

8
PNC 1410 94-059

社内資料
KTR 94-02

本資料はH14年2月28日付けで登録区分
変更する。

[技術情報グループ]

釜石原位置試験第2フェーズ

平成5年度成果報告書

技術資料		
開示区分	レポートNo.	受領日
P	N141094-059	1994.9.8
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		

平成6年5月

動力炉・核開発事業団

中部事業所 環境技術課
釜石事務所
東海事業所 地層処分開発室
環境技術開発推進本部



社内資料
PNC 平N1410 94-059
1994年 5月

釜石原位置試験第2フェーズ 平成5年度成果報告書

荒木龍介²⁾, 内田雅大³⁾, 大澤英昭¹⁾, 笹本広¹⁾
佐藤稔紀¹⁾, 清水功¹⁾, 杉田裕³⁾, 杉原弘造²⁾
瀬尾俊弘²⁾, 仙波毅¹⁾, 藤田朝雄³⁾, 柳澤孝一²⁾
吉田英一²⁾

要 旨

本報告書は「地層処分研究開発」の一環として、結晶質岩である花崗岩類を対象に釜石鉱山内で実施した釜石原位置試験第2フェーズ(平成5年～9年度)の平成5年度の試験研究成果について述べたものである。

平成5年度は、第2フェーズの初年度として、それぞれの試験研究(TASK1～TASK5の5項目に分類)の実施場所の決定や具体的調査試験デザインの策定に主眼を置いて実施した。主要な実施項目・成果は以下の通りである。

- ①TASK1:試験場周辺の主要な割れ目帯の分布や、地下水の地球化学特性を概括的に把握した。また、深度依存性を把握するための基礎情報として250mレベルの初期応力を把握した。
- ②TASK2:250mレベル坑道の割れ目調査に基づき試験位置を決定した。平成6年度に実施する調査のための試験孔を掘削し、割れ目情報を取得した。また、既存坑道近傍の間隙水圧や地下水の地球化学的データ(酸化還元電位等)の取得を開始した。
- ③TASK3-1:250mレベル坑道壁面の割れ目を調査し、割れ目を形態に基づき区分した。また、室内試験により割れ目充填物や変質部、未変質部での物質の収着・遅延に関する試験を実施した。
- ④TASK3-2:第2フェーズの試験位置や試験レイアウト(アクセス坑道等の位置)を具体化した。また、水理試験・トレーサー試験で使用するパッカー装置の設計を実施した。
- ⑤TASK4:第2フェーズの試験位置や試験レイアウトを具体化した。また、第1フェーズからの継続試験である、岩盤内に充填した粘土への地下水の浸透や加熱による粘土の膨潤圧等の変化の概要を把握した。
- ⑥TASK5:地震動の深度別の増幅特性の概要や、地震が水圧や水質に及ぼす影響の概要を把握した。また、地下空洞の設置深度や地震力等をパラメーターとした感度解析を実施した。

¹⁾ 動力炉・核燃料開発事業団 釜石事務所

²⁾ 動力炉・核燃料開発事業団 中部事業所 環境地質課

³⁾ 動力炉・核燃料開発事業団 東海事業所 環境技術開発部 地層処分開発室

目 次

I. 総論	1
1. はじめに	2
2. 釜石原位置試験第2フェーズ計画の概要	2
2.1 計画の枠組み	2
2.2 実施体制	2
3. 平成5年度実施内容, 結果の概要	3
4. 今後の課題	3
II. 各論	9
1. TASK1 : 深部地質環境特性の把握	10
1.1 目的	10
1.2 実施概要	10
1.3 スケジュール	10
1.4 原位置試験場周辺の地質構造	10
(1) 目的	10
(2) 実施内容	10
(3) 主要な成果	12
(4) 次年度計画概要	14
1.5 深部岩盤の力学特性の把握	26
(1) 目的	26
(2) 実施内容	26
(3) 主要な成果	26
(4) 次年度計画概要	27
1.6 深部岩盤の水理特性の把握	31
(1) 目的	31
(2) 実施内容	31
(3) 主要な成果	32
(4) 次年度計画概要	34
1.7 深部岩盤の地下水の地球化学特性の把握	48
(1) 目的	48
(2) 実施内容	48
(3) 主要な成果	48
(4) 次年度計画概要	50
1.8 250mレベル坑道からの500m級試験孔の掘削計画に関する検討	56

2. TASK 2 : 深部岩盤における掘削影響領域の評価	57
2.1 目的	57
2.2 実施内容	57
2.3 スケジュール	59
2.4 主要な成果	60
2.5 次年度計画概要	64
3. TASK 3 : 結晶質岩の水理・物質移行に関する研究	78
3.1 SUBTASK 3-1 : 収着・マトリックス拡散に関する研究	78
(1) 目的	78
(2) 実施内容	78
(3) スケジュール	79
(4) 主要な成果	79
(5) 次年度計画概要	81
3.2 SUBTASK 3-2 : 移流および分散に関する研究	84
(1) 目的	84
(2) 実施内容	84
(3) スケジュール	84
(4) 主要な成果	84
(5) 次年度計画概要	87
4. TASK 4 : 人工バリア試験	90
4.1 目的	90
4.2 実施内容	90
4.3 スケジュール	91
4.4 主要な成果	91
4.5 次年度計画概要	92
5. TASK 5 : 地震に関する調査研究	96
5.1 目的	96
5.2 実施内容	96
5.3 スケジュール	97
5.4 主要な成果	97
5.5 次年度計画概要	100

I. 総論

1. はじめに

動燃事業団は地層処分研究開発の基盤をなす地層に関する研究として「地層科学研究」と言う新たな研究領域を設定し、また、我が国の岩石（地層）を堆積岩系と結晶質岩系に大別し、堆積岩を対象に東濃鉱山およびその周辺地域において調査試験研究を実施するとともに、結晶質岩を対象に釜石鉱山において原位置試験を実施してきている。

本報告書は平成5年度に釜石鉱山で実施した研究の結果について述べたものである。

2. 釜石原位置試験第2フェーズ計画の概要

2.1 計画の枠組み

釜石原位置試験は昭和63年から平成4年度までの5ケ年間（第1フェーズ）、岩手県釜石市西部に位置する釜石鉱山の栗橋花崗閃緑岩（図-2.1）を対象に、

- ・地下の基礎的な地質環境特性の把握と現象の理解
- ・現有調査試験技術の適用性の確認

をその目標に置いて実施し、ほぼその目標を達成することができた。

しかし、原位置での種々の試験を実施する際の境界条件の設定や坑道からの試錐孔等により取得したデータの信頼性に大きな影響を与えていると考えられる坑道周辺の

- ・掘削影響領域についての知見の蓄積を図ること、

が新たな課題として抽出された。

また、第1フェーズは主に550mレベル坑道を中心に展開され、特性の分布や現象の現れ方の深度による相違については十分検討していないことから、得られた知見の一般化の視点を踏まえて、地下の諸特性の分布や現象の現れ方の

- ・深度依存性を明らかにすること

も新たな課題として抽出された。

これらと共に、第1フェーズからデータの蓄積を図っている地震観測を含めて平成5年度から5ケ年間の原位置試験基本計画を策定した（第2フェーズ）。これに従って5つのTASKを設定して試験研究を実施している。表-2.1に各TASKとその目標を示す。

2.2 実施体制

実施体制としては、環境技術開発推進本部地層科学研究グループが全体総括、中部事業所環境地質課が実施の総括、釜石事務所が実施と言う役割分担を設定している。具体的には処分グループ、東海事業所地層処分開発室を含めて釜石原位置試験研究調整会議を設置し、この場において具体計画の策定・修正の他、試験デザインや得られたデータ等について技術的検討を行った。また、原位置試験の実施にあたっては、目録鉱業等への委託の他に、事業団独自の調査試験を実施すべく、釜石事務所の体制を強化した。

3. 平成5年度実施内容、成果の概要

平成5年度は第2フェーズの初年度であり、それぞれのTASKの実施場所の決定や具体的調査試験デザインの策定に主眼を置いた予備調査段階と位置付けて調査試験を実施した。

各TASK毎の実施内容、結果の概要を表-3.1に、その実施場所を図-3.1に示した。

概括的には、

- ・原位置試験場およびその周辺の地質環境条件に関する知見が増加した (TASK 1)
- ・第2フェーズの試験位置や試験レイアウトが具体化された (TASK 2, 3-1, 3-2, 4),
- ・既存坑道近傍のデータ取得が開始された (TASK 2, 3-1)
- ・第1フェーズからの継続観測によりデータが蓄積された (TASK 4, 5)

ことから、第2フェーズ5ヶ年計画の第2年目からの試験研究の準備が整ったと言える。

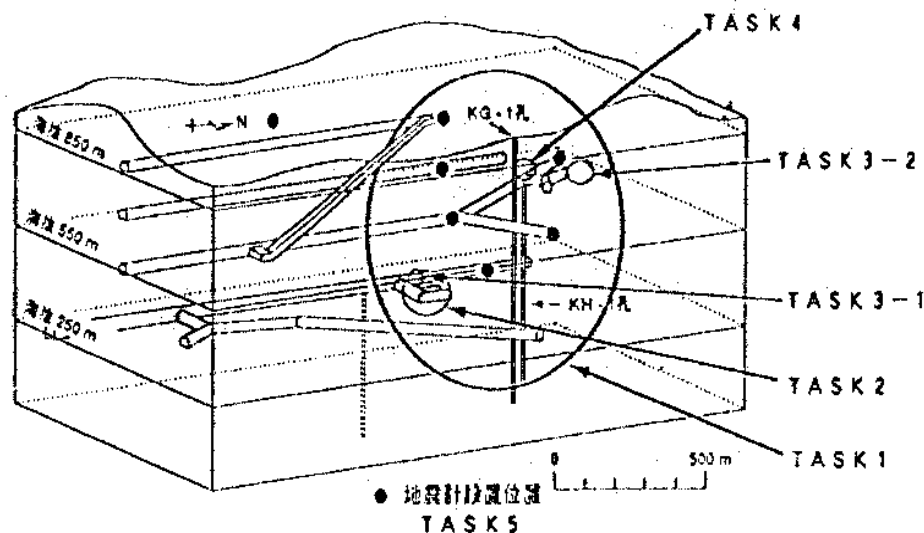


図-3.1 試験の実施場所

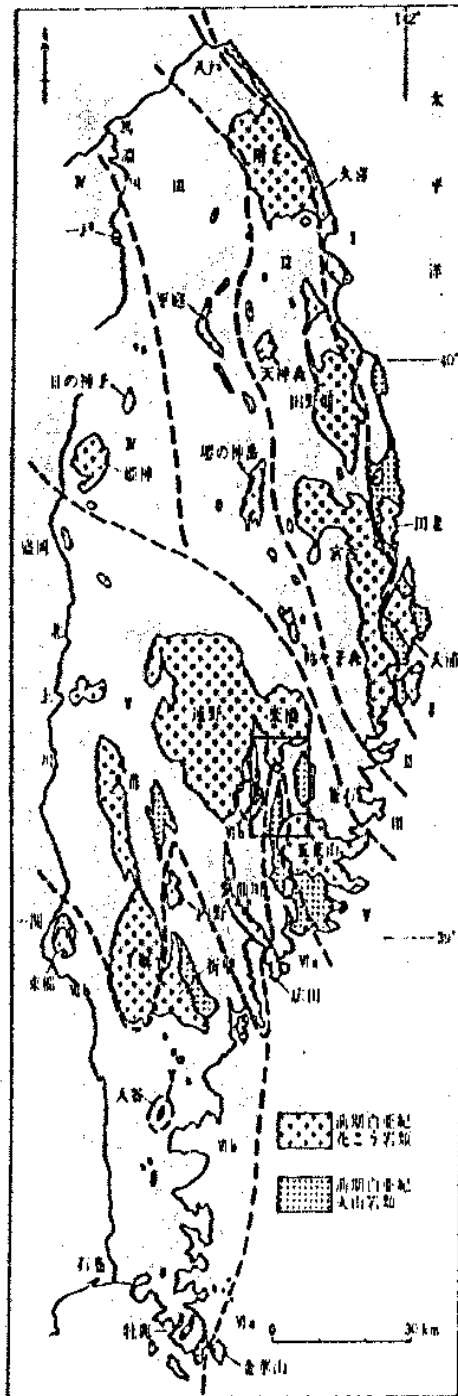
4. 今後の課題

今後の課題として、例えば、割れ目の分類基準を作成すること、調査対象の岩石や割れ目の岩石学的・鉱物学的記載・観察を行うこと、各TASK間のより有機的な連携をとることが挙げられる。

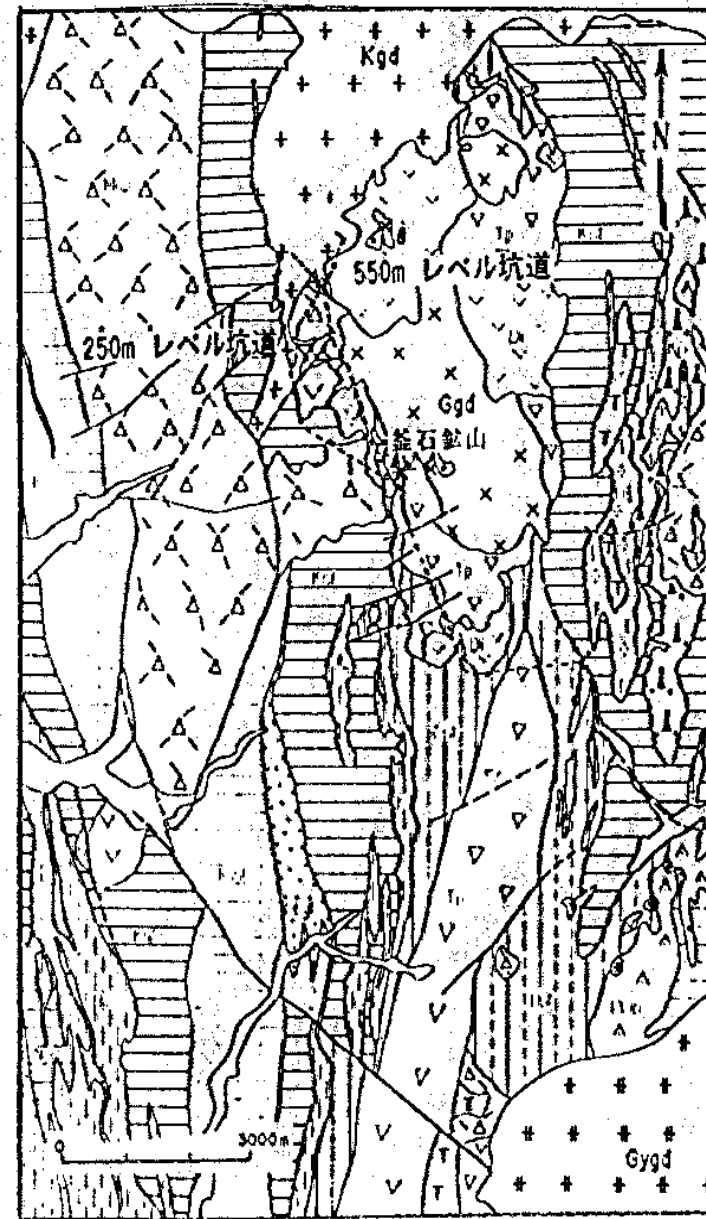
これらの他に、前述の調査技術開発を原位置試験全体の枠組みの中にどのように取り込んで行くかも今後の課題である。

表-2.1 TASK とその目標

TASK	目 標	調査試験機器・手法の開発
TASK 1 深部岩盤の地質構造・力学特性・水理特性・地球化学特性の把握	<ul style="list-style-type: none"> ・栗橋花崗閃緑岩体の地質環境特性の把握 ・地質環境特性や現象の深度依存性の把握 ・各 Task 実施の場に関する基礎的な地質環境条件の把握 	
TASK 2 深部岩盤における掘削影響領域の評価	<ul style="list-style-type: none"> ・掘削影響領域に関する事例的データの取得 ・掘削影響領域の発生、進展に関するプロセスの把握 	
TASK 3 結晶質岩の水理・物質移行に関する研究 SUBTASK 3-1 収着・ワザカス拡散に関する研究 SUBTASK 3-2 移流および分散に関する研究	<ul style="list-style-type: none"> ・割れ目系岩盤における水理・地球化学・物質移行/遅延メカニズムの把握 ・割れ目系岩盤における水理・物質移行モデルの妥当性の評価 	
TASK 4 人工バリア試験	<ul style="list-style-type: none"> ・グラウト技術の適用性の評価 ・粘土膨張・熱負荷による掘削影響領域への影響の評価 ・充填粘土と周辺岩盤系の熱的、力学的、化学的挙動の把握 	
TASK 5 地震に関する調査研究	<ul style="list-style-type: none"> ・地震動の地下伝達特性の一般化 ・地下空洞の地震時挙動の把握 ・地震動が地下水流動や地球化学的性質に与える影響の把握 	



北上山地の前期白亜紀の花崗岩類・火山岩類の分布と分帯区分
 大字は主な花崗岩体(日本の地質 2 東北地方)



釜石鉱山周辺の地質

凡例

時代	地層名	岩相	略号	
古生代	馬木の内層	石英安山岩・安山岩質火砕岩類	MaI	
	金山層	粘板岩類	KoI	
		燧岩(大洞燧岩)	CoI	
	松倉層	砂岩・粘板岩	MiI	
		安山岩質火砕岩類	Kp	
	甲子層	粘板岩類	KoI	
		石灰岩	KiI	
	石炭紀	須貝層	粘板岩	UsI
			石灰岩	KiI
		長岩・鬼丸層	石灰岩	NiI
大橋・赤倉層		砂岩・粘板岩	NaI	
		粘板岩類	OsI	
	石灰岩	OiI		
火成岩	栗橋岩体	花崗閃緑岩	KoI	
	蟹巻岩体	花崗閃緑岩	Ggd	
		閃緑岩	Gg	
	五葉山岩体	閃緑岩・閃緑輝岩	Gg	
		花崗閃緑岩	Ggd	
	その他の火成岩類	花崗閃緑岩	Ggd	
輝岩類		Gg		
	安山岩類	MaI		
	珪岩性岩	Gg		
基岩	スカルン	SK		

図-2.1 原位置試験場周辺の地質

表-3.1 平成5年度試験実施内容および結果の概要

調査研究分野	第2フェーズの目標	実施場所	平成5年度実施内容および主な作業	結果概要
TASK 1: 深部岩盤の地質構造・力学特性・水理特性・地球化学特性の把握 † 地質構造 † 力学特性 † 水理特性 † 地球化学特性	・栗橋花崗閃緑岩の地下の地質環境の把握 ・地質環境特性や現象の深度依存性の把握 ・各 Task の実施の場に関する基礎的な地質環境条件の提供	† 550m, 250m レベル坑道周辺 † 250m レベル坑道 † 550m レベル坑道 (KD-90 坑道), KG-1 孔 † 主に 250m レベル坑道	† リニアメント解析(5×5km ²), 既存試錐孔・坑道の地質データの評価・解析(2×2km ²) † 試錐孔掘削(KM-2, 20m, 250m レベル坑道), 初期応力測定(KM-2 孔: 応力解放法(4 点), 水圧破壊法(9 点), AE 法(3 点), DRA 法(3 点), DSCA 法(9 点)) † 間隙水圧測定結果(主に KD-90 坑道周辺の 20 孔合計 132 区間), 孔間透水試験(3 年度実施)結果の再解析 † 間隙水圧継続観測(KD-90 周辺, 12 孔, 72 区間) † 湧水の採水, 分析(21 点, 内 10 点詳細分析) † 高差圧条件下での調査技術検討(KC-1 孔実施の可否判断)	† 割れ目を 6 タイプに区分, 試験場周辺領域(2×2km ²)の地質構造を把握 † 最大主応力: 原位置試験で NS 方向, 室内コア試験で EW 方向, 550m 坑道と比較すると主応力値増加 † KD-90 坑道の東西で異なる間隙水圧応答を確認 † 250m レベル坑道の地下水は主に Na ⁺ -HCO ₃ ⁻ 型, 天水起源, ³ H データからは 1970±年頃の涵養 † 試錐孔掘削の困難, 調査技術, 機器保有せず⇒現状では調査試験不可
TASK 2: 深部岩盤における掘削影響領域の評価 † 掘削影響領域評価 † REDOX 状態調査	・掘削影響領域に関するデータの取得 ・掘削影響領域の発生, 進展に関わるプロセスの把握	† 250m レベル坑道 † 250m レベル坑道	† 試錐孔掘削(8 孔, 170m), コア割れ目調査(8 孔), 間隙水圧測定(2 孔(KDH-1, 2), 合計 12 区間) † き裂系岩盤の解析手法の検討 † 水質連続モニタリング装置(3 台)製作, 両装置設置; 試錐孔掘削(1 孔, 2m, 3区間, KR01 孔), モニタリングの開始	† 研究対象領域のき裂の情報の取得, 既存坑道周辺の間隙水圧分布の把握, 水圧は想定した結果より低い † クラックテンソル解析では坑道掘削によるき裂の卓越方向と変形特性の影響を, 個別要素法では岩盤が不連続となる状況を表現可能 † モニタリング開始, 継続中, (40 日目のデータ例: 坑壁から 1.8m 深の地下水酸化還元電位 +250~+300mV)
TASK 3: 結晶質岩中の水理・物質移行に関する研究 SUBTASK3-1: 収着・拡散に関する研究 † 割れ目調査 † 室内での調査および試験 SUBTASK3-2: 移流および分散に関する研究	・割れ目系岩盤における水理・地球化学・物質移行/遅延メカニズムの把握 ・割れ目系岩盤における水理・物質移行モデルの妥当性の評価	† 250m レベル坑道 † 実験室 † 室内, 550m レベル坑道	† 坑道壁面の割れ目調査(区間長 440m) † U を用いたパッチ式収着試験(9 件, 緑色充填物等) † 移行経路同定のための試験(3 件, 割れ目充填物, 赤色変質部, 新鮮部) † 放射平衡調査(3 件, 割れ目充填物, 赤色変質部, 新鮮部) † 試験計画の策定 ・試験実施場所の選定 ・試験レイアウトの検討 ・試験機器の検討	† 400 本の割れ目確認, 内湧水割れ目 106 本 † 割れ目を割れ目充填物, 赤色変質部の有無により分類 † 割れ目充填物, 赤色変質部, 未変質部の収着能力の差を確認 † 充填物, 赤色変質部で未変質部に比較して多くの微小な空隙を確認 † 赤色変質部および未変質部でウラン系列核種の放射平衡を解析中 † KD-90 坑道の北側の間隙水圧の高いゾーンが水理的擾乱が比較的少ないと推定され, 試験場所に選定 試験のレイアウトの決定, 試験機器の決定
TASK 4: 人工バリア試験 † 割れ目帯のグラウト技術適用試験 † 粘土膨張・熱負荷による緩み領域の影響評価 † 岩盤内粘土充填試験	・グラウト技術の適用性の評価 ・粘土膨張・熱負荷による掘削影響領域への影響の評価 ・充填粘土と周辺岩盤系の熱的・力学的, 化学的挙動の把握	† 室内, 550m レベル坑道 † 室内, 550m レベル坑道 † 550m レベル坑道	† 試験計画の策定 † 試験計画の策定 † 地下水の浸透, 加熱による粘土の膨潤圧等の変化の継続観測(合計 273 日間), 粘土, 岩石採取, 分析	† 施工性等を考慮し, 550m レベル NW 坑道 LABROCK 岩体切り出し付近を試験実施場所に選定, 試験レイアウトの決定 † 加熱により膨潤圧急激に低下, 加熱停止による膨潤圧の僅かな回復を確認, サンプル分析および解析実施中
TASK 5: 地震に関する調査研究 † 地震動の観測と解析 † 地震時の地下水理・地球化学特性調査 † 地下空洞の耐震性評価の感度解析	・地震動の地下低減特性の一般化 ・地下空洞の地震時挙動の把握 ・地震動の地下水系に与える影響の把握	† 865m レベル坑道 † 250m レベル坑道 † 550m レベル坑道	† 地震動観測(地表部に地震計 1 台追加, 7 台体制, 通年観測) † 水圧(3 孔), 坑壁湧水量(2 ケ所), 水質の観測(1 ケ所) † 空洞の設置深度, 側圧係数, 地震力, 岩盤のせん断強度を変えて感度解析	† 地表部は地下深部と比較して加速度振幅が 2~3 倍増幅(NS 成分で 2 倍, EW 成分で 3 倍, 垂直成分で 2 倍) † 地震時に一時的な水圧変化(最大 0.26kgf/cm ²), 水質変化(SO ₄ ²⁻ イオン数 mg/l 減少)のある場合を確認, 但し, 坑道への湧水量が変化する例は認めず † 岩盤のせん断強度が地下空洞の耐震安定性に最も敏感

II. 各 論

1. TASK1: 深部地質環境特性の把握

1.1 目的

結晶質岩における深部地質環境を把握するとともに、TASK2～TASK5までの試験研究の場に関する基盤的な情報を得るため、(1)原位置試験場周辺の地質構造、(2)深部岩盤の力学特性、(3)深部岩盤の水理特性、(4)深部岩盤の地球化学特性、の項目に係わる知見を集約した。さらに、高差圧環境における地質環境特性の調査手法について国内外を対象とした文献調査を実施し、(5)250mレベル坑道からの500m級試錐孔の掘削計画の可能性に関する技術的検討を行った。

1.2 実施概要

(1)原位置試験場周辺の地質構造、(2)深部岩盤の力学特性、(3)深部岩盤の水理特性、(4)深部岩盤の地球化学特性の項目に係わる知見を集約した。さらに、(5)250mレベル坑道からの500m級試錐孔の掘削計画の可能性に関する技術的検討を行った。

1.3 スケジュール

表-1.1に、TASK1のスケジュールを示す。

1.4 原位置試験場周辺の地質構造

(1) 目的

原位置試験場周辺の地質構造、特に結晶質岩における地下水の重要な流路と一般に考えられている規模の大きな割れ目（一般には割れ目帯と呼ばれる）、また、初期応力やその方向に影響を与えると一般に考えられている規模の大きな割れ目の位置を把握し、各TASKが実施されている試験研究の場と規模の大きな割れ目の位置関係に関する基盤的な情報とする。

(2) 実施内容

空中写真を用いたりニアメント解析を行い、既存地表地質図と併せ、規模の大きな割れ目の位置を推定した。次に、既存試錐孔データを用いた割れ目の解析、既存坑道データを用いた割れ目の解析を行い、規模の大きな割れ目が試錐孔や坑道と交差する位置を把握した。位置を推定する前に、対象とする割れ目を明確にするため、試錐孔データを用いた主成分分析と岩芯観察を行い、割れ目の幅や派生割れ目の頻度、破碎部や断層粘土の有無と幅に基づき、割れ目を分類した。また、確認された規模の大きな割れ目の方向から、各標高レベルごとに各割れ目の連続性を推定した。最後に、各標高レベルで推定された各割れ目の位置、およびりニアメント解析結果抽出されたりニアメントの位置を比較した、各割れ目の三次元的な連続性を推定した。図-1.1に調査の流れを示す。また、本調査の対象領域を図-1.2に示す。

(a) 空中写真を用いたりニアメント解析

250mと550mレベル坑道を囲む領域に存在する規模の大きな割れ目の位置を推定する基礎データとするため、まず航空写真を用いたりニアメント解析を実施した。また、

既存の地表地質図と併せて、規模の大きな割れ目の位置を推定した。リニアメント解析は、図-1.3に示す5km × 5km の領域のカラー空中写真(縮尺:1/15000, 1977年 6月撮影)を用いて行った。解析では、空中写真で地形的な特徴(谷、尾根、傾斜の変換部)において直線的な伸びを示す部分をリニアメントとして抽出した。写真の陰影より肉眼視した場合に線構造であると認識できるもので、100m以上の連続性を有するものをリニアメントとした。

(b) 試錐孔データを用いた割れ目の解析

・第1フェーズで掘削された試錐孔(KH-1, KG-1孔)の物理検層と岩芯観察結果を用いて、割れ目の交差位置を定量的に把握した。割れ目の交差位置の認定にあたっては、ストリーパプロジェクトで提案された、試錐孔データ(物理検層や岩芯観察など)から割れ目帯の交差する位置を認定する方法(Binary Model : Olsson, 1993 参照)を釜石の花崗岩に適用した。本方法は、単一試錐孔で取得された複数の調査結果を多変量解析の主成分分析を用いて解析することにより、多くの変量の値をできるだけ情報の損失なしに総合指標(主成分)を作成することができる。さらに、この総合指標(主成分)の頻度分布を作成することにより、総合指標(主成分)の頻度分布が正規分布から離れた異常値を示す部分(すなわち“割れ目帯”の可能性が高い部分)と総合指標(主成分)の頻度分布が正規分布を示す部分(すなわち平均的な割れ目岩盤(averagely fractured rock)に区分することができる方法である。従って、本手法は確率・統計手法を用いた岩盤のモデル化の際、統計学的に平均的な割れ目岩盤(averagely fractured rock)と、正規分布から離れた異常値を示す部分(すなわち、“割れ目帯”と考えられる部分)を定量的に区分する有効な1つの手法と考えられている。本解析は、物理検層結果(キャリパー検層電気検層、自然放射能検層、音波検層)と岩芯観察結果(RQD、開口割れ目数)を変量として行った。物理検層結果は、1mの平均値を用いた。さらに、本解析は、各変量の標準化した値を用いて行った。

・主成分の頻度分布が正規分布から離れた異常値を示す部分に分布する割れ目の地質学的特徴(割れ目の幅や派生割れ目の頻度、破砕部や断層粘土の有無と幅)を岩芯を用いて調査した。割れ目の調査結果得られた割れ目の幅や派生割れ目の頻度、破砕部や断層粘土の有無と幅に基づき、割れ目を分類した。

・分類した割れ目のうち、割れ目の幅、派生割れ目の頻度および破砕幅が大きく、断層粘土を伴い、かつ主成分が4以上を示す割れ目の集中するゾーン(以下、ゾーンと呼ぶ)を対象に、その位置を把握した。

(c) 既存坑道データを用いた割れ目の解析

既存坑道で取得された地質構造データを用いて、②で選定したタイプの割れ目の集中するゾーンの位置を把握した。次に、各ゾーンの割れ目の方向に基づき、各標高レベルでの連続性を推定した。加えて、リニアメント解析と地表地質図より推定した規模の大きな割れ目の位置と考えられるリニアメントの位置と各標高レベルで推定されたゾーンの位置を比較し、原位置試験場周辺の規模の大きい割れ目の集中するゾーンの三次元的な分布を推定した。

既存坑道で取得された地質構造データを用いた、ゾーンの位置を認定は以下の手順

で実施した。

- ・各坑道レベルの既存坑道で取得された地質構造データを用いて、②で分類した割れ目のうち、破碎が著しく破碎幅の大きい割れ目の集中するゾーン（以下、ゾーンと呼ぶ）の位置を確認。
- ・各坑道レベルで確認したゾーン中の割れ目の方向に基づき、各坑道レベルでのゾーンの延長方向を確認。延長方向に同様のゾーンが存在するかを確認。
- ・各坑道レベルで推定されたゾーンの二次元的な分布を、ゾーン中の割れ目の方向に基づき延長し、他の坑道レベルで推定されたゾーンの位置と比較し、三次元的なゾーンの分布を推定。

(3) 主要な成果

(a) 空中写真を用いたリニアメント解析結果

空中写真を用いたリニアメント解析の結果、総計222本のリニアメントが抽出された(図-1.3)。リニアメントの走向はかなり分散しているが、 $N 45^{\circ} E$ 、 $N 20^{\circ} W$ 、 $N 80^{\circ} W$ に卓越方向が認められる(図-1.4)。この方向は既存の地表地質図に記載されている断層の方向とほぼ一致する。また、原位置試験場を横切り、北西走向の数本のリニアメントが連続して存在する。これは、既存の地表地質図の断層(図-1.3、A)の延長方向と一致し、原位置試験場周辺の1つの重要な割れ目の存在を示唆していると考えられる。

(b) 試錐孔データを用いた割れ目の解析結果

- ・表-1.2(a)、(b)に基本統計量、表-1.3(a)、(b)に主成分分析結果得られた各主成分の固有値、寄与率、累積寄与率を示す。KH-1孔のデータを用いた解析結果は、第1主成分から第3主成分までの寄与率を加算した累積寄与率は全体の70%を超える。特に、第1主成分の寄与率は他と比較し3倍以上の値を示し、本成分でKH-1孔を特徴付ける性質を説明することが可能である。また、KG-1孔のデータを用いた解析結果は、第1主成分の寄与率が約62%を示した。
- ・KH-1孔のデータを用いた解析結果は、第1主成分を構成する各固有ベクトルが、自然放射能を除くと0.3以上と大きな値を示す(表-1.4(a)、(b))。また、KG-1孔のデータを用いた解析結果は、第1主成分の固有ベクトルは、両比抵抗および自然電位が0.4前後と最も大きく、P波速度とキャリパー検層の値が0.3以上を示す。以上の結果から、第1主成分は、主に岩盤の電気的な特性を示す指標と考える。
- ・KH-1孔で取得された透水係数と水理試験区間の第1主成分の最大値の相関関係を検討すると、比較的良好な相関関係(相関係数0.61)が認められ(図-1.5)、第1主成分は透水性を示す指標として有効であると考えられる。
- ・KH-1孔のデータを用いた解析結果は、第1主成分の頻度分布が、-1.5付近にピークを持ち、かつ非対象の形状を示す(図-1.6(a))。換言すると、第1主成分の頻度分布は、頻度分布が正規分布をする部分とそれ以外の部分に区分することができる。主成分が2を越えるものについては、少なくとも正規分布からはずれない部分と認識することができた。KG-1孔のデータを用いた解析結果は、試錐孔掘削時に崩壊を起こした270~430m区間を境に取得されたデータの質が異なることによる2つのピークが認められるが(図-1.6(b))、少なくとも正規分布する2つの部分とそれ以外

の正規分布からはずれる部分を認識することができる。以上の結果は、釜石の栗橋花崗岩体を対象とした場合でも、本解析手法を用いて頻度分布が正規部分をする部分とそれ以外の部分に区分することが可能であり、確率・統計手法を用いた水理のモデル化の際に必要な、統計学的に平均的な岩盤 (averagely fractured rock) とそれ以外の部分に区分する1つの方法としてに有効であることを示唆する。

- ・図-1.7(a), (b) に第1主成分の深度方向の分布図を示す。第1主成分が4を越えるもの、および第1主成分が2を越え4以下の深度位置を、主成分の頻度分布が正規分布から離れた異常値を示す部分として抽出し、割れ目の岩芯観察の結果と比較した。比較のため、割れ目は割れ目の幅や派生割れ目の頻度、破砕部や断層粘土の有無と幅に基づき6つのタイプに分類した(図-1.8)。その結果、図-1.8の1~3のタイプの割れ目は第1主成分が0~2を示し、その幅は数cm~10cm程度であること、図-1.8の4のタイプの割れ目は第1主成分が2~4を示し、その幅は10cm~1m程度であること、図-1.8の5と6のタイプの割れ目は、第1主成分が4以上を示し、その幅は数10cm~10数m程度であること、第1主成分が4以上を示す部分には幅が数10m~100m程度のものが存在することが明らかとなった。
- ・第1主成分が4以上を示し、かつその幅が数10m~100m程度を示す区間はKG-1孔270~430m区間で認められた。この区間の割れ目の方向はN82°E高角度傾斜を示し、リニアメント解析と地表地質図データが示唆した規模の大きな割れ目の位置と一致する。

(c) 既存坑道データを用いた割れ目の解析

既存坑道データを用いて、図-1.8の5と6のタイプの割れ目が卓越する区間(以下ゾーンと呼ぶ)を抽出した。また、各ゾーンで認められた図-1.8の5と6のタイプの割れ目の方向により、各標高レベル上での連続性を推定した(図-1.9~1.13、各標高レベルごとにゾーンA~Eで表示)。さらに、各標高レベルで推定された各ゾーンの位置およびリニアメント解析結果抽出されたリニアメントの位置を比較した結果、5つのゾーンが推定された(図-1.14)。図-1.14では、推定されたゾーンの地表レベルでの位置を示し、各ゾーンはゾーン1~5と命名した。このうち特に、ゾーン2の地表での位置は、リニアメントの位置とも一致し(図-1.14)、地表との連続性が示唆される。さらに、試錐孔(KG-1孔)とゾーン2が交差すると予測される位置は逸水ゾーンであり、水理的にも重要なゾーンであることを示唆している。

(d) 推定されたゾーンと各TASKの試験研究領域の位置関係

(c)で推定されたゾーンの位置と各TASKの試験研究領域の位置関係を検討した。その概念図を図-1.15に示す。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ・TASK2の試験研究の場には、250mレベル坑道を横切りゾーン3(図-1.13のゾーンC)が存在する。
- ・TASK3-2の試験研究の場の南側にはゾーン1(図-1.12のゾーンA)が存在し、水理学的な境界になる可能性を示唆している。
- ・TASK4の試験研究の場は2つのゾーン(ゾーン1とゾーン2、図-1.12のゾーンAとB)に囲まれた岩盤に位置する。

(4)次年度計画概要

各TASKが実施されている試験研究の場の地質構造、特に割れ目帯の空間的な分布と割れ目帯以外の割れ目岩盤の本来岩盤がもつ地質学的特性を把握する。

参考文献

- 1)O. Olsson (Editor)(1992): Site characterization and validation report - final report. Stripa Project TR 92-22. SKB, Stockholm, Sweden.

表-1.1 TASK1のスケジュール

	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
(1)原位置試験場周辺の地質 構造の把握 既存データの整理 データセットの作成 解析		壁面観察						壁面観察				
(2)深部岩盤の力学特性の 把握 試験掘削・岩芯調査・B TV調査 初期応力測定 データセットの作成 解析												
(3)深部岩盤の水力特性の 把握 既存データの整理 データセットの作成 解析												
(4)深部岩盤の地球化学特性 の把握 物理化学パラメータ測定 湧水採取および分析 データセットの作成 評価・解析												
(5)250mレベル坑道からの 500m級試験孔の掘削計画 の可能性に関する技術的 検討												

表-1.2(a) KH-1孔の物理検層および岩芯観察結果の最大値、最小値、
 平均値、標準偏差

	最大値	最小値	平均	標準偏差
キャリバー検層 (mm)	92.93	78.29	79.76	1.318
-LOG(比抵抗) (ohm-m)	-7.41	-9.30	-8.95	0.349
-LOG(比抵抗s) (ohm-m)	-6.75	-8.72	-8.46	0.288
自然放射能検層 (API)	214.77	51.55	127.04	15.329
-LOG(P波速度) (m/sec)	-8.31	-8.67	-8.58	0.056
RQD	100.00	0.00	91.11	16.341
自然電位 (mv)	93.48	-57.48	8.79	24.385
開口割れ目数 (本/m)	19.00	0.00	1.05	1.905

比抵抗 : 20-1/A76比抵抗

比抵抗s : 077/A76比抵抗

表-1.2(b) KG-1孔の物理検層および岩芯観察結果の最大値、最小値、
 平均値、標準偏差

	最大値	最小値	平均	標準偏差
キャリバー検層 (mm)	300.55	97.41	114.21	20.343
-LOG(比抵抗) (ohm-m)	-3.14	-4.07	-3.64	0.235
-LOG(比抵抗s) (ohm-m)	-2.14	-3.95	-3.51	0.340
-LOG(P波速度) (m/sec)	-3.53	-3.78	-3.71	0.038
RQD	100.00	0.00	88.89	19.721
自然電位 (mv)	172.80	-375.30	-8.61	168.862
開口割れ目数 (本/m)	35.00	0.00	4.51	4.770

比抵抗 : 20-1/A76比抵抗

比抵抗s : 077/A76比抵抗

表-1.3(a) 各主成分の固有値、寄与率、累積寄与率(KH-1孔)

	固有値	寄与率	累積寄与率
第1主成分	4.2799	53.5	53.5
第2主成分	1.0716	13.4	66.9
第3主成分	0.8018	10.0	76.9
第4主成分	0.5320	6.6	83.6
第5主成分	0.5149	6.4	90.0
第6主成分	0.3963	5.0	95.0
第7主成分	0.3635	4.5	99.5
第8主成分	0.0401	0.5	100.0

表-1.3(b) 各主成分の固有値 寄与率 累積寄与率(KG-1 孔)

	固有値	寄与率	累積寄与率
第1主成分	4.3498	62.1	62.1
第2主成分	1.2252	17.5	79.6
第3主成分	0.5530	7.9	87.5
第4主成分	0.3769	5.4	92.9
第5主成分	0.3151	4.5	97.4
第6主成分	0.1205	1.7	99.1
第7主成分	0.0595	0.9	100.0

表-1.4(a) 主成分分析結果から得られた各パラメータの固有値ベクトル(KH-1 孔)

固有ベクトル	1=FZ1 (第1主成分)	2 (第2主成分)	3 (第3主成分)
固有値	4.2799	1.0716	0.8018
-LOG(比抵抗s)	0.4535	0.0524	-0.1905
-LOG(比抵抗l)	0.4363	0.0718	-0.1859
キャリパー検層	0.3572	0.2499	-0.0202
-LOG(P波速度)	0.3547	0.0986	-0.1339
自然電位	0.3498	-0.0918	-0.4452
開口割れ目数	0.3264	-0.1462	0.6449
RQD	-0.3478	0.2123	-0.4989
自然放射能	-0.0279	0.9193	0.2186

表-1.4(b) 主成分分析結果から得られた各パラメータの固有値ベクトル(KG-1 孔)

固有ベクトル	1=FZ1 (第1主成分)	2 (第2主成分)	3 (第3主成分)
固有値	4.3498	1.2252	0.5530
-LOG(比抵抗s)	0.4541	0.1523	0.0338
-LOG(比抵抗l)	0.4467	0.1807	0.0737
自然電位	0.4221	0.2439	-0.0717
-LOG(P波速度)	0.3714	0.0288	0.7355
キャリパー検層	0.3642	0.2101	-0.6318
RQD	-0.2334	0.7139	-0.0210
開口割れ目数	0.3018	-0.5745	-0.2185

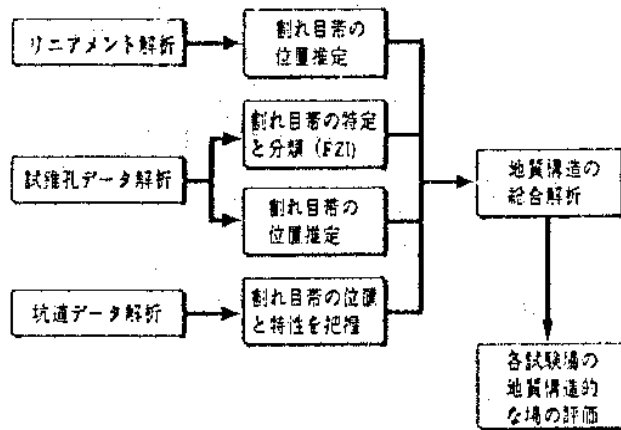


図-1.1 調査の流れ

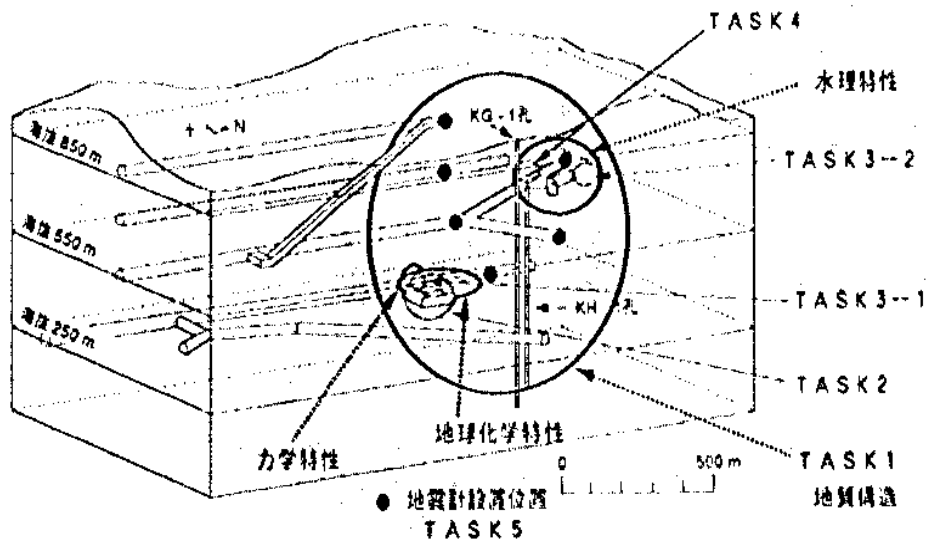


図-1.2 TASK1の実施対象領域 (各TASKの位置を図に示す)

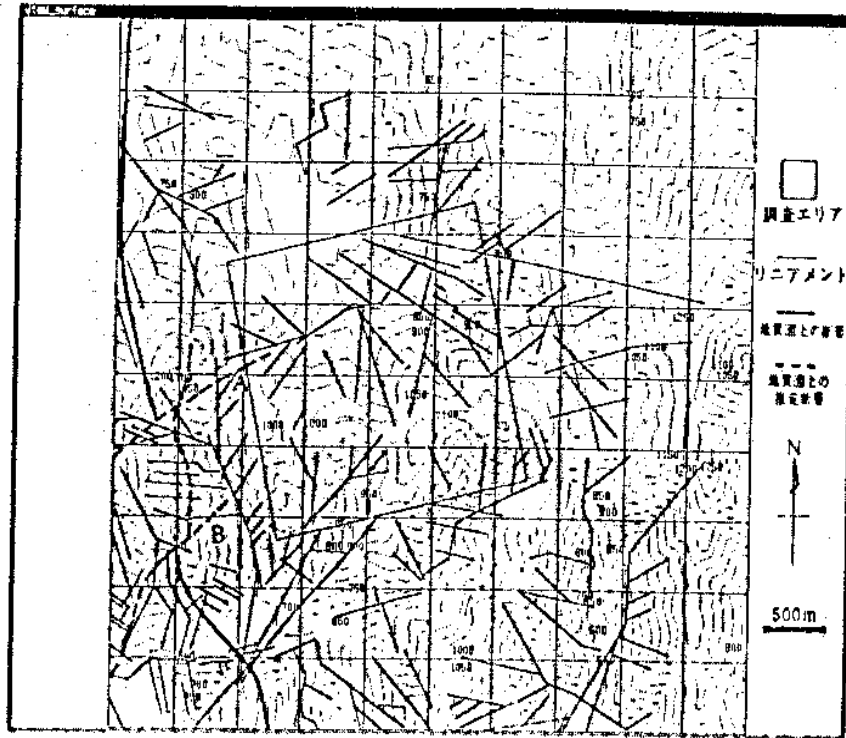


図-1.3 リニアメント解析位置図とその結果

走向ローズダイアグラム
 データファイル名: C:\LINR.DAT
 Total = 222
 目盛りの単位 = 1/50000

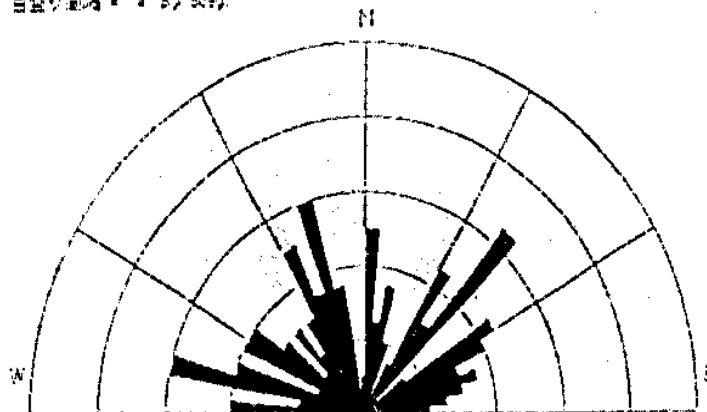
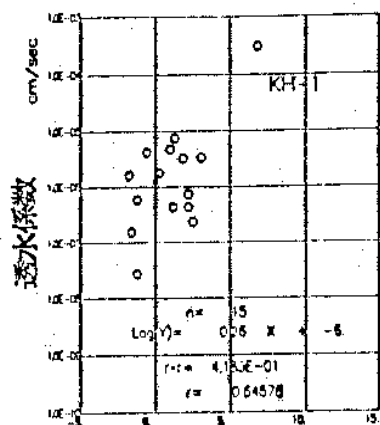
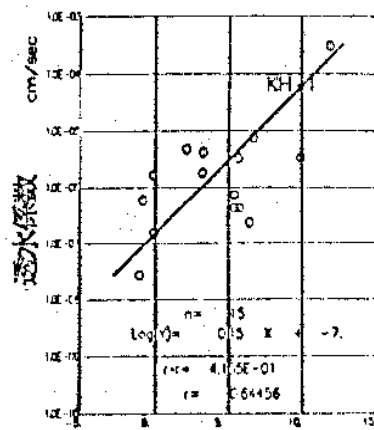


図-1.4 リニアメントの走向のローズダイアグラム



第1主成分の平均値

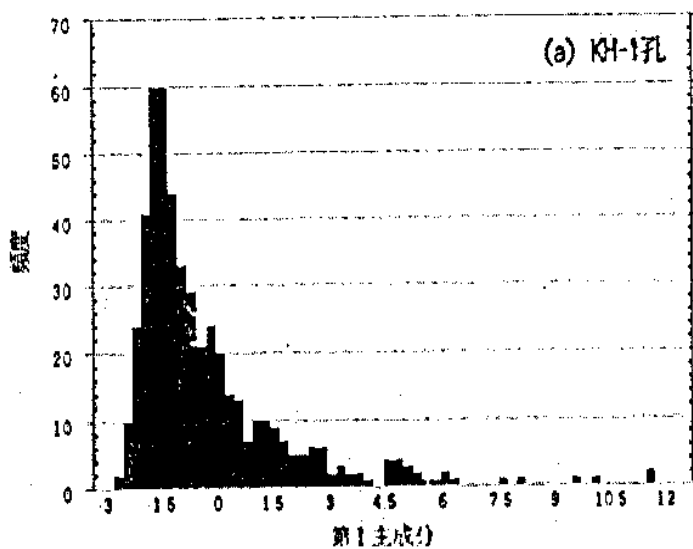
(a)



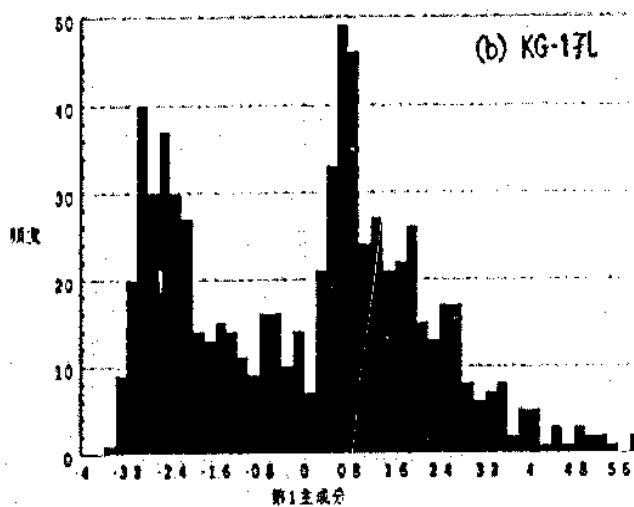
第1主成分の最大値

(b)

図-1.5 KH-1孔の第1主成分の値と透水係数の関係



(a) KH-1孔



(b) KG-1孔

図-1.6 第1主成分の値の頻度分布図

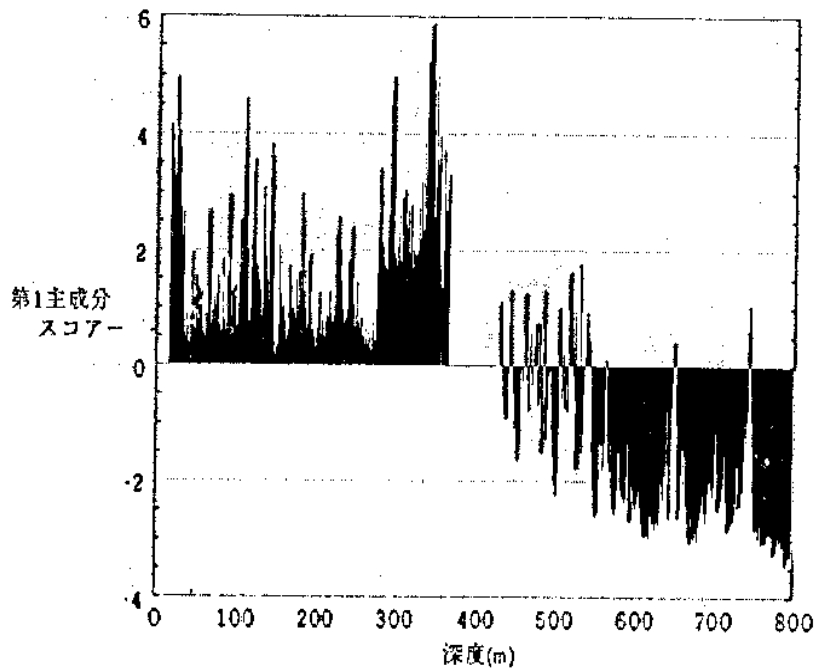
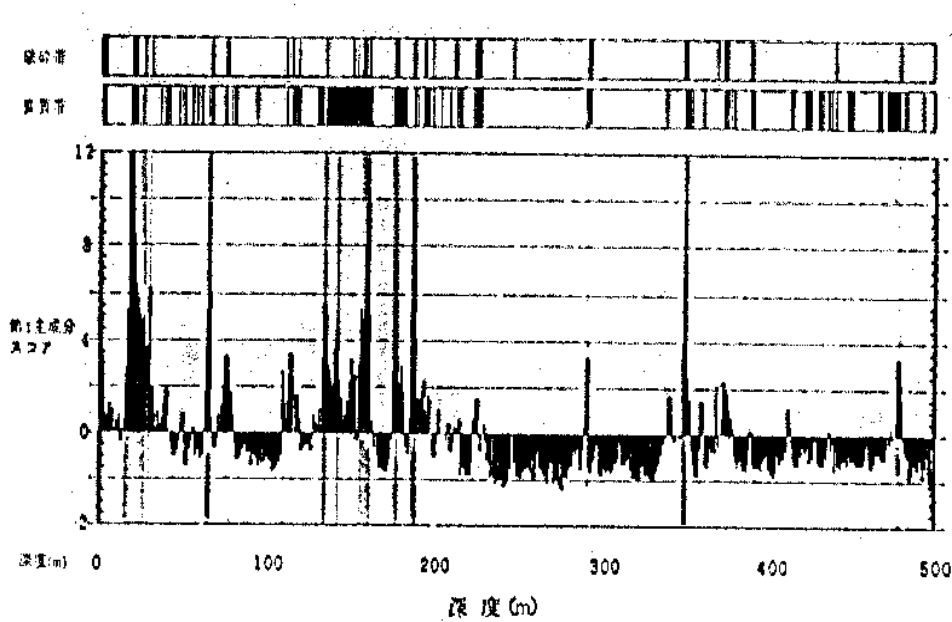


図-3.3.6 KG-1孔第1主成分の各深度の獲得スコア

(b) KG-1孔



(a) KH-1孔

図-1.7 第1主成分の値の深度方向の分布図

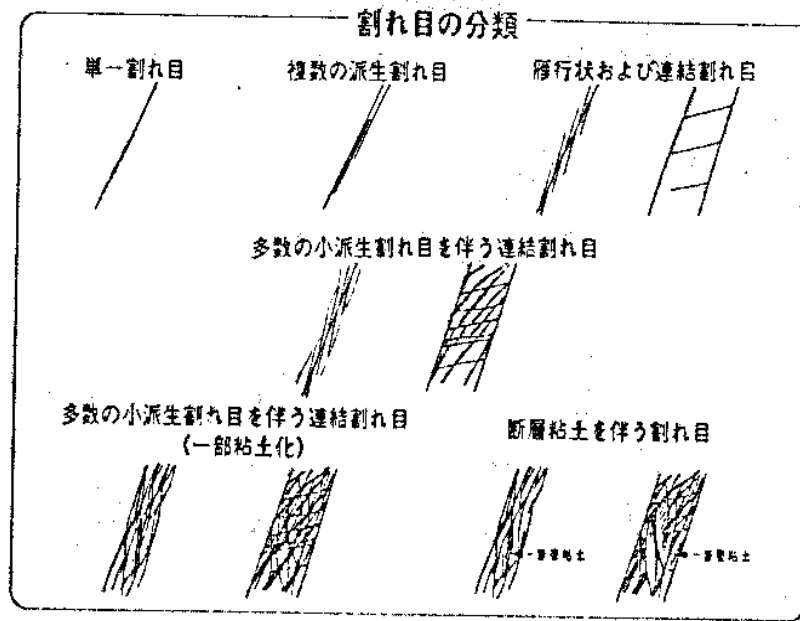


図-1.8 割れ目の分類

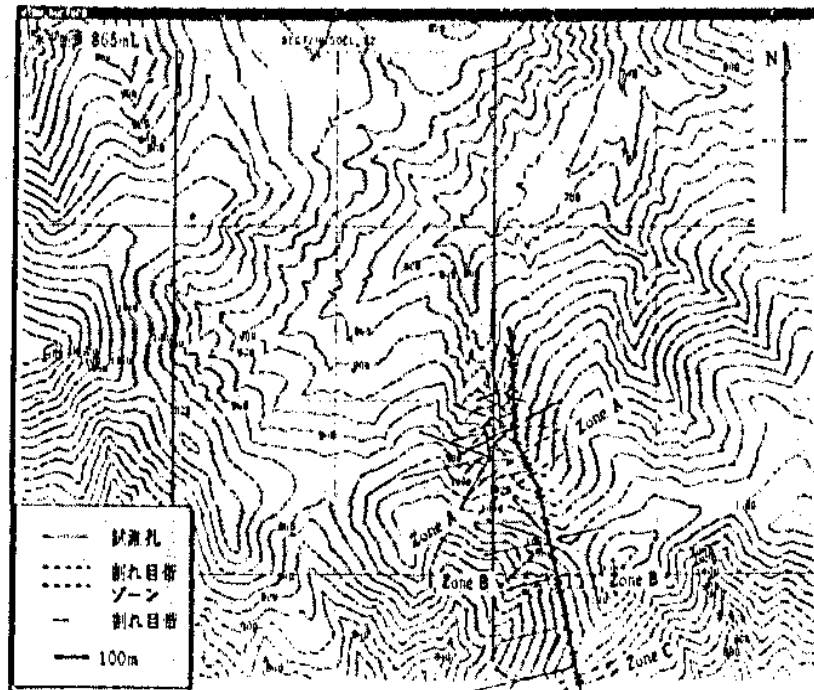


図-1.9 865m標高レベルのゾーンの位置図

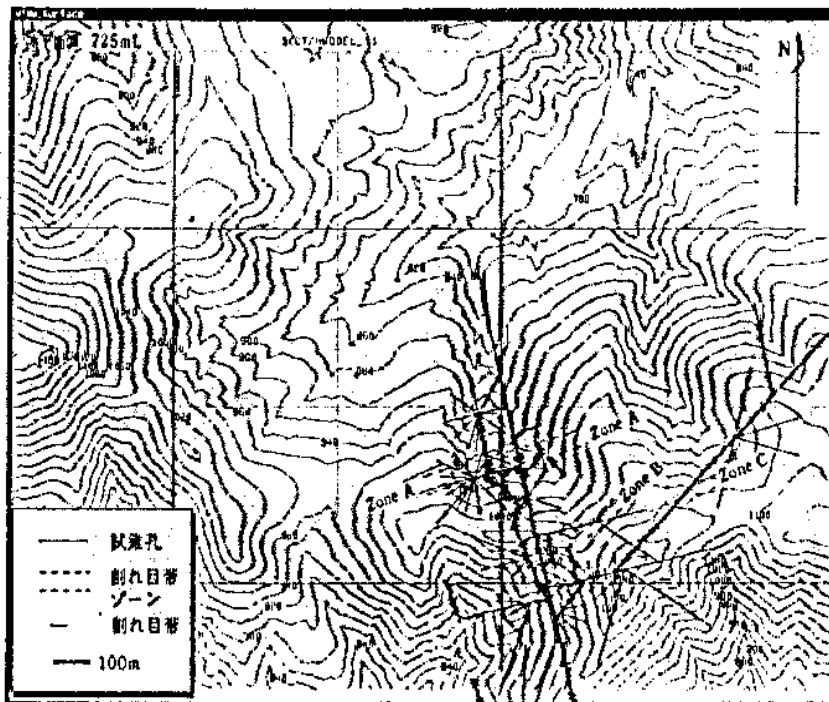


図-1.10 725m 標高レベルのゾーンの位置図

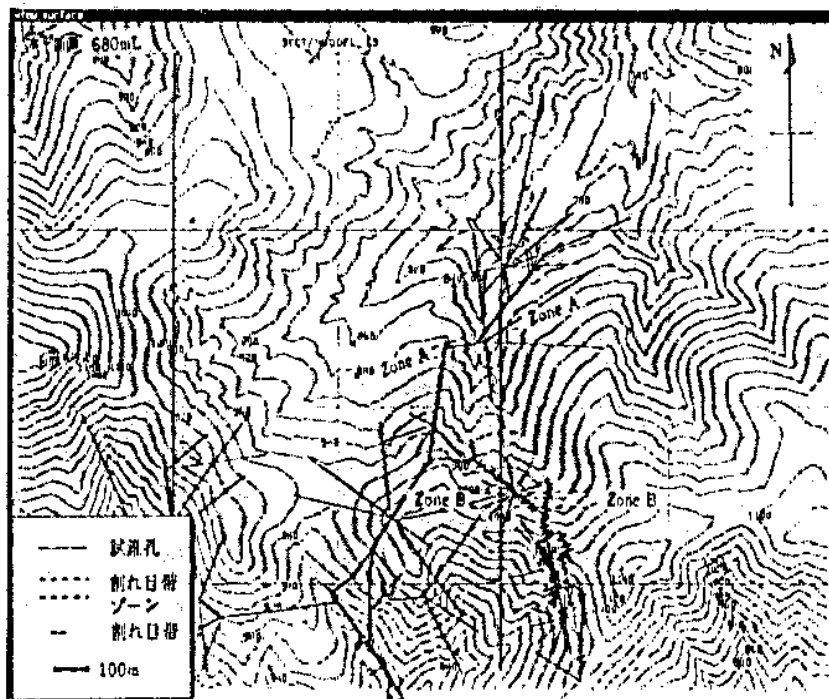


図-1.11 680m 標高レベルのゾーンの位置図

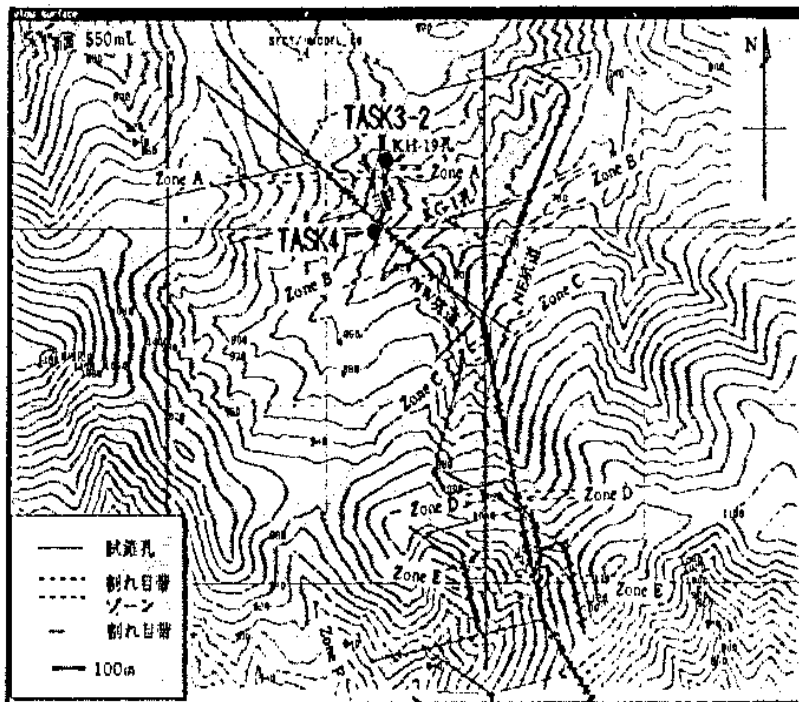


図-1.12 550m 標高レベルのゾーンの位置図

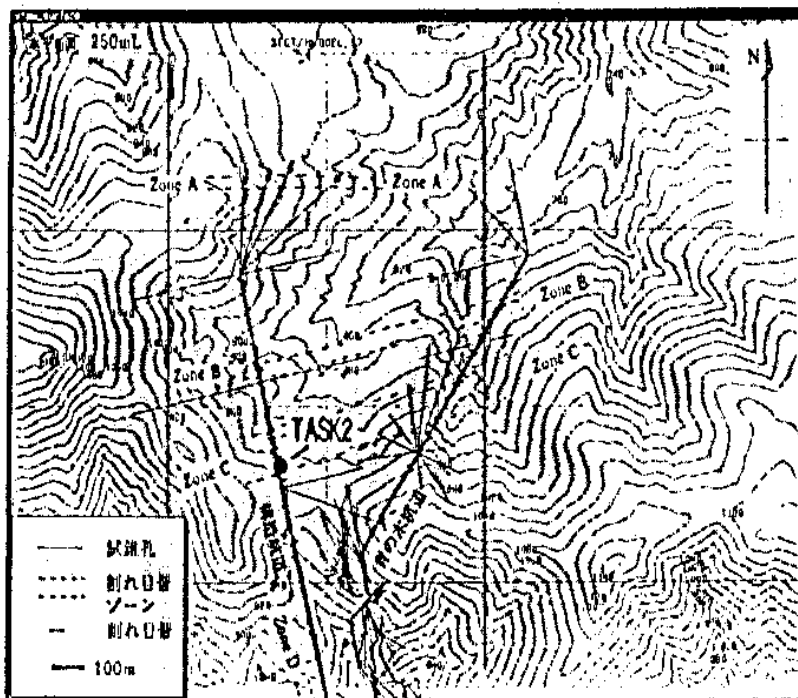


図-1.13 250m 標高レベルのゾーンの位置図

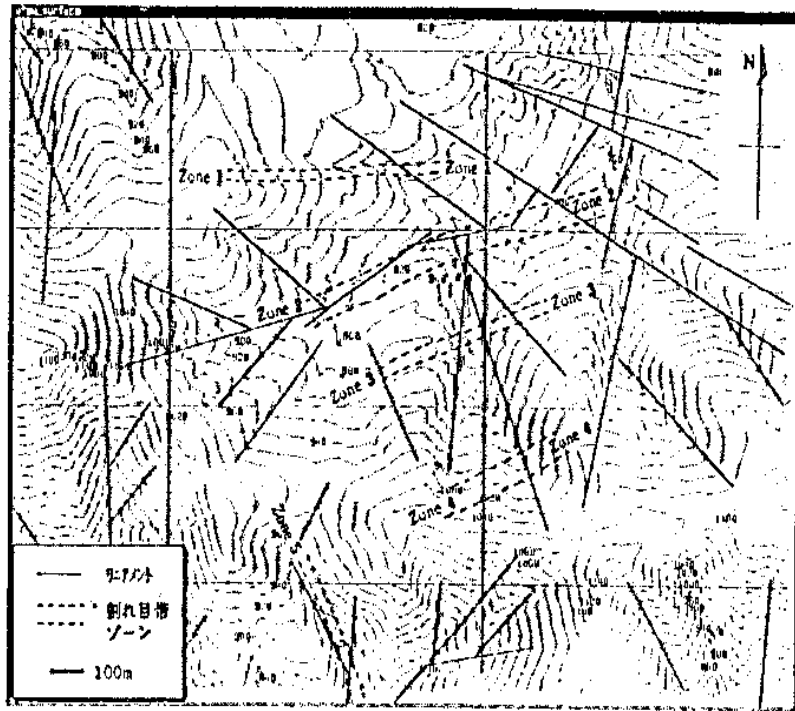


図-1.14 リニアメントとゾーンの位置の関係 (地表レベル)

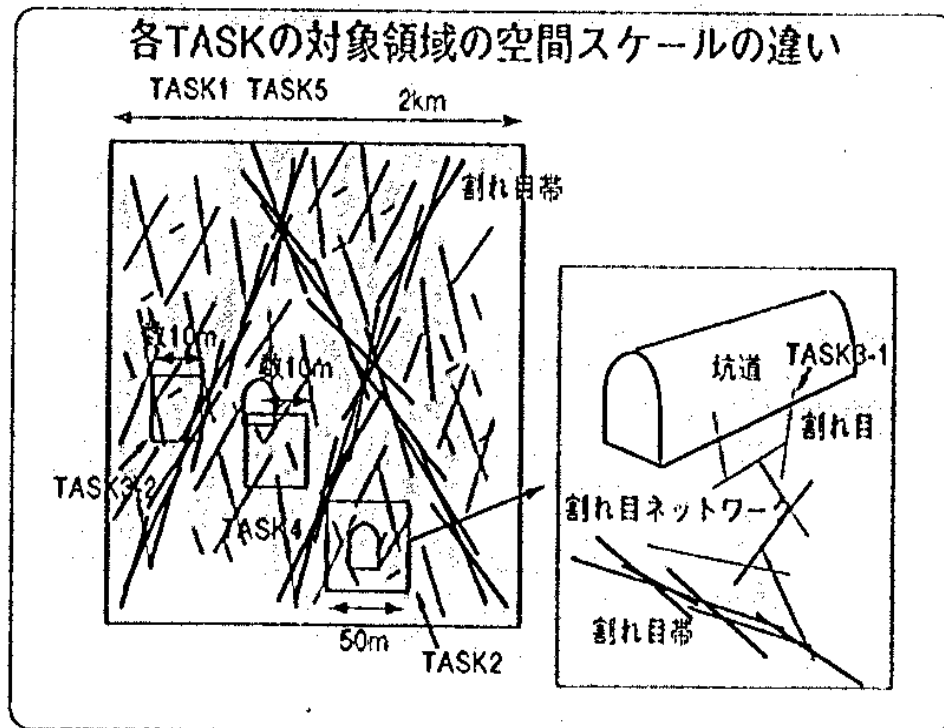


図-1.15 各TASKの対象領域とゾーンの位置関係の概念図
(各TASKの対象領域の空間スケールと対象となる割れ目の違いを示す)

1.5 深部岩盤の力学特性の把握

(1) 目的

深部岩盤の初期応力状態を把握する。また、初期応力測定手法の本研究領域の岩盤に対する適用性を検討する。

(2) 実施内容

(a) 測定場所の概要

初期応力測定は、250mレベル坑道の試錐孔 (KM-2孔、方位 $N13^{\circ}W$ 、水平から 1° 上向き、孔長21.9m、孔径76mm) とそのコア (直径69mm) を用いて実施した。KM-2孔の位置 (第8試錐座近傍のき裂調査開始点から北側23m) を図-1.16 に示す。初期応力測定は既存き裂の存在の影響を受けるため、測定位置は、き裂頻度の低い場所を選定した。250mレベル坑道壁面のき裂調査の結果によると、KM-2孔周辺の数10mの範囲は、250mレベル坑道の試験場のうちでは比較的き裂頻度の低い場所であり、その中でもKM-2孔を掘削した位置は、周辺の数10mの範囲でもき裂頻度の低い場所である。BTVによる孔壁観察により観察されたKM-2孔のき裂は106本 (4.8本/m) であり、コア観察で確認されたき裂は150本 (6.8本/m) である。これらのき裂の卓越方向は、 $N30^{\circ}W70^{\circ}SW$ である。

(b) 測定仕様

測定は、現在、実用化されている測定手法である、応力解放法、水圧破砕法、AE法、DRA法、DSCA法により実施した。応力解放法は、花崗岩などの硬岩に対して実績の多い円錐孔底ひずみ法により実施した。AE法、DRA法、DSCA法による測定に用いた試料は、応力解放法による測定の際のオーバーコアから採取した。AE法およびDRA法については直径25~30mm、長さ50~60mmの試験片を、三次元の主応力が分かるように6方向から採取し、DSCA法については30mmの立方体を整形した。AE法は、応力解放後の時間経過に伴い、カイザー効果から推定される応力値が初期応力より低く見積もられる可能性があることから、既存の研究結果¹⁾を参考に、コア採取後4日以内に測定を実施した。DRA法による測定の際には、AE法も同時に実施した (以降、AE/DRA法と表示)。DRA法およびDSCA法による測定は、試料の含水状態の違いによる影響を避けるため、試験片を恒温槽に放置し、重量変化が無くなってから実施した。水圧破砕法による測定は、応力解放法による測定、コア採取、BTVによる孔壁観察の終了後に実施した。

(3) 主要な成果

初期応力測定結果を図-1.17 と表-1.5に示す。主応力の方向については、最大主応力が応力解放法と水圧破砕法では南北方向でばらつき、AE法、AE/DRA法およびDSCA法では東西方向でばらつき結果が得られた。主応力値については、応力解放法で算出された最大主応力は35~55MPaであり、他の手法から算出された最大主応力20~25MPaの1.5~3.0倍であった。鉛直応力については、応力解放法で算出された鉛直応力が被り圧 (深度730m、岩石の密度 $27kN/m^3$ で約20MPa) の最大1.5倍程度であるのに対し、他の手法から算出された鉛直応力はほぼ被り圧に等しかった。

250mレベル坑道の数カ所で観察される (KM-2孔の付近では、第8試錐座近傍のき裂調査開始起点から北側25mの位置) 側壁が板状に剝離する状況や、KM-2孔の深度17.7

18.4mで見られたコアディスクからは、局所的には異方的かつ大きな応力が作用していることを示している。また、一般的には、鉛直応力成分は被り圧に等しいとされている¹⁾が、応力解放法で算出された鉛直成分応力が被り圧より大きい。これらのことから、測定位置周辺の岩盤の初期応力状態は、地質条件の違いによる影響を受けている可能性がある。

第1フェーズに550mレベル坑道で実施した応力解放法（孔径変化法）による初期応力測定結果と、今回実施した応力解放法による測定結果を比較すると、鉛直応力成分は深度の増加につれて大きくなり、水平面内の平均応力に対する鉛直応力成分の比が深度の増加につれて小さくなる。これは一般的な測定結果の傾向と一致している²⁾。一方、水平面内の最大主応力の方向については、今回の応力解放法の測定結果は、第1フェーズで実施した応力解放法の測定結果である北東-南西方向からさらに回転した南北方向であり、地震学や測地学、プレートテクトニクスなどから推定される東西方向とは異なる。

今回の測定では、手法により主応力の値と方向が異なる結果が得られた。この原因は、初期応力状態の不均質性や、各手法の測定原理を満足しない条件下であったことなどが考えられる。これらの原因と測定結果との関係を明らかにし、初期応力状態を把握するために、以下の検討が必要である。初期応力状態の不均質性については、断層や破砕帯などの比較的大きな規模の不連続面の分布についての調査や、断層の生成条件から推定される応力状態の検討、あるいは弾性係数や弾性波速度などの岩石の物性値の不均質性についての検討が必要である。手法の測定原理と原位置の状況の関係については、ボーリングによる応力解放後の時間経過に伴うマイクロクラックの発生の可能性やその分布状況を検討する必要がある。今後はこれらの検討を実施するとともに、550mレベル坑道における初期応力測定を実施し、今年度取得したデータを合わせて、初期応力状態の深度分布の検討を進める。

(4) 次年度計画概要

平成6年度は、深度別の初期応力状態や、岩石の物性や変形特性および透水性の深度依存を把握するために、以下の調査を実施する。

- (a)初期応力測定：550mレベル坑道から掘削する試錐孔（KM-1）における測定。
- (b)孔内載荷試験：250mレベル坑道の試錐孔（KM-2）と550mレベル坑道から掘削する試錐孔（KM-1）における孔内載荷試験。
- (c)室内試験：250mレベル坑道の試錐孔（KM-2）と550mレベル坑道から掘削する試錐孔（KM-1）の岩芯を用いた、岩石の物性試験。
- (d)データの評価、解析：上記の試験で得られるデータの評価、原位置の間隙水圧、応力状態を模擬した室内試験（三軸試験、透水試験）。

参考文献

- 1)畑浩二ほか、新第三紀堆積岩におけるカイザー効果の時間依存性、岩の力学国内シンポジウム講演論文集、1994
- 2)斉藤敏明ほか、実測結果の基づくわが国の地下岩盤内の初期時圧状態の検討、土木学会論文集、第394号、III-9、p.71-78、1998

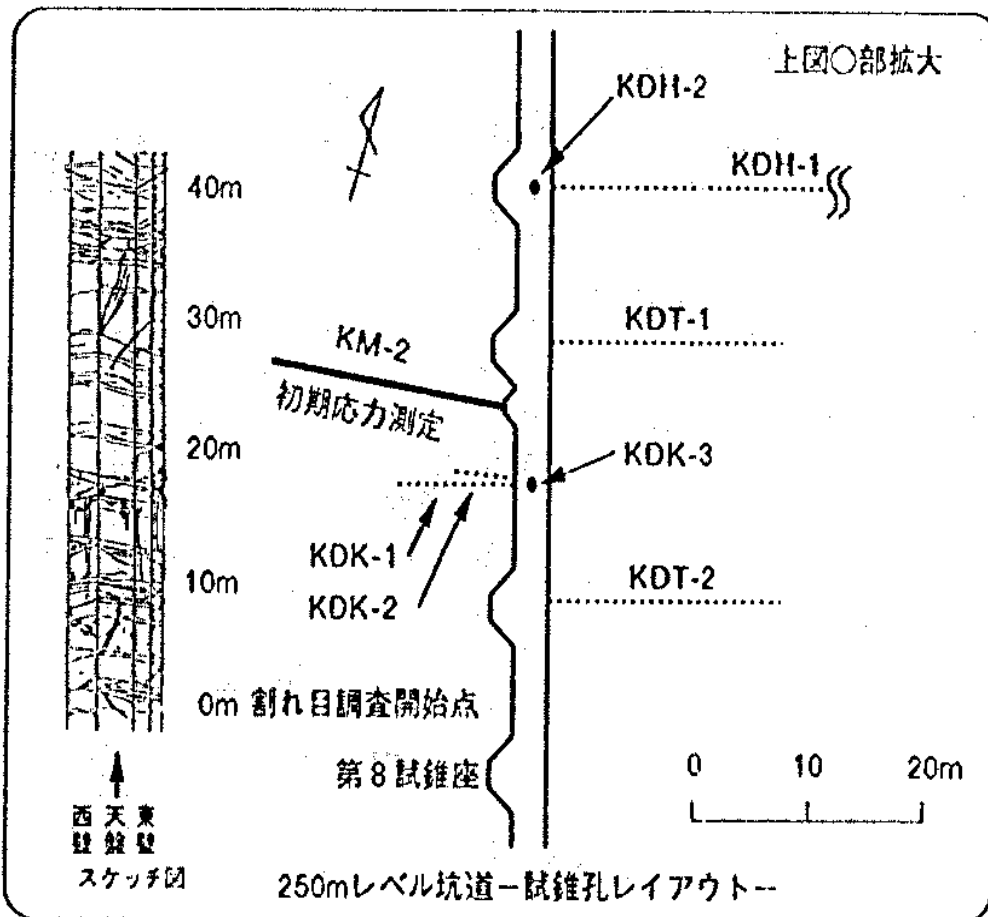
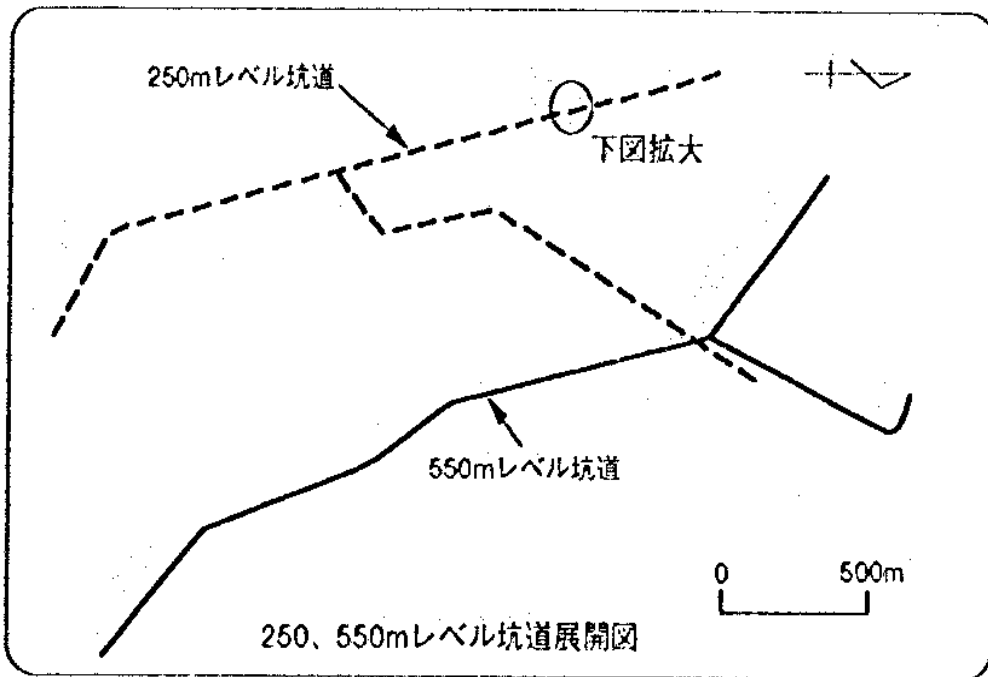


図-1.16 KM-2孔位置図

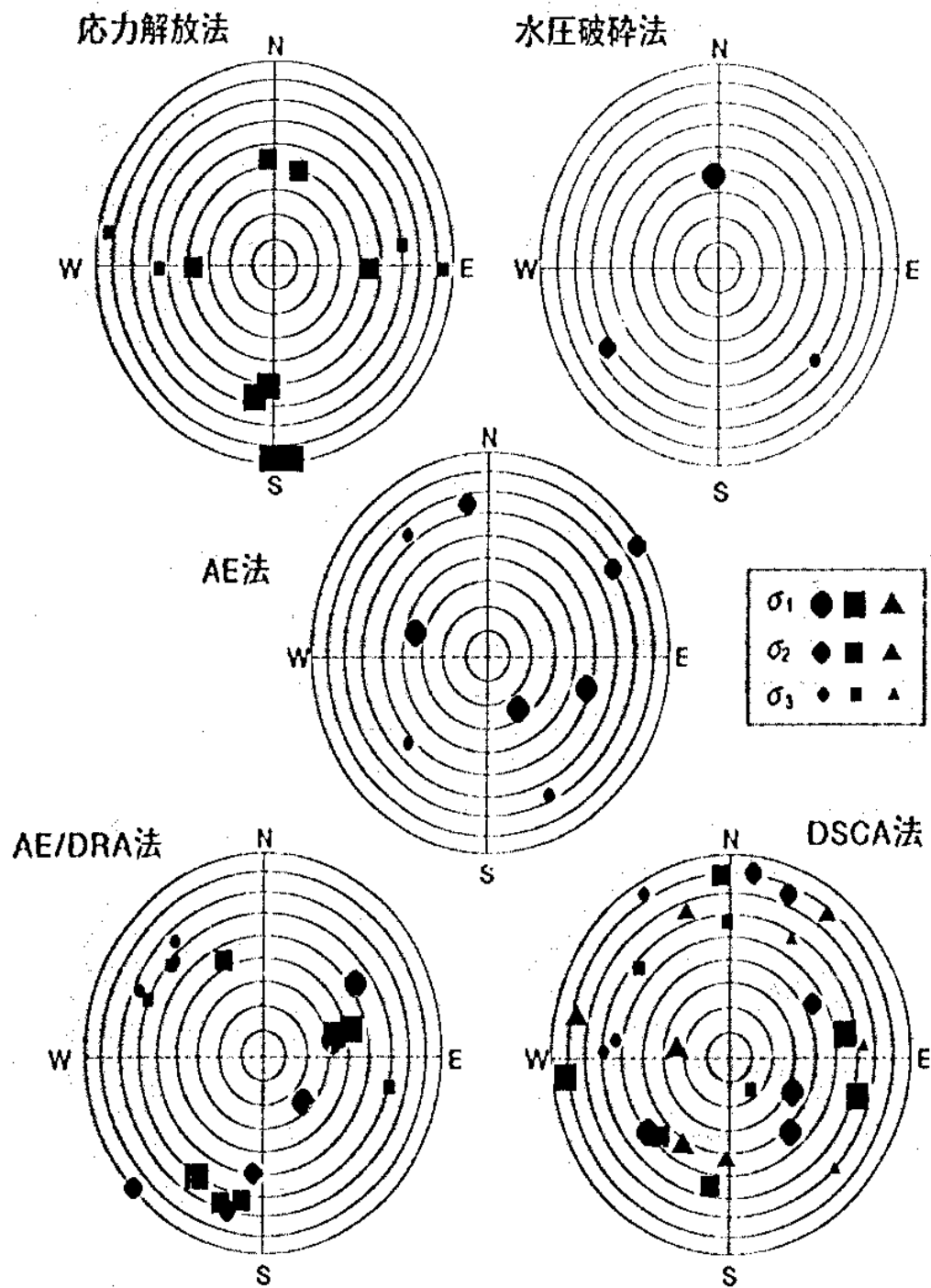


図-1.17 初期応力測定結果 (主応力の方向)
(シュミットネット図、下半球投影図)

表-1.5 初期応力測定結果（主応力値）

（単位はMPa，測定位置は孔口からの距離）

(1) 応力解放法

主応力\測定位置	10.9m	13.7m	15.2m	18.6m
最大主応力 σ_1	33.1	54.8	51.7	43.1
中間主応力 σ_2	19.7	29.3	33.1	28.1
最小主応力 σ_3	4.9	21.1	24.7	9.2

(2) 水圧破砕法

σ_1	33.1±2.0
σ_2	19.7±2.8
σ_3	4.9±2.8

(3) AE法

主応力\測定位置	11.0~12.5m	15.4~16.5m	20.5~21.7m
最大主応力 σ_1	16.6	19.0	26.3
中間主応力 σ_2	8.9	12.9	19.8
最小主応力 σ_3	4.5	12.6	11.2

(4) AE/DRA法

主応力\測定位置	13.6~15.1m	16.5~18.4m	18.5~20.1m
最大主応力 σ_1	23.8(33.7)	21.4(32.0)	20.3(26.9)
中間主応力 σ_2	18.0(30.0)	16.7(21.3)	13.9(23.3)
最小主応力 σ_3	2.8(13.8)	7.0(18.9)	6.9(17.6)

（かっこ内はひずみ法により算出した値）

(5) AE/DRA法

主応力\測定位置	13.6~15.1m	16.5~18.4m	18.5~20.1m
最大主応力 σ_1	23.8(33.7)	21.4(32.0)	20.3(26.9)
中間主応力 σ_2	18.0(30.0)	16.7(21.3)	13.9(23.3)
最小主応力 σ_3	2.8(13.8)	7.0(18.9)	6.9(17.6)

(6) DSCA法

	14.8~14.9m	17.6~17.7m	19.7~19.8m
	1.00:0.80:0.29	1.00:0.80:0.29	1.00:0.80:0.29
主応力比	1.00:0.85:0.21	1.00:0.85:0.21	1.00:0.85:0.21
	1.00:0.39:0.10	1.00:0.39:0.10	1.00:0.39:0.10

1.6 深部岩盤の水利特性の把握

(1) 目的

結晶質岩盤における、地下深部の水利特性の把握と調査試験手法の開発を目的とする。

得られたデータは、各TASKの試験実施場所の水利特性に関する基礎的な情報を提供するものである。

(2) 実施内容

平成5年度、KD-90 坑道周辺試錐孔を用いた間隙水圧観測(12孔、72区間)を継続実施し、また、250mレベル坑道に新たに堰を設置し坑内湧水量観測を開始した。さらに、平成5年度までに取得したデータの整理と第1フェーズに実施した孔間透水試験結果の再解析を実施した。具体的には、(a)MPシステムの間隙水圧データの整理、(b)KD-90 坑道周辺の間隙水圧データの整理、(c)孔間透水試験結果の再解析、(d)250mレベル坑道における湧水量観測である。

(a) MPシステムの間隙水圧データの整理

既存坑道が原位置試験場周辺岩盤の水利学的特性に与えている影響を概括的に把握するために、地表(標高784.53m)から掘削された鉛直試錐孔(KG-1孔、孔長801m)に設置されたMPシステムの間隙水圧データ(30点)を整理し、間隙水圧の深度方向の分布を把握した¹⁾。

(b) KD-90 坑道周辺の間隙水圧データの整理

TASK3-2が予定されている550mレベル坑道のKD-90 坑道周辺岩盤の水利学的特性を概括的に把握するために、KD-90 坑道周辺の試錐孔に設置されたブルドン管式圧力計で観測された間隙水圧データの経時変化を整理した。本観測は1週間につき1回程度の割合で行われている。本データ整理は、KH-19 孔掘削開始後からKD-90 坑道周辺の試錐孔で観測された間隙水圧に大きな変化が現れたため²⁾、特にKH-19 孔掘削開始後(平成4年度~5年度)のもの(14孔、83区間)について行っている。

(c) 孔間透水試験結果の再解析

第1フェーズでは、KH-4~7 孔を利用して孔間透水試験が実施され、その結果を試錐孔周辺岩盤が均質媒体であると仮定して解析を行った。その結果、実測値と理論値が必ずしも一致せず、水の流れやすい方向があることが推定された³⁾。そこでKD-90 坑道周辺岩盤内の地下水の流れの状態を概括的に推定するために、第1フェーズにKH-4~7 孔を利用して実施された孔間透水試験結果を、Berkerの理論⁴⁾を用いて再解析し、注水点(2点)から観測点(12点)への各経路(24経路)について、次元および拡散係数を求めた。

さらに、孔間透水試験の検討から得られた次元、透水係数、貯留係数の平均値を用いて、孔間透水試験と同じ注入量(4.45cc/s)で注入したときの50m離れた地点での圧力応答の予測を試みた。検討に用いた式は無次元影響半径で無限小注入点を仮定した式である。

(d) 250mレベル坑道における湧水量観測

TASK2の調査領域の水利特性の概要を把握するためのデータのの一つとするために、250mレベル坑道において新たに堰を設置し、坑内湧水量の観測を行いデータの蓄

積を開始した。

(3) 主要な成果

(a) MPシステムの間隙水圧データの整理

表-1.6にMPシステムの間隙水圧（標高表示）および水圧計設置深度を示す。この間隙水圧をもとに、各観測点で観測された間隙水圧（標高表示）と坑道標高を比較した断面図（図-1.18）と、KG-1孔と各標高における坑道およびそこから掘削された試錐孔の位置を比較した鳥瞰図（図-1.19）を作成した。これらの図から以下の点がわかった。

- ・水圧は標高716m付近で負圧を示し、それ以深の6点では静水圧分布（標高約680m）となっている（図-1.18）。このことから、標高716m以浅は宙水で、地下水面は標高680m付近にあると考えられる。
- ・標高680m以深では、水圧が階段状に低下し、標高600m付近で再び静水圧分布となる（図-1.18）。このように水圧が階段状に低下する原因として、KG-1孔を取り囲むように配置している既存坑道や既存試錐孔からKG-1孔周辺岩盤の水が排水されたためと考えられる（図-1.19）。
- ・本間隙水圧データの整理から、550mレベル坑道原位置試験場周辺の間隙水圧は4～10kgf/cd、250mレベル坑道原位置試験場周辺の間隙水圧は35kgf/cd程度であると推定される（図-1.18）。
- ・550mレベル坑道では、現在のKD-90坑道周辺の間隙水圧はほとんどの区間で1kgf/cd前後であるが、坑道や試錐孔の掘削が少ない頃（昭和63年）に取得された間隙水圧の値は4kgf/cd程度であり、上記推定値と一致した。

(b) KD-90坑道周辺の間隙水圧データの整理

KH-19孔掘削開始後のKD-90坑道周辺の試錐孔（図-1.20）で観測された間隙水圧データを整理した結果、以下のことがわかった。

- ・KH-19孔掘削後にパッカーシステムを設置し、各区間の間隙水圧をブルドン管式圧力計で観測した結果、本試錐孔では、KG-1孔で推定された550mレベル坑道周辺の間隙水圧（4～10kgf/cd）よりも高い、約18kgf/cdが観測された（図-1.21）。
- ・KH-19孔では、掘削中に口元で湧水量と水圧の観測を行っている。観測は、毎日の作業終了後口元にブルドン管式圧力計が設置された蓋をし、翌日の作業開始前にそれぞれの値を読むことにより実施された。その結果を図-1.22に示す。図は横軸が掘削深度、縦軸が湧水量と水圧である。図-1.22によると、深度53.45mから82.05mの間で湧水量・水圧とも急激に増加していることから、この間に低圧領域と高圧領域を分けるゾーンがあると考えられる。その後のパッカーシステムを用いた観測の結果からも（図-1.21）、このゾーンの前後で間隙水圧に大きな差が認められ、試錐孔奥の4区間では圧力が高いまま長期間保持されている。このことから、このゾーンは、その前後には水を通しにくい低透水性ゾーンとなっていると考えられる。本低透水性ゾーンについては、TASK 3-2の章を参照のこと。
- ・KH-6孔とKH-9孔の区間I（KH-19に一番近い区間）の間隙水圧は、KH-19孔の掘削やパッカー設置等の期間中大きく変化しており、この変化はKH-19孔掘削やパッカー設置の時期と良く一致している（図-1.23）。すなわち、KH-19孔掘削によりKH-6

孔やKH-9孔周辺岩盤の水が排水されることにより一旦間隙水圧が低下するが、KH-19孔の口元が閉鎖され再び岩盤内に水が入り込むと再び間隙水圧が上昇している。その後、KH-19孔にはバッカーが設置されるが、設置されるとすぐに破損してしまうため、再び岩盤内の水が排水されることにより、KH-6孔とKH-9孔の間隙水圧は低下する。ただし間隙水圧は、KH-19孔掘削時のレベルまで低下しないが、この理由としてKH-19孔周辺岩盤に不飽和な部分が生じていることが推定される。KH-6孔とKH-9孔の間隙水圧は平成5年2月11日～13日の間で再び上昇しているが、すぐに口元が開放されたため低下した。このようにKH-6孔とKH-9孔の区間1の間隙水圧は、KH-19孔の掘削やバッカー設置・破損などによるKH-19孔周辺岩盤の水理学的な変化を、ほとんど日数の差がなく追隨している。

- ・ KH-6孔とKH-9孔の区間1で認められた間隙水圧の変化は、KH-19孔から30m以上はなれたKH-10孔～KH-12孔でもほとんど日数差なく観測された(図-1.24)。ただしKH-10孔では、他の試錐孔と比較して間隙水圧の変化幅が小さく、しかも区間1と2(孔奥(西)側)ではこの変化が認められない。KH-10孔の区間2と区間3の間にも低透水性ゾーンが存在する可能性もある。
- ・ 上記のように、KH-19孔を掘削することなどによる圧力の変化はほとんど日数の差なく広い範囲に及んでいたが、これらのデータは1週間に1度の観測結果であるため、詳細な時間差についてはわからない。

(c) 孔間透水試験結果の再解析

① 流れの次元および拡散係数の計算結果

KH-4～7孔を利用して実施された孔間透水試験結果をBerkerの理論を用いて再解析し、注水点から観測点への24通りの経路について、それぞれ流れの次元および拡散係数を求めた結果、以下のことが判明した²⁾。

- ・ KH-5孔からKH-6,7孔方向に大きな拡散係数が分布し、KH-5孔からKH-4孔方向には小さな値しか示さない(図-1.25, 表-1.7)。このことは、KH-5孔からKH-4孔方向はKH-5孔からKH-6,7孔方向と比較して、圧力伝達が遅いことがわかる。
- ・ 流れの次元の分布については、拡散係数の分布とは異なりKH-5孔からKH-4孔方向とKH-5孔からKH-6,7孔方向の間に顕著な相違が認められず、流れの次元の傾向を特定することはできない(図-1.25)。
- ・ 以上の結果は、流れの次元は様々であるが、圧力伝達の速さは方向により異なることを示している。

② KD-90坑道周辺の水圧応答の検討

KD-90坑道周辺の水圧の応答を簡易的に検討するために、孔間透水試験の検討から得られた流れの次元、透水係数、貯留係数の平均値を用いて、孔間透水試験と同じ注入量(4.45cc/s)で水を注入したときの50m離れた地点での圧力応答の予測を試みた。検討に用いた式は無限影響半径で無限小注入点を仮定した式である。その結果以下のことが判明した²⁾。

- ・ 7日(604,800秒)たつと明確な圧力応答が認められた。特に、流れの次元が小さく(図-1.16)、拡散係数が大きい(0.79 ml/s)注入区間Cの結果(表-1.17)を用いた場合、ほとんど減衰せずに50m先にまで応答した(図-1.26)。KH-19孔を掘削した

際にKH-19 孔から湧出した水の量は約 250cc/secであり (図-1.22), 本解析よりも短い時間で明確な圧力応答が認められる可能性が十分にある。このように, 本解析の結果はKH-19 孔の掘削作業などに伴い地下水圧の応答が, KD-90 坑道周辺の観測孔でほとんど日数差なく観測された結果と矛盾しない。

(d) 250mレベル坑道における湧水量観測

本堰は, 割れ目調査開始点 (図-1.16)から南へ6mの地点に設置した。本堰のレイアウトは, レールの幅や枕木の間隔などを考慮し, 図-1.27 のようにした¹⁾。

観測は, 平成6年3月5日から開始している (図-1.28)。観測方法は, 堰の下流側に24ℓのタンクを用意し, タンクに水が溜まるまでの時間を計測する。

(4) 次年度計画概要

KG-1孔に設置されたMPシステムにより観測された間隙水圧結果からもわかるとおり, 釜石鉱山原位置試験場周辺は, 本来の岩盤が持つ水理特性と異なるものとなっており, TASK 1の目的である, 深部の水理特性データや深度別の水理データを取得することは不可能である。

しかし, KD-90 坑道周辺で認められた低透水性ゾーンの特性や水圧の伝播特性を把握しTASK 3-2より広い範囲 (100m規模) の水理モデルを構築することは, 第2次とりまとめで必要とされると考える。さらに, 堰を用いた湧水量観測はTASK 2の研究領域の水理特性を把握するために必要な情報となるが, TASK 2に反映させるためには, 割れ目調査開始点 (図-1.16)から40m付近にもう一つ堰が必要となり, 流量を精度よく定期的な観測をするためには, 自動計測装置が必要になる。このような調査領域周辺の水理学的特性を把握するためには, さらに精度の良いデータを蓄積し, 詳細な検討を行っていく必要がある。

参考文献

- 1) 清水建設株式会社 (1992) : MPシステムによる花崗岩の水理地質モデルの検討
PNC 2J1060 92-006
- 2) 日鉄鉱業株式会社 (1994) : 釜石鉱山における深部地質環境特性調査 (平成5年度)、PNC 2J1380 94-001
- 3) 日鉄鉱業株式会社 (1990) : 花崗岩における原位置試験 (平成元年度)、
PNC SJ4380 90-002
- 4) Berker, J. A. (1988) : A General radial flow model for hydraulic tests in fractured rock. Water Resour. Res., Vol. 24, No. 10, pp. 1796-1804

表-1.6 水圧観測結果

圧力計の設置 標高 (m)	水圧 (標高 : m)	圧力計の設置 標高 (m)	水圧 (標高 : m)
-8.16	613.44	555.14	658.74
-3.70	612.30	559.60	667.70
-0.57	612.33	562.73	667.63
36.66	596.76	638.99	691.19
41.12	590.92	643.45	696.05
44.25	590.95	646.58	695.98
168.53	595.93	689.82	697.12
172.99	595.99	694.28	698.08
176.12	596.12	697.41	698.11
249.38	596.48	716.63	711.83
253.84	617.94	721.09	751.29
256.97	617.97	724.22	751.22
288.20	617.90	743.45	779.15
292.66	625.66	747.91	779.21
295.79	625.69	751.04	779.24

表-1.7 孔間透水試験結果から得られた次元、透水係数、貯留係数、拡散係数

(a) 注入区間 A

ケース	A-①	A-②	A-③	A-⑦	A-⑧	A-⑨	A-⑩	A-⑪
次元n	1.10E+00	2.50E+00	1.80E+00	1.90E+00	2.25E+00	2.25E+00	2.25E+00	2.50E+00
透水係数 k(m/s)	7.60E-05	7.58E-07	8.07E-06	7.19E-06	1.06E-06	1.10E-06	1.38E-06	3.48E-07
貯留係数 Ss(1/m)	1.17E-03	1.36E-05	5.81E-05	3.03E-05	1.73E-05	6.75E-06	4.56E-06	8.36E-07
拡散係数 k/Ss(m ² /s)	6.52E-02	5.56E-02	1.39E-01	2.38E-01	6.12E-02	1.63E-01	3.03E-01	4.17E-01

(b) 注入区間 C

ケース	C-①	C-②	C-③	C-④	C-⑤	C-⑥	C-⑦	C-⑧	C-⑨	C-⑩	C-⑪	C-⑫
次元n	1.00E+00	1.10E+00	1.10E+00	2.25E+00	1.60E+00	1.70E+00	1.60E+00	1.10E+00	1.70E+00	1.30E+00	2.25E+00	1.00E+00
透水係数 k(m/s)	5.26E-05	3.36E-05	7.38E-05	7.62E-06	1.01E-05	6.20E-06	9.79E-06	9.88E-05	4.74E-06	2.85E-05	3.97E-07	6.70E-04
貯留係数 Ss(1/m)	3.67E-03	3.90E-03	3.74E-03	7.62E-05	8.07E-06	1.02E-05	1.03E-05	1.27E-04	6.60E-06	1.47E-05	7.94E-07	2.53E-03
拡散係数 k/Ss(m ² /s)	1.44E-02	8.63E-03	1.98E-02	1.00E-01	1.25E+00	6.06E-01	9.52E-01	7.81E-01	7.19E-01	1.93E+00	5.00E-01	2.65E-01

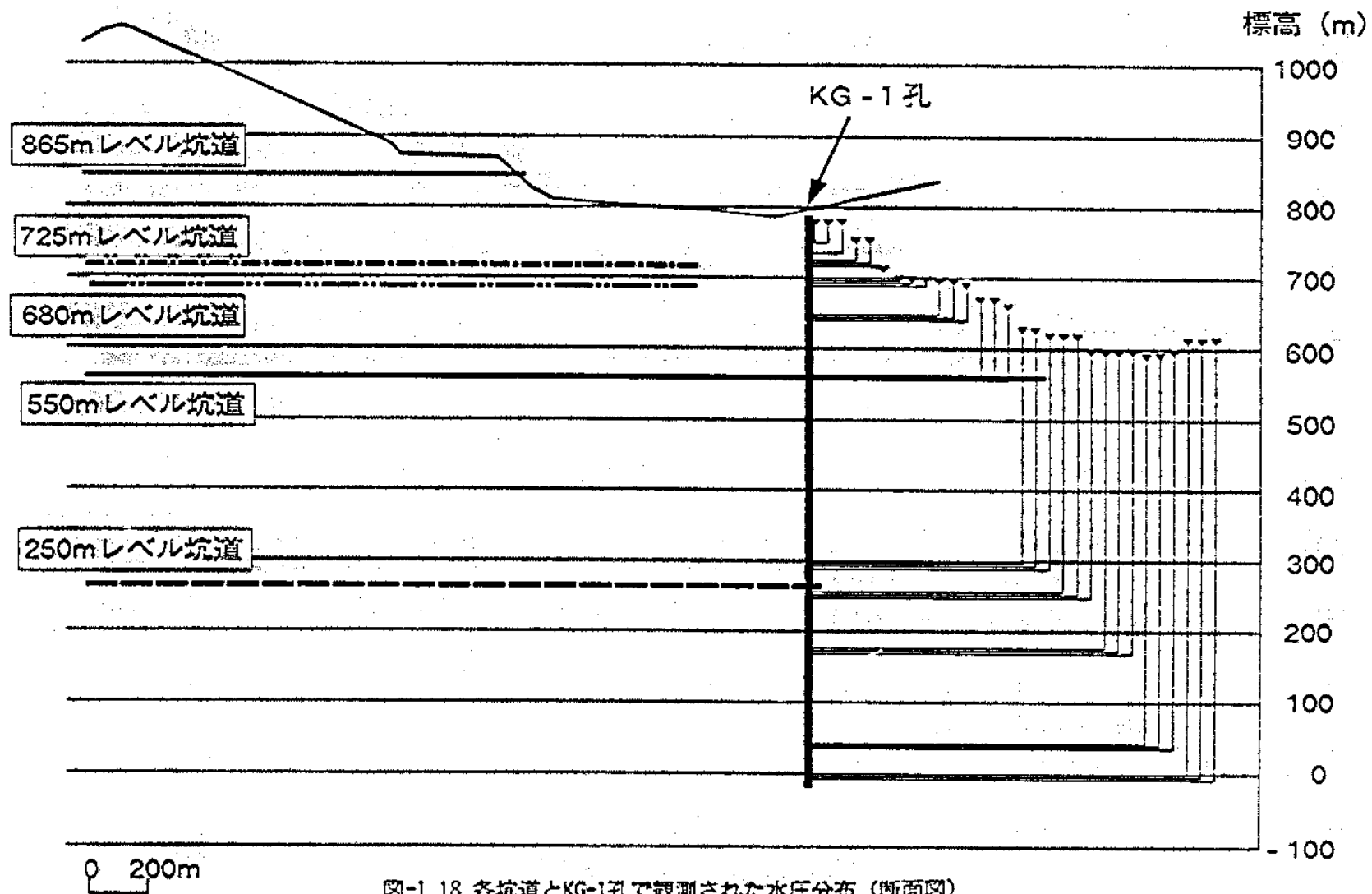


図-1.18 各坑道とKG-1孔で観測された水圧分布 (断面図)

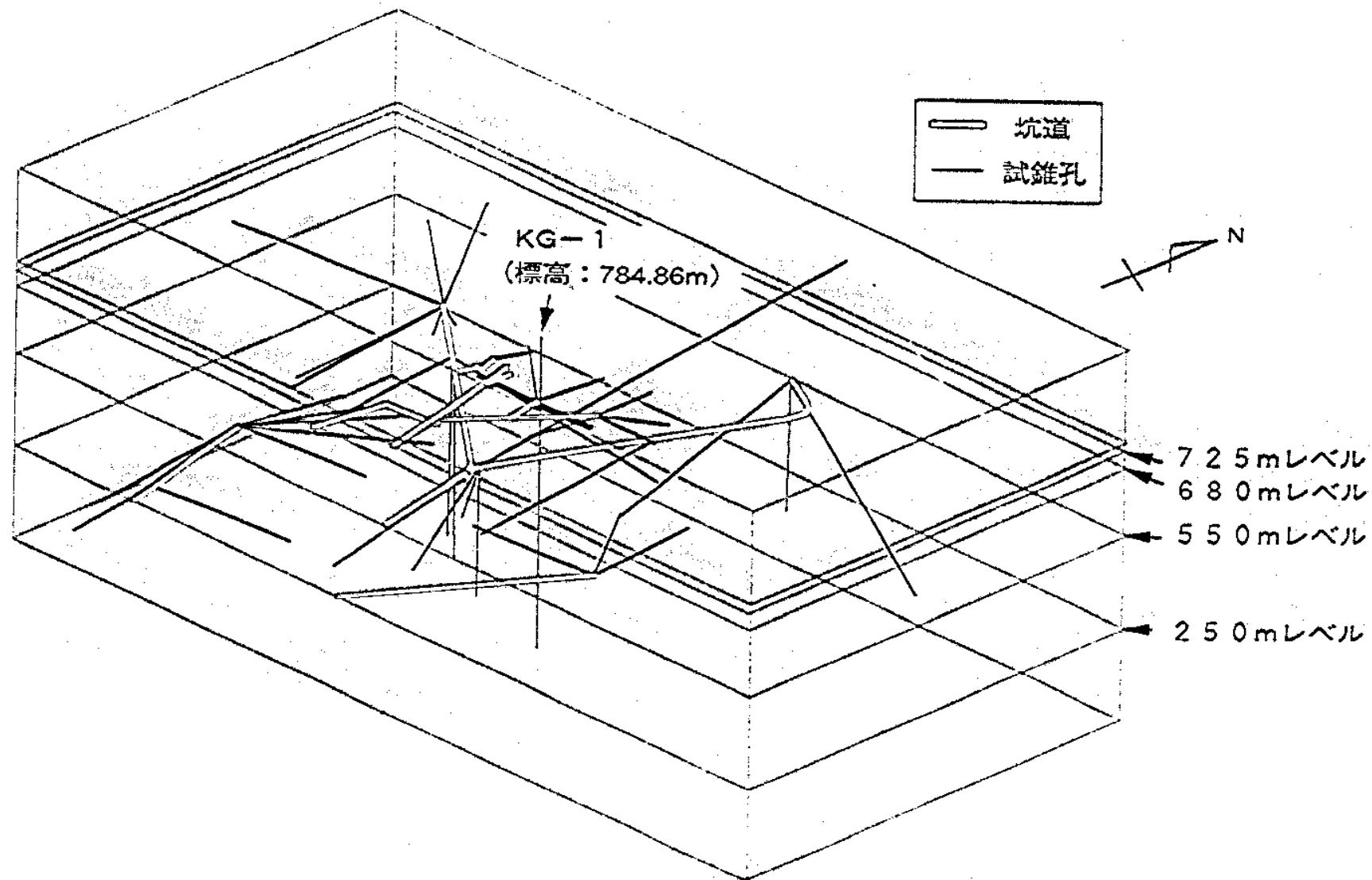


図-1.19 KG-1孔と各坑道およびそこから掘削された試錐孔位置図 (鳥瞰図)

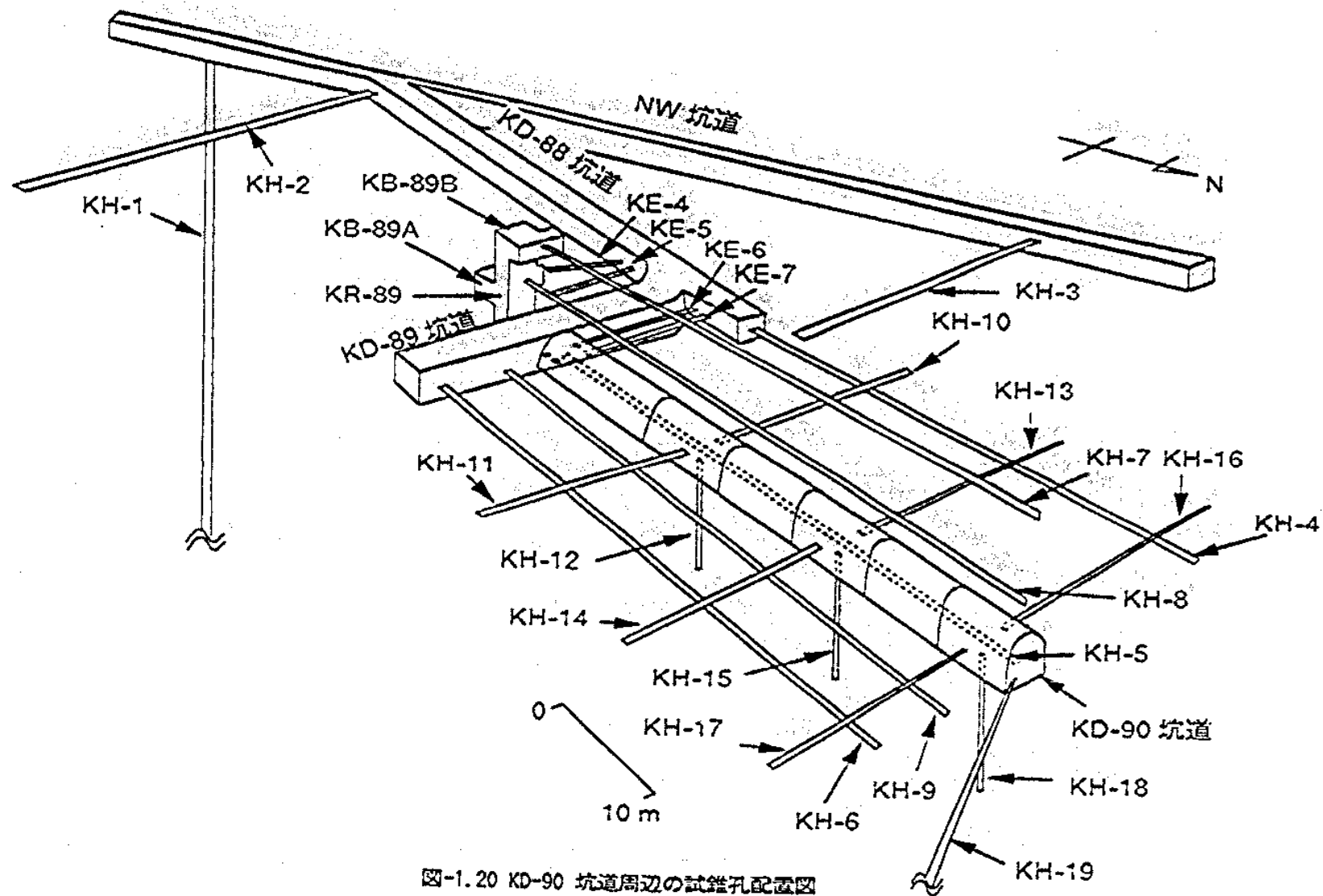


図-1.20 KD-90 坑道周辺の試験孔配置図

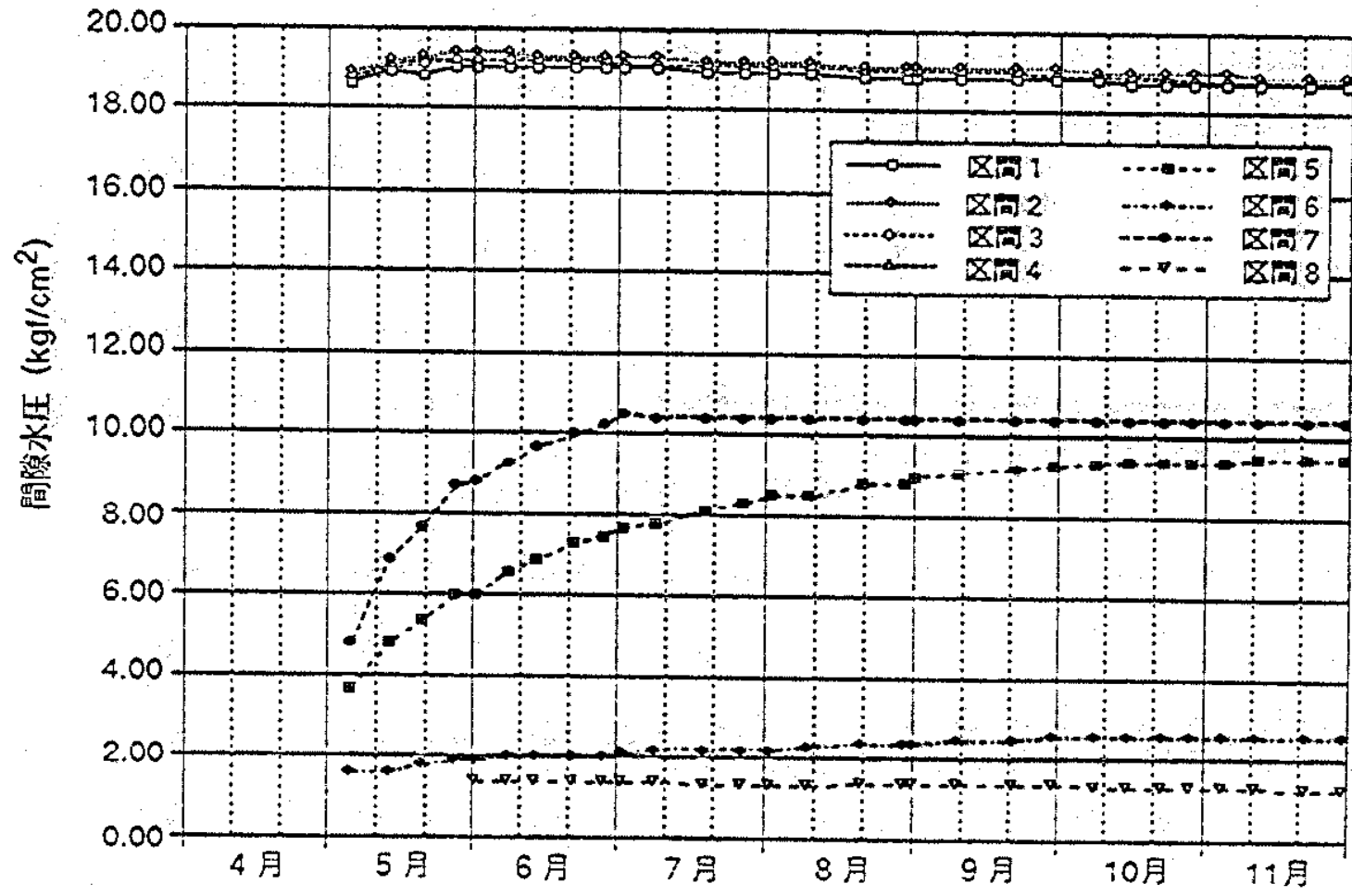


図-1.21 間隙水圧経時変化 (KH-19 孔、平成5年5月~11月)

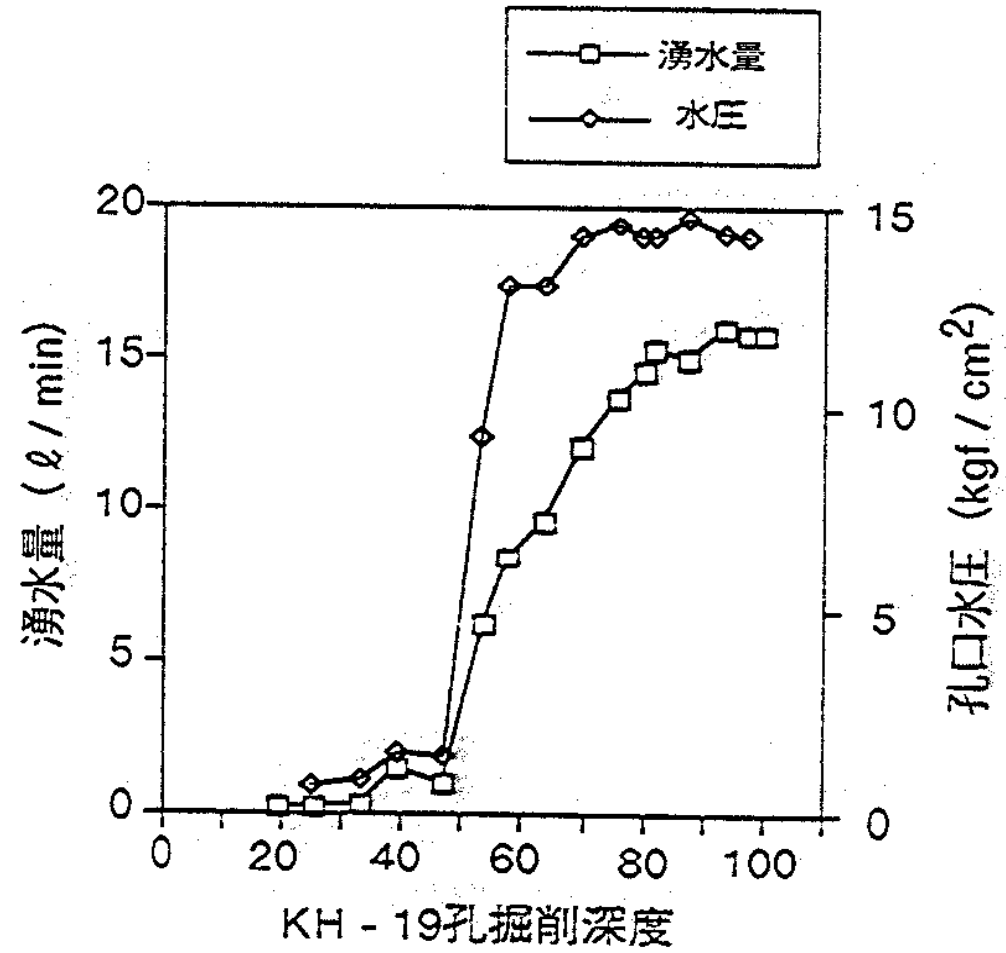


図-1.22 KH-19 孔掘削深度と湧水量・水圧の関係

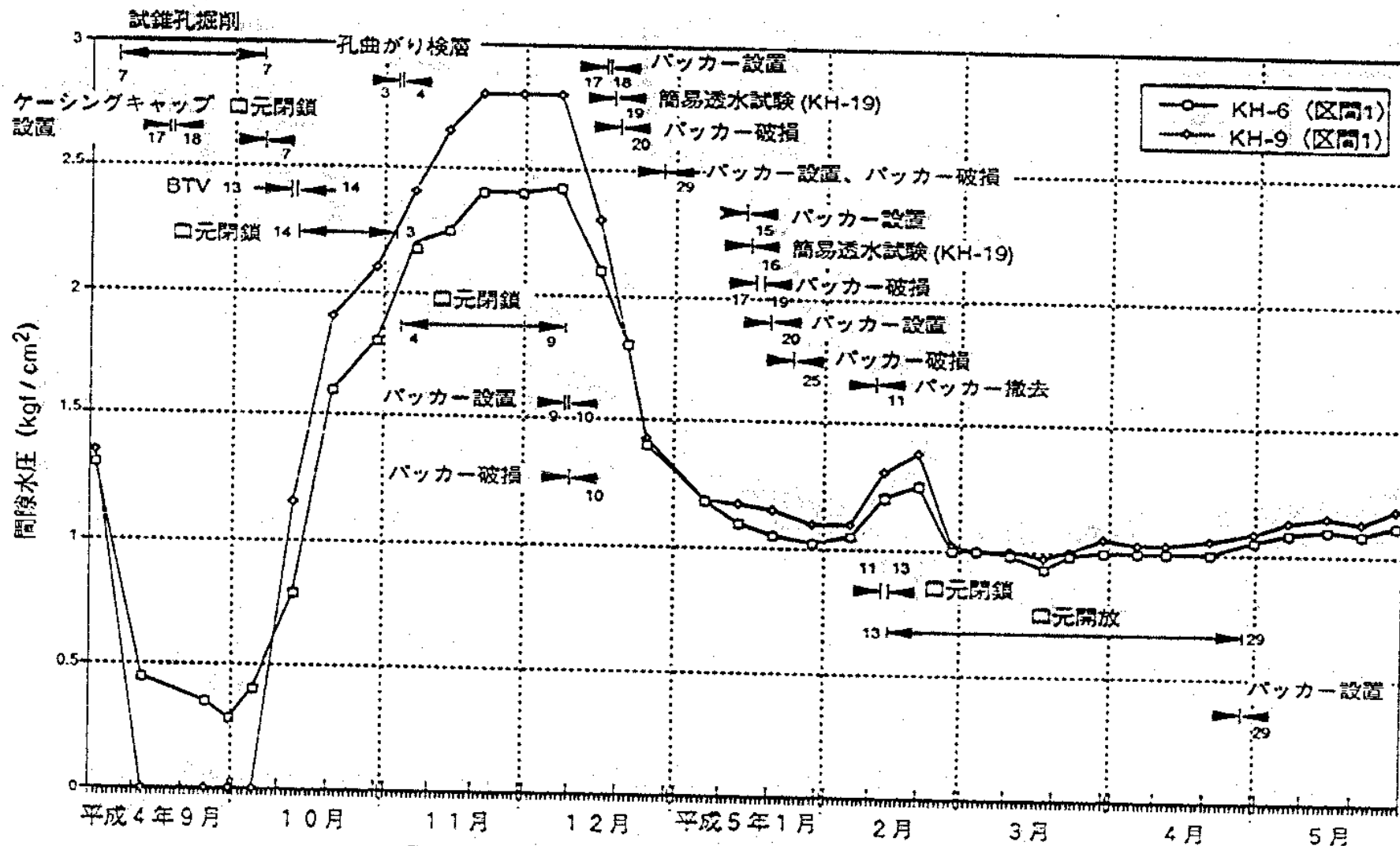


図-1.23 KH-6、9孔の区間1の間隙水圧経時変化と KH-19孔の工事
(掘削・バックカー設置等) の関係

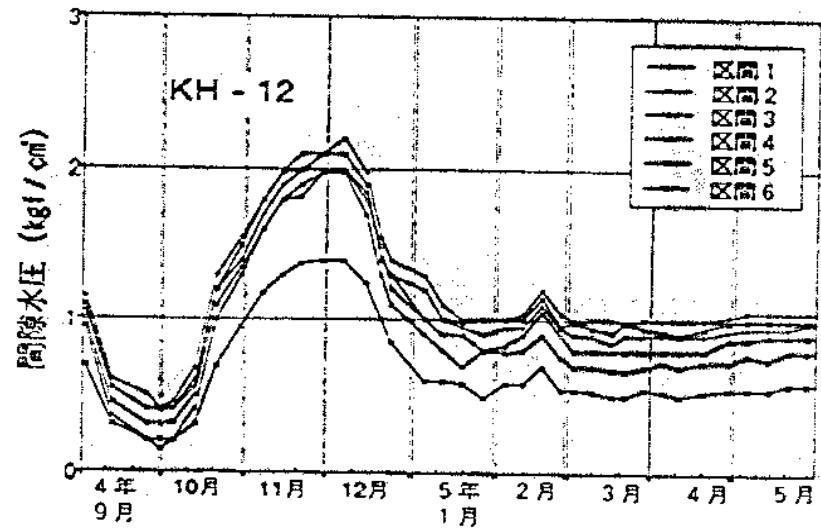
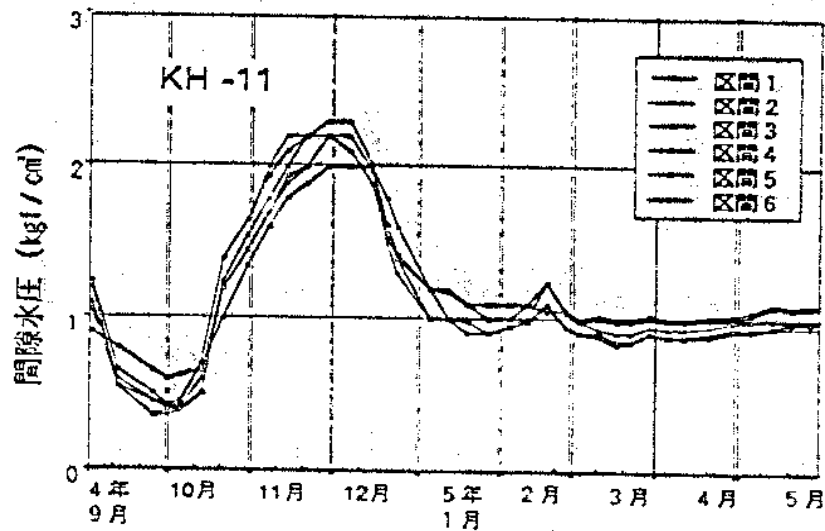
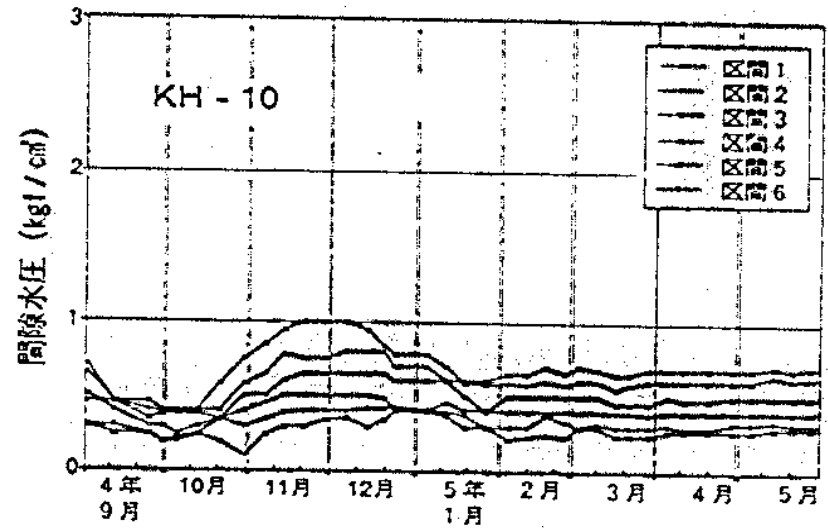
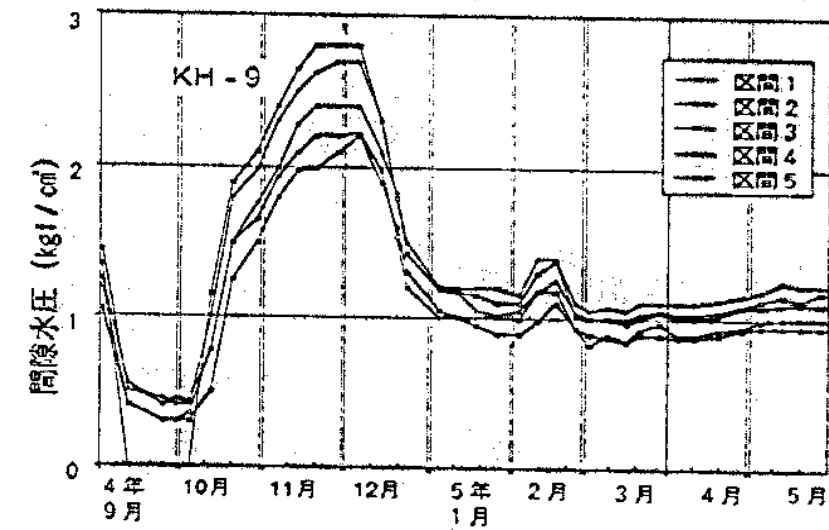


図-1.24 KH-19 孔掘削開始後のKH-9~KH-12 の間隙水圧経時変化

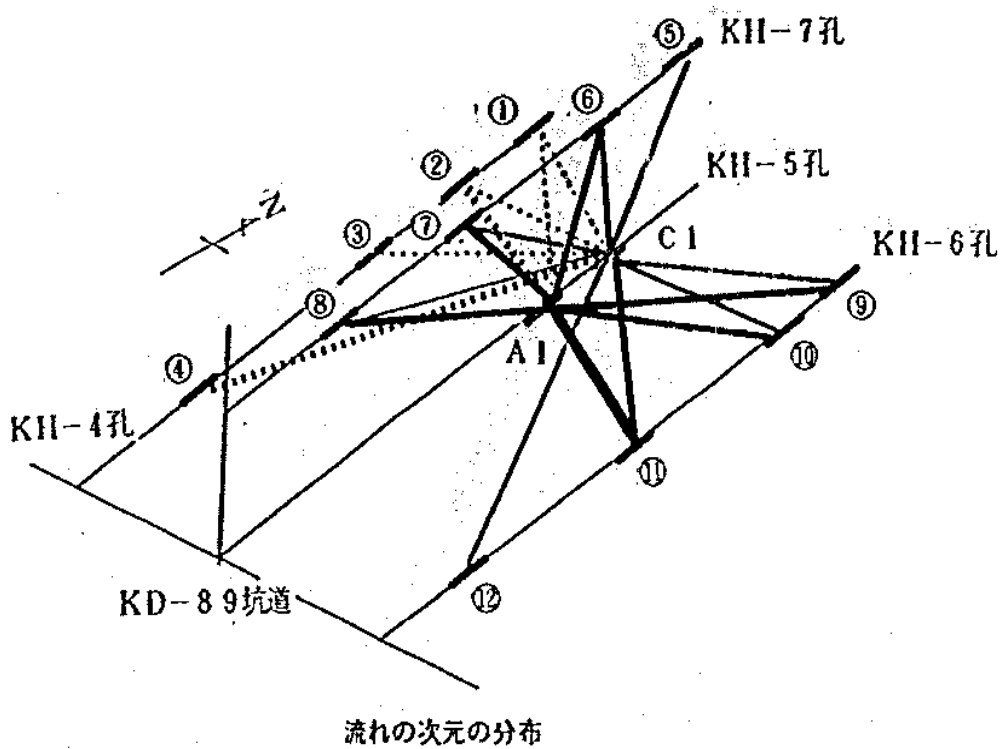
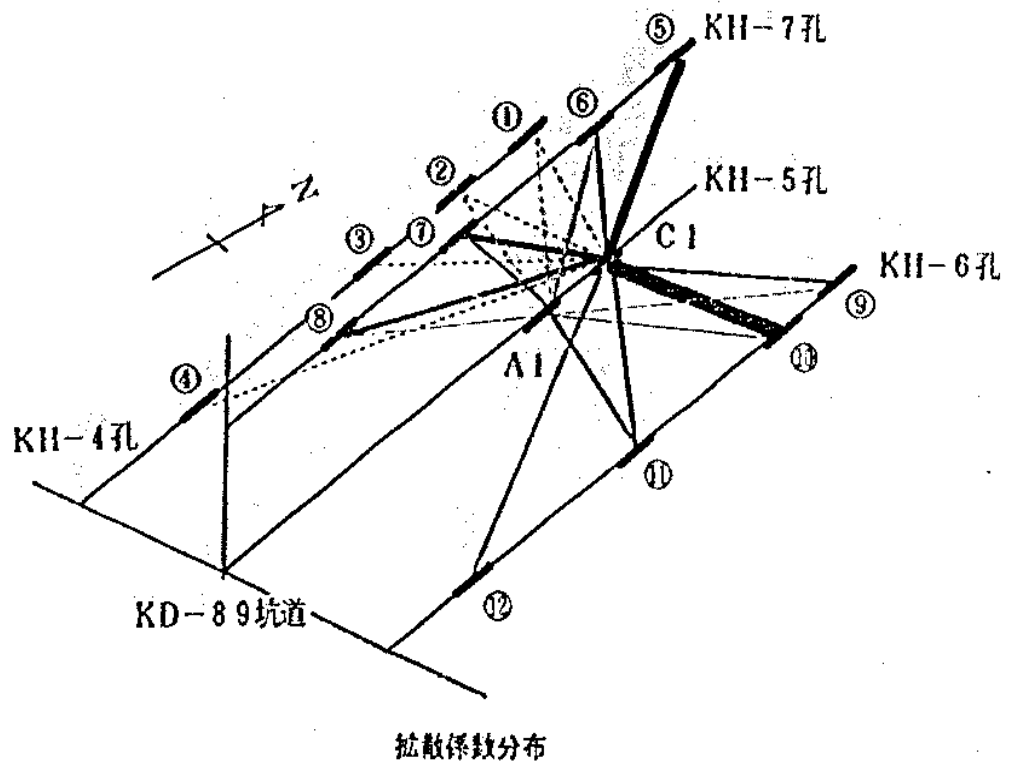
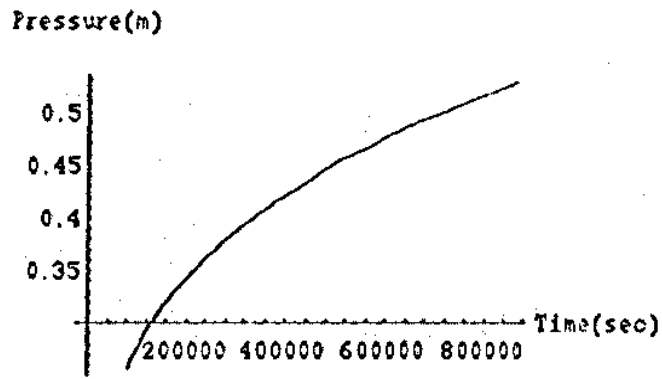
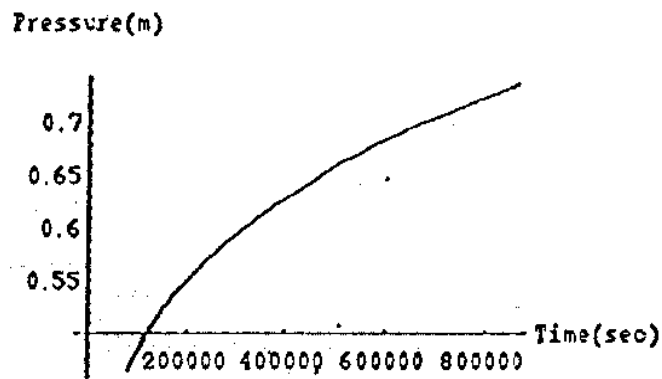


図-1.25 拡散係数分布と流れの次元の分布



50m先での分布



注入孔孔口での応答

図-1.26 Cの結果の平均を用いた50m先での水圧の応答

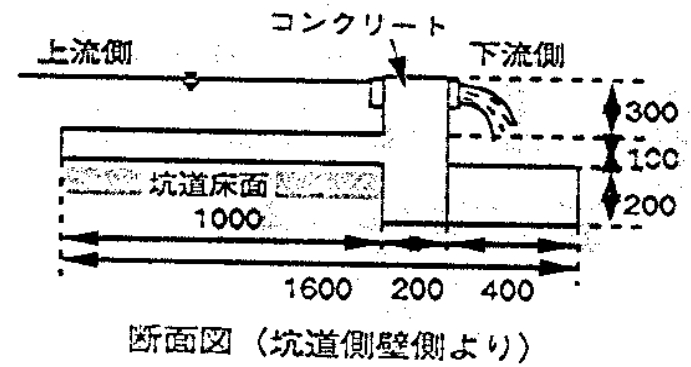
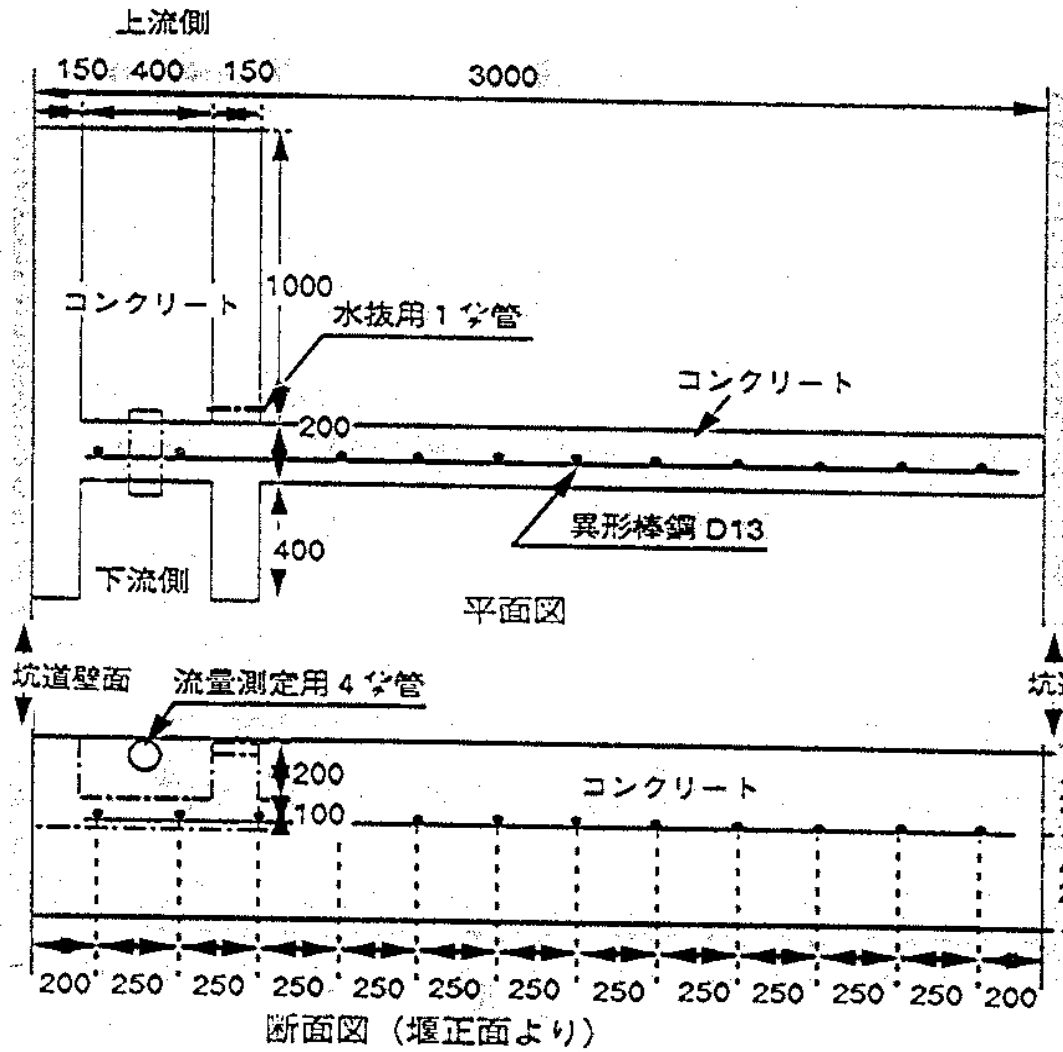


図-1.27 堰のレイアウト

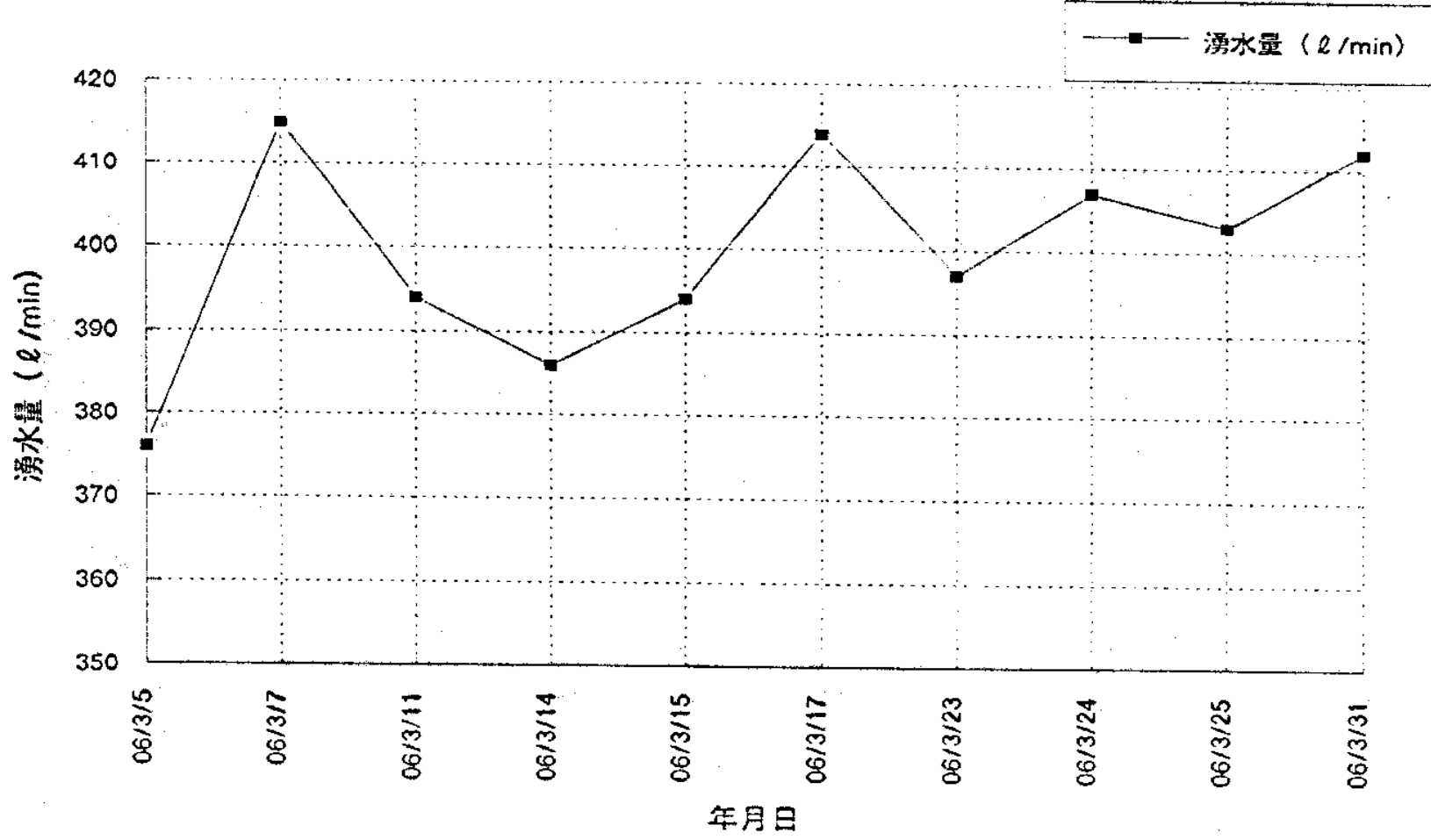


圖-1.28 湧水量觀測結果

1.7 深部岩盤の地下水の地球化学的特性の把握

(1) 目的

本調査では、栗橋花崗閃緑岩中に存在する地下水の地球化学的特性を把握する。

(2) 実施内容

本調査は主に250mレベル坑道の原位置試験場内に湧出する地下水を対象とし、以下の項目を実施した。なお比較のため、550mレベル坑道に湧出する地下水についても調査を実施した。

(a) 地下水の物理化学パラメータの測定

250mおよび550mレベル坑道内に湧出する地下水の物理化学パラメータ（pH、水温、酸化還元電位（Eh）、電気伝導度、溶存酸素濃度）を1回/週間の割合で測定した。なお測定は21箇所で行なった。

(b) 地下水の水質および同位体分析

250mおよび550mレベル坑道内に湧出する地下水を1回/月の割合で採水し、地下水の水質（主要化学成分）および同位体（酸素・水素の安定同位体比およびトリチウム濃度）の分析を行なった。なお水質および同位体分析は10箇所で行なった。

(3) 主要な成果

主に250mレベル坑道の原位置試験場内に湧出する地下水を対象として地下水の地球化学的データ（物理化学パラメータ、水質および同位体）を取得した。

図-1.29に地下水の物理化学パラメータの測定、水質および同位体分析の実施場所を示す。また表-1.8には実施場所の概要を示す。なお、割れ目番号および湧水箇所にて記されている距離は、KTR93-02の割れ目調査で対象とされた割れ目番号および割れ目調査起点からの距離に相当する。物理化学パラメータの測定は、250mレベル坑道で19箇所（W1～W19）、550mレベル坑道で2箇所（W20およびW21）の計21箇所で行なった。水質および同位体分析は、250mレベル坑道で9箇所（W1、W3、W5、W8、W10、W11、W14、W16、W18）、550mレベル坑道で1箇所（W20）の計10箇所で行なった。250mレベル坑道での測定・分析箇所のうちW1、W16およびW17は、既存試験孔からの湧水を対象とした。それぞれの試験孔の孔長はW1=301.0m、W16=347.1m、W17=480.1mである。その他の測定・分析箇所（W2～W15、W18～W21）では、坑道壁面からの湧水を対象とした。

(a) 地下水の物理化学パラメータの測定

各物理化学パラメータの測定は、pHおよび酸化還元電位では10分間、水温、電気伝導度および溶存酸素濃度では5分間である。測定はW1、W16およびW17の試験孔からの湧水の場合、電極を試験孔に挿入し地下水が絶えず流れ続けている状態で行なった。その他の測定箇所（W2～W15、W18～W21）では坑道壁面からの湧水を200cc程度ビーカーに採取し電極を浸して測定した。

図-1.30に測定期間中での地下水の物理化学パラメータの変動幅を示す。以下に各

パラメータの測定結果について記す。

① pH

pHは7.29~10.30の値を示した。特にW2~W6では、他の測定箇所比べて変動の幅が広いことが判る。250mレベル坑道と550mレベル坑道とで、pHの値に顕著な違いは認められない。

② 温度(水温)

250mレベル坑道の湧水の水温は、14.6~16.6℃であった。550mレベル坑道に湧出する地下水は、250mレベル坑道での湧水に比べて4℃近く水温が低い。

③ 酸化還元電位(Eh)

W1およびW17を除くと、酸化還元電位は220~457 mVと酸化性の値を示す。一方W1およびW17の試錐孔からの湧水では、-125mVに達するような還元性の値を示している。

④ 電気伝導度

250mレベル坑道での湧水の電気伝導度はW17を除くと63.8~81.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ であった。W17では98.2~103.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ と、他の測定箇所比べて30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以上も電気伝導度が大きい。また550mレベル坑道のW21では、250mレベル坑道での湧水(W17を除く)に比べて電気伝導度が10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 程度小さい。

⑤ 溶存酸素濃度

W1およびW17を除くと、溶存酸素濃度は4~10.7ppm程度であった。一方、W1およびW17の試錐孔からの湧水では他の測定箇所比べて溶存酸素濃度が低く0ppmの場合も認められた。

本年度の物理化学パラメータ測定期間中には、250mレベル坑道において試錐孔の掘削や試錐孔へのパッカー設置作業等が行われた。250mレベル坑道における測定箇所のうちその様な作業前後で、一時的に地下水のpHが低下するという現象が認められた箇所がある。一例として、図-1.31にW9における物理化学パラメータの経時変化を示す。W9でのpHの経時変化を見ると、1994年2月23日の測定値は、2月16日の測定値に比べてpHの値が2程度低下している。この期間中(2月16日~2月19日)に、KD T-1孔の掘削(W9から南側に約67m離れた地点で、坑道東壁に20m)が行われている。また2月25日、26日にはKD H-1孔(W9から南側に約55m離れた地点で、坑道東壁に50m掘削された試錐孔)へのパッカー設置作業が行われている。そして3月2日以降、pH値は2月23日の測定値から徐々に上がってゆき、3月23日には2月16日の測定値とほぼ同じ値になっている。

(b) 地下水の水質および同位体分析

① 地下水の水質

図-1.32に地下水の化学組成のキーダイヤグラムを示す。W1およびW20では Ca^{2+} - HCO_3^- 型、その他は Na^+ - HCO_3^- 型である。

② 地下水の同位体

水素・酸素の安定同位体比の測定結果を図-1.33に示す。図-1.33には第1フェーズで得られた550mレベル坑道、KH-1孔、地表水およびKG-1孔の測定結果も記す。地下

水の δ 値は、いずれも天水の範囲に入ることから、これらの地下水の起源は降水であると考えられる。

図-1.31に地下水の δD -トリチウム図を示す。比較のために、第1フェーズで得られた550mレベル坑道、KH-1孔およびKG-1孔の測定結果も記してある。250mレベル坑道での地下水のトリチウム濃度は、550mレベル坑道と同程度である。

(4) 次年度計画概要

平成6年度も引き続き、主に250mレベル坑道での湧水を対象に地下水の地球化学的データを蓄積し、データの信頼性を高めるとともに、地球化学モデルにより鉱物-水反応による水質形成の解釈を行なう。またKG-1孔を使用して、釜石鉱山周辺地域での地下水水質形成機構を推定する上で必要となる、地表からの深度毎の地下水の地球化学的データを取得する。

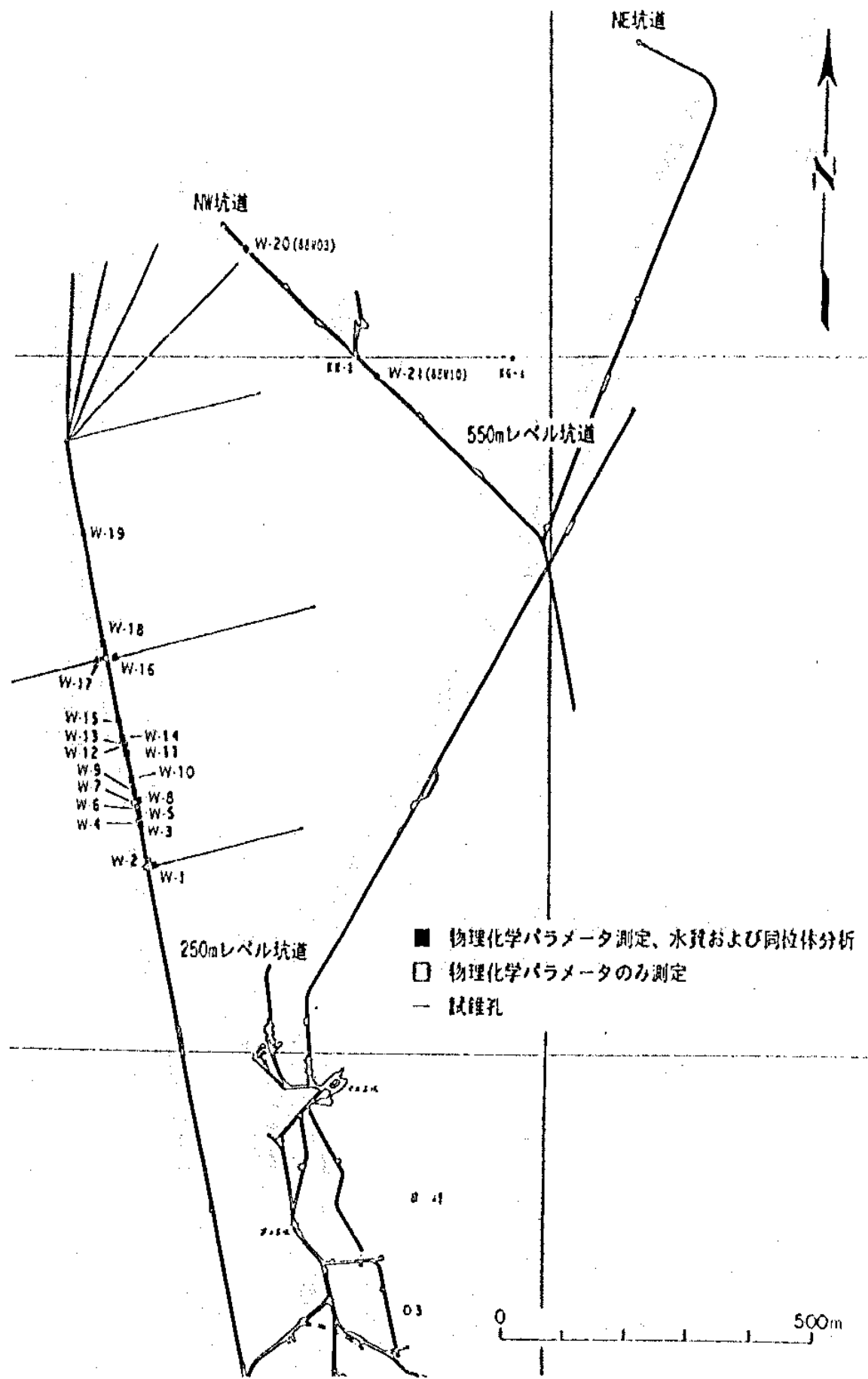


図-1.29 地下水の物理化学パラメータ測定、水質および同位体分析の実施場所

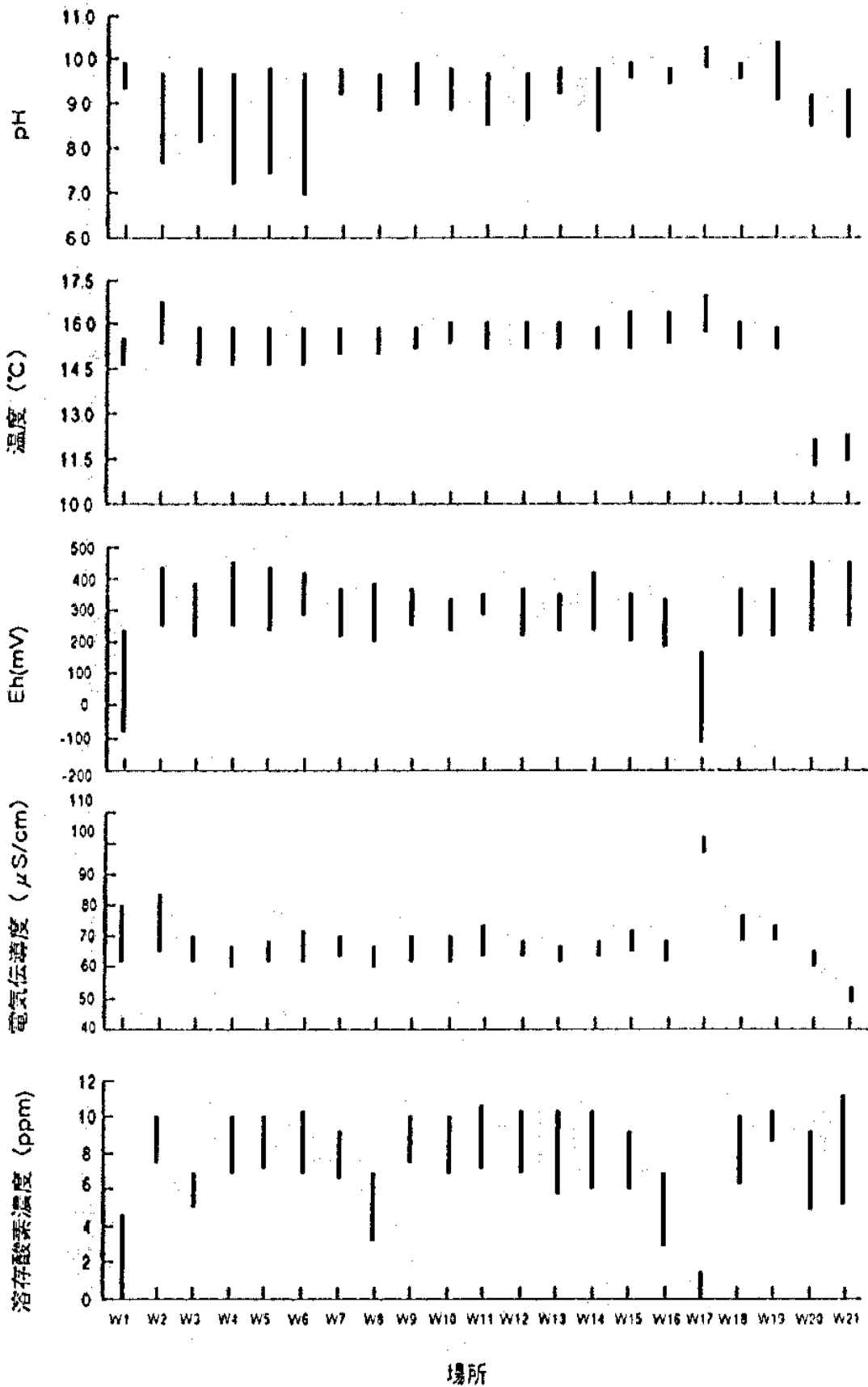


図-1.30 地下水の物理化学パラメータの変動幅

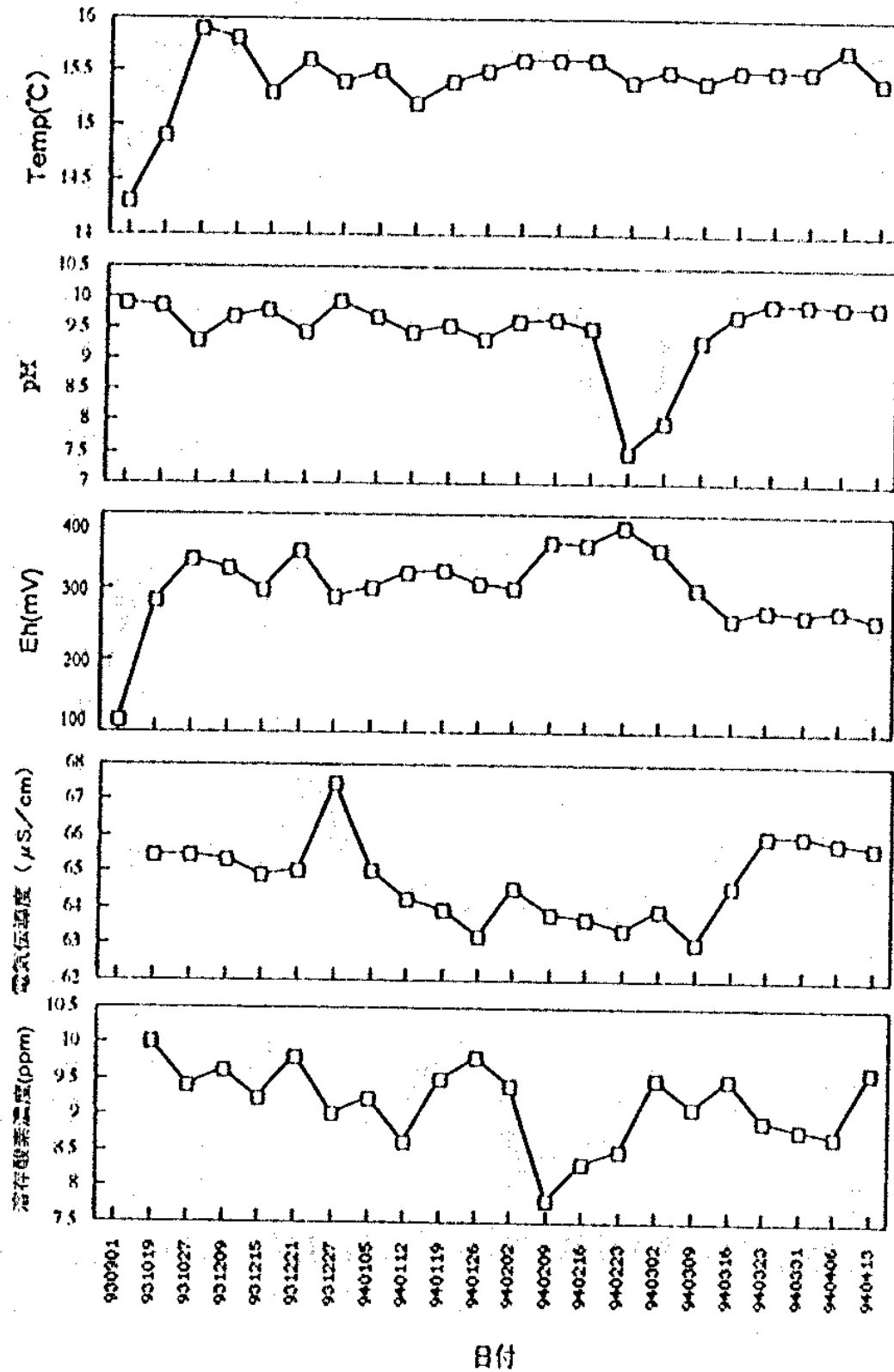


図-1.31 地下水の物理化学パラメータの変化 (W9)

表-1.8 地下水の物理化学パラメータ測定、水質および同位体分析実施場所の概要

測定・採水箇所	割れ目番号	具水箇所 (割れ目調査番号からの距離)	備考
W1 (250mL)	-	試験孔 (坑道東壁, -15m)	W1: 角度=下向き30° 孔長=301.0m
W2 (250mL)	-	坑道東壁-天盤境界 (-5m)	全て栗隈花崗閃緑岩
W3 (250mL)	No.58	坑道天盤 (48m)	
W4 (250mL)	No.62	坑道天盤 (50.9m)	
W5 (250mL)	No.70	坑道天盤 (60.8m)	
W6 (250mL)	No.85に交差、直角	坑道西壁 (70m)	
W7 (250mL)	No.99	坑道西壁-天盤境界 (82.1m)	
W8 (250mL)	No.99	坑道東壁 (82.1m)	
W9 (250mL)	No.111に交差、直角	坑道天盤 (94.6m)	
W10 (250mL)	No.128	坑道天盤 (113m)	
W11 (250mL)	No.165に交差、直角	坑道天盤 (151.4m)	
W12 (250mL)	No.181に交差	坑道天盤 (163m)	
W13 (250mL)	No.188	坑道天盤 (168.3m)	
W14 (250mL)	No.197	坑道天盤 (197m)	
W15 (250mL)	No.212	坑道天盤 (199.3m)	
W16 (250mL)	-	試験孔 (坑道東壁, 290m)	角度=0° 孔長=347.1m 全て栗隈花崗閃緑岩
W17 (250mL)	-	試験孔 (坑道西壁, 290m)	W17: 角度=下向き30° 孔長=480.1m
W18 (250mL)	No.302	坑道天盤 (303.6m)	119mまでは栗隈花崗閃緑岩、それ以降 では泥岩・砂岩・石灰岩などが分布
W19 (250mL)	-	坑道天盤 (470m)	NW坑道
W20 (550mL)	-	坑道西壁	NW坑道
W21 (550mL)	-	坑道天盤	NW坑道

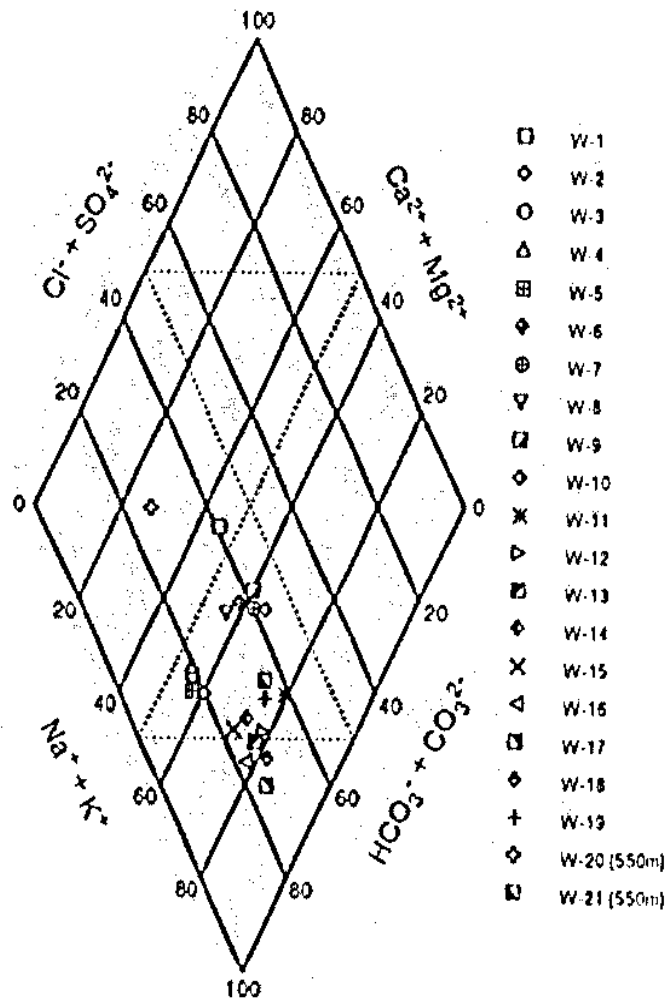


図-1.32 地下水の化学成分のキ-ダイヤグラム

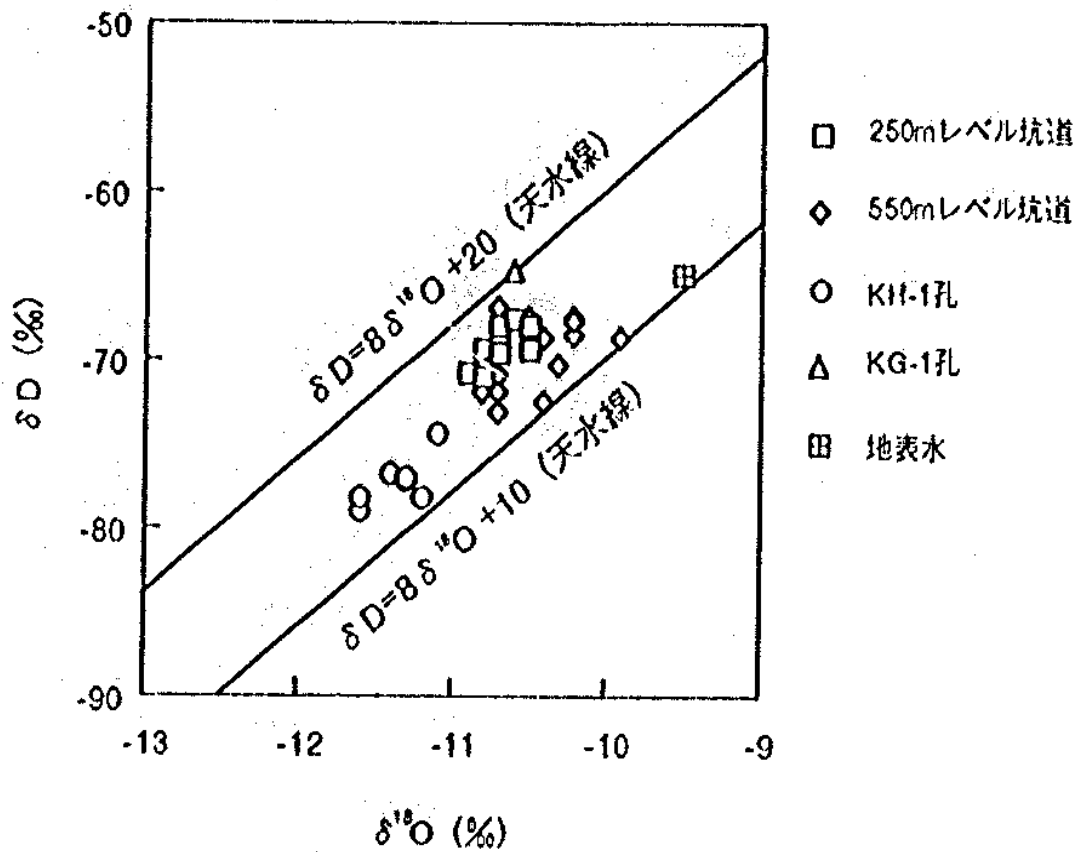


図-1.33 地下水の水素・酸素安定同位体比

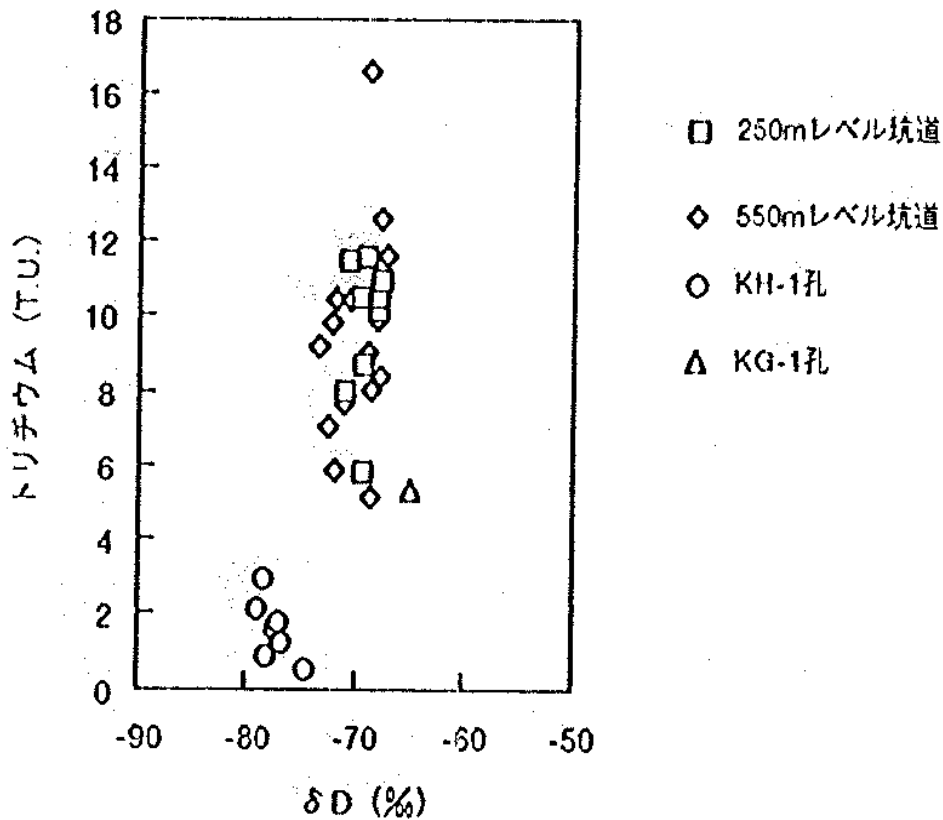


図-1.34 地下水のδD-トリチウム図

1.8 250mレベル坑道からの500m級試錐孔の掘削計画に関する検討

(1) 目的

釜石原位置試験第2フェーズ計画(案)で計画されている、250mレベル坑道からの鉛直下向き500m試錐孔(KC-1孔)について、本試錐孔の掘削および本試錐孔を利用した調査試験が技術的に可能かどうかを検討し、KC-1孔の掘削・調査試験計画の是非を判断する。

(2) 実施内容

250mレベル坑道周辺岩盤の間隙水圧は、KC-1孔の間隙水圧観測結果から約35kgf/cm²であると推定された。250mレベル坑道から鉛直下向きに500m試錐孔を掘削した場合、坑道内は大気圧(0kgf/cm²)であるため、坑道内と岩盤内間には高い圧力差(約35kgf/cm²)が生じている。このような高差圧条件下で試錐孔掘削やこの試錐孔を利用した調査(水理試験・地下水採水)が可能かどうかを海外での例を含めて文献等を用いて検討した。

(3) 主要な成果

以下の理由から高差圧条件下での調査試験の実施は困難であると結論される。

- (a) 高い圧力差から生じる湧水に逆らって試錐孔を掘削するのは困難である。
- (b) 現有パッカーシステムでは、高差圧条件下の試錐孔内で健全に機能しないことが予想される。
- (c) 水理試験に関しては、このような環境での難透水性岩盤に対して精度よく解析する手法が確立されていない。
- (d) 地下水採水調査に関しては、被圧不活性状態で地下水を採水する技術が確立されていない。
- (e) 坑道内に搬入できる、小型で信頼性が高い試験装置が無く、その開発には時間を要する。
- (f) 地下水の地球化学的特性の観点からは、釜石鉱山は総延長距離約140kmにもおよぶ坑道が掘削されており、水理学的に乱された状態となっているため、地下深部の地下水に地下浅部の地下水が混入している可能性が高く、信頼性の高い本来の地下深部に関するデータが取得できないと予想される。

(4) 次年度計画概要

高い差圧が生じている環境で調査を行う場合必要な調査手法と解析手法の整理を行う。

参考文献

- 1) 鹿島建設株式会社(1994): 高差圧環境における地質環境条件の調査手法に関する研究、PNC ZJ1100 94-003

2. TASK 2 : 深部岩盤における掘削影響領域の評価

2.1 目的

岩盤中に坑道などの空洞を掘削するのに伴い、空洞周囲に掘削の影響を受けた領域（掘削影響領域）が発生すると考えられる。掘削影響領域の特性・広がり、掘削影響領域を対象に含む原位置試験の初期条件・境界条件の一部として不可欠な情報である。掘削影響領域の特性・広がりを定量的に把握し、それらを予測するための手法やそのシステムを確立するためには、掘削影響領域発生に関連するプロセスを理解することが必要である。掘削影響領域の発生のプロセスとしては、力学的には割れ目の発生や応力再配分、水理学的には不飽和領域の発生や間隙水圧の変化、地下水の地球化学的には空気の侵入などが重要であることが認識されてきている。掘削影響領域の諸特性の大きな計測・評価は現有技術で可能であるが、定量的な把握が課題となっている。また、掘削影響領域発生の各プロセスの関連性の評価も課題とされている。

釜石鉱山では既存坑道周辺に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。このため、結晶質岩における実例として掘削影響領域の特性・広がり的情報を取得することができる。また、新規に坑道を掘削しその影響を計測・評価することにより、掘削影響領域発生に関連するプロセスを理解することが可能である。これらの結果に基づき掘削影響領域をモデル化することにより、掘削影響領域の三次元的な分布を推定することや釜石原位置試験の成果を広く活用することができる。

この研究の目標は次の3項目である。

- ①掘削影響領域の特性・広がりを計測するシステムを開発する。
- ②結晶質岩における実例として、掘削影響領域の特性・広がりデータを取得する。
- ③掘削影響領域に関連するプロセスの重要性・関連性を評価する。

調査項目としては、力学的・水理学的な影響に関する調査項目として、「掘削影響領域の調査」、地下水の地球化学的な影響に関する調査項目として、「REDOX状態調査」を設定した。

平成5年度と6年度は、250mレベルの既存坑道を対象に、掘削影響領域に関する調査を実施する。これらの調査結果を基に、平成7年度からは新規坑道の掘削影響試験を実施する。

2.2 実施内容

平成5年度は、前述の①と②を目的として、平成6年度に備え、主に試錐孔の掘削や機器の製作設置を実施した。既存坑道における掘削影響領域評価では調査領域の決定、割れ目情報の整理、必要機器の製作などを行った。既存坑道周辺のREDOX状態調査では調査領域の決定、必要機器の製作などを行った。

(1) 調査対象場所の選定

(a) 割れ目調査

既存坑道における掘削影響領域評価の調査対象領域およびREDOX状態調査対象割れ目を選定するために、250mレベル坑道の壁面の割れ目調査を実施した。割れ目調査の結果に基づき、調査対象場所を選定した。

(2) 既存坑道における掘削影響領域評価

(a) 試錐

レイアウトを検討し、割れ目調査の結果に基づき決定された調査対象領域に、以下の試錐を行った。

間隙水圧観測用	50m × 2本 (KDH-1, KDH-2)
岩盤特性調査用	10m × 3本 (KDK-1, KDK-2, KDK-3)
地球物理学的調査用	20m × 2本 (KDT-1, KDT-2)

(b) コア観察、BTV観察

掘削された試錐孔のコアおよび孔内壁面を観察し、割れ目の特性（走向傾斜・開口幅・分布など）を調査した。

(c) 水理状態調査

既存坑道周辺の間隙水圧分布を把握するために、マルチパッカーシステムを製作した。本装置を間隙水圧観測用試錐孔2孔に設置し、間隙水圧の観測を開始した。

(d) 評価・解析

き裂系岩盤の解析手法を検討した。

(3) 坑道周辺の地下水のREDOX状態調査

坑道周辺の地下水のREDOX状態調査は、原位置における地下水水質モニタリング、解析コードを用いた予備解析、解析のインプットデータを取得するための室内試験からなる。以下に各項目の実施概要を記す。

(a) 原位置における地下水水質モニタリング

・パッカー式地下水採水装置の製作・設置

坑道壁面から深度ごとに地下水を採取できるパッカー式地下水採水装置を製作し、試錐孔内に設置した。

・地下水水質連続モニタリング装置の製作・設置

パッカー式地下水採水装置で区切られた、区間ごとの地下水の物理化学パラメータ（水温、pH、酸化還元電位（Eh）、電気伝導度、溶存酸素濃度）を連続モニタリングするための装置を製作し、パッカー式地下水採水装置と接続して、水質連続モニタリングを開始した。

(b) 解析コードを用いた予備解析

坑道壁面からの酸素の拡散による地下水の化学的性質への影響を仮定し、一次元拡散コードを用いてマトリックス部について、坑道壁面から岩体内部への地下水中の溶存酸素濃度の変化を推測した。

(c) 室内試験（Eh緩衝鉱物-水反応試験）

栗橋花崗閃緑岩から、Eh緩衝性に影響をおよぼすと考えられる黒雲母等の鉄を含有する鉱物の分離作業を行なった。また、Eh緩衝鉱物-水反応試験に使用する容器の気密性確認試験を行なった。

2.4 主要な成果

(1) 調査対象場所の選定

既存坑道における掘削影響領域評価の調査対象領域およびREDOX状態調査対象割れ目を選定するために、250mレベル坑道の第8試錐座付近の起点から奥の栗橋花崗岩体が分布する約440m間の坑道において、トレース長が坑道規模の約3m以上の割れ目を対象に調査を実施した。調査位置を図-2.1に示す。割れ目調査の結果を以下に示す。

- ・割れ目数：400本
- ・卓越方向：W-EからWNW-ESE方向で(図-2.1)、垂直
- ・開口している割れ目数：60本、開口幅は5mm以下
- ・変質部：赤色を帯び、幅は1cm~数十cm
- ・充填物：方解石と石英、および緑泥石と緑簾石が多く、厚さは数mm~数十cm
- ・湧水割れ目：調査範囲の0~200m区間に比較的多い

上記の割れ目調査の結果をもとに、既存坑道における掘削影響領域評価の調査対象領域およびREDOX状態調査対象割れ目を選定した。掘削影響領域評価については、掘削影響の要因(地質、割れ目、湧水など)ごとにそれらが及ぼす程度やそれらの関連性の評価が可能となるように設定した。REDOX状態調査については、単一割れ目において水質のモニタリングが可能な湧水の認められる割れ目を選定した。選定基準を以下に示す。

・掘削影響領域の評価(対象領域)

- ①地質：貫入岩や捕獲岩が岩盤の力学的・水理学的に影響するほど含まれていない比較的均質な栗橋花崗岩体である
- ②割れ目：均一で破砕体を含まない
- ③湧水：計測に不都合なほど湧水していない
- ④広がり：上記条件が50mの範囲で変動していない

・REDOX状態調査(対象割れ目)

- ①湧水のモニタリングが可能な程度の湧水が認められる
- ②充填物、変質幅、形態などに著しい変化がない
- ③周辺の割れ目密度が疎である

これらの選定基準を基に、掘削影響領域評価の調査対象領域を割れ目調査の起点から奥へ40mの範囲に、REDOX状態調査の調査対象割れ目を起点から奥へ82.1mの位置の割れ目を選定した。

(2) 既存坑道における掘削影響領域の評価

(a) 試錐

調査対象領域に、間隙水圧測定用、岩盤特性調査用および地球物理学的調査用試錐孔を掘削した。各試錐孔の位置、方位、仕様などを表-2.1に、各試錐孔のレイアウトを図-2.2に示す。既存坑道の西側には古生層などが分布しているため、平成7年度から実施する掘削影響試験のための坑道を、既存坑道の東側に展開することとした。また、この坑道の掘削時の間隙水圧変化が把握できる間隙水圧測定用試錐孔と、坑道掘削時の計測用の試錐孔に活用できる地球物理学的調査用試錐孔を除く試錐孔は、既存

坑道の西側に掘削し、坑道の東側の応力場や水理場を乱さないようなレイアウトとした。間隙水圧測定用の試錐孔は、他のTASKの工事や調査・試験の際の間隙水圧の変化を把握するために、調査対象領域の境界に掘削した。岩盤特性調査用試錐孔は、坑道の同一断面内の弾性係数と透水係数の分布を把握するように配置し、応力再配分の影響領域外にとどくように坑道径の3倍の10mの孔長とした。地球物理学的調査用の試錐孔2本は弾性波、比抵抗、レーダーのいずれのトモグラフィ調査も可能なように孔長およびそれらの孔間距離を20mに設定した。

・コア観察、BTV観察

上記の試錐孔およびそのコアについて、コア観察およびBTVによる孔壁観察を実施した。コア観察で確認された割れ目のうち、BTV観察によりその位置や走向傾斜が対応した割れ目を対象に、充填物の状態、閉鎖状態、変質の程度などに着目して分類し、それらの卓越方向を検討した。

なお、TASK1で実施した初期応力測定用の試錐孔(KM-2孔)は本調査対象領域にあるので、以下検討に加える。

各試錐孔のRQDは、KDH-1孔が平均75%であり、その他ののは85~95%であった。

各試錐孔で観察された割れ目のコンター(下半球投影、シュミットネットに示す。以下同様)を図-2.3および表-2.2に示す。また、全ての試錐孔の割れ目のコンターを図-2.4に示す。各試錐孔で観察された割れ目は、EW系、NE系、NW系の3方向に卓越していることが明らかになった。

各試錐孔で観察された割れ目が3方向に卓越するのは、それらの割れ目の成因・生成年代、およびその時の応力状態に依存していると考えられる。これらの要因と卓越方向との関係を検討するために、充填物の種類およびその割合、母岩および充填物の分離・破壊状況などに着目し、割れ目のタイプをA、B、C、Dの4種類に分類し、その卓越方向を検討した。タイプ別の割れ目の卓越方向と充填物の平均厚さおよび分類基準を表-2.3に示す。表より、充填物が厚い割れ目はEW系、薄い割れ目はNE系およびNW系であると推測される。

開口の有無により割れ目を分類し、その卓越方向を調べた。表-2.4に卓越方向を示す。開口割れ目の卓越方向は充填物が厚い割れ目の卓越方向と一致し、閉鎖割れ目の卓越方向は充填物が薄い割れ目の卓越方向と一致する。

変質の程度を5段階に分類し、各変質を伴う割れ目の卓越方向を検討した。変質の程度別の割れ目の卓越方向を表-2.5に示す。変質の程度が弱変質以上の割れ目の卓越方向はEW系であり、充填物の厚い割れ目の卓越方向と一致する。

以上、坑壁の割れ目調査(3m以上に割れ目を対象)およびBTV観察とコア観察による割れ目調査により、調査対象領域において観察された割れ目の特性や分布状況が把握できた。しかし、今年度掘削した試錐孔は水平面内で坑道軸に垂直な方向のものがほとんどであった。数値解析に必要となる割れ目の特性や分布状況の情報を三次元的に把握するためには、坑道に平行な試錐孔の情報を収集するとともに、鉛直方向の試錐孔の情報をさらに蓄積し、検討する必要がある。

(b) 水理状態調査

本調査対象領域の間隙水圧分布を把握するために、マルチパッカーシステムを製作

し、KDH-1およびKDH-2孔に設置した。本装置は1孔について最大6区間の間隙水圧の測定が可能であり、パッカーは個々に注水ラインを有し、独立に圧力を調整できるため、間隙水圧との差圧によりパッカーが破壊することを防ぐことができる。また、測定区間には注水と排水の2系統のラインを有し、パッカー設置時に混入する空気を排除できる。パッカー圧は隣合う測定区間の間隙水圧を測定しながら、それらの+1~2MPaで設定した。パッカー(長さ2m,有効長1.5m)位置は、コア観察やBTV観察結果を参考に、破砕部分や規模の大きい割れ目を避けるように決定した。パッカー位置と孔内状況を図-2.8に示す。また、設置後12日目の間隙水圧分布を図-2.9に示す。図には、影響圏を100mと仮定した飽和地盤(多孔質媒体)内の円孔周辺の水圧水頭(下式¹⁾による)も示した(放射状流を仮定)。

$$H = (H_0 / \ln R / r_0) \ln r / r_0$$

ここで、

H_0 : $r=R$ (影響圏の距離)における圧力水頭(地下水位面を標高600mと仮定)

r_0 : 孔の半径

r : 孔中心からの距離

間隙水圧は、上向き孔であるKDH-2の孔口付近を除き、全般的にこの理論値より低い傾向を示している。このことから、設置した試錐孔は、割れ目により、坑道や他の試錐孔と水理学的に連絡していると言える。

(c) 評価・解析

本調査領域の岩盤の掘削影響の解析を実施するに当たり、既存の解析手法の適用性を検討する。まず、掘削に伴う岩盤の変形挙動に与えるき裂の影響を検討するため、簡易なモデルを設定し、予備解析を実施した。解析手法はき裂の特性を考慮でき、かつ比較的解析事例が多いクラックテンソル理論による方法と個別要素法を用いた。き裂の幾何学的な配置は、図-2.10に示すように、傾斜が 30° で間隔が2mのき裂群と傾斜が 60° で間隔が1mのき裂群の計2組のき裂群が交差するように、規則的なき裂群を想定した。後述するように、岩石の内部摩擦角は 28° であるため、前者のき裂群はすべりを生じる境界付近の角度(30° 前後)に、後者のき裂群はすべりを生じる角度(30° 以上)に設定した。解析は平面2次元で実施し、坑道の断面は既存の坑道と同じく幅3.5m、高さ2.5mの矩形とした。解析ステップは初期応力の負荷および坑道掘削の2ステップである。初期応力としては被り圧相当(20.6MPa)を等方的に作用させた。クラックテンソルによる解析の入力値を表-2.6に示す。個別要素法による解析の入力値を表-2.7に示す。入力値は、250mレベル坑道から採取された岩石の室内試験とき裂のせん断試験により求めた。使用した解析コードは、クラックテンソルによる解析がSIGNASで、個別要素法による解析がUDECである。

クラックテンソルによる解析の結果を図-2.11に示す。本結果は個々のブロック辺を個々のき裂としてクラックテンソルを求めて解析を実施したが、比較のため、これらを解析領域を横切る連続的なき裂としてクラックテンソルを求めて解析した結果を図-2.12に、き裂を考慮しないケースとして要素を線形等方弾性体とした場合の解析結果を図-2.13に示す。これらの結果より、き裂の存在による岩盤の異方向性がクラックテンソルにより評価することができ、坑道掘削に伴う変形は、き裂群の傾斜方向に

卓越することが分かった。また、変形量はき裂の連続性に影響を受けていることが明らかになった。

個別要素法による解析結果を図-2.14に示す。図より、ブロックの突出やき裂の開口などの岩盤が不連続となる状況が分かる。

ブロックの辺を個々のき裂とした場合、両手法による変形量は近い値となった。また、その値はき裂を考慮しない線形等方弾性体とみなした解析結果より大きく、掘削に伴う岩盤の変形は、き裂の変形がその多くを占めると言える。

(3) 既存坑道周辺のREDOX状態調査

(a) 原位置における地下水水質モニタリング

・調査用試錐孔の掘削

坑道壁面の割れ目調査結果から選定された割れ目は、走向傾斜=N75°W90°S、最大開口幅=1mm、最大変質幅=7cm、白色および緑色充填鉱物を伴い、壁面から連続的に地下水が湧出している。この割れ目に沿って、坑道東壁面から約2mの深さまで調査用試錐孔(KRE-1、φ60mm)を掘削した(図-2.2)。掘削水としては、掘削による周辺岩盤中の地下水の水質への影響をできるだけ少なくするために、250mレベル坑道内に湧出する地下水を使用した。また、掘削に伴いKRE-1孔から岩盤中に空気が侵入すると考えられたため、空気が抜けやすいようにKRE-1孔をやや下向きに掘削した。

・バッカー式地下水採水装置の製作・設置

本装置は、バッカーラバーを機械的に押しつぶすことにより採水区間毎を遮水するメカニカルバッカー式採水装置である。本装置は1孔について最大4区間の地下水の採水が可能である。各採水区間には注入と排水の2系統のラインを持ち、注入ラインから水を注入し、排水ラインから排出することで採水区間内の空気を抜くことができる。図-2.15に本装置のKRE-1孔への設置状況を示す。採水区間は各々20cmである。

・地下水水質連続モニタリング装置の製作・設置

本装置は地下水の物理化学パラメータ(水温、pH、酸化還元電位(ORP)、電気伝導度、溶存酸素濃度)を大気に触れさせずに、かつ、連続的に測定できるモニタリング装置である。本装置ではORPの測定用に作用電極として金および白金を、参照電極として甘こう電極を用いている。図-2.16に、本装置とバッカー式地下水採水装置を接続した設置状況を示す。4つの採水区間のうち、区間2はほとんど地下水が湧出していなかったためモニタリングの対象から外した。また区間3および区間4も地下水の連続モニタリングをするには地下水の湧出量が少ない(10cc/min程度)ため、モニタリングするのが難しい状況である。一方、区間1は200cc/min以上の地下水の湧出量が得られており、現在連続モニタリング中である(図-2.17に区間1における40日経過後の酸化還元電位測定結果を示す)。

(b) 解析コードを用いた予備解析

坑道壁面から50cmの部分について、花崗閃緑岩のマトリックス部に対する拡散による酸素の侵入、花崗閃緑岩中の黒雲母などの酸化溶解に伴う Fe^{+2} の拡散および Fe^{+3} による酸素の消費速度を考慮した試解析を行なった。解析にあたっては、一次元拡散コードを用いた。その結果、既存の文献値などに基づく解析では、坑道内から拡散で侵

入ってきた酸素は、坑道壁面近傍でほとんど消費されると推測された。

(c) 室内試験 (Eh緩衝鉱物-水反応試験)

本試験では、花崗閃緑岩中の黒質母や磁鉄鉱などの酸化溶解に伴う水中の溶存酸素変化量を調べる。試験に先立ち、試験で使用する黒質母や磁鉄鉱などの鉱物分離を行った。また本試験では試験系が閉鎖系であることが必要なため、試験容器の気密性を確認する試験を行ない、容器の気密性を改善した。

2.5 次年度計画概要

平成6年度は、既存坑道における掘削影響領域評価では、平成5年度に掘削した試錐孔やそのコアを用いた調査・試験を実施する。また、製作設置した機器を用いてモニタリングを実施する。既存坑道周辺のREDOX状態調査では、平成5年度に製作した機器を用いて水質連続モニタリングを継続するとともに、室内試験および解析を実施する。

(1) 既存坑道における掘削影響領域評価

(a) 割れ目調査

応力調査を実施するため新たに掘削する試錐孔 (孔長15m 2本) のBTV調査およびコア観察を実施する。

(b) 応力調査

新たに掘削する試錐孔 (KDS-1.2, 孔長15m 2本) において、坑道壁面から複数の深度において応力測定を実施する。

(c) 岩盤特性調査

平成5年度に掘削した試錐孔 (KDK-1.2, 3) およびそのコアを利用して、透水試験、孔内載荷試験および室内物性試験を実施する。

(d) 水理状態調査

平成5年度に掘削した試錐孔 (KDH-1.2) に設置したマルチパッカーシステムを用いて、間隙水圧を観測する。

(e) 地球物理学的調査

既存坑道および平成5年度に掘削した試錐孔 (KDT-1.2) を利用して、弾性波トモグラフィ調査を実施する。また、坑壁において、レーダーによる反射法、弾性波による屈折法の調査を実施する。

(f) 評価・解析

各試験・計測で得られるデータを用いて数値解析を実施する。

(2) 掘削影響試験

既存坑道における掘削影響領域評価の結果に基づき、平成7年度から開始する本試験の詳細計画を立案する。

(3) 坑道周辺の地下水のREDOX状態調査

(a) 水質連続モニタリング

原位置におけるモニタリングでは、平成5年度に製作した装置 (パッカー式採水装置および水質連続モニタリング装置) を用いて、栗橋花崗閃緑岩中の地下水の酸化還元状態初期値と考えられるようなEhの低い地下水をモニタリングする予定である。

(b) 地下水の採水・分析

モニタリング箇所の採水・分析を実施する。

(c) 岩石試料の観察・分析

肉眼観察、顕微鏡観察、鉱物分析、化学分析を実施する。

(d) 室内試験

室内試験では、Eh緩衝鉱物-水反応試験により黒雲母などの酸化溶解に伴う水中の溶存酸素濃度の変化量を把握し、酸化還元反応速度定数を取得するとともに、栗橋花崗閃緑岩がもつEh緩衝能力を定量的に把握する。

(e) 予備解析

解析コードを用いた予備解析では、移流項を考慮した解析を実施する。また不飽和領域を考慮して、2相流シミュレーションコードにより坑道壁面から岩盤内部への空気の侵入範囲を予察的に推測する予定である。

参考文献

1) 石油鉱業便覧, 石油技術協会, 1983, p. 525

表-2.1 各試錐孔の位置、方位、仕様

試錐孔 No.	位置	方位	傾斜	孔径	孔長	用途
KDH-1	40.0 m	N257°	-1°	76 mm	50 m	間隙水圧観測
KDH-2	40.0 m	N257°	+90°	76 mm	50 m	間隙水圧観測
KDT-1	8.0 m	N257°	-1°	76 mm	20 m	トモグラフィー
KDT-2	23.0 m	N257°	-1°	76 mm	20 m	トモグラフィー
KDK-1	17.7 m	N 77°	-1°	76 mm	10 m	孔内載荷・透水試験
KDK-2	17.7 m	N 77°	+45°	76 mm	10 m	孔内載荷・透水試験
KDK-3	17.7 m	N 77°	-90°	76 mm	10 m	孔内載荷・透水試験
KM-2	23.0 m	N267°	+1°	76 mm	20 m	初期応力測定

※位置：第8試錐座近傍の割れ目調査開始点から坑道奥へ向かっての距離

※方位：北から東まわりの角度

※傾斜：水平面から上向きが+、下向きがマイナス

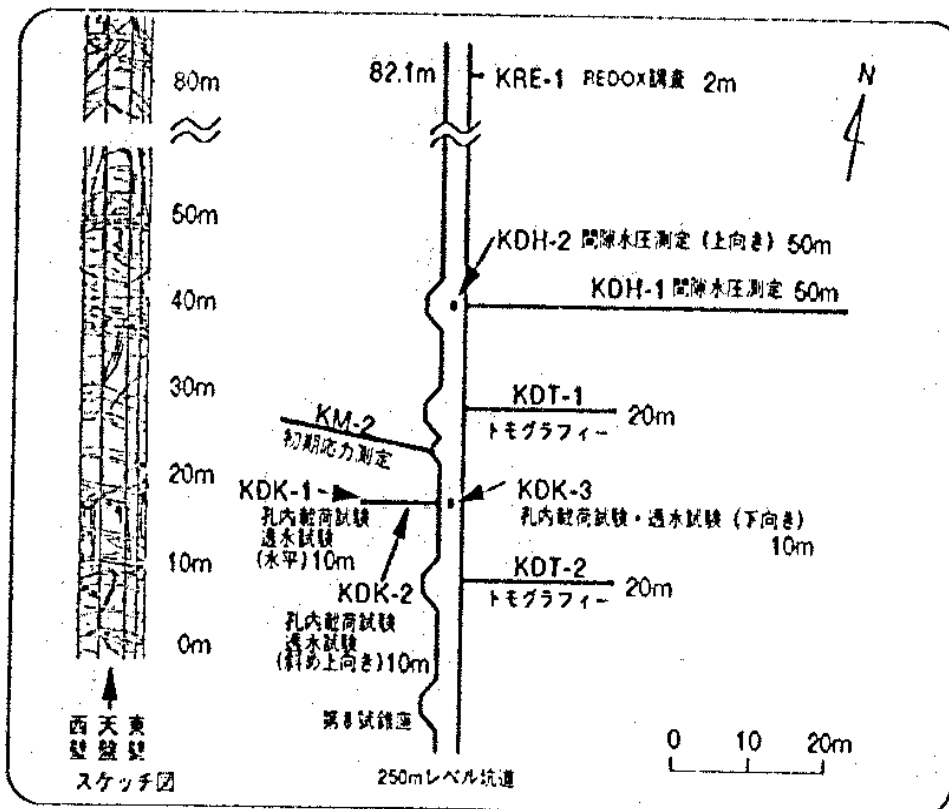


図-2.2 試錐孔レイアウト

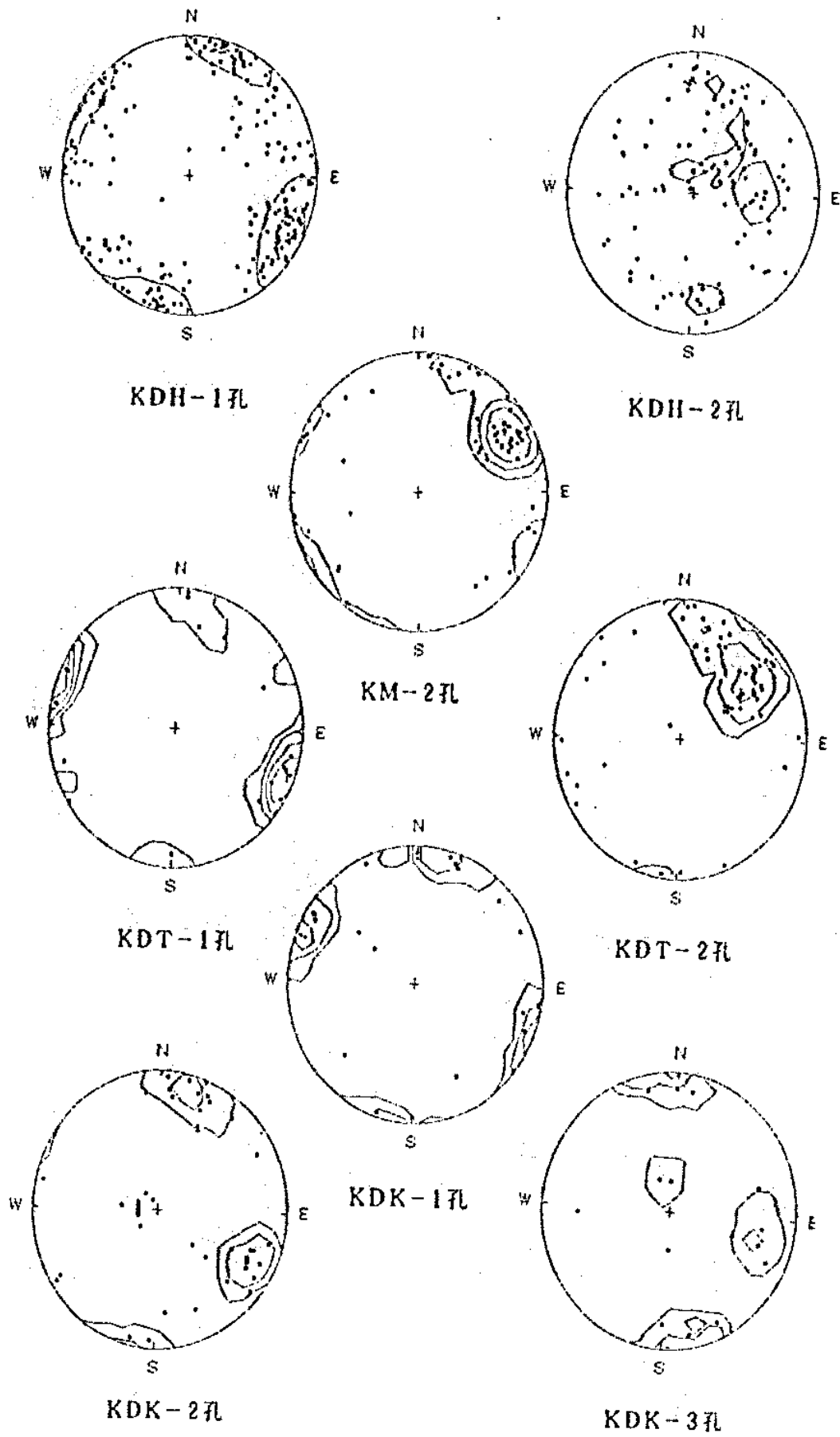


図-2.3 各試錐孔における割れ目コンター図

表-2.2 各試錐孔の割れ目卓越方向

試錐孔 No.	割れ目卓越方向
KDH-1	N75° W 90° , N28° E 80° NW
KDH-2	特になし
KDT-1	N20° E 85° NW , N88° W 80° SW
KDT-2	N38° W 65° SW
KDK-1	N30° E 85° SE , N75° W 85° SW
KDK-2	N25° E 70° NW , N75° W 80° SW
KDK-3	N10° E 65° NW , N75° E 90°
AM-2	N30° W 70° SW , N25° E 90°

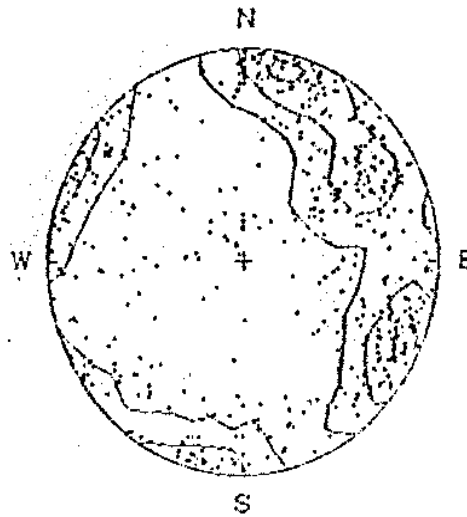


図-2.4 全ての試錐孔の割れ目コンター図

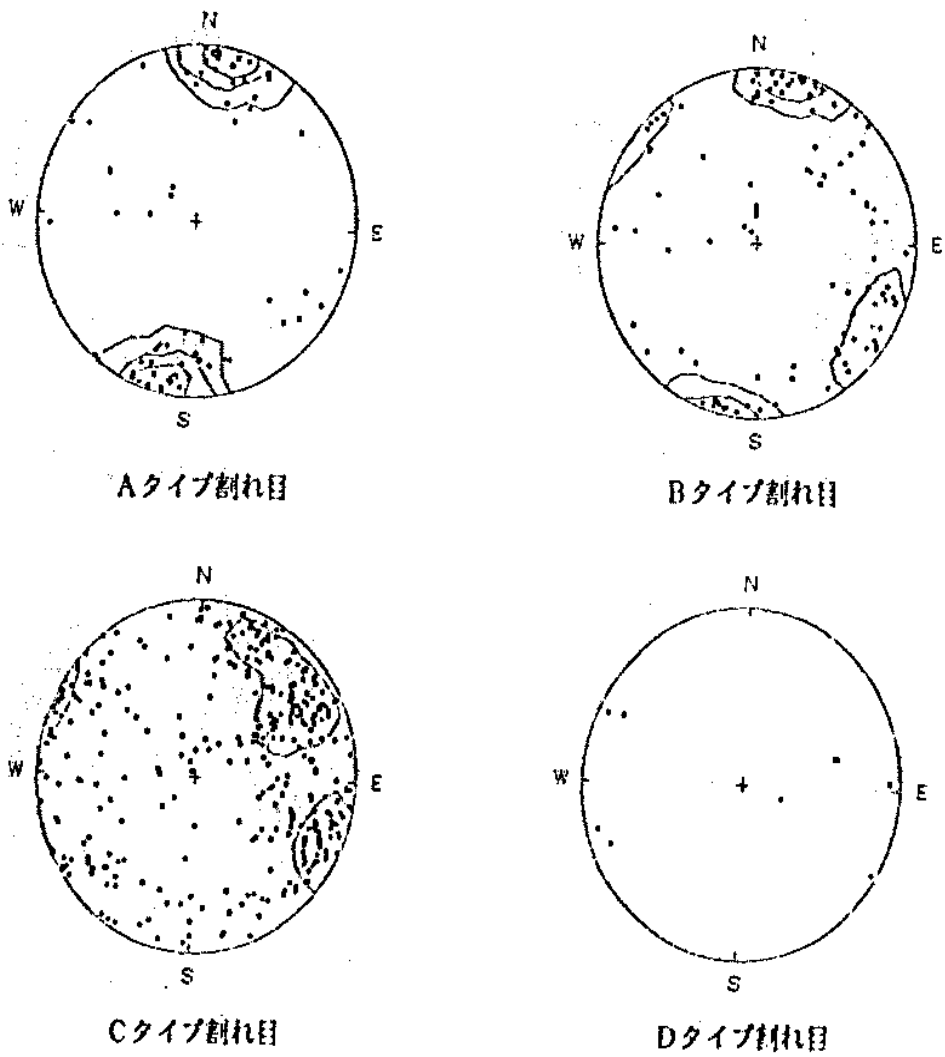
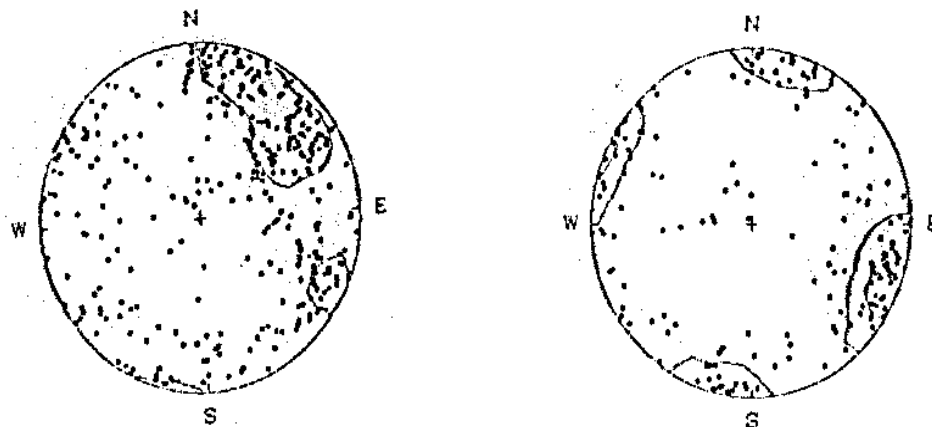


図-2.5 タイプ別の割れ目コンター図

表-2.3 タイプ別の割れ目卓越方向および平均充填幅

タイプ	試料数	割れ目卓越方向	平均充填幅
Aタイプ	64	N80° W 90°	14.8 mm
Bタイプ	105	N88° W 88° SW , N35° E 85° NW	2.4 mm
Cタイプ	345	N20° E 80° NW , N15° W 70° SW	0.4 mm
Dタイプ	9	不明	-

Aタイプ: 充填物のほとんどが粘土鉱物で母岩および充填鉱物の分離や破壊あり。
 Bタイプ: 充填物のほとんどが充填鉱物で母岩および充填鉱物の分離や破壊なし。
 Cタイプ: フィルム状の充填物を含む。あるいは充填物を含まず弱い変質あり。
 Dタイプ: 充填物を含まず変質なし。



開口割れ目

閉鎖割れ目

図-2.6 開口割れ目と閉鎖割れ目のコンター図

表-2.4 開口割れ目と閉鎖割れ目の卓越方向

開口の有無	試料数	割れ目卓越方向
開口割れ目	168	N80° W 90° , N25° E 80° NW
閉鎖割れ目	351	N55° W 70° SW , N25° E 80° NW

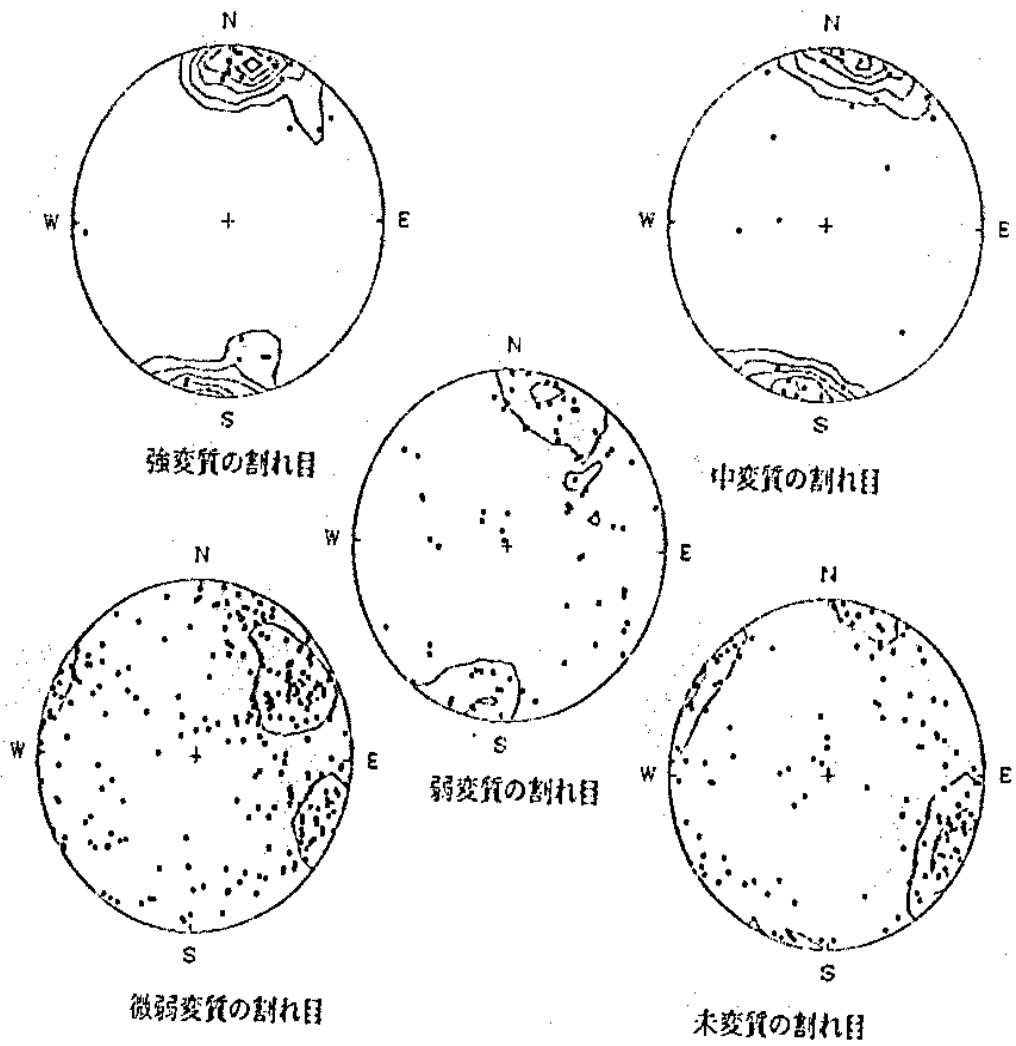
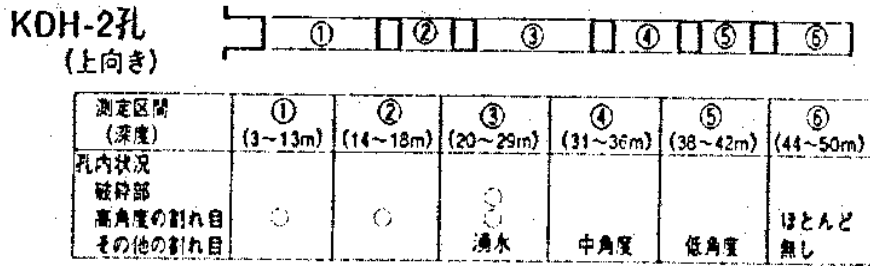
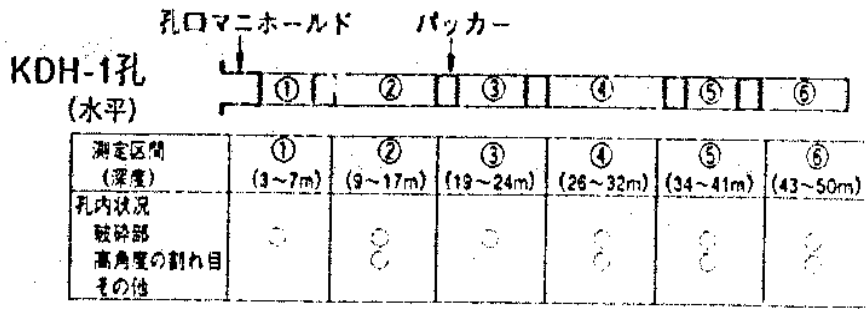


図-2.7 変質の程度別の割れ目コンター図

表-2.5 変質の程度別の割れ目の卓越方向

変質の程度	試料数	割れ目卓越方向
強変質	26	N80° W 85° SW
中変質	24	N75° W 90°
弱変質	74	N75° W 90°
微弱変質	266	N35° W 65° SW , N25° E 80° NW
未変質	140	N75° W 85° SW , N55° E 75° NW

- 強変質：割れ目全周で初生鉱物の変質および母岩組織の乱れが認められる。
- 中変質：割れ目全周で初生鉱物の変質、かつ一部で母岩組織の乱れが認められる。
- 弱変質：割れ目全周で初生鉱物の変質が認められる。
- 微弱変質：割れ目周辺の一部で初生鉱物の変質が認められる。
- 未変質：変質が全く認められない。



割れ目の角度は孔軸に対する角度

図-2.8 間隙水圧観測用バッカーの設置位置と孔内状況

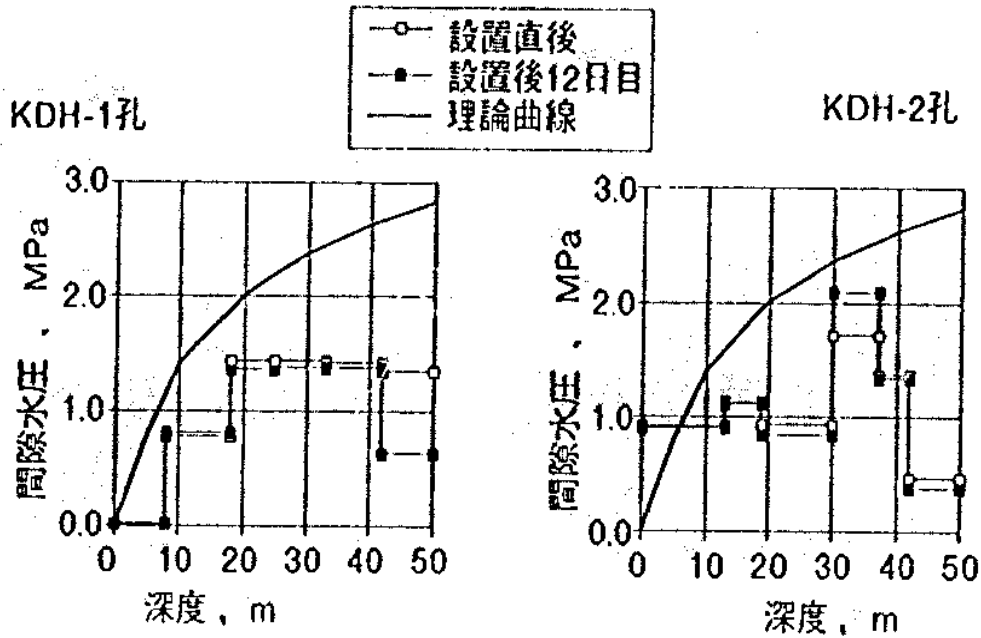


図-2.9 間隙水圧測定結果

表-2.6 クラックテンソル解析の入力値

弾性係数	E	58.6 MPa
ポアソン比	ν	0.31
き裂のせん断剛性	K_c	22.2 GPa/m
き裂の垂直剛性	K_n	$0.398 + 500 \sigma_c$ GPa/m

表-2.7 個別要素法による解析の入力値

岩盤	弾性係数	E	58.6 MPa
	ポアソン比	ν	0.31
き裂	粗さ係数	JRC _c	3.8
	き裂面圧縮強度	JCS _c	172 MPa
	せん断剛性	K_c	22.2 GPa/m
	残留摩擦角	ϕ_c	28°
	供試体のき裂長	l_c	0.1 m

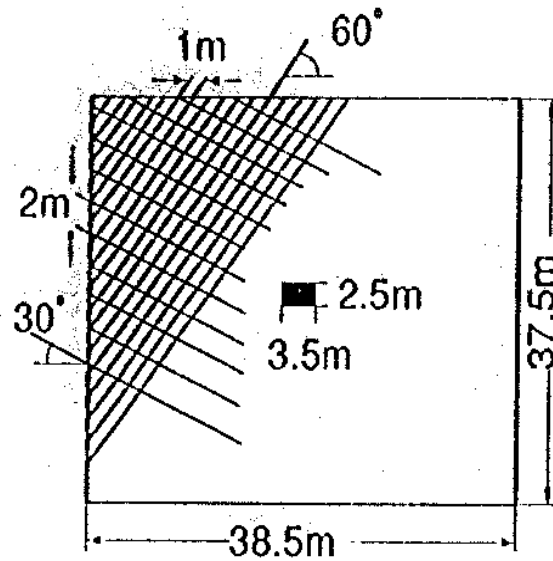


図-2.10 解析領域とき裂の幾何学的配置

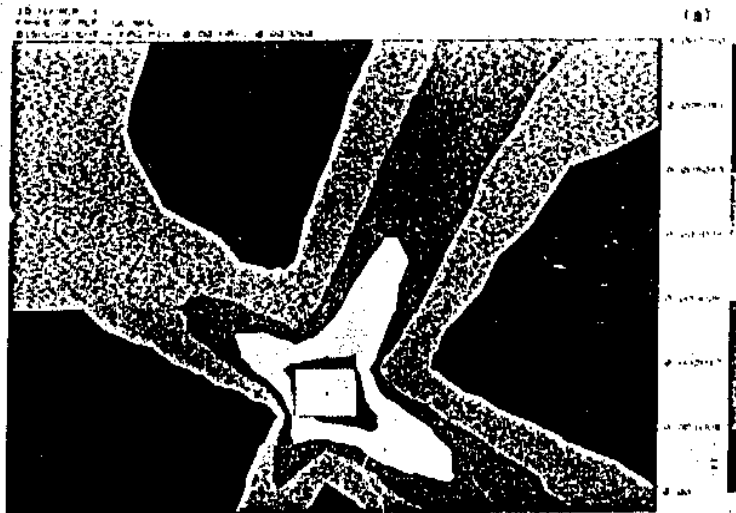


図-2.11 クラックテンソル解析の結果 (変位コンター)

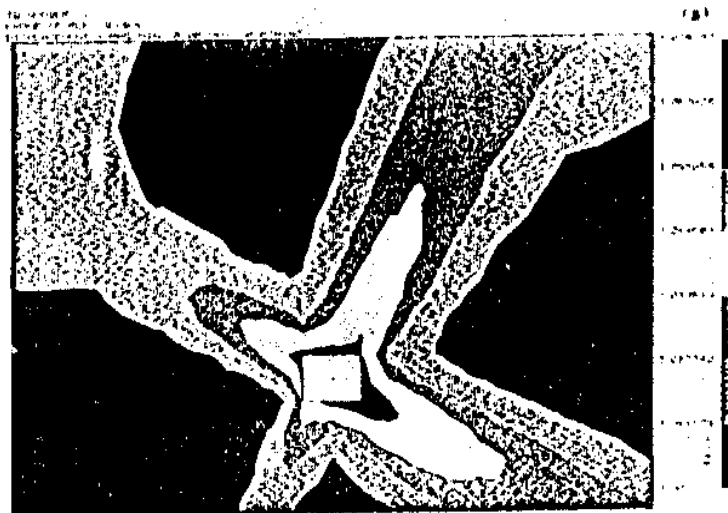


図-2.12 クラックテンソル解析の結果 (変位コンター, き裂長が長い場合)

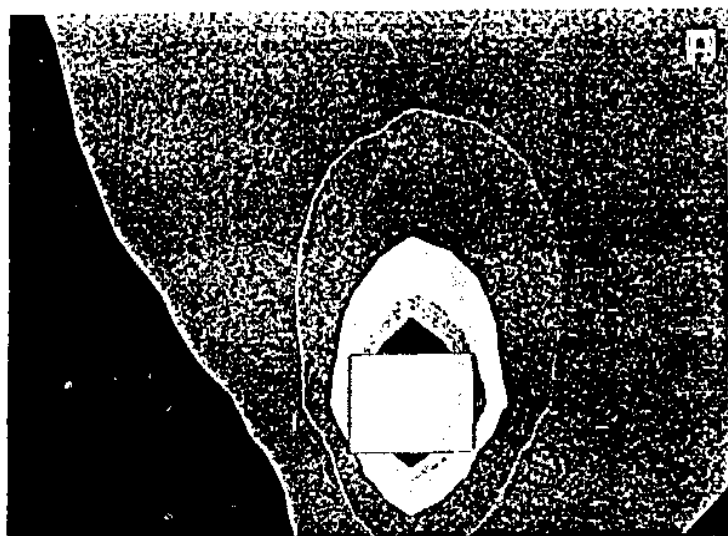


図-2.13 線形等方弾性体の解析結果 (変位コンター)

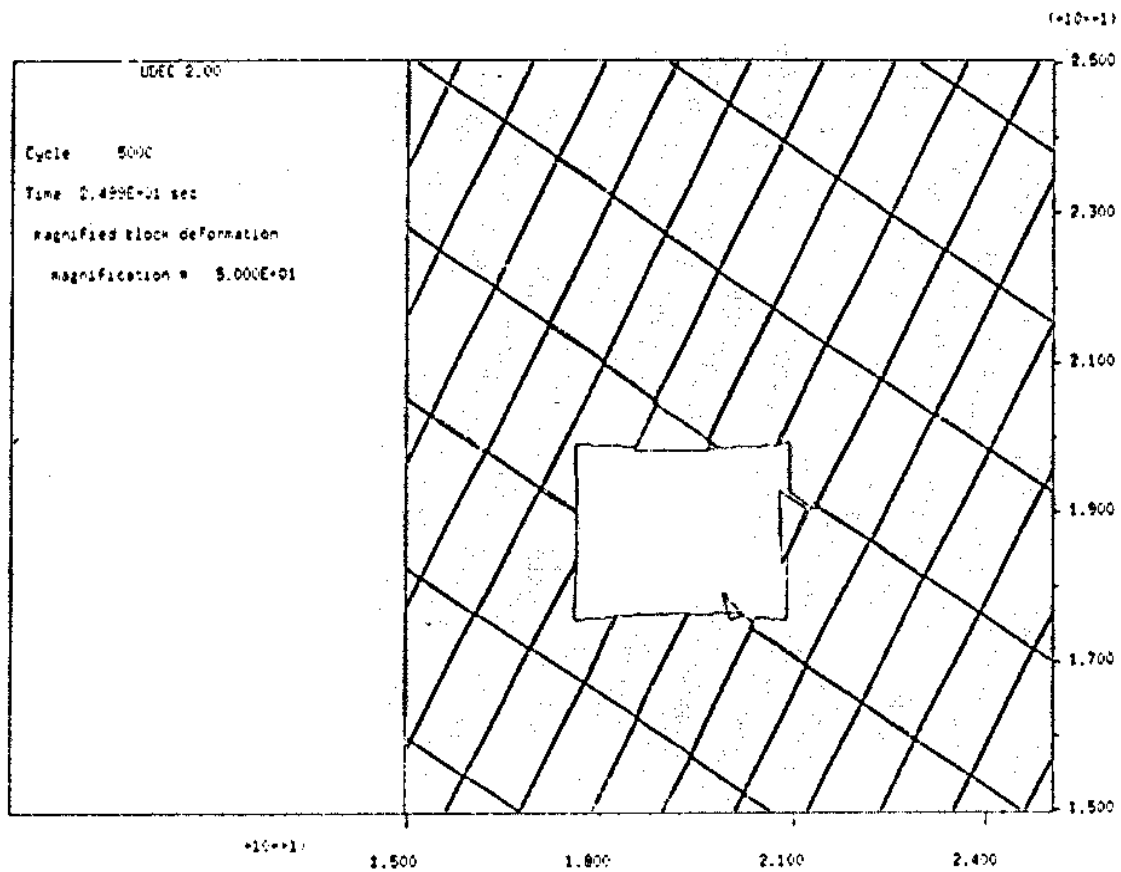


図-2.14 個別要素法による解析結果 (変形)

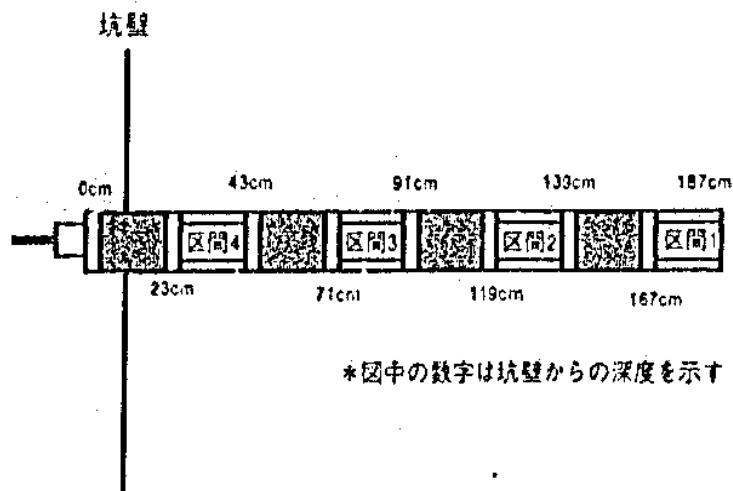


図-2.15 KRE-1 孔への坑道内採水パッカーシステム設置状況

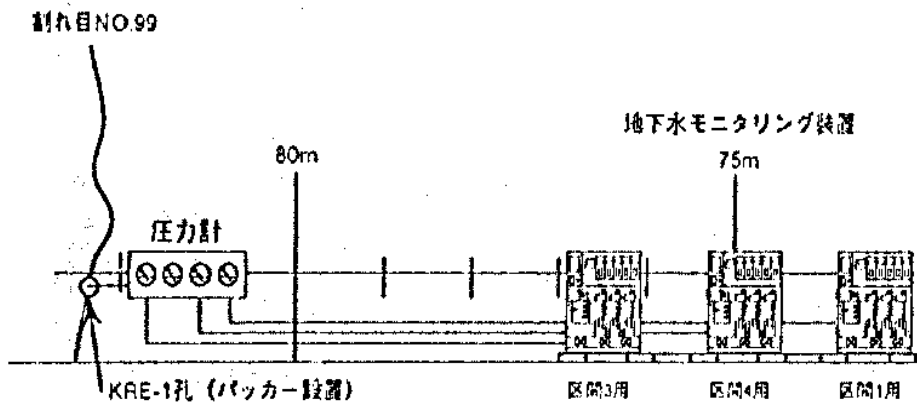


図-2.16 地下水モニタリング装置設置状況

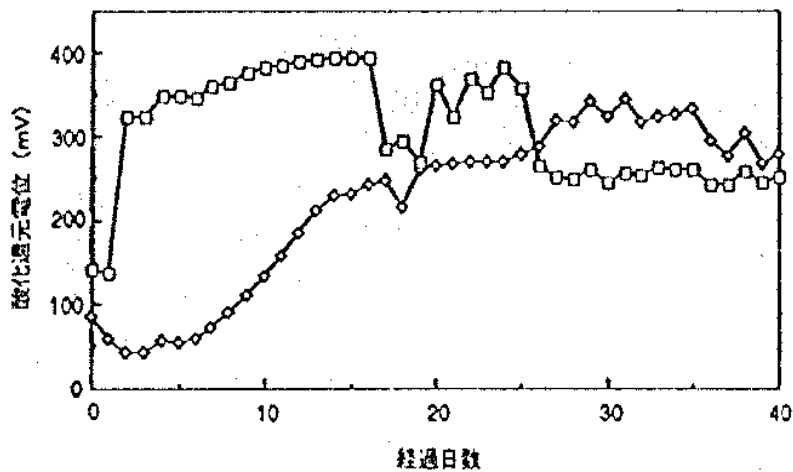


図-2.17 区間1における酸化還元電位測定結果 (40日経過)

3. TASK 3 : 結晶質岩の水理・物質移行に関する研究

3.1 SUBTASK 3-1 : 収着・マトリックス拡散に関する研究

(1) 目的

結晶質岩中での物質の移行経路として、基本単位となる単一割れ目中の物質の収着・遅延特性を把握する。

(2) 実施内容

平成5年度の実施項目および概要は、以下の通りである。

(a) 既存坑道における地質学的および地球化学的調査

① 既存坑道における割れ目調査

第2フェーズの主な試験場所となる250mレベル坑道での栗橋花崗閃緑岩を対象に割れ目に関する予察的調査を実施した。調査にあたっては、栗橋花崗閃緑岩中の長さ3m以上(少なくとも坑道規模で連続性が確認される)の天然の割れ目を選定し割れ目の形態・充填鉱物・変質などの割れ目特性を調べた。

また550mレベル坑道での割れ目特性に関する情報をも考慮して、物質の収着・遅延に影響をおよぼすと考えられる割れ目形態を分類した。

② サンプルング

室内における試験および調査に必要な岩石・地下水試料を採取した。なお岩石・地下水試料の採取は、250mおよび550mレベル坑道の両方で行なった。

(b) 室内における試験および調査

① 岩石・鉱物試料の分析

栗橋花崗閃緑岩中に存在する割れ目充填鉱物や割れ目周辺の岩石について、構成鉱物種の同定およびその量比を把握するためのX線回折分析を実施した。

② バッチ式収着試験

割れ目充填鉱物や割れ目周辺の岩石の収着能力を定量的に把握するために、ウラン溶液(^{235}U 溶液と釜石の地下水の混合溶液)を用いたバッチ式収着試験を実施した。

③ 移行経路調査

割れ目充填鉱物や割れ目周辺の岩石について、移行経路となり得る空隙を把握するために、染色試験および空隙率の測定を行なった。

④ 放射非平衡調査

割れ目充填鉱物や割れ目周辺の岩石について、ウランの移行挙動を把握するために、ウラン系列核種(^{238}U - ^{234}U - ^{230}Th) の放射能比を測定した。

(3) スケジュール

	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
(1) 既存坑道における地質学 的および地球化学的調査													
① 既存坑道における割れ目 調査				調	査								
② サンプリング									随	時	実	施	
(2) 室内での試験および調査													
① 岩石・鉱物の分析													
② バッチ式収着試験													
③ 移行経路調査													
④ 放射非平衡調査													

(4) 主要な成果

(a) 既存坑道における地質学および地球化学的調査

① 既存坑道における割れ目調査

250mレベル坑道における割れ目の予察的調査の主な結果は以下の通りである。詳細については、KTR93-02¹⁾にまとめられている。

- ・ 原位置試験の対象領域内に分布する栗橋花崗閃緑岩中には、東南東-西北西から東-西方向で垂直に近い割れ目が卓越する。
- ・ 割れ目充填鉱物は、主として白色を呈する方解石と石英、および緑色を呈する緑泥石と緑簾石である。

また、250mおよび550mレベル坑道の坑道壁面観察により、割れ目における物質の収着・遅延に影響をおよぼすと考えられる割れ目の構造を、

- A. 充填鉱物を伴う単一割れ目
- B. 充填鉱物および赤色変質部を伴う単一割れ目

C. AとBが複合した割れ目帯
の3つのタイプに分類した(図-3.1)。

② サンプリング

サンプリングにあたっては、単一割れ目の構造をなす割れ目充填鉱物、赤色変質部および未変質部の各部分における物質の収着・遅延特性を室内試験により把握するために、Bタイプの割れ目を対象とした。

試料の採取は250mレベル坑道では、割れ目No.58,69,70,99,100,128の6ヵ所において、550mレベル坑道では岩盤内粘土挙動試験の対象となった割れ目(1ヵ所)で行なった。

(b) 室内での試験および調査

① 岩石・鉱物の分析

割れ目充填鉱物、赤色変質部および未変質部の各部分についてX線回折分析を実施し、構成鉱物の種類・量比を把握した。

表-3.1に割れ目No.69,70の試料を用いたX線回折分析結果を示す。また各部分の構成鉱物およびその量比は下記の通りである。

割れ目充填鉱物では、

肉眼観察した場合の色の違いにより6種類(白色・ピンク色・黄緑色・緑色・灰色・黒色)に区別した。

主な構成鉱物およびその量比は、方解石・束沸石>緑泥石・石英・濁沸石・斜長石>黒雲母・絹雲母・ぶどう石の順である。

また変質部では、

石英・斜長石>緑泥石>カリ長石・角閃石・絹雲母>方解石・緑簾石・スフェーン

未変質部では、

石英・斜長石>黒雲母>カリ長石・角閃石・緑泥石>絹雲母・スフェーン・磁鉄鉱の順となっている。

② バッチ式収着試験

割れ目における物質の収着能力を把握するため、割れ目充填鉱物、赤色変質部および未変質の各試料について¹³³U溶液を用いたバッチ式収着試験を実施した。試験試料は、割れ目No.69,70の試料を用いて行なった。表-3.2に収着試験の条件を示す。収着試験の結果(表-3.3)、ウランの収着係数は赤色変質部で5ml/g程度、未変質部で3ml/g程度となった。また割れ目充填鉱物の中には、収着係数が10ml/g程度と他の試料に比べて大きな収着係数を示す部分が認められた。

③ 移行経路調査

岩盤内粘土挙動試験の対象となった割れ目について、割れ目充填鉱物、赤色変質部および未変質部の各部分における移行経路を同定するため染色試験を実施した。また同一試料について各部分の空隙率も測定した。染色試験の結果から、割れ目充填鉱物および赤色変質部は未変質部に比べて微小な移行経路が多く認められた。また空隙率測定結果から、空隙率は割れ目充填鉱物で約8%、赤色変質部では約4%、未変質部では約2%となった。

④ 放射非平衡調査

550mレベル坑道の岩盤内粘土挙動試験の対象となった割れ目について、割れ目充填鉱物、赤色変質部および未変質部の各部分におけるウラン系列核種の放射非平衡調査を行った。表-3.4に各部分におけるウラン濃度、 $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ および $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ の放射能比を示す。ウラン濃度に関しては、各部分において違いが認められる。 $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ の放射能比は、いずれの部分においても放射非平衡である。一方 $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ の放射能比は、充填鉱物では放射平衡であるが、赤色変質部および未変質部ではウランの移行による放射非平衡状態が認められた。

以上、室内での試験および野外調査により割れ目充填鉱物、赤色変質部および未変質部の各部分において物質の収着・遅延に寄与すると考えられる空隙構造や収着能力に違いがあることが判った。また各部分でのウランの移行挙動は、一様ではないことが天然のウラン系列核種の挙動からも明らかになった。このことは、先に述べた割れ目タイプにおいて、割れ目充填鉱物、赤色変質部および未変質部での物質の収着・遅延特性が異なることを示すものと考えられる。

(5) 次年度計画概要

平成6年度も引き続き、原位置および室内において、より詳細な試験および調査を継続し、割れ目における地質学的・地球化学的情報を蓄積する。また分類された割れ目タイプごとにカラム式拡散試験を行ない、岩芯サンプルの割れ目タイプごとの物質の収着・遅延特性の違いを把握する。

参考文献

- 1) 動燃事業団(1993): 釜石鉱山250mレベル坑道における割れ目特性の予察的調査, PNC TN7410 93-032

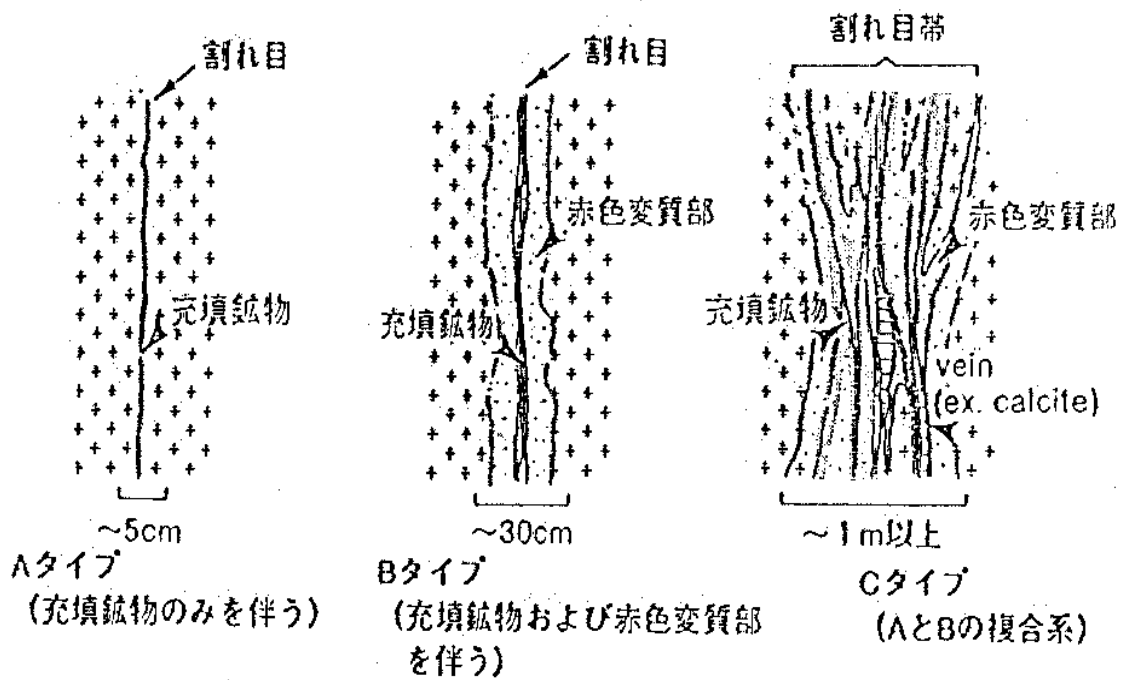


図-3.1 割れ目形態にもとづき分類された割れ目タイプ

表-3.1 X線回折分析結果

	石英	斜長石	カリ長石	黒雲母	角閃石	緑泥石	絹雲母	ぶどう石	方解石	輝黒石	スフェーン	濁沸石	東沸石	緑柱
充填鉱物1 (白色)									⊙				○	
充填鉱物2 (ピンク)								×				⊙		
充填鉱物3 (灰白色)	○	×				×			×	⊙				
充填鉱物4 (緑色)	△	△			×	⊙	×	×				○	○	
充填鉱物5 (灰色)	×					△			⊙			×	○	
充填鉱物6 (灰色)	×	×			⊙	○	×		×				△	
充填鉱物7 (混合)	○	△			×	○	×	×	⊙	△		○	⊙	
赤色変質部	⊙	⊙	△	○	△	△	×				×			×
赤色変質部	⊙	⊙	△		△	○	△		×	×	×			

注: 充填鉱物7 (混合) は、充填鉱物1~6を混合した試料。 鉱物組成 (量比): ⊙ (多量) > ○ > △ > × (微量)

表-3.2 収着試験条件

固液比	1 : 10
溶液 (ウラン溶液)	²³⁵ U溶液と釜石地下水の混合液
固相量	5 g
固相粒度	< 250 μm
液相ウラン濃度	2720 μg
雰囲気	大気
温度	室温 (22℃)
試験期間	14日

表-3.3 収着試験結果

	pH	Eh (mV)	液相中のウラン濃度 (μg/l)	Rd (ml/g)
初期溶液	8.16	382	2720	—
充填鉱物 1 (白)	8.61	416	1870	4.4
充填鉱物 2 (ピンク)	8.44	428	2675	< 0.1
充填鉱物 3 (黄緑)	8.80	407	2375	1.3
充填鉱物 4 (緑)	8.55	403	2130	2.6
充填鉱物 5 (灰色)	8.42	411	1298	10.8
充填鉱物 6 (黒)	8.43	401	2030	3.3
充填鉱物混合*	8.47	405	1868	4.4
赤色変質部	8.51	390	1800	5.0
未変質部	8.70	382	2125	2.7

* 充填鉱物混合 : 充填鉱物 1 ~ 充填鉱物 6 を混合した試料

表-3.4 放射非平衡調査結果

	充填鉱物	赤色変質部	未変質部
U含有量(ppm)	20.5	7.5	3.8
²³⁵ U / ²³⁸ U	1.03 ± 0.01	1.10 ± 0.03	1.03 ± 0.02
²³² Th / ²³⁸ U	1.03 ± 0.07	2.01 ± 0.15	1.30 ± 0.09

3.2 SUBTASK3-2: 移流及び分散に関する研究

(1) 目的

結晶質岩中の物資移行においては、移行経路となる個々の割れ目におけるマトリクス拡散および収着が主要な遅延メカニズムとなるが、この遅延効果は、地下水と接触する割れ目表面積に支配される。割れ目表面積は、透水性割れ目のネットワークおよび各割れ目内のチャンネルングにより決定される。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ルングは、割れ目形状に関する調査と水理試験、非収着性トレーサー試験を行うことにより調査することができる。

したがって、これらの試験をもとに、割れ目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の取得を行う。

(1) 実施内容

本研究の実施項目および概要を以下に記す。

(a) 水理試験およびトレーサー実施場所の選定

平成4年度に進めたKH-19 孔で観測された間隙水圧データをもとに、坑道掘削等による擾乱が比較的少なく、トレーサー試験を実施するに当たって有効な「吸い込み（以下、シンク (sink) と記す）」を設定可能な、間隙水圧が安定した場所を選定した。また、NW坑道で採取された割れ目からの湧水データとKH-19 孔で観測された間隙水圧データ、KD-90 坑道周辺の試錐孔においてKH-19 掘削中および掘削後に観測された間隙水圧データの変動をもとに、KH-19 孔の深度50m付近に認められた低透水性ゾーンについて検討した。

(b) 試験計画の策定

試験計画の策定作業を進め、アクセス坑道や試錐孔のレイアウトを決定した。

(c) 試験機器の設計

水理試験・トレーサー試験共に実施可能なパッカー装置の設計を行なった。

(3) スケジュール

	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
(a)水理試験およびトレーサー実施場所の選定													
(b)試験計画の策定													
(c)試験機器の設計													

(4) 主要な成果

(a) 水理試験およびトレーサー試験実施場所の選定

KH-19 孔の進捗時に、毎日作業終了時に口元にブルドン管およびバルブを取り付け

た蓋をした。毎朝、作業前にブルドン管の圧力指示値を記録するとともに、バルブを開放し湧水量を測定した。この際の間隙水圧データおよび湧水量データから、KH-19 孔口から47.3m ~53.45mの間で圧力、湧水量の急増が観測されこの間で高水圧帯に達したと考えられた(図-3.2)。湧水量の増加の原因については、透水性の増加も原因として考えられるが、パッカー設置後に各パッカー区間に接続するラインを開放し、その際の間隙水圧と湧水量とから透水係数を簡易的に以下の式により計算すると、

$$K = \frac{Q}{2 \pi L P} \cdot \ln \frac{L}{r}$$

ここに、K:透水係数(cm/s)

Q:湧水量 (cm³/s)

L:パッカー区間長(cm)

r:試験孔半径(cm)

P:湧水圧から換算した水頭(cm)

47.3m ~53.45mを含む区間の透水係数は、 5.2×10^{-7} cm/sであった。他の区間から得られた透水係数の多くは 10^{-7} ~ 10^{-8} cm/sのオーダーであり、本区間は他区間と同様な値を示す。このことから、本区間の湧水量の急増は透水性の増加によるものではなく、間隙水圧の増加によるものであると推定された(図-3.3)。したがって、47.3m ~53.45mを含む区間は、それを横切る方向に水を通しにくい低透水性ゾーンが存在するものと考えられる。この低透水性ゾーンが高圧部と低圧部を隔離していると考えられ、以下このゾーンを「水理バリア」と記す(図-3.4)。この水理バリアが、地質的に何に対応するかは現時点では明確ではない。NW坑道で観測された割れ目からの湧水量(NW坑道入口からの累積)によると(図-3.5)、NW坑道入口から640m付近(KD-88坑道入口から220m付近)に湧水量が急増する箇所が存在する。この箇所は、TASK 1で示したように東西方向の走向を持つ「割れ目集中ゾーン」であると推定されている。水理バリアが地質的に何に対応するかの一つの可能性としてこのゾーンが対応している場合がありうるが、この仮説については、今後新たな試験孔を掘削する際の検討課題となっている。

(b) 試験計画の策定

試験計画については、以下のような特徴を有している。

- ①水理的擾乱の少ない領域を選定することによるトレーサー試験時のシンク効果の有効性の確保
- ②短い試験孔間隔による割れ目の連結性の把握
- ③試験孔掘削自体を試験の一環として利用
- ④非吸着性トレーサーの使用

①については、坑道近傍においてトレーサー試験を行った場合、坑道に向かった動水勾配が発生しており、試験孔をシンクとしても坑道の方が規模が大きく試験孔が有効なシンクとして作用せずトレーサーの回収率が不十分となる可能性が高い。このため、水理バリアの反対側の領域を用いることで坑道の影響を排除するよう配慮した。

②については、孔間透水試験、トレーサー試験の正確な解釈を行うためには移行経路となる割れ目のネットワーク構造を把握する必要がある。釜石の割れ目の特徴は、分岐・合流が著しく、2~3m毎に分岐・合流している場合が多い。このため、試錐孔間隔を大きくとると、その間の構造が理解できなくなる可能性が高い。ポアホールTVから得られる割れ目の方向データを用いて割れ目の連結性を確認するために、試錐孔間隔を2mとした。

③については、試錐孔を掘削する場合は、必ず前の試錐孔に設置したパッカー装置の各区間圧力が自然状態に復旧してから、次の試錐孔を掘削することにより、掘削中に透水性割れ目に遭遇した際の、急激な圧力低下が周辺の試錐孔で観測できるようにした。これにより、掘削中の試錐孔中の透水性割れ目の位置が同定可能となるとともに、周辺の試錐孔の各パッカー区間との水理的連結も調査することが可能となる。

④については、非収着性トレーサーに加えて、収着性トレーサーを使用することが性能評価の観点からは望ましいが、収着性トレーサーの使用に際しては化学的变化が非常に重要となり、機器の特性を始め、対象割れ目内に種々のトレーサーを加えることによる化学変化まで管理する必要が生じるなど、非収着性トレーサーに較べ技術的に困難性が飛躍的に増加するため今回は非収着性トレーサーのみを使用することとした。

(c) 試験機器の設計

試験機器の設計に際しては、以下の点に配慮した。

- ①各試錐孔とも主要試験区間（単孔・孔間透水試験、トレーサー試験）を3区間配置（図-3.6）
- ②水理バリア奥から試錐孔を通して、坑道方向へ圧力が伝播することをおさえるために、水理バリアより坑道側に2つのパッカーを設置（図-3.6）
- ③全パッカー区間（基本は7区間）において間隙水圧測定および単孔・孔間透水試験が可能（図-3.7）
- ④主要試験区間においては、間隙水圧測定、温度測定、単孔・孔間透水試験およびトレーサー注入・回収が可能（図-3.7）
- ⑤トレーサー注入に際しては、注入用配管（ライン）の他に回収ラインを設け、試験区間内のトレーサーの洗い流し（フラッシング）が可能（図-3.8）

主な仕様

- ・使用試錐孔径:76mm
- ・ロッド: 直径 2-3/4インチ、ステンレス製
- ・パッカー: 直径 2-5/8インチ（収縮時）、パッカー長1m
- ・圧力センサー: Druk社製 PDCR312または330 シリーズ圧力計、または同等品
 - 圧力レンジ 0-500psi
 - 精度 0.05%
- ・濃度センサー: Engineered Systems and Design of Network社製または同等品
- ・チューブ類:
 - 注入ライン:1/4インチ

回収ライン:3/8インチ

圧力ライン:1/8インチ

(5) 次年計画概要

平成6年度においては、以下の作業を予定している。

- ①水理バリアの延長を確認するためKH-20 孔を雑進する。その際、KH-19 孔とKH-20 孔間の水理的連結性を調査するために、KH-19 孔に圧力計を設置しKH-20 孔雑進時のKH-19 孔への圧力応答を観測する。
- ②KH-19 孔及びKH-20 孔において、高精度熱脈検層 (heat pulse log) を行い、透水性割れ目の位置およびその水理特性を推定する。
- ③アクセス坑道を掘削した後、KH-20 孔に水理試験・トレーサー試験用のパッカー装置を設置する。

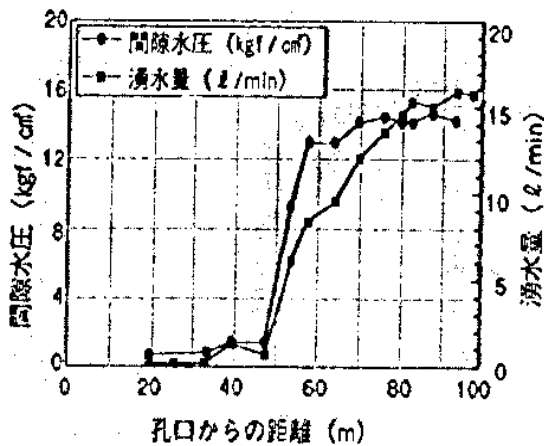


図-3.2 KH-19孔掘削時の間隙水圧と湧水量

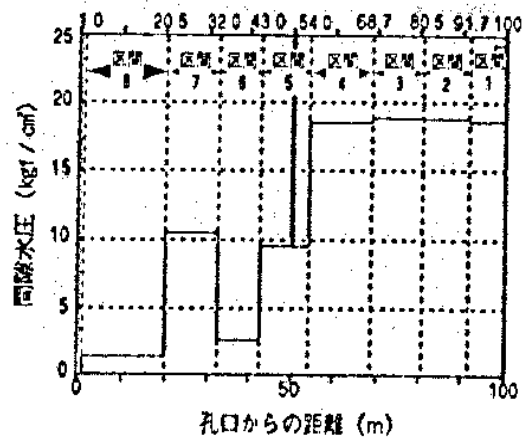


図-3.3 KH-19孔における間隙水圧分布

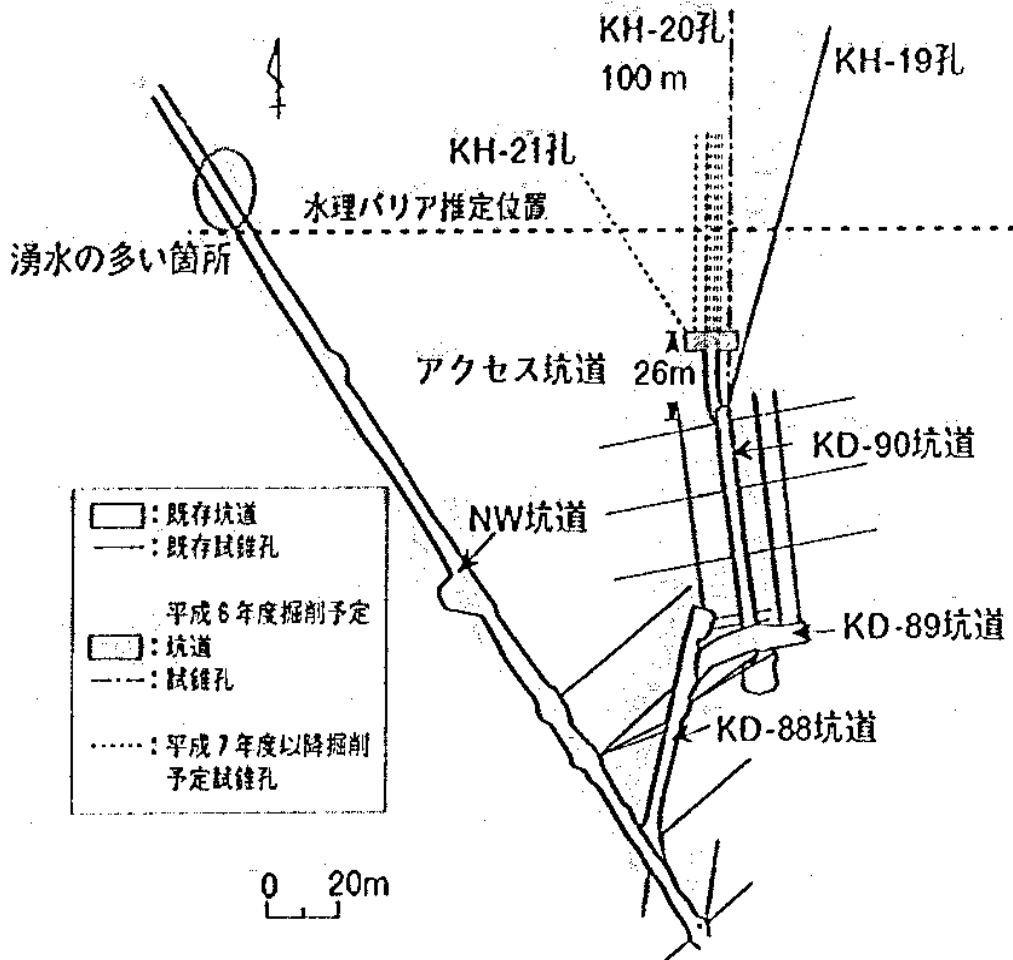


図-3.4 水理バリアと試験実施位置

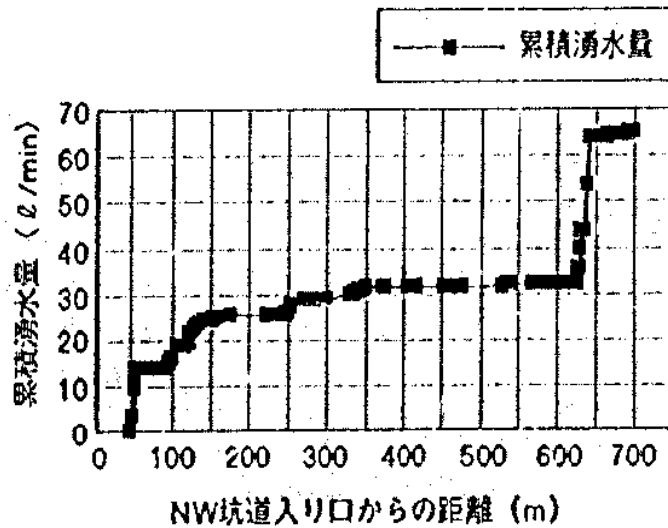


図-3.5 NW坑道の湧水量 (NW坑道入り口からの累積)

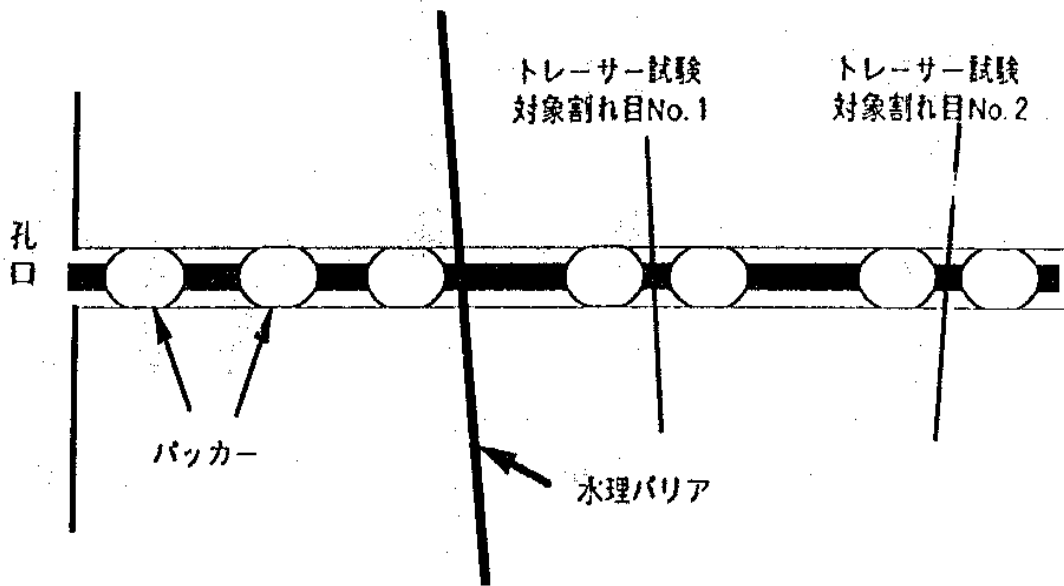


図-3.6 バッカー配置図

孔口 ゾーン	中間 ゾーン	水理バリア ゾーン	対象割れ目 NO.1	中間 ゾーン	対象割れ目 NO.2	中間 ゾーン
1	2	3	4	5	6	7
圧カライン 注水ライン	圧カライン 注水ライン	圧カライン 注水ライン 排水ライン 電気伝導度 センサー 温度 センサー	圧カライン 注水ライン 排水ライン 電気伝導度 センサー 温度 センサー	圧カライン 注水ライン	圧カライン 注水ライン 排水ライン 電気伝導度 センサー 温度 センサー	圧カライン 注水ライン

図-3.7 センサー配置図

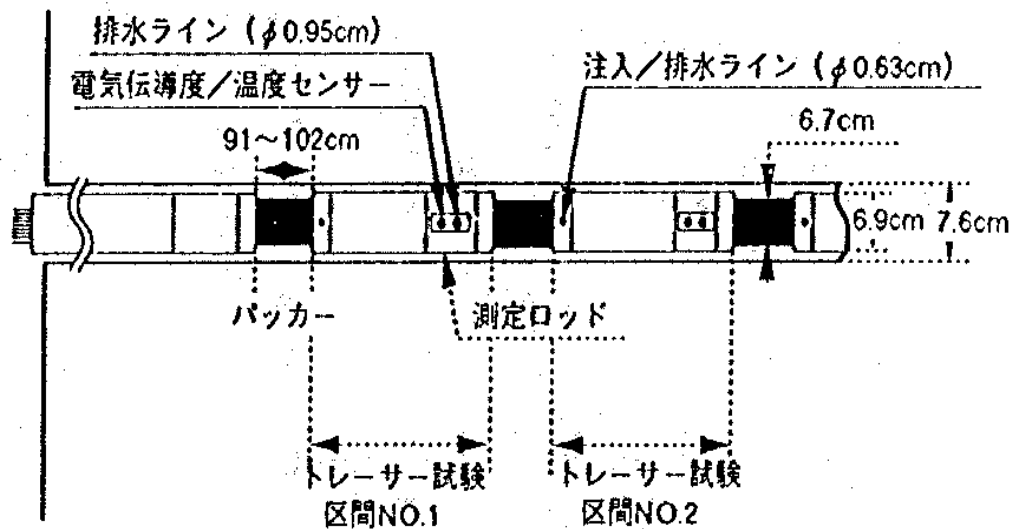


図-3.8 バッカー装置の概念設計図

4. TASK 4:人工バリア試験

4.1 目的

(1) 割れ目帯のグラウト技術の適応試験

粘土系グラウトは、セメントグラウトに比べて長期耐久性、低濃度でゲルを生じうる吸収性、微細な亀裂にも注入できるような小さな粒径等の長所を有している。しかしながら、原位置における施工例も少ないことから、原位置における粘土系グラウト試験を実施し、亀裂性状（主として亀裂幅）、施工条件（注入圧、粘性度）とグラウトの基本特性（安定性、止水効果、改良範囲）との関係を確認する。これらにより、施工条件の明確化、シーリング概念の詳細化を図る。

(2) 粘土膨張・熱負荷による緩み領域の影響評価

人工バリアの施工方法とその品質は、人工バリアの定置方式、その規模および環境条件（湧水量や岩盤と人工バリアの接合面の条件）に依存する。そのため、ここでは人工バリアの定置方式、その規模および環境条件に関して、原位置で実規模の人工バリア試験を行い施工性とその品質を確認する。これにより、人工バリア性能の定量化のための実際的な施工条件の明確化および人工バリア技術の信頼性向上を図る。また、熱-水-応力の連成試験を実施し、人工バリアの設置初期の熱-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。これにより、長期の人工バリア挙動予測の信頼性を高める。

(3) 岩盤内粘土充填試験

原位置岩盤の割れ目を介した地下水の浸入によるベントナイトの膨潤圧、水分量の変動および不均質性の把握、粘土および岩盤の熱伝導特性の把握および粘土の膨潤圧が周辺岩盤に与える影響の把握を行う。

4.2 実施内容

(1) 割れ目帯のグラウト技術の適応試験

(2) 粘土膨張・熱負荷による緩み領域の影響評価

(1)および(2)に関して、平成5年度は、試験計画の策定作業を進め、試験場所の選定およびレイアウトを決定した（図-4.1参照）。

(3) 岩盤内粘土充填試験

本試験は第1フェーズから継続して実施したものである。平成5年度は、計測を継続するとともに、計測データの整理を行った。また、試験終了後ベントナイトのサンプリングを行った。

① 計測

平成4年度に引き続き、膨潤圧、温度、間隙水圧、岩盤ひずみ、亀裂開口幅の測定を行った。

② サンプリング

試験設備の解体により、計測装置の回収を行った。計測装置周辺のベントナイトを重点的に選択し、密度（乾燥・湿潤）及び含水率を測定し、ベントナイト内の分布を把握した。また、試験孔周辺で観測された浸出物および試験孔内部のベントナ

イトのサンプリングを行なった。

4.3 スケジュール

	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
(1) 割れ目帯のグラウト技術の適応試験 ① 試験計画の策定												
(2) 粘土膨張・熱負荷による緩み領域の影響評価 ① 試験計画の策定												
(3) 岩盤内粘土充填試験 ① 計測 ② サンプリング												

4.4 主要な成果

- (1) 割れ目帯のグラウト技術の適応試験
- (2) 粘土膨張・熱負荷による緩み領域の影響評価
 - (1) および(2)に関して、以下の事項を決定・策定した。
 - ① 試験場所およびレイアウトを決定した(図-4.2参照)。
 - ② 試験計画(工程、実施内容、予算等)を策定した。
- (3) 岩盤内粘土充填試験
 - ① 計測

270日間に及ぶ計測データを取得した。この間、浸潤試験、加熱試験、浸潤試験(加熱を停止)を行った。試験の結果、ベントナイトの膨潤圧は加熱することにより値が減少し、その値を軸に推移することが分かった。加熱停止後は一時的に膨潤圧の低下が見られるが、値は徐々に回復することが分かった(図-4.3参照)。また、加熱試験における温度分布から、加熱開始後早期に定常状態になり、その後も変化しないことが分かった。また、緩衝材内には約6℃/cmの温度勾配が生ずることが分かった(図-4.4参照)。

② サンプリング

試験終了後の外観観察を行った。その結果、試験孔上部ではかなり粘土が地下水の影響により流出している様子が分かったが、深度が深くなるにしたがい健全な状態で維持していることが分かった。サンプリングでは、密度測定用の円柱サンプルを採取した。また、地下水がベントナイトを溶かしだす状態を定性的に把握するた

め、試験孔、観測孔および壁面から地下水を採取した。粘土ブロック組立時に見られたブロック間の境界は、粘土の膨潤によってほぼ閉鎖されていた。

4.5 次年度計画概要

(1) 割れ目帯のグラウト技術の適応試験

(2) 粘土膨張・熱負荷による緩み領域の影響評価

(1)および(2)に関して、平成6年度は、グラウト試験坑道の掘削および掘削面の亀裂調査を実施するとともに試験計画の具体化・詳細化を図る。

① グラウト試験坑道の掘削

坑口から約4000mの地点である550mレベルNW坑道のLABROCK 試験用岩体採取付近から計測坑道を掘削する。

② 掘削面の亀裂調査

①で掘削された壁面を観察し、天盤、側壁および床盤に関して亀裂の幾何学特性(走向・傾斜・開口幅・密度等)を調査する。

③ 試験計画の具体化・詳細化

試験計画の策定作業を継続する。

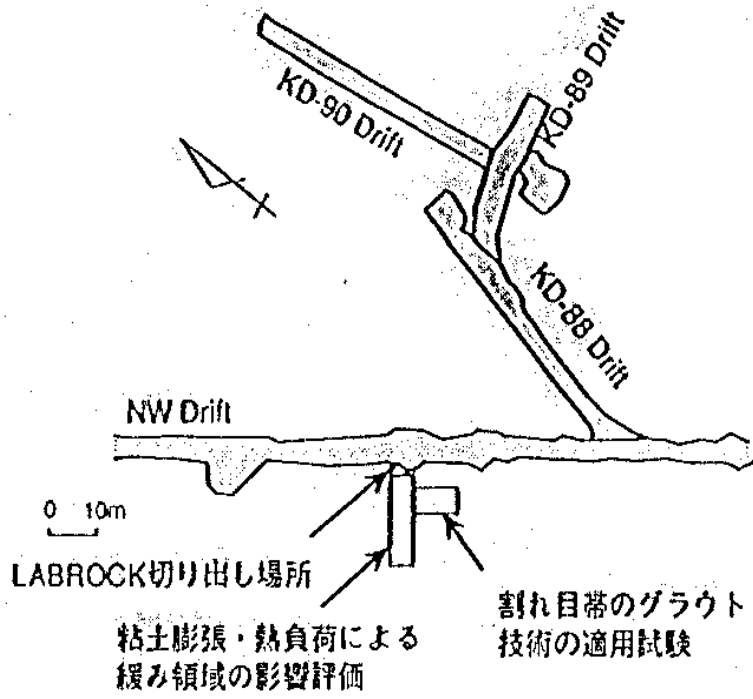


図-4.1 TASK4試験位置

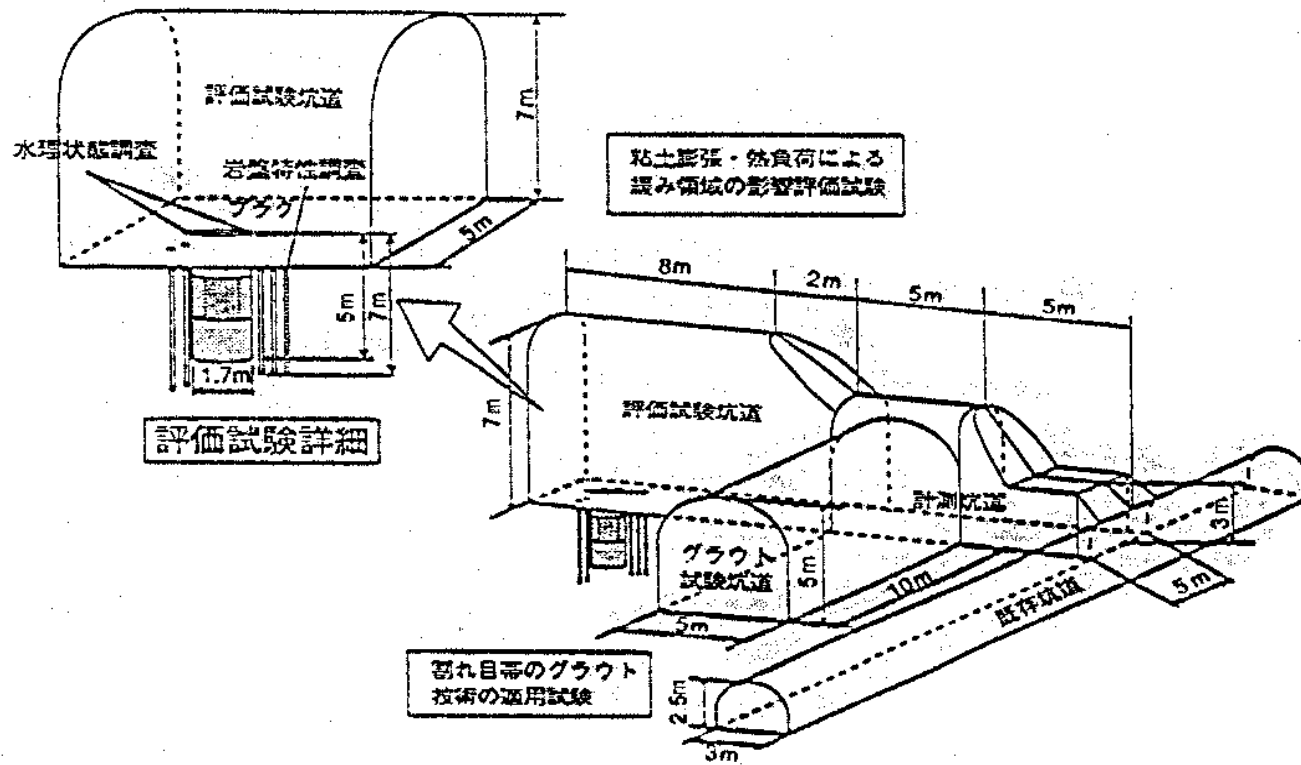


図-4.2 人工バリア試験レイアウト

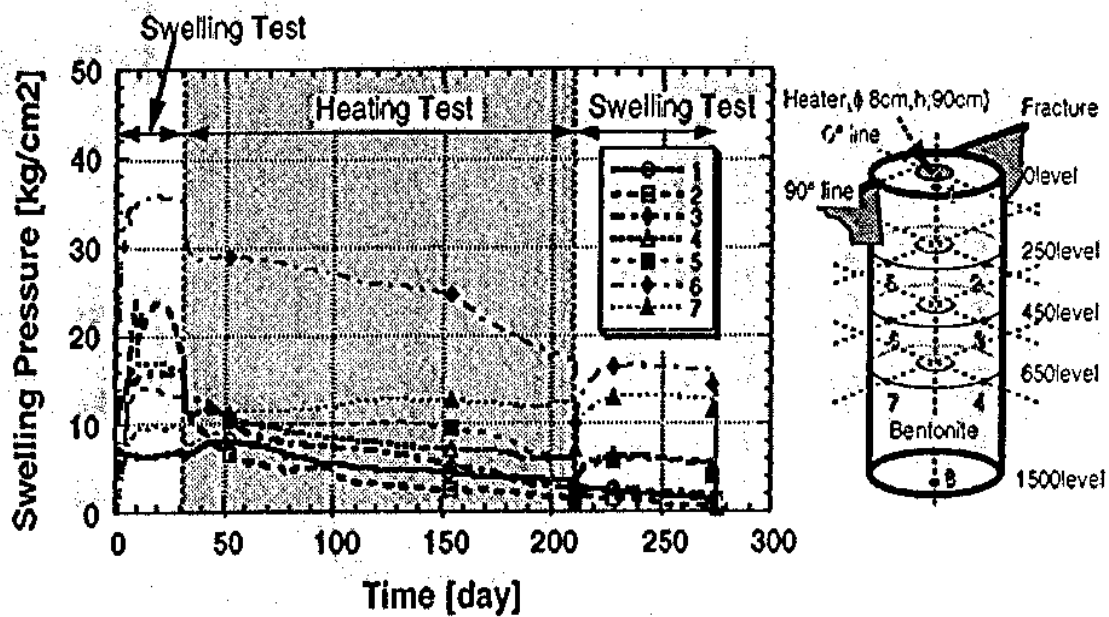


図-4.3 膨潤圧の経時変化

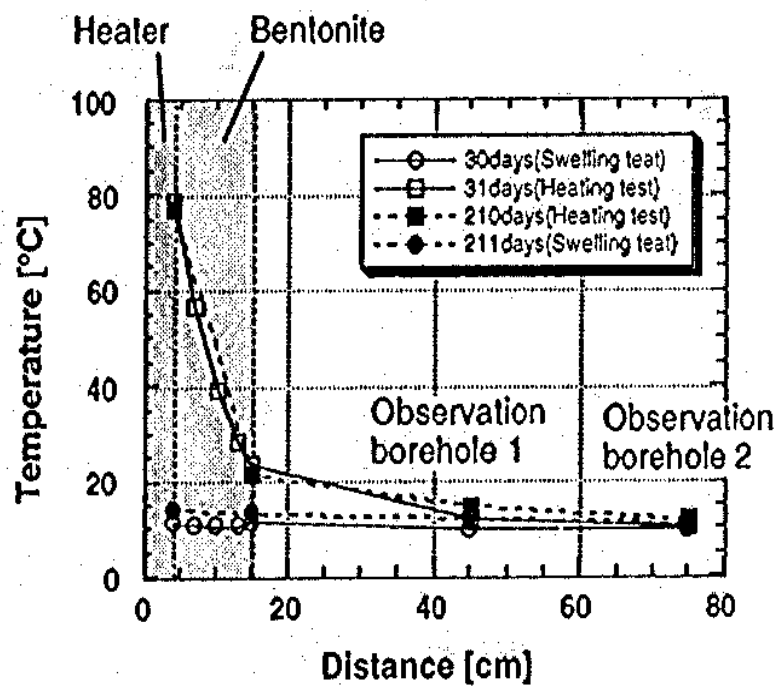


図-4.4 450レベル断面の温度分布

5. TASK 5: 地震に関する調査研究

5.1 目的

地下空洞の地震時挙動の把握と、その把握のために用いる入力地震波を一般化すること、また長期にわたり地震動が地質環境に与える影響を評価する手法を開発するために、地震に起因する地下水理・地球化学特性の変化を把握し、可能ならばそのメカニズムを明らかにすることを目的として実施している。

5.2 実施内容

平成5年度に行った実施内容は、(1)地震動の観測と解析、(2)地震時の地下水理・地球化学特性の調査と、(3)地下空洞の耐震性評価の感度解析である。

(1) 地震動の観測と解析

地下深部から地表部間の地震動の加速度振幅の増幅特性を把握するために、鉱山内に設置した既設の6か所の地震計と、本年度、地形が地震動におよぼす影響を把握することを目的に、地表近くの坑道内に設置した地震計(1か所)を用いて地震動の継続観測を行なった。

地震計は、図-5.1に示す通り、平面アレイ観測網として550mレベル坑道に3か所、異なる深度での地震動が把握できるように上下方向に4か所配置してある。最も深部に設置されている地震計は、F-6 測点で地表から約650mの地点にある。これらの地震計の内K-1 ~ K-4 測点は、ケーブルでつながれ550mレベル坑道で集中記録されており、0.3gal以上の地震動がいずれの測点でも観測された時、地震動を収録するように設定されてある。また、それ以外の測点の地震計は独立型であり、0.5gal以上の地震動が作用したとき地震動が収録されるように設定してある。

今年度は地下深部から地表近くにおける地震動の増幅特性の解析を実施した。

(2) 地震時の地下水理・地球化学特性の調査

550mレベル坑道の図-5.2に示す位置で、表-5.1に示す項目について、常時継続観測あるいは、地震前後の採水・分析を行い、平常時および地震時の地下水理状態、地下水質状態に関する地見の蓄積を行なった。

表-5.1 地震時地下水理、地球化学的調査項目

観測項目		観測場所	数量
水圧	継	試錐孔 : KWP-1, -2, -3	3点
湧水量	続	試錐孔 : KWQ	1点
	観	坑壁の割れ目からの湧水 : KO-10	1点
電気伝導度	測	坑壁の割れ目からの湧水 : KO-10	1点
水質	地震前後	坑壁の割れ目からの湧水 : KO-10, 分析項目 : Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ , SiO ₂)	1点

なお地震前後の水質の測定は、自動採水装置を用いて地震前後の湧水を採取して行

われている。この自動採水装置は、任意の時間に採水時間を設定でき、現在は4時間毎に採水するように設定してある。採水時間間隔が4時間毎である場合、採水した水は120時間の間容器に保存された後、121時間後に排水され新規の湧水を採取するサンプルタイムとなる。そしてこの採水装置に4gal以上の地震動が作用した時、装置は採水を96時間後に停止し、地震前の24時間分と地震後の96時間分の湧水を自動的に採取することが可能となっている。

(3) 地下空洞の耐震性評価の感度解析

地下深部空洞の耐震性に影響を与えるパラメータを把握するために、空洞の深度、側圧係数、地震力、岩盤の剪断強度をパラメータとした、数理弾性論に基づく感度解析を実施した。解析条件は次の通りである。

解析対象空洞は、地表面下500～1,200mの深さにある単一坑道として、その横断方向の安定性について検討した。このとき、坑道の横断面形状は半径2.26mの円形とし、坑道の周辺岩盤は単位体積重量2.6t/m³の等方均質な弾性体と仮定した(図-5.11参照)。

5.3 スケジュール

表-5.2 スケジュール

	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
(1)地震動観測・解析 ・継続観測 ・解析							▼地震計設置					
(2)地震時地下水理・地球化学特性調査 ・継続観測 ・解析												
(3)地下空洞の耐震性評価の感度解析 ・解析												

5.4 主要な成果

(1) 地震動の観測と解析

これまでに観測された地震動の概要と、その地震動の地表近くの増幅特性についてまとめた。

(a) 地震動の観測結果

釜石鉱山における地震観測は、平成2年2月に観測を開始して以来、平成5年12月31日までに165回の地震記録を得た。このうち平成5年度は46回の地震記録を得た。これらの地震の震央分布を図-5.3に示す。観測された地震の多くは、従来と同様青森県から福島県にかけての太平洋側、特に岩手県沖(震央距離で50～120km)と岩手県中部(震央距離で20～50km)とに集中している。

これまでに観測された地震のうちマグニチュード(M)が最大の地震は、平成5年7

月12日に発生した北海道南西沖地震(地震番号145)で $M=7.8$ であるが、震央距離が440kmと遠く離れているために、地上近くに設置した地震計K-1点で1gal程度の加速度を観測している。また、加速度振幅が最大の地震は、宮城県北部の地震(地震番号161, $M=5.9$, 震央距離84.7km)で、K-1点で、X成分(南北方向)42.0gal, Y成分(東西方向)53.0gal, Z(鉛直方向)成分24.2gal, また、地下のK-2点で、X成分15.1gal, Y成分19.2gal, Z成分12.3galである。これについて加速度振幅が大きい地震は、岩手県沖の地震(地震番号163, $M=5.3$, 震央距離53.4km)で、K-1点で、X成分27.3gal, Y成分45.9gal, Z成分20.8galである。

(b) 地震動の地表近くにおける増幅特性の解析

観測された地震記録を用いて、地震動が地表部でどの程度増幅されるかを把握するために、その増幅特性を調べた。

最も深くに設置してある地震計K-6測点を基準とした場合のK-5, K-2およびK-1測点での加速度振幅の増加率を図-5.4に示す。同図にはこれまで全測点で同時に観測された26回の地震のすべてを用いて、その地震の加速度振幅の平均値と標準偏差を実線と点線で示してある。

図-5.4をみると、X成分とZ成分は、K-6～K-5測点の岩盤中では増加率が1、地表近くのK-1点ではほぼ2である。また、Y成分では、深度が浅くなるにつれて増幅率は漸増し、K-1測点で3程度の値を示す。いずれの成分においても、地表に近くなるほど、地震動の加速度振幅は増加し、特にY成分についてはその増幅率が大きいという結果が得られた。

なお、こうした現象を表す一般化モデルとして、S波重複反射理論解析が平成3年度と、4年度に実施されている。ただし両年度の解析とも、解析に不可欠で、かつ解析結果に影響の大きいS波の速度構造や減衰定数を推定して用いている。平成6年度以降、S波の速度構造や減衰定数について調査した後、再度解析を行いその解析手法の有効性を判断する予定である。

また、平成5年10月末に地表近くの坑道内に設置した地震計K-7は、平成5年12月31日までの約2カ月間に5回の地震を観測した。本年度は得られた地震記録が少ないため、地形形状が地震動に及ぼす影響の評価は平成6年度以後に実施する。

(2) 地震時地下水理、地球化学的調査

岩盤中の地下水の水圧、電気伝導度、水質の定常時、地震時の観測結果についてとりまとめた。

(a) 水圧の変化

ボーリング孔における水圧の長期的変動の例を図-5.5に示す。KWP-1孔の水圧はいずれも11月～2月の冬季が低く、4月～5月の春季に急激に水圧が上昇する傾向がある。比較のためにKWP-1孔から北北東に2.5kmに位置する青の木地点の月雨量変化を同図に示す。雨量変化とKWP-1孔の水圧の変化は良く対応しており、ボーリング孔の水圧は降雨の季節変化の影響を大きく受けていると判断される。同様の現象はKWP-2, -3孔でも確認されている。

次に、今年度新たに観測された46回の地震のうち、地震前後で水圧の変化が観測された地震は、表-5.3に示すように4例であった。

表-5.3 地震後に水圧の変化した地震

地震No.	震源	震源距離	M	加速度	発生日時	変化した水圧計
No. 134	岩手県南部	109.0km	5.6	14.61	'93.05.06.03:21	KWP-1
No. 145	北海道南西沖	439.1km	7.8	1.14	'93.07.12.22:19	KWP-1, 2, 3
No. 158	岩手県沖	74.8km	5.5	7.02	'93.11.11.09:06	KWP-1, 2, 3
No. 161	宮城県北部	139.7km	5.9	19.43	'93.11.27.15:11	KWP-1, 2, 3

注1; Mは $M_f - f$, 加速度(gal) は地震計 K-2 のY成分を示す。

水圧変化の実例として北海道南西沖地震(地震No.145)における水圧の変化を、図-5.6に示す。地震発生を境に水圧が0.26kgf/cm²(260cmH₂O)減少した。また、観測開始から今年度までに観測された地震に対して変化したと考えられる回数と、その水圧の変動幅を図-5.7に示す。図-5.7では3つの水圧測定孔の内、地震後に水圧の変化が3孔共に観測されたのは9回、2孔共には2回、1孔のみは3回であることを示している。この図からこれまでの地震(1992年1月より1993年12月)による水圧変化は最大で260cmH₂O、その他は60cmH₂O以内の変化幅である結果が得られた。

次に水圧の変化が発生する条件について考察するために、地震の最大加速度、マグニチュードと水圧変化の発生との関係を図-5.8に示す。この図からは最大加速度の大きさは必ずしも水圧変化発生の支配因子になっていないことがわかる。水圧の変化には地震のマグニチュードがある程度大きいことが必要であり、マグニチュード5以上の地震で最大加速度が5gal(K-3地点)を越えれば、8例中6例という割合で水圧の変化が発生している。

(b) 電気伝導度の変化

K0-10地点で観測されている電気伝導度の長期的変動パターンを、図-5.9に示す。地震後の電気伝導度の変化は観測されていない。図-5.9には比較としてKWP-1~-3孔の水圧の変動パターンも示してある。電気伝導度は3月~4月が最も高く最大で156μS/cm、8月~9月が最低で154μS/cmを記録した(図では電気伝導度の増減を水圧の増減と逆にして表示してある)。図に示されているように電気伝導度の変化は水圧の季節変化と関係している可能性があることが明らかになった。

(c) 水質の変化

平成5年度は、4例の地震について地震前後の湧水を採取し、水質の測定を実施した。地震前後の水質変化の例を図-5.10に示す。地震前後で変化があるのは、SO₄²⁻イオンであり、分析した4例の地震の内いずれでも地震後に一時的にイオン濃度が低下(最大4mg/l)し、その後回復(2日以内)するという傾向が得られた。また、HCO₃⁻イオンについては、4例の地震の内、2例でイオンの増加傾向が見られた。これら以外の水質成分については明確な変化は見られない。

(3) 地下空洞の耐震性評価についての感度解析

(a) 解析条件

坑道の設置深度、側圧係数、地震力(水平震度、鉛直震度)、岩盤のせん断強度は

表-5.3に示すように変化させた。このとき、鉛直震度は水平震度に連動させてその1/2とし、岩盤のせん断強度は、地下発電所で行われた原位置試験結果を参考として決定した。解析結果を図-5.12に示す。

(b) 解析結果

地下空洞の耐震安定性に最も影響する要因は岩盤のせん断強度である。特にせん断強度の値が30kgf/cm²以下の範囲では、耐震安定性上大きな影響を与える(図-5.12(1)参照)。また耐震安定性上、最も影響の少ないのは震度や坑道の設置深度であり、設置深度が1,000mの場合では、震度が倍に変化しても安全率はほとんど変化していない(図-5.12(2)参照)。これは常時応力が大きく、地震時増分応力は、常時応力の20%であることに起因する理由による。

以上より1,000m程度の深度の坑道の耐震安定性に対しては、坑道周辺岩盤の剪断強度が特に重要である結果が得られた。

5.5 次年度計画概要

次年度は、地震動と、地震動が地下水理に与える現象を把握するために、観測を継続して実施する。また、地下水理(水圧)の変化と岩盤のひずみの関係を把握するために岩盤ひずみ計を新たに設置し、岩盤のひずみを観測する。

参考文献

- 1) 資源・素材学会(1994): 地震に関する調査研究(X)
- 2) 川辺 岩夫 (1991): 地震に伴う地下水・地球化学現象 — 地震, 第44巻
- 3) National Research Council (1992): Ground Water at Yucca Mountain
— How High Can It Rise —

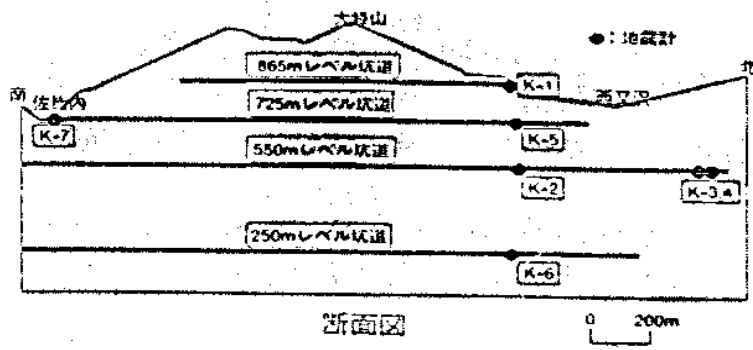
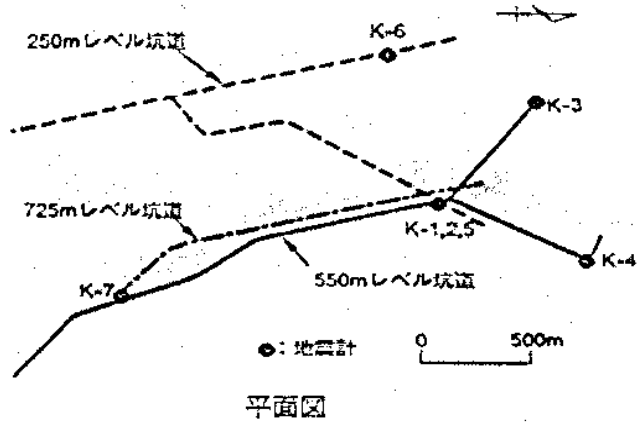


図-5.1 地震計配置図

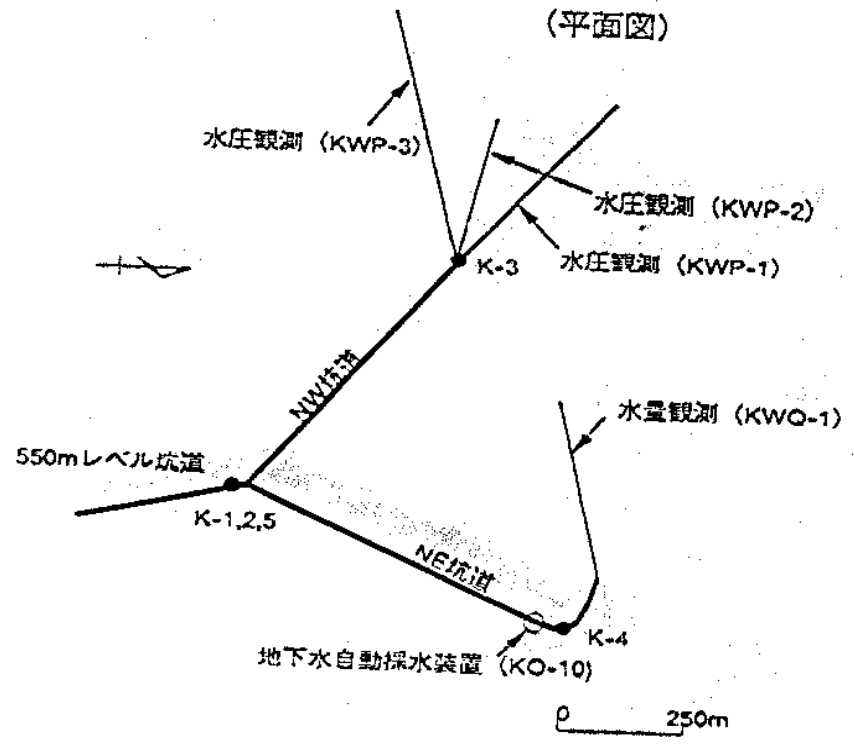


図-5.2 地下水理観測配置図

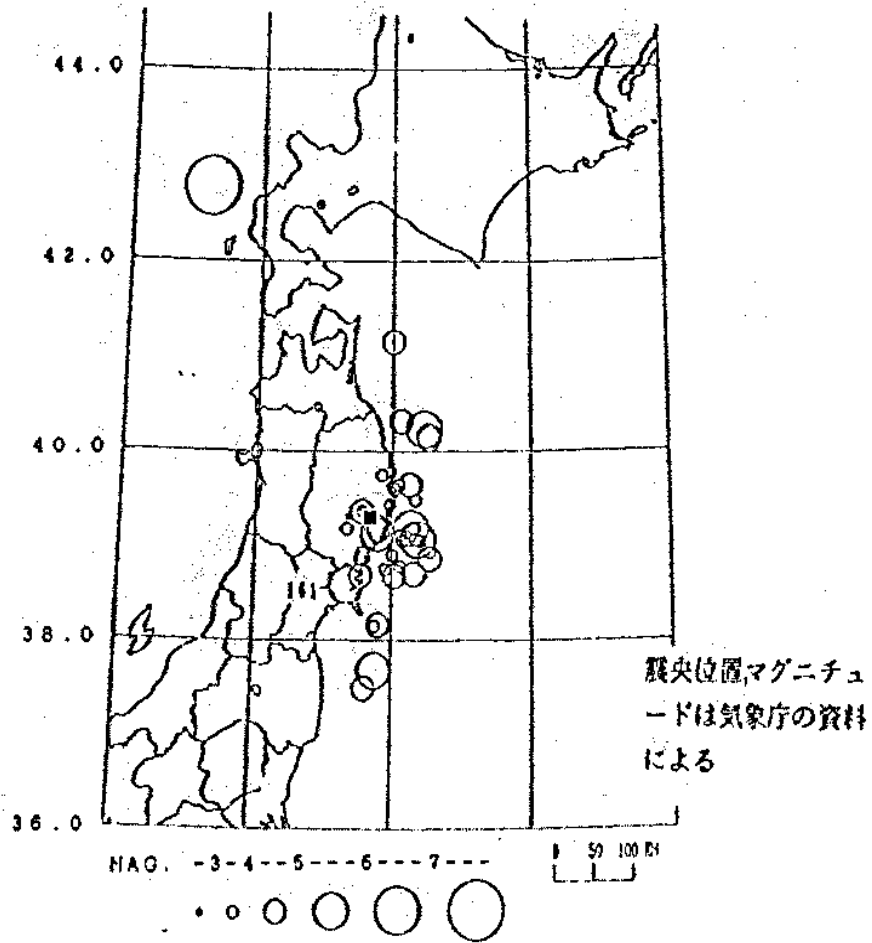


図-5.3 観測された地震の震央分布
(1993年1月～1993年12月)

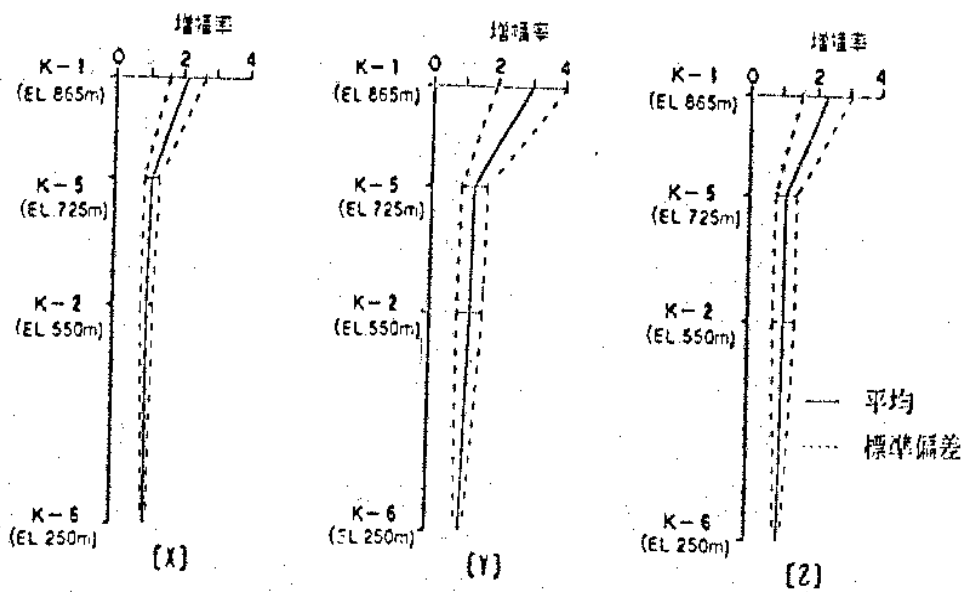


図-5.4 K-6点を基準とした加速度振幅の増幅率と標準偏差
(1991年1月～1993年12月に観測された地震)

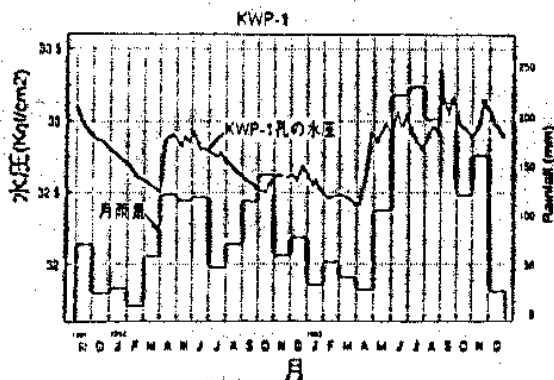


図-5.5 KWP1孔の水圧の長期変動及び月雨量変動

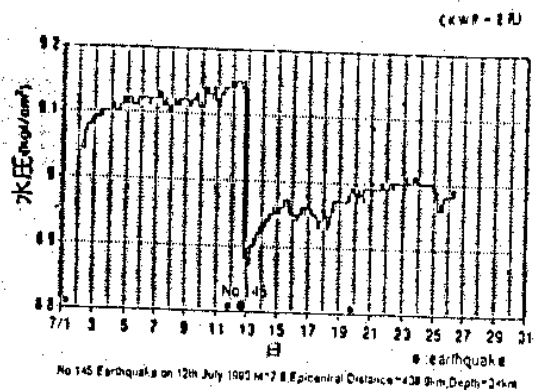


図-5.6 NO.145地震における水圧変化

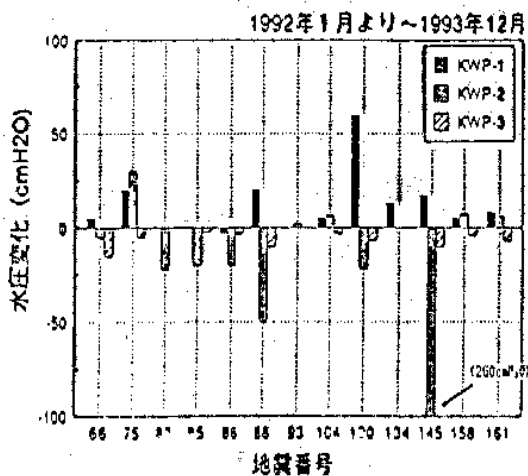


図-5.7 各地震における水圧変化の大きさ

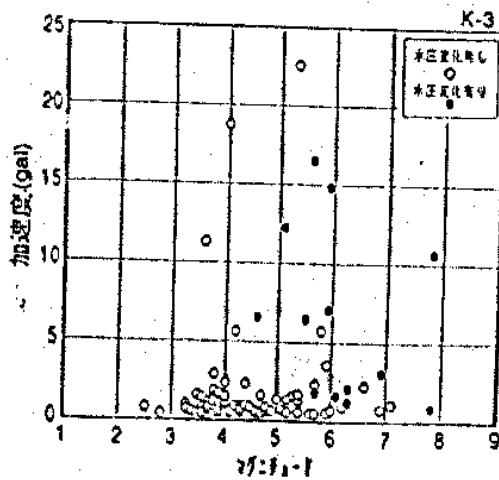


図-5.8 水圧変化の有無と地震の最大加速度、マグニチュードの関係

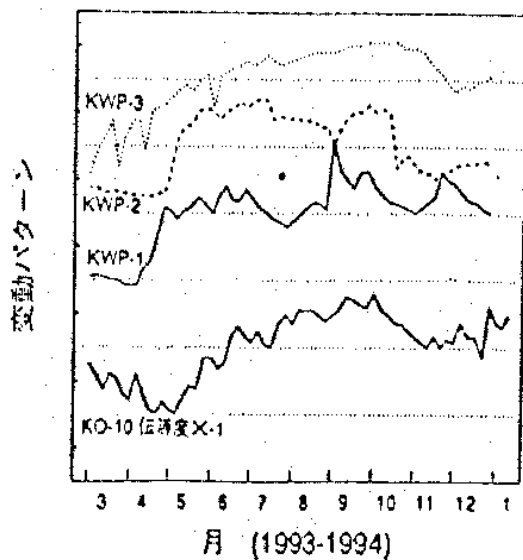


図-5.9 水圧、電気伝導度の季節変動パターン

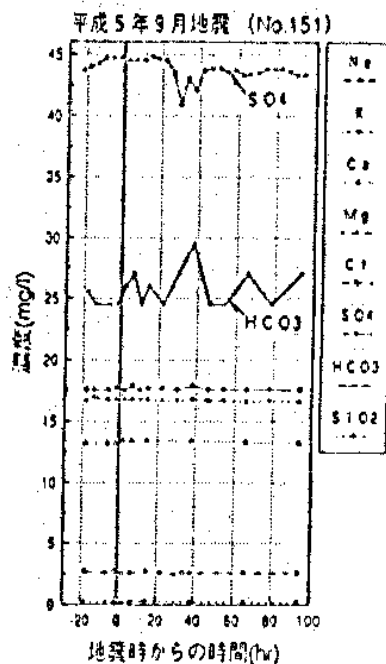


図-5.10 地震時の水質変化

表-5.4 地下空洞の解析ケース一覧

CASE No.	坑道半径 (m)	単位重量 (t/m)	坑道深さ (m)	側圧係数	水平変位	鉛直変位	せん断強度 (kg/cm ²)
101	2.26	2.6	500	1.0	0.15	0.075	30
102	2.26	2.6	800	1.0	0.15	0.075	30
103	2.26	2.6	1,000	1.0	0.15	0.075	30
104	2.26	2.6	1,200	1.0	0.15	0.075	30
201	2.26	2.6	1,000	0.5	0.15	0.075	30
202	2.26	2.6	1,000	1.5	0.15	0.075	30
203	2.26	2.6	1,000	2.0	0.15	0.075	30
301	2.26	2.6	1,000	1.0	0.10	0.05	30
302	2.26	2.6	1,000	1.0	0.20	0.10	30
401	2.26	2.6	1,000	1.0	0.15	0.075	80
402	2.26	2.6	1,000	1.0	0.15	0.075	50
403	2.26	2.6	1,000	1.0	0.15	0.075	10
404	2.26	2.6	1,000	1.0	0.15	0.075	5

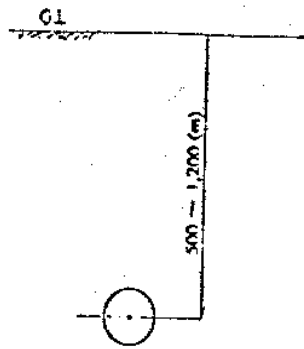
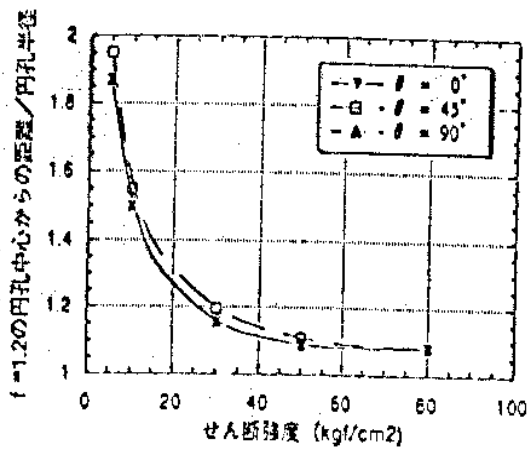
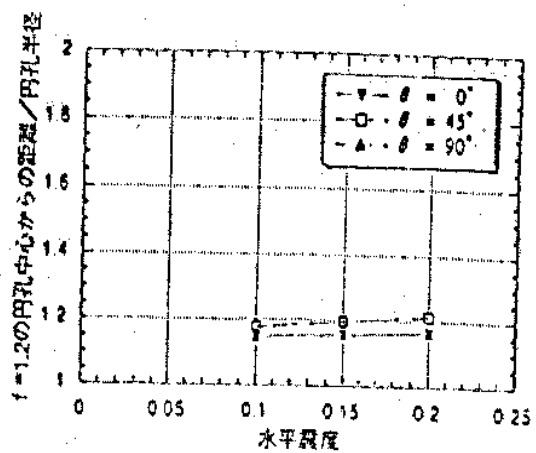


図-5.11 地下空洞の模式断面



$D=1,000$ (m), $\lambda_1=1.0$, $k_1=0.15$, $k_2=0.075$

図-5.12(1) せん断強度と安全率の関係



$D=1,000$ (m), $\lambda_1=1.0$, $r_1=30$ (kg/cm²)

図-5.12(2) 水平変位と安全率の関係