域での試験の実施は困難である。また、低アルカリコンクリートの施工性確認試験のようなものは、坑道支保の一部として第2段階で実施することが合理的と考えられる。

(1) 水平坑道で実施する調査試験

①低アルカリ性コンクリート施工性確認試験

a) 目的

坑道支保工としての基本的施工性の確認及び適用範囲の把握、プラグ、グラウト等閉鎖工としての施工性の確認、鉄筋腐食等施工後の品質確認

b) 実施内容

地下施設の覆工各部において、低アルカリ性コンクリートを用いた施工を行うとともに、覆工等に作用する応力の測定や長期安定性を把握するための覆工部のサンプリングを行う。

c) 実施位置

立坑最深部及び125、375m坑道

d) 測定時期/頻度

覆工の応力・変形挙動は連続観測。サンプリング/分析は適宜実施する

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

施工性確認と長期安定性の確認が必要となる（第2，3段階でアクセスが容易な場所）反面、周辺の地質環境に与える影響が不明確であることから、他の試験とはできるだけ切り離したエリアで実施する必要がある。また、養生時間が通常のコンクリートに比べ長いため、立坑部及び水平坑道の広い範囲に覆工として使用することは工程に直接影響を及ぼすため。

f) 期待される成果

低アルカリ性コンクリートの施工性及び長期安定性に関するデータが得られ、実処分場での適用性に関する検討が実施できる

g) 留意事項

低アルカリ性コンクリートが岩盤や地下水に与える影響は今のところ不明。また、本試験のためにHFSC用のプラント設備といった大がかりなものを設ける必要があるか否かが不明。

②ガス移行挙動試験

a) 目的

システム全体の機能の評価、オーバーパック腐食に伴い発生すると考えられるガスの移行評価モデルの検証。

b) 実施内容

試験用坑道掘削後、ピットの掘削を行い、ガス(ヘリウム等の化学的に不活性なガス)と水を供給できる装置と緩衝材をピット内に設置する。その後試験対象エリアを埋め戻し材で埋め戻し、セットした装置からガス等を供給し、坑道及びピット周辺岩盤、緩衝材及び埋め戻し材中のガス等の移動状況を連続観測する。

c) 実施位置

250m坑道から掘削した試験用坑道内

d) 測定時期/頻度

模擬人工バリアシステム等及び計測機器等設置後、連続観測

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

緩衝材を強制飽和させるための期間を必要とすることから、いち早く試験を開始する必要があるため。

f) 期待される成果

信頼性のある評価ツール及びデータベースの整備に反映されるデータが得られる。

g) 留意事項

原位置地下水中にも溶存ガス（主としてメタン）が存在するために、移行させているガスとの区別ができるか、またはその影響を考慮しうる評価手法が必要。試験環境として少なくとも模擬ピットは裸孔で保持できる場所が望ましい。

主として水平坑道部で実施する以上の調査試験レイアウト概念図を図 5.4 に示す。

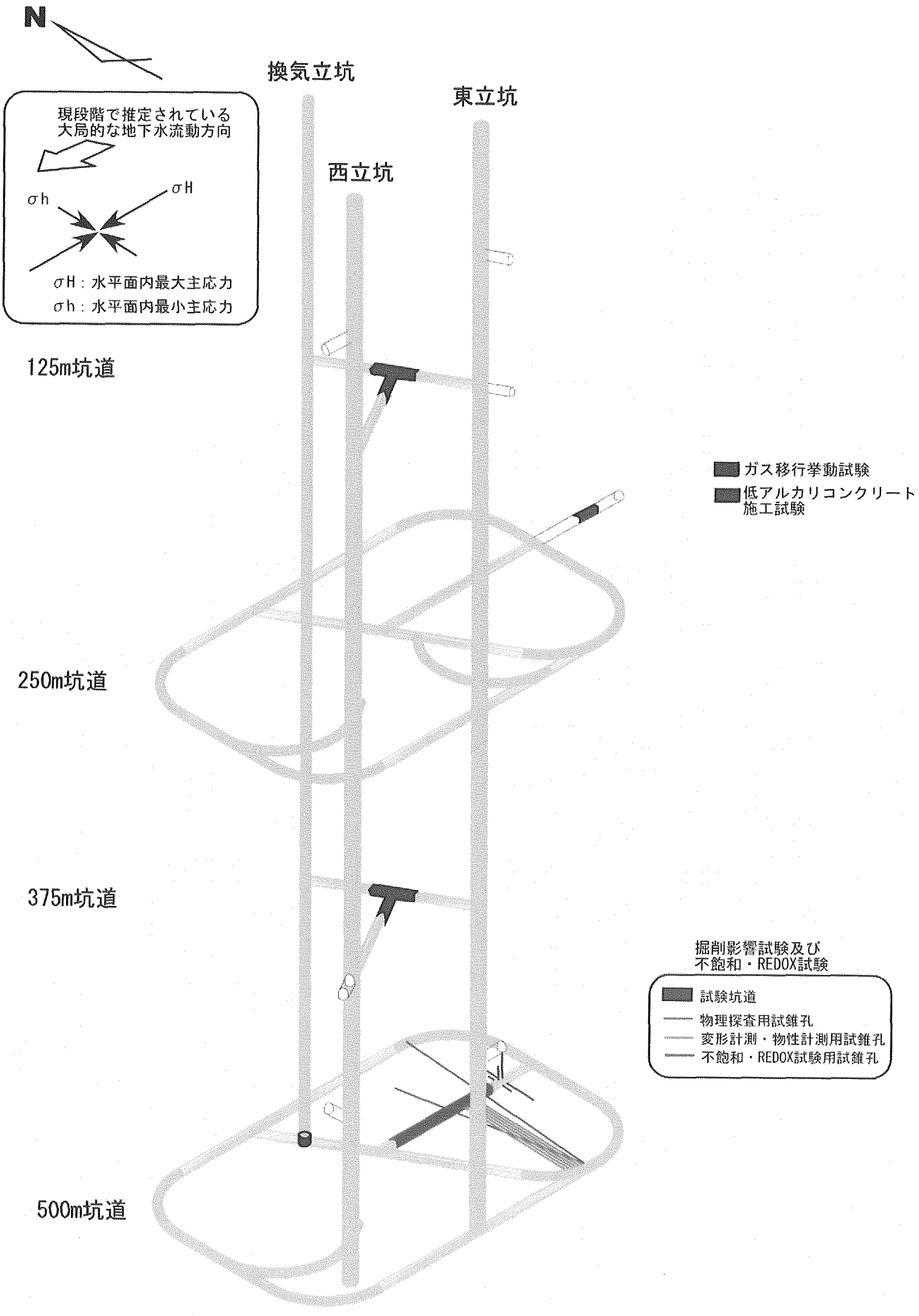


図5.4　第２段階調査試験レイアウトの概念図（水平坑道部における調査試験）

5.2 第3段階調査研究項目

第3段階においては、主要な坑道掘削がほぼ終了し、地質環境の大きな乱れは生じず、詳細かつ緻密な調査が可能となる。また、第2段階における調査試験により、地下施設周辺の地質環境が詳細かつ定量的に把握されている。このため、処分技術の信頼性向上及び安全評価手法の高度化関連の調査試験が主体となる。特に岩盤を対象としたトレーサー試験は、岩盤中の水理場が定常状態に達した後に開始する方が、試験の際の水理場の制御や結果の解釈が容易になるため、この段階で実施するのが適当と考える。断層に関する調査も、第2段階で実施するのは周辺への水理学的なインパクトを考えると避けるべきと判断されるため、この段階で実施することとする。

5.2.1 深地層の科学的研究

(1) 水平坑道における調査試験

①双設坑道安定性評価試験

a) 目的

併設坑道間の離間距離の変化に伴う掘削影響範囲の変化や空洞安定性の変化を把握する。

b) 実施内容

第2段階で実施した坑道掘削影響試験とほぼ同等の調査項目にて実施する。具体的には、第2段階で実施した坑道掘削影響試験用に掘削した観測用坑道及び試験坑道の間に新規坑道を設け、新規坑道と既存坑道の離間距離を変化させることにより、離間距離と掘削影響範囲及び空洞安定性の関係を定量的に把握する。ただし、計測用の装置については、想定される水—応力連成挙動が把握可能な装置（釜石で使用したPac-ex等）を用いることとする。

c) 実施位置

500m坑道（第2段階で掘削影響試験を実施した場所）

d) 測定時期/頻度

新規坑道掘削前・中・後

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

硬質頁岩を対象とした場合の坑道離間距離と掘削影響との関連性を把握する。

f) 期待される成果

併設坑道掘削に伴う掘削影響の範囲や程度の違い及びそれが空洞安定性に及ぼす影響の定量的評価

g) 留意点

試験用坑道掘削前に計測用試錐孔を配置できることが必要。

②坑道周辺岩盤の長期安定性評価試験

a) 目的

坑道掘削により周辺岩盤中に発生したEDZの長期安定性の評価及び坑道通気等による坑道周辺岩盤の劣化状況に関する実証的データを得る。

b) 実施内容

第2段階で実施した坑道掘削影響試験サイトにおいて同試験で実施した調査（原位置透水試験、孔内載荷試験、弾性波トモグラフィーなど）を数カ年のスパンで繰り返し実施する。また、坑道壁面近傍の岩石コアを数年間隔で採取・分析する。

c) 実施位置

500m坑道（第2段階で掘削影響試験を実施した場所）

d) 測定時期/頻度

双設坑道安定性評価試験終了後から数年スパンで実施。

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

坑道周辺岩盤の初期状態および掘削による変化の度合いに関するデータが得られているため。

f) 期待される成果

掘削時に形成されたEDZの長期的な安定性や坑道周辺岩盤の劣化状況に関する定量的データが得られる。

g) 留意点

同じ試錐孔で繰り返し計測を行うことから、裸孔での長期的な維持が必要

③断層/割れ目帯及びその周辺の地質環境特性調査

a) 目的

地表から地下深部まで連続して存在すると考えられる断層のような不連続構造及びその周辺部の地質環境特性（主として地質、水理、地球化学的観点）を定量的に把握・評価する。

b) 実施内容

水平坑道部より、角度を変化されて３本程度、断層を貫く形で試錐孔を掘削し、断層周辺部及び断層中心部の地質観察、透水試験及び地下水の採水・化学分析を実施する。 また、断層を貫くような坑道を掘削し、坑道規模での断層の地質環境特性の把握を試みる。

c) 実施位置

250m 坑道、500m 坑道

d) 測定時期/頻度

断層及びその周辺部で最低３箇所程度の調査を実施

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

最も断層に近い形で坑道を展開している 250m 坑道、500m 坑道から試錐孔掘削、坑道掘削及び調査を行うことが最も効率的と判断されるため。

f) 期待される成果

断層の３次元的な形状及びその地質環境特性が定量的に把握できるとともに、これを利用した断層付近をターゲットとしたトレーサー試験のための初期条件が得られる。

g) 留意点

断層位置がほぼ特定されていることが前提となる。断層が遮水壁としての機能を有していた場合、水理的環境を可能な限り乱さないような試験プログラムが必要。

④地震時の地質環境変動に関する観測

a) 目的

堆積軟岩中に掘削した地下施設の地震に対する安定性を評価する手法の構築及び実証データの取得

b) 実施内容

地震計（速度計／加速度計）を地下施設内に３次元的に設置し連続観測する。また、中間・最新ステージに石英水晶管式ひずみ計（あるいはそれと同等の精度を有する装置）及び水圧計測装置・地下水水質モニタリング装置などを配置し地震計と同期させた形で連続観測を行う。

c) 実施位置

125m, 250m, 375m, 500m 坑道

d) 測定時期/頻度

設置後連続観測

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

声問層と稚内層という岩相の違い及び深度による地質環境への影響の違いを把握する。

f) 期待される成果

堆積軟岩中の地下施設の地震に対する安全性を定量的に示すデータが取得できるとともに、堆積軟岩中において地震が地質環境（水理や地下水の水質）に及ぼす影響についての実証データが得られる。

g) 留意点

石英水晶管式ひずみ計は、設置にかなりのスペースを要求されることと、一度設置したら外的な攪乱がない状態を保つ必要があるため、場合によっては他の高精度計測装置（高精度傾斜計など）に代替えする必要がある。

⑤試錐孔埋め戻し試験

a) 目的

坑道埋め戻し後に水みちとなりうる調査用掘削した試錐孔を埋め戻す手法の開発

b) 実施内容

各種調査試験用に掘削した試錐孔のうち、長期観測に使用しない孔径と長さが異なる試錐孔を選択し、２種類の材料（ベントナイト、セメント(低アルカリ性コンクリートを含む)）注入による試錐孔埋め戻しを実施する。その結果をトモグラフィー調査等によって確認する。

c) 実施位置

適当な試錐孔が存在する位置

d) 測定時期/頻度

試験前・中・後

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

特になし

f) 期待される成果

試錐孔の埋め戻しを実施する手法の提示

g) 留意事項

適当な試験孔がない場合は、新たに掘削する必要あり。

第３段階で深地層の科学的研究の範疇で実施する以上の調査試験レイアウト概念図を図 5.5 に示す。

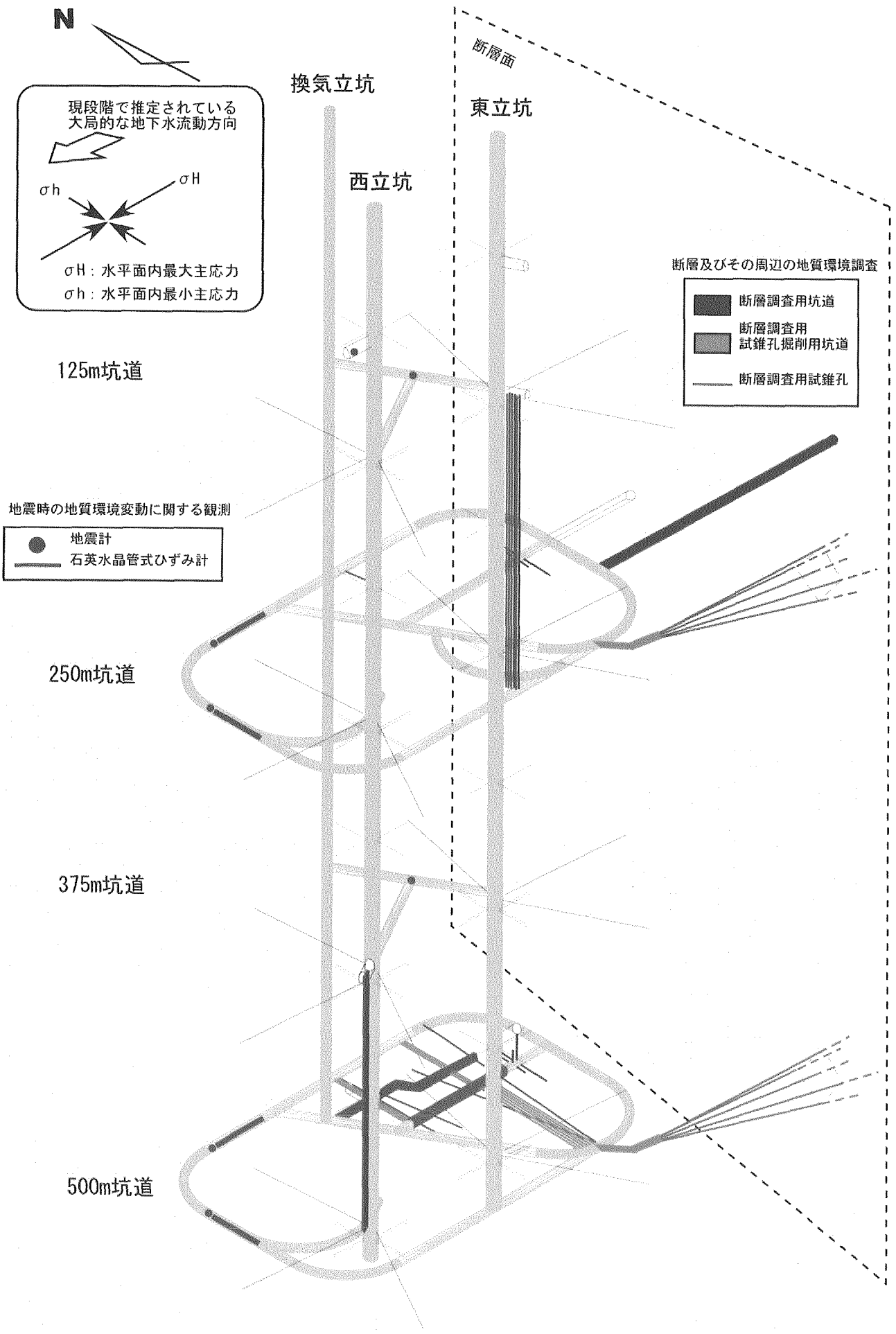


図5.5　第３段階調査試験レイアウトの概念図（深地層の科学的研究）

5.2.2 処分技術の信頼性向上

(1) 水平坑道における調査試験

① T-H-M-C 試験

a) 目的

堆積岩中に設置した人工バリアシステム内で生じる熱—水—応力—化学連成現象のデータ取得、熱—水—応力—化学連成モデルの検証及び人工バリア性能確認のための計測技術の適用性評価

b) 実施内容

試験用坑道を掘削したのち、坑道内に縦置きを想定した実規模のピットを掘削する。模擬人工バリア（オーバーパック、緩衝材等）及び各種計測機器を設置した後、試験終了時までモニタリングを続ける。

c) 実施位置

500m 坑道から掘削した試験用坑道内

d) 測定時期/頻度

模擬人工バリアシステム及び計測機器設置後、連続観測

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

緩衝材が完全に飽和するまでの状況を観測するため、地下水流入が最も多くなることが想定される地下施設最深部で実施する。また、連成現象を評価するためには連続観測が重要である。

f) 期待される成果

現実の地質環境条件下で試験を行うことにより、人工バリア設計や安全評価の信頼性を向上させるとともに、一般への理解醸成を促進できる。また、精密調査地区で行われるサイト特性調査での評価技術へ反映される。

g) 留意事項

緩衝材が完全に飽和するのに十分な湧水がない場合、強制注入などの検討が必要である。

②定置精度確認試験

a) 目的

人工バリアシステムが所定の性能を発揮するための定置技術の確認

b) 実施内容

試験用坑道を掘削したのち、坑道内に縦置きを想定し掘削された実規模のピットにおいて、模擬人工バリア（オーバーパック、緩衝材等）の定置試験を行い、その精度を確認する。

c) 実施位置

500m 坑道から掘削した試験用坑道内

d) 測定時期/頻度

人工バリア設置時

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

THMC 試験と同時に実施する。これにより、最小限の費用により人工バリアの設置ーシステム性能の確認までの一連の流れで研究が可能となる。定置後の人工バリアの挙動は THMC 試験のモニタリングの中で確認するため、初期の定置精度を確認するのみとする。

f) 期待される成果

原位置での定置を行うことにより、実処分場における定置技術の実証及び課題の抽出が可能となる。

③ オーバーパック腐食試験

a) 目的

人工バリア設置後初期の酸化性期間における腐食局在化評価の妥当性を検証するとともに、環境条件の変遷とそれに伴う腐食挙動の変化を確認し、寿命評価シナリオの妥当性を検証する。

b) 実施内容

試験用の坑道を掘削し、実規模の数分の１スケールのピットを数本掘削してピット中に緩衝材と模擬オーバーパック（＋ヒーター）を設置し原位置環境中でのオーバーパックの腐食に関する各種計測を数カ年行う。その際にはピットにセメント支保を行う場合と行わない場合（＋セメント材料の変化）も設定する。そのうち最も腐食が激しくなりそうな条件について、実規模で同様の試験を実施し、第３段階終了時まで各種計測を行う。

c) 実施位置

500m 坑道から掘削した試験用坑道内

d) 測定時期/頻度

模擬人工バリアシステム及び計測機器設置後、連続観測

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

緩衝材が完全に飽和するまでの状況を観測するため、地下水流入が最も多くなることが想定される場所を地下施設最深部で実施する。また、腐食メカニズムの同定においては連続観測が必要である。

f) 期待される成果

実際の不飽和緩衝材中で生じる腐食局在化の方が室内試験に基づく推定よりも小さいこと、オーバーパック周辺の環境条件が酸化性から還元性に向いかつそれに伴い腐食速度が低下することをデモンストレーション的に示す。

g) 留意事項

緩衝材が完全に飽和するのに十分な湧水がない場合、強制注入などの検討が必要である。

④セメント影響試験

a) 目的

セメント系材料のEBS（人工バリアシステム)、NBS(天然バリアシステム)への影響評価モデルの確証を行うためのデータを取得する。

b) 実施内容

EBSについては、試験用坑道を掘削した後、数種類のセメント供試体を入れる小規模ピット及び実規模ピットを掘削し、各ピットにセメント供試体・緩衝材を入れ、各種計測装置による連続観測を行う。NBSについては、各セメント材料で覆工などが施工されている区間を対象として周辺岩盤中の地下水の採水・分析・岩石のサンプリングなどを行う。NBSについてはさらに、高透水性区間を対象として上流側と下流側に試錐孔を掘削し、上流側から高アルカリ水を注入する。下流側で地下水の採水・モニタリングを行うとともに、試験終了後オーバーコアリングにより岩石サンプルを採取・分析する。

c) 実施位置

EBS 関連：500m 坑道から掘削した試験用坑道、NBS 関連:立坑・水平坑道のアクセス可能な任意の場所

d) 測定時期/頻度

設置終了後は連続観測

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

人工バリア試験と同じ地質環境で実施することにより、事前調査の合理化を行うことができる。

f) 期待される成果

EBS, NBS 影響評価モデルの確証に資するデータが得られる。

g) 留意事項

他の試験と干渉しないような場所で実施する必要あり。

⑤岩盤・緩衝材クリープ試験

a) 目的

岩盤側のクリープ変形に対する緩衝材の抑制効果の検証、緩衝材クリープ変形によるオーバーパックへの影響の検証、オーバーパック腐食膨張に伴う岩盤・緩衝材の変形

b) 実施内容

試験用坑道を掘削し、以下のような試験を実施する。

・岩盤クリープと緩衝材の力学連成試験

試験坑道を掘削した後、数本のピット掘削（幾つかの条件を変化させため）及び実規模の模擬人工バリア設置を行い、人工バリア試験位置近傍の応力をフラットジャッキ載荷あるいは近傍での坑道掘削により上昇させることにより、ピット周辺及び緩衝材中の応力・変形挙動を連続観測する。

・掘削処分孔放置実験

試験坑道を掘削した後、ピットのみを掘削して放置し、周辺岩盤及びピット内空の変形挙動を観測する。

・オーバーパック腐食膨張試験

試験用坑道を掘削し、ピット掘削を行った後、パッカーに類似した装置及び緩衝材を設置する。その後、パッカーに水圧等により加圧を行いオーバーパックの腐食膨張を再現するとともに、腐食膨張に伴う緩衝材の挙動を連続観測する。

c) 実施位置

500m 坑道から掘削した試験用坑道内

d) 測定時期/頻度

模擬人工バリアシステム等及び計測機器設置後連続観測

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

緩衝材をいち早く飽和させることと周辺岩盤や緩衝材の長期的な観測が必要なことから、地下水流入が最も多くなりかつ深度が深い場所を選定する必要がある。

f) 期待される成果

信頼性の高い岩盤・緩衝材クリープ変形の最大値予測とその他の岩盤に対する予測手法の確立に寄与する。

g) 留意事項

試験領域として長い坑道が必要。緩衝材が完全に飽和するのに十分な湧水がない場合、強制注入などの検討が必要である。試験環境として少なくとも模擬ピットは裸孔で保持できる場所が望ましい。

⑥坑道閉鎖試験

a) 目的

堆積岩における閉鎖システムを構築するツールを揃え、処分場の安全性に影響を及ぼさない閉鎖システムを構築する。

b) 実施内容

試験用坑道を掘削し、縦置きを想定した模擬ピットを掘削するとともに、プラグ（コンクリートプラグ、粘土プラグ）を設置する。その後、埋め戻し（通常材料及びブロック材料）を開始し、坑道閉鎖区間を構築したのち、周辺岩盤及び埋め戻し材、プラグ材中に設置した各種計測機器によりモニタリングする。

c) 実施位置

500m 坑道から掘削した試験用坑道内

d) 測定時期/頻度

埋め戻し中及び埋め戻し終了後連続観測

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

緩衝材をいち早く飽和させることと周辺岩盤や緩衝材の長期的な観測が必要なことから、地下水流入が最も多くなると想定されることと、プラグの設計には EDZ の範囲が必要であり、掘削影響に関する調査が実施されている深度が適当と思われることから、地下施設最深部で実施する。

f) 期待される成果

堆積岩に関して閉鎖システムを構築する手法が確立され、解析的に処分場の安全性（閉鎖システムは機能すること）を示す。

g) 留意事項

プラグの大きさを決めるためには、EDZ の調査が事前に必要であることと、試験環境として少なくとも模擬ピットは裸孔で保持できる所が望ましい。

第３段階で処分技術の信頼性向上の範疇で実施する以上の調査試験レイアウト概念図を図 5.6 に示す。

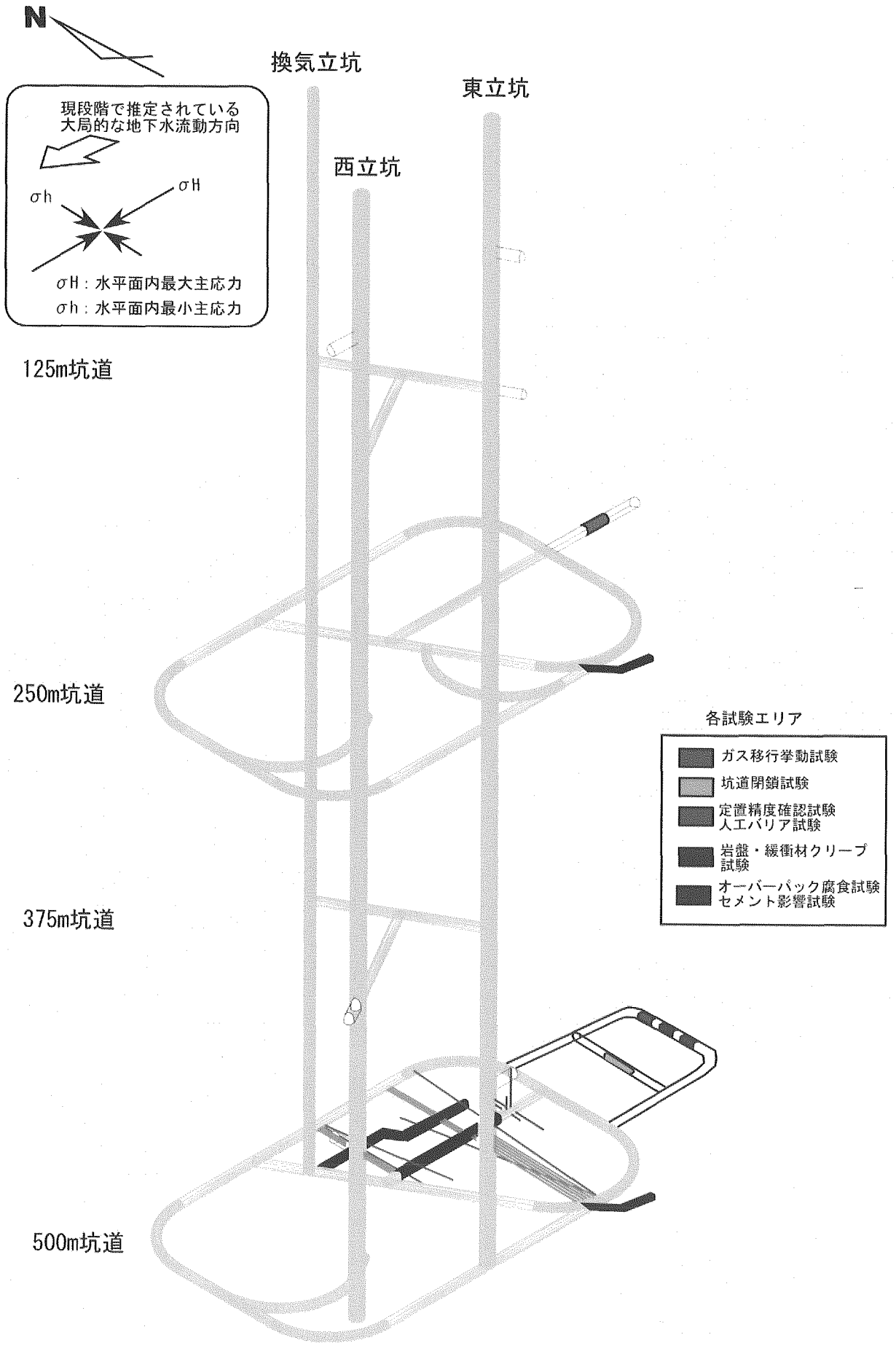


図5.6　第３段階調査試験レイアウトの概念図（処分技術の信頼性向上）

5.2.3 安全評価手法の高度化研究

(1) 水平坑道における調査試験

①人工バリア中の原位置トレーサー試験

a) 目的

実規模の飽和緩衝材中の核種移行現象の把握及び安全評価手法の高度化モデルの確証のためのデータの取得

b) 実施内容

試験坑道を掘削後、実規模のピットを掘削しトレーサー注入装置及び緩衝材を施工する。施工後、トレーサー注入装置より原位置地下水を注水し、緩衝材の飽和を確認した後、トレーサー試験を実施する。トレーサー試験後、設置した緩衝材からサンプリングを行い実際のトレーサー移行状況を観察する。

c) 実施位置

500m 坑道から掘削した掘削影響試験坑道

d) 測定時期/頻度

緩衝材飽和過程からトレーサー試験終了時まで連続観測

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

最も重要視される緩衝材中の核種移行現象を把握するためには、十分な試験時間（緩衝材飽和、トレーサー試験）を要すると考えられるため実施時期を早くする必要があることと、人工バリアを対象としているので原位置地下水を必要とする以外場所にあまり依存しないこと、EDZ を含む坑道周辺岩盤の地質環境特性データが十分蓄積されているため。

f) 期待される成果

EBS 中の安全評価手法の高度化モデルの確証に資するデータが得られる。

g) 留意点

緩衝材を飽和させるために必要な期間とトレーサー試験に要する試験期間の調整が必要。

②天然バリア中の原位置トレーサー試験

a) 目的

実岩盤中の核種移行現象の把握及び安全評価手法の高度化モデルの確証データの取得

b) 実施内容

第２段階で実施した三次元地質構造詳細調査 により把握されたフローパスを対象として孔間トレーサー試験を実施する。トレーサー試験前には孔間透水試験を実施し、フローパスの透水性を把握しておく。

c) 実施位置

125m 坑道ー250m 坑道の間、250m 坑道ー500m 坑道の間

d) 測定時期/頻度

トレーサー試験実施中は連続的に観測

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

トレーサー試験は、トレーサーの回収率を高めることが必要であることから、事前に試験実施場所の水みちの詳細構造を把握できる場所で実施する必要がある。この意味で、第２段階で実施している３次元地質環境詳細調査で掘削した試錐孔及び同定されている地下水流路をターゲットに試験を実施することで、より効率的な調査が可能となるため。

f) 期待される成果

NBS 中の安全評価手法の高度化モデルの確証に資するデータが得られる。

g) 留意点

トレーサー回収率を上げるためには、事前調査及び感度解析による最適試験条件の設定が不可欠。

③断層及びその周辺部を対象とした原位置トレーサー試験

a) 目的

生物圏への最短パスとして取り扱われる断層及びその周辺部の核種移行現象の把握及び安全評価手法の高度化モデルの確証データの取得

b) 実施内容

5.2.1③の調査で掘削した試錐孔等を利用し、各孔間でのトレーサー試験を実施する。

c) 実施位置

250m 坑道及び 500m 坑道から掘削した試錐孔

d) 測定時期/頻度

トレーサー試験実施中は連続的に観測

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

5. 2. 1③の調査で掘削した試錐孔等を利用することで、より効率的な調査が可能となるため。

f) 期待される成果

NBS 中の安全評価手法の高度化モデルの確証に資するデータが得られる。

g) 留意点

断層位置がほぼ特定されていることが前提。トレーサー回収率を上げるためには、事前調査及び感度解析による最適試験条件の設定が不可欠。

第３段階で安全評価手法の高度化研究の範疇で実施する以上の調査試験レイアウト概念図を図 5.7 に示す。

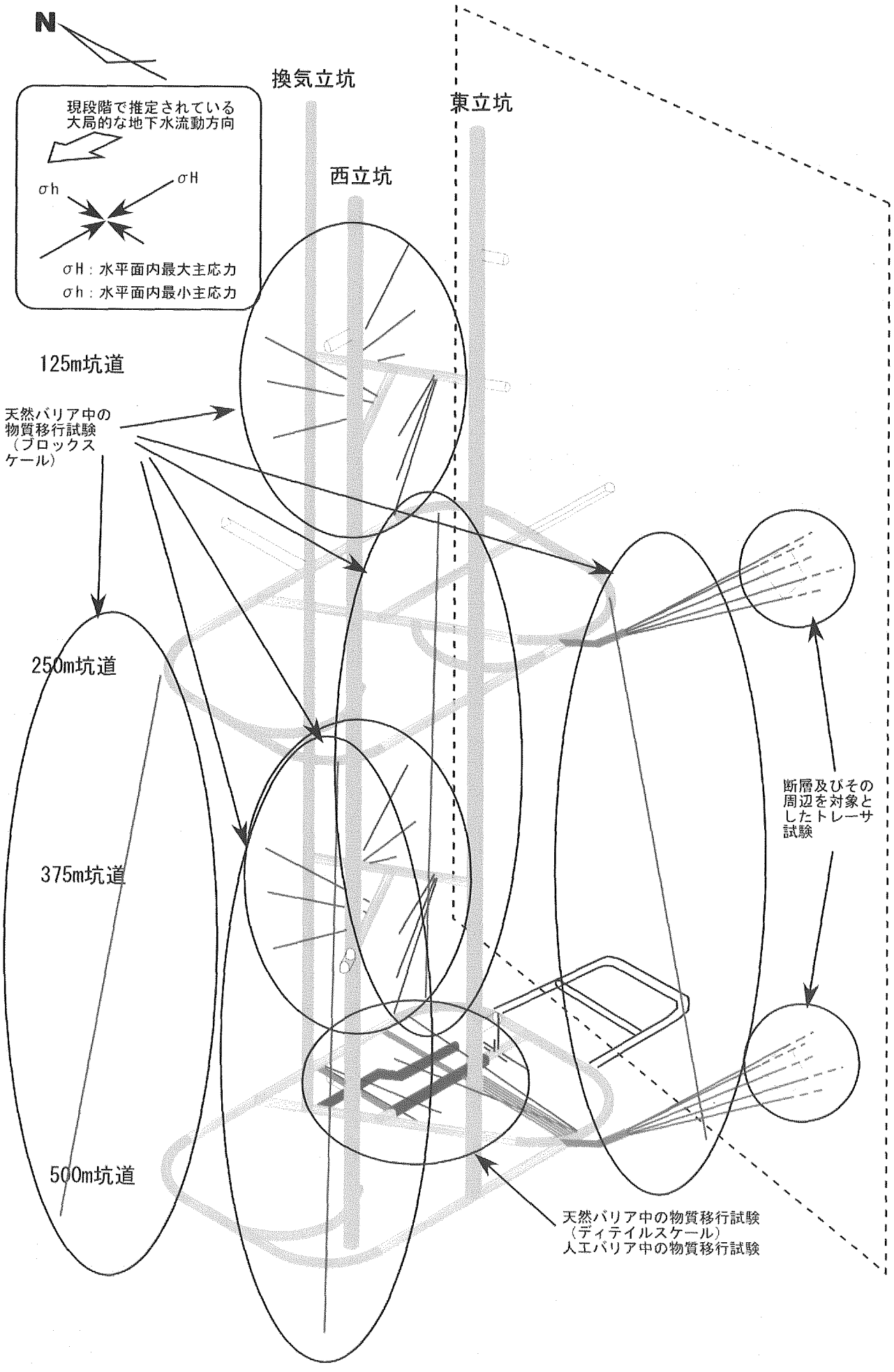


図5.7　第３段階調査試験レイアウトの概念図（安全評価手法の高度化）

5.3 調査技術開発

調査技術開発の一環として今後重要視される長期モニタリング技術の適用性評価のための試験を行う。

5.3.1 深地層の科学的研究

(1) 地表部

①地表からの3次元比抵抗変化モニタリング

a) 目的

地下施設建設に伴う地質環境変化の予測結果の検証データの取得及び地表ー地下深部までの3次元的な地質環境変化を長期にモニタリングする技術の適用性を確認する。

b) 実施内容

地下施設建設前に、地下施設近傍の地表試錐孔と地下施設建設予定地点を結ぶ測線を設け、比抵抗探査装置を多数配置し地下施設建設に伴う地下水流動場の変化等をモニタリングする。

c) 実施位置

地下施設近傍の各地表試錐孔と地下施設建設予定地点を結ぶ半径500m程度のエリア

d) 測定時期/頻度

連続観測。なお、設置時期は第2段階開始前とする。

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

第1段階で既に各試錐孔に設置している長期モニタリング装置での観測結果と比較することにより、第2・3段階実施中の地質環境変化を3次元的に把握することができるため。測線は、地質環境の不均質性評価のためのデータ取得の観点から、地下施設中心位置からの距離が異なるように配置する。

f) 期待される成果

地下施設建設に伴い生じる地下水流動の変化等を三次元的にモニタリングすることができるため、地下施設掘削に伴う影響範囲を3次元的・定量的に示すことができるとともに、特に地下水流動場への影響予測結果の検証に資する3次元的なデータが得られる。また、実処分場掘削・操業及び閉鎖じに至る期間の地下深部の地質環境変化をモニタリングするための一手法としてその有効性が評価できる。

g) 留意点

長期間の測定となるため、探査機やケーブル類の保守及びモニタリングデータの処理方法を検討する必要がある。

(2) 地下施設及びその周辺

①モニタリングデータ管理システム

a) 目的

地下施設内及び地表試錐孔において取得されるモニタリングデータを効率的かつ長期的に安定して観測・管理し、可能な限りリアルタイムで内外で使用できるシステムを構築する。

b) 実施内容

モニタリングデータ管理システムの設計・製作・設置

c) 実施位置

地下施設近傍の各地表試錐孔と地下施設

d) 測定時期/頻度

連続観測

e) 位置及び測定時期/頻度の設定根拠

第2・3段階実施中の地質環境変化のモニタリングデータを3次元的かつリアルタイムで把握することができるため。

f) 期待される成果

長期間安定した効率的なモニタリングデータの観測・管理システム構築に必要なノウハウが得られる。

g) 留意点

長期間安定した計測が可能でかつ種類の異なる大量のデータ処理がスムーズに行えるシステムとする必要がある。

図 5.8 に地表からの３次元比抵抗変化モニタリングの測線配置概念図を示す

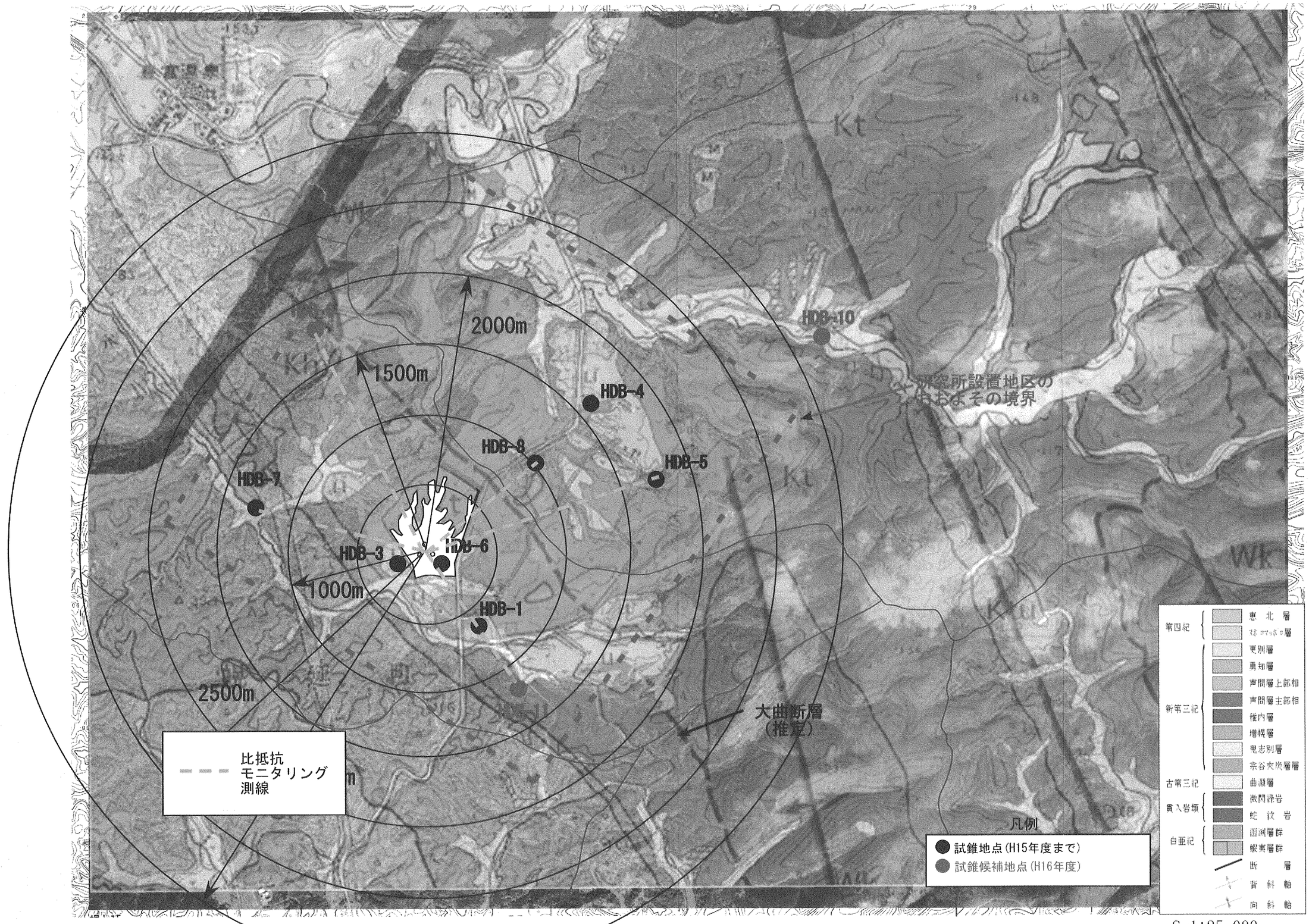


図5.8　地表比抵抗測線配置図

6. 地質環境のモデル化・解析

幌延第２，３段階の研究では、原位置調査・試験とともにそれらのデータを用いた地質環境のモデル化・解析作業が非常に重要である。以下に、段階毎のモデル化・解析作業の概要を示す。

6.1 深地層の科学的研究

6.1.1 第２段階における地質環境のモデル化・解析

１）対象とするモデルスケール

主にサイトスケール（地下施設を含む数 km×数 km×数 km 程度の範囲）とブロックスケール（数 100m ー数 10m 立方）

２）実施内容

①サイトスケールモデルの更新及び事後解析

主要な水平坑道展開前（換気立坑 500m、東・西立坑 250m 掘削時）に、それまでに取得されたデータと予測結果を比較し、モデルの検証及び更新を行う。これにより深度方向に２次元的にモデルの精度の向上を図り、その結果を用いた事後解析（１）を実施する。次に、事後解析の結果をすべての坑道掘削終了時までに取得されるデータと比較・検証するとともに、再度モデルの更新を行う。このモデル更新により、３次元的なモデルの精度向上が行われる。最終段階として、事後解析（２）を実施し、実測値との比較によりその妥当性を検証する。

②ブロックスケールモデルの更新、ディテイルスケールモデルの構築

坑道近傍の地質構造詳細調査が終了した段階で第１段階に構築したブロックスケールのモデルの検証及び更新を図る。さらに、すべての坑道掘削が終了した時点までで得られたデータに基づき、さらにブロックスケールモデルの更新を行うとともにディテイルスケールのモデルを構築する。

6.1.2 第３段階における地質環境のモデル化・解析

１）対象とするモデルスケール

主にブロックスケールとディテイルスケール（数 10mー数ｍ立方）

２）実施内容

①ブロックスケールモデルの更新

坑道周辺の地質環境の把握がほぼ終了する、人工バリア関係の試験装置類の設置がほぼ終了しモニタリングに移行する段階で実施する。これにより、モニタリング時の人工バリア及び周辺の地質環境の挙動変化を解釈することが可能となる。次にトレーサ試験の結果がある程度出てきた段階で同様にブロックスケールモデルの更新を行う。

②ディテイルスケールモデルの更新

数 10mー数ｍスケールで実施される天然バリア中のトレーサー試験中及び終了時に取得されたデータを用いて、それぞれ更新する。

③サイトスケールモデルの更新

第２段階から第３段階終了直前まで継続実施される地質環境のモニタリングデータに基づき、より長期的な地質環境変化を表現できるように第２段階終了時に構築したモデルを更新する。

④統合解析

第３段階終了時に、①、②、③のモデルを統合し、同時期に実施した人工バリア中のトレーサー試験結果も合わせ、地下から地表に至る物質移行解析を試行する。

7. 深地層の科学的研究・処分技術の信頼性向上・安全評価手法の高度化に関連する各調査試験の相互関連について

図7.1に、5章で示した各調査試験項目間の関係を示す。各調査試験は、個々の試験の目的・アウトプットとともに、深地層の科学的研究・処分技術の信頼性向上・安全評価手法の高度化研究という大項目で見た場合、主として6.に示したモデル化という作業を通じリンクが図られることとなる。以下にその概要を記す。

7.1 深地層の科学的研究

第1段階における地下施設建設に伴う掘削影響の予測結果を第2段階で検証するとともに、さらにそれをフィードバックし地表からの調査から客観的かつ信頼度の高い地質環境モデルを構築する技術を例示する。また、第3段階までの地質環境変化のモニタリングを継続することにより、第2段階で構築した地質環境モデルをさらに長期の変化を表現できるよう改良するとともに、地質環境長期モニタリング技術の適用性の検討を実施する。

本研究の枠内で実施した地質環境モデルの構築及び解析によって得られた結果が、第2，3段階で計画している処分技術の信頼性向上・安全評価手法の高度化研究を進める上でのモデル及び各種境界条件となる。

7.2 処分技術の信頼性向上に関する研究

第1段階で実施する人工バリアシステム（オーバーパック、緩衝材など）の試設計及び第2段階までで得られるサイトスケール・ブロックスケールの地質環境モデルを用い、原位置試験場所の選定を実施する。選定した試験場所において設計仕様に従った人工バリアシステムを設置し、第3段階終了時までのモニタリング及び解体調査を実施することにより、実環境を想定した人工バリア設計手法を確立し実証する。

本研究実施時に、第2段階までで構築したブロックスケールモデルの更新を図る。

7.3 安全評価手法の高度化に関する研究

第1段階で研究の全体計画を策定するとともに、主として第3段階に第2次とりまとめで示されたリファレンスケースで考慮されている断層、天然バリア（EDZも含む）、人工バリア中のトレーサー試験を行い、これらの結果に基づき、ブロックスケール、ディテイルスケールにおける地質環境モデルの更新を図る。

本研究の最終段階において、深地層の科学的研究で構築した短期・長期にわたりサイトスケールーブロックスケールまでの地質環境の変化を表現できるモデルと合わせ、地下から生物圏までの物質移動を表現する統合解析を試行し、実際の地質環境を対象とした場合の地表ー地下深部にいたる体系的な物質移行評価技術を例示する。

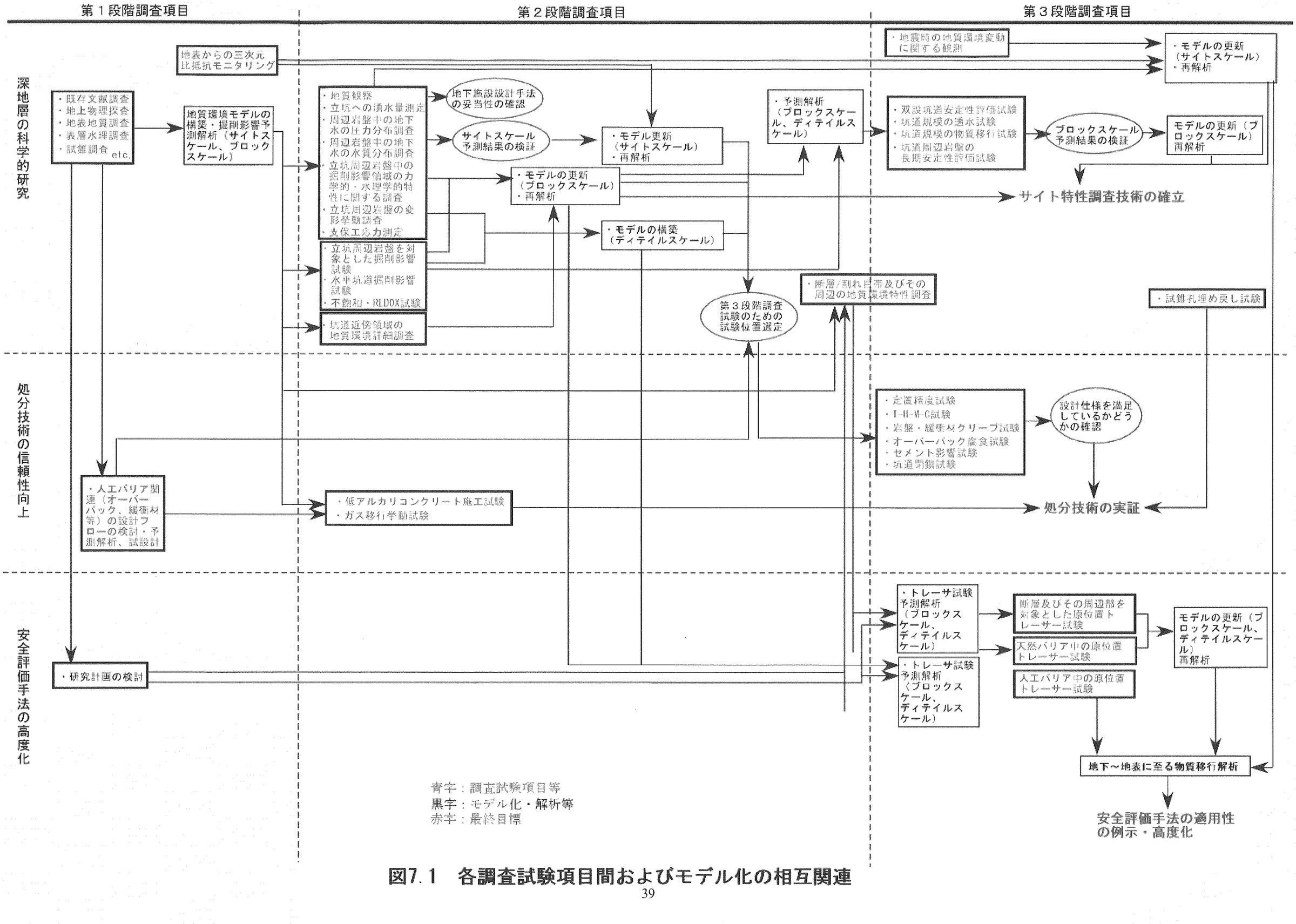


図7.1　各調査試験項目間およびモデル化の相互関連

8. 研究スケジュール

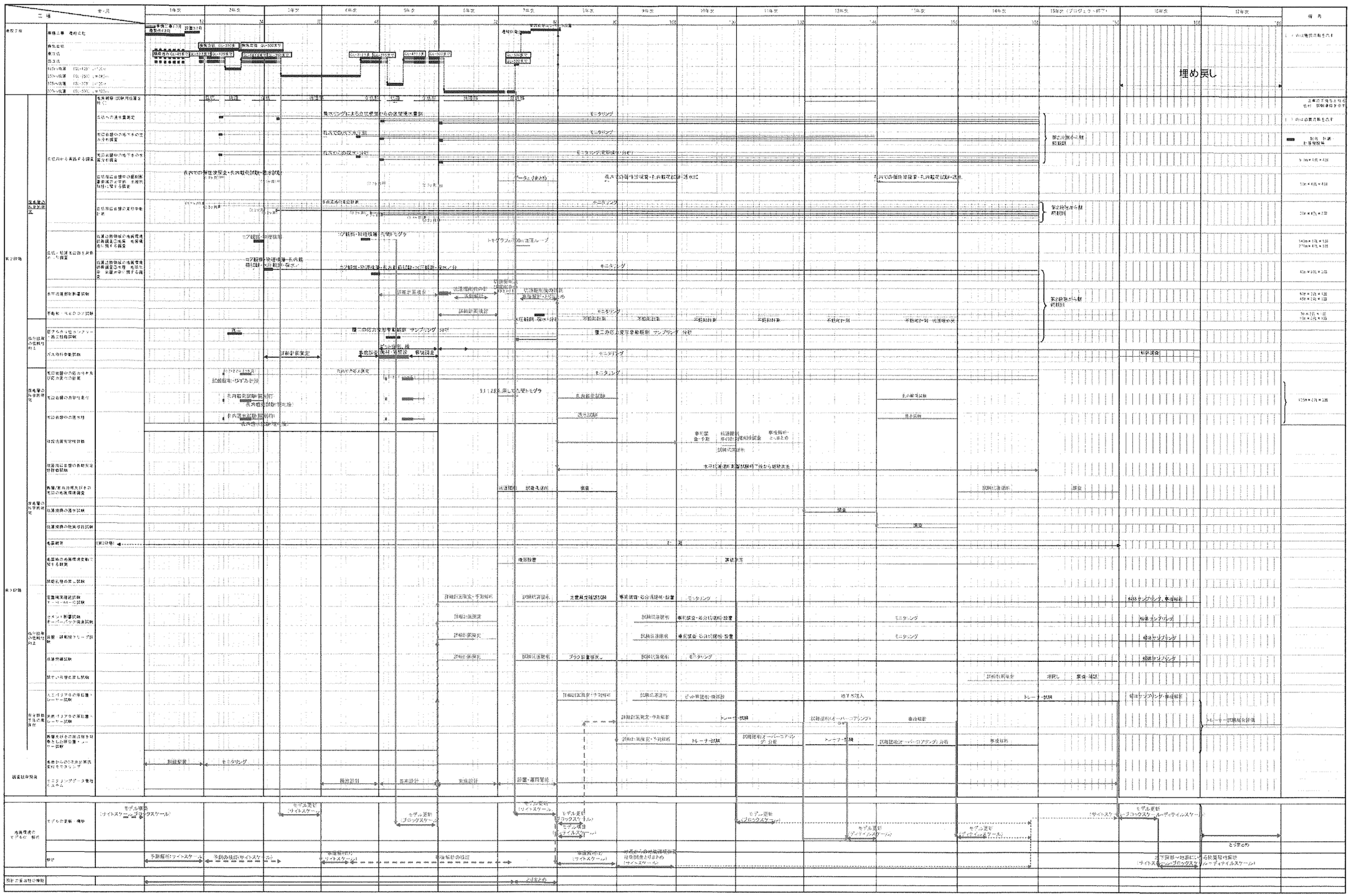
表 8.1 に 5. 及び 6. に示した幌延深地層研究計画第２，３段階の各調査試験及びモデル化・解析の概略工程を示す。なお、本工程は、3. で示した平成 14 年度時点での地下施設建設工程等を考慮しつつ作成したものであり、今後の調査・設計の進展により変わりうるものである。

第２段階の調査試験については、地下施設の施工中に各種調査試験を実施すること及び地下施設の建設工程に与える影響を最小限に留める観点からほぼ連続的に試験を実施していくスケジュールとしている。

第３段階については、基本的に地質環境の情報を深地層の科学的研究の範疇で取得し、それを処分技術の信頼性向上及び安全評価手法の高度化研究に結びつける形で全体としての研究を進めること、処分技術の信頼性向上関連の全ての原位置試験に関連する緩衝材中への地下水の流入速度を念頭におき、モニタリング期間を可能な限り長期とするようスケジュールとしている。

なお、幌延深地層研究計画終了後２年程度で、研究施設の埋め戻しと現状復帰を行う。

表 8.1　幌延深地層研究計画　第 2・第 3 段階調査試験工程（案）



9. 参考文献

例えば、サイクル機構(2003):"高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発 - 平成13年度報告- "、JNC TN1400 2002-003, pp. 2-1ー2-5、2003

サイクル機構(2004):"高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発 - 平成14年度報告- "、JNC TN1400 2003-004, pp. 3-59ー3-116、2004