

釜石原位試験

第2フェーズ計画

—平成7年度～平成9年度計画—

技術資料		
開示区分	レポート No.	受領日
T	N1010 95-004	1995.10.6
この資料は技術管理室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です 動力炉・核燃料開発事業団 技術協力部技術管理室		

1995年4月

動力炉・核燃料開発事業団
環境技術開発推進本部

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒107 東京都港区赤坂 1 - 9 - 13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technical Evaluation and Patent Office, Technology Management Division, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 9-13, 1-chome, Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107, Japan

© 動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) 1995

目 次

はじめに	1
1. 第2フェーズ試験計画概要	2
2. 深部地質環境特性の把握	8
3. 深部岩盤における掘削影響領域の評価	16
4. 結晶質岩中の水理・物質移行・遅延に関する研究	33
4. 1 収着・遅延に関する研究	33
4. 2 移流・分散に関する研究	40
5. 人工バリア試験	44
5-1 グラウト技術の適用試験	44
5-2 粘土充填・熱負荷試験	47
6. 地震に関する調査研究	53

はじめに

釜石原位置試験は、事業団が進めている深部地質環境に関する科学研究（地層科学研究）の一環として昭和63年度より実施しているものである。本試験の目的は、既存の地下坑道（釜石鉱山）を利用した調査試験によって、結晶質岩盤およびそこに含まれる地下水の特性とそこで起こっている現象を把握することである。

現在は、第1フェーズ5ケ年計画（昭和63年度～平成4年度）における海拔550mレベル坑道での試験研究の成果をもとに、より詳細な現象把握と定量化をめざした第2フェーズ5ケ年計画（平成5年度～平成9年度）を、550mおよび250mレベルの2つの坑道等を利用して実施中である。第2フェーズ5ケ年計画も、第3事業年度を迎え、これまでの試験研究によって計画の一部については既に一定の成果が得られつつあり、また、今後の実施内容についても当初計画で設定したものをより具体化することが可能な状況となっている。

このような現状を踏まえ、今後の3ケ年における試験研究を最大限に効率的かつ効果的に実施する観点から、平成6年度までの成果を整理し、平成7年度以降の実施内容の最適化をはかることを主眼として、第2フェーズ5ケ年計画の見直しを行った。

1. 第2フェーズ試験計画概要

第2フェーズ5ケ年計画においては、第1フェーズで抽出された課題、すなわち地質環境特性の深度依存性（深さによって岩盤や地下水の性質がどう変わるか）や坑道周辺の掘削影響領域（坑道を掘削することにより、周辺の岩盤や地下水にどのような影響を与えるか）を評価することなどを目標に、以下の5つの研究項目を設定して調査試験を実施している。

- ① 深部地質環境特性の把握
- ② 深部岩盤における掘削影響領域の評価
- ③ 結晶質岩中の水理・物質移行・遅延に関する研究
- ④ 人工バリア試験
- ⑤ 地震に関する調査研究

(1) 実施内容

① 深部地質環境特性の把握

岩盤の力学特性、水理特性および地下水の地球化学特性とそれらの空間的な変化や時間的な変化を把握するため、ボーリング孔や坑道を利用した各種特性試験およびモニタリングを実施する。また、釜石原位試験全体としての試験の最適化や成果の一般化を図るため、各特性を支配する重要な要素である割れ目の性状を把握する。

② 深部岩盤における掘削影響領域の評価

坑道を掘削した際に周辺の岩盤や地下水にどのような影響を与えるかを評価するため、実際に試験坑道を掘削して掘削前後における変化を計測することにより、坑道掘削による周辺岩盤および地下水への影響の程度とその範囲を定量的に把握する。

③ 結晶質岩中の水理・物質移行・遅延に関する研究

結晶質岩における地下水の主要な移行経路である割れ目中での物質の移行・遅延および移流・分散といった現象を評価するため、原位置での試験（透水試験、トレーサー試験等）および室内試験を行う。また、その結果に基づき物質移行モデルの妥当性を評価する。

④ 人工バリア試験

割れ目帯の密封技術の適用性等を評価するため、坑道内に試験孔を掘削してグラウト技術の適用試験および粘土充填・熱負荷試験を実施し、実際の岩盤中での性能や周辺岩盤への影響を調べる。

⑤ 地震に関する調査研究

地震による地質環境への影響を把握するため、地下坑道を利用した地震観測やこれと連動した地下水のモニタリング等を行い、地震動の空間的な変化や地震に伴う地下水の水理・水質の変化を把握する。

第2フェーズにおいては、個々の試験研究を完結することを前提としつつ、同時に今後の地層科学研究の展開にとって重要な課題を抽出、整理して行くことにも留意して作業を進める。また、調査試験技術に関しても、深地層の研究施設計画等への反映の観点から、手法の高度化および機器の改良開発に取り組む。

なお、各年度の詳細な実施計画は、本基本計画に基づき、かつ当該前年度までの成果を踏まえて別途策定するものとする。

(2) 実施場所

地質環境特性の深度による違いや坑道の影響を把握するという観点から、主として第1フェーズの試験を実施した 550m レベル坑道と釜石鉱山最深部の 250m レベル坑道（地下約700m）において試験を展開する。具体的には、以下の坑道および試験孔を利用して、坑道周辺を対象に調査試験を実施する（図 1-1）。

- ① 250mレベル坑道および 550m レベル坑道
- ② 第1フェーズにおいて掘削した試験孔（地表からの試験孔を含む）
- ③ 250mレベル坑道および 550m レベル坑道において新たに掘削する試験孔および試験坑道
- ④ 680mレベル～865mレベル坑道の一部

(3) スケジュール

平成5年度～平成9年度の5年間で、原位置試験場における全ての調査

試験を終了する。各研究項目における主な工程を表 1-1 に示す。

(4) 実施体制

地層科学研究グループが全体総括（基本計画策定と評価）、東濃地科学センター・地層科学研究開発室（旧中部事業所・環境地質課）が実施の総括および釜石事務所が実施をそれぞれ担当することを基本的な役割分担とし、処分研究グループ、東海事業所・地層処分開発室および東濃地科学センター・技術開発課と連携を取りつつ各試験研究を実施する（図 1-2）。

なお、大学や学会等の研究者の幅広い参加と民間関係機関等の協力を得ながら進めて行くこととする。

(5) 評 価

本試験研究の結果については、事業団内で定期的なチェック&レビューを行うとともに、委員会等において外部専門家の評価を受けることにより、適宜実施計画へのフィードバックを行い、試験研究の適切な展開を図る。

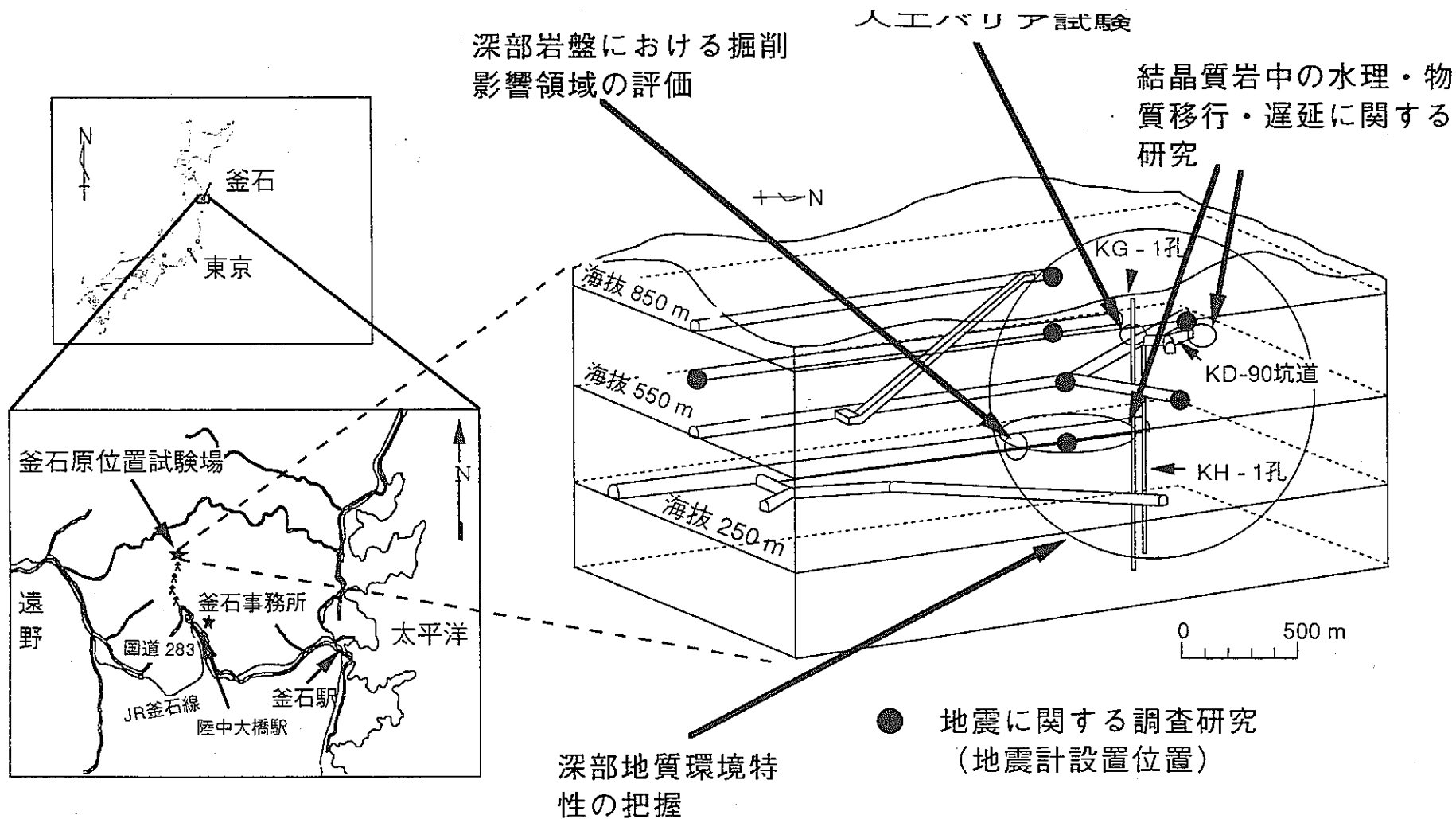


図 1 - 1 釜石原位置試験実施場所

表 1-1 釜石原位置試験・第2フェーズ計画工程表

研究項目	平成5年度	平成6年度	平成7年度	平成8年度	平成9年度
深部地質環境特性の把握 (TASK 1)					
①地質構造調査	○	既存データのコンパイル, 割れ目観察・分類 (コア, BTV)	○	割れ目観察・分類, 室内試験, 物理探査 (割れ目検出技術の適用性評価), 割れ目データセットの作成	○
②深部岩盤の力学特性調査と初期応力測定	○	力学特性調査, 初期応力測定, 室内試験 (力学試験)	○	力学特性調査, 初期応力測定, 室内試験 (異方性・寸法効果の把握) (手法の信頼性検討)	○
③深部岩盤の水理特性調査	○	既存データのコンパイル, 坑内湧水量・間隙水圧の観測	○	坑内湧水量・間隙水圧の観測, 気象データの整理, 水理試験, 岩盤浸透流解析 (解析手法の検討)	○
④深部地下水の地球化学特性調査	○	坑内湧水・孔内地下水の採取・分析	○	坑内湧水・孔内地下水の採取・分析, 岩石鉱物試験, 多変量解析・熱力学的解析 (水質形成機構の検討)	○
⑤データベースの作成			○	データ整理, データベースの作成	○
⑥栗橋花崗岩体と他の花崗岩体の比較			○	国内外の花崗岩体に関する文献調査, 栗橋花崗岩体に関するデータの整理 (比較検討)	○
深部岩盤における掘削影響領域の評価 (TASK 2)					
①既存坑道における掘削影響領域の評価	○	孔内・坑道壁面観察, 応力測定, 水理試験, 孔内載荷試験, 室内試験, 物理探査 (計測手法の検討)			
②新規坑道掘削による掘削影響試験			○	計測坑道の掘削, 掘削前の計測	○
③坑道周辺の地下水のREDOX状態調査		○	水質モニタリング	○	水質モニタリング, 室内試験 (Et緩衝試験, 強制酸化試験), モデル解析
結晶質岩中の水理・物質移行・遅延に関する研究 (TASK 3)					
①収着・遅延に関する研究 (TASK 3-1)	○	割れ目調査 (分類), 室内予備試験	○	割れ目調査 (移行経路概念モデルの構築), 室内試験, 原位置試験, モデル解析 (平行平板モデル)	○
②移流・分散に関する研究 (TASK 3-2)	○	試験設計, アクセス坑道の掘削, 水理状況の把握	○	孔間透水試験, トレーサー試験, モデル解析 (亀裂ネットワークモデル)	○
人工バリア試験 (TASK 4)					
①グラウト技術の適用試験	○	詳細計画の検討	○	試験坑道掘削, 割れ目調査	○
②粘土充填・熱負荷試験	○	詳細計画の検討	○	試験坑道掘削, 割れ目調査	○
				試験孔掘削, グラウト注入試験, 水理試験, トモグラフィー調査	○
				岩盤特性試験, 試験孔掘削, 緩衝材の施工	○
				熱-水-応力連成試験	○
地震に関する調査研究 (TASK 5)					
①地震動の観測	○	地震計設置・地震観測	○	地震観測 (地震動の地下低減特性の一般化, 地山形状による地震動への影響検討)	○
②弾性波速度調査			○	地震計設置場所周辺における弾性波探査	○
③地震時地下空洞安定解析	○	感度解析	○	水平坑道・鉛直坑道を対象とした静的安定解析	○
④地震による地下水への影響調査	○	地下水の水圧・水質・坑内湧水量のモニタリング	○	地下水の水圧・水質・坑内湧水量のモニタリング, 岩盤ひずみ計測 (メカニズムの検討)	○

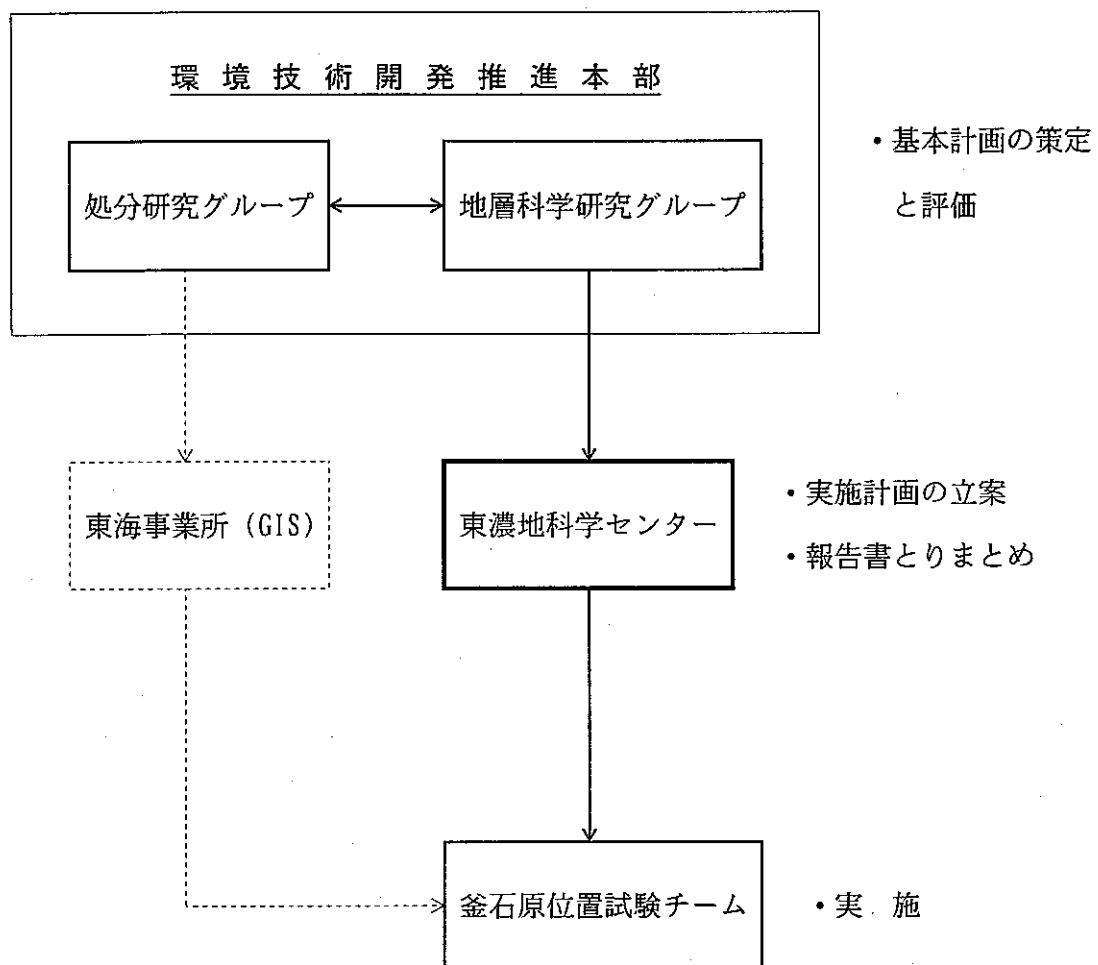


図1-2 釜石原位置試験第2フェーズ実施体制

2. 深部地質環境特性の把握

(1) 位置づけ

岩盤の地質環境特性を把握することは、地下構造物の設計や安全性の評価を行うために不可欠であるが、地下数100mに及ぶ深部岩盤の特性を詳細に調査した例は少ない。このため、深部岩盤の特性を系統的に調査しデータを蓄積するとともに、そのための調査・試験手法を確立をすることが重要である。

本研究は、釜石地区に分布する栗橋花崗岩体を対象に、結晶質岩盤の地質環境特性の把握と、そのための調査・試験手法の整備を目的として実施する。ここで得られる情報は、他の試験研究における試験レイアウトの最適化、解析精度の保証、試験成果の一般化等を図る上での共通の技術的基盤としても重要である。

(2) 目 標

- ① 栗橋花崗岩体を例として深部岩盤の地質環境特性を把握するための調査・試験手法を整備する。
- ② 栗橋花崗岩体の深部の地質構造特性データを取得する。
- ③ 栗橋花崗岩体の深部の力学特性データを取得する。
- ④ 栗橋花崗岩体の深部の水理特性データを取得する。
- ⑤ 栗橋花崗岩体中の深部地下水の地球化学特性データを取得する。
- ⑥ 釜石原位置試験データのデータベース化を行う。
- ⑦ 釜石原位置試験の成果の一般化を図るという観点から、栗橋花崗岩体と他の花崗岩体の比較を行う。

(3) 実施内容

① 地質構造調査（目標①、②に対して実施）

(a) 目 的

- ・ 深部岩盤の地質構造（割れ目の分布や不均質性等）を把握する。
- ・ 深部岩盤の地質構造を把握するための調査手法を整備する。

(b) 平成6年度までの実績

- a. 既存の地表データ（航空写真、表層地質図など）、試験孔データ（岩芯柱状図、BTVデータ、物理検層データなど）、坑道デー

タ（壁面割れ目データなど）の取りまとめを行った。

- b. 上記結果に基づき抽出した割れ目／割れ目帯を対象に、詳細なスケッチと観察（割れ目の方向、充填物、割れ目に伴う変質などの記載）を行い、割れ目の方向・充填物・変質に基づく割れ目の分類を開始した。

(c) 平成7年度以降の計画

平成7年度以降は、割れ目分類を継続するとともに、分類した割れ目タイプ毎に原位置情報を取得し、割れ目および割れ目帯の検出技術としての地球物理学的手法の適用性を評価する。

- a. 上記(b)のb（割れ目分類）を引き続き実施する。
- b. aで分類した割れ目タイプ毎に、代表的な割れ目／割れ目帯を抽出し、以下の調査を行う。
- ・新規試錐孔（総孔長200m程度）のコアを利用して、コア観察、鉱物学的調査（薄片観察、X線分析）、間隙率測定、年代測定を実施する。
 - ・新規試錐孔を利用して、物理検層（孔曲り、電気、音波、孔径、BTVなど）および坑道壁面と試錐孔を利用した地球物理学の調査を実施する。
- c. 上記a, bおよび他の試験研究で取得した割れ目／割れ目帯データを取り込んだデータセットを作成する。
- d. 上記cのデータセットをもとに、原位置試験場で認められる割れ目／割れ目帯の特性を整理する。また、他の試験研究で実施した地球物理学の調査の結果も考慮して、割れ目／割れ目帯の検出技術としての地球物理学的手法の適用性を評価する。

(d) 留意点

他の試験研究における試験レイアウトの最適化や解析精度の保証、試験成果の一般化等のための検討に反映できるよう、他の試験研究の実施内容およびスケジュールと整合性をとる。

② 深部岩盤の力学特性調査と初期応力測定（目標①、③に対して実施）

(a) 目的

- ・ 深部岩盤の力学特性および応力状態を把握するための調査・試験手法を整備する。
- ・ 深部岩盤の力学特性データを取得する。
- ・ 深部岩盤の三次元応力状態を把握する。

(b) 平成6年度までの実績

新規試験孔（KM-0，1孔：550mレベル坑道、KM-2孔：250mレベル坑道）を利用して初期応力測定（応力解放法、水圧破碎法、AE法、DRA法、DSCA法）と孔内載荷試験を実施した。また、新規試験孔のコアを利用して室内試験を実施した。

初期応力測定では、手法によって主応力の値や方向が異なる結果が得られた。これは、手法毎の計測位置の違いによって、そこでの割れ目の影響等が出ている可能性が考えられる。孔内載荷試験と室内試験では、力学特性（弾性係数、変形係数、一軸圧縮強度、引張強度、弾性波速度、せん断強度、内部摩擦角、クリープ定数）に関するデータを取得した。また、KM-2孔のコアを用いて、原位置試験場の間隙水圧と封圧を模擬した三軸圧縮試験および透水試験を実施し、間隙水圧と封圧が岩盤の強度特性や透水係数に与える影響の検討を開始した。

(c) 平成7年度以降の計画

平成7年度以降は、550 mレベル坑道からの既存試験孔（KH-1孔：孔長 500m）を利用して、力学特性に関する各種データの取得と初期応力測定を行い、平成6年度までに取得した 550mレベル坑道および 250mレベル坑道でのデータとあわせて、力学特性と初期応力の深度による違いを把握する。

a. 深部岩盤の力学特性調査

- ・ 力学特性の深度による違いを把握するため、KH-1孔を利用して、孔内載荷試験を実施する。
- ・ KH-1孔のコアを用いて、室内試験（一軸圧縮試験、三軸圧縮試験、圧裂引張試験、一軸クリープ試験、弾性波速度測定、密度

- ・間隙率等の測定）を実施する。
- ・力学特性の異方性やスケール効果を把握するため、室内試験（一軸圧縮試験、圧裂引張試験、弾性波速度測定）を実施する。
- ・原位置試験場の間隙水圧と封圧を模擬した三軸圧縮試験および透水試験を継続し、間隙水圧と封圧が岩盤の強度特性や透水係数に与える影響を検討する。

b. 初期応力測定

- ・KH-1孔を利用して水圧破碎法による初期応力測定を実施する。
- ・測定手法の違いによるばらつきの原因を調査するため、追加測定や補足調査を実施し、各測定手法の信頼性を検討する。

③ 深部岩盤の水理特性調査（目標①、④に対して実施）

(a) 目 的

- ・深部岩盤の水理特性を把握するための調査・試験手法を整備する。
- ・深部岩盤の水理特性およびその空間的・時間的变化に関する情報を取得する。
- ・既存の水理地質構造モデル（連続体モデル、不連続体モデル等）の有効性を評価する。

(b) 平成6年度までの実績

- 第1フェーズで実施した間隙水圧観測および坑内湧水量観測のデータを整理した。また、間隙水圧および坑内湧水量の長期観測を継続した。
- 地表から掘削した既存の試錐孔KG-1に設置したMPシステムを用いて間隙水圧観測を行った。
- 550mレベル坑道の既存試錐孔における間隙水圧観測の信頼性を高めるために、観測システムの整備を開始した。
- 水理地質構造モデルの有効性を評価するため、KD-90坑道周辺を対象に連続体モデルを用いた岩盤浸透流解析を開始した。

(c) 平成7年度以降の計画

平成7年度以降は、試験場周辺の間隙水圧、坑内湧水量の経時変化および透水性に関するデータを引き続き取得するとともに、表層水理

に関する基礎情報として、鉾山周辺における気象データを取りまとめる。また、岩盤浸透流解析を引き続き行うとともにこれに必要なデータを取得する。

- a. 試験場周辺の坑内湧水量および間隙水圧の経時変化を把握する。
また、これらの変化と降水量等との関係を明らかにする。
- b. 岩盤の透水性を、割れ目帯とそれ以外の部分とに区別して把握するため、また、岩盤浸透流解析に必要なデータを取得するために、水理試験（KH-1孔における単孔式水理試験、KH-4～18孔における簡易透水試験、KH-4孔を発信源とする圧力伝播試験など）を実施する。
- c. 上記の調査結果を整理し、データセットを作成する。
- d. 水理地質構造モデルの有効性を評価するため、KD-90坑道周辺を対象に、連続体モデルおよび不連続体モデルを用いた岩盤浸透流解析を実施する。

④ 深部地下水の地球化学特性調査（目標①、⑤に対して実施）

(a) 目的

- ・深部地下水の地球化学特性を把握するための調査手法を整備する。
- ・深部地下水の地球化学特性データを取得する。
- ・深部地下水の地球化学特性の形成に係わる現象を把握する。

(b) 平成6年度までの実績

- a. 550 mおよび 250mレベル坑道内に流入する地下水を対象に、定期的に地下水の物理化学パラメータの測定および水質分析を行った。
- b. 地表から掘削したKG-1孔に設置しているMPシステムを用いて、深度の異なる地下水の採水・分析を行った。
- c. これまでに取得した地下水の地球化学データを深度毎に整理し、深度による水質の変化を把握した。

(c) 平成7年度以降の計画

a. 採水・分析

550 mおよび 250mレベル坑道内に流入する地下水、550 mレベ

ル坑道から下向きに掘削したKH-1孔の地下水、地表から掘削したKG-1孔の地下水を採取し、各種分析（主要成分、環境同位体、バクテリア、ガス）を行う。

b. 岩石・鉱物化学分析

主に地下水の採水・分析を実施する箇所から岩石試料を採取し、X線回析分析や湿式分析等を実施する。

c. データセットの作成

上記の調査結果を整理し、データセットを作成する。

d. 室内試験

深部地下水の地球化学特性の形成に係わる現象を検討するため、室内での岩石-水反応試験を実施する。

e. 解 析

cで作成したデータセットを用いて多変量解析および熱力学的解析を実施し、深部地下水の地球化学特性の形成に係わる現象を推測する。

⑤ データベースの作成（目標⑥に対して実施）

(a) 目 的

- ・釜石原位置試験（第1フェーズを含む）におけるデータの管理を一元化する。

(b) 平成7年度以降の計画

- a. これまでに釜石原位置試験で取得したデータを整理するとともに、データベースの設計・製作および計算機システムの導入を行う。

(c) 留意点

本件は、「釜石原位置試験第2フェーズ計画（案）（1993年3月26日）」に記載されておらず、新たに予算を必要とするものである。

なお、データベース管理システムの設置箇所や管理方法については別途検討する。

⑥ 栗橋花崗岩体と他の花崗岩体の比較（目標⑦に対して実施）

(a) 目 的

- ・釜石原位置試験の成果の一般化を図る観点から、栗橋花崗岩体と他

の地域の花崗岩体を比較する。

(b) 平成7年度以降の計画

- a. 海外（スウェーデン、スイス、カナダ）の結晶質岩研究計画における成果および日本の他地域に分布する花崗岩体について文献調査を行い、地質環境特性に関するデータを整理する。
- b. 栗橋花崗岩体で取得した原位置試験データを取りまとめ、上記 a との比較を行う。

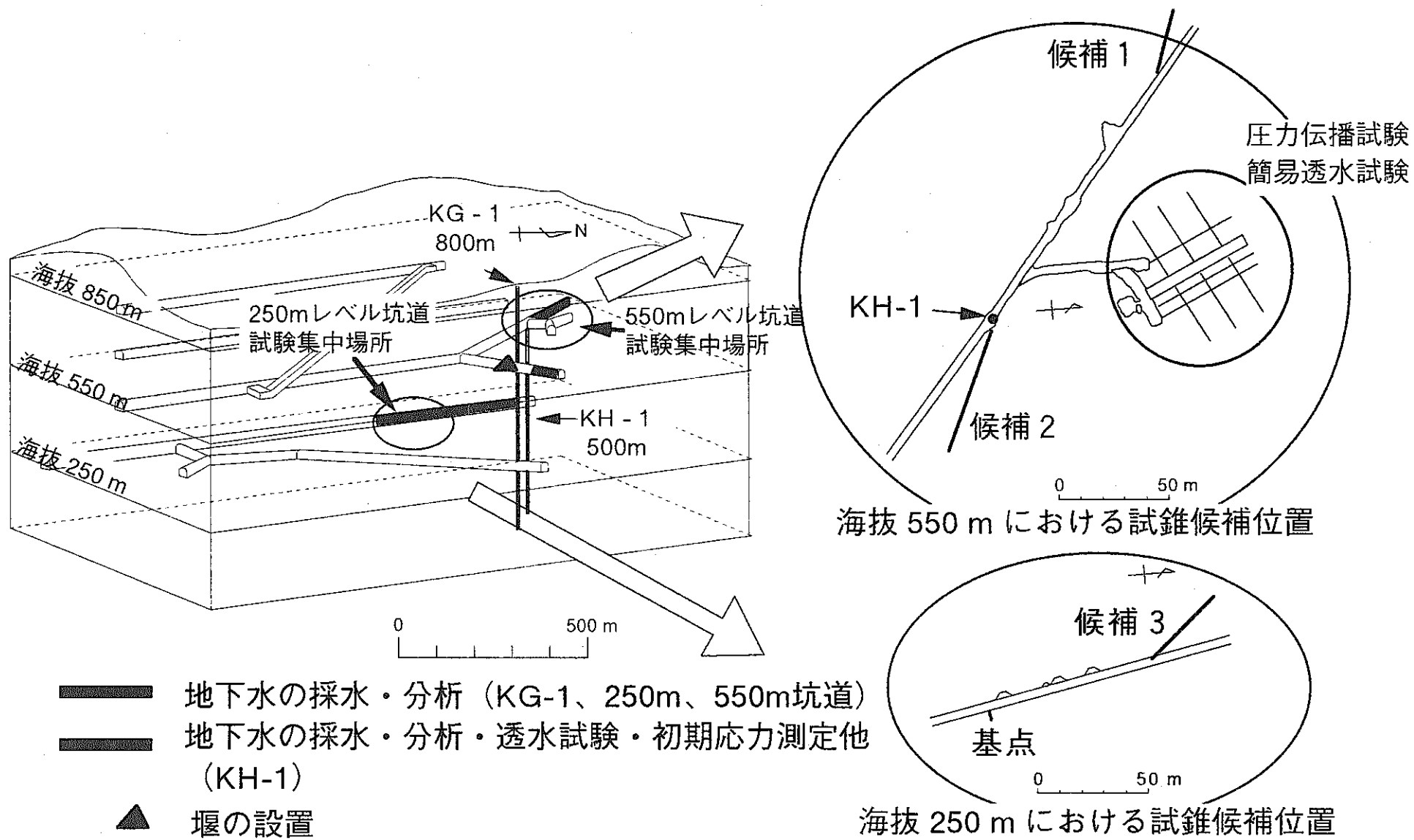


図2-1 深部地質環境特性の把握 調査位置図

3. 深部岩盤における掘削影響領域の評価

(1) 位置づけ

岩盤中に坑道などの空洞を掘削すると、空洞周辺の岩盤中に掘削による影響を受けた領域（掘削影響領域）が発生する。東濃鉾山で実施してきた掘削影響試験や他の研究結果より、掘削による影響は、i) 掘削損傷、ii) 応力の再配分、iii) 不飽和領域の発生といった現象により引き起こされると考えられる。したがって、掘削影響領域は、これらの影響が及ぶ領域すなわち掘削損傷領域、応力再配分領域および「坑道近傍の不飽和領域」を含む間隙水圧変化領域といった、3つの領域が複合したものと考えられる（図3-1）。

掘削影響領域の特性や広がりに関する情報は、地下構造物の設計や安定性評価および坑道周辺での地下水流動や物質移行の評価にとって不可欠である。掘削影響領域の特性や広がりを定量的に評価するためには、掘削影響領域の発生メカニズムを理解し、計測手法や解析手法を確立することが必要である。また、掘削損傷の程度や範囲は掘削工法に依存するため、異なる掘削工法を用いた場合の掘削影響の違いについても評価しておく必要がある。掘削影響領域のうち、掘削に伴い新たな割れ目が発生する領域（掘削損傷領域）や応力場の変化に伴い岩盤中の割れ目や間隙の開口・閉塞が生じる可能性のある領域（応力再配分領域）が力学的・水理学的には重要であり、また、不飽和領域を含む間隙水圧変化領域は、地下水の化学的性質が変化する可能性のある領域として重要である。（図3-2）

釜石鉾山では、地表下数100mまでの異なる深度に坑道が展開されており、坑道周辺には定常状態となった掘削影響領域が存在していると考えられる。したがって、結晶質岩における実例として掘削影響領域の特性および広がりに関する情報を取得することができる。また、新規坑道を掘削してその影響を計測・評価することにより、掘削影響領域の発生メカニズムを理解することが可能である。これらの情報に基づき掘削影響領域をモデル化することができれば、掘削影響領域の3次元的な分布の推定や釜石原位置試験での成果の一般化が可能となる。

(2) 目 標

釜石原位置試験第2フェーズでは、以上の観点から次のような目標を設定した。

- ① 掘削影響領域の特性および広がりを実測するシステムを開発する。
- ② 結晶質岩における掘削影響領域の特性および広がりに関するデータを取得する。
- ③ 掘削影響領域の発生メカニズムを把握する。
- ④ 掘削工法による掘削影響の程度や広がりの変化を把握する。

(3) 実施内容

本研究は、i) まず安定して存在すると考えられる既存坑道周辺の掘削影響領域を対象として、掘削影響領域の特性と広がりを調査するための手法と機器の有効性を確認する、ii) この調査で有効性が確かめられた手法と機器を用いて、新たに坑道を掘削することによって発生する掘削影響領域の特性と広がりおよび掘削影響領域の発生メカニズムを把握する、といった2つの段階よりなっている。調査試験項目は以下の通りである。

- ① 既存坑道における掘削影響領域の評価（目標①、②に対して実施）
- ② 新規坑道掘削による掘削影響試験（目標①、②、③、④に対して実施）
- ③ 坑道周辺の地下水のREDOX状態調査（目標①、②、③に対して実施）

1) 平成6年度までの実績

① 既存坑道における掘削影響領域の評価

本研究では、250mレベル坑道を利用して以下の調査試験を実施した（図3-3）。

a. 地質調査

- ・坑道壁面観察
- ・孔内壁面観察

b. 応力測定

- ・坑道壁面から異なる深度での3次元応力測定（円錐孔底歪み法）
- ・初期応力測定（円錐孔底歪み法）

c. 水理状態調査

- ・坑道壁面から異なる深度での間隙水圧測定

d. 岩盤特性調査

- ・ 試錐コアを用いた室内岩石試験
- ・ 孔内載荷試験

e. 地球物理学的調査

- ・ 弾性波（トモグラフィー、屈折法、P S 検層）
- ・ レーダー（トモグラフィー、反射法）

これまでの調査の結果、P S 検層と屈折法では、坑道周辺の弾性波速度が低下した領域（坑壁から 50 cm 程度）を比較的明瞭にとらえることができた。弾性波トモグラフィーでも、弾性波速度が変化した領域が測定されたが、掘削の影響を被っていないと思われる地点との物性の差は小さかった。レーダー調査は、坑道壁面近傍でノイズが多かったため、掘削により生じた割れ目を反射面としてとらえることはできなかった。

孔内載荷試験および室内での力学試験においても、同様に掘削影響領域と思われる領域が測定されたが、掘削影響領域外と思われる地点との物性の差は小さかった。また、応力測定では、坑道の近傍（側壁から約 50 cm の地点）で側壁と平行な方向に応力集中が認められた。これは、岩盤が弾性的に挙動すると仮定した場合に理論的に導かれる坑道周辺の応力分布に良く対応している。なお、応力測定や孔内載荷試験は、局所的な割れ目や不均質性により測定結果のバラツキが大きく、また、とくに孔内載荷試験では、掘削影響領域という限られた範囲内でバラツキを統計的に処理できるだけの測定点が設定できないという問題点がある。

以上のような結果から、これまでの調査で用いられた孔内載荷試験以外の計測手法は、坑道掘削による影響を把握する手法として適用できる可能性があることがわかったため、平成 8 年度より開始する新規坑道掘削による掘削影響試験に採用することとした。

② 新規坑道掘削による掘削影響試験

平成 6 年度までに実施した既存坑道での試験の結果を踏まえ、平成 7 年度以降の試験計画を以下に留意して見直した。

- ・掘削によって生じる現象を明確にとらえるという観点から、変位が最も生じやすくその結果として掘削影響が最も大きく出ると思われる最大主応力方向に直交する方向に、計測坑道および試験坑道を掘削する。
- ・掘削工法の違いによる掘削影響領域の特性および広がり之差を比較するため、2種類の掘削工法（通常発破およびスームスブラスティング）により試験坑道を掘削する。
- ・計測坑道掘削時に、掘削影響試験で新たに使用する機器を用いた予備的な測定を行い、機器の性能を確認する。

③ 坑道周辺の地下水のREDOX 状態調査

原位置においては、既存坑道壁面から試錐孔（KRE-1 および KRE-2）を掘削し、パッカー式地下水採水装置と地下水連続モニタリング装置を用いて、坑道周辺岩盤中の地下水を連続モニタリングしている（図 3-4）。これまでの測定により、坑道壁面から 2 m 程度の深さの地下水中の溶存酸素濃度は 0.1 ppm 以下であり、坑道壁面から湧出する地下水（溶存酸素濃度 = 8 ppm 程度）に比べて、非常に低濃度であることがわかった。

室内試験では、岩盤の持つ REDOX CAPACITY（酸化還元緩衝能力）を把握することを目的として、花崗閃緑岩中の黒雲母や磁鉄鉱などの酸化溶解に伴う水中の溶存酸素消費量を調べるため、試験で使用する黒雲母や磁鉄鉱などの鉱物分離および試験容器の改良を行い試験を開始した。

また、坑道壁面から岩盤内部への地下水の酸化還元状態の変化を予察的に推定するため、既存文献から含鉄鉱物の酸化還元反応速度定数を引用して計算コードによる解析を実施した。

2) 平成 7 年度以降の計画

① 既存坑道における掘削影響領域の評価（目標①、②に対して実施）

(a) 目 的

平成 6 年度までに実施できなかった既存の調査手法の適用性を検討する。

(b) 内 容 (図 3 - 3)

- ・比抵抗トモグラフィー (既存坑道から掘削した試錐孔 KDH-1, 2)
- ・高帯域レーダ調査 (既存坑道から掘削した試錐孔 KDH-1, 2)
- ・透水試験 (既存坑道から掘削した試錐孔 KDK-1, 2, 3)

② 新規坑道掘削による掘削影響試験 (目標①、②、③、④に対して実施)

(a) 目 的

- ・掘削に伴って発生する現象および掘削影響領域の特性、広がりを把握する。
- ・掘削に伴って発生する現象と岩盤特性の変化との関係を把握する。
- ・これまで用いられていない既存の計測手法および解析手法の掘削影響評価に対する適用性を検討する。
- ・掘削損傷領域の特性、広がり掘削工法との関係を評価する。

(b) 内 容

試験は、計測坑道掘削→計測用試錐掘削・計測機器の設置→掘削前の計測→試験坑道掘削 (掘削中の計測) →掘削後の計測の手順で行う。試験レイアウトおよび調査・試験項目を、図 3 - 5、6 および表 3 - 1、2 に示す。

a. 新規坑道掘削

2 つの坑道 (計測坑道および試験坑道) を掘削する。計測坑道は幅 3.0m、高さ 2.5m の長方形断面で坑道長は 30m、試験坑道は幅、高さとも 4.5m の馬蹄形もしくは円形で坑道長は 37m とする。

b. 試錐孔掘削

計測用の試錐孔を、既存坑道、計測坑道および試験坑道より掘削する (総延長：約 350m)。

c. 割れ目調査

上記 a、b の坑道および試錐を利用して、コア観察、BTV 観察、坑壁観察による割れ目調査を実施する。

d. 予備計測

掘削影響試験で用いる計測機器の性能確認のため、計測坑道掘

削時に予備計測を実施する。予備計測では、AB測定、振動測定、Pac-ex（亀裂変位と間隔水圧の変化を同時にモニタリングする装置）による測定を実施する（図3-5、6のC断面）。

e. 試験坑道における掘削影響試験

調査項目を、i) 掘削損傷領域、ii) 応力再配分領域、iii) 間隙水圧変化領域の各領域ごとに下記に示す。なお、掘削工法の違いによる掘削影響の差を把握するため、2種類の掘削工法（通常発破およびスームスブラスティング）により試験坑道を掘削し、各々に対応する計測断面（図3-5、6のA、B断面）で影響を計測する。

i) 掘削損傷領域を対象とした調査

この領域では、掘削自体に伴い発生する新たな割れ目により、岩盤の物性変化が生じると考えられる。このため、新たに発生した割れ目の分布範囲やそれに伴う岩盤物性の変化をとらえるための試験を実施する。

- ・発破振動測定（実施箇所：計測坑道および試験坑道のA、B断面）
- ・AE測定（実施箇所：計測坑道および試験坑道のA、B断面）
- ・坑道壁面岩盤の空隙構造調査（実施箇所：試験坑道近傍から採取したコア）
- ・物理調査（PS検層・屈折法・室内試験・レーダー調査、実施箇所：計測坑道および試験坑道）
- ・コアサンプルを用いた室内試験（実施箇所：試験坑道近傍から採取したコア）
- ・水理特性試験（床盤注入試験・透水試験・湧水量測定、実施箇所：試験坑道）

ii) 応力再配分領域を対象とした調査

この領域では、坑道掘削に伴う応力再配分により、既存の割れ目の開口・閉塞等が起こり岩盤物性が変化する可能性がある。このため、掘削により生じる岩盤中の既存割れ目の変位をとら

え、岩盤の挙動や透水性との関係を調べるための試験を実施する。

- ・ ひずみ計測、応力計測、岩盤変位測定、内空変位測定（実施箇所：試験坑道のB断面）
- ・ 亀裂変位測定（実施箇所：試験坑道のB断面）
- ・ 透水試験（ルジオン試験・Pac-ex、実施箇所：試験坑道のB断面）
- ・ 弾性波トモグラフィ（実施箇所：計測坑道と試験坑道の間の区間）

iii) 間隙水圧変化領域を対象とした調査

坑道掘削に伴う周辺の水理状態の変化を把握する。

- ・ 間隙水圧モニタリング（実施箇所：計測坑道、試験坑道脇の既存の試錐孔）

iv) 既存の計測手法および解析手法の適用性評価

割れ目調査、初期応力測定、室内試験等の結果に基づき、FEM、クラックテンソル、個別要素法を用いた数値解析を実施する。原位置計測結果と各数値解析結果との比較により、掘削影響のモデル化に関する既存解析手法の適用性を検討する。

③ 坑道周辺の地下水のREDOX 状態調査（目標①、②、③に対して実施）

(a) 目 的

- ・ 坑道掘削による周辺岩盤中の地下水の化学的状态（とくに酸化還元状態）への影響を明らかにする。
- ・ 岩盤が持つ地下水の化学的状态の変化に対する緩衝能力を明らかにする。

具体的には、坑壁からの酸素侵入による地下水の酸化還元状態への影響の程度や広がりを見定するとともに、岩盤の持つ酸素消費能力の評価を行う。

(b) 内 容

a. 原位置におけるモニタリング（250mレベル坑道）

既存坑道および新規坑道周辺において、地下水の連続モニタリ

ングを行う（図 3-7, 8）

- ・ 試錐掘削

既存坑道壁面からの試錐孔（KRE-3）掘削および新規坑道での試錐孔（KRE-4）掘削を行う。

- ・ パッカー製作

既存試錐孔（TK-24）および新規試錐孔（KRE-4）に設置するパッカーを製作する。

- ・ モニタリング

水質連続モニタリング装置による地下水の物理化学パラメータ（pH、Eh等）の測定（KRE-1、KRE-2、KRE-3、KRE-4およびTK-24のうちの複数箇所を実施）

b. 室内試験

- ・ 試料調整・分析

下記の試験に使用する黒雲母や磁鉄鉱などの鉱物分離を行う。
また、分離した鉱物の化学組成分析を行う。

- ・ Eh緩衝鉱物－水反応試験

栗橋花崗閃緑岩から分離した黒雲母や磁鉄鉱などの酸化溶解に伴う水中の溶存酸素濃度の変化量を調べ、これらの鉱物の酸化還元反応速度定数を求める。

- ・ 強制酸化試験

栗橋花崗閃緑岩を用いて岩石－水反応試験を行い、岩石に含まれる2価鉄の酸化による水中溶存酸素の消費量を定量的に把握する。

c. 解析

原位置におけるモニタリングおよび室内試験で得られたデータをもとに、一次元拡散コードにより坑道壁面から岩盤内部への地下水の酸化還元状態の変化を推定する。

(c) 留意事項

- ・ 新規坑道周辺で掘削する試錐孔の詳細な掘削位置および掘削深度は、坑道の割れ目分布や湧水状況を考慮して決定する。

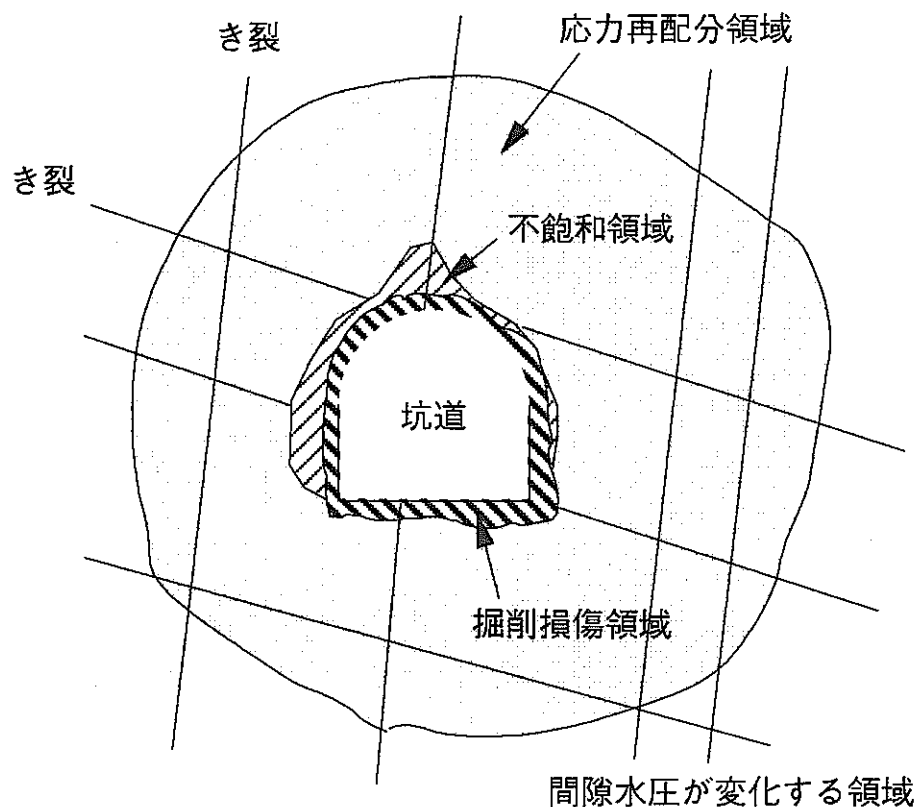
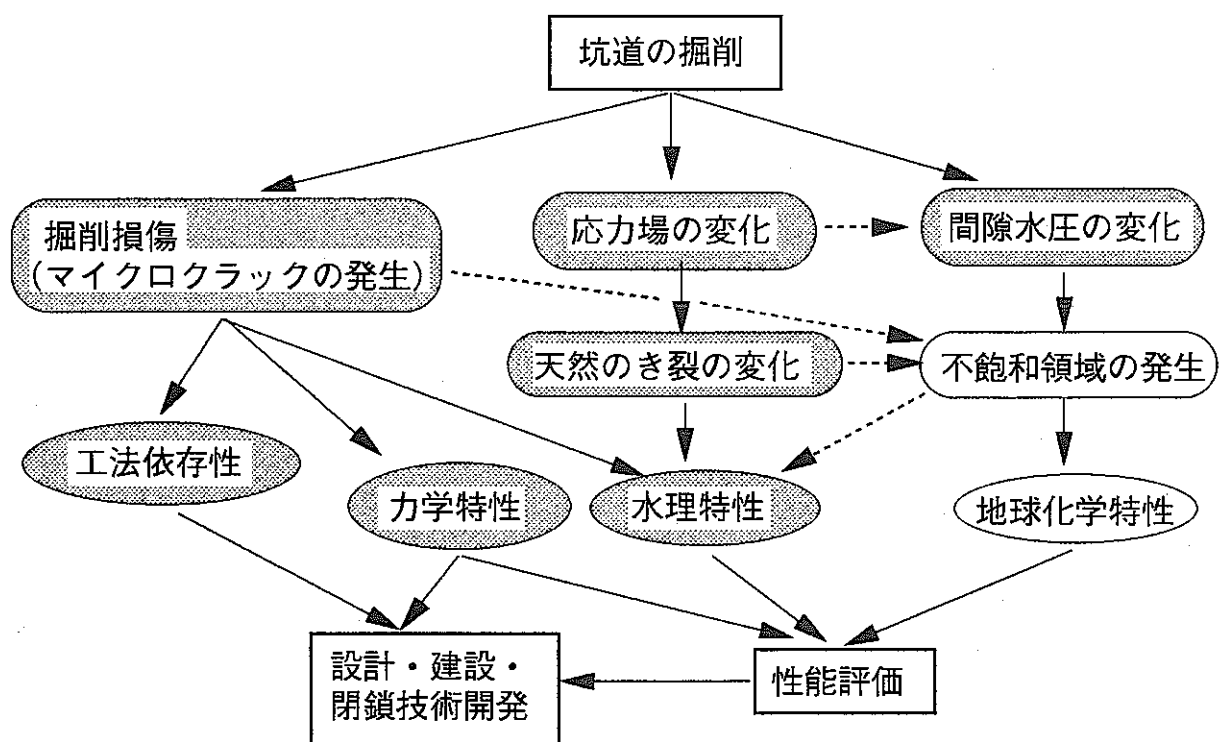


図 3 - 1 掘削影響領域の概念図



 釜石原位置試験第 2 フェーズ
掘削影響試験で対象とするもの

図 3 - 2 掘削影響と性能評価および設計・建設・閉鎖技術開発との関係

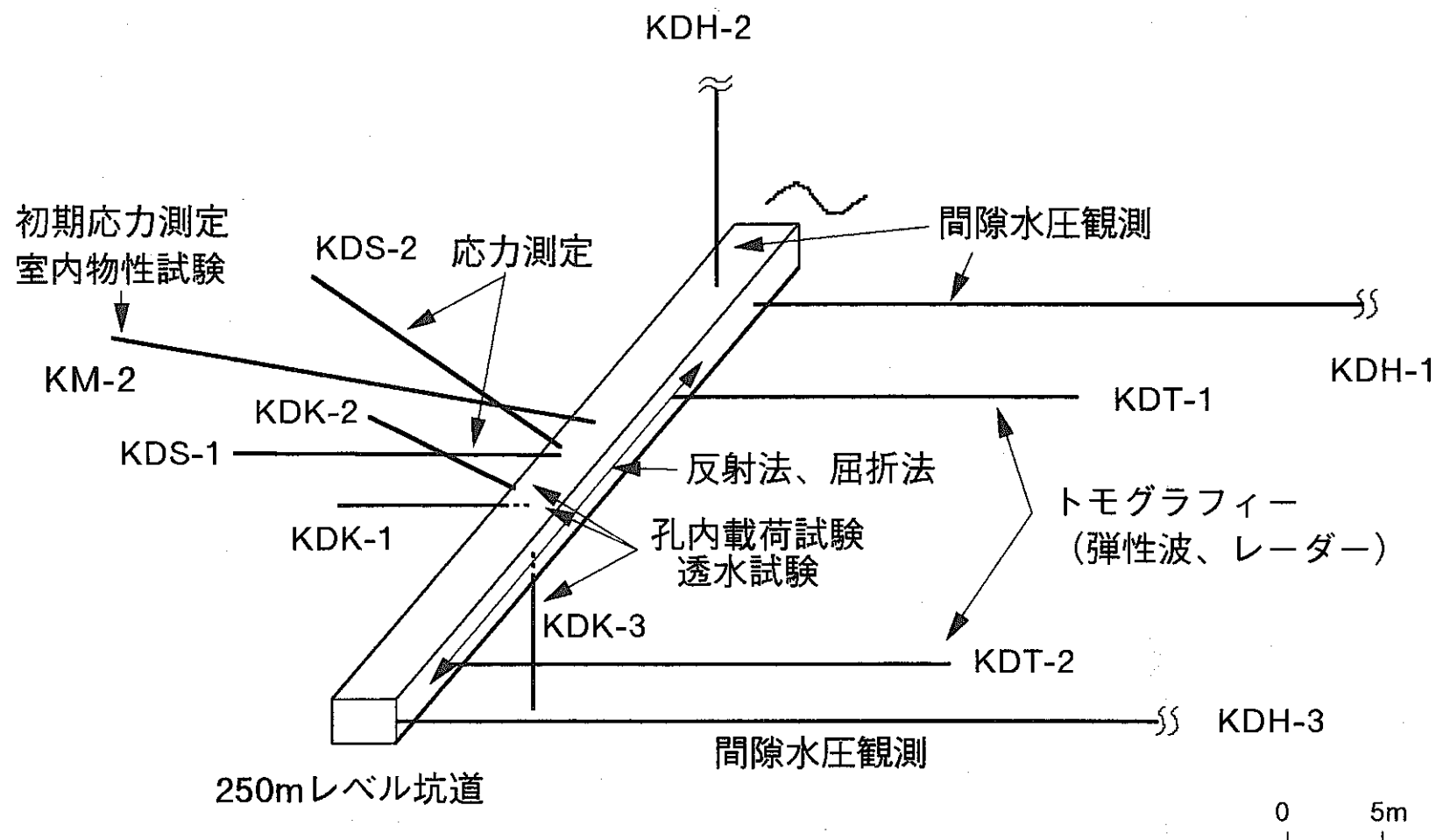
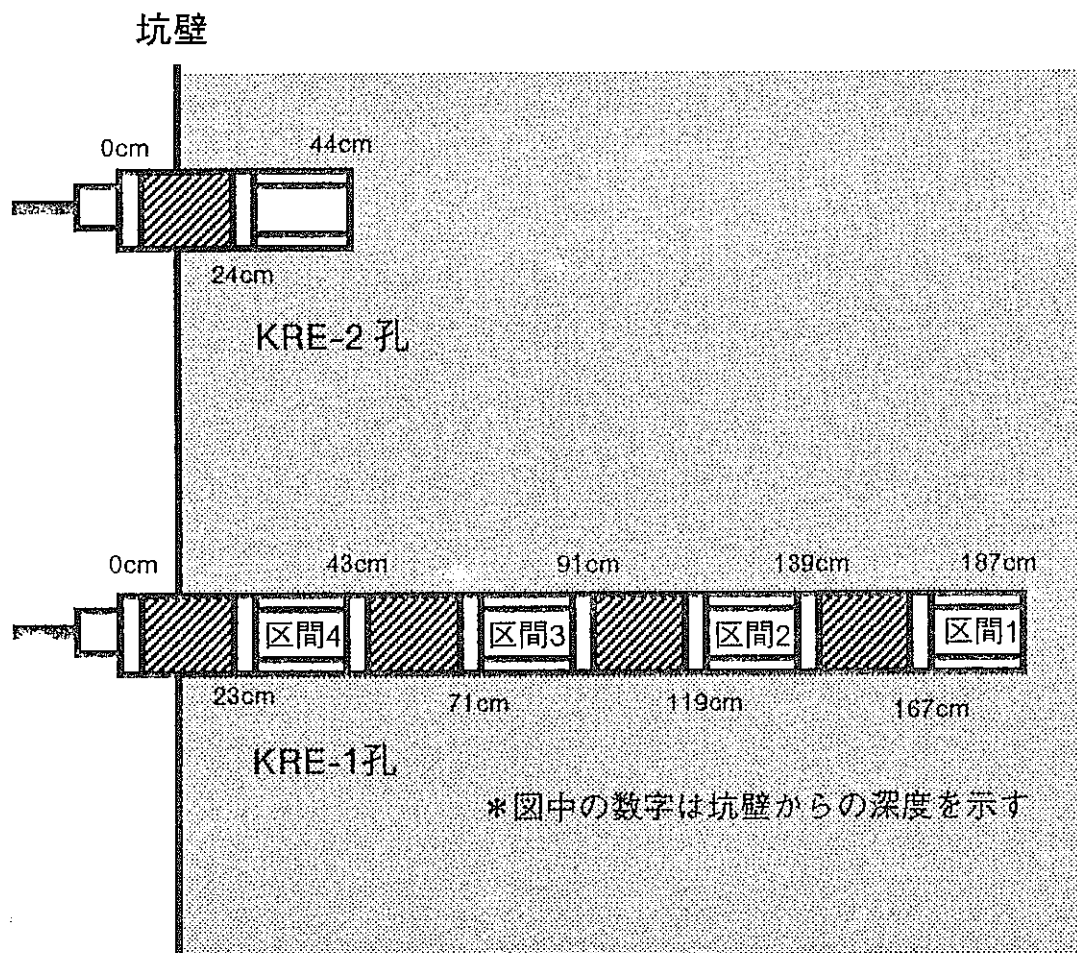
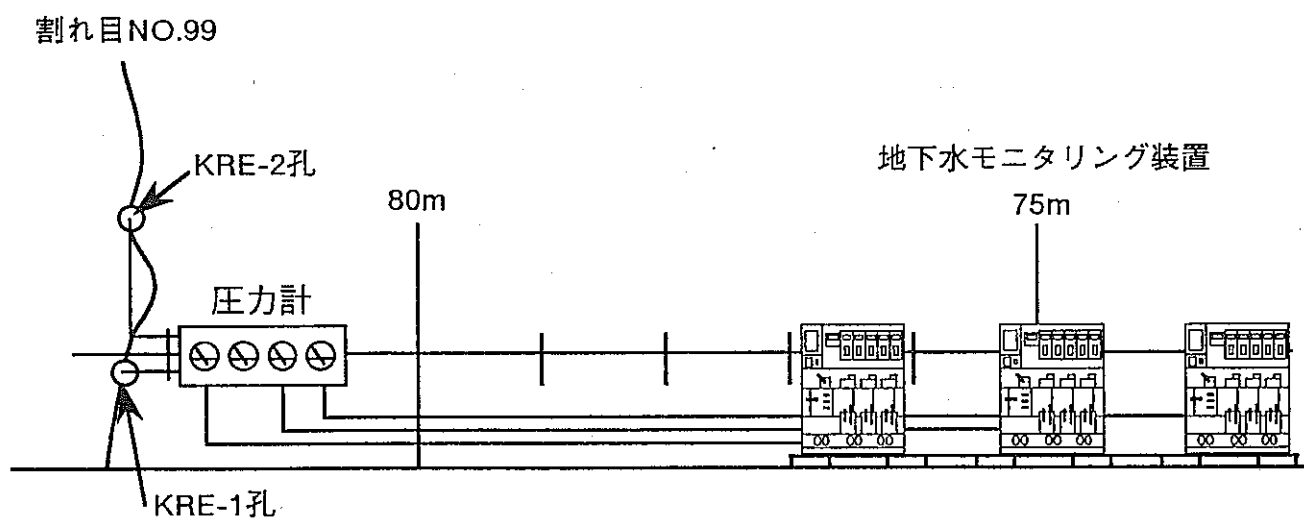


図 3 - 3 掘削影響領域の評価研究一試錐孔レイアウト



割れ目No.99へのパッカー設置状況



地下水モニタリング装置設置状況

図 3 - 4 KRE-1, KRE-2 孔におけるモニタリング状況

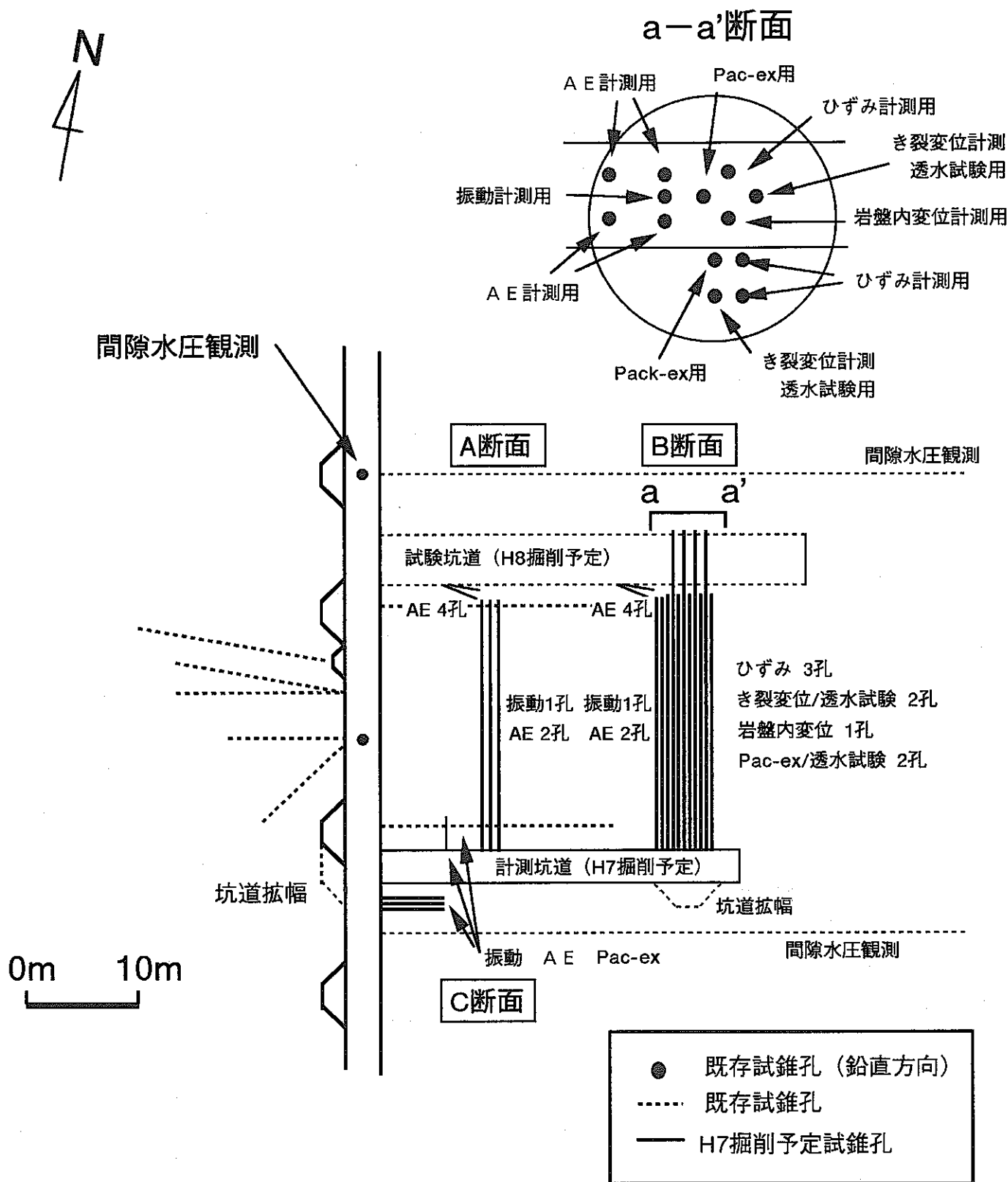
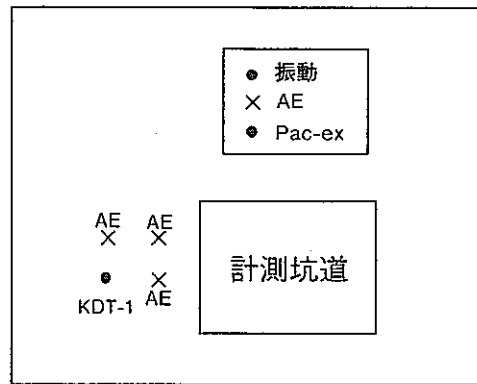
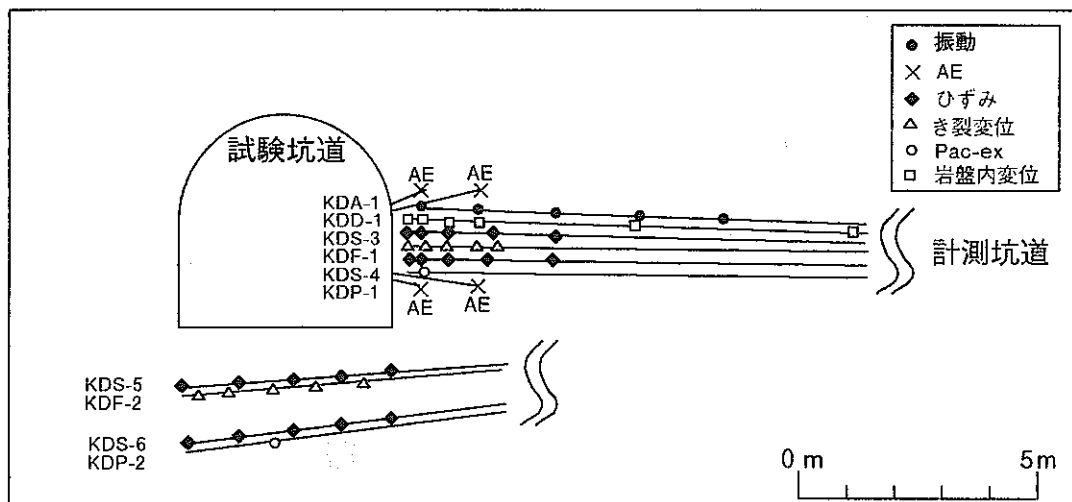


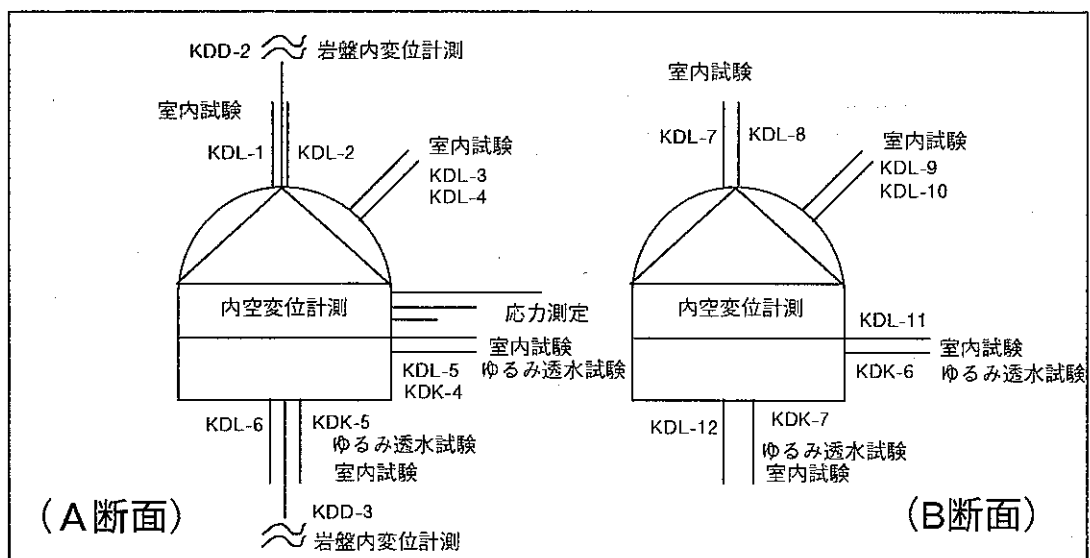
図 3 - 5 掘削影響試験—調査・試験レイアウト



予備計測（断面図：C断面）



計測坑道からの調査（断面図：A断面）



試験坑道からの調査（断面図：A, B断面）

図 3 - 6 試験孔レイアウト

表3-1 調査・試験項目，場所，時期，目的

項 目	場 所				時 期			主 目 的	備 考
	試 錐 孔	コ ア	計 測 坑 道	試 験 坑 道	掘 削 前	掘 削 中	掘 削 後		
き裂調査								き裂特性	
・坑壁			○	○				き裂特性	
・BTV	全孔		○	○				き裂特性	
・孔曲り	全孔		○	○				き裂特性	
・コア		全コア	○	○				掘削損傷，工法	
振動	KDA-1, 2			○		○		掘削損傷，工法	
AE	KDT-2, KDA-3~5		○	○		○		掘削損傷，工法	
弾性波速度									
・PS検層	KDY-1, KDA-1, 2		○	○			○	掘削損傷，工法	
・屈折法			○	○			○	掘削損傷，工法	
・室内試験		○	○	○			○	掘削損傷，工法	
・トモグラフィ	KDT-3, 4			○	○		○	掘削損傷	
レーダー				○			○	掘削損傷，工法	
・反射法									
き裂変位計測									
・孔内	KDY-1, KDF-1, 2		○	○		○		応力再配分	
・壁面			○	○		○		応力再配分	切羽後
・Pac-ex	KDY-2, KDP-1, 2		○	○		○		応力再配分	
ひずみ計測	KDS-3~6			○		○		応力再配分	
応力測定	KDY-3, KDS-7~9		○	○		○		応力再配分	切羽後
岩盤内変位計測									
・岩盤内変位計測A	KDD-1			○		○		応力再配分	
・岩盤内変位計測B	KDD-2, 3			○		○		数値解析の検証	切羽後
内空変位計測				○		○		数値解析の検証	切羽後
透水試験									
・Pac-ex	KDP-1, 2		○	○	○		○	応力再配分	
・低圧ルジオン試験	KDP-1, 2, KDF-1, 2			○	○		○	応力再配分	
・ゆるみ透水試験	KDK-4~7			○			○	掘削損傷	
・コア透水試験		○		○			○	掘削損傷	
・床盤注水試験				○			○	掘削損傷	
間隙水圧観測	KDH-1-3				○	○	○	間隙水圧の変化	
湧水量測定			○	○			○	間隙水圧の変化	
室内物性試験	KDL-1~12, KDK-4~7	○	○	○	○		○	掘削損傷，解析	
初期応力	KDS-3, 4				○			解析	

表3-2 試錐孔の一覧表

試錐孔	目的	場所・位置・方向	孔径 (mm)	孔長 (m)	備考
・既存坑道から掘削 KDA-3～5 ・計測坑道から掘削 (計測坑道内)	AE計測	AB断面, 側壁, 水平	76	30	KDA-3 はKDT-1 を 追加掘削する
KDY-1	き裂変位計測	計測坑道, 側壁, 水平	76	3	
KDY-2	Pac-ex	計測坑道, 側壁, 水平	76	3	
KDY-3	応力計測	計測坑道, 側壁, 水平	76	3	
(A断面)					
KDA-1	振動計測	A断面, 側壁, 水平	76	24	
KDF-1	き裂変位計測, 低圧ルジオン試験	A断面, 側壁, 水平	76	24	
KDF-2	き裂変位計測, 低圧ルジオン試験	A断面, 床盤, ななめ下向	76	28	
KDP-1	Pac-ex, 低圧ルジオン試験	A断面, 側壁, 水平	76	24	
KDP-2	Pac-ex, 低圧ルジオン試験	A断面, 床壁, ななめ下向	76	28	
KDS-3, 4	ひずみ計測	A断面, 側壁, 水平	76	24	
KDS-5, 6	ひずみ計測	A断面, 側壁, 水平	76	24	
KDD-1	岩盤内変位計測	A断面, 側壁, 水平	66	24	
KDT-3	弾性波トモグラフィー調査	A断面, 天壁, ななめ上	76	40	
KDT-4	弾性波トモグラフィー調査	A断面, 床壁, ななめ下	76	40	
(B断面)					
KDA-2	振動計測	B断面, 側壁, 水平	76	24	
・試験坑道から掘削 (A断面)					
KDS-7～9	応力計測	A断面, 側壁, 水平	76	1-4.5	
KDD-2, 3	岩盤内変位計測	A断面, 上・下向	66	6	
KDK-4, 5	ゆるみ透水試験, 室内試験用コア採取	A断面, 水平・下向	76	2	KDA-3 と同じ
KDL-1～6	室内試験用コア採取	A断面, 上下水平ななめ	54	2	
(B断面)					
KDK-6, 7	ゆるみ透水試験, 室内試験用コア採取	B断面, 水平・下向	76	2	
KDL-7～12	室内試験用コア採取	B断面, 上下水平ななめ	54	2	
・既存の試錐孔					
KDH-1～3	間隙水圧計測	水平(1,3), 上向き(2)	76	50	
KDT-1	AE計測	水平	76	20	
KDT-2	振動計測, AE計測	水平	76	20	

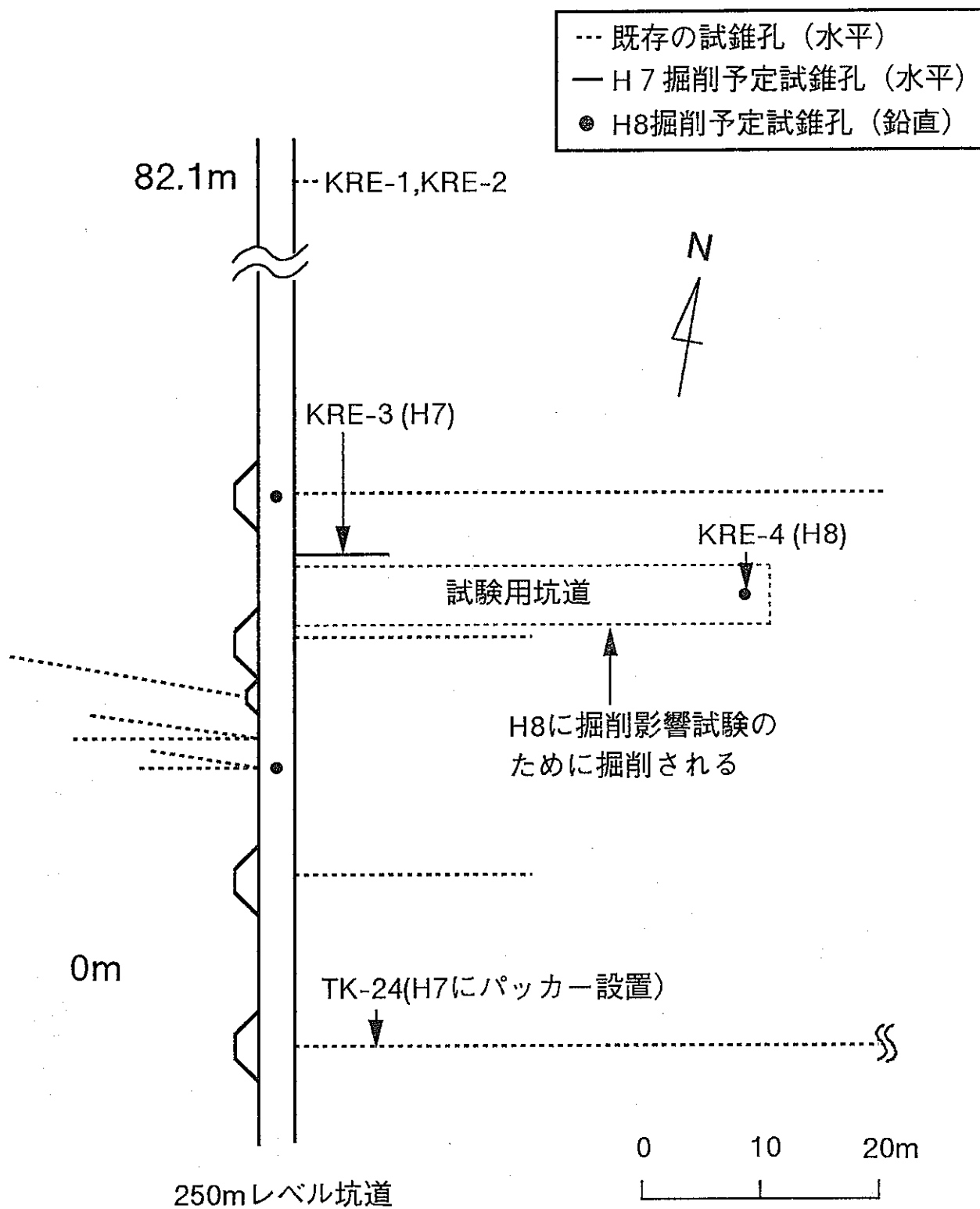


図 3 — 7 KRE-3,KRE-4孔掘削予定位置図

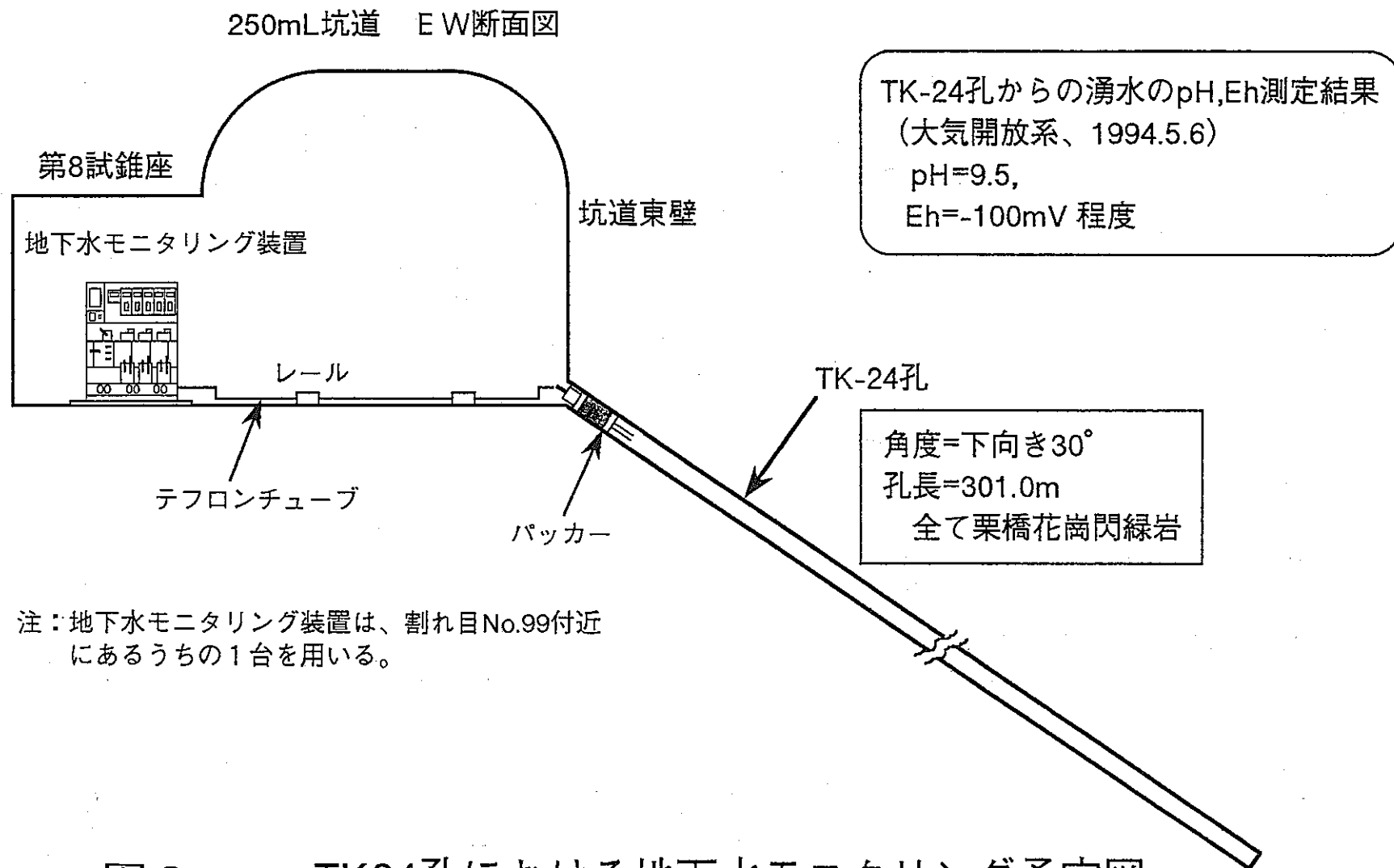


図 3 - 8 TK24孔における地下水モニタリング予定図

4. 結晶質岩中の水理・物質移行・遅延に関する研究

4. 1 収着・遅延に関する研究

(1) 位置づけ

結晶質岩中における物質移行を評価するためには、移行経路となる割れ目（および割れ目帯、断層。以下同様）の特性を把握することが重要である。本研究では、結晶質岩の割れ目中における物質の移行・遅延特性を評価するため、釜石鉱山の坑道内に認められる代表的な割れ目を対象として室内試験および原位置試験を実施する。

(2) 目 標

- ① 結晶質岩中の割れ目における物質移行特性を把握するための調査手法を整備する。
- ② 結晶質岩中の割れ目における物質移行・遅延メカニズムを把握する。
- ③ 割れ目中の物質移行に関する現有モデル(CRYSTAL等の平行平板モデル)の妥当性を確認する。

(3) 実施内容

1) 平成6年度までの実績

- ・坑道壁面の割れ目調査により物質移行の観点から分類した割れ目タイプ（タイプA,B,C:図4-1）のうち、タイプA（充填鉱物部のみを伴う単一割れ目）およびタイプB（充填鉱物部および赤色変質部を伴う単一割れ目）を対象に、詳細な移行経路調査を行い、割れ目周辺の移行経路概念モデルを構築した（タイプC（割れ目帯および断層）については、平成7年度以降に実施）。
- ・室内試験では、U、Cs、Se等の収着試験を実施し、充填鉱物部、赤色変質部および未変質部の各部分での核種収着能力を定量的に把握した。
- ・平成7年度以降に実施する原位置試験の準備段階として、室内での拡散試験や移流－拡散試験を実施し、原位置試験の方法およびレイアウトを決定した。

2) 平成7年度以降の計画

割れ目における物質の収着およびマトリックス拡散に関する情報を取

得するため、坑道内に認められる割れ目の地質学、地球化学および水理学的特性を調査し、室内および原位置での物質移行試験を行う。

① 割れ目の特性調査（目標①、②に対して実施）

(a) 目 的

- ・結晶質岩中の割れ目の構造および地球化学に関する詳細な情報を整備する。
- ・物質の移行・遅延を規制する割れ目およびその周辺の移行経路に関する概念モデルを構築する。

(b) 内 容

- ・原位置での割れ目調査(連続性、割れ目幅、変質幅などの空間的特性)
- ・割れ目に伴う鉱物の分析（充填鉱物、変質鉱物などの地球化学特性）
- ・割れ目の微細構造に関する観察（表面構造、空隙構造などの物理的特性）
- ・割れ目を流れる地下水の地球化学特性調査

② 室内試験（目標①、②、③に対して実施）

(a) 目 的

- ・バッチ式およびカラム式試験（室内透水試験、収着試験、染色レジン注入試験など）によって、割れ目中の物質の移行経路および移行・遅延現象を把握する（図 4-2, 3）。
- ・室内試験によって現有モデルの妥当性を確認する。

(b) 内 容

- ・割れ目周辺の基質構成鉱物および割れ目充填鉱物、変質鉱物の収着能力調査（バッチ式収着試験）
- ・割れ目周辺の移行経路（空隙構造）調査（染色レジン注入試験）
- ・割れ目表面からの拡散（遅延）現象調査（カラム式拡散試験）
- ・割れ目表面のチャンネリング構造調査（カラム試験）
- ・割れ目充填鉱物の空間分布調査（カラム試験）
- ・割れ目周辺の空隙率や透水係数などの物理的特性調査（カラム試

験)

③ 原位置試験 (目標①、②、③に対して実施)

(a) 目 的

- ・ 原位置試験によって、割れ目中の移行・遅延に関する室内試験結果の現実性を確認する。

(b) 内 容 (図 4-4)

- ・ 割れ目毎の移行経路を調査するための単一孔によるレジン注入試験
- ・ 割れ目毎の収着能力を調査するための単一孔による収着性トレーサー注入試験
- ・ 移行経路、収着能力、拡散現象などを確認するためのオーバーコアリング調査
 - － 割れ目表面からのトレーサーの濃度プロファイルの分析
 - － チャンネリング構造の空間分布測定 (マッピング)
 - － 割れ目充填鉱物および割れ目構造のマッピング
- ・ 割れ目内の水理学的パラメータ (透水係数、比貯留係数等) を取得するための複数孔を利用した試験孔間水理試験

④ 解析・評価 (目標③に対して実施)

(a) 目 的

- ・ 単一割れ目中の物質移行に関する現有モデルの妥当性を確認する。

(b) 内 容

- ・ 現有モデルを用いた室内および原位置試験結果の予測解析
- ・ 室内および原位置試験結果による予測解析結果の検証

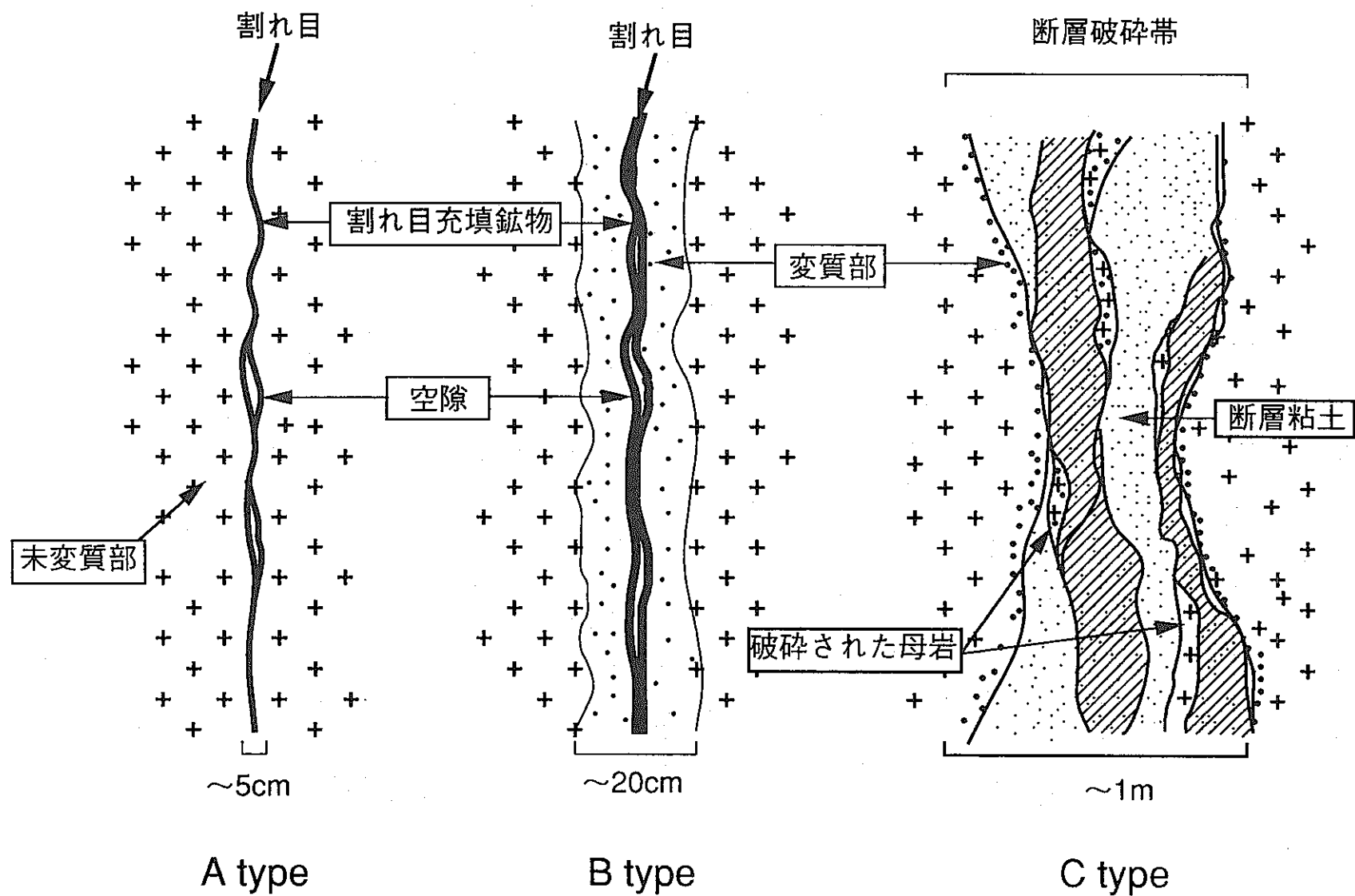


図 4 - 1 栗橋花崗閃緑岩中の割れ目概念モデル

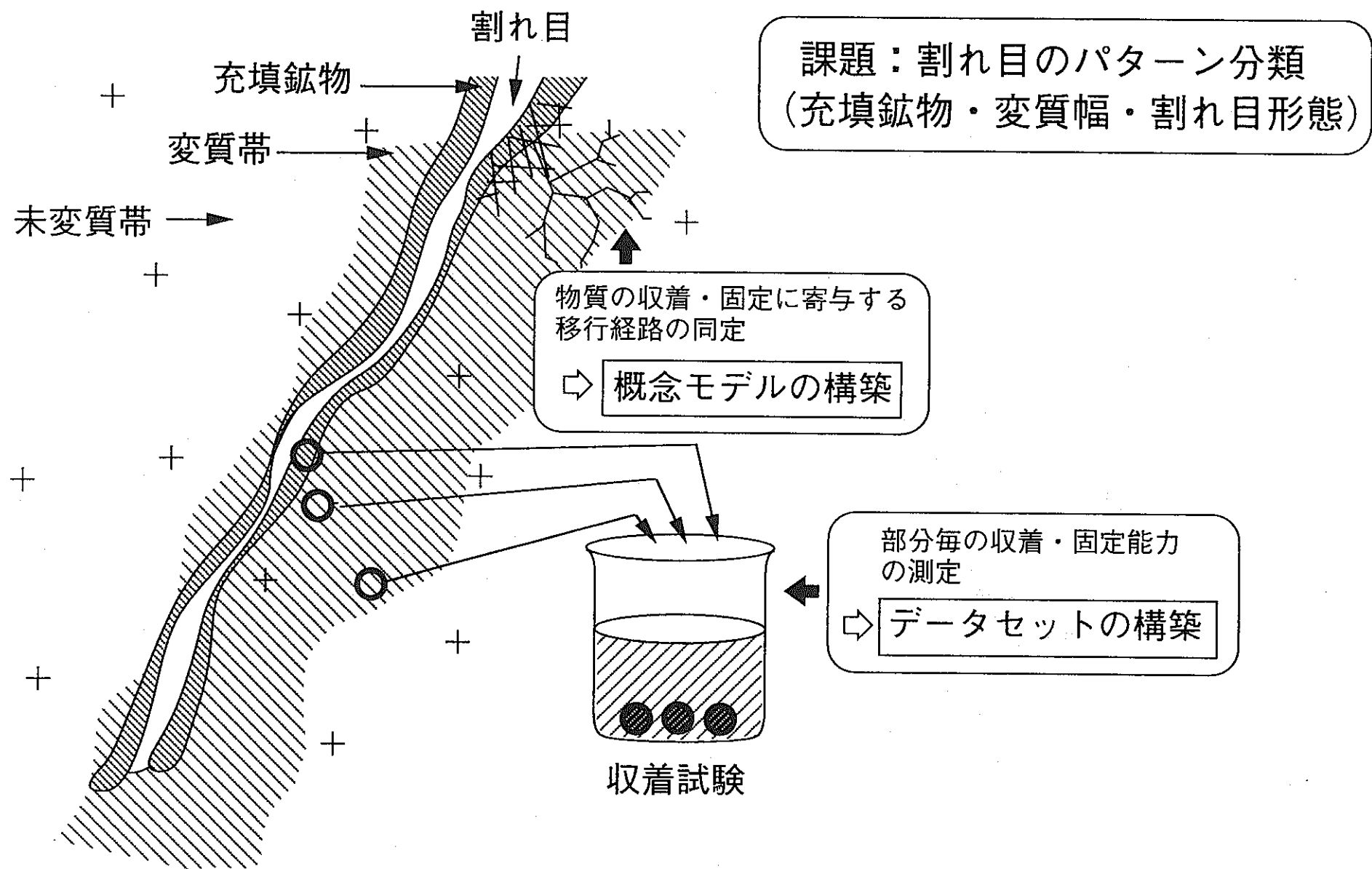


図4-2 割れ目の収着能力を把握するためのバッチ試験

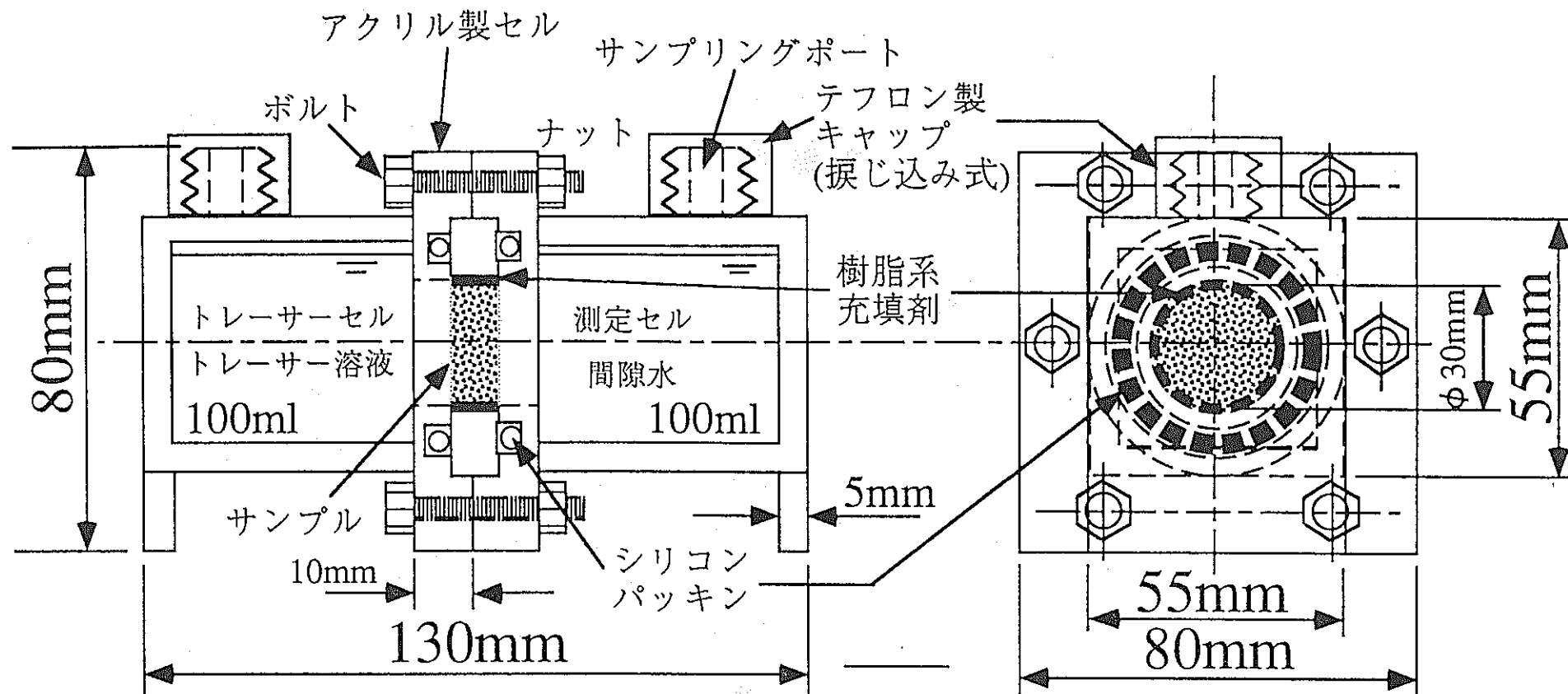
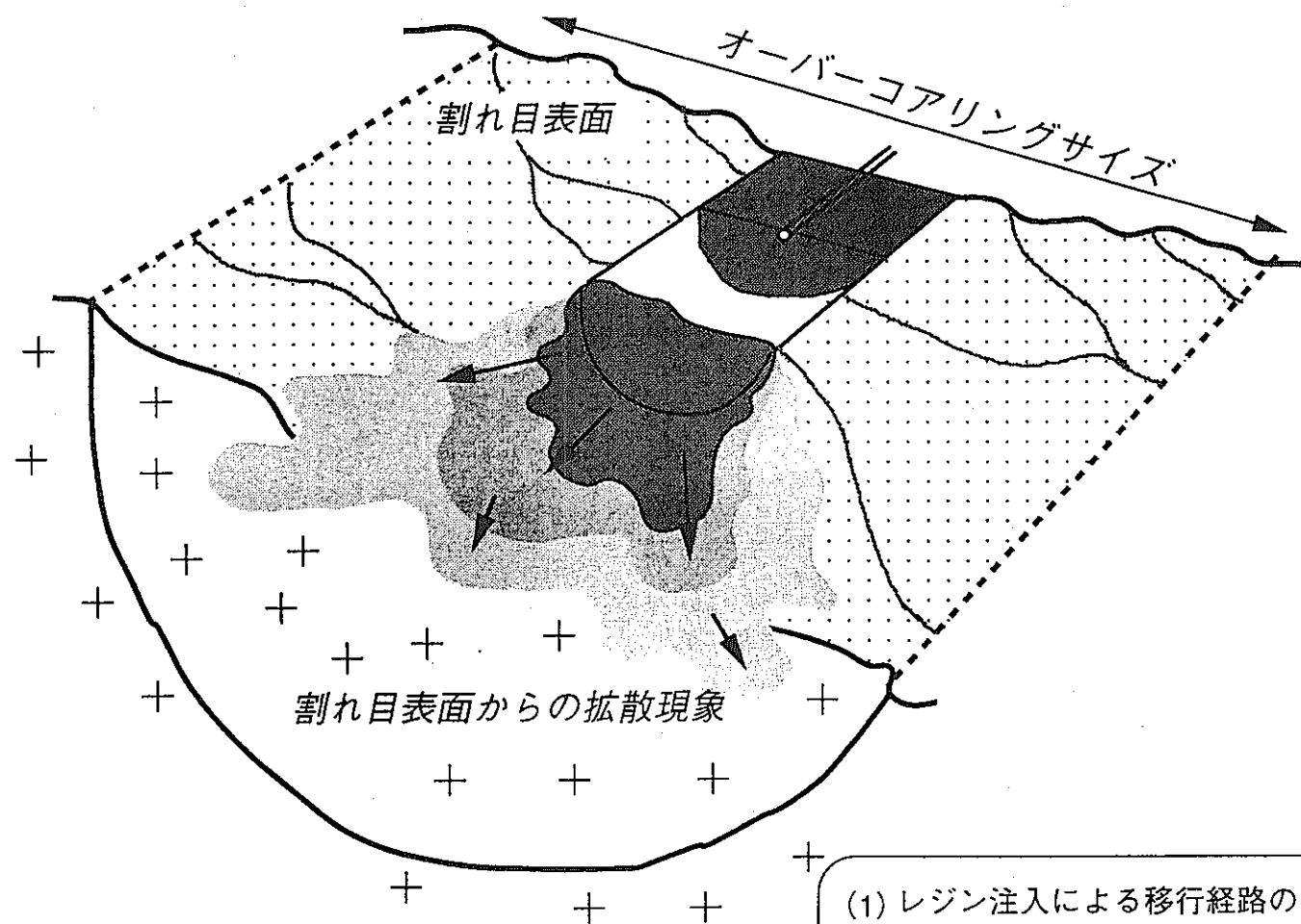


図4-3 岩石用拡散試験セル (100 ml容積)



- (1) レジン注入による移行経路の同定
(移行経路の連続性・割れ目表面からの拡散方向の経路の同定)
- (2) コールドトレーサー注入による収着能力の測定
(濃度プロファイル測定による収着メカニズムの把握)

図4-4 原位置試験デザイン (案)

4.2 移流・分散に関する研究

(1) 位置づけ

結晶質岩中の物質移行においては、移行経路となる個々の割れ目におけるマトリックス拡散および収着が主要な遅延メカニズムとなる。この遅延効果は地下水の流速および地下水と接触する割れ目の表面積に支配され、このうち割れ目表面積は透水性割れ目のネットワーク構造および各割れ目内のチャンネリングにより決定される。

本研究においては、透水性割れ目のネットワーク構造に着目し、透水性割れ目の連結性（ネットワーク構造）と、その水理・物質移行特性を調査する。このため、孔間透水試験等の水理試験および非収着性トレーサー試験を行い、透水性割れ目のネットワーク構造をモデル化するとともに、割れ目中の空隙率、分散係数等の物質移行に係るパラメータを取得する。

(2) 目 標

- ① 結晶質岩中の透水性割れ目の分布とその連結性を把握するとともに、その透水性割れ目の透水係数や物質移行に係る物性値を取得する。また、透水性割れ目に作用する動水勾配を調査する。
- ② 結晶質岩中の間隙水圧の分布を規制している水理学的な境界の分布性状および特性を把握する。
- ③ 透水性割れ目に囲まれた比較的透水性の低いブロックの規模、およびそのブロック内における割れ目の分布や水理特性を把握する。
- ④ 結晶質岩中における水理・物質移行のモデル化手法の妥当性を確認する。

(3) 実施内容

1) 平成6年度までの実績

平成5年度は、試験コンセプトの検討、試験レイアウトの検討および試験に使用する機器の選定を行った。

平成6年度は、間隙水圧が高い領域と低い領域を隔てる境界（以下「水理境界」と呼ぶ）の位置を確認するためのパイロットボーリング（KH-20孔）を掘削するとともにKH-19孔への圧力応答を観測した。また、KH-19孔とKH-20孔の流量検層を実施し、コア観察やBTV観察か

ら得られる割れ目の地質学的データと合わせて検討し、KH-19孔とKH-20孔間の透水性割れ目を抽出した。さらに、平成7年度以降に実施する試錐掘削や水理・物質移行試験に使用するためのアクセス坑道を掘削した。

2) 平成7年度以降の計画

① 試錐孔掘削（目標①、②、③に対して実施）

(a) 外側境界条件設定用試錐孔の掘削（KH-21孔、KH-22孔、KH-23孔の3本）

原位置において動水勾配を調査するために、アクセス坑道北側側壁より、試験用試錐孔の西側5～10m離れた地点から、KH-19孔に対称な外側境界条件設定用試錐孔（KH-21孔、孔長80m）および試験用試錐孔に平行なトレーサー試験時外側境界条件設定用試錐孔（KH-22孔、KH-23孔、孔長80m）を掘削する（図4-5）。

(b) 試験用試錐孔の掘削（KH-24孔、KH-25孔）

アクセス坑道北側側壁から、KH-20孔に平行にKH-24孔およびKH-25孔（孔長80m）を掘削する。KH-20孔とKH-24孔、KH-25孔の距離はそれぞれ約2mとする（図4-5）。

② 観測調査（目標①、②、③に対して実施）

観測調査は、水理境界の位置、連続性、特性と非収着性トレーサー試験・孔間透水試験の対象となる透水性割れ目の分布、連続性等を把握するために実施する。

(a) 試錐孔掘削中に行う観測調査

- ・ 周辺の試錐孔における圧力応答観測
- ・ 掘削中の試錐孔口元での水圧観測
- ・ 変位計による試錐孔掘削深度の観測
- ・ 毎日の掘削終了後の試錐孔口元での湧水量観測

(b) 試錐孔掘削後に行う観測調査

- ・ コア観察
- ・ BTV観察
- ・ 孔曲がり検層

- ・流量検層

- ・シングルホール・レーダー法調査

③ パッカー装置設置（目標①、②に対して実施）

上記②の観測調査の結果に基づき、非収着性トレーサー試験および孔間透水試験の対象とする割れ目を抽出し、パッカー位置を決定する。その後、各試験孔に孔間透水試験およびトレーサー試験のためのパッカー装置を設置する。

パッカー装置設置後、ビルドアップ試験（水圧回復試験）を実施し、各パッカー区間の透水性・間隙水圧を計測する。

④ 孔間透水試験および解析（目標①、②に対して実施）

試験対象領域（とくにトレーサー試験対象割れ目）の透水係数、貯留係数等の水理学的特性を把握するため、孔間透水試験を実施する。

本試験の結果を用いて流れの次元解析（Fractional dimension analysis）等を行い、試験対象割れ目内の透水量係数を推定する。

⑤ 非収着性トレーサー試験および解析（目標①、②、④に対して実施）

透水性割れ目内の物質移行に係る割れ目開口幅や分散係数等の物質移行に係る特性を把握するため、KH-20孔、KH-24孔、KH-25孔間もしくはその他の境界ボーリング孔（KH-19孔、KH-21孔、KH-22孔、KH-23孔）との間で非収着性トレーサー試験を実施する。本試験の結果を解析し、対象割れ目内の物質移行上の割れ目開口幅や分散係数を把握する。解析には亀裂ネットワークモデル（FracMan）を用いる。

N
4
+

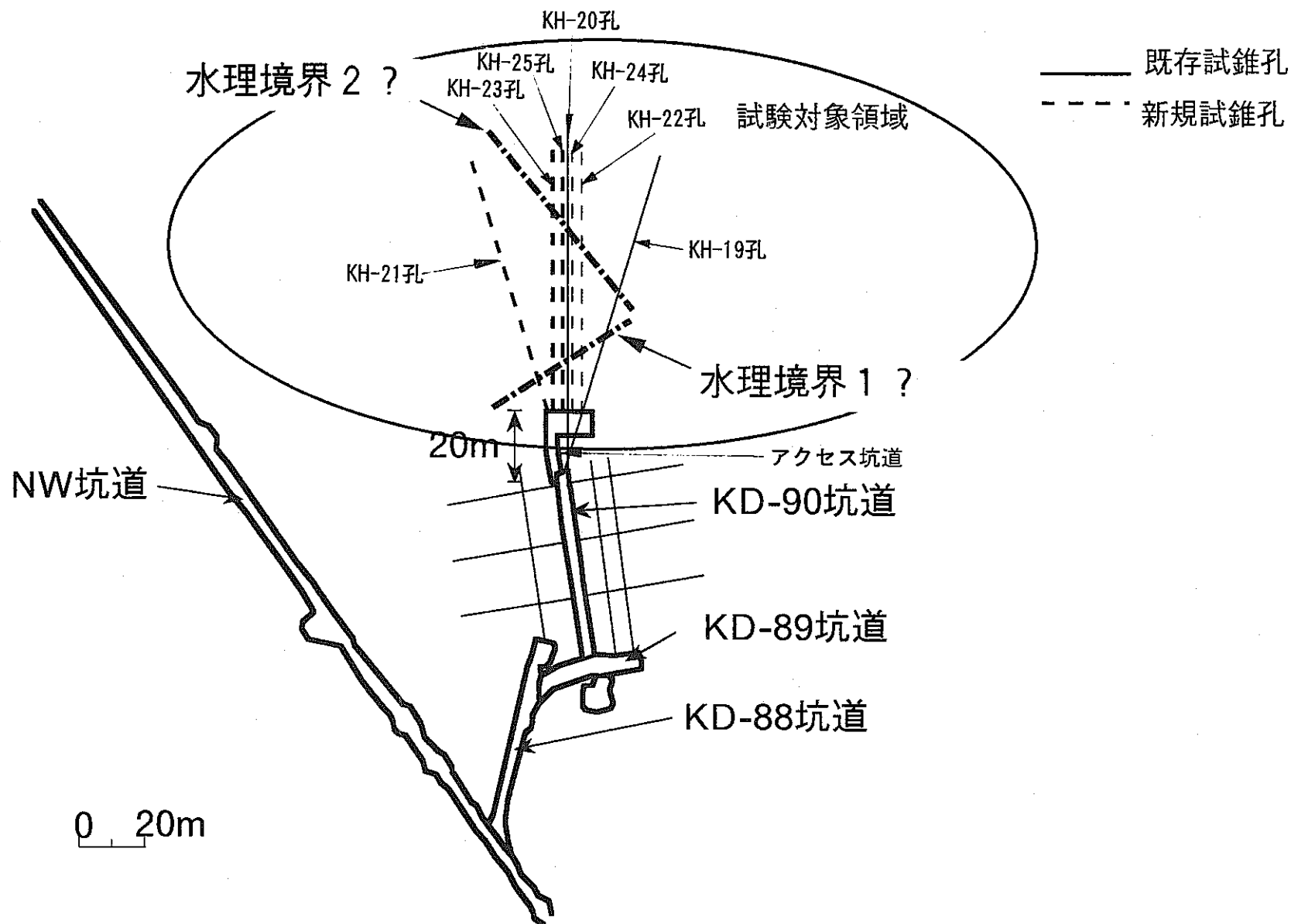


図4-5 移流・分散に関する研究 調査位置図

5. 人工バリア試験（割れ目帯の密封技術の適用性評価）

5.1 グラウト技術の適用試験

(1) 位置づけ

空洞の掘削に伴う割れ目からの湧水や掘削影響領域の発生に伴う地下水の卓越流路の形成は、地下空間利用等の面から、しばしばグラウト等による止水対策の対象となる。

グラウト施工では、地層が本来有する地球化学特性を極力乱さないようにする観点から、セメントを避けて粘土系グラウトを使用せざるを得ない場合が考えられる。粘土系グラウトは、主として割れ目等の目詰まり効果を期待するものであるが、適用に当ってはその安定性と止水効果の評価が重要となる。これらの性能は、割れ目の性状やグラウトの注入圧、粘性度等に依存するため、本試験では、それらをパラメータとしたグラウト技術の適用試験を実施し、実際の岩盤条件下での粘土系グラウトの基本性能ならびに我が国の岩盤への適用性を把握する。

(2) 目 標

- ① 割れ目の性状（主として割れ目幅）や施工条件（注入圧、粘性度）とグラウトの安定性および止水効果との関係を把握する。

(3) 実施内容

1) 平成6年度までの実績

平成5年度は試験の詳細計画を検討した。

平成6年度はグラウト試験坑道を掘削するとともに、試験坑道内に存在する割れ目の調査を実施した。また、割れ目調査結果を考慮して、グラウト試験孔掘削位置を決定した。

2) 平成7年度以降の計画

① 事前調査

- a. 割れ目性状の異なる2領域に対するグラウトの止水効果を評価するため、観測用試験孔を掘削して各領域での低圧ルジオン試験を行い、事前の水理特性を把握する（図5-1）。
- b. 岩盤の割れ目状況を三次元的に把握するため、試験孔掘削後に割れ目調査（BTV観察等）およびトモグラフィー調査（比抵抗お

よびレーダー)を行う。

② グラウト試験

- a. 割れ目性状の異なる2領域にグラウト用試験孔(注入孔)を掘削する。
- b. 各領域において、注入圧、粘性度を変化させて粘土系グラウトを注入孔に注入する(注入は、低圧、低粘性度条件から行う)。

③ グラウト効果の確認

注入孔において低圧ルジオン試験を実施し、グラウトの止水効果を把握する。また、トモグラフィー調査(比抵抗およびレーダー)を実施し、グラウトの注入状態等がどの程度把握できるかを確認する。

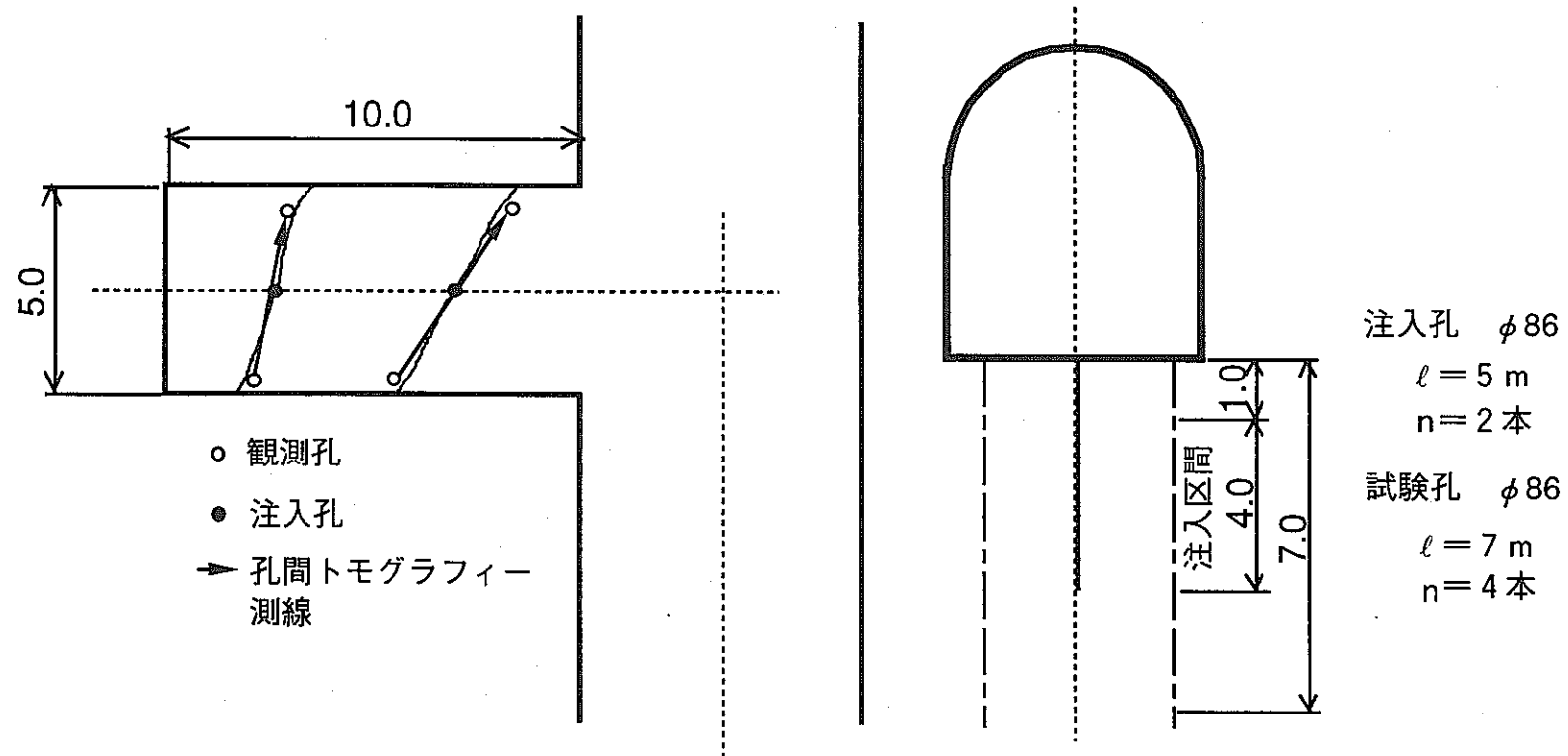


図 5-1 グラウト技術の適用試験レイアウト

5-2 粘土充填・熱負荷試験

(1) 位置づけ

周辺岩盤を含むニアフィールド性能の定量的評価を行うためには、室内および原位置における大型試験によって人工バリアの品質性能の確認と周辺岩盤への影響の評価を行い、地層処分技術の信頼性向上を図ることが重要である。

このため、地層処分基盤研究施設等における工学規模の試験と並行して、釜石原位置試験場において実規模の人工バリアを模擬した粘土充填・熱負荷試験を実施し、実際の岩盤条件下での品質性能の確認および熱－水－応力連成挙動の評価を行う。

(2) 目 標

- ① 原位置において実規模大の人工バリアを模擬した粘土充填・熱負荷試験を行い、人工バリアの施工性と品質性能を確認する。
- ② 熱－水－応力連成試験を実施し、人工バリアの設置初期における熱－水－応力連成挙動を観察し、連成モデルの妥当性を確認する。

(3) 実施内容

1) 平成6年度までの実績

平成5年度は試験の詳細計画を検討した。

平成6年度は試験坑道の掘削を行うとともに、試験坑道内に存在する割れ目を調査し、試験場内の割れ目情報を整備した。また、試験坑道掘削後、卓越する割れ目に亀裂変位計を設置し、坑道掘削による応力開放に伴う割れ目の経時的な変位の有無を調べるための観測を開始した。

2) 平成7年度以降の計画

① 岩盤特性調査（目標①、②に対して実施）

(a) 目 的

粘土充填・熱負荷試験を実施するため、岩盤における初期データを取得し、試験場の割れ目分布を把握する。

(b) 内 容

試験坑道より計測用試錐孔を掘削し、以下の計測を行う。また、BTV観察およびコア観察を行う（図 5-2）。

- ・透水試験、間隙水圧測定
- ・孔内載荷試験
- ・ひずみ計測
- ・亀裂変位計測
- ・岩盤変位計測
- ・室内物性試験

② 試験孔の掘削（目標①、②に対して実施）

(a) 目 的

実規模の人工バリアを設置するための試験孔を所定の設計どおりに施工する。

(b) 内 容

大口径のボーリング掘削機により直径1.7m、孔長5mの試験孔を掘削し、孔内壁面の割れ目観察を行う（図 5-3 ）。

③ 緩衝材の施工（目標①に対して実施）

(a) 目 的

緩衝材の現状技術による製作・施工性とその品質を確認する。

(b) 内 容

現場でベントナイトの粉末をダンパーで直接締め固める方法（締め固め方式）で緩衝材の設置を行い、これと同時に緩衝材内にヒーターおよび各種計測器を設置する（図 5-4 ）。

また、緩衝材施工時に周辺岩盤から湧水がある場合には、排水等の対策施工を行う

- ・間隙水圧測定
- ・膨潤圧計測
- ・ひずみ計測
- ・水分計測
- ・温度計測
- ・熱流束計測

④ 熱－水－応力連成試験（目標②に対して実施）

(a) 目 的

緩衝材の膨潤および熱負荷が周辺岩盤に及ぼす影響を把握することに重点を置いて、ニアフィールドの熱－水－応力連成現象を観測し、連成モデルの適用性を検証するためのデータを整備する。

(b) 内 容

緩衝材の膨潤・加熱試験を行う。

〔調査項目〕

- ・ 緩衝材の膨潤圧の発生状況
- ・ 岩盤応力等の変化
- ・ 緩衝材中の含水率の変化
- ・ 周辺岩盤の透水性の変化
- ・ 伝熱特性の変化

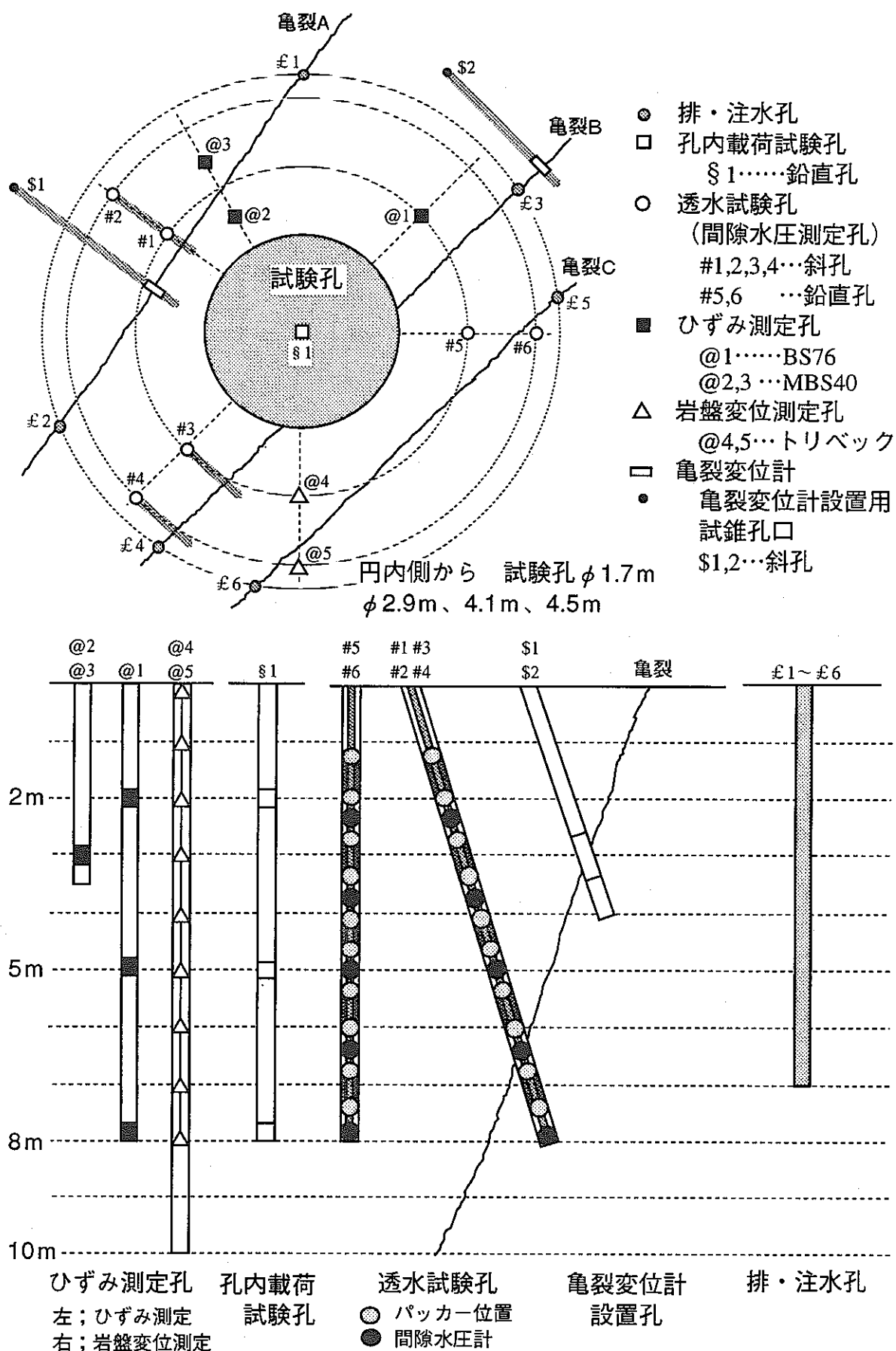


図 5-2 粘土充填・熱負荷試験岩盤内計器配置

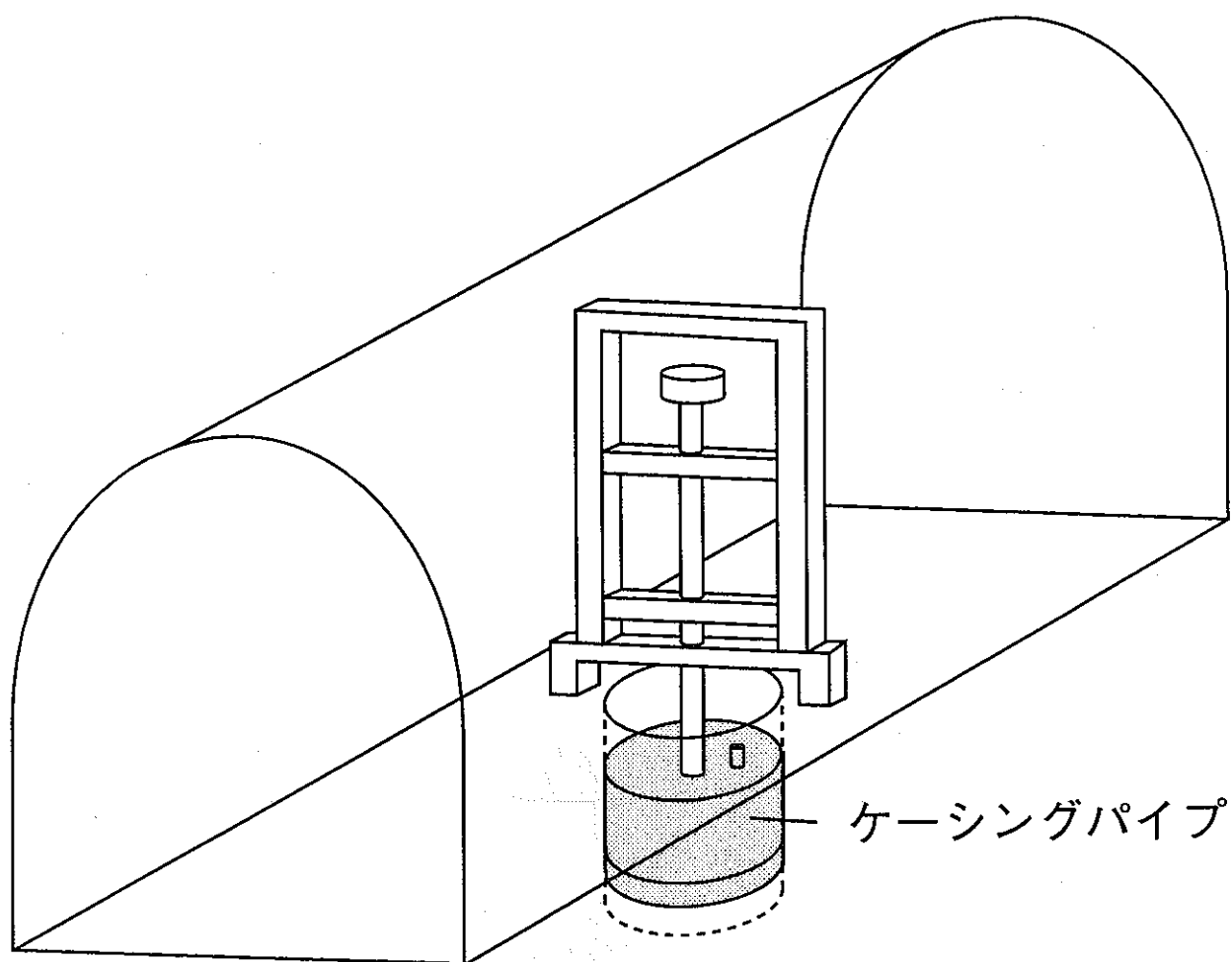


図 5-3 大口径ボーリングマシン

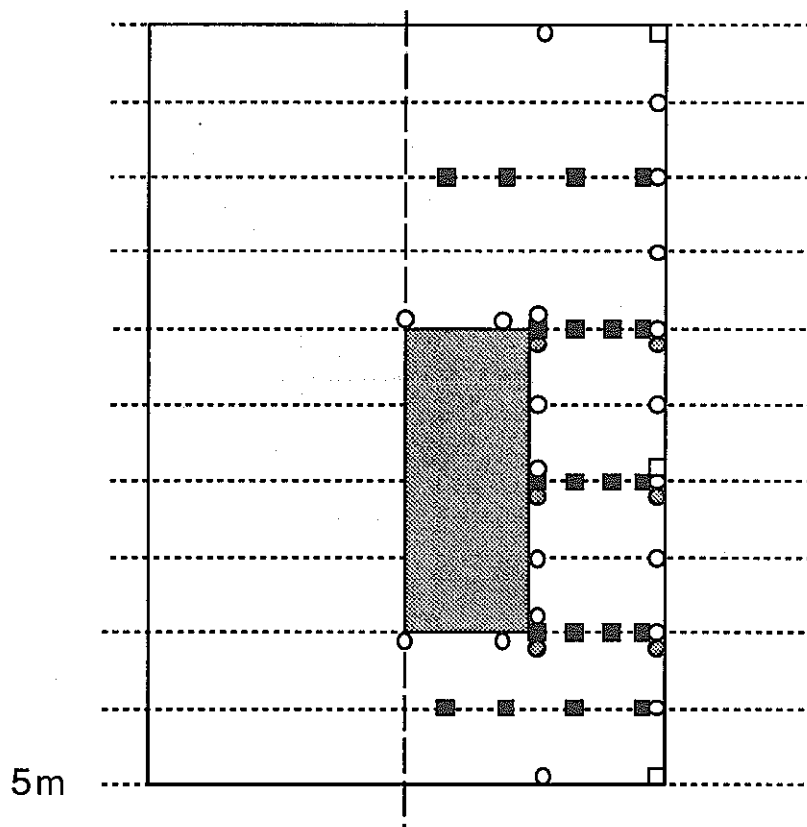
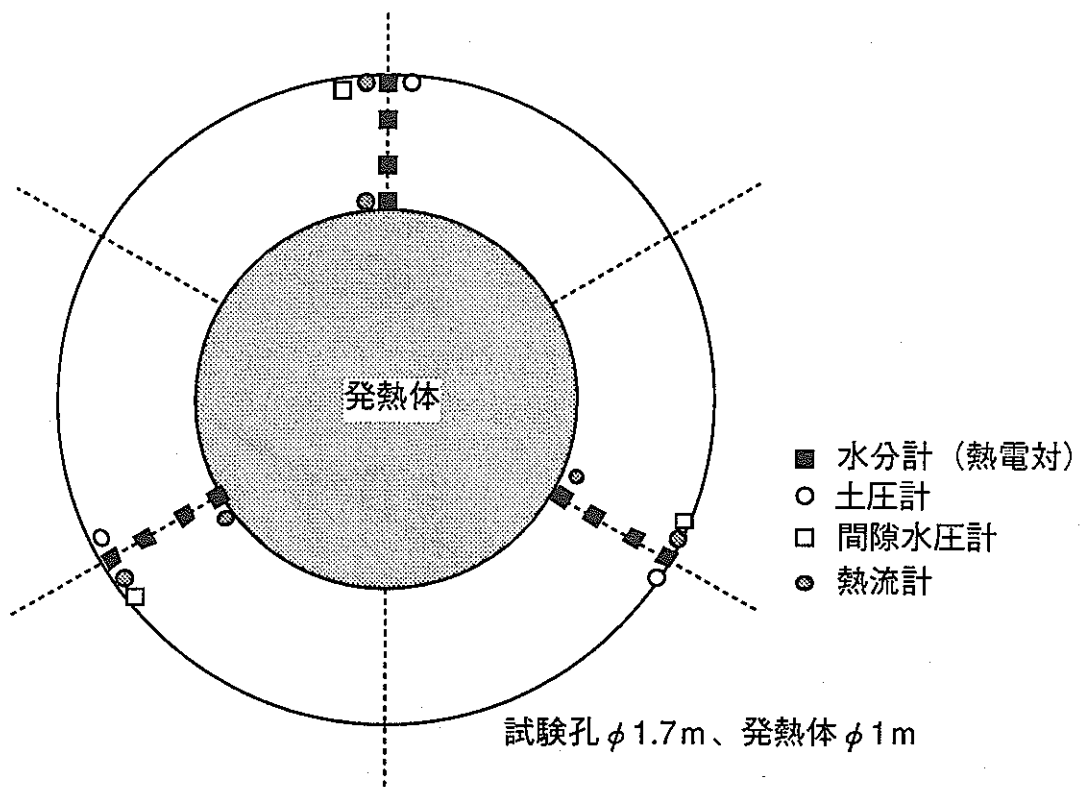


図 5-4 緩衝材内計測機器配置

6. 地震に関する調査研究

(1) 位置づけ

我が国は世界有数の地震国であるため、地下構造物の設計や安定性の評価において、地下深部の地震動特性を把握し、地震が地質環境や地下空洞の安定性に与える影響を把握することが重要である。

地表に比較して地下は一般に地震動が小さいと言われているが、実際に測定した例は少ないため、これを実際の観測データを用いて確かめる必要がある。

また、地震が地質環境に与える影響についても研究例が少ないため、地震前後における岩盤や地下水の変化を実際に観測し、地震による影響の有無と程度を把握する必要がある。

(2) 目 標

- ① 地震動の地下低減率を一般化する。
- ② 地震時における地下水の水圧、湧水量、水質の変化を把握し、その変化のメカニズムを検討する。
- ③ 地下空洞の地震時の安定性をシミュレーションによって解析する。

(3) 実施内容

1) 平成6年度までの実績

- ① 地震動の観測（目標①に対して実施）
 - ・釜石鉾山における深度の異なる複数の坑道での地震観測（図 6-1）によって、地震動は、地表から深度約150mの間で $1/2 \sim 1/3$ に急激に低減し、それより深部では大きく低減していない結果が得られた。また、東西成分は、南北・鉛直成分より地下低減率が大きいことが認められた。
- ② 地震による地下水への影響調査（目標②に対して実施）
 - ・これまでの観測の結果、地震の際に地下水の水圧が一時的に変化する場合があることが確認された。地下水の溶存成分については、地震後に変化する場合があるが、それが地震の影響であるかどうかは明らかでない。湧水量および地下水の電気伝導度については、これまでのところ地震に伴う変化は観測されていない。

③ 地震時地下空洞安定解析（目標③に対して実施）

- ・地下空洞の設置深度(500～1,200m)や地震動の震度(0.1～0.2)等を変化させた感度解析の結果、1,000m程度の地下深部では、空洞周辺の岩盤のせん断強度が空洞の耐震性に対して比較的大きな影響を与えることが判明した。

2) 平成7年度以降の計画

① 地震動の観測（目標①に対して実施）

(a) 目的

- ・釜石鉾山周辺の地震に関するデータを蓄積し、地震動の地下低減率の一般化を図る。
- ・地山形状が地震動に及ぼす影響を把握する。

(b) 内容

- ・K-1～K-7の既設の地震計を用いて、地震動の観測を継続する（図6-1）。
- ・スペクトル解析などのための高精度のデータを得るために、上記地震計の最大加速度の幅を500galから100galに設定し直す。
- ・地震動データを蓄積することにより、地震動の地下低減特性を一般化する。また、地震動およびその地下低減率の方向による違いと地山形状との関係を検討する。

② 弾性波速度調査（目標①に対して実施）

(a) 目的

- ・実地震観測波形の解析に用いる地盤モデルを作成するために、観測網周辺の弾性波速度分布を明らかにする。

(b) 内容

- ・地震計設置場所周辺の坑道壁面において弾性波探査を行い、P、S波速度と減衰定数を求める。
測線長さは約100m。
- ・上記探査結果をもとに、坑道周辺の岩盤における弾性波速度の鉛直分布を明らかにし、地震動の地下低減特性の検討の基礎資料とする。

③ 地震時地下空洞安定解析（目標③に対して実施）

(a) 目 的

地震時の地下空洞の安定性を確認する。

(b) 内 容

水平坑道および鉛直坑道を対象とした安定解析（静的解析）を行い、地震時における地下空洞の安定性と岩盤の挙動を評価する。

④ 地震による地下水への影響調査（目標②に対して実施）

(a) 目 的

・地震による地下水の水理・水質への影響を把握する。

(b) 内 容

- ・間隙水圧、湧水量および電気電導度の観測ならびに地震時自動採水装置による水質分析を継続するとともに、pHの観測を開始し、地震に伴う地下水の水理・水質の変化に関するデータを蓄積する。また、他の研究で実施している水圧観測・水質分析の結果を地震との関連で整理する。
- ・通常時の水圧、水質のバックグラウンドを把握するため、季節変化、降水による変化、地球潮汐による変化等の有無を確認する。
- ・地震時の水圧、水質の変化と、岩盤の変形との関係を把握するために、岩盤ひずみ計による観測を行う。
- ・地震における地下水の水理・水質の変化のメカニズムを検討する。

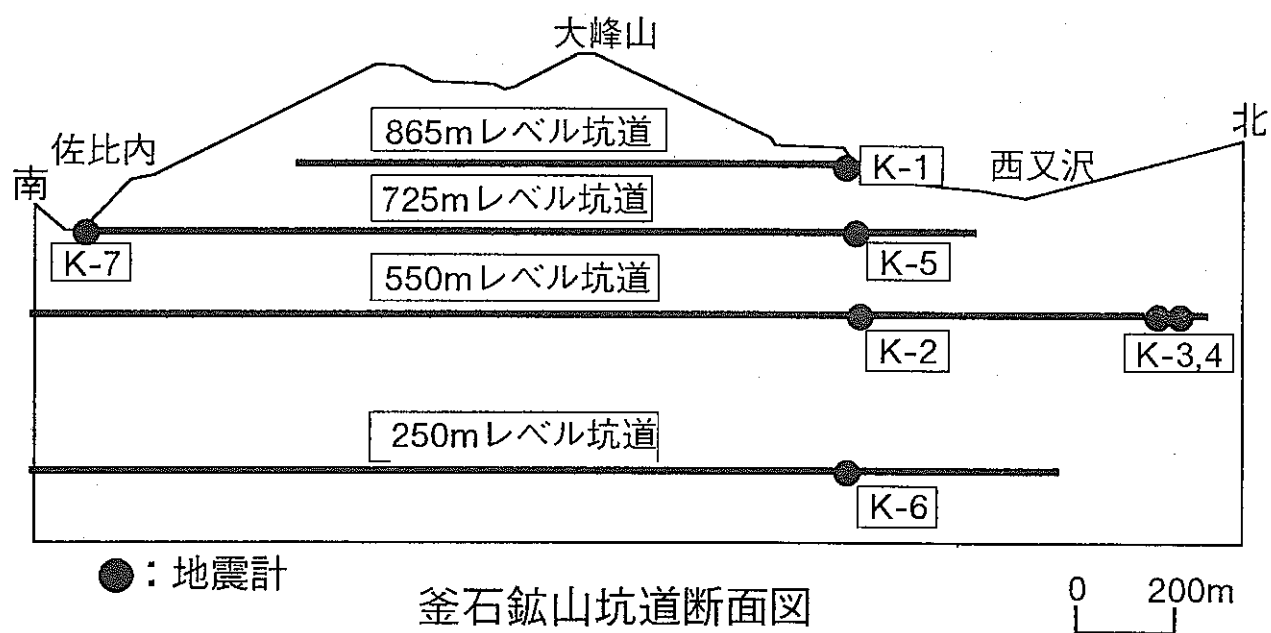
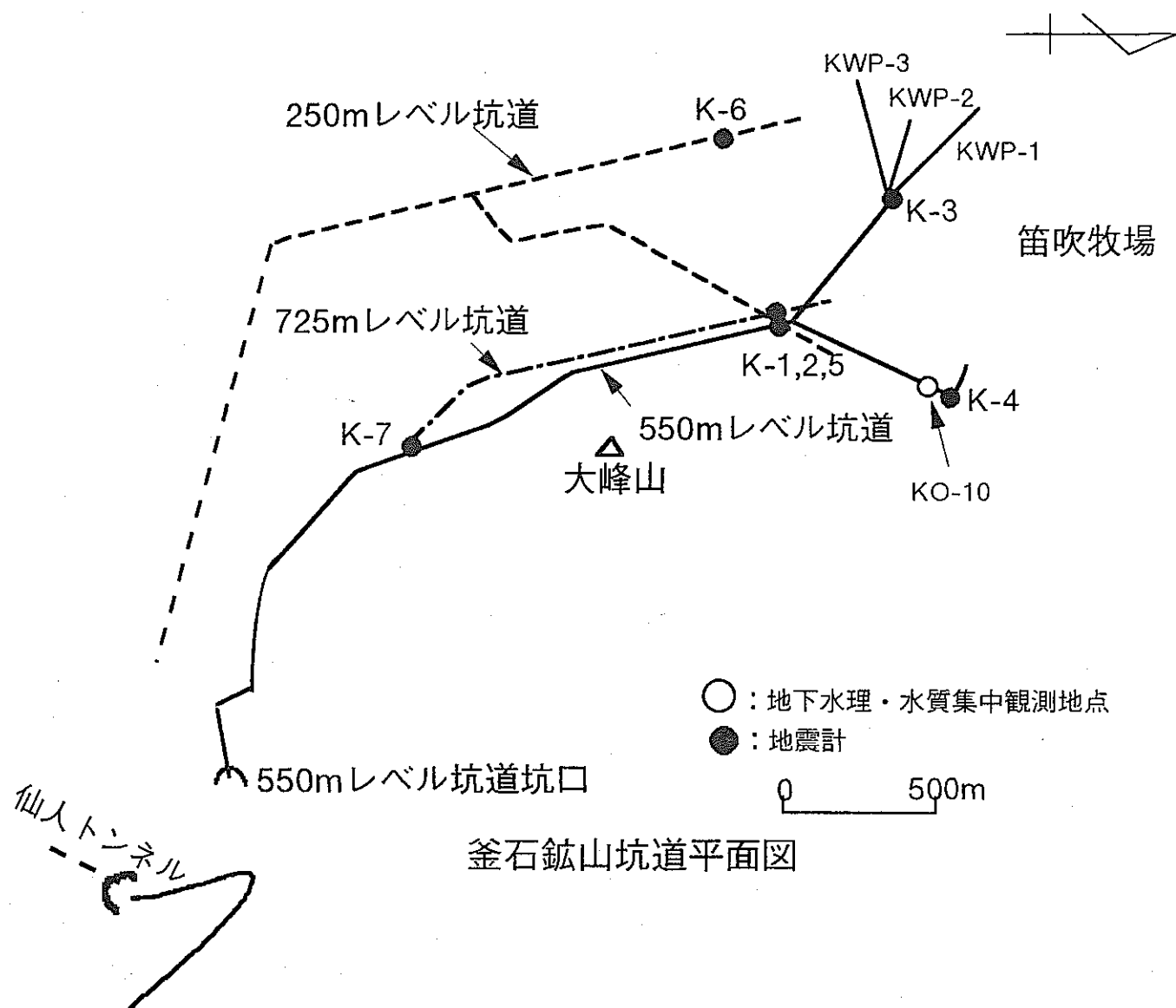


図 6 - 1 地震計、水理・水質観測位置図