

超 深 地 層 研 究 所
地 層 科 学 研 究 基 本 計 画

2002 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

まえがき

核燃料サイクル開発機構(以下、サイクル機構)は、1994年6月、「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画(平成6年6月24日)」(以下、原子力長計1994)に示された深地層の研究施設のひとつに相当する研究施設として、岐阜県瑞浪市明世町(あけよちょう)の正馬様洞(しょうばさまぼら)にあるサイクル機構用地(以下、正馬様用地)において超深地層研究所を建設し、「深部地質環境の科学的研究(2000年11月に新たに決定された原子力長計では「深地層の科学的研究」)」(以下、地層科学研究)の一層の拡充を図ることとした。これまで、1996年11月に策定した「超深地層研究所地層科学研究基本計画(以下、基本計画(1996))」に基づき、研究坑道(研究のために掘削される主立坑、換気立坑、水平坑道などからなる超深地層研究所施設の地下部分)の建設に先立つ地表からの調査・研究を進めてきた。

超深地層研究所における地層科学研究は、結晶質岩(花崗岩)をおもな研究対象としており、これまでの地表からの調査・研究の成果は、サイクル機構が1999年11月に国(原子力委員会)に報告した「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性・地層処分研究開発第2次取りまとめ」(以下、第2次取りまとめ)において、東濃鉦山や釜石鉦山などにおける地層科学研究の成果に加え、深部地質環境に関する取得情報や適用性が確認された要素技術に関する情報として有効に活用された。

この第2次取りまとめについては、原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会において幅広い審議が行われ、「第2次取りまとめには、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が示されているとともに、処分予定地の選定と安全基準の策定に資する技術的拠り所となることが示されている」との評価がなされた。また、「第2次取りまとめは地層処分の事業化に向けての技術的拠り所となる」との見解とともに、今後の課題として深地層の研究施設などを利用した研究開発の一層の必要性も示された。第2次取りまとめの国への報告以降、2000年5月に「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」(平成12年法律第117号)が成立し、2000年10月には「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針(通商産業省告示第591号)」の告示、地層処分の実施主体である「原子力発電環境整備機構」の設立、および「高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について(第1次報告)」の提示が行われ、さらに2000年11月には原子力委員会により新たな原子力長計(以下、原子力長計(2000))が決定されるなど、わが国における地層処分の事業化に向けた具体的な取り組みが着実に進められてきている。

このような状況の中で、サイクル機構には原子力長計(2000)において、「地層処分技術の信頼性の確認や安全評価手法の確立に向けて研究開発を着実に推進すること」という新たな役割が示された。以上のような背景から、サイクル機構では、2001年4月に基本計画(1996)を改訂した(以下、基本計画(2001))。

その後、超深地層研究所計画については、平成14年度1月17日に、瑞浪市と瑞浪市明世町の市有地の賃貸借契約を締結させていただき、超深地層研究所の研究坑道および関連施設を設置することとなった。

このため、サイクル機構では、基本計画(2001)の改訂を行うこととした。なお、基本計画の見直し・改訂は、超深地層研究所における地層科学研究やわが国の地層処分研究開発などの進展に伴って、適宜行われる必要がある。

目次

[総論]

1	超深地層研究所設置の背景	1
1.1	超深地層研究所の位置づけ	1
1.2	超深地層研究所の設置の意義	1
1.3	超深地層研究所の設置場所の概要	2
2	超深地層研究所計画の目標	4
2.1	全体目標	4
2.2	段階目標	6
2.3	成果の反映	8
3	超深地層研究所計画の概要	10
3.1	「市有地」における調査・研究	10
3.1.1	地表からの調査予測研究段階(第1段階)	10
3.1.2	研究坑道の掘削を伴う研究段階(第2段階)	18
3.1.3	研究坑道を利用した研究段階(第3段階)	22
3.2	正馬様用地における調査・研究	24
4	超深地層研究所施設の概要	25
5	超深地層研究所計画の運営	27
5.1	超深地層研究所計画の組織体制	27
5.2	超深地層研究所計画のスケジュール	28
	参考文献	29

[各論 A:「市有地」における調査・研究計画 - 地表からの調査予測研究段階(第1段階) -]

1	概要	A-1
2	正馬様用地における調査・研究の成果の概要	A-2
3	地表からの調査・研究の計画	A-6
3.1	研究成果の統合化	A-6
3.2	地質・地質構造に関する調査・研究	A-7
3.2.1	第1段階の目標	A-7
3.2.2	第1段階の調査・研究	A-7
3.3	地下水の水理に関する調査・研究	A-9
3.3.1	第1段階の目標	A-9
3.3.2	第1段階の調査・研究	A-9
3.4	地下水の地球化学に関する調査・研究	A-11
3.4.1	第1段階の目標	A-11
3.4.2	第1段階後半の調査・研究	A-11
3.5	岩盤の力学に関する調査・研究	A-12
3.5.1	第1段階の目標	A-12
3.5.2	第1段階の調査・研究	A-12
3.6	岩盤中の物質移動に関する調査・研究	A-14
3.6.1	第1段階の目標	A-14
3.6.2	第1段階の調査・研究	A-14
3.7	調査技術・調査機器に関する研究	A-14
3.7.1	第1段階の目標	A-14
3.7.2	第1段階の今後の研究	A-15
3.8	深地層における工学技術に関する研究	A-18
3.8.1	第1段階の目標	A-18
3.8.2	第1段階の調査・研究	A-18
4	次段階以降の調査・研究計画の策定	A-21
4.1	第1段階の目標	A-21
4.2	第1段階の実施内容	A-21
5	スケジュール	A-22
	参考文献	A-25

[各論 B:「市有地」における調査・研究計画 - 研究坑道の掘削を伴う研究段階(第 2 段階) -]

1	概要	B-1
2	超深地層研究所施設の施工計画	B-2
3	研究坑道の掘削を伴う調査・研究(第 2 段階前半)の計画	B-3
3.1	地質・地質構造に関する調査・研究	B-3
3.2	地下水の水理に関する調査・研究	B-5
3.3	地下水の地球化学に関する調査・研究	B-6
3.4	岩盤の力学に関する調査・研究	B-7
3.5	岩盤中の物質移動に関する調査・研究	B-10
3.6	調査技術・調査機器に関する研究	B-10
3.7	深地層における工学技術に関する研究	B-11
4	研究坑道の掘削を伴う調査・研究(第 2 段階後半)の概要	B-13
5	スケジュール	B-14

[各論C:「市有地」における調査・研究計画 - 研究坑道を利用した研究段階(第3段階) -]

1	概要	C-1
2	研究坑道を利用した調査・研究の計画	C-2
2.1	地質・地質構造に関する調査・研究	C-2
2.2	地下水の水理に関する調査・研究	C-3
2.3	地下水の地球化学に関する調査・研究	C-4
2.4	岩盤の力学に関する調査・研究	C-5
2.5	岩盤中の物質移動に関する調査・研究	C-6
2.6	深地層における工学技術に関する研究	C-7
2.7	地震観測	C-7
3	スケジュール	C-8

[各論D:正馬様用地における調査・研究計画(2001年度以降)]

1	概要	D-1
2	正馬様用地における調査・研究の計画	D-2
2.1	地質環境のモデル化技術の高度化	D-2
2.2	調査技術・調査機器の開発	D-4
3	スケジュール	D-5

總論

1 超深地層研究所設置の背景

1.1 超深地層研究所の位置づけ

原子力委員会が2000年11月に決定した「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(2000))」(原子力委員会, 2000)では、高レベル放射性廃棄物の最終処分の実施に向けて必要な取り組みや関係機関の役割分担が示された。その中で、核燃料サイクル開発機構(以下、サイクル機構)には、「これまでの研究開発成果を踏まえ、今後とも深地層の研究施設、地層処分放射化学研究施設等を活用し、地層処分技術の信頼性の確認や安全評価手法の確立に向けて研究開発を着実に推進すること」が求められている。また、「深地層の研究施設は、学術的研究の場であるとともに、国民の地層処分に関する研究開発の理解を深める場としての意義を有し、その計画は、処分施設の計画と明確に区分して進めることが必要である」との方針が示された。

これらの役割分担や方針に基づき、サイクル機構東濃地科学センターでは、原子力長計(2000)などに示された「深地層の科学的研究」(以下、地層科学研究)を進めている。地層科学研究は、高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究であり、地層処分研究開発の基盤となる研究である。

サイクル機構が建設を計画している超深地層研究所は、上記の原子力長計(2000)に示された深地層の研究施設のひとつに相当する研究施設であり、結晶質岩(花崗岩)をおもな調査・研究対象とする。

1.2 超深地層研究所の設置の意義

サイクル機構東濃地科学センターでは、わが国の地質環境の特徴を考慮し、堆積岩ならびに結晶質岩を対象として、おもに東濃鉦山とその周辺(1986年4月～継続中)ならびに釜石鉦山(1988年4月～1998年3月)において、地層科学研究を実施してきている。

東濃鉦山とその周辺においては、おもに堆積岩(新第三系瑞浪層群)を対象に、地質・地質構造、地下水の流動特性、地下水の地球化学的特性、岩盤の力学的特性ならびに岩盤中での物質移動特性に関する研究を実施している(サイクル機構, 1999a)。このうち、直径6m、深さ150mの第2立坑を掘削しつつ実施した立坑掘削影響試験では、立坑掘削に伴う地質環境の変化の予測、および予測結果と実際の観測結果との比較をとおした予測結果の妥当性の評価により、地質環境の調査・解析・評価手法の開発・改良を行った(動力炉・核燃料開発事業団(以下、動燃事業団), 1992)。また、広域地下水流動研究では、東濃鉦山を包含する約10km四方、深さ1kmの領域において、地表から地下深部までの地質・地質構造、地下水の流動特性および地球化学的特性を把握するために必要な調査・解析・評価手法の開発を行っている(動燃事業団, 1997)。

釜石鉦山において実施した釜石原位置試験研究では、地下約300mおよび700mの坑道を利用し、結晶質岩(栗橋花崗閃緑岩)岩体の有する地質・地質構造、地下水の流動特性、地下水の地球化学的特性、岩盤の力学的特性の把握、および地下深部における水平坑道掘削の力学的影響ならびに物質移動特性の評価を行った。また、地震が深部地質環境に与える影響についても把握したほか、工学技術を含め、上記の試験・研究に必要な要

素技術を開発・改良し、その適用性を確認した(サイクル機構, 1999b)。

東濃鉦山とその周辺ならびに釜石鉦山における地層科学研究は、地質環境に関する既存の情報や鉦山における坑道などの研究資源を十分に活用して行われた。これにより、深部地質環境に関する新たな情報・知見や、地表または坑道から深部地質環境を調査し解析・評価するための要素技術などの様々な成果が得られてきた(たとえば、サイクル機構, 2000b)。超深地層研究所計画においては、これらの成果を積極的に活かしていくことが必要である。特に、広域地下水流動研究の研究実施領域は、研究坑道を展開する瑞浪市明世町の市有地(以下、「市有地」)を含むことから、研究成果を相互に活用することが合理的である。これにより、広い領域から研究坑道を展開する「市有地」までのスケールを対象とした調査・解析・評価手法の適用性を事例的に確認することが可能となる。

超深地層研究所における地層科学研究は、研究坑道の建設に先立って開始され、研究坑道の建設中および建設後と段階的に進める計画である(動燃事業団, 1996)。この間、深部地質環境の推定(地質環境モデルの構築)とその推定結果の妥当性の評価が段階ごとに繰り返して行われる。また、研究坑道の掘削による地質環境の擾乱を含めた地下深部における様々な現象が把握される。このように超深地層研究所を建設し地層科学研究を進めていくことにより、人工的な擾乱を受けていない地質環境とその地質環境が研究坑道の掘削などにより変化していく状況について把握することができる。また、研究坑道建設前の調査研究により取得する情報に基づき、研究坑道を適切に設計・施工することにより、調査・研究対象(割れ目や断層など)へのアクセスが容易になると期待される。このような総合的かつ計画的な研究は、人工的な擾乱を受けていない地質環境を出発点とする超深地層研究所計画において初めて可能となるものである。

1.3 超深地層研究所の設置場所の概要

超深地層研究所の研究坑道および関連施設は、岐阜県瑞浪市明世町に位置する、瑞浪市から借用した東濃研究学園都市インターガーデン内にある瑞浪市市有地(約 7.5 ha)内に建設される。この周辺の地域は、領家帯に属する深成岩類と美濃帯に属する中生層(堆積岩類)との境界部にあたる。超深地層研究所の研究坑道は、この地域の基盤をなす深成岩類のひとつの岩体である白亜紀花崗岩体(土岐花崗岩)中に建設される(図 1)。白亜紀花崗岩はわが国に広く分布する岩石である(サイクル機構, 1999a)。

この地域は超深地層研究所の設置場所として、以下のような特徴および利点を有している。

- ・地層科学研究の対象として重要な地下水、および断層やウラン鉦床などの地質学的特徴を有する地層が存在する。
- ・活断層の直接的な影響が少なく、安定した地質環境条件における地震の研究に適している。
- ・本州中央部に位置し、交通の便が良く、自然環境や生活環境に恵まれている。
- ・極限環境をテーマとした東濃研究学園都市構想が自治体により進められている。

以上の項目に加え、東濃地科学センターには、サイクル機構が過去 30 年余にわたり国内外において実施してきたウラン資源の調査研究などをおして培ってきた経験や情報など(たとえば、動燃事業団, 1995)が蓄積されているとともに、研究施設などが整備されており、

これらの研究資源を地層科学研究に有効に活用できることも利点として挙げられる。

一方、正馬様用地では、研究坑道の掘削は行わないものの、地下数百 m の結晶質岩(花崗岩)中に存在する月吉断層をはじめとした地質環境に関する知見や調査・解析手法の適用事例が蓄積されてきている。今後、月吉断層など、地質環境の理解が進んでいる正馬様用地において、さらに調査・研究を進めることにより、断層(月吉断層など)の不連続構造を含む結晶質岩中の地質環境を把握するための調査技術を開発することができる。

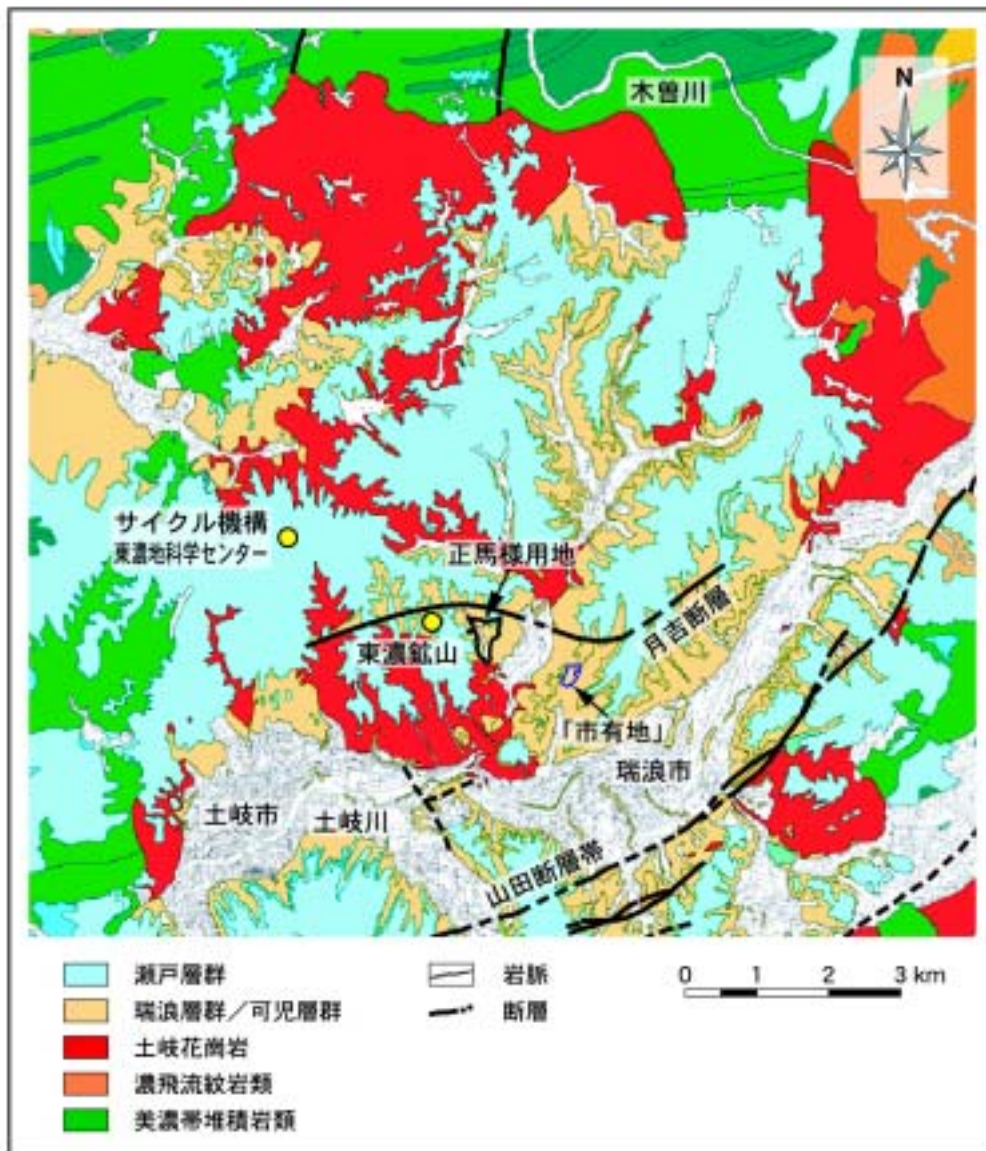


図 1 超深地層研究所周辺の地質概要

2 超深地層研究所計画の目標

超深地層研究所における地層科学研究は、研究坑道の建設に先立って開始し、研究坑道の完成後までの約20年をかけて段階的に進め、これまでに東濃鉦山とその周辺ならびに釜石鉦山において進めてきた地層科学研究の一層の拡充を図る計画である(超深地層研究所計画のスケジュールについては5.2を参照)。1.2に述べたように、段階的に研究を進めていくことにより、人工的な擾乱を受けていない地質環境と、その地質環境が研究坑道の掘削などにより変化していく状況を把握することが可能となる。超深地層研究所における地層科学研究については、研究坑道の建設工程やこれに伴う調査研究の課題、対象、スケールなどの違いを考慮し、以下の3段階に区分して進めていくこととする。

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

また、超深地層研究所計画における全体目標とともに、上記のそれぞれの段階においても研究目標(段階目標)を設定する。基本的に、これらの段階目標を達成することにより、最終的に超深地層研究所計画の全体目標が達成されることとなる。2.1および2.2にそれぞれの目標について示す。

2.1 全体目標

深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備

超深地層研究所計画では、特定の領域の地表または地下の坑道から深部地質環境に関する品質の保証された情報を取得し、利用可能な解析・評価手法を用いた、深部地質環境の評価に至る一連のプロセス(概念の提示 計画の立案 調査の実施 モデルの構築および解析 評価)を繰り返して行う。このプロセスの繰り返しを経ることにより、一連の技術の有効性を確認し、深部地質環境を評価するための調査・解析・評価手法を段階的に整備する。

具体的には、研究の場である「市有地」および正馬様用地において、先ず既存の情報をもとに構築した地質環境の概念に基づき調査・研究計画を立案する。次に、その調査・研究計画に基づき、これまでに東濃鉦山とその周辺ならびに釜石鉦山において実施してきた地層科学研究や国外の地下研究施設(たとえば、スウェーデンのHRL(Hard Rock Laboratory))における国際共同研究などにおいて開発・改良してきた要素技術、あるいはそれらの技術をもとに新たに開発される技術などを系統的に組み合わせ、地表から地下深部までの地質環境に関する品質の保証された情報を総合的に取得する。調査・研究成果については、分野ごとに取りまとめたのち、分野間の横断的な議論および解釈をとおして、分野間における成果の整合性を確認する。さらに、取得された情報ならびに成果をもとに、地下深部における様々な現象とその現象が生じる場を表現する地質環境モデル、ならびに数式モデルを構築する。それらのモデルと既存のあるいは新たに開発される解析・評価手法を用いて、対象とするスケールの深部地質環境の評価を行う。この解析・評価結果の妥当性については、試錐孔などを利用して新たに取得される地質環境の情報に基づき確認する。

以上述べてきた一連のプロセスを、段階ごとに、あるいはひとまとまりの調査・研究ごとに繰り返して行うことにより、与えられた地質環境と空間スケールにおいて評価すべき項目が抽出でき、情報の過不足や不確実性(OECD/NEA,1991)などが明確にできると考えられる。ここで重要なことは、これらの知見をフィードバックし、さらに一連のプロセスを繰り返すことにより、評価すべき項目の重要度を段階的に把握することである。また、調査の種類・量、解析・評価の手法と結果の精度(深部地質環境の理解度)との関係(何をどこまで実施し、どのような手法でどのように解釈すれば、どの程度まで理解できるのか)を事例的に示すことである。これにより、適用した一連の技術の有効性を確認し、深部地質環境を評価するための調査・解析・評価手法(調査・解析・評価の組み立て方)を段階的に整備する。また、国外における同様の調査・研究との比較検討などをとおして、整備した調査・解析・評価手法の妥当性を確認するとともに、適宜、それらの手法の見直しも行う。最終的には、与えられた地質環境および空間スケールにおいて、地表または坑道から深部地質環境を合理的かつ効果的に評価するための、調査・解析・評価手法を例示する。

一方、一連のプロセスにおいて取得される地質環境特性や様々な現象に関する品質の保証された情報や知見などは、「市有地」および正馬様用地の土岐花崗岩体を事例として取得されるものである。また、それらの情報や知見などの全てがわが国に分布する結晶質岩に一般的なもの、あるいはそれを代表するものとは限らない。しかしながら、それらの情報や知見などは、わが国に実際に存在する特定の領域の地表から深度1,000 mを超える地下深部までのものであり、それぞれの分野が密接に関連する総合的なものである。前述の地表または坑道から深部地質環境を合理的かつ効果的に評価するための調査・解析・評価手法は、このような総合的な情報や知見などが「市有地」および正馬様用地において取得されることによって、事例的に整備することができると考えられる。また、それらの情報や知見などは、後述のように、特定の領域および地質環境を対象とする安全評価手法の開発および高度化、ならびに評価結果の信頼性の向上に向けた研究開発(原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会,2000)の基盤として活用されるばかりでなく、地下深部における様々な現象に関する学術的研究などにも役立てられるものである。

深地層における工学技術の基盤の整備

超深地層研究所計画においては、深地層における工学技術の基盤の開発として、現状のあるいは新たに開発される工学技術を特定の地質環境に適用することにより、地下深部に研究坑道を設計し安全かつ合理的に施工・維持・管理できることを確認する。さらに、研究坑道の建設などが地質環境に与える長期的な影響を適切に解析・評価するための技術を整備することを目標とする。

本計画では、現状の工学技術を「市有地」において適用し、研究坑道掘削前の地質環境を可能な限り乱さないよう研究坑道を建設する。また、「市有地」の深部地質環境に関する取得情報および推定結果に基づき、地下深部における岩盤の長期健全性、研究坑道の力学的安定性や耐震安定性などを解析・評価する。これにより、地質環境の変動幅や、実施する調査・研究に対応可能な研究坑道の詳細設計および施工計画を策定することが可能であることを例示する。さらに、研究坑道を実際に施工・維持・管理することにより、それらの工程に適用した工学技術の有効性を確認する。実際の地質環境が推定結果と大きく異なる場合や想定外の事象(大量出水や山はねなど)に遭遇した場合などにおいては、設計変更や対策工の適用により柔軟に対応できることが重要である。そのため、必要に応じて新たな施工対策技術、施工管理システムや工学材料などの開発・改良を行う。研究坑道において

は、研究坑道内の研究環境の維持・管理および安全確保の技術の適用性を確認し、これに関わる管理体系を構築する。

一方、研究坑道の掘削が地質環境に及ぼした影響の修復あるいは軽減、熱・水・応力・化学連成挙動の評価や工学材料（とくにセメント系材料）が岩盤へ与える長期的影響の評価などに関する研究開発については、現時点では、国際共同研究や国外の地下研究施設における研究開発などにおいて、当面、進められると考えられる。したがって、超深地層研究所計画におけるこれらの工学技術の開発・整備については、今後その必要性を含めて検討していくこととする。

本目標を達成することにより、将来の地下空間利用の基礎として、地下深部に地下空間を設け安全に研究活動などが実施可能であることを実証することができると期待される。

2.2 段階目標

(1) 地表からの調査予測研究段階（第1段階）の目標

地表からの調査・研究による地質環境モデルの構築および研究坑道掘削前の深部地質環境の状態の把握

地表からの調査・研究などにより深部地質環境に関する情報を取得し、研究坑道建設前の未擾乱の地質環境特性を詳細に把握する。また、取得した情報の集約と解釈をとおして、施設スケール（数百 m 四方）の地質環境モデル（地質構造モデル、水理地質構造モデル、地球化学モデルおよび岩盤力学モデル）を構築する。さらに、新たに取得する情報に基づき、適宜、地質環境モデルを更新し、調査の種類・量、解析・評価の手法および結果の精度との関係を把握する。これにより、一連の調査・解析・評価手法の有効性を評価する。

また、これらの地質環境モデルなどを用いて、研究坑道の掘削により変化することが予想される深部地質環境（たとえば、地下水流動場、深部地下水の地球化学的特性、岩盤の力学的特性など）の研究坑道掘削前の状態を推定する。

研究坑道の詳細設計および施工計画の策定

後述の において策定する研究坑道の掘削を伴う研究段階および研究坑道を利用した研究段階における調査・研究計画に基づいて、研究坑道の詳細レイアウトを決定する。この際、本段階において取得する深部地質環境に関する情報、および研究坑道掘削に伴う深部地質環境の変化に関する推定結果などを考慮する。また、実際に適用する施工技術ならびに機械・設備を選定し、具体的な施工計画を決定する。なお、施工計画は、研究坑道掘削前の深部地質環境を可能な限り乱さないものとするよう配慮することが重要である。

研究坑道の掘削を伴う研究段階の調査・研究計画の策定

研究坑道の掘削を伴う研究段階における具体的な調査・研究計画、および研究坑道を利用した研究段階における概略的な調査・研究計画を策定する。この際、前述の深部地質環境に関する情報、ならびに研究坑道掘削に伴う深部地質環境の変化に関する推定結果などを踏まえ、第2次取りまとめの評価報告書（原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会，2000）などに示された今後の研究開発の課題を考慮することが重要である。

(2)研究坑道の掘削を伴う研究段階(第2段階)の目標

研究坑道の掘削を伴う調査・研究による地質環境モデルの構築および研究坑道の掘削による深部地質環境の変化の把握

研究坑道の掘削に伴って取得する情報に基づき、前段階において構築した地質環境モデル(施設スケール)の妥当性を評価するとともに、その評価結果を踏まえ、地質環境モデル(施設スケール)を更新する。また、更新した地質環境モデル(施設スケール)をもとに、取得した情報の集約と解釈をとおして、坑道スケール(数十m四方)の地質環境モデルを構築する。さらに、新たに取得する情報に基づき、適宜、地質環境モデル(坑道スケール)を更新し、調査の種類・量、解析・評価の手法および結果の精度との関係を把握する。これにより、一連の調査・解析・評価手法の有効性を評価する。

また、研究坑道の掘削に伴って行う地質環境モニタリングなどにより取得する情報および前述した地質環境モデル(施設スケール)を用いた解析結果などに基づき、研究坑道掘削による深部地質環境の変化を把握する。さらに、地質環境モデル(坑道スケール)ならびに高度化された手法を用いて、研究坑道を利用した研究段階において拡張する研究坑道周辺の地質環境特性(研究坑道拡張前)を推定する。必要に応じて、地質環境モデル(坑道スケール)ならびに高度化された手法を用いて、研究坑道を利用した研究段階において拡張する研究坑道周辺の地質環境特性の変化を推定する。

研究坑道の施工・維持・管理にかかわる工学技術の有効性の確認

研究坑道の施工・維持・管理に適用する工学技術の有効性を確認するとともに、それらの高度化を図る。また、想定外の事象に遭遇した場合などにおける設計および施工計画の変更に対しても、現状の施工対策技術が適切に対応し得ることを示す。また、掘削中の研究坑道内の安全を確保するための技術を整備する。なお、研究坑道の施工については、研究坑道掘削前の深部地質環境を可能な限り乱さないよう配慮することが重要である。

研究坑道を利用した研究段階の調査・研究計画の策定

研究坑道を利用した調査・研究の課題を見直すとともに、研究坑道を利用した研究段階における調査・研究計画の具体化を図る。この際、前述の深部地質環境に関する情報、これまでに東濃鉱山ならびに釜石鉱山において実施してきた調査・研究の成果や課題などに加え、第2次取りまとめの評価報告書(原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会, 2000)などに示された今後の研究開発の課題を考慮することが重要である。

(3)研究坑道を利用した研究段階(第3段階)の目標

研究坑道からの調査・研究による地質環境モデルの構築および研究坑道の拡張による深部地質環境の変化の把握

研究坑道からの調査・研究により深部地質環境に関する情報を三次元的に取得・蓄積し、本段階までに構築した地質環境モデル(施設スケールならびに坑道スケール)の妥当性を評価する。その評価結果を踏まえ、適宜、地質環境モデル(施設スケールならびに坑道スケール)を更新する。また、本段階までの地質環境モデルの構築および更新をとおして、評価すべき項目やその重要度を把握するとともに、調査の種類・量、解析・評価の手法と結果の精度との関係を整理する。これにより、一連の調査・解析・評価手法の有効性を確認する。

また、研究坑道からの調査・研究や地質環境モニタリングなどにより取得する情報、および前述した地質環境モデル(施設スケールならびに坑道スケール)を用いた解析結果などに基づき、研究坑道の拡張に伴う研究坑道周辺の地質環境特性の変化を把握する。これにより、解析手法の有効性を評価するとともに、それらの手法の高度化を図る。

深地層における工学技術の有効性の確認

地下深部における、研究坑道を長期にわたり維持・補修する技術の適用性を確認する。また、工程や品質などの管理体系を構築し、研究坑道内の研究環境を適切に維持・管理し安全を確保するための技術を整備する。必要に応じて、坑道掘削が地質環境に及ぼした影響を修復・軽減する工学技術などを開発・整備する。

2.3 成果の反映

超深地層研究所における地層科学研究の進展に伴い得られる調査・研究の成果は、国が進める安全規制の策定や原子力発電環境整備機構が行う処分事業の推進に対し、技術基盤として反映されるほか、地下深部についての学術的な研究、ならびに地層処分に関する研究開発に対する国民の理解の醸成に寄与するものである。以下に、2.1に示した二つの全体目標に対して得られる成果について、その具体的な反映先を示す。

深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備

各段階において、「概念の提示 計画の立案 調査の実施 モデルの構築および解析 評価」というプロセスを繰り返して調査・研究を進めることにより、結晶質岩の深部地質環境に関する情報や知見などの蓄積、深部地質環境の評価に資する地質環境モデルの構築、要素技術の有効性の確認、深部地質環境を評価するための一連の調査・解析・評価手法の例示、などの成果が段階的に得られる。

深部地質環境に関する情報や知見などについては、これまでと同様に、地質環境条件(地層処分にとって重要な地質環境上の要件)を理解するための品質の保証された情報として整理される。また、それらの情報・知見および地質環境モデルは、第2次取りまとめ以降の取り組むべき課題(原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会, 2000)として示された、特定の領域および地質環境を対象とした安全評価手法の開発および高度化、ならびに評価結果の信頼性の向上に向けた研究開発に活用される。一方、有効性が確認された要素技術(たとえば、それぞれの地質環境特性を調査する技術や地質環境モニタリング技術など)や深部地質環境を評価するための調査・解析・評価手法などは、第2次取りまとめに示された様々な地質環境に適用できる地質環境調査技術体系の確立(サイクル機構, 1999a)に役立てられる。

他方、深部地質環境に関する情報や知見などは、国内外の地球科学分野の学術的研究の成果などと合わせて、地下深部における様々な現象(たとえば、物質移動や地震など)の理解、わが国の深部地質環境を概略的に示すモデルの信頼性の向上、および地下空間利用の際に用いられる工学材料の検討などにも反映できる。

深地層における工学技術の基盤の整備

超深地層研究所における地層科学研究の成果としては、坑道の設計、施工計画の策定、

安定性評価、掘削、施工対策、維持・管理および安全確保にかかわる、既存のあるいは新たに開発される工学技術の有効性の確認が期待される。

これらの工学技術は、地層処分研究開発における地層処分場の設計、建設ならびに操業にかかわる合理的かつ最適な手法の開発の基盤として活用される一方、将来における地下空間利用の基礎として、地下深部に地下空間を設け安全に研究活動などが実施可能であることなどを実証するために役立てられる。

3 超深地層研究所計画の概要

3.1 「市有地」における調査・研究

3.1.1 地表からの調査予測研究段階(第1段階)

地表からの調査予測研究段階では、「市有地」における研究坑道建設前の地質環境特性を詳細に把握するための、様々な調査・研究が地表から実施される。地表では地質調査、物理探査ならびに表層水理調査を実施するとともに、深度1,000 m級の試錐孔を掘削し、その試錐孔における検層、水理試験や力学試験などにより深部地質環境に関する各分野の情報を取得する。あわせて、岩芯を用いた室内試験なども実施する。

これらの調査・研究によって得られた情報に基づき、また、正馬様用地を対象として構築される地質環境モデルや、広域地下水流動研究で構築される「市有地」を包含する広い領域の地質環境モデルなども活用して、研究坑道を掘削する「市有地」に関する、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ける地質環境モデル(施設スケール)を構築する。また、この地質環境モデルに基づいて、研究坑道掘削前の深部地質環境の状態を推定する。

一方、上記の調査・研究により取得した深部地質環境に関する情報などをもとに、坑道の掘削を伴う研究段階における具体的な調査・研究計画、および坑道を利用した研究段階における概略的な調査・研究計画を策定し、研究坑道の詳細レイアウトを決定する。あわせて、実際に適用する施工技術ならびに機械・設備を選定し、具体的な施工計画を決定する。研究坑道の施工は、研究坑道掘削前の地質環境を可能な限り乱さないように配慮する。また、研究坑道の掘削に伴う深部地質環境の変化を効果的に把握できるように観測機器の配置などを検討する。

地表からの調査予測研究段階については、当初の段階計画の見直しにより、正馬様用地における地質環境特性の把握に重点をおいた第1段階前半(1996～1999年度)、および各分野の調査・研究成果の統合化を図る第1段階後半(2000～2002年度)に分けて調査・研究を進めることとしていた(サイクル機構, 2000a)。これまでの第1段階前半においては、段階計画に基づき各分野の調査・研究を実施し、正馬様用地における地質環境特性に関する様々な成果が得られてきた。さらに、第1段階前半の成果を踏まえ、残された調査・研究課題を達成すべく、正馬様用地において第1段階後半の調査・研究を進めてきた(サイクル機構, 2001b)。

今後は、これまで正馬様用地で行ってきた研究の成果を反映し、「市有地」において第1段階の調査・研究を効率的かつ合理的に進める。また、正馬様用地においては、これまで蓄積してきた深部地質環境の情報や試錐孔などの研究資源を利用した要素技術開発を継続して行う。正馬様用地における調査・研究の計画は3.2に示す。

(1) 目標

2.2 に述べたように、地表からの調査予測研究段階における調査・研究の目標は以下のとおりである。

地表からの調査・研究による地質環境モデルの構築および研究坑道掘削前の深部地質環境の状態の把握
研究坑道の詳細設計および施工計画の策定
研究坑道の掘削を伴う研究段階の調査・研究計画の策定

(2) 正馬様用地における調査・研究の成果の概要

正馬様用地では、地質環境特性の把握に重点をおいた第 1 段階前半として、電磁探査や反射法弾性波探査などの物理探査、表層水理調査、3 本の試錐孔(深度約 1,000 m、MIU-1、MIU-2 および MIU-3 号孔)の掘削とその試錐孔における検層、水理試験、力学試験、岩芯観察および岩芯を用いた室内試験、ならびに本計画以前に掘削された試錐孔を用いた間隙水圧の長期観測を実施し、深部地質環境に関する多くの情報を取得した。これらの情報と既存の情報を用いて、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段階的にモデル化を行い、調査・解析手法の適用性を確認してきた(サイクル機構, 2001a; 三枝ほか, 2001)。

また、各分野の調査・研究成果の統合化を図る第 1 段階後半として、地表から下向き 60° の試錐孔(掘削長約 790 m、MIU-4 号孔)の掘削とその試錐孔における検層、水理試験、力学試験、採水、岩芯観察および岩芯を用いた室内試験を行った。

本節では、正馬様用地における調査・研究において得られた、各分野の調査・研究のおもな成果(施設スケールの地質構造モデル、水理地質構造モデルならびに岩盤力学モデルの構築など)について示す。なお、MIU-4 号孔の試錐調査結果は現在解析中であり、これまでに明らかとなった成果を示した。

()地質・地質構造に関する調査・研究

調査の種類・量、解析・評価の方法と結果の精度との関係を事例的に確認するため、深部地質環境に関する既存の情報(本計画以前に掘削された試錐孔(AN-1 ならびに AN-3 号孔)において取得した情報を含む)を用いた地質構造モデル、およびそのモデルに本計画における試錐調査(MIU-1、MIU-2 ならびに MIU-3 号孔)により取得した情報を加えた地質構造モデルを構築した。

既存の情報に基づく地質構造モデルの構築にあたっては、割れ目(あるいは、割れ目帯)の分布に関する情報が試錐孔周囲にのみ限定されており、その空間的分布や連続性などについては十分な情報が得られなかった。結果として土岐花崗岩体は風化部とそれ以外の岩盤に二分されただけである。一方、本計画における試錐調査などの結果、土岐花崗岩体は黒雲母花崗岩相と優白質花崗岩相から成ることが明らかとなり、地質構造モデルには二つの岩相の分布とともに、物理探査ならびに試錐調査により推定された上部割れ目帯、健岩部および月吉断層に付随する割れ目帯の分布が表現された。

第 1 段階前半における地質構造モデルの構築により、研究実施領域における地質構造と

して、表層の未固結砂礫層(瀬戸層群)、3層に区分される堆積岩層(瑞浪層群)、土岐花崗岩体の黒雲母花崗岩相ならびに優白質花崗岩相の分布を把握することができた。また、地下水の流動や水質形成などを規制すると考えられる主要な地質構造要素として、土岐花崗岩体上部の風化部、上部割れ目帯、月吉断層およびそれに付随する割れ目帯が抽出でき、その分布も可視化することができた。

第1段階後半に行ったMIU-4号孔試錐調査では、第1段階前半に構築された地質構造モデルにおけるそれらの推定位置と、堆積岩と土岐花崗岩の不整合、土岐花崗岩体上部の風化部および月吉断層の位置の違いは約20m程度以内であった。また、上部割れ目帯や月吉断層に付随する割れ目帯のほか、既存の地質構造モデルでは推定されていない断層が認められている。高透水性割れ目(帯)の分類や試錐孔との遭遇率を含めた割れ目の解析などは、今後継続して行われる。

()地下水の水理に関する調査・研究

第1段階前半に行われた表層水理調査においては、地下水流動解析における上部境界条件である地下水涵養量の設定および解析結果の妥当性を確認するための情報の取得を目的として、研究実施領域内の河川流量や気象パラメータなどの観測を実施した。その結果、地下水涵養量は降水の数%～十数%程度であることが明らかになった。また、深層水理調査においては、MIU-1、MIU-2ならびにMIU-3号孔における水理試験により、研究実施領域内の地下水位、土岐花崗岩健岩部、透水性割れ目および月吉断層の水理学的特性(透水性など)を把握した。

上記の結果に基づく水理地質構造モデルの構築および地下水流動解析(研究実施領域の地下水流動場を精度良く把握するために、研究実施領域を包含する数km程度の領域を対象)は、前述の地質・地質構造に関する調査・研究と同様に、既存の情報に基づく場合と本計画において取得した情報を加えた場合のそれぞれについて実施し、割れ目などの不連続構造を表現していない初期の水理地質構造モデルと、割れ目などの不連続構造を表現した水理地質構造モデルを用いた地下水流動解析の結果を比較した。その結果、割れ目などの不連続構造に起因する、土岐花崗岩中の不均質な物性分布を等価な連続体モデルで表現することにより、研究坑道(とくに主立坑)の掘削時に、透水性割れ目の分布の傾向に沿った不規則な水頭低下領域が生じることが推定された。また、月吉断層の遮水機能についても、これまでの推定結果と整合する結果が得られたことから、透水性割れ目や断層などの不連続構造(地質構造要素)を含む数百m～数km程度の領域を対象とした地下水流動解析においては、上記の連続体モデルにより、現実的に地下水流動を推定できることが示された。

さらに、対象となる場の理解不足による不確実性が地下水流動解析の結果に及ぼす影響とその因子を確認するため、複数の水理地質構造モデルに基づき地下水流動解析を行った。その結果、地形の起伏に支配される地下水の主流動方向に対する断層などの不連続構造の位置関係や透水性のモデル化の違いが、流動経路などの解析結果に大きな影響を与えることが明らかとなった(たとえば、澤田ほか, 2001)。

第1段階後半に行ったMIU-4号孔試錐調査では、地質・地質構造に関する調査・研究で行われた岩芯観察、物理検層に加え、流体検層および水理試験により、高透水性割れ目(帯)が確認されるとともに、それらの透水性が確認された。

()地下水の地球化学に関する調査・研究

正馬様用地では、唯一 MIU-4 号孔においてのみ地下水の採水や化学分析が行われた。その結果では、月吉断層上盤の土岐花崗岩中の地下水が、弱アルカリ性(pH 9~10)で $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$ 型であり、また、酸化還元状態は深度に依存せずばらついていた(Eh:-300~0 mV)。また、これまで正馬様用地で行われた試錐調査(MIU-1,2,3号孔)により得られた土岐花崗岩の $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 量比の深度分布を検討した結果、深度約 300 m までは Fe^{3+} の割合が高いのに対して、深度 300 m 以深では Fe^{2+} の割合が高くなっていた。このことは、正馬様用地における土岐花崗岩体において鉄の化学種の酸化還元境界が深度 300 m 付近にある可能性があることを示すものと考えられた。

一方、東濃鉱山とその周辺において実施している広域地下水流動研究により、研究実施領域周辺の土岐花崗岩中における浅部(深度約 300 m まで)の地下水は中性(pH 7)かつ酸化性(Eh > 0 mV)で $\text{Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-HCO}_3^-$ 型であるのに対し、より深部にいくにしたがい、地下水は弱アルカリ性(pH 9~10)かつ還元性(Eh < -300 mV)で $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$ 型へと変化することなどが明らかとなっている(サイクル機構, 2000b)。正馬様用地での結果は、広域地下水流動研究で得られた結果と概ね整合しているものの、MIU-4 号孔における Eh の計測結果がばらつく原因などについては、さらに詳細な検討が必要である。

()岩盤の力学に関する調査・研究

正馬様用地における土岐花崗岩の物性値は、一軸圧縮強度が 100~200 MPa、ヤング率が 30~60 GPa であり、日本の花崗岩の平均的な値とほぼ同じである。また、物性値の深度分布には、割れ目の分布に対応し深度 300 m 付近と深度 700 m 付近において変化が認められる。初期応力については、鉛直方向の地圧は土被り圧とほぼ一致しており、その深さ方向の勾配は 0.026~0.027 MPa/m 程度である。水平面内の最小主応力値は概ね鉛直方向の値と等しく、水平面内の最大主応力値は最小主応力値の 1.5~2 倍程度である。また、水平面内の最小主応力および最大主応力の値も、深度 300 m 付近と 700 m 付近を境に急激に変化している。水平面内の最大主応力の方向は、地表付近では南北方向を示すのに対して、深度 300 m 以深では北西-南東方向を示し、三角測量から得られた東濃地域における最大圧縮ひずみの方向と概ね一致する。

上記の結果に基づく岩盤力学モデルの構築は、前述の地質・地質構造ならびに地下水の水理に関する調査・研究と同様に段階的に情報を加え、それぞれの場合について実施し、岩盤の力学的特性についての理解度を段階的に向上してきた結果、土岐花崗岩体は力学物性(物理特性、変形特性、強度特性)および応力状態の異なる三つの領域(地表~深度約 300/400 m、深度約 300/400~700 m、深度約 700~1,000 m)に区分できることが明らかになった。

()深地層における工学技術に関する研究

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考慮し、研究坑道の掘削を伴う研究段階ならびに研究坑道を利用した研究段階において実施する必要がある調査・研究項目を選定した(サイクル機構, 1999c)。また、それらの調査・研究項目に基づいて研究坑道の展開手順や仕様の決定方法などについて検討を行うとともに、これまでに正馬様用地において取得した深部地質環境に関する情報に基づき、研究坑道のレイアウト案を提示した。さらに、このレイアウト案をもとに現実的な研究坑道の施工計画案(見掛ほか, 2000)を作成した。

(3) 「市有地」における第 1 段階の調査・研究の概要

第 1 段階における調査・研究は既存のあるいは新たに開発される解析・評価手法を適用し、基本的に一連のプロセス(概念の提示 計画の立案 調査の実施 モデルの構築および解析 評価)の繰り返しにより実施される。各分野における調査は、「市有地」において地表から行われる。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る。したがって、それぞれの調査・研究の精度の向上を図り、合理的かつ効果的な調査・研究を進めることが重要である。

本節では、第 1 段階目標 ~ の達成に向け、「市有地」において実施する第 1 段階の研究成果の統合化ならびに各分野の調査・研究の概要を述べる。なお、それぞれの実施内容の詳細については各論 A に示す。

()研究成果の統合化

「市有地」における地表から地下深部までの地質環境に関する情報や知見などについては、分野ごとに取りまとめを行うとともに、分野間の横断的な議論および解釈をとおして分野間における成果の関連ならびに整合性を確認する。これにより、地質環境モデルが構築され、研究実施領域における深部地質環境の総合的な理解が促進される。また、構築した地質環境モデルを用いて、研究坑道掘削前の深部地質環境が推定される。

一方、地表からの調査・研究に必要とされる要素技術については、それぞれ高度化を図りつつ、その有効性を確認する。また、取得した情報と利用可能な解析・評価手法を用い、深部地質環境の評価に至る一連のプロセスを繰り返し実施する。その過程で「市有地」において評価すべき項目を抽出し、その項目の重要度を段階的に把握するとともに、調査の種類・量、解析・評価の手法および結果の精度との関係を事例的に明らかにする。これにより、深部地質環境を評価するための調査・解析・評価手法を段階的に整備する。

具体的には、次段階以降の調査・研究計画の策定、研究坑道の詳細設計および地層処分研究開発で行われる核種移行解析を、地表からの調査・研究で得られる情報の出力先として設定し、具体的なアウトプットを明確にする。そして、調査・研究を進める過程で、何のデータ(入力情報)をどのような手法(調査手法および解析手法)で取得・解釈をするとともに、分野間での横断的な解釈やモデル化をどのような考え方(モデル化手法)で進めれば、地質環境をどこまで理解または推定でき、最終的なアウトプットに到達できるのかという方法論を、事例的に示すこととなる。

()地質・地質構造に関する調査・研究

地上物理探査(反射法弾性波探査)、浅層および深層を対象とした試錐孔を利用した調査・研究(岩芯観察、物理検層、VSP 調査、トモグラフィ調査など)や岩芯を用いた室内調査などにより、「市有地」における地質・地質構造を把握する。とくに、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(岩相、風化帯、変質帯、透水性割れ目、断層、岩脈など)に着目し、その分布および性状を詳細に把握する。また、岩芯を用いた室内調査や後述する地下水の採水・分析の結果などにより、酸化還元領域を把握する。これらの調査・研究においては、土岐花崗岩体に関する既存の地質学的情報をもとにした地質構造モデル(施設スケール)の構築を出発点とし、調査・研究ごとに、段階的に、地質構造モデルの妥当性の評価およびモデルの更新を行う(図 2)。最終的に、研究坑道周辺の地質構造要

素の三次元的な地質構造モデルを構築する。

()地下水の水理に関する調査・研究

試錐孔における水理試験(単孔式および孔間水理試験)や表層水理観測などにより、地質構造モデル(施設スケール)で表現された地質構造要素の水理学的特性ならびに水理学的連続性を把握し、水理地質構造モデル(施設スケール)を構築する。また、このモデルを用いて地下水流動解析を行い、「市有地」における研究坑道建設前の地下水流動場の状態を推定する。また、このモデルを用いて研究坑道掘削に伴う地下水流動場の変化(研究坑道への流入量、研究坑道周辺の地下水圧の変化など)を推定し、研究坑道の詳細設計や次段階以降の調査・研究計画の策定に反映する。

()地下水の地球化学に関する調査・研究

既存試錐孔および新規試錐孔における地下水の採水や化学分析などとあわせて、「市有地」における土岐花崗岩中の深部地下水の地球化学的特性(物理化学パラメータ、化学組成および同位体組成)の三次元的分布を把握する。また、水-岩石反応試験や熱力学解析などにより、地下水の水質形成を支配する主要な水-岩石反応を抽出し、上記の地下水の採水や化学分析の結果と合わせて現有の地球化学モデル(水質形成モデル;施設スケール)を確認する。さらに、酸化還元状態に関与する有機物ならびに微生物の種類や存在量などについても情報を取得する。

()岩盤の力学に関する調査・研究

岩芯を用いた室内試験や試錐孔における力学試験(たとえば、水圧破碎法による初期応力測定)などにより、「市有地」における土岐花崗岩の力学物性、割れ目面の力学的特性、および土岐花崗岩の初期応力状態を把握し、「市有地」における三次元的な岩盤力学モデル(施設スケール)を構築する。このモデルを用いて、研究坑道掘削前の応力状態などの初期状態を推定する。また、研究坑道の掘削に伴う坑道周辺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)を推定する。これにより、研究坑道の力学的安定性の評価を行い、研究坑道の詳細設計や次段階以降の調査・研究計画の策定に反映する。

()岩盤中の物質移動に関する調査・研究

岩芯を用いた室内調査(たとえば、空隙構造調査)などにより、土岐花崗岩中における物質移行・遅延現象を把握するための基礎情報として、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、空隙構造特性および収着・拡散特性データを整備する。また、天然に存在する核種を用いた調査・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。

()調査技術・調査機器に関する研究

研究坑道の掘削を伴う研究段階および研究坑道を利用した研究段階において必要と考えられる調査技術・調査機器の開発を実施する。本段階において必要とされる既存技術については、その適用性の確認あるいは部分的な改良を図る。また、必要に応じて新たな技術開発を行う。さらに、地質環境特性の異なる様々な地域への適用を考慮し、これらの技術の適用条件や適用範囲などを明確にする。

() 深地層における工学技術に関する研究

本段階における工学技術に関するおもな研究項目は、研究坑道の設計および施工計画の策定にかかわる技術である。前述のように、研究坑道の掘削を伴う研究段階および研究坑道を利用した研究段階では、研究坑道において各分野の調査・研究が展開される。したがって、研究坑道は従来の地下空洞やトンネルなどとは異なり、地下深部において各調査・研究が合理的かつ効率的に実施できるように設計され、その施工計画が具体化される必要がある。

本研究においては、国内外の先行事例などを考慮して選定した、研究坑道の掘削を伴う研究段階および研究坑道を利用した研究段階において実施する必要がある調査・研究項目、ならびに「市有地」の深部地質環境の既存の情報に基づき、研究坑道レイアウト案を策定する。また、今後、「市有地」において取得される深部地質環境の情報により見直される研究坑道の掘削を伴う研究段階における調査・研究計画および研究坑道を利用した研究段階における概略的な調査・研究計画に基づき、研究坑道の設計についても具体化を図る。最終的に研究坑道の詳細レイアウトを決定するとともに、実際に適用する施工技術ならびに機械・設備を選定し、具体的な施工計画を決定する。具体的な施工計画の策定においては、地質環境の初期状態を可能な限り乱さないよう配慮する。

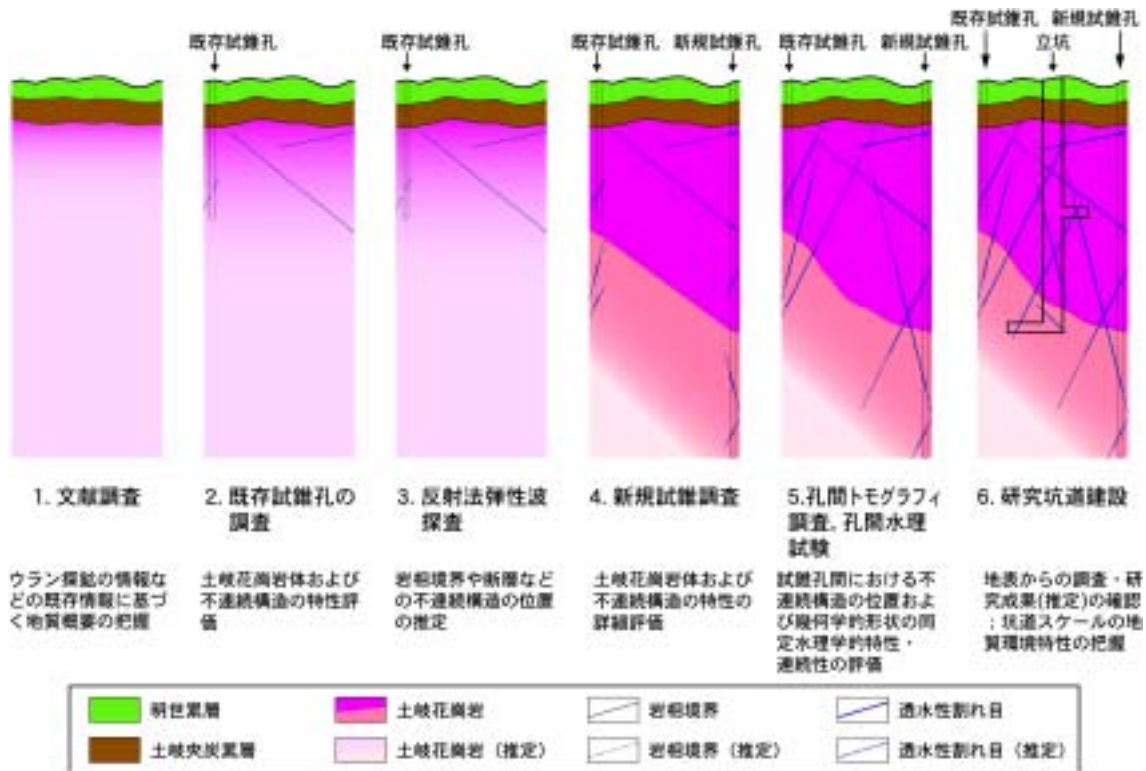


図2 「市有地」における第1段階の調査・研究の進め方(概念)

(4) 次段階以降の調査・研究計画の策定

「市有地」における第 1 段階の調査・研究により取得する深部地質環境に関する情報、構築した地質環境モデルなどを踏まえ、研究坑道の掘削を伴う研究段階における調査・研究計画の具体化を図る。あわせて、研究坑道を利用した研究段階における概略的な調査・研究計画を必要に応じて見直す。

具体的には、詳細な地質環境モデルの構築、ならびに本段階において深部地質環境に関して推定した結果の妥当性の確認ができるように、これまでに抽出した調査・研究課題の必要性(優先度)を検討し、その絞り込みを行う。この際、第 2 次取りまとめの評価報告書(原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会, 2000)などに示された今後の研究開発の課題なども考慮する。また、必要に応じて新たな調査・研究課題の設定を行う。

3.1.2 研究坑道の掘削を伴う研究段階(第2段階)

研究坑道の掘削を伴う研究段階は、中間ステージ(水平坑道掘削位置、超深地層研究所施設の概要については4章を参照)までの主立坑、換気立坑および同深度における水平坑道を掘削しつつ調査・研究を行う第2段階前半と、それ以深(深度約1,000 mまでの主立坑、換気立坑および水平坑道(最深ステージ))の掘削ならびに調査・研究を行う第2段階後半とに二分して進める。このように、研究坑道の掘削を伴う調査・研究を二つのフェーズにおいて実施することにより、第2段階前半において適用する調査・解析・評価技術や工学技術などを、第2段階後半の開始までに評価および改良することが可能となり、それらの技術の高度化を図ることができる。さらに、異なる地質環境条件において、上記の技術の適用性・有効性を確認することができると考えられる。本段階においては、地表からの調査予測研究段階に比べ、調査・研究の対象が研究坑道周辺の地質環境となるため、そのスケールが小さくなる反面、精度(分解能)の高い調査・研究の実施が要求されることとなる。なお、中間ステージの深度については、今後明らかとなる地質環境に基づき、上記趣旨に最適な深度を設定する。

研究坑道の掘削と併行して、各分野において深部地質環境に関する情報を取得する。透水性の割れ目あるいは割れ目帯や、酸化還元境界などの重要な調査・研究対象が認められた地点においては、必要に応じて主立坑から水平坑道などを設け詳細な調査・研究を実施する。それらの調査・研究により取得する情報に基づき、地表からの調査予測研究段階において構築した地質環境モデル(施設スケール)の妥当性や解析手法などの有効性も確認する。また、研究坑道掘削に伴う深部地質環境の変化を把握する。さらに、新たに取得する情報に基づき、地質環境モデル(坑道スケール)を構築し、研究坑道を利用した研究段階において拡張する研究坑道周辺の地質環境特性を推定する。本段階においても、深部地質環境の評価に至る一連のプロセスの繰り返しにより、深部地質環境を評価するための調査・解析・評価手法を段階的に整備する。

これらの調査・研究と合わせ、本段階までに取得する深部地質環境に関する情報などを踏まえ、研究坑道を利用した調査・研究の課題を抽出・特定する。また、研究坑道を利用した研究段階における調査・研究計画の詳細化・具体化を図る。一方、研究坑道の施工・維持・管理にかかわる工学技術については、既存技術の有効性を確認するとともに高度化を図る。

なお、本段階において実施する調査・研究の内容については、今後、「市有地」で取得する深部地質環境に関する新たな情報・知見に基づいて、適宜最適化を図っていくこととする。とくに本段階後半の調査・研究に関する詳細計画の策定には本段階前半における調査・研究の成果を反映することが重要である。

(1) 目標

2.2 に述べたように、研究坑道の掘削を伴う研究段階における調査・研究の目標は以下のとおりである。

研究坑道の掘削を伴う調査・研究による地質環境モデルの構築および研究坑道の掘削による深部地質環境の変化の把握
研究坑道の施工・維持・管理にかかわる工学技術の有効性の確認
研究坑道を利用した研究段階の調査・研究計画の策定

(2) 調査・研究の概要

本節では、研究坑道の掘削を伴う研究段階における、段階目標 ～ に向けた各分野の実施内容の概要を述べる。なお、それぞれの実施内容の詳細については各論Bに示す。

()地質・地質構造に関する調査・研究

地表からの調査予測研究段階において推定した研究坑道周辺の地質・地質構造を、研究坑道の掘削に伴う坑道壁面観察、ならびに研究坑道から掘削する試錐孔を利用した調査・研究によって確認し、地表からの調査予測研究段階において構築した地質構造モデル(施設スケール)の妥当性を評価する。また、新たに取得する情報に基づき地質構造モデル(施設スケール)を更新し、研究坑道を利用した研究段階において対象とする研究坑道周辺の地質・地質構造に関する推定精度の向上を図る。さらに、地質構造モデル(坑道スケール)を構築するとともに、新たに取得する情報に基づき適宜更新する。また、上記調査と後述する地下水の地球化学調査の結果などにより、酸化還元領域を把握する。なお、坑道壁面の観察は研究坑道の全ての区間において実施する。

()地下水の水理に関する調査・研究

研究坑道の掘削に伴って、坑内湧水量の観測、研究坑道から掘削する試錐孔ならびに既存試錐孔における地下水位や間隙水圧などの観測、表層水理観測などを行う。また、研究坑道から掘削する試錐孔において水理試験を実施し、研究坑道において認められた主要な地質構造要素ならびに土岐花崗岩健岩部の水理学的特性を把握する。これらの実測データと地表からの調査予測研究段階における推定結果とを比較し、同段階において構築した水理地質構造モデル(施設スケール)や解析手法などの妥当性を評価する。また、この評価結果を踏まえ、水理地質構造モデル(施設スケール)を更新するとともに、研究坑道掘削に伴う地下水流動場の変化を把握する。

さらに、水理地質構造モデル(坑道スケール)を構築するとともに、新たに取得する情報に基づき適宜更新する。このモデルを用いて、研究坑道を利用した研究段階において拡張する研究坑道周辺の地下水流動場(研究坑道拡張前)を推定する。なお、必要に応じ、このモデルを用いて、研究坑道を利用した研究段階において拡張する研究坑道周辺の地下水流動場の変化を推定する。

()地下水の地球化学に関する調査・研究

研究坑道から透水性割れ目に向けて掘削する試錐孔ならびに既存試錐孔における地下水採水や化学分析などを行い、深部地下水の地球化学的特性の三次元分布や水質形成機構などを詳細に把握する。これらの実測データと地表からの調査予測研究段階における推定結果とを比較し、同段階において構築した地球化学モデル(水質形成モデル;施設スケール)や解析手法などの妥当性を評価する。また、この評価結果を踏まえ、地球化学モデル(水質形成モデル;施設スケール)を更新するとともに、研究坑道掘削に伴う地下水の地球化学特性の変化を把握する。

さらに、地球化学モデル(水質形成モデル;坑道スケール)を構築するとともに、新たに取得する情報に基づき適宜更新する。このモデルを用いて、研究坑道を利用した研究段階において拡張する深部地下水の地球化学的特性(研究坑道拡張前)などを推定する。なお、必要に応じ、このモデルを用いて、研究坑道を利用した研究段階において拡張する研究坑道掘削に伴う地下水流動の変化により生じる深部地下水の地球化学的特性の変化を推定する。

()岩盤の力学に関する調査・研究

研究坑道から掘削する試錐孔を利用し、研究坑道の掘削に伴う坑道周辺岩盤の力学的挙動や、掘削影響領域とその周辺岩盤の力学物性や初期応力状態などを把握する。また、地表からの調査予測研究段階において予測した坑道周辺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などについて、推定結果の妥当性を確認し、地表からの調査予測研究段階において構築した岩盤力学モデル(施設スケール)や解析手法などの妥当性を評価する。また、この評価結果を踏まえ、岩盤力学モデル(施設スケール)を更新するとともに、研究坑道掘削に伴う坑道周辺岩盤の力学的特性の変化を把握する。

さらに、岩盤力学モデル(坑道スケール)を構築するとともに、新たに取得する情報に基づき適宜更新する。このモデルを用いて、研究坑道を利用した研究段階において拡張する研究坑道周辺の岩盤力学特性などを推定する。なお、必要に応じ、このモデルを用いて、研究坑道を利用した研究段階において拡張する研究坑道拡張に伴う坑道周辺岩盤の変形挙動や応力変化などを推定する。

()岩盤中の物質移動に関する調査・研究

岩芯あるいは研究坑道壁面から採取する試料を用いた室内調査などにより、主要な地質構造要素の地球化学的・鉱物学的特性、空隙構造特性や収着・拡散特性などを把握し、地表からの調査予測研究段階において取得した基礎情報と合わせ、土岐花崗岩中における物質移行・遅延を評価するためのデータセットを整備する。また、天然に存在する核種を用いた調査・研究を継続し、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。

()調査技術・調査機器に関する研究

研究坑道を利用した研究段階において必要と考えられる調査技術・調査機器の開発を実施する。また、本段階においては、前述のように調査に要求される精度が高くなるとともに、限られた空間の中で調査などを行う必要がある。調査などの実施にあたっては既存技術の活用を図り、その適用性を確認するとともに、必要に応じて可能な限り改良・高度化、あるいは新たな技術開発を行う。さらに、地質環境特性の異なる様々な地域への適用を考慮し、こ

これらの技術の適用条件や適用範囲などを明確にする。

() 深地層における工学技術に関する研究

本段階においては、研究坑道の掘削や設計変更などの実績によって、地表からの調査予測研究段階において適用した詳細設計や施工計画策定などの手法ならびに適用した工学技術の有効性を評価し、その評価結果を適切に詳細設計や施工計画策定などに反映させる技術体系を整備する。

また、実際の地質環境が推定結果と大きく異なる場合、想定外の事象に遭遇した場合、研究坑道の掘削により深部地質環境を著しく乱す事象が生じた場合などにおいては、柔軟に設計変更ができ、さらに現状の対策工が適切に対応し得ることを示すことにより、設計・施工技術の有効性を確認する。さらに、地質環境の変化の事前予知や対策工実施後の品質保証のための工学技術の検討および整理も行う。一方、安全衛生面からの研究坑道内の研究環境の維持・管理や安全確保などのための技術開発も実施する。

(3) 次段階の調査・研究計画の策定

前述の調査・研究により取得した深部地質環境に関する情報、研究坑道を利用した研究段階において対象とする研究坑道周辺の地質環境特性に関する推定結果などを踏まえ、地表からの調査予測研究段階において検討した、研究坑道を利用した研究段階における概略的な調査・研究計画の具体化を図る。具体的には、地表からの調査予測研究段階において抽出した調査・研究課題の必要性(優先度)を検討し、その絞り込みや追加を行う。この際、これまでに東濃鉱山ならびに釜石鉱山において実施した調査・研究(先行事例)の成果および課題、第2次取りまとめの評価報告書(原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会, 2000)などに示された今後の研究開発の課題、および研究開発の進展に伴って新たに設定される課題を考慮する。

3.1.3 研究坑道を利用した研究段階(第3段階)

研究坑道を利用した研究段階は、研究坑道の掘削を伴う研究段階と同様に、中間ステージにおいて調査・研究を行う第3段階前半と最深ステージにおいて調査・研究を行う第3段階後半とに二分して進める。これにより、3.1.2 に述べたように、異なる地質環境条件を対象とした調査・研究を実施することができる。基本的には、研究坑道の掘削を伴う研究段階と同様に研究坑道周辺の地質環境を調査・研究の対象とするが、研究坑道から掘削する試錐孔を利用し、深度 1,000 m 以深の地質環境を対象とした調査・研究も合わせて実施する計画である。

本段階においては、調査・研究対象となる深部地質環境の特性を把握するばかりでなく、その地質環境中において生じる様々な現象(坑道掘削が周辺岩盤に与える影響、物質の移動、地震など)の理解にも重点をおいた調査・研究を実施する。これらの深部地質環境に関する情報を三次元的に取得・蓄積し、研究坑道周辺の地質環境特性に関する推定結果の妥当性を評価する。あわせて、推定に用いた地質環境モデル(坑道スケール、場合によっては施設スケールも含む)の妥当性や解析手法の有効性なども評価する。また、その評価結果を踏まえ、それぞれの分野における各スケールの地質環境モデルならびに適用したそれぞれの調査・解析・評価手法について高度化を図る。本段階においては、とくに地下深部において生じる様々な現象を理解するための調査・解析・評価手法の妥当性について確認することも重要である。さらに、深部地質環境の評価に至る一連のプロセスの繰り返しをとおして、評価すべき項目やその重要度を明確にするとともに、調査の種類・量、解析・評価の手法と結果の精度との関係を整理する。この結果を踏まえ、最終的には、深部地質環境を評価するための調査・解析・評価手法を段階的に整備する。

一方、深地層における工学技術については、研究坑道の維持・管理などをとおして、長期にわたる維持・補修技術、ならびに研究坑道内の安全確保のための技術の有効性を確認する。また、必要に応じて、坑道掘削が地質環境に及ぼした影響を修復・軽減する工学技術などを開発・整備する。

基本的に本段階の各ステージにおける調査・研究計画については、それぞれのステージが建設されるまでに取得する深部地質環境に関する情報に基づいて検討・修正され、改訂される。したがって、(2)に示す調査・研究計画は暫定的なものである。

(1) 目標

2.2 に述べたように、研究坑道を利用した研究段階における調査・研究の目標は以下のとおりである。

研究坑道を利用した調査・研究による地質環境モデルの構築および研究坑道の拡張による深部地質環境の変化の把握
深地層における工学技術の有効性の確認

(2) 調査・研究の概要

本節では研究坑道を利用した研究段階における、各分野の実施内容の概要を述べる。なお、それぞれの実施内容については各論 C に示す。

()地質・地質構造に関する調査・研究

研究坑道の拡張に伴う坑道壁面観察、ならびに各ステージから掘削する 1,000 m 程度の試錐孔を利用した調査・研究を実施し、研究坑道周辺および深度 2,000 m 程度までの地質・地質構造を詳細に把握する。また、研究坑道の掘削を伴う研究段階における研究坑道周辺の地質・地質構造の推定結果との比較により、研究坑道の掘削を伴う研究段階において構築した地質構造モデル(坑道スケール)の妥当性を評価する。この評価結果を踏まえ、地質構造モデル(坑道スケール)を更新する。さらに、新たに取得する情報に基づき、各スケールの地質構造モデルの高度化を図る。上記調査と後述する地下水の地球化学調査の結果などにより、酸化還元領域を把握する。

()地下水の水理に関する調査・研究

研究坑道の拡張に伴う坑内湧水量の観測、地下水位や間隙水圧などの観測、ならびに研究坑道から掘削する試錐孔における水理試験により、研究坑道周辺における主要な地質構造要素ならびに土岐花崗岩健岩部の水理学的特性を詳細に把握する。また、これらの実測データと研究坑道の掘削を伴う研究段階における推定結果を比較し、同段階において構築した水理地質構造モデル(坑道スケール)や解析手法などの妥当性を評価する。この評価結果を踏まえ、水理地質構造モデル(坑道スケール)の更新と境界条件の見直しを行い、研究坑道周辺における地下水流動に関する解析精度の向上を図る。さらに、新たに取得する情報に基づき、各スケールの水理地質構造モデルの高度化を図る。

()地下水の地球化学に関する調査・研究

研究坑道から掘削する試錐孔ならびに既存試錐孔における地下水採水や化学分析などを継続し、深部地下水の地球化学的特性の三次元分布や研究坑道建設に伴うその特性の変化(たとえば、掘削影響領域における酸化還元状態)を把握する。これらの実測データと研究坑道の掘削を伴う研究段階における推定結果とを比較し、同段階において構築した地球化学モデル(水質形成モデル;坑道スケール)や解析手法などの妥当性を評価する。また、この評価結果を踏まえ、各スケールの地球化学モデルを更新する。さらに、新たに取得する情報に基づき、各スケールの地球化学モデルの高度化を図る。

()岩盤の力学に関する調査・研究

異なる地質環境条件を対象に、立坑の掘削および新規水平坑道の拡張を実施し、坑道掘削に伴う坑道周辺岩盤の力学的特性の変化などを把握する。これらの実測データと研究坑道の掘削を伴う研究段階における推定結果とを比較し、同段階において構築した岩盤力学モデル(坑道スケール)や解析手法などの妥当性を評価する。また、研究坑道における変位計測などを継続し、坑道周辺岩盤の長期的な安定性を評価するとともに岩盤の破壊現象(山はねなど)を把握する。これらの結果を踏まえ、岩盤力学モデル(坑道スケール)を更新し、坑道周辺岩盤の力学的挙動などに関する解析精度の向上を図る。さらに、新たに取得する情報に基づき、各スケールの岩盤力学モデルの高度化を図る。

()岩盤中の物質移動に関する調査・研究

岩芯を用いた室内調査などにより、土岐花崗岩中の物質移行経路や収着・拡散特性などを評価する。また、本段階までに整備した地質・地質構造、地下水の水理ならびに地下水の

地球化学の各分野に関する情報、および天然に存在する核種を用いた調査・研究の成果をもとに物質移行モデル(坑道スケール)を構築する。さらに、研究坑道周辺において、土岐花崗岩中における物質移行・遅延現象を把握するためのトレーサー試験などを実施し、構築した物質移行モデル(坑道スケール)の妥当性の評価ならびに更新を行う。さらに、花崗岩中における物質移行、遅延現象を把握するために必要な地下水中のコロイド、有機物、微生物に関するデータを取得する。

()深地層における工学技術に関する研究

地下深部における、研究坑道の長期的にわたる維持・補修技術ならびに研究坑道内の環境保全技術の適用性の確認を行う。また、施工工程や品質などの管理体系を構築し、研究坑道内の研究環境を適切に維持・管理し安全を確保するための技術を整備する。必要に応じて、研究坑道の掘削が地質環境に及ぼした影響の修復あるいは軽減に関する工学技術などを開発・整備する。

()地震観測

研究坑道の異なる深度に地震計や湧水量計などを設置し、地下深部における地震動の観測や地震に伴う深部地質環境の変化などを観測し、地震の研究坑道や深部地質環境への影響を評価する。

3.2 正馬様用地における調査・研究

正馬様用地では、超深地層研究所計画の全体目標のひとつである深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備に関連し、これまで蓄積された月吉断層やその周辺の地質環境の情報や試錐孔などの研究資源を利用した要素技術開発の場として活用し、「市有地」での調査・研究の効率化を図るための要素技術の高度化に向けた調査・研究を実施する。また、正馬様用地で進められている地表からの調査結果による地質環境のモデル化に向けた調査・研究については、情報量とモデルの精度との関係を把握するため、一連の調査・解析を繰り返し行い、モデルの高度化を進めるとともに、一連の調査・解析・評価手法の有効性を把握する。さらに、既存試錐孔を利用して、「市有地」での立坑掘削が地質環境に与える影響を確認するため、地下水圧などの連続観測を行う。

具体的には、地質環境のモデル化技術の高度化を目的とし、透水性割れ目の同定・分類技術の構築および地質・地質構造のモデル化技術の構築、長期揚水試験や地下水長期観測とそれに基づく水理地質構造のモデル化技術の構築、MP システムを用いた採水調査や土岐花崗岩中の深部地下水の年代測定とそれに基づく地球化学モデルの構築、応力集中による空洞周辺岩盤の破壊現象のメカニズムに関する研究などを行う。また、調査技術・調査機器の開発を目的とし、フローメータ検層技術の適用評価、岩盤浸透量の評価技術の検討などを行う。

なお、それぞれの実施内容については各論 D に示す。

4 超深地層研究所施設の概要

超深地層研究所は研究坑道および地上施設からなる。それぞれの概要については以下に示すとおりである。

(1) 研究坑道の概要

研究坑道の設計は、地表からの調査・研究による深部地質環境に関する情報、および研究坑道周辺の地質環境特性(地質環境モデル)やそれらにより推定された地質環境の状態などを考慮しつつ、研究坑道の掘削を伴う研究段階および研究坑道を利用した研究段階における調査・研究計画に基づいて実施される。これまでの検討結果を踏まえ、図3に示すような研究坑道のレイアウト案を提示している。

これまで行われた正馬様用地における調査・研究や広域地下水流動研究の結果により、土岐花崗岩中には割れ目頻度の大きく異なる領域や岩相の異なる領域が存在するなど、地質環境の異なる岩盤が存在することが確認されている(サイクル機構, 2001a)。同じ土岐花崗岩が分布する「市有地」においても、異なる地質環境が存在することが推定される。

したがって、「市有地」においても、図3の研究坑道のレイアウト案に示すとおり、地質環境の異なる二つの領域において調査・研究の場を確保することとしており、研究坑道には、研究坑道を利用した調査・研究を実施する二つの水平坑道群(中間ステージおよび最深ステージ)を設ける。また、深度1,000 m程度の地下深部へアクセスするための主立坑および換気立坑などを設けるとともに、深度約100 mごとに主立坑と換気立坑をつなぐ予備ステージを掘削する。このように、中間ステージと最深ステージにおいて調査・研究を繰り返し行うことにより、中間ステージにおいて適用する調査・解析・評価技術や工学技術などを、最深ステージの開始までに評価および改良することができ、それらの技術の高度化を図ることが可能となる。さらに、異なる地質環境条件において合理的かつ効果的な調査・研究を実施することにより、上記の技術の適用性・有効性を確認することができる。

なお、研究坑道などのレイアウト案については、今後、「市有地」において取得する深部地質環境に基づき、随時見直すこととする。

(2) 地上施設の概要

地上施設は、立坑掘削に用いる櫓を収納した掘削タワーと巻上機、掘削に伴い必要となる給排水設備、換気設備、コンクリートプラント、濁水処理プラントなどの付帯設備や、作業全体にかかわる設備としての受電設備、非常用発電機、資材置場、火工所、現場事務所などからなる。

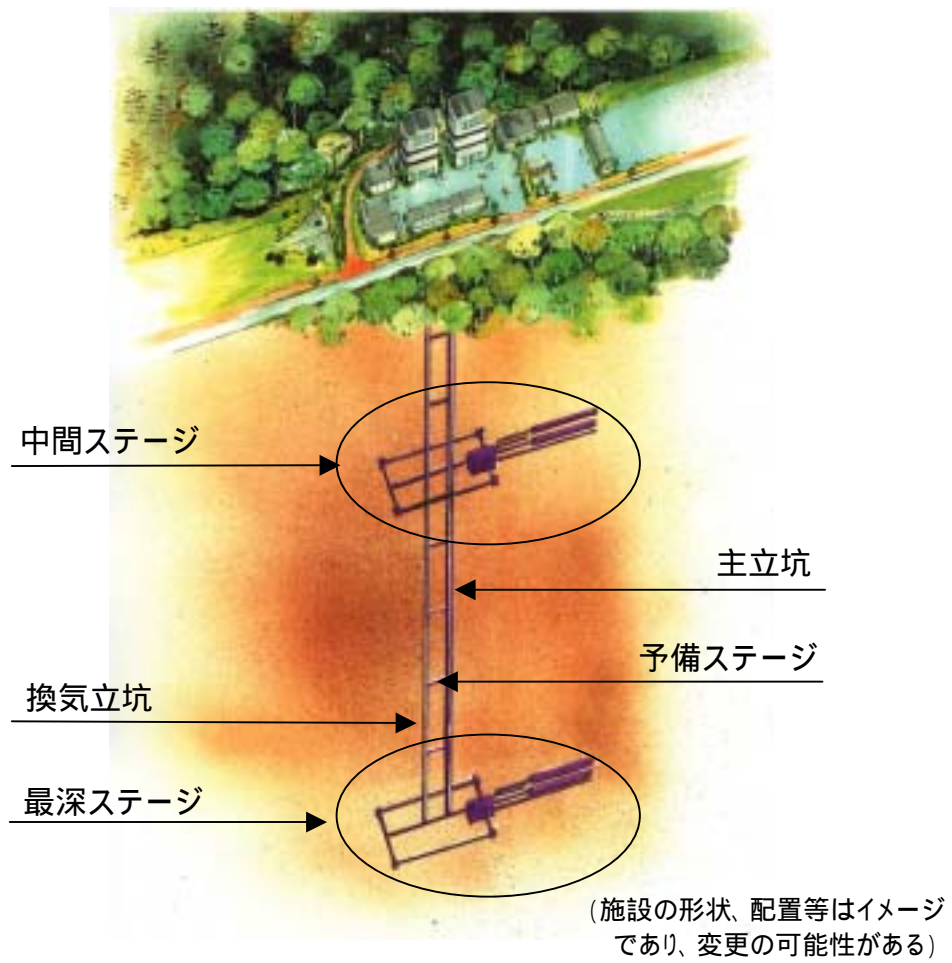


図3 超深地層研究所の施設レイアウト(案)

5 超深地層研究所計画の運営

5.1 超深地層研究所計画の組織体制

超深地層研究所計画の組織体制は研究段階ごとに整備される。これまでの地表からの調査予測研究段階においては、調査・研究の計画・調整や評価などの全体管理を担当するグループと各分野の調査・研究を実行するグループとが相互に連携を図り、超深地層研究所計画を進めてきた。これらのグループに加え、研究坑道の掘削を伴う研究段階への展開に向け、研究坑道の設計や工程管理などを担当するグループも設置され、超深地層研究所の建設と調査・研究との調整などが図られてきている。今後はさらに、東濃地科学センターにおいては、組織の整備を図り、超深地層研究所計画を着実に進めていく予定である。また、幌延深地層研究計画(サイクル機構, 1998)の進展も考慮しつつ、東濃地科学センター、東海事業所および本社の関係部署が技術的な協力関係をより一層強化していくことが重要である。

一方、超深地層研究所計画を効率的に、かつ透明性をもって進め、科学的・技術的により高度なものとするためには、外部の委員会や学会などの場において様々な外部の専門家による評価や助言などを受けることが必要である。これまでに、「研究開発課題評価委員会」において、地表からの調査予測研究段階における調査・研究の計画、実施状況および研究坑道の掘削を伴う研究段階における調査・研究の計画についての評価が行われてきた(サイクル機構研究開発課題評価委員会, 2000a, b)。また、2000年3月には「深地層の研究施設における研究計画等検討部会」が設置され、この検討部会において、地表からの調査予測研究段階における2000年度までの成果ならびに2001年度までの調査・研究計画についての技術的な検討が行われた。今後も、上記の委員会ならびに検討部会を定期的に開催するとともに、国内外の学会などの場において調査・研究の計画や成果などを公表し、技術的な助言を求めていく。

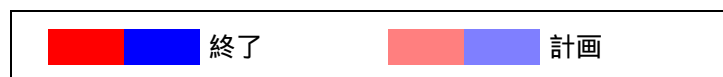
超深地層研究所における地層科学研究は、地質学、水理学、地球化学、岩盤力学などの基礎的な研究分野にまたがる極めて学術的な研究である。また、高度な土木工学の技術などを用いることが必要なため、国際協力を含め関係する研究機関や大学などとの協力を進めていくことが重要である。これまでに、スイス放射性廃棄物処分協同組合(Nagra)ならびに米国サンディア国立研究所(SNL)との国際共同研究の実施や、スウェーデン原子燃料廃棄物管理会社(SKB)およびカナダ原子力公社(AECL)からの国際特別研究員の受け入れなどを行ってきている。今後も、国内外の研究機関や大学などとの協力関係を継続する。また、深地層は物質の貯蔵や人間活動など空間利用の場としても期待されていることから、超深地層研究所をサイクル機構の研究施設としてのみ利用するのではなく、広く外部の研究者にも提供される研究の場としても活用していく。また研究所は、建設段階から安全確保を図りながら公開していく予定であり、児童・生徒の学習の場としても活用できるよう整備し、積極的に開放していく計画である。

5.2 超深地層研究所計画のスケジュール

超深地層研究所計画においては、基本的に、研究段階ごとに調査・研究計画の策定、調査・研究の実施および調査・研究成果の評価を実施する。全体の期間は約 20 年であり、そのスケジュールは表 1 に示すとおりである。本スケジュールについては、本計画や研究段階ごとの計画の見直し・改訂に伴い、必要に応じて見直すこととする。

表 1 超深地層研究所計画のスケジュール

年度	1996 H8	1997 H9	1998 H10	1999 H11	2000 H12	2001 H13	2002 H14	2003 H15	2004 H16	2005 H17	2006 H18	2007 H19	2008 H20	2009 H21	2010 H22	2011 H23	2012 H24	2013 H25	2014 H26	2015 H27	
調査・研究																					
第 1 段階	■					■															
第 2 段階					■					■											
第 3 段階												■									
施設の設計・建設																					
研究坑道																					
概要設計(設計研究)		■																			
詳細設計・調整設計				■		■															
立坑坑口準備								■													
立坑掘削										■		■									
中間・最深ステージ															■						



参考文献

OECD/NEA(1991): Review of Safety Assessment Methods, A Report of the Performance Assessment Advisory Group of the Radioactive Waste Management Committee, OECD Nuclear Energy Agency.

動力炉・核燃料開発事業団(1992): 立坑掘削影響試験ワークショップ - 発表論文集 -, 動燃事業団技術資料, PNC TN7410 92-052.

動力炉・核燃料開発事業団(1995): 東濃とその周辺地域のウラン資源, 動燃事業団技術資料, PNC TN7420 95-005.

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

動力炉・核燃料開発事業団(1997): 広域地下水流動研究基本計画書, 動燃事業団技術資料, PNC TN7020 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(平成6年6月24日).

原子力委員会(2000): 原子力の研究, 開発及び利用に関する長期計画(平成12年11月24日).

原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会(2000): 我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術的信頼性の評価(平成12年10月11日).

核燃料サイクル開発機構(1998): 深地層研究所(仮称)計画 平成10年10月.

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 -, サイクル機構技術資料, JNC TN1410 99-020 ~ -024.

核燃料サイクル開発機構(1999b): 釜石原位置試験総括報告書, サイクル機構技術資料, JNC TN7410 99-001.

核燃料サイクル開発機構(1999c): 超深地層研究所地下施設の設計研究[平成10年度], サイクル機構技術資料, JNC TN1400 99-001.

核燃料サイクル開発機構(2000a): 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, サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2000-001.

核燃料サイクル開発機構(2000b):広域地下水流動研究の現状-平成4年度~平成11年度-,サイクル機構技術資料,JNC TN7400 2000-014.

核燃料サイクル開発機構(2001a):超深地層研究所計画の現状-平成8年度~平成11年度-,サイクル機構技術資料,JNC TN7400 2001-001.

核燃料サイクル開発機構(2001b):超深地層研究所地層科学研究基本計画,サイクル機構技術資料,JNC TN7410 2001-009.

核燃料サイクル開発機構研究開発課題評価委員会(2000a):平成11年度研究開発課題評価(事前評価)報告書,評価課題「深地層の研究施設における研究計画」,サイクル機構技術資料,JNC TN1410 2000-002.

核燃料サイクル開発機構研究開発課題評価委員会(2000b):平成12年度研究開発課題評価(中間評価)報告書,評価課題「深地層の研究施設における研究計画」-主に超深地層研究所計画第2段階の計画案について-,サイクル機構技術資料,JNC TN1410 2000-010.

三枝博光,前田勝彦,稲葉 薫(2001):水理地質構造モデル化概念の違いによる深部地下水流動への影響評価(その6)-不連続構造の水理特性及び水理学的境界条件に着目した水理地質構造のモデル化及び地下水流動解析-,亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム発表論文集,pp.299-308.

澤田 淳,三枝博光,竹内真司,中野勝志,井尻裕二(2001):水理地質構造モデル化概念の違いによる深部地下水流動への影響評価(その1)-複数の概念モデル化手法による不確実性の検討-,亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム発表論文集,pp.249-258.

見掛信一郎,杉原弘造,永崎靖志(2000):地下1,000mに研究坑道を掘る,東濃地科学センター超深地層研究所計画,トンネルと地下,第31巻,pp.1163-1171.

1 概要

地表からの調査予測研究段階では、「市有地」における研究坑道建設前の地質環境特性を詳細に把握するための、様々な調査・研究が地表から実施される。地表では地質調査、物理探査ならびに表層水理調査を実施するとともに、深度1,000 m級の試錐孔を掘削し、その試錐孔における検層、水理試験や力学試験などにより深部地質環境に関する各分野の情報を取得する。あわせて、岩芯を用いた室内試験なども実施する。

これらの調査・研究によって得られた情報に基づき、また、正馬様用地を対象として構築される地質環境モデルや、広域地下水流動研究で構築される「市有地」を包含する広い領域の地質環境モデルなども活用して、研究坑道を掘削する「市有地」に関する地質・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ける地質環境モデル(施設スケール)を構築する。また、この地質環境モデルに基づいて、研究坑道掘削前の深部地質環境の状態を推定する。

一方、上記の調査・研究により取得した深部地質環境に関する情報などをもとに、坑道の掘削を伴う研究段階における具体的な調査・研究計画、および坑道を利用した研究段階における概略的な調査・研究計画を策定し、研究坑道の詳細レイアウトを決定する。あわせて、実際に適用する施工技術ならびに機械・設備を選定し、具体的な施工計画を決定する。研究坑道の施工は、研究坑道掘削前の地質環境を可能な限り乱さないように配慮する。また、研究坑道の掘削に伴う深部地質環境の変化を効果的に把握できるように観測機器の配置などを検討する。本段階における調査・研究の目標は以下のとおりである。

地表からの調査・研究による地質環境モデルの構築および研究坑道掘削前の深部地質環境の状態の把握

研究坑道の詳細設計および施工計画の策定

研究坑道の掘削を伴う研究段階の調査・研究計画の策定

地表からの調査予測研究段階については、当初の段階計画の見直しにより、正馬様用地における地質環境特性の把握に重点をおいた第1段階前半(1996～1999年度)、および各分野の調査・研究成果の統合化を図る第1段階後半(2000～2002年度)に分けて調査・研究を進めることとしていた(サイクル機構, 2000a)。これまでの第1段階前半においては、段階計画に基づき各分野の調査・研究を実施し、正馬様用地における地質環境特性に関する様々な成果が得られてきた。さらに、第1段階前半の成果を踏まえ、残された調査・研究課題を達成すべく、正馬様用地において第1段階後半の調査・研究を進めてきた(サイクル機構, 2001)。

今後は、これまで正馬様用地で行ってきた研究の成果を反映し、「市有地」において第1段階の調査・研究を効率的かつ合理的に進める。また、正馬様用地においては、これまで蓄積してきた深部地質環境の情報や試錐孔などの研究資源を利用した要素技術開発を継続して行う。

2 正馬様用地における調査・研究の成果の概要

正馬様用地では、地質環境特性の把握に重点をおいた第1段階前半として、電磁探査や反射法弾性波探査などの物理探査、表層水理調査、3本の試錐孔(深度約1,000 m、MIU-1、MIU-2およびMIU-3号孔)の掘削とその試錐孔における検層、水理試験、力学試験、岩芯観察および岩芯を用いた室内試験、ならびに本計画以前に掘削された試錐孔を用いた間隙水圧の長期観測を実施し、深部地質環境に関する多くの情報を取得した。これらの情報と既存の情報をを用いて、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段階的にモデル化を行い、調査・解析手法の適用性を確認してきた(サイクル機構, 2001; 三枝ほか, 2001)。

また、各分野の調査・研究成果の統合化を図る第1段階後半として、地表から下向き60°の試錐孔(掘削長約790 m、MIU-4号孔)の掘削とその試錐孔における検層、水理試験、力学試験、採水、岩芯観察および岩芯を用いた室内試験を行った。

本節では、正馬様用地における調査・研究において得られた、各分野の調査・研究のおもな成果(施設スケールの地質構造モデル、水理地質構造モデルならびに岩盤力学モデルの構築など)について示す。なお、MIU-4号孔の試錐調査結果は現在解析中であり、これまでに明らかとなった成果を示した。

(1)地質・地質構造に関する調査・研究

調査の種類・量、解析・評価の方法と結果の精度との関係を事例的に確認するため、深部地質環境に関する既存の情報(本計画以前に掘削された試錐孔(AN-1ならびにAN-3号孔)において取得した情報を含む)を用いた地質構造モデル、およびそのモデルに本計画における試錐調査(MIU-1、MIU-2ならびにMIU-3号孔)により取得した情報を加えた地質構造モデルを構築した(図A-1:サイクル機構, 2001)。

既存の情報に基づく地質構造モデルの構築にあたっては、割れ目(あるいは、割れ目帯)の分布に関する情報が試錐孔周囲にのみ限定されており、その空間的分布や連続性などについては十分な情報が得られなかった。結果として土岐花崗岩体は風化部とそれ以外の岩盤に二分されただけである。一方、本計画における試錐調査などの結果、土岐花崗岩体は黒雲母花崗岩相と優白質花崗岩相から成ることが明らかとなり、地質構造モデルには二つの岩相の分布とともに、物理探査ならびに試錐調査により推定された上部割れ目帯、健岩部および月吉断層に付随する割れ目帯の分布が表現された。

第1段階前半における地質構造モデルの構築により、研究実施領域における地質構造として、表層の未固結砂礫層(瀬戸層群)、3層に区分される堆積岩層(瑞浪層群)、土岐花崗岩体の黒雲母花崗岩相ならびに優白質花崗岩相の分布を把握することができた。また、地下水の流動や水質形成などを規制すると考えられる主要な地質構造要素として、土岐花崗岩体上部の風化部、上部割れ目帯、月吉断層およびそれに付随する割れ目帯が抽出でき、その分布も可視化することができた。

第1段階後半に行ったMIU-4号孔試錐調査では、第1段階前半に構築された地質構造モデルにおけるそれらの推定位置と、堆積岩と土岐花崗岩の不整合、土岐花崗岩体上部の風化部および月吉断層の位置の違いは約20 m程度以内であった。また、上部割れ目帯や月吉断層に付随する割れ目帯のほか、既存の地質構造モデルでは推定されていない断層が認められている。高透水性割れ目(帯)の分類や試錐孔との遭遇率を含めた割れ目の

解析などは、今後継続して行われる。

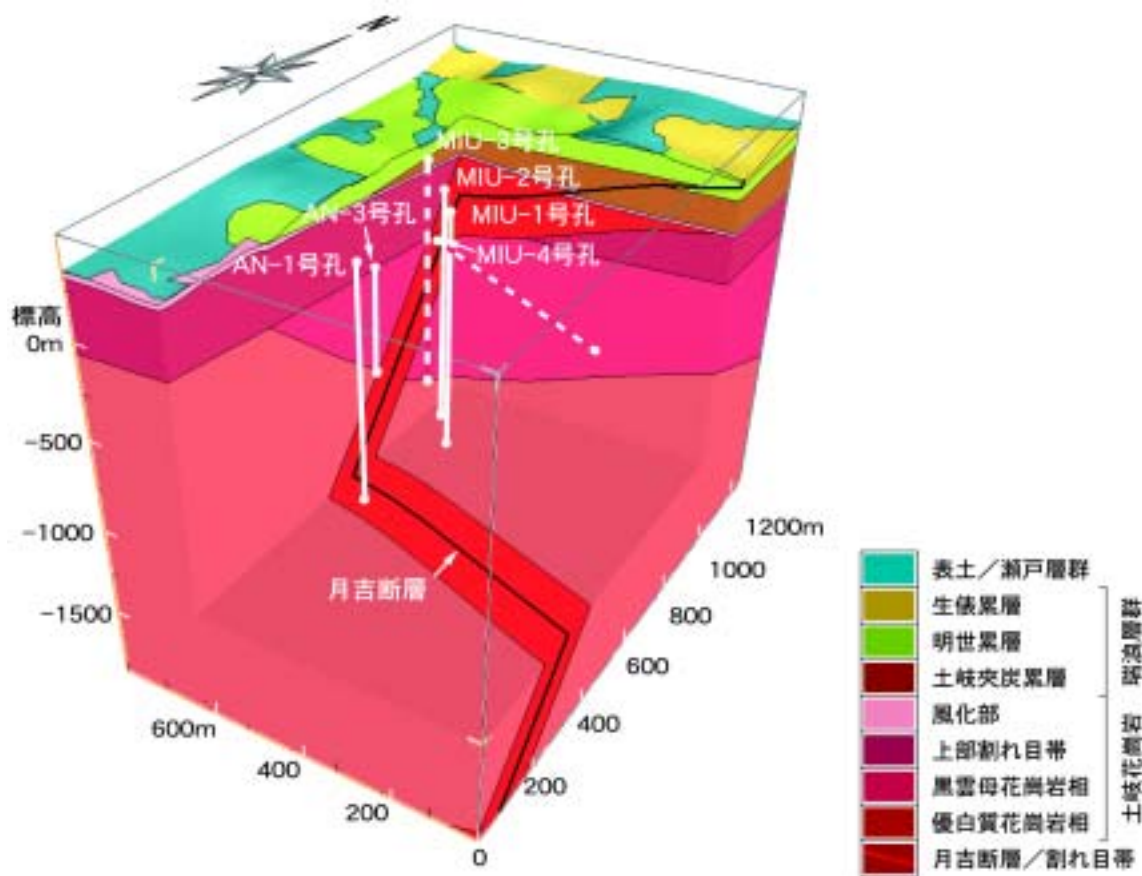


図 A-1 正馬様用地における地質構造モデル

(2)地下水の水理に関する調査・研究

第1段階前半に行われた表層水理調査においては、地下水流動解析における上部境界条件である地下水涵養量の設定および解析結果の妥当性を確認するための情報の取得を目的として、研究実施領域内の河川流量や気象パラメータなどの観測を実施した。その結果、地下水涵養量は降水の数%～十数%程度であることが明らかになった。また、深層水理調査においては、MIU-1、MIU-2 ならびに MIU-3 号孔における水理試験により、研究実施領域内の地下水位、土岐花崗岩健岩部、透水性割れ目および月吉断層の水理学的特性(透水性など)を把握した。

上記の結果に基づく水理地質構造モデルの構築および地下水流動解析(研究実施領域の地下水流動場を精度良く把握するために、研究実施領域を包含する数 km 程度の領域を対象)は、前述の地質・地質構造に関する調査・研究と同様に、既存の情報に基づく場合と本計画において取得した情報を加えた場合のそれぞれについて実施し、割れ目などの不連続構造を表現していない初期の水理地質構造モデルと、割れ目などの不連続構造を表

現した水理地質構造モデルを用いた地下水流動解析の結果を比較した。その結果、割れ目などの不連続構造に起因する、土岐花崗岩中の不均質な物性分布を等価な連続体モデルで表現することにより、研究坑道(とくに主立坑)の掘削時に、透水性割れ目の分布の傾向に沿った不規則な水頭低下領域が生じることが推定された。また、月吉断層の遮水機能についても、これまでの推定結果と整合する結果が得られたことから、透水性割れ目や断層などの不連続構造(地質構造要素)を含む数百 m ~ 数 km 程度の領域を対象とした地下水流動解析においては、上記の連続体モデルにより、現実的に地下水流動を推定できることが示された。

さらに、対象となる場の理解不足による不確実性が地下水流動解析の結果に及ぼす影響とその因子を確認するため、複数の水理地質構造モデルに基づき地下水流動解析を行った。その結果、地形の起伏に支配される地下水の主流動方向に対する断層などの不連続構造の位置関係や透水性のモデル化の違いが、流動経路などの解析結果に大きな影響を与えることが明らかとなった(たとえば、澤田ほか, 2001)。

第1段階後半に行ったMIU-4号孔試錐調査では、地質・地質構造に関する調査・研究で行われた岩芯観察、物理検層に加え、流体検層および水理試験により、高透水性割れ目(帯)が確認されるとともに、それらの透水性が確認された。

(3)地下水の地球化学に関する調査・研究

正馬様用地では、唯一MIU-4号孔においてのみ地下水の採水や化学分析が行われた。その結果では、月吉断層上盤の土岐花崗岩中の地下水が、弱アルカリ性(pH 9~10)で $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$ 型であり、また、酸化還元状態は深度に依存せずばらついていた(Eh:-300~0mV)。また、これまで正馬様用地で行われた試錐調査(MIU-1,2,3号孔)により得られた土岐花崗岩の $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 量比の深度分布を検討した結果、深度約300mまでは Fe^{3+} の割合が高いのに対して、深度300m以深では Fe^{2+} の割合が高くなっていた。このことは、正馬様用地における土岐花崗岩体において鉄の化学種の酸化還元境界が深度300m付近にある可能性があることを示すものと考えられた。

一方、東濃鉱山とその周辺において実施している広域地下水流動研究により、研究実施領域周辺の土岐花崗岩中における浅部(深度約300mまで)の地下水は中性(pH 7)かつ酸化性(Eh>0 mV)で $\text{Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-HCO}_3^-$ 型であるのに対し、より深部にいくにしたがい、地下水は弱アルカリ性(pH 9~10)かつ還元性(Eh<-300 mV)で $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$ 型へと変化するなどが明らかとなっている(サイクル機構, 2000b)。正馬様用地での結果は、広域地下水流動研究で得られた結果と概ね整合しているものの、MIU-4号孔におけるEhの計測結果がばらつく原因などについては、さらに詳細な検討が必要である。

(4)岩盤の力学に関する調査・研究

正馬様用地における土岐花崗岩の物性値は、一軸圧縮強度が100~200 MPa、ヤング率が30~60 GPaであり、日本の花崗岩の平均的な値とほぼ同じである。また、物性値の深度分布には、割れ目の分布に対応し深度300m付近と深度700m付近において変化が認められる(松井, 1999)。初期応力については、鉛直方向の地圧は土被り圧とほぼ一致しており、その深さ方向の勾配は0.026~0.027 MPa/m程度である。水平面内の最小主応力値は概ね鉛直方向の値と等しく、水平面内の最大主応力値は最小主応力値の1.5~2倍程度である。また、水平面内の最小主応力および最大主応力の値も、深度300m付近と700m付近を境に急激に変化している。水平面内の最大主応力の方向は、地表付近では南北方向

を示すのに対して、深度 300 m 以深では北西・南東方向を示し、三角測量から得られた東濃地域における最大圧縮ひずみの方向と概ね一致する(サイクル機構, 1999a)。

上記の結果に基づく岩盤力学モデルの構築は、前述の地質・地質構造ならびに地下水の水理に関する調査・研究と同様に段階的に情報を加え、それぞれの場合について実施し、岩盤の力学的特性についての理解度を段階的に向上してきた結果、土岐花崗岩体は力学物性(物理特性、変形特性、強度特性)および応力状態の異なる三つの領域(地表～深度約 300/400 m、深度約 300/400～700 m、深度約 700～1,000 m)に区分できることが明らかになった。

(5)調査技術・調査機器に関する研究

各分野の調査・研究において必要と考えられる調査技術・調査機器の開発について、以下に本段階前半におけるおもな成果を示す。

- ・試錐掘削にかかわる技術開発として、孔壁の崩壊を最小限にとどめるリバー式三重管ワイヤライン工法の設計、および局所的な孔内崩壊に対応できる部分保孔装置の開発を行った。
- ・地質構造調査にかかわる技術開発として、試錐孔を利用した弾性波トモグラフィ調査に用いる非破壊震源の開発を行った(サイクル機構, 1999d)。
- ・地下水の水理学的特性・地球化学的特性調査にかかわる技術開発として、1,000 m 対応および高温(70)対応の水理試験装置、地下水の地球化学的特性調査機器、揚水試験装置およびモニタリング装置を製作した(サイクル機構, 1999e, f; サイクル機構, 1998b, 1999g)。
- ・岩盤の力学的特性調査にかかわる技術開発として、1,000 m 対応初期応力測定装置を設計し、装置の一部製作を行った。
- ・次段階以降に必要な調査技術・調査機器の開発として、連続波レーダー調査技術(サイクル機構, 1998a)およびトモグラフィデータ解析手法に関する技術的検討を実施した。
- ・取得情報の効率的な運用・管理およびモデル化にかかわる技術開発として、データベースシステムおよび三次元的可視化システムをそれぞれ構築し、それらのシステムの運用を継続している。

(6)深地層における工学技術に関する研究

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考慮し、研究坑道の掘削を伴う研究段階ならびに研究坑道を利用した研究段階において実施する必要がある調査・研究項目を選定した(サイクル機構, 1999b)。また、それらの調査・研究項目に基づいて研究坑道の展開手順や仕様の決定方法などについて検討を行うとともに、これまでに正馬様用地において取得した深部地質環境に関する情報に基づき、研究坑道のレイアウト案を提示した。さらに、このレイアウト案をもとに現実的な研究坑道の施工計画案(見掛ほか, 2000)を作成した。

3 地表からの調査・研究の計画

第1段階における調査・研究は既存のあるいは新たに開発される解析・評価手法を適用し、基本的に一連のプロセス(概念の提示 計画の立案 調査の実施 モデルの構築および解析 評価)の繰り返しにより実施される。各分野における調査は、「市有地」において地表から行われる。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る。したがって、それぞれの調査・研究の精度の向上を図り、合理的かつ効果的な調査・研究を進めることが重要である。

本節では、第1段階目標 ~ の達成に向け、「市有地」において実施する第1段階の研究成果の統合化ならびに各分野の調査・研究の計画について示す。

3.1 研究成果の統合化

「市有地」における地表から地下深部までの地質環境に関する情報や知見などについては、分野ごとに取りまとめを行うとともに、分野間の横断的な議論および解釈をとおして分野間における成果の関連ならびに整合性を確認する。これにより、地質環境モデルが構築され、研究実施領域における深部地質環境の総合的な理解が促進される。また、構築した地質環境モデルを用いて、研究坑道掘削前の深部地質環境が推定される。

一方、地表からの調査・研究に必要とされる要素技術については、それぞれ高度化を図りつつ、その有効性を確認する。また、取得した情報と利用可能な解析・評価手法を用い、深部地質環境の評価に至る一連のプロセスを繰り返し実施する。その過程で「市有地」において評価すべき項目を抽出し、その項目の重要度を段階的に把握するとともに、調査の種類・量、解析・評価の手法および結果の精度との関係を事例的に明らかにする(図 A-2)。これにより、深部地質環境を評価するための調査・解析・評価手法を段階的に整備する。

具体的には、次段階以降の調査・研究計画の策定、研究坑道の詳細設計および地層処分研究開発で行われる核種移行解析を、地表からの調査・研究で得られる情報の出力先として設定し、具体的なアウトプットを明確にする。そして、調査・研究を進める過程で、何のデータ(入力情報)をどのような手法(調査手法および解析手法)で取得・解釈をするとともに、分野間での横断的な解釈やモデル化をどのような考え方(モデル化手法)で進めれば、地質環境をどこまで理解または推定でき、最終的なアウトプットに到達できるのかという方法論を、事例的に示すこととなる。

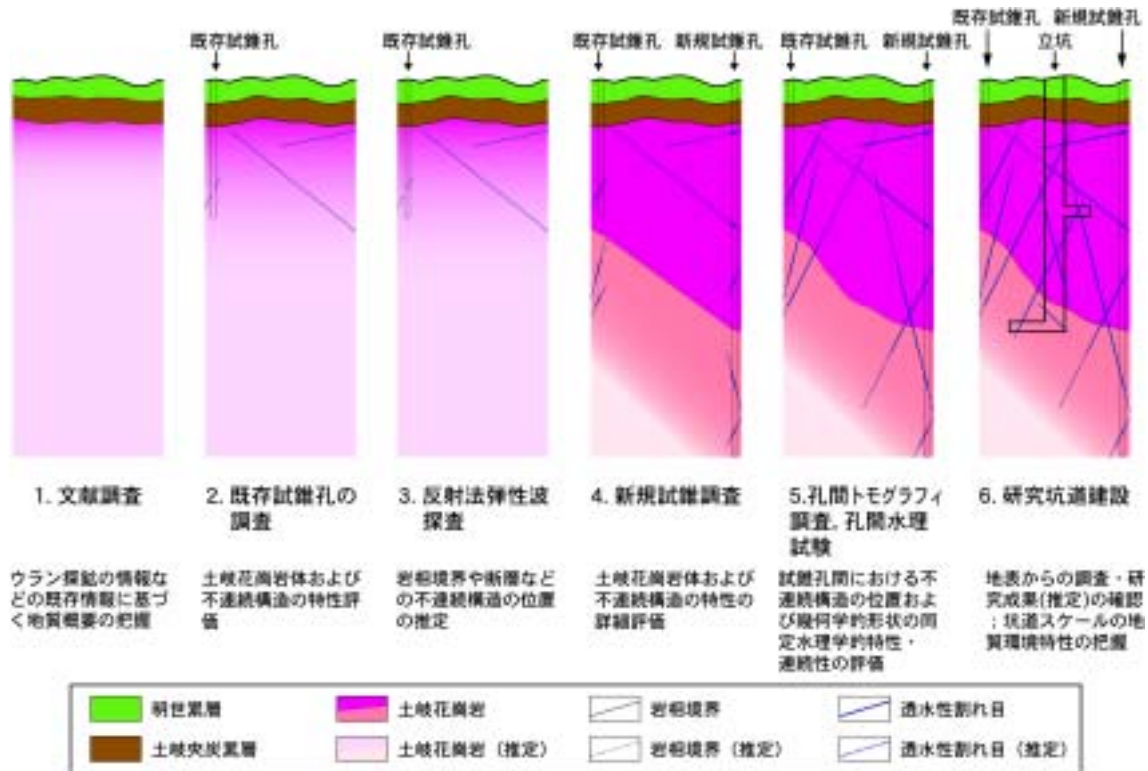


図 A-2 「市有地」における第 1 段階の調査・研究の進め方(概念)

3.2 地質・地質構造に関する調査・研究

3.2.1 第 1 段階の目標

「市有地」の地質・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同定し、地質構造モデル(施設スケール)を構築する。

3.2.2 第 1 段階の調査・研究

地上物理探査(反射法弾性波探査)、浅層および深層を対象とした試錐孔を利用した調査・研究(岩芯観察、物理検層、VSP 調査、トモグラフィ調査など)や岩芯を用いた室内調査などにより、「市有地」における地質・地質構造を把握する。とくに、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(岩相、風化帯、変質帯、透水性割れ目、断層、岩脈など)に着目し、その分布および性状を詳細に把握する。また、岩芯を用いた室内調査や後述する地下水の採水・分析の結果などにより、酸化還元領域を把握する。これらの調査・研究においては、土岐花崗岩体に関する既存の地質学的情報をもとにした地質構造モデル(施設スケール)の構築を出発点とし、調査・研究ごとに、段階的に、地質構造モデルの妥当性の評価およびモデルの更新を行う(図 A-2)。最終的に、研究坑道周辺の地質構造要素の三次元的な地質構造モデルを構築する。

(1)地質・地質構造に関する情報の取得

地上物理探査

「市有地」およびその周辺において探査測線を設け、地上物理探査(反射法弾性波探査)を行い、その結果を、地質構造モデル(施設スケール)の構築に反映するとともに、試錐調査の位置を決めるための基礎情報とする。探査測線は、既存の情報(既存地質図、リニアメント判読結果、地表における割れ目調査など)に基づき設定する。あわせて、地表地質踏査を「市有地」周辺で行う。

試錐調査

堆積岩および花崗岩浅部の地質・地質構造に関する情報を取得するため、浅層を対象とした新規試錐孔において、物理検層、ボアホールテレビ調査、岩芯観察などを行う。既存試錐孔の岩芯観察、物理検層およびボアホールテレビ調査を行うとともに、本試錐孔でこれまで取得された物理検層、ボアホールテレビ調査、岩芯観察、鉱物試験などの結果を含めて再解析を行う。また、深層を対象とした新規試錐孔および取得した岩芯を利用して、物理検層、ボアホールテレビ調査、岩芯観察、鉱物試験などを実施する。さらに、これら既存の試錐孔および新規に掘削する試錐孔において VSP 探査を行う。これらの情報は、地質構造モデル(施設スケール)の構築に反映する。

孔間トモグラフィ調査

既存試錐孔および新規試錐孔において、孔間トモグラフィ調査を行い、2 つの試錐孔間の地質・地質構造(とくに、試錐孔調査で確認された地質・地質構造の連続性)に関する情報を取得し、地質構造モデル(施設スケール)の構築に反映する。

(2)地質構造モデル(施設スケール)の構築

地質構造モデル(施設スケール)は、「市有地」において、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の空間的分布を視覚的に示すものであり、水理地質構造モデル(施設スケール)などの基礎となるものである。地質構造モデル(施設スケール)の構築にあたっては、考慮すべき地質構造要素の種類や規模などを明確にする必要がある。

本段階においては、まず、既存の情報に基づき地質構造モデルを構築する。また、地上物理探査、新規に掘削する試錐孔における調査、孔間トモグラフィ調査の結果に基づき、地質構造モデル(施設スケール)の妥当性の評価および更新を繰り返し行い、本段階における最終的な地質構造モデル(施設スケール)を構築する。くわえて、岩芯を用いた室内調査や後述する地下水の採水・分析の結果などにより、酸化還元領域を把握し、地質構造モデル(施設スケール)の構築に反映する。

この地質構造モデル(施設スケール)は研究坑道建設前の未擾乱の深部地質環境を示すものであり、その妥当性については、研究坑道を掘削しつつ取得する地質・地質構造に関する情報に基づき評価する。

(3)調査・解析・評価手法の整備

調査・研究の進展に伴う情報の種類・量と地質構造モデル(施設スケール)の詳細度およ

び精度との関係を把握する。これにより、「市有地」における地表からの調査・研究により、評価すべき地質構造要素、その分布や規模などを明らかにする。また、「市有地」における地質・地質構造(地質構造要素を含む)を合理的かつ効果的に評価するための調査・解析・評価手法を例示する。

3.3 地下水の水理に関する調査・研究

3.3.1 第1段階の目標

地質構造モデル(施設スケール)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(施設スケール)を構築する。このモデルを用いて、「市有地」における研究坑道建設前の地下水流動場を推定する。

3.3.2 第1段階の調査・研究

試錐孔における水理試験(単孔式および孔間水理試験)や表層水理観測などにより、地質構造モデル(施設スケール)で表現された地質構造要素の水理学的特性ならびに水理学的連続性を把握し、水理地質構造モデル(施設スケール)を構築する。また、このモデルを用いて地下水流動解析を行い、「市有地」における研究坑道建設前の地下水流動場の状態を推定する。また、このモデルを用いて研究坑道掘削に伴う地下水流動場の変化(研究坑道への流入量、研究坑道周辺の地下水圧の変化など)を推定し、研究坑道の詳細設計や次段階以降の調査・研究計画の策定に反映する。

(1)地下水の水理に関する情報の取得

表層水理調査

堆積岩および花崗岩浅部における研究坑道掘削前の地下水流動場を推定するとともに、第2段階以降に掘削する研究坑道による地下水流動場の変化を確認していく観測孔とするため、浅層を対象とした試錐調査を行う。本段階では、新たに掘削する試錐孔(深度 200 m 程度)において、地質・地質構造に関する調査・研究で行う物理検層、ボアホールテレビ調査、岩芯観察などとあわせて、水理試験(単孔式水理試験、流体検層など)を行う。これらの調査の後、多点式パッカーシステム(以下、MP システム)を設置し、地下水圧の連続観測を行う。

深層水理調査

「市有地」における水理地質構造モデル(施設スケール)を構築するとともに、研究坑道掘削前の地下水流動場(初期状態)を把握するため、既存試錐孔を利用して水理試験(単孔式水理試験、流体検層など)を行う。また、新たに試錐孔を掘削し、改良した 1,000 m 対応水理試験装置を用いて、水理試験(単孔式水理試験、流体検層など)を行う。新たな試錐孔を掘削する際は、既存の試錐孔に設置した MP システムを用いて、試錐孔掘削に伴う圧力応答を観測し、透水性割れ目の水理学的な連続性を把握する。さらに、既存の試錐孔と新たに掘削する試錐孔において孔間水理試験を行い、透水性割れ目の水理学的な連続性を

把握する。これらの情報は、水理地質構造モデル(施設スケール)の構築に反映する。

(2)水理地質構造モデル(施設スケール)の構築および研究坑道掘削前の地下水流動場を推定するための地下水流動解析

水理地質構造モデル(施設スケール)は、地質構造モデル(施設スケール)に水理学的な情報(たとえば、透水係数や空隙率など)を付加して構築され、「市有地」における地下水流動場の状態を推定するための解析に用いる。この水理地質構造モデル(施設スケール)については、既存試錐孔における調査、新規試錐孔における調査、孔間水理試験の結果に基づき、段階的に構築・更新する。本段階で構築した水理地質構造モデル(施設スケール)の妥当性は、研究坑道を掘削しつつ取得する水理学的情報に基づき段階的に評価することとなる。

研究坑道建設前の地下水流動場の状態を推定するための地下水流動解析においては、前述の調査により取得する空間的に限られた情報に基づいて不均質な深部地質環境を推定する必要がある。このため、情報の種類・量、その解釈方法や水理地質構造のモデル化手法などに起因する、地下水流動解析結果の不確実性が生じることは避けられない。したがって、研究実施領域における地下水流動解析にあたっては以下の項目について検討を行う。

- (a)地下水流動の支配要因の抽出方法
- (b)水理地質構造モデル(施設スケール)の構築および地下水流動解析に必要な情報の種類・量
- (c)物性値の空間分布の推定方法
- (d)地下水流動解析手法の選択方法
- (e)水理学的境界条件の設定方法
- (f)地下水流動解析結果の有する不確実性の評価手法

(3)立坑掘削に伴う地下水流動場の変化の推定

研究坑道の詳細設計や次段階以降の調査・研究計画の策定に反映するため、研究坑道掘削に伴う地下水流動場の変化(研究坑道への流入量、研究坑道周辺の地下水圧の変化など)を推定する。立坑掘削に伴う地下水流動場の変化は、構築した水理地質構造モデル(施設スケール)および前述のデータセットに基づき推定する。

(4)調査・解析・評価手法の整備

調査・研究の進展に伴う情報の種類・量と水理地質構造モデル(施設スケール)の詳細度、および地下水流動解析の精度(あるいは、解析結果の不確実性)との関係を把握する。これにより、「市有地」における地表からの調査・研究により、評価すべき項目とその解析・評価手法を明らかにする。また、研究実施領域における研究坑道建設前の地下水流動場の状態の推定、および研究坑道の詳細設計や次段階以降の調査・研究計画の策定に反映するために行う立坑掘削に伴う地下水流動場の変化の推定を合理的かつ効果的に行うための調査・解析・評価手法を例示する。

3.4 地下水の地球化学に関する調査・研究

3.4.1 第1段階の目標

「市有地」における深部地下水の地球化学的特性の三次元的分布を把握し、水・岩石反応試験や熱力学解析などにより、地下水の水質形成を支配する主要な水・岩石反応を抽出し、上記の地下水の採水や化学分析の結果と合わせて現有の地球化学モデル(水質形成モデル;施設スケール)を確認する。

3.4.2 第1段階の調査・研究

既存試錐孔および新規試錐孔における地下水の採水や化学分析などとあわせて、「市有地」における土岐花崗岩中の深部地下水の地球化学的特性(物理化学パラメータ、化学組成および同位体組成)の三次元的分布を把握する。また、水・岩石反応試験や熱力学解析などにより、地下水の水質形成を支配する主要な水・岩石反応を抽出し、上記の地下水の採水や化学分析の結果と合わせて現有の地球化学モデル(水質形成モデル;施設スケール)を確認する。さらに、酸化還元状態に関与する有機物ならびに微生物の種類や存在量などについても情報を取得する。

(1)地下水の地球化学に関する情報の取得

地下水を対象とした地球化学調査

新規試錐孔などにおいて地下水の採水や化学分析を行い、「市有地」における深部地下水の主要溶存成分、微量溶存成分、溶存ガス、環境同位体、微生物および有機物などに関する情報を取得する。なお、必要に応じて、「市有地」における地下水の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、降水および河川水を採取し、それらの地球化学的特性(物理化学パラメータ、化学組成および同位体組成)に関する情報を取得する。

固相を対象とした地球化学調査

前述の地下水を対象とした地球化学調査、ならびに 3.2.2 に示した地質・地質構造に関する調査・研究における固相を対象とした岩石学的・鉱物学的・地球化学的調査および年代測定の結果を基礎情報として、地下水の水質形成を支配する主要な水・岩石反応の抽出、ならびに地下水の年代測定値の補正を行う。抽出した主要な水・岩石反応の妥当性については、水・岩石反応試験や理論解析などの結果との比較をとおして評価する。

(2)地球化学モデル(水質形成モデル;施設スケール)の構築

本段階においては、既存試錐孔および新規試錐孔における調査の結果に基づき地球化学モデル(水質形成モデル;施設スケール)を構築する。地球化学モデル(水質形成モデル;施設スケール)は、地質構造モデル(施設スケール)に深部地下水の地球化学的特性(物理化学パラメータ、化学組成および同位体組成)の三次元的分布とその形成機構を表現するものである。

この地球化学モデル(水質形成モデル;施設スケール)の妥当性については、研究坑道

を掘削しつつ取得する深部地下水の地球化学的特性の三次元的分布や研究坑道掘削に伴うその特性の変化などに関する情報に基づき評価する。

(3)研究坑道掘削前の地下水の地球化学的特性の変化の推定

研究坑道掘削前の深部地下水の地球化学的特性を、構築した地球化学モデル(水質形成モデル;施設スケール)および前述のデータセットに基づき推定する。

(4)調査・解析・評価手法の整備

調査・研究の進展に伴う情報の種類・量と地球化学モデル(水質形成モデル:施設スケール)の詳細度、および地球化学解析の精度(あるいは、解析結果の不確実性)との関係を把握する。また、「市有地」における土岐花崗岩中の深部地下水の地球化学的特性を合理的かつ効果的に行うための調査・解析・評価手法を例示する。

3.5 岩盤の力学に関する調査・研究

3.5.1 第1段階の目標

「市有地」における土岐花崗岩体の力学物性(物理特性、変形特性、強度特性)および初期応力状態を三次元的に把握し、岩盤力学モデル(施設スケール)を構築する。また、このモデルを用いて、研究坑道掘削前の初期応力状態を推定するとともに、研究坑道の詳細設計や次段階以降の調査・研究計画の策定に反映するため、研究坑道掘削に伴う坑道周辺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を推定する。

3.5.2 第1段階の調査・研究

岩芯を用いた室内試験や試錐孔における力学試験(たとえば、水圧破碎法による初期応力測定)などにより、「市有地」における土岐花崗岩の力学物性、割れ目面の力学的特性、および土岐花崗岩の初期応力状態を把握し、「市有地」における三次元的な岩盤力学モデル(施設スケール)を構築する。このモデルを用いて、研究坑道掘削前の応力状態などの初期状態を推定する。また、研究坑道の掘削に伴う坑道周辺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)を推定する。これにより、研究坑道の力学的安定性の評価を行い、研究坑道の詳細設計や次段階以降の調査・研究計画の策定に反映する。

また、岩石ブロックを用いた室内試験を実施し、坑道周辺岩盤の力学的挙動および損傷とそれに伴う岩盤の力学物性の変化を評価するための基礎情報を取得するとともに、それらの現象を定量的に予測するための解析コードを開発する。

(1)岩盤の力学に関する情報の取得

試錐孔を利用した力学的特性調査

既存試錐孔および新規試錐孔の岩芯を用いて、室内応力測定(DSCA法およびAE法)、割れ目試料を用いたジョイントせん断試験などを行う。また、新規試錐孔において力学試験

(たとえば、水圧破碎法による初期応力測定)を行い、「市有地」における土岐花崗岩の力学物性、割れ目面の力学的特性、および土岐花崗岩の初期応力状態を把握するとともに、「市有地」における三次元的な岩盤力学モデル(施設スケール)を構築に反映する。

室内ブロック試験

岩石ブロック(高さ 50 cm × 幅 50 cm × 奥行 30 cm 程度)を用いて、実際の研究坑道の掘削を模擬した室内試験を実施し、応力集中などに伴う坑道周辺岩盤の力学的挙動および損傷とそれに伴う岩盤の力学物性の変化を把握する。さらに、岩石ブロックを用いたせん断試験を実施するとともに、試験後の岩石ブロックから供試体を採取し、応力履歴と空隙構造特性および力学物性との関係を把握する。

(2)岩盤力学モデル(施設スケール)の構築

岩盤力学モデル(施設スケール)は、地質構造モデル(施設スケール)を基礎として、岩盤の力学物性や初期応力の三次元分布などを表現するものであり、研究坑道掘削前に初期応力状態や、研究坑道掘削に伴う坑道周辺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)を推定するために用いる。さらに、研究坑道の詳細設計や施工計画策定などにも反映する。

本段階においては、新規試錐孔における力学試験や既存試錐孔および新規試錐孔の岩芯を用いた室内試験などの結果に基づき、「市有地」の土岐花崗岩の力学物性や初期応力の三次元分布を表す岩盤力学モデル(施設スケール)を構築する。

この岩盤力学モデル(施設スケール)の妥当性については、研究坑道を掘削しつつ取得する岩盤の力学物性や初期応力状態などに関する情報に基づき評価する。

(3)立坑掘削に伴う岩盤の力学的特性の変化の推定

研究坑道の詳細設計や次段階以降の調査・研究計画の策定に反映するため、研究坑道掘削に伴う坑道周辺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)は、研究坑道のレイアウト案に基づき、構築した岩盤力学モデル(施設スケール)および前述のデータセットを用いて予測する。予測すべき具体的な項目については、国外における同様の調査・研究事例などを参考にして抽出する。解析この予測にあたっては、大規模地下空洞掘削時の力学解析に適用実績があり、不連続面の影響を考慮できる数種類の解析モデル(クラックテンソル、MBC、3DEC など)、および Examine3d コード(三次元弾性境界要素法コード)を用いる。さらに、岩石ブロックを用いた室内試験の結果に基づき、新たな解析コードを開発し解析に適用する。

(4)調査・解析・評価手法の整備

調査・研究の進展に伴う情報の種類・量と岩盤力学モデル(施設スケール)の詳細度、および力学解析の精度(あるいは、解析結果の不確実性)との関係を把握する。また、「市有地」における土岐花崗岩体の力学物性および初期応力状態、ならびに研究坑道掘削に伴う坑道周辺岩盤の変形挙動、応力変化や損傷範囲などを合理的かつ効果的に評価するための調査・解析・評価手法を例示する。

3.6 岩盤中の物質移動に関する調査・研究

3.6.1 第1段階の目標

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やその試験結果を用いた物質移行解析などの計画の立案を行う。

3.6.2 第1段階の調査・研究

岩芯を用いた室内調査(たとえば、空隙構造調査)などにより、土岐花崗岩中における物質移行・遅延現象を把握するための基礎情報として、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、空隙構造特性および収着・拡散特性データを整備する。また、天然に存在する核種を用いた調査・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。

(1)岩盤中の物質移動に関する情報の取得

室内調査・試験

既存試錐孔および新規試錐孔の岩芯試料を用い、透水性割れ目中の割れ目充填鉱物層およびその近傍の岩盤を対象とした室内調査・試験を実施し、地球化学的・鉱物学的特性、空隙構造特性および収着・拡散特性に関する情報を取得する。また、対象とする透水性割れ目の水理学的特性や地球化学的的特性などに関する情報についても整備し、物質移行データセットとして取りまとめる。これらの情報に基づき、研究坑道におけるトレーサー試験やその試験結果を用いた物質移行解析などの計画の立案を行う。

天然に存在する核種を用いた調査・研究

岩芯試料を用い、透水性割れ目およびその近傍岩盤における天然ウラン系列核種や希土類元素などの分布や存在量などに関する情報を取得する。また、空隙構造特性などに関する情報も合わせて取得し、透水性割れ目およびその近傍岩盤における地質学的に長期間にわたる物質の移行・遅延(たとえば、マトリクス拡散現象)を把握する。

(2)調査・解析・評価手法の整備

前述の室内調査・試験ごとに物質移行データセットの整備を行い、その一連の作業をとおして、研究坑道におけるトレーサー試験やその試験結果を用いた物質移行解析などに必要な情報の取得手法について最適化を図る。

3.7 調査技術・調査機器に関する研究

3.7.1 第1段階の目標

地表からの調査・研究に必要とされる既存の調査技術・調査機器の高度化を図るとともに、研究坑道の掘削を伴う調査・研究ならびに研究坑道を利用した調査・研究に必要と考えられる調査技術・調査機器を開発する。また、開発された個々の調査技術の適用条件や適用範囲などを明確にする。

3.7.2 第1段階の今後の研究

研究坑道の掘削を伴う研究段階および研究坑道を利用した研究段階において必要と考えられる調査技術・調査機器の開発を実施する。本段階において必要とされる既存技術については、その適用性の確認あるいは部分的な改良を図る。また、必要に応じて新たな技術開発を行う。さらに、地質環境特性の異なる様々な地域への適用を考慮し、これらの技術の適用条件や適用範囲などを明確にする。

以下に各分野の調査・研究において必要と考えられる調査技術・調査機器の概要、ならびに今後の本段階における開発計画について示す。

(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

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ことができるリバース式三重管ワイヤライン工法について、これまでの詳細設計の結果を踏まえ、様々な地質環境への適用を目的とした改良・高度化に関する技術的検討を行う。

部分保孔装置の開発

部分的な孔内崩壊への対策のみならず、新規試錐孔の掘削や既存試錐孔の拡孔などにも対応できる部分保孔装置について、これまでの適用試験の結果を踏まえ、様々な地質環境への適用を目的とした改良・高度化に関する技術的検討を行う。

(2) 地質構造調査技術開発

弾性波トモグラフィ調査技術の開発

深度約 1,000 m の試錐孔を利用し、地下深部における不連続面の広がり把握するための弾性波トモグラフィ調査技術を開発する。本段階においては、反射法や VSP などとの比較・検討をとおして、波形情報を生かした解析技術を開発する。

既存技術の適用性評価

地質構造調査における既存の調査技術の適用結果を取りまとめ、それぞれ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などを明確にする。本段階においては、これまでの予察的な評価結果および新たな調査結果を踏まえ、それぞれの調査技術の比較・

検討をとおして、調査技術の適用条件や適用範囲などを明確にする。

(3)地下水の水理・地球化学的特性調査技術開発

1,000 m 対応 - 水理試験装置および 1,000 m 対応 - 地下水地球化学的特性調査機器の改良・高度化

深度約 1,000 m までの試錐孔における水理試験や地球化学的特性調査が可能な 1,000 m および高温(70)対応の調査機器を開発する。今後は、これまでの調査機器の稼動状況を分析し、点検・整備を含めた調査体系を検討する。

1,000 m 対応 - 揚水試験装置の改良・高度化

深度約 1,000 m までの試錐孔における揚水試験が可能な試験装置の改良・高度化を図る。本段階においては、引き続き、試錐調査において 1,000 m 対応揚水試験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の品質の向上を目的とした改良、および流量計を手動からデジタル式に代えるなどの試験の効率化を目的とした改良を実施する。また、「市有地」において深度 1,000 m 以深のデータを取得するため、本試験装置を深度 1,500 m まで対応可能な装置に改良する。

1,000 m 対応 - 地下水長期モニタリング装置の開発

深度約 1,000 m までの試錐孔を利用し、高差圧が発生するような水理学的条件下において、間隙水圧の分布を長期間にわたり連続測定することが可能な長期モニタリング装置を開発する。本段階においては、これまでの適用試験の結果を踏まえ、操作性の向上などの実用化に向けた改良方針および装置製作にかかわるコスト低減の方策について検討を行う。

水理試験データの解析手法の高度化

複雑な水理場における水理試験の結果を精度良く解析できる手法、ならびに土岐花崗岩体を対象とした水理学的調査・研究に適用できる調査・解析・評価技術を開発する。本段階においては、これまで検討した、複雑な水理場に適用可能な解析式を試錐調査における水理試験に適用し、その有効性を評価する。また、水理試験手法の選択から水理試験結果の解析までの調査・解析・評価技術について検討し、試錐調査における水理試験に適用する。

(4)岩盤の力学的特性調査技術開発

深度約 1,000 m までの試錐孔を利用し、応力解放法による岩盤の初期応力測定が可能な装置(1,000 m 対応初期応力測定装置)を開発する。本段階においては、これまで製作した残りの部分(たとえば、データ収録部)を製作し、室内において性能試験を実施する。その後、必要に応じて改良を行い、最終的には既存試錐孔において適用試験を行う。

(5)次段階以降に必要な調査技術・調査機器の開発

連続波レーダー調査技術の開発

信号に連続波を用い、数十 m 以上のスケールの探査に適用できるレーダートモグラフィ調査技術を開発する。本段階においては、アンテナ特性などに関する基礎試験を継続する。

また、探査距離の拡大と空間分解能の向上の両立を図るため、使用周波数のより低い周波数領域への拡大、および合成開口処理や存否セプストラム解析などの適用について検討する。

地質環境のリモートモニタリング技術の開発

高分解能と大可探深度の両立を図り、深部地質環境のリモートモニタリングを行うための、ACROSS (Accurately Controlled Routinely Operated Signal System) と合成開口処理技術を基盤とする弾性波および電磁探査技術を開発する。本段階においては、研究坑道の掘削を伴う研究段階において実施する、既存の調査機器を利用した弾性波および電磁 ACROSS の送受信アレイ観測試験の事前準備を行う。

研究坑道壁面調査システムの開発

研究坑道の掘削に伴う坑道壁面の地質学的観察を効率的に行うためのシステムを開発する。本段階においては、実用段階にある既存のトンネル切羽調査システムを、研究坑道の掘削を伴う研究段階において適用するための技術的検討を行う。

正弦波水理試験システムの開発

研究坑道の掘削に伴い変化する複雑な水理学的条件下においても、岩盤の水理学的特性を把握することが可能な水理試験システムを開発する。本段階においては、釜石原位置試験研究における正弦波水理試験システムの適用試験結果(竹内ほか, 1998)を踏まえ、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学的特性の空間的分布の推定方法などの試験結果の解析手法について検討する。

トモグラフィデータの解析手法の高度化

研究坑道から掘削する複数の試錐孔を利用して実施するトモグラフィ調査において、地下深部の不連続構造の広がり精度良く把握するための、データ解析手法について高度化を図る。本段階においては、これまで実施した弾性波トモグラフィの分解能の向上を目的としたフルウェーブインバージョン解析法に関する検討結果を踏まえ、その解析手法の改良を行うとともに、その適用に必要とされるデータの取得方法や品質などについて具体化する。

トレーサー/水理試験装置の開発・改良

研究坑道から掘削する複数の試錐孔を利用して、透水性割れ目の地質学的・水理学的特性および物質移行・遅延特性を把握するための試験装置を開発する。本段階においては、釜石原位置試験研究におけるトレーサー/水理試験装置およびレジン注入試験装置の適用試験結果(サイクル機構, 1999c)および国外の地下研究施設における事例(Ota et al., 2001)を踏まえ、試験装置の改良・高度化に関する技術的検討を行う。

(6)データベースの構築

調査・研究用データベースの構築

今後の調査・研究において取得される膨大な種類と量の情報を一元的に管理し、効率的な利用の促進を図るためのデータベースを構築し運用する。これと合わせて、データベース

運用のマニュアルおよび体制を整備し、情報の品質を担保する。

工程管理用データベースの構築

同時期に異なる地点において実施される複数の調査・研究および作業の工程を管理し、調査・研究および作業間の関連性を把握するため、それらの活動記録を保存するデータベースを設計・構築する。

(7)地質環境モデル化・可視化システムの構築

各分野の調査・研究において取得する深部地質環境に関する情報の集約をとおして、地質環境モデル(地質構造モデル、水理地質構造モデル、地球化学モデルおよび岩盤力学モデル)の構築ができ、さらに研究坑道掘削に伴う深部地質環境の変化の予測結果などを三次元的に可視化できる計算機システムを構築する。本段階においては、システムが有する飽和不飽和浸透流解析コードに、透水性割れ目の透水異方性などを考慮できる機能を追加し、各分野の調査・研究に適用する。

3.8 深地層における工学技術に関する研究

3.8.1 第1段階の目標

「市有地」における深部地質環境に関する情報や次段階以降の調査・研究計画などに基づいて、研究坑道の詳細レイアウトを決定する。また、実際に適用する施工技術ならびに機器設備を選定し、具体的な施工計画を決定する。

3.8.2 第1段階の調査・研究

本段階における工学技術に関するおもな研究項目は、研究坑道の設計および施工計画の策定にかかわる技術である。研究坑道の掘削を伴う研究段階および研究坑道を利用した研究段階では、研究坑道において各分野の調査・研究が展開される。したがって、研究坑道は従来の地下空洞やトンネルなどとは異なり、地下深部において各調査・研究が合理的かつ効率的に実施できるように設計され、その施工計画が具体化される必要がある。

本研究においては、国内外の先行事例などを考慮して選定した、研究坑道の掘削を伴う研究段階および研究坑道を利用した研究段階において実施する必要がある調査・研究項目、ならびに「市有地」の深部地質環境の既存の情報に基づき、研究坑道レイアウト案を策定する(図 A-3)。また、今後、「市有地」において取得される深部地質環境の情報により見直される研究坑道の掘削を伴う研究段階における調査・研究計画および研究坑道を利用した研究段階における概略的な調査・研究計画に基づき、研究坑道の設計についても具体化を図る。最終的に研究坑道の詳細レイアウトを決定するとともに、実際に適用する施工技術ならびに機械・設備を選定し、具体的な施工計画を決定する。具体的な施工計画の策定においては、地質環境の初期状態を可能な限り乱さないよう配慮する。

以下に、研究坑道の設計および施工計画の策定において考慮すべき要件とその具体的な内容について述べる。

各 論 A

「市有地」における調査研究計画
- 地表からの調査予測研究段階(第1段階) -

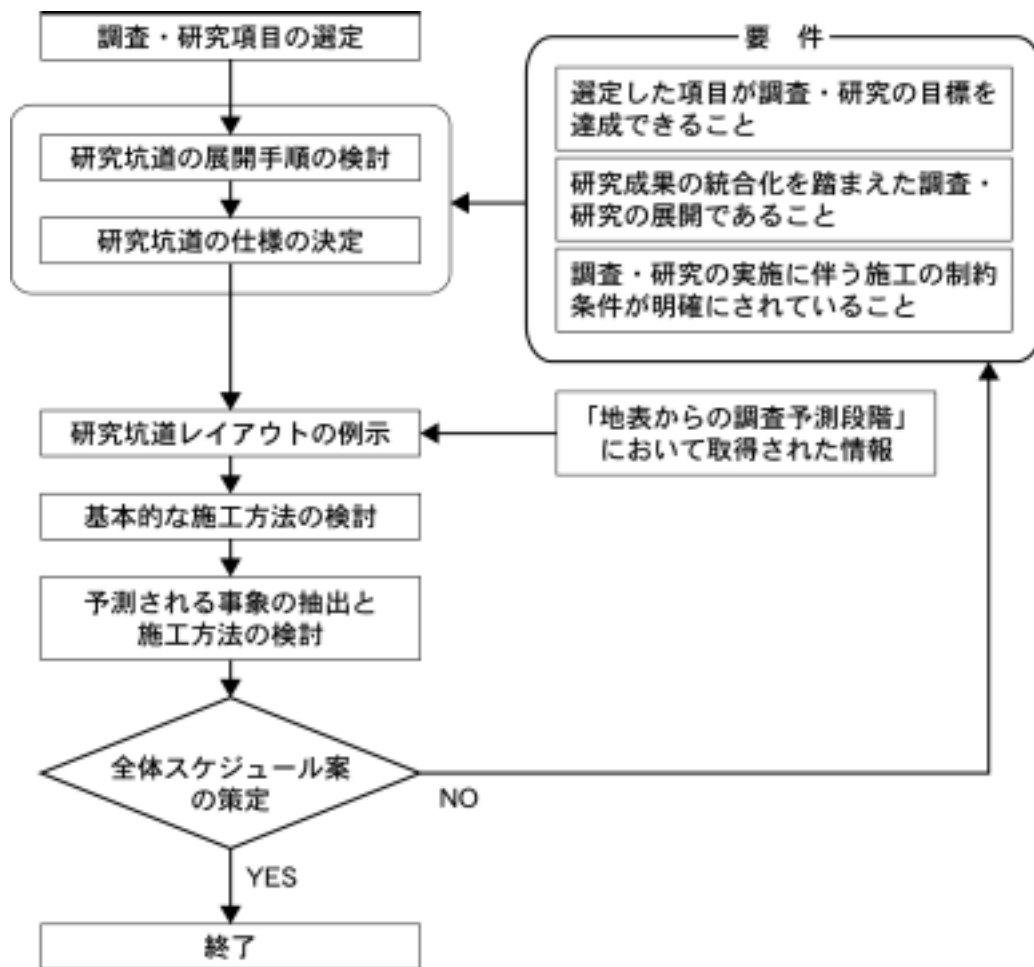


図 A-3 研究坑道の設計および施工計画の策定手順

選定した項目が調査・研究の目標を達成できること

- ・次段階以降における各分野の調査・研究のために必要な場および深部地質環境の条件（たとえば、透水性割れ目や断層が研究坑道と交差すること）を明確にする。
- ・深部地質環境の評価に至る一連のプロセスは段階（あるいは、地表、中間ステージおよび最深ステージ）ごとに繰り返して行うことが重要である。また、深度依存性に関する調査・研究は、中間ステージと最深ステージのみならず複数の予備ステージを利用し、繰り返して実施することが必要である。
- ・各段階における各分野の調査・研究を合理的かつ効率的に実施するために必要な（最低限の）期間を考慮する。

研究成果の統合化を踏まえた調査・研究の展開であること

深部地質環境を評価するための調査・解析・評価手法の整備を目的として、各分野の調査・研究が対象とする深部地質環境（透水性割れ目や断層など）、その実施領域および時期（研究坑道掘削の前後や掘削影響の修復後など）を考慮したうえで、研究成果の統合化が期待できる展開とすることが重要である。

調査・研究の実施に伴う施工の制約条件が明確にされていること

- ・各分野の調査・研究を合理的かつ効率的に実施するために、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施工工程に関する条件を明確にする。
- ・各分野の調査・研究の場となる研究坑道の施工方法を限定する条件を明確にする。
- ・各分野の調査・研究を合理的かつ効率的に実施するために、研究坑道の機器設備の仕様を限定する条件を明確にする。
- ・透水性割れ目帯や断層などが研究坑道と交差することが予想される地点や、実際の地質環境が推定結果と大きく異なる場合、想定外の事象(大量出水や山はねなど)に遭遇した場合など、施工を中断する判断基準を明確にする。

4 次段階以降の調査・研究計画の策定

4.1 第1段階の目標

本段階において取得する深部地質環境に関する情報、および今後の調査・研究の課題などを踏まえ、研究坑道の掘削を伴う研究段階における詳細な調査・研究計画、および研究坑道を利用した研究段階における概略的な調査・研究計画を策定する。

4.2 第1段階の実施内容

これまでに、取得した深部地質環境に関する情報を踏まえ、国外における同様の調査・研究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考慮し、研究坑道の掘削を伴う研究段階ならびに研究坑道を利用した研究段階において実施する必要のある調査・研究項目を選定し(サイクル機構, 1999b)、その必要性(優先度)について検討した。

本段階において取得する深部地質環境に関する情報などを踏まえ、これまでに検討した研究坑道の掘削を伴う研究段階における概略的な調査・研究計画の詳細化・具体化を図る。あわせて、研究坑道を利用した研究段階における概略的な調査・研究計画を必要に応じて見直す。

調査・研究計画の詳細化・具体化に際しては、第2次取りまとめの評価報告書(原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会, 2000)などに示された今後の研究開発の課題などを考慮する。また、地質環境モデル(坑道スケール)の構築、ならびに本段階における深部地質環境に関する予測結果の妥当性の評価に必要な調査・研究ができるように、本段階前半において抽出した調査・研究課題の必要性(優先度)を検討し、その絞り込みを行う。また、必要に応じて新たな調査・研究課題を設定する。

5 スケジュール

本段階の調査・研究計画は、研究坑道などを建設する場所を、岐阜県瑞浪市明世町の瑞浪市「市有地」に変更するにあたり、これまでの研究成果を踏まえ策定したものであり、今後の調査・研究の展開に伴い、必要に応じて見直しを図る。「市有地」における調査・研究は2001年度から開始することとしており、とくに研究坑道掘削前の地表からの調査・試験については2004年度までの実施を予定している。この研究期間における各分野の調査・研究の実施項目を表A-1に示す。

表 A-1 第1段階における各分野の調査・研究スケジュール(1/3)

調査・研究項目	2001年度	2002年度	2003年度	2004年度
1 研究成果の統合化				
成果の反映先および集約情報の明確化				
調査・解析・評価体系の例示				
2 地質・地質構造に関する調査・研究				
地上物理探査				
試錐調査				
・浅層試錐孔				
・既存試錐孔				
・深層試錐孔				
孔間トモグラフィ調査				
地質構造モデルの構築				
調査・解析・評価手法の整備				
3 地下水の水理に関する調査・研究				
表層水理調査				
深層水理調査				
・既存試錐孔				
・深層試錐孔				
・孔間水理試験				
・長期水圧観測				
水理地質構造モデルの構築/地下水流動解析				
地下水流動場の変化の推定				
調査・解析・評価手法の整備				

■ 計画(重点的に実施)

■ 計画(必要に応じて実施)

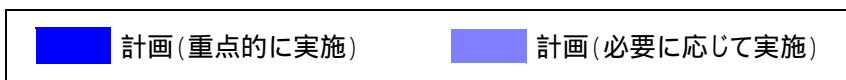
表 A-1 第 1 段階における各分野の調査・研究スケジュール(2/3)

調査・研究項目	2001年度	2002年度	2003年度	2004年度
4 地下水の地球化学に関する調査・研究				
地下水・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		■		
・浅層試錐孔	■			
・既存試錐孔		■		■
・深層試錐孔			■	■
固相を対象とした地球化学調査		■		
・既存試錐孔, 深層試錐孔		■		
・水・岩石反応の抽出/地下水年代値補正			■	■
地球化学モデル(水質形成モデル)の構築		■	■	
調査・解析・評価手法の整備		■		
5 岩盤の力学に関する調査・研究				
試錐孔を利用した力学的特性調査		■		
・既存試錐孔	■			
・深層試錐孔			■	
室内ブロック試験		■		
岩盤力学モデルの構築		■		
岩盤の力学特性の変化の推定			■	■
調査・解析・評価手法の整備		■		
6 岩盤中の物質移動に関する調査・研究				
室内試験		■	■	
天然核種を用いた調査・研究		■	■	
調査・解析・評価手法の整備		■		



表 A-1 第 1 段階における各分野の調査・研究スケジュール(3/3)

調査・研究項目	2001年度	2002年度	2003年度	2004年度
7 調査技術・調査機器に関する研究				
試錐掘削技術開発				
・リバース式三重管ワイヤライン工法				
・部分保孔装置				
地質構造調査技術開発				
・弾性波トモグラフィ調査技術				
・既存技術の適用性評価				
水理・地球化学特性調査技術開発				
・1000m 対応水理試験装置/地球化学特性調査機器				
・1000m 対応揚水試験装置				
・1000m 対応地下水長期モニタリング装置				
・水理試験データの解析手法				
岩盤の力学的特性調査技術開発				
次段階以降の調査技術・調査機器の開発				
・連続波レーダー調査技術				
・地質環境のリモートモニタリング技術				
・研究坑道壁面調査システム				
・正弦波水理試験システム				
・トモグラフィデータの解析手法				
・トレーサー/水理試験装置				
データベースの構築				
・調査・研究用データベース				
・工程管理用データベース				
・地質環境モデル化/可視化システム				
8 深地層における工学技術に関する研究				
研究坑道の詳細設計および調整設計				
施工計画の策定				



参考文献

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(平成6年6月24日).

原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会(2000):我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術的信頼性の評価(平成12年10月11日).

核燃料サイクル開発機構(1998a):連続波レーダートモグラフィの適用試験,サイクル機構契約業務報告書,JNC TJ7420 98-005.

核燃料サイクル開発機構(1998b):地球化学検層ユニット(高温環境型)の製作,サイクル機構契約業務報告書,JNC TJ7440 98-005.

核燃料サイクル開発機構(1999a):MIU-2 孔における水圧破碎法による初期応力測定,サイクル機構契約業務報告書,JNC TJ7400 99-014.

核燃料サイクル開発機構(1999b):超深地層研究所地下施設の設計研究[平成10年度],サイクル機構技術資料,JNC TN1400 99-001.

核燃料サイクル開発機構(1999c):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.

核燃料サイクル開発機構(1999d):試錐孔内用震源(スパーカー)の適用試験,サイクル機構技術契約業務報告書,JNC TJ7420 99-006.

核燃料サイクル開発機構(1999e):1,000 m 対応地下水の地球化学特性機器(高温環境型)の製作,サイクル機構契約業務報告書,JNC TJ7440 99-002.

核燃料サイクル開発機構(1999f):1,000 m 対応地下水の地球化学特性機器(1号機)の改良,サイクル機構契約業務報告書,JNC TJ7440 99-013.

核燃料サイクル開発機構(1999g):地球化学検層ユニット(1号機)の改良,サイクル機構契約業務報告書,JNC TJ7440 99-014.

核燃料サイクル開発機構(2000a):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,サイクル機構技術資料,JNC TN7400 2000-001.

核燃料サイクル開発機構(2000b):広域地下水流動研究の現状-平成4年度~平成11年度-,サイクル機構技術資料,JNC TN7400 2000-014.

核燃料サイクル開発機構(2001):超深地層研究所計画の現状-平成8年度~平成11年度-,サイクル機構技術資料,JNC TN7400 2001-001.

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.

見掛信一郎,杉原弘造,永崎靖志(2000):地下1,000mに研究坑道を掘る,東濃地科学センター超深地層研究所計画,トンネルと地下,第31巻,pp.1163-1171.

Ota,K., Alexander,W.R., Smith,P.A., Möri,A., Frieg,B., Frick,U., Umeki,H., Amano,K., Cowper,M.M. and Berry,J.A.(2001):Building confidence in radionuclide transport models for fractured rock: the Nagra/JNC radionuclide retardation programme. Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXIV. (in press)

三枝博光,前田勝彦,稲葉 薫(2001):水理地質構造モデル化概念の違いによる深部地下水流動への影響評価(その6)-不連続構造の水理特性及び水理学的境界条件に着目した水理地質構造のモデル化及び地下水流動解析-,亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム発表論文集,pp.299-308.

澤田 淳,三枝博光,竹内真司,中野勝志,井尻裕二(2001):水理地質構造モデル化概念の違いによる深部地下水流動への影響評価(その1)-複数の概念モデル化手法による不確実性の検討-,亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム発表論文集,pp.249-258.

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.

各 論 B

「市有地」における調査研究計画
- 研究坑道の掘削を伴う研究段階(第2段階) -

1 概要

研究坑道の掘削を伴う研究段階は、中間ステージ(水平坑道掘削位置、総論図 3)までの主立坑、換気立坑および同深度における水平坑道を掘削しつつ調査・研究を行う第 2 段階前半と、それ以深(深度約 1,000 m までの主立坑、換気立坑および水平坑道(最深ステージ))の掘削ならびに調査・研究を行う第 2 段階後半とに二分して進める。このように、研究坑道の掘削を伴う調査・研究を二つのフェーズにおいて実施することにより、第 2 段階前半において適用する調査・解析・評価技術や工学技術などを、第 2 段階後半の開始までに評価および改良することが可能となり、それらの技術の高度化を図ることができる。さらに、異なる地質環境条件において、上記の技術の適用性・有効性を確認することができると考えられる。本段階においては、地表からの調査予測研究段階に比べ、調査・研究の対象が研究坑道周辺の地質環境となるため、そのスケールが小さくなる反面、精度(分解能)の高い調査・研究の実施が要求されることとなる。なお、中間ステージの深度については、今後明らかとなる地質環境に基づき、上記趣旨に最適な深度を設定する。本段階における調査・研究の目標は以下のとおりである。

研究坑道の掘削を伴う調査・研究による地質環境モデルの構築および研究坑道の掘削による深部地質環境の変化の把握
研究坑道の施工・維持・管理にかかわる工学技術の有効性の確認
研究坑道を利用した研究段階の研究計画の策定

本段階においては、研究坑道の掘削と併行して、各分野において深部地質環境に関する情報を取得する。透水性の割れ目あるいは割れ目帯や、酸化還元境界などの重要な調査・研究対象が認められた地点においては、必要に応じて主立坑から水平坑道などを設け詳細な調査・研究を実施する。それらの調査・研究により取得する情報に基づき、地表からの調査予測研究段階において構築した地質環境モデル(施設スケール)の妥当性や解析手法などの有効性も確認する。また、研究坑道掘削に伴う深部地質環境の変化を把握する。さらに、新たに取得する情報に基づき、地質環境モデル(坑道スケール)を構築し、研究坑道を利用した研究段階において拡張する研究坑道周辺の地質環境特性を推定する。本段階においても、深部地質環境の評価に至る一連のプロセスの繰り返しにより、深部地質環境を評価するための調査・解析・評価手法を段階的に整備する。

これらの調査・研究と合わせ、本段階までに取得する深部地質環境に関する情報などを踏まえ、研究坑道を利用した調査・研究の課題を抽出・特定する。また、研究坑道を利用した研究段階における調査・研究計画の詳細化・具体化を図る。一方、研究坑道の施工・維持・管理にかかわる工学技術については、既存技術の有効性を確認するとともに高度化を図る。

なお、本段階において実施する調査・研究の内容については、今後、「市有地」で取得する深部地質環境に関する新たな情報・知見に基づいて、適宜最適化を図っていくこととする。とくに本段階後半の調査・研究に関する詳細計画の策定には本段階前半における調査・研究の成果を反映することが重要である。

2 超深地層研究所施設の施工計画

研究坑道の設計は、地表からの調査・研究による深部地質環境に関する情報、および研究坑道周辺の地質環境特性(地質環境モデル)やそれらにより推定された地質環境の状態などを考慮しつつ、研究坑道の掘削を伴う研究段階および研究坑道を利用した研究段階における調査・研究計画に基づいて実施される。これまでの検討結果を踏まえ、総論図3に示すような研究坑道のレイアウト案を提示している。

これまで行われた正馬様用地における調査・研究や広域地下水流動研究の結果により、土岐花崗岩中には割れ目頻度の大きく異なる領域や岩相の異なる領域が存在するなど、地質環境の異なる岩盤が存在することが確認されている。同じ土岐花崗岩が分布する「市有地」においても、異なる地質環境が存在することが推定される。

したがって、「市有地」においても、研究坑道のレイアウト案(総論図3)に示すとおり、地質環境の異なる二つの領域において調査・研究の場を確保することとしており、研究坑道には、研究坑道を利用した調査・研究を実施する二つの水平坑道群(中間ステージおよび最深ステージ)を設ける。また、深度1,000 m程度の地下深部へアクセスするための主立坑および換気立坑などを設けるとともに、深度約100 mごとに主立坑と換気立坑をつなぐ予備ステージを掘削する。このように、中間ステージと最深ステージにおいて調査・研究を繰り返し行うことにより、中間ステージにおいて適用する調査・解析・評価技術や工学技術などを、最深ステージの開始までに評価および改良することができ、それらの技術の高度化を図ることが可能となる。さらに、異なる地質環境条件において合理的かつ効果的な調査・研究を実施することにより、上記の技術の適用性・有効性を確認することができる。

なお、施工計画は、今後、「市有地」で取得される地質環境の情報などに基づき最適化される。また、具体的な施工計画を策定する際は、研究坑道掘削前の地質環境の初期状態を可能な限り乱さないよう配慮される。

3 研究坑道の掘削を伴う調査・研究(第2段階前半)の計画

本段階では、1 に述べたように、異なる地質環境条件において、同様の調査・解析・評価技術や工学技術などを適用し、それらの技術の有効性を評価する計画である。また、研究坑道の掘削に伴って取得する情報に基づき、施設スケールの地質環境モデルの妥当性を評価し更新するとともに、坑道スケールの地質環境モデルを構築する。それぞれの調査・研究の内容については、本段階までに取得する深部地質環境に関する情報や推定結果などに基づき具体化を図る。

第2段階前半の調査・研究は、深度 1,000 m までに建設する研究坑道のうち、地表から中間ステージまでの主立坑、換気立坑および同深度における水平坑道を掘削しつつ実施する。具体的には、主立坑上部(地表～中間ステージ)、換気立坑上部(地表～中間ステージ)、中間ステージの水平坑道、および主立坑の深度 100 m ごとに主立坑と換気立坑を繋ぐために設置する水平坑道(予備ステージ)の掘削と併行して実施する調査・研究である。なお、中間ステージから展開する坑道については、研究坑道を利用した研究段階においても掘削する。

本章では、3.1～3.7 に、本段階前半において中間ステージまでの主立坑、換気立坑および同深度における中間ステージを掘削しつつ実施する各分野の調査・研究の計画を示す。なお、中間ステージから 1,000 m までの主立坑、換気立坑および最深ステージを掘削しつつ実施する本段階後半の調査・研究の計画概要については 4 に示す。

3.1 地質・地質構造に関する調査・研究

地表からの調査予測研究段階において推定した研究坑道周辺の地質・地質構造を、研究坑道の掘削に伴う坑道壁面観察、ならびに研究坑道から掘削する試錐孔を利用した調査・研究によって確認し、地表からの調査予測研究段階において構築した地質構造モデル(施設スケール)の妥当性を評価する。また、新たに取得する情報に基づき地質構造モデル(施設スケール)を更新し、研究坑道を利用した研究段階において対象とする研究坑道周辺の地質・地質構造に関する推定精度の向上を図る。さらに、地質構造モデル(坑道スケール)を構築するとともに、新たに取得する情報に基づき適宜更新する。また、上記調査と後述する地下水の地球化学調査の結果などにより、酸化還元領域を把握する。なお、坑道壁面の観察は研究坑道の全ての区間において実施する。

(1)地質・地質構造に関する情報の取得

坑壁地質調査

掘削した坑道の壁面観察や画像撮影などによって、地質構造要素(岩相、風化帯、変質帯、透水性割れ目、断層、岩脈など)に着目し、その分布および性状を詳細に把握する。また、それぞれの透水性割れ目について充填鉱物や湧水の状況などに関する情報も取得し、その観察結果を坑壁地質展開図にまとめる。本調査は研究坑道の全区間で実施する。また、岩盤や割れ目充填鉱物などの詳細な岩石学的・鉱物学的特性を把握するために、岩石試料を適宜採取し、顕微鏡観察、化学分析、X線回折などを実施する。図 B-1 に立坑の坑壁地質調査手法の案を示す。

坑道前方地質調査

事前に取得する地質・地質構造に関する情報に基づき、高透水性割れ目帯や断層などの分布が予想される場合は、立坑の切羽から弾性波探査や試錐調査などを適宜実施し、切羽前方の高透水性割れ目帯や断層などの位置を推定する。本調査においては、さまざまな前方予知技術を適用し、それらの技術の有効性を評価する。

(2)地質構造モデルの構築および地質学的解析

本段階前半では、前述の調査やほかの分野における調査・研究などで取得する情報に基づき、地表からの調査予測研究段階において構築した地質構造モデル(施設スケール)の妥当性を評価する。また、新たに取得する情報に基づき地質構造モデル(施設スケール)を更新し、研究坑道を利用した研究段階において対象とする研究坑道周辺の地質・地質構造に関する推定精度の向上を図る。さらに、研究坑道を利用した研究段階前半において対象とする中間ステージや予備ステージ周辺の地質・地質構造を推定し、地質構造モデル(坑道スケール)を構築するとともに、新たに取得する情報に基づき適宜更新する。また、(1)の調査や後述する地下水の地球化学調査採水の結果などにより、酸化還元領域を把握し、地質構造モデル(施設スケール)の構築に反映する。

(3)調査・解析・評価手法の整備

地質構造モデルの構築および解析をとおして、地表からの調査予測研究段階において構築した地質構造モデル(施設スケール)の各地質構造要素の分布、方向性、連続性、頻度や形状などの妥当性を評価することにより、地表からの調査予測研究段階において適用した一連の調査・解析技術の有効性を確認する。さらに深部地質環境を地表から評価するための調査・解析・評価手法を整備する。

3.2 地下水の水理に関する調査・研究

研究坑道の掘削に伴って、坑内湧水量の観測、研究坑道から掘削する試錐孔ならびに既存試錐孔における地下水位や間隙水圧などの観測、表層水理観測などを行う。また、研究坑道から掘削する試錐孔において水理試験を実施し、研究坑道において認められた主要な地質構造要素ならびに土岐花崗岩健岩部の水理学的特性を把握する。これらの実測データと地表からの調査予測研究段階における推定結果とを比較し、同段階において構築した水理地質構造モデル(施設スケール)や解析手法などの妥当性を評価する。また、この評価結果を踏まえ、水理地質構造モデル(施設スケール)を更新するとともに、研究坑道掘削に伴う地下水流動場の変化を把握する。

さらに、水理地質構造モデル(坑道スケール)を構築するとともに、新たに取得する情報に基づき適宜更新する。このモデルを用いて、研究坑道を利用した研究段階において拡張する研究坑道周辺の地下水流動場(研究坑道拡張前)を推定する。なお、必要に応じ、このモデルを用いて、研究坑道を利用した研究段階において拡張する研究坑道周辺の地下水流動場の変化を推定する。

(1)地下水の水理に関する情報の取得

表層水理調査

研究坑道掘削による地下水流動場の変化などを把握するため河川流量、試錐孔に設置した多点式パッカーシステム(MP システム)を利用した地下水圧の観測などを継続して実施する。あわせて、「市有地」周辺における地下水利用(利水)に関する調査および観測も実施する。

深層水理調査

研究坑道掘削に伴う地下水流動場の変化を把握するため、既存試錐孔に設置した観測機器による地下水位や間隙水圧などの長期観測(地質環境モニタリング)や坑内湧水量の観測などを行う。

主要な透水性割れ目の水理学的特性調査

研究坑道と交差すると推定される主要な透水性割れ目を対象に、研究坑道の掘削を一時中断して切羽から試錐孔を掘削し、その試錐孔と地表から掘削した試錐孔との間で圧力応答試験などを実施することにより、主要な透水性割れ目の連続性や水理学的特性を調査する。本調査の概念を図 B-2 に示す。

(2)水理地質構造モデルの構築および地下水流動解析

地表からの調査予測研究段階においては、構築した水理地質構造モデル(施設スケール)を用いた地下水流動解析によって、「市有地」における研究坑道掘削前の地下水流動場が推定される。

本段階においては、研究坑道において認められた主要な地質構造要素ならびに土岐花崗岩健岩部の水理学的特性に関する実測データと前述の推定結果とを比較し、地表からの調査予測研究段階において構築した水理地質構造モデル(施設スケール)や解析手法などの妥当性を評価する。また、この評価結果を踏まえ、水理地質構造モデル(施設スケール)

ル)を更新するとともに、研究坑道掘削に伴う地下水流動場の変化を把握する。

さらに、研究坑道を利用した研究段階前半において調査・研究を実施する中間ステージおよび予備ステージ周辺を対象とした水理地質構造モデル(坑道スケール)を構築するとともに、新たに取得する情報に基づき適宜更新する。このモデルを用いて、研究坑道を利用した研究段階前半において拡張する中間ステージ周辺の地下水流動場を推定する。なお、必要に応じ、このモデルを用いて、研究坑道を利用した研究段階において拡張する研究坑道周辺の地下水流動場の変化を推定する

(3)調査・解析・評価手法の整備

水理地質構造モデルの構築および地下水流動解析をとおして、地表からの調査予測研究段階において構築した水理地質構造モデル(施設スケール)の妥当性を評価することにより、地表からの調査予測研究段階において適用した一連の調査・解析技術の有効性を確認する。さらに深部地質環境を地表から評価するための調査・解析・評価手法を整備する。

3.3 地下水の地球化学に関する調査・研究

研究坑道から透水性割れ目に向けて掘削する試錐孔ならびに既存試錐孔における地下水採水や化学分析などを行い、深部地下水の地球化学的特性の三次元分布や水質形成機構などを詳細に把握する。これらの実測データと地表からの調査予測研究段階における推定結果とを比較し、同段階において構築した地球化学モデル(水質形成モデル;施設スケール)や解析手法などの妥当性を評価する。また、この評価結果を踏まえ、地球化学モデル(水質形成モデル;施設スケール)を更新するとともに、研究坑道掘削に伴う地下水の地球化学特性の変化を把握する。

さらに、地球化学モデル(水質形成モデル;坑道スケール)を構築するとともに、新たに取得する情報に基づき適宜更新する。このモデルを用いて、研究坑道を利用した研究段階において拡張する深部地下水の地球化学的特性(研究坑道拡張前)などを推定する。なお、必要に応じ、このモデルを用いて、研究坑道を利用した研究段階において拡張する研究坑道掘削に伴う地下水流動の変化により生じる深部地下水の地球化学的特性の変化を推定する。

(1)地下水の地球化学に関する情報の取得

地下水の地球化学的調査

地下水の地球化学的特性の三次元的分布および研究坑道掘削に伴う地下水の地球化学的特性の変化を把握するため、地表から掘削された試錐孔における地下水採水、物理化学パラメータの計測および化学分析(主要溶存成分濃度、微量溶存成分濃度、溶存ガス、環境同位体、微生物など)を実施する。また、研究坑道内で確認される透水性割れ目からの湧水についても同様の地球化学的調査を実施する。

主要な透水性割れ目の地球化学的特性調査

中間ステージと交差すると推定される主要な透水性割れ目を対象に、MP システムにより切羽がその透水性割れ目を通過する前後における地下水の地球化学的特性の変化を観

測する。本調査の概念を図 B-3 に示す。

水・岩石反応による水質形成機構の調査

研究坑道において地下水の採水を行う透水性割れ目から岩石試料を採取し、鉱物組成、割れ目充填鉱物や変質鉱物などの化学組成や同位体組成などの分析を行う。さらに、採取した岩石試料を用いて水・岩石反応を確認するための室内試験などを実施する。

(2)地球化学モデル(水質形成モデル)の構築および地球化学解析

地表からの調査予測研究段階においては、「市有地」における土岐花崗岩中の地下水の地球化学的特性(物理化学パラメータ、化学組成および同位体組成)の三次元分布を表現する地球化学モデル(水質形成モデル;施設スケール)が構築される。

本段階においては、深部地下水の地球化学的特性に関する実測データと前述の推定結果とを比較し、地表からの調査予測研究段階において構築した地球化学モデル(水質形成モデル;施設スケール)や解析手法などの妥当性を評価する。また、この評価結果を踏まえ、地球化学モデル(水質形成モデル;施設スケール)を更新するとともに、研究坑道掘削に伴う地下水の地球化学特性の変化を把握する。

さらに、地球化学モデル(水質形成モデル;坑道スケール)を構築するとともに、新たに取得する情報に基づき適宜更新する。このモデルを用いて、研究坑道を利用した研究段階において拡張する深部地下水の地球化学的特性(研究坑道掘削前)などを推定する。なお、必要に応じ、このモデルを用いて、研究坑道を利用した研究段階において拡張する研究坑道掘削に伴う地下水流動の変化により生じる深部地下水の地球化学的特性の変化を推定する。

(3)調査・解析・評価手法の整備

地球化学モデルの構築および地球化学解析をとおして、地表からの調査予測研究段階における、深部地下水の地球化学的特性(物理化学パラメータ、化学組成および同位体組成の三次元分布の変化)に関する推定結果の妥当性を評価することにより、地表からの調査予測研究段階において適用した一連の調査・解析技術の有効性を確認する。さらに深部地質環境を地表から評価するための調査・解析・評価手法を整備する。

3.4 岩盤の力学に関する調査・研究

研究坑道から掘削する試錐孔を利用し、研究坑道の掘削に伴う坑道周辺岩盤の力学的挙動や、掘削影響領域とその周辺岩盤の力学物性や初期応力状態などを把握する。また、地表からの調査予測研究段階において予測した坑道周辺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などについて、推定結果の妥当性を確認し、地表からの調査予測研究段階において構築した岩盤力学モデル(施設スケール)や解析手法などの妥当性を評価する。また、この評価結果を踏まえ、岩盤力学モデル(施設スケール)を更新するとともに、研究坑道掘削に伴う坑道周辺岩盤の力学的特性の変化を把握する。

さらに、岩盤力学モデル(坑道スケール)を構築するとともに、新たに取得する情報に基づき適宜更新する。このモデルを用いて、研究坑道を利用した研究段階において拡張する研

研究坑道周辺の岩盤力学特性などを推定する。なお、必要に応じ、このモデルを用いて、研究坑道を利用した研究段階において拡張する研究坑道拡張に伴う坑道周辺岩盤の変形挙動や応力変化などを推定する。

(1)岩盤の力学に関する情報の取得

岩盤の力学的特性調査

地表からの調査予測研究段階で推定した力学物性の深度方向の変化や初期応力の分布などを確認するため、予備ステージなどからの試錐孔を掘削し、岩石の力学試験、初期応力測定、孔内載荷試験、速度検層などを実施する。坑道掘削の影響が及ばない領域においてデータを取得するため、研究坑道から少なくとも坑道径の3倍以上離れた岩盤中において上記の試験や試料の採取などを行う。

立坑変位計測

地表からの調査予測研究段階で予測した研究坑道の掘削に伴う坑道周辺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)を把握するため、主立坑および換気立坑において、試錐孔を用いた岩盤の変位計測を実施する。主立坑においては最低4方向(最大主応力方向および最小主応力方向)に立坑壁面より坑道径の3倍程度の試錐孔を掘削し、岩盤内変位計を用いて岩盤に生じた変位を計測する。一方、予備ステージより換気立坑に向けた水平試錐孔を掘削し、換気立坑の掘削切羽がその試錐孔に到達する前から岩盤変位に関するデータを取得する。

立坑掘削影響調査

立坑周辺の岩盤中に形成される掘削影響領域の範囲および力学物性の変化の程度を把握するため、適切な深度において主立坑より放射状に水平試錐孔を掘削し、PS 検層や孔内載荷試験などを坑道壁面からの距離を変えて実施する。また、予備ステージなどから主立坑と平行に試錐孔を複数本掘削し、AE 計測などにより地下深部において想定される応力集中に伴う岩盤の損傷が生じる領域を把握する。これらの情報から主立坑沿いの掘削影響領域の深度変化を評価する。本調査の概念を図 B-4 に示す。

(2)岩盤力学モデルの構築および力学解析

地表からの調査予測研究段階においては、「市有地」における土岐花崗岩の力学物性や初期応力状態などの三次元的分布を表現する岩盤力学モデル(施設スケール)が構築され、研究坑道掘削に伴う坑道周辺岩盤の変形挙動および応力変化、応力集中に伴う岩盤の損傷範囲が予測される。

本段階においては、力学物性や初期応力状態、研究坑道の掘削に伴う坑道周辺岩盤の力学的挙動や損傷範囲などに関する情報に基づき、地表からの調査予測研究段階において構築した岩盤力学モデル(施設スケール)や解析手法などの妥当性を評価する。また、この評価結果を踏まえ、岩盤力学モデル(施設スケール)を更新するとともに、研究坑道掘削に伴う力学特性の変化を把握する。

さらに、岩盤力学モデル(坑道スケール)を構築するとともに、新たに取得する情報に基づき適宜更新する。このモデルを用いて、研究坑道を利用した研究段階において拡張する研究坑道周辺の岩盤力学特性などを推定する。なお、必要に応じ、このモデルを用いて、研

究坑道を利用した研究段階において拡張する研究坑道掘削に伴う坑道周辺岩盤の変形挙動や応力変化などを推定する。

(3)調査・解析・評価手法の有効性の確認

岩盤力学モデルの構築および力学解析をとおして、地表からの調査予測研究段階において構築した岩盤力学モデル(施設スケール)、ならび研究坑道の掘削に伴う坑道周辺岩盤の力学的挙動や損傷範囲などに関する予測結果の妥当性を評価することにより、地表からの調査予測研究段階において適用した一連の調査・解析技術の有効性を確認する。さらに深部地質環境を地表から評価するための調査・解析・評価手法を整備する。

3.5 岩盤中の物質移動に関する調査・研究

岩芯あるいは研究坑道壁面から採取する試料を用いた室内調査などにより、主要な地質構造要素の地球化学的・鉱物学的特性、空隙構造特性や収着・拡散特性などを把握し、地表からの調査予測研究段階において取得した基礎情報と合わせ、土岐花崗岩中における物質移行・遅延を評価するためのデータセットを整備する。また、天然に存在する核種を用いた調査・研究を継続し、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。

具体的には、坑道壁面の観察結果に基づいて、同一の透水性割れ目や断層などから複数の岩芯試料を採取する。これらの試料を用いて室内試験などを実施し、物質移行・遅延の評価に必要な情報(たとえば、透水性割れ目中のチャンネルング、物質移行・遅延に寄与する空隙構造および空隙率、割れ目充填鉱物などの収着特性などに関する定量的データ)を取得する。

3.6 調査技術・調査機器に関する研究

研究坑道を利用した研究段階において必要と考えられる調査技術・調査機器の開発を実施する。また、本段階においては、前述のように調査に要求される精度が高くなるとともに、限られた空間の中で調査などを行う必要がある。調査などの実施にあたっては既存技術の活用を図り、その適用性を確認するとともに、必要に応じて可能な限り改良・高度化、あるいは新たな技術開発を行う。さらに、地質環境特性の異なる様々な地域への適用を考慮し、これらの技術の適用条件や適用範囲を明確にする。とくに以下の調査技術・調査機器の開発が必要であると考えられる。

1,000 m 対応・地下水長期モニタリング装置の開発

研究坑道の掘削および大規模な揚水試験によって発生する地下水位の低下などを連続して観測するため、高差圧環境に対応した長期モニタリング装置などを開発する。地表からの調査予測研究段階後半における検討(各論 A 3.7 参照)の結果を踏まえ装置の実用化を図るとともに、開発された装置を主立坑近傍に掘削した試錐孔に設置し、本段階以降の地下水位や間隙水圧などの長期観測、ならびに地下水の地球化学的・特性の長期観測を実施する。また、適宜、必要な調整および改良を実施し高度化を図る。

地質環境のリモートモニタリング技術の開発

深部地質環境のリモートモニタリングのために、高分解能と大可探深度の両立を図ることができる、ACROSS(Accurately Controlled Routinely Operated Signal System)と合成開口処理技術を基盤とする弾性波および電磁探査技術の開発を行う。その初期段階として、既存の調査機器を利用した弾性波および電磁 ACROSS の送受信アレイ観測試験を実施する。

前方予知技術の開発

既存の非破壊探査技術を適用し、3.1 に述べたように、切羽前方などの岩盤領域における高透水性割れ目帯や断層など分布に関する探査を実施し、その結果から適用した既存技術の有効性を評価する。

研究坑道壁面調査システムの開発

主立坑および換気立坑は坑道壁面観察が終了した直後に覆工される。また、坑道壁面観察の時間は限られているため、効率良くかつ精度良く観察を行う必要がある。このため、坑道壁面の観察用ゲージならびに撮影装置の開発を行う。これらの装置は地表からの調査予測研究段階において開発し(各論 A 3.7 参照)、本段階において実用化を図るとともに、適宜、必要な調整および改良を実施し高度化を図る。

3.7 深地層における工学技術に関する研究

本段階においては、研究坑道の掘削や設計変更などの実績によって、地表からの調査予測研究段階において適用した詳細設計や施工計画策定などの手法ならびに適用した工学技術の有効性を評価し、その評価結果を適切に詳細設計や施工計画策定などに反映させる技術体系を整備する。

また、地表からの調査予測研究段階における研究坑道の力学的安定性などの解析結果の妥当性を評価し、条件設定や解析・評価手法などの有効性についても確認する。実際の地質環境が推定結果と大きく異なる場合、想定外の事象に遭遇した場合、深部地質環境を著しく乱す事象が生じた場合などにおいては、柔軟に設計変更ができ、さらに現状の対策工が適切に対応し得ることを示すことにより、設計・施工技術の有効性を確認する。さらに、地質環境の変化の事前予知や対策工実施後の品質保証のための工学技術の検討および整理も行う。一方、安全衛生面からの坑道内の研究環境の維持・管理や安全確保などのための技術開発も実施する。

研究坑道の設計・施工計画技術の開発

研究坑道の掘削に伴って取得される施工に関する情報に基づき、地表からの調査予測研究段階に策定した設計・施工計画の妥当性を評価する。また、施工実績や研究の成果などを反映して設計・施工計画を更新する技術、深部地質環境を著しく乱さないような施工計画とする技術、および施工実績を設計にフィードバックする技術を、実際に開発し適用する。さらに、研究坑道掘削に伴う調査・試験の結果を合理性ならびに安全性の観点から分析し、設計の見直しが図れるよう柔軟性のある設計・施工計画が策定されていたか否かを評価する。

研究坑道の掘削技術および施工対策技術の開発

既存の地下構造物の施工実績など踏まえ、地下深部において研究坑道の掘削を行う際に地質環境の変化に対応する掘削技術、深部地質環境を著しく乱す事象が生じた場合や想定外の突発的な事象(大量出水や山はねなど)への現状の対策技術の適用性を確認する。また、対策工を実施した後の品質確認のための調査技術、掘削、支保設置、ズリ搬出などの一連の施工にかかわる合理化技術や施工管理システムの開発などを行う。

安全性を確保する技術の開発

研究坑道においては、研究者、施工業者、一般見学者が同時に入坑する場合などが想定され、それぞれに対する十分な安全対策を考慮する必要がある。地表からの調査予測

研究段階においては、本段階以降に想定される事故や災害などへの対応を検討し、安全管理計画(通気・換気計画、常時の点検管理システム、非常時の情報伝達システム、指揮命令システムなど)を策定する。本段階においては、この安全管理計画に従って必要な観測装置の設置および安全管理を実施する。また、定期的に安全確保の状況確認とその評価を行い、これらの安全管理システムに必要な改良を加えていく。

4 研究坑道の掘削を伴う調査・研究(第2段階後半)の概要

第2段階後半の調査・研究は、全体の研究坑道のうち、中間ステージから深度1,000 mまでの主立坑、換気立坑および同深度における水平坑道(最深ステージ)を掘削しつつ実施する。具体的には、主立坑下部(中間ステージ)、換気立坑下部(中間ステージ)、および主立坑の深度100 mごとに換気立坑と繋げるために設置する水平坑道(予備ステージ)の掘削と併行して実施する調査・研究である。なお、最深ステージについては、研究坑道を利用した研究段階において掘削する。

本段階後半の調査・研究計画については、3に述べた本段階前半の調査・研究を繰り返して実施することを基本とするが、一連の調査・解析技術や工学技術などの有効性の評価結果によって、本段階前半の調査・研究期間の中で適宜見直し詳細化・具体化を図る予定である。

(1) 深部地質環境の評価のための体系的な調査・解析・評価技術の基盤の開発

本段階後半においては本段階前半と同様な調査・研究を実施し、深部地質環境の評価にいたる一連のプロセスを繰り返し実施する。これにより、本段階までの各段階で適用した一連の調査・解析技術の有効性を、異なる地質環境条件においても確認する。この結果により、本段階前半において整備した、深部地質環境の評価のための調査・解析・評価手法の高度化を図る。

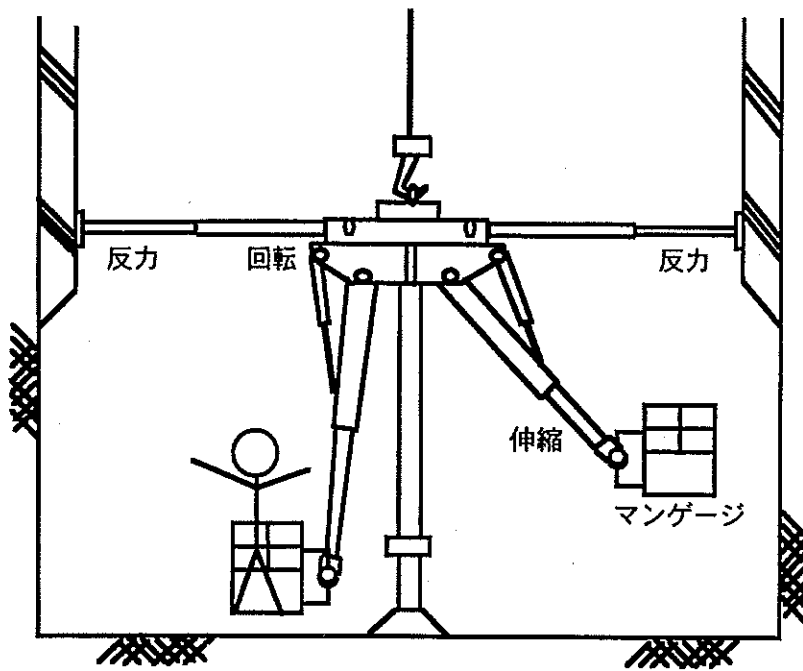
(2) 深地層における工学技術の基盤の開発

本段階後半においては本段階前半と同様の調査・研究を継続して実施する。本段階後半においては、本段階前半と比べ、とくに岩盤の初期応力や地下水の水圧などが極めて大きくなるため、想定外の突発的な事象(大量出水や山はねなど)への施工対策技術の開発が重要となる。

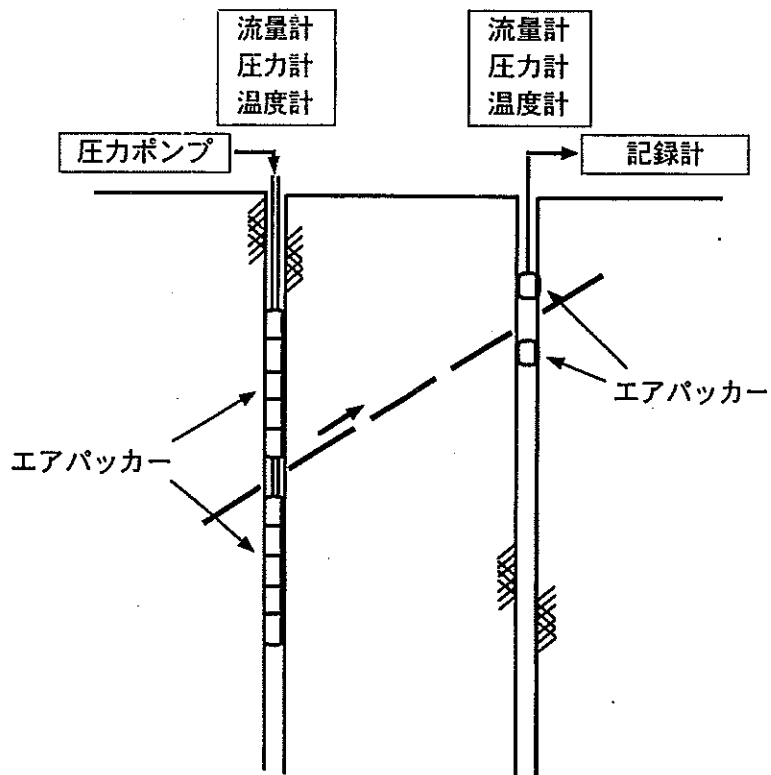
5 スケジュール

3 および 4 に示した本段階の調査・研究計画は、基本的にこれまで正馬様用地において実施してきた調査・研究の成果を参考に策定したものである。今後、「市有地」において行う地表からの調査研究段階の調査・研究の成果に基づき、研究坑道の詳細レイアウトや具体的な施工計画も含めて、適宜見直しを図る予定である。一方、本段階後半の調査・研究計画については、本段階前半の調査・研究を繰り返して実施することを基本とするが、一連の調査・解析技術や工学技術などの有効性の評価結果によって、本段階前半の調査・研究期間の中で適宜見直し詳細化・具体化を図る予定である。

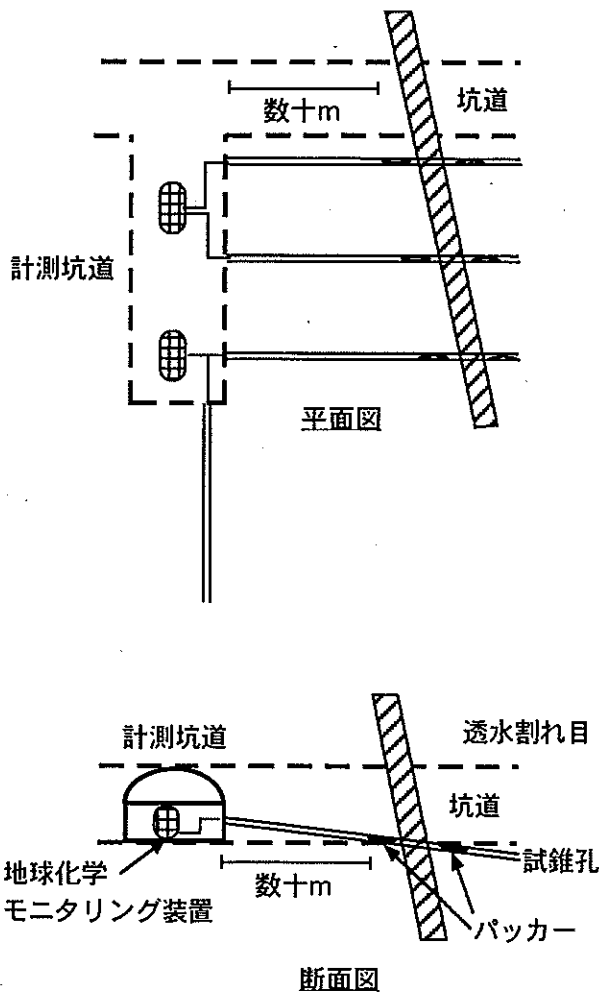
本段階における調査・研究は、予備解析などを実施する事前検討期間および地質環境モニタリングの準備を含めて 2001 年度に開始した。主立坑の本格的な掘削は 2004 年度頃に着手する。本段階後半の開始時期は、今後、地表からの調査予測研究段階で取得される深部地質環境の情報から選定される中間ステージの深度に基づき決定することとなる。本段階の研究期間は、本段階前半および後半を含めて 2009 年度頃までとしている。



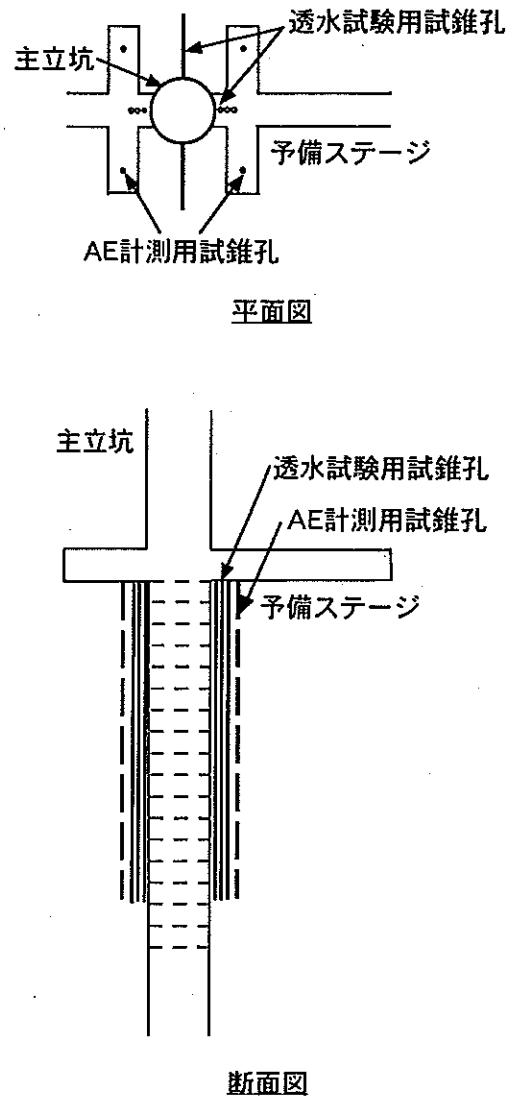
図B-1 立坑壁面地質調査



図B-2 主要な透水性割れ目の水理学的特性調査



図B-3 主要な透水性割れ目の地球化学的特性調査



図B-4 立坑周辺岩盤掘削損傷調査

各 論 C

「市有地」における調査・研究計画
- 研究坑道を利用した研究段階(第3段階) -

1 概要

研究坑道を利用した研究段階(第3段階)は、研究坑道の掘削を伴う研究段階と同様に、中間ステージにおいて調査・研究を行う第3段階前半と最深ステージにおいて調査・研究を行う第3段階後半とに二分して進める。総論4(総論図3)に示したとおり、中間ステージおよび最深ステージをそれぞれ地質環境条件の異なる領域に展開することにより、本段階においては、これらの異なる地質環境条件を対象とした調査・研究の実施が可能となる。基本的には、研究坑道の掘削を伴う研究段階と同様に研究坑道周辺の地質環境を調査・研究の対象とするが、研究坑道から掘削する試錐孔を利用し、深度1,000 m以深の地質環境を対象とした調査・研究も合わせて実施する計画である。本段階における調査・研究の目標は以下のとおりである。

研究坑道を利用した調査・研究による地質環境モデルの構築および研究坑道の拡張による深部地質環境の変化の把握
深地層における工学技術の有効性の確認

本段階においては、調査・研究対象となる深部地質環境の特性を把握するばかりでなく、その地質環境中において生じる様々な現象(坑道掘削が周辺岩盤に与える影響、物質の移動、地震など)の理解にも重点をおいた調査・研究を実施する。これらの深部地質環境に関する情報を三次元的に取得・蓄積し、研究坑道周辺の地質環境特性に関する推定結果の妥当性を評価する。あわせて、推定に用いた地質環境モデル(坑道スケール、場合によっては施設スケールも含む)の妥当性や解析手法の有効性なども評価する。また、その評価結果を踏まえ、それぞれの分野における各スケールの地質環境モデルならびに適用したそれぞれの調査・解析・評価手法について高度化を図る。本段階においては、とくに地下深部において生じる様々な現象を理解するための調査・解析・評価手法の妥当性について確認することも重要である。さらに、深部地質環境の評価に至る一連のプロセスの繰り返しをとおして、評価すべき項目やその重要度を明確にするとともに、調査の種類・量、解析・評価の手法と結果の精度との関係を整理する。この結果を踏まえ、最終的には、深部地質環境を評価するための調査・解析・評価手法を段階的に整備する。

一方、深地層における工学技術については、研究坑道の維持・管理などをとおして、長期にわたる維持・補修技術、ならびに研究坑道内の安全確保のための技術の有効性を確認する。また、必要に応じて、坑道掘削が地質環境に及ぼした影響を修復・軽減する工学技術などを開発・整備する。

基本的に本段階の各ステージにおける調査・研究計画については、それぞれのステージが建設されるまでに取得する深部地質環境に関する情報に基づいて検討・修正され、改訂される。

2 研究坑道を利用した調査・研究の計画

本段階では、地質環境条件の異なる二つのステージにおいて、同様の調査・解析・評価技術や工学技術などを適用し、それらの技術の有効性を評価するとともに高度化を図る計画である。また、研究坑道の拡張による地質環境の擾乱を含め、坑道スケール(数十 m 四方)における地下深部における様々な現象を把握する計画である。とくに、本段階後半では、新規水平坑道の拡張を実施し、研究坑道拡張に伴う坑道周辺岩盤の力学的特性の変化などをするための調査・研究を実施する。それぞれの調査・研究の内容については、本段階までに取得する深部地質環境に関する情報や推定結果などに基づいて具体化を図る。

本章では、本段階における各分野の調査・研究計画の概要を示す。

2.1 地質・地質構造に関する調査・研究

研究坑道の拡張に伴う坑道壁面観察、ならびに各ステージから掘削する 1,000 m 程度の試錐孔を利用した調査・研究を実施し、研究坑道周辺および深度 2,000 m 程度までの地質・地質構造を詳細に把握する。また、研究坑道の掘削を伴う研究段階における研究坑道周辺の地質・地質構造の推定結果との比較により、研究坑道の掘削を伴う研究段階において構築した地質構造モデル(坑道スケール)の妥当性を評価する。この評価結果を踏まえ、地質構造モデル(坑道スケール)を更新する。さらに、新たに取得する情報に基づき、各スケールの地質構造モデルの高度化を図る。上記調査と後述する地下水の地球化学調査の結果などにより、酸化還元領域を把握する。

研究坑道地質調査

詳細な坑道壁面観察、物理探査および坑道からの試錐調査によって、研究坑道周辺の地質・地質構造を三次元的に把握する。また、各ステージから掘削する試錐孔においては、坑道壁面で観察される地質・地質構造の分布や連続性、性状などを確認するため、岩芯観察、岩芯を用いた鉱物学的・地球化学的調査、物理探査(物理検層、試錐孔間トモグラフィ)などを実施する。

深部領域地質調査

研究坑道の掘削を伴う研究段階までに構築される地質環境モデル(施設スケール)に用いられる情報の多くは、深度 1,000 m までの地質環境に関するものである。したがって、本段階においては、研究坑道から深度方向へ 1,000 m 程度の試錐孔を掘削し、深度 1,000 m 以深の情報を直接的に取得する。また、複数の試錐孔を用いて試錐孔間トモグラフィ(弾性波および電磁波)調査を実施し、その調査技術の有効性を確認する。

2.2 地下水の水理に関する調査・研究

研究坑道の拡張に伴う坑内湧水量の観測、地下水位や間隙水圧などの観測、ならびに研究坑道から掘削する試錐孔における水理試験により、研究坑道周辺における主要な地質構造要素ならびに土岐花崗岩健岩部の水理学的特性を詳細に把握する。また、これらの実測データと研究坑道の掘削を伴う研究段階における推定結果を比較し、同段階において構築した水理地質構造モデル(坑道スケール)や解析手法などの妥当性とを評価する。この評価結果を踏まえ、水理地質構造モデル(坑道スケール)の更新と境界条件の見直しを行い、研究坑道周辺における地下水流動に関する解析精度の向上を図る。さらに、新たに取得する情報に基づき、各スケールの水理地質構造モデルの高度化を図る。

表層水理調査

研究坑道掘削による地下水流動場の変化など把握するため、河川流量、試錐孔に設置した多点式パッカーシステム(MP システム)を利用した地下水圧の観測や、「市有地」周辺における地下水利用(利水)に関する調査および観測などを継続して実施する。

深層水理調査

土岐花崗岩の水理学的特性を施設スケールならびに坑道スケールで把握するため、研究坑道において各種の水理試験を実施する。ほかの分野における試錐孔を利用した調査・研究において、水理学的に重要な地質構造要素が確認された場合は、以下に示す調査・試験に加え、その試錐孔における水理試験や間隙水圧観測などを実施する。また、各スケールの調査結果を比較検討し、「市有地」における土岐花崗岩体の水理学的特性を評価する。

・深層水理観測

地表から掘削された試錐孔における地下水位や間隙水圧などの長期観測(地質環境モニタリング)および坑内湧水量の観測を継続して実施する。あわせて、これらの観測に極力影響を与えないように、各ステージから複数の試錐孔を水平かつ放射状に掘削して間隙水圧の観測装置を設置し、主立坑を中心とした間隙水圧の水平方向の変化を観測する。

・室内水理試験

研究坑道の拡張に伴い新たな岩種や岩相などが確認された場合は、それらの岩種や岩相などの水理学的特性を把握するため、採取した岩石試料を用いた室内透水試験を実施する。

・坑道規模水理試験

土岐花崗岩中の不均質な透水性分布をモデル化する有効な手法と考えられる等価不均質連続体モデルの構築手法を検討するため、坑道スケールの等価透水性、透水性のスケール効果、および透水性に影響を及ぼす割れ目特性を評価する。また、研究坑道において100 m³程度の大きさの岩盤を対象として数十本の試錐孔を掘削し、各種の水理試験を集中的に実施する。

・単一透水性割れ目を対象とした水理試験

透水性割れ目中における地下水流動は、チャンネルングに支配され、不均質性を有す

る。このような不均一な地下水流動特性を評価するために、水平坑道と交差する単一透水性割れ目を対象に水理試験を実施する。対象とする単一透水性割れ目に複数の試錐孔を掘削し、注水および圧力応答の観測を行う。各試錐孔において、パッカーなどで仕切られた区間ごとに注水および圧力応答の観測を行うことにより、区間ごとの透水性の差異などを把握する。本試験の概念を図 C-1 に示す。

・複数の透水性割れ目を対象とした水理試験

透水性割れ目のネットワークのモデル化、ならびにネットワークを介した地下水流動特性の把握を目的として、交差する複数の透水性割れ目を対象に掘削した試錐孔において、トレーサーを用いた水理試験などを実施し、透水性割れ目の連続性を確認するとともにその透水性を把握する。

・床盤水理試験

坑道周辺岩盤の水理学的特性を把握するため、研究坑道の床盤に築いた堤体により貯水した水を堤体と平行して掘削する計測溝へ湧水させ、その量を計測することにより、研究坑道の床盤の透水性を調査する。また、湧水量の計測装置を計測溝壁面に深度を変えて設置することにより、透水係数の深度方向の変化を把握する。本試験の概念を図 C-2 に示す。

・熱応力下の水理試験

常温時から高温下における岩盤の水理学的特性の変化を評価するため、研究坑道から採取した岩石試料を用いた室内試験のほか、研究坑道内の数 m 四方程度の岩盤に熱源を設置し、その近傍に掘削する試錐孔を用いた各種の水理試験を実施する。

2.3 地下水の地球化学に関する調査・研究

研究坑道から掘削する試錐孔ならびに既存試錐孔における地下水採水や化学分析などを継続し、深部地下水の地球化学的特性の三次元分布や研究坑道建設に伴うその特性の変化(たとえば、掘削影響領域における酸化還元状態)を把握する。これらの実測データと研究坑道の掘削を伴う研究段階における推定結果とを比較し、同段階において構築した地球化学モデル(水質形成モデル;坑道スケール)や解析手法などの妥当性を評価する。また、この評価結果を踏まえ、各スケールの地球化学モデルを更新する。さらに、新たに取得する情報に基づき、各スケールの地球化学モデルの高度化を図る。

地下水の地球化学的調査

地表から掘削された試錐孔における地下水採水や化学分析、ならびに研究坑道内の湧水を対象とした採水や化学分析などを継続する。また、研究坑道から試錐孔を掘削し、坑道周辺岩盤中の地下水を対象とした地下水採水や化学分析などを実施する。研究坑道から掘削する試錐孔における調査の概念を図 C-3 に示す。また、花崗岩中における物質移行、遅延現象を把握するために必要な地下水中のコロイド、有機物、微生物に関するデータを取得する。

水・岩石反応による水質形成機構の調査

研究坑道の拡張に伴い、坑道壁面や研究坑道から掘削する試錐孔などから岩石試料を採取し、鉱物組成、割れ目充填鉱物や変質鉱物などの化学組成や同位体組成などの分析を行う。さらに、採取した岩石試料を用いて水・岩石反応を確認するための室内試験などを実施する。

坑道周辺岩盤中における酸化還元状態調査

坑道周辺岩盤中における酸化還元フロントの形成および移動を把握するため、研究坑道から数 m 程度の試錐孔を掘削し、多段パッカー式地下水採水装置を設置する。この装置を用いて地下水の物理化学パラメーターおよび溶存ガスなどの連続モニタリングを行う。

坑道周辺岩盤の酸化還元緩衝能力調査

坑道周辺岩盤の酸化還元緩衝能力を把握するため、研究坑道から 2 本の試錐孔を数 m 離れた距離に掘削し、一方に多段パッカー式注水装置、他方に多段パッカー式採水装置を設置し、一方から酸化性の溶液を注入し、他方で採水した地下水の物理化学パラメーターの変化を観測する。本調査の概念を図 C-4 に示す。

水理・岩盤力学・地球化学複合現象調査

2.4(水平坑道掘削影響試験)における新規水平坑道の拡張に伴う、岩盤の水理学的変化ならびに力学的変化による地下水の地球化学的特性の変化を把握するため、新規水平坑道の周辺に掘削する試錐孔に水質連続モニタリング装置などを設置し、研究坑道掘削に伴う地下水の地球化学的な変化を観測する。

2.4 岩盤の力学に関する調査・研究

異なる地質環境条件を対象に、立坑の掘削および新規水平坑道の拡張を実施し、坑道掘削に伴う坑道周辺岩盤の力学的特性の変化などを把握する。これらの実測データと研究坑道の掘削を伴う研究段階における推定結果とを比較し、同段階において構築した岩盤力学モデル(坑道スケール)や解析手法などの妥当性を評価する。また、研究坑道における変位計測などを継続し、坑道周辺岩盤の長期的な安定性を評価するとともに岩盤の破壊現象(山はねなど)を把握する。これらの結果を踏まえ、岩盤力学モデル(坑道スケール)を更新し、坑道周辺岩盤の力学的挙動などに関する解析精度の向上を図る。さらに、新たに取得する情報に基づき、各スケールの岩盤力学モデルの高度化を図る。

岩盤の力学的特性調査

研究坑道の掘削に伴う研究段階で予測した力学物性(物理特性、変形特性、強度特性)の深度方向の変化や初期応力の分布などを確認するため、研究坑道から試錐孔を掘削し、岩石の力学試験、初期応力測定、孔内載荷試験、速度検層などを実施する。坑道掘削の影響が及ばない領域においてデータを取得するため、研究坑道から少なくとも坑道径の 3 倍以上離れた岩盤中において上記の試験や試料の採取などを行う。

水平坑道掘削影響試験

水平坑道周辺の岩盤中に形成される掘削影響領域の範囲および力学物性の変化の程度を把握するため、掘削影響試験を実施する。坑道周辺における力学物性の変化領域(掘削損傷領域と考えられる低速度帯)および坑道間の力学物性の変化領域の同定、ならびに坑道壁面の安定性評価のため、坑道壁面沿いに三次元的に設けた測線に沿った屈折法弾性波探査、弾性波トモグラフィ調査、変位計測、AE計測、孔内載荷試験などを実施する。さらに、同定された掘削損傷領域を含む岩盤中の割れ目の分布などに関する詳細な調査のため、坑道の一部を拡幅する。また、機械掘削(TBM)およびスームプラスティング工法による掘削損傷の工法依存性を比較し評価する。本調査の概念を図 C-5 に示す。

坑道長期安定性調査

坑道周辺岩盤の長期的な安定性の解析手法を評価するため、水平坑道掘削影響試験における変位計測および AE 計測を継続する。さらに、同定された掘削損傷領域の拡大傾向を評価するため、坑道掘削後の一定期間を経た時点で、屈折法弾性波探査などを実施する。

立坑掘削影響試験

立坑周辺の岩盤中に形成される掘削影響領域の範囲および力学物性の変化の程度を把握するため、掘削影響試験を実施する。本試験は、主立坑のスパイラル坑道取り付け部から最深ステージまでの土岐花崗岩を対象に実施し、異なる地質環境条件における掘削影響領域の範囲および力学物性の変化の程度を評価する。また、坑道壁面や研究坑道から掘削した試錐孔などを利用し、前述の水平坑道掘削影響試験と同様に各種の調査・試験を実施する。

2.5 岩盤中の物質移動に関する調査・研究

岩芯を用いた室内調査などにより、土岐花崗岩中の物質移行経路や収着・拡散特性などを評価する。また、本段階までに整備した地質・地質構造、地下水の水理ならびに地下水の地球化学の各分野に関する情報、および天然に存在する核種を用いた調査・研究の成果をもとに物質移行モデル(坑道スケール)を構築する。さらに、研究坑道周辺において、土岐花崗岩中における物質移行・遅延現象を把握するためのトレーサー試験などを実施し、構築した物質移行モデル(坑道スケール)の妥当性の評価ならびに更新を行う。さらに、花崗岩中における物質移行、遅延現象を把握するために必要な地下水中のコロイド、有機物、微生物に関するデータを取得する。

岩芯試料を用いた物質移行調査

単一透水性割れ目トレーサー試験を実施する透水性割れ目から岩芯試料を採取し、物質移行試験や地球化学的・鉱物学的調査などを実施する。これらの調査・試験により、透水性割れ目中におけるチャンネルング、物質移行時間、および収着・拡散特性に関する情報を取得する。本調査の概念を図 C-6 に示す。

単一透水性割れ目における物質移行試験

水平坑道と交差する単一透水性割れ目を対象にトレーサー試験を実施する。対象とする単一透水性割れ目に掘削する複数の試錐孔において、一方からトレーサーを注入し、他方でそのトレーサーを回収する。また、単一透水性割れ目の開削を行い、採取した岩石試料中のトレーサーの分布や物質移行経路などの調査を行い、物質移行・遅延を直接的に評価する。本調査概念の一例を図 C-7 に示す。

破碎帯における物質移行試験

断層破碎帯の物質移行・遅延特性を把握するため、破碎帯上部および下部にそれぞれ注水用坑道および計測用坑道を掘削し、トレーサー溶液を注水用坑道から浸透させ、計測用坑道において回収する。さらに、回収するトレーサー溶液の化学的特性の変化を継続して観測する。本試験の概念を図 C-8 に示す。

2.6 深地層における工学技術に関する研究

地下深部における、研究坑道の長期にわたる維持・補修技術ならびに研究坑道内の環境保全技術の適用性の確認を行う。また、施工工程や品質などの管理体系を構築し、研究坑道内の研究環境を適切に維持・管理し安全を確保するための技術を整備する。必要に応じて、研究坑道の掘削が地質環境に及ぼした影響の修復あるいは軽減に関する工学技術など(図 C-8)を開発・整備する。

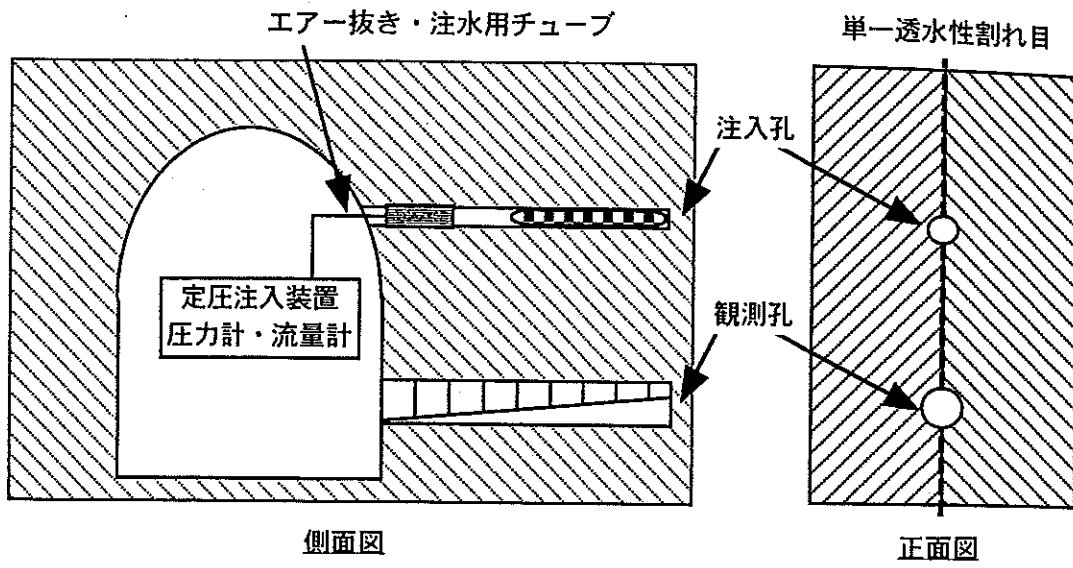
2.7 地震観測

研究坑道の異なる深度に地震計や湧水量計などを設置し、地下深部における地震動の観測や地震に伴う深部地質環境の変化などを観測し、地震の研究坑道や深部地質環境への影響を評価する。

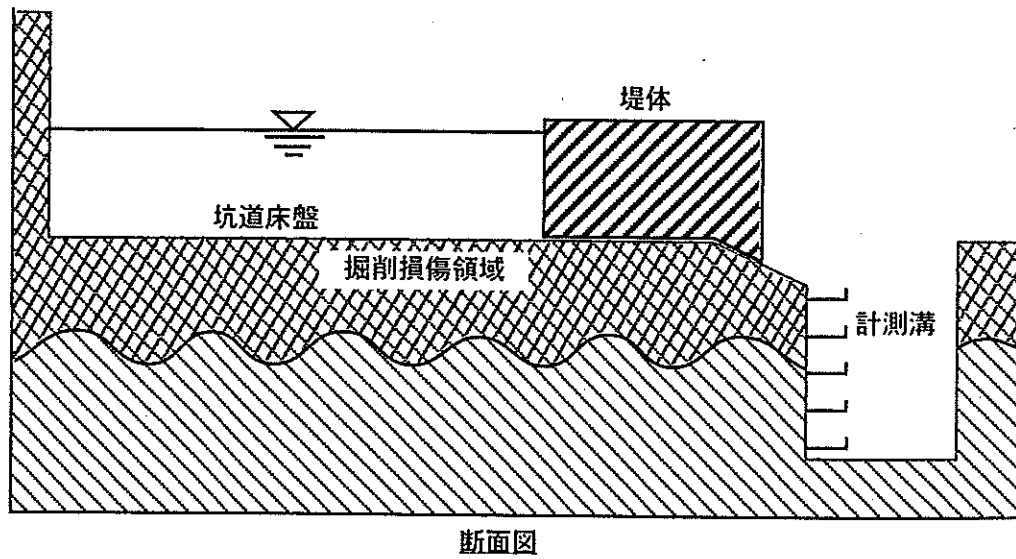
3 スケジュール

2 に示した本段階の調査・研究計画は、基本的にこれまでに実施した正馬様用地における調査・研究の成果を参考に策定したものであり、引続き実施する地表からの調査予測研究段階の調査・研究、さらに研究坑道の掘削を伴う研究段階における調査・研究の成果に基づき、研究坑道の詳細レイアウトや具体的な施工計画も含めて、適宜見直し詳細化・具体化を図る予定である。また、本段階後半の調査・研究計画については、本段階前半における調査・研究の成果に基づき見直す予定である。

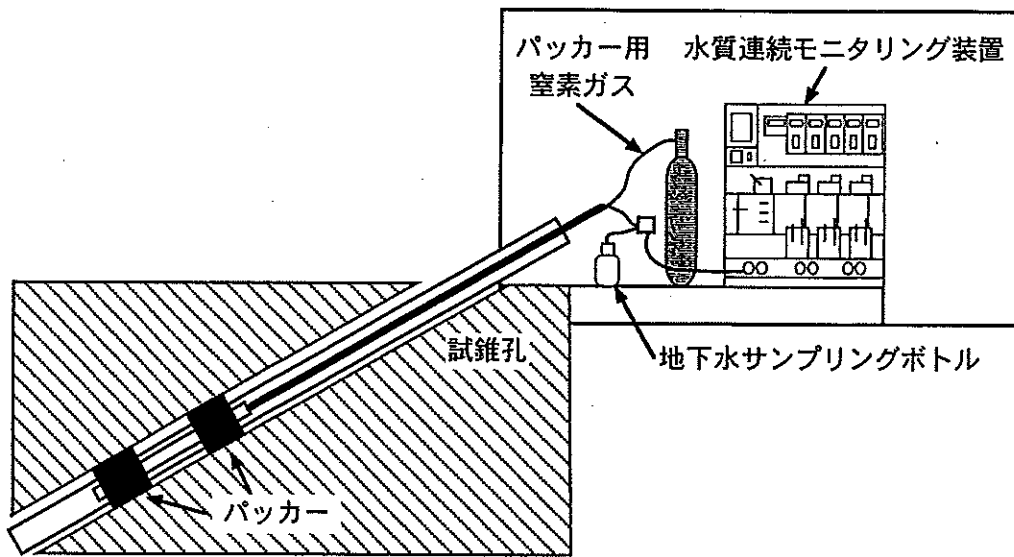
本段階の調査・研究は 2007 年度ごろから実施し、2015 年度に終了する計画である。



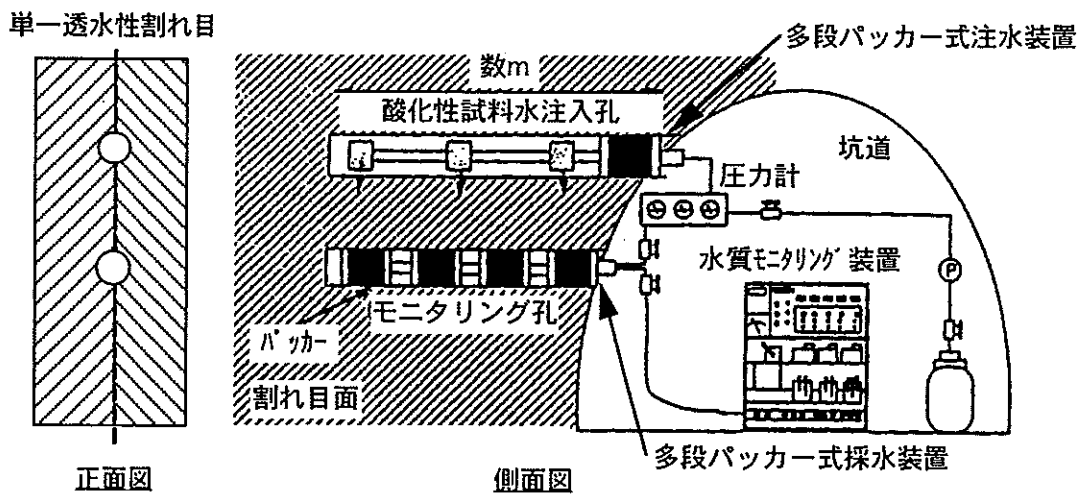
図C-1 単一割れ目を対象とした水理試験



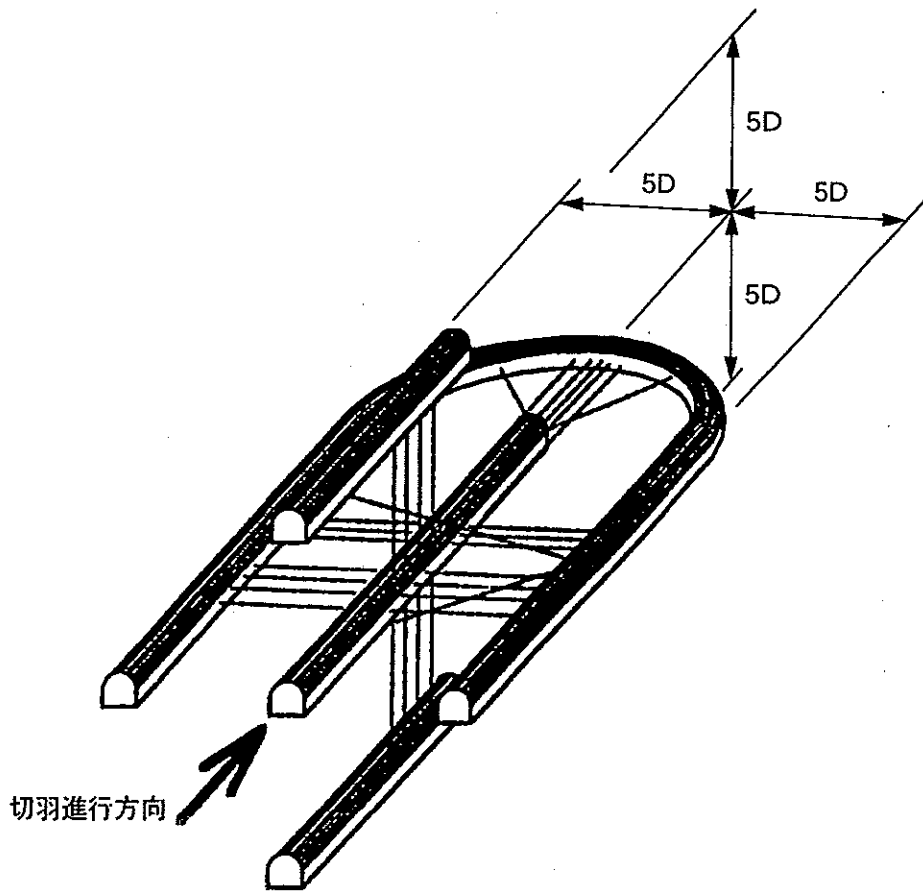
図C-2 床盤水理試験



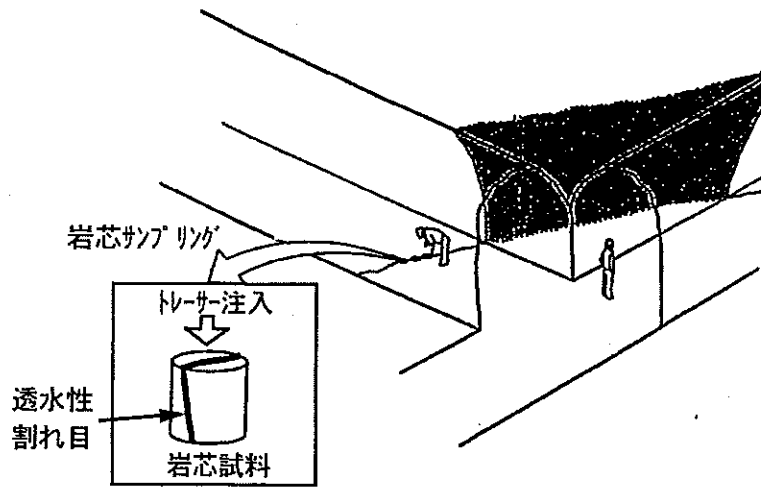
図C-3 地下水の地球化学的調査



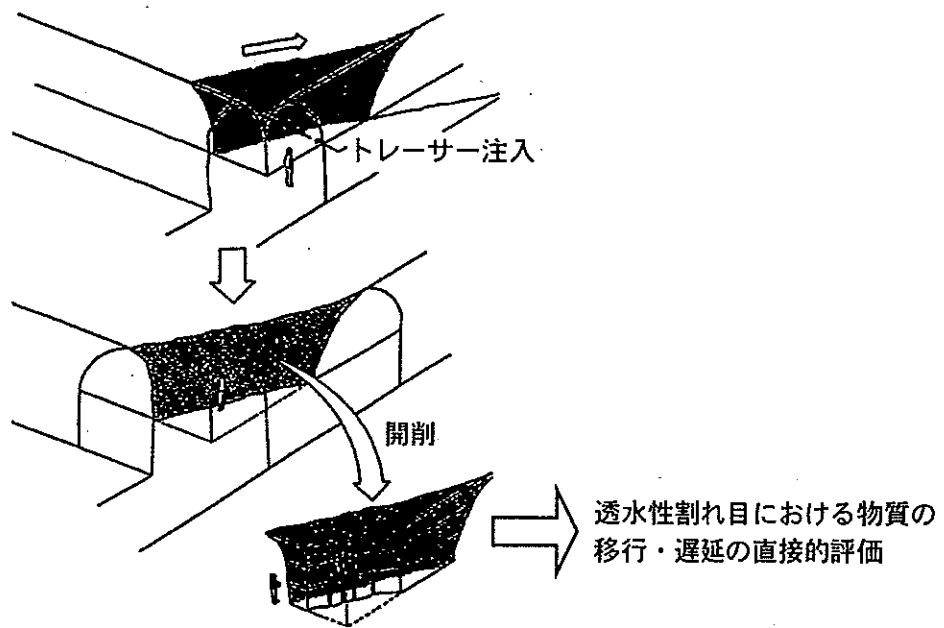
図C-4 坑道周辺岩盤の酸化還元緩衝能力調査



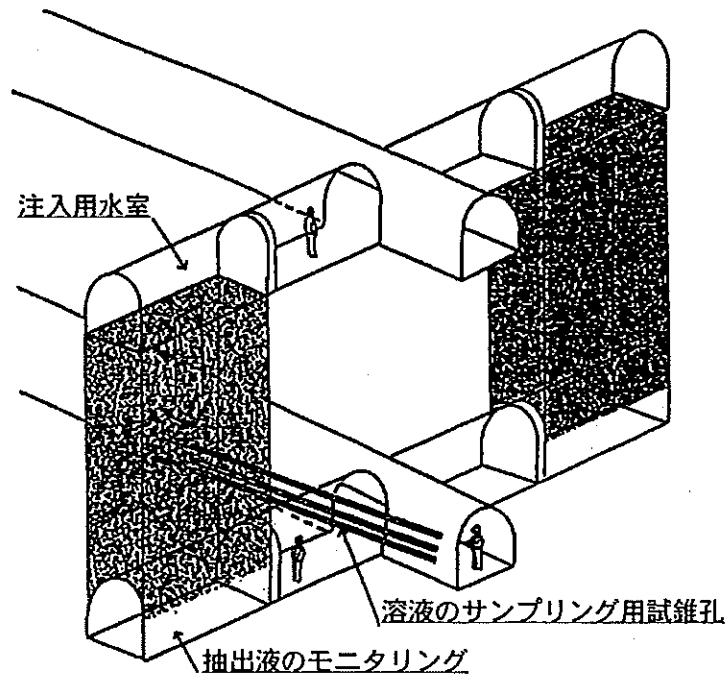
圖C-5 水平坑道掘削影響試驗



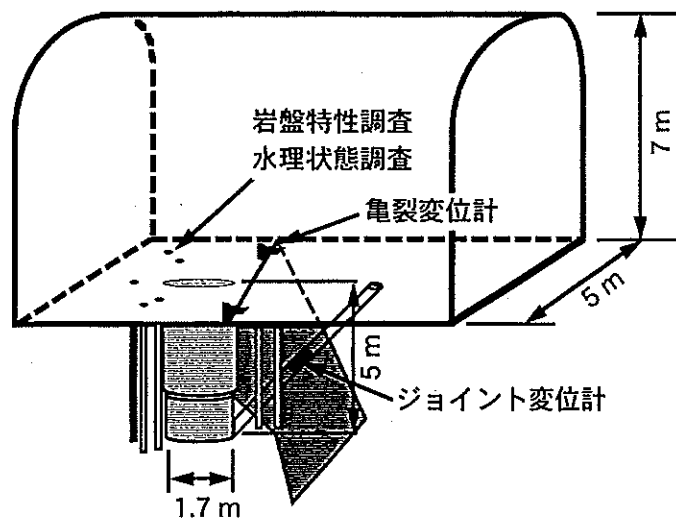
図C-6 岩芯試料を用いた物質移行調査



図C-7 単一透水性割れ目における物質移行試験



図C-8 破碎帯における物質移行試験



図C-9 熱-水-応力の連成挙動試験

各 論 D

正馬様用地における調査研究計画(2001年度以降)

1 概要

正馬様用地では、超深地層研究所計画の全体目標のひとつである深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備に関連し、これまで蓄積された月吉断層やその周辺の地質環境の情報や試錐孔などの研究資源を利用した要素技術開発の場として活用し、「市有地」での調査・研究の効率化を図るための要素技術の高度化に向けた調査・研究を実施する。また、正馬様用地で進められている地表からの調査結果による地質環境のモデル化に向けた調査・研究については、情報量とモデルの精度との関係を把握するため、一連の調査・解析を繰り返し行い、モデルの高度化を進めるとともに、一連の調査・解析・評価手法の有効性を把握する。さらに、既存試錐孔を利用して、「市有地」での立坑掘削が地質環境に与える影響を確認するため、地下水圧などの連続観測を行う。

具体的には、地質環境のモデル化技術の高度化を目的とし、透水性割れ目の同定・分類技術の構築および地質・地質構造のモデル化技術の構築、長期揚水試験や地下水長期観測とそれに基づく水理地質構造のモデル化技術の構築、MP システムを用いた採水調査や土岐花崗岩中の深部地下水の年代測定とそれに基づく地球化学モデルの構築、応力集中による空洞周辺岩盤の破壊現象のメカニズムに関する研究などを行う。また、調査技術・調査機器の開発を目的とし、フローメータ検層技術の適用評価、岩盤浸透量の評価技術の検討などを行う。

2 正馬様用地における調査・研究の計画

2.1 地質環境のモデル化技術の高度化

情報量とモデルの精度との関係を把握するため、調査・解析を繰り返し行い、モデルの高度化を進める。正馬様用地で行う調査・研究の内容は以下のとおりである。

(1)地質・地質構造に関する調査・研究

透水性割れ目の同定・分類技術の構築

亀裂性岩盤のモデルで表現すべき透水性割れ目の同定・分類技術の構築に向け、正馬様用地でこれまでに取得されたデータを見直すとともに、必要に応じて既存試錐孔を利用した孔内試験(VSP 調査および流体検層など)を実施する。これらの情報に基づき、透水性の大きい割れ目(帯)の同定・分類手法を確立する。また、より透水性の低い割れ目(帯)については、そのモデル化の意義を地下水流動の観点で評価する。

地質・地質構造のモデル化技術の構築

地質環境の情報量やモデル化手法の違いによる解析結果のバラツキ(不確実性)の幅や不確実性に寄与する要因の評価の検討を目的とした、複数のモデル化手法を用いた地下水流動解析の一環として、数 km ~ 数百 m 四方の領域を対象とした検討を継続する。これまでに構築したモデルを、新規情報(MIU-4 号孔での試錐調査結果や長期揚水試験結果、VSP 調査結果、さらに広域地下水流動研究で実施される断層に着目した物理探査や試錐調査の結果)により更新するとともに、調査の種類・量、解析・評価の手法および結果の精度との関係を把握する。

(2)地下水の水理に関する調査・研究

長期揚水試験

(1) で構築した地質構造モデルや水理地質構造の妥当性の評価およびモデルのキャリブレーションを目的として、主として月吉断層の上盤側全体および下盤側全体を対象にした長い試験区間における長期揚水試験を実施する。さらに、ブロックスケールにおける地質構造モデルや水理地質構造モデルの妥当性の確認、およびモデルのキャリブレーションを目的として、各試錐孔で同定された透水性割れ目(帯)を対象とした短い試験区間における長期揚水試験(干渉試験)を実施する。

水理地質構造のモデル化技術の構築

複数のモデル化手法を用いた地下水流動解析の一環として、数 km ~ 数百 m 四方の領域を対象とした地下水流動解析を継続する。これまで構築した水理地質構造モデルを、新規情報(MIU-4 号孔での試錐調査結果や長期揚水試験結果、VSP 調査結果、さらに広域地下水流動研究で実施される断層に着目した物理探査や試錐調査の結果)に基づき更新するとともに、調査の種類・量、解析・評価の手法および結果の精度との関係を把握する。

地下水長期観測

複数のモデル化手法を用いた地下水流動解析や「市有地」での立坑掘削影響予測解析でのモデルの境界条件の設定や解析結果の妥当性を評価するための情報の取得を目的に、用地内の観測施設を利用して水収支観測や地下水の間隙水圧などの長期観測を行う。

(3) 地下水の地球化学に関する調査・研究

MPシステムを用いた採水調査

土岐花崗岩中(とくに主要な透水性割れ目、月吉断層とそれに付随する割れ目帯、月吉断層下盤)の深部地下水の地球化学特性に関する情報の蓄積、ならびに新用地における立坑掘削に伴う深部地下水の地球化学特性の変化の把握を目的に、各試錐孔に設置されているMPシステムを用いて地下水の採水を行い、地下水の物理化学パラメータ、主要溶存成分、微量溶存成分、溶存ガス、環境同位体(可能であれば地下水中のコロイド、有機物、微生物)を調査する。

地球化学モデル(水質形成モデル)の構築

地球化学特性のモデル化技術の高度化(調査の種類・量、解析・評価の手法および結果の精度との関係の把握)を目的に、取得した情報の集約と解釈による地球化学モデル(水質形成モデル;施設スケール)を構築する。また、新規に取得した情報に基づく同モデルの妥当性の確認およびモデルの更新を繰り返す。

土岐花崗岩中の深部地下水の年代測定

深部地下水の年代測定技術の高度化を目的として、割れ目充填鉱物の地質学的情報(鉱物組成、化学組成、同位体組成)や地表水/降水の地球化学的情報の取得、および割れ目ネットワーク(割れ目の分布に規制された地下水流動)を考慮した地下水年代の補正技術(たとえば ^{14}C ではdead carbonの供給量の推定手法)を開発するとともに、同位体的手法に基づく地下水流動モデルを構築する。

(4) 岩盤の力学に関する調査・研究

地下深部に空洞を掘削した場合、花崗岩でも空洞周辺の高い応力集中により空洞周辺岩盤中に破壊現象が発生し、それによって初期の岩盤の物性が著しく変化する可能性がある。このため、「市有地」での解析に先立ち、この現象のメカニズムを解明し、岩盤物性の変化の範囲や程度を評価しうるモデル化手法の開発を正馬様用地で取得された試験結果を参考に実施する。なお、当初予定していた断層関連の研究については、各孔にMPシステムが設置されている正馬様用地では新規にデータを取得することができないことから、「市有地」に移行することとする。

2.2 調査技術・調査機器の開発

これまで蓄積された地質環境の情報を活かし、以下に示す要素技術の適用性などに関する検討を実施する。

フローメータ検層技術の適用評価

より透水性の低い割れ目を試錐孔調査において同定・分類するためには、より透水性の低い割れ目を検出する検層技術が必要である。このため、地質学的観点からの検討に加え、水理学的な観点から高精度の流体検層の適用評価を行う。現状では、フィンランドの Possiva flowlog が世界的に評価されていることから、日本の岩盤への適用性評価も含め、Possiva flowlog による流体検層を行う。

岩盤浸透量の評価技術の検討

地下水流動解析での上部境界条件となる岩盤浸透量の算定に当たっては、表層部から岩盤部への地下水の浸透機構、表層部の貯留特性、水収支に与える森林における蒸発散の影響の把握、および比較的狭い流域で算定された浸透量を広域スケールへ拡張するための方法などが課題として挙げられる。

正馬様用地では、気象観測装置、河川流量計、地下水位計、土壌水分計が設置されており、これらの研究課題の解決に向けた調査解析のためのインフラが整備されている。したがって、立坑建設予定地が「市有地」に移行した後も、正馬様用地で岩盤浸透量の算定に関する長期観測およびデータ解析を継続する。

3 スケジュール

正馬様用地における調査研究の当面のスケジュールを以下に示す。

表 1 正馬様用地における調査研究工程

調査・研究項目	2002年度	2003年度	2004年度	2005年度
1 地質環境のモデル化技術の高度化				
(1)地質・地質構造に関する研究				
透水性割れ目の同定・分類技術の構築	■			
地質構造のモデル化技術の構築	■			
(2)地下水の水理に関する研究				
長期揚水試験		■		
地下水流動のモデル化技術の構築	■			
地下水長期観測	■			
(3)地下水の地球化学に関する研究				
MP システムを用いた採水調査	■			
地球化学モデルの構築	■			
土岐花崗岩中の深部地下水の年代測定	■			
(4)岩盤の力学特性に関する研究	■			
2 調査技術・調査機器の開発				
フローメータ検層技術の適用評価		■		
岩盤浸透量の評価技術の検討	1 (2)	で実施		