

超 深 地 層 研 究 所 計 画
— 地表からの調査予測研究段階計画 —

平成12～14年度計画書

(技術報告)

2000年4月

核燃料サイクル開発機構

東濃地科学センター

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

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184,

Japan

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

2000

〔 目 次 〕	ページ
第Ⅰ部（総論）	1
1. はじめに	1
2. 第1フェーズにおける調査研究の成果および課題	3
2. 1 第1フェーズにおける調査研究の成果	3
2. 2 第2フェーズの課題	4
3. 実施概要	5
3. 1 第2フェーズにおける第1段階段階目標に対する考え方	5
3. 2 第2フェーズにおける調査研究の進め方	8
4. スケジュール	9
第Ⅱ部（各論）	10
1. 研究成果の統合化	11
2. 地質・地質構造に関する調査・研究	12
2. 1 目標	12
2. 2 実施内容	12
2. 2. 1 調査内容	13
2. 2. 2 検討	14
2. 2. 3 予測結果の評価手法	14
2. 2. 4 調査・解析技術の最適化	15
3. 地下水の水理に関する調査・研究	16
3. 1 目標	16
3. 2 実施内容	16
3. 2. 1 調査内容	16
3. 2. 2 検討	17
3. 2. 3 予測結果の評価手法	18
3. 2. 4 調査・解析技術の最適化	19

4.	地下水の地球化学に関する調査・研究	20
4.1	目標	20
4.2	実施内容	20
4.2.1	調査内容	20
4.2.2	検討	21
4.2.3	予測結果の評価手法	21
4.2.4	調査・解析技術の最適化	22
5.	岩盤の力学特性に関する調査・研究	23
5.1	目標	23
5.2	実施内容	23
5.2.1	調査内容	23
5.2.2	検討	24
5.2.3	予測結果の評価手法	25
5.2.4	調査・解析技術の最適化	26
6.	物質移行に関する調査・研究	27
6.1	目標	27
6.2	実施内容	27
6.2.1	調査内容	27
6.2.2	調査・解析技術の最適化	28
7.	調査技術・調査機器の開発	29
7.1	目標	29
7.2	実施内容	29
7.2.1	試錐掘削技術開発	30
7.2.2	地質構造調査技術開発	30
7.2.3	地下水の水理特性・地球化学特性調査技術開発	31
7.2.4	岩盤の力学的特性調査技術開発	31
7.2.5	次段階以降に必要な調査技術・調査機器の開発	32
7.2.6	データベースの構築	33
7.2.7	地質環境データ解析・可視化システムの構築	34
7.2.8	情報提供技術の開発	34
8.	工学的技術	35
8.1	設計の基本的な考え方	35
8.2	研究坑道の詳細設計と坑道の掘削を伴う研究段階の計画の策定	36

用語解説

38

参考文献

39

図表

第 I 部（総論）

1. はじめに

本計画書は、「超深地層研究所地層科学研究基本計画」（以下、基本計画）（動燃事業団,1996）に基づき、同研究所で行われる 3 段階の研究のうち、最初の段階である「地表からの調査予測研究段階」について、平成 11 年度までの調査・研究の進捗を踏まえ、平成 12 年度以降の詳細な研究計画を示すものである。

核燃料サイクル開発機構（以下、サイクル機構）では、日本に広く分布する結晶質岩の一つである花こう岩を主たる研究の対象として、岐阜県瑞浪市明世町にサイクル機構が所有する用地（正馬様洞用地）において超深地層研究所の建設を伴う調査・研究を実施する計画である。本計画では、正馬様洞用地（研究実施領域）内において約数百 m 四方（施設スケールと呼ぶ）の地質環境において研究を実施し、東濃鉦山やその周辺において進めてきたこれまでの地層科学研究（広域地下水流動研究や東濃鉦山における立坑掘削影響試験など）の一層の拡充を図る。特に、広域地下水流動研究については、その実施範囲が正馬様洞用地を包含することから、研究成果を相互に活用していく。これらの研究は、2000 年以降に進められる処分事業や安全規制などに関わる研究開発の基盤研究として寄与するものである。

超深地層研究所での研究は、その内容が異なる以下の 3 段階を設け、研究坑道の建設前から完成後までの約 20 年をかけて実施する計画である。

- 第 1 段階：地表からの調査予測研究段階
- 第 2 段階：坑道の掘削を伴う研究段階
- 第 3 段階：坑道を利用した研究段階

第 1 段階においては、地表からの調査によって地下深部の地質環境を予測するとともに、第 2 段階で行う研究坑道の掘削が地質環境に与える影響を予測する。

第 2 段階においては、研究坑道の掘削と並行して行う調査により、第 1 段階に予測した地質環境と研究坑道の掘削が地質環境に与える影響の予測の妥当性を確認する。また、引き続き行われる第 3 段階で遭遇する地質環境を予測する。

最後の第 3 段階においては、研究坑道を利用した調査により、地質環境に関わるより詳細なデータを取得するとともに、第 2 段階で予測した地質環境の妥当性を確認する。また、深地層における工学的技術の有効性を検証する。

本計画の全体目標としては、以下の 3 項目を設定している。

- ① 地質環境の総合的な調査技術を確立すること
- ② 深部の地質環境に関する情報を収集すること
- ③ 深地層における工学的技術の基礎を開発すること

また、地表からの調査予測段階の段階目標は、以下の 3 項目を設定している。

- ① 地表からの調査により地質環境データを取得し、地下の地質環境および研究坑道建設に伴う地質環境の変化を予測すること
- ② 予測結果の評価手法を決定すること

③ 研究坑道の詳細設計を行い、坑道の掘削を伴う研究段階の計画を決定すること

地表からの調査予測研究段階においては、段階目標の①と②を達成することにより、最終的に地表からの地質環境の総合的な調査技術を確立すること（全体目標①）が最も重要な研究課題である。そのためには、総合的な調査技術の段階的な適用・改良・確認が不可欠であり（サイクル機構，1998），研究を第1フェーズ（平成8年度～平成11年度）と第2フェーズ（平成12年度～）に分けて進めることとしている。

第2フェーズにおいては、第1フェーズの成果をもとに、段階目標の達成のため研究成果を取りまとめていく一方、前述した目標達成の観点から、特に、地表からの調査に関する研究成果の統合化（調査・解析成果の統合化と調査・解析技術の体系化）に重点を置いて研究を進めていく。

2. 第1フェーズにおける調査研究の成果および課題

2.1 第1フェーズにおける調査研究の成果

第1フェーズでは、深度約1,000mの試錐孔3孔の掘削ならびに同試錐孔における各種の調査を実施し、基盤花こう岩の地質・地質構造、水理学的特性および力学的特性に関するデータを蓄積し、研究実施領域内の地質環境特性を把握してきた（例えば、動燃事業団，1998；松井，1999；Ota et al., 1999aなど）。また、既存の調査・解析技術を基本に必要なに応じて新しい技術を開発し、それらの適用性・有効性を確認するとともに、データベースの構築や地質構造のモデル化などを図ってきた。これまでに得られた成果は、並行して進められてきた他の調査研究と合わせて、第2次取りまとめ報告書（サイクル機構，1999a）において、主要な地質環境調査技術として取りまとめられている。

以下に、第1段階の段階目標ごとに第1フェーズの成果の概要を示す。

① 地表からの調査により地質環境データを取得し、地下の地質環境および研究坑道建設に伴う地質環境の変化を予測すること

研究実施領域の基本的な地質構造を把握し、主要な水みちとなる地質構造要素を抽出したほか、地下水流動を考えるうえで月吉断層の遮水機能について推定し、試錐調査によりそれを確認した。また、水みちとなる主要な透水性割れ目の透水係数を測定し、土岐花こう岩中の透水係数の三次元的分布を把握するとともに、透水係数と割れ目本数との相関性を見出した。岩芯を利用した主要化学成分分析からは、 Fe^{3+}/Fe^{2+} 比から深度約300mに酸化還元境界があることが推定された。さらに、岩盤の諸物性（熱物性、力学物性）が深度方向に大きく三つの区間で異なる傾向や、鉛直方向の初期応力が土被りに比例する傾向を確認した。

以上の情報をもとに地質構造モデル（図1）および水理地質構造モデルを構築した。

② 予測結果の評価手法を定めること

予測結果の評価を行うにあたっては、評価を行うための項目、データの取得位置・方法および解析結果の評価の基準を明確に定義する必要がある。第1フェーズでは、これらの点を念頭において、分野ごとに海外の先行事例についての調査検討を行った。

③ 研究坑道の詳細設計を行い、坑道の掘削を伴う研究段階の計画を決定すること

国内外の先行事例や、原子力委員会（1994）が示した深地層の研究施設に求める成果などを検討し、第2段階以降に実施する調査研究項目を選定した。次に、選定された項目をもとに、研究坑道の展開手順、仕様決定方法について検討し、さらに第1段階で取得したデータに基づき研究坑道のレイアウトを具体化した（図2）。このレイアウトをもとに、施工工程を考慮した現実的な研究スケジュール（案）を作成した。

2. 2 第2フェーズの課題

第2フェーズに残された主な課題としては、地下水の地球化学特性の把握や研究坑道建設に伴う地質環境への影響の予測が挙げられる。また、調査・解析技術の体系化の観点からは、調査の種類や量と地質環境に関する理解度の関係を明らかにすることなども重要な課題である。

第2フェーズにおいては、第1フェーズで残されたこれらの課題について重点的に取り組み、それぞれの調査研究分野間の知見・成果の整合を図ることにより、研究成果の統合化を進めることが重要であると考えられる。

以下に、第1段階の段階目標ごとの主な課題を示す。

- ① 地表からの調査により地質環境データを取得し、地下の地質環境および研究坑道建設に伴う地質環境の変化を予測すること
 - ・地質・地質構造の空間的な連続性を補完するデータを取得するとともに、水みちの水理学的連続性についての情報を得る。
 - ・地下水の水質や物理化学パラメータなどの地球化学データを取得する。
 - ・取得データの不確実性の評価を行う。
 - ・月吉断層による岩盤物性や初期応力状態への影響を把握する。
 - ・研究坑道建設に伴う地質環境への影響を予測する。
- ② 予測結果の評価手法を決定すること
 - ・各分野における予測解析結果の妥当性を評価するための以下の項目を提示する。
 - (a)第1段階の調査研究で予測できる地質環境特性の具体的な内容(項目、精度・分解能など)
 - (b)解析結果の評価基準
 - (c)第2段階の調査研究で取得する地質環境特性の具体的な内容(項目、精度・分解能など)・観測位置・方法
- ③ 研究坑道の詳細設計を行い、坑道の掘削を伴う研究段階の計画を決定すること
 - ・第1フェーズで策定した坑道の掘削を伴う研究段階の計画を、研究の必要性(優先度)を考慮したうえで見直し、具体的な内容を決定するとともに、研究計画に整合した研究坑道の詳細設計を行う。
 - ・資機材や機器設備の搬入を考慮した研究坑道の施工方法、施工と研究との調整などを考慮し、最適な研究計画の進め方を検討する。

3. 実施概要

3. 1 第2フェーズにおける第1段階の段階目標に対する考え方

第2フェーズにおいて、第1章に示した第1段階における3項目の段階目標の達成に向けた調査研究の、それぞれの段階目標に対する考え方を示す。

- ① 地表からの調査により地質環境データを取得し、地下の地質環境および研究坑道建設に伴う地質環境の変化を予測すること

第2フェーズで実施する各種調査により、必要な情報を取得し、地質構造モデル、水理地質構造モデル、地下水の地球化学モデル、岩盤力学モデルを構築あるいは更新する。合わせて、これらのモデルを用いて研究坑道建設に伴う地質環境への影響を予測する。これらの作業を進めるにあたり、特に以下の2点を念頭に、研究成果の統合化を行っていくことが重要である。

- ・調査・解析成果の統合化（用語解説を参照）

研究実施領域における地表から地下深部までの地質環境について、分野別および分野間の横断的な議論や解釈などをおして整合を図るとともにその根拠を明確化することにより、地質・地質構造、地下水の水理、地下水の地球化学、岩盤力学の各分野において得られた成果を統合化し、地質環境モデルを構築する。これにより、研究実施領域の地質環境を総合的に理解することが可能となる。

- ・調査・解析技術の体系化（用語解説を参照）

地表からの調査研究に必要とされる個々の調査・解析技術の高度化を図るとともに、調査機器の適用性および有効性を確認し、合理的かつ効果的に地表から深部地質環境を評価するための、一連の調査・解析技術として各分野ごとに最適化（用語解説を参照）を図る。さらに、各分野ごとに最適化された調査・解析技術を組み合わせて一連のものとして体系化する。その際に、「概念モデルの構築→計画立案→調査→モデルの構築および解析→評価」を繰り返すことにより、調査の種類や量と地質環境に関する理解度の関係性を評価していくことが重要となる。

以下に、これらの考え方に基づく、各分野の研究概要と基本スタンスを示す。

(a)地質・地質構造に関する調査・研究

研究実施領域において、地質・地質構造を把握するとともに、地下水の流動や水質形成などを規制すると考えられる地質構造要素を抽出し、三次元地質構造モデルを更新する。

（基本スタンス）

- ・研究実施領域における地質（堆積岩類、花こう岩類などの岩相分布、風化帯、変質帯など）および地下水流動の観点から重要な不連続構造（透水性割れ目、

断層，岩脈など)などの地質構造要素に注目し，これらの地質構造要素の分布および性状の把握に重点をおく。

- ・三次元地質構造モデルの深度は，研究坑道の予定深度（約1,000m）の2倍程度の深度約2,000mまでを対象とする。

(b)地下水の水理に関する調査・研究

三次元地質構造モデルで表現された地質構造要素の水理学的特性を把握し，水理地質構造モデルを構築するとともに，研究実施領域における研究坑道掘削前，掘削中および掘削後の地下水流動場を推定する。さらに，長期揚水試験や長期水圧観測を実施し，地下水流動解析結果の評価ならびに水理地質構造モデルの更新を行う。

(基本スタンス)

- ・抽出された地質構造要素（特に，透水性割れ目および断層）の透水性および水理学的連続性，ならびに基盤花こう岩中の透水性コントラスト（高/低透水性領域）の評価に重点をおく。
- ・研究実施領域における研究坑道掘削前の地下水流動の状態を把握（地下水流動解析に必要な境界条件および初期条件となる水理データを取得）する。
- ・長期揚水試験の結果にもとづき水理地質構造モデルの妥当性の評価，ならびに更新を行うことによって，研究坑道建設に伴う地下水流動への影響評価の精度向上を図る。
- ・水理地質構造モデル（地下水流動解析）の深度は，研究坑道の予定深度（約1,000m）の2倍程度の深度約2,000mまでを対象とする。

(c)地下水の地球化学に関する調査・研究

研究実施領域における深部地下水の地球化学特性の三次元的分布を把握し，水-岩石反応試験や理論解析などの結果と合わせて地球化学モデルを構築する。これらの結果は，地下水流動解析により示される地下水流動の妥当性の評価に反映される。

(基本スタンス)

- ・基盤花こう岩中の地下水の物理化学パラメータ，化学組成および同位体組成の深度分布，ならびに地質構造要素（特に，透水性割れ目および断層）における地下水の地球化学特性を把握することに重点をおく。また，地下水中のコロイド，有機物や微生物などについても着目する。
- ・地下水の水質形成機構や年代値などを用いて，地下水流動解析結果の妥当性を評価するため，深度1,000m以深のデータを取得する。

(d) 岩盤の力学的特性に関する調査・研究

研究実施領域において、岩盤の初期応力状態および基盤花こう岩の力学物性を把握し、坑道スケール（数十 m 四方）での岩盤力学モデルを構築する。このモデルを用いて、研究坑道掘削に伴う岩盤の力学的変化ならびに研究坑道の力学的安定性を予測する。

（基本スタンス）

- ・ 空洞の力学的安定性を評価し、研究坑道の設計・建設へ合理的に反映する技術の構築に重点をおく。
- ・ 断層周辺の力学物性、割れ目面の力学特性、初期応力状態などを把握する。

(e) 物質移行に関する調査・研究

試錐孔を利用した調査により物質の移行・遅延特性に関する基礎情報を整備するとともに、研究坑道におけるトレーサー試験などの原位置試験や物質移行解析などの計画の立案を行う。

（基本スタンス）

- ・ 岩芯を用いた室内測定・分析により、透水性割れ目およびその近傍岩盤における地球化学的・鉱物学的特性、空隙特性および収着・拡散特性データを取得する。また、ナチュラルアナログ研究を実施し、地質学的に長期間にわたる物質の移行・遅延現象を把握する。

(f) 調査技術・調査機器の開発

地表からの調査・研究に必要とされる調査技術および調査機器を高度化する。また、開発された個々の調査技術の汎用性について検討し、適用条件や適用範囲を明確にする。

（基本スタンス）

- ・ 既存の調査技術の適用性の確認、それらの部分的な改良、新たな開発、ならびにデータベースなどの整備が不可欠である。
- ・ 地表から地下深部の地質環境を把握するために、各要素技術を「概念モデルの構築→計画立案→調査→モデルの構築および解析→評価」というプロセスを踏んで合理的かつ効果的に適用する基本的な考え方を提示する。
- ・ 地質環境特性の異なる様々な地域への適用を考慮して、開発または改良された調査・解析技術の適用条件や適用範囲を明確にする。

② 予測結果の評価手法を決定すること

第2段階においては、研究坑道内での調査や研究坑道の掘削により引き起こされる現象の観測などで取得される情報に基づき、第1段階の予測結果を評価する計画である。海外の先行事例に関する情報を参考にしつつ、

- (i) 予測解析の妥当性を評価するために必要なデータを取得するための観測位置・方法の具体化
 - (ii) 花こう岩を対象とした予測解析において、地質環境に関し、現在の技術で予測できる具体的な内容（項目、詳細度、精度など）の設定
- の2点に着目して研究を進める。

③ 研究坑道の詳細設計を行い、坑道の掘削を伴う研究段階の計画を決定すること
第1フェーズで策定した坑道の掘削に伴う研究段階の計画は、地表からの予測結果の検証および坑道掘削を伴う一連の調査・解析技術の体系化の観点ならびに第2次取りまとめ報告書に示された今後の研究開発課題などの必要性を考慮し、見直しを図る。さらに、第2フェーズで明らかとなってくる地質環境に関する情報や、工学的技術の基礎を開発するうえで必要な課題を考慮し、見直された研究計画を実施していくために最適な研究坑道の詳細設計を実施することも必要である。

3. 2 第2フェーズにおける調査研究の進め方

3.1に示したように、第1段階においては、「概念モデルの構築→計画立案→調査→モデルの構築および解析→評価」の研究プロセス（図3）を繰り返して調査研究を進め、調査・解析成果の統合化ならびに調査・解析技術の体系化を図ることが、段階目標を達成するための重要な考え方である。この研究プロセスは、個々の調査を実施するごとに繰り返される必要があると考えられるが、第1段階第1フェーズにおいては、フェーズをとおして実施される調査をひとまとまりとして、この研究プロセスを実施する方針としていた。

第2フェーズにおいても、前述の研究プロセスに基づいて調査研究を進めていく方針には変わりはないものの、実際には、試錐孔の本数および深度や調査研究の期間などの制約とともに、場合によっては、試錐孔の場所や調査研究の項目などに対しても制約が生じることが予想され、予測に基づいた十分な調査や解析ができなくなる問題も想定される。そのような問題を考慮すると、それぞれの調査研究において量よりも質の向上を図ることが特に重要であり、精度の高い解析やモデルの構築などに重点をおく必要がある。また、前述の研究プロセスは第2フェーズで1回のみ行うのではなく、年度ごとや多くの情報が得られる1孔の試錐調査が終わるごとなど、調査の節目ごとの繰り返しが有効であると考えられる。

このように調査研究を進めることによって、調査の種類や量と地質環境に関する理解度の関係の検討、それと同時に地質環境の調査・解析技術の有効性の評価が可能となり、調査・解析技術の体系化を進めていくことができると期待される。また、第1段階をとおして予測した深部地質環境および立坑掘削に伴うその変化などを、次の第2段階および第3段階において検証することにより、地表からの調査・解析技術の有効性が最終的に評価でき、必要な調査の種類および量を決定する方法が明らかになると期待される。

4. スケジュール

平成 12～14 年度に実施する主な調査・研究のスケジュールを表 1 に、既存および新たに掘削する試錐孔の位置を図 4 に示す。調査・研究項目の具体的内容については第Ⅱ部第 2 章以降に示す。なお、平成 12 年度および平成 13 年度以降の概要は以下のとおりである。

(a)平成 12 年度

第 1 フェーズに引き続き、平成 11 年度に掘削を開始する MIU-4 号孔の試錐調査を継続し、同孔における各種試験、室内試験・分析を実施する。また、既存試錐孔において、MIU-4 号孔掘削に伴う圧力応答観測を実施する。これらの調査に先立ち、第 1 フェーズにおいて得られた MIU-1～3 号孔のデータを用いて、各種地質環境モデルの構築・更新を実施する。

(b)平成 13 年度以降

MIU-2 号孔を揚水孔とした長期揚水試験を実施する。これらの新たなデータをもとに、各種地質環境モデルの検証・更新を行う。また、これまでに把握していない深度 1,000m 以深のデータを取得するため、MIU-5 号孔（深度約 1,500m）の試錐調査を実施し、同孔における各種試験や室内試験・分析などを実施する。さらに、MIU-5 号孔における各種調査をもとに、各種地質環境モデルの更新を行い、深部の地質環境をより精密に予測するとともに、立坑掘削に伴う地質環境の変化についても予測を行う。また、必要に応じて、正馬様洞用地内において追加の試錐孔を掘削する。

最終的には、第 1 段階において実施した調査・研究の取りまとめを実施し、研究成果の統合化を行う。

第Ⅱ部（各論）

第Ⅰ部において、地表からの調査予測段階では、段階目標の「①地表からの調査により取得される地質環境に関するデータをもとに、地下の地質環境を推定し、研究坑道建設に伴う影響を予測すること」および「②予測結果の評価手法を定めること」を達成することにより、地表からの調査に係わる全体目標の「①地質環境の総合的な調査技術を確立すること」を達成していくことが最も重要な研究課題であると述べた。

第2フェーズにおいては、第1フェーズの成果をもとに、第1フェーズで残された課題について重点的に取り組み、各種調査により必要な情報を取得し、地質構造モデル、水理地質構造モデル、地下水の地球化学モデル、岩盤力学モデルを構築あるいは更新し、研究成果を取りまとめていくことになる。ここでは、調査研究が各分野ごとに適切に実施されていくだけでなく、分野ごとの研究成果が分野間において整合性が確保されていなければならない。そのためには、各分野ごとの研究成果を適宜統合化の観点からとりまとめ研究を進めていくこと（調査・解析成果の統合化と調査・解析技術の体系化）が重要となってくる。

以下では、最初に研究成果の統合化についての基本的な考え方を示し、その後、各分野ごとの内容を示す。

1. 研究成果の統合化

地表からの調査予測研究段階においては、二つの全体目標(地質環境の総合的な調査技術を確立すること、および深部の地質環境に関する情報を収集すること)の達成のために、事例研究の場として与えられた正馬様洞用地の研究実施領域における地表から地下深部までの地質環境を、分野別および分野間の横断的な議論や解釈をとおして総合的に理解し、その過程で体系的な調査・解析技術を構築していくことが重要となる。また、この研究過程において地質環境がモデル化され、研究坑道建設に伴う地質環境の変化が予測される。

前述のように、研究を進める過程にあたっては、分野間の横断的な解釈とその確認を行うことが必要であり、横断的な解釈や確認が繰り返されることにより最終的に研究成果の信頼性を向上させることができると考えられる。このような考えに基づき、本研究では「概念モデルの構築→計画立案→調査→モデルの構築および解析→評価」を繰り返す過程において分野別および分野間の横断的な解釈や理解をとおして「どれだけのデータをどのようにして取得し、どのようにして解釈すれば、どれだけのことが理解できるのか」を事例的に明示する。また、前述の研究プロセスは基本的にデータの取得に伴い新たな知見が蓄積される(具体的には後述する MIU-4 号孔の試錐調査、長期揚水試験、MIU-5 号孔の試錐調査)ごと、あるいは年度ごとといった調査の節目ごとに繰り返す必要がある。

平成 12~14 年度においては地表からの調査研究成果の統合化を行い、第 1 段階を締めくくるとともに第 2 段階の研究計画の策定に適宜反映させることが重要である。

上記のような考え方にに基づき、研究成果の統合化を以下の 2 項目に集約して進める。

- ①施設スケールの地表からの調査における地質環境データセットの基本的考え方(データセットは、その反映先や用い方により、まとめ方や構成される項目が異なる)を明示する。
- ②施設スケールの地表からの調査において、地下深部までの地質環境を総合的に理解するための研究プロセスを具体化し、本研究実施領域を事例とした地質環境を理解するための調査体系を例示する(全体的な方法論の明示)。

手順としては、以下のように実施する。

- ①平成 11 年度までに実施した調査研究の成果をもとに、地下深部までの地質環境を総合的に精度良く理解するための地質環境データセットの基本的考え方(案)を作成する。その後、年度ごとに地質環境データセットの基本的考え方(案)を、前年度までに得られる知見をもとに改訂し、地表からの調査予測研究段階における地質環境データセットの基本的考え方として提示する。
- ②調査研究の進め方や調査技術の適用などに関する知見、分野間の横断的な解釈や理解、研究プロセスの繰り返しによる調査の種類や量と地質環境に関する理解度の関係の検討結果を踏まえて実施するプロセスの具体化に向け、平成 11 年度までの調査研究により得られた調査の進め方や調査技術の適用などに関する知見を整理し、調査体系(案)を例示する。最終的には、平成 14 年度までに整理された知見をもとに、本研究実施領域を事例とした地質環境を理解するための調査体系を例示する。

2. 地質・地質構造に関する調査・研究

2.1 目標

研究実施領域における地質・地質構造に関する情報を集約し、地質構造モデルを更新する。

2.2 実施内容

第1段階第1フェーズまでの文献調査、地上物理探査および試錐調査により、以下の地質・地質構造に関する知見が得られている（動燃事業団，1998；サイクル機構，1999b）。

- ・白亜紀の土岐花こう岩を新第三紀の瑞浪層群（下位より土岐夾炭累層，明世累層）が不整合に覆い、さらに領域北東部のごく一部には瀬戸層群が分布する。
- ・土岐花こう岩の岩相は鉱物量比および化学組成から、上位の黒雲母花こう岩と下位の優白質花こう岩に区分される。
- ・土岐花こう岩最上部には、不整合面から十数mに及ぶ風化帯が存在する。
- ・深度350m付近までは割れ目密度が高く、低角な割れ目が卓越する。
- ・深度約350m以深に最大約400mの厚さの割れ目密度の低いゾーンが存在する。
- ・MIU-2号孔の深度890m付近およびMIU-3号孔の深度693m付近には、東西走向で70°から80°南に傾斜する月吉断層が存在する。断層の上下には数十mに及ぶ断層破碎帯を伴う。
- ・試錐孔掘削中の水圧応答、温度およびフローメーター検層により数カ所の高透水性割れ目（帯）の分布を推定した。
- ・電磁探査によって得られた電気比抵抗分布から、瑞浪層群と土岐花こう岩の不整合面の深度分布および瑞浪層群中の層構造が推定できた。
- ・地上反射法弾性波探査により、MIU-1号孔とAN-1号孔との間に不連続構造が推定された。

これらの情報をもとにデータセットを作成し、地質構造モデルを構築した。その過程で以下に示す課題が抽出された。

- ・試錐孔の配置は研究実施領域西側の南北方向に限られており、領域東側、特に北東部の情報が得られていない。
- ・試錐孔は全て鉛直孔であり、高角～鉛直割れ目（帯）との遭遇率が低く、その頻度分布などを過小に評価している可能性がある。
- ・地下水流動解析において把握されるべき深度1,000m以深の地質構造に関する情報が得られていない。
- ・花こう岩において試錐孔間を補完し、地質構造の三次元的な分布を推定できるような物理探査データが得られていない。

以上の課題のうち、最初の2点については、平成12年度に掘削を開始するMIU-4号孔（傾斜孔）における調査研究により解決される。その他の課題の解決については、平成12年度以降の調査をとおして取り組む予定である。

2. 2. 1 調査内容

(1) 地上物理探査

研究実施領域内の地形や測線長の制約により、広範囲を対象とした電磁探査および反射法弾性波探査の実施は困難であるため、これまでに実施した同探査結果の再評価に重点をおき、その結果を地質構造モデルの更新などに反映していく。

(a)平成12年度

- ・これまでに実施した地上物理探査の結果について再評価を実施し、その結果を、地質構造モデルの更新などに反映する。

(b)平成13年度以降

- ・平成12年度の地上物理探査結果の評価結果に基づき、解析精度の向上を目的としたVSP探査法などの補足的な地上物理探査を実施し、その結果を地質構造モデルの更新に反映する。

(2) 試錐調査

平成11年度に終了したMIU-3号孔までの試錐調査により、主に調査領域の南北方向の地質・地質構造、水理、岩盤力学・物性に関する情報を取得した（動燃事業団，1998；サイクル機構，1999b）。第2フェーズでは、これまでに調査していない調査領域北東部および深度1,000m以深の地質・地質構造に対する調査に重点をおき、MIU-4号孔およびMIU-5号孔の掘削ならびに試錐調査を実施する（必要に応じて追加の試錐孔の掘削について検討する）。試錐孔および取得した岩芯を用いて、物理検層、ボアホールTV、ボアホールレーダー、岩芯観察、鉍物試験を実施する。以下に、各試錐孔の位置、掘削仕様、調査目的などについて述べる。

(a)平成12年度

- ・MIU-4号孔（MIU-1とAN-1の中間地点から北北東に下向き60°の傾斜孔、孔長790m）（図5,6）

研究実施領域の北東部の地質・地質構造および高角～鉛直割れ目（帯）の分布に関する情報を取得し、既存の地質構造モデルを検証・更新する。また、月吉断層の性状をより詳細に把握する。

(b)平成13年度以降

- ・MIU-5号孔（位置未定、孔長約1,500m）

これまでに把握していない、1,000m以深の深部地質環境に関するデータの取得を主たる目的としている。また、MIU-1号孔とAN-1号孔の間に推定された不連続構造を確認する。位置はMIU-4号孔で得られる情報などをもとに決定する。

- ・追加試錐孔（位置未定）

平成12年度以降の調査において予想外の地質構造に遭遇した場合など、追加調査の必要が生じた場合には、追加の試錐孔の掘削を行う。位置、深度、調査項目はそれまでに得られた情報をもとに決定する。

2. 2. 2 検討

地質構造モデルは、研究実施領域の地下水流動の場を形成する地質および地質構造の分布を視覚的に示すものであり、水理地質構造モデルの基礎となるものである。地質構造モデルの構築にあたっては、研究実施領域のスケールにおいて、考慮すべき地質構造要素の種類や規模を明らかにする必要がある。

本計画の第1段階においては、MIU-4号孔の調査結果および長期揚水試験の結果により、既存のモデルの妥当性を評価することができる。この評価結果に基づきモデルを更新し、第1段階における最終的な地質構造モデルを完成させる。

(a)平成12年度

- ・MIU-3号孔までの情報をもとに、既存の地質構造モデルを更新する。

(b)平成13年度以降

- ・MIU-4号孔における各種調査および長期揚水試験の結果に基づき、実データと既存のモデルとの整合性を評価し、地質構造モデルの更新を行う。MIU-5号孔における各種の調査後も同様に、モデルの検証と更新を行う。

2. 2. 3 予測結果の評価方法

地質・地質構造に関する予測の評価は、第2段階の研究坑道掘削で遭遇する地質・地質構造との比較により行われる。具体的には、構築した地質構造モデルに基づき、研究坑道の掘削に伴い遭遇する地質・地質構造を予測する。

予測方法やその評価方法については、スウェーデンのHRLプロジェクト(Stanfords et al., 1997)の事例などを参考に検討する。

HRLプロジェクトの例：

HRLプロジェクトでは、施設スケール(500~1,000m)、ブロックスケール(50~100m)、詳細スケール(5~10m)のそれぞれにおいて、以下の項目を考慮した地質構造モデルを作成している。

- ・施設スケール : 割れ目帯
- ・ブロックスケール : 岩相, 割れ目帯, 岩石物性, 割れ目特性
- ・詳細スケール : 岩石物性, 割れ目特性

それぞれのモデルに基づき、以下の各項目についての具体的な予測を行っている。

岩相 : 岩相の量比, 岩相境界の位置, 岩相境界の出現頻度, 鉱物量比, 変質度

割れ目帯 : 位置, 走向, 傾斜, 幅, RQD (大規模な場合)

岩石物性 : マトリクス空隙率, 密度

割れ目特性 : 割れ目系の数, 方向性, 分布間隔, トレース長, 充填鉱物

予測値には信頼区間と確実度が含まれ、予測値と信頼区間は、サンプル位置を考慮したうえで専門家などの判断により決定されている。実測値が信頼区間にあれば予測が妥当と評価され、予測の妥当性の程度は、

絶対百分率誤差 = (予測値と実測値の差の絶対値) ÷ 実測値
として定量的に表現されている。

2. 2. 4 調査・解析技術の最適化

調査量の増加に伴う地質構造モデルの更新の過程を整理することにより、地表における調査段階において調査すべき地質・地質構造の項目およびその規模について取りまとめる。また、これらの地質・地質構造を調査するうえで有効と考えられる調査手法およびその組み合わせや手順について、第1段階の経験に基づき取りまとめを行う。

3. 地下水の水利に関する調査・研究

3.1 目標

水理地質構造モデルを構築するとともに、長期揚水試験や長期水圧観測をとおして水理地質構造モデルの更新を行い、研究坑道掘削が地下水流動に与える影響を予測する。

3.2 実施内容

第1フェーズの調査結果は、以下のようにまとめられる。

- ・温度検層やフローメータ検層などの流体検層や掘削中の逸水状況によって主要な水みちを特定する手法を開発するとともに、水理試験によって水みちの透水性を把握した。
- ・地下水流動解析の境界条件となる地下水涵養量を求めるための表層水収支観測を実施した。

一方、水みちについては、各試錐孔において深度、方向性、水理学的特性が明らかとなっているものの、試錐孔間の水みちの連続性についてはまだ把握されていない、透水係数は単孔式の水理試験による試錐孔近傍のデータであり、透水係数の空間分布を把握するには至っていない、また、地下水の涵養量は年ごとの変動幅が大きく、この原因を明確に説明できていないなどの課題も残されたままである。

第2フェーズにおいては、深層水理調査では、予測した水みちの透水性と連続性を確認するため、これまでに掘削された試錐孔に多点式間隙水圧測定システム(以下、MPシステム)を設置し、孔間水理試験や、MIU-4号孔掘削に伴う水圧応答の観測、さらには長期揚水試験などを実施する。また、表層水理調査では、これまでに設置した表層水理定数観測装置での観測を継続するとともに、信頼性のある地下水涵養量の設定のため、その変動幅の原因を解明するべく、観測結果や涵養量算定方法の見直し、および人為的な影響についての検討を行う。

3.2.1 調査内容

(1) 表層水理調査

地下水流動解析の境界条件ならびに初期条件の設定、および地下水流動解析結果の検証に必要な地下水涵養量の算定のために表層水収支観測を継続する。

これまでの観測の結果、地下水涵養量は年ごとの変動幅が大きく、さらに観測流域によってもばらつくことが明らかになってきている。この原因として、地下水涵養量を算出するために必要な観測項目(降雨量、河川流量、蒸発散量など)のデータの精度や観測流域近傍における地下水のくみ上げなどの人為的な影響が考えられる。

第2フェーズでは、これまでに設置した表層水理定数観測システム(地下水位計、河川流量計、気象観測装置、土壌水分計)での観測を継続するとともに、前述の変動幅の原因を解明するために、周辺井戸の諸元やくみ上げ量の把握、観測項目のデータの精度などについて検討する。さらに、地形や地質などの条件に応じた最適な地下水涵養量の設定方法についても検討し適用する。

(2) 深層水理調査

(a) 平成 12 年度

平成 12 年度に掘削する MIU-4 号孔では、表層から地下深部までの地下水の間隙水圧の測定、および岩盤（健岩部および割れ目(帯)）の透水性を把握するための水理試験を実施する。また、MIU-4 号孔掘削前までに領域内の既存試錐孔(AN-1 号孔, AN-3 号孔, MIU-1~3 号孔)に MP システムを設置し、MIU-4 号孔の掘削に伴う圧力応答を各孔において観測することにより、割れ目(帯)の水理学的な連続性を把握する。

また、研究坑道掘削が花こう岩風化部および堆積岩に与える水理学的な影響を把握するために、瑞浪層群の主要な帯水層(明世累層基底部, 土岐夾炭累層基底部など)および花こう岩風化部への水圧計の設置および観測を実施する。ここで取得されたデータは、地下水流動解析における境界条件や初期条件の設定、さらに解析結果の検証などに利用する。

(b) 平成 13 年度以降

平成 13 年度以降に掘削される MIU-5 号孔（深度約 1,500m）においては、主として 1,000m 以深の水理学的特性を把握し、地下水流動解析で設定してきた 1,000m 以深の境界条件の妥当性を確認する。また、同試錐孔の掘削により、地上物理探査で捉えられている AN-1 号孔と MIU-1 号孔の間に推定されている不連続構造の水理学的特性を把握し、水理地質構造モデルの更新に資する。また、MIU-2 号孔を揚水孔とした長期揚水試験を実施し、同試錐孔の特定の区間から生じた水理的なインパクトを周辺試錐孔に設置された MP システムを用いて観測することにより、割れ目(帯)の水理学的な連続性を把握する。この試験結果を用いて、既存の水理地質構造モデルの妥当性について検証し、水理地質構造モデルの更新を行う。長期揚水試験終了後は、研究坑道掘削前の定常状態の水圧分布を把握するため、水理学的なインパクトを与えることなく、MP システムによる観測を継続する。

また、研究坑道掘削が花こう岩風化部および堆積岩に与える水理学的な影響を把握するために、平成 12 年度より継続し、瑞浪層群の主要な帯水層(明世累層基底部, 土岐夾炭累層基底部など)および花こう岩風化部における水圧観測を実施する。

最終的に、全ての取得したデータを集約し、地質・地質構造および地下水の地球化学の取りまとめ結果と合わせ、水理地質構造モデルを作成するとともに、地下水流動解析などを実施し、研究坑道掘削に伴う地下水流動の変化を予測する。

3. 2. 2 検討

水理地質構造モデルは、地質構造モデルに透水性などの水理学的な情報（物性値）を与えることによって構築され、そのモデルを用いて、研究実施領域の地下水流動の把握および研究坑道掘削に伴う地下水流動の変化の予測のための地下水流動解析が実施される。

水理地質構造モデルと地下水流動解析結果の妥当性は、表層・深層水理調査データ、間隙水圧の長期観測データや研究坑道への湧水量、さらに地下水の水質・年代などのデータとの比較により評価される。

本計画の第 1 段階においては、平成 12 年度の MIU-4 号孔における試錐調査の結果、

平成 13 年度以降に実施する長期揚水試験結果により、既存の水理地質構造モデルの妥当性を評価し、地下水流動解析結果の検証を行う計画である。また、研究坑道の掘削前までに同掘削が地下水流動に与える影響の予測解析を行うこととしている。

地下水流動のシミュレーションにおいては、研究実施領域における、①解析手法、②地質構造要素の物性値の設定方法、および③境界条件の設定方法が重要な観点として考えられる。したがって、平成 12 および 13 年度は、主に平成 11 年度までの成果をもとに、上記①～③の観点から複数の解析ケースを設定し、水理地質構造モデルの構築、地下水流動解析の実施、および水理地質構造モデルの更新をマイルストーン（調査研究の区切り）ごとに行うことにより、第 1 段階における最適な水理地質構造モデルの構築手法および地下水流動解析手法を開発する。

(a)平成 12 年度

- ・ MIU-3 号孔までの情報をもとに、水理地質構造モデルおよび地下水流動解析に必要なデータセットの作成を行う。
- ・ 上記の①～③の観点を指標に必要な解析ケースを設定する。
- ・ 作成したデータセットを用いて、各解析ケースごとに、水理地質構造モデルを構築する。
- ・ 長期揚水試験予測のための地下水流動解析を実施する。

(b)平成 13 年度以降

- ・ MIU-4 号孔における試錐孔調査および長期揚水試験までの情報をもとに、長期揚水試験予測のための水理地質構造モデルおよび地下水流動解析結果の妥当性の確認を行う。
- ・ MIU-3 号孔における試錐調査までの情報をもとに作成した、水理地質構造モデル構築および地下水流動解析に必要なデータセットに、MIU-4 号孔における調査結果および長期揚水試験結果を付加し、データセットを更新する。
- ・ 長期揚水試験予測のための水理地質構造モデルおよび地下水流動解析結果の妥当性の確認結果に基づき、平成 12 年度に設定した解析ケースの絞り込みを行う。
- ・ 更新したデータセットを用いて、各解析ケースごとに、水理地質構造モデルを更新する。
- ・ 更新した水理地質構造モデルを用いて、研究坑道掘削予測のための地下水流動解析を実施する。
- ・ MIU-5 号孔掘削後は、同孔における各種調査の情報を付加し、同様の作業を継続する。

3. 2. 3 予測結果の評価手法

海外の先行事例などを参考にして第 1 段階で予測すべき項目（地下水流動を規制する主要因子）を抽出するとともに、検証方法（データの取得方法）についても決定する。この際に考慮すべきことは、抽出される項目が第 2 段階で検証可能（取得可能）な項目か否かである。また、予測結果の妥当性についても定量的な裏付けに基づいて評価する方法を確立する。

評価方法の一例として、スウェーデンの HRL では、地表段階で抽出された主要な水みちを決定論的に水理地質構造モデルに取り込み、これに基づいて地下水流動解析を

実施した(Rhen et al.,1997a)。ここでは、解析結果の検証項目として、研究坑道への地下水の流入量を取り上げている。具体的には、研究坑道への総流入量、研究坑道（斜坑およびスパイラル坑道）沿いに出現する水みちからの流入量、および予め設定した堰における流入量である。なお、結果の検証は定性的な評価にとどまっている。

本計画における評価項目としては以下の2点が考えられる。

- ・研究坑道への地下水流入量
- ・研究坑道掘削に伴う既存試錐孔における水圧変化

研究坑道への地下水流入量については、出現が予想される水みちからの流入量および予め設定した区間での流入量ならびに総流入量についての予測が可能と考えられる。流入量の測定は、研究坑道壁面と壁面にライニングされるコンクリートの間にシートを挟み、シートと壁面の間を流れる地下水を、所定の深度に設定した集水リングにより集め、流入量を測定する方法が考えられる。また大量の湧水が予想される割れ目（帯）については、複数の先進試錐孔を掘削し孔間水理試験を行うことにより湧水量を把握する。湧水量を把握した後は、グラウチングによる止水を行う。この流入量を事前予測解析結果と比較することにより、予測の妥当性を検証する。

研究坑道掘削に伴う既存試錐孔での水位低下量は、研究坑道掘削前に既存試錐孔に設置したMPシステムにより測定する。MPシステムによる水圧観測の最終的な区間は研究坑道掘削前に実施される長期揚水試験と当該試験の予測解析結果などに基づいて決定することが考えられる。研究坑道掘削に伴う既存試錐孔での水位低下量を予測解析と比較することにより予測の妥当性を検証する。

妥当性の検証については可能な限り定量的に行う方法を検討する。

3. 2. 4 調査・解析技術の最適化

地下深部までの地下水流動現象を合理的かつ効率的に予測するために必要な品質管理されたデータの取得、データセットの整備・検討を行い、その一連の作業をとおして調査・解析技術の最適化を行う。

具体的には、①地下水流動解析に必要な生データの取得およびデータセットの品質管理、②得られたデータに基づく水理地質構造モデルの構築、地下水流動解析の実施、ならびに結果の評価を行い、それらをもとに最適化されたデータ取得手法および地下水流動解析手法の構築を行う。

4. 地下水の地球化学に関する調査・研究

4. 1 目標

研究実施領域における深部地下水の地球化学特性の三次元的分布を把握し、水-岩石反応試験や理論解析などの結果と合わせて地球化学モデルを構築する。

4. 2 実施内容

4. 2. 1 調査内容

本研究と同じ土岐花こう岩を対象とした広域地下水流動研究では、土岐花こう岩中の地下水の物理化学パラメータ、化学組成および同位体組成の深度分布が把握されつつあり、これまでの知見をもとに、地球化学モデルの構築を行った。しかしながら、現在の地球化学モデルでは、地質構造要素（特に、透水性割れ目および断層）と地下水の地球化学特性との関係は明確になっておらず、地球化学モデルを用いて地下水流動解析結果の妥当性を確認するためには、透水性割れ目や断層などの地下水流動を規制する地質構造要素の分布と地下水の地球化学特性を把握することが必要不可欠である。また、深度 1,000m 以深の花こう岩中の地下水の水質形成機構や年代値などに関するデータを取得することも必要である。

第2フェーズにおいては、降水および河川水の採取および分析を継続し、水質や環境同位体などに関するデータを取得する。また、既存の試錐孔における採水・分析を継続するとともに、新規試錐孔や長期揚水試験においても地下水を採取し、分析を実施する。また、固相を対象とした調査として、地下水水質形成を支配する主要な水-岩石反応メカニズムの抽出、および地下水の年代測定値の補正を行う。

(1) 地表水・降水を対象とした地球化学調査

研究実施領域内において、地下水水質形成機構および年代・起源を把握する際の、初期条件を設定するために、表層水理観測地点において降水および河川水を採取し、水質や環境同位体などに関するデータを取得し、その季節変動幅を把握する。

(2) 地下水を対象とした地球化学調査

(a) 平成 12 年度

MIU-4 号孔においては試錐掘削と並行して地下水採水を行い、現場および室内での主要溶存成分、微量溶存成分、溶存ガス、環境同位体、微生物、有機物についての分析を行う。

既存の試錐孔（MIU-1～3 号孔）においては、MP システムの設置後に採水を行い、各種の分析（分析項目については同上）を実施する。ただし、採水を行う時期については、MIU-4 号孔における試錐掘削などによる水圧応答観測（3.2.1 参照）を優先した工程とする。また、干渉試験や長期揚水試験などで採取する地下水の分析（分析項目については同上）を行い、地球化学データセットを充実させる。

(b)平成13年度以降

MIU-5号孔において深度1,000m以深の花こう岩中の地下水を対象として、その地球化学特性の把握を目的とした調査を実施する。

また、平成12年度に引き続き、既存の試錐孔において採水を行い、各種の分析を実施する。干渉試験や長期揚水試験などで採取する地下水についても同様の分析を行い、地球化学データセットを充実させる。

(3) 固相を対象とした地球化学調査

地質・地質構造に関する調査研究で行う固相を対象とした岩石学的調査、鉱物学的調査、地球化学的調査、年代測定の結果を基礎情報として、地下水水質形成を支配する主要な水-岩石反応メカニズムの抽出、地下水の年代測定値の補正を行う。主要な水-岩石反応メカニズムの抽出にあたっては、室内における水-岩石反応試験結果との比較を行い、液相（地下水）の水質などから考察した水-岩石反応の妥当性を確認する。

4. 2. 2 検討

(1) 化学組成分布の推定

地下水の地球化学データの理論解析結果、地下水水質形成を支配する水-岩石反応から、研究領域内における地下水地球化学特性の三次元分布を推定する。

(2) 地下水の地球化学モデルの作成

前述の調査により取得した地球化学データを取りまとめ、それをもとに地下水の地球化学特性の三次元分布に、地質構造要素を加えた地球化学モデルを構築する。

研究坑道掘削に伴う地下水流動の変化の予測結果と地球化学モデルを利用して、地下水の地球化学特性の変化を予測する。

4. 2. 3 予測結果の評価手法

下記の検討で選定される予測可能な項目について、その値の空間的な分布を、地下水流動の変化の予測結果を利用して予測し、観測で取得されるデータとの比較を行うことにより、予測の妥当性を確認する。具体的には、坑道掘削中に実施する試錐孔（地表から掘削した試錐孔）における地下水の採水により取得するデータを予測値と比較することにより、予測結果の妥当性を確認する。

研究坑道の掘削によって生じる現象の一つに、地下水圧力の低下やその結果としての地下水流動の変化が考えられる (Rhen et al., 1997a)。地下水の地球化学特性の分布は、地下水流動と密接に関連しており、地下水流動の変化により、地下水の地球化学特性の分布も変化することが想定される。また、研究坑道掘削に伴う地下水位の低下により、地下水により飽和していない岩盤中に大気が侵入し、地質環境の酸化還元条件も変化すると考えられる (Rhen et al., 1997b)。

研究坑道掘削に伴う変化を予測するためには、予測すべき項目の抽出および予測可

能な項目の選定を第1段階で行う必要がある。それぞれの実施方法は以下のとおりである。

- ・ 予測すべき項目

第1段階で掘削される試錐孔を利用して採取する地下水を対象に、分析を計画している項目・成分の全てが対象となる。

- ・ 予測可能な項目の選定

第1段階における調査の結果として得られる地下水の地球化学特性の三次元分布をもとに、例えば地表水と地下水で有意な差がない成分、分析などの品質が担保できない（精度が悪い）成分を除外することにより、予測可能な項目の選定（絞り込み）を行う。

4. 2. 4 調査・解析技術の最適化

地下深部までの地下水の地球化学特性の三次元的分布を合理的かつ効率的に予測するために必要な品質管理されたデータの取得、データセットの整備・検討を行い、その一連の作業をとおして調査・解析技術の最適化を行う。

具体的には、①モデル化に必要な生データの取得およびデータセットの品質管理、②得られたデータに基づく地球化学モデルの構築を行い、それらをもとに最適化されたデータ取得手法および地球化学モデルの構築手法の評価を行う。また、第1段階における調査試験の実施に必要な要素技術（試錐孔を利用して地下水を採取・分析する技術、水質形成機構を解明するための技術、地下水の水質などの分布を推定する技術）を組み合わせ最適化された地球化学特性調査手法の構築を行う。

5. 岩盤の力学特性に関する調査・研究

5.1 目標

本研究は、土岐花こう岩体を例として、結晶質岩中に掘削した空洞の短期・長期にわたる物理的安定性や地下深部における空洞掘削に伴う応力集中による坑道周辺岩盤の破壊現象など、岩盤の力学的挙動を予測・調査・評価する手法およびそれらを合理的かつ的確に研究坑道の設計・建設へ反映するための技術の構築を目標とする。

5.2 実施内容

第1フェーズの調査によって、地表から深度約 1,000m までの範囲で岩盤の諸物性（熱物性、力学物性）や初期応力状態の異なる三つのゾーンが存在することが把握された。しかしながら、月吉断層による岩盤の諸物性や初期応力状態への影響が把握されておらず、亀裂性岩盤の空洞安定性評価に必要となる割れ目面の力学物性についてもデータが得られていない。また、現段階の水圧破碎法による初期応力では、鉛直方向を最大主応力方向と仮定しているが、MIU-2 号孔における同手法による応力測定結果からは、深度約 600~700m の区間で主応力軸が鉛直方向と一致していないことを示すデータが得られている。

第2フェーズの調査では、断層周辺の力学物性、割れ目面（透水性割れ目とそれ以外の割れ目）の力学特性を把握する。これらのデータによって、正馬様洞用地内の三次元的な岩盤力学モデルを構築するとともに、研究坑道掘削に伴う周辺岩盤の挙動の予測を行う。

5.2.1 調査内容

(1) 力学特性調査

AN-1 号孔および MIU-1~3 号孔で実施した力学的調査によって、月吉断層上盤側の岩盤の応力状態および岩石物性の分布（松井, 1999; サイクル機構, 1999c）と、月吉断層下盤側の岩盤の力学特性に関する情報が一部得られている。MIU-4 号孔においては、月吉断層が岩盤の力学特性に与えた影響を評価するための室内力学試験(DSCA法)を実施するとともに、応力測定(AE法)を実施する。また、不連続性岩盤の解析に不可欠な、割れ目の力学特性に関する情報を得るため、透水性割れ目と非透水性割れ目の2種類を対象に、ジョイントせん断試験を実施する。また、これまで力学特性調査で用いた調査手法に関してその適用性を評価する。

(a) 平成12年度

・MIU-4号孔における力学特性調査

月吉断層上盤側の断層周辺の力学的な物性変化ゾーンを把握するための応力測定の一部(AE法)を実施する。

・月吉断層およびその周辺部の力学特性の予備評価

MIU-2, 3号孔で実施している孔内検層の結果を用いて、月吉断層部とその周辺部の力学的特性を予備的に評価する。

・ジョイントせん断試験

対象となる土岐花こう岩内部に分布する代表的な割れ目を抽出し、その力学特性を室内試験によって把握する。対象とする割れ目は、高透水性割れ目とされている割れ目とそれ以外の割れ目の2種類とする。

(b)平成13年度以降

・MIU-4号孔における力学特性調査

月吉断層上盤側の岩盤の断層周辺の力学的な物性変化ゾーンを把握するため、DSCA法による室内試験を実施する。

また、平成13年度以降のその他の実施内容については、それまでの成果の取りまとめ結果を踏まえて決定する。

5.2.2 検討

前述の調査結果をもとに、月吉断層を挟む断層上盤下盤の岩盤内部の力学特性（強度・変形特性）や初期応力の分布特性を表す岩盤力学モデルを構築する。構築された岩盤力学モデルを用いて、研究坑道掘削時の岩盤の変位挙動や再配分応力の分布および塑性域の範囲を予測する。予測に使用する解析手法は、大規模地下空洞掘削時の力学解析ならびに釜石原位置試験において適用実績のある、不連続面の影響を考慮可能な数種類のモデル（クラックテンソル、MBC、3DECなど）を用いる。

また、岩石ブロックが使用可能な大型室内試験装置を用いて花こう岩ブロックによる室内試験を実施し、掘削や応力集中などによる破壊現象とそれに伴う岩盤物性の変化のメカニズムを検討するとともに、岩盤の破壊に伴う物性変化を予測するための数学モデルを開発する。開発された手法の検証は、第2段階以降に予定されている坑道掘削影響試験などにおいて実施する。

(1) 岩盤力学モデルの構築

(a)平成12年度

平成11年度までに取得される情報を用い、月吉断層を挟む断層上下盤の岩盤内部の力学特性（強度・変形特性）や初期応力の分布特性を表す岩盤力学モデルを構築する。

(b)平成13年度以降

取得される情報を用い、適宜、月吉断層を挟む断層上下盤の岩体内部の力学特性（強度・変形特性）や初期応力の分布特性を表す岩盤力学モデルを更新する。

(2) 研究坑道建設による施設周辺岩盤の変形挙動などの予測解析

(a)平成12年度

海外の地下研究施設における掘削影響試験で適用実績のある Examine3d コード（三次元弾性境界要素法コード）を用い、現段階での研究坑道の建設レイアウトを考慮し、研究坑道掘削時の坑道周辺岩盤の変形挙動などに関する予備的な解析を実施する。解析結果は、第2および第3段階に予定されている試験研究の計画策定に反映する。

(b)平成 13 年度以降

等価連続体や不連続体モデルなどを適用した研究坑道掘削時の周辺岩盤の変位や塑性域の範囲を予測する解析を実施する。

(3) 掘削影響のモデル化に関する室内ブロック試験による基礎的研究

(a)平成 13 年度以降

岩石ブロック供試体（高さ 50cm×幅 50cm×奥行 30cm 程度）が扱える規模の室内試験装置を用いて、実際の地下深部での坑道掘削を模擬した試験を実施し、応力集中により坑道周辺に形成される損傷領域の発生メカニズムの解明やそれを数学的に表現しうるモデルを構築するための基礎的研究を開始する。

前述の室内試験の結果を踏まえ、岩石ブロック供試体を用いたせん断試験を実施するとともに、使用した岩石ブロックより供試体を採取し、応力履歴を受けたブロック供試体内部の構造変化やその影響による物性変化の計測を実施する。また、応力による岩盤損傷のモデル開発も並行して実施する。

5. 2. 3 予測結果の評価手法

岩盤力学に関しては、地下空洞掘削時の周辺岩盤の挙動やその物性変化を把らえることによって予測結果の妥当性を検証することが一般的である。なお、海外の地下研究施設では、物性値分布の予測という観点から、岩盤分類法の一つである RMR(Rock Mass Rating)の値の分布を予測した事例はあるが、施設全体を対象とし建設時に生じる岩盤の変位挙動などの予測解析を行った事例はない。

地表からの調査段階におけるモデル化ならびに数値解析により得られる予測結果は、具体的には、岩盤の力学的特性の三次元的な分布（岩石の物理的・力学的物性および初期応力状態）および地下施設建設に伴って生じる施設近傍の岩盤の変形挙動および応力変化ならびに応力集中に伴う岩盤の損傷範囲（塑性域の範囲）である。前者は予測解析に使用した岩盤力学モデルを意味し、後者はそれを用いた予測解析により得られる結果を意味する。予測の評価は、岩盤力学モデルと予測結果の両方を検証する必要がある。これは、後者だけを検証データと比較して整合性が認められない場合、原因を特定し改善することが困難なためである。第 2 段階以降に実施する予測結果の評価方法の概要を以下に示す。

i) 予測の検証において必要となるデータ

地表からの調査段階における予測結果を検証するうえでは、以下の二種類のデータが必要になると考えられる。

1) 岩盤力学モデルの検証に必要なデータ

岩盤力学モデルは、試錐孔調査から得られた物性値に解釈を加え三次元的に分布させたモデルであるため、この検証データは、実際に三次元的に展開された坑道周辺岩盤中の力学的特性（岩石の物理的力学的物性および初期応力分布）となる。

2) 予測解析結果の検証に必要なデータ

解析の結果として得られる、坑道周辺岩盤の挙動（マトリックス部と割れ目のそれぞれの変位およびそれらの複合した全体変位）、応力再配分現象による応力

変化の程度と範囲および応力集中に伴う岩盤の破壊領域（塑性域）の範囲が主な検証データとなる。

ii) 予測結果の評価方法

1) 岩盤力学モデルの評価

予測に用いた岩盤力学モデルにおける物性ゾーンの区分，各ゾーンごとに設定した物性値や境界条件として与えた初期応力分布などを検証データと比較する。初期応力分布に関しては，坑道掘削位置によっては月吉断層の影響を大きく受けている可能性もあり，この場合には，断層の影響が考慮された坑道掘削前の三次元応力分布の予測解析結果が比較対象となる。

2) 予測解析結果の評価

1)の評価で，岩盤力学モデルの評価から予測解析までの過程が妥当であると判断された場合は，i) 2)で示した坑道周辺の変形挙動などと予測解析結果との比較・評価を行う。

3) 再解析およびその結果の評価

仮に，1)の評価段階で検証データと予測段階での岩盤力学モデル自体に定性的に著しい食い違いが見られる場合は，予測解析結果は原位置岩盤の変形挙動などを表現できていない可能性が高いため，1)の評価時に使用したデータによりモデルを再構築し，再解析を行ったうえで2)の段階へ進む。もし，2)の段階で岩盤の挙動と予測結果が定性的に異なる場合は，モデル上考慮されていない現象によりその差が生じたと考えられるため，差を生じた原因を把握し，可能であればモデルに把握された原因を組み込み再解析を実施する。岩盤の挙動と予測結果が定性的に一致し，定量的に異なる場合には，予測解析において設定した各物性値を1)のデータに基づき見直し再解析を実施する。

このような作業過程を経ることにより，調査から岩盤力学モデルの構築，予測解析に至る一連のプロセスの妥当性，地表からの調査段階で取得すべきデータ項目や精度，および岩盤力学モデル構築のために必要となる調査手法の最適化が可能となる。

5. 2. 4 調査・解析技術の最適化

地下深部までの岩盤の力学特性（物性値分布および応力分布）を合理的かつ効率的に予測するために，適用した個別の調査手法の有効性を検討するとともに，その結果に基づき岩盤力学的な観点からの岩盤力学モデルの評価・更新を試錐孔ごとに反復する。この一連の作業をとおして，岩盤力学的な調査を行ううえでの最適な調査手法の組み合わせなどに関する検討を行う。

6. 物質移行に関する調査・研究

6. 1 目標

本研究は、土岐花こう岩体を例として、結晶質岩中における物質の移行・遅延特性の把握およびそれらを合理的かつ的確に評価する調査・解析技術の構築を目的とする。

6. 2 実施内容

結晶質岩中における物質移行・遅延プロセスは主に水みち（特に、透水性割れ目）に規制されるため、本研究では土岐花こう岩中の主要な透水性割れ目を調査・研究の対象とする。第1フェーズにおいては、地質学的調査の一環としてそれらの地質学的な情報（位置・方向性・鉱物学的特性など）が取得された。第2フェーズにおいては、これまでに釜石原位置試験などで確認した研究手法(Amano et al,1999, Ota et al.,1999b)を適用して本研究を本格的に実施し、試錐孔ならびに岩芯を利用した調査により、物質移行に関わる地質学的、水理学的、および地球化学的情報の取得・整備を実施し、物質移行特性に関する基礎情報を室内試験・分析により取得する。取得された情報は、坑道掘削段階以降に予定されている原位置トレーサー試験の設計および物質移行解析に資するデータセットとして整備するとともに、それらの品質管理、不確実性の評価をとおして最適化されたデータ取得方法を構築する。また、調査・解析技術の適用性の確認や方法論（ノウハウ）の構築を行う。

6. 2. 1 調査内容

第2フェーズにおいては、試錐孔における透水性割れ目およびその近傍岩盤を対象に、物質移行特性に関する基礎情報を取得する。基礎情報としては、鉱物学的特性、空隙特性、収着・拡散特性などがあり、それに対応した水理特性や地球化学特性に関する情報についても整備する必要がある。また、岩芯試料を用いたナチュラルアナログ研究を実施し、地質学的に長期間にわたる物質の移行・遅延特性についての情報を取得する。

(1) 室内調査・分析

(a)平成12年度

・MIU-4号孔の岩芯を利用し、透水性割れ目およびその近傍岩盤における鉱物学的特性、空隙特性を把握するための室内調査・分析を行う。

(b)平成13年度以降

・MIU-5号孔の岩芯を利用し、透水性割れ目およびその近傍岩盤の鉱物学的特性および空隙特性の取得・整備に加え、収着・拡散特性に関する情報を取得する。最終的には、取得された全情報を取りまとめ、それらをもとに原位置トレーサー試験の詳細計画および物質移行解析の設計を行う。

(2) ナチュラルアナログ研究

・天然ウラン系列核種や希土類元素の分布調査などの地球化学的調査を実施し、透

水性割れ目およびその近傍岩盤におけるマトリックス拡散に関する情報を取得する。

6. 2. 2 調査・解析技術の最適化

坑道掘削段階以降に予定されている原位置トレーサー試験および物質移行解析に必要なデータセットの整備・検討を行い、その一連の作業をとおして調査・解析技術の最適化を行う。具体的には、①データセットの品質管理および②不確実性の評価を行い、それらをもとに最適化されたデータ取得手法の構築を行う。

7. 調査技術・調査機器の開発

7. 1 目標

清水を用いた試錐技術、深度約 1,000m までの地質環境を対象とした地下水調査技術、割れ目の分布や掘削影響領域を（非破壊で）把握するための物理探査技術の開発と改良を主な目標として、各研究分野で必要とされる調査技術・調査機器を開発する。また、開発された個々の調査・解析・評価技術の汎用性について検討し、適用条件や適用範囲を明確にする。

7. 2 実施内容

本計画の各研究分野で必要とされる調査技術・調査機器の開発として、以下の項目が挙げられる。

- ①試錐掘削技術開発
 - ・リバース式三重管ワイヤライン工法の開発
 - ・部分保孔装置の開発
- ②地質構造調査技術開発
 - ・弾性波トモグラフィ調査技術開発
 - ・既存技術の適用性評価
- ③地下水の水理特性・地球化学特性調査技術開発
 - ・1,000m 対応水理試験装置、1,000m 対応地下水の地球化学特性調査機器の改良・高度化
 - ・1,000m 対応揚水試験装置の改良・高度化
 - ・1,000m 対応地下水の長期モニタリング装置の開発
 - ・水理試験データの解析手法の高度化
- ④岩盤の力学的特性調査技術開発
 - ・1,000m 対応初期応力測定装置の開発
- ⑤坑道の掘削を伴う調査研究段階以降に必要となる調査技術・調査機器の開発
 - ・連続波レーダー調査技術開発
 - ・研究坑道壁面調査システムの開発
 - ・正弦波水理試験システムの開発
 - ・トモグラフィデータの解析手法の高度化
 - ・試錐孔間水理試験装置の改良・高度化
 - ・原位置トレーサー・水理試験装置の開発・改良
- ⑥データベースの構築
 - ・調査データ用データベースシステムの構築
 - ・工程管理用データベースシステムの構築
- ⑦地質環境データ解析・可視化システムの構築
- ⑧情報公開技術の開発
 - ・VR システムの構築
 - ・説明用模型の製作

以下にこれらの概要および第1フェーズにおける開発状況、ならびに第2フェーズにおける開発計画を示す。

7. 2. 1 試錐掘削技術開発

(1) リバース式三重管ワイヤライン工法の開発

岩盤の水理学的特性や地下水の地球化学特性を極力乱さないためには、試錐孔の掘削の際に掘削流体に清水を利用することが望ましいが、その際、泥水を利用する場合に比べ孔内崩壊が発生しやすい。その対策として、清水とスライムの両方をロッド内に通すことにより、これらの孔壁との接触を防ぎ、孔壁の崩壊を最小限にとどめるリバース式三重管ワイヤライン工法を開発する。

平成11年度に実施した詳細設計の設計変更の完成をもって、開発に区切りをつけた。今後、利用される現場の特性に応じて必要な改良を検討する。

(2) 部分保孔装置の開発

部分的な孔内崩壊に対応するため、部分保孔装置を開発する。部分保孔装置は、部分拡孔ビット、部分ケーシングおよび部分ケーシング挿入装置から構成され、新規試錐孔の掘削のみならず、調査中に崩壊した既存試錐孔の保孔技術やリーミング技術としても適用できる。

平成11年度に実施した適用試験をもって、開発に区切りをつけた。今後、利用される現場の特性に応じて必要な改良を検討する。

7. 2. 2 地質構造調査技術開発

(1) 弾性波トモグラフィ調査技術開発

地下深部での不連続面の広がりを把握するために、深度約1,000mの試錐孔を利用した、弾性波トモグラフィ調査の技術開発を実施する。

これまでに、非破壊震源の適用試験を完了し(篠原, 1999), 平成12年度以降は反射法, VSPとの対比などをおして、解析技術の高度化、特に波形情報を生かした解析技術の開発を行う。

(2) 既存技術の適用性の評価

地質構造調査における各種の既存調査技術の適用結果を取りまとめ、個々の調査・解析・評価技術の汎用性について検討し、適用条件や適用範囲を明確にする。

平成11年度に、これまでに実施した調査の予備的な評価と取りまとめを実施した。平成12年度以降は、これまでの取りまとめに、新たな調査を順次付加し、それらの相互比較と組み合わせの検討をとおして、調査技術の適用条件や適用範囲を明確にする。

7. 2. 3 地下水の水理特性・地球化学特性調査技術開発

(1) 1,000m 対応水理試験装置, 1,000m 対応地下水の地球化学特性調査機器の改良・高度化

地表から地下深部までの, 水理特性・地球化学特性に関する信頼性の高いデータを取得するため, 1,000m 対応および高温 (70 度) 対応の調査機器を開発する。

本装置は, 平成 11 年度までに所期の開発を完了した (中嶋ほか, 1999a; 中嶋ほか, 1999b; 島崎ほか, 1998; 島崎ほか, 1999)。今後, 必要に応じて, さらに深部・高温への対応のための改良を検討する。

(2) 1,000m 対応揚水試験装置の改良・高度化

地表から地下深部までの代表的な水理特性に関する信頼性の高いデータを取得するための装置を開発する。本装置は平成 9 年度に製作を終了し, 平成 10 年度および平成 11 年度に実施した水理試験において活用した。平成 12 年度以降においても, 試験調査で実施する水理試験に本装置を活用するとともに, 試験区間上下の水圧および水温変化の測定を可能とするなど, 試験データの品質向上, 試験の効率化に関する改良を検討する。

(3) 1,000m 対応地下水の長期モニタリング装置の開発

1,000m 対応地下水の長期モニタリング装置は, 研究坑道の近傍など高差圧が発生するような水理環境下で間隙水圧の分布を長期間にわたり高精度に測定することを目的として開発した。同装置は平成 10 年度にプロトタイプ製作を終了し, 平成 10~11 年にかけて適応試験を実施した。

平成 12 年度以降は同装置の実用化に向けて, 上記適応試験により抽出した課題の解決 (例えば操作性の向上) や, 複数台製作することを念頭においたコスト低減方策の検討を実施する。

(4) 水理試験データの解析手法の高度化

試験調査で取得した試験データをもとに, 既存の解析手法の岩盤への適応性に関する検討を実施するとともに, 複雑な水理場で実施した試験データの解析手法の開発を実施する。

単孔式水理試験データの解析手法に関しては, 平成 10 年度までに, 既存の解析手法の適応性に関する検討と複雑な水理場での試験結果に適用可能な解析式の誘導を実施した。また, 平成 11 年度には, これまでに取得した試験データをもとに, これら解析式の適応性に関する検討を実施した。平成 12 年度以降は, これまでに得られた成果をもとに, 現場試験における試験手法の選択から試験データの解析までの水理試験技術の体系化を試み, 試験調査における水理試験に活用する。

7. 2. 4 岩盤の力学的特性調査技術開発

研究坑道掘削時の岩盤の力学的変形挙動などに関する研究や, 研究坑道の設計施工に必要な, 岩盤の初期応力データを取得するためには, 岩芯試料を用いる方法や試験孔における原位置試験などの種々の方法が提案され, 実際の測定に用いられて

いる。これらの方法は、それぞれに長所短所を有しており、地表から地下深部までを対象とした汎用性のある初期応力の測定方法が確立されているわけではない。したがって、既存の測定技術の評価をとおして、地表から地下深部までの岩盤の三次元初期応力に関するデータを取得することが可能な測定方法を開発する。

(1) 1,000m 対応初期応力測定装置の開発

平成9年度までに実施した既存技術の評価により、原位置における応力解放法を用いた測定装置を開発する方針とし、平成10年度は装置の設計を行った。平成11年度は装置の一部（ひずみゲージセルおよび耐圧容器）を製作した。

(a) 平成12年度

1,000m 対応初期応力測定装置のデータ収録部などの残りの部分を製作する。

(b) 平成13年度以降

製作した装置の作動確認試験を室内において実施する。その後必要に応じて改良を行い、最終的には原位置において適用試験を行う。

7. 2. 5 次段階以降に必要となる調査技術・調査機器の開発

(1) 連続波レーダー調査技術の開発

レーダートモグラフィ調査が適用されるスケールは、一般に数十 m 程度が限界であるが、信号に連続波を採用することにより、探査距離を拡大できる可能性がある。

これまでに、レーダー実験機を試作し、アンテナ特性の取得など基礎試験を実施した（鈴木ほか、1998）。平成12年度以降は、これらの基礎試験を継続するとともに、使用周波数をより低い周波数領域に拡大し、合成開口処理や存否セプストラム解析などを適用することにより、探査距離の拡大と空間分解能の向上の両立をはかる。

(2) 研究坑道壁面調査システムの開発

研究坑道掘削時における研究坑道壁面の地質学的観察により得られる情報は、地表からの調査予測結果を検証する重要なデータとなり、研究坑道周辺の地質環境を把握するうえでも非常に重要である。これまでにトンネル切羽調査システムなどの技術に関する情報収集を行い、各種の既存調査システムが実用レベルにあることが明らかとなったため、開発を終了した。

(3) 正弦波水理試験システムの開発

坑道の掘削を伴う調査においては、岩盤の平均的な水理特性のみならず、割れ目に着目した水理特性や水理学的な連続性などに関する情報を取得することが重要となる。正弦波水理試験は、坑道の掘削に伴い変化する複雑な場においても、信頼性の高いデータを取得できる有効な試験技術である。これまでに2孔間および3孔間での試験装置の製作を終了し、釜石鉱山における原位置試験研究に活用した（竹内ほか、1998）。

今後は、試験場近傍に存在する坑道床盤、坑道壁面の影響の考慮、実数次元を用いた場のモデル化、水理学的な連続性と水理特性の空間的な分布の推定方法など、試験データの解析手法に関する検討を実施する。

(4) トモグラフィデータの解析手法の高度化

坑道を利用した調査研究段階においては、複数の試錐孔を利用した各種のトモグラフィ調査が、地下深部での不連続面の広がり調査するうえで有効である。

平成 11 年度は、弾性波トモグラフィの分解能向上を目的としてフルウェーブインバージョンと呼ばれるデータ解析を実施し、他の調査・解析技術との比較検討を行い、今後の課題を抽出した。

平成 12 年度以降は、本解析手法の改良を行うとともに、本解析手法の適用に必要なとされるデータ品質の定量化とそのデータ品質を実現するためのデータ取得仕様を策定する。

(5) 原位置トレーサー/水理試験装置の開発・改良

釜石原位置試験において適用試験を行い、その有効性を確認した。原位置トレーサー試験装置ならびに原位置レジン注入試験装置（サイクル機構，1999d）について、試験装置の改良・高度化を行う。

平成 12 年度以降は、海外での先行事例（Ota et al., 2000）などを参考に、トレーサー試験システム、レジン注入システム、水理試験システムについて具体的な改良・高度化を行うための調査を行い、設計・製作の検討を行う。

7. 2. 6 データベースの構築

(1) 調査データ用データベースシステムの構築

本計画では今後、膨大な種類と量の調査データが取得される。データの効率的かつ有機的な利用のため、データを適切に管理するデータベースを構築し運用している。

(a) 平成 12 年度

データベースの運用を継続するとともに、データベースに最終的に登録する前の入力データの品質を担保するためのマニュアルおよび体制について、基本的な考え方を取りまとめる。

(b) 平成 13 年度以降

データベースの運用を継続するとともに、前年度取りまとめた入力データの品質を担保するためのマニュアルおよび体制についての基本的な考え方に沿って運用上の改善を施し、試行する。

(2) 工程管理用データベースシステムの構築

本計画においては、複数の調査および工事が同時に実施される予定である。これらは同じ敷地内で並行して実施されるため、それらの作業の工程を管理する必要がある。また、ある地点で取得された試験値・測定値は、同時に別の地点で行われている他の研究、試験や工事の影響を受けていることも想定される。この対策として、各作業の「現場での活動記録」を保存し、同時に行われた作業を確認することを可能とするためのデータベースを構築する。

平成 11 年度に引き続き、平成 12 年度以降においても本データベースの設計・構築を行い、その後、試行を行う。

7. 2. 7 地質環境データ解析・可視化システムの構築

本計画によりもたらされる地質環境に関する多種多量のデータに基づいて地質構造をモデル化し、地下水流動などの解析結果を三次元に可視化できる計算機システムを構築する。本システムは分野の異なる研究間に地質環境の認識の共有化を図ることのみならず、専門家以外への情報提供にも重要な道具となる。

平成 12 年度以降に、これまでに構築されたシステムが有する飽和不飽和浸透流解析コードに、研究をとおして得られた知見をもとに、割れ目の透水異方性などを考慮できる機能を追加する。

7. 2. 8 情報提供技術の開発

本計画を一般の方々にわかりやすく説明するため、VR（バーチャルリアリティー）技術や模型などを利用した情報提供を実現する。開発・製作内容としては本計画の情報提供活動の手段としての VR システムの構築、研究成果のイメージ化技術の開発、および説明用模型の製作がある。

(1) VR システムの構築

本計画において実施している調査研究について一般の方々の理解を促進させるために、平成 9 年度より本計画の情報提供活動の手段として VR システムの適用を開始した。平成 11 年度までに、本計画および研究所施設紹介のためのデスクトップパソコン用の「超深地層研究所の仮想体験」ソフトの開発と改良などを終えた。

平成 12 年度以降は、本計画の研究成果を紹介するソフトウェアの製作、本計画の進展に伴い必要となってくる VR 技術の開発などを実施する。

(2) 説明用模型の製作

本計画の内容を一般の方々に視覚的に伝えることを目的として、本研究所などの模型を設計、製作し、運用している。平成 11 年度までに、本計画の研究内容や坑道などが各研究段階ごとに推移していく様子を表現する模型を設計・製作し、改良した。また、地下深部の調査手法であるボーリング作業を、掘削水の循環、コアの採取および回収といった動きにより表現する模型を製作した。

8. 工学的技術

第1段階における工学的技術の研究項目は、研究坑道の設計や施工計画構築に関わる技術である。従来の地下施設の設計施工技術と異なり、深地層における地層科学研究を合理的かつ効率的に行うために研究坑道の設計を行い、それと並行して第2段階および第3段階における調査研究の計画を策定する必要がある。第2フェーズでは第1フェーズに策定した研究計画（案）について、第1段階第1フェーズで取得されたデータに基づき詳細に検討を加えることにより、研究計画を見直す。その結果をもとに研究坑道のレイアウトを具体化し、設計に反映させる。

8. 1 設計の基本的な考え方

第1フェーズにおいて検討された本研究所における研究の全体計画の検討手順は以下のとおりである。また、図7にそのフローを示す。

最初に本研究に求められる研究成果の検討結果に基づいて、調査研究項目の選定を行う。次いで、選定された項目をもとに、研究坑道の展開手順、ならびに、研究坑道の仕様決定方法を検討する。この検討において求められる要件として以下の項目が考えられる。

- (1) 選定した調査研究項目が研究成果目標を達成できること
- (2) 研究成果の統合化を踏まえた研究の展開であること
- (3) 研究実施に伴う施工の制約条件が明確にされていること

これらの要件を満足し、さらに第1段階で取得したデータおよび選定された調査研究項目をもとに研究坑道のレイアウトを具体化する。現時点でのレイアウトを図2に示す。このレイアウトについて、施工方法、施工設備および施工対策を検討することにより、施工工程を考慮した現実的な研究計画（案）の策定が可能となる。今後、図7に示す研究の全体計画の検討手順に従い、新規に取得されたデータを用いて繰り返し検討を重ねることにより、研究の全体計画を具体化していく。

ここで、上述の三つの要件について説明する。

- (1) 選定した調査研究項目が研究成果目標を達成できること

この要件については、以下の項目を考慮することが必要である。

①個々の調査研究のために必要な地質環境と場の条件

例えば、水みちとなる割れ目帯や断層と坑道の交差部など、主に「坑道の掘削を伴う研究段階」以降に調査研究を実施する場合の地質環境の条件。

②個々の調査研究の繰り返し回数

地表からの予測結果の確認、調査手法の検証は、中間ステージと最深ステージを利用することにより2回行うことが可能となる。また、深度依存性に関する調査研究は、複数の予備ステージあるいは中間ステージと最深ステージを利用し、できるだけ繰り返して多くの深度で実施することが必要となる。一方、想定外の地質環境と遭遇した場合やサイトに特有な地質環境が明確にされた後に実施する調査研究の繰り返し回数については、今後、各研究段階において得られる調査結果に基づき設定することになる。

③個々の調査研究に必要な期間

研究スケジュールの全期間をとおして実施する研究，坑道周辺の地質環境の調査にかかわる研究，深部の地質環境のデータ取得にかかわる研究，深地層における工学的技術の研究など，個々の研究を適切に実施するために必要な概略の期間を設定する。

(2) 研究成果の統合化を踏まえた研究の展開であること

この要件については，地質環境の総合的な調査技術の確立を目的として，個々の調査研究が対象とする地質環境（割れ目帯や断層など），調査研究の対象領域および実施時期（坑道掘削による影響の前後や影響の修復後など）を考慮したうえで，調査研究の組み合わせによる総合的な研究成果が期待できる展開とすることが重要である。

(3) 研究実施による施工の制約条件が明確にされていること

施工の制約条件については，調査研究から求められる施工工程，施工方法，坑内設備にかかわる条件などを明確にすることが重要である。研究坑道は，「坑道の掘削を伴う研究段階」，「坑道を利用した研究段階」をとおして施工される。両段階では，個々の調査研究の実施と施工が並行して行われるため，施工順序や工期は研究計画全体に大きく影響を及ぼす。また，施工すること自体が調査研究に影響を及ぼす場合も考えられるため，施工を中断する必要も生じる。調査研究から求められる施工工程，施工方法，坑内設備に関わる条件などを以下に示す。

①施工工程に関わる条件

調査研究の観点から施工を中断する，あるいは施工のサイクルに調査研究の実施工程を組み込むなどの条件

②施工方法に関わる条件

調査研究の観点から，研究の場となる坑道の施工方法を限定する条件

③坑内設備に関わる条件

調査研究の観点から，研究坑道の設備の仕様を限定する条件

④その他（施工の中断の判断に関わる事項）

割れ目帯や断層が坑道と交差することが予想される地点や，坑道の施工中に想定外の地質環境に遭遇した場合など，調査研究の実施の必要性から施工を中断する場合

8. 2 研究坑道の詳細設計と坑道の掘削を伴う研究段階の計画の策定

研究坑道において実施する調査研究項目は，これまでの国内外での研究成果を参考にしたうえで，本計画の目的や役割などを考慮して検討を行い，平成 11 年度までに抽出できた。研究坑道はこれらの研究を適切に実施できる場を提供するものであり，立坑，換気立坑および同一深度に水平に展開される坑道（ステージ）による構成となった。基本のレイアウトにおいてはステージは，最深ステージ，中間ステージ，予備ステージの三つを設けることとしている。

平成 12 年度以降は，それぞれの調査研究項目の目的，内容について詳細に検討し，第 2 段階以降の計画を策定する。詳細な検討にあたっては以下の 2 項目を考慮し，それらをもとに第 2 次取りまとめ報告書で示された今後の研究開発課題などの必要性も

踏まえ、最終的な研究計画とする。なお、これらの検討では、第3段階の研究計画も合わせて検討していくのが効率的であると考えられる。

①地表からの予測結果の検証

予測結果の検証方法で定めた内容に対して、これに必要な情報を取得するための調査。

②坑道スケールの地質環境モデルの構築

第1段階の地質環境モデル(施設スケール)をもとに、詳細な地質環境モデル(坑道スケール)を構築するために必要な調査。

研究坑道の詳細設計については、第1フェーズで作成した研究坑道の設計(案)をもとに、研究計画の見通しなどを考慮しつつ、最適な設計となるよう改めていく。また、地表および坑内整備や具体的な安全対策などについても検討を行い、研究坑道の建設に向けた現実的かつ詳細な設計を実施する。

(用語解説)

本計画書では、三つの用語（最適化、体系化、統合化）について、以下の定義で用いている。

(1) 最適化

本研究では、地質環境特性を、地質・地質構造、地下水の水理、地下水の地球化学、岩盤の力学特性および物質移行の研究分野ごとに区分しており、それらの研究分野ごとに、種々の調査・解析技術を適用し、その有効性を検討しつつ改良を加えることとしている。

それぞれの研究分野ごとに、調査・解析技術の有効性を検討しつつ、計画の枠組みの中で可能な範囲で改良を加えていく行為に「最適化」を用いる。

(2) 体系化

地質環境特性を明らかにするうえで、どのような調査・解析技術を選択し組み合わせしていくかを検討し、一つの調査方法として取りまとめる行為に「体系化」を用い、取りまとめられた状態に「体系的な」を用いる。

(3) 統合化

調査・解析を実施することにより、地質・地質構造、地下水の水理、地下水の地球化学、岩盤の力学特性、物質移行という研究分野ごとに地質環境特性が把握される。これに基づき、地質構造モデル、水理地質構造モデル、地球化学モデル、岩盤力学モデル、物質移行モデルという地質環境モデルが作成される（物質移行モデルの構築については、第2段階以降に行われる）。これらの地質環境モデルの間で互いに整合性のあることが確認されることによって、間接的に研究成果の妥当性が示される。同時に、研究実施領域の地質環境が包括的に理解される。

それぞれの地質環境モデルの整合性を確認する行為に「統合化」を用いる。

また、調査・解析技術の体系化と上記の統合化の双方に基づき、研究成果全体を取りまとめる行為にも、「統合化」を用いる。

以上

参考文献

Amano, K., Ota, K., Yoshida, H. and Semba, T. (1999) : Overview of fracture systems in the Kurihashi granidiorite at the Kamaishi Mine. In: Proceedings of an International Workshop for the Kamaishi In Situ Experiments, Kamaishi, Japan, 24-25 August 1998, pp.57-65, JNC Technical Report, JNC TN7400 99-007.

動力炉・核燃料開発燃事業団 (1996) : 超深地層研究所 地層科学研究基本計画, 動燃技術資料, PNC TN7070 96-002.

動力炉・核燃料開発燃事業団(1998) : 研究坑道掘削予定地点における試錐調査(MIU-1号孔), サイクル機構技術資料, JNC TJ7440 98-001.

原子力委員会(1994) : 原子力の研究, 開発及び利用に関する長期計画

核燃料サイクル開発機構 (1998) : 超深地層研究所 地表からの調査予測研究段階計画 平成10年度, 11年度研究計画書, サイクル機構技術資料, JNC TN7410 99-004.

核燃料サイクル開発機構 (1999a) : 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, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 99-020.

核燃料サイクル開発機構 (1999b) : 正馬様洞用地における試錐調査(MIU-2号孔), サイクル機構技術資料, JNC TJ7420 99-016.

核燃料サイクル開発機構 (1999c) : MIU-2孔における水圧破碎法による初期応力測定, サイクル機構技術資料, JNC TJ7400 99-014.

核燃料サイクル開発機構 (1999d) : 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 分冊1 わが国の地質環境, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 99-021.

松井裕哉 (1999) : AN-1孔およびMIU-1孔における力学的特性調査結果, サイクル機構技術資料, JNC TN7420 99-004.

中嶋幸房, 酒井幸雄, 笹尾昌靖 (1999a) : 1,000m対応地下水の地球化学特性機器 (高温環境型) の製作, サイクル機構技術資料, JNC TJ7440 99-002.

中嶋幸房, 酒井幸雄, 笹尾昌靖 (1999b) : 1,000m対応地下水の地球化学特性機器 (1号機) の改良, サイクル機構技術資料, JNC TJ7440 99-013.

Ota, K., Nakano, K., Metcalfe, R., Ikeda, K., Goto, J., Amano, K., Takeuchi, S., Hama, K. and Matsui, H. (1999a) : Working Programme for MIU-4 Borehole Investigations, JNC Technical Report, JNC TN7410 99-007.

Ota, K., Amano, K. and Ando, T. (1999b): Brief overview of in situ containment retardation in fractured crystalline rock at the Kamaishi in situ test site. In: Proceedings of an International Workshop for the Kamaishi In Situ Experiments, Kamaishi, Japan, 24-25 August 1998, pp.67-76, JNC Technical Report, JNC TN7400 99-007.

Ota, K., Alexander, W.R., Smith, P.A., Mōri, A., Frieg, B., Frick, U., Umeki, H., Amano, K., Cowper, M.M. and Berry, J.A. (2000) Building confidence in radionuclide transport models for fractured rock: the Nagra/JNC radionuclide retardation programme. In: Abstracts of 24th International Symposium on the Scientific Basis for Nuclear Waste Management, Sydney, Australia, 27-31 August 2000. (in press)

Rhen, I., Gustafson, G. and Wikberg, P. (1997a) : Äspö HRL - Geoscientific evaluation 1997/4, SKB Technical Report 97-05.

Rhen, I., Bäckblom G., Gustafson, G., Stanfors, R. and Wikberg, P. (1997b) : Äspö HRL - Geoscientific evaluation 1997/2, SKB Technical Report 97-03.

篠原信男 (1999) : 試錐孔内用震源 (スパーカー) の適用試験, サイクル機構技術資料, JNC TJ7420 99-006.

島崎 智, 山本泰司 (1998) : 地球化学検層ユニット (高温環境型) の製作, サイクル機構技術資料, JNC TJ7440 98-005.

島崎 智, 山本泰司 (1999) : 地球化学検層ユニット (1号機) の改良, サイクル機構技術資料, JNC TJ7440 99-014.

Stanfords, R., Olsson, P. and Stille, H. (1997) : Äspö HRL - Geoscientific evaluation 1997/3 Results from pre-investigations and detailed site characterization. Comparison of predictions and observations, Geology and Mechanical stability. SKB Technical Report 97-04.

鈴木敬一, 林 泰幸, 西山英一郎 (1998) : 連続波レーダートモグラフィの適用試験, サイクル機構技術資料, JNC TJ7420 98-005.

竹内竜史, 仙波 毅, 天野健治, 下茂道人, 青木智幸, 山本 肇 (1998) : 孔間水理試験装置の開発と現場適用例, 第 10 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, pp.725-730, サイクル機構技術資料, JNC TN7413 97-024, 97-145.

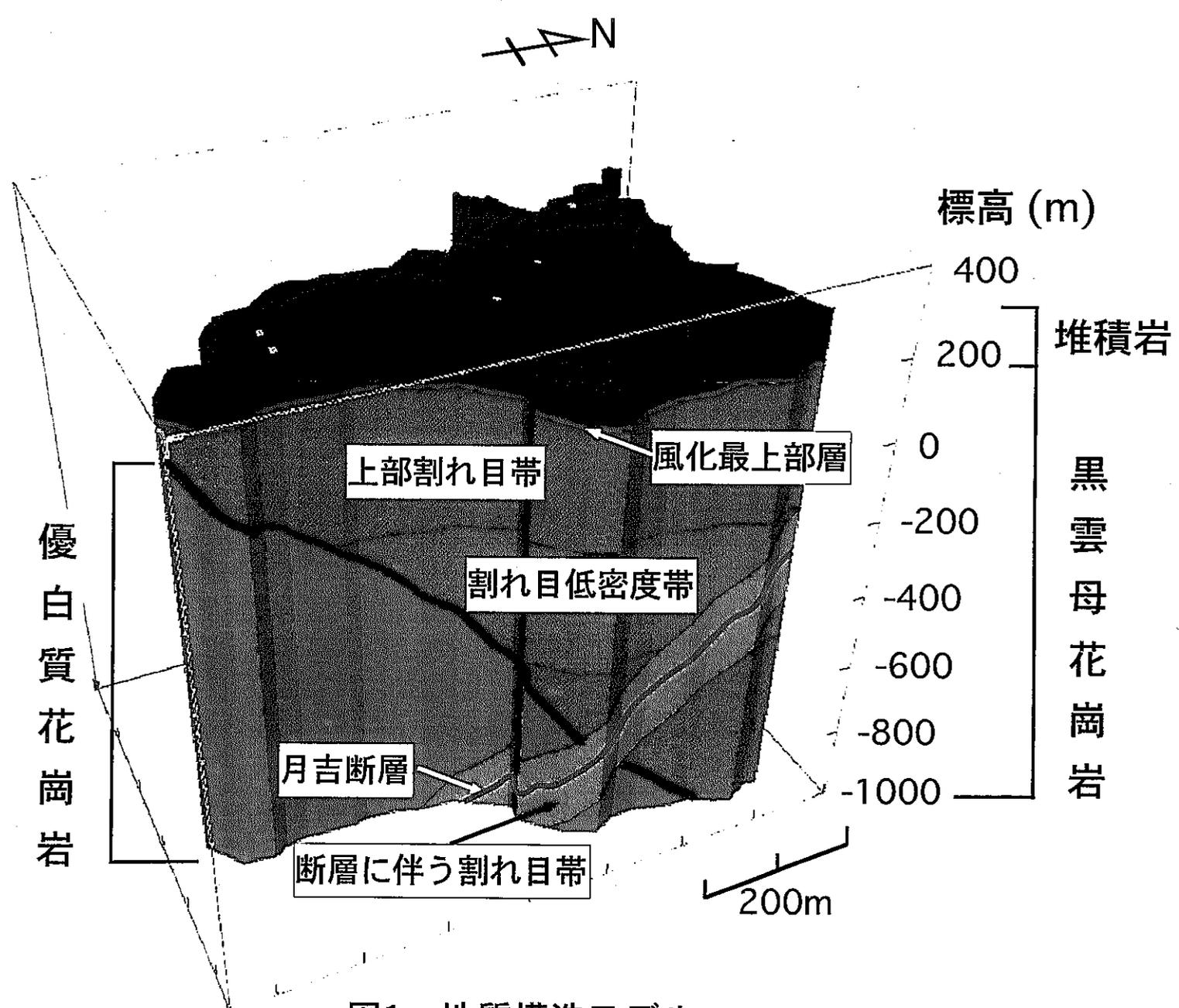


図1 地質構造モデル

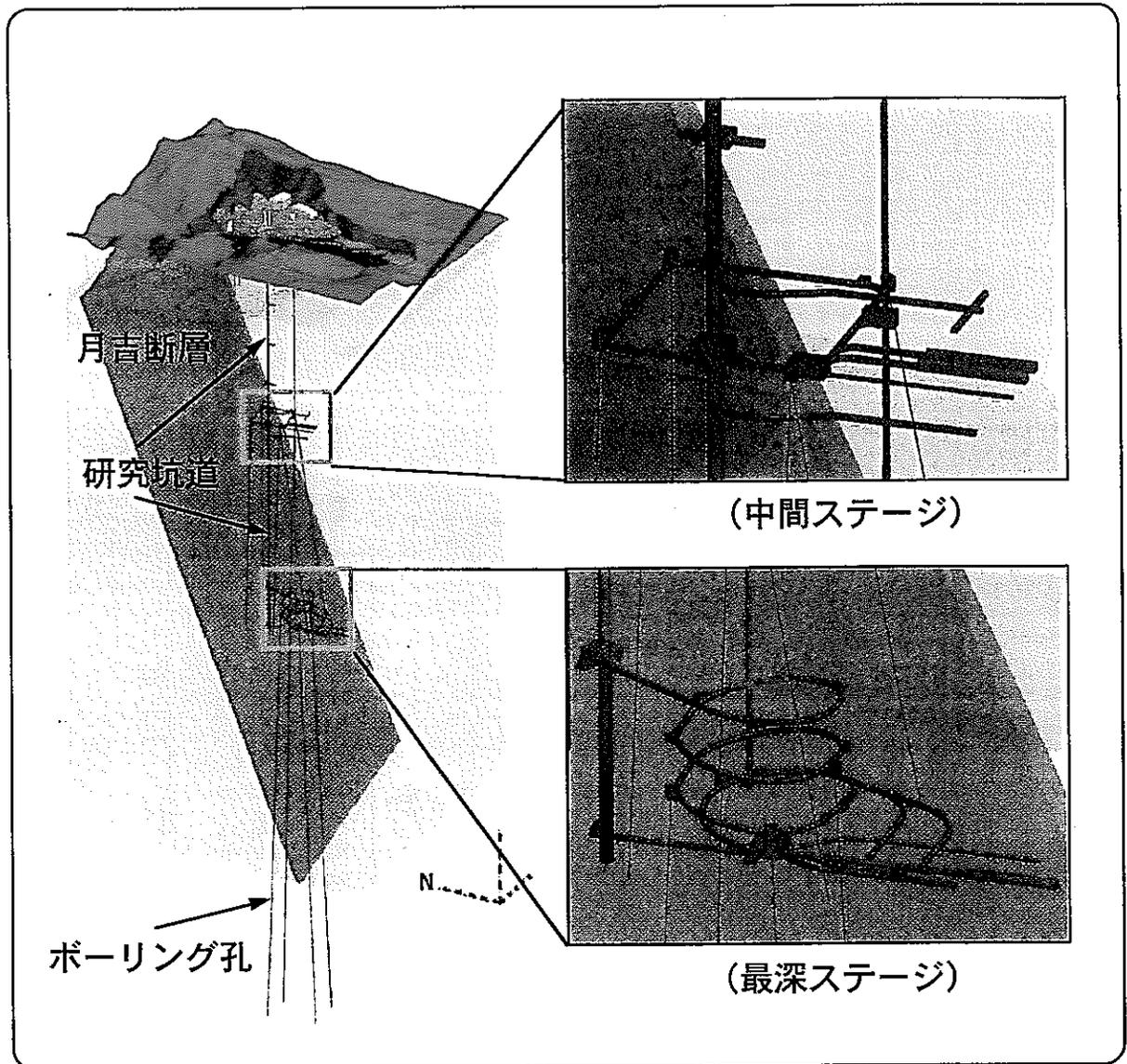


図2 研究坑道の設計レイアウト (案)

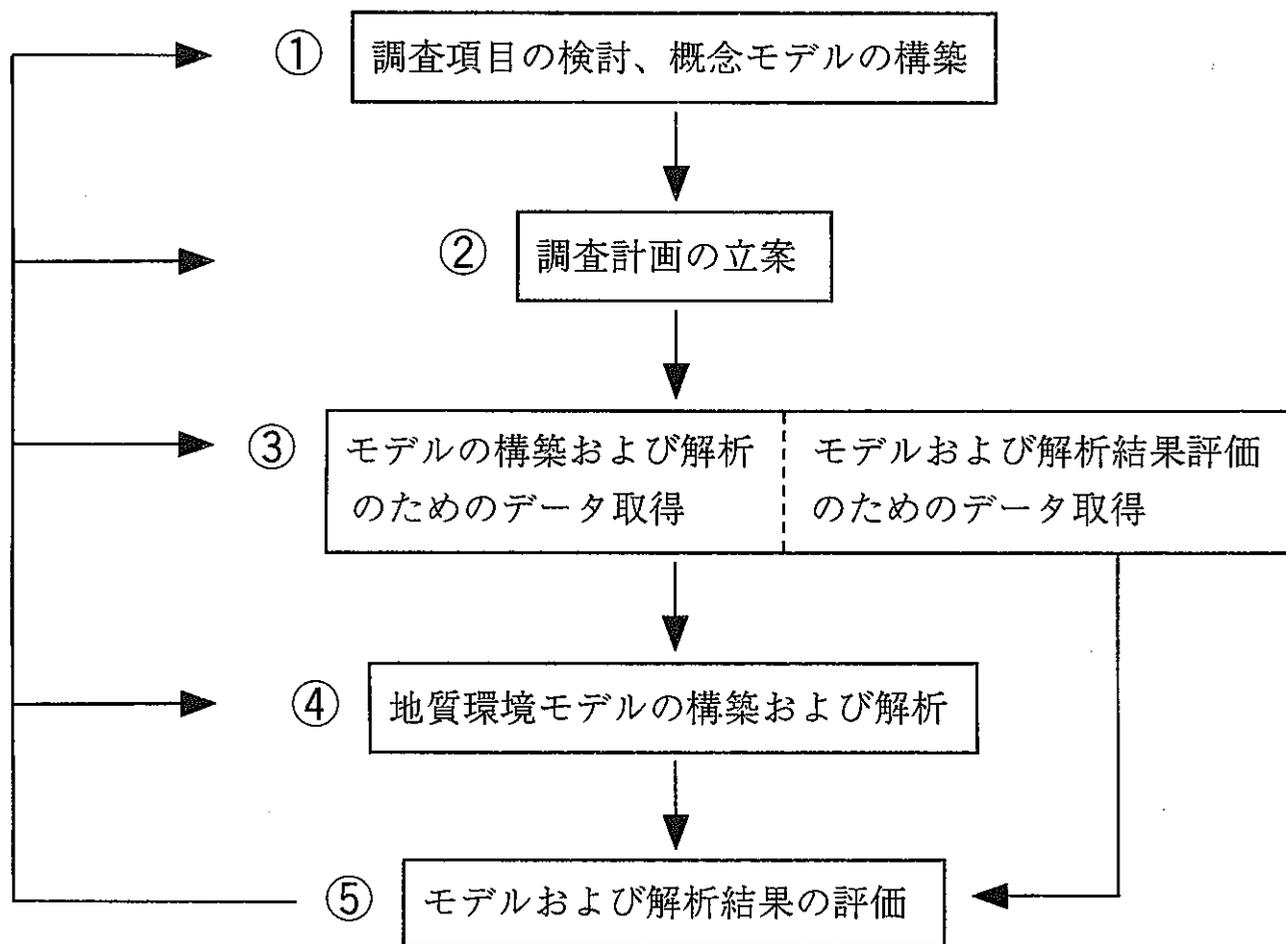


図3 研究プロセス

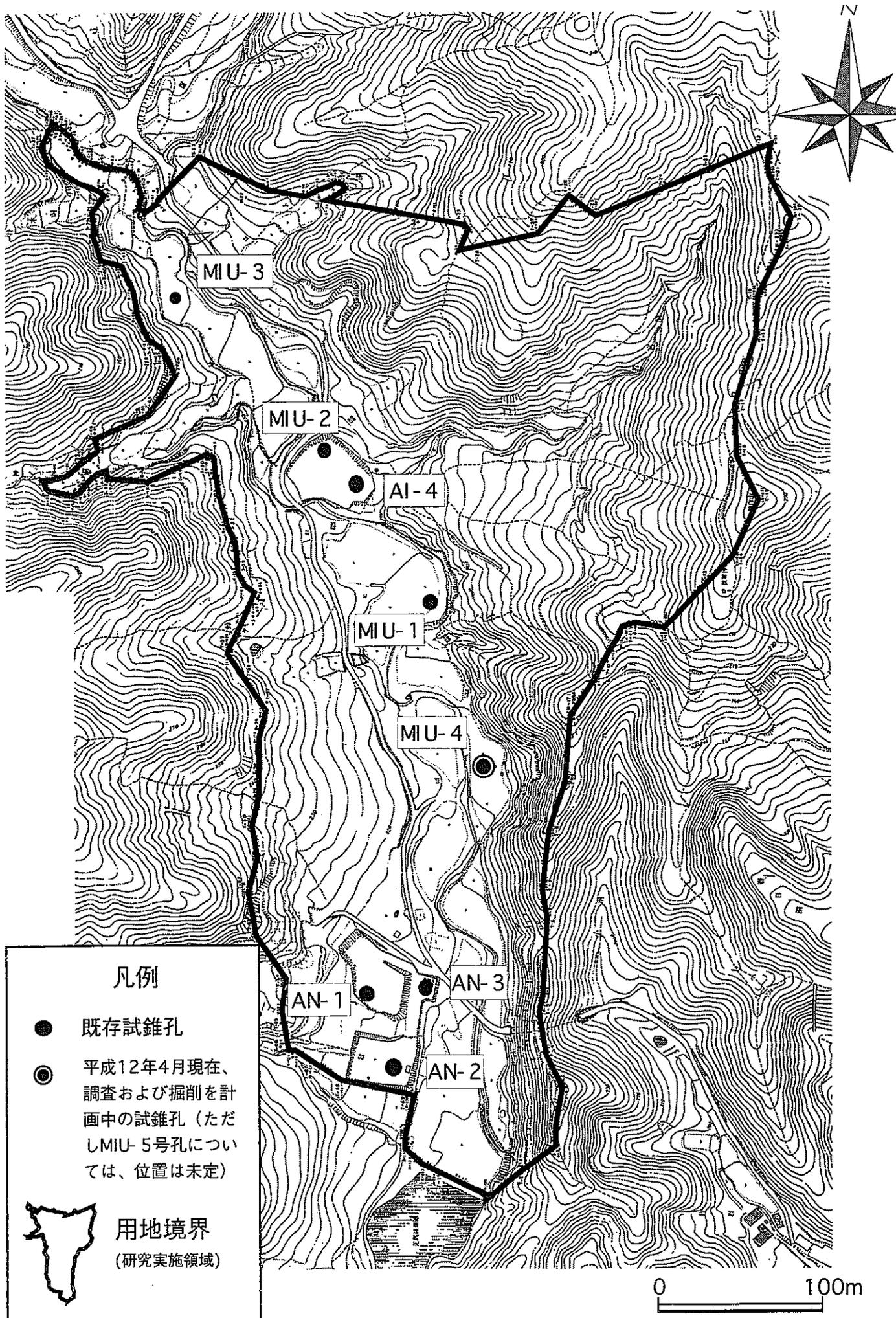


図4 試錐孔位置図

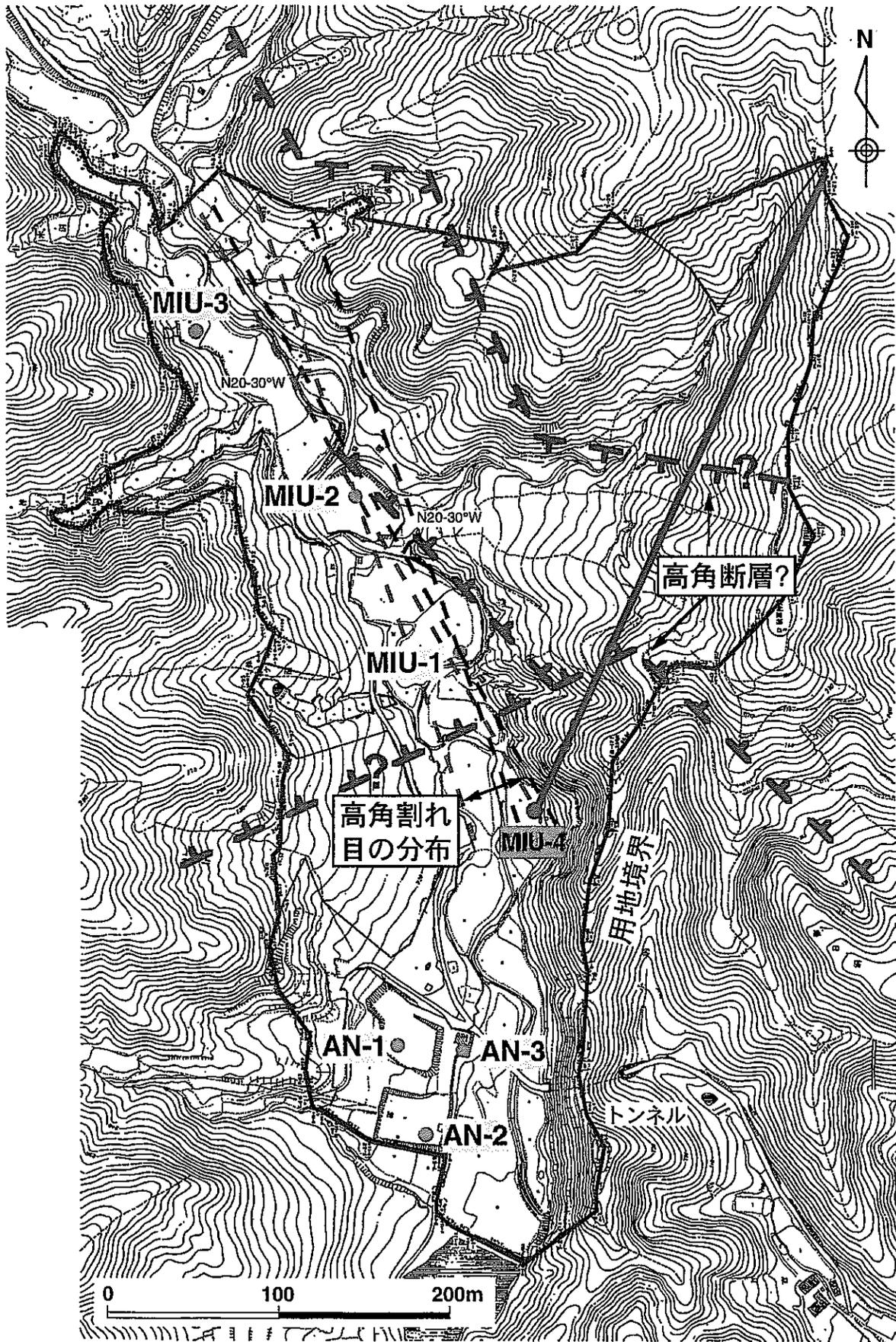


図5 MIU-4号孔の掘削予定位置図

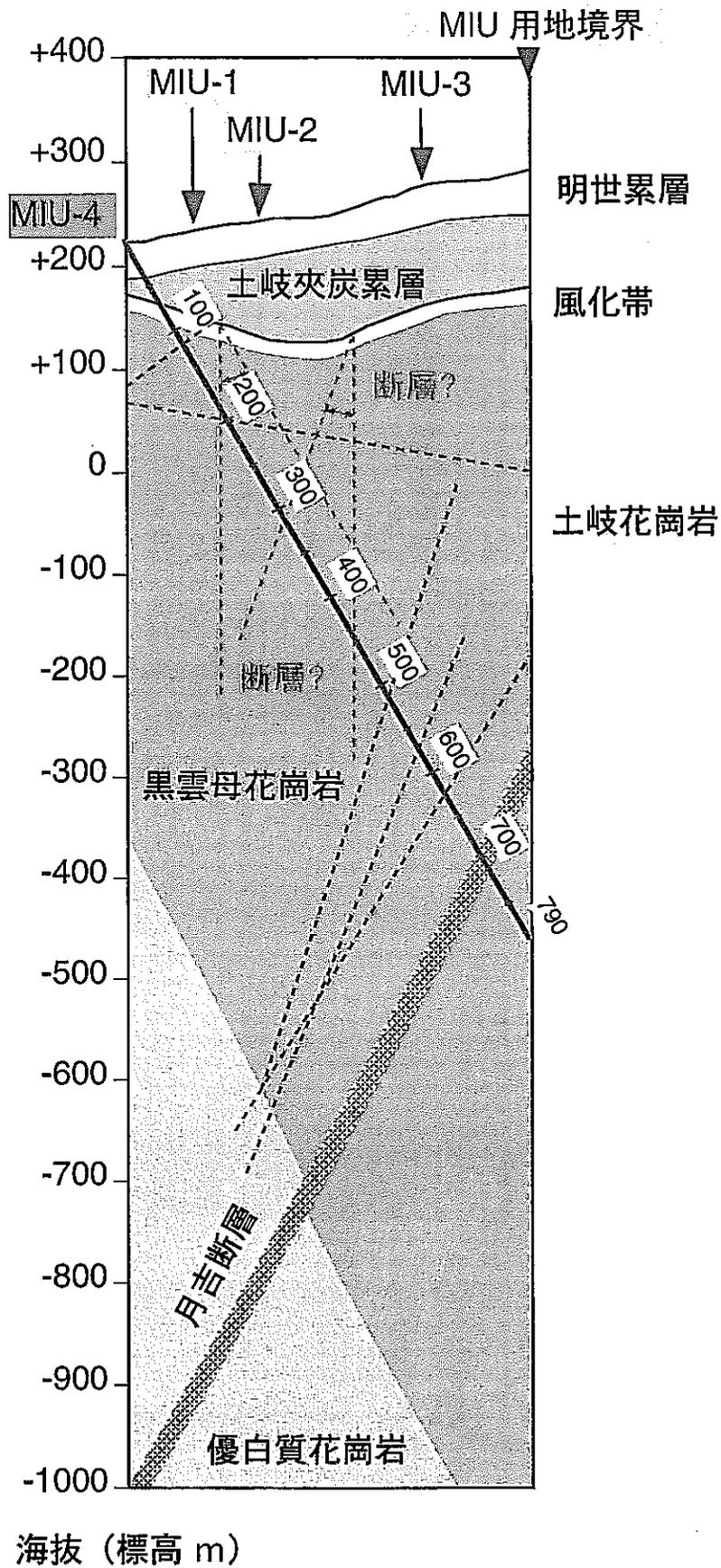


図6 正馬様用地における地質断面図 (予測)

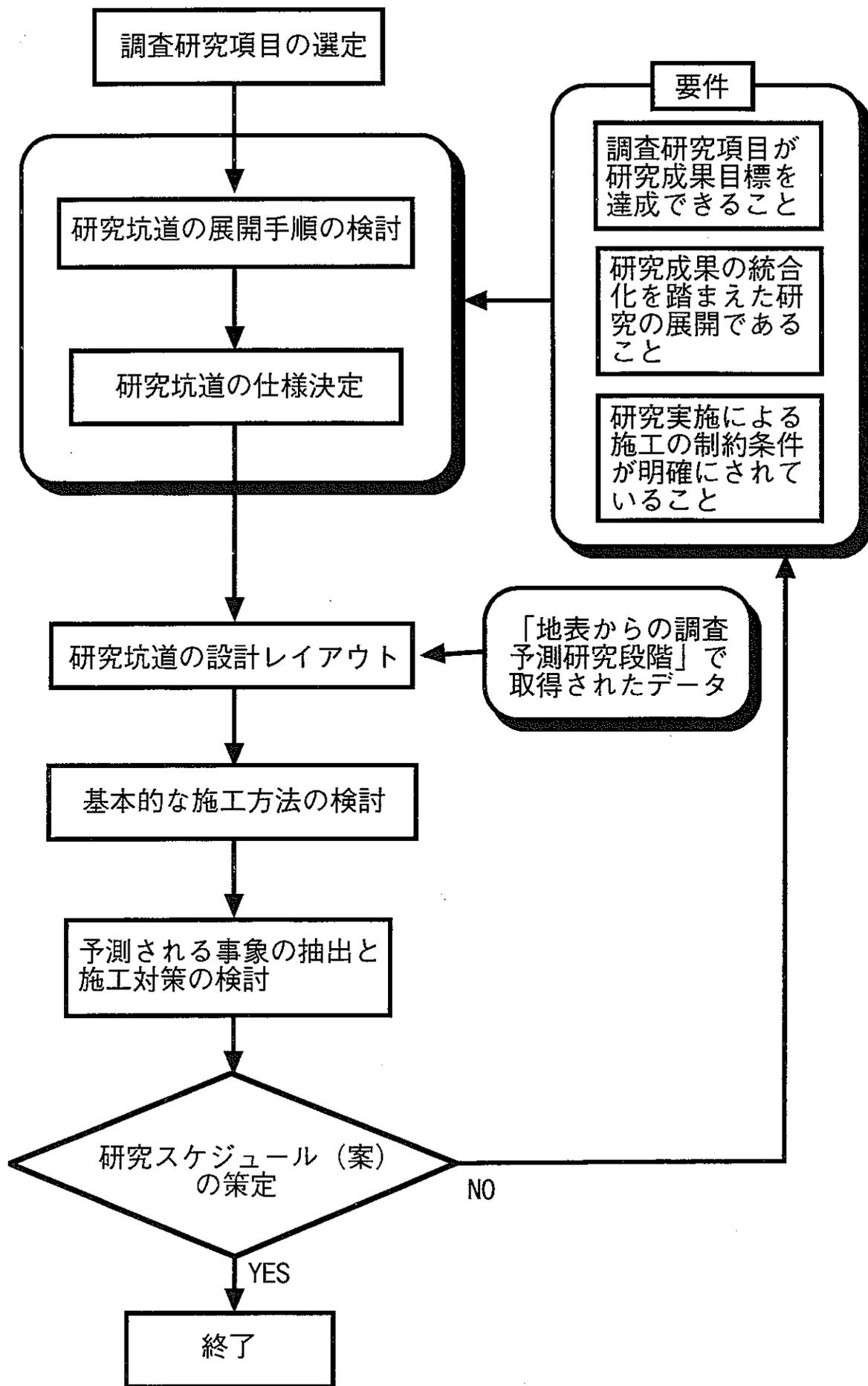


図7 研究の全体計画の検討手順

表1 第2フェーズの主な調査・研究スケジュール(2/4)

研究項目	第1フェーズ				第2フェーズ	
	H8	H9	H10	H11	H12	H13以降
<ul style="list-style-type: none"> 地下水の水理に関する検討 <ul style="list-style-type: none"> 水理地質構造モデルの構築 地下水流動解析 調査・解析技術の最適化 <p>(4) 地下水の地球化学</p> <ul style="list-style-type: none"> 地表水・降水を対象とした地球化学調査 地下水を対象とした地球化学調査 固相を対象とした地球化学調査 <ul style="list-style-type: none"> (岩石学的、鉱物学的、地球化学的調査等) 地下水の地球化学に関する検討 <ul style="list-style-type: none"> 化学組成分布の推定 地下水の地球化学モデルの作成 調査・解析技術の最適化 <p>(5) 岩盤の力学特性</p> <ul style="list-style-type: none"> 力学特性調査 <ul style="list-style-type: none"> 応力測定 月吉断層および周辺の力学特性評価 ジョイントせん断試験 岩盤の力学特性に関する検討 <ul style="list-style-type: none"> 岩盤力学モデルの構築 変形挙動予測解析 掘削影響モデルの開発 調査・解析技術の最適化 		第1フェーズモデル化・解析			更新 (第2フェーズ モデル化)	更新, とりまとめ
					定常状態の 地下水流動解析	長期揚水 試験の予測
						採水・分析
					既存の試錐孔における 採水・室内分析	同左, とりまとめ
			MIU-1,2,3	主要な水-岩石 の抽出、地下水 年代測定値補正		同左, とりまとめ
					検証・修正	同左, とりまとめ
					モデル化, 更新	同左, とりまとめ
			MIU-1,2,AN-		MIU-4 (AE法)	とりまとめ
			MIU-1,2,3		予備評価	MIU-4(異方性 試験/DSCA法)
					モデル化	更新, とりまとめ
				予備的解析	等価連続体解析, 不連続体解析, とりまとめ	
				基礎的研究(室内ブロック試験)		

(注) *印は、試錐掘削に付随して実施する。

表1 第2フェーズの主な調査・研究スケジュール(3/4)

研究項目	第1フェーズ				第2フェーズ	
	H8	H9	H10	H11	H12	H13以降
(6)物質移行 ・試錐孔を利用した調査 室内調査・分析(鉱物学的特性・空隙特性) ナチュラルアナログ研究 ・調査・解析技術の最適化					MIU-4	MIU-5, 原位置 トレーサー試験計画、 物質移行解析設計
(7)調査技術・調査機器 ・試錐掘削技術開発 三重管掘削工法の開発 部分保孔装置の開発		設計		設計・改良		
			構成部品の設計・製作	適用試験		必要に応じた改良
・地質構造調査技術開発 弾性波トモグラフィー調査技術開発 既存技術の適用性の評価		震源の製作		適用試験		解析技術の高度化
				調査実績の 取りまとめ		新たな調査を追加しての 調査実績取りまとめ
・水理特性・地球化学特性調査技術開発 1,000m対応水理試験装置・1,000m対応地下水 の地球化学特性調査機器の改良・高度化		高温環境型製作	屈曲孔対応型開発			必要に応じた改良
				設計・製作		必要に応じた改良
1,000m対応揚水試験装置の改良・高度化				設計・製作		必要に応じた改良
1,000m対応長期モニタリング装置の開発				実験機設計・製作	適用試験	必要に応じた改良
1,000m対応長期モニタリング装置の開発 水理試験データの解析手法の高度化					実験機 基本設計	
			単孔式データ解析 手法の高度化			多孔式データ解析 手法の高度化

(注) *印は、試錐掘削に付随して実施する。

表1 第2フェーズの主な調査・研究スケジュール(4/4)

研究項目	第1フェーズ				第2フェーズ	
	H8	H9	H10	H11	H12	H13以降
<ul style="list-style-type: none"> 力学特性調査技術開発 	文献調査	概念設計	設計	製作		適用試験, 必要に応じた改良
<ul style="list-style-type: none"> 1,000m対応初期応力測定装置の開発 						
<ul style="list-style-type: none"> 次段階以降に必要となる調査技術・調査機器の開発 						機器改良と解析技術の高度化
連続波レーダー調査技術開発		実験機設計・製作		基礎試験		
立坑壁面観測システムの開発			文献調査			
正弦波水理試験システムの開発			検討・プログラミング			データ解析手法検討
トモグラフィデータの解析手法の高度化			検討・プログラミング			データ品質定量化 データ取得仕様策定
原位置トレーサー/水理試験装置の開発・改良						設計・改良の検討
<ul style="list-style-type: none"> データベースの構築 						
調査データ用データベースシステムの構築	システムの構築	運用・改良		運用		運用(マニュアル化)
工程管理用データベースシステムの構築				試行・検討		設計・構築
<ul style="list-style-type: none"> 地質環境データ解析・可視化システムの構築 	システムの構築	運用・改良				運用・水理解析コード改良
<ul style="list-style-type: none"> 情報公開技術の開発 						
VRシステムの構築	調査・プロトタイプ の構築		運用・改良			成果紹介ソフト製作 VR技術開発
説明用模型の製作	技術説明 模型製作	地質模型 製作	改良	試錐模型 製作		

(注) *印は、試錐掘削に付随して実施する。