

分置01

釜石鉾山における非収着性レーザー試験 のための水理地質構造の調査研究

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

(概要集)

1995年5月

技術資料		
開示区分	レポート No.	受領日
Z	J1205 95-003	9.5.23

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

大成建設株式会社

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、特に限られた関係者だけに開示するものです。ついては、複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう特に注意して下さい。

本資料についての問い合わせは下記に願います。

〒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

釜石鉱山における非収着性トレーサー試験
のための水理地質構造の調査研究

下茂道人*、高原弘幸**、Thomas Doe***

要旨

本研究の目的は、結晶質岩中における水理地質構造モデルを構築することであり、このための物質移行経路となる透水性割れ目の分布および連結性を試錘孔掘削時の水理応答観測、ボアホールテレビ検層、コア観察等の調査により把握するとともに、水理試験、非収着性トレーサー試験を行い、水理・物質移行パラメータを取得することである。

平成6年度は、試験の準備段階として、

- ①試験対象エリアの水理地質学的構造を把握するためにKH-20孔（孔長100m）を掘削した。その際、KH-19孔に圧力トランスデューサーを設置し、KH-20孔掘削中のKH-19孔への圧力応答を連続観測した。
- ②KH-20孔においてボアホールテレビ検層、コア観察、流量検層を実施し、透水性割れ目の位置および水理特性を推定した。また、KH-19孔においても流量検層を実施した。
- ③KD-90坑道北側に新たに掘削されたアクセス坑道から、KH-19KH-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した。

その結果、KH-20孔掘削中に、KH-19孔内で5箇所の水圧応答が観測された。また、ボアホールテレビおよびコア観察結果との比較により、透水性亀裂の位置をある程度絞り込むことができた。

本報告書は、大成建設（株）が、動力炉・核燃料事業団の依頼により実施した研究の成果である。

契約番号：060D0231

事業団担当部課室および担当者：東海事業所環境技術開発部、地層処分開発室、石川博久

*：大成建設（株）技術研究所、 **：日鉄鉱業（株）、資源開発部、 ***：Golder Associates Inc.

Hydrogeologic Study for Non-sorbing Tracer Test at Kamaishi Mine

Michito Shimo*, Yukihiro Takahara**, Thomas Doe***

Abstract

The goal of this study is to establish a hydrogeologic model on flow and mass transport in crystalline rock based on the results of field investigation and the tests at Kamaishi mine. The field investigation consists of several works, i.e. pressure response monitoring during drilling, borehole TV survey, core observation. These results will contribute to obtain distribution and connectivity of the conductive fractures. Hydraulic test and non-absorbing tracer tests will be also carried out to obtain fluid and mass transport parameters.

In H6 study, the preliminary hydrogeological characterization and field preparation for the future tests were carried out;

- (1) KH-20 borehole was excavated to obtain fracture data and pressure response to characterize the hydrogeologic structure of the test area. The pressure response at KH-19 borehole during KH-20 excavation was monitored using pressure transducer.
- (2) Borehole TV survey, core observation and flow logging were conducted at KH-20 borehole to obtain the information on locations and hydraulic properties of conductive fractures. Flow logging was carried out at KH-29 also.
- (3) Permanent piezometers were installed into KH-19 and KH-20 from the new drift excavated at north of KD-90 drift to monitor pressure responses during the future borehole excavations.

From pressure responses during KH-20 drilling, it was found that at least five connections between KH-19 and KH-20 exist. By comparing the location of those responses and the results of borehole TV and core observation, several possible target fractures were selected.

Work performed by Taisei Corporation under contract with power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

PNC Liaison :Hirohisa Ishikawa, Geological Isolation Technology Section, Waste Technology Development Division, Tokai Works, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

* : Technology Research Center, Taisei Corporation ** :Resource Development Department, Nittetsu Kogyou,

***: Golder Associates Inc.

目 次

1	はじめに	1
2	研究の背景と目的	2
3	調査試験全体計画	3
3.1	調査試験位置	3
3.2	調査試験項目	8
3.3	調査試験数量	9
3.4	調査試験工程	10
4	平成6年度調査試験計画	11
4.1	実施場所	11
4.2	実施項目	11
4.3	調査試験工程	11
5	KH-20孔の削孔	14
5.1	概要	14
5.2	KH-20孔の削孔作業	14
(1)	削孔機器の構成と仕様	14
(2)	削孔深度および孔曲がりの測定	16
6	KH-20孔BTV・割れ目調査	19
6.1	調査概要	19
6.2	KH-20孔地質概要	20
6.3	割れ目特性	22
6.4	まとめ	26
7	KH-20孔掘削時の水理応答調査	27
7.1	調査概要	27
7.2	KH-19孔の間隙水圧測定	27
(1)	間隙水圧測定方法	27
(2)	水圧測定結果	27
7.3	KH-20孔口元湧水量測定	28
(1)	湧水量測定方法	28
(2)	湧水量測定結果	33

7.4	KH-20孔口元での間隙水圧測定	35
(1)	間隙水圧測定方法	35
(2)	間隙水圧測定結果	35
7.5	水理応答調査のまとめ	38
7.6	考察	40
7.7	総合まとめ	41
8	KH-20孔・KH-19孔の水理調査	42
8.1	概要	42
8.2	流量検層	42
(1)	流量検層の目的	42
(2)	流量検層の方法	42
(3)	KH-20孔における流量検層	44
(4)	KH-19孔における流量検層	52
8.3	KH-20孔へのテンポラリーパッカー設置	59
8.3.1	テンポラリーパッカー設置の目的	59
8.3.2	テンポラリーパッカー装置の構成	59
8.3.3	パッカー設置位置の検討	59
8.3.4	間隙水圧測定結果	63
8.4	KH-19孔、KH-20孔へのパーマネントパッカーの設置	65
8.4.1	概要	65
8.4.2	パーマネントパッカー装置の構造	65
8.4.3	パーマネントパッカー装置の設置	69
9	データの総合評価および考察	77
9.1	概要	77
9.2	亀裂分布と圧力応答経路についての考察	79
9.3	水圧分布からみた水理地質構造の検討	83
9.4	流量検層からみた水理地質構造の検討	83
9.5	考察	87
9.5.1	高水圧帯の広がりについて	87
9.5.2	透水性割れ目の分布について	87
9.5.3	水理境界について	87
10	次年度の調査計画	88
11	おわりに	90

図 表 目 次

3 章

図-3.1.1	釜石鉾山位置図	4
図-3.1.2	原位置試験場地形図	5
図-3.1.3	原位置試験場地質図	6
図-3.1.4	坑道およびボーリング孔レイアウト	7
表-3.4.1	調査試験全体工程表	10

4 章

図-4.3.1	本年度の試験の流れ（概念図）	13
表-4.3.1	平成6年度の調査試験工程表	12

5 章

図-5.1.1	KH-19、20孔の位置関係	15
図-5.2.1	掘削日と掘削深度との関係	17
表-5.1.1	KH-20孔とKH-19孔の孔口位置	14
表-5.2.1	使用した試錐機・ポンプの仕様	14
表-5.2.2	KH-20孔孔曲がり測定結果	18

6 章

図-6.2.1	KH-20孔地質総合柱状図	21
図-6.3.1	全割れ目と開口および閉鎖割れ目のステレオ投影図	23
図-6.3.2	割れ目周辺の変質幅とその頻度及び色との関係	24
図-6.3.3	変質程度別の頻度と、各変質程度内での変質色の頻度	34
図-6.3.4	割れ目の充填幅とその頻度および変質色との関係	35
図-6.3.5	主な充填鉱物と混合鉱物の出現頻度と、変質程度別での割合	36
図-6.3.6	10mの深度ごとの各充填鉱物の出現頻度	37
図-6.3.7	主な充填鉱物と混合鉱物を含む割れ目のステレオネット投影図	38
図-6.3.8	割れ目タイプ別ステレオ投影図	40
表-6.1.1	BIPシステムの仕様	19
表-6.1.2	割れ目の鑑定項目と内容	20
表-6.3.1	変質割れ目の色とその本数、頻度との関係	22
表-6.3.2	割れ目形態の分類の基準	25

7 章

図-7.2.1	KH-19孔の間隙水圧測定概念図	29
図-7.2.2	間隙水圧の時間変化と掘削深度との関係（10/26 区間-5）	30

図-7.2.3	深度32.78mの割れ目のBTV展開画像	31
図-7.2.4	深度37.46mの割れ目のBTV展開画像	32
図-7.3.1	掘削深度と湧水量の関係	34
図-7.4.1	各掘削深度におけるKH-20孔の間隙水圧の値	36
図-7.5.1	水理応答試験結果総合図	39
表-7.2.1	KH-20孔掘削深度とKH-19孔の間隙水圧変化区間との対応	28
表-7.4.1	各掘削深度におけるKH-20孔の間隙水圧の値	36

8章

図-8.2.1	流量検層方法（シングルパッカー法とダブルパッカー法）	43
図-8.2.2	KH-20孔における流量検層結果	47
図-8.2.3	流量検層結果（KH-20孔、区間流量、メスシリンダー法）	49
図-8.2.4	透水量係数（KH-20孔、メスシリンダー法）	51
図-8.2.5	透水係数（KH-20孔、メスシリンダー法）	51
図-8.2.6	フローメータを用いた流量検層装置	53
図-8.2.7	フロート式流量計	54
図-8.2.8	流量検層結果（KH-19孔、区間流量）	57
図-8.2.9	流量検層結果（KH-19孔、累積流量）	57
図-8.2.10	流量検層結果（KH-19孔、透水量係数）	58
図-8.2.11	流量検層結果（KH-19孔、透水係数）	58
図-8.3.1	テンポラリーパッカーの設置位置	62
図-8.3.2	テンポラリーパッカー設置後の水圧データ(KH-20)	64
図-8.3.3	テンポラリーパッカー設置後の水圧データ(KH-19)	64
図-8.4.1	パッカー設置位置（KH-19孔）	73
図-8.4.2	パッカー設置位置（KH-20孔）	74
写真-8.2.1	熱パルス式流量計を用いた流量検層（KH-20孔）	46
写真-8.2.2	KH-19孔用流量検層システム	55
写真-8.3.1	パッカー	60
写真-8.3.2	1インチロッド	60
写真-8.3.3	インラインアダプター	61
写真-8.3.4	3/16インチナイロンチューブ	61
写真-8.4.1	パーマネントパッカー	65
写真-8.4.2	ロッド	66
写真-8.4.3	インスツルメントカップリング	67
写真-8.4.4	水圧計測パネル	68
写真-8.4.5	パッカー設置状況（その1）	70
写真-8.4.6	パッカー設置状況（その2）	70
写真-8.4.7	パッカー設置状況（その3）	71

写真-8.4.8	パッカー設置状況（その4）	71
写真-8.4.9	パッカー設置状況（その5）	72
写真-8.4.10	パッカー設置状況（その6）	72
表-8.2.1	流量検層結果を用いた透水量係数、透水係数の算定	50
表-8.3.1	KH-20テンポラリーパッカー設置後の水圧測定値	63
表-8.4.1	パッカー装置構成（KH-19孔）	75
表-8.4.2	パッカー装置構成（KH-20孔）	76
9章		
図-9.1.1	水理地質モデルの検討フロー	78
図-9.2.1	各ボーリング孔内の開口亀裂の分布	80
図-9.2.2	割れ目から推定される圧力応答経路（KH-20削孔時）	81
図-9.2.3	割れ目から推定される圧力応答経路（KH-20削孔時、全区間）	82
図-9.3.1	推定した水理地質構造と水圧分布との比較	85
図-9.4.1	推定した水理地質構造と流量検層結果との比較	86
10章		
図-10.1	TASK3-2ボーリング孔レイアウト	89

1. はじめに

地層処分成果の第1次取りまとめにおいては、人工バリア周辺の約10m規模の岩盤が、地下水による核種の移行を遅延させる上で有効に機能する可能性が指摘されている。人工バリア（坑道）周辺でこの程度の規模を持つ岩盤に関しては、地質環境（特に、水理地質学的環境）を詳細に把握できる見通しがあることから、原位置における試験研究を展開することにより、今後ニアフィールド性能の信頼性を一層高めて行くことが出来ると考えられる。

結晶質岩における地下水による各種の移行を評価して行くためには、移行経路となる個々の亀裂におけるマトリクス拡散および収着といった遅延メカニズムに関する試験・研究（TASK3 SUBTASK 1）に加えて、移流・分散を規定する亀裂ネットワーク構造および亀裂中の空隙率等の物質移行特性を把握することが重要な課題であると考えられる。

そこで、本研究は、TASK3 SUBTASK 2として、釜石鉱山原位置試験場のKD-90坑道の北側に分布する水理的擾乱の比較的少ない区間を利用して、水理試験および非収着性トレーサー試験を基に、地下水による物質移行の場としての亀裂ネットワーク構造および亀裂中の空隙率等の物質移行特性を把握し、地層処分研究成果の次期取りまとめで使用する亀裂媒体の物質移行モデルの構築およびパラメータの取得に資することを目指した研究を行う。

特に、第2フェーズの具体的な目標として、下記の2つを設定する。

- ①孔間水理試験および非収着性トレーサー試験を通じて、単一亀裂の透水量係数、透水性亀裂の頻度、物質移行上の開口幅と水理的開口幅との関係を把握し、次期取りまとめで行う核種移行解析で使用するパラメータを取得する。
- ②ボアホールTV、孔間透水試験を通じて、亀裂ネットワークの構造を推定する技術を開発し、得られた構造モデルについては、次期取りまとめで行う核種移行解析の基礎データとして使用する。

本年度は、上記の調査試験の準備作業として、透水性亀裂および高間隙水圧領域の位置を確認するためのパイロットボーリング（KH-20孔、100m）の掘削およびアクセス坑道の開削、そしてパッカーの設置まで行った。またこれと平行して、KH-20孔掘削時の水理応答調査、BTV観察および岩芯観察による割れ目特性の把握を行った。

2. 研究の目的と背景

本研究の目的は、結晶質岩中における水理地質構造モデルを構築することであり、このための物質移行経路となる透水性割れ目の分布および連結性を試錘孔掘削時の水理応答観測、ボアホールテレビ検層、コア観察等の調査により把握するとともに、水理試験、非収着性トレーサー試験を行い、水理・物質移行パラメータを取得することである。

このため、具体的には、以下の①～④を目的とした原位置調査試験を行う。

- ①透水性割れ目の分布および連結性と、その水理・物質移行パラメータ（透水量係数、物質移行上の開口幅）の取得
- ②透水性割れ目に作用する動水勾配の把握。
- ③透水性割れ目に挟まれた比較的透水性が低いブロックの分布・大きさの把握とその水理・物質移行パラメータの取得
- ④高透水ゾーンと低透水ゾーンを隔てる境界（水理境界）の把握

3. 調査試験全体計画

3.1 調査試験位置

調査試験は、釜石鉱山原位置試験場550mレベルのに掘削されたKD-90坑道の北方の岩盤を対象として実施する。ここには、すでにKH-19孔と呼ばれる長さ100mのボーリング孔が削孔されている。

図-3.1.1に原位置試験場の位置図を示す。とその周辺の地形図を示す。図-3.1.2に試験場周辺の地形図、図-3.1.3に試験場周辺の地質図、図-3.1.4に坑道およびボーリング孔のレイアウトを示す。

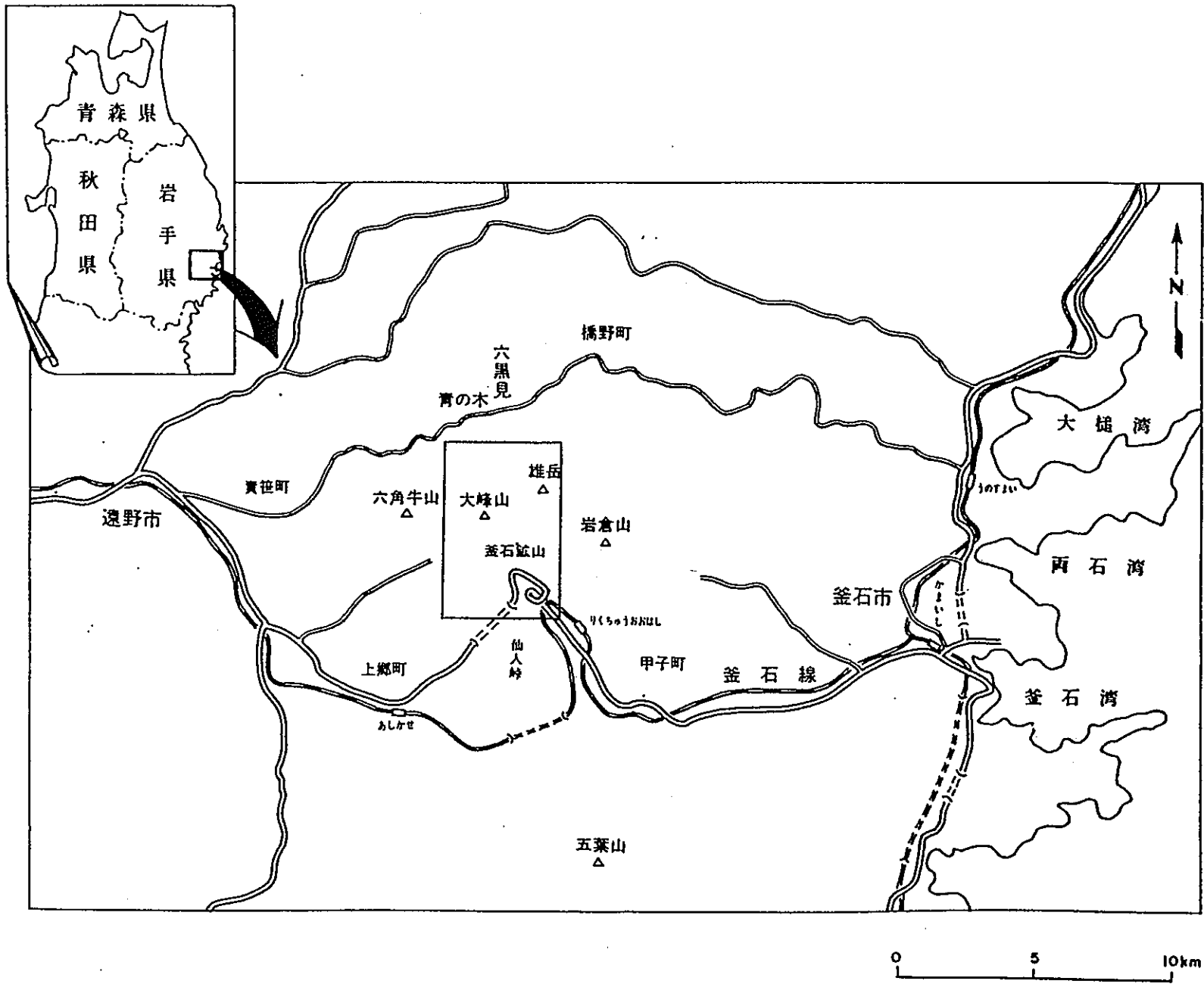


図-3.1.1 釜石鉾山位置図

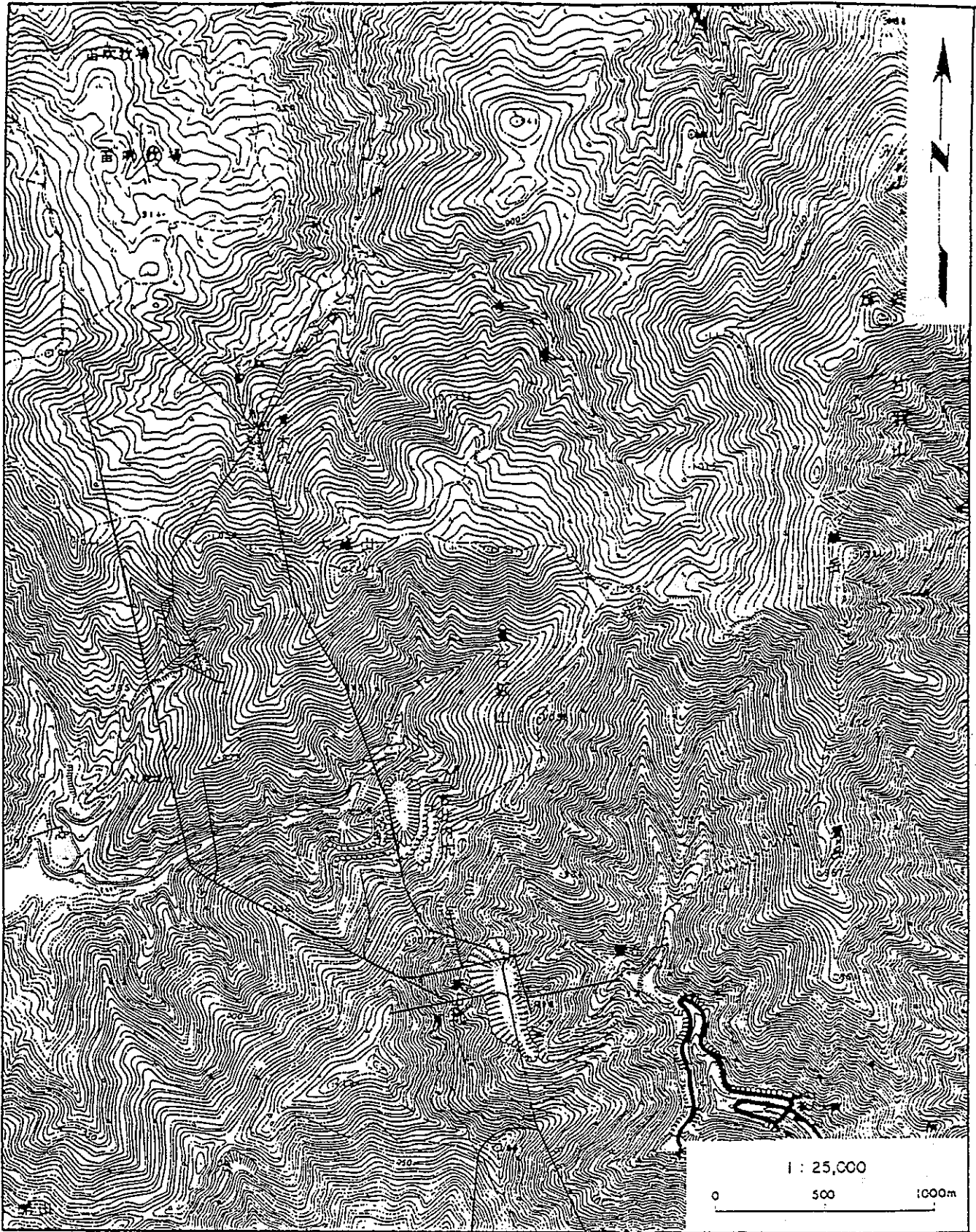


图-3.1.2 原位置試驗場地地形图

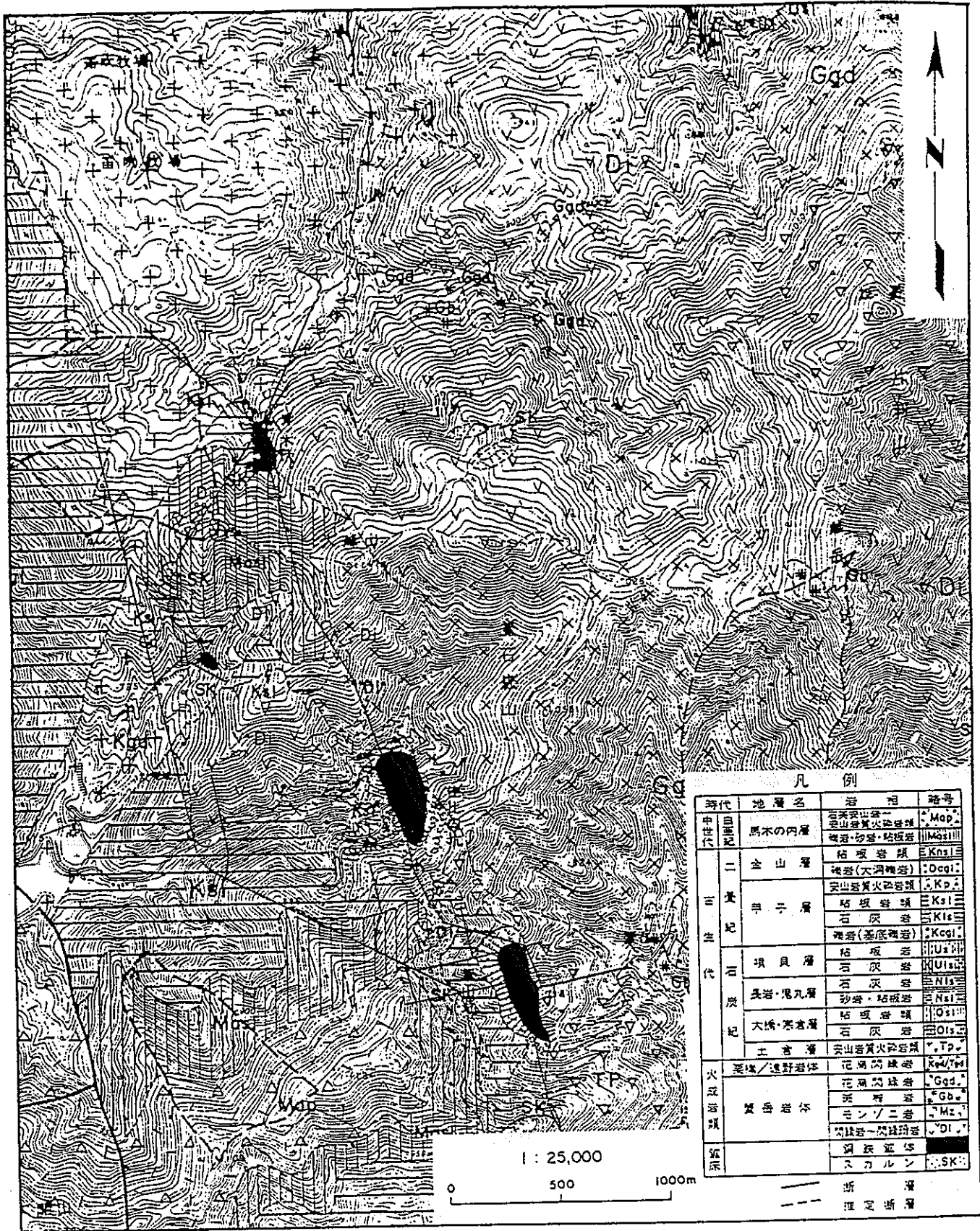


図-3.1.3 原位置試験場地質図

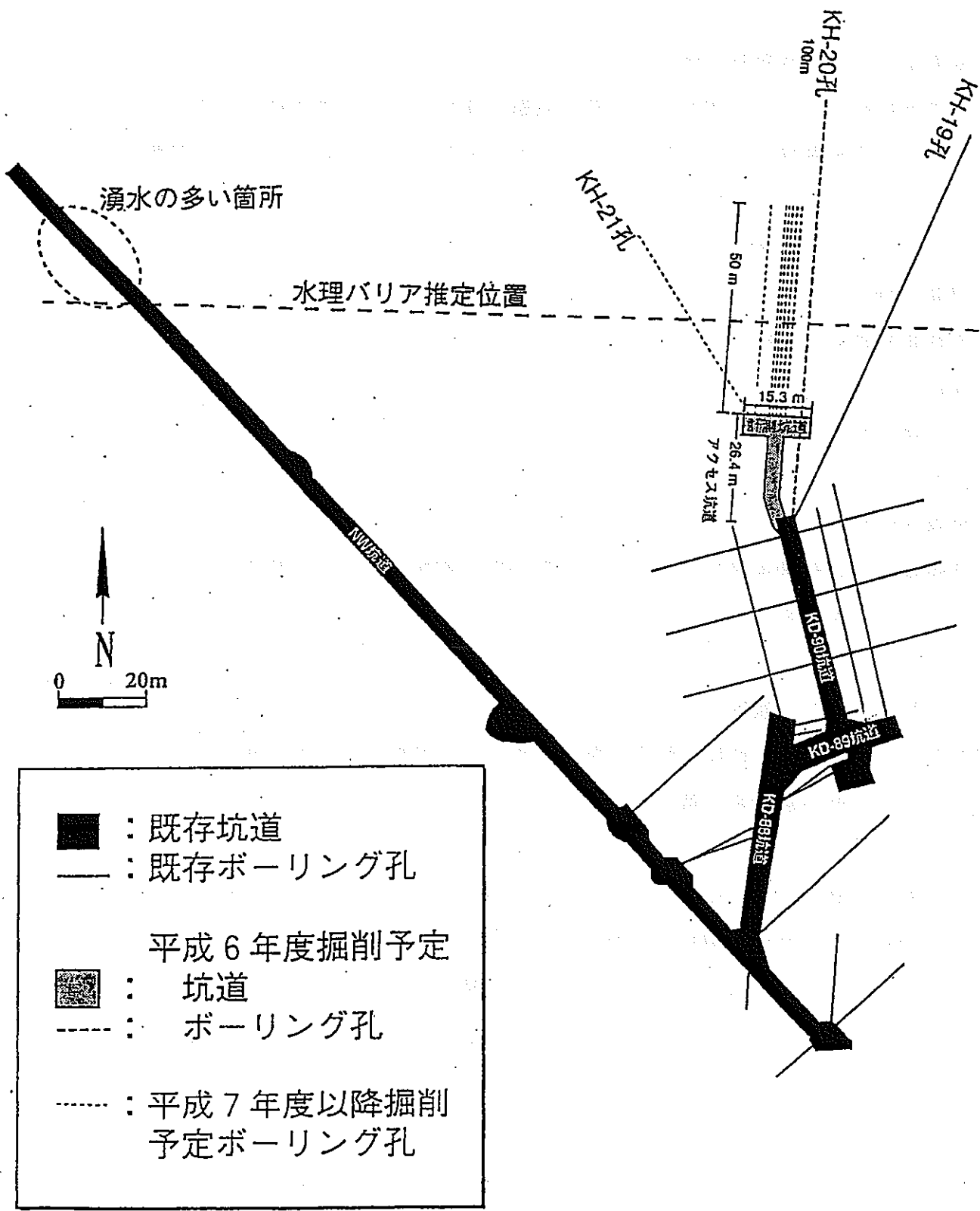


図-3.1.4 坑道およびボーリング孔レイアウト

3.2 調査試験項目

調査試験は、以下の項目からなる。

①試錐孔削孔および水理地質調査

孔間透水試験および非収着性トレーサー試験を実施するための基礎データとなる試験エリアの水理地質構造、特に亀裂分布、透水性亀裂の位置および透水性の把握を目的とした調査を行う。実施項目は、下記のものからなる。

アクセストンネル掘削

試錐孔掘削

孔内亀裂調査・検層

水圧モニタリング

単孔透水試験

②孔間透水試験

透水性亀裂の水理的連続性、透水性、水理的開口幅等のデータを取得するために、試錐孔間で透水試験を実施する。

③非収着性トレーサー試験

分散係数、物質移行上の開口幅を取得するために、試錐孔間で非収着性トレーサーを用いたトレーサー試験を実施する。

④評価・解析・考察

①～③の結果を総合的に解析し、第2次取りまとめで行う核種移行解析で用いる亀裂の透水、物質移行パラメータの推定を行う。孔間透水試験については、fractional dimension analysisを行い、流れの次元と流路の形状を推定し、チャンネルリングの存在を推定する。

3.3 調査試験数量

① 試錐孔削孔および水理地質調査

アクセストンネル掘削	40m
試錐孔掘削	100m×2本、80m×5本、口径はすべてNQ
孔内亀裂調査・流量検層	新たに掘削するすべての試錐孔の全延長
水圧モニタリング	新たに掘削するすべての試錐孔につき各7区間
単孔透水試験	80m (区間数は未定)

② 孔間透水試験

数量は、未定。

③ 非附着性トレーサー試験

数量は、未定。

3.4 調査試験工程

調査試験全体工程を表-3.4.1に示す。ただし、平成7年度以降の工程については、それまでの調査試験結果により変更が有り得る。

表-3.4.1 調査試験全体工程

調査試験項目	H6	H7	H8	H9
(田)試錐孔削孔および水理地質調査				
アクセストンネル掘削	—			
試錐孔掘削	—	—	—	
孔内亀裂調査・検層	—	—	—	
水圧モニタリング	—	—	—	—
単孔透水試験		—		
(月)孔間透水試験			—	
(火)孔間トレーサー試験				—
(水)評価・解析・考察		—	—	—

4. 平成6年度調査試験計画

本年度は、孔間透水試験および非収着性トレーサ試験の準備作業として、高間隙水圧領域の位置を確認するためのパイロットボーリング（KH-20孔、100m）の掘削およびアクセス坑道の開削、そしてパッカーの設置まで行う。またこれと平行して、KH-20孔掘削時の水理応答調査、BTV観察および岩芯観察による割れ目特性の把握を行う。

4.1 実施場所

岩手県釜石市甲子町第1地割80番地

釜石鉱山内 大嶺550m レベル原位置試験場

4.2 実施項目

- (1) 実施計画の策定
- (2) KH-20孔掘削と掘削時の水理応答調査
- (3) KH-20孔のボアホールTV観察、岩芯観察
- (4) KH-19孔およびKH-20孔での高精度流量検層
- (5) KH-19孔・20孔へのパッカー装置の設置および間隙水圧の測定
- (6) データの解析および水理地質構造モデルの検討

4.3 調査試験工程

平成6年度の調査試験工程を表-4.3.1に示す。また、調査試験の流れを図-4.3.1に示す。

表-4.3.1 平成6年度の調査試験工程

調査試験項目	箇所・仕様	1994					1995					
		8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	
①実施計画策定												
試験計画検討		—	—									
機器設計		—	—									
②KH-19孔内水圧観測システム更新												
圧力トランスデューサー設置	KH-19											
③試錐孔掘削												
KH-20孔	KH-20(ℓ=100m)											
④観測調査												
・KH-20孔掘削中の観測・調査												
水圧測定、湧水量測定	KH-20											
・KH-20孔掘削後の観測・調査												
コア観察												
BTV調査	KH-20											
流量検層	KH-20											
・アクセス坑道掘削時の試錐孔防護、ブラギング												
テンポラリパッカー設置	KH-20											
発破防護工	KH-19,KH-20											
KH-19,KH-20孔内ブリッジプラグ設置												
・パーマネントパッカー設置												
流量検層	KH-19											
パーマネントパッカー設置	KH-19,KH-20											
・間隙水圧観測												
KH-19孔	KH-19											
KH-20孔	KH-20											
⑤データ評価												
⑥報告書作成												

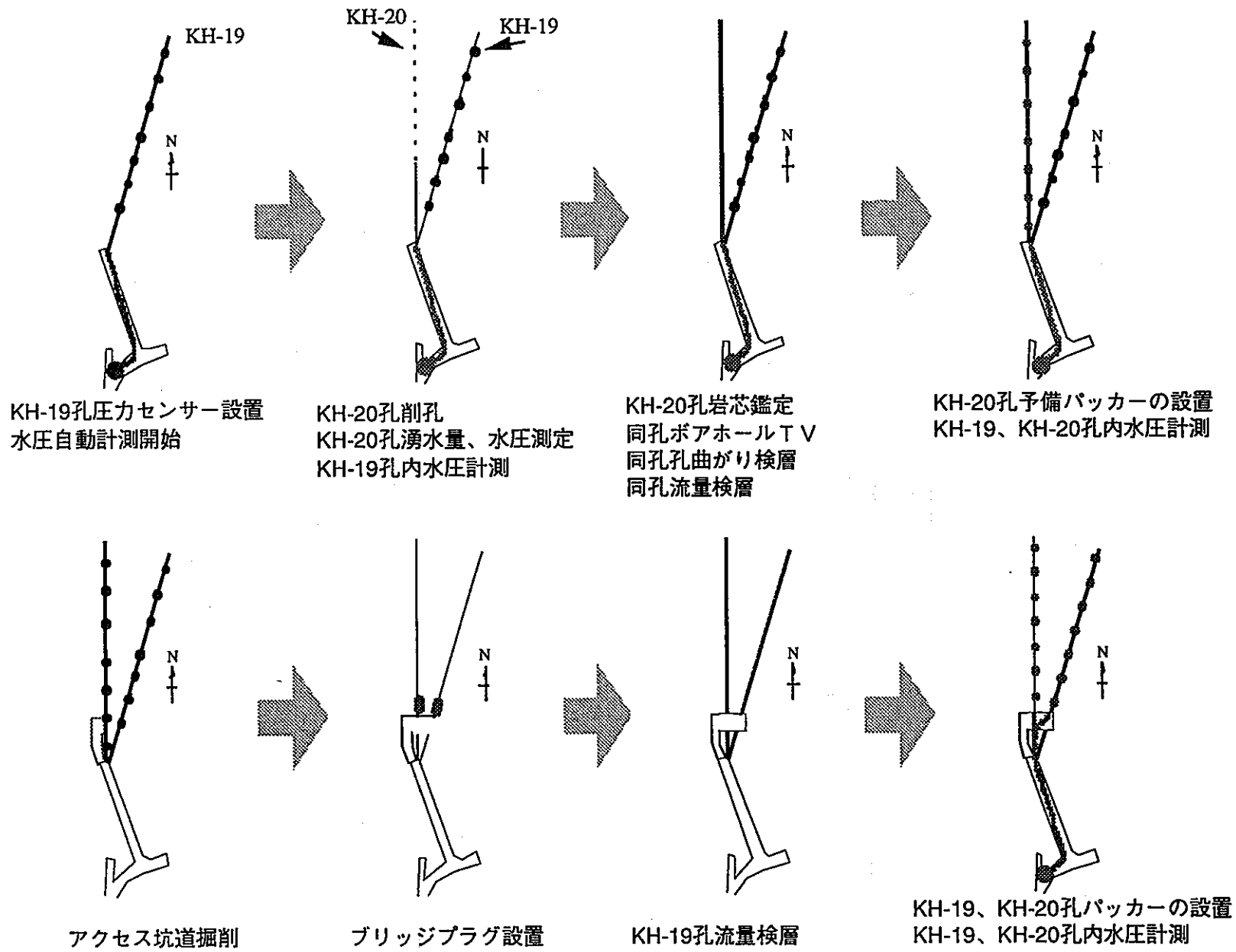


図-4.3.1 本年度の試験の流れ（概念図）

5.KH-20孔の削孔

5.1 概要

KH-20孔はKD-90坑道の奥部より方位N方向・傾斜-1°・孔径76mm・試錘長100mの計画で掘削した。図-5.1.1にKH-20孔とKH-19孔の位置関係を示す。KH-19孔に対してKH-20孔が約17°ほど西寄りである。本孔の掘削により、KH-19孔より西の領域での高間隙水圧ゾーンの分布状況を把握することを目的とする。

なおKH-20孔とKH-19孔の孔口の位置は表-5.5.1のようにになっている。

表-5.1.1 KH-20孔とKH-19孔の孔口位置

	合緯距(m)	合経距(m)	標高(m)
KH-19孔*	-74895.70	72681.34	577.38
KH-20孔	-74895.30	72680.78	578.15

*KH-19孔の測量結果は前回の測量結果（平成4年度 -74895.68、72681.33、577.40）のものと、各項目とも1、2cmずれているが、これは測量を行った点が微妙に異なっていた為と考えられる。

5.2 KH-20孔の削孔作業

(1) 削孔機器の構成と仕様

KH-20孔の削孔において、試錘機はロングイヤー社製L-38-98型、送水ポンプは同社製535RQ型を用いた。表-5.2.1に各機器の仕様を示した。

表-5.2.1 使用した試錘機・ポンプの仕様

	試錘機	ポンプ
製造	日本ロングイヤー社	日本ロングイヤー社
形式	L-38-98	535RQ
能力等	フィード Max 7ton	吐出量 Max 140 l/min

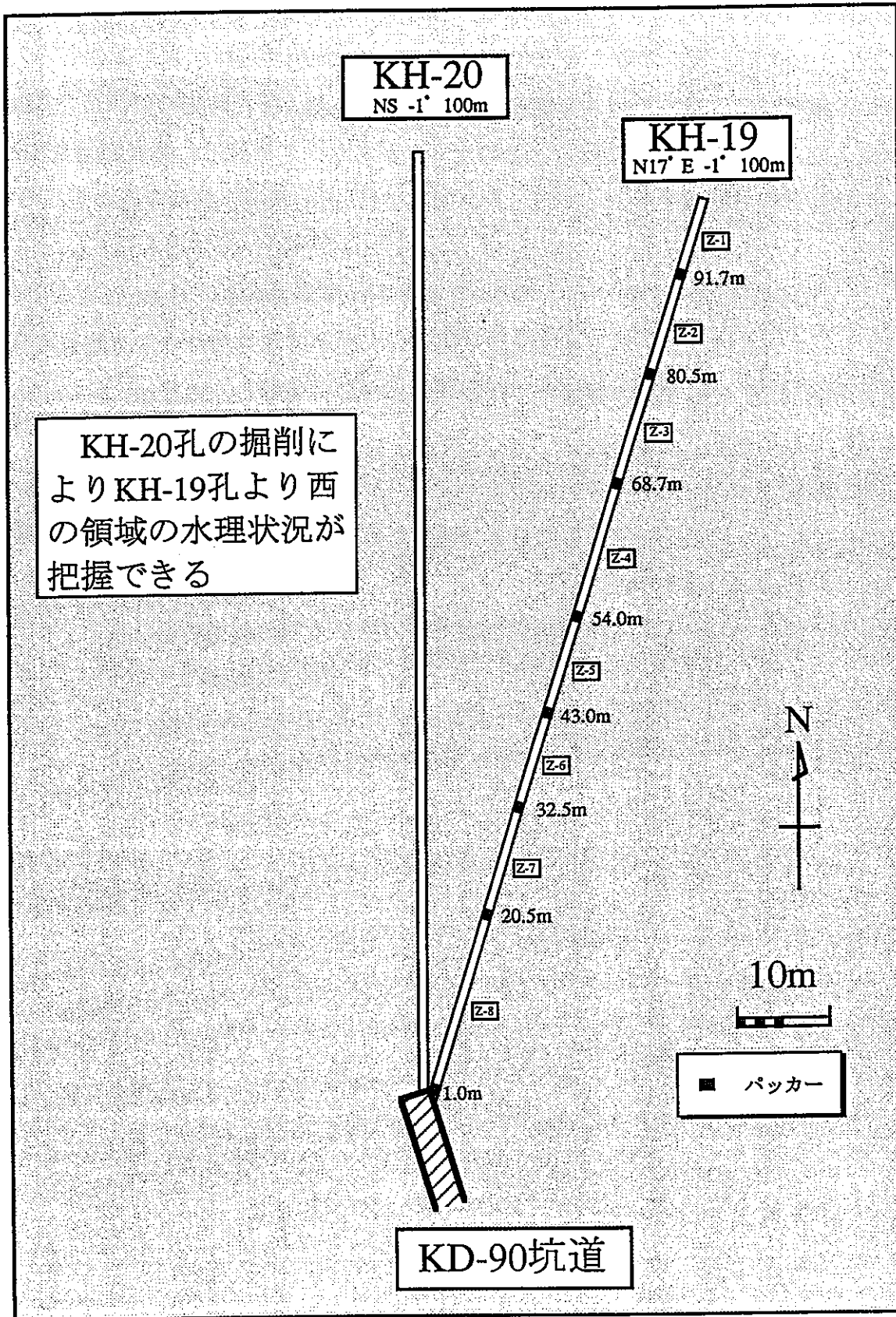


図-5.1.1 KH-19、20孔の位置関係

(2) 削孔深度および孔曲がりの測定

a. 掘削深度

KH-20孔の掘削時に掘削深度とその時刻を計測した。掘削深度は、掘削開始時のロッドの長さ、掘削により進んだ長さを加算することで求めた。また時刻の計測は、試錘機のロッド挿入部に10cm毎にマーク付け、そのマークがあらかじめ設けた基点を通過する時の時刻を10秒単位で記録することで行った。図-5.2.1に掘削状況と掘削深度の記録の様子を示した。

図-5.2.2は削孔開始日から終了日までの削孔深度との関係である。72.8mの地点に達した時点で、KH-19孔の水理応答より高間隙水圧帯の存在が確認されたので、観察の為に一時掘削を中断した。KH-20孔の掘削は、1995年10月14日に開始し、11月14日に100.3mの深度に達した時点で終了した。

b. 孔曲り測定

KH-20孔に関して、正確な錘進方向および傾斜を調査するために孔曲り測定を実施した。測定には坑井記録傾斜儀を用いた。

測定結果を表-5.2.2に示す。測定は3m間隔で行った。本孔の計画方位は真北方向に水平より -1° 下向きである。計画値と各深度で値のずれは、傾斜角で $0.00^{\circ}\sim-0.20^{\circ}$ および方位角で $-1.17^{\circ}\sim 0.13^{\circ}$ である。また距離にして、最終深度では垂直方向で下側に32cm、水平方向で西側に44cmのずれとなっている。

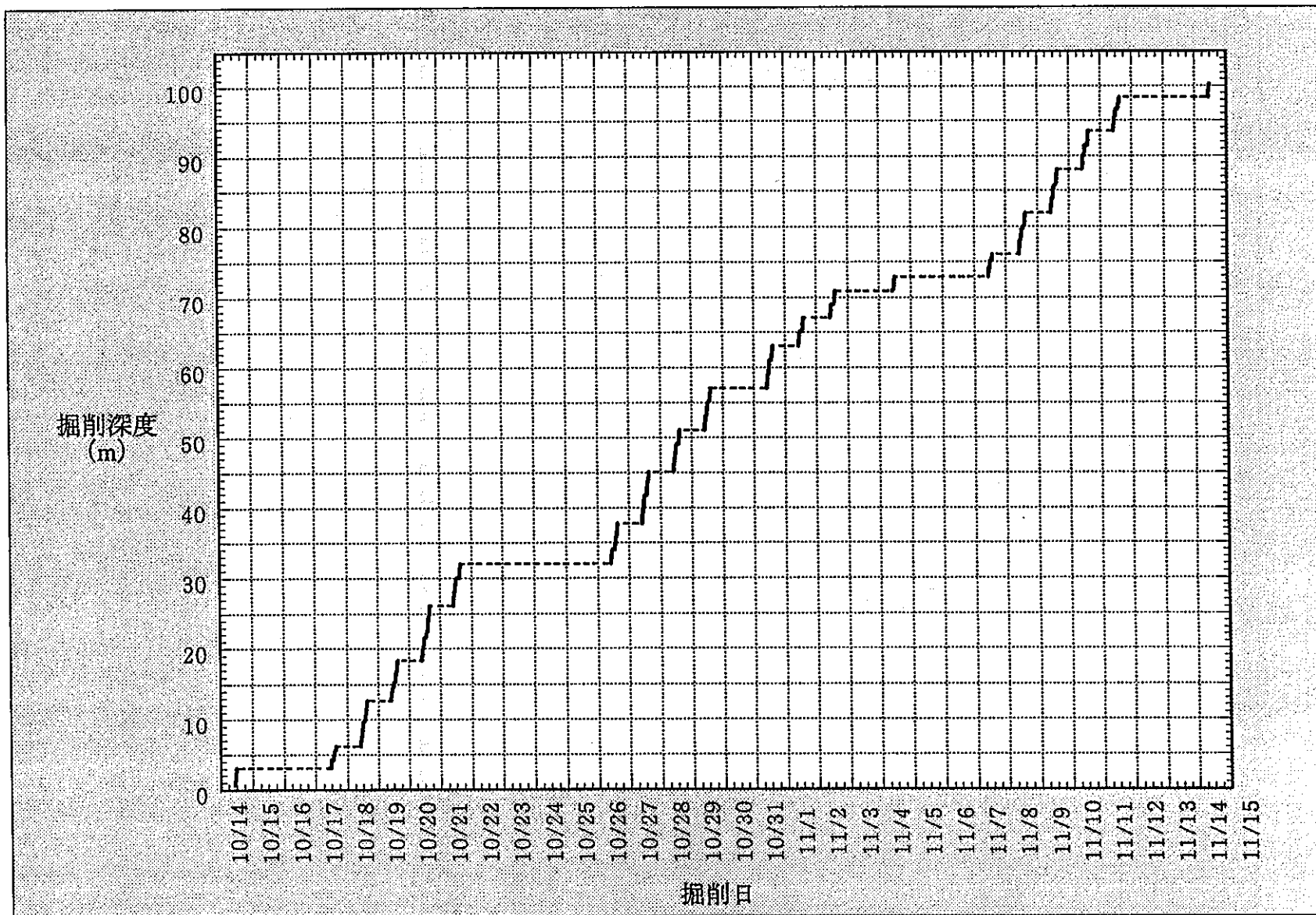


図-5.2.1 掘削日と掘削深度との関係

表-5.2.1 KH-20孔の孔曲がり測定結果

掘進長 m	実測結果		計画とのずれ		実測結果からの計算値			計画とのずれ		
	方位角*	傾斜角**	方位角	傾斜角	緯距 cm	経距 cm	標高 cm	緯距 cm	経距 cm	標高 cm
5	-0.67	-1.20	-0.67	-0.20	72685.78	-74895.36	578.05	0.00	-0.06	-0.02
8	-1.17	-1.20	-1.17	-0.20	72688.78	-74895.42	577.98	0.00	-0.12	-0.03
11	-0.67	-1.20	-0.67	-0.20	72691.78	-74895.45	577.92	0.00	-0.15	-0.04
14	-0.17	-1.20	-0.17	-0.20	72694.78	-74895.46	577.86	0.00	-0.16	-0.05
17	-0.17	-1.20	-0.17	-0.20	72697.78	-74895.47	577.79	0.00	-0.17	-0.06
20	0.13	-1.00	0.13	0.00	72700.77	-74895.46	577.74	0.00	-0.16	-0.06
23	0.13	-1.00	0.13	0.00	72703.77	-74895.46	577.69	0.00	-0.16	-0.06
26	0.13	-1.00	0.13	0.00	72706.77	-74895.45	577.64	0.00	-0.15	-0.06
29	0.13	-1.20	0.13	-0.20	72709.77	-74895.44	577.57	0.00	-0.14	-0.07
32	0.13	-1.20	0.13	-0.20	72712.77	-74895.44	577.51	0.00	-0.14	-0.08
35	-0.17	-1.20	-0.17	-0.20	72715.77	-74895.45	577.45	0.00	-0.15	-0.09
38	-0.17	-1.20	-0.17	-0.20	72718.77	-74895.45	577.39	0.00	-0.15	-0.10
41	-0.17	-1.20	-0.17	-0.20	72721.77	-74895.46	577.32	0.00	-0.16	-0.11
44	-0.37	-1.00	-0.37	0.00	72724.77	-74895.48	577.27	0.00	-0.18	-0.11
47	-0.87	-1.20	-0.87	-0.20	72727.77	-74895.53	577.21	0.00	-0.23	-0.12
50	-0.17	-1.20	-0.17	-0.20	72730.77	-74895.54	577.14	0.00	-0.24	-0.13
53	-0.67	-1.20	-0.67	-0.20	72733.77	-74895.57	577.08	0.00	-0.27	-0.14
56	0.13	-1.20	0.13	-0.20	72736.77	-74895.56	577.02	0.00	-0.26	-0.15
59	-0.17	-1.20	-0.17	-0.20	72739.77	-74895.57	576.96	-0.01	-0.27	-0.16
62	-0.67	-1.20	-0.67	-0.20	72742.77	-74895.61	576.89	-0.01	-0.31	-0.17
65	-0.17	-1.20	-0.17	-0.20	72745.76	-74895.62	576.83	-0.01	-0.32	-0.18
68	-0.17	-1.30	-0.17	-0.30	72748.76	-74895.63	576.76	-0.01	-0.33	-0.20
71	-0.67	-1.20	-0.67	-0.20	72751.76	-74895.66	576.70	-0.01	-0.36	-0.21
74	-0.17	-1.20	-0.17	-0.20	72754.76	-74895.67	576.64	-0.01	-0.37	-0.22
77	-0.17	-1.20	-0.17	-0.20	72757.76	-74895.68	576.57	-0.01	-0.38	-0.23
80	-0.37	-1.20	-0.37	-0.20	72760.76	-74895.70	576.51	-0.01	-0.40	-0.24
83	0.13	-1.20	0.13	-0.20	72763.76	-74895.69	576.45	-0.01	-0.39	-0.25
86	-0.17	-1.30	-0.17	-0.30	72766.76	-74895.70	576.38	-0.01	-0.40	-0.27
89	-0.17	-1.20	-0.17	-0.20	72769.76	-74895.71	576.32	-0.01	-0.41	-0.28
92	-0.17	-1.20	-0.17	-0.20	72772.76	-74895.72	576.25	-0.01	-0.42	-0.29
95	-0.17	-1.30	-0.17	-0.30	72775.76	-74895.72	576.19	-0.01	-0.42	-0.31
98	-0.17	-1.20	-0.17	-0.20	72778.76	-74895.73	576.12	-0.01	-0.43	-0.32
100.3	-0.17	-1.20	-0.17	-0.20	72781.06	-74895.74	576.08	-0.01	-0.44	-0.32

*方位角は北を0として東周りの方向を+としている。

**傾斜角は水平を0として下向きを-としている。

6.KH-20孔BTV・割れ目調査

6.1 調査概要

試験エリア内の地質構造および水理状況を推測するため、KH-20孔に関して、BTVで孔内観察を行うとともに、コア鑑定を実施して割れ目の特性に関して考察を行った。

(1) BTV観察

BTVの観察においては、BIPシステム（Borehole Image Processing System）を用いて孔壁の連続展開画像を作成し開口の有無、破碎状況を確認するとともに、割れ目の走向傾斜のデータセットを作成した。

表-6.1.1にBIPシステムの仕様を示す。

表-6.1.1 BIPシステムの仕様

	展開画像	全周画像
色調	カラー（RGB各8bit）	カラー（アナログ）
分解能	0.5mm（φ66mm）	0.15mm（φ66mm）
記録方式	デジタルMT	VTR
撮影記録装置	0～54m/h（max.72m/h）	静止～54m/h
最大深度	300m	
適用孔径	66～180mm（水中では透明度に依存）	

(2)コア鑑定

コアの岩質、変質の程度、破碎部、およびコアで観察される割れ目に関してコア鑑定を行った。割れ目の鑑定項目は表-6.1.2に示したとおりである。

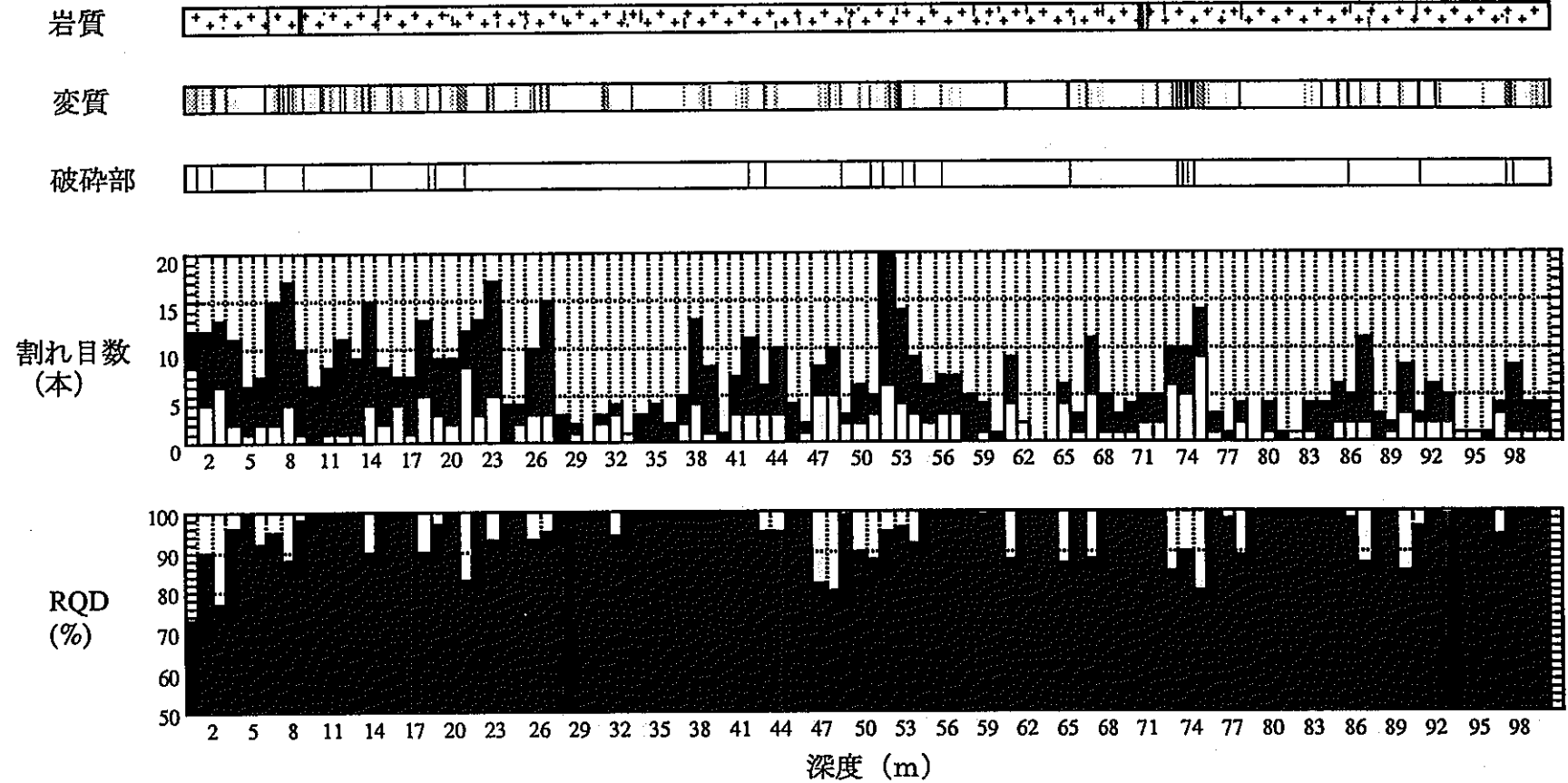
表-6.1.2 割れ目の鑑定項目と内容

項目	鑑定内容
割れ目パターン1	開口、閉鎖割れ目の区分
開口幅	開口の幅がどの程度であるか
割れ目パターン2	割れ目の形状による分類
端形状	割れ目の岩芯での連続性による分類
粗さ	割れ目面の粗さによる分類
変位	割れ目の変位置
条線	条線の有無とその、面上での方向
破碎帯	破碎帯の幅
変質程度	岩芯の組織より変質の程度を分類
変質色	変質の色により分類
変質幅	変質部の幅
充填鉱物	割れ目を充填している鉱物種
充填幅	充填鉱物の幅
混合鉱物	数種類の鉱物が混合している部分を色で区分
割れ目タイプ	割れ目を充填鉱物の充填形態等より総合的に区分

6.2 KH-20孔地質概要

図-6.2.1は、KH-20孔の総合地質柱状図である。各深度における岩質、変質の程度、破碎部、及び1m区間毎の割れ目頻度、RQDが示してある。

KH-20孔の岩質は全孔にわたり花崗閃緑岩である。部分的に数cm～数10cm程度の閃緑岩のゼノリスが見られるが、大きな岩質の変化は認められない。



凡例	岩質	変質	破碎部	割れ目数	
田	花崗閃緑岩	□	■	□	開口
■	閃緑岩	□	■	■	閉鎖
		□			
		□			
		□			
		■			
		■			

図-6.2.1 KH-20孔 地質総合柱状図

6.3 割れ目の特性

(1) 開口の有無による割れ目走向傾斜

図-6.3.1の(1)はKH-20孔の割れ目のうちBTVで走向傾斜が明らかになった全割れ目452本に関してステレオ投影したものである。割れ目の走向傾斜がN70E75Nの付近に、極の集中領域が生じていることが分かる。極の分布は、この集中領域を中心として、次第に減少して分布している傾向があり、大きくはこの1方向に割れ目は集中していると見なせる。

(2) 割れ目の変質

割れ目の変質に関して、その幅と色、程度と色に関して考察する。

表-6.3.1は変質割れ目の色と、その本数および変質割れ目全体における頻度を示したものである。変質の色は、ピンク色、赤色、オレンジ色、褐色、灰色、黄緑色、緑色、白色の8タイプが観察された。頻度が高いのは、白色変質の38.6%とオレンジ色変質の36.8%である。また、褐色変質の16.3%や灰色変質の6.3%がこれに次いでいる。

表-6.3.1 変質割れ目の色とその本数、頻度との関係

変質色	白色	緑色	黄緑色	灰色	褐色	オレンジ色	赤色	ピンク色
本数	175	2	2	28	73	165	4	1
頻度(%)	38.9	0.4	0.4	6.2	16.2	36.7	0.9	0.2

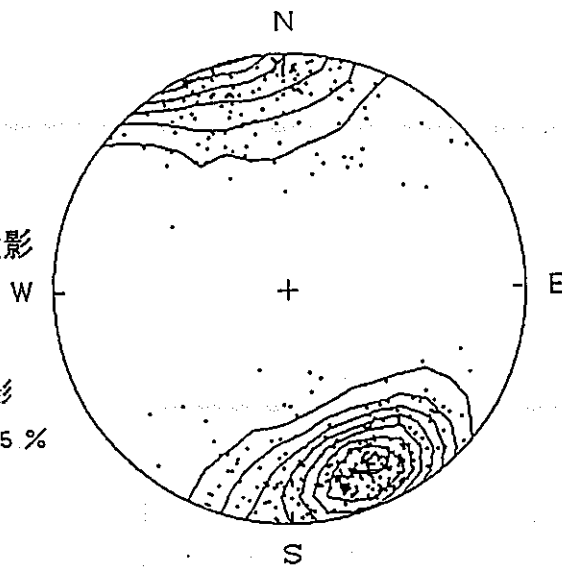
(3) 割れ目の充填鉱物

割れ目の充填鉱物に関して、その充填幅、および変質との関係について考察する。

図-6.3.2は、充填鉱物別にその全割れ目に対する出現頻度と、どのような程度の変質を伴うかに関して示したものである。各鉱物の出現頻度は高い順に、緑泥石75.2%、方解石64.6%、濁沸石38.5%、緑簾石22.3%、そして束沸石7.3%等である。また混合鉱物では、暗緑色混合鉱物が59.7%、黄緑色混合鉱物が18.1%、そして黒色混合鉱物が11.3%である。各鉱物とも様々な変質程度の割れ目に出現し、目立った傾向は認められなかった。なお、この解析では鉱物の産状に関しては考慮していない。充填鉱物と変質の程度との間の関係をより明らかにするためには、産状等の考慮をした解析が必要である。

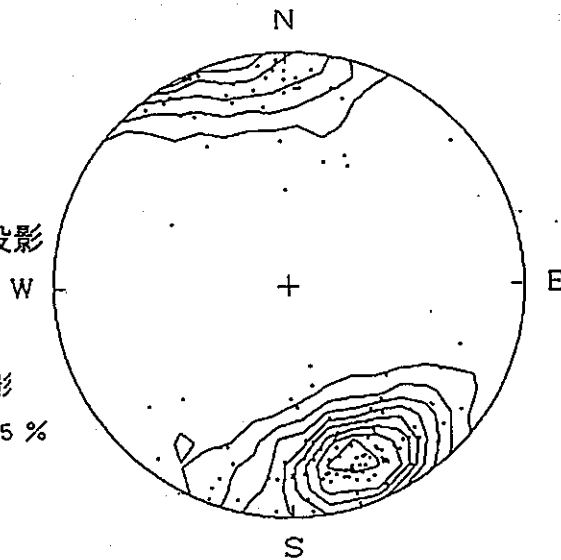
(1) 全体割れ目の極のステレオ投影

KH-20
 FRACTURE解析
 ステレオ投影図 極の投影
 シュミットネット 下半球投影
 試料数 452
 小円を用いる パラメータ 5 %
 コントアのパラメータ
 始め n= 5
 終わり n=100
 間隔 n= 5



(2) 開口割れ目の極のステレオ投影

KH-20-0
 FRACTURE解析
 ステレオ投影図 極の投影
 シュミットネット 下半球投影
 試料数 146
 小円を用いる パラメータ 5 %
 コントアのパラメータ
 始め n= 5
 終わり n=100
 間隔 n= 5



(3) 閉鎖割れ目の極のステレオ投影

KH-20-C
 FRACTURE解析
 ステレオ投影図 極の投影
 シュミットネット 下半球投影
 試料数 306
 小円を用いる パラメータ 5 %
 コントアのパラメータ
 始め n= 5
 終わり n=100
 間隔 n= 5

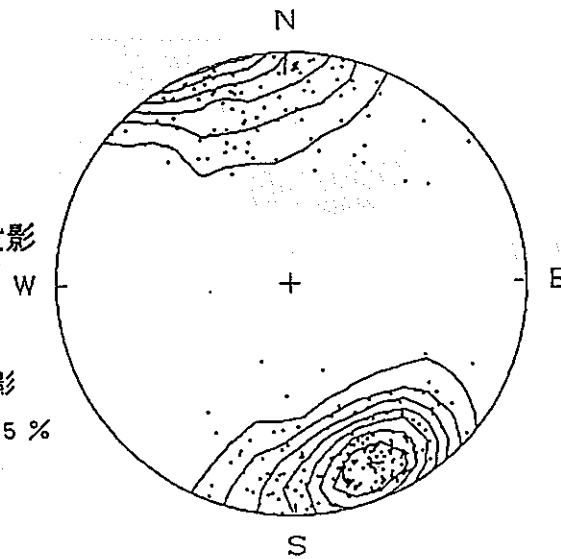


図-6.3.1 全割れ目と開口および閉鎖割れ目のステレオ投影図

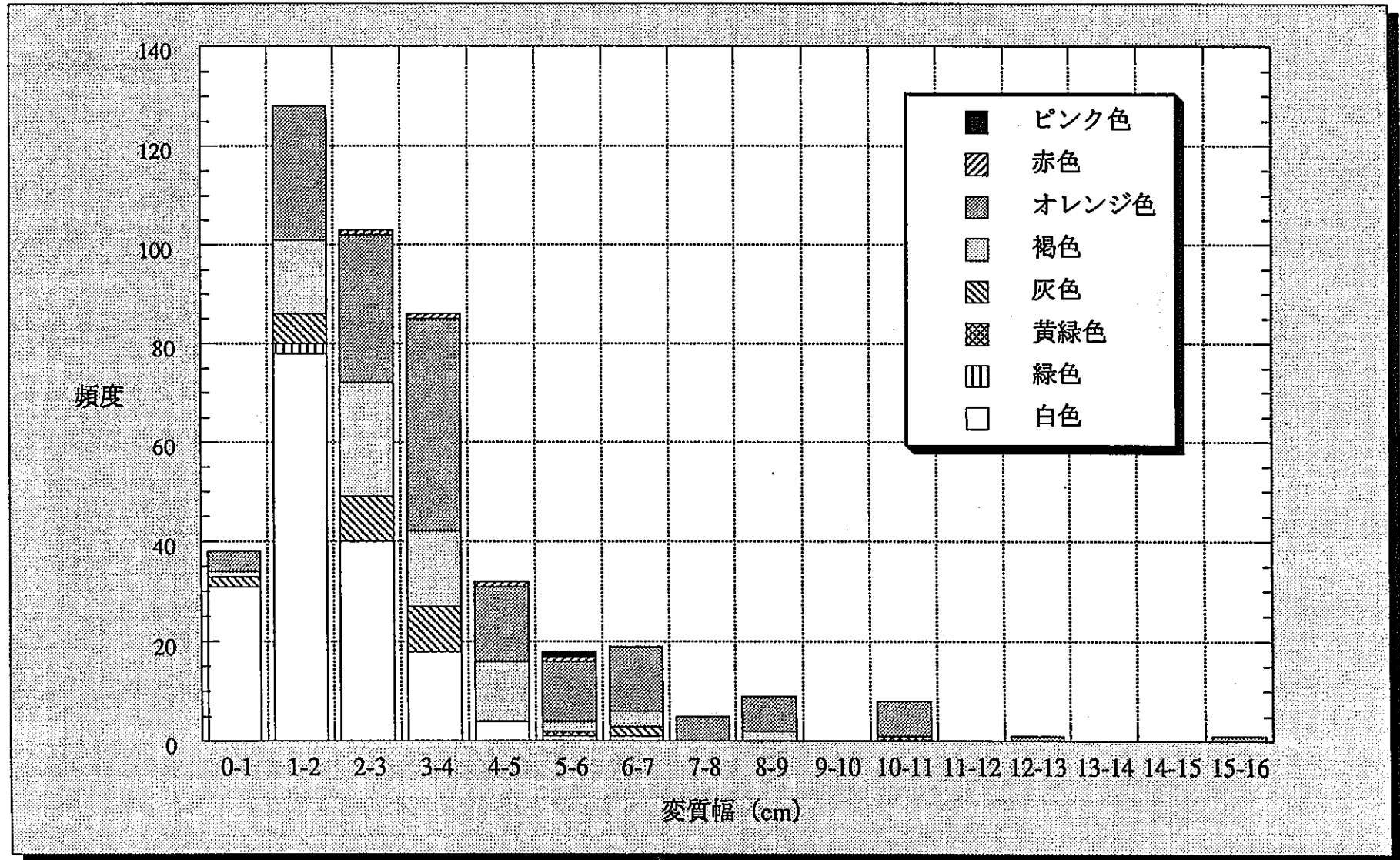


図-6.3.2 割れ目周辺の変質幅とその頻度及び色との関係

(4) 割れ目タイプ

平成4年度の原位置試験において、KH-19孔のコア鑑定項目に割れ目形態が取り入れられた。表-6.3.2に形態の分類の基準を示した。

表-6.3.2 割れ目形態の分類の基準

タイプ	分類	特徴
タイプ1	断層	厚さ20mm以上の断層破砕物を持ち、粘土質マトリックス中に母岩ブロック、母岩起源の石英、長石等の鉱物粒子を含有する。破断面を境界とし、明瞭な鉱物粒子の細流化が認められる。
タイプ2	断層破砕物を含有する割れ目	断層破砕物の厚さは問わないが、断層破砕物を含有する。
タイプ3	脈	充填幅が5mm以上で、充填物と母岩との境界が明瞭である。破断面が2面存在し、ほぼ平行に発達している。
タイプ4	細脈	充填幅が5mm以下であり、充填物と母岩の境界が不明瞭である。破断面が非常に不規則であり、充填物を含まない箇所も存在する。
タイプ5	癒合割れ目	破断面が存在するが癒着している。明瞭な充填物を含まず、石英、長石の非常に弱い変質を伴う。

各タイプの割れ目数は、それぞれタイプ1が7本、タイプ2が39本、タイプ3が47本、タイプ4が286本、タイプ5が73本である。タイプ4の細脈が圧倒的に多い。図-6.3.3の(1)~(5)は割れ目のタイプ毎に、割れ目の極をステレオ投影したものである。各タイプの極の集中領域はほぼ同様な部分に存在しており、各タイプ間で明瞭な走向傾斜の分布の相違は認められなかった。

6.4 まとめ

KH-20孔BTV・割れ目調査の結果は以下様にまとめられる。

- (1) 変質の分布や破碎部の分布は、それらが幾つか近接して存在する区間と、存在がまばらな区間とに区分できる。また割れ目の存在頻度も不均一な分布を示し、割れ目が多く存在する区間と少ない区間との分けられる。
- (2) 割れ目全体の走向傾斜はN70E75N付近に集中する様な分布をしている。
- (3) 開口割れ目は全体の約1/3を占める。なお、開口割れ目と閉鎖割れ目との走向傾斜の全体的な傾向には大きな相違は認められない。
- (4) 割れ目の変質幅は、2cm前後にピークが見られ、8cmを越える様な規模のものはまれである。変質の色は変質幅が大きくなるに従って、白系統より赤系統のものが多くなる傾向にある。
- (5) 変質の色は、変質程度が上がるほど白系統の色から赤系統の色へと変化する傾向がある。
- (6) 充填鉱物幅は2mm前後にピークを持つ分布を示し、10mmを越える様な規模のものは希である。なお割れ目の充填幅が大きくなると、変質の色は白系統のものより赤系統のものが多くなる傾向がある。
- (7) 主要な充填鉱物としては、緑泥石、方解石、濁沸石、緑簾石、東沸石等、また暗緑色混合鉱物、黄緑色混合鉱物、黒色混合鉱物等が認められる。なお、変質程度により、極端に出現する鉱物に変化する様な傾向は認められない。充填鉱物の違いによる走向傾斜の卓越方向の相違は認められなかった。
- (8) タイプ別の割れ目分類では、細脈が最も多い。なおタイプ毎の走向傾斜の集中領域は、タイプに拘らず同様なものである。

7.KH-20孔掘削時の水理応答調査

7.1 調査概要

透水性割れ目の分布を推定する目的で、KH-20孔の掘削時におけるKH-19孔の各パッカー区間の間隙水圧の変化、およびKH-20孔の各掘削深度での全湧水量と間隙水圧の変化の調査を行った。

7.2 KH-19孔の間隙水圧測定

(1) 間隙水圧測定方法

KH-19孔では、全長100mが8区間に区分され、各区間の間隙水圧が測定されている。KH-20孔の掘削に伴って、KH-19孔のある区間で間隙水圧の変化が生じた場合、その掘進深度より、KH-19孔とKH-20孔間に存在する透水性割れ目の位置を推定することができる。

図-7.2.1に計測と解析の様子を示した。計測は次のような方法で行った。

KH-20孔側：掘削時に、10cmごとの深度とその時刻を記録する。観察は目視で実施し、時刻の記録は10秒単位で行った。

KH-19孔側：8区間の間隙水圧の変化をデータロガーを用いて計測した。データのサンプリング間隔は2分で、24時間体制で行った。

解析は、次のような手順で行った。まずKH-19孔において間隙水圧変化が生じた時刻より、KH-20孔での掘削深度を特定する。次に、特定された深度の近傍において候補となる開口割れ目を抽出する。コア観察の結果より、抽出した割れ目の妥当性を考察する。

(2) 間隙水圧測定結果

KH-20孔の掘削に伴って、KH-19孔の区間-7を除く各区間において間隙水圧の変化が観察された。表-7.2.1にKH-20孔の掘削深度と間隙水圧変化が生じた区間との対応を示した。

以下にKH-20孔の掘削に伴って生じた、区間-5の間隙水圧の変化の状況を述べる。またコア観察の結果と併せて透水性割れ目を推定し、その特徴に関して説明する。

表-7.2.1 KH-20孔掘削深度とKH-19孔の間隙水圧変化区間との対応

KH-20孔掘削深度	KH-19孔で間隙水圧変化が見られた区間
6m付近	区間-6・8
7.5m付近	区間-6
33m付近37.5m付近	区間-5
72.8m付近	区間-1・2・3・4

図-7.2.2に10/26の区間5の間隙水圧の時間変化と掘削深度との関係を示す。区間5の間隙水圧の値は、掘削開始後33m付近より緩やかに下降し始め、37.5m付近を超えた時点より急激に下降し8kg/cm²以下にまで達している。

コア観察の結果より、最初の緩やかな変化を生じさせたのは深度32.87mの地点に存在する割れ目で、あと急激な変化を生じさせたのは深度37.46mの地点に存在する割れ目であることが判明した。図-7.2.3は深度32.87mの割れ目、および図-7.2.4には深度37.46mの割れ目のBTVの展開図を示した。これらの割れ目の特徴は以下の様なものである。

深度32.87mの割れ目の特徴：

走向傾斜はN52E80SE。中程度のオレンジ変質を伴う開口割れ目。変質幅は8cm程度である。充填鉱物は黄緑色と暗緑色混合鉱物、および緑簾石、方解石、緑泥石が認められた。充填幅は4mm程度である。

深度37.46mの割れ目の特徴：

走向傾斜はN73E74N。8mm程の開口幅を有する割れ目。弱い白色変質を伴う。変質幅は3cm程度である。充填鉱物は束沸石と緑泥石が認められ、充填幅は8mm程度である。

7.3 KH-20孔口元湧水量の測定

(1) 湧水量測定方法

KH-20孔の湧水割れ目の存在位置を推定するために、毎日の掘削作業終了時に湧水量の測定を行った。測定はボーリングのロッドを引き抜いた後に孔内を水で満たし、その後10分間待ってから行った。計測はメスシリンダーを用いて行い、3回連続してほぼ値が一定となった段階でその平均値を測定値とした。

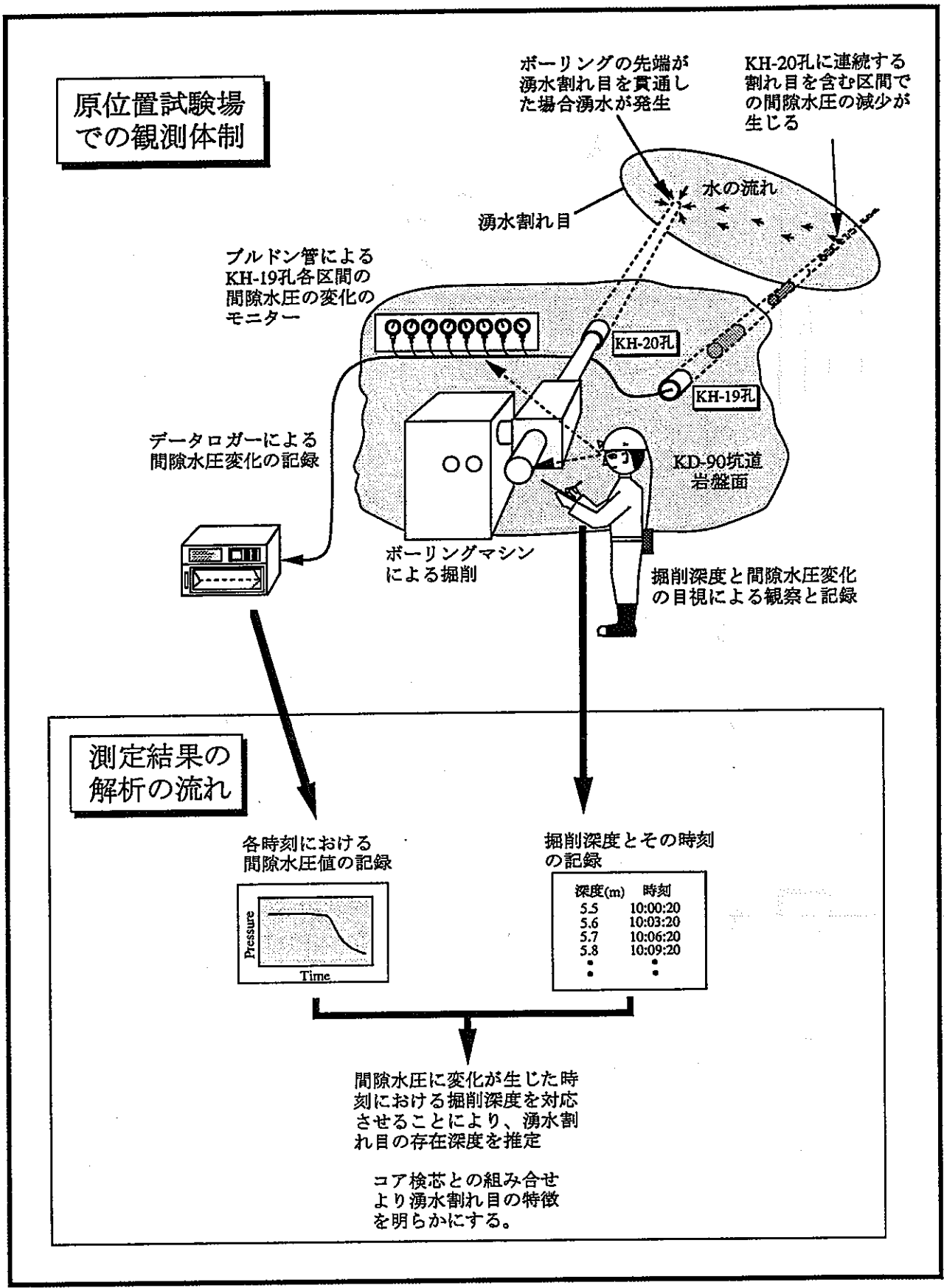


図-7.2.1 KH-19孔の間隙水圧測定概念図

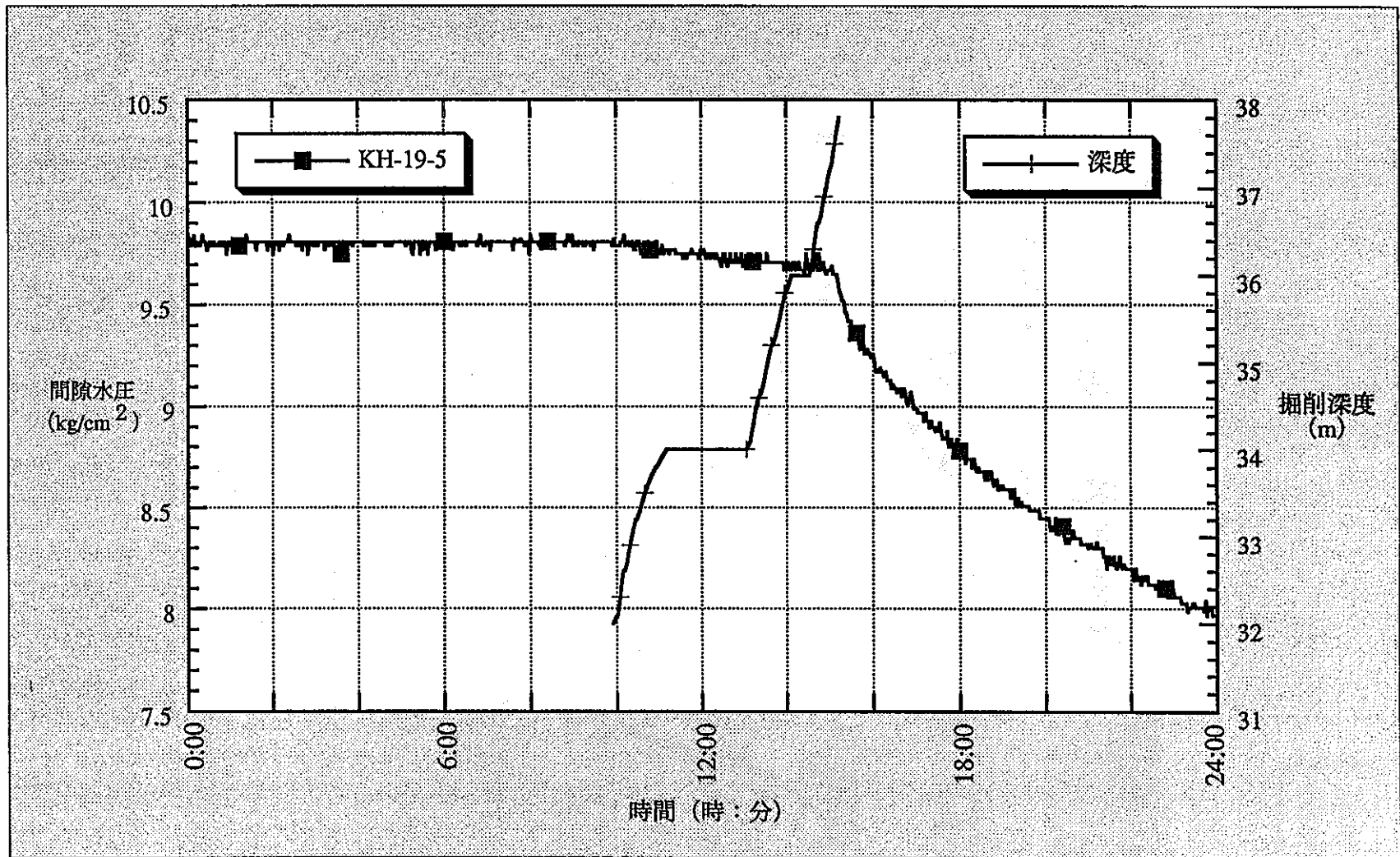


図-7.2.2 間隙水圧の時間変化と掘削深度との関係
(10/26 区間-5)

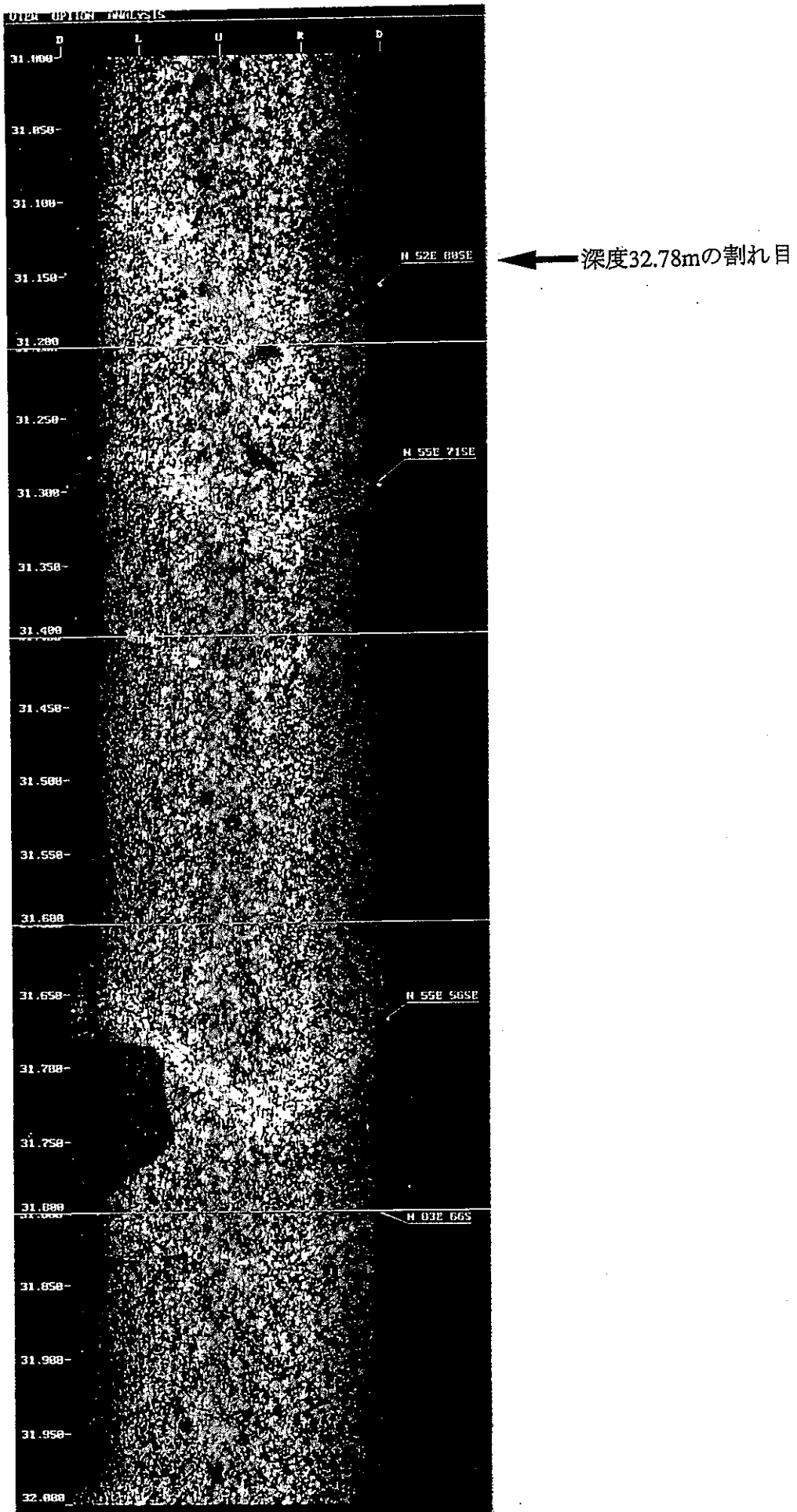
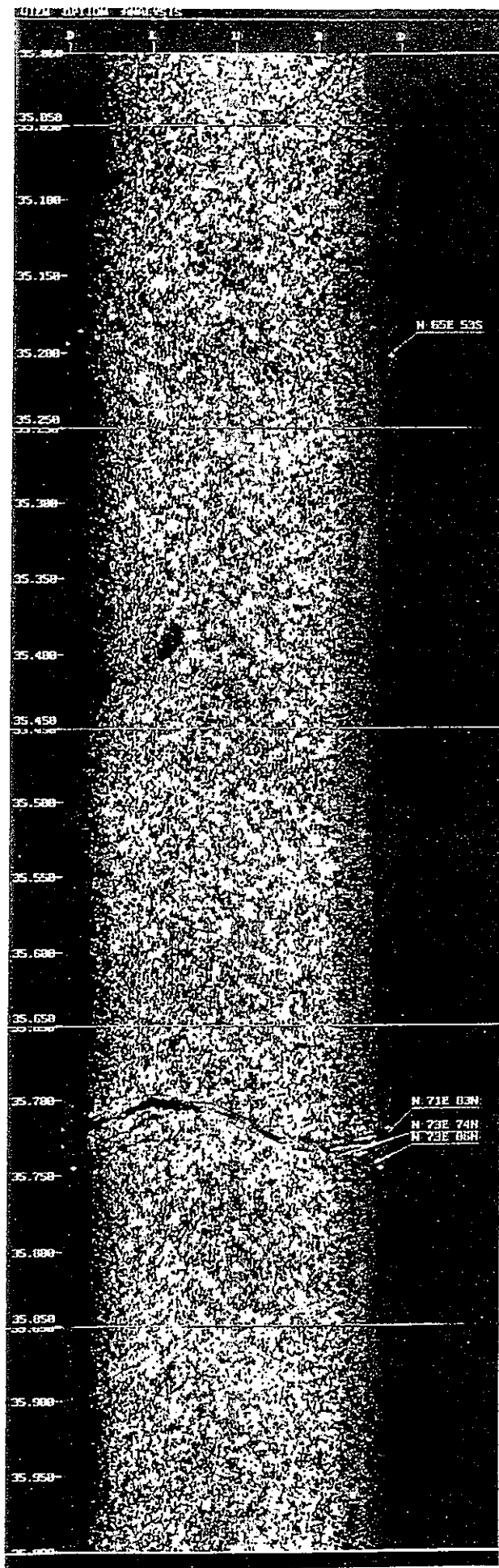


図-7.2.3 深度32.78mの割れ目のBTV展開画像



← 深度37.46mの割れ目

図-7.2.4 深度37.46mの割れ目のBTV展開画像

(2) 湧水量測定結果

表-7.3.1に測定結果を示す。表には各掘削深度までの全湧水量の他に、掘削による湧水量の変化量を示した。図-7.3.1は各深度を横軸にとり湧水量を縦軸にとってプロットした図面である。グラフで右上がりの部分は湧水量が増加している区間、右下がりの部分は湧水量が減少している区間である。

以上の結果をまとめると、湧水量の増加が最も大きかったのは、70.9～72.9m区間の1214cc、次いで49.1～51.5m区間の447cc、以下88.0～91.45m区間の324cc、0～6.2m区間の274cc、6.2～12.7mの230cc等である。なお、幾つかの区間では掘削が更に進んだにもかかわらず、湧水量が減少している場合も認められる。このような現象は、急激な湧水量の増加が認められた後に多い。

KH-20孔の100mの区間を、湧水状況から判断した水みちの発達程度に従って区分すると、表-7.3.2に示したような5区間に分けることができる。

表-7.3.2 湧水量のより推定した水みちの発達程度による各区間の区分

区間 (掘削深度)	湧水割れ目の存在程度	区間の湧水量と水みちの発達状況
区間-1 (0～10数m付近)	多い	湧水量が10数mで400cc/min増加した区間。相対的に湧水量が多く、水みちが発達している。
区間-2 (10数～30数m付近)	少ない	湧水量の変化がほとんど認められなかった区間。水みちの発達は乏しい。
区間-3 (30数～55m付近)	やや多い	湧水量が20m程度の区間で400cc/min増加した区間。やや水みちが発達している。
区間-4 (55～70m付近)	少ない	湧水量の変化がほとんど認められなかった区間。水みちの発達は乏しい。
区間-5 (70～100m付近)	非常に多い	湧水量が30m程度の区間で1700cc/min増加した区間。非常に水みちの発達が著しい。

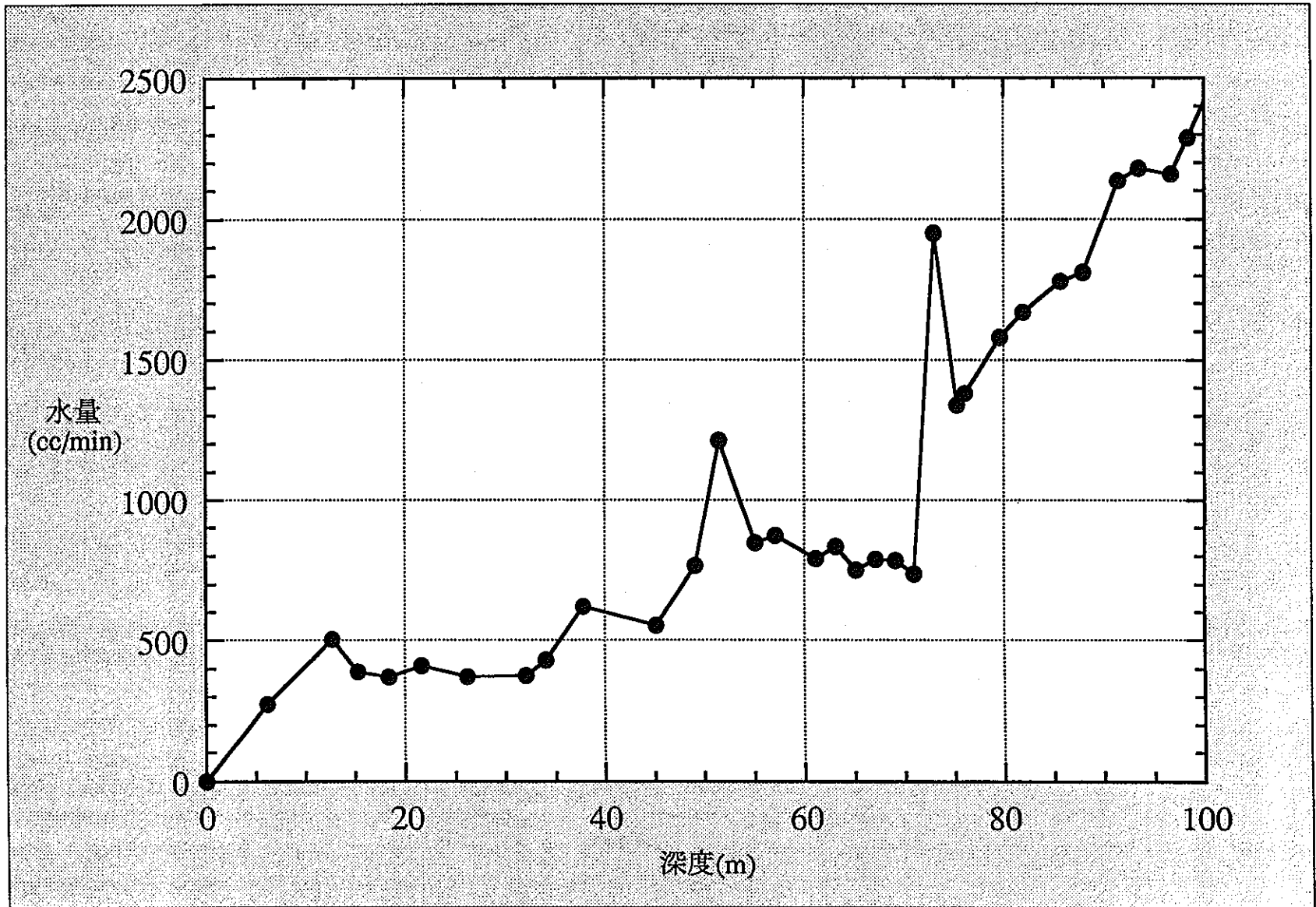


図-7.3.1 掘削深度と湧水量との関係

7.4 KH-20孔口元での間隙水圧測定

(1) 間隙水圧測定方法

KH-20孔の掘削時に、掘削された深度までの全区間における間隙水圧の測定を行った。測定は湧水量の計測終了後、孔内を水で満たし孔口に蓋をしてから開始した。

(2) 間隙水圧測定結果

表-7.4.1にKH-20孔の各掘削深度までの全区間における間隙水圧の値を示す。使用した値はデータロガーの読み値で、掘削開始直前のものを使用している。

図-7.4.1は横軸にKH-20孔の掘削深度、縦軸に掘削深度までの全区間での間隙水圧をとりプロットしたグラフである。KH-20孔の間隙水圧の値の変化の様子は、深度70.9mを境にして大きく2区間に区分できる。70.9mまでの区間では、1.20～1.64 kg/cm²の範囲内を変動しているが、大きな変化は見られない。一方深度が70.9mを越えた区間においては、間隙水圧が1.55kg/cm²の値より最終的に5.36kg/cm²の値に達するまで連続的に上昇している。

表-7.4.1 各掘削深度におけるKH-20孔の間隙水圧の値

掘削深度 (m)	間隙水圧 (kg/cm ²)
6.2	1.29
12.7	1.27
18.4	1.23
26.2	1.20
32.0	1.32
37.8	1.50
45.1	1.50
51.1	1.64
57.1	1.55
63.1	1.50
70.9	1.55
76.1	2.70
81.9	3.89
88.0	4.61
93.5	4.95
98.4	5.36

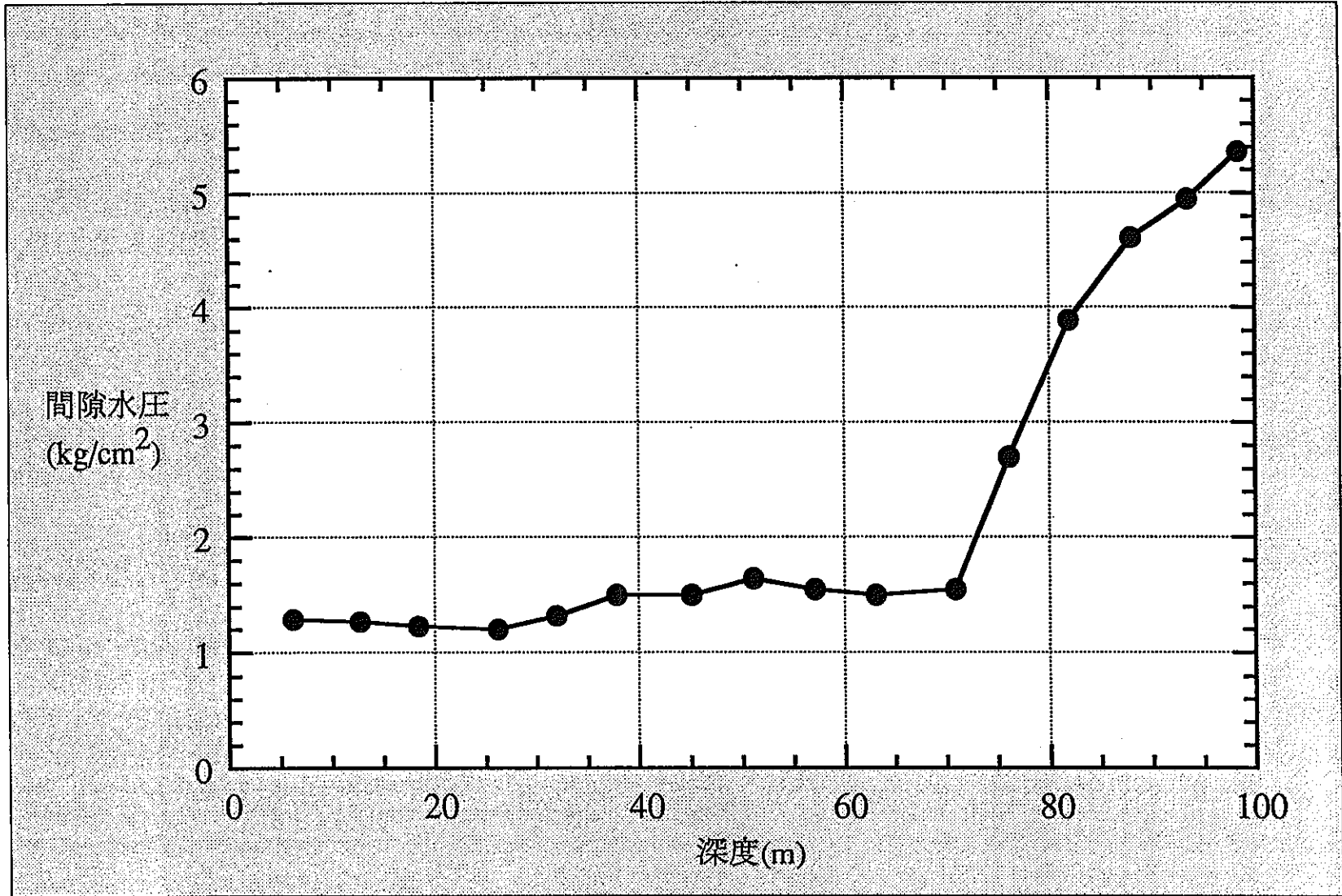


図-7.4.1 各掘削深度におけるKH-20孔の間隙水圧の値

7.5 水理応答調査のまとめ

図-7.5.1は水理応答試験の結果をまとめて示したものである。試験の結果より以下のようなことが判明した。

- (1) KH-20孔の掘削により生じたKH-19孔各区间での間隙水圧の変化の結果より、KH-19孔に連続する透水割れ目の存在が推定された。
- (2) 掘削時の湧水量測定から、72m付近より奥で湧水が急に増加することが判明した。
- (3) KH-20孔の間隙水圧の測定結果より、間隙水圧は72m付近より奥で急激に高くなることが判明した。

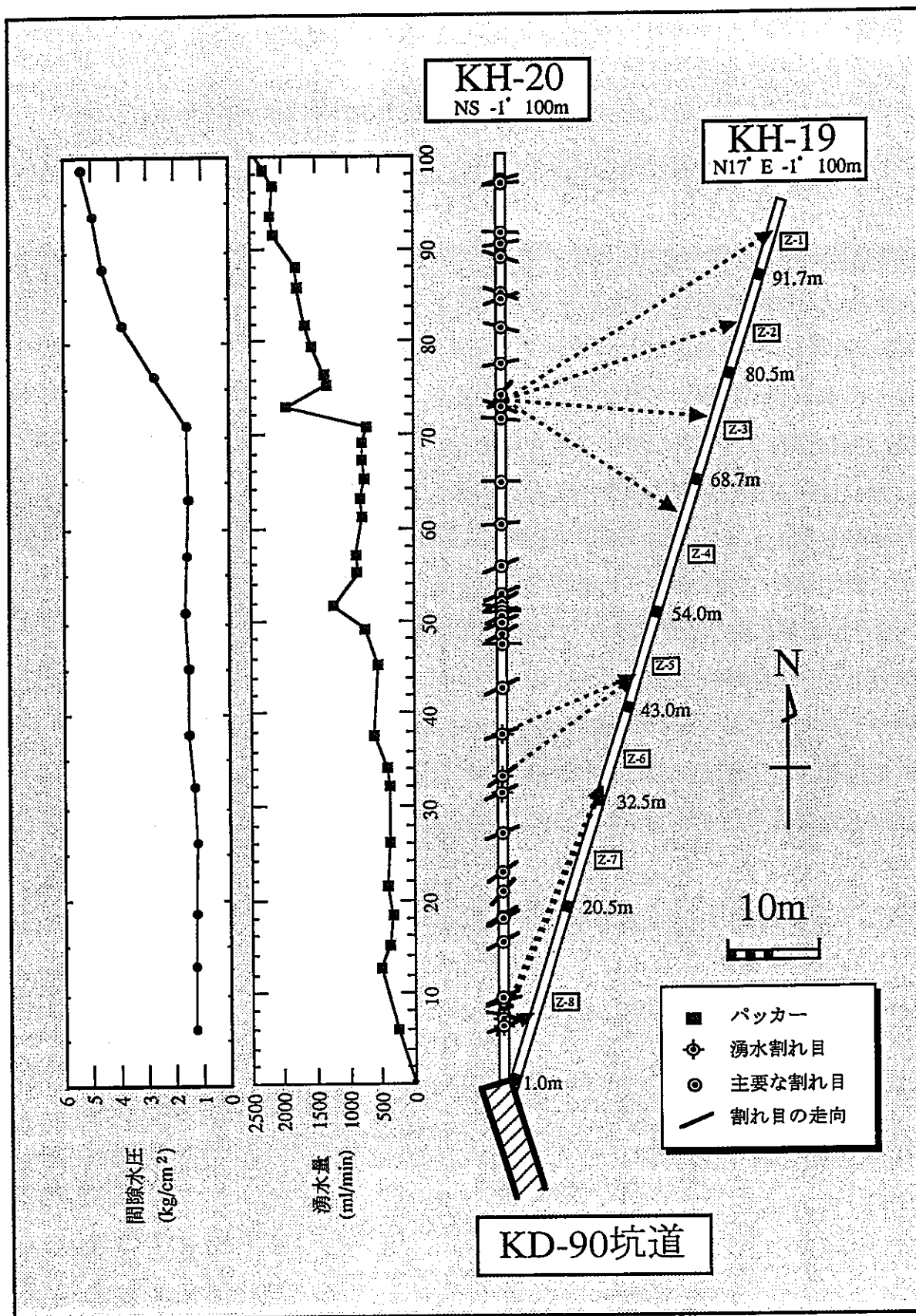


図-7.5.1 水理応答試験結果総合図

7.6 考察

(1) KH-20孔における透水性割れ目の推定

今回の試験において、特に注目されるのは透水性を有する割れ目である。KH-20孔において、透水性を有する割れ目を水理応答調査に基づき以下のような観点より抽出した。

- a.掘削時にKH-19孔の間隙水圧に変化が現れた掘削深度付近に存在する開口割れ目。
- b.掘削時に口元の湧水量が増加した区間に存在する開口割れ目。

aの場合は明らかに、KH-19孔に連続する透水性割れ目が存在している。一方bの場合は、湧水している透水性割れ目が存在することが推定されるが、区間内に存在する開口割れ目のうちどれが対応するかは明らかでない。図-7.6.1にKH-20孔上での各開口割れ目の深度と走向傾斜を示した。表-7.6.1に各割れ目の存在位置と走向傾斜および特徴を示す。また、図-7.6.2に各割れ目の存在位置と走向傾斜を示す。なお、同図中に走向傾斜の類似性から連続性を推定したものを実線で示す。

図-7.6.3は水理応答の結果と水みちの連続性の推定結果に基づいて作成した、水みちの発達している領域図である。各水みちの領域はお互いに独立しているか、弱い相互作用しか及ぼさない。4つの領域は、すべて水理応答の結果より推定したものである。なおKH-20孔の掘削時に湧水が認められたが、KH-19孔への水理応答は認められなかった割れ目が存在している。この理由としては、以下のような事が考えられる。

- a.水みちが存在しているが、KH-19孔には直接連結するようなものでなかった。
- b.水みちがKH-19孔に連結しているが、KH-19孔の連結区間の間隙水圧が、より手前に存在した水みちにより乱されていたため、その変化を捉えることが出来なかった。

図-7.6.4は水みち領域の分布に、湧水量の測定結果と間隙水圧の測定結果より推定された区間を考慮して作成した、水理地質図である。試験付近の領域は、その間隙水圧の高低より深度70m付近を境に前後2つに区分される。手前側に発達する区間は、間隙水圧が相対的に低く、その中には水みちが発達している部分と乏しい部分とが混在していると推定される。一方、孔の奥側に発達する区間は、間隙水圧が相対的に高く、水みちの発達も著しいと推定される。なお、水みちの発達が乏しいと推定した領域が3次元のどのような形状をしているかは、現段階では明確とはいえない。

7.7 総合まとめ

KH-19、20孔において透水性割れ目の推定、およびそれらの連続性を考察を行った。また、水理調査の結果も含めて試験領域付近に発達する、水みちの領域の分布を推定し、更にアクセス坑道の水理解析結果との関連性を考察した。考察の結果は以下の様である。

- a. KH-19、20孔間で推定された水みちの連続性、および水理調査の総合的な結果から、試験領域付近は大きく2つの領域に分類された。両者はKH-20孔の72.8m付近とKH-19孔の54m付近を結ぶ線で境され、奥側は間隙水圧が相対的に高く、手前側は低い。
- b. 間隙水圧が相対的に低い区間内部では、更に水理状態の不均一性が認められる。すなわち、水みちが発達している領域と発達が乏しい領域が存在している。水みちの発達が乏しい領域は、水みちが発達している領域を分離するように存在していると推定される。
- c. アクセス坑道の水理解析の結果、坑道内はその割れ目の分布形態や、変質程度より2つの領域に区分された。この2領域の分布形態と、KH-19、20孔のデータ解析より推定された水理地質構造は非常に調和的である事が判明した。

8. KH-20孔・KH-19孔の水理調査

8.1 概要

本章では、KH-20孔削孔完了後に、KH-19孔およびKH-20孔両孔を対象として実施した水理調査のうち、流量検層および水圧測定について述べる。また、これらの調査に関連したパッカーやプラグの設置作業について、機器の構造や設置方法をあわせて取りまとめる。

8.2 流量検層

(1) 流量検層の目的

流量検層を実施する目的は、以下のとおりである。

- a. 透水性割れ目の位置を特定する。
- b. 計測区間周辺岩盤または個々の割れ目の透水性を概略把握する。
- c. パッカーの設置位置を決定する。

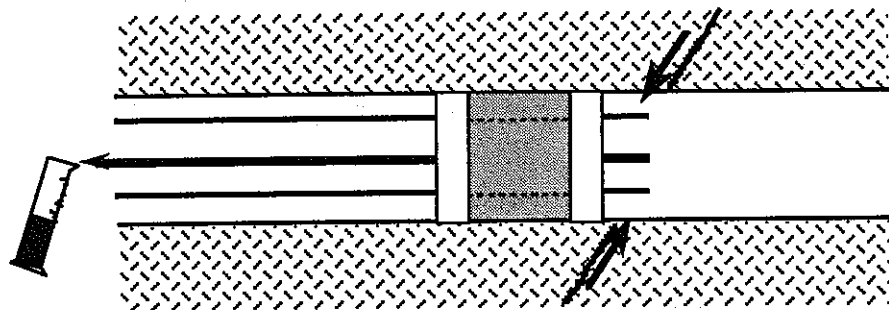
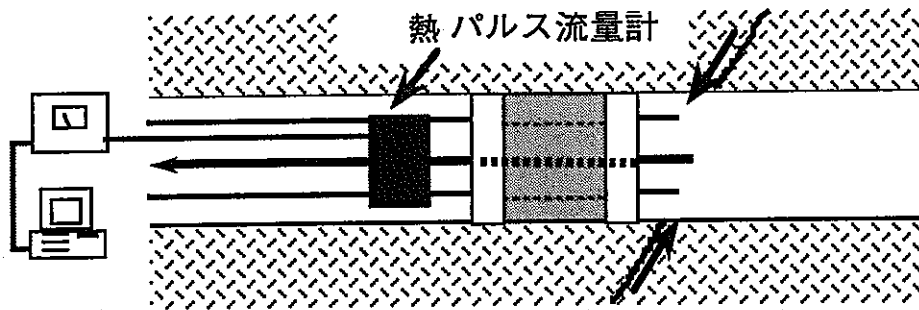
求められた区間湧水量から、測定区間周辺の岩盤（測定区間内に独立した透水性割れ目が存在する場合には、その透水性割れ目の）透水性を把握することができる。ただし、今回実施した流量検層では、多区間の測定を再優先とし、一箇所当たりの流量測定に多くの時間を費やさなかったため、必ずしも定常状態の流量を測定したとは言えない。よって、流量検層結果から算定した透水係数は、あくまでも岩盤またはみずみちの透水性の概略値であることに留意する必要がある。

(2) 流量検層の方法

流量検層には、測定区間を孔内の他の区間から隔離するために、パッカーを用いる。流量検層のためのパッカーの配置には、シングルパッカー方式とダブルパッカー方式の二つの方式がある（図-8.2.1）。最初に実施したKH-20孔では、シングルパッカー法を用いた。一方、その後で実施したKH-19の流量検層では、ダブルパッカー法を用いた。このように、両孔で手法が異なるのは、KH-20孔での経験をもとに、測定手法を改良した結果である。

シングルパッカーでは、孔内の1箇所のパッカーを設置し、パッカー以深の区間からの湧水とパッカー手前の区間からの湧水を分離し、それぞれの流量を測定する。パッカーの位置を口元から孔底に向かって移動しながら同様な測定することにより、湧水量の分布を把握することができる。基本的な手順としては、パッカーを3～5m間

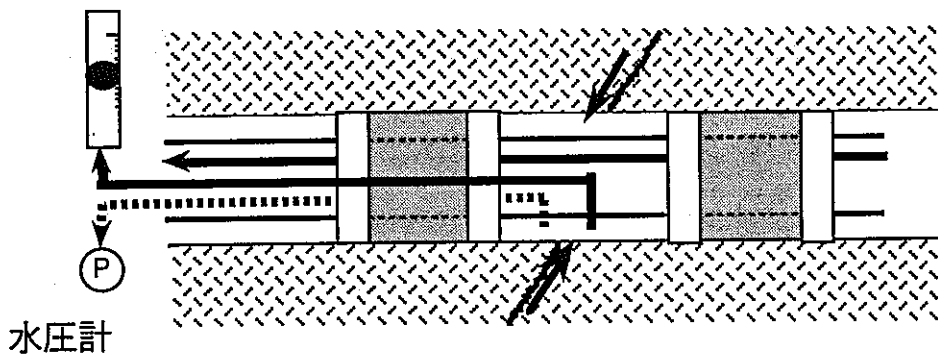
1. シングルパッカー法 (KH-20孔) → 累積流量



メスシリンダー

2. ダブルパッカー法 (KH-19孔) → 区間流量

フロート式流量計



水圧計

図-8.2.1 流量検層方法 (シングルパッカー法とダブルパッカー法)

隔で口元から順次押し込みながら、各深度でパッカーを拡張して流量測定を行う。この測定により、流量の急変する区間（すなわち、透水性割れ目が存在すると考えられる区間）を概略特定することができる。同様な測定を孔底部まで行なった後、パッカーを引抜きながら、流量急変部付近を中心に細かい間隔（例えば、1 m間隔）で流量検層を行うことにより、透水性割れ目の正確な位置をより精度良く特定することができる。

ダブルパッカー法では、2本のパッカーを用いる。測定区間は、一般的に1～3 mである。求められる流量は、測定区間内に存在する透水性割れ目からの湧水を反映したものである。流量検層において重要なことは、孔内を一定圧力（大気圧）に保持することである。パッカーを設置することにより、奥側のパッカー以深からの流れをせき止め、圧力の上昇を招く。このような測定区間奥の水圧上昇を最小化するためには、測定区間をバイパスして、奥からの湧水を排除するような配管を設ける必要がある。

(3) KH-20孔における流量検層

a. 熱パルス流量計を用いた流量検層

流量検層においては、それまで設置してあったテンプラリーパッカーを撤去し、約1週間ほど、孔を開放状態にして孔内への流れがほぼ定常状態となった後に流量検層を実施した。

写真-8.2.1に流量検層に用いた機器を示す。流量検層ツールは、流量計、制御ユニットおよびコンピュータの各パーツからなる。KH-20孔では、流量計として、最初に熱パルス式流量計を用いた。流量計内部には、ヒーターとその上下それぞれ数cmの所に取り付けられた温度センサーが装着してある。流れの方向は、二つのうちどちらのセンサーが温度変化を感知したかで認識される。熱パルス式流量計は、1ml/mから4l/minの間の解像度で流量を測定することができる。

KH-20孔における熱パルス流量計を用いた流量検層は、まず全長にわたり3 m間隔で実施した後に、透水性割れ目の位置をより詳しく特定するために追加計測を実施した。

熱パルス式流量計は、適切な条件下で用いた場合には、高精度な流量計測が可能であり、これまでも海外の花崗岩サイトでも用いられた実績がある（Paillet他1987）。しかし、今回の計測結果は、誤差が大きく信頼性の低い結果が得られた。図-8.2.2に熱

パルス式流量計による流量検層結果と、後述のメスシリンダー計測による流量検層結果を併せて示す。熱パルス式流量計で得られた結果は、メスシリンダー計測の結果と傾向的に一致しているものの、凹凸の激しい分布を示しており、精度が非常に悪い。そこで、熱パルス式流量計の使用を中止し、次のメスシリンダーを用いた流量測定法により、再度流量検層をやり直した。

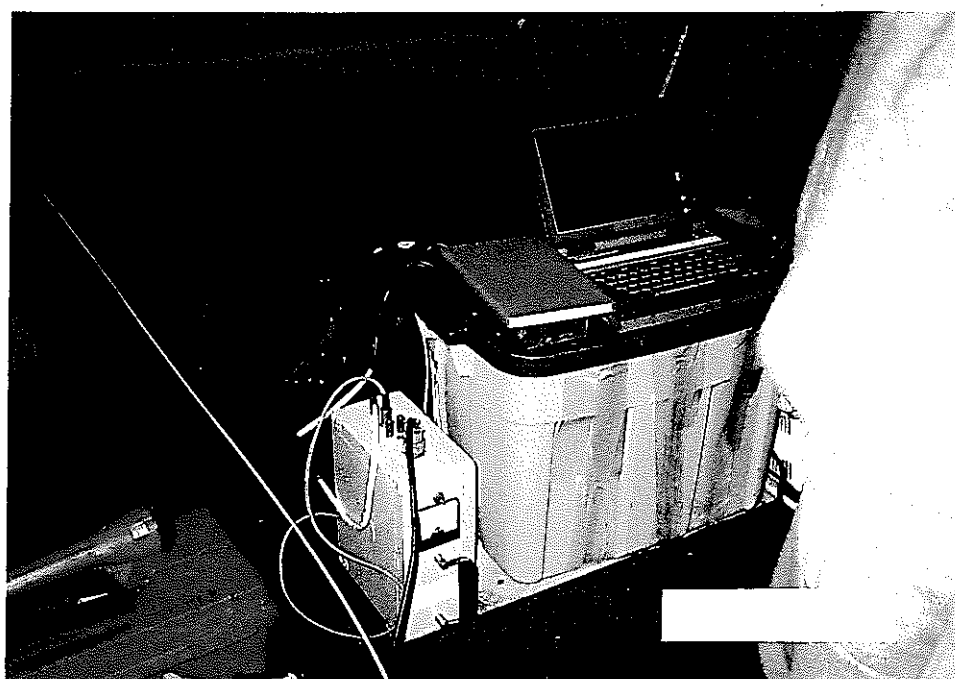
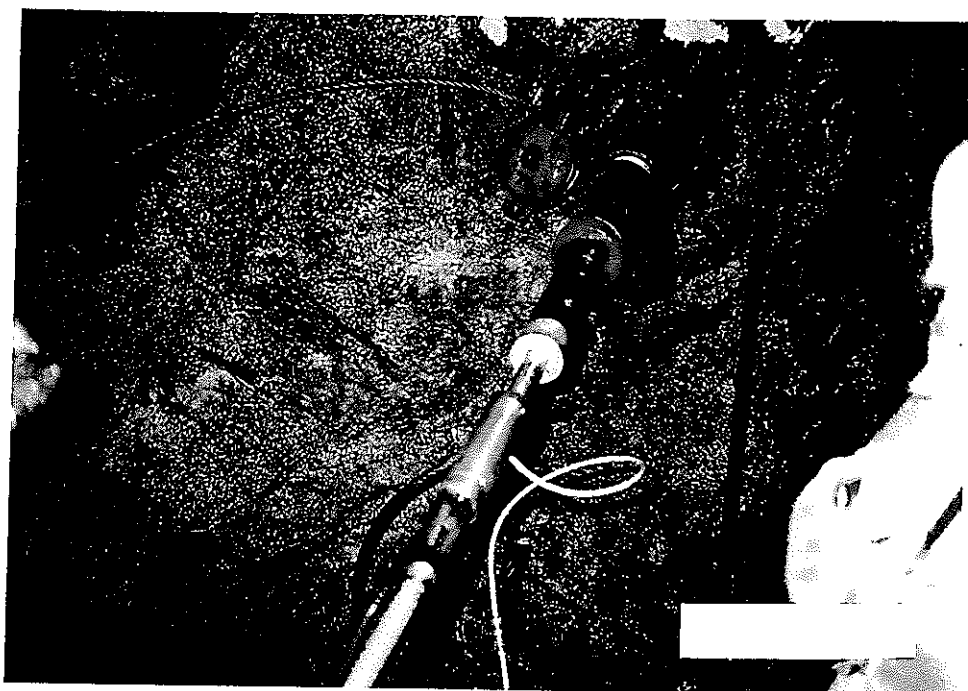


写真-8.2.1 熱パルス式流量計を用いた流量検層(KH-20孔)

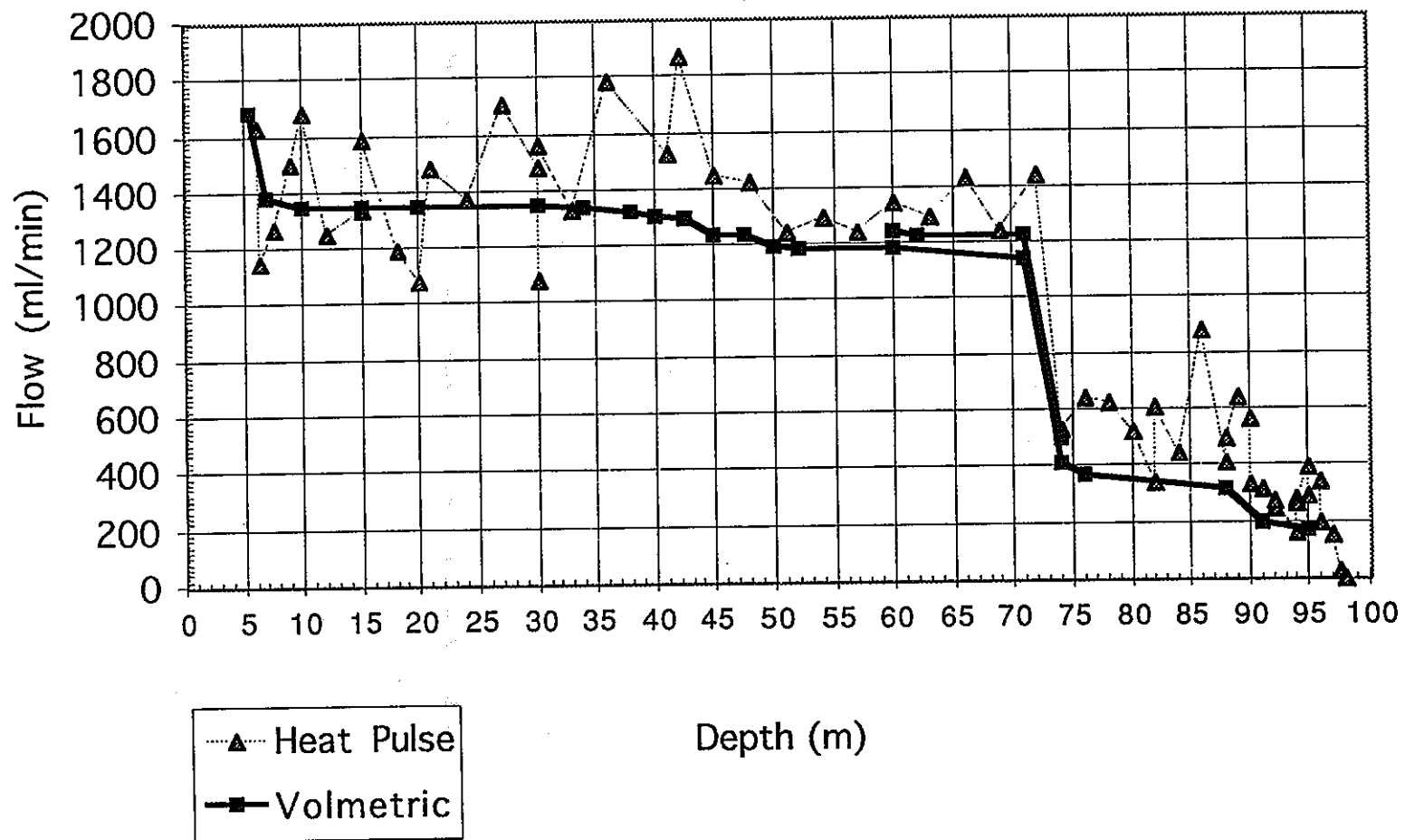


図-8.2.2 KH-20孔における流量検層結果 (熱パルス式流量計およびメスシリンダーを用いた結果)

b. メスシリンダーによる流量検層

KH-20孔のメスシリンダーを用いた流量検層にも、シングルパッカーを用いた（図-8.2.1）。パッカーより奥からの湧水を、1インチパイプにより孔口まで導き、メスシリンダーを用いて一定時間の流量を測定した。測定は、パッカー設置直後の流量変動が落ち着いた値であることを確認するために、ほぼ等しい流量が3回続けて観測されるまで繰返し実施した。

シングルパッカー法で得られる流量を、KH-20削孔時の口元湧水量と比較するために、下式の関係を考慮して、流量検層の結果から口元からパッカー設置深度までの流量を計算した。

$$\text{口元からパッカー設置深度までの流量} = \frac{\text{口元で測定されるKH-20孔全体の総流量}}{\text{パッカー設置深度から孔底までの流量（すなわち、シングルパッカー法で測定される流量）}}$$

この結果を、図-8.2.3に示す。同図より、削孔時の湧水量とメスシリンダーを用いた流量検層結果を比較すると、傾向的には一致している。最も大きな流量の変化は、両者とも深度約72m付近で生じている。検層結果は削孔時の湧水量より若干少ない傾向にあるが、これは、削孔時には定常状態に至る前の非定常的な湧水量が測定されたものと考えられる。また、削孔時に多くの湧水が見られたところで、流量検層の時点でそのような流量の急変が見られない区間がある。このような区間は、11m～17m、25m～31mおよび60m以深に見られる。これらの区間は、削孔から一定時間が経過した後、地下水の供給が途絶えたこと示しており、連続性の低い透水性割れ目がボーリング孔と交差している区間であると考えられる。

次に、湧水位置を詳しく調べるために、流量検層結果から区間ごとの湧水量を求めた。結果を図-8.2.3に示す。同図から、6m、72m、90mおよび97mの深度付近（各深度+1mの範囲内）に主要な透水性割れ目が存在することが伺える。なかでも、72m付近を境に流量が急増しており、この割れ目が、KH-20孔付近においては最も支配的なみずみちであると考えられる。

また、流量検層により各区間の定常流量が得られていると仮定すると、下記の軸対称定常流れの式を用いて、各測定区間の透水量係数 $T(\text{m}^2/\text{s})$ を近似的に求める事ができ

る。

$$T = \frac{Q \ln(R/r_w)}{2\pi\Delta h}$$

ここに、 Q (m^3/s) は区間流量、 R (m)は影響半径、 r_w はボーリング径(m)、 Δh (m)は水頭差である。

計算結果を表-8.2.1および図-8.2.4、図-8.2.5に示す。透水係数の分布より、KH-20孔に沿って、いくつかの高透水ゾーンが存在することが分かる。すなわち、高透水ゾーンは、5.5m~10m、38m~45m、71m~76mおよび88m~98mの各区間に分布する。なかでも、深度71m~74mにある高圧帯 ($19\text{kg}/\text{cm}^2$)には、支配的な透水性割れ目があることが分かる。

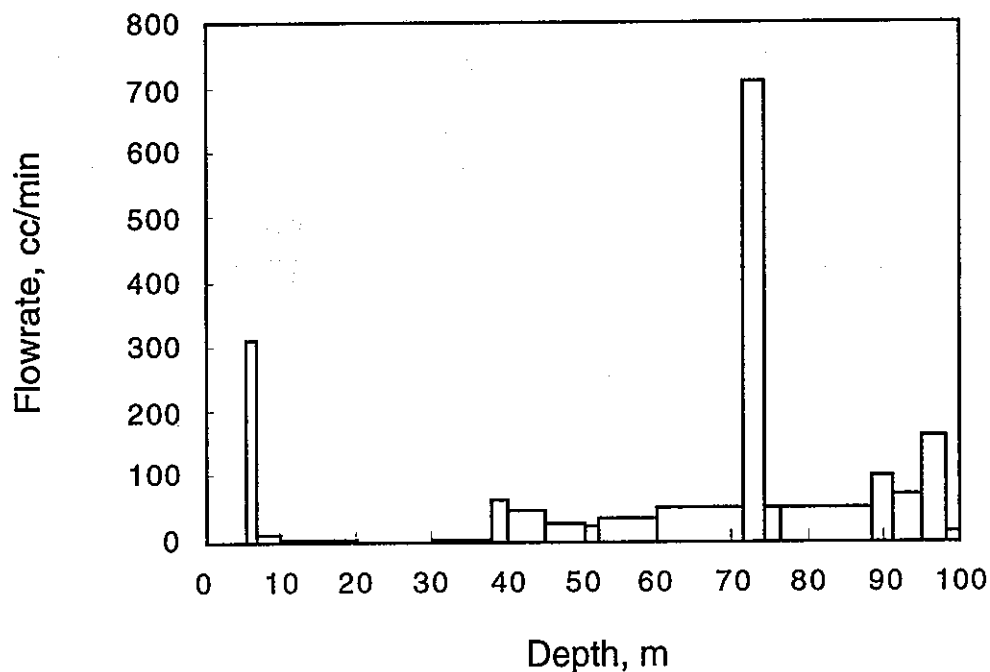


図-8.2.3 流量検層結果 (KH-20孔、区間湧水量、メスシリンダー法)

表-8.2.1 流量検層結果を用いた透水量係数、透水係数の算定
(KH-20孔、メスシリンダー法)

深度(m)	区間流量(cc/min)	間隙水圧(kg/cm ²)	透水量係数(m ² /s)	透水係数(m/s)
98 ~ 100	14	14.5	1.61E-09	8.05E-10
95 ~ 98	160	14.5	1.84E-08	6.13E-09
91 ~ 95	72	14.5	8.28E-09	2.07E-09
88 ~ 91	101	14.5	1.16E-08	3.87E-09
76 ~ 88	51	9.1	9.34E-09	7.78E-10
74 ~ 76	51	19	4.47E-09	2.24E-09
71 ~ 74	713	19	6.25E-08	2.08E-08
60 ~ 71	49	5.8	1.41E-08	1.28E-09
52 ~ 60	39	9.5	6.84E-09	8.55E-10
50 ~ 52	21	9.5	3.68E-09	1.84E-09
45 ~ 50	28	9.5	4.91E-09	9.82E-10
40 ~ 45	47	9.5	8.25E-09	1.65E-09
38 ~ 40	66	9.5	1.16E-08	5.79E-09
34 ~ 38	6	9.5	1.05E-09	2.63E-10
30 ~ 34	4	9.5	7.02E-10	1.75E-10
20 ~ 30	2	4.2	7.94E-10	7.94E-11
10 ~ 20	6	4.2	2.38E-09	2.38E-10
7 ~ 10	9	2.3	6.52E-09	2.17E-09
5.5 ~ 7	310	2.3	2.25E-07	1.50E-07

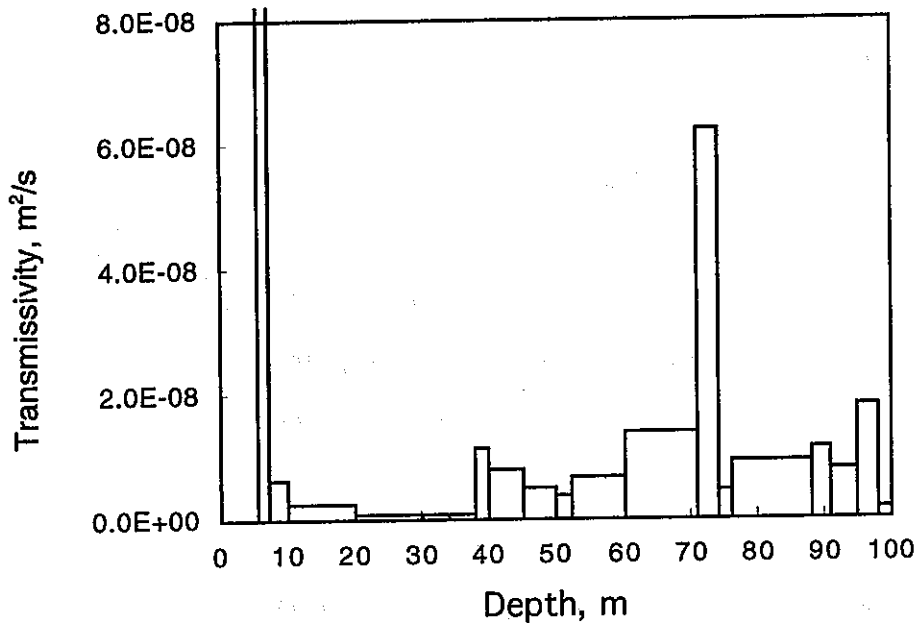


図-8.2.4 透水量係数 (KH-20孔、メスシリンダー法)

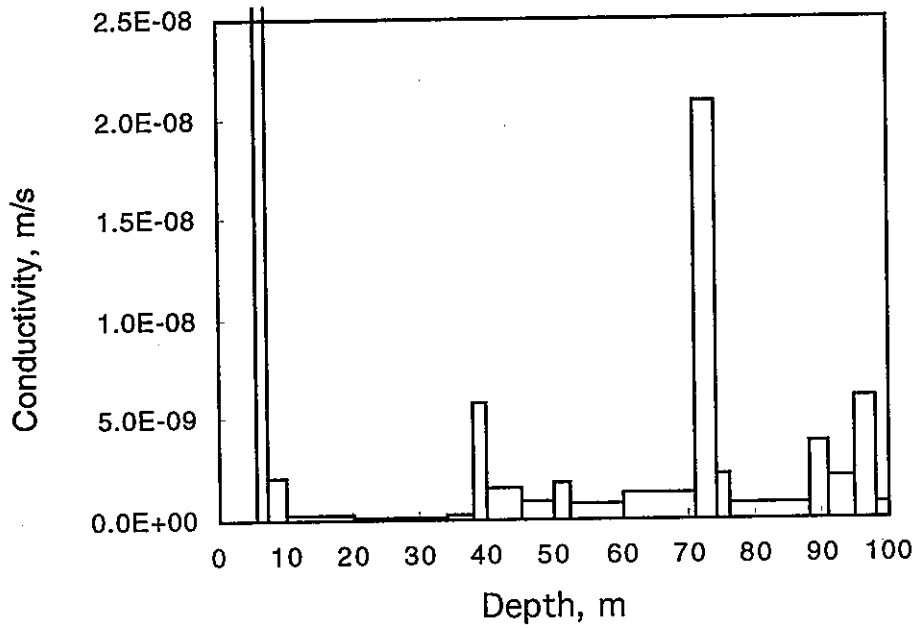


図-8.2.5 透水係数 (KH-20孔、メスシリンダー法)

(4) KH-19孔における流量検層

(1) 検層方法

KH-19孔削孔直後に実施したKH-19孔の流量検層では、KH-20孔での経験をもとに、測定機器および測定方法にいくつかの改良を加えた。

改良の一つは、シングルパッカー方式からダブルパッカー方式への変更である。シングルパッカー方式では、測定流量（パッカー位置以深の総流量）から区間流量を算定するため、口元近くにおいては、孔底部付近に比べて区間流量の精度が劣る。そこで、直接区間流量を測定できるだぶるパッカー方式を採用することにした。

測定に用いたシステムの概要を図-8.2.6に示す。流量測定には、フロート式流量計を用いた。図-8.2.7に示すように、フロート式流量計は、目盛りのついたガラス管とその中に入ったフロート（ガラス、ルビーなど）からなる。ガラス管の内径は、下から上に向かって徐々に広がっており、フロートが上昇していくに連れて上向きの力が減少し、ある高さになるとフロートは停止する。この点の目盛を読むことにより、流量を測定するのが、この流量計の仕組みである。写真-8.2.2に、流量検層システムを示す。

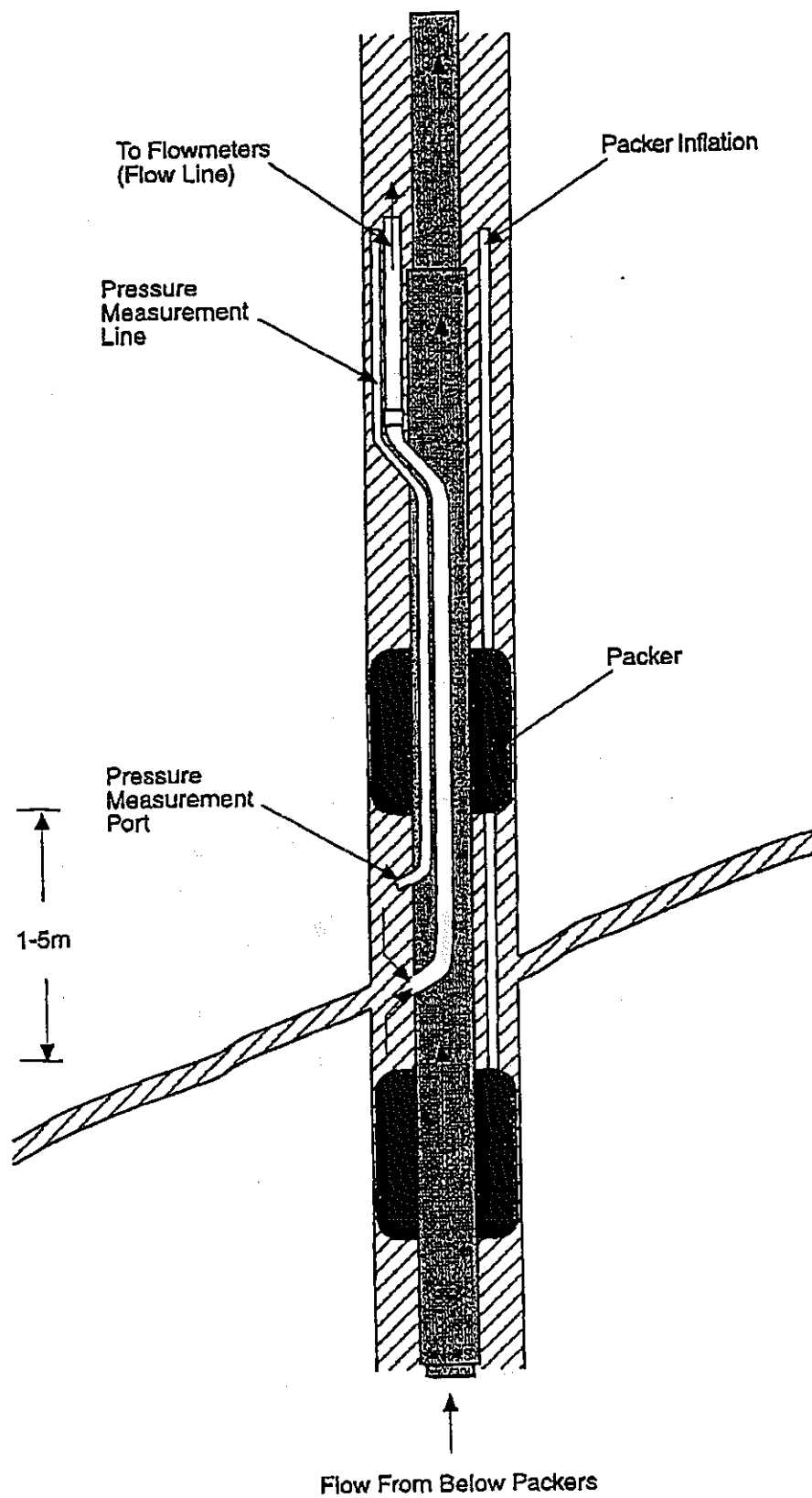


図-8.2.6 フローメータを用いた流量検層装置
(KH-19孔、ダブルパッカー)

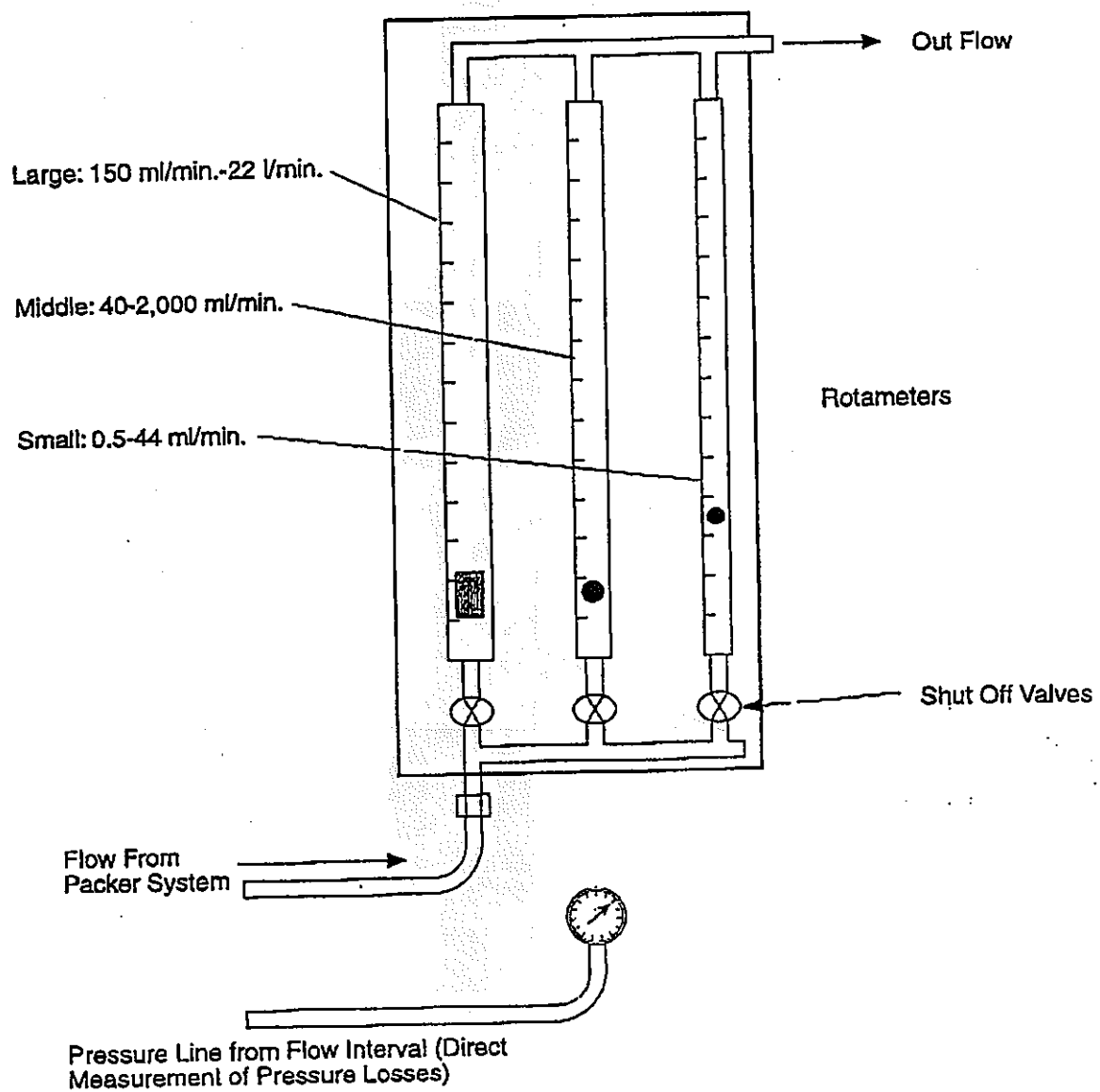


図-8.2.7 フロート式流量計

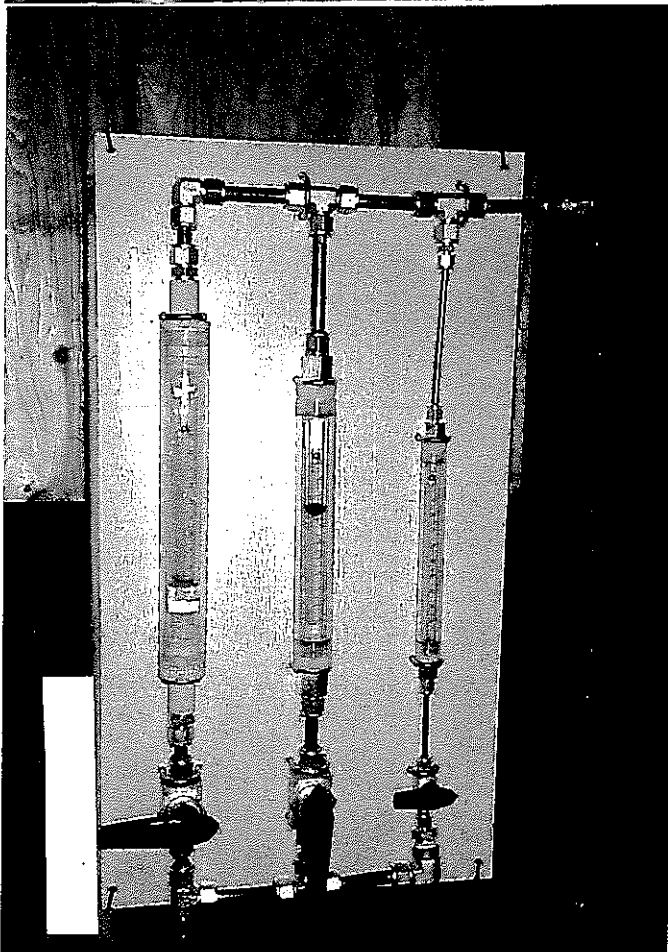
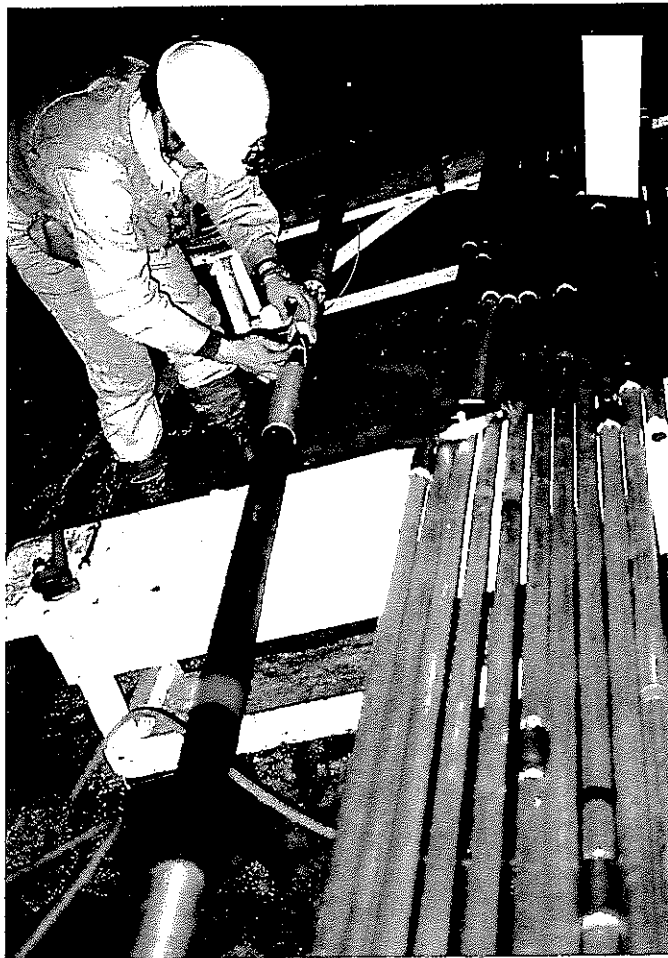


写真-8.2.2 KH-19孔用流量検層システム
(ダブルパッカー+フロート式流量計)

(2)流量検層結果

KH-19孔の流量検層は、5m区間および1m区間の2シリーズを実施した。まず全長にわたって5m間隔で実施した。その後、透水性割れ目の位置をより精度良く特定するために、5m間隔の流量検層で有意な流量の見られたところを中心に、1m間隔の詳細な検層を実施した。

図-8.2.8に、5m区間および1m区間で実施した流量検層結果を示す。5m区間の流量検層では、47.35～92.37mの深度で有意な湧水が見られたので、この区間で、1m区間の詳細な流量検層を実施した。また、図-8.2.9に、流量検層結果を口元からの累積流量に変換した結果を示す。同図中には、KH-19孔掘削時の口元流量測定結果を併せてプロットしてある。流量検層結果は、掘削時の湧水量分布と傾向的には、よく一致している。しかし、検層結果のほうが全体的に少なくなっている。これは、KH-20の場合と同様に掘削直後においては非定常状態の流量であったものが、徐々に定常的な流量に落ち着いてきている事が理由として考えられる。

5m間隔で実施した流量検層の結果において、25m～70mの区間は比較的一様な流量を示している。この結果より、この区間は、連続した割れ目ゾーンとして存在しているという仮設が成り立つ。この仮設は、KH-20孔削孔時に、この区間が一様に反応した事実とも、よく整合している。

KH-20と同様な方法で算定した透水量係数と透水係数の分布を、図-8.2.10および図-8.2.11に示す。同結果からも、25m～70mの区間がほぼ一様な透水(量)係数を有していることが分かる。

今回実施した流量検層の結果から、ダブルパッカー方式による流量検層が、透水性割れ目を隔離し識別する上で有効な方法であることが示された。今回使用した流量計は、簡便なものであるにもかかわらず、信頼性は高い。また、フロート式流量計は、広いレンジの流量測定に適しており、流量測定に要する時間も比較的短時間ですむ。このことより、今後の流量検層には、今回実施した方式を採用することにする。

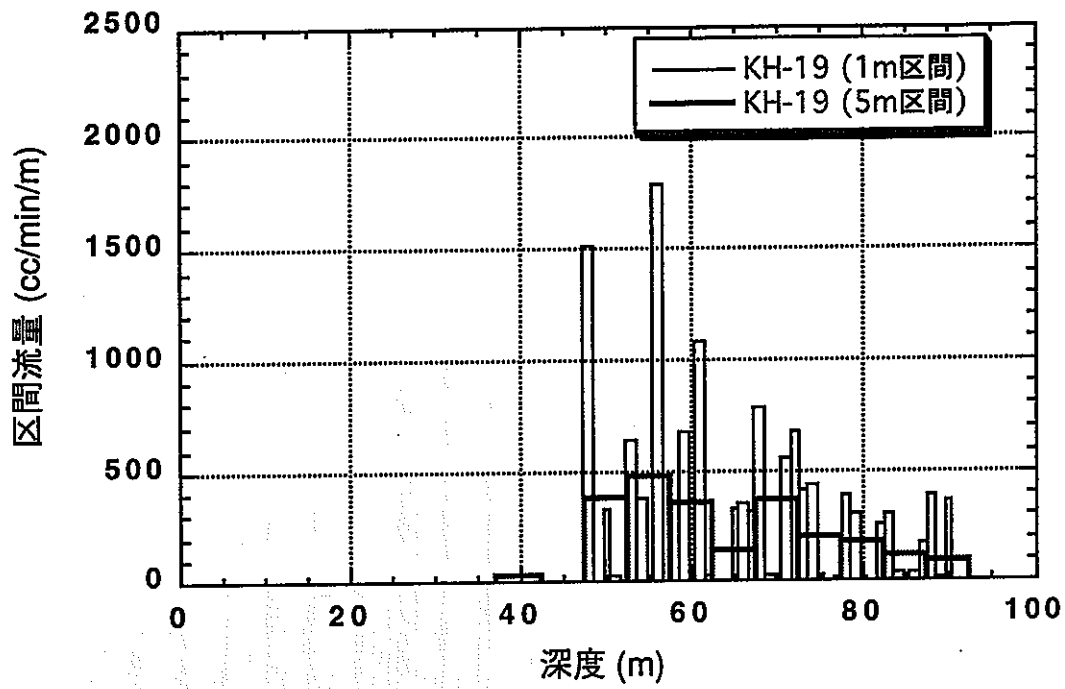


図-8.2.8 流量検層結果 (KH-19孔、区間流量)

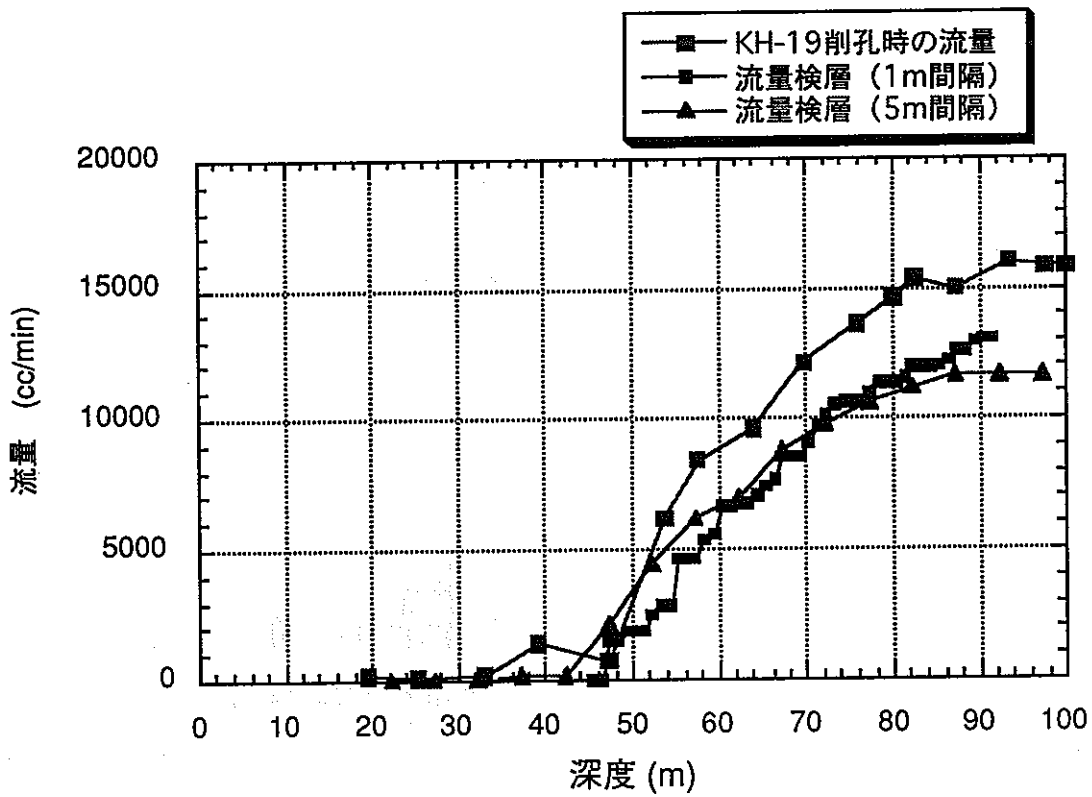


図-8.2.9 流量検層結果 (KH-19孔、累積流量)

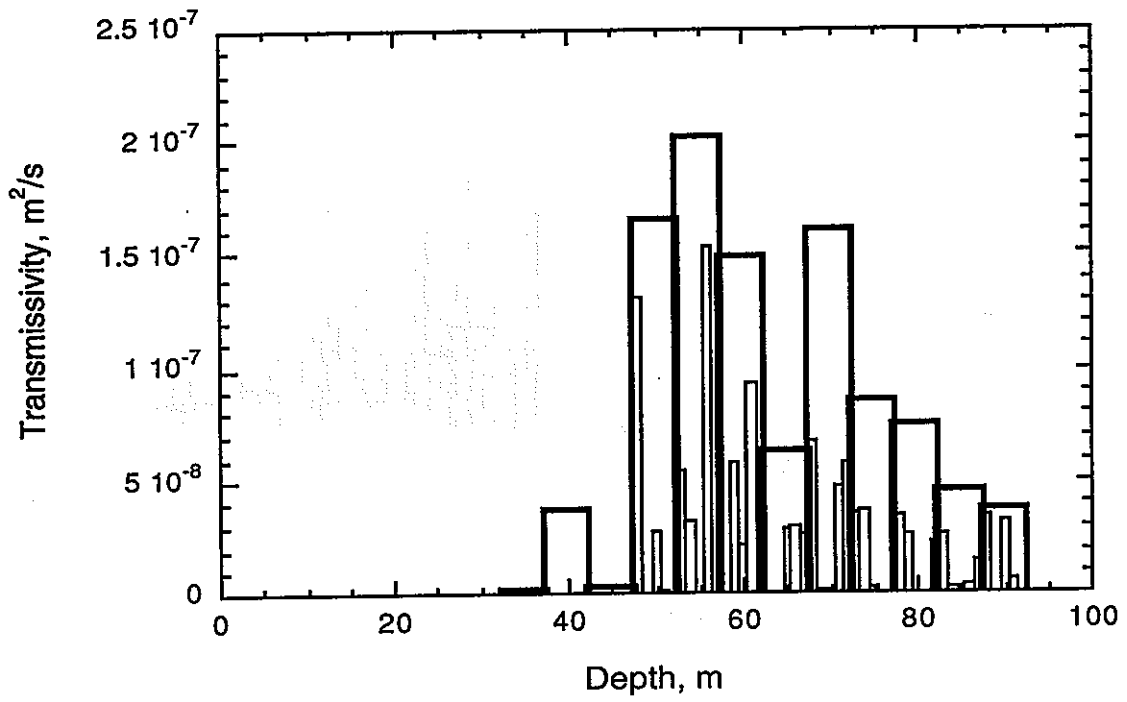


図-8.2.10 流量検層結果 (KH-19孔、透水量係数)

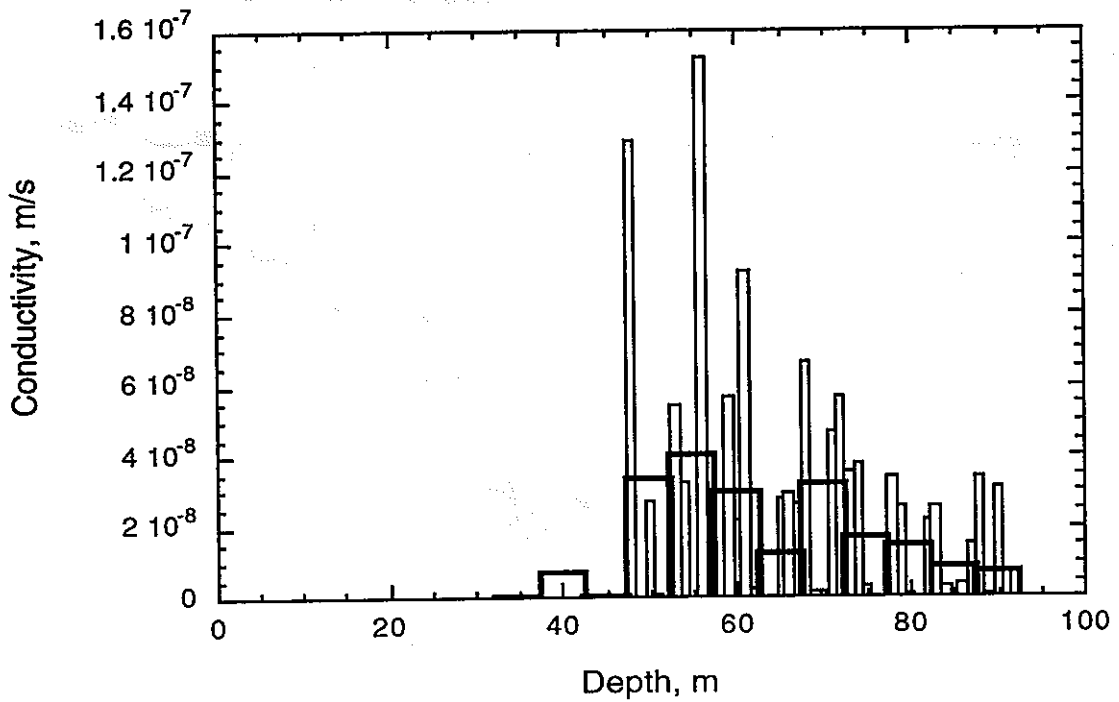


図-8.2.11 流量検層結果 (KH-19孔、透水係数)

8.3 KH-20孔へのテンポラリーパッカーの設置

8.3.1 テンポラリーパッカー設置の目的

テンポラリーパッカーは、文字どおり、“一時的に”設置するパッカーのことであり、アクセス坑道を掘削する間、KH-20孔の水圧を保持する目的で設置する。

テンポラリーパッカー設置のもう一つの目的（本研究の本来の目的からすると、こちらの方がより重要であるが、）は、アクセス坑道掘削時の水圧変化をモニタリングすることにより、H-20孔とアクセス坑道へのみずみちの広がりに関する情報を得ることである。

8.3.2 テンポラリーパッカー装置の構成

テンポラリーパッカー装置は、パッカー（写真-8.3.1）、1インチロッド（写真-8.3.2）、インラインアダプター（写真-8.3.3）および3/16インチナイロンチューブ（写真-8.3.4）からなる。パッカーは、BASKI社製の2.7インチ（69-mm）パッカーを用いた。ロッドは、1インチNPTネジのアルミニウム製の1インチパイプを用いた。測定区間の調整を行なうために、1m、2m、3mの3種類の長さのものを用意した。

今回のように、複数のパッカーを同一孔内に設置し、複数区間の水圧測定を行なうためには、それぞれのパッカーおよび測定区間からのチューブをロッドの中に通す必要がある。インラインアダプターは、このような目的に用いるアダプターで、ロッドの内側から外側にチューブを取り出すためのものである。

8.3.3 パッカー設置位置の検討

パッカー設置に当たっては、①主要な透水性亀裂を隔離し、個々の亀裂に作用している水圧を把握する、②新しい坑道とのみずみちの広がりを把握する、という目的を考慮して個々のパッカーの配置する必要がある。そこで、テンポラリーパッカーの設置位置は、削孔時の湧水量や水圧記録、またBTV観察や流量検層で明らかになった開口亀裂や透水性亀裂の深度をもとに検討した。図-8.3.1に、最終的なパッカー設置位置を、開口亀裂や透水性亀裂の位置とともに示す。

KH-20孔では、6m、8m、39m、44m、48m、72.8m、90m、97mの各深度に主要な開口亀裂が存在する。そこで、5m、12m、28m、42m、58m、70m、76m、88mの深度に、全部で8個のパッカーを設置し、8つの観測区間に分けることとした。



写真-8.3.1 パッカー

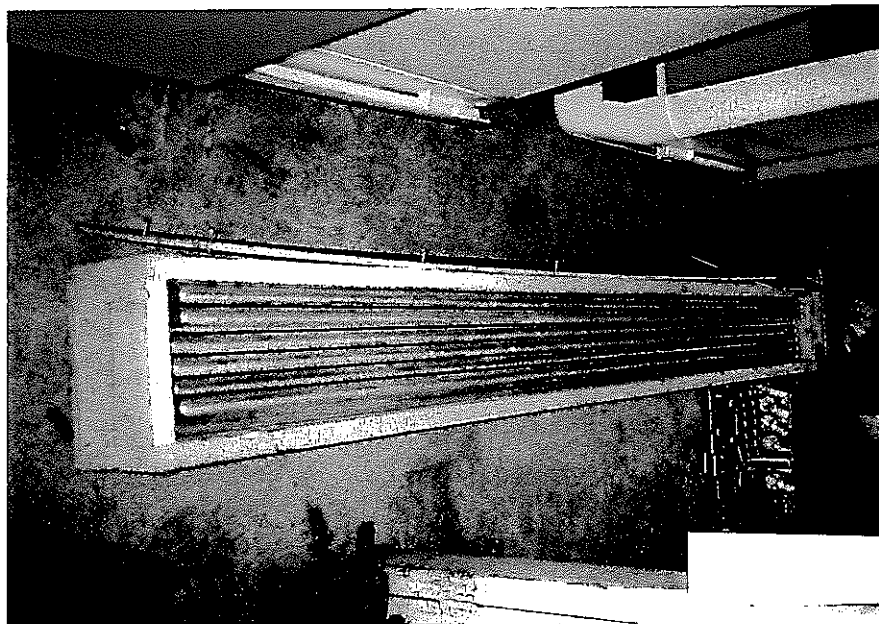


写真-8.3.2 1インチロッド

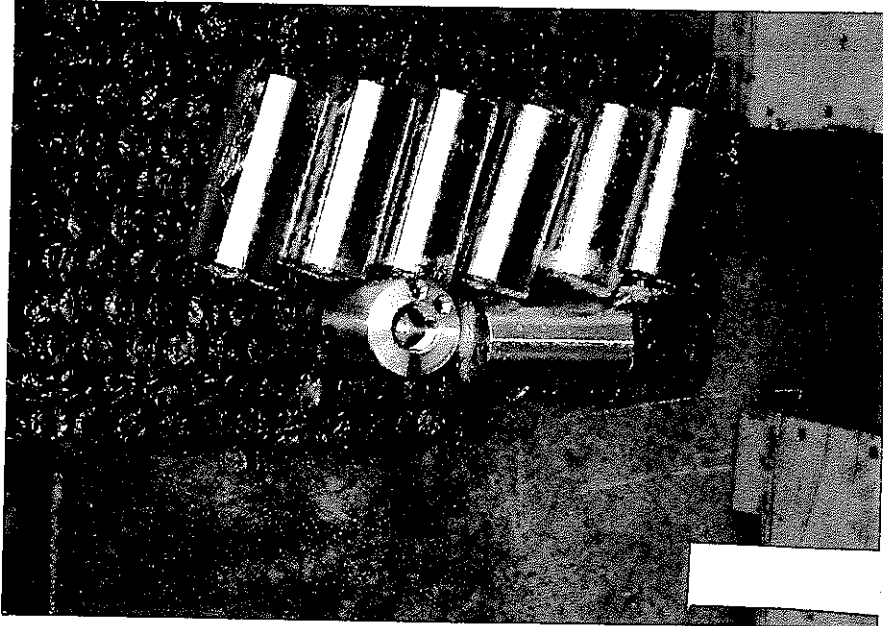


写真-8.3.3 インラインアダプター

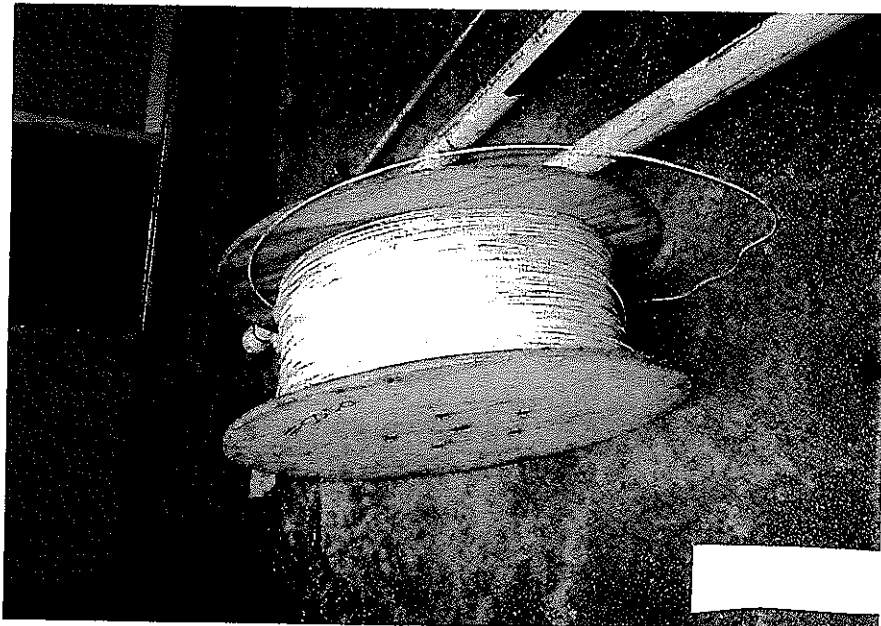


写真-8.3.4 3/16インチナイロンチューブ

Packer and Fracture Locations, KH-20

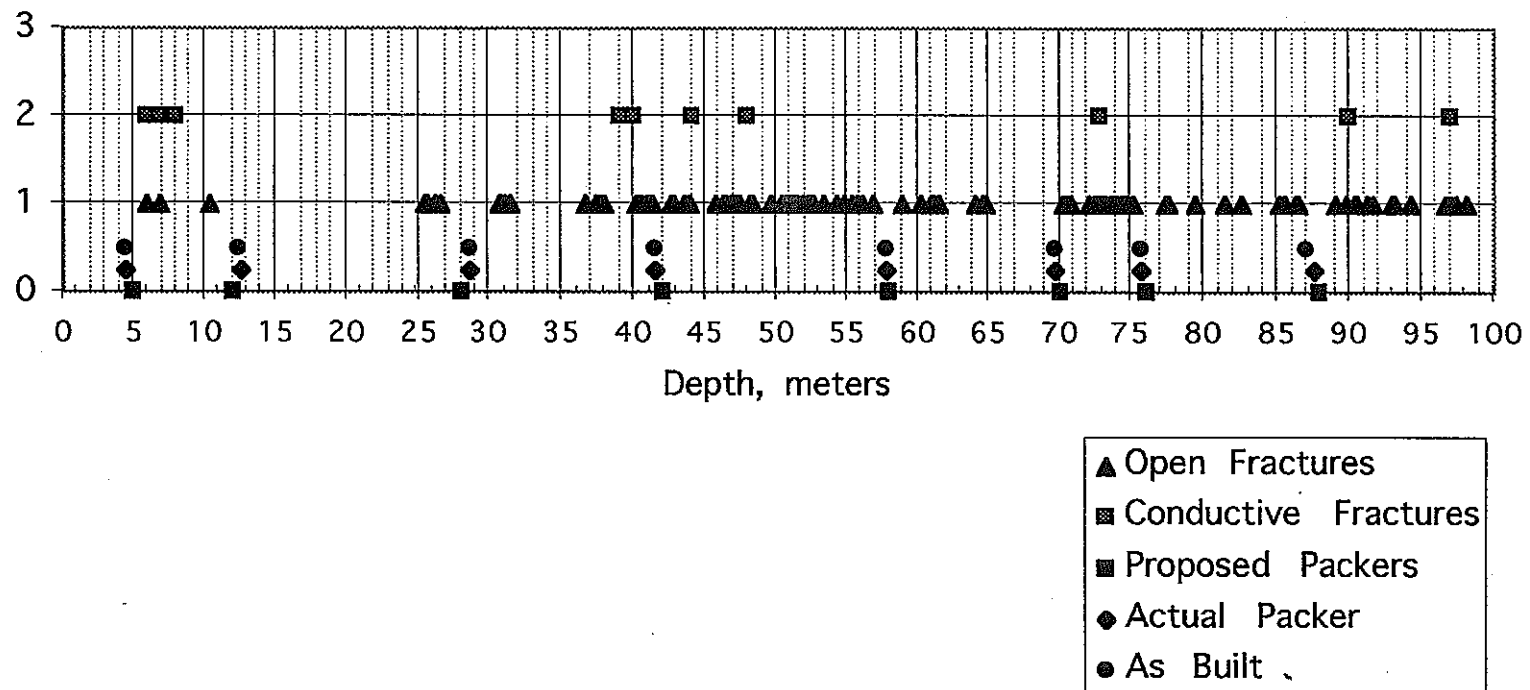


図-8.3.1 テンポラリーパッカーの設置位置

8.3.4 間隙水圧測定結果

図-8.3.2、図-8.3.3に、テンポラリーパッカー設置直後のKH-19孔およびKH-20孔内の水圧変化を示す。

表-8.3.1に、一定期間経過後の水圧値を示す。

表-8.3.1 KH-20テンポラリーパッカー設置後の水圧測定値

区間	深度 (m)			水圧 (kg/cm ²)(94/12/	水圧(kg/cm ²) (95/2/1)
		~)	
区間-1	88.0	~	100.0	12.4	14.5
区間-2	76.1	~	87.0	6	9.1
区間-3	70.2	~	75.1	17.8	19.0
区間-4	58.2	~	69.1	12.8	5.8
区間-5	42.0	~	57.2	1.2	9.59
区間-6	29.0	~	41.0	5.4	9.53
区間-7	13.1	~	28.0	0.7	4.27
区間-8	5.0	~	12.1	1.3	2.36

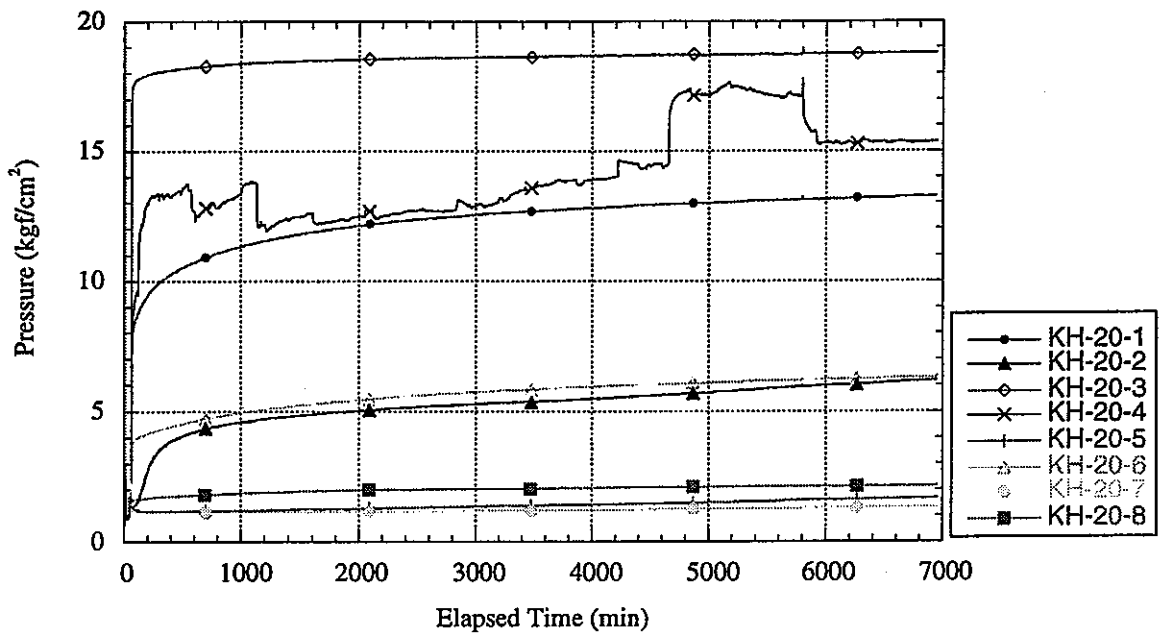


図-8.3.2 テンポラリーハッカー設置後の水圧データ(KH-20)

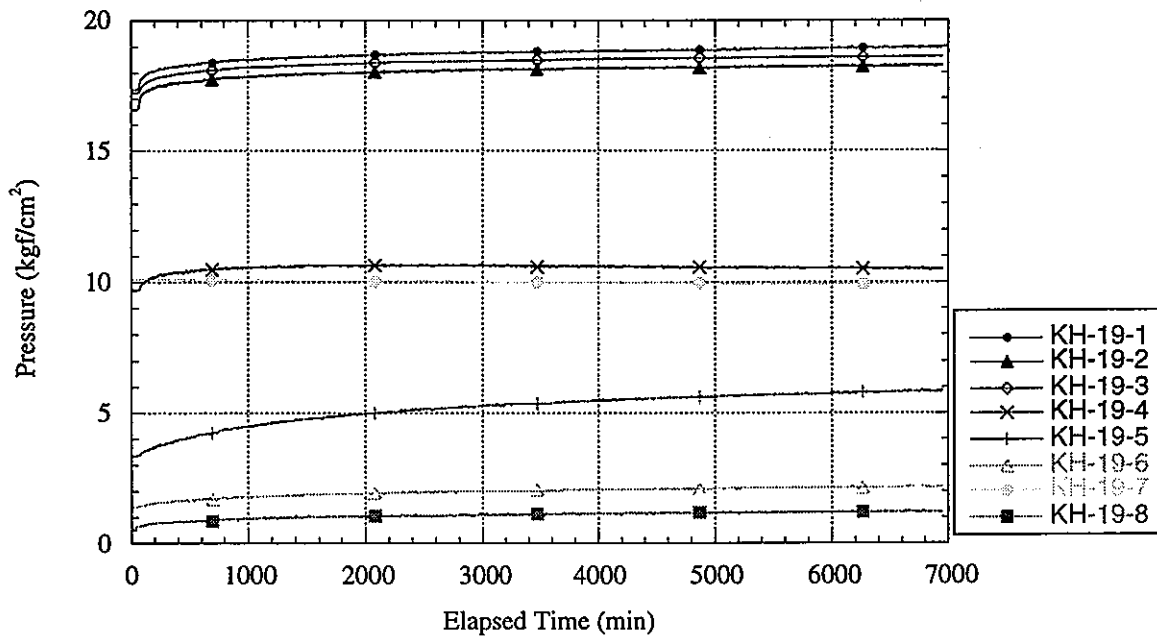


図-8.3.3 テンポラリーハッカー設置後の水圧データ(KH-19)

8.4 KH-19孔、KH-20孔へのパーマネントパッカーの設置

8.4.1 概要

パーマネントパッカーは、平成7年度以降実施する水理試験およびトレーサー試験を行うためのパッカー装置であり、この度新たに設計製作した。アクセス坑道の掘削終了後、それまで、KH-19孔およびKH-20孔に設置してあったパッカーを撤去し、両孔とも、パーマネントパッカー装置を、KH-19孔およびKH-20孔に設置し、間隙水圧の測定を開始した。また、伝導度計、温度計等の孔内装置の性能確認を行った。

8.4.2 パーマネントパッカー装置の構造

パーマネントパッカー装置は、パッカー、ロッド、インストルメントカップリング（温度、濃度センサー装置）、圧力パネルおよびパッカーパネル等からなる。

パッカーの外観を写真-8.4.1に示す。ゴムエレメントの長さは、1016mmである。各パッカーには、パッカー拡張ライン（1/4インチステンレスチューブ）、圧力測定ライン（1/4インチステンレスチューブ）、注排水ライン（1/4インチステンレスチューブ）が各1本づつついている。全てのパッカーは、70kg/cm²の耐圧性能を有する。



写真-8.4.1 パーマネントパッカー

ロッドの外観を写真-8.4.2に示す。ロッドは、パッカーとパッカーの間の測定区間に、必要な長さだけつなぎ足す。測定区間の長さに対応するため、1m、2m、3mの3種類の長さのロッドを用意した。外径は70mm、最小内径は38mmである。継手部は、12個のボルトで固定し、2個のO-ringでシールする構造になっている。

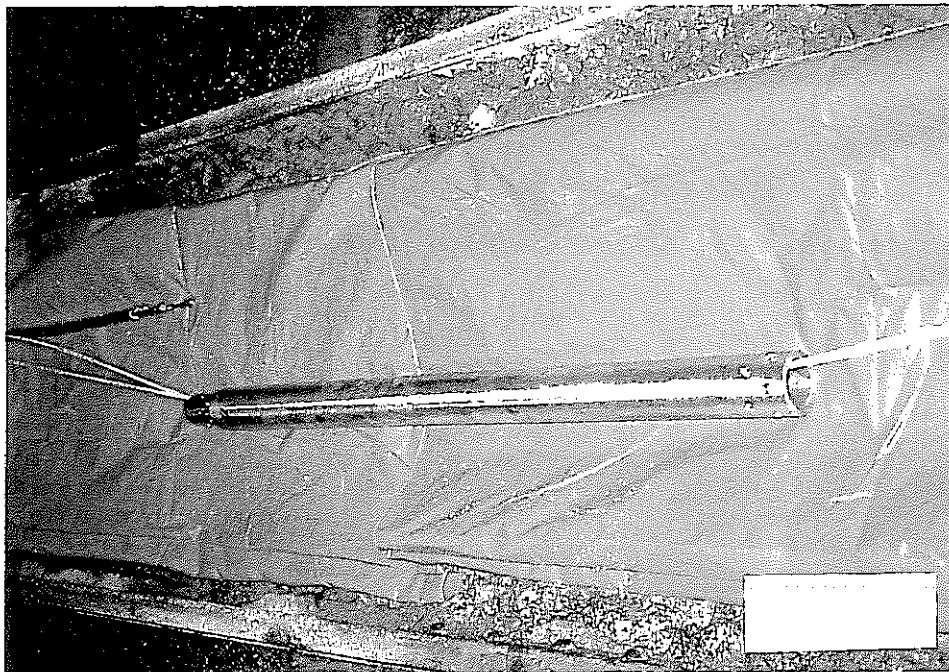


写真-8.4.2 ロッド

インスツルメントカップリングの外観を写真-8.4.3に示す。インスツルメントカップリングは、透水試験およびトレーサー試験の主対象となる区間に設置されるもので、温度センサー、伝導度センサーおよび注排水ラインを備えている。インスツルメントカップリングには、3/8インチステンレス管の注排水ラインが取り付けられており、5/16インチの銅配管で孔外のパネルまで取りだす。伝導度センサーは、写真-8.4.3に示すように、注排水ラインのポートのすぐ脇に取り付けられている。



写真-8.4.3 インスツルメントカップリング

水圧計測パネルの外観を、写真-8.4.4に示す。水圧計測パネルは、パッカー圧表示用パネルと区間圧力表示用の二つからなる。KH-19孔、KH-20にそれぞれ1対づつ用意した。パッカー圧表示用パネルと区間圧力表示用パネルは、基本的に同じものであるが、区間圧力表示用パネルには、トランスデューサーが取り付けられるようになっている。

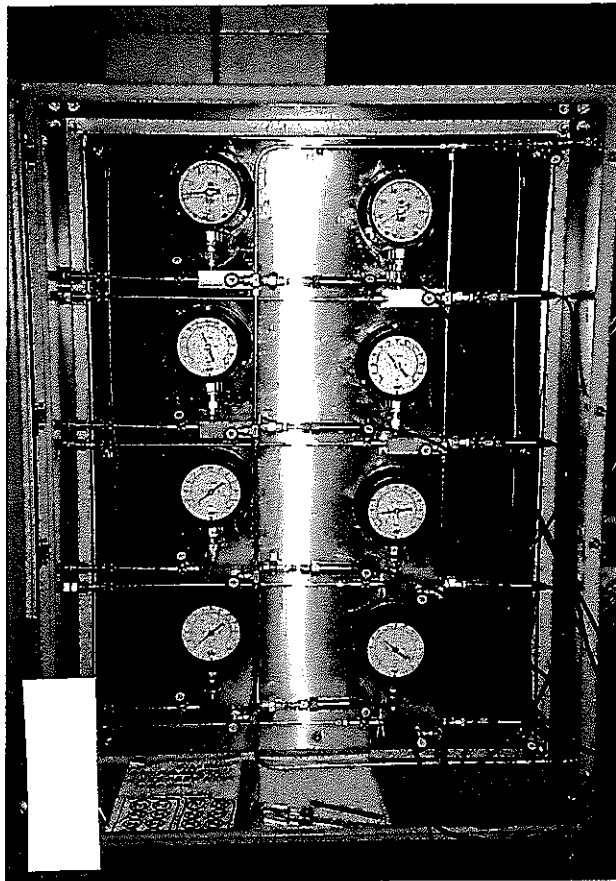


写真-8.4.4 水圧計測パネル

8.4.3 パーマネントパッカー装置の設置

アクセス坑道掘削後間もなく、KH-19孔、KH-20孔へのパーマネントパッカーの設置を行なった。ただし、次年度以降予定されているボーリング調査の結果によっては、パッカー位置を変更する必要性が生じる事が予想されるので、今回は、将来のパッカー再取り出しを念頭において、下記のような設置方法を採用した。①各パッカーについている注排水ラインは、今回は用いない（配管の先端をプラグで止水する）。②パッカー拡張用、圧力測定用の両配管には、ステンレス配管を用いずナイロンチューブを用いる。③インスツルメンツカップリングには、チェック用の1箇所を除いて、センサーは取り付けない。主として、圧力測定区間の調整用として用いる。

写真-8.4.5～写真8.4.10に、設置状況を示す。

KH-19孔、KH-20孔内のパッカーの設置位置を、図-8.4.1、図-8.4.2に示す。また、各孔内に設置したパッカー、ロッド等の数量の一覧を、表-8.4.1、表-8.4.2に示す。ただし、両孔とも、深度は、新孔口からはかった深度で示す。

KH-19孔には、8つのパッカーを設置した。奥より、区間1、区間2・・・と呼ぶ。流量検層の結果から、KH-19孔内には、高透水性でかつ高間隙水圧を有する比較的長い区間が存在する。この区間は、今回の区間3に対応する。区間1、2および8は、比較的透水性の低い区間である。区間4、6の幅の狭い区間は、1m区間流量検層により、高透水性の亀裂が存在することが確認された区間である。

KH-20孔のパッカー設置位置は基本的に、テンポラリーパッカー設置位置と同様である。ただし、71mおよび78mの深度（新孔口からの深度）にある透水性亀裂を隔離するために、この間にパッカーを追加した。KH-20孔内で、最も流量、圧力の高い区間は、区間4である。



写真-8.4.5 パッカー設置状況（その1）

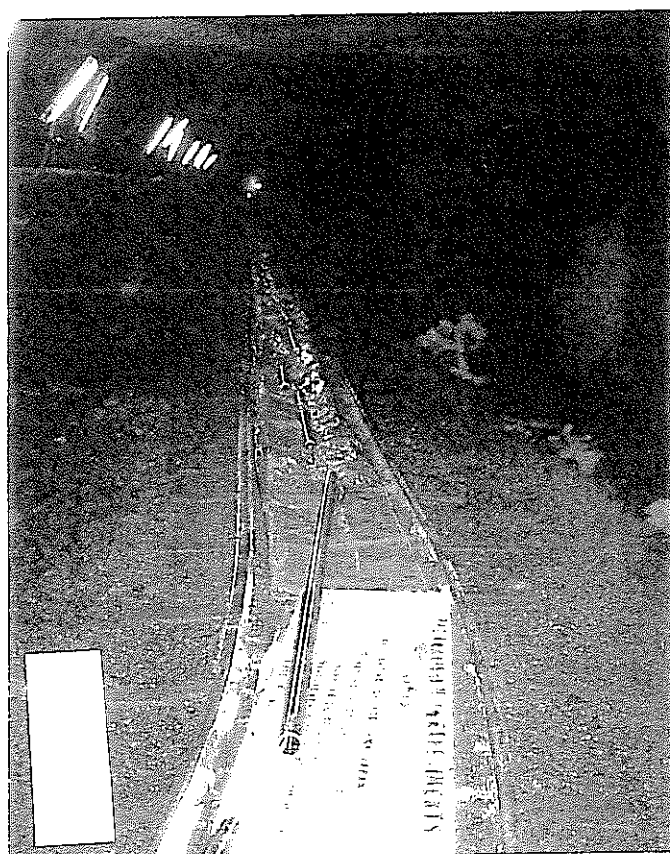


写真8.4.6 パッカー設置状況（その2）



写真-8.4.7 パッカー設置状況（その3）

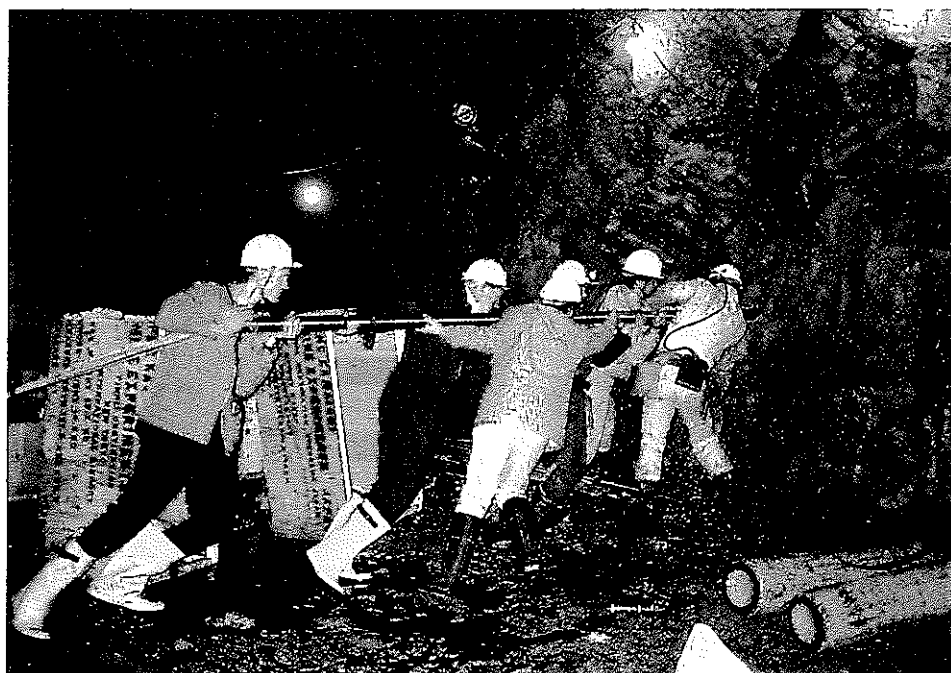


写真8.4.8 パッカー設置状況（その4）

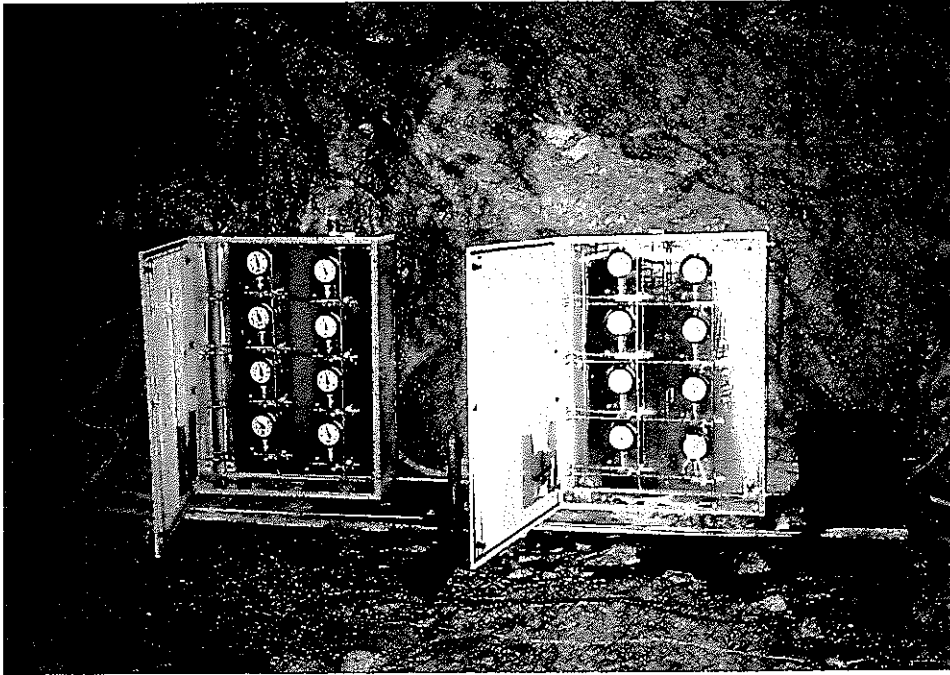


写真-8.4.9 パッカー設置状況（その5）

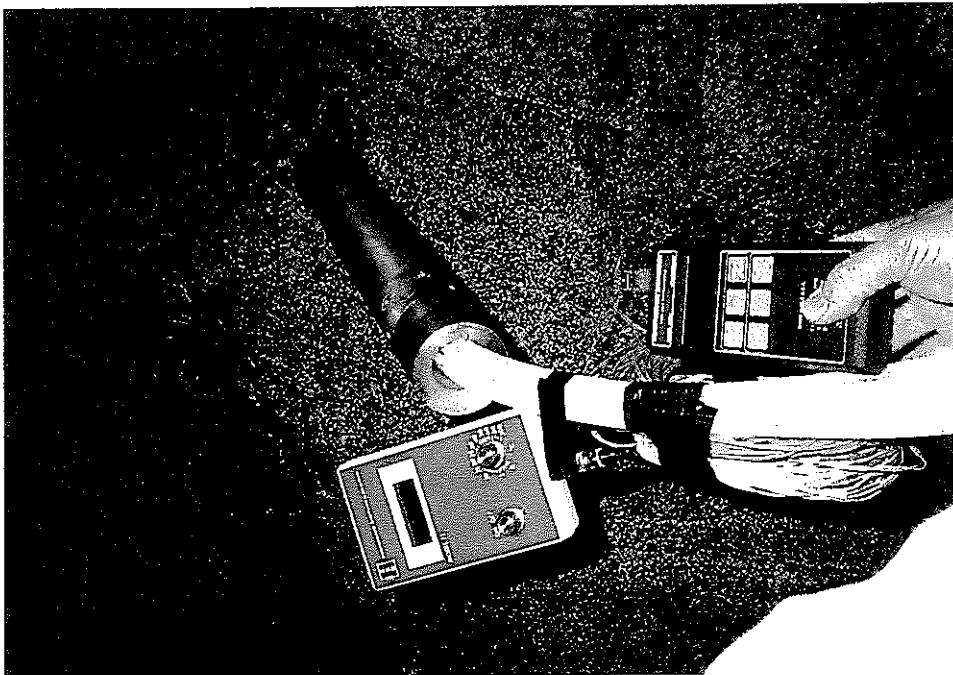


写真8.4.10 パッカー設置状況（その6）

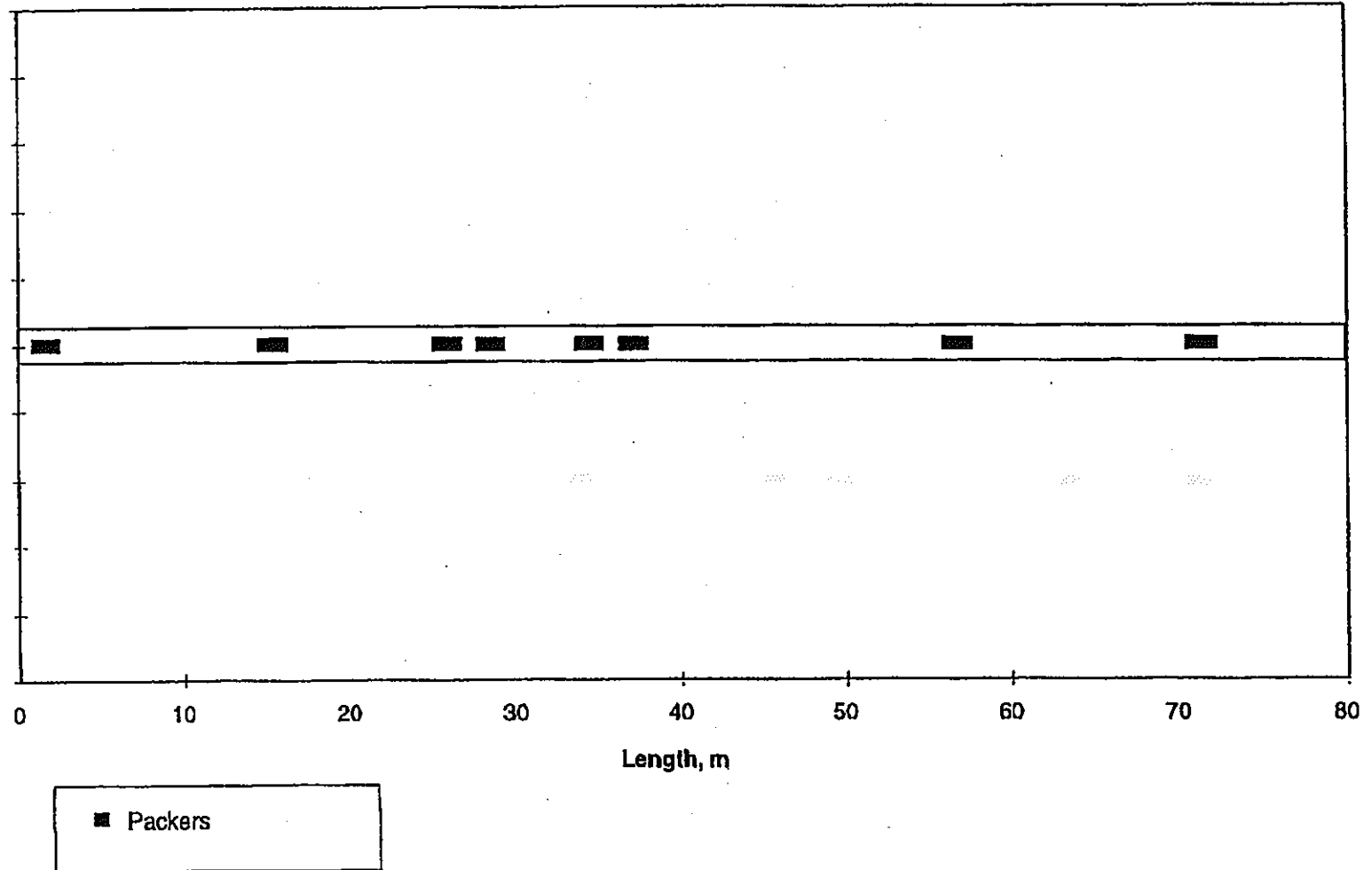


図-8.4.1 パッカー設置位置 (KH-19孔)

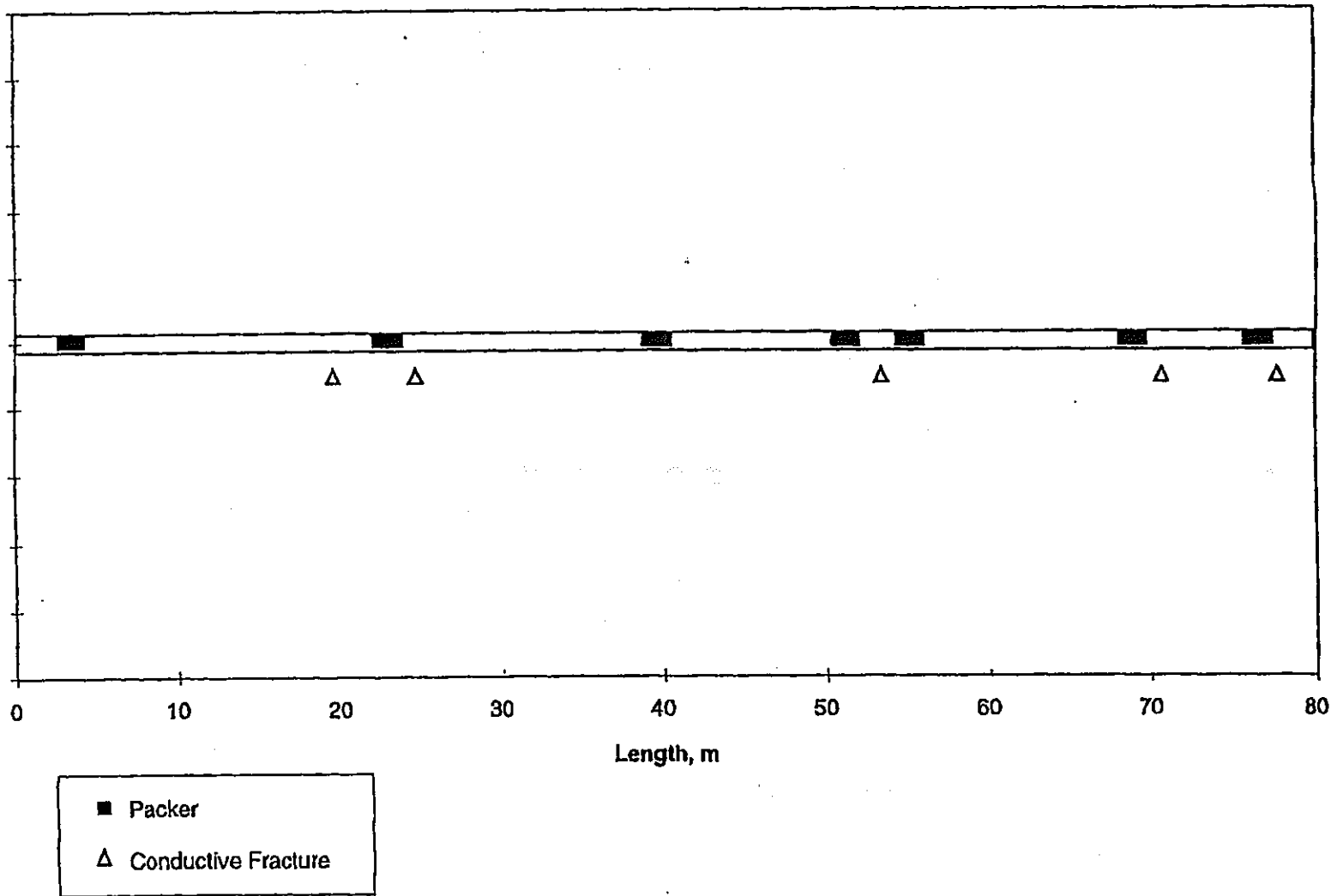


図-8.4.2 パッカー設置位置 (KH-20孔)

表-8.4.1 パッカー装置構成 (KH-19孔)

Zone	3-m pipe	2-m pipe	1-m pipe	.5-m pipe	Coupling	Zone Sum	Packer Top	Packer Bottom	Seal Top	Seal Bottom	Zone Top	Zone Bottom
Lengths	3.000	2.000	1.000	0.500	0.419							
Top	0	0	1	0	0	1.000					-0.354	1.185
8	4	0	0	0	0	12.000	0.846	2.457	1.185	2.200	2.2	14.796
7	3	0	0	0	0	9.000	14.457	16.068	14.796	15.811	15.811	25.407
6	0	0	1	0	0	1.000	25.068	26.679	25.407	26.422	26.422	28.018
5	1	0	1	0	1	4.419	27.679	29.290	28.018	29.033	29.033	34.048
4	0	0	1	0	0	1.000	33.709	35.320	34.048	35.063	35.063	36.659
3	6	0	0	0	0	18.000	36.320	37.931	36.659	37.674	37.674	56.270
2	4	0	1	0	0	13.000	55.931	57.542	56.270	57.285	57.285	70.881
1	2	0	0	0	0	6.000	70.542	72.153	70.881	71.896	71.896	78.353
Total	20	0	5	0	1	26						

表-8.4.2 パッカー装置構成 (KH-20孔)

Zone	3-m pipe	2-m pipe	1-m pipe	.5-m pipe	Coupling	Zone Sum	Packer Top	Packer Bottom	Packer Middle	Seal Top	Seal Bottom	Zone Top	Zone Bottom
Lengths	3.000	2.000	1.000	0.500	0.419								
Top	1	0	0	0	0	3.000						-0.554	2.985
7	6	0	0	0	0	18.000	2.646	4.257	3.452	2.985	4.000	4	22.596
6	5	0	0	0	0	15.000	22.257	23.868	23.063	22.596	23.611	23.611	39.207
5	3	0	1	0	0	10.000	38.868	40.479	39.674	39.207	40.222	40.222	50.818
4	0	1	0	0	1	2.419	50.479	52.090	51.285	50.818	51.833	51.833	54.848
3	4	0	0	0	0	12.000	54.509	56.120	55.315	54.848	55.863	55.863	68.459
2	2	0	0	0	0	6.000	68.120	69.731	68.926	68.459	69.474	69.474	76.070
1	0	1	0	0	0	2.000	75.731	77.342	76.537	76.070	77.085	77.085	79.542
Total	21	2	1	0	1	25							

9. データの総合評価およびまとめ

9.1 概要

本研究の目的は、調査試験エリアの水理地質構造を明らかにすることである。

本節では、これまでに得られた調査・試験データを総合的に評価し水理地質構造モデルの検討を行なう。

水理地質構造モデルの構築は、下記の観点で特に重要である。

(1)地下水流動モデルの構築

試験エリア内の地下水流動を表現できるモデルを構築する。すなわち、岩盤内の亀裂分布および透水性の分布を考慮したモデルにより地下水流動解析を実施し、現地の水理場（水圧分布）を再現できることを確認する。

(2)水圧測定用パッカーの最終的な位置の選定

最終的なパッカー位置の選定を行なう上で、試験対象エリア内の水理地質構造の把握が重要である。理想的には、削孔前の水圧分布を乱さないように配置することが望ましい。すなわち、岩盤内にボーリング孔が削孔されると、これが透水経路となり、自然の水圧場を大きく変えることが懸念される。そこで、水理地質構造を把握した上で、異なる透水ゾーンどうしが隔離できるようなパッカー配置とするべきである。

(3)孔間透水試験およびトレーサー試験の計画立案

孔間透水試験およびトレーサー試験は、水理地質構造モデルの確証と透水性割れ目（ゾーン）の水理・物質移行パラメータの取得の目的を有する。したがって、試験計画の立案にあたっては、試験対象エリア内の水理地質構造の概念を明らかにしておく必要がある。

図-9.1.1に、水理地質構造モデル構築のための検討フローを示す。

すなわち、

- (1)試験エリア内の亀裂分布に関するデータの解析
- (2)水理学的な連結性、水圧場の把握
- (3)高透水性割れ目の位置および概略の透水性の把握
- (4)割れ目（ゾーン）の水理パラメータの把握

の各作業を行なった後、結果を総合的に分析・評価することにより試験対象エリア内の水理地質構造モデルを構築する。本年度は、あくまでも調査の途中段階に有

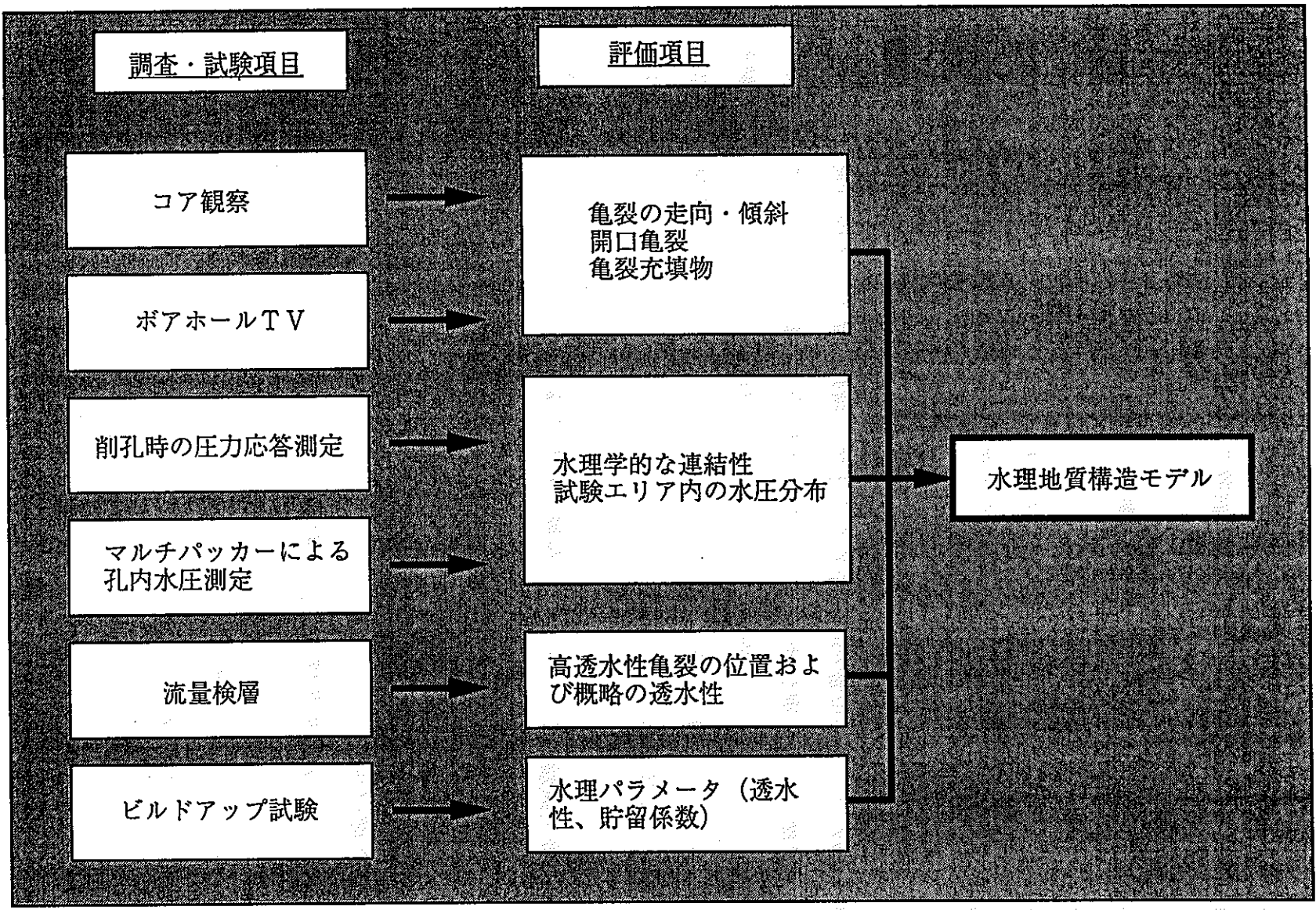


図-9-1-1 水理地質モデルの検討フロー

るため、構築される水理地質構造モデルも最終的なものではなく、次年度以降に予定されている新規ボーリングの削孔により得られる新たな調査・試験データをもとに再評価を行なう。

9.2 亀裂分布と圧力応答経路についての考察

図-9.2.1に試験エリア内の各ボーリング孔内で観察された開口亀裂の位置を示す。KH-20孔の削孔時に観察された圧力応答結果と割れ目分布との比較により、透水性割れ目（または圧力伝播経路となる割れ目）の抽出を試みる。

図-9.2.2は、KH-20孔削孔時の圧力応答と割れ目分布から推定される圧力応答経路を応答のあった割れ目毎に検討したものである。また、図-9.2.3は、その結果を全長にわたってまとめたものである。

同図より、KH-19、KH-20孔間の透水性割れ目が抽出されたが、その妥当性については、次年度以降実施するボーリング削孔時の圧力応答測定により、明らかになると考えられる。

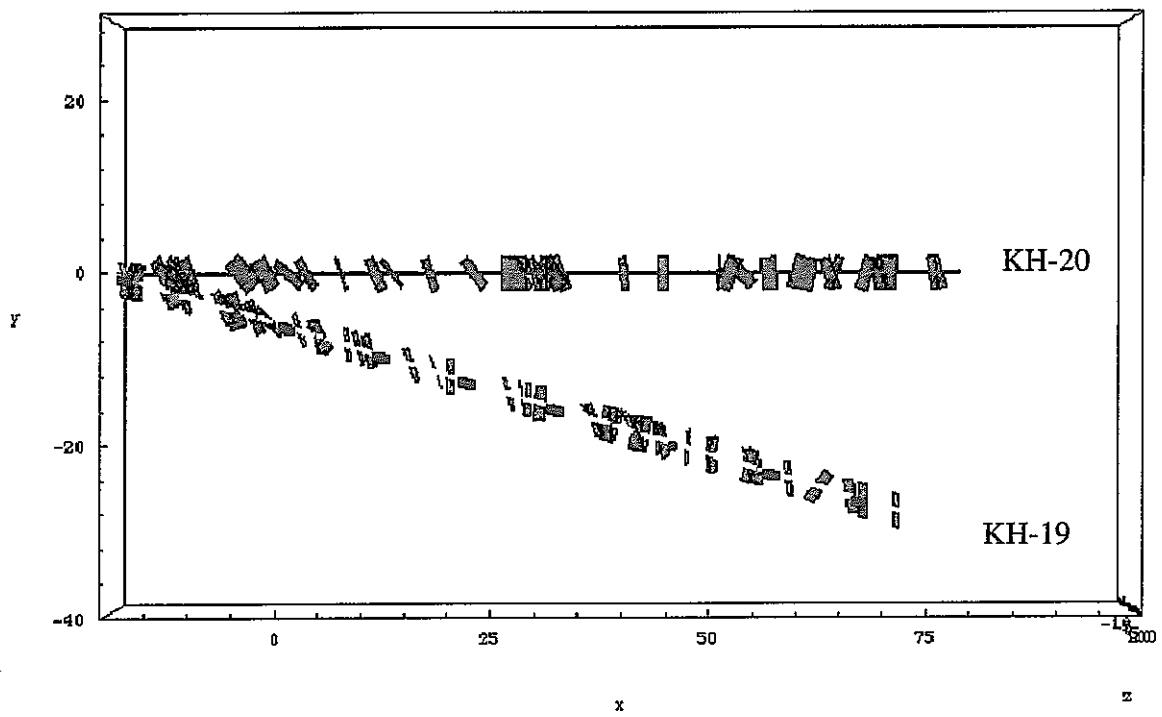


図-9.2.1 各ボーリング孔内の開口亀裂の分布

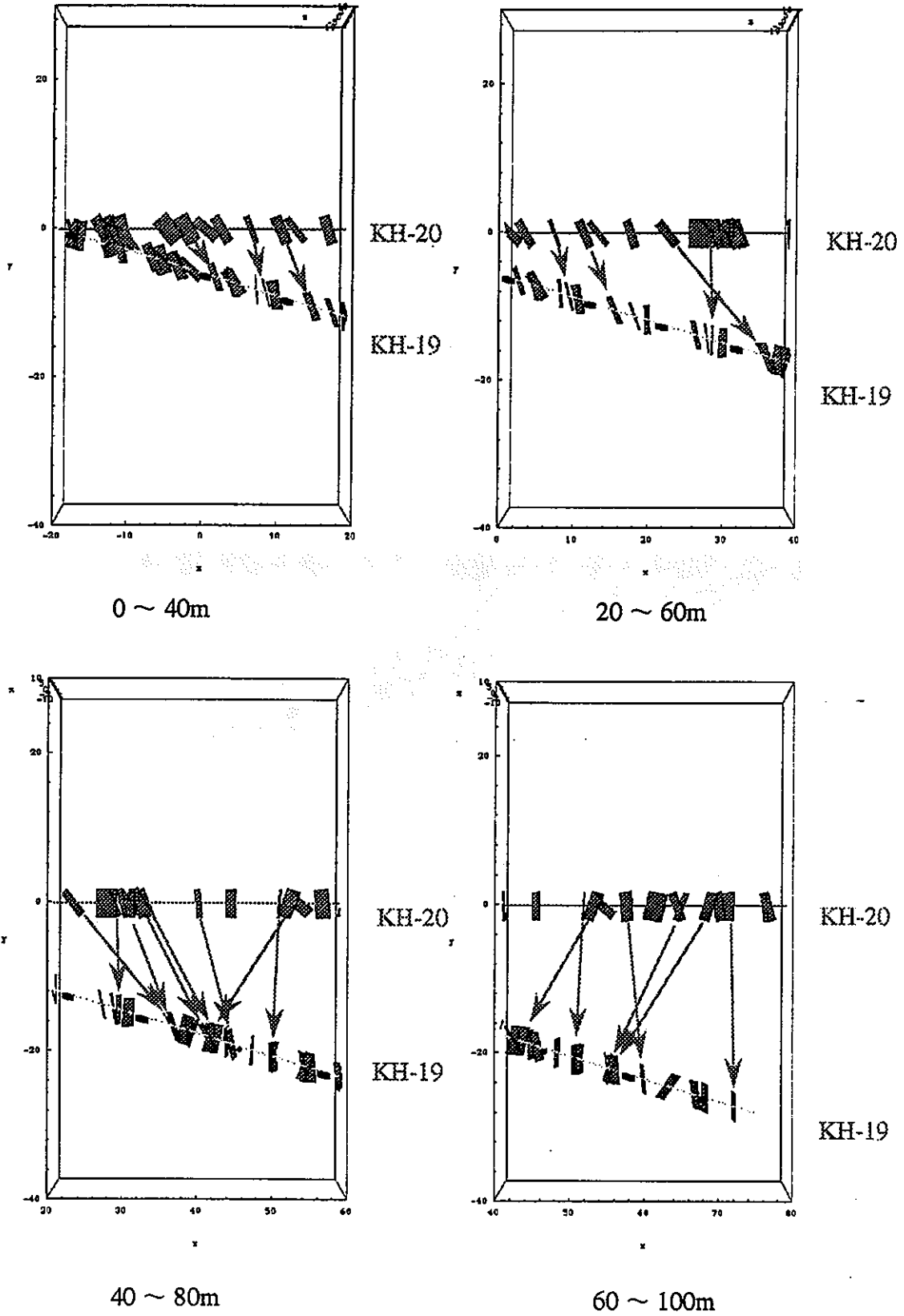


図-9.2.2 割れ目から推定される圧力応答径路(KH-20削孔時)

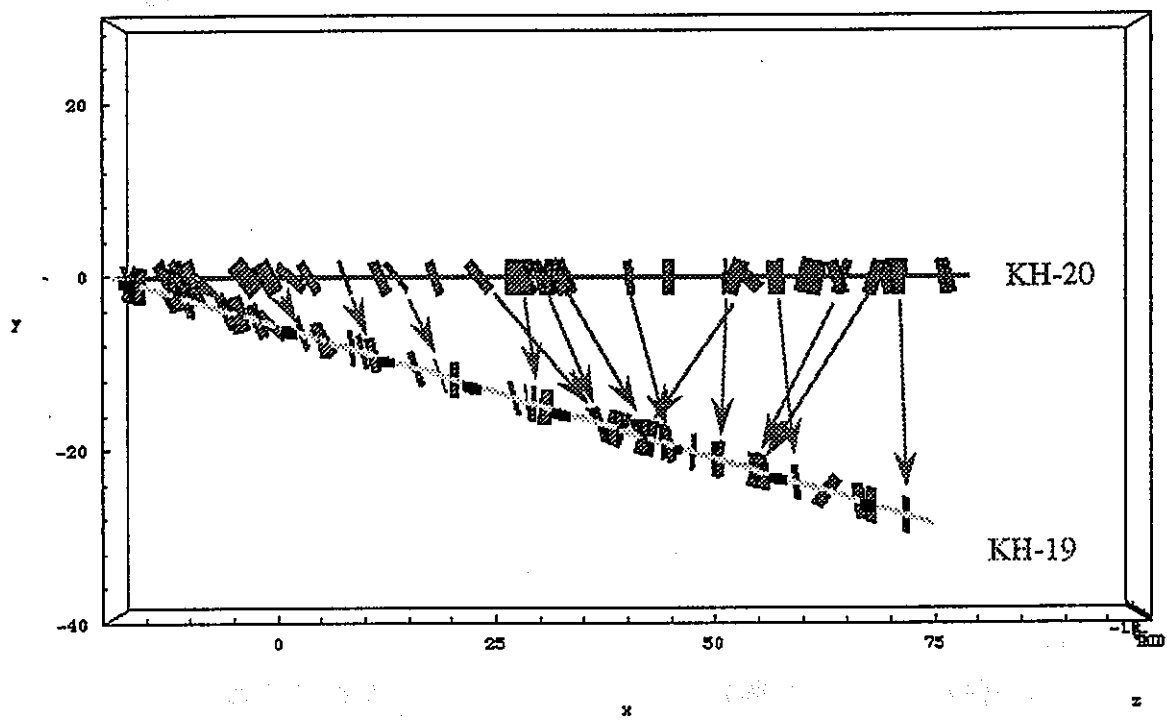


図-9.2.3 割れ目から推定される圧力応答径路 (KH-20削孔時、全区間)

9.3 水圧分布からみた水理地質構造の検討

各ボーリング孔内の圧力をみると、測定区間毎に異なった値を有している。中には、隣接する測定区間で10bar以上の水圧差が見られるところもある。このことは、試験エリア内に、お互いに水理的な連結性が少ない複数の割れ目ゾーンが存在することを示唆している。地下水の流れがほぼ定常状態にある場合には、お互いに連結した割れ目（ゾーン）は、ほぼ等しい水圧を有していると考えられる。

このような考えの基に、試験エリア内の水圧分布に基づくゾーニングを試みた。図-9.3.1に、その結果を示す。

図中には、7章で示した水理地質構造区分を併せて示した。ゾーン1、3および4は、比較的割れ目の発達したゾーンであるが、ゾーン1を除き、相対的に高い水圧を示している。ゾーン1の水圧が低いのは、KD-90坑道の影響を受けているためであると思われる。一方、割れ目の少ないゾーン2については、全体的に低い水圧が得られている。ただし、KH-19の区間4において、周辺より高い水圧（約10bar）が得られており、この区間では他の割れ目ゾーンとつながっている可能性が高い。

以上から、KH-19区間7の近傍を除き、7章で述べた水理地質構造と水圧区分とは良く対応していると言える。

9.4 流量検層結果からみた水理地質構造の検討

削孔時の圧力応答は、比較的透水性の高い割れ目において発生する可能性が高いと考えられる。そこで、流量検層結果から得られた透水量係数の分布と前節までに求めた割れ目ゾーンとの関係について考察する。

図-9.4.1に、各ボーリング孔に沿った透水量係数の分布と7章で述べた水理地質構造とを重ねて示す。

流量検層により得られた結果より、KH-20孔近傍ではKH-19に比べて全般的に透水性が低くなっていることが分かる。また、KH-19孔の45m以深では、オーダーが比較的揃った透水量係数を有する割れ目が分布しているが、KH-20孔内では、独立した透水性割れ目が分布していることがわかる。

比較的割れ目の発達したゾーン3、4に着目すると、ゾーン3については特にKH-19孔内で、独立した高透水性割れ目が分布している。KH-20孔内では、1m間隔の流量検層を実施しなかったため、KH-19孔のように独立した高透水性割れ目を特定できないが、開口割れ目の頻度がKH-20孔に比べる大きいにもかかわらず、透水性は低くな

っている。前述の圧力応答径路から、ゾーン3と隣接するゾーン2への応答が見られなかったことから、ゾーン3内部においては、独立した透水性割れ目が分布していると考えられる。以上から、ゾーン3内部では、割れ目同士の連続性はあるものの、KH-19からKH-20に向かって透水性が減少している傾向があると考えられる。ゾーン4についてみると、KH-19内は、ゾーン2との境界部に低透水ゾーンが存在しゾーン4とを隔離する形になっている。全体的にオーダーの揃った透水性を示しているのに対して、KH-20孔では、ゾーン2との境界付近に位置する深度72mに卓越した透水性を有する割れ目が存在する。

ゾーン2についてみると、ゾーン1とゾーン3の間では、明かに低透水性を呈しており、ことなる水理地質特性を有することが分かる。ただし、ゾーン3と4の間に分布するゾーン2の区間には、透水性割れ目が存在する部分が有るため、ゾーン2が一概に低透水帯と判断するのは尚早であると思われる。。

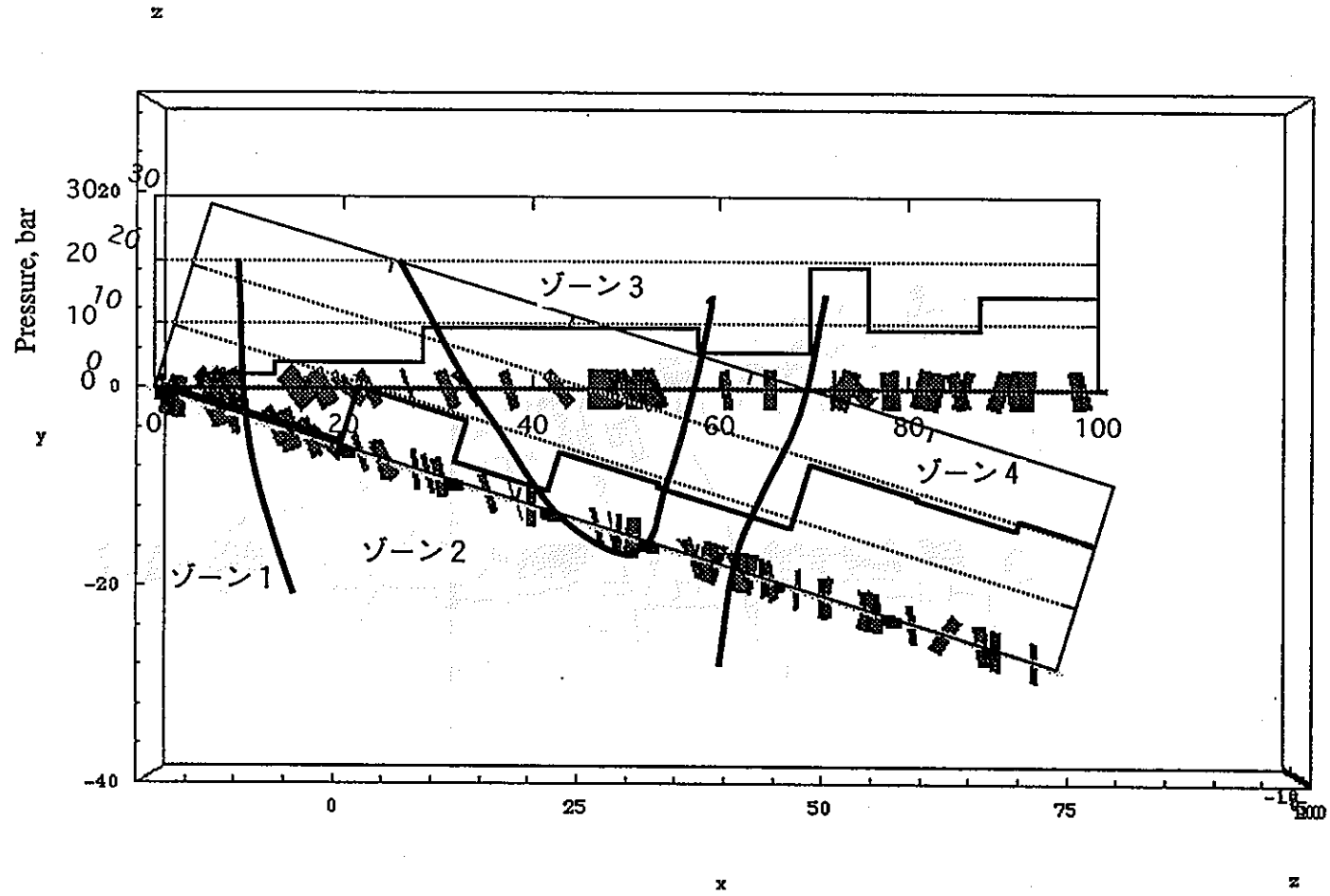


図-9.3.1 推定した水理地質構造と水圧分布との比較

注) KH-19K、H-20のY軸のスケールが異なる。

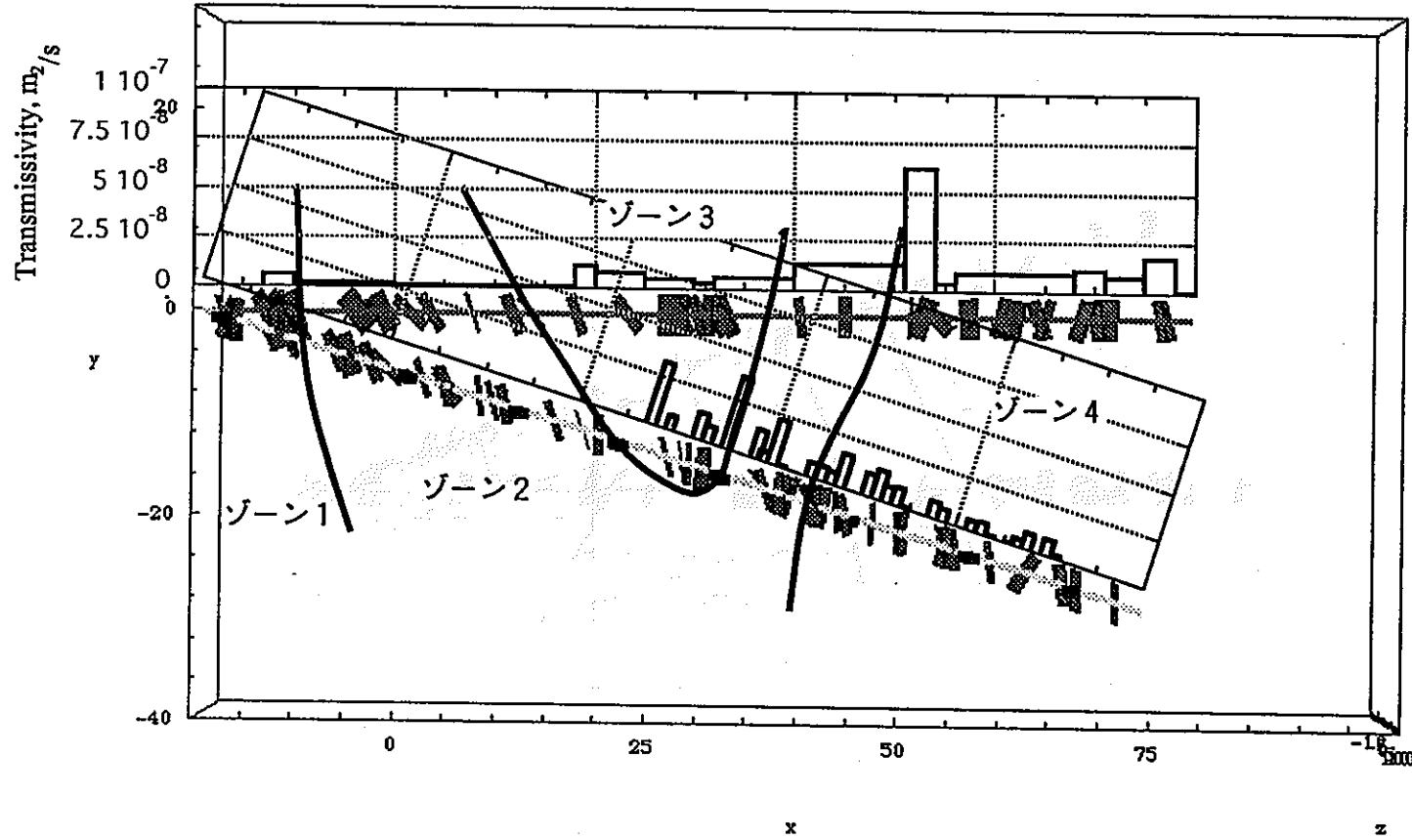


図-9.4.1 推定した水理地質構造と流量検層結果との比較

9.5 考察

9.1～9.4までの検討の結果、以下のことが明らかになった。

9.5.1 高水圧帯の広がりについて

- (1)KH-19孔で観測された高水圧帯は、KH-20孔においても存在することが確認された。すなわち、高水圧帯は、東西方向に延びている。
- (2)高水圧帯の水圧は、KH-19孔内では約20kg/cm²の一様な分布を示したのに対して、KH-20孔内では凹凸のある分布を示す。
- (3)高水圧帯の分布は、透水性割れ目の分布に依存している可能性が高い。

9.5.2 透水性割れ目の分布について

- (1)ボーリング掘削時の水圧応答測定、コア観察および流量検層等により、主要な「みずみち」を特定することができた。
- (2)主要な「みずみち」の透水係数は、 $10^5 \sim 10^6$ cm/s、それ以外の部分の透水係数は、 10^7 cm/sオーダー以下である。
- (3)水圧分布、流量検層結果より、領域の東側奥では、割れ目どうしが連結している可能性が高い。これに対して、西側では独立した透水性割れ目が「みずみち」を形成している可能性が高い。
- (4)変質度と透水性の間には相関関係が見られる。

9.5.3 水理境界について

(1)水理境界の分布：

- ①KH-19孔と同様、KH-20孔においても流量、水圧の急激な上昇が見られた。
- ②アクセス坑道の掘削による試験対象エリアへの水理的な影響はなかった。

この調査結果から、東西方向に連続性を有する水理境界が存在する可能性がさらに高まった。

(2)水理境界の実態：

- ・割れ目の少ない領域が、水理境界を形成している可能性がある。
- ・一方、透水性割れ目が、高水圧帯の分布に関わりが深いことは前述のとおりである。
- ・すなわち、水理境界の実態、方向、広がりについては、これまでの調査で結論を下す段階にはない。

10 次年度の調査試験計画

本年度は、孔間透水試験および非収着性トレーサー試験をおこなうための準備段階として、100mのボーリング孔の掘削とこれに伴う既存のKH-19孔内の圧力応答観測およびボーリング孔内の水理地質調査を行うことにより、KH-19とKH-20孔間の水理地質構造を推定した。

次年度は、これに引続き3本のボーリング孔(80m)を掘削し、それまでに掘削されているボーリング孔での圧力応答観測およびボーリング孔内の水理地質調査および水理試験を行うことにより、試験エリアの水理地質構造をより広範囲かつ詳細に把握する。また、掘削したボーリング孔は、平成8年度以降に行う非収着性トレーサー試験に使用する。次年度の実施内容は以下のとおりである。

(1) 3本の80mボーリング孔の掘削と掘削時の水理応答調査

調査領域のより詳細な水理地質構造を把握することを目的として、KD-94坑道(仮称:平成6年度掘削)から3本のボーリング孔(KH-21、KH-23、KH-25)を掘削する(図-10.1)。ボーリングの掘削にともない、それまでに掘削されたボーリング孔内に設置された間隙水圧モニタリングシステムを用いて、ボーリング掘削に伴う圧力応答を観測する。掘削中のボーリング孔においても、孔口からの湧水量観測と間隙水圧観測を行う。

(2) KH-21、KH-23、KH-25孔のボアホールTV観察、岩芯鑑定、孔曲がり検層

掘削した3本のボーリングの全長にわたりボアホールTV観察、岩芯鑑定、孔曲がり検層を行い、割れ目の位置、方向、変質や充填等の地質学的記載を行う。また、孔曲がり検層を行い、掘削したボーリングの正確な方向と位置を把握する。

(3) KH-21、KH-23、KH-25孔内での流量検層

各ボーリング孔の掘削終了後、ボーリングの全長にわたって流量検層を行い、湧水箇所および湧水量を調査する。

(4) KH-21、KH-23、KH-25孔内における流量検層

パッカー装置を各ボーリング孔内に設置し、間隙水圧の測定を行う。

(5) 単孔式透水試験

単孔式透水試験を実施し、透水性割れ目の透水性を把握する。

(6) データの解析および水理地質モデルの検討

(1)～(5)で得られたデータと平成6年度の成果をあわせて総合的に解析し、試験エリアの水理・地質モデルを検討する。

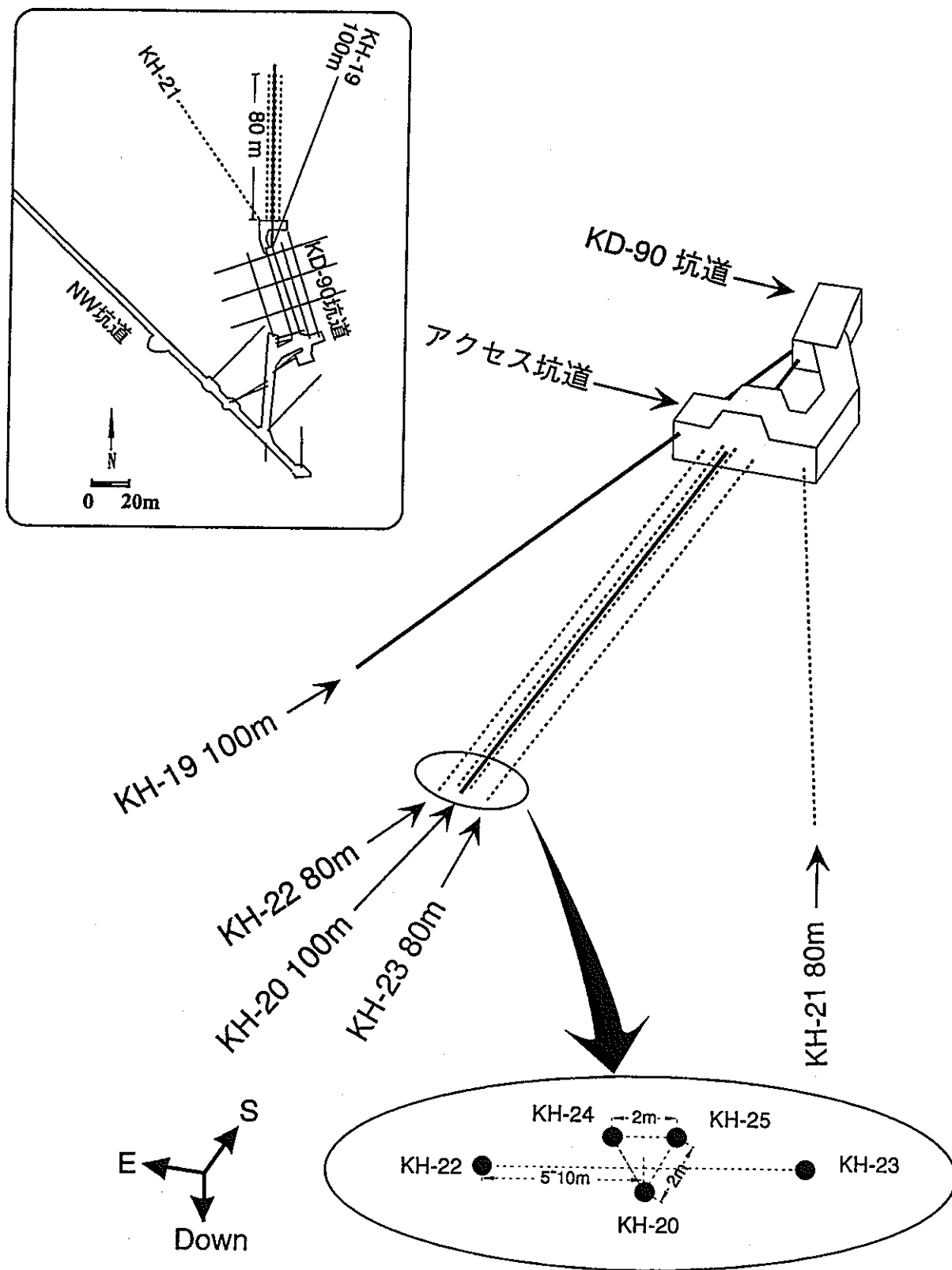


図-10.1 TASK3.2ボーリング孔レイアウト

11 おわりに

本年度は、上記の調査試験の準備作業として、透水性亀裂および高間隙水圧領域の位置を確認するためのパイロットボーリング（KH-20孔、100m）の掘削およびアクセス坑道の開削、そしてパッカーの設置まで行った。またこれと平行して、KH-20孔掘削時の水理応答調査、BTV観察および岩芯観察による割れ目特性の把握を行った。

その結果、透水性亀裂の位置、連結性および概略の透水性を把握することができた。次年度以降、さらにボーリングを増設し、今年度と同様な方法で亀裂分布の調査、流量検層、水圧観測を行うことにより調査対象エリア内の透水性亀裂の分布や連続性がより明らかとなると思われる。これらの成果により、孔間透水試験および非収着性トレーサー試験の対象となる亀裂の絞り込みが可能となると思われる。