

釜石鉱山における非吸着性トレーサー試験 のための水理地質構造の調査研究(II)

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

1996年3月

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。については、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ください。

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

限 定 資 料

PNC ZJ1205 96-003

1996年 3月

釜石鉱山における非吸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^{*}、山本肇^{*}、高原弘幸^{**}、根木健之^{**}、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錐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、非吸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、100mのボーリング孔（KH-20孔）の掘削とこれに伴う既存のKH-19孔での圧力応答観測、およびBTV観察、コア観察、流量検層等を実施し、KH-19孔とKH-20孔間の水理地質構造を推定した。

平成7年度は、調査対象領域を広げると共に、試験の中心となる領域の水理地質構造をより詳細に把握するために、平成6年度に引き続き3本のボーリング孔（KH-21、KH-23、KH-25孔）を掘削し、既存ボーリング孔での圧力応答観測およびボーリング孔の水理地質調査を行なった。これらのボーリング孔では、BTV観察および岩芯観察による割れ目特性の把握を行なった。また、最後に削孔したKH-25孔においてビルドアップ透水試験を行った。

これらの調査試験により得られた、亀裂分布、水圧分布、水圧応答経路から、平成6年度の結果を見直し、試験エリアの岩盤内の詳細な水理地質構造モデルを構築した。

本報告書は、大成建設（株）が、動力炉・核燃料事業団の依託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.

COMMERCIAL PROPRIETARY

PNC ZJ1205 96-003

March 1996

Hydrogeologic Study for Non-sorbing Tracer Test at Kamaishi Mine(II)

Michito Shimo*, Hajime Yamamoto*, Yukihiko Takahara**, Takeyuki Negi**, 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 non-sorbing tracer tests at Kamaishi mine. The field investigation consists of several works, i.e. pressure response monitoring during drilling, borehole TV logging, core observation. These results will contribute to understand the 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, as a first step of this project, a preliminary hydrogeological characterization was carried out using a new 100 m borehole, KH-20. Pressure responses during KH-20 excavation were monitored at an existing borehole, KH-19, using a multipacker system. Borehole TV logging, core observation and flow logging were also conducted. From these measurements and logging, the hydrogeological structure, such as the locations of conductive fractures and those transmissivity values, between KH-19 and KH-20 were then obtained.

In H7, additional three boreholes were excavated to obtain the information on the geological as well as hydraulic conditions in a larger area and also to obtain the detail geological structure around the future main test area. Pressure response measurement were conducted during a each borehole excavation. Borehole TV logging, core observation were also carried out at each borehole to obtain the geological, hydraulic and geometric characteristics of the fractures. In KH-25 borehole, a buildup permeability test was performed to obtain a transmissivity at various zones.

By integrating all these information , hydrogeological structure model which was constructed in H6 was revised.

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 Kogyo,

***: Golder Associates Inc.

目 次

1 はじめに	1
2 研究の目的と背景	3
3 調査試験全体計画	
3.1 調査試験位置	4
3.2 調査試験項目	9
3.3 調査試験数量	10
3.4 調査試験工程	11
4 平成 7 年度調査試験計画	
4.1 実施場所	12
4.2 実施項目	12
4.2.1 実施計画の策定	12
4.2.2 KH-21,23,25孔掘削と掘削時の水理応答調査	12
4.2.3 KH-21,23,25孔のボアホールTV観察、岩芯観察	13
4.2.4 KH-21孔、KH-23孔およびKH-25孔での高精度流量検層	14
4.2.5 KH-21、KH-23およびKH-25孔へのパッカー装置の設置 および間隙水圧の測定	14
4.2.6 単孔式透水試験	14
4.2.7 データの解析および水理地質構造モデルの検討	14
4.3 調査試験工程	15
5 ポーリング削孔	
5.1 調査概要	17
5.2 調査の実施方法	
5.2.1 削孔作業と深度の計測	17
5.2.2 孔曲り測定	20
5.3 調査の結果	
5.3.1 削孔状況と深度の測定結果	21
5.3.2 孔曲がり測定結果	25
6 BTV・割れ目調査	
6.1 調査概要	29
6.2 各試錐地質概要	31

6.2.1 KH-21孔の地質概要	31
6.2.2 KH-23孔の地質概要	33
6.2.3 KH-25孔の地質概要	33
6.3 割れ目の特性	33
6.3.1 開口の有無による割れ目の走向傾斜	33
6.3.2 割れ目の変質	37
6.3.3 割れ目の充填鉱物	41
6.3.4 割れ目の連続性	45
6.4 考察	48
6.5 まとめ	48
 7 ポーリング削孔時の水理調査	
7.1 調査概要	51
7.1.2 口元湧水量測定	56
7.1.3 口元間隙水圧測定	56
7.2 口元湧水量測定結果	56
7.3 口元間隙水圧測定結果	63
7.4 KH-23孔削孔時の水圧応答測定	
7.4.1 KH-19、20孔内の圧力応答	69
7.4.2 KH-19、20孔内の圧力応答から推定される透水割れ目	69
7.4.3 まとめ	74
7.5 KH-21孔削孔時の圧力応答測定	
7.5.1 KH-19、20、23孔内の圧力応答	82
7.5.2 KH-19、20、23孔の水理応答から推定される透水割れ目	82
7.5.3 まとめ	84
7.6 KH-25孔削孔時の圧力応答測定	
7.6.1 KH-19、20、21、23孔の圧力応答	94
7.6.2 KH-19、20、21、23孔の水理応答から推定される透水割れ目	94
7.6.3 まとめ	97
7.7 圧力応答測定結果のまとめ	108
 8 流量検層	
8.1 概要	110
8.2 検層方法	110
8.3 検層結果	117
8.3.1 KH-23孔	117
8.3.2 KH-21孔	124
8.3.3 KH-25孔	131

8.4 流量検層結果を用いた透水量係数の算定	136
9 KH-25孔の透水試験	
9.1 概要	138
9.2 試験方法	138
9.3 試験結果	142
9.4 試験結果の解析	160
9.5 試験期間中の水圧応答と水圧ゾーンの評価	174
10 パッカー設置	
10.1 概要	182
10.2 装置の概要	182
10.3 パッカー設置状況	182
10.4 パッカー設置直後の圧力ビルドアップ	183
11 水理地質構造モデルの検討	
11.1 概要	188
11.2 亀裂分布と圧力応答経路についての考察	190
11.3 水圧分布からみた水理場のゾーニング	197
11.4 流量検層結果から見た割れ目ゾーンの検討	197
11.5 考察	202
12 次年度の調査試験計画	
13 おわりに	
添付資料	
1 水圧モニタリングシステムの操作マニュアル	
2 ゴルダーによるTASK3-2エリア内の透水ゾーンについての考察	

図 目 次

3章

図-3.1.1	釜石鉱山位置図	5
図-3.1.2	原位置試験場地形図	6
図-3.1.3	原位置試験場地質図	7
図-3.1.4	坑道およびボーリング孔レイアウト	8

5章

図-5.2.1	掘削深度測定システムとデータファイルの形式	18
図-5.3.1	KH-23孔の削孔日と削孔深度との関係	22
図-5.3.2	KH-21孔の削孔日と削孔深度との関係	23
図-5.3.3	KH-25孔の削孔日と削孔深度との関係	24

6章

図-6.1.1	BIPシステム 作業流れ図	30
図-6.2.1	KH-21孔の地質総合柱状図	32
図-6.2.2	KH-23孔の地質総合柱状図	34
図-6.2.3	KH-25孔の地質総合柱状図	35
図-6.3.1	KH-21孔の割れ目の走向傾斜のステレオ投影図	36
図-6.3.2	KH-23孔の割れ目の走向傾斜のステレオ投影図	38
図-6.3.3	KH-25孔の割れ目の走向傾斜のステレオ投影図	39
図-6.3.4	各試錐孔の変質部の存在位置と、変質割れ目の頻度分布図	40
図-6.3.5	KH-21孔の主要な割れ目充填鉱物の存在頻度分布図	42
図-6.3.6	KH-23孔の主要な割れ目充填鉱物の存在頻度分布図	43
図-6.3.7	KH-25孔の主要な割れ目充填鉱物の存在頻度分布図	44
図-6.3.8	割れ目の連続性の推定図	46
図-6.3.9	推定された割れ目分布と割れ目領域	47
図-6.4.1	試験エリアと地表地形との関係図	50

7章

図-7.1.1	圧力応答調査体制	52
図-7.1.2	水圧モニタリングシステムの構成	53
図-7.1.3	センサーの接続回路図	55
図-7.2.1	KH-23孔削孔深度と湧水量の関係	58
図-7.2.2	KH-21孔削孔深度と湧水量の関係	60
図-7.2.3	KH-25孔削孔深度と湧水量の関係	62

図-7.3.1	KH-23孔削孔深度と口元圧力の関係	65
図-7.3.2	KH-21孔削孔深度と口元圧力の関係	66
図-7.3.3	KH-25孔削孔深度と口元圧力の関係	68
図-7.4.1	KH-23孔削孔時のKH-19孔内の圧力応答	70
図-7.4.2	KH-23孔削孔時のKH-20孔内の圧力応答	71
図-7.4.3	KH-20孔の区間-7における圧力変化 (深度11.3～19.3m区間の削孔時)	75
図-7.4.4	KH-19孔の区間-7における圧力変化 (深度11.3～19.3m区間の削孔時)	75
図-7.4.5	KH-19孔の区間-8における圧力変化 (深度11.3～19.3m区間の削孔時)	76
図-7.4.6	KH-20孔の区間-6における圧力変化 (深度19.3～27.3m区間の削孔時)	76
図-7.4.7	KH-19孔の区間-7における圧力変化 (深度19.3～27.3m区間の削孔時)	77
図-7.4.8	KH-19孔の区間-8における圧力変化 (深度19.3～27.3m区間の削孔時)	77
図-7.4.9	KH-20孔の区間-5における圧力変化 (深度42.9～48.9m区間の削孔時)	78
図-7.4.10	KH-20孔の区間-3における圧力変化 (深度48.9～54.74m区間の削孔時)	78
図-7.4.11	KH-20孔の区間-1と区間-2における圧力変化 (深度72.8～78.8m区間の削孔時)	79
図-7.4.12	KH-23孔の削孔時に圧力応答が認められた経路	81
図-7.5.1	KH-21孔削孔時のKH-19孔内の圧力応答	85
図-7.5.2	KH-21孔削孔時のKH-20孔内の圧力応答	86
図-7.5.3	KH-21孔削孔時のKH-23孔内の圧力応答	87
図-7.5.4	KH-19孔の区間-7とKH-20孔の区間-7における圧力変化 (深度11.09～17.01m区間の削孔時)	88
図-7.5.5	KH-19孔の区間-8における圧力変化 (深度11.09～17.01m区間の削孔時)	88
図-7.5.6	KH-19孔の区間-7,8およびKH-20孔の区間-7における圧力変化 (深度17.01～23.09m区間の削孔時)	89
図-7.5.7	KH-19孔の区間-2,3,4,5,6およびKH-20孔の区間-4,5における 圧力変化 (深度17.01～23.09m区間の削孔時)	89
図-7.5.8	KH-23孔の区間-4における圧力変化 (深度39.09～47.09m区間の削孔時)	90

図-7.5.9 KH-19孔の区間-2,3,4,5,6,およびKH-20孔の区間-4,5 における圧力変化（深度39.09～47.09m区間の削孔時）	90
図-7.5.10 KH-20孔の区間-3とKH-23孔の区間-2における圧力変化 (深度66.09～74.09m区間の削孔時)	91
図-7.5.11 KH-20孔の区間-1,2およびKH-23孔の区間-1における圧力変化 (深度66.09～74.09m区間の削孔時)	91
図-7.5.12 KH-21孔の削孔時に圧力応答が認められた経路	93
図-7.6.1 KH-25孔削孔時のKH-19孔内の圧力応答	98
図-7.6.2 KH-25孔削孔時のKH-20孔内の圧力応答	99
図-7.6.3 KH-25孔削孔時のKH-21孔内の圧力応答	100
図-7.6.4 KH-25孔削孔時のKH-23孔内の圧力応答	101
図-7.6.5 KH-19孔の区間-7,8, KH-20孔の区間-7,KH-21孔の区間-4 における圧力変化（深度10.42～18.42m区間の削孔時）	102
図-7.6.6 KH-19孔の区間-2,3,4,5,6, KH-20孔の区間-4,5, KH-23孔の 区間-3,4およびKH-21孔の区間-3における圧力変化 (深度18.42～28.42m区間の削孔時)	102
図-7.6.7 KH-20孔の区間-6とKH-23孔の区間-5,6における圧力変化 (深度18.42～28.42m区間の削孔時)	103
図-7.6.8 KH-20孔の区間-5における圧力変化 (深度44.42～52.42m区間の削孔時)	103
図-7.6.9 KH-20孔の区間-4とKH-23孔の区間-3における圧力変化 (深度44.42～52.42m区間の削孔時)	104
図-7.6.10 KH-19孔の区間-2,3,4,5,6, KH-20孔の区間-4, KH-21孔の 区間-3およびKH-23孔の区間-2における圧力変化 (深度52.42～58.42m区間の削孔時)	104
図-7.6.11 KH-20孔の区間-3、KH-21孔の区間-2およびKH-23孔の 区間-2における圧力変化 (深度58.42～64.42m区間の削孔時)	105
図-7.6.12 KH-20孔の区間-1,2, KH-21孔の区間-1およびKH-23孔の 区間-1における圧力変化 (深度58.42～64.42m区間の削孔時)	105
図-7.6.13 KH-25孔の削孔時に圧力応答が認められた経路	107
図-7.7.1 KH-23、KH-21、KH-25削孔時の水圧応答のまとめ	109

8章

図-8.2.1 ダブルパッカ方式の流量検層装置	113
-------------------------	-----

図-8.2.2	フロート式流量計	114
図-8.2.3	流量計の校正曲線	115
図-8.2.4	メスシリンドー測定値および校正曲線により算定した流量値 (KH-23孔、KH-21孔、KH-25孔の流量検層結果より)	116
図-8.3.1	流量検層結果 (KH-23孔、5.023m間隔)	121
図-8.3.2	流量検層結果 (KH-23孔、1.095m間隔)	121
図-8.3.3	流量検層結果 (KH-23孔、5.005m間隔および5.023m間隔)	122
図-8.3.4	流量検層結果 (KH-23孔、5 mおよび1 m区間)	123
図-8.3.5	流量検層結果と削孔時流量との比較 (KH-23孔)	123
図-8.3.6	流量検層結果 (KH-21孔、5.070m間隔)	129
図-8.3.7	流量検層結果 (KH-21孔、1.055m間隔)	129
図-8.3.8	流量検層結果 (KH-21孔、0.950m間隔)	129
図-8.3.9	流量検層結果 (KH-21孔、5 mおよび1 m区間)	130
図-8.3.10	流量検層結果と削孔時流量との比較 (KH-21孔)	130
図-8.3.11	流量検層結果 (KH-25孔、5.010m間隔)	134
図-8.3.12	流量検層結果 (KH-25孔、0.990m間隔)	134
図-8.3.13	流量検層結果 (KH-25孔、5 mおよび1 m区間)	135
図-8.3.14	流量検層結果と削孔時流量との比較 (KH-25孔)	135
図-8.4.1	透水量係数 (KH-23孔)	137
図-8.4.2	透水量係数 (KH-21孔)	137
図-8.4.3	透水量係数 (KH-25孔)	137

9章

図-9.2.1	KH-25孔単孔透水試験装置	139
図-9.2.2	透水試験実施区間と透水量係数の分布	141
図-9.3.1a	KH-25孔圧力ビルドアップデータ (試験区間8m)	142
図-9.3.2a	KH-25孔圧力ビルドアップデータ (試験区間4m)	143
図-9.3.2b	KH-25孔圧力ビルドアップデータ (試験区間4m)	144
図-9.3.3a	KH-25孔圧力ビルドアップデータ (試験区間2m)	145
図-9.3.3b	KH-25孔圧力ビルドアップデータ (試験区間2m)	146
図-9.3.3c	KH-25孔圧力ビルドアップデータ (試験区間2m)	147
図-9.3.3d	KH-25孔圧力ビルドアップデータ (試験区間2m)	148
図-9.3.4a	KH-25孔圧力ビルドアップデータ (試験区間1m)	149
図-9.3.4b	KH-25孔圧力ビルドアップデータ (試験区間1m)	150
図-9.3.5a	KH-25孔アウトフローデータ (試験区間8m)	151
図-9.3.6a	KH-25孔アウトフローデータ (試験区間4m)	152
図-9.3.7a	KH-25孔アウトフローデータ (試験区間2m)	153
図-9.3.7b	KH-25孔アウトフローデータ (試験区間2m)	154

図-9.3.7c KH-25孔アウトフローデータ（試験区間2m）	155
図-9.3.8a KH-25孔アウトフローデータ（試験区間1m）	156
図-9.3.8b KH-25孔アウトフローデータ（試験区間1m）	157
図-9.3.9 KH-19孔水圧応答（KH-25孔透水試験期間）	158
図-9.3.10 KH-20孔水圧応答（KH-25孔透水試験期間）	158
図-9.3.11 KH-23孔水圧応答（KH-25孔透水試験期間）	159
図-9.3.12 KH-21孔水圧応答（KH-25孔透水試験期間）	159
Figure 9.4.1 KH-25 12-16m, INTERPRET ANALYSIS	165
Figure 9.4.2 KH-25 12-16m, FLOWDIM ANALYSIS	166
Figure 9.4.3 KH-21-4 RESPONSE TO KH-25 12-16m	167
Figure 9.4.4 RESPONSE OF KH-19-7 TO KH-25 12-16	168
Figure 9.4.5 KH-25 18-22 SOURCE ZONE INTERPRET ANALYSIS	169
Figure 9.4.6 KH-25 60-62m SOURCE ZONE INTERPRET ANALYSIS	170
Figure 9.4.7 RESPONSE OF KH-20-3 TO KH-25 60-62m	171
Figure 9.4.8 KH-25 65-73m, SOURCE ZONE INTERPRET ANALYSIS	172
Figure 9.4.9 KH-21-1 RESPONSE TO KH-25, 69-71m FLOWDIM ANALYSIS	173
Figure 9.5.1 ZONE A RESPONSES TO KH-25 CONDUCTIVITY TESTS	176
Figure 9.5.2 ZONE B RESPONSES TO KH-25 CONDUCTIVITY TESTS	177
Figure 9.5.3 ZONE C RESPONSES TO KH-25 CONDUCTIVITY TESTS	178
Figure 9.5.4 ZONE D RESPONSES TO KH-25 CONDUCTIVITY TESTS	179
Figure 9.5.5 ZONE E RESPONSES TO KH-25 CONDUCTIVITY TESTS	180
Figure 9.5.6 ZONE F RESPONSES TO KH-25 CONDUCTIVITY TESTS	181

10章

図-10.4.3 KH-21パッカー設置直後の各区間圧	184
図-10.4.4 KH-19孔水圧応答（KH-21孔パッカー設置直後）	184
図-10.4.5 KH-20孔水圧応答（KH-21孔パッカー設置直後）	185
図-10.4.6 KH-23孔水圧応答（KH-21孔パッカー設置直後）	185
図-10.4.7 KH-25およびKH-19孔区間圧（KH-25孔パッカー設置直後）	186
図-10.4.8 KH-25およびKH-20孔区間圧（KH-25孔パッカー設置直後）	186
図-10.4.9 KH-25およびKH-23孔区間圧（KH-25孔パッカー設置直後）	187
図-10.4.10 KH-25およびKH-21孔区間圧（KH-25孔パッカー設置直後）	187

11章

図-11.1.1 水理地質モデルの検討フロー	189
図-11.2.1 各ボーリング孔内の開口亀裂分布	190

図-11.2.2 割れ目から推定される圧力応答経路 (KH-23削孔時、20m区間毎)	191
図-11.2.3 割れ目から推定される圧力応答経路 (KH-23削孔時、全区間)	192
図-11.2.4 割れ目から推定される圧力応答経路 (KH-21削孔時、20m区間毎)	193
図-11.2.5 割れ目から推定される圧力応答経路 (KH-21削孔時、全区間)	194
図-11.2.6 割れ目から推定される圧力応答経路 (KH-25削孔時、20m区間毎)	195
図-11.2.7 割れ目から推定される圧力応答経路 (KH-25削孔時、全区間)	196
図-11.2.8 割れ目から推定される圧力応答経路 (KH-23,KH-21,KH-25,全応答経路)	197
図-11.3.1 TASK3-2エリアの水圧分布	199
図-11.3.2 TASK3-2エリアの水圧分布と 割れ目を考慮した削孔時の圧力応答経路	200
図-11.4.1 流量検層結果から算定した概略透水量係数	201
図-11.5.1 TASK3-2エリア内の透水割れ目ゾーンの分布	203

表 目 次

3章

表-3.4.1 調査試験全体工程	11
------------------	----

4章

表-4.3.1 平成6年度の調査試験工程	16
----------------------	----

5章

表-5.1.1 各試錐の計画方向と掘削深度	17
表-5.2.1 使用した試錐機・ポンプの仕様	17
表-5.2.2 エンコーダの仕様	19
表-5.2.3 メジャーカウンターの仕様	19
表-5.2.4 抗井記録傾斜儀の仕様	20
表-5.2.5 孔曲り測定機の各部品の機構	20
表-5.3.1 KH-23孔の孔曲り測定結果一覧表	26
表-5.3.2 KH-21孔の孔曲り測定結果一覧表	27
表-5.3.3 KH-25孔の孔曲り測定結果一覧表	28

6章

表-6.1.1 BIPシステムの仕様	29
表-6.1.2 割れ目の鑑定項目と内容	31

7章

表-7.1.1 トランスデューサーの仕様	54
表-7.2.1 KH-23孔削孔時の湧水量測定結果一覧表	57
表-7.2.2 KH-21孔削孔時の湧水量測定結果一覧表	59
表-7.2.3 KH-25孔削孔時の湧水量測定結果一覧表	61
表-7.3.1 KH-23孔削孔時の口元間隙水圧測定結果一覧表	64
表-7.3.2 KH-21孔削孔時の口元間隙水圧測定結果一覧表	64
表-7.3.3 KH-25孔削孔時の口元間隙水圧測定結果一覧表	67
表-7.4.1 KH-23孔における透水性割れ目位置と圧力応答区間一覧表	80
表-7.5.1 KH-21孔における透水性割れ目位置と圧力応答区間一覧表	92
表-7.6.1 KH-25孔における透水性割れ目位置と圧力応答区間一覧表	106

8章

表-8.3.1 流量検層結果 (KH-23孔、5.023m間隔)	119
----------------------------------	-----

表-8.3.3 流量検層結果 (KH-23孔、5.005m間隔)	119
表-8.3.2 流量検層結果 (KH-23孔、1.095m間隔)	120
表-8.3.4 流量検層結果 (KH-21孔、5.070m間隔)	126
表-8.3.5 流量検層結果 (KH-21孔、1.055m間隔)	127
表-8.3.6 流量検層結果 (KH-21孔、0.950m間隔)	128
表-8.3.7 流量検層結果 (KH-25孔、5.010m間隔)	132
表-8.3.8 流量検層結果 (KH-25孔、0.990m間隔)	133

9章

表-9.2.1 KH-25孔透水試験区間と区間流量	140
Table 9.4.1 Transient Analysis Results	161
Table 9.4.2 Nomenclature	164
Table 9.5.1 Interference Responses (Preliminary)	175

10章

表-10.3.1 テンポラリーパッカー設置深度	183
-------------------------------	-----

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できると考えられる。

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（以下、Task3.2と記する）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。

平成6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。

平成7年度は、調査対象領域を広げると共に、試験の中心となる領域の水理地質構造をより詳細に把握するために、平成6年度に引き続き3本のボーリング孔（KH-21、

KH-23、KH-25孔) を掘削し、既存ボーリング孔での圧力応答観測およびボーリング孔の水理地質調査を行なった。これらのボーリング孔では、B T V観察および岩芯観察による割れ目特性の把握を行なった。また、最後に削孔したKH-25孔においてビルドアップ透水試験を行った。

これらの調査試験により得られた、亀裂分布、水圧分布、水圧応答経路および孔内湧水量分布等から、平成6年度の結果を見直し、試験エリアの岩盤内の詳細な水理地質構造モデルを構築した。

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錐孔掘削時の水理応答観測、ポ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、非吸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

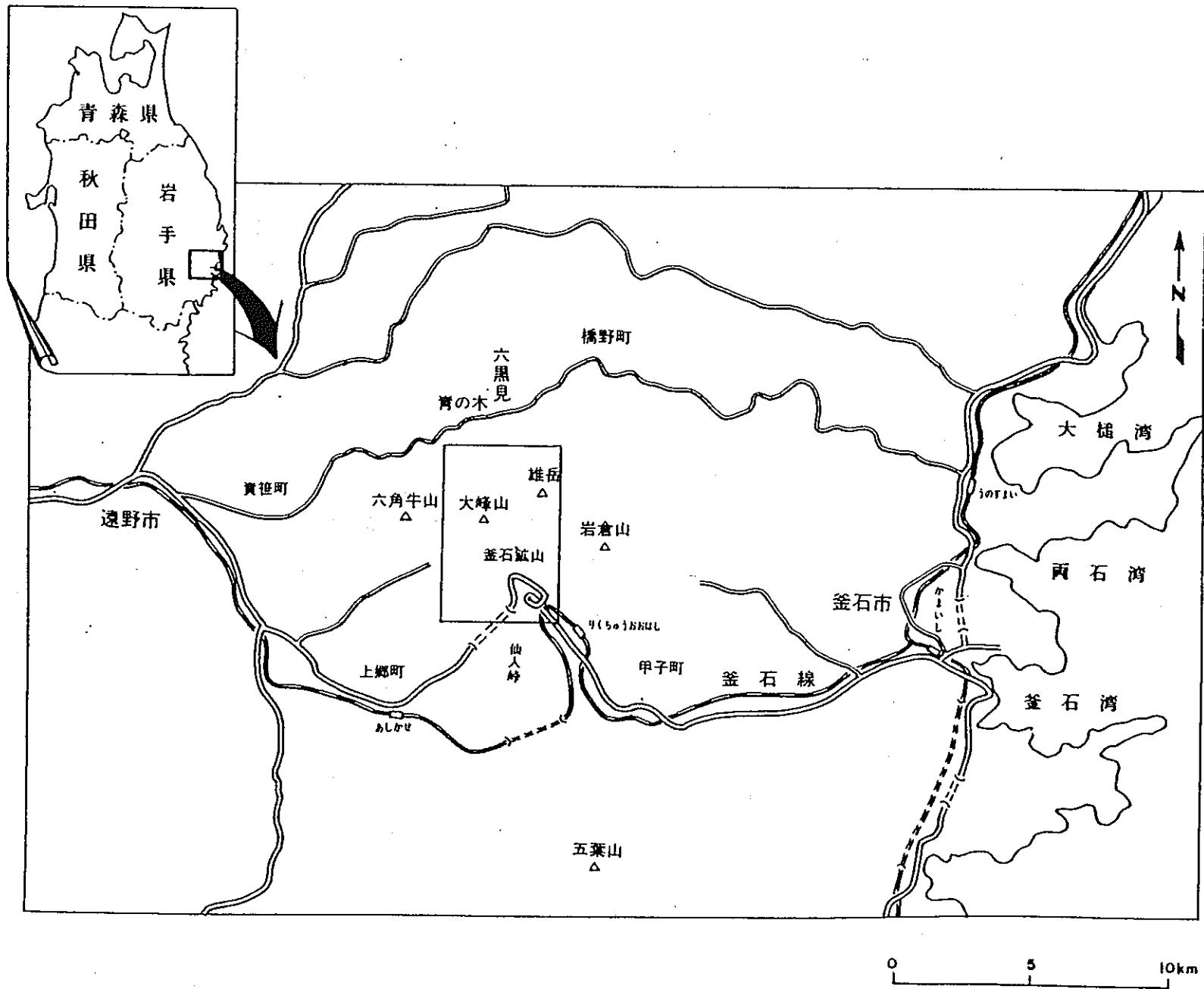
3. 調査試験全体計画

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孔およびKH-20孔と呼ばれる長さ80mのボーリング孔およびアクセス坑道が削孔されている。

図-3.1.1に原位置試験場の位置図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 釜石鉱山位置図



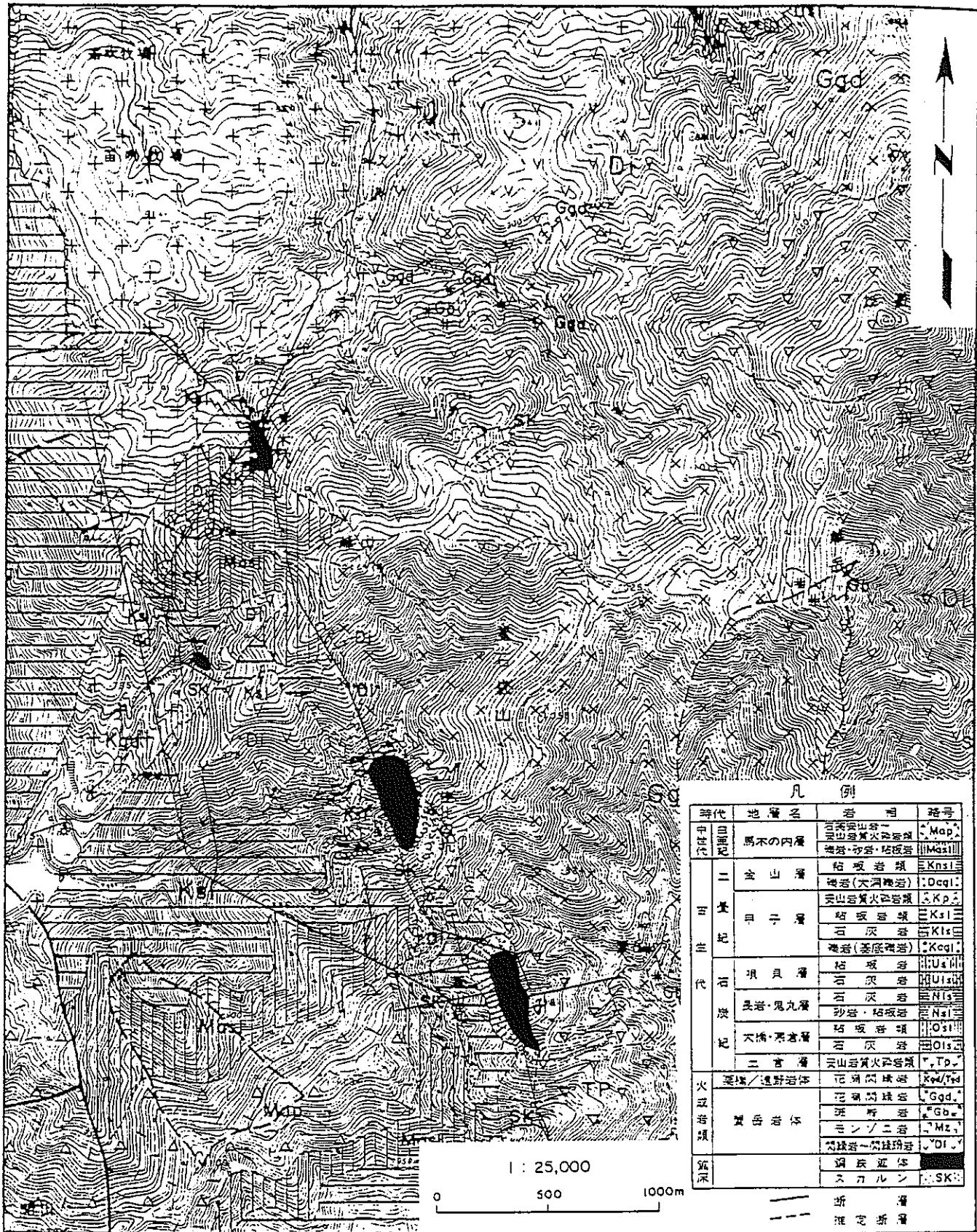


図-3.1.2 原位置試験場地形図

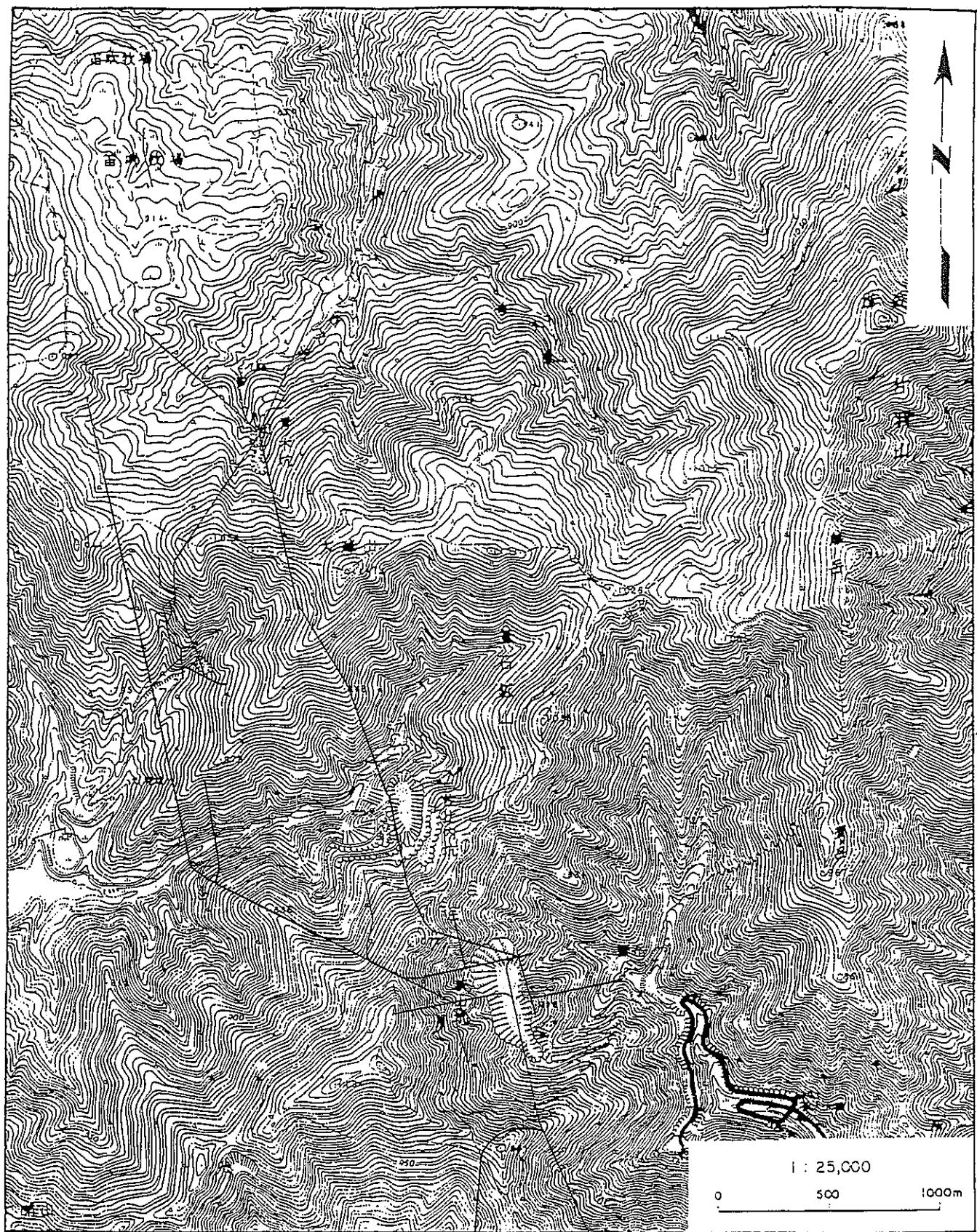


図-3.1.3 原位置試験場地質図

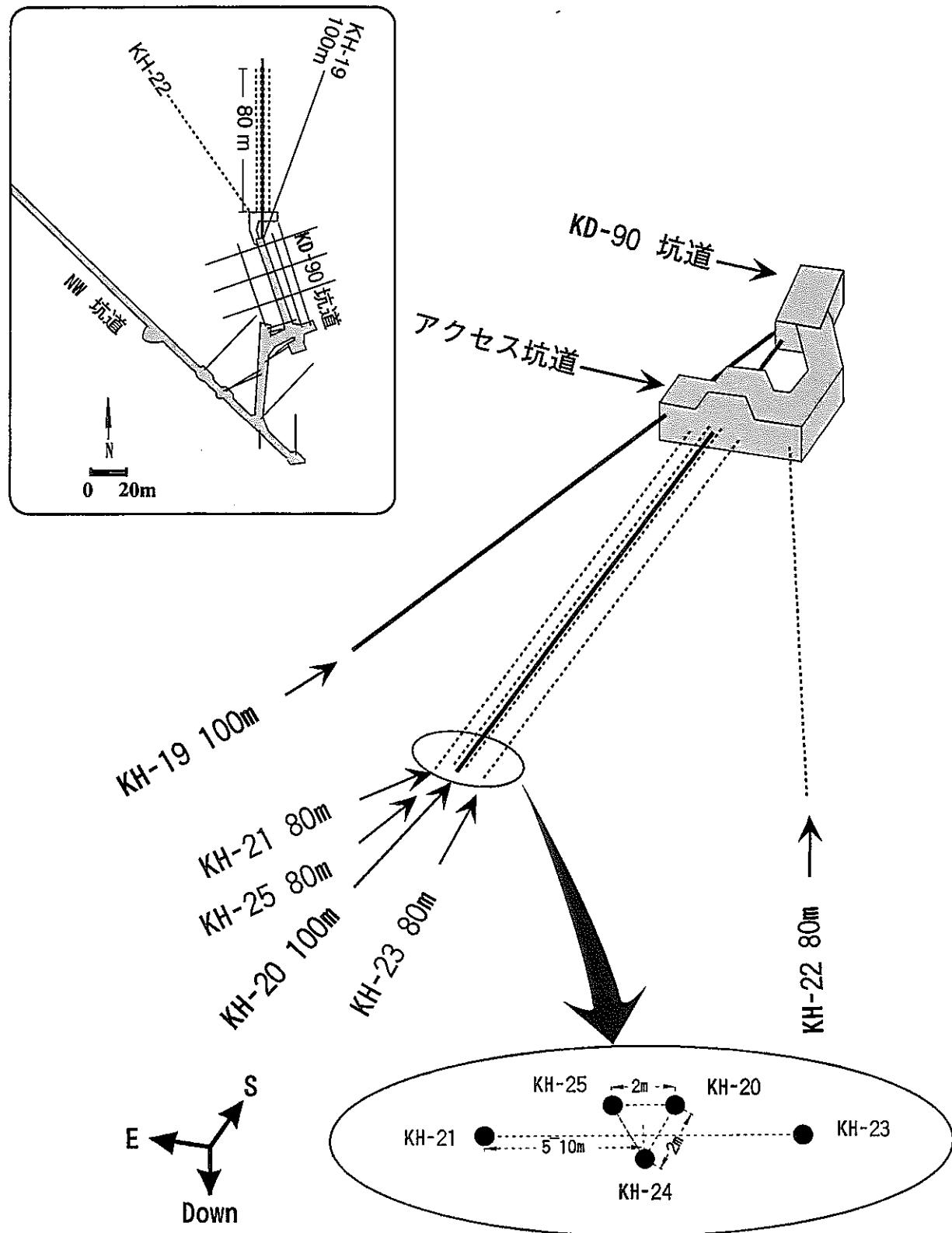


図-3.1.4 坑道およびボーリング孔レイアウト

3.2 調査試験項目

Task3.2で実施する調査試験は、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吸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非吸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、試錐孔間で非吸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

実施箇所、数量は、水理地質調査結果により決定する。

③非吸着性トレーサー試験

実施箇所、数量は、水理地質調査結果により決定する。

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8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
(日)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 7 年度調査試験計画

本年度は、孔間透水試験および非吸着性トレーサ試験の準備作業として、KH-23, 21, 25孔の掘削およびパッカーの設置を行う。またこれと平行して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。さらに本年度の最後に削孔するKH-25孔については、単孔式水理試験を実施する。

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

4.2.1 実施計画の策定

今年度の実施計画を策定する。また、今年度の成果を踏まえて、次年度以降の試験計画を動燃事業団殿と協議の上で策定する。

4.2.2 KH-21, 23, 25孔掘削と掘削時の水理応答調査

(1) 試錐工事

試験エリア全域の水理地質構造を把握すると共に、試験中心領域については詳細に調査することを目的として、アクセス坑道から3本のボーリング孔（KH-21孔、KH-23孔、KH-25孔、各80m、図-3.1.4参照）を掘削する。ボーリングの掘削に伴い、それまでに掘削されたボーリング孔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孔の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は、孔口からの湧水量観測と間隙水圧観測および各時間毎の掘削深度の記録を行う。

(2) 水理応答調査

平成6年度において、KH-19孔では8個、KH-20孔では7個のパッカーを設置し、計15区間における間隙水圧の自動計測が行われている。平成7年度に新設する3つのボーリング孔削孔時に生じる既存ボーリング孔への水理応答をモニタリングすることにより、試験エリアの水理地質構造、特に透水性亀裂の空間的な連結性を確認する。各ボーリング孔の掘削においては、毎日の掘削作業終了後、孔口に圧力トランスデューサーを設置した蓋をして、間隙水圧の測定を行う。また、作業の開始時と終了時には

湧水量の測定を行う。

4.2.3 KH-21, 23, 25孔のボアホールTV観察、岩芯観察

KH-21, 23, 25孔（各80m）に関して、ボアホールTV観察と岩芯観察を実施する。

(1)ボアホールTV観察

BIPシステム（Borehole Image Processing System）を用いて孔内観察を行う。これにより、孔内での湧水位置を確認するとともに、孔壁の連続展開画像のより割れ目の走向傾斜のデータセットを作成する。

(2)岩芯観察

岩芯の岩相、R.Q.D.、亀裂頻度を調査する。また、ボアホールTVの観察結果より抽出された割れ目に関して、以下の項目に関してデータセットを作成する。

割れ目の観察項目

- ①位置（BTM観察）
- ②走向傾斜（BTM観察）
- ③開口の有無
- ④間隙幅（BTM観察）
- ⑤割れ目の形状
- ⑥割れ目端形状
- ⑦面の粗さ
- ⑧変位
- ⑨条線
- ⑩破碎帶
- ⑪変質の程度
- ⑫変質の色
- ⑬変質の幅
- ⑭充填鉱物の種類
- ⑮混合鉱物の種類
- ⑯充填鉱物幅
- ⑰その他（晶洞、逸水等）

4.2.4 KH-21孔、KH-23およびKH-25孔での高精度流量検層

KH-21孔、KH-23およびKH-25孔において、ボーリング孔全長に渡って流量検層を行い、湧水箇所および湧水量を調査する。流量検層は、ボーリング孔内をパッカーで小区間に区切り、各区間からの湧水量を把握することによって、湧水亀裂の位置を特定する。

4.2.5 KH-21、KH-23およびKH-25孔へのパッカー装置の設置および間隙水圧の測定

各ボーリング削孔完了後、B T V調査、孔曲がり測定および流量検層を実施した後、パッカー装置を各ボーリング孔に設置する。パッカーを設置したボーリング孔では、その後のボーリング削孔および透水試験時を通じて、継続的に水圧観測を実施する。

4.2.6 単孔式透水試験

本年度の最後に削孔するボーリング孔KH-25孔において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。単孔透水試験は、ダブルパッカーで区切った試験区間をシャットインした後の水圧上昇過程を測定し、理論解とフィッティングすることにより水理特性を評価する手法を採用する。同様な試験を、10区間程度実施する。

4.2.7 データの解析および水理地質構造モデルの検討

4.2.2から4.2.6で得られた下記のデータと平成6年度の成果を合わせて総合的に解析し、試験エリアの水理・地質構造モデルを検討する。

- ・ B T V観察 KH-21孔、KH-23孔、KH-25孔
- ・ 岩芯観察 KH-21孔、KH-23孔、KH-25孔
- ・ 間隙水圧経時変化 KH-21削孔時、KH-23削孔時、KH-25削孔時、透水試験時
- ・ 湧水量 KH-21削孔時、KH-23削孔時、KH-25削孔時
- ・ 流量検層 KH-21孔、KH-23孔、KH-25孔
- ・ 単孔透水試験 KH-25孔

4.3 調査試験工程

平成7年度の調査試験工程を表-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	1995						1996		
		7	8	9	10	11	12	1	2	3
①実施計画策定 試験計画検討 機器設計			—							
②試錐孔掘削			—							
試験用試錐孔	KH-25($\ell = 80m$)			KH-23		KH-21				
外側境界用試錐孔	KH-21, KH-23($r=80mx2$)		—	—	—	—	—	↑ KH-25		
③観測調査										
試錐孔掘削中の観測・調査 水圧測定、湧水量測定	KH-21, KH-23, KH-25		—	—	—	—	—			
試錐孔掘削後の観測・調査 コア観察、BTY調査 流量検層	KH-21, KH-23, KH-25		—	—	—	—	—			
新規ボーリング孔内ピエゾメータ設置 ピエゾメータ設置 ビルドアップ試験 間隙水圧観測	KH-21, KH-23, KH-25		—	—	—	—	—			
④単孔透水試験		—	—							
単孔式透水試験	KH-25									
⑤データ評価										
⑥報告書作成								—		

5 ポーリング削孔

5.1 調査概要

今年度は、KH-21、KH-23、KH-25孔の3本の試錐を実施した。各孔とも平成9年度に予定しているトレーサ試験の実施、および試験エリアの水理・地質状況を把握することを目的としている。削孔はKH-23孔、KH-21孔、KH-25孔の順に実施した。各試錐孔の計画方向と削孔深度に関しては表-5.1.1に示した。

表-5.1.1 各試錐の計画方向と掘削深度

	方位	傾斜	削孔深度
KH-21孔	N方向	-1	80m
KH-23孔	N方向	-1	80m
KH-25孔	N方向	-1	80m

これらの試錐孔の削孔時にはエンコーダを用いて削孔深度の計測を実施し、7章で述べる水理調査の基礎データを取得した。また、掘削の終了後には孔曲り測定を実施した。

5.2 調査の実施方法

5.2.1 削孔作業と深度の計測

各試錐孔の削孔においては、試錐機はロングダイヤー社製L-38-98型、送水ポンプは同社製535RQ型を用いた。表-5.2.1に仕様を示す。

表-5.2.1 使用した試錐機・ポンプの仕様

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

掘削中の深度の計測はエンコーダを使用して実施した。図-5.2.1に削孔深度測定システムとそのデータファイルの出力形式を示した。表-5.2.2と表-5.2.3には、それぞれエンコーダとメジャーカウンターの仕様を示した。

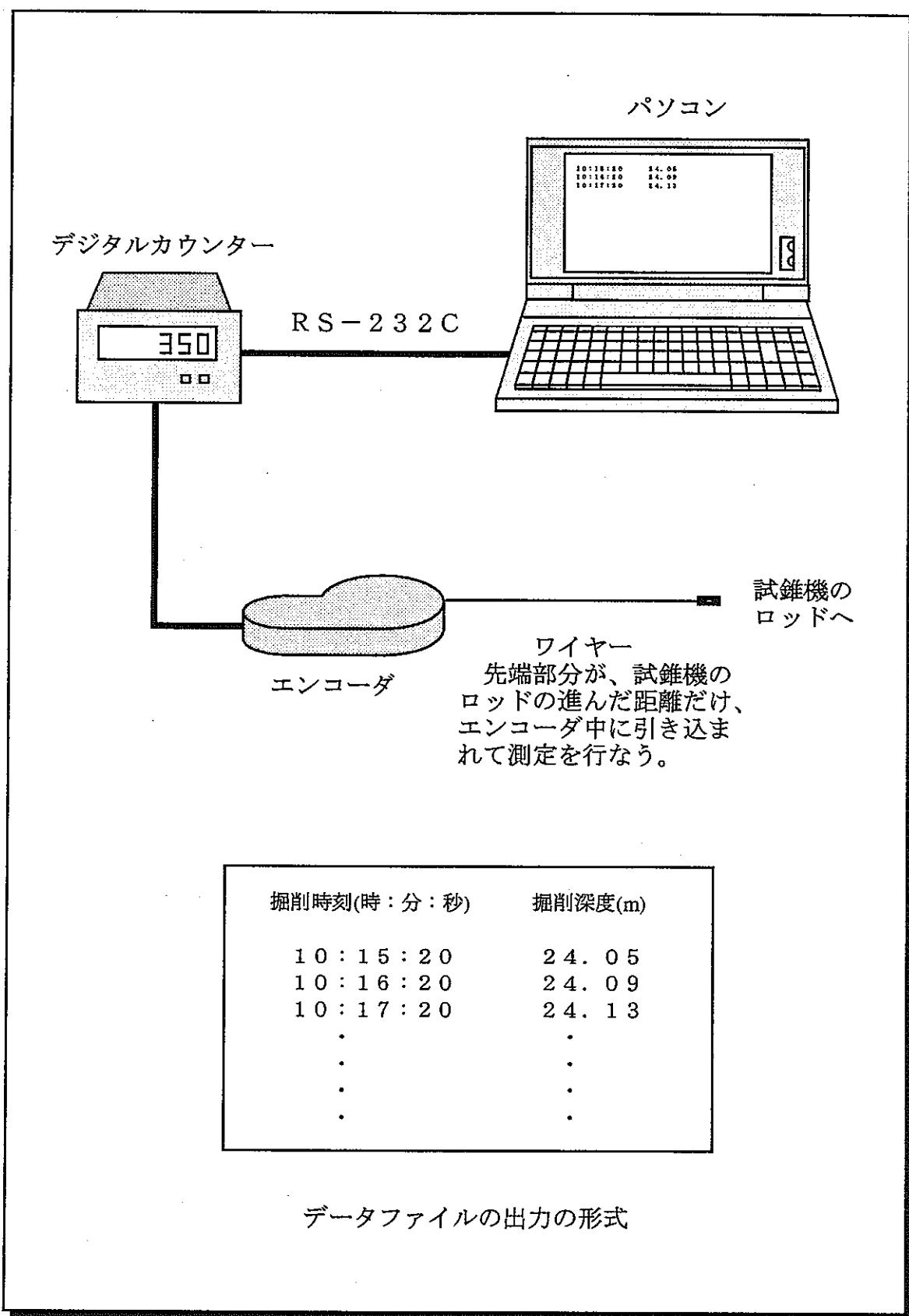


図-5.2.1 掘削深度測定システムとデータファイルの形式

表-5.2.2 エンコーダの仕様

項目	仕 様
製造	
型式	MLS-50-540-3000
測定範囲 (mm)	3000
出力パルス/1mm	2.5
ストローク速度(mm/sec)	1000
絶対精度(mm)	±0.3
最小分解能	0.4
電源電圧	DC5~12V±10%
消費電流	60mA以下
出力相	A相、B相
出力形態	矩形波、電圧出力
出力容量	シンク電流 20mA以下 残留電圧 0.5V以下
応答周波	100kHz
出力位相	AB位相差 90° ±45°
波形立上り立下り時間	2 μ sec以下
ワイヤー引張力	400~700g
使用周囲温度/湿度	0°C~50°C/RH35%~90%
保存周囲温度	-20°C~80°C
耐振動	耐久10~55Hz 複振幅XYZ方向各2H
対衝撃	50G
ケーブル	外径 φ4.2 4芯ビニール線 絶縁シードケーブル
重量	850g

表-5.2.3 メジャーカウンターの仕様

項目	仕 様
製造	ユーアイニクス株式会社
タイプ名	CU-630-P2-RS2-RE (RS232C出力オプション付き)
積算 の部	表示器 LED赤色6桁
	小数点 テンキーにより、小数点の位置設定可能
	リセット 前面押しボタン、2秒以上のON時積算値リセット
	入力換算器 前面からのキー入力
	マイナス表示ランプ カウントがマイナス時に点灯
	オーバー表示 6桁表示値をオーバー時は、000001より再カウント
入力 信号	オーブンコレクター入力又は電圧パルス 入力 入力応答 High 0~10kHz Low 0~50Hz
電源	AC電源 AC85~264V 50/60Hz
	センサー電源 標準DC12V25mA(安定化)出力
他	消費電力 約12VA
	重量・外形 約750g W96×H48×D145mm

エンコーダーは、機器本体より出ているワイヤーがどの程度引き出されたかを検出し、それを電気信号として出力する。出力された電気信号は、メジャーカウンターにおいて距離に換算されて表示される。距離データはRS-232Cケーブルよりパソコンに転送され、掘削深度に変換された後、時刻データとともにファイルに出力される。

5.2.2 孔曲り測定

孔曲がりの測定には坑井記録傾斜儀を用いた。本装置は試錐孔の各深度における、方位と傾斜方向をコンパスで測定し、その影像をロールフィルムに撮影して解析を行う測定器である。表-5.2.4に測定器の仕様を示す。測定器の主要部は6つの部品より構成されており、各機構は表-5.2.5のとおりである。

表-5.2.4 坑井記録傾斜儀の仕様

外径	35mm 外筒 45mm
全長	1070mm
重量	約2.6kg
フィルム	10mmロールフィルム
MAXデータ	250データ
コンパス	0-5° 0-10° 15-100° 0-3° 0-20° 0-130°
タイマー	エレクトロニクス可変式 0.5,1,2,4,8分

表-5.2.5 孔曲り測定機の各部品の機構

部品名	各部品の機構
バッテリーチューブ	エレクトロニクスプログラマー及びソレノイドをコントロールするための電源ユニットで単2乾電池4本を収納するケース。
エレクトロニクスプログラマー	計測時間を可変出来るタイマー。時間コントロールは0.5、1、2、4、8分で、各時間毎に1ショットずつ測定することが可能。
ソレノイド	フィルムを巻きとるための装置で、エレクトロニクスプログラマーからの電気信号でソレノイドを動かしフィルムを1コマ移動させる装置。
フィルムマガジン	ロールフィルムを入れるカセット。フィルムの充填はダークバッグ中で行う。
レンズ、ランプユニット	レンズと照明を取り付けたユニット。
コンパスユニット	写真（データ）の被写体となる角度、方向を示す部分。0~12° 0~20° 15~150° の3種類がある。ユニットは油の中で作動する構造となっており、振動による影響がおさえられるようになっている。

測定は2m間隔で実施した。なお、実測値より各方向の計算値を求める為に用いた式は以下の通りである。

$$\text{緯距 } X_i = X_{i-1} + (D_i - D_{i-1}) * \cos(\phi_i) * \cos(\theta_i)$$

$$\text{経距 } Y_i = Y_{i-1} + (D_i - D_{i-1}) * \cos(\phi_i) * \sin(\theta_i)$$

$$\text{標高 } Z_i = Z_{i-1} + (D_i - D_{i-1}) * \sin(\phi_i)$$

X_i : i番目の緯距 Y_i : i番目の経距 Z_i : i番目の標高 D_i : i番目の測定深度

ϕ : 傾斜角、 θ : 方位角

5.3 調査の結果

5.3.1 削孔状況と深度の測定結果

削孔はKH-23孔、KH-21孔、KH-25孔の順に実施した。試錐のコアチューブには1回で長さ2mのコアの回収が可能である。このため掘削は、2m進む度にロッドを引抜いてコアを回収するという操作を繰返しながら行う。グラフでわずかに段が付いて見える部分はこのような回収時と、昼休みの時間である。なお、1日の掘削深度が日によって異なるのは、掘削およびコアの回収という1サイクルの作業が何回できたかによっている。これを左右する要因としては、岩盤の固さの相違やコアの破碎状況、ビットの摩耗度等があげられる。以下各試錐孔に関して結果を説明する。

(1) KH-23孔

図-5.3.1にKH-23孔の削孔日と削孔深度の関係のグラフを示す。本試錐の削孔は8月8日より開始し、途中でお盆休みをはさみ8月26日に終了した。

(2) KH-21孔

図-5.3.2にKH-21孔の削孔日と削孔深度のグラフを示す。本試錐の削孔は10月17日より開始して11月1日に終了した。

(3) KH-25孔

図-5.3.3にKH-25孔の削孔日と削孔深度のグラフを示す。本試錐の削孔は12月14日に開始して年末年始の休みをはさみ1月9日に終了した。

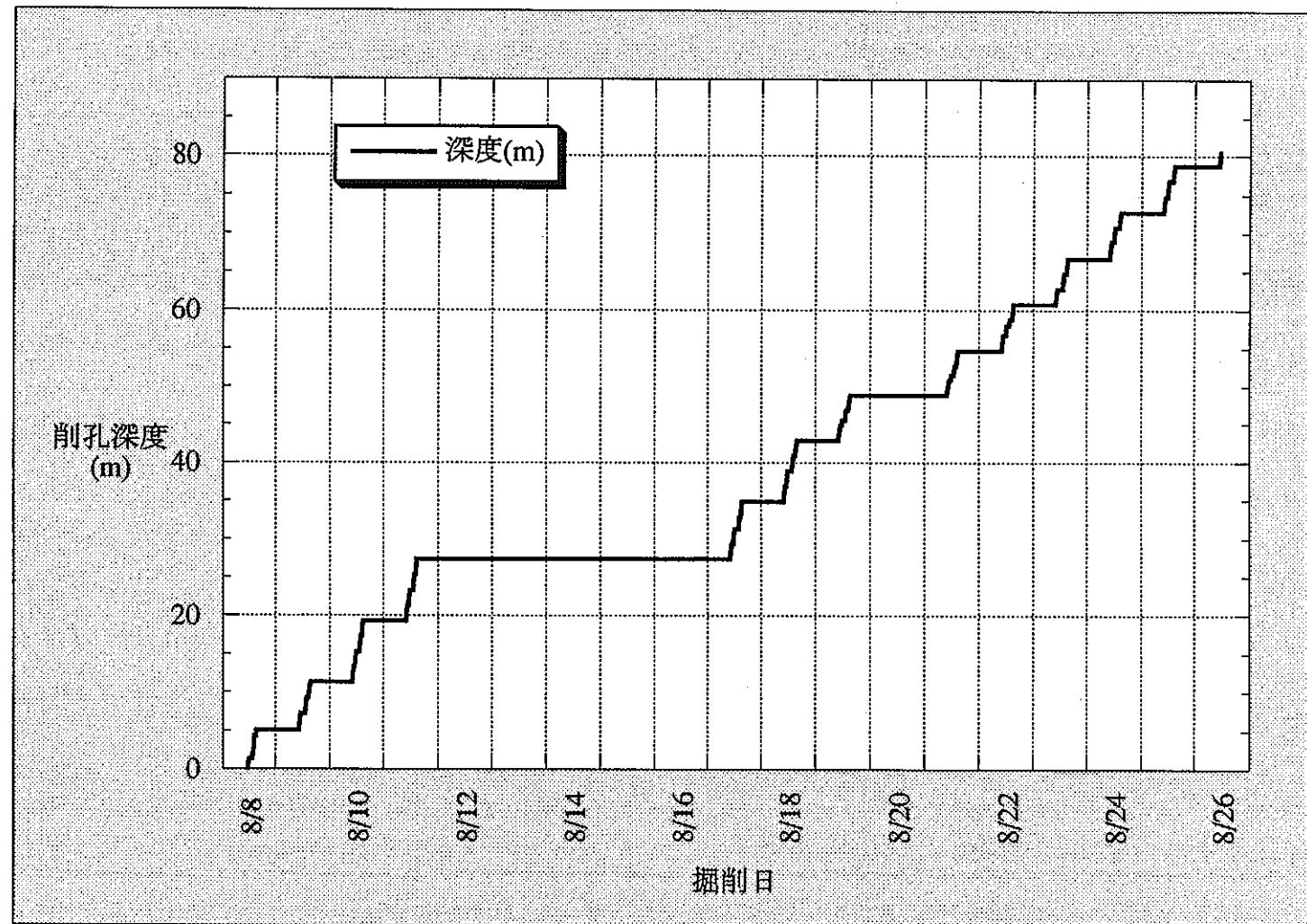


図-5.3.1 KH-23孔の削孔日と削孔深度との関係

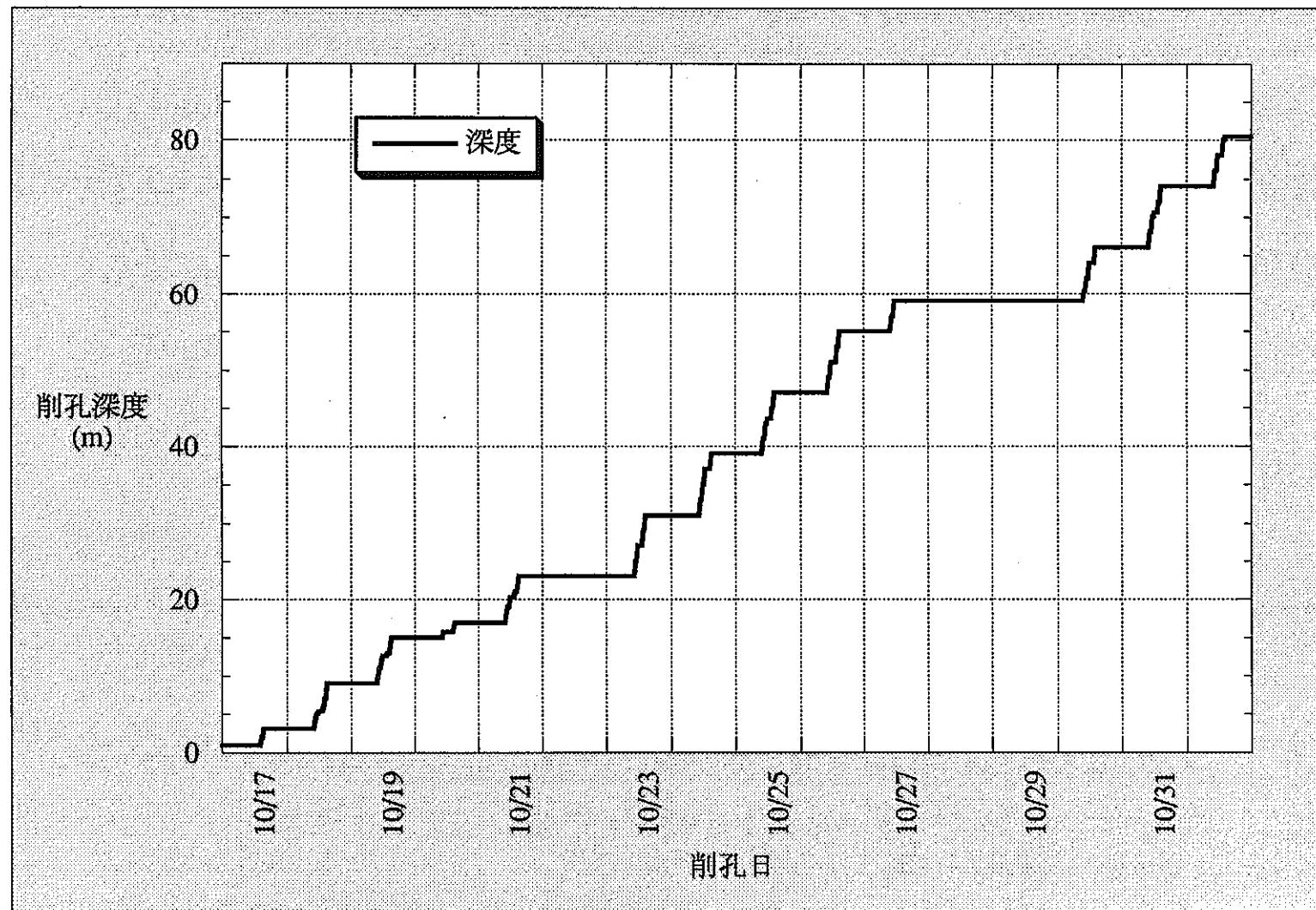


図-5.3.2 KH-21孔の削孔日と削孔深度との関係

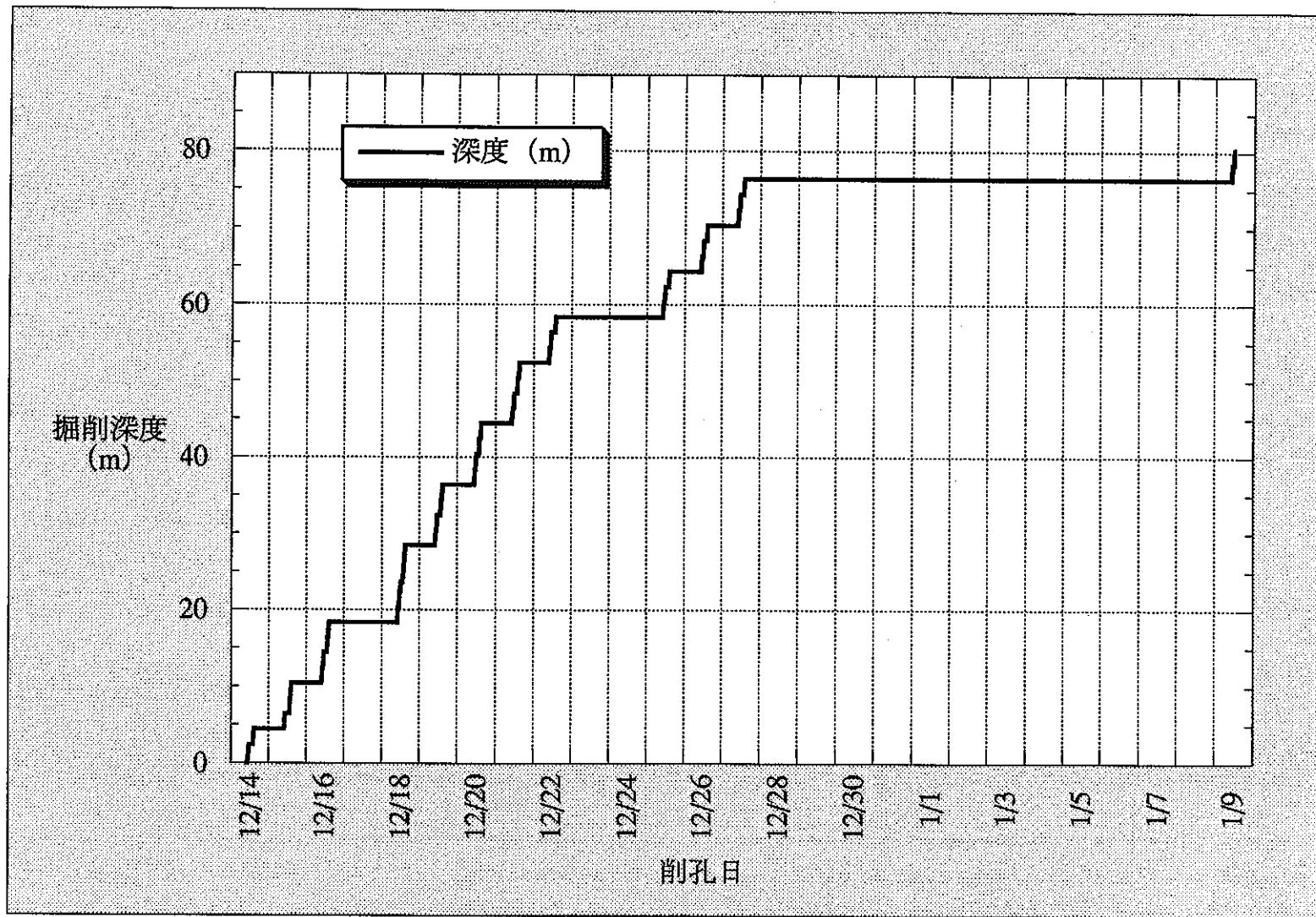


図-5.3.3 KH25孔の削孔日と削孔深度との関係

5.3.2 孔曲り測定結果

各孔の孔曲りの測定結果を示す。

(1)KH-23孔

表-5.3.1にKH-23孔の孔曲り測定の結果を示す。本孔の計画方向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～-0.40°および方位角でN0.53E～N0.67Wである。その結果として最終深度での距離のずれは垂直方向で下側に17cm、水平方向で西側に60cm程度となっている。

(2)KH-21孔

表-5.3.2にKH-23孔の孔曲り測定の結果を示す。本孔の計画方向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0.30～0.70°および方位角でN1.33E～N2.17Wである。その結果として最終深度での距離のずれは垂直方向で上側に79cm、水平方向で西側に28cm程度となっている。

なお、口元付近では方位角が大きく変化しているが、これはケーシングの影響や測定機の設置状態が不安定であったことが原因として考えられる。実際には、より計画方向に近い値と推測される。

(3)KH-25孔

表-5.3.3にKH-23孔の孔曲り測定の結果を示す。本孔の計画方向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-3.50～0.70°および方位角でN3.17W～N0.67Wである。その結果として最終深度での距離のずれは垂直方向で上側に54cm、水平方向で西側に161cm程度となっている。

なお、KH-21孔の場合と同様に口元付近では方位角および傾斜角が大きく変化している。しかし、これも前述同様実際の値はより計画方向に近い値であると推測される。

表-5.3.1 KH-23孔の孔曲り測定結果一覧表

KH-23孔		孔口位置	緯距(m)	-74875.41	予定緯距(m)	予定標高(m)	L(m)	D(m)	V.D(m)	緯距(m)	緯距(m)	標高(m)	緯距差(m)	緯距差(m)	標高差(m)
NO.	掘進長(m)		方位角	傾斜角											
1	2		N0.53E	-1.0	-74873.41	72675.72	578.58	2.00	0.02	-0.03	-74873.41	72675.74	578.58	0.00	0.02
2	4	N0.33E	-1.0	-74871.41	72675.72	578.54	4.00	0.03	-0.07	-74871.41	72675.75	578.54	0.00	0.03	0.00
3	6	N0.67W	-1.0	-74869.41	72675.72	578.51	6.00	0.01	-0.10	-74869.41	72675.73	578.51	0.00	0.01	0.00
4	8	N0.67W	-1.0	-74867.41	72675.72	578.47	8.00	-0.02	-0.14	-74867.41	72675.70	578.47	0.00	-0.02	0.00
5	10	N0.67W	-1.0	-74865.41	72675.72	578.44	10.00	-0.04	-0.17	-74865.41	72675.68	578.44	0.00	-0.04	0.00
6	12	N0.67W	-1.0	-74863.41	72675.72	578.40	12.00	-0.06	-0.21	-74863.41	72675.66	578.40	0.00	-0.06	0.00
7	14	N0.67W	-1.0	-74861.41	72675.72	578.37	14.00	-0.09	-0.24	-74861.41	72675.63	578.37	0.00	-0.09	0.00
8	16	N0.67W	-1.0	-74859.41	72675.72	578.33	16.00	-0.11	-0.28	-74859.41	72675.61	578.33	0.00	-0.11	0.00
9	18	N0.67W	-1.0	-74857.41	72675.72	578.30	18.00	-0.13	-0.31	-74857.41	72675.59	578.30	0.00	-0.13	0.00
10	20	N0.67W	-1.0	-74855.41	72675.72	578.26	20.00	-0.16	-0.35	-74855.41	72675.56	578.26	0.00	-0.16	0.00
11	22	N0.67W	-1.0	-74853.41	72675.72	578.23	22.00	-0.18	-0.38	-74853.41	72675.54	578.23	0.00	-0.18	0.00
12	24	N0.67W	-1.0	-74851.41	72675.72	578.19	23.99	-0.20	-0.42	-74851.42	72675.52	578.19	-0.01	-0.20	0.00
13	26	N0.67W	-1.0	-74849.41	72675.72	578.16	25.99	-0.23	-0.45	-74849.42	72675.49	578.16	-0.01	-0.23	0.00
14	28	N0.67W	-1.0	-74847.41	72675.72	578.12	27.99	-0.25	-0.49	-74847.42	72675.47	578.12	-0.01	-0.25	0.00
15	30	N0.67W	-1.0	-74845.41	72675.72	578.09	29.99	-0.27	-0.52	-74845.42	72675.45	578.09	-0.01	-0.27	0.00
16	32	N0.67W	-1.0	-74843.41	72675.72	578.05	31.99	-0.30	-0.56	-74843.42	72675.42	578.05	-0.01	-0.30	0.00
17	34	N0.67W	-1.0	-74841.41	72675.72	578.02	33.99	-0.32	-0.59	-74841.42	72675.40	578.02	0.00	-0.32	0.00
18	36	N0.67W	-1.0	-74839.41	72675.72	577.98	35.99	-0.34	-0.63	-74839.42	72675.38	577.98	0.00	-0.34	0.00
19	38	N0.67W	-1.0	-74837.41	72675.72	577.95	37.99	-0.37	-0.66	-74837.42	72675.35	577.95	0.00	-0.37	0.00
20	40	N0.67W	-1.0	-74835.41	72675.72	577.91	39.99	-0.39	-0.70	-74835.42	72675.33	577.91	0.00	-0.39	0.00
21	42	N0.67W	-1.2	-74833.41	72675.72	577.88	41.99	-0.41	-0.74	-74833.42	72675.31	577.87	0.00	-0.41	-0.01
22	44	N0.67W	-1.0	-74831.41	72675.72	577.84	43.99	-0.44	-0.77	-74831.42	72675.28	577.84	0.00	-0.44	0.00
23	46	N0.67W	-1.0	-74829.41	72675.72	577.81	45.99	-0.46	-0.81	-74829.42	72675.26	577.80	0.00	-0.46	-0.01
24	48	N0.67W	-1.1	-74827.41	72675.72	577.77	47.99	-0.48	-0.85	-74827.42	72675.24	577.76	0.00	-0.48	-0.01
25	50	N0.67W	-1.1	-74825.41	72675.72	577.74	49.99	-0.50	-0.89	-74825.42	72675.22	577.72	0.00	-0.50	-0.02
26	52	N0.17W	-1.2	-74823.41	72675.72	577.70	51.99	-0.51	-0.93	-74823.42	72675.21	577.68	0.00	-0.51	-0.02
27	54	N0.67W	-1.2	-74821.41	72675.72	577.67	53.99	-0.53	-0.97	-74821.42	72675.19	577.64	0.00	-0.53	-0.03
28	56	N0.17W	-1.2	-74819.41	72675.72	577.63	55.99	-0.54	-1.01	-74819.42	72675.18	577.60	0.00	-0.54	-0.03
29	58	N0.17W	-1.2	-74817.41	72675.72	577.60	57.99	-0.55	-1.05	-74817.42	72675.17	577.56	0.00	-0.55	-0.04
30	60	N0.17W	-1.3	-74815.41	72675.72	577.56	59.99	-0.55	-1.10	-74815.42	72675.17	577.51	0.00	-0.55	-0.05
31	62	N0.17W	-1.4	-74813.41	72675.72	577.53	61.99	-0.56	-1.15	-74813.42	72675.16	577.46	0.00	-0.56	-0.07
32	64	N0.17W	-1.3	-74811.41	72675.72	577.50	63.99	-0.56	-1.19	-74811.42	72675.16	577.42	0.00	-0.56	-0.07
33	66	N0.17W	-1.3	-74809.42	72675.72	577.46	65.98	-0.57	-1.24	-74809.43	72675.15	577.37	-0.01	-0.57	-0.09
34	68	N0.17W	-1.3	-74807.42	72675.72	577.43	67.98	-0.57	-1.28	-74807.43	72675.15	577.33	-0.01	-0.57	-0.09
35	70	N0.17W	-1.4	-74805.42	72675.72	577.39	69.98	-0.58	-1.33	-74805.43	72675.14	577.28	-0.01	-0.58	-0.11
36	72	N0.17W	-1.3	-74803.42	72675.72	577.36	71.98	-0.59	-1.38	-74803.43	72675.13	577.23	-0.01	-0.59	-0.12
37	74	N0.17W	-1.4	-74801.42	72675.72	577.32	73.98	-0.59	-1.43	-74801.43	72675.13	577.18	-0.01	-0.59	-0.14
38	76	N0.17W	-1.3	-74799.42	72675.72	577.29	75.98	-0.60	-1.47	-74799.43	72675.12	577.14	-0.01	-0.60	-0.14
39	78	N0.13E	-1.4	-74797.42	72675.72	577.25	77.98	-0.59	-1.52	-74797.43	72675.13	577.09	-0.01	-0.59	-0.16
40	80	N0.17W	-1.4	-74795.42	72675.72	577.22	79.98	-0.60	-1.57	-74795.43	72675.12	577.04	-0.01	-0.60	-0.17

表-5.3.2 KH-21孔の孔曲り測定結果一覧表

NO.	KH-21孔	孔口位置	緯距(m)	-74876.18	予定緯距(m)	予定経距(m)	予定標高(m)	L(m)	D(m)	V.D(m)	緯距(m)	経距(m)	標高(m)	緯距-差(m)	経距-差(m)	標高-差(m)
			緯距(m)	72685.73												
			標高(m)	578.93												
1	4	N2.17W	-0.4	-74872.18	72685.73	578.86	4.00	-0.15	-0.03	-74872.18	72685.58	578.90	0.00	-0.15	0.04	
2	6	N1.17W	-0.4	-74870.18	72685.73	578.83	6.00	-0.19	-0.04	-74870.18	72685.54	578.89	0.00	-0.19	0.06	
3	8	N1.17W	-0.4	-74868.18	72685.73	578.79	8.00	-0.23	-0.06	-74868.18	72685.50	578.87	0.00	-0.23	0.08	
4	10	N0.67W	-0.4	-74866.18	72685.73	578.76	10.00	-0.26	-0.07	-74866.18	72685.47	578.86	0.00	-0.26	0.10	
5	12	N0.67W	-0.3	-74864.18	72685.73	578.72	12.00	-0.28	-0.08	-74864.18	72685.45	578.85	0.00	-0.28	0.13	
6	14	N0.17W	-0.5	-74862.18	72685.73	578.69	14.00	-0.29	-0.10	-74862.18	72685.44	578.83	0.00	-0.29	0.14	
7	16	N0.17W	-0.4	-74860.18	72685.73	578.65	16.00	-0.29	-0.11	-74860.18	72685.44	578.82	0.00	-0.29	0.17	
8	18	N0.17W	-0.4	-74858.18	72685.73	578.62	18.00	-0.30	-0.13	-74858.18	72685.43	578.80	0.00	-0.30	0.18	
9	20	N0.17W	-0.4	-74856.18	72685.73	578.58	20.00	-0.30	-0.14	-74856.18	72685.43	578.79	0.00	-0.30	0.21	
10	22	N0.17W	-0.3	-74854.18	72685.73	578.55	22.00	-0.31	-0.15	-74854.18	72685.42	578.78	0.00	-0.31	0.23	
11	24	N0.17W	-0.5	-74852.18	72685.73	578.51	24.00	-0.31	-0.17	-74852.18	72685.42	578.76	0.00	-0.31	0.25	
12	26	N0.17W	-0.4	-74850.18	72685.73	578.48	26.00	-0.32	-0.18	-74850.18	72685.41	578.75	0.00	-0.32	0.27	
13	28	N0.67W	-0.5	-74848.19	72685.73	578.44	28.00	-0.34	-0.20	-74848.18	72685.39	578.73	0.00	-0.34	0.29	
14	30	N0.17W	-0.3	-74846.19	72685.73	578.41	30.00	-0.35	-0.21	-74846.18	72685.38	578.72	0.00	-0.35	0.31	
15	32	N0.17W	-0.4	-74844.19	72685.73	578.37	32.00	-0.35	-0.22	-74844.18	72685.38	578.71	0.00	-0.35	0.34	
16	34	N0.17W	-0.3	-74842.19	72685.73	578.34	34.00	-0.36	-0.23	-74842.18	72685.37	578.70	0.01	-0.36	0.36	
17	36	N0.33W	-0.5	-74840.19	72685.73	578.30	35.99	-0.37	-0.25	-74840.19	72685.36	578.68	0.00	-0.37	0.38	
18	38	N0.33W	-0.4	-74838.19	72685.73	578.27	37.99	-0.38	-0.27	-74838.19	72685.35	578.66	0.00	-0.38	0.39	
19	40	N0.17W	-0.4	-74836.19	72685.73	578.23	39.99	-0.39	-0.28	-74836.19	72685.34	578.65	0.00	-0.39	0.42	
20	42	N0.17W	-0.3	-74834.19	72685.73	578.20	41.99	-0.40	-0.29	-74834.19	72685.33	578.64	0.00	-0.40	0.44	
21	44	N1.33E	-0.3	-74832.19	72685.73	578.16	43.99	-0.35	-0.30	-74832.19	72685.38	578.63	0.00	-0.35	0.47	
22	46	N0.33E	-0.5	-74830.19	72685.73	578.13	45.99	-0.34	-0.32	-74830.19	72685.39	578.61	0.00	-0.34	0.48	
23	48	N0.33E	-0.4	-74828.19	72685.73	578.09	47.99	-0.33	-0.33	-74828.19	72685.40	578.60	0.00	-0.33	0.51	
24	50	N0.17W	-0.5	-74826.19	72685.73	578.06	49.99	-0.33	-0.35	-74826.19	72685.40	578.58	0.00	-0.33	0.52	
25	52	N0.17W	-0.5	-74824.19	72685.73	578.02	51.99	-0.34	-0.37	-74824.19	72685.39	578.56	0.00	-0.34	0.54	
26	54	N0.33E	-0.7	-74822.19	72685.73	577.99	53.99	-0.33	-0.39	-74822.19	72685.40	578.54	0.00	-0.33	0.55	
27	56	N0.33E	-0.5	-74820.19	72685.73	577.95	55.99	-0.31	-0.41	-74820.19	72685.42	578.52	0.00	-0.31	0.57	
28	58	N0.17W	-0.5	-74818.19	72685.73	577.92	57.99	-0.32	-0.43	-74818.19	72685.41	578.50	0.00	-0.32	0.58	
29	60	N0.17W	-0.5	-74816.19	72685.73	577.88	59.99	-0.33	-0.44	-74816.19	72685.40	578.49	0.00	-0.33	0.61	
30	62	N0.17W	-0.3	-74814.19	72685.73	577.85	61.99	-0.33	-0.45	-74814.19	72685.40	578.48	0.00	-0.33	0.63	
31	64	N0.33E	-0.4	-74812.19	72685.73	577.81	63.99	-0.32	-0.47	-74812.19	72685.41	578.46	0.00	-0.32	0.65	
32	66	N0.17W	-0.6	-74810.19	72685.73	577.78	65.99	-0.33	-0.49	-74810.19	72685.40	578.44	0.00	-0.33	0.66	
33	68	N0.17W	-0.4	-74808.19	72685.73	577.74	67.99	-0.33	-0.50	-74808.19	72685.40	578.43	0.00	-0.33	0.69	
34	70	N0.33E	-0.4	-74806.19	72685.73	577.71	69.99	-0.32	-0.52	-74806.19	72685.41	578.41	0.00	-0.32	0.70	
35	72	N0.33E	-0.5	-74804.19	72685.73	577.67	71.99	-0.31	-0.53	-74804.19	72685.42	578.40	0.00	-0.31	0.73	
36	74	N0.33E	-0.7	-74802.19	72685.73	577.64	73.99	-0.30	-0.56	-74802.19	72685.43	578.37	0.00	-0.30	0.73	
37	76	N0.17W	-0.5	-74800.19	72685.73	577.60	75.99	-0.30	-0.58	-74800.19	72685.43	578.35	0.00	-0.30	0.75	
38	78	N0.33E	-0.4	-74798.19	72685.73	577.57	77.99	-0.29	-0.59	-74798.19	72685.44	578.34	0.00	-0.29	0.77	
39	80	N0.33E	-0.5	-74796.19	72685.73	577.53	79.99	-0.28	-0.61	-74796.19	72685.45	578.32	0.00	-0.28	0.79	

表-5.3.3 KH-25孔の孔曲り測定結果一覧表

KH-25孔		孔口位置	緯距(m)	-74875.82											
			経距(m)	72683.27											
			標高(m)	578.24											
NO.	掘進長(m)	方位角	傾斜角	予定緯距(m)	予定経距(m)	予定標高(m)	L(m)	D(m)	V.D(m)	緯距(m)	経距(m)	標高(m)	緯距-差(m)	経距-差(m)	標高-差(m)
1	2	N3.17W	-0.3	-74873.82	72683.27	578.20	2.00	-0.11	-0.01	-74873.82	72683.16	578.23	0.00	-0.11	0.02
2	4	N2.17W	-0.3	-74871.82	72683.27	578.17	4.00	-0.19	-0.02	-74871.82	72683.08	578.22	0.00	-0.19	0.05
3	6	N2.17W	-0.3	-74869.82	72683.27	578.13	5.99	-0.26	-0.03	-74869.83	72683.01	578.21	-0.01	-0.26	0.07
4	8	N2.17W	-4.5	-74867.82	72683.27	578.10	7.99	-0.34	-0.19	-74867.83	72682.93	578.05	-0.01	-0.34	-0.05
5	10	N1.17W	-4.4	-74865.82	72683.27	578.06	9.98	-0.38	-0.34	-74865.84	72682.89	577.90	-0.02	-0.38	-0.17
6	12	N0.67W	-0.3	-74863.82	72683.27	578.03	11.98	-0.40	-0.35	-74863.84	72682.87	577.89	-0.02	-0.40	-0.14
7	14	N0.67W	-0.3	-74861.82	72683.27	577.99	13.98	-0.42	-0.36	-74861.84	72682.85	577.88	-0.02	-0.42	-0.12
8	16	N0.67W	-0.3	-74859.82	72683.27	577.96	15.98	-0.45	-0.37	-74859.84	72682.82	577.87	-0.02	-0.45	-0.09
9	18	N0.67W	-0.5	-74857.82	72683.27	577.92	17.98	-0.47	-0.39	-74857.84	72682.80	577.85	-0.02	-0.47	-0.08
10	20	N0.67W	-0.3	-74855.82	72683.27	577.89	19.98	-0.49	-0.40	-74855.84	72682.78	577.84	-0.02	-0.49	-0.05
11	22	N0.67W	-0.5	-74853.82	72683.27	577.85	21.98	-0.52	-0.42	-74853.84	72682.75	577.82	-0.02	-0.52	-0.04
12	24	N0.67W	-0.3	-74851.82	72683.27	577.82	23.98	-0.54	-0.43	-74851.84	72682.73	577.81	-0.02	-0.54	-0.01
13	26	N1.17W	-0.5	-74849.82	72683.27	577.78	25.98	-0.58	-0.45	-74849.84	72682.69	577.79	-0.02	-0.58	0.00
14	28	N0.67W	-0.5	-74847.83	72683.27	577.75	27.98	-0.60	-0.46	-74847.84	72682.67	577.78	-0.02	-0.60	0.03
15	30	N0.67W	-0.5	-74845.83	72683.27	577.71	29.98	-0.63	-0.48	-74845.84	72682.64	577.76	-0.02	-0.63	0.04
16	32	N0.67W	-0.5	-74843.83	72683.27	577.68	31.98	-0.65	-0.50	-74843.84	72682.62	577.74	-0.02	-0.65	0.06
17	34	N1.17W	-0.5	-74841.83	72683.27	577.64	33.98	-0.69	-0.52	-74841.84	72682.58	577.72	-0.01	-0.69	0.07
18	36	N1.17W	-0.5	-74839.83	72683.27	577.61	35.98	-0.73	-0.53	-74839.84	72682.54	577.71	-0.01	-0.73	0.10
19	38	N1.17W	-0.5	-74837.83	72683.27	577.57	37.98	-0.77	-0.55	-74837.84	72682.50	577.69	-0.01	-0.77	0.11
20	40	N0.67W	-0.5	-74835.83	72683.27	577.54	39.98	-0.80	-0.57	-74835.84	72682.47	577.67	-0.01	-0.80	0.13
21	42	N1.17W	-0.3	-74833.83	72683.27	577.50	41.98	-0.84	-0.58	-74833.84	72682.43	577.66	-0.01	-0.84	0.15
22	44	N1.17W	-0.3	-74831.83	72683.27	577.47	43.98	-0.88	-0.59	-74831.84	72682.39	577.65	-0.01	-0.88	0.18
23	46	N1.17W	-0.4	-74829.83	72683.27	577.43	45.97	-0.92	-0.60	-74829.85	72682.35	577.64	-0.02	-0.92	0.20
24	48	N1.17W	-0.5	-74827.83	72683.27	577.40	47.97	-0.96	-0.62	-74827.85	72682.31	577.62	-0.02	-0.96	0.22
25	50	N1.17W	-0.4	-74825.83	72683.27	577.36	49.97	-1.00	-0.63	-74825.85	72682.27	577.61	-0.02	-1.00	0.24
26	52	N1.17W	-0.5	-74823.83	72683.27	577.33	51.97	-1.04	-0.65	-74823.85	72682.23	577.59	-0.02	-1.04	0.26
27	54	N1.17W	-0.5	-74821.83	72683.27	577.29	53.97	-1.08	-0.67	-74821.85	72682.19	577.57	-0.02	-1.08	0.27
28	56	N1.17W	-0.5	-74819.83	72683.27	577.26	55.97	-1.12	-0.69	-74819.85	72682.15	577.55	-0.02	-1.12	0.29
29	58	N1.17W	-0.4	-74817.83	72683.27	577.22	57.97	-1.16	-0.70	-74817.85	72682.11	577.54	-0.02	-1.16	0.31
30	60	N1.17W	-0.4	-74815.83	72683.27	577.19	59.97	-1.20	-0.72	-74815.85	72682.07	577.52	-0.02	-1.20	0.33
31	62	N1.17W	-0.5	-74813.83	72683.27	577.15	61.97	-1.24	-0.73	-74813.85	72682.03	577.51	-0.02	-1.24	0.35
32	64	N1.17W	-0.5	-74811.83	72683.27	577.12	63.97	-1.29	-0.75	-74811.85	72681.98	577.49	-0.02	-1.29	0.37
33	66	N1.17W	-0.4	-74809.83	72683.27	577.08	65.97	-1.33	-0.76	-74809.85	72681.94	577.48	-0.02	-1.33	0.39
34	68	N1.17W	-0.4	-74807.83	72683.27	577.05	67.97	-1.37	-0.78	-74807.85	72681.90	577.46	-0.02	-1.37	0.41
35	70	N1.17W	-0.4	-74805.83	72683.27	577.01	69.97	-1.41	-0.79	-74805.85	72681.86	577.45	-0.02	-1.41	0.43
36	72	N1.17W	-0.4	-74803.83	72683.27	576.98	71.97	-1.45	-0.81	-74803.85	72681.82	577.43	-0.02	-1.45	0.45
37	74	N1.17W	-0.4	-74801.83	72683.27	576.94	73.97	-1.49	-0.82	-74801.85	72681.78	577.42	-0.02	-1.49	0.47
38	76	N1.17W	-0.4	-74799.83	72683.27	576.91	75.97	-1.53	-0.83	-74799.85	72681.74	577.41	-0.02	-1.53	0.50
39	78	N1.17W	-0.3	-74797.83	72683.27	576.87	77.97	-1.57	-0.84	-74797.85	72681.70	577.40	-0.02	-1.57	0.52
40	80	N1.17W	-0.4	-74795.83	72683.27	576.84	79.97	-1.61	-0.86	-74795.85	72681.66	577.38	-0.02	-1.61	0.54

6 BTV・割れ目調査

6.1 調査概要

試験エリアの水理地質構造は、割れ目の分布状況やその形態に大きく依存していることが推測される。また、割れ目中に存在する充填鉱物や、母岩の変質の程度等は、過去から現在に至るまでの水理状況の変化を反映していると考えられる。

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に、KH-21孔、KH-23孔、KH-25孔に関してBTVによる孔内観察を行うとともにコア鑑定を実施した。

(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、割れ目の存在およびそれらの開口の有無、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。

図-6.1.1は、BIPシステムによる孔内観察作業の流れ図である。本システムでは、まず回転体鏡を介して孔壁の定方位全周の映像をテレビカメラで取り込む。このアナログ画像信号はA/D変換されフレームメモリー上に送られ、リアルタイムでCPUにより展開画像データに変換される。データはMTに記録されるとともに、D/A変換が行なわれモニターに表示される。記録されたMTデータより割れ目の走向傾斜をコンピュータを用いて解析する。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。なおコア鑑定の結果は、BTVで捉えられた割れ目データと組合せ、総合的なデータセットを作成した。

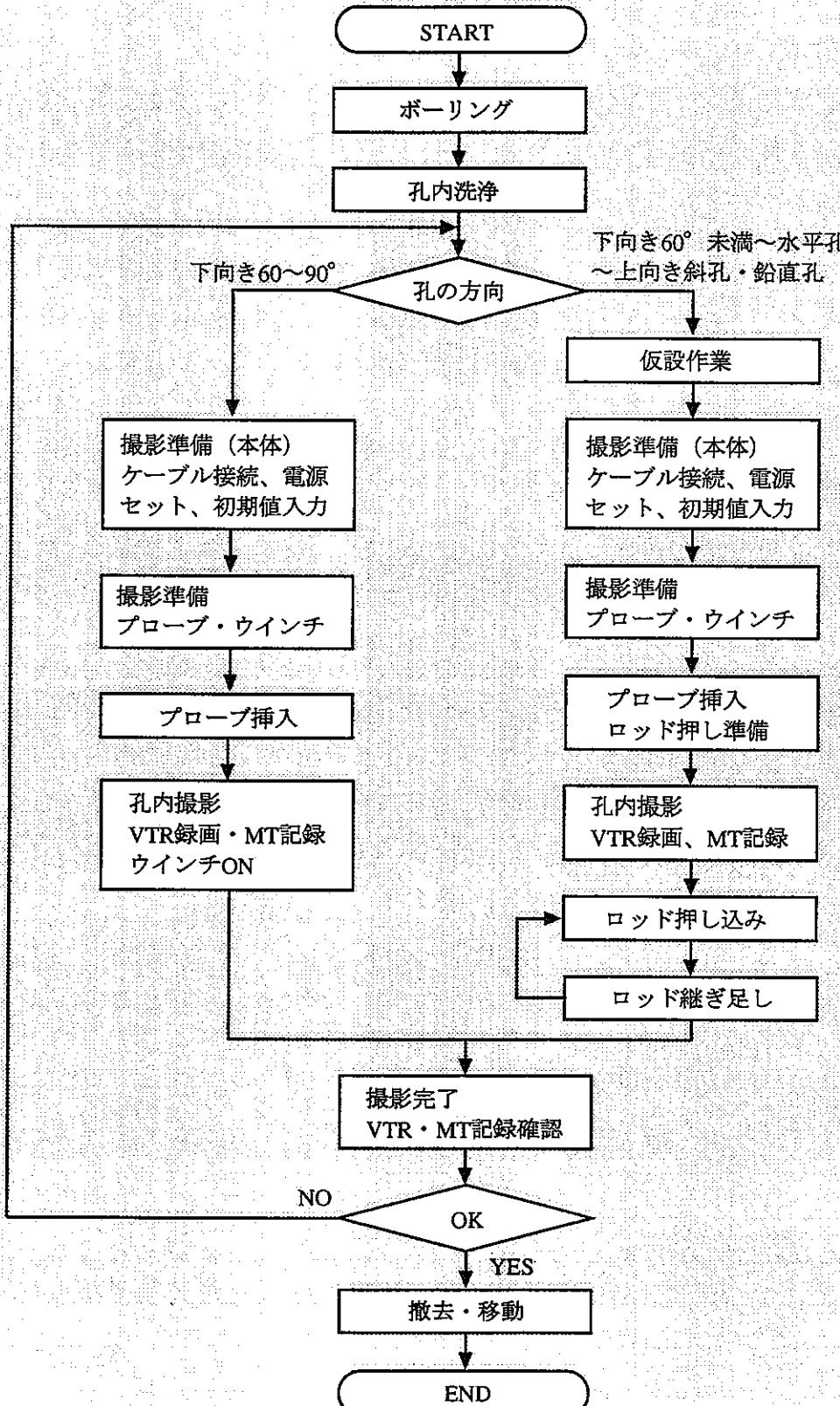


図-6.1.1 BIPシステム 作業流れ図

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	割れ目の変位量
条線	条線の有無とその、面上での方向
破碎帶	破碎帶の幅
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

6.2 各試錐地質概要

6.2.1 KH-21孔の地質概要

コア観察の結果より、KH-21孔の岩相、岩質、変質部、割れ目頻度、RQDに関してまとめた。図-6.2.1は、KH-21孔の総合柱状図である。

岩相は、全孔にわたり花崗閃緑岩であり、所々に数cm～数10cm程度の閃緑岩のゼノリスが認められるのみである。変質部の分布に関しては、相対的に変質程度が高い中変質以上の変質部が多く存在する部分と、変質部がほとんど認められないか散在している部分とに分けることができる。前者は、3～4m程度の幅の中に変質部が5、6箇所近接して存在し、全体を大きな変質ゾーンとして捉えられることが出来る。この様な変質ゾーンは、深度がそれぞれ35m、45m、51m、65m、70m付近に認められる。また、相対的に深度が30mより奥のほうで変質ゾーンが多い。岩芯の破碎部は、8箇所で認められた。深度20m付近では幅3m中に5本と近接して破碎部が存在している。RQDに関しては深度78～79m区間が70%程度と低い。また深度0～2m、7～8m、41～42m、45～46m、49～50m、55～56m区間が80～90%と相対的に低い。1m毎の割れ目頻度に関しては、割れ目頻度が高い区間を中心にして、その両側の区間に離れるに従って頻度が次

KH-21

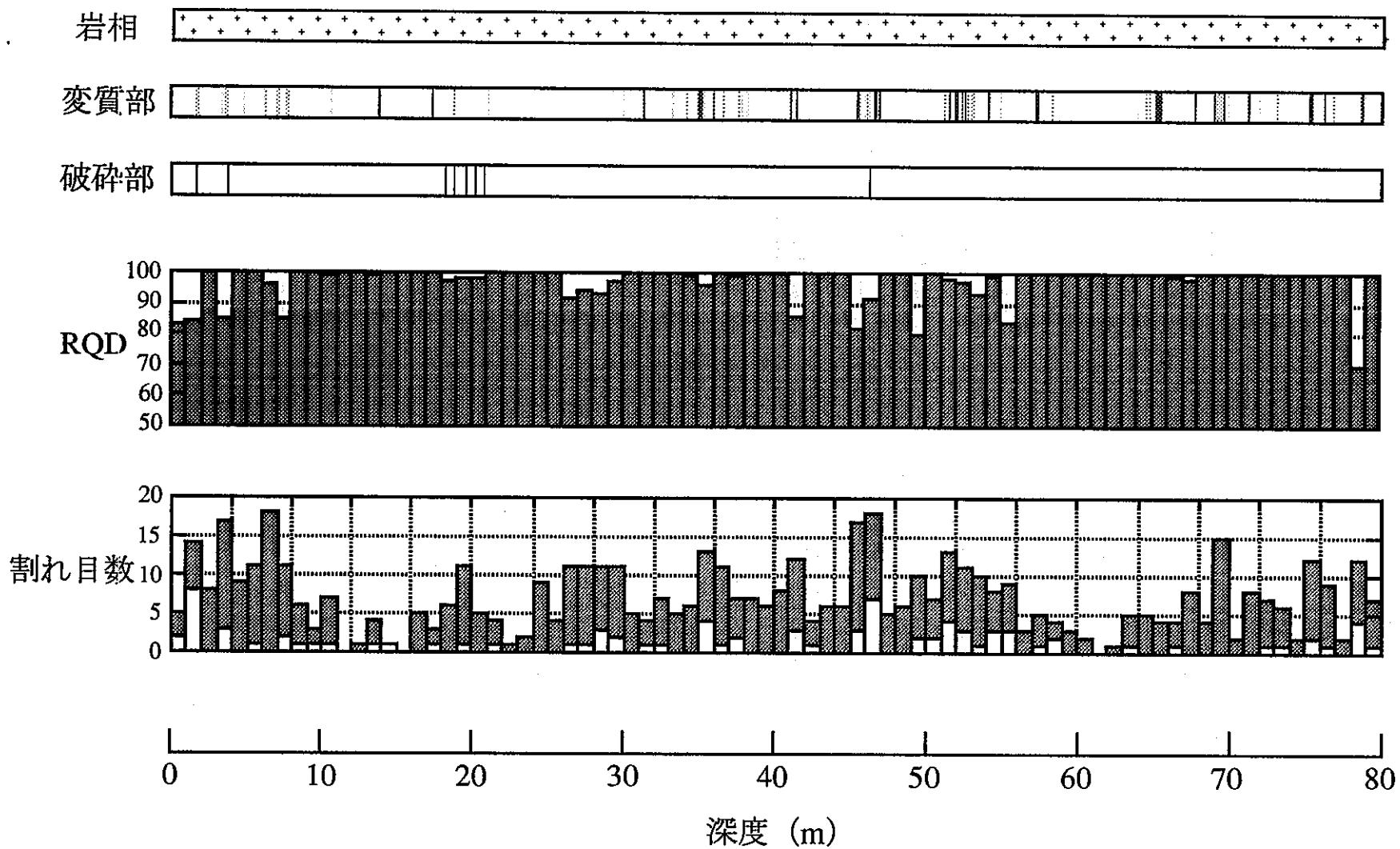


図-6.2.1 KH-21孔の地質総合柱状図

第に低下していく傾向が認められる。

6.2.2 KH-23孔の地質概要

コア観察の結果より、KH-23孔の岩相、岩質、変質部、割れ目頻度、RQDに関してまとめた。図-6.2.2は、KH-23孔の総合柱状図である。

岩相は、全孔にわたり花崗閃綠岩であり、所々に数cm～数10cm程度の閃綠岩のゼノリスが認められるのみである。変質部の分布に関しては、変質ゾーンが深度30m、53m、63m付近に認められる。岩芯の破碎部は、9箇所で認められた。RQDに関しては深度0～1m、18～19m、24～25m、26～27m、63～64mが80%以下と相対的にかなり低くなっている。また、深度25～26m、42～43m、48～49m、50～51mは80～90%と相対的に低くなっている。割れ目頻度はKH-21孔と同様に、割れ目頻度が高い区間を中心にして、その両側の区間に向かいその頻度が次第に低下していく傾向が認められる。

6.2.3 KH-25孔の地質概要

コア観察の結果より、KH-25孔の岩相、岩質、変質部、割れ目頻度、RQDに関してまとめた。図-6.2.3は、KH-25孔の総合柱状図である。

岩相は、全孔にわたり花崗閃綠岩であり、所々に数cm～数10cm程度の閃綠岩のゼノリスが認められるのみである。変質部の分布に関して見てみると、変質ゾーンが深度7m、33m、40m、46m、51m、64m付近に認められる。岩芯の破碎部は、8箇所で認められた。深度20m付近では幅3m中に5箇所と近接して破碎部が存在している。RQDに関しては深度78～79m区間が70%程度と低い。また深度0～2m、7～8m、41～42m、45～46m、49～50m、55～56m区間が80～90%と相対的に低い。割れ目頻度に関しては、他孔と同様に、割れ目頻度が高い区間を中心にして、低い区間に向かいその頻度が次第に低下していく傾向が認められる。

6.3 割れ目の特性

6.3.1 開口の有無による割れ目の走向傾斜

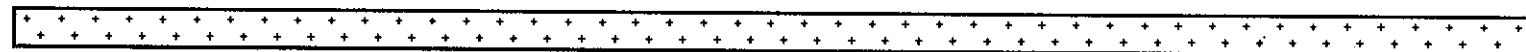
KH-21孔、23孔、25孔に関して、それぞれBTVで捉えられた割れ目に関して、割れ目全体、開口割れ目、閉鎖割れ目毎にその走向傾斜の分布の状態に関して考察した。

(1)KH-21孔

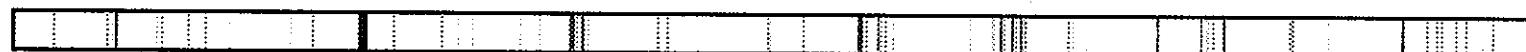
図-6.3.1はKH-21孔の割れ目面の極を割れ目全体、閉鎖割れ目、開口割れ目に分けて

KH-23

岩相



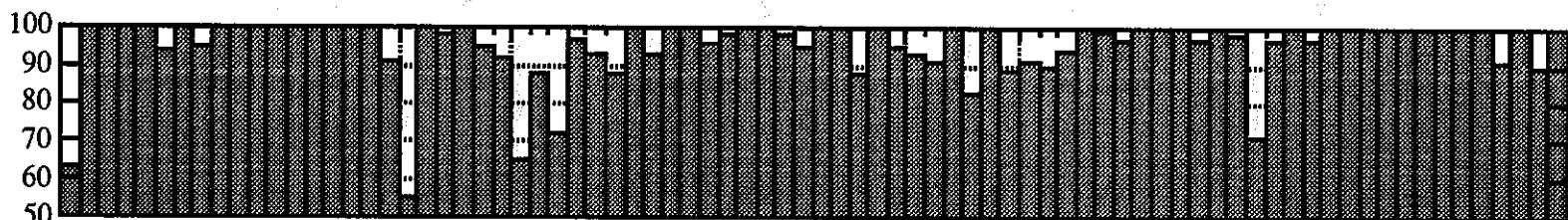
変質部



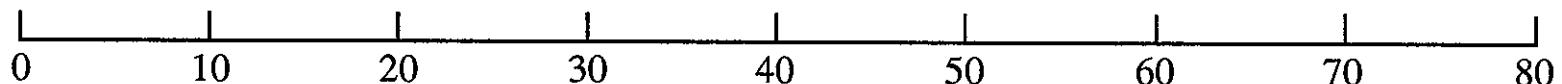
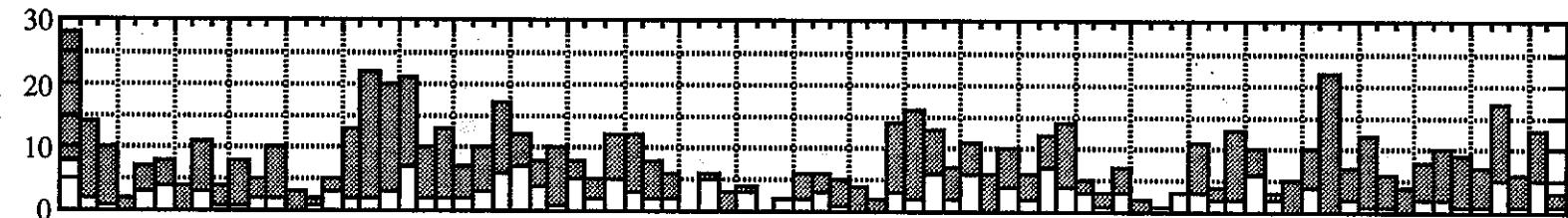
破碎部



RQD



割れ目数



深度 (m)

図-6.2.2 KH-23孔の地質総合柱状図

KH-25

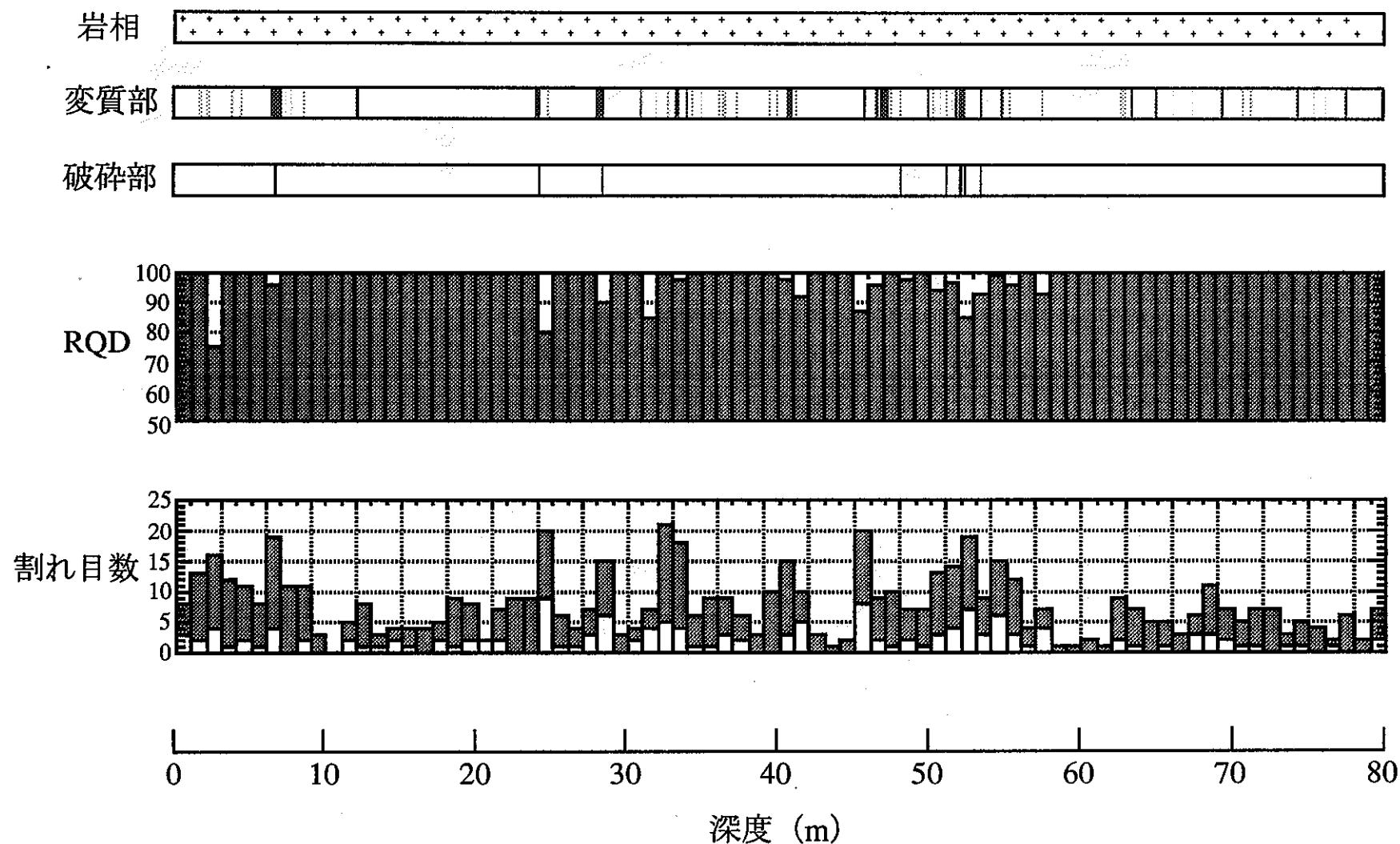


図-6.2.3 KH-25孔の地質総合柱状図

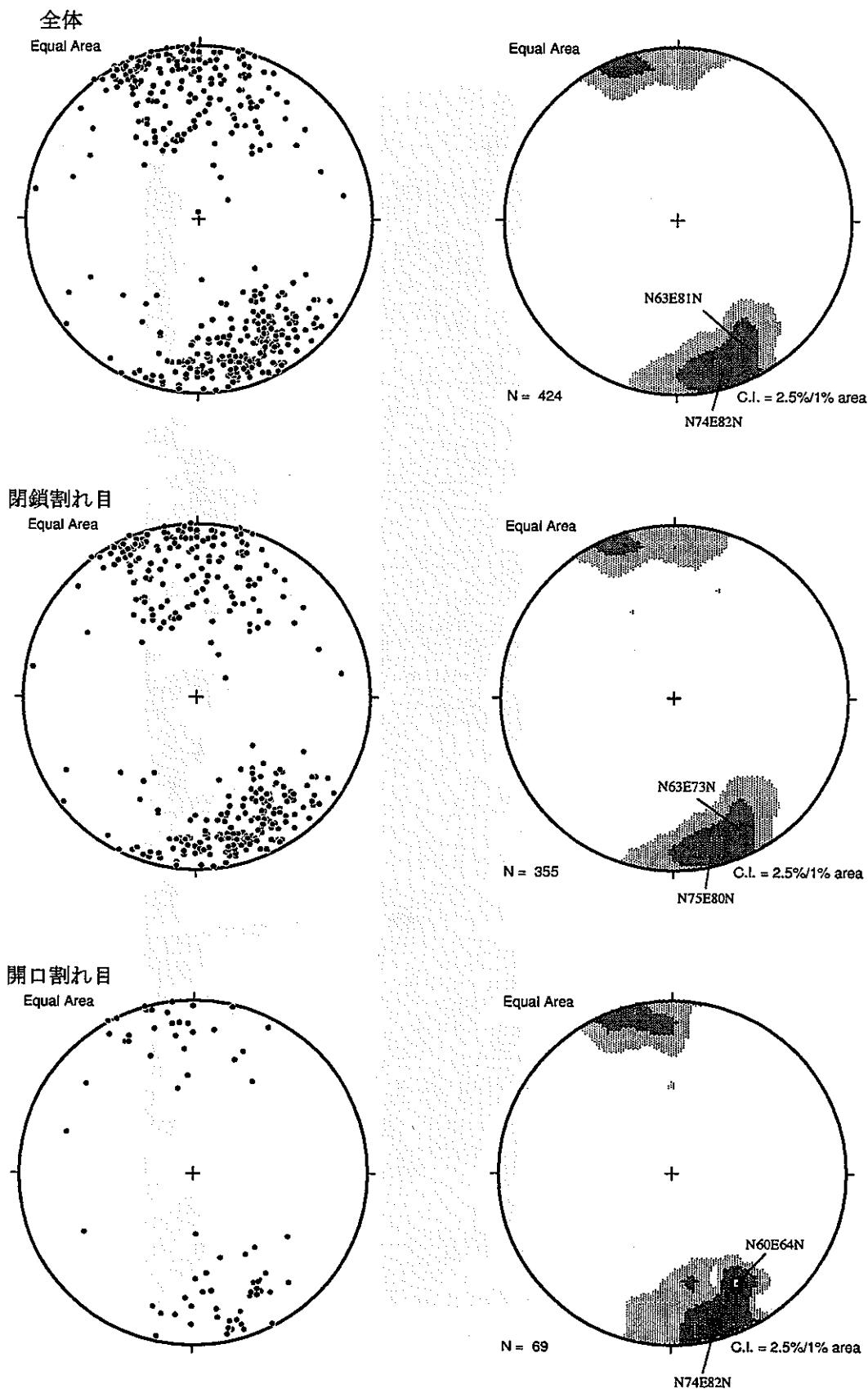


図-6.3.1 KH-21孔の割れ目の走向傾斜のステレオ投影図

ステレオ投影した図面である。割れ目数は全体424本、閉鎖割れ目355本、開口割れ目69本である。

割れ目全体のステレオ投影では、極の集中する部分は走向傾斜がN74E82NとN63E81N付近の2箇所に認められる。閉鎖割れ目のみの場合の極の集中する部分はN75E80N、N63E73NとN63E73Nと割れ目全体の場合とほぼ同じ傾向を示している。また開口割れ目のみの場合も、極の集中する部分がN74E82NとN60E64Nとほぼ同様の傾向を示しており、大きな相違は認められない。

(2)KH-23孔

図-6.3.2はKH-23孔の割れ目面の極を割れ目全体、閉鎖割れ目、開口割れ目に分けてステレオ投影した図面である。割れ目数は全体444本、閉鎖割れ目315本、開口割れ目129本である。

割れ目全体のステレオ投影では、極の集中する部分は走向傾斜がN68E73NおよびN78W78Sの付近である。閉鎖割れ目の極の集中部分はN71E71NとN78W78S付近となっており全体割れ目の傾向とほぼ同じである。一方開口割れ目に関しては、極の集中する部分はN64E74N、N68E83SおよびN75W90となっており、若干閉鎖割れ目の分布とは異なるが、大きな傾向に相違は認められない。

(3)KH-25孔

図-6.3.3はKH-25孔の割れ目面の極を割れ目全体、閉鎖割れ目、開口割れ目に分けてステレオ投影した図面である。割れ目数は全体388本、閉鎖割れ目264本、開口割れ目124本である。

割れ目全体のステレオ投影では、極の集中する部分は走向傾斜がN65E79N、N73E79NおよびN79W78Sである。閉鎖割れ目の極の集中部は、N75E81N、N65E74NおよびN74W76Sである。一方開口割れ目の極の集中部はN73E78NとN76W77Nであり、若干開口割れ目の集中部とは異なった分布を示す。

6.3.2 割れ目の変質

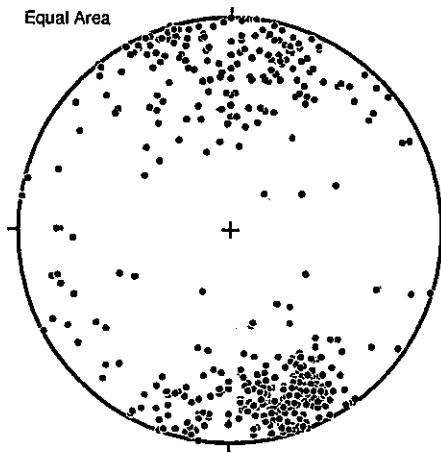
KH-21孔、23孔、25孔に関して、割れ目の変質部に関して考察を実施した。

図-6.3.4は各孔毎に、中変質以上の変質を伴う割れ目の存在頻度を各深度毎に示したグラフである。

KH-21孔で変質を伴う割れ目が相対的に集中している部分は、35m付近、45m付近、および70mである。KH-23孔では19m付近、45m付近、および53m付近に、KH-25孔で

全体

Equal Area



Equal Area

N78W78S

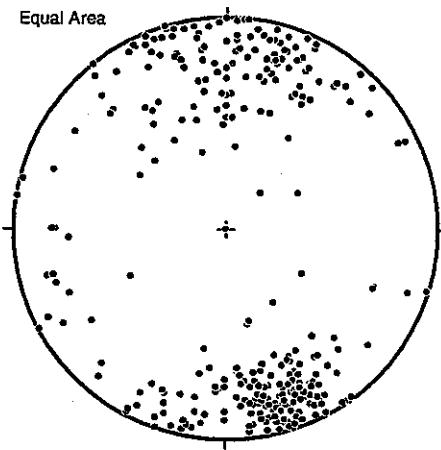
N68E73N

N = 444

C.I. = 2.5%/1% area

閉鎖割れ目

Equal Area



Equal Area

N78W78S

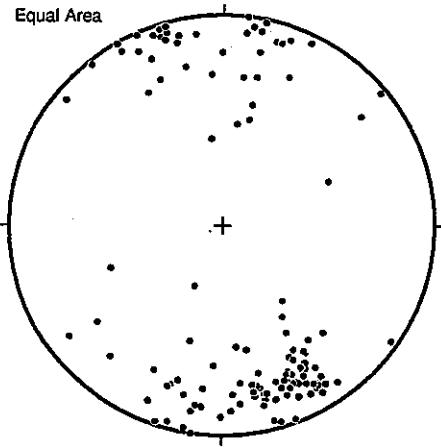
N71E71N

N = 315

C.I. = 2.5%/1% area

開口割れ目

Equal Area



Equal Area

N68E83S

N76W90

N64E74N

N = 129

C.I. = 2.5%/1% area

図-6.3.2 KH-23孔の割れ目の走向傾斜のステレオ投影図

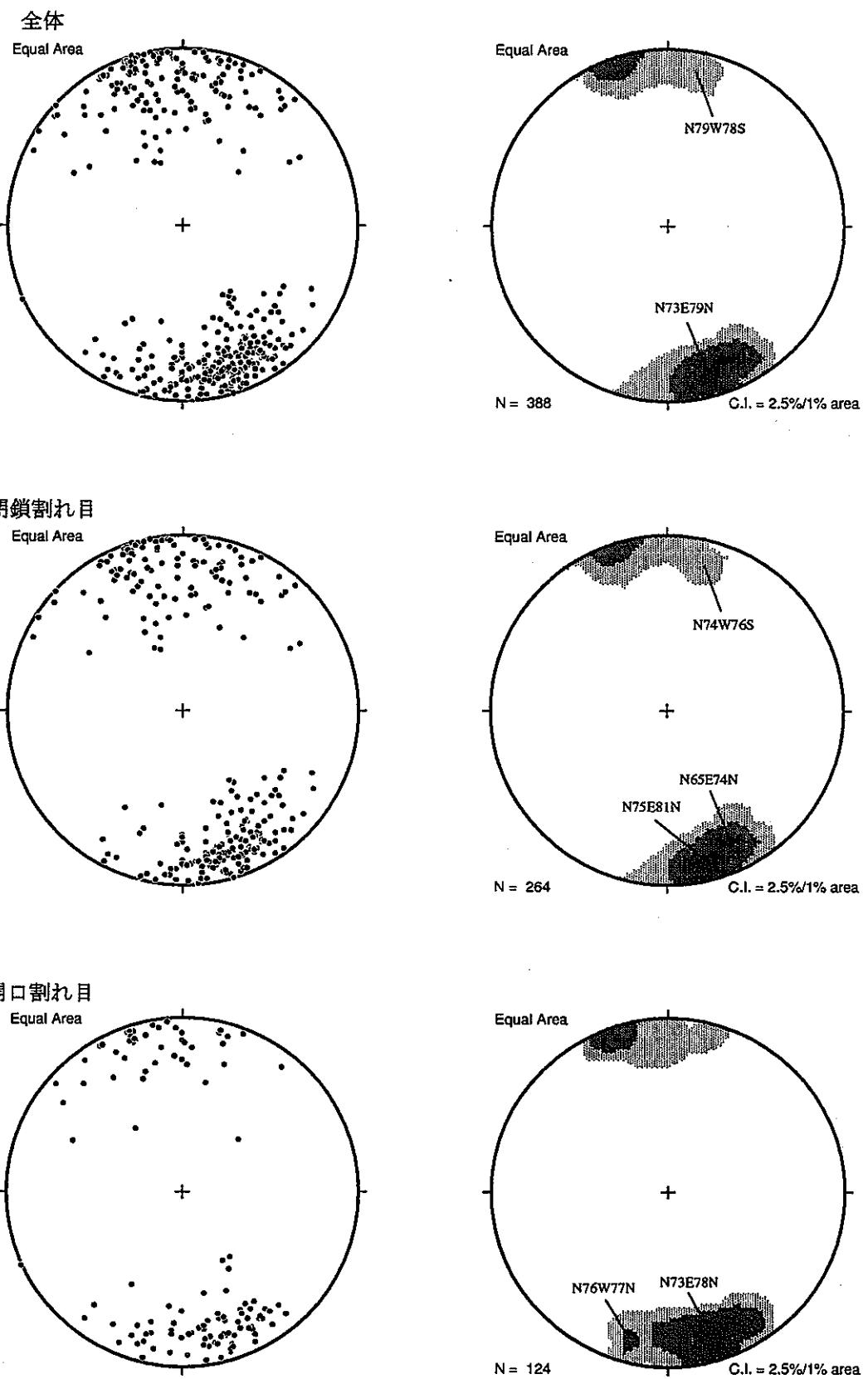


図-6.3.3 KH-25孔の割れ目の走向傾斜のステレオ投影図

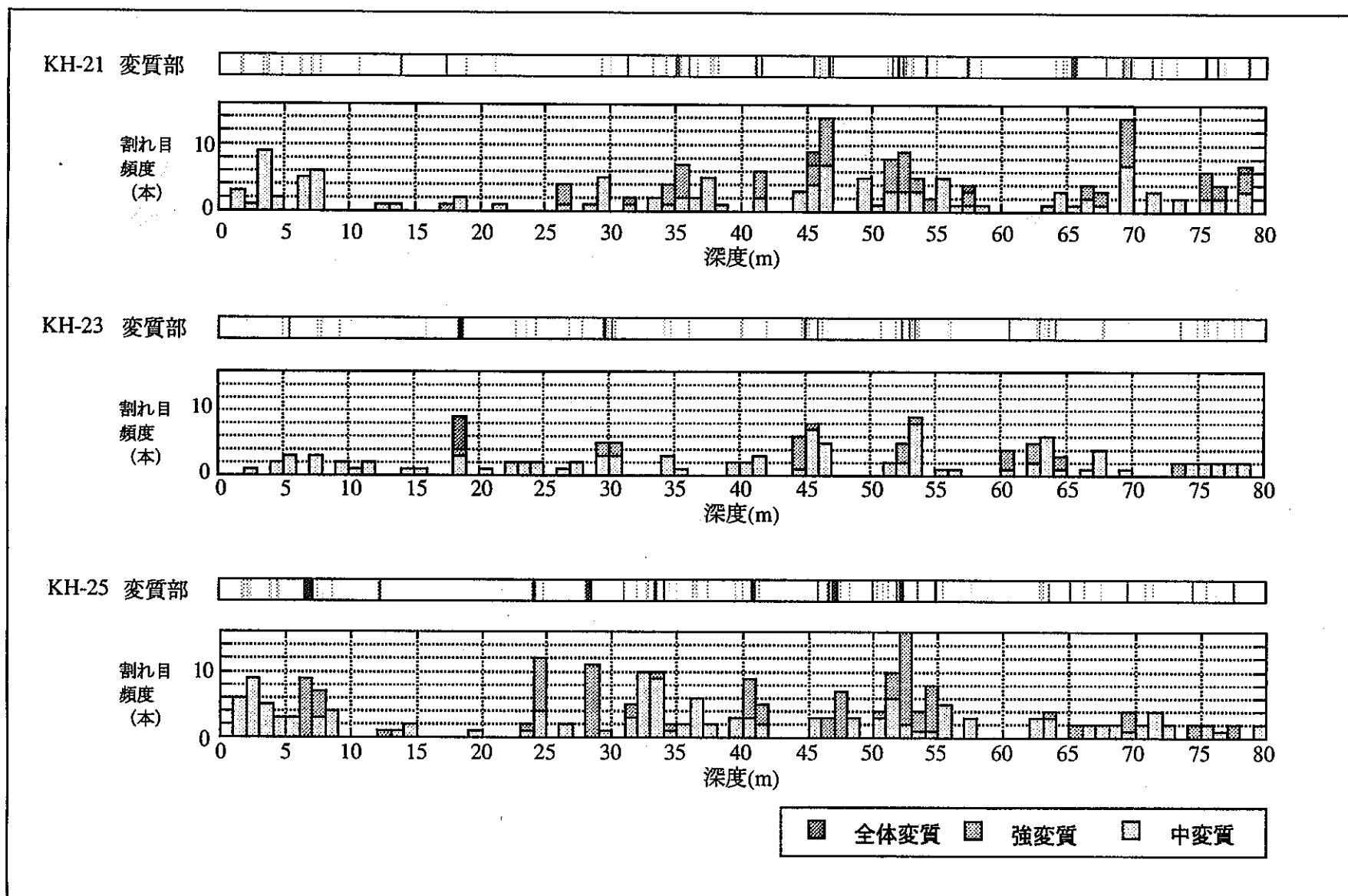


図-6.3.4 各試錐孔の変質部の存在位置と、変質割れ目の頻度分布図

は7m付近、24m付近、29m付近、34m付近、40m付近、53m付近に変質を伴う割れ目の集中部が存在している。

集中部の割れ目頻度の分布のパターンは、変質が高い部分を中心にして、3~5m程度の幅で変質を伴う割れ目が多く存在する場合と、1mの範囲内にのみ変質を伴う割れ目が多く存在する場合がある。またこれらの割れ目の集中部は10m以内の間隔で隣りあわせる場合もあれば、10m以上集中部が存在しない場合もあり、偏った分布をしている。全体の割れ目頻度を比較すると、KH-23孔、KH-21孔、そしてKH-25孔の順に次第に変質を伴う割れ目の頻度が増加している傾向がある。これは試験エリアの西から東の方向に向かって、変質を伴う割れ目の頻度が増加していることを示している。

6.3.3 割れ目の充填鉱物

KH-21孔、23孔、25孔に関して、割れ目の充填鉱物に関して考察を実施した。主な充填鉱物としては、黒色充填鉱物、暗緑色充填鉱物、黄緑色充填鉱物および、単独で存在するものとして方解石、沸石（束沸石、濁沸石）等が認められる。

黒色充填鉱物は、幾つかの鉱物が共存して黒色を呈している。主要な構成鉱物は、緑泥石、角閃石、濁沸石、束沸石、方解石、石英等である。なお、各鉱物の存在程度は大きく変化し、次に述べる暗緑色充填鉱物に漸移していく場合もある。

暗緑色充填鉱物は、幾つかの鉱物が共存して暗緑色を呈している。主要な構成鉱物は、緑泥石、角閃石、濁沸石、束沸石、方解石、石英、緑簾石、葡萄石等であるが、存在程度は大きく変化する。

黄緑色充填鉱物は、幾つかの鉱物が共存して黄緑色を呈している。主要な構成鉱物は、緑簾石、葡萄石、石英、方解石、濁沸石、緑泥石等である。

図-6.3.5~図-6.3.7に、KH-21孔、23孔、25孔の主要な充填鉱物に関して、その充填鉱物が存在する割れ目本数を各深度毎に示すとともに、全体の割れ目頻度の分布および中変質以上の変質を伴う割れ目の頻度分布を示した。なお、黒色充填鉱物と暗緑色充填鉱物は漸移することより、両者をまとめてグラフにした。また、沸石も一つのグラフで示してある。

1). KH-21孔

黒色充填鉱物或いは暗緑色充填鉱物が存在する割れ目の頻度分布は、割れ目の頻度分布とほぼ一致する様な形態を示している。方解石の頻度分布も同様である。これに対して黄緑色充填鉱物は、深度5m前後に相対的に多く存在しているのみである。また、

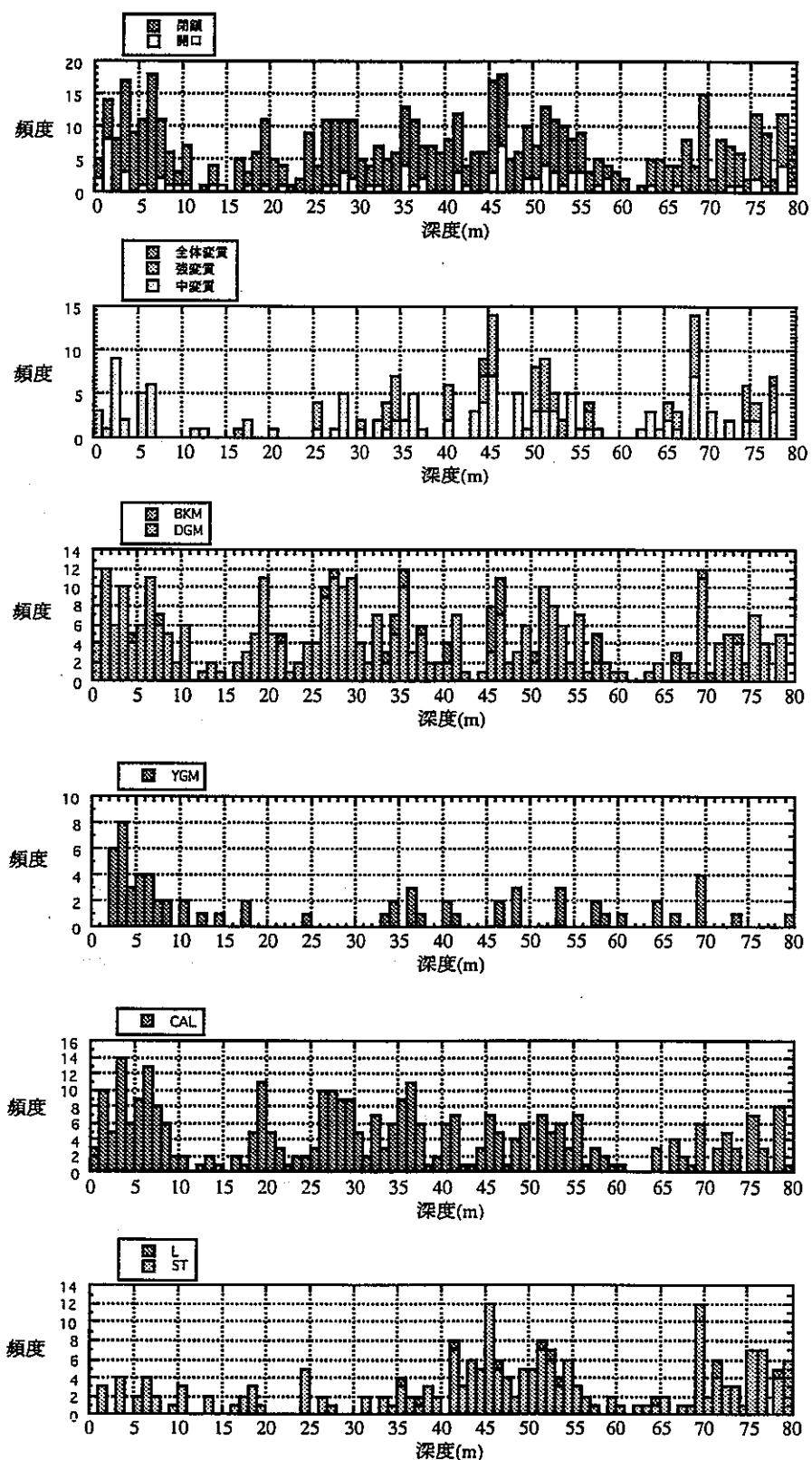


図-6.3.5 KH-21孔の主要な割れ目充填鉱物の存在頻度分布図

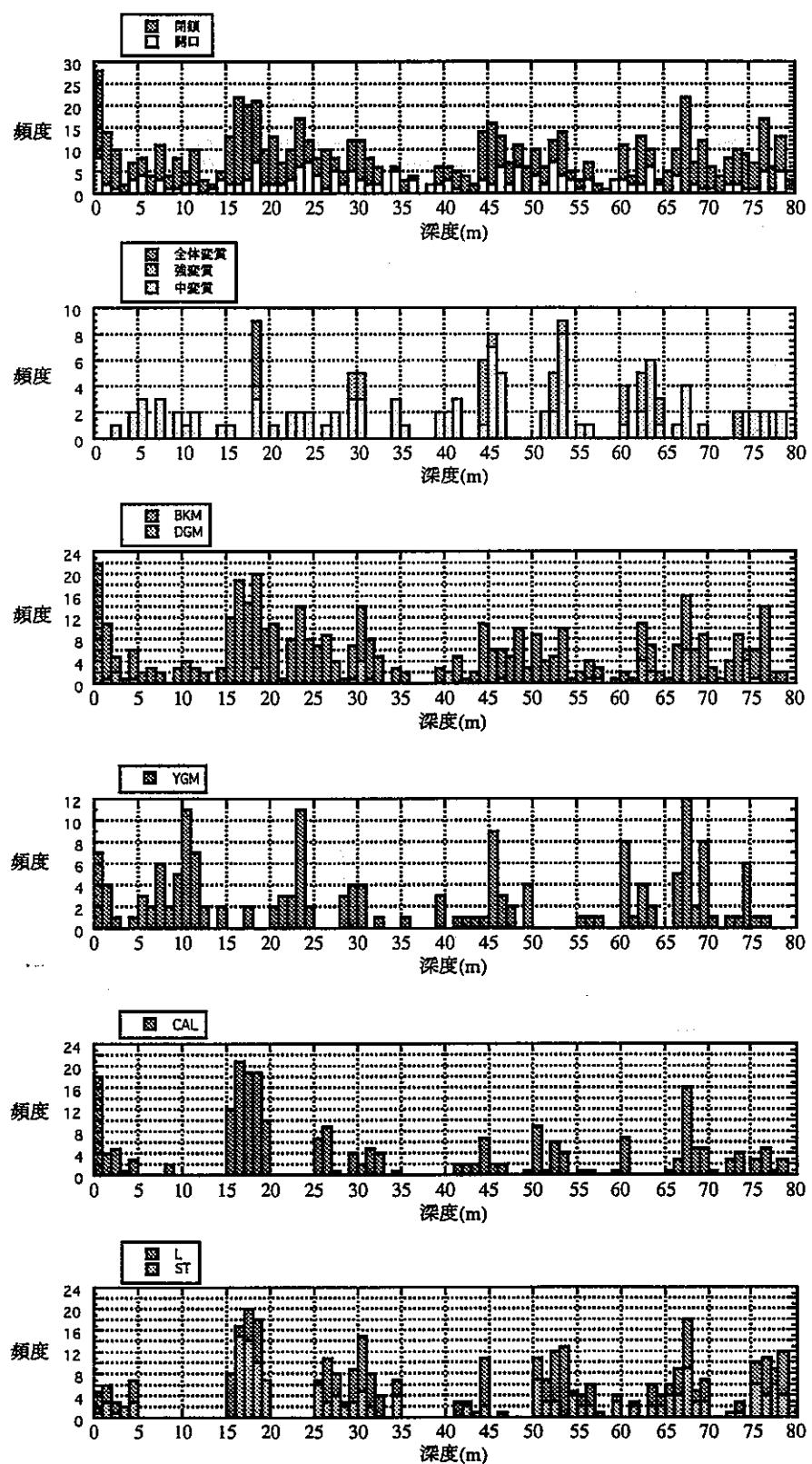


図-6.3.6 KH-23孔の主要な割れ目充填鉱物の存在頻度分布図

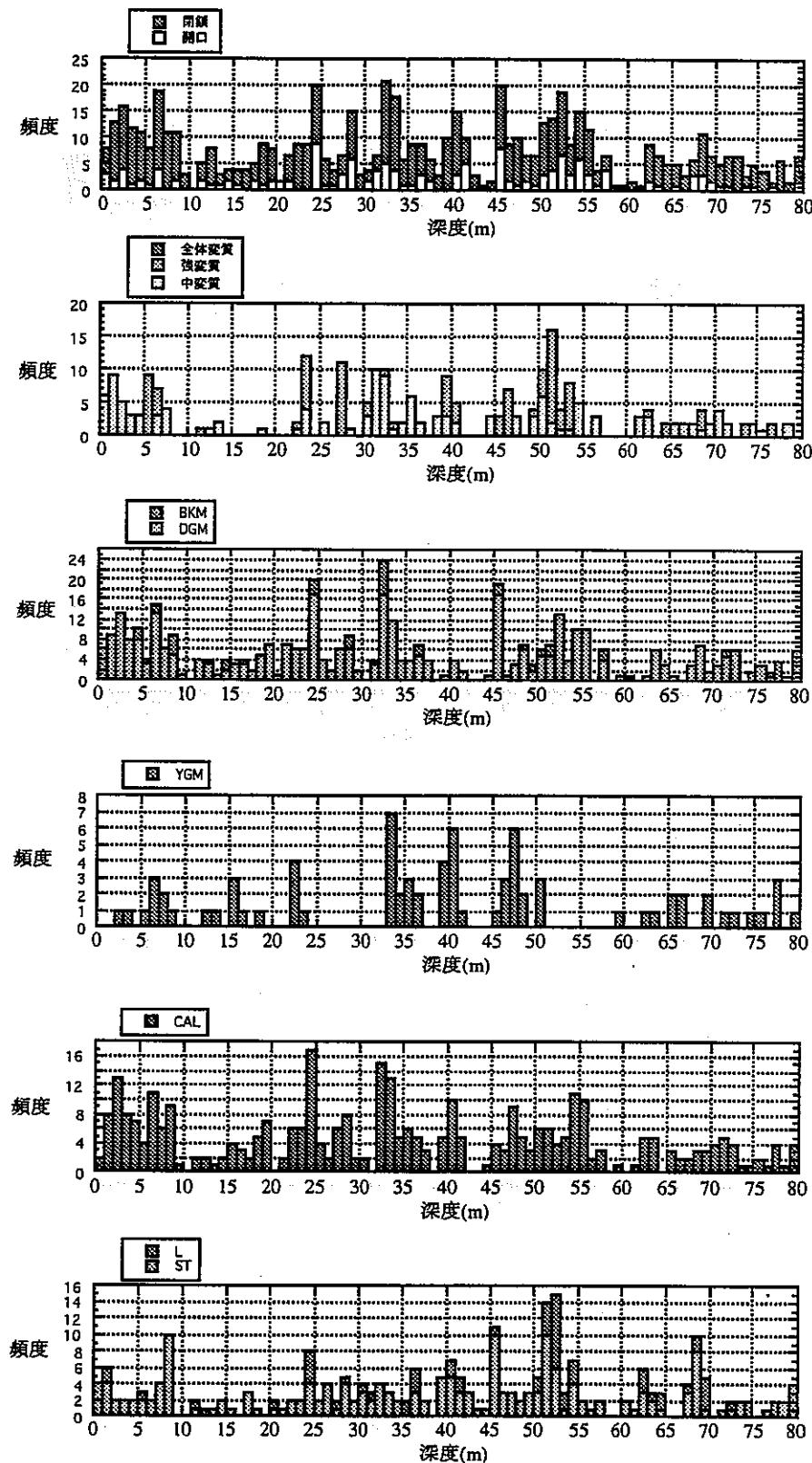


図-6.3.7 KH-25孔の主要な割れ目充填鉱物の存在頻度分布図

沸石に関しては、中変質以上の変質を伴う割れ目が多く存在する部分に相対的に多く存在している。

2).KH-23孔

黒色充填鉱物・暗緑色充填鉱物が存在する割れ目の頻度分布は、割れ目の頻度分布とほぼ一致する様な形態を示している。方解石の頻度分布も割れ目頻度のピーク位置と良い対応を示している。これに対して黄緑色充填鉱物は、深度10m、24m、45m、61m、67mの前後に相対的に多く存在しており、割れ目の頻度のピークとは一致しない場合もある。また、沸石に関しては、中変質以上の変質を伴う割れ目が多く存在する部分に相対的に多く存在している。

3).KH-25孔

黒色充填鉱物・暗緑色充填鉱物が存在する割れ目の頻度分布は、割れ目の頻度分布とほぼ一致する様な形態を示している。方解石の頻度分布も割れ目のピーク位置と良い対応を示している。黄緑色充填鉱物は、深度34m、40m、47mの前後に相対的に多く存在している。また沸石に関しては、深度9m、45m、52m、69m付近に相対的の多く存在している。

以上各孔での傾向をまとめると、黒色充填鉱物と暗緑色充填鉱物、および方解石の出現頻度は割れ目頻度の分布とよい対応を示すことより、場所的な特異性は認められない。一方、黄緑色充填鉱物の出現頻度が高い部分は、特定の部分に限られている場合が多いことより、分布に不均一性が存在するといえる。また沸石の出現パターンに関しては、変質を伴う割れ目の頻度が高い部分に多く出現している傾向がある。

6.3.4 割れ目の連続性

試験エリア内の割れ目分布に関して、これまでに削孔された試錐のデータも含めて考察した。使用したデータは以下の様なものである。

- ・BTVで捉えられた開口割れ目の走向傾斜データ
- ・破碎部の位置
- ・コア観察による変質程度とその幅
- ・試錐時に推定された水みち

推定にあたっては、割れ目の走向より伸びの方向を推定、破碎部の存在や変質程度および水みちの存在において共通する点が認められるものを、連続の可能性があるも

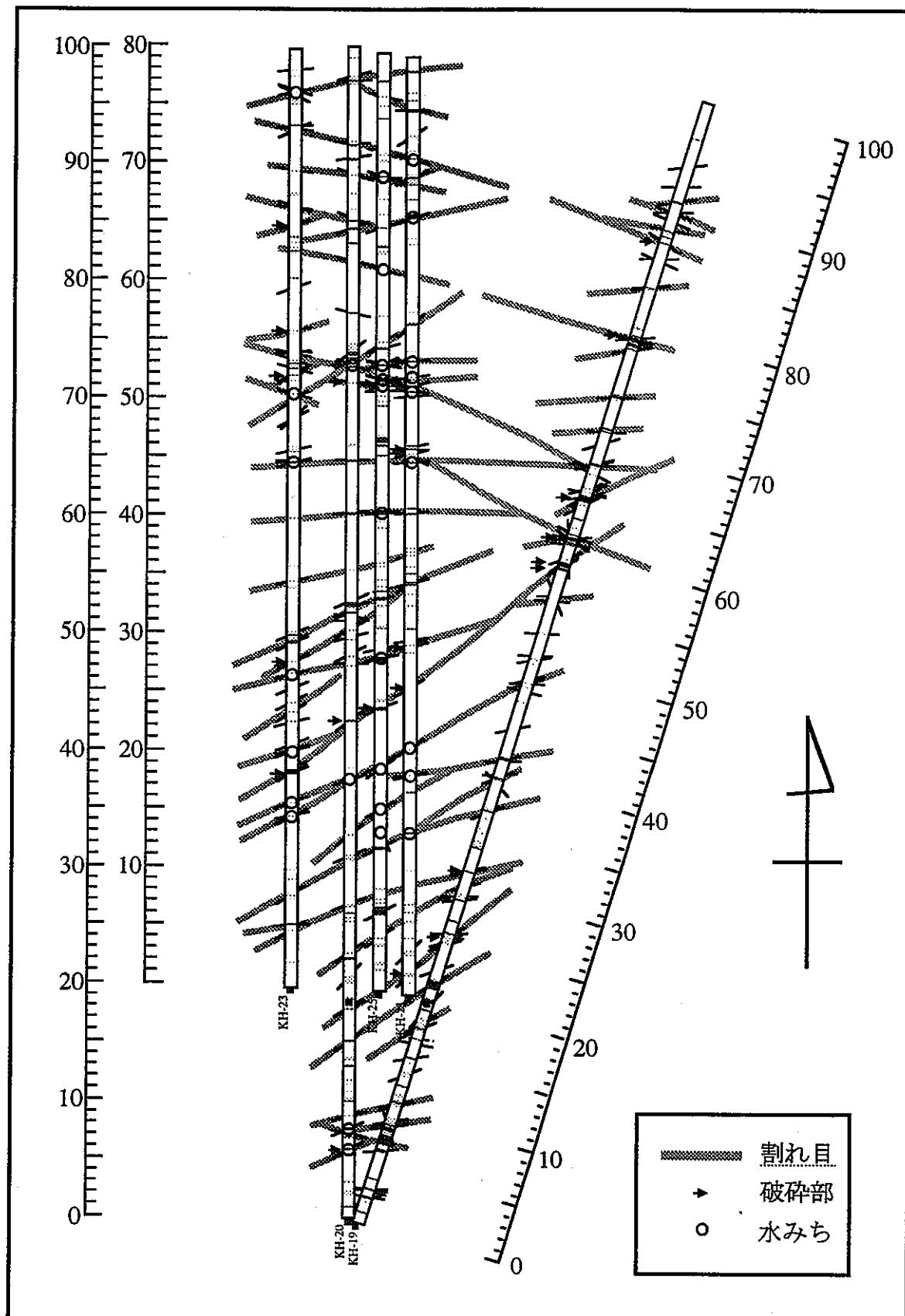


図-6.3.8 割れ目の連続性の推定図

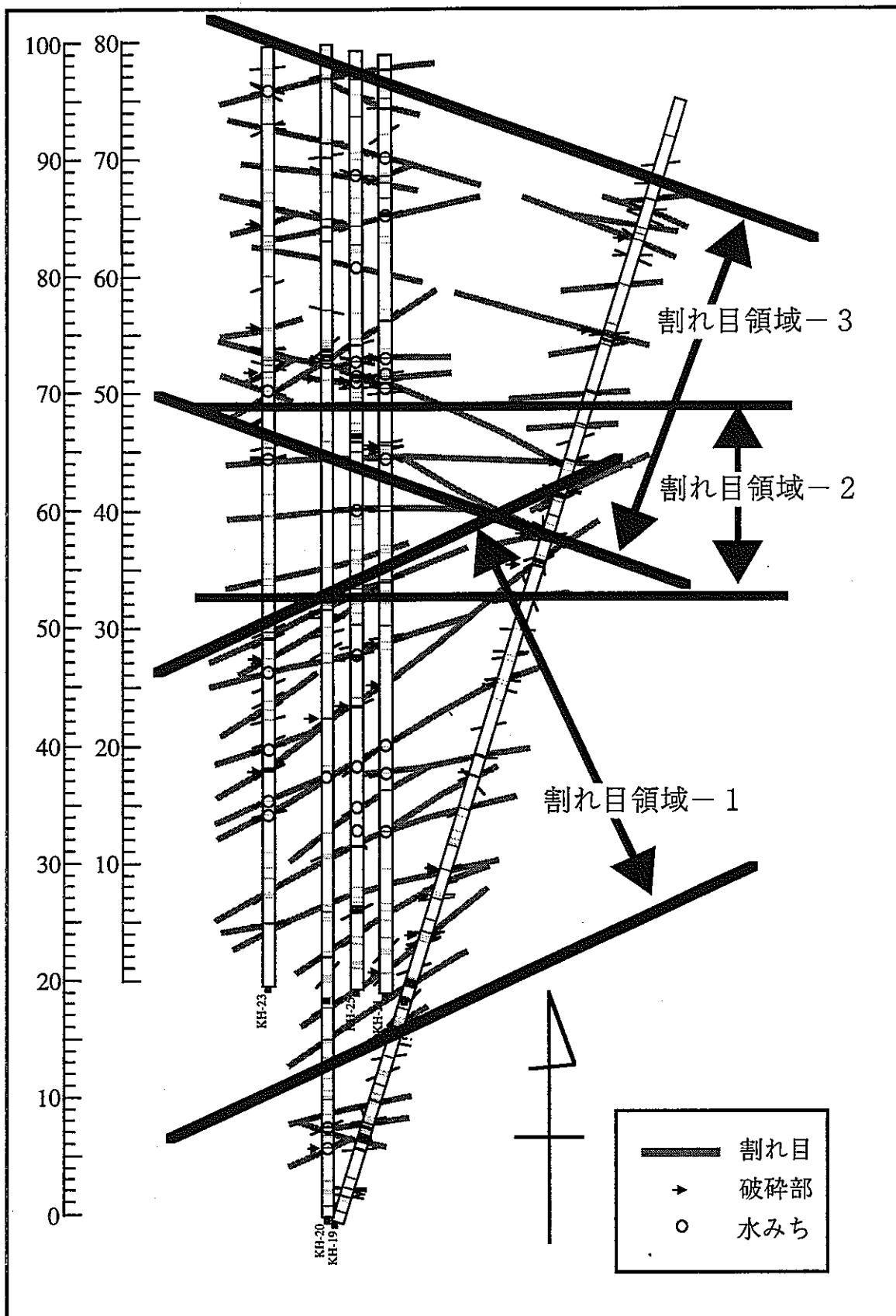


図-6.3.9 推定された割れ目分布と割れ目領域

のとした。図-6.3.8は、推定された割れ目の連続性を示したものである。推定した割れ目の連続性より、次の以下のようなことがいえる。

試験エリア内には、ENE-WSWとE-W、およびWNW-ESE系の割れ目が発達している。ENE-WSW系の割れ目は試験エリア全体で認められるが、特に計測坑道側壁より深度35m程度まではENE-WSW系の割れ目が主体であり水みちを形成している。E-W系の割れ目は計測坑道の側壁より深度が35~50m程度の部分に連続性が推定されるものが存在し、水みちを形成している。WNW-ESE系の割れ目は計測坑道からの深度が45m程度より奥側に連続性が推定されるものが存在している。図-6.3.9はこれらの結果を示したもので、試験エリア内を3つの領域に区分して示した。

6.4 考察

試験エリア内割れ目分布および、間隙水圧分布に関して、地形との関連性を考察する。図-6.4.1は試験エリア付近の地表地形を示したものである。

第1の特徴として、4本のリニアメントの存在があげられる。4本リニアメントは、全て直線的に延びる谷地形であり、特に試錐の深部の上部では大きな沢となっている。試験エリアで推定された割れ目の卓越方向の分布と、これらのリニアメントの方向とは、似た傾向を有している。また、試錐孔の奥の方でより高い間隙水圧が観測されていることと、地表に大きな沢が存在していることとは調和的である。

第2の特徴として、試験エリア上部の地形が急に急峻になっている事があげられる。すなわち、西から東方向に向かって緩やかな地形であったものが、試験エリアの上部で急峻な地形に変化し、その後再びやや緩やかな地形に戻っている。地表地形は地下の地質構造の相違に規制されている可能性が大きい。また試錐孔においては、変質を伴う割れ目の頻度や水みちの連続性において東西方向での差異が認められたことと調和的である。これらのことより、地下構造に東西方向の差異が存在し、その結果が地表地形に表れている可能性が推定される。

6.5 まとめ

BTV観察とコアの割れ目調査を行った。その結果以下の様なことが推定された。

- (1). 割れ目の頻度分布より、割れ目ゾーンの存在が推定された。また、ゾーンの中 心付近には強い変質を伴う割れ目や、開口割れ目、あるいは充填幅が大きい割れ目 が存在している場合が多い。

- (2). 各試錐孔での割れ目の走向傾斜には2~3の卓越方向が存在している。
- (3). 充填鉱物の全体的な分布に関しては、YGMに偏った存在傾向が認められた。
- (4). 割れ目の連続性を推定、その結果3方向の割れ目系の存在が推測された。また、それらの割れ目系の卓越する領域が推定された。
- (5). 地表地形に地下の構造を反映していると推定される現象が認められた。地表地形より推測される地質構造は、地下の水理地質構造と密接に関係している可能性がある。

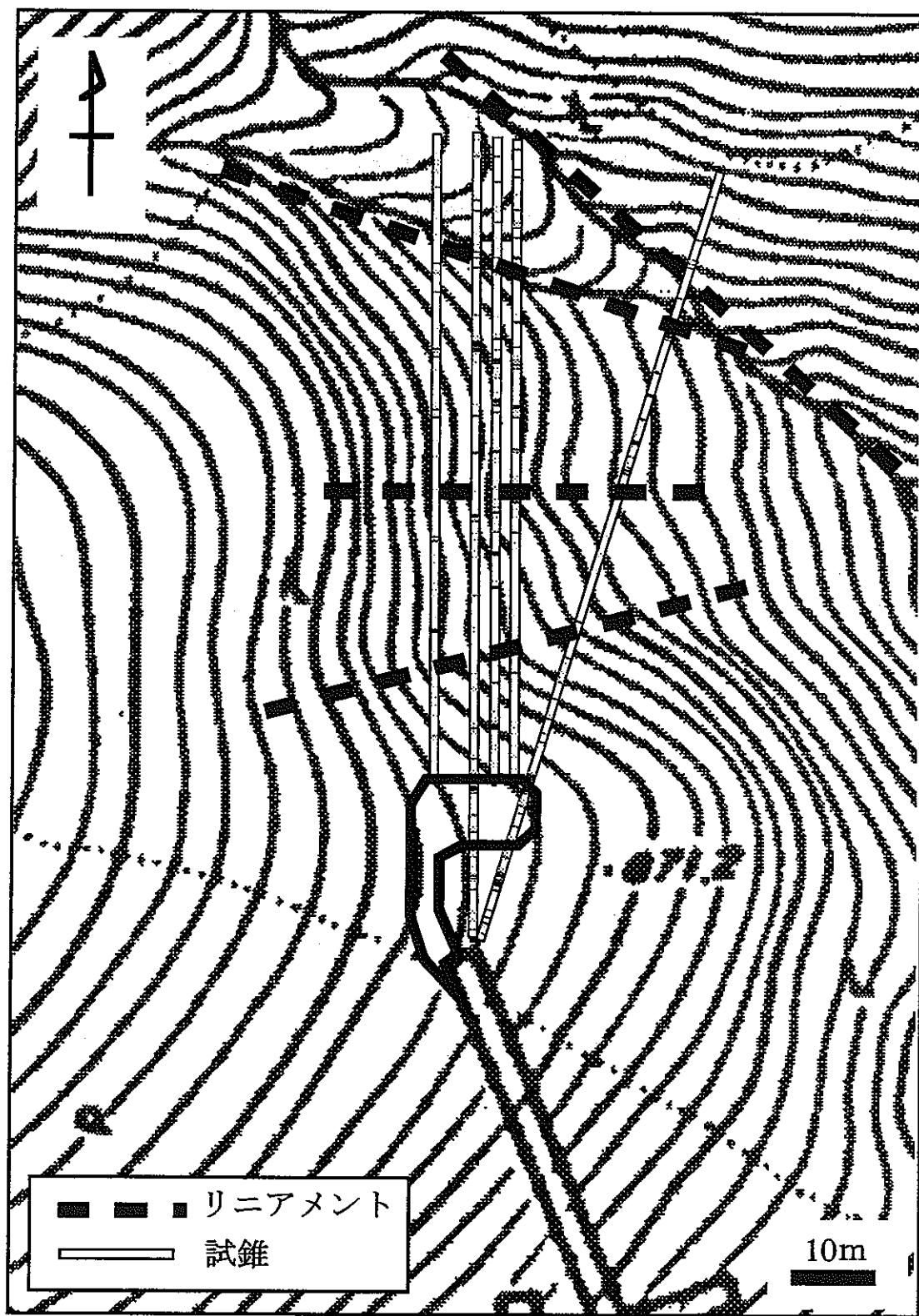


図-6.4.1 試験エリアと地表地形との関係図

7 ボーリング削孔時の水理調査

7.1 調査概要

平成7年度に新設した3本のボーリング孔削孔時において、平成6年度と同様な水理調査を実施した。調査項目は、下記のとおりである。

- (1)新規ボーリング孔削孔時の圧力応答測定
- (2)ボーリング削孔時の口元湧水量および口元間隙水圧の測定

平成7年度作業開始時点においては、KH-19孔に7個、KH-20孔に8個のパッカーを設置し、計15区間で水圧の自動計測が継続されている。

削孔は、KH-23、KH-23、KH-25の順で削孔したが、各ボーリング孔削孔後にパッカーを設置し、水圧測定を行なった。したがって、ボーリング孔の増設に伴い、水圧測定点数が増加する事になる。また、各ボーリング孔削孔時においては、毎日の掘削作業終了後、孔口に圧力トランスデューサーを設置した蓋をして、間隙水圧の測定を行った。また、作業の開始時と終了時には口元からの湧水量の測定を行った。

これらの測定データは、透水性割れ目の分布を推定する上で貴重な情報となる。

本章では、ボーリング削孔時の水理調査についてまとめる。後述の11章で、削孔時の水理調査結果と、ポアホールTV調査、コア観察、流量検層、透水試験（KH-25孔で実施）のデータを総合的に評価し、水理地質構造の評価を行なう。

7.1.1 圧力応答調査

(1)圧力応答調査体制

削孔時の圧力応答調査の方法および手順は、基本的に平成6年度の方法と同様である。すなわち、削孔深度および水圧測定を実施し、顕著な圧力応答の生じた時間とその時の削孔深度、さらにBTMやコア観察による亀裂データから、透水性割れ目の位置と、既存ボーリング孔との連結性を把握する。ただし、本年度は、削孔深度については、測定の合理化・精度向上を図る目的で、ボーリングマシンにエンコーダーを取り付け、自動測定を行なった（5章参照）。図-7.1.1に、圧力応答調査体制を模式的に示す。

また、データロガーについても、本年度から専用のシステムを設置し、長期観測体制を整えた。

以下に、計測システム、水圧センサーについて説明した後、削孔時の水理調査結果について取りまとめる。

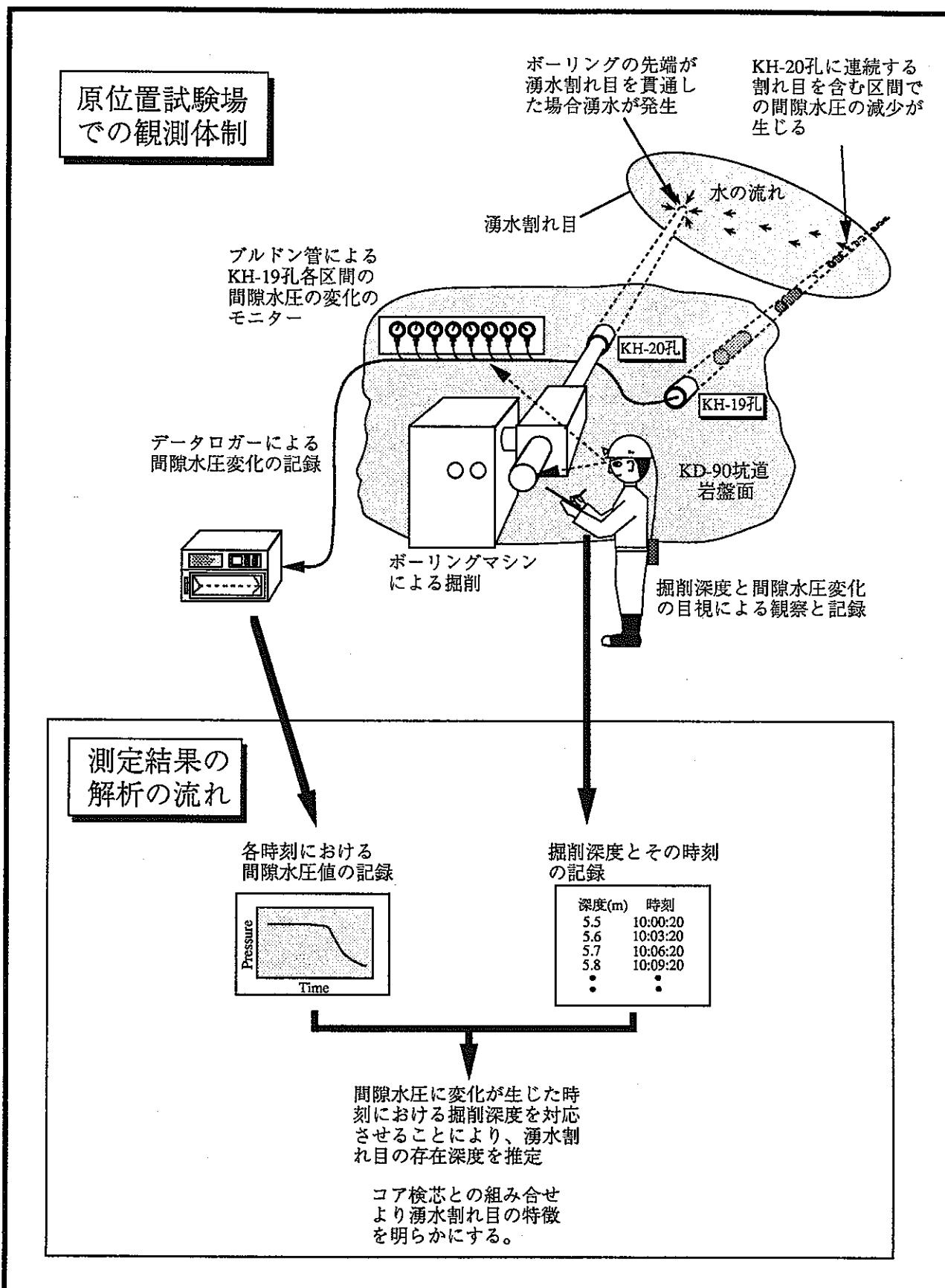


図-7.1.1 圧力応答調査体制

(2)水圧モニタリングシステム

今回新たに導入した水圧モニタリングシステムの概要を図-7.1.2に示す。本システムのハードウェアは、パソコン（DELL OptiPlex 466/Le, CPU:IntelDX2(66MHz)）、I/Oボード（A/D変換ボード）、32chマルチプレクサー（SCXI-1100）、ターミナルボックスから構成される。32chマルチプレクサーを4台装備しているので、合計128chの同時計測が可能である。内、64チャンネルは水圧センサーに、残り32チャンネルづつを伝導度センサー、熱電対用にわりあてる。本年度は、水圧測定にのみ本システムを用いた。計測処理の概要は以下のとおりである。各測定区間からの水圧ラインに接続した水圧センサーの出力電流（0-20mA）を、抵抗回路（250Ω）を配したターミナルボックスを通じて電圧（1-5V）に変換する。マルチプレクサーによりスキャンした各チャンネルの電圧をI/Oボードに送り、デジタル値に変換した後パソコンに送る。さらに、パソコン内の計測プログラムにより電圧を物理データ（水圧：0-35bar）に変換する。測定値はリアルタイムでディスプレイに表示されるとともに磁気ディスクに記録される。

サンプリング間隔は、5段階にわけて設定できるようになっているが、基本的な測定パターンとしては、まず15秒間に60分間測定したのち、データ取得間隔を120秒間に変更して測定を継続することとした。尚、同システムは、パッカ一設置後のビルドアップ測定、透水試験時の水圧計測にも用いた。

卷末に、水理モニターシステムの操作マニュアルを添付する。

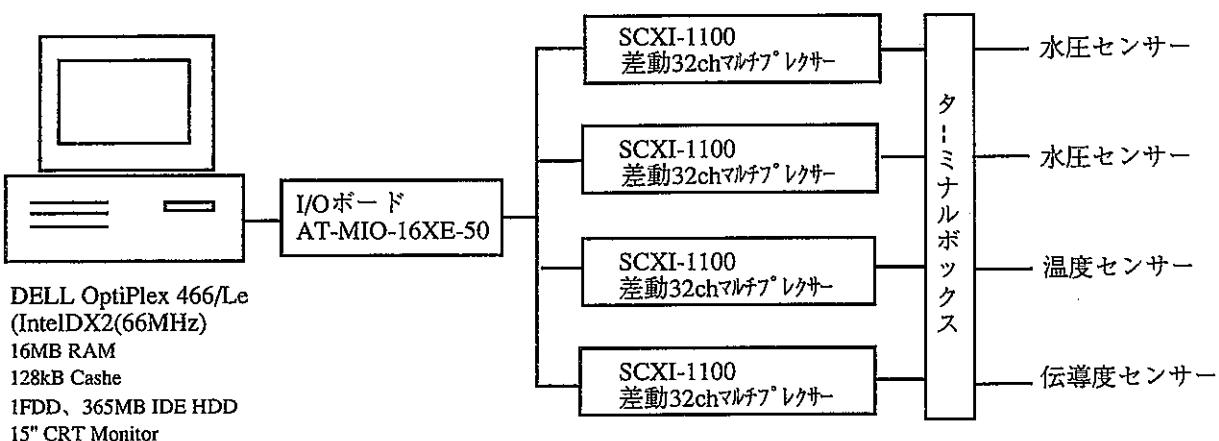


図-7.1.2 水圧モニタリングシステムの構成

(3)水圧センサー

計測に使用した水圧センサーを写真-7.1.1に、仕様を表-7.2.1に示す。電流出力→電圧出力変換のための回路図を図-7.1.3に示す。

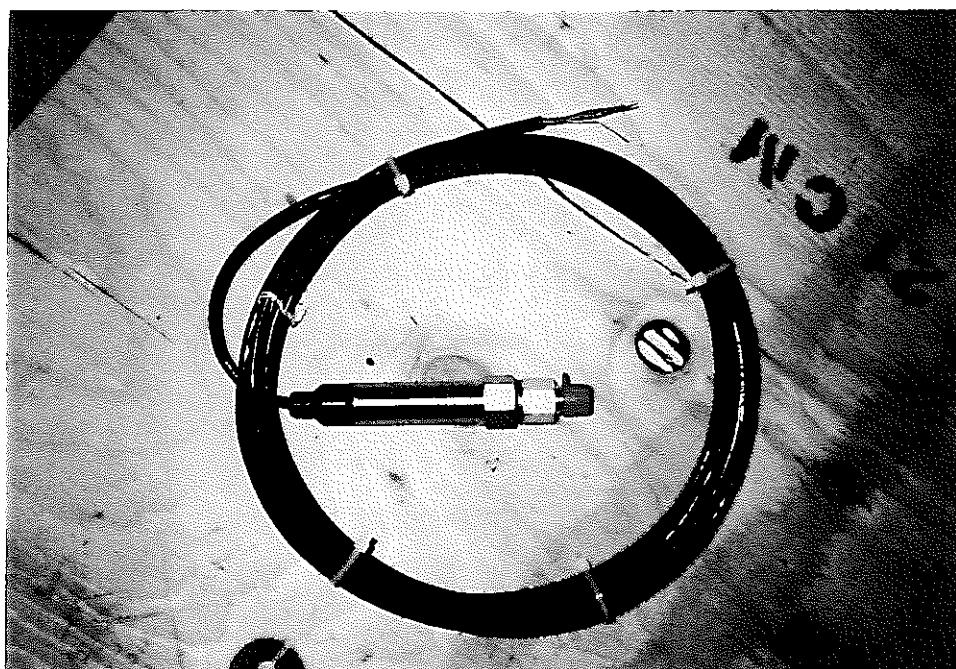


写真-7.1.2 水圧センサー (Penny & Giles 社製、SGS711)

表-7.1.1 トランステューサーの仕様

製造	Penny & Giles社製
型番	SGS711
圧力範囲	0~35bar、absolute
精度	±0.05%BSL、±0.1%FS
形状	81mm × 21 φ mm
出力	4~20mA
入力電圧	9~43DC

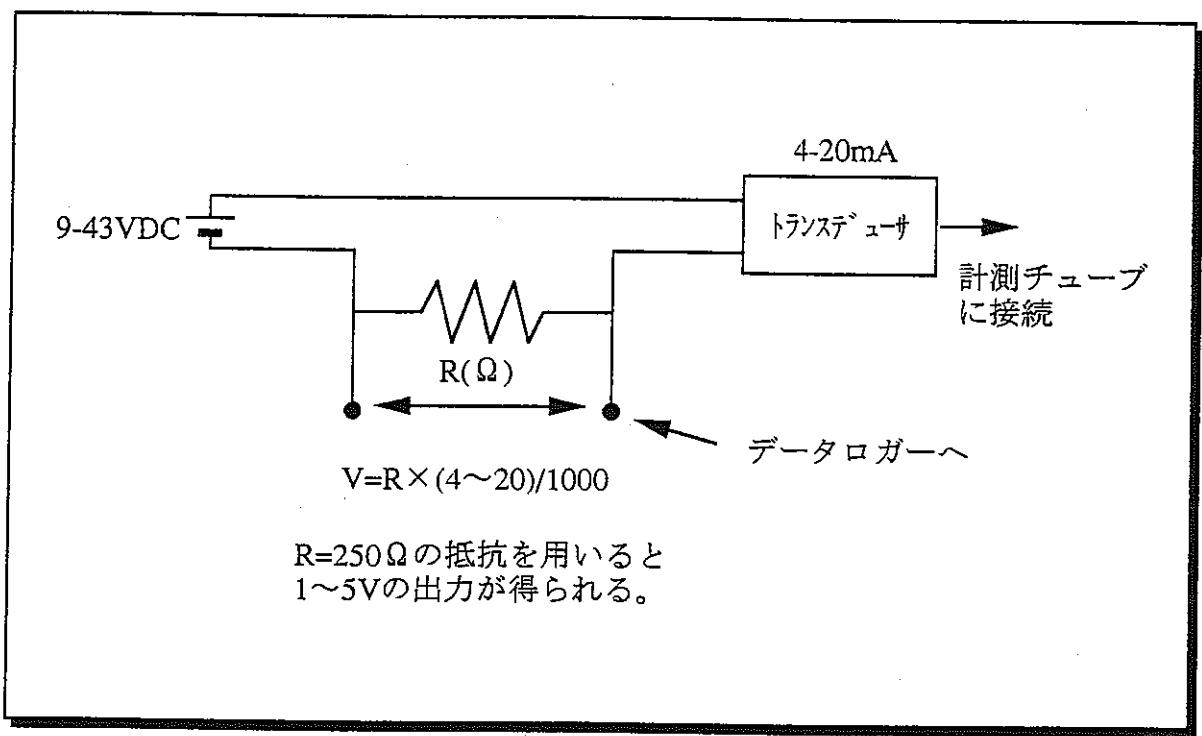


図-7.1.3 センサーの接続回路図

7.1.2 口元湧水量測定

(1)測定概要

各試錐孔での湧水割れ目の存在位置および、湧水の程度がどの程度であるかを推定するために、毎日の掘削作業終了時に湧水量の測定を行った。

(2)測定方法

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分間待つてから実施した。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。なお湧水量が多く、メスシリンダーで計測が困難な場合には、バケツに10lの水が溜るまで時間を計測し、その値より湧水量を計算した。

7.1.3 口元間隙水圧測定

(1)測定概要

各試錐孔において、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。間隙水圧の値の変化より湧水箇所および、その湧水の間隙水圧の高低を推定することが出来る。

(2)測定方法

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。蓋からは間隙水圧測定用のチューブが出ており、その端にはトランスデューサーが取り付けられている。間隙水圧はここで電気信号に変換され、データロガーにより自動計測される。トランスデューサーの仕様は前出したものと同じである。なお、測定間隔は2分間隔とし次の区間の掘削直前まで行った。

7.2 口元湧水量測定結果

(1)KH-23孔

表-7.2.1に測定結果の一覧表を示す。図-7.2.1は各削孔深度を横軸に、湧水量を縦軸にとってプロットしたグラフである。KH-23孔での湧水量の変化より、削孔深度が23.3～27.3mの区間と76.8～78.8mの区間に主要な湧水割れ目が存在することが推定される。

(2)KH-21孔

表-7.2.2に測定結果の一覧表を示す。図-7.2.2は各削孔深度を横軸に、湧水量を縦軸

表-7.2.1 KH-23孔削孔時の湧水量測定結果一覧表

削孔深度(m)	湧水量(cc/min)
5.17	112
11.3	0
17.3	9
19.3	2.4
23.3	0
27.3	1344
31.3	480
34.85	433
38.84	353
42.9	411
46.9	360
48.9	351
50.9	533
52.7	439
54.74	393
56.78	560
60.78	369
62.8	652
66.77	483
68.95	586
72.8	528
76.8	533
78.8	2980
80.5	2790

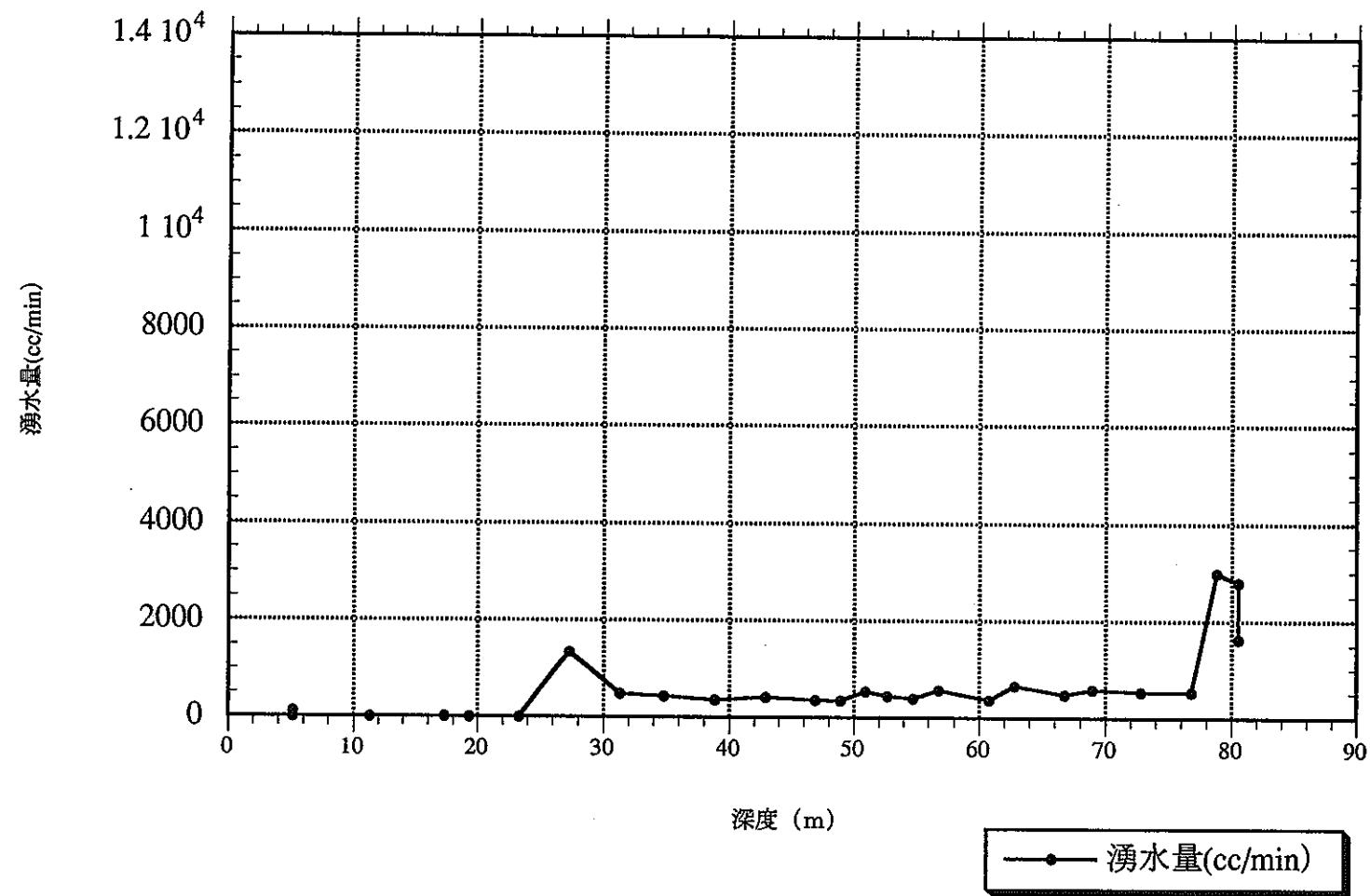


図-7.2.1 KH-23孔削孔深度と湧水量の関係

表-7.2.2 KH-21孔削孔時の湧水量測定結果一覧表

削孔深度(m)	湧水量(cc/min)
17.01	50
21.09	150
23.09	1500
27.09	1500
31.09	1500
35.09	1800
39.09	3240
43.09	4120
47.09	6800
51.09	6900
55.09	12600
59.09	11700
64.09	10500
66.09	11200
70.09	11500
74.09	11840
78.09	12150
80.53	10500

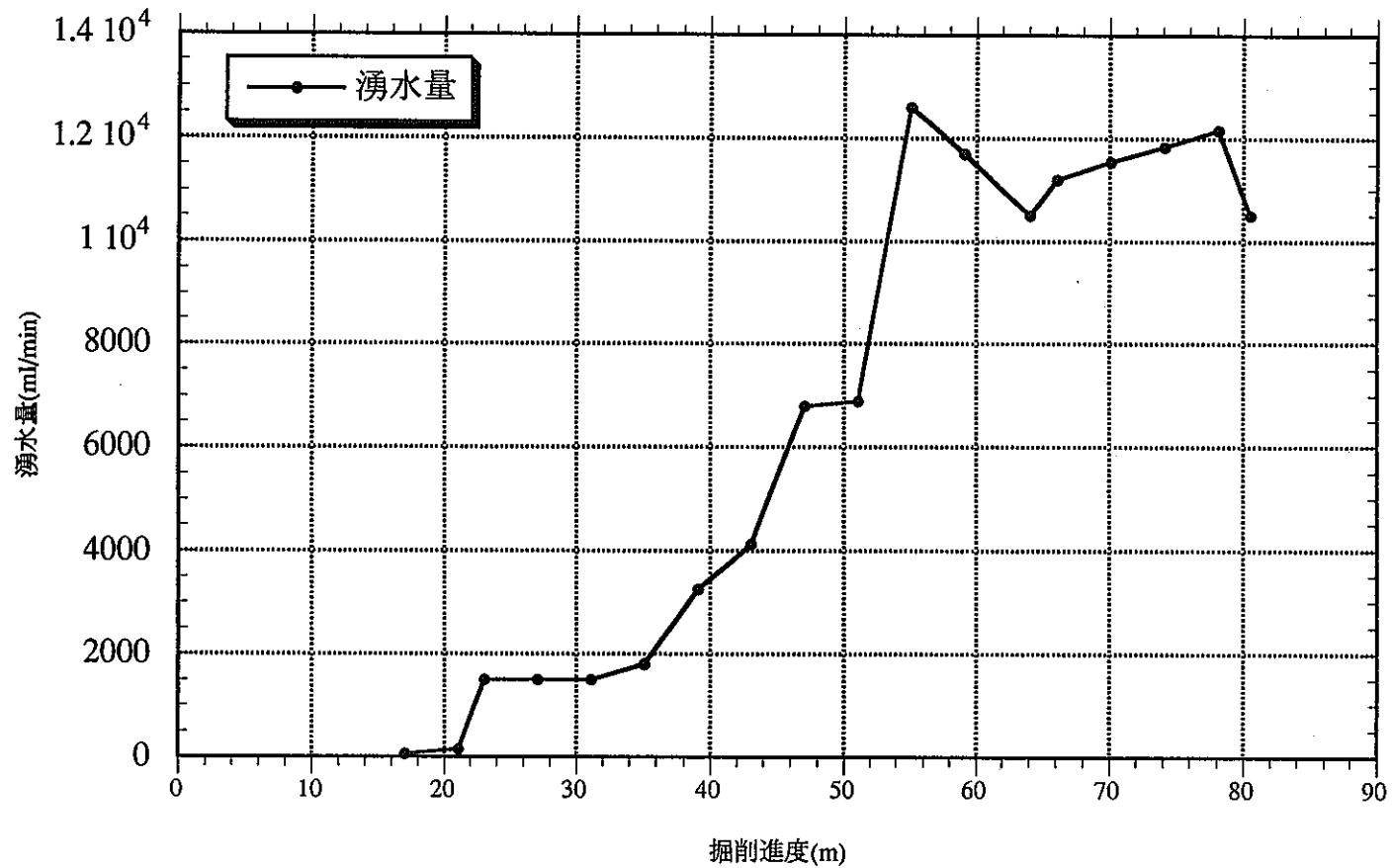


図-7.2.2 KH-21孔削孔深度と湧水量の関係

表-7.2.3 KH-25孔削孔時の湧水量測定結果一覧表

削孔深度(m)	湧水量(cc/min)
10.42	50
14.42	1200
18.42	680
22.42	2400
28.42	2190
32.42	3600
36.42	2850
40.42	3272
44.42	3040
48.42	4620
56.42	10320
58.42	9228
62.42	9000
64.42	8400
68.42	7920
70.42	9024
74.42	10178
76.42	9228
80.42	9590

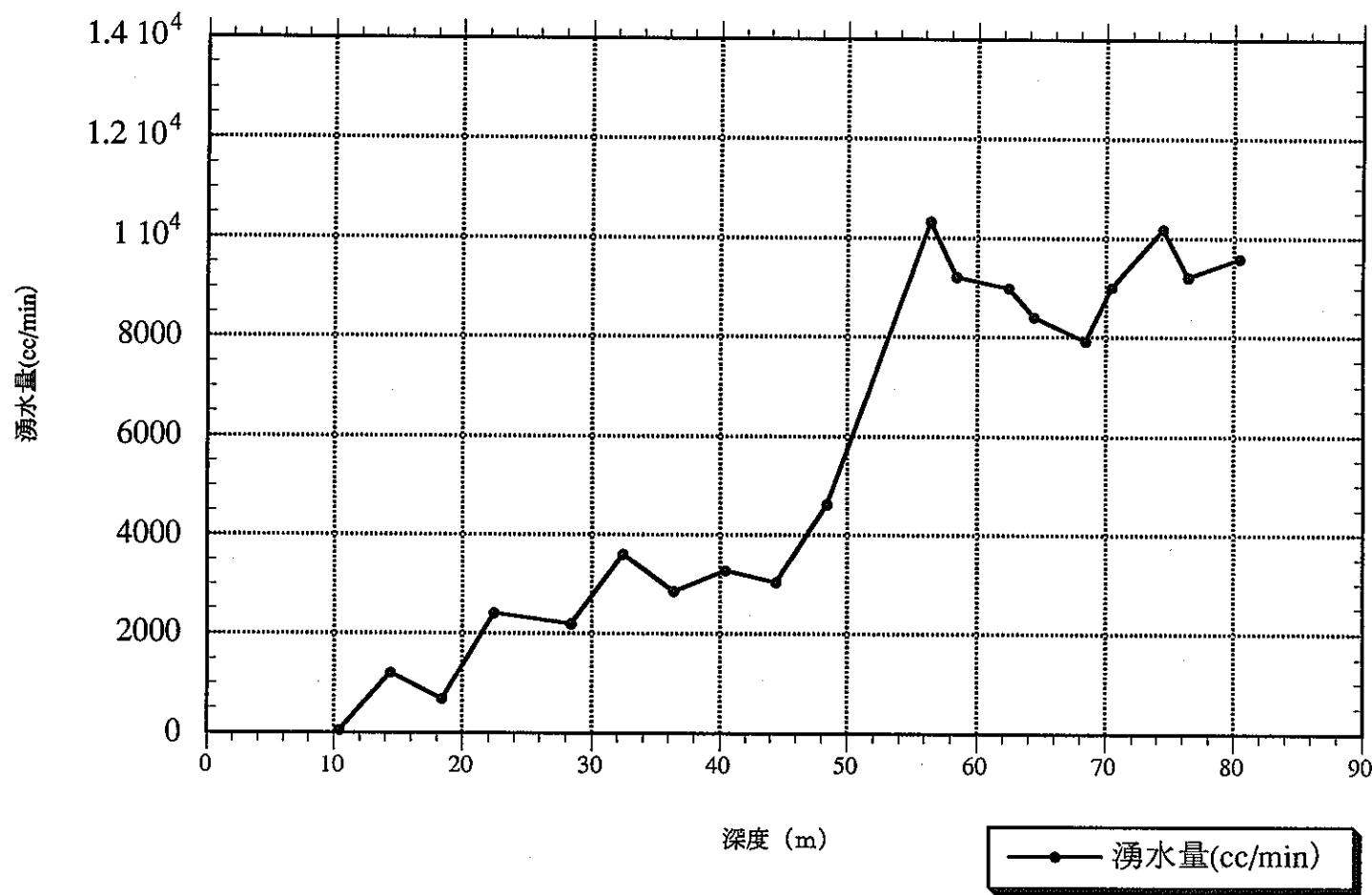


図-7.2.3 KH-25孔削孔深度と湧水量の関係

にとてプロットしたグラフである。KH-21孔での湧水量の変化より、削孔深度が51.09～55.09mの区間に主要な湧水割れ目が存在することが推定される。

(3)KH-25孔

表-7.2.3に測定結果の一覧表を示す。図-7.2.3は各削孔深度を横軸に、湧水量を縦軸にとってプロットしたグラフである。KH-25孔での湧水量の変化より、削孔深度が48.42～56.42mの区間に主要な湧水割れ目が存在することが推定される。

7.3 口元間隙水圧測定結果

(1)KH-23孔

表-7.3.1に測定結果の一覧表を示す。測定結果の値は、掘削開始直前のものである。図-7.3.1は各削孔深度を横軸に、口元の間隙水圧を横軸にとってプロットしたグラフである。間隙水圧は19.3～27.3mの区間の削孔により $4\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度に上昇している。その後は72.8mまで大きな変化は認められずに推移するが、72.8～73.8m区間の削孔において $14\text{kg}/\text{cm}^2$ 近くの値にまで急激に変化している。

(2)KH-21孔

表-7.3.2に測定結果の一覧表を示す。図-7.3.2は各削孔深度を横軸に、口元の間隙水圧を横軸にとってプロットしたグラフである。間隙水圧は5.09～11.09mの区間の削孔により $6.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度にまで上昇する。その後17.01mまでの削孔においては一時的に間隙水圧が下降するが、17.01～23.09m区間の削孔により急激に $16\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度にまで上昇している。その後さらに31.09～39.09m区間の削孔において $18\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度にまで上昇し、その後は大きな変化は認められずに推移している。

(3)KH-25孔

表-7.3.3に測定結果の一覧表を示す。図-7.3.3は各削孔深度を横軸に、口元の間隙水圧を横軸にとってプロットしたグラフである。間隙水圧は10.42～18.42m区間の削孔によります $6.6\text{kg}/\text{cm}^2$ まで上昇し、更に引き続く18.42～28.42m区間の削孔により $16\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度にまで急激に上昇している。その後は $16\sim 18\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度の値を維持しながら大きな変化もなく推移している。

表-7.3.1 KH-23孔削孔時の口元間隙水圧測定結果一覧表

削孔深度(m)	間隙水圧(kg/cm2)
5.17	0.295
11.3	0.329
19.3	0.376
27.3	4.149
34.85	1.553
42.9	1.338
48.9	1.439
54.74	1.459
60.78	1.768
66.77	1.923
72.8	1.99
78.8	13.85

表-7.3.2 KH-21孔削孔時の口元間隙水圧測定結果一覧表

削孔深度(m)	間隙水圧(kg/cm2)
3.09	0
5.09	0.82
11.09	6.5
17.01	2.35
23.09	15.9
31.09	15.56
39.09	17.7
47.09	18.07
55.09	18.07
59.09	18.5
66.09	18.03
74.09	17.62

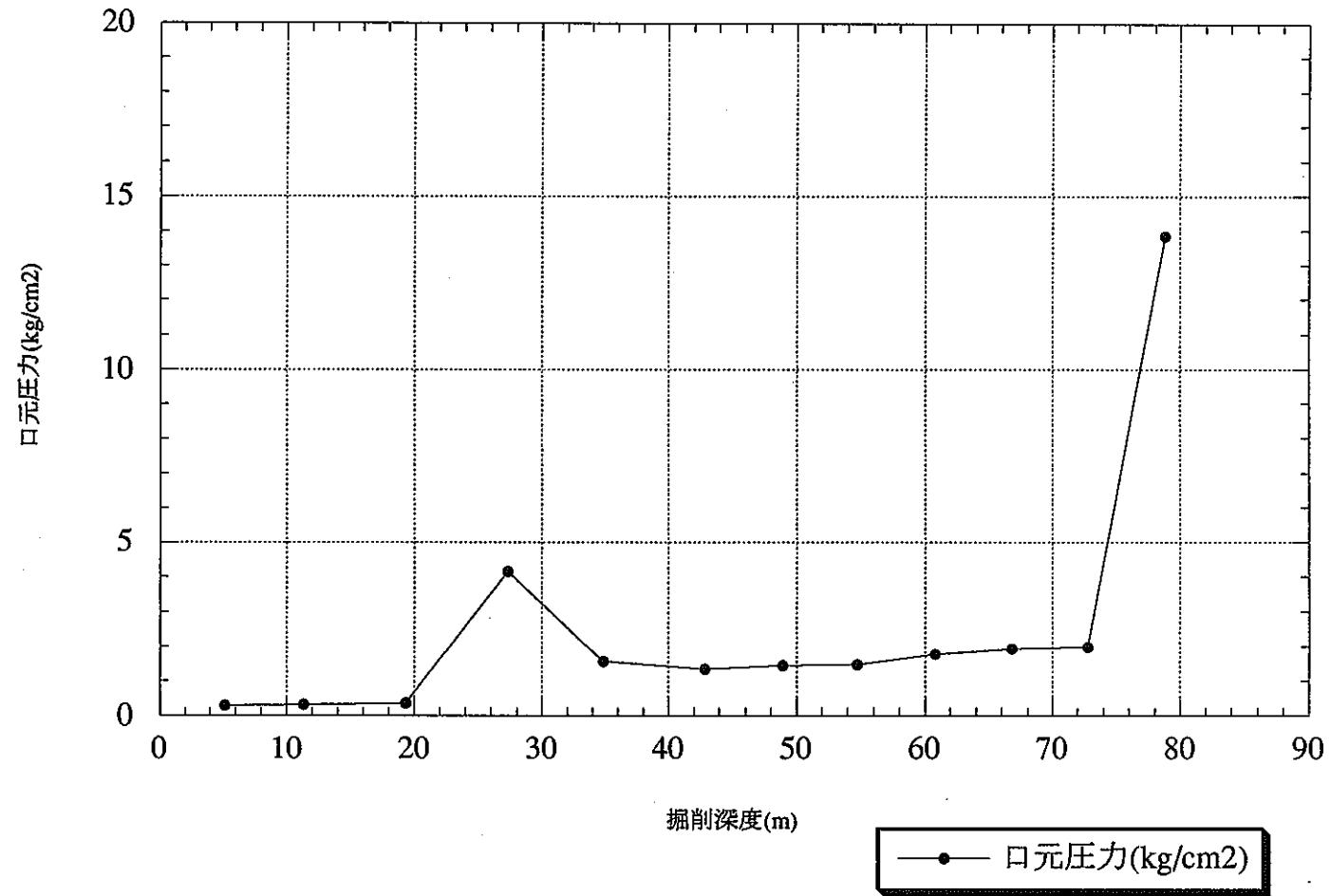


図-7.3.1 KH-23孔削孔深度と口元圧力の関係

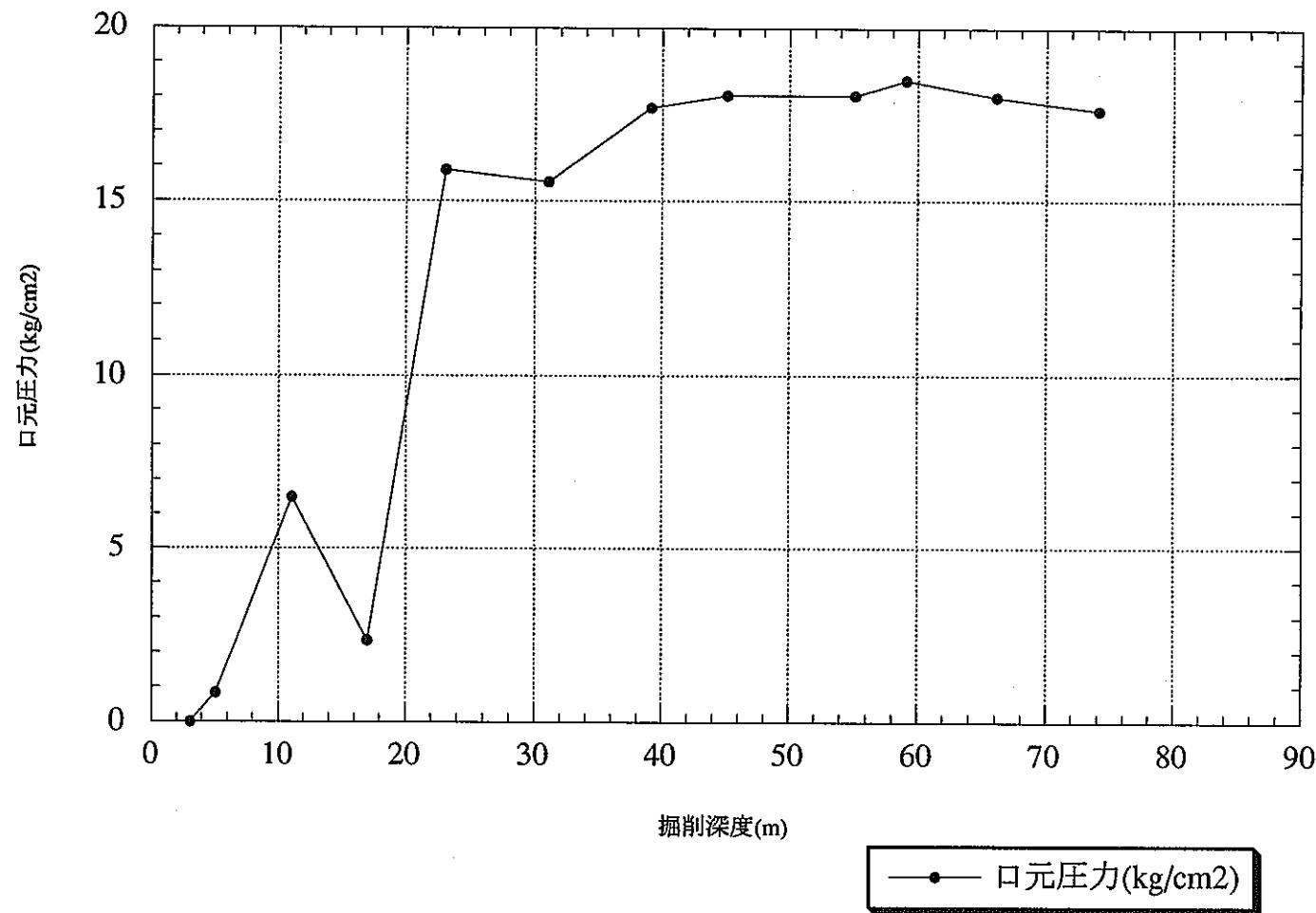


図-7.3.2 KH-21孔削孔深度と口元圧力の関係

表-7.3.3 KH-25孔削孔時の口元間隙水圧測定結果一覧表

削孔深度(m)	間隙水圧(kg/cm ²)
2.38	0
10.42	0.86
18.42	6.6
28.42	16
36.42	16.3
44.42	16.5
52.42	17.5
58.42	18.32
64.42	17.64
70.42	17.3
76.42	18.2

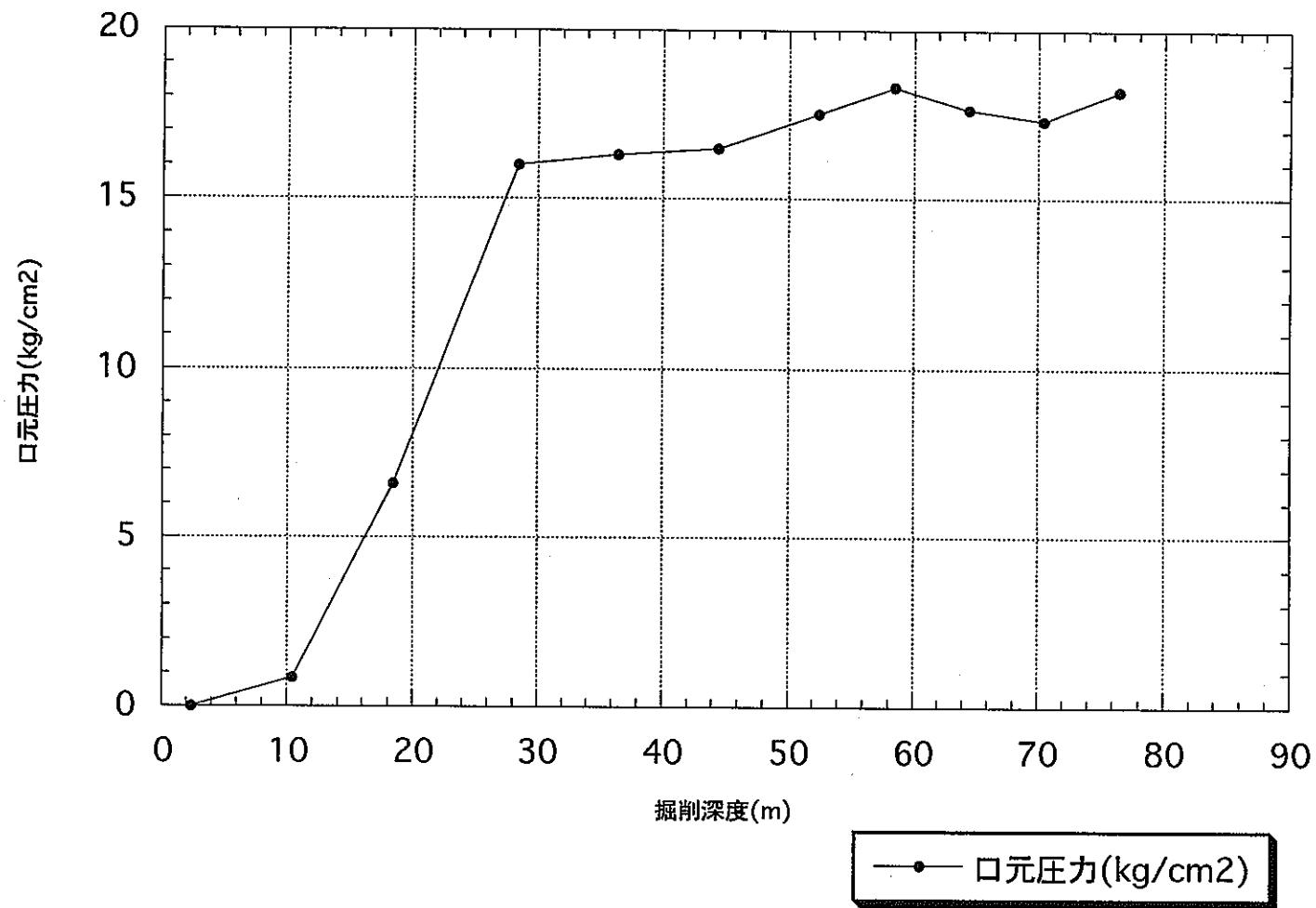


図-7.3.3 KH-25孔削孔深度と口元圧力の関係

7.4 KH-23孔削孔時の水圧応答測定

平成7年度作業開始時点においては、KH-19孔に7個、KH-20孔に8個のパッカーを設置し、計15区間で水圧の自動計測が継続されている。したがって、平成7年度の最初に削孔されたKH-23孔の削孔時には、KH-19、KH-20孔内の水圧変化のデータが得られた。

7.4.1 KH-19、20孔内の圧力応答

図-7.4.1および図-7.4.2に、それぞれKH-23削孔時のKH-19孔とKH-20孔内の水圧データを示す。なお、図中には、削孔深度およびKH-23孔内の水圧測定結果（ただし、毎日の削孔終了後から翌朝までの期間以外は、削孔作業のため測定ができないので0となっている）もプロットしてある。

全削孔期間における各観測区間での水圧変化と削孔深度との関係を解析することにより、透水性割れ目の存在位置の特定とその連続性を推定することができる。

7.4.2 KH-19、20孔内の圧力応答から推定される透水割れ目

KH-23孔の削孔時にKH-19、20孔内の水理応答が認められた削孔深度と、コア観察との結果と併せて透水性割れ目を推測し、その特徴に関して説明を行う。

(1)深度11.3～19.3m区間の削孔時

深度11.3～19.3m区間の削孔時には、KH-20孔の区間-7とKH-19孔の区間-7および区間-8に応答が認められた。

図-7.4.3はKH-20孔の区間-7における、削孔に伴う圧力変化の状況を示したグラフである。削孔に伴い、まず14～15mの削孔において微少の圧力の下降が認められ始め、16mの手前で大きく下降している様子がわかる。変化が認められた付近のコア観察の結果、以下の開口割れ目が関与していると推定された。

○深度14.52m、14.61m、14.65mの開口割れ目群

深度14.52mの割れ目は幅2cm程度の白色の弱変質を伴っている。走向傾斜はN64E 80S、充填鉱物幅は5mm程度である。深度14.61mの割れ目は変質を伴わない。走向傾斜はN67W26N、充填鉱物の幅は1mm程度である。深度14.65mの割れ目は幅2.5cm程度のピンク色の中変質を伴っている。走向傾斜はN77E66S、充填鉱物幅は2mm程度である。なお、これらの開口割れ目群は互いに連結しあっていると推定される。

KH-19 (during KH-23 excavation)

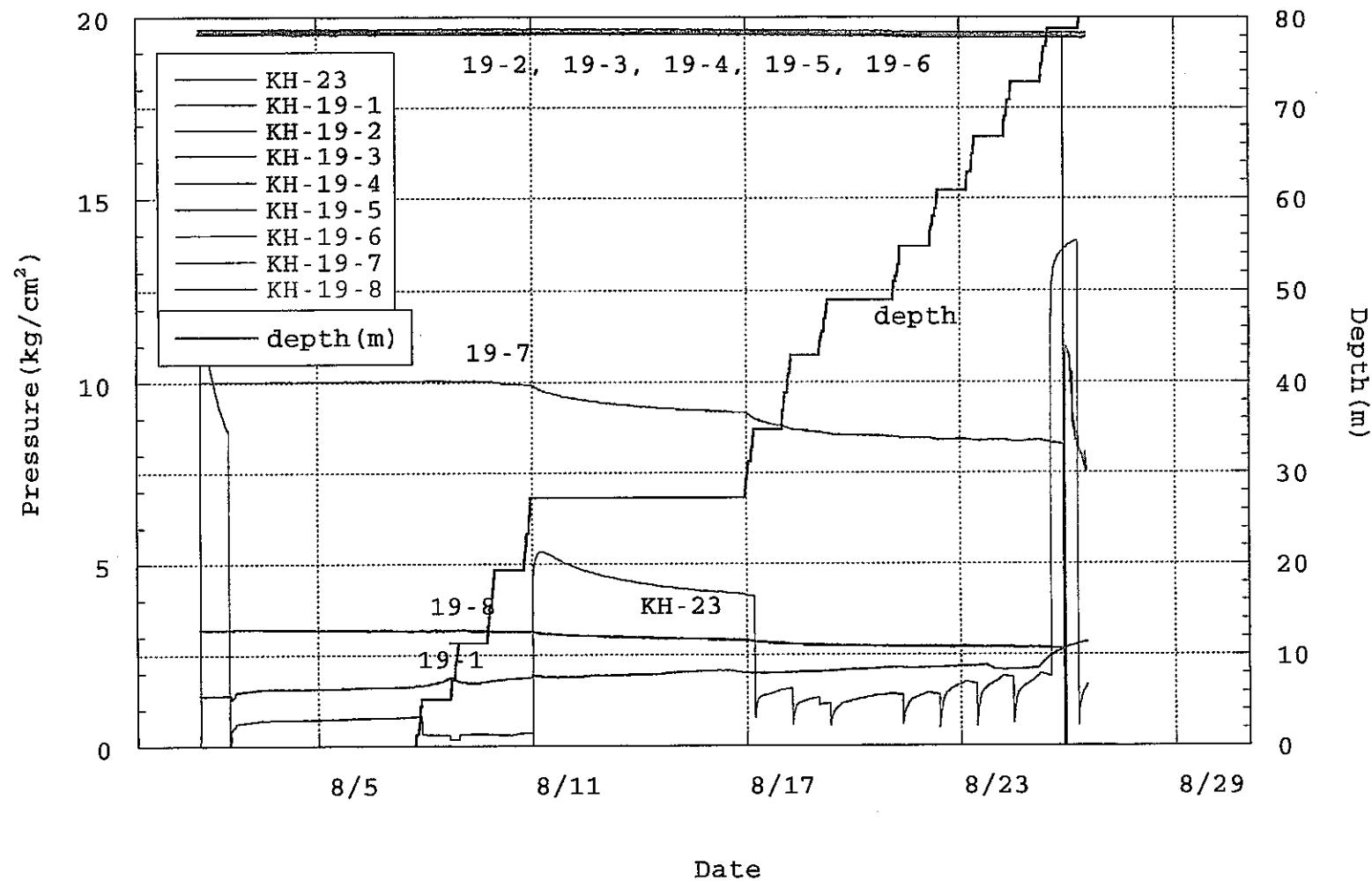


図-7.4.1 KH-23孔削孔時のKH-19孔内の圧力応答

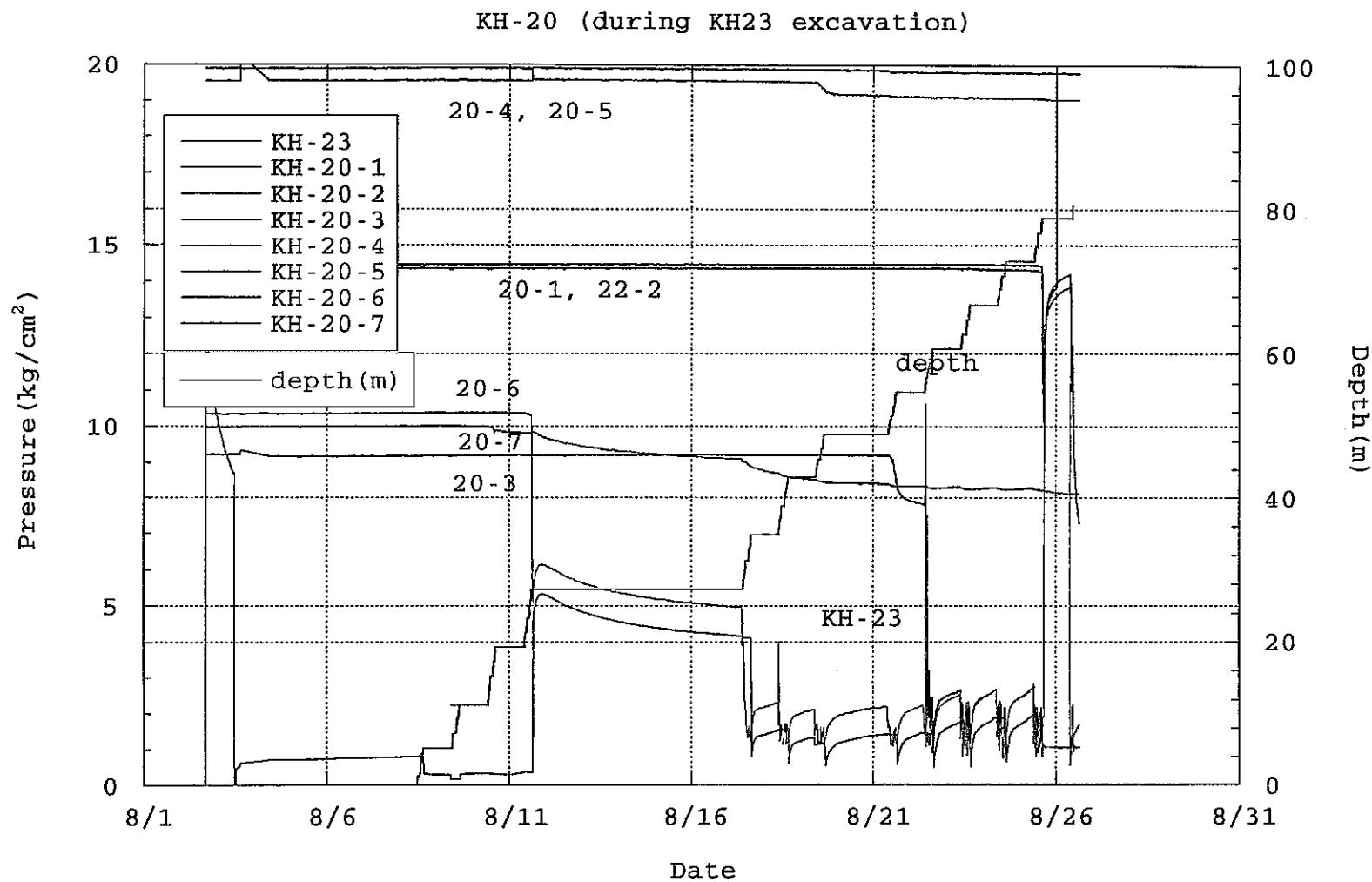


図-7.4.2 KH-23孔削孔時のKH-20孔内の圧力応答

○深度15.80mの開口割れ目

深度15.80mの割れ目は幅4.5cm程度のピンク色変質を伴っている。走向傾斜はN69E89N、充填鉱物幅は6mm程度である。

図-7.4.4と図-7.4.5はそれぞれ、KH-19孔の区間-7と区間-8における、削孔に伴う間隙水圧変化の状況を示したグラフである。微少変化を拡大図のためノイズが存在しているが、14～16mの削孔区間において間隙水圧が下降していることがわかる。

変化が認められた削孔深度は、KH-20孔の区間-7の場合とほぼ一致する。これより、前述した深度14.52m、14.61m、14.65mの開口割れ目群と深度15.80mの開口割れ目により、これらの間隙水圧の変化も引き起こされたと推定される。

(2)深度19.3～27.3m区間の削孔時

19.3～27.3m区間の削孔時には、KH-20孔の区間-6に応答が認められた。

図-7.4.6はKH-20孔の区間-6における間隙水圧変化の状況を示したグラフである。削孔開始より2m進みボーリングロッドを引き抜いた時点より、間隙水圧が下降しているように捉えられる。また、27mの前後では一度間隙水圧が上昇した後に急激に降下している。コア観察の結果より以下の開口割れ目が間隙水圧の変化に関与していることが推定される。

○深度20.13mと深度20.44mの開口割れ目

深度20.13mの割れ目は幅3cm程度のピンク色の中変質を伴っている。走向傾斜はN83E65N、充填鉱物幅は5mm程度である。深度20.44mの開口割れ目は幅2cm程度のピンク色の弱変質を伴っている。走向傾斜はN76E75Nで、充填鉱物幅は2mm程度である。

○深度26.84mの開口割れ目

深度26.84mの開口割れ目は幅2cm程度のピンク色の中変質を伴っている。走向傾斜はN75E86N、充填鉱物幅は11mm程度である。

なお、KH-19孔の区間-7と区間-8において、削孔が終了しロッドの引抜き作業を実施している時点より間隙水圧の低下が認められる。図-7.4.7と図-7.4.8に変化の状況を示すがこれも深度26.84mの割れ目による影響によるものと推定される、

(3)深度42.9～48.9m区間の削孔時

深度42.9～48.9m区間の削孔時には、KH-20孔の区間-5に応答が認められた。

図-7.4.9はKH-20孔の区間-5における間隙水圧変化の状況を示したグラフである。44m

の後半付近より間隙水圧が下降している様子がわかる。コア観察の結果より、以下の開口割れ目が間隙水圧の変化に関与したと推定された。

○深度44.89mと44.91mの開口割れ目

深度44.89mの開口割れ目は幅2.5cm以上の緑色の強変質を伴っている。走向傾斜はN86E61S、充填鉱物幅は2mm程度である。また深度44.91mの開口割れ目は幅1cm以上の緑色の強変質を伴っている。走向傾斜はEW71S、充填鉱物幅は破碎しており不明である。なお両割れ目の存在する付近のコアは数cm程度にわたり破碎している。

(4)深度48.9～54.74m区間の削孔時

深度48.9～54.74m区間の削孔時には、KH-20孔の区間-3に応答が認められた。

図-7.4.10はKH-20孔の区間-3における間隙水圧変化の状況を示したグラフである。図より50mの後半と52m付近で間隙水圧が変化していることが解る。コア観察の結果より、以下の開口割れ目が間隙水圧の変化に関与していると推定される。

○深度50.67mの開口割れ目

深度50.67mの開口割れ目は幅2.5cmの褐色の弱変質を伴っている。走向傾斜はN75W78Nで条線が認められる。充填鉱物幅は9mm程度である。

○深度52.26mと52.32mの開口割れ目

深度52.26mの開口割れ目は幅2.2cm以上のピンク色の強変質を伴っている。走向傾斜はN62E62N、充填鉱物幅は6mm以上である。深度52.32mの開口割れ目は幅3.5cm以上のピンク色の強変質を伴っている。走向傾斜はN61E67N、充填鉱物幅は破碎しているため不明である。なお、両割れ目の存在する付近のコアは数cm程度にわたり破碎している。

(5)深度72.8～78.8m区間の削孔時

深度72.8～78.8m区間の削孔時には、KH-20孔の区間-1と区間-2に応答が認められた。

図-7.4.11はKH-20孔の区間-1と区間-2における間隙水圧変化の状況を示したグラフである。図より両区間とも、76mの前半程度より微少な変化をし始め、78mを若干越えた付近で大きく下降していることが解る。コア観察の結果より、以下の開口割れ目が間隙水圧の変化に関与していると推定される。

○深度76.12m、76.31m、76.43mの割れ目

深度76.12mの割れ目は幅1.2cm程度の微弱変質を伴っている。走向傾斜はN51W70NE

で条線を伴っている。充填鉱物幅は、0.8mm程度である。深度76.31mの割れ目は幅3cm程度のピンク色の中変質を伴っている。走向傾斜はN79E70Nで条線を伴っている。充填鉱物幅は11mm程度である。深度76.43mの割れ目は幅0.5cm程度のピンク色の微弱変質を伴っている。走向傾斜はN72W70Nで条線を伴っている。充填鉱物幅は2mm程度である。

○深度78.21mの割れ目

深度78.21mの割れ目は幅1.4cm以上の幅のピンク色の弱変質を伴っている。走向傾斜はN85E85S、充填鉱物幅は0.3mm程度である。

7.4.3 まとめ

間隙水圧の変化が認められた割れ目と応答が認められた区間をまとめると表-7.4.1の様になる。また図-7.4.12に、KH-23削孔時に圧力応答が見られた経路を示す。

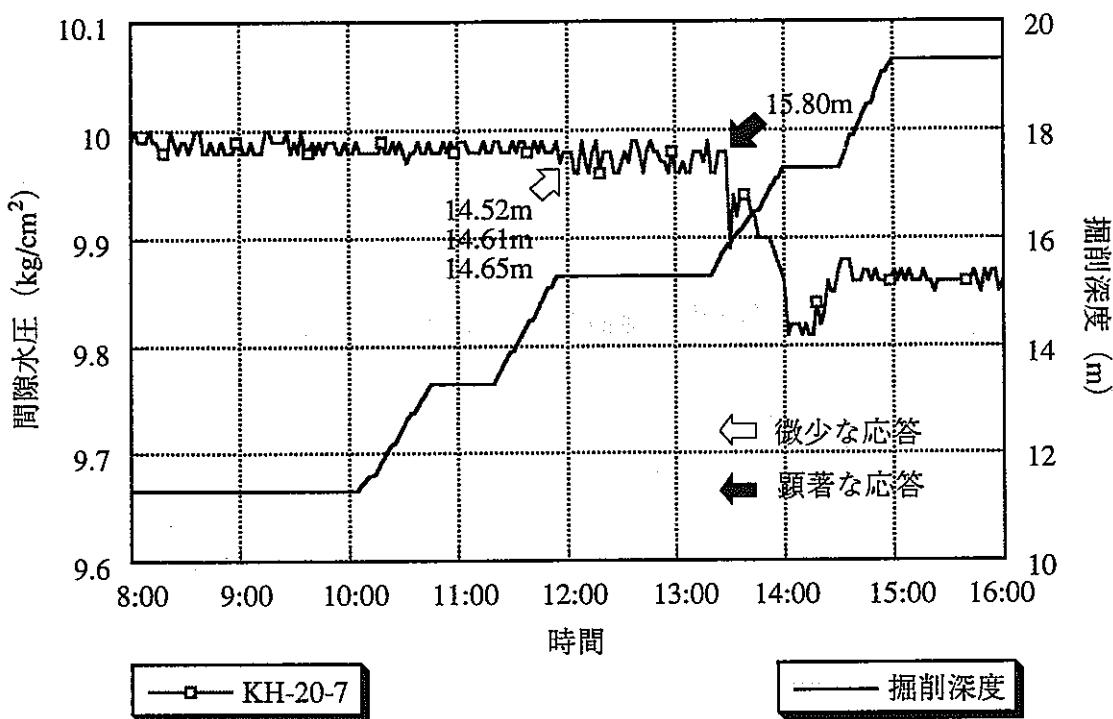


図-7.4.3 KH-20孔の区間-7における圧力変化（深度11.3～19.3m区間の削孔時）

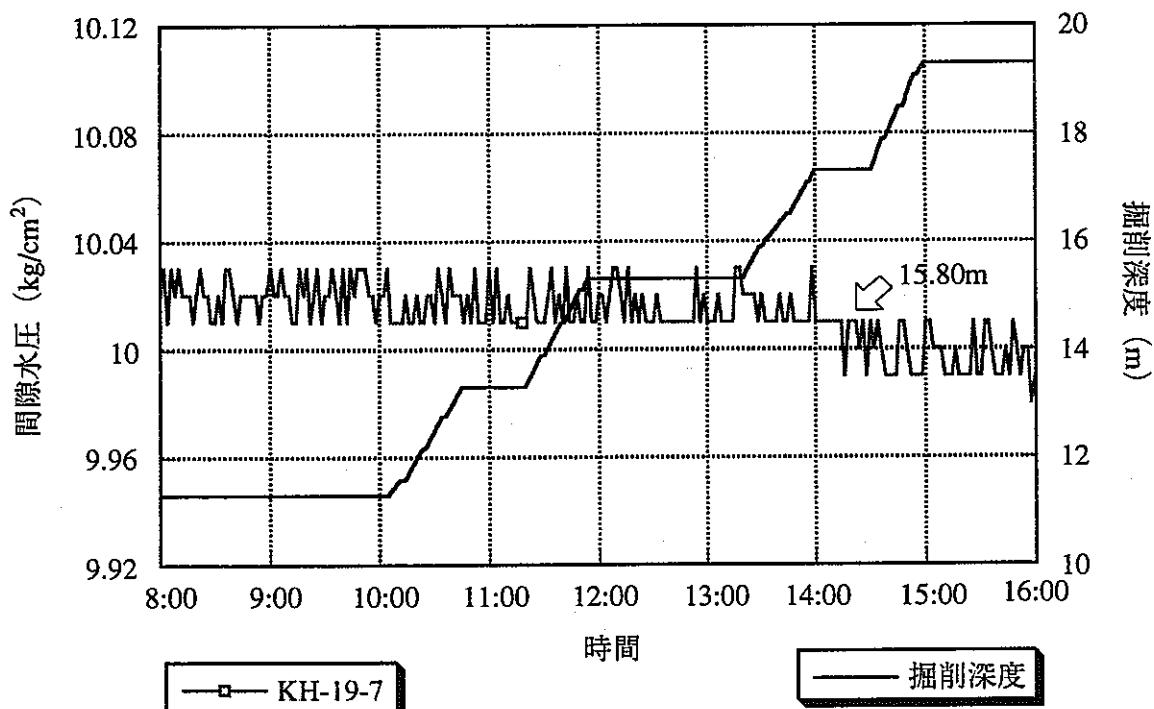


図-7.4.4 KH-19孔の区間-7における圧力変化（深度11.3～19.3m区間の削孔時）

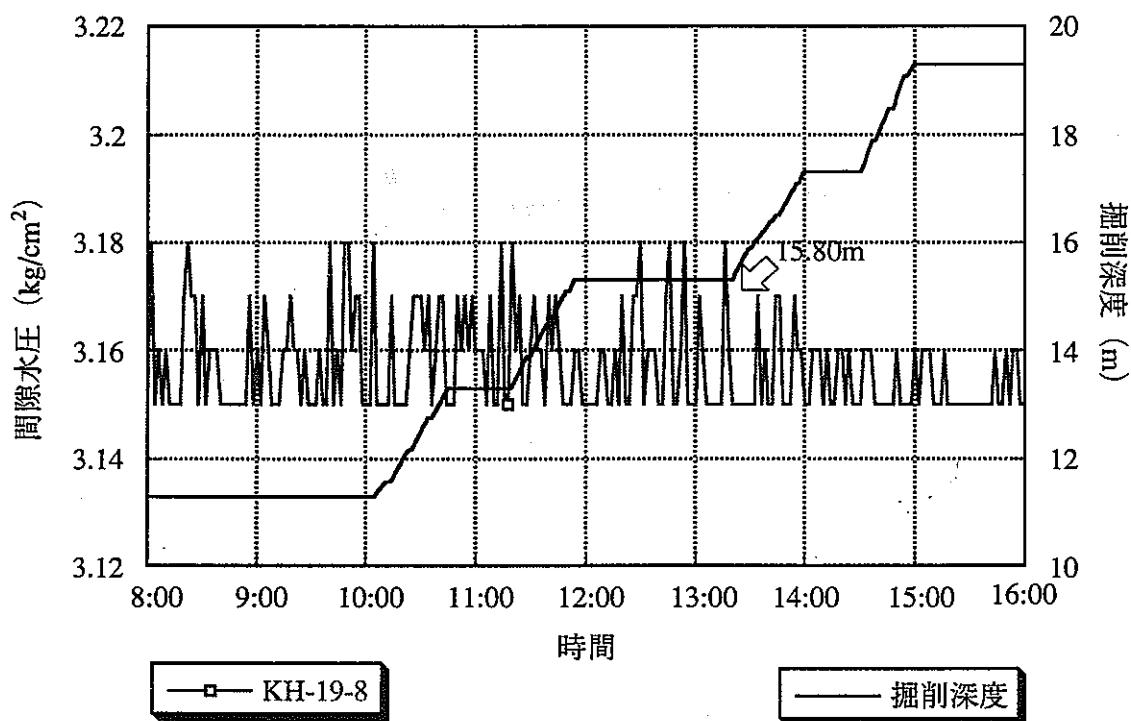


図-7.4.5 KH-19孔の区間-8における圧力変化（深度11.3～19.3m区間の削孔時）

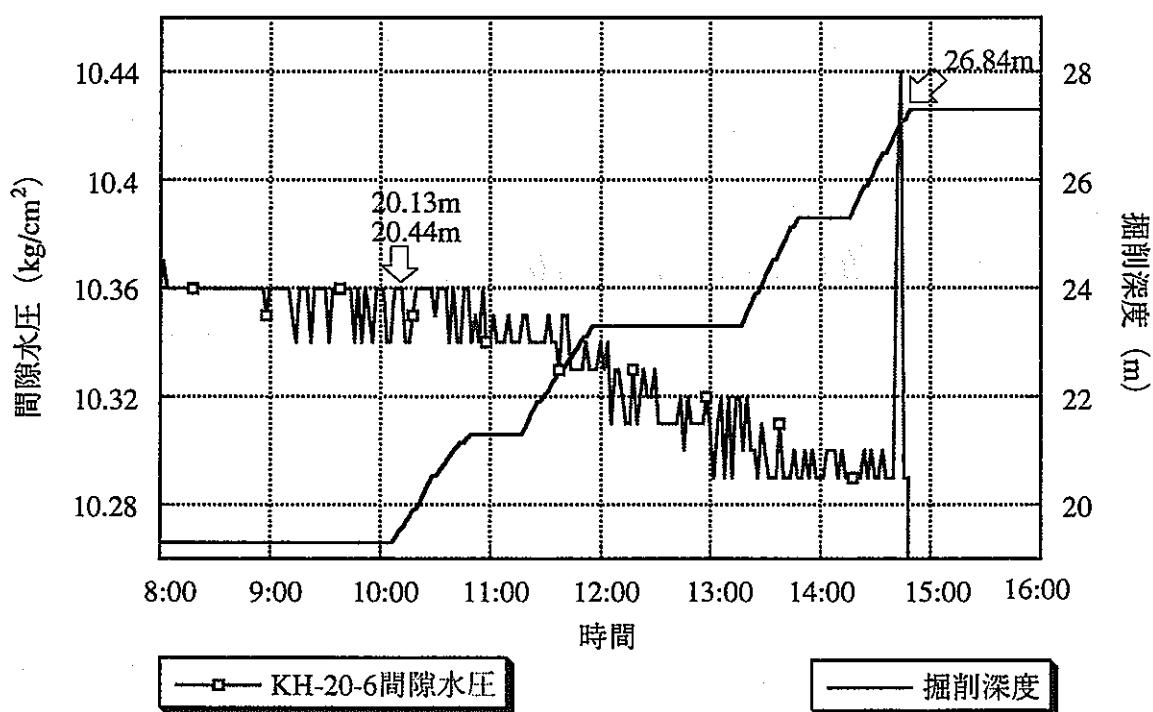


図-7.4.6 KH-20孔の区間-6における圧力変化（深度19.3～27.3m区間の削孔時）

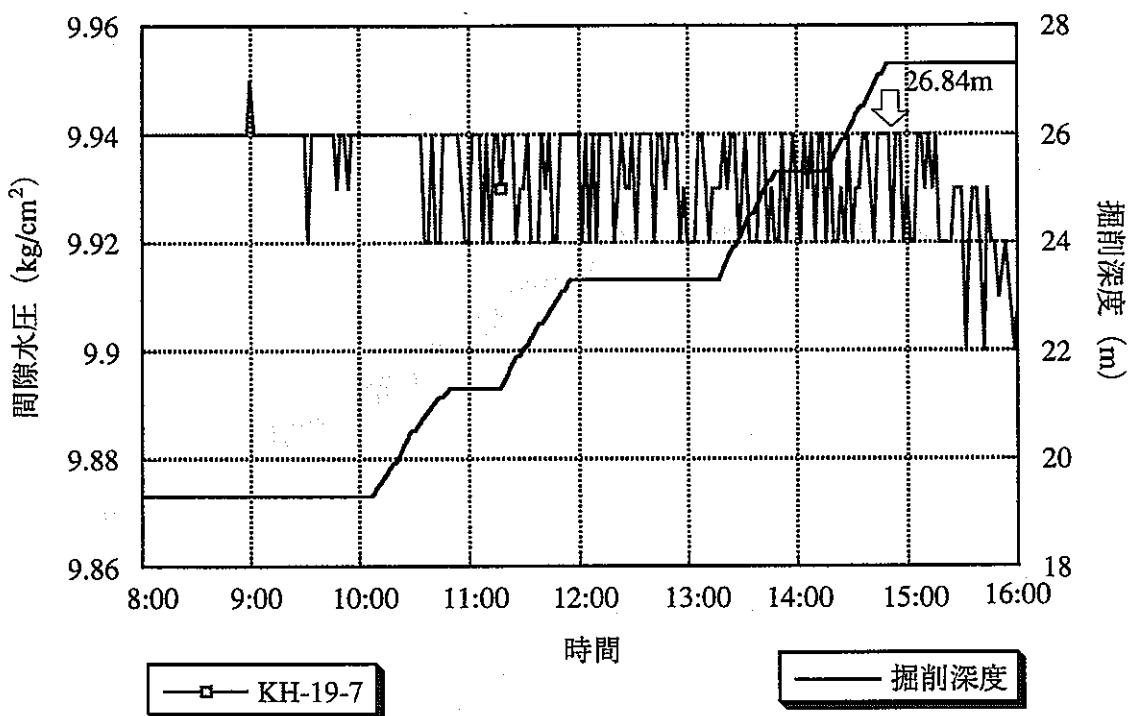


図-7.4.7 KH-19孔の区間-7における圧力変化（深度19.3～27.3m区間の削孔時）

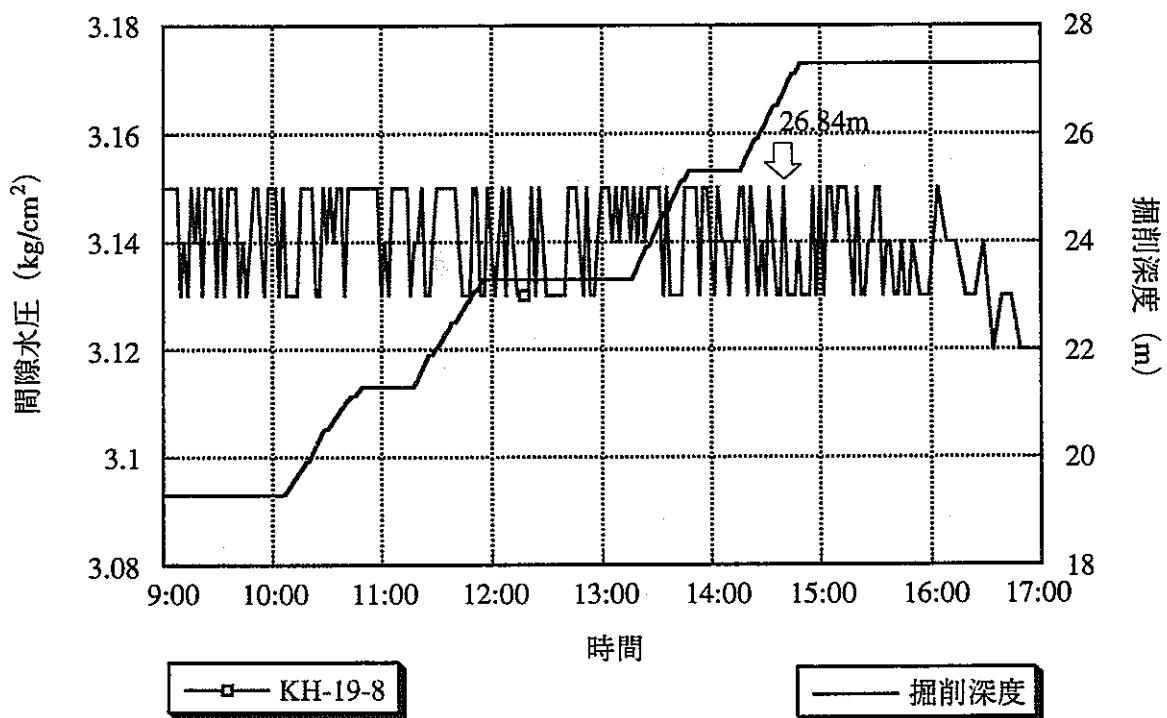


図-7.4.8 KH-19孔の区間-8における圧力変化（深度19.3～27.3m区間の削孔時）

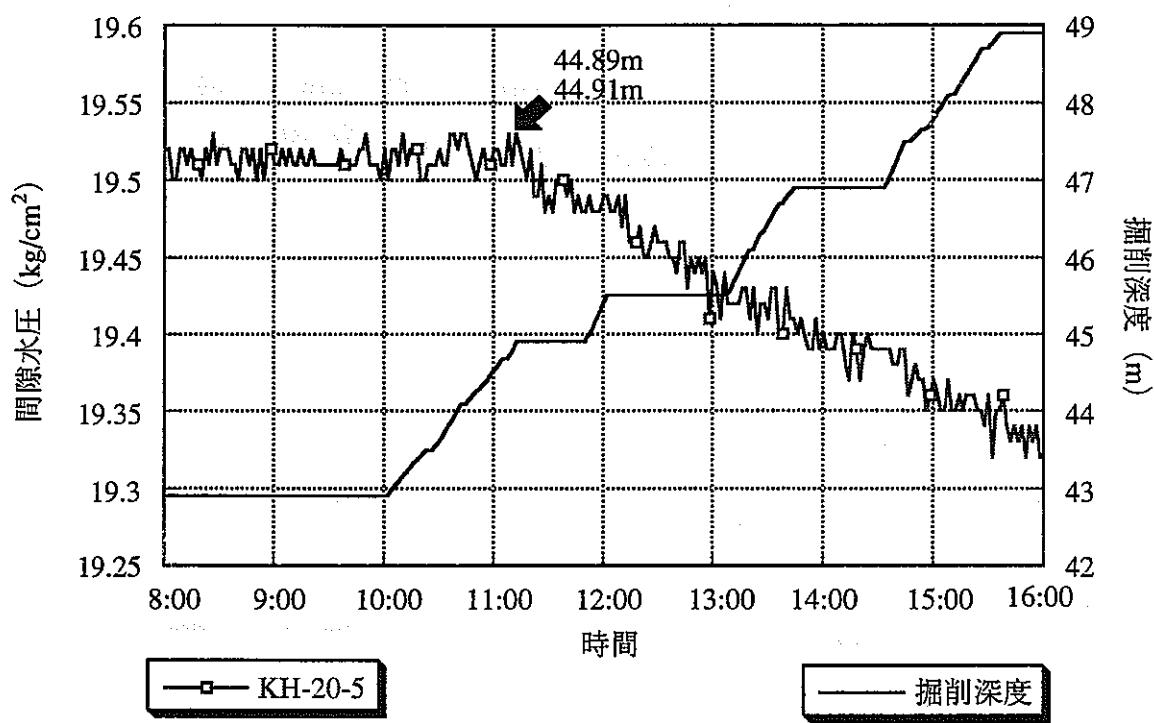


図-7.4.9 KH-20孔の区間-5における圧力変化（深度42.9～48.9m区間の削孔時）

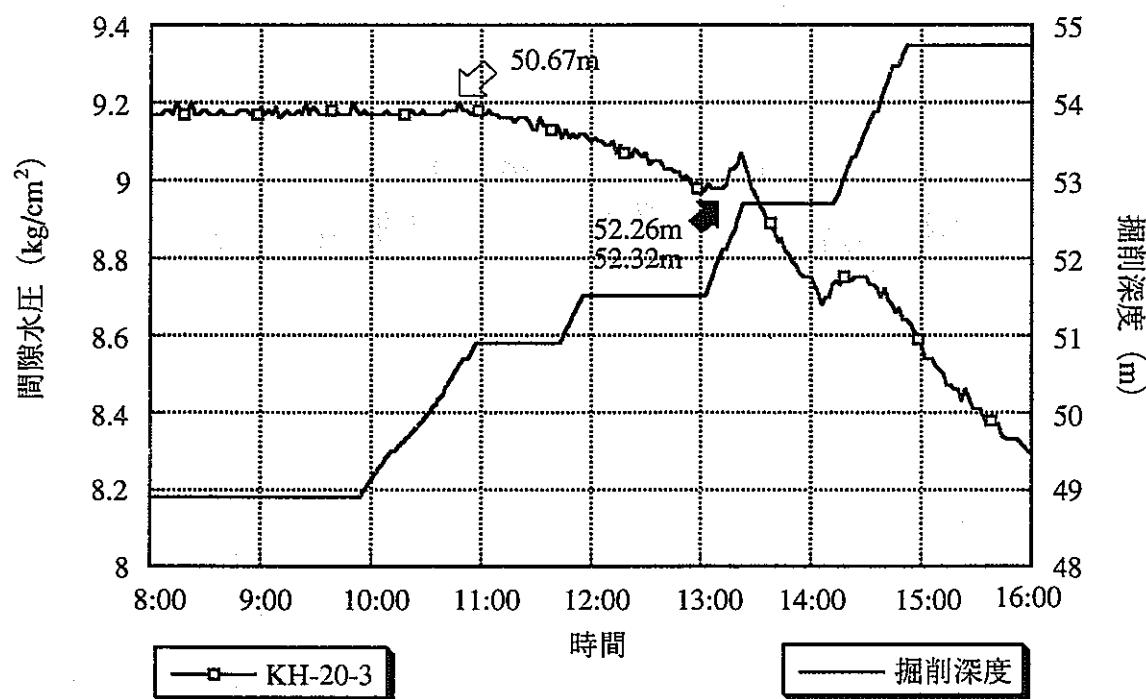


図-7.4.10 KH-20孔の区間-3における圧力変化（深度48.9～54.74m区間の削孔時）

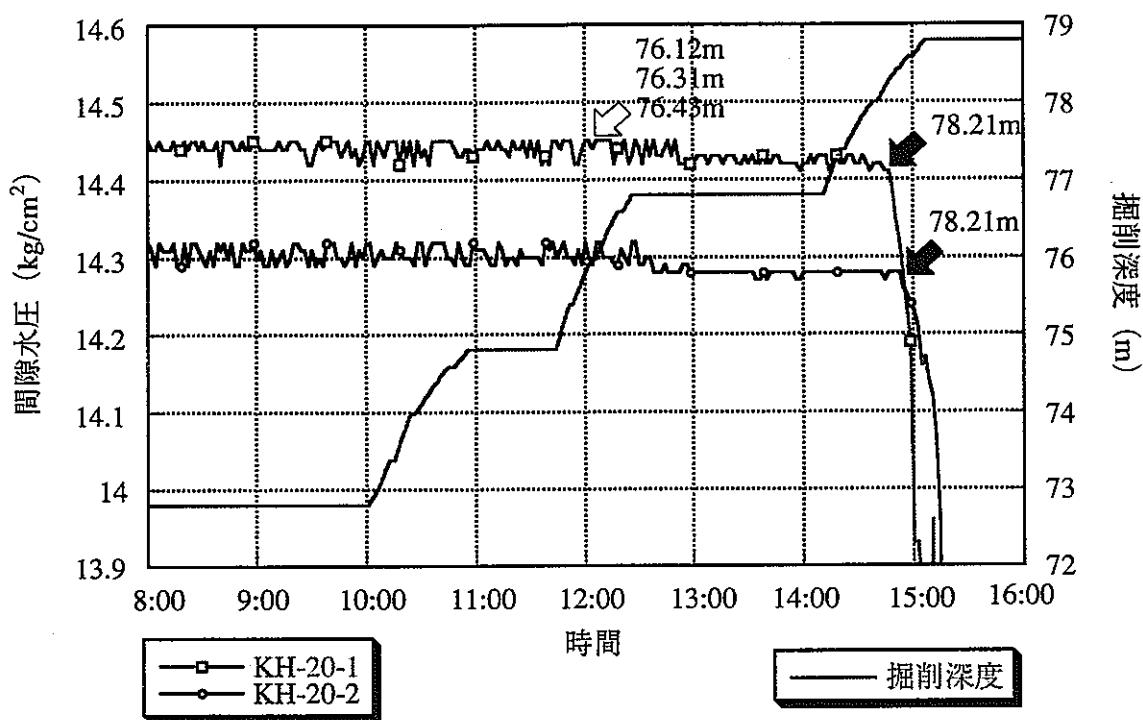


図-7.4.11 KH-20孔の区間-1と区間-2における圧力変化
(深度72.8～78.8m区間の削孔時)

表-7.4.1 KH-23孔における透水性割れ目位置と圧力応答区間一覧表

孔名	KH-23孔 透水割れ目 位置(m)	14.52	14.61	14.65	15.80	20.13	20.44	26.84	44.89	44.91	50.67	52.26	52.32	76.12	76.31	76.43	78.21
KH-19	区間-1																
	区間-2																
	区間-3																
	区間-4																
	区間-5																
	区間-6																
	区間-7	*		*					*								
	区間-8	*		*					*								
KH-20	区間-1														◎		
	区間-2														◎		
	区間-3													○			
	区間-4																
	区間-5										○						
	区間-6						*		○								
	区間-7	*		△													

- ◎ 1kg/cm²以上
- 0.2~1kg/cm²
- △ 0.1~0.2kg/cm²
- * 0.1kg/cm²以下

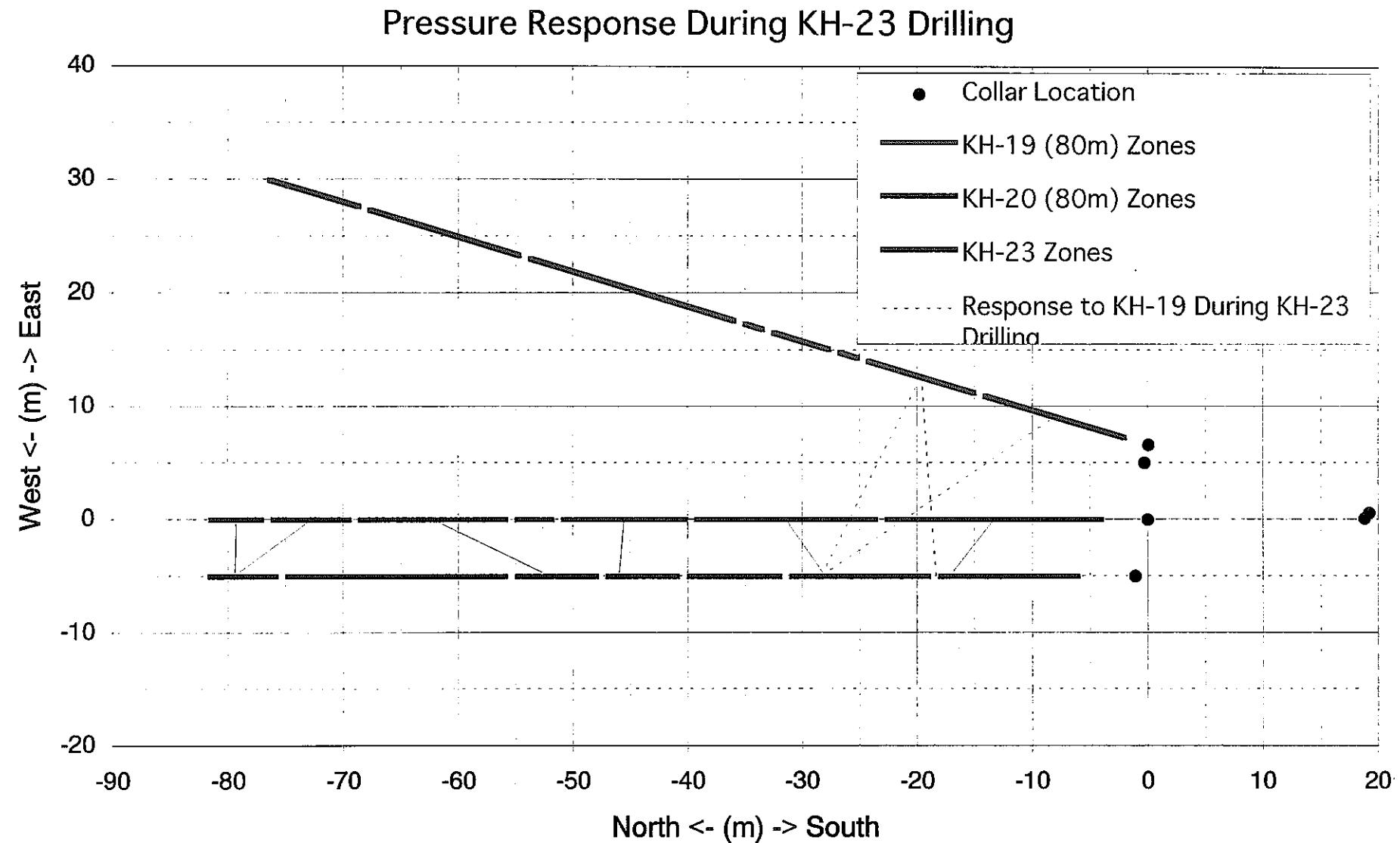


図-7.4.12 KH-23孔の削孔時に圧力応答が認められた経路

7.5 KH-21孔削孔時の圧力応答測定

KH-23孔の削孔終了後、同孔中に7本のパッカーを設置し、水圧測定を開始した。すなわち、KH-21孔時には、KH-19、KH-20およびKH-23孔内の水圧変化のデータが得られた。

7.5.1 KH-19、20、23孔内の圧力応答

図-7.5.1、図-7.5.2および図-7.5.3に、それぞれKH-21削孔時のKH-19孔、20孔および23孔内の水圧データを示す。なお、図中には、削孔深度およびKH-21孔内の水圧測定結果（ただし、毎日の削孔終了後から翌朝までの期間以外は、削孔作業のため測定ができないので0となっている）もプロットしてある。

全削孔期間における各観測区間での水圧変化と削孔深度との関係を解析することにより、透水性割れ目の存在位置の特定とその連続性を推定することができる。

7.5.2 KH-19、20、23孔の水理応答から推定される透水割れ目

KH-21孔の削孔時にKH-19、20、23孔内の水理応答が認められた削孔深度と、コア観察との結果と併せて透水性割れ目を推測し、その特徴に関して説明を行う。

(1) 深度11.09～17.01m区間の削孔時

深度11.09～17.01m区間の削孔時には、KH-19孔の区間-7と区間-8およびKH-20孔の区間-7に応答が認められた。

図-7.5.4と図-7.5.5はKH-19孔の区間-7と区間-8およびKH-20孔の区間-7における、削孔に伴う圧力変化の状況を示したグラフである。コア観察の結果より、以下の開口割れ目が圧力応答に関与していると推定された。

○深度13.80mの開口割れ目

深度13.80mの割れ目は、幅15cm程度のオレンジ色の強変質を伴っている。走向傾斜はN65E67N、充填鉱物幅は10mm程度である。

(2) 深度17.01～23.09m区間の削孔時

図-7.5.6はKH-19孔の区間-7と区間-8およびKH-20孔の区間-7における、削孔に伴う圧力変化の状況を示したグラフである。コア観察の結果より、以下の開口割れ目が圧力応答に関与していると推定された。

○深度18.86mと18.89mの割れ目

両割れ目とも閉鎖割れ目であるが、18.83m付近に破碎部が存在していること、および他に開口割れ目が存在していないことより、コアでは閉鎖しているが近接部で開口していると推定される。

深度18.86mの割れ目は、幅3cm程度のオレンジ色の中変質を伴っている。走向傾斜はN77E63N、充填鉱物幅は8mm程度である。深度18.89mの割れ目は、幅3cm程度のオレンジ色の中変質を伴っている。走向傾斜はN85E61N、充填鉱物幅は10mm程度である。

図-7.5.7はKH-19孔の区間-2、3、4、5、6およびKH-20孔の区間-4、5における、削孔に伴う圧力変化の状況を示したグラフである。

コア観察の結果より、以下の開口割れ目が圧力応答に関与していると推定された。

○深度21.06mの開口割れ目

深度21.06mの割れ目は幅2cm程度の褐色の中変質を伴っている。走向傾斜はN60E68Nで条線を伴う。充填鉱物幅は8mm程度である。

(3)深度39.09～47.09m区間の削孔時

深度39.09～47.09m区間の削孔時には、まず41m付近でKH-23孔の区間-4とに応答が認められ、また45.5m付近では既に圧力低下が認められているKH-19孔の区間-2、3、4、5、6およびKH-20孔の区間-4、5に更に大きな圧力の変化が認められた。

図-7.5.8はKH-23孔の区間-4における削孔に伴う圧力変化の状況を示したグラフである。コア観察の結果より、以下の開口割れ目が圧力応答に関与していると推定される。

○深度41.15mの開口割れ目

深度41.15mの割れ目は幅3cm程度のオレンジ色の強変質を伴っている。走向傾斜はN85E76S、充填鉱物幅は6mm程度である。

図-7.5.9はKH-19孔の区間-2、3、4、5、6およびKH-20孔の区間-4、5における、削孔に伴う圧力変化の状況を示したグラフである。コア観察の結果より、以下の開口割れ目が圧

力応答に関与していると推定される。

○深度45.43mと45.51mの開口割れ目

深度45.43mの割れ目は幅1.5cm程度の白色の弱変質を伴っている。走向傾斜はN82E76S、充填鉱物幅は5mm程度である。深度45.51mの割れ目は幅4cm以上の灰色の全體変質を伴っている。走向傾斜はN86E88Sで条線を伴う。充填鉱物幅は0.5mm程度である。なお、両割れ目の間の深度45.47mには、晶洞を伴う割れ目が存在している。この割れ目は幅6cm以上の灰色の全體変質を伴っており、走向傾斜N85E77N、充填鉱物幅10mm程度である。

(4)深度66.09～74.09m区間の削孔時

深度66.09～74.09m区間の削孔時には、まず66m付近でKH-20孔の区間-3とKH-23孔の区間-2に応答が認められた。また71m越えた時点でKH-20孔の区間-1と区間-2および、KH-23孔の区間-1において応答が認められた。

図-7.5.10は、KH-20孔の区間-3とKH-23孔の区間-2における、削孔に伴う圧力圧力変化の状況を示したグラフである。コア観察の結果より以下の開口割れ目が圧力応答に関与していると推定される。

○深度66.22mの開口割れ目

深度66.22mの割れ目は幅28cm程度のオレンジ色の強変質を伴っている。走向傾斜はN73E78N、充填鉱物幅は10mm程度である。

図-7.5.11は、KH-20孔の区間-1と区間-2および、KH-23孔の区間-1における、削孔に伴う圧力変化の様子を示したグラフである。コア観察の結果より以下の開口割れ目が圧力応答に関与したと推定される。

○深度71.34mの割れ目

深度71.34mの割れ目は幅6cm程度の赤色の強変質を伴っている。走向傾斜はN72E86Nで、晶洞が認められる。充填鉱物幅は20mm程度である。

7.5.3 まとめ

間隙水圧の変化が認められた割れ目と応答が認められた区間をまとめると表-7.5.1の様になる。また図-7.5.12に、KH-23削孔時に圧力応答が見られた経路を示す。

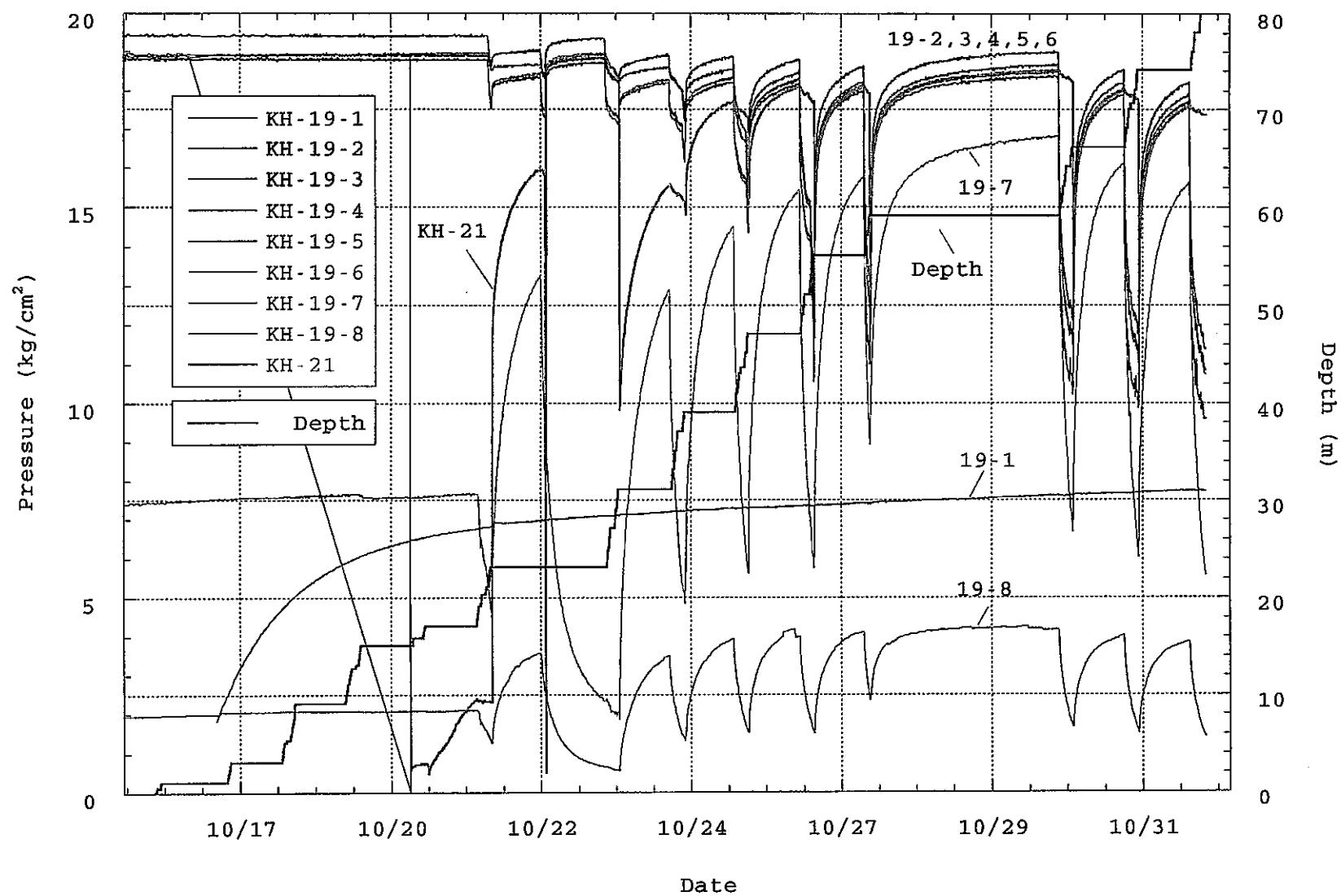


図-7.5.1 KH-21孔削孔時のKH-19孔内の圧力応答

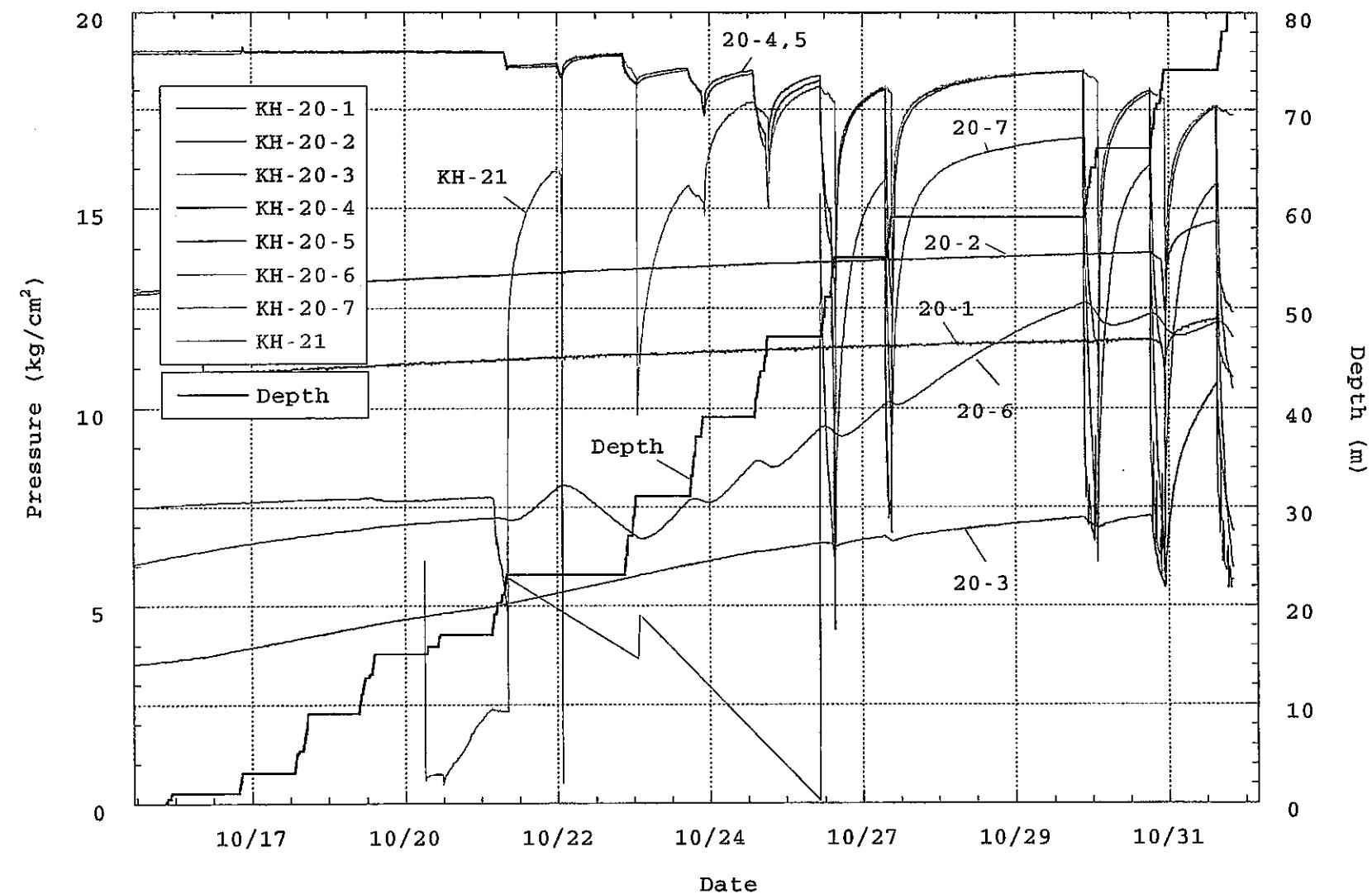


図-7.5.2 KH-21孔削孔時のKH-20孔内の圧力応答

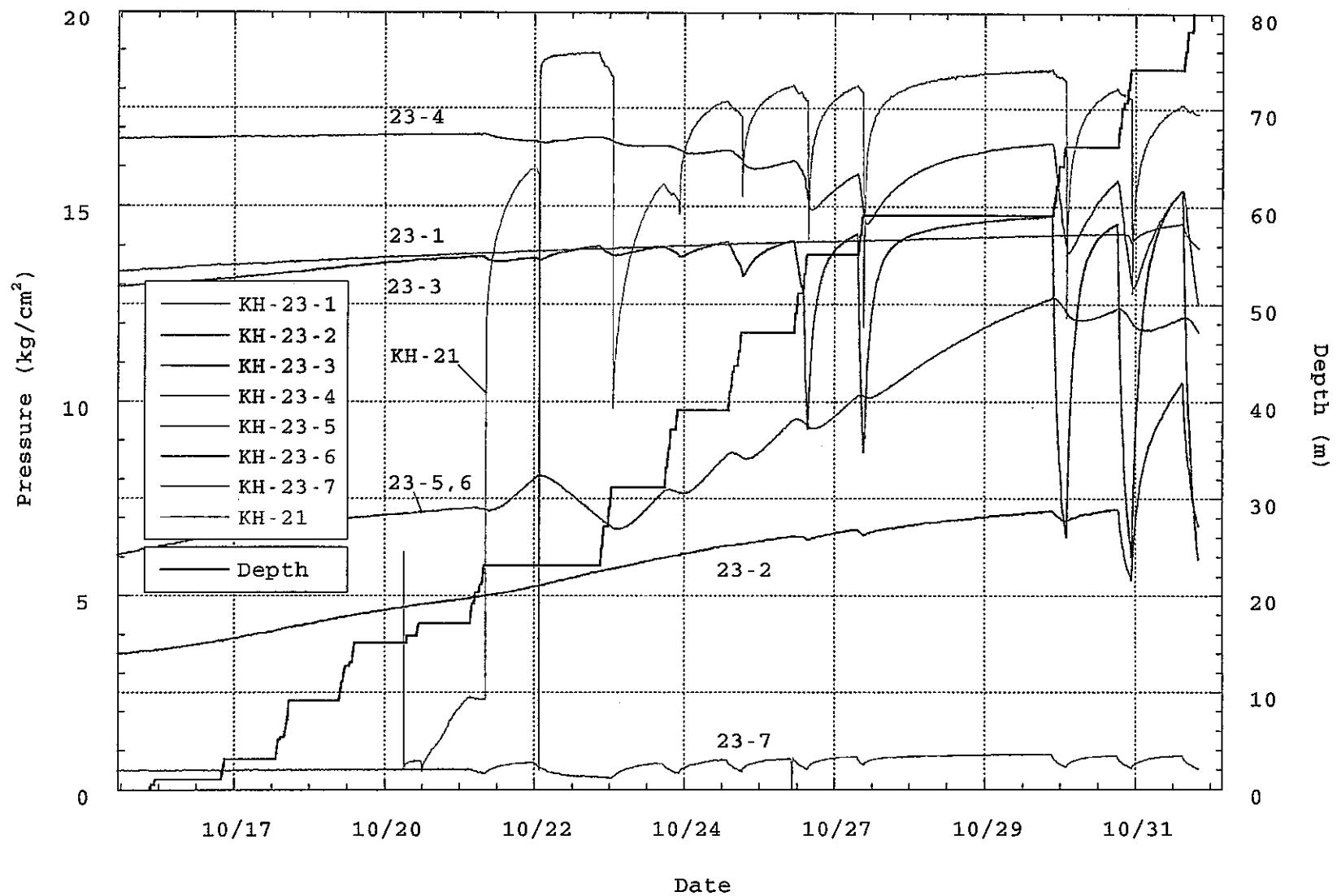


図-7.5.3 KH-21孔削孔時のKH-23孔内の圧力応答

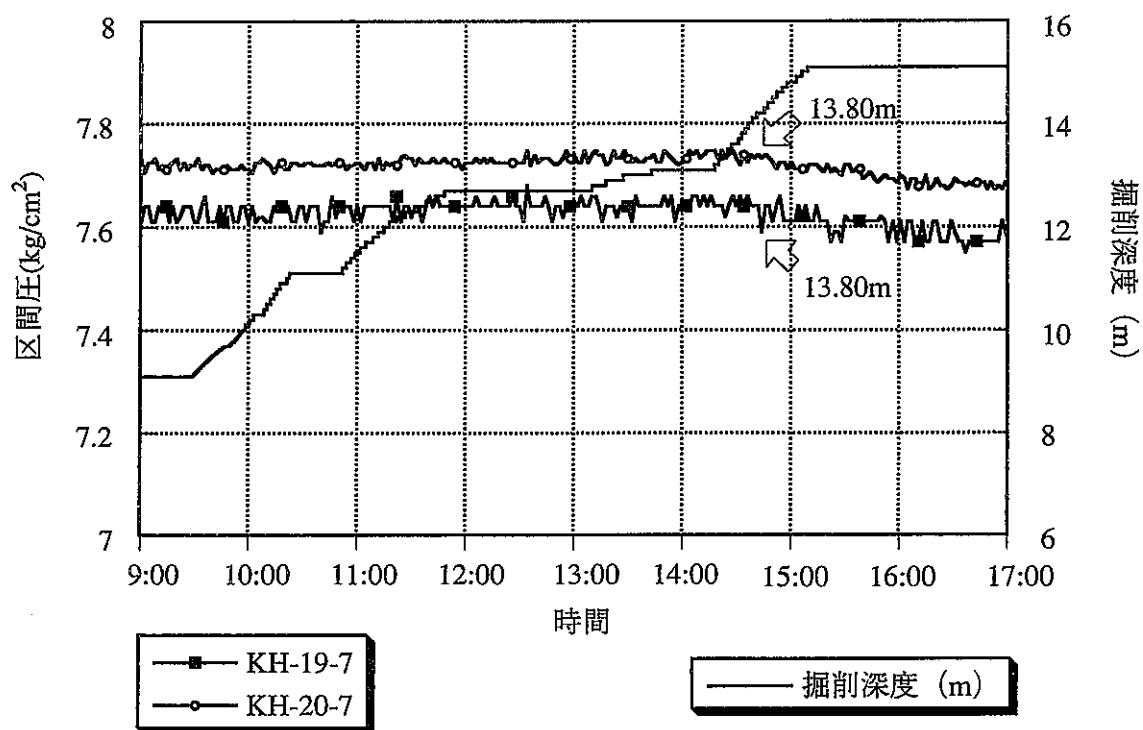


図-7.5.4 KH-19孔の区間-7とKH-20孔の区間-7における圧力変化
(深度11.09～17.01m区間の削孔時)

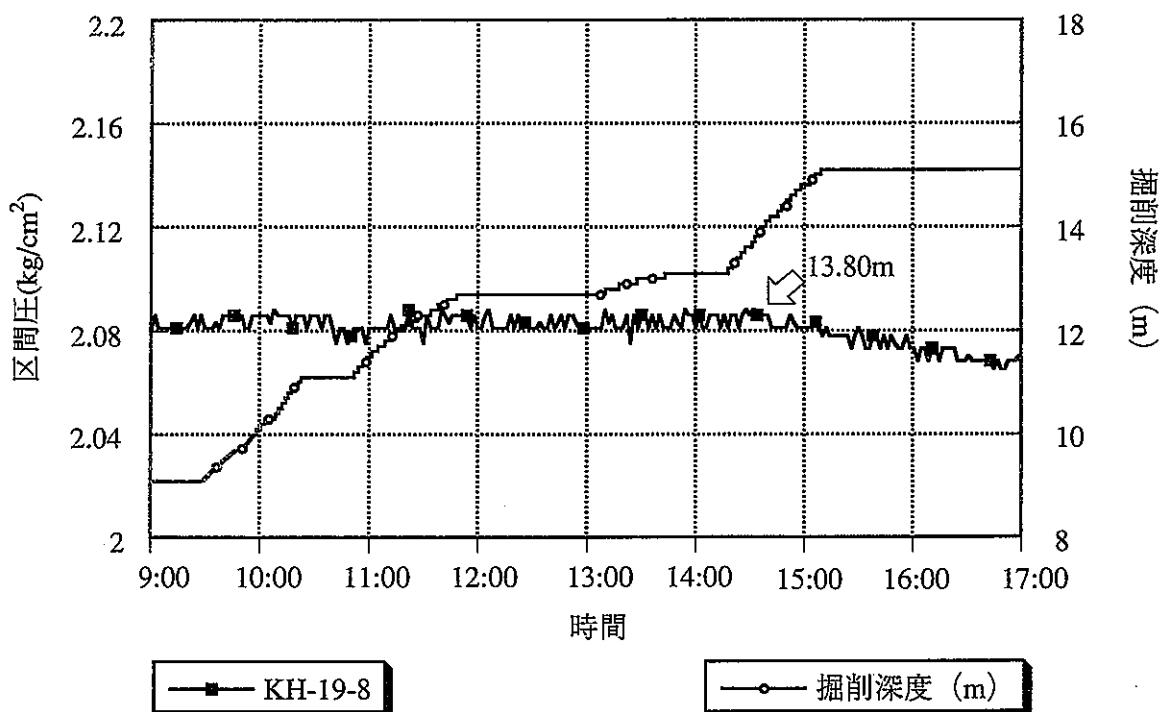


図-7.5.5 KH-19孔の区間-8における圧力変化 (深度11.09～17.01m区間の削孔時)

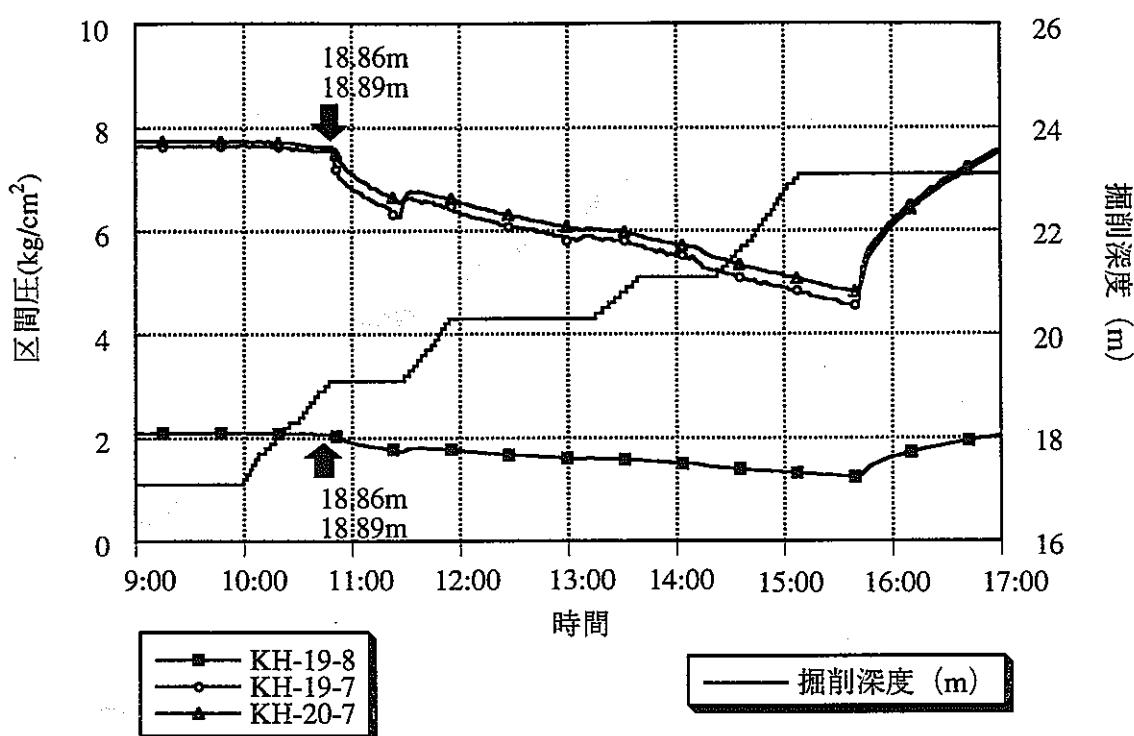


図-7.5.6 KH-19孔の区間-7、8およびKH-20孔の区間-7における圧力変化
(深度17.01～23.09m区間の削孔時)

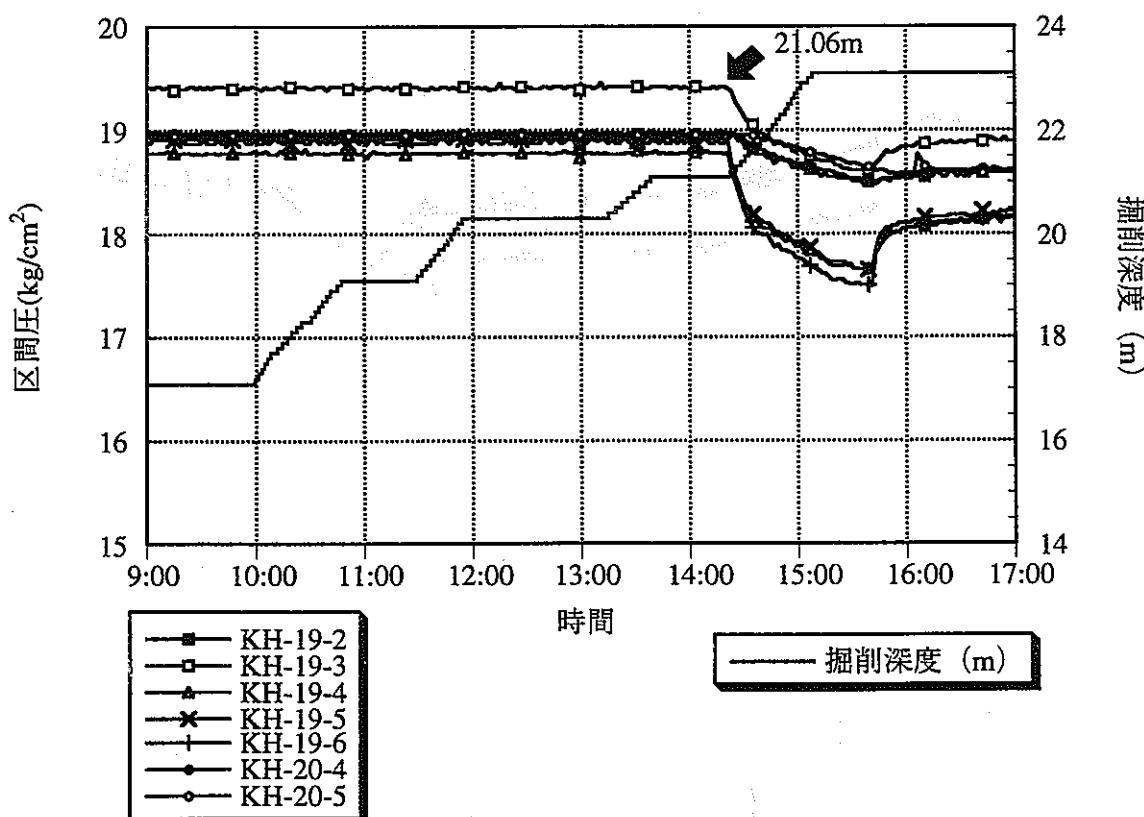


図-7.5.7 KH-19孔の区間-2, 3, 4, 5, 6およびKH-20孔の区間-4, 5における圧力変化
(深度17.01～23.09m区間の削孔時)

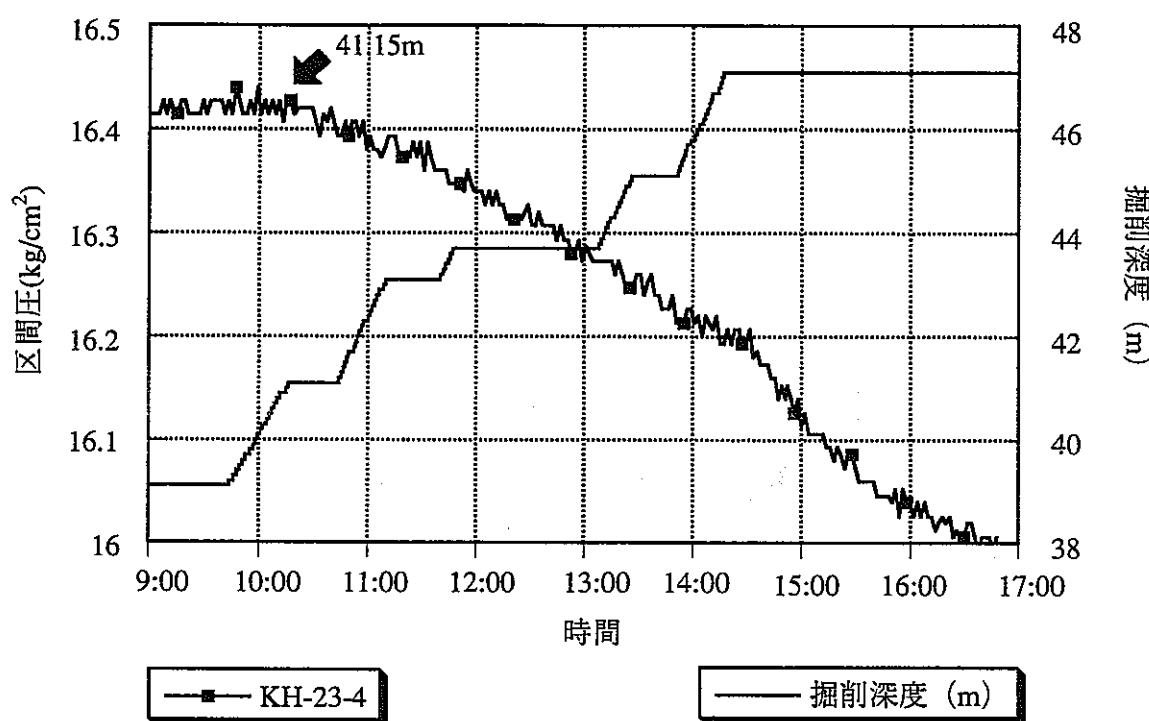


図-7.5.8 KH-23孔の区間-4における圧力変化
(深度39.09～47.09m区間の削孔時)

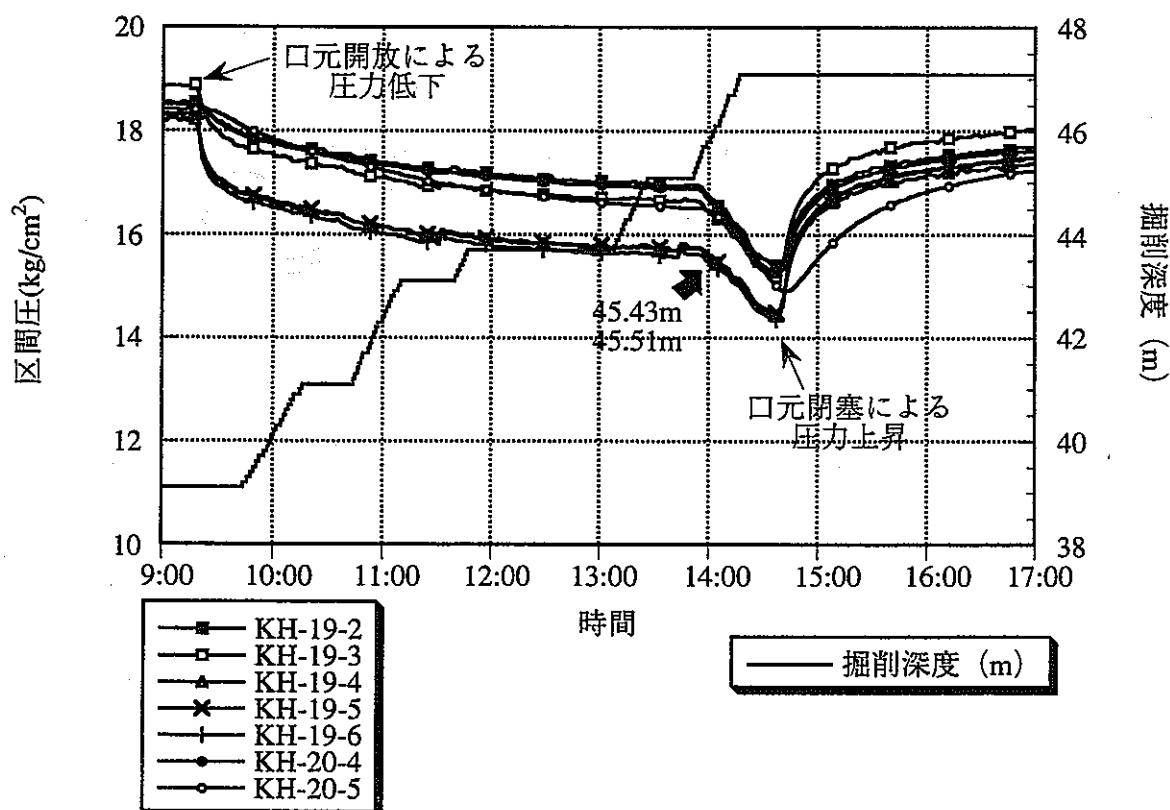


図-7.5.9 KH-19孔の区間-2, 3, 4, 5, 6およびKH-20孔の区間-4, 5における圧力変化
(深度39.09～47.09m区間の削孔時)

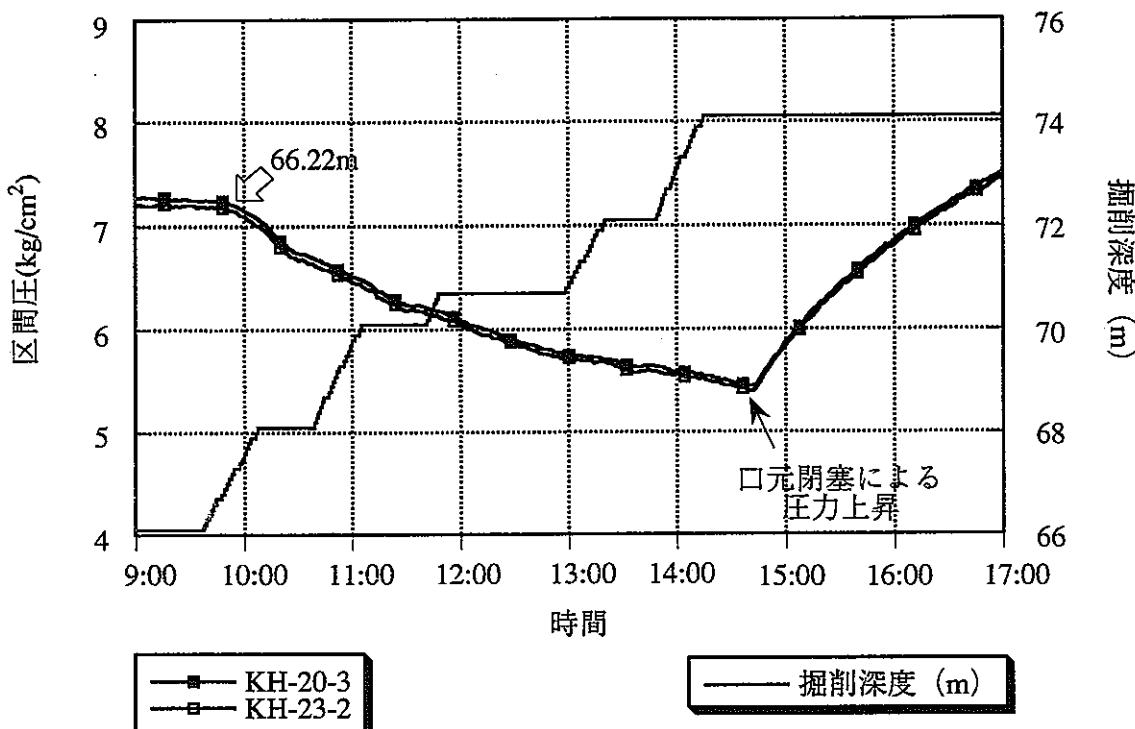


図-7.5.10 KH-20孔の区間-3とKH-23孔の区間-2における圧力変化
(深度66.09～74.09m区間の削孔時)

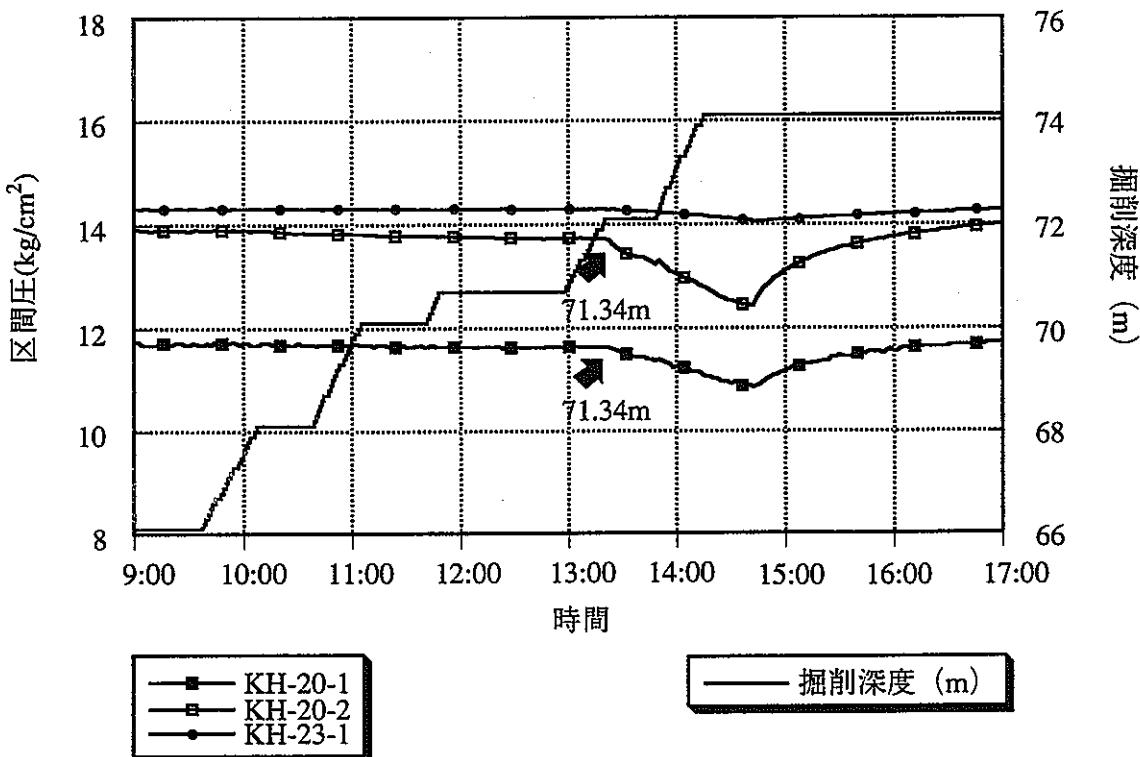


図-7.5.11 KH-20孔の区間-1, 2およびKH-23孔の区間-1における圧力変化
(深度66.09～74.09m区間の削孔時)

表-7.5.1 KH-21孔における透水性割れ目位置と圧力応答区間一覧表

孔名	KH-21孔 透水割れ目 位置(m)	13.80	18.86 18.89	21.06	37.60	41.15	45.43 45.47 45.51	51.56	52.78	54.14	66.22	71.34
KH-19	区間-1											
	区間-2			○			○		○	○		
	区間-3			○			○		○	○		
	区間-4			○			○		○	○		
	区間-5			○			○		○	○		
	区間-6			○			○		○	○		
	区間-7	*	○									
	区間-8	*	○									
KH-20	区間-1											○
	区間-2											○
	区間-3								*		○	
	区間-4			○			○		○	○		
	区間-5			○			○		○	○		
	区間-6											
	区間-7	*	○									
KH-23	区間-1											○
	区間-2								*		○	
	区間-3		*		*		○	○				
	区間-4					○		○				
	区間-5		*									
	区間-6		*									
	区間-7		*									

◎ 1kg/cm²以上○ 0.2~1kg/cm²△ 0.1~0.2kg/cm²* 0.1kg/cm²以下

Pressure Response During KH-21 Drilling

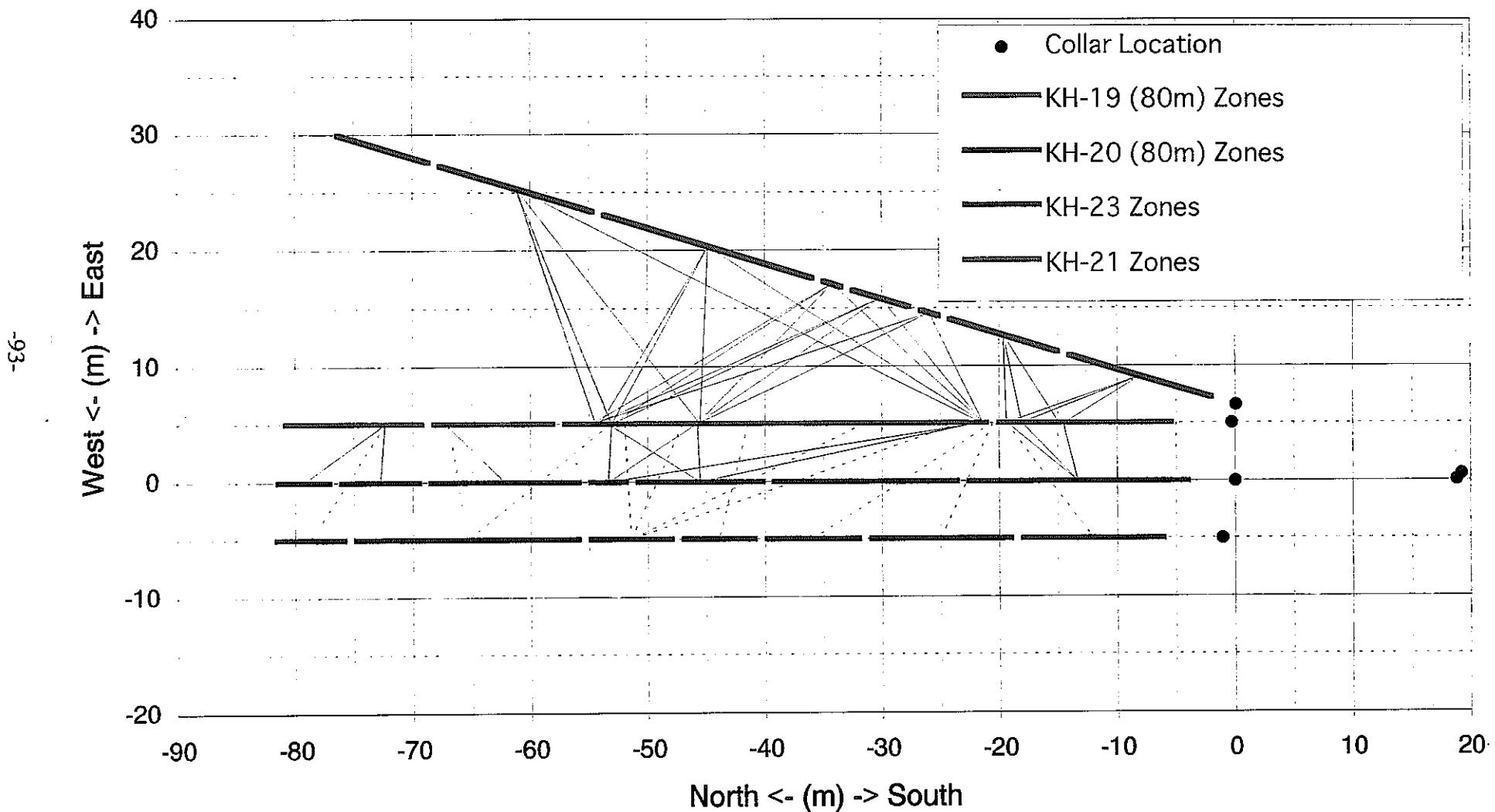


図-7.5.12 KH-21孔の削孔時に圧力応答が認められた経路

7.6 KH-25孔削孔時の圧力応答測定

KH-21孔の削孔終了後、同孔中に4本のパッカーを設置し、水圧測定を開始した。すなわち、KH-25孔時には、KH-19、KH-20、KH-23およびKH-21孔内の水圧変化のデータが得られた。

7.6.1 KH-19、20、21、23孔の圧力応答

図-7.6.1～図7.6.4に、それぞれKH-25削孔時のKH-19、20、23および21孔内の水圧データを示す。なお、図中には、削孔深度およびKH-25孔内の水圧測定結果（ただし、毎日の削孔終了後から翌朝までの期間以外は、削孔作業のため測定ができないので0となっている）もプロットしてある。

全削孔期間における各観測区間での水圧変化と削孔深度との関係を解析することにより、透水性割れ目の存在位置の特定とその連続性を推定することができる。

7.6.2 KH-19、20、21、23孔の水理応答から推定される透水割れ目

KH-25孔の削孔時にKH-19、20、21、23孔内の水理応答が認められた削孔深度と、コア観察との結果と併せて透水性割れ目を推測し、その特徴に関して説明を行う。

(1) 深度10.42～18.42m区間の削孔時

深度10.42～18.42m区間の削孔時には、KH-19孔の区間-7と区間-8、KH-20孔の区間-7およびKH-21孔の区間-4に応答が認められた。

図-7.6.5はKH-19孔の区間-7と区間-8、KH-20孔の区間-7およびKH-21孔の区間-4における、削孔に伴う圧力変化の状況を示したグラフである。

コア観察の結果より、以下の開口割れ目が圧力応答に関与していると推定された。

○深度13.59mの開口割れ目

深度13.59mの割れ目は幅1.5cm程度の白色の中変質を伴っている。走向傾斜はBTBでは捉えられていない。充填鉱物幅は2mm程度であり、晶洞を伴う。

○深度15.52mの開口割れ目

深度15.52mの割れ目は幅3cm程度のオレンジ色の弱変質を伴っている。走向傾斜はN61E85S、充填鉱物幅は2mm程度である。

(2) 深度18.42～28.42m区間の削孔時

深度18.42～28.42m区間の削孔時には、まず19m付近でKH-19孔の区間-2、3、4、5、6、

KH-20孔の区間-4、5、KH-23孔の区間-3、4およびKH-21孔の区間-3に応答が認められた。

また28m過ぎのところでKH-20孔の区間-6とKH-23孔の区間-5、6に応答が認められた。

図-7.6.6はKH-19孔の区間-2、3、4、5、6、KH-20孔の区間-4、5、KH-23孔の区間-3、4およびKH-21孔の区間-3の間隙水圧の変化の状況を示したグラフである。コア観察の結果より以下の割れ目が圧力応答に関与していると推定された。

○深度19.03mの開口割れ目

深度19.03mの割れ目は幅2cm程度の白色の弱変質を伴う。走向傾斜はN54E3SE、充填鉱物幅は2mm程度である。

図-7.6.7はKH-20孔の区間-6とKH-23孔の区間-5、6の間隙水圧の変化の状況を示したグラフである。コア観察の結果より以下の割れ目が圧力応答に関与していると推定された。

○深度28.22mと28.42mの開口割れ目

深度28.22mの割れ目は幅9cm以上のオレンジ色の強変質を伴う。走向傾斜はN78E50N、充填鉱物幅は5mm程度である。深度28.42mの割れ目は幅5cm以上のオレンジ色の強変質を伴う。走向傾斜はN58E73NW、充填鉱物幅は5mm程度である。

(3)深度44.42～52.42m区間の削孔時

深度44.42～52.42m区間の削孔時には、まず41mの手前で既に圧力応答があったKH-20孔の区間-5に更に大きな圧力応答が認められた。また51m過ぎと52m過ぎでKH-20孔の区間-4とKH-23孔の区間-3に応答が認められた。

図-7.6.8はKH-20孔の区間-5の間隙水圧の変化を示したグラフである。コア観察の結果より以下の割れ目が圧力応答に関与していると推定された。

○深度40.81mの開口割れ目

深度40.81mの割れ目は幅8cm以上のピンク色の強変質を伴う。走向傾斜はN82E84S、充填鉱物幅は10mm程度である。

図-7.6.9はKH-20孔の区間-4とKH-23孔の区間-3の間隙水圧変化を示したグラフである。コア観察の結果より以下の割れ目が圧力応答に関与していると推定された。

○深度51.57mと51.69mの開口割れ目

深度51.57mの割れ目は幅1.5cm程度の白色の弱変質を伴う。走向傾斜はN76W78N、

充填鉱物幅は3mm程度である。深度51.69mの割れ目は幅3cm程度の白色の中変質を伴う。走向傾斜はN64E85Nで条線が認められる。充填鉱物幅は1mm程度である。

○深度52.10mと52.15mの開口割れ目

深度52.10mの割れ目は幅2cm以上のオレンジ色の強変質を伴う。走向傾斜はN74W80N、充填鉱物幅はコアが破碎しており不明である。52.15mの割れ目は幅5cm以上のオレンジ色の強変質を伴う。走向傾斜はN77W87N、充填鉱物幅は2mm程度である。

(4)深度52.42～58.42m区間の削孔時

深度52.42～58.42m区間の削孔時には、53m過ぎでKH-19孔の区間-2、3、4、5、6、KH-20孔の区間-4、KH-21孔の区間-3、およびKH-23孔の区間-2に応答が認められた。

図-7.6.10はKH-19孔の区間-2、3、4、5、6、KH-20孔の区間-4、KH-21孔の区間-3、およびKH-23孔の区間-2の間隙水圧の変化の様子を示したグラフである。コア観察の結果より以下の割れ目が圧力応答に関与していたと推測された。

○深度53.30m、53.38mおよび53.51mの開口割れ目

深度53.30mの割れ目は幅3cm程度のピンク色の中変質を伴っている。走向傾斜はN63W75N、充填鉱物幅は2mm程度である。深度53.38mの割れ目は幅2cm程度の白色の微弱変質を伴っている。走向傾斜はN59E65SE、充填鉱物幅は2mm程度である。深度53.51mの割れ目は幅4cm以上の赤色の強変質をともなう。走向傾斜はN79W74S、充填鉱物幅は10mm程度である。

(5)深度58.42～64.42m区間の削孔時

深度58.42～64.42m区間の削孔時には、61.5m付近でKH-20孔の区間-3、KH-21孔の区間-2およびKH-23孔の区間-2で圧力応答が認められた。

図-7.6.11はKH-20孔の区間-3、KH-21孔の区間-2およびKH-23孔の区間-2の間隙水圧の変化の様子を示したグラフである。コア観察の結果より、以下の割れ目が圧力応答に関与していたと推測された。

○深度61.52mの開口割れ目

深度61.52mの割れ目は幅1.5cm程度の白色の微弱変質を伴っている。走向傾斜はN72W66S、充填鉱物幅は0.8mm程度である。

(6) 深度64.42～70.42m区間の削孔時

深度64.42～70.42m区間の削孔時には69m過ぎでKH-20孔の区間-1と区間-2、KH-21孔の区間-1、およびKH-23孔の区間-1で圧力応答が認められた。

図-7.6.12はKH-20孔の区間-1と区間-2、KH-21孔の区間-1、およびKH-23孔の区間-1の間隙水圧変化の様子である。コア観察の結果より以下の割れ目が圧力応答に関与していたと推測された。

○深度69.32mと69.43mの開口割れ目

深度69.32mの割れ目は幅1cm程度のオレンジ色の弱変質を伴う。走向傾斜はEW73N、充填鉱物幅は3mm程度である。深度69.43mの割れ目は幅8cm以上のオレンジ色の強変質を伴う。走向傾斜はN71W76N、充填鉱物幅は12mmである。

7.6.3 まとめ

間隙水圧の変化が認められた割れ目と応答が認められた区間をまとめると表-7.6.1の様になる。また図-7.6.13に、KH-25削孔時に圧力応答が見られた経路を示す。

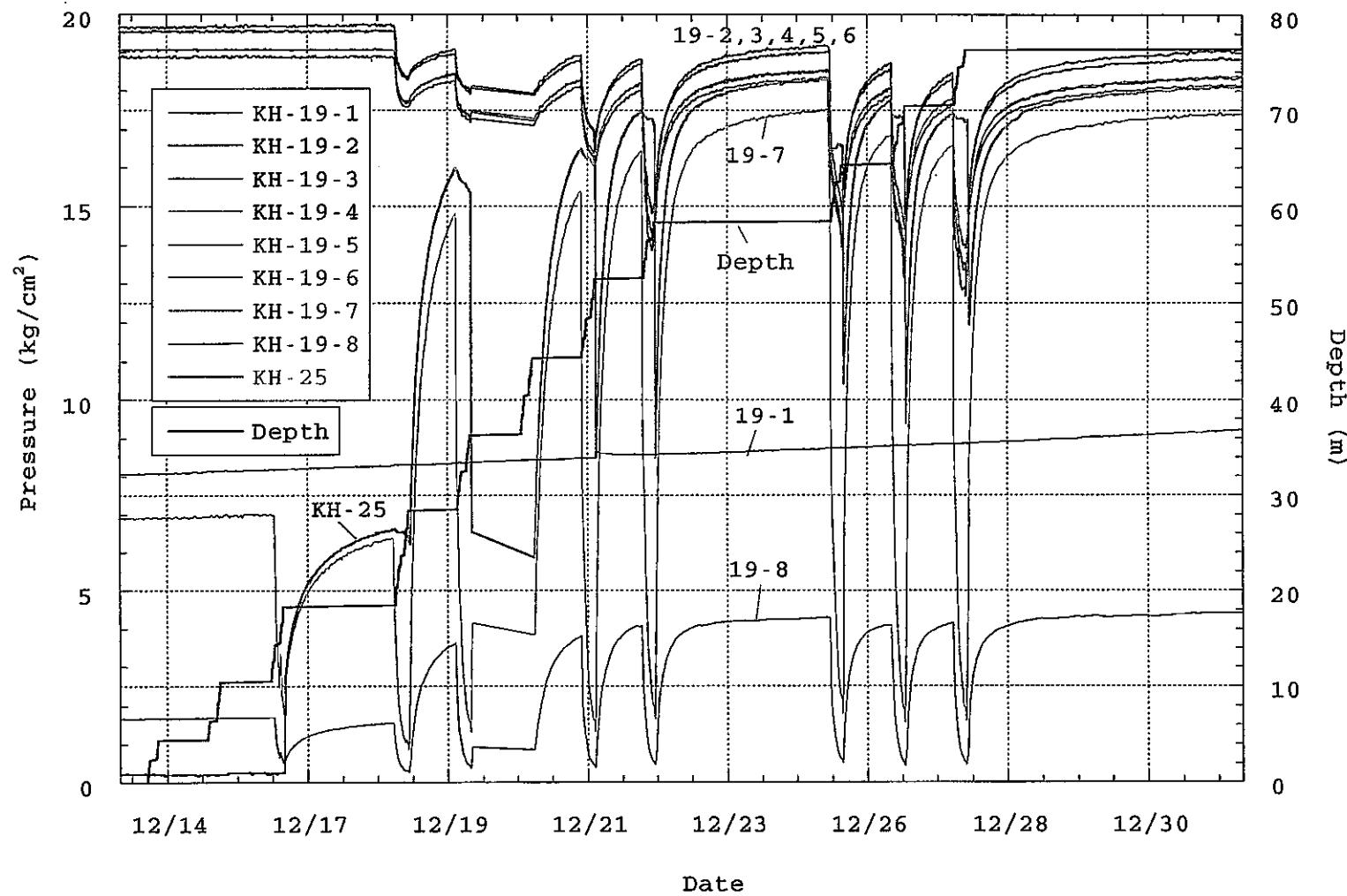


図-7.6.1 KH-25孔削孔時のKH-19孔内の圧力応答

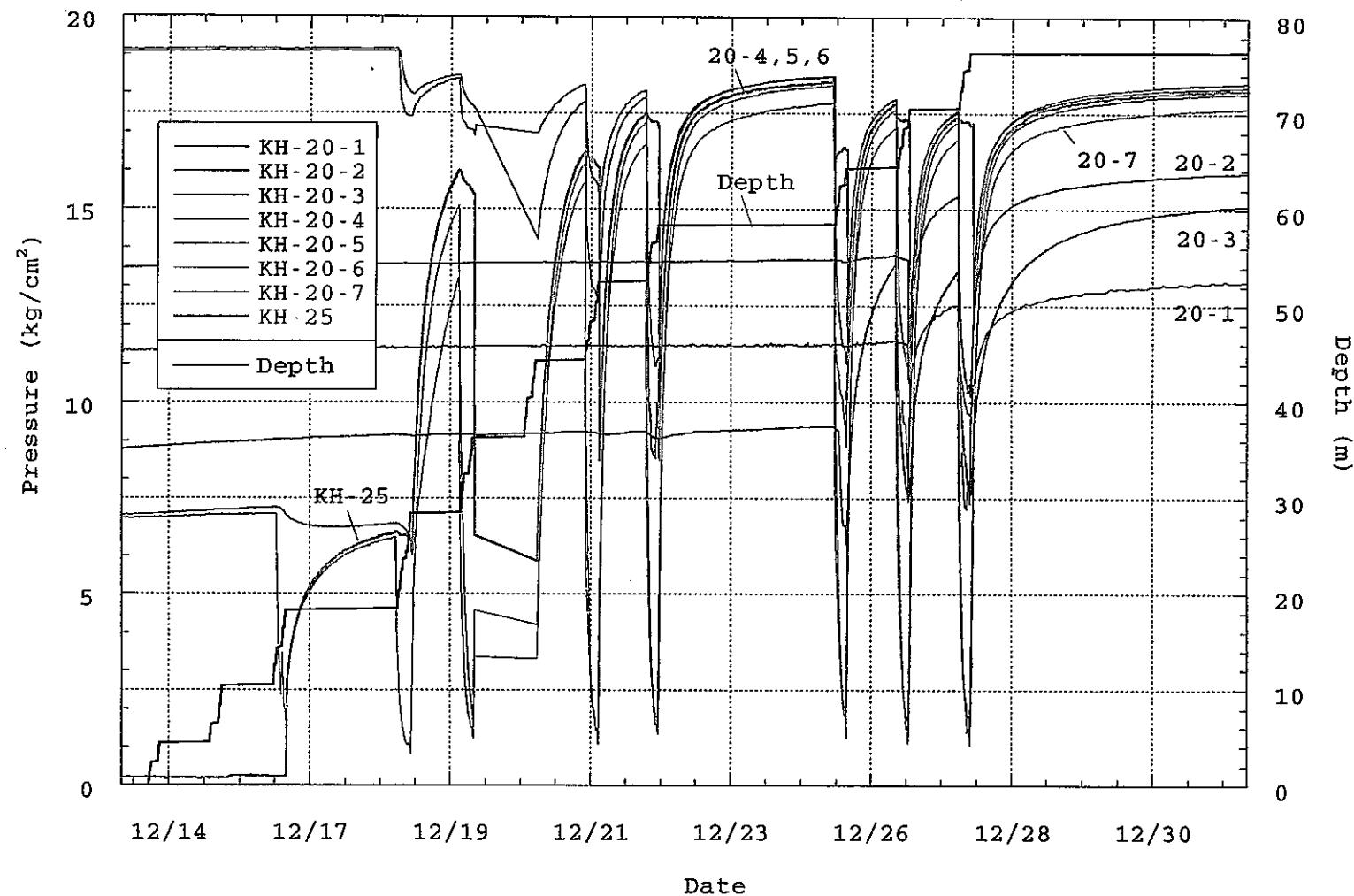


図-7.6.2 KH-25孔削孔時のKH-20孔内の圧力応答

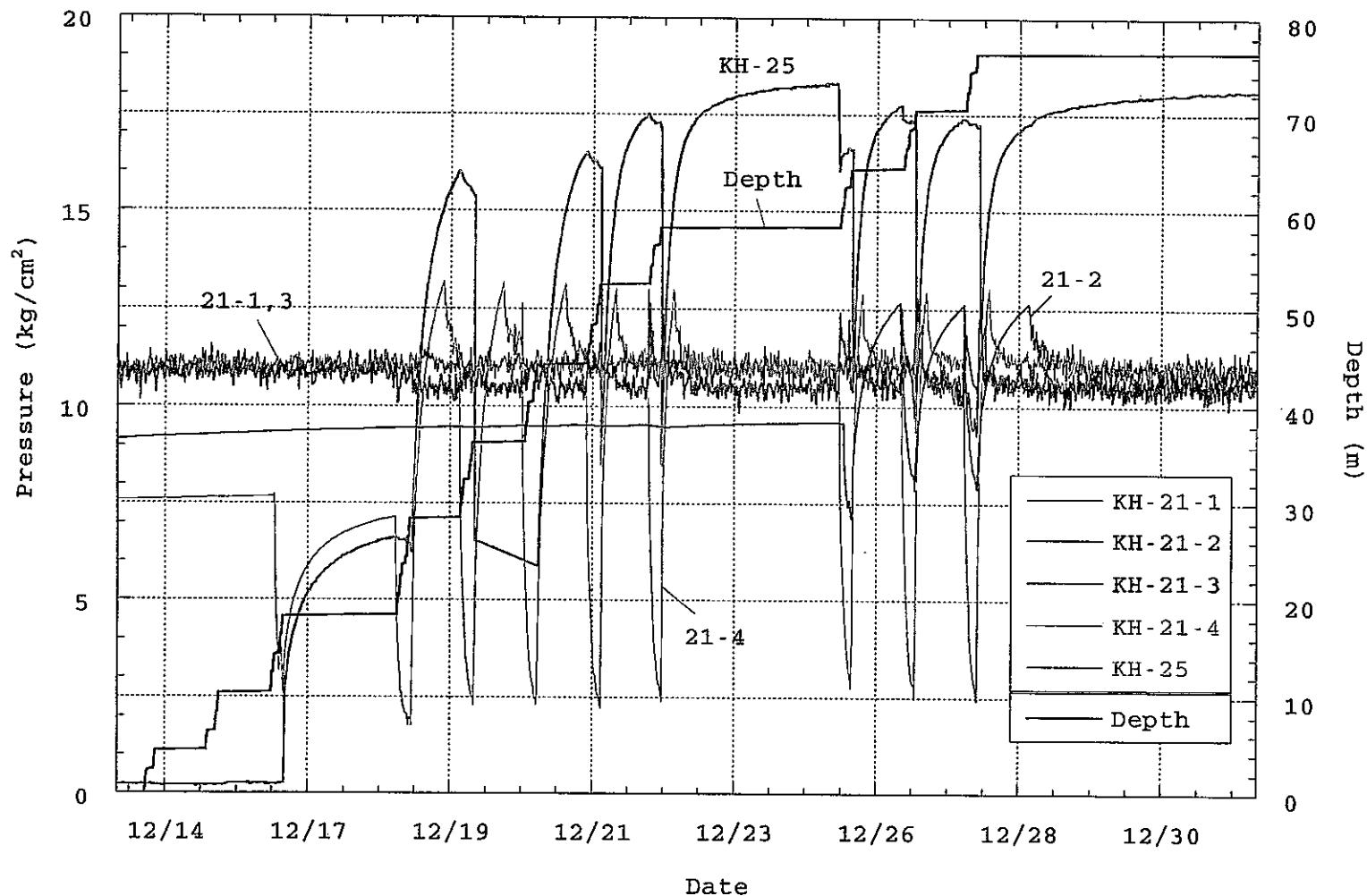


図-7.6.3 KH-25孔削孔時のKH-21孔内の圧力応答

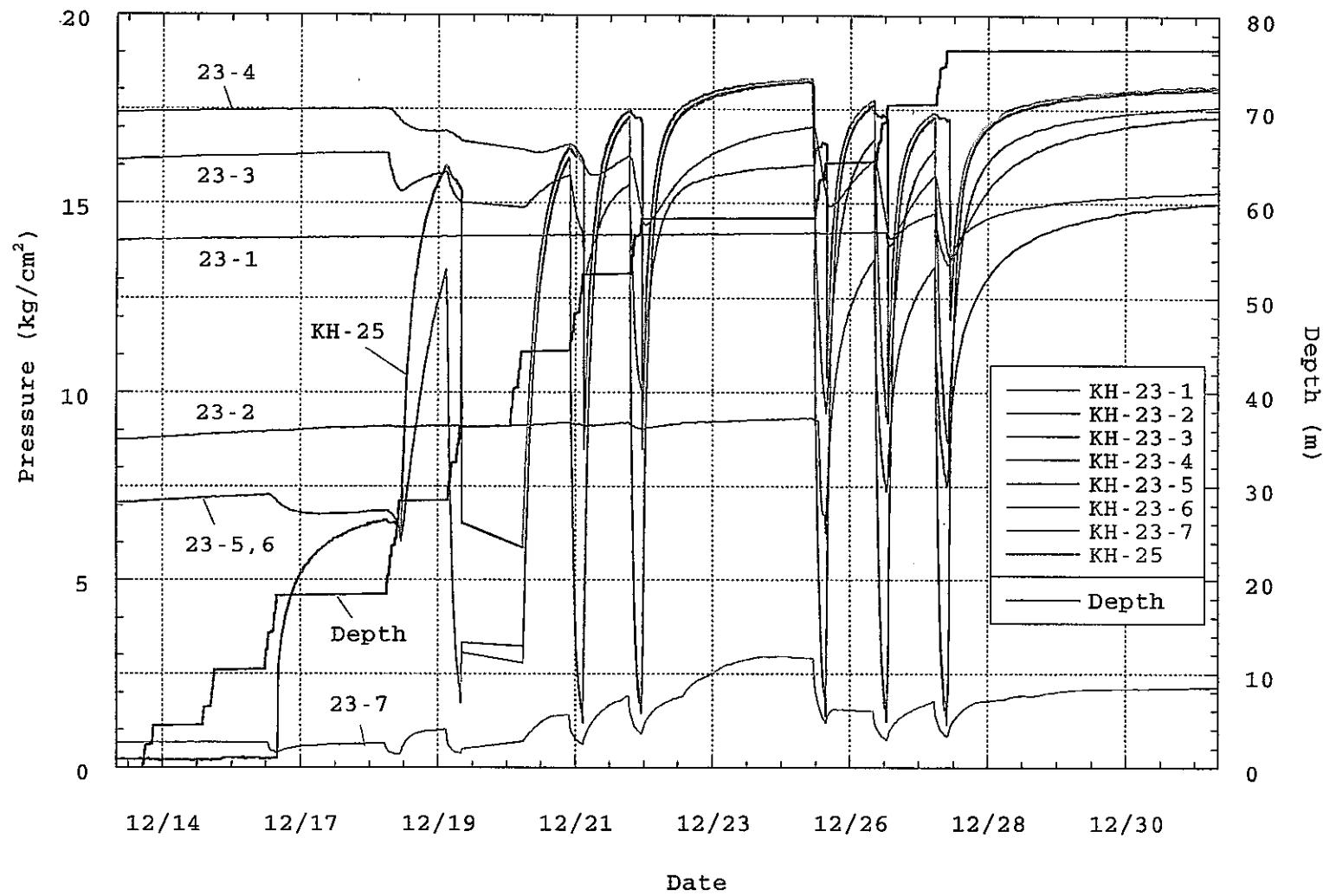


図-7.6.4 KH-25孔削孔時のKH-23孔内の圧力応答

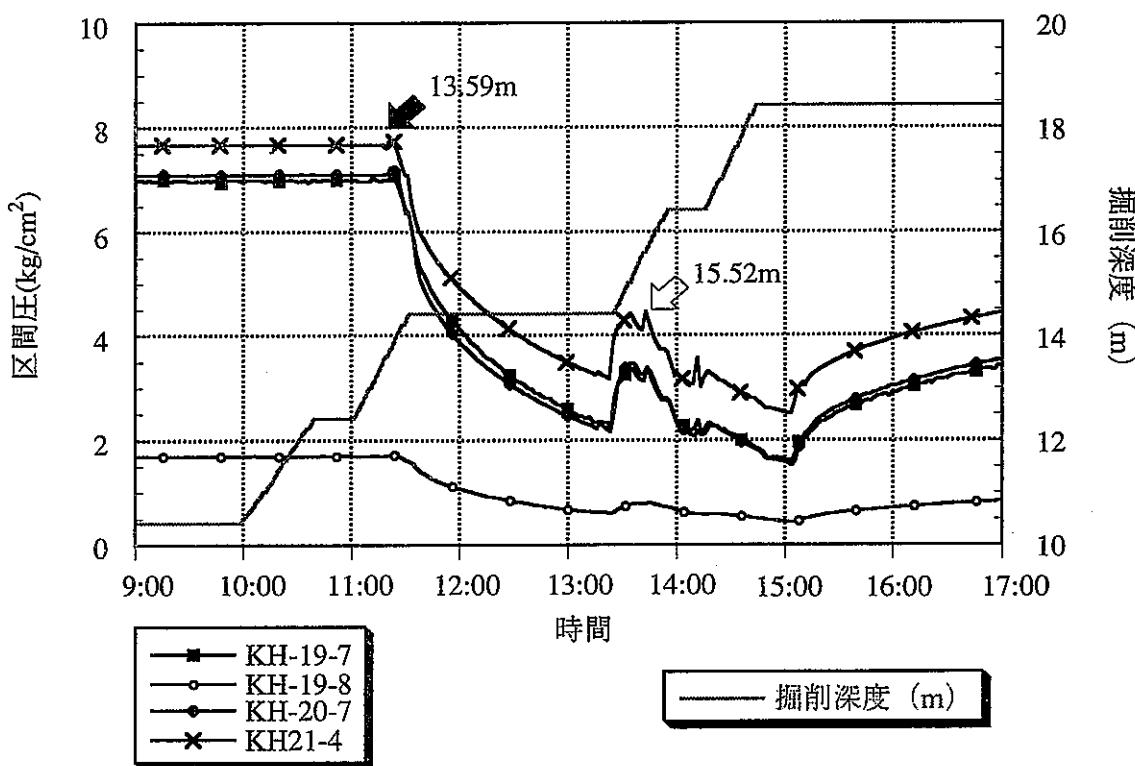


図-7.6.5 KH-19孔の区間-7, 8, KH-20孔の区間-7, KH-21孔の区間-4における圧力変化
(深度10.42~18.42m区間の削孔時)

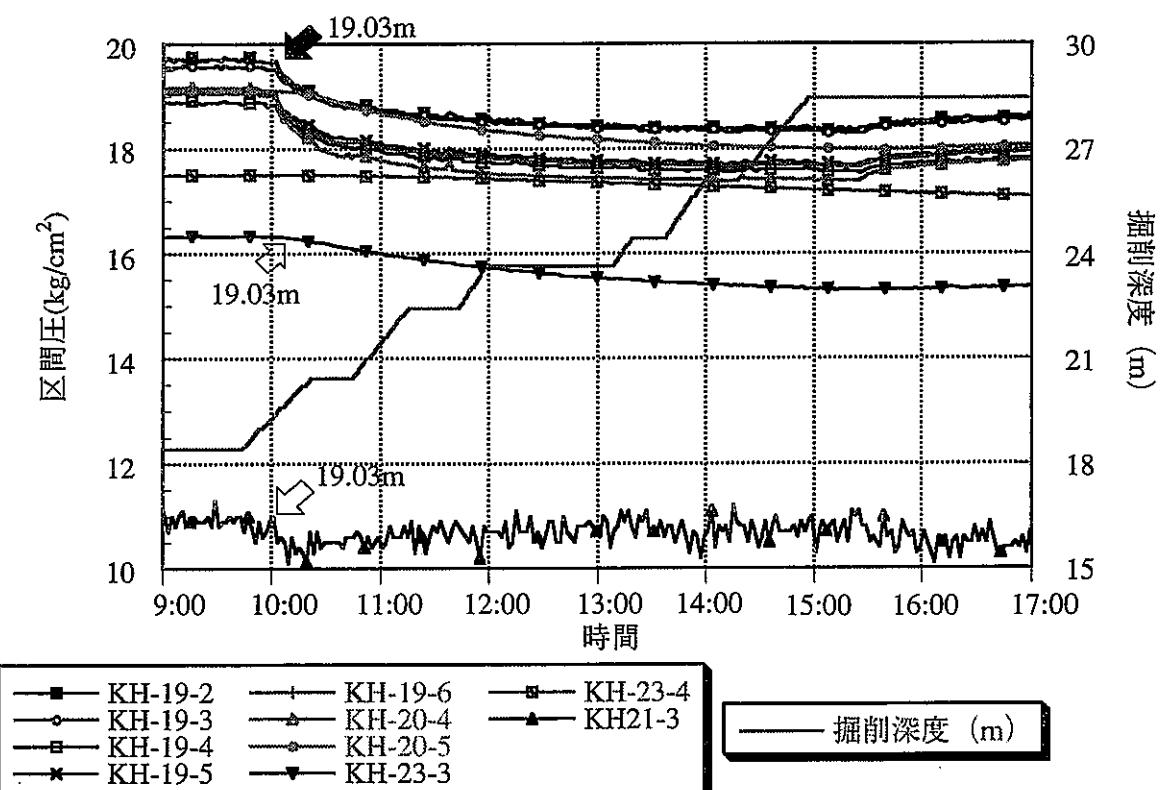


図-7.6.6 KH-19孔の区間-2, 3, 4, 5, 6, KH-20孔の区間-4, 5, KH-23孔の区間-3, 4および
KH-21孔の区間-3における圧力変化 (深度18.42~28.42m区間の削孔時)

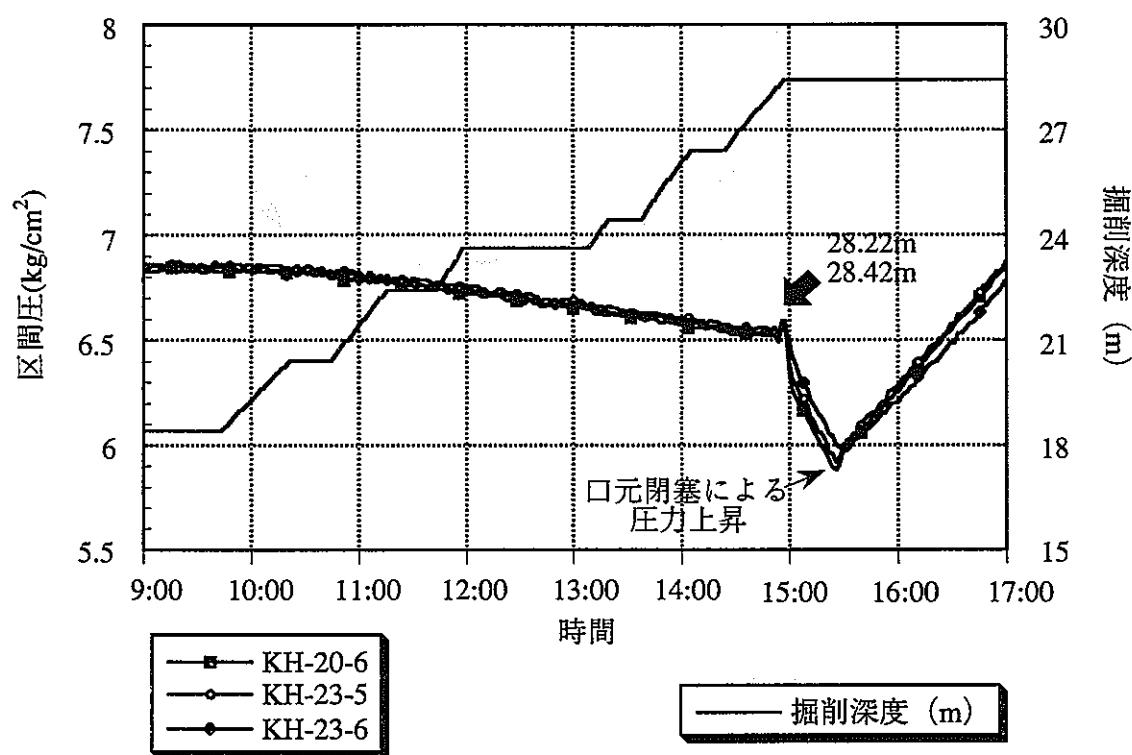


図-7.6.7 KH-20孔の区間-6とKH-23孔の区間-5, 6における圧力変化
(深度18.42～28.42m区間の削孔時)

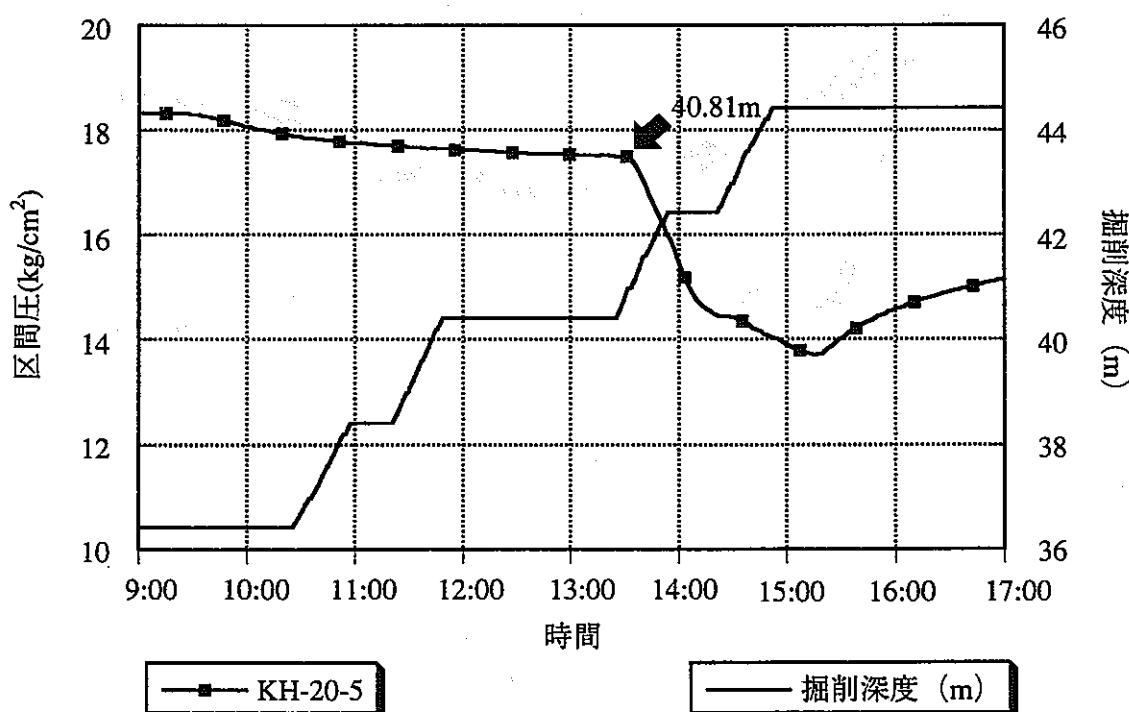


図-7.6.8 KH-20孔の区間-5における圧力変化 (深度44.42～52.42m区間の削孔時)

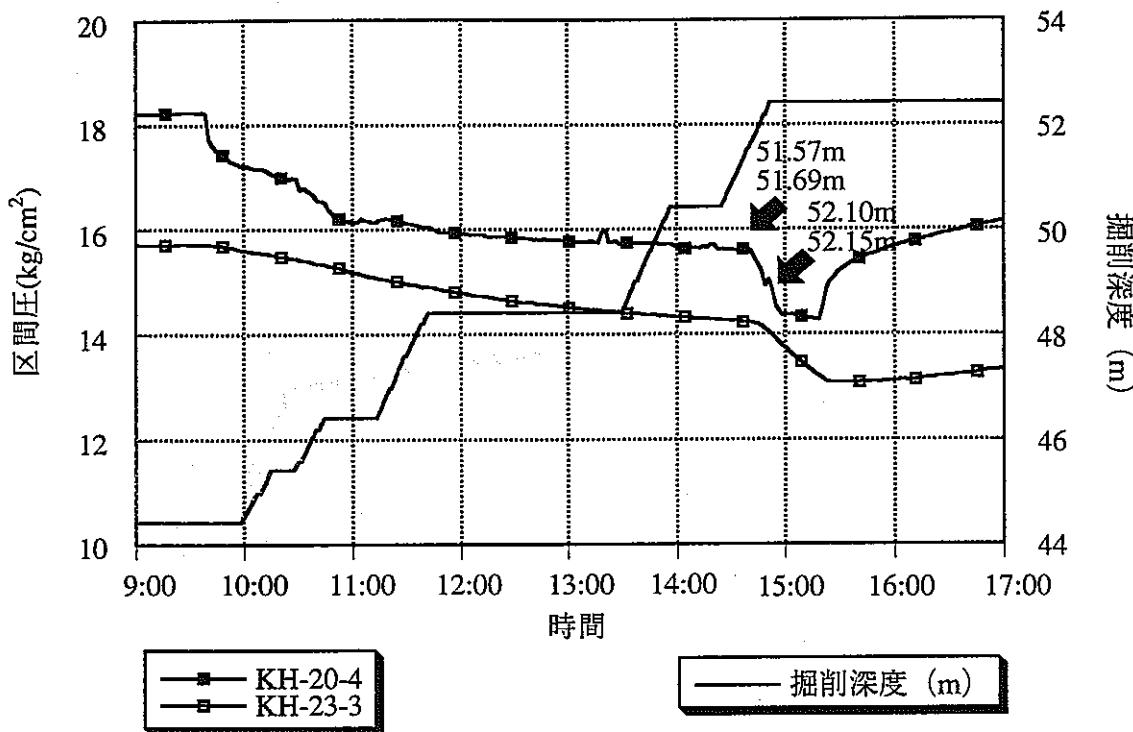


図-7.6.9 KH-20孔の区間-4とKH-23孔の区間-3における圧力変化
(深度44.42~52.42m区間の削孔時)

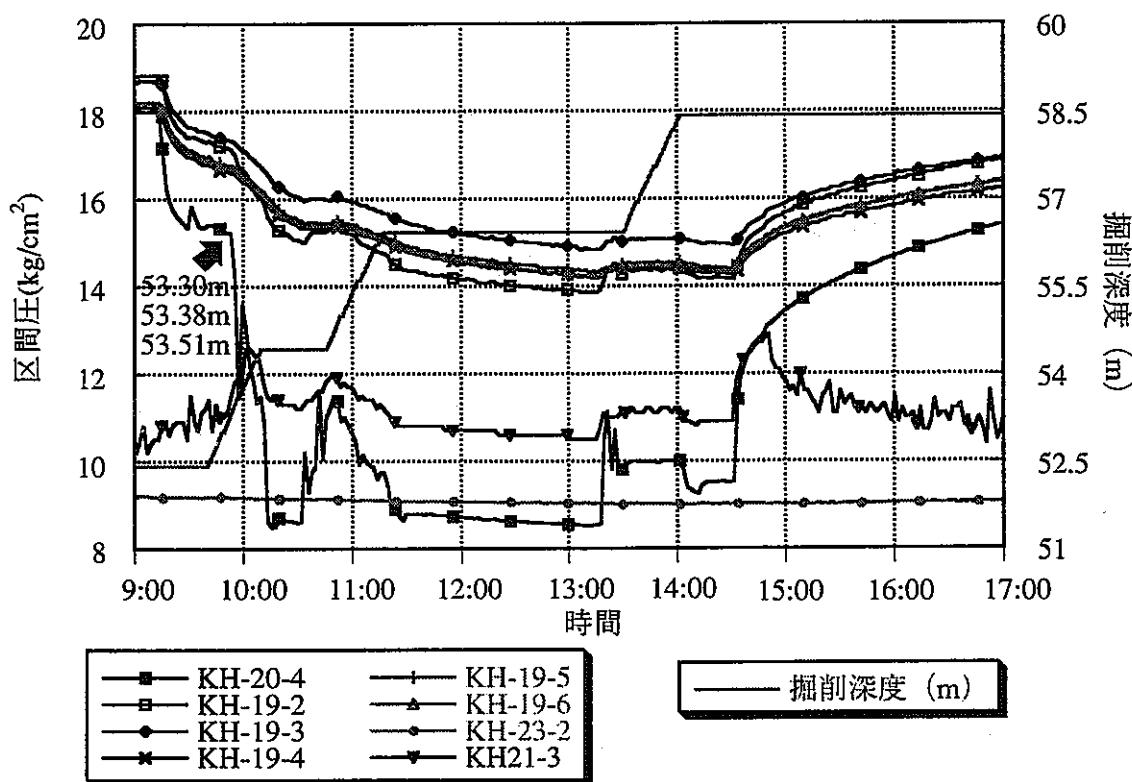


図-7.6.10 KH-19孔の区間-2, 3, 4, 5, 6, KH-20孔の区間-4, KH-21孔の区間-3および
KH-23孔の区間-2における圧力変化 (深度52.42~58.42m区間の削孔時)

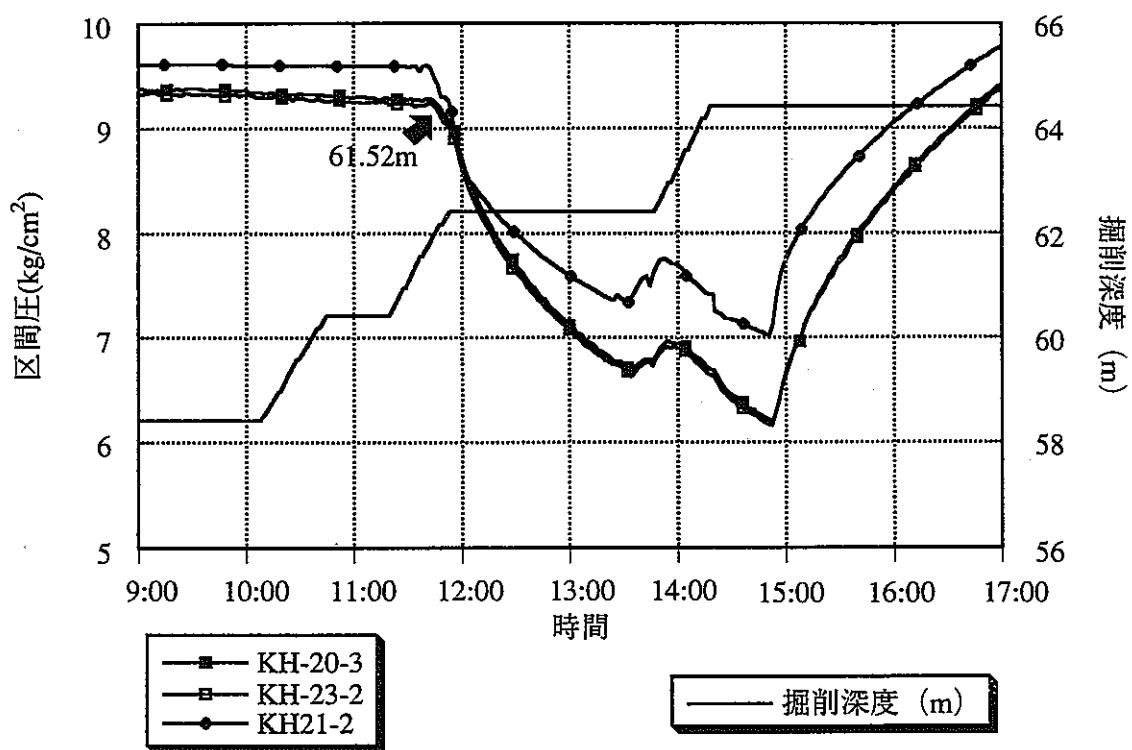


図-7.6.11 KH-20孔の区間-3, KH-21孔の区間-2およびKH-23孔の区間-2における圧力変化
(深度58.42～64.42m区間の削孔時)

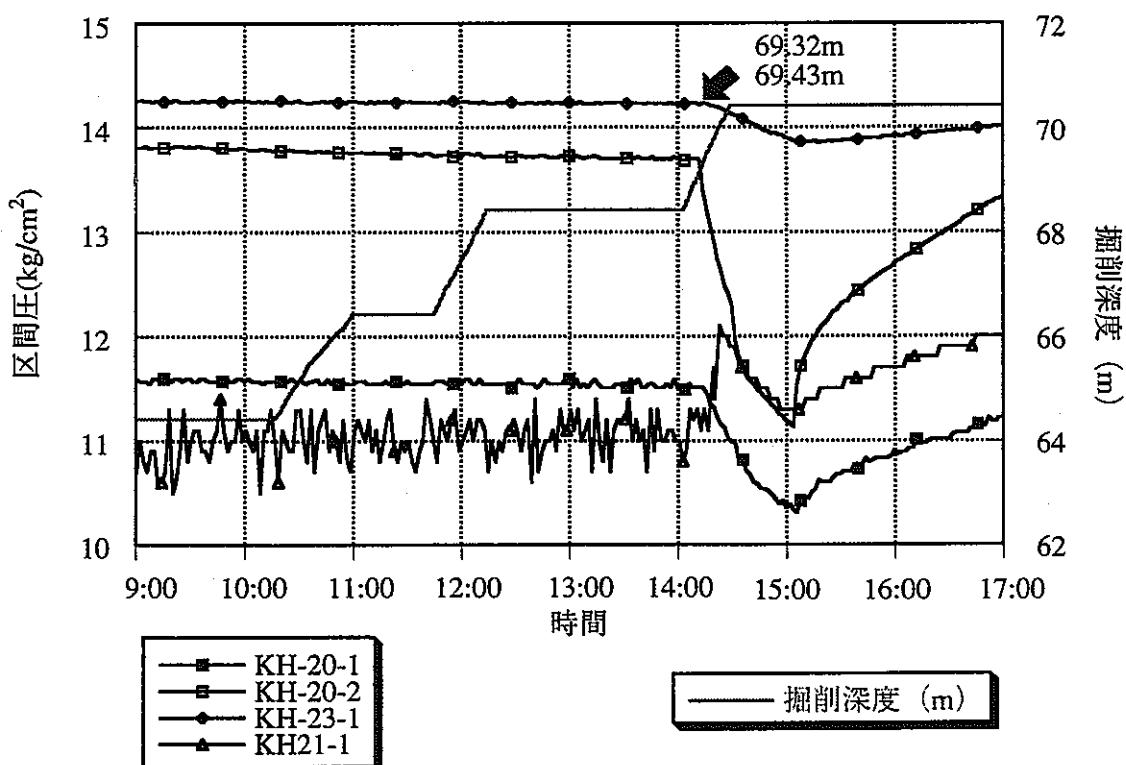


図-7.6.12 KH-20孔の区間-1, 2, KH-21孔の区間-1およびKH-23孔の区間-1における
圧力変化 (深度58.42～64.42m区間の削孔時)

表-7.6.1 KH-25孔における透水性割れ目位置と圧力応答区間一覧表

孔名	KH-25孔 透水割れ目 位置(m)	13.59	19.03	28.22	40.81	51.69	53.30	61.52	69.32
		15.52		28.42		51.84	53.38		69.43
KH-19	区間-1								
	区間-2	◎				○	○		
	区間-3	○				○	○		
	区間-4	○				○	○		
	区間-5	○				○	○		
	区間-6	○				○	○		
	区間-7	◎							
	区間-8	○							
KH-20	区間-1								◎
	区間-2								○
	区間-3							◎	
	区間-4	○				○	○		
	区間-5	○			○				
	区間-6		○						
	区間-7	◎							
KH-21	区間-1								◎
	区間-2							○	
	区間-3		○				○?		
	区間-4	○							
KH-23	区間-1								○
	区間-2						△	○	
	区間-3		○			○			
	区間-4		△						
	区間-5			○					
	区間-6 *			○					
	区間-7								

◎ 1kg/cm²以上○ 0.2~1kg/cm²△ 0.1~0.2kg/cm²* 0.1kg/cm²以下

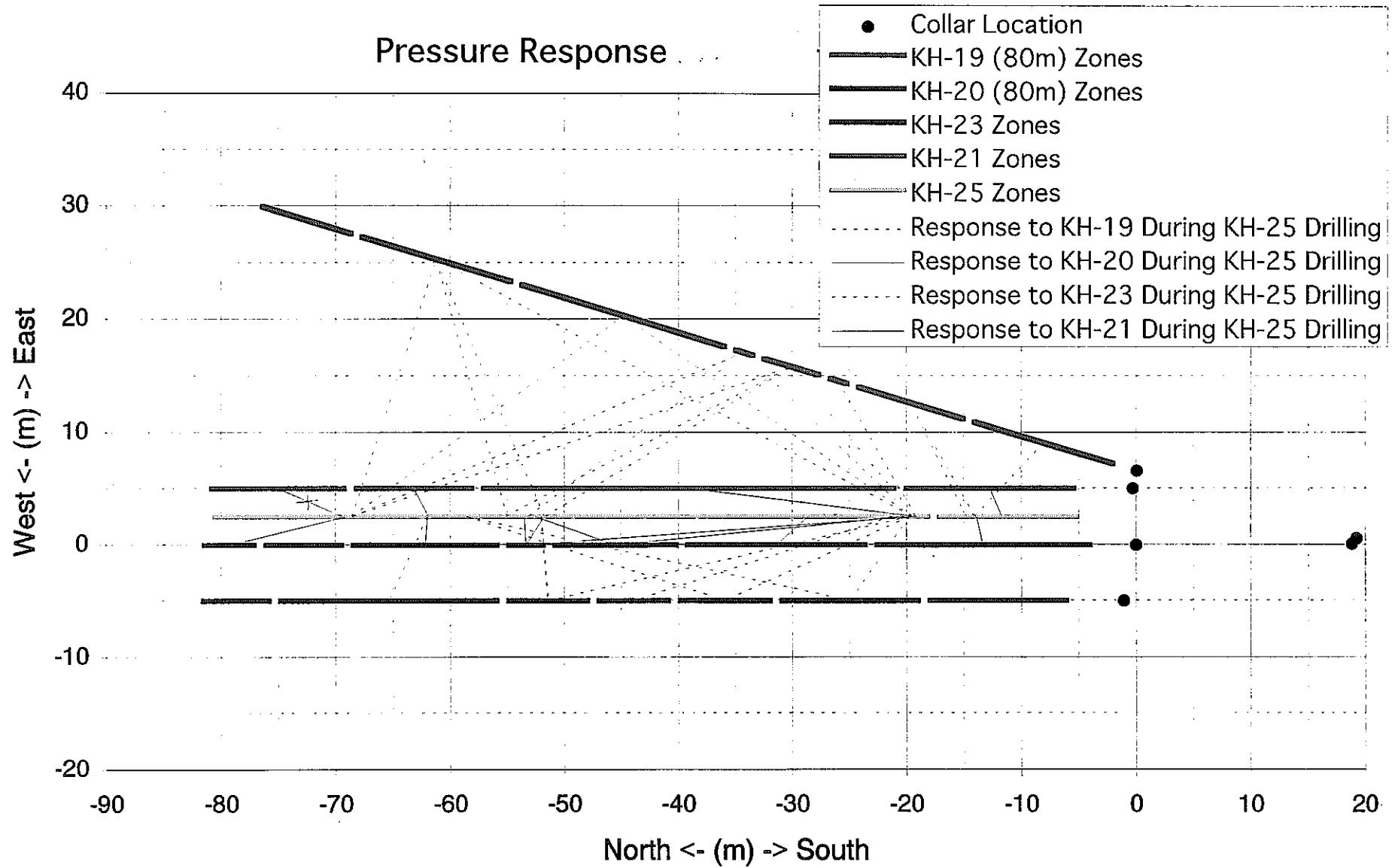


図-7.6.13 KH-25孔の削孔時に圧力応答が認められた経路

7.7 圧力応答測定結果のまとめ

図-7.7.1に、KH-23、KH-21、KH-25各孔の削孔時に観測された圧力応答経路をまとめて示す。

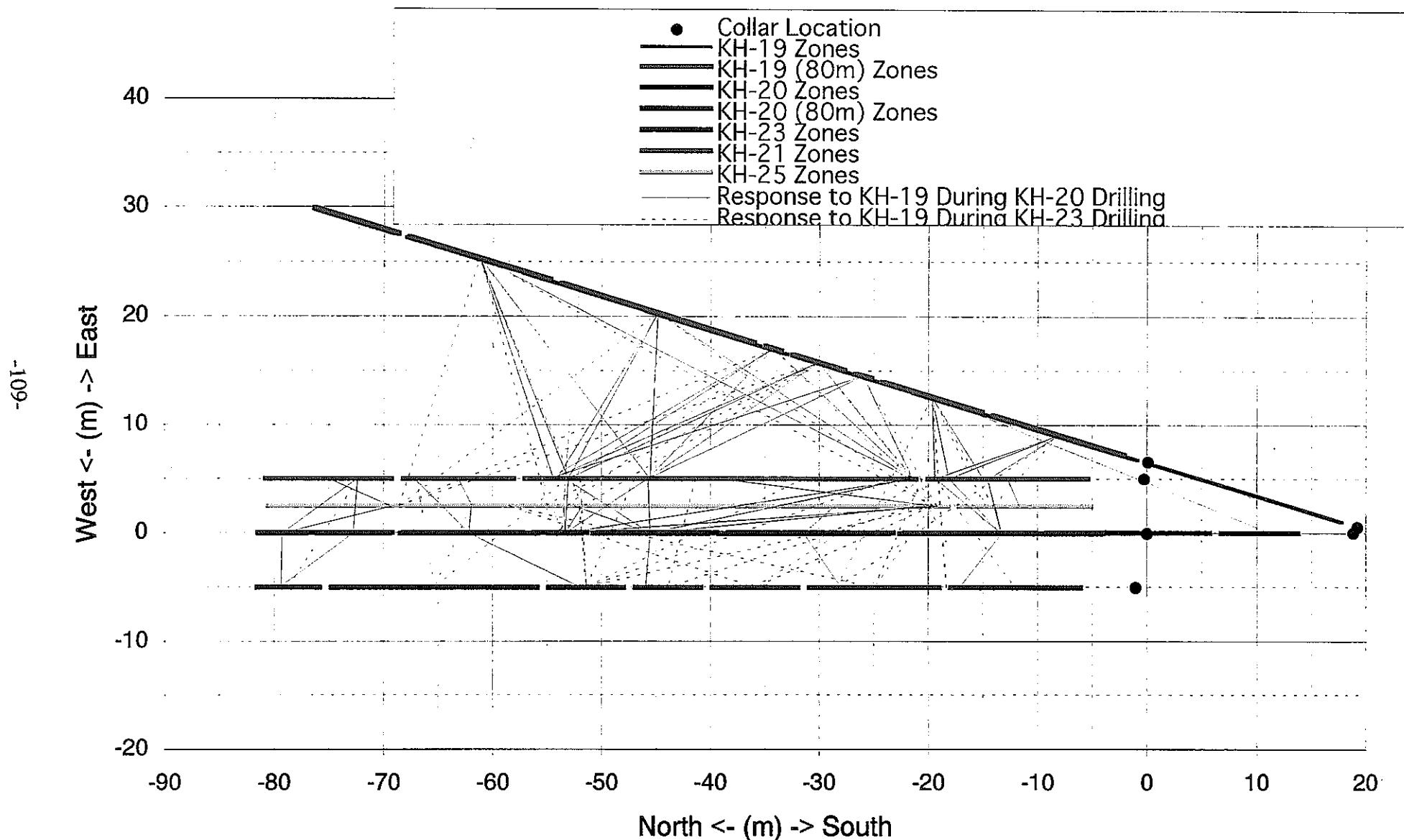


図-7.7.1 KH-23、KH-21、KH-25削孔時の水圧応答のまとめ

8 流量検層

8.1 概要

本章では、本年度削孔したKH-23孔、KH-21孔およびKH-25孔の各孔において、削孔完了後に実施した水理調査のうち、流量検層について述べる。

流量検層は、大気圧に解放されたボーリング孔内において、一定区間からの湧水量の測定を行うものである。

流量検層を実施する目的は、以下の通りである。

(1)透水性割れ目の位置を特定する。

(2)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。

(3)パッカーの設置位置を決定するための判断材料の一つとする。

孔内の湧水量の分布は、岩盤の透水性の指標として重要である。鉛直ボーリングや斜めボーリングなどにおいて孔内の区間湧水量（または透水性）の分布を測定する方法としては、湧水圧試験や揚水試験などが一般的であるが、今回のように、ほぼ水平に削孔されたボーリング孔では、口元を解放することにより、孔内全長にわたってほぼ一定の圧力（大気圧）に保たれるため、測定区間をパッカーで区切るだけで、簡便に湧水量の分布を測定することができる。また、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つたため、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。

8.2 検層方法

本年度はKH-23孔、KH-21孔およびKH-25孔の流量検層を行った。試験では、いずれの孔においても、昨年度にKH-19孔で実施した方法（PNC ZJ1205 95-004参照）と同様の方法・手順を用いた。

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配置にはシングルパッカー方式とダブルパッカー方式がある。前年度に実施したKH-20孔の流量検層ではシングルパッカー方式を用いたが、こ

の方式では、測定流量（パッカー以深の総流量）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、続いて実施したKH-19孔からは、区間流量を直接測定できるダブルパッカー方式を用いている。

本年度の流量検層においても全ての孔でダブルパッカー方式を用いることとした。

測定に用いたシステムの概要を図-8.2.1に示す。パッカー拡張時および流量測定時ににおける孔内圧の上昇を防ぐために、バイパス機構を有するシステムを用いた。すなわち、奥側のパッカーより以深の流量は、中央のロッド内を通って口元まで流れる。また、測定区間からの流れは、1/2インチの配管により取り出す。

流量の測定には、メスシリンダーと図-8.2.2に示すフロート式流量計を併用した。前年度実施したKH-20孔の流量検層では熱パルス式流量計を用いたが、同流量計は水平孔においては測定精度が落ちることが判明したため、次に実施したKH-19孔流量検層からはフロート式流量計を用いており、本年度も同様の方法と採用した。

フロート式流量計は、通水管内にあるフロートが、管内を流れる流体の粘性によりフロートを押し上げようとする力と、自重により沈もうとする下向きの力が釣り合う点の位置を読み取ることにより、流量を求める仕組になっている。図-8.2.2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、この流量計の仕組である。各流量計には、目盛から流量を求めるための校正表が添付されている。今回の測定では、Omega Engineering社製のフロート式流量計（製品名：ROTAMETER）を用いた。測定範囲の異なる3台の流量計（小レンジ：0.5～44ml/min、中レンジ：40～2000ml/min、大レンジ：150ml/min～22l/min）を用意し、バルブにより切り替えて使用できるようにした。写真-8.2.1に、流量検層システムを示す。

フロート式流量計の測定値が正しいことを確認するために、流量検層を行なういくつかの区間で、フロート式流量計とメスシリンダーの両方式による流量測定を実施した。図-8.2.3に結果を示す。同図中には実測のメスシリンダー測定値とフロート目盛の値とともに添付の校正表の値を併せて示してある。これを見ると、大・小レンジ流量計では添付の校正值と実測値にずれが見られる。そこで本報告では、実測値をフィットした式を校正式として流量算定に用いた。尚、大・中レンジ流量計については、フロート目盛と流量の間に良好な直線性が見られることから、実測値の直線回帰式によ

り流量を算定した。一方、小レンジ流量計では実測値を3次式でフィットした校正曲線により流量を算定した。

図-8.2.4にKH-23、KH-21、KH-25孔の各流量検層の結果における、メスシリンダー測定値および校正曲線から算定した流量値のプロットを示す。この図から両者の良好な一致が見られる。以後の文章および結果の図示では、特にことわらない限り、上記の校正曲線を用い、流量計の読み値から算定される値を流量の測定値とする。

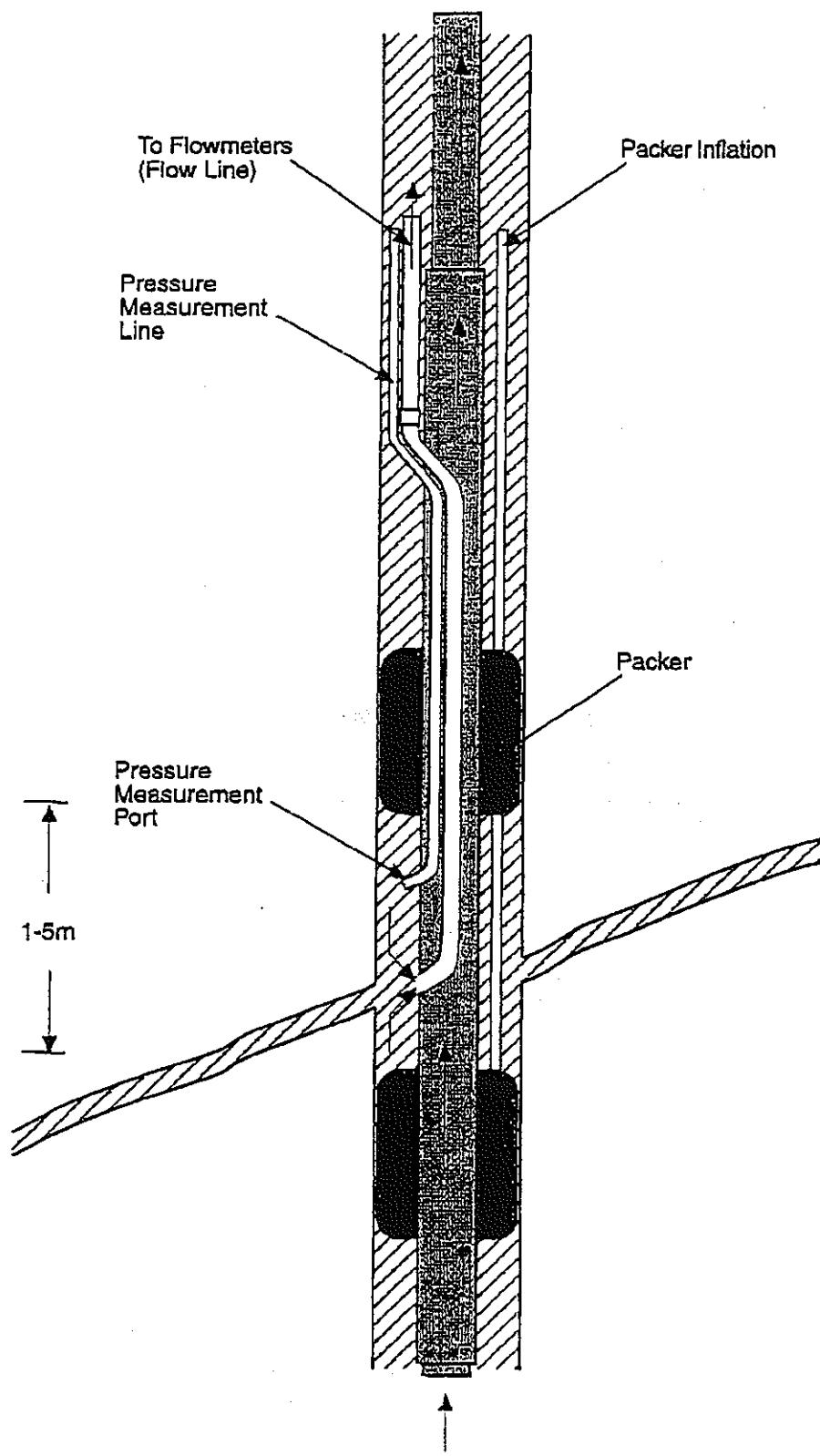


図-8.2.1 ダブルパッカー方式の流量検層装置

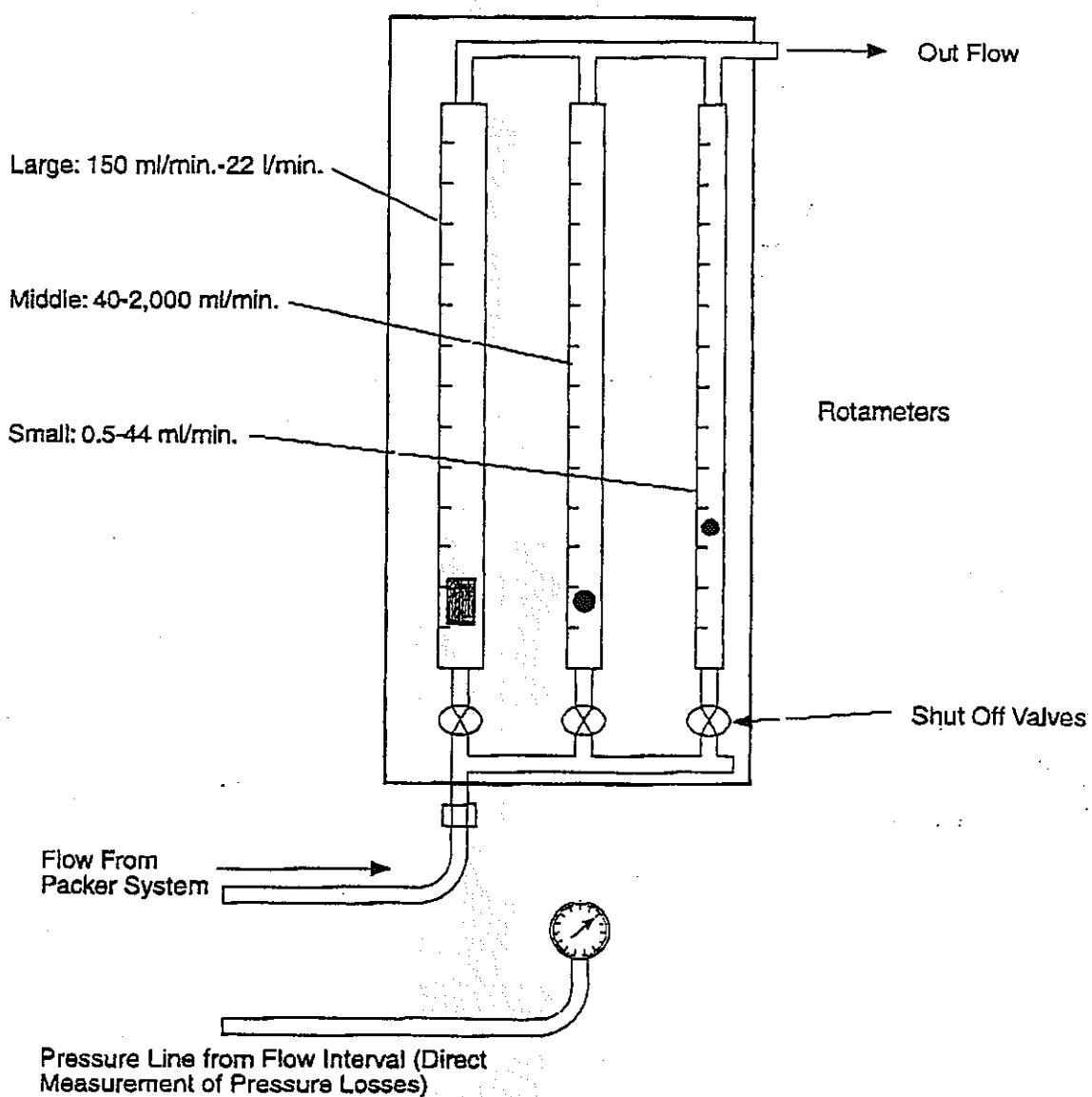
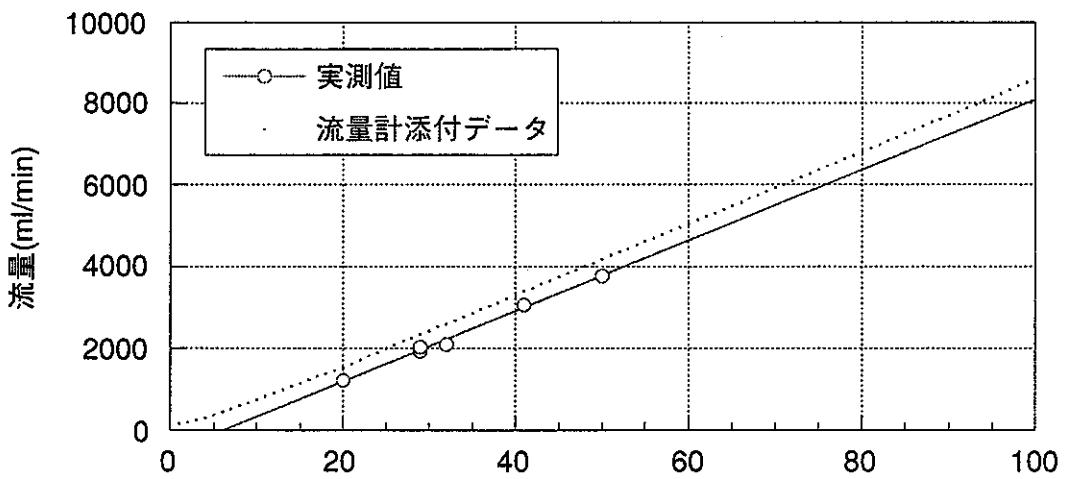
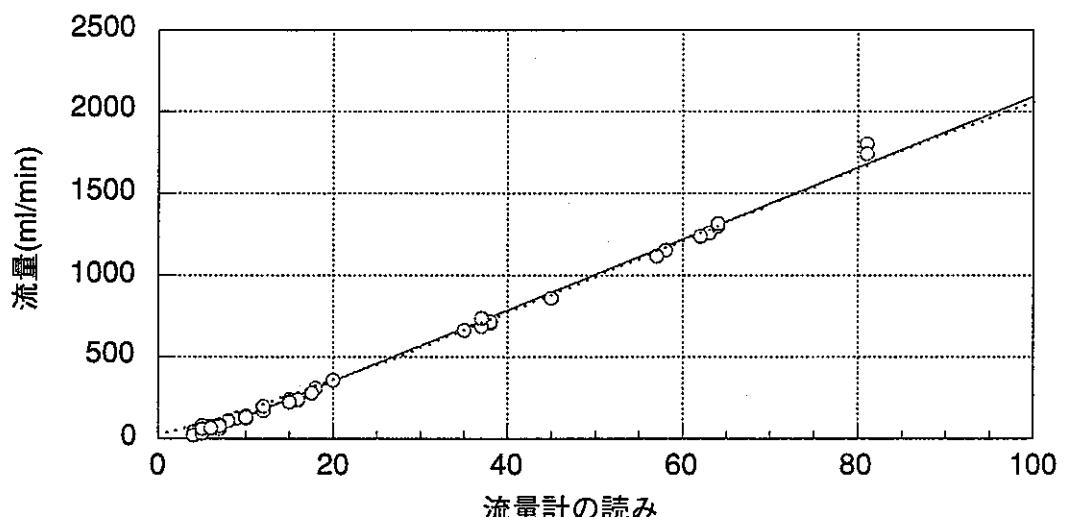


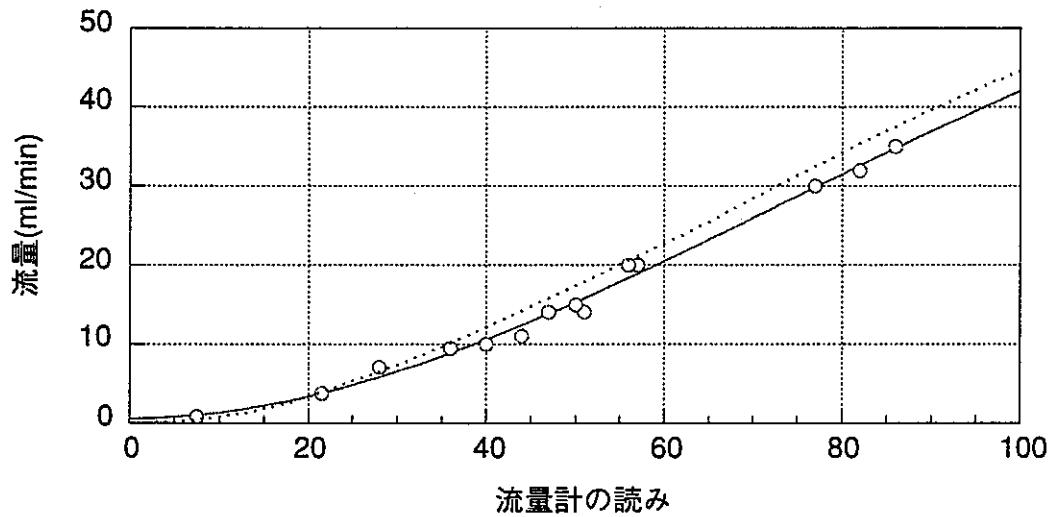
図-8.2.2 フロート式流量計



(a) 大流量計



(b) 中流量計



(c) 小流量計

図-8.2.3 流量計の校正曲線

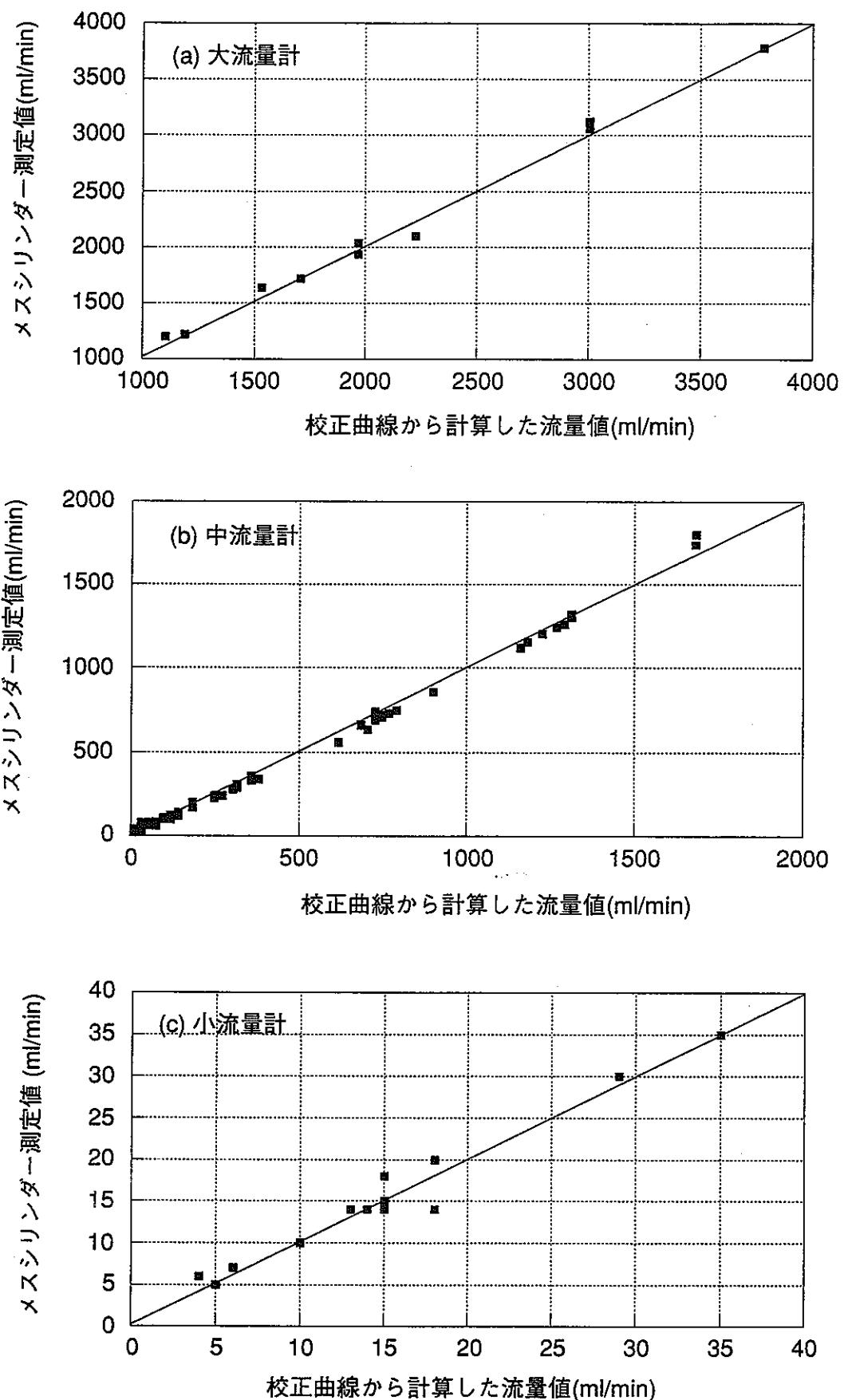


図-8.2.4 メスシリンドー測定値および校正曲線により算定した流量値
(KH-23孔、KH-21孔、KH-25孔の流量検層結果より)

8.3 検層結果

本年度実施した流量検層では、全ての孔（KH-23孔、KH-21孔、KH-25孔）において5m区間および1m区間の2回に分けて実施した。まず全長（いずれの孔も約80m）にわたって5m間隔で実施した後、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。以下に流量検層結果を各孔ごとに分けて述べる。

8.3.1 KH-23孔

まず、測定区間長を5m（実測5.023m）に設定してボーリング孔全長にわたって概略的に調査し、流量が確認された区間において測定区間を1m（実測1.095m）に変更して詳しく調査した。その後、5m（実測5.005m）区間にて再び概略的に調査を行い、調査の再現性を確認した。

(1) 測定区間長 5m（実測5.023m）

測定区間長 5m (5.023m)の結果を、表-8.3.1および図-8.3.1に示す。KH-23孔の孔口から40mまで湧水が見られず、湧水が観測されたのは、40～45.023m区間、45～50.023 m区間、60～65.023m区間、65～70.023m区間、74～79.023m区間の6区間である。特に、74～79.023m区間では他の区間に比べて多い湧水を観測した。

(2) 測定区間長1m（実測1.095m）

測定区間長 5.023mの結果から、湧水が観測された6区間について測定区間長を1.095mに設定して流量を測定した。その結果を表-8.3.2および図-8.3.2に示す。流量が多い区間は44.1～46.195m区間、47.1～49.195m区間、58.1～60.195m区間、77.1～79.045m区間である。なかでも、77.95～78.45mの区間では1350ml/minの流量を観測した。これはKH-23孔全体からの流量（試験当日の口元流量は約1430ml/min）の9割以上を占める値である。尚、測定区間 1 mの流量検層で得られた総流量は、約2490ml/minとなり、口元流量（約1430ml/min）を大きく上回る値となった。この理由として、パッカーで遮水された区間からの測定区間への流れ込み（クロスフロー）によるものと考えられる。

(3) 測定区間長5m（実測5.005m）

(1)の測定の再現性を確認することを目的として、再度測定区間長約5mの流量検層を実施した。測定区間長が5.023mと5.005mと異なっているのは、パッカー間のロッドをより短いものに変更したためである。測定の結果を表-8.3.3、図-8.3.3に示す。ほ

ほ、再現性があることがわかったが、10m～20mの区間で測定区間長が5.023mの時には0であったのに対して僅かに流量が認められた。図-8.3.4に5m区間（2回目）および1m区間の流量検層結果を併せてプロットしたものを示す。また、図-8.3.5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-23孔掘削時の口元流量測定結果を併せて示してある。流量検層結果は掘削時の湧水量と比べて全体的に少なくなつており、これは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ついて来ているものと考えられる。特に、深度25～30m付近において掘削時に見られた流量のピークが、流量検層時には見られなくなつており、これは掘削時に連続性の低い亀裂に貯留された水が排水されたものと考えられる。

表-8.3.1 流量検層結果 (KH-23孔、5.023m間隔)

深度 (m)	流量計		区間流量 (ml/min)	累積流量 (ml/min)	パッカーパー圧 (kgf/cm)
	タイプ	読み値			
5.00 ~ 10.02	L	0	0.00	0.00	10
10.00 ~ 15.02	L	0	0.00	0.00	10
15.00 ~ 20.02	L	0	0.00	0.00	10
20.00 ~ 25.02	L	0	0.00	0.00	10
25.00 ~ 30.02	L	0	0.00	0.00	10
30.00 ~ 35.02	L	0	0.00	0.00	10
35.00 ~ 40.02	L	0	0.00	0.00	10
40.00 ~ 45.02	L	35	8.48	8.48	10
45.00 ~ 50.02	L	76	29.32	37.80	10
50.00 ~ 55.02	L	0	0.00	37.80	10
55.00 ~ 60.02	L	47	13.84	51.64	10
60.00 ~ 65.02	M	8	96.20	147.84	10
65.00 ~ 70.02	L	10	1.35	149.20	10
70.00 ~ 75.02	L	0	0.00	149.20	10
74.00 ~ 79.02	M	66	1355.90	1505.10	10

表-8.3.3 流量検層結果 (KH-23孔、5.005m間隔)

深度 (m)	流量計		区間流量 (ml/min)	累積流量 (ml/min)	パッカーパー圧 (kgf/cm)
	タイプ	読み値			
5.00 ~ 10.01	L	0	0.00	0.00	10
10.00 ~ 15.01	L	7.5	1.03	1.03	10
15.00 ~ 20.01	L	21.5	3.82	4.85	10
20.00 ~ 25.01	L	0	0.00	4.85	10
25.00 ~ 30.01	L	0	0.00	4.85	10
30.00 ~ 35.01	L	0	0.00	4.85	10
35.00 ~ 40.01	L	0	0.00	4.85	10
40.00 ~ 45.01	L	36	8.89	13.74	10
45.00 ~ 50.01	L	82	32.63	46.38	10
45.00 ~ 50.01	L	77	29.87	76.25	10
50.00 ~ 55.01	L	0	0.00	76.25	10
55.00 ~ 60.01	L	44	12.42	88.67	10
60.00 ~ 65.01	M	5	31.04	119.71	10
65.00 ~ 70.01	L	0	0.00	119.71	10
70.00 ~ 75.01	L	0	0.00	119.71	10
74.08 ~ 79.09	M	65	1334.18	1453.89	10

表-8.3.2 流量検層結果 (KH-23孔、1.095m間隔)

深度 (m)	流量計		区間流量 (ml/min)	累積流量 (ml/min)	パッカ一圧 (kgf/cm)
	タイプ	読み値			
40.00 ~ 41.10	L	7	0.98	0.98	10
41.00 ~ 42.10	L	9	1.22	2.19	10
42.00 ~ 43.10	L	0	0.00	2.19	10
43.00 ~ 44.10	L	6	0.88	3.08	10
44.00 ~ 45.10	L	43	11.95	15.03	10
45.10 ~ 46.20	L	41	11.04	26.07	10
46.10 ~ 47.20	L	10	1.35	27.42	10
47.10 ~ 48.20	L	46	13.36	40.78	10
48.10 ~ 49.20	L	62	21.59	62.38	10
49.10 ~ 50.20	L	60	20.52	82.89	10
50.10 ~ 51.20	L	6	0.88	83.77	10
51.10 ~ 52.20	L	0	0.00	83.77	10
52.10 ~ 53.20	L	0	0.00	83.77	10
53.10 ~ 54.20	L	21	3.68	87.46	10
54.10 ~ 55.20	L	14	2.03	89.49	10
55.10 ~ 56.20	L	73	27.65	117.14	10
56.10 ~ 57.20	M	8	96.20	213.34	10
57.10 ~ 58.20	L	34	8.08	221.42	10
58.10 ~ 59.20	L	33	7.69	229.11	10
59.10 ~ 60.20	L	21	3.68	232.80	10
60.10 ~ 61.20	L	24	4.55	237.35	10
61.10 ~ 62.20	L	13	1.84	239.19	10
62.10 ~ 63.20	L	7	0.98	240.17	10
63.10 ~ 64.20	L	8	1.09	241.26	10
64.10 ~ 65.20	L	9	1.22	242.48	10
65.10 ~ 66.20	L	9	1.22	243.69	10
66.10 ~ 67.20	L	7	0.98	244.67	10
67.10 ~ 68.20	L	8	1.09	245.76	10
68.10 ~ 69.20	L	8	1.09	246.85	10
77.10 ~ 78.20	M	35	682.61	929.47	10
77.95 ~ 79.05	M	66	1355.90	2285.37	10
76.86 ~ 77.95	M	13	204.80	2490.16	10

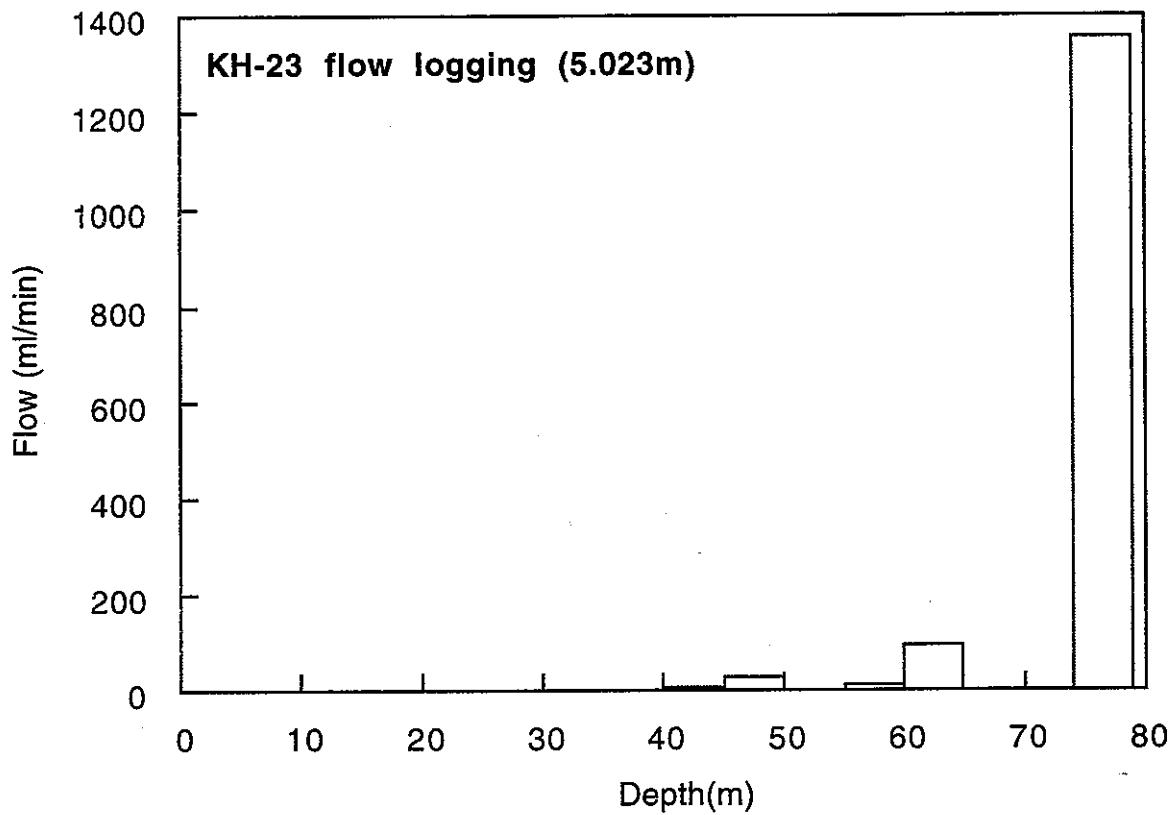


図-8.3.1 流量検層結果（KH-23孔、5.023m間隔）

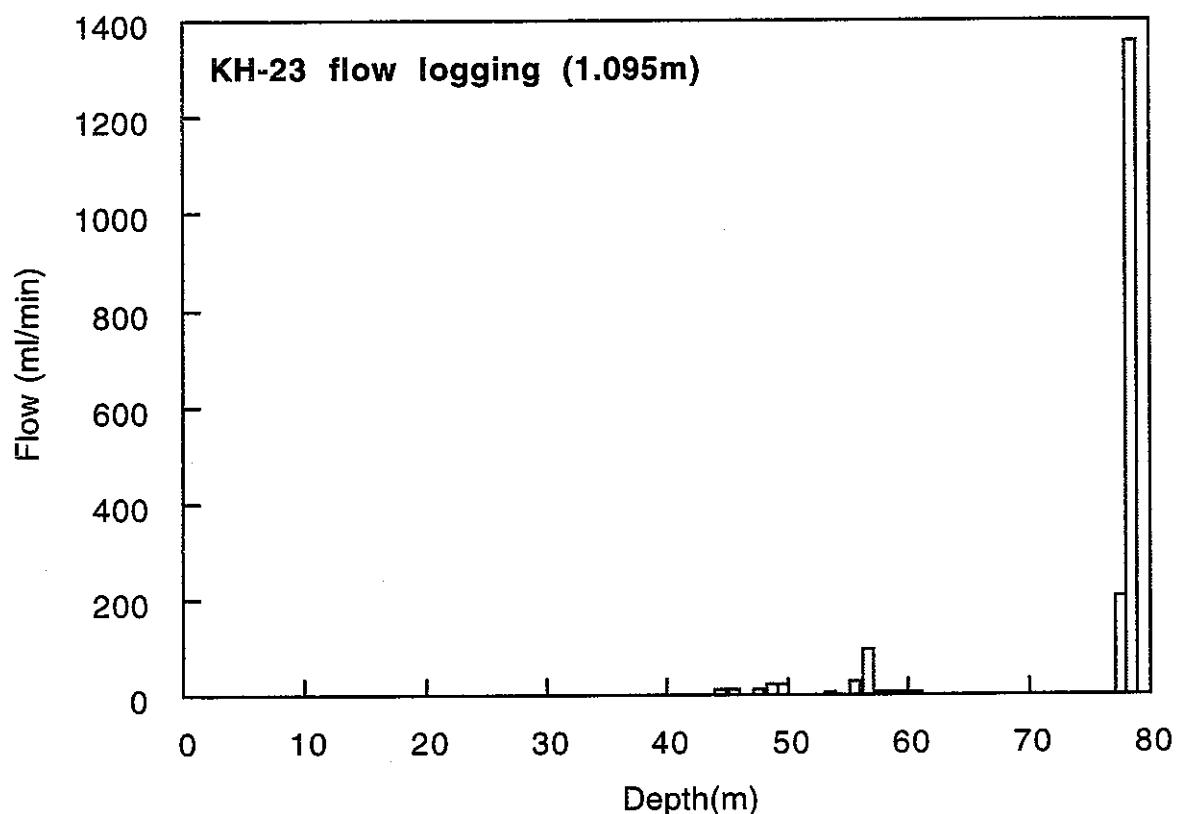


図-8.3.2 流量検層結果（KH-23孔、1.095m間隔）

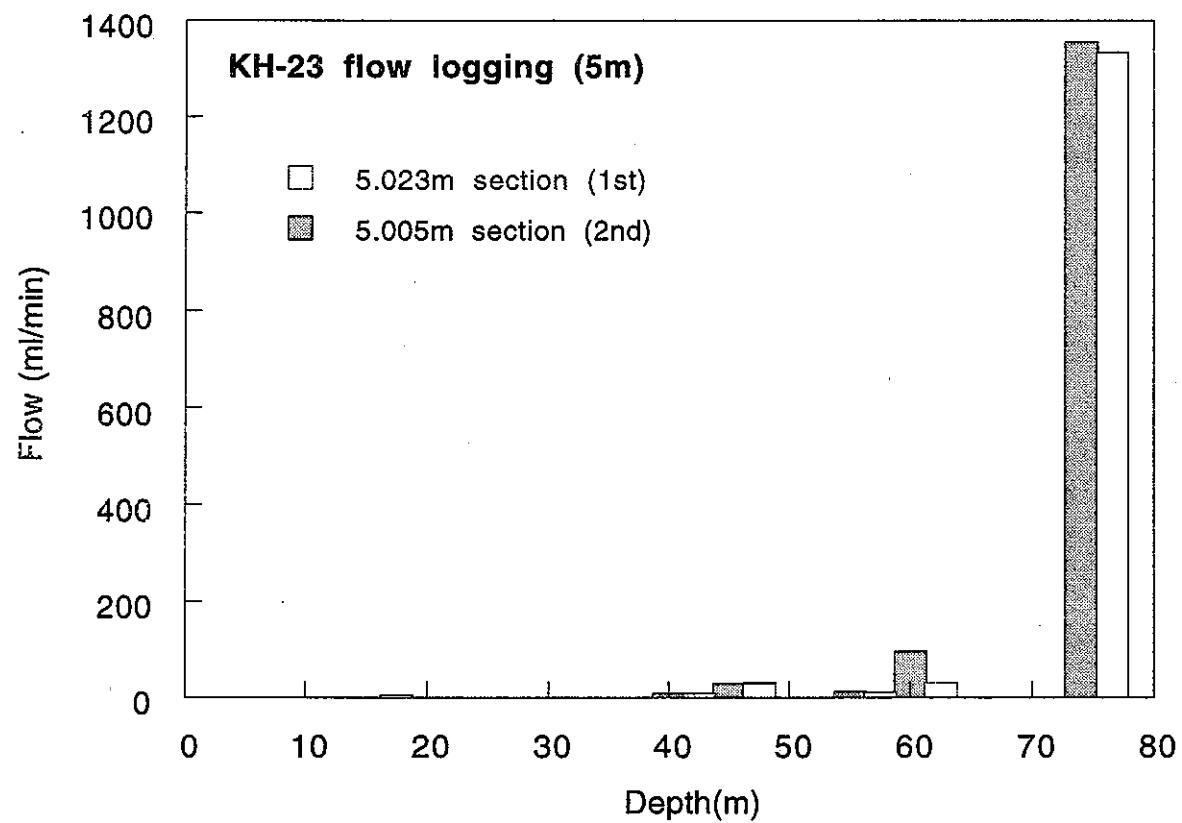


図-8.3.3 流量検層結果 (KH-23孔、5.005m間隔および5.023m間隔)

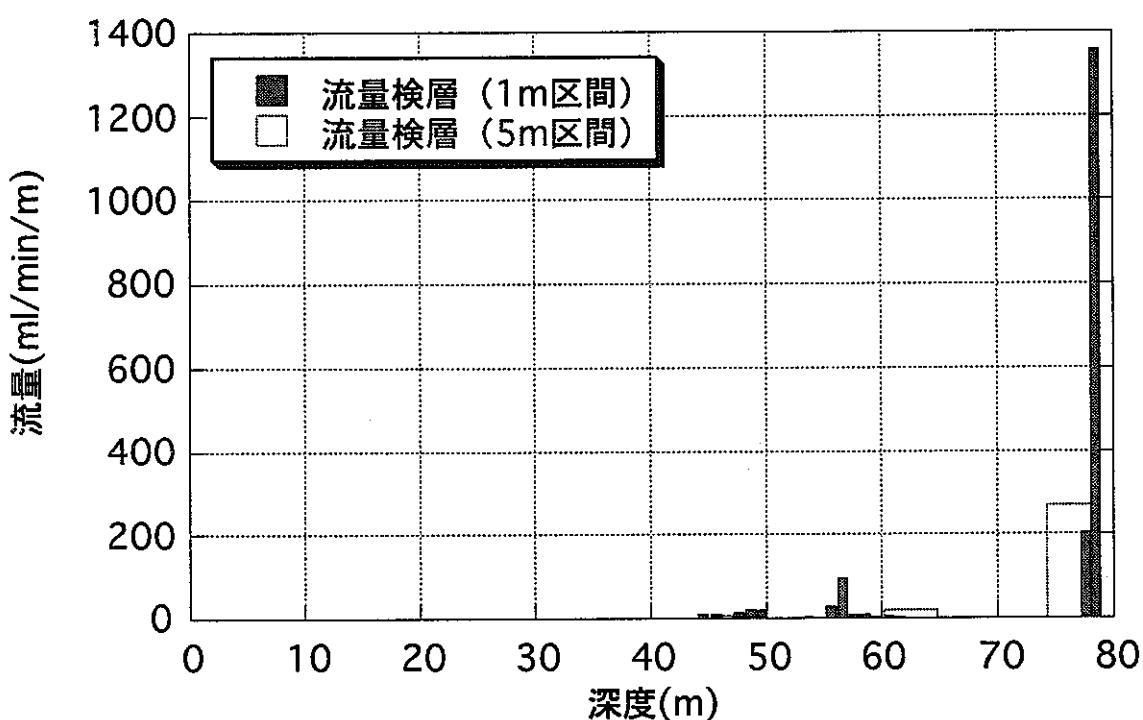


図-8.3.4 流量検層結果 (KH-23孔、5 mおよび1 m区間)
*5m区間は2回目の検層結果を表示

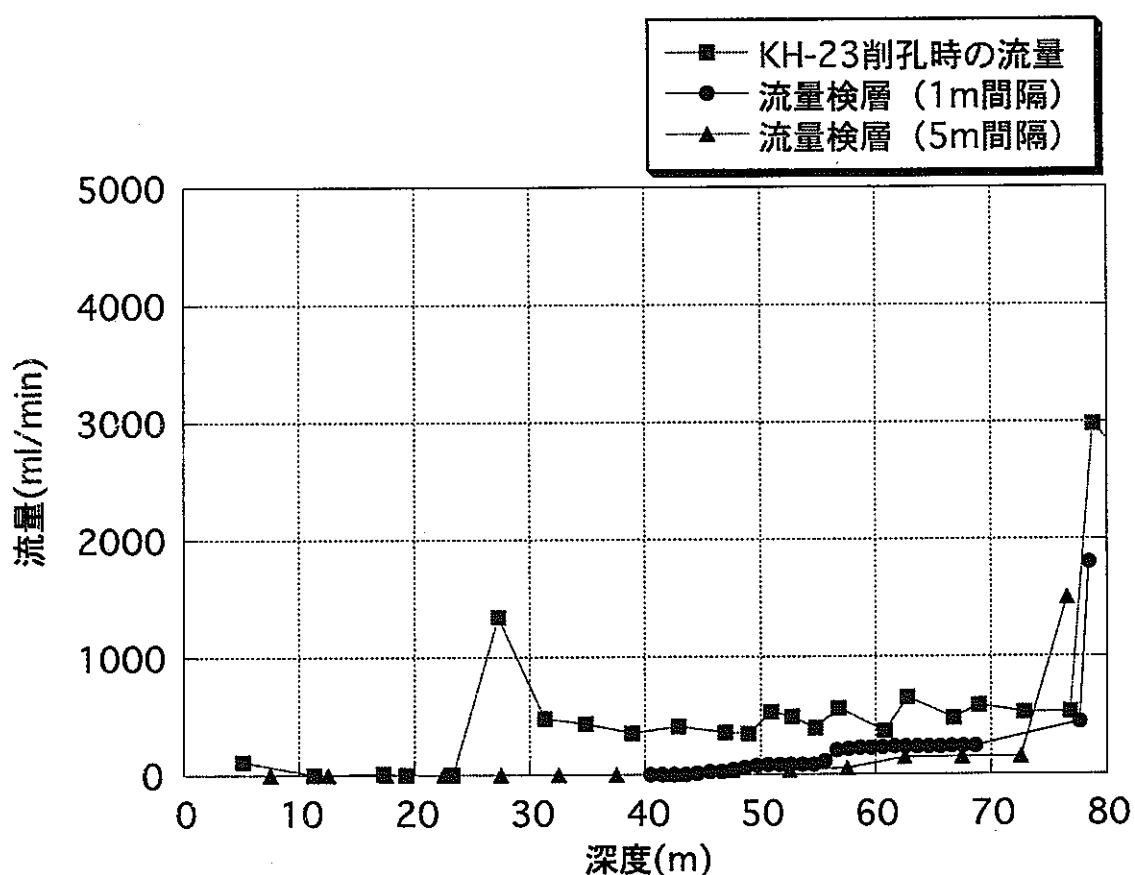


図-8.3.5 流量検層結果と削孔時流量の比較 (KH-23孔)
*削孔時流量との比較のため、流量検層結果は累積流量で表示

8.3.2 KH-21孔

KH-21孔の流量検層も、KH-23孔と同様な方法で実施した。すなわち、まず測定区間長を5m（5.070m）に設定してボーリング孔全長にわたって概略的に調査し、流量が確認された区間において測定区間を1mに変更して詳しく調査した。

(1) 測定区間長 5m（実測5.070m）

測定区間長5m（5.070m）の流量検層結果を表-8.3.4および図-8.3.6に示す。湧水が多かったのは50～55m区間の3781ml/min、次いで45～50m区間の1682 ml/min、以下35～40m区間の1312 ml/min、20～25m区間の726 ml/min等である。メスシリンダー測定による総流量は8394ml/minであり、測定当日の孔口元流量（8571 ml/min）とほぼ一致している。

(2) 測定区間長 1m（実測1.055mおよび0.950m）

測定区間5mの流量検層で、顕著な湧水の見られた区間を対象として、1m区間の流量検層を実施した。測定区間長を1.055mとした流量検層結果を表-8.3.5および図-8.3.7に示す。パッカー圧は5m区間流量検層と同じ10kgf/cm²とした。

この結果では、1.055m区間の総流量が16641ml/minとなり、これは測定当日の口元流量の2倍以上である。この原因として次の2つの可能性が考えられた。1つは測定区間が重複している可能性（測定区間長が1mよりわずかに短い）であり、もう1つはパッカー圧が不足している可能性である。そこで上記の可能性を踏まえ、条件を変えた2回目の測定区間1mの流量検層を実施した。

2回目の検層では、測定区間の重複を少なくするため、パッカー区間長を約10cm縮小し0.950mにセットした。またパッカー圧も10kgf/cm²から20kgf/cm²に引上げることにした。2回目の1m区間流量検層結果を表-8.3.6および図-8.3.8に示す。2回目の総流量は9673ml/minとなり、口元流量の1.13倍となった。流量分布においても1回目と異なり、大きな流量の区間がシャープに現れており、1回目の検層よりも傾向の良い一致を見る。

以上から2回目の検層結果がより信頼性の高いものと考えられる。この結果について見ると、1000 ml/min以上の湧水が観測されたのは、52～53m区間の2227ml/min、次いで54～55m区間の1968ml/min、以下37～38m区間の1191ml/min、45～46m区間の1182ml/min等である。

図-8.3.9に5m区間および1m区間（2回目）の流量検層結果を併せたプロットを示す。また、図-8.3.10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-21孔掘削時の口元流量測定結果を併せて示してある。KH-23孔と同様、流量検層結果は掘削時の湧水量と比べて全体的に少なくなつており、これは掘削直後においては定常状態に至る前の非定常的な流量が測定されたものと考えられる。

表-8.3.4 流量検層結果 (KH-21孔、5.070m間隔)

深度 (m)	流量計		区間流量 (ml/min)	累積流量 (ml/min)	パッカーパー (kgf/cm)
	タイプ	読み値			
5.00 ~ 10.07	L	0	0	0	10
10.00 ~ 15.07	L	0	0	0	10
15.00 ~ 20.07	M	10	140	140	10
20.00 ~ 25.07	M	37	726	866	10
25.00 ~ 30.07	L	4.5	0	866	10
30.00 ~ 35.07	L	0	0	866	10
35.00 ~ 40.07	M	64	1312	2179	10
40.00 ~ 45.07	M	17.5	303	2481	10
45.00 ~ 50.07	M	81	1682	4163	10
50.00 ~ 55.07	H	50	3781	7944	10
55.00 ~ 60.07	M	12	183	8127	10
60.00 ~ 65.07	L	0	0	8127	10
65.00 ~ 70.07	M	7	74	8202	10
70.00 ~ 75.07	M	10	140	8341	10
74.13 ~ 79.20	M	6	53	8394	10

表-8.3.5 流量検層結果 (KH-21孔、1.055m間隔)

深度 (m)	流量計		区間流量 (ml/min)	累積流量 (ml/min)	パッカーパー (kgf/cm ²)
	タイプ	読み値			
15.00 ~ 16.06	L	0	0	0	10
16.00 ~ 17.06	L	0	0	0	10
17.00 ~ 18.06	L	0	0	0	10
18.00 ~ 19.06	M	10	140	140	10
19.00 ~ 20.06	L	0	0	140	10
20.00 ~ 21.06	M	38	748	887	10
21.00 ~ 22.06	M	38	748	1635	10
22.00 ~ 23.06	L	32	7	1642	10
23.00 ~ 24.06	L	16	2	1645	10
24.00 ~ 25.06	L	0	0	1645	10
25.00 ~ 26.06	L	12	2	1646	10
26.00 ~ 27.06	L	9	1	1648	10
27.00 ~ 28.06	L	6	1	1648	10
28.00 ~ 29.06	L	7	1	1649	10
29.00 ~ 30.06	L	6	1	1649	10
30.00 ~ 31.06	L	7	1	1650	10
35.00 ~ 36.06	L	50	15	1665	10
36.00 ~ 37.06	M	35	683	2347	10
37.00 ~ 38.06	M	63	1291	3638	10
38.00 ~ 39.06	M	37	726	4364	10
39.00 ~ 40.06	L	28	6	4370	10
40.00 ~ 41.06	L	40	10	4380	10
41.00 ~ 42.06	L	47	13	4394	10
42.00 ~ 43.06	L	56	18	4411	10
43.00 ~ 44.06	L	24	5	4416	10
44.00 ~ 45.06	M	20	357	4773	10
45.00 ~ 46.06	M	64	1312	6085	10
46.00 ~ 47.06	M	57	1160	7245	10
47.00 ~ 48.06	M	10	140	7385	10
48.00 ~ 49.06	M	12	183	7568	10
49.00 ~ 50.06	M	16	270	7838	10
50.00 ~ 51.06	M	10	140	7978	10
51.00 ~ 52.06	M	62	1269	9247	10
52.00 ~ 53.06	H	29	1968	11215	10
53.00 ~ 54.06	H	41	3004	14219	10
54.00 ~ 55.06	M	81	1682	15901	10
55.00 ~ 56.06	M	15	248	16149	10
56.00 ~ 57.06	L	86	35	16184	10
57.00 ~ 58.06	L	24	5	16189	10
58.00 ~ 59.06	L	6	1	16189	10
59.00 ~ 60.06	L	10	1	16191	10
65.00 ~ 66.06	L	7	1	16191	10
66.00 ~ 67.06	M	5	31	16222	10
67.00 ~ 68.06	L	76	29	16251	10
68.00 ~ 69.06	L	0	0	16251	10
69.00 ~ 70.06	L	5	0	16252	10
70.00 ~ 71.06	M	5	31	16283	10
71.00 ~ 72.06	M	10	140	16422	10
72.00 ~ 73.06	M	10	140	16562	10
73.00 ~ 74.06	L	5	0	16562	10
74.00 ~ 75.06	L	5	0	16563	10
75.00 ~ 76.06	L	11	1	16564	10
76.00 ~ 77.06	L	51	15	16579	10
77.00 ~ 78.06	L	0	0	16579	10
78.00 ~ 79.06	M	5	31	16610	10
78.15 ~ 79.20	M	5	31	16641	10

表-8.3.6 流量検層結果 (KH-21孔、0.950m間隔)

深度 (m)	流量計		区間流量 (ml/min)	累積流量 (ml/min)	パッカーパー (kgf/cm)
	タイプ	読み値			
15.00 ~ 16.00	L	8	1	1	20
16.00 ~ 17.00	L	0	0	1	20
17.00 ~ 18.00	L	26	5	6	20
18.00 ~ 19.00	M	9	118	124	20
19.00 ~ 20.00	L	0	0	124	20
20.00 ~ 21.00	M	8	96	220	20
21.00 ~ 22.00	M	38	748	968	20
22.00 ~ 23.00	L	0	0	968	20
23.00 ~ 24.00	L	0	0	968	20
24.00 ~ 25.00	L	0	0	968	20
35.00 ~ 36.00	L	7	1	969	20
36.00 ~ 37.00	M	6	53	1021	20
37.00 ~ 38.00	H	20	1191	2213	20
38.00 ~ 39.00	L	77	29	2242	20
39.00 ~ 40.00	L	0	0	2242	20
40.00 ~ 41.00	L	24	5	2246	20
41.00 ~ 42.00	L	23	4	2251	20
42.00 ~ 43.00	L	57	18	2269	20
43.00 ~ 44.00	L	12	2	2271	20
44.00 ~ 45.00	L	10	1	2272	20
45.00 ~ 46.00	M	58	1182	3454	20
46.00 ~ 47.00	M	45	900	4354	20
47.00 ~ 48.00	L	19	3	4357	20
48.00 ~ 49.00	L	0	0	4357	20
49.00 ~ 50.00	M	15	248	4605	20
50.00 ~ 51.00	L	0	0	4605	20
51.00 ~ 52.00	M	18	313	4919	20
52.00 ~ 53.00	H	32	2227	7146	20
53.00 ~ 54.00	M	4	9	7155	20
54.00 ~ 55.00	H	29	1968	9123	20
55.00 ~ 56.00	M	7	74	9198	20
56.00 ~ 57.00	L	7	1	9198	20
57.00 ~ 58.00	L	22	4	9202	20
58.00 ~ 59.00	L	9	1	9203	20
59.00 ~ 60.00	L	12	2	9205	20
65.00 ~ 66.00	L	0	0	9205	20
66.00 ~ 67.00	M	7	74	9280	20
67.00 ~ 68.00	M	4	9	9289	20
68.00 ~ 69.00	L	9	1	9290	20
69.00 ~ 70.00	L	5	0	9290	20
70.00 ~ 71.00	L	6	1	9291	20
71.00 ~ 72.00	M	10	140	9431	20
72.00 ~ 73.00	M	10	140	9570	20
73.00 ~ 74.00	L	10	1	9572	20
74.00 ~ 75.00	L	7	1	9572	20
75.00 ~ 76.00	L	11	1	9574	20
76.00 ~ 77.00	L	51	15	9589	20
77.00 ~ 78.00	L	0	0	9589	20
78.00 ~ 79.00	M	6	53	9642	20
78.28 ~ 79.28	M	5	31	9673	20

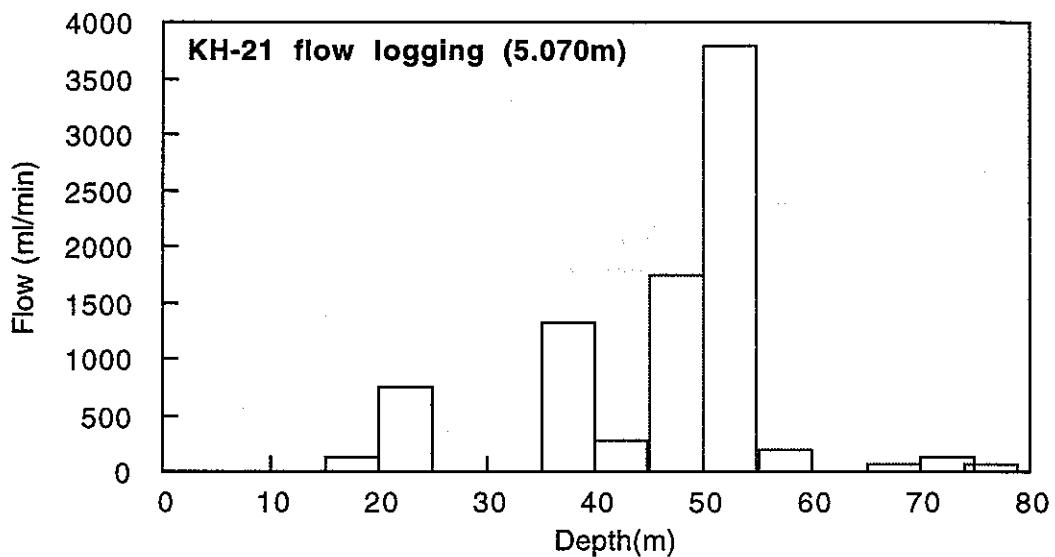


図-8.3.6 流量検層結果（KH-21孔、5.070m間隔）

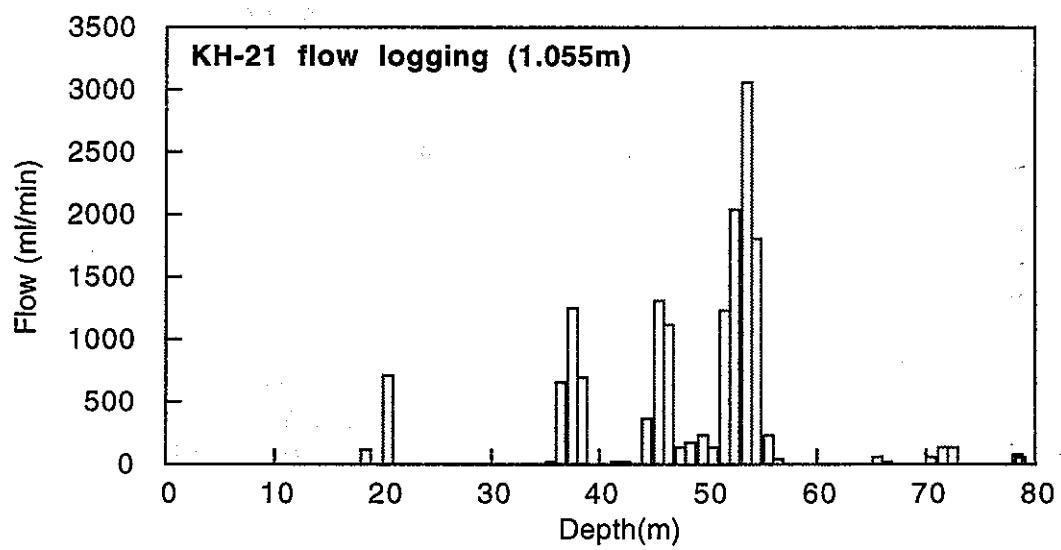


図-8.3.7 流量検層結果（KH-21孔、1.055m間隔）

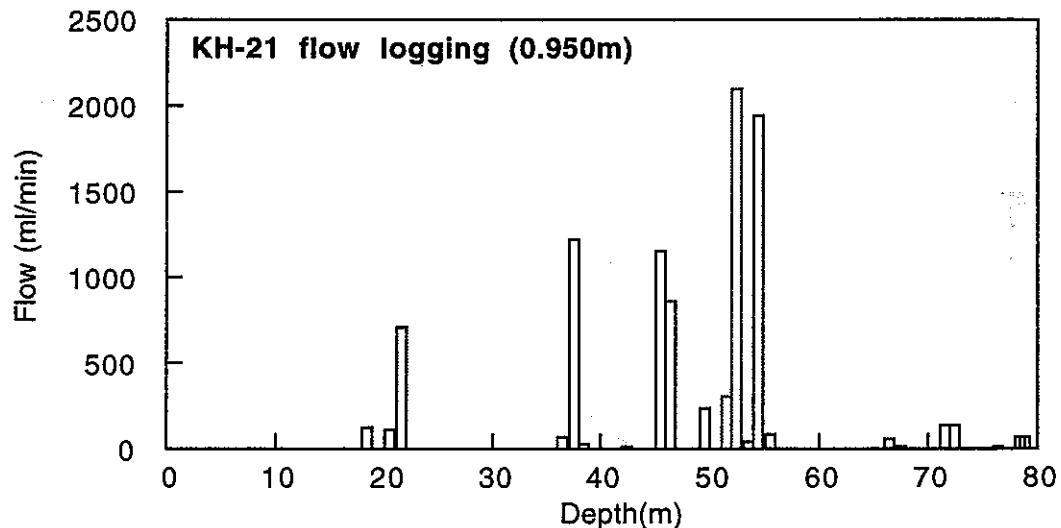


図-8.3.8 流量検層結果（KH-21孔、0.950m間隔）

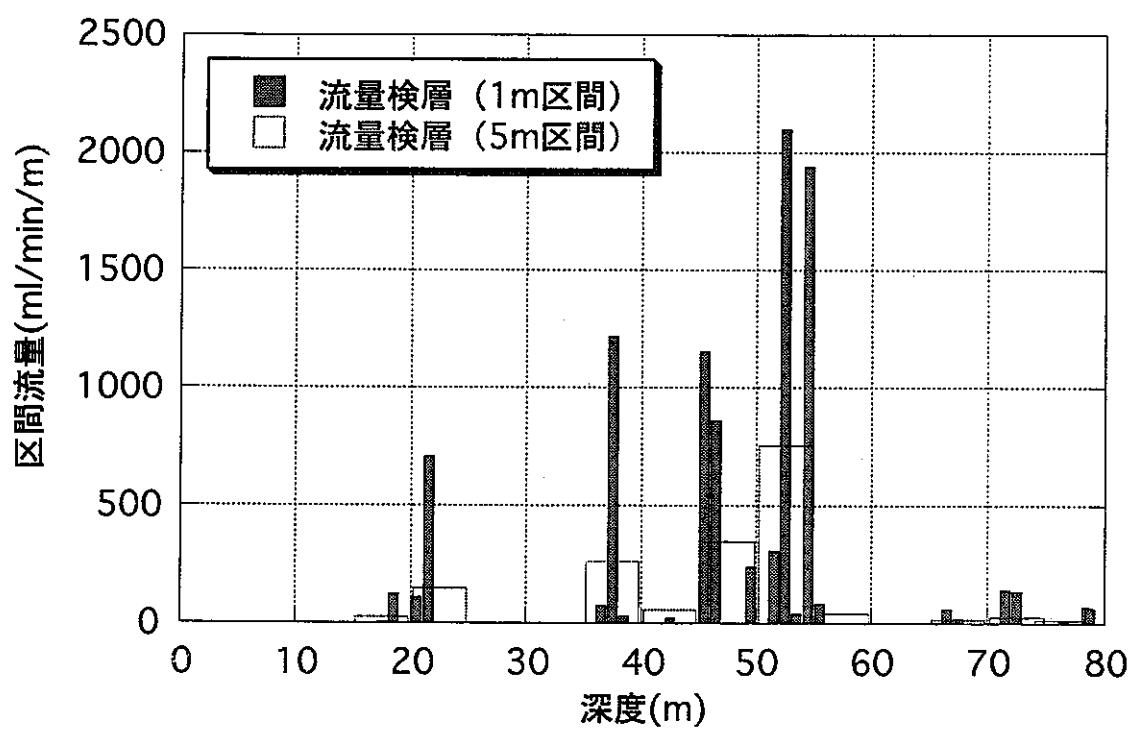


図-8.3.9 流量検層結果 (KH-21孔、5 mおよび1 m区間)
* 1 m区間は2回目の検層結果を表示

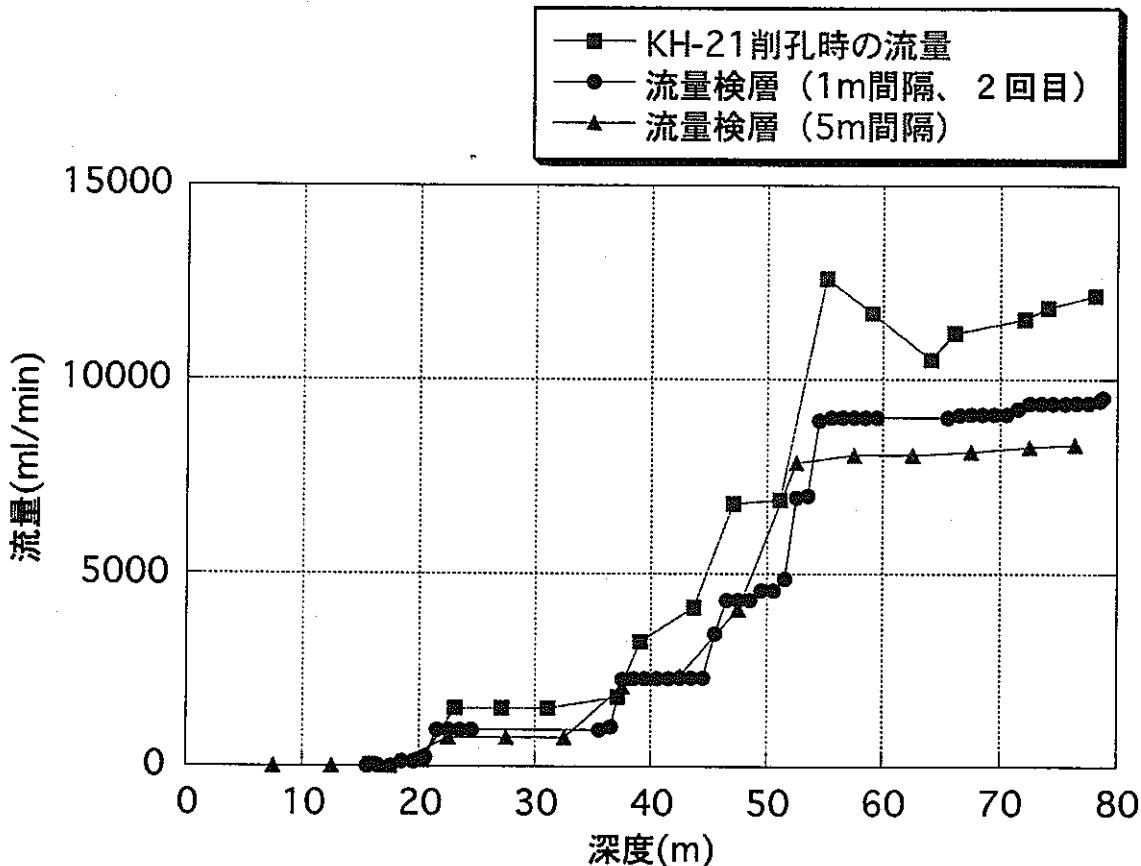


図-8.3.10 流量検層結果と削孔時流量の比較 (KH-21孔)
* 削孔時流量との比較のため、流量検層結果は累積流量で表示

8.3.3 KH-25孔

KH-25孔の流量検層も、KH-23孔、KH-21孔と同様の方法で実施した。即ち、まず測定区間長を5m（5.010m）に設定してボーリング孔全長にわたって概略的に調査し、流量が確認された区間において測定区間を1mに変更して詳しく調査した。

(1) 測定区間長 5m (実測 5.010m)

測定区間長 5m (実測 5.010m) の結果を、表-8.3.7および図-8.3.11 に示す。有意な流量が観測されたのは12～22m区間、32～62m区間、67～72m区間である。52～57.01m区間ではKH-25孔全体からの流量の約半分に当たる3004ml/minを観測した。隣接するKH-21孔においても深度50m～55m区間において最大流量を記録しており、全体的な流量分布においてもKH-21孔と良く似た傾向を示す。なお、メスシリンダーによる総流量は6742ml/minであり、試験当日の口元流量（7027ml/min）とほぼ一致している。

(2) 測定区間長1m (実測 0.990m)

5m区間の流量検層で、顯著な湧水が観測された区間を対象として1m区間流量検層を実施した。測定区間長を実測で0.990mとした流量検層結果を表-8.3.8および図-8.3.12に示す。パッカーワークは5m区間流量検層と同じ15kgf/cm²とした。流量の多い区間は53.0～54.0m区間、54.0～55.0m区間、19.0～20.0m区間、45.0～46.0m区間、51.0～52.0m区間等である。メスシリンダーによる総流量は7686ml/minであり、試験当日の口元流量（7057 ml/min）より若干流量が多い結果となった。このような1m区間検層の総流量が口元流量あるいは5m区間流量検層より大きくなる傾向は、先に実施したKH-23、KH-21孔においても同様に認められ、その理由としては前述したクロスフローの影響が考えられる。

図-8.3.13に5m区間および1m区間（2回目）の流量検層結果を併せたプロットを示す。また、図-8.3.14に、流量検層結果を口元からの累積流量に変換し、KH-25孔掘削時の口元流量と比較した結果を示す。流量検層結果は掘削時の湧水量と傾向的には良く一致している。

表-8.3.7 流量検層結果 (KH-25孔、5.010m区間)

深度 (m)	流量計		区間流量 (ml/min)	累積流量 (ml/min)	背圧 (kgf/cm)	パッカーワーク (kgf/cm)
	タイプ	読み値				
2.00 ~ 7.01	L	0	0	0	0	15
7.00 ~ 12.01	L	0	0	0	0	15
12.00 ~ 17.01	M	32	617	617	0.05	15
17.00 ~ 22.01	H	19	1105	1722	0.15	15
22.00 ~ 27.01	L	0	0	1722	0	15
27.00 ~ 32.01	L	0	0	1722	0	15
32.00 ~ 37.01	M	6	53	1775	0	15
37.00 ~ 42.01	L	48	14	1789	0.05	15
42.00 ~ 47.01	M	39	769	2558	0.05	15
47.00 ~ 52.01	M	36	704	3262	0.05	15
52.00 ~ 57.01	H	41	3004	6267	0.75	20
57.00 ~ 62.01	M	8	96	6363	0	15
62.00 ~ 67.01	L	9	1	6364	0	15
67.00 ~ 72.01	M	21	379	6742	0	20
72.00 ~ 77.01	L	0	0	6742	0	15
74.15 ~ 79.15	L	0	0	6742	0	15

表-8.3.8 流量検層結果 (KH-25孔、0.990m区間)

深度 (m)	流量計		区間流量 (ml/min)	累積流量 (ml/min)	背圧 (kgf/cm)	パッカ一圧 (kgf/cm)
	タイプ	読み値				
12.00 ~ 13.00	L	56	18	18	0.00	15.00
13.00 ~ 14.00	M	18	313	331	0.05	15.00
14.00 ~ 15.00	M	20	357	688	0.15	15.00
15.00 ~ 16.00	M	9	118	806	0.10	15.00
16.00 ~ 17.00	L	9	1	807	0.10	15.00
17.00 ~ 18.00	L	20	3	810	0.05	15.00
18.00 ~ 19.00	M	5	31	841	0.05	15.00
19.00 ~ 20.00	M	60	1226	2067	0.20	25.00
20.00 ~ 21.00	L	0	0	2067	0.00	15.00
21.00 ~ 22.00	L	29	6	2073	0.00	15.00
22.00 ~ 23.00	L	30	6	2080	0.00	15.00
32.00 ~ 33.00	L	12	2	2081	0.00	15.00
33.00 ~ 34.00	L	20	3	2085	0.00	15.00
34.00 ~ 35.00	L	9	1	2086	0.00	15.00
35.00 ~ 36.00	L	49	14	2100	0.00	15.00
36.00 ~ 37.00	M	6	53	2153	0.00	15.00
37.00 ~ 38.00	L	19	3	2156	0.00	15.00
38.00 ~ 39.00	L	40	10	2166	0.00	15.00
39.00 ~ 40.00	L	12	2	2168	0.00	15.00
40.00 ~ 41.00	L	57	18	2186	0.00	15.00
41.00 ~ 42.00	L	50	15	2200	0.00	15.00
42.00 ~ 43.00	L	11	1	2202	0.00	15.00
43.00 ~ 44.00	L	24	5	2206	0.00	15.00
44.00 ~ 45.00	L	15	2	2209	0.00	15.00
45.00 ~ 46.00	M	40	791	3000	0.05	15.00
46.00 ~ 47.00	L	0	0	3000	0.00	15.00
47.00 ~ 48.00	L	21	4	3004	0.00	15.00
48.00 ~ 49.00	L	0	0	3004	0.00	15.00
49.00 ~ 50.00	L	0	0	3004	0.00	15.00
50.00 ~ 51.00	L	28	6	3010	0.00	15.00
51.00 ~ 52.00	M	35	683	3692	0.05	15.00
52.00 ~ 53.00	M	9	118	3810	0.00	15.00
53.00 ~ 54.00	H	26	1709	5519	0.25	15.00
54.00 ~ 55.00	H	24	1536	7056	0.50	15.00
55.00 ~ 56.00	M	9	118	7173	0.00	15.00
56.00 ~ 57.00	L	12	2	7175	0.00	15.00
57.00 ~ 58.00	L	0	0	7175	0.00	15.00
58.00 ~ 59.00	L	13	2	7177	0.00	15.00
59.00 ~ 60.00	L	0	0	7177	0.00	15.00
60.00 ~ 61.00	L	20	3	7180	0.00	15.00
61.00 ~ 62.00	M	10	140	7320	0.00	15.00
67.00 ~ 68.00	L	13	2	7322	0.00	15.00
68.00 ~ 69.00	L	12	2	7323	0.00	15.00
69.00 ~ 70.00	M	20	357	7680	0.00	15.00
70.00 ~ 71.00	L	20	3	7684	0.00	13.00
71.00 ~ 72.00	L	13	2	7686	0.00	15.00

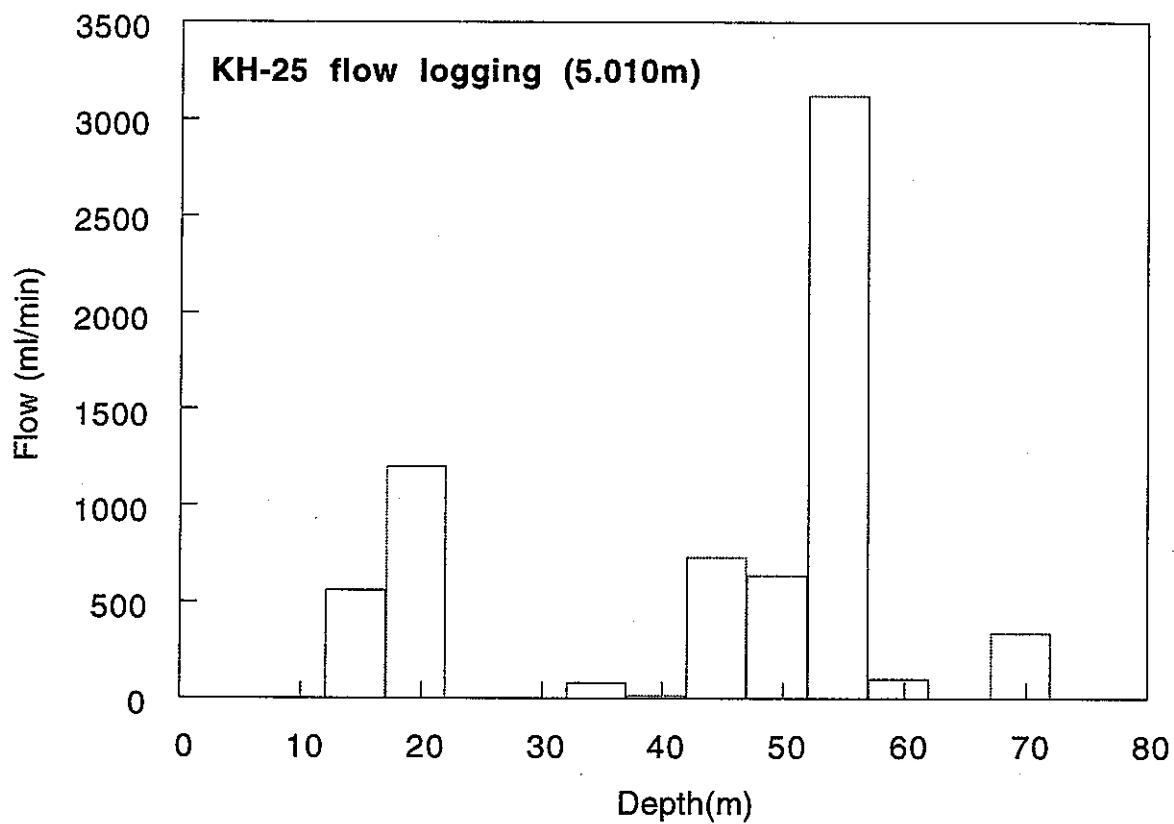


図-8.3.11 流量検層結果 (KH-25孔、5.010m間隔)

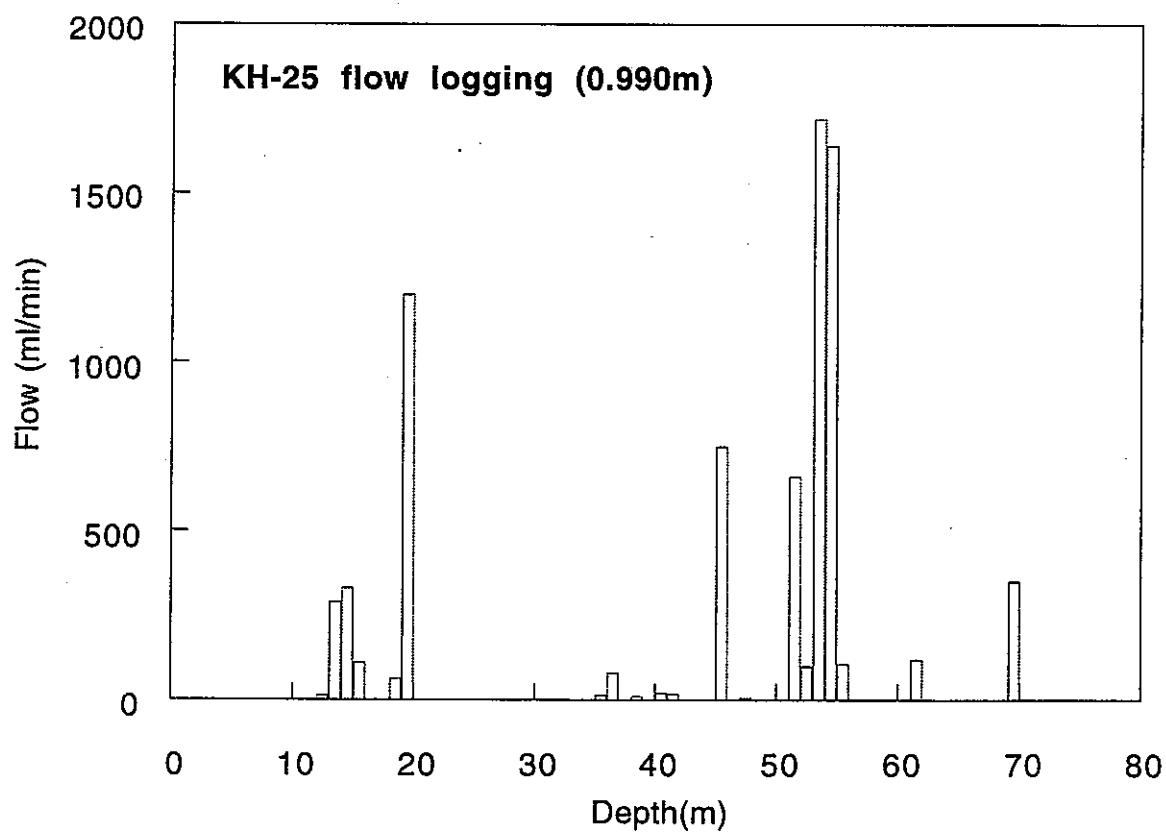


図-8.3.12 流量検層結果 (KH-25孔、0.990m間隔)

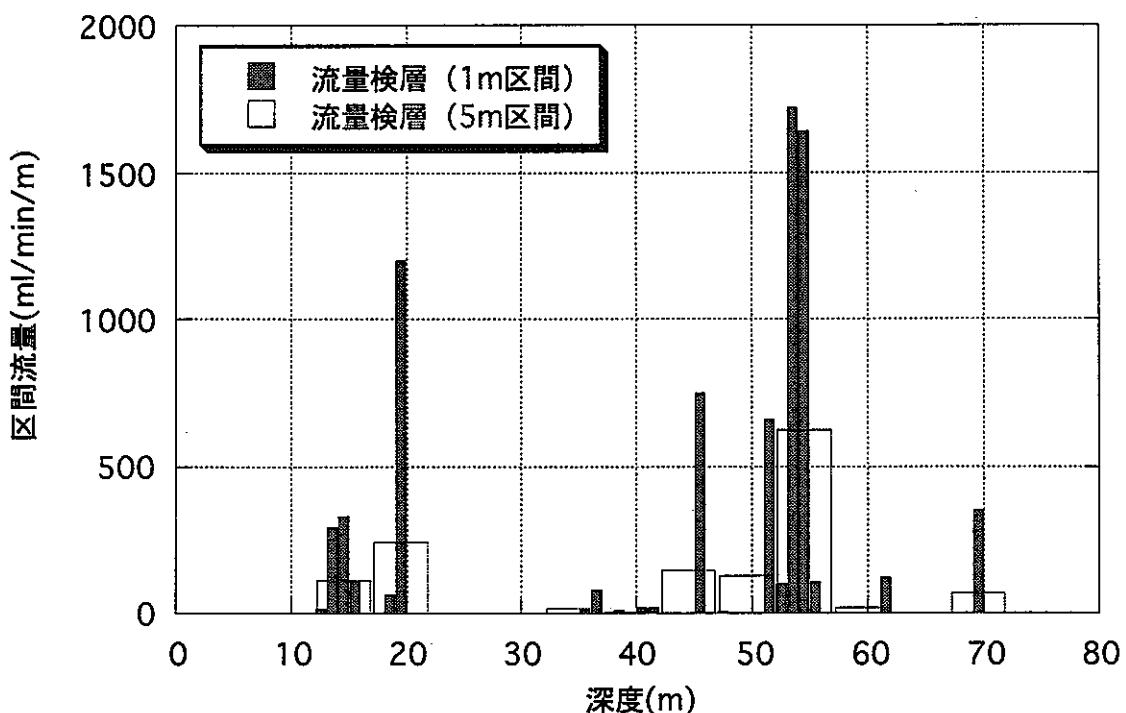


図-8.3.13 流量検層結果 (KH-25孔、5 mおよび1 m区間)

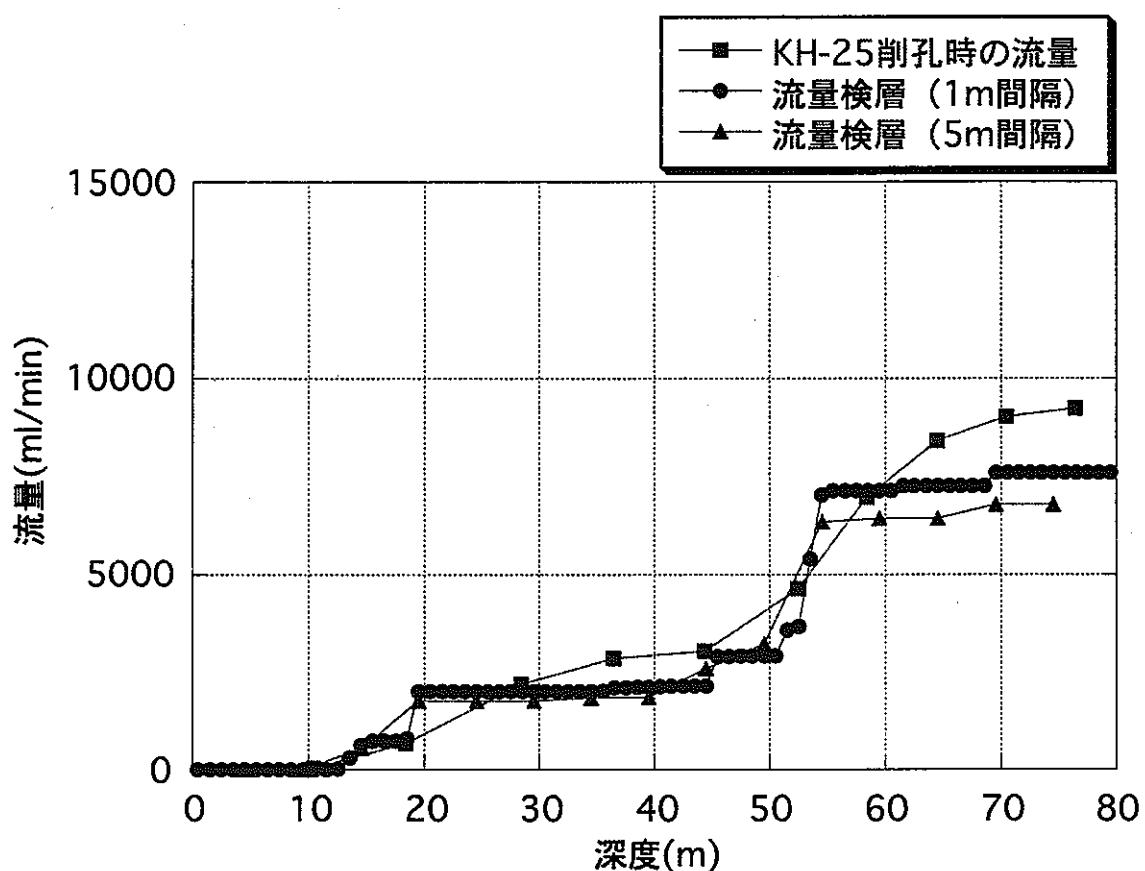


図-8.3.14 流量検層結果と削孔時流量の比較 (KH-25孔)
*削孔時流量との比較のため、流量検層結果は累積流量で表示

8.4 流量検層結果を用いた透水量係数の算定

流量検層により各区間の定常流量が得られると仮定すると、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 $T(m^2/s)$ 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)、 $\Delta h(m)$ は水頭差である。このうち、影響半径 R の長さは未知であるが、 T はその対数で評価されるので、結果への影響は小さい。ちなみに、76mmのボーリング孔径に対して、 $R=40m$ と仮定すると、上式の分子にある対数の項は 2π に等しい。この場合には、透水量係数は、比排水容量（流量を水等差で徐したもの）に一致する。したがって、比排水容量は、透水量係数の近似値として妥当であると考えられる。

さらに、透水係数は、透水量係数を測定区間長で除することにより求められる。

KH-23、KH-21、KH-25の各孔の1m区間流量検層結果をもとに算定した、各孔に沿った透水量係数を図-8.4.1～図-8.4.3に示す。なお、圧力値は後述するパッカー設置後の区間圧等を参考に概略的に決定した値を用いている。

KH-23孔の高透水ゾーンは、77m～79mの区間に存在する。一方、KH-21およびKH-25孔の高透水性ゾーンの分布は似通っており、いずれの孔においても深度50～56m付近に支配的な透水性割れ目の存在が伺える。

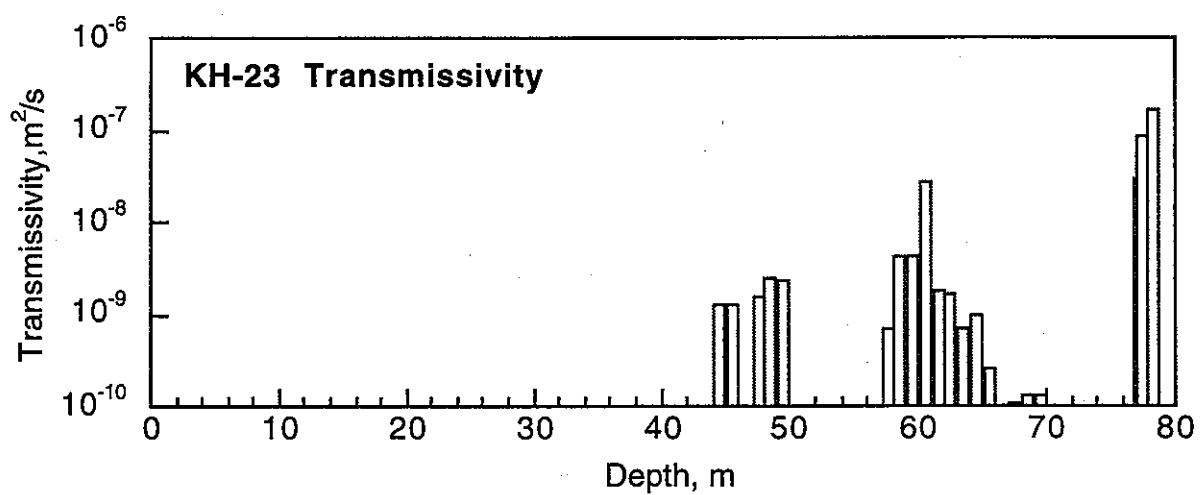


図-8.4.1 透水量係数 (KH-23孔)

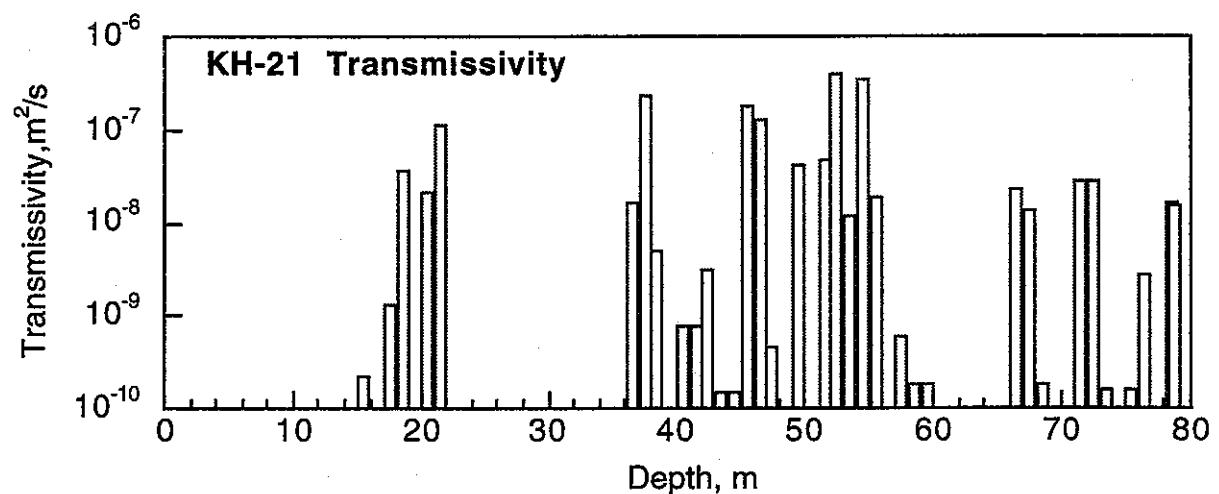


図-8.4.2 透水量係数 (KH-21孔)

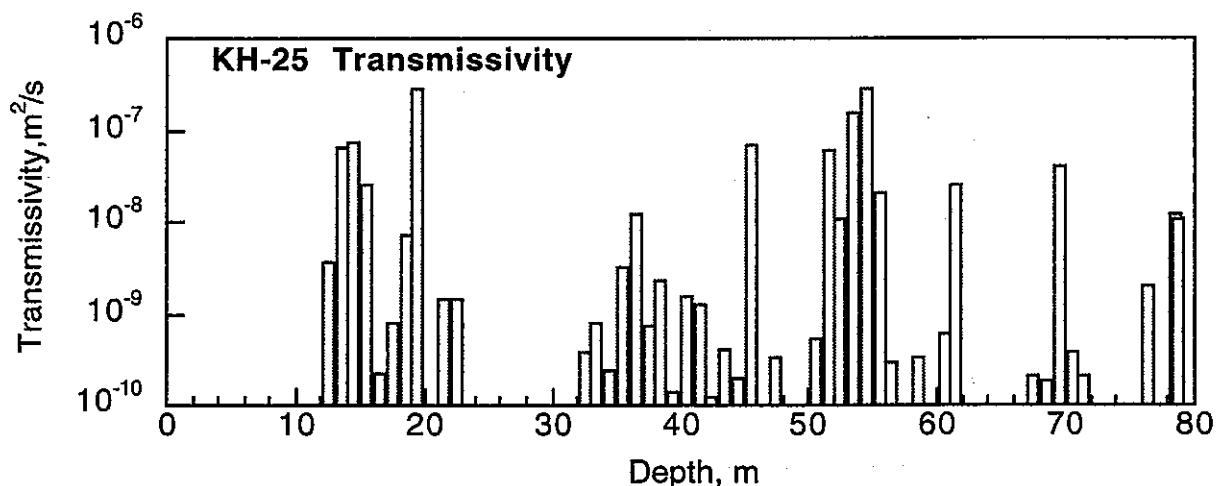


図-8.4.3 透水量係数 (KH-25孔)

9 KH-25孔の透水試験

9.1 概要

本年度の最後に削孔したボーリング孔KH-25孔において単孔式透水試験を実施し、KH-25孔内に分布する透水性ゾーンの透水係数、貯留係数などの水理物性値を評価するとともに、透水性ゾーンの分布に関する情報を取得する。今回の単孔式透水試験では各試験区間毎にビルドアップ試験とアウトフロー試験を行った。ビルドアップ試験は、ダブルパッカーで区切った試験区間をシャットインした後の水圧上昇過程を測定するものであり、アウトフロー試験では区間開放後の流量減少過程を測定する。各々の測定結果を理論解とフィッティングすることにより水理物性値を評価する。

9.2 試験方法

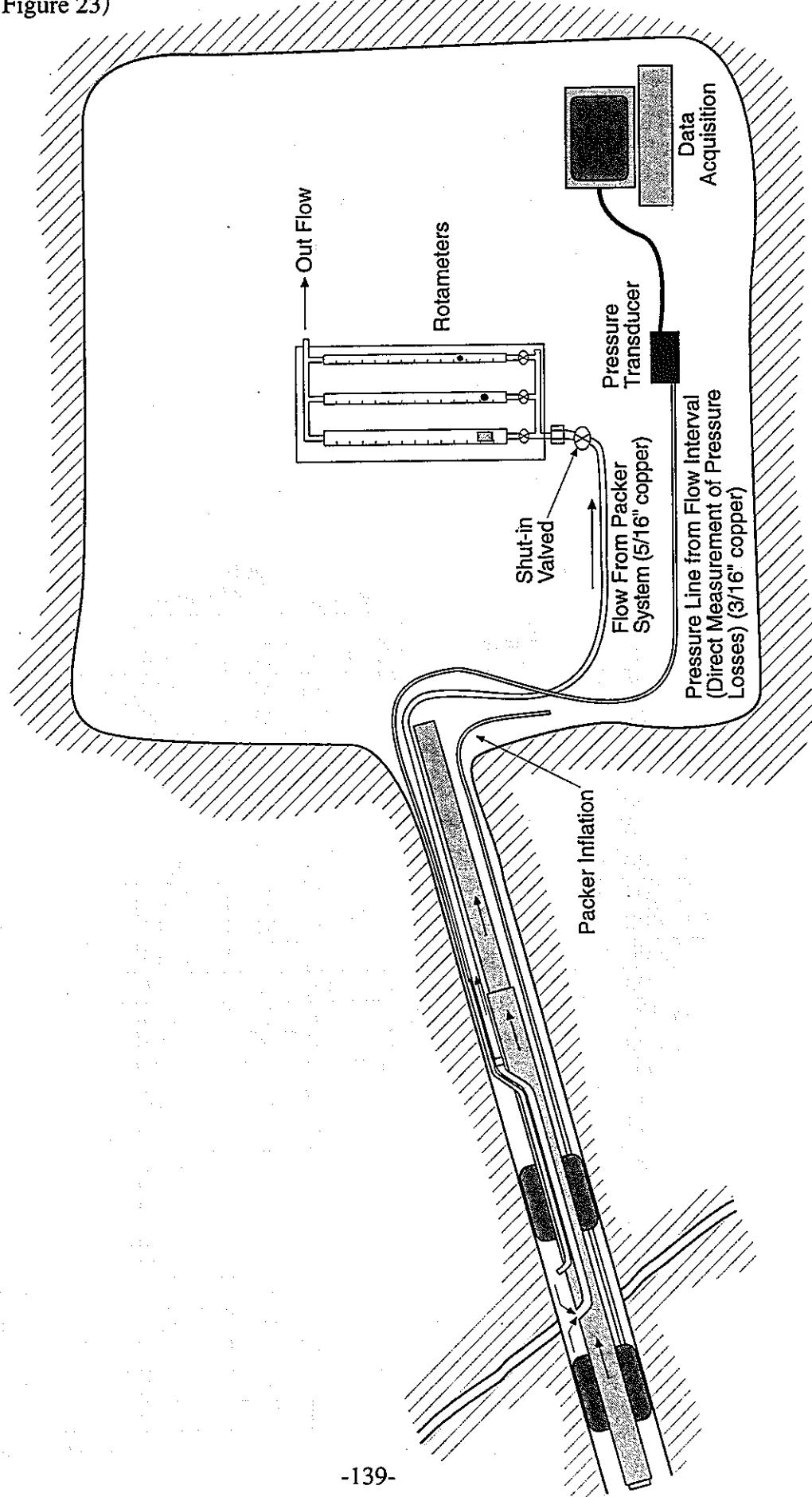
試験装置の概要を図-9.2.1に示す。試験に用いたダブルパッカーは流量検層とほぼ同様である。流量検層との違いは、配管の大部分に剛性の高い銅チューブを用いている点である。試験区間内から流量測定および間隙水圧測定用の2本の測定用チューブを配管する。流量測定用配管（5/16"銅チューブ）は試験区間の流量を測定するための配管であり、流量計に接続される。流量計には流量検層と同じもの（OMEGA社製 ROTAMETER）を用いている。流量計の手前にバルブを配し、試験区間のシャットインはこのバルブの閉鎖により行う。間隙水圧測定用配管（3/16"銅チューブ）は試験区間の水圧を圧力センサーに伝達するための配管であり、圧力センサーからの出力はデータロガーにより記録する。

パッカーの加圧は水圧ポンプにより行う。水圧ポンプの圧力はパッカー加圧用チューブを通じてパッカーに伝達される。パッカー加圧用には1/4"ナイロンチューブを用い、特に試験区間内では剛性の高い3/16"銅チューブを用いた。

試験手順としては、まず、パッカーシステムを所要の区間長となるように組み立てた後、パッカーを所定の深度に移動する。パッカー深度はロッドに付けられたマークにより確認する。パッカーの移動が完了した後、水圧ポンプによりパッカーを加圧・拡張する。パッカー圧は35kgf/cm²を標準とした。パッカー拡張後、試験区間の流量を測定した後、バルブを閉めて試験区間をシャットインする。シャットイン後の試験区間内の水圧上昇は、圧力センサーを通じてデータロガーにより記録する。試験区間の水圧のサンプリング時間は、シャットイン後100秒間は1~2秒間隔、100秒以降を

図-9.2.1 KH-25孔単孔透水試験装置

(Golder , Figure 23)



10秒間隔を標準とした。水圧上昇が落ち着き、定常状態に達したとみなされた時点では上記のビルドアップ試験を終了し、シャットインバルブを開放する。シャットインバルブを開放すると、孔内からの流量は時間とともに減少しやがて一定流量に落ちる。アウトフロー試験では、この流量減少過程の測定結果を用いて水理特性を解析する。測定ではシャットインバルブを開放した時点から流量が落ちるまで、10秒～1分の間隔で最低15分間、流量計の読みを記録した。

試験対象とした区間を実施順に表-9.2.1に示す。同図中には、ビルドアップ試験の直前に測定した区間流量値を併せて示してある。図-9.2.1にKH-25孔透水試験より算定した透水量係数と実施区間を示す。試験区間の選定に当たっては、透水ゾーンを主な対象とし、必要に応じて試験区間長を変えて詳細に調べた。流量検層において流量が無い、もしくは極めて少ない区間については試験対象から外した。

表-9.2.1 KH-25孔透水試験区間と区間流量

試験 NO.	試験区間(m)	区間長(m)	流量計			メスシリンダー 測定値*)
			読み値	タイプ	流量値*)	
1	12.23 ~ 16.00	3.77				-
2	18.00 ~ 21.77	3.77	17.6	H	984	-
3	34.00 ~ 37.77	3.77	9	M	118	-
4	44.50 ~ 48.27	3.77	39	M	769	-
5	52.50 ~ 56.27	3.77	35	H	2486	-
6	40.00 ~ 43.77	3.77	66	L	23	-
7	50.00 ~ 58.13	8.13				-
8	65.00 ~ 73.13	8.13	19	M	335	-
9	21.000 ~ 23.023	2.023	1	L	0.00	-
10	32.000 ~ 34.023	2.023	3	L	0.20	-
11	45.000 ~ 47.023	2.023	37.8	M	743	708
12	43.000 ~ 45.023	2.023	6	L	0.60	-
13	41.000 ~ 43.023	2.023	46	L	13	12
14	38.000 ~ 40.023	2.023	6	L	0.60	-
15	60.000 ~ 62.023	2.023	6	M	53	70
16	57.500 ~ 59.523	2.023	7.5	L	0.83	-
17	69.000 ~ 71.023	2.023	19	M	335	320
18	67.000 ~ 69.023	2.023	4	L	0.32	-
19	47.000 ~ 49.023	2.023	5	L	0.46	-
20	60.000 ~ 62.023	2.023	6	M	53	65.8
21	12.000 ~ 16.032	4.032	6.2	M	57	68.8
23	40.000 ~ 44.032	4.032	59	L	19	21
24	51.000 ~ 51.930	0.93	34	M	661	610
25	53.000 ~ 53.930	0.93	25	H	1623	1560
26	52.000 ~ 52.930	0.93	10	M	140	130
27	54.000 ~ 54.930	0.93	70.8	M	1460	1440
28	55.000 ~ 55.930	0.93	8.8	M	114	114

H, M, L : 大, 中, 小流量計を表す。

*単位(ml/min)

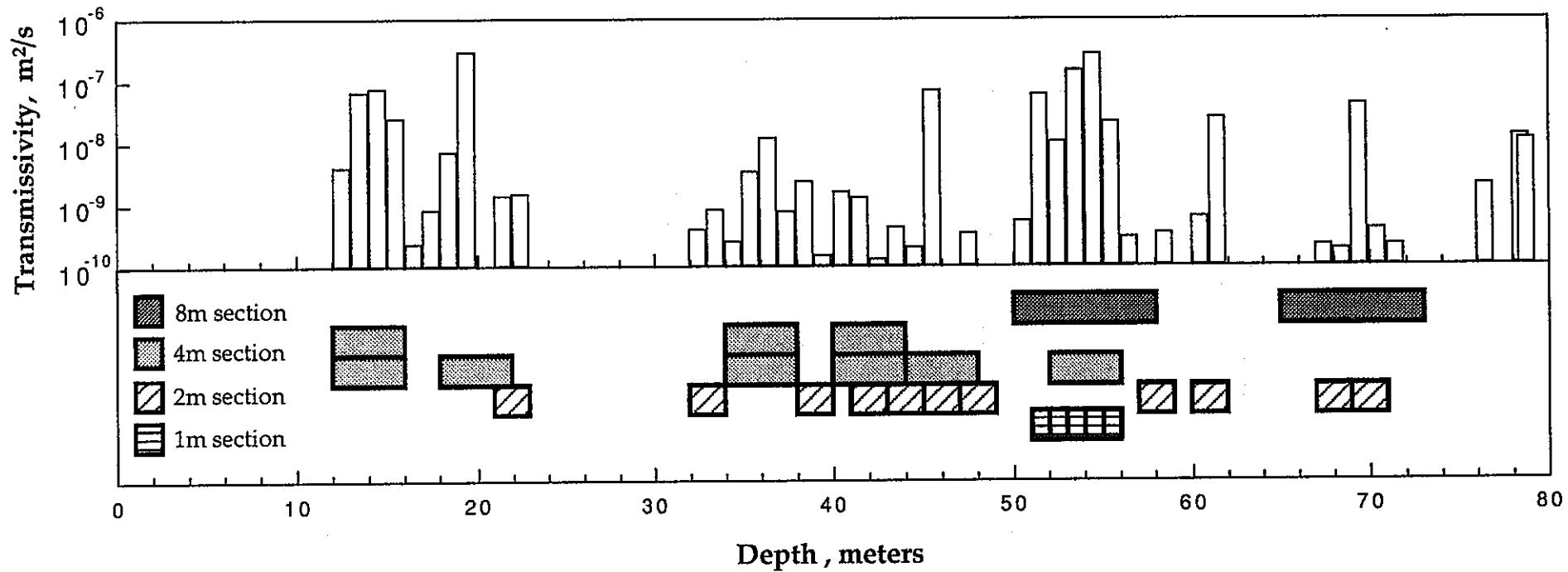


図-9.2.2 透水試験実施区間と透水量係数の分布
(透水量係数は流量検層結果より算定した値)

9.3 試験結果

(1) ビルドアップ試験

KH-25孔の圧力ビルドアップデータを試験区間長毎に図-9.3.1～図-9.3.4に示す。

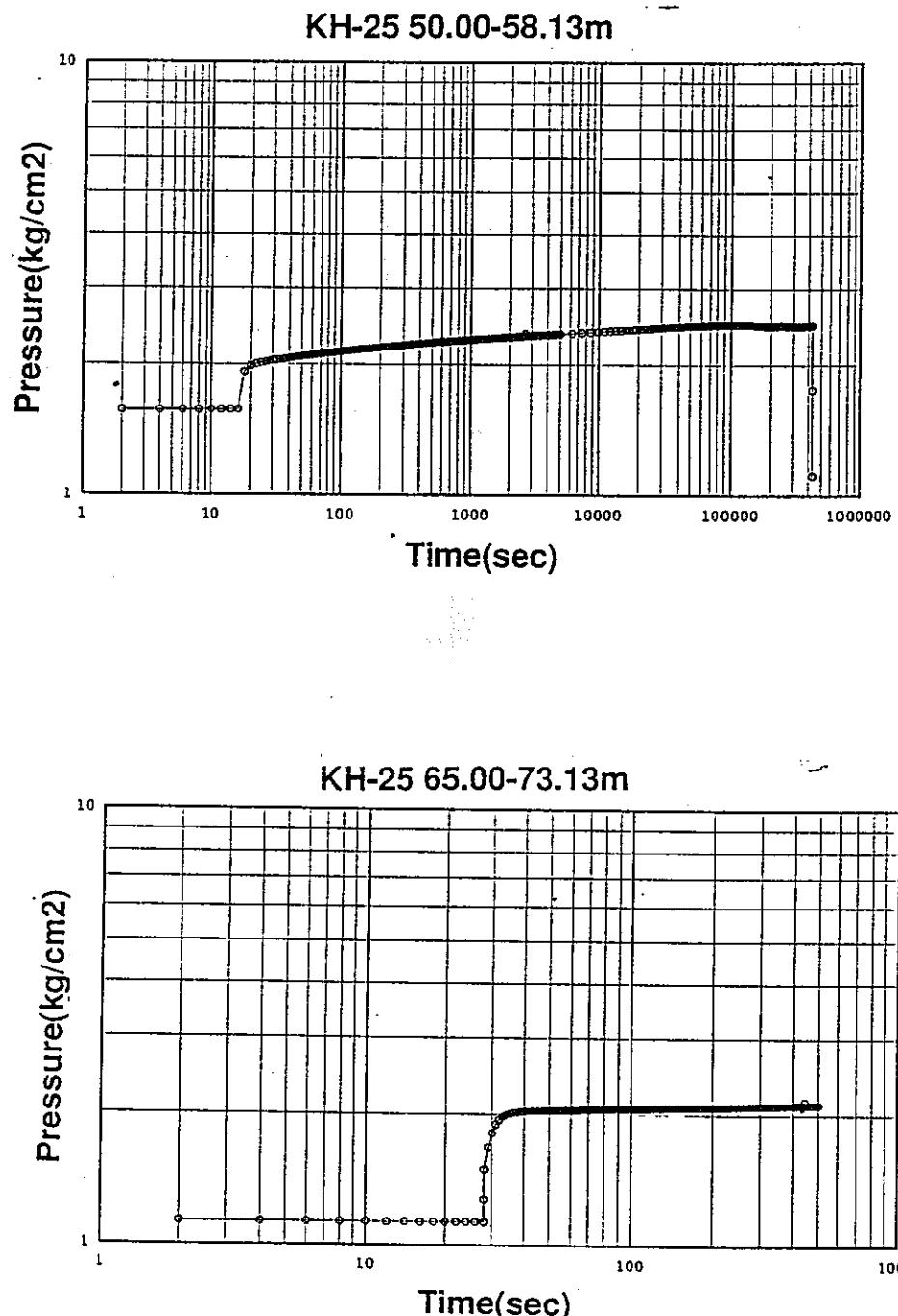
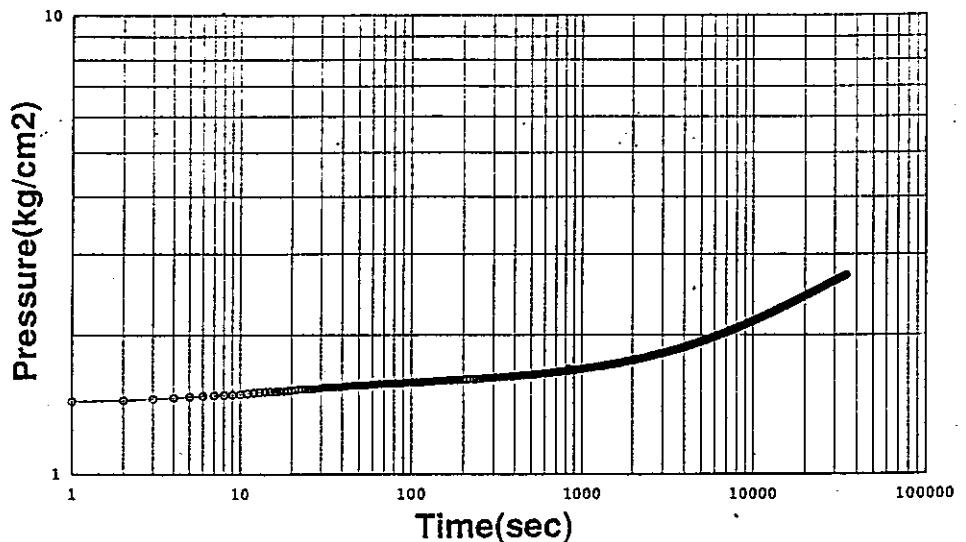
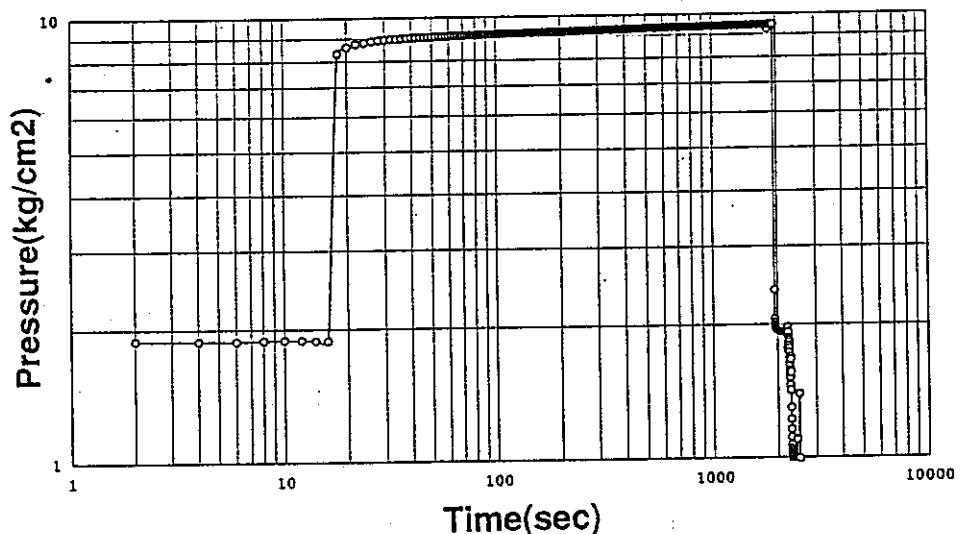


図-9.3.1a KH-25孔圧力ビルドアップデータ（試験区間 8m）

H-25 12.00-16.032m



KH-25 18.00-21.77m



KH-25 34.00-38.032m

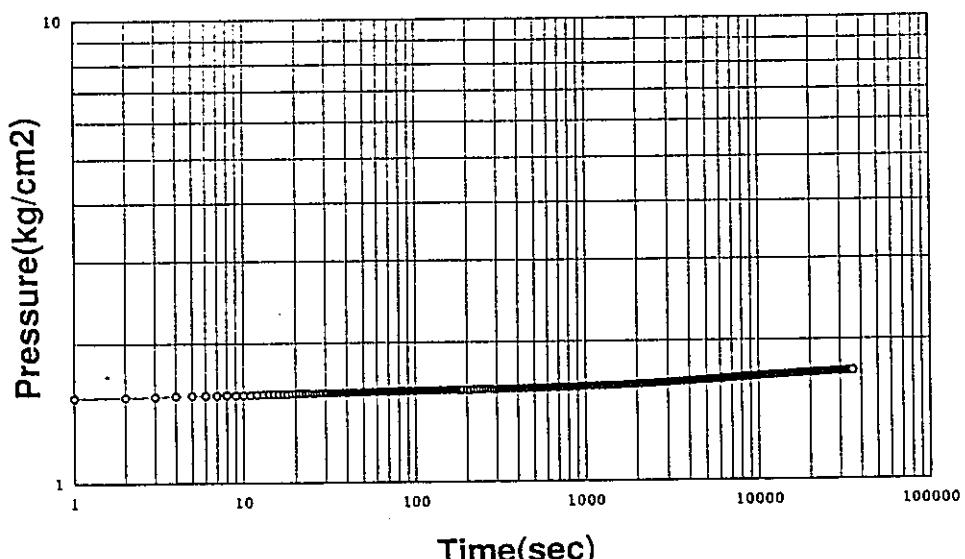
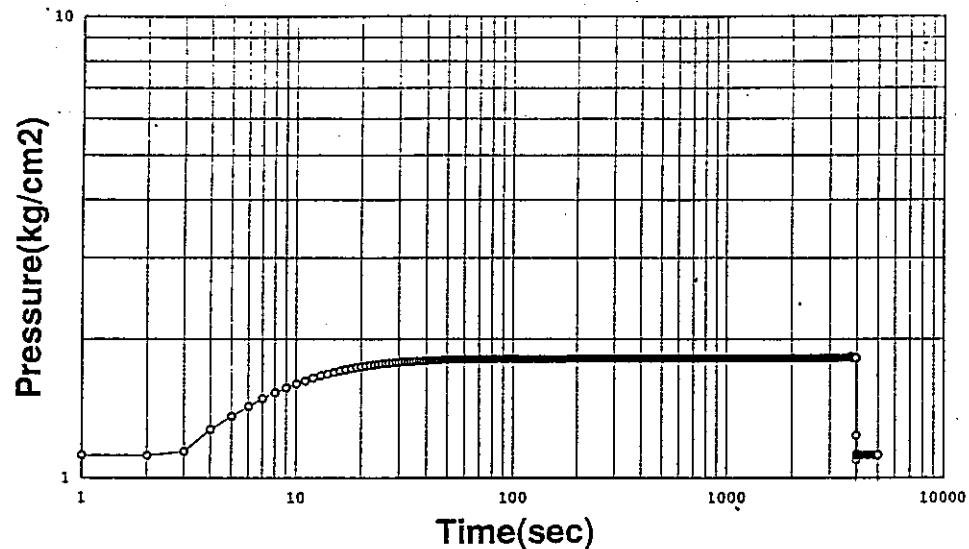
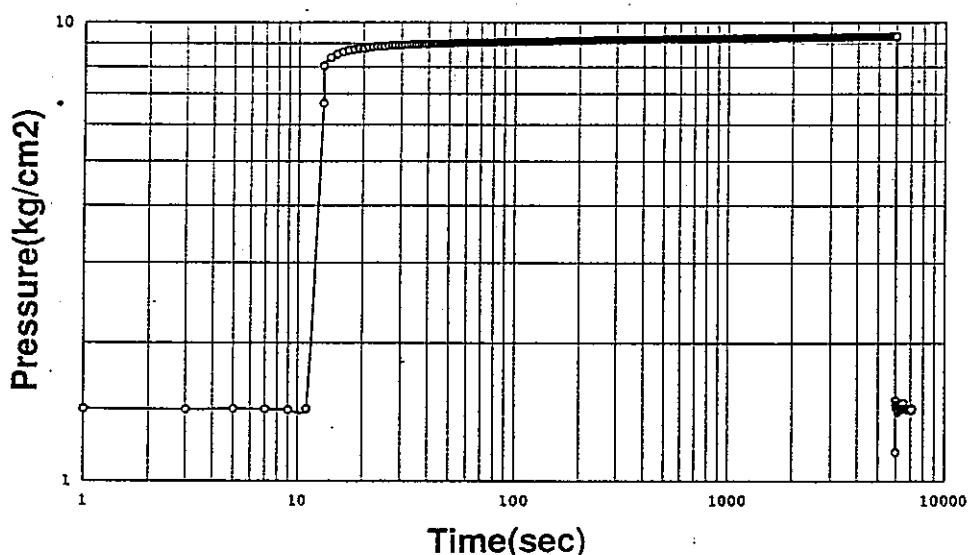


図-9.3.2a KH-25孔圧力ビルドアップデータ（試験区間4m）

KH-25 40.00-44.032m



KH-25 44.50-48.27m



KH-25 52.50-56.27m

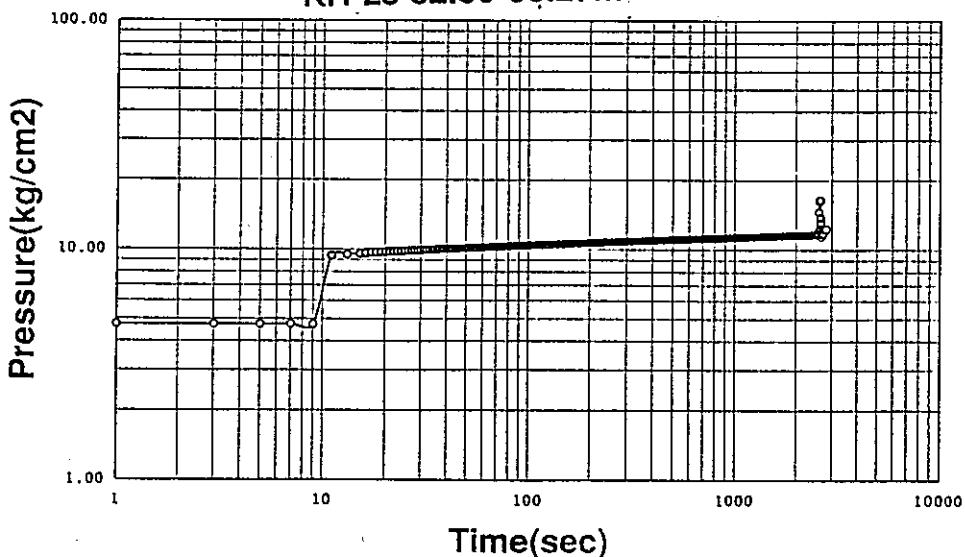


図-9.3.2b KH-25孔圧力ビルドアップデータ（試験区間4m）

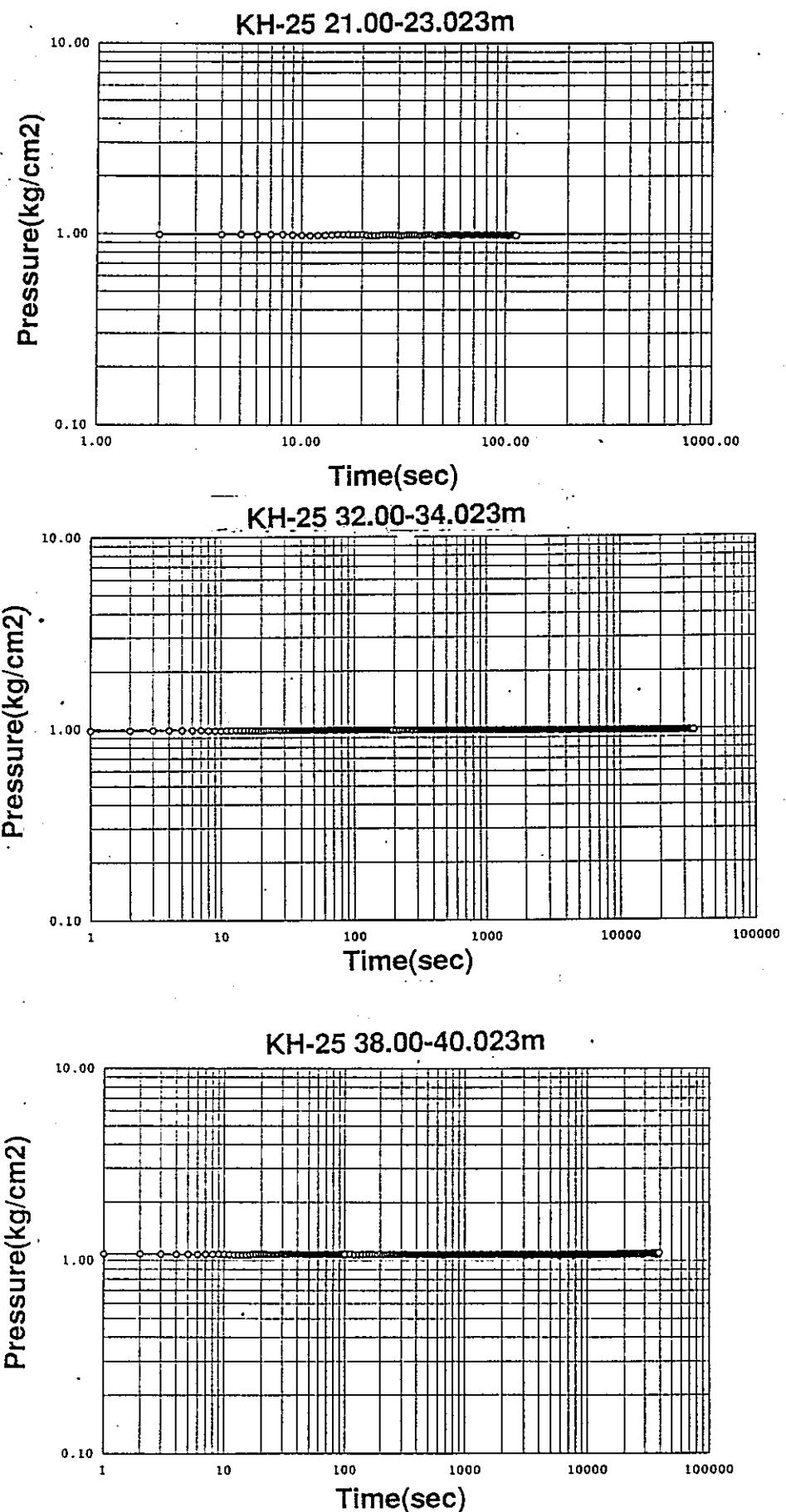


図-9.3.3a KH-25孔圧力ビルドアップデータ（試験区間2m）
-145-

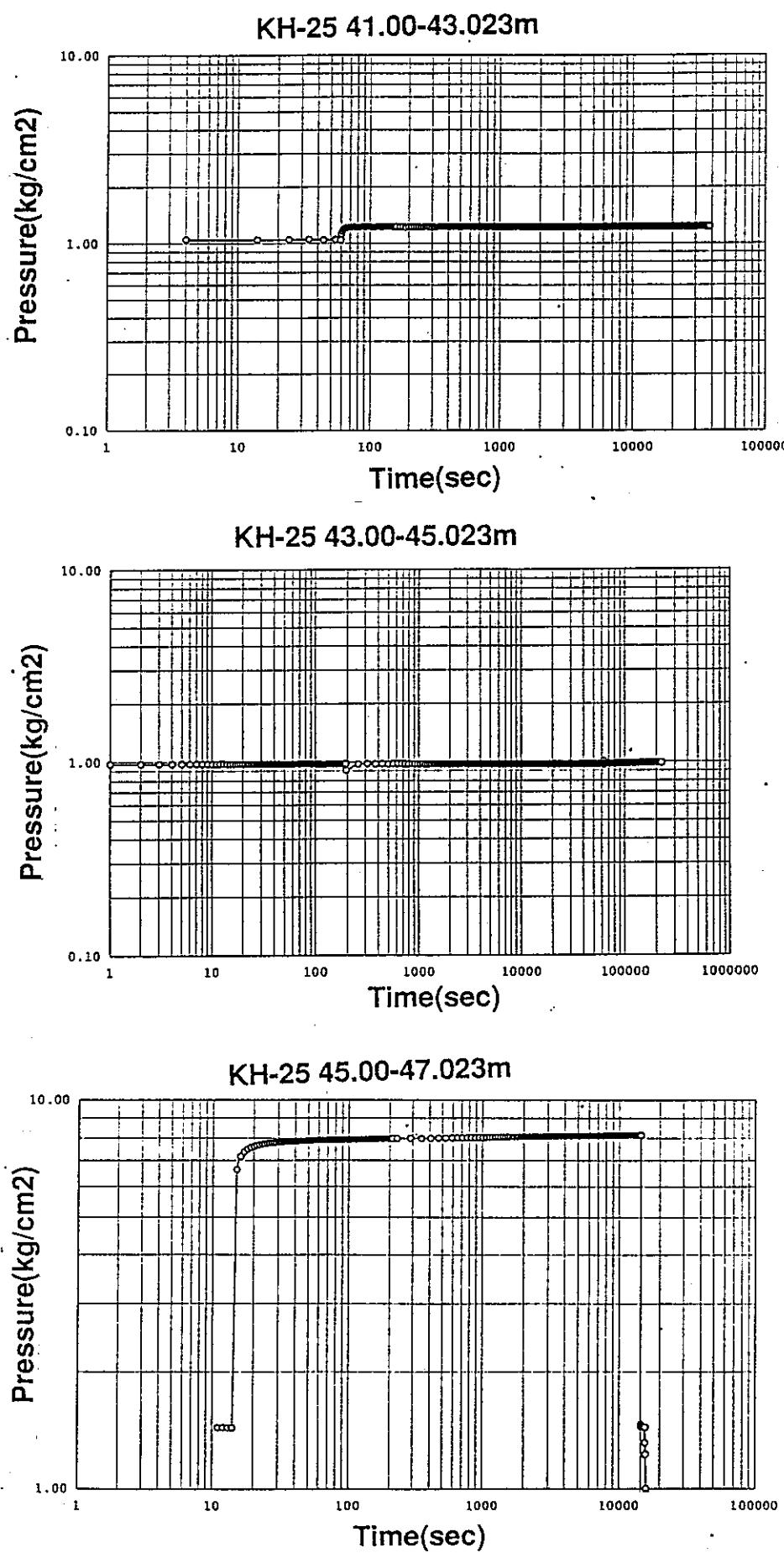
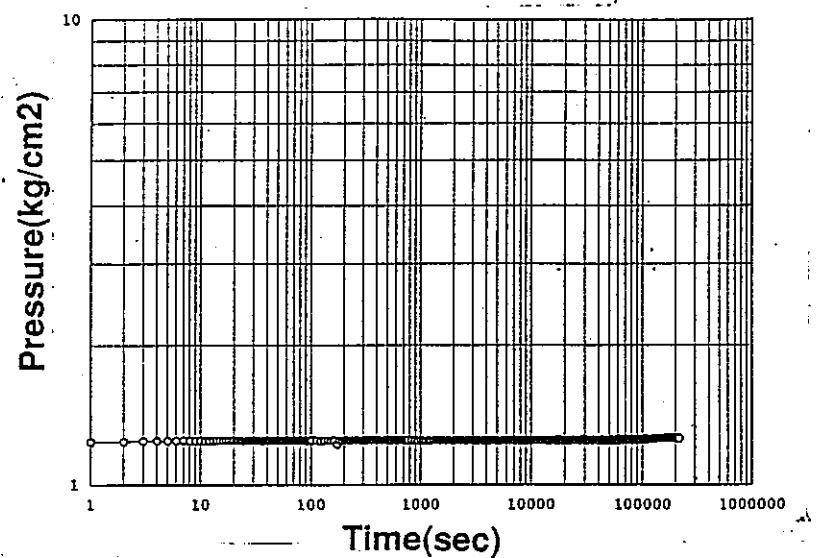
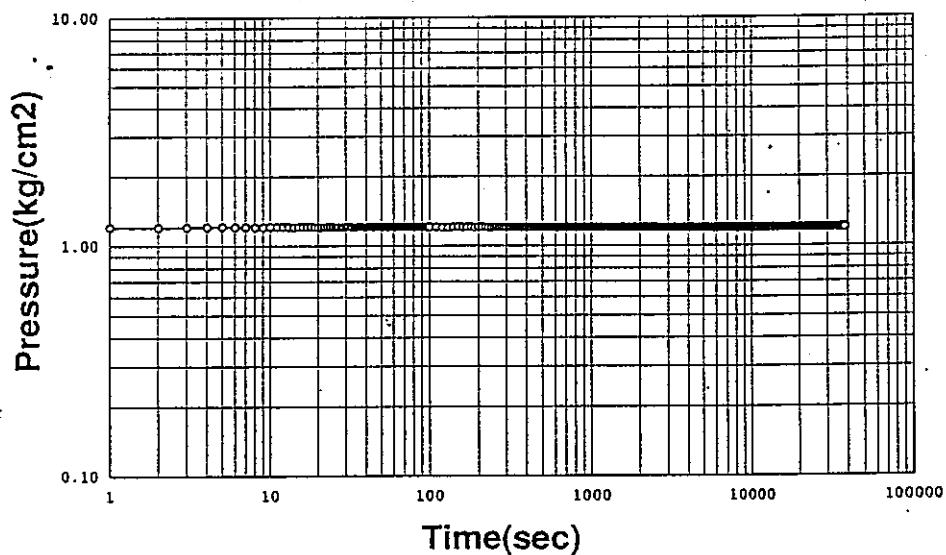


図-9.3.3b KH-25孔圧力ビルドアップデータ（試験区間2m）

KH-25 47.00-49.023m



KH-25 57.50-59.523m



OKH-25 60.00-62.023m

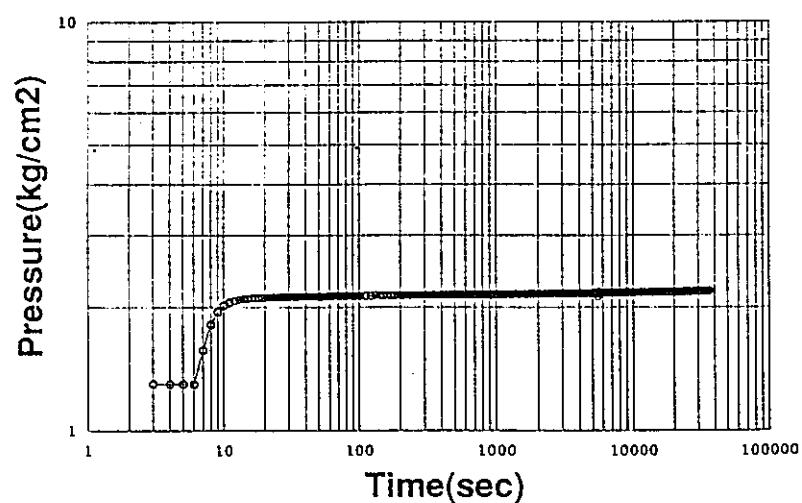
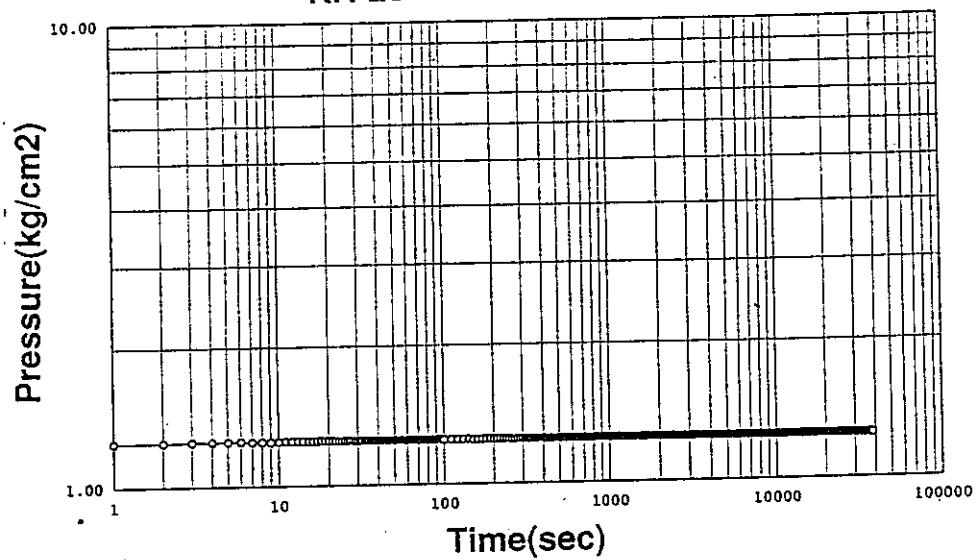


図-9.3.3c KH-25孔圧力ビルドアップデータ（試験区間2m）

KH-25 67.00-69.023m



KH-25 69.00-71.023m

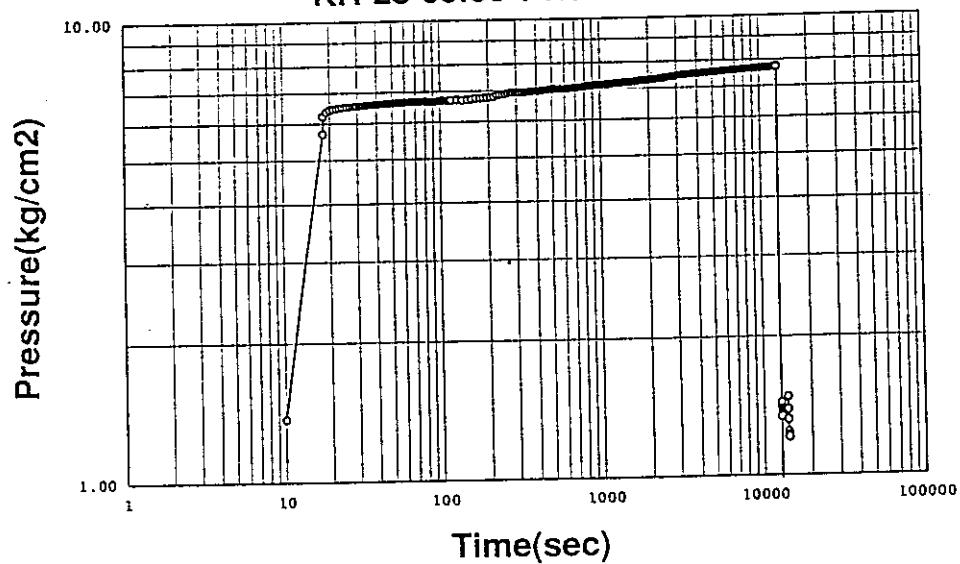
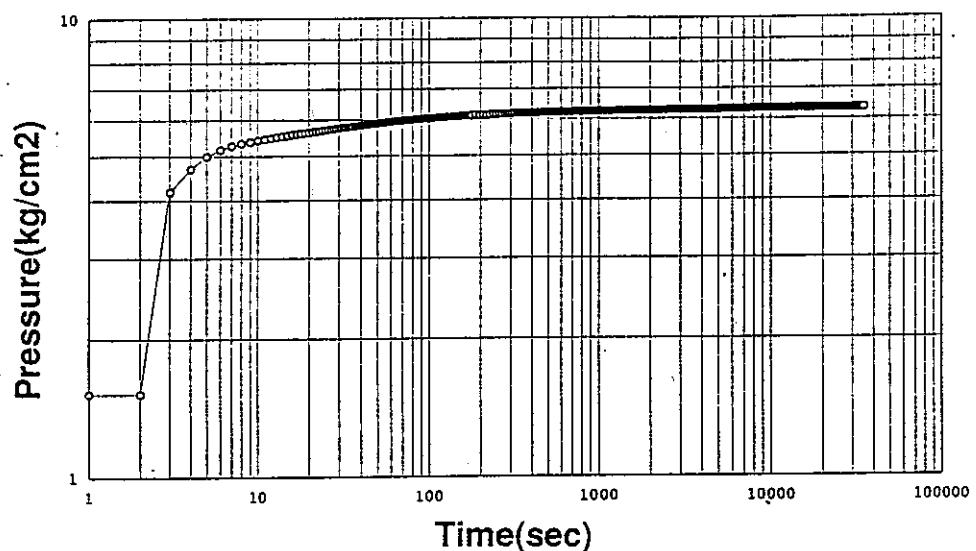
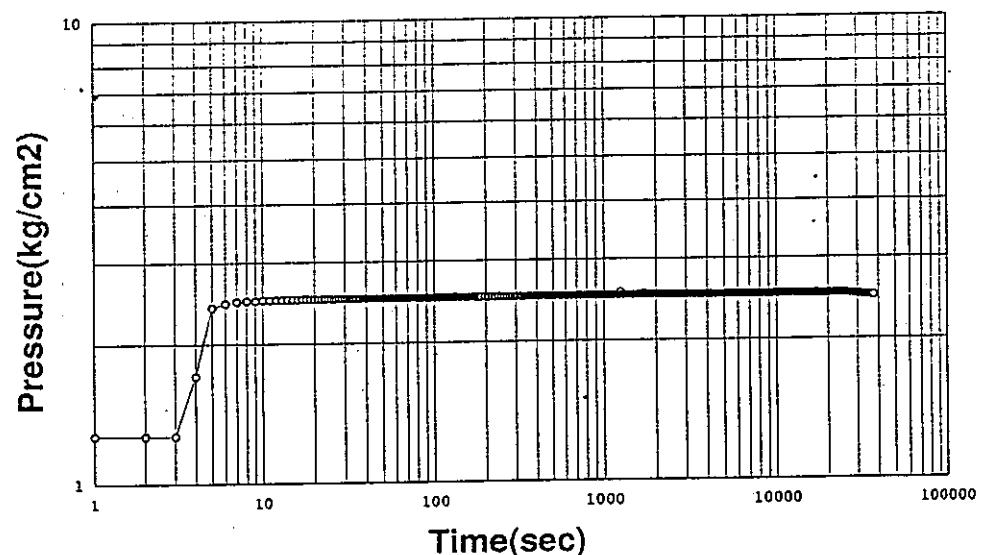


図-9.3.3d KH-25孔圧力ビルドアップデータ（試験区間 2m）

KH-25 51.00-51.9302m



KH-25 52.00-52.930m



KH-25 53.00-53.930m

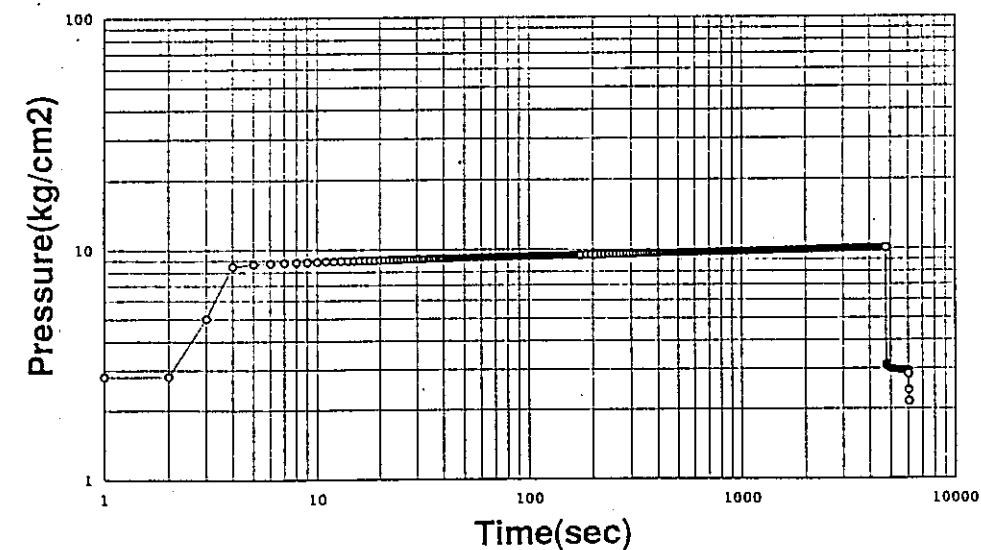
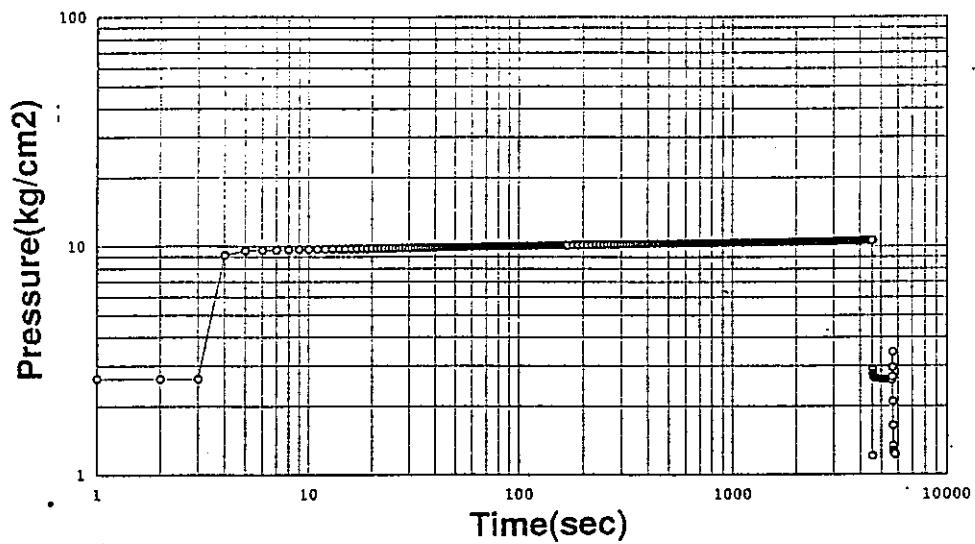


図-9.3.4a KH-25孔圧力ビルドアップデータ（試験区間1m）

KH-25 54.00-54.930m



KH-25 55.00-55.930m

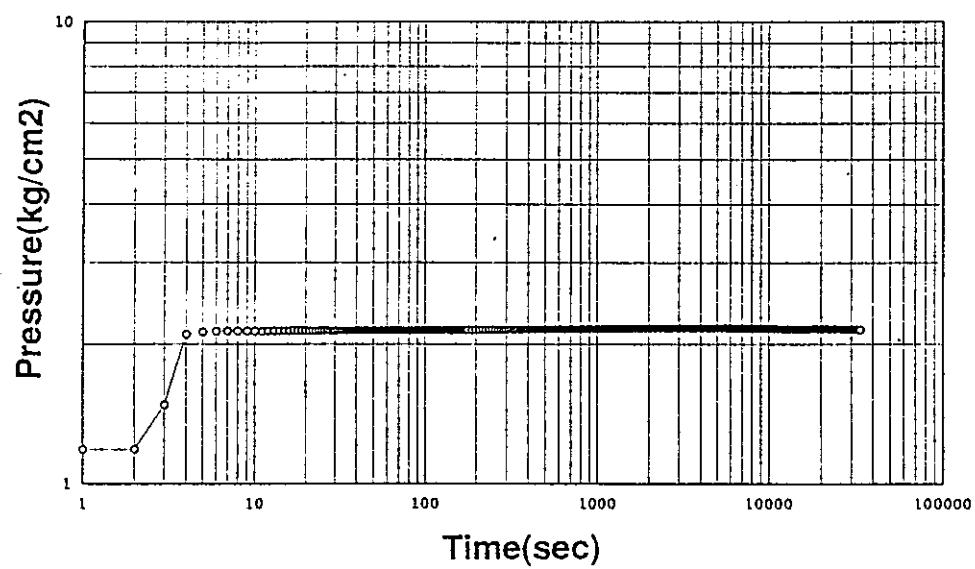


図-9.3.4b KH-25孔圧力ビルドアップデータ（試験区間 1m）

(2) アウトフロー試験

KH-25孔アウトフロー試験結果を図-9.3.5～図-9.3.8に示す。

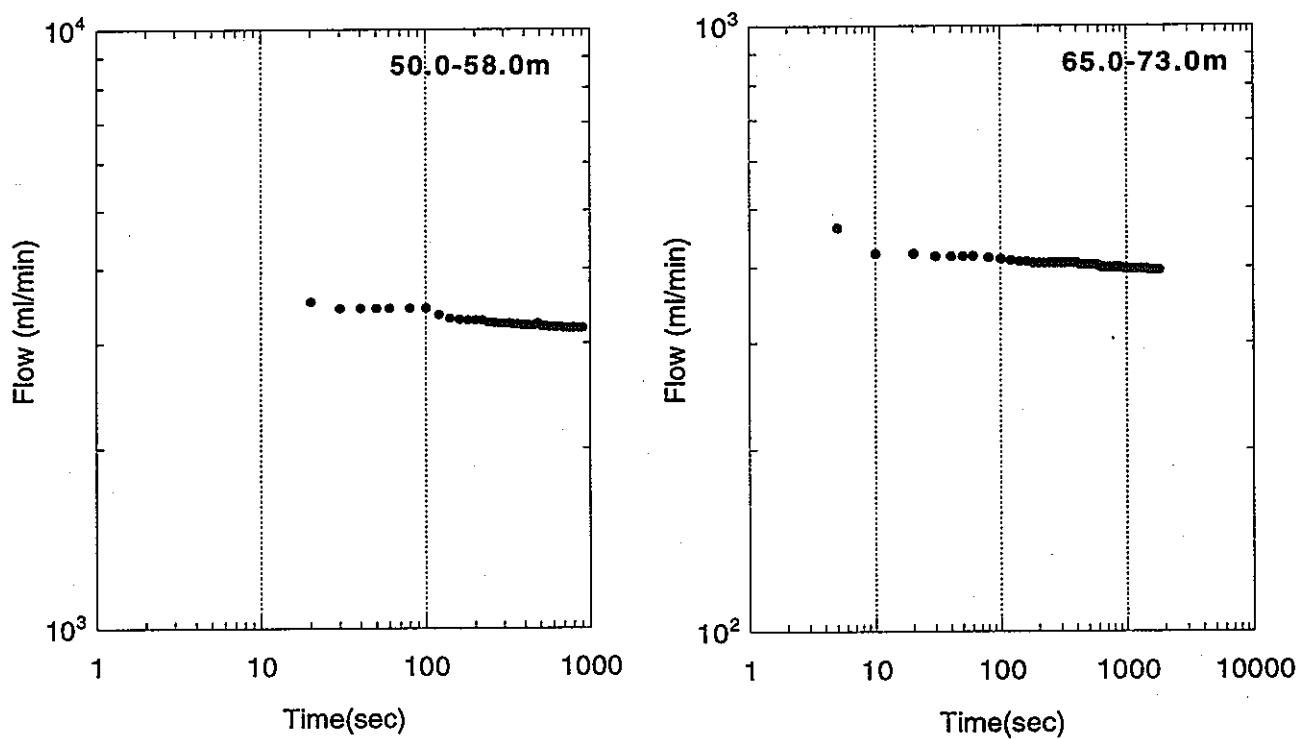


図-9.3.5 KH-25孔アウトフローデータ（試験区間 8m）

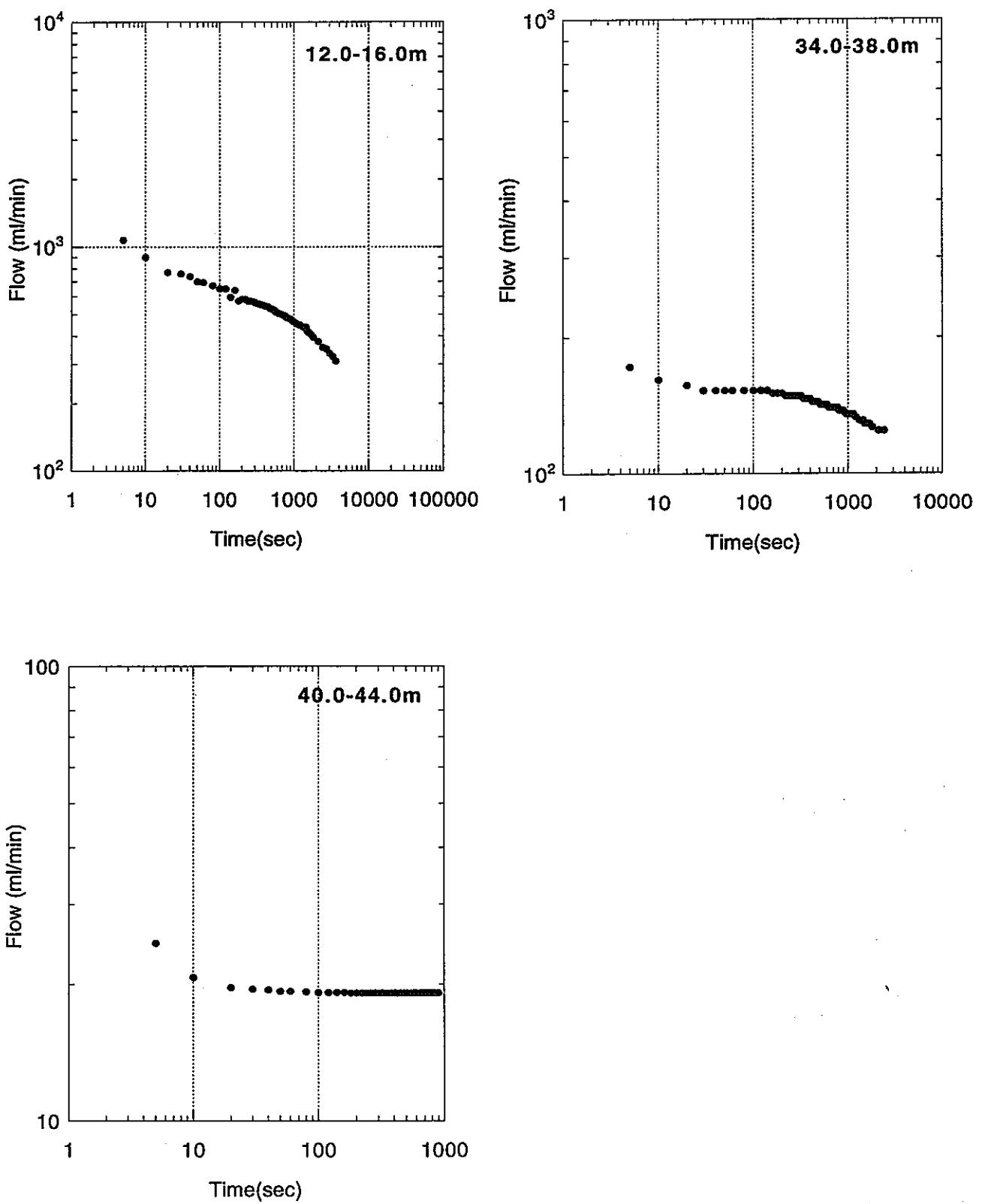


図-9.3.6a KH-25孔アウトフローデータ（試験区間 4m）

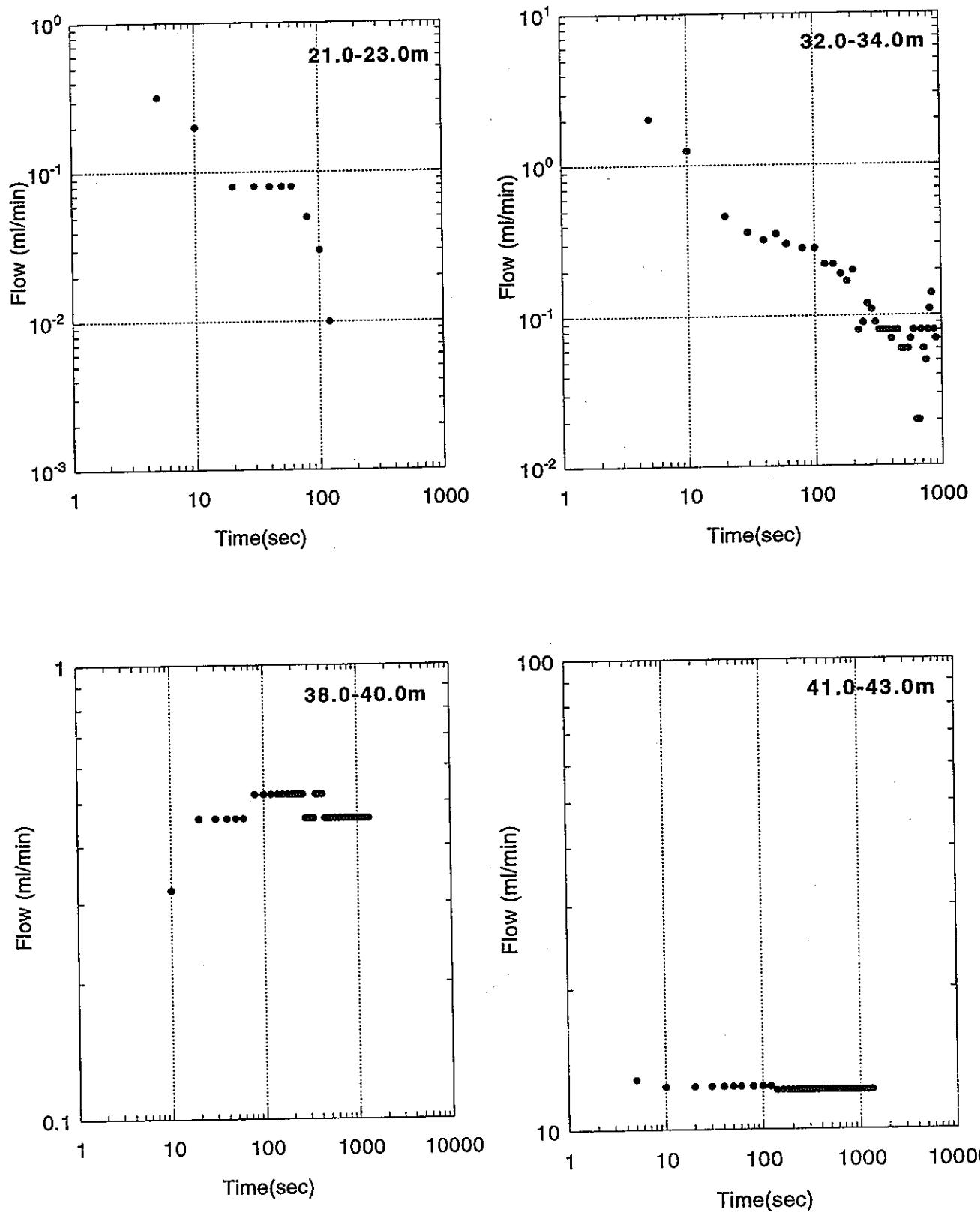


図-9.3.7a KH-25孔アウトフローデータ（試験区間 2m）

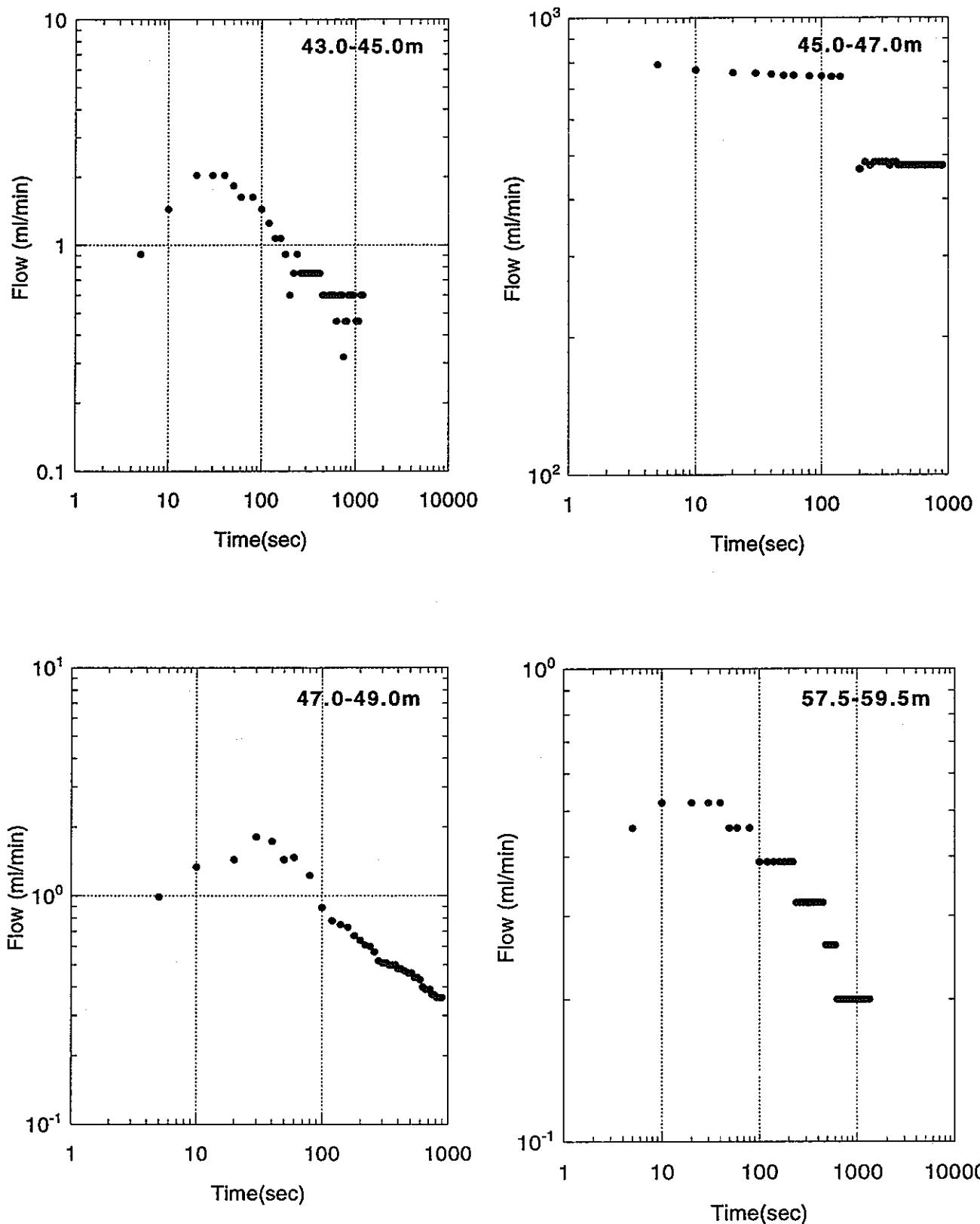


図-9.3.7 b KH-25孔アウトフローデータ（試験区間 2m）

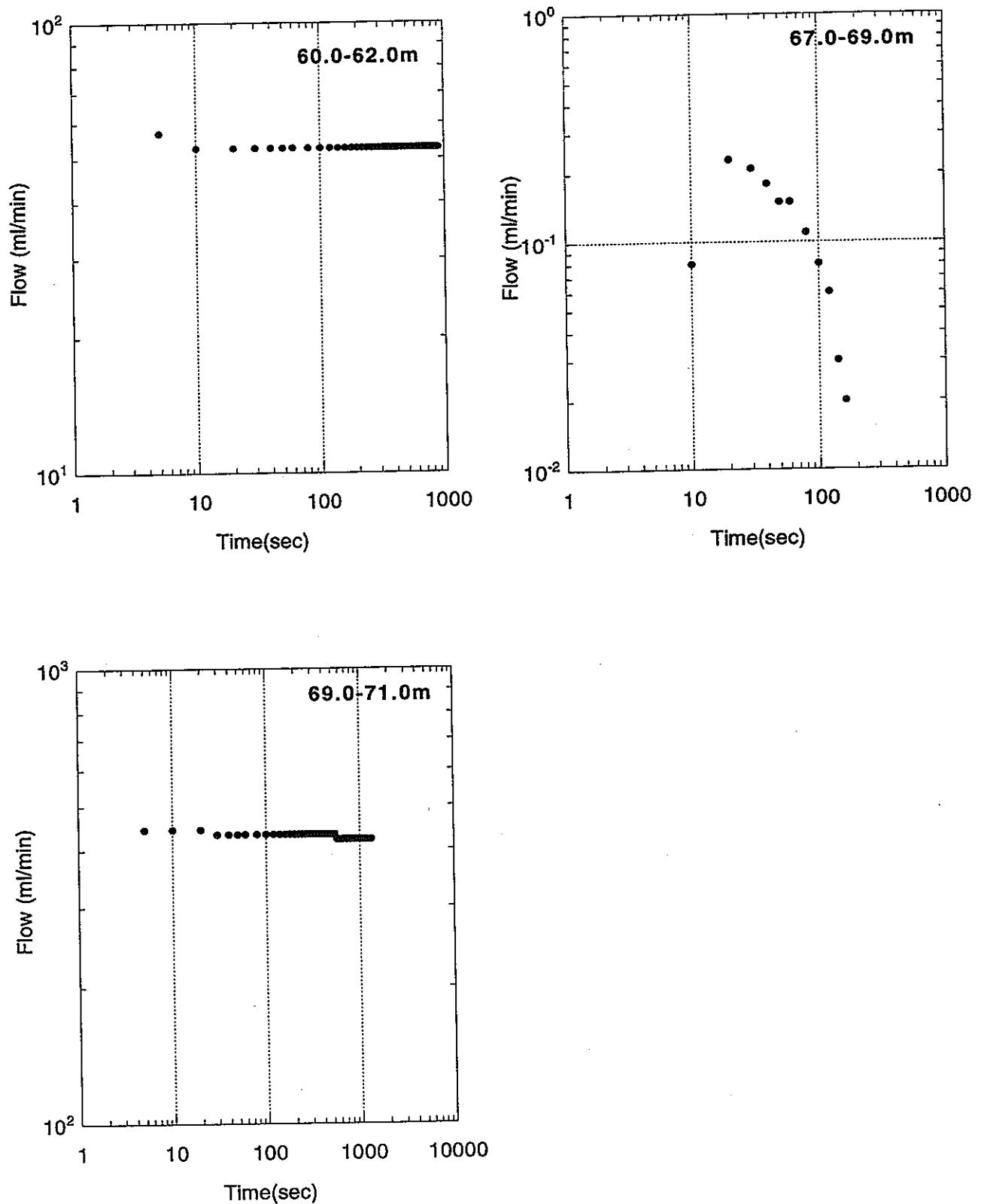


図-9.3.7c KH-25孔アウトフローデータ（試験区間 2m）

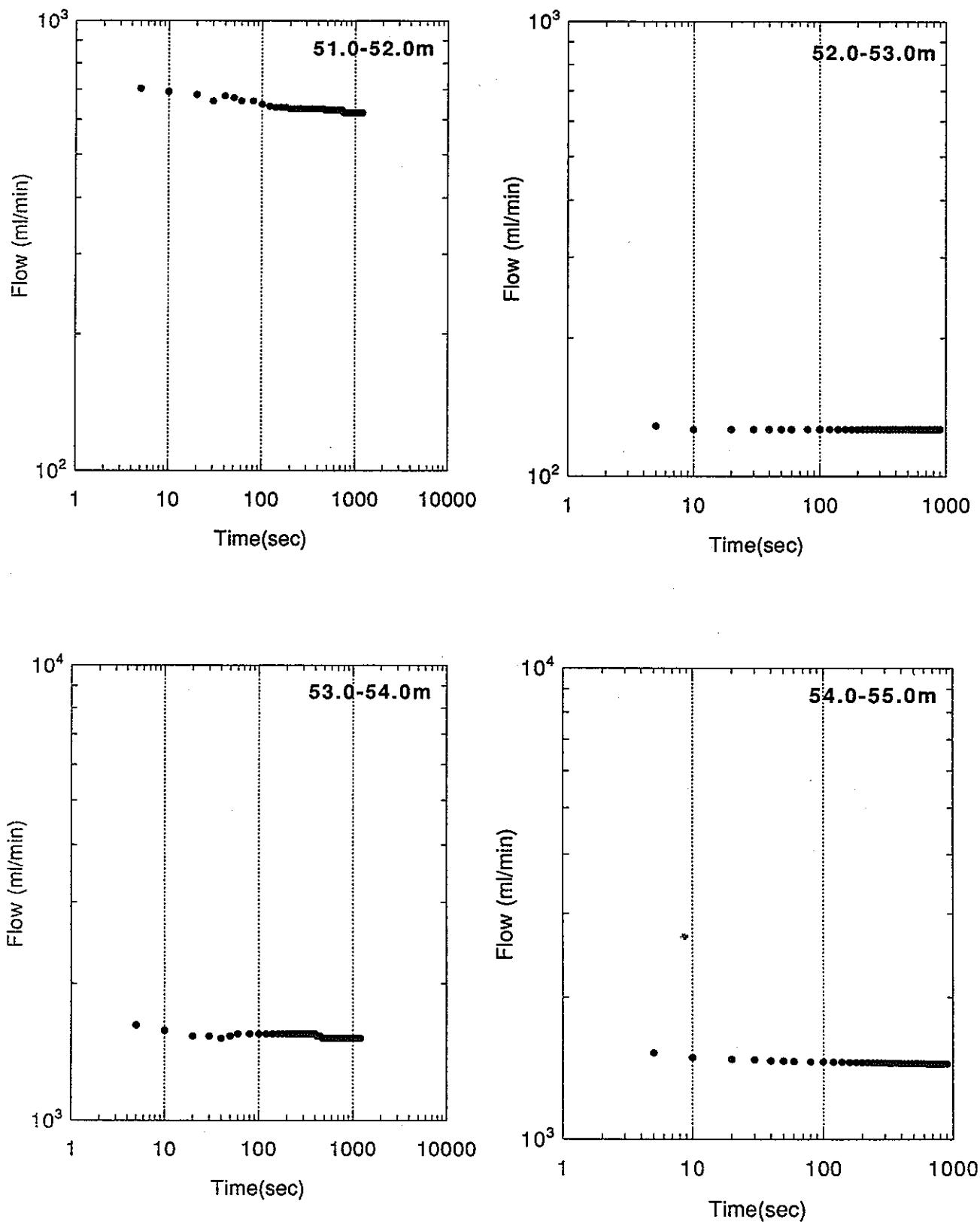


図-9.3.8 a KH-25孔アウトフローデータ（試験区間 1m）

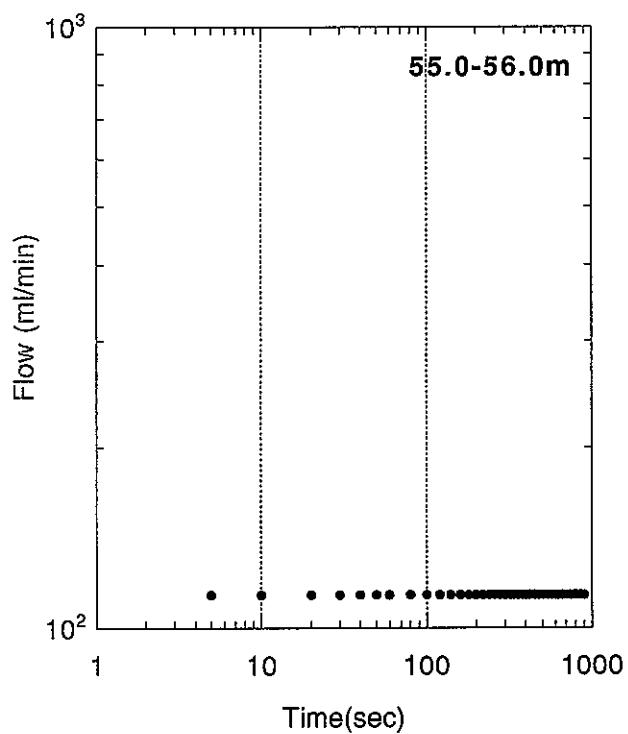


図-9.3.8 b KH-25孔アウトフローデータ（試験区間 1m）

(3) ビルドアップ時の既存孔内の水圧応答

KH-25孔透水試験期間の既存孔内の水圧応答を図-9.3.9～図-9.3.12に示す。

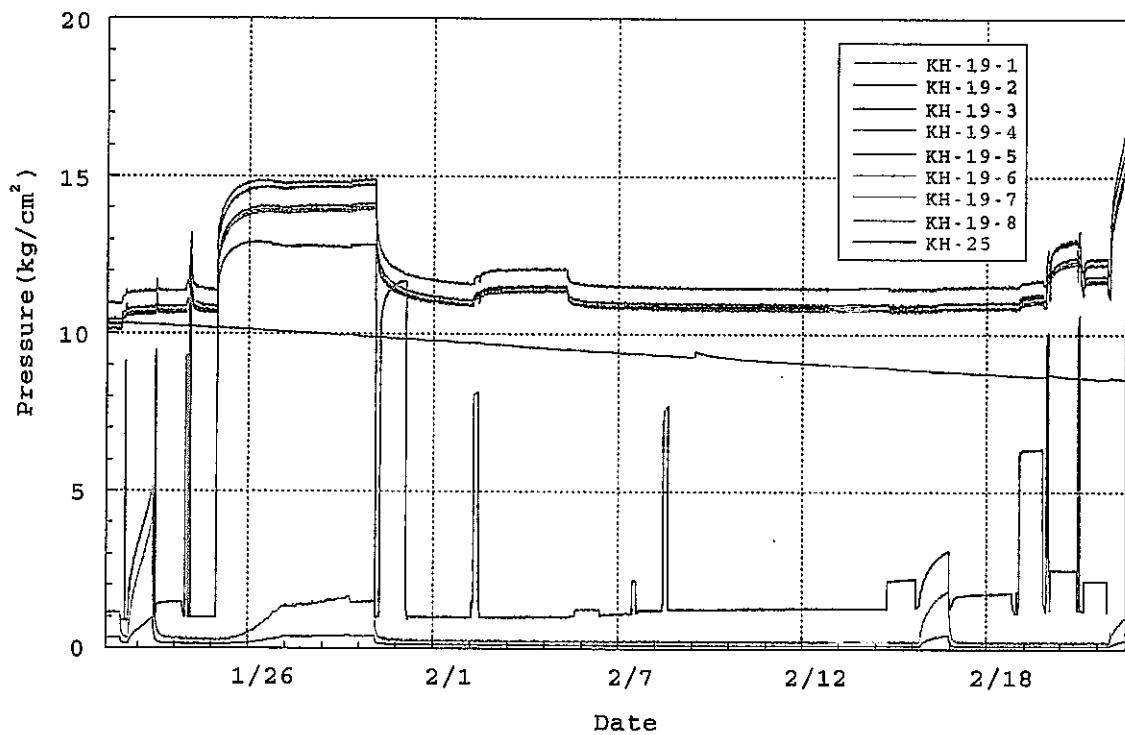


図-9.3.9 KH-19孔水圧応答（KH-25孔透水試験期間）

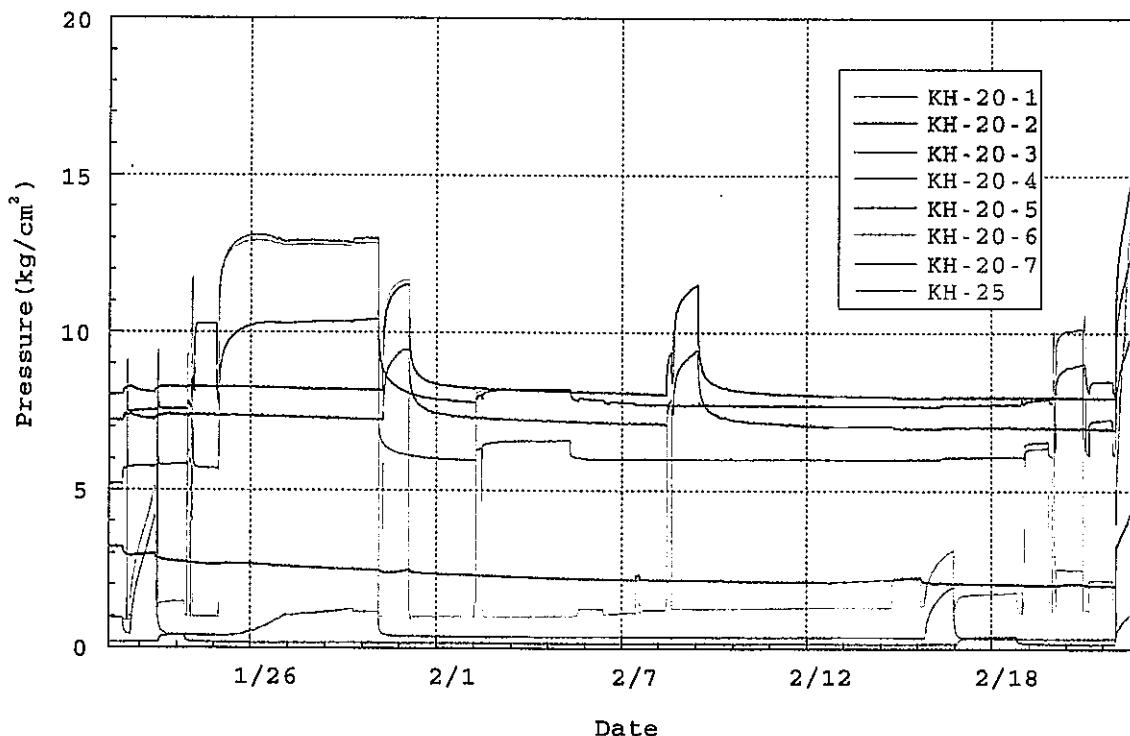


図-9.3.10 KH-20孔水圧応答（KH-25孔透水試験期間）

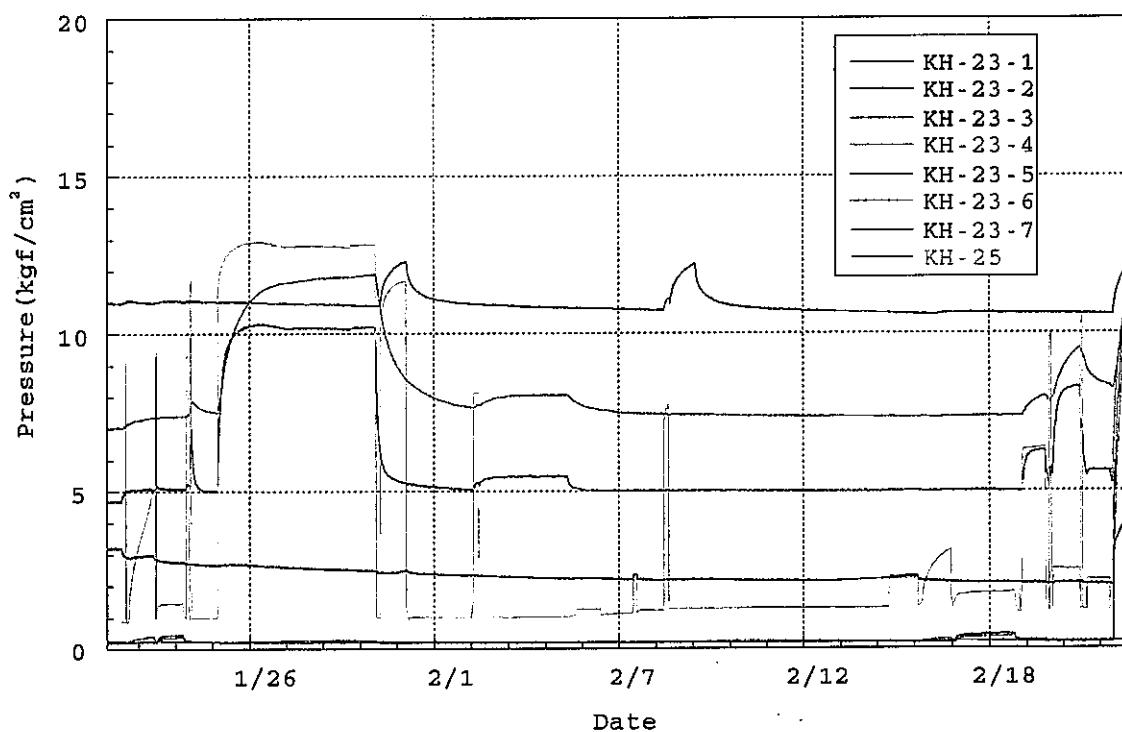


図-9.3.11 KH-23孔水圧応答（KH-25透水試験期間）

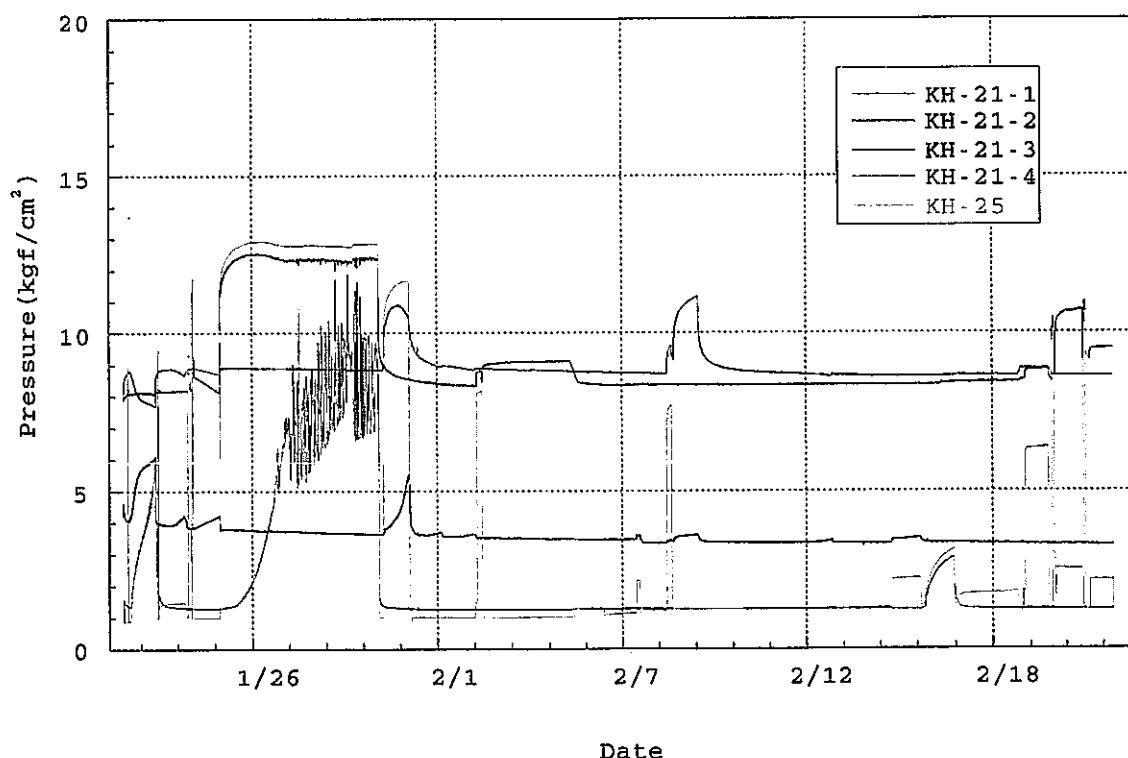


図-9.3.12 KH-21孔水圧応答（KH-25透水試験期間）

9.4 試験結果の解析

The data analysis uses two major interpretation tools: Interpret and FlowDim. Interpret was developed by Scientific Software Inc. of Denver, Colorado. It is a sophisticated computer code which is a standard for the petroleum industry. Interpret can include well history effects, as well as boundaries, wellbore storage, skin, and composite effects. Interpret bases its analyses on 2-D cylindrical flow, with additional effects for boundaries and composites. Generally, Interpret can match most well tests using combinations of these variables. Fractional dimension effects, for example, often can be fitted using composite models.

FlowDim is Golder Associates' well test analysis package that includes wellbore storage, skin, fractional dimensions, and composite fractional dimensions. Both FlowDim and Interpret can analyze responses at observation wells. FlowDim was used to analyze transient rate data from flow tests.

This section provides a summary of the well test analysis results. The interpretation of the well test data are shown in figures 9.4.1-9.4.9. The interference results (see, Appendix) indicate the results support the division of the rock mass into six response zones. The results presented here provide preliminary hydraulic property values for the each of the zones with the exception of the C-zone.

The preliminary analysis results with comments are presented in Table 9.4.1.

Table 9.4.1. Transient Analysis Results

Zone	Event	Flow Period Details	Results	Comments
KH25/ 12.23-16 m Figure 24.	Buildup Test (Source zone analysis)	$tp = 319.16$ $q = 0.87$ Buildup starts 22/1/96 16:39:57	$T = 2.7E-06$ $s = -3.8$ $d1, d2, d3 = 9,$ $132, 94$	All boundaries are no-flow boundaries; Interpret-2 analysis
KH25/ 12.23-16 m Figure 25	Buildup Test (Source zone analysis)	$tp = 319.16$ $q = 0.87$ Buildup starts 22/1/96 16:39:57	$T = 1.9E-06$ $S = 3.2E-04$ $n1, n2 = 2, 1.6$ $rD1 = 76$	FlowDim analysis
KH 21-4 ($r = 2$) Figure 26	Response to Buildup at KH25/12.23-16 m (Observation zone analyzed as a source zone)	$tp = 319.16$ $q = 0.87$ Buildup starts 22/1/96 16:39:57	$T = 2.6E-06$ $s = -3.9$ $d1, d2, d3 = 9,$ $132, 94$	All boundaries are no-flow boundaries; Interpret-2 analysis; almost identical to source zone behavior
KH 19-7 ($r = 12$)	Response to Buildup at KH25/12.23-16 m (Observation zone analysis)	$tp = 319.16$ $q = 0.87$ Buildup starts 22/1/96 16:39:57	$T = 6.5E-07$ $S = 2.4E-06$ $Df = 0.27$ $d1, d2, d3 = 46,$ $34, 28$	All boundaries are no-flow boundaries; Interpret-2 analysis; similar late time behavior as source

Table 9.4.1. Continued

Zone	Event	Flow Period Details	Results	Comments
KH 19-7 (r = 12) Figure 27	Response to Buildup at KH25/12.23-16 m (Observation zone analysis)	tp = 319.16 q = 0.87 Buildup starts 22/1/96 16:39:57	T = 6.5E-07 S = 2.4E-06 Df = 0.27 d1, d2, d3 = 46, 34, 28	All boundaries are no-flow boundaries; Interpret-2 analysis; similar late time behavior as source
KH 19-8 (r = 9)	Response to Buildup at KH25/12.23-16 m (Observation zone analysis)	tp = 319.16 q = 0.87 Buildup starts 22/1/96 16:39:57	T = 2.8E-06 S = 3.3E-05 Df = 0.08 d1, d2, d3 = 19, 17, 27	All boundaries are no-flow boundaries; Interpret-2 analysis; similar late time behavior as source
KH 20-7 (r = 2)	Response to Buildup at KH25/12.23-16 m (Observation zone analysis)	tp = 319.16 q = 0.87 Buildup starts 22/1/96 16:39:57	T = 3.1E-07 S = 1.4E-04 Df = 0.002 d1, d2, d3 = 4, 5, 9	All boundaries are no-flow boundaries; Interpret-2 analysis; similar late time behavior as source
KH 23-4 (r = 30)	Response to Buildup at KH25/12.23-16 m (Obs. zone analysis)	tp = 319.16 q = 0.87 Buildup starts 22/1/96 16:39:57	T = 2.9E-06 S = 2.2E-05 Df = 0.13	No boundaries discernible; Interpret-2 analysis;
KH25/ 18 - 21.77 m Figure 28	Buildup Test (Source zone analysis)	tp = 339.32 q = 1.3 Buildup starts 23/1/96 12:49:16	T = 1.8E-06 s = 30	Interpret-2 analysis; flow period assumed to be a single constant rate period
KH25/ 18 - 21.77 m	Buildup Test (Source zone analysis)	tp = 339.32 q = 0.6 Buildup starts 23/1/96 12:49:16	T = 9E-07 s = 36 (assumed identical wellbore storage throughout)	Interpret-2 analysis; multiple rates during flow period used to match pressure data during flow period
KH25/ 52.5 - 56.27 m	Buildup Test (Source zone analysis)	tp = 364.84 q = 4.37 Buildup starts 24/1/96 14:20:07	T = 1.5E-06 Total s = 0.05	Interpret-2 analysis; late time data shows leakage effect or transition to larger flow dimension
KH25/ 60 - 62 m Figure 29	Buildup Test (Source zone analysis)	tp = 698 q = 0.07 Buildup starts 7/2/96 11:32	T1 = 1.3E-06 T2 = 1.9E-07 r1 = 12 s = 20 d1 = 48	Interpret-2 analysis; boundary is a constant pressure boundary

Table 9.4.1. Continued

Zone	Event	Flow Period Details	Results	Comments
KH20-3 (r = 7) Figure 30	Response to Buildup at KH25/ 60-62 m (Obs. zone analysis)	tp = 698 q = 0.07 Buildup starts 7/2/96 11:32	T = 3.3E-07 S = 6E-07 Df = 0.55	Interpret-2 analysis
KH25/ 65 - 73 m Figure 31	Buildup Test (Source zone analysis)	tp = 508.33 q = 0.37 Buildup starts 30/1/96 13:49:36	T1 = 1E-06 T2 = 9E-08 r1 = 14 s = 81 d1 = 64	Interpret-2 analysis; boundary is a constant pressure boundary
KH 21-1 (r = 2)	Response to Buildup at KH25/ 69-71.023 m (Observation zone analysis)	tp = 193.26 q = 0.32 Buildup starts 8/2/96 10:49	T = 3.1E-07 S = 2.4E-05 Df = 0.01 d1, d2 = 3, 14	d1 is no-flow and d2 constant pressure boundaries; Interpret-2 analysis;
KH 21-1 (r = 2) Figure 32	Response to Buildup at KH25/ 69-71.023 m (Observation zone analysis)	tp = 193.26 q = 0.32 Buildup starts 8/2/96 10:49	T = 1.3E-07 S = 9.7E-06 n1, n2 = 2.2, 2.4 rD1 = 127	FlowDim analysis
KH 20-1 (r = 5)	Response to Buildup at KH25/ 69-71.023 m (Observation zone analysis)	tp = 193.26 q = 0.32 Buildup starts 8/2/96 10:49	T = 2.1E-07 S = 6.4E-06 Df = 0.03	Interpret-2 analysis;
KH 20-2 (r = 2)	Response to Buildup at KH25/ 69-71.023 m (Observation zone analysis)	tp = 193.26 q = 0.32 Buildup starts 8/2/96 10:49	T = 1.6E-07 S = 9E-06 Df = 0.02	Interpret-2 analysis;
KH 23-1 (r = 10)	Response to Buildup at KH25/ 69-71.023 m (Observation zone analysis)	tp = 193.26 q = 0.32 Buildup starts 8/2/96 10:49	T = 2.6E-07 S = 8E-06 Df = 0.03	Interpret-2 analysis;

Table 9.4.2 Nomenclature

Name	Unit	Description
Df	m ² /s	Diffusivity
d _i	m	Normal distance to the i th boundary
n ₁ , n ₂	-	Flow dimensions for the inner and outer zones of a composite medium
q	lit/min	Average flow rate at the pumping zone prior to buildup
r	m	Assumed distance from source to observation zone
r ₁	m	Radius to composite medium interface from the well
rD ₁	-	Dimensionless radius (i.e. ratio of radius to wellbore radius) to the composite medium interface
s	-	Skin factor (for 2-D cylindrical flow)
S	-	Storativity
T	m ² /s	Transmissivity
T ₁ , T ₂	m ² /s	2-D transmissivities for the inner and outer
t _p	hours	Effective duration of abstraction (with a constant rate) from the pumping zone prior to buildup

Pressure Change and Derivative (kPa)

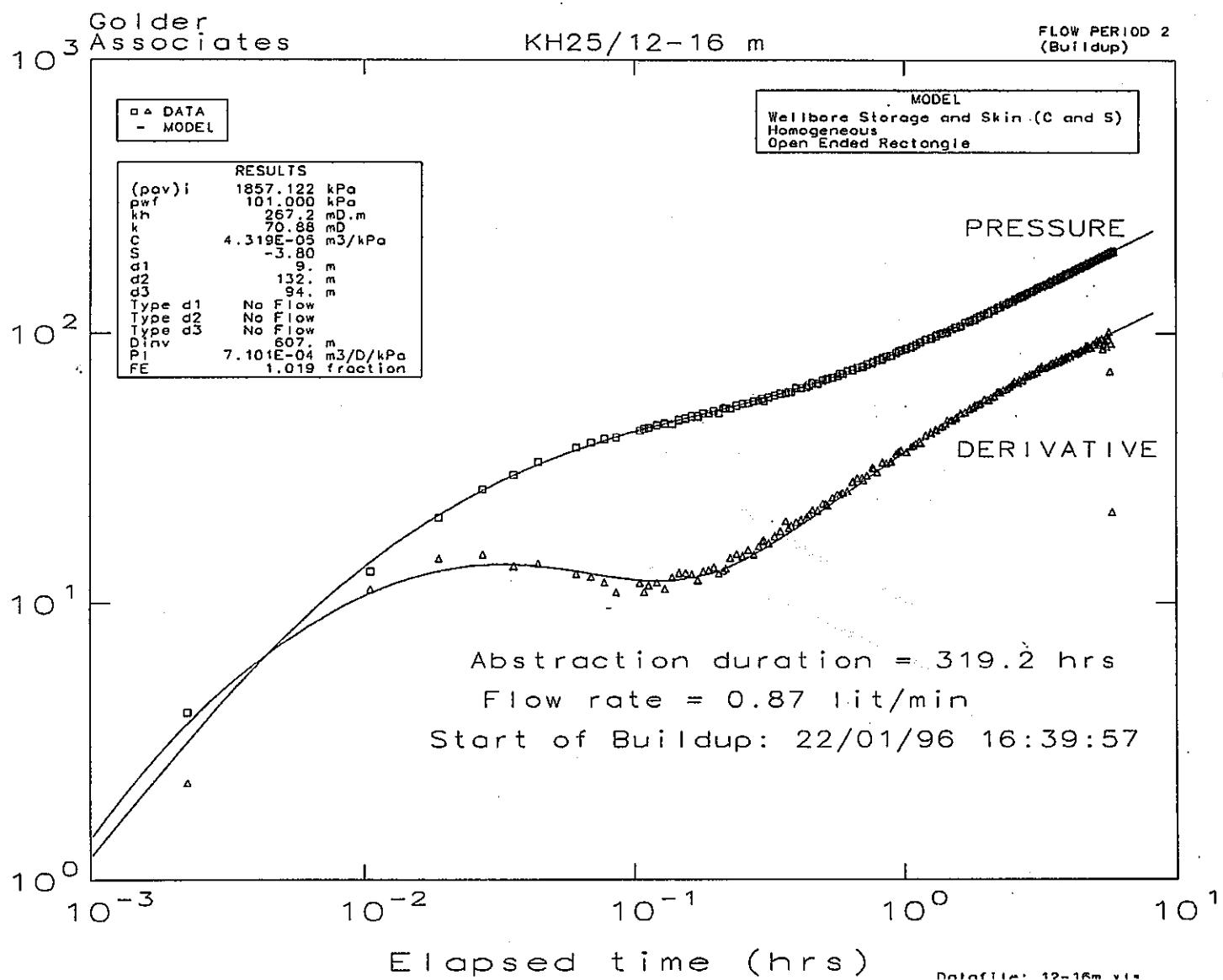


Figure 9.4.1 KH-25 12-16m, INTERPRET ANALYSIS

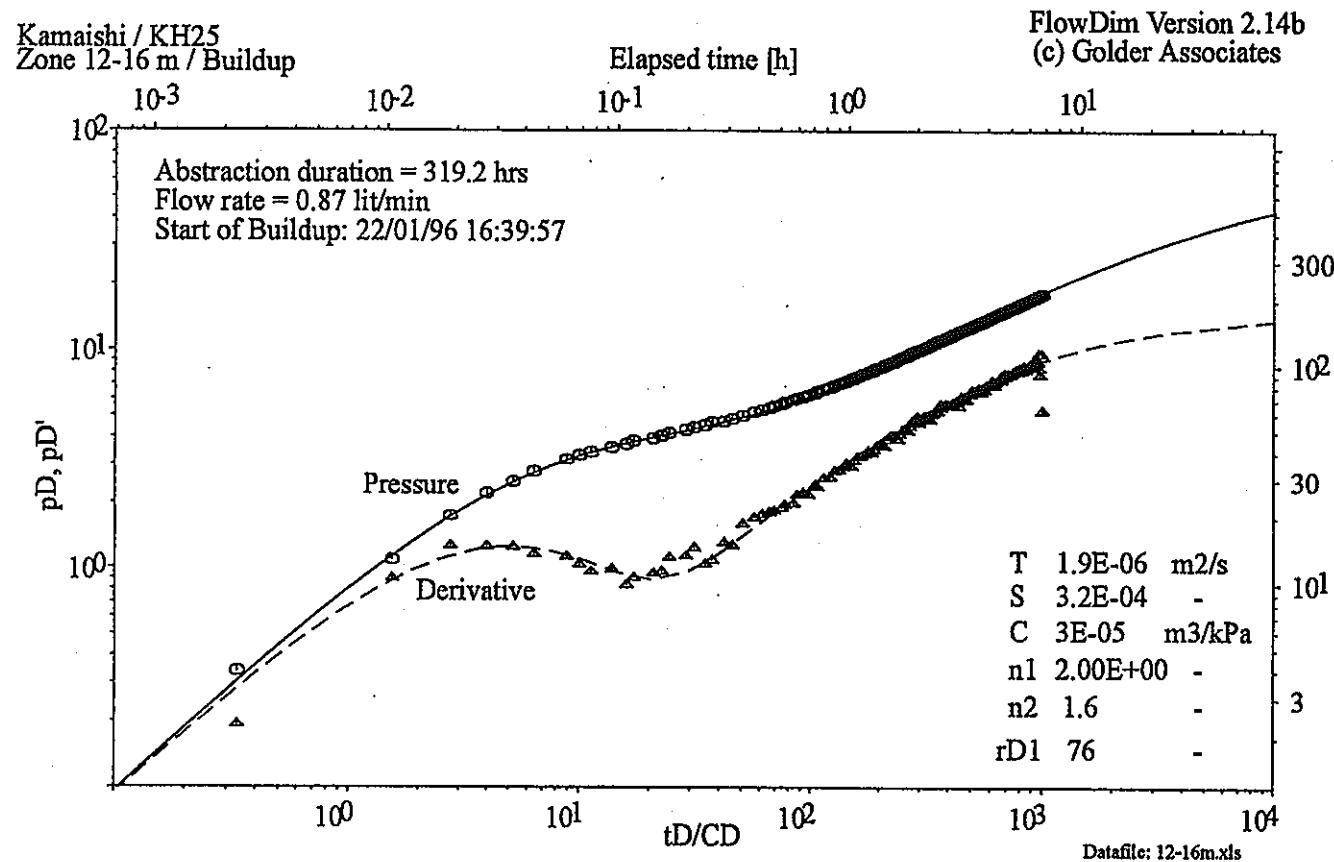


Figure 9.4.2 KH-25 12-16m, FLOWDIM ANALYSIS

Pressure Change and Derivative (kPa)

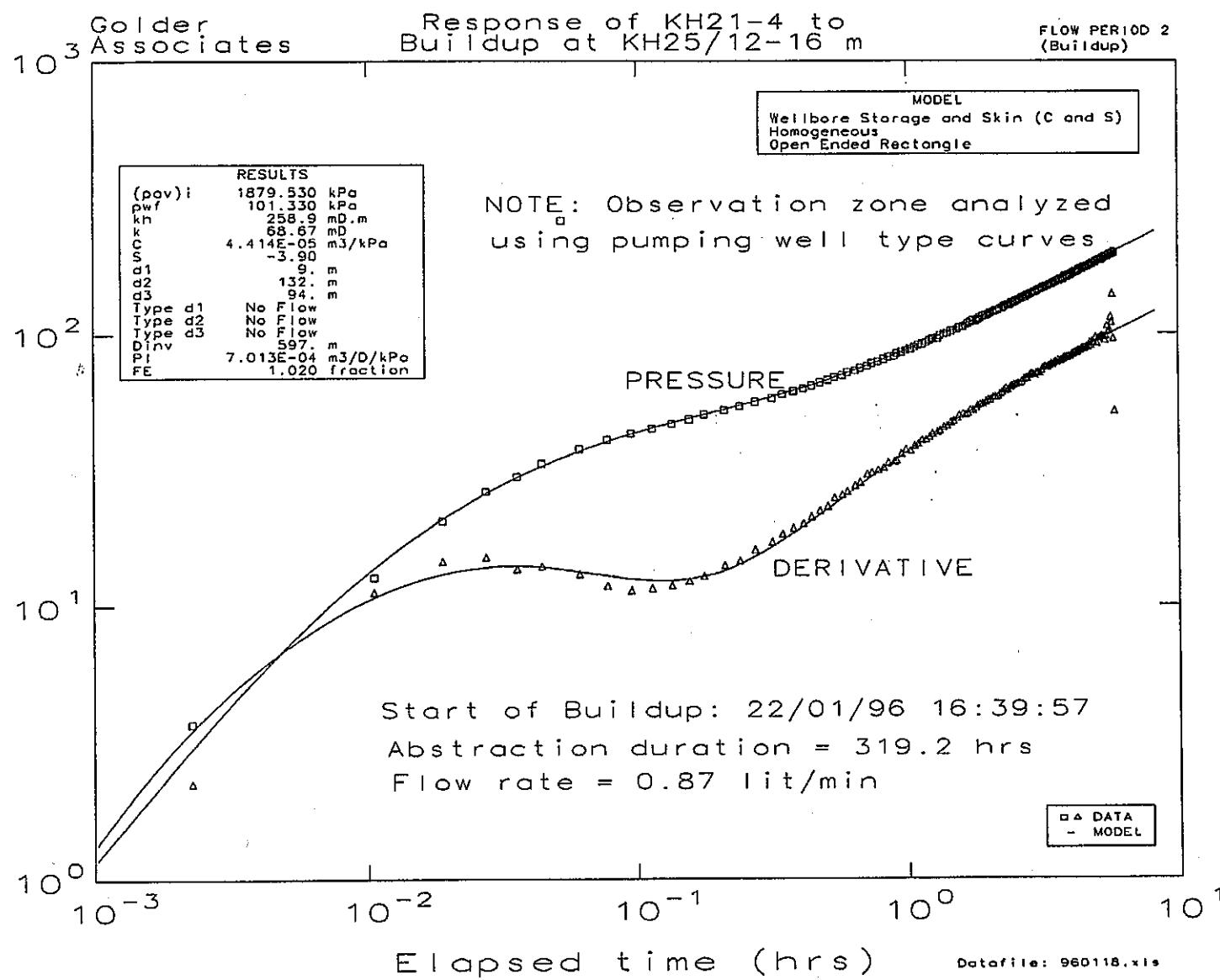


Figure 9.4.3 KH-21-4 RESPONSE TO KH-25 12-16m

Pressure Change and Derivative (kPa)

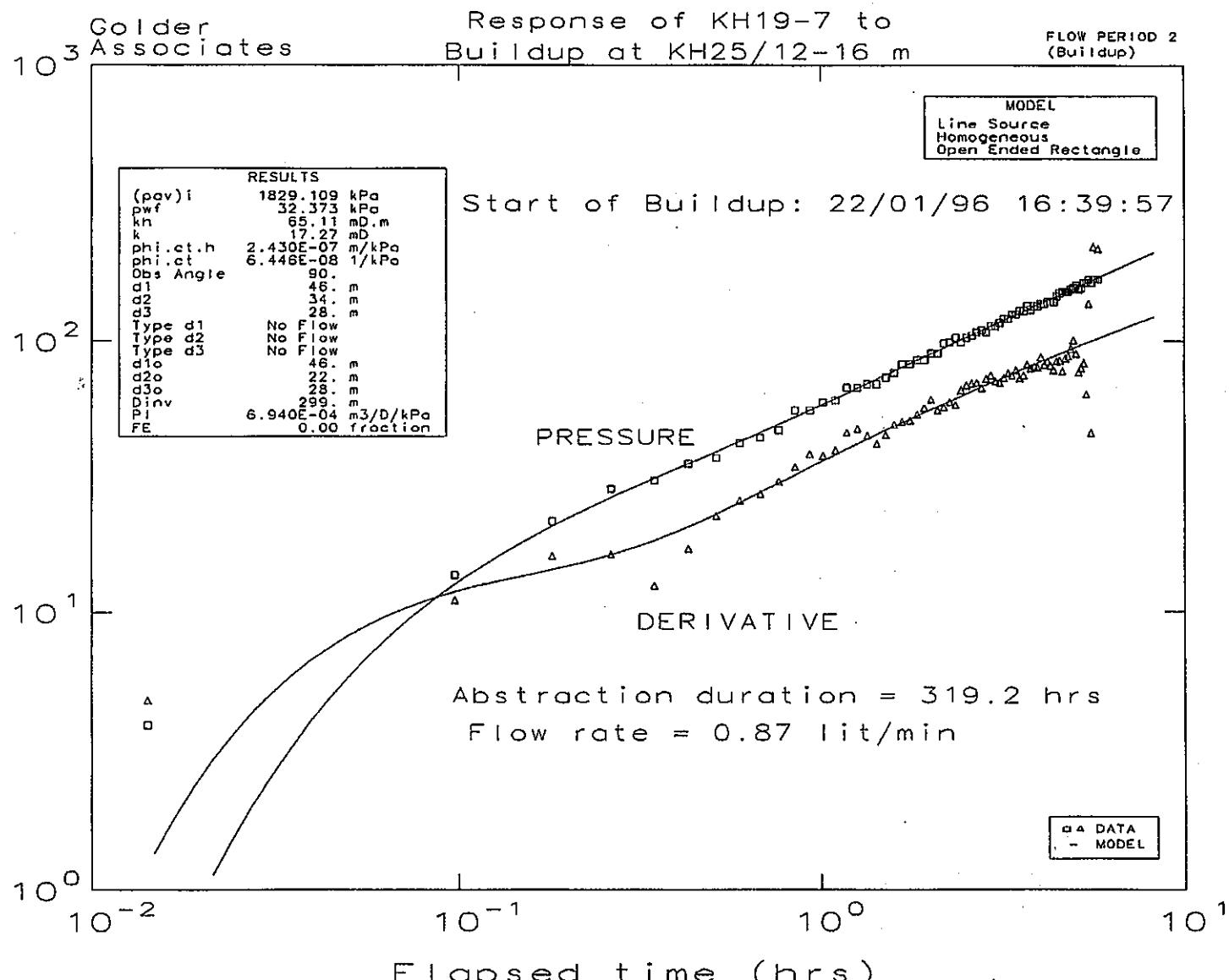


Figure 9.4.4 RESPONSE OF KH 19-7 TO KH-25 12-16

Pressure Change and Derivative (kPa)

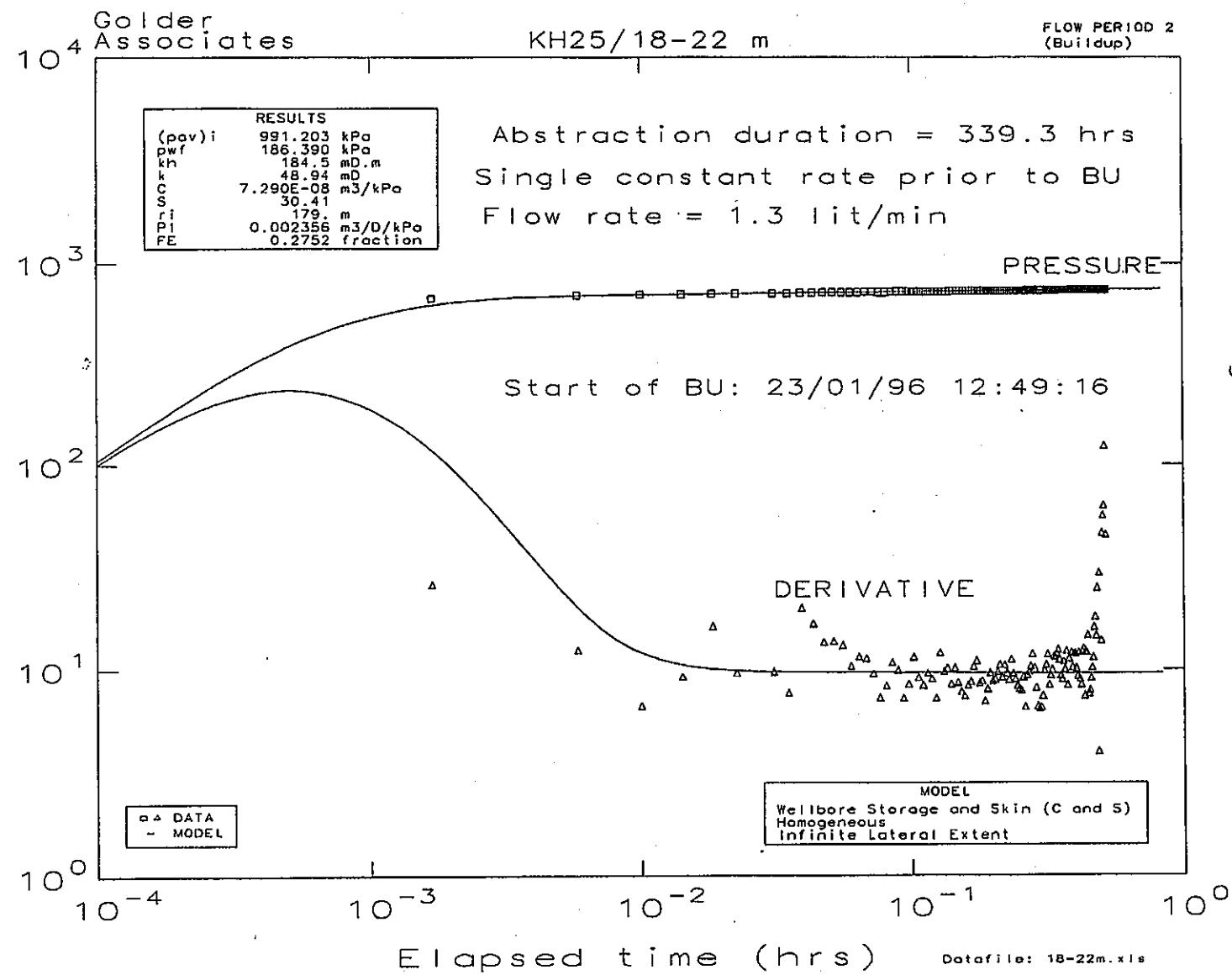


Figure 9.4.5 KH-25 18-22 SOURCE ZONE INTERPRET ANALYSIS

Pressure Change and Derivative (kPa)

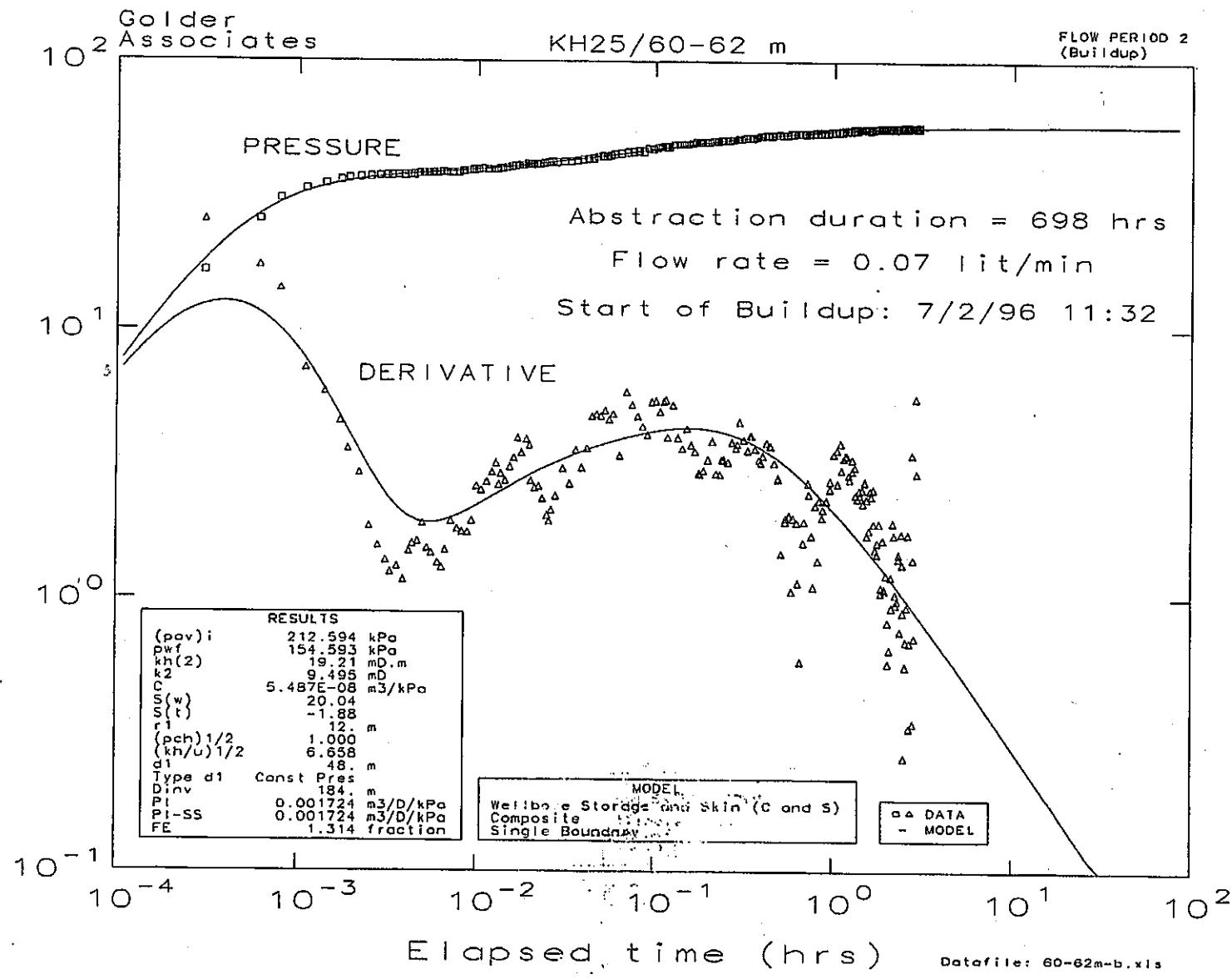
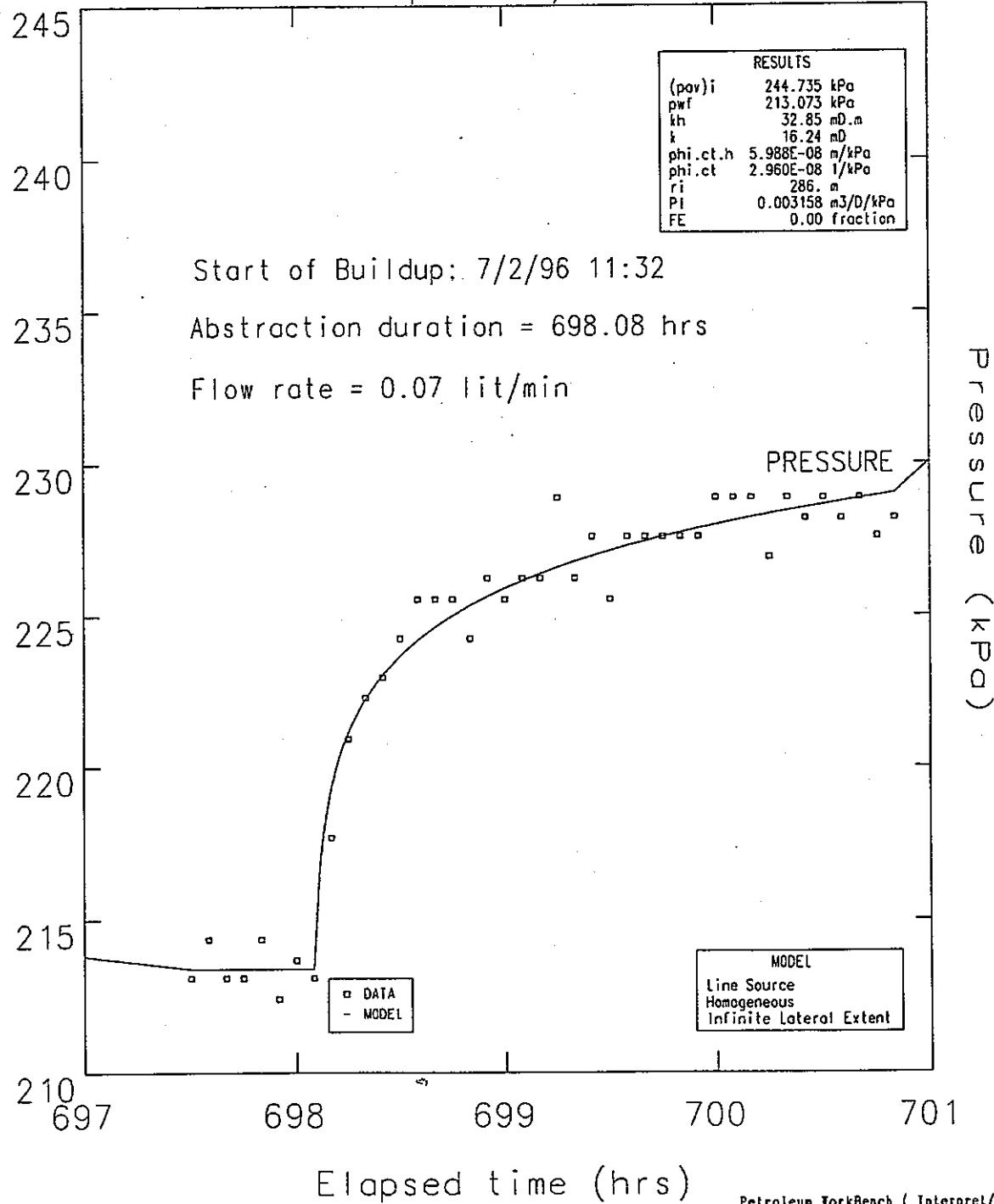


Figure 9.4.6 KH-25 60-62m SOURCE ZONE INTERPRET ANALYSIS

Golder
Associates Response of KH20-3 to
Buildup at KH25/60-62 m Pressure
History



Petroleum TankBench (Interwell/2)

Figure 9.4.7 RESPONSE OF KH-20-3 TO KH-25 60-62m

Pressure Change and Derivative (kPa)

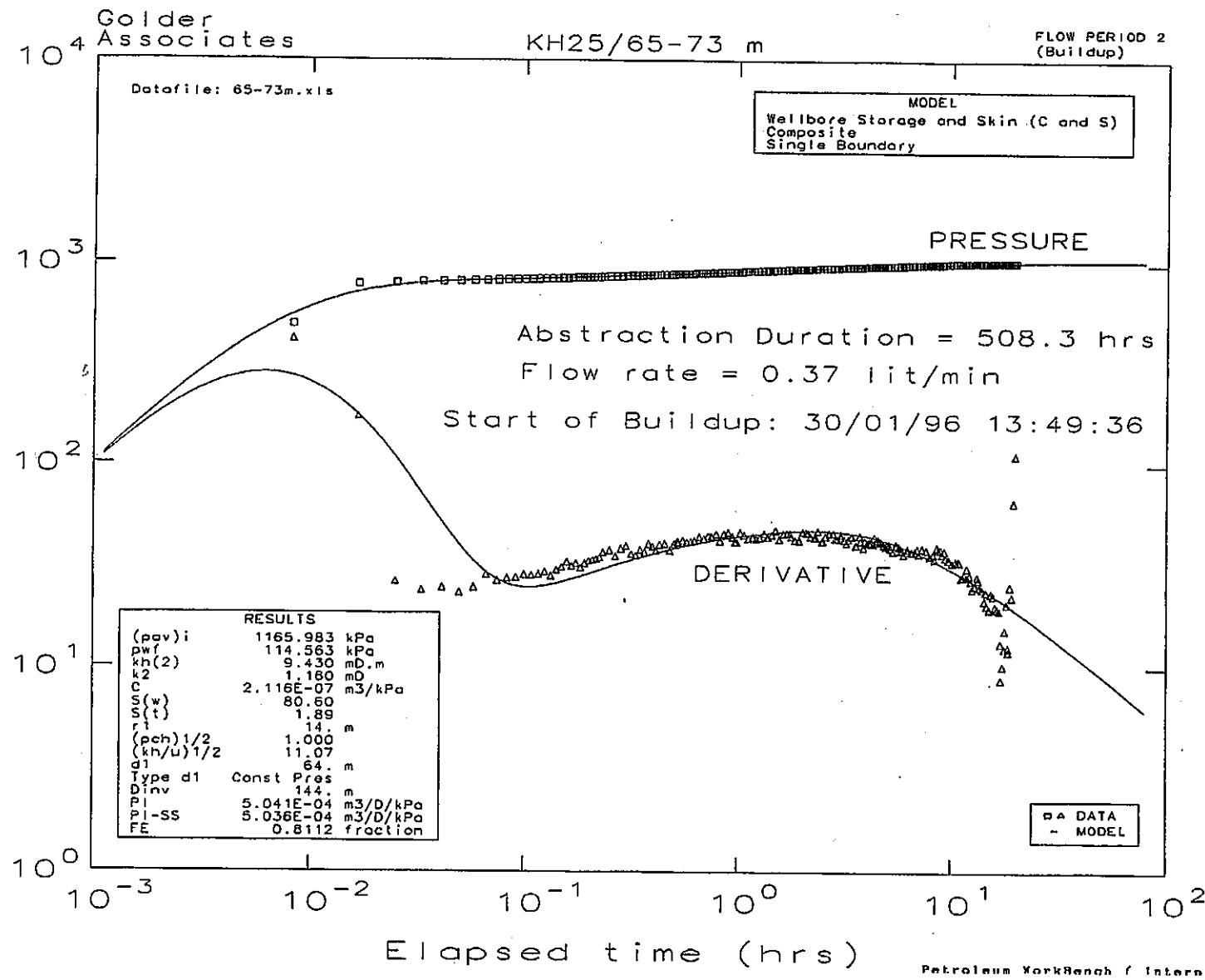


Figure 9.4.8 KH-25 65-73m SOURCE ZONE INTERPRET ANALYSIS

Kamaishi / KH21-1

Response to Buildup at KH25/69-71 m

Elapsed time [h]

FlowDim Version 2.14b
(c) Golder Associates

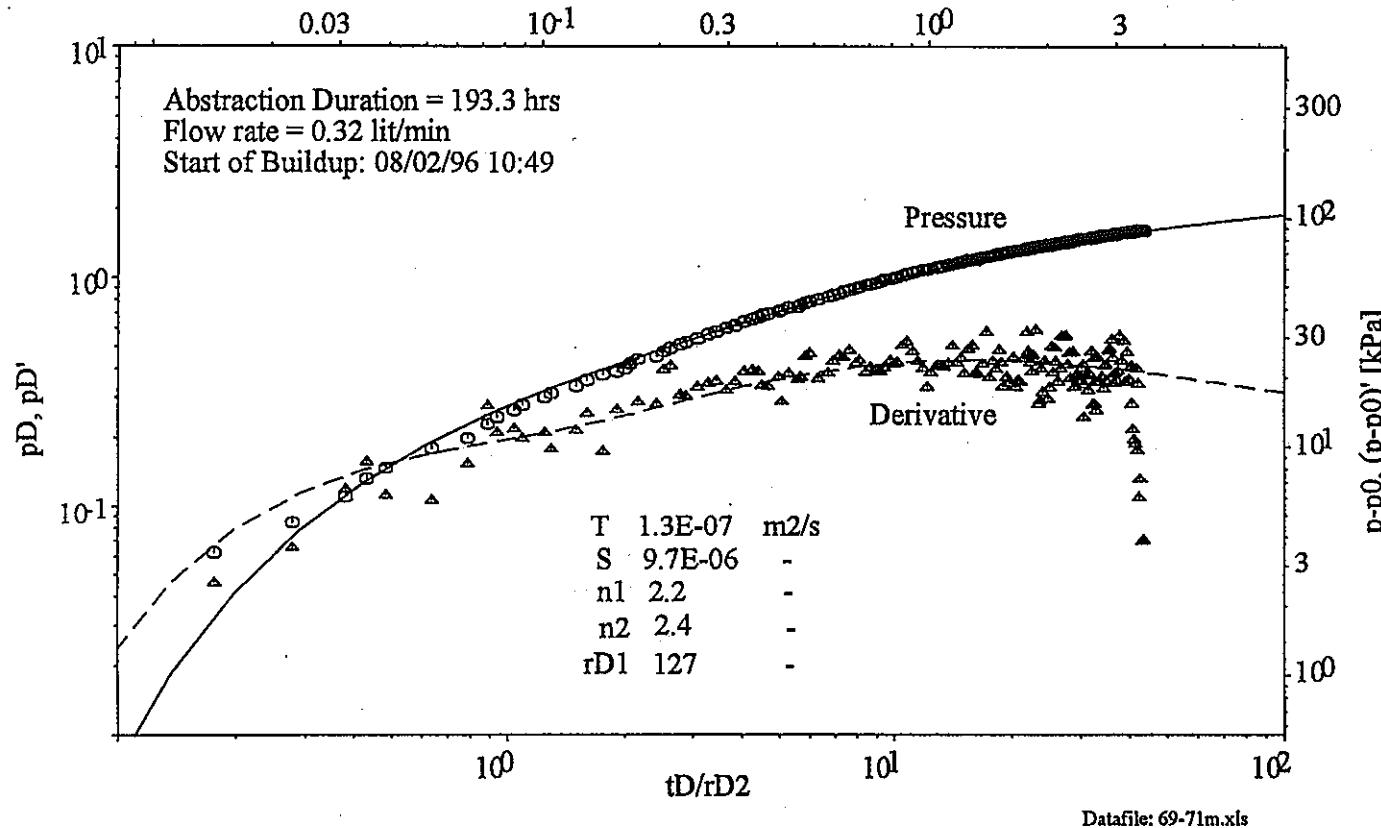


Figure 9.4.9 KH-21-1 RESPONSE TO KH-25, 69-71m FLOWDIM ANALYSIS

9.5 試験期間中の水圧応答と水圧ゾーンの評価

The interference responses are qualitatively described in Table 9.5.1. These responses are valuable for defining the connections between zones. As shown by the table, the interference responses are consistent with the interpretations of zones presented in section 3, with a few additional insights.

Figures 9.5.1-9.5.6 show the responses of the piezometer intervals, excluding KH-21, during the conductivity testing. Please note that the time values are in days since the start of the year and are thus one day more than the corresponding calendar date.

The A and B zones responded strongly and only to the test at 12-16 meters. The B zone response was larger in magnitude, but both zones had the same general transient form.

The C zone had one clear response which was to the test from 34-38m. This interval lies among high pressure, "D" zone conductors, but would appear to be a lower pressure feature of the "C" zone. It will be important to separately isolate this feature in the piezometer designs for KH-25.

The D zone is again the dominant, high pressure feature of the Task 3-2 area. The responses are similar for all the build-tests, except that some zones respond more strongly to particular tests with which they are more strongly connected. A particularly clear example of this was the test at 40-43.8 meters which did not strongly affect most of the "D" zone intervals, except for 20-5 which responded very strongly.

The E zone had one strong and clear response to the test at 60-62m, and also responded weakly to the tests in the 69-71-m conductor zone in KH-25. Although these responses may reflect KH-21 problems, they may also suggest a connection between the fractures of the E and F zones.

The F zone intervals strongly responded to the tests at 65-73 and 69-71m in KH-25. These intervals did not have any apparent responses to any other zones. The 67-69 m test may have set the lower packer over the conductor in the 69-71 interval, thus causing a strong build-up in the F zone conductors. This is the strong build-up response which occurs at the end of the testing.

Table 9.5.1 Interference Responses(Preliminary)

Zone	A	B	C	D	E	F	Notes
Intervals	19-8 23-7	19-7 20-7 21-4	20-6 23-6 23-5	19- 2,3,4,5,6 20-4,5 21-3 23-3,4	20-3 21-2 23-2	20-1 20-2 21-1 23-1	
12.2	16.0	x	x				Some leakage effects from KH-21
18.0	21.8			x			
21.0	23.0						No Appreciable Build-up
32.0	34.0						No Appreciable Build-up
34.0	37.8		x				Low pressure zone in middle of high pressure region
38.0	40.0						No Appreciable Build-up
40.0	43.8			x			
41.0	43.0			x			Only 20-5 but a very strong response
43.0	45.0			x			
44.5	48.3			x			
45.0	47.0			x			
47.0	49.0						No Appreciable Build-up
50.0	58.1			x			
52.5	56.3			x			
57.5	59.5						No Appreciable Build-up
60.0	62.0				x		
65.0	73.1				x?	x	
67.0	69.0				x?	x	Packer blocked 69-71m conductor causing build-up false?
69.0	71.0				x?	x	

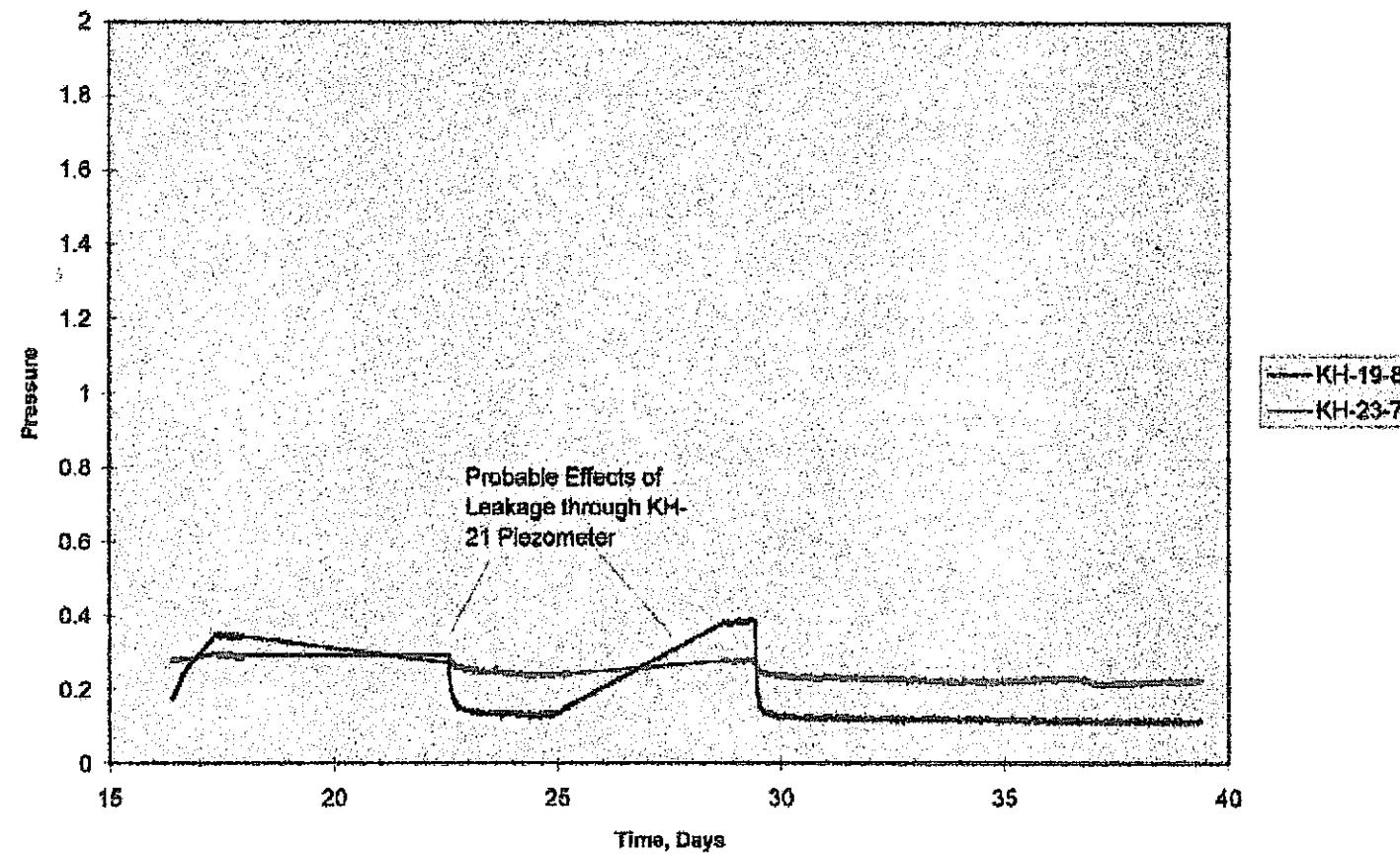


Figure 9.5.1 ZONE A RESPONSES TO KH-25 CONDUCTIVITY TESTS

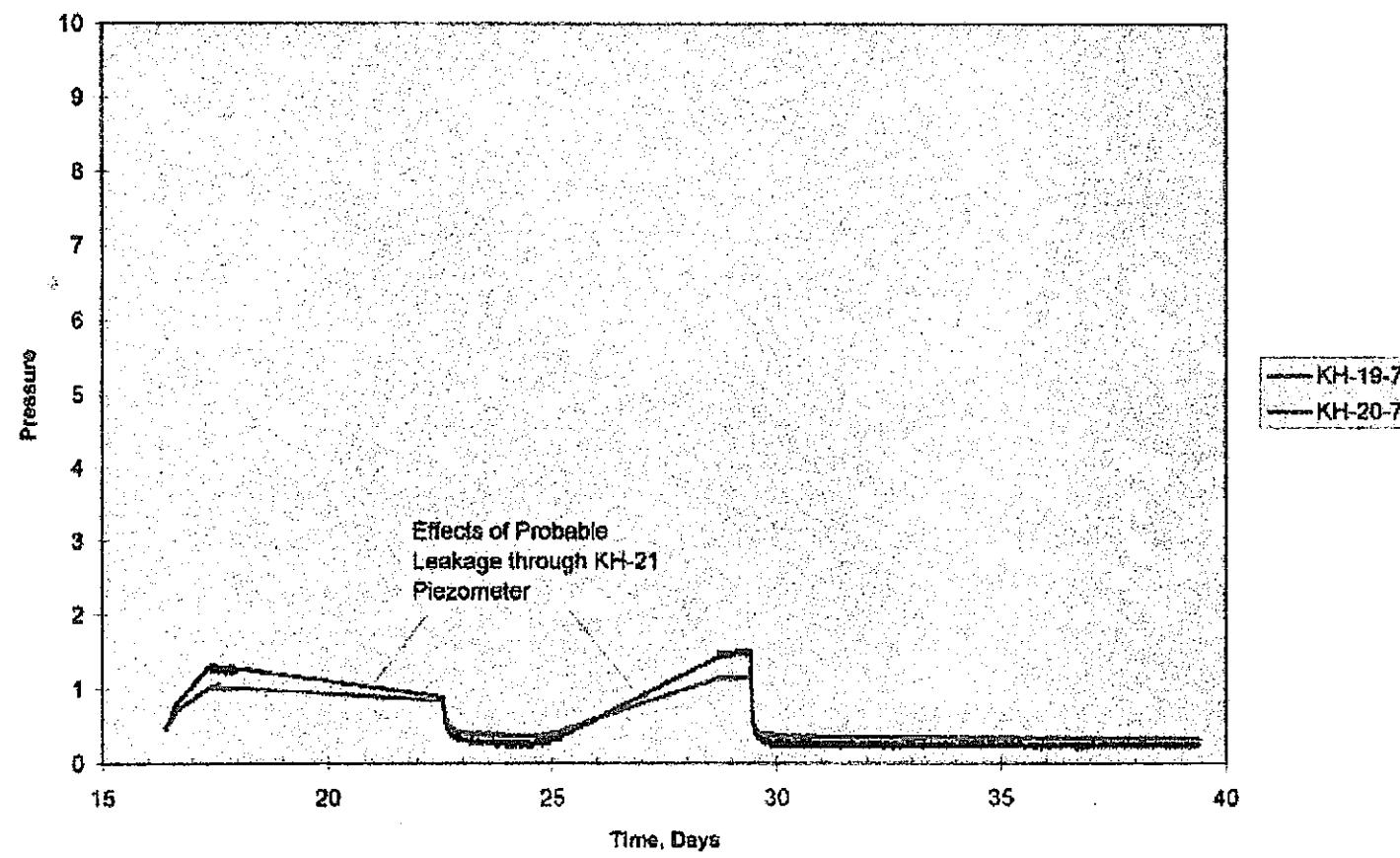


Figure 9.5.2 ZONE B RESPONSES TO KH-25 CONDUCTIVITY TESTS

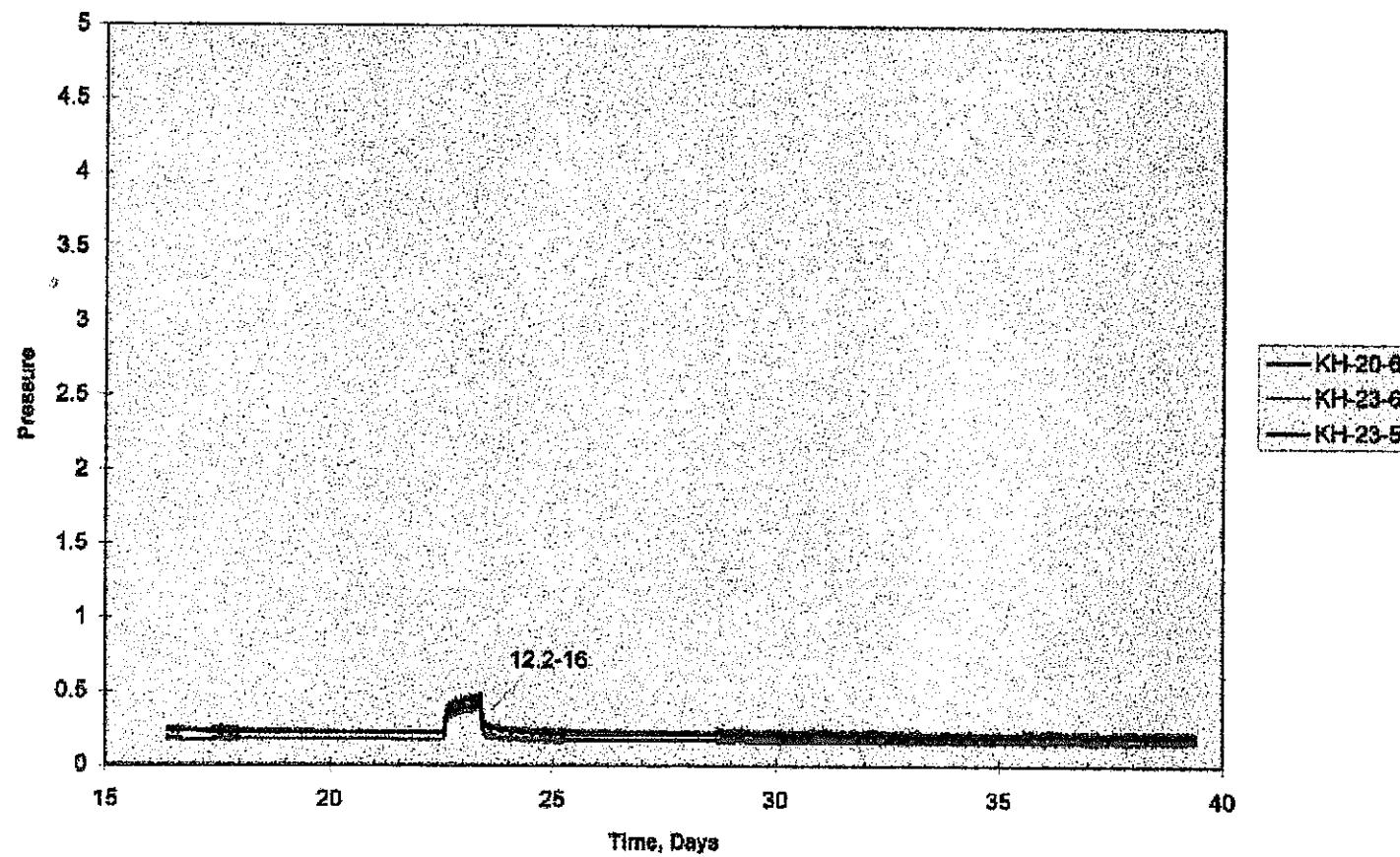


Figure 9.5.3 ZONE C RESPONSES TO KH-25 CONDUCTIVITY TESTS

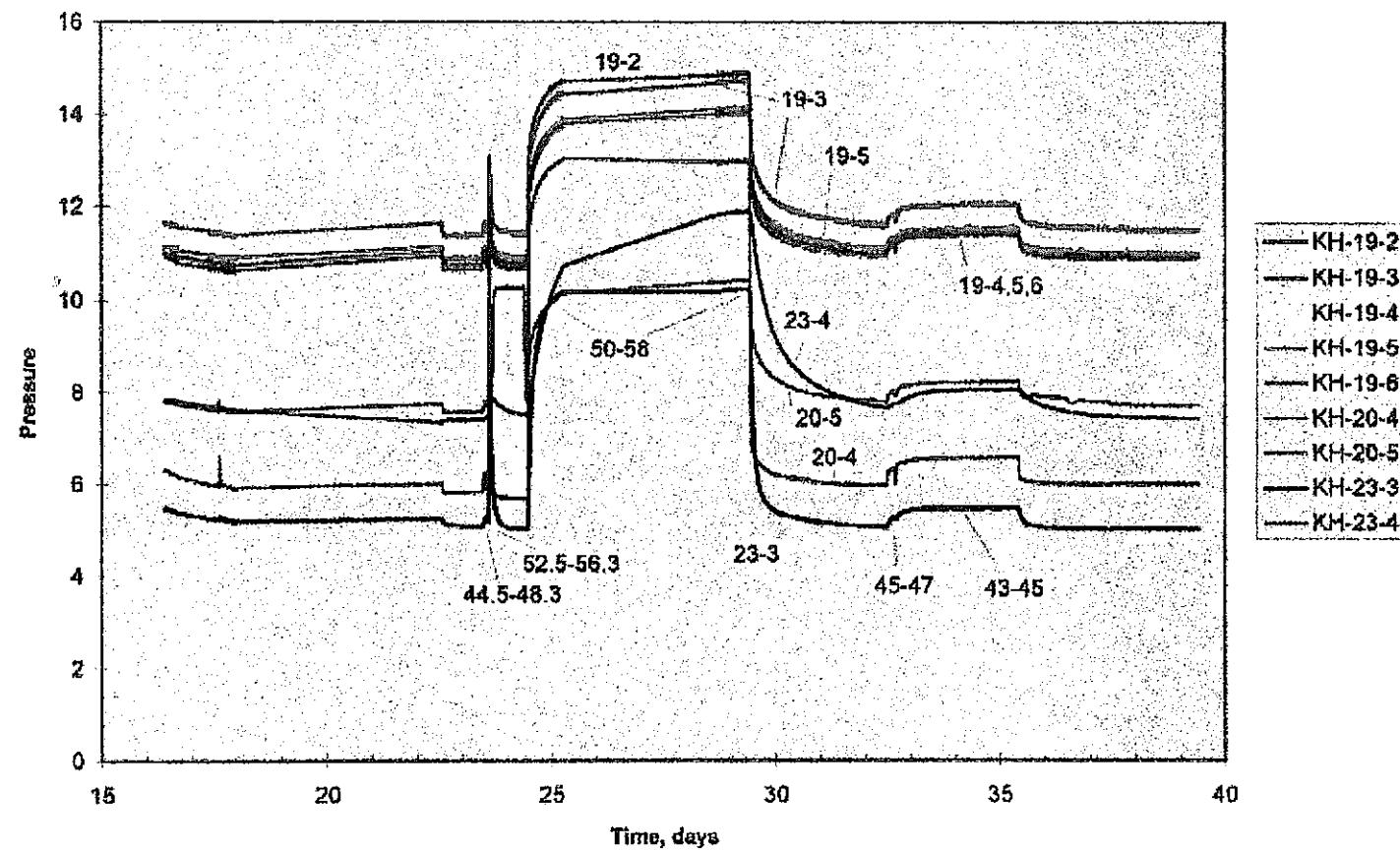


Figure 9.5.4 ZONE D RESPONSES TO KH-25 CONDUCTIVITY TESTS

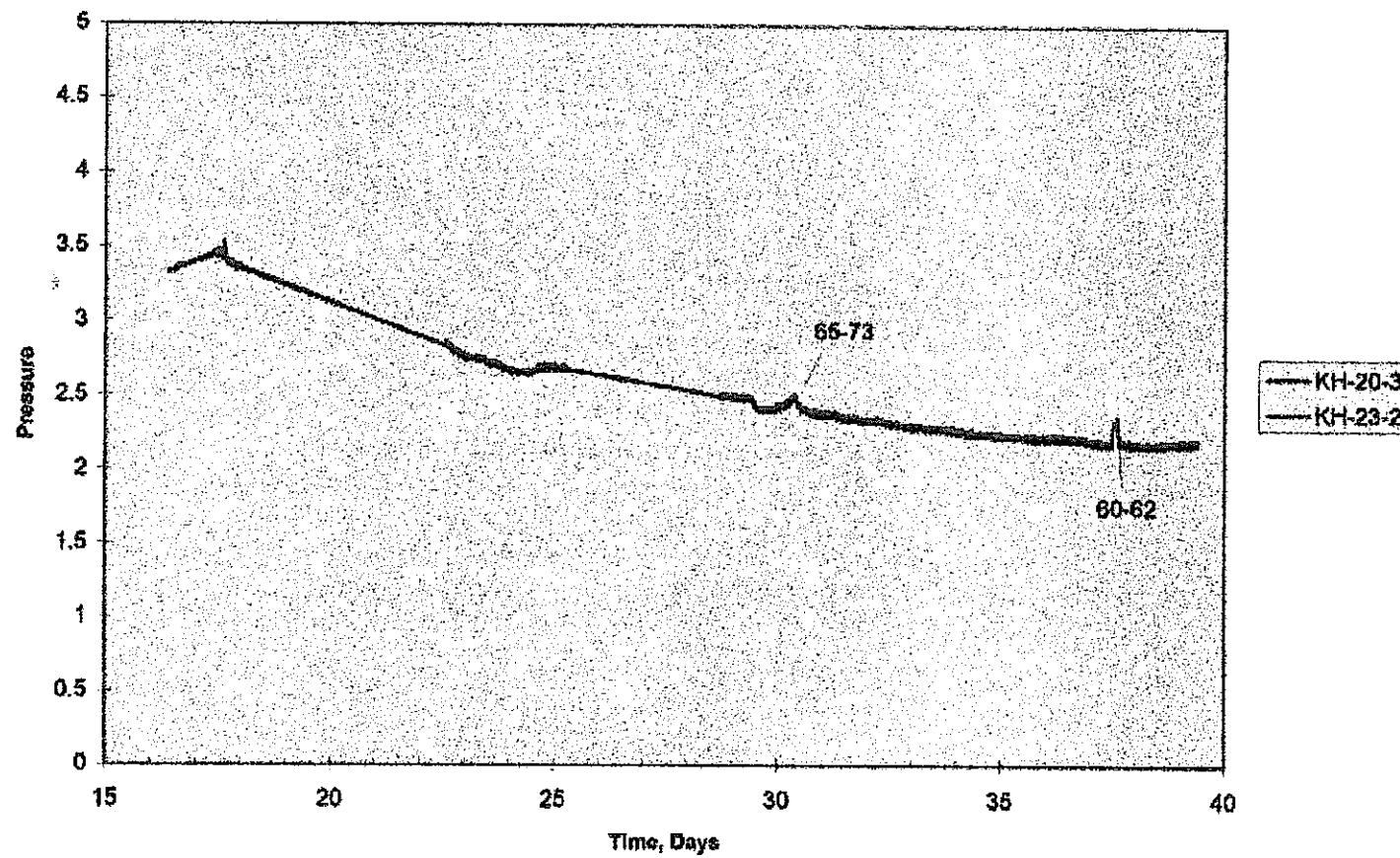


Figure 9.5.5 ZONE E RESPONSES TO KH-25 CONDUCTIVITY TESTS

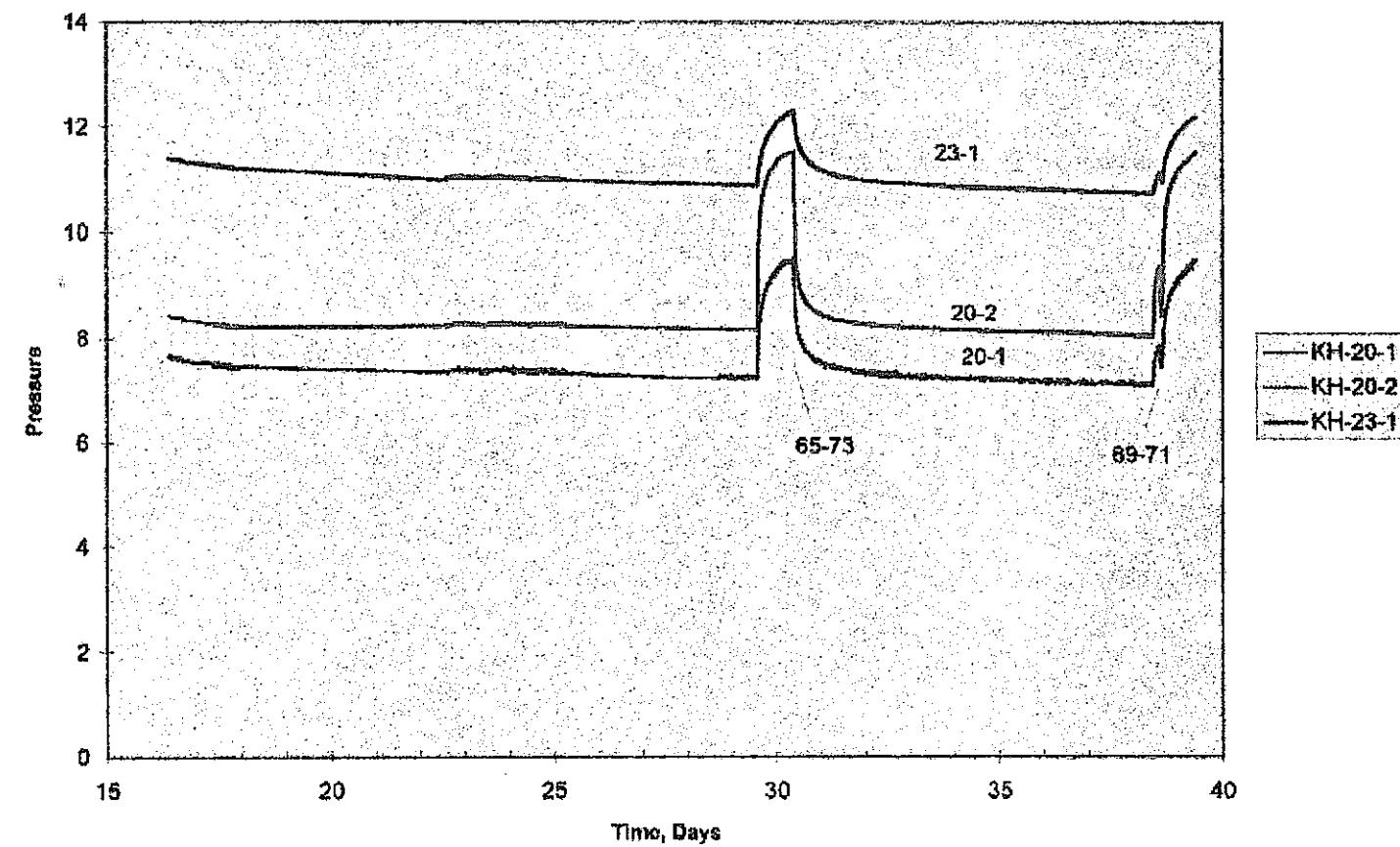


Figure 9.5.6 ZONE F RESPONSES TO KH-25 CONDUCTIVITY TESTS

10 パッカー設置

10.1 概要

KH-23孔、KH-21孔、KH-25孔の各ボーリング削孔完了後、パッカー装置を各ボーリング孔に設置し、継続的に水圧観測を実施する。本章では、パーマネントパッカーの設置に先だって実施したテンポラリーパッカー設置について述べる。

10.2 装置の概要

テンポラリーパッカー装置は、パッカー、1インチロッド、インラインアダプターおよび3/16インチナイロンチューブからなる。パッカーは、BASKI社製パッカーを用いた。ロッドにはスチール製の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。インラインアダプターには、2つのチューブ（パッカーライン、圧力ライン）が取り出せるようになっている。パッカー拡張および圧力ラインには、3/16インチのナイロンチューブを用いた。

10.3 パッカー設置状況

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。表-8.3.1にパッカー設置深度を示す。

KH-23、KH-21、KH-25孔の各ボーリングに設置したパッカー個数は、各々、7個、4個、2個である。

表-10.3.1 テンポラリーパッカー設置深度

ハッckerNo	設置深度 (m)		
	KH-23孔	KH-21孔	KH-25孔
#1	74.779	68.980	18.000
#2	54.842	57.807	4.992
#3	46.903	20.799	—
#4	39.815	5.099	—
#5	30.876	—	—
#6	17.938	—	—
#7	5.000	—	—

* 設置深度は孔奥側パッカーゴム端の位置

10.4 パッカー設置直後の圧力ビルドアップ

(1) KH-23孔パッカー設置直後の圧力ビルドアップ

図-10.4.1～図-10.4.2に、KH-23孔パッカー設置直後の区間圧および既存孔（KH-19孔、KH-20孔）内の水圧変化を示す。

(2) KH-21孔パッカー設置直後の圧力ビルドアップ

図-10.4.3～図-10.4.6に、KH-21孔パッカー設置直後の区間圧および既存孔（KH-19孔、KH-20孔およびKH-23孔）内の水圧変化を示す。

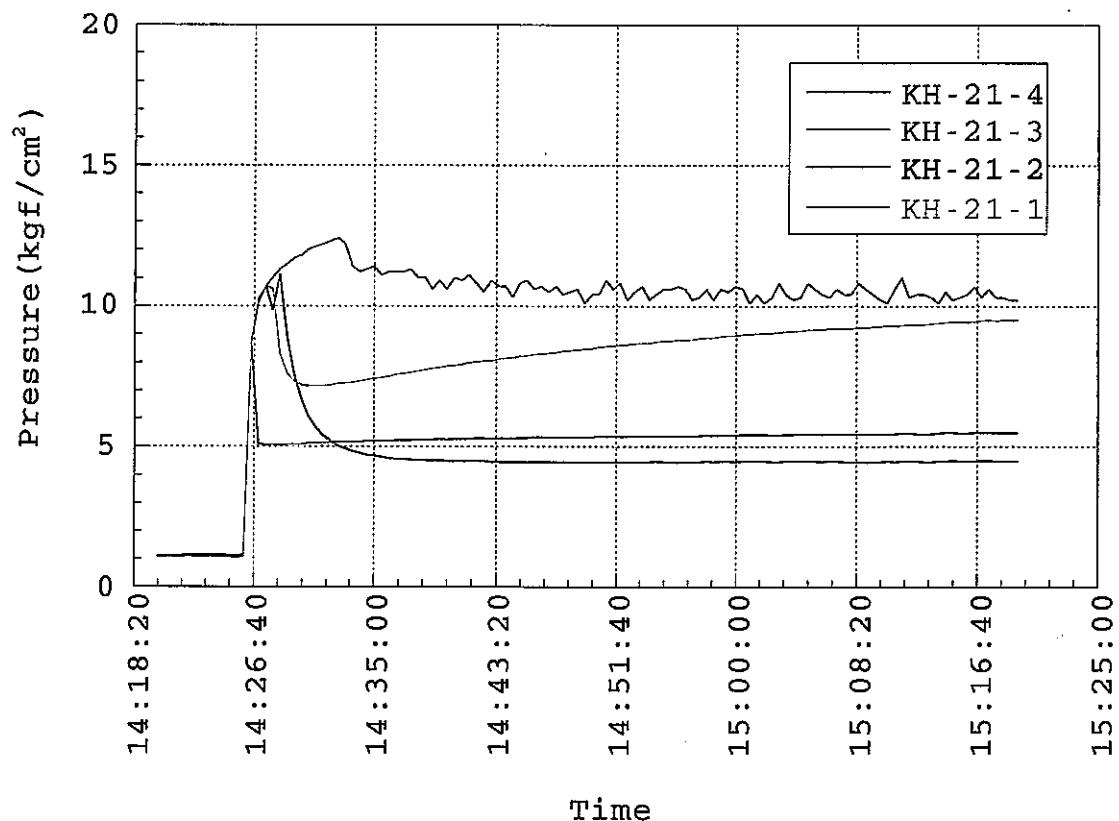


図-10.4.3 KH-21パッカー設置直後の各区間圧

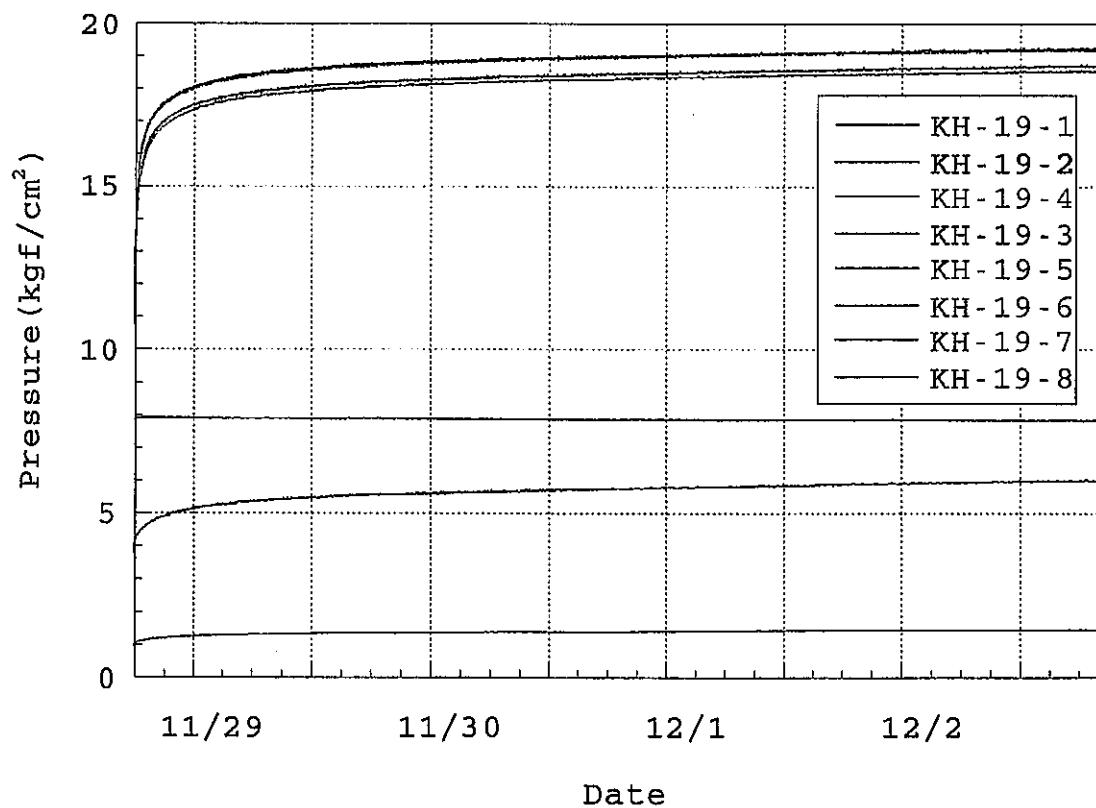


図-10.4.4 KH-19孔水圧応答（KH-21孔パッカー設置直後）

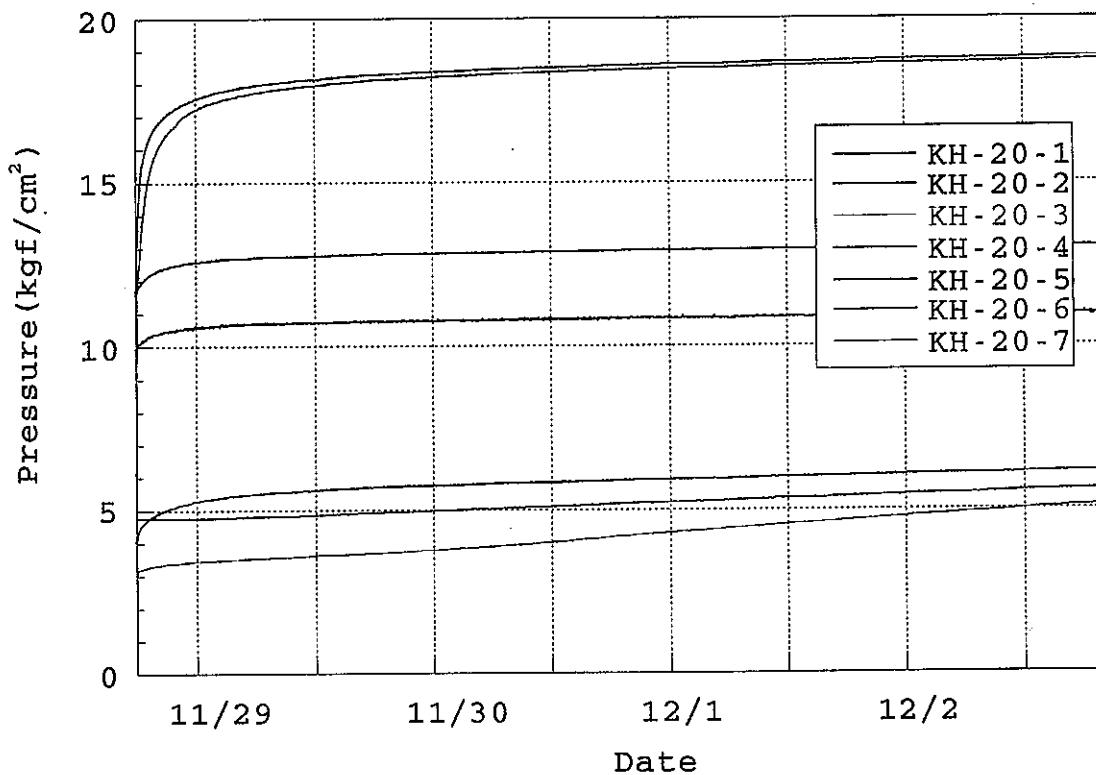


図-10.4.5 KH-20孔水圧応答（KH-21孔パッカー設置直後）

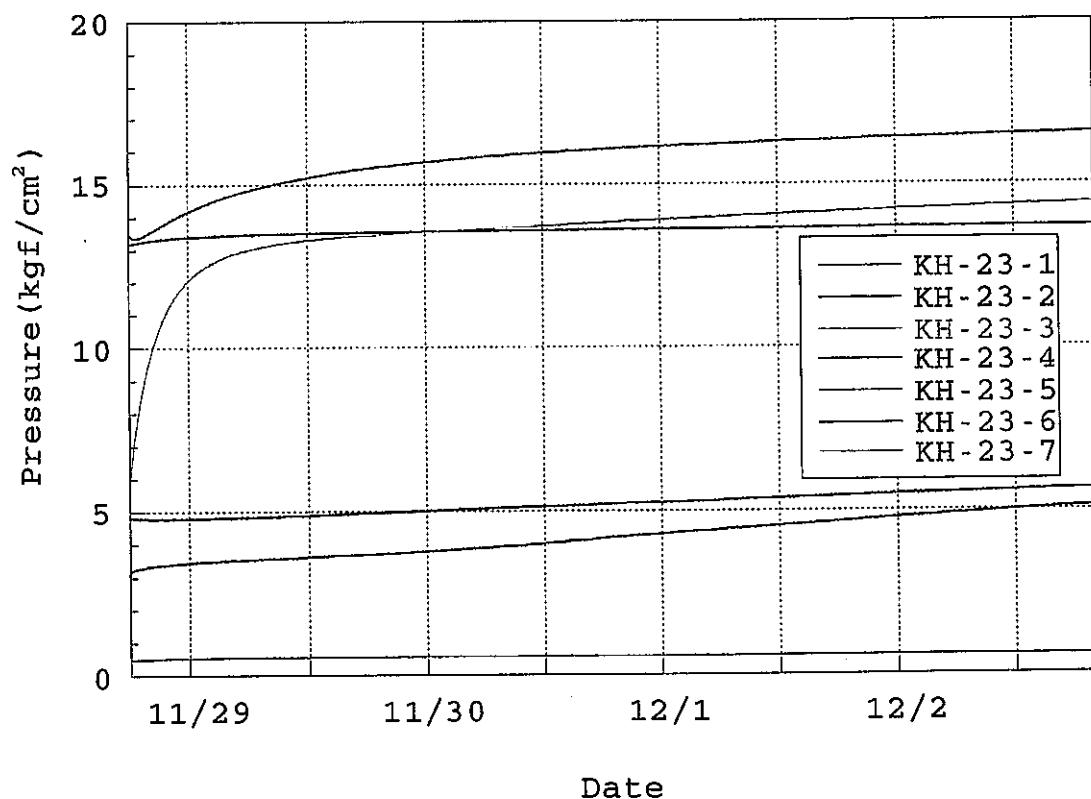


図-10.4.6 KH-23孔水圧応答（KH-21孔パッカー設置直後）

(3) KH-25孔パッカー設置直後の圧力ビルドアップ

図-10.4.7～図-10.4.10に、KH-25孔パッカー設置直後の区間圧および既存孔（KH-19孔、KH-20孔、KH-23孔およびKH-21孔）内の水圧変化を示す。

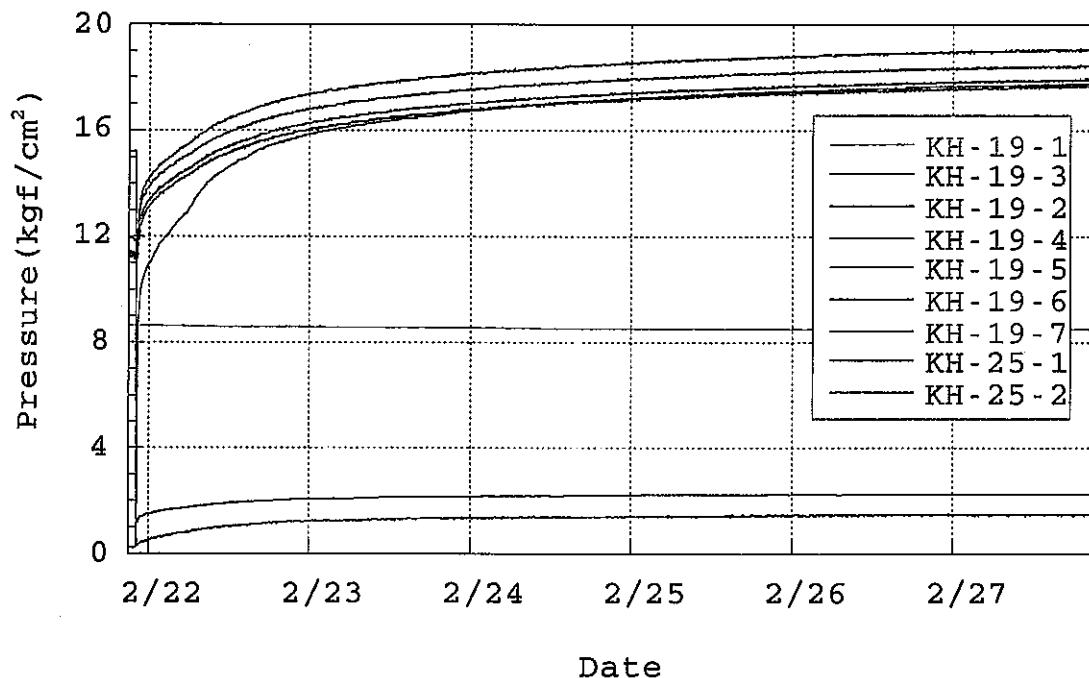


図-10.4.7 KH-25およびKH-19孔区間圧（KH-25孔パッカー設置直後）

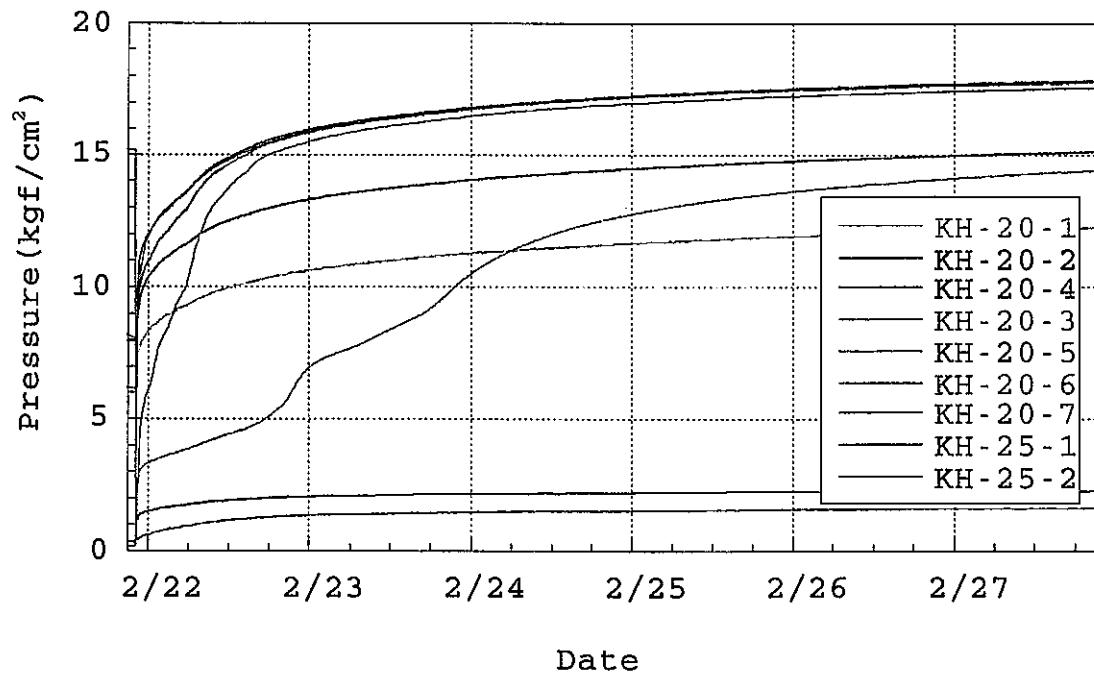


図-10.4.8 KH-25およびKH-20孔区間圧（KH-25孔パッカー設置直後）

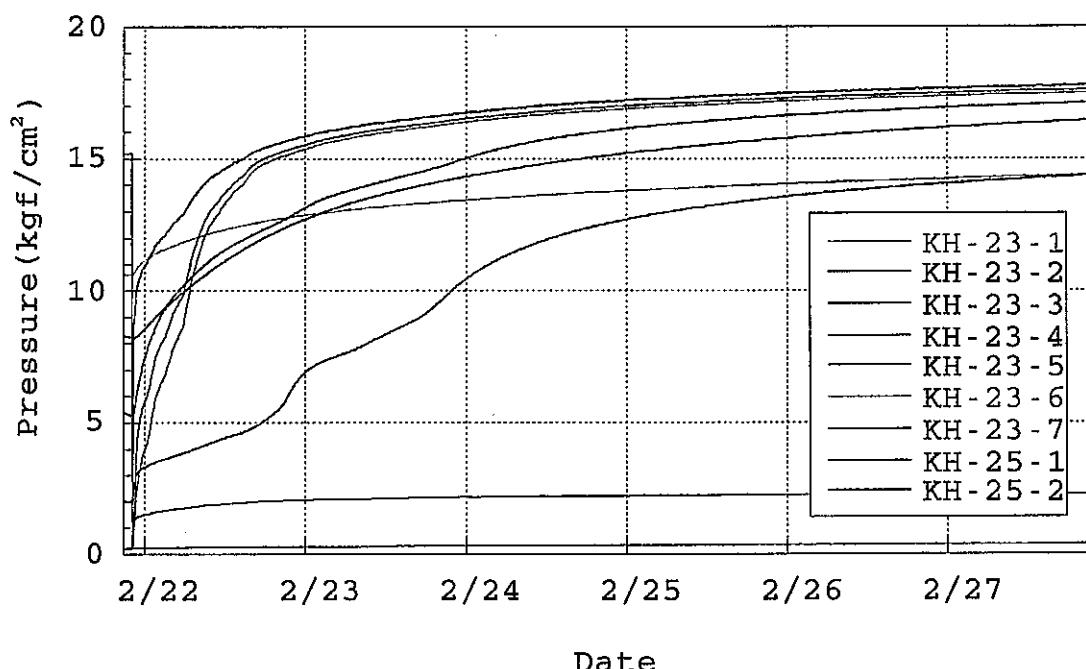


図-10.4.9 KH-25およびKH-23孔区間圧（KH-25孔パッカー設置直後）

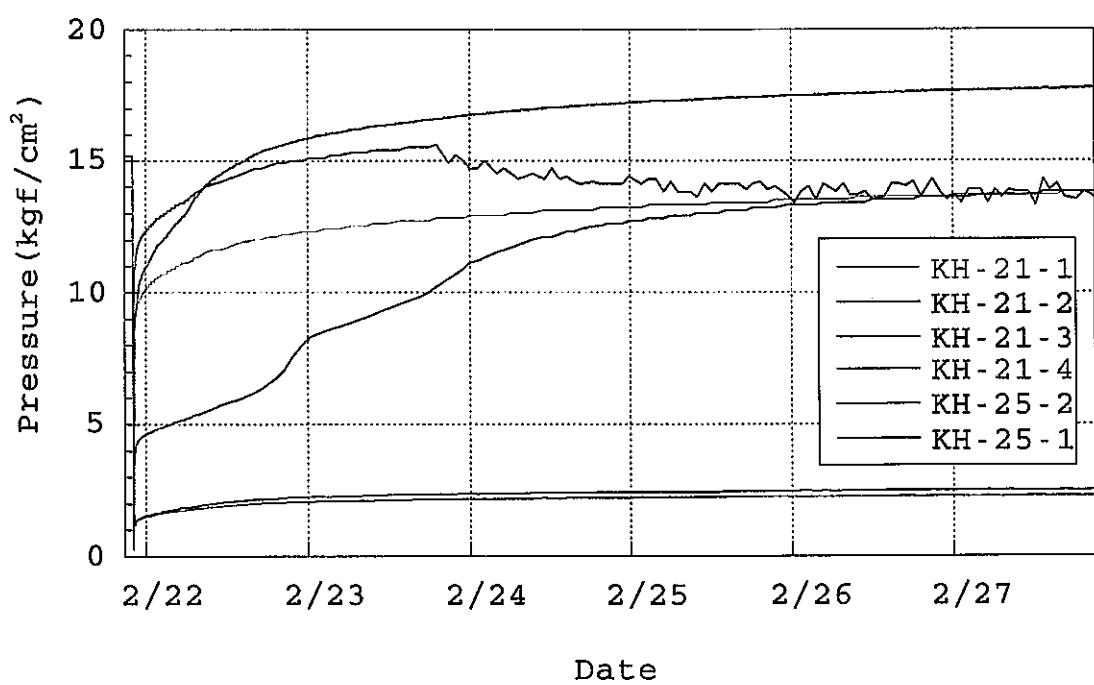


図-10.4.10 KH-25およびKH-21孔区間圧（KH-25孔パッカー設置直後）

11 水理地質構造モデルの検討

11.1 概要

はじめに述べたように、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を主目的としている。

そこで、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动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动解析を実施し、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-11.1.1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

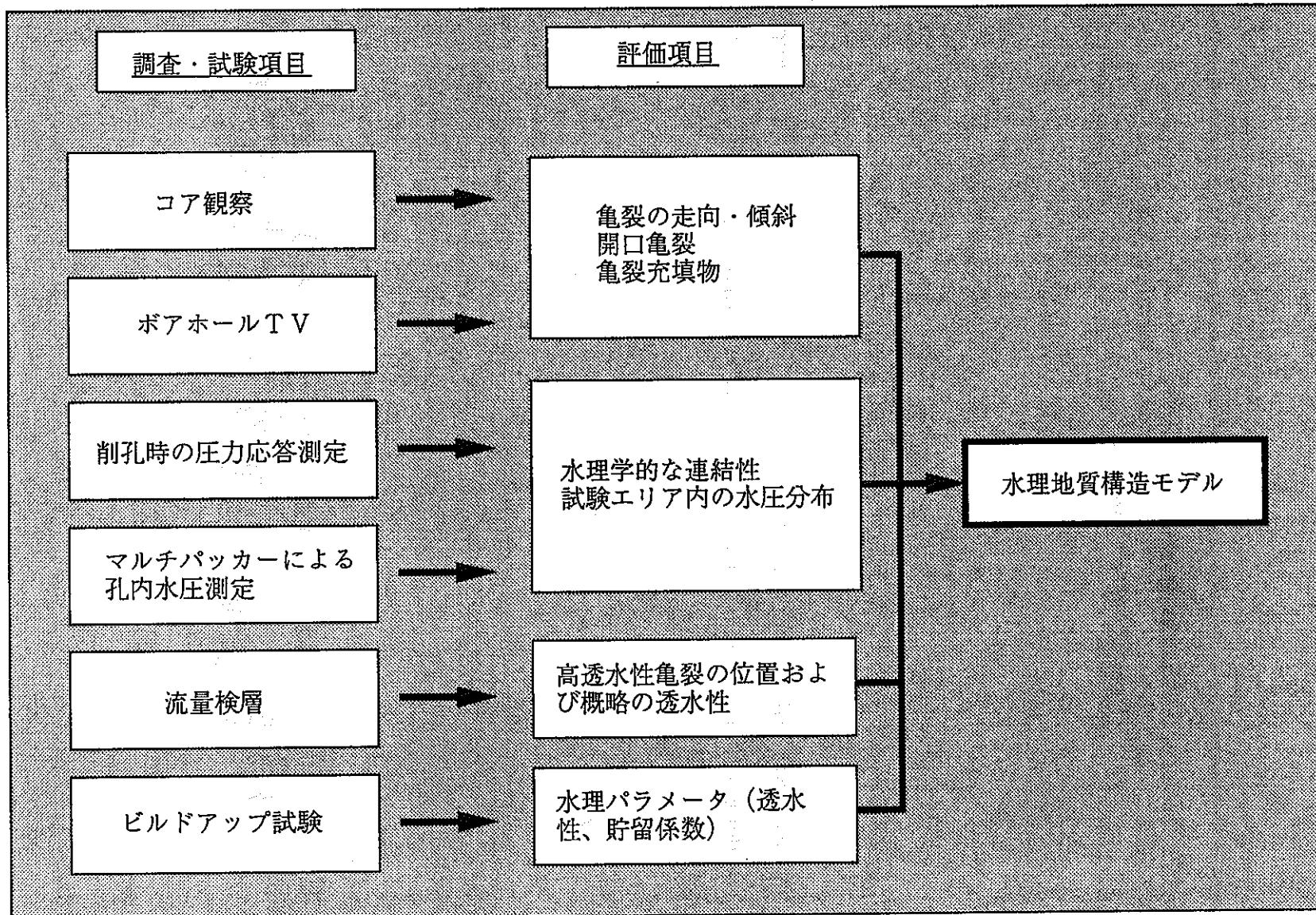


図-11.1.1 水理地質モデルの検討フロー

り、構築される水理地質構造モデルも最終的なものではない。そこで、本年度の検討の主眼は、独立した亀裂ゾーンの抽出、水理場のゾーニングに置かれる。

最終的には、次年度予定されている新規ボーリングの削孔により得られる水理地質調査データをもとに構築し、クロスホール透水・トレーサー試験結果および数値解析的な検討による確証を行なう。

以下に、図-11.1.1の流れに沿って検討を進める。

11.2 亀裂分布と圧力応答経路についての考察

図-11.2.1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-23、KH-21、KH-25各ボーリング孔の削孔時に観察されたされた圧力応答結果と亀裂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-11.2.2は、KH-23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削孔長20m毎に検討したものである。図-11.2.3は、その結果を全長にわたってまとめたものである。

同様に、KH-21孔、KH-25孔の結果を、図-11.2.4～図-11.2.7に示す。また、これらの結果を全て取りまとめた結果を、図-11.2.8に示す。

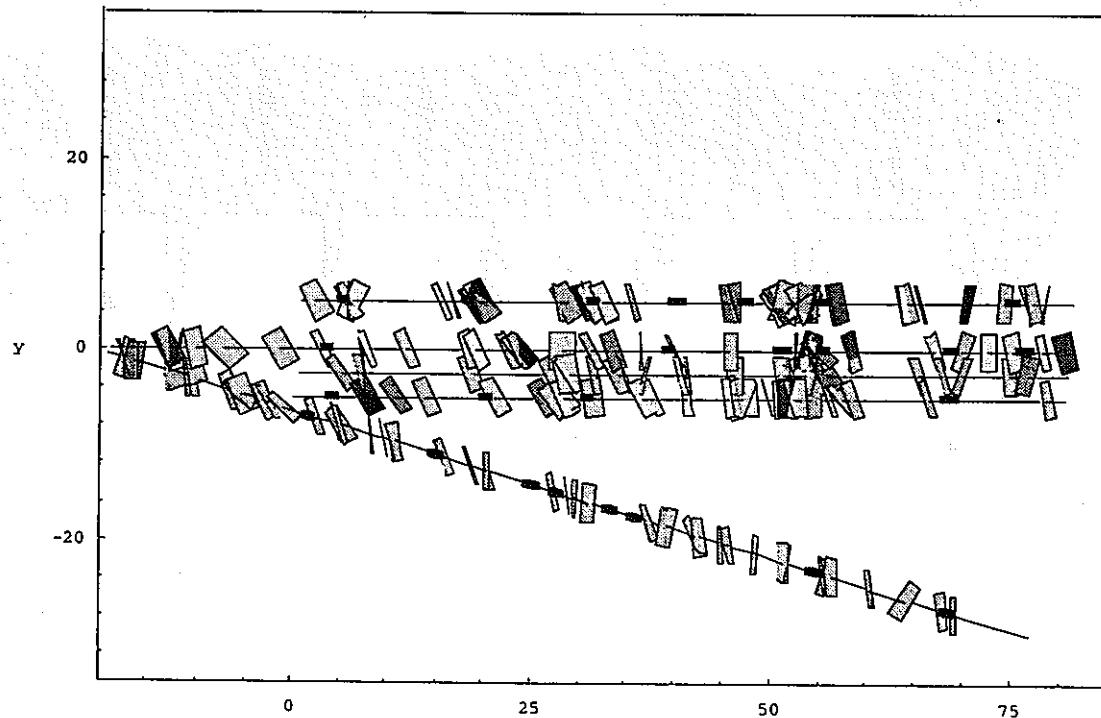


図-11.2.1 各ボーリング孔内の開口亀裂の分布（充填鉱物幅5mm以上）

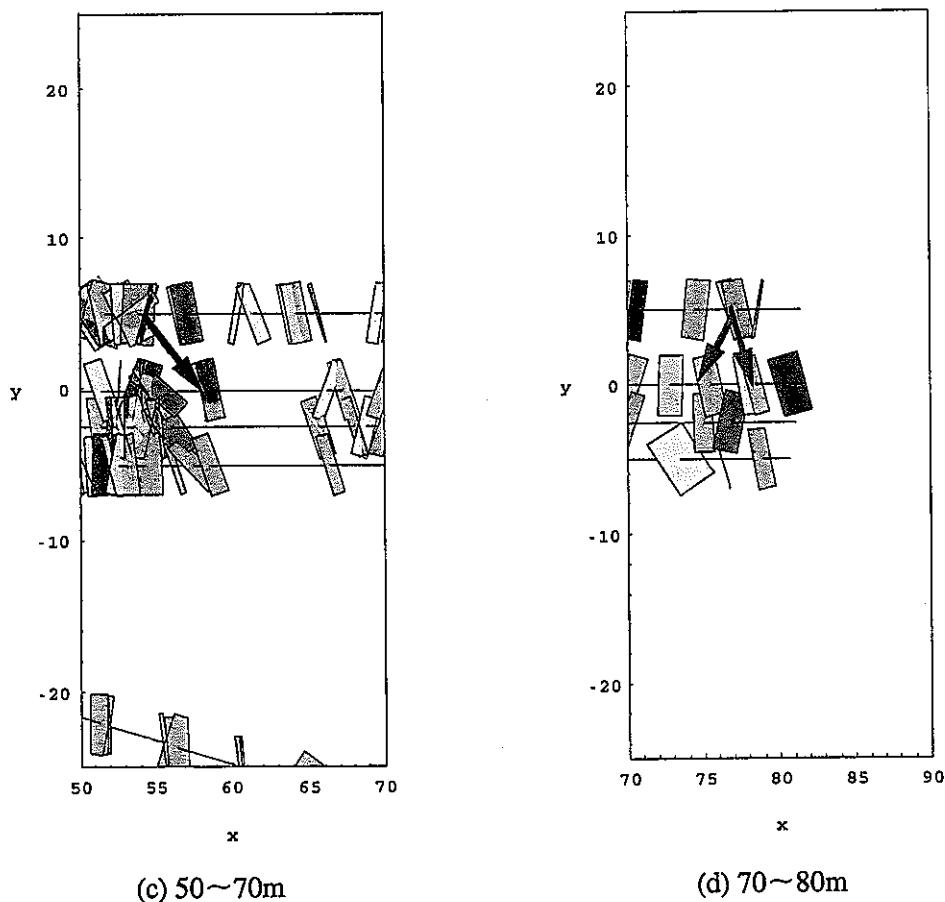
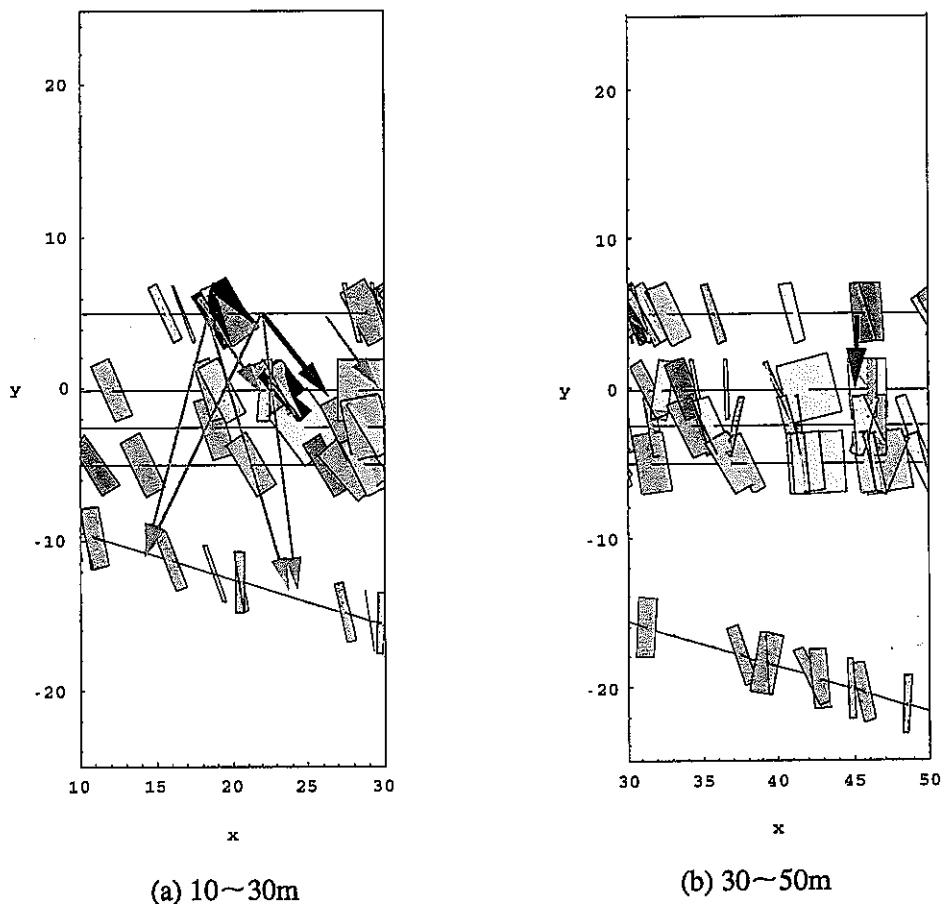


図-11.2.2 割れ目から推定される圧力応答経路 (KH-23削孔時、20m区間毎)

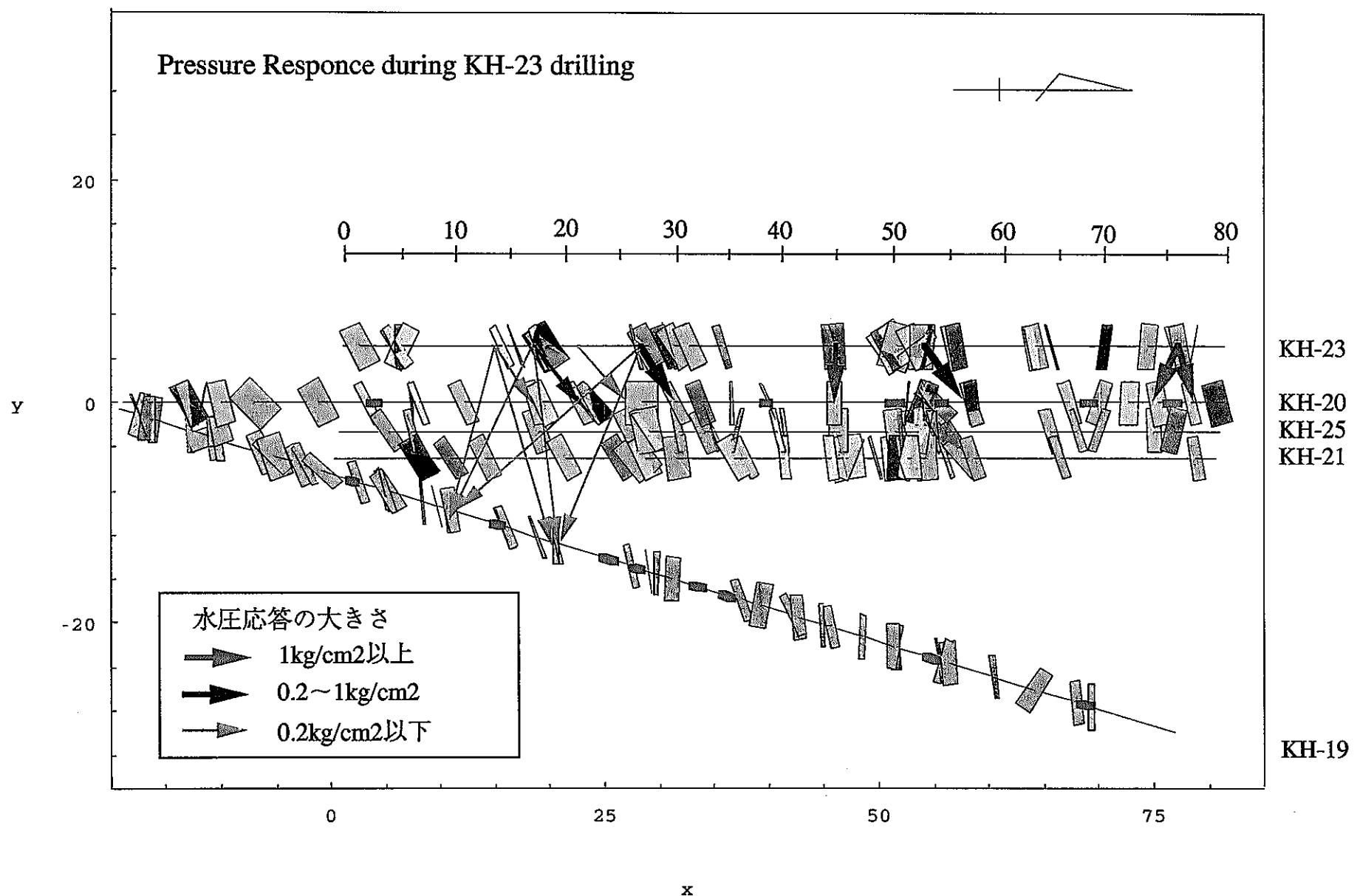


図-11.2.3 割れ目から推定される圧力応答経路（KH-23孔削孔時、全区間）

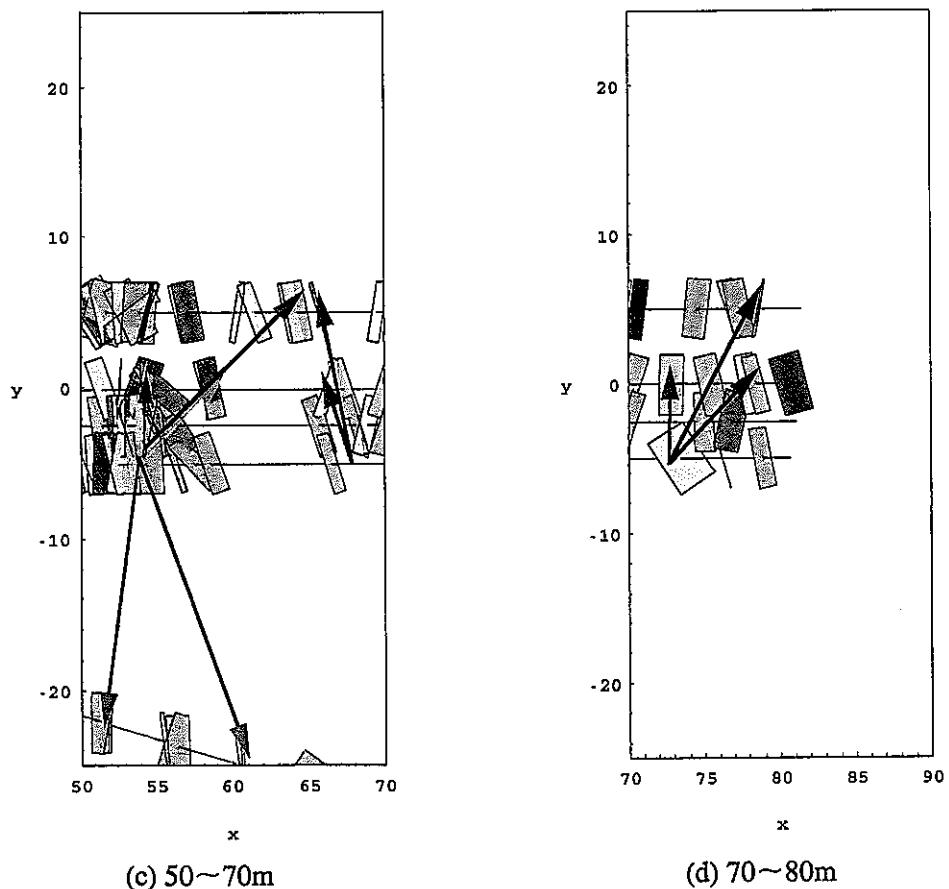
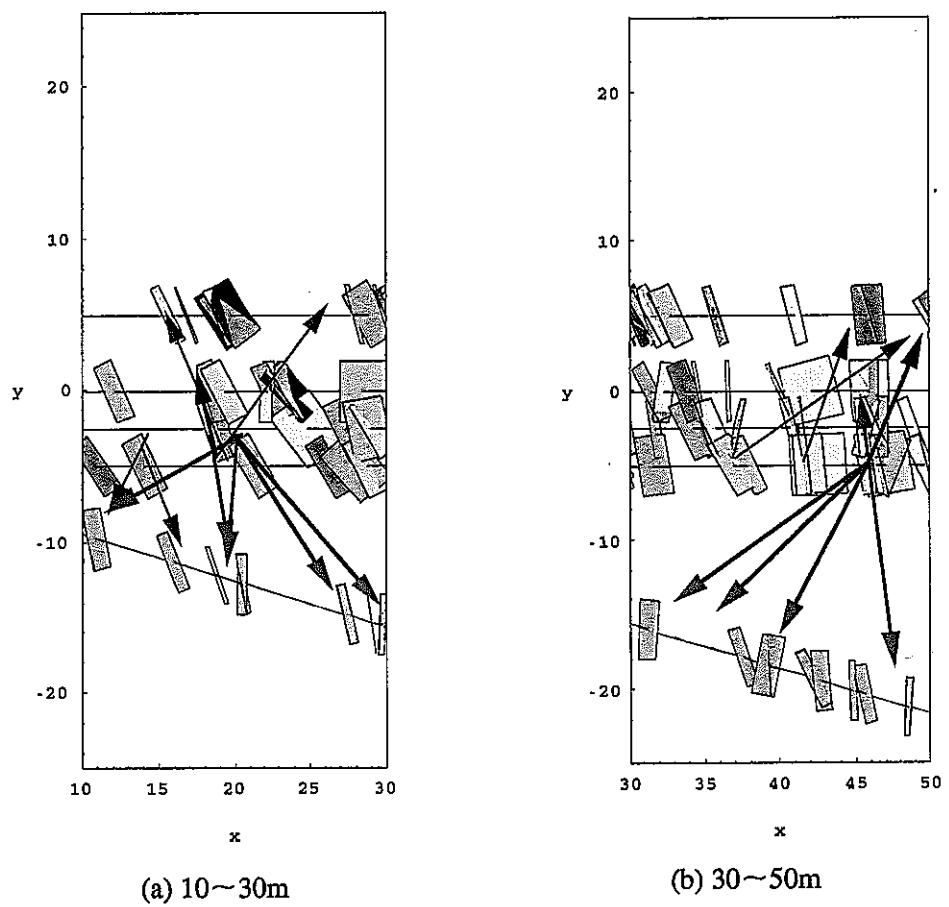


図-11.2.4 割れ目から推定される圧力応答経路 (KH-21削孔時、20m区間毎)

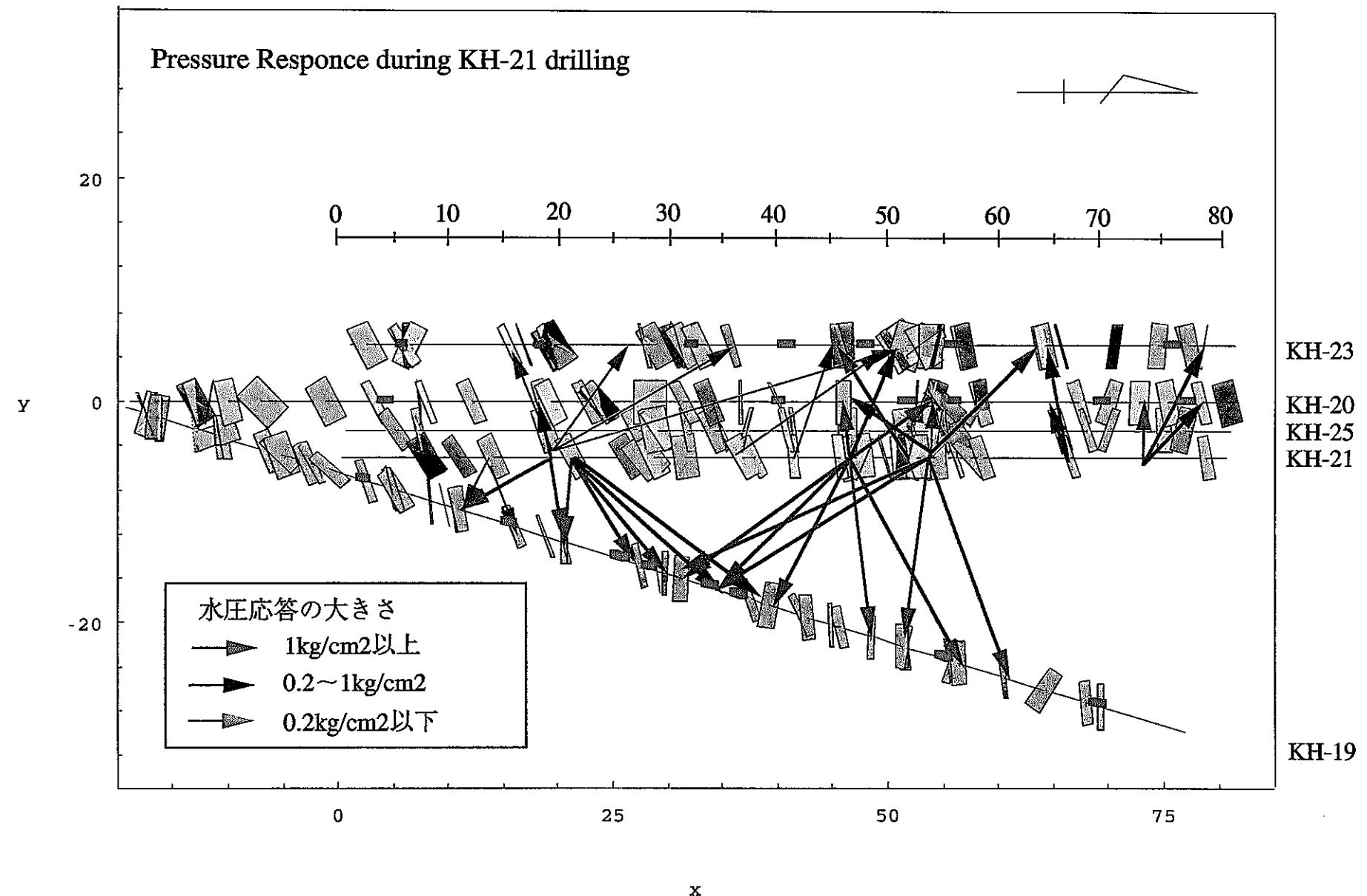


図-11.2.5 割れ目から推定される圧力応答経路（KH-21孔削孔時、全区間）

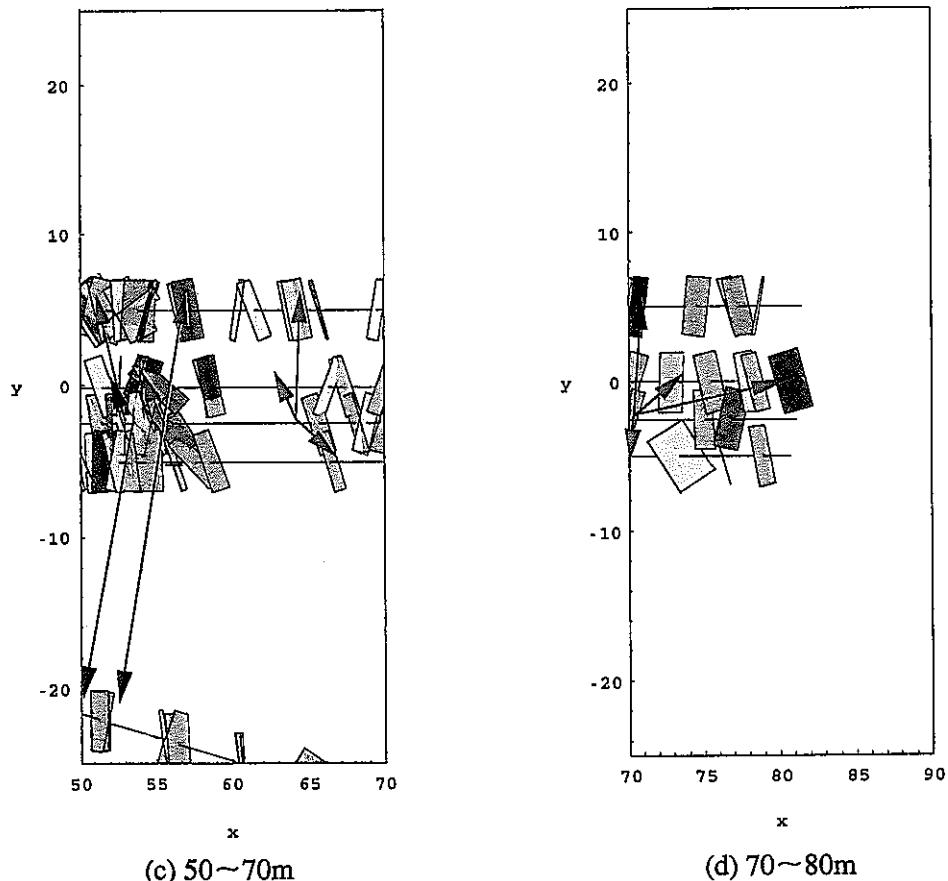
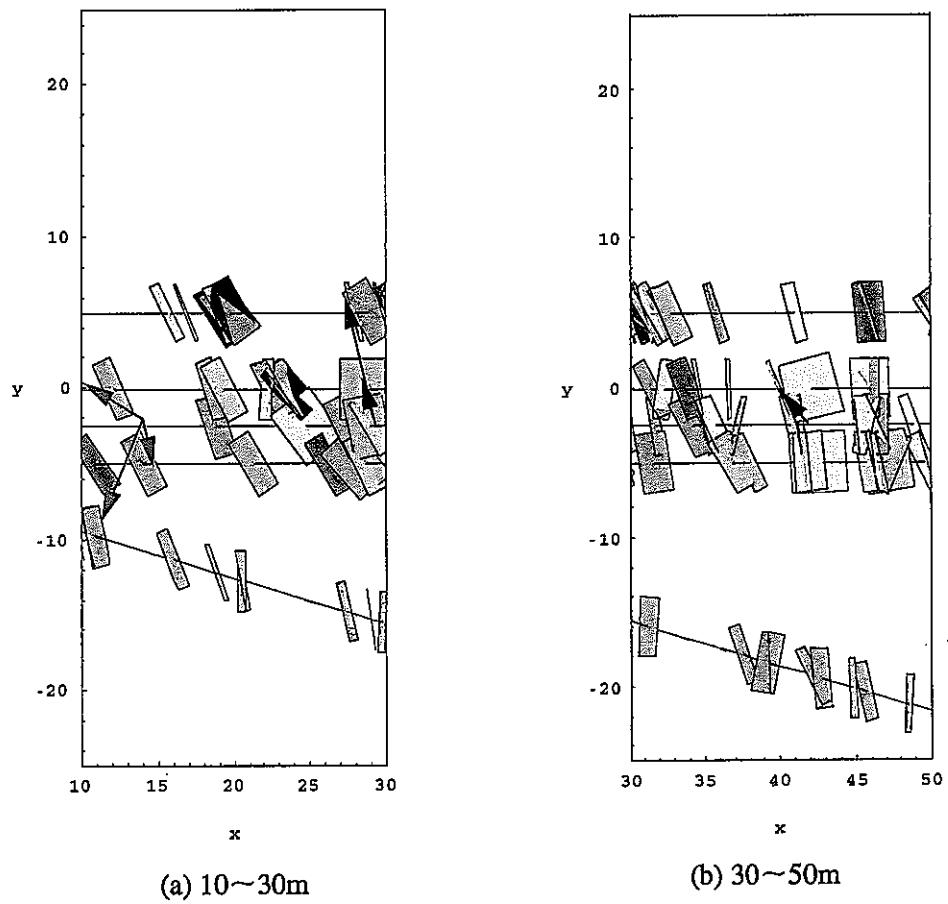


図-11.2.6 割れ目から推定される圧力応答経路（KH-25削孔時、20m区間毎）

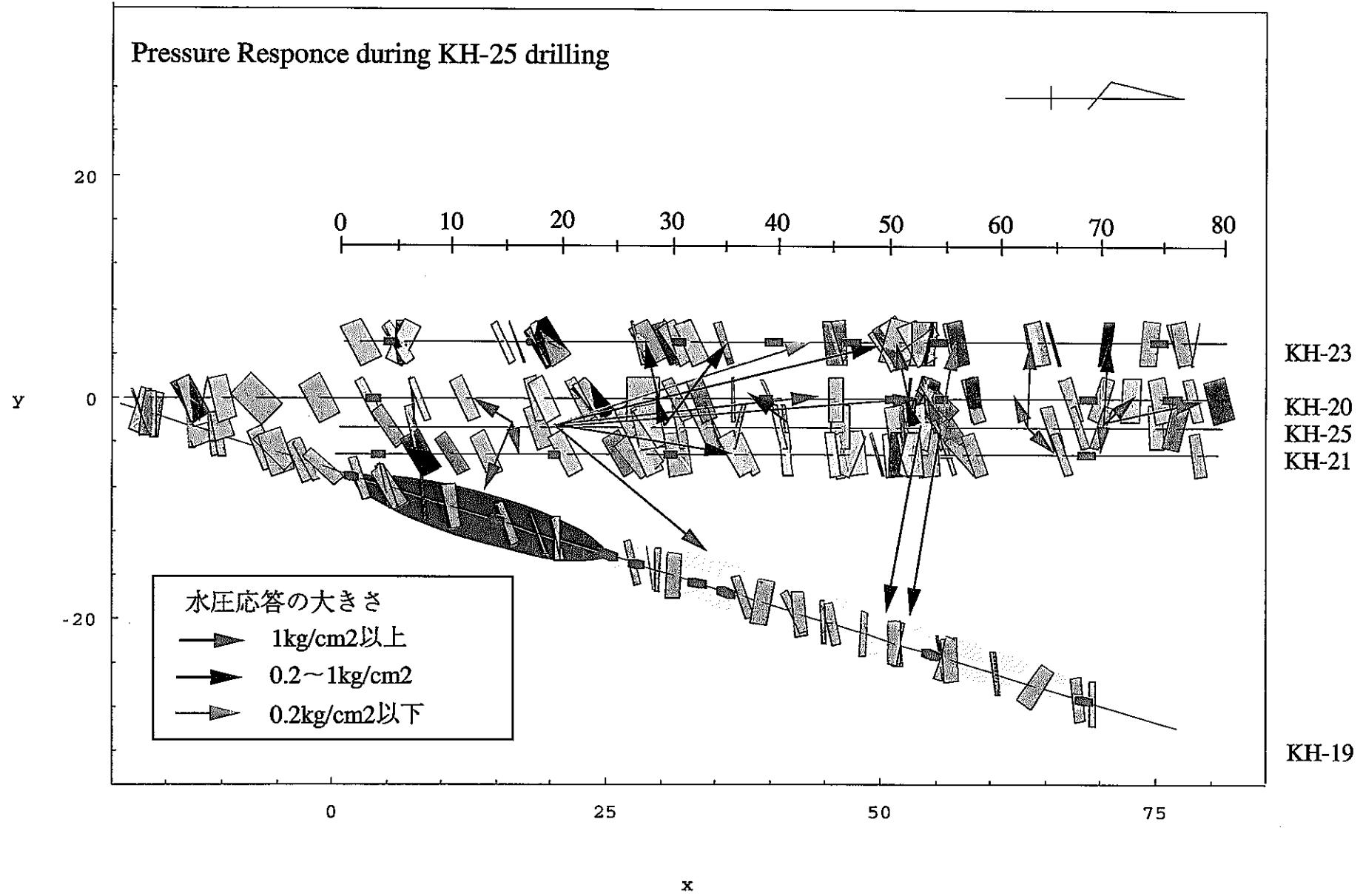


図-11.2.7 割れ目から推定される圧力応答経路（KH-25孔削孔時、全区間）

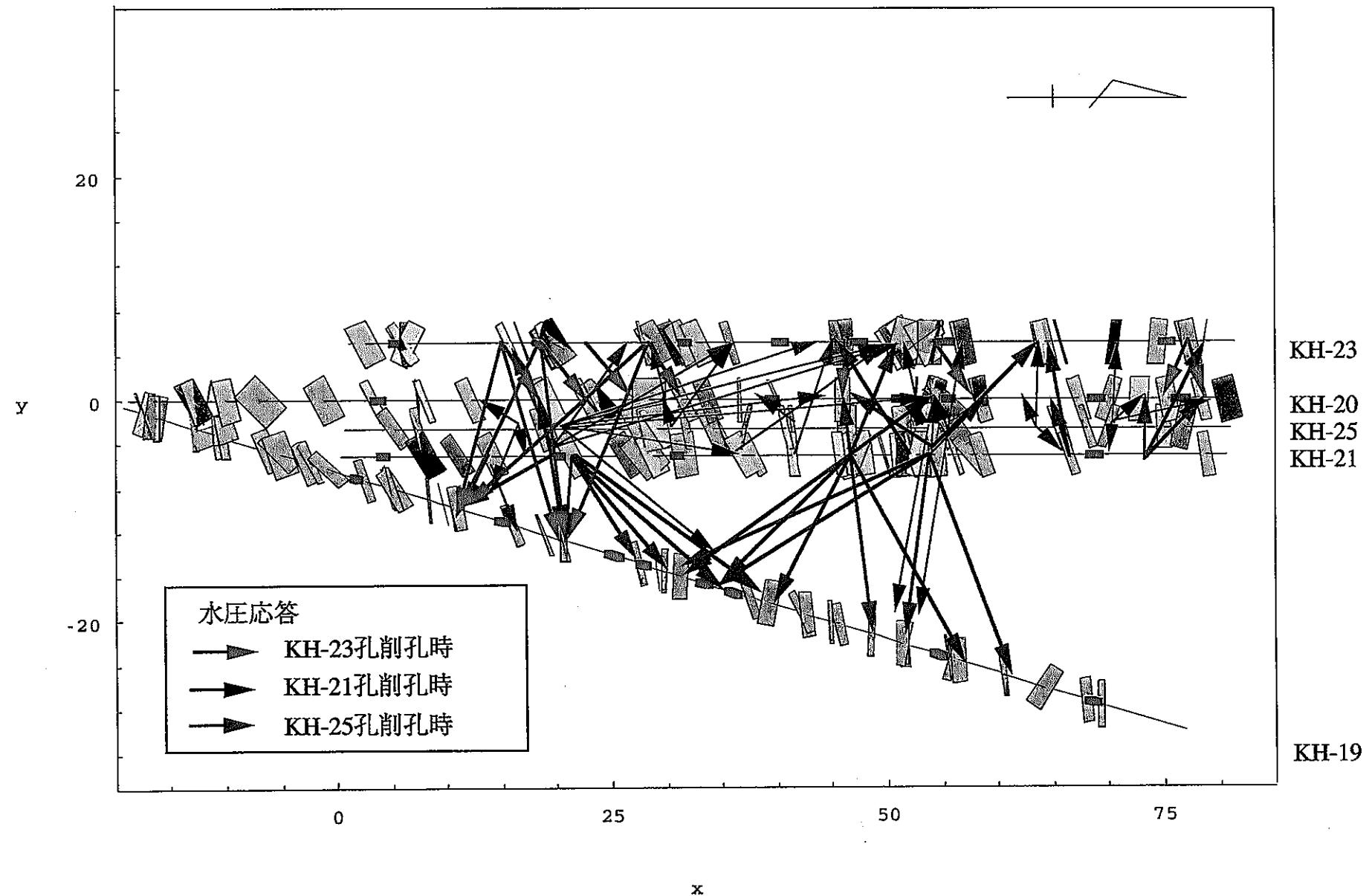


図-11.2.8 割れ目から推定される圧力応答経路（全応答経路）

KH-19孔に向かう応答経路については、同孔とKH-21、23、25各孔との間の割れ目情報が少ないため、推定が困難であるが、この区間を除くと、圧力応答経路が、開口割れ目の分布からある程度推定できると思われる。

11.3 水圧分布からみた水理場のゾーニング

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近い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、お互いに水理学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。

このような考え方の基に、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-
11.3.1に、その結果を示す。同図に示すように、試験エリアは、大きくA～Fの6つ
のゾーンに分けられる。

図-11.3.2は、水圧によるゾーニング結果と、前節で求めた割れ目を考慮した圧力応
答経路の図を重ねたものである。この結果から、圧力応答経路は、一部の例外を除い
て、個々のゾーン内で生じていることが分かる。このことは、各ゾーン間の連結性が
少ないと示しており、水圧データによるゾーニングが、水理学的連結性のある割
れ目ゾーンの分布を示していることが裏付けられた。

なお、各ゾーンのより詳細な特徴については、巻末にGOLDER社による検討メモラ
ンダムに述べる。

11.4 流量検層結果から見た割れ目ゾーンの検討

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-11.4.1に、各ボーリング孔に沿った透水量係数の分布と水圧場のゾーニング結果
を重ねて示す。

流量検層により得られた結果は、KH-23、25、21の各孔内では、独立した透水性割
れ目が分布していることを示唆している。一方、KH-19孔の25m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ことを示している。

一方、水圧分布に基づくゾーニングの結果は、透水量係数は、KH-23、25、21の独

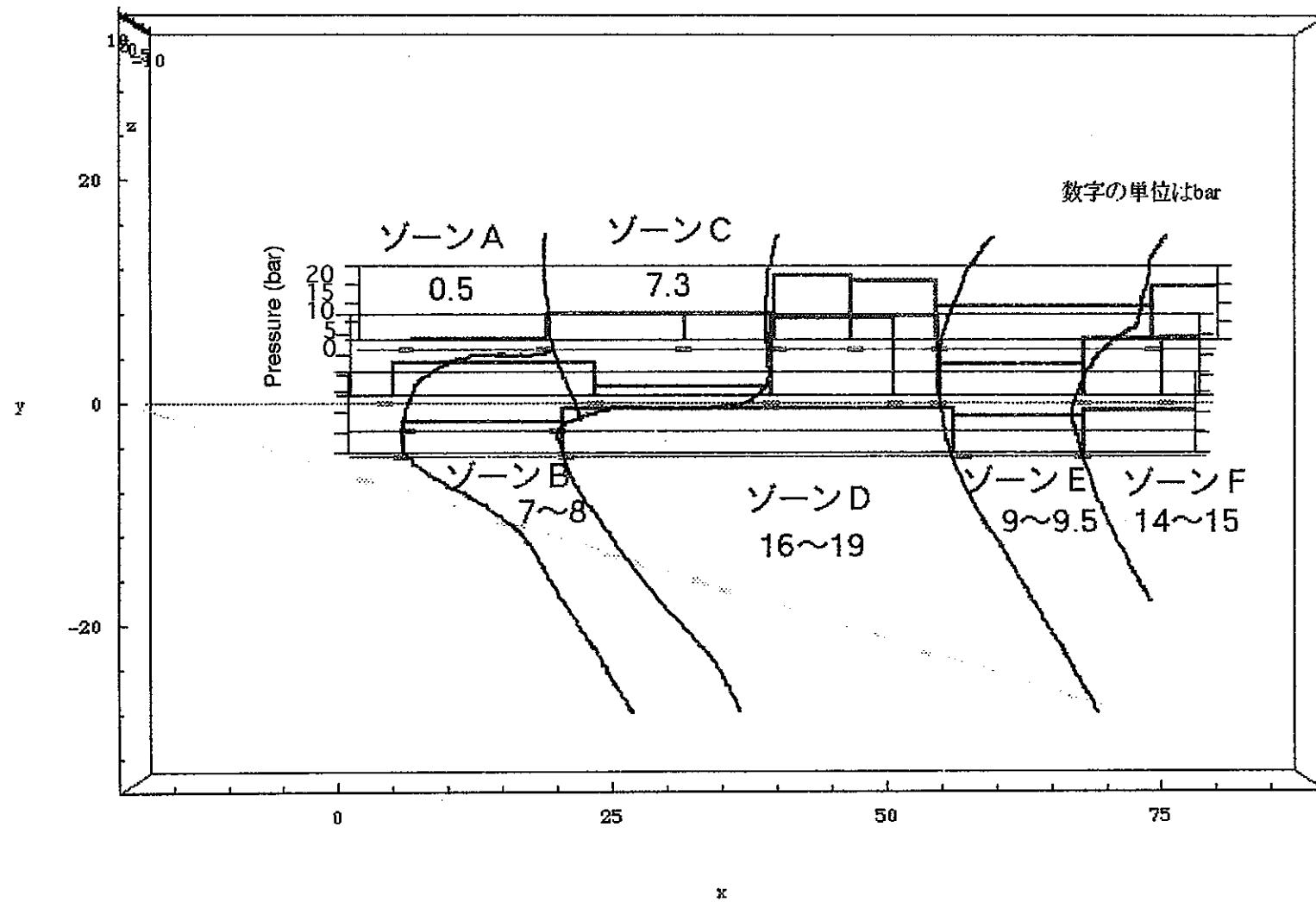


図-11.3.1 TASK3-2エリアの水圧分布

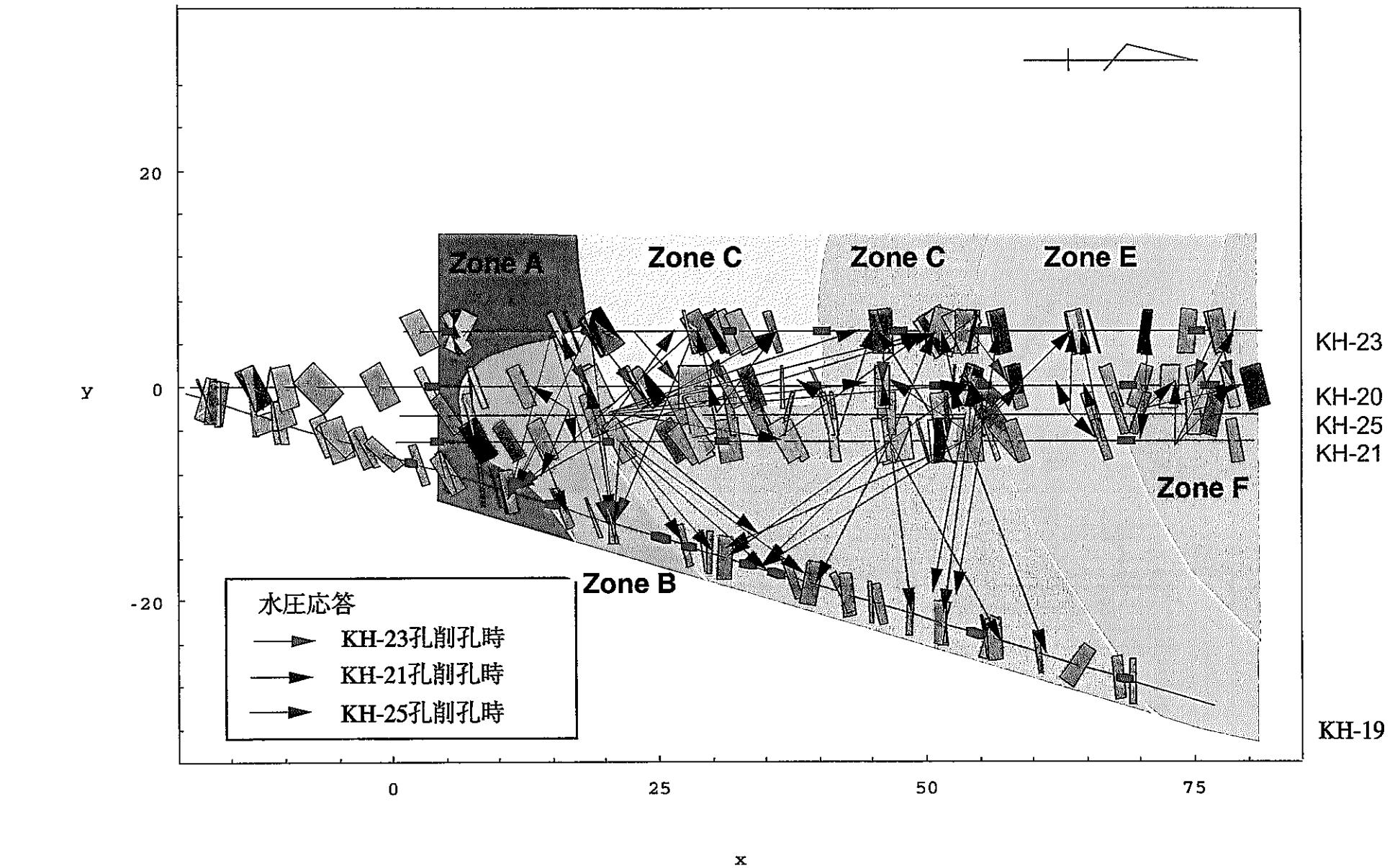


図-11.3.2 TASK3-2エリアの水圧分布と割れ目を考慮した削孔時の圧力応答経路

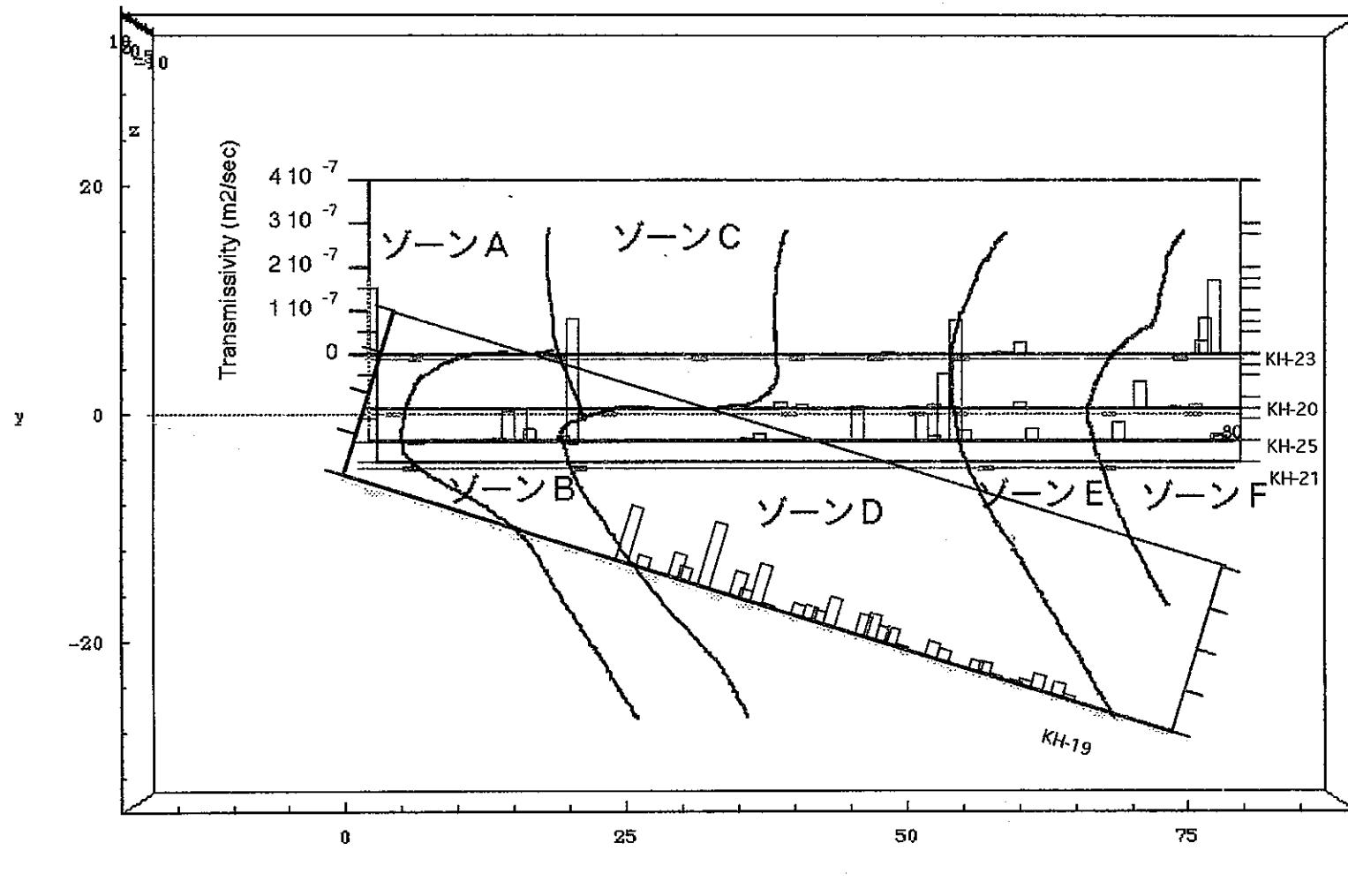


図-11.4.1 流量検層結果から算定した概略透水量係数

立した透水性割れ目（ゾーン）が、B～Fの各ゾーンに分離されることを示している。また、KH-19孔内の高透水性割れ目は、そのほとんどがゾーンDに含まれる。

11.5 考察

11.1～11.4までの検討の結果、以下のことが明らかになった。

- ・各ボーリング孔内の水圧分布から、試験エリアは、6つの独立したゾーンに分離される。
- ・削孔時の圧力応答経路の多くは、個々のゾーンのなかで起きており、ゾーン間の水理学的連結性が少ないことが示唆された。
- ・水圧応答経路と、開口割れ目分布の比較から水圧応答経路をより詳細に特定できる。

以上の結果から、想定される亀裂ゾーンの分布を図-11.5.1に示す。全体的な傾向としては、試験エリアの東側にあるKH-19孔から、西側のKH-23に向かって各孔内の透水性割れ目の頻度、透水性が低下する傾向にある。特にゾーンDとゾーンCの境界については、KH-20とKH-25との間で大きな水圧差が生じており、KH-25削孔時にKH-20孔への顕著な圧力応答も見られなかったことから、何等かの水理境界が存在すると思われる。しかし、現時点ではその性質は明らかでない。

水圧の分布からは、対局的に見て、北東から南西に向かう地下水流れのトレンドが見られ、全体的には、NW坑道へ向かう流れが想定される。

また、試験エリア内の不連続な水圧分布の原因として考えられていた、いわゆる水理バリアについては、当初考えていたような、難透水性の断層といった単純なものではなく、より複雑な地質構造的要因によるものである思われる。その一つの仮説は、割れ目のクラスタリングである。すなわち、透水性割れ目の集中している領域と、比較的割れ目の少ないまたは透水性の少ない割れ目がエリア内に存在することにより、水圧分布に不連続的な変化を生じさせていることが考えられる。

これらの疑問点や仮説については、次年度の調査によって、より詳細に明らかにしなければならない。

そのために実施すべき調査項目としては、

- ・KH-20孔の流量検層を、他の孔と同様なダブルパッカ法により再試験を行

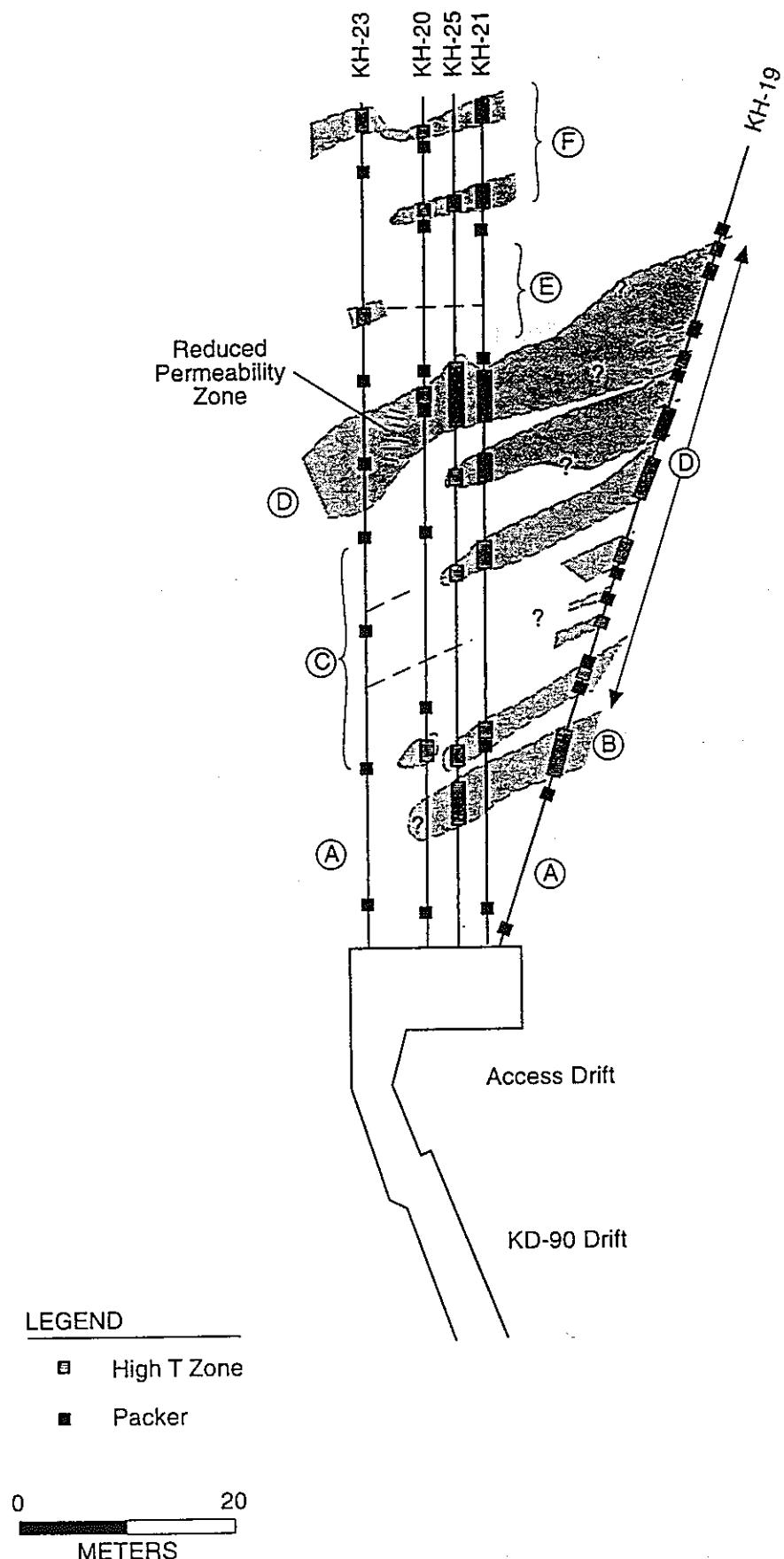


図-11.5.1 TASK3-2エリア内の透水割れ目ゾーンの分布

ない、高透水割れ目の位置を正確に特定する。

- ・KH-22、KH-24の2孔の新規ボーリング孔削孔時の圧力応答、BTV、流量検層の結果を基に、これまでに作成した水理地質モデルの再評価を行なう。
- ・これまでの結果から想定されるいくつかの透水性割れ目を対象とした孔間透水試験により、その連結性、水理特性を明らかにする。
- ・また、孔間とレーザー試験により、これらの透水性割れ目の物質移行特性を明らかにする。

12 次年度の調査試験計画

本年度は、平成6年度に引き続き、孔間透水試験および非吸着性トレーサー試験をおこなうための準備段階として、KH-23、KH-21、KH-25の3本の80mボーリング孔の掘削とこれに伴う既存孔内の圧力応答観測、BTV、流量検層等の孔内水理地質調査、マルチパッカー設置による水圧分布測定、さらには、KH-25孔内の透水試験を行うことにより、TASK3.2エリア内の水理地質構造を推定した。

次年度は、これに引き続き2本のボーリング孔(80m)を掘削し、本年度と同様な水理地質調査を行うことにより、試験エリアの水理地質構造をより詳細に把握する。また、抽出した割れ目ゾーンを対象とした孔間透水試験および非吸着性トレーサーを用いた予備的トレーサ試験を実施し、透水性割れ目の水理パラメータおよび物質移行パラメータを取得する。

次年度の実施内容は以下のとおりである。

(1) 実施計画の策定

平成8年度に実施する調査試験の詳細な実施計画を策定する。

また、今年度までの成果を踏まえて、平成9年度に実施するトレーサー試験の試験計画を策定する。

(2) 80mボーリング孔(2本: KH-22孔、KH-24孔)掘削と掘削時の水理応答調査

KH-23孔の西側の境界条件を把握することを目的としてKH-22孔を、またトレーサー試験用ボーリング孔としてKH-24孔を掘削する(図-3.1.4参照)。また、それまでに掘削されたボーリング孔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孔の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、毎日の掘削作業終了後に孔口からの湧水量を観測し、孔口に蓋を設置し間隙水圧を観察する。

(3) KH-22孔、KH-24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、採取された岩芯の観察を行い、割れ目の位置、方向、変質や充填鉱物等の地質学的な記載を行う。

また、孔曲がり検層を行い、掘削したボーリング孔の正確な位置と方向を把握する。

(4) KH-20孔、KH-22孔、KH-24孔での流量検層

KH-22孔、KH-24孔の各ボーリング孔の掘削終了後、ボーリング孔全長に渡って湧水量検層を行い、湧水箇所および湧水量を調査する。

また、KH-20孔においても4-6のトレーサー試験用マルチパッカーシステムに更新する際に流量検層を実施する。

(5) KH-22孔、KH-24孔へパッカー装置の設置

KH-22孔ならびにKH-24孔の掘削ならびに各調査の終了後直ちに間隙水圧測定用のマルチパッカーシステムを設置する。

(6) トレーサー試験用マルチパッカーシステムの更新

平成6、7年度の研究成果ならびにKH-22孔、KH-24孔の掘削調査結果に基づき、トレーサー試験対象割れ目を選定し、その割れ目を対象としたトレーサー試験が実施できるマルチパッカーシステムのレイアウト、配管に既存の間隙水圧モニタリングシステムを更新する。

なお、トレーサー試験対象割れ目の選定に際しては、当事業団と協議の上で決定するものとする。

(7) 孔間透水試験・予備的トレーサー試験

4-2で選定したトレーサー試験対象割れ目の透水特性を把握することと試験対象領域の水理学的な連結性を確認することを目的として、ボーリング孔間透水試験を実施する。また、トレーサー試験対象割れ目の概略的な物質移行特性を把握することを目的として、予備的トレーサー試験を実施する。

本試験の結果に基づき平成9年度に実施する非吸着性トレーサー試験の試験条件を決定する。

(8) データの解析および水理地質構造モデルの検討

(2)～(7)で得られたデータと平成7年度までの成果を合わせて総合的に解析し、試験エリアの水理・地質構造モデルを検討する。

13 おわりに

TASK 3. 2エリアでは、これまでに5本のボーリング孔について削孔時の圧力応答調査、BTV、流量検層、マルチパッカー設置による水圧計測等の調査試験を実施した。また、KH-25孔については、孔内透水試験を実施し、割れ目の透水性の評価を行なった。本年度は、これらの結果をもとに、試験エリア内の水理地質構造がかなり明らかになった。

次年度は、2本の新規ボーリングの削孔による水理地質調査と、孔間透水試験、トレーサー試験を実施し、試験エリアの水理地質構造モデルを再検討すると共に、透水性割れ目の水理パラメータ、物質移行パラメータの取得を目指す。

動燃釜石原位置試験用 水理モニタシステム

V e r . 1 . 0

操作説明書

目次

1. プログラム概要	3
2. プログラムの起動方法	3
3. プログラム操作説明	
3. 1. メイン画面	4
3. 2. パラメータ設定画面	5
3. 3. 測定条件設定画面	6
3. 4. 測定データ設定画面	7
3. 5. 記録データグラフ表示画面	8
4. 記録データフォーマット	9

1. プログラム概要

このプログラムは、MS-Windowsのアプリケーションツール「LabVIEW」上で動作するもので、「動燃釜石原位置試験用水理モニタシステム」として以下の機能を有します。

- ・測定データ（数値）のリアルタイム表示。
- ・測定中のデータを間引きして、ファイルに記録可能。
(記録ファイルは、各種データベースソフトウェアなどで利用できるようにTEXT形式で記録されます)
- ・記録中のデータを同時にグラフ表示可能。

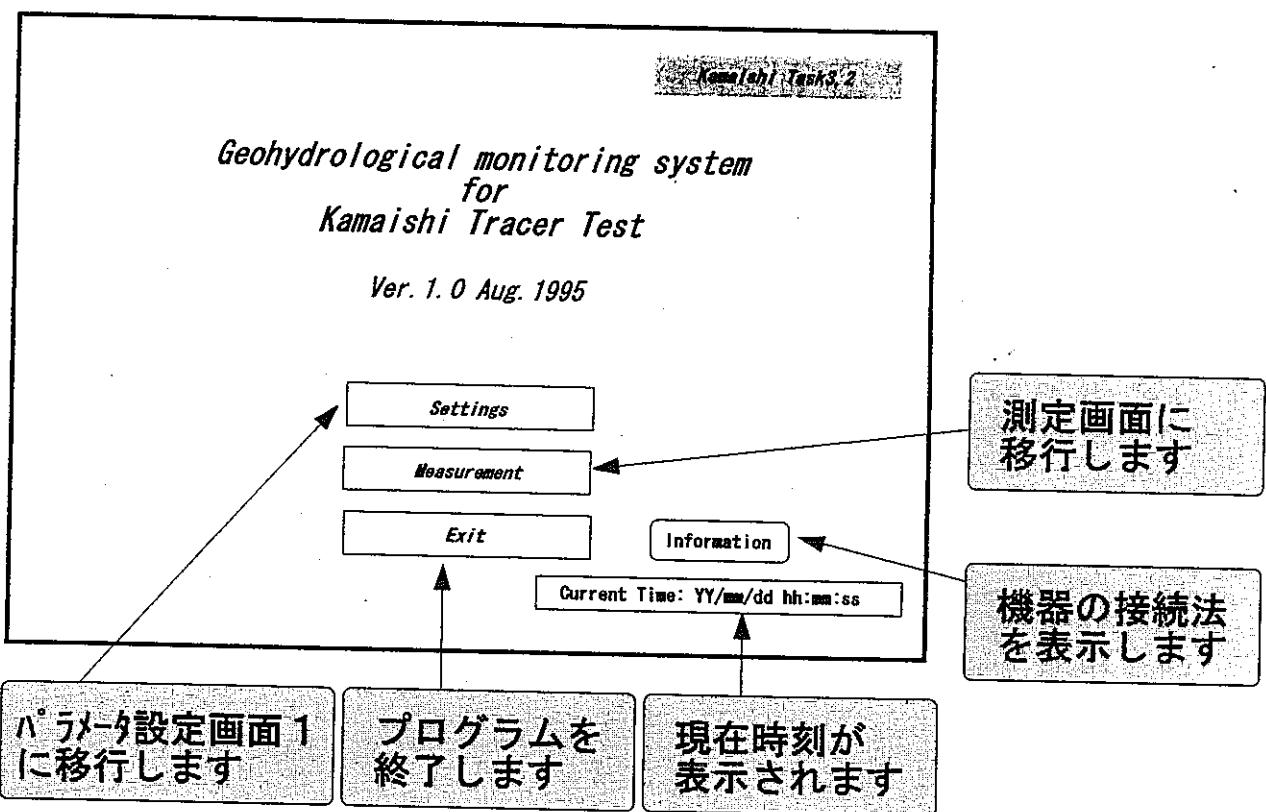
2. プログラムの起動方法

ファイルマネージャでc:¥GEOHYDRO¥start.viをダブルクリックするか、またはLabVIEWを起動した後、「ファイル」メニューの「オープン」で「c:¥GEOHYDRO¥start.vi」を読み込み実行ボタンを押してください。

3. プログラム操作説明

3. 1. メイン画面

- ・各作業に移行するための画面です。



3.2. パラメータ設定画面

- 各種パラメータを設定するための画面です。
- 設定画面は1から3までの3種類があり、それぞれ
 - 設定1－水圧センサ (Pressure Transduser)
 - 設定2－温度センサ (Themocouple)
 - 設定3－伝導度センサ (Resistivity sensor)
 となっています。 (下図は設定1の画面イメージです)
- ”Channel No.” の項目に割り当てるチャネルが無い場合には、-1を設定してください。

Kawasaki Tech3.2

Setting-1 Pressure Transducer (Multiplexer Bord#1 & #2)

	Bor. #19	Bor. #20	Bor. #21	Bor. #21	Bor. #23	Bor. #24	Bor. #25
Zone #							
Zone On/Off							
sensor serial #							
Sensor Output Min.							
Sensor Output Max.							
Sensor Output Unit							
Physical Min.							
Physical Max.							
Physical Unit							
Channel No.							

Current Time: YY/mm/dd hh:mm:ss

パラメータを設定します

メイン画面に戻ります

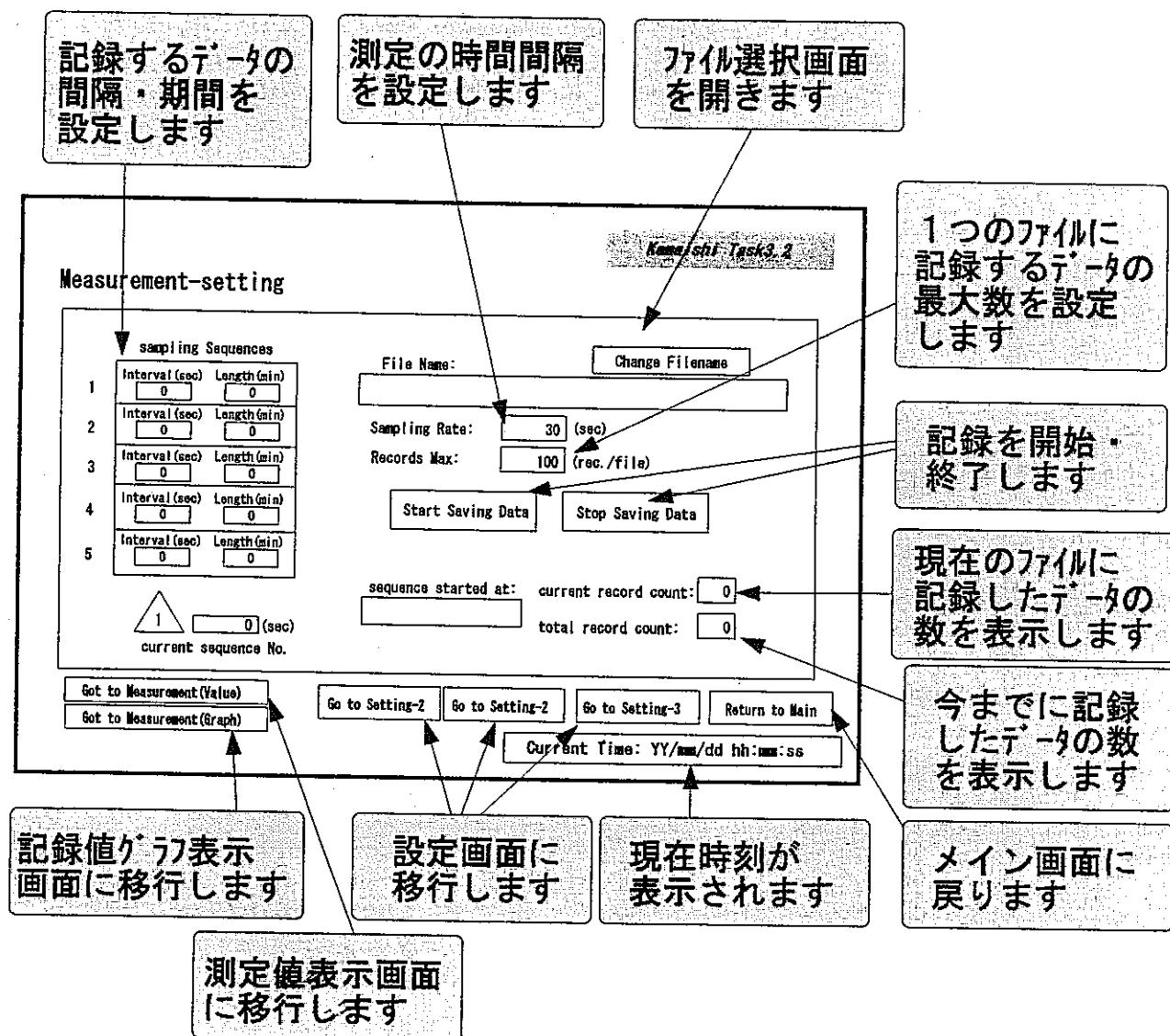
設定内容の保存・読み込みを行います

他の画面に移行します

現在時刻が表示されます

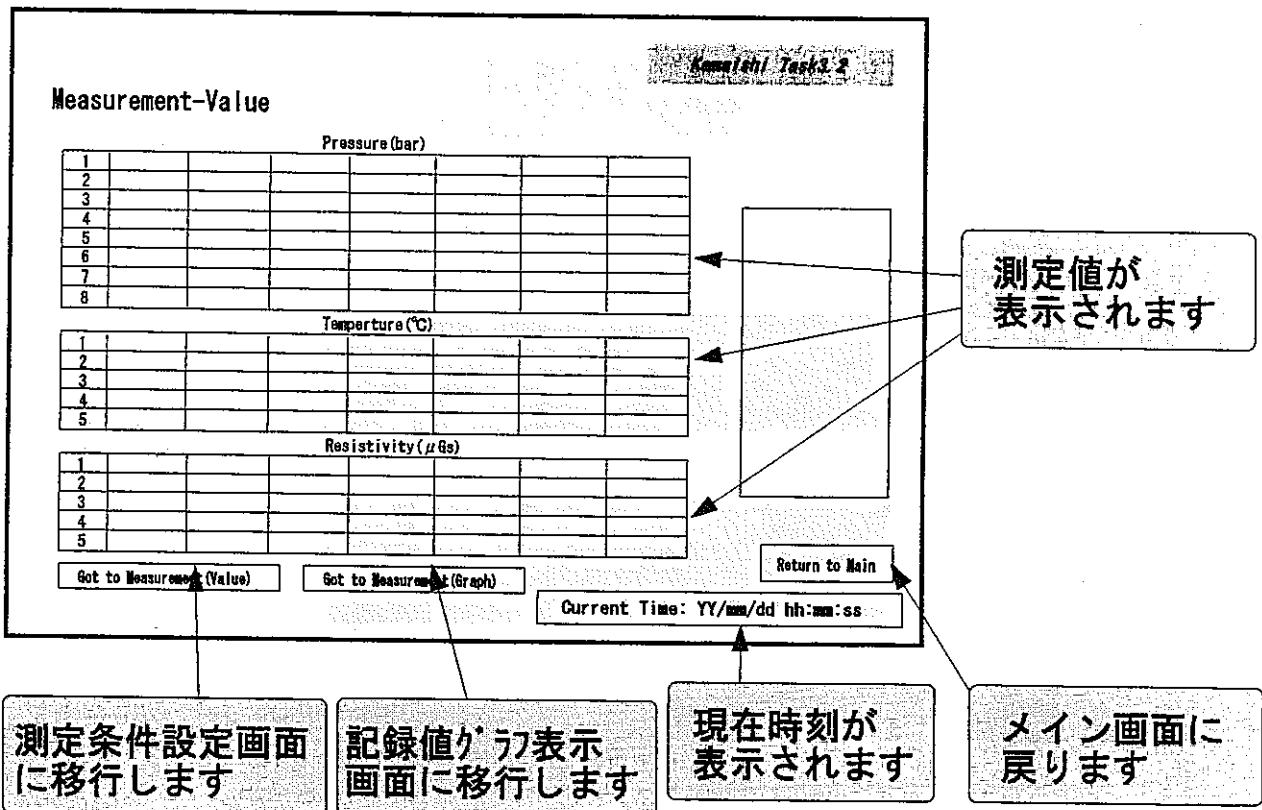
3.3. 測定条件設定画面

- ・測定・記録の間隔や記録ファイルの選択など、測定に関する設定を行う画面です。
- ・データの記録は、あくまで通常の測定間隔（"Sampling Rate" で設定されます）で得られたものを使用しますので、混乱を避けるため、"Sampling Sequences" の設定値はできるだけ "Sampling Rate" の倍数になるようにしてください。



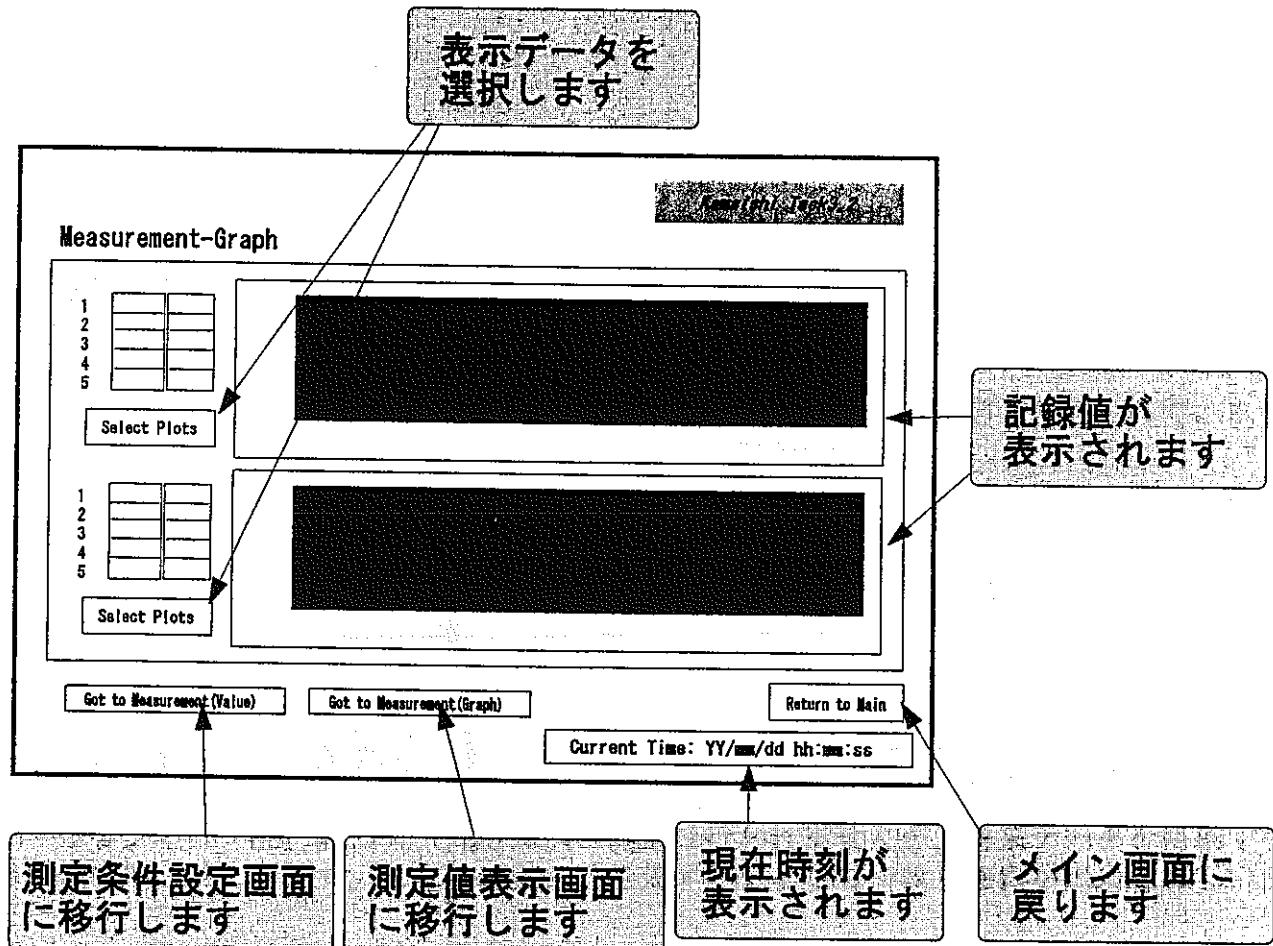
3.4. 測定データ表示画面

- ・測定条件設定画面の”Sampling Rate”で設定されている間隔で測定されたデータをリアルタイムで一覧表示します。
- ・現バージョンでは、Bor. #22およびBor. #24の測定は行われません。



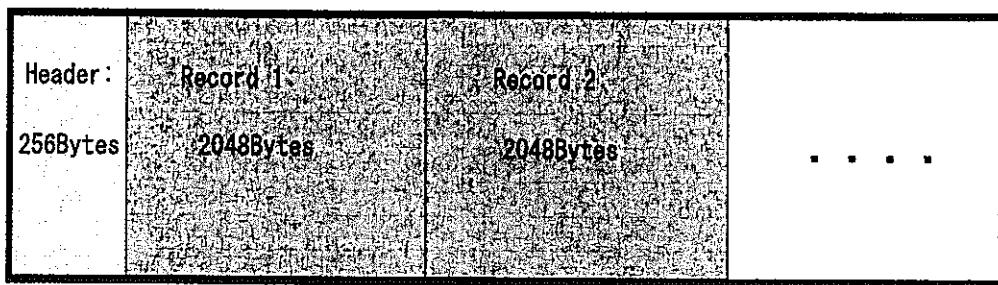
3.5. 記録データグラフ表示画面

- ・ファイルに記録されるデータをリアルタイムでグラフ表示する画面です。
- ・表示されるデータは、最新の200個まで、設定されているシーケンスの区切り毎にクリアされます。



4. 記録データフォーマット

- ・設定値記録データのファイルフォーマットは以下のとおりです。



- ・ファイルはシーケンス毎に作成され、その名前はあらかじめ選択されているファイル名6文字に、シーケンス番号2文字を追加したものです。また、拡張子の3文字はブロック番号（ひとつのファイルに收まらなかった場合の枝番号）に使われます。（例：“TEST_A01.002”→シーケンス番号1、ブロック番号2）
- ・記録形式は、ヘッダ部・レコード部ともにTEXT形式で、末尾は空白文字で埋められています。
- ・ヘッダ部には、ヘッダサイズ、レコードサイズ、記録開始時間等が格納されています。
- ・レコード部にはシーケンス番号、レコード番号（シーケンス相対）、測定時刻がまず書き込まれ、次に水圧、熱伝対、伝導度の順にデータが並びます。データはすべて’ ’（コンマ）で区切られます。また、水圧／熱伝対／伝導度はそれぞれ [Bor. #19-Zone#1, Bor. #19-Zone#2, ..., Bor. #19-Zone#8, Bor. #20-Zone#1...] の順の展開となります。
- ・データの測定が「O f f」に設定されているなどの理由で無効なデータは、空白が挿入されます。
- ・現バージョンでは、Bor. #22およびBor. #24の測定は行われませんが、将来データを格納するための場所は確保されています。これらの部分は無効データとしてやはり空白がoutputされています。

APPENDIX

Annual Report Contributions for the Kamaishi Task 3-2 Hydrologic Experiment

Thomas W. Doe
Golder Associates
March 15, 1996

Introduction

This report summarizes activities of Golder Associates for the Kamaishi Task 3-2 Experiment program. The report is divided into five sections, each describing specific activities. These are (1) Piezometer Installations, (2) Flow Logging, Pressure Distributions, and Transmissivities, (3) Definition of Fracture Zones in Task 3-2 Area, (4) Equipment, and (5) Conductivity Testing and Analysis.

There have been several major achievements of the work during Heisei -7. The most important of these is the definition of six major compartments or fracture zones in the Task 3-2 area. The definition of these zones is a direct result of the flow logging, analyses of crosshole responses to drilling, and the interference results of the packer tests.

In addition to the definition of zones, the flow logging methods using straddle packers and rotameters have proven to be a very effective and efficient means of rapidly gaining information on the locations and properties of fractures at resolutions of 1-meter spacing.

The conductivity approach using build-up data from flowing wells also successfully has defined the hydraulic properties of the major zones in the task area and providing information on their geometries and connections.

Golder Associates has continued to provide equipment support for the experiment, delivering three new piezometers as well as pump testing and flow logging equipment.

1. Piezometer Installations

The Task 3-2 experiment places a strong emphasis on measuring and controlling the pressures and flow in the experiment area. An important part of this strategy is the installation of piezometers. By the end of Heisei-7, five boreholes have been drilled and four piezometers have been installed. The piezometers in KH-19 and KH-20 use the permanent parts of the Baski piezometer system (described in our Heisei-6 report, while the KH-21 and KH-23 piezometers use temporary installations, which will be replaced with the permanent parts when they arrive at the mine. Figure 1 is a map of the boreholes showing the locations of packers as of March 1996.

During the Heisei-7 contract, two piezometers were installed in the Task 3-2 area. The two boreholes were KH-23 and KH-21.

As with all previous holes, the pressures and flow rates were measured after each drilling day. The borehole encountered a significant conductive zone between 19.3 and 27.3 meters with flow of 1.3 liters per minute. This flow decreased during the following days of drilling to less than 0.5 l/min, indicating that the conductive zone had a finite extent. The major flow conductor in the borehole was encountered at the end of the hole a depth of 78 meters. A more detailed description of the drilling and flow logging are found elsewhere in the Taisei report.

KH-23 was flow logged in September, 1995. Based on the flow log we installed a seven packer piezometer system. Figure 1 shows the depths of conductive fractures, locations of crosshole responses, and setting positions of the packers in the hole. As with previous piezometers, the locations of the packers are intended to isolate distinct flow features.

The KH-23 packer is temporary packer, similar to those installed in KH-19 and KH-20 during Heisei-6 and later replaced. The temporary packer systems consists of Baski 2.7-inch medium duty packers connected by 1-inch aluminum pipe. Each zone has an in-line adapter or other means of porting a pressure measurement line. Unlike previous packer installations, a common inflation line was used for all packers. This approach saves time but has some risk if one packer fails. The experience using a single inflation line has been successful due the reliability of the packers.

Table 1 contains the setting information and piping for the KH-23 piezometer.

The KH-21 Piezometer was installed also as a temporary system in November, 1995. The four-packer system was intended to isolate the major conductors of the hole. Packer depths are approximately, 3, 17, 49, and 60 meters in the hole. Further information on the KH-21 piezometer is contained elsewhere in this report.

Table 1. Packer Setting Depths in KH-23

Zone	Packer				Zone	Packer	Packer	Seal	Seal	Zone	Zone
					Sum	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom
					m	m	m	m	m	m	m
Top	1		1	0	3.999						
7	3	1	0	0	10.998	3.450	5.390	3.980	5.000	5.000	16.918
6	3	1	0	0	10.998	16.388	18.328	16.918	17.938	17.938	29.856
5	2	0	1	0	6.999	29.326	31.266	29.856	30.876	30.876	38.795
4	1	1	0	1	5.149	38.265	40.205	38.795	39.815	39.815	45.883
3	2	0	0	0	5.999	45.353	47.293	45.883	46.903	46.903	53.822
2	6	0	0	0	17.997	53.292	55.232	53.822	54.842	54.842	73.759
1	0	0	0	0	0.000	73.229	75.169	73.759	74.779	74.779	80.000
Total	17	3	1	1	22					Total Depth=	75.169
										Total Length=	75.718
	<u>Length Specifications by Piece</u>									Stick Out=	-0.549
	3-m pipe	2-m pipe	1-m pipe	Nipple							
	2.9995	1.9995	0.9995	0.150							
	3.0250	2.0250	1.0250	0.175							

2. Flow Logging, Pressure Distributions, and Transmissivities

2.1 Equipment and Procedures

Flow logging was carried out on the three new boreholes in the Task 3-2 area during Heisei 7. The boreholes in order of testing were KH-23, KH-21, and KH-25. The logging procedures were the same as those used during Heisei-6 for the testing of KH-19. These are briefly described below.

The testing uses a two packer system which is raised and lowered in the hole on 1-inch pipe. The system has a solid pipe between the packers. A 3/8-inch tube is welded into the pipe and allows flow from the test zone through a 1/2-inch line to the outside of the hole. The pipes through the packers are open to below the lower packer to allow from the deeper portions of the hole. This arrangement avoids pressure build-up during testing. Such pressure build-up would complicate the interpretation of the results.

The packers are inflated using bottled nitrogen and a nylon inflation line. The flow line feeds into a flow manifold containing three rotameters which cover flow ranges from 0.2 ml/min to 9 liters per minute (20 with a stainless steel float). An additional rotameter was added to lower the range to 0.002 ml/min.

At high flow rates (greater than about 1-liter per minute) there can be measurable head losses in the 1/2-inch line. We use a separate 1/4-inch nylon tube, which is ported into the test zone, to directly measure the pressure in the test zone. This pressure should be accounted for in the transmissivity calculations.

A test consists of moving the packer to the desired test zone. The packer is inflated with the rotameter system open. After the surge of water from the packer inflation, the flow rate rapidly settles to a steady value. This value is recorded and the packers are moved to the next zone.

The boreholes are first logged using 5-m interval. The intervals which have measurable flow on the low (.02 ml/min) flow meter are logged a second time using a 1-m interval. This two-step method effectively provides 1-m resolution of the flows from the entire hole to the resolution of the low range flow meter.

2.2 Background Pressures

The calculation of transmissivity requires knowledge of the far-field pressure in the fracture network. This pressure may vary among the fractures and compartments of the block. We have estimated the pressure values across the site using the pressure data from the piezometers. Figure 3 shows a preliminary pressure map of the Task 3-2 area. The pressure values shown are the peak pressures measured during the Heisei-7 year. For the most part, the values were taken in December and January after installation of the KH-21 piezometer and before KH-25 drilling (or the effects of KH-25 drilling for deeper zones). The results are preliminary because in many cases, particularly for low transmissivity zones, the pressure build-up takes an appreciable time and some zones in KH-23 and KH-21 were still recovering when the drilling of KH-25 started.

The preliminary pressure map shows six flow zones. The basis for these zones is discussed further below. Briefly, the piezometer zones shown have similar or nearly identical pressures and they all

respond together to pressure disturbances during drilling and testing. Across some boreholes there is also a clear flow anomaly which can be traced across the piezometer intervals.

In most cases the piezometer intervals within a zone are very well connected, and less well connected to intervals of other zones. For KH-25 there are no piezometer data, and measurements during drilling may be unreliable as they tend to reflect the pressure of the highest permeability zone. For KH-25, therefore, we interpolate pressure values from KH-20 and KH-21 for similar interval depths.

2.3 Calculation of Flow Log Transmissivities

The transmissivity values are calculated assuming steady flow. As the boreholes have typically been open for at least two weeks before logging, this is a reasonable assumption.. The steady radial flow equation is

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

where Q is the flow rate, T is transmissivity, R is the distance to a constant pressure boundary, r_w is well radius, and h is the pressure expressed as a hydraulic head difference between the borehole and the pressure at R . The radius, R , is not well known, but appearing in the log term, it does not strongly affect the equation. For reasonable values of R the 2π term and the logarithmic terms are approximately equal ,and the transmissivity can be approximate by Q/h , the specific capacity. The transmissivity value does not consider skin and other effects which must be determined by transient testing, thus the flow log values should be considered approximations for the purpose of identifying the locations and relative flow magnitudes of the zones.

For zones which do not have measurable flow we set the flow rate at the resolution of the flow meter for calculating transmissivity values. Because the head values vary along the holes, this minimum transmissivity, which is set by the flow rate resolution, can also vary. Higher pressure zones have lower transmissivity resolutions than lower pressure zones.

The transmissivity values from the flow logging are shown by borehole in Figures 4 through 9. Each figure gives the transmissivity in both log and arithmetic scales. Figure 9 is a summary of all holes laid out in the relative positions of the holes to show how anomalies correlated across the block. The overall trend to lower transmissivity from east (KH-19) to west (KH-23) is very clear. Several major conductors also stand out, notably the fracture at about 50-m in KH-21, 25, 20, and 23. Higher transmissivity zones can also be traced across the holes between 70 and 80 meters depth, 60 meters (KH-21 and 23), and 20 meters (KH-21,25, and 20).

The transmsissivity values are tabulated in Tables 2 to 6. Values from KH-19 are the same as those report in Heisei-6, however, KH-20 values have been adjusted for pressures in the current site conceptual model. Again, the values are preliminary as the pressure values will be re-evaluated when the permanent piezometers are finally installed.

An important note on the transmissivity logs is that the values are based on flow logs taken after the holes have been open for at least one week or longer. As such, the flow logs represent larger scale values, that is, a conductive fracture must have access to a water source in order to produce flow for those time periods. Conductive fractures which do not connect to other transmissive features may become depleted soon after drilling and not appear in the flow logging. The flow records which were taken during drilling show numerous such features, which flow strongly for a few days after drilling but do not persist in flow during the flow logging. It is important to note the possible presence of

these discontinuous fractures because they may provide high transmissivity connections within compartments or zones without appearing the transmissivity logs. Some of these finite conductors include KH-23 from 27.3 to 46.64 and KH-20 between 12-m and 18-m, and between 38-m and 45-m (depths from current collar).

**Table 2, KH-19 Transmissivity
(Preliminary From Flow Logs)**

Top m	Bottom m.	Transmissivity m^2/s
2	7	8.8E-11
7	12	7.0E-09
12	19	2.7E-09
17	22	4.1E-08
22	27	3.0E-09
27	28	1.3E-07
28	29	8.6E-12
29	30	1.9E-08
30	31	1.6E-09
31	32	5.1E-12
32	33	5.3E-08
33	34	3.2E-08
34	35	9.2E-10
35	36	1.6E-07
36	37	8.6E-12
37	38	5.8E-11
38	39	5.5E-08
39	40	2.0E-08
40	41	9.4E-08
41	42	2.8E-09
42	43	4.9E-10
43	44	8.6E-12
44	45	3.6E-08
45	46	2.9E-08
46	47	2.8E-08
47	48	6.5E-08
48	49	1.7E-09
49	50	1.9E-09
50	51	4.7E-08
51	52	5.7E-08
52	53	3.4E-08
53	54	3.6E-08
54	55	3.3E-09
55	56	1.0E-10
56	57	6.3E-10
57	58	3.2E-08
58	59	2.5E-08
59	60	1.0E-09
60	61	1.6E-10
61	62	2.2E-08
62	63	2.5E-08
63	64	3.4E-09
64	65	2.3E-10
65	66	3.8E-09

KH-19 Transmissivity, cont'd

Top m	Bottom m	Transmissivity m ² /s
66	67	1.4E-08
67	68	3.2E-08
68	69	3.9E-09
69	70	3.0E-08
70	71	8.6E-09
71	72	4.4E-10
72	78	2.4E-11

Table 3. KH-21 Transmissivity
Preliminary from Flow Logs

Top m	Bottom m	Transmissivity m ² /s
5	6	4.1E-11
6	7	4.1E-11
7	8	4.1E-11
8	9	4.1E-11
9	10	4.1E-11
10	11	4.1E-11
11	12	4.1E-11
12	13	4.1E-11
13	14	4.1E-11
14	15	4.1E-11
15	16	4.1E-11
16	17	4.1E-11
17	18	4.1E-11
18	19	3.7E-08
19	20	4.1E-11
20	21	6.3E-08
21	22	6.3E-08
22	23	6.9E-10
23	24	1.7E-10
24	25	1.7E-11
25	26	8.6E-11
26	27	5.9E-11
27	28	3.8E-11
28	29	1.7E-11
29	30	2.9E-11
30	31	3.8E-11
31	32	1.7E-11
32	33	1.7E-11
33	34	1.7E-11
34	35	1.7E-11
35	36	1.5E-09
36	37	5.7E-08
37	38	1.1E-07
38	39	6.1E-08
39	40	6.0E-10
40	41	1.0E-09
41	42	1.4E-09
42	43	1.8E-09
43	44	4.3E-10
44	45	3.1E-08
45	46	1.1E-07
46	47	9.9E-08
47	48	1.5E-08
48	49	1.8E-08

KH-21 Transmissivity, cont'd

Top m	Bottom m	Transmissivity m^2/s
49	50	2.5E-08
50	51	1.5E-08
51	52	1.1E-07
52	53	2.0E-07
53	54	2.9E-07
54	55	1.4E-07
55	56	2.3E-08
56	57	3.3E-09
57	58	8.6E-10
58	59	3.4E-11
59	60	1.7E-10
60	61	3.4E-11
61	62	3.4E-11
62	63	3.4E-11
63	64	3.4E-11
64	65	3.4E-11
65	66	7.6E-11
66	67	1.6E-08
67	68	5.5E-09
68	69	2.2E-11
69	70	2.8E-11
70	71	1.1E-08
71	72	2.0E-08
72	73	2.0E-08
73	74	2.8E-11
74	75	2.8E-11
75	76	1.1E-10
76	77	2.0E-09
77	78	2.2E-11
78	79	1.1E-08

Table 4. KH-25 Transmissivity
Preliminary from Flow Logs

Top m	Bottom m	Transmissivity m^2/s
2	3	1.0E-10
3	4	1.0E-10
4	5	1.0E-10
5	6	1.0E-10
6	7	1.0E-10
7	8	1.0E-10
8	9	1.0E-10
9	10	1.0E-10
10	11	1.0E-10
11	12	1.0E-10
12	13	4.4E-09
13	14	6.8E-08
14	15	7.6E-08
15	16	3.4E-08
16	17	2.1E-10
17	18	3.5E-10
18	19	8.2E-09
19	20	1.0E-07
20	21	4.3E-11
21	22	6.0E-10
22	23	6.0E-10
23	24	4.3E-11
24	25	4.3E-11
25	26	4.3E-11
26	27	4.3E-11
27	28	4.3E-11
28	29	4.3E-11
29	30	4.3E-11
30	31	4.3E-11
31	32	4.3E-11
32	33	8.6E-11
33	34	3.5E-10
34	35	8.6E-11
35	36	1.5E-09
36	37	9.6E-09
37	38	2.6E-10
38	39	1.0E-09
39	40	8.6E-11
40	41	1.7E-10
41	42	1.5E-09
42	43	8.6E-11
43	44	4.3E-10
44	45	1.7E-10
45	46	6.7E-08
46	47	4.3E-11
47	48	3.5E-10
48	49	4.3E-11

KH-25, cont'd.

Top m	Bottom m	Transmissivity m^2/s
49	50	4.3E-11
50	51	6.0E-10
51	52	5.7E-08
52	53	1.4E-08
53	54	1.8E-07
54	55	1.7E-07
55	56	1.4E-08
56	57	1.7E-10
57	58	8.6E-11
58	59	3.4E-10
59	60	8.6E-11
60	61	6.9E-10
61	62	3.1E-08
62	63	8.6E-11
63	64	8.6E-11
64	65	8.6E-11
65	66	8.6E-11
66	67	8.6E-11
67	68	3.4E-10
68	69	1.7E-10
69	70	4.0E-08
70	71	4.4E-10
71	72	5.6E-11
72	73	5.6E-11
73	74	5.6E-11
74	75	5.6E-11
75	76	5.6E-11
76	77	5.6E-11
77	78	5.6E-11
78	79	5.6E-11
79	80	5.6E-11

Table 5. KH-20 Transmissivity
Preliminary from Flow Logs

Top m	Bottom m	Transmissivity m ² /s
0	9.512	4.2E-10
9.512	13.512	8.4E-10
13.512	17.512	1.3E-09
17.512	19.512	1.4E-08
19.512	24.512	9.8E-09
24.512	29.512	6.3E-09
29.512	31.512	4.7E-09
31.512	39.512	8.7E-09
39.512	50.512	4.2E-09
50.512	53.512	6.1E-08
53.512	55.512	4.4E-09
55.512	67.512	8.9E-09
67.512	70.512	1.1E-08
70.512	74.512	8.0E-09
74.512	77.512	1.8E-08
77.512	79.512	1.6E-09

Table 6. KH-23 Transmissivity
Preliminary from Flow Logs

Top m	Bottom m	Transmissivity m^2/s
5	6	6.5E-10
6	7	6.5E-10
7	8	6.5E-10
8	9	6.5E-10
9	10	6.5E-10
10	11	6.5E-10
11	12	6.5E-10
12	13	6.5E-10
13	14	6.5E-10
14	15	6.5E-10
15	16	6.5E-10
16	17	6.5E-10
17	18	6.5E-10
18	19	4.5E-11
19	20	4.5E-11
20	21	4.5E-11
21	22	4.5E-11
22	23	4.5E-11
23	24	4.5E-11
24	25	4.5E-11
25	26	4.5E-11
26	27	4.5E-11
27	28	4.5E-11
28	29	4.5E-11
29	30	4.5E-11
30	31	4.5E-11
31	32	4.5E-11
32	33	4.5E-11
33	34	4.5E-11
34	35	4.5E-11
35	36	4.5E-11
36	37	4.5E-11
37	38	4.5E-11
38	39	4.5E-11
39	40	1.9E-11
40	41	4.1E-11
41	42	6.3E-11
42	43	1.9E-11
43	44	3.2E-11
44	45	1.3E-09
45	46	1.2E-09
46	47	8.4E-11
47	48	1.5E-09
48	49	2.4E-09
49	50	2.3E-09

KH-23, cont'd

Top m	Bottom m	Transmissivity m ² /s
50	51	3.4E-11
51	52	2.0E-11
52	53	2.0E-11
53	54	2.0E-11
54	55	3.6E-11
55	56	3.6E-11
56	57	3.6E-11
57	58	6.7E-10
58	59	3.9E-09
59	60	3.9E-09
60	61	2.6E-08
61	62	1.6E-09
62	63	1.6E-09
63	64	6.7E-10
64	65	8.8E-10
65	66	2.4E-10
66	67	7.8E-11
67	68	9.8E-11
68	69	1.2E-10
69	70	1.2E-10
70	71	7.8E-11
71	72	3.6E-11
72	73	3.6E-11
73	74	3.6E-11
74	75	2.2E-11
75	76	6.2E-11
76	77	6.2E-11
77	79	1.5E-07

3. Definition of Fracture Zones in Task 3-2 Area

3.1 Objectives

There are several objectives in making a preliminary identification of zones. The first objective is the preparation of a preliminary groundwater flow model of the area. This model is intended to provide "hypotheses" regarding the geometry and properties of fractures in the block. One form of validating the groundwater flow model will be its ability to reproduce the steady or near steady pressures within the block.

A second objective is to assist in designing the final piezometer systems for the boreholes. Ideally the packers should be placed to preserve the hydraulic isolation of compartments which may have existed before the boreholes were drilled. If a piezometer zone contains more than one compartment there may be a continued crossflow within the borehole which could have harmful effects on the experiment. In short, the boreholes should not be pathways in the flow system.

The third objective is to assist in designing crosshole hydraulic and tracer tests in the block. A review of pressure and connection data identifies conducting zones and zones which are relatively isolated. The design of tests should provide validation of hypotheses about connections and help define hydraulic properties within and between zones.

3.2 Criteria for Defining Zones or Compartments

There are several methods for defining zones or compartments. One method is evaluation of pressure responses during drilling. These are not reviewed here, but should be compared with conclusions obtained by the other means described in this section.

Another method is to look at the transient pressure responses during drilling. A review of the pressure responses to the KH-21 and the KH-25 drilling has shown that several zones have not only *similar* responses during drilling -- they have *identical* responses during drilling. Were this observation made on zones within the same borehole, one might suspect packer leakage. However, the observation of identical, transient pressure responses appears in ones across two or more boreholes. Such identical responses suggest a very high degree of connectivity and conductivity within a block or zone.

A third means defining zones is by having a common pressure. A flow system which consists of compartments and barriers should appear to have regions with a stable, uniform pressure. By contrast, the barrier zones between the compartment should appear to have high pressure gradients across the regions of relatively lower conductivity.

A last method of investigating zones, is to look for correlations of conductive zones between boreholes. This method compares the flow logs of boreholes to identify anomalous zones of high transmissivity which may represent a common fracture or fracture zone.

3.3 Results

First, we compiled and plotted the flow logs for all the boreholes. This compilation converted the flows into transmissivity values using the specific capacity as an approximation (see section 2.).

Computing the transmissivity values required estimating the original hydraulic heads in the test sections. The head values come from a combination of the pressure measurements obtained during drilling and the pressure monitoring data from the piezometers. Of these, the latter are more reliable, as the drilling data tend to average the contributions of multiple zones with a weighting towards the heads of the most permeable fractures. The piezometer values, on the

other hand, are more reliable for highly transmissive zones. For lower transmissivity zones, or zones which may be somewhat isolated, the equilibration of the pressure in the zones may require several weeks or months, thus the heads given here should be considered preliminary and subject to modification after the permanent piezometers have time to equilibrate to drilling and piezometer installation.

Figure 2 is a head map of the Task 3-2 area. The most reliable heads are those in the high pressure zones of KH-19, KH-21, and KH-20. These are well interconnected and equilibrate quickly. Similarly, the high transmissivity zones at the ends of KH-20 and KH-20 also equilibrate relatively quickly. Other sections, such as the sections of KH-23 and KH-20 at about 9.2 and 7.3 bars have been building more slowly, and may ultimately reach somewhat higher pressures.

An important note on the transmissivity logs is that the values are based on flow logs taken after the holes have been open for at least one week or longer. As such, the flow logs represent larger scale values, that is, a conductive fracture must have access to a water source in order to produce flow for those time periods. Conductive fractures which do not connect to other transmissive features may become depleted soon after drilling and not appear in the flow logging. The flow records which were taken during drilling show numerous such features, which flow strongly for a few days after drilling but do not persist in flow during the flow logging. It is important to note the possible presence of these discontinuous fractures because they may provide high transmissivity connections within compartments or zones without appearing in the transmissivity logs.

The pressure map and a review of the transient pressure responses during KH-21 and KH-25 drilling allow identification of at least six pressure zones or compartments. These zones meet the criteria above for zone identification, namely, a common pressure value and a common response to drilling in KH-21 and KH-25. These zones are labeled "A" through "F", in order of approximate distance from the drift. Zone A is a "catch-all" for shallow piezometer sections which are depressurized near the drift. The other zones are remarkable for the extent to which they behave in similar manners.

Figures 10 through 15 show the responses of the piezometer sections of each zone to KH-21 drilling. The data for given zones have nearly identical pressure responses (with the exception of portions KH-23 which I have assigned to the high pressure zone, "D" -- these are discussed below. Similar comparisons can be made for the KH-25 drilling responses, and these are shown in Figure 16 through 21. The proposed preliminary zones are also shown in Figure 22, which is one conceptual model of some of the possible connections within these zones. These connections have been verified against the cross hole test results as reported in section 5.

3.4 Description of Zones

Zone A

There are two piezometer zones that are nearly de-pressurized. KH-23-7 and KH-19-8 are the shallowest intervals in their holes, and have pressures of 0.5 and 1.7 bars respectively.

Zone B

Zone B has an average pressure of about 7.7 bars. Zone B includes KH-20-7, KH-21-4, and KH-19-7, and likely includes the conductor at 12-16 meters in KH-25. The responses of the Zone B intervals track one another exactly in response to the drillings of KH-21 and KH-25. Zone B may be part of a leakage pathway from the higher pressure regions of Zone D and the openings of the 550 level.

Zone C

Zone C is very similar to Zone B but has distinctive pressure responses to the drilling of KH-21 and KH-25. Zone C does not have any major transmissive zones as seen in the flow logging. This does not rule out the presence of high conductivity features, however, as there were significant flows encountered during drilling in both KH-20 and KH-23 from these holes. The lack of flow during logging suggests strongly that this zone is hydraulically isolated. The responses to KH-21 drilling are diffuse rather than sharp responses, and the pressure variations are highly damped. On the other hand, the responses to KH-25 drilling are very sharp with little damping. This observation suggests that the Zone C conductor ends or becomes less permeable in the two meter distance between KH-25 and KH-21.

Zone C includes KH-23-5, KH-23-6, and KH-20-6. The remarkable similarity of pressure behavior suggests a strong connection between these intervals. If one only considered the two intervals in KH-23, one might suspect packer leakage, however, the responses in KH-20-6 are no less identical.

Zone D

Zone D is the high pressure zone which was originally encountered in KH-19. This zone is highly connected along KH-19 from about 27-m to 70-m. The zone is also highly connected across KH-21 (from about 19-m to 56-m) and KH-25 (from 18-m to at least 60-m). The width of the zone reduces significantly in the two meters between KH-25 and KH-20 and the transmissivity in KH-20 is reduced. Across KH-20 to KH-19 the pressure is between 18.8 and 20 bars.

This zone appears to extend to KH-23, though with greatly reduced permeability. The extension of Zone D is shown by the high pressures in KH-23-3 and KH-23-4, which were slowly climbing from the installation of the KH-23 piezometer to the drilling of KH-25. The pressure responses to KH-21 and KH-25 drilling are the same in these KH-23 intervals as in other Zone D intervals. There is however a slight dampening of the pressure responses in KH-23 due to the lower conductivity. The connection of KH-23 to Zone D will become clearer after the final piezometers are installed in Heisei-8 and pressures reach equilibrium. Crosshole tests may also help to define whether or not KH-23-4 and KH-23-5 are part of the high pressure zone, D.

There are several possible fracture zones within Zone D. These are shown in Figure 22, which is a highly speculative map of possible fracture zones. One of these zones is the first high pressure encountered in KH-19, KH-21, and KH-25. The locations of these anomalies follows a trend consistent with the major fracture strike in the KD-90 area. Another major feature lies near 50-m in KH-20, KH-21, and KH-25. This feature may extend to KH-23 where there is a smaller anomaly. The transmissivity of this fracture zone decreases from east to west.

Other fracture zones can be identified between KH-21 and KH-25, however these do not extend to KH-20. This abrupt reduction in pressure and transmissivity in the 2-m distance between KH-25 and KH-20 appears to be a pressure compartment boundary. The nature of this boundary is not yet clear.

Zone E

Zone E includes piezometer intervals KH-23-2, KH-20-3, and KH-21-2 (based on the KH-25 responses). Like other zones, the pressure responses of these intervals are nearly identical, suggesting that they are connected by high-transmissivity links.

Zone E has pressures of about 9.2 bars, i.e. between the pressures of Zones D and F. Unlike other zones, such as Zone D, this zone has low transmissivities from flow logging. The combination of high connectivity and low inflow suggest that Zone E is a small, isolated compartment (like zones B and C), with lower conductivity connections to the surrounding zones. This is also suggested by the slow pressure build-up in these zones after piezometer installation. The pressures in Zone E were still rising when KH-25 was drilled, and the final pressure values ultimately may approach those of Zones D or F.

Zone F

Zone F, the deepest conductor in the task 3-2 area, has an average pressure of about 14.6 bars. This zone connects intervals KH-23-1, KH-20-1, KH-20-2, and KH-21-1. It also may appear near the end of KH-25. Zone F includes the prominent conductor at the bottom of KH-23 and the two conductors at 70-m and 75-m in KH-20 as well as the conductors at 69-71 meters in KH-25.

Discussion

The pressure data and zone definitions can address several very important questions.

One question the data addresses is the nature of the flow system in the Task 3-2 area. Broadly speaking, there is a reduction in both the intensity of conductive fractures and the groundwater pressures from northeast to southwest across the block. The sudden termination of most high pressure features between KH-25 and KH-20 is particularly remarkable.

We may view the Zones at pressures of 7-9 bars as intermediate compartments between the high pressure areas and the lower pressure areas. The flow should be expected to run from the high pressure zones (such as Zone D) towards the underground openings. The apparent flow direction from northeast to southwest may reflect several factors including the anisotropy of the fracture orientations and the presence of the NW drift as a discharge point.

Another question is the nature of the barriers and compartments. The pressure distributions do not suggest a simple or single barrier, such as a fault zone. Rather the geometry of compartments and barriers is more complex. One possible hypothesis is that compartments reflect fracture clustering. We are currently analyzing the conductive fracture data from the KD-90 area and the BMT drift, and these data suggest a Levy flight model, which has strong clustering, may be appropriate.

The zone definitions suggest several areas of possible addition for the characterization work. First, it would be valuable to re-log KH-20 to better define conductor locations. Second, we have some compartments (B, C ,and E) which appear to be relatively small and isolated. Injection tests may be able to provide information on compartment sizes. The crosshole testing planned for early next fiscal year should have as one goal to test the connection hypotheses outlined in this memorandum. Later testing should concentrate on tracer tests to characterize transport within compartments and pressure interference tests to define leakage between compartments.

4. Equipment Design and Development

This section of the report describes work performed during Heisei-7 for purchasing and development of equipment. The major equipment purchases under the H-7 contract were

- equipment for three permanent piezometers of seven packers each
- purchase of equipment for tracer testing and crosshole hydraulic testing (tracer mixing tank and pump)
- proportioning solenoid valves
- and equipment for flow logging and conductivity testing

4.1 Piezometers

During Heisei 7, Baski Inc. of Denver Colorado prepared equipment for three, 80-m, piezometers. Each piezometer has seven packers for isolating seven zones per hole. The extension tube lengths include 0.5-m, 1-m, 2-m, and 3-m lengths to allow flexibility in piezometer design. The piezometers use only stainless steel for the metal parts. Tubing has been included for temporary use of the equipment.

Due to an unexpected high permeability of the nylon tubing in H-6, Baski performed numerous comparative tests on several nylon types (66 and 11), Teflon, and stainless steel. Teflon had performance nearly equal to stainless steel, and Nylon 11 had considerably better performance than Nylon 66, which had been used in the Heisei-6 packer installations. Accordingly, Nylon 11 has been supplied with the piezometers for Heisei-7.

The flow panels for packer inflation and flow control have been modified from the Heisei-6 design. Where previously each hole required three panels (packer, pressure monitoring and flow), the lines have been consolidated into one panel to save space underground.

4.2 Crosshole and Tracer Testing Equipment

Golder Associates has supplied tanks for tracer mixing and a pump for injections. The originally specified pump, Milton-Roy Centrac-S, was not available as it had been pulled from distribution for design modifications. A search of pump suppliers in the US identified several pumps meeting the required specifications. These specifications were the following:

- Pressure rating: 30 bars
- Flow at maximum pressure: 1 l/min with 100:1 turndown
- Pulsation Dampening
- Motor Controller for 4-20 mA input.

The selected pump is manufactured by Clark-Cooper Inc. of Cinnaminson, New Jersey and is EV Pilotrol, chemical metering pump. The pump is a diaphragm type which is designed to maintain flows to within 1%. The pump also can be controlled using a feedback loop on a 4-20 mA instrument. The pulsation dampener removes pressure surges and provides and even pressure flow.

In addition to the pump we purchased two plastic tanks, 85 US gallons and 55 US gallons (320 l and 208 l) for mixing tracer. We recommend purchasing in addition during Heisei-8 a mixing pump.

4.3 Proportioning Solenoid Valves

Two proportioning solenoid valves were obtained for controlling outflows from the test zones. The proportioning solenoid is an electro-magnetically actuated valve which, unlike normal solenoids, can be set to intermediate positions to a simple "on" or "off". The valves are manufactured by Burkert Control Systems of Germany, and are model number 2034. The valves include controllers which work with 4-20 mA devices to maintain a desired flow condition. The valves will not shut against a pressure difference of more than 8 bars, so the flow lines will require additional shut-off valves when the lines are not in use.

4.4 Flow Meters

Two flow meters were obtained in Heisei-7. The flow meters are turbine-type and are manufactured by EGG Flow Technology of Phoenix, Arizona. The flow rate specifications are:

FTO--2	1 ml/min - 40 ml/min
FTO-5	20 ml-min - 7.5 l/min

The output of the meters is 4-20 mA. Care should be taken not to over-speed the meters (such as by blowing air through them). Also, the meters should be maintained in a wet condition or dried completely when not in use to avoid deposits that can affect their performance.

4.5 Rotameter Manifolds

A rotameter manifold for flow logging was charged in Heisei 7. Rotameters are simple but accurate flow measuring devices that consist of a glass tube with tapered inner bore. A float which rises proportionally to the flow provides a direct reading of flow. There are seven rotameters at the mine as follows:

Omega FL-110	.002-1.1 ml/min	1 each
Omega FL-112	.02-36 ml/min	2 each
Omega FL-114	10-850 ml/min	2 each
Omega FL-400A	0.5-9 l/min	2 each.

4.6 Packer Design Modifications

The modifications to packer systems for flow logging and conductivity testing were prepared in Heisei 7. These modifications are described in sections 2 and 5.

5. Conclusions

There have been several major achievements of the work during Heisei -7. The most important of these is the definition of six major compartments or fracture zones in the Task 3-2 area. The definition of these zones is a direct result of the flow logging, analyses of crosshole responses to drilling, and the interference results of the packer tests.

In addition to the definition of zones, the flow logging methods using straddle packers and rotameters has proven to be a very effective and efficient means of rapidly gaining information on the locations and properties of fractures at resolutions of 1-meter spacing.

The conductivity approach using build-up data from flowing wells also successfully has defined the hydraulic properties of the major zones in the task area and providing information on their geometries and connections (Chapter 9).

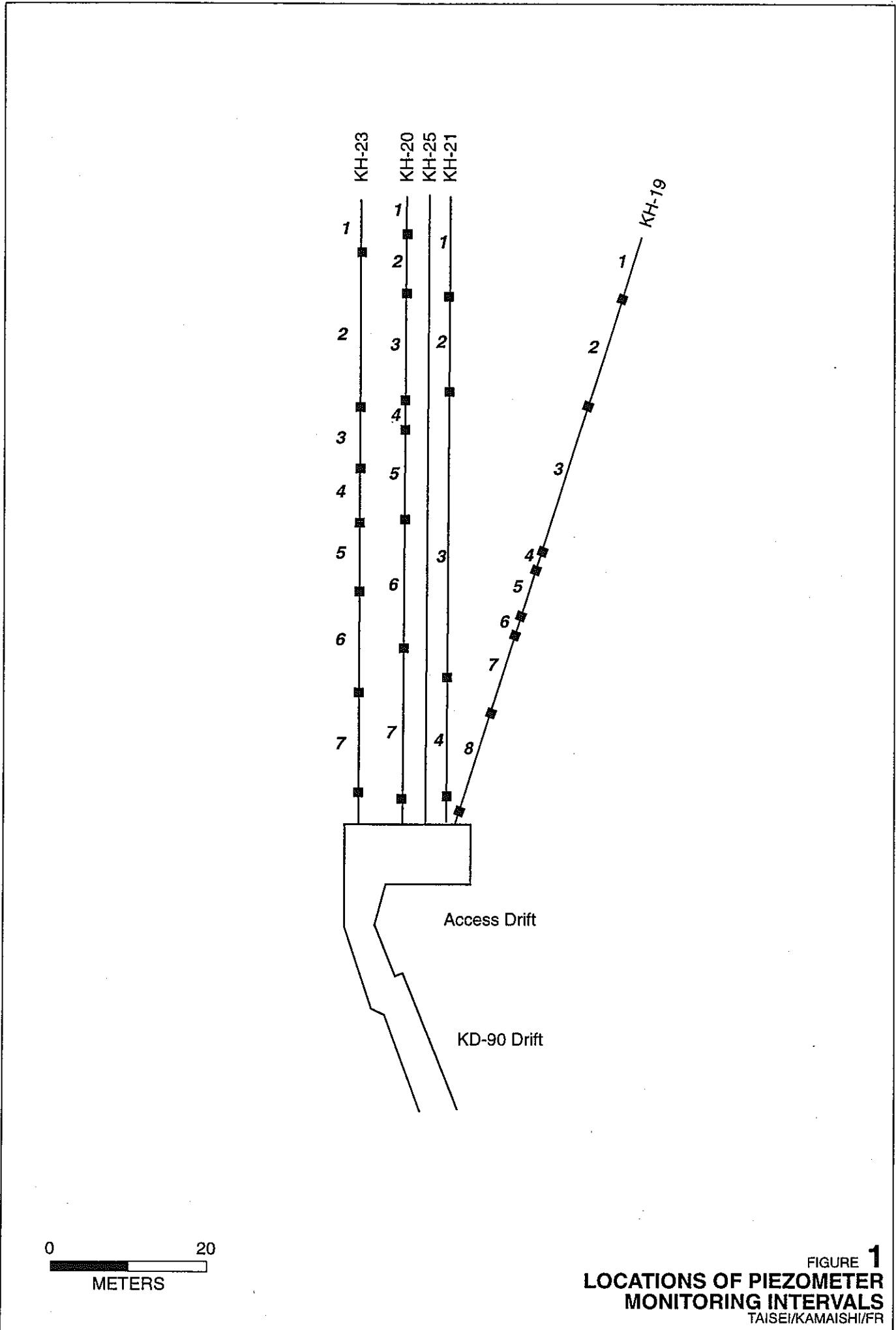


FIGURE 1
LOCATIONS OF PIEZOMETER
MONITORING INTERVALS
TAISEI/KAMAISHI/FR

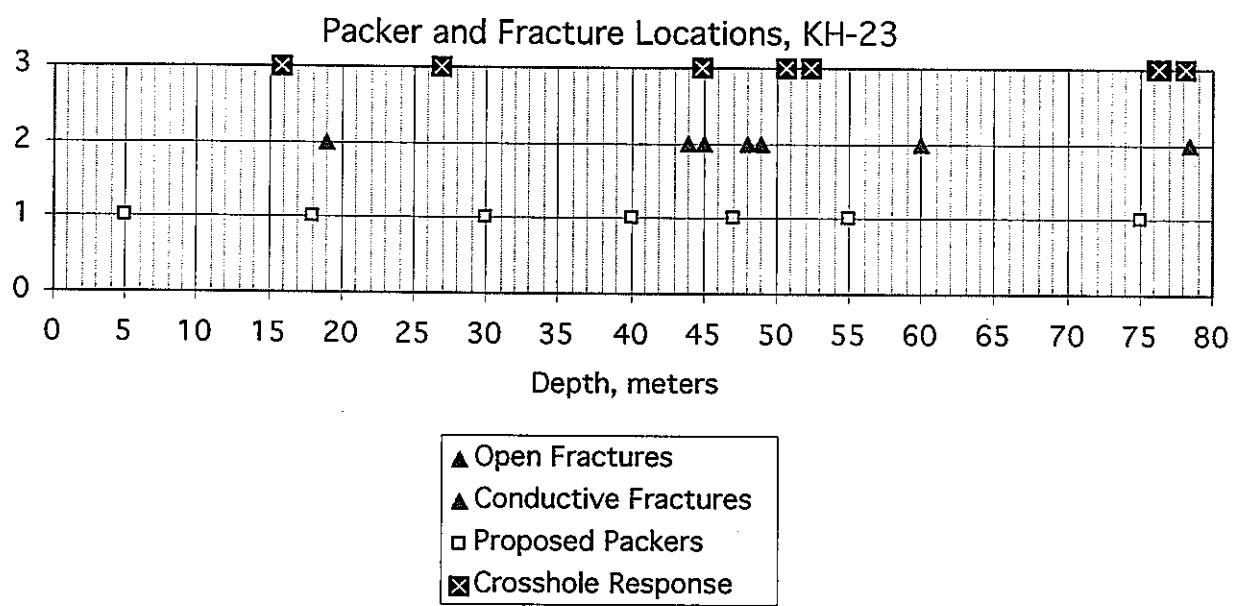


FIGURE 2
PACKER AND FRACTURE LOCATIONS, KH-23
TAISEI/KAMAISHI/FR

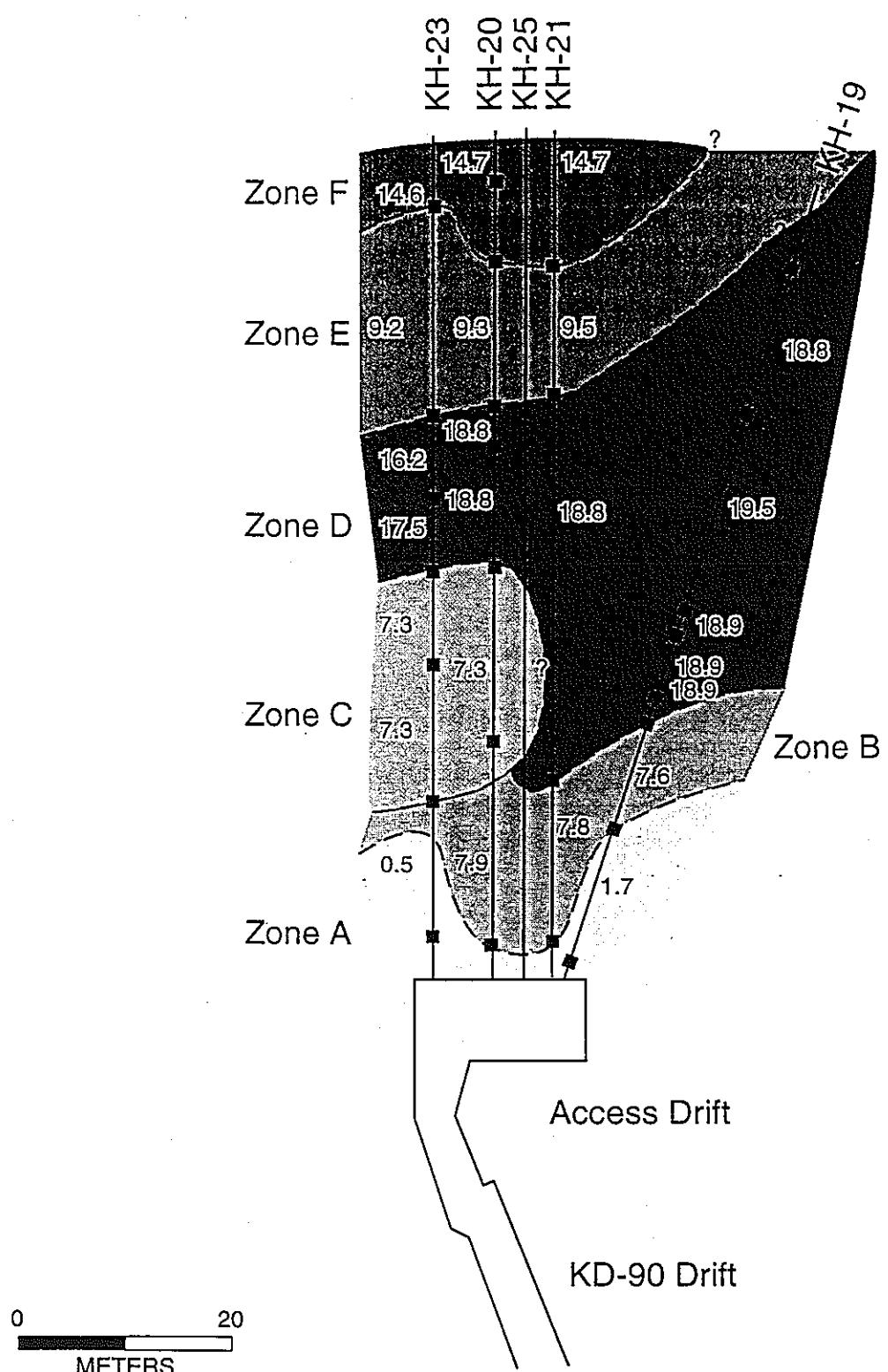


FIGURE 3
PRESSURE MAP
TASK 3-2 AREA, KAMAISHI MINE

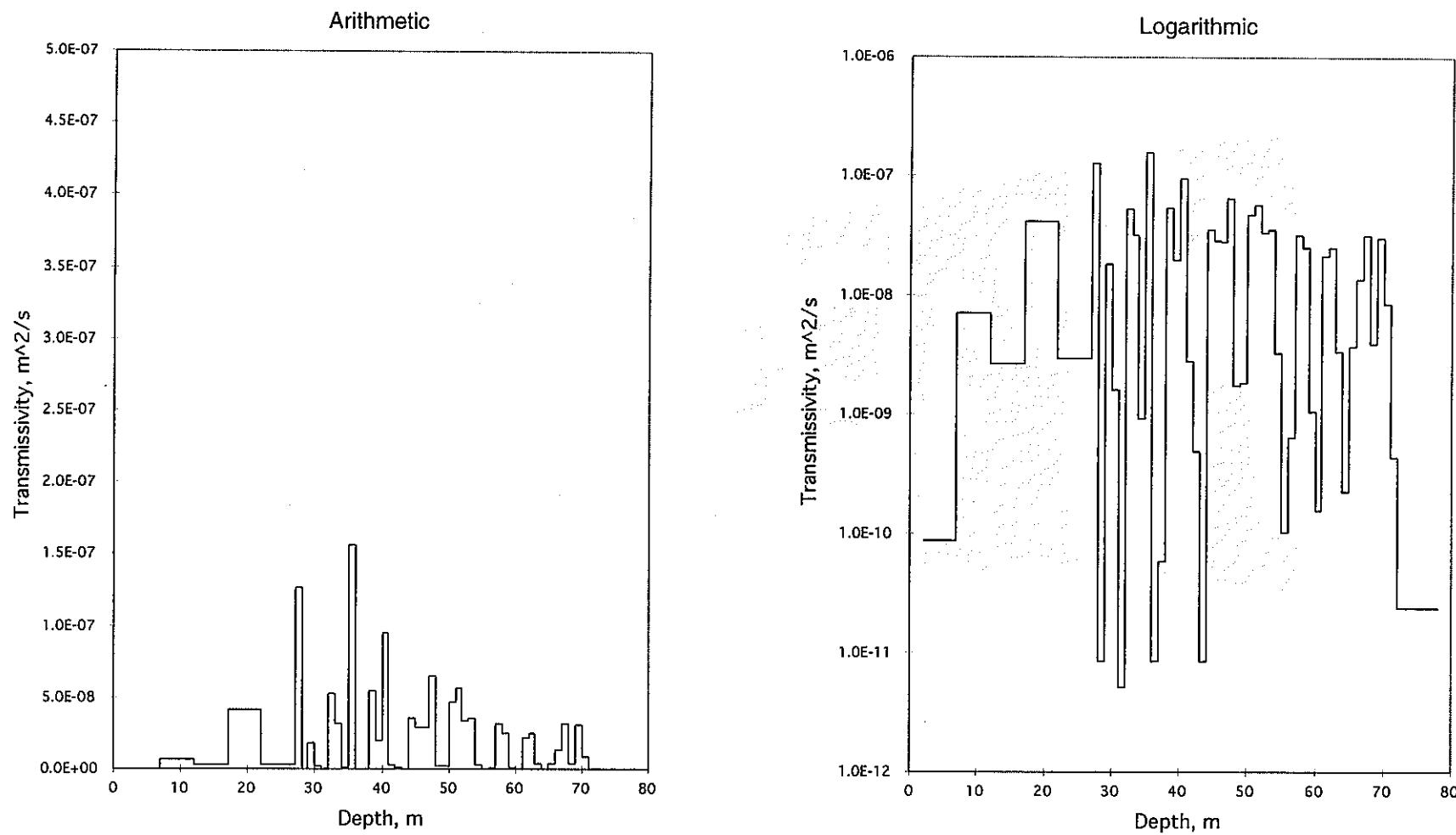


FIGURE 4
KH-19 TRANSMISSIVITY FROM FLOW LOGS
TAISEI/KAMAISHI/FR

B-27

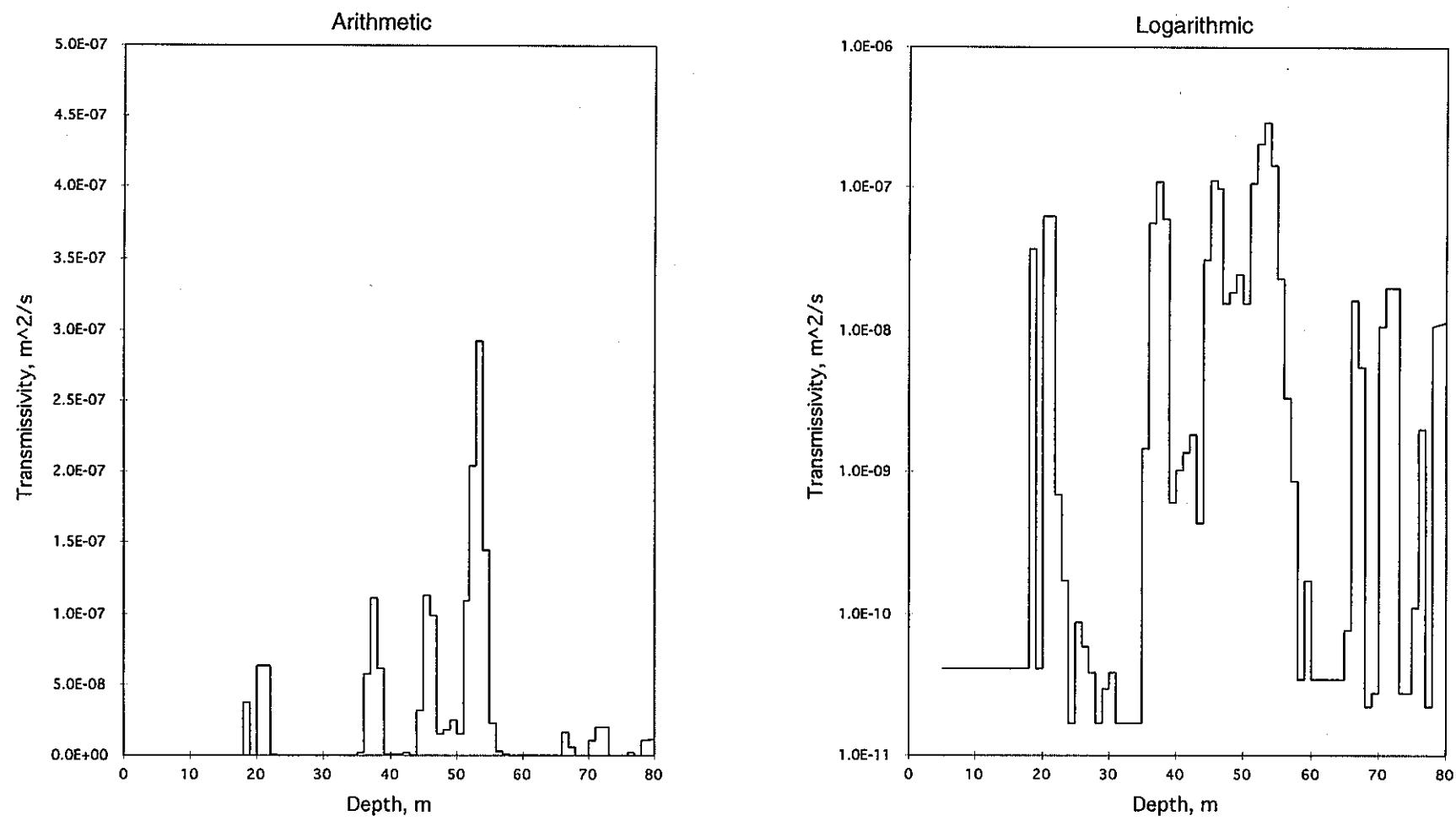


FIGURE 5
KH-21 TRANSMISSIVITY FROM FLOW LOGS
TAISEI/KAMAISHI/FR

B-28

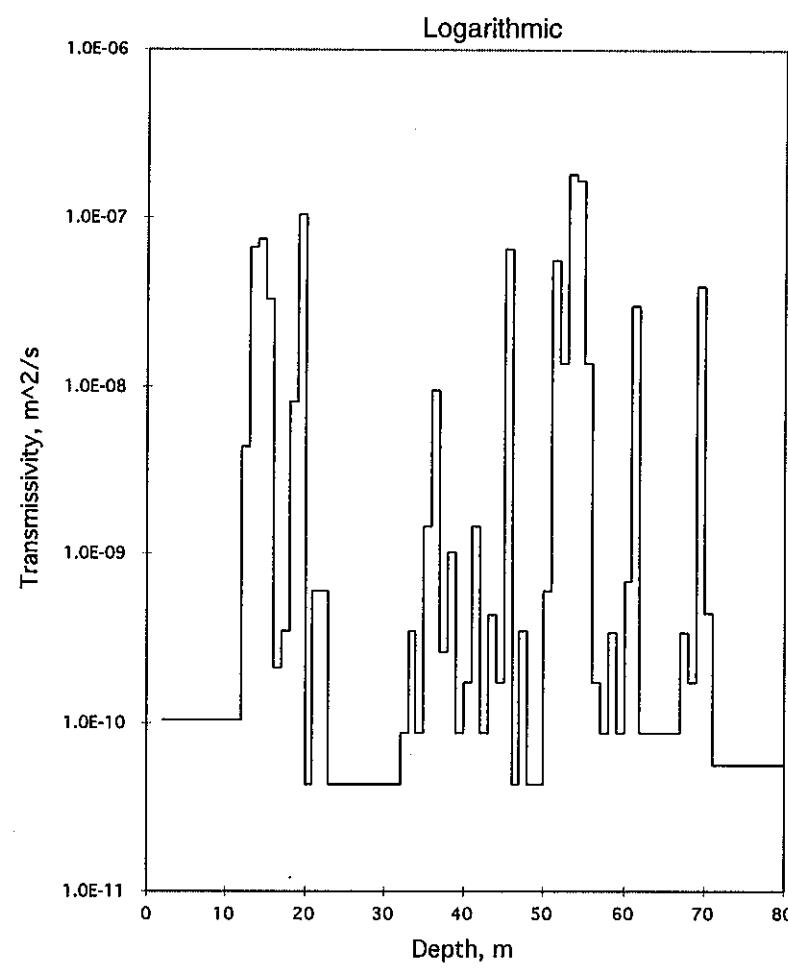
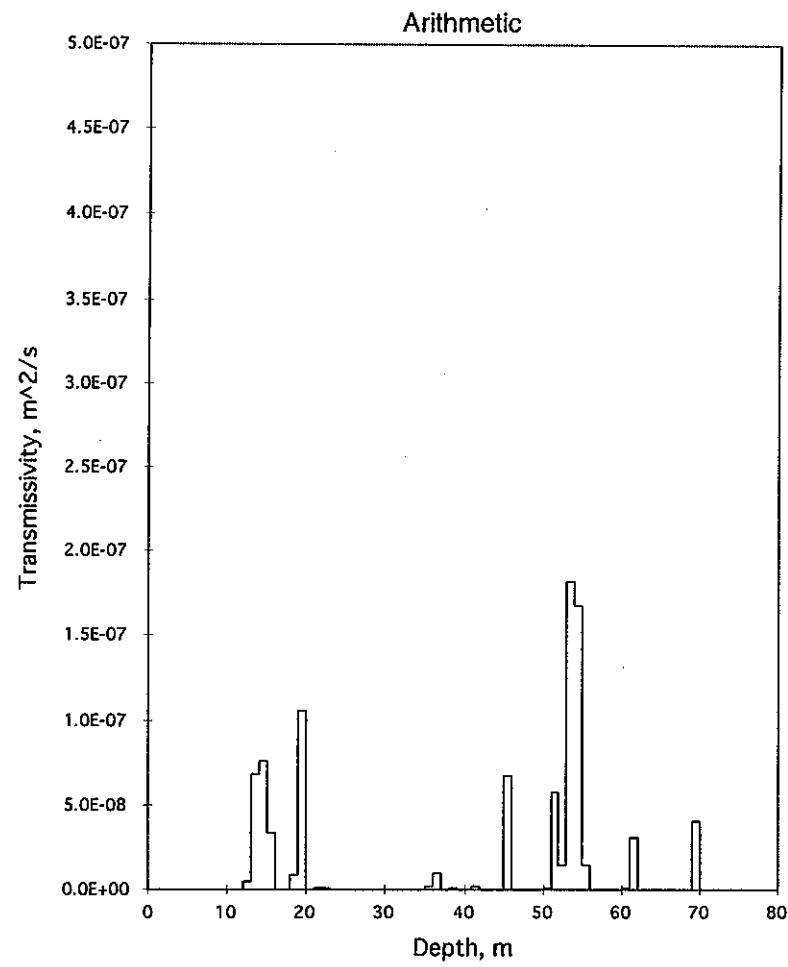


FIGURE 6
KH-25 TRANSMISSIVITY FROM FLOW LOGS
TAISEI/KAMAISHI/FR

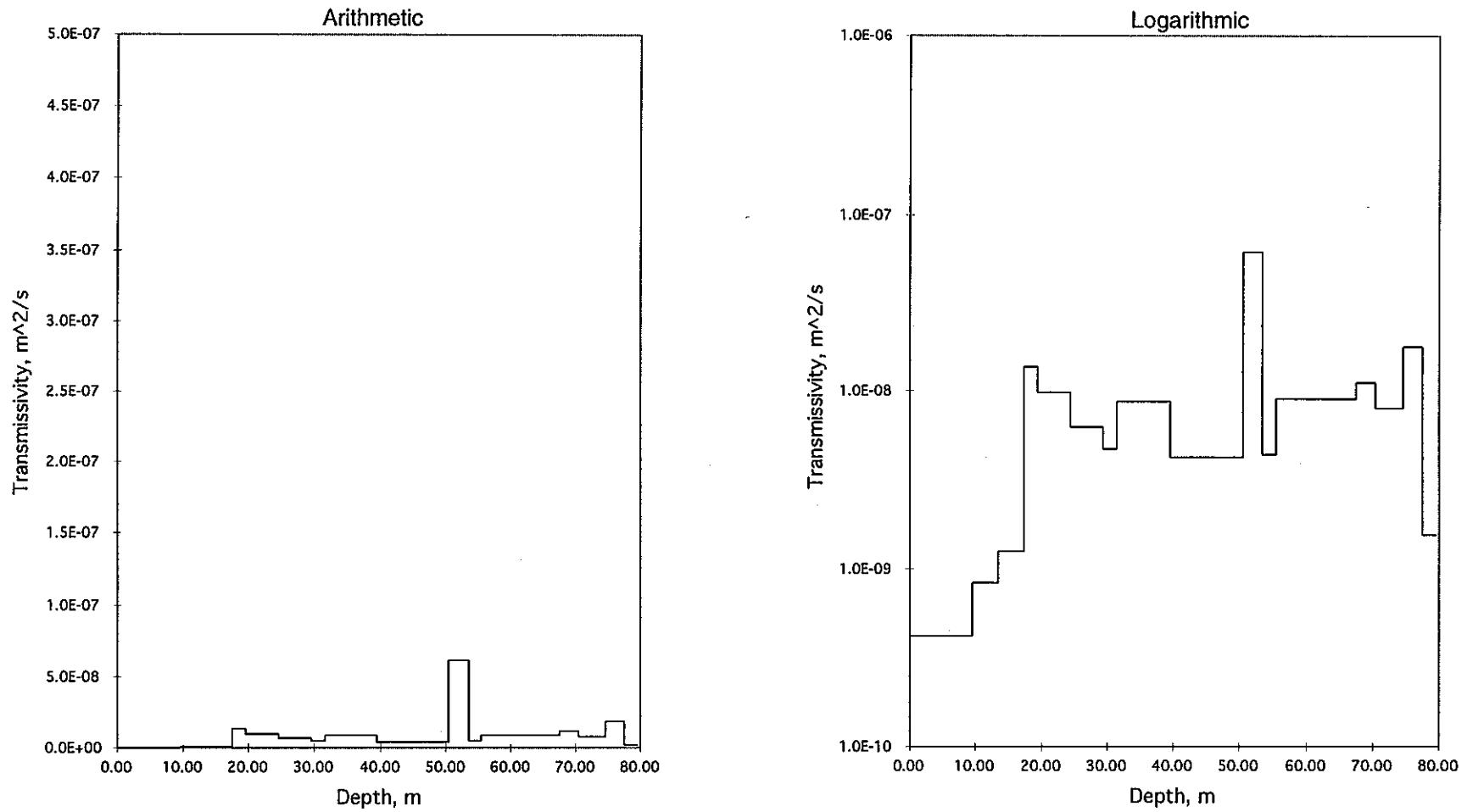


FIGURE 7
KH-20 TRANSMISSIVITY FROM FLOW LOGS
TAISEI/KAMAISHI/FR

B-30

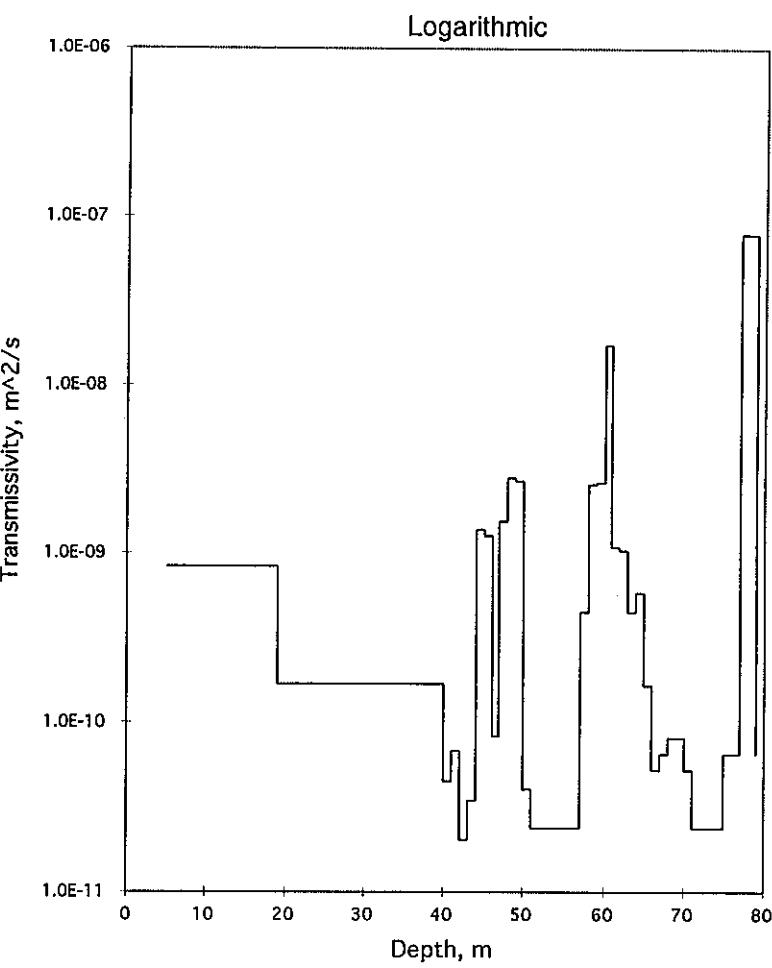
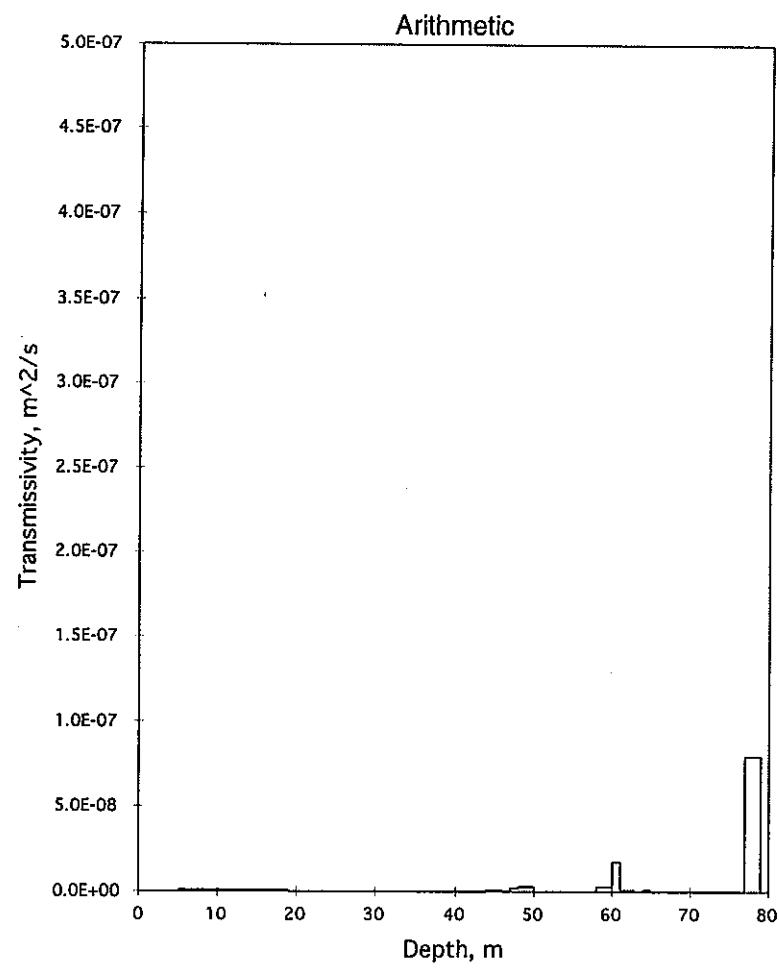


FIGURE 8
KH-23 TRANSMISSIVITY FROM FLOW LOGS
TAISEI/KAMAISHI/FR

Golder Associates

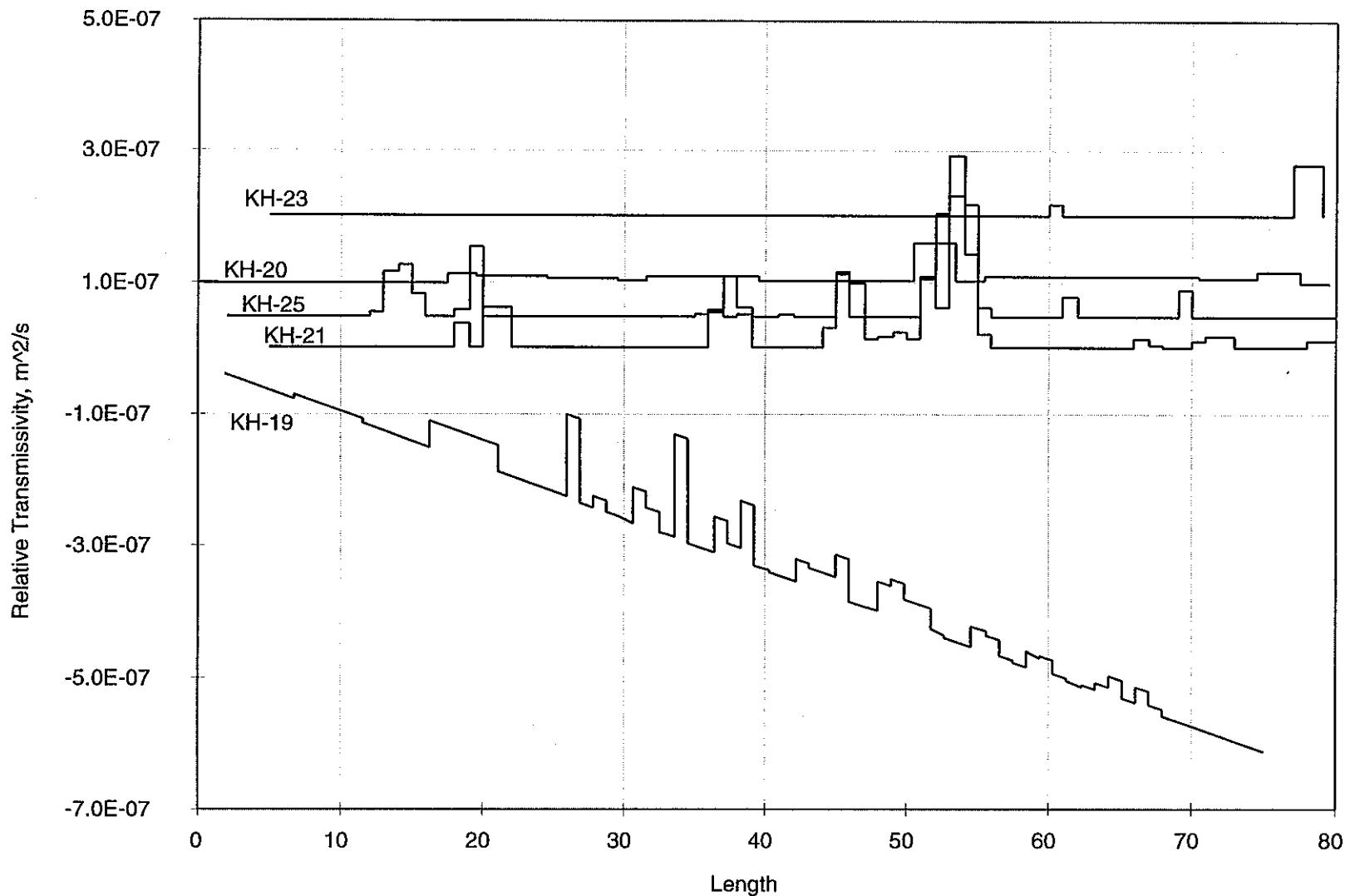


FIGURE 9
SUMMARY OF FLOW LOG
TRANSMISSIVITY DATA, ALL HOLES
 TAISEI/KAMAISHI/FR

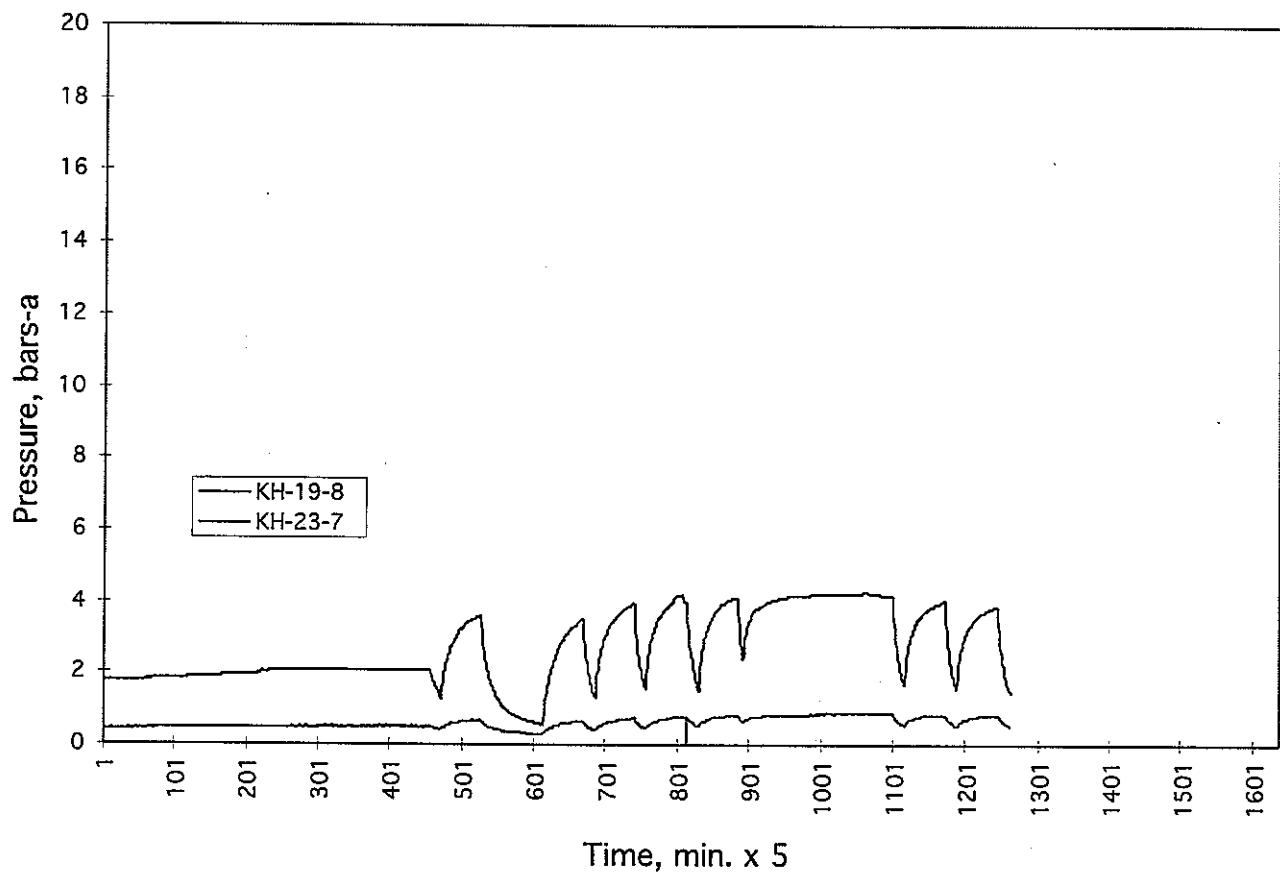


FIGURE 10
ZONE A PRESSURE
DURING KH 21 DRILLING
TAISEI/KAMAISHI/FR

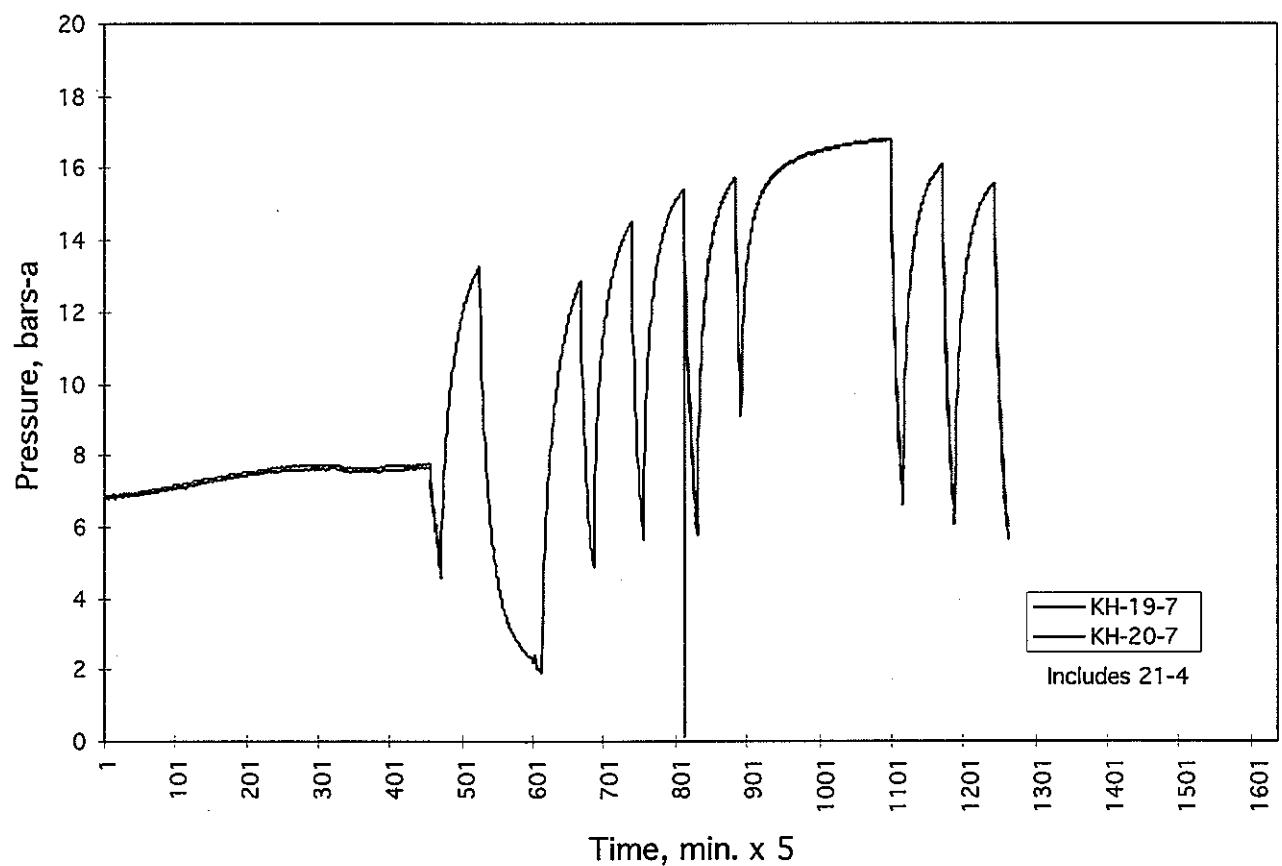


FIGURE 11
ZONE B PRESSURE
DURING KH 21 DRILLING
TAISEI/KAMAISHI/FR

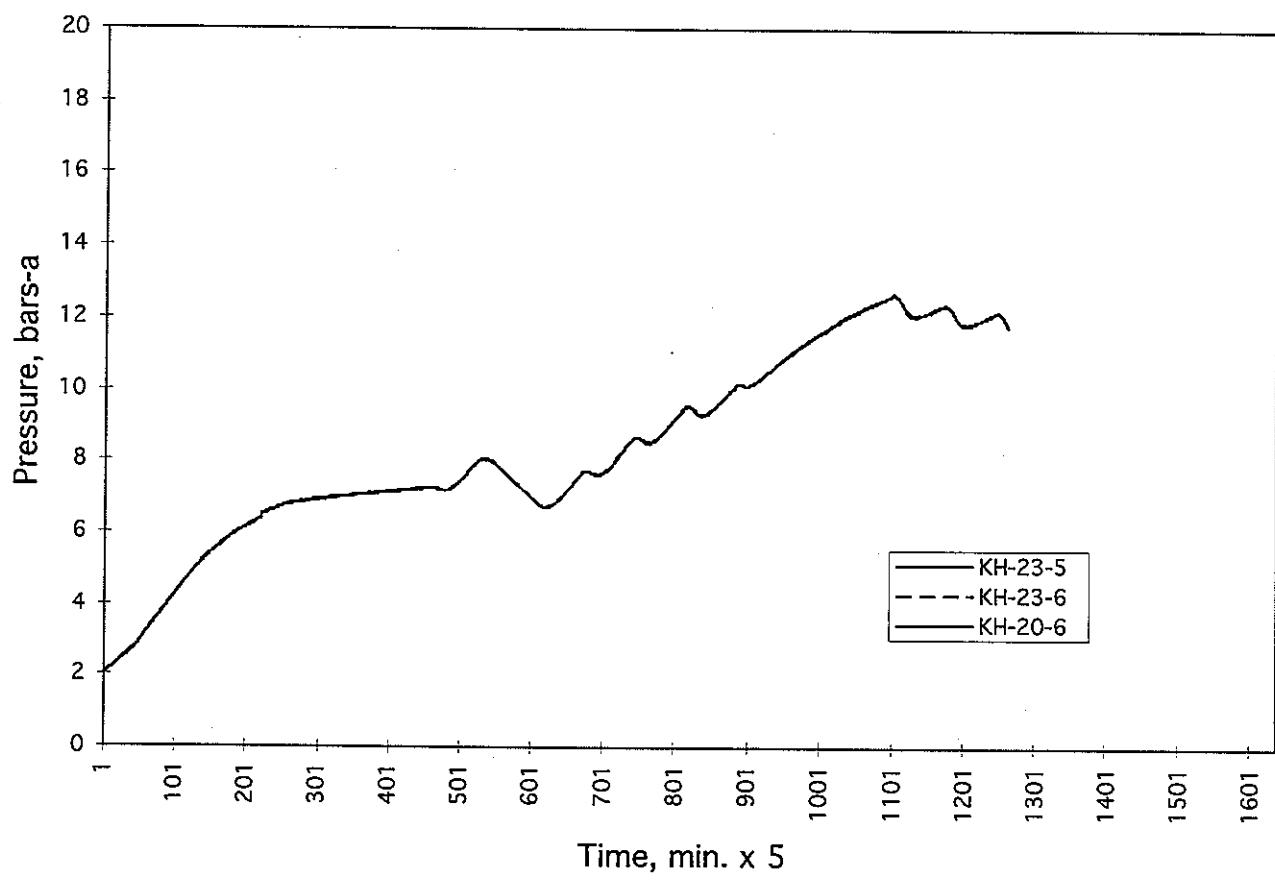


FIGURE 12
ZONE C PRESSURE
DURING KH 21 DRILLING
TAISEI/KAMAISHI/FR

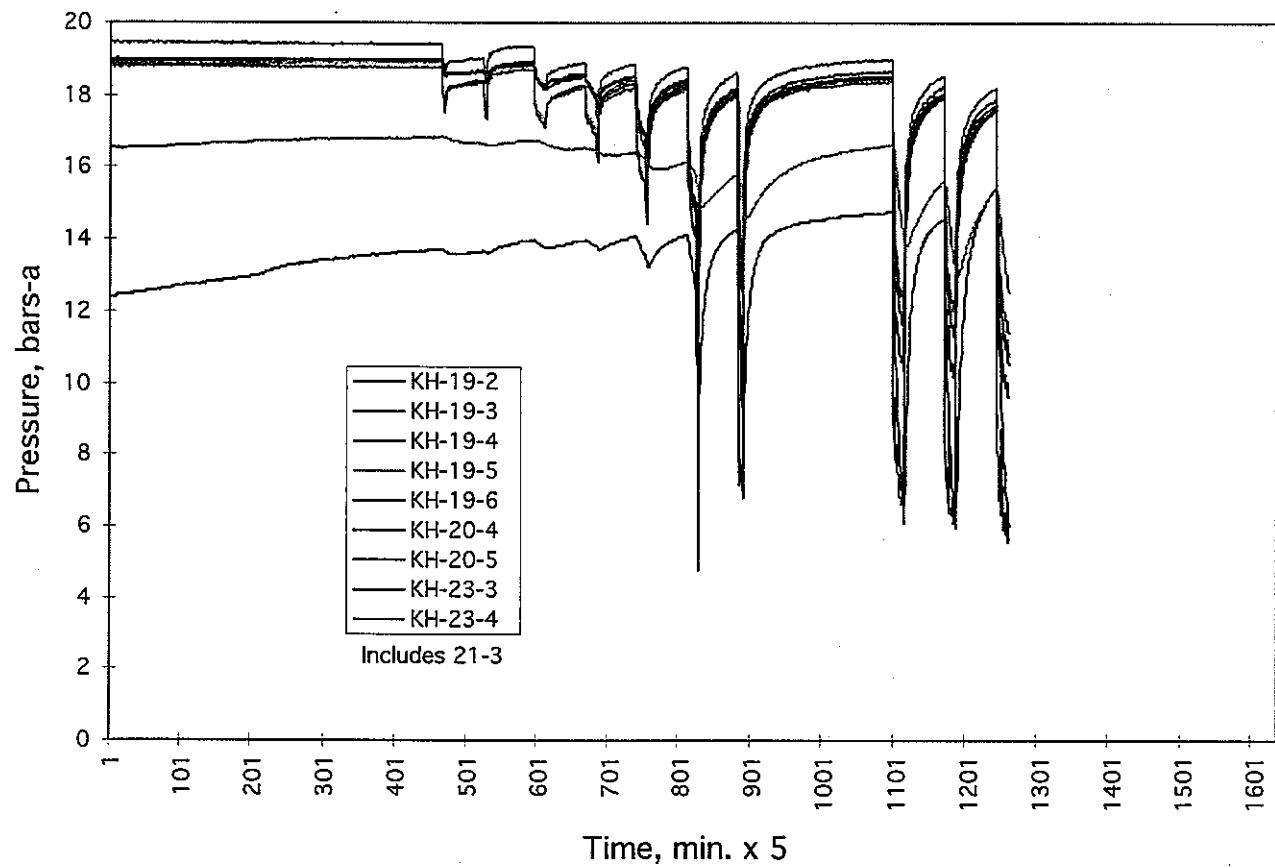


FIGURE 13
ZONE D PRESSURE
DURING KH 21 DRILLING
 TAISEI/KAMAISHI/FR

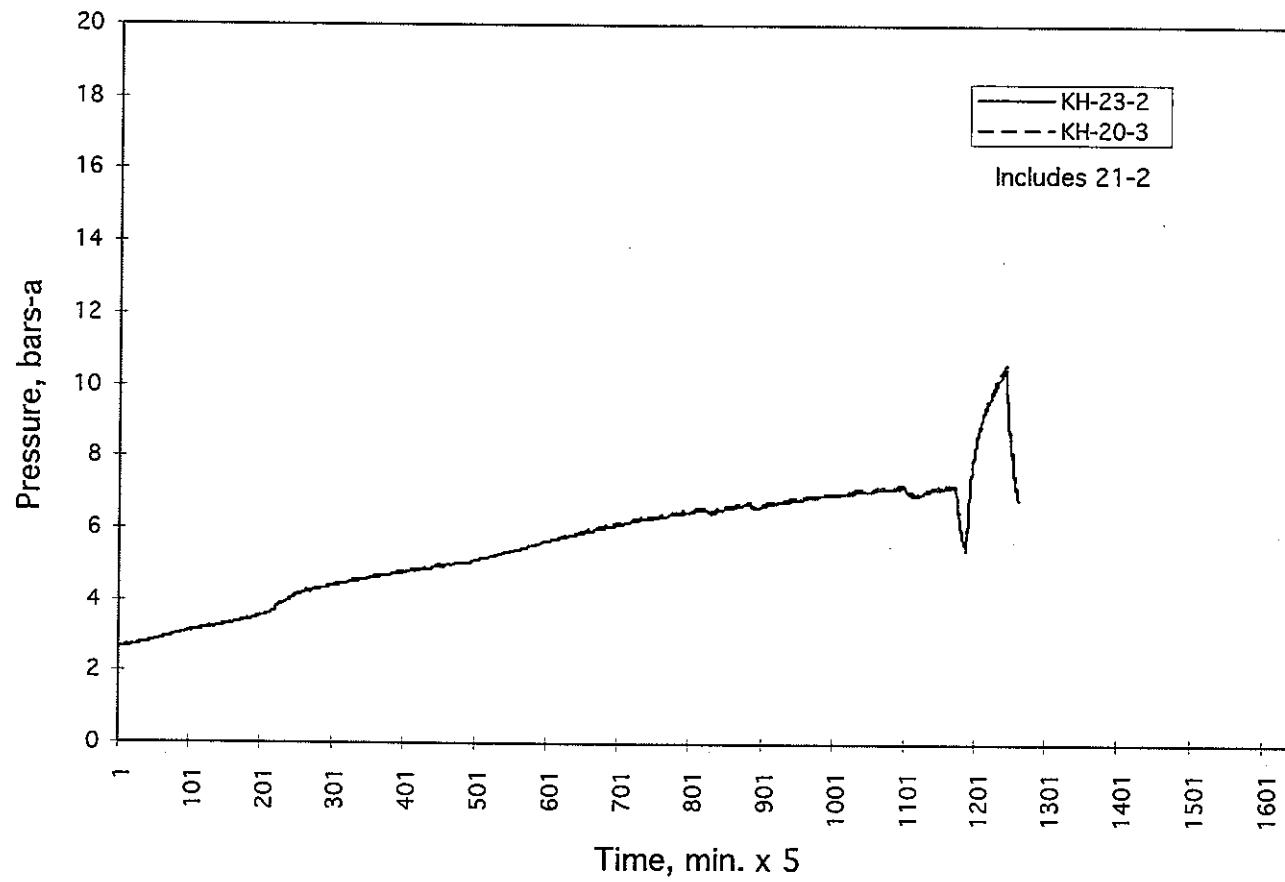


FIGURE 14
ZONE E PRESSURE
DURING KH 21 DRILLING
TAISEI/KAMAISHI/FR

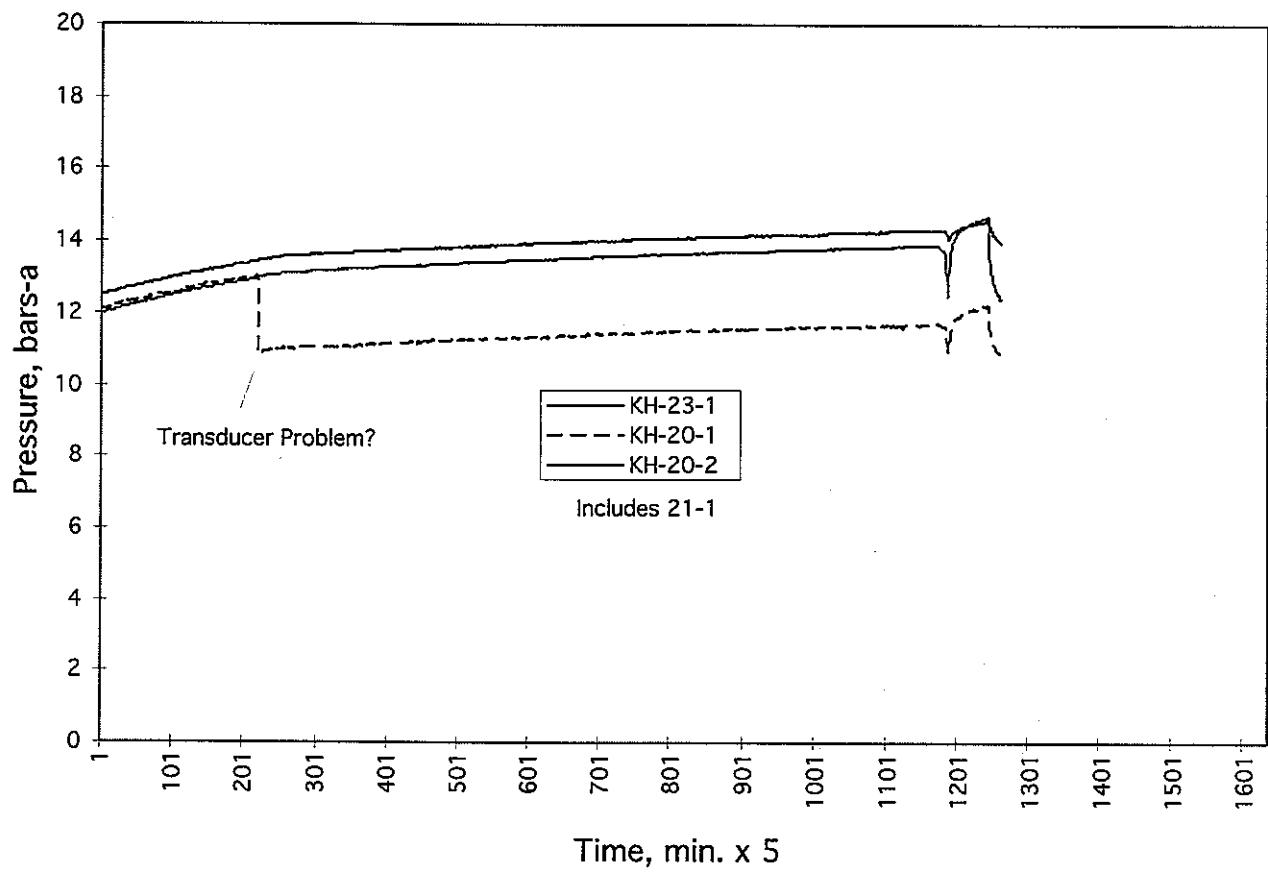


FIGURE 15
ZONE F PRESSURE
DURING KH 21 DRILLING
TAISEI/KAMAISHI/FR

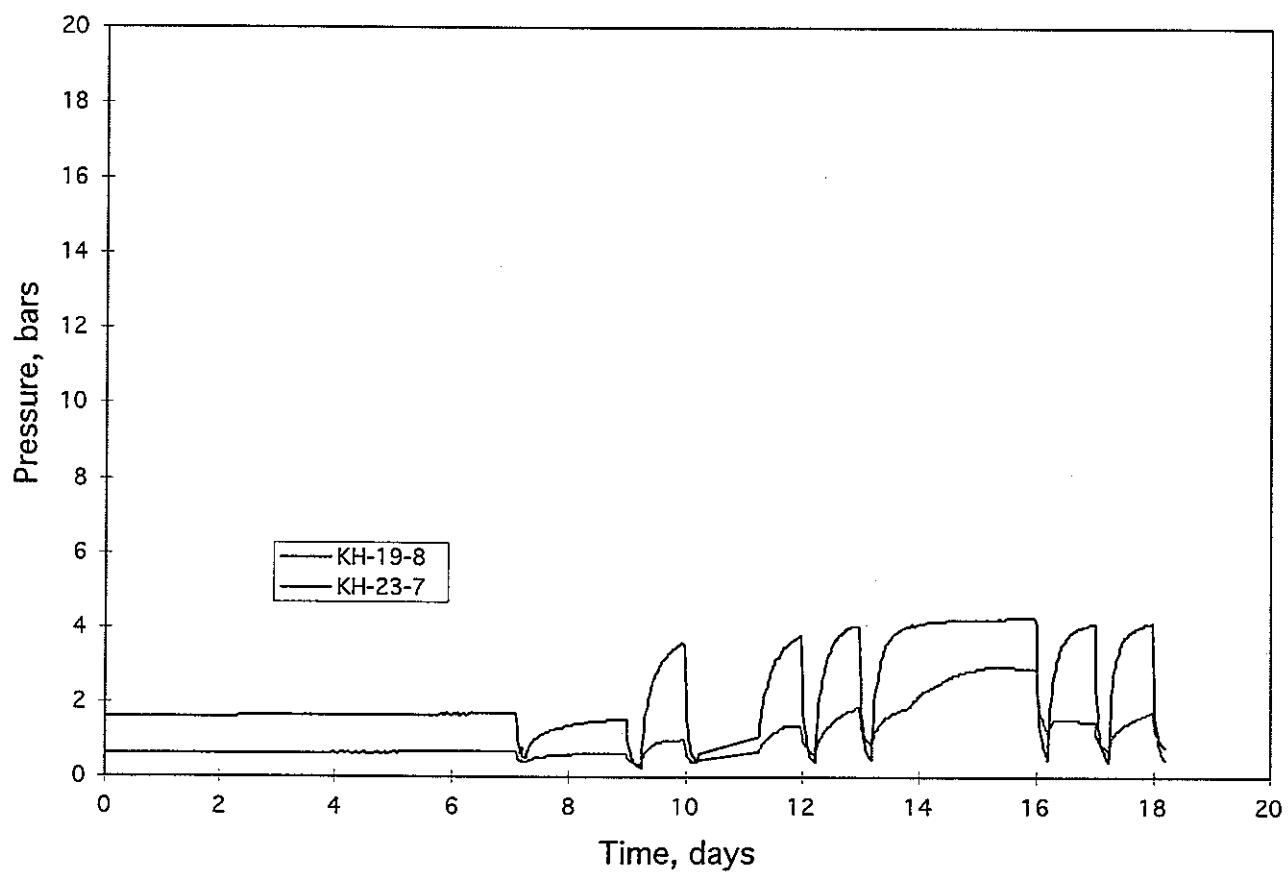


FIGURE 16
ZONE A PRESSURE
DURING KH 25 DRILLING
TAISEI/KAMAISHI/FR

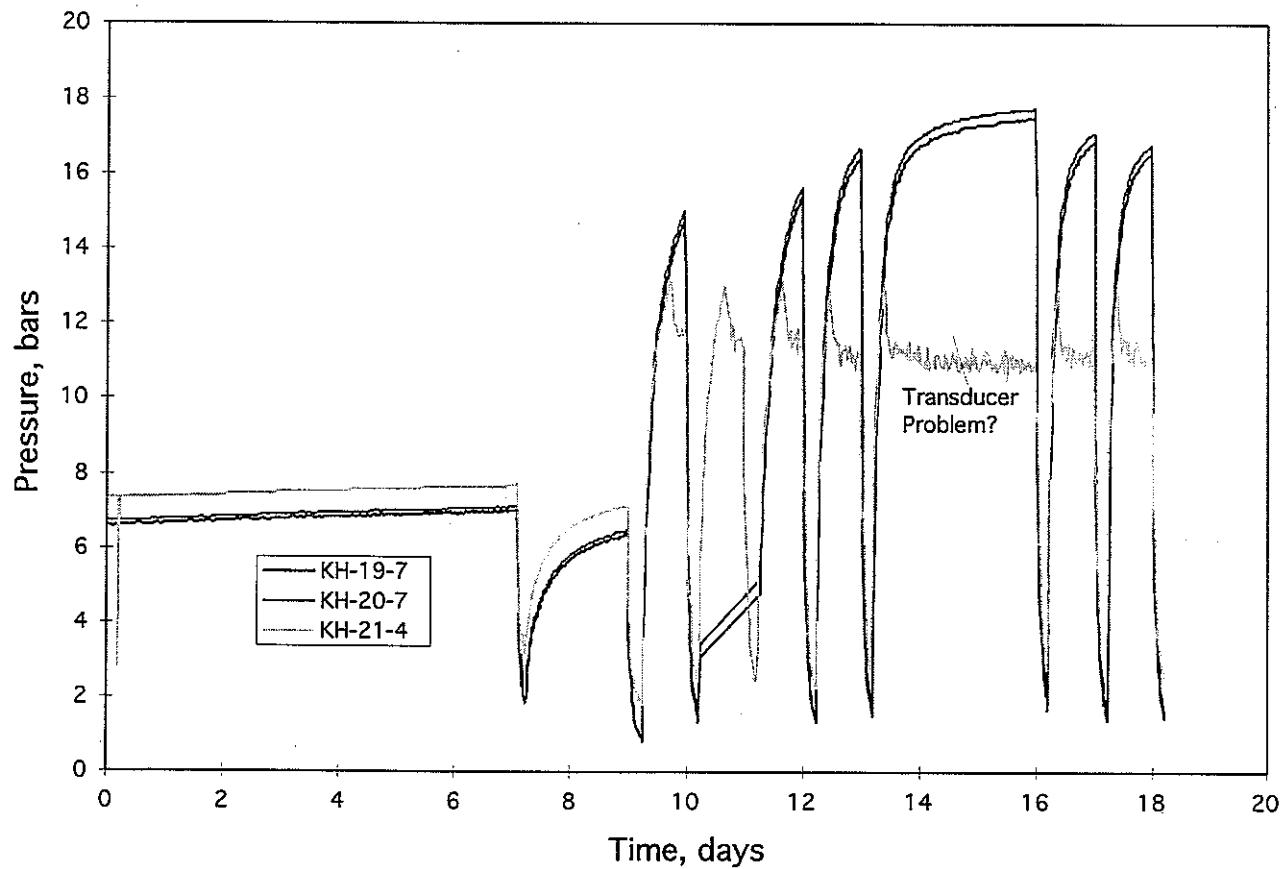


FIGURE 17
ZONE B PRESSURE
DURING KH 25 DRILLING
 TAISEI/KAMAISHI/FR

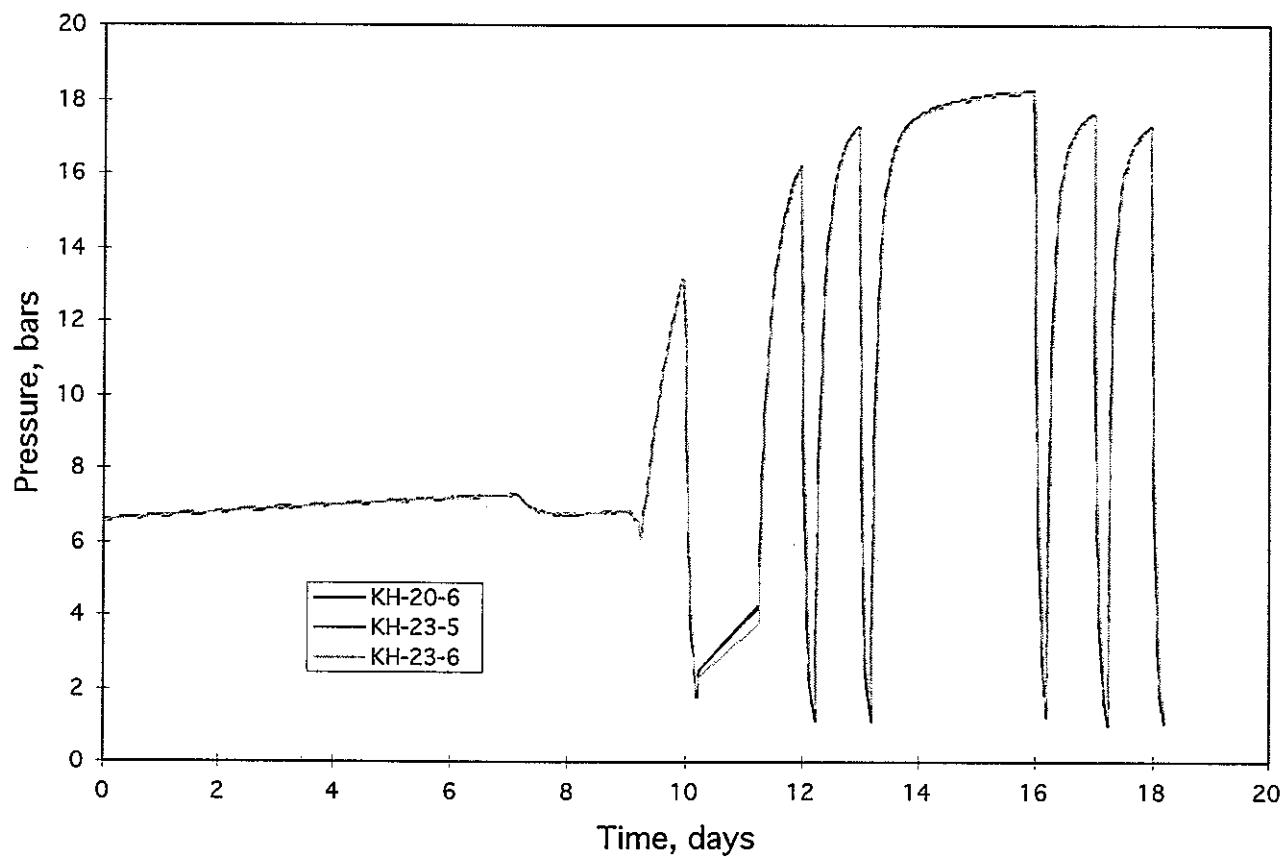


FIGURE 18
ZONE C PRESSURE
DURING KH 25 DRILLING
TAISEI/KAMAISHI/FR

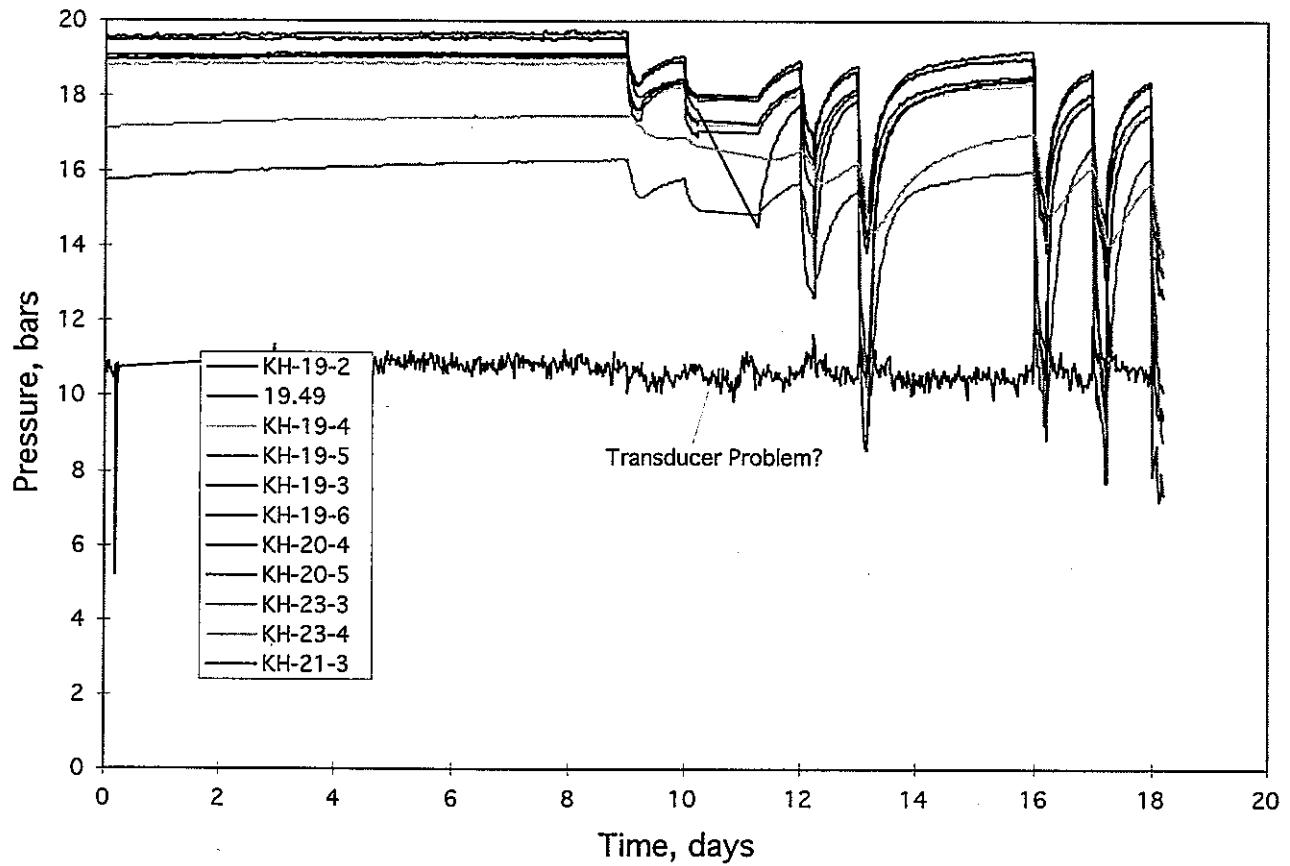


FIGURE 19
ZONE D PRESSURE
DURING KH 25 DRILLING
 TAISEI/KAMAISHI/FR

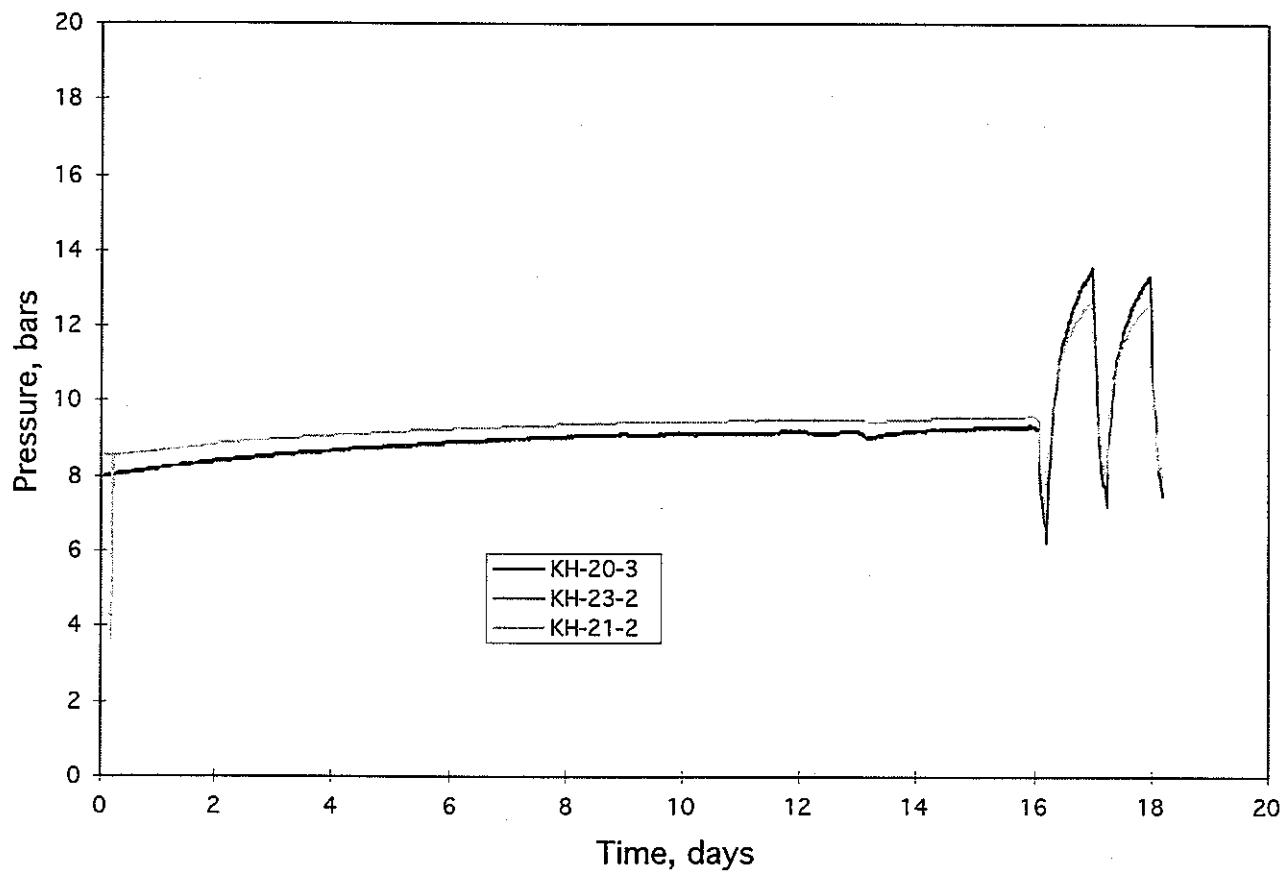


FIGURE 20
ZONE E PRESSURE
DURING KH 25 DRILLING
TAISEI/KAMAISHI/FR

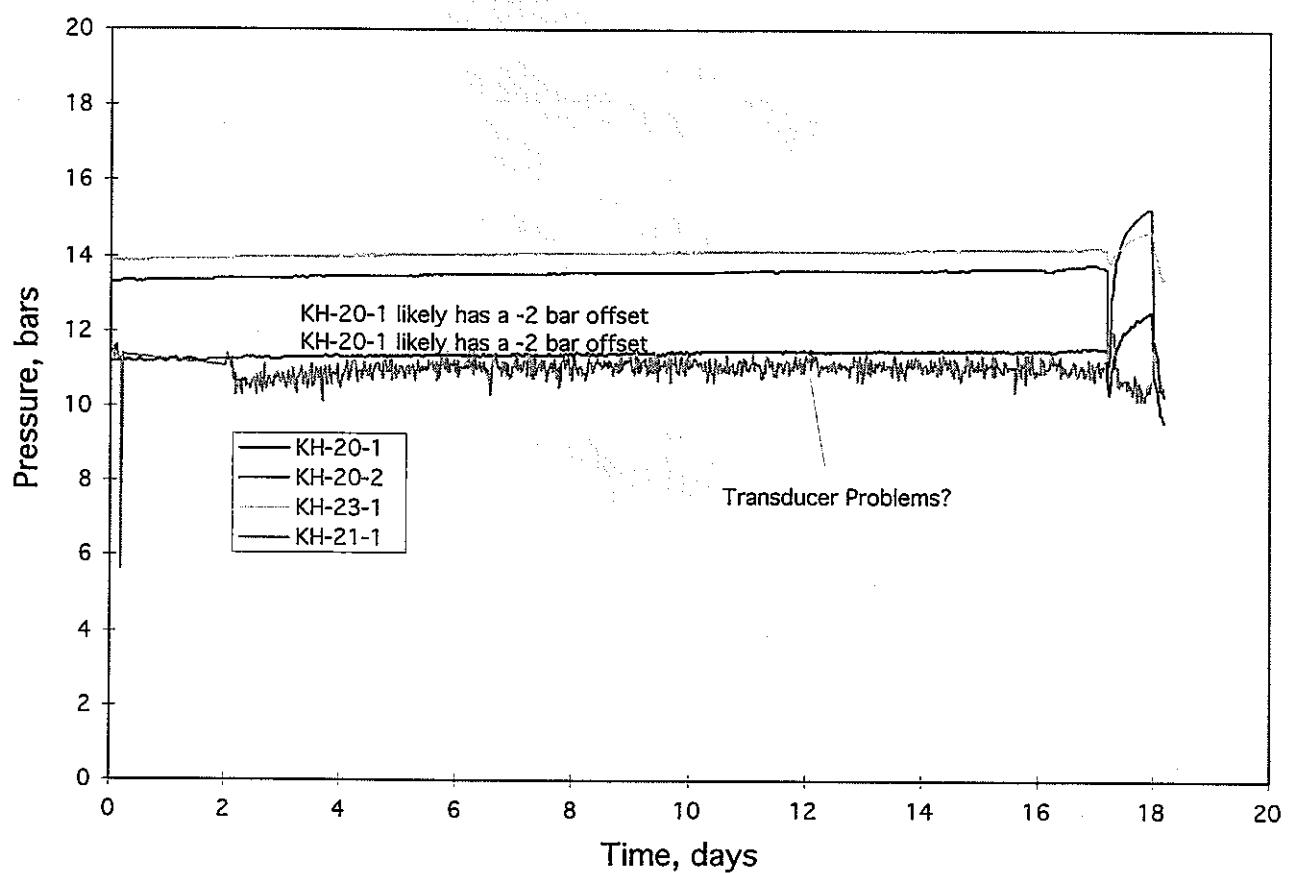


FIGURE 21
ZONE F PRESSURE
DURING KH 25 DRILLING
TAISEI/KAMAISHI/FR

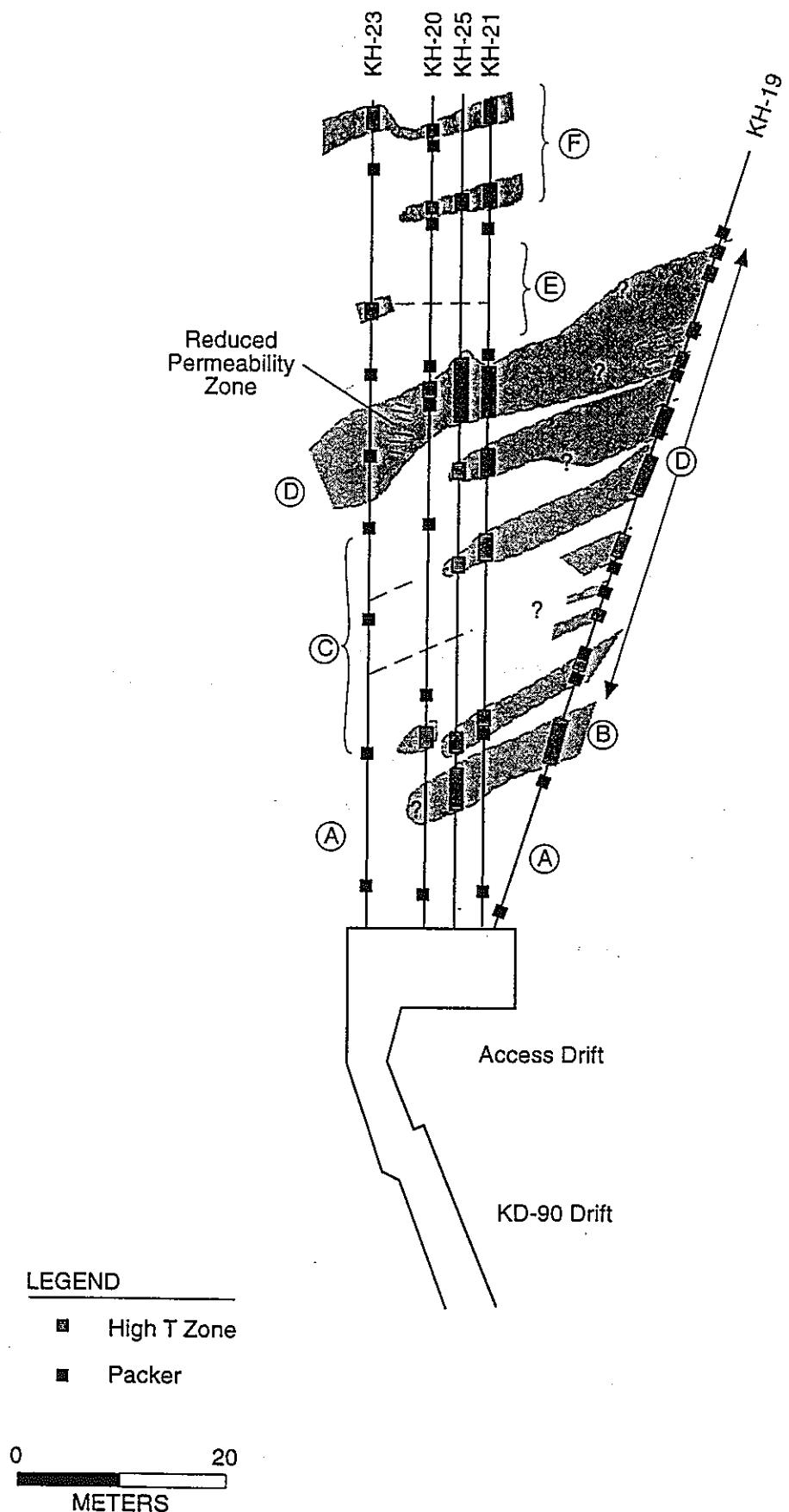


FIGURE 22
POSSIBLE FRACTURE ZONES