

超 深 地 層 研 究 所

—地表からの調査予測研究段階計画—

(案)

(技術報告)

1997年2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

まえがき

超深地層研究所計画は、「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」の3段階で行う計画となっている。本書は、核燃料サイクル開発機構（以下、サイクル機構）の前身である動力炉・核燃料開発事業団が、第1段階の現地調査に着手する以前の平成9年2月に、調査研究の具体的な実施内容を内部検討するために作成した「超深地層研究所－地表からの調査予測研究段階計画書－（案）」を、公開資料として登録するものである。本書では、第1段階の研究期間で実施する具体的な調査研究計画を示し、続く第2段階、第3段階については、調査研究計画の概要を示している。

以上

目 次

1. 序 論	1
1. 1 超深地層研究所の位置づけ	1
1. 2 動燃の地層科学研究の経緯	1
1. 3 超深地層研究所（地層科学研究）計画の目標	3
1. 4 研究計画の骨子	3
1. 5 施設の概要	7
2. 地層科学研究の現状	8
2. 1 地質構造	8
2. 2 地下水水理	9
2. 3 地下水の地球化学	9
2. 4 岩盤力学	10
2. 5 データベース	11
2. 6 試錐掘削	11
2. 7 工学的技術	11
3. 地表からの調査予測研究段階の計画	12
3. 1 概要	12
3. 1. 1 研究の構成	12
3. 1. 2 段階目標	12
3. 1. 3 スケジュール	14
3. 2 地質構造	15
3. 2. 1 背景	15
3. 2. 2 目標	15
3. 2. 3 実施内容	15
3. 2. 4 推定	22
3. 2. 5 評価	22

3. 3	地下水水理	2 3
3. 3. 1	背景	2 3
3. 3. 2	目標	2 3
3. 3. 3	実施内容	2 3
3. 3. 4	予測	2 7
3. 3. 5	評価	2 7
3. 4	地下水の地球化学調査	2 8
3. 4. 1	背景	2 8
3. 4. 2	目標	2 8
3. 4. 3	実施内容	2 8
3. 4. 4	予測	3 3
3. 4. 5	評価	3 3
3. 5	工学的技術	3 4
3. 5. 1	背景	3 4
3. 5. 2	目標	3 4
3. 5. 3	実施内容	3 4
3. 6	調査技術・調査機器	3 7
3. 6. 1	はじめに	3 7
3. 6. 2	目標	3 7
3. 6. 3	実施内容	3 7

Appendix

I	坑道の掘削を伴う研究段階の計画	4 0
II	坑道を利用する研究段階の計画	4 9
III	地層処分研究開発の基盤として期待される成果	5 4
IV	地下研究施設と諸外国の地下研究施設の比較	5 7
V	図表	5 9

1. 序 論

本計画書は、「超深地層研究所地層科学研究基本計画」(PNC TN7070 96-002)(以下「基本計画」)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」について定めたものである。本計画書の一部については、「基本計画」と重複する部分もあるが、本計画書のみで完結できることを考慮したものである。

1. 1 超深地層研究所の位置づけ

原子力委員会は、平成6年6月、『原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画（以下、原子力長計という）』を新たに決定し、『地層処分研究開発の基盤となる深部地質環境の科学的研究を着実に進めること』との指針を示した。ここでいう深部地質環境の科学的研究を、動力炉・核燃料開発事業団（以下、動燃）は地層科学研究として進めている。原子力長計はさらに、深地層の研究施設を以下のように位置づけ、その重要性を明らかにした。

- ・ 深地層の環境条件として考慮されるべき特性等の正確な把握や地層処分を行うシステムの性能を評価するモデルの信頼性向上等地層処分研究に共通の研究基盤となる施設であり、我が国の深地層についての学術的研究にも寄与できる総合的な研究の場として整備していくことが重要、
- ・ 我が国の地質の特性等を考慮して複数の設置が望まれる、
- ・ 深地層の計画は、研究開発の成果、特に深部地質環境の科学的研究の成果を基盤として進めることが重要であり、その計画は処分場の計画とは明確に区別して進める。

動燃の超深地層研究所は原子力長計に示された深地層の研究施設のひとつに相当する。

1. 2 動燃の地層科学研究の経緯

動燃東濃地科学センターでは、地層科学研究のうち地質環境特性に関する研究について、主に、東濃鉱山とその周辺ならびに釜石鉱山において実施してきている。地層科学研究では、我が国の地質（主に水理地質学的特徴）等を考慮し、堆積岩と結晶質岩を対象として研究を進めてきた。

東濃鉱山では堆積岩を対象とし、地下水の流動と地球化学的な性質の研究、ウラン鉱床を利用した物質移行の研究、坑道の掘削に伴う周辺岩盤領域への影響（掘削影響）の研究などが行われてきている。平成元年から実施した立坑掘削影響試験では、直径6m、深さ150mの立坑を掘削し、立坑の掘削前から掘削終了後まで、周辺の地質環境に関する連続的な観測を行った。この観測で得られた情報に基づき、立坑掘削に伴う地質環境の変化を予測し、その予測結果と実際の観測結果との比較を行い、地質環境の予測、観測・解析・評価手法の開発・改良を進めた。また、東濃鉱山の周辺では、堆積岩とその基盤岩である花崗岩を含む約10km四方、深さ1kmの領域を対象に、広域地下水流動研究が行われている。この研究では広域的な地下水流動を把握するために必要な調査手法を開発し、信頼性の高いデータを取得することを目的としている。広域地下水流動研究の対象地域は、超深地層研究所計画の

対象地域と重複する部分があり、立坑掘削影響試験や広域地下水流動研究の成果は超深地層研究所計画にも活かすことができる。

釜石鉱山では花崗岩を対象とした研究が行われている。この研究は平成4年度までの第一フェーズと平成5～9年度の第二フェーズに分けて行われており、第二フェーズでは、深部地質環境の把握、掘削影響領域の評価、水理・物質移行、工学的技術、地震に関する5項目の調査研究が行われている。

東濃鉱山と釜石鉱山における研究では、地質に関する既存の情報や鉱山の坑道といった研究資源を活用して研究が行われ、以下の2つの領域において成果を積み上げてきた。

第1の領域は地質環境に関する情報である。これまでに、地下水の水理や化学組成、地下水による物質の移動、地層の力学的安定性などに関する情報が東濃鉱山、釜石鉱山をはじめ、国内外の様々な場所から得られている。それぞれの観測値そのものは場所に固有（SITE SPECIFIC）な情報であり、例えば釜石鉱山の結晶質岩の透水係数そのまま東濃地域の結晶質岩にも当てはまるといふ性質のものではない。このため、超深地層研究所において、その花崗岩に関する詳細な研究を未擾乱の状態を出発点として進め、その成果を他地域（例えば釜石鉱山）の花崗岩に関する情報と一体的に考察することにより、花崗岩の地質環境の一般的な性質を選別し蓄積していくことは重要であり、そのための手段も実用化されつつある。

第2の領域は地質環境を調べるための要素技術（例：動燃式低水圧制御水理試験装置）の開発と、それらを組み合わせて行う試験の設計・実施・解析手法の適用と評価（例：立坑掘削影響試験）である。この領域における研究は、資源探査や鉱山開発さらには土木事業の分野などの成果として蓄積されてきた技術や知見を出発点とし、海外の先行事例なども参考にしながら、地質環境を調査・評価するための一体的な手順を整えることを目的とする。これまでに主要な要素技術の開発が進み、これらを組み合わせ、一定の深さと広がりをもつ未擾乱の地質環境において一体的な手法として適用し、その過不足を確かめることが可能な時期にきている。ここでいう地質環境は、日本の地質環境を幅広く研究することができる場であり、少なくとも地下数百m以深まで天然の状態にある場という意味である。

超深地層研究所では、①対象となる地質環境の研究を天然の状態から開始できる、②地層科学研究の観点から地下施設を設計できるので鉱山の坑道などを利用する場合と比べて研究設計上の自由度が大きい、③同一の地質環境で研究をすることから、一連の手法として所期の成果に到達できない場合、任意の時点まで後戻りして研究を繰り返すことが容易であるなど、既存の地下空洞に比べてより好適な条件のもとで、これまでの地層科学研究を一層拡充することができる。その成果は、地層処分研究開発が当面の目標とする、日本における地層処分の実現可能性を明らかにしていく上での基盤的情報となるとともに、将来、特定の地質環境を対象とする研究段階に進むための技術的な拠り所を確かなものとするために役立つ。

1. 3 超深地層研究所（地層科学研究）計画の目標

動燃では、国の方針と地層科学研究の経緯を踏まえ、日本に広く分布する結晶質岩のひとつである花崗岩を主たる対象として、瑞浪市明世町の動燃用地に超深地層研究所を建設することとした。超深地層研究所では、東濃鉾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立坑掘削影響試験など）の一層の拡充を図る。特に、今後とも継続実施されていく広域地下水流動研究については、その対象範囲が超深地層研究所の建設用地を含むことから、双方の連携を密にし、研究成果を相互に活用していく。

超深地層研究所計画を実施するにあたり、全体目標を以下のとおり設定する。

①地質環境の総合的な調査技術を確立すること。

超深地層研究所では、同一の場所において、これまでの地層科学研究により個別に開発・改良されてきた要素技術やそれらを基に開発される技術を系統的に組み合わせ、地上や地下から高い精度で効率よく地質環境を調査研究・予測・検証する一連の手法としての有効性を確認することを目標とする。このようにして開発された調査技術は、地質環境に関するデータの品質を保証するとともに、様々な地質環境に対応可能な技術の基盤となることが期待される。

②深部の地質環境に関する情報を取得すること。

超深地層研究所では、これまでの地層科学研究で開発された手法を系統的に用いて、地質環境に関する質の高い情報を体系的に集めることを目標とする。これらの情報は、国内外の地球科学分野の学術的研究の成果などと併せて、日本の地質環境を概略的に示す地質構造モデルや水理地質構造モデルなどの信頼性の向上や、地下利用に用いられる工学材料の適性などを検討する上でも参考として用いられる。また、これらの情報は国内外の地球科学分野の学術的研究の成果などと併せて整理され、結晶質岩における地質環境条件の例として考慮されるべき性質と現象の理解にも用いられるなど、地層処分研究の基盤として役立てられる。

③深地層における工学的技術の基礎を開発すること。

将来における地下利用の基礎として、深地層に大規模な施設を設計・施工する技術の有効性を確かめ、施設が地質環境に与える長期的な影響（例えば、各種工学材料と地下水や岩盤との相互作用など）を明らかにすることを目標とする。また、施設における安全確保、環境維持のための研究も行う。

1. 4 研究計画の骨子

超深地層研究所での研究は、その内容が異なる以下の3段階に分け、地下施設の建設前から地下施設の完成後まで約20年をかけて実施する。

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

(1)第1段階（5～6年間）

第1段階の開始時期において、地質環境は未擾乱の天然の状況にある。この段階では超深地層研究所計画の用地を包含する広い領域で継続されている広域地下水流動研究計画の成果が、必要に応じて活用される。

広域地下水流動研究では、先ず空中からの遠隔調査技術を用いて、地質に関する面的な情報が広く集められ、情報処理によって対象地域の地形、植生、地質の分布が調査される。地形や植生が調べられるのは、それらが地質や地下水の分布と関係している場合が多いからである。また、地下水の性質や岩体の力学的な安定性といった視点から、その不均質性の把握が重要であることから、性質の異なる地層の境界や大規模な割れ目（断層や破碎帯を含む）の分布と連続性の調査に重点が置かれ、それらに関する情報が集約される。これら広域地下水流動研究から得られる情報に基づき、超深地層研究所の地質や地下水の状態（地下水の流速、流量および水質）などを明らかにする。

第1段階では、地表からの地質調査が行われる。研究の対象となるのは花崗岩であるが、用地内の花崗岩の露出は極めて限られているため、より広い領域で進められている広域地下水流動研究における地質調査の結果なども参考とされる。次に実施されるのは地表からの物理探査である。物理探査には様々な手法があるが、花崗岩の不均質性を把握するという課題から、広域地下水流動研究では電気探査、電磁気探査及び弾性波探査などが計画されている。これらはいずれも、所定の周波数をもった波を地下に送り、その伝わり方から地層の不均質性を任意の断面における物性値（電気比抵抗や弾性波速度など）の分布として間接的に推定する方法であり、地質調査や資源探査などの分野で実用化されたものである。ここまでに得られた情報に基づいて、実施領域の地質構造の概略が推定され、それを表現する単純なモデルが構築される。このモデルはその後の研究の出発点となる。

これらの地質調査、物理探査に加え、超深地層研究所計画では深さ千 m に至るボーリング孔が掘削される。千 m 級のボーリングについては相当の予算が必要であり、また天然の状態にある地質環境を極力乱さないように所定の深度に達するためのボーリング技術についても改良の余地があることから、その位置決定も含めて、重要な研究課題である。ボーリング孔からは極めて貴重な情報が数多く得られる。岩石試料は事前に行われた地質構造（岩石の垂直分布、割れ目の所在と方向など）の推定に対する唯一の直接的な回答であり、推定方法の妥当性が評価できる。ボーリング孔は極めて限られた範囲（直径 10cm）ではあるが、深地層へのアクセスを可能とすることから、長期にわたって最大限の活用が図られる。

具体的には各孔内での岩石観察（BTVなど）、物性値の測定（孔径、傾斜、温度、密度、比抵抗分布など）、単一孔あるいは複数の孔間での物理探査（トモグラフィによる亀裂の物理的連続性など）、単一孔あるいは複数の孔間での水理試験（透水性の把握や亀裂の水理的連続性など）、地下水の採水分析（地下深部の地下水の化学的性質の把握）さらには地下水

の水位や水質の定点継続観測などが実施される。これらの研究によってもたらされる情報は、性能評価研究や処分技術の研究開発における基盤情報として活用され、超深地層研究所（地下施設）第2段階以降の詳細な設計や工法の検討にも用いられるほか、動燃事業団がとりまとめる地層処分研究開発に係る第二次報告書にも反映される。

第1段階における研究は天然の地質環境に有為な影響を与えることのないように進められるとの前提に立ち、この段階で得られる情報は天然の地質環境を代表するものとして扱われる。第2段階以降については、地下施設の建設が地下水の流れや性質に影響を及ぼし、天然の地質環境がある範囲にわたって乱される可能性がある。したがって第1段階を締めくくるに当たっては、地下施設が遭遇する地質環境を的確に推定して施設ならびに試験の設計を行い、施設の建設が地質環境に及ぼす影響を予測し、後続の段階において予測の確かさを評価するための基準を明らかにしておくことが必要である。

超深地層研究所の地上施設群は第1段階に建設される予定であり、これに必要なインフラストラクチャーについてもこの段階で整備される。

(2)第2段階（7～8年間）

地下施設の建設に伴い、ボーリング孔とは比較にならない質と量で深地層の地質環境が明らかにされてくる。これは地質環境調査手法開発の中核的な部分であり、この時点までの推定や予測の妥当性と、それに用いられた手法の過不足が評価される。具体的には、まず坑道壁面において岩石の分布や亀裂の種類、位置と方向性などが直接的に観察され、事前の推定との比較が行われる。次に坑道内に流入する地下水の位置と量、成分などが明らかにされ、これらについても事前の予測と比較される。さらに、坑道周辺のボーリング孔内に配置された観測システムにより、間隙水圧、水質、温度、応力などを追うことによって、地下施設の建設による影響の程度と範囲、さらには経時変化などが定量的に把握されるとともに、かかる影響に関する事前予測の評価が可能となる。

事前予測の結果が、予め設定された評価基準を満たさない場合には、必要に応じて入力データの吟味にまで逆上って予測のプロセスを見直す。そこで問題点が明確にできない場合、代替プロセスがある場合にはそれを試すことになる。代替プロセスがない場合には、対象となる地質構造の概略を示すモデルの見直し、解析条件を変更するなどして実測値との調和を目指す場合と、評価基準を見直す場合がある。いずれの場合においても手法の妥当性に関する最終的な評価は、予測と検証を十分に繰り返した上で専門家の判断によって行われる。地下施設の建設による影響の程度と範囲、さらには経時変化などに関する情報は、地層処分研究開発のうち、ニアフィールド性能評価の基盤となるものであるとともに、処分技術の研究開発の基盤としても活用される。

第2段階では立坑、通気立坑及び研究坑道が建設される。研究坑道は、原則として第1段階で得られた地質環境に関するデータに基づいて設計施工されるが、立坑の建設に伴って得られる深地層の情報によって再検討が必要になった場合には、デザインのみならず工法なども含めて柔軟に見直していくこととする。第2段階は大規模な土木工事が中心とな

るように見えるが、実質的には工事と研究は並行して進むため、両者の間を調整するとともに、第3段階の研究計画を詳細化していくことが重要である。

(3)第3段階（12～13年間）

地下施設の建設工事が終了すると、地表から地下深部にかけての地質環境へのアクセスが随時可能となり、これによって第1から第2段階にかけて実施された地質環境を把握するための調査技術が、一連の手法としていかなるレベルに達しているか、さらには一層の技術開発が必要か否かを確認することができる。

これは、その時点における海外の事例なども含め、超深地層研究所における地質環境と異なる地質環境を対象としても、花崗岩についてはバランスのとれた地質環境を把握する調査プログラムを提案することが可能となることを意味する。現在の見通しによれば、21世紀初頭のこの時期になると、日本の地層処分計画は処分事業の実施主体が地質環境の調査手法を必要とする段階にあるものと考えられ、超深地層研究所計画における成果の反映先の1つとなりうる。

坑道の周辺には、施設の建設による何らかの影響を受けた部分と、それを取り巻く人工的な擾乱を受けていない自然のままの状態の地質環境が存在する。地層科学研究ではこれら双方を、個別あるいは連続的な場としてとらえ、その場の力学的・化学的安定性と、その場における地下水の動きと性質、及び地下水による物質の動きに関する研究を長期（数年から十年間）にわたって進める。具体的には、地下施設周辺の地層にかかる圧力や温度などの継続観測や、この時点までに開発改良される地下水流動モデルをそれぞれの規模と深度に適用し、その過不足を検討するための試験（物質移行試験）などが行われる。また、観測や試験の設計に際しては、研究期間中における地震の発生を想定し、その影響を把握できるような仕様を整える。研究成果は、日本における現実的な地質環境を拠り所として地層処分システムの長期的な性能を確かめていくための基盤となる。

第3段階においては、地下施設に係わる工学的技術の開発／試験の場としても活用される。この分野で先ず重要と考えられることは、安全かつ快適な研究環境を維持するための技術である。施設には研究者や見学者などが常時出入りすることになるので、それらの人々や資機材などを運ぶエレベーターを始め、坑道支保、換気空調、給排水、受配電、採光、通信などの技術は不可欠である。また、より長期的な観点からは、地下施設に用いられる建設材料と地質環境との相互作用（例：鉄の腐食による酸素の消費など）の研究、さらには地下施設の建設による地質環境への負担を軽減する技術や地下施設の建設が地質環境に与えた影響を修復する技術の開発が期待される。これらの成果は、地下施設の建設可能性に関する研究開発の基盤となる。

一方、第3段階になると、深地層の研究施設が物質の貯蔵や人間活動など空間利用の場として期待されていることから、深地層の研究施設のCOE（=Center Of Excellence）としての役割が本格化し、地層科学研究以外の研究にも広く利用されることになる。地震研究はもとより第3段階終了後は無重量研究や災害時の計算機バックアップシステムの研

究などが構想されている。

1. 5 施設の概要

超深地層研究所は地上施設と地下施設から構成される。地上施設には、研究者の居室、計算機室、実験室、資料展示室、会議室などを備える研究管理棟、ボーリング孔から採取される岩石試料などを、良好な状態で保存し迅速に取り出すことのできる試料保管棟、地質環境を調査するための先端的な機器の保守管理と改良などを行うためのワークショップが含まれる。これらの施設は、対象地域の自然環境と調和するように設計・施工される。また、地上には次に述べる地下施設を支援するためのエレベーター建屋、通排気、給排水、受給電などの設備が建設される。なお、地上施設については、地域の振興に資することにも留意し、関係自治体や地元の要望に応じて、その活用について検討していくこととなる。

地下施設の中心となるのは深さ千 m に達する立坑である。立坑は地上施設群とは異なりその建設自体が地層科学研究の一部となる。建設に際してはこれらの研究との調整が重要な課題であり、東濃鉱山第2立坑における経験を踏まえ、また海外における先行事例（カナダのURLなど）も参考にしつつ、最適な立坑建設の進め方を検討していくことになる。立坑の位置については、地表からの調査がある程度進んだ段階で決定されるが、当面はこれまでの知見と用地の全体利用計画案との関係などを踏まえて設定される。地下深部の特定の場所における研究の場として、立坑から展開する複数の研究坑道が建設される。研究坑道の配置については、地表からの調査や立坑の建設などの進捗に伴って増加する情報を踏まえて具体化される。通気立坑は地下施設に必要な換気を確保するために建設される。

海外の先行事例をみると、特に地下施設の配置や形状については、研究の進捗に伴って大きく見直されることが稀ではない。理由としては事前に推定できなかった地質環境に遭遇し、これを回避あるいは新たな研究対象とするために当初の設計が見直されるという場合が多いようである。欧米ではこのような進め方を"DESIGN AS YOU GO"と呼び、施設建設の基本姿勢としている。これは鉱山開発等の分野で通則となっている考え方であり、実際には予期せぬ事態にも十分対応して所期の目的に供しうる施設を建設していくことができるものである。

2. 地層科学研究の現状

動燃事業団は、これまでの地層科学研究において、様々な深度および広がりのある領域に対し、地表から深部までの地質環境が本来的に有する性質を正確に把握するために必要な調査技術・調査機器の開発およびモデル化手法の開発を進めてきている。調査技術・調査機器の開発は、資源探査や鉱山開発さらには土木技術の分野などの成果として蓄積された技術や知見を出発点とし、海外の先行事例なども参考にしながら行われた。これまでに地質環境に関する個々のパラメータを現段階において必要とされる精度で所定の深さについて把握するための調査技術・調査機器の基本的な部分がほぼ整備され、これらの調査技術や調査機器を組み合わせ、一体的な手法として日本において一般的な地質環境に適用してデータを集積するとともに、手法としての妥当性を確かめることが可能な時期にきている。

これまでに開発された調査技術や調査機器、ならびにそれらを用いて得られた知見は、超深地層研究所計画を実施する上での出発点になることから、その成果を研究分野別に以下に取りまとめた。なお、これまでの研究成果と地表からの段階での目標および研究内容を、Appendix V（表A-1および表A-2）に示す。また、Appendix Vには以下の文章中で引用している図表も示している。

2. 1 地質構造

地質構造調査は、調査実施領域の岩相の分布と割れ目、断裂などの地質構造を把握することを目標とする。これまでの地層科学研究において、調査・解析に関する要素技術として、リモートセンシングデータの解析手法の開発や物理探査機器の改良・高度化に関する技術開発および解析技術の開発を実施してきた。

リモートセンシングデータの解析に関しては、解析手法の開発を行うとともに東濃地域を対象とした事例研究を実施し、地下水流動評価上重要な割れ目系の抽出を試みてきている。図A-1に赤河断層、華立断層、笠原断層-屏風山断層、白河断層の延長に囲まれた地域について行った例を示す。

物理探査技術に関しては、地表からの調査手法として、反射法弾性波探査（図A-2）、CSAMT法および動燃が開発した簡便な電磁探査法であるPLMT法の適用事例を蓄積してきている（図A-3）。一方、試錐孔を用いた調査手法として、OECD/NEAの国際共同研究（動燃も参加）において開発された試錐孔用レーダーシステム（RAMAC）の適用試験（図A-4）を実施し、その有効性を確認している。また、弾性波/レーダー/比抵抗トモグラフィー法についても、具体的事例を通じて解析プログラムの改良・高度化を行っている。さらに、割れ目の分布の推定や透水性割れ目を同定する手法として、ハイドロフォンVSP（Vertical Seismic Profiling）法の開発を行っている。

調査手法に関しては、地下水による物質移行の場という観点から、結晶質岩中の割れ目の形態を分類・記載する手法を開発し、釜石鉱山の花崗岩について、その一般性を検討してきた（図A-5）。また、東濃鉱山周辺で実施した試錐調査により、花崗岩の地下深部において、粒子の粗い部分と細かい部分、割れ目や変質の顕著な部分とほとんど認められない部分が交互に現れるなどの不均質性に関する新たな知見が得られている（図A-6）。

地表からの段階では、これらの様々な調査手法を順序立てて組み合わせて適用して地下深部までの地質環境を予測し、次段階において得られる調査結果と比較することによって、有

効な調査手法を体系化することが重要な課題である。

2. 2 地下水水理

地下水水理調査では、地表から地下深部までの地下水流動を把握するための調査・解析・評価という一連のプロセスを構築することを目的に、広域地下水流動研究と坑道周辺の地下水流動を対象とした研究を実施してきた。現時点における成果を以下に表層水理調査、深層水理調査、地下水流動解析および坑道内から用いられる手法に分けて記述する。

表層水理調査については、表層の水理定数取得のために表層水理定数観測システムを構築し（図A-7）、地下水涵養量（東濃鉱山周辺では0.57mm/日）や地下水面の分布、変動を把握できることを確認している。これにより得られた情報は、東濃鉱山での第2立坑の掘削が地下水流動に与える影響の解析の境界条件/初期条件として用いられた。

深層水理調査については、カナダで開発されたMPシステム（図A-8）による間隙水圧測定 of 長期的な適用性を評価している。また、深度500mまでおよび1,000mまでの単孔式水理試験装置（図A-9）を開発、調査に適用し、その有効性を評価してきた。

地下水流動解析手法については、多孔質岩盤中や広域の地下水流動解析を目的とする3次元飽和・不飽和浸透流解析コードTAGSACを導入・改良するとともに、東濃鉱山第2立坑を対象とした掘削影響予測解析（図A-10）等を使用し、その妥当性を確認した。一方、亀裂性岩盤中の比較的狭い領域内の地下水流動解析を実施するために、FracMan/MAFICコードを導入した他、埼玉大学の渡辺助教授と共同でDon-Chanモデルを開発し、釜石鉱山におけるトレーサー試験のシミュレーション（図A-11）により、亀裂性岩盤への適用の可能性を確認している。さらに、岩盤の透水係数の空間的分布を推定する手法については、多孔質岩盤について、物理検層データを用いた透水係数データの補完方法（図A-12）、地球統計解析手法やフラクタル理論を応用した手法（図A-13）を東濃鉱山周辺の岩盤に適用し、その有効性を確認した。

坑道内での調査に用いる機器開発としては、地下の坑道近傍の坑道掘削の影響を受けた岩盤領域において間隙水圧測定や透水試験を行うための水理学的ゆるみ領域計測装置を開発し、東濃鉱山と釜石鉱山でその適用性を確認している。また、坑道壁面からの蒸発量を迅速かつ精密に測定する装置を開発し、東濃鉱山、釜石鉱山およびスウェーデンSTRIPA共同研究などでその有効性が確認できている。現在、坑道から掘削された複数の試錐孔を用いた孔間透水試験装置を開発中であり、釜石鉱山での適用試験を予定している。

2. 3 地下水の地球化学

地表から地下深部までの地下水の地球化学的性質を把握すること、およびその地球化学性質が形成されるに至った過程を明らかにすることを目標とし、堆積岩（東濃鉱山）および結晶質岩（釜石鉱山）を対象に技術開発を実施してきた。

このため調査機器開発として、500m対応、1,000m対応の地球化学調査装置（採水・原位置パラメータ測定装置）を開発し、東濃鉱山周辺等でその適用性を評価してきている（図A-14）。また、坑道から掘削された試錐孔を用いて、地下深部の地層水の物理化学パラメータを連続観測するための酸化還元電位測定システム（図A-15）を開発し、東濃鉱山、釜石鉱山の坑内試錐孔において、データの取得を継続している。採水した地下水の分析技術

は標準化されたものが既に存在し、東濃鉱山およびその周辺地域や釜石鉱山の地下水について多くの実績を積み重ねてきている。ただし、地下水の年代測定技術のうち、地下水中の炭素同位体比および水素同位体比を測定する方法は標準化されているが、測定された同位体比から年代を算出するためには、調査地域ごとの手法が用いられる。

東濃鉱山周辺の堆積岩中（深度約 180m）の地下水について、水質の空間的分布（図 A-16）を把握し、その水素、酸素および炭素の同位体データによる起源・年代を推定している（図 A-17）。釜石鉱山では、試錐孔および坑道を利用して花崗岩中の地下水の化学組成（最大深度 800m）、酸素・水素の安定同位体組成およびトリチウム濃度分布を把握している（図 A-18、19）。

地下水の水質の空間分布および水質形成機構の把握とモデル化については、多変量解析による地下水の水質区分や平衡論に基づいた水-岩石反応解析コードである PHREEQE, EQ3/6 を用いた理論解析を実施し、その有効性を確認している。東濃地域の堆積岩中の地下水について、野外調査、水-岩石反応試験および平衡論に基づいた熱力学解析により、方解石の溶解、粘土鉱物-地下水間のイオン交換反応が主要な水-岩石反応であることを明らかにしている（図 A-20）。釜石鉱山の地下水については、水質データを対象とした多変量解析による地下水の水質区分を行い、トリチウム濃度の深度分布等と合わせて、地下水流動への既存坑道の影響が確認できた。

2. 4 岩盤力学

岩盤力学に関する研究では、岩石の熱的性質、力学的性質、初期応力および坑道掘削による岩盤への影響を把握するための研究を行っている。本研究は、堆積岩を対象として東濃鉱山で、結晶質岩を対象として釜石鉱山で実施している。

岩石の熱的性質に関する研究では、地下深部の高温条件下に置かれた場合の岩石の内部構造の変化や変形挙動を把握する上で重要と考えられることから、東濃鉱山の瑞浪層群の堆積岩と釜石鉱山の栗端花崗閃緑岩について岩石の熱伝導率、熱膨張率、比熱容量についての情報を取得している。

岩石の力学的性質に関する研究では、東濃鉱山および釜石鉱山における掘削影響試験などの研究の中で、試錐孔から得られたコア試験等を用いて、一軸圧縮試験、圧裂引張試験、三軸圧縮試験、弾性波速度測定、密度測定などの室内試験を実施し、各種力学的性質に関するデータを取得した。これらのデータと文献調査の結果を比較し、東濃鉱山と釜石鉱山の岩石の特徴を検討した。孔内載荷試験については、原位置（孔内）で岩盤の力学データを取得する手法の一つとして、現在一般にその適用性が確認されている深度 300m 程度までの範囲で、適用実績を積んでいる（図 A-21）。

岩石の初期応力に関する研究では、両鉱山において初期応力測定を実施し、応力状態を把握するとともに、測定手法の適用性について検討した。原位置での応力測定手法として、応力解放法、水圧破碎法、二面破碎法等を東濃鉱山周辺地域（図 A-22）や釜石鉱山（図 A-23）等に適用してきている。また、繰り返し測定が可能な多面破碎法の開発を手掛けてきている。さらに、試錐コアを用いた簡便で安価な応力測定手法として、AE 法、DRA 法、DSCA 法等を原位置測定箇所近傍の試錐コアに適用し、その適用性についての知見を得ている。

掘削影響の評価に関する研究では、地下に空洞を掘削することにより発生する空洞周囲の

岩盤状態の変化や周辺地域の地下水流動の変化を掘削影響と定義し、掘削影響を把握・評価するため、東濃鉱山（堆積岩）および釜石鉱山（結晶質岩）において、坑道掘削の前・中・後に各種調査・試験を実施し、掘削影響領域の岩盤特性とその広がりを把握するとともに掘削影響の発生メカニズムを検討した。

2. 5 データベース

釜石鉱山における地層科学研究のデータを一元管理し、効率的活用を図るためにデータベースの開発を行っている。

2. 6 試錐掘削

試錐孔の掘削により岩盤本来の透水性や地下水の地球化学的性質などを極力乱さないためには、掘削流体として地層水を用いることが理想的である。しかしながら、現実的には必要量の確保の点などから困難である。一般的には次善策として付近の河川（沢）水等の清水が用いられている。いずれにしろ泥水を用いない場合は、孔内崩壊が発生しやすいため、動燃ではこれに対応するための部分保孔技術としての部分拡孔装置を開発中である。これに続いて、崩壊部固化技術の開発、部分ケーシング（ストレーナー付き）装填技術の開発を予定している。開発された技術は、順次、超深地層研究所計画における試錐掘削に使用し、改良を加えていく。

2. 7 工学的技術

超深地層研究所の施設検討に役立てるために、立坑や斜坑を伴う国内外の地下研究施設の設計方法や施工実績等について、これまでの調査結果を踏まえてさらに詳細な調査を行うことが重要である。調査対象は、スウェーデン、カナダ、アメリカ、スイスなどの地下研究施設、金属・石炭鉱山、地下発電所および石油地下備蓄などの地下施設が考えられる。

本研究施設は少なくとも 20 年間にわたって使用され、坑道の安定性確保や坑内環境の維持方法等長期にわたる作業上の安全性や研究環境の保持も重要な問題である。例えば、地温の上昇率は平均 $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ であり、東濃地域の既存孔の温度検層からも超深地層研究所の立坑の坑底で 30°C 以上になることが予想される。このような地温の高いところでは作業環境の面からも、坑内温度管理が重要である。さらに、地下施設を建設する岩盤が大深度における結晶質岩であるため、山はねなどの問題も想定される。

地下施設の設計方法の検討、全体目標を達成するための具体的な研究項目に対する地下施設の設計、実際の施工方法や設備の検討、さらには長期にわたる研究環境維持の問題の検討など多岐にわたる課題がある。

3. 地表からの調査予測研究段階の計画

3. 1 概要

3. 1. 1 研究の構成

地表からの調査予測研究段階では、超深地層研究所建設予定地（正馬様洞用地）の地質環境を対象に、まず地表からの調査と試錐孔を利用した調査が行われる。この段階では、地質構造、地下水の水理、地下水の地球化学に関する情報の収集が主体となる。地質環境は不均質であり、1回の調査・解析のみで対象とする地質環境を十分に把握できないことは、これまでの多くの調査研究事例から明らかである。そのため、地質環境を対象とする調査の多くは、「調査－解析－解析結果の評価－追加調査－再解析」というプロセスを踏んでいる。本研究でも、調査・解析のプロセスを繰り返すことにより、研究成果の信頼性の向上を図っていく。具体的には、調査・解析によって推定された地質環境が、事前に設定した評価の基準に達しない場合には、解析に用いた入力データおよび構築した当該モデルを吟味し、解析プロセス上の不備の有無を確認する。この結果を基に、入力データおよびモデルの見直しを行い、さらに必要に応じて追加調査を実施し、不足している情報を補う（図3. 1-1）。これにより、地質構造、地下水の水理、地下水の地球化学の観点から、実施領域の天然に近い状態の地質環境、および地下施設建設による地下水の流動や水質などへの影響が、ある幅を持って予測される。予測に先立って、予測結果の評価方法や評価基準を設定しておくことは重要であるが、これも絶対的なものと位置づけるのではなく、必要に応じて見直される場合もある。一方、このような一連の調査・解析を繰り返す過程で、解析に必要なデータの種類やその質と量が明らかにされることから、地質環境に応じた調査手法が最適化されることとなる。また、調査で得られる膨大な情報を効率よく管理し活用するためには、一元的な情報管理が不可欠であり、本段階においてデータの品質管理の考え方を明確に示した上でデータベースを構築するとともに、データを合理的に解析し、その結果を3次的に可視化するために必要な計算機システムを構築する。

3. 1. 2 段階目標

地表からの調査予測研究段階の段階目標は、以下の3項目である。

- 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基に、地下の地質環境を推定し、地下施設建設に伴う影響を予測すること。
- ②予測結果の評価方法を定めること。
- ③地下施設の詳細設計を行い、坑道の掘削を伴う研究段階の計画を詳細に決定すること。

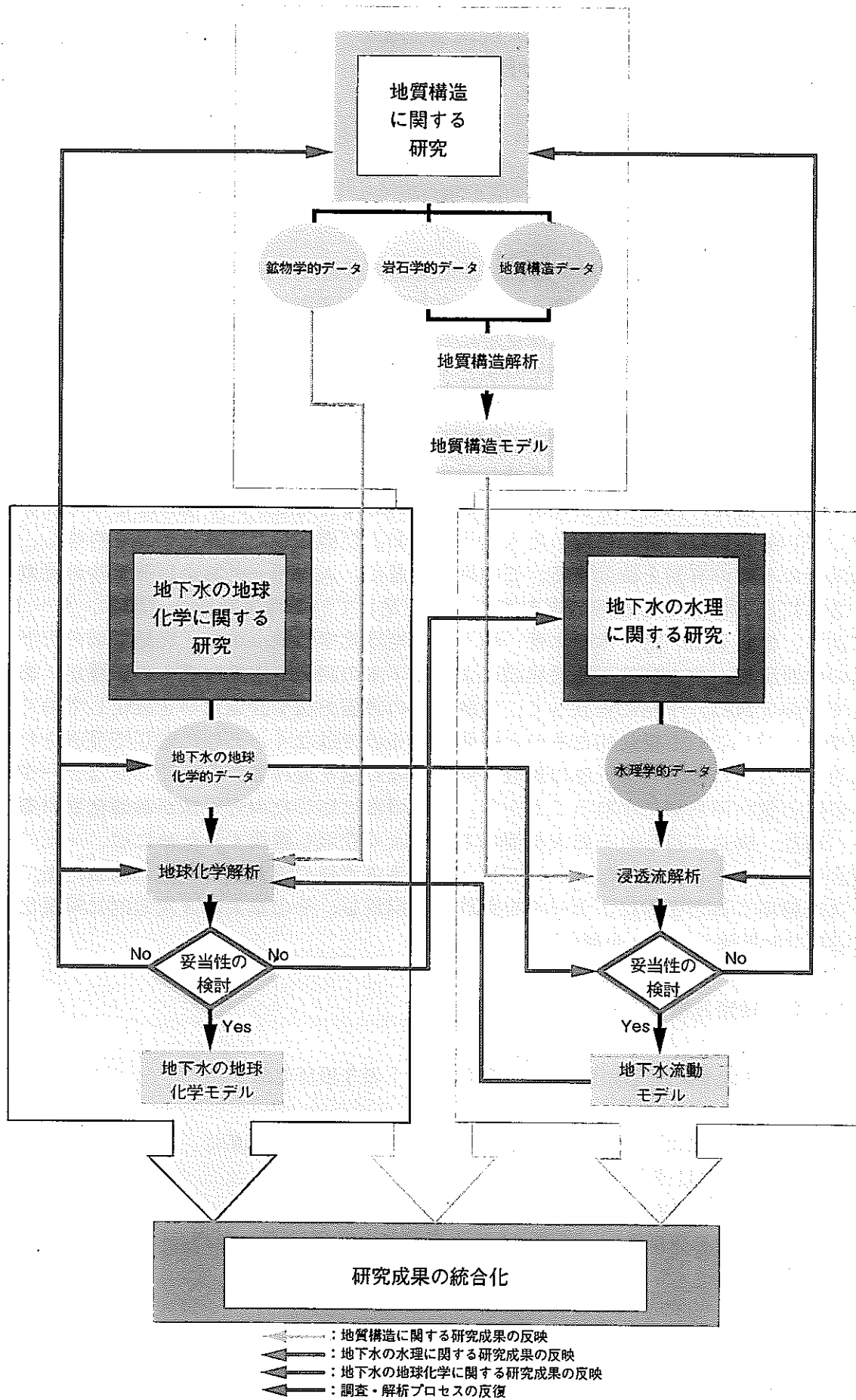


図3.1-1 地表からの調査予測研究段階における各調査研究の関係

3. 1. 3 スケジュール

地表からの調査試験研究段階のスケジュールを表3. 1-1に示す。本段階の期間は5年間程度を予定している。

表3. 1-1 地表からの調査予測研究 スケジュール

	第1年度	第2年度	第3年度	第4年度	第5年度
(1)試錐					
(2)地質構造					
・岩芯記載／調査					
・室内分析／試験					
・物理検層					
・岩盤物性試験					
(3)水理					
・機器製作					
・透水試験					
・水圧観測					
(4)地球化学					
・機器製作					
・採水／分析					
(5)解析／評価					

3. 2 地質構造

3. 2. 1 背景

白亜紀から古第三紀の間で中部地方の西南日本内帯に分布する火成岩類の活動期は、約 90Ma・約 65Ma・約 45Ma・約 35Ma を境とした 5 つの活動ステージに区分される。それらの活動時期のうち東濃地方には、ステージⅡ（約 90Ma～約 65Ma）の時期に形成されたと考えられる深成岩類が広く分布する。岐阜県瑞浪市から土岐市を中心に分布する土岐花崗岩もその 1 つである。調査の対象となる瑞浪市付近は、深成岩類と「美濃区」に属する中生層との境界部にあたり、「美濃区」の堆積岩と深成岩類の貫入に伴う接触変成作用や多くの岩脈などが認められる。これらの基盤岩類を覆う新第三紀堆積岩類（瑞浪層群）が当地域には広く分布し、その堆積岩層中に月吉鉱床をはじめとするウラン鉱床が点在する。また東濃地域には、北東および北西系の断層が発達し、調査実施領域内にも月吉断層が数 km にわたって確認されている。

地質構造調査では、調査実施領域の深部地質環境を把握するために、当地域の地下深部の地質構造、岩相や割れ目分布、岩盤力学的な情報などを正確に把握することが重要である。すなわち、地表から地下深部までの詳細な地質構造を系統的に調査し、簡明な地質構造モデルを構築することを課題とする。また、日本の地質環境に適合した調査手法を開発することが重要であり、広域地下水流動研究で並行して行う様々な手法も組み合わせ適用し、予測された結果を次段階において得られる調査結果と比較することによって、有効な調査手法を開発することが、地質構造調査の重要な課題である。地質構造調査の進め方を図 3. 2-1 に示す。

3. 2. 2 目標

地表からの研究段階における地質構造調査の目標は、以下の通りである。

- ①調査実施領域での岩相の分布と割れ目、断裂（断層）などの地質環境に関するデータの取得、および地質構造モデルの構築
- ②本段階に続く研究段階で明らかにされると考えられる調査実施領域の地質構造の推定

3. 2. 3 実施内容

(1)調査の進め方

地表からの研究段階では、広域地下水流動研究の成果を参考にしながら、地質調査、物理探査および試錐調査を行う。物理探査として、電気探査と弾性波、レーダー、比抵抗のトモグラフィー調査を行う。これらの情報を基に、地質構造モデルを構築し、新たに追加される情報をモデルに反映させ、地下水水理調査および地下水の地球化学調査に活用していく。

試錐調査としてはまず、立坑予定位置およびその周辺に十本程度の 1,000m 級の試錐孔

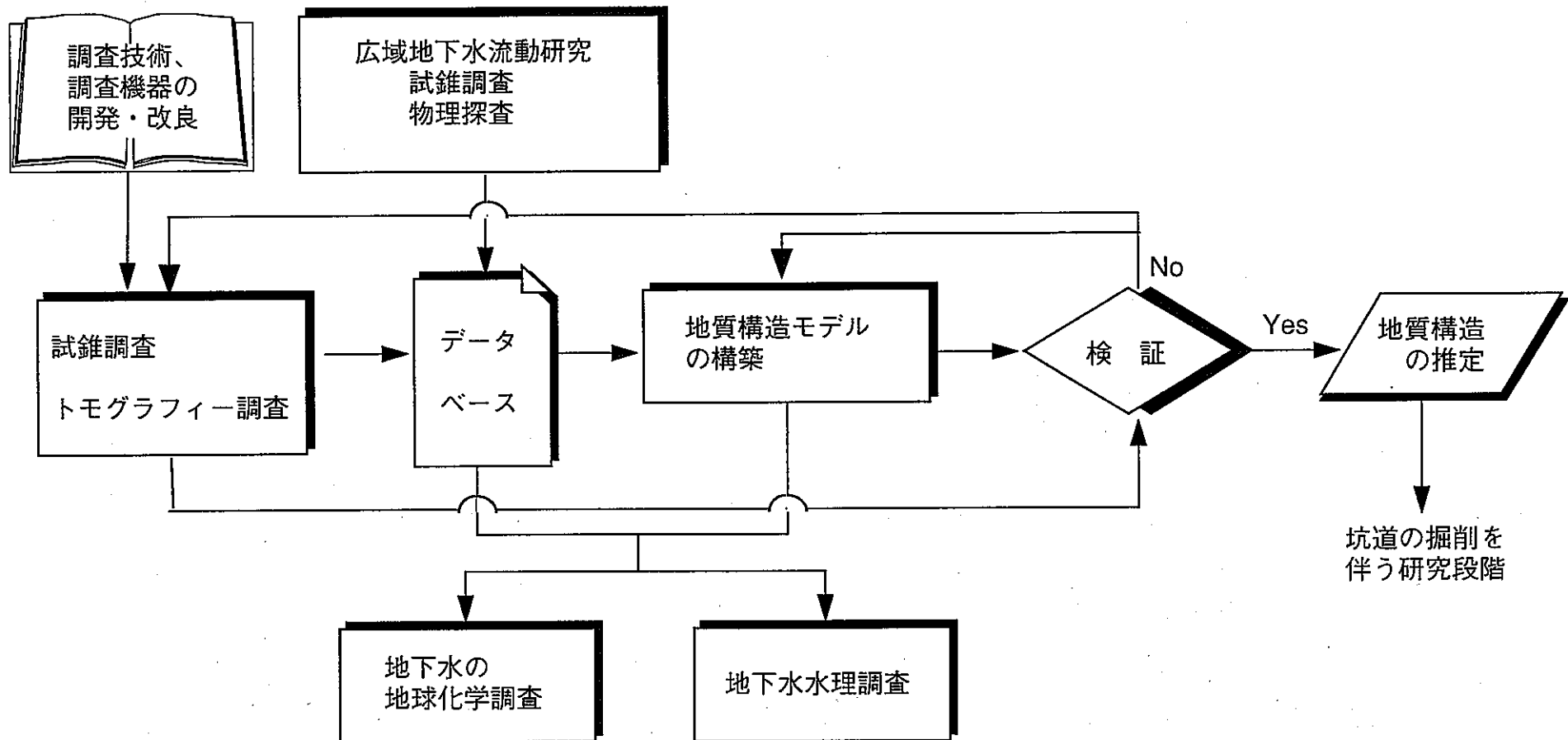


図3.2-1 地質構造調査の流れ

を掘削する。試錐による地質構造調査と地下深部における岩盤の応力値などの測定を行い、立坑予定位置周辺の破碎帯などの形状や連続性を詳細に把握（3次元的地質構造モデルを構築）するとともに、これに基づき地下施設の設計を行う。構築された地質構造モデルはそれ以降の試錐孔地点の選定に重要な情報となる。

なお、これらの調査は、基本的に既存の機器の使用を前提とし、必要に応じて改良などを行っていく。

(2)試錐孔位置の基本的な考え方

立坑予定位置を中心に予定されている試錐孔の位置を図3. 2-2に、試錐調査の内容、目的を表3. 2-1に示す。試錐調査の基本的な進め方は以下のとおりであるが、調査の進展に伴い、試錐位置や調査項目などの見直しを行う。

試錐孔の数および位置の決定方法は重要な課題であり、天然の状態にある地質環境を極力乱さないように把握できることが必要である。それまでに行った試錐調査の結果を用いて、試錐調査の進展に伴って孔間の地質構造の推定と検証を繰り返し、地質環境を把握するための妥当な試錐間隔が求められる。

試錐孔配置の基本的な考え方は、広域の地下水の流れを考慮して、立坑予定位置を中心に上流側2方向（北東および北西方向）、下流側1方向（南方向）の3方向について放射状に試錐孔を配置する。各方向の試錐間隔は、立坑掘削影響調査の実績に基づき、掘削影響の大きい立坑近傍は細かく、外側に向かって徐々に粗く配置し、立坑予定位置から約25m、約50m、約100m、約200mとする。

(3)実施内容

1)地表探査（電気探査）

試錐調査に先立って地表において電気探査を実施し、調査実施領域の浅部比抵抗分布を求め、花崗岩を被覆する堆積岩の分布およびその構造を推定する。

2)試錐孔を用いた調査

①試錐掘削に伴う調査

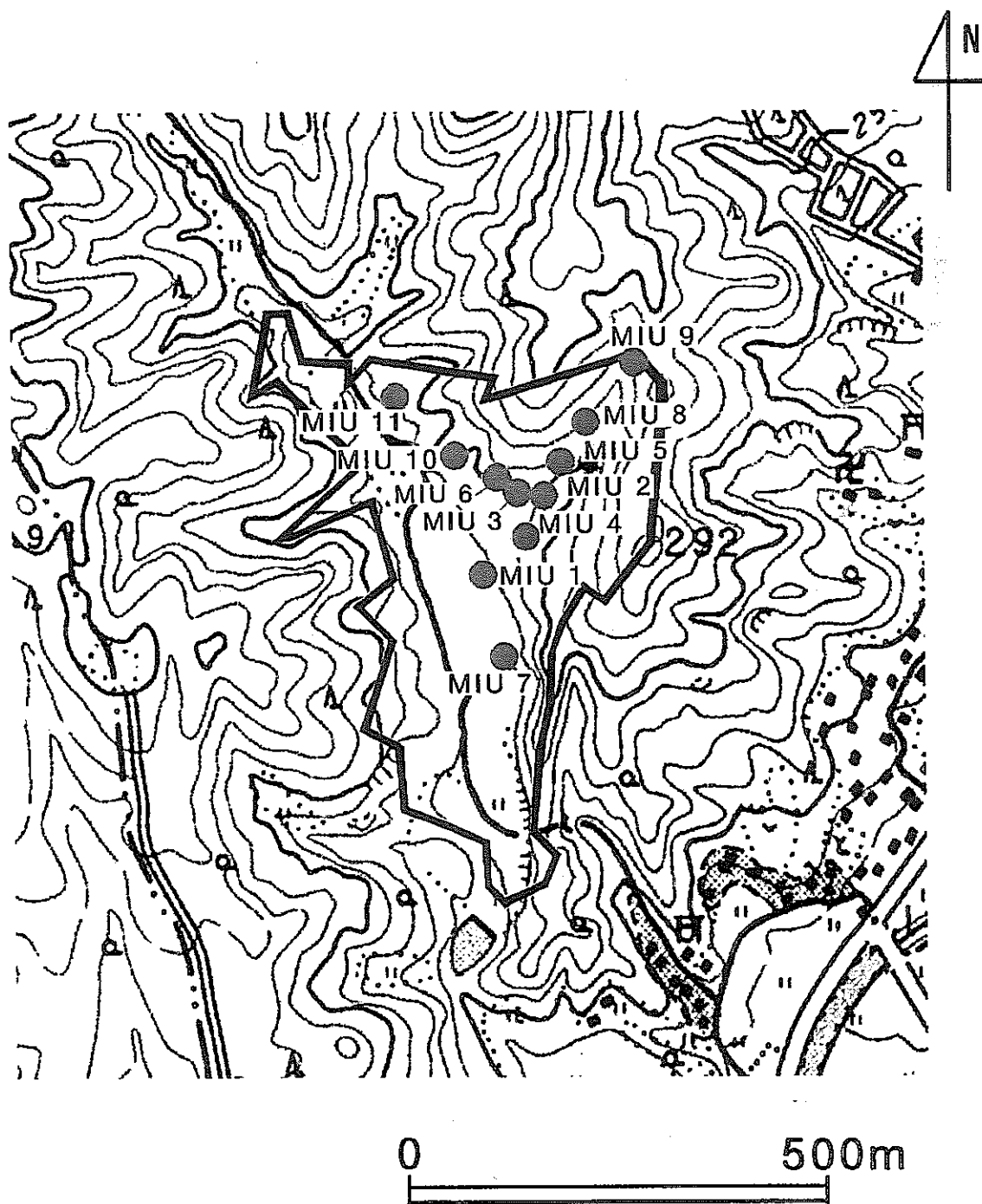
試錐掘削と並行的に実施する地質構造調査は、岩相の分布や主要な割れ目、破碎帯などの地質構造を把握するため次の項目を実施する。

- ・岩芯記載
- ・物理検層調査
 - －電気検層
 - －密度検層
 - －中性子・ガンマ線検層
 - －音波検層
 - －温度検層
 - －XY孔径検層

表 3.2-1 超深地層研究所計画における試錐孔一覧表

孔番	孔長	調査内容											試錐孔の設置目的								備考	
		岩芯 観察	物理 検層	BTV	鉱物 組成 調査	断層 調査	年代 測定 調査	物性 試験	原位置 透水 試験	長期 揚水 試験	長期 水圧 観測	採水 ・ 計測	地質 構造	透水性	力学 試験	水質	レーダ モダリティ	比抵抗 トモグラ フィ	弾性波 トモグラ フィ	長期揚水 試験		その他
MIU-1	1,000m	○	○	○	○	○		○	○		○	○	○	○		○				観測孔		立坑掘削影響用
MIU-2	1,000m	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	トランスミッタ用			揚水孔	水圧破 砕・AE	立坑のハイドロホ ーリング
MIU-3	1,000m	○	○	○	○	○		○	○		○	○	○	○		○				観測孔		立坑掘削影響用
MIU-4	1,000m	○	○	○	○	○		○	○		○	○	○	○		○	○	○		観測孔		立坑掘削影響用
MIU-5	1,000m	○	○	○	○	○		○	○		○	○	○	○		○	○	○		観測孔		立坑掘削影響用
MIU-6	1,000m	○	○	○	○	○		○	○		○	○	○	○		○	○	○		観測孔		立坑掘削影響用
MIU-7	1,000m	○	○	○	○	○		○	○		○	○	○	○	○			△	○	観測孔	水圧破 砕・AE	立坑掘削影響用
MIU-8	1,000m	○	○	○	○	○		○	○		○	○	○	○		○				観測孔		立坑掘削影響用
MIU-9	1,000m	○	○	○	○	○		○	○		○	○	○	○	○			△	○	観測孔	水圧破 砕・AE	立坑掘削影響用
MIU-10	1,000m	○	○	○	○	○		○	○		○	○	○	○		○				観測孔		立坑掘削影響用
MIU-11	1,000m	○	○	○	○	○		○	○		○	○	○	○	○			△	○	観測孔	水圧破 砕・AE	立坑掘削影響用

○：実施予定の調査、△：オプションの調査



(国土地理院発行、1:25000地形図「土岐」を使用)

図3.2-2 超深地層研究所における試錐孔計画位置

- －孔曲がり検層
- －フローメーター検層
- －レーダー法シングルホール調査
- ・BTV調査
- ・VSP法調査
- ・岩石鉱物組成調査
- ・岩体の年代測定

②岩盤力学関連の調査

岩石の物性や応力、温度などを試錐孔での調査や岩芯を用いた試験によって把握する。

- ・岩盤物性試験
 - －物理試験
 - －力学試験
 - －熱特性試験
- ・力学調査
 - －水圧破砕法
 - －AE法

③トモグラフィー調査

試錐孔を利用して弾性波、レーダーおよび比抵抗によるトモグラフィー調査を実施し、孔間の地質構造を推定する。トランスミッタ用試錐孔は立坑予定位置に掘削するMIU-2号孔を、レシーバ用試錐孔はその周辺に掘削する試錐孔を用いる。孔間で実施するトモグラフィー調査の組合せは、調査の分解能や適用範囲により表3.2-1のとおりとする。

④調査の進め方

試錐掘削順序は、実施領域の外側から内側へ調査する方法と内側から外側へ調査する方法が考えられるが、次の2つの観点から、原則として立坑予定位置付近から外側へ向かって調査を展開する。

- ・地下施設の設計に反映させるため、立坑近傍の情報をできるだけ早く取得する。
- ・地質構造を3次元的に把握できる各種トモグラフィー調査を効率的に実施する。

なお、試錐調査には、地質構造に関する項目の他、後述の地下水水理および地下水の地球化学に関する項目が含まれている。各試錐孔における一連の調査の終了後、多点式間隙水圧観測システム（MPシステム）を設置し、長期観測を開始する。

- ・第1年次に掘削する試錐孔（MIU-1号孔）は、施設計画（特に敷地造成工事）を考慮してモニタリング孔として掘削する。掘削終了後にMPシステムを設置する。
- ・敷地造成計画が固まった第2年次に立坑予定位置にパイロットボーリングとして試錐孔（MIU-2号孔）を掘削する。掘削終了後、地下施設の安定性や周辺岩盤の力学的挙動を評価するために、力学調査として水圧破砕法およびAE法を実施し、立坑位置における岩盤の応力状態を把握する。本試錐孔は、前述のとおり各種トモグラフィー調査のトランスミッタ用試錐孔として用いられる。なお、本試錐孔は立坑予定位置に掘削するため、MPシステムを設置しない。
- ・立坑予定位置からみて、地下水の流れの上流と考えられる北西方向へ約25m離れた位

置で試錐調査（MIU-3号孔）を実施する。本試錐孔は、MIU-2号孔とMIU-6号孔間で実施する各種トモグラフィー調査の検証用試錐孔である。

- ・立坑予定位置からみて、南、北東および北西方向へ約 50m 離れた位置で試錐調査（MIU-4、5、6号孔）を実施する。掘削終了後、MIU-2号孔とこれらの試錐孔との間の地質構造を把握するために、レーダー、比抵抗および弾性波トモグラフィーを実施し、地下構造を推定する。弾性波トモグラフィーは試錐孔へのダメージを少なくするため、スパーカー等の非破壊振源を用いて実施する。
- ・立坑予定位置からみて、地下水の流れの上流と考えられる北東および北西の方向へ約 100m 離れた位置で試錐調査（MIU-8、10号孔）を実施する。MIU-2号孔とMIU-9、11号孔で実施するトモグラフィー調査結果と比較することにより、トモグラフィー調査の妥当性の評価を行う。
- ・上述の3方向について、立坑予定位置から約 200m 離れた位置で試錐調査（MIU-7、9、11号孔）を実施する。掘削終了後、力学試験として水圧破碎法およびAE法を実施し、応力場の空間的分布を把握する。また、ダイナマイト振源を用いて弾性波トモグラフィーを実施する。

(4)スケジュール

地表からの調査予測研究段階における地質構造調査は5年間程度実施する。なお、調査の進展に伴い、スケジュールは適宜見直すこととする。

地質構造調査 スケジュール

	第1年度	第2年度	第3年度	第4年度	第5年度
調査					
(1)試錐調査					
試錐岩芯記載					
物理検層調査					
BTV 調査					
岩石鉱物組成調査					
年代測定調査					
岩盤物性試験					
(2)地表探査（電気探査）					
(3)トモグラフィー調査					
(4)岩盤力学試験					
解析					
(1)地質構造モデルの構築					
(2)地質構造の推定・評価					

3. 2. 4 推定

地質構造調査から得られた地質・鉱物・岩盤物性に関するデータを基に、地質構造モデルを構築し、立坑掘削段階において明らかになると考えられる地質構造を推定する。将来の物質移行や岩盤挙動に関する試験のレイアウトを決定するためにも地質構造の推定が必要である。

3. 2. 5 評価

試錐調査の展開は、立坑予定地点を中心に外側に向かって調査を行うことから、推定した孔間の地質構造の妥当性を評価するために、先に掘削した立坑予定地点との間の試錐孔の結果を用いる（ブラインドテスト）。このようなブラインドテストを試錐調査毎に繰り返し、地質環境に関する情報の精度と試錐間隔の関係を明らかにしていく。

地表からの調査予測研究段階で構築した地質構造モデルは、立坑掘削段階において得られる岩相の分布や割れ目・断層などの規模や位置に関するデータと対比し、その妥当性を評価する。推定結果と調査結果が事前に設定した評価基準を外れる場合には、その原因について考察し、必要に応じて調査を繰り返すこととする。また、調査手法の最適化についても、その組み合わせを随時検討しつつ行う。

3. 3 地下水水理

3. 3. 1 背景

地質環境の構成要素である地下水の動きを把握するためには、地下水の流速と流動経路を決定する岩盤の透水係数の分布、水頭を決定する地形、および浸透流解析上の境界条件となる地下水涵養量などの情報が必要である。これらの情報を取得するため、動燃では地層科学研究の一環として実施してきた広域地下水流動研究において、手法の開発を進めてきた。平成6年度には深度 1,000m 対応の水理試験装置の1号機が完成し、深度 1,000m までの透水性の低い岩盤 (10^{-10} cm/sec オーダーまで) の透水係数の測定が可能となった。また、気象観測装置・河川流量計・土壌水分計・地下水位観測孔から構成される表層水理定数観測システムを構築し、東濃鉱山周辺で 0.57mm/日の地下水涵養量を算出した。一方、解析手法の開発では、東濃鉱山の第2立坑の掘削影響試験を通して、堆積岩(多孔質媒体)を対象とした地下水流動解析手法の検証、および透水係数の空間分布を推定する手法の開発が行われた。

地下水流動に関する当面の課題としては、深度 500m 以深の岩盤領域の透水係数を測定し、透水係数の深度依存性を把握すること、主要な水理地質構造と考えられる破碎帯の水理学的性質の解明が挙げられる。日本の地質における破碎帯の水理学的性質は、破碎帯の形成年代や地殻変動量の違いにより、スウェーデンやカナダなどの先カンブリア紀の安定地塊における破碎帯の水理学的性質とは、透水性の点で異なるものと予想されるため、日本固有の研究課題として重要である。さらに、本計画では、岩盤の透水性が結晶質岩中の割れ目や破碎帯などの分布に支配される亀裂性岩盤を対象としているため、これに対応した地下水流動解析手法および透水係数の空間分布の推定手法の検討が必要である。

本計画では、実施領域内における自然状態の地下水流動を把握し、地下施設の掘削に伴う地下水流動の変化を予測するための調査・試験および解析と並行して、上記の課題の解決に向けての研究開発を実施する。

3. 3. 2 目標

地表からの調査予測研究段階における地下水水理調査の目標は以下のとおりである。

- ①実施領域の水理地質構造モデルの構築(深部岩盤および主な透水帯となる水理地質構造〔地層境界、破碎帯、風化部など〕の水理学的性質の把握)。
- ②地下施設の掘削前の地下水流動の把握、および地下施設の掘削に伴う地下水流動の変化の範囲と規模、ならびに坑道内への湧水量の予測。

3. 3. 3 実施内容

(1)調査の進め方

地下水水理調査では、立坑掘削予定地点を中心に掘削される十本程度の 1,000m 級の試錐孔で各種調査を行う。これにより得られる情報に基づき水理地質構造モデルを構築し、地下水流動解析を実施し、地下施設の掘削前の地下水流動状態を把握する。解析結果は、解析に

用いなかった間隙水圧などの実測データとの比較により評価され、必要に応じて試錐調査の実施や水理地質構造モデルの改良など繰り返すこととなる。さらに次段階の予測として、地下施設の掘削に伴う地下水流動の変化の範囲・規模、および掘削される坑道内への湧水量の予測解析を実施する。本調査の流れを図3、3-1に示す。

地下水水理調査の調査技術・機器ならびに解析手法については、既存技術・機器を活用して調査を実施することを基本とするが、既存技術・機器だけでは調査の目標を達成できない場合は、可能な範囲内で手法の開発・改良を実施する。なお、超深地層研究所を包含する領域で実施している広域地下水流動研究の成果については、水理地質構造モデルの構築および地下水流動解析に有効に活用する。

(2)実施内容

1)表層水理調査

超深地層研究用地内に分布する未固結砂礫層の瀬戸層群における地下水の涵養量や流出特性を把握するため、表層水理定数観測（気象観測・河川流量・土壌水分・自由地下水面）を実施し、地下水涵養量を算定する。これらの情報は、水理地質構造モデルの構築および地下水流動解析での境界条件や初期条件の設定に用いられる。

自由地下水面観測については、超深地層研究用地の尾根部およびその斜面部の測線上に水位観測孔（最大深度 20m 程度）を掘削し、自由地下水位面観測を行う。水位観測孔は、異なる自由地下水面を捉えるように地点毎に複数孔を掘削し、岩芯記載、電気検層、水理試験、土質試験（粒度分析）を行う。また、水位観測孔と同じ地点に土壌水分計を設置する。これによって、土壌の透水係数やその不飽和特性、地下施設掘削時の影響、未固結砂礫層中の地下水のフラックスや未固結砂礫層から新第三紀への浸透量を把握する。

2)深層水理調査

地下水流動解析の初期条件を設定するため、立坑掘削予定地点周辺に 1,000m 級の試錐孔を掘削し、図 A-9 に示す水理試験装置を用いて各深度における間隙水圧を測定するとともに、岩盤および破碎帯などの透水性とその深度依存性を把握するための水理試験を実施する。試験区間は、地質構造調査で実施する試錐岩芯記載、物理検層および BTV 調査の結果に基づいて決定する。また、試錐孔掘削を約 100m 毎に停止し、1,000m 対応揚水試験装置を用いて、エアリフトや水中ポンプによる定圧の揚水試験を行う。

・水理試験

- －間隙水圧の測定
- －透水試験
- －揚水試験

・フローメーター検層

・流向流速検層

・室内透水試験

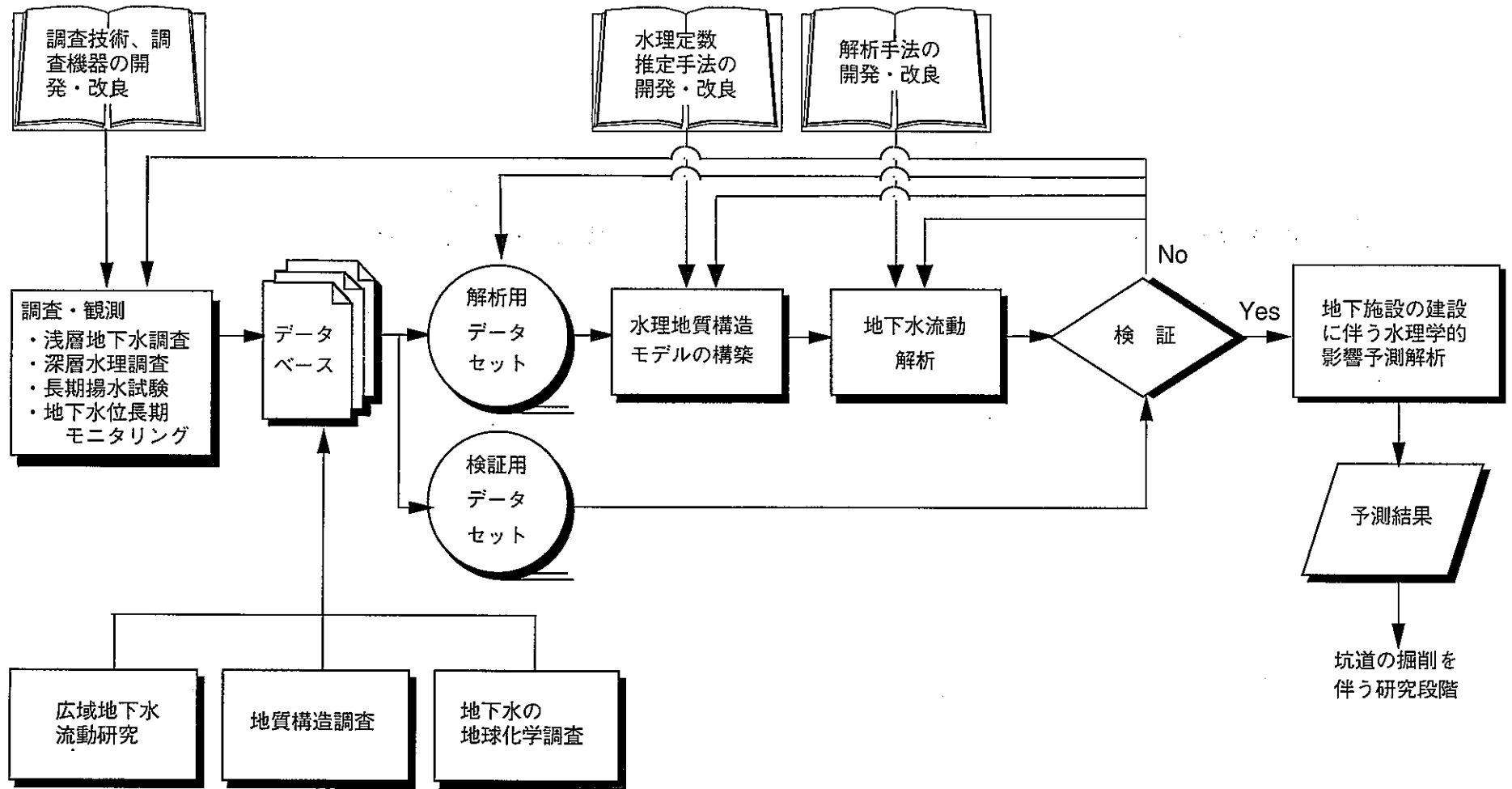


図3.3-1 地下水水理調査の流れ

3)水理地質構造モデルの構築

広域地下水流動研究により構築した水理地質構造モデルを参考に、地下施設に交差あるいは近接する破碎帯や割れ目帯などの地質構造を表現した水理地質構造モデルを構築する。

4)地下施設周辺の水理地質構造を把握するための長期揚水試験

地下施設の予定地点に掘削される 1,000m 級の試錐孔（MIU-2号孔）を揚水孔とした長期の揚水試験を実施し、地下施設周辺の水理地質構造、特に主要な透水経路となる地質構造を把握する。この長期揚水試験に先立ち、上記の水理地質構造モデルを用いて地下水流動解析を実施し、長期揚水試験による間隙水圧の変化などの範囲と規模を予測する。試験終了後、予測結果と試験結果を比較することにより水理地質構造モデルの妥当性を評価するとともに、必要に応じて水理地質構造モデルの改良を行う。

5)地下施設の掘削に伴う水理学的影響の予測解析

地下施設の掘削に伴う地下水流動の変化の範囲と規模、および掘削された坑道内への湧水量を予測するため、上記の水理地質構造モデルの要素として地下施設を組み入れ、地下水流動解析を実施する。

6)地下水位長期モニタリング

各調査で掘削された試錐孔を観測孔として、広域地下水流動研究で設置している観測孔に加えて地下水位（間隙水圧）の長期モニタリングを実施する。各観測孔には、図A-8に示す多点式間隙水圧観測システム（マルチパッカーシステム）等を設置し、地下水位（間隙水圧）および水質を測定する。

7)試錐孔位置

水理学的見地からの試錐孔掘削位置の基本的な考え方は、「3.2 地質構造」で述べたとおりである。試錐調査およびトモグラフィー調査の結果により、具体的な位置をその都度見直し、地下施設に交差あるいは近接する破碎帯などの水理学的に重要な地質構造の透水性、およびその深度依存性、異方性、さらに構造の連続性を把握するため試錐孔を掘削し、水理試験（単孔式および孔間）を実施する。

(4)スケジュール

地表からの調査予測研究段階における地下水水理調査は原則として5年間程度で実施するが、調査の進展に伴い、スケジュールを適宜、見直すこととする。

地下水水理調査 スケジュール

	第1年度	第2年度	第3年度	第4年度	第5年度
調査					
(1)表層水理調査					
(2)深層水理調査 〔 透水試験 揚水試験					
(3)長期揚水試験					
(4)地下水位長期モニタリング					
解析					
(1)水理地質構造モデルの構築					
(2)地質構造の推定・評価					
(3)予測・評価					

3. 3. 4 予測

前項で示した手順により構築した水理地質構造モデルを用いて、地下施設の掘削に伴う超深地層研究所周辺の間隙水圧の変化などの範囲と規模、さらに掘削される坑道内への湧水量を予測する。

3. 3. 5 評価

水理地質構造モデルの妥当性は、モデルによる間隙水圧ならびに長期揚水試験などの予測の値と解析に用いなかった試錐孔による実測値との対比により評価する。予測結果と実測値が事前に設定されたある幅を外れる場合には、その原因を考察し、必要に応じてモデルの修正や調査を繰り返すこととする。

地下施設の掘削に伴う地下水流動の変化ならびに掘削される坑道内への湧水量の予測に関しては、次の坑道の掘削を伴う研究段階で計測される実測値との比較により、順次評価していく。評価基準は、専門家の意見なども参考にして、予測解析前に設定する。

3. 4 地下水の地球化学調査

3. 4. 1 背景

地下深部における地下水の地球化学的性質は、地下水の流動経路とそこに分布する岩種に大きく影響を受けるものと考えられる。東濃鉾山周辺におけるこれまでの地層科学研究の結果においても、堆積岩と花崗岩では地下水の地球化学的性質の異なることが認められており、これらの相違は地下水が地下深部の現在位置に到達するまでにかかった時間と通過してきた岩種の相違によって生じているものと思われる。したがって、地下水の地球化学的調査は、地下水の流動や水-岩石反応を支配する地質構造調査および地下水水理調査の結果と対比しながら進める。

地下水の地球化学的調査では、地下深部の地下水の地球化学的性質を、地下深部の地質構造や地下水の流動経路に関する情報と合わせて岩石と地下水の地球化学的反応プロセスの観点から、より正確に把握する。地表から深部までの地下水の地球化学的性質の空間的分布状態は、地下水の起源と地下水の流れに伴う水-岩石反応の結果や異なる化学組成の地下水の混合を反映する。また、坑道掘削に伴って予想されるその性質の変化は、主に地下水の流動変化に起因すると考えられる。本調査では、地下施設の建設により地質環境が乱される前の地下水の地球化学的性質の把握（地下水の地球化学モデルの構築）、および本段階に続く地下施設の建設に伴う地下水の水質変化の予測を行うために一連の調査や予測解析が実施される。ここでいう地下水の地球化学モデルとは、地下水の溶存成分濃度の分布と地下水の主要な流動方向を簡明に表現したモデルである。

3. 4. 2 目標

地表からの調査予測研究段階における地下水の地球化学調査の目標は、以下の通りである。

①地下水の地球化学モデルの構築。

地表から深部までの岩種、破碎帯や割れ目帯などの地質学的特徴の異なる岩盤部分毎の地下水の地球化学的性質の把握。

②坑道掘削に伴う地下水の地球化学的性質変化の予測。

3. 4. 3 実施内容

(1)調査の進め方

調査内容は、地下水の地球化学モデル構築のための一連の調査・解析と坑道掘削に伴う地下水の地球化学的性質の変化の予測に分けられる。後者は、地下水の地球化学モデルそのものあるいは、モデルを構築する過程から導き出されるため、モデル構築のための一連の調査・解析に重点が置かれることとなる。実作業は、地表からの試錐孔を利用した地下水の採水と各種データの取得およびそれを基にした解析が主なものとなる。調査の流れを図3. 4-1に示す。

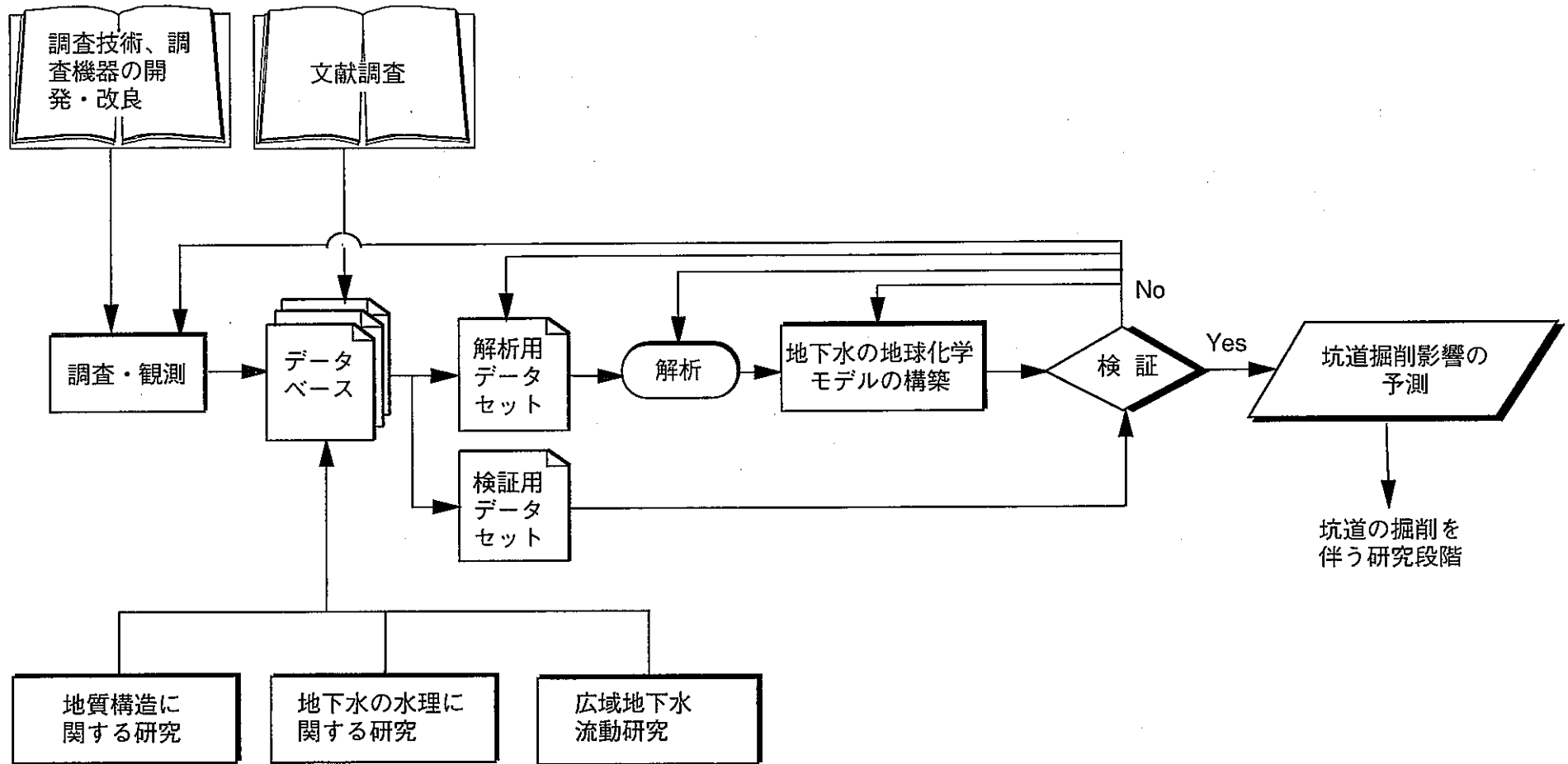


図3.4-1 地下水の地球化学調査の流れ

(2)実施内容

モデル構築の一連の調査・解析の進め方は、1)場を理解するための関連データを取得する調査、その調査を基に行う 2)水質形成メカニズムの検討と 3)モデル作成のための解析および 4)モデルの妥当性の評価を行う。作成された地下水の地球化学モデルを基に、5)坑道掘削に伴う地球化学的性質変化を予測する。

1)場の理解のための調査（データ取得）

本調査は、地下水の地球化学的調査と、その地下水の存在場であり、それを特徴づける岩盤の地質学的・地球化学的調査に分けられる。この調査を通して得られたデータは、地球化学的性質の形成メカニズムの解析のためのデータセットとしてまとめられる。

(a)地下水の地球化学調査

地表から掘削した試錐孔を利用し、各深度での計測、地下水の採取および室内分析を実施し、以下の地球化学的データを取得する。試錐孔の予定位置は立坑掘削位置や広域地下水流動研究での地下水の地球化学調査や水理調査の結果および地形、地質構造等を勘案し、図 3. 2-2 のとおりとする。なお、この調査の中では、地下水の他に、領域内の降水、地表水も対象とする。

①各試錐孔における調査点数

東濃鉱山周辺に掘削された試錐孔を利用した地質構造の予察的調査結果では、約 200m 間隔で破碎帯が確認されている。この結果に基づき、上述の各試錐孔においては、原則として 1 点/200m を目安に測定および採水を実施する。各試錐孔における最終的な調査点数は、地質状況（特に割れ目の分布）、試錐孔壁状況等を考慮し決定する。

(1)測定項目・採水量及び方法

1,000m 対応の地球化学特性調査装置による測定項目は、物理化学パラメータ値：温度、pH、酸化還元電位、電気伝導度および硫化物イオン濃度とする。

②室内分析項目および方法

各試錐孔より採取された地下水について、以下の項目の分析を行う。

- ・主要溶存成分（水-岩石反応の解析に必要な情報）
- ・微量溶存成分（特に酸化還元電位に影響する元素（or 化学種）とウラン）
- ・溶存ガス（不活性条件下/圧力維持の状態での採取・分析）
- ・環境同位体（地下水の年代・起源情報）
- ・微生物/有機物/コロイド

(b)岩盤の地質学的・地球化学的調査

地質構造調査で得られる岩芯試料を対象とした以下のデータを水-岩石反応の解析に必要な情報としてコンパイルする。

- ・母岩の変質、割れ目の形状
- ・母岩のバルクの化学組成、構成鉱物組成、各鉱物の化学組成（土壌を含む）
- ・割れ目充填構成鉱物組成、各割れ目充填鉱物の化学組成

(c)データセットの作成

各データをコンピュータのファイル上で、地球化学計算コード（PHREEQE、EQ3/6）のインプットデータ等として編集する。

2)水質形成メカニズムの検討

作成されたデータセットを使用し、多変量解析により地下水の化学組成分類を行い、地質構造調査で得られる岩種、破碎帯や割れ目分布などの情報を基にした地質学的特徴の異なる岩盤部分毎の地下水の化学組成分布を推定する。また、地球化学計算コードを用いた水-岩石反応のシミュレーションと同位体データを用いた起源

- ・年代に関する解析によって、水質形成メカニズムの解析を行う。水-岩石反応のシミュレーションについては、地下水は地表から地下深部に流動しながら、岩石と順次反応して地下水の地球化学的性質が変化すると考えられることから、地球化学計算コードによりこれらの反応を模擬するとともに、水-岩石反応の室内試験（土壌を用いた試験を含む）を併せてその結果の妥当性を判断していくものである。

3)地下水の地球化学モデルの構築（図3.4-2：モデルのイメージ）

解析までの一連の作業を繰り返しながら、地下水の溶存成分濃度分布と流動方向を推定していくとともにその精度を高める。この際には、地下水の水理および地質構造調査から得られる地下水の流動方向とそれを規制する地質構造（主に破碎帯や割れ目帯の分布）に関する情報を順次とりいれていく。

4)地下水の地球化学モデルの妥当性の評価

地下水の地球化学モデルの妥当性は、モデルによる溶存成分濃度の分布の予測値と検証用の試錐孔における対比により評価する。また、地下水の地球化学的性質は、地下水の流動と密接に関連しているため、地質構造および地下水水理調査の結果と比較し、それらとの矛盾点がないか確認を行う。

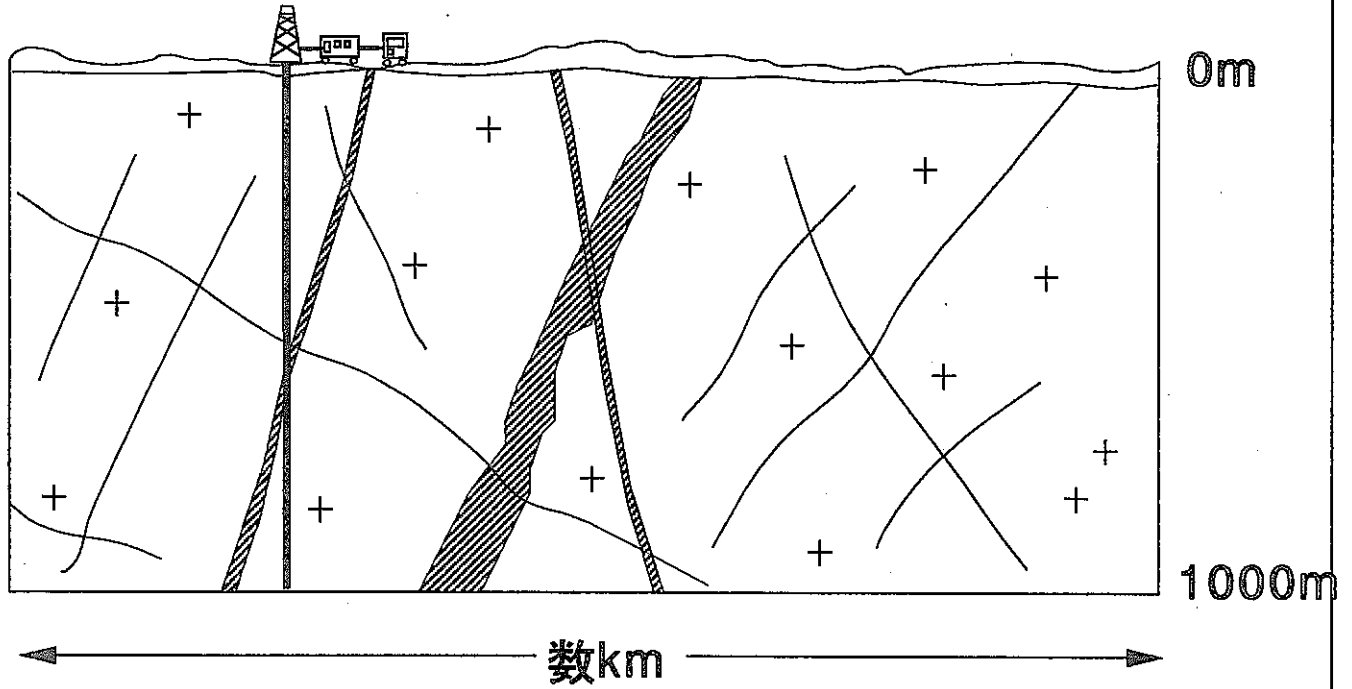
5)坑道掘削に伴う地球化学的性質変化の予測

作成された地下水の地球化学モデルを基に、地下水水理調査で得られる流動の変化の予測と対比しながら、坑道掘削に伴う地下水の地球化学的性質変化を予測する。予測解析においては、特に以下の項目について、地球化学計算コード等を用いてシミュレーションを実施する。

- ・化学組成タイプや溶存成分濃度が異なる地下水間の混合
- ・圧力低下による脱ガスをともなう水質の変化
- ・酸化還元状態の変化

地下水の地球化学モデルの構築

試錐孔を利用した調査
室内分析・試験、解析



↓ ↑
モデルの作成

地質構造
水理特性

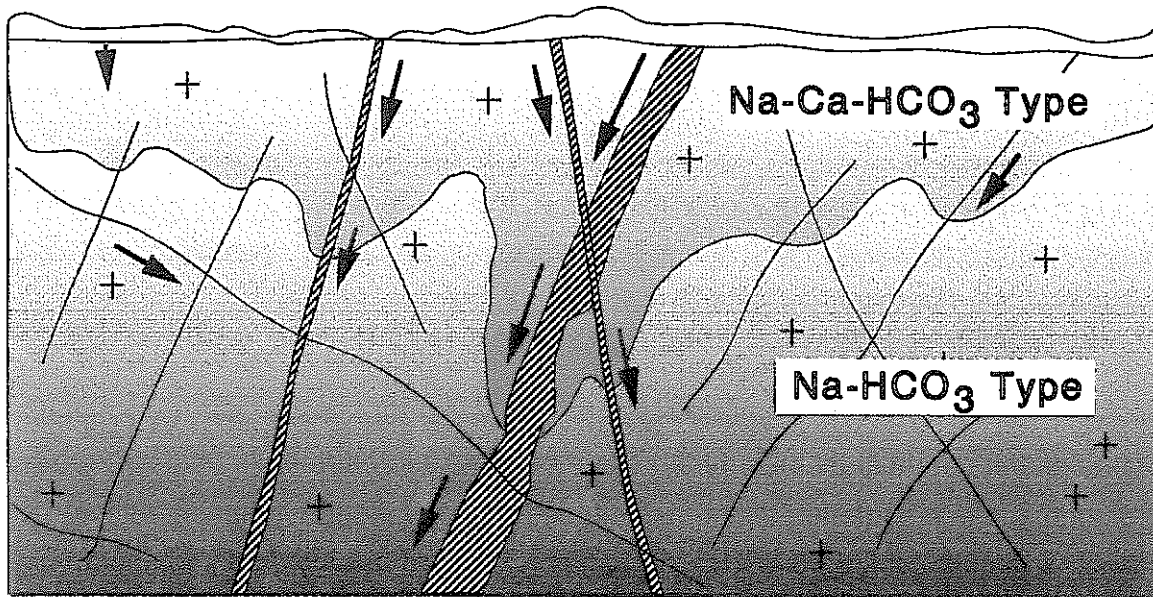


図3.4-2 地下水の地球化学モデルの構築概念図

(3)スケジュール

地表からの調査予測研究段階における地下水の地球化学調査は原則として5年間程度とするが、調査の進展に伴い、スケジュールは適宜見直すこととする。

地下水の地球化学調査 スケジュール

	第1年度	第2年度	第3年度	第4年度	第5年度
(1)場の理解のための調査 (データ取得)					
(2)水質形成メカニズムの検討					
(3)地球化学モデルの構築					
(4)坑道掘削に伴う地球化学的 性質変化の予測					

3.4.4 予測

構築された地下水の地球化学モデルを基に、坑道掘削段階以降でアクセスする岩盤領域内の地下水の地球化学的性質を予測する。また、坑道内に流入する地下水の地球化学的性質、ならびにその後の地下水の地球化学的性質の変化とその幅、および坑道壁面からの影響範囲（距離）等について、地質構造（主に破碎帯や割れ目帯）や地下水流動（変化）に関する知見を基に、地球化学計算コード等を用いてシミュレーションを行う。

3.4.5 評価

上述の地下水の地球化学モデルの妥当性の評価を行うとともに、次の坑道の掘削を伴う研究段階で直接アクセスできる各深度の地下水の化学組成データを用いて妥当性を評価していく。予測結果と観測結果が事前に設定されたある幅を外れる場合には、その原因について考察し、必要に応じてモデルの修正や測定を繰り返すこととなる。

3. 5 工学的技術

3. 5. 1 背景

地下施設の設計・施工の検討に役立てるために、立坑や斜坑を伴う国内外の地下構造物や地下研究施設の設計方法や施工実績等について、詳細な調査を行うことが重要である。調査対象としては、スウェーデンのHRL、カナダのURL、アメリカのESF、スイスのGTSなどの地下研究所、金属・石炭鉱山、地下発電所および石油地下備蓄の地下施設などである。

地下施設は坑道掘削段階で立坑掘削が本格的に着手することから、それまでに地下施設の実施設計を終了しなければならない。立坑の工事は、地表からの調査予測研究の成果を考慮して進められるものの、現実には工事が開始されると、予測とは違った地質環境に遭遇することが予想される。したがって、立坑掘削段階で得られる地質環境条件を踏まえて設計を見直すことができる柔軟性をもった考え方が基本であり、他の調査と密接な連携を持って行う必要がある。

地下施設は建設段階を含めて約15年にわたって使用され、坑道の安定性確保や坑内環境の維持方法等長期にわたる作業上の安全性や研究環境の保持も重要な問題である。例えば、地温の上昇率は平均 $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ であり、東濃地域の既存孔の温度検層からも超深地層研究所の立坑の坑底で 30°C 以上になることが予想される。このような地温の高いところでは作業環境の面からも、坑内温度管理が重要である。さらに、地下施設を建設する岩盤が大深度における結晶質岩であるため、山跳ねなどの問題もある。

本研究は、地下施設の設計方法の検討、全体目標を達成するための具体的な実施研究項目に対する地下施設の設計、実際の施工方法や設備の検討、さらには長期にわたる研究環境に関する問題の検討など多岐にわたる。

3. 5. 2 目標

- ①超深地層研究所の全体目標を達成できる地下施設を設計する。将来の地下空間利用についても配慮して設計する。
- ②研究所の建設、操業を進めていく上で必要な技術開発を行う。

3. 5. 3 実施内容

地表からの調査予測研究段階での実施内容は次のとおりである。

- (1)既存の地下施設と設計研究の調査
- (2)地下施設の概念検討と事前設計
- (3)地下施設の基本設計と施工検討
- (4)地下施設の実施設計（立坑部および研究坑道）

(1)既存の地下施設と設計研究の調査

①事例調査

事例調査は、地下施設の概念検討に役立てるために立坑や斜坑を伴う国内外の地下構造物や地下研究施設の設計方法や施工実績等について詳細な調査を行う。調査項目としては、次の項目を考える。

- ・施設の目的
- ・概要（延長、断面積、形状、レイアウト等）
- ・サイト選定手法、経緯
- ・事前調査項目
- ・施設の設計方法（考え方、手法、入力データ等）
- ・工期、施工方法、工費、実績、工事中のトラブル処理、工法変更の経緯と理由
- ・試験項目（レイアウト、方法、評価方法、成果の概要）
- ・計測項目（目的、計測機械、精度、レイアウト等）
- ・P Aの進め方（広報活動内容、見学者数、予算等）
- ・課題、問題点の整理

②既存の地下施設の設計研究の調査

動燃におけるこれまでの地下施設の設計研究成果を取りまとめ、地下施設の設計のために必要な基本的な条件や設計項目を抽出する。

(2)地下施設の概念検討と事前設計

地下施設の基本設計や実施設計に取りかかる前の概念検討と設計手法の検討を主体とした事前設計を行う。

①地下施設の概念検討

ここでは、地下施設の「あるべき姿」を上述の設計研究の調査を基本として、調査研究計画と調整をとりながら具体化する。建設や操業に係わる試験も含めて開発あるいは実証されるべき技術と具体的な試験項目を抽出する。

②設計手法の検討

設計対象としては、施設としての空洞や施設設備（例えば、換気設備、冷房設備、昇降設備、排水設備等）である。設計手法は、今後実施される基本設計に用いられるものを評価選定する。空洞設計については、本施設の空洞が長期間に渡って使用されるために長期間の空洞の安定性にも着目した設計を行える手法を選択する。

③設計フローの検討

ここでは、地下施設の主要な部分の仕様を決定する要因を抽出し、設計手順をフローチャートにまとめる。また、必要な条件や入力データについても明らかにしておき、設計根拠を明確にしておく。

④全体レイアウトの検討

抽出した試験項目に対して、調査研究計画と調整をとりながら、その成果目標を勘案した最適なレイアウトを検討する。また、個々のレイアウトを試験順序、影響領域等を考慮して全体的な配置計画案を複数作成する。

(3)地下施設の基本設計と施工検討

①事前設計までの検討結果を踏まえて、調査研究計画を基本に地下施設の個々の仕様の決定を行い、また研究開発項目の選定と実施のための基本計画を作成する。さらに、立坑（本坑、換気坑）を含んだ全体レイアウトを設計する。以上の成果を超深地層研究所の地下施設の基本計画として、この計画に対して、基本的な建設工法の検討を行う。

②基本的な建設工法の検討

地下施設の建設にあたり、超深地層研究所の地下構造物ということから建設方法も研究開発の一部として位置づけられる。具体的には、立坑部については基本的な掘削工法（発破、機械、TBM等）と施工形式（ショートステップシンキング工法、NATM等）の検討および最適な施工設備（掘削機械、ずり出し設備、換気設備、排水、排水処理設備、昇降設備、電気通信設備等）の検討を行う。また、試験坑道部については基本的な掘削工法、施工機械、各試験の実施順序、全体換気システムなどの検討を行う。さらに、地質環境の修復に関する設計や長期にわたる研究環境に関する問題（例えば、坑道の安全確保、坑内環境の維持）の検討など多岐にわたる課題がある。

(4)地下施設の実施設計

実施設計の内容は、細部仕様の決定と基本的施工計画の作成である。坑道を利用した研究段階に対応した地下施設の設備関連についても検討を行う。この段階では、見学者対応の諸設備（例えばエレベータの稼働方式の検討や深地層で行われる研究に対する理解度促進設備の開発等）、地下空間開発に係わる設備（恒温、恒湿環境や1,000mの地下のオリジナルな環境維持方法の開発等）なども必要になってくると考えられる。

3. 6 調査技術・調査機器

3. 6. 1 はじめに

地表からの段階では、地表から地下深部までの地質環境が本来的に有する性質を、出来るだけ乱すことなく正確に把握する必要がある。本段階で利用される調査技術・調査機器には以下の様な性能が要求される。

地表からの段階では、原則として既存の調査技術・調査機器を活用して調査を実施することを基本とする。この段階では、各調査の目的に従って、個々の調査手法を体系化することが重要である。ただし、既存技術・機器だけでは各調査の目標を達成できない場合には、既存技術・機器の改良・高度化ならびに新しい技術・機器の改良や開発についても検討する。

種々の調査で取得されるデータや坑道の掘削工事等に関連する大量のデータに関しては、それらを効率よく管理し利用するために、データベースを新たに構築する。このデータベースはデータの品質保証のためのツールとしても重要である。また、調査で取得される多種多量のデータを合理的に解析し、その結果を3次的に可視化するために必要な計算機システムを構築する。

さらに、地表からの段階で決定される坑道掘削段階での調査試験研究の実施に必要な調査技術・調査機器の準備を進める。

3. 6. 2 目標

- ①各調査で必要となるデータを取得するための調査技術・調査機器の適用性を把握し、その有効性を確認すること（必要に応じて技術・機器の改良や開発について検討すること）。
- ②各調査で得られる多種多量のデータを効率的にかつ合理的に解析し、あるいはデータに基づいたシミュレーション等を実施し、それらの結果を3次的に可視化するために必要な計算機システム（データベースを含む）を構築すること。

3. 6. 3 実施内容

(1)地質構造調査技術開発

地表からの段階では、これまでに開発されてきた調査技術や調査機器を用いて地質構造調査を行うことを基本とする。ただし、複数の調査結果を組み合わせることで総合的な解析を実施し、地質／水理地質構造モデルを合理的に構築する必要がある（そのために必要なツールは(7)地質環境データ解析・可視化システムに組み込まれる）。また、この段階では、既存の調査技術や調査機器の適用性を把握すること、ならびに調査手法を体系化することが重要な課題である。

(2)地下水の水理調査技術開発

①既存機器の改良・高度化

これまでに開発した 1,000m 対応水理試験装置について、使用可能な環境温度をさらに

高める改良を実施する他、機動性やメンテナンス性を高めるための改良を実施する。

②試錐孔を利用した長期モニタリング装置の開発

間隙水圧の長期モニタリングは既存のシステムで実施可能であるが、立坑の掘削によって発生する立坑近傍の地下水位の低下や、大規模な揚水試験によって発生する地下水の低下に起因する高差圧環境に対応できるモニタリング装置は新たに開発する。

③長期揚水試験装置の開発

本計画における大規模な揚水試験を実施するためには、大容量の揚水ポンプを長期間運転する必要があるため、これを開発する。

(3)地下水の地球化学調査技術開発

①既存機器の改良・高度化

これまでに開発した 1,000m 対応地下水の地球化学調査機器について、使用可能な環境温度をさらに高める改良を実施する他、機動性やメンテナンス性を高めるための改良を実施する。

(4)試錐掘削技術

岩盤本来の透水性や地下水の地球化学的性質を極力乱さないために、試錐孔の掘削に際しては掘削流体として付近の河川（沢）水等の清水を利用しているが、掘削流体として泥水を用いない場合は孔内崩壊が発生しやすい。そこで、出来るだけ孔内崩壊を誘発しない掘削方法（三重管掘削工法）や部分的な孔内崩壊に対応するために部分保孔技術の開発を行っている。部分保孔技術は、部分拡孔技術、崩壊部固化技術、部分ケーシング（ストレーナー付き）装填技術の3つから構成され、現在、部分拡孔装置の開発を実施中である。開発した技術は、順次、本計画における試錐掘削に適用し、改良を加えつつ実績を重ねていく。

(5)岩盤の力学調査技術開発

岩盤の力学データは地層科学研究のみならず、深地層の研究施設の設計施工に必要不可欠な情報である。岩盤の力学データの取得には、岩芯を用いて取得する方法や試錐孔を用いて原位置で取得する方法など種々の方法が提案され、実際の測定に用いられているが、それぞれに長所短所を有しており、力学データの測定手法が確立されているわけではない。そこで本計画では、既存の測定技術の評価を通して、地表から地下深部までの岩盤の変形係数や3次元の応力場に関するデータを効率的に取得可能な測定手法を確立する。また、必要に応じて調査機器の改良・高度化を実施する。

(6)データベース

種々の調査で取得されるデータや坑道の掘削工事記録等に関連する大量のデータを効率よく管理し利用するために、データベースを新たに構築する。このデータベースはデータの品質管理のためのツールとしても重要である。また、データベース上のデータを利用者がより簡便に利用できるように、データの可視化技術の開発を行う。

(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、さらに地質構造や地下水の流動現象などを解析し、その結果を3次元的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者間の認識の共有のみならず、専門家以外の人々への情報提供にも重要なツールとなる。

(8)坑道の掘削を伴う研究段階で必要となる調査技術・調査機器の開発

地表からの段階において決定される次段階（坑道の掘削を伴う研究段階）での調査試験研究の仕様に合わせて必要な調査技術・調査機器を開発する。この段階の調査では、より高い分解能が各調査技術に求められる他、限られた空間の中で作業する必要があること、坑道壁面と周辺岩盤の間に発生する高差圧に対応できること等が使用される調査機器に要求される。

Appendix I

坑道の掘削を伴う研究段階の計画

1. 概要

(1)研究の構成

坑道の掘削を伴う研究段階では、地下施設の建設と並行して、坑道の掘削面周辺や坑道壁面において各種の計測や試料の採取が行われる。断層や岩種の境界などを研究対象とし、重要な地質環境が認められる位置では、詳細な調査を実施するため立坑から研究坑道が設けられる。地質構造、水理、地球化学に加えて、岩盤力学に関する研究が行われる。研究対象となる地質環境は、地表からの段階で対象となったスケールに比べ、より小さな領域の重要性が増す。また、地表からの段階で設置された地下水圧や水質などの観測機器による観測が地下施設建設中も継続される。これらの結果に基づいて、地表からの段階での予測結果が検証されるとともに、坑道を利用した研究段階で掘削される研究坑道の地質環境が詳細に予測される。予測結果と観測結果が事前に設定された評価基準を外れる場合には、その原因について考察し、必要に応じて試験研究を繰り返すこととなる。

地下施設の建設が進み、地質環境に関する情報が増加するに従い、様々な知見が得られ、調査試験の内容を見直す必要が生じると考えられる。このため本段階は立坑の掘削深度に応じて複数のステージに分けて進めることとする。このような進め方を採用することにより、予測と検証が繰り返し行えるため、全体目標のひとつである「地質環境の調査技術の確立」に寄与するものと考えられる。各ステージでの立坑の掘削深度やステージの数については、地表からの段階で得られる情報に基づき決定する。

(2)段階目標

坑道掘削段階は地表からの段階の終盤から、約7年間にわたって行われる計画である。この間の目標は次のとおりである。

- ①坑道からの調査により地質環境データを取得し、坑道周辺の地質環境を予測すること。
- ②地表からの調査予測研究段階での予測の妥当性を評価すること。
- ③地下施設の設計・建設技術の有効性を実証すること。
- ④坑道を利用した研究段階の計画を決定すること。

2. 地質構造

(1)背景

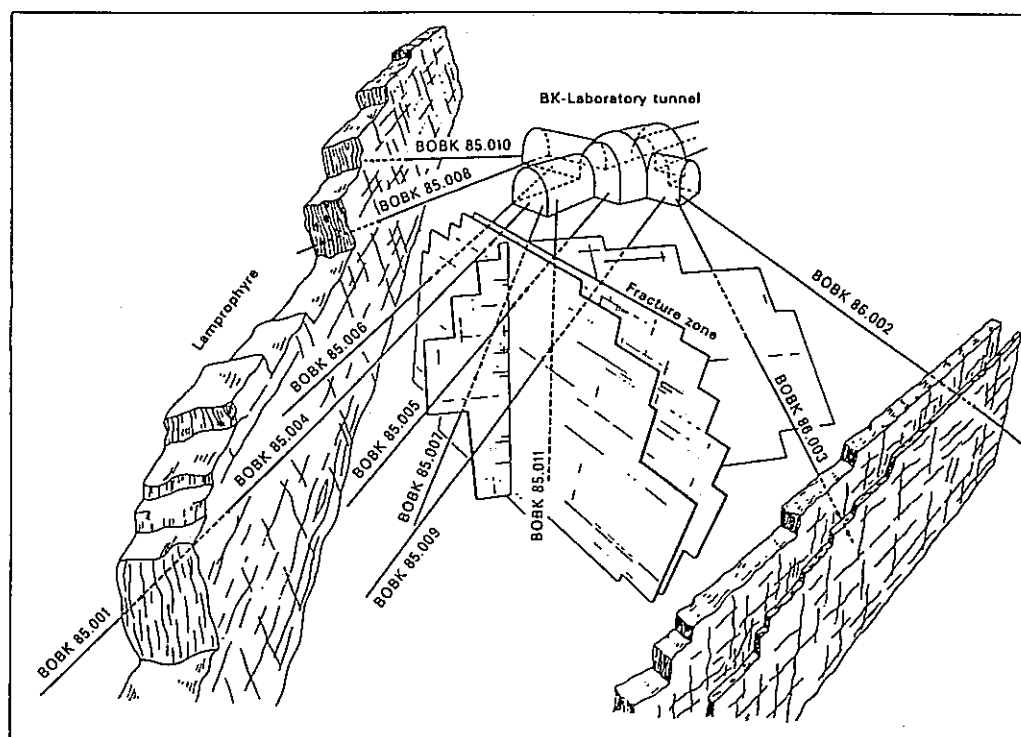
本段階での地質構造調査は、地表からの調査予測研究段階で推定された地質構造の妥当性を評価し、本段階ならびに坑道利用段階において展開される地下水水理、地球化学、岩盤力学などの各種調査試験の実施のために必要な地質構造の情報を提供する調査として必要である。また、各種調査試験の結果は地質構造調査にも相互に利用され、地質構造モデルの高度化に反映されることが重要である。

(2)目標

坑道の掘削を伴う研究段階における地質構造調査では、坑道からの地質構造調査により、地表からの調査予測研究段階での推定の妥当性を評価するとともに、本段階に続く坑道を利用した研究段階でアクセスする地質構造を推定する（坑道周辺の詳細な地質構造モデルの構築）ことが目標である。

(3)実施方法

坑道の掘削を伴う研究段階での地質構造調査では、坑道周辺の領域を対象とした3次元的地質構造調査を基本として、掘削坑道壁面での各岩種の鉱物組成や岩石組成などの岩石鉱物学的調査、および地下水を介した物質の移行経路になると考えられる割れ目の分布や形態などの調査を行う（下図参照：Nagraの研究例）。



図：坑道の掘削を伴う研究段階における調査例
(坑道からの試錐掘削による破碎帯や岩脈などの地質構造の推定)

(4)推定

坑道周辺の力学的・水理学的並びに地下水の地球化学的調査の対象となる地質構造を推定（モデル化）し、さらに本段階に続く坑道を利用した研究段階でアクセスする地質構造を詳細に推定する。

(5)評価

坑道を利用した研究段階において明らかにされる地質学的情報によって、本段階で構築した地質構造モデルの妥当性を評価する。また、各種調査技術の有効性もあわせて確認する。

3. 地下水水理

(1)背景

坑道の建設を伴う研究段階は、地表からの調査予測研究段階で推定された水理地質構造および地下施設の建設に伴う水理学的影響の予測結果の妥当性を評価し、地表からの調査手法の有効性ならびに各調査スケールで構築した水理地質構造モデルの妥当性を評価する上で重要な研究段階である。また、坑道周辺岩盤の水理学的性質に関するデータも、坑道を利用した研究段階での調査試験研究計画を立案する上で重要である。

(2)目標

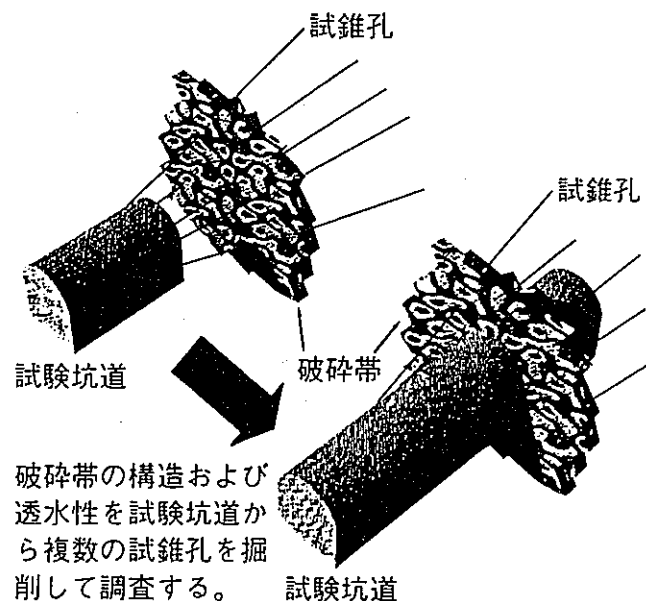
本研究段階の地下水水理調査では、地表からの調査予測研究段階で推定された水理地質構造の検証と使用された調査手法の適用性の評価、ならびに地下施設の建設に伴う水理学的影響に対する予測結果の検証が重要な目標となる。一方、予測の検証に伴い、水理定数の見直しや水理地質構造モデルの改良などを行う。さらに坑道を利用した研究段階でアクセスする地質環境の水理学的性質を予測する。

(3)実施方法

地下施設の建設に伴う水理学的影響の予測の検証のため、地表からの調査予測研究段階で建設されたモニタリング孔ならびに坑道から建設された試錐孔を用いて、坑道建設中における間隙水圧の変化を観測する。加えて、坑道内の湧水量ならびにその分布を把握するため、建設した坑道内に堰などを設置し、坑道各区間の湧水量を測定する。また、坑道建設に伴い遭遇する破碎帯などの水理学的性質および坑道建設時の水理学的性質の変化を把握するため、坑道から建設した単一あるいは複数の試錐孔を利用して水理試験を実施する。破碎帯などの水理試験の一例として、スウェーデンのHRLでの計測配置図を右図に示す。

(4)予測

坑道の各建設段階における間隙水圧の変化および坑道内への湧水量を予測するとともに、坑道を利用した研究段階でアクセスする、地質環境の水理学的性質を予測する。



図：スウェーデンのHRLでの計測配置図

(5)評価

各ステージでの間隙水圧の変化および坑道内の湧水量の予測は、事前に決定した評価基準にしたがって実測値と比較し、その妥当性を評価する。これにより水理地質構造モデルの妥当性ならびに調査・解析手法の適用性が評価でき、その結果は水理地質構造モデルの改良に反映される。このような予測・評価を繰り返すことにより、妥当な水理地質構造モデルの高度化を図る。

4. 地下水の地球化学

(1)背景

坑道の掘削を伴う研究段階では、前段階で構築された地下水の地球化学モデルを基に、坑道掘削により直接アクセスできる地質環境の地下水の地球化学的性質と坑道掘削に伴う水質変化の予測結果の妥当性を評価することが重要である。これは、前段階で用いられた調査技術・解析手法の有効性も同時に評価することとなる。また、この段階を通して得られる坑道周辺の地下水の地球化学的性質データも坑道利用段階の研究計画の立案にとって重要となる。

(2)目標

坑道掘削段階での目標は、以下の通りである。

- ①坑道における地球化学的データの取得と地表からの調査予測研究段階で構築した地下水の地球化学モデルの妥当性（地下水の溶存成分濃度分布の予測と坑道掘削に伴う地球化学的性質変化の予測結果の妥当性）の確認。
- ②坑道周辺岩盤内の地下水の地球化学的性質の把握。

(3)実施方法

坑道の掘削を伴う研究段階では、坑道と坑道からの試錐孔によってアクセスできる地下水と岩石を対象に研究を行う。具体的内容は以下の通りである。

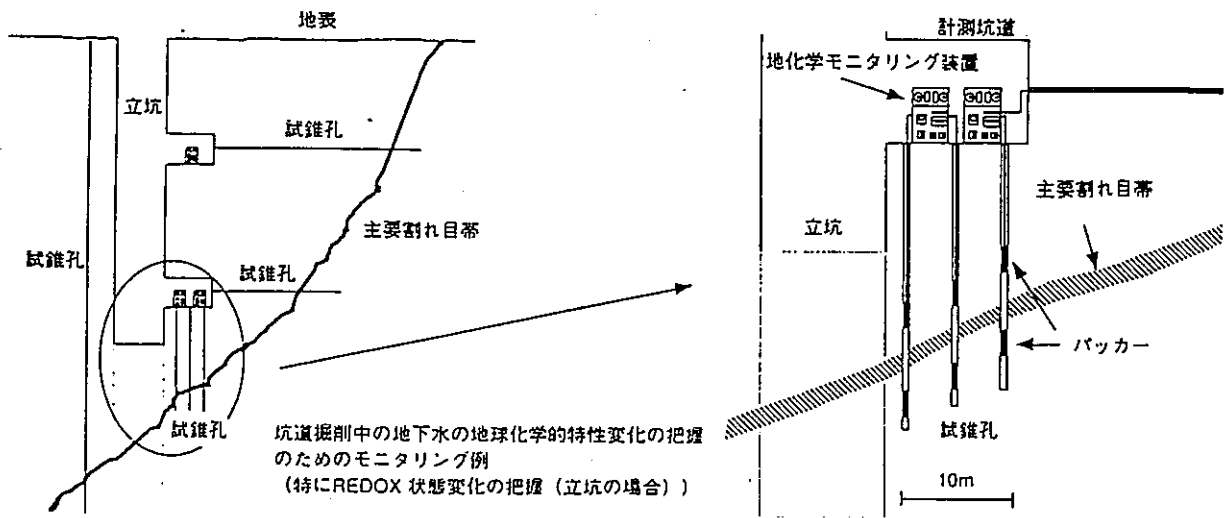
- ①坑道における地球化学的性質に関する各種データの取得。
- ②坑道掘削に伴う坑道周辺の地球化学的性質の変化に関するモニタリングデータ（特に影響を受け易いと考えられる酸化還元電位データ等）の取得（下図）。
- ③地表からの調査予測研究段階での知見と実測データとの比較。

(4)予測

坑道で得られたデータを基に地下水の地球化学モデルを改良し、坑道へ流入する地下水の水質変化の予測を行う。

(5)評価

予測の評価は、長期モニタリング等で得られた実測値との比較によって行われる。



図：坑道掘削中の地下水の地球化学的性質（特に酸化還元状態）変化の把握のためのモニタリング例

5. 岩盤力学

(1)背景

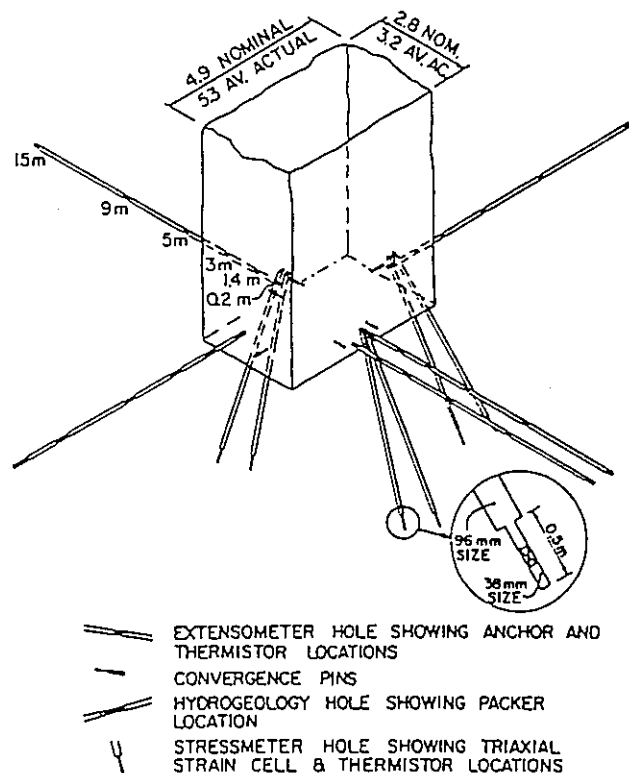
地表からの段階では、岩盤力学に関する研究は初期応力と岩盤領域の力学的性質（変形、破壊など）に限られるため、地質構造調査に含まれている。しかし、坑道の掘削を伴う研究段階では坑道掘削時の岩盤領域の力学的挙動が重要な研究対象となってくる。例えば、坑道掘削に伴う岩盤応力の変化、坑道周辺岩盤領域の変位などである。これらの情報は、坑道利用段階での掘削影響試験や熱-水-応力連成試験の基礎情報として重要であるとともに、坑道の安全性維持の観点から立坑の掘削工事管理にとっても重要である。

(2)目標

この段階の岩盤力学調査では、坑道掘削に伴う周辺岩盤領域の力学的挙動を計測・解析し、地表からの段階の予測を検証するとともに、必要に応じ岩盤領域の力学モデルの改良、この段階で取得されるデータに基づく力学パラメーターの見直しなどを行う。また、坑道を利用した研究段階でアクセスする岩盤領域の力学的性質を予測する。

(3)実施方法

坑道の掘削面周辺での調査が主体となる。坑道掘削に先立ち先行試錐を設け、これに変位計やひずみ計を埋設し、坑道掘削中の坑道周辺岩盤領域の動きや応力の変化を計測する。これらは数値解析により事前に予測しておき、実測値と比較し、岩盤領域の力学モデルの改良を進める。解析手法は、岩盤を連続体として扱うものと不連続体として扱うものの両方を用いて、各手法の適用性を評価する。計測は掘削面が計測断面から離れた後も継続し、時間に依存する力学的挙動を把握する。試錐コアや坑道壁面から採取するサンプルを用いて室内試験を行い、岩盤物性などについて情報を取得する。岩盤物性は原位置でも計測する。また、掘削工法の岩盤領域への影響を検討するために、発破や機械掘削等による坑道掘削を行う。立坑掘削中の計測の一例として、カナダのURLでの計測配置図を上図に示す。計測断面の位置は、岩相などの地質学的特徴、応力条件などにより決定する。



図：カナダのURLでの計測配置図

(4)予測

坑道掘削中の岩盤領域の変位と応力の変化を予測する。

(5)評価

岩盤領域の変位と応力の変化について実測値と比較する。これにより、岩盤領域の力学モデルを検証するとともに、計測手法や解析手法の適用性が評価できる。この様な評価をいくつかの深度で行うことにより、岩盤領域の地質学的・力学的条件や掘削工法などと岩盤領域の力学的挙動との関係を把握する。

6. 工学的技術

(1)背景

坑道の掘削を伴う研究段階は、地表からの調査予測段階での地下施設の設計が適切なものであるかどうかを検証するとともに、その建設技術の有効性を確認することが重要である。この研究は、特に施設の構築に関わるものであるので、施設の安全性の確認等岩盤力学調査結果をフィードバックするといった密接な関連性を持って行う。

(2)目標

この段階での工学的技術研究の目標としては、以下のとおりである。

- ①大深度における立坑や坑道の設計方法の妥当性の確認および適切な設計手法の確立
- ②立坑や坑道の建設技術の有効性の確認と既存の地下施設と設計研究の調査結果を踏まえた改良技術あるいは新技術の開発
- ③坑道内の環境維持方法や災害防止対策の確立

(3)実施方法

地表からの調査予測研究段階において設計された地下施設の建設を、計画された施工方法によって施工する。施工に際して、地質状況や岩盤物性、岩盤変位、地山応力、支保工の応力等の調査や施工能率、坑内環境の測定を実施し、実測と予測値を比較検討することによって、設計手法や施工方法の妥当性を評価する。

(4)予測

施工中における地質環境の変化および岩盤の変位、支保工の応力分布等、湧水や山はね等の現象の予測を行う。また、施工能率についても計画に基づいて算出しておく。

(5)評価

立坑や坑道の施工中に岩盤変位や支保工の応力等を計測し、事前の設計における予測値と比較することによって、設計の妥当性を確認する。地質環境が予測と大きく異なる時には、設計に用いる入力値や設計手法の検討を行い、設計手法の改良とともに設計の見直しを行う。建設

技術に関しては、岩盤力学調査結果を踏まえて、掘削影響の程度や施工能率等を検討し、有効性の確認や技術の改善等を行う。また、湧水、切羽の崩壊や落石、山はね等の坑道掘削時に起こると考えられる現象については、対策工を実施し、計測等の調査によってその効果を確認する。坑内の環境維持管理については、計画した設備によって坑内の環境が予測通りに保たれるかどうか、環境測定することによって、設備の設計手法の適用性や設備能力を確認する。災害防災対策については、施工における安全管理システムを開発し、その有効性を確認する。

7. 調査技術・調査機器

(1)背景

坑道の掘削を伴う研究段階では、まず地表からの調査予測研究段階で推定された水理地質構造モデルや地下水の地球化学モデルの妥当性が検証されるとともに、坑道壁面あるいは坑道から掘削された試錐孔を用いて新たな調査も実施される。

この段階の調査では、地表からの調査予測研究段階で行われる調査に比べ、坑道近傍の地質環境を研究の対象とするため、対象領域が小さくなる反面、要求される調査の精度（分解能）が高くなること、限られた空間の中で測定作業を実施する必要があることなど、地表からの調査試験研究段階とは異なった調査仕様が要求される。また、試錐孔を利用する調査機器については、地下水の低下に起因する高い水圧差に対応できる必要がある。

今日までに、東濃地科学センターでは、坑道周辺の岩盤中の割れ目を詳細に調査するために必要な試錐孔用広帯域レーダー装置、坑道周辺の掘削影響領域を水理的に評価するための計測装置、地下水の物理化学特性を不活性状態で連続して計測できる水質連続モニタリング装置等の開発を実施してきている。

なお、この段階で決定される坑道を利用した研究段階での試験研究計画の実施に必要な調査技術や調査機器の整備や開発も合わせて実施するものとする。

(2)全体目標

- ①各モデルの妥当性の検証を通じて、それぞれのモデル構築に必要な各データの精度と量を明らかにすることにより、地表からの調査予測研究段階で実施される各々の調査の最適な調査仕様を明らかにするとともに、地表からの調査予測研究段階の調査全体を体系化すること。
- ②坑道あるいは坑道から掘削された試錐孔を用いた調査については、調査に利用可能な既存技術・機器の適用性を把握し、有効性を確認すること、あるいは必要となる技術・機器を改良・開発し、実用化すること。

(3)調査技術・調査機器に求められる性能

坑道あるいは坑道から掘削される試錐孔を用いた調査で用いられる調査技術・調査機器に求められる共通の性能は以下のように要約できる。

- ・調査に際しては地質環境が本来的に有する性質を出来るだけ乱すことなく、必要とされる精

度でデータの取得が可能であること。

- ・試錐孔という限られた広さから収集されるデータ（情報）から、その周辺の地質環境を推定することのできる技術（例：断裂の連続性、水質分布など）が可能であること。
- ・試錐孔に挿入される測定機器は、坑道壁面と周辺岩盤の間に発生すると考えられる差圧に対応可能であること。
- ・地表からの調査予測研究段階で構築した地質構造モデル／水理地質構造モデル／地下水の地球化学モデルの検証に必要なデータが提供可能であること。
- ・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の改良に必要なデータが提供可能であること。また、岩盤領域の力学モデルの構築に必要なデータが提供可能であること。

Appendix II

坑道を利用した研究段階の計画

1. 概要

坑道を利用した研究段階では、立坑の掘削は終了しており、試験のために必要な深度に必要な坑道が設けられ、各研究が実施される。坑道の配置や各試験の内容は、この段階までに取得される情報に基づいて改定され、最終的には坑道の掘削を伴う研究段階の終盤に決定される。ここに示す試験計画は予備的なものである。

この段階では、間隙水圧、水質、および岩盤の変位などのモニタリングは継続されるものの、対象岩盤領域の規模は坑道掘削段階と同程度の領域で、物質移行、岩盤力学、工学的技術に関する研究および地震の観測研究が重要となってくる。坑道周辺岩盤の詳細な特性評価、その岩盤領域で発生する現象の理解、工学的技術の有効性評価などが行われる。

この段階の段階目標は次のとおりである。なお、全体目標の達成に新たな目標が必要とされる場合は、その都度目標を追加することとする。

- ①坑道からの調査により詳細な地質環境特性データを取得すること。
- ②坑道の掘削を伴う研究段階の予測の妥当性を評価すること。
- ③掘削影響修復技術の有効性を実証すること。

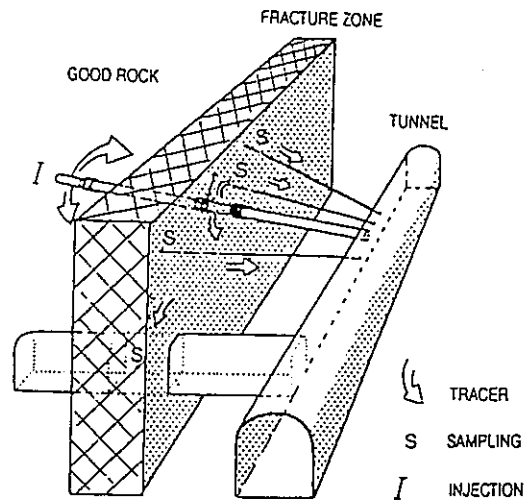
2. 地質構造

坑道からの地質構造調査により、坑道掘削段階における推定内容が検証され、調査手法の妥当性が評価されるとともに、坑道利用段階でアクセスする岩盤領域の地質構造を推定する。調査は、坑道周辺の領域を対象とした3次元地質構造調査を基本として、掘削坑道壁面での岩種毎の岩石組成などの調査や、地下水による物質の移行経路になると考えられる割れ目の分布や形態などの調査が実施される。

3. 地下水水理

本研究段階では、ニアフィールドの定量的な性能評価研究の基盤として、坑道の建設に伴う研究段階を通して改良した各スケールの水理地質構造モデルを孔間水理試験（物質移行試験）などによって確認し、その妥当性を評価する。物質移行試験の配置の一例として、スウェーデンのHRLにおけるブロックスケールでのトレーサー試験の配置を右図に示す。さらに性能評価上、考慮すべき水理学的現象（例えば二相流など）を把握するための基礎的データを取得する。

また、深地層の研究施設設計画の最終段階においては、埋め戻し・再冠水における地下水流動の変化を把握するため、妥当性が評価された水理地質構造モデルを用いて、予測解析を実施すると共に、その結果の確認のために、埋め戻しを実施する坑道周辺の間隙水圧の長期モニタリングを実施する。



Block-scale tracer test - schematic diagram.

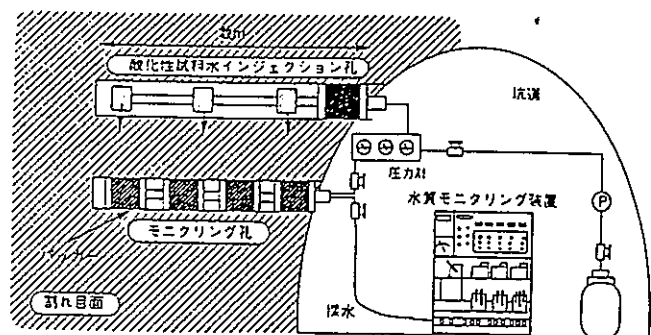
図：ブロックスケールでのトレーサー試験の配置図

4. 地下水の地球化学

坑道を利用した研究段階で、特に重要な項目としては、坑道内における地下水の地球化学的性質変化の把握（長期モニタリング）、坑道周辺掘削影響領域の酸化還元状態調査（いわゆる酸化還元フロントの移動状態の調査）および坑道周辺岩盤と地下水が持つ酸化還元緩衝能力に関する試験研究（右図参照）等が挙げられる。

また、他の研究項目の観点からは、物質移行研究の環境条件の設定のための調査、地下構造物との相互反応に関する調査および水理、岩盤力学、地球化学複合現象（例えば坑道周辺の地下水からの脱ガス現象とそれに伴う二相流問題）の調査研究が考えられる。

予測解析としては、坑道の埋め戻し後の再冠水に伴う地下水の地球化学的性質の変化（回復）の調査研究がある。



図：ブロックスケールでの酸化還元緩衝能力試験レイアウト例

5. 物質移行

深地層の研究施設による深部地質環境特性の調査研究において、坑道を利用した研究段階では水理・物質移行に関する研究が、主たる研究テーマの1つになる。特に坑道周辺での地質環境中の物質の移行現象を把握するために、必要不可欠な基礎的情報を提供する調査項目として重要である。坑道を利用した研究段階における物質移行研究では、地質環境中の物質移行を把握し、物質移行モデルの構築およびその妥当性の評価を行うために以下の調査研究を行う（添付図参照：Nagra の研究例）。

①坑道周辺の地質環境調査

地下の地質環境下における物質移行現象を定量的に評価するためには、特に坑道周辺の岩盤における物質が移動すると考えられる地質構造の把握、そしてその場における地下水流動と地下水の地球化学的性質の把握が重要である。これらの物質移行現象を捉えるための初期条件は、坑道掘削による影響も考慮することが必要であり、岩盤力学との調査と並行して進める。

②物質移行試験

地質環境を把握した後に、地下の環境下での実際の物質移行現象を把握するための試験を実施する。特にこの試験では、地下の地質構造や地下水流動を代表できるスケールで実施することが重要である。この場合、地質構造が幾つかのパターンに分類されたりする場合には、そのパターンやスケールに対応させた試験を行う。

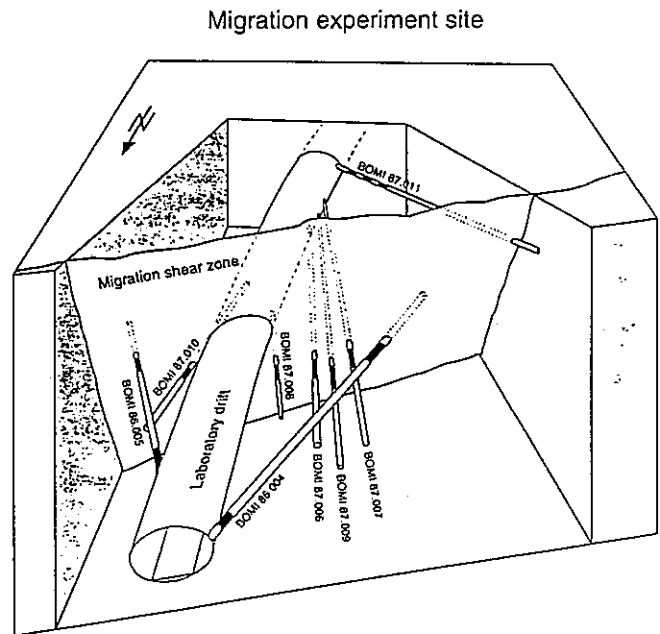
③物質移行現象を確認するための室内試験調査

物質移行試験と並行して、地質環境内での物質の収着や遅延に係わるミクروسケールでの現象を確認するための室内試験を行う。この試験では地質環境をできるだけ模擬した状態で実施することが重要である。

④物質移行試験に必要な調査試験機器の開発

坑道を用いた試験では、坑道周辺の地質環境に柔軟に対応できる調査機器の開発が必要不可欠である。また、調査する対象のスケールに応じた機器も試験毎に開発を行う。

当段階での物質移行研究は、地下水水理・地球化学・岩盤力学に関する研究の情報をもとに総合的に進められるものである。

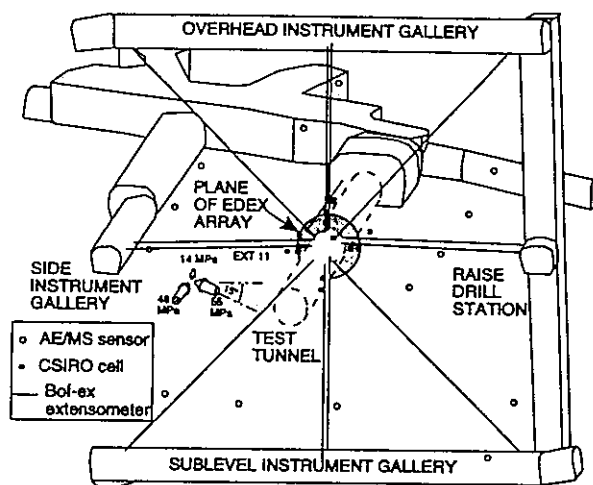


図：Nagra の研究例

6. 岩盤力学

坑道を利用した研究段階での岩盤力学研究は、坑道掘削による周辺岩盤への影響（掘削影響）を評価するための試験が主体となる。この段階での試験は基本的に全て掘削影響を受けた岩盤領域を含む領域で行われる。特に工学的技術試験の場合は掘削影響領域は人工的構造物と岩盤の境界領域となる。このため、岩盤領域の初期条件・境界条件を把握することになる掘削影響評価試験は、この段階での重要な試験のひとつである。

試験の概念図を右に示す。これはカナダのURLで行われた試験である。計測用の坑道は必要に応じて試験対象岩盤領域を取り囲むように配置し、試験のための新規坑道の掘削前に、岩盤物性の調査や計測機器の設置が行われる。計測項目は、岩盤変位、応力場、力学・水理学的性質などである。試験用の坑道掘削中は掘削振動や変位と応力の変化などが計測される。掘削後の計測により、掘削に伴う岩盤物性の変化やその範囲などが評価される。

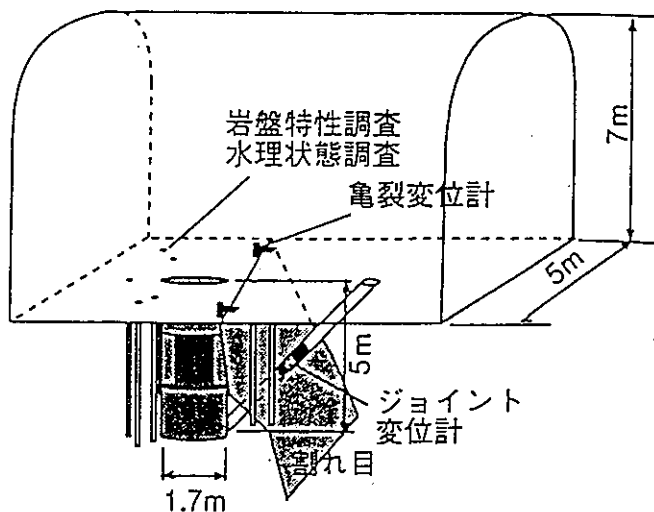


図：掘削影響評価試験の概念図

7. 工学的技術

この調査試験研究では、岩盤領域の熱-水-応力の連成挙動や、坑道の掘削による地質環境への影響を修復し軽減するための工学的技術などの評価を行う。研究課題としては、岩盤領域の熱-水-応力の連成挙動を計測・解析する手法の開発、掘削影響修復に使用する材料の選定、施工法などが考えられる。具体的には、坑道の埋戻し方法、岩盤の切り欠き部の施工方法、微小亀裂や透水割れ目の修復材料の施工方法などである。これらの試験条件は坑道掘削段が終了するまでに室内試験などを行い決定する必要がある。

この段階では、坑道を埋戻した後



図：熱-水-応力の連成挙動試験の例

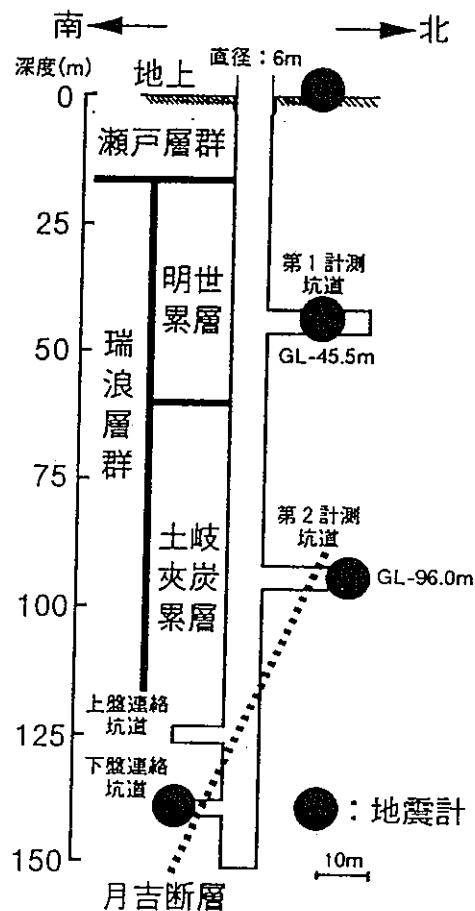
の地下水の再冠水挙動を把握することも重要課題である。再冠水の状況により施工材料の経時変化や坑道周囲の地球科学的条件が変化することが起きると考えられる。このような再冠水については情報が非常に少ない。前頁に岩盤の熱-水-応力の連成挙動試験の例を示す。これは釜石鉱山で実施した試験である。

この段階においては、坑道の長期の安定性調査や維持補修、さらに坑内の環境保全に関する計測を行い、その工学的な技術の評価を行う。

8. 地震観測

この研究では、地下深部での地震動や地震に伴う地質環境の変化を観測し、深度毎の地震動や、地震の地下施設や地質環境への影響を評価する。地震動は地下深部では小さく地表近くでは大きいことや、湧水量や水質が地震により変化することが知られているが、これらを示す実測値は少ないのが現状である。日本は地震国であり地震の発生頻度が高く観測機会にも恵まれていることから、海外からも研究成果が期待されている。

試験の概念図を次頁に示す。これは東濃鉱山第二立坑で計画されている地震計の配置図である。地震計とともに湧水量計、採水装置、岩盤変位計などを設置し、地震に伴う地質環境の変化を計測する。これにより深度や地質が異なる場合の地震動や湧水量などの変化が観測される。また、観測を長期に継続し数多くの観測データを蓄積することにより、地震の規模や震央距と各種の影響の関係が評価できる。これにより地震の影響を評価するモデルの開発も可能となる。



図：第2立坑地震計配置（案）

Appendix III

地層処分研究開発の基盤として
期待される成果

1. 地質環境に関する情報

超深地層研究所における研究の成果が、日本の地層処分研究開発に共通の基盤として活用されるためには、その成果が日本に存在する現実の地質環境に関する的確な情報群として整理されることがまず重要である。その上で規模や精度などの観点から、日本の他の地域に分布する花崗岩類についての情報と直接的な対比が可能な項目については比較し、さらに間接的な比較（物理検層値を介して水理学的性質を対比するなど）についても試みるなどして相違点と共通点を選別し整理していく。このような手順を踏むことによって、日本の花崗岩について、一般的とみてよい情報が明らかにされてくる。ここで目指すべき方向としては、地質環境に期待される役割のそれぞれについて、一般的と考えられる情報をとりまとめ、その妥当性について国内外の関連分野における専門家による評価を得ていくことであると考えられる。

地層処分研究開発の観点から、地質環境に期待される第1の役割は廃棄物を埋設する地質環境が、物理的な隔離性を保つことである。これによって、廃棄物と人間環境との距離が保たれ、地層処分の時間枠内で想定される天然事象などに対しても地層処分の安全が成り立つことが保証される。この研究開発課題に対して地層科学研究では、地球的あるいは全国的な視野から様々な天然事象の履歴を追い、それに基づく外挿によって将来の長期的な見通しを地域別に明らかにしていくことがその基盤となる。これについては、地質環境の長期安定性に関する研究として実施されているが、超深地層研究所においても、先端的な手法による地震観測が行われる。地震のメカニズムなどに関する新たな研究成果が、地質環境条件の調査研究に反映されるのみならず、学術や防災の分野でも広く活用されることが期待できる。

地層処分研究開発の観点から、地質環境に期待される第2の役割は、人工バリアシステムが所期の性能を長期間にわたって発揮することのできる物理化学的環境を維持することにある。これは、長期間のうちに地下水が廃棄物中の放射性核種を溶出し、核種が地質環境中に至るという可能性を考慮したものである。この研究開発課題に対して、地層科学研究において地下深部における地下水の量と動きが極めて限られており化学的な性質も地層処分に好適な状況にあることを示す情報を反映することが必要とされる。具体的には地質構造が安定していること、地下水の流れが遅く量も限られていること、地下水の化学的性質が人工バリア材料の耐久性からみて好適な還元状態にあることなどである。超深地層研究所ではこれまでに開発されてきた要素技術を組み合わせて一体的に適用し、初期の段階からこれらの情報が収集され、地質環境が明らかにされていく。さらに、地下水の水理や水質と地震の関係についても、釜石鉱山において実績のある観測手法を基礎として研究が行われ、地表に比べ地下深部では地震動の影響が軽微であること、比較的短い時間で地震の影響が自然になくなり、地質環境が復旧する現象の例などについても一層の研究成果が期待される。

地層処分研究開発の観点から、地質環境に期待される第3の役割は、放射性核種の地下水に

よる移行を遅らせることである。これは、廃棄物から溶出し人工バリアシステムを通過した核種が、長期間のうちに地下水に運ばれて人間環境にもたらされる可能性を考慮したものである。地質環境による移行遅延の機能は、鉱物による収着作用、地下水流速とともに、処分場から人間環境までの地下水移行経路の構造に大きく依存する。地層科学研究では、超深地層研究所において地下水の道筋となる亀裂や破碎帯の構造や頻度に関する情報、これらの通路内を実際に移動する地下水（やそこに存在する物質）の水理や地球化学、さらにこれらの主要な道筋に直交する方向への物質の拡散などに関する情報が長期にわたって収集され、これらが性能評価研究に用いる物質移行モデルの考え方や適用性を確認していくために反映される。

超深地層研究所からもたらされる地質環境及び施設建設工事に関する成果・情報は、処分技術の研究開発においても多大な反映が期待される。もとより超深地層研究所は処分施設になるものではなく、施設の規模としても現段階で想定される処分場と比べると小さく、また地下利用の場としての操業期間も短い。しかしながら、超深地層研究所もまた最新の工学技術を駆使して日本の地下深部に取り組むという工学的な一面をもつものであり、その過程で得られる知見や経験は当面の処分技術の研究開発（処分予定地が選定された後にそこに適した処分施設を設計施工するための技術開発）の基盤として役立つ。具体的には、超深地層研究所の建設に伴う事前調査、施設の設計施工ならびに操業の過程で得られる土木工学的な情報（岩盤の諸物性、温度、圧力、熱など）やノウハウ（設計手法、建設手法、維持管理手法、トラブル対応経緯など）が、人工バリアシステムや処分場の設計研究に反映される。

2. 地質環境調査手法

ここまで述べてきた地質環境に関する情報の品質は、対象となる地層と目的に応じて調査を設計し、データを収集し、さらにそれらを吟味加工するための手法の信頼性と表裏一体の関係にある。究極の課題は地表からの調査のみによって地下深部までの天然の地質環境を詳しく把握することであるが、地質環境は不均質な天然の系であり、地表からその全てを解き明かすことはできない。また現有の技術では直接的に詳しく調べようとすればするほど、対象となる地質環境を乱すことになる。

地層科学研究を進める上で重要なことの一つは、現在の技術レベルでどの様な規模（空間的／時間的スケール）と分解能（あるいは精度）をもって地質環境を推定し、調査し、確認することが可能であるかという事実を地層処分研究開発側に的確に反映し、それが現時点において必要とされる情報の種類と質と量を満足するものか否かを常に検討していくことである。双方に乖離がある場合、もし現有の研究資源と現実的な時間枠内で対応が可能であればそれは地層科学研究における新たな技術開発課題となり、そうでなければ、地層処分研究開発側と協議して次善の研究を検討していくこととなる。

超深地層研究所における地層科学研究は、施設が建設される用地の地下千 m 程度までの地層

を対象領域とする。この領域の地表に近い部分については、過去30年間のウラン資源の調査研究や地層科学研究（広域地下水流動研究など）の副産物として、ある程度の地球科学的知見が蓄積されているが、地下数百 m を超える部分に関する情報は極めて限られている。したがって手法の妥当性に関する評価は、事前に到達目標を設定し、それに照らして調査－推定－調査－確認という手順を繰り返しつつ、最終的には専門家による判断（EXPERT JUDGMENT）によって行っていくこととなる。

超深地層研究所において、地質環境調査手法は対象となる花崗岩に適した一連の技術の組み合わせとして完成される。これは将来において、条件の異なる地質環境を対象にした調査を計画し実施する際の技術基盤となる。したがって、超深地層研究所においては手法の対応範囲などについて幅広く設定し、基盤としての厚みを増しておくことが重要であると考えられる。言い換えれば、将来における必要性が必ずしも明瞭ではない技術や、中心的な技術の代替案となりうるような技術についても検討し、可能な限りオプションとして整えておくことが望まれる。

Appendix IV

地下研究施設と
諸外国の地下研究施設の比較

Appendix IV 地下研究施設と諸外国の地下研究施設の比較

地層処分を予定している諸国においては、地下を研究するための施設計画を持っていることが一般的である。これらの施設の中には、鉱山などの既存坑道を利用する計画と全くの更地を対象として開始される計画がある。後者については、海外に数件の先行事例があり、これらの先行事例には共通点と相違点がある。

共通点としては、廃棄物の処分後の極めて長い時間を経て、地下水が廃棄物中の放射性物質を溶かし出し、地層中を移動して人間の生活環境に影響を与えるという仮定に対し、この影響が有意なものとならないような対策を講じるという地層処分の考え方に対して、科学技術的な基盤を強固なものにすること、またそれによって社会的な受容の促進を目指すという姿勢があげられる。

一方、相違点については、それぞれの国における地層処分のコンセプトや地層処分計画の進捗度を反映したものとなっている。具体的な例としては、施設の建設される場所が、すでに処分予定地として選定されている（いわゆる SITE SPECIFIC な）場合と、より広い視野に立った（いわゆる GENERIC な）場合とがあり、これが施設における研究の目的と内容及び成果の取り扱いを決定づける要素となっている。

海外の先行事例を見ると、地層処分が実施の段階に近づいている国の例ほど、地下研究施設の役割が絞り込まれていることがわかる。その代表的な例は米国エネルギー省（DOE）がネバダ州で建設中の地下研究施設（ESF）である。ESFは地層処分予定地として選定された場所（ユッカマウンテン）において、処分場としての地質環境の適性を、規制当局が定めた基準に照らして評価することを目的としている。ここではトンネルの径や配置など地下施設の規模も想定される処分場に準じたものとなっている。原子力長計によれば日本においても将来、実施主体が処分予定地に所要の地下施設を設置し、サイト特性調査と処分技術の実証を行うこととされている。またフランスにおいては、今後複数の候補地に地下研究施設を建設し、将来そのうちの1ヵ所を処分予定地とする計画が進んでいる。

一方、スウェーデン核燃料廃棄物管理会社（SKB）の地下研究施設（HRL）は、地層処分予定地の選定に先立ち、将来、予定地として選定される可能性の高い場所と類似した地質環境（花崗岩）が存在する場所に建設されている。HRLはスウェーデンにおける地層処分コンセプト（それが発表された報告書に因んでKBS3と呼ばれる）の実現性を確かめ、特定の場所を対象とする研究段階に進むための意志決定に際し、科学的な基盤を整えることを目的としている。スウェーデンではHRLの計画に先立ち、廃坑となった鉄鉱山の坑道を利用した原位置試験研究（OECD/NEA 国際ストリパ計画）を10年以上にわたって実施し技術的な基盤を築いている。またHRLには、地層処分に対する社会的な受容を促進する役割が期待されており、HRLを『処分場のドレスリハーサル（舞台稽古）』と位置づけ、処分場の計画（処分予定地の選定）と並行して進めている。また、カナダにおいても、原子力公社（AECL）によ

って地下研究施設（URL）が建設され、地層処分コンセプトの安全に関わる概念評価を支えるための研究が進められてきた経緯がある。

原子力長計に示された深地層の研究施設の一つである超深地層研究所は、地層処分の予定地が特定される以前の段階で建設され、地質環境に関する一般的な情報を得て、地層処分研究開発に資するという点においてスウェーデンやカナダの例に近く、処分場の計画とは明確に区別されている。ただしスウェーデンやカナダにおいては、地層処分を実施する地質環境が単一のものに絞りこまれ、地層処分コンセプトもそれを前提としてさらに具体化されたものである。これに対し、日本の地層処分研究は全国的な視野から地質環境をとらえる段階にあることから、深地層の研究施設については複数の設置が望まれている。

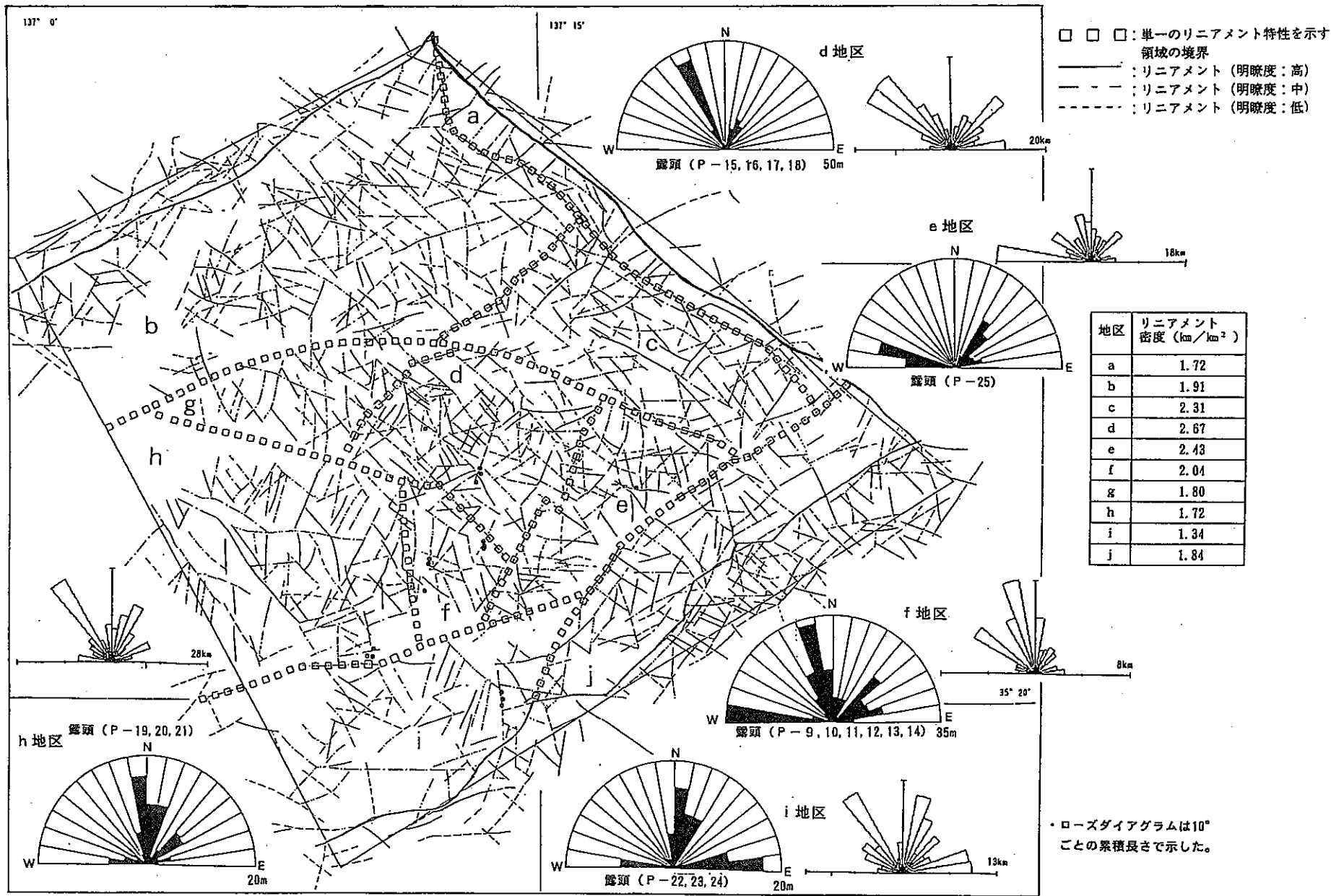
ここで参考までに、高レベル事業推進準備会の資料（高レベル放射性廃棄物処分事業に関する検討中間とりまとめ）に基づいて日本の地層処分計画を展望すると、西暦 2000 年までに動燃が提出する第二次とりまとめ報告書と国による評価、西暦 2000 年を目安とした処分事業の実施主体の設置、西暦 2010 年頃の処分予定地決定、西暦 2025 年頃の処分場着工、西暦 2035 年頃の処分場操業開始などが主要なマイルストーンとされている。このようなスケジュールをもとに想定すると、処分予定地における所要の地下施設によるサイト特性調査と処分技術の実証は西暦 2010 年頃から 2025 年頃までの十数年間にわたって実施されることになる。かかる状況から、今後 20 年程度の期間は、深地層の研究施設を中心とする地層科学研究の成果が最も期待される時期となると考えられる。

原子力長計に示されているように、深地層の研究施設は地層処分研究開発に共通の研究基盤となる施設である。動燃事業団による地層処分研究開発は、『地質環境条件の調査研究』『処分技術の研究開発』『処分システムの性能評価研究』を重点項目とし、地域や地層の種類を特定することなく進められている。その成果は西暦 2000 年までに『第二次とりまとめ』として国に報告され評価を受ける。この評価の結果は、地層処分を巡る社会環境に関する分析の結果など、他の様々な情報とともに、国による実施主体の設置にかかわる判断に資するものとなると考えられる。西暦 2000 年以降の地層処分研究開発については様々な不確定要素もあるが、ここでは実施主体によって処分場の計画が開始された後も、動燃を中核とする地層処分研究開発が並行して進められるとの認識に立つものである。

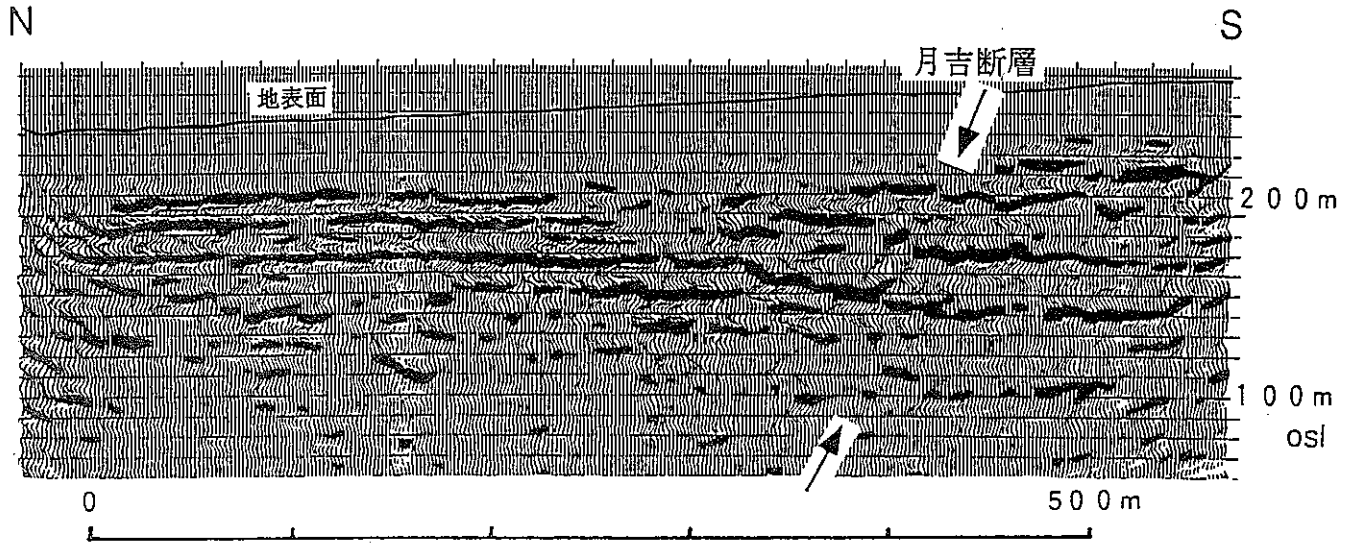
また社会環境的には、施設建設予定地域の周辺住民の間に、超深地層研究所が将来処分場になることへの懸念もあり、超深地層研究所を地層科学研究の場としてのみならず、地震研究などの並行研究の場としても広く開放し、多面的に活用していくことが期待されているという特色がある。

Appendix V

図 表



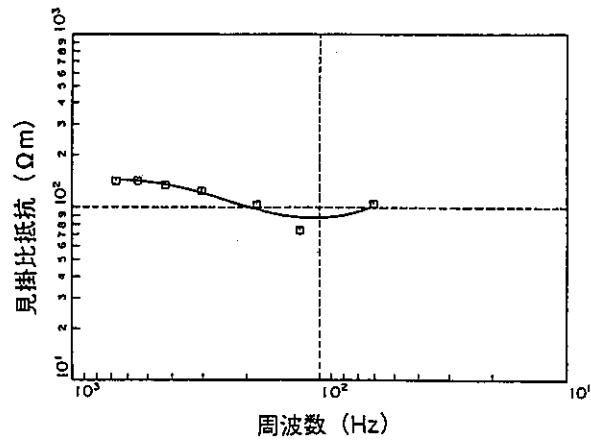
図A-1 構造区分別のリニアメントの発達方向と地表割れ目の方向



図A-2 反射法弾性波探査の東濃鉱山地域での適応試験例

地表	
133 Ωm	327 m
27 Ωm	406 m
∞	

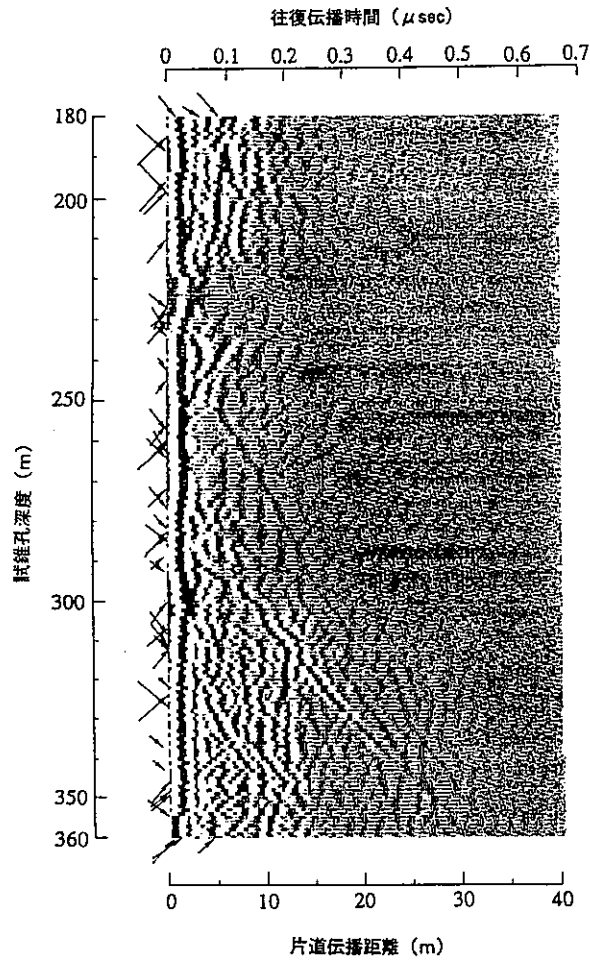
(a) 層構造解析結果



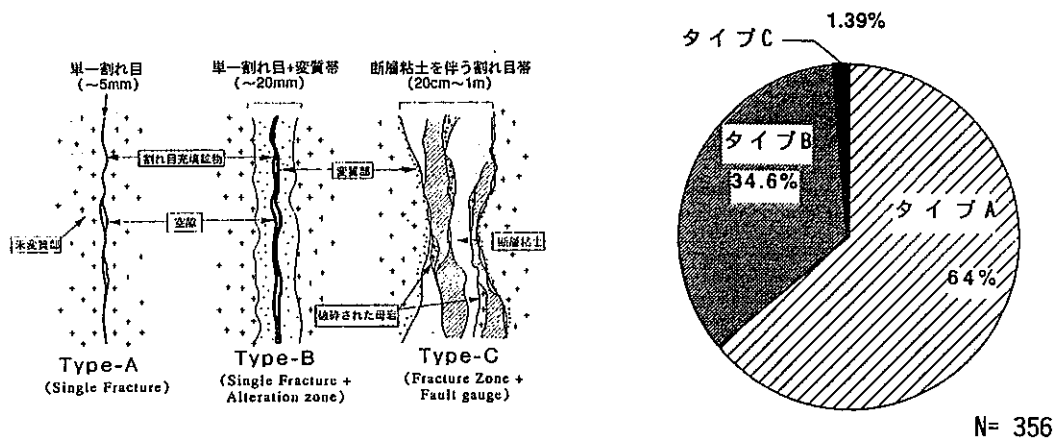
(b) 測定値と見掛比抵抗曲線

(b)の □は測定値であり、曲線は(a)の層構造解析による見掛比抵抗曲線

図A-3 PLMT法調査の解析結果例



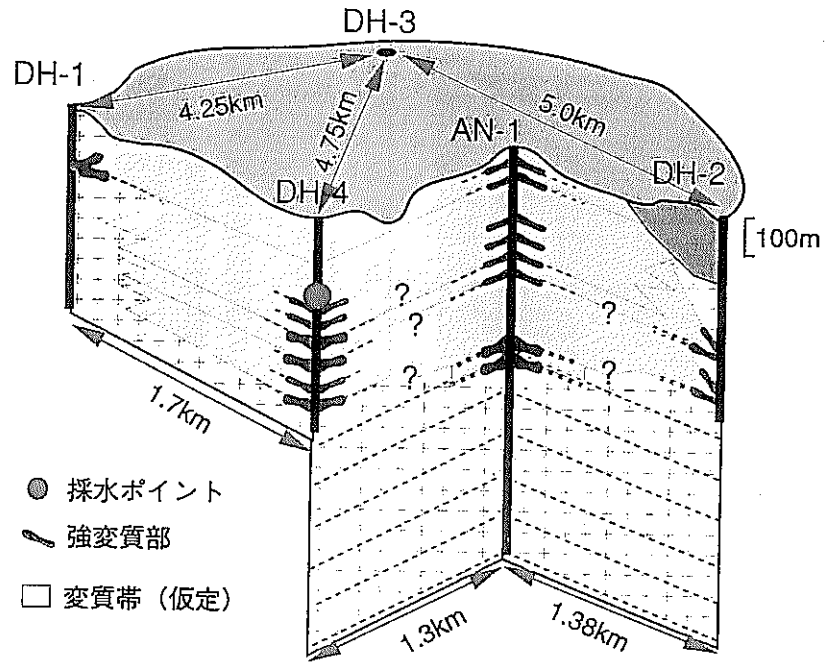
図A-4 RAMACシステムの適用試験例（シングルホール調査）
 (↑: 抽出された反射面)



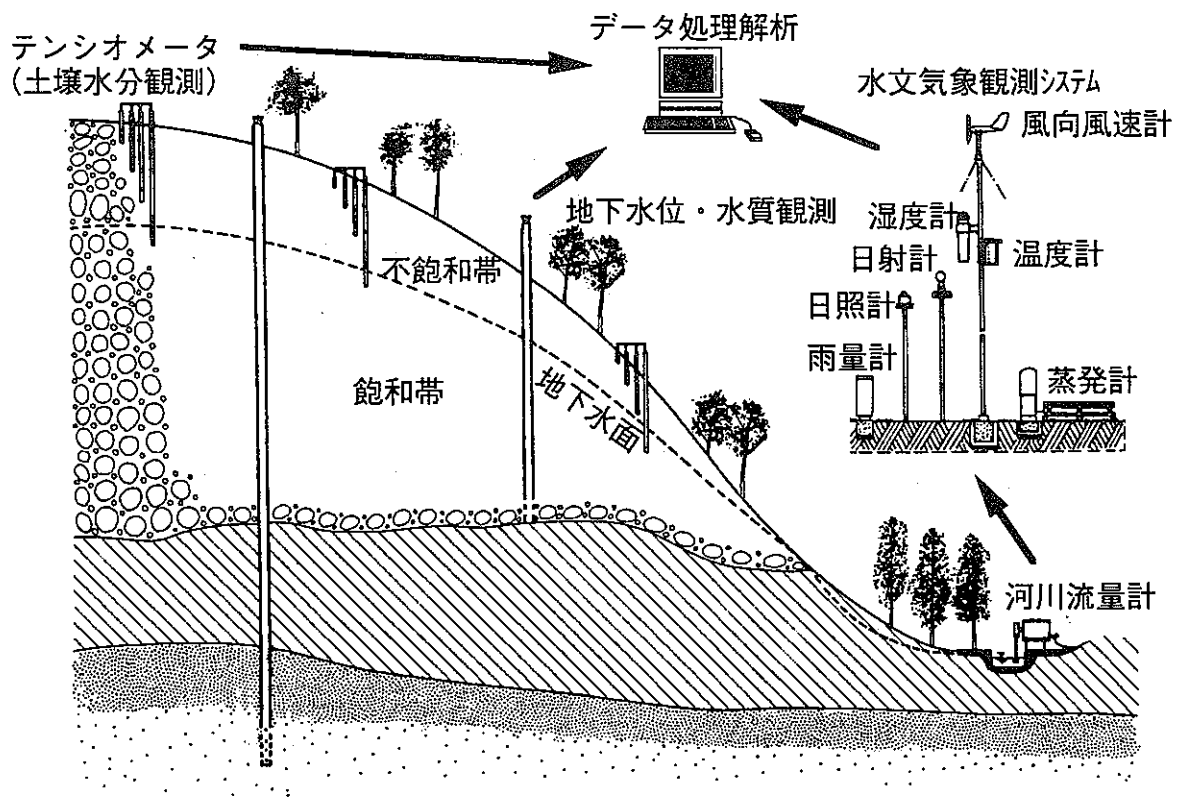
(a) 形状によって分類された割れ目タイプ

(b) 各割れ目タイプの頻度

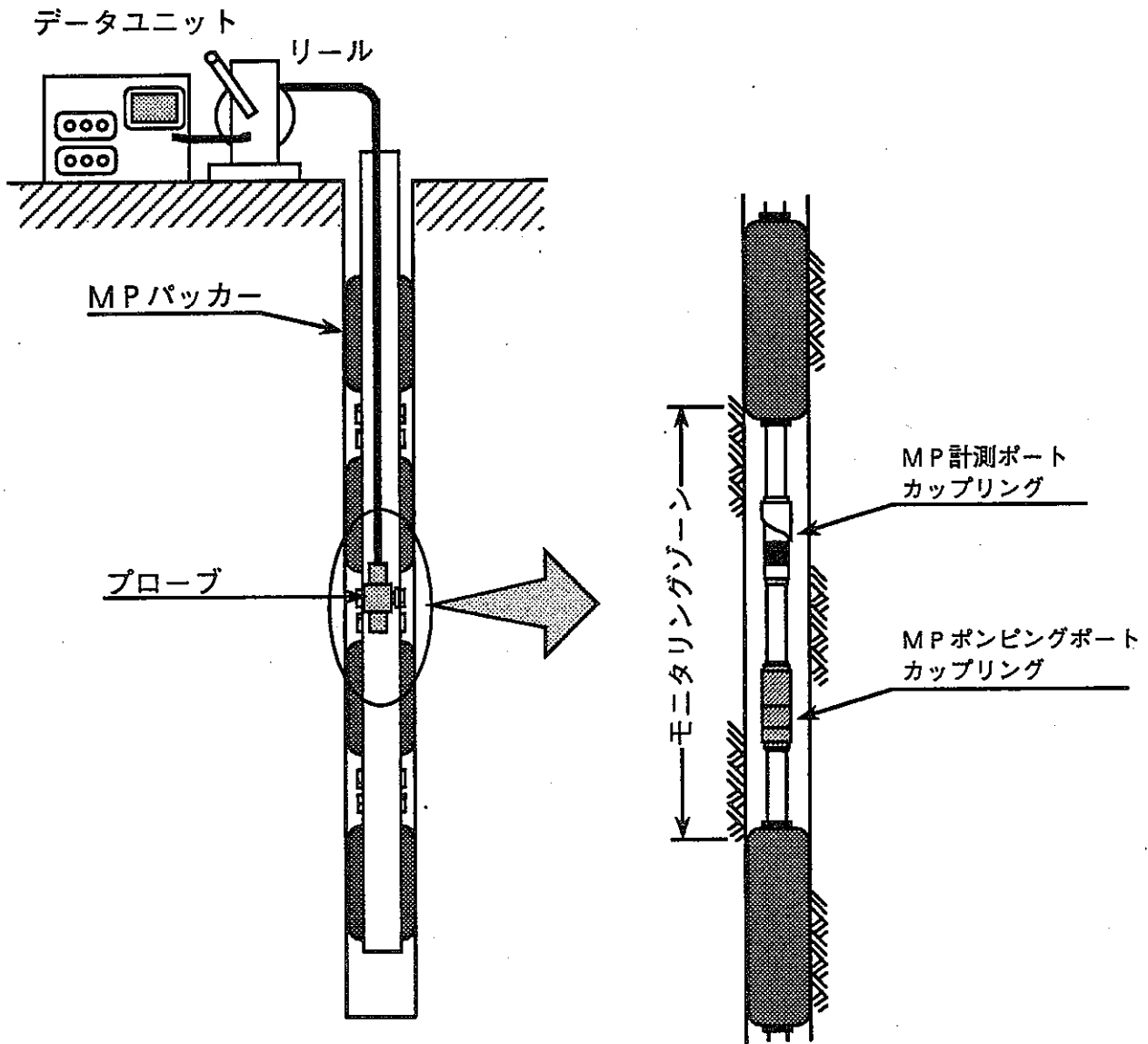
図A-5 釜石鉱山の花崗岩における割れ目の形態



図A-6 東濃地域における深部花崗岩の地質構造



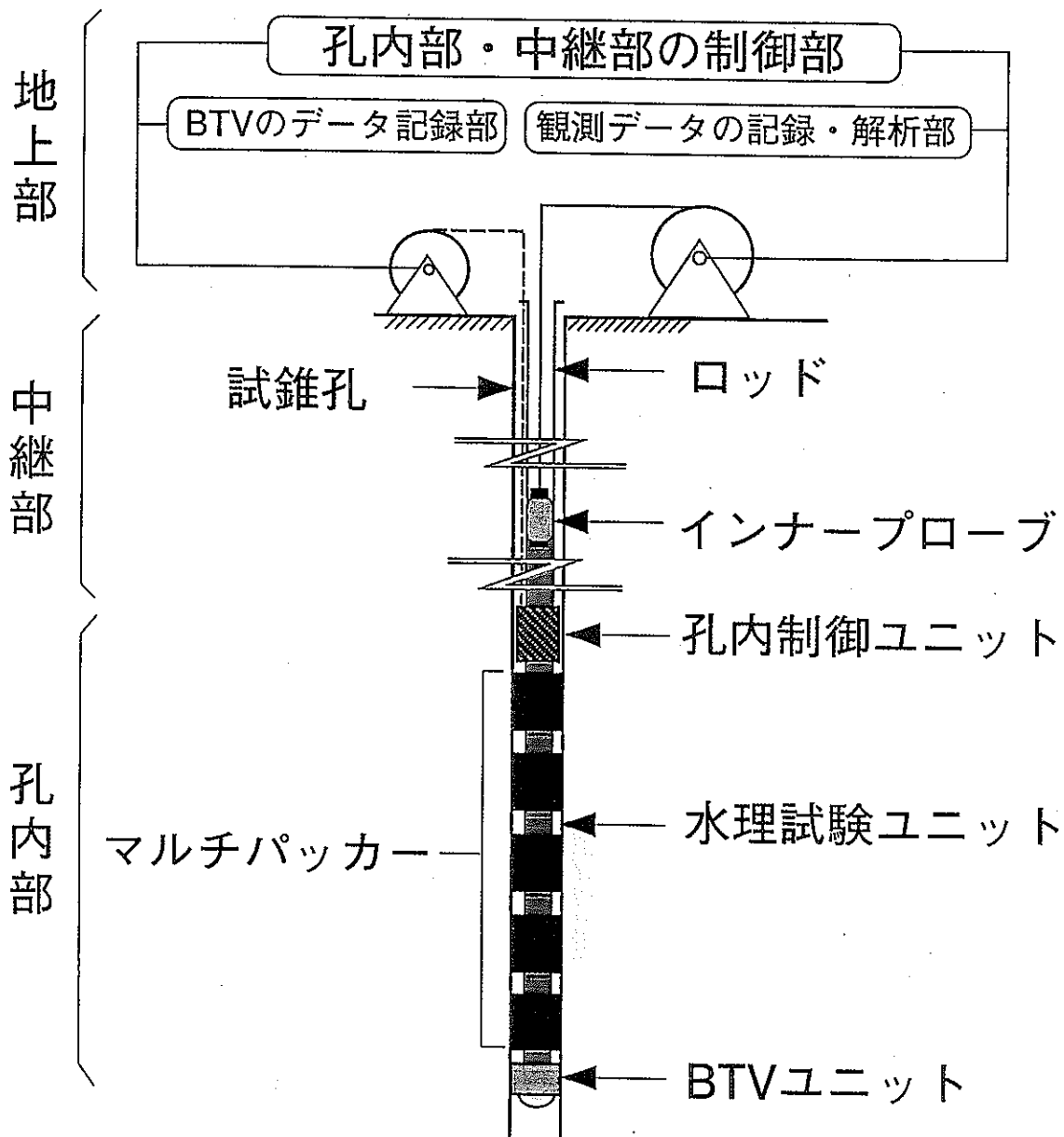
図A-7 表層水理定数観測システム概略図



MPシステムの特徴

- ・ 同一の試錐孔での深度を変えた多数の測定採取区間の設定が可能
- ・ 各測定採取区間における間隙水圧の測定、地下水の採取および透水試験が可能
- ・ 採水深度の圧力をそのまま保存した採水が可能

図A-8 MPシステム概念図



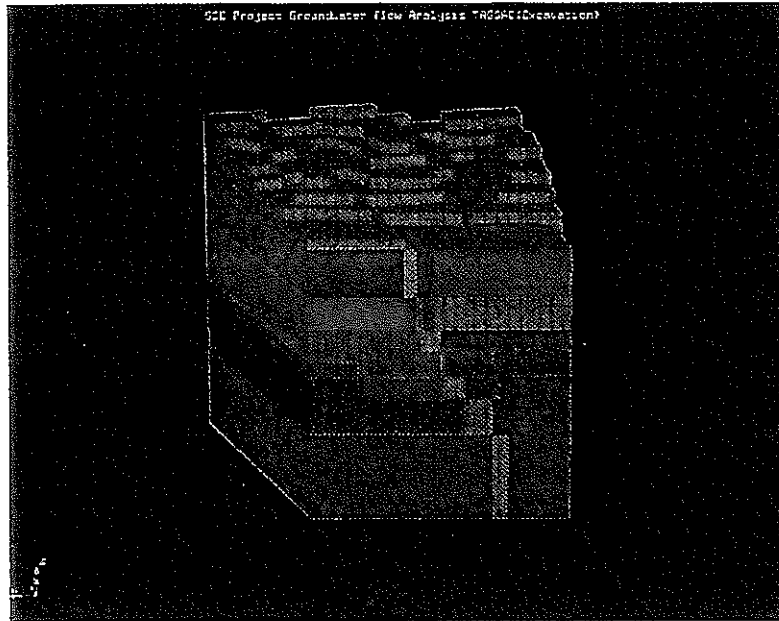
基本性能

適応深度：1,000m 適応孔径：75～100mm

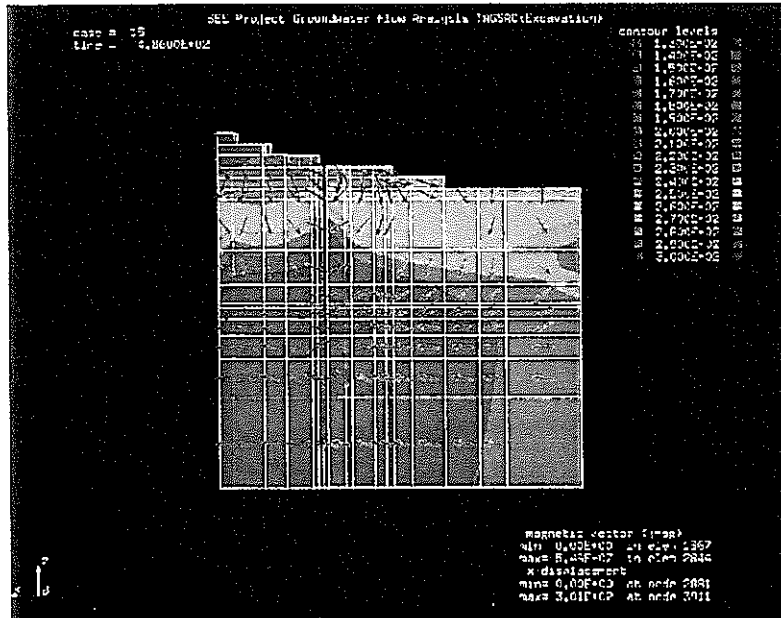
試験方法：定流量揚水試験・水位回復法・パルス法

測定範囲： 10^{-4} cm/s～ 10^{-10} cm/sオーダー

図A-9 1,000 m対応水理試験装置の概念

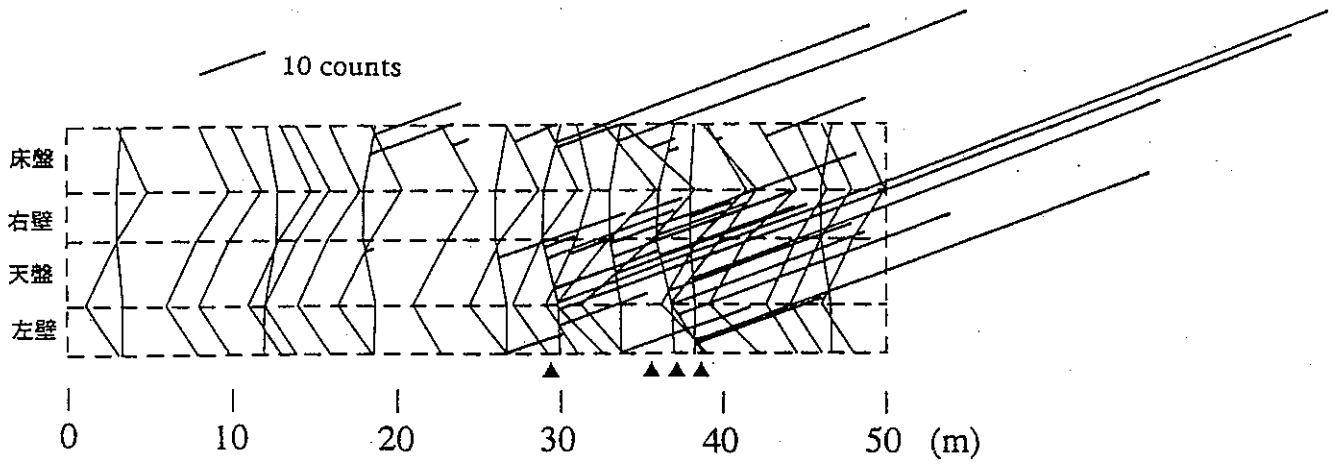


水理地質構造モデル
透水性によって、13区分した
節点数3,924、要素数3,133

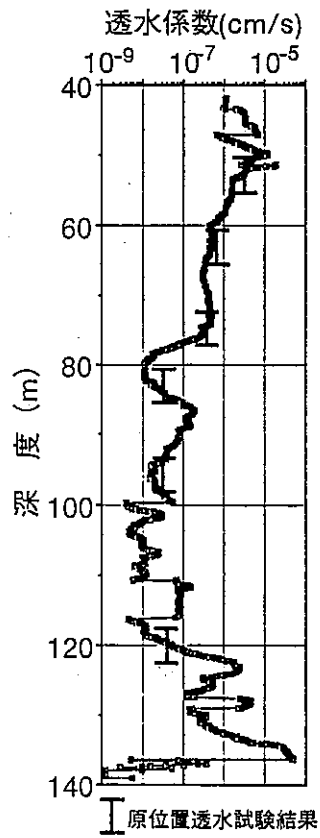


第2立坑位置を通る鉛直断面における
ピエゾ水頭分布とダルシー流速ベクトル
第2立坑掘削終了直後

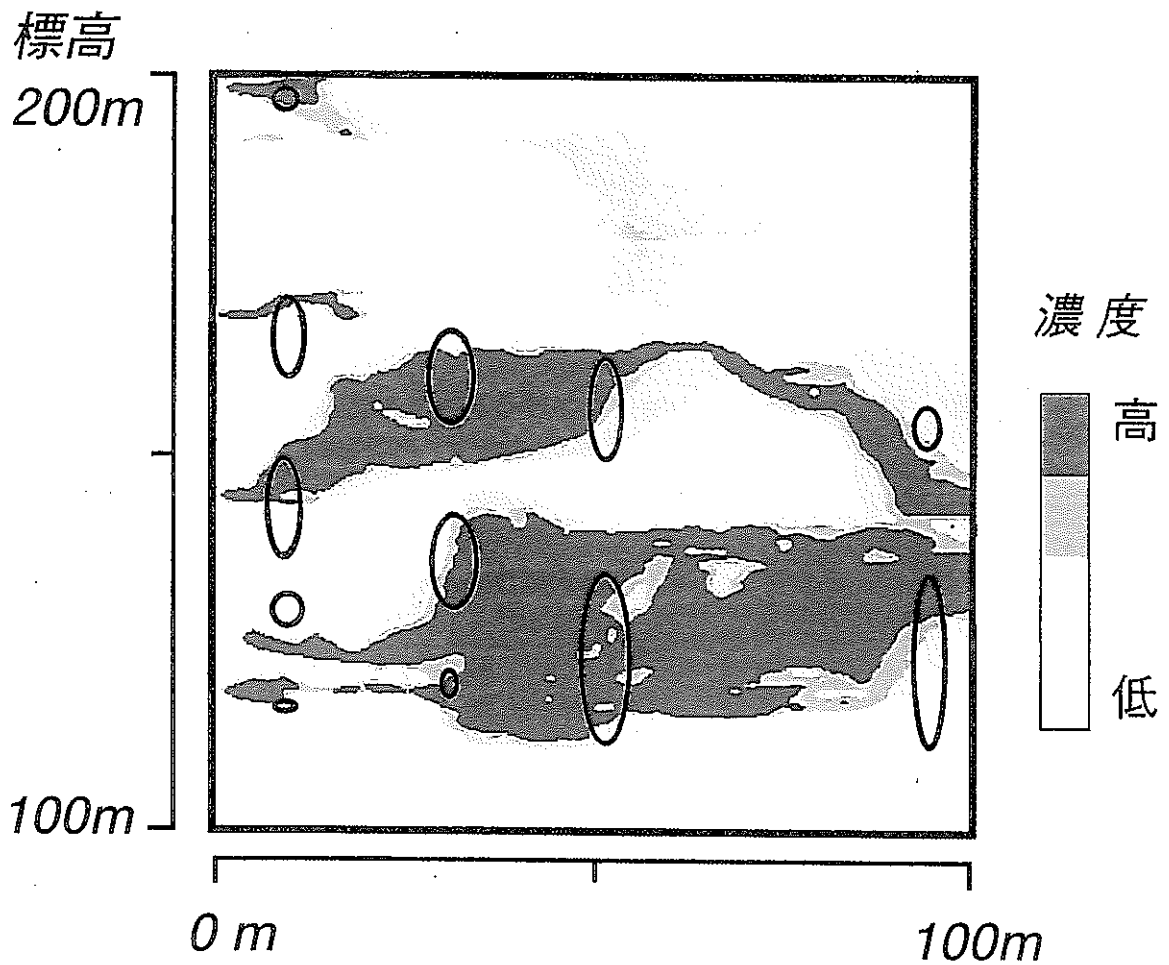
図A-10 東濃鉱山第2立坑掘削影響解析



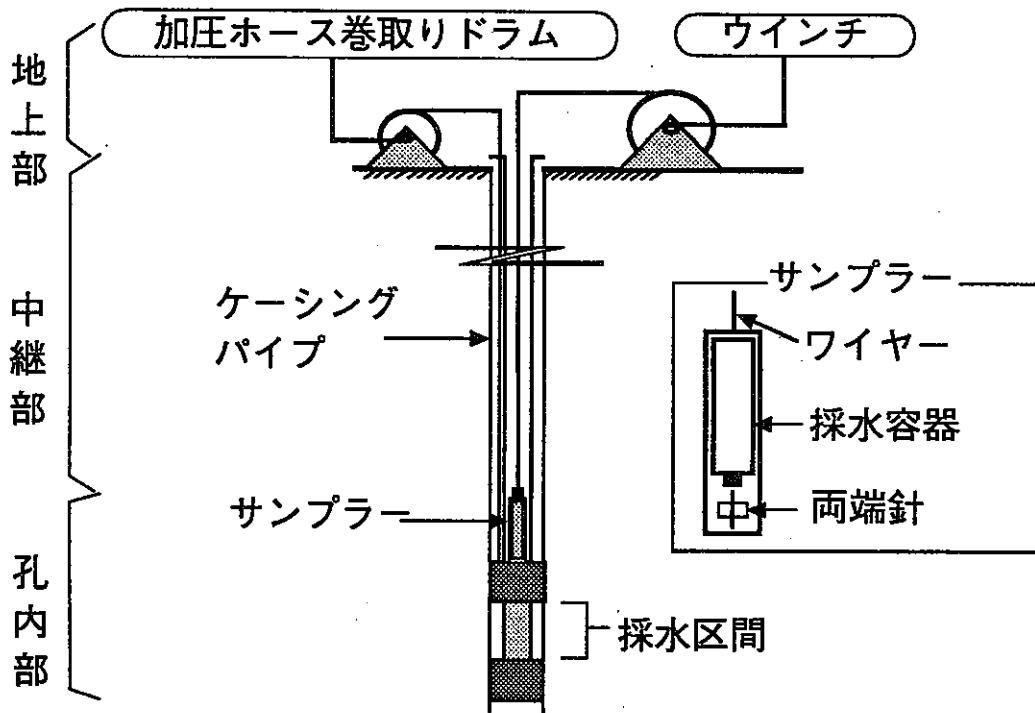
図A-11 シミュレーションにおけるトンネル展開図上のトレーサー分布
(図下部の▲は試験時のトレーサー出現地点)



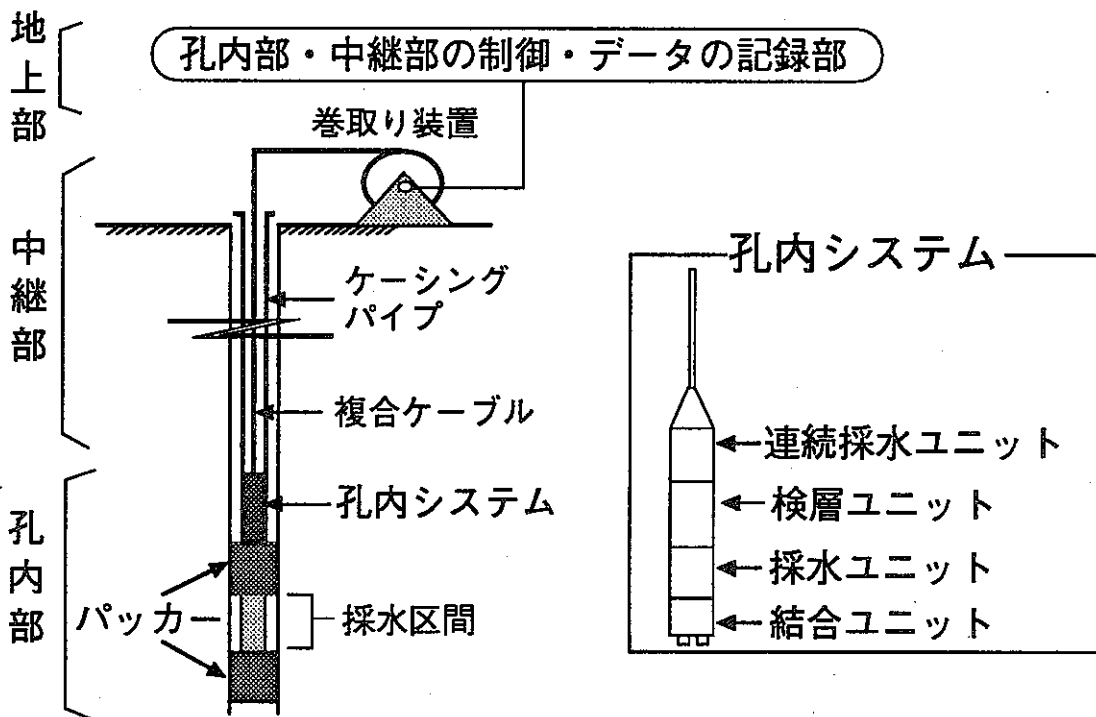
図A-12 電気検層による透水係数値の推定



図A-13 フラクタル理論を応用した透水係数の空間分布推定手法の開発
 パーティクルトラッキング手法によるウラン分布の推定結果
 (楕円内は、検層で検出された高 γ 線強度分布)

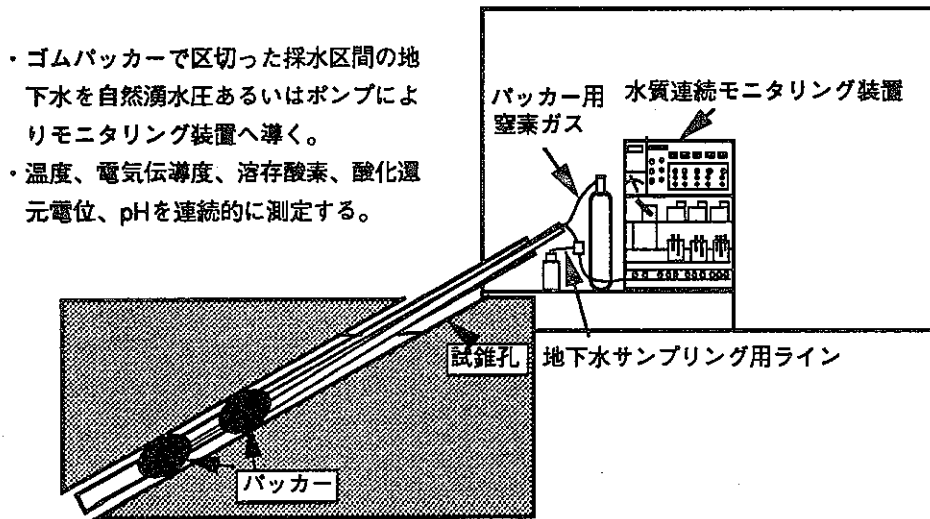


(a) 500 m対応パッカー式地下水採水装置

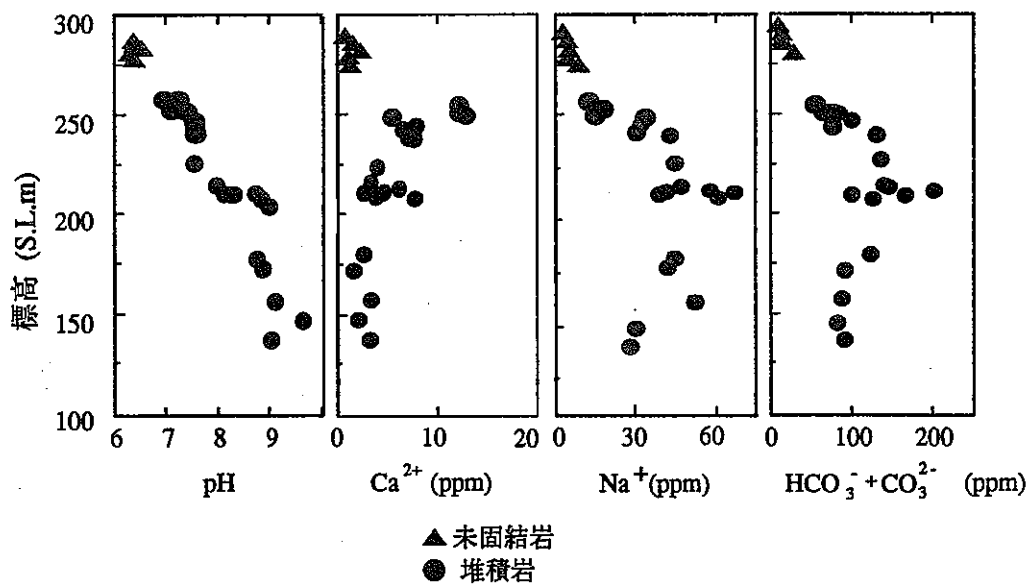


(b) 1,000 m対応地下水の地球化学特性調査機器

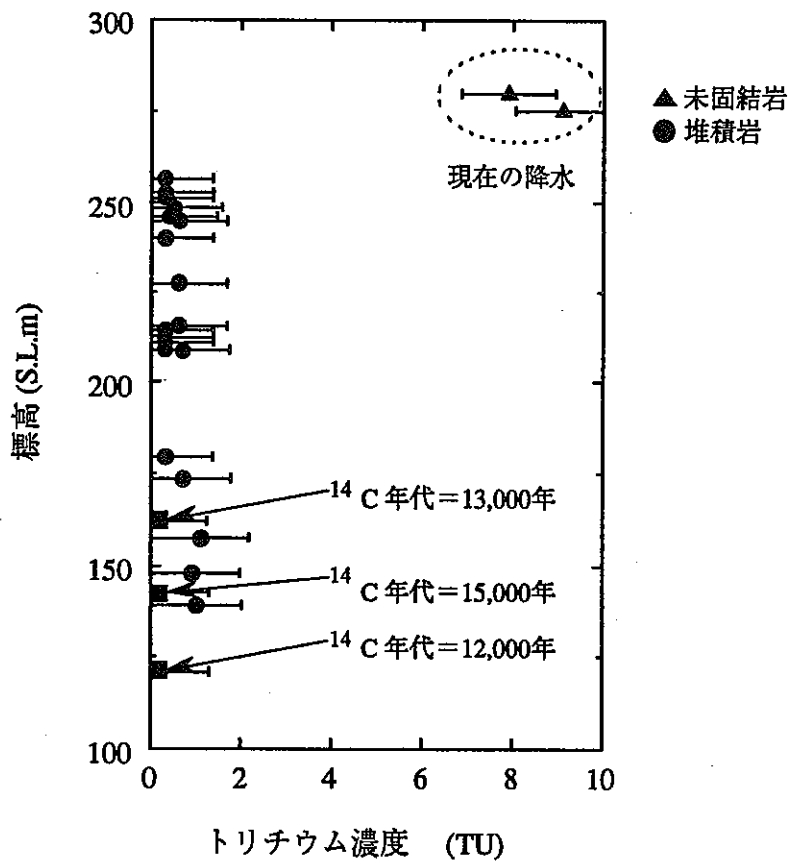
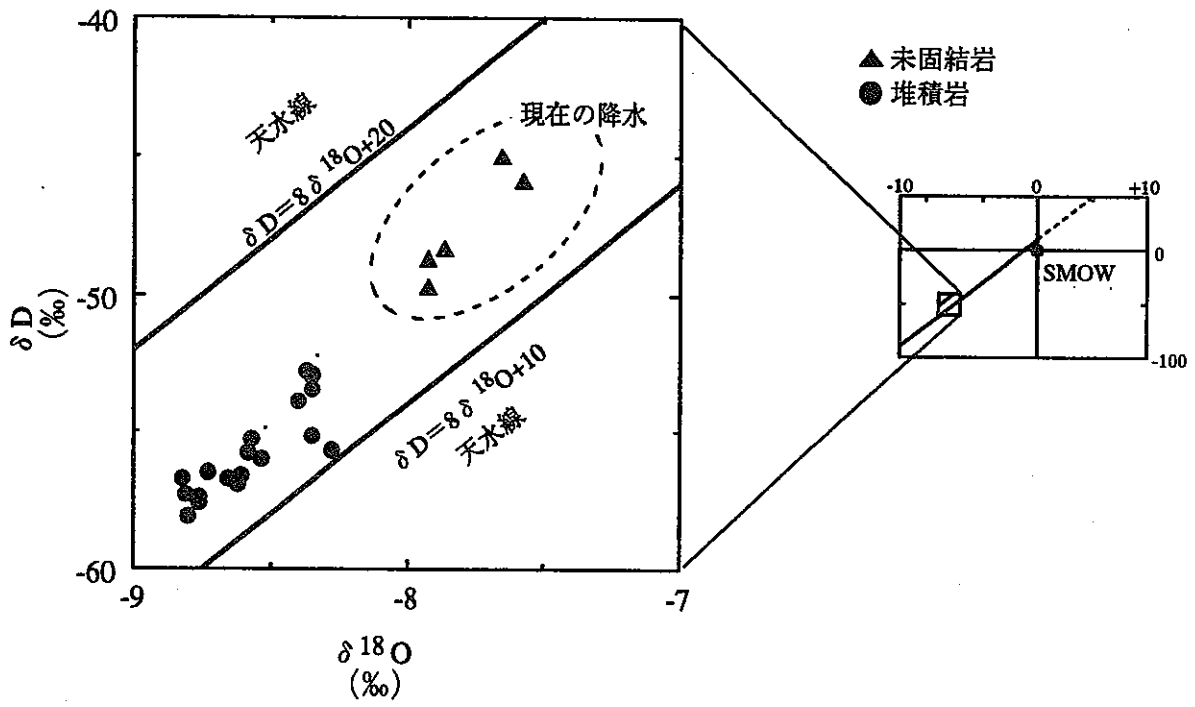
図A-14 地下水の地球化学特性調査機器



図A-15 水質連続モニタリング装置の概念図

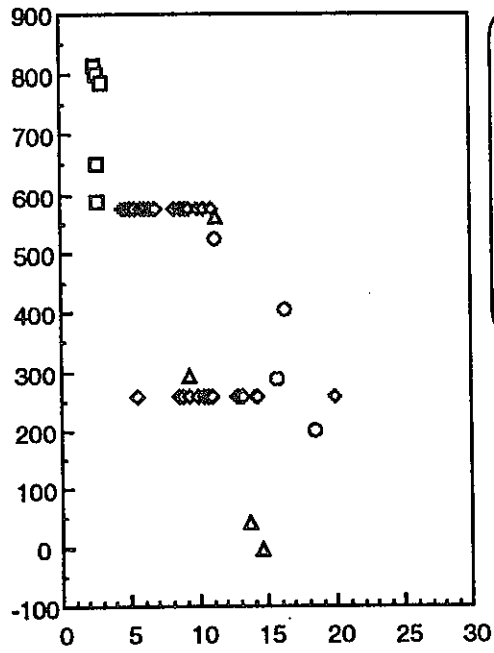


図A-16 堆積岩中の地下水組成の深度分布



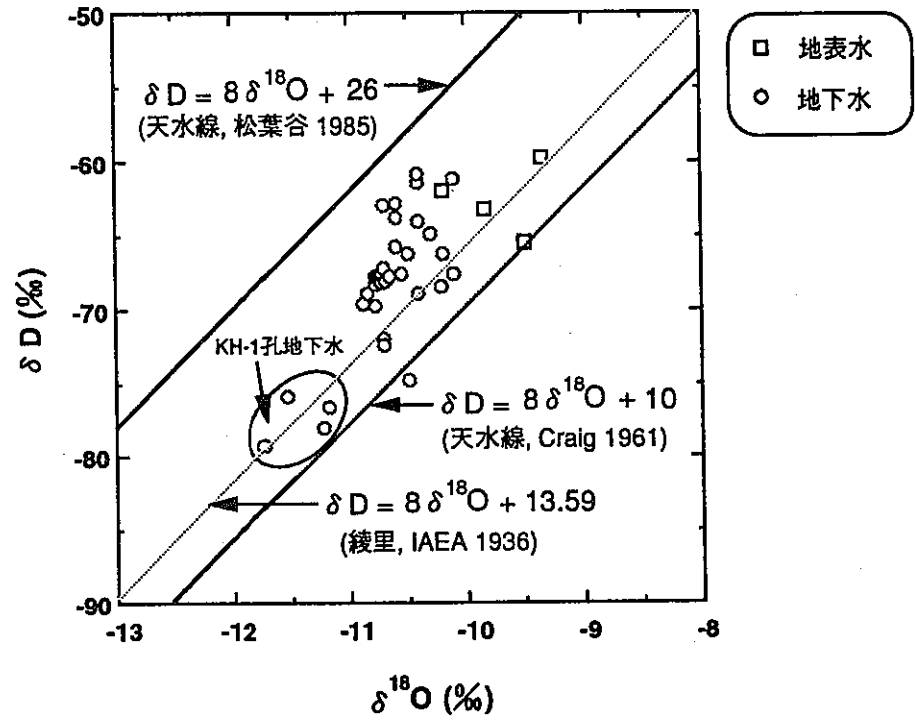
図A-17 堆積岩中の地下水の起源と年代

標高 (m)



- 地表水 (5箇所)
- ◇ 坑道湧水
 - ・550mL (22箇所)
 - ・250mL (19箇所)
- KH-1孔地下水 (5区間)
- △ KG-1孔地下水 (4区間)

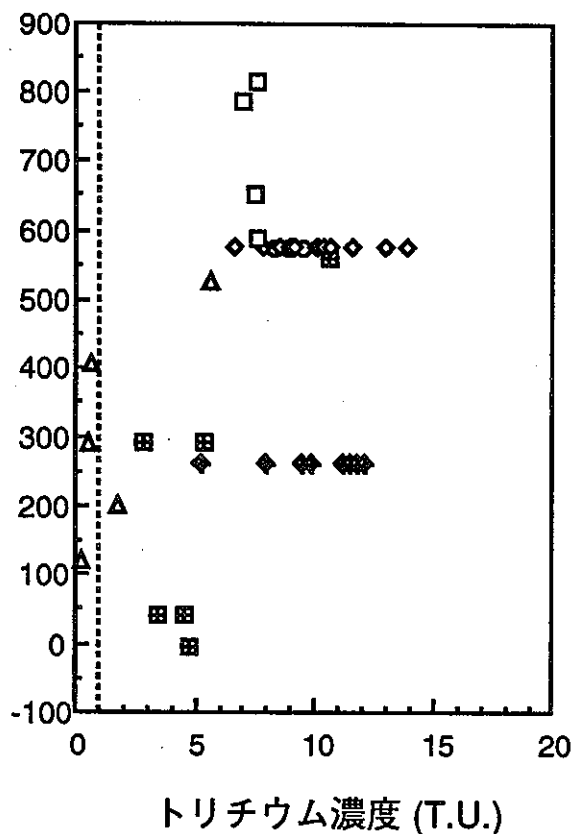
Na⁺ (ppm)



- 地表水
- 地下水

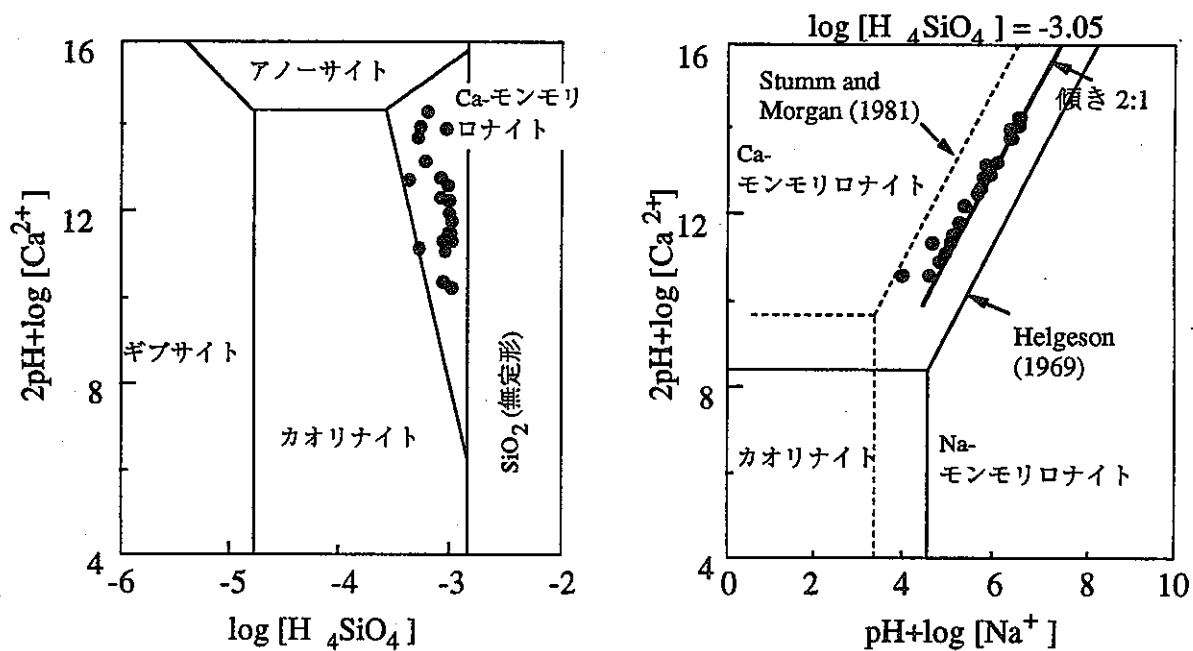
図A-18 釜石鉱山における地下水の地球化学特性調査結果の例

標高 (m)

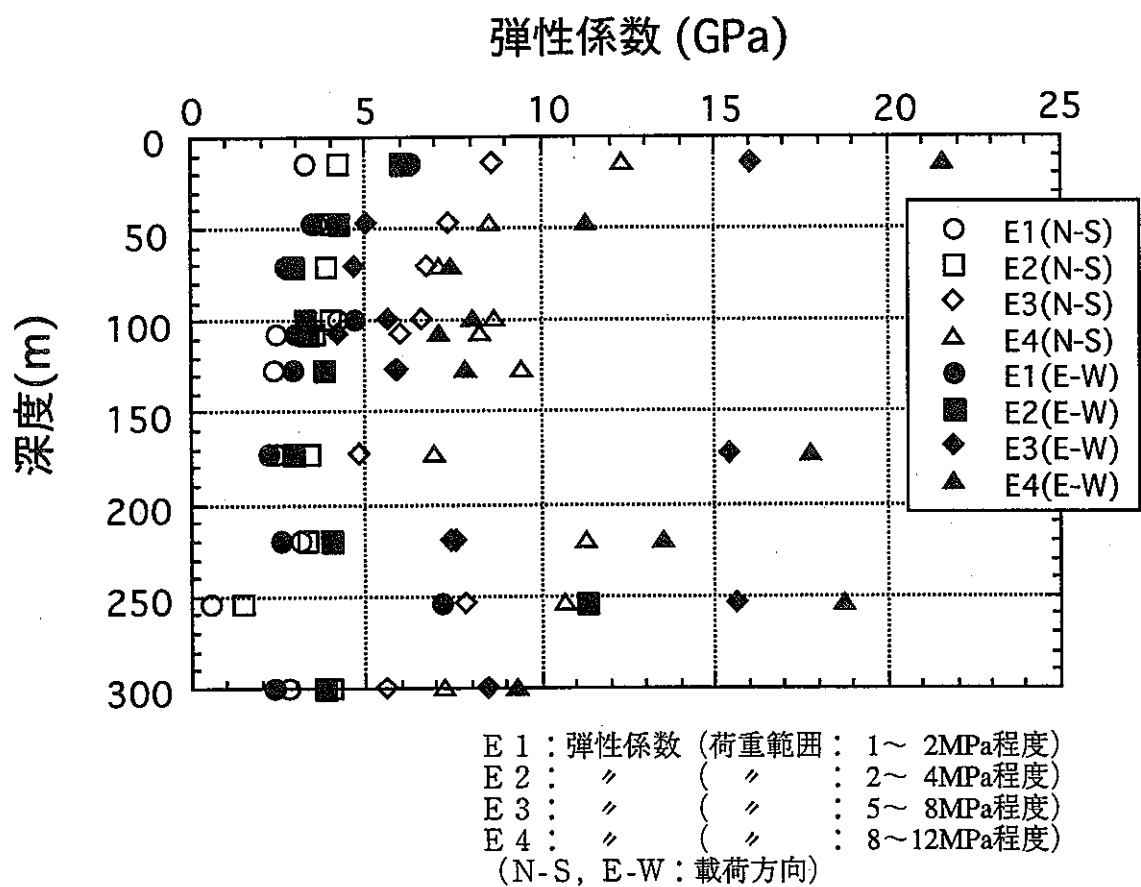
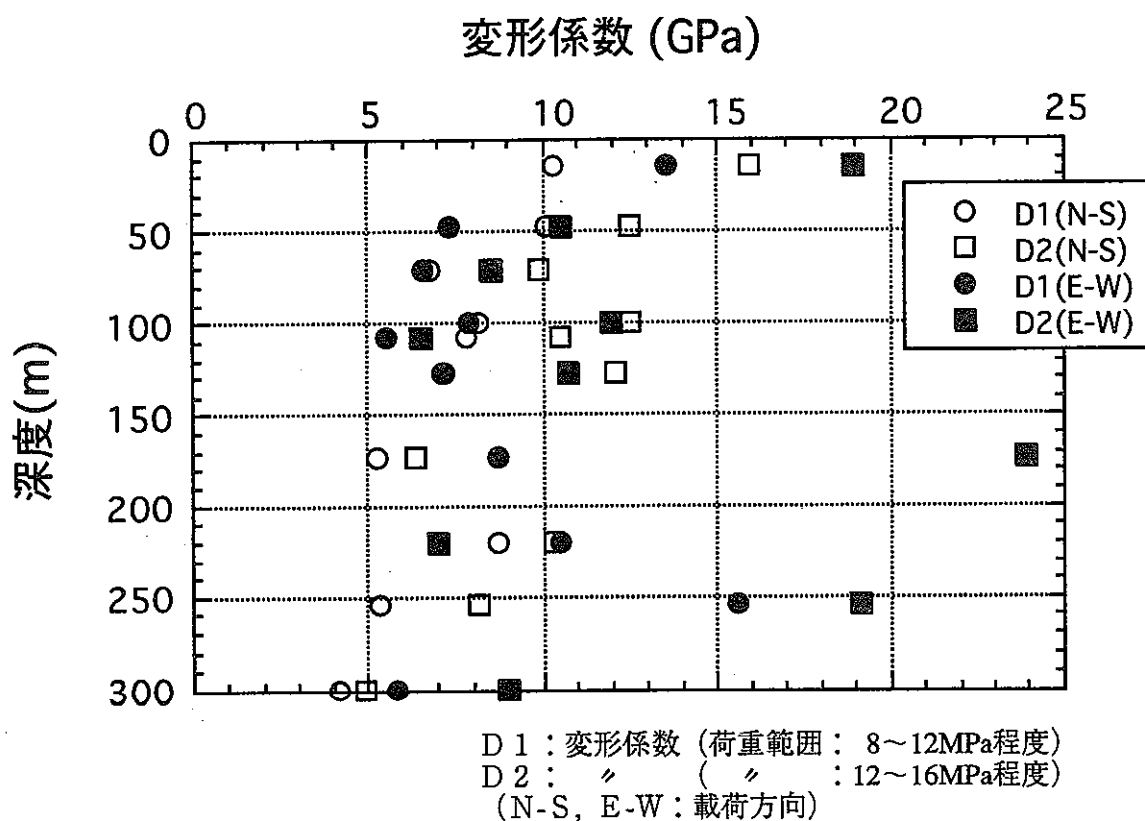


- 地表水 (4箇所, 1990)
- ◇ 550mL NW坑道湧水 (12箇所, 1988)
- 550mL KD89坑道湧水 (3箇所, 1989)
- △ KH-1 孔 (5区間, 1990)
- ▣ KG-1 孔 (4区間, 1992,1994)
- ◆ 250mL 坑道湧水 (9箇所, 1994)

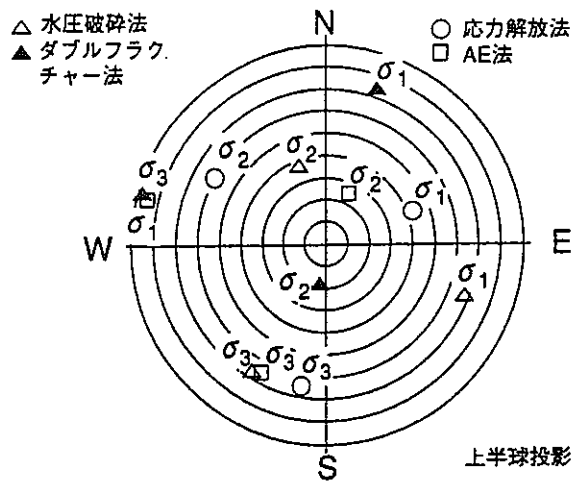
図A-19 釜石鉱山における地表水および地下水のトリチウム濃度と深度との関係



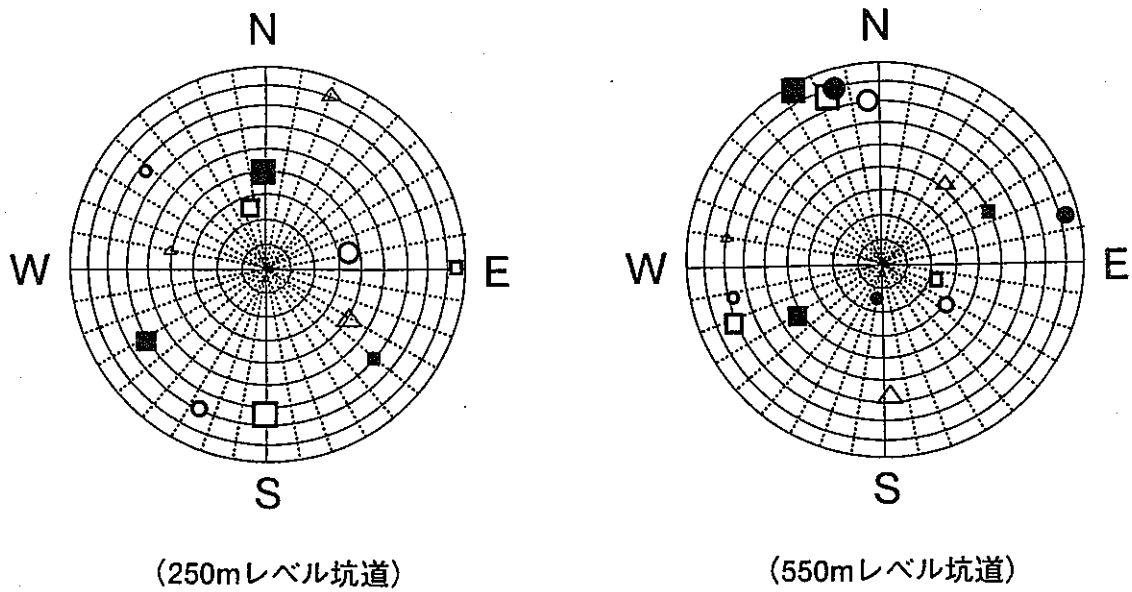
図A-20 堆積岩中の地下水の熱力学的解析図



図A-21 釜石鉱山における孔内載荷試験結果 (KH-1孔)



図A-22 第2立坑第1計測坑道での初期応力測定結果
(主応力の方向)



- | | | | |
|------------|------------|------------|----------|
| σ_1 | σ_2 | σ_3 | |
| □ | □ | □ | 円錐孔底ひずみ法 |
| ■ | ■ | ■ | 水圧破碎法 |
| ○ | ○ | ○ | AE/DRA法 |
| △ | △ | △ | DSCA法 |
- (シュミットネット図, 下半球投影図)

図A-23 釜石鉱山における初期応力測定結果

表A-1 地層科学研究の現状、目標、内容（その1）

研究項目	これまでの研究成果	地表からの段階の目標	地表からの段階の研究内容
1. 地質構造			
(1)地表物理探査	<ul style="list-style-type: none"> 東濃地域において、反射法弾性波探査の適用試験を実施した。堆積岩中に2～3面の強い反射面の存在が認められた他、堆積岩と土岐花崗岩との境界面ならびに月吉断層とその派生断層と考えられる構造を捉えることができ、反射法弾性波探査が地質構造調査に有効であることを確認した。 	<ul style="list-style-type: none"> 地質構造モデルの構築に必要な地質構造の把握、ならびに各種調査法の適用性の把握。 	<ul style="list-style-type: none"> 地表から各種物理探査を実施し、超深地層研究所周辺の地質構造を把握するとともに、地質構造モデルを合理的に構築するための手法を開発する。
(2)試錐孔を利用した物理探査	<ul style="list-style-type: none"> OECD/NEAの共同研究で開発した試錐孔用レーダーシステム（RAMAC）を用いてレーダートモグラフィ調査を実施した。調査は、土岐花崗岩中に掘削された深度1,000mおよび400mの2本の試錐孔（孔間距離は36m）を用いて行った。その結果、岩芯試料の観察結果から判明した割れ目の卓越する深度部分が、2本の試錐孔の間に連続的に広がることが判明した。 	<ul style="list-style-type: none"> 地質構造モデルの構築に必要な地質構造の把握、ならびに各種調査法の適用性の把握。 	<ul style="list-style-type: none"> 立坑掘削予定位置およびその周辺に掘削される試錐孔（深度1,000m）を用いて、弾性波・比抵抗・レーダートモグラフィ調査を実施し、超深地層研究所周辺の深度1,000mまでの地質構造を詳細に把握するとともに、地質構造モデルを合理的に構築するための手法の開発を実施する。
(3)地質踏査	<ul style="list-style-type: none"> 調査対象領域の大規模な地質構造を把握するため、飛騨川、赤河断層、屏風山断層で囲まれる約30km四方の領域において、リニアメント解析を行った。リニアメントは、大きくNW、EWの2方向が卓越しており、露頭での割れ目の卓越方向がほぼリニアメント構造区の卓越方向又は露頭近傍のリニアメント方向に一致していることが認められた。 月吉断層をほぼ境にして、北部には粒子の粗い花崗岩、南部には粒子の細かい花崗岩の分布することが認められた。 	<ul style="list-style-type: none"> 岩石学および鉱物学的情報の補充。 地表の構造から地下深部の地質構造を推定。 	<ul style="list-style-type: none"> 土岐花崗岩体を中心に、岩相分布調査、小規模割れ目分布調査、大規模割れ目現地調査および地形調査（測量を含む）を行う。
(4)試錐孔を利用した地質調査	<ul style="list-style-type: none"> 東濃地域のAN-1号（1,000m）とAN-3号（500m）の2孔およびDHシリーズの試錐孔による土岐花崗岩の地下深部における地質構造調査を行った。土岐花崗岩の地下深部における地質構造は、粒子の粗い部分と細かい部分が交互に現れる部分が数カ所認められるなど不均質な組織を有することが分かった。また割れ目や変質に関する調査から、地表から約200m程度までは割れ目周辺に酸化鉄を伴う、SKBやAEC Lの調査では報告例のない変質が認められること、割れ目や変質の顕著な部分と、ほとんど割れ目や変質の認められない部分が厚さ数10mから数100m単位で繰り返し認められることなどが分かった。 これまでの割れ目調査から、その形態（構造）を4つに分類して記載する手法を確立した。 	<ul style="list-style-type: none"> 鉛直方向の地質構造や岩相、割れ目帯などの性状の把握による地質構造の詳細化。 	<ul style="list-style-type: none"> 調査対象領域に掘削される全試錐孔に対して、試錐岩芯記載、BTV調査、岩石鉱物組成調査、断層などの断裂部調査、岩体の年代測定調査を行う。

表A-1 地層科学研究の現状、目標、内容(その2)

研究項目	これまでの研究成果	地表からの段階の目標	地表からの段階の研究内容
(5)力学調査	<ul style="list-style-type: none"> ・岩盤の力学物性については、AN-1孔から採取した深度約500mまでのコアを用いて一軸圧縮試験を実施した結果、一軸圧縮強度は636~2320kg/cm²、静弾性係数は2.9~6.3×10⁵kg/cm²、静ポアソン比は0.225~0.403という値を得ている。同様の試験を、釜石鉱山および東濃鉱山(堆積岩を対象)で行った。海外では、HRLの第1段階やURLなどで、同様な力学試験が行われている。 ・岩盤応力については、海外(スウェーデンやカナダ)では、花崗岩類を対象として、水圧破碎法や応力解放法が行われている。東濃では花崗岩を対象には実施していないが、堆積岩を対象として東濃鉱山で同様の試験実施しており、深度別の応力場を把握している。花崗岩類を対象としては、釜石鉱山で同様の試験を行っている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・花崗岩盤の物性および応力場の把握。 ・複数の試錐孔での深度別試験による力学的性質および応力場の空間的分布の把握。 	<ul style="list-style-type: none"> ・立坑予定位置およびその周辺に掘削する試錐孔において、国内外で行われている力学物性試験(約10孔)および応力測定(3孔)を実施する。深度1,000mの試錐孔で10~20点の試験と測定を実施する。 ・試験と測定は、地質構造を基に深度、岩相、割れ目などを勘案した岩盤領域を対象に実施する。

表A-1 地層科学研究の現状、目標、内容(その3)

研究項目	これまでの研究成果	地表からの段階の目標	地表からの段階の研究内容
2. 水理			
(1)表層水理調査	<p>地下水流動解析の入力パラメータである地下水涵養量や初期条件としての地下水面の分布を把握するため、スウェーデンやフィンランド等では気象観測、河川流量計測などの水収支観測や浅層地下水位観測が実施されている。東濃鉱山周辺においても第2立坑の掘削影響解析のために同様の観測を実施しており、これまでに以下に示す知見が得られている。</p>		<p>表層に関する研究の殆どは既存の調査技術で対応可能である。ただし地層中の水分を直接計測できるTDR法などの新技術の適用試験も研究に含まれている。</p>
	<p>①地下水涵養量 表層部の水収支観測により、表層の未固結砂礫層から新第三紀の堆積岩層への浸透量として0.57mm/dayが得られている。</p>	<p>①地下水涵養量 正馬様洞流域における地下水涵養量の算定。</p>	<p>①地下水涵養量 正馬様洞流域の水収支観測を実施し、地下水流動解析および解析結果の検証に必要な地下水涵養量およびその経時変化に関するデータを取得する。</p>
	<p>②浅層地下水位 東濃鉱山周辺の地下水面の深度は、尾根部で約15m、谷部で約10mであり、尾根部の地下水面深度の変動は最大10mである。</p>	<p>②浅層地下水位 超深地層研究所周辺(正馬様洞流域)の地下水面の把握、および地下施設掘削に伴う影響の予測。</p>	<p>②浅層地下水位 正馬様洞流域周辺に浅層地下水位観測孔を複数設置し、地下水面深度の分布およびその変動を把握する。</p>
	<p>③表層部への立坑の掘削影響 東濃鉱山第2立坑の掘削に伴う表層部での地下水面や土壌水分への影響は認められなかった。その理由としては、地表から表層の未固結砂礫層への浸透量(フラックスの推定値: 10^{-4} cm/sec)が未固結砂礫層から新第三紀堆積岩層への浸透量(フラックスの推定値: 10^{-7} cm/sec)を大きく上回っていることが考えられる。</p>	<p>③表層の地下水流動機構 表層の未固結砂礫層中の地下水流動の把握。具体的には、未固結砂礫層中のフラックスの算定。</p>	<p>③表層の地下水流動機構 正馬様洞流域の斜面に浅層地下水位観測孔、土壌水分計を配置し、表層の未固結砂礫層の堆積構造、透水性を把握し、未固結砂礫層中の地下水のフラックスを算定する。</p>

表A-1 地層科学研究の現状、目標、内容（その4）

研究項目	これまでの研究成果	地表からの段階の目標	地表からの段階の研究内容
2. 水理 (2)深層水理調査	<p>岩盤中の地下水流動を把握するためには、地下水の間隙水圧分布、岩盤および帯水層や遮水壁をなす地質構造の透水性、透水割れ目（帯）の位置や連続性などの情報が必要である。これらの情報を取得するため、スウェーデンのアンピリカルホースシステムをはじめとして、諸外国は難透水性岩盤を対象とした深度 1,000m～2,000m に適用可能な水理試験装置を開発している。事業団も脆弱な岩盤を考慮した独自の 1,000m 対応の水理試験装置の 1号機を平成6年度に完成させており、地下深部の水理学的データの取得のための調査・解析環境の整備を進めている。これまでの調査で得られた知見は以下の通りである。</p>		<p>間隙水圧、透水性、および帯水層の位置に関してはこれまで開発されてきた試験装置で対応可能と考えられるが、断層・破碎帯を対象とした測定には試験孔の崩壊を考慮に入れた試験技術の開発が必要と考えられる。また、広範囲の連続性を把握するためには、HRLで実施された長期揚水試験が有効であるが、これに対しては、揚水機能の長期耐久性を向上させることで実施が可能である。</p>
	<p>①地下水の間隙水圧分布 東濃鉱山の第2立坑掘削影響試験において試験孔に多点式間隙水圧計測装置を設置することにより、立坑掘削に伴う間隙水圧変化を捉えることができた。また観測開始から6年が経過している現在でも観測が正常に行われていることから、長期観測への本装置の適用性が認められた。</p>	<p>①地下水の間隙水圧分布 超深地層研究所の掘削前の間隙水圧の分布および掘削中、掘削後の間隙水圧変化量と変化範囲の把握。</p>	<p>①地下水の間隙水圧分布 超深地層研究所の掘削前および掘削中、掘削後の間隙水圧状態およびその変化を把握するため、超深地層研究所周辺に複数観測孔を設置し、長期的間隙水圧測定を実施する。また、掘削前の間隙水圧分布から地下深部の動水勾配を把握する。</p>
	<p>②岩盤の透水性 これまで深度 500m までの新第三紀の堆積岩、および花崗岩を対象に透水係数を測定しており、堆積岩では $10^{-6} \sim 10^{-8}$cm/sec、花崗岩では $10^{-8} \sim 10^{-9}$cm/sec 程度の値が得られている。</p>	<p>②岩盤の透水性 花崗岩の深度 1,000m までの透水性とその深度依存性を確認する。</p>	<p>②岩盤の透水性 新第三紀の堆積岩および花崗岩を対象に原位置透水試験を実施する。さらに岩盤の平均的な透水性を把握するため、測定区間長が 100m 程度の単孔式揚水試験を実施する。</p>
	<p>③帯水層や遮水壁となる地質構造の透水性 花崗岩中の割れ目帯では貯留効果が認められる割れ目帯で $10^{-6} \sim 10^{-9}$cm/sec、貯留効果が認められない割れ目帯で $10^{-3} \sim 10^{-4}$cm/sec 程度の値が得られている。また東濃鉱山の坑道と交差している月吉断層（逆断層）は、第2立坑の掘削に伴う間隙水圧の変化から、定性的に遮水壁的な役割を果たしていることが明らかになっている。</p>	<p>③帯水層や遮水壁となる地質構造の透水性 断層や破碎帯などの帯水層や遮水壁となる地質構造の透水性およびその異方性・深度依存性を把握する。</p>	<p>③帯水層や遮水壁となる地質構造の透水性 断層・破碎帯の透水性およびその異方性・深度依存性を把握するため、単孔式透水試験、孔間揚水試験などを実施する。</p>
	<p>④岩盤中の透水割れ目（帯）の把握 花崗岩に掘削されたDH-4号孔において石油資源開発の分野で既に開発されているフローメーター検層を適用し、3ヵ所の透水割れ目が存在する部分を抽出した。これらの透水係数は $10^{-3} \sim 10^{-4}$cm/sec が得られている。</p>	<p>④岩盤中の透水割れ目（帯）の把握 透水割れ目（帯）の位置およびその連続性の把握。</p>	<p>④岩盤中の透水割れ目（帯）の把握 岩盤中の透水割れ目（帯）の位置を把握するためにフローメーター検層を実施する。またこれらの連続性を把握するため、評価する範囲に応じて干渉揚水試験や長期揚水試験を実施する。</p>

表 A-1 地層科学研究の現状、目標、内容 (その5)

研究項目	これまでの研究成果	地表からの段階の目標	地表からの段階の研究内容
<p>(3)地下水流動解析</p>	<p>地下水流動を数値シミュレーションで推定・予測するためには岩盤中の地下水流動形態を表現する数学モデルと、地下水流動を規制する岩盤の透水係数の分布に関する情報が必要である。</p> <p>地下水流動の形態は、岩石を構成する粒子間の間隙を流れる形態と岩盤中に存在する割れ目に沿って流れる形態に大別できる。前者は未固結の堆積層や新第三紀の堆積岩などで代表される多孔質岩盤での流動形態であり、後者は花崗岩などで代表される亀裂性岩盤での流動形態である。多孔質岩盤中や広域の地下水流動については、3次元有限要素法を用いた解析コードが主流であり、MOTIF, FELOW, NAMMU 等が欧米の研究プロジェクトで使用されている。事業団は、3次元飽和・不飽和浸透流解析コード TAGSAC を導入・改良し、東濃鉱山第2立坑を対象とした掘削影響予測解析などに使用している。一方、亀裂性岩盤中の限定された領域内の地下水流動については、FracMan/MAFIC, TRINET, NAPSAC 等が欧米の研究プロジェクトで使用されている。事業団では、FracMan/MAFIC を導入した他に、埼玉大学の渡辺助教授と共同に Don-Chan モデルを開発し、実際の岩盤に適用している。これまでの数学モデルの開発で得られた成果は以下の通りである。</p>		
	<p>①多孔質岩盤中の地下水流動のモデル化 東濃鉱山第2立坑の掘削影響予測解析を TAGSAC コードを用いて実施し、予測結果を実測値によって検証した。この解析を通して TAGSAC コードの妥当性を確認した。</p>	<p>①超深地層研究所建設に伴う地下水流動への掘削影響予測 超深地層研究所の立坑掘削に伴う地下水流動の変化の規模と範囲、および地下施設への湧水量の予測。</p>	<p>左記の目標に向けて、広域地下水流動研究の成果も活用し、地下水流動解析を実施する。</p>
	<p>②亀裂性岩盤中の地下水流動のモデル化 Don-Chan モデルの現場適用性を評価するため、釜石原位置試験場で実施されたトレーサー試験のシミュレーションを実施した。その結果、トレーサーの出現点や破過曲線のピークの位置などが試験結果と一致したことから、本手法の妥当性が定性的に評価された。</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・立坑掘削に伴う地下水流動の変化の規模と範囲を予測する。 ・立坑の各掘削段階で坑道内へ流入する地下水の量を予測する。

表A-1 地層科学研究の現状、目標、内容(その6)

研究項目	これまでの研究成果	地表からの段階の目標	地表からの段階の研究内容
	<p>岩盤の透水係数は、試錐孔を利用した原位置透水試験によって直接的に取得が可能である。しかし試錐孔の本数は勿論のこと、試錐孔中の測定区間数も実際の調査では限られていることから、解析領域における透水係数の空間分布を把握するためには、原位置透水試験データのような離散データから対象領域全体を推定するための手法が必要である。諸外国(例えばスウェーデンのフィンションサイト)においても地球統計解析手法による透水係数の推定が試みられている。事業団も試錐孔沿いに点在する原位置透水試験データを1次元に拡張するための手法として物理検層で取得される岩盤の物性値から透水係数データを補完する方法、さらに1次元に拡張された透水係数分布を2次元・3次元に拡張するための方法として、地球統計解析手法やフラクタル理論を応用した手法を実際の岩盤に適用し、その有効性を評価している。これまでの適用試験などで得られた成果は以下の通りである。</p> <p>①多孔質岩盤を対象とした透水係数の空間分布の推定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・物理検層データによる透水係数データの補完 <p>新第三紀の堆積岩などの多孔質岩盤の場合、その透水係数は岩盤の見掛け抵抗値と良い相関をもつことが確認されており、この関係を基にした透水係数の推定式を考案し、その有効性を確認している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地球統計解析手法による透水係数の空間分布の推定 <p>地球統計解析手法では、クリギング法およびMKM法を東濃鉱山周辺の500[m]四方の領域に適用し、MKM法が広域の推定に適してことを確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・フラクタル理論を用いた透水係数の空間分布の推定 <p>フラクタル理論を応用した手法は、東海事業所の室内実験で数学的な検証が済みであり、東濃地科学センターでは実際の地層への適用試験を実施した。ウランの移行をシミュレーションした結果、現在のウラン鉱化部の位置とパーティクルの分布が一致しており、手法の妥当性が確認されている。</p>	<p>①多孔質岩盤を対象とした透水係数の空間分布の推定</p> <p>フラクタル理論を用いた透水係数の空間分布の推定方法の3次元化と物理検層データによる補完方法とフラクタル理論による推定方法の統合化による多孔質岩盤を対象とした透水係数の空間分布推定方法の構築</p> <p>②亀裂性岩盤を対象とした透水係数の空間分布の推定</p> <p>亀裂性岩盤を対象とした透水係数の補完方法の考案。</p>	<p>①多孔質岩盤を対象とした透水係数の空間分布の推定</p> <p>3次元のフラクタル理論による透水係数の空間分布の推定法を開発し、超深地層研究所周辺域をテストエリアとして手法の妥当性を検証する。また本手法で得られる詳細な透水係数の分布を活かす地下水流動解析手法の検討を実施する。</p> <p>②亀裂性岩盤を対象とした透水係数の空間分布の推定</p> <p>物理検層およびBTVの測定結果を基にした花崗岩の透水係数を推定する手法を検討する。また、フラクタル理論による推定法を適用する。</p>

表A-1 地層科学研究の現状、目標、内容（その7）

研究項目	これまでの研究成果	地表からの段階の目標	地表からの段階の研究内容
3. 地下水の地球化学			
(1) 地下水の地球化学的 特性の調査	<ul style="list-style-type: none"> 東濃地域の堆積岩中の地下水（東濃鉱山周辺約 300m×300m）を対象に深度約 180m までの物理化学パラメータや主要溶存成分濃度などのデータを取得し、その深度変化を把握した。また、地下水の起源・年代を推定するために、水素、酸素および炭素の同位体データを取得した。 釜石鉱山では、限られた試錐孔および坑道を利用して花崗岩中の地下水の化学組成（最大深度 800m）、酸素・水素の安定同位体組成およびトリチウム濃度分布を把握した。 いずれの調査においても原位置における物理化学パラメータ値（特に Eh）は取得されていない。 また、東濃鉱山、釜石鉱山とも既存坑道の地下水流動、地下水化学特性への影響があるフィールドでの調査である。 	<ul style="list-style-type: none"> 地表から深部（約 1,000m）までの岩種、割れ目帯などの地質学的特徴の異なる岩盤部分毎の地下水の地球化学的特性の把握。 乱されない場を対象としていること。 	<ul style="list-style-type: none"> 超深地層研究所敷地内に掘削される 10 本程度の試錐孔(1,000m)を利用して、花崗岩を対象とした原位置における物理化学パラメータの測定、採水分析を実施する。
(2) 地下水の水質形成機 構の把握とモデル化	<ul style="list-style-type: none"> 東濃地域の堆積岩中の地下水について、水素・酸素同位体データより地下水の起源は天水であり、堆積岩最下部の地下水の炭素-14 年代は約 1 万年という知見が得られた。また、現場調査、水-岩石反応室内試験、平衡論に基づいた熱力学解析により、方解石の溶解、粘土鉱物-地下水間のイオン交換反応が主要な水-岩石反応であり、このようなアプローチが有効であることが明らかになった。 釜石の地下水については、水質データを対象に多変量解析を行った結果、Na-HCO₃ 型と Na-SO₄ 型に区分できることが明らかになった。また、トリチウム濃度の深度分布には既存坑道の地下水流動への影響と考えられる結果が認められた。 	<ul style="list-style-type: none"> 調査によって得られた地下水の地球化学的特性に至った過程の把握、その空間的分布と大まかな地下水の流動方向を示した地下水の地球化学モデルの構築。このモデルを基にした坑道掘削に伴う特性変化の予測 	<ul style="list-style-type: none"> 主に試錐孔を利用した調査で取得されたデータを基に起源・年代の解析および水-岩石反応に関する理論的解析（例：熱力学的解析）・実験を繰り返して実施し、地下水の地球化学モデルを作成する。作成したモデルを基に地球化学計算コード等を用いて、海外（例えばスウェーデン）で行われているように、坑道掘削に伴う地下水の地球化学的特性変化のシミュレーションを実施する。

表A-2 調査技術・調査機器の現状、課題および今後の計画（その1）

研究項目	これまでの研究成果	地表からの段階の目標	地表からの段階の研究内容
<p>4. 調査技術・調査機器</p> <p>4-1 地質構造調査</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・電磁波を用いて岩盤特性を調査する試錐孔用レーダーシステム（RAMAC）をOECD/NEA国際共同研究において開発した。 ・地下数百mまでの比抵抗分布を簡便に調査可能なPLMT探査装置を開発した。 ・リモートセンシングデータの処理および解析システムを構築した。 ・各種トモグラフィ調査データ解析プログラムの改良・高度化を実施中である。 ・HRL（スウェーデン）やURL（カナダ）における地表からの調査と同様に、地表からの段階での地質構造調査では、上記した機器や技術を初めとして、地下資源探査や土木あるいは学術研究分野で開発されず実用化されている調査技術・機器を利用する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・超深地層研究所建設予定地周辺の地質構造とHRLやURL周辺の地質構造の違い（HRLやURLでは結晶質岩を厚さ数mから十数mの未固結層が覆っているのに対し、超深地層研究所建設予定地周辺では、結晶質岩である土岐花崗岩を厚さ数十mから百数十mの堆積岩が覆っている構造である）から、HRLやURLで使用された調査手法をそのまま適用することはできず、調査手法体系を新たに構築する必要がある。 <p>(1)既存の調査技術の適用性の把握（必要に応じてデータ処理・解析手法の改良の実施）</p> <p>(2)地質構造モデルを合理的に構築するための手法の開発</p> <p>(3)地質構造調査手法の体系化</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・(1)(2)(3)は地質構造調査の進展とともに実施する。 ・(2)(3)は、地質構造の推定と検証（坑道掘削段階における検証を含む）を繰り返し実施し、推定の精度を高めていくという作業の中で実現される。
<p>4-2 試錐掘削</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・金属鉋床探査分野で開発されてきた試錐掘削技術を用いて、調査用の試錐孔（深度 1,000m）を掘削している。ただし、掘削流体は一般に使用されている泥水ではなく、SKBやAECLと同様に清水（河川水）を使用している。これは、掘削流体が水理あるいは地球化学的調査に与える影響を極力小さくするためである。 ・掘削流体に清水（河川水）を用いているため、孔内崩壊が発生しやすく、調査に利用可能な試錐孔が掘削できるかどうかは、岩盤の状態（破碎帯等の有無）に左右されやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・孔内崩壊に対応するための掘削技術の開発 	<p>(1)三重管掘削工法の開発。</p> <p>(2)部分保孔に必要な部分拡孔装置の開発を実施中である。これに続いて、崩壊部固着技術の開発、部分ケーシング（ストレーナ付き）装填技術の開発を実施する。開発された技術は、順次、超深地層研究所計画における試錐掘削に利用していく。</p>

表A-2 調査技術・調査機器の現状、課題および今後の計画（その2）

研究項目	これまでの研究成果	地表からの段階の目標	地表からの段階の研究内容
<p>・4-3 水理調査</p>	<p>・深度 1,000m の試錐孔を用いて難透水性岩盤の透水係数が測定可能な装置として、スウェーデンで開発されたアンピリカルホースシステムが先行事例としてあり、同装置の日本の地質環境における適用性を検討するために、土岐花崗岩中に掘削された深度 1,000m の試錐孔を用いて適用試験を行ったが、利用可能な環境温度が低い（適用試験当時で 30℃以下、ちなみに適用試験を行った試錐孔の孔底での水温は 37℃）こと、ホースシステムであるため孔内崩壊等による装置の孔内滞留への対応が不十分であること等から、日本の地質環境に適した水理試験装置の開発が必要であることが認識された。</p> <p>(1)深度 1,000m の試錐孔を用いて難透水性岩盤の透水係数を測定可能な装置の開発を行い、ロッドシステムを採用した深度 1,000m 対応水理試験装置のタイプ1（環境温度 50℃以下）が完成している。</p> <p>(2)地下深部の間隙水圧は、試錐孔内に設置されたMPシステムを用いてモニタリング可能である。MPシステムはカナダで開発されたシステムでAEC L等で使用実績がある。事業団でも、東濃鉱山で実施した立坑掘削影響試験の際に、MPシステムを用いて間隙水圧のモニタリングを実施している。</p> <p>(3)長期揚水試験が実施可能な装置は今後開発が必要である。</p> <p>(4)表層の水理特性を調査するために必要な表層水理定数測定システムは開発が終了している。本システムは、水文学の分野で確立されている観測システムを応用したものである。</p> <p>(5)試錐で得られる岩芯を用いて岩石の透水係数を測定するための室内透水試験装置は開発が終了している。</p> <p>(6)坑道から掘削された試錐孔を用いて間隙水圧をモニタリングするためのパッカーシステムは開発が終了している。</p> <p>(7)坑道近傍の不飽和領域の水理特性を調査するための試験装置である水理学的ゆるみ領域計測装置は開発が終了している。</p> <p>(8)坑道壁面を利用して超難透水性岩盤の水理特性を把握するために用いられる蒸発量測定装置は開発が終了している。</p> <p>(9)坑道から掘削された複数の試錐孔を用いて試錐孔間の水理特性を調査する試錐孔間水理試験装置を現在開発中である。</p>	<p>(1)利用可能な環境温度の幅を広げる（特に高温側）改良、ならびに操作や維持管理をさらに容易にするための改良</p> <p>(2)立坑の掘削や長期揚水試験によって発生する地下水位の低下に起因する高差圧環境に対応できる間隙水圧モニタリング装置の開発</p> <p>(3)既存部品の組み上げで開発可能</p>	<p>(1)環境温度が 70℃まで利用可能で、かつ操作・維持管理性能をタイプ1よりも高めたタイプ2を現在製作中である。製作された装置は、順次、水理調査試験研究に利用していく。</p> <p>(2)大深度対応地下水の長期モニタリング装置を設計中であり、立坑近傍の間隙水圧観測が必要になる時点を目途に本装置を完成させる。（開発が間に合わない場合は、既存のMPシステムを利用する。この場合、MPシステムの仕様以上の差圧が発生する時点までの間隙水圧のモニタリングが実施可能となる。）</p> <p>(3)超深地層研究所計画における長期揚水試験実施時期までに装置を完成させる。</p> <p>(6)本装置は現在釜石原位置試験において調査に使用されており、ここで改良点等が見出された場合は必要な改良を実施後、坑道掘削段階以降の調査に利用していく。</p> <p>(7)本装置は現在釜石原位置試験や東濃鉱山での調査試験において調査に利用されており、ここで改良点等が見出された場合は必要な改良を実施後、坑道掘削段階以降の調査に利用していく。</p> <p>(8)本装置は海外の地下研究所において用いられた実績があり、坑道掘削段階以降の調査に利用していく。</p> <p>(9)釜石原位置試験や東濃鉱山での調査試験に利用していく。ここで、改良点等が見出された場合は必要な改良を実施後、坑道掘削段階以降の調査に利用していく。</p>

表A-2 調査技術・調査機器の現状、課題および今後の計画（その3）

研究項目	これまでの研究成果	地表からの段階の目標	地表からの段階の研究内容
4. 調査技術・調査機器			
4-4 地下水の地球化学調査	<p>・深度 1,000m の試錐孔を用いて原位置での物理化学パラメータの測定や地層水の採取が可能な装置として、スウェーデンで開発されたアンビリアルホースシステムが先行事例としてあり、同装置の日本の地質環境における適用性を検討するために、土岐花崗岩中に掘削された深度 1,000m の試錐孔を用いて適用試験を花崗岩中に掘削された深度 1,000m の試錐孔を用いて適用試験を行ったが、利用可能な環境温度が低い（適用試験当時で 30℃以下、ちなみに適用試験を行った試錐孔の孔底での水温は 37℃）こと、ホースシステムであるため孔内崩壊等による装置の孔内抑留への対応が不十分であること、原位置の圧力を保持したままでの地下水の採取ができないこと等から、日本の地質環境に適しかつ原位置の雰囲気保持したまま地下水の採取が可能な地下水の地球化学的調査機器の開発の必要性が認識された。</p> <p>(1)深度 1,000m の試錐孔を用いて地層水の物理化学パラメータを正確に測定し、また、地下深部の雰囲気保持したまま地層水を採取可能な調査機器の開発を行い、現在深度 1,000m 対応地下水の地球化学特性調査機器のタイプ 1（環境温度 50℃以下）が完成している。</p> <p>(2)坑道から掘削された試錐孔を利用して、地層水を採取するための坑道内地下水採水装置は開発が終了している。</p> <p>(3)坑道から掘削された試錐孔を利用して、地層水の物理化学パラメータを連続観測するための水質連続モニタリング装置は開発が終了している。</p>	<p>(1)利用可能な環境温度の幅を広げる（特に高温側）改良、ならびに操作や維持管理をさらに容易にするための改良</p>	<p>(1)環境温度が 70℃まで利用可能で、かつ操作・維持管理性能をタイプ 1 よりも高めたタイプ 2 を現在製作中である。製作された装置は、順次、水理調査試験研究に利用していく。</p> <p>(2)本装置は現在釜石原位置試験や東濃鉾山での調査試験において調査に利用されており、ここで改良点等が見出された場合は必要な改良を実施後、坑道掘削段階以降の調査に利用していく。</p> <p>(3)本装置は現在釜石原位置試験や東濃鉾山での調査試験において調査に利用されており、ここで改良点等が見出された場合は必要な改良を実施後、坑道掘削段階以降の調査に利用していく。</p>
4-5 力学特性調査	<p>・岩盤の変形係数を試錐孔を用いて原位置で測定する技術については、深度 300m まで測定が可能な機器が実用化されている。</p> <p>・岩盤の応力値を試錐孔を用いて原位置で測定する技術については、水圧破碎法により 2000m までの 2 次元応力の測定実績がある。</p> <p>・岩芯を用いた室内試験で、地下深部の岩盤の変形係数や 3 次元の応力値を測定する技術が開発されている。</p>	<p>(1)深部岩盤の変形性や 2・3 次元応力場に関するデータを効率的に取得可能な調査手法の確立</p>	<p>(1)立坑近傍に掘削される試錐孔を用いて、既存調査手法の適応性を評価していく。</p>