PNC ZJ1205 97-001

限定資料

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

(動力炉・核燃料開発事業団　委託研究成果報告書)

１９９７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。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 97-001
１９９７年　３月

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

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、非収着性トレーサー試験を行い、水理・物質移行パラメータを取得することである。

平成６年度は、この非収着性トレーサー試験を実施するための準備の初年度の作業として、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、およびボーリング孔の水理地質調査を行うことにより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、平成６年度に引き続き３本のボーリング孔（各80m）を掘削し、ボーリング孔掘削時の既存孔における圧力応答観測およびボーリング孔の水理地質調査、簡易的な水理試験を実施し、平成６年度に取得されたデータとともに総合的に解析して試験対象領域の水理地質構造モデルを検討した。

平成８年度は、新たに２本のボーリング孔、KH-24孔およびKH-22孔（各80m）を掘削しトレーサー試験に必要なボーリング孔配置を完成させるとともに、トレーサー試験用にマルチパッカーシステムのパッカー配置と配管を更新した。また、トレーサー試験対象割れ目の水理物質移行特性を概略的に把握するために孔間透水試験ならびに予備的トレーサー試験を組み合わせて実施し、平成９年度に実施する非収着性トレーサー試験に用いる透水性割れ目を抽出した。

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：G80D0130
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 97-001

March 1997

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

Michito Shimo*, Hajime Yamamoto*, Yukihiro 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 tests at Kamaishi mine. The field investigation consists of several works, i.e. pressure response monitoring during drilling, borehole TV survey, core observation. These results will contribute to obtain distribution and connectivity of the conductive fractures. Hydraulic test and non-absorbing tracer tests will be also carried out to obtain fluid and mass transport parameters.

In H6 and H7, as a first step of this project, a preliminary hydrogeological characterization was carried out using boreholes, KH-19, KH-20, KH-21, KH-23 and KH-25. Pressure responses during borehole excavation were monitored at an existing borehole with a multipacker system. Borehole TV survey, 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 were then constructed.

In H8, 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 survey, 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 until H7 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 Kogyou, ***: Golder Associates Inc.

目　次

1　はじめに……1

2　研究の背景と目的……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８年度調査試験計画
4.1　実施場所……12
4.2　実施項目……12
4.3　調査試験工程……14

5　ボーリング削孔
5.1　調査概要……16
5.2　調査の実施方法
5.2.1　削孔作業と深度の計測……16
5.2.2　孔曲り測定……18
5.3　調査の結果
5.3.1　削孔状況と深度の測定結果……19
5.3.2　孔曲がり測定結果……19

6　ＢＴＶ・割れ目調査
6.1　調査概要
6.1.1　BTV観察……24
6.1.2　コア鑑定……24
6.2　BTV調査とコア検芯の結果
6.2.1　KH-22の調査結果……26
6.2.2　KH-24の調査結果……28
6.3　割れ目の特性
6.3.1　割れ目の走向傾斜……28
6.3.2　割れ目の変質……32
6.3.3　割れ目の充填鉱物……32

7　試錐孔時の水理応答調査
7.1　調査概要 ……36
7.2　測定方法
7.2.1　口元湧水測定……36
7.2.3　口元間隙水圧測定……36
7.2.3　各試錐孔の観測区間への水理応答……36
7.3　口元湧水量測定結果 ……41
7.4　口元間隙水圧測定結果 ……48
7.5　試錐孔削孔中の圧力応答測定結果
7.5.1　KH-22孔削孔中の既存試錐孔における圧力応答 ……53
7.5.2　KH-24孔削孔中の既存試錐孔における圧力応答 ……89
7.5.3　試錐孔削孔中の圧力応答応答まとめ……94

8　流量検層
8.1　概要 ……131
8.2　検層方法 ……131
8.3　検層結果
8.3.1　KH-22孔 ……140
8.3.2　KH-24孔 ……144
8.3.3　KH-20孔 ……149
8.4　流量検層結果を用いた透水量係数の算定 ……152

9　圧力干渉試験および予備的トレーサー試験
9.1　概要 ……154
9.2　圧力干渉試験
9.2.1　試験方法……154
9.2.2　試験結果……155
9.3　予備的トレーサー試験
9.3.1　試験方法……174
9.3.2　試験結果……177
9.4　まとめ ……187

10　KH-22孔およびKH-24孔へのパッカー設置
10.1　概要 ……188
10.2　装置の概要 ……188
10.3　パッカー設置状況 ……188
10.4　パッカー設置後の圧力ビルドアップ ……192

11　トレーサー試験用マルチパッカーシステムへの更新
11.1　概要 ……200
11.2　装置の概要 ……200
11.3　パッカー設置状況 ……209
11.4　パッカー更新作業工程 ……220
11.5　パッカー設置状況 ……221
11.6　パッカー設置後の圧力ビルドアップと分布 ……222

12　圧力干渉試験の解析 ……228
12.1　試験の解析 ……228
12.2　試験エリアの水圧拡散率 ……254
12.3　考察 ……260

13　来年度試験計画のための予備的解析 ……262
13.1　圧力干渉試験 ……262
13.2　トレーサー試験 ……272

14　水理地質構造モデルの検討 ……283
14.1　試験エリアの水理地質構造 ……283
14.2　試験対象割れ目 ……291

15　次年度の調査試験計画 ……295

16　おわりに ……296

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レイアウト ……8

5章
図-5.3.1 KH-22孔の削孔月日と削孔深度との関係 ……20
図-5.3.2 KH-24孔の削孔月日と削孔深度との関係 ……21

6章
図-6.1.1 BIPシステム 作業流れ図 ……25
図-6.2.1 KH-22孔総合柱状図 ……27
図-6.2.2 KH-24孔総合柱状図 ……29
図-6.3.1 KH-22孔の割れ目のステレオ投影図 ……30
図-6.3.2 KH-24孔の割れ目のステレオ投影図 ……31
図-6.3.3 KH-22孔における各充填鉱物を含む割れ目の出現頻度 ……33
図-6.3.4 KH-24孔における各充填鉱物を含む割れ目の出現頻度 ……34

7章
図-7.2.1 圧力応答試験の概念図 ……38
図-7.2.2 掘削深度測定システムとデータファイルの形式 ……39
図-7.2.3 各試錐孔におけるパッカー設置位置図 ……42
図-7.3.1 KH-22孔-削孔深度と湧水量の関係 ……45
図-7.3.2 KH-24孔-削孔深度と湧水量の関係 ……47
図-7.4.1 KH-22孔-削孔深度と間隙水圧の関係 ……50
図-7.4.2 KH-24孔-削孔深度と間隙水圧の関係 ……52
図-7.5.1 KH-22孔削孔中のKH-19孔各区間での間隙水圧経時変化 ……60
図-7.5.2 KH-22孔削孔中のKH-20孔各区間での間隙水圧経時変化 ……61
図-7.5.3 KH-22孔削孔中のKH-21孔各区間での間隙水圧経時変化 ……62
図-7.5.4 KH-22孔削孔中のKH-23孔各区間での間隙水圧経時変化 ……63
図-7.5.5 KH-22孔削孔中のKH-25孔各区間での間隙水圧経時変化 ……64
図-7.5.6 KH-22孔の7.05～7.82m削孔中に発生した間隙水圧の変化 (1) ‥65
図-7.5.7 KH-22孔の7.05～7.82m削孔中に発生した間隙水圧の変化 (2) ‥66
図-7.5.8 KH-22孔の20.36m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化 ……67

図-7.5.9　KH-22孔の21.16m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（1）・・・68
図-7.5.10　KH-22孔の21.16m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（2）・・69
図-7.5.11　KH-22孔の21.16m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（3）・・70
図-7.5.12　KH-22孔の21.16m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（4）・・71
図-7.5.13　KH-22孔の21.16m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（5）・・72
図-7.5.14　KH-22孔の21.16m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（6）・・73
図-7.5.15　KH-22孔の21.16m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（7）・・74
図-7.5.16　KH-22孔の21.16m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（8）・・75
図-7.5.17　KH-22孔の26.48m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（1）・・76
図-7.5.18　KH-22孔の26.48m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（2）・・77
図-7.5.19　KH-22孔の26.48m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（3）・・78
図-7.5.20　KH-22孔の26.48m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（4）・・79
図-7.5.21　KH-22孔の26.48m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（5）・・80
図-7.5.22　KH-22孔の26.48m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（6）・・81
図-7.5.23　KH-22孔の39.56m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（1）・・82
図-7.5.24　KH-22孔の39.56m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（2）・・83
図-7.5.25　KH-22孔の39.56m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（3）・・84
図-7.5.26　KH-22孔の47.56m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（1）・・85
図-7.5.27　KH-22孔の47.56m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（2）・・86
図-7.5.28　KH-22孔の51.87m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化・・・・・・・87
図-7.5.29　KH-22孔の61.56m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化・・・・・・・88
図-7.5.30　KH-24孔削孔中のKH-19孔各区間での間隙水圧経時変化・・・・・・・・95
図-7.5.31　KH-24孔削孔中のKH-20孔各区間での間隙水圧経時変化・・・・・・・・96
図-7.5.32　KH-24孔削孔中のKH-21孔各区間での間隙水圧経時変化・・・・・・・・97
図-7.5.33　KH-24孔削孔中のKH-22孔各区間での間隙水圧経時変化・・・・・・・・98
図-7.5.34　KH-24孔削孔中のKH-23孔各区間での間隙水圧経時変化・・・・・・・・99
図-7.5.35　KH-24孔削孔中のKH-25孔各区間での間隙水圧経時変化・・・・・・・100
図-7.5.36　KH-24孔の12.14m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化・・・・・・101
図-7.5.37　KH-24孔の13.77m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（1）・102
図-7.5.38　KH-24孔の13.77m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（2）・103
図-7.5.39　KH-24孔の13.77m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（3）・104
図-7.5.40　KH-24孔の13.77m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（4）・105
図-7.5.41　KH-24孔の13.77m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（5）・106
図-7.5.42　KH-24孔の13.77m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（6）・107
図-7.5.43　KH-24孔の14.44m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（1）・108
図-7.5.44　KH-24孔の14.44m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（2）・109
図-7.5.45　KH-24孔の14.44m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（3）・110
図-7.5.46　KH-24孔の14.44m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（4）・111

図-7.5.47　KH-24孔の14.44m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（5）・112
図-7.5.48　KH-24孔の14.44m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（6）・113
図-7.5.49　KH-24孔の14.44m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（7）・114
図-7.5.50　KH-24孔の14.44m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（8）・115
図-7.5.51　KH-24孔の29.8m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化・・・・・・・116
図-7.5.52　KH-24孔の41.4m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（1）・・117
図-7.5.53　KH-24孔の41.4m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（2）・・118
図-7.5.54　KH-24孔の41.72m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（1）・119
図-7.5.55　KH-24孔の41.72m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（2）・120
図-7.5.56　KH-24孔の55.05m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化・・・・・・121
図-7.5.57　KH-24孔の59.3m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（1）・・122
図-7.5.58　KH-24孔の59.3m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（2）・・123
図-7.5.59　KH-24孔の59.3m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化（3）・・124
図-7.5.60　KH-24孔の69.93m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化・・・・・・125
図-7.5.61　KH-22孔削孔時の圧力応答図・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・126
図-7.5.62　KH-24孔削孔時の圧力応答図・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・127
推定された割れ目分布と水みち・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・129
地表リニアメントと湧水地点の関係・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・130

8章

図-8.2.1　ダブルパッカー方式の流量検層装置・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・134
図-8.2.2　フロート式流量計・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・135
図-8.2.3　流量計の校正曲線・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・136
図-8.2.4　メスシリンダーと流量計測定値の比較
（KH-22孔の流量検層結果）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・137
図-8.2.5　メスシリンダーと流量計測定値の比較
（KH-24孔の流量検層結果）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・138
図-8.2.6　メスシリンダーと流量計測定値の比較
（KH-20孔の流量検層結果）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・139
図-8.3.5　流量検層結果（KH-22孔）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・143
図-8.3.6　流量検層結果（KH-24孔）
（破線部は、計測を実施しなかった区間）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・148
図-8.3.7　KH-20孔流量検層結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・151
図-8.4.1　流量検層結果より算出した透水係数・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・153

9章

図-9.2.1　圧力干渉試験の概要 ……154
図-9.2.2　圧力干渉試験結果
（KH-20孔からの注水時におけるKH-24,25孔の応答） ……156
図-9.2.3　圧力干渉試験結果
（KH-21孔からの注水時におけるKH-20孔の応答） ……159,160
図-9.2.4　圧力干渉試験結果
（KH-21孔からの注水時におけるKH-24孔の応答） ……161,162
図-9.2.5　圧力干渉試験結果
（KH-21孔からの注水時におけるKH-25孔の応答） ……163,164
図-9.2.6　圧力干渉試験結果
（KH-21孔からの注水時におけるKH-20,24,25孔の応答） ……165
図-9.2.7　KH-20-4区間からの注水に対するKH-23孔での水圧応答 ……167,168
図-9.2.8　圧力干渉試験結果
（KH-23孔からの注水時におけるKH-20孔の応答） ……170
図-9.2.9　圧力干渉試験結果
（KH-23孔からの注水時におけるKH-24孔の応答） ……171
図-9.2.10　圧力干渉試験結果
（KH-23孔からの注水時におけるKH-25孔の応答） ……172
図-9.2.13　圧力干渉試験結果
（KH-23孔からの注水時におけるKH-24,25孔の応答） ……173
図-9.3.1　予備的トレーサー試験装置 ……175
図-9.3.2　予備トレーサー試験結果（ＫＨ24孔区間１） ……179
図-9.3.3　予備トレーサー試験結果（ＫＨ24孔区間２） ……179
図-9.3.4　予備トレーサー試験結果（ＫＨ24孔区間３） ……180
図-9.3.5　予備トレーサー試験結果（KH-24孔69～70m） ……181
図-9.3.6　予備トレーサー試験結果（KH-20孔58～59m） ……182
図-9.3.7　予備トレーサー試験結果（KH-20孔69～70m） ……183
図-9.3.8　予備トレーサー試験結果（KH-20孔78～79m） ……184
図-9.3.9　予備トレーサー試験結果（KH-25孔69～70m） ……185
図-9.3.10　予備トレーサー試験結果（KH-24孔区間１～区間４） ……186
図-9.3.11　予備トレーサー試験結果（ダブルパッカー法） ……186
図-9.3.12　予備トレーサー試験の総合結果 ……187

１０章

図-10.3.1　パッカー設置位置の検討 …… 189
図-10.4.1　KH-22孔テンポラリーパッカー設置直後の各区間圧（KH-22孔） 193
図-10.4.2　KH-22孔テンポラリーパッカー設置直後の各区間圧（KH-19孔） 193

図-10.4.3 KH-22孔テンポラリーパッカー設置直後の各区間圧（KH-20孔）194
図-10.4.4 KH-22孔テンポラリーパッカー設置直後の各区間圧（KH-21孔）194
図-10.4.5 KH-22孔テンポラリーパッカー設置直後の各区間圧（KH-23孔）195
図-10.4.6 KH-22孔テンポラリーパッカー設置直後の各区間圧（KH-25孔）195
図-10.4.7 KH-24孔テンポラリーパッカー設置直後の各区間圧（KH-24孔）196
図-10.4.8 KH-24孔テンポラリーパッカー設置直後の各区間圧（KH-19孔）196
図-10.4.9 KH-24孔テンポラリーパッカー設置直後の各区間圧（KH-20孔）197
図-10.4.10 KH-24孔テンポラリーパッカー設置直後の各区間圧（KH-21孔）197
図-10.4.11 KH-24孔テンポラリーパッカー設置直後の各区間圧（KH-22孔）198
図-10.4.12 KH-24孔テンポラリーパッカー設置直後の各区間圧（KH-23孔）198
図-10.4.13 KH-24孔テンポラリーパッカー設置直後の各区間圧（KH-25孔）199

１１章

図-11.2.1 パーマネントパッカーの構造……………………………202
図-11.2.2 ロッドの構造……………………………………………204
図-11.2.3 インスツルメントカップリングの構造…………………206
図-11.2.4 インスツルメントカップリングの構造（拡大）…………207
図-11.3.1 孔内装置の基本構造……………………………………209
図-11.3.2 パッカー及びインスツルメントカップリングの配置………210
図-11.3.3 試験対象割れ目とパッカー位置…………………………211
図-11.5.1 パッカー再設置後のパネル配置…………………………224
図-11.6.1 再設置後の圧力ビルドアップ（１）………………………225
図-11.6.2 再設置後の圧力ビルドアップ（２）………………………226
図-11.6.3 ＴＡＳＫ３-２エリア内の水圧分布（再設置後の安定水圧）…227

１２章

Figure 12-1 Generalized well test curve ……………………………229
Figure 12-2 Interpret II plot of response of KH20-7 to KH19-7 withdrawal (B-zone) ……………………………233
Figure 12-3 FlowDim plot of drawdown of KH19-7 (B-zone source) ……………234
Figure 12-4 FlowDim plot of response of KH20-7 to KH19-7 withdrawal (B-zone) ……………………………235
Figure 12-5 Interpret II plot of responce of KH22-4 to KH20-6 withdrawal (C-zone) ……………………………243
Figure 12-6 Interpret II plot of responce of KH21-6 to KH19-6 withdrawal (D-zone) ……………………………245
Figure 12-7 Interpret II plot of responce of KH20-4 to KH19-6 withdrawal

(D-zone) ····246
Figure 12-8 FlowDim plot of drawdown of KH19-6 (D-zone source) ····247
Figure 12-9 FlowDim plot of responce of KH25-6 to KH19-6 withdrawal
(D-zone) ····248
Figure 12-10 FlowDim plot of responce of KH20-4 to KH19-6 withdrawal
(D-zone) ····249
Figure 12-11 FlowDim plot of drawdown of KH20-4 (D-zone source) ····251
Figure 12-12 FlowDim plot of responce of KH21-3 to KH20-4 withdrawal
(D-zone) ····252
Figure 12-13 FlowDim plot of responce of KH25-6 to KH20-4 withdrawal
(D-zone) ····253
Figure 12-14 Interpret II plot of responce of KH23-2 to KH20-3 withdrawal
(E-zone)····255
Figure 12-15 Interpret II plot of responce of KH24-3 to KH20-3 recovery
(E-zone)····256
Figure 12-16 Interpret II plot of responce of KH25-1 to KH20-1 withdrawal
(F-zone)····257
Figure 12-17 FlowDim plot of transient flow from KH20-1 (F-zone source)····258
Figure 12-18 FlowDim plot of responce of KH24-1
to constant pressure withdrawal of KH20-1 (F-zone)····260
Figure 12-19 Diffusivity map of task 3-2 area based on interpret II analyses ····261

1 3章

Figure 13-1 Design of interference test between B and D
observation zone at 20m ····266
Figure 13-2 Design of interference test between B and D
log plot for observation zone at 20m ····267
Figure 13-3 Design of interference test between B and D source zone ····268
Figure 13-4 Design of interference test between C and D
observation zone at 5m ····269
Figure 13-5 Design of interference test between C and D
log plot for observation zone at 5m ····271
Figure 13-6 Design of interference test between E and F
observation zone at 15m ····273
Figure 13-7 Design of interference test between E and F
log plot for observation zone at 15m ····274
Figure 13-8 Design of interference test between E and F source zone····275

１４章

図-14.1.1　KH-22孔削孔時の水圧応答と水圧ゾーン ……286
図-14.1.2　KH-24孔削孔時の水圧応答と水圧ゾーン ……287
図-14.1.3　流量検層から求められた透水係数の分布 ……288
図-14.1.4　試験エリア内の開口亀裂（充填鉱物幅5mm以上）の分布 ……289
図-14.1.5　水圧拡散係数の分布 ……290

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8年度の調査試験工程 ……15

5章
表-5.1.1 各試錘の計画方向と掘削深度 ……16
表-5.2.1 使用した試錘機・ポンプの仕様 ……16
表-5.2.2 エンコーダの仕様 ……17
表-5.2.3 メジャーカウンターの仕様 ……17
表-5.2.4 抗井記録傾斜儀の仕様 ……18
表-5.2.5 孔曲り測定機の各部品の機構 ……18
表-5.3.3 KH-22孔の孔曲り測定結果 ……22
表-5.3.4 KH-24孔の孔曲り測定結果 ……23

6章
表-6.1.1 BIPシステムの仕様 ……24
表-6.1.2 割れ目の鑑定項目と内容 ……26

7章
表-7.2.1 エンコーダの仕様 ……37
表-7.2.2 メジャーカウンターの仕様 ……40
表-7.2.3 圧力トランスデューサーの仕様（1） ……40
表-7.2.4 圧力トランスデューサーの仕様（2） ……41
表-7.2.5 各試錐孔におけるパッカー設置位置 ……43
表-7.3.1 KH-22孔掘削深度と湧水量の関係 ……44
表-7.3.2 KH-24孔掘削深度と湧水量の関係 ……46
表-7.4.1 KH-22孔掘削深度と間隙水圧の関係 ……49
表-7.4.2 KH-24孔掘削深度と間隙水圧の関係 ……51
表-7.5.1 KH-22孔掘削中間隙水圧変化 ……54
表-7.5.2 KH-24孔掘削中間隙水圧変化 ……90

8章
表-8.3.1 流量検層結果（KH-22孔、測定区間長4.948m） ……141

表-8.3.2　流量検層結果（KH-22孔、測定区間長0.990m）……142
表-8.3.3　流量検層結果（KH-24孔、測定区間長=5.000m）……145
表-8.3.4　流量検層結果（KH-24孔、測定区間長=0.990m、１回目）……146
表-8.3.5　流量検層結果（KH-24孔、測定区間長=0.990m、２回目）……147
表-8.3.6　流量検層結果（KH-20孔、測定区間長=4.990m）……150
表-8.3.7　流量検層結果（KH-20孔、測定区間長=0.960m）……150

9章
表-9.2.1　予備的トレーサー試験ケース一覧……155
表-9.2.2　KH-20孔圧力干渉試験結果一覧……156
表-9.2.3　KH-21孔圧力干渉試験結果一覧……158
表-9.2.4　KH-23孔圧力干渉試験結果一覧……169
表-9.3.1　予備的トレーサー試験区間一覧……175
表-9.3.2　予備的トレーサー試験結果一覧……178

１０章
表-10.3.1　パッカー装置設置深度……188
表-10.3.2　パッカー装置構成（KH-22孔）……190
表-10.3.3　パッカー装置構成（KH-24孔）……191

１１章
表-11.3.1　パッカーおよびインスツルメントカップリングの設置深度……212
表-11.3.2　KH-19孔パッカー設置数量……213
表-11.3.3　KH-20孔パッカー設置数量……214
表-11.3.4　KH-21孔パッカー設置数量……215
表-11.3.5　KH-22孔パッカー設置数量……216
表-11.3.6　KH-23孔パッカー設置数量……217
表-11.3.7　KH-24孔パッカー設置数量……218
表-11.3.8　KH-25孔パッカー設置数量……219
表-11.4.1　パッカー更新 工程表……220

１２章
Table 12-1　Basic analysis data……230
Table 12-2　Interpret II analysis results……236
Table 12-3　FlowDim results……239

１３章
Table 13-1　Zones and specifications for interference test sources……263

１４章

表-14.2.1　予備トレーサー試験におけるトレーサー注入・侵出深度……294

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れれる。

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

特に、第２フェーズの具体的な目標として、下記の２つを設定する。

①孔間水理試験および非収着性トレーサー試験を通じて、単一亀裂の透水量係数、透水性亀裂の頻度、物質移行上の開口幅と水理的開口幅との関係を把握し、次期取りまとめで行う核種移行解析で使用するパラメータを取得する。

②ボアホールＴＶ、孔間透水試験を通じて、亀裂ネットワークの構造を推定する技術を開発し、得られた構造モデルについては、次期取りまとめで行う核種移行解析の基礎データとして使用する。

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、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。

平成８年度は、新たに２本のボーリング孔（KH-22孔、KH-24孔、各80m）を掘削しトレーサー試験に必要なボーリング孔配置を完成させるとともに、トレーサー試験用にマルチパッカーシステムのパッカー配置と配管を更新した。また、トレーサー試験対象割れ目の水理物質移行特性を概略的に把握するために孔間透水試験ならびに予備的トレーサー試験を組み合わせて実施し、平成９年度に実施する非収着性トレーサー試験の試験条件を決定するためのデータを取得した。

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、予備的トレーサー試験データから、平成７年度までの結果を見直し、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するとともに、平成９年度に実施するトレーサー試験の対象となる透水性割れ目を抽出した。

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錘孔掘削時の水理応答観測、ボアホールテレビ検層、コア観察等の調査により把握するとともに、水理試験、非収着性トレーサー試験を行い、水理・物質移行パラメータを取得することである。

このため、具体的には、以下の①～④を目的とした原位置調査試験を行う。

①透水性割れ目の分布および連結性と、その水理・物質移行パラメータ（透水量係数、物質移行上の開口幅）の取得

②透水性割れ目に作用する動水勾配の把握。

③透水性割れ目に挟まれた比較的透水性が低いブロックの分布・大きさの把握とその水理・物質移行パラメータの取得

④高透水ゾーンと低透水ゾーンを隔てる境界（水理境界）の把握

3. 調査試験全体計画

3.1 調査試験位置

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

図-3.1.1に原位置試験場の位置図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。

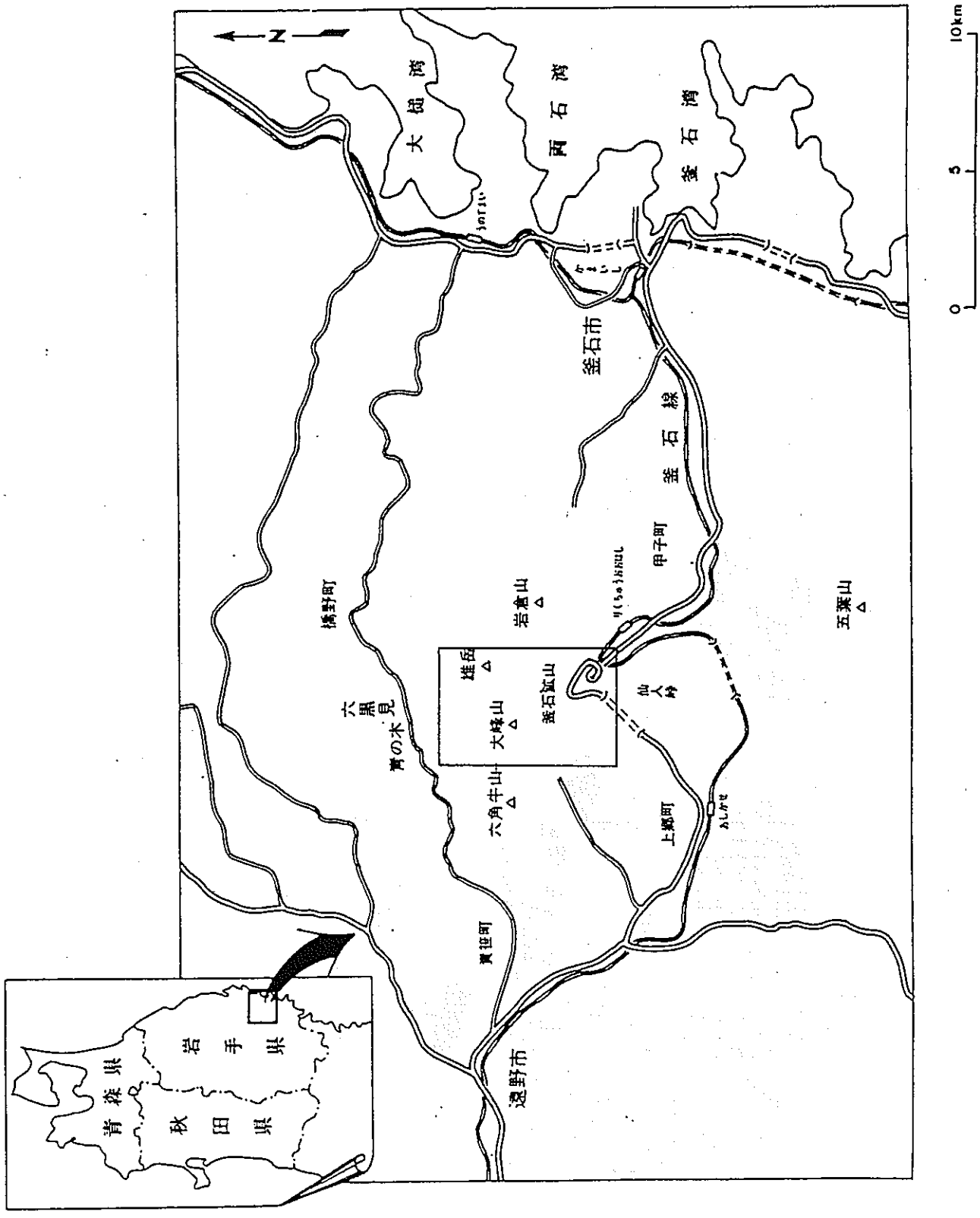


図-3.1.1　釜石鉱山位置図

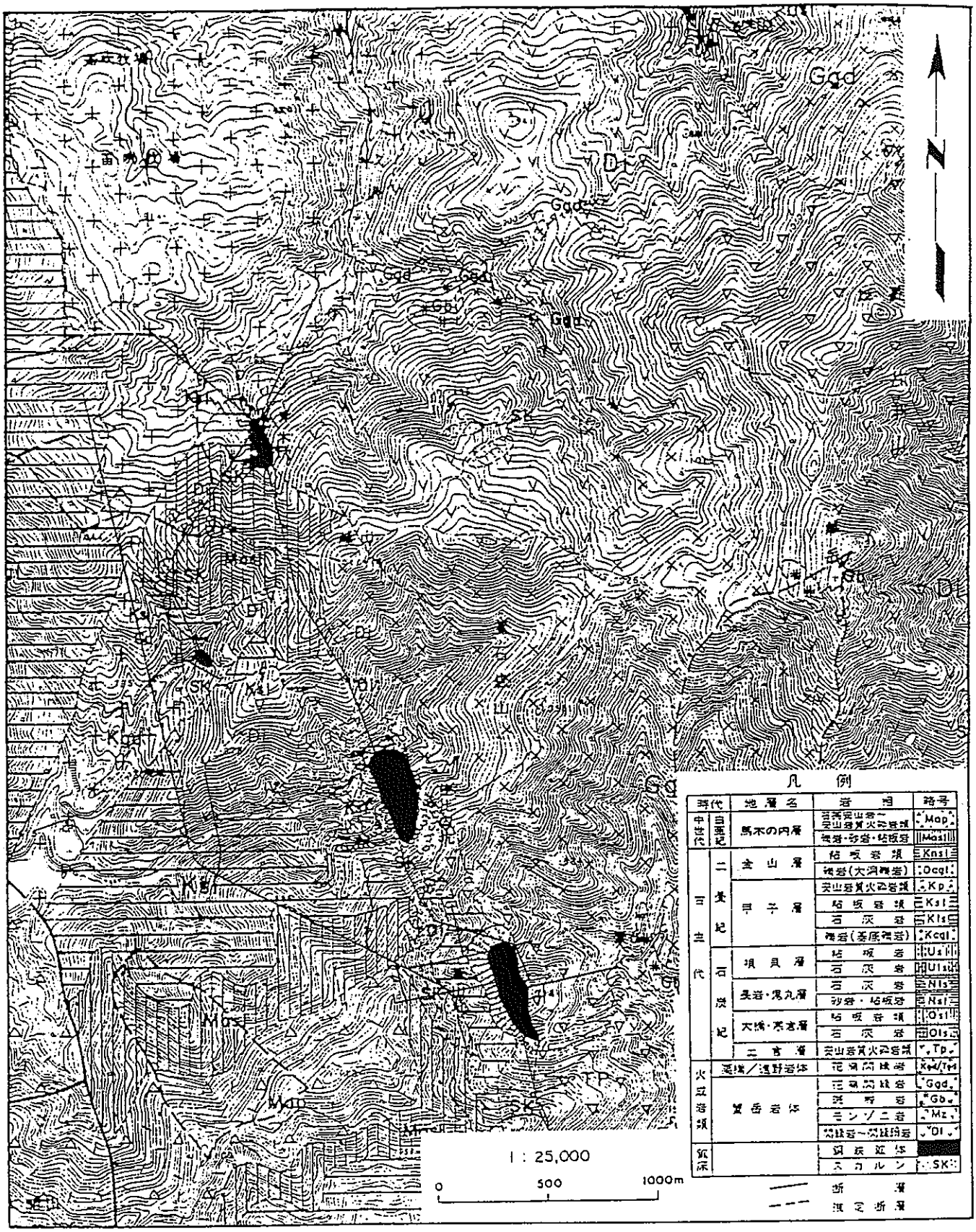


図-3.1.2　原位置試験場地形図

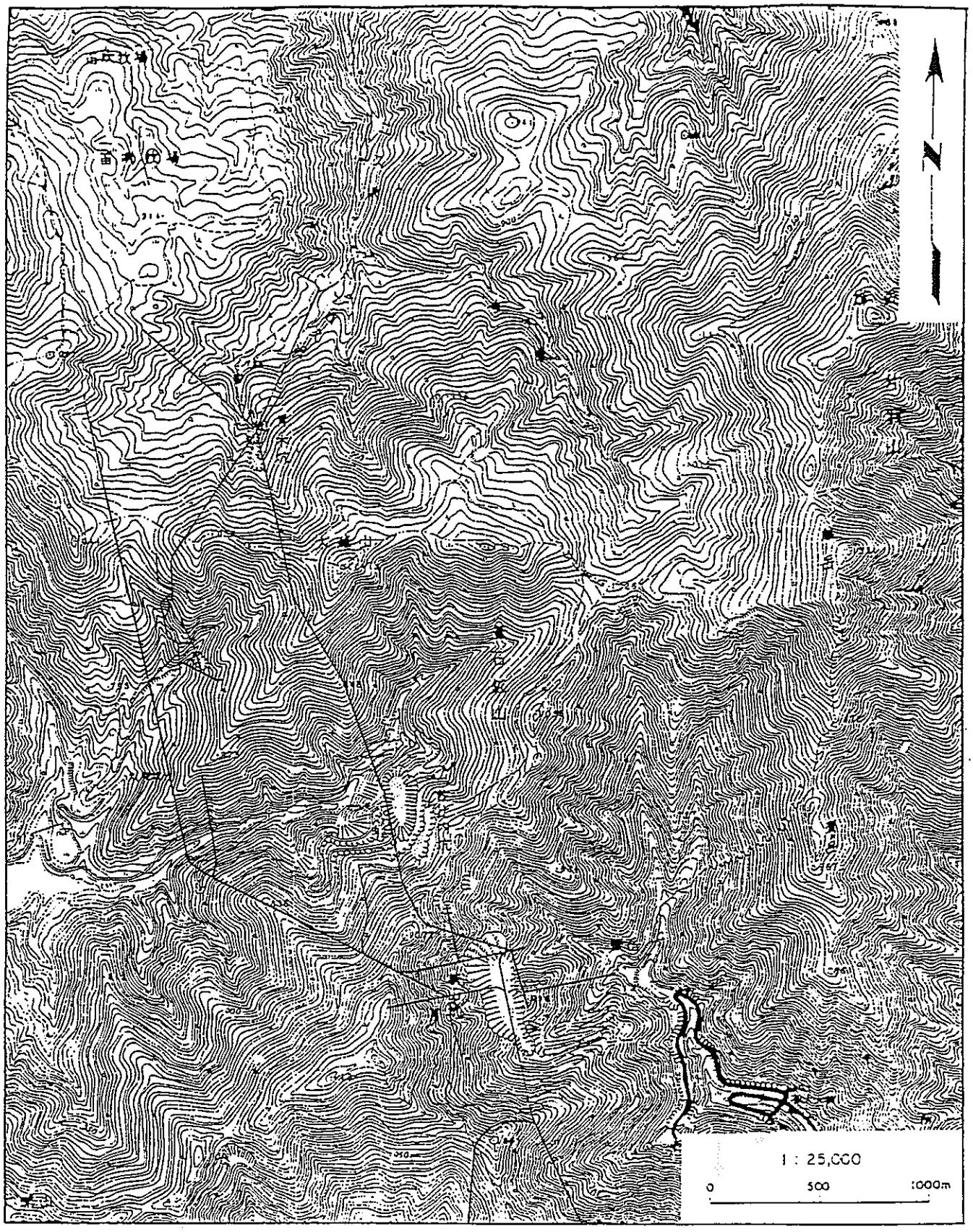


図-3.1.3　原位置試験場地質図

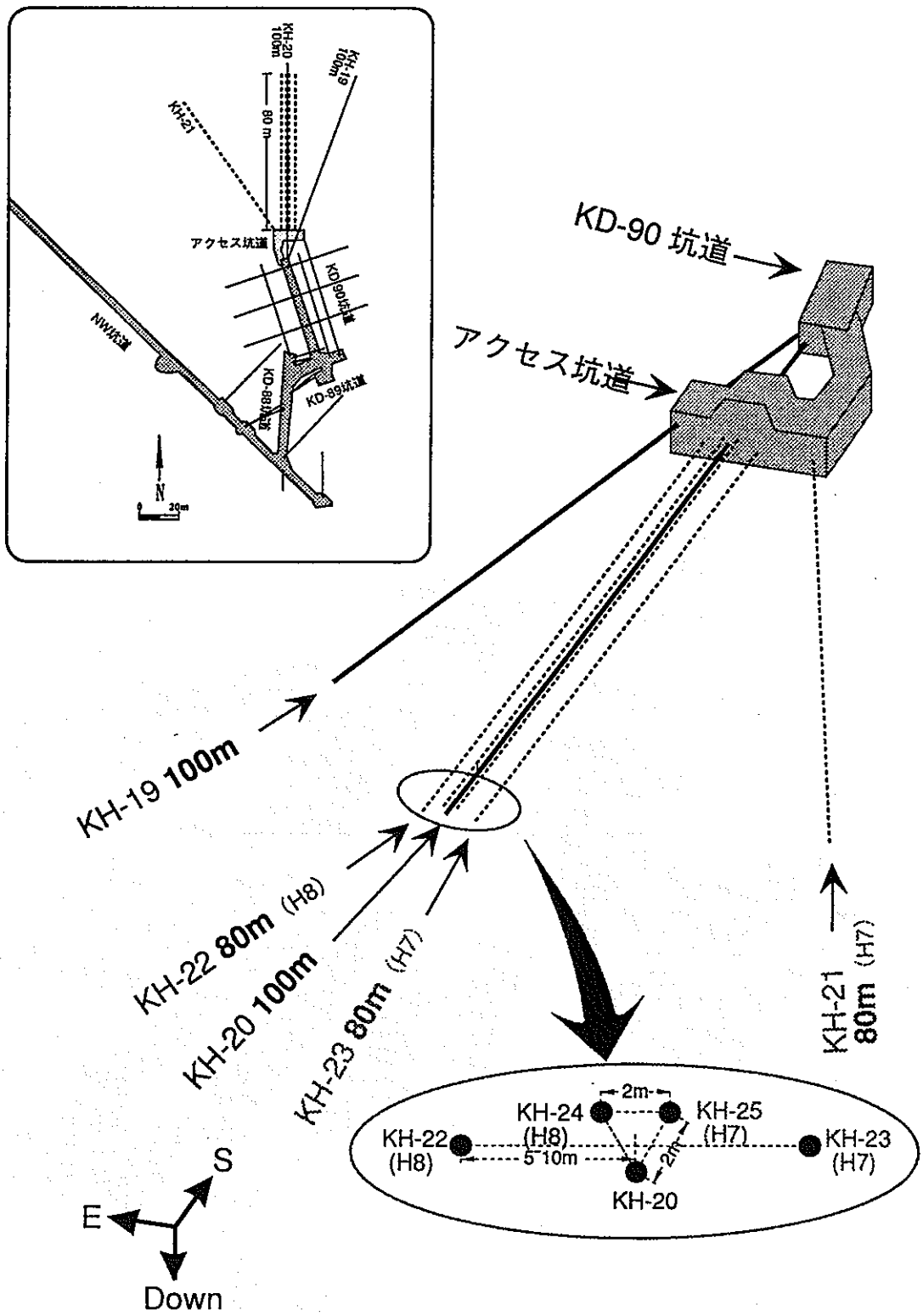


図-3.1.4　坑道およびボーリング孔レイアウト

3.2　調査試験項目

調査試験は、以下の項目からなる。

①試錐孔削孔および水理地質調査

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

アクセストンネル掘削

試錐孔掘削

孔内亀裂調査・検層

水圧モニタリング

単孔透水試験

②孔間透水試験

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

③非収着性トレーサー試験

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

④評価・解析・考察

①～③の結果を総合的に解析し、第２次取りまとめで行う核種移行解析で用いる亀裂の透水、物質移行パラメータの推定を行う。孔間透水試験については、fractional dimension analysisを行い、流れの次元と流路の形状を推定し、チャンネ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非収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８年度調査試験計画

本年度は、平成７年度に引き続き、新たに２本のボーリング孔（各80m）を掘削しトレーサー試験に必要なボーリング孔配置を完成させるとともに、トレーサー試験用にマルチパッカーシステムのパッカー配置と配管を更新する。また、トレーサー試験対象割れ目の水理物質移行特性を概略的に把握するために孔間透水試験ならびに予備的トレーサー試験を組み合わせて実施し、平成９年度に実施する非収着性トレーサー試験の試験条件を決定するためのデータとする。

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 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（添付図-1参照）。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、掘削深度の時間変化を記録するとともに、毎日の掘削作業終了後に孔口からの湧水量を観測するとともに、孔口に蓋を設置し間隙水圧を観察する。

なお、それぞれのボーリング孔の詳細な位置、方向については事業団と協議の上で決定するものとする。

4.2.3 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２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。

4.2.4　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流量検層を行い、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。

4.2.5　KH-22孔、KH-24孔への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マルチパッカーシステムを設置する。パッカーのレイアウトについては事業団と協議の上で決定するものとする。

4.2.6　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、既存の間隙水圧モニタリングシステムを、その割れ目を対象としたトレーサー試験が実施可能なマルチパッカーシステムの配置、配管に更新する。

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

4.2.7　孔間透水試験・予備的トレーサー試験

4.2.6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年度に実施する非収着性トレーサー試験の試験条件を決定する。

4.2.8　データの解析および水理地質構造モデルの検討

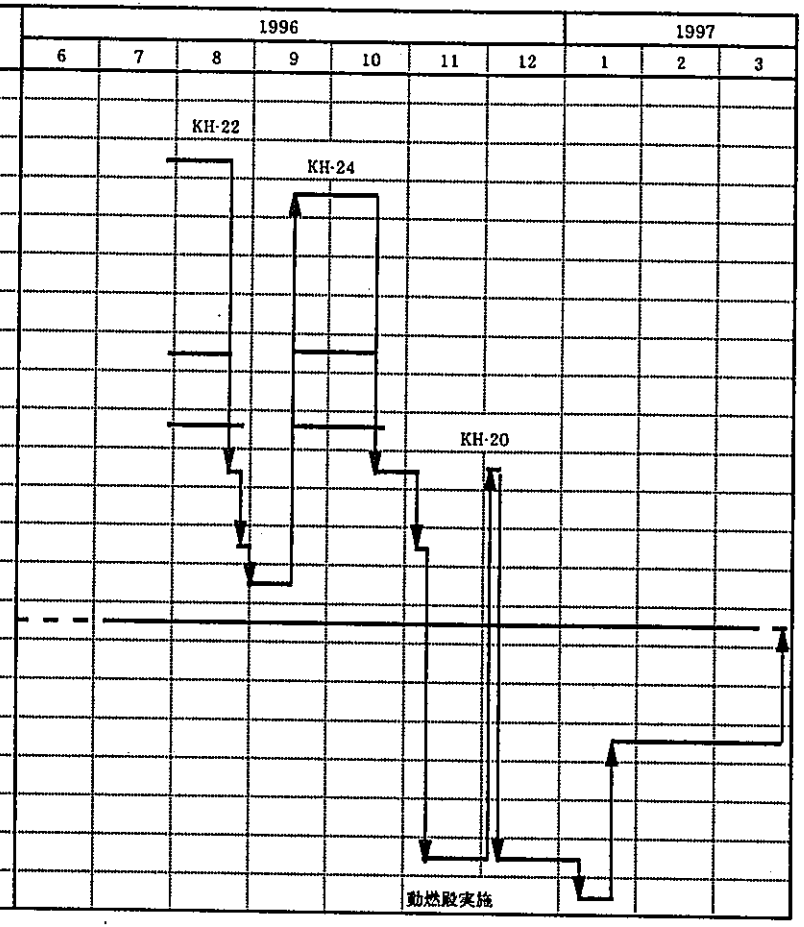
4.2.2から4.2.7で得られたデータと平成７年度までの成果を合わせて総合的に解析し、試験エリアの水理地質構造モデルを検討する。

4.3　調査試験工程

平成８年度の調査試験工程を表-4.3.1に示す。

表-4.3.1　平成８年度の調査試験工程

調査試験項目	箇所・仕様	担当
①試錐孔掘削		大成、日鉄
外側境界用試錐孔	KH-22(ℓ=80m)	
試験用試錐孔	KH-24(ℓ=80m)	
②観測調査		
・試錐孔掘削中の観測・調査	KH-22, KH-24	大成、日鉄
水圧測定、湧水量測定		
・試錐孔掘削後の観測・調査	KH-22, KH-24	大成、日鉄
コア観察、BTV調査		
流量検層、レーダー検層（動燃殿実施）	KH-20（流量検層）	
・新規ボーリング孔内ピエゾメータ設置	KH-22, KH-24	大成、日鉄、GOLDER
ピエゾメータ設置		
ビルドアップ試験		
間隙水圧観測	KH-19, KH-20, KH-21	
	KH-23, KH-25, KH-22, KH-24	
③パッカー再設置	KH-19～KH-25(ℓ=80m×7)	
④クロスホール試験		大成、日鉄、GOLDER
・透水試験、予備的トレーサー試験		
・試験データ評価（坑外作業）		



5　ボーリング削孔

5.1　調査概要

今年度は、KH-22孔、KH-24の2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-22孔、KH-24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-22孔	N17W方向	-1°	80m
KH-24孔	N方向	-3.5°	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、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、試錘機はロングイヤー社製L-38-98型、送水ポンプは同社製535RQ型を用いた。表-5.2.2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	日本ロングイヤー社	日本ロングイヤー社
形式	L-38-98	535RQ
能力等	フィード　Max 7ton	吐出量　Max 140 l/min

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。

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	2μsec以下
ワイヤー引張力	400～700g
使用周囲温度/湿度	0℃～50℃/RH35%～90%
保存周囲温度	-20℃～80℃
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
	ﾏｲﾅｽ表示ﾗﾝﾌﾟ	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	パルス入力	オープ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-5.2.3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-5.2.4のとおりである。

表-5.2.4 抗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ク中で行う。
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。

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

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

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-22孔、KH-24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。掘削深度と時間の関係を示した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砕状況、ビットの摩耗度等があげられる。

図-5.3.1にKH-22孔および図-5.3.2にKH-24孔の削孔日と削孔深度の関係のグラフを示した。KH-22孔の削孔は7月29日～8月13日、KH-24孔は9月20日～10月17日である。

5.3.2 孔曲り測定結果

表-5.3.3と表-5.3.4にそれぞれKH-22孔とKH-24孔の孔曲り測定の結果を示した。KH-22孔の孔底における計画からのずれは、水平方向では東方向へ62cm程度、垂直方向では下向きに24cm程度である。またKH-24孔では、水平方向では西方向へ23cm程度、垂直方向では下向きに7cm程度である。

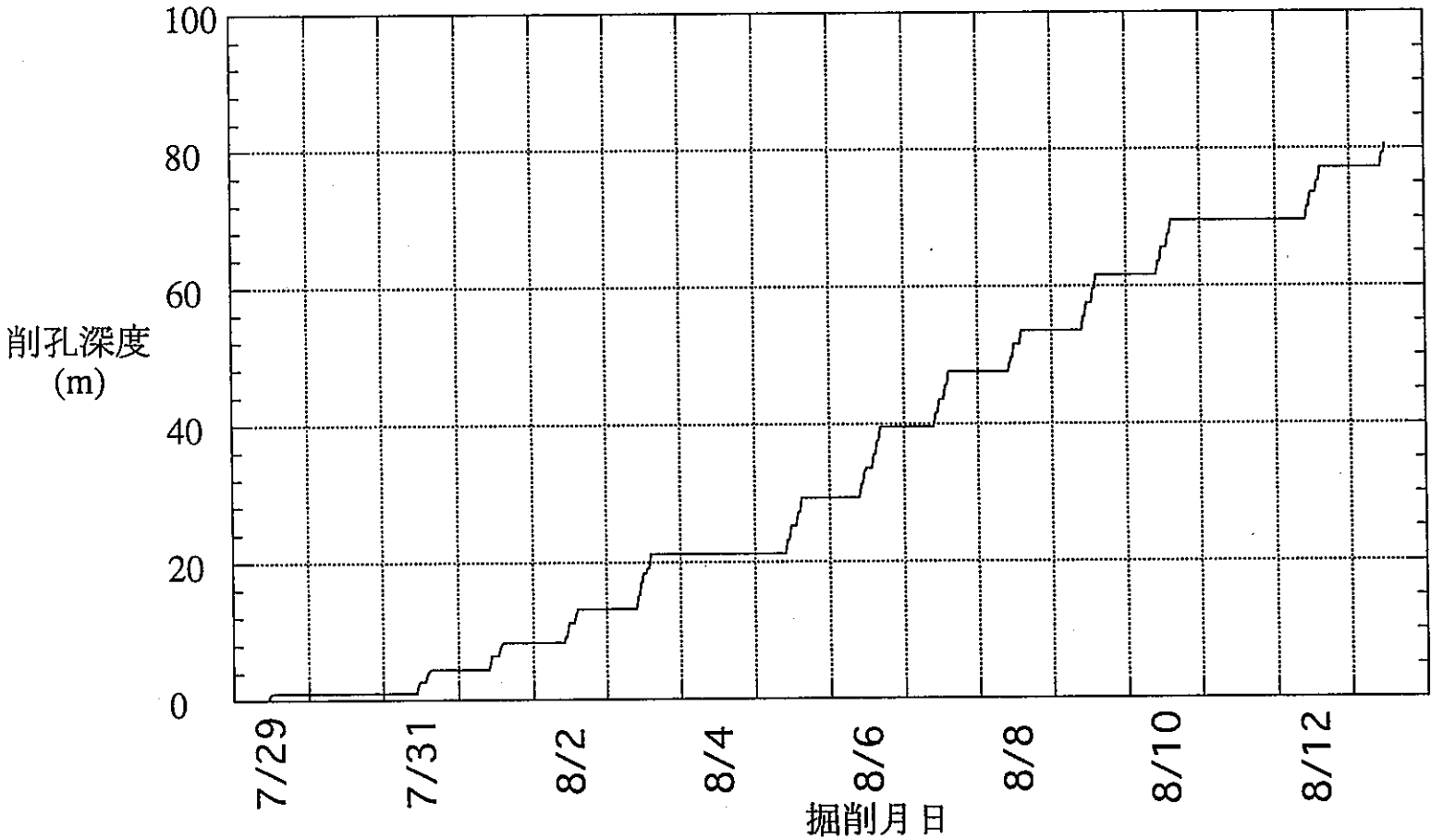


図-5.3.1　KH-22孔の掘削月日と削孔深度との関係

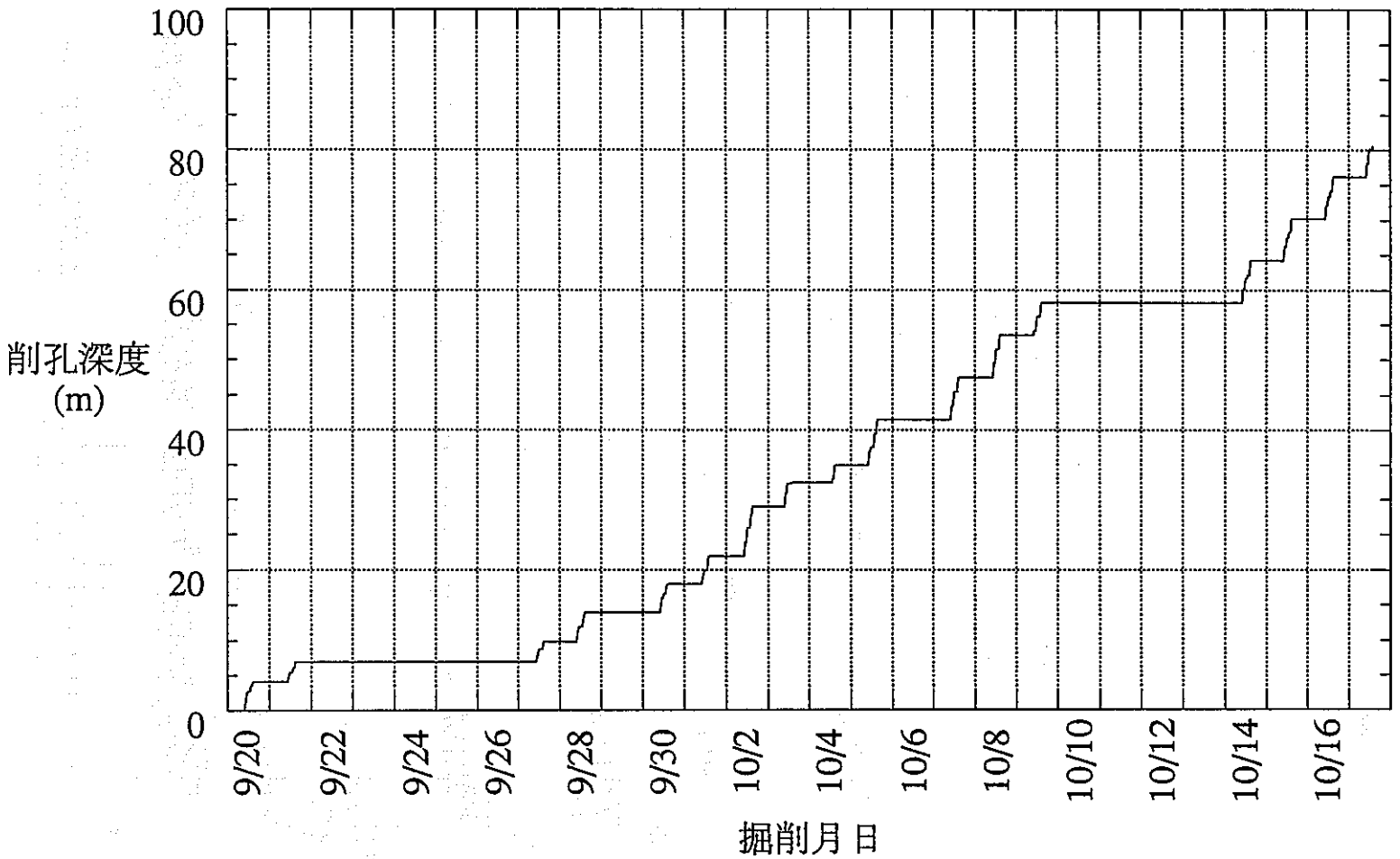


図-5.3.2　KH-24孔掘削月日と削孔深度との関係

表-5.3.3　KH-22孔の孔曲り測定結果

緯距(m)	経距(m)	標高(m)
-74875.426	72675.367	577.975

				実測			計画			計画との差		
NO.	掘進長(m)	方位角	傾斜角	L(m)	D(m)	V.D(m)	L(m)	D(m)	V.D(m)	L(m)	D(m)	V.D(m)
1	2	N14.17W	-0.4	1.94	-0.49	0.01	1.91	-0.58	0.03	-0.03	-0.09	0.02
2	4	N15.67W	-0.9	3.86	-1.03	0.05	3.82	-1.17	0.07	-0.04	-0.14	0.02
3	6	N16.17W	-1	5.79	-1.59	0.08	5.74	-1.75	0.10	-0.05	-0.16	0.02
4	8	N16.17W	-1	7.71	-2.14	0.12	7.65	-2.34	0.14	-0.06	-0.20	0.02
5	10	N16.17W	-1	9.63	-2.7	0.15	9.56	-2.92	0.17	-0.07	-0.22	0.02
6	12	N16.67W	-1	11.54	-3.27	0.18	11.47	-3.51	0.21	-0.07	-0.24	0.03
7	14	N16.67W	-1	13.46	-3.85	0.22	13.39	-4.09	0.24	-0.07	-0.24	0.02
8	16	N16.17W	-0.9	15.38	-4.4	0.25	15.30	-4.68	0.28	-0.08	-0.28	0.03
9	18	N17.17W	-0.9	17.29	-4.99	0.28	17.21	-5.26	0.31	-0.08	-0.27	0.03
10	20	N16.67W	-1	19.2	-5.57	0.32	19.12	-5.85	0.35	-0.08	-0.28	0.03
11	22	N16.37W	-1	21.12	-6.13	0.35	21.04	-6.43	0.38	-0.08	-0.30	0.03
12	24	N16.67W	-0.8	23.04	-6.7	0.38	22.95	-7.02	0.42	-0.09	-0.32	0.04
13	26	N16.67W	-0.8	24.96	-7.28	0.41	24.86	-7.60	0.45	-0.10	-0.32	0.04
14	28	N16.67W	-0.8	26.87	-7.85	0.44	26.77	-8.19	0.49	-0.10	-0.34	0.05
15	30	N16.97W	-0.8	28.78	-8.44	0.46	28.68	-8.77	0.52	-0.10	-0.33	0.06
16	32	N16.97W	-0.8	30.7	-9.02	0.49	30.60	-9.35	0.56	-0.10	-0.33	0.07
17	34	N16.97W	-0.8	32.61	-9.6	0.52	32.51	-9.94	0.59	-0.10	-0.34	0.07
18	36	N17.17W	-0.7	34.52	-10.19	0.54	34.42	-10.52	0.63	-0.10	-0.33	0.09
19	38	N16.97W	-0.7	36.43	-10.78	0.57	36.33	-11.11	0.66	-0.10	-0.33	0.09
20	40	N16.97W	-0.7	38.35	-11.36	0.59	38.25	-11.69	0.70	-0.10	-0.33	0.11
21	42	N17.17W	-0.8	40.26	-11.95	0.62	40.16	-12.28	0.73	-0.10	-0.33	0.11
22	44	N16.97W	-0.7	42.17	-12.53	0.65	42.07	-12.86	0.77	-0.10	-0.33	0.12
23	46	N16.67W	-0.8	44.08	-13.11	0.67	43.98	-13.45	0.80	-0.10	-0.34	0.13
24	48	N16.67W	-0.7	46	-13.68	0.7	45.90	-14.03	0.84	-0.10	-0.35	0.14
25	50	N16.67W	-0.8	47.92	-14.25	0.73	47.81	-14.62	0.87	-0.11	-0.37	0.14
26	52	N16.67W	-0.8	49.83	-14.83	0.75	49.72	-15.20	0.91	-0.11	-0.37	0.16
27	54	N16.67W	-0.9	51.75	-15.4	0.79	51.63	-15.79	0.94	-0.12	-0.39	0.15
28	56	N16.67W	-0.8	53.66	-15.97	0.81	53.54	-16.37	0.98	-0.12	-0.40	0.17
29	58	N16.67W	-0.8	55.58	-16.55	0.84	55.46	-16.95	1.01	-0.12	-0.40	0.17
30	60	N16.67W	-0.9	57.5	-17.12	0.87	57.37	-17.54	1.05	-0.13	-0.42	0.18
31	62	N16.67W	-0.9	59.41	-17.7	0.9	59.28	-18.12	1.08	-0.13	-0.42	0.18
32	64	N16.17W	-0.8	61.33	-18.25	0.93	61.19	-18.71	1.12	-0.14	-0.46	0.19
33	66	N16.67W	-0.8	63.25	-18.83	0.96	63.11	-19.29	1.15	-0.14	-0.46	0.19
34	68	N16.17W	-0.8	65.17	-19.38	0.99	65.02	-19.88	1.19	-0.15	-0.50	0.20
35	70	N16.17W	-0.8	67.09	-19.94	1.02	66.93	-20.46	1.22	-0.16	-0.52	0.20
36	72	N16.17W	-0.8	69.01	-20.5	1.04	68.84	-21.05	1.26	-0.17	-0.55	0.22
37	74	N16.17W	-0.8	70.93	-21.05	1.07	70.76	-21.63	1.29	-0.17	-0.58	0.22
38	76	N16.67W	-0.8	72.85	-21.63	1.1	72.67	-22.22	1.33	-0.18	-0.59	0.23
39	78	N16.67W	-0.9	74.76	-22.2	1.13	74.58	-22.80	1.36	-0.18	-0.60	0.23
40	80	N16.67W	-0.9	76.68	-22.77	1.16	76.49	-23.39	1.40	-0.19	-0.62	0.24

表-5.3.4　KH-24孔の孔曲り測定結果

緯距(m)	経距(m)	標高(m)
-74876.032	72681.985	578.000

				実測			計画			計画との差		
NO.	掘進長(m)	方位角	傾斜角	L(m)	D(m)	V.D(m)	L(m)	D(m)	V.D(m)	L(m)	D(m)	V.D(m)
1	2	N1.67W	-3.5	2.00	-0.06	-0.12	2.00	0.00	-0.12	0.00	0.06	0.00
2	4	N0.87W	-3.5	3.99	-0.09	-0.24	3.99	0.00	-0.24	0.00	0.09	0.00
3	6	N0.67W	-3.4	5.99	-0.11	-0.36	5.99	0.00	-0.37	0.00	0.11	-0.01
4	8	N0.17W	-3.4	7.98	-0.12	-0.48	7.99	0.00	-0.49	0.01	0.12	-0.01
5	10	N0.17W	-3.5	9.98	-0.12	-0.60	9.98	0.00	-0.61	0.00	0.12	-0.01
6	12	N0.17W	-3.5	11.98	-0.13	-0.73	11.98	0.00	-0.73	0.00	0.13	0.00
7	14	N0.03E	-3.4	13.97	-0.13	-0.84	13.97	0.00	-0.85	0.00	0.13	-0.01
8	16	N0.03E	-3.5	15.97	-0.13	-0.97	15.97	0.00	-0.98	0.00	0.13	-0.01
9	18	N0.03E	-3.5	17.97	-0.13	-1.09	17.97	0.00	-1.10	0.00	0.13	-0.01
10	20	N0.03E	-3.5	19.96	-0.12	-1.21	19.96	0.00	-1.22	0.00	0.12	-0.01
11	22	N0.03E	-3.5	21.96	-0.12	-1.33	21.96	0.00	-1.34	0.00	0.12	-0.01
12	24	N0.03E	-3.5	23.95	-0.12	-1.45	23.96	0.00	-1.47	0.01	0.12	-0.02
13	26	N0.33E	-3.5	25.95	-0.11	-1.58	25.95	0.00	-1.59	0.00	0.11	-0.01
14	28	N0.17W	-3.5	27.95	-0.12	-1.70	27.95	0.00	-1.71	0.00	0.12	-0.01
15	30	N0.17W	-3.5	29.94	-0.12	-1.82	29.94	0.00	-1.83	0.00	0.12	-0.01
16	32	N0.67W	-3.5	31.94	-0.15	-1.94	31.94	0.00	-1.95	0.00	0.15	-0.01
17	34	N0.17W	-3.5	33.94	-0.15	-2.07	33.94	0.00	-2.08	0.00	0.15	-0.01
18	36	N0.17W	-3.6	35.93	-0.16	-2.19	35.93	0.00	-2.20	0.00	0.16	-0.01
19	38	N0.17W	-3.5	37.93	-0.16	-2.31	37.93	0.00	-2.32	0.00	0.16	-0.01
20	40	N0.17W	-3.6	39.92	-0.17	-2.44	39.93	0.00	-2.44	0.01	0.17	0.00
21	42	N0.17W	-3.6	41.92	-0.17	-2.56	41.92	0.00	-2.56	0.00	0.17	0.00
22	44	N0.17W	-3.5	43.92	-0.18	-2.69	43.92	0.00	-2.69	0.00	0.18	0.00
23	46	N0.17W	-3.5	45.91	-0.19	-2.81	45.91	0.00	-2.81	0.00	0.19	0.00
24	48	N0.17W	-3.5	47.91	-0.19	-2.93	47.91	0.00	-2.93	0.00	0.19	0.00
25	50	N0.17W	-3.5	49.91	-0.20	-3.05	49.91	0.00	-3.05	0.00	0.20	0.00
26	52	N0.17W	-3.5	51.90	-0.20	-3.17	51.90	0.00	-3.17	0.00	0.20	0.00
27	54	N0.17W	-3.5	53.90	-0.21	-3.30	53.90	0.00	-3.30	0.00	0.21	0.00
28	56	N0.17W	-3.4	55.89	-0.21	-3.42	55.90	0.00	-3.42	0.01	0.21	0.00
29	58	N0.17W	-3.5	57.89	-0.22	-3.54	57.89	0.00	-3.54	0.00	0.22	0.00
30	60	N0.17W	-3.4	59.89	-0.23	-3.66	59.89	0.00	-3.66	0.00	0.23	0.00
31	62	N0.33E	-3.4	61.88	-0.21	-3.77	61.88	0.00	-3.79	0.00	0.21	-0.02
32	64	N0.13E	-3.4	63.88	-0.21	-3.89	63.88	0.00	-3.91	0.00	0.21	-0.02
33	66	N0.17W	-3.3	65.88	-0.22	-4.01	65.88	0.00	-4.03	0.00	0.22	-0.02
34	68	N0.17W	-3.3	67.87	-0.22	-4.12	67.87	0.00	-4.15	0.00	0.22	-0.03
35	70	N0.17W	-3.3	69.87	-0.23	-4.24	69.87	0.00	-4.27	0.00	0.23	-0.03
36	72	N0.17W	-3.3	71.87	-0.23	-4.35	71.87	0.00	-4.40	0.00	0.23	-0.05
37	74	N0.17W	-3.4	73.86	-0.24	-4.47	73.86	0.00	-4.52	0.00	0.24	-0.05
38	76	N0.03E	-3.3	75.86	-0.24	-4.59	75.86	0.00	-4.64	0.00	0.24	-0.05
39	78	N0.33E	-3.3	77.86	-0.23	-4.70	77.85	0.00	-4.76	-0.01	0.23	-0.06
40	80	N0.17W	-3.1	79.85	-0.23	-4.81	79.85	0.00	-4.88	0.00	0.23	-0.07

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-22孔、KH-24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。

6.1.1BTV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、破砕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）	

6.1.2コア鑑定

コアの岩質、変質の程度、破砕部、およびコアで観察される割れ目に関して鑑定を

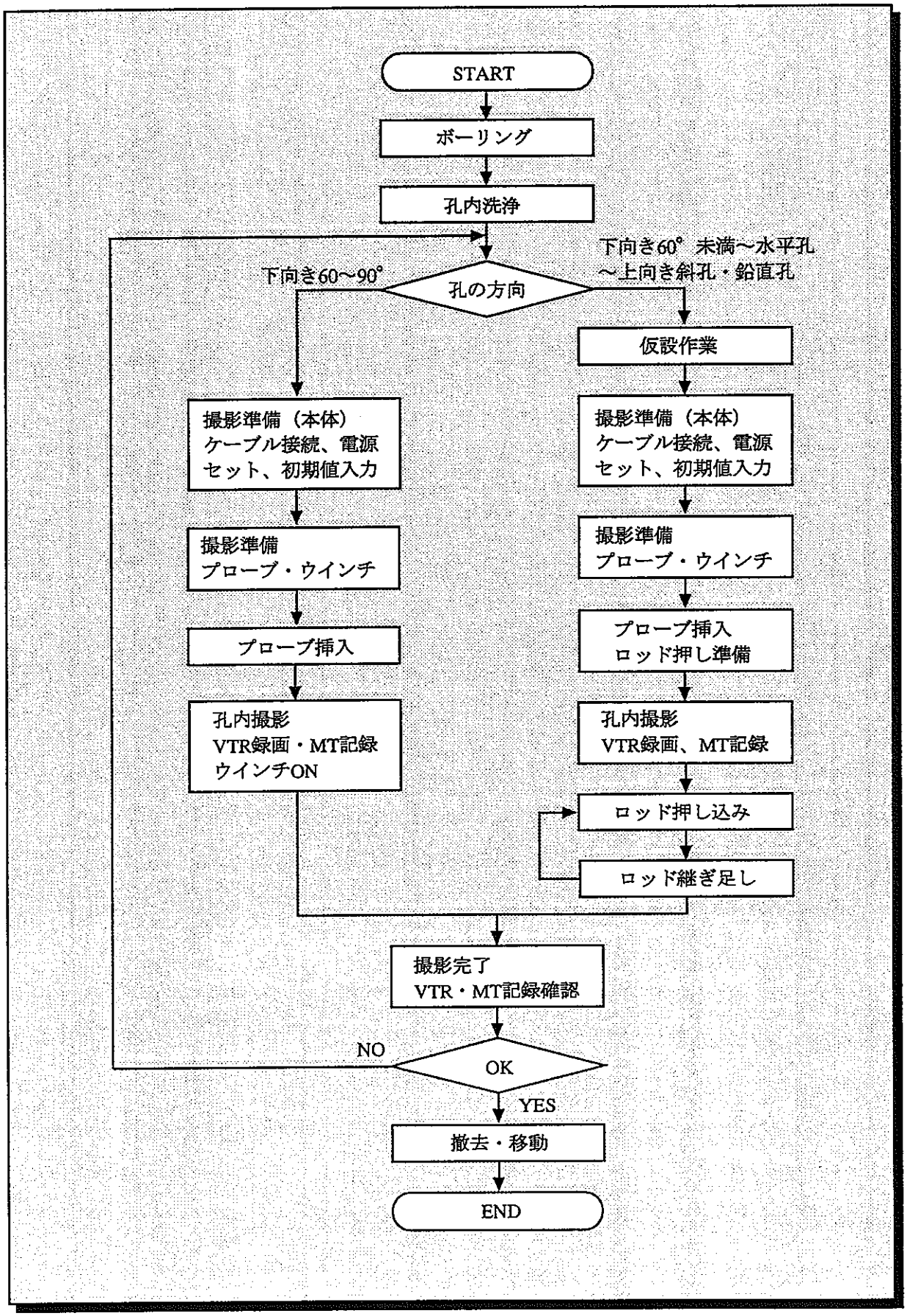


図-6.1.1　BIPシステム　作業流れ図

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。

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
破砕帯	破砕帯の幅
変質程度	岩芯の組織より変質の程度を分類
変質色	変質の色により分類
変質幅	変質部の幅
充填鉱物	割れ目を充填している構成鉱物種
充填幅	充填鉱物の幅
混合鉱物	充填鉱物を鉱物の混合も含め分類

6.2　BTV調査とコア検芯の結果

6.2.1　KH-22孔の調査結果

コア観察の結果より、KH-22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-22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、中変質以上の相対的に変質程度が高い部分が集中する部分と、変質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。前者は数m程度の幅の中に、幅数cm～数10cm程度の中変質以上の変質部が近接して存在しており、お互いに関連して形成された可能性が高い。岩芯の破砕部は、5箇所で認められた。近接して存在しているものはなく、お互いに独立して存在している。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、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。特に強い変質を

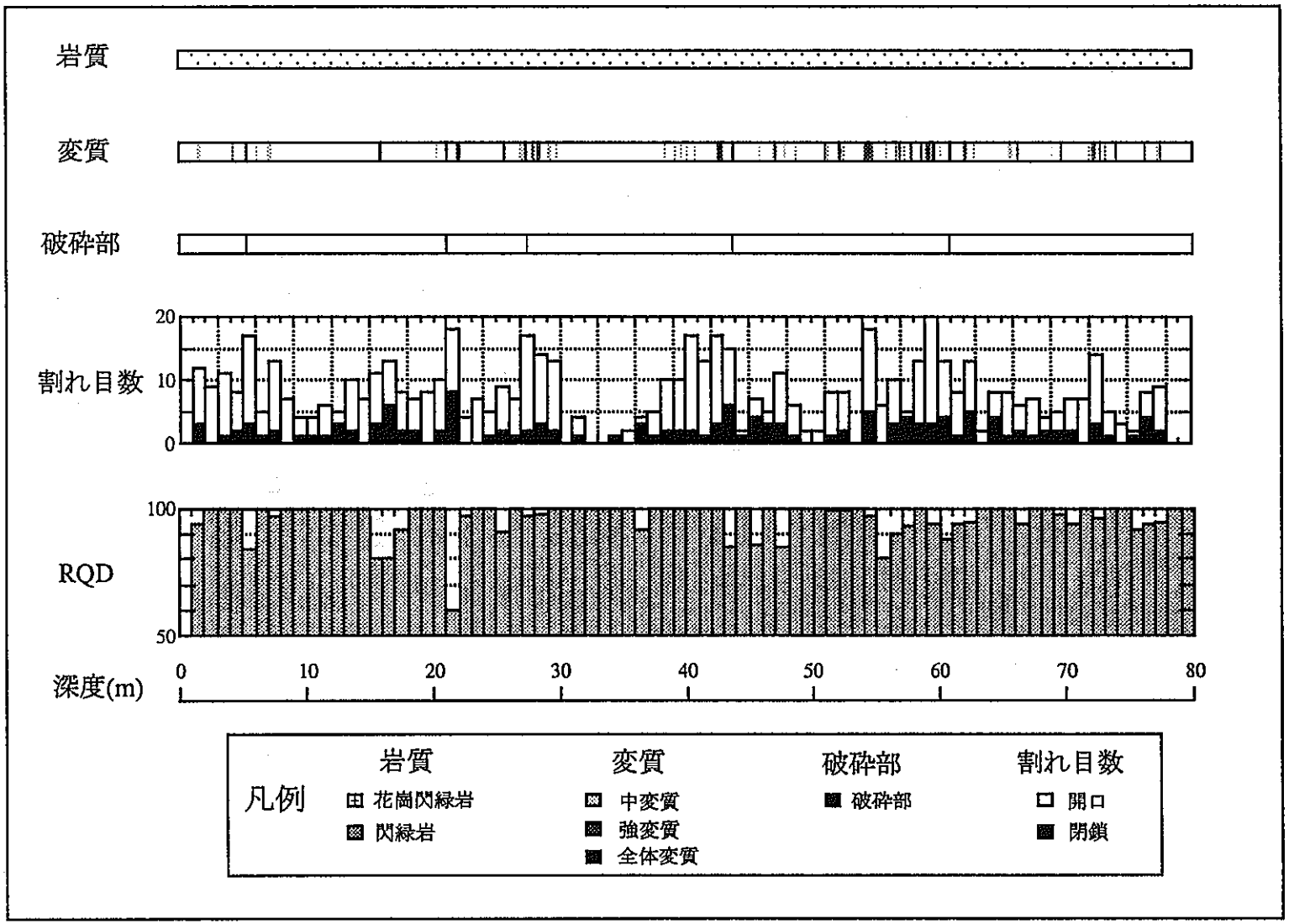


図-6.2.1　KH-22孔総合柱状図

伴う区間の近傍では、割れ目頻度が高い傾向が認められる。すなわち変質部の存在と割れ目の存在頻度とは、密接な関係があるといえる。

6.2.2 KH-24孔の調査結果

コア観察の結果より、KH-24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-24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、KH-22孔と同様の傾向を示しており中変質以上の相対的に変質程度が高い部分が多く存在する部分と、変質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。岩芯の破砕部は、6箇所で認められた。深度が30mの近傍に存在する破砕部は近接して存在しており、お互いに関連して形成された可能性がある。割れ目頻度に関してもKH-22孔と同様で、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、変質部の分布と密接な関係がある。

6.3 割れ目の特性

6.3.1 割れ目の走向傾斜

KH-22孔、24孔に関して、BTV調査より得られた割れ目の走向傾斜結果より、その分布に関して考察を実施した。

図-6.3.1はKH-22孔の割れ目面の極を割れ目ステレオ投影した図面である。走向傾斜が求められた割れ目の総数は713である。割れ目の極の集中部分は、走向傾斜がN70E68NとN85E75S付近の2箇所となっている。特にN70E68N付近への集中は10%を越えており、孔全体で似たような走向傾斜の割れ目が多く発達している事がわかる。

図-6.3.2はKH-24孔の割れ目面の極を割れ目ステレオ投影した図面である。走向傾斜が求められた割れ目の総数は379である。割れ目の極の集中する部分は、走向傾斜がN74E77N付近で集中は10%を越えている。

KH-22孔とKH-24孔で、多少の相違はあるものの似たような走向傾斜で割れ目が発達していることが解る。走向的にはN70～80E程度で傾斜が70～80度程度とかなり急傾斜の割れ目が多い事がわかる。割れ目の傾斜という面では、水みちが発達しやすい状況にあるといえる。

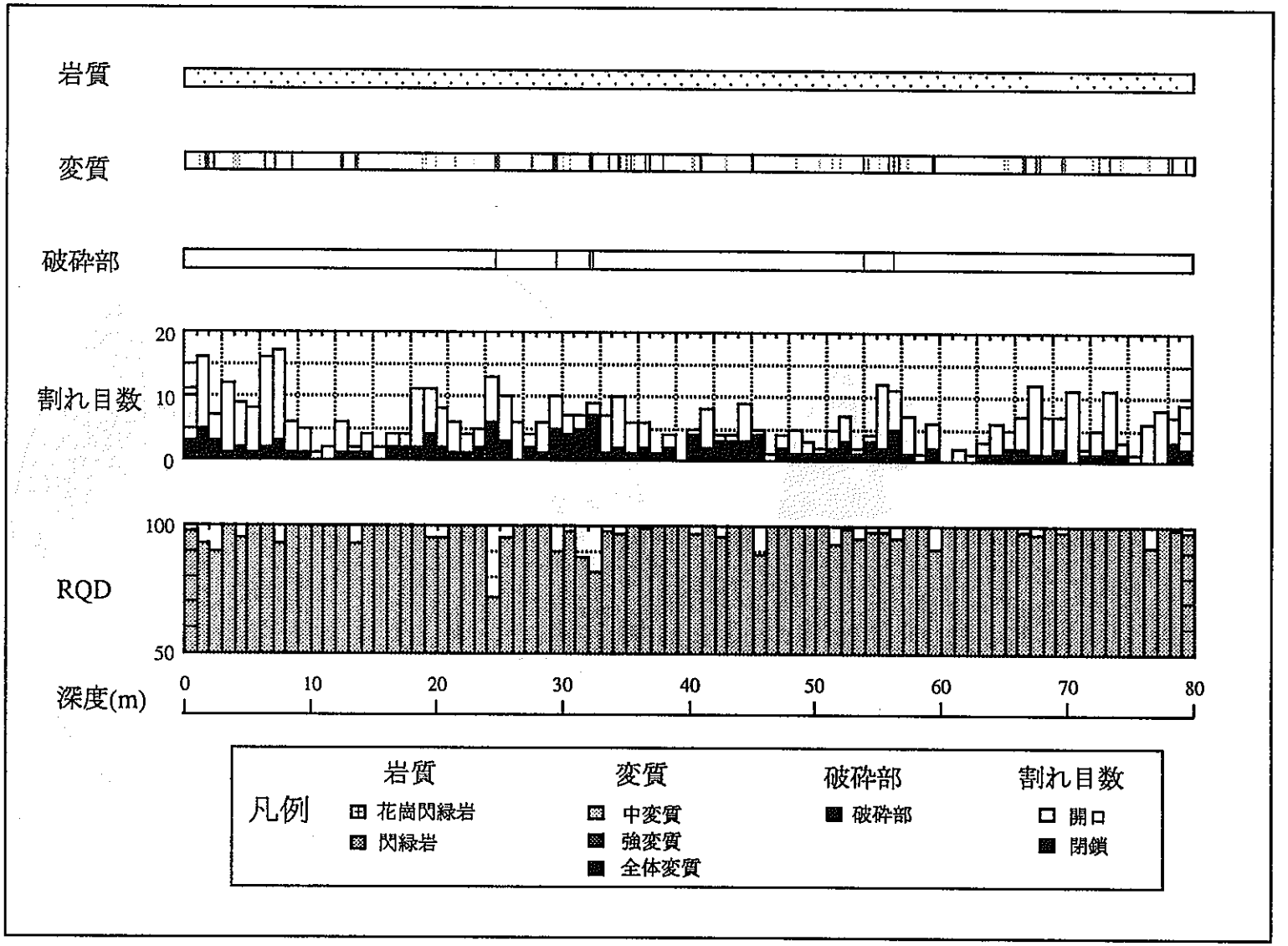
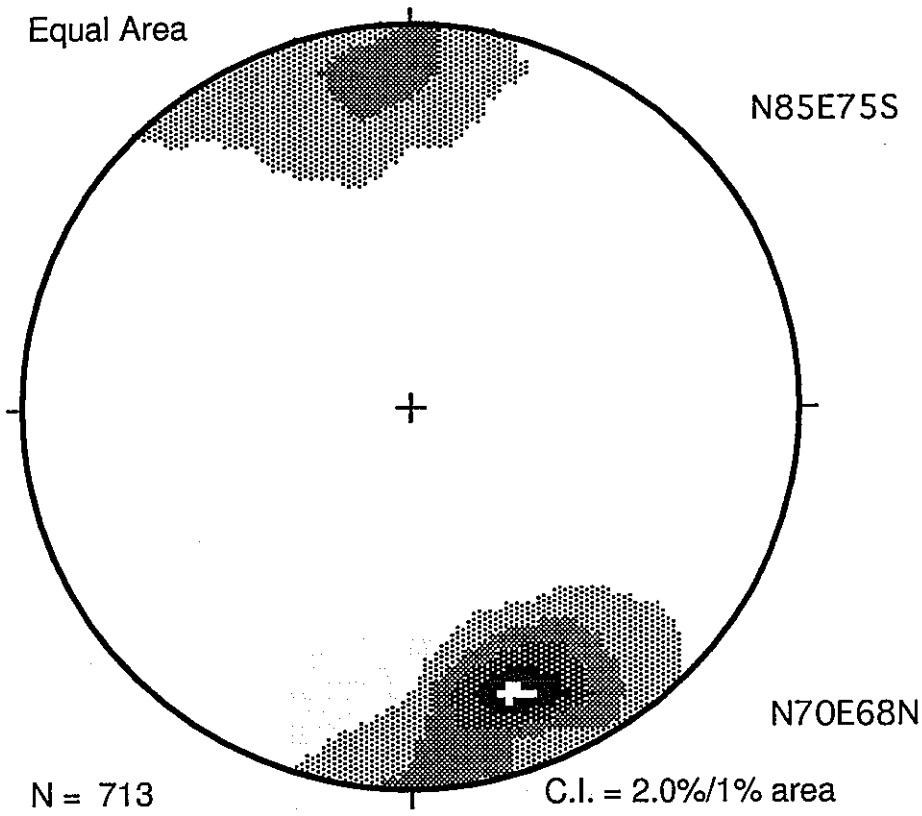


図-6.2.2　KH-24孔総合柱状図



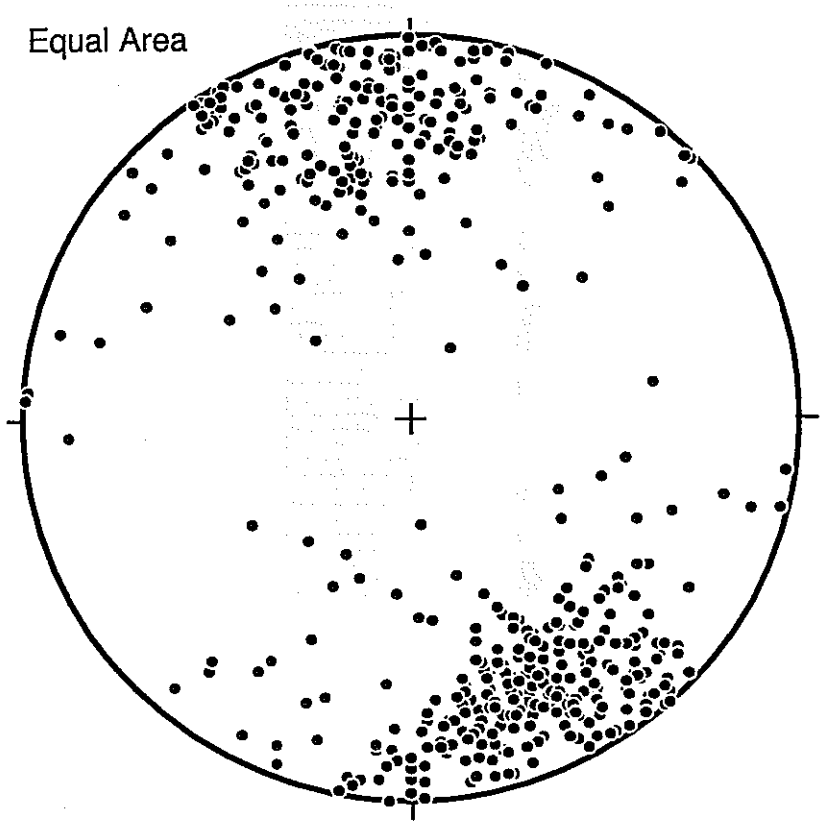


図-6.3.1　KH-22孔の割れ目のステレオ投影図

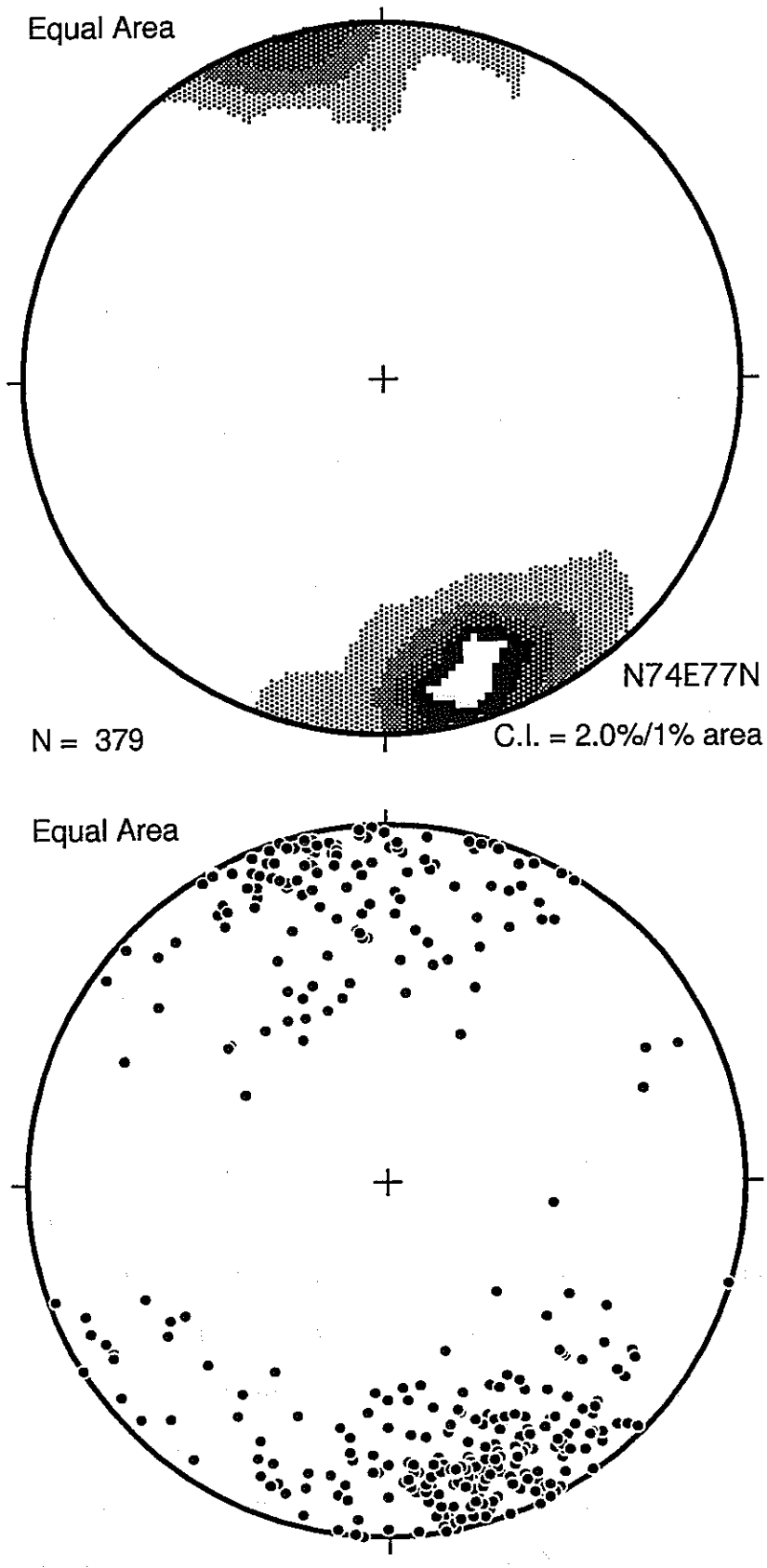


図-6.3.2　KH-24孔の割れ目のステレオ投影図

6.3.2 割れ目の変質

変質は母岩である花崗閃緑岩の組織の状態より、未変質、微弱変質、弱変質、中変質、強変質、全体変質に分類される。前述したとおり変質部の分布と割れ目頻度とは密接な関係にあり、変質程度が大きく、変質幅が広い部分に割れ目頻度が高い部分が集中している。KH-22孔では、この様な割れ目頻度と変質程度との関係が認められる深度として、6m、22m、28m、43m、55m、59mそして73m近傍があげられる。またKH-24孔では、2m、8m、24m、55mそして67m近傍があげられる。

変質程度は、どれほど母岩の元の鉱物が他の変質鉱物に変わっているかで決定される。母岩の黒雲母や角閃石は緑泥石化し、また斜長石はセリサイト化したりしており、強度的に弱くなり、割れ目が形成されやすい状態にある。変質部の斜長石組成に関しては、母岩の斜長石と比較して曹長石成分が高いことが平成2年度に実際された調査で報告されている。斜長石は、常温ではナトリウムとカルシウムのイオン交換反応を行わないので、変質部の形成は熱水活動期に行われたと推定される。この点より考えると、岩盤に割れ目が形成された部分に熱水が循環し、その結果として更に変質が進み、より割れ目が形成されやすい状況になるようなサイクルが繰り返された可能性が高い。

6.3.3 割れ目の充填鉱物

KH-22孔、24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、黄緑色充填鉱物、暗緑色充填鉱物、黒色充填鉱物、および、方解石、沸石（束沸石、濁沸石）等が認められる。

黄緑色充填鉱物は、黄緑色を呈しており、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。暗緑色充填鉱物は、暗緑色を呈しており、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。黒色充填鉱物は黒色を呈しており、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、構成鉱物の存在程度は大きく変化し、特に暗緑色充填鉱物と黒色充填鉱物は漸移的である。

図-6.3.3と図-6.3.4に、それぞれKH-22孔とKH-24孔での各充填鉱物を含む割れ目の出現頻度を各深度毎に示した。これらより以下の様なことが言える。暗緑色充填鉱物、方解石、束沸石は出現頻度が高く、そのパターンは割れ目の存在頻度とほぼ同様であ

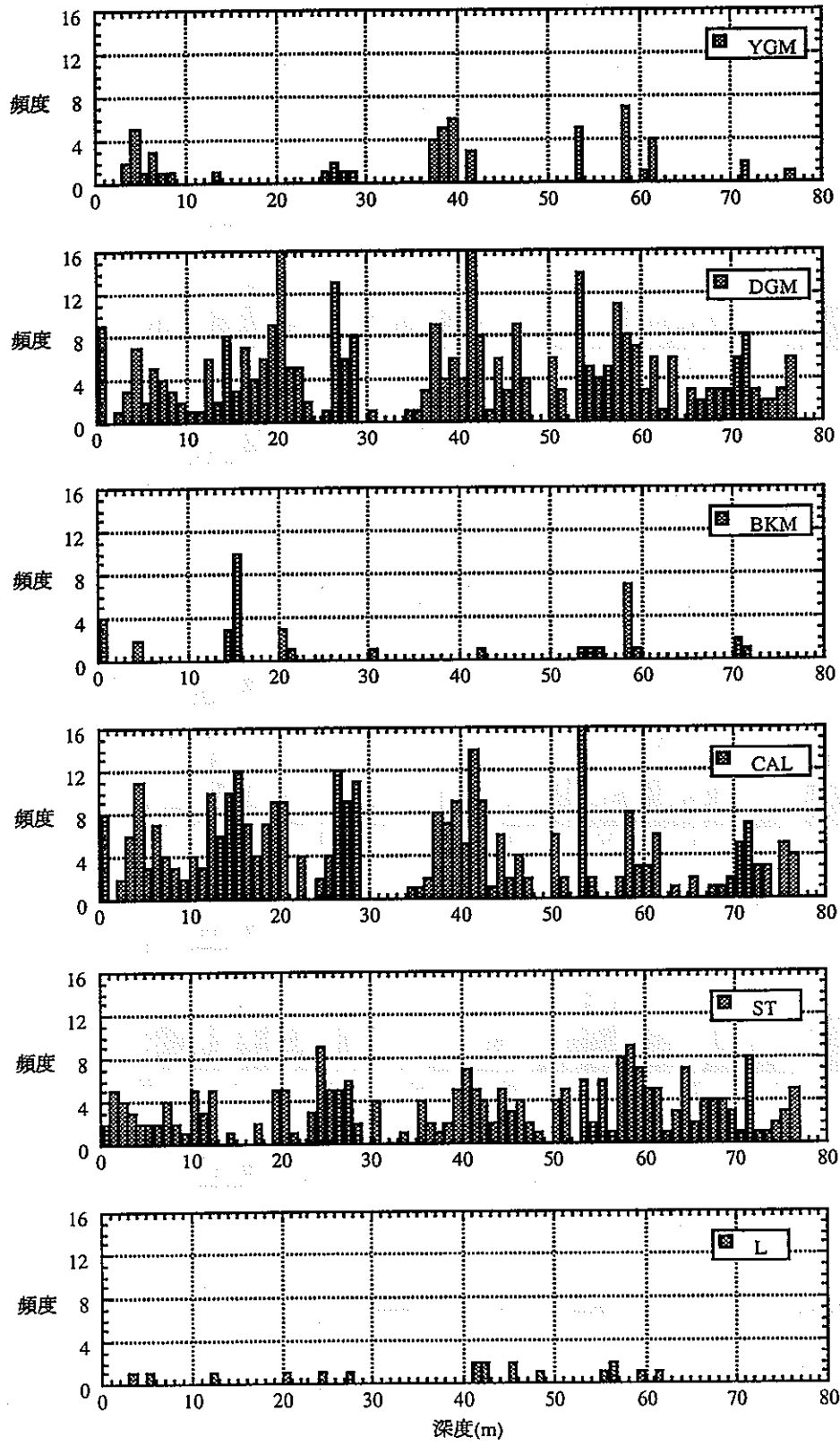


図-6.3.3　KH-22孔における各充填鉱物を含む割れ目の出現頻度

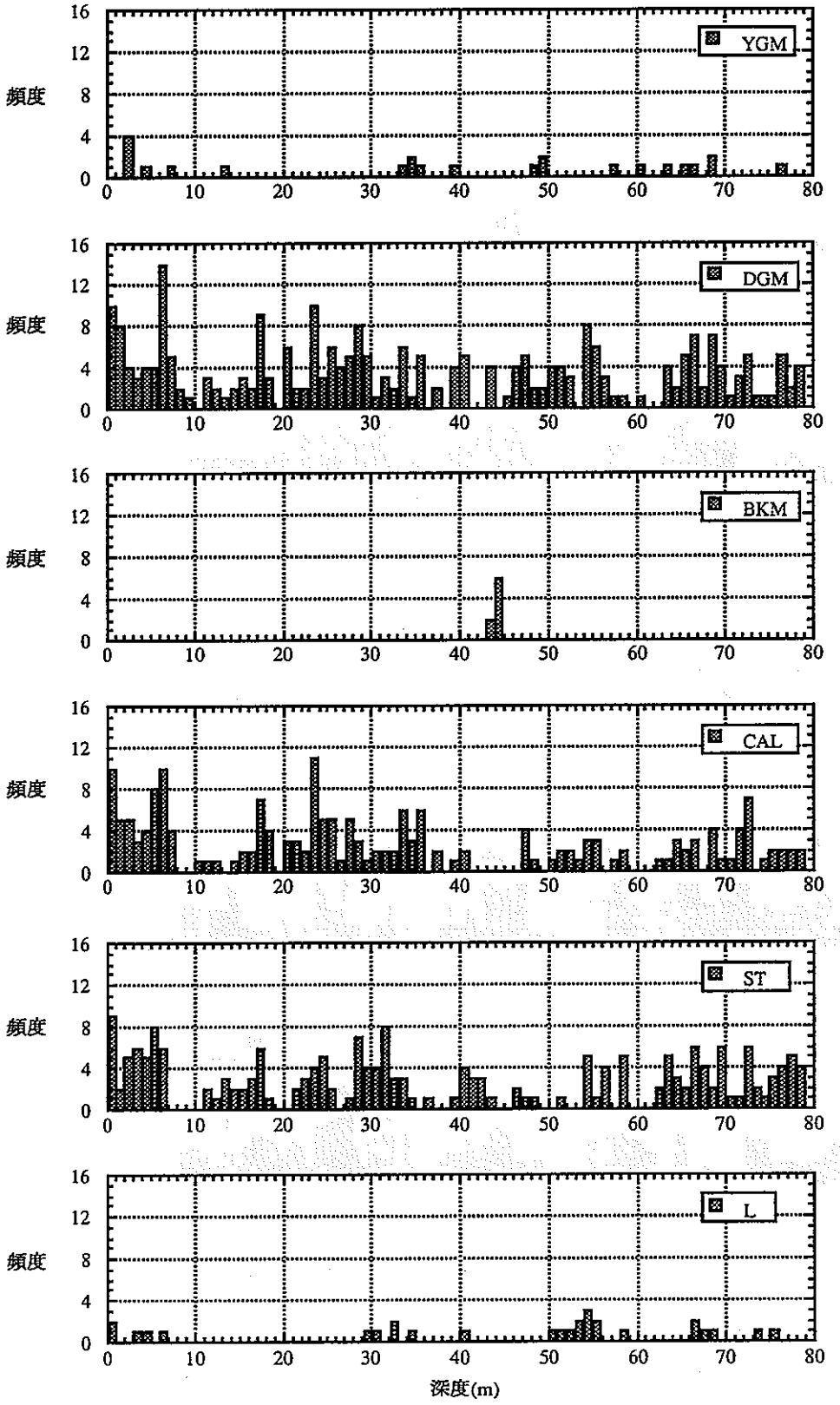


図-6.3.4　KH-24孔における各充填鉱物を含む割れ目の出現頻度

る。すなわち、割れ目に充填鉱物が晶出、沈殿する場合に最も一般的なプロセスの過程で形成されると推定される。一方、黄緑色充填鉱物、黒色鉱物、および濁沸石は出現頻度が低くその分布も偏っている。このことは、これらの充填鉱物が形成される過程は、より限定されたプロセスで形成された可能性が高い。

充填鉱物の形成過程とその種類は鉱物を晶出した地下水の温度に規制されている可能性が高い。このことより、各鉱物の分布パターンより、冷却過程でどの様に水みちのパターンが変遷してきたかを推定できる可能性がある。

7　試錐孔掘削時の水理応答調査

7.1　調査概要

透水性割れ目の分布を推定する目的で、KH-22孔とKH-24孔の掘削時における、各掘削深度での全湧水量と間隙水圧の変化、および他の試錐孔の観測区間での間隙水圧の変化の調査を実施した。

7.2　測定方法

7.2.1　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分間待ってから実施した。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。

7.2.2　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大きさ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。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。

7.2.3　各試錐孔の観測区間への水理応答

(1)測定概要

図-7.2.1に測定概念図を示した。計測は、試錐孔掘削時に間隙水圧変化が認められた深度を特定することで行う。間隙水圧の変化に関しては、各観測区間の水圧変化をトランスデューサーで電気変換してパソコンで連続計測する。また、掘削深度はエンコーダーを用いてパソコンで連続計測する。両データを比較より間隙水圧の変化を生じた割れ目の存在深度を推定することができる。

(2)測定システム

図-7.2.2に掘削深度計測システムを、また表-7.2.1と表-7.2.2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。

表-7.2.1　エンコーダの仕様

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	2μsec以下
ワイヤー引張力	400～700g
使用周囲温度/湿度	0℃～50℃/RH35%～90%
保存周囲温度	-20℃～80℃
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

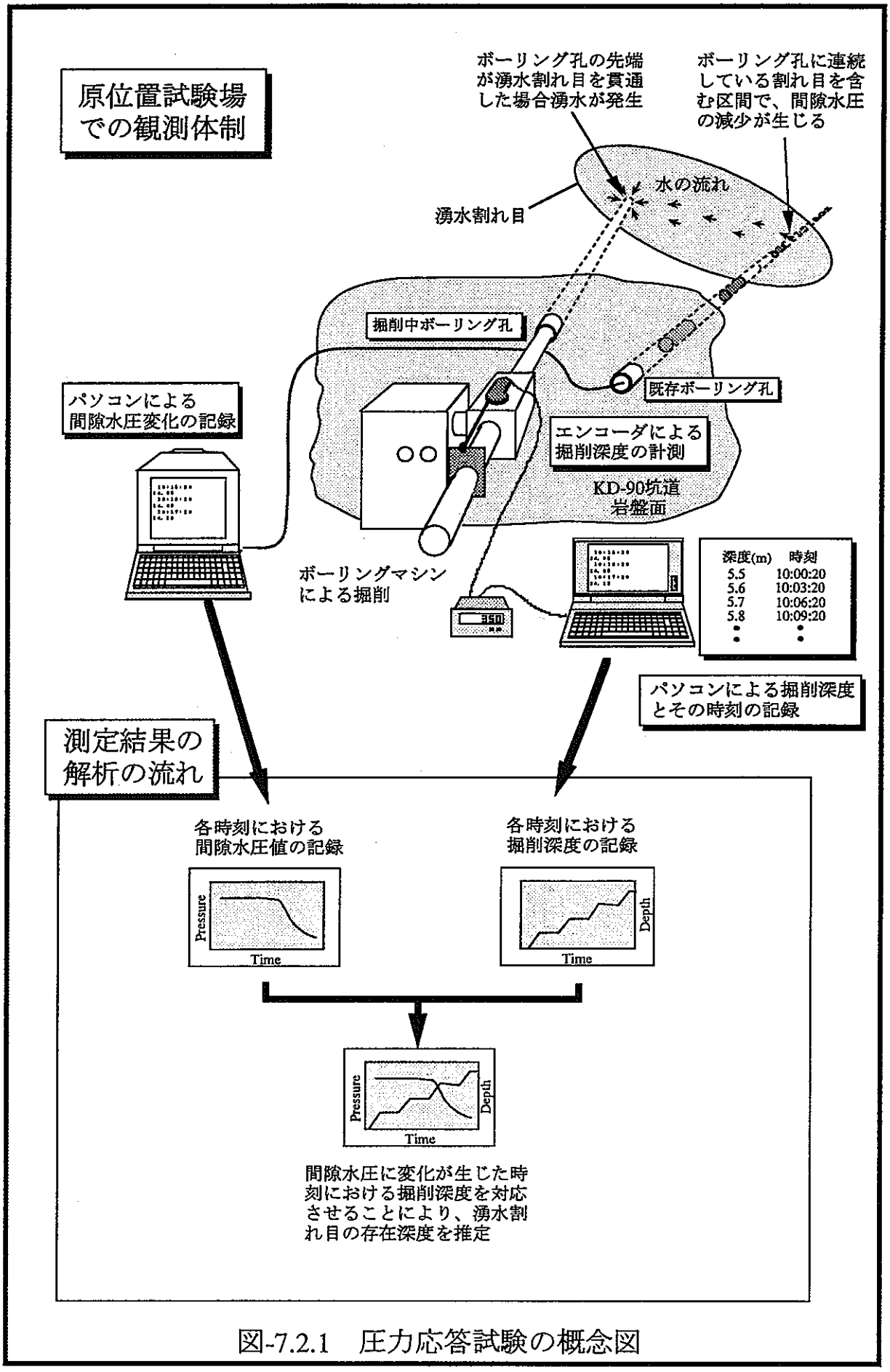
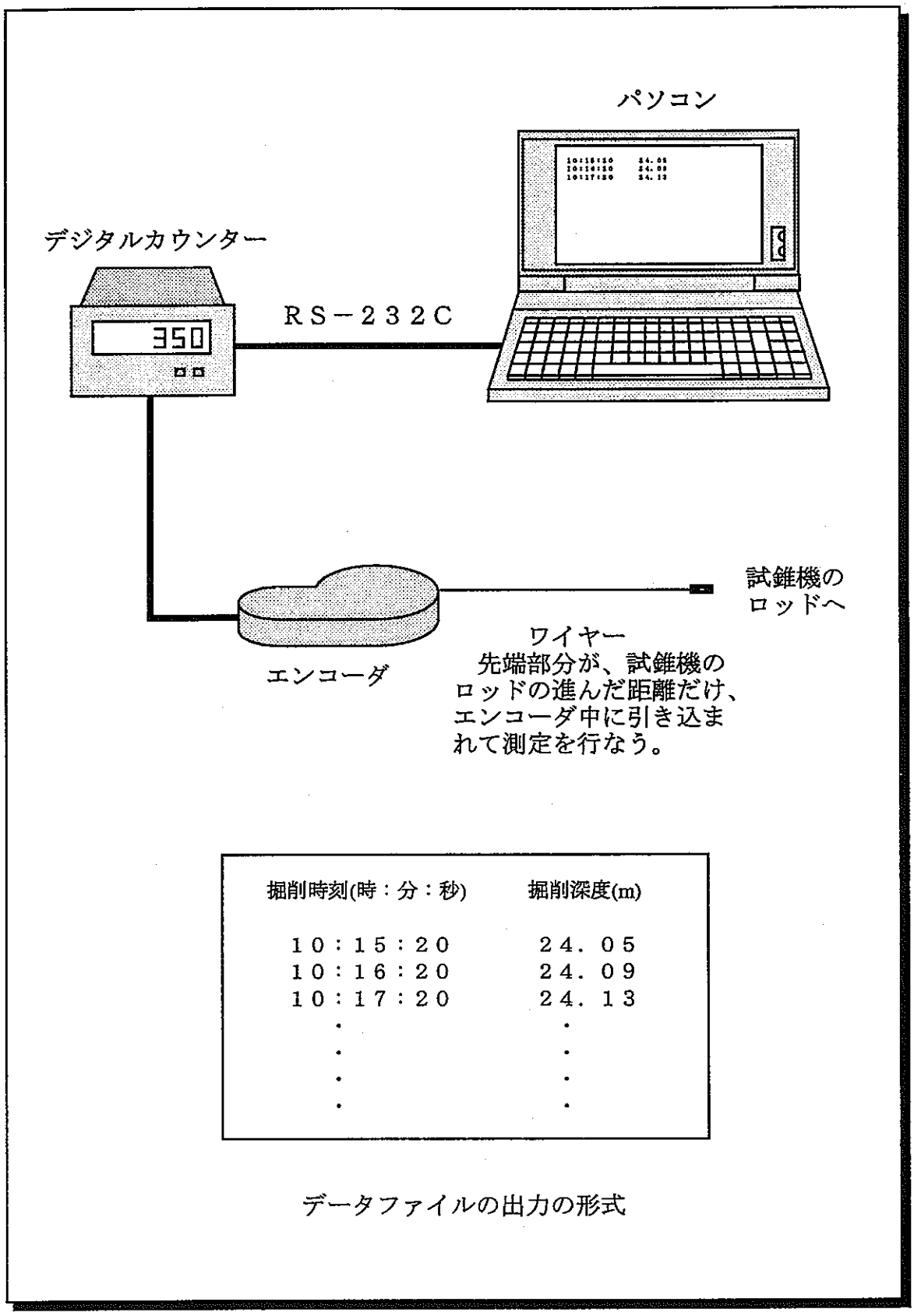


図-7.2.1　圧力応答試験の概念図



掘削時刻(時：分：秒)	掘削深度(m)
１０：１５：２０	２４．０５
１０：１６：２０	２４．０９
１０：１７：２０	２４．１３
・	・
・	・
・	・
・	・

データファイルの出力の形式

図-7.2.2　掘削深度測定システムとデータファイルの形式

表-7.2.2　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
	ﾏｲﾅｽ表示ﾗﾝﾌﾟ	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	パルス入力	オープ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

(3)圧力トランスデューサー

表-7.2.3と表-7.2.4に観測で使用した、圧力トランスデューサーの仕様を示した。

表-7.2.3　圧力トランスデューサの仕様(1)

項目	仕様
製造	NIPPON DATA INSTRUMENTS
タイプ名	MODEL　SA
圧力レンジ	15、25、50、100、200psis(1.05、1.75、3.5、7.0、14.0kgf/cm2A) 15,25,50psig(1.05,1.75,3.5kgf/cm2G) 100,200,300,500,1000,3000,5000,7112PSIS (7,14,21,35,70,210,350,500kgf/cm2S) 10,100,200,350,500kgf/cm2S
過負荷	過負荷耐圧：圧力レンジ×2倍(300PSI以下) 圧力レンジ×1.5倍(500PSI以下) 破壊耐圧：圧力レンジ×20倍(25PSI以下) 圧力レンジ×10倍(300PSI以下) 圧力レンジ×5倍(500PSI以下)
最大出力	1～6Vdc±0.1Vdc(PSI表示タイプ) 1～5Vdc±0.1Vdc(kgf/cm2表示タイプ)
ゼロオフセット	1±0.15Vdc(25℃) (100、200PSIAレンジは1±0.2Vdc(25℃))
供給電圧	9～24Vdc
過負荷	±1%span
動作温度範囲	-55～105℃
補償温度範囲	-1～85℃
圧力ポート	PT1/4ｵｽﾒｽ

表-7.2.4　圧力トランスデューサの仕様(2)

項目	仕様
製造	NIPPON DATA INSTRUMENTS
タイプ名	MODEL　XPRO
圧力レンジ	15、25、50psig(1.05、1.75、3.5kgf/cm2G) 100,200,500,1000,3000,5000,7112PSIS (7,14,21,35,70,210,350,500kgf/cm2S) 10,100,200,350,500kgf/cm2S
過負荷	過負荷耐圧：圧力レンジ×2倍(200PSI以下) 圧力レンジ×1.5倍(500PSI以下) 破壊耐圧：圧力レンジ×10倍(300PSI以下) 圧力レンジ×5倍(500PSI以下)
出力電流	4～20mA スパン16±0.32mA(25℃、0-1400Ωループ抵抗)
ゼロオフセット	4±0.4mA(25℃)
供給電圧	12～40dc(逆極性保護付)
過負荷	±1%span
動作温度範囲	-18～100℃
補償温度範囲	-1～54℃
圧力ポート	PT1/4ｵｽｽﾞ

(4)パッカー設置位置

図-7.2.3に試験実施時の各試錐孔における既存パッカー設置位置、および試験終了後に新規に設置したパッカーの設置位置を示した。各孔における正確な設置深度は表-7.2.5の通りである。各試錐孔とも、ほぼ全長80mの深度の試錐孔がパッカーにより7～8区間に区切られ、それぞれの区間において間隙水圧の連続観測が可能なシステムとなっている。

7.3　口元湧水量測定結果

(1)KH-22孔

表-7.3.1に測定結果の一覧表を示す。図-7.3.1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。湧水量は、深度20m付近で900cc/min程度まで急激に上昇、40m付近までは大きな変化なく推移、その後は80mまでに変動しながらも次第に増加し1700cc/min程度に達した。

(2)KH-24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、湧水量を縦軸

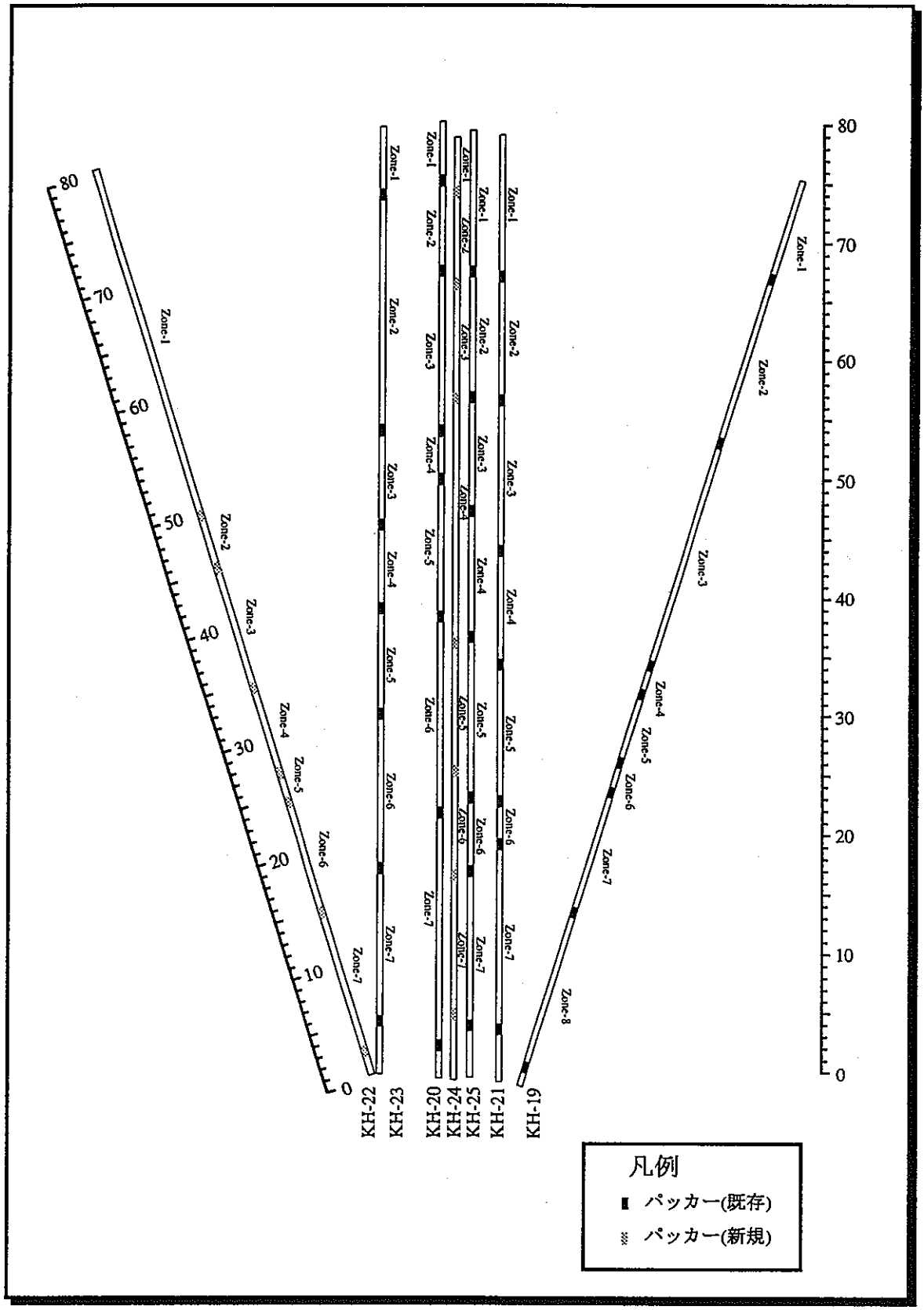


図-7.2.3　各試錐孔におけるパッカー設置位置図

表-7.2.5　各試錐孔におけるパッカー設置位置

	KH-19	KH-20	KH-21	KH-22	KH-23	KH-24	KH-25
	m	m	m	m	m	m	m
Zone-8	2.200						
	14.796						
Zone-7	15.811	3.800	4.900	2.680	5.000	6.080	4.850
	25.407	22.396	19.500	13.780	16.918	16.880	16.946
Zone-6	26.422	23.411	20.510	14.790	17.938	17.890	17.961
	28.018	39.007	23.110	23.390	29.856	25.670	23.057
Zone-5	29.033	40.022	24.120	24.400	30.876	26.680	24.072
	34.048	50.618	34.720	26.000	38.795	36.450	36.668
Zone-4	35.063	51.633	35.730	27.010	39.815	37.460	37.683
	36.659	54.648	44.330	33.610	45.883	57.258	47.279
Zone-3	37.674	55.663	45.340	34.620	46.903	58.268	48.294
	56.270	68.259	56.940	44.220	53.822	67.024	56.890
Zone-2	57.285	69.274	57.950	45.230	54.842	68.034	57.905
	70.881	75.870	67.550	48.830	73.759	74.790	67.511
Zone-1	71.896	76.885	68.560	49.840	74.779	75.800	68.516
	79.961	81.448	80.530	80.500	80.500	80.500	80.420

表-7.3.1　KH-22孔　掘削深度と湧水量の関係

掘削深度(m)	湧水量(ml/min)
8.31	5
11.16	43
13.16	60
19.16	140
21.16	860
25.14	576
29.16	750
33.16	720
39.56	588
45.56	1052
47.56	1200
51.56	1100
53.56	1080
57.56	1494
61.56	1600
65.56	1680
69.56	1638
73.56	1310
77.21	1500
80.5	1710

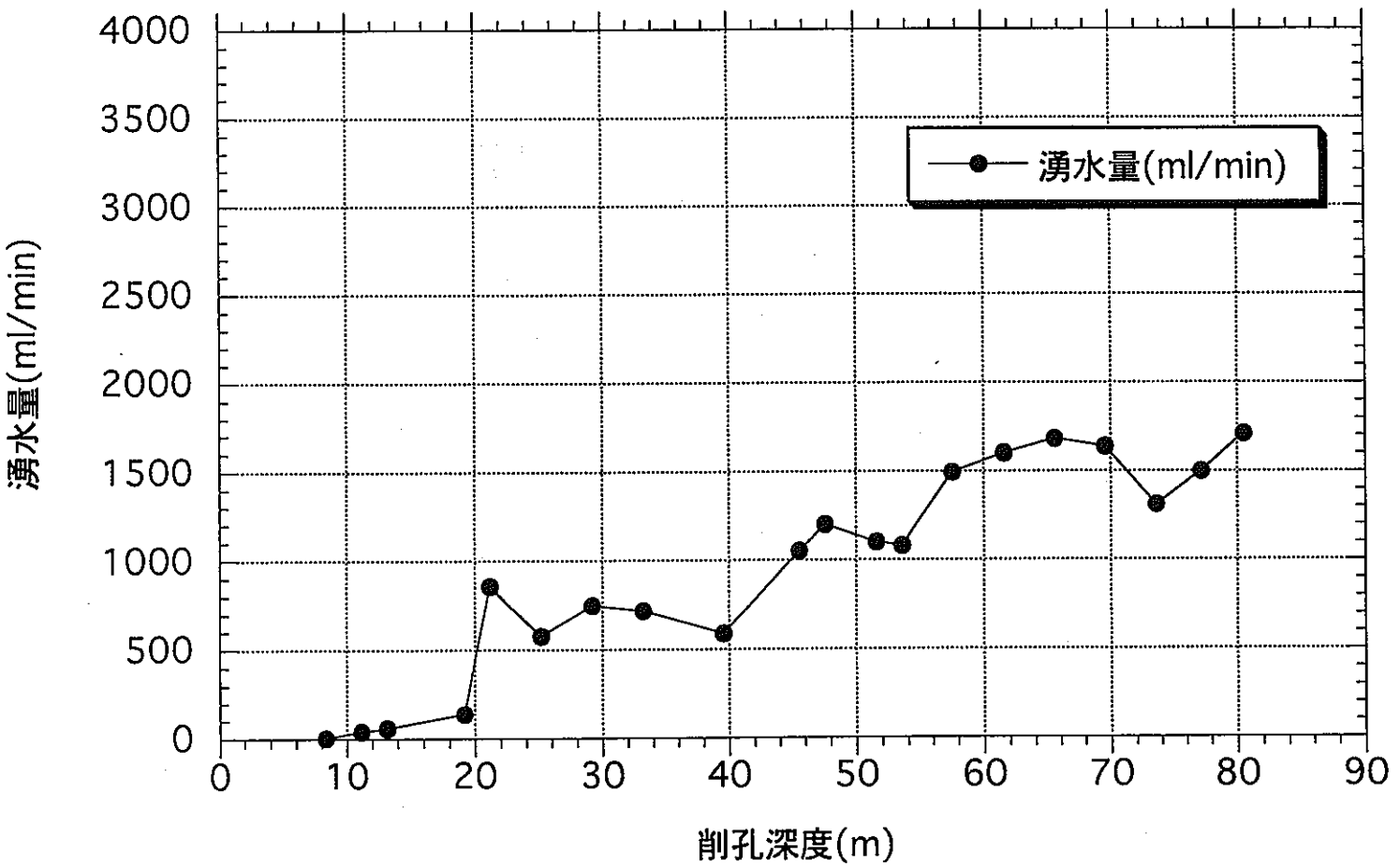


図-7.3.1　KH-22孔-削孔深度と湧水量の関係

表-7.3.2　KH-24孔　掘削深度と湧水量の関係

掘削深度(m)	湧水量(ml/min)
2.81	0.5
7.02	0
8.81	0
9.91	0
13.93	1460
15.13	990
17.91	582
19.91	570
21.91	400
25.91	660
28.91	410
32.17	2100
32.38	820
34.91	800
37.51	930
41.46	700
45.48	870
47.48	855
51.48	680
53.48	740
56.19	1050
58.19	1050
62.2	1452
64.2	1368
68.2	1340
70.2	3240
74.2	2700
76.2	2440
80.2	2700
80.5	2610

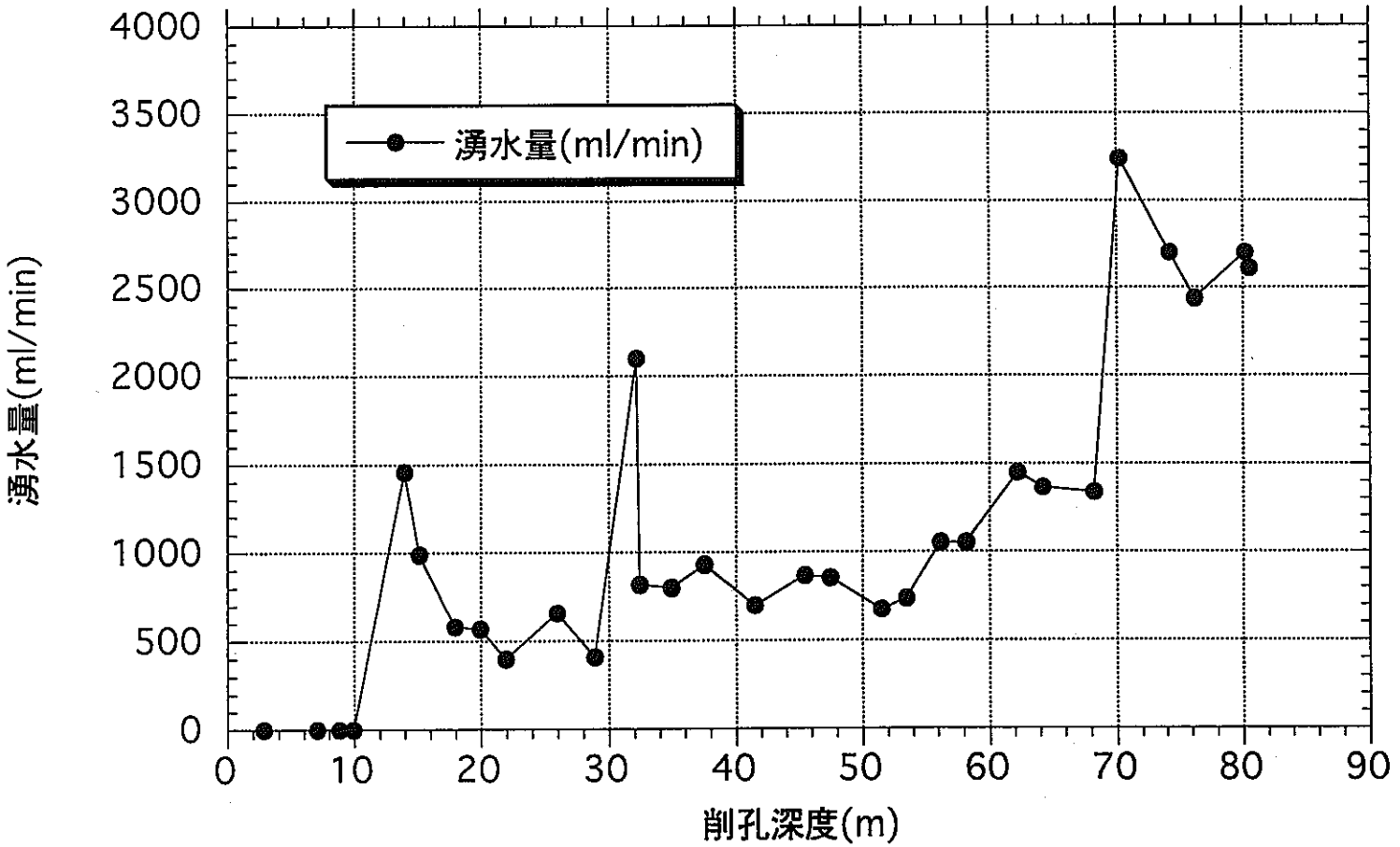


図-7.3.2　KH-24孔-掘削深度と湧水量の関係

にとってプロットしたグラフである。湧水量は掘削深度が10mを越えた時点で1500cc/min程度に急増したのち500cc/minに減少して推移、その後32m付近で再び2100cc/min程度に急増したのち800cc/minに減少して推移するという挙動を示した。50m付近より徐々に増加し60mを越えた時点で1500cc/min程度にまで達した。その後70m付近において3200cc/min程度まで急増した後2600cc/min程度に減少し推移し掘削を終了した。

7.4　口元間隙水圧測定結果

(1)KH-22孔

表-7.4.1に測定結果の一覧表を示す。測定値は、各作業日における掘削開始直前のものである。図-7.4.1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、掘削開始後20m付近で7kg/cm^{2}を越える様な値を示した後は、4kg/cm^{2}前後で大きな変動なく推移している。

(2)KH-24孔

表-7.4.2に測定結果の一覧表を示す。図-7.4.2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10mを越えた時点より50mを越えた時点までは3kg/cm^{2}程度で推移。その後は7kg/cm^{2}前後の値となって推移している。

表-7.4.1　KH-22孔　掘削深度と間隙水圧の関係

掘削深度(m)	間隙水圧(kg/cm2)
13.16	1.57
21.16	7.24
29.16	4.77
39.56	2.22
47.56	4.26
53.56	3.42
61.56	3.64
69.56	2.79
77.21	2.99

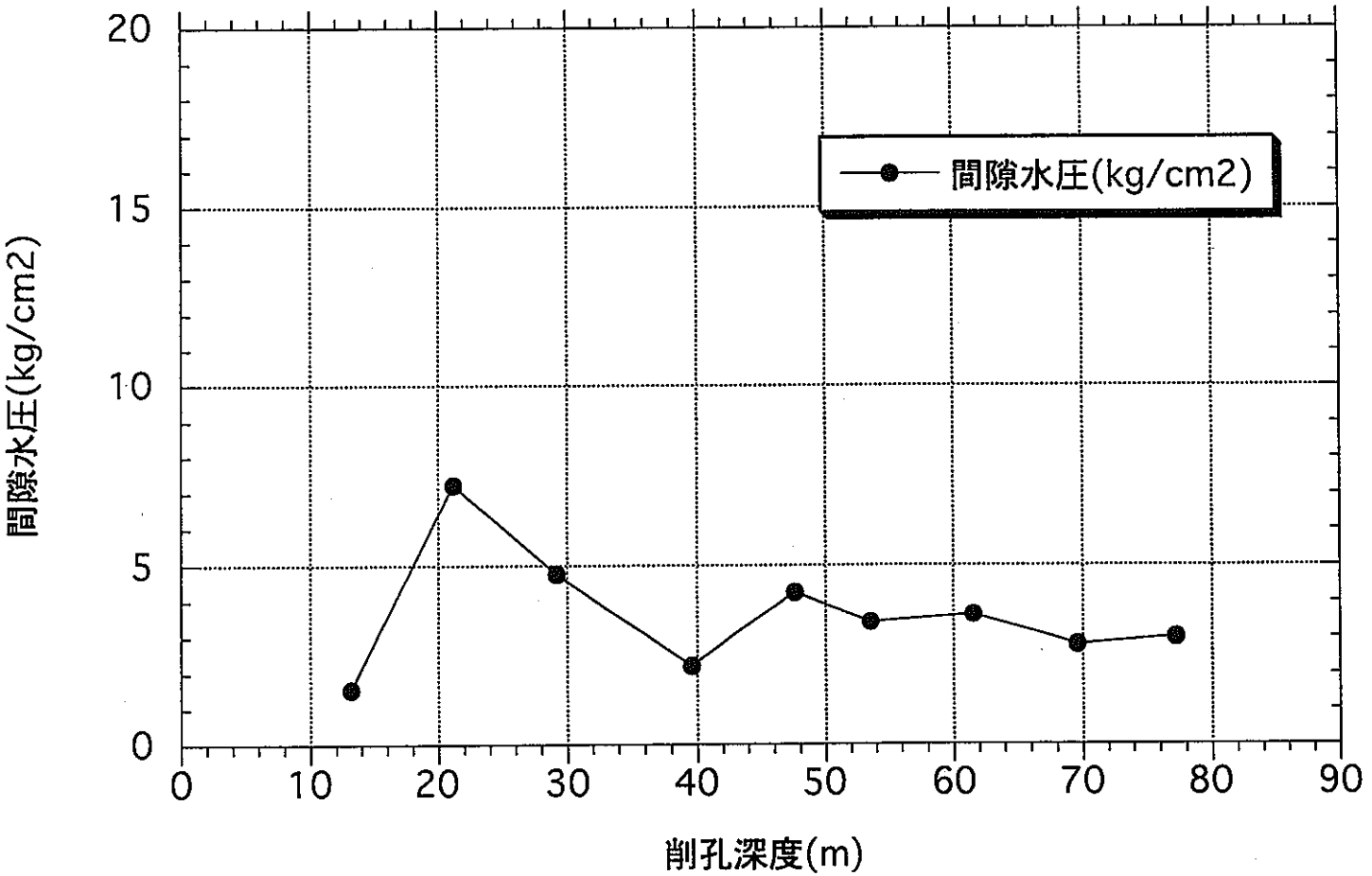


図-7.4.1　KH-22孔-削孔深度と間隙水圧の関係

表-7.4.2　KH-24孔　掘削深度と間隙水圧の関係

掘削深度(m)	間隙水圧(kg/cm2)
7.02	0.06
9.91	0.06
13.93	3.03
17.91	3.09
21.91	2.94
28.91	2.87
32.38	3.27
34.91	3
41.46	4.19
47.48	2.37
53.48	3.26
58.19	7.06
64.2	5.41
70.2	6.82
76.2	6.5

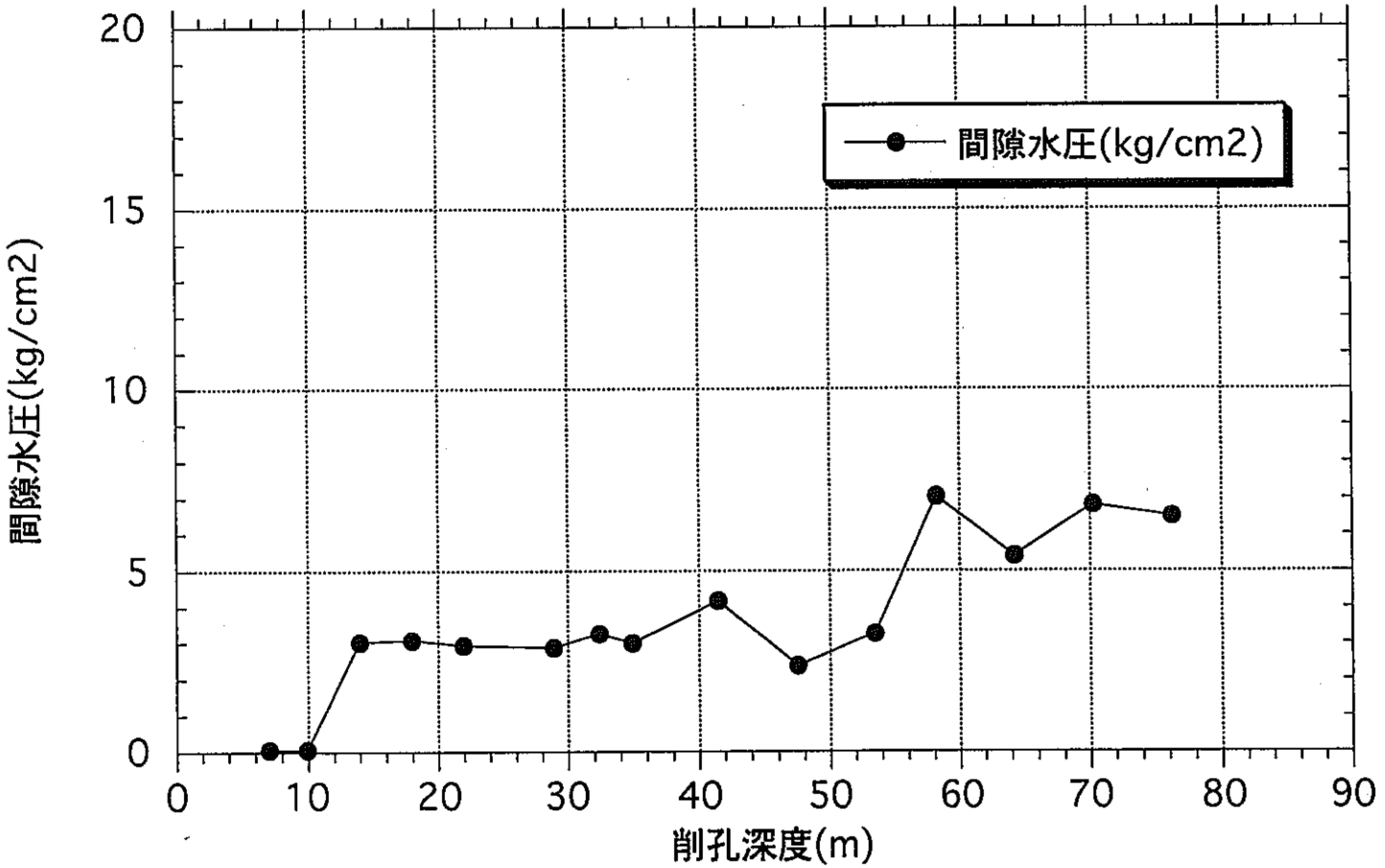


図-7.4.2　KH-24孔-掘削深度と間隙水圧の関係

7.5　試錐孔削孔中の圧力応答測定結果

7.5.1　KH-22孔削孔中の既存試錐孔における圧力応答

(1)KH-19、20、21、23、25孔内の主要圧力応答

図-7.5.1～図-7.5.5に、それぞれKH-22孔削孔時のKH-19、20、21、23、25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-22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。

(2)主要圧力応答から推定される透水割れ目

KH-22孔の削孔時にKH-19、20、21、23、25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なう。なお、表-7.5.1に水理応答が認められた削孔深度とその区間名を示した。

(a)深度 7.05～7.82m付近の削孔時

深度 7.05～7.82m付近削孔時にKH-19-7、21-7、25-7区間で0.5kg/cm^{2}程度、KH-23-5区間で0.03kg/cm^{2}程度の圧力の降下が認められた。図-7.5.6はKH-19-7、21-7、25-7区間、図-7.5.7はKH-23-5区間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。図-7.5.6では7m付近を削孔中にKH-19-7、21-7、25-7区間において圧力が大きく下降している様子がわかる。また、図-7.5.7では7m付近を削孔中にKH-23-5区間において圧力が徐々に落ちはじめ、深度8mの手前で微少ではあるが明らかに圧力が下降しているのが認められる。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7.11m、7.16mの開口割れ目群

深度7.11m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N14E82E、充填鉱物幅は0.5mm程度である。深度7.16mの割れ目は幅4cm程度の褐色の中変質を伴っている。走向傾斜はN55E68NW、充填鉱物幅は1mm程度である。なお、これらの開口割れ目は互いに連結しあっていると推定される。

(b) 20.36m付近においての応答

この深度ではKH-19-2、19-3、19-4、19-5、20-4、20-5区間で0.03kg/cm^{2}程度の圧力の降下が認められた。図-7.5.8はKH-19-2、19-3、19-4、19-5、20-4、20-5区間における削

表-7.5.1　KH-22孔掘削中間隙水圧変化

開口割れ目深度	7.11m	18.59m	20.34m	20.99m	25.66m	39.11m	43.08m	47.64m	52.10m	60.86mn
	7.16m			21.04m	26.12m	39.53m	43.36m	47.75m	52.11m	60.98m
				21.12m	27.49m		43.75m	47.82m		61.06m
				21.14m	27.52m		43.79m			
							43.80m			
							43.83m			

区間名	削孔前区間圧	7.05～7.82m付近	18.76m付近	20.36m付近	21.16m付近	26.48m付近	39.56m付近	43.33m付近	47.56m付近	51.87m付近	61.56m付近
KH-19-1											
KH-19-2	18>			-0.03		-0.6					
KH-19-3	18>			-0.03		-0.6					
KH-19-4	18>			-0.03		-0.6					
KH-19-5	18>			-0.03		-0.6					
KH-19-6	18>									-6	
KH-19-7	9>	-0.5									
KH-19-8											
KH-20-1	13>								-0.04/day		
KH-20-2	13>								-0.04/day		
KH-20-3	8<						-0.5/day	-3.5			
KH-20-4	18>			-0.03		-0.6					
KH-20-5	18>			-0.03		-0.6					
KH-20-6	15>		-0.4		-3						
KH-20-7	8>		-0.2		-2						
KH-21-1	12<								-0.04/day		-0.15
KH-21-2	9<						-0.5/day	-3.5			
KH-21-3	18>				-0.02	-0.1					
KH-21-4	17<				-0.05	-0.15					
KH-21-5	15<				-1.5						
KH-21-6	18>				-0.02	-0.1					
KH-21-7	9>	-0.5									
KH-23-1	13>										
KH-23-2	9<						-0.5/day	-3.5			
KH-23-3	17<				-0.01		-0.3/day	-1.2			
KH-23-4	18>				-0.01						
KH-23-5	0.4	-0.03									
KH-23-6	16>		-0.5		-4	-5					
KH-23-7	14<		-0.5		-4	-5					
KH-25-1	8<		-0.5		-4	-5					
KH-25-2	8<						-0.5/day	-3.5			
KH-25-3	19<				-0.02	-0.02					
KH-25-4	18<				-0.02	-0.02					
KH-25-5	15>		-0.5		-4	-5					
KH-25-6	18>				-0.02	-0.02					
KH-25-7	9>	-0.5									

単位(kg/cm2)

孔に伴う圧力変化の状況を示したグラフである。20.36m付近を削孔中にKH-19-7、21-7、25-7区間において圧力がわずかに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20.34mの開口割れ目

深度20.34mの割れ目は幅4cm程度の灰色の中変質を伴っている。走向傾斜はN67E67N、充填鉱物幅は3mm程度である。

(c) 18.76mおよび21.16m付近の削孔時

深度 18.76m付近削孔時にKH-20-6、20-7、23-6、23-7、25-1、25-5区間で0.2～0.5kg/cm^{2}程度の圧力の降下が認められた。また、深度 21.16m付近削孔時にKH-20-6、20-7、21-5、23-6、23-7、25-1、25-5区間で1～4kg/cm^{2}程度、KH-21-3、21-4、21-6、23-3、23-4、25-3、25-4、25-6区間で0.01～0.02kg/cm^{2}程度の圧力の降下が認められた。

図-7.5.9はKH-20-6、23-6、23-7、25-5区間、図-7.5.10はKH-20-7、25-1区間、図-7.5.11はKH-21-5区間、図-7.5.12はKH-21-4、23-3区間、図-7.5.13はKH-23-4区間、図-7.5.14はKH-25-4、25-6区間、図-7.5.15はKH-21-3、21-6区間、図-7.5.16はKH-25-3区間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。図-7.5.9～図-7.5.16では21.16m付近を削孔中にこれらの図中の全ての区間において圧力が大きく下降している様子がわかる。また、図-7.5.9のKH-20-6、23-6、23-7、25-5区間では深度18.59m付近から圧力が徐々に落ちはじめ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18.59mの開口割れ目

深度18.59mの割れ目は幅4cm程度の白色の弱変質を伴っている。走向傾斜はN66E45N、充填鉱物幅は2mm程度である。

○深度20.99m、21.04m、21.12m、21.14mの開口割れ目群

深度20.99mの割れ目は幅2cm程度の白色の全体変質を伴っている。走向傾斜はN70W68N、充填鉱物幅は0.5mm程度である。深度21.04mの割れ目は幅8cm程度の橙色の全体変質を伴っている。走向傾斜はN53W83SW、充填鉱物幅は8mm程度である。深度21.12mの割れ目は幅8cm程度の橙色の全体変質を伴っている。走向傾斜はN69W86N、充填鉱物幅は6mm程度である。深度21.14mの割れ目は幅8cm程度の橙色の全体変質を伴っている。走向傾斜はN69W89S、充填鉱物幅は4mm程度である。なお、これらの開口割れ目は互いに連結しあっていると推定される。

(d) 26.48m付近の削孔時

この深度ではKH-19-2、19-3、19-4、19-5、20-4、20-5区間で0.6kg/cm^{2}程度、KH-23-6、23-7、25-1、25-5区間で5kg/cm^{2}程度、KH-20-3、21-2、23-2、25-2区間で0.5kg/cm^{2}程度、KH-21-3、21-4、21-6区間で0.1～0.2kg/cm^{2}程度、KH-25-3、25-4、25-6区間で0.02kg/cm^{2}程度の圧力の降下が認められた。

図-7.5.17はKH-19-2、19-3、19-4、19-5、20-4、20-5区間、図-7.5.18はKH-21-3、21-6区間、図-7.5.19はKH-21-4区間、図-7.5.20はKH-23-6、23-7、25-1、25-5区間、図-7.5.21はKH-25-3区間、図-7.5.22はKH-25-4、25-6区間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。図-7.5.17～図-7.5.22では26.48m付近を削孔中から、これらの図中の全ての区間において圧力が徐々に下降し始めている様子がわかる。また、図-7.5.17ではKH-19-2、19-3、19-4、19-5、20-4、20-5区間で深度27.75m付近でも圧力が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25.66mの開口割れ目

深度25.66mの割れ目は幅5cm程度の橙色の強変質を伴っている。走向傾斜はN64E80S、充填鉱物幅は10mm程度である。

○深度26.12mの開口割れ目

深度26.12mの割れ目は幅1cm程度の白色の弱変質を伴っている。走向傾斜はN57E82SE、充填鉱物幅は1mm程度である。

○深度27.49m、27.52mの開口割れ目群

深度27.49mの割れ目は幅8cm程度の橙色の強変質を伴っている。走向傾斜はN70E67N、充填鉱物幅は10mm程度である。深度27.52mの割れ目は幅8cm程度の赤色の強変質を伴っている。走向傾斜はN72E71N、充填鉱物幅は10mm程度である。なお、これらの開口割れ目は互いに連結しあっていると推定される。

(e) 39.56m付近の削孔時

この深度ではKH-20-3、21-2、23-2、23-3、25-2区間で緩やかな圧力の下降（1日に0.5kg/cm^{2}程度）が認められた。　図-7.5.23はKH-20-3、21-2、25-2区間、図-7.5.24はKH-23-2区間、図-7.5.25はKH-23-3区間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。39.56m付近を削孔中から、これらの区間において圧力が徐々に下降し始め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39.11mの開口割れ目

深度39.11mの割れ目は幅1cm程度の橙色の弱変質を伴っている。走向傾斜はN75E52S、充填鉱物幅は0.5mm程度である。

○深度39.53mの開口割れ目

深度39.53mの割れ目は幅3cm程度の橙色の中変質を伴っている。走向傾斜はN73E52S、充填鉱物幅は2mm程度である。

(f) 43.33m付近の削孔時

この深度ではKH-20-3、21-2、23-2、25-2区間で3.5kg/cm^{2}程度、KH-23-3区間で1.2kg/cm^{2}程度の圧力の降下が認められた。図-7.5.23はKH-20-3、21-2、25-2区間、図-7.5.24はKH-23-2区間、図-7.5.25はKH-23-3区間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。43.33m付近を削孔中から、これらの区間において圧力が大きく下降し始め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43.08mの開口割れ目

深度43.08mの割れ目は幅1cm程度の橙色の中変質を伴っている。走向傾斜はN48E64NW、充填鉱物幅は3mm程度である。

○深度43.36mの開口割れ目

深度43.36mの割れ目は幅3cm程度の白色の弱変質を伴っている。走向傾斜はN11E47W、充填鉱物幅は3mm程度である。

○深度43.75m、43.79m、43.80m、43.83mの開口割れ目群

深度43.75mの割れ目は幅3cm程度の橙色の強変質を伴っている。走向傾斜はN49E85NW、充填鉱物幅は20mm程度である。深度43.79mの割れ目は幅3cm程度の橙色の強変質を伴っている。走向傾斜はN56E85SE、充填鉱物幅は40mm程度である。深度43.80mの割れ目は幅2cm程度の橙色の強変質を伴っている。走向傾斜はN58E87SE、充填鉱物幅は10mm程度である。深度43.83mの割れ目は幅2cm程度の橙色の強変質を伴っている。走向傾斜はN49E78NW、充填鉱物幅は8mm程度である。なお、これらの開口割れ目は互いに連結しあっていると推定される。

(g) 47.56m付近の削孔時

この深度ではKH-20-1、20-2、21-1区間で緩やかに圧力の降下(1日に0.04kg/cm^{2}程度)

が認められた。図-7.5.26はKH-20-1区間、図-7.5.27はKH-20-2区間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。47.56m付近を削孔中から、これらの区間において圧力が徐々に下降し始め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47.64mの開口割れ目

深度47.64mの割れ目は幅4cm程度の白色の中変質を伴っている。走向傾斜はN64E69N、充填鉱物幅は3mm程度である。

○深度47.75m、47.82mの開口割れ目群

深度47.75mの割れ目は幅1cm程度の白色の弱変質を伴っている。走向傾斜はN57E59NW、充填鉱物幅は0.5mm程度である。深度47.82mの割れ目は幅4cm程度の橙色の中変質を伴っている。走向傾斜はN24E54W、充填鉱物幅は2mm程度である。なお、これらの開口割れ目は互いに連結しあっていると推定される。

(h) 51.87m付近の削孔時

この深度ではKH-19-6区間で6kg/cm^{2}程度の圧力の降下が認められた。図-7.5.28はKH-19-6区間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。51.87m付近を削孔中から、圧力が大きく下降し始め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52.10m、52.11mの開口割れ目群

深度52.10mの割れ目は幅2cm程度の赤色の強変質を伴っている。走向傾斜はN62E70N、充填鉱物幅は8mm程度である。深度47.82mの割れ目は幅2cm程度の赤色の強変質を伴っている。走向傾斜はN63E71N、充填鉱物幅8mm程度である。なお、これらの開口割れ目は互いに連結しあっていると推定される。

(i) 61.56m付近の削孔時

この深度ではKH-21-1区間で0.15kg/cm^{2}程度の圧力の降下が認められた。図-7.5.29はKH-19-6区間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。61.56m付近を削孔終了後から、圧力が大きく下降し始め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60.86m、60.98m、61.06mの開口割れ目群

深度60.86mの割れ目は幅6cm程度の橙色の強変質を伴っている。走向傾斜はN60E67N、充填鉱物幅は8mm程度である。深度60.98mの割れ目は幅8cm程度の橙色の

全体変質を伴っている。走向傾斜はN86E81S、充填鉱物幅20mm程度である。深度61.06mの割れ目は幅5cm程度の橙色の強変質を伴っている。走向傾斜はN67E85S、充填鉱物幅4mm程度である。なお、これらの開口割れ目は互いに連結しあっていると推定される。

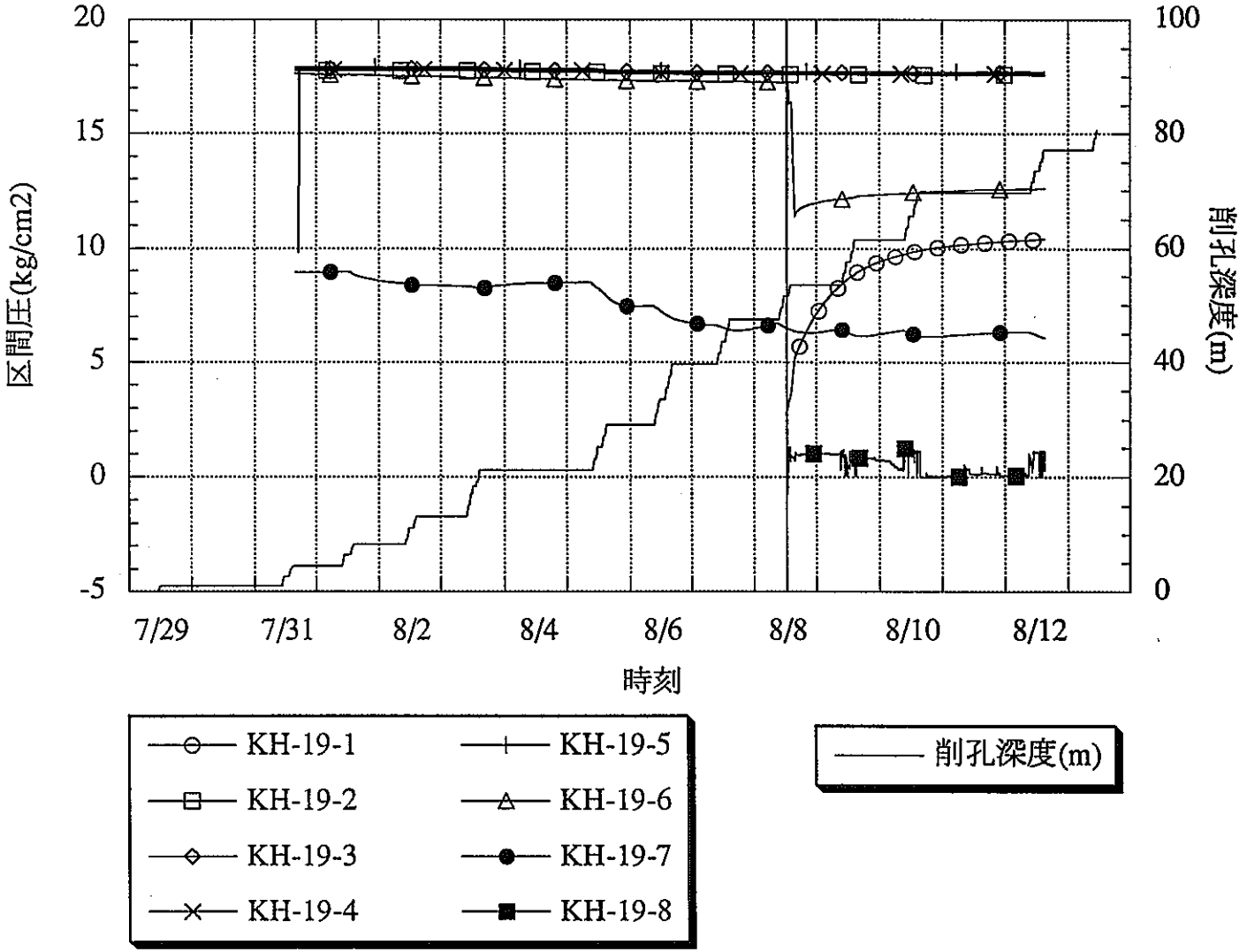


図-7.5.1　KH-22孔削孔中のKH-19孔各区間での間隙水圧経時変化

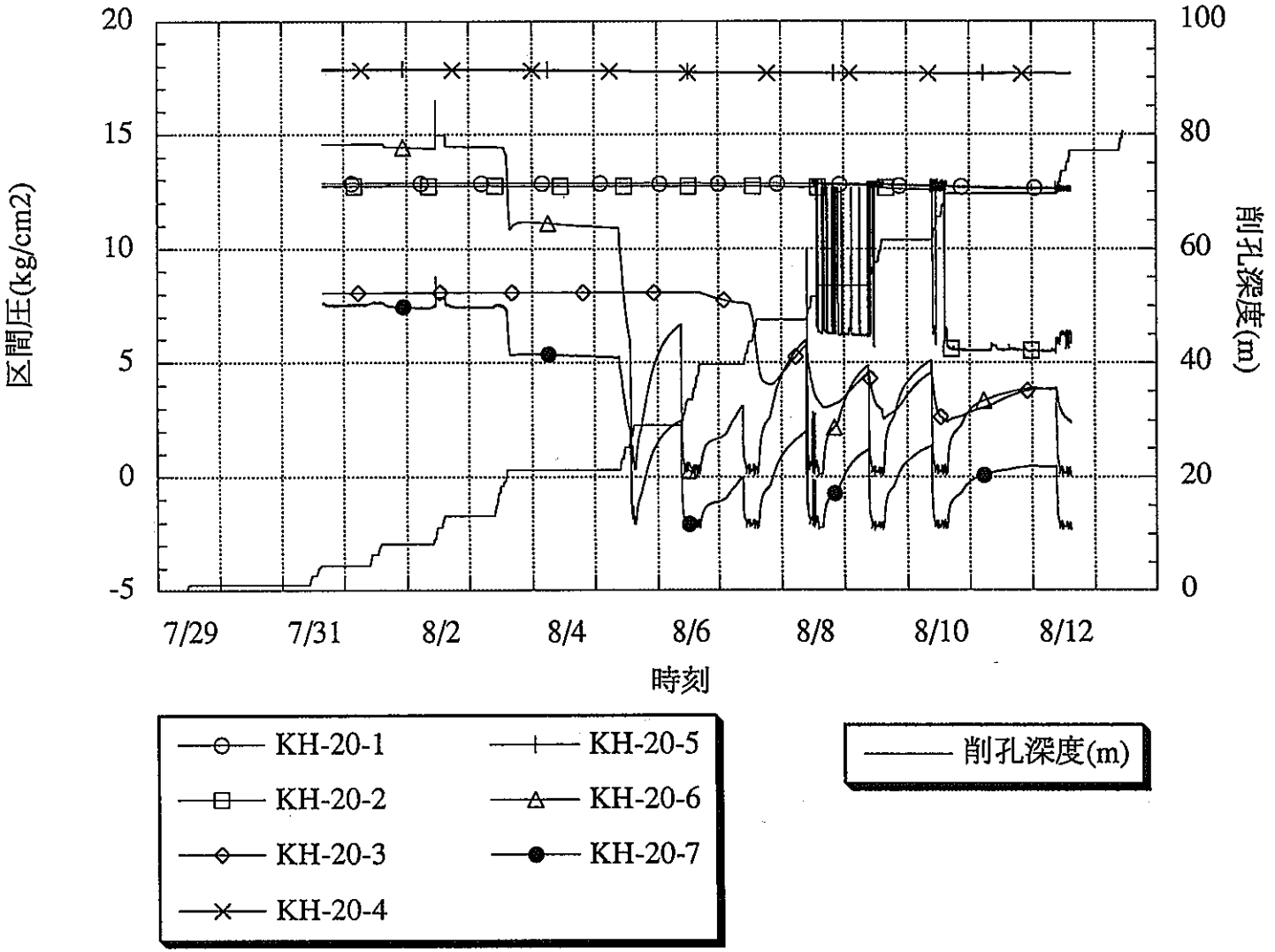


図-7.5.2　KH-22孔削孔中のKH-20孔各区間での間隙水圧経時変化

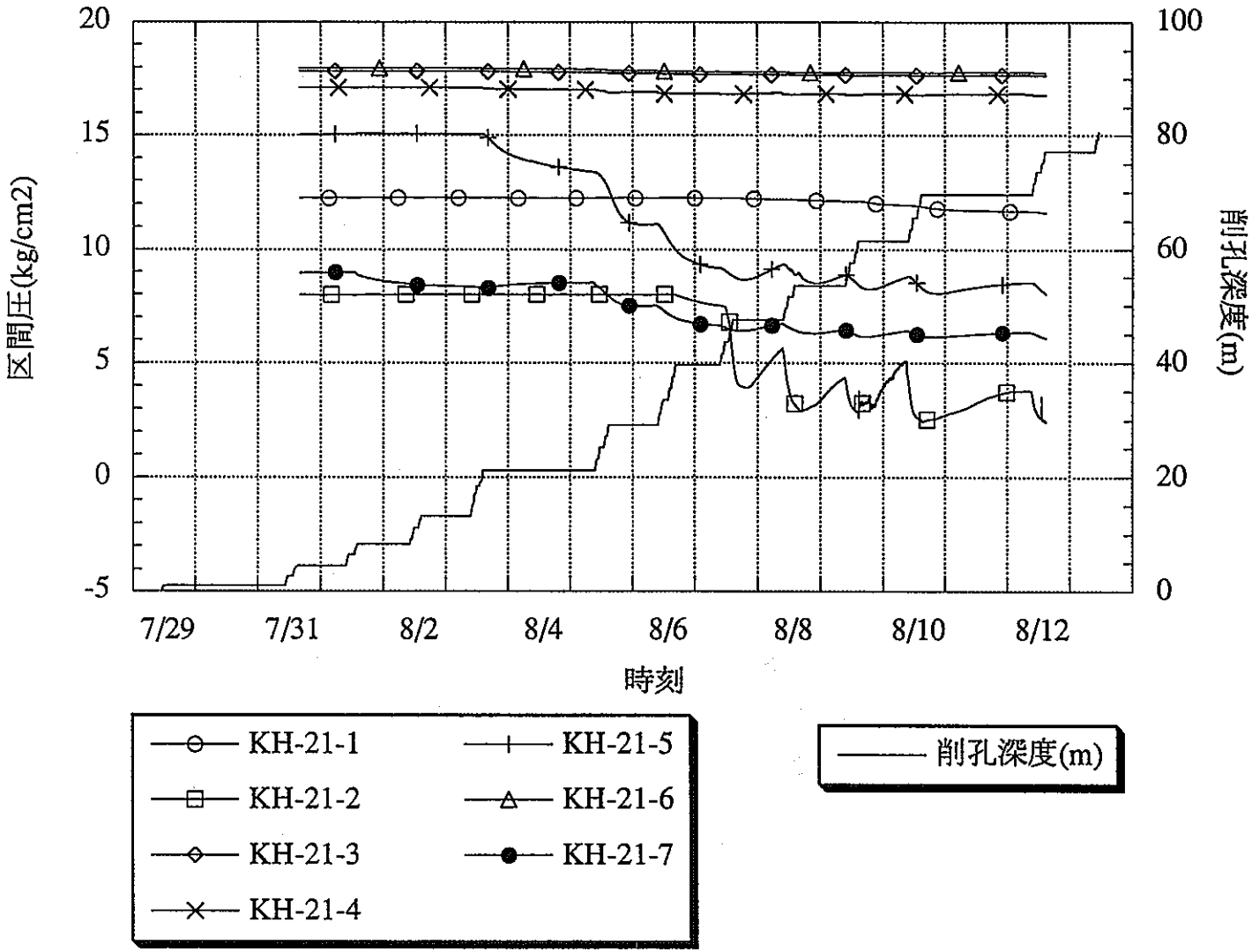


図-7.5.3　KH-22孔削孔中のKH-21孔各区間での間隙水圧経時変化

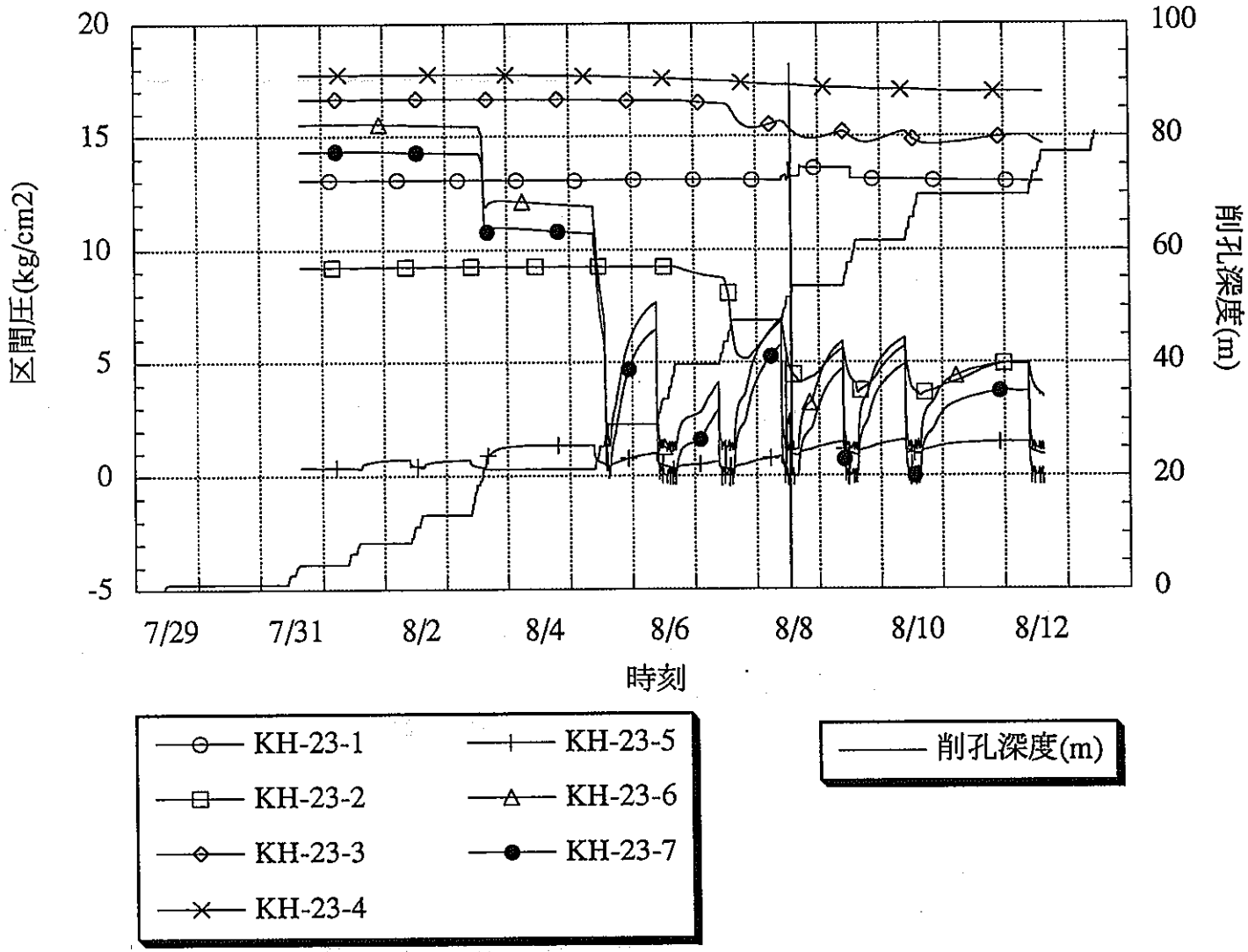


図-7.5.4　KH-22孔削孔中のKH-23孔各区間での間隙水圧経時変化

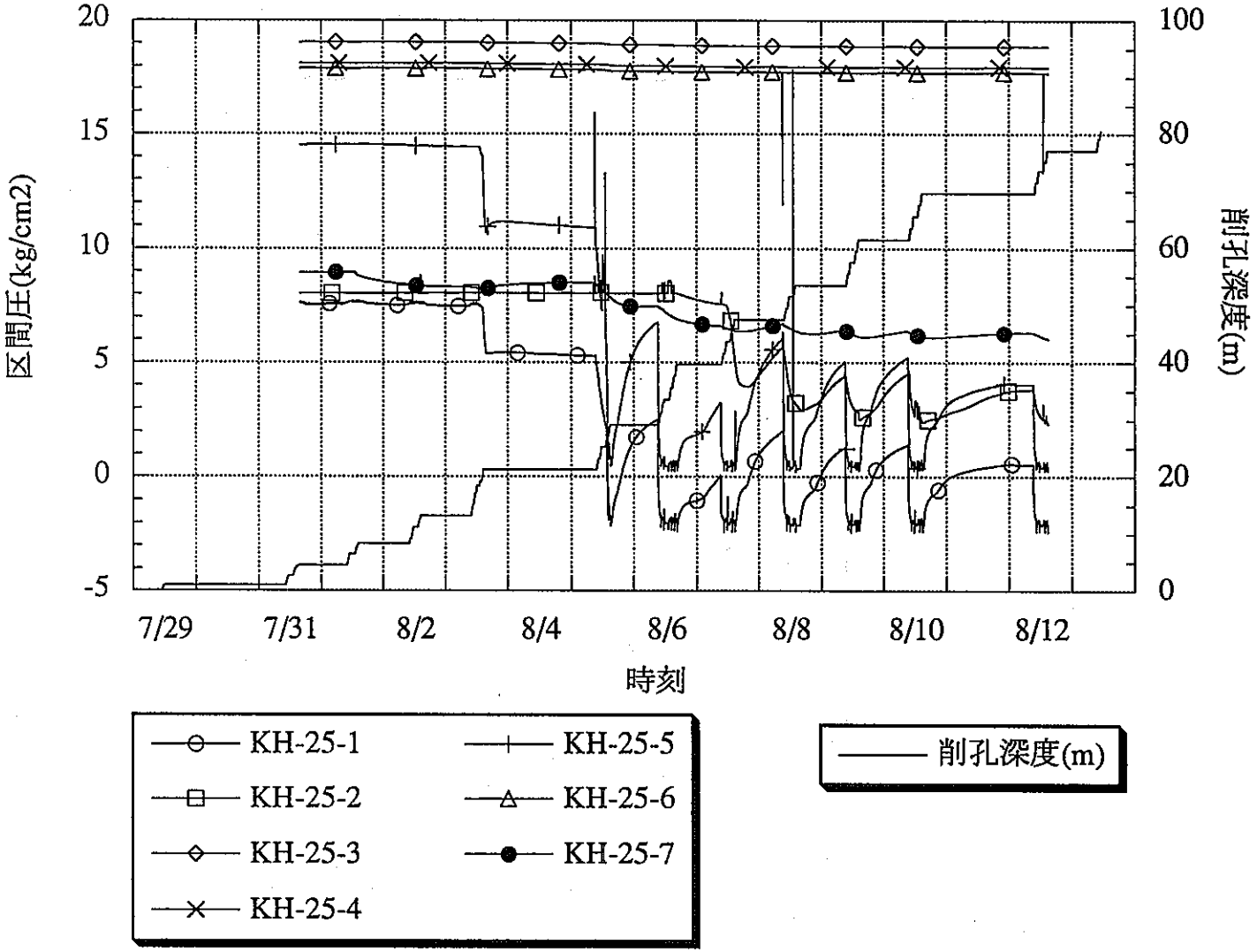


図-7.5.5　KH-22孔削孔中のKH-25孔各区間での間隙水圧経時変化

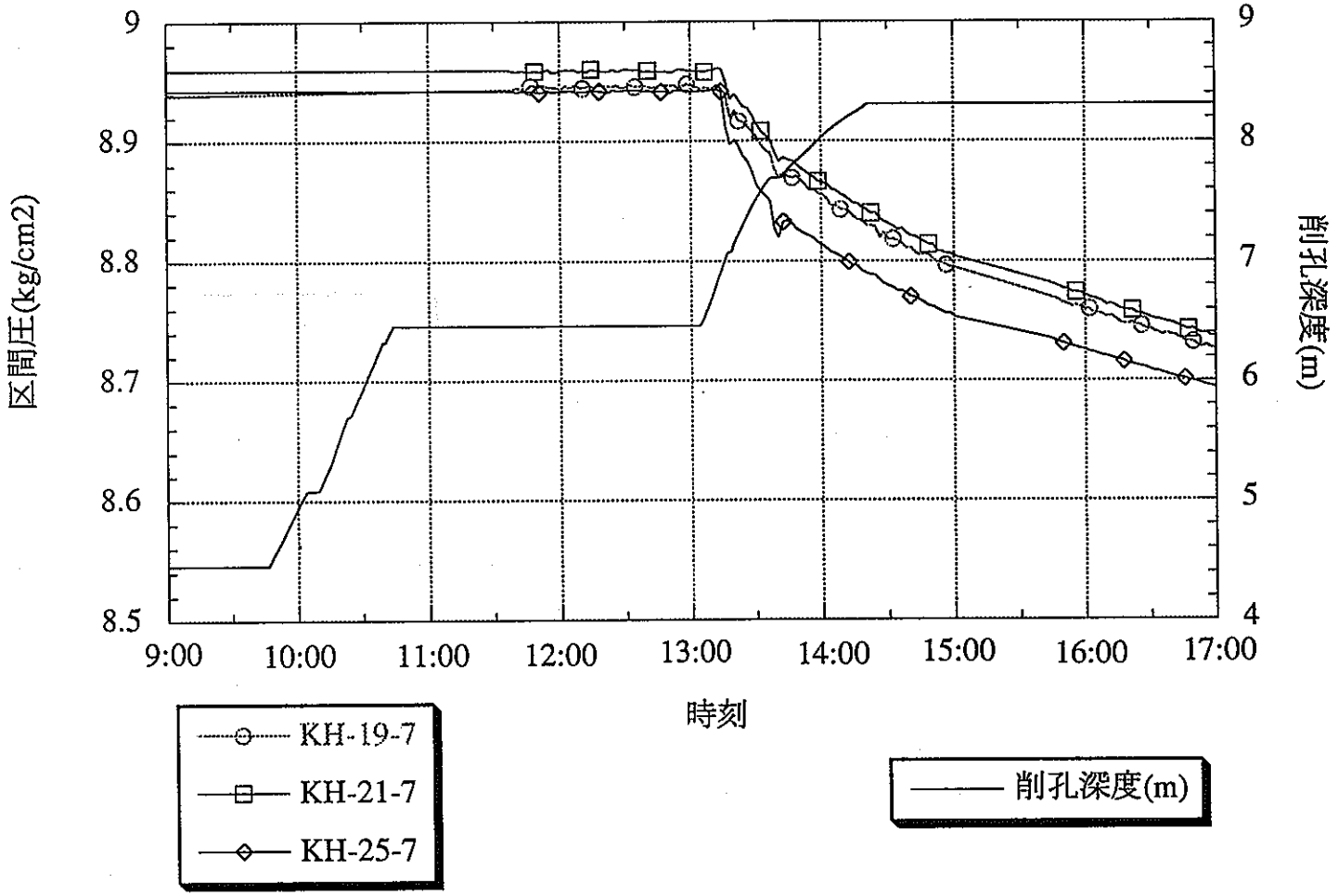


図-7.5.6　KH-22孔の7.05～7.82m削孔中に発生した間隙水圧の変化(1)

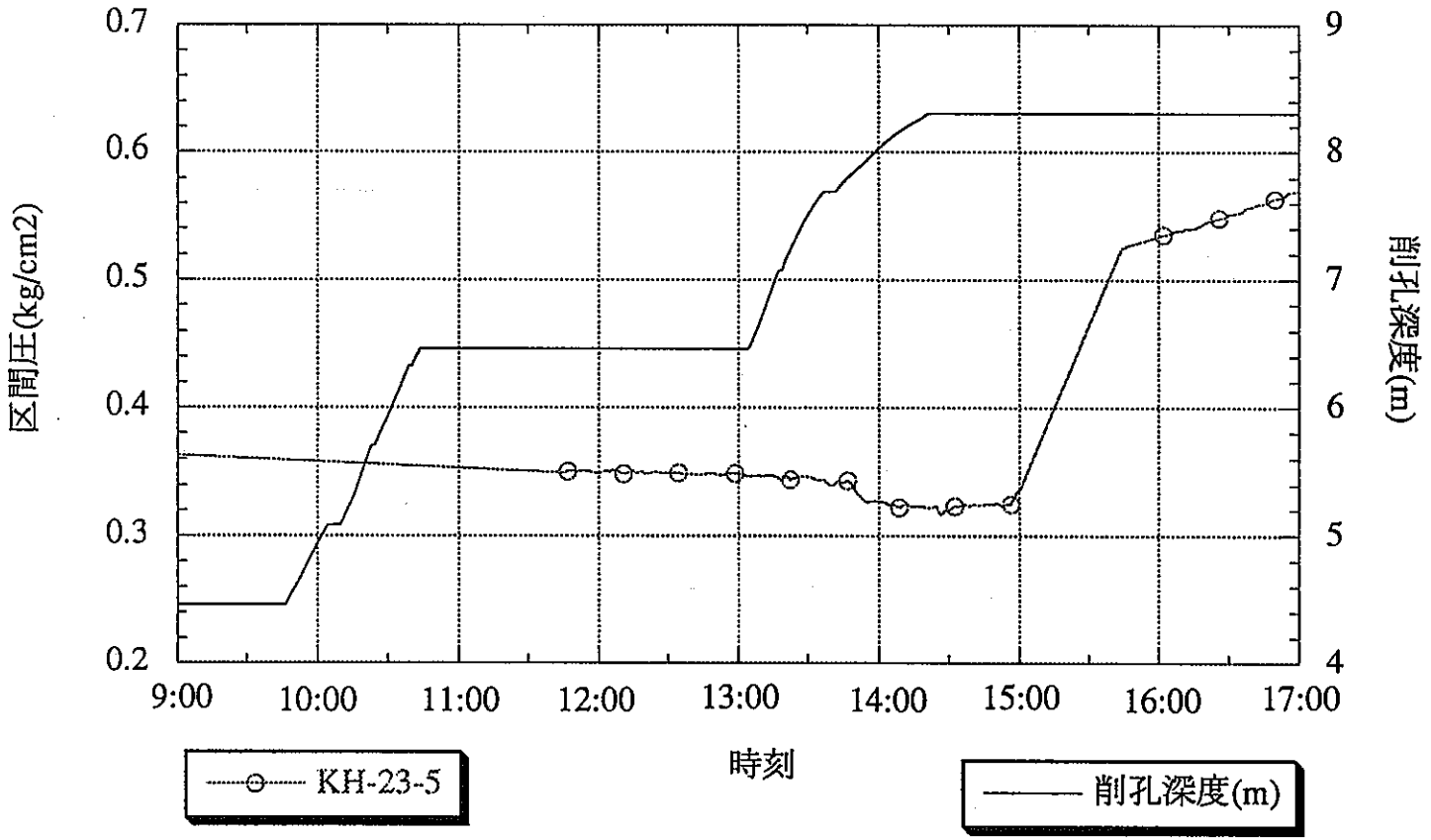


図-7.5.7　KH-22孔の7.05～7.82m削孔中に発生した間隙水圧の変化(2)

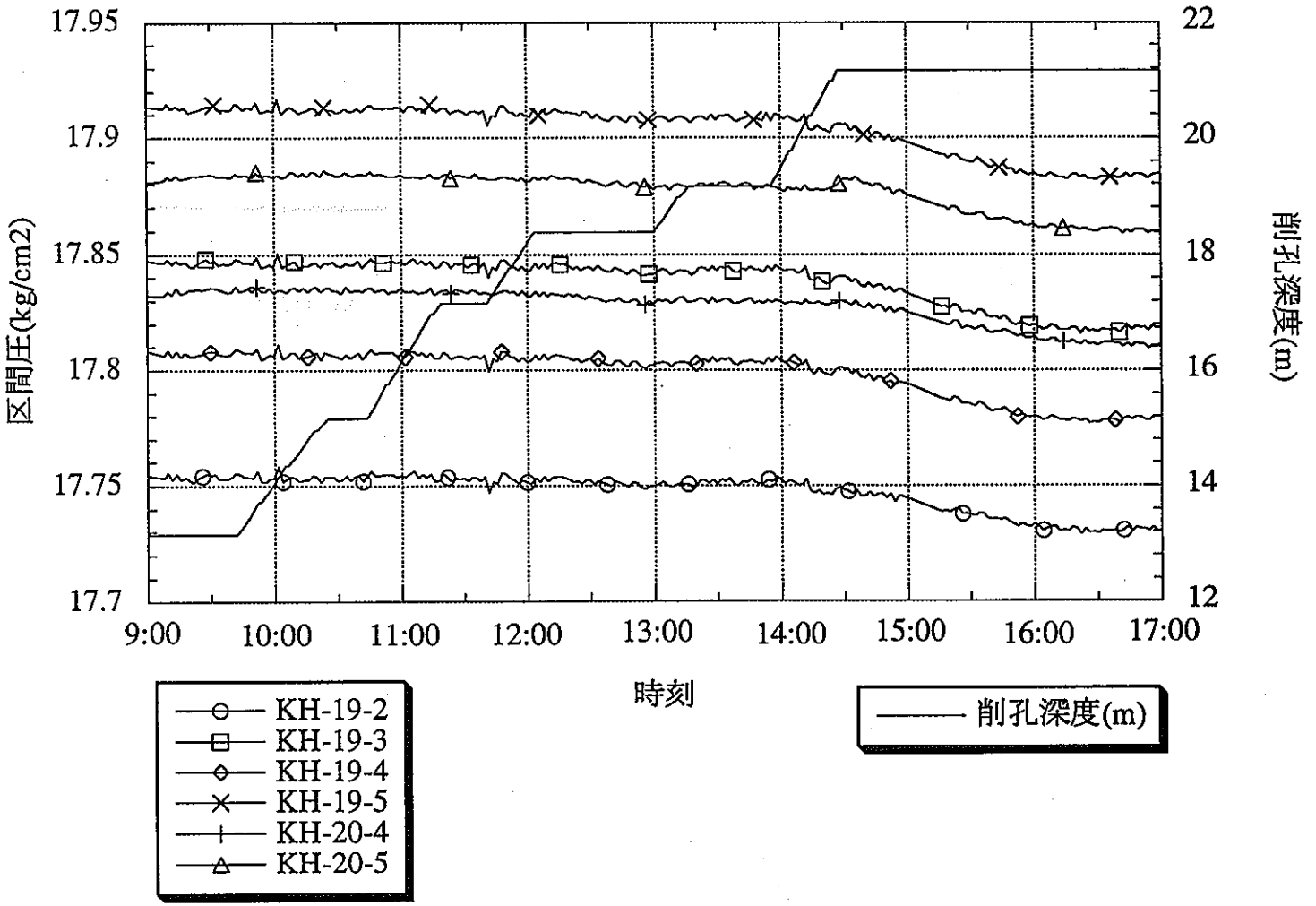


図-7.5.8　KH-22孔の20.36m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化

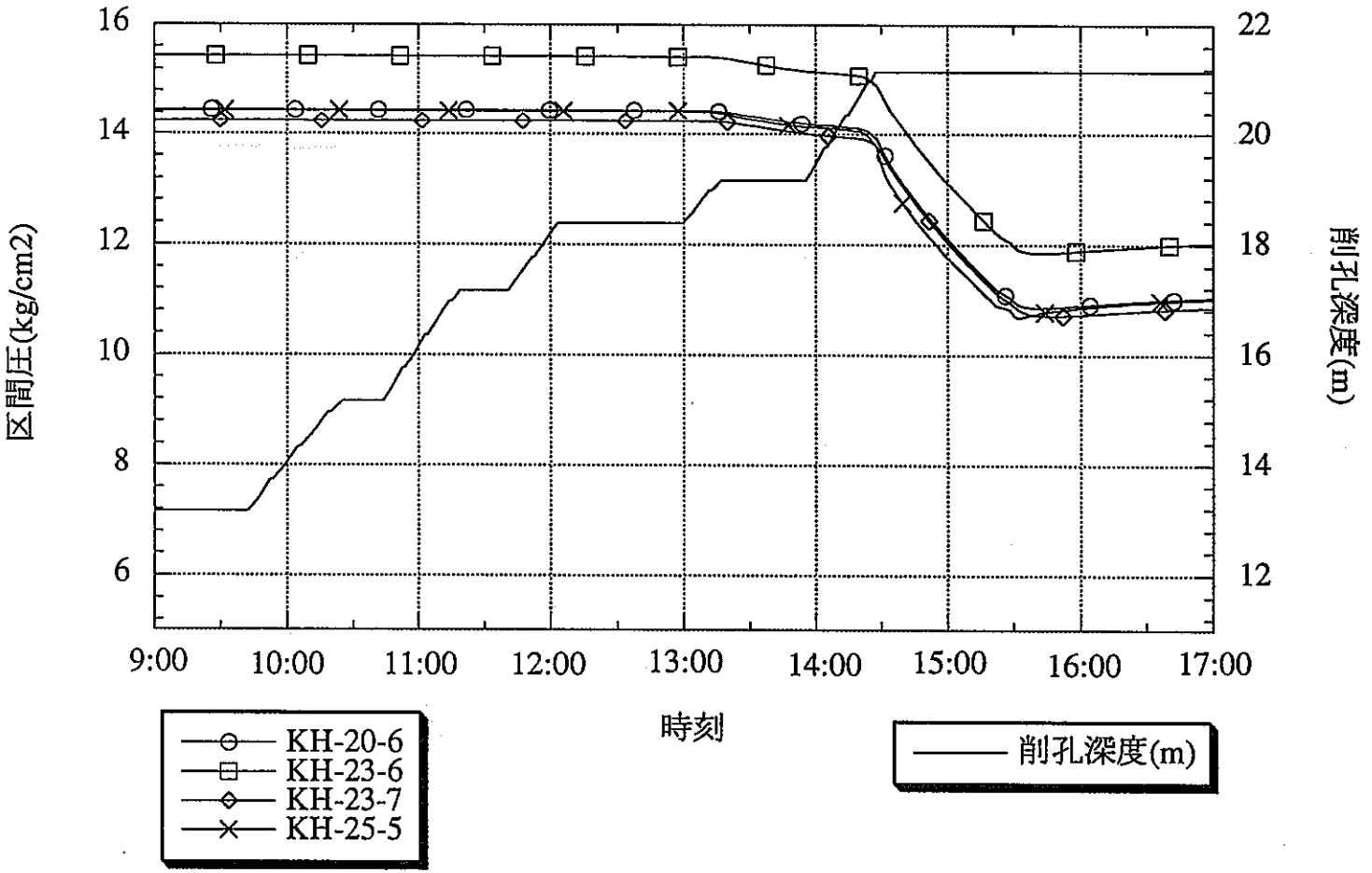


図-7.5.9　KH-22孔の21.16m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(1)

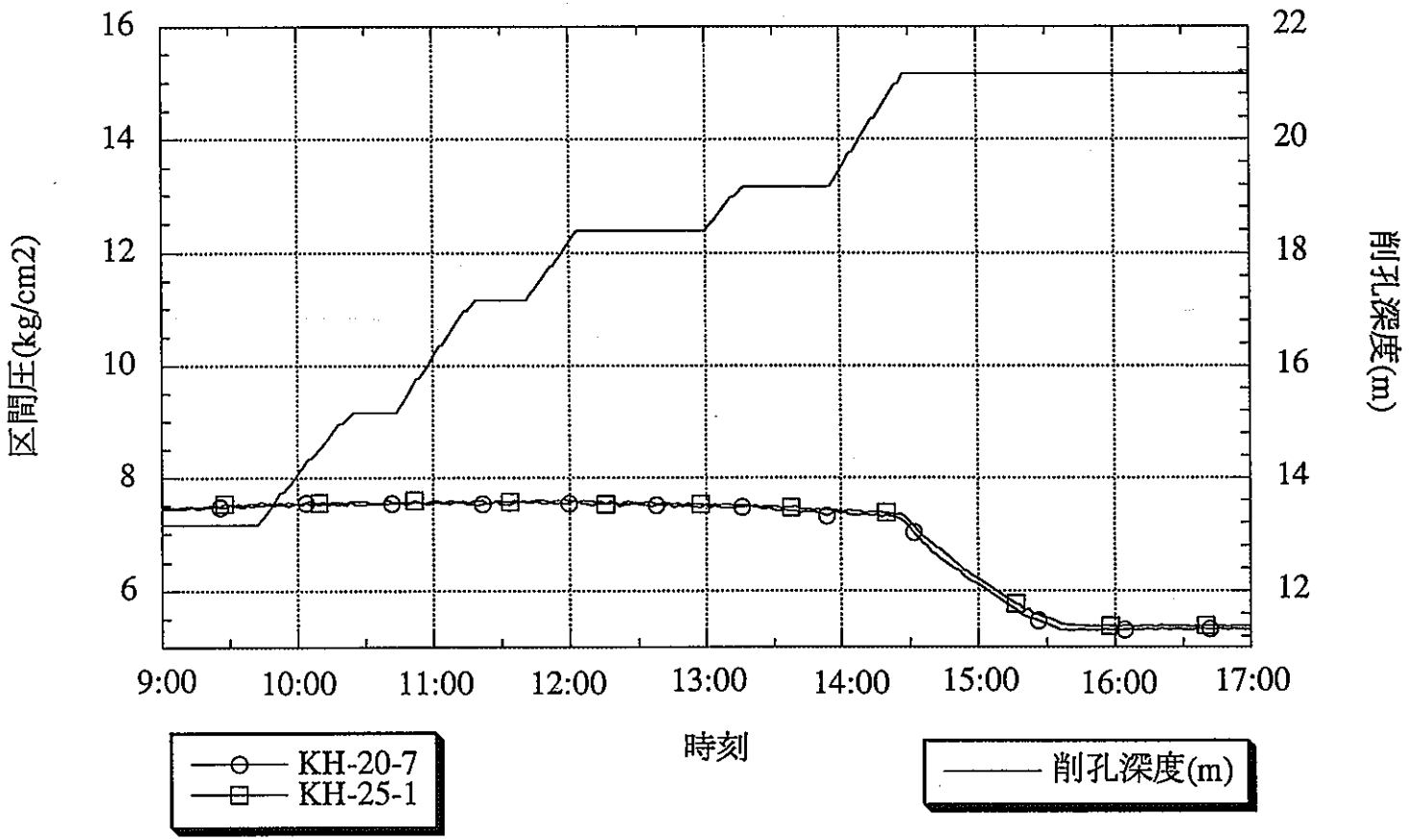


図-7.5.10　KH-22孔の21.16m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(2)

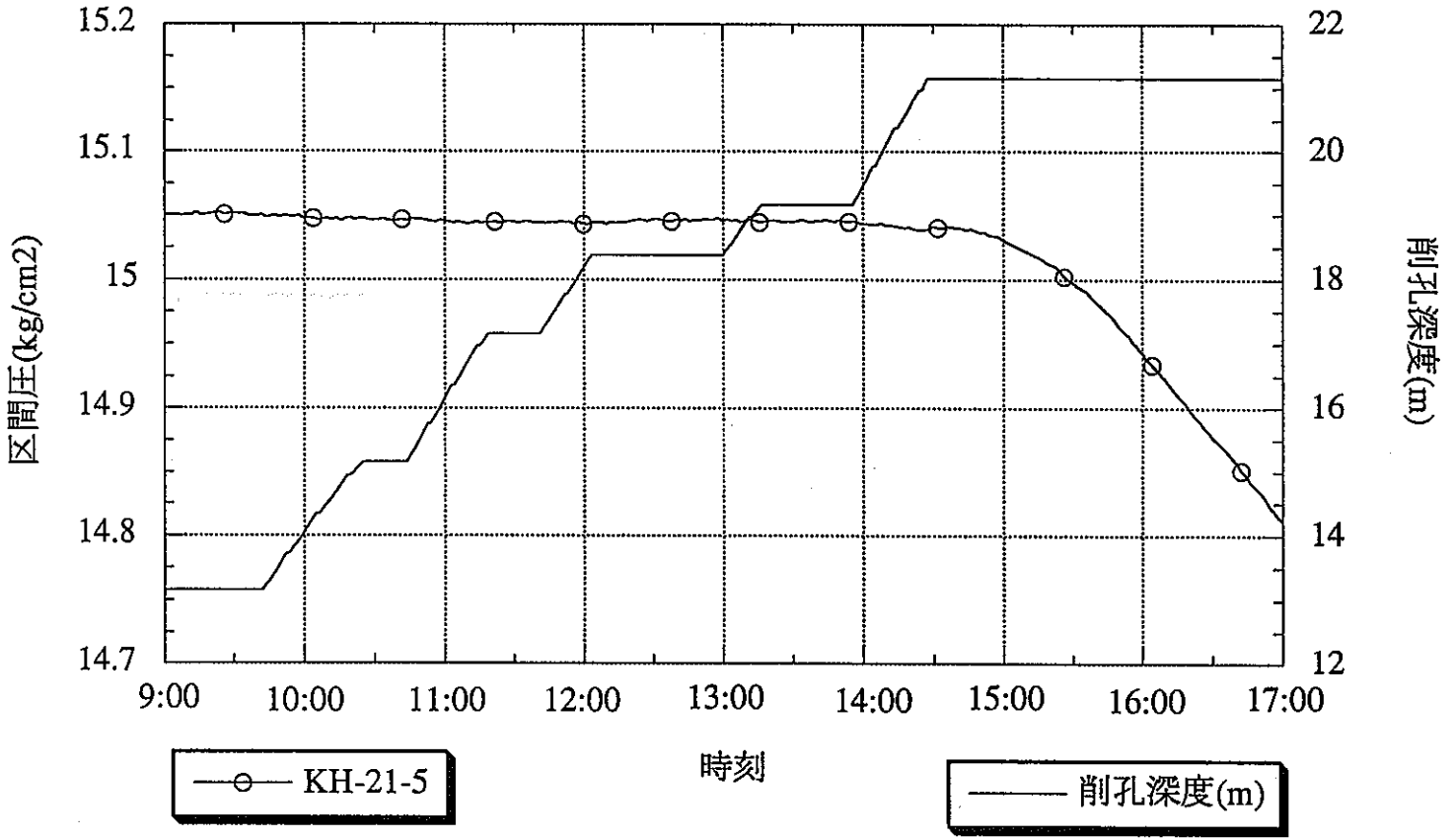


図-7.5.11　KH-22孔の21.16m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(3)

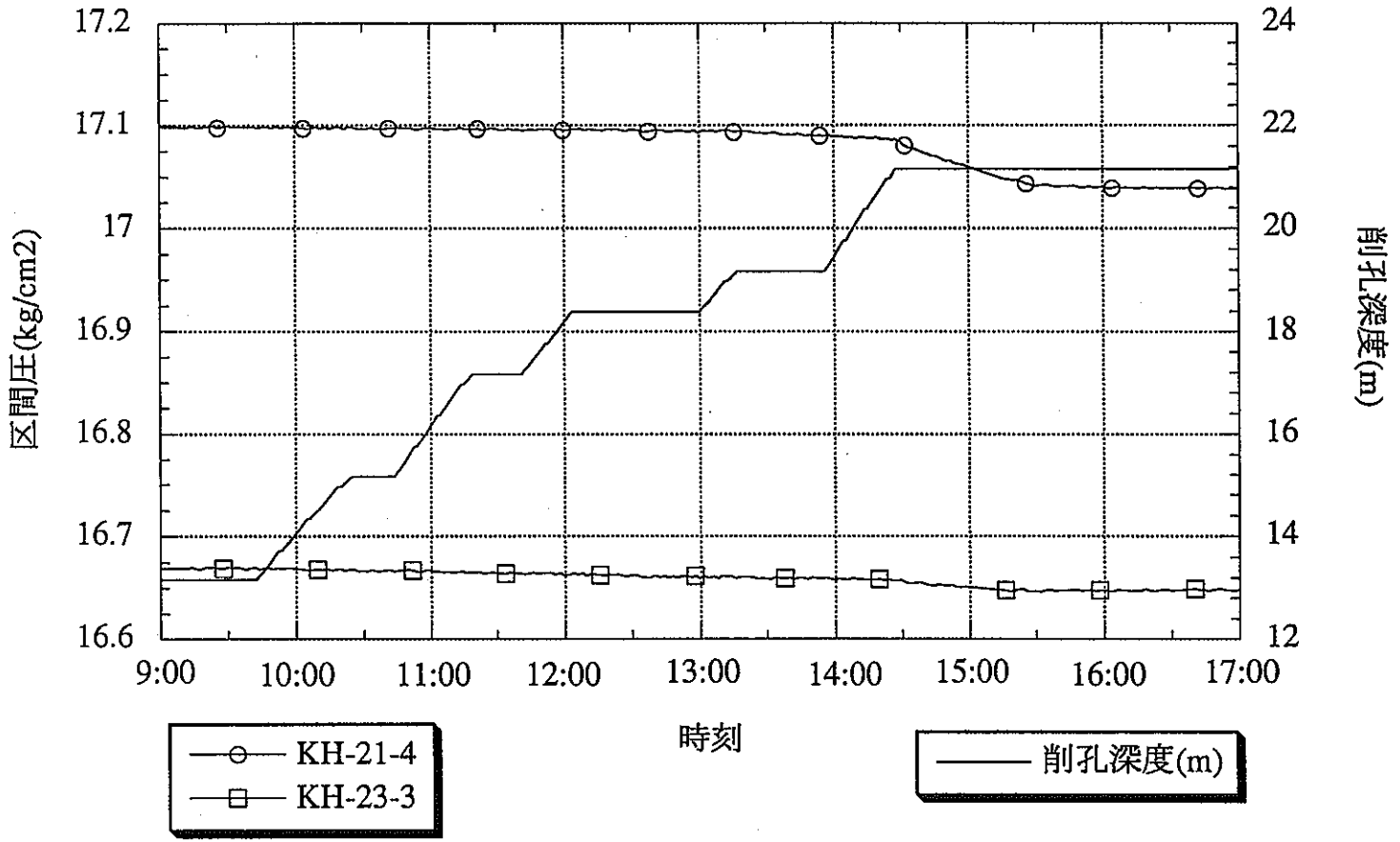


図-7.5.12　KH-22孔の21.16m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(4)

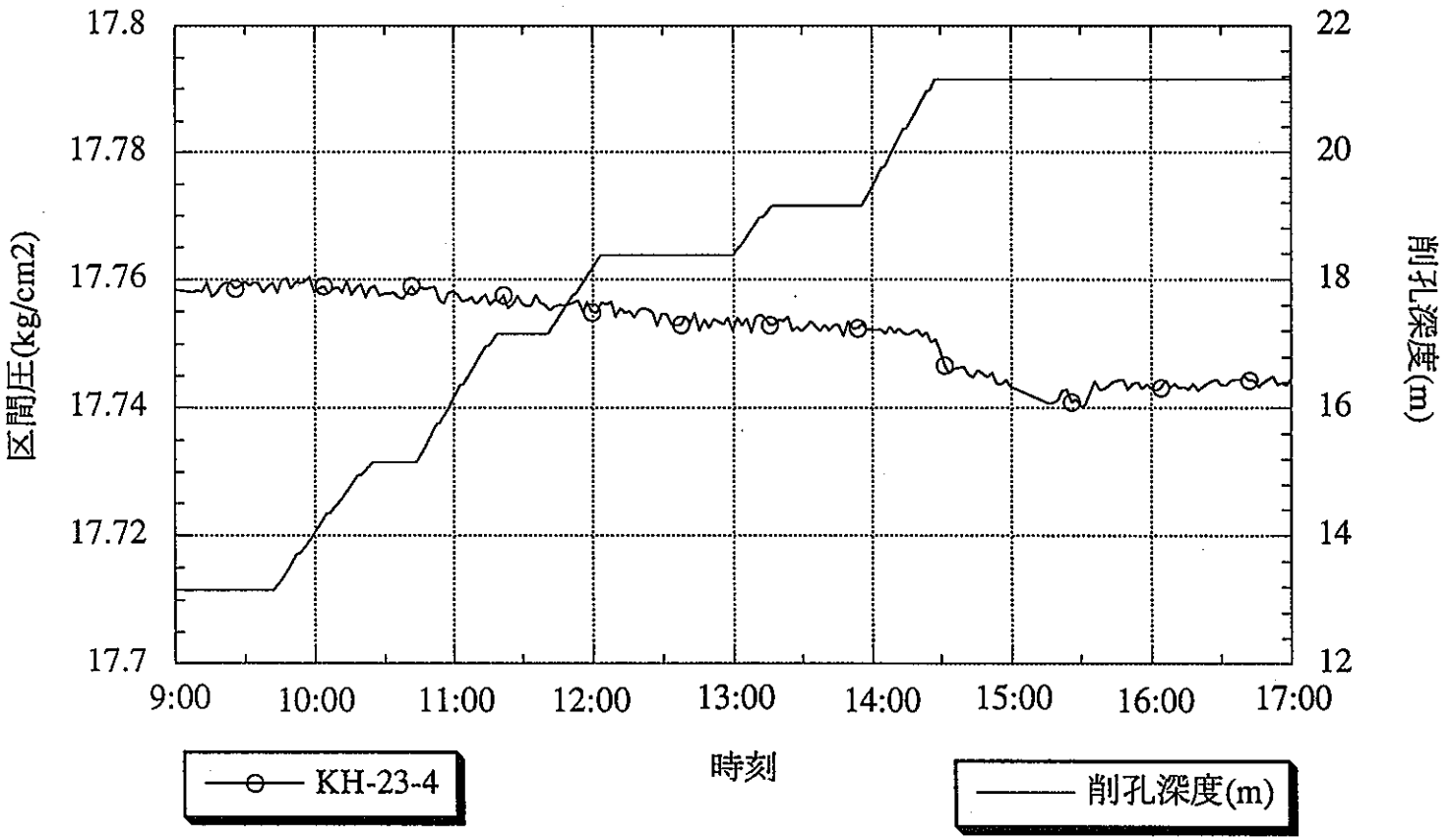


図-7.5.13　KH-22孔の21.16m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(5)

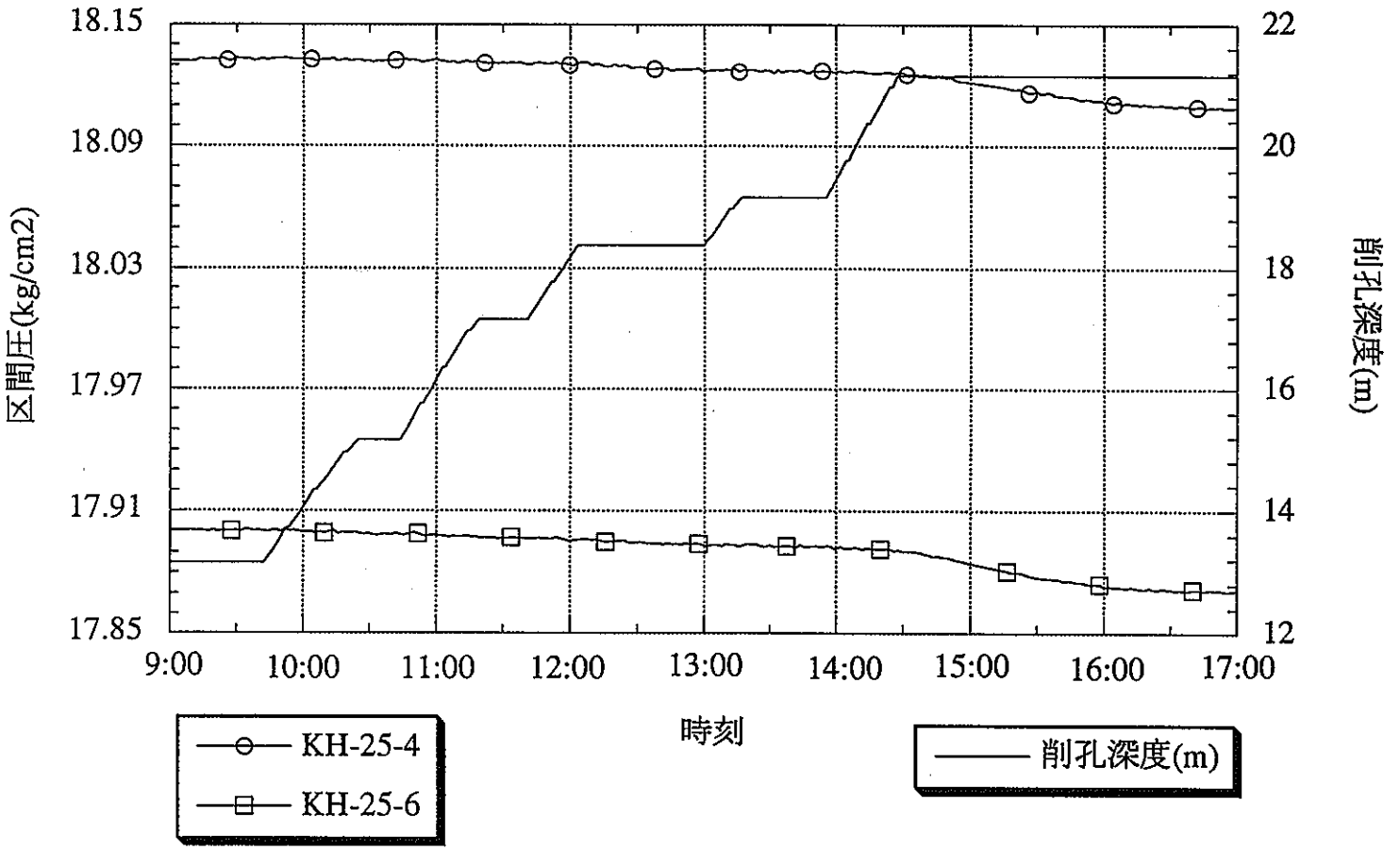


図-7.5.14　KH-22孔の21.16m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(6)

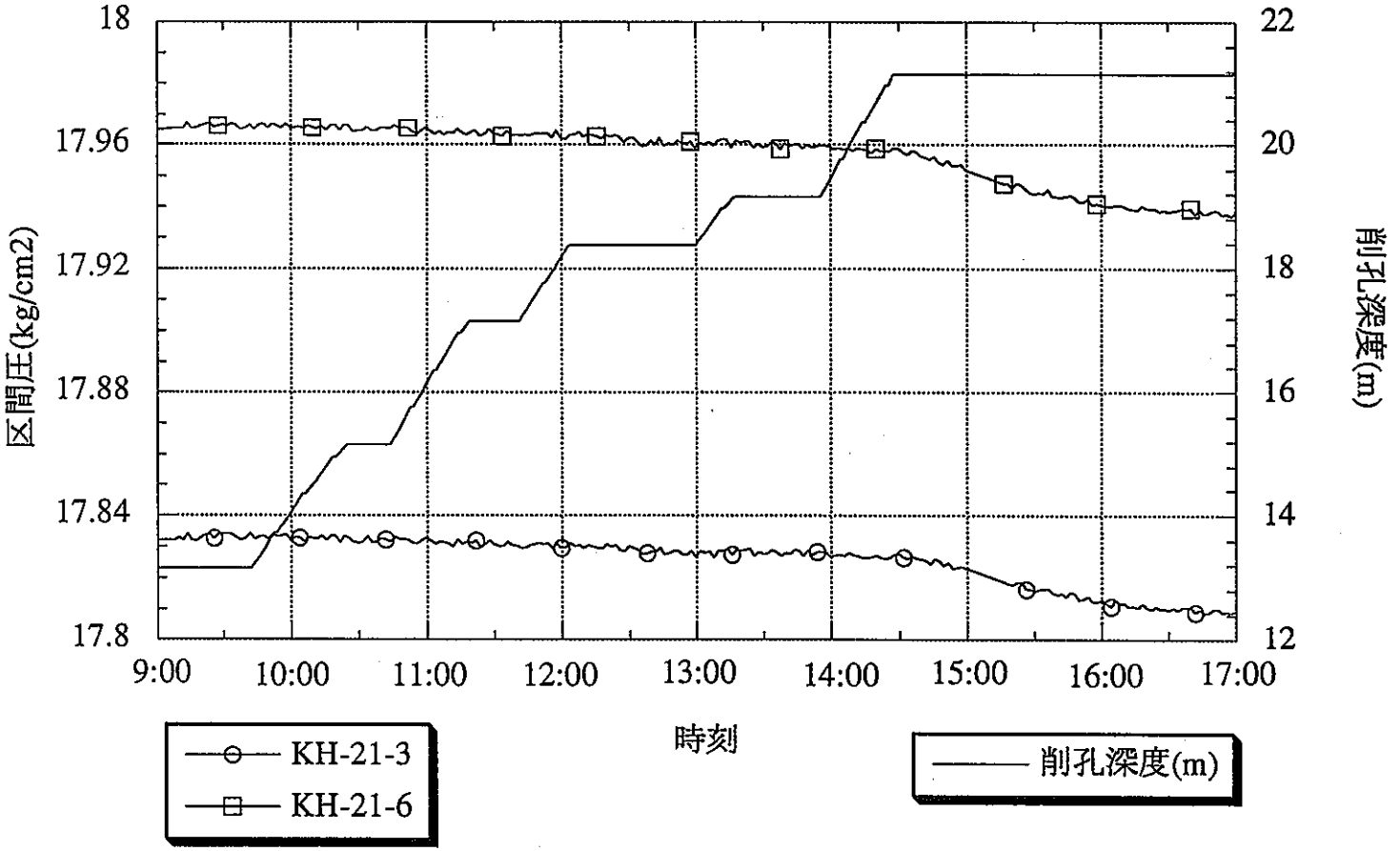


図-7.5.15　KH-22孔の21.16m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(7)

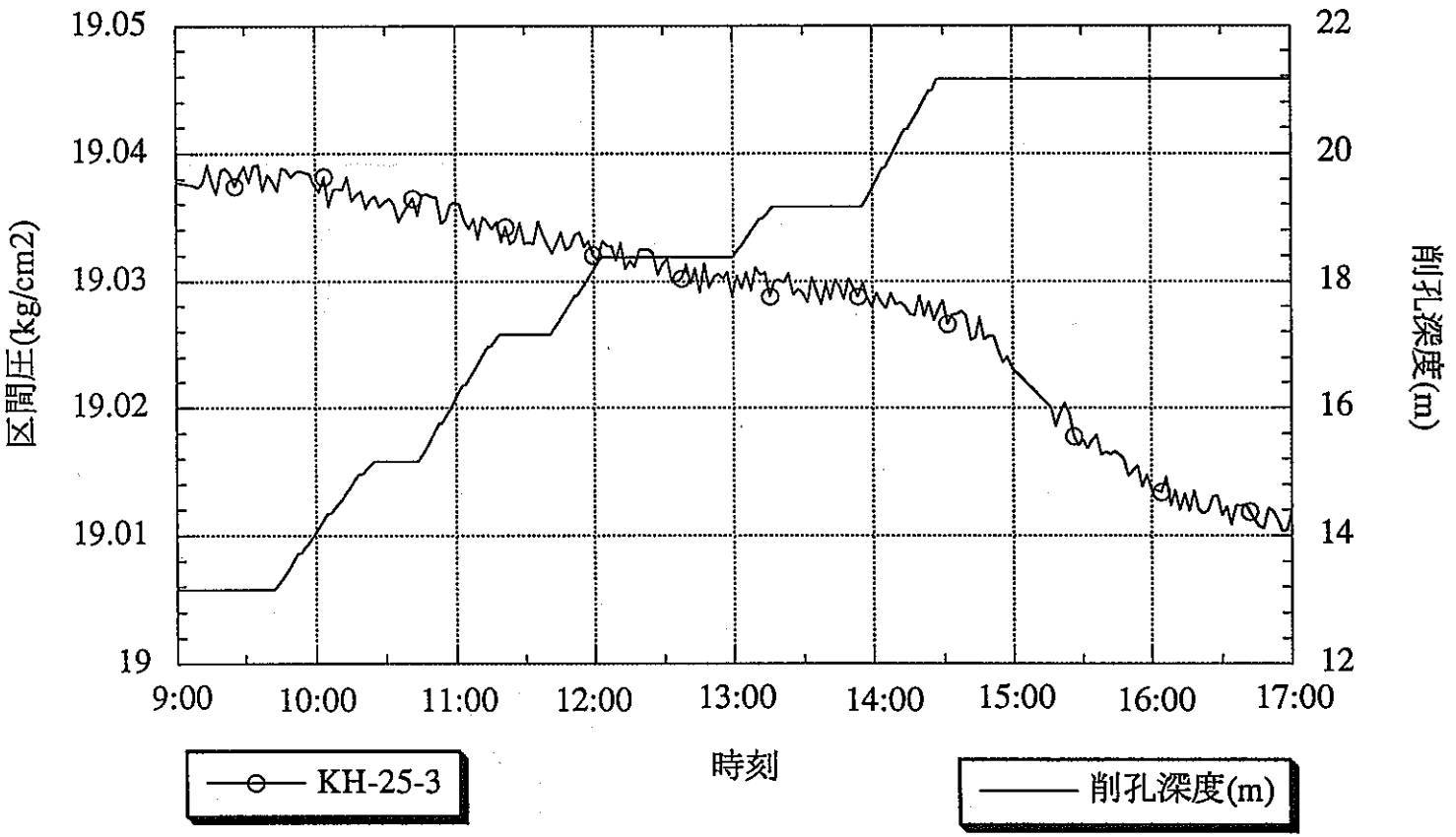


図-7.5.16　KH-22孔の21.16m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(8)

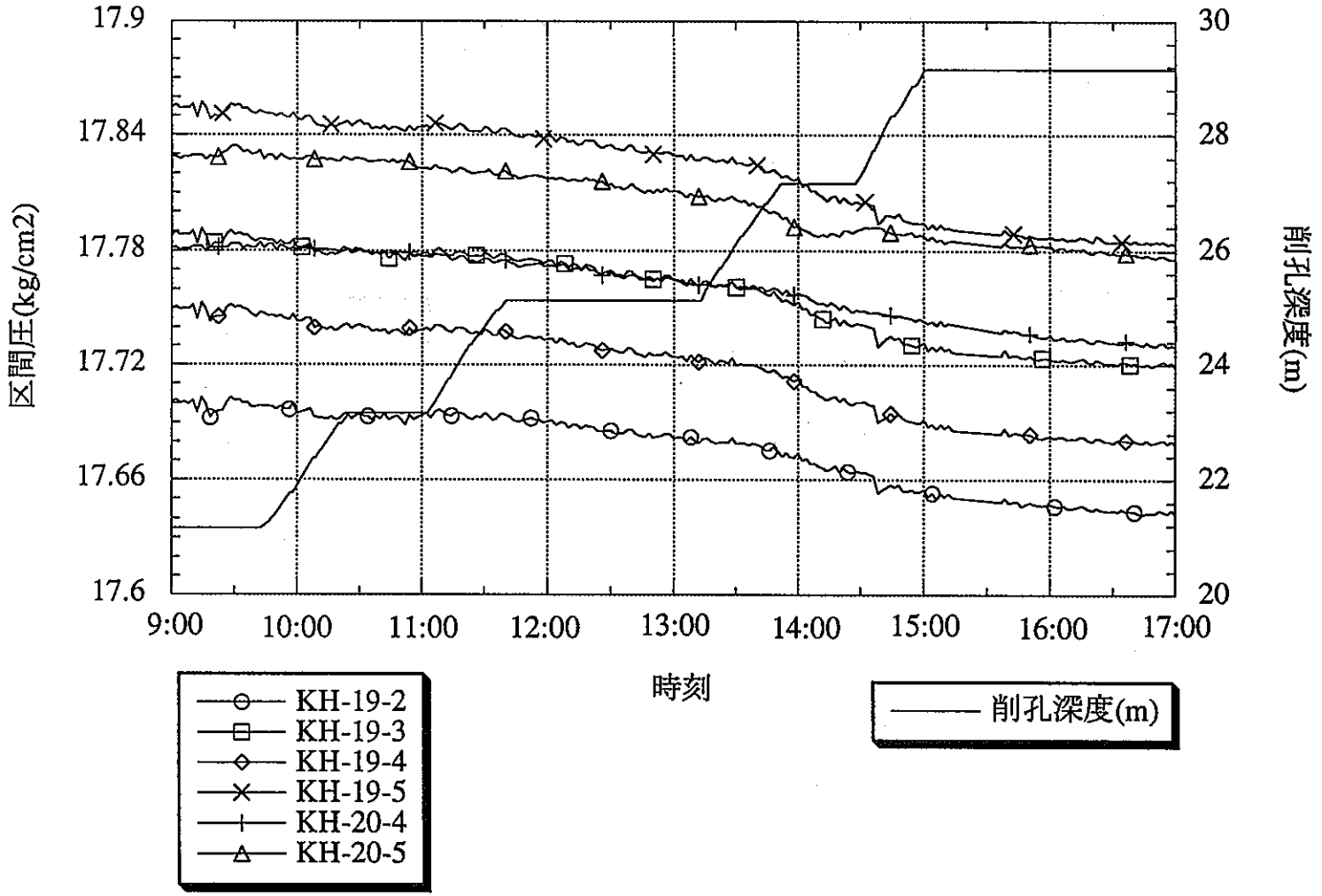


図-7.5.17　KH-22孔の26.48m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(1)

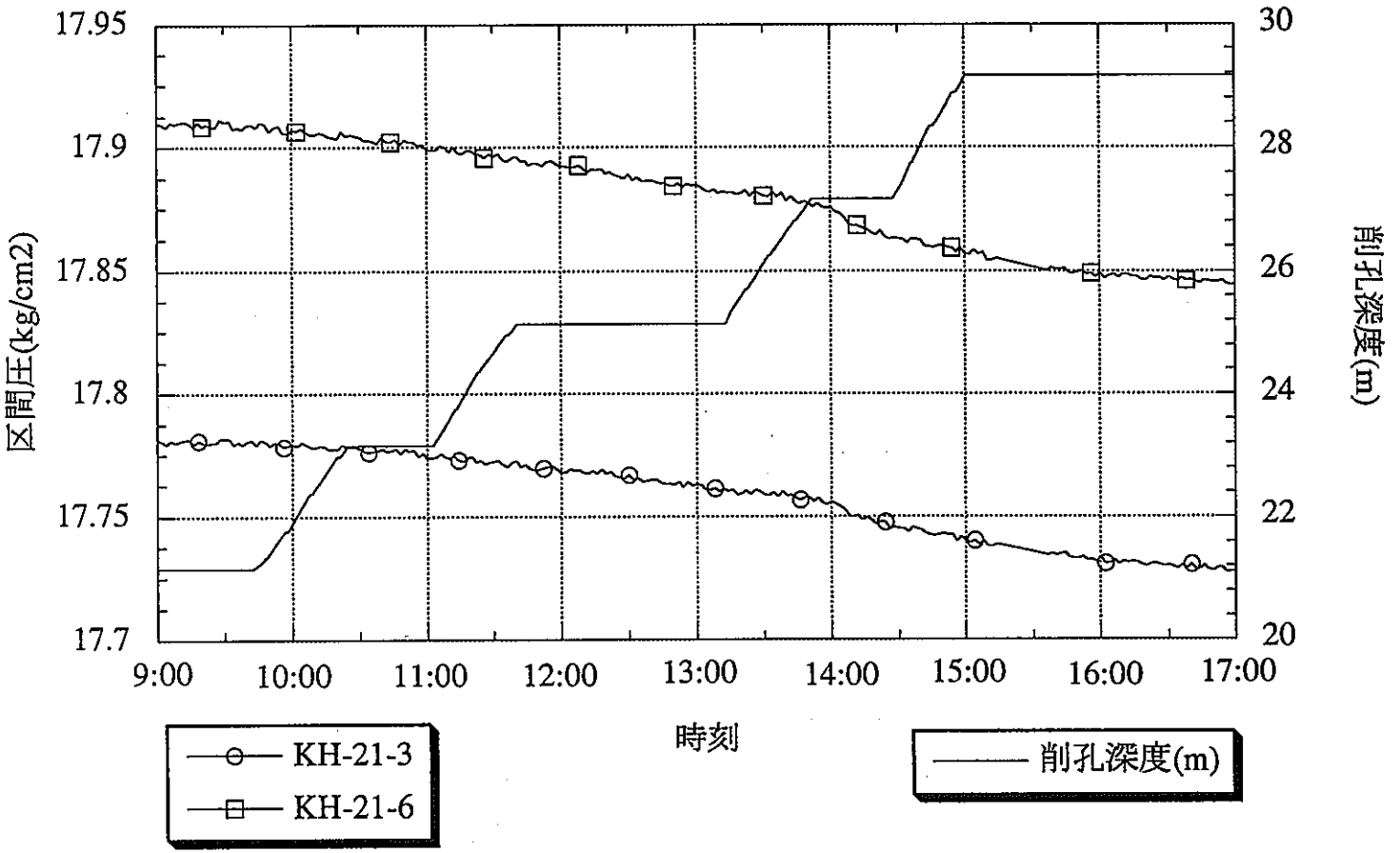


図-7.5.18　KH-22孔の26.48m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(2)

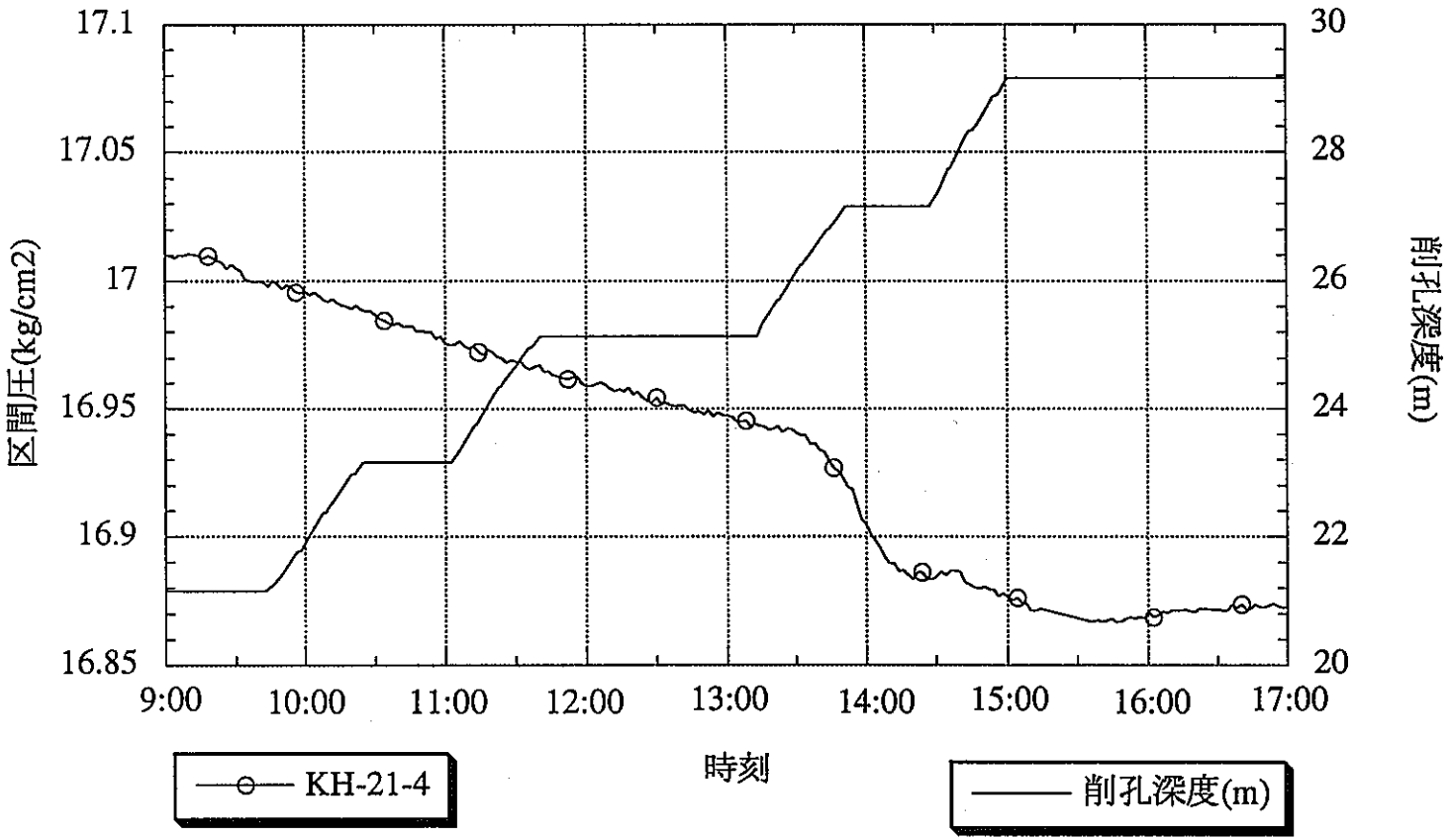


図-7.5.19　KH-22孔の26.48m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(3)

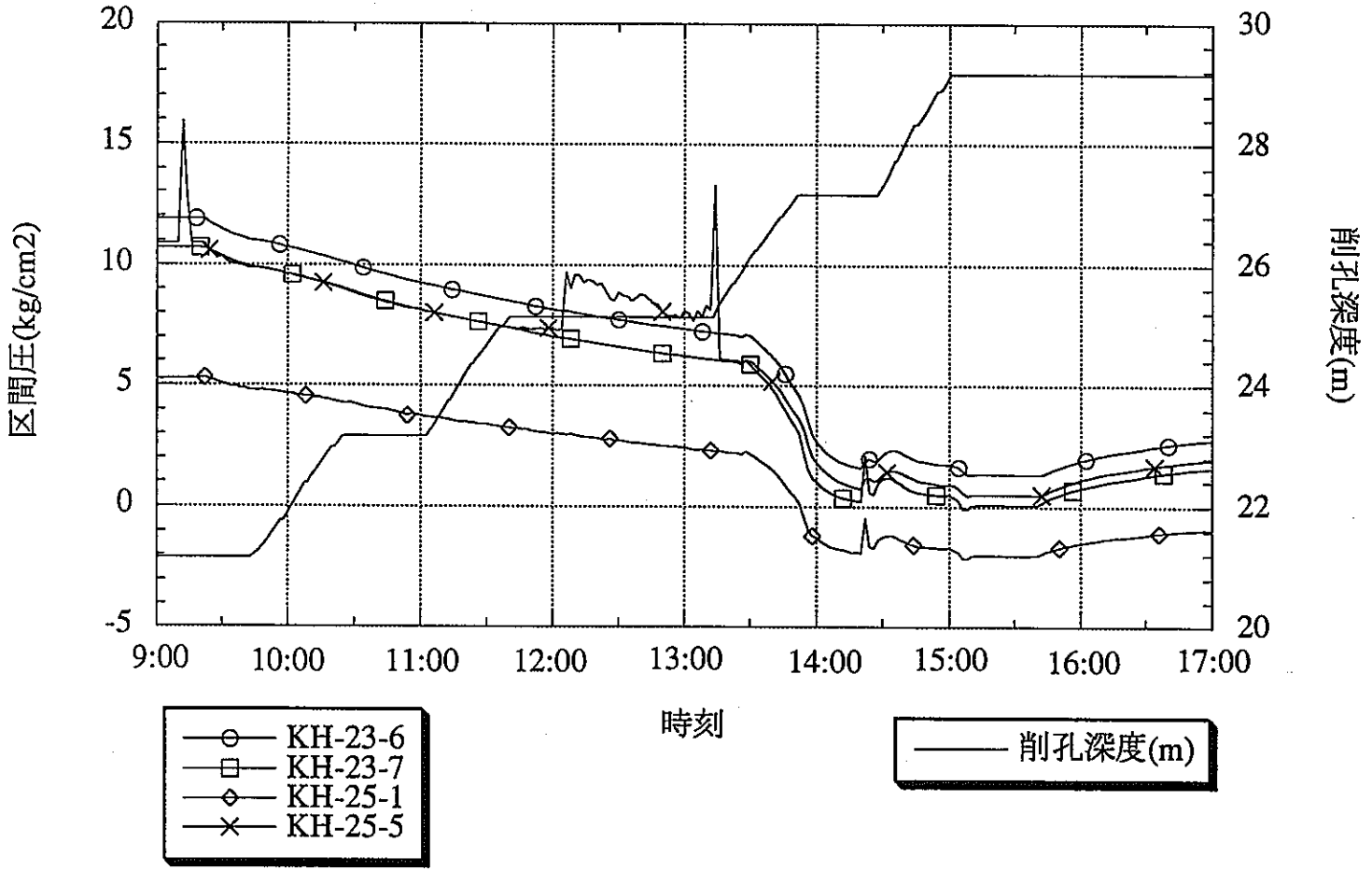


図-7.5.20　KH-22孔の26.48m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(4)

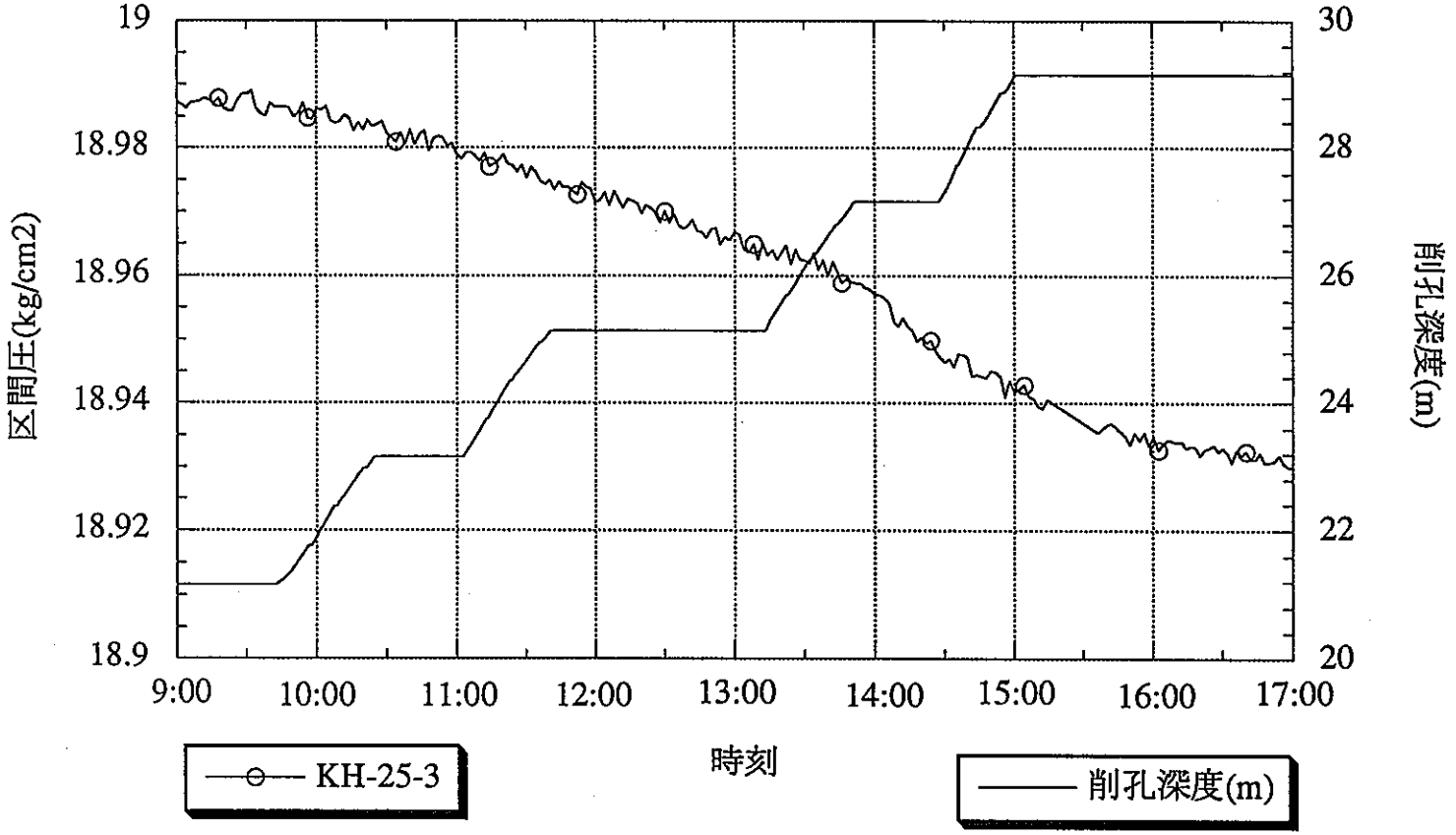


図-7.5.21　KH-22孔の26.48m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(5)

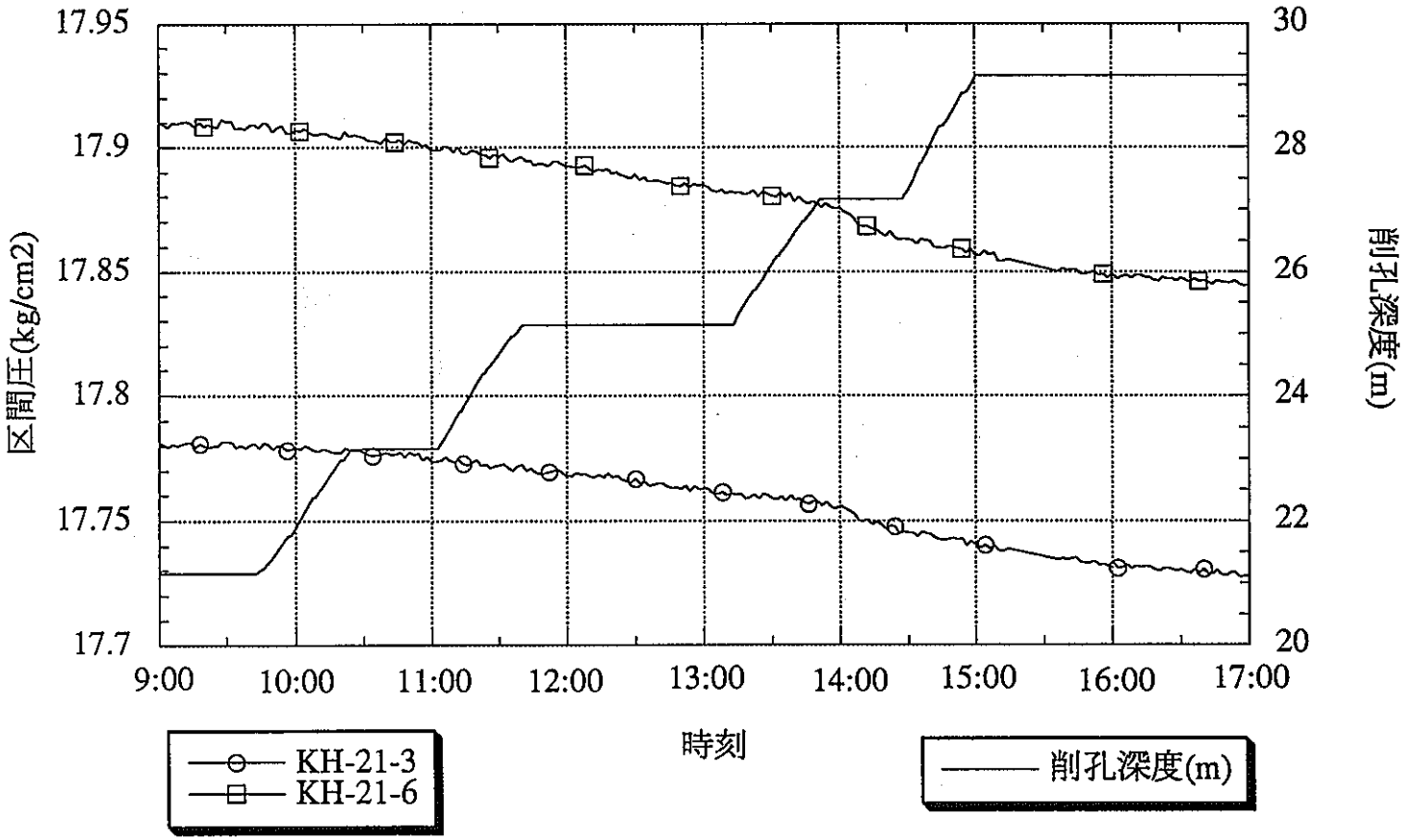


図-7.5.22　KH-22孔の26.48m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(6)

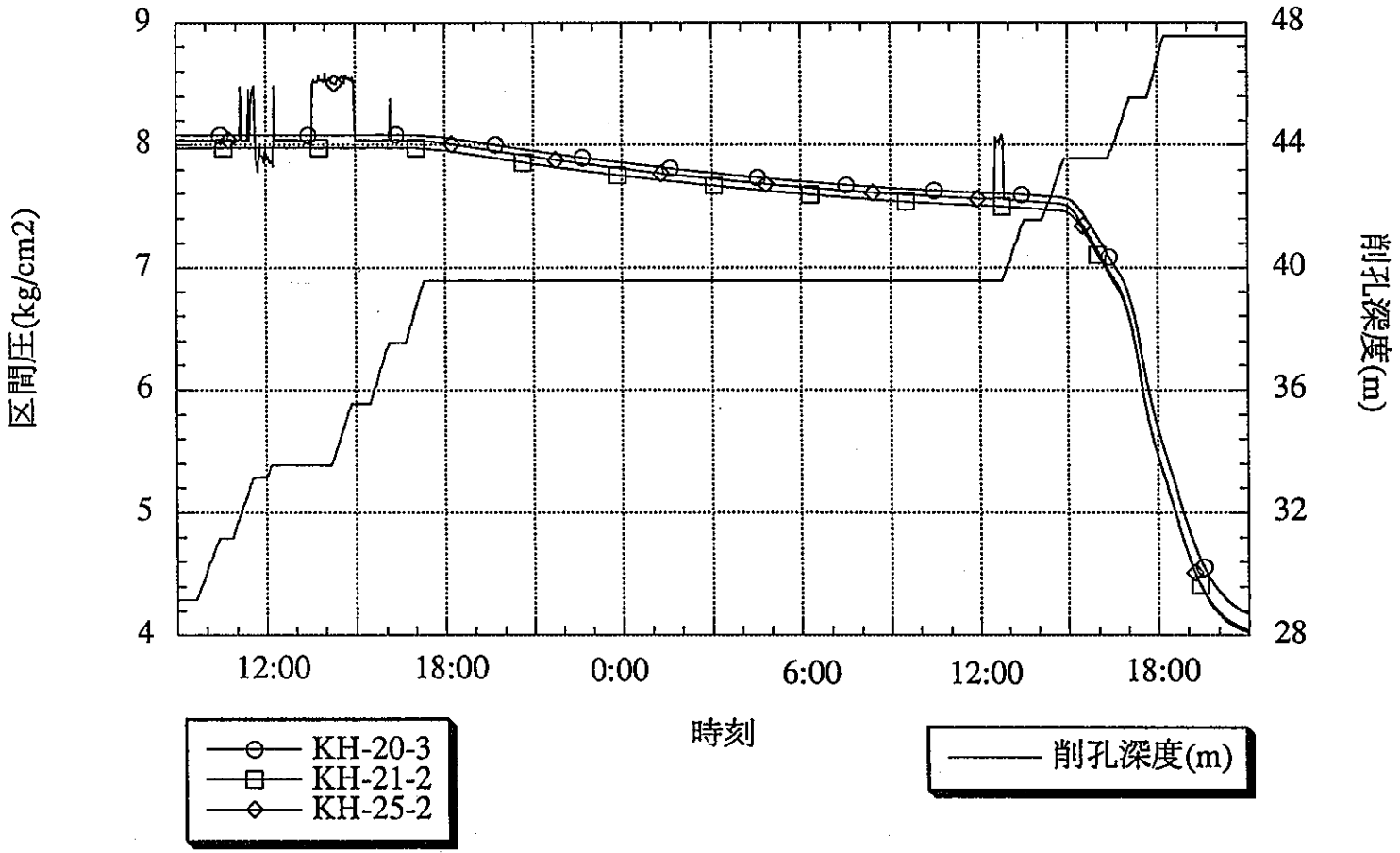


図-7.5.23　KH-22孔の39.56mおよび43.33m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(1)

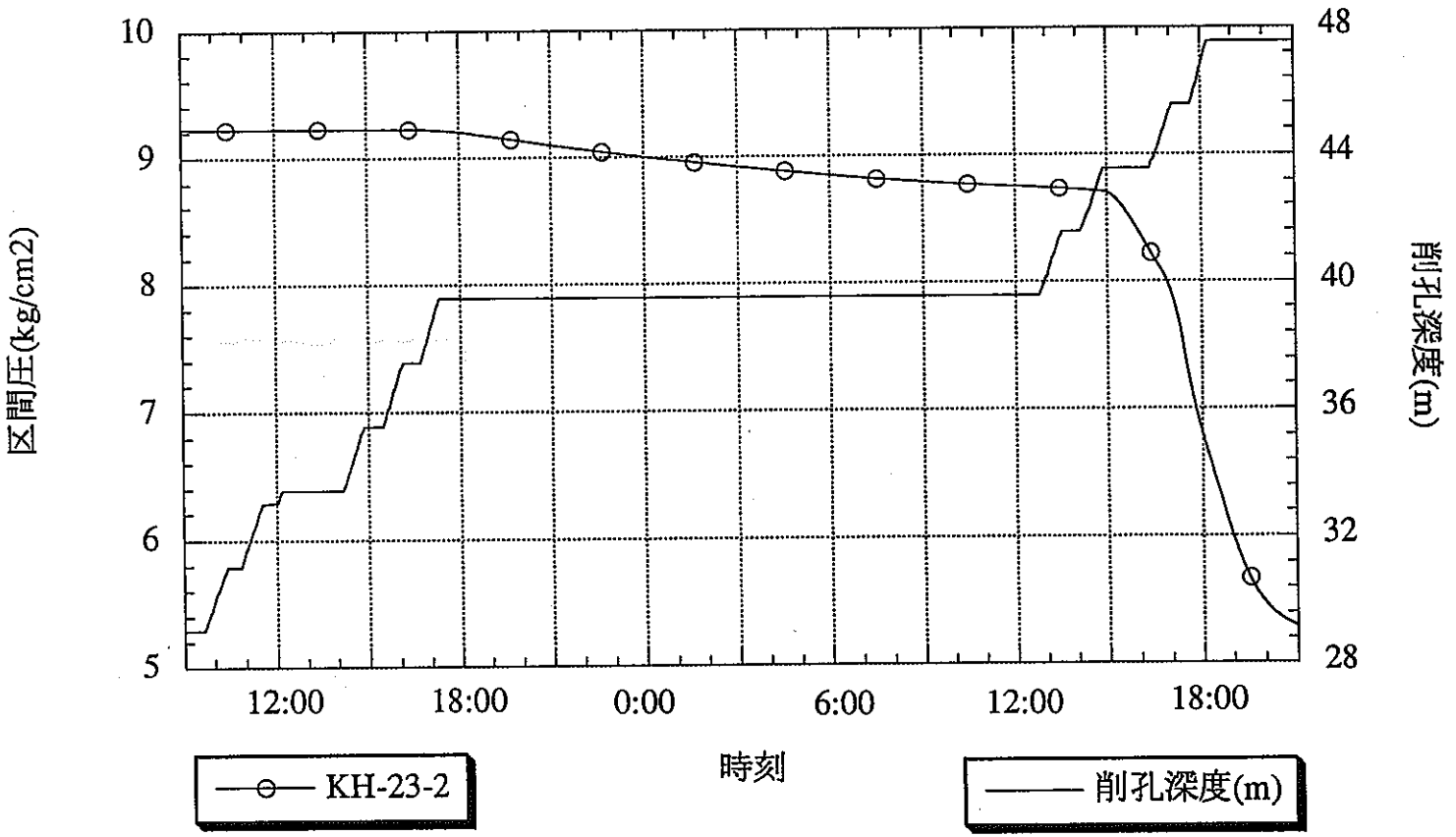


図-7.5.24　KH-22孔の39.56mおよび43.33m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(2)

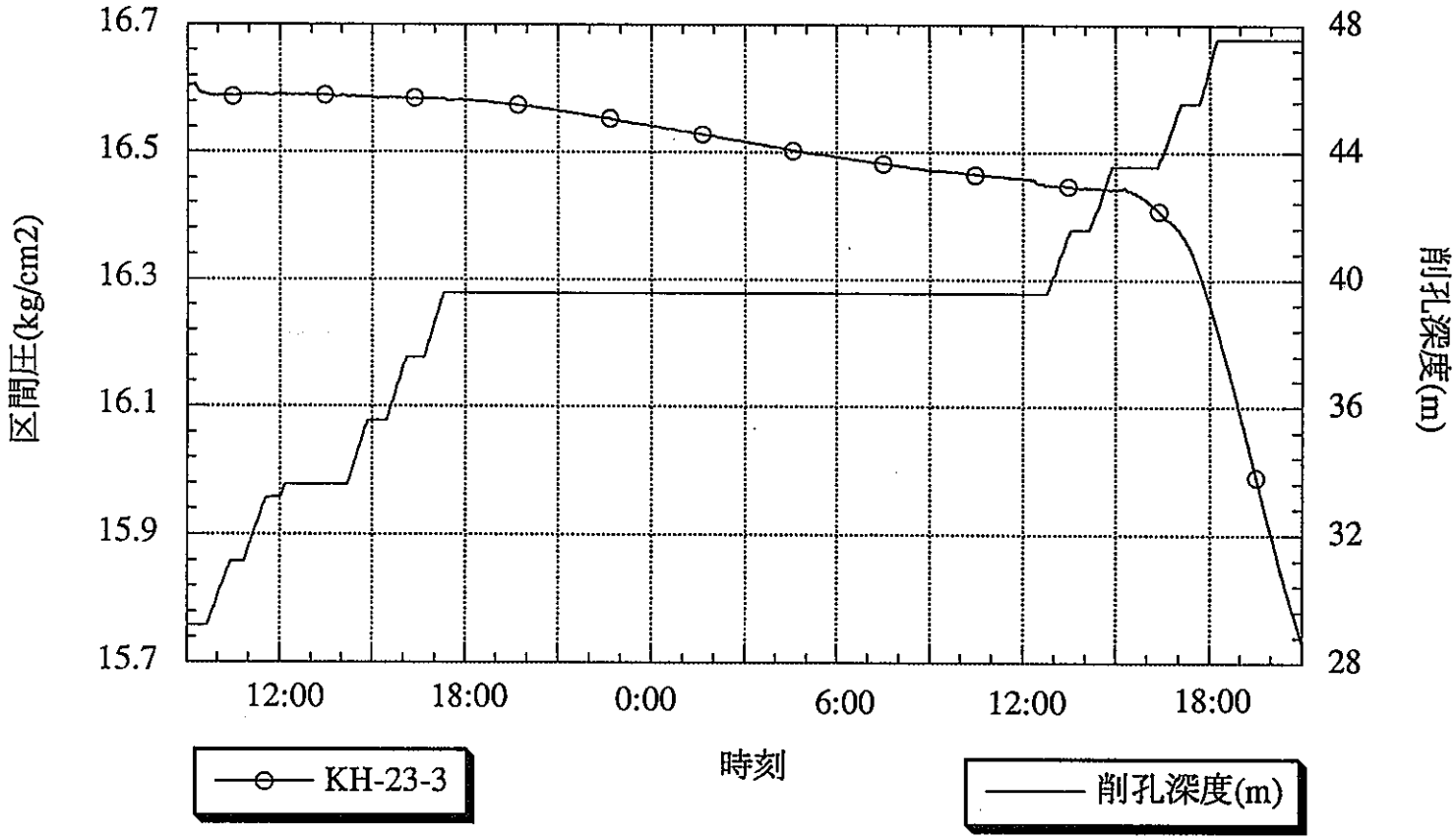


図-7.5.25　KH-22孔の39.56mおよび43.33m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(3)

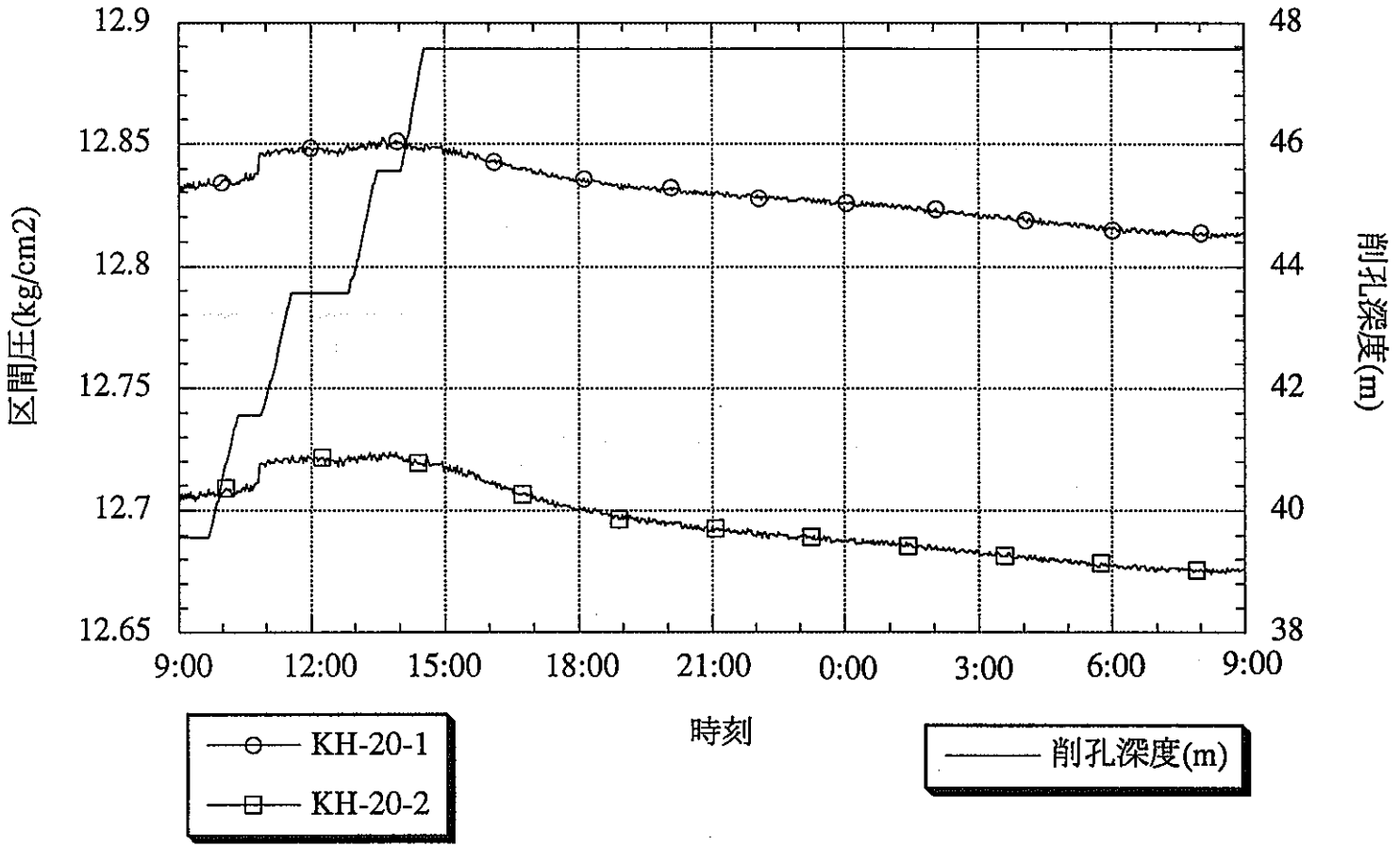


図-7.5.26　KH-22孔の47.56m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(1)

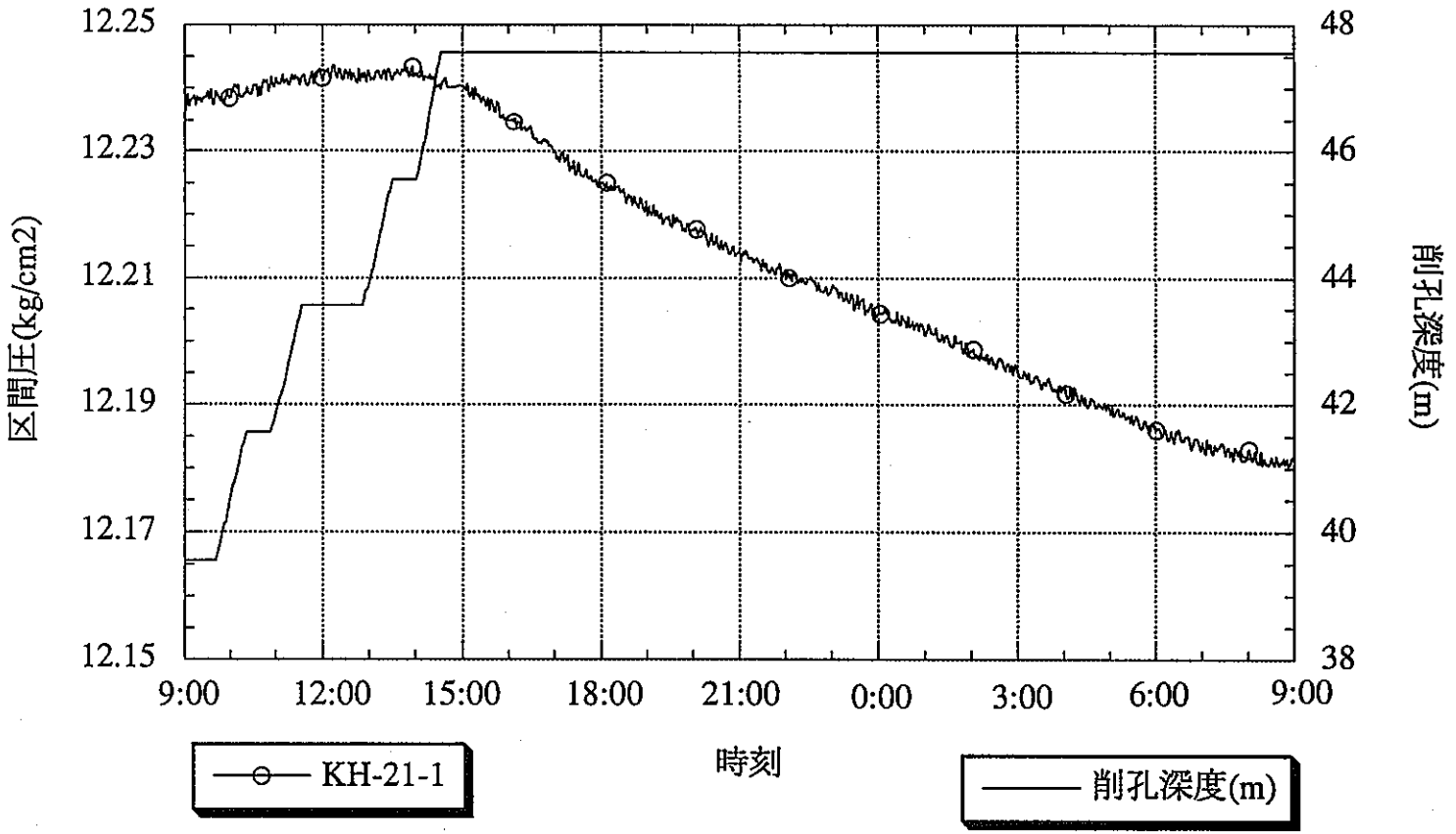


図-7.5.27　KH-22孔の47.56m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(2)

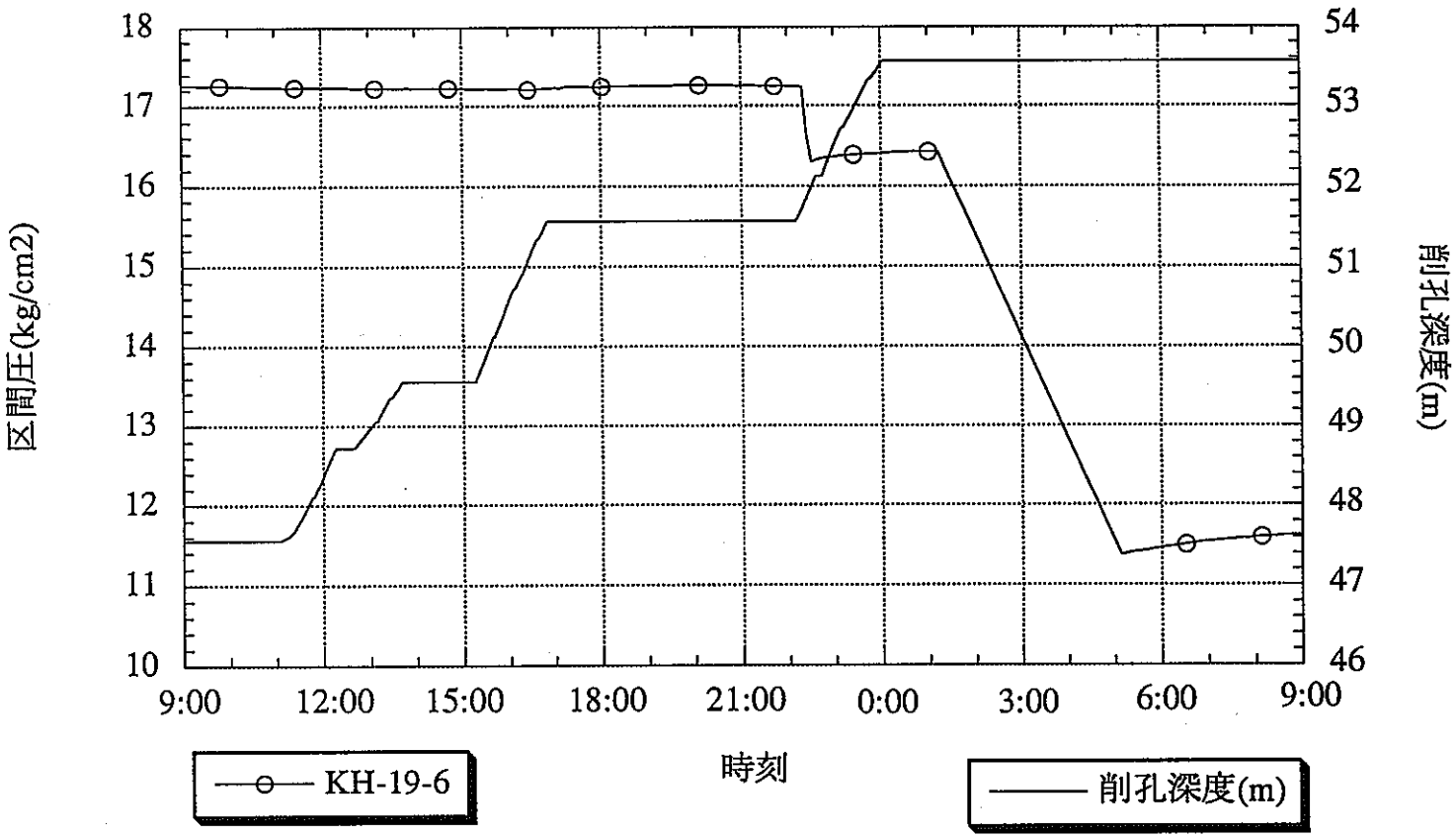


図-7.5.28　KH-22孔の51.87m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化

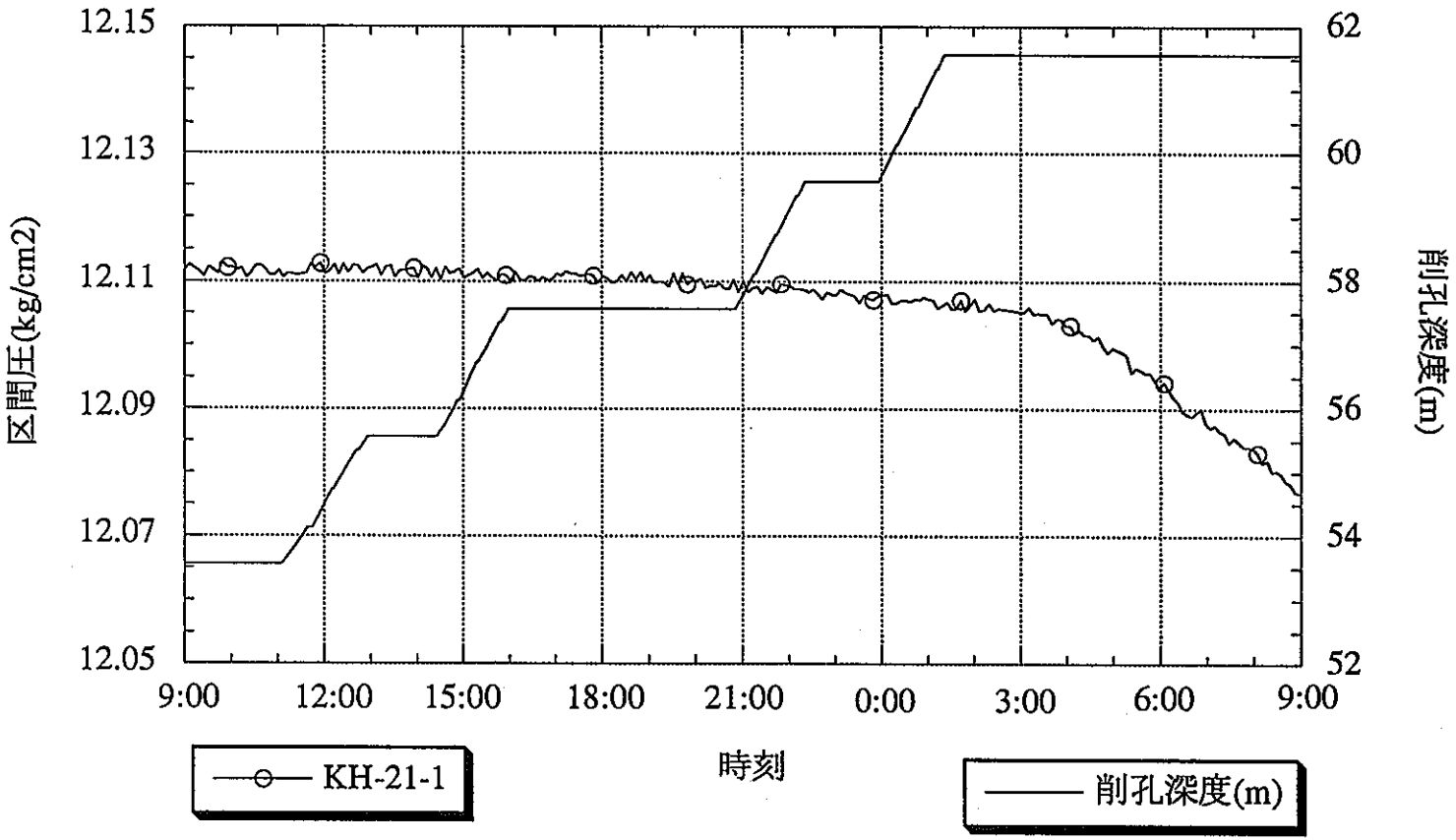


図-7.5.29　KH-22孔の61.56m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化

7.5.2　KH-24孔削孔中の既存試錐孔における圧力応答

(1)KH-19、20、21、22、23、25孔内の主要圧力応答

図-7.5.30～図-7.5.35に、それぞれKH-24孔削孔時のKH-19、20、21、22、23、25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-24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。

(2)主要圧力応答から推定される透水割れ目

KH-24孔の削孔時にKH-19、20、21、22、23、25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なう。なお、表-7.5.2に水理応答が認められた削孔深度とその区間名を示した。

(a)深度 12.14m付近の削孔時

深度12.14m付近削孔時にKH-25-5区間で0.5kg/cm^{2}程度の圧力の降下が認められた。図-7.5.36はKH-25-5区間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。12.14m付近を削孔中にKH-25-5区間において一時的に圧力上昇し、その後、圧力が徐々に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12.48mの開口割れ目

深度12.48mの割れ目は幅25cm程度の橙色の強変質を伴っている。走向傾斜はN58E77NW、充填鉱物幅は8mm程度である。

(b)深度 13.77m付近の削孔時

深度 13.77m付近削孔時にKH-19-7、20-7、21-7、22-7、25-7区間で3～5kg/cm^{2}程度、KH-19-8、23-7区間で0.1～0.5kg/cm^{2}程度の圧力の降下が認められた。また、KH-20-6、22-4、22-5、22-6、23-5、23-6区間では1日に0.5kg/cm^{2}程度、KH-19-2、19-3、19-4、19-5、20-4、20-5、21-3、21-4、23-4、25-3、25-4区間では1日に0.02kg/cm^{2}程度で徐々に圧力が下降していく様子が認められた。図-7.5.37はKH-19-7、19-8、20-7、21-7、22-7、23-7、25-7区間、図-7.5.38はKH-20-6、22-4、22-5、22-6、23-5、23-6区間、図-7.5.39はKH-19-2、19-3、19-4、19-5、20-4、20-5、21-3、21-4区間、図-7.5.40はKH-21-4区間、図-7.5.41はKH-25-3区間、図-7.5.42はKH-25-4区間、図-7.5.43はKH-25-6区間における

表-7.5.2　KH-24孔掘削中間隙水圧変化

開口割れ目深度	12.48m	13.77m	14.96m	29.53m	40.98m	41.47m	55.20m	59.43m	69.60m
				29.61m	41.19m			59.51m	69.91m
				29.77m					

区間名	削孔前区間圧	12.14m付近	13.71m付近	14.44m付近	29.8m付近	41.14m付近	41.72m付近	55.05m付近	59.3m付近	69.93m付近
KH-19-1	9<(+0.02/day)									
KH-19-2	18>		-0.02/day			-0.05		-0.3		
KH-19-3	18>		-0.02/day			-0.05		-0.3		
KH-19-4	18>		-0.02/day			-0.05		-0.3		
KH-19-5	18>		-0.02/day			-0.05		-0.3		
KH-19-6	13>									
KH-19-7	9>		-3							
KH-19-8	2>		-0.5							
KH-20-1	12<								-0.5	-5
KH-20-2	12<									-9
KH-20-3	6<(+0.1/day)								-5.5	
KH-20-4	18>		-0.02/day			-0.05		-0.5		
KH-20-5	18>		-0.02/day			-0.5	-17			
KH-20-6	18		-0.5/day	-0.4	-15					
KH-20-7	9>		-3							
KH-21-1	12>(+0.1/day)									-5
KH-21-2	6<(+0.1/day)								-2	
KH-21-3	18>		-0.02/day			-0.05		-0.4		
KH-21-4	17>		-0.02/day					-0.3		
KH-21-5										
KH-21-6	18>					-0.02		-0.5		-18
KH-21-7	9>		-3							
KH-22-1	8<(+0.1/day)								-1	
KH-22-2	8<(+0.1/day)								-1	
KH-22-3	8<(+0.1/day)								-1	
KH-22-4	18<		-0.5/day	-0.4	-15					
KH-22-5	17<		-0.5/day	-0.4	-15					
KH-22-6	18<		-0.5/day	-0.4	-15					
KH-22-7	9<		-5							
KH-23-1	14									-3
KH-23-2	7<(+0.1/day)								-5	
KH-23-3	16<							-0.3	-1.2	
KH-23-4	17<		-0.02/day				-0.5			
KH-23-5	18>		-0.5/day	-0.4	-15					
KH-23-6	15<		-0.5/day	-0.4	-12					
KH-23-7	1>		-0.1							
KH-25-1	12>(+0.02/day)									-11
KH-25-2	6<(+0.1/day)								-1.5	
KH-25-3	19>		-0.03/day			-0.05		-0.5		
KH-25-4	18>		-0.02/day			-0.05		-0.4		
KH-25-5	18>	-0.5		-0.4	-12					
KH-25-6	18>		-0.03/day	-0.4				-0.3		
KH-25-7	9>		-5							

単位(kg/cm2)

削孔に伴う圧力変化の状況を示したグラフである。図-7.5.37と図-7.5.38の区間では13.77m付近を削孔中に明瞭に圧力が下降している様子がわかる。また、図-7.5.39～図-7.5.43の区間では13.77m付近から圧力が徐々に下降しはじめ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13.77mの開口割れ目

深度13.77mの割れ目は幅30cm程度の橙色の全体変質を伴っている。走向傾斜はN36E86SE、充填鉱物幅は10mm程度である。

(c)14.44m及び29.8m付近の削孔時

深度14.44m付近削孔中からKH-20-6、22-4、22-5、22-6、23-5、23-6、25-5、25-6区間で1日に0.4kg/cm^{2}程度の緩やかな圧力の降下が始まっているのが認められた。また同様の区間において深度29.8m付近掘削中に12～15kg/cm^{2}程度の圧力の降下が認められた。図-7.5.44はKH-20-6区間、図-7.5.45はKH-22-4、22-6区間、図-7.5.46はKH-22-5区間、図-7.5.47はKH-23-5区間、図-7.5.48はKH-23-6区間、図-7.5.49はKH-25-5区間、図-7.5.50はKH-25-6区間における深度14.44m付近削孔に伴う圧力変化の状況を、図-7.5.51はKH-20-6、22-4、22-5、22-6、23-5、23-6、25-5、25-6区間における深度29.8m付近削孔に伴う圧力変化の状況を示したグラフである。図-7.5.44～図-7.5.50の区間では14.44m付近から圧力が徐々に下降しはじめている様子がわかる。また、図-7.5.51の区間では29.8m付近を削孔中に明瞭に圧力が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14.96mの開口割れ目

深度14.96mの割れ目は幅2cm程度の橙色の弱変質を伴っている。走向傾斜はN38E69SE、充填鉱物幅は4mm程度である。

○深度29.53m、29.61m、29.77mの開口割れ目群

深度29.53mの割れ目は幅6cm程度の橙色の全体変質を伴っている。走向傾斜はN66E63N、充填鉱物幅は30mm程度である。深度29.61mの割れ目は幅4cm程度の橙色の全体変質を伴っている。走向傾斜はN57E57NW、充填鉱物幅は40mm程度である。深度29.77mの割れ目は幅3cm程度の橙色の中変質を伴っている。走向傾斜はN73E73N、充填鉱物幅は5mm程度である。なお、これらの開口割れ目は互いに連結しあっていると推定される。

(d)41.14m付近の削孔時

この深度ではKH-19-2、19-3、19-4、19-5、20-4、21-3、21-6、25-3、25-4区間で0.02～0.05kg/cm^{2}程度、KH-20-5区間で0.5kg/cm^{2}程度の圧力の降下が認められた。図-7.5.52はKH-19-2区間、KH-19-3区間、KH-19-4区間、KH-19-5区間、KH-20-4区間、KH-20-5区間、KH-21-3区間、KH-21-6区間、KH-25-4区間、図-7.5.53はKH-25-3区間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。41.14m付近を削孔中にKH-20-5区間をはじめ図中の全ての区間において明瞭に圧力が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40.98mの開口割れ目

深度40.98mの割れ目は幅26cm程度の橙色の全体変質を伴っている。走向傾斜はN88W83S、充填鉱物幅は8mm程度である。

○深度41.19mの開口割れ目

深度41.19mの割れ目は幅3cm程度の橙色の中変質を伴っている。走向傾斜はN85W85N、充填鉱物幅は1mm程度である。

(e)41.72m付近の削孔時

この深度ではKH-20-5区間で17kg/cm^{2}程度、KH-23-4区間で0.5kg/cm^{2}程度の圧力の降下が認められた。図-7.5.54はKH-20-5区間、図-7.5.55はKH-23-4区間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。41.72m付近を削孔中にKH-20-5区間において圧力が瞬時のうちに下降している様子がわかる。また、KH-23-4区間ではこの深度付近を削孔中から徐々に圧力が下降していくの様子がわかる。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41.47mの開口割れ目

深度41.47mの割れ目は幅3cm程度の白色の弱変質を伴っている。走向傾斜は不明、充填鉱物幅は3mm程度である。

(f)55.05m付近の削孔時

この深度ではKH-19-2、19-3、19-4、19-5、20-4、21-3、21-4、21-6、23-3、25-3、25-4、25-6区間で0.3～0.5kg/cm^{2}程度の圧力の降下が認められた。図-7.5.56はKH-19-2、19-3、19-4、19-5、20-4、21-3、21-4、21-6、23-3、25-3、25-4、25-6区間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。55.05m付近を削孔中から図中の全区間において圧力が下降していく様子がわかる。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55.20mの開口割れ目

深度55.20mの割れ目は幅4cm程度の橙色の中変質を伴っている。走向傾斜はN82E85N、充填鉱物幅は1mm程度である。

(g)59.30m付近の削孔時

この深度ではKH-20-1区間で0.5kg/cm^{2}程度、KH-20-1、21-2、22-1、22-2、22-3、23-3、25-2区間で0.5～2kg/cm^{2}程度、KH-20-3、23-2区間で5.0～5.5kg/cm^{2}程度の圧力の降下が認められた。図-7.5.57はKH-20-3、21-2、22-1、22-2、22-3、23-2、25-2区間、図-7.5.58はKH-20-1区間、図-7.5.59はKH-23-3区間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。59.30m付近を削孔中から図中の全区間において圧力が下降していく様子がわかる。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59.43m、59.51mの開口割れ目群

深度59.43mの割れ目は幅10cm程度の橙色の全体変質を伴っている。走向傾斜はN69E73N、充填鉱物幅は15mm程度である。深度59.51mの割れ目は幅10cm程度の橙色の全体変質を伴っている。走向傾斜はN71E76N、充填鉱物幅は4mm程度である。なお、これらの開口割れ目は互いに連結しあっていると推定される。

(h)69.93m付近の削孔時

この深度ではKH-20-1、21-1、23-1区間で3～5kg/cm^{2}程度、KH-20-2、25-1区間で9～11kg/cm^{2}程度の圧力の降下が認められる。図-7.5.60はKH-20-1、KH-20-2、21-1、23-1、25-1区間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。69.93m付近を削孔中から図中の全区間において圧力が下降していく様子がわかる。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69.60m、69.91mの開口割れ目群

深度69.60mの割れ目は幅5cm程度の橙色の全体変質を伴っている。走向傾斜はN79W73N、充填鉱物幅は15mm程度である。深度69.91mの割れ目は幅5cm程度の橙色の全体変質を伴っている。走向傾斜はN85E89N、充填鉱物幅は10mm程度である。なお、これらの開口割れ目は互いに連結しあっていると推定される。

7.5.3　試錐孔削孔中の圧力応答測定まとめ

KH-22孔とKH-24孔の掘削時における各既存試錐孔の間隙水圧変化より、透水性割れ目の存在位置と他の試錐孔への連続性を推定した。図-7.5.61と図-7.5.62に、それぞれKH-22孔とKH-24孔における圧力応答の全体の結果を図示した。なお、近接する数本の割れ目で応答が生じている場合には、それらをまとめて1本の線で表現している。

圧力応答は、ある割れ目或いは数本の近接する割れ目群により引き起こされ、その反応は非常に短時間で生じている。これらの割れ目或いは割れ目群の存在箇所は、KH-22、24孔のそれぞれの孔において10箇所に満たない程度と、透水性の高い割れ目の存在はかなり限定されていると言える。また、それぞれの応答のパターンは異なる場合が多く、水みちの独立性は高く相互の干渉は小さいものと推定される。

圧力応答の方向は全体的には割れ目に沿うような向きで生じている場合が多い。しかし、湧水割れ目の延長上に存在する区間において、必ずしも圧力応答が認められる訳ではない。このことは、湧水をもたらしている割れ目でも、割れ目の面全体が水みちとしての役割を果たしているのではないことを示唆している。また、中には割れ目の方向に関係なく非常に離れた特定の区間に生じている場合もある。この様な応答は、幾つかの割れ目が3次元的に組合わさった結果として生じていると推定され、水みちの経路も3次元的に考える必要があることを示唆している。

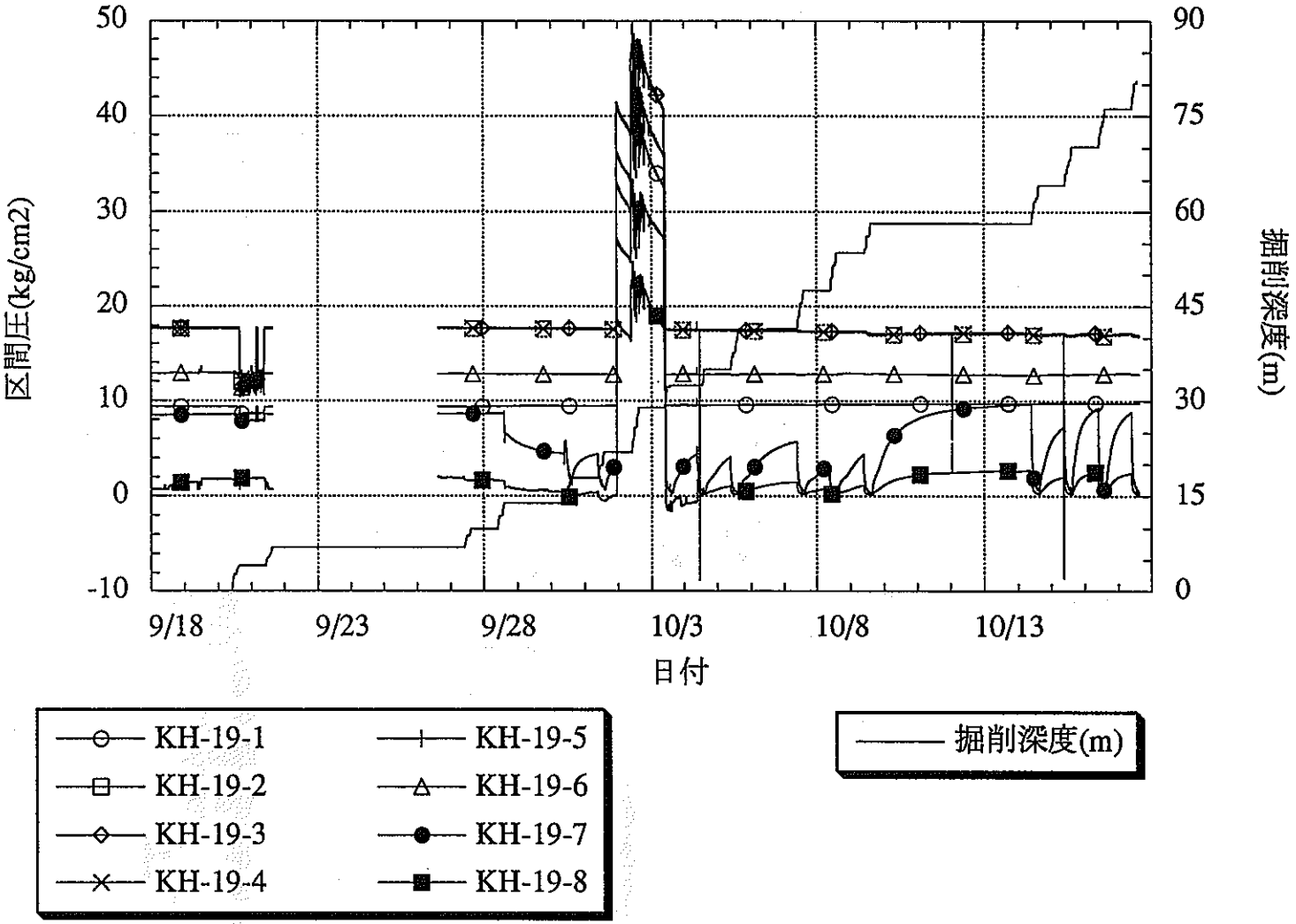


図-7.5.30　KH-24孔削孔中のKH-19孔各区間での間隙水圧経時変化

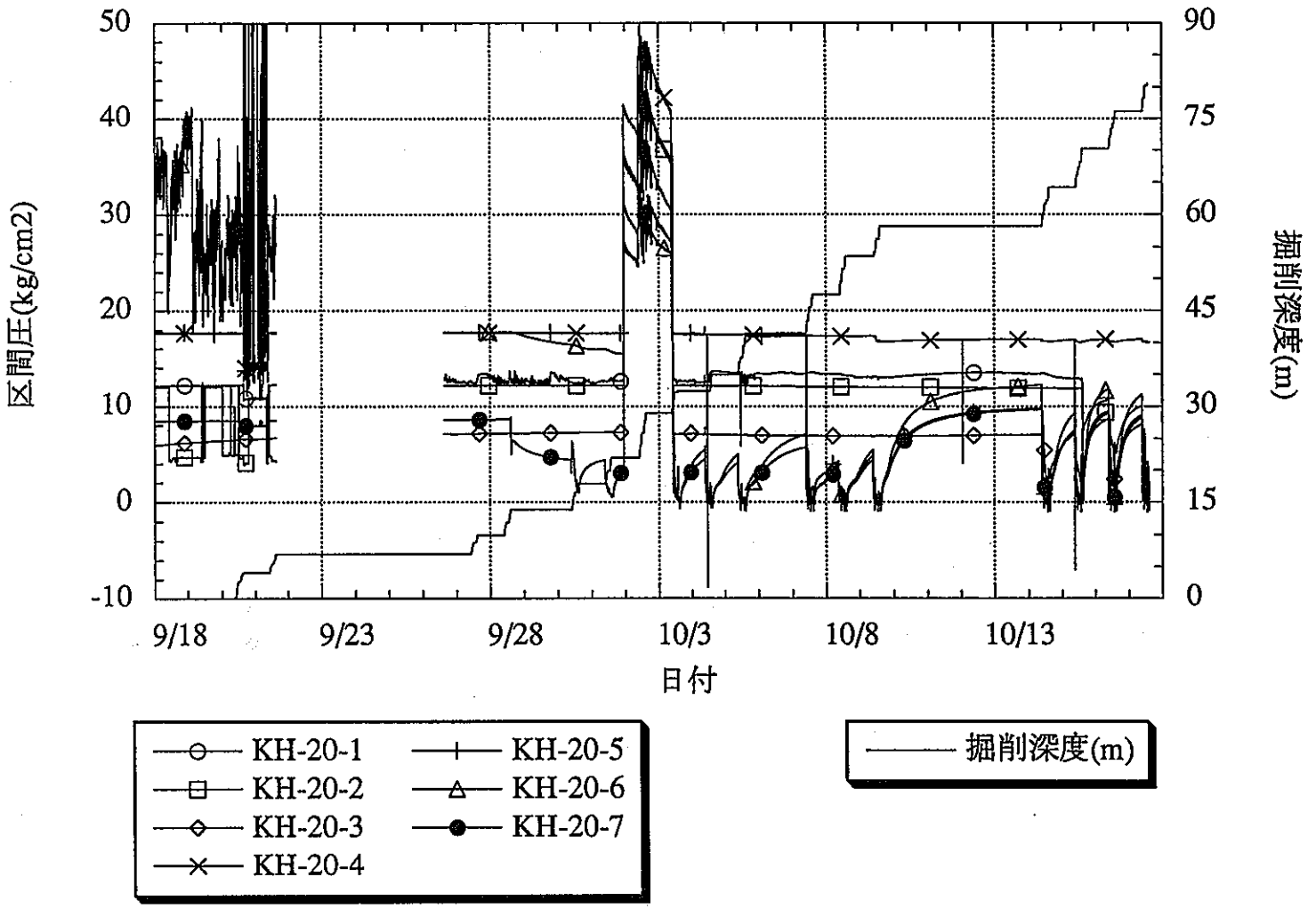


図-7.5.31　KH-24孔削孔中のKH-20孔各区間での間隙水圧経時変化

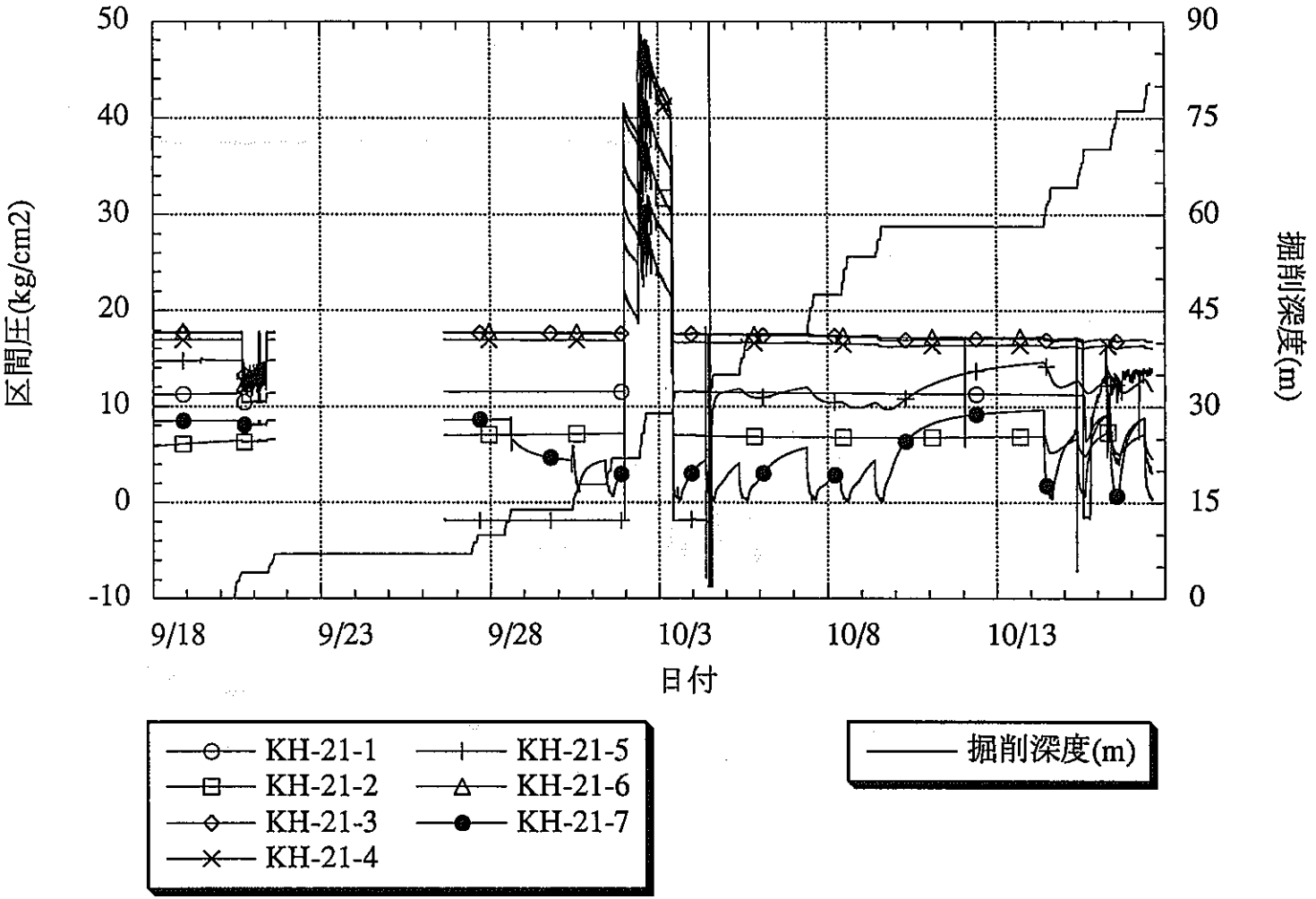


図-7.5.32　KH-24孔削孔中のKH-21孔各区間での間隙水圧経時変化

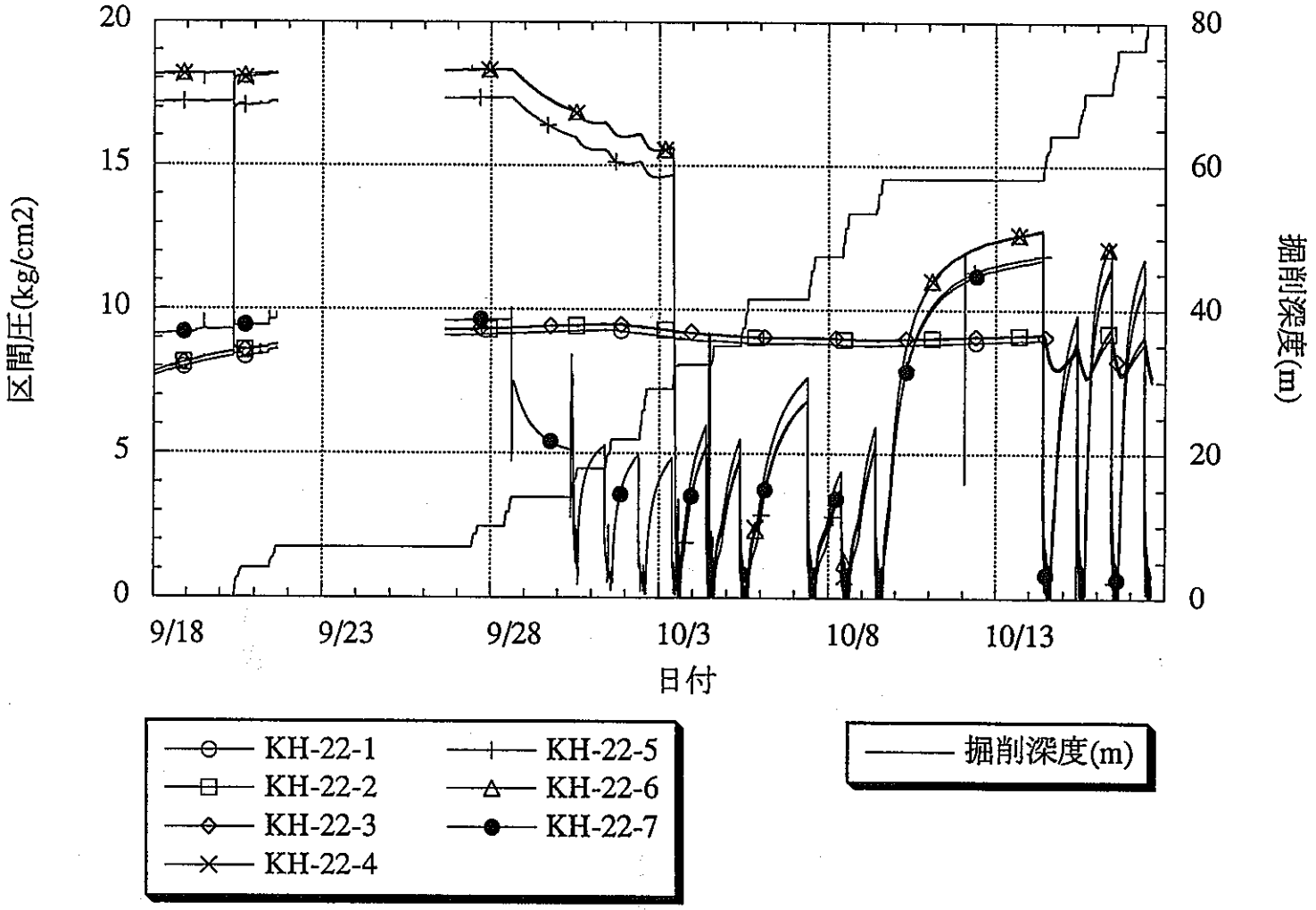


図-7.5.33　KH-24孔削孔中のKH-22孔各区間での間隙水圧経時変化

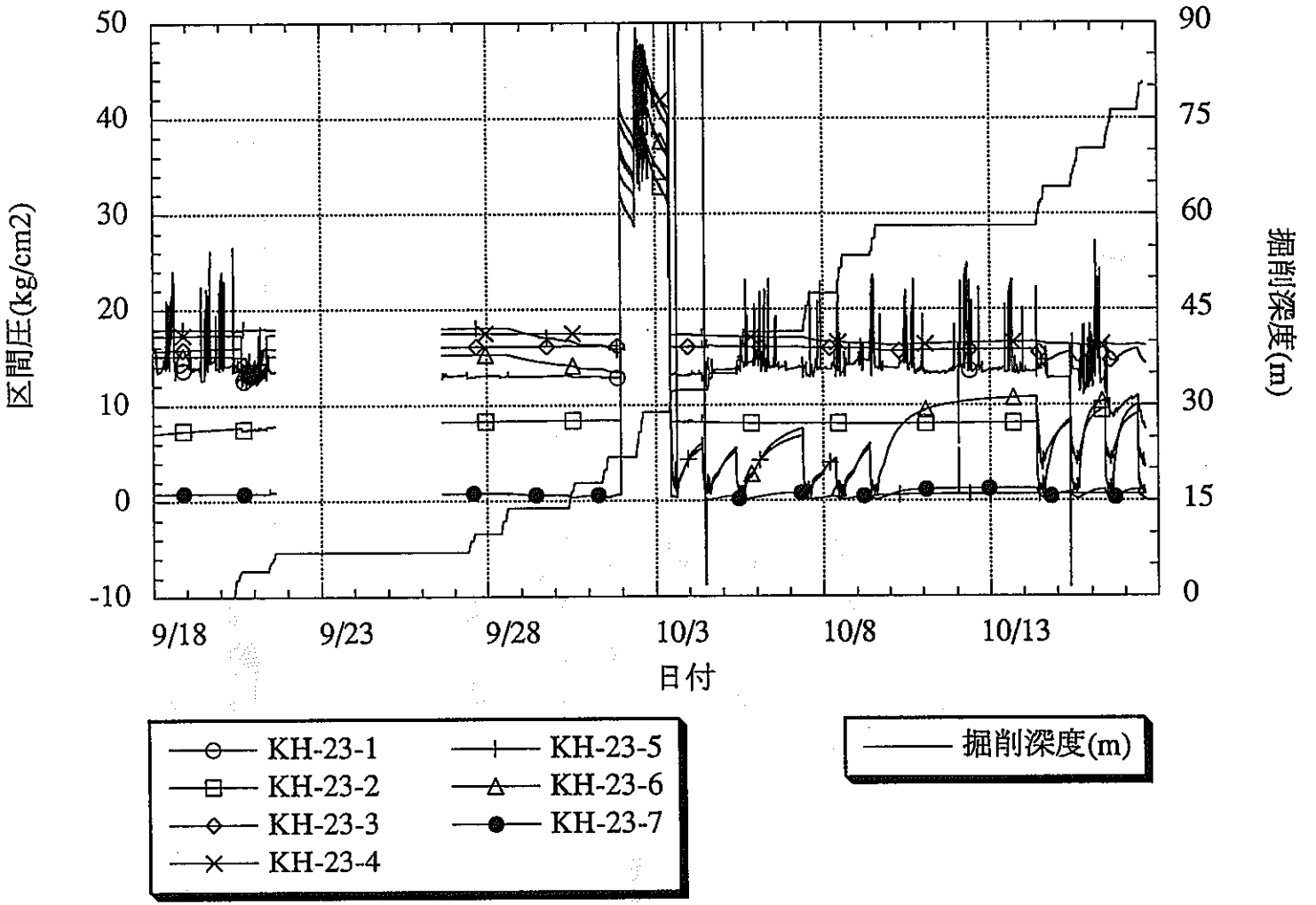


図-7.5.34　KH-24孔削孔中のKH-23孔各区間での間隙水圧経時変化

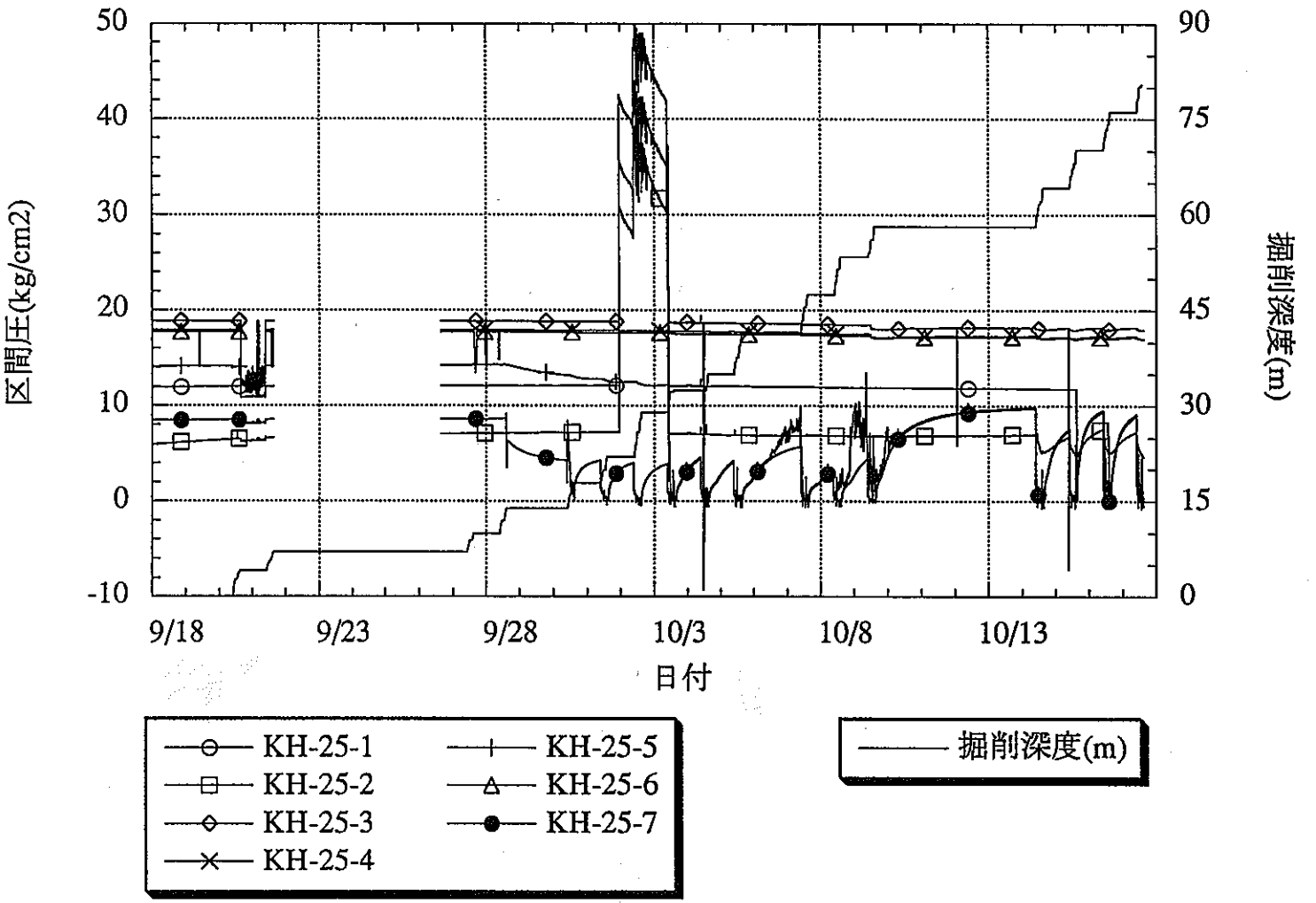


図-7.5.35　KH-24孔削孔中のKH-25孔各区間での間隙水圧経時変化

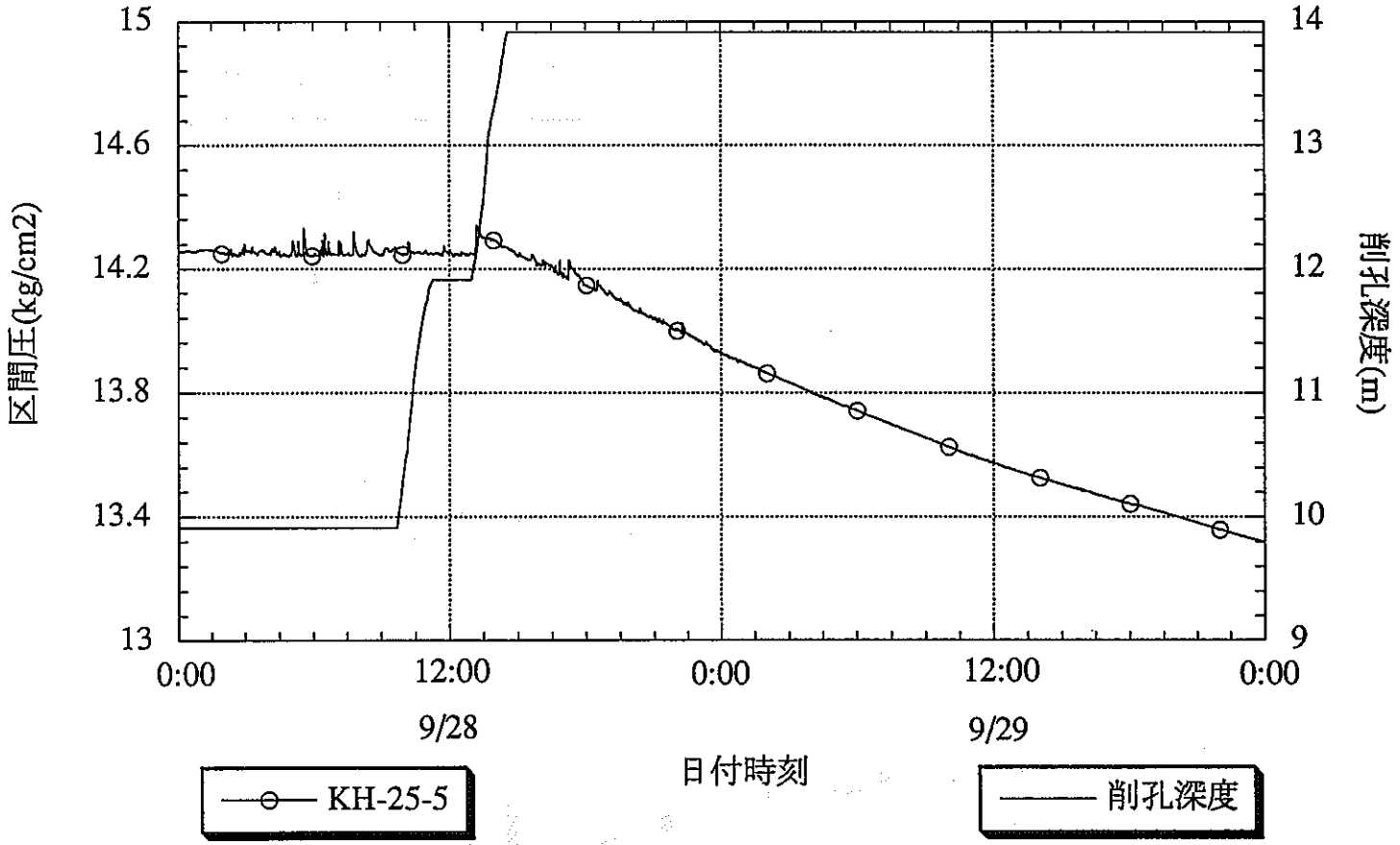


図-7.5.36　KH-24孔の12.14m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化

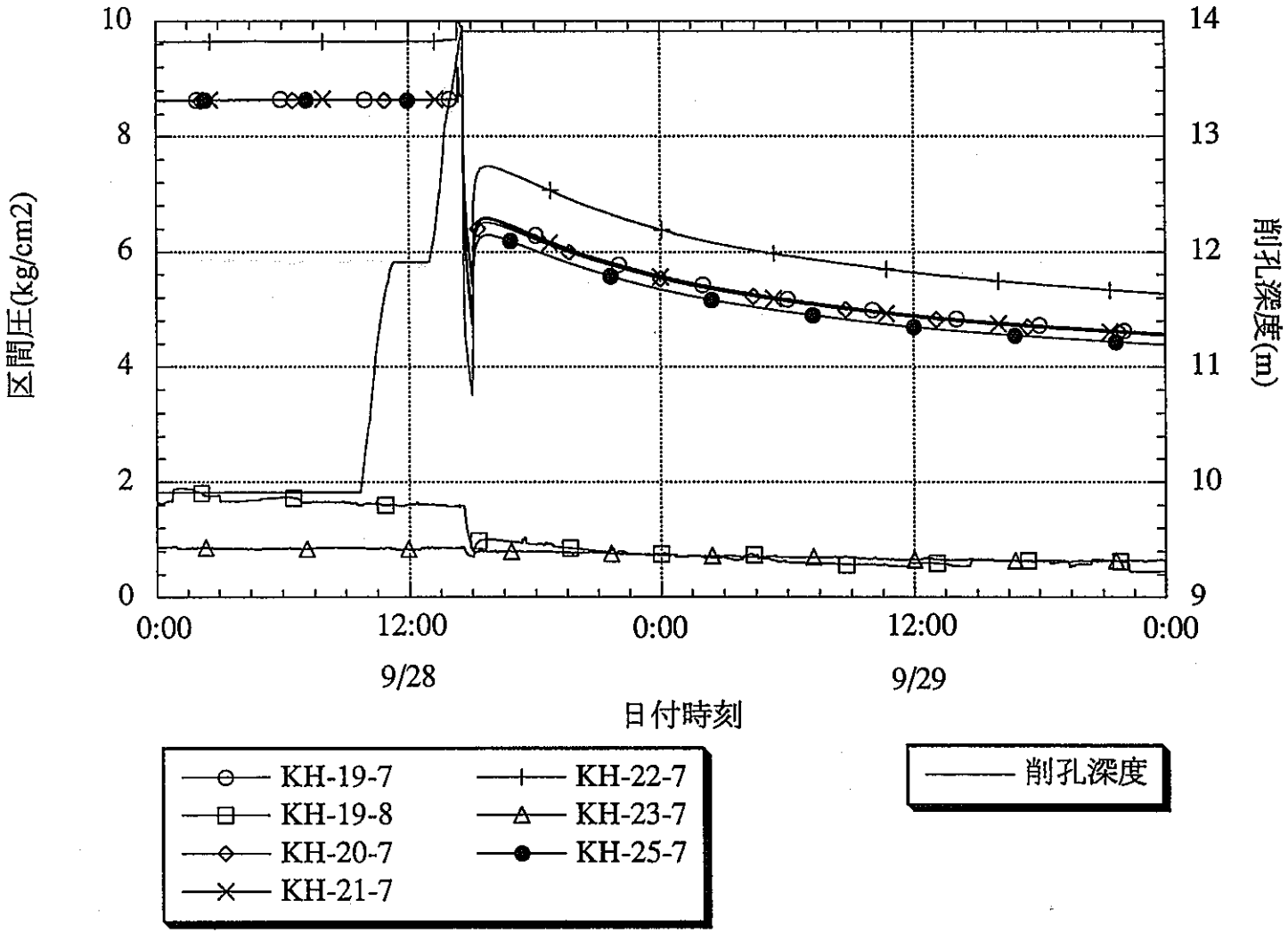


図-7.5.37　KH-24孔の13.77m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(1)

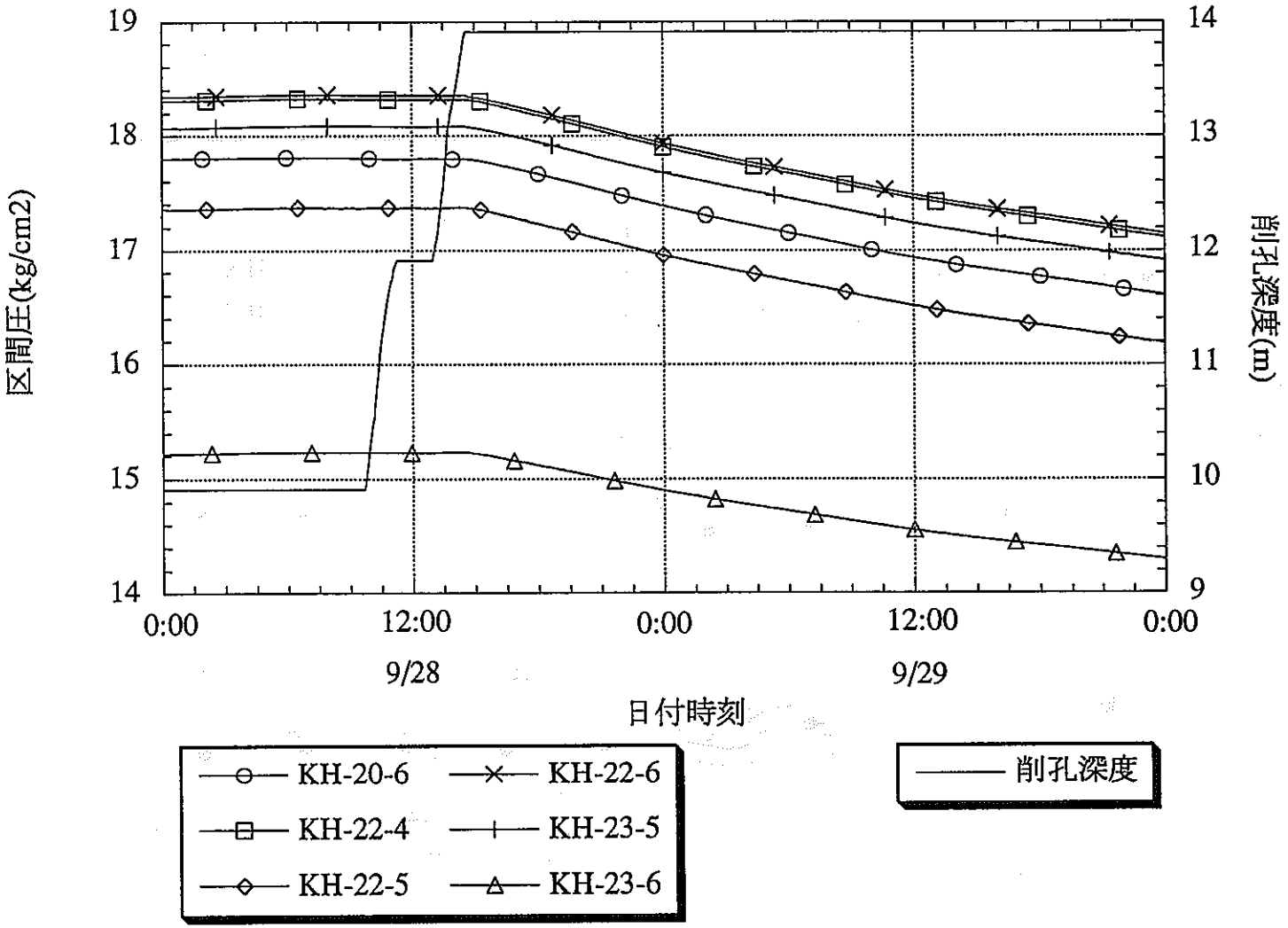


図-7.5.38　KH-24孔の13.77m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(2)

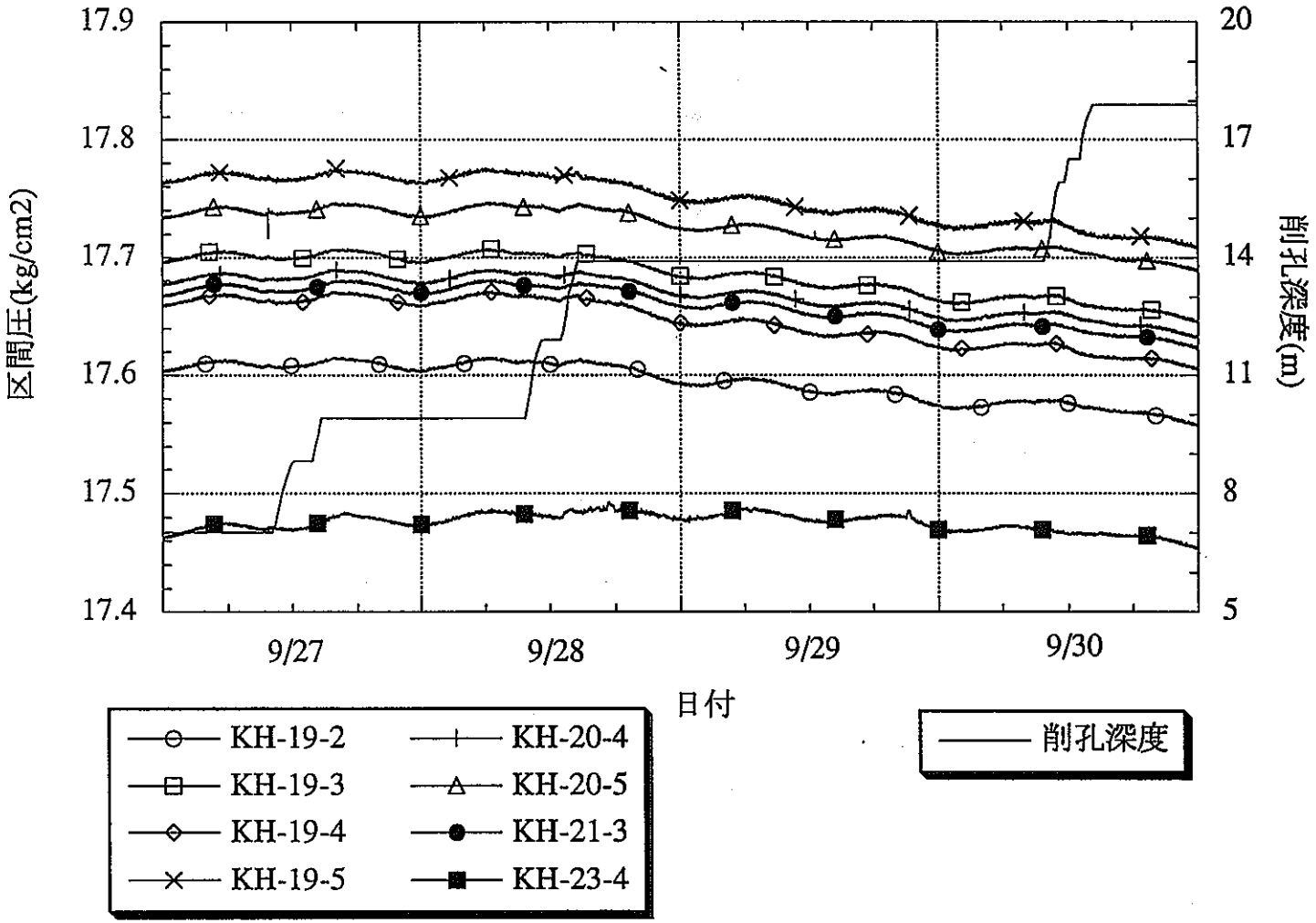


図-7.5.39　KH-24孔の13.77m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(3)

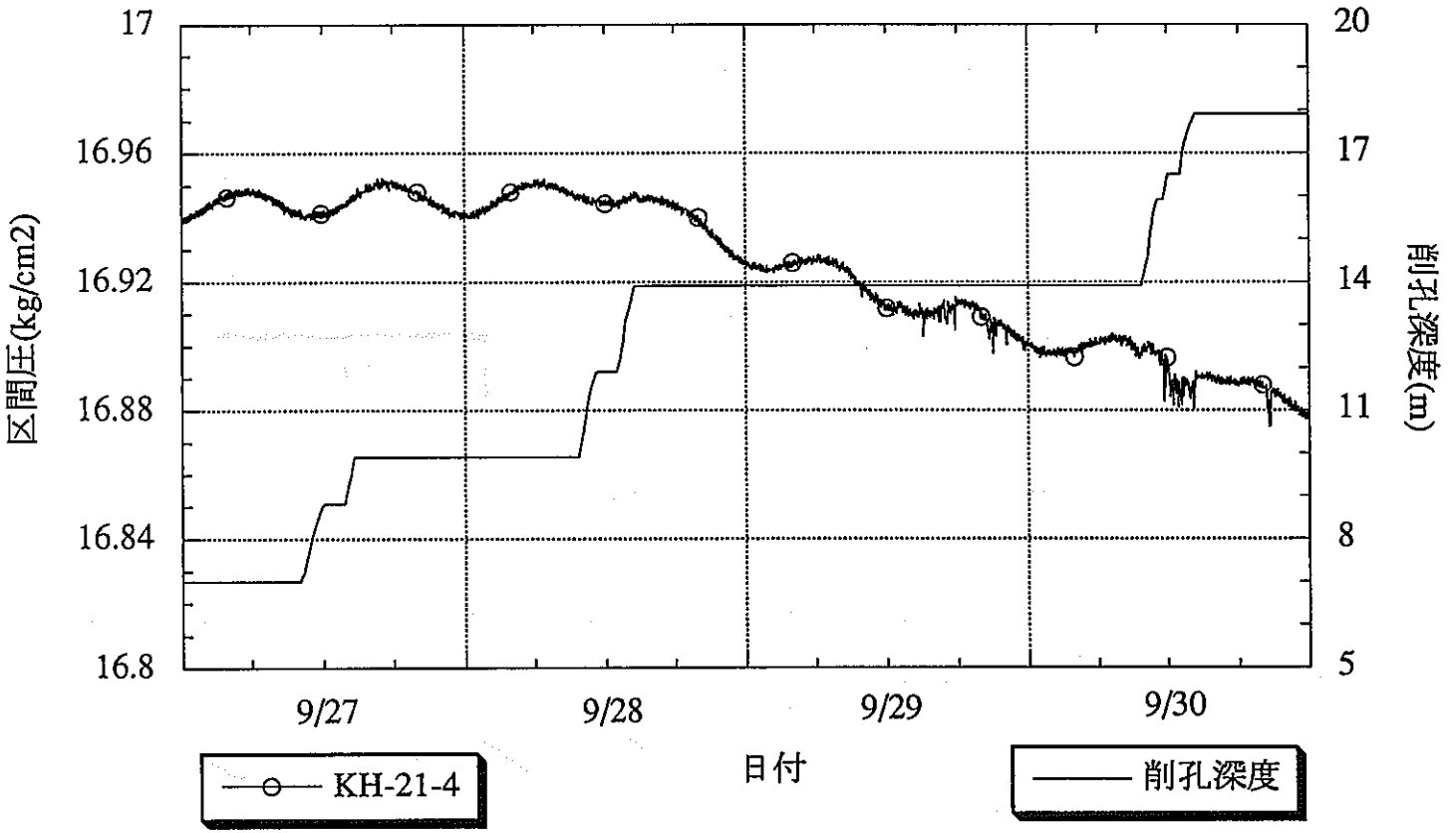


図-7.5.40　KH-24孔の13.77m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(4)

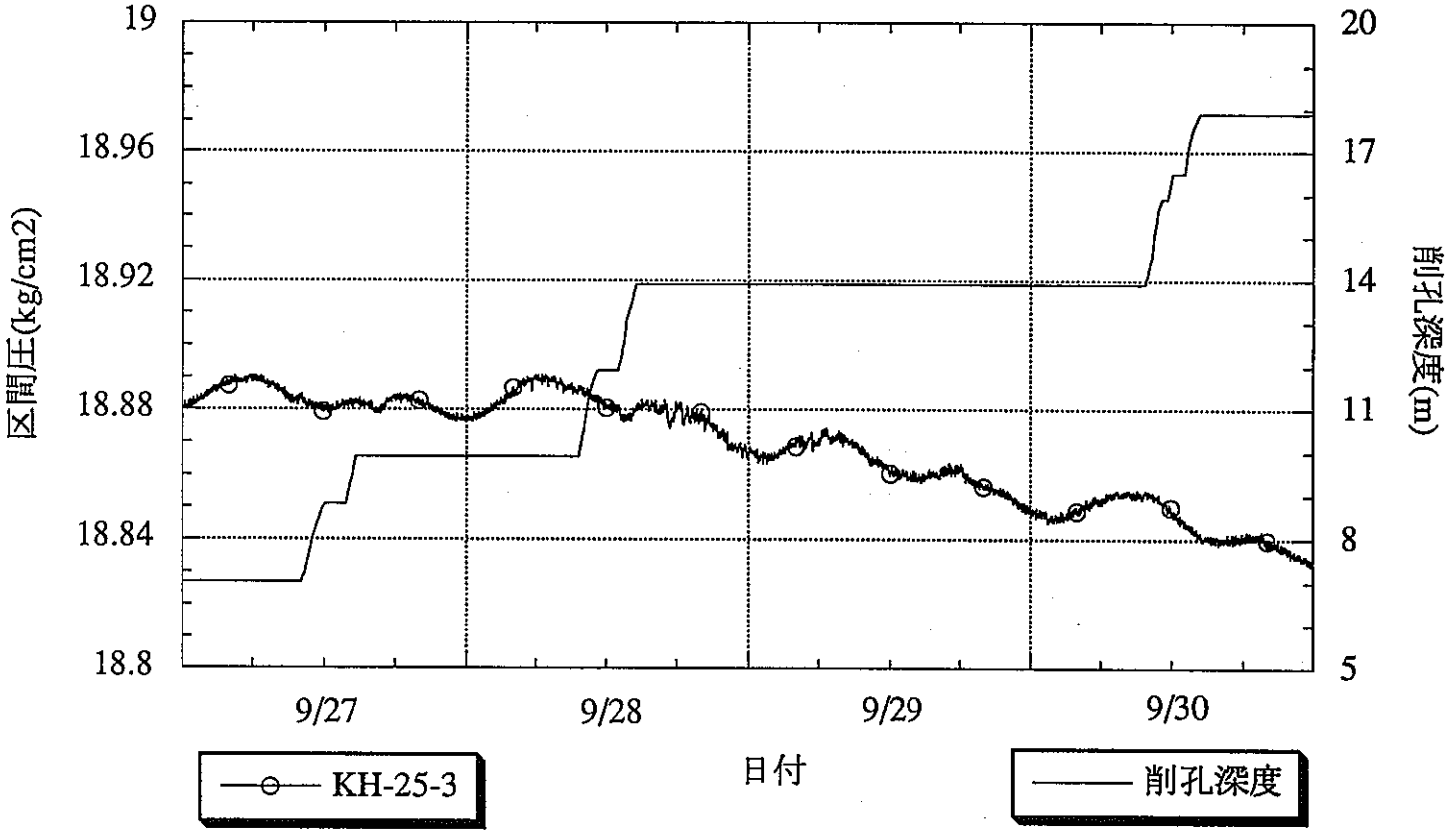


図-7.5.41　KH-24孔の13.77m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(5)

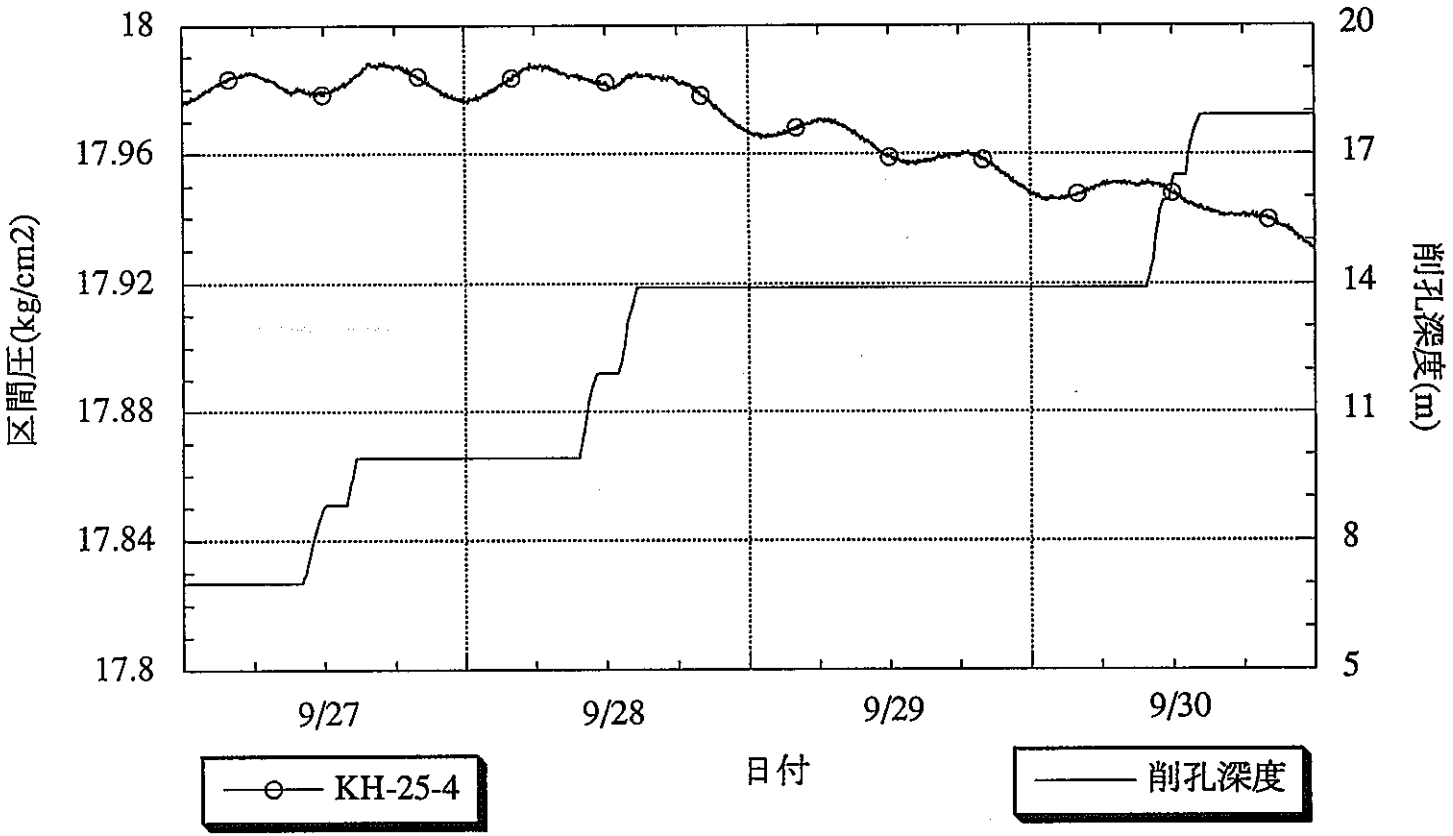


図-7.5.42　KH-24孔の13.77m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(6)

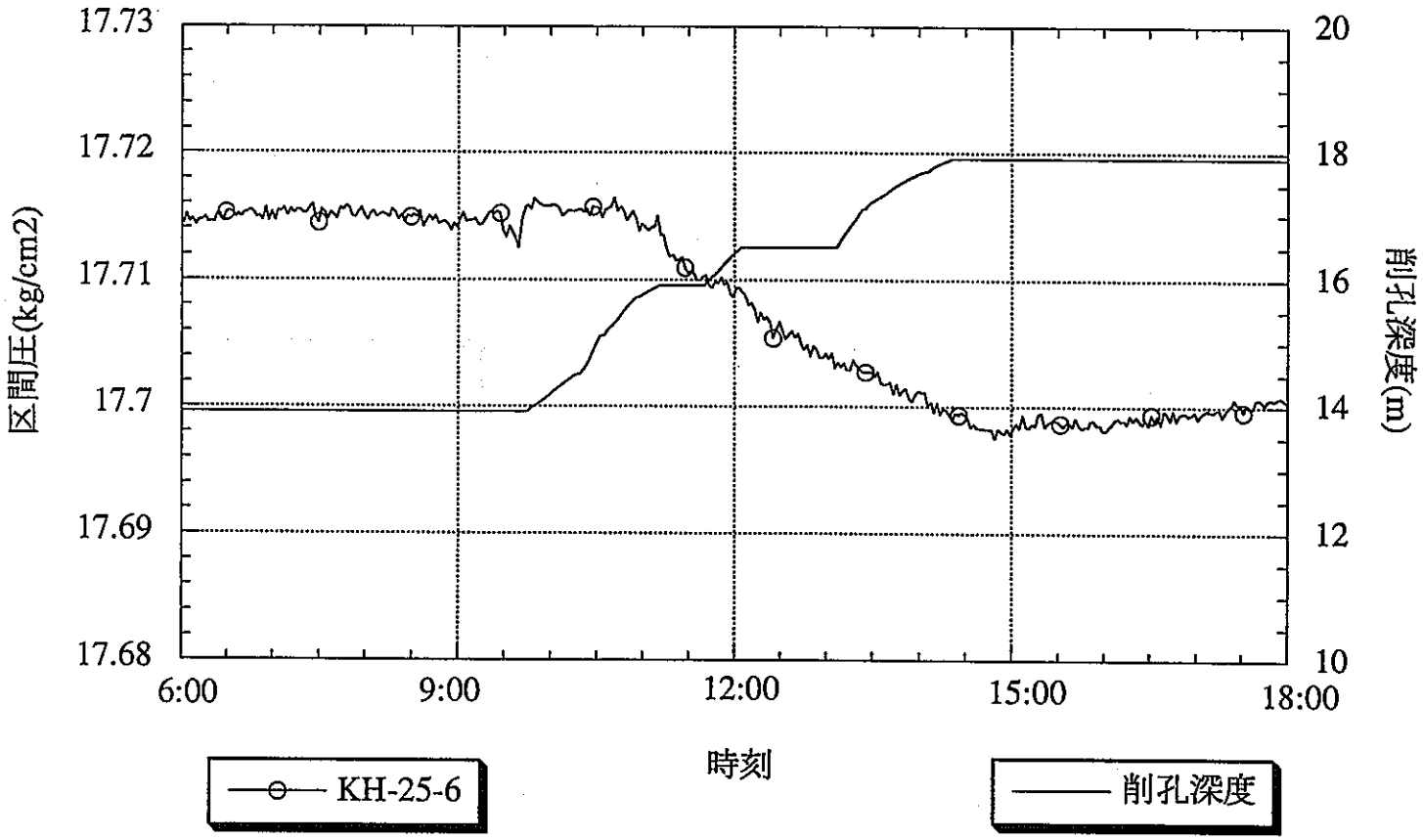


図-7.5.43　KH-24孔の14.44m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(1)

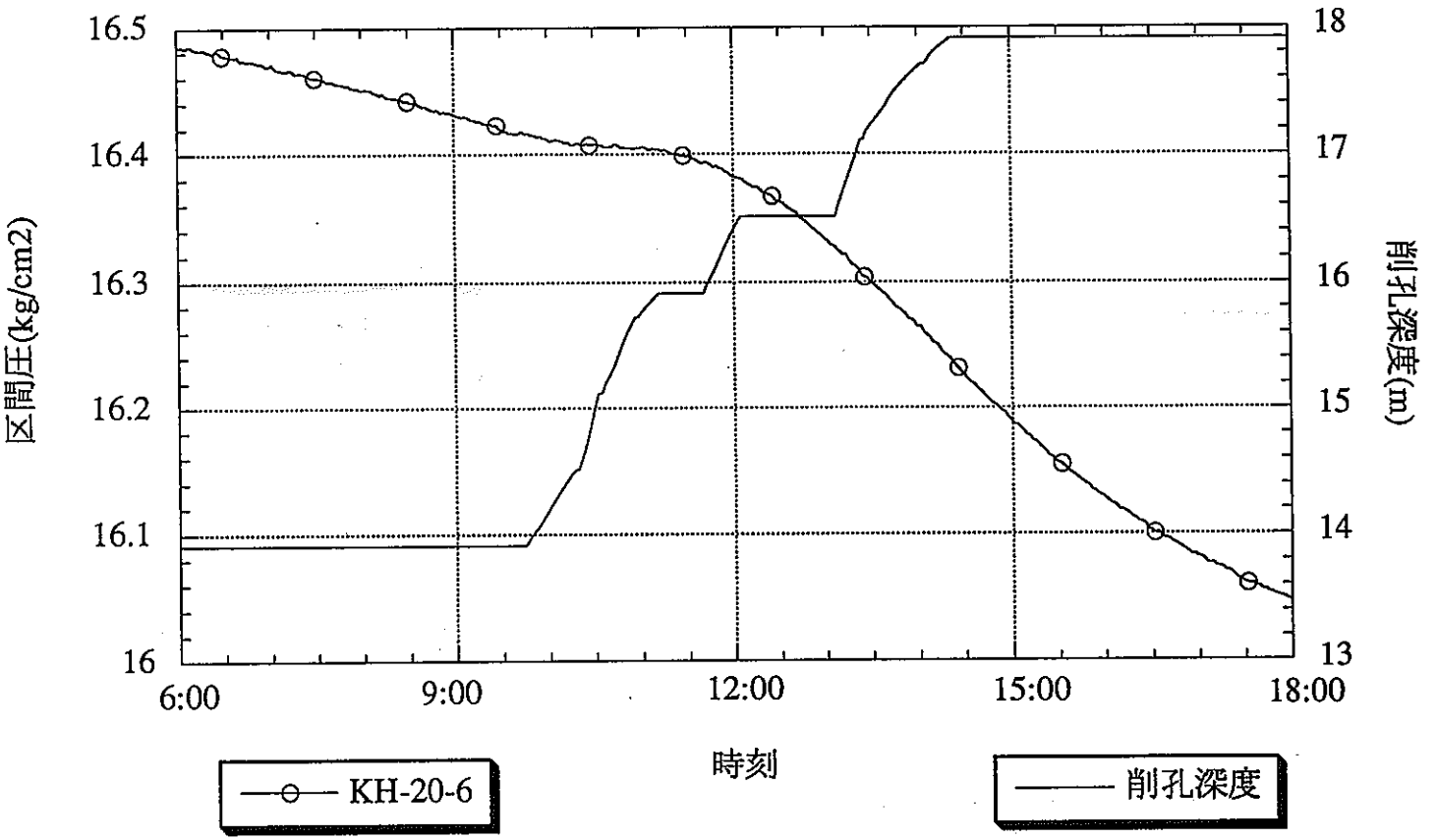


図-7.5.44　KH-24孔の14.44m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(2)

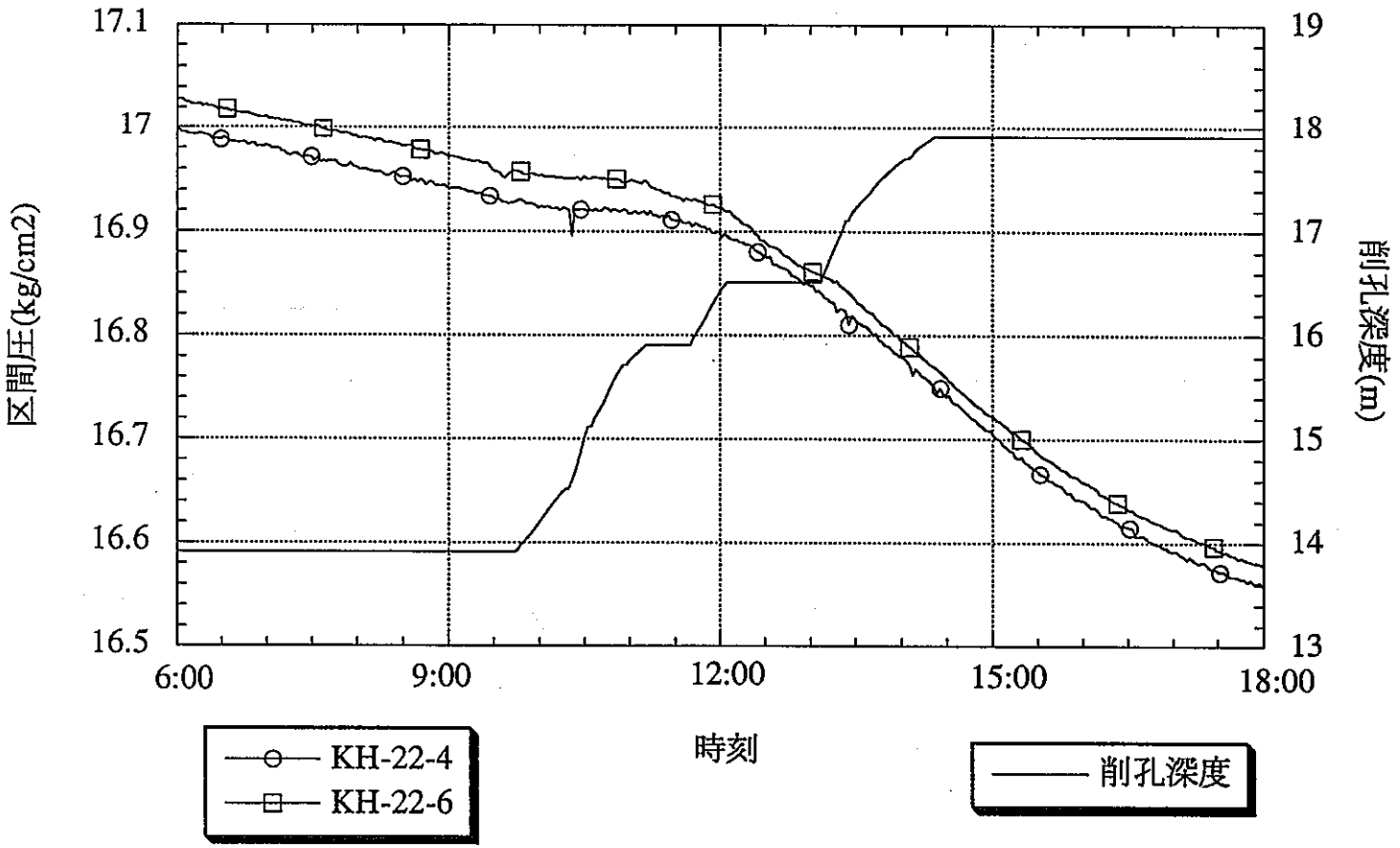


図-7.5.45　KH-24孔の14.44m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(3)

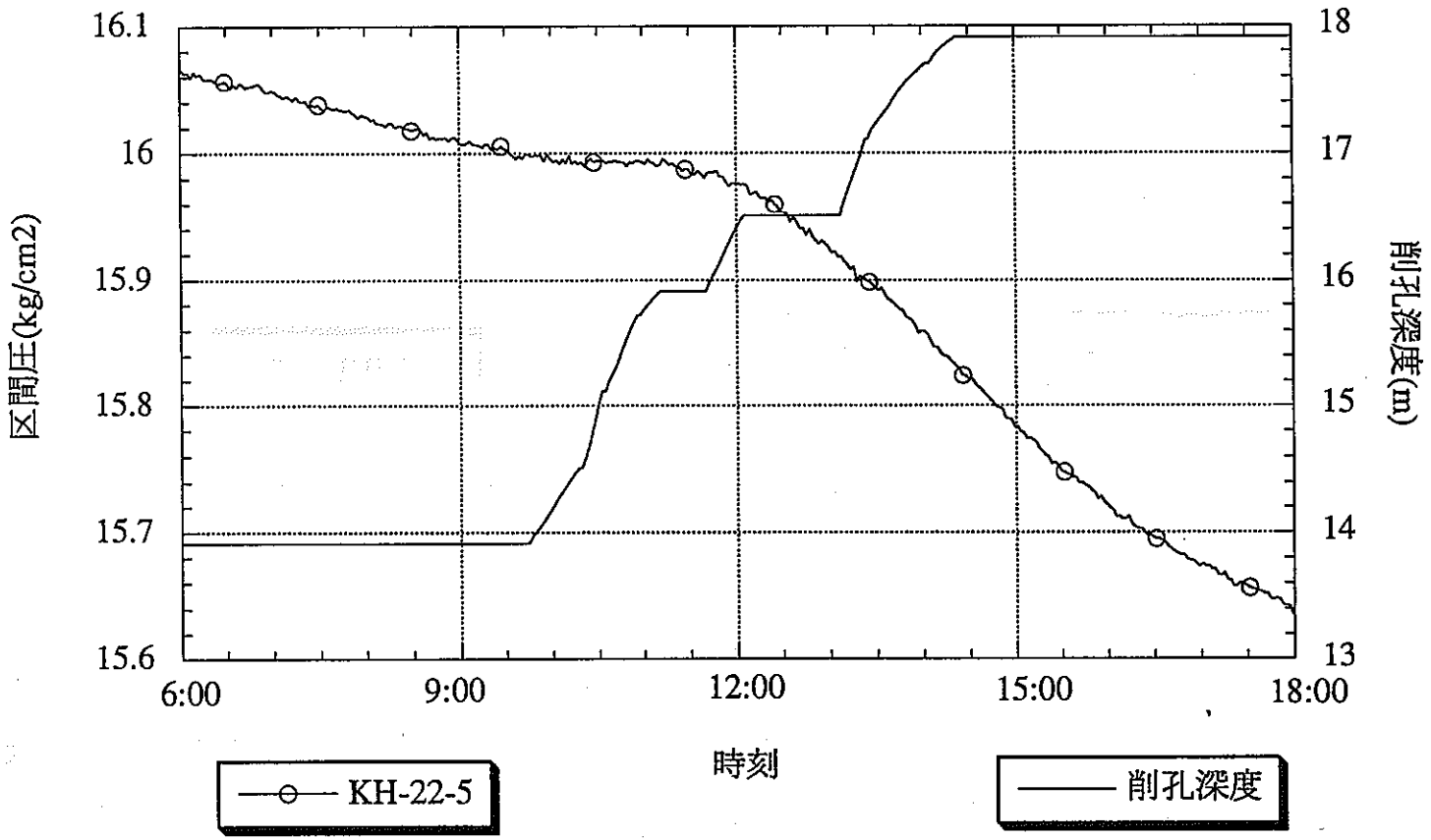


図-7.5.46　KH-24孔の14.44m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(4)

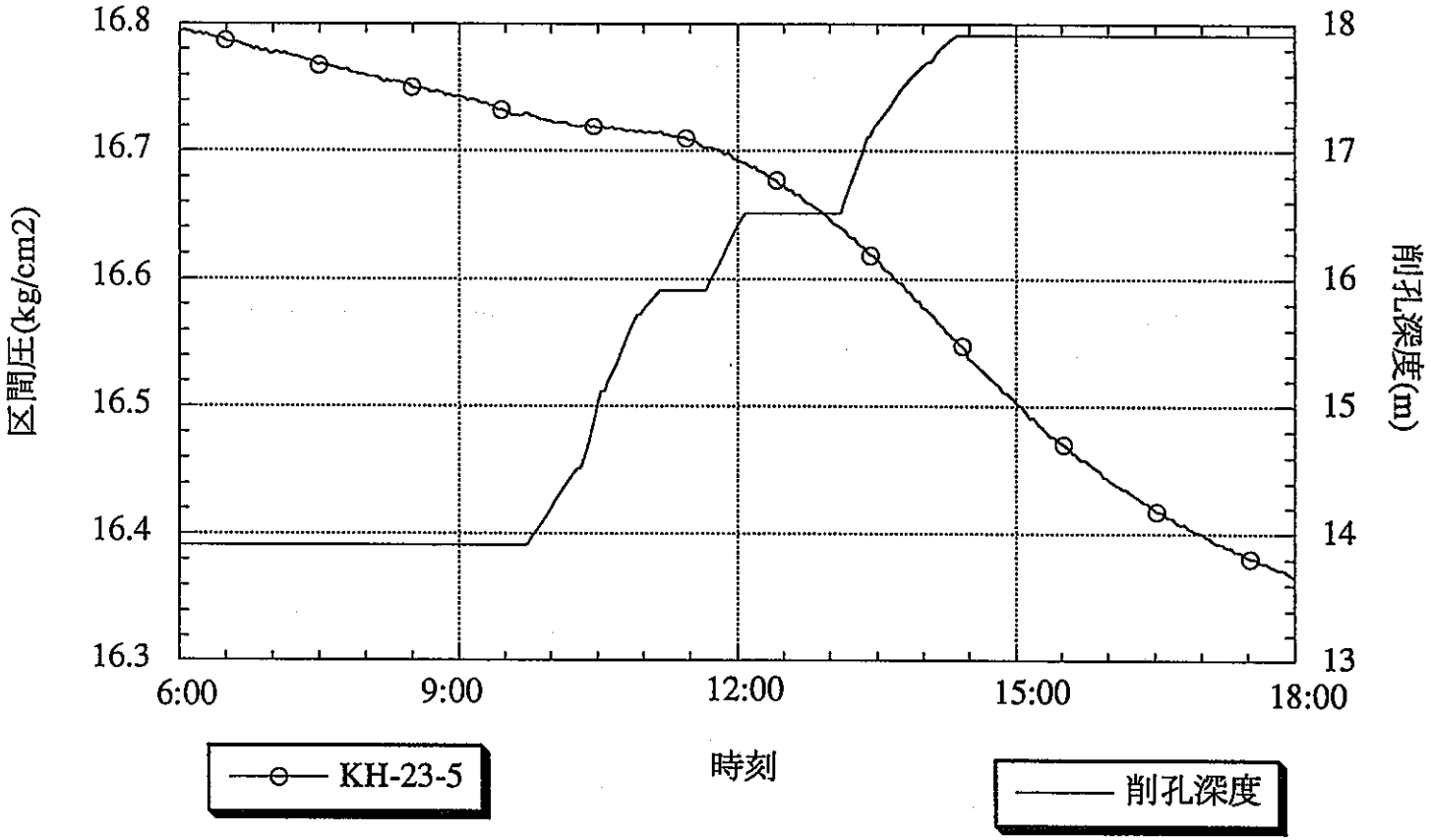


図-7.5.47　KH-24孔の14.44m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(5)

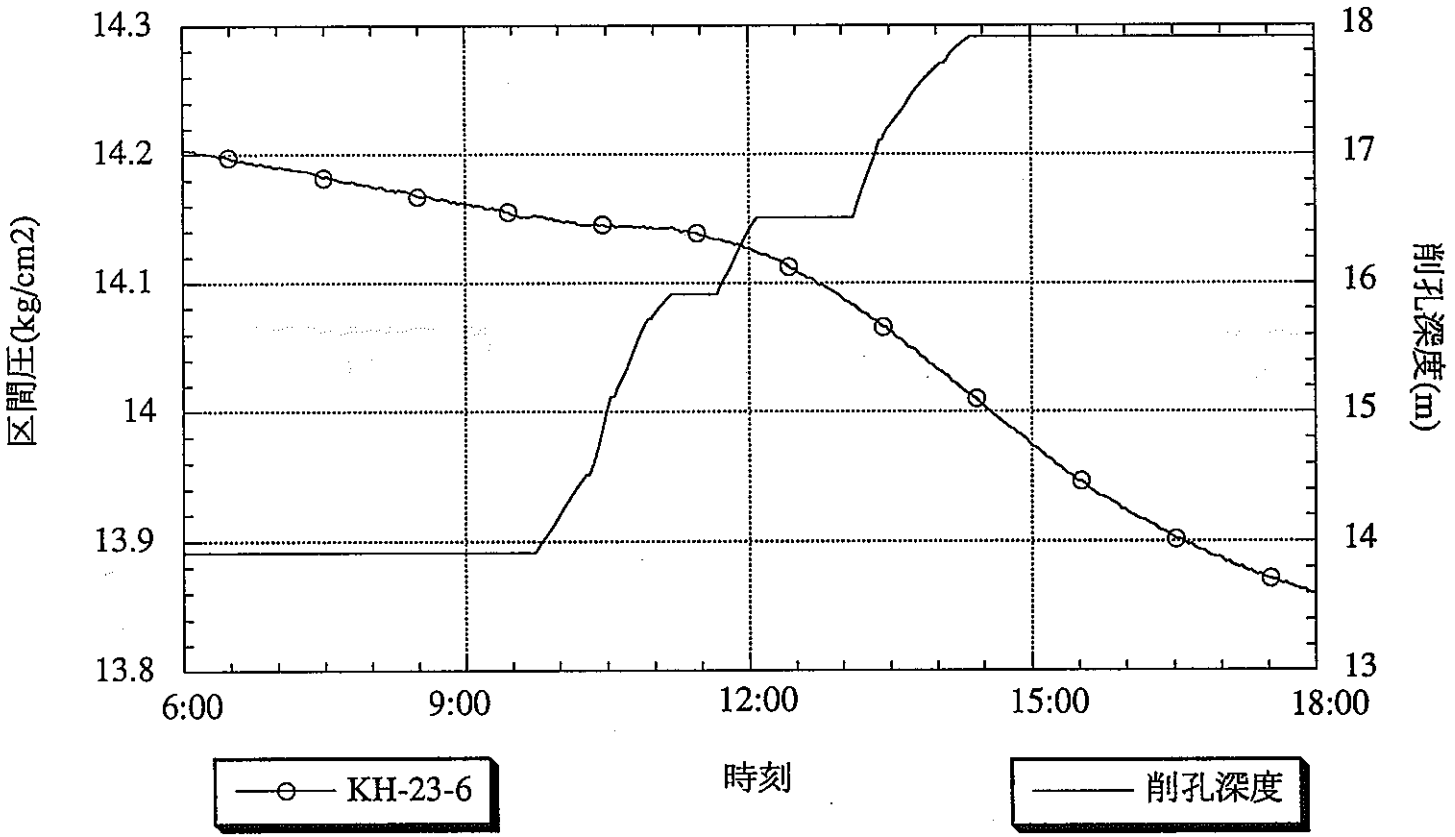


図-7.5.48　KH-24孔の14.44m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(6)

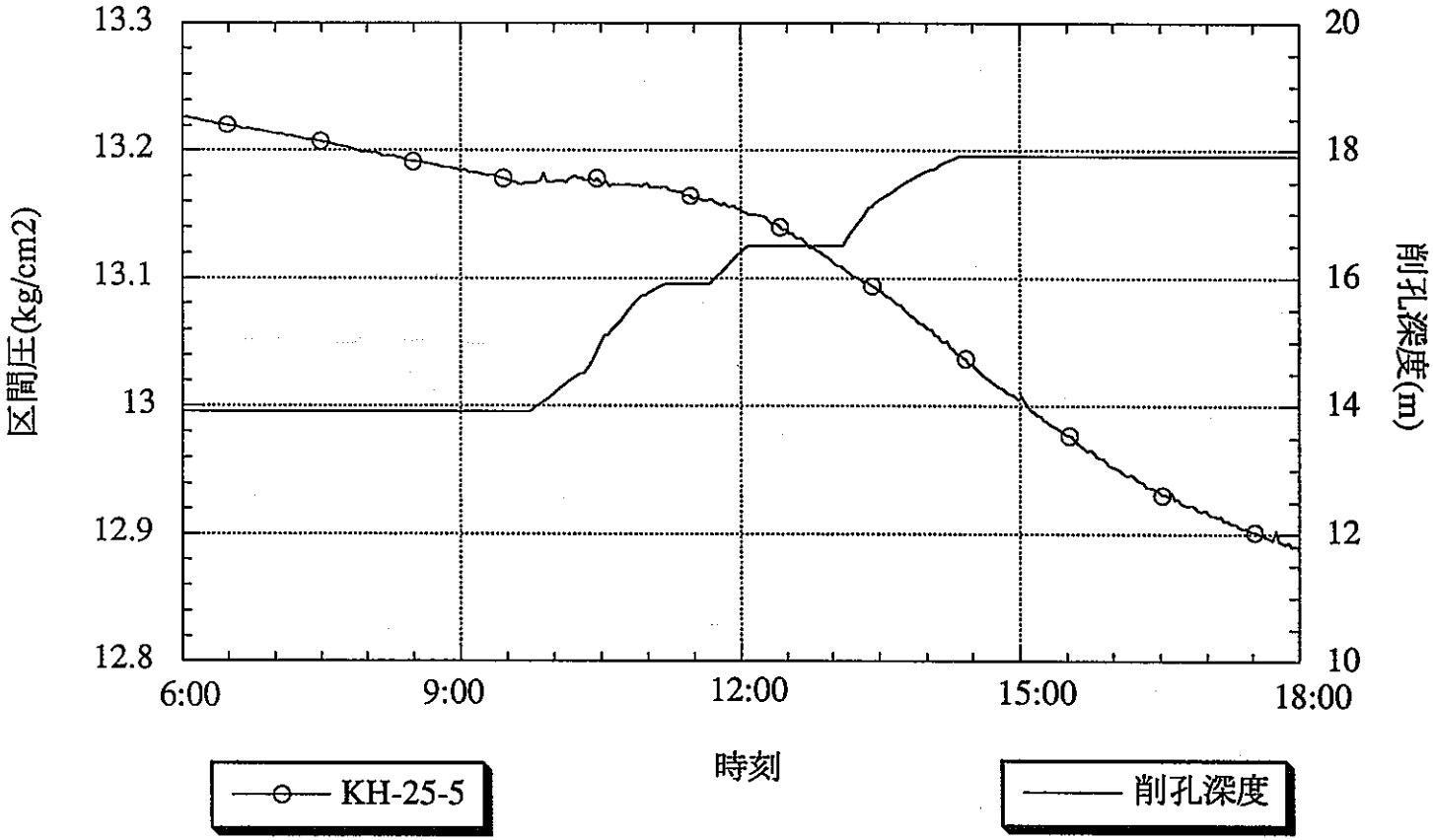


図-7.5.49　KH-24孔の14.44m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(7)

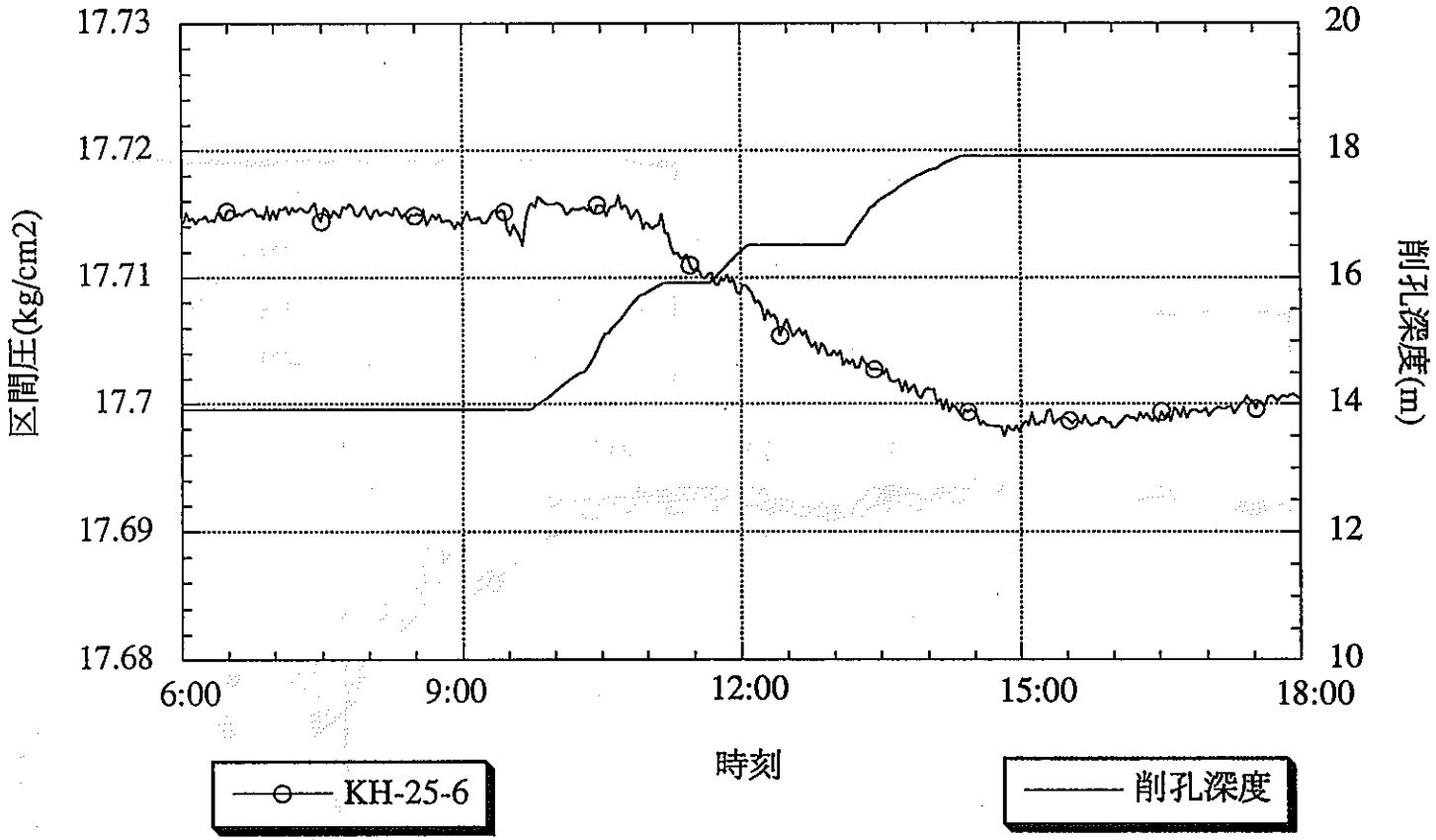


図-7.5.50　KH-24孔の14.44m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(8)

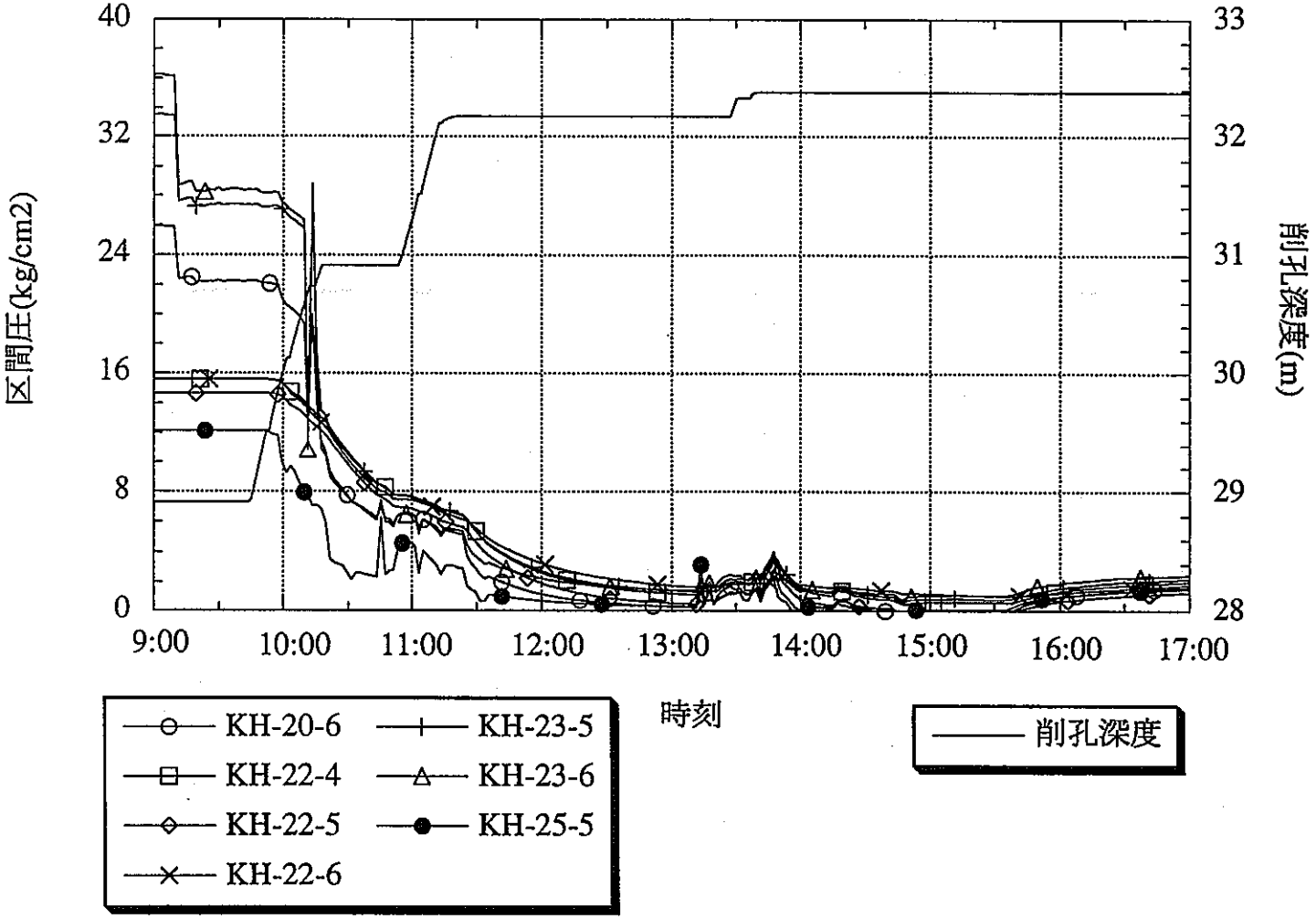


図-7.5.51　KH-24孔の29.8m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化

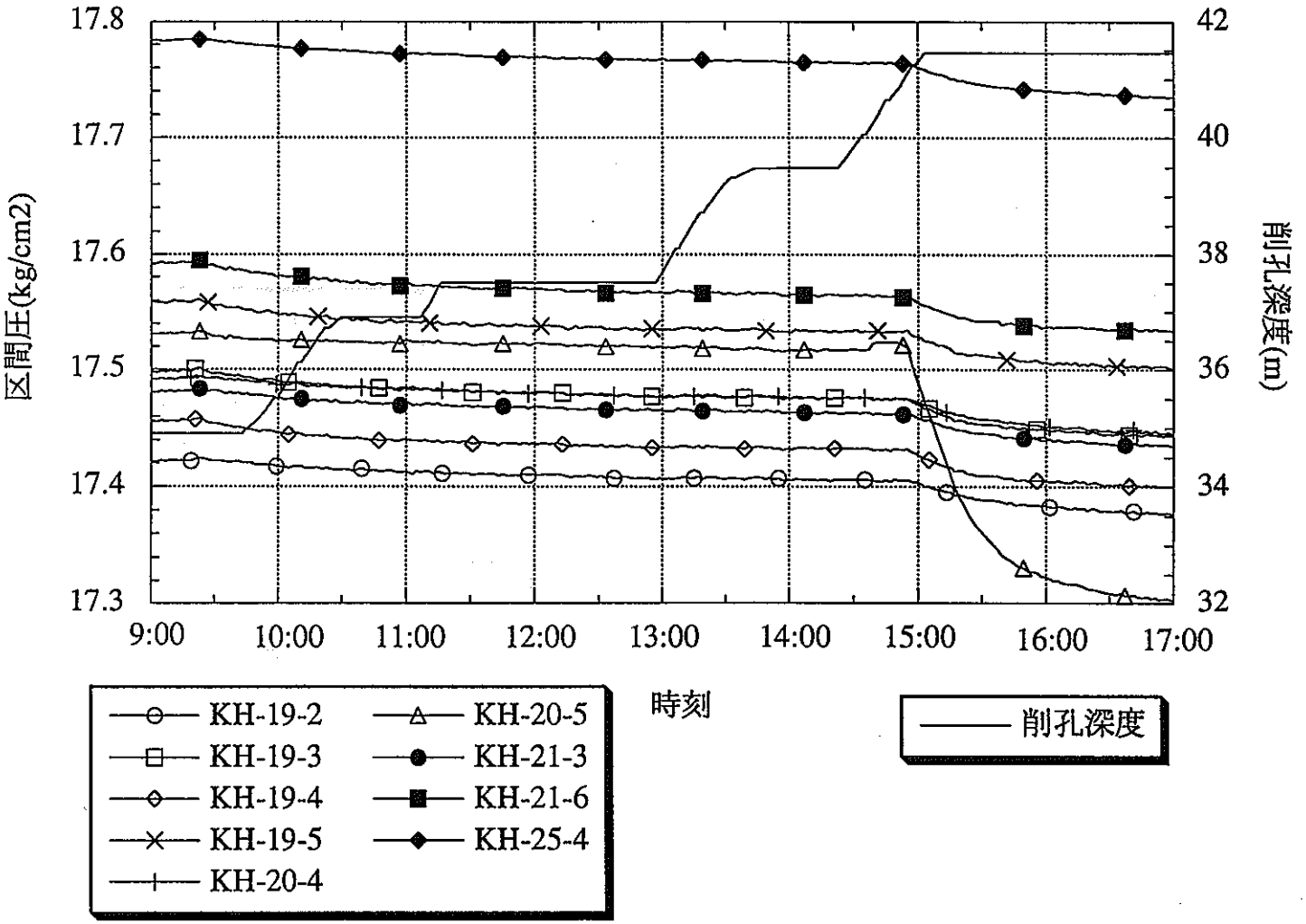


図-7.5.52　KH-24孔の41.14m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(1)

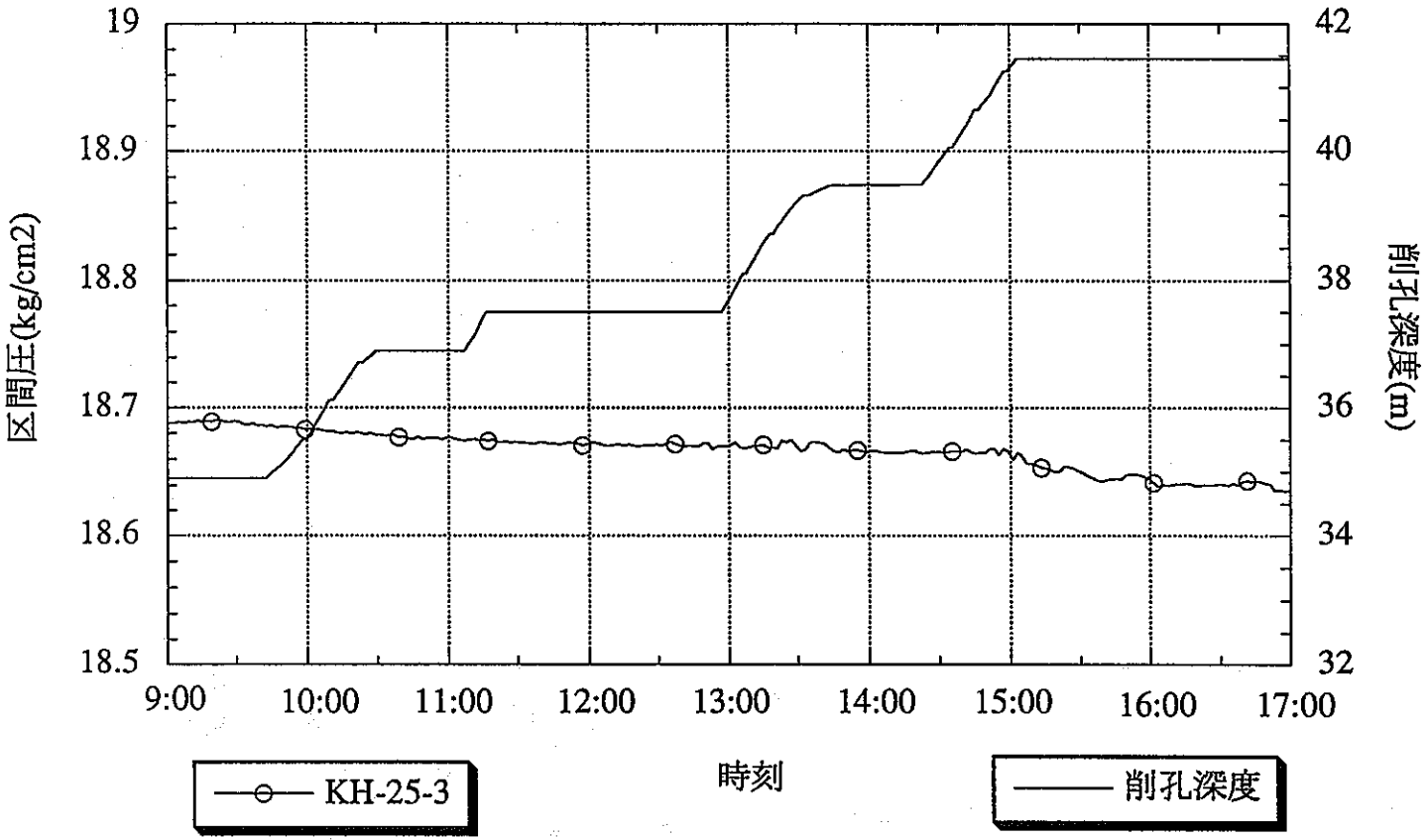


図-7.5.53　KH-24孔の41.14m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(2)

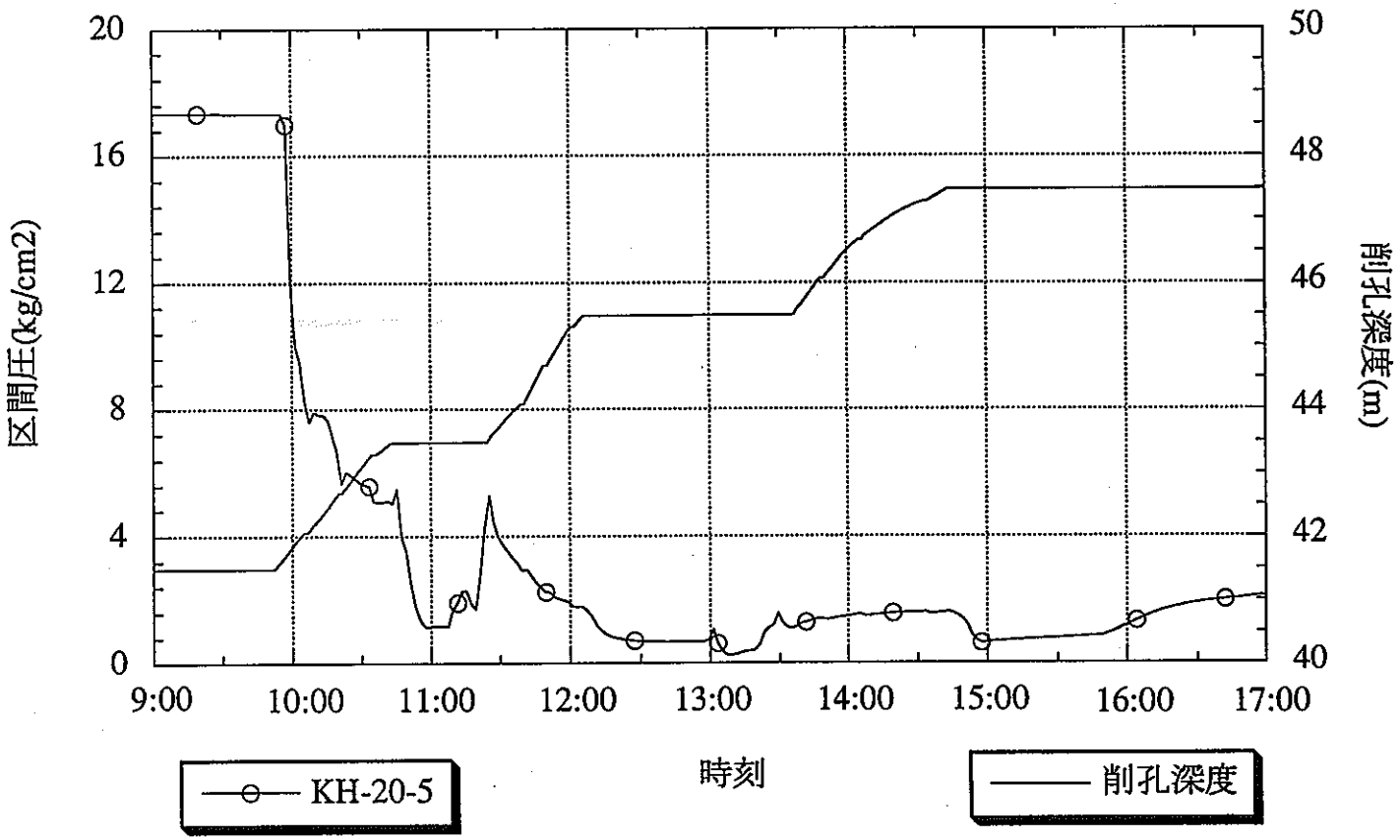


図-7.5.54　KH-24孔の41.72m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(1)

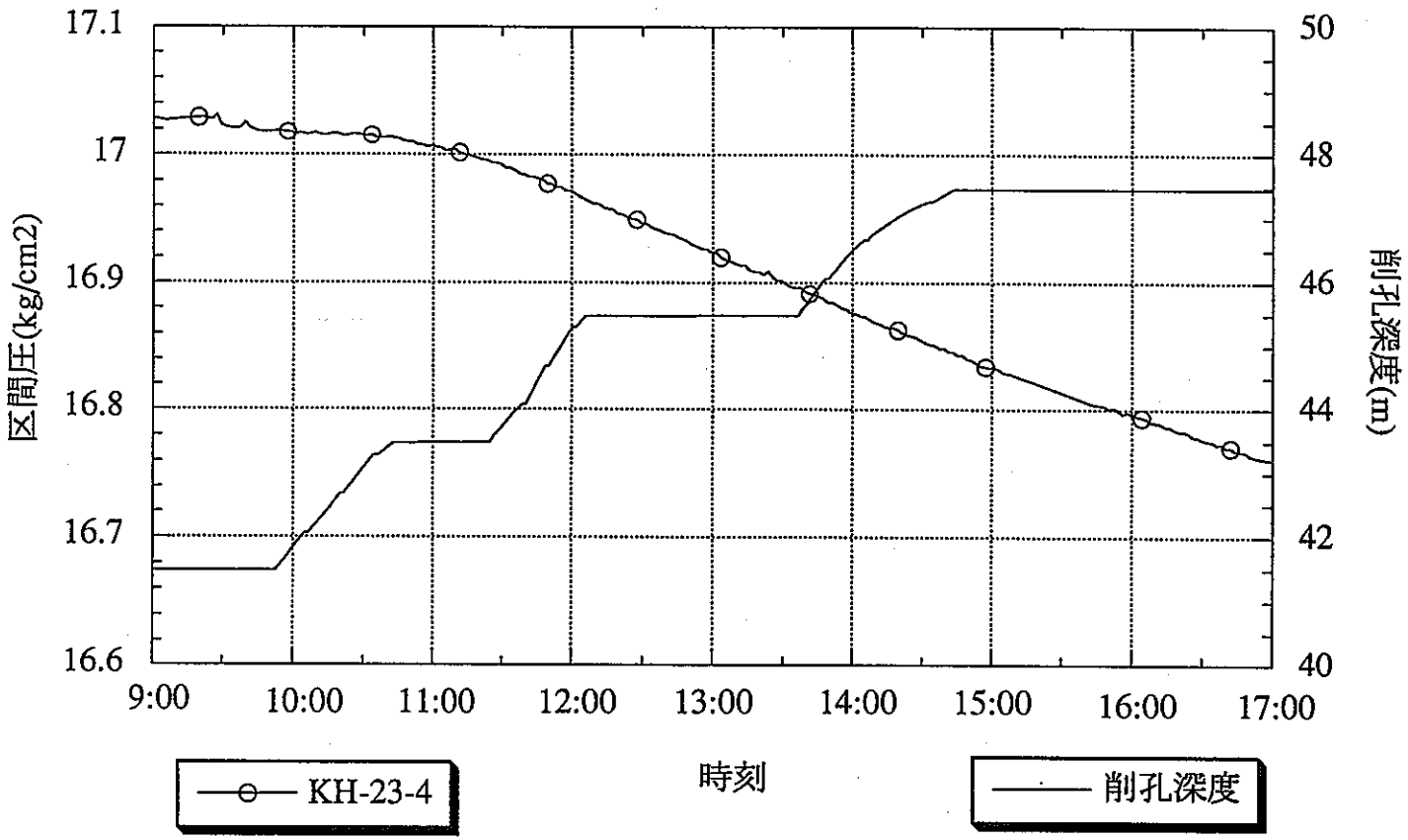


図-7.5.55　KH-24孔の41.72m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(2)

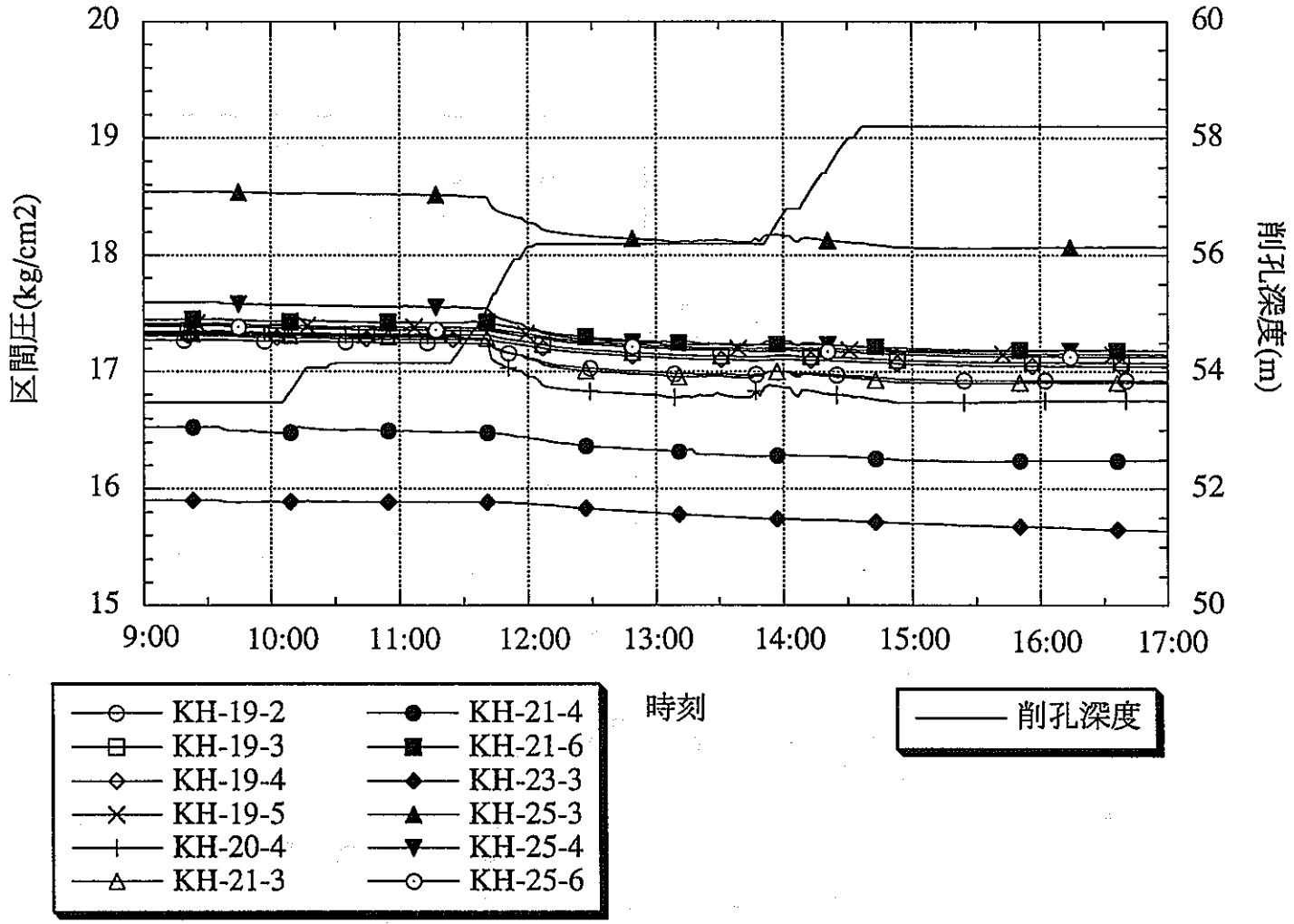


図-7.5.56　KH-24孔の55.05m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化

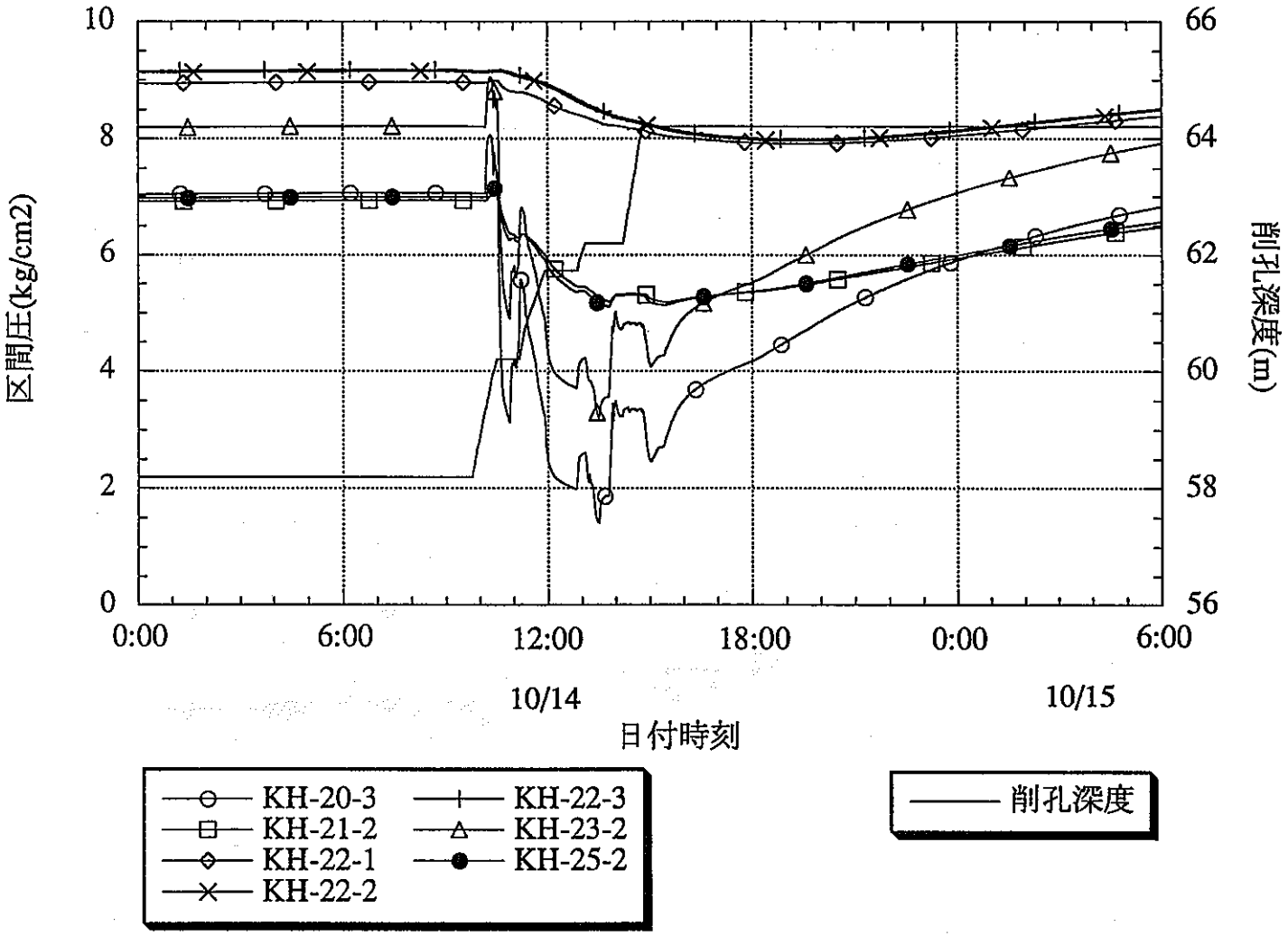


図-7.5.57　KH-24孔の59.3m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(1)

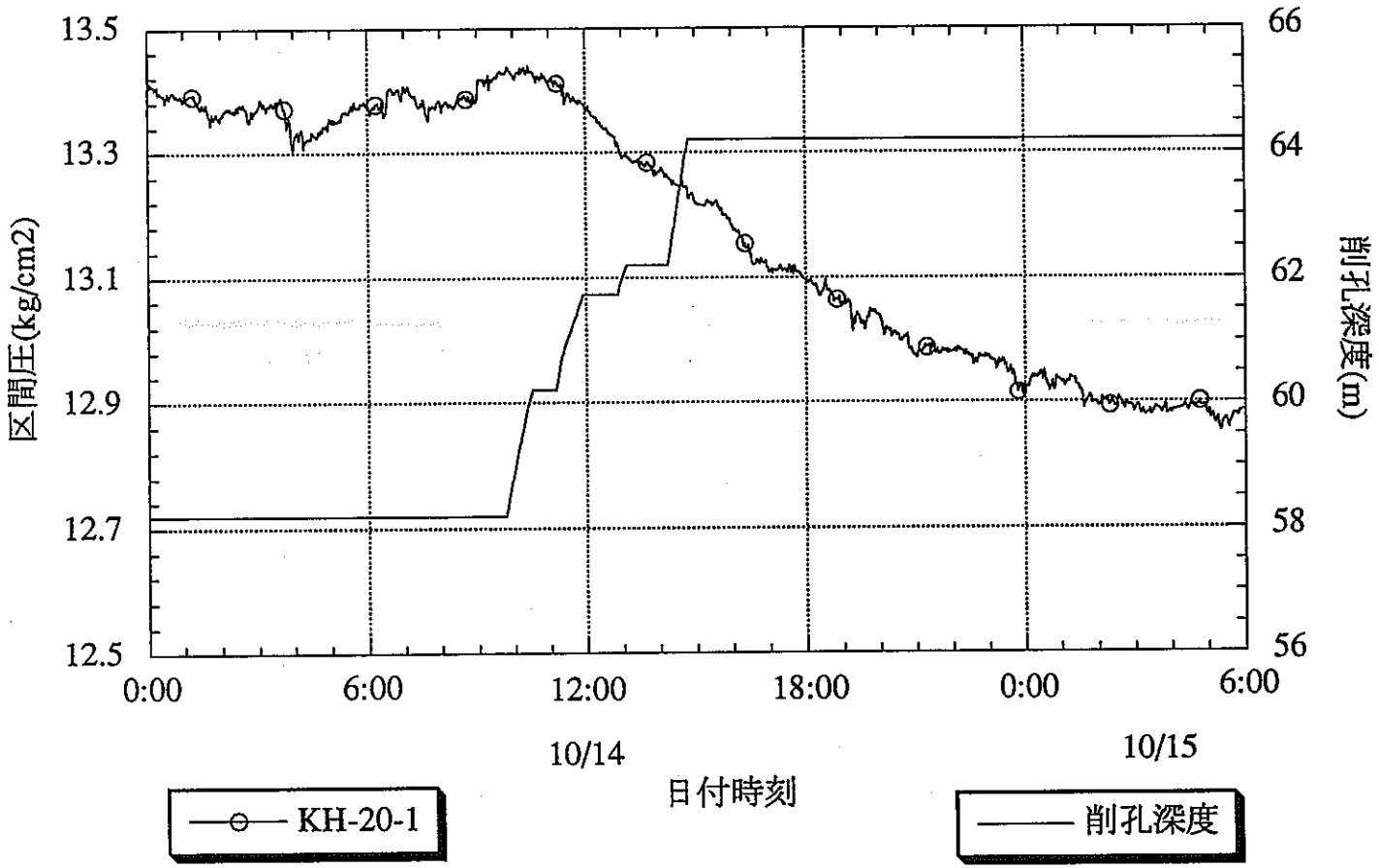


図-7.5.58　KH-24孔の59.3m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(2)

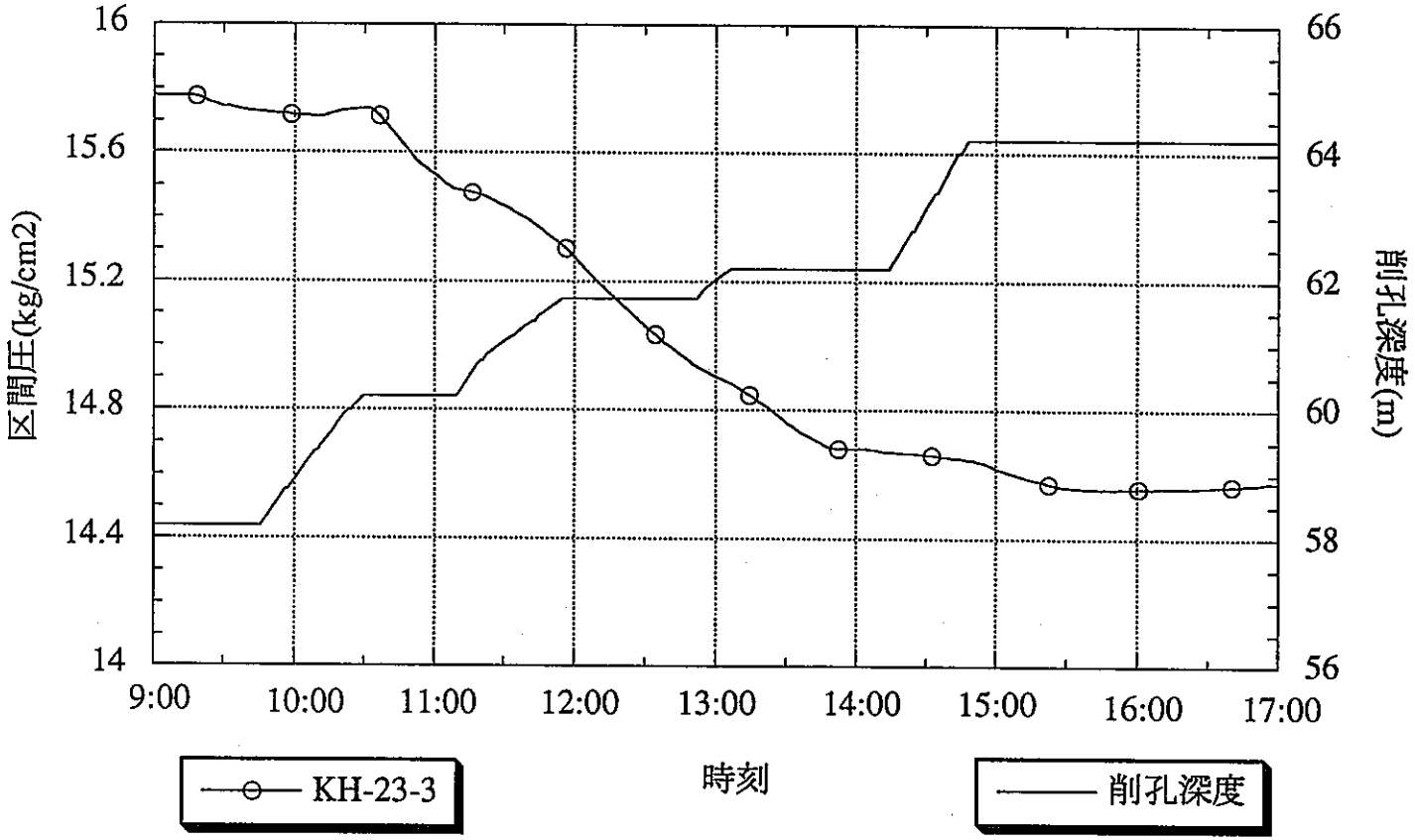


図-7.5.59　KH-24孔の59.3m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化(3)

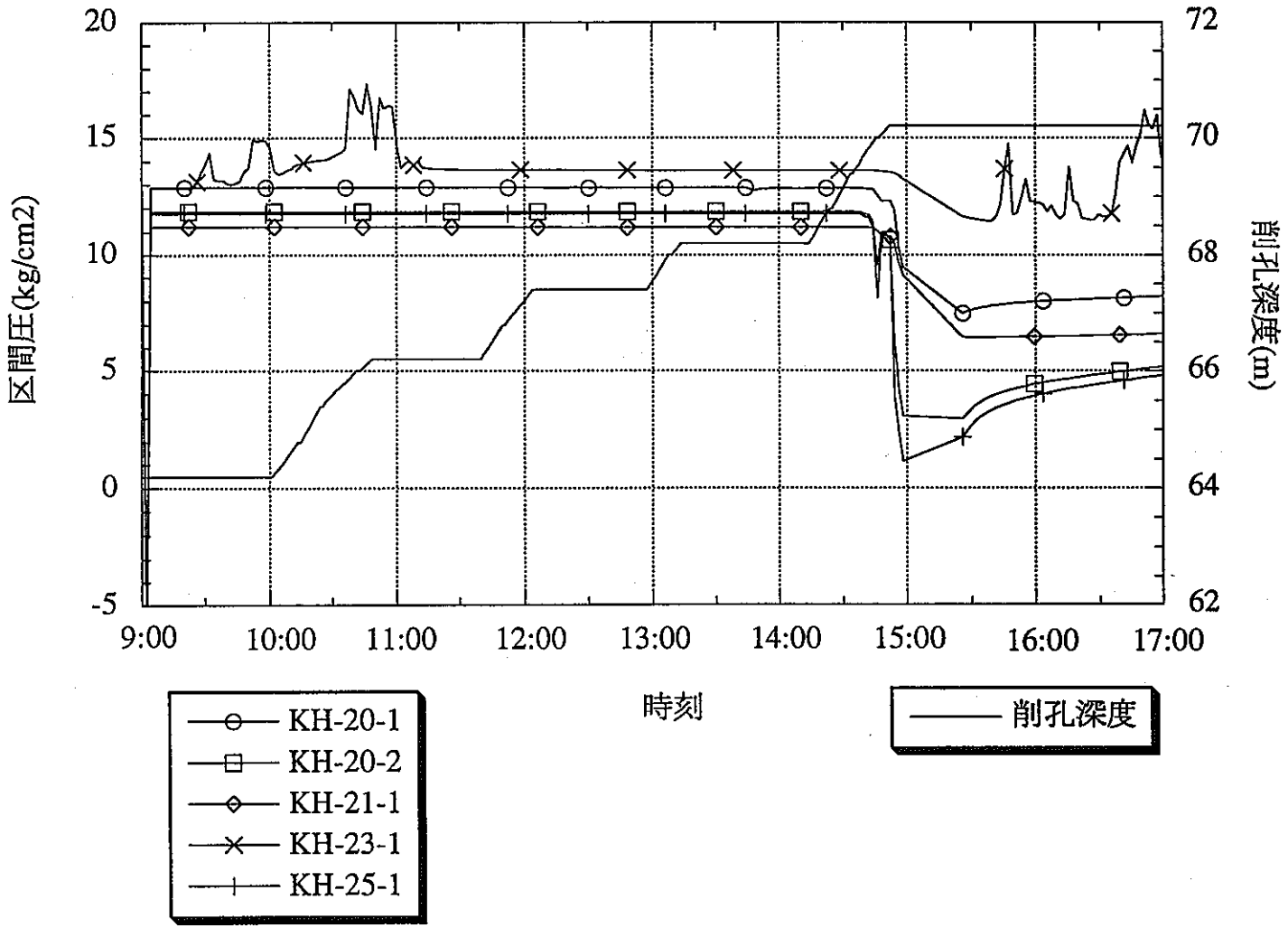


図-7.5.60　KH-24孔の69.93m付近削孔中に発生した間隙水圧の変化

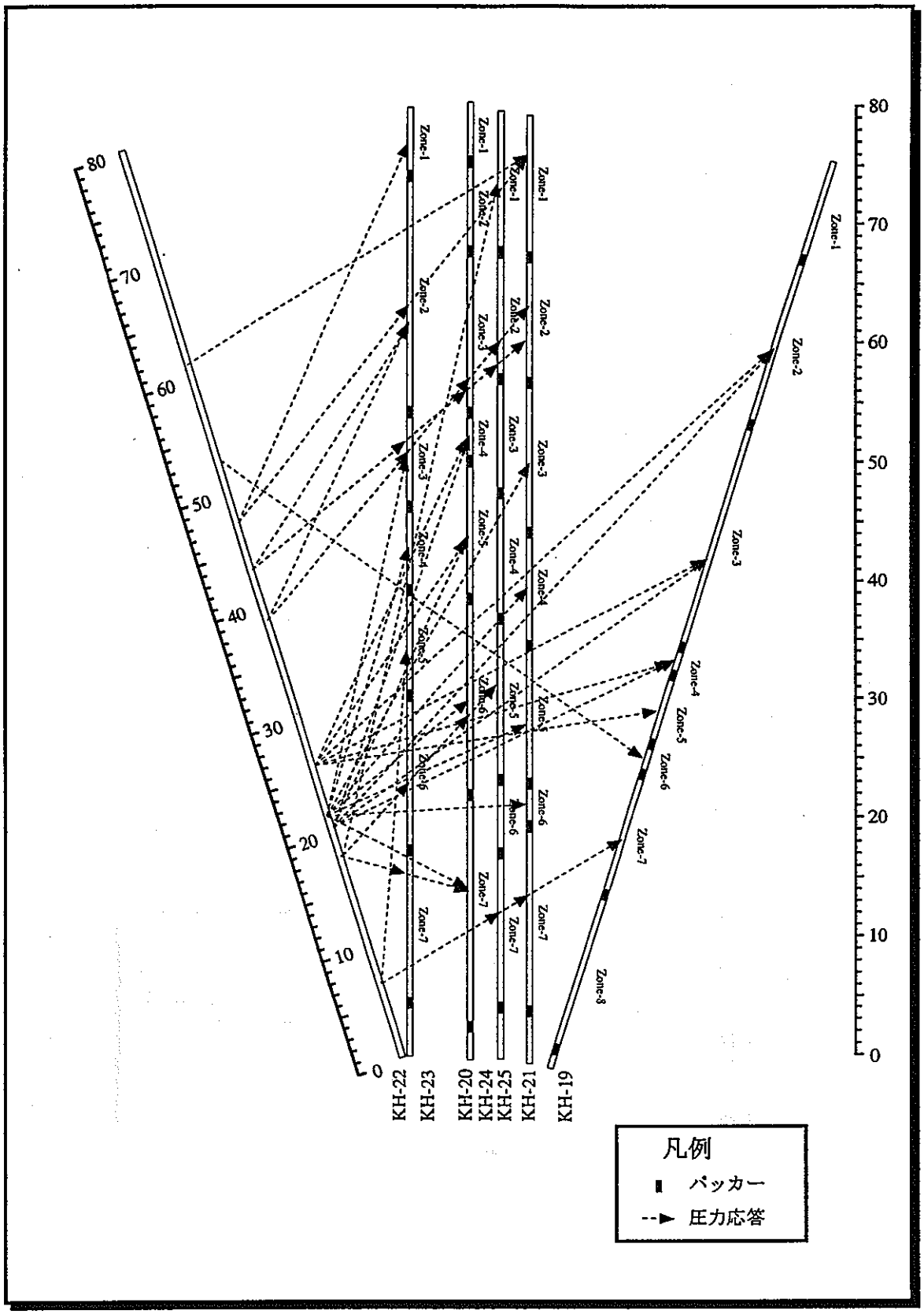


図-7.5.61　KH-22孔掘削時の圧力応答図

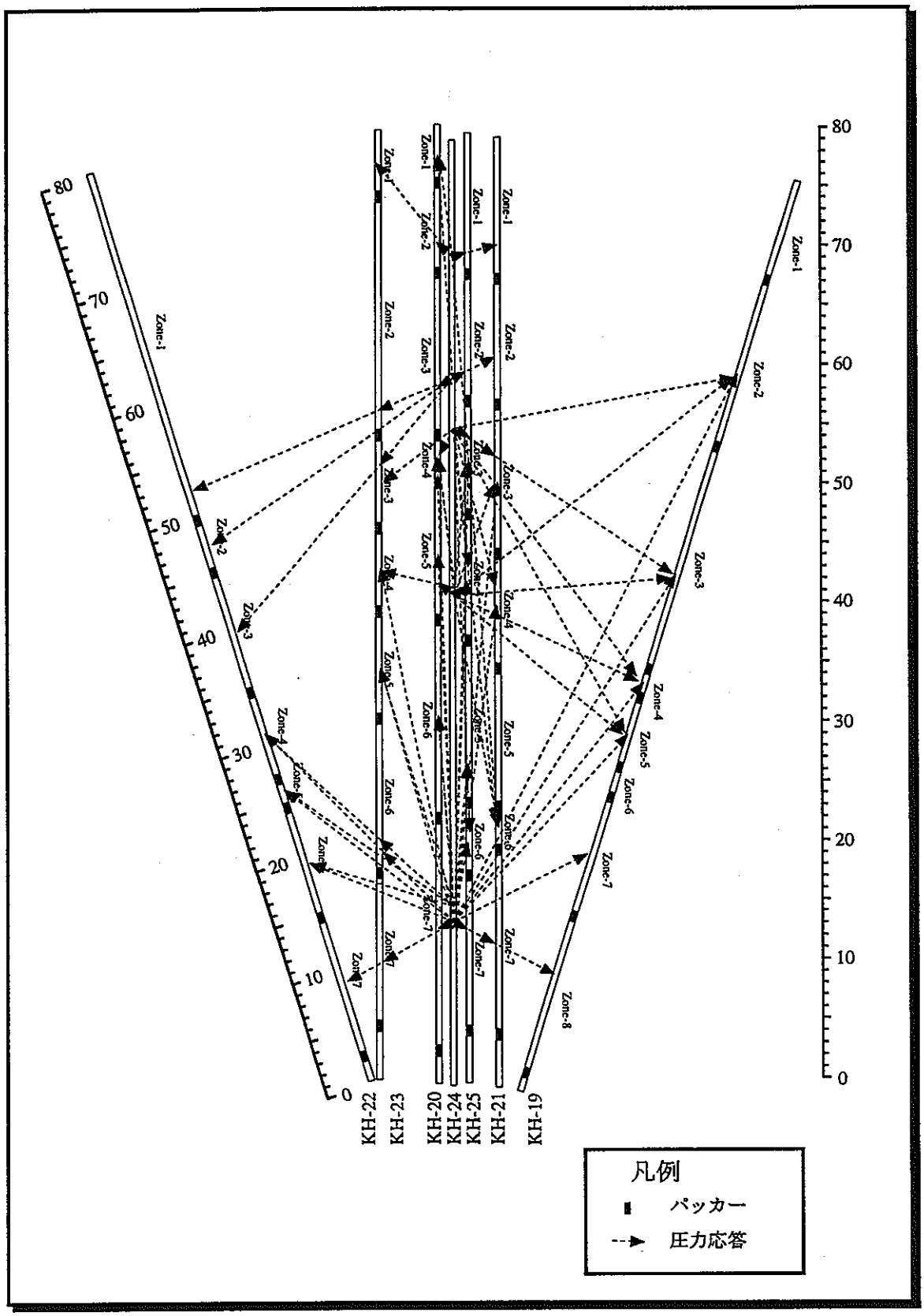


図-7.5.62　KH-24孔掘削時の圧力応答図

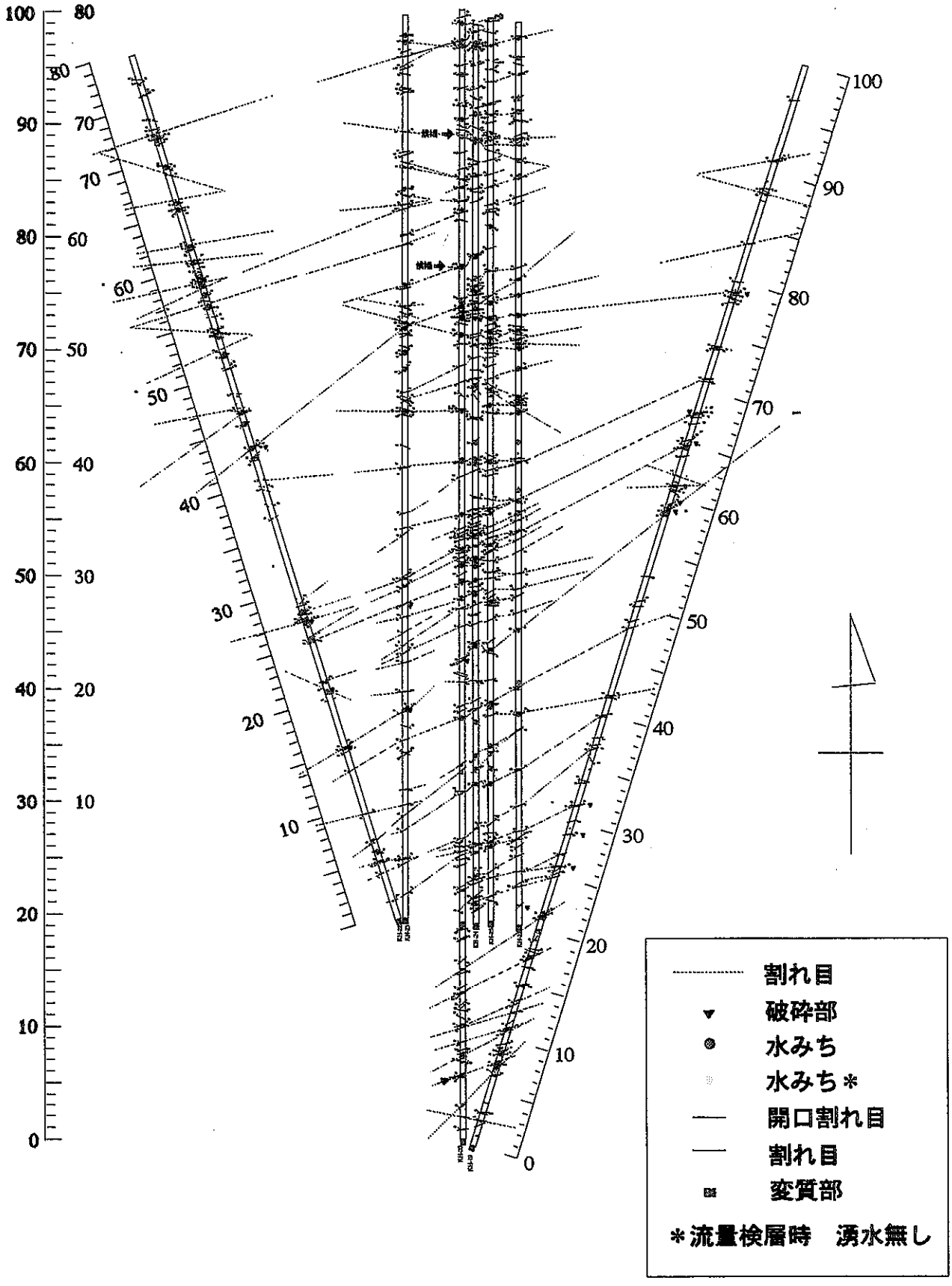
水理地質構造のまとめ

試験エリアの水理地質構造に関して、これまでのコア鑑定結果、BTV調査結果、および水理調査の結果より得られたデータを総合的に解析してまとめた。図-．1は、割れ目分布と湧水地点との関係を示した図である。

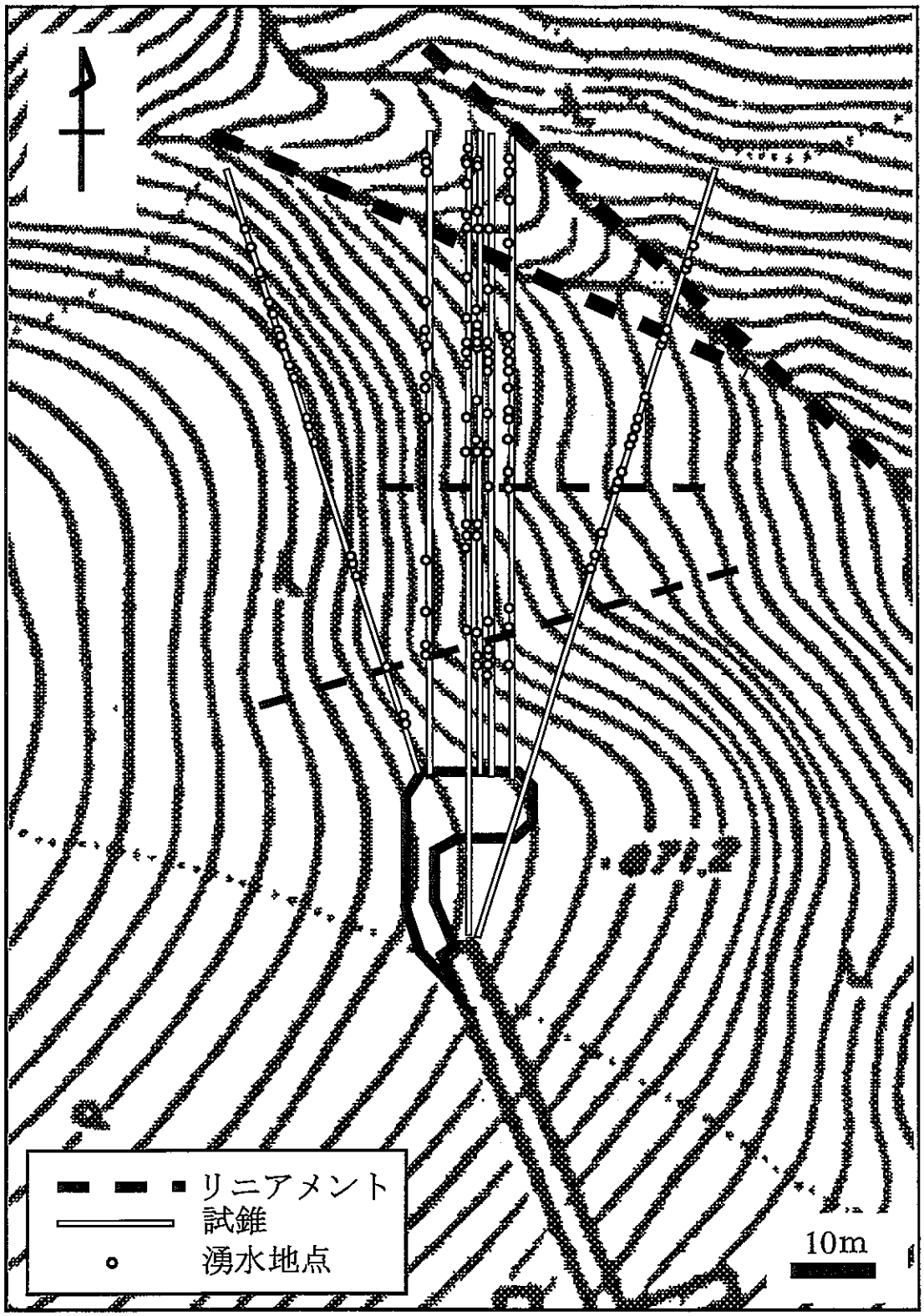
図中に示した割れ目は、中変質以上の変質を伴う主要な割れ目、および湧水地点に存在する割れ目を取り出したものである。変質部に存在する割れ目に関しては、多数存在する割れ目の中で充填鉱物幅が最大のものを中心に抽出した。また、湧水地点に関しては、水理試験結果より推定された深度付近に存在する開口割れ目を候補として抽出した。これらの割れ目に関して、BTVの結果より得られている走向傾斜、コア検芯の結果より得られた情報用いて、その連続性を推定した。

試験坑道の北側壁を0mとし北方向を正とした場合、全体的な割れ目の連続性は、0～35m付近ではWSW-ENE系、35～45m付近ではEW系、そして45～80m付近ではWSW-ENE系とWNW-ESE系となっている。湧水割れ目の連続性もこれらの割れ目系と同様の傾向を有している。しかしながら、個々の湧水割れ目を見た場合、ある孔内の湧水割れ目が、他の孔内では閉鎖割れ目となり湧水していない場合もある。また間隙水圧分布の結果と合わせた場合には、割れ目の連続性と水みちの連続性が一致していない場合もある。このことは、同一の割れ目面内に発達する水みちでも、お互い独立しているか、間隙水圧に差が生じる可能性があることを示唆している。

水理調査の結果では、試験領域の西側ほど全体的に湧水量が減少していく傾向がある。また、間隙水圧も似た傾向を示す。図-．2は地表地形のリニアメントと、各試錐孔における湧水地点との関係を示したものである。リニアメントは、沢となっており地下への水の供給が行われやすい状況になっていると推定される。もしこの様な仮定が正しいとすれば、地下の水理地質構造は地表にリニアメントと密接に関連しあい、その影響を受けている可能性が高いといえる。



推定された割れ目分布と水みち



地表リニアメントと湧水地点の関係

8　流量検層

8.1　概要

本試験では、削孔した各ボーリング孔について流量検層を実施してきた。ここでは、本年度実施したKH-22孔、KH-24孔およびKH-20孔の各孔における流量検層の結果について述べる。KH-20孔の流量検層については、既に平成６年度試験において実施したが、その後実施した他孔の流量検層と異なる方法（シングルパッカー方式）を用いていたため、再検層を実施した。

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、以下のとおりである。

(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。

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（測定区間内に独立した透水性割れ目が存在する場合には、その透水性割れ目の）透水性を把握することができる。

ただし、今回実施した流量検層では、多区間の測定を再優先とし、一箇所当たりの流量測定に多くの時間を費やさなかったため、必ずしも定常状態の流量を測定したとは言えない。よって、流量検層結果から算定した透水係数は、あくまでも岩盤またはみずみちの透水性の概略値であることに留意する必要がある。

8.2　検層方法

試験は、いずれの孔においても、これまで実施した流量検層と同様の方法・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２本のパッカーを用

いる。測定区間は、一般的に１～５ｍである。求められる流量は、測定区間内に存在する透水性割れ目からの湧水を反映したものである。今回の方式の流量検層において重要なことは、孔内を一定圧力（大気圧）に保持することである。パッカーを設置することにより、奥側のパッカー以深からの流れをせき止め、圧力の上昇を招く。このような測定区間奥の水圧上昇を最小化するためには、測定区間をバイパスして、奥からの湧水を排除するような配管を設ける必要がある。

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。

流量の測定では、図-8.2.2 に示すフロート式流量計を用いたが、測定値の確認のためメスシリンダーによる測定も併せて実施した。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目盛と流量の校正には、平成７年度実施のKH-21孔の流量検層時に取得したデータを用いた。上記検層時に得られたフロート目盛の読取りとメスシリンダーによる測定流量の関係を図-8.2.3に示す。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値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。大・中レンジ流量計では、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。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。

各レンジの流量計の校正式は次の通りである。

・大レンジ流量計：$Q = -535.77 + 86.341\,R$

・中レンジ流量計：$Q = -77.552 + 21.719\,R$

・小レンジ流量計：$Q = -0.12049 + 0.0925\,R^1 + 0.0045747\,R^2 - 0.00001045\,R^3$

ここに、Q：流量 [ml/min]、R：流量計の読み、である。

図-8.2.4～図-8.2.6にKH-22、KH-24、KH-20孔の各流量検層の結果における、メスシリンダーと流量計による測定値の比較を示す。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。

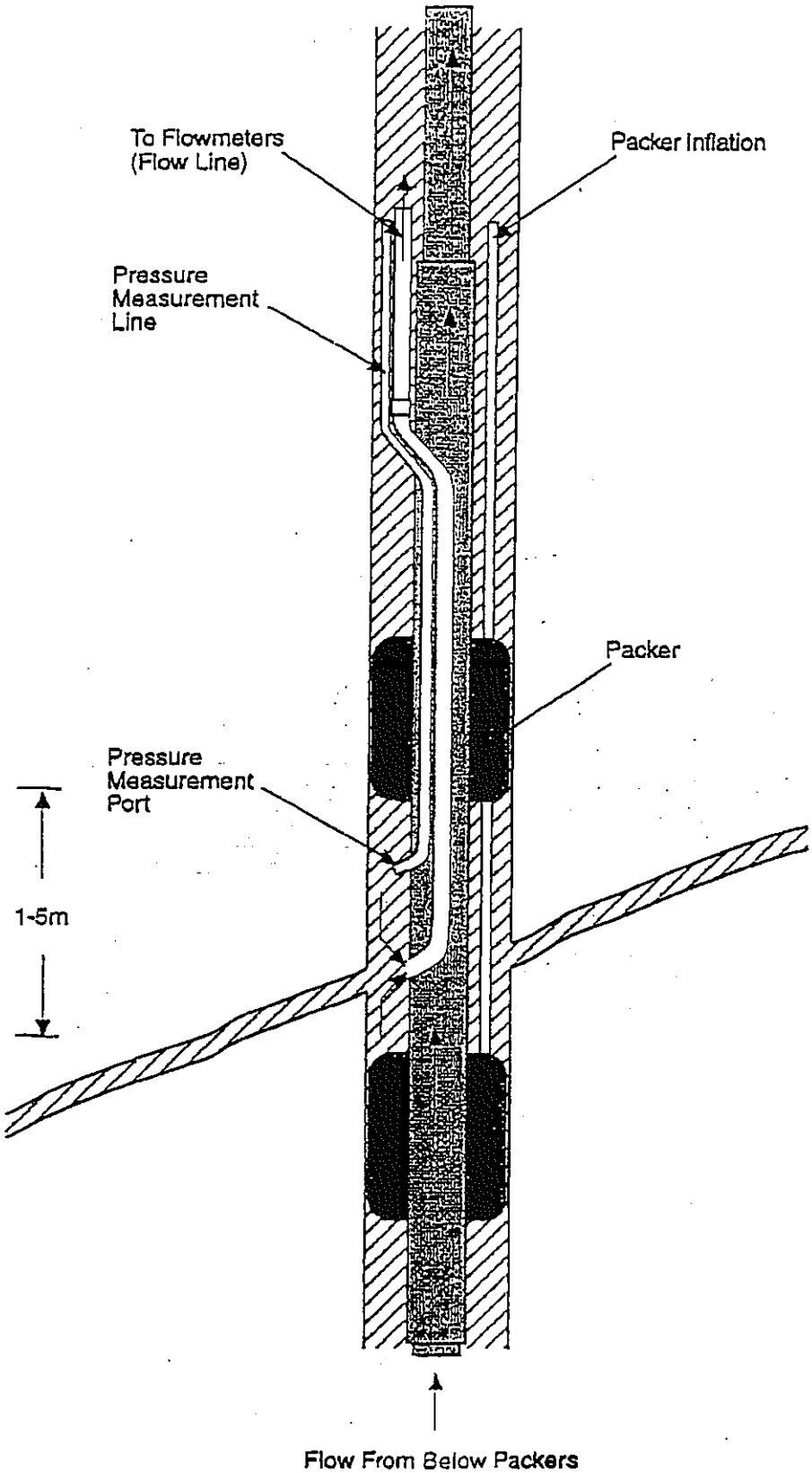


図-8.2.1　ダブルパッカー方式の流量検層装置

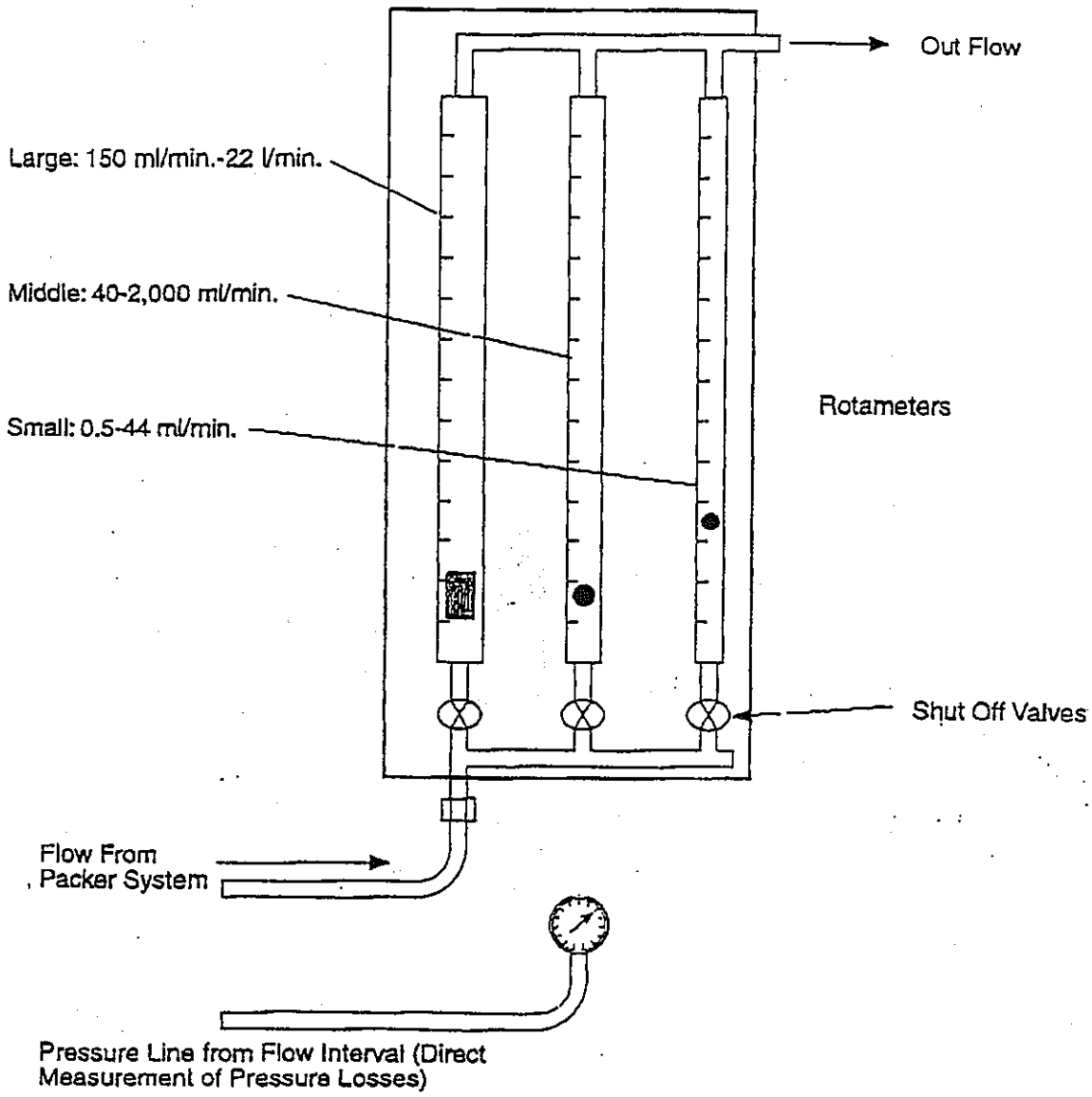
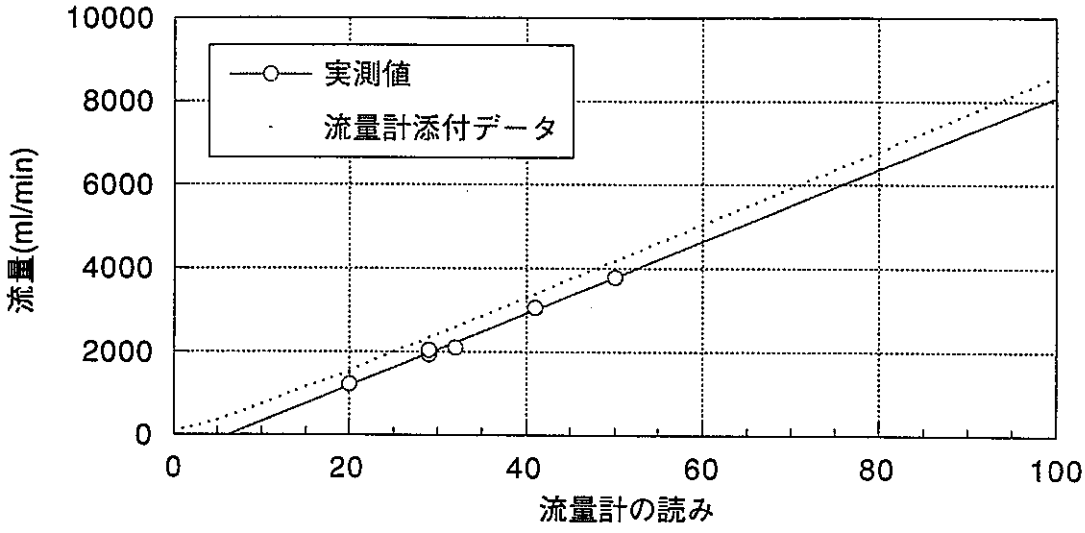
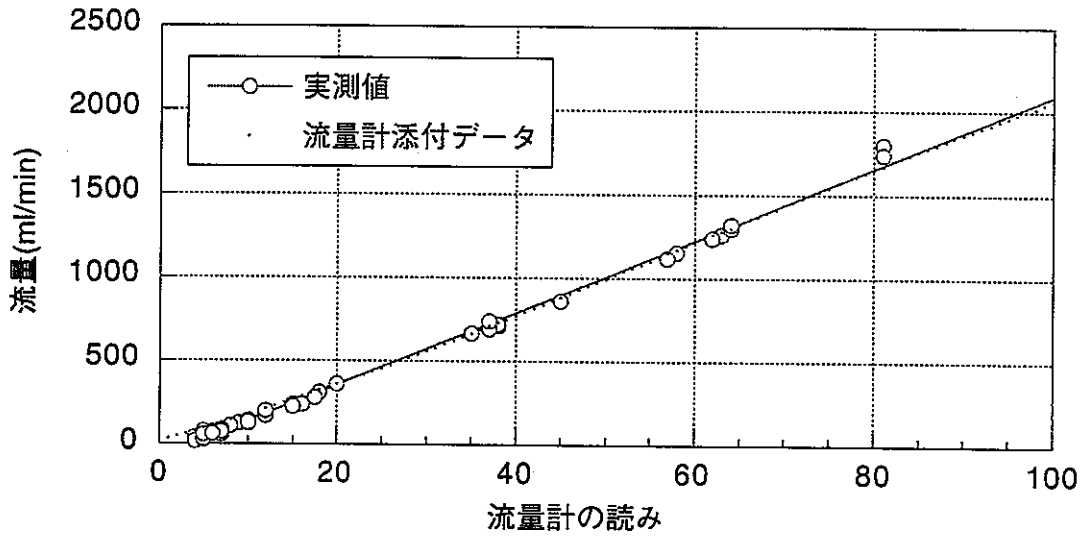


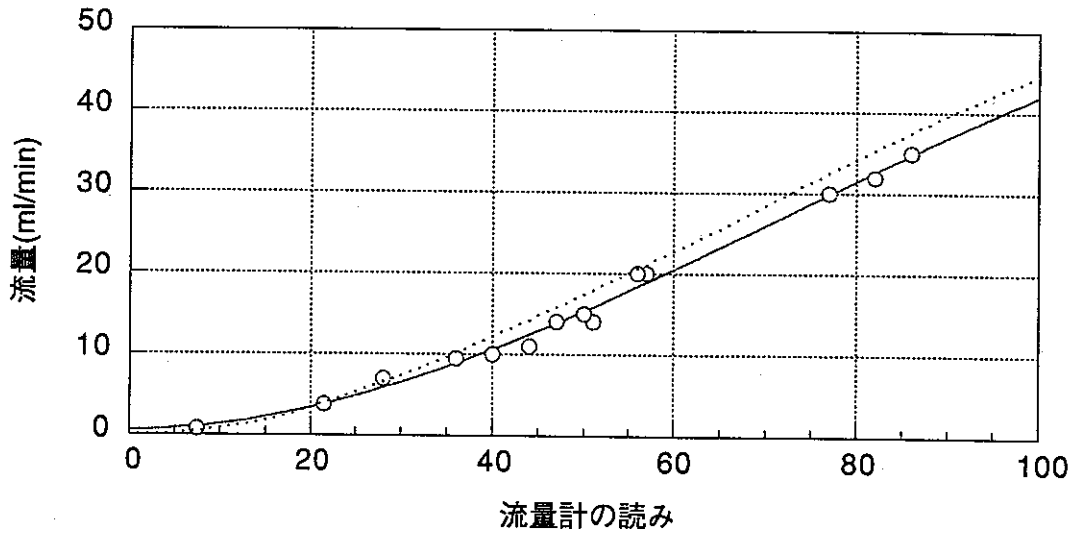
図-8.2.2　フロート式流量計



(a) 大流量計

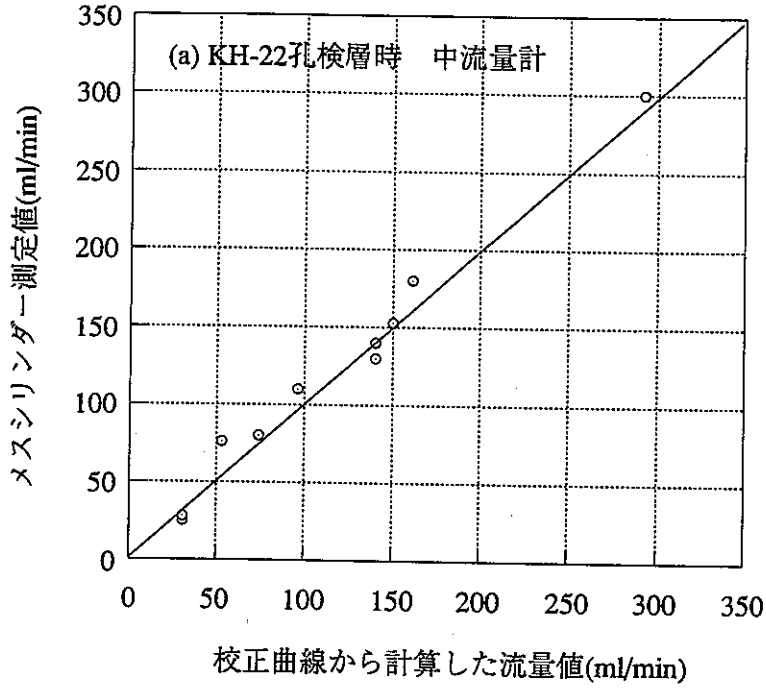


(b) 中流量計



(c) 小流量計

図-8.2.3　流量計の校正曲線（KH-21孔流量検層データより）



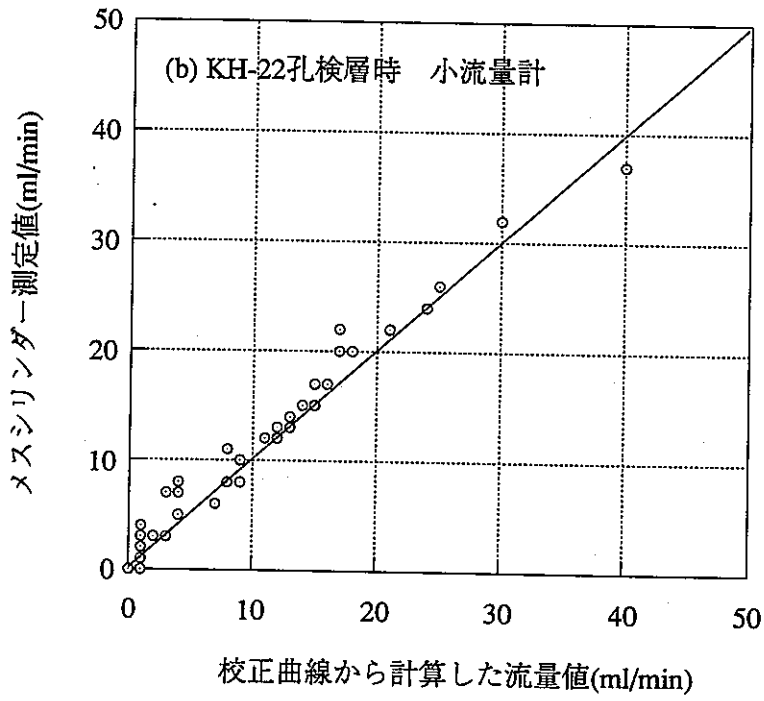
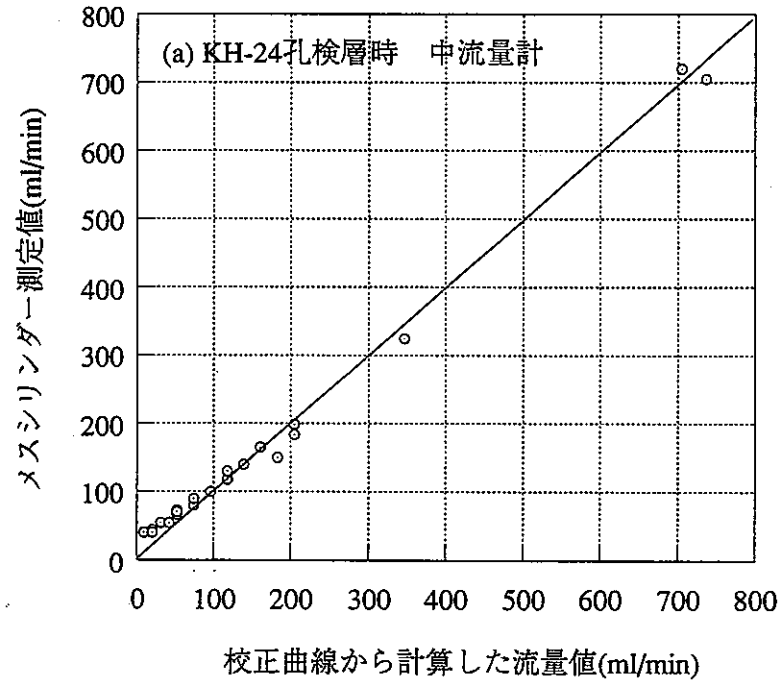


図-8.2.4　メスシリンダーと流量計測定値の比較
(KH-22孔の流量検層結果)



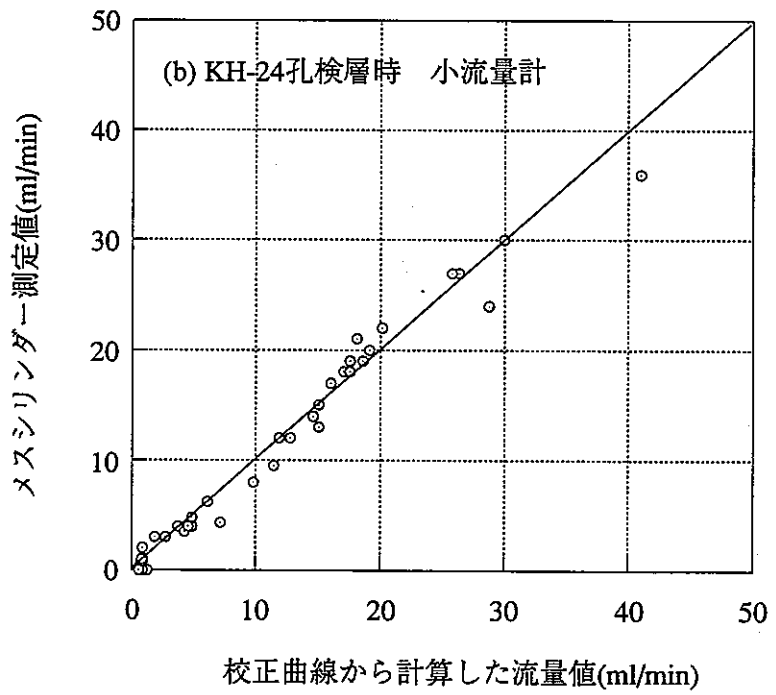
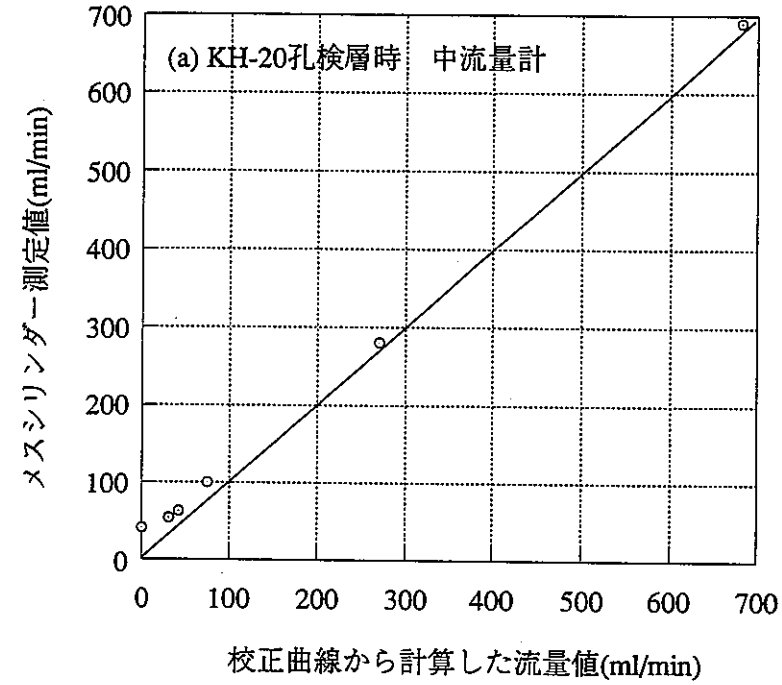


図-8.2.5　メスシリンダーと流量計測定値の比較
(KH-24孔の流量検層結果)



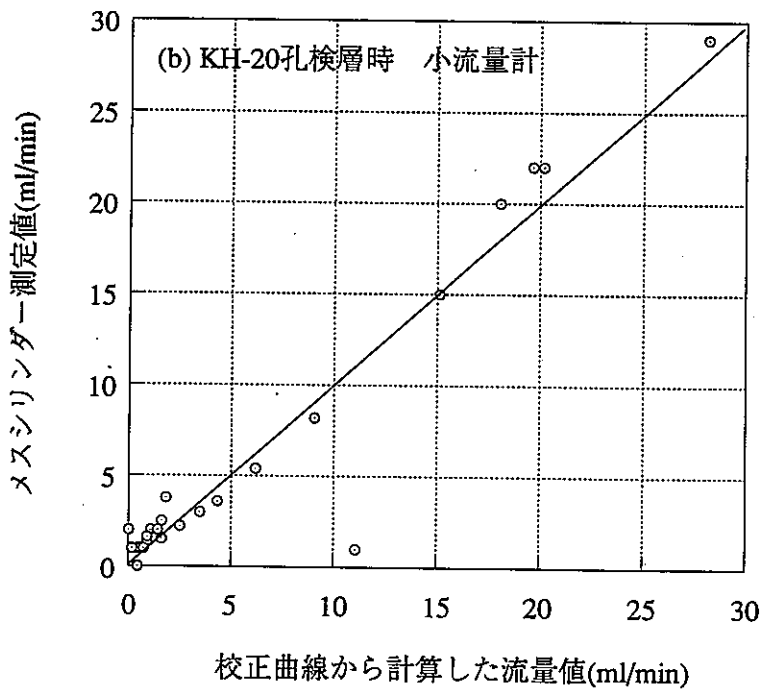


図-8.2.6　メスシリンダーと流量計測定値の比較
(KH-20孔の流量検層結果)

8.3 検層結果

本年度実施した流量検層では、全ての孔（KH-22孔、KH-24孔、KH-20孔）において5m区間および1m区間の２シリーズを実施した。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。その後、透水性割れ目の位置をより精度良く特定するために、5m間隔の流量検層で有意な流量の見られたところを中心に、1m間隔の詳細な検層を実施した。

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-22孔

まず、測定区間長を5m（実測長4.948m）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 (実測長0.990m)に変更して詳しく調査した。

(1) 測定区間長 5m

測定区間長 5mの結果を、表-8.3.1および図-8.3.5に示す。多くの湧水が観測されたのは58.01～52.96m区間であり、次いで43.01～47.96 m区間、23.01～27.96m区間など１０区間で湧水が観測された。一方、8.01～12.96m、13.01～17.96m、33.01～37.96m、38.01～42.96m、73.01～77.96m、及び74.07～79.02mの６区間では湧水が全く認められないか、もしくは1ml/min以下であった。

(2) 測定区間長 1m

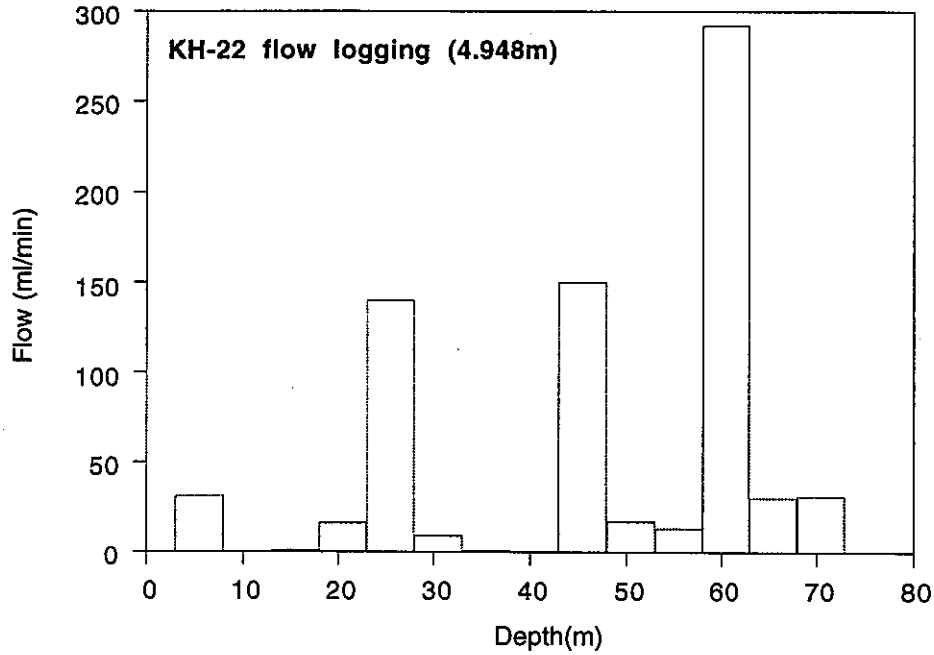
測定区間長 5mの検層で湧水が観測された１０区間の内部において、測定区間長を1mに設定した詳細な流量検層を実施した。その結果を表-8.3.2および図-8.3.6に示す。流量が多い区間は60.00～61.99m、25.00～25.99mなどの区間である。

表-8.3.1　流量検層結果（KH-22孔、測定区間長4.948m）

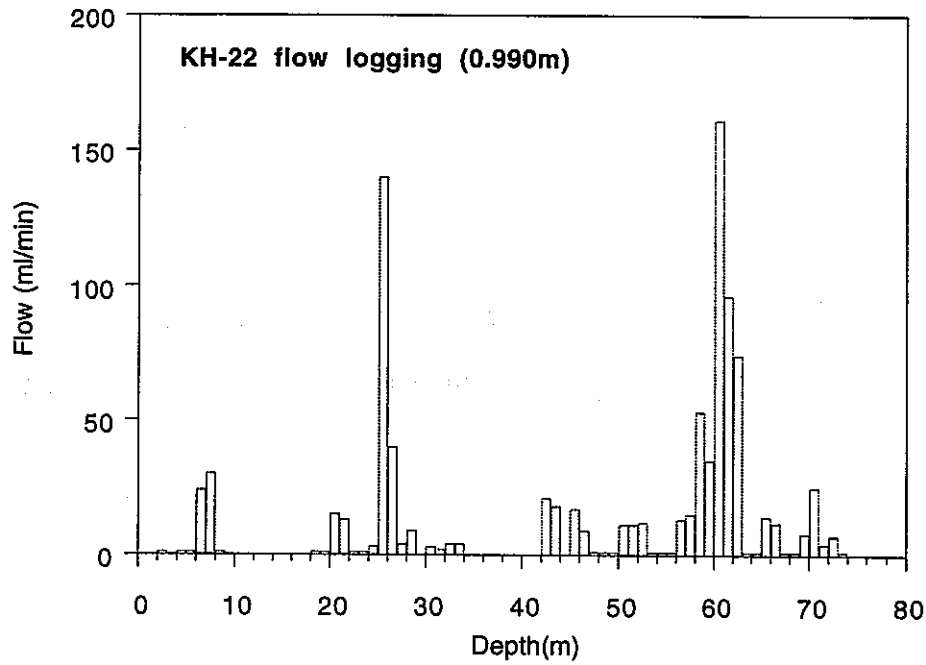
深度 (m)	流量計 タイプ	流量計 読み値	区間流量 (ml/min)	累積流量 (ml/min)	背圧 (kgf/cm²)	パッカー圧 (kgf/cm)
3.01 ～ 7.96	M	5	31	31	0.00	15
8.01 ～ 12.96	-	0	0	31	0.00	15
13.01 ～ 17.96	L	8	1	32	0.00	15
18.01 ～ 22.96	L	52	16	48	0.00	15
23.01 ～ 27.96	M	10	140	187	0.00	15
28.01 ～ 32.96	L	38	9	197	0.00	15
33.01 ～ 37.96	L	8	1	198	0.00	15
38.01 ～ 42.96	-	0	0	198	0.00	15
43.01 ～ 47.96	M	10.5	150	348	0.00	15
48.01 ～ 52.96	L	55	17	365	0.00	15
53.01 ～ 57.96	L	47	13	378	0.00	15
58.01 ～ 62.96	M	17	292	670	0.00	15
63.01 ～ 67.96	L	78	30	700	0.00	15
68.01 ～ 72.96	M	5	31	731	0.00	15
73.01 ～ 77.96	L	0	0	731	0.00	15
74.07 ～ 79.01	L	7	1	732	0.00	15

表-8.3.2　流量検層結果（KH-22孔、測定区間長0.990m）

深度 (m)	流量計 タイプ	流量計 読み値	区間流量 (ml/min)	累積流量 (ml/min)	背圧 (kgf/cm)	パッカー圧 (kgf/cm^2)
2.00 ～ 2.99	L	7	1	1	0.00	15.00
3.00 ～ 3.99	L	0	0	1	0.00	15.00
4.00 ～ 4.99	L	7	1	1	0.00	15.00
5.00 ～ 5.99	L	7	1	2	0.00	15.00
6.00 ～ 6.99	L	68	24	26	0.00	15.00
7.00 ～ 7.99	L	78	30	56	0.00	15.00
8.00 ～ 8.99	L	6	1	57	0.00	15.00
17.00 ～ 17.99	L	5	0	57	0.00	15.00
18.00 ～ 18.99	L	10	1	59	0.00	15.00
19.00 ～ 19.99	L	6	1	59	0.00	15.00
20.00 ～ 20.99	L	51	15	74	0.00	15.00
21.00 ～ 21.99	L	46	13	87	0.00	15.00
22.00 ～ 22.99	L	6	1	88	0.00	15.00
23.00 ～ 23.99	L	6	1	88	0.00	15.00
24.00 ～ 24.99	L	17	3	91	0.00	15.00
25.00 ～ 25.99	M	10	140	231	0.00	15.00
26.00 ～ 26.99	L	94	40	271	0.00	15.00
27.00 ～ 27.99	L	22	4	275	0.00	15.00
28.00 ～ 28.99	L	37	9	284	0.00	15.00
29.00 ～ 29.99	L	0	0	284	0.00	15.00
30.00 ～ 30.99	L	20	3	287	0.00	15.00
31.00 ～ 31.99	L	13	2	289	0.00	15.00
32.00 ～ 32.99	L	22	4	293	0.00	15.00
33.00 ～ 33.99	L	21	4	297	0.00	15.00
42.00 ～ 42.99	L	62	21	318	0.00	15.00
43.00 ～ 43.99	L	57	18	336	0.00	15.00
44.00 ～ 44.99	L	0	0	336	0.00	15.00
45.00 ～ 45.99	L	55	17	353	0.00	15.00
46.00 ～ 46.99	L	36	9	362	0.00	15.00
47.00 ～ 47.99	L	8	1	362	0.00	15.00
48.00 ～ 48.99	L	7	1	363	0.00	15.00
49.00 ～ 49.99	L	9	1	364	0.00	15.00
50.00 ～ 50.99	L	41	11	375	0.00	15.00
51.00 ～ 51.99	L	41.5	11	386	0.00	15.00
52.00 ～ 52.99	L	44	12	398	0.00	15.00
53.00 ～ 53.99	L	7	1	398	0.00	15.00
54.00 ～ 54.99	L	8	1	399	0.00	15.00
55.00 ～ 55.99	L	8	1	400	0.00	15.00
56.00 ～ 56.99	L	46	13	413	0.00	15.00
57.00 ～ 57.99	L	50	15	428	0.00	15.00
58.00 ～ 58.99	M	6	53	480	0.00	15.00
59.00 ～ 59.99	L	35	8	489	0.00	15.00
60.00 ～ 60.99	M	11	161	650	0.00	15.00
61.00 ～ 61.99	M	8	96	746	0.00	15.00
62.00 ～ 62.99	M	7	74	821	0.00	15.00
63.00 ～ 63.99	L	6	1	821	0.00	15.00
64.00 ～ 64.99	L	9	1	822	0.00	15.00
65.00 ～ 65.99	L	49	14	837	0.00	15.00
66.00 ～ 66.99	L	45	12	849	0.00	15.00
67.00 ～ 67.99	L	8	1	850	0.00	15.00
68.00 ～ 68.99	L	8	1	851	0.00	15.00
69.00 ～ 69.99	L	33	8	858	0.00	15.00
70.00 ～ 70.99	L	70	25	883	0.00	15.00
71.00 ～ 71.99	L	22	4	888	0.00	15.00
72.00 ～ 72.99	L	31	7	894	0.00	15.00
73.00 ～ 73.99	L	9	1	895	0.00	15.00



(a)　測定区間長=4.958m



(b)　測定区間長=0.990m

図-8.3.5　流量検層結果（KH-22孔）

8.3.2　KH-24孔

KH-22孔と同様に、測定区間長5mの流量検層によりボーリング孔全長を概略的に調査し、流量が確認された区間において測定区間長1mの流量検層を実施した。

(1)　測定区間長 5m（実測長5.000m）

測定区間長5m（実測長=5.000m）の流量検層結果を表-8.3.3および図-8.3.6(a) に示す。湧水が多かったのは65～70m区間の737ml/min、次いで55～60m区間の346 ml/min、以下74～79m区間の205 ml/min、10～15m区間の161 ml/min等である。測定流量の総流量は1746ml/minであり、測定当日の孔口元流量（1860 ml/min）とほぼ一致する。

(2)　測定区間長 1m（実測長=0.990m）

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。第１回目の１m区間流量検層結果を表-8.3.4および図-8.3.6(b)に示す。パッカー圧は5m区間流量検層と同じ15barとした。しかしこの結果では、総流量3020ml/minに達し、測定当日の口元流量（1770ml/min）の２倍近い。この原因として、パッカー圧の不足によるリークが考えられたため、パッカー圧を20barに上げて２回目の1m区間流量検層を実施した。ただし、

２回目の1m区間流量検層結果を表-8.3.5および図-8.3.6(c)に示す。２回目の総流量は1654ml/minとなり、口元流量に近い値となった。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、100 ml/min 以上の湧水が観測されたのは、69～70m区間（704ml/min）、次いで55～56m区間（205ml/min）、以下14～15m区間（140ml/min）、59～60m区間と56～57m区間（118ml/min）である。

表-8.3.3　流量検層結果（KH-24孔、測定区間長=5.000m）

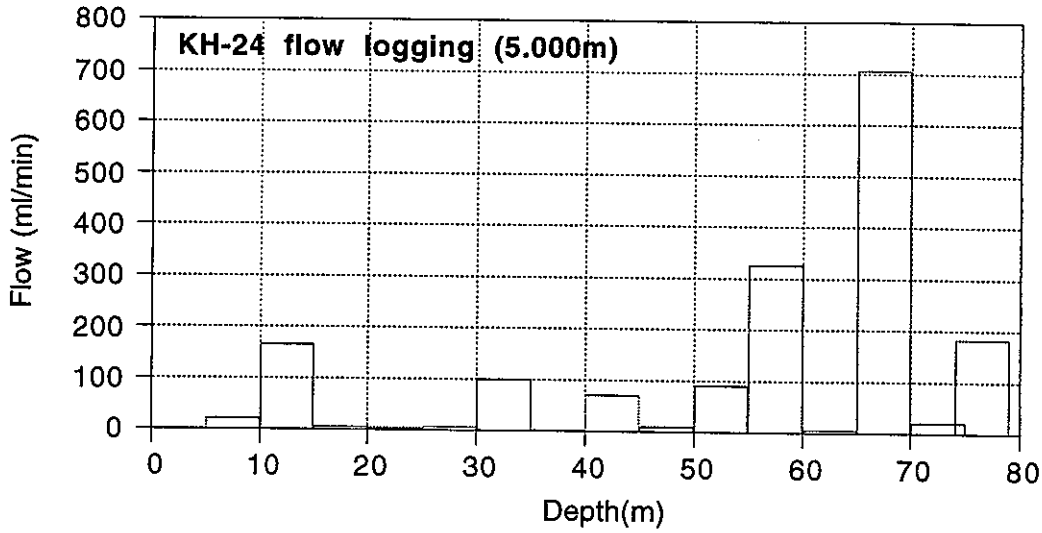
深度 (m)	流量計 タイプ	流量計 読み値	区間流量 (ml/min)	累積流量 (ml/min)	背圧 (kgf/cm^2)	パッカー圧 (kgf/cm)
5.00 ～ 10.00	L	59	19	19	0.00	15
10.00 ～ 15.00	M	11	161	180	0.00	15
15.00 ～ 20.00	L	32	7	188	0.00	15
20.00 ～ 25.00	L	24	5	192	0.00	15
25.00 ～ 30.00	L	29	6	198	0.10	15
30.00 ～ 35.00	M	8	96	295	0.15	15
35.00 ～ 40.00	L	7.5	1	295	0.10	15
40.00 ～ 45.00	M	6	53	348	0.10	15
45.00 ～ 50.00	L	43	11	360	0.08	15
50.00 ～ 55.00	M	7	74	434	0.14	15
55.00 ～ 60.00	M	19.5	346	780	0.20	15
60.00 ～ 65.00	L	25	5	785	0.10	15
65.00 ～ 70.00	M	37.5	737	1522	0.15	15
70.00 ～ 75.00	L	59	19	1541	0.05	15
74.02 ～ 79.02	M	13	205	1746	0.10	15

表-8.3.4　流量検層結果（KH-24孔、測定区間長=0.990m、１回目）

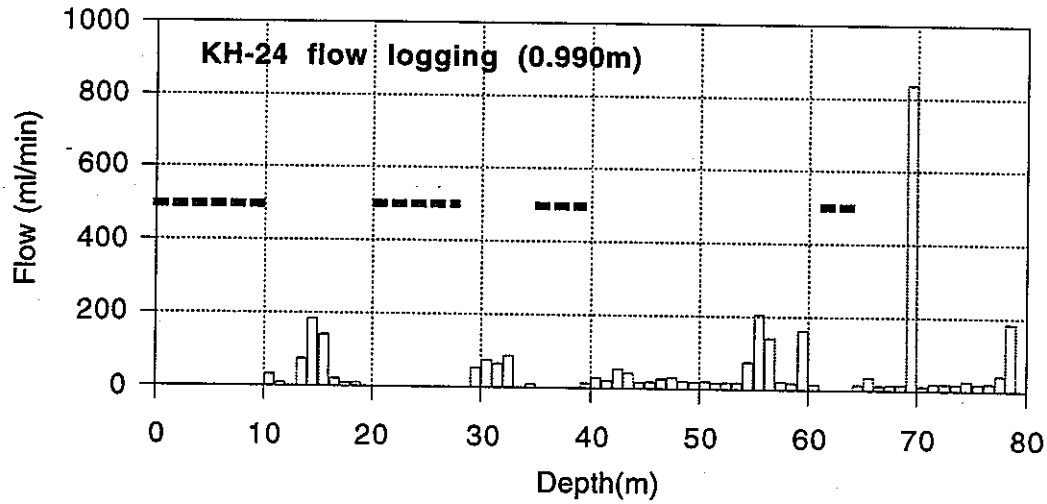
深度 (m)	流量計 タイプ	流量計 読み値	区間流量 (ml/min)	累積流量 (ml/min)	背圧 (kgf/cm)	パッカー圧 (kgf/cm²)
10.00 ～ 10.99	M	5	31	31	0.00	15.00
11.00 ～ 11.99	M	4	9	40	0.00	15.00
12.00 ～ 12.99	M	3.5	0	40	0.00	15.00
13.00 ～ 13.99	M	7	74	115	0.00	15.00
14.00 ～ 14.99	M	12	183	298	0.00	15.00
15.00 ～ 15.99	M	10	140	438	0.00	15.00
16.00 ～ 16.99	M	4.5	20	458	0.00	15.00
17.00 ～ 17.99	M	4	9	467	0.00	15.00
18.00 ～ 18.99	L	39	10	477	0.00	15.00
28.00 ～ 28.99	L	10	1	478	0.00	15.00
29.00 ～ 29.99	M	6	53	531	0.00	15.00
30.00 ～ 30.99	M	7	74	605	0.00	15.00
31.00 ～ 31.99	M	6.5	64	669	0.00	15.00
32.00 ～ 32.99	M	7.5	85	754	0.00	15.00
33.00 ～ 33.99	L	7	1	755	0.00	15.00
34.00 ～ 34.99	L	40	10	765	0.00	15.00
39.00 ～ 39.99	L	46	13	778	0.00	15.00
40.00 ～ 40.99	L	76	29	807	0.00	15.00
41.00 ～ 41.99	M	4.5	20	827	0.00	15.00
42.00 ～ 42.99	M	6	53	880	0.00	15.00
43.00 ～ 43.99	M	5.5	42	922	0.00	15.00
44.00 ～ 44.99	L	55	17	939	0.00	15.00
45.00 ～ 45.99	L	58	19	957	0.00	15.00
46.00 ～ 46.99	L	72	26	984	0.00	15.00
47.00 ～ 47.99	L	78	30	1014	0.00	15.00
48.00 ～ 48.99	L	61	20	1034	0.00	15.00
49.00 ～ 49.99	L	58	19	1052	0.00	15.00
50.00 ～ 50.99	L	61	20	1073	0.00	15.00
51.00 ～ 51.99	L	55	17	1090	0.00	15.00
52.00 ～ 52.99	L	57	18	1108	0.00	15.00
53.00 ～ 53.99	L	59	19	1127	0.00	15.00
54.00 ～ 54.99	M	7	74	1201	0.00	15.00
55.00 ～ 55.99	M	13	205	1406	0.00	15.00
56.00 ～ 56.99	M	10	140	1546	0.00	15.00
57.00 ～ 57.99	L	62	21	1567	0.00	15.00
58.00 ～ 58.99	L	57	18	1585	0.00	15.00
59.00 ～ 59.99	M	11	161	1746	0.00	15.00
60.00 ～ 60.99	L	50	15	1761	0.00	15.00
64.00 ～ 64.99	L	51	15	1776	0.00	15.00
65.00 ～ 65.99	L	51	15	1791	0.00	15.00
66.00 ～ 66.99	L	48	14	1805	0.00	15.00
67.00 ～ 67.99	L	50	15	1819	0.00	15.00
68.00 ～ 68.99	L	50	15	1834	0.00	15.00
69.00 ～ 69.99	M	42	835	2668	0.00	15.00
70.00 ～ 70.99	L	44	12	2680	0.00	15.00
71.00 ～ 71.99	L	56	18	2698	0.00	15.00
72.00 ～ 72.99	L	57	18	2716	0.00	15.00
73.00 ～ 73.99	L	53	16	2732	0.00	15.00
74.00 ～ 74.99	L	71	26	2758	0.00	15.00
75.00 ～ 75.99	L	56	18	2775	0.00	15.00
76.00 ～ 76.99	L	61	20	2796	0.00	15.00
77.00 ～ 77.99	L	95	41	2837	0.00	15.00
78.00 ～ 78.99	M	12	183	3020	0.00	15.00

表-8.3.5　流量検層結果（KH-24孔、測定区間長=0.990m、２回目）

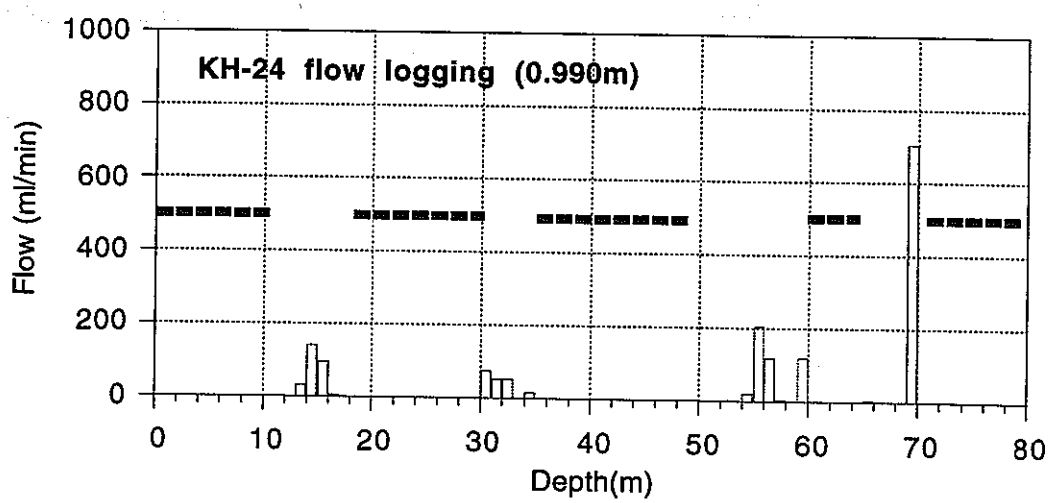
深度 (m)	流量計 タイプ	流量計 読み値	区間流量 (ml/min)	累積流量 (ml/min)	背圧 (kgf/cm)	パッカー圧 (kgf/cm²)
10.00 ～ 10.99	L	7	1	1	0.00	20.00
11.00 ～ 11.99	L	10	1	2	0.00	20.00
12.00 ～ 12.99	L	8	1	3	0.00	20.00
13.00 ～ 13.99	M	5	31	34	0.00	20.00
14.00 ～ 14.99	M	10	140	174	0.00	20.00
15.00 ～ 15.99	M	8	96	270	0.00	20.00
16.00 ～ 16.99	L	25	5	275	0.00	20.00
30.00 ～ 30.99	M	7	74	349	0.08	20.00
31.00 ～ 31.99	M	6	53	402	0.07	20.00
32.00 ～ 32.99	M	6	53	455	0.07	20.00
33.00 ～ 33.99	L	8	1	456	0.05	20.00
34.00 ～ 34.99	L	51	15	471	0.05	20.00
49.00 ～ 49.99	L	13	2	473	0.05	20.00
50.00 ～ 50.99	L	8	1	473	0.05	20.00
51.00 ～ 51.99	L	8	1	474	0.05	20.00
52.00 ～ 52.99	L	17	3	477	0.05	20.00
53.00 ～ 53.99	L	8	1	478	0.05	20.00
54.00 ～ 54.99	M	4.5	20	498	0.05	20.00
55.00 ～ 55.99	M	13	205	703	0.05	20.00
56.00 ～ 56.99	M	9	118	821	0.05	20.00
57.00 ～ 57.99	L	21	4	825	0.05	20.00
58.00 ～ 58.99	L	8	1	826	0.05	20.00
59.00 ～ 59.99	M	9	118	943	0.05	20.00
65.00 ～ 65.99	L	23	4	948	0.02	20.00
66.00 ～ 66.99	L	6	1	948	0.05	20.00
67.00 ～ 67.99	L	8	1	949	0.00	20.00
68.00 ～ 68.99	L	8	1	950	0.00	20.00
69.00 ～ 69.99	M	36	704	1654	0.07	20.00



(a)　測定区間長=5.000m



(b)　測定区間長=0.990m（１回目）



(c)　測定区間長=0.990m（２回目）

図-8.3.6　流量検層結果（KH-24孔）
（破線部は、計測を実施しなかった区間）

8.3.3 KH-20孔

KH-20孔の流量検層は、平成6年度試験において既に実施している（PNC ZJ1205 95-004参照）。同検層においてはシングルパッカー方式を用いたが、その後実施した他孔の検層では全てダブルパッカー方式を用いているので、KH-20孔においてもダブルパッカー方式による流量検層を実施した。

(1) 測定区間長 5m (5.010m)

測定区間長 5m (5.010m)の結果を、表-8.3.7および図-8.3.7 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-20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-24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-24孔と良く似た傾向を示す。

(2) 測定区間長 1.095m

5.010m区間の結果から、湧水が観測された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-8.3.8および図-8.3.7に示す。流量が多い区間は53～54.095m区間、54.0～55.095m区間、19.0～20.095m区間、45.0～46.095m区間、51.0～52.095m区間である。

表-8.3.6　流量検層結果（KH-20孔、測定区間長=4.990m）

深度 (m)	流量計 タイプ	流量計 読み値	区間流量 (ml/min)	累積流量 (ml/min)	背圧 (kgf/cm^2)	パッカー圧 (kgf/cm)
5.00 ～ 9.99	L	5	0	0	0.00	20
10.00 ～ 14.99	L	12	2	2	0.00	20
15.00 ～ 19.99	M	5	31	33	0.17	20
20.00 ～ 24.99	L	9	1	34	0.00	20
25.00 ～ 29.99	L	37	9	43	0.00	20
30.00 ～ 34.99	L	57	18	61	0.03	20
35.00 ～ 39.99	L	0	0	61	0.00	20
40.00 ～ 44.99	L	61	20	81	0.04	20
45.00 ～ 49.99	L	13	2	83	0.00	20
50.00 ～ 54.99	M	35	683	766	4>	20
55.00 ～ 59.99	M	2	0	766	0.15	20
60.00 ～ 64.99	L	75	28	794	0.12	20
65.00 ～ 69.99	M	7	74	869	0.33	20
70.00 ～ 74.99	M	5.5	42	910	0.24	20
74.89 ～ 79.88	M	16	270	1180	1.20	20

表-8.3.7　流量検層結果（KH-20孔、測定区間長=0.960m）

深度 (m)	流量計 タイプ	流量計 読み値	区間流量 (ml/min)	累積流量 (ml/min)	背圧 (kgf/cm)	パッカー圧 (kgf/cm^2)
15.00 ～ 15.96	L	7	1	1	0.00	20.00
16.00 ～ 16.96	L	5	0	1	0.00	20.00
17.00 ～ 17.96	L	5	0	2	0.00	20.00
18.00 ～ 18.96	M	5	31	33	0.17	20.00
19.00 ～ 19.96	L	12	2	34	0.00	20.00
25.00 ～ 25.96	L	8	1	35	0.00	20.00
26.00 ～ 26.96	L	7	1	36	0.00	20.00
27.00 ～ 27.96	L	6	1	37	0.00	20.00
28.00 ～ 28.96	L	29	6	43	0.01	20.00
29.00 ～ 29.96	L	23	4	47	0.00	20.00
30.00 ～ 30.96	L	51	15	62	0.04	20.00
31.00 ～ 31.96	L	51	15	77	0.04	20.00
32.00 ～ 32.96	L	7	1	78	0.00	20.00
33.00 ～ 33.96	L	6	1	79	0.00	20.00
34.00 ～ 34.96	L	6	1	79	0.00	20.00
40.00 ～ 40.96	L	8	1	80	0.00	20.00
41.00 ～ 41.96	L	60	20	100	0.09	20.00
42.00 ～ 42.96	L	20	3	103	0.00	20.00
43.00 ～ 43.96	L	11	1	105	0.00	20.00
44.00 ～ 44.96	L	3	0	105	0.00	20.00
45.00 ～ 45.96	L	16	2	107	0.00	20.00
50.00 ～ 50.96	L	7	1	108	0.00	20.00
51.00 ～ 51.96	L	42	11	119	0.04	20.00

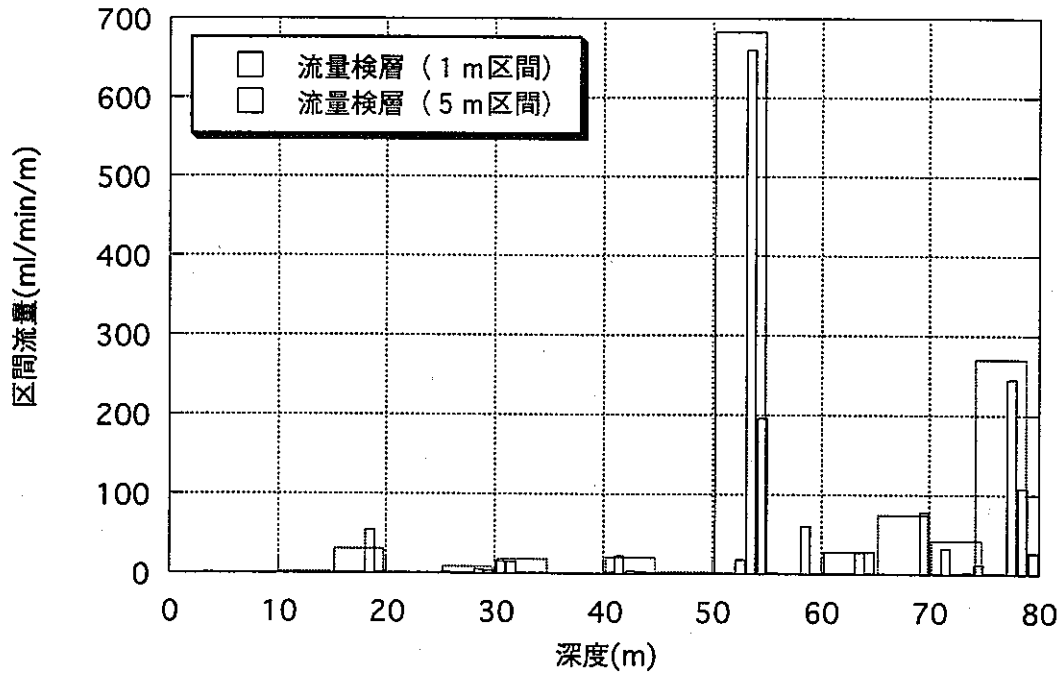


図-8.3.7　KH-20孔流量検層結果

8.4 流量検層結果を用いた透水量係数の算定

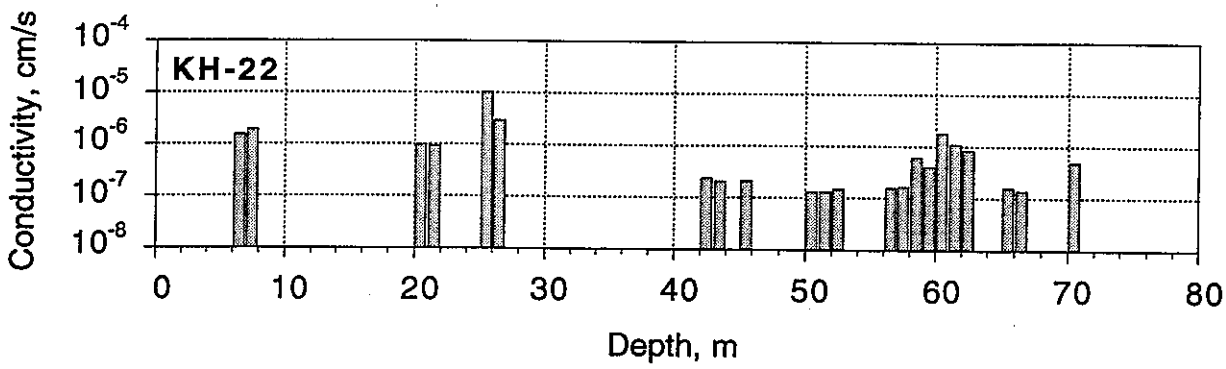
流量検層により各区間の定常流量が得られていると仮定すると、下記の軸対称定常流れの式を用いて、各測定区間の透水量係数T(m^2/s)を近似的に求める事ができる。

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

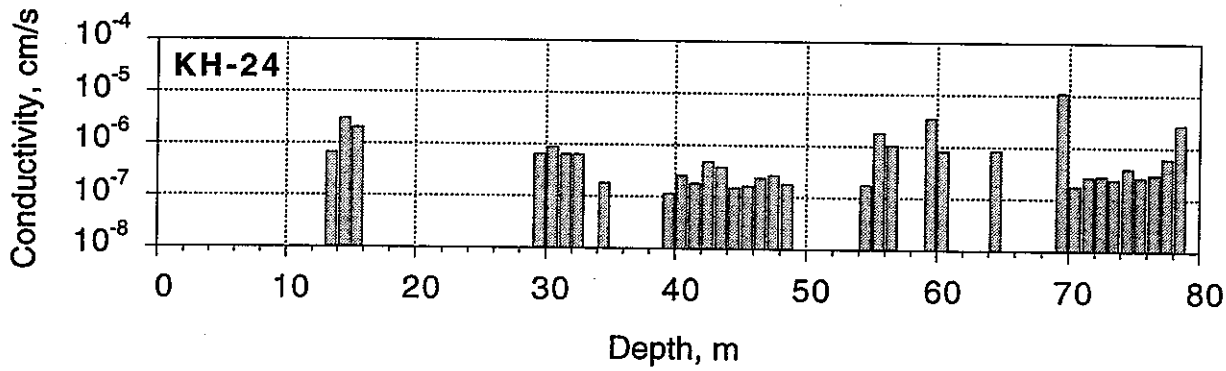
ここに、Q（m^3/s）は区間流量、R(m)は影響半径、r_wはボーリング径(m)、Δh(m)は水頭差である。このうち、影響半径Rの長さは未知であるが、Tはその対数で評価されるので、結果への影響は小さい。ちなみに、76mmのボーリング孔径に対して、R=40mと仮定すると、上式の分子にある対数の項は2πに等しい。この場合には、透水量係数は、比排水容量（流量を水等差で徐したもの）に一致する。したがって、比排水容量は、透水量係数の近似値として妥当であると考えられる。

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。

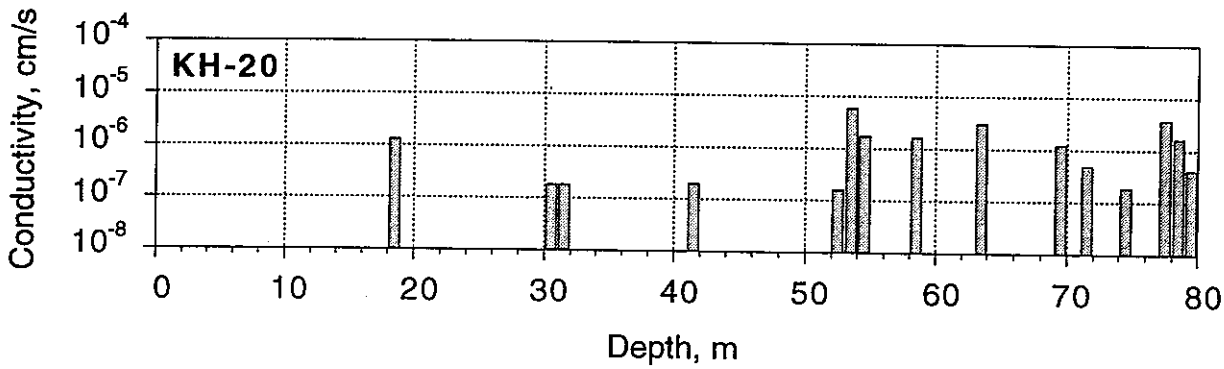
KH-22、KH-24、KH-20の各孔の1m区間流量検層結果をもとに算定した、各孔に沿った透水量係数を図-8.4.1に示す。なお、圧力値は後述するパッカー設置後の区間圧等を参考に概略的に決定した値を用いている。KH-22孔の高透水ゾーンは、77m～79mの区間に存在する。一方、KH-24およびKH-20孔の高透水性ゾーンの分布は似通っており、いずれの孔においても深度50～56m付近に支配的な透水性割れ目の存在が伺える。



(a) KH-22孔



(b) KH-24孔



(c) KH-20孔

図-8.4.1 流量検層結果より算出した透水係数

9　圧力干渉試験および予備的トレーサー試験

9.1　概要

来年度実施予定の非収着性トレーサー試験では、試験対象ボーリングを中央3孔（KH-20、KH-24、KH-25）とし、孔間で連続する割れ目を試験対象とする。これまでに得られた地質観察結果や水理試験結果から、KH-20孔、KH-24孔、KH-25孔の間において連続する単一に近い割れ目の存在が示されている。トレーサー試験対象割れ目の選定を目的として圧力干渉試験および予備的なトレーサー試験を実施した。

まず、圧力干渉試験によりトレーサー試験対象の候補割れ目の水理的連続性を確認した後、さらに、予備トレーサー試験により候補割れ目内のトレーサー移行を確認した。また、圧力干渉試験の結果は、来年度実施予定のトレーサー試験のためのパッカーレイアウトの更新に際して考慮される。

9.2　圧力干渉試験

9.2.1　試験方法

試験方法の概要を図-9.2.1に示す。試験では、ダブルパッカーで区切られた孔内のある区間（注水区間）から定圧注水を行ない、他の区間（観測区間）での水圧応答を観測する。注水区間と観測区間との連結性は、観測区間内の水圧上昇から確認される。

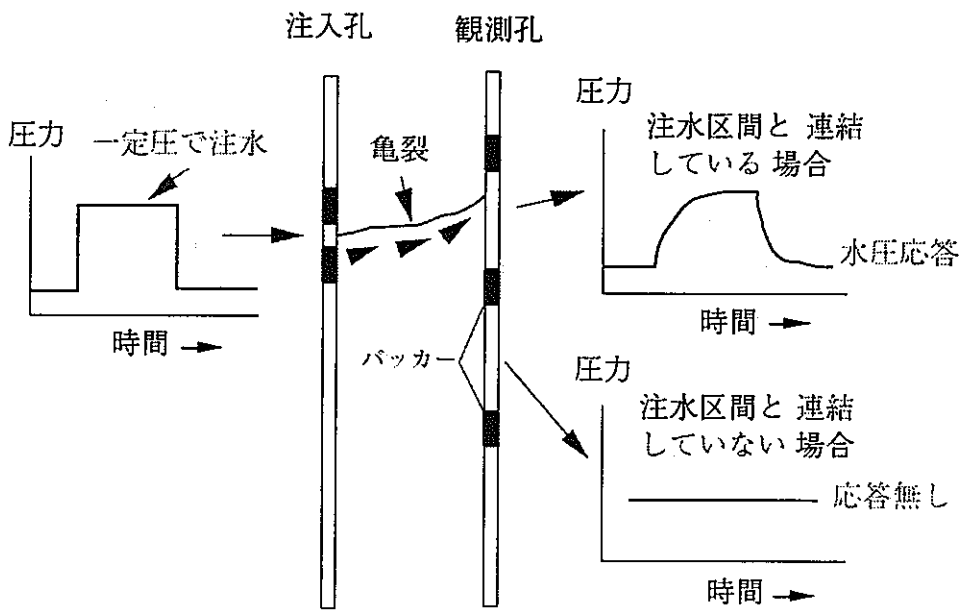


図-9.2.1　圧力干渉試験の概要

9.2.2　試験結果

(1)　試験ケース

試験ケース一覧を表-9.2.1に示す。同表中には各ケースの目的を併せて記した。

表-9.2.1　予備的トレーサー試験ケース一覧

注水孔	観測孔	目的
KH-20孔	KH-24孔、KH-25孔	KH-20孔内の候補割れ目の連続性を確認
KH-21孔	KH-20、24、25孔	KH-21孔とKH-20, 24, 25孔との連続性を確認→パッカー配置へ反映
KH-23孔	KH-20、24、25孔	KH-23孔3区間内でのEゾーンとDゾーンの境界を確認

(2)　KH-20孔からの注水に対するKH-24孔、KH-25孔の水圧応答

KH-20孔を注水区間として実施した圧力干渉試験結果を表-9.2.2に示す。表中には、KH-20孔内からの注水に対して水圧応答があった観測区間を○印で示した。これらの水圧応答経路を候補割れ目とともにプロットしたものを図-9.2.2に示す。

表-9.2.2　KH-20孔の圧力干渉試験結果一覧

KH-20孔 注水深度 (m)	KH-24孔観測区間							KH-25孔観測区間						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
30 ～ 31					○	○						○		
41 ～ 42				○		○				○	○			
45 ～ 46														
53 ～ 54				○						○	○			
58 ～ 59			○						○					
63 ～ 64			○						○					
69 ～ 70	○	○						○						
71 ～ 72	○	○						○						
74 ～ 75														
76 ～ 77	○	○						○						
77 ～ 78	○	○						○						
78 ～ 79	○	○						○						
78.9 ～ 79.9	○	○						○						

○：圧力応答箇所

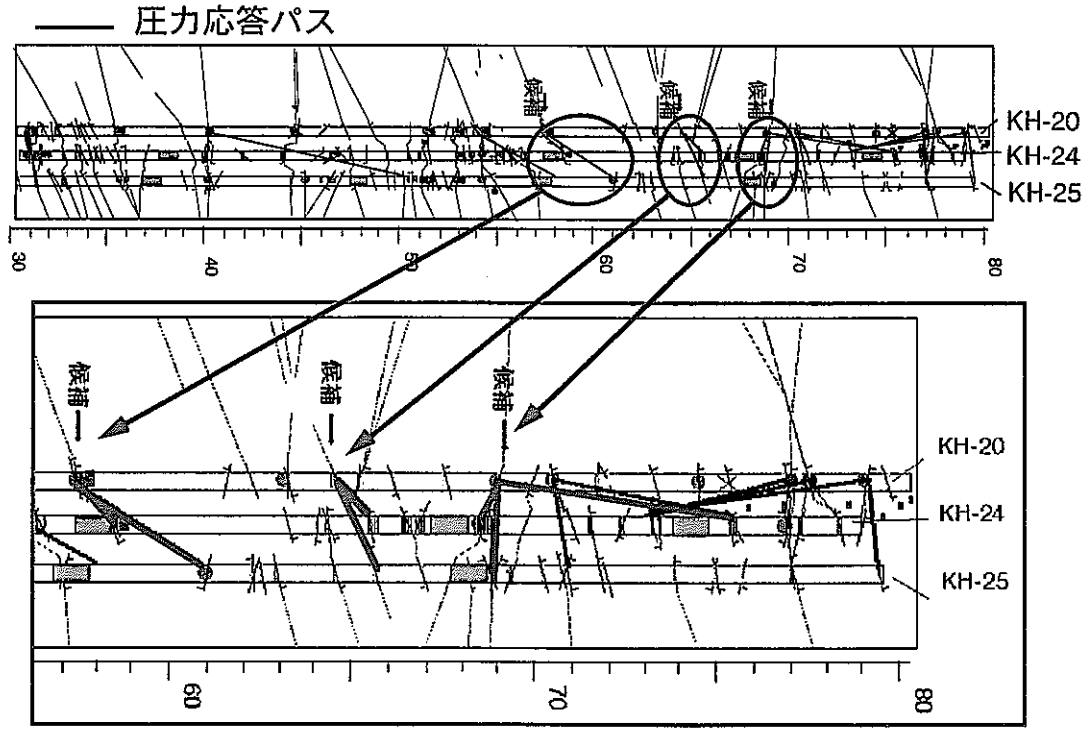


図-9.2.2　圧力干渉試験結果
（KH-20孔からの注水時におけるKH-24, 25孔の応答）

(3) KH-21孔からの注水に対するKH-20孔、KH-24孔、KH-25孔の水圧応答

KH-21孔を注水区間として実施した圧力干渉試験結果を表-9.2.3に示す。注水深度は19.5m～28.5mおよび36.5m～74.5mの各1m区間の合計43区間である。また、KH-21孔からの注水に対するKH-20孔、KH-24孔、KH-25孔の水圧応答グラフを図-9.2.3～図-9.2.5に示す。各グラフから判定された水圧応答箇所を表-9.2.3中に示した。

KH-21孔深度45m～58mからの注水に対しては、KH-25-4、KH-25-5、KH-24-4、KH-24-5、KH-20-5のDゾーンの各区間が応答した。KH-21孔深度70m～74mからの注水に対しては、KH-25-2、KH-24-1、KH-20-1、KH-20-2のFゾーンの各区間が応答し、Eゾーンでの応答は見られなかった。KH-21孔深度19.5m～22.5mからの注水に対してはKH-25-9区間のみが応答し、その他の深度での注水では各孔とも応答は観測されなかった。

図-9.2.6に、表-9.2.3の水圧応答経路を割れ目分布推定図の上にプロットしたものを示す。この図から、KH-21孔の３つの深度範囲（19.5m～22.5m、45m～58m、70m～74m）での注水に対しては、各々C、D、Fゾーンの内部で応答しており、Eゾーンへの連結性は無いかもしくは非常に小さいと考えられることから、トレーサー試験用のパッカー設置では、図-9.2.6中に示したように、C、D、Fゾーンと候補亀裂奥を隔離するようなパッカー配置とした。

表-9.2.3　KH-21孔の圧力干渉試験結果一覧

KH-21孔 注水深度 (m)	KH-25孔観測区間										KH-24孔観測区間										KH-20孔観測区間									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
73.5 ～ 74.5																														
72.5 ～ 73.5		○									○	*									○	○								
71.5 ～ 72.5		○									○	*									○	○								
70.5 ～ 71.5		○									○	*									○	○								
69.5 ～ 70.5																														
68.5 ～ 69.5																														
67.5 ～ 68.5																														
66.5 ～ 67.5																														
65.5 ～ 66.5																														
64.5 ～ 65.5																														
63.5 ～ 64.5																														
62.5 ～ 63.5																														
61.5 ～ 62.5																														
60.5 ～ 61.5																														
59.5 ～ 60.5																														
58.5 ～ 59.5																														
57.5 ～ 58.5																														
56.5 ～ 57.5															○										○					
55.5 ～ 56.5															○										○					
54.5 ～ 55.5					○	○	?								○	○									○					
53.5 ～ 54.5					○	○	?								○	○									○					
52.5 ～ 53.5					○	○	?								○	○									○					
51.5 ～ 52.5					○	○									○	○									○					
50.5 ～ 51.5					○										○										○					
49.5 ～ 50.5															○	○									○					
48.5 ～ 49.5															○	○									?					
47.5 ～ 48.5						○																			?					
46.5 ～ 47.5						○	?								?										?					
45.5 ～ 46.5						○									?										?					
44.5 ～ 45.5						○									?										?					
43.5 ～ 44.5						○																								
42.5 ～ 43.5																														
41.5 ～ 42.5																														
40.5 ～ 41.5																														
39.5 ～ 40.5																														
38.5 ～ 39.5																														
37.5 ～ 38.5							?																							
36.5 ～ 37.5																														
27.5 ～ 28.5																														
22.5 ～ 23.5																														
21.5 ～ 22.5								○																						
20.5 ～ 21.5								○																						
19.5 ～ 20.5								○																						

○：明瞭な圧力応答、？：不明瞭な圧力応答、＊：センサー不良か？

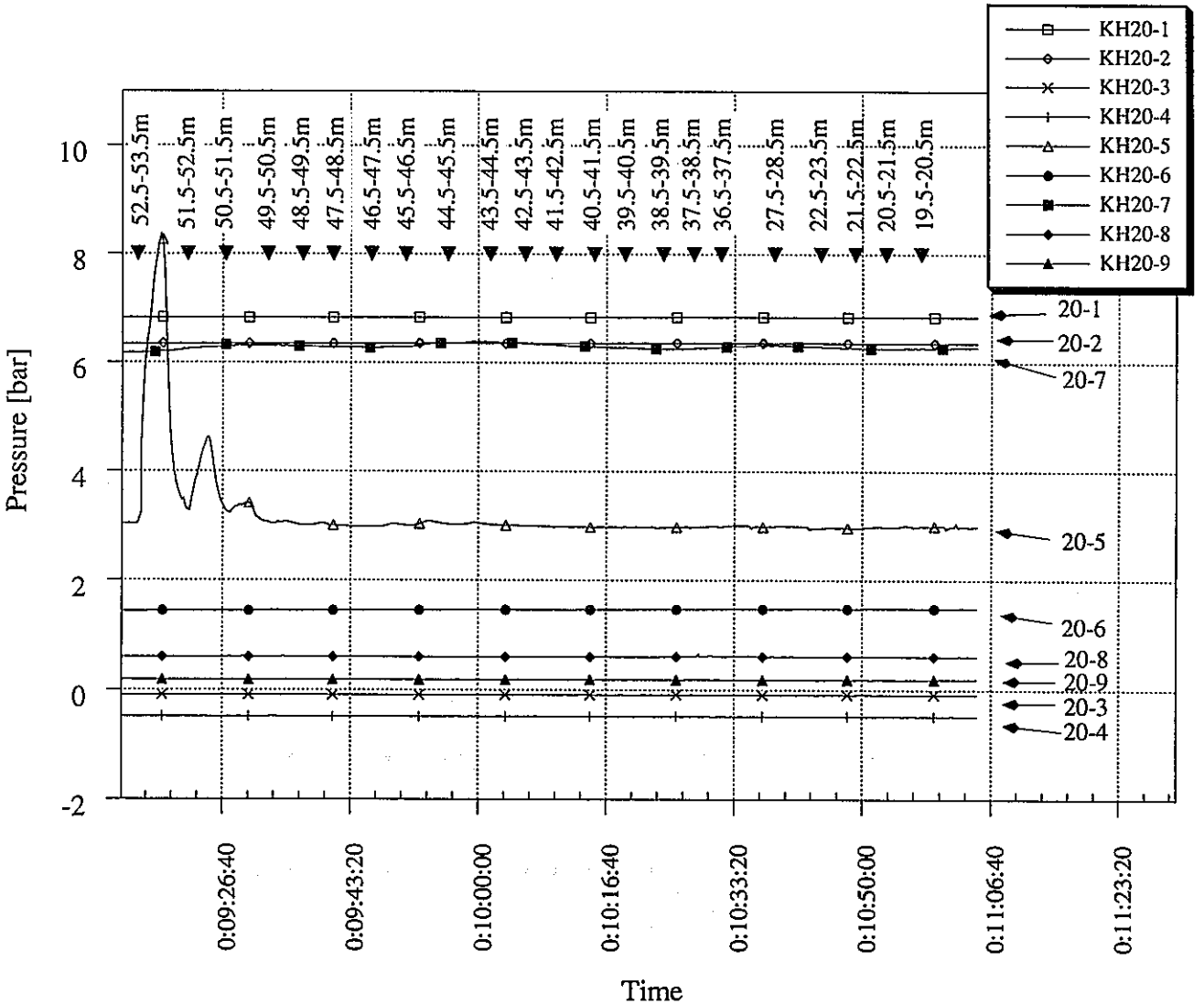


図-9.2.3　KH-21孔　圧力干渉試験結果
(KH-20孔の応答)

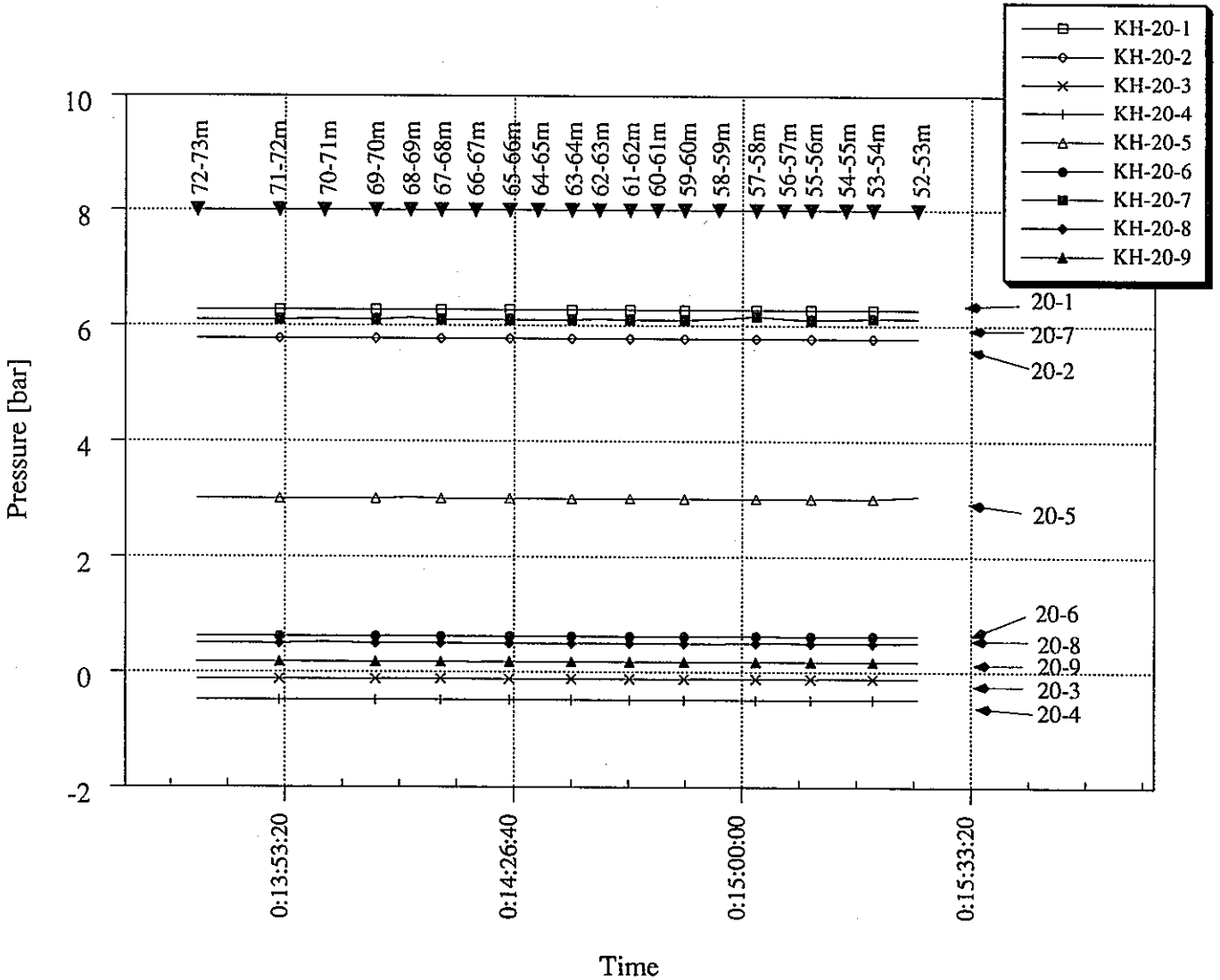


図-9.2.3　（続き）
KH-21孔　圧力干渉試験結果
（KH-20孔の応答）

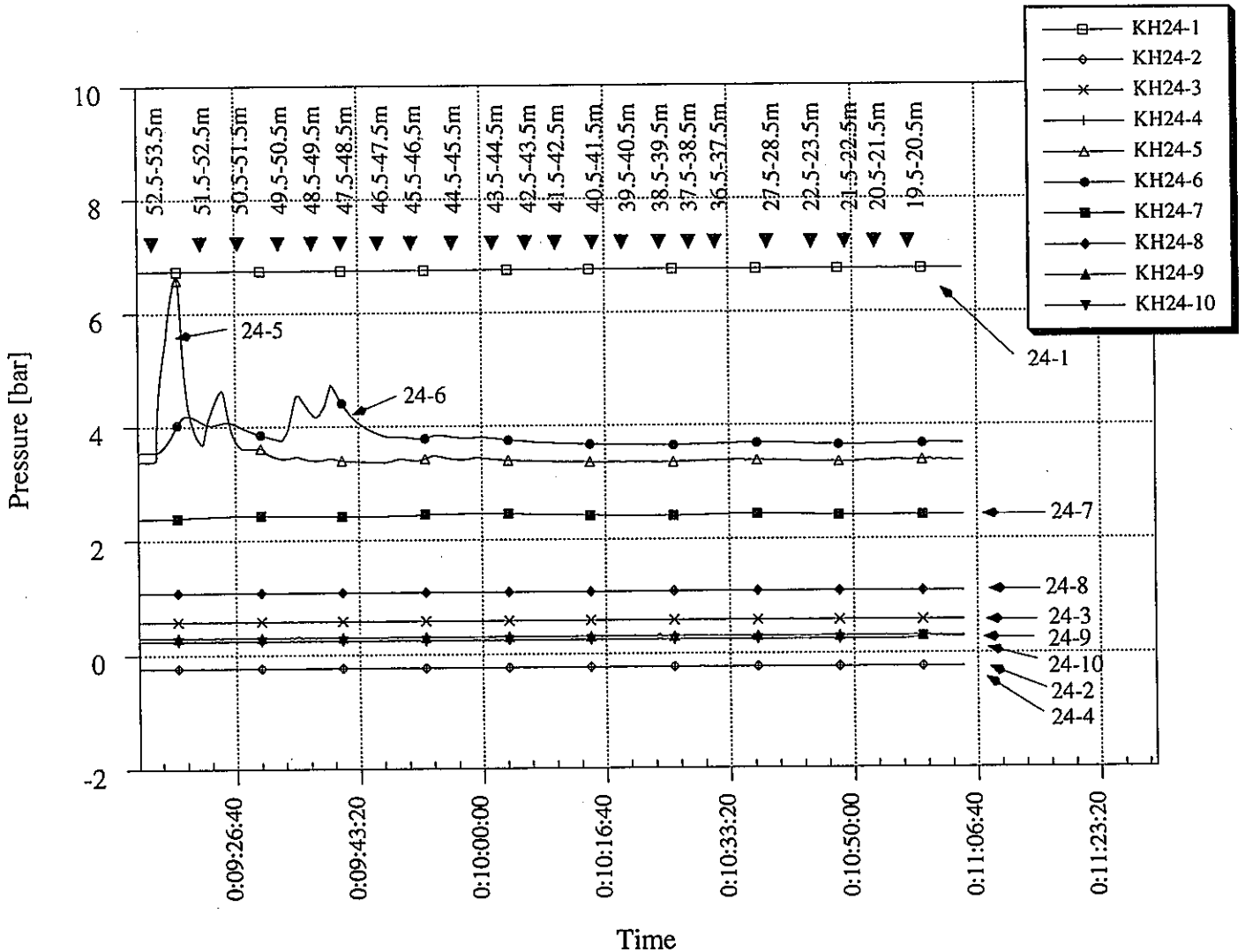


図-9.2.4　KH-21孔　圧力干渉試験結果
(KH-24孔の応答)

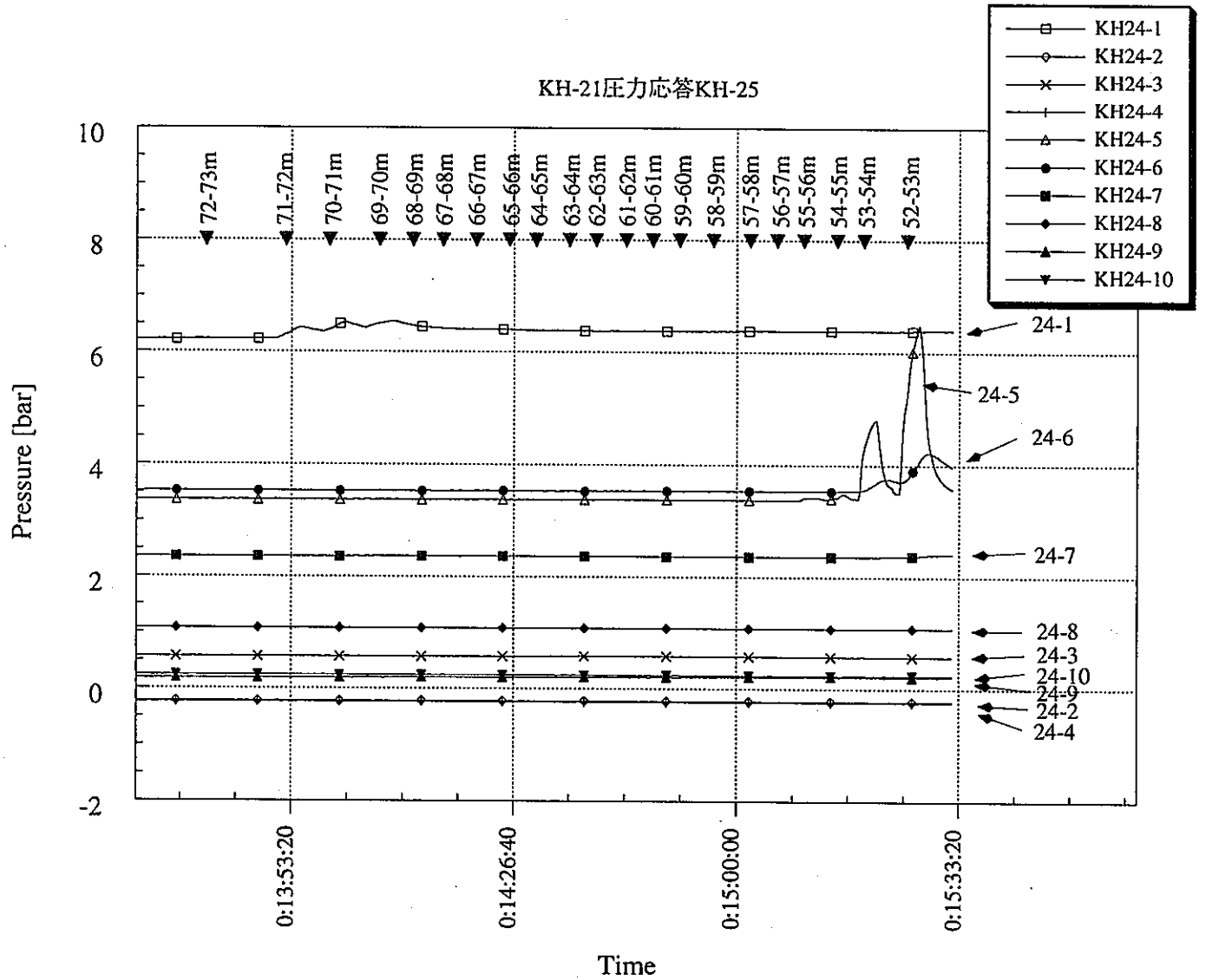


図-9.2.4　（続き）
KH-21孔　圧力干渉試験結果
（KH-24孔の応答）

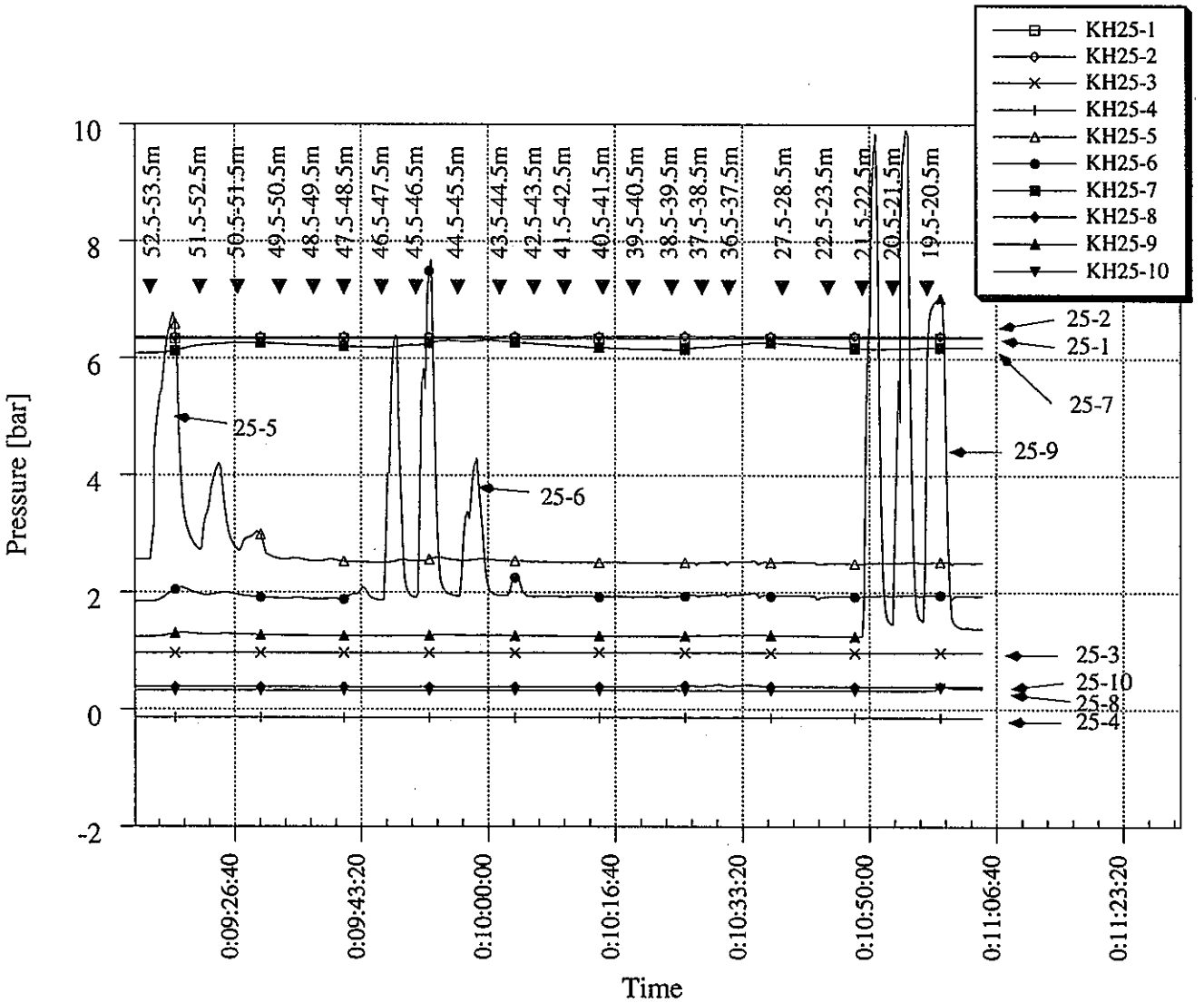


図-9.2.5　KH-21孔　圧力干渉試験結果
(KH-25孔の応答)

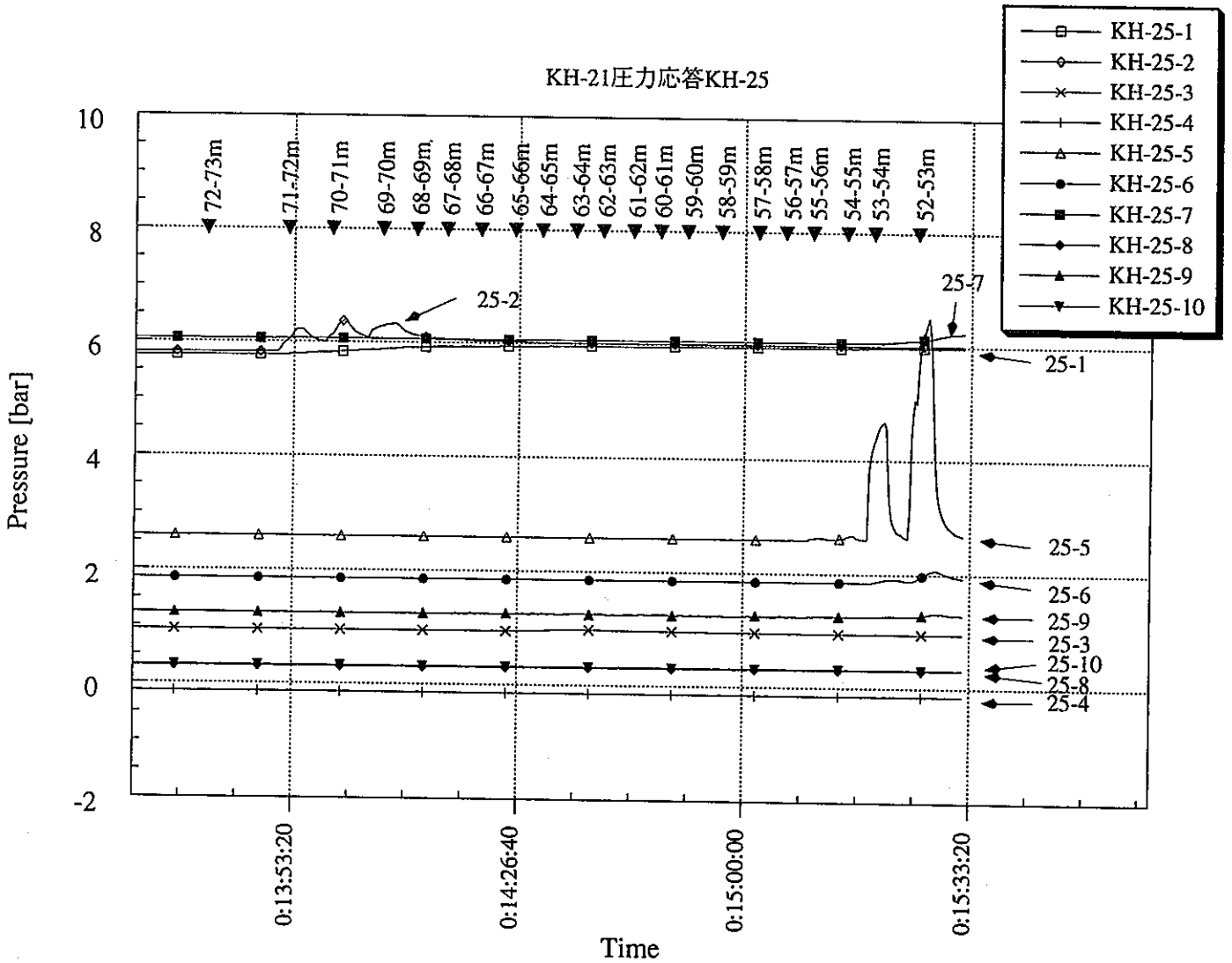


図-9.2.5　（続き）
KH-21孔　圧力干渉試験結果
（KH-25孔の応答）

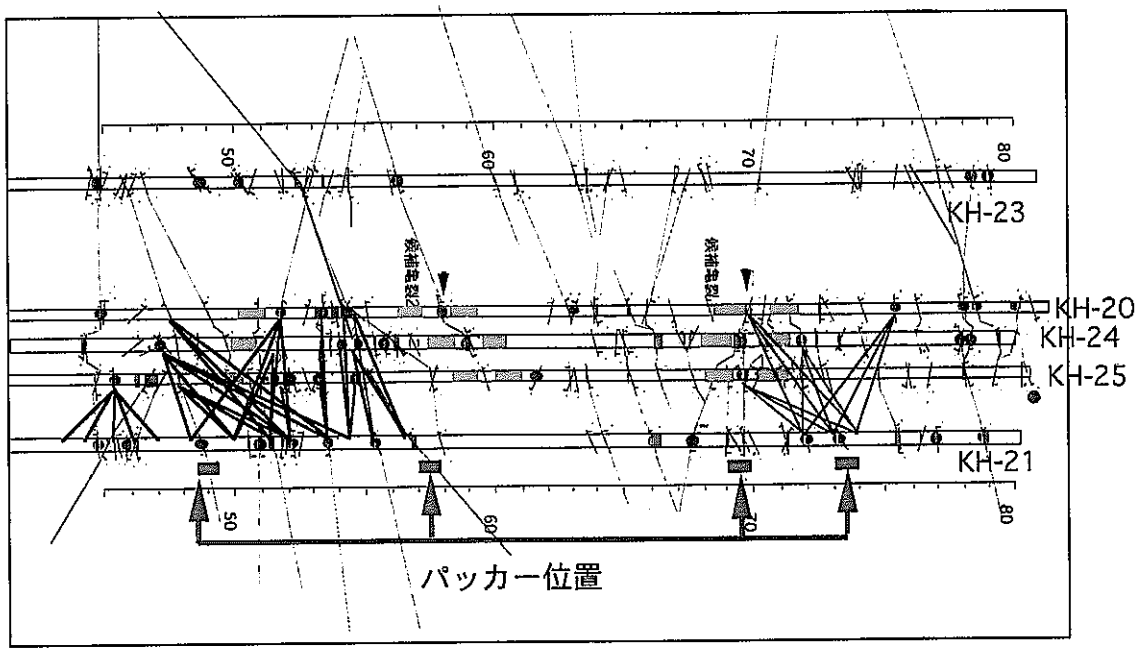


図-9.2.6　圧力干渉試験結果
（KH-21孔からの注水時におけるKH-20, 24, 25孔の応答）

(4) KH-23孔の圧力干渉試験

KH-23孔の圧力干渉試験は、トレーサー試験のための最終パッカーレイアウト決定に際して、次の２点を明らかにするために実施した。

①平成７年度に設置したパッカー配置におけるKH-23孔の区間３（深度46.9m～53.8m）の間に想定されるEゾーンとDゾーンの境界

②KH-20孔、KH-24孔で確認された試験対象割れ目２（SF2）のKH-23孔への延長の有無

(a) KH-20-4区間からの注水に対するKH-23孔の圧力応答

まず、SF2とKH-23孔の各区間との連続性を確認するために、SF2を含むKH-20孔区間４から定圧注水し（約10bar）、平成７年度設置のパッカーレイアウトにおけるKH-23孔の各区間での水圧応答を観測した。

KH-20孔区間４からの注水に対するKH-23孔の１～７区間での水圧応答グラフを図-9.2.7に示す。図から、KH23孔区間２で明瞭な応答が見られる。また、区間３においても小さいながら有意な応答が観測された。KH23孔区間２で応答が得られたことから、本区間がゾーンＥの区間であることが確認された。しかしながら、KH-23孔区間３は、既往の圧力干渉試験（平成８年１１月に動燃殿により実施）からゾーンＤと連結していることが明らかになっており、従って、KH-23孔区間３はゾーンＤとゾーンＥの両方に連結していると推定される。

そこで、KH-23孔区間３（深度45～55m）のゾーンＤとゾーンＥの境界を明らかにするとともに、KH-23孔区間２内の深度55～56mに推定されるSF2割れ目の延長の確認をとした圧力干渉試験を追加実施したので、その結果を次の(b)で述べる。

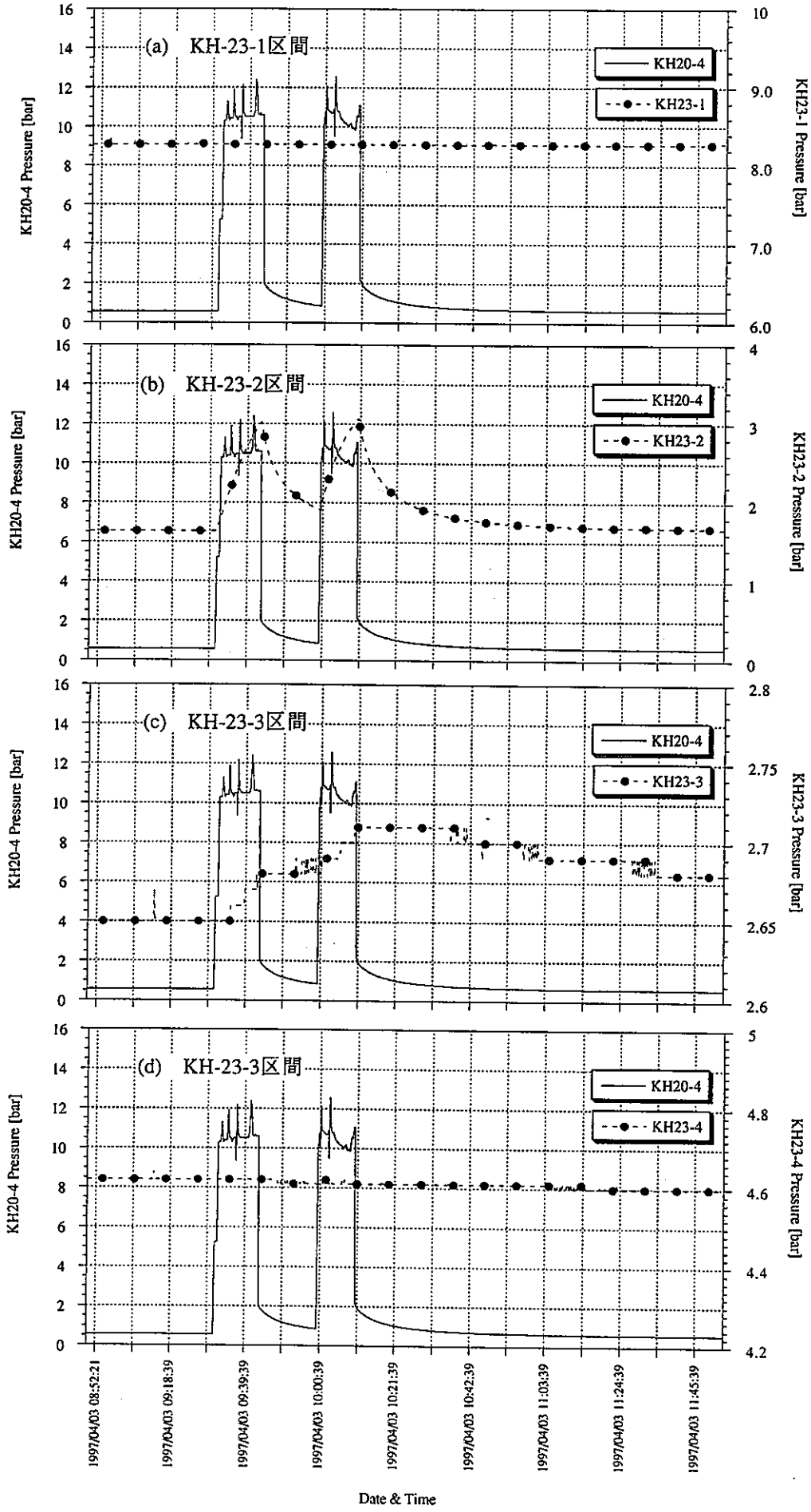


図9.2.7　KH-20-4区間からの注水に対するKH-23孔での水圧応答

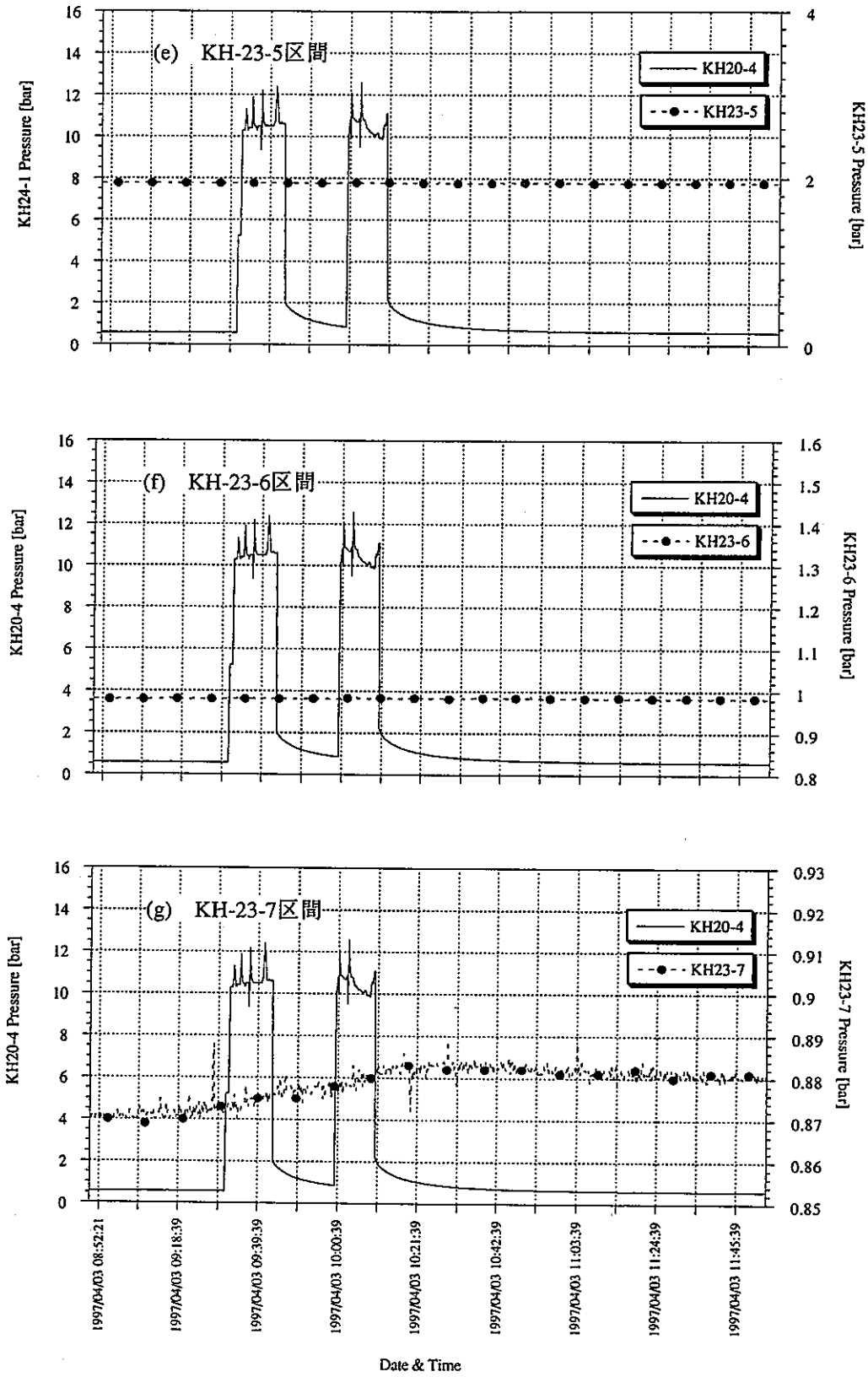


図9.2.7（続き）　KH-20-4区間からの注水に対するKH-23孔での水圧応答

(b)　KH-23孔からの注水に対するKH-20孔、KH-24孔、KH-25孔の水圧応答

試験では、KH-23孔の深度44m～57mの各1m区間（合計13区間）から注水し、KH-20孔、KH-24孔、KH-25孔の水圧応答を観測した。KH23孔の深度45～55mに存在が推定されるゾーンＤとゾーンＥの境界とともに、深度55～56mに推定されるSF2割れ目の延長を確認することがその目的である。KH-20孔、KH-24孔、KH-25孔の水圧応答グラフを図-9.2.8～図-9.2.10に示す。各グラフを元に判定された水圧応答箇所を表-9.2.4中に示す。また、図-9.2.6に、表-9.2.3の水圧応答経路を割れ目分布推定図の上にプロットしたものを示す。

KH23孔の深度55～56mからの注水に対して、SF2割れ目を含むKH-20孔区間４とKH-24区間４のいずれもが応答していることから、SF2の延長がKH-23孔の深度55～56mに存在することが判明した。

KH23孔の深度55m～44mの順の各１m区間からの注水に対して、深度50m付近からゾーンＥ（KH-20-3とKH-24-3の区間）への連結性が認められる。本圧力応答試験ではゾーンＤへの応答が認められなかったため、50m付近がゾーンＤとＥの境とは明確に言えないが、平成８年１１月の圧力応答試験結果（動燃殿実施）から45m～50m付近はゾーンＤへ連結しているものと推定される。

以上から、トレーサー試験用のパッカー設置ではKH-23孔内のゾーンＥとＤの境を50mとし、SF2とゾーンＥの境を55mに設定した。

表-9.2.4　KH-23孔の圧力干渉試験結果一覧

KH-23孔 注水深度 (m)	KH-20孔観測区間										KH-24孔観測区間										KH-25孔観測区間									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
56 ～ 55																														
55 ～ 56				△										△																
54 ～ 55																														
53 ～ 54																														
52 ～ 53																														
51 ～ 52																														
50 ～ 51																														
49 ～ 50																														
48 ～ 49	△	○	○										○										○							
47 ～ 48	⋮	⋮	⋮	水							⋮	⋮	⋮	水							⋮	⋮	⋮	水						
46 ～ 47	⋮	⋮	⋮	圧							⋮	⋮	⋮	圧							⋮	⋮	⋮	圧						
45 ～ 46	⋮	⋮	⋮	上							⋮	⋮	⋮	上							⋮	⋮	⋮	上						
44 ～ 45	▼	▼	▼	昇							▼	▼	▼	昇							▼	▼	▼	昇						
				0.2 bar程度上昇										0.8 bar程度上昇										1.6 bar程度上昇							

○：明瞭な圧力応答、△：弱い圧力応答

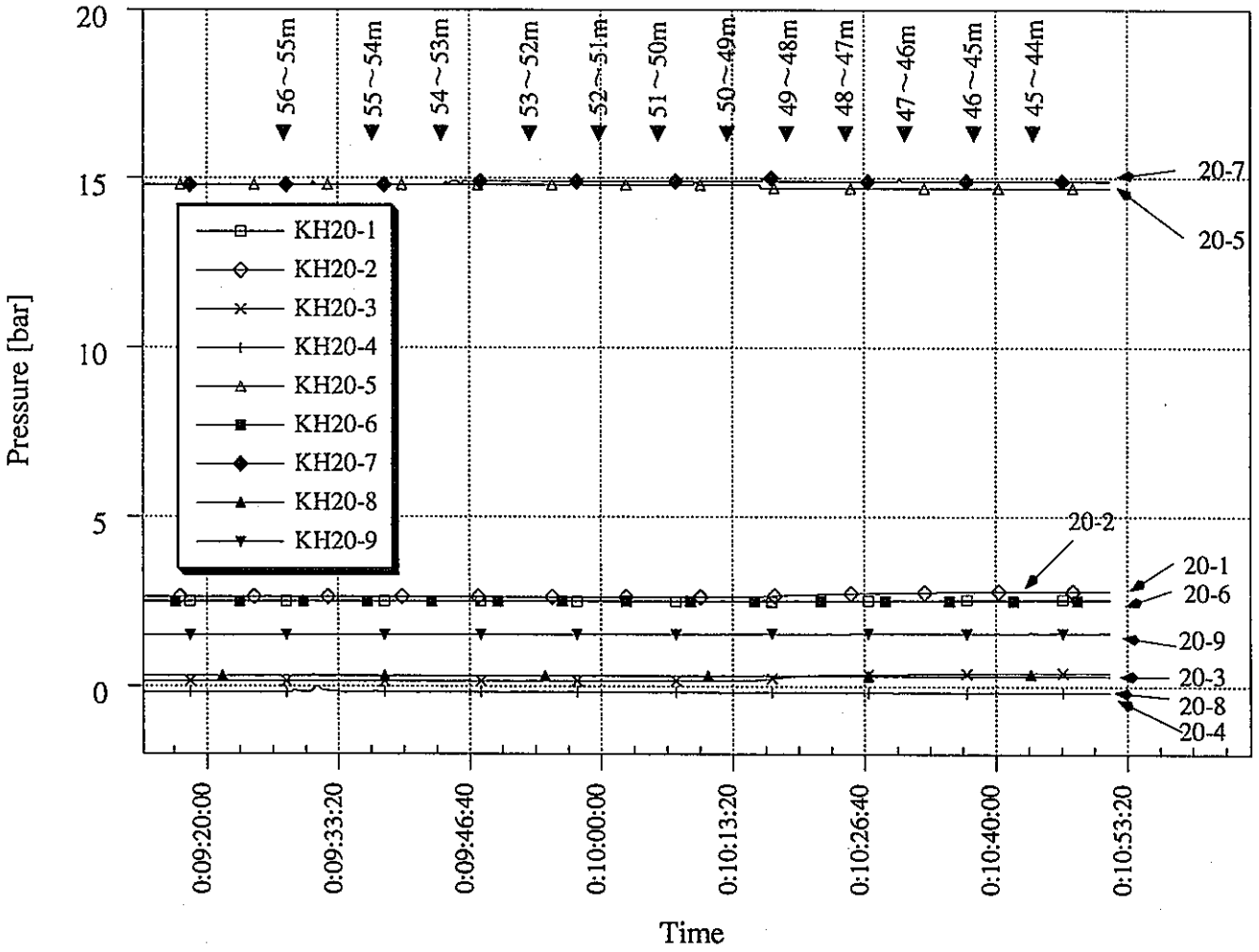


図-9.2.8　KH-23孔　圧力干渉試験結果
(KH-20孔の応答)

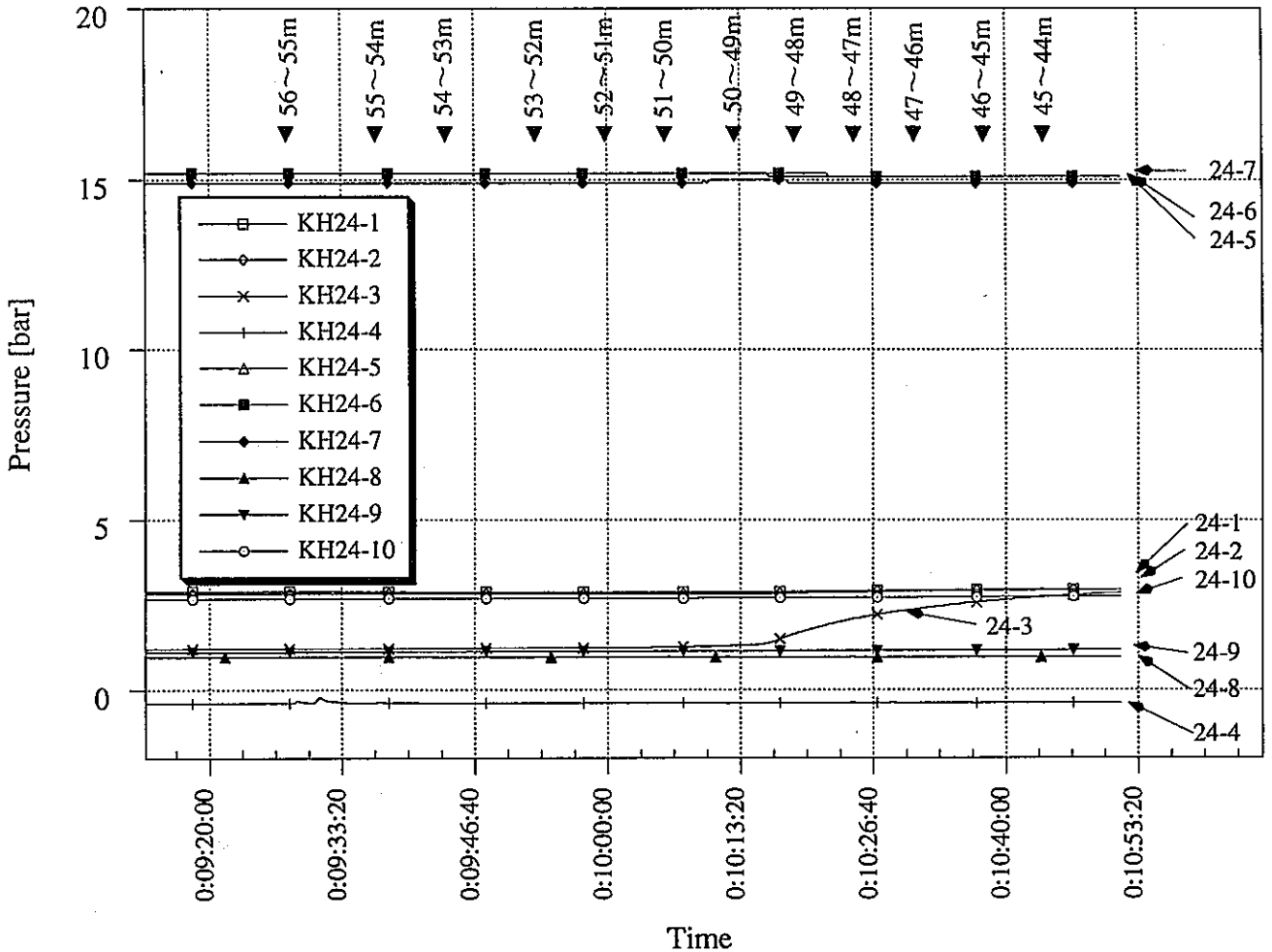


図-9.2.9　KH-23孔　圧力干渉試験結果
(KH-24孔の応答)

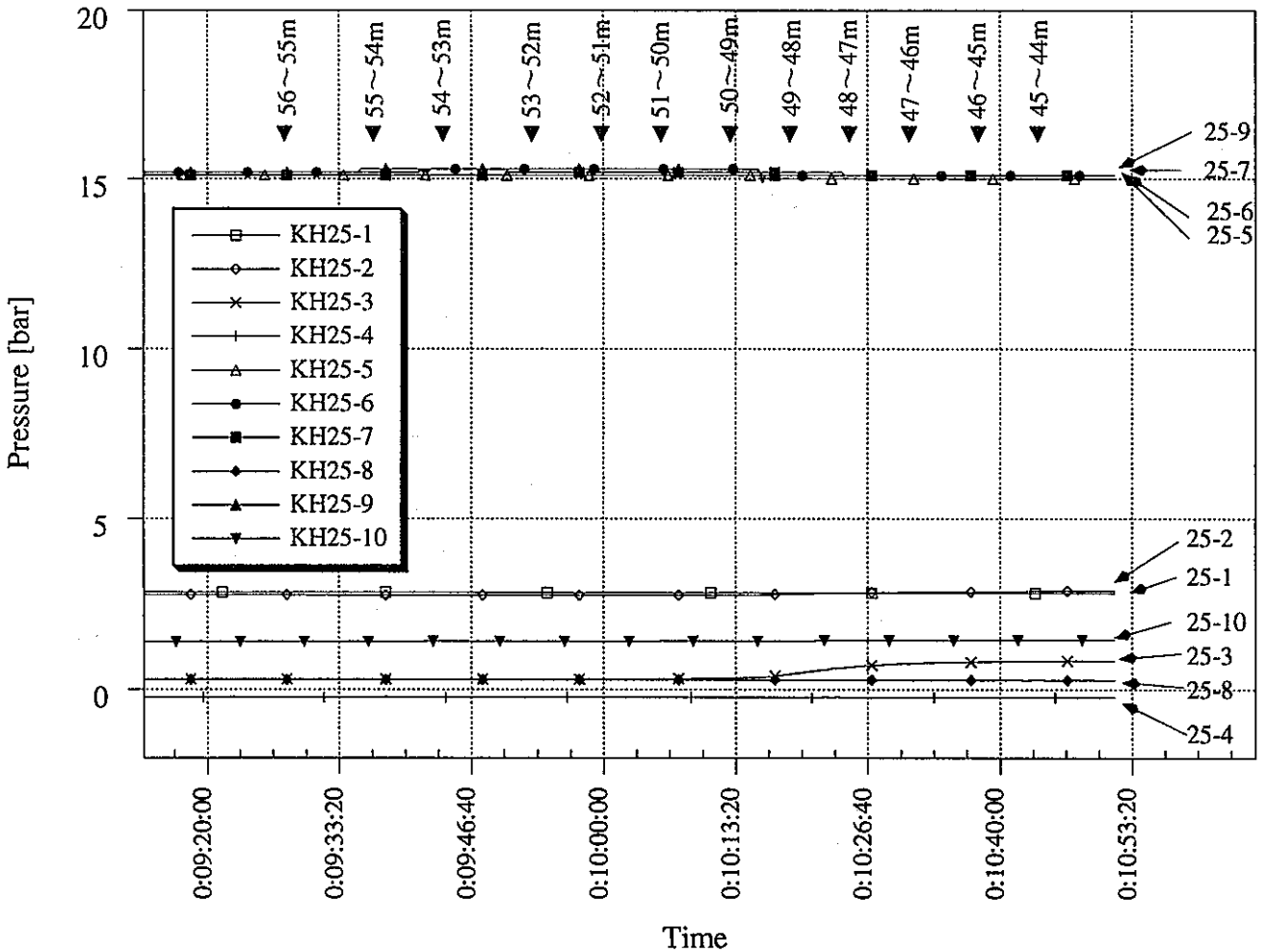


図-9.2.10　KH-23孔　圧力干渉試験結果
（KH-25孔の応答）

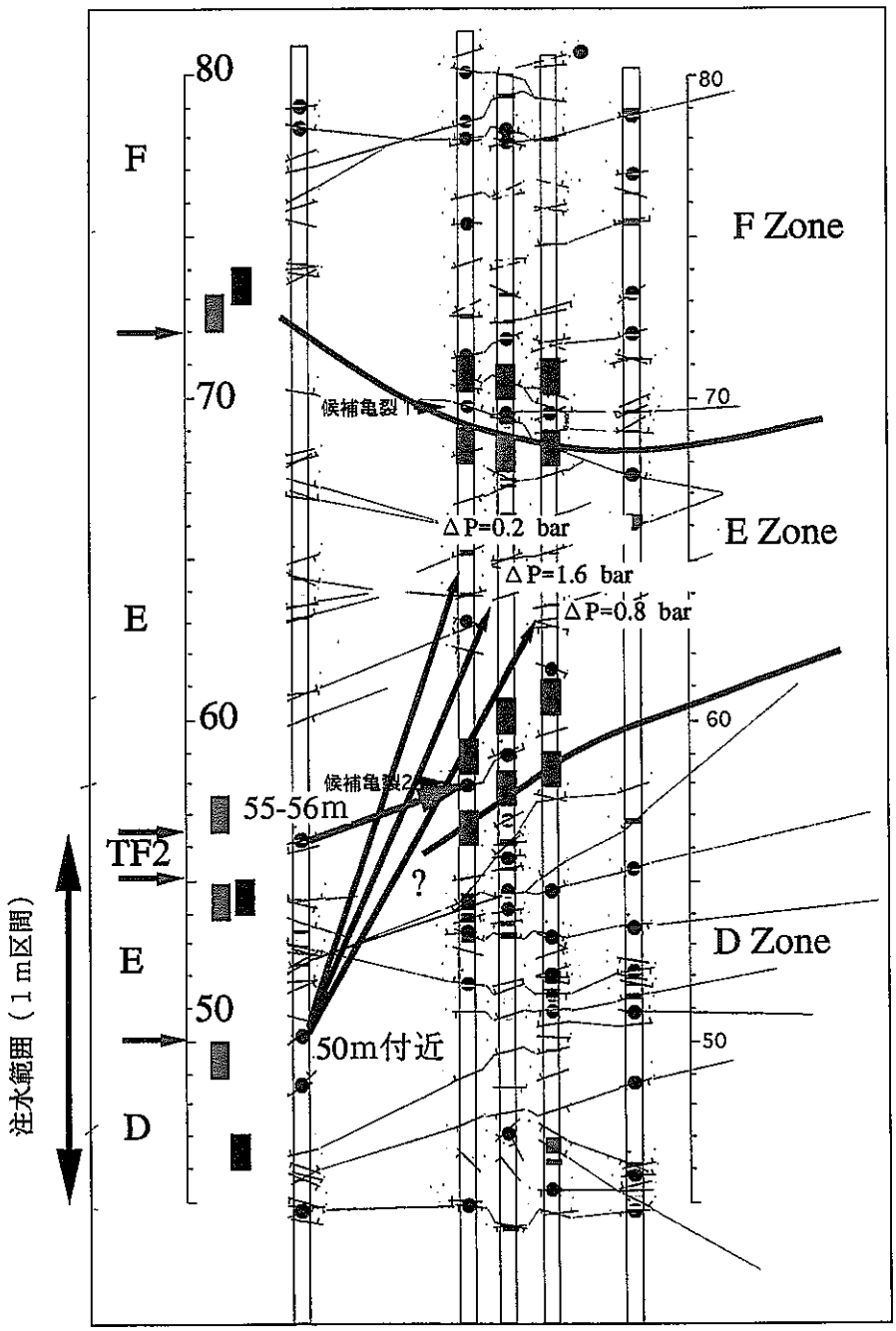


図-9.2.13　圧力干渉試験結果
（KH-23孔からの注水時におけるKH-24, 25孔の応答）

9.3 予備的トレーサー試験

9.3.1 試験方法

試験に用いた装置の概要を図-9.3.1に示す。ダブルパッカーで区切った区間からトレーサー(NaCl)を定圧注入し、他孔において電気伝導度プローブで塩水の浸出深度を観測した。

ダブルパッカーの区間長は約１ｍとし、パッカー拡張には窒素ガスを、圧力制御にはレギュレーターを用いた。トレーサーは、孔外の水タンク内で作成し、水ポンプにより定圧注入した。注入圧は10barを基本としたが、孔内圧が上昇しない場合などは、20bar以下で適宜上昇させた。トレーサーの塩水濃度はタンク内において5000μS/cm程度とし、注入開始時毎に測定した。

塩水濃度の測定には、伝導度計プローブ（写真-9.3.1）の先端に配した２つの電極を用いた。電極間の電気伝導度を孔外の伝導度計で測定・野帳に記録するとともに、その出力電圧をパソコンにより自動記録した（測定間隔：試験中：15秒、夜間：2分）。

試験は、KH-24、KH-20、KH-25の３孔において、うち１孔から塩水注入した時の他孔での塩水濃度分布を調べた。試験区間の一覧表を表-9.3.1に示す。

まず、KH-24孔で既に設置されていたマルチパッカーシステムの幾つかの区間からトレーサーを注入した。KH-20孔に伝導度プローブを挿入し、孔内でプローブを移動させて伝導度の分布を測定することにより、KH-20孔内でのトレーサー排出深度を調べた。次に、KH-24孔、KH-25孔の既設パッカーを引き抜き、KH-24孔、KH-20孔、KH-25孔のうち１孔内の候補割れ目の深度からトレーサーを注入し、他の２孔内のトレーサー排出深度を伝導度プローブにより観測した。

表-9.3.1　予備トレーサー試験区間一覧

注入孔	注入深度	観測孔
KH-24孔	区間１～４	KH-20孔
KH-20孔	58-59m、69-70m、78-79m	KH-24孔、KH-25孔
KH-24孔	67-68m、69-70m	KH-20孔、KH-25孔
KH-25孔	59-60m、67-69m、69-70m	KH-20孔、KH-24孔

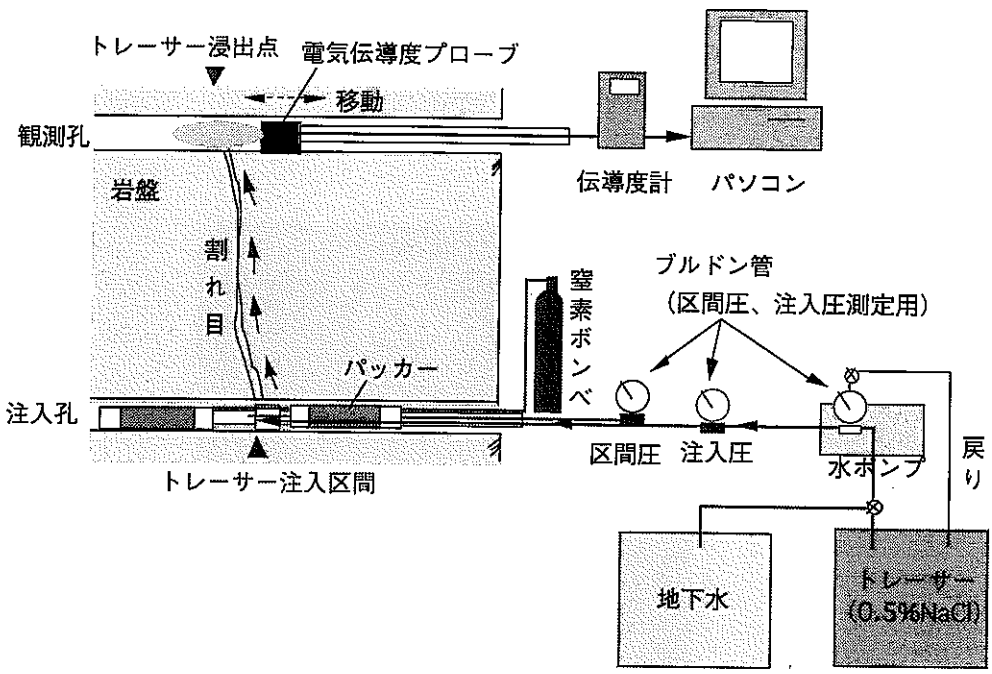


図-9.3.1　予備的トレーサー試験装置

写真-9.3.1　伝導度測定用プローブ

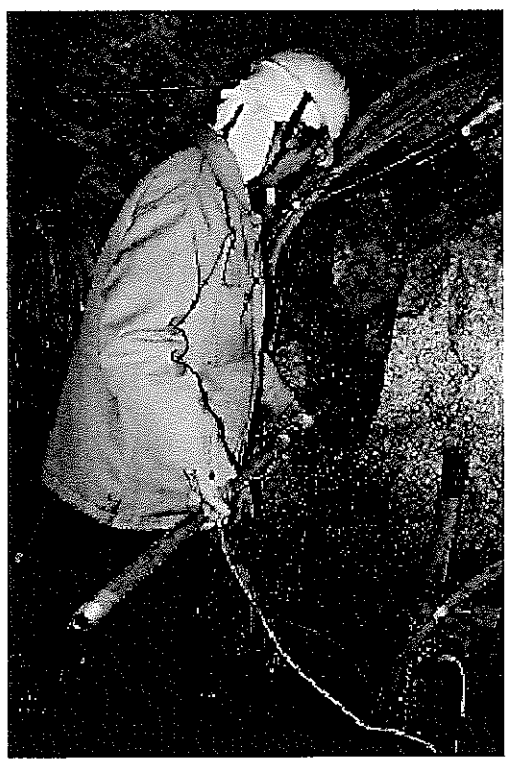


写真-9.3.2　伝導度プローブの挿入状況

9.3.2　試験結果

予備的トレーサー試験の注入深度、トレーサー検出箇所、ならびに試験状況を表-9.3.2にまとめて示す。

(1)　KH-24孔からの注入

KH-24孔の区間１～３からの注入時のKH-20孔内の伝導度変化グラフを図-9.3.2～図-9.3.4に示す。ただし、グラフの縦軸は伝導度計の出力電圧であり、電気伝導度と比例関係にある。また、同孔の深度69～70mからの注入時のKH-20孔とKH-25孔の伝導度変化を図-9.3.5に各々示す。

(2)　KH-20孔からの注入

KH-20孔の深度58～69m、69～70m、78～79mからの注入時の、KH-24孔とKH-25孔の伝導度変化を図-9.3.6～図-9.3.8に示す。

(3)　KH-25孔からの注入

KH-25孔の深度69～70mからの注入時の、KH-20孔とKH-24孔の伝導度変化を図-9.3.9に示す。

以上の試験結果から得られたトレーサー移行経路を図-9.3.10と図-9.3.11に示す。これらから、次のことが確認された（図-9.3.12）。

候補亀裂#1：KH-20、24、25孔間で連続する単一亀裂

候補亀裂#2：KH-20とKH-24孔間で連続する単一亀裂

ただし、KH-25孔へは連続しない。

表-9.3.2　予備的トレーサー試験結果一覧

(1)　KH-24孔からの注入

注入深度	トレーサー注入時間	トレーサー侵出深度 KH-20孔	トレーサー侵出深度 KH-25孔	状況
KH-24孔区間4（深度37.5～57.3m）	1996/12/13 14:00 1996/12/13 15:30	検出されず	－	KH-20孔の深度35m地点に伝導度計プローブを設置し、注入を開始した（NaCl濃度0.5%）。しかし、注入開始から1:30後(15:30)までの時点では、KH-20孔内および孔口においてトレーサーは検出されなかった。
KH-24孔区間3（深度58.3～67.0m）	1996/12/16 9:46 1996/12/16 15:10	58.2m 69.1m 付近	－	KH-20孔の深度54m地点に伝導度計を設置し、注入を開始した（注入圧8bar）。13:20ごろからKH-20孔内の伝導度が上昇し始め、順次ロッドを挿入したところ、58.2m付近ならびに69.1m付近で伝導度の低下を確認した（注入終了時刻 15:10）。
KH-24孔区間2（深度68.0～74.8m）	1996/12/17 9:50 1996/12/17 11:13	70m付近	－	KH-20孔の深度69mに伝導度計を設置し（75μS/cm）、注入を開始した（注入圧12.5bar）。10:20ごろからKH-20孔内の伝導度が上昇し始め（250μS/cm）、順次ロッドを挿入したところ、70m付近での伝導度の低下（50μS/cm）を確認した。
KH-24孔区間1（深度75.8～80.5m）	1996/12/17 12:13 1996/12/17 14:30	特定できず（奥側で伝導度上昇）	－	区間2に引き続き、KH-20孔の深度69mに伝導度計を設置し（290μS/cm）注入を開始した（注入圧11.5bar）。14:00から14:20ごろにかけてロッドを挿入したところ、奥へ行くにしたがって伝導度の上昇が見られ（79mで870μS/cm）、浸出点深度を特定できなかった
KH-24孔 深度67～68m	1997/1/10 14:47 1997/1/10 15:35	注入不能		当初、注入圧13barで注入を開始しその後19barに上昇したが、塩水が全く入らなかったため、試験終了。
KH-24孔 深度69～70m	1997/1/11 9:45 1997/1/11 13:30	検出されず	70m	KH-20孔とKH-25孔の深度67m付近に伝導度計を設置し、注入を開始した（注入圧15bar）。11:10にKH-25孔の伝導度上昇。70m付近でのピークを確認。

(2)　KH-20孔からの注入

注入深度	トレーサー注入時間	トレーサー侵出深度 KH-24孔	トレーサー侵出深度 KH-25孔	状況
KH-20孔 深度58～59m	1996/12/19 11:22 1996/12/20 9:10	59～60m	79m付近	KH-24とKH-25孔のいずれも深度50mに伝導度計を設置し注入を開始した。14:40ごろから順次ロッドを挿入し、KH-24孔の深度59～60mとKH-25孔の深度79m付近で、若干の伝導度低下が見られた。明瞭な変化は捉えられなかった。 翌12/20日まで注入を継続し、翌朝の口元濃度を前日の16:00の測定値と比較したところ、微量ながらKH-24孔へのトレーサーの流入が確認された。
KH-20孔 深度69～70m	1996/12/20 10:12 1996/12/20 14:00	70m付近	67m付近	KH-24孔の深度56m、KH-25孔の深度63mに伝導度計を設置し、注入を開始した（注入圧10bar）。11:00ごろから順次ロッドを挿入したところ、KH-24孔の70m付近およびKH25孔の67m付近で伝導度の低下を確認した（各々、290→70μS/cm、130→100μS/cmの変化）。
KH-20孔 深度78～79m	1996/12/20 14:23 1996/12/20 15:09	孔底付近	検出されず	KH-24とKH-25孔のいずれも深度75mに伝導度計を設置し注入を開始した。KH-24孔では注入開始後10分程度で伝導度が大きく上昇（60→300μS/cm）した。ロッドを77mまで挿入すると伝導度が上昇し続けることから浸出点は孔底付近と考えられるが、深度を特定することはできなかった。一方、KH-25孔においては伝導度変化は認められなかった

(3)　KH-25孔からの注入

注入深度	トレーサー注入時間	トレーサー侵出深度 KH-20孔	トレーサー侵出深度 KH-24孔	状況
KH-25孔 深度69～70m	1996/12/21 10:42 1996/12/21 11:16	孔奥で高い伝導度	70m付近	KH-20孔の深度64m、KH-24孔の深度68mに伝導度計を設置し注入を開始した（注入圧10bar）。10:51にKH-24孔内の伝導度が100μS/cmに上昇したので、順次ロッドを挿入したところ、70m付近での伝導度のピーク（370μS/cm）が認められた。 一方、KH-20孔においては、孔奥へ向かうに従って極めて高い伝導度（74mで820μS/cm）が測定されたが、これは前日のKH-20孔注入時のトレーサーが残留したものと考えられる。
KH-25孔 深度40.0～41.5m	1997/1/9 10:15 1997/1/10 11:00	特定できず		KH-20孔とKH-24孔の深度40m付近に伝導度計を設置し、注入を開始した（注入圧19bar）。両孔とも伝導度の変化は認められなかったため、翌日まで加圧状態で放置した。翌朝、両孔の電気伝導度が上昇していたため、湧出箇所を確認したが、位置を特定できなかった。
KH-25孔 深度59～60m 深度67～68m 深度68～69m	1997/1/11 13:30～15:00 の間で順次実施	注入不能		湧水量0cc/min、区間に20barの圧力をかけて放置した所、19barで安定した。他の区間に連結する割れ目は無いものと推定された。

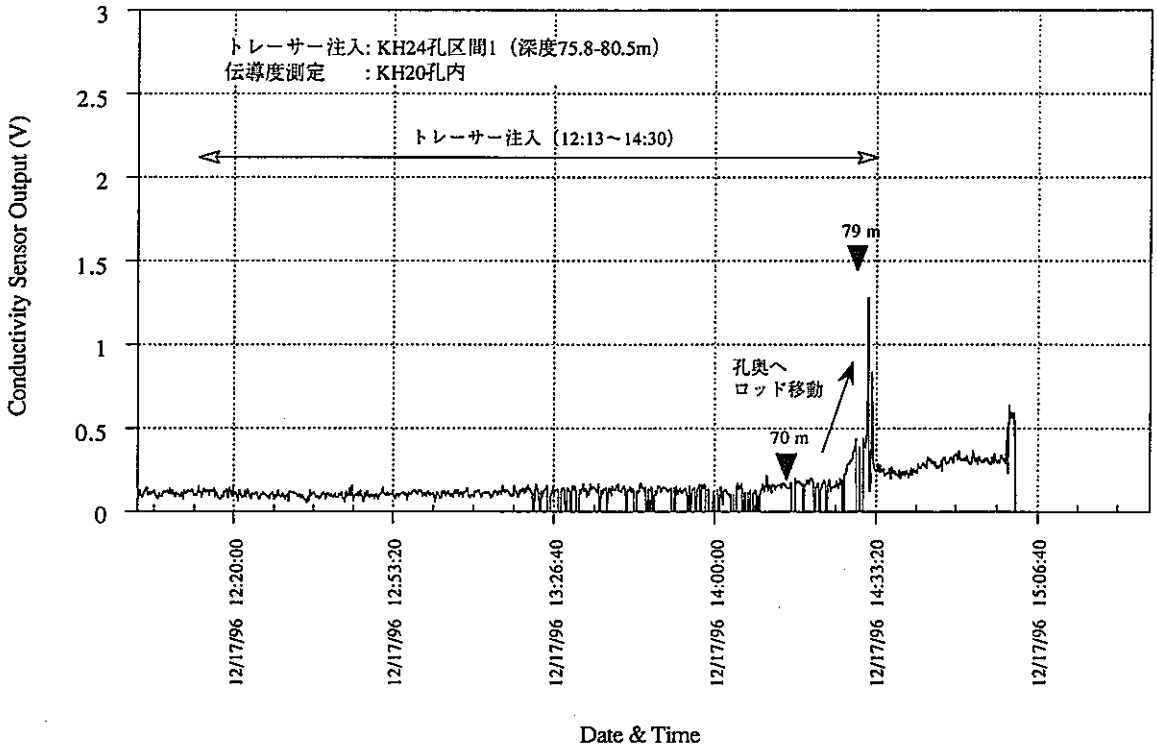


図-9.3.2　予備トレーサー試験結果（KH-24孔区間１）

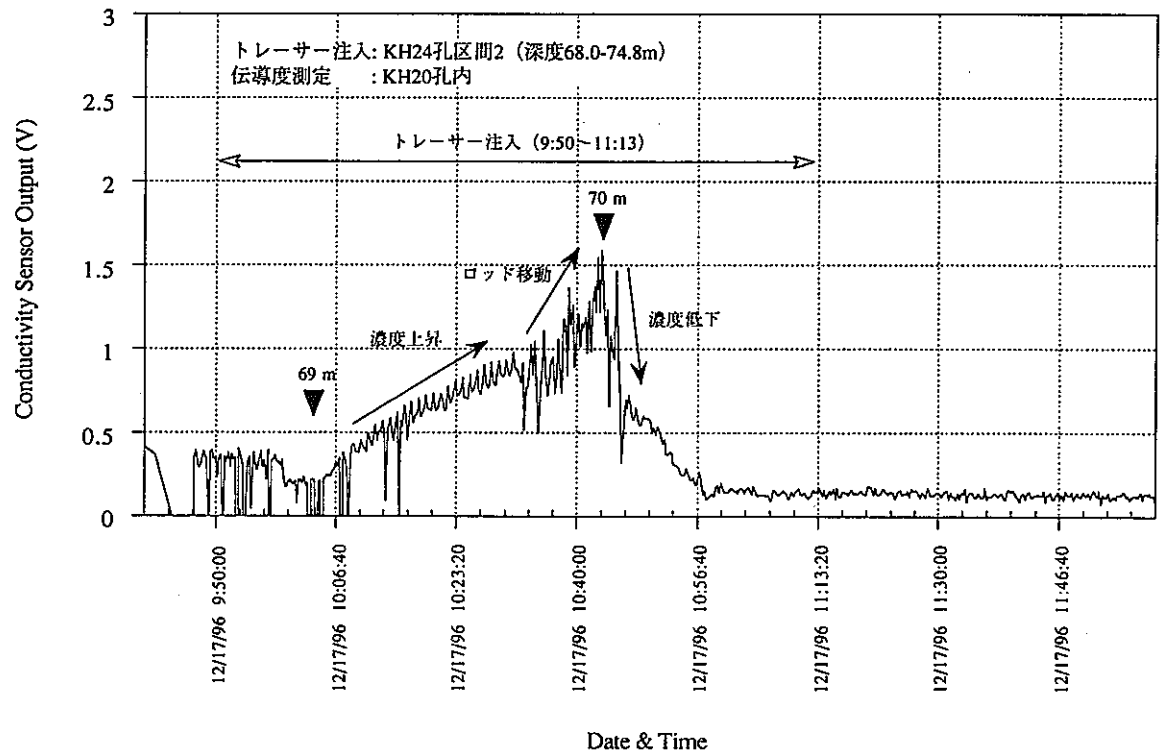


図-9.3.3　予備トレーサー試験結果（KH-24孔区間２）

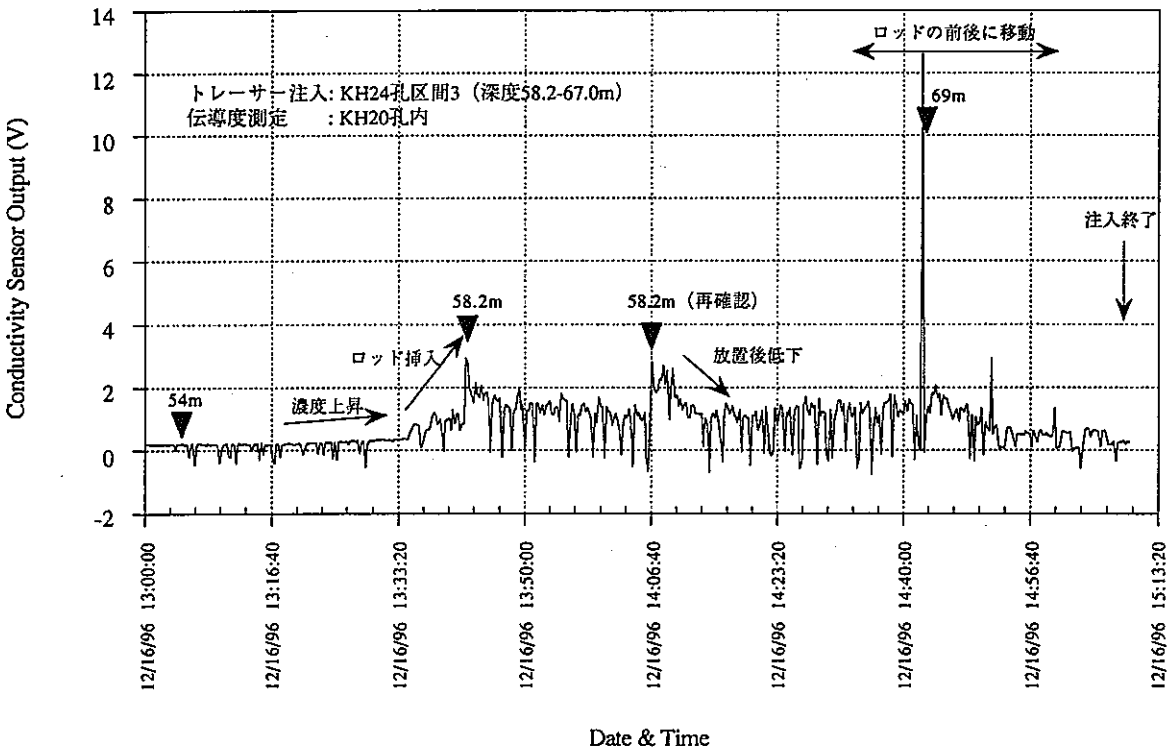
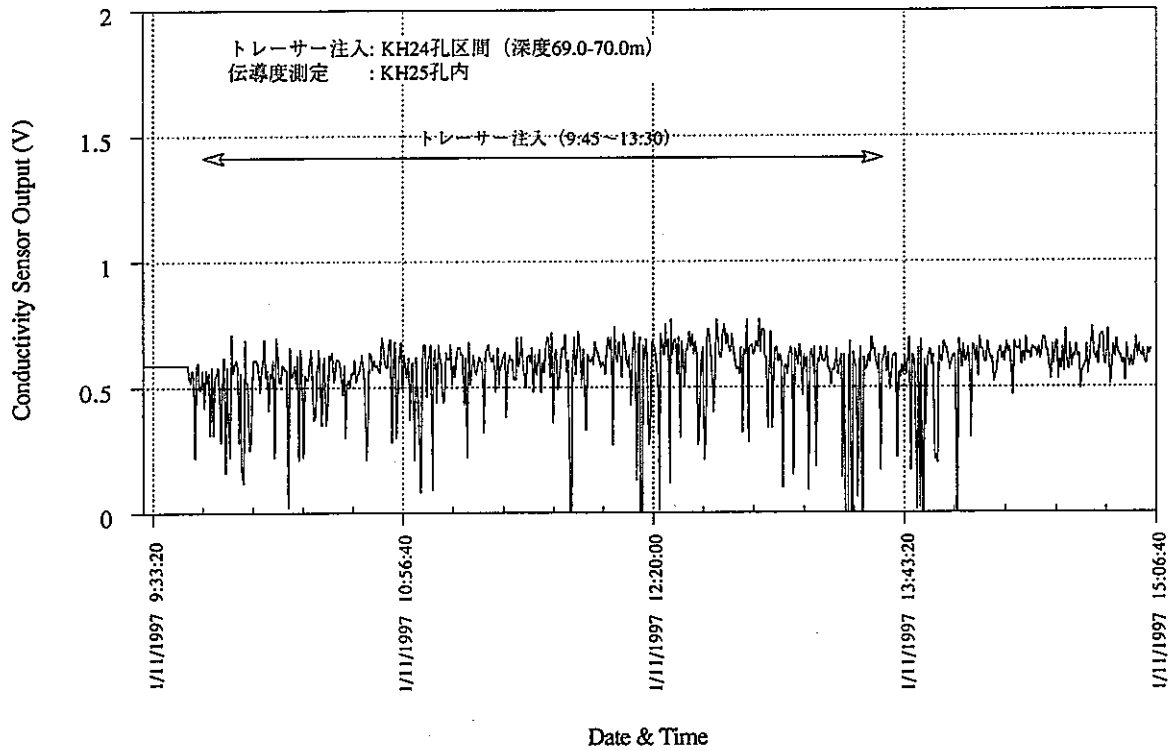
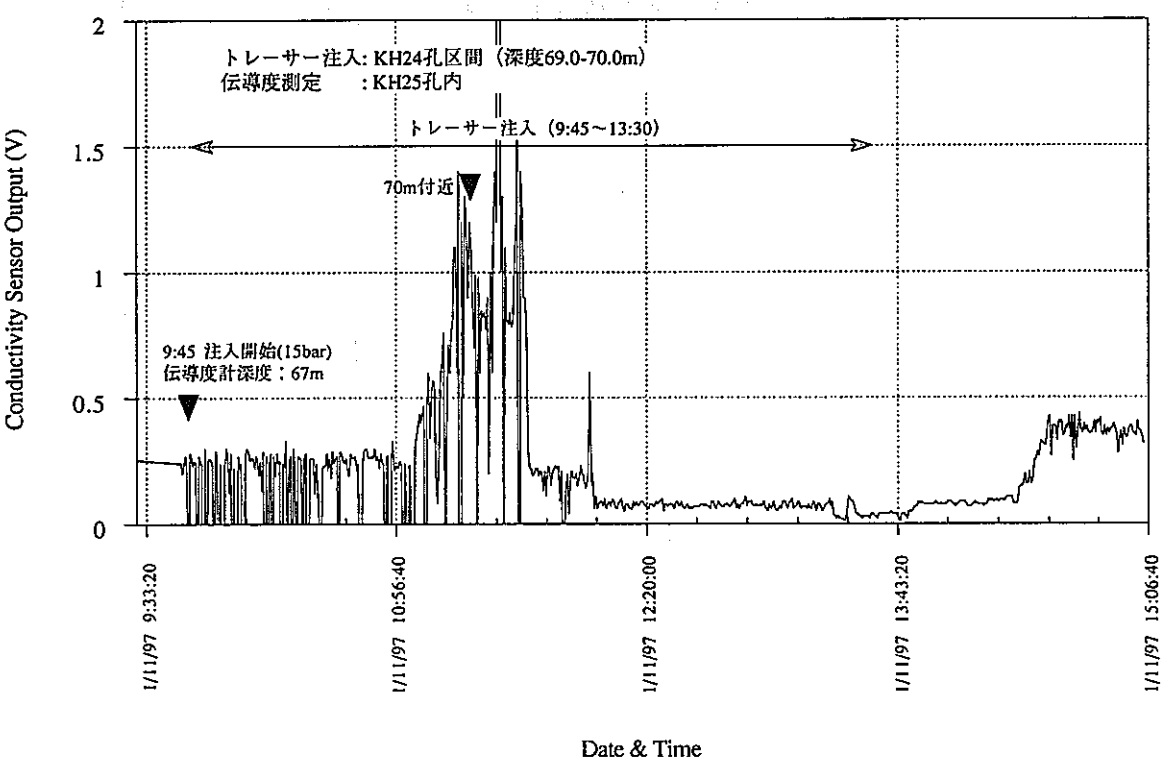


図-9.3.4　予備トレーサー試験結果（KH-24孔区間３）

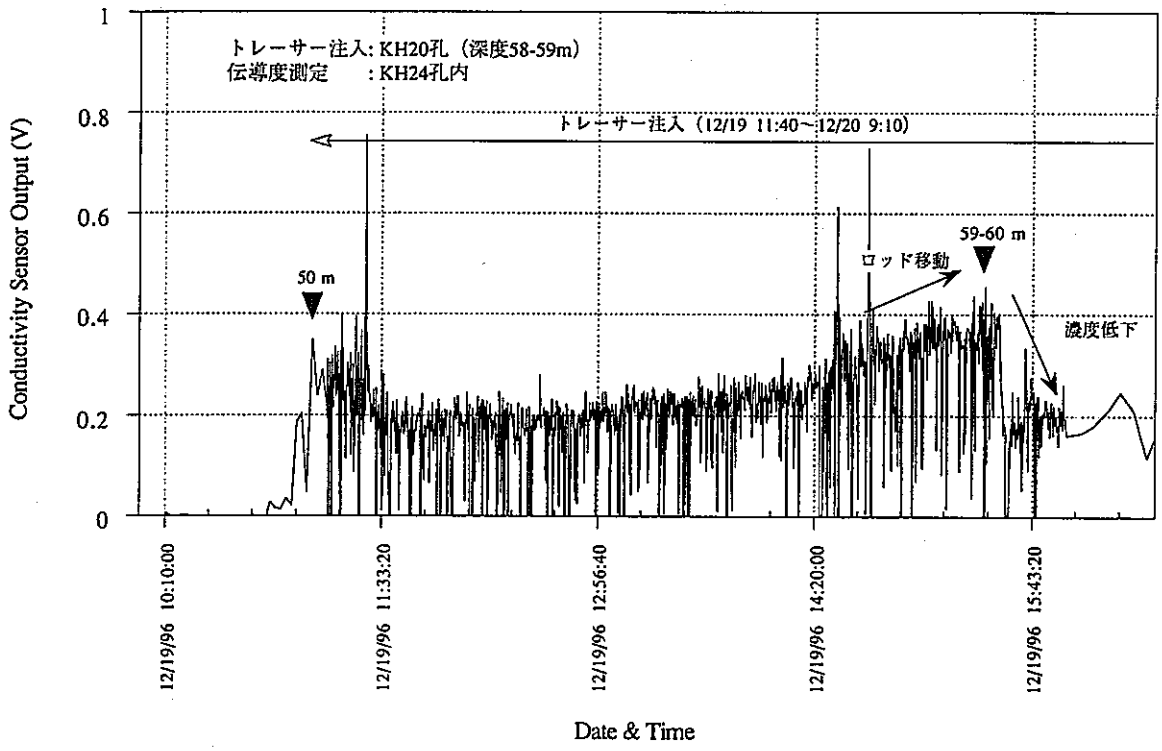


(a)　KH-20孔内伝導度



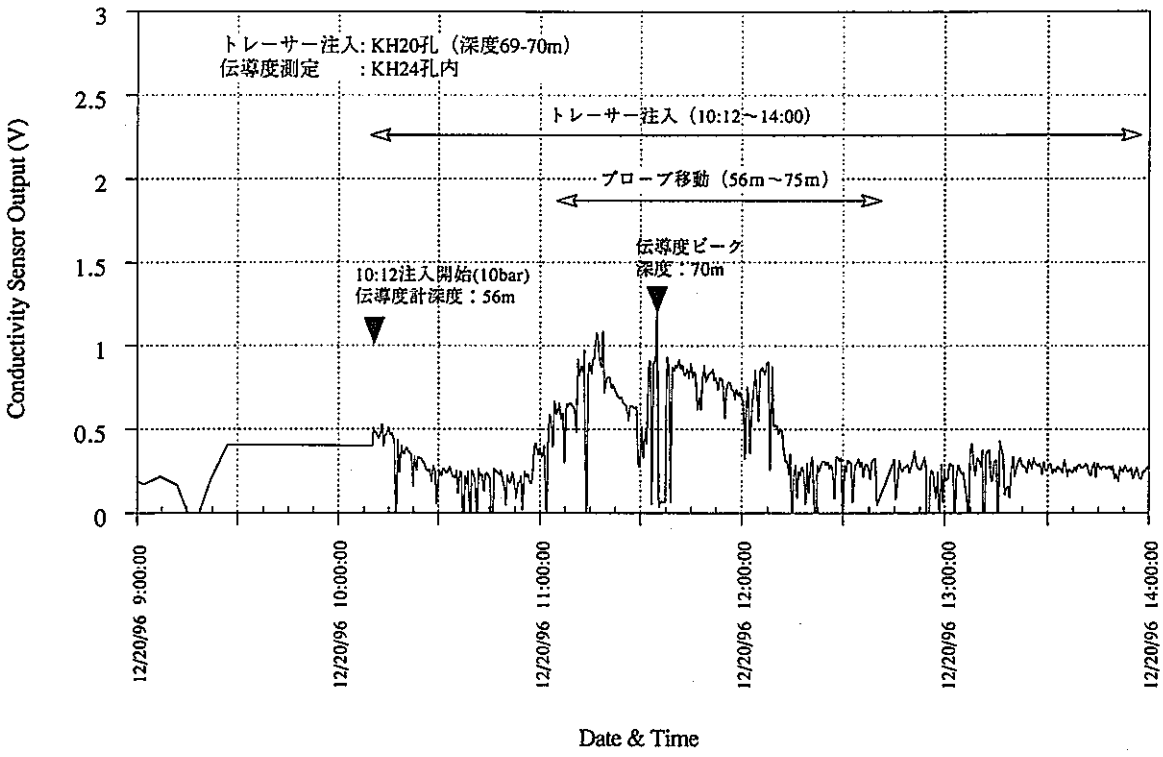
(b)　KH-25孔内伝導度

図-9.3.5　予備トレーサー試験結果（KH-24孔69～70m）

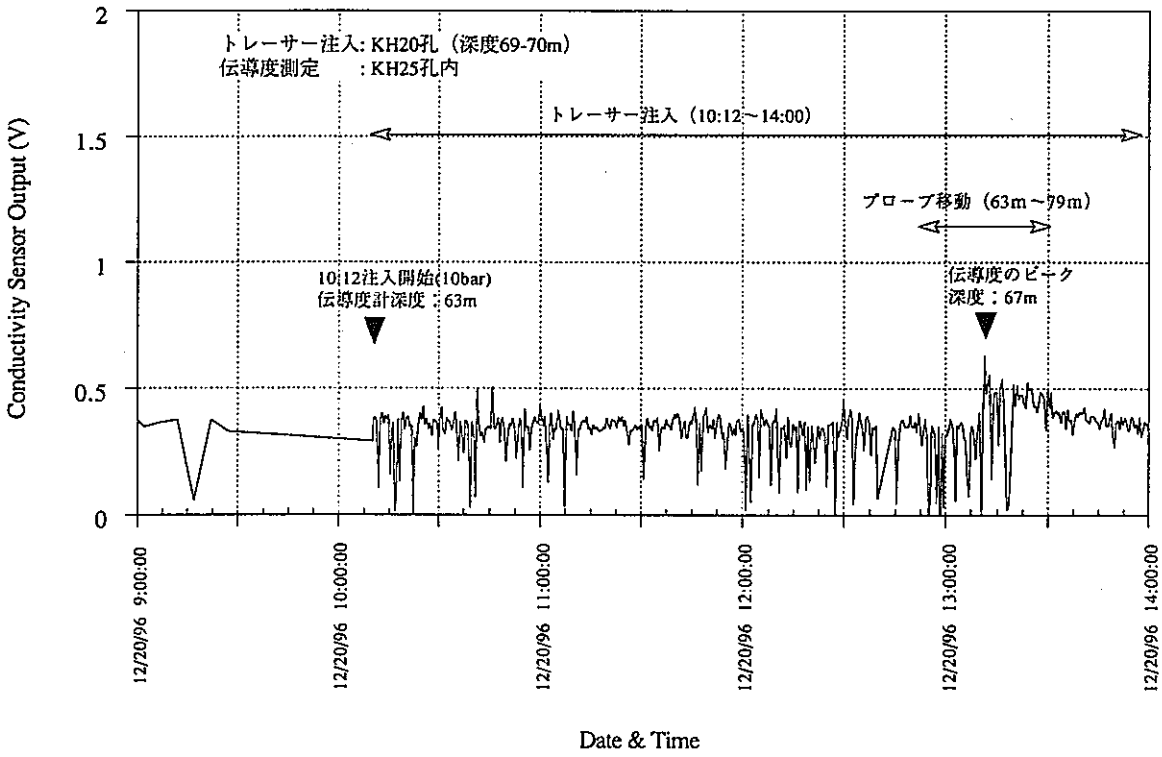


(a)　KH-24孔内伝導度

図-9.3.6　予備トレーサー試験結果（KH-20孔58～59m）

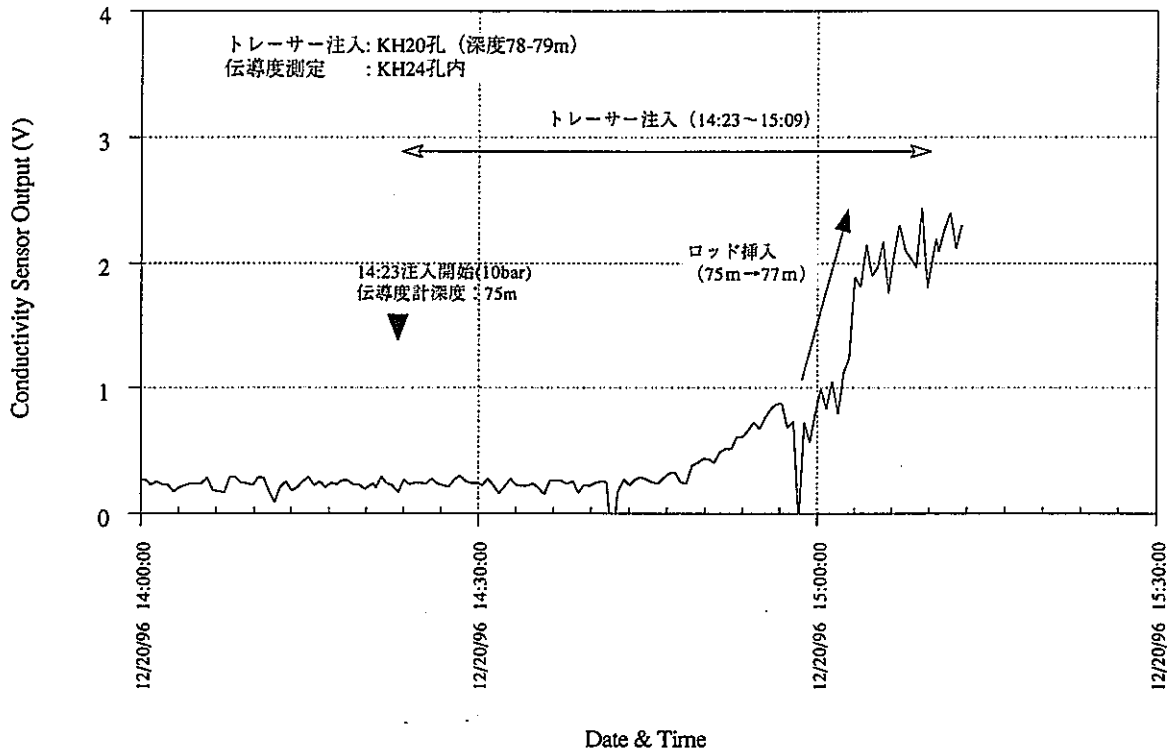


(a)　KH-24孔内伝導度

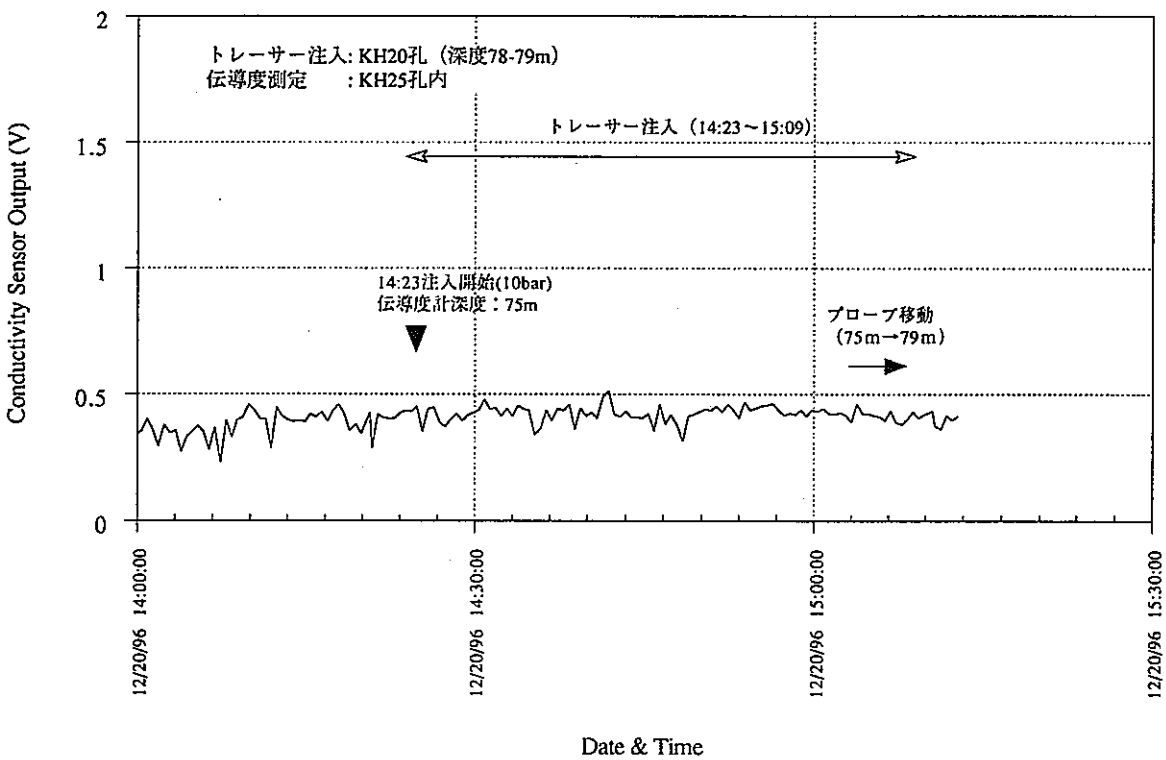


(b)　KH-25孔内伝導度

図-9.3.7　予備トレーサー試験結果（KH-20孔69～70m）

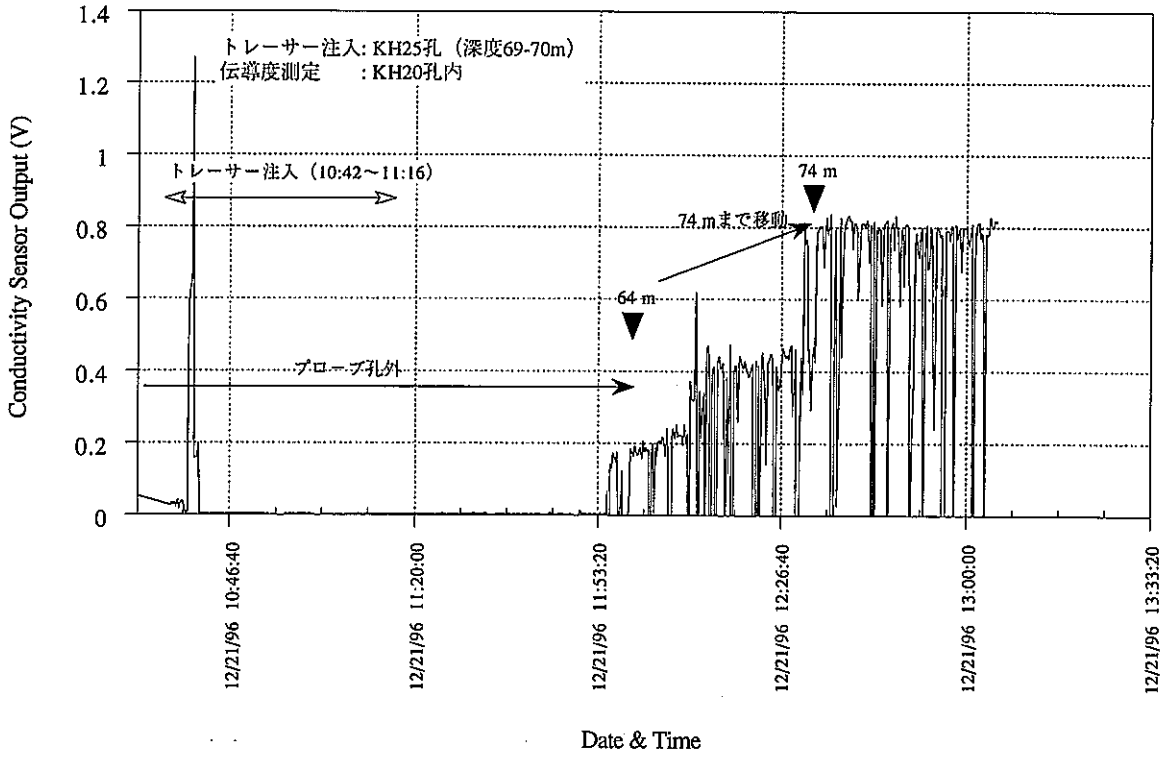


(a)　KH-24孔内伝導度

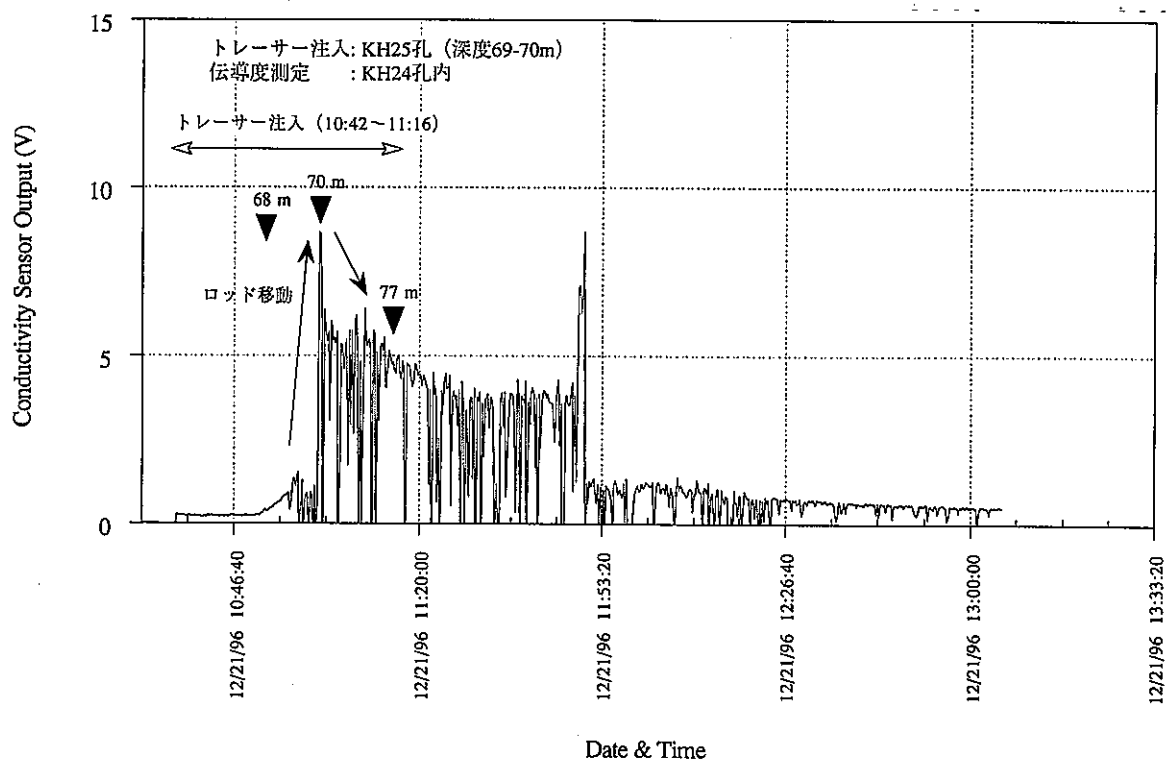


(b)　KH-25孔内伝導度

図-9.3.8　予備トレーサー試験結果（KH-20孔78～79m）



(a)　KH-20孔内伝導度



(b)　KH-24孔内伝導度

図-9.3.9　予備トレーサー試験結果（KH-25孔69～70m）

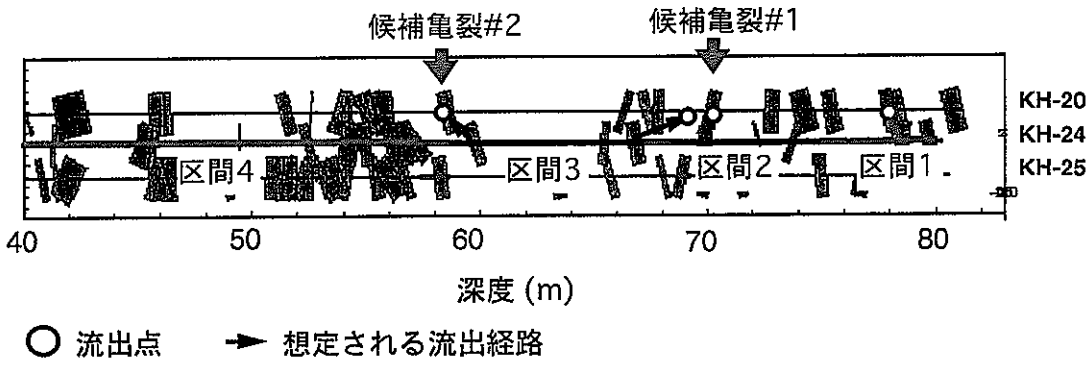


図-9.3.11　予備トレーサー試験結果（KH-24孔区間１～区間４）

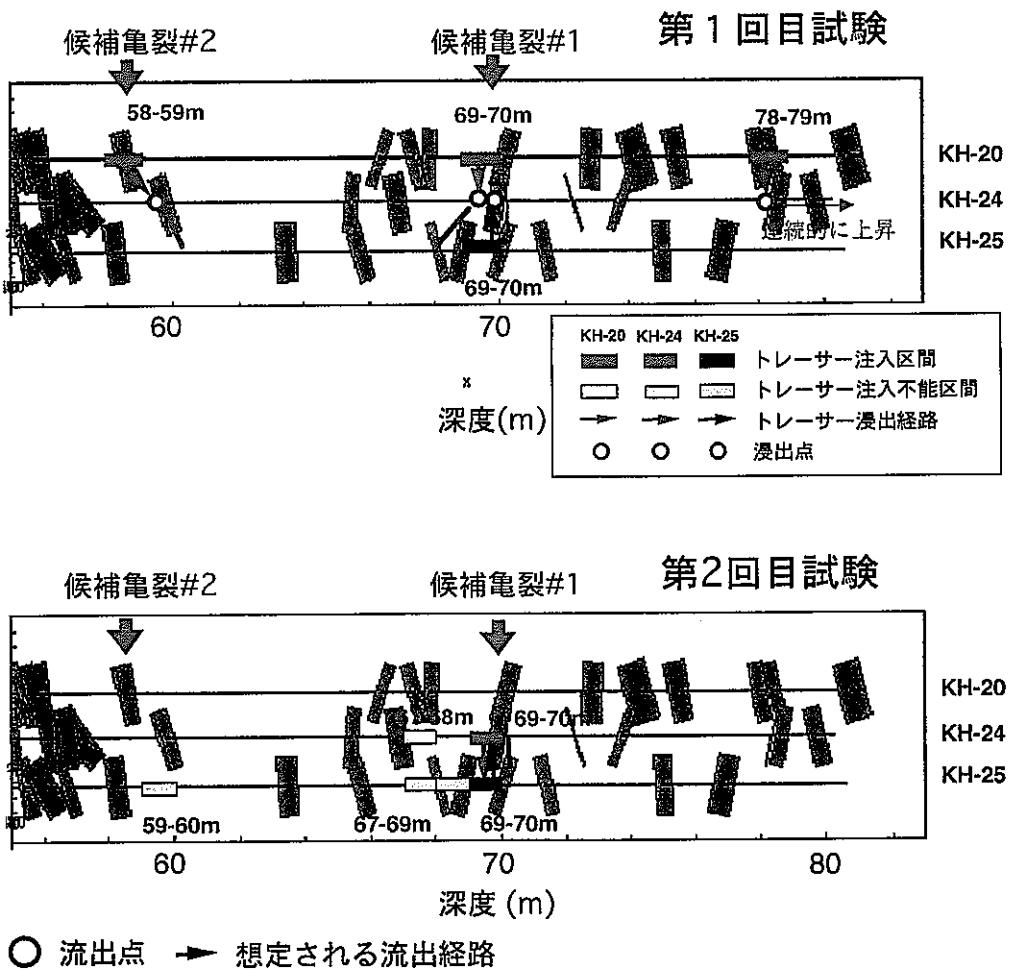


図-9.3.12　予備トレーサー試験結果（ダブルパッカー法）

9.4　まとめ

圧力干渉試験と予備的トレーサー試験から確認されたことを以下にまとめる。

(1)　圧力干渉試験により、以下のことが確認された。

KH-20孔：KH-20孔内の候補割れ目とKH-24, 25孔との連続性を確認

KH-21孔：KH-20, 24, 25孔との連続性を確認

KH-23孔：KH-23孔内のDゾーンとEゾーンの境界を確認

→パッカー配置へ反映

(2)　予備的トレーサー試験により、以下のことが確認された。

Target Fracture 1：KH-20、24、25孔間で連続する単一亀裂

Target Fracture 2：KH-20とKH-24孔間で連続する単一亀裂

ただし、KH-25孔へは連続しない。

以上の結果から、下記の３区間が試験対象区間として選定される。

F-Zone：Target Fracture 1

E-Zone：Target Fracture2

D-Zone：Fracure Zone（ただし、予備トレーサー試験は実施せず）

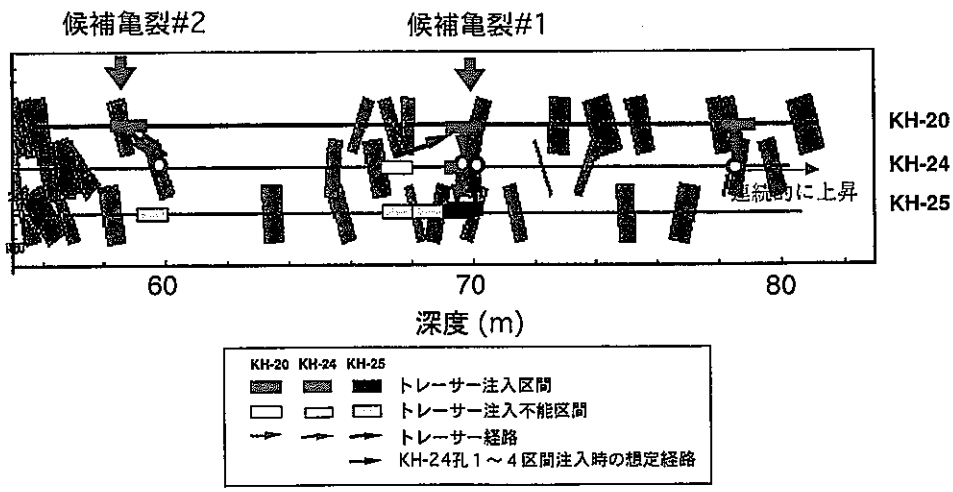


図-9.3.13　予備トレーサー試験の総合結果

10　KH-22孔およびKH-24孔へのパッカー設置

10.1　概要

KH-22孔、KH-24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した。ここでは、パッカー装置の概要と設置状況について述べた後、設置後の孔内水圧のビルドアップを示す。

10.2　装置の概要

パッカー装置は、前年度と同様のものであり、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。

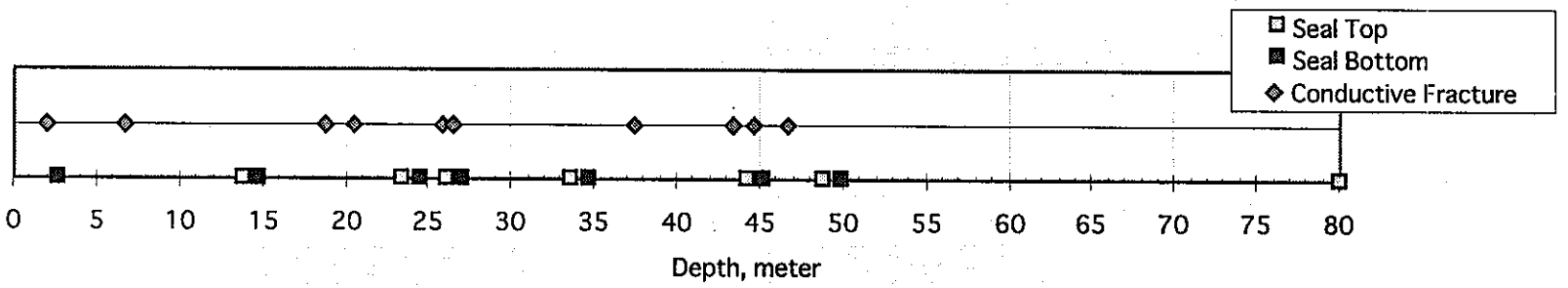
複数のパッカーを同一孔内に設置し、複数区間の水圧測定を行なうためには、それぞれのパッカーおよび測定区間からのチューブをロッドの中に通す必要がある。インラインアダプターは、その目的に用いるアダプターで、ロッドの内側から外側にチューブを取り出すためのものである。インラインアダプターには、２つのチューブ（パッカーライン、圧力ライン）が取り出せるようになっている。パッカー拡張および圧力ラインには、3/16インチのナイロンチューブを用いた。

10.3　パッカー設置状況

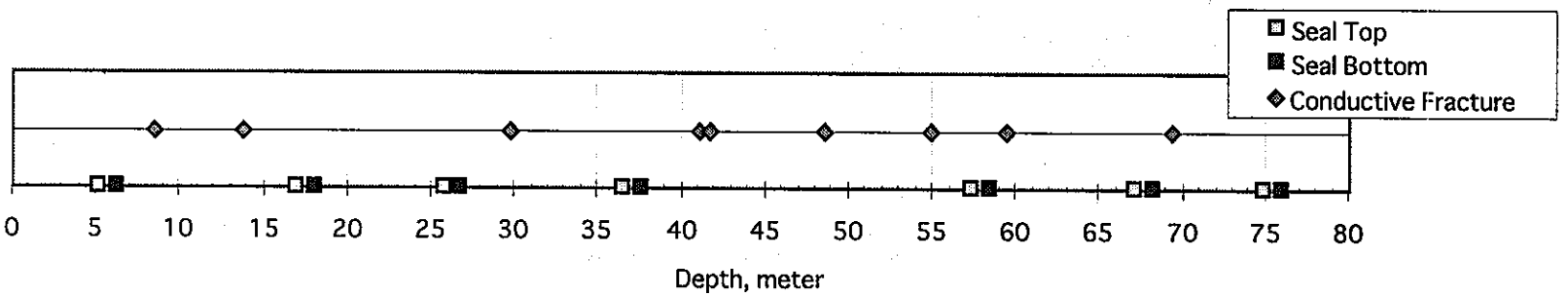
パッカー設置に当たっては、①主要な透水性亀裂を隔離し、個々の亀裂に作用している水圧を把握する、②新しい坑道とのみずみちの広がりを把握する、という目的を考慮して個々のパッカーの配置する必要がある。そこで、テンポラリーパッカーの設置位置は、削孔時の湧水量や水圧記録、またBTV観察や流量検層で明らかになった開口亀裂や透水性亀裂の深度をもとに検討した（図-10.3.1）。表-10.3.1にパッカー設置深度を示し、KH-22孔とKH-24孔のパッカー装置構成を表-10.3.2と表-10.3.3に示す。設置したパッカー数は両孔とも７個である。

表-10.3.1　パッカー装置設置深度

ゾーン番号		KH-22	KH-24
7	Top	2.680	6.080
	Bottom	13.780	16.880
6	Top	14.790	17.890
	Bottom	23.390	25.670
5	Top	24.400	26.680
	Bottom	26.000	36.450
4	Top	27.010	37.460
	Bottom	33.610	57.258
3	Top	34.620	58.268
	Bottom	44.220	67.024
2	Top	45.230	68.034
	Bottom	48.830	74.790
1	Top	49.840	75.800
	Bottom	80.500	80.500



(a) KH-22孔



(b) KH-24孔

図-10.3.1 パッカー設置位置の検討

表-10.3.2　パッカー装置構成（KH-22孔）

No	部品名	部品長（m）	累積長（m）	深度（m）
1	ボトムプラグ	0.200	0.200	48.690
2	＃1パッカー	1.610	1.810	50.100
3	ロッド	3.000	3.200	48.490
4	＃2パッカー	1.610	4.810	45.490
5	ロッド	3.000	7.810	43.880
6	ロッド	3.000	10.810	40.880
7	ロッド	3.000	13.810	37.880
8	＃3パッカー	1.610	15.420	34.880
9	ロッド	3.000	18.420	33.270
10	ロッド	3.000	21.420	30.270
11	＃4パッカー	1.610	23.030	27.270
12	ロッド	1.000	24.030	25.660
13	＃5パッカー	1.610	25.640	24.660
14	ロッド	3.000	28.640	23.050
15	ロッド	3.000	31.640	20.050
16	ロッド	2.000	33.640	17.050
17	＃6パッカー	1.610	35.250	15.050
18	ロッド	3.000	38.250	13.440
19	ロッド	3.000	41.250	10.440
20	ロッド	3.000	44.250	7.440
21	ロッド	1.000	45.250	4.440
22	ロッド	0.500	45.750	3.440
23	＃7パッカー	1.610	47.360	2.940
24	ロッド	1.000	48.360	1.330
25	ロッド	0.500	48.860	0.330
26	トッププラグ	0.200	49.060	-0.170
	口元突出長			-0.370

表-10.3.3　パッカー装置構成（KH-24孔）

	部品名	部品長さ (m)	ﾊﾟｯｶｰ#1ゴム先端からの距離(m)	実測距離 (m)	実測深度 (m)	誤差 (m)	孔口からの深度(m)*
		0.000		0.000	75.800		75.800
パッカー＃1	パッカーゴム	1.010	1.010				74.790
	パッカー金具	0.277	1.287				74.513
	ロッド	2.992	4.279				71.521
	ニップル	0.027	4.306				71.494
	ロッド	2.992	7.298				68.502
	ｲﾝﾗｲﾝｱﾀﾞﾌﾟﾀ	0.085	7.383				68.417
	パッカー金具	0.380	7.763	7.766	68.034	-0.003	68.037
パッカー＃2	パッカーゴム	1.010	8.773				67.027
	パッカー金具	0.277	9.050				66.750
	ロッド	2.992	12.042				63.758
	ニップル	0.027	12.069				63.731
	ロッド	2.992	15.061				60.739
	ニップル	0.027	15.088				60.712
	ロッド	1.991	17.079				58.721
	ｲﾝﾗｲﾝｱﾀﾞﾌﾟﾀ	0.085	17.164				58.636
	パッカー金具	0.380	17.544	17.532	58.268	0.012	58.256
パッカー＃3	パッカーゴム	1.010	18.554				57.246
	パッカー金具	0.277	18.831				56.969
	ロッド	2.992	21.823				53.977
	ニップル	0.027	21.850				53.950
	ロッド	2.992	24.842				50.958
	ニップル	0.027	24.869				50.931
	ロッド	2.992	27.861				47.939
	ニップル	0.027	27.888				47.912
	ロッド	2.992	30.880				44.920
	ニップル	0.027	30.907				44.893
	ロッド	2.992	33.899				41.901
	ニップル	0.027	33.926				41.874
	ロッド	1.991	35.917				39.883
	ニップル	0.027	35.944				39.856
	ロッド	1.991	37.935				37.865
	ｲﾝﾗｲﾝｱﾀﾞﾌﾟﾀ	0.085	38.020				37.780
	パッカー金具	0.380	38.400	38.340	37.460	0.060	37.400
パッカー＃4	パッカーゴム	1.010	39.410				36.390
	パッカー金具	0.277	39.687				36.113
	ロッド	2.992	42.679				33.121
	ニップル	0.027	42.706				33.094
	ロッド	2.992	45.698				30.102
	ニップル	0.027	45.725				30.075
	ロッド	2.992	48.717				27.083

	部品名	部品長さ (m)	ﾊﾟｯｶｰ#1ゴム先端からの深度(m)	実測距離 (m)	実測深度 (m)	誤差 (m)	孔口からの深度(m)*
	ｲﾝﾗｲﾝｱﾀﾞﾌﾟﾀ	0.085	48.802				26.998
	パッカー金具	0.380	49.182	49.120	26.680	0.062	26.618
パッカー＃5	パッカーゴム	1.010	50.192				25.608
	パッカー金具	0.277	50.469				25.331
	ロッド	2.992	53.461				22.339
	ニップル	0.027	53.488				22.312
	ロッド	2.992	56.480				19.320
	ニップル	0.027	56.507				19.293
	ロッド	0.992	57.499				18.301
	ｲﾝﾗｲﾝｱﾀﾞﾌﾟﾀ	0.085	57.584				18.216
	パッカー金具	0.380	57.964	57.910	17.890	0.054	17.836
パッカー＃6	パッカーゴム	1.010	58.974				16.826
	パッカー金具	0.277	59.251				16.549
	ロッド	2.992	62.243				13.557
	ニップル	0.027	62.270				13.530
	ロッド	2.992	65.262				10.538
	ニップル	0.027	65.289				10.511
	ロッド	2.992	68.281				7.519
	ニップル	0.027	68.308				7.492
	ロッド	0.992	69.300				6.500
	ｲﾝﾗｲﾝｱﾀﾞﾌﾟﾀ	0.085	69.385				6.415
	パッカー金具	0.380	69.765	69.720	6.080	0.045	6.035
パッカー＃7	パッカーゴム	1.010	70.775				5.025
	パッカー金具	0.277	71.052				4.748
	ロッド	2.992	74.044				1.756
	ニップル	0.027	74.071				1.729
	ロッド	1.991	76.062				-0.262
	ニップル	0.027	76.089				-0.289
	ロッド	0.200	76.289				-0.489
	ニップル	0.027	76.316	76.200	-0.400	0.116	-0.516
		-0.400					

*孔口からの深度は、各部品の孔口側端の位置

10.4　パッカー設置直後の圧力ビルドアップ

(1)　KH-22孔パッカー設置直後の圧力ビルドアップ

図-10.4.1～図-10.4.5に、KH-22孔パッカー設置直後の区間圧および既存孔（KH-19～21孔およびKH-23孔、KH-25孔）内の水圧変化を示す。

(2)　KH-24孔パッカー設置直後の圧力ビルドアップ

図-10.4.7～図-10.4.13に、KH-24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-22孔、KH-23孔およびKH-21孔）内の水圧変化を示す。

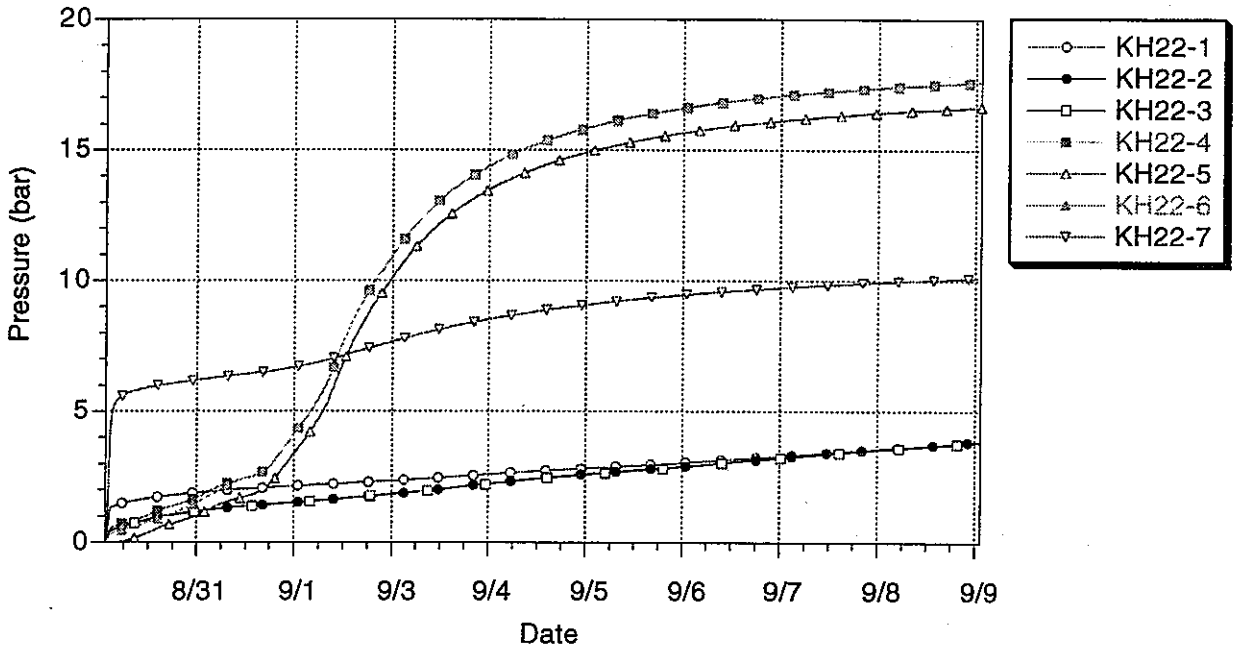


図-10.4.1　KH-22孔テンポラリーパッカー設置直後の水圧（KH-22孔）

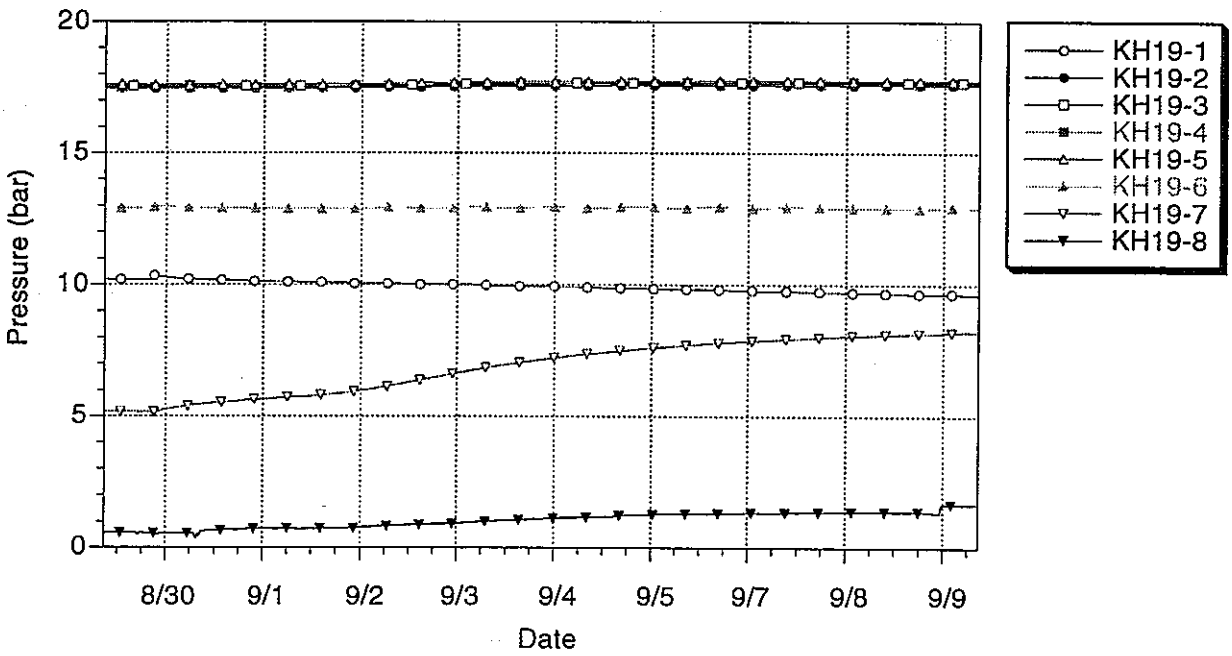


図-10.4.2　KH-22孔テンポラリーパッカー設置直後の水圧（KH-19孔）

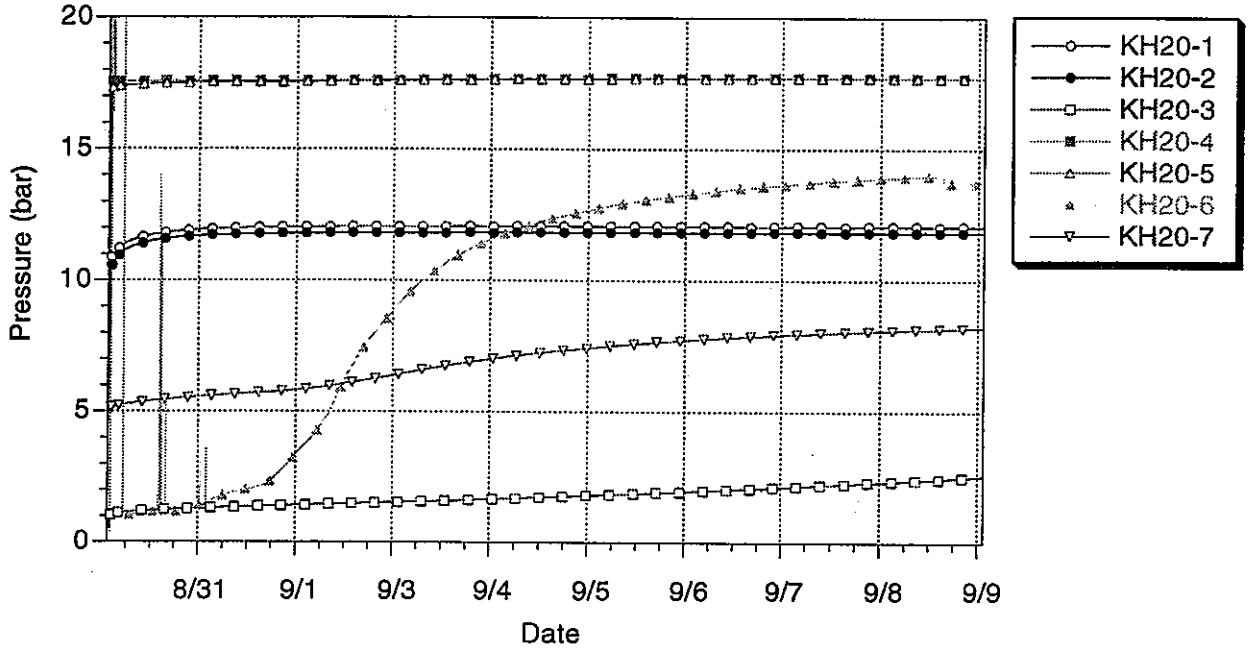


図-10.4.3　KH-22孔テンポラリーパッカー設置直後の水圧（KH-20孔）

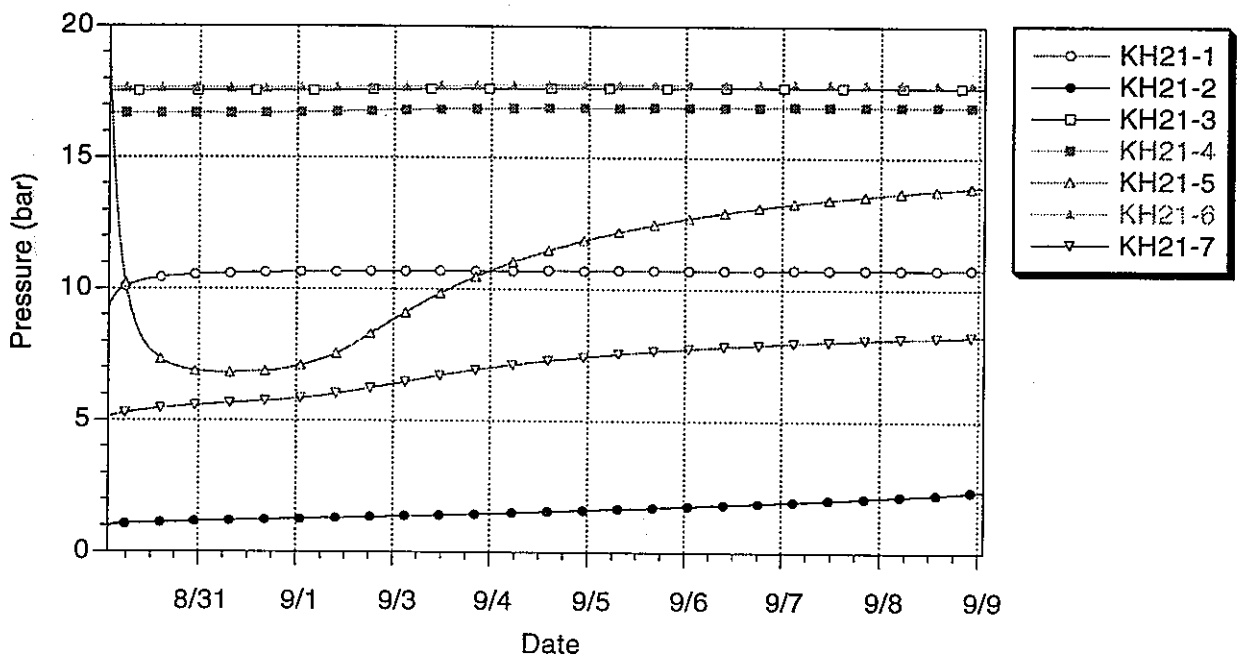


図-10.4.4　KH-22孔テンポラリーパッカー設置直後の水圧（KH-21孔）

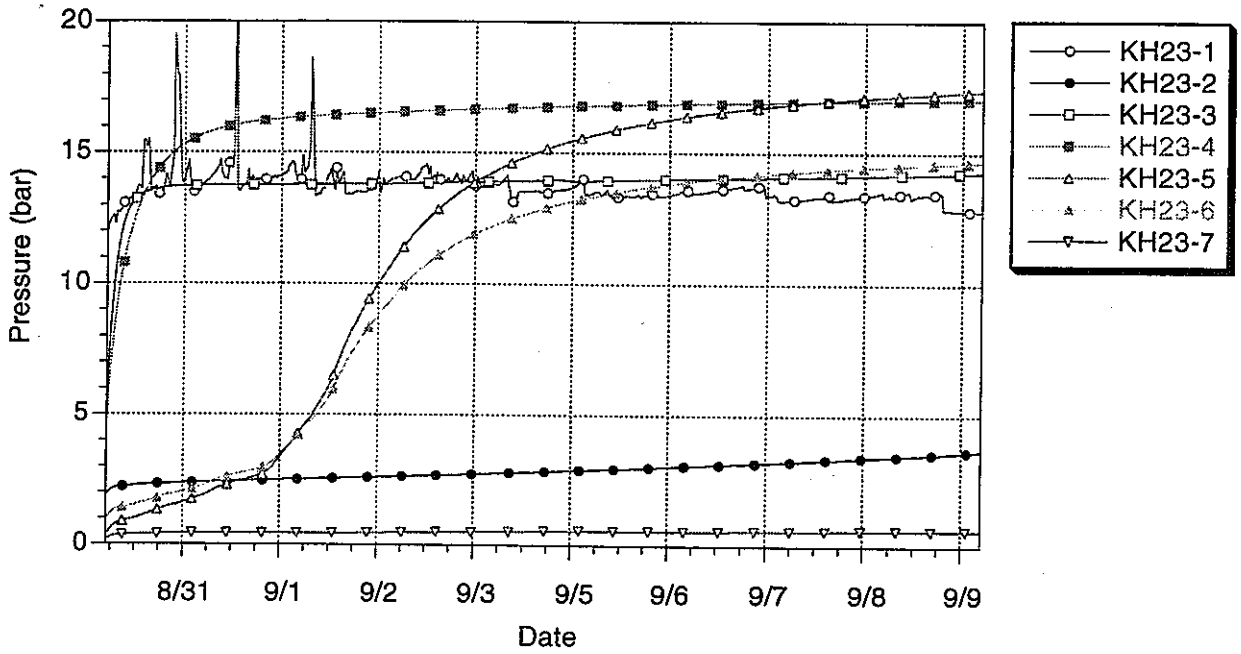


図-10.4.5　KH-22孔テンポラリーパッカー設置直後の水圧（KH-23孔）

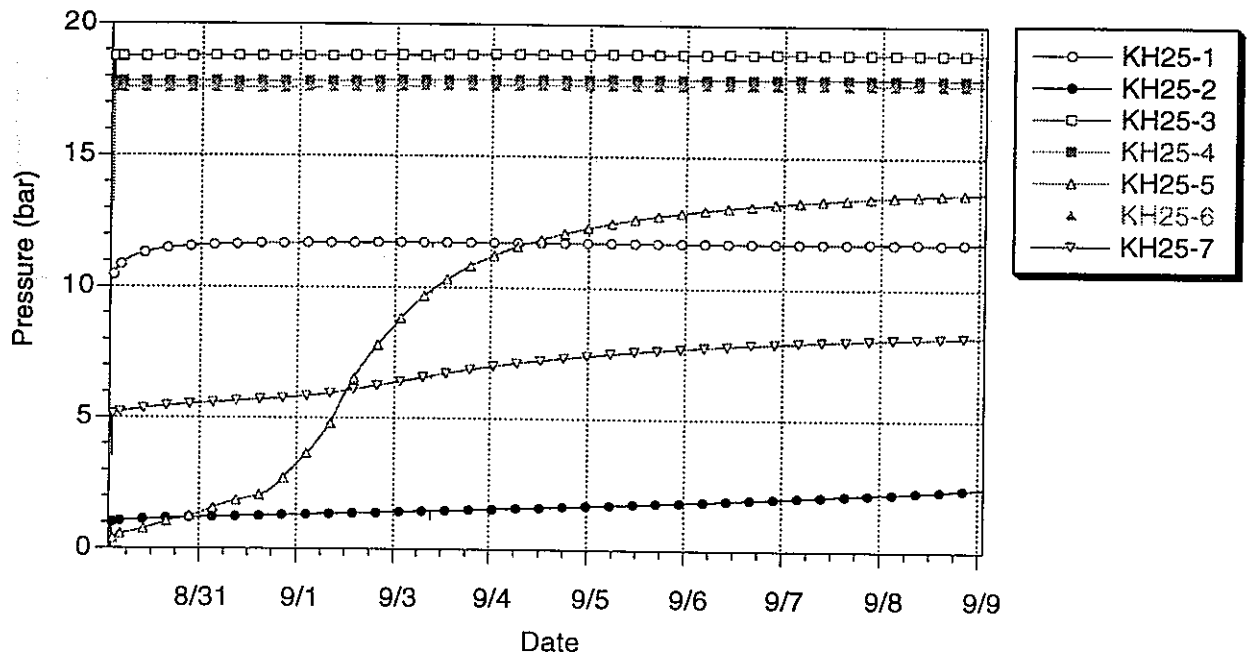


図-10.4.6　KH-22孔テンポラリーパッカー設置直後の水圧（KH-25孔）

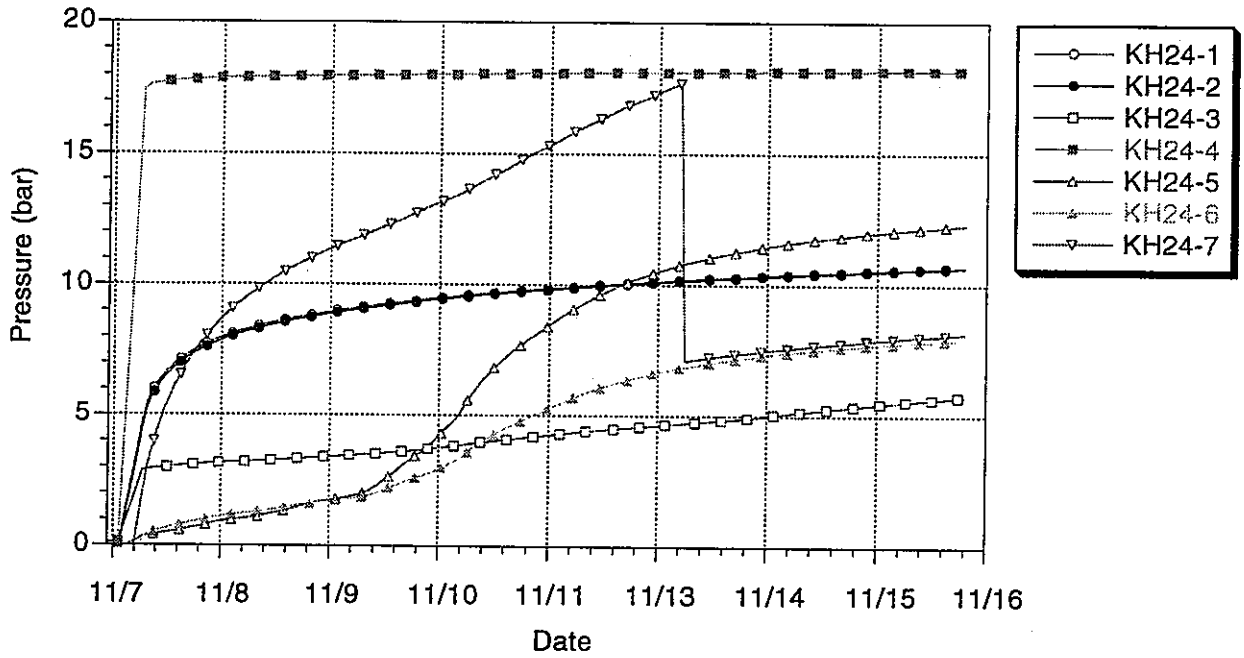


図-10.4.7　KH-24孔テンポラリーパッカー設置直後の水圧（KH-24孔）

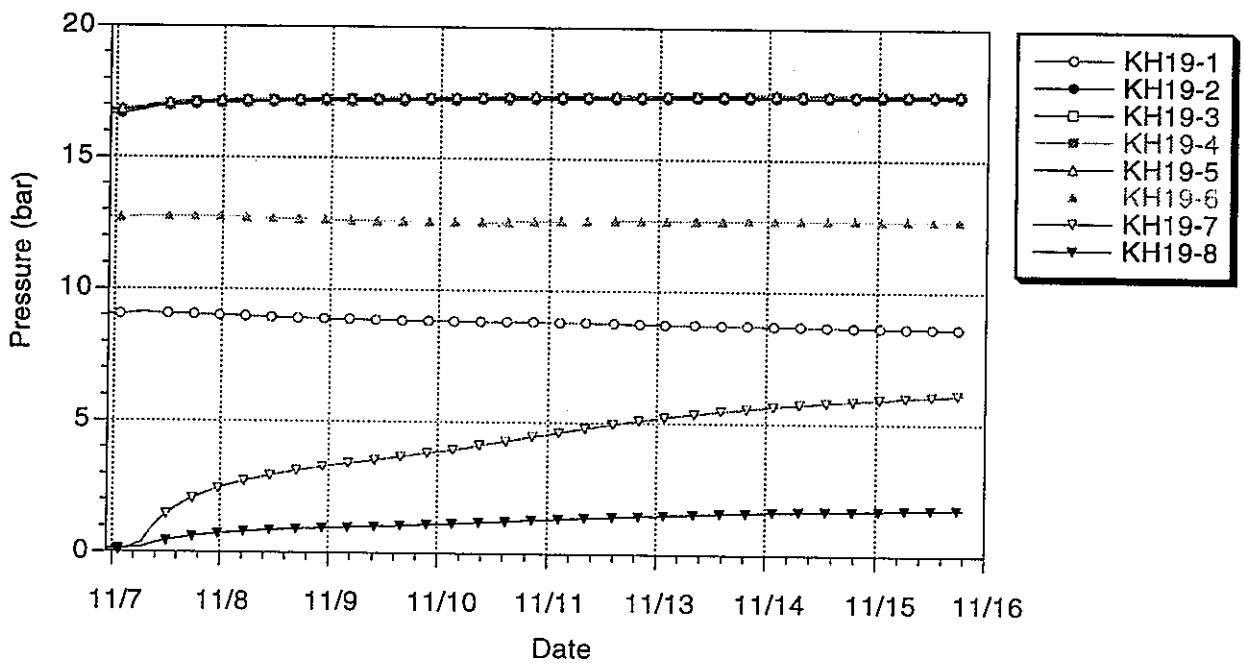


図-10.4.8　KH-24孔テンポラリーパッカー設置直後の水圧（KH-19孔）

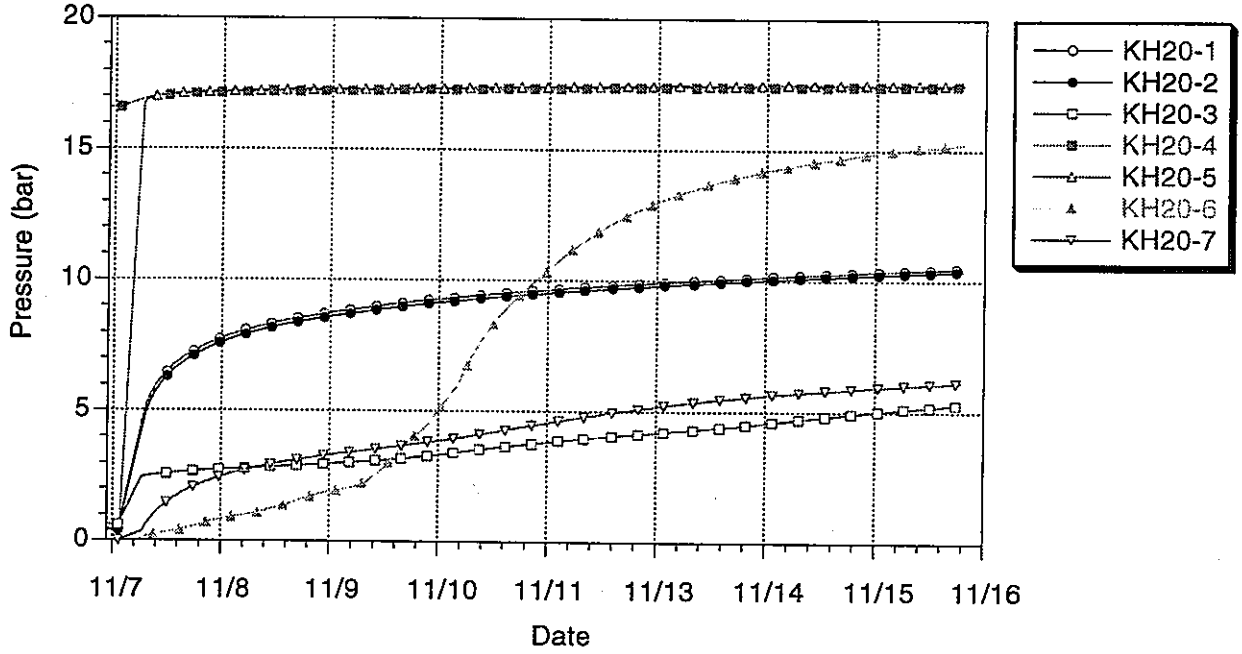


図-10.4.9　KH-24孔テンポラリーパッカー設置直後の水圧（KH-20孔）

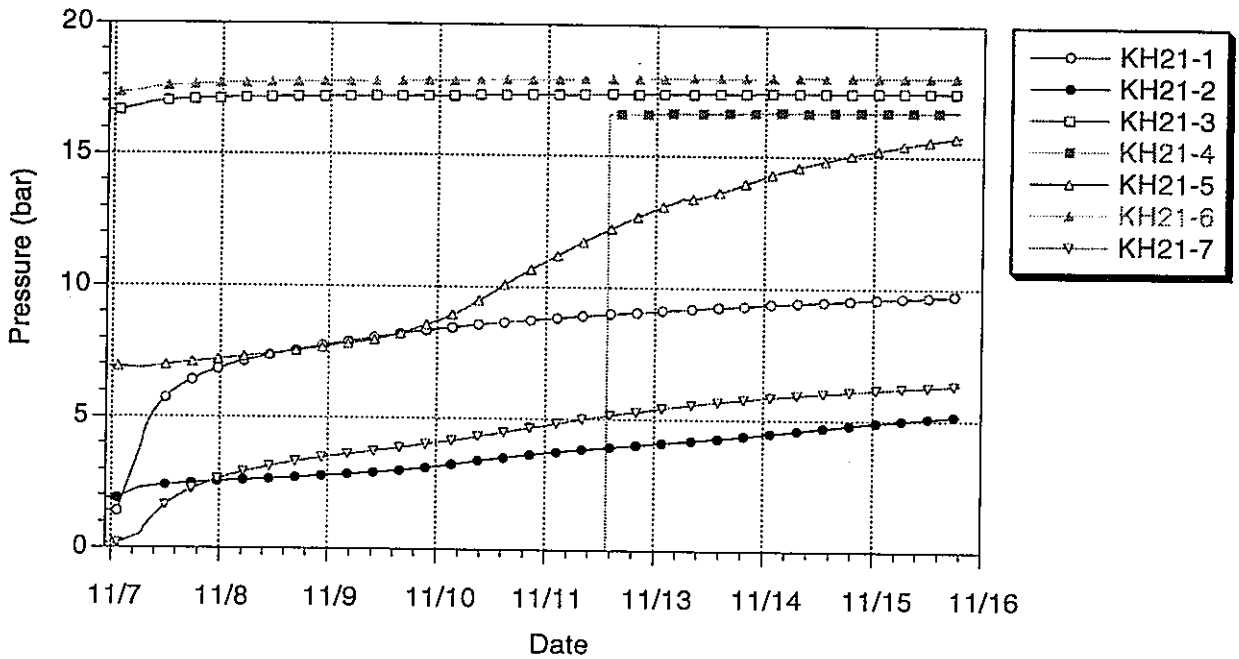


図-10.4.10　KH-24孔テンポラリーパッカー設置直後の水圧（KH-21孔）

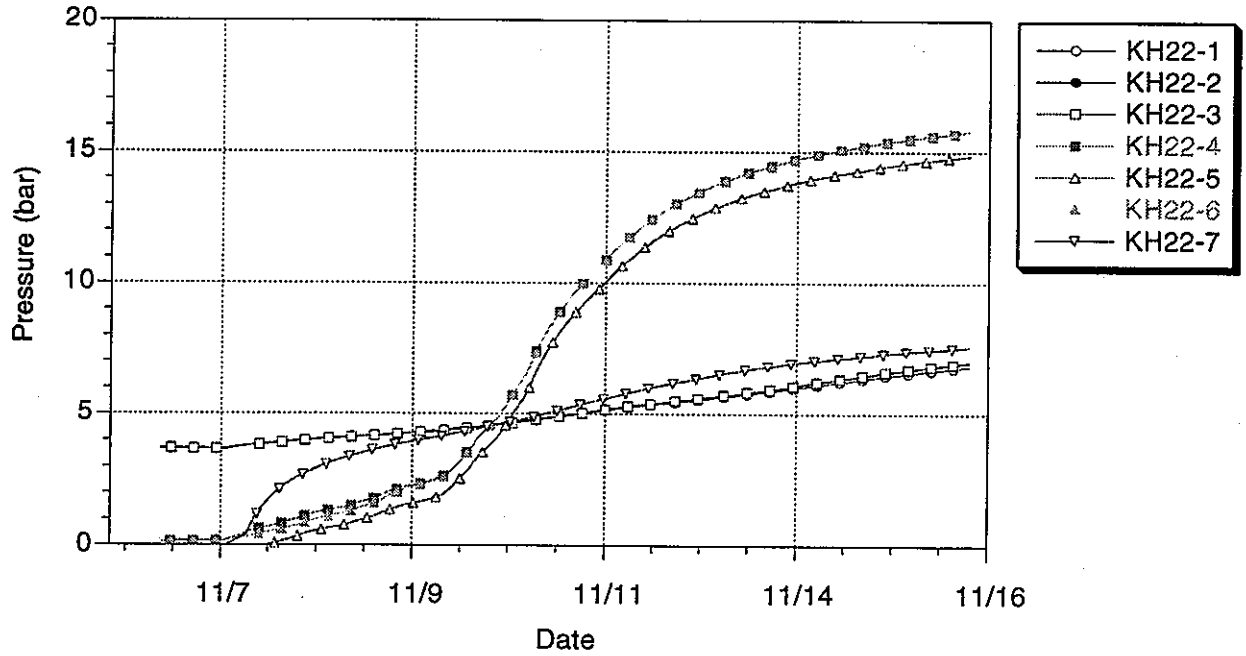


図-10.4.11　KH-24孔テンポラリーパッカー設置直後の水圧（KH-22孔）

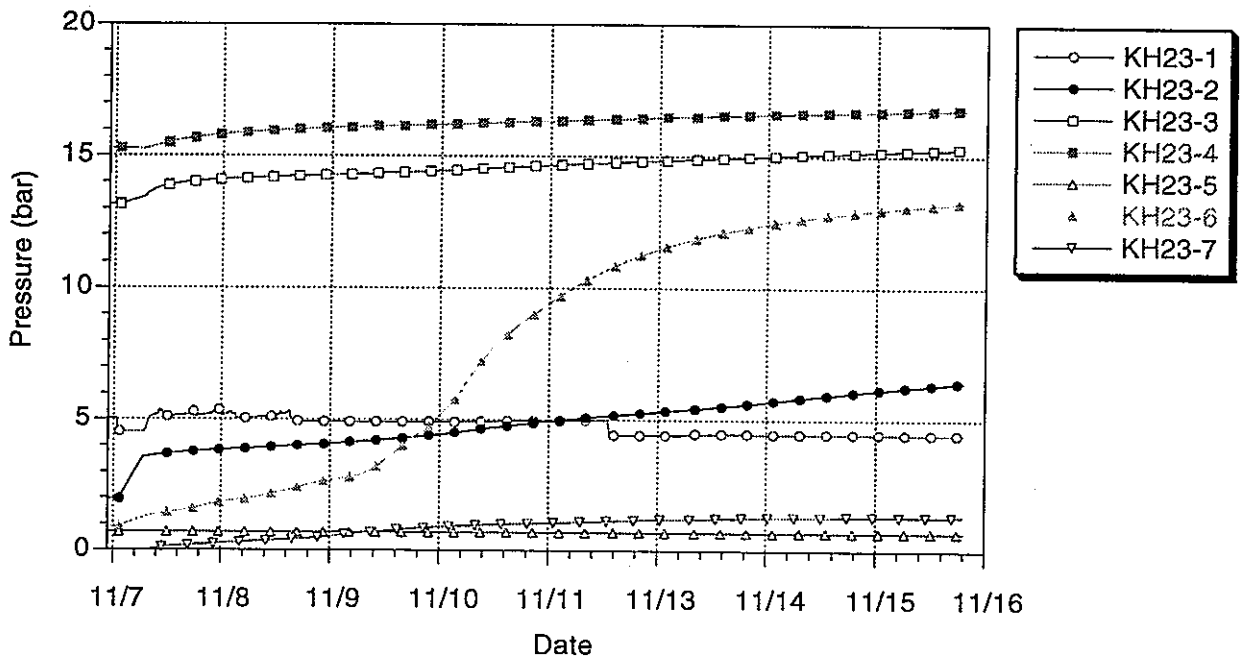


図-10.4.12　KH-24孔テンポラリーパッカー設置直後の水圧（KH-23孔）

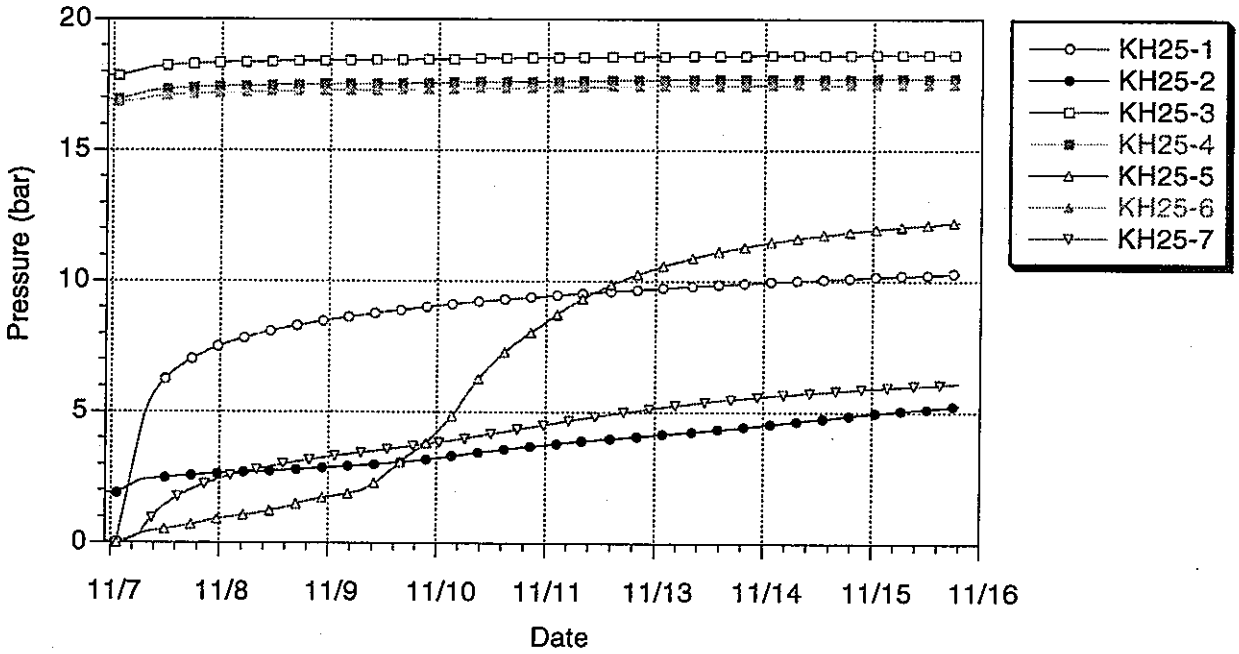


図-10.4.13　KH-24孔テンポラリーパッカー設置直後の水圧（KH-25孔）

11　トレーサー試験用マルチパッカーシステムへの更新

11.1　概要

平成８年度に実施が計画されているトレーサー試験のために、それまで各孔に設置してあったパッカーを引き抜き、伝導度計、温度計を加えたパッカーシステムを再設置し、間隙水圧の測定を開始した。今年度までに実施した試験・調査結果（各ボーリング孔でのＢＴＶ観察、流量検層により明らかになった開口亀裂や透水性亀裂位置、削孔時の湧水量や水圧応答、水圧記録など）を総合することにより、試験対象区域内の水理地質構造がかなり明らかになり、これに基づいて、トレーサー試験の対象とする亀裂・亀裂帯を選定した（１２章にて詳述）。トレーサー試験を行うためには、それらの亀裂・区間を分離できるようなパッカー配置に変更するとともに、伝導度計、温度計やトレーサー注入用配管を新たにつけ加えることが必要となる。そこで、全てのボーリング孔において従来のパッカーシステムを引き抜き、新たなパッカーシステムの設置を行った。

11.2　パッカーシステムの構成

マルチパッカーシステムは、パッカー、ロッド、インスツルメントカプリング（温度、濃度センサー装置）、圧力パネルおよびパッカーパネル等からなる。

パッカー装置の設計製作にあたっては、下記のような点に特に配慮してある。

①透水試験およびトレーサー試験時における孔内貯留効果を少なくするために、”デッドボリューム”を小さくする。そこで、試錐孔径76mmに対し、ロッド、instrument couplingを含め、外径をすべて70mmに統一した。また、両端固定パッカーとし、パッカー拡張時の体積変化を出来るだけ少なくする。

②多数の配管およびケーブルが通るように、ロッド、パッカーの内径を大きくする（最小内径38mm）。

③設置の際の組み合わせに柔軟性を持たせるために、ロッド、パッカーおよびインスツルメントカプリングの継手の規格を統一した。

④配管やケーブルのねじれ等によるトラブルを避けるために、o-ringとボルト締め方式による継手構造を採用した。これにより、接続の際に継手部を回転する必要がなくなり、ねじれ等のの問題点が解消する。

パッカーの構造を、図-8.4.1に示す。また、外観を写真-8.4.1に示す。ゴムエレメントの長さは、1016mmである。各パッカーには、パッカー拡張ライン（1/4インチステンレスチューブ）、圧力測定ライン（1/4インチステンレスチューブ）、注排水ライン（1/4インチステンレスチューブ）が各１本づつついている。これらの配管は、ロッド内の空間を効率的に用いるために、1/8インチ（パッカー拡張ライン、圧力測定ライン）および3/16インチ（注排水ライン）のステンレス配管にそれぞれ接続する。ゴムエレメント以外の金属部は、ステンレス製である。全てのパッカーは、出荷前に工場試験を実施し、70kg/cm2の耐圧性能が確認されている。

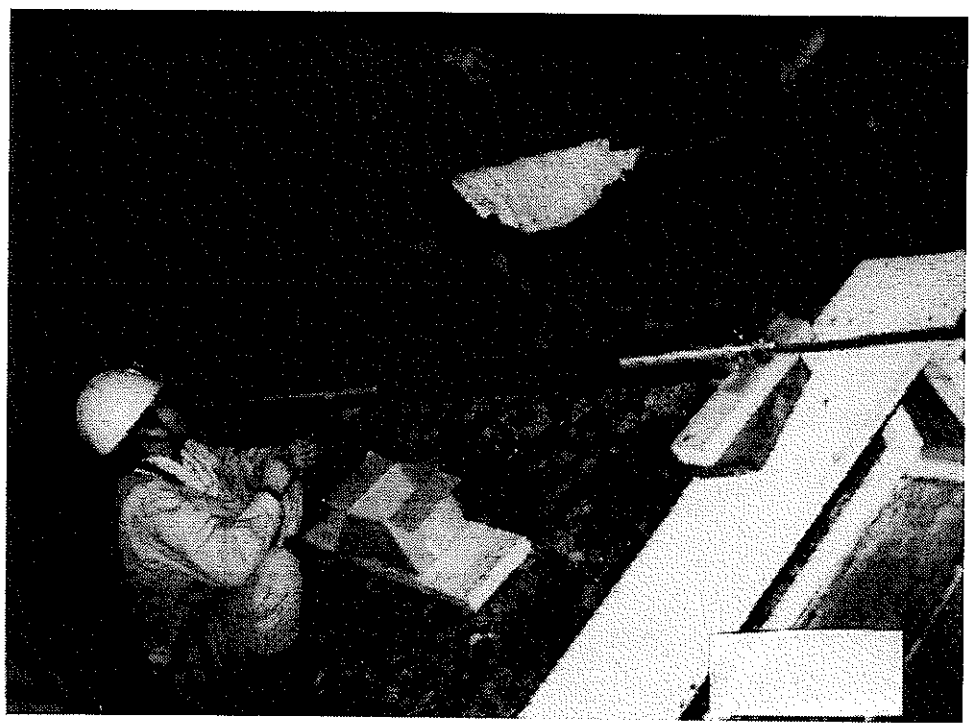


写真-11.2.1　パーマネントパッカー

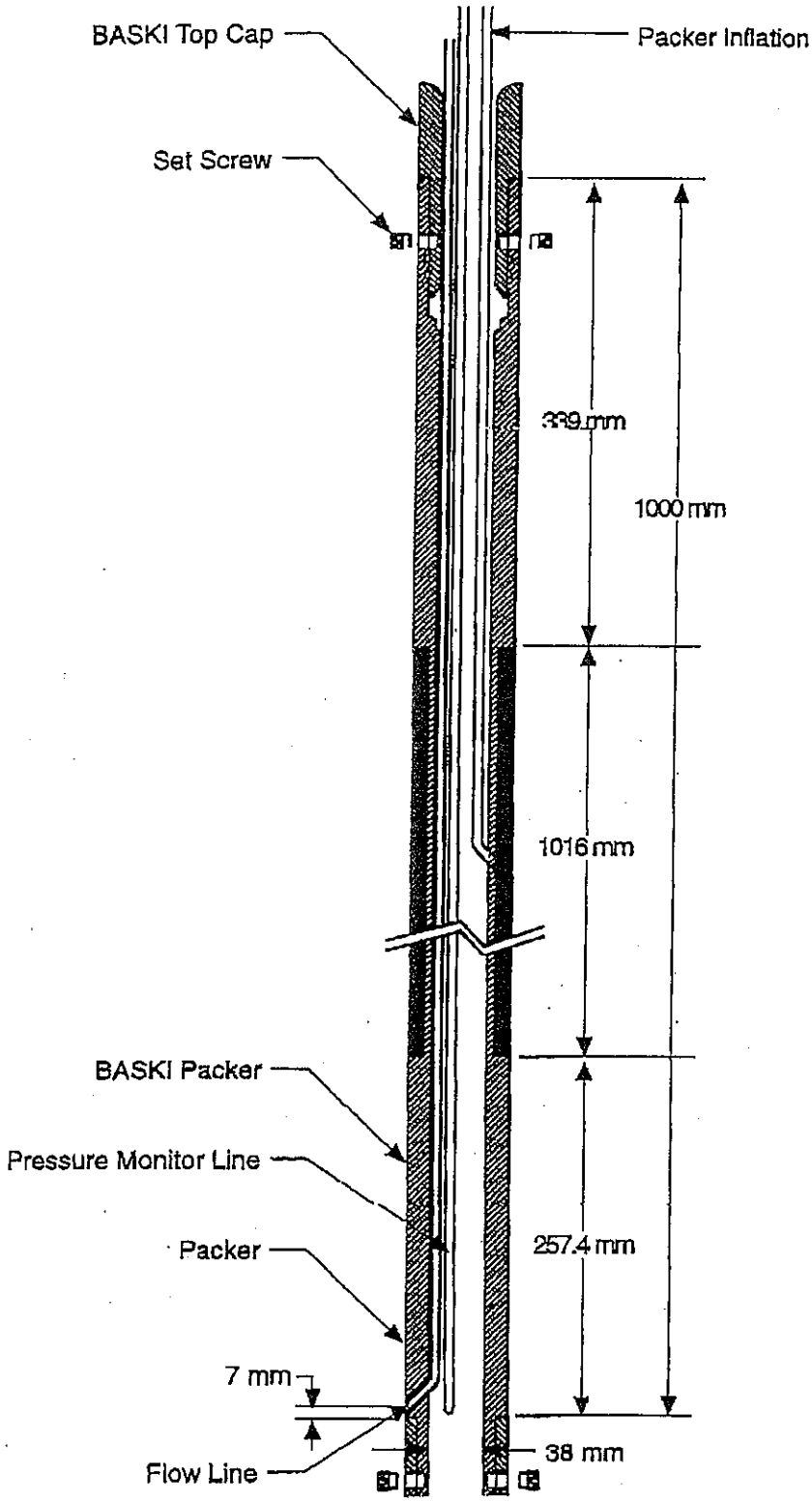


図-11.2.1　パーマネントパッカーの構造

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

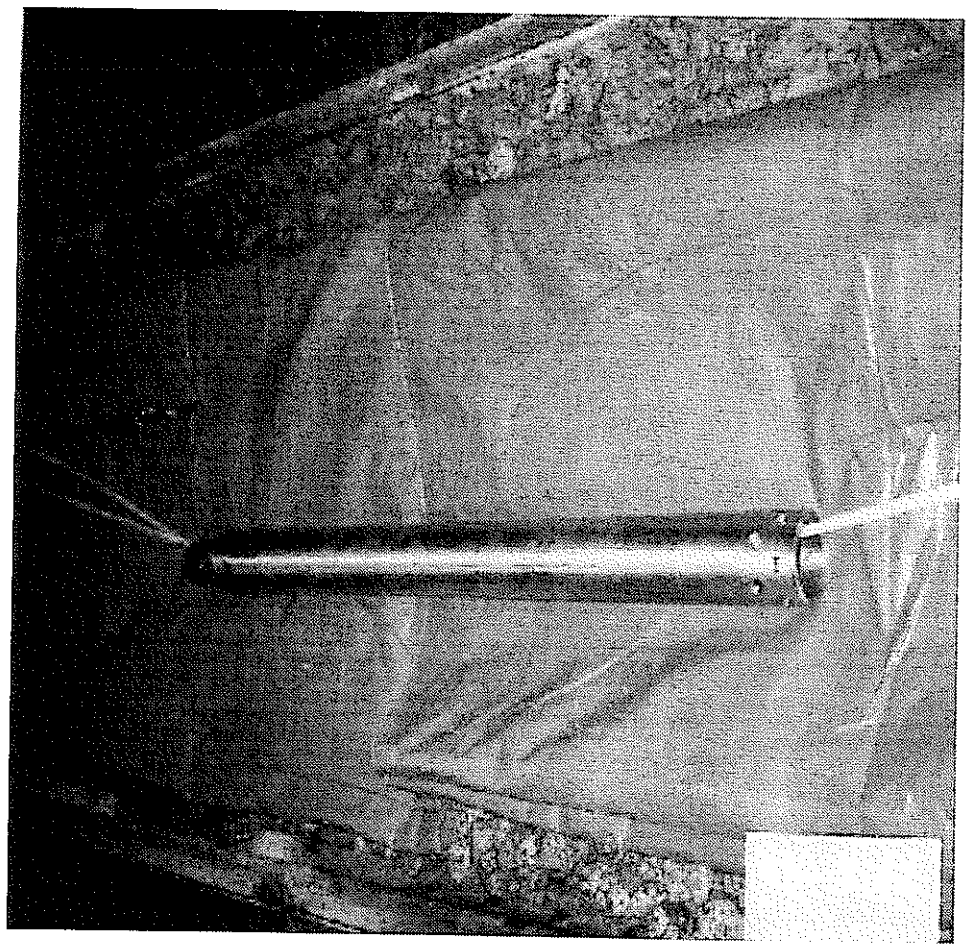


写真-11.2.2　ロッド

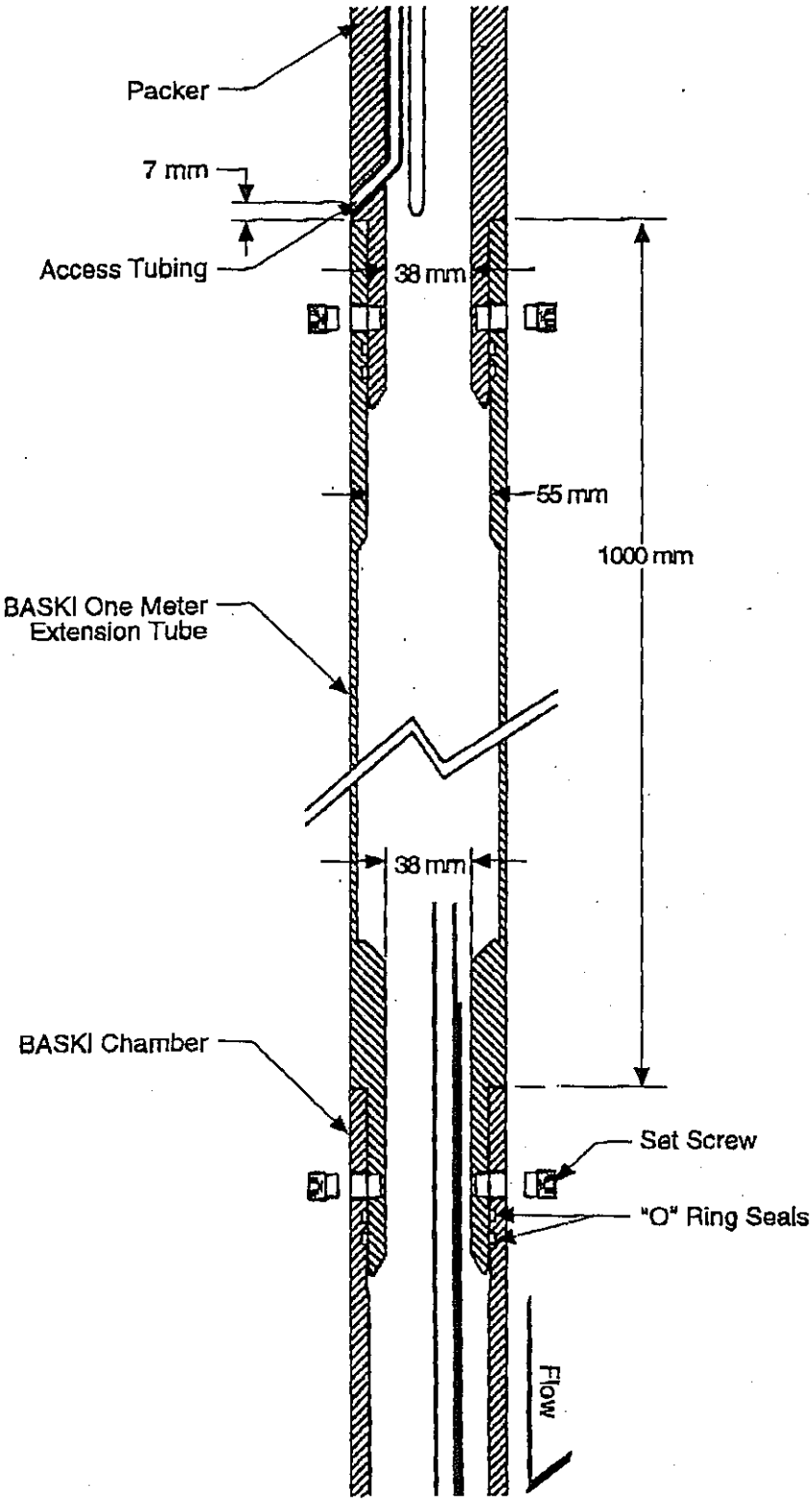


図-11.2.2　ロッドの構造

インスツルメントカップリングの構造を、図-8.4.2に示す。また、外観を写真-8.4.3に示す。インスツルメントカップリングは、透水試験およびトレーサー試験の主対象となる区間に設置されるもので、温度センサー、伝導度センサーおよび注排水ラインを備えている。インスツルメントカップリングには、3/8インチステンレス管の注排水ラインが取り付けてあり、5/16インチの銅配管で孔外のパネルまで取りだす。伝導度センサーは、図-8.4.3に示すように、注排水ラインのポートのすぐ脇に取り付けられている。センサーには、セル定数1cm^{2}の炭素電極を用いる。また、伝導度センサーに隣接して、1/32インチの熱電対を配置した。比較的長いケーブル長に対しても対応できるように、抵抗の小さなT型熱電対を用いている。伝導度センサーおよび熱電対は、ステンレス製の容器内に埋め込み、インスツルメントカップリングへは、O-ringのシールしながらネジ留めで取り付ける構造になっている。

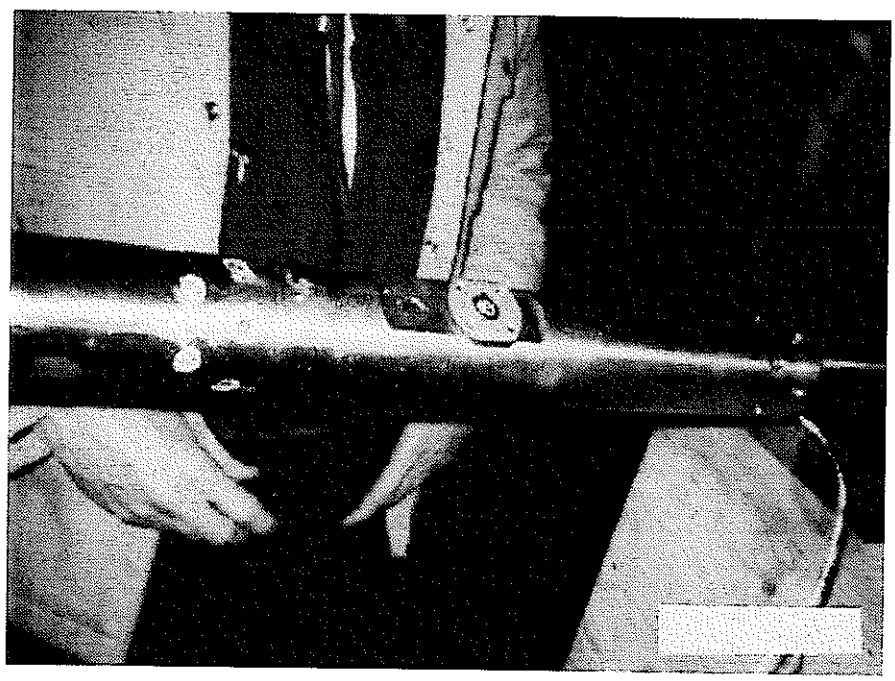


写真-11.2.3　インスツルメントカップリング

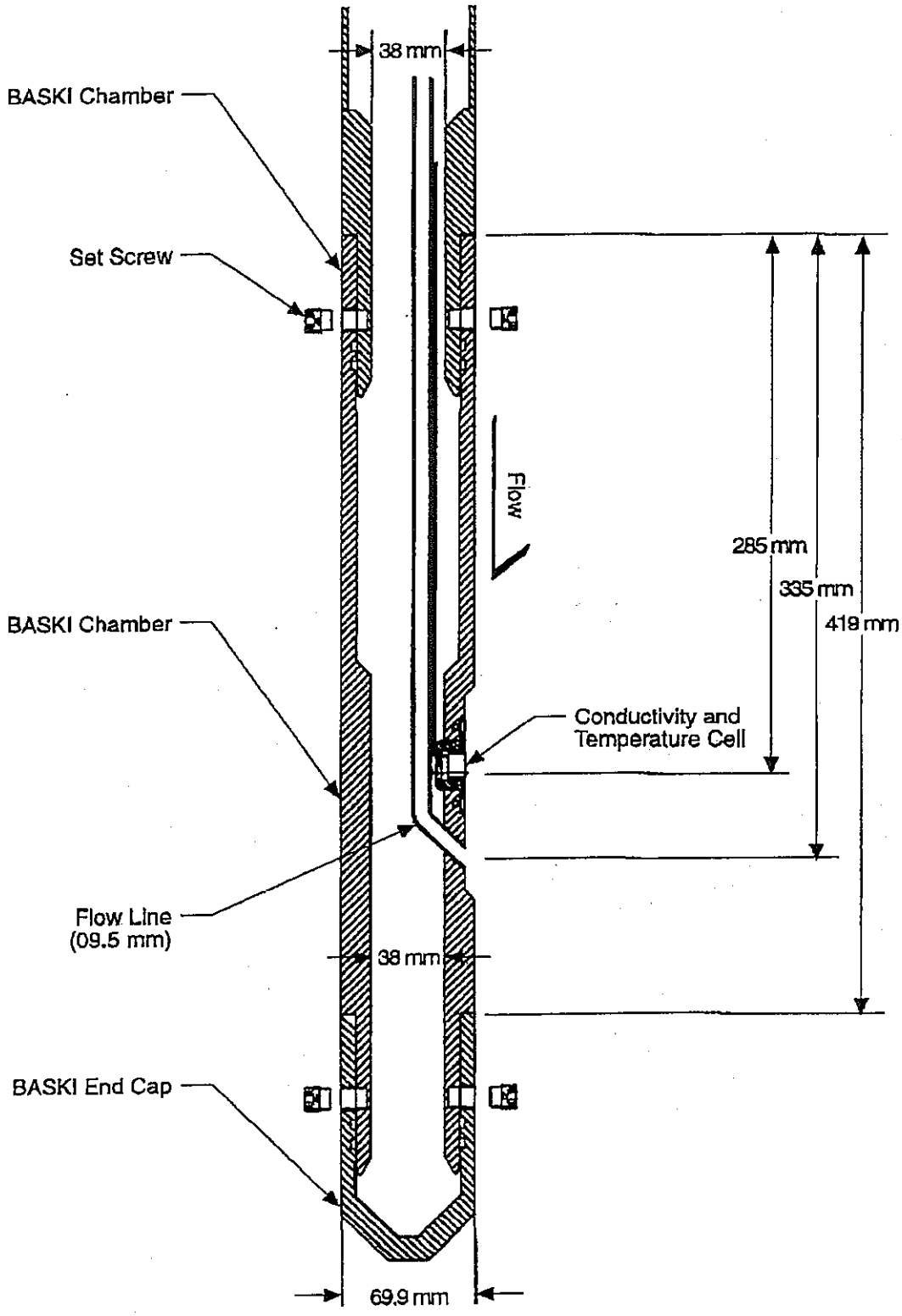


図-11.2.3　インスツルメントカップリングの構造

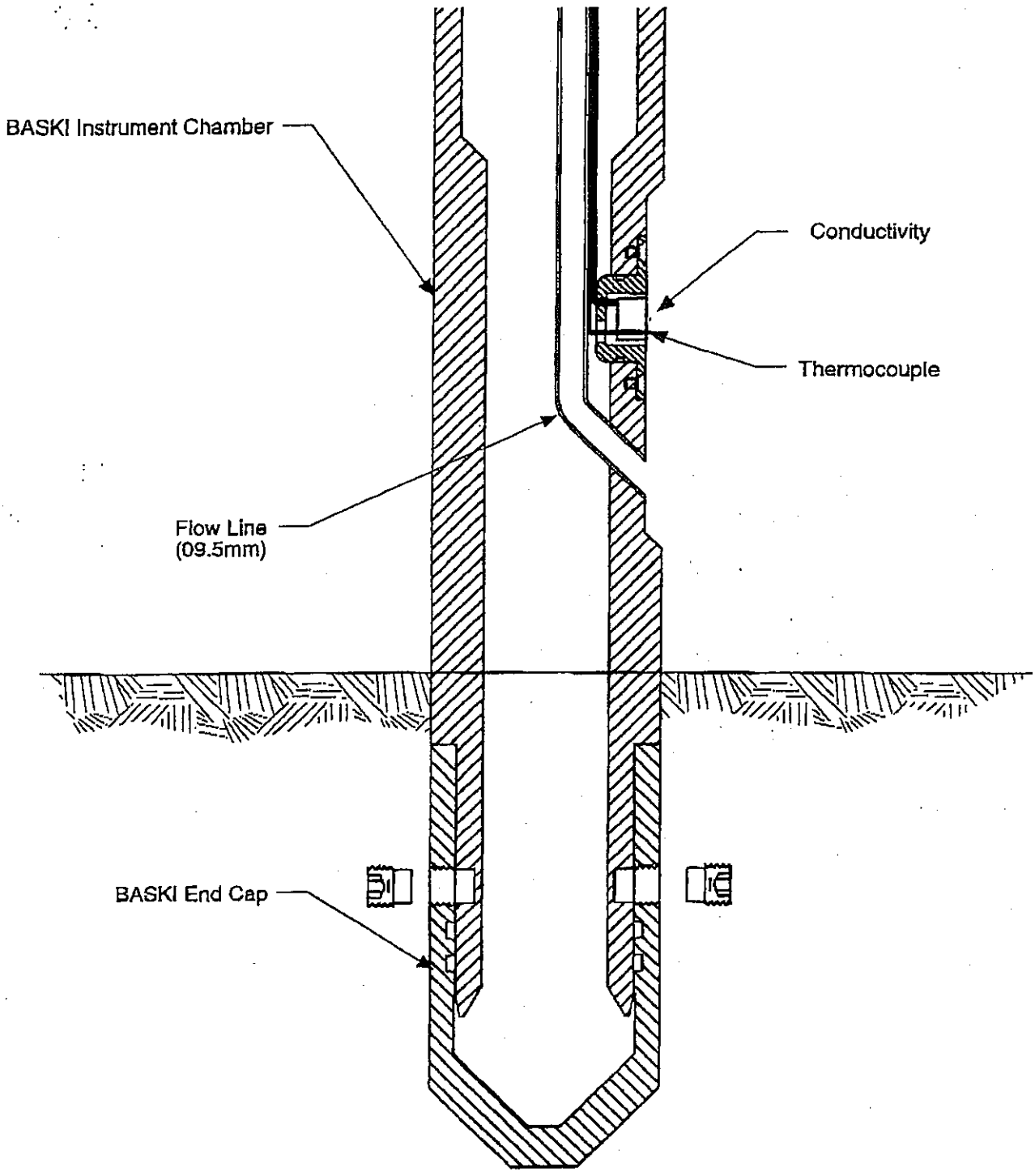


図-11.2.4　インスツルメントカップリングの構造（拡大）

水圧計測用パネルは、平成６年度にKH-19、KH-20孔用、平成７年度にKH-21、23、25孔用を設置してきたが、本年度は新規掘削分のKH-22孔とKH-24孔用の２つのパネルを新たに設置した。水圧計測パネルを写真-11.2.1に示す。平成６年度では写真のタイプを用いたが、平成７年度以降は別のタイプを用いている。いずれの水圧計測パネルも、パッカー圧表示用パネルと区間圧力表示用パネルからなる。パッカー圧表示用パネルと区間圧力表示用パネルは、基本的に同じものであるが、区間圧力表示用パネルには、トランスヂューサーが取り付けられるようになっている。一つのパネルには、８箇所（平成６年度）または１６箇所（平成７年度以降）の区間またはパッカーの圧力が表示できるようになっており、バルブ操作により、個々の圧力計に影響を与えずに、配管の接続、取外しが出来るようになっている。このパネルは、センサーの校正にも用いることができる。

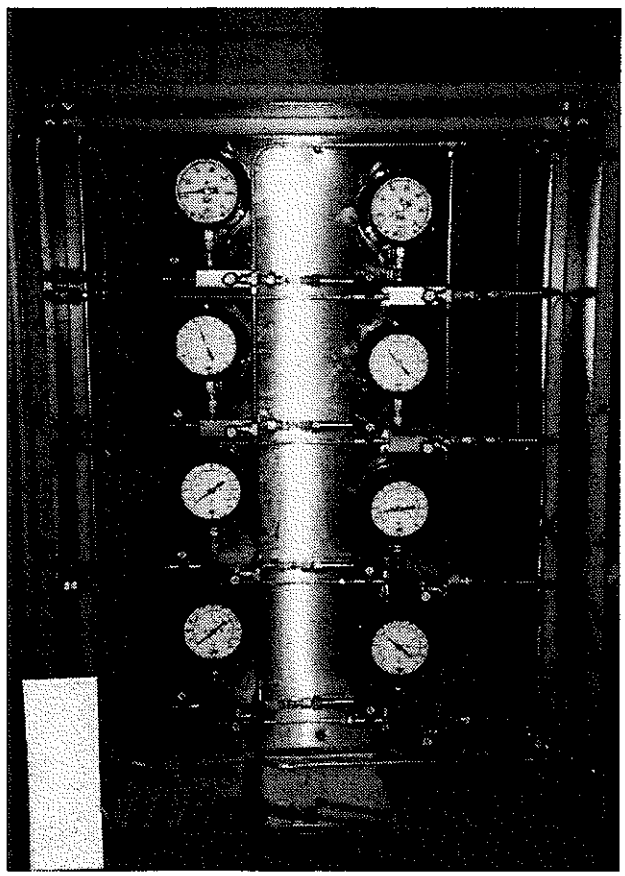


写真-11.2.4　水圧パネル

11.3　パッカー設置位置

全孔（KH-19孔～KH-25孔）のパッカーおよびインスツルメントカップリングの設置深度を図-11.3.2と表-11.3.1に示す。また、各孔内に設置したパッカー、インスツルメントカップリング、ロッド、ならびに孔内配管の数量一覧を、表-11.3.2～表-11.3.8に示す。

孔内装置の基本構造を図-11.3.1に示す。各区間の水圧測定にはパッカー装置の水圧測定ライン（PP）を用いた。トレーサー注入・排出区間では、トレーサーの注入にインスツルメントカップリングの流量ライン（IF）を用い、トレーサーのリターン回収にはパッカーの流量ライン（PF）を用いた。今回の設置ではパッカーの区間数や１パッカー当たりの配管数が増大し、挿入する配管が非常に多くなったため、ロッド内のスペースに配管を収めることが困難となった。そこで、配管数や配管径を減らすために幾つかの変更を行った。まず、これまで各孔のパッカー圧配管は別個としていたが、今回は直列に接続することとした。パッカー圧配管を分けることは、パッカーの破損が起きた場合にシステムを保護することになるが、本試験で用いているパッカーの信頼性が非常に高いことがこれまで２年間の使用実績から示されている。各配管の材質・径については、水圧測定用配管：1/8"ステンレスチューブ、パッカー拡張用配管：1/4"ステンレスチューブ、パッカー部の注排水配管：3/16" 銅チューブ、インスツルメントカップリングの注排水配管：5/16"銅チューブを基本とした。ただし、流量検層結果において流量の少なかった区間では、注排水配管の径を1/8"～5/16"までの範囲で減少させた。その使用状況は、表-11.3.2～表-11.3.8中に併せて示してある。

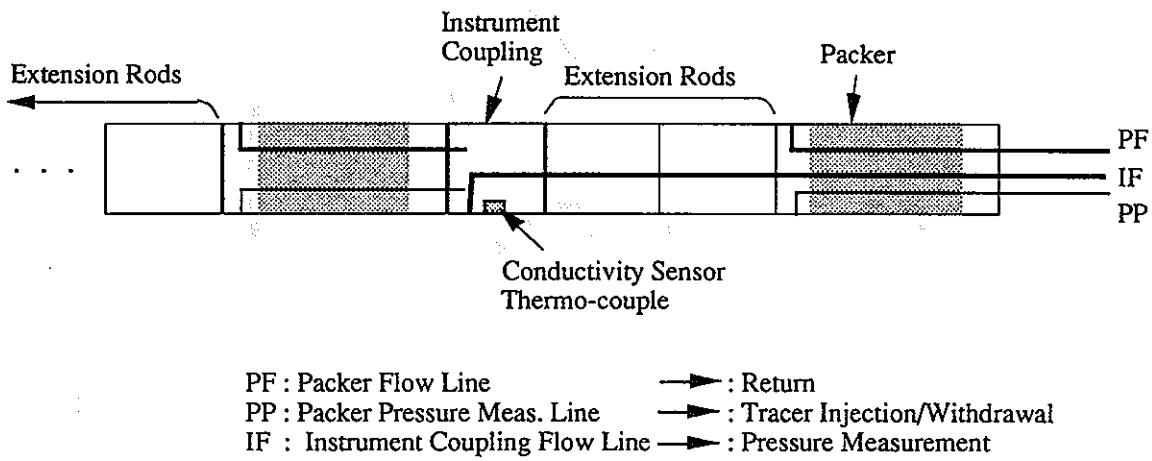


図-11.3.1　孔内装置の基本構造

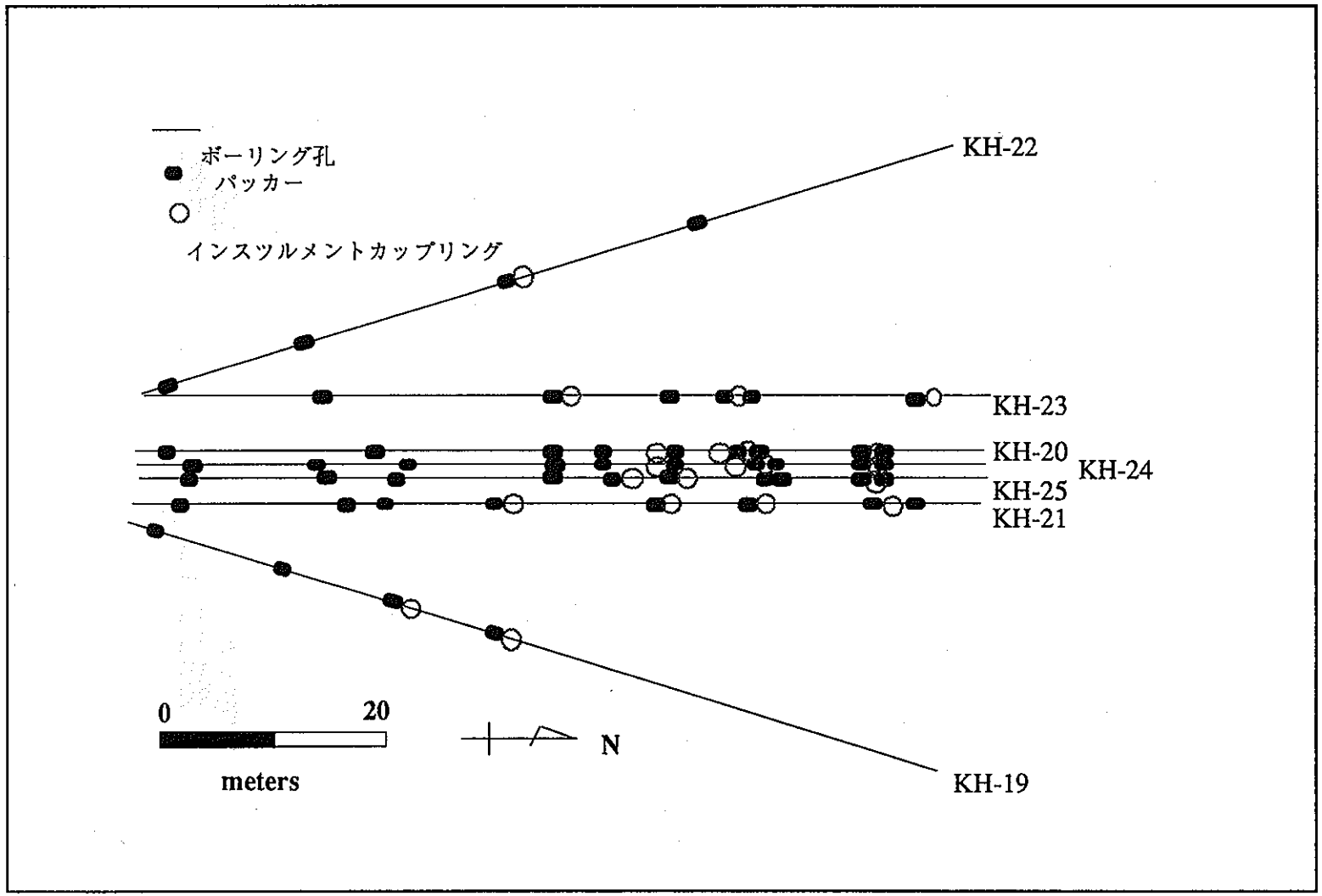
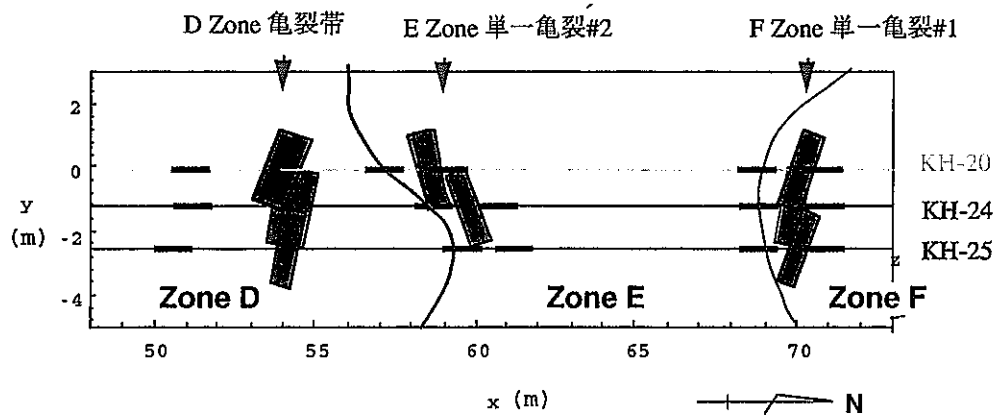
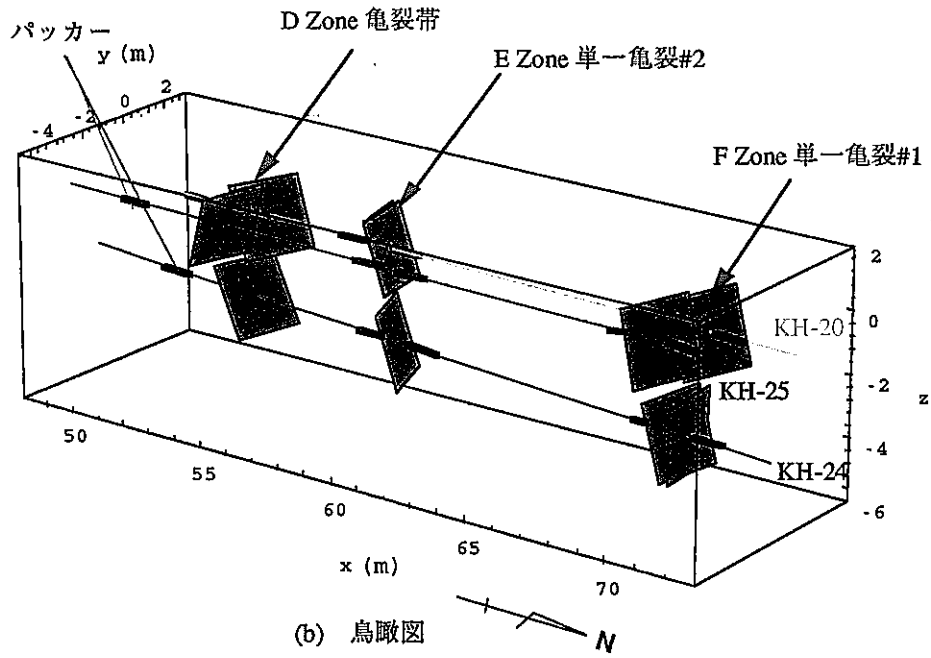


図-11.3.2　パッカー及びインスツルメントカップリングの配置



(a) 平面図



(b) 鳥瞰図

図-11.3.2 試験対象割れ目とパッカー位置

表-11.3.1　パッカーおよびインスツルメントカップリングの設置深度

Zone		KH-19		KH-20		KH-21		KH-22		KH-23		KH-24		KH-25	
		Packer	I.C.	Packer	I.C.	Packer	I.C.	Packer	I.C.	Packer	I.C.	Packer	I.C.	Packer	I.C.
10	Top											5.889		5.479	
	Bottom											16.485		17.075	
9	Top			3.749								17.500		18.090	
	Bottom			22.345								25.096		23.686	
8	Top			23.360		4.699						26.111		24.701	
	Bottom			38.956		19.295						38.707		38.297	
7	Top			39.971		20.310						39.722		39.312	
	Bottom			43.567		22.906						43.318		43.908	
6	Top			44.582		23.921				17.399		44.333		44.923	
	Bottom			50.597	50.258	33.517				37.995		50.348	50.009	49.438	45.599
5	Top			51.612		34.532				39.010		51.363		50.453	
	Bottom			56.627	56.288	48.547	35.208			49.025	39.686	57.878	57.539	58.468	51.129
4	Top	2.702		57.642		49.562		2.889		50.040		58.893		59.483	
	Bottom	14.798		58.657	58.318	57.077	50.238	15.485		54.136		59.908	59.569	60.079	
3	Top	15.813		59.672		58.092		16.500		55.151		60.923		61.094	
	Bottom	25.909		68.268		69.107	58.768	35.096		56.666	55.827	68.019		67.690	
2	Top	26.924		69.283		70.122		36.111		57.681		69.034		68.705	
	Bottom	35.939	27.600	70.298	69.959	73.137	70.798	54.126	36.787	72.277		70.049	69.710	69.720	69.381
1	Top	36.954		71.313		74.152		55.141		73.292		71.064		70.735	
	Bottom	100.050	37.630	80.000		80.000		80.000		80.000	73.968	80.000		80.420	

表-11.3.2　KH-19孔パッカー設置数量

No	部品名	部品長 (m)	累積長 (m)	深度 (m)	パッカー			インスツルメントカップリング	
					注排水配管 1/8" Cu	圧力測定配管 3/16" ss	ﾊﾟｯｶｰ圧配管 1/4" ss	注排水配管 5/16" Cu	伝導度・温度センサー 2芯ケーブル×2
1	ボトムプラグ	0.200	0.200	76.830					
2	ロッド	3.000	3.200	76.630					
3	ロッド	3.000	6.200	73.630					
4	ロッド	3.000	9.200	70.630					
5	ロッド	3.000	12.200	67.630					
6	ロッド	3.000	15.200	64.630					
7	ロッド	3.000	18.200	61.630					
8	ロッド	3.000	21.200	58.630					
9	ロッド	3.000	24.200	55.630					
10	ロッド	3.000	27.200	52.630					
11	ロッド	3.000	30.200	49.630					
12	ロッド	3.000	33.200	46.630					
13	ロッド	3.000	36.200	43.630					
14	ロッド	3.000	39.200	40.630					
15	ｲﾝｽﾂﾙﾒﾝﾄｶｯﾌﾟﾘﾝｸﾞ(1)	0.419	39.619	37.630				1	Z-1
16	#1パッカー	1.611	41.230	37.211	3	2	4		
17	ロッド	3.000	44.230	35.600					
18	ロッド	3.000	47.230	32.600					
19	ロッド	2.000	49.230	29.600					
20	ｲﾝｽﾂﾙﾒﾝﾄｶｯﾌﾟﾘﾝｸﾞ(2)	0.419	49.649	27.600				5	Z-2
21	#2パッカー	1.611	51.260	27.181	7	6	4		
22	ロッド	3.000	54.260	25.570					
23	ロッド	3.000	57.260	22.570					
24	ロッド	3.000	60.260	19.570					
25	ロッド	0.500	60.760	16.570					
26	#3パッカー	1.611	62.371	16.070	9	8	4		
27	ロッド	3.000	65.371	14.459					
28	ロッド	3.000	68.371	11.459					
29	ロッド	3.000	71.371	8.459					
30	ロッド	2.000	73.371	5.459					
31	ロッド	0.500	73.871	3.459					
32	#4パッカー	1.611	75.482	2.959	11	10	4		
33	ロッド	2.000	77.482	1.348					
34	トッププラグ	0.200	77.682	-0.652					
	口元突出長			-0.852					

表-11.3.3　KH-20孔パッカー設置数量

No	部品名	部品長 (m)	累積長 (m)	深度 (m)	パッカー				インスツルメントカップリング		
					注排水配管		圧力測定配管	ﾊﾟｯｶｰ圧配管	注排水配管		伝導度・温度センサー
					1/8" Cu	3/16" Cu	1/8" ss	1/4" ss	5/16" Cu	3/16" Cu	2芯ケーブル×2
1	ボトムプラグ	0.200	0.200	79.770							
2	ロッド	3.000	3.200	79.570							
3	ロッド	3.000	6.200	76.570							
4	ロッド	2.000	8.200	73.570							
5	#1パッカー	1.611	9.811	71.570	1		2	3			
6	ｲﾝｽﾂﾙﾒﾝﾄｶｯﾌﾟﾘﾝｸﾞ(1)	0.419	10.230	69.959					4		Z-1
7	#2パッカー	1.611	11.841	69.540		5	6	3			
8	ロッド	3.000	14.841	67.929							
9	ロッド	3.000	17.841	64.929							
10	ロッド	2.000	19.841	61.929							
11	#3パッカー	1.611	21.452	59.929	7		8	3			
12	ｲﾝｽﾂﾙﾒﾝﾄｶｯﾌﾟﾘﾝｸﾞ(2)	0.419	21.871	58.318						9	Z-2
13	#4パッカー	1.611	23.482	57.899	10		11	3			
14	ｲﾝｽﾂﾙﾒﾝﾄｶｯﾌﾟﾘﾝｸﾞ(3)	0.419	23.901	56.288					12		Z-3
15	ロッド	3.000	26.901	55.869							
16	ロッド	1.000	27.901	52.869							
17	#5パッカー	1.611	29.512	51.869		13	14	3			
18	ｲﾝｽﾂﾙﾒﾝﾄｶｯﾌﾟﾘﾝｸﾞ(4)	0.419	29.931	50.258						-	Z-4
19	ロッド	3.000	32.931	49.839							
20	ロッド	2.000	34.931	46.839							
21	#6パッカー	1.611	36.542	44.839	16		17	3			
22	ロッド	3.000	39.542	43.228							
23	#7パッカー	1.611	41.153	40.228		18	19	3			
24	ロッド	3.000	44.153	38.617							
25	ロッド	3.000	47.153	35.617							
26	ロッド	3.000	50.153	32.617							
27	ロッド	3.000	53.153	29.617							
28	ロッド	3.000	56.153	26.617							
29	#8パッカー	1.611	57.764	23.617	20		21	3			
30	ロッド	3.000	60.764	22.006							
31	ロッド	3.000	63.764	19.006							
32	ロッド	3.000	66.764	16.006							
33	ロッド	3.000	69.764	13.006							
34	ロッド	3.000	72.764	10.006							
35	ロッド	3.000	75.764	7.006							
36	#9パッカー	1.611	77.375	4.006	22		23	3			
37	ロッド	3.000	80.375	2.395							
38	トッププラグ	0.200	80.575	-0.605							
	口元突出長			-0.805							

表-11.3.4　KH-21孔パッカー設置数量

No	部品名	部品長 (m)	累積長 (m)	深度 (m)	パッカー				インスツルメントカップリング		
					注排水配管		圧力測定配管	ﾊﾟｯｶｰ圧配管	注排水配管		伝導度・温度センサー
					1/8" ss	3/10 Cu	1/8" ss	1/4" ss	5/16" Cu	3/16" Cu	2芯ケーブル×2
1	ボトムプラグ	0.200	0.200	80.109							
2	ロッド	3.000	3.200	79.909							
3	ロッド	2.000	5.200	76.909							
4	ロッド	0.500	5.700	74.909							
5	#1パッカー	1.611	7.311	74.409		1	2	3			
6	ロッド	2.000	9.311	72.798							
7	ｲﾝｽﾂﾙﾒﾝﾄｶｯﾌﾟﾘﾝｸﾞ(1)	0.419	9.730	70.798						4	Z-1
8	#2パッカー	1.611	11.341	70.379		5	6	3			
9	ロッド	3.000	14.341	68.768							
10	ロッド	3.000	17.341	65.768							
11	ロッド	3.000	20.341	62.768							
12	ロッド	1.000	21.341	59.768							
13	ｲﾝｽﾂﾙﾒﾝﾄｶｯﾌﾟﾘﾝｸﾞ(2)	0.419	21.760	58.768						7	Z-2
14	#3パッカー	1.611	23.371	58.349		8	9	3			
15	ロッド	3.000	26.371	56.738							
16	ロッド	3.000	29.371	53.738							
17	ロッド	0.500	29.871	50.738							
18	ｲﾝｽﾂﾙﾒﾝﾄｶｯﾌﾟﾘﾝｸﾞ(3)	0.419	30.290	50.238					10		Z-3
19	#4パッカー	1.611	31.901	49.819		11	12	3			
20	ロッド	3.000	34.901	48.208							
21	ロッド	3.000	37.901	45.208							
22	ロッド	3.000	40.901	42.208							
23	ロッド	3.000	43.901	39.208							
24	ロッド	1.000	44.901	36.208							
25	ｲﾝｽﾂﾙﾒﾝﾄｶｯﾌﾟﾘﾝｸﾞ(4)	0.419	45.320	35.208						13	Z-4
26	#5パッカー	1.611	46.931	34.789		14	15	3			
27	ロッド	3.000	49.931	33.178							
28	ロッド	3.000	52.931	30.178							
29	ロッド	3.000	55.931	27.178							
30	#6パッカー	1.611	57.542	24.178	16		17	3			
31	ロッド	2.000	59.542	22.567							
32	#7パッカー	1.611	61.153	20.567		18	19	3			
33	ロッド	3.000	64.153	18.956							
34	ロッド	3.000	67.153	15.956							
35	ロッド	3.000	70.153	12.956							
36	ロッド	3.000	73.153	9.956							
37	ロッド	2.000	75.153	6.956							
38	#8パッカー	1.611	76.764	4.956		20	21	3			
39	ロッド	3.000	79.764	3.345							
40	ロッド	0.500	80.264	0.345							
41	トッププラグ	0.200	80.464	-0.155							
	口元突出長			-0.355							

表-11.3.5　KH-22孔パッカー設置数量

No	部品名	部品長 (m)	累積長 (m)	深度 (m)	パッカー			インスツルメントカップリング	
					注排水配管	圧力測定配管	ﾊﾟｯｶｰ圧配管	注排水配管	伝導度・温度センサー
					1/4" nylon	1/4" nylon	1/4" ss	1/4" nylon	2芯ケーブル×2
1	ボトムプラグ	0.200	0.200	76.598					
2	ロッド	3.000	3.200	76.398					
3	ロッド	3.000	6.200	73.398					
4	ロッド	3.000	9.200	70.398					
5	ロッド	3.000	12.200	67.398					
6	ロッド	3.000	15.200	64.398					
7	ロッド	3.000	18.200	61.398					
8	ロッド	3.000	21.200	58.398					
9	#1パッカー	1.611	22.811	55.398	1	2	3		
10	ロッド	3.000	25.811	53.787					
11	ロッド	3.000	28.811	50.787					
12	ロッド	3.000	31.811	47.787					
13	ロッド	3.000	34.811	44.787					
14	ロッド	3.000	37.811	41.787					
15	ロッド	1.000	38.811	38.787					
16	ロッド	1.000	39.811	37.787					
17	ｲﾝｽﾂﾙﾒﾝﾄｶｯﾌﾟﾘﾝｸﾞ(1)	0.419	40.230	36.787				4	Z-1
18	#2パッカー	1.611	41.841	36.368	5	6	3		
19	ロッド	3.000	44.841	34.757					
20	ロッド	3.000	47.841	31.757					
21	ロッド	3.000	50.841	28.757					
22	ロッド	3.000	53.841	25.757					
23	ロッド	3.000	56.841	22.757					
24	ロッド	3.000	59.841	19.757					
25	#3パッカー	1.611	61.452	16.757	7	8	3		
26	ロッド	3.000	64.452	15.146					
27	ロッド	3.000	67.452	12.146					
28	ロッド	3.000	70.452	9.146					
29	ロッド	3.000	73.452	6.146					
30	#4パッカー	1.611	75.063	3.146	9	10	3		
31	ロッド	1.000	76.063	1.535					
32	ロッド	1.000	77.063	0.535					
34	トッププラグ	0.200	77.263	-0.465					
	口元突出長			-0.665					

表-11.3.6　KH-23孔パッカー設置数量

No	部品名	部品長 (m)	累積長 (m)	深度 (m)	パッカー			インスツルメントカップリング		
					注排水配管	圧力測定配管	ﾊﾟｯｶｰ圧配管	注排水配管		伝導度・温度センサー
					3/16" Cu	1/8" ss	1/4" ss	5/16" Cu	3/16" Cu	2芯ケーブル×2
1	ボトムプラグ	0.200	0.200	78.168						
2	ロッド	3.000	3.200	77.968						
3	ロッド	1.000	4.200	74.968						
4	ｲﾝｽﾂﾙﾒﾝﾄｶｯﾌﾟﾘﾝｸﾞ(1)	0.419	4.619	73.968				1		Z-1
5	#1パッカー	1.611	6.230	73.549	2	3	4			
6	ロッド	3.000	9.230	71.938						
7	ロッド	3.000	12.230	68.938						
8	ロッド	3.000	15.230	65.938						
9	ロッド	3.000	18.230	62.938						
10	ロッド	2.000	20.230	59.938						
11	#2パッカー	1.611	21.841	57.938	5	6	4			
12	ロッド	0.500	22.341	56.327						
13	ｲﾝｽﾂﾙﾒﾝﾄｶｯﾌﾟﾘﾝｸﾞ(2)	0.419	22.760	55.827					7	Z-2
14	#3パッカー	1.611	24.371	55.408	8	9	4			
15	ロッド	3.000	27.371	53.797	(1/4" nylon)	(1/4" nylon)				
16	ロッド	0.500	27.871	50.797						
17	#4パッカー	1.611	29.482	50.297	10	11	4			
18	ロッド	3.000	32.482	48.686	(1/4" nylon)	(1/4" nylon)				
19	ロッド	3.000	35.482	45.686						
20	ロッド	3.000	38.482	42.686						
21	ｲﾝｽﾂﾙﾒﾝﾄｶｯﾌﾟﾘﾝｸﾞ(3)	0.419	38.901	39.686					12	Z-3
22	#5パッカー	1.611	40.512	39.267	13	14	4			
23	ロッド	3.000	43.512	37.656	(1/4" nylon)	(1/4" nylon)				
24	ロッド	3.000	46.512	34.656						
25	ロッド	3.000	49.512	31.656						
26	ロッド	3.000	52.512	28.656						
27	ロッド	3.000	55.512	25.656						
28	ロッド	3.000	58.512	22.656						
29	ロッド	1.000	59.512	19.656						
30	ロッド	1.000	60.512	18.656						
31	#6パッカー	1.611	62.123	17.656	15	16	4			
32	ロッド	3.000	65.123	16.045	(1/4" ss)	(1/4" ss)				
33	ロッド	3.000	68.123	13.045						
34	ロッド	3.000	71.123	10.045						
35	ロッド	3.000	74.123	7.045						
36	ロッド	3.000	77.123	4.045						
37	ロッド	2.000	79.123	1.045						
38	トッププラグ	0.200	79.323	-0.955						
	口元突出長			-1.155						

表-11.3.7　KH-24孔パッカー設置数量

No	部品名	部品長 (m)	累積長 (m)	深度 (m)	パッカー 注排水配管 1/8" ss	パッカー 注排水配管 3/16" Cu	パッカー 圧力測定配管 1/8" ss	パッカー パッカー圧配管 1/4" ss	パッカー 圧配管 1/8" ss	インスツルメントカップリング 注排水配管 5/16" Cu	インスツルメントカップリング 注排水配管 3/16" Cu	インスツルメントカップリング 伝導度・温度センサー 2芯ケーブル×2
1	ボトムプラグ	0.200	0.200	79.521								
2	ロッド	3.000	3.200	79.321								
3	ロッド	3.000	6.200	76.321								
4	ロッド	2.000	8.200	73.321								
5	#1パッカー	1.611	9.811	71.321		1	2	3				
6	ｲﾝｽﾂﾙﾒﾝﾄｶｯﾌﾟﾘﾝｸﾞ(1)	0.419	10.230	69.710						4		Z-1
7	#2パッカー	1.611	11.841	69.291		5	6	3				
8	ロッド	3.000	14.841	67.680								
9	ロッド	3.000	17.841	64.680								
10	ロッド	0.500	18.341	61.680								
11	#3パッカー	1.611	19.952	61.180	7		8	3				
12	ｲﾝｽﾂﾙﾒﾝﾄｶｯﾌﾟﾘﾝｸﾞ(2)	0.419	20.371	59.569							9	Z-2
13	#4パッカー	1.611	21.982	59.150	10		11	3				
14	ｲﾝｽﾂﾙﾒﾝﾄｶｯﾌﾟﾘﾝｸﾞ(3)	0.419	22.401	57.539							12	Z-3
15	ロッド	3.000	25.401	57.120								
16	ロッド	2.000	27.401	54.120								
17	ロッド	0.500	27.901	52.120								
18	#5パッカー	1.611	29.512	51.620		13	14		15			
19	ｲﾝｽﾂﾙﾒﾝﾄｶｯﾌﾟﾘﾝｸﾞ(4)	0.419	29.931	50.009							16	Z-4
20	ロッド	3.000	32.931	49.590								
21	ロッド	2.000	34.931	46.590								
22	#6パッカー	1.611	36.542	44.590	17		18	3				
23	ロッド	3.000	39.542	42.979								
24	#7パッカー	1.611	41.153	39.979	19		20	3				
25	ロッド	3.000	44.153	38.368								
26	ロッド	3.000	47.153	35.368								
27	ロッド	3.000	50.153	32.368								
28	ロッド	3.000	53.153	29.368								
29	#8パッカー	1.611	54.764	26.368	21		22	3				
30	ロッド	3.000	57.764	24.757								
31	ロッド	3.000	60.764	21.757								
32	ロッド	1.000	61.764	18.757								
33	#9パッカー	1.611	63.375	17.757	23		24	3				
34	ロッド	3.000	66.375	16.146								
35	ロッド	3.000	69.375	13.146								
36	ロッド	3.000	72.375	10.146								
37	ロッド	1.000	73.375	7.146								
38	#10パッカー	1.611	74.986	6.146	25		26	3				
39	ロッド	3.000	77.986	4.535								
40	ロッド	2.000	79.986	1.535								
41	トッププラグ	0.200	80.186	-0.465								
	口元突出長			-0.665								

表-11.3.8　KH-25孔パッカー設置数量

No	部品名	部品長 (m)	累積長 (m)	深度 (m)	パッカー			インスツルメントカップリング	
					注排水配管	圧力測定配管	ﾊﾟｯｶｰ圧配管	注排水配管	伝導度・温度センサー
					3/16" Cu	1/8" ss	1/4" ss	5/16" Cu	2芯ケーブル×2
1	ボトムプラグ	0.200	0.200	74.192					
2	ロッド	3.000	3.200	73.992					
3	#1パッカー	1.611	4.811	70.992		1	2		
4	ｲﾝｽﾂﾙﾒﾝﾄｶｯﾌﾟﾘﾝｸﾞ(1)	0.419	5.230	69.381				5	Z-1
5	#2パッカー	1.611	6.841	68.962	2	3	2		
6	ロッド	3.000	9.841	67.351					
7	ロッド	2.000	11.841	64.351					
8	ロッド	1.000	12.841	62.351					
9	#3パッカー	1.611	14.452	61.351	6	7	2		
10	#4パッカー	1.611	16.063	59.740	8	9	2		
11	ロッド	3.000	19.063	58.129					
12	ロッド	2.000	21.063	55.129					
13	ロッド	2.000	23.063	53.129					
14	ｲﾝｽﾂﾙﾒﾝﾄｶｯﾌﾟﾘﾝｸﾞ(2)	0.419	23.482	51.129				12	Z-2
15	#5パッカー	1.611	25.093	50.710	10	11	2		
16	ロッド	3.000	28.093	49.099					
17	ロッド	0.500	28.593	46.099					
18	ｲﾝｽﾂﾙﾒﾝﾄｶｯﾌﾟﾘﾝｸﾞ(3)	0.419	29.012	45.599				15	Z-3
19	#6パッカー	1.611	30.623	45.180	13	14	2		
20	ロッド	3.000	33.623	43.569					
21	ロッド	1.000	34.623	40.569					
22	#7パッカー	1.611	36.234	39.569	16	17	2		
23	ロッド	3.000	39.234	37.958					
24	ロッド	3.000	42.234	34.958					
25	ロッド	3.000	45.234	31.958					
26	ロッド	3.000	48.234	28.958					
27	ロッド	1.000	49.234	25.958					
28	#8パッカー	1.611	50.845	24.958	18	19	2		
29	ロッド	3.000	53.845	23.347					
30	ロッド	2.000	55.845	20.347					
31	#9パッカー	1.611	57.456	18.347	20	21	2		
32	ロッド	3.000	60.456	16.736					
33	ロッド	3.000	63.456	13.736					
34	ロッド	2.000	65.456	10.736					
35	ロッド	2.000	67.456	8.736					
36	ロッド	1.000	68.456	6.736					
37	#10パッカー	1.611	70.067	5.736	22	23	2		
38	ロッド	3.000	73.067	4.125					
39	ロッド	2.000	75.067	1.125					
40	トッププラグ	0.200	75.267	-0.875					
	口元突出長			-1.075					

11.4　パッカー更新作業工程

パッカー更新作業の工程表を表-11.4.1に示す。更新作業の順序は以下の通りである。なおシャットインおよびパッカー開放時期は工程表中の横線の開始・終了時である。

(1)　KH-20孔パッカーの引抜き

(2)　KH-20孔の流量検層・圧力干渉試験

(3)　予備トレーサー試験（KH-24孔既存パッカーより注入）

(4)　KH-24、KH-25孔パッカーの引抜き

(5)　予備トレーサー試験（KH-20、KH-24、KH-25孔）

(6)　KH-25孔パッカー設置

(7)　KH-19、KH-22孔パッカー引抜きおよびテンポラリーパッカー設置

(8)　KH-20孔パッカー設置

(9)　KH-24孔パッカー設置

(10)　KH-21孔圧力干渉試験

(11)　KH-21孔パッカー設置

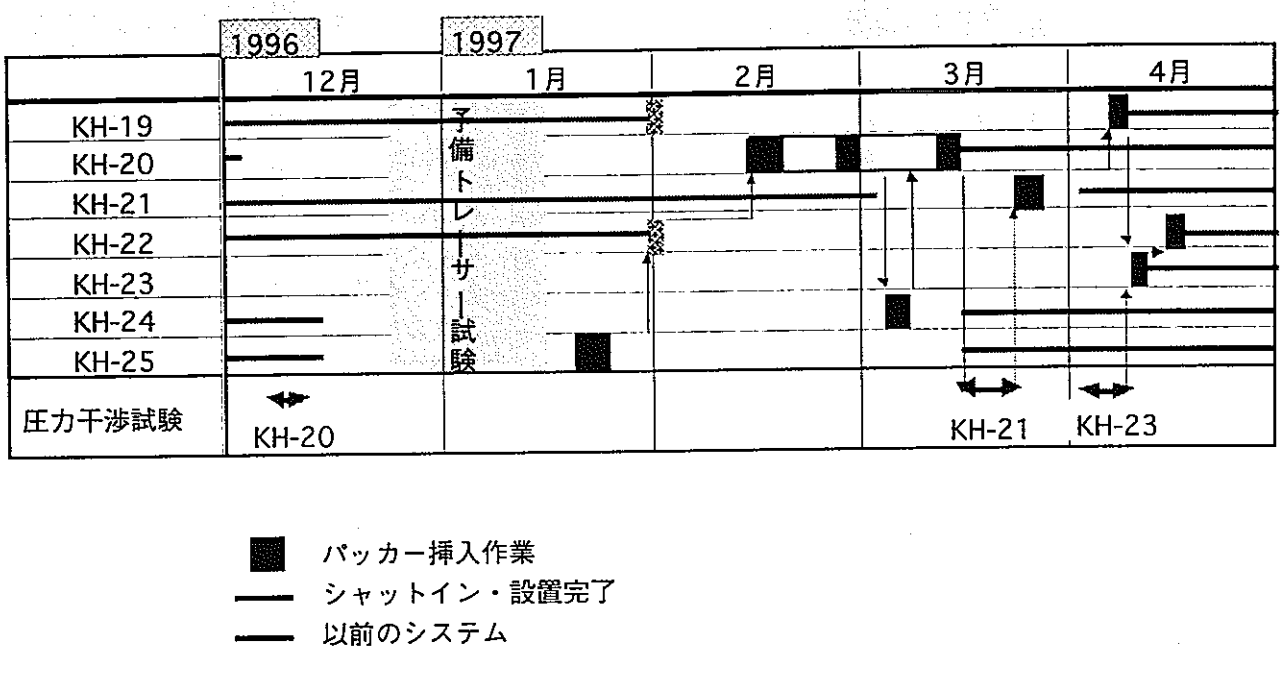
(12)　KH-19孔パッカー設置

(13)　KH-23孔圧力干渉試験

(14)　KH-23孔パッカー設置

(15)　KH-22孔パッカー設置

表-11.4.1　パッカー更新 工程表



11.5　パッカー設置状況

写真-11.5.1と写真-11.5.2に、設置状況を示す。まず、設置に際して、パッカー、ロッド、インスツルカップリングを、設置する順にならべ、番号をつけた。次に、KD-90坑道にそって、ビニールシートを敷きならべ、その上に、各部品を順番にならべた。配管を通しながら、パッカー、ロッドをつなぎあわせて、順次孔内に挿入した。

所定の深度まで、挿入が終了した後、パッカーを拡張した。まず、パッカー配管およびパッカー内の空気を真空ポンプで排除した後、ポンプで圧力水を送り、パッカーを拡張した。

再設置後のパネル等の配置状況を図-11.5.1に示す。

11.6　パッカー設置後の水圧のビルドアップと分布

図-11.6.1と図-11.6.2にパッカー設置後の水圧ビルドアップの状況を示す。各図は、同様の挙動を示す水圧ゾーン毎に作成したものである。また、図-11.6.3にパッカー設置後の安定水圧と水圧ゾーンの分布を示す。

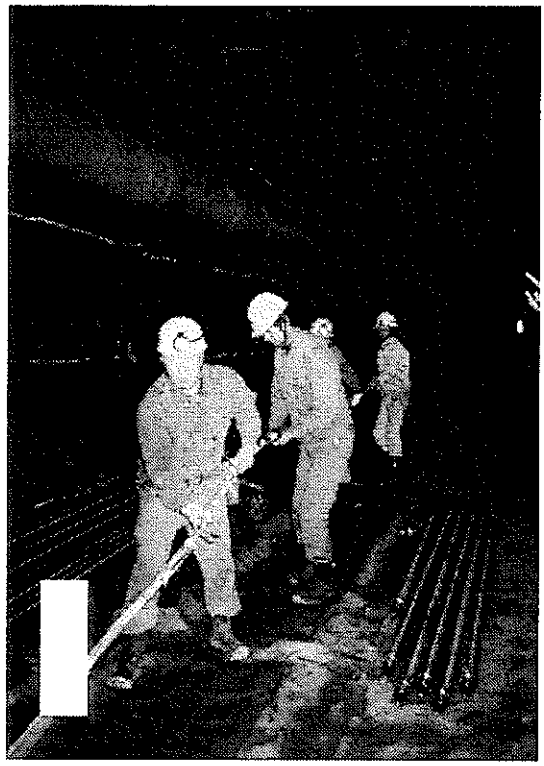


写真-11.5.1　パッカー設置作業状況（１）

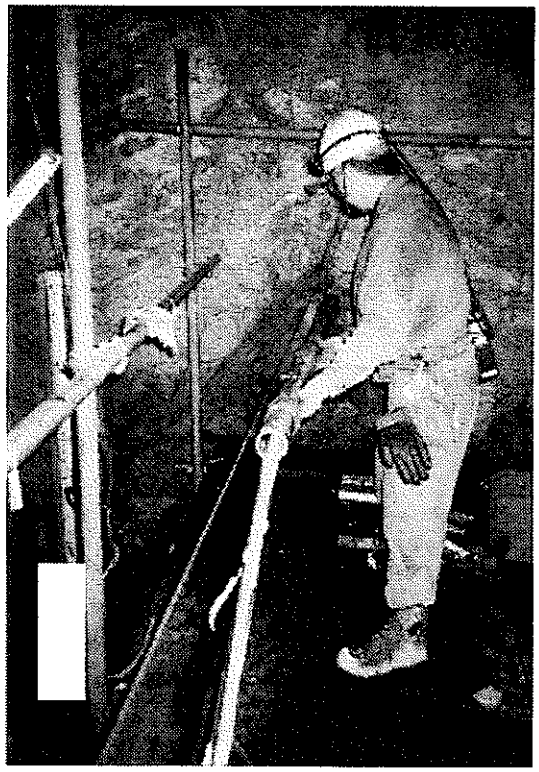


写真-11.5.2　パッカー設置作業状況（２）

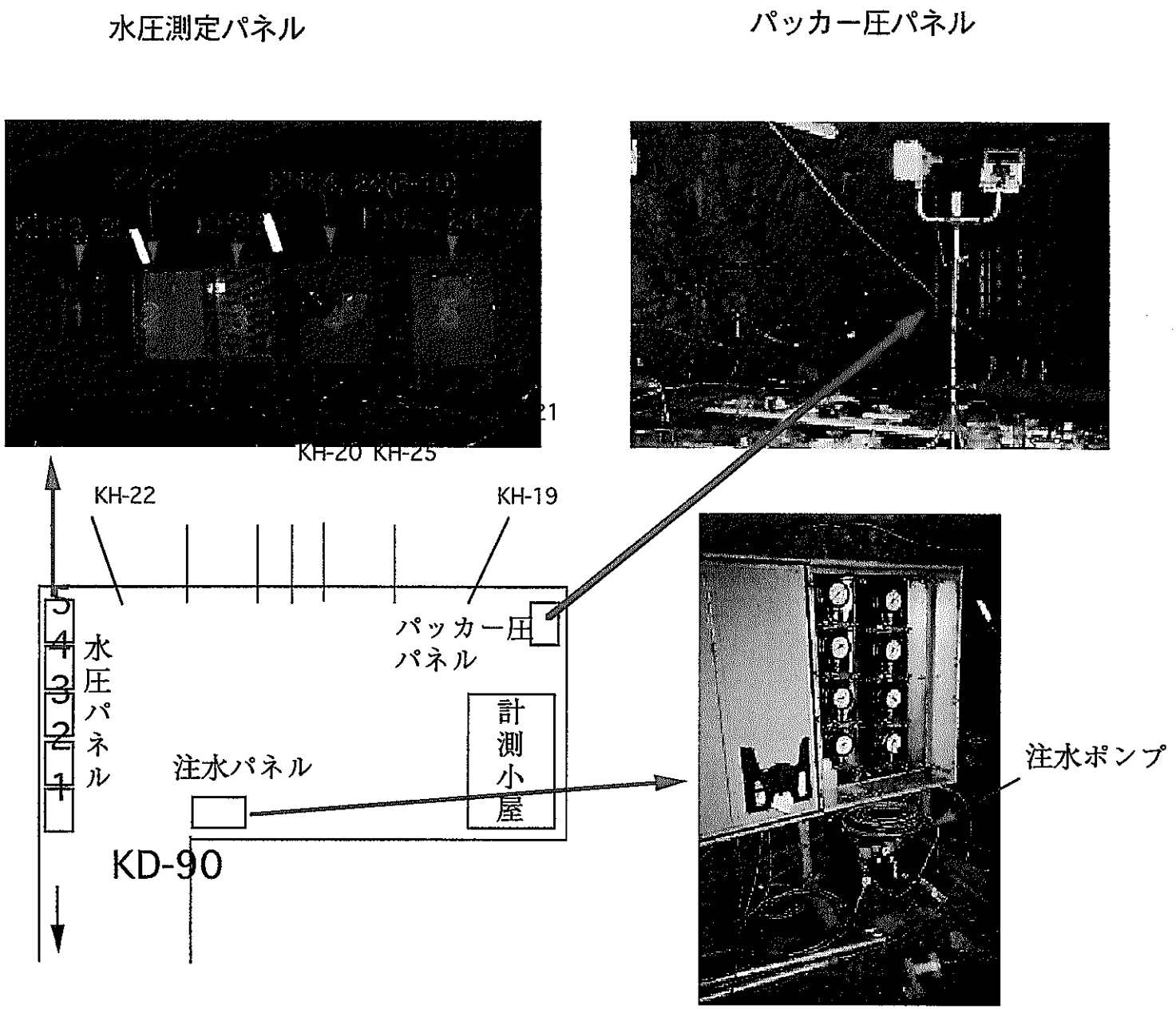
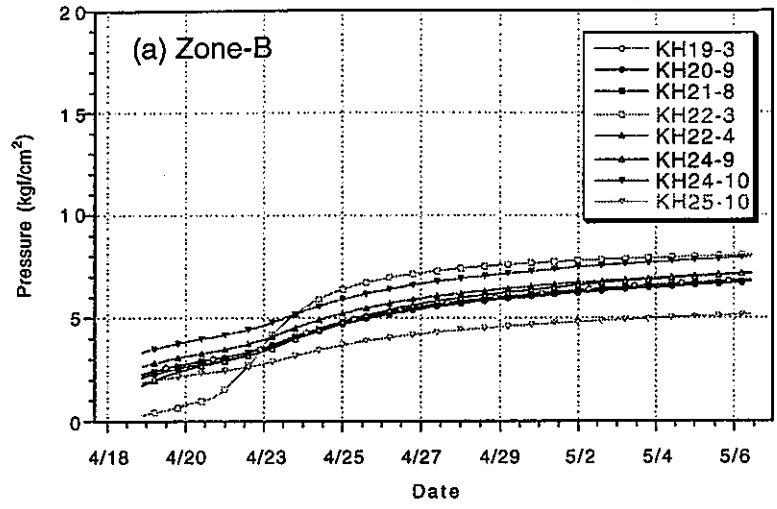
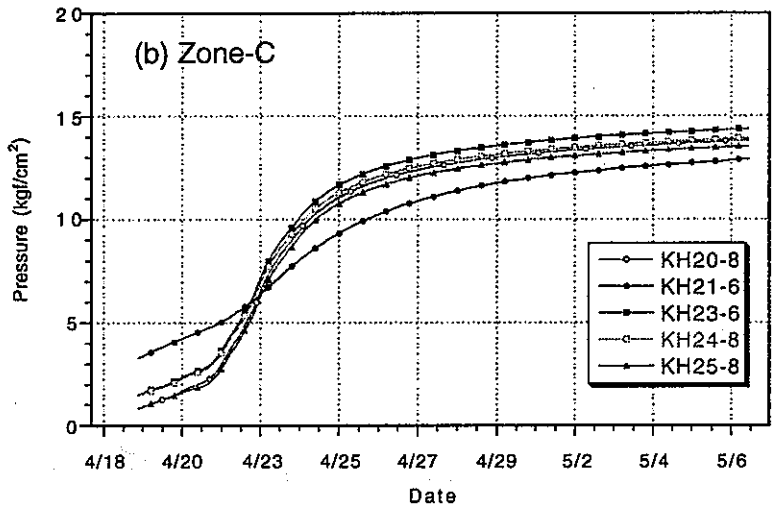


図-8.1.1　パッカー再設置後のパネル配置





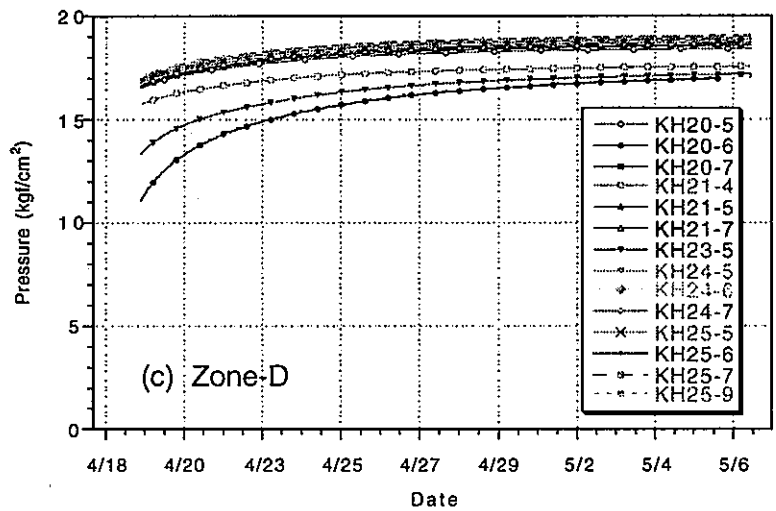
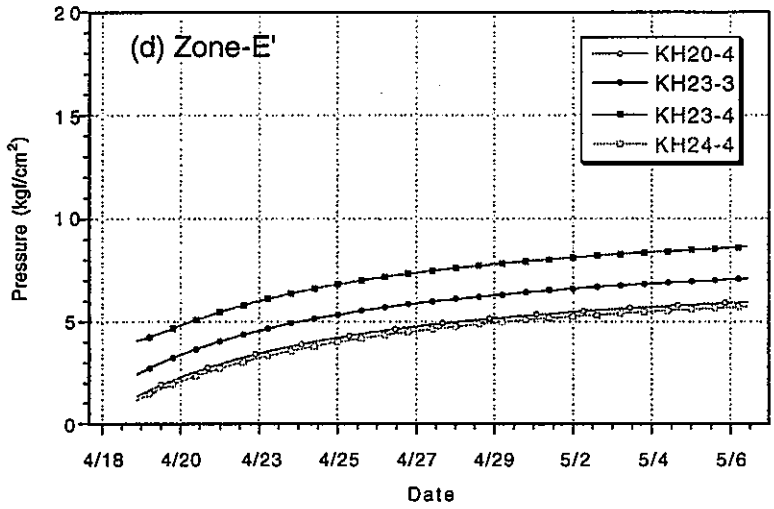
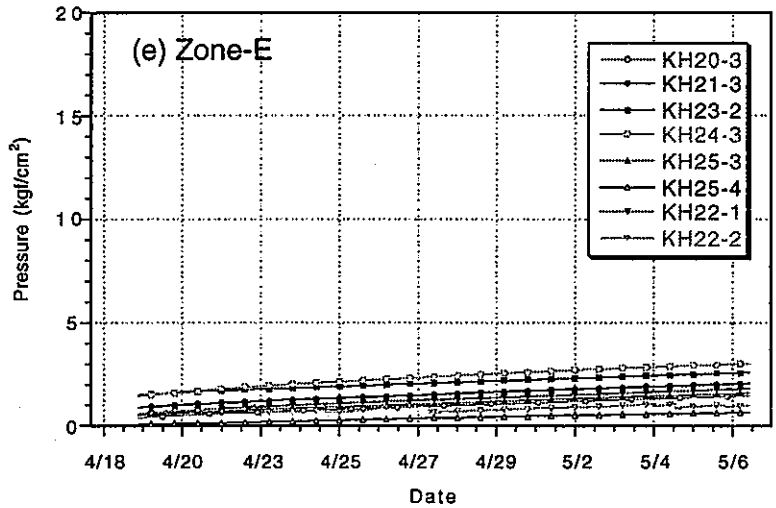


図-11.6.1　再設置後の圧力ビルドアップ（1）





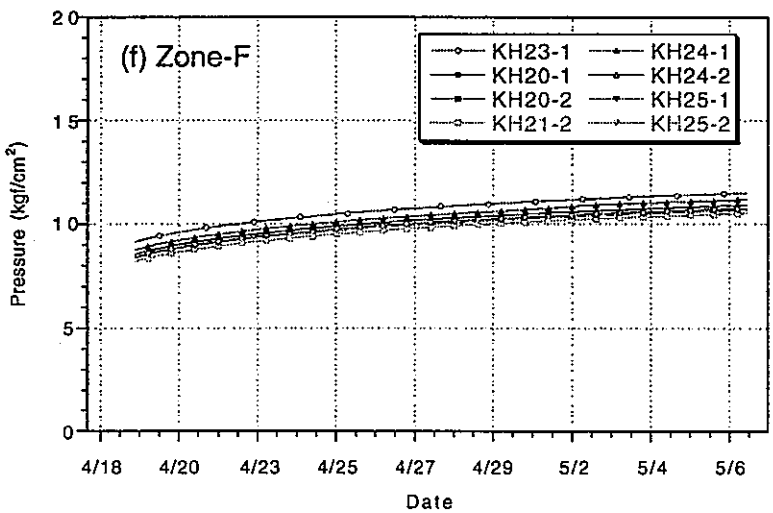


図-11.6.2　再設置後の圧力ビルドアップ（２）

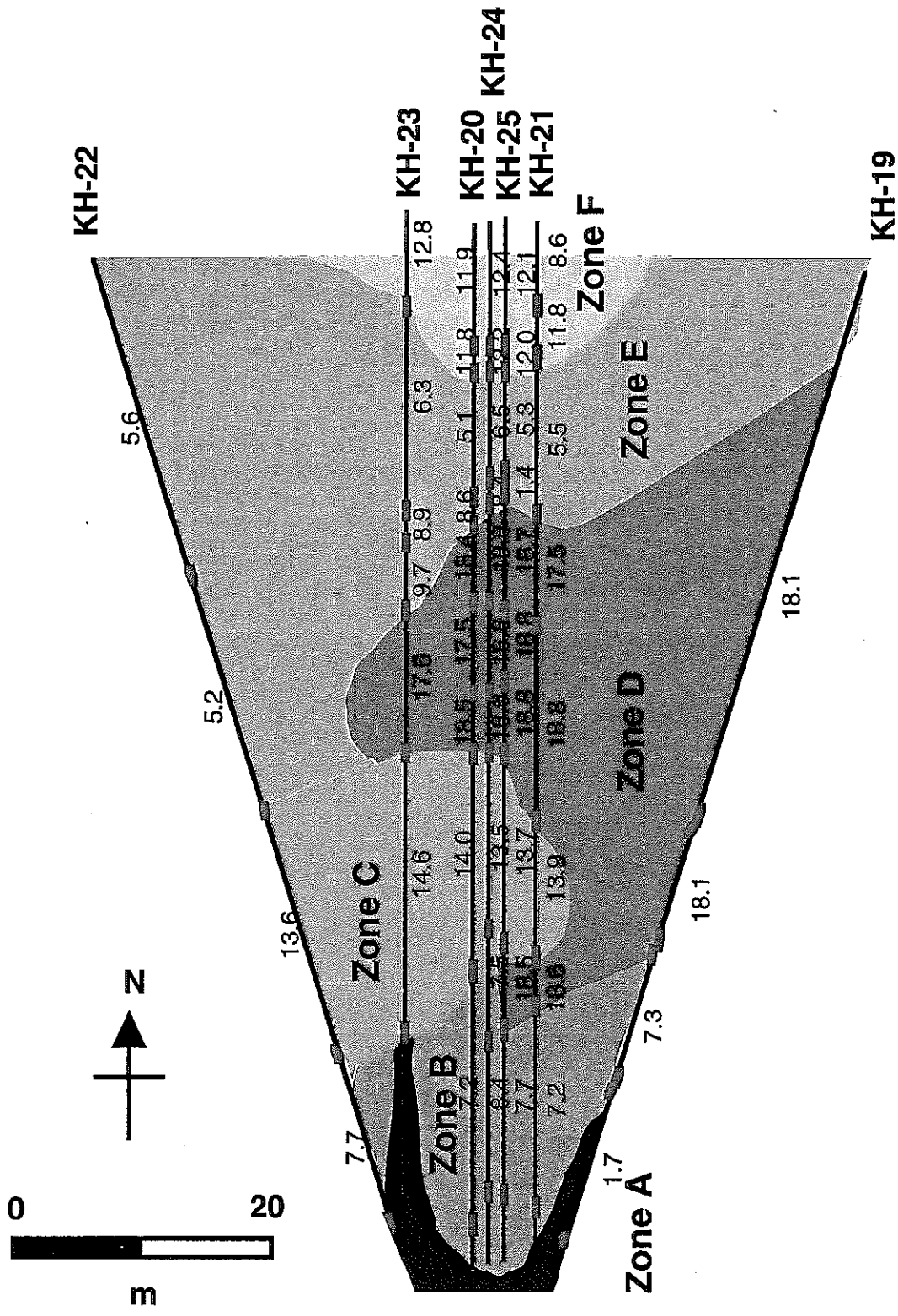


図-11.6.3　試験エリア内の水圧分布（再設置後の安定水圧）

12. 圧力干渉試験の解析

12.1 試験の解析

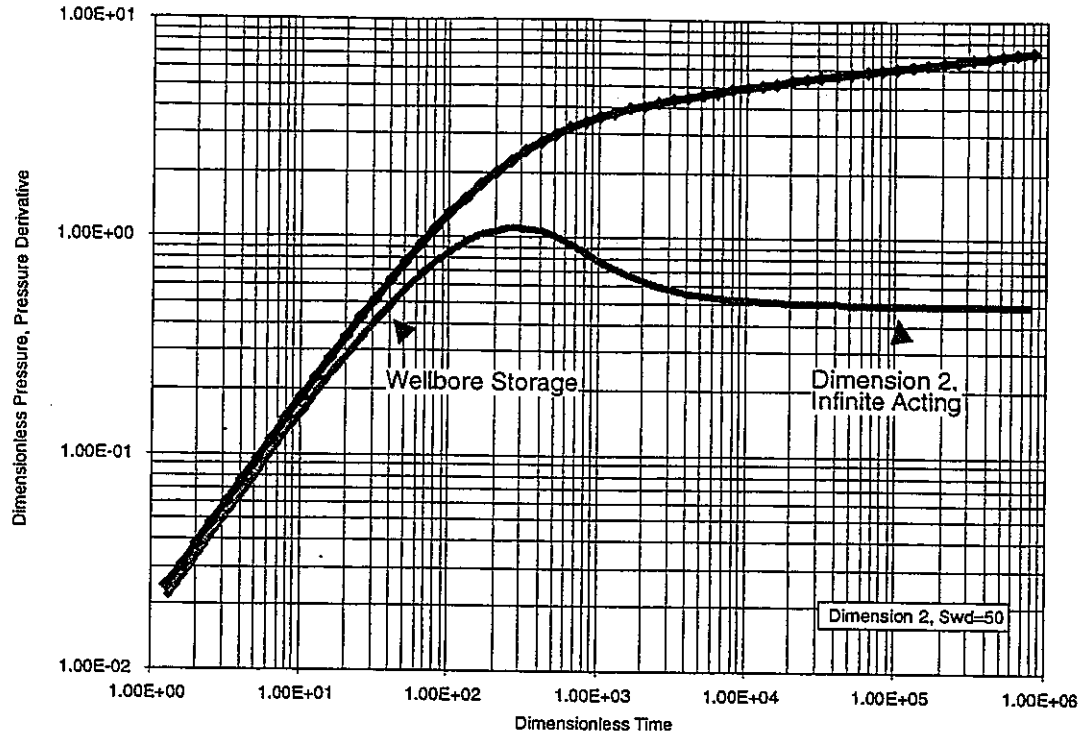
Detailed analyses of a total of 70 source and interference responses have been carried out. Out of these 70 analyses, 7 have been within Zone B (Source Zone: KH19-7), 8 in Zone C (Source Zone: KH20-6), 45 in Zone D (Source Zones: KH19-6, KH20-4), 8 in Zone E (Source Zone: KH20-3) and 7 in Zone F (Source Zone: KH20-1).

The data analysis uses two major well test interpretation tools: Interpret II and FlowDim. Interpret II, which is described above in section 2.1, has superposition routines for treating tests with complicated pumping rate histories. The well history capabilities of Interpret II make it very useful for tests where the pressure may not have been stable before the test, or where neither the rate or pressure was not held constant. Several of the tests, being simple outflow tests from flowing zones, had variable rate and pressure conditions that Interpret was required for analysis. Interpret II matches tests using radial-cylindrical (dimen ` sion two) flow solutions with boundary effects to simulate deviations from infinite-acting, late time behavior.

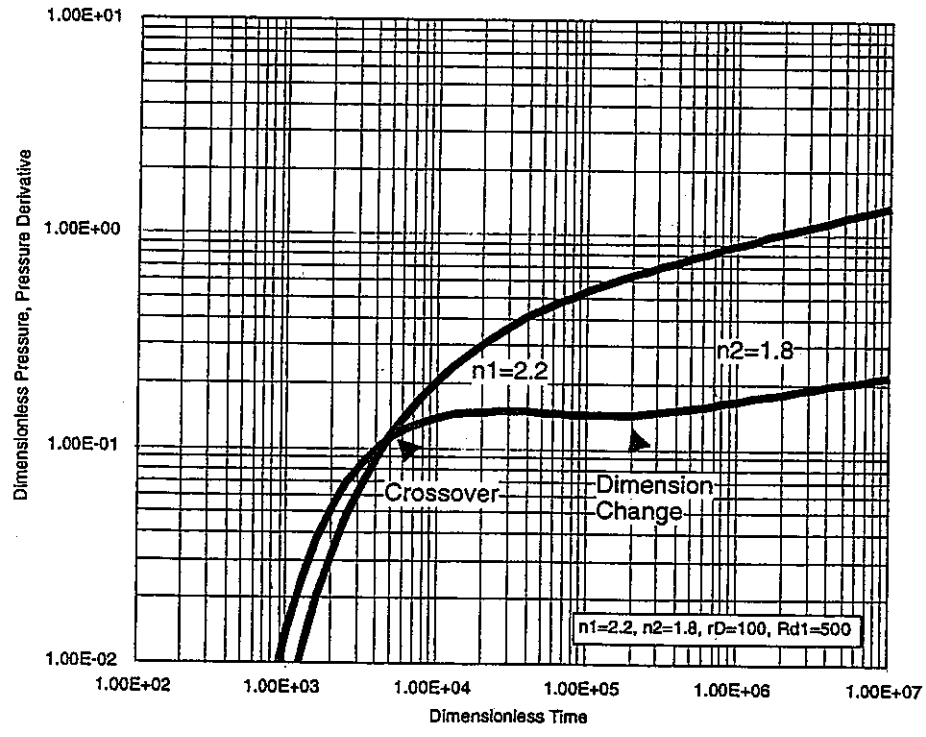
FlowDim is Golder Associates' well test analysis package that bases its analysis on generalized dimensional flow configurations. Unlike Interpret-2, FlowDim does not simply use two-dimensional analysis models. The flow dimension of a well test response is allowed to take on any value with the magnitude of the dimension being a function of the spatial density and interconnectivity of the flow features in the volume investigated. Flow configurations such as wellbore storage and skin, single- and two-shell (composite) flow dimensions are included in FlowDim. Both FlowDim and Interpret-2 can analyze responses at observation zones. Unlike Interpret II, FlowDim requires either stable pressures or stable flow rates to analyze the tests, and it cannot be used for data where both rate and pressure are variable.

The basic information and the input parameters for the analyses are listed in Table 12-1. Overall, the analysis methodology is relatively straightforward. In Interpret-2, the pressure and derivative data are subjected to a diagnosis procedure where a fully developed cylindrical flow regime is identified and located (if present) by viewing the derivative shape. Figure 12-1a shows how the zero slope derivative indicates the infinite-acting, fully developed cylindrical flow. This initial analysis provides an initial estimate of the 2-D transmissivity from the observation zone response. Then the match of the data with type curves for a simple 2-D, homogeneous, infinite-acting model is assessed. If the quality of the late time match is poor, then the complexity of the model is increased by including flow boundaries so to better fit the late time data. . Using non-linear regression, optimum values of parameters such as transmissivity (T), storativity (S), and distances to the flow boundaries are determined.

The FlowDim analysis approach is very similar to the Interpret approach. The first step is to analyze the early time data and obtain a dimensional match. If this match fits all the data, the analysis reports a single shell set of valve. If the later time data do not match, the outer shell dimension is estimated from the late-time slope, and the dimensionless shell radius (R_{DI}) is adjusted to obtain the right transition time between the two shells. Finally, the ratio of shell thickness (b) to well radius (r_w) is varied to get the correct pressure-axis offset between the two shells (Figure 12-1b). This ratio is reported as brw in the test analysis tables, and it controls the interface properties between the shells.



a. Cylindrical Flow



b. Fractional Dimension

Figure 12-1 Generalized well test curve

Table 12-1 Basic analysis data

All well diameters = 76 mm; radii = 0.038 m;				Assume porosity = 0.1%, total compressibility = 1E-06 kPa^{-1}, viscosity = 1cP								
Filename	**Source**	**Zone**	**Location, m**	**Flow Rate, lit/min**	**Duration, hrs**	**Observation**	**Zone**	**Location, m**	**Distance, m**	**Analysis Period**	**FlowDim**	**Interpret I**
KH19-6.xls	KH19-6	D	25.91 - 28.53	0.65	3.97	KH21-4	D	35.23 - 44.84	17	Flow Period	x	x
KH19-6.xls	KH19-6	D	25.91 - 28.53	0.65	3.97	KH20-4	D	51.33 - 55.36	33	Flow Period	x	x
KH19-6.xls	KH19-6	D	25.91 - 28.53	0.65	3.97	KH19-2	D	56.78 - 71.39	40	Flow Period	x	x
KH19-6.xls	KH19-6	D	25.91 - 28.53	0.65	3.97	KH25-4	D	36.96 - 47.79	5	Flow Period	x	x
KH19-6.xls	KH19-6	D	25.91 - 28.53	0.65	3.97	KH19-3	D	37.67-56.27	30	Flow Period	x	x
KH19-6.xls	KH19-6	D	25.91 - 28.53	0.65	3.97	KH19-4	D	35.06-36.66	12	Flow Period	x	x
KH19-6.xls	KH19-6	D	25.91 - 28.53	0.65	3.97	KH19-5	D	29.03-40.97	7	Flow Period	x	x
KH19-6.xls	KH19-6	D	25.91 - 28.53	0.65	3.97	KH20-5	D	40.02-50.62	25	Flow Period	x	x
KH19-6.xls	KH19-6	D	25.91 - 28.53	0.65	3.97	KH21-3	D	45.34-56.94	27	Flow Period	x	x
KH19-6.xls	KH19-6	D	25.91 - 28.53	0.65	3.97	KH21-6	D	20.51-23.11	12	Flow Period	x	x
KH19-6.xls	KH19-6	D	25.91 - 28.53	0.65	3.97	KH23-3	D	46.90-53.82	32	Flow Period	x	x
KH19-6.xls	KH19-6	D	25.91 - 28.53	0.65	3.97	KH23-4	D	39.82-45.88	28	Flow Period	x	x
KH19-6.xls	KH19-6	D	25.91 - 28.53	0.65	3.97	KH24-4	D	37.46-57.26	25	Flow Period	x	x
KH19-6.xls	KH19-6	D	25.91 - 28.53	0.65	3.97	KH25-3	D	48.29-56.89	31	Flow Period	x	x
KH19-6.xls	KH19-6	D	25.91 - 28.53	0.65	3.97	KH25-5	D	24.07-36.67	13	Flow Period	x	x
KH20-3A.xls	KH20-3	E	55.36 - 68.97	0.11	5.68 (then BU)	KH23-2	E	54.33 - 74.27	6	Buildp Period		x
KH20-3A.xls	KH20-3	E	55.36 - 68.97	0.11	5.68 (then BU)	KH25-2	E	57.40 - 68.01	3	Buildp Period		x
KH20-3A.xls	KH20-3	E	55.36 - 68.97	0.11	5.68 (then BU)	KH21-2	E	57.95-67.55	6	Buildp Period		x
KH20-3A.xls	KH20-3	E	55.36 - 68.97	0.11	5.68 (then BU)	KH22-1	E	49.34 - t.d.	27	Buildp Period		x
KH20-3A.xls	KH20-3	E	55.36 - 68.97	0.11	5.68 (then BU)	KH22-2	E	44.73 - 49.34	27	Buildp Period		x
KH20-3A.xls	KH20-3	E	55.36 - 68.97	0.11	5.68 (then BU)	KH22-3	E	34.62-44.22	32	Buildp Period		x
KH20-3A.xls	KH20-3	E	55.36 - 68.97	0.11	5.68 (then BU)	KH23-3	E	46.90-53.82	15	Buildp Period		x
KH20-3A.xls	KH20-3	E	55.36 - 68.97	0.11	5.68 (then BU)	KH24-3	E	58.27-67.02	1.5	Buildp Period		x
KH19-7A.xls	KH19-7	B	15.3 - 25.91	0.43	5.73 (then BU)	KH20-7	B	4.0 - 23.10	15	Flow and Buildup		x
KH19-7A.xls	KH19-7	B	15.3 - 25.91	0.43	5.73 (then BU)	KH22-7	B	2.68 - 14.29	25	Flow and Buildup		x
KH19-7A.xls	KH19-7	B	15.3 - 25.91	0.43	5.73 (then BU)	KH21-7	B	4.90 - 20.01	12	Flow and Buildup		x
KH19-7A.xls	KH19-7	B	15.3 - 25.91	0.43	5.73 (then BU)	KH24-7	B	17.89-25.67	15	Flow and Buildup		x
KH19-7A.xls	KH19-7	B	15.3 - 25.92	0.43	5.73 (then BU)	KH22-7	B	2.7-14.3	23	Flow Period	x	
KH19-7A.xls	KH19-7	B	15.3 - 25.93	0.43	5.73 (then BU)	KH23-7	A	5.0-17.0	19.5	Flow Period	x	
KH19-7A.xls	KH19-7	B	15.3 - 25.94	0.43	5.73 (then BU)	KH19-8	A	2.2-15.3	12	Flow Period	x	

Table 12-1 Continued

KH20-6A.xls	KH20-6	C	23.10 - 39.71	variable	6.01 (then BU)	KH21-5	C	23.62 - 35.23	5	Buildp Period		x
KH20-6A.xls	KH20-6	C	23.10 - 39.71	variable	6.01 (then BU)	KH22-6	C	14.29 - 23.90	20	Buildp Period		x
KH20-6A.xls	KH20-6	C	23.10 - 39.71	variable	6.01 (then BU)	KH22-4	C?	26.51 - 34.12	15	Buildp Period		x
KH20-6A.xls	KH20-6	C	23.10 - 39.71	variable	6.01 (then BU)	KH23-5	C	30.37 - 39.30	6	Buildp Period		x
KH20-6A.xls	KH20-6	C	23.10 - 39.71	variable	6.01 (then BU)	KH25-4	D?	36.96 - 47.79	12	Buildp Period		x
KH20-6A.xls	KH20-6	C	23.10 - 39.71	variable	6.01 (then BU)	KH22-5	C	23.90 - 26.51	15	Buildp Period		x
KH20-6A.xls	KH20-6	C	23.10 - 39.71	variable	6.01 (then BU)	KH23-6	C	17.94-29.86	5	Buildp Period		x
KH20-6A.xls	KH20-6	C	23.10 - 39.71	variable	6.01 (then BU)	KH24-6	C	17.89-25.67	4	Buildp Period		x
KH20-1A.xls	KH20-1	F	76.58 - t.d.	variable	3.52 (then BU)	KH21-1	F	68.06 - t.d.	5	Buildp Period		x
KH20-1A.xls	KH20-1	F	76.58 - t.d.	variable	3.52 (then BU)	KH25-1	F	68.01 - t.d.	3	Buildp Period		x
KH20-1A.xls	KH20-1	F	76.58 - t.d.	variable	3.52 (then BU)	KH24-1	F	75.30 - t.d.	1.5	Buildp Period		x
KH20-1A.xls	KH20-1	F	76.58 - t.d.	variable	3.52 (then BU)	KH24-2	F	68.03-74.79	5	Buildp Period		x
KH20-1A.xls	KH20-1	F	76.58 - t.d.	variable	3.52 (then BU)	KH20-2	F	68.97 - 76.58	5	Buildp Period		x
KH20-4A.xls	KH20-4	D	51.6-54.6	0.86	1.88	KH21-4	D	35.23 - 44.84	8.6	Flow Period	x	
KH20-4A.xls	KH20-5	D	51.6-54.6	0.86	1.88	KH20-4	D	51.33 - 55.36	0.038	Flow Period	x	
KH20-4A.xls	KH20-6	D	51.6-54.6	0.86	1.88	KH19-2	D	56.78 - 71.39	27	Flow Period	x	
KH20-4A.xls	KH20-7	D	51.6-54.6	0.86	1.88	KH25-4	D	36.96 - 47.79	10	Flow Period	x	
KH20-4A.xls	KH20-8	D	51.6-54.6	0.86	1.88	KH19-3	D	37.67-56.27	27	Flow Period	x	
KH20-4A.xls	KH20-9	D	51.6-54.6	0.86	1.88	KH19-4	D	35.06-36.66	22	Flow Period	x	
KH20-4A.xls	KH20-10	D	51.6-54.6	0.86	1.88	KH19-5	D	29.03-40.97	28	Flow Period	x	
KH20-4A.xls	KH20-11	D	51.6-54.6	0.86	1.88	KH20-5	D	40.02-50.62	7	Flow Period	x	
KH20-4A.xls	KH20-12	D	51.6-54.6	0.86	1.88	KH21-3	D	45.34-56.94	5.5	Flow Period	x	
KH20-4A.xls	KH20-13	D	51.6-54.6	0.86	1.88	KH21-6	D	20.51-23.11	33	Flow Period	x	
KH20-4A.xls	KH20-14	D	51.6-54.6	0.86	1.88	KH23-3	D	46.90-53.82	5	Flow Period	x	
KH20-4A.xls	KH20-15	D	51.6-54.6	0.86	1.88	KH23-4	D	39.82-45.88	6.3	Flow Period	x	
KH20-4A.xls	KH20-16	D	51.6-54.6	0.86	1.88	KH24-4	D	37.46-57.26	2	Flow Period	x	
KH20-4A.xls	KH20-17	D	51.6-54.6	0.86	1.88	KH25-3	D	48.29-56.89	2.5	Flow Period	x	
KH20-4A.xls	KH20-18	D	51.6-54.6	0.86	1.88	KH25-5	D	24.07-36.67	25	Flow Period	x	

The results of the analyses are described in Tables 4-2 (Interpret analyses) and 4-3 (FlowDim analyses).

Zone B: KH19-7

Zone B is appears relatively close to the access drift, and has a relatively low pressure. It is, nevertheless, strongly conductive and has been a major producer of water in the boreholes which it intersects. The KH19-7 test produced a very constant rate, and was thus appropriate for analysis by both Interpret II and FlowDim.

The match of KH20-7 (Figure 12-2) is typical of the other responding zones (KH21-7, KH22-7) which were analyzed using Interpret II. The diffusivities, which were calculated by Interpret II ranged from 0.8 to 4.7 m^2/s. As with several other tests, the best geometric model was an open rectangle, that is, a rectangle with three closed boundaries and one open boundary. The calculated boundary distances were consistent and ranged from 1 meter to 121 meters, suggesting that the wells in the Task 3-2 array were drilled near the corner of the rectangle.

In its FlowDim analysis, the pumping (source) zone, KH19-7, had a very distinctive composite response (Figure 12-3) , with an inner shell of moderate dimension (near 2) and an outer shell of about dimension 1.

The responding zones also had this very distinctive composite dimension response to pumping. Figure 12-4 shows the response of KH20-7, which is typical of the all the observation zone responses. The boundary between the inner and outer shells appeared very early in the test, suggesting a distance of only a few meters from the well array. We have matched this early behavior using a dimension 2 curve, but other dimensions would probably fit equally well as the inner shell flow period is very short. Near the end of the test, there was a sharp downturn in the pressure derivative, which may indicate another boundary, or may be an artifact of a slight decrease in pumping rate at the end of the test.

The responses of two A zone intervals indicated a strong connection of the A and B zones, although the A zone has a lower pressure presumably due to better connection to the mine openings. The hydraulic diffusivities from the FlowDim analyses average 2.0 m^2/s.

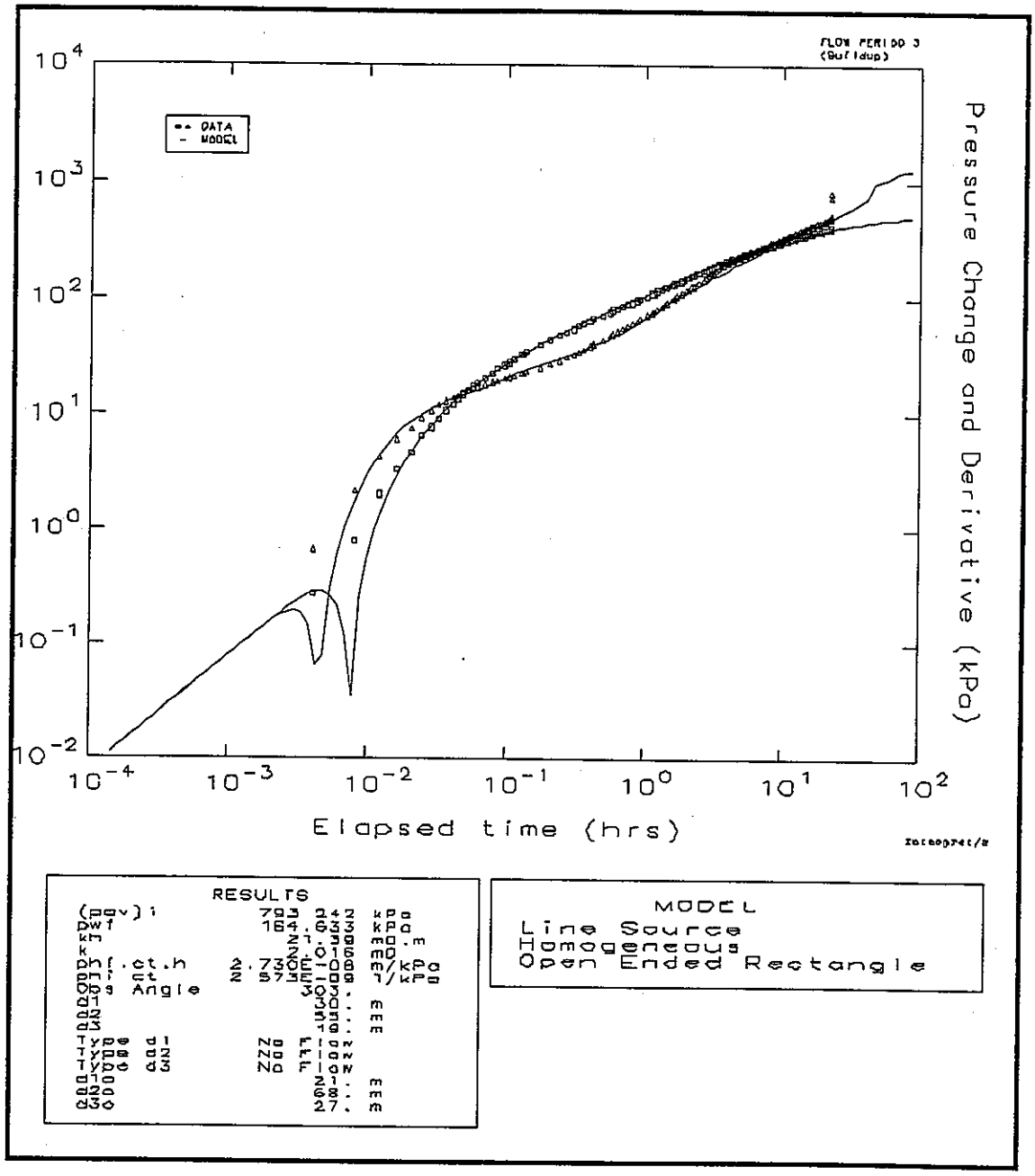


Figure 12-2 Interpret II plot of response of KH20-7 to KH19-7 withdrawal (B-zone)

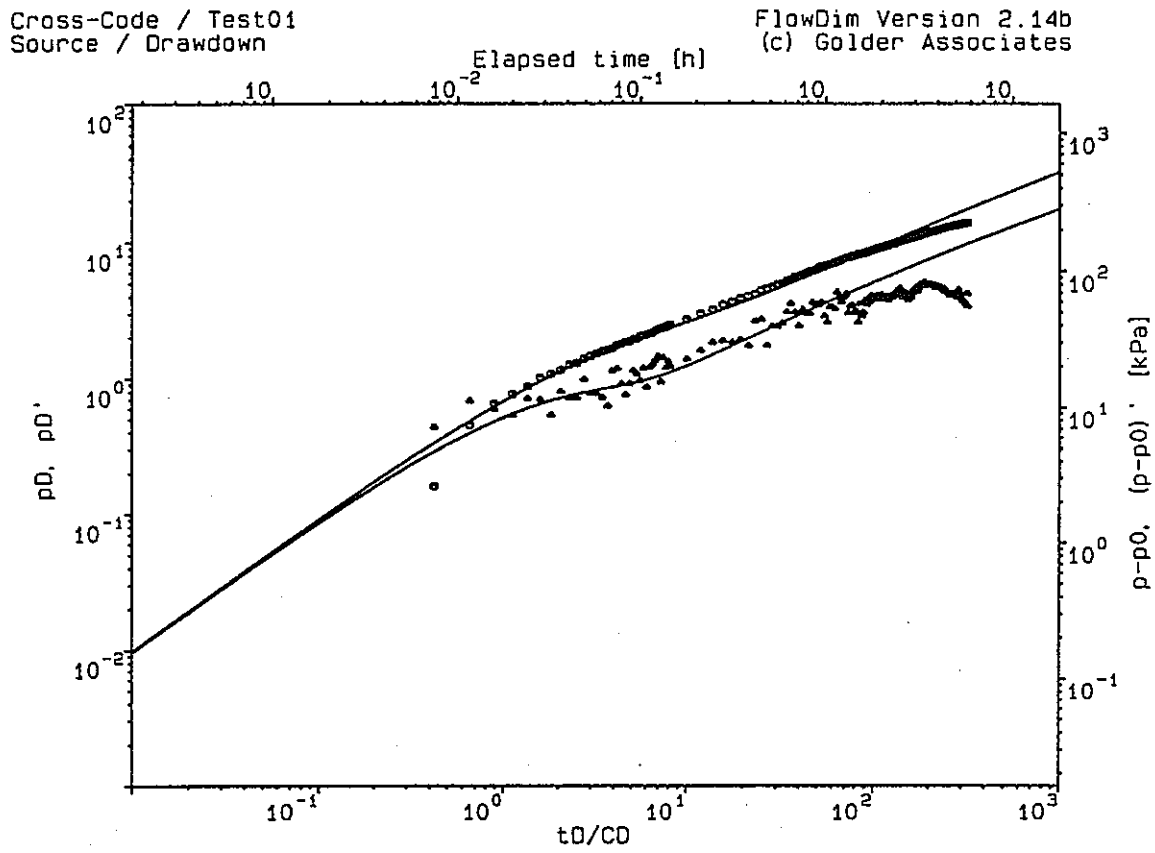
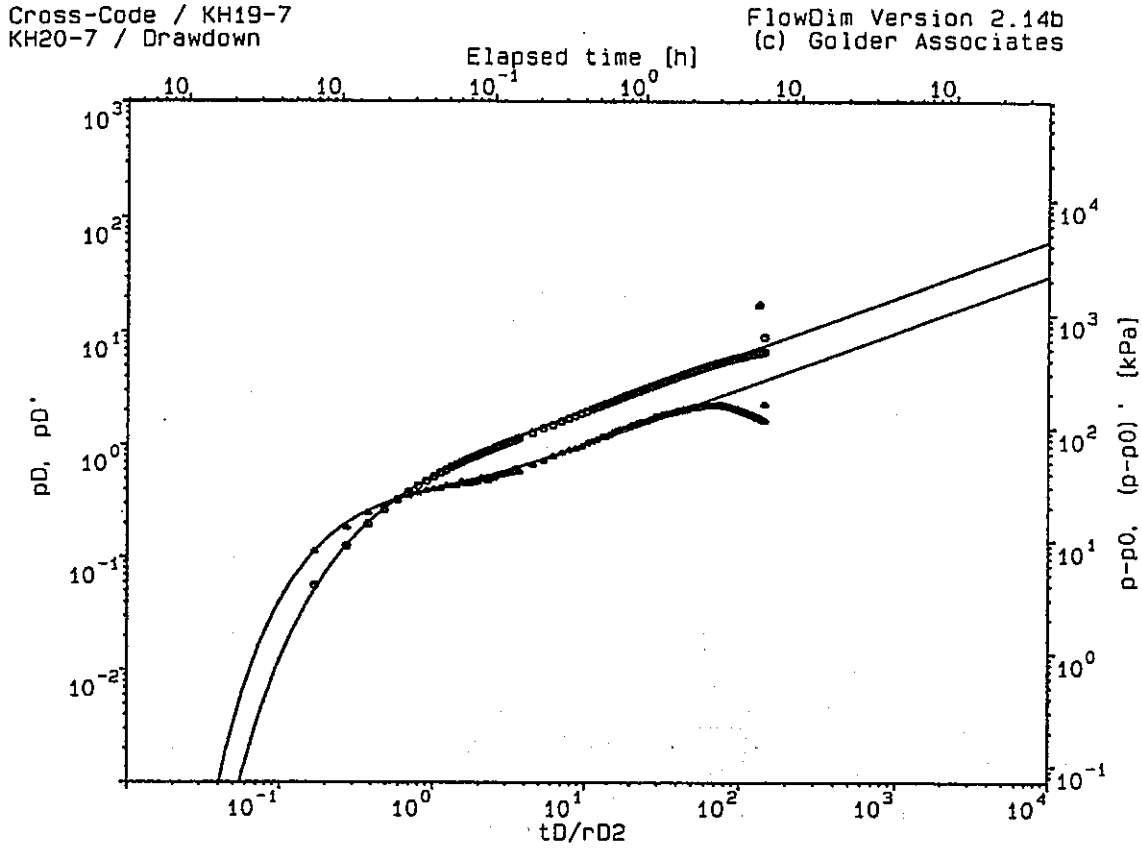


Figure 12-3 FlowDim plot of drawdown of KH19-7(B-zone source)



FLOW MODEL	: Two shell composite	T	1.56E-07	m2/s
BOUNDARY CONDITIONS	: Constant rate	S	1.18E-07	-
WELL TYPE	: Observation	n1	2.00E+00	-
SUPERPOSITION TYPE	: No superposition	n2	1.00E+00	-
PLOT TYPE	: Log-log	rD1	3.00E+02	-
		brw	1.00E-03	-
		rD	1.73E+02	-

Figure 12-4 FlowDim plot of response of KH20-7 to KH19-7 withdrawal (B-zone)

Table 12-2 Interpret II analysis results

Flow Period	Source Zone	Observation Zone	T, m^2/s	S, -	Diffusivity (Df), m2/s	Flow Boundaries Distance, m	Type
Const Rate	KH19-6	19-6	1.4E-06	2.3E-03			
	Zone D	Zone D					
Const Rate	KH19-6	KH21-4	1.0E-06	6.5E-07	1.54	16	No Flow
	Zone D	Zone D				(from obs point)	
Const Rate	KH19-6	KH20-4	1.0E-06	5.1E-07	1.96	19	No Flow
	Zone D	Zone D				165	No Flow
Const Rate	KH19-6	KH19-2	9.7E-07	2.5E-07	3.88	39	No Flow
	Zone D	Zone D				298	No Flow
Const Rate	KH19-6	KH19-3	5.5E-07	5.9E-08	9.32		
	Zone D	Zone D					
Const Rate	KH19-6	KH19-4	5.2E-07	1.5E-07	3.47		
	Zone D	Zone D					
Const Rate	KH19-6	KH19-5	5.2E-07	2.9E-07	1.79		
	Zone D	Zone D					
Const Rate	KH19-6	KH20-5	4.5E-07	8.7E-07	0.52		
	Zone D	Zone D					
Const Rate	KH19-6	KH21-3	4.7E-07	7.4E-07	0.64		
	Zone D	Zone D					
Const Rate	KH19-6	KH21-6	5.0E-07	5.2E-08	9.62		
	Zone D	Zone D					
Const Rate	KH19-6	KH23-3	4.5E-07	3.3E-06	0.14		
	Zone D	Zone D					
Const Rate	KH19-6	KH23-4	data un-analyzable				
	Zone D	Zone D					
Const Rate	KH19-6	KH24-4	4.5E-07	6.3E-07	0.71		
	Zone D	Zone D					
Const Rate	KH19-6	KH25-3	4.8E-07	3.3E-07	1.45		
	Zone D	Zone D					
Const Rate	KH19-6	KH25-4	5.0E-07	1.0E-05	0.05		
	Zone D	Zone D					
Const Rate	KH19-6	KH25-5	5.1E-07	4.2E-08	12.14		
	Zone D	Zone D					
Buildup	KH20-3	KH21-2	1.5E-07	1.7E-06	0.09	4	No Flow
Analysis	Zone E	Zone E				14	No Flow
Buildup	KH20-3	KH22-1	5.4E-07	5.8E-07	0.93	-	-
Analysis	Zone E	Zone E					
Buildup	KH20-3	KH22-2	8.6E-07	5.6E-06	0.15	-	-
Analysis	Zone E	Zone E					
Buildup	KH20-3	KH22-3	4.1E-07	2.0E-06	0.21	-	-
Analysis	Zone E	Zone E					
Buildup	KH20-3	KH23-2	8.5E-08	3.2E-07	0.27	1	No Flow
Analysis	Zone E	Zone E				58	No Flow
Buildup	KH20-3	KH23-3	2.7E-07	3.4E-06	0.08	-	-
Analysis	Zone E	Zone E					
Buildup	KH20-3	KH25-2	9.3E-08	3.4E-06	0.03	7	No Flow
Analysis	Zone E	Zone E				12	No Flow

Table 12-2 Continued. Interpret II analysis results

Flow Period	Source Zone	Observation Zone	T, m^2/s	S, -	Diffusivity (Df), m2/s	Flow Boundaries	
						Distance, m	Type
Buildup	KH20-3	KH24-3	7.3E-08	2.1E-06	0.03	1	No Flow
Analysis	Zone E	Zone E				22	No Flow
						29	No Flow
Buildup	KH19-7	KH20-7	2.1E-07	2.7E-07	0.78	21	No Flow
Analysis	Zone B	Zone B				27	No Flow
						68	No Flow
Buildup	KH19-7	KH22-7	2.6E-07	2.2E-07	1.18	2	No Flow
Analysis	Zone B	Zone B	to	to	to	35	No Flow
			4.5E-07	1.9E-07	2.37	78	No Flow
Buildup	KH19-7	KH21-7	3.1E-07	9.5E-07	0.33	1	No Flow
Analysis	Zone B	Zone B	(Estimated T range: 1E-7 - 3E-6 m2/s			53	No Flow
						18	No Flow
Buildup	KH19-7	KH24-7	9.8E-07	2.1E-07	4.67	3	No Flow
Analysis	Zone B	Zone B				22	No Flow
						121	No Flow
Buildup	KH20-6	KH21-5	5.6E-09	3.8E-05	0.00015		
Analysis	Zone C	Zone C					
Buildup	KH20-6	KH22-4	7.9E-08	8.0E-07	0.10	2	No Flow
Analysis	Zone C	Zone C?				10	No Flow
						39	No Flow
Buildup	KH20-6	KH22-6	1.3E-07	7.8E-07	0.17	3	No Flow
Analysis	Zone C	Zone C				7	No Flow
						49	No Flow
Buildup	KH20-6	KH23-5	8.2E-08	5.0E-06	0.02	2	No Flow
Analysis	Zone C	Zone C				3	No Flow
						16	No Flow
Buildup	KH20-6	KH25-4	8.3E-08	1.3E-06	0.06	4	No Flow
Analysis	Zone C	Zone D?				8	No Flow
						32	No Flow
Buildup	KH20-6	KH22-5	8.0E-08	7.9E-07	0.10	2	No Flow
Analysis	Zone C	Zone C				10	No Flow
						40	No Flow
Buildup	KH20-6	KH23-6	9.9E-08	8.7E-06	0.01	1	No Flow
Analysis	Zone C	Zone C				4	No Flow
						13	No Flow

Table 12-2 Continued. Interpret II analysis results

Flow Period	Source Zone	Observation Zone	T, m^2/s	S, -	Diffusivity (Df), m2/s	Flow Boundaries	
						Distance, m	Type
Buildup	KH20-6	KH24-6	1.4E-07	2.3E-05	0.01	1	No Flow
Analysis	Zone C					3	No Flow
						12	No Flow
Buildup	KH20-1	KH21-1	1.0E-07	4.1E-06	0.02	5	No Flow
Analysis	Zone F	Zone F				22	No Flow
Buildup	KH20-1	KH25-1	1.0E-07	4.2E-06	0.02	5	No Flow
Analysis	Zone F	Zone F				19	No Flow
Buildup	KH20-1	KH24-1	1.0E-08	7.8E-07	0.01	0.5	Recharge?
Analysis	Zone F	Zone F					
Buildup	KH20-1	KH24-2	1.1E-07	1.2E-06	0.09	10	No Flow
Analysis	Zone F	Zone F				34	No Flow
Buildup	KH20-1	KH20-2	1.1E-07	1.6E-06	0.07	8	No Flow
Analysis	Zone F	Zone F				31	No Flow

Table 12-3 Flowdim results

Flow Period	Source	Observation	Dimension		Parameters				
	Zone	Zone	n1	n2	T, m2/s	S, -	Diff, m^2/s	R1	brw
Const. Rate	KH20-4	KH19-2	2.2	1.8	1.6E-07	3.6E-08	4.44	234	0.08
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH20-4	KH19-3	1.8	-	3.8E-06	1.6E-06	2.38		
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH20-4	KH19-4	1.8	-	3.6E-06	3.6E-06	1.00		
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH20-4	KH19-5	1.8	-	3.6E-06	2.3E-06	1.57		
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH20-4	Source	2.2	-	1.7E-07	9.4E-04	0.0002		
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH20-4	KH20-5	3.4	2.0	9.8E-11	7.2E-10	0.14	260	0.00017
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH20-4	KH21-3	2.3	1.8	1.0E-07	2.5E-07	0.40	49	0.03
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH20-4	KH21-4	1.7	-	9.5E-06	2.0E-05	0.48		
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH20-4	KH23-3	1.0 ?	-	2.0E-04	9.9E-03	0.02		
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH20-4	KH23-4	2.0?	-	1.1E-06	1.3E-04	0.01		
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH20-4	KH24-4	3.2	1.9	1.3E-09	1.0E-07	0.01	10	0.001
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH20-4	KH25-3	2.2	1.8	1.7E-07	5.9E-07	0.29	42	0.06
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH20-4	KH25-4	2.3	1.8	7.2E-08	6.0E-08	1.20	75	0.019
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH20-4	KH25-5	1.8	-	3.9E-06	3.1E-06	1.26		
	Zone D	Zone D							

Table 12-3 Continued. Flowdim results

Flow Period	Source	Observation	Dimension		Parameters				
	Zone	Zone	n1	n2	T, m2/s	S, -	Diff, m^2/s	R1	brw
Const. Rate	KH19-6	19-6	2.2		1.4E-06	1.4E-03	0.001		
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH19-6	KH21-4	2.1	1.7	3.50E-07	3.90E-07	0.90	103	0.023
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH19-6	KH20-4	1.8		3.3E-06	1.9E-06	1.74		
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH19-6	KH19-2	1.7	-	1.2E-05	2.6E-06	4.62		
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH19-6	KH19-3	2	1.7	7.9E-07	1.7E-07	4.65	159	0.085
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH19-6	KH19-4	2.3	1.7	9.1E-08	8.4E-08	1.08	79	0.013
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH19-6	KH19-5	2.3	1.7	1.1E-07	2.4E-07	0.46	36	0.018
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH19-6	KH20-5	2.2	1.9	2.0E-08	4.9E-08	0.41	230	0.02
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH19-6	KH21-3	1.7		7.7E-06	4.2E-06	1.83		
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH19-6	KH21-6	2.5	1.7	1.8E-08	1.1E-08	1.64	80	0.013
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH19-6	KH23-3	1.7		3.9E-06	3.7E-05	0.11		
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH19-6	KH23-4	1.7		3.4E-06	1.9E-04	0.02		
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH19-6	KH24-4	1.8		2.9E-06	3.3E-06	0.88		
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH19-6	KH25-3	1.7		9.5E-06	5.0E-06	1.90		
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH19-6	KH25-4	1.7		8.9E-06	7.8E-06	1.14		
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH19-6	KH25-5	2.5	1.8	1.6E-08	5.0E-09	3.20	99	0.002
	Zone D	Zone D							

Table 12-3 Continued. Flowdim results

Flow Period	Source Zone	Observation Zone	Dimension n1	Dimension n2	Parameters T, m2/s	Parameters S, -	Parameters Diff, m^2/s	Parameters R1	Parameters brw
Const. Rate	KH19-7	KH19-7	2	1.0	6.9E-07	3.0E-03	0.0002	-	0.001
	Zone B	Zone B							
Const. Rate	KH19-7	KH19-8	2	1.0	5.6E-07	6.0E-07	0.93	3.3	0.0015
	Zone B	Zone A							
Const. Rate	KH19-7	KH20-7	2	1.0	1.6E-07	1.2E-07	1.32	1.7	0.001
	Zone D	Zone D							
Const. Rate	KH19-7	KH21-7	2	1.0	2.1E-07	2.5E-07	0.82	3.5	0.0017
	Zone B	Zone B							
Const. Rate	KH19-7	KH22-7	2	1.0	1.6E-07	3.8E-08	4.26	3.0	0.0005
	Zone B	Zone B							
Const. Rate	KH19-7	KH23-7	2	1.0	1.8E-07	5.6E-08	3.19	2.5	0.001
	Zone B	Zone A							
Const. Rate	KH19-7	KH24-7	2	1.0	1.6E-07	8.0E-08	2.04	3.1	0.0011
	Zone B	Zone B							
Const. Rate	KH19-7	KH25-7	2	1.0	1.9E-07	1.1E-07	1.74	3.2	0.0012
	Zone B	Zone B							
Const. Head	KH20-1	KH20-1	2.75	-	3.7E-09	6.6E-06	0.00056		
	Zone F	Zone F							
Const. Head	KH20-1	KH24-1	3	1.8	-	-	0.0038	25	0.003
	Zone F	Zone F							

Zone C: KH20-6

The sampling from Zone C (KH20-6 source) maintained neither a constant rate nor a constant pressure, hence the data were not appropriate for use in FlowDim. The analyses were done with Interpret II using the recovery data only.

The major responding zones, KH22-4, KH22-6, KH23-5, KH23-6, KH24-6, and KH25-4, all had very similar responses. The Interpret II diffusivities in these zones average 0.08 m^2/s, and all gave their best fit for an open-ended rectangle model, where most wells are near a corner of the rectangle. The open-ended rectangle has three closed boundaries and one open. The rectangle has three length scales, the shortest distance being about 1-2 meters, the intermediate distance, 3-10 meters, and the longest distance being 10-40 meters. Figure 12-5 shows the response of KH23-5, which is typical of the other strongly responding zones.

The response of KH21-5 is distinctive from the other responding intervals. This interval is not as well connected as the other intervals, and may represent a transition between the D and the C zones. This test had its best fit to an infinite lateral extent model, but its diffusivity was 0.00015, much lower than the other responding intervals.

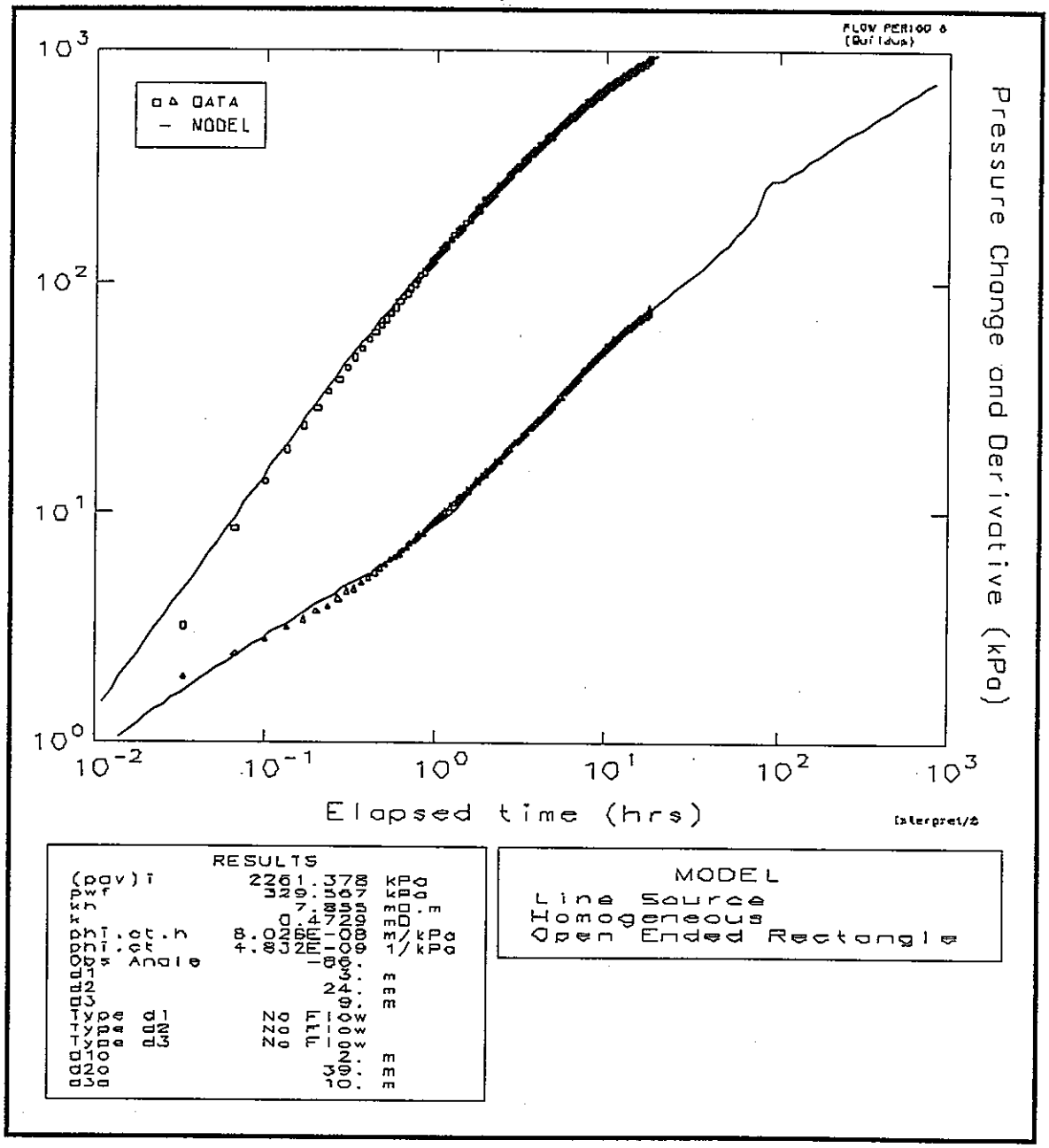


Figure 12-5 Interpret II plot of response of KH22-4 to KH20-6 withdrawal (C-zone)

Zone D: KH19-6

The Interpret II analyses of the KH19-6 test showed two types of response. Several zones exhibited a behavior with a relatively flat derivative, which was considered as indicating infinite acting, cylindrical flow behavior (Figure 12-6, KH21-6). Other zones, such as KH19-2 have rising pressure derivatives, where were matched to a channel boundary model with boundary distances between 16 and 298 meters of the source zone (Figure 12-7, KH20-4).

The flow rate during the KH19-6 withdrawal was reasonably constant, hence the data were appropriate for FlowDim analysis. The source zone (KH19-6, Figure 12-8) shows a clear dimensional response greater than 2, and the best match to the data is for a single-shell model with a dimension of 2.2.

The observation intervals had several different responses. Observation intervals with strong connections to the source, such as along tongue of D-zone that extends through KH20-5, KH21-6, and KH25-5, and other zones near the source interval, have clear composite responses (Figure 12-9),. These zones have a composite dimension response with an inner zone with a dimension between 2 and 2.5, and an outer zone with a dimension between 1.7 and 1.9. The boundary between the composite shells appears to be between 36 and 230 meters from the well cluster.

Further distant from the source, the well test responses appear to have single shell behavior (KH20-4, KH19-2, KH21-3, KH25-3, and KH25-4) with a dimension between 1.7 and 1.8 (Figure 12-10). Even further distant from these wells are the monitoring zones of KH-23, which have much lower diffusivity values than the rest of the D zone. This decrease in transmissivity and diffusivity had been noted previously in the relatively low flow rates and longer lag times in the D-zones intervals of KH-23. The KH23 intervals (KH-3 and 4) were analyzed using an assumed dimension of 1.7, however the data are too early time to interpret the dimensional response.

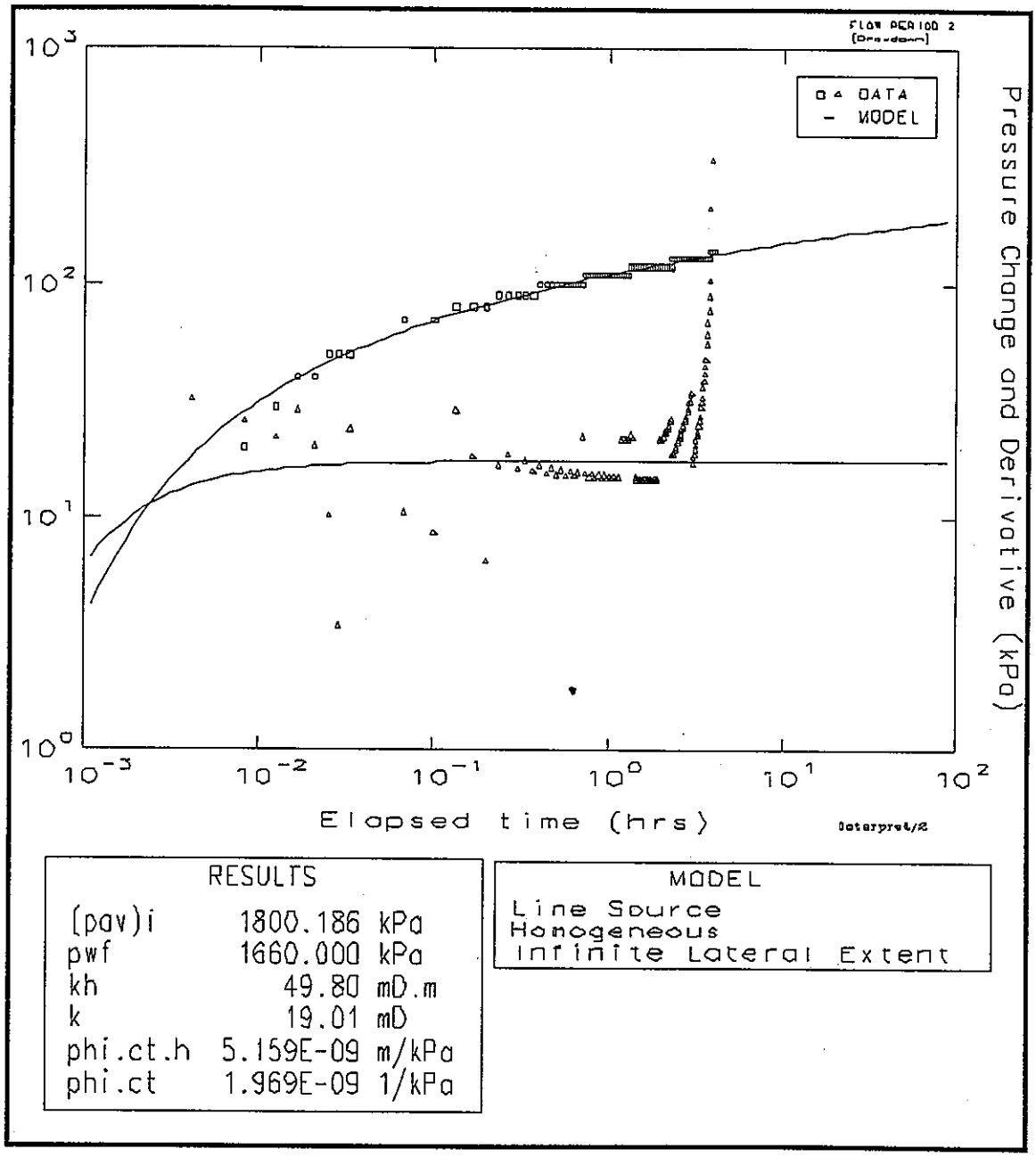


Figure 12-6 Interpret II plot of response of KH21-6 to KH19-6 withdrawal (D-zone)

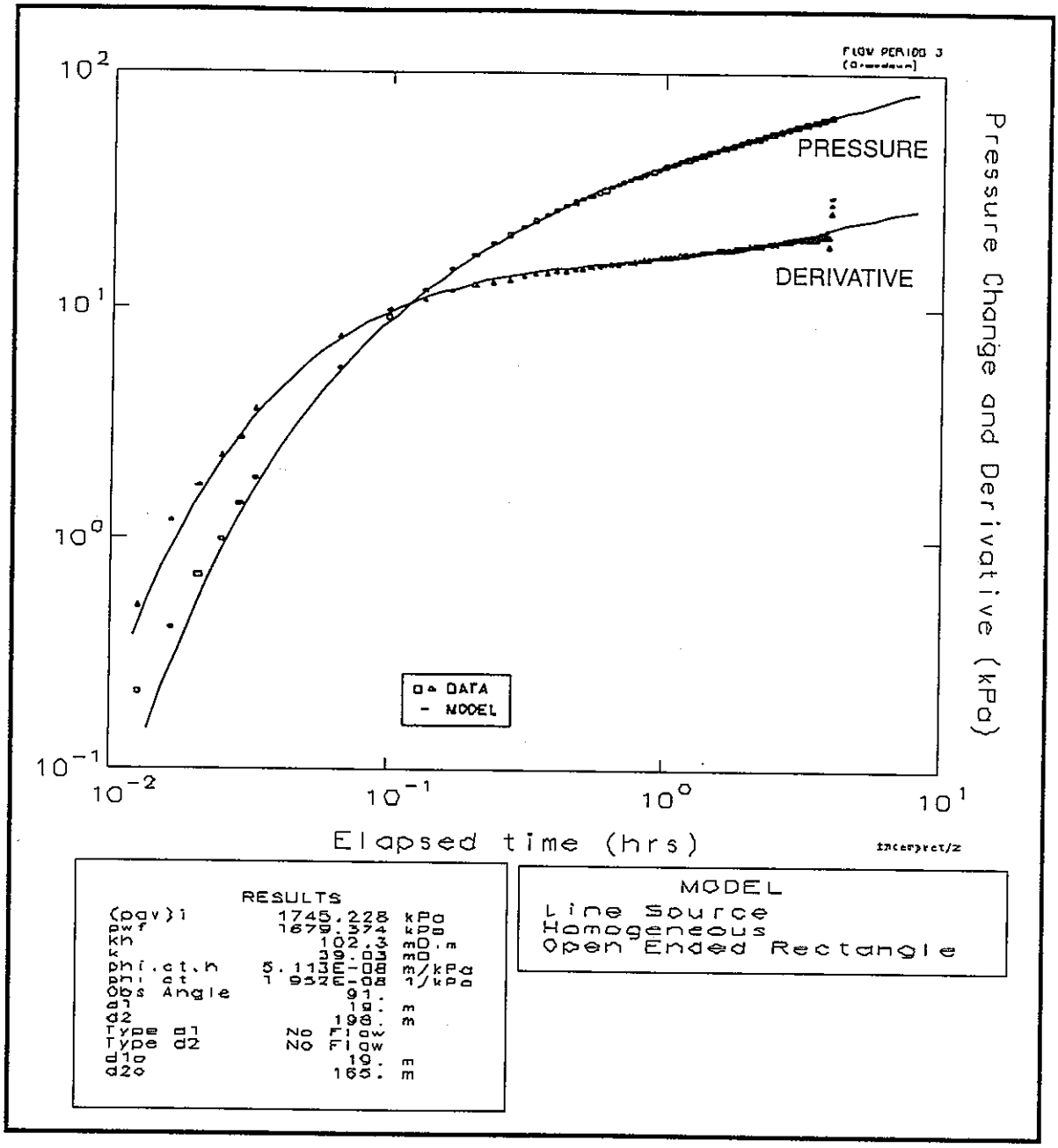


Figure 12-7 Interpret II plot of response of KH20-4 to KH19-6 withdrawal (D-zone)

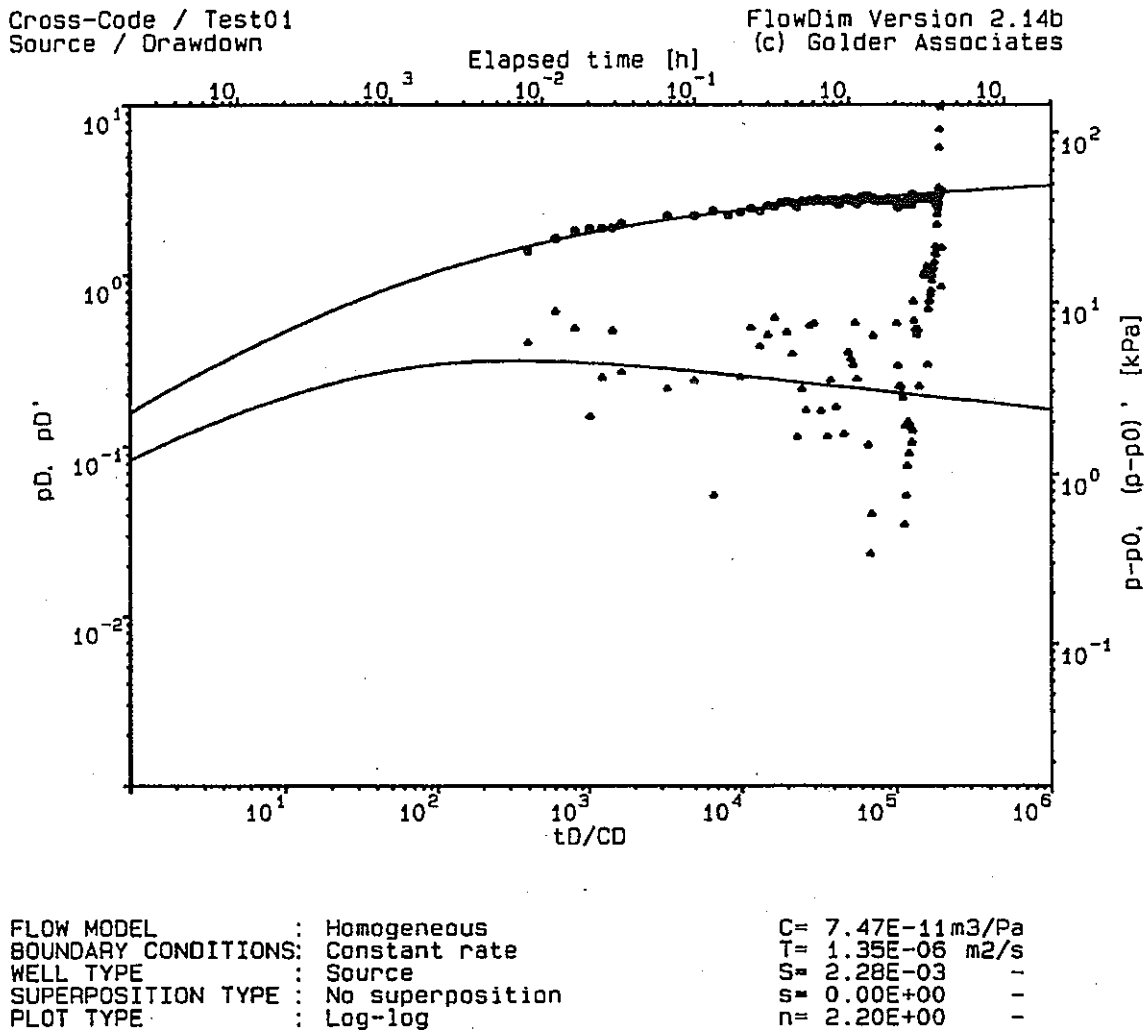
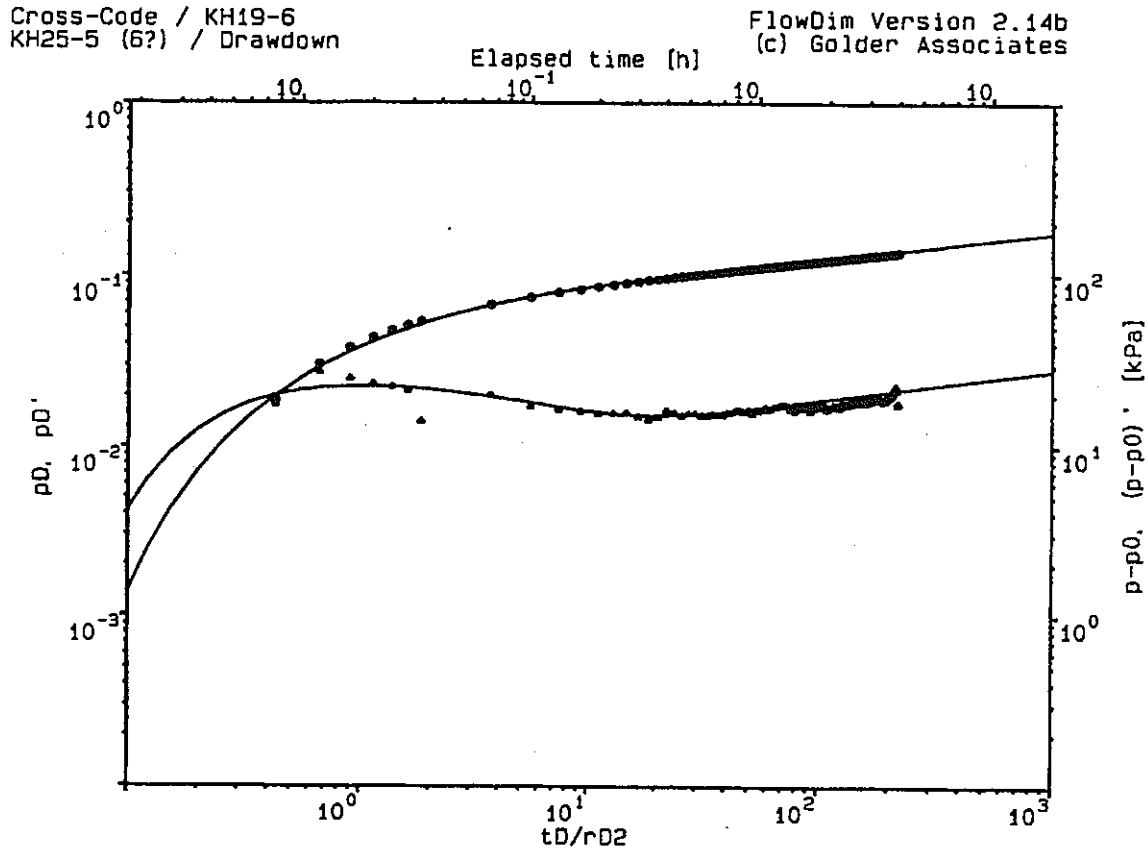


Figure 12-8 FlowDim plot of drawdown of KH19-6 (D-zone source)



FLOW MODEL	: Two shell composite	T	1.57E-08	m2/s
BOUNDARY CONDITIONS	: Constant rate	S	5.04E-09	-
WELL TYPE	: Observation	n1	2.50E+00	-
SUPERPOSITION TYPE	: No superposition	n2	1.70E+00	-
PLOT TYPE	: Log-log	rD1	1.25E+03	-
		brw	2.00E-03	-
		rD	1.79E+02	-

Figure 12-9 FlowDim plot of response of KH25-6 to KH19-6 withdrawal (D-zone)

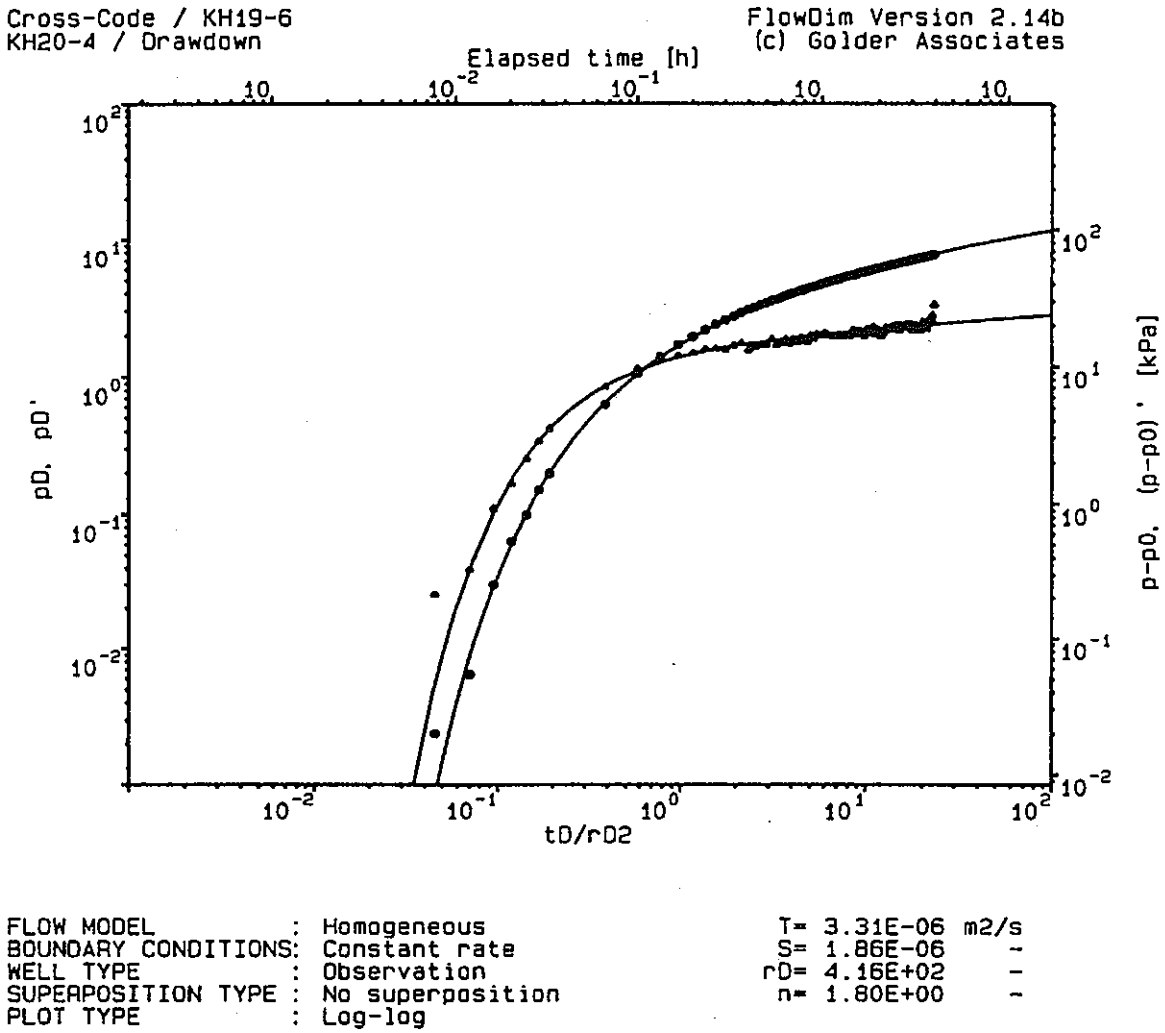


Figure 12-10 FlowDim plot of response of KH20-4 to KH19-6 withdrawal (D-zone)

Zone D, KH20-4

A second sampling test in the D zone was run in KH20-4. This test had a sufficiently constant rate to be analyzed using FlowDim. The test was not analyzed using Interpret II.

The overall behavior of the responding intervals was very similar in the KH20-4 test, as it was for the KH19-6 test, which was also in the D zone. The source interval (KH20-4, Figure 12-11) showed a dimension 2.2 behavior with a significant skin affect. Intervals with strong connections or close proximity to KH20-4 show a composite behavior with inner zone dimensions ranging from 2.2 to 3.4 and outer zone dimensions of 1.8 to 2 (as in KH21-3, Figure 12-12). The large inner zone dimension may reflect the expansion of the D-zone to the east of the inner (KH20, 24, 25) cluster. More distant zones, show single dimension behavior with dimension of 1.8 (Figure 12-13). Again, the KH23 intervals have a lower diffusivity response to this sampling.

In summary, the FlowDim analyses of the two D-zone tests (KH19-6 and KH20-4) have strong similarities in the variation of dimensional response. The source wells have high dimension behavior in a single shell, nearby observation wells have a composite dimension behavior with a high inner shell and low outer shell. The boundary distances to these shells lie at a distance of between 10 and 260 meters of the source.

More distant intervals show a low dimension (1.8) single shell behavior. Diffusivity values range from 0.14 to 4.4 excluding the KH23 zones, which are connected to the rest of D by a lower diffusivity path.

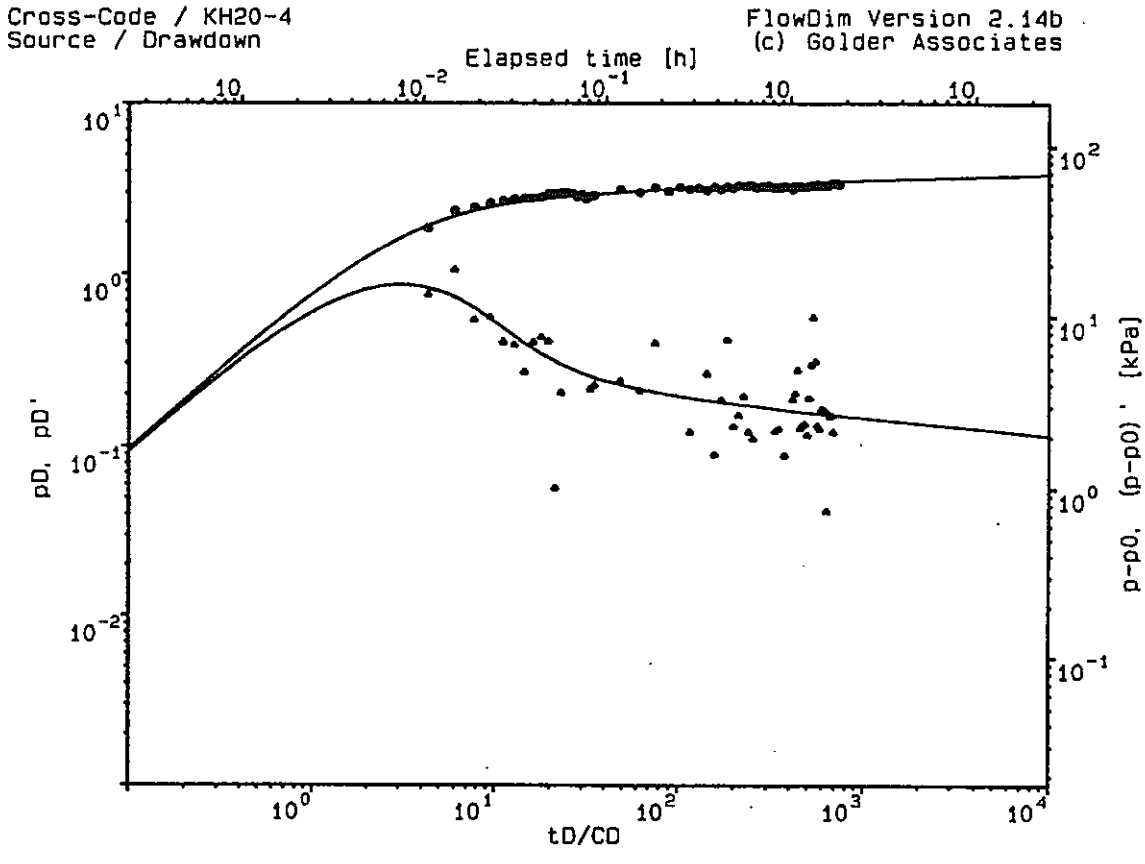


Figure 12-11 FlowDim plot of drawdown of KH20-4 (D-zone source)

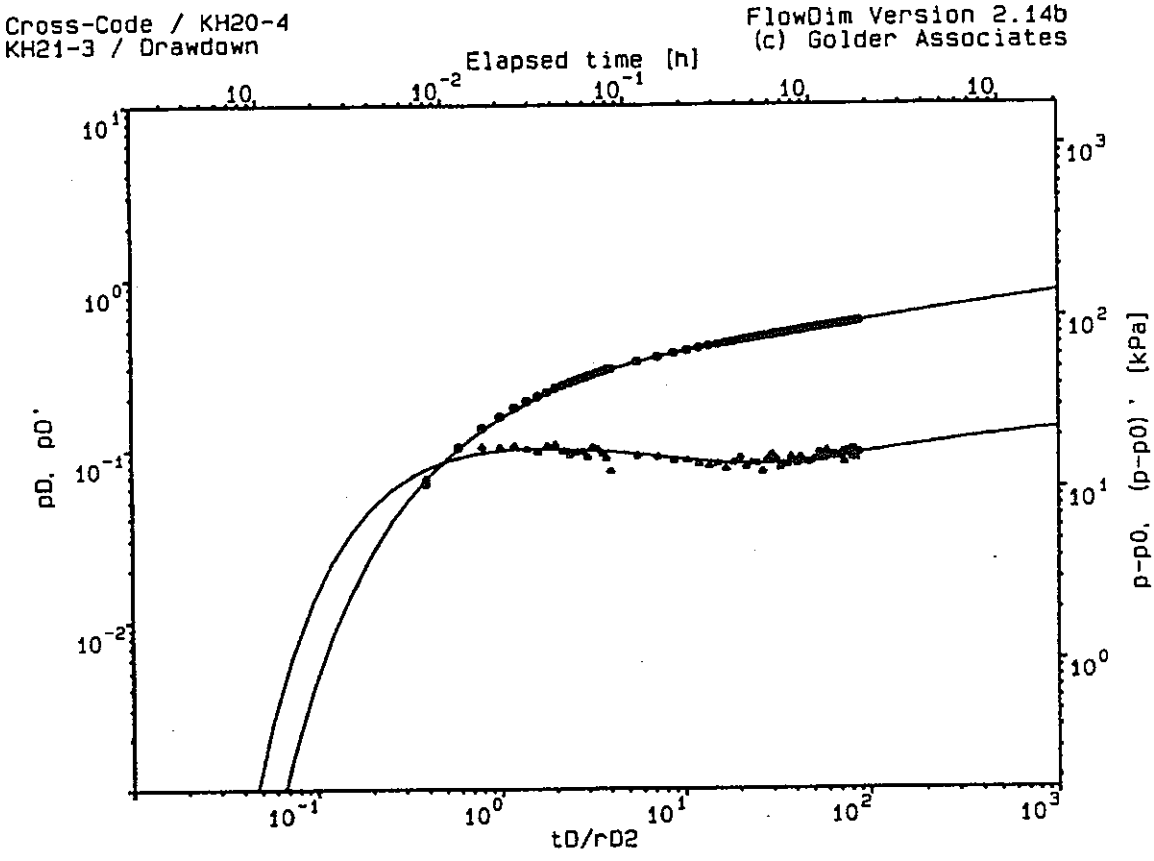


Figure 12-12 FlowDim plot of response of KH21-3 to KH20-4 withdrawal (D-zone)

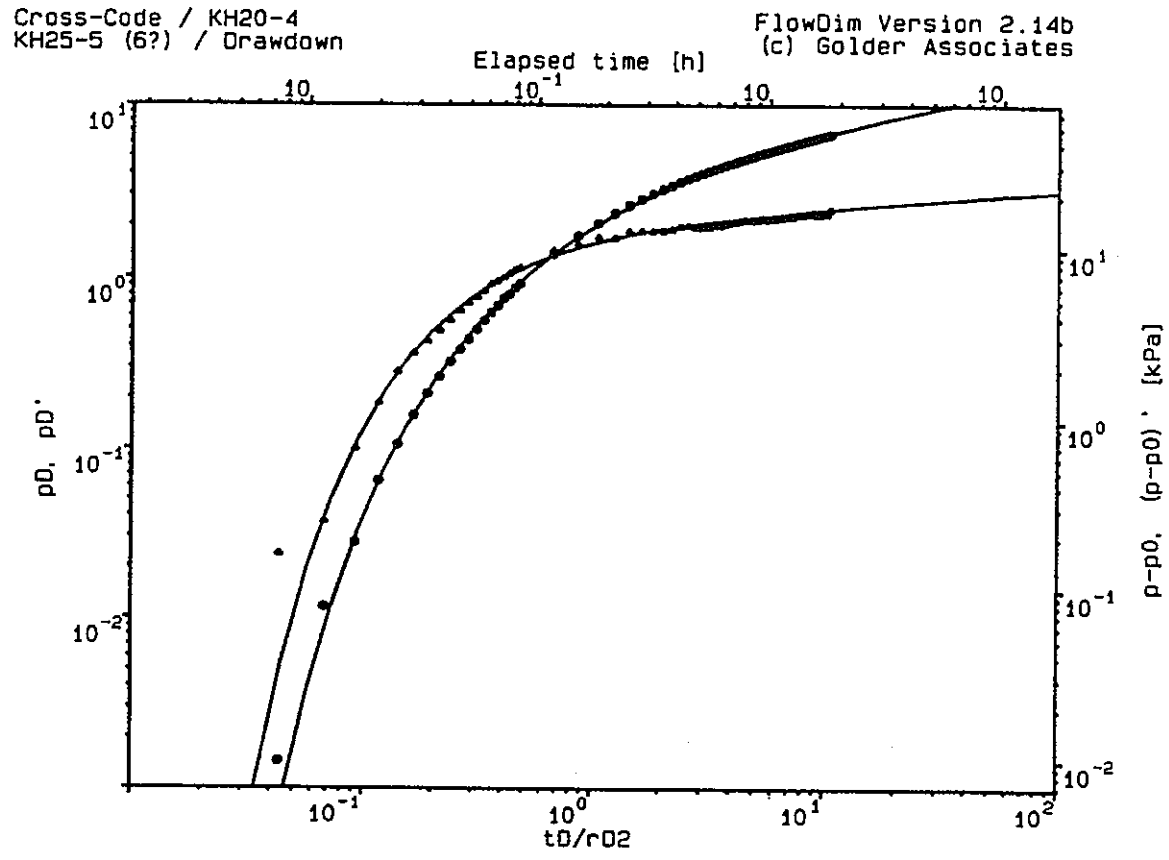


Figure 12-13 FlowDim plot of response of KH25-6 to KH20-4 withdrawal (D-zone)

Zone E, KH20-3

The rate data were not sufficiently constant to allow the use of FlowDim for test interpretation, hence all the E responses were analyzed using Interpret II only. The observation results of the KH20-6 withdrawal test show clear the effects of hydraulic boundaries. The responses of KH20-3, and KH23-2, KH23-3 best fit a model with channel boundaries which lie from 2-4 meters in one direction and 12-14 meters from the source (Figure 12-14). Zones KH22-2, 22-3, and 24-3, and 25-2 exhibit behavior corresponding to open ended rectangles from 1 to 58 meter from the source (Figure 12-15.)

Zone F: KH20-1

Three responses within Zone F were considered for analysis. The responses produced very similar T, S and diffusivity values. Two of the responses (KH21-1 and KH25-1) also indicated boundary properties that are almost identical. Figure 12-16 shows the response of KH25-1 to KH20-1 withdrawal. The data show a clear boundary effect at about 5 hours. Interpret II matches the entire curve to a channel response, where the early time recovery is largely cylindrical and the late time data is linear, as the channel dominated the recovery. KH24-1 (not shown) had a very distinctive response, which Interpret could not match, possibly indicating local recharge or a local high transmissivity pocket. The later time data from this test also shows the boundary effects.

From the KH20-1 test, the F zone diffusivity values range from .01 to .09 m^2/s, which are smaller than the values in zones such as D or B. The channel boundary distances are calculated as ranging from 5 to 34 meters form the observation wells.

The test in KH20-1 achieved atmospheric pressure very quickly, hence the test can be treated as a constant pressure test by FlowDim. The transient rate data from the source well are shown with a FlowDim analysis in Figure 12-17. The data indicate a flow dimension of about 2.75, suggesting a flow that is locally nearly spherical. Of the several observation responses, only KH24-1 (which had been problematic for Interpret) yielded and analysis for this test. Figure 12-18 shows the results of this analysis. The early time data indicated a high flow dimension, matched here as 3.0, or spherical flow. The later time data show a clear composite behavior as the dimension drops below cylindrical to 1.8. Note that pressure response curves for constant pressure tests are very different from constant rate tests, and only diffusivity can be analyzed from the constant pressure data.

12.2 試験エリアの水圧拡散率

Taken together the diffusivity data can be mapped over the task 3-2 area to see the major variations in hydraulic properties. The well test analyses suggested that the zones have different ranges of diffusivity. B and D are relatively high diffusivity zones, with values as large as 12 m^2/s in D and 4.7 m^2/s n in B.

The diffusivity values also vary within zones. The pinch out of the D zone in the western part of the borehole array is clearly shown in the diffusivity values which go down to 0.01 m^2/s. A similar pinch out appears in the E zone, as higher values appear in KH-22 in the west where the zone is broader, and lower diffusivities are measured in the tongue of E that extends between the D and F zones.

The diffusivity value of KH-21 in the C zone may be typical of a " barrier" zone between two conductive zones, as this area seems transitional between C and D.

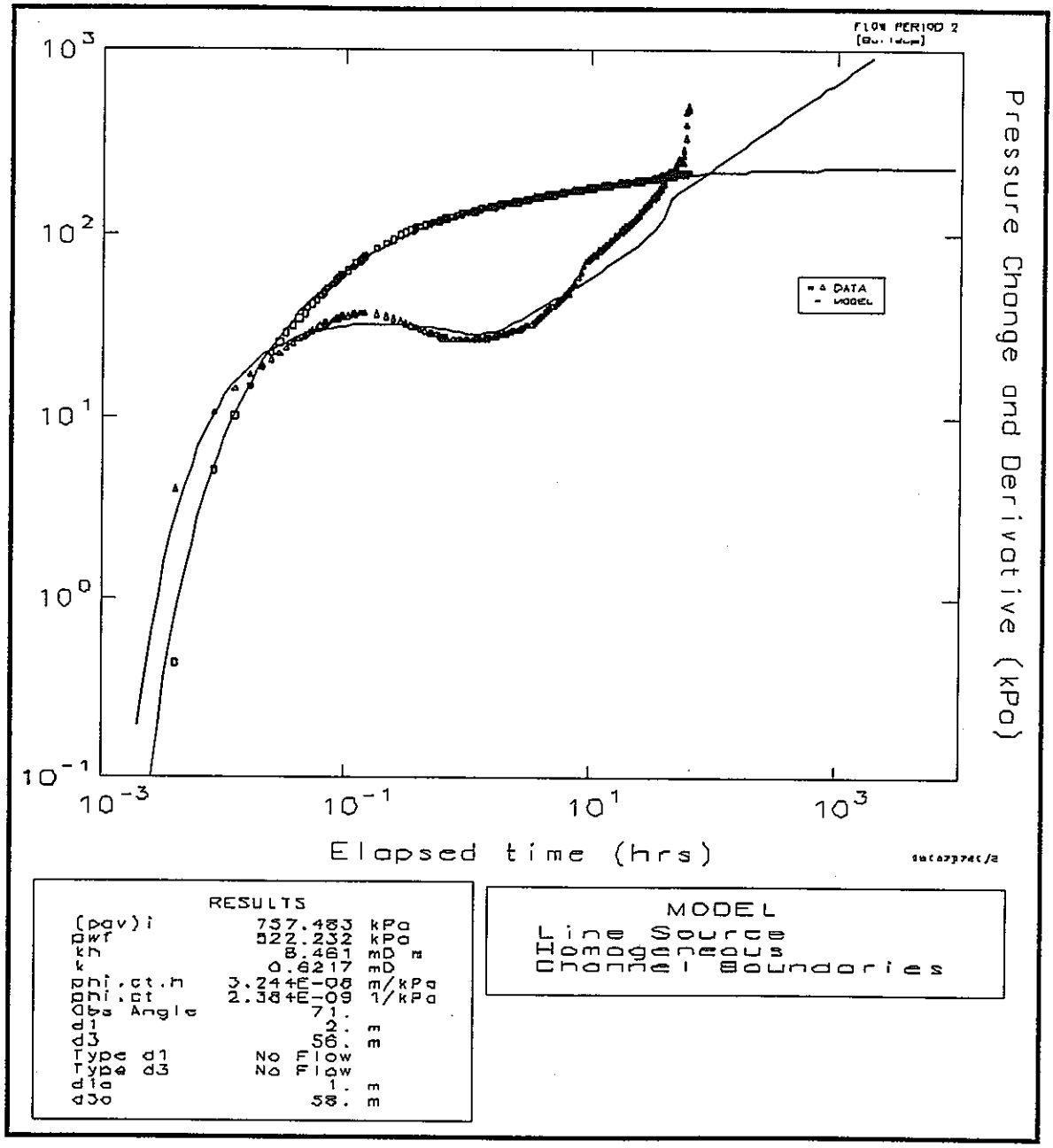


Figure 12-14 Interpret II plot of response of KH23-2 to KH20-3 withdrawal (E-zone)

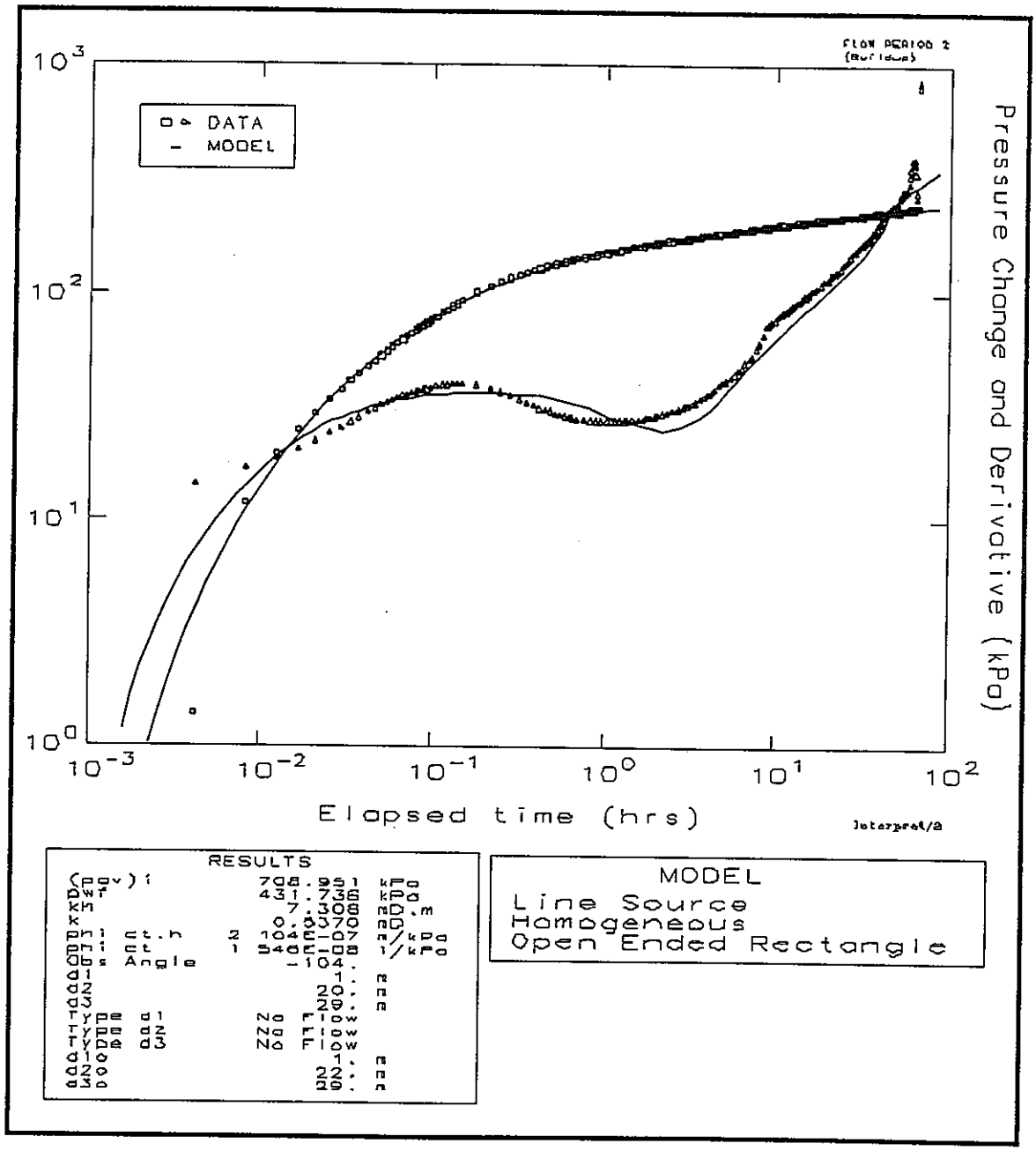


Figure 12-15 Interpret II plot of response of KH24-3 to KH20-3 recovery (E-zone)

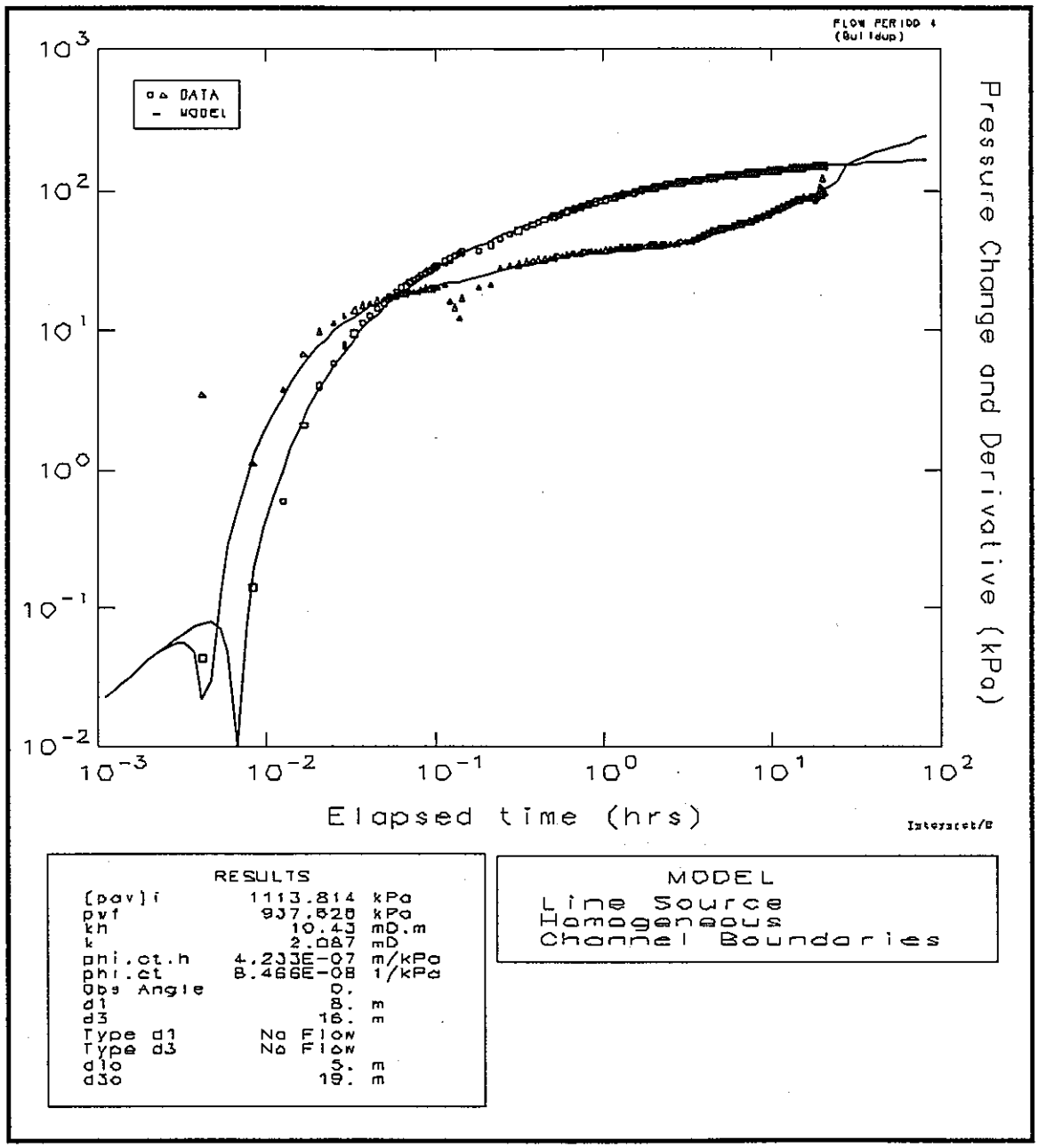


Figure 12-16 Interpret II plot of response of KH25-1 to KH20-1 withdrawal (F-zone)

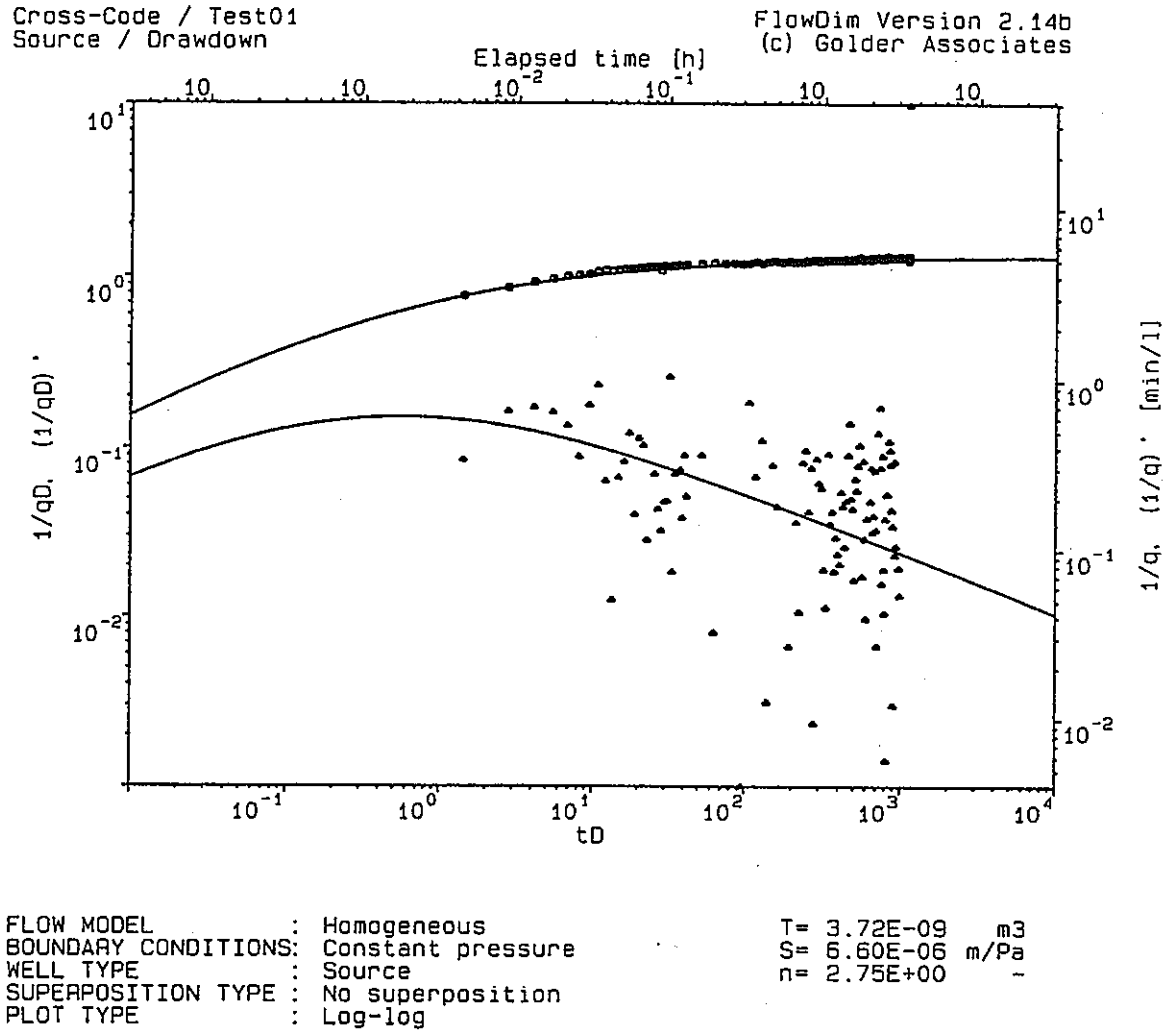


Figure 12-17 FlowDim plot of transient flow from KH20-1 (F-zone source)

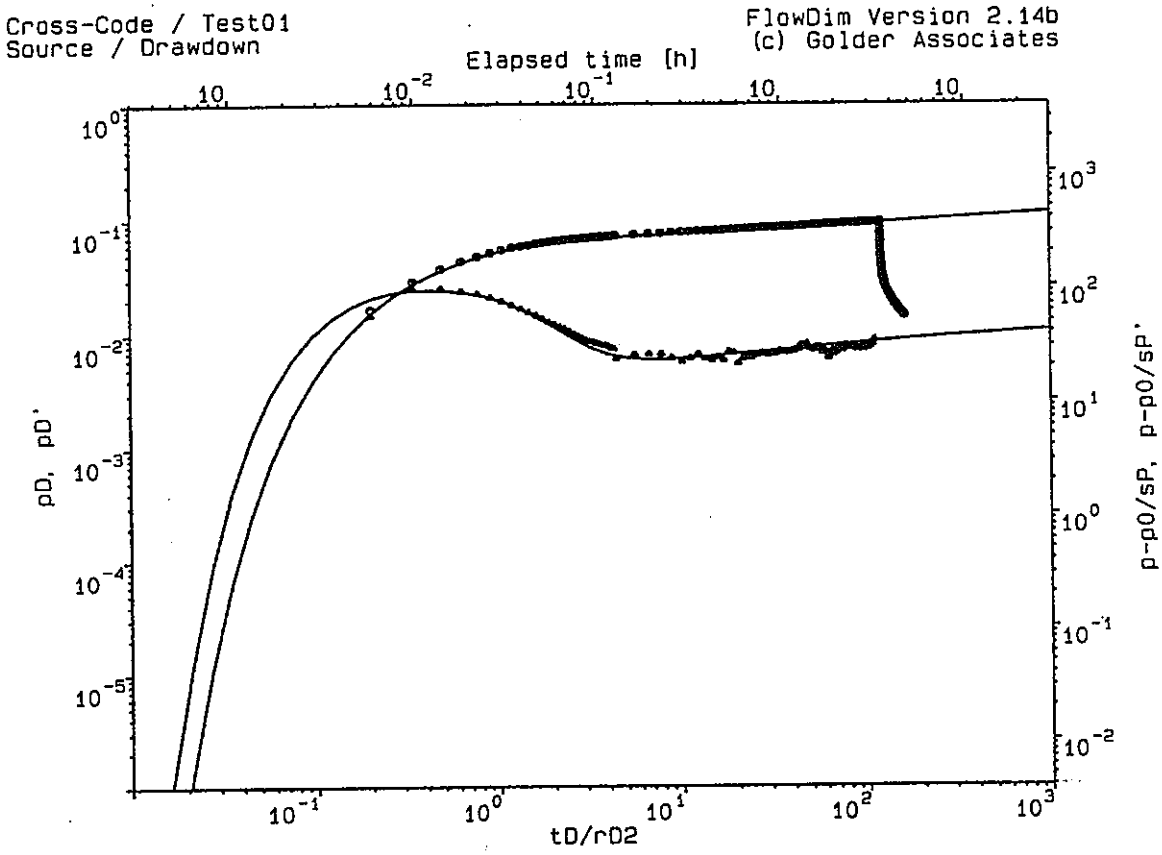


Figure 12-18 FlowDim plot of response of KH24-1 to constant pressure withdrawal of KH20-1(F-zone)

12.3 考察

The interference tests carried out during Heisei-8 broadly confirm the preliminary zone definitions developed during Heisei-7. Over the duration of the interference tests, no responses were observed across from the compartment where the source zone was located, except when KH20-6 was the source zone (Zone C). During flow and recovery at KH20-6, pressure responses were observed at KH24-6 (Zone B) and KH25-4 (Zone D). Both of these observation zones were located in the immediate vicinity of the Zone C boundary and have a minimum distance of less than 3 m from KH20-6.

On the basis of the specific interference test analyses carried out in the Task 3-2 Area, the following comments can be made regarding the hydrogeological characteristics of the compartments.

Zone B: Within the context of the interference test carried out from KH19-7, Zone B appears to be characterized by three no-flow boundaries located between 2 and 80 m from the observation zones. Moderate to high hydraulic diffusivities, ranging from 0.8 to 2.4 m^2/s, have been measured. The observation zone responses have interval transmissivities in the range of 2E-7 to 5E-7 m^2/s. All the B-zone FlowDim analyses have a characteristic composite dimension response with early cylindrical flow and late linear flow, possibly indicating channel conditions. There is also a late-time boundary effect that may reflect well history. The B zone does not intersect KH23, and it was thought in H-7 that the zone stopped between KH20 and KH23. The B zone, however, reappeared in the shallow part of KH22. This zone is well connected to the rest of B, as shown by the KH19-7 test. The B zone is connected to A, as A zone intervals responded with similar curve shapes, boundaries, dimensions, and diffusivities as the intervals within B. " A" may be intermediate between " B" and the mine openings.

Zone C: From the KH20-6 interference test results, Zone C appears to be characterized by three no-flow boundaries located between 2 and 50 m from the observation zones. A wide range of diffusivities, ranging from very low (2E-4 m^2/s) to moderate (0.2 m^2/s), have been measured. The observation zone responses have been characterized by transmissivities in the range of 6E-9 - 1E-7 m^2/s. The KH20-6 interference test results also indicate that the response at KH25-4, which is located in Zone D, corresponds to a diffusivity of 6E-2 m^2/s. This value is in fact larger than some of the diffusivities derived for responses located within Zone C.

Zone D: Two interference tests have been run in Zone D with sources KH20-4 and KH19-6. The tests confirm the previously known structure of the D zone, that is, the zone makes up the larger part of KH19, and it has two tongues into the core area of the experiment (KH23, 20, 24, 25, and 21). The shallower tongue intersects KH21 and KH25, but stops between KH25 and KH 24 with no appearance further to the west. This tongue has a strong connection to the KH19-6 flow test.

The deeper tongue extends across KH21, 24, 25, 20, and 23, stopping between KH23 and KH22. The diffusivity of the deeper tongue decreases from east to west, having values around .01 in the western part of the tongue. The deeper tongue has a relatively strong connection to the deeper part of KH19, as the KH20-4 test measured its highest diffusivities in KH19-2. The anisotropy of diffusivity runs from northeast to southwest, which is the major trend of the fracturing in the Task 3-2 area.

The two D-zone tests showed a range of dimensional behaviors. The dimensionality varies with distance from each source. The source zones have relatively high dimensions greater than 2.2. More distant observation pints have sub-cylindrical dimensions between 1.7 and 1.9. Observation zones at intermediate distances show composite behaviors with higher dimension inner shells, similar to the sources, and lower dimension (~1.7) outer shells. The calculated distance to the composite boundaries varies linearly with the distance of the observation points, suggesting that the composite behavior is related to the scaling of hydraulic properties rather than reflecting a specific physical feature.

Zone E: From the KH20-3 interference test results, Zone E appears to be characterized by two to three no-flow boundaries located between 1 and 60 m from the observation zones. Diffusivities between 3E-2 m^2/s and 0.3 m^2/s and transmissivities between 8E-8 and 9E-8 m^2/s have been measured. The diffusivity values are higher for pathways to the west (KH22) than to the east (KH24, 25, and 21). The E zone has a similar geometry as the D zone in mirror image. The E

zone occupies a large part of KH22. The zone narrows into main borehole area where it has reduced diffusivity values.

Zone F: The KH20-1 interference test results indicate that Zone E appears to be characterized by two no-flow boundaries located between 5 and 20 m from the observation zones. Diffusivities between 1E-2 m^2/s and 2E-2 m^2/s and transmissivities between 1E-8 and 1E-7 m^2/s have been measured. FlowDim analyses also show boundary or composite effects, as the two analyzed tests both showed early time near-spherical behavior followed by late time sub-cylindrical effects.

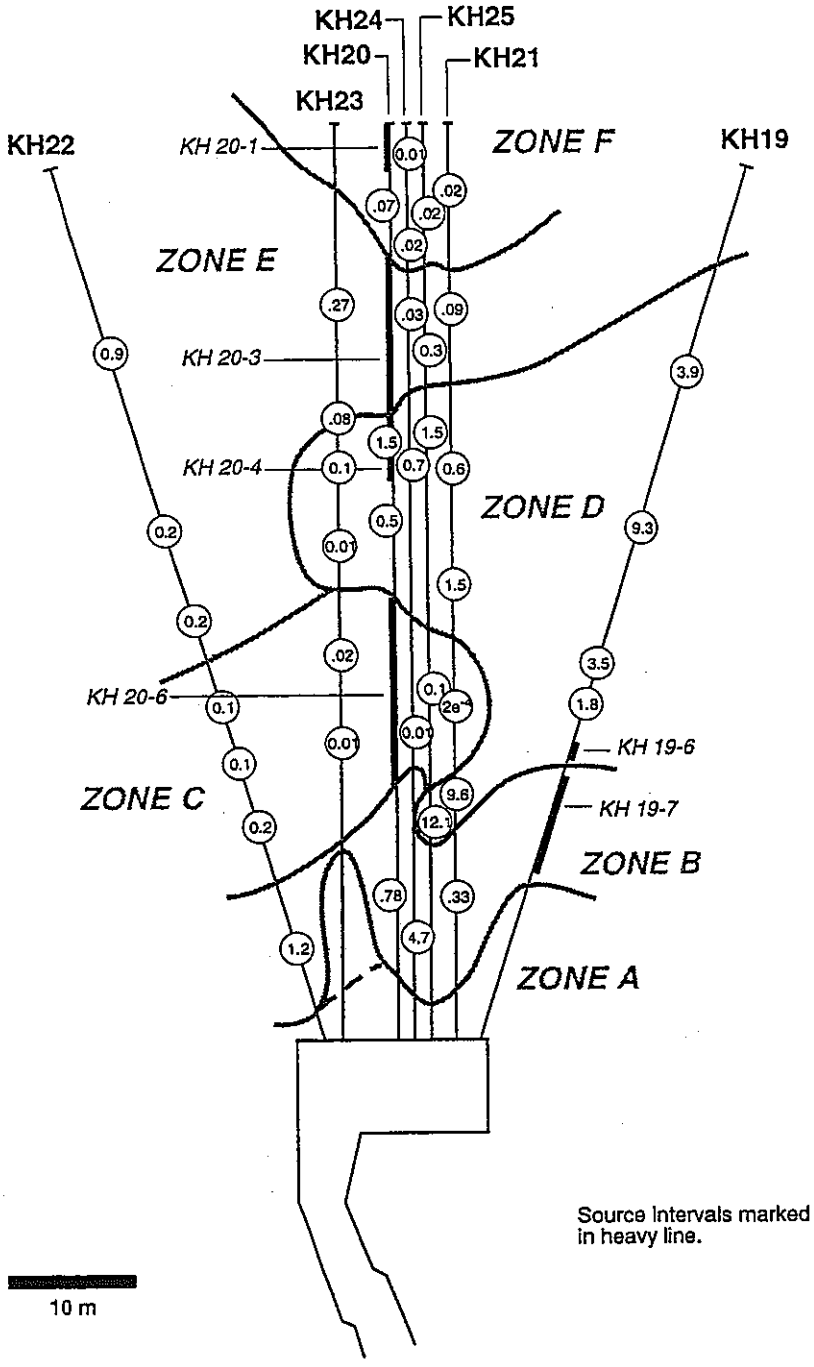


Figure 12-19 Diffusivity map of task 3-2 area based on interpret II analyses

13. 来年度試験計画のための予備的解析

13.1 圧力干渉試験

This section describes calculations to support the design of pressure interference tests which will be performed during Heisei-9. The main purpose of the Heisei-9 pressure interference testing in the Task 3-2 Area will be to induce measurable and analyzable pressure responses within and across the six compartments which were identified during Heisei-7 activities. The induced responses within each compartment will be analyzed to quantify further the geometry, properties and volume of the conductive fractures within the compartments. The cross-compartment responses will be analyzed to estimate the likely leakage between two adjacent compartments.

The interference test design uses information from interpretation of previous flow logging tests and short-term chemical sampling tests which were carried out in November 1996. Interference test analyses of these sampling tests are described in section 4. Using this information, interference test simulations are carried out to design the most appropriate test schemes, and to provide test plans, procedures and predictions of results.

The basic approach for Heisei-9 tests should be as follows: All packed-off zones need to be shut-in to ensure near-steady pressure behavior. Pressures should vary within 0.1 kPa/min to ensure that well history effects will be minimal. Pumping from a selected borehole interval will then be commenced. The pumping rate and duration will be selected from the design calculations provided herein. The pumping rate and duration are selected to ensure that

a) a measurable pressure response is observed at monitoring zones located in adjacent compartments and the smallest diffusivity zones within the pumped compartments,

b) it is possible to derive the maximum amount of information on the property and geometry of the features connecting the pumping and monitoring zones in adjacent compartments, and

c) enough information can be derived on the geometry, property and volume of each pumped compartment.

The pumping will be ceased when all the conditions outlined above are met, or when the pumping interval drawdown approaches a pre-determined maximum (whichever occurs earlier).

Next, pressure build up tests will be run to determine in detail the hydraulic characteristics of the conductors connected to the pumping zone. If all the flow boundaries that act to confine the pumped compartment are " seen" during the pumping period, then the buildup data from the source zone will provide an excellent means of quantifying the overall geometry, properties and, very importantly, the volume of the flow system within the compartment. During the pressure buildup we will also observe the piezometer intervals in the surrounding holes. These data can also be analyzed as interference tests to confirm our findings from the pumping period analyses.

Selection of Zones for Testing

During Heisei-8, Golder Associates reviewed the flow logs for all the boreholes, and prepared recommendations for pressure interference testing to be performed early in Heisei-9. The testing design is summarized in Table 13-1.

The interference test program calls for two types of test. In each of the features proposed for tracer testing, we propose running a long term test with pumping of 24-72 hours. The tracer testing features are (1) a single fracture in the F zone, (2) a single fracture in the E zone, (3) the main portion of the D zone that crosses the central part of the borehole array (KH-20, 24, and 25).

Table 13-1 Zones and specifications for interference test sources (Task 3-2, June-July, 1997)

Piezometer Zone	Top	Bottom	Flow Feature	Flow Log Rate	Testing Rate	Pumping	Recovery	Kates Control Valve	Flow Meter	Notes
	m	m		ml/min	ml/min	h	h	ml/min		
KH24-2	68.945	69.96	SF-1	700	400	24	72	474	FTO-5	Main Interference Test
KH24-4	58.804	59.891	SF-2	118	80	24	72	146	FTO-2	Main Interference Test
KH25-5	50.474	58.489	D-Main	4160	1500	72	120	1603	FTO-5	Main Interference Test
KH25-2	68.726	69.741	SF-1	357	150	0.5	1.5	218	FTO-2	
KH20-2	69.134	70.149	SF-1	78	50	0.5	1.5	115	FTO-2	
KH23-1	73.293	80.5	SF-1	2250	1000	0.5	1.5	1090	FTO-5	
KH21-1	73.953	80.5	F/SF-1	224	150	0.5	1.5	218	FTO-2	
KH20-4	57.493	58.508	SF-2	60	40	0.5	1.5	105	FTO-2	
KH23-3	55.152	56.667	SF-2?	0	0					Flow too Low to Test
KH21-3	57.893	68.908	E/SF-2	210	150	0.5	1.5	218	FTO-2	
KH20-5	51.463	56.478	D-Main	875	500					Tested in Nov. 96
KH21-4	49.336	56.878	D-Main	5780	2000	0.5	1.5	2116	FTO-5	
KH24-5	51.274	57.789	D-Main	347	200	0.5	1.5	269	FTO-2	
KH23-5	39.011	49.026	D-Main?	68	40	0.5	1.5	105	FTO-2	
KH20-6	44.433	50.448	D-45	3.2						Flow too Low
KH21-5	34.333	48.348	D-45	3830	1000	0.5	1.5	1090	FTO-5	
KH24-6	44.244	50.259	D-45	114	80					Low Priority, Low Flow
KH25-6	44.944	49.459	D-45	791	350	0.5	1.5	423	FTO-5	
KH25-10	5.5	17.096	B	806	400	24	72	474	FTO-5	Lower priority but should do sometime
KH22-3	16.291	34.887	C	205	100	24	72	167	FTO-2	Lower priority but should do sometime
KH22-1	54.932	80.5	E	522	250	24	72	321	FTO-2	Lower priority but should do sometime
Note: Table shows all possible test locations. Bold type indicates proposed test locations										

In addition to these " main" interference tests, we propose shorter tests on each piezometer interval in the feature. Intervals which were tested in November, 1996, or which would not support sufficient flow rate are excluded. The purpose of these tests is to measure the local transmissivity of each monitoring point, based on a source well analysis rather than an observation well analysis. These tests are needed because transmissivity can can only be measured in a source (pumping or injection) well rather than an observation zone in heterogeneous media. Conventional interference test analysis assumes that the features tested are homogeneous, that is, the water is pumped equally from all parts of the feature. Transmissivity calculations on observation zones assume this by using the flow rate at the pumping well, rather than a local flow rate from the region represented by the observation point, which can' t be measured anyway.

The " main" interference test for the targeted features will use the largest flowing point in the feature. The flow rates selected for each test are intended to produce a significant pressure drawdown without reducing the test zone pressure to atmospheric pressure. Were the latter to occur, the test no longer is a constant-rate test, but becomes a constant-pressure test, which is more difficult to analyze. The proposed duration of each test is intended to be sufficient to identify the hydraulic properties of feature tested and to affect some of the boundaries of the compartment. The chemical sampling tests provide considerable guidance on detection of boundary effects. All tests, except for those in the D zone, detected some of the compartment boundaries, and these tests generally had durations of only a few hours. The longer tests proposed for Heisei-9, together with better flow rate control, should provide significantly improved definition of the compartment boundaries.

Interference Test Design: Assumptions for Predicting Interference Effects Across Compartments

For interference responses where the source and observation zones are located in different compartments, the observation zone response is assumed to be dominated by the transmissivity of the low transmissivity " connector" of the two zones. This is reasonable, because for multiple zones of differing transmissivities connected in series the effective transmissivity for all the zones is biased towards the lowest transmissivity value. Also, the storativity value is assumed such that the diffusivity (ratio of the effective transmissivity to the assumed storativity) corresponds to its maximum possible value. The maximum possible value of diffusivity corresponds to the lag time for a measurable drawdown to be seen during previous interference tests conducted in the compartments (during November 1996). For example, consider that pumping occurred during a previous interference test over 4 hours, and during that time no response was seen within an adjacent compartment. Then for our design calculations, we selected a storativity value such that the resulting diffusivity produces a response in an observation zone located in the adjacent compartment after 4 hours. Clearly, for a prescribed transmissivity, the larger the assumed storativity value (i.e., the smaller the diffusivity), the greater will be the lag time for a given drawdown to be seen at the observation zone.
A deterministic fracture model of the Task 3-2 Area (Golder 1996estimated the transmissivity, T, across compartment boundaries. These values were estimated:

- Average T between Compartments B and D: 5E-9 m2/s
- Average T between Compartments C and D: 3E-9 m2/s
- Average T between Compartments D and E: 3E-9 m2/s
- Average T between Compartments E and F: 2E-9 m2/s

The interference test design calculations assumed that the source and observation zones are located within an equivalent single homogeneous unit with surrounding flow boundaries. For the source and observation zones located in different compartments, the behavior of each will also be influenced by properties and flow geometry of the individual compartments. This complexity of the overall flow volume in the Task 3-2 Area has not been included in the design simulations. Also, the long-time effects such as effects of distant boundaries, development of a true pseudosteady-state flow representing pressure transient behavior of a fully compartmentalized system, etc., have also not been included because of the lack of data from other sources. However, it is expected that this information will be obtained during the long-term interference tests, provided the tests can be run for a sufficient duration to see fully developed late-time effects.

Interference Test Design: Test Simulations

In this section, we present results of interference test simulations which were carried out using Interpret-2. Interpret-2 was developed by Scientific Software Inc. of Denver, Colorado. It is a sophisticated computer code, which is a standard for the petroleum industry. Interpret-2 can include well history effects, as well as boundaries, wellbore storage, skin, double porosity and composite effects. Interpret bases its analyses on 2-D cylindrical flow, with additional effects for boundaries, double porosity effects and composites. Generally, Interpret II can match most well tests using combinations of these variables. The test simulations were carried out essentially for the weakest diffusivity connectors, i.e., for sources and corresponding observation zones located in adjacent compartments.

For the test simulations, pumping has been assumed from the following intervals:

- KH19-6 25.91 - 28.53 m, Zone D (T ~ 1E-7 m^2/s from flow logs) to induce responses in Zone B
- KH21-6 20.01-23.62 m, Zone D (T ~ 1E-7 m^2/s from flow logs) to induce responses in Zones B and C
- KH20-1 76.58 m - t.d., Zone F (T ~ 2E-8 m^2/s from flow logs) to induce responses in Zone E

Simulation of interference test between Compartments B and D

To simulate an interference tests between compartments B and D we considered pumping from KH19-6 (Zone D) at 0.5 lit/min. The flow rate from the flow logs of this interval was of 1.5 lit/min. Our interference test simulations assumed a homogeneous K of that between the compartments, i.e. 0.5 mD or 5E-9 m/s (from Golder, 1996), with head difference of 1 m. We then varied the Ss (i.e., porosity and/or total compressibility) until a sensible time lag is achieved. For this case, a time lag to see a measurable drawdown of 4 hours has been built in (as seen during the interference tests during Nov 1996, when no response was seen in Zone B during 4 hours of Zone D pumping from KH19-6). For the selected K, this is produced by Ss = 5E-6 (i.e., diffusivity = 1E-3 m2/s). The simulation also assumed a distance between the two wells of 20 m, and a no-flow boundary located 20 m away from the observation interval. The simulations predict that the observation interval will respond strongly after 4 hours and the zone pressure drops to about 0.5 bar after 120 hours of constant rate pumping from the source zone (see Figure 13-1). However, because of the small diffusivity, the observation zone pressure response will not develop fully even after 5 days of pumping, and may fail to provide quantifiable evidence of boundaries other than that directly separating Compartments B and D (see Figure 13-2). The data, however, will provide an excellent means of quantifying the hydraulic diffusivity of the " barrier" between the two compartments, provided that the value of the diffusivity is of the order of 1E-3 m2/s.

To model the source zone behavior during the constant rate pumping, (KH19-6, Zone D), we assumed a uniform T = 1E-6 m2/s, S = 4E-7 and four no-flow boundaries located 20, 150, 200 and 300 m away. This model predicted a source zone pressure of 2 bar (initial pressure of 12.59 bar) after 120 hours of pumping (see Figure 13-3).

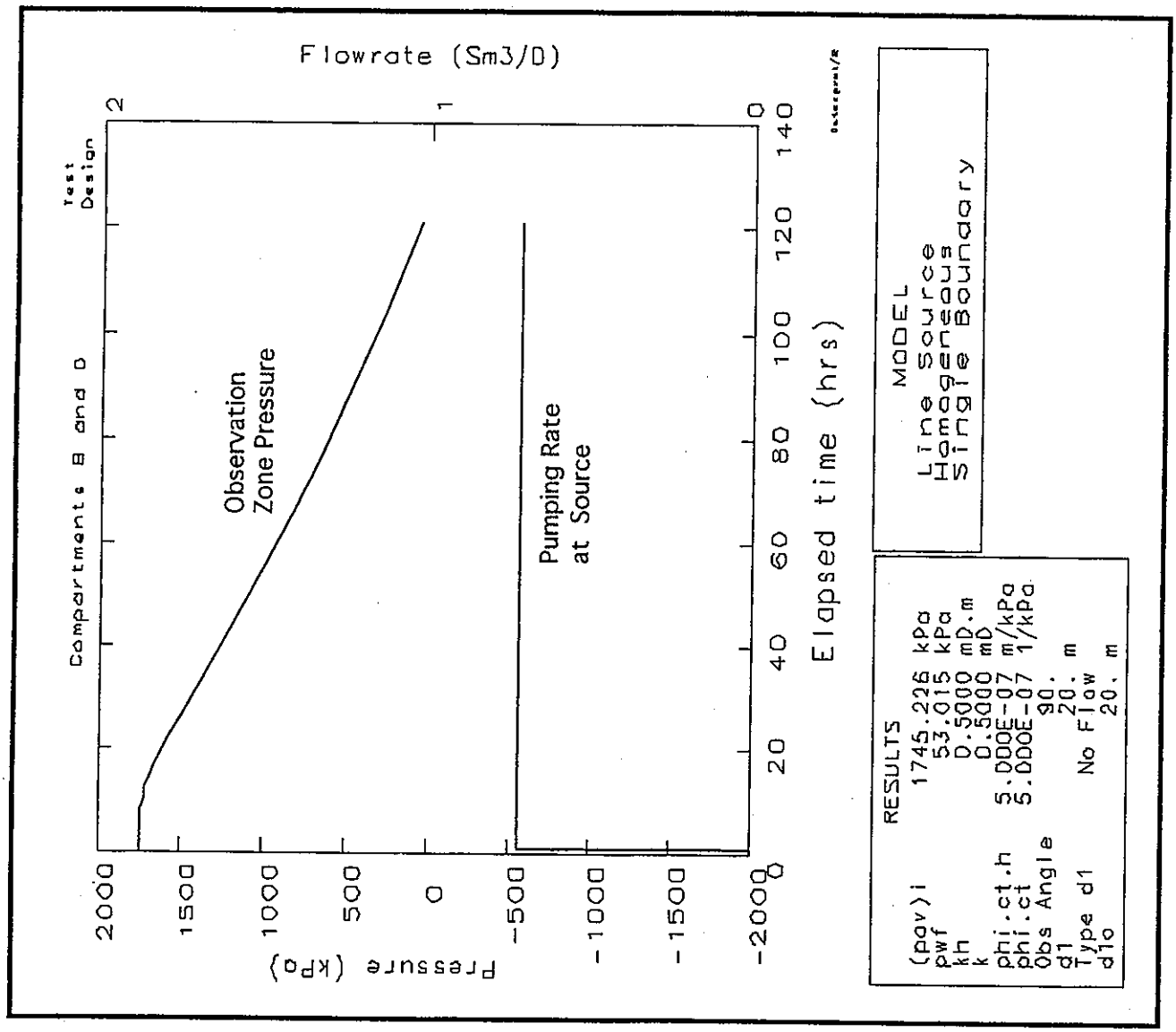


Figure 13-1 Design of interference test between B and D observation zone at 20-m

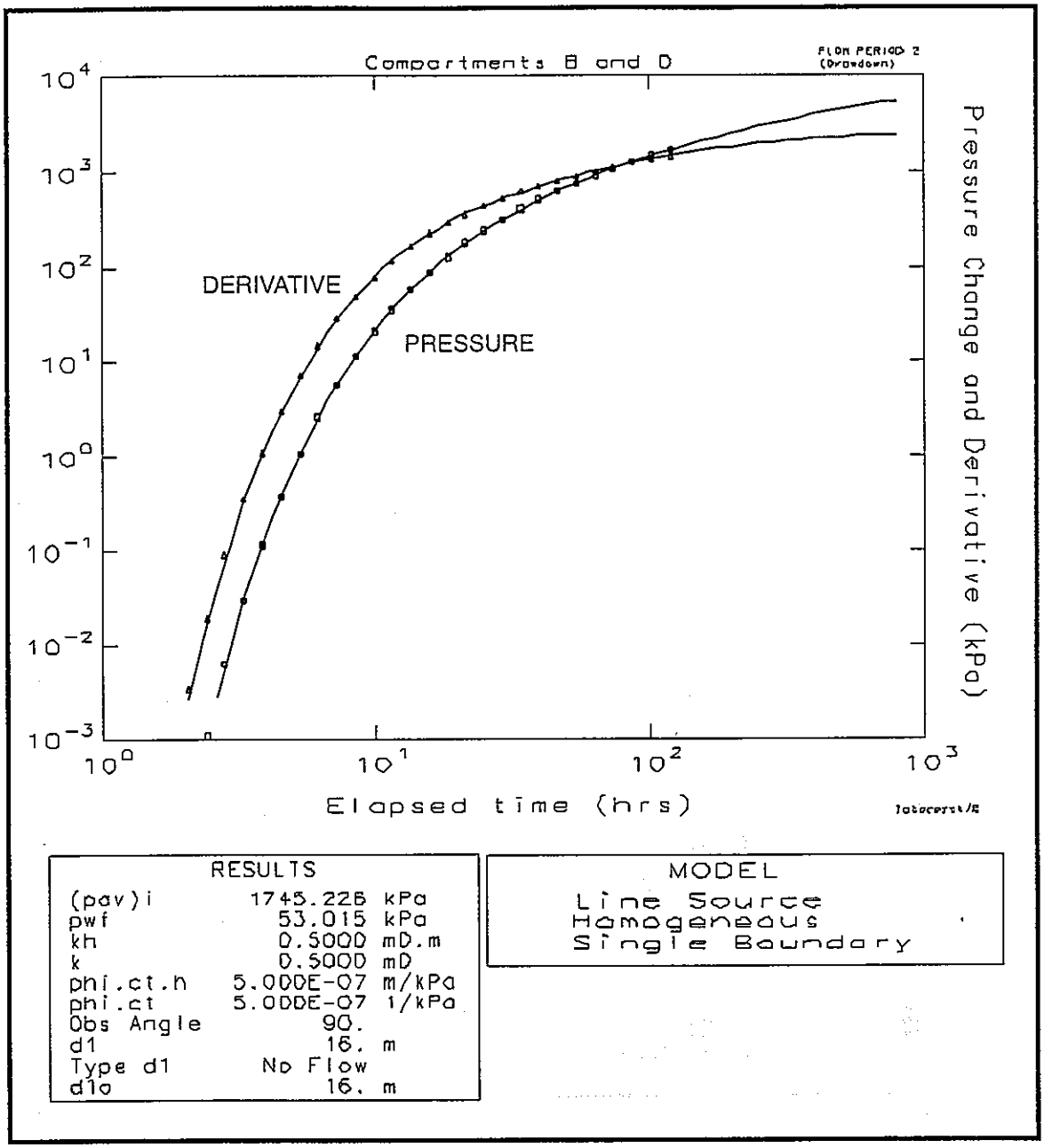


Figure 13-2 Design of interference test between B and D log plot for observation zone at 20-m

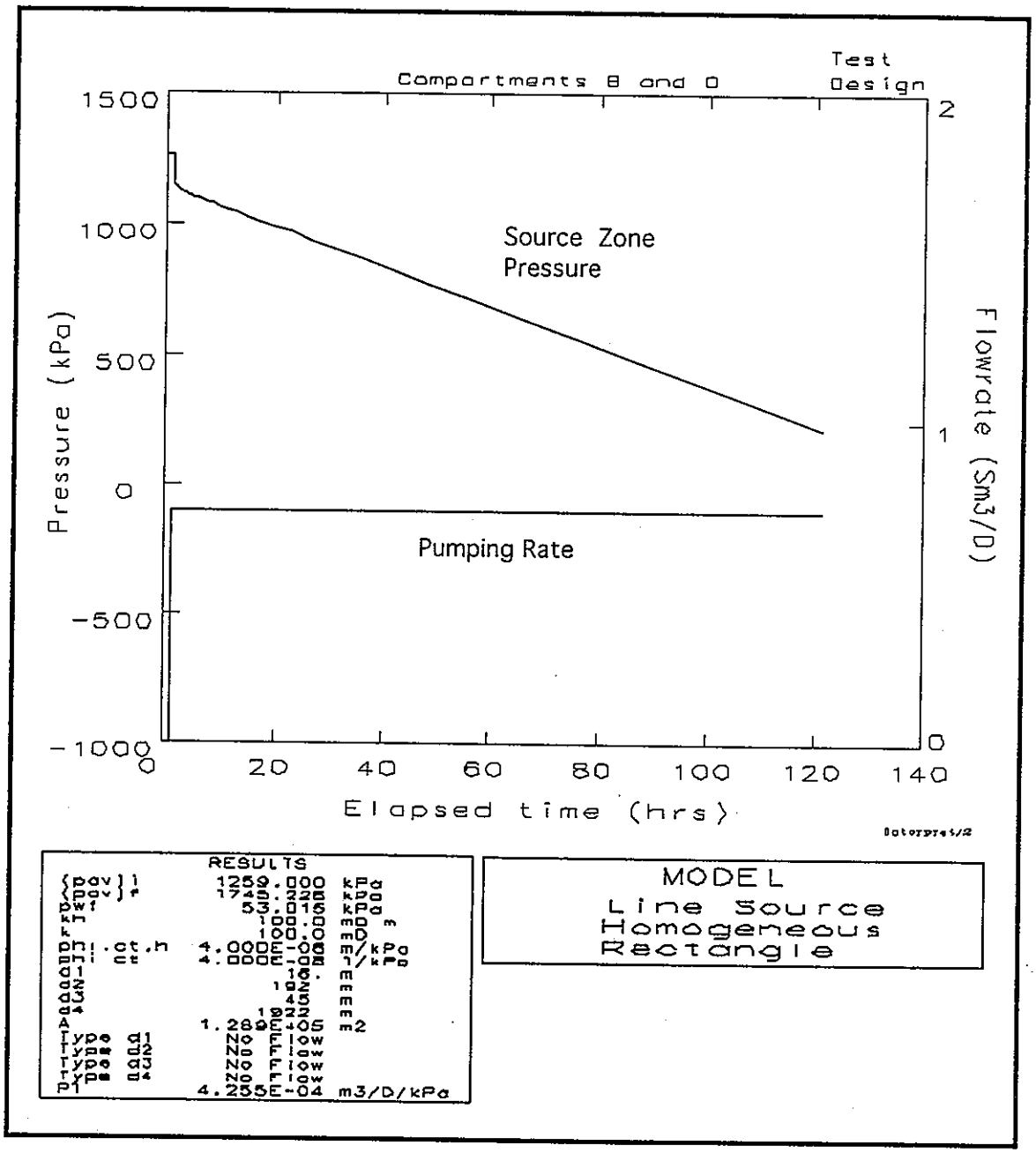


Figure 13-3 Design of interference test between B and D source zone

Simulation of interference test between Compartments C and D

To simulate the pressure responses across the C to D boundary, we considered pumping from KH21-6 (Zone D, 20.01 - 23.62 m) at 0.3 lit/min. The flow logs of this zone had a flow rate of approximately 0.6 lit/min. For the interference test, we assumed a homogeneous hydraulic conductivity between the compartments of 3E-9 m/s (from Golder, 1996), with h = 1 m. We then varied the storativity until the simulated pressure responses achieved a sensible time lag. For this case, a time lag to see a measurable drawdown at 6 hours was been built in (as was seen during the interference tests done during November 1996, when no response was seen in Zone D during nearly 6 hours of Zone C pumping from KH20-6). For the selected K, this time lag was produced by a storativity of 8E-5 (i.e., diffusivity = 4E-5 m^2/s). The simulation also assumed a distance between the two wells of 5 m, and three no-flow boundaries located 3, 5 and 50 m away from the observation interval (similar to the boundaries derived for KH22-6 during pumping from KH20-6). The simulations predict an observation interval response after 6 hours and the zone pressure drops to about 1 bar after 110 hours of constant rate pumping from the source zone (see Figure 13-4). However, because of the extremely small diffusivity, the observation zone pressure response does not develop fully until after approximately 4.5 to 5 days of pumping, and it fails to provide quantifiable evidence of boundaries other than that directly separating Compartments C and D (see Figure 13-5). The data, however, will provide an excellent means of quantifying the hydraulic diffusivity of the " barrier" between the two compartments.

Simulation of interference test between Compartments E and F

To simulate pressure responses between compartments E and F, we considered pumping from KH20-1 (Zone F, 76.58 m - t.d.) at 0.3 lit/min. Flow logs measured a rate from this zone of 0.4 lit/min. The simulations assumed a homogeneous hydraulic conductivity between the compartments, i.e. 2E-9 m/s (from Golder, 1996), with head difference of 1 m. We then varied the storativity, S_s, until a sensible time lag was achieved. For this case, a time lag to see a measurable drawdown of 4 hours has been built based on the lack of E-zone response to four hours of withdrawal in the November 1996,

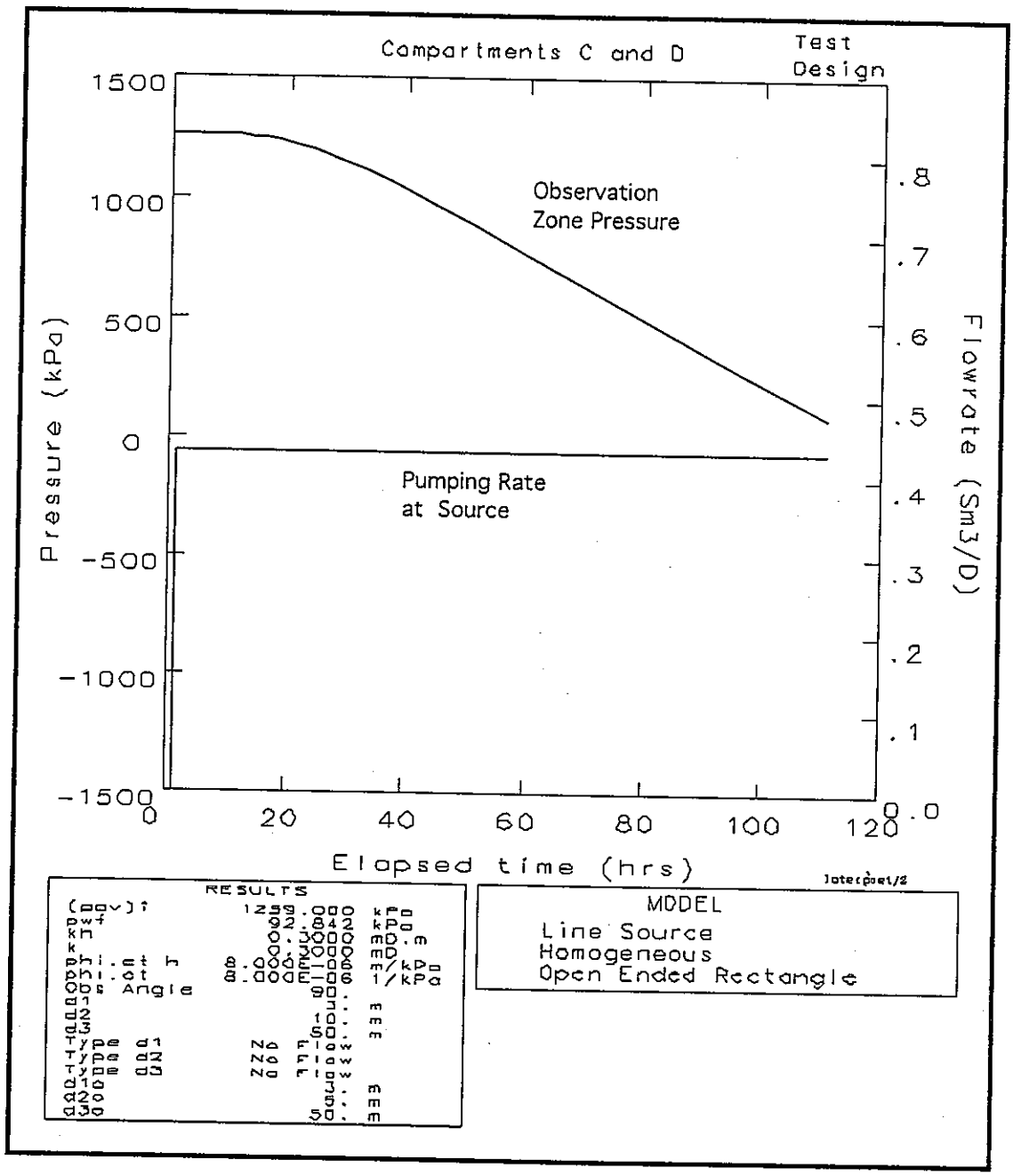


Figure 13-4 Design of interference test between C and D observation zone at 5-m

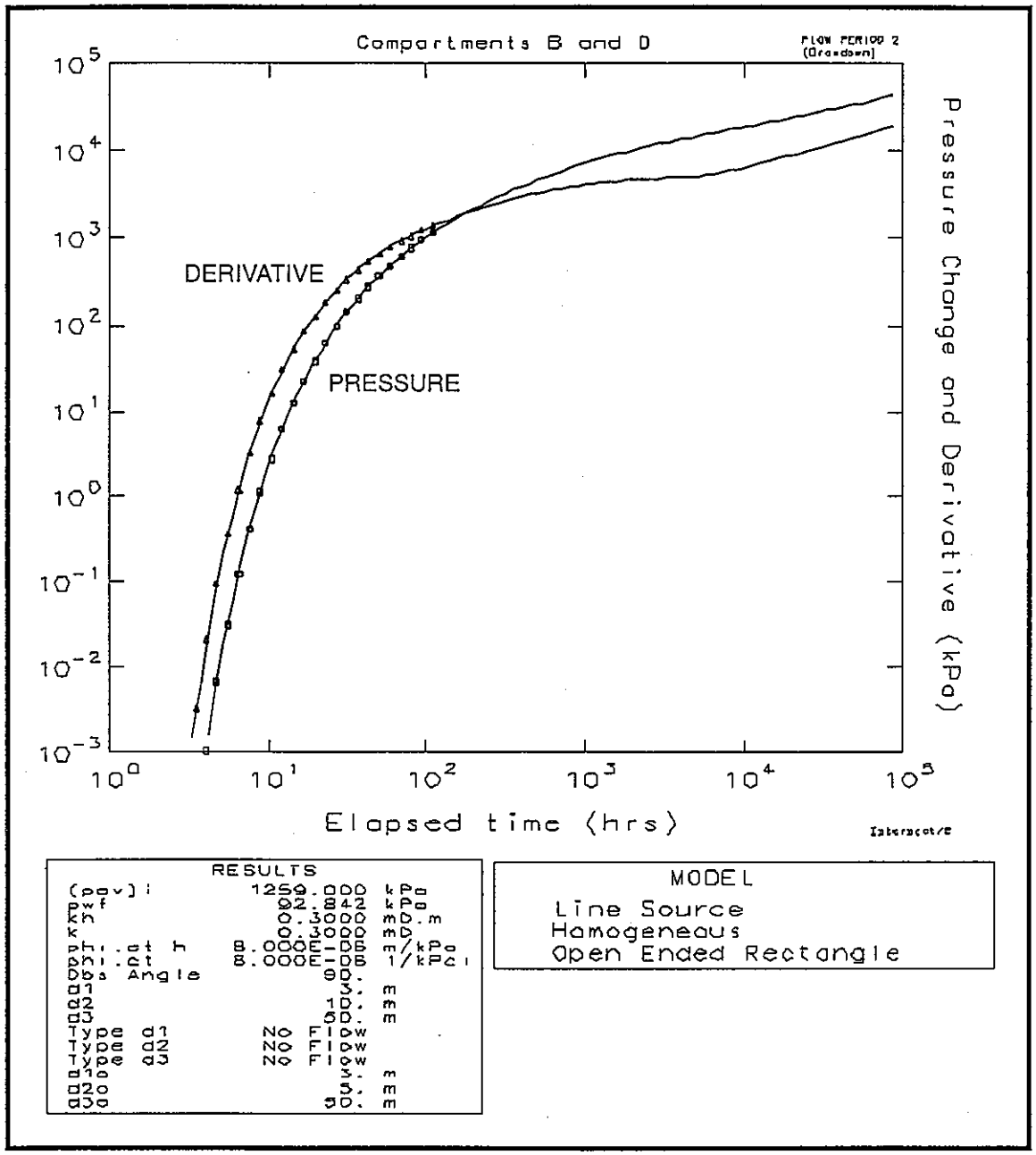


Figure 13-5 Design of interference test between C and D log plot for observation zone at 5-m

Zone F pumping from KH20-1). For the selected K, this time lag is produced by a storativity of 4E-6 (i.e., diffusivity = 5E-4 m^2/s). The simulation also assumed a distance between the two wells of 15 m, and three no-flow boundaries located 7, 19 and 27 m away from the observation interval. The simulations predicted that the observation interval will respond strongly after 4 hours and the zone pressure will to about 1 bar after 30 hours of constant rate pumping from the source zone (see Figure 13-6). However, because of the small diffusivity, the observation zone pressure response will not develop fully after this relatively short duration of pumping, and will fails to provide quantifiable evidence of boundaries other than that directly separating Compartments E and F (see Figure 13-7). The data, however, will provide an excellent means of quantifying the hydraulic diffusivity of the " barrier" between the two compartments, provided that the actual diffusivity of the connection between the two compartments is similar to (or higher than) the assumed diffusivity.

To model the source zone behavior during the constant rate pumping, (KH20-1, Zone F), we used a uniform T = 1E-7 m2/s, S = 4E-6, and two no-flow boundaries located 5 and 20 m away, were used. This model predicted a source zone pressure of 1 bar (initial pressure of 11.04 bar) after some 30 hours of pumping (see Figure 13-8).

13.2 トレーサー試験

Tracer Test Scoping Calculations

Analytical scoping calculations were conducted for the design of dipole tracer tests in the Task 3-2 block. These tracer tests will be performed in Heisei-9. The calculations were aimed at the following key zones - single fractures in the E and F zones, and sub-regions of the main D fracture zone. The properties for these features have been derived from the flow logs for KH-21 and KH-25 as well as the build-up tests conducted in 1996 in KH-25. The transport apertures for the tracer tests have been derived from the empirical " Doe

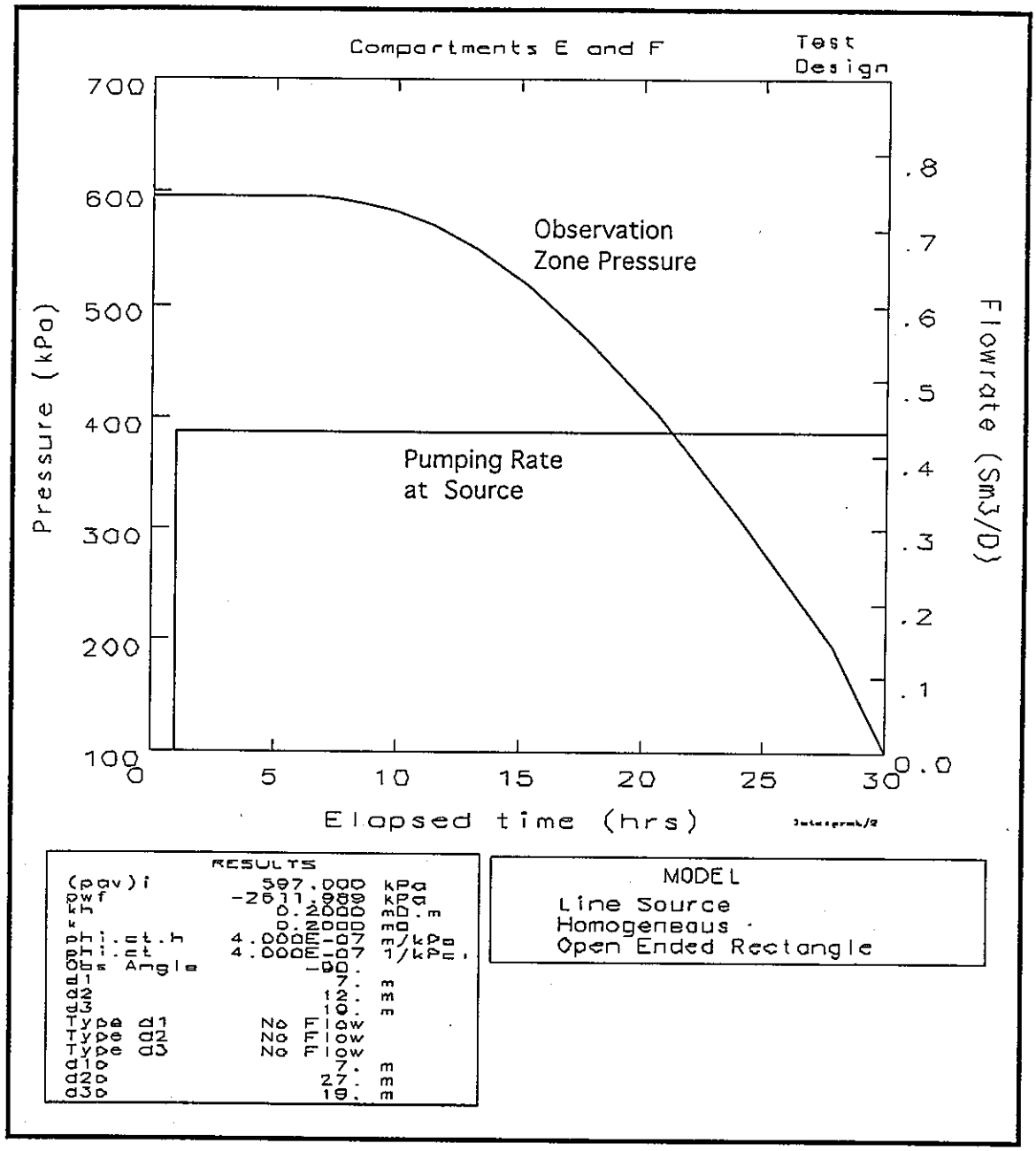


Figure 13-6 Design of interference test between E and F observation zone at 15-m

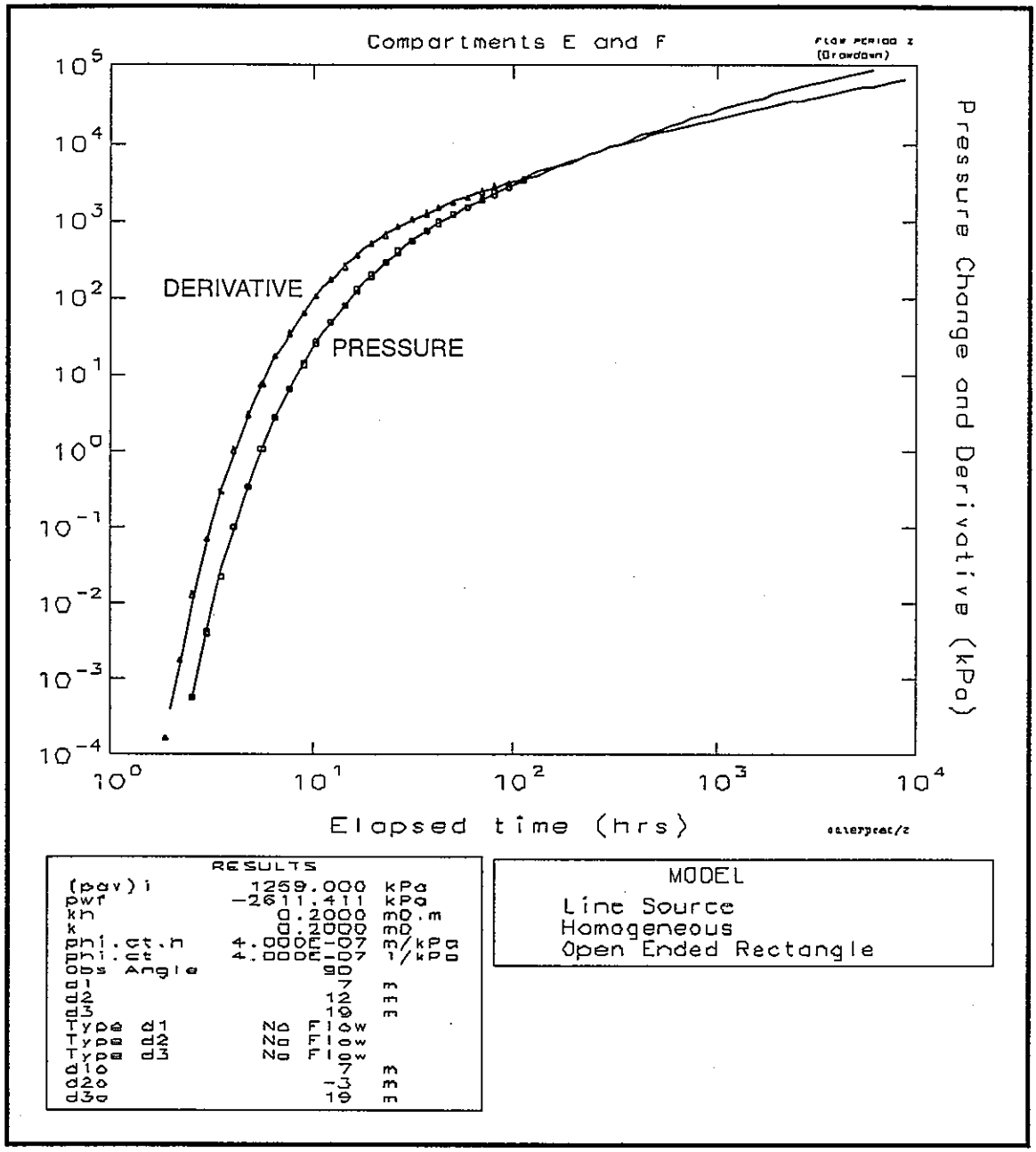


Figure 13-7 Design of interference test between E and F log plot for observation zone at 15-m

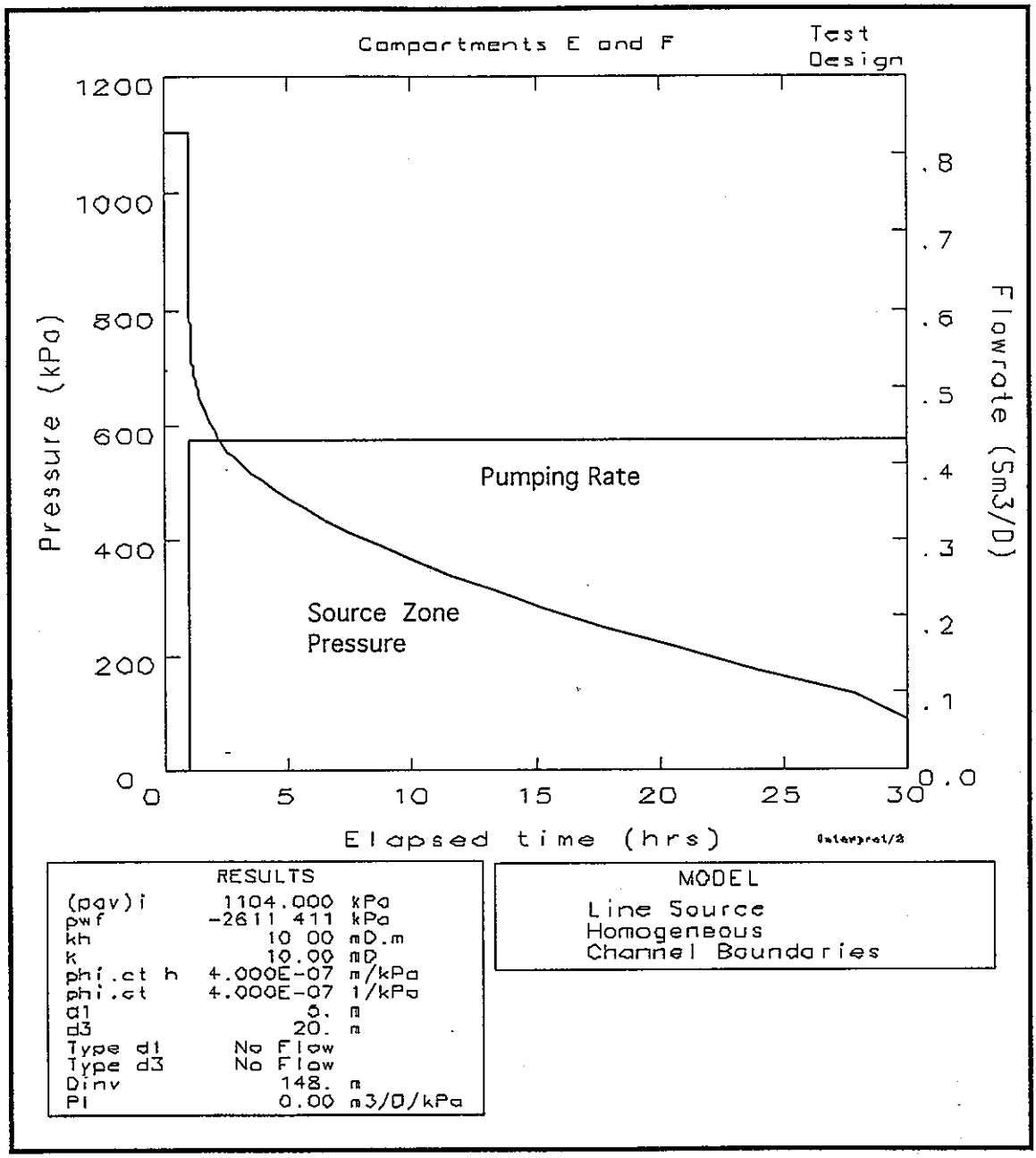


Figure 13-8 Design of interference test between E and F source zone

Law" , $e = 0.5\sqrt{T}$, where T is transmissivity (m^2/s) and e the transport aperture (m).For the scoping calculations, the analytical dipole test model of Guvanasen and Guvanasen (1987) was used. The model assumptions included:

- two-dimensional flow in a homogeneous and isotropic system
- single porosity system (i.e., no matrix diffusion)
- uniform injection and pumping rates (not necessarily the same values)
- no wellbore mixing effects

The scoping calculations also included the assumption of continuous injection of a chase fluid during the course of the test. The injection and pumping wells will the same size - a diameter of 3 cm. The pumping rates for the selected zones were calculated in order to achieve a total of approximately 10 meters of drawdown. This was done by employing transmissivity values obtained from the flow logs for KH-21 and KH-25, and the build-up tests conducted in KH-25. A zero background (natural) groundwater velocity field was assumed. For all calculations, longitudinal and lateral dispersivities of 10% and 1% of the interwell separation, respectively, were assumed. For the preliminary calculations, a retardation factor of 1 (i.e., no retardation) and dipole rate strength of 1:1 (injection rate:withdrawal rate) were considered. In addition, a tracer mass that would provide 1% tracer solution and tracer injection duration of 15 minutes (followed by chaser fluid injection at the same rate until the end of the test) have been assumed. For each key zone, we have computed the times required to yield approximately 90% of the injected tracer mass at the pumping well. The calculations were made for pumping wells located at distances of 2, 5 and 10 m from the injection wells.

The calculated test durations are shown in the Table 13-2. The test durations have also been computed for dipole strengths of 1:2 and 1:10. For example, consider the results from a dipole test for a transport aperture of 5E-4 m, a pumping rate = 0.1 lit/min, interwell distance = 2 m, and total test time of 0.3 day. For dipole strengths of 1:1, 1:2 and 1:10, the total tracer recoveries were predicted as 91.7%, 92.4% and 95.7% of the total tracer input, respectively. For the same example, for interwell distance = 10 m, the total tracer recoveries were predicted as 91.5%, and 97.1% of the total tracer input for dipole strengths of 1:1 and 1:10, respectively, after 5 days of pumping. The Radtrace calculations predicted that a , a pumping ratio of 1:1 will lead to larger recovery of tracer as opposed to a pumping ratio of 1:2 or 1:10 for the same test duration. Hence, the 1:1 values are appropriate and conservative for purposes of planning future tracer tests at the Task 3-2 Area.

Table 13-2. Tracer Simulation Results

Selected Zone	Transmissivity, m^2/s	Transport Aperture, m	Pumping Rate, lit/min	Interwell Distance, m	Test Duration, days
Single Fracture 1	2.4E-7	2.4E-4	0.14	2 5 10	0.3 1 3
Single Fracture 2	3.3E-7	2.9E-4	0.20	2 5 10	0.3 1 3
D Zone Main	1.5E-6	6.1E-4	0.90	2 5 10	0.25 1 3
D Zone 45 m Conductor	6.7E-8	1.3E-4	0.04	2 5 10	0.5 1.5 5

The tracer test scoping calculations also considered using the transport apertures of the KD-90 saline tracer tests, which yield values very close to those derived from the " Doe Law" , so we considered using only the Doe Law to be sufficient.

The tracer test scoping calculations have been conducted using a retardation factor of 1 (i.e., no retardation). In tracer tests calculations, retardation increases the time for a given percent of mass recovery in direct proportion to the retardation coefficient. Hence a 90% recovery time of 1 hour for a retardation factor of 1 will become 2 hours for a retardation factor of 2.

Modification of the Analytical Tracer Test Solution of Moench (1995) to Include Discrete Block Size Distribution

This section describes the development convergent tracer solutions which account for variable matrix diffusions rates, such as would develop in a system with multiple volumes available for diffusion. These volumes might include dead-end fractures in addition to matrix blocks with a distribution of sizes. The approach is based on the analytical model of Moench (1995), which provides an exact Laplace transform solution for tracer concentration in the pumped well in a densely and uniformly fractured double-porosity aquifer with single rate matrix diffusion. His model was developed under the following general assumptions:

- a vertical pumped well of finite diameter fully penetrates a horizontal, isotropic, and homogeneously fractured, double-porosity aquifer of constant thickness;
- the matrix blocks are assumed to be spherical and are equal-sized;
- a radially convergent, steady state, horizontal flow field is established around the pumped well prior to tracer injection because of constant-rate pumping of tracer-free water from the aquifer;
- tracer is introduced in a fully penetrating injection well without altering the velocity field established by the pumped well in its vicinity;
- the injection well has a diameter that is small with respect to the distance between the pumped and the injection wells;
- effects of mixing of tracer with water in the pumped and injection wells are neglected;
- in the fracture system, tracer transport occurs by radial advection and mechanical dispersion towards direction of flow; molecular diffusion is negligible;
- mechanical dispersion occurs in accordance with Fick' s law, and the longitudinal dispersivity is assumed to be a characteristic property of the aquifer;
- diffusion and instantaneous, linear sorption of tracer within the rock matrix may occur;
- advection within the matrix blocks is negligible;
- the matrix blocks are assumed to be covered with an " infinitesimally thin" layer of material (" fracture skin") of negligible volume and storage capacity that provides a resistance to diffusion in the rock matrix.
- a discrete distribution of matrix block sizes (i.e., multiple volumetric size fractions corresponding to different block sizes) to modify Moench' s definition of the distributed sources or sinks of tracer due to its diffusion in the rock matrix (Eqs. 2, 8,

14 and 23); this distribution may be calculated using an approach proposed by Rasmusson and Neretnieks (1986);
- significant wellbore mixing in both the pumped and injection wells is allowed by including appropriate wellbore mixing factors; this is done using the methodology outlined by Moench (1989).

New Solution

The new solution in Laplace space that extends Moench's (1995) definition of $\overline{q}_D$ (provided in his Eq. 23), is

$$\overline{q}_D = 3\sum_i \frac{\gamma_i' F(b_{Di})\left[m_i \cosh(m_i b_{Di}) - \dfrac{\sinh(m_i b_{Di})}{b_{Di}} \right]}{\sinh(m_i)\left[1 + S_{ki}\{m_i \coth(m_i) - 1\right]} \qquad (1)$$

where the dimensionless block size is

$$b_{Di} = \frac{b_i}{b_m}, \qquad (2)$$

where b_i is the size (radius) of the i^{th} size fraction, and b_m is the largest block size (radius);

$F(b_{Di})$ is the volumetric fraction of the blocks with size b_{Di}; note that the sum of all $F(b_{Di})$ is 1.0;

$$m_i = \sqrt{\frac{s\sigma_i'}{\gamma_i'}}, \qquad (3)$$

where s is the Laplace transform variable, s_i' is the dimensionless storage parameter for the i^{th} blocks, and g_i' is the dimensionless diffusion parameter for the i-th blocks (definitions of s and g are provided in Table 1 of Moench, 1995). S_{ki} is the dimensionless fracture skin parameter for the i^{th} blocks (definition of S_k is provided in Table 1 of Moench, 1995).

The complete Laplace transform solution for dimensionless concentration at the pumped well provided by Moench (1995) in his Eq. 24 is also extended as follows:

$$\overline{C}_D(s) = \psi \exp\left[\frac{Pe}{2}(1 - r_{wD})\right] \overline{G}(s), \qquad (4)$$

where

$$\overline{G}(s) = \frac{A_1 B_2 - A_2 B_1}{F + F_w + F_i + F_{hv}}, \qquad (5)$$

where y, F, A_1, A_2, B_1 *and* B_2 are provided in Moench's Eq. 24, and

$$F_w = \mu_w s\left[A_3 B_2 - A_2 B_3 + 0.5\,\omega^{-1/3}(B_2 - A_2)\right] \qquad (6)$$

$$F_i = \mu_i s\left[A_1 - B_1 + 0.5\,\omega^{-1/3}(B_2 - A_2)\right] \qquad (7)$$

$$F_{hv} = \mu_i \mu_w s^2\,\omega^{-1/3}(B_2 - A_2) \qquad (8)$$

where m_w is the pumping well mixing factor (dimensionless), m_i is the dimensionless injection well mixing factor, and w, A_3 and B_3 are provided in Moench's (1995) Eq. 24. Note that the definition of w, provided in Moench's Eq. 24, includes the parameter $\overline{q}_D$, which is defined here in Eq. 1.

Equations (1) through (8) provide the complete Laplace transform solution.

Input Parameters Needed for the Code

The FORTRAN 77 code provided by Moench has been modified to provide dimensionless time and concentration at the pumped well for a double porosity formation with distributed block sizes. The required input parameters are listed in the input file RCV2AMOS.INP. These parameters (named as coded in the FORTRAN source code), listed in the sequence in which they are required within RCV2AMOS.INP, are:

LOGT, NLC, NOX
TDFIRST, DELTD, TDP, XMUI, XMUW
INPTRA, NTS, KT, IFLUX
PE, RWD, RTARD, XMULT
BIGT, METH, NN
N, IQD
(FB(I), I=1,N)
(BD(I), I=1,N)
(GAMMA(I), I=1,N)
(SIGMA(I), I=1,N)
(SK(I), I=1,N)

where,

LOGT: Time step space (0=arithmetic or 1=logrithmic)
LOGT = 1
NLC: Number of log cycles
NOX: Number of points per log cycle

TDFIRST: First value of dimensionless time
DELTD: Incremental increase for dimensionless time (arithmetic time-scale only)
DELTD = 0
TDP: Dimensionless time duration for top-hat pulse
XMUI: Dimensionless wellbore mixing factor (input well)

$$XMUI = \frac{r_i^2 h_i}{\varphi_f h(r_\ell^2 - r_w^2)},$$

where r_i = injection well radius and h_i = injection well mixing length
XMUW: Dimensionless wellbore mixing factor (pumped well)

$$XMUW = \frac{r_w^2 h_w}{\varphi_f h(r_\ell^2 - r_w^2)},$$

where r_w = pumped well radius and h_w = pumped well mixing length

INPTRA: Input type (0 = constant, 1 = dirac, 2 = top hat)
NTS: Number of time steps
KT: Number of type curves
KT = 1
IFLUX: Concentration Measurement (0 = in-situ, 1 = flux-averaged)
IFLUX = 0

PE: Peclet Number

$$PE = \frac{r_\ell}{\alpha_\ell}$$

RWD: Dimensionless radius of pumping well

$$RWD = \frac{r_w}{r_\ell}$$

RTARD: Retardation coefficient
XMULT: Multiplier for computing different type curves
XMULT = 0

BIGT: Maximum value of dimensionless time
BIGT = TDFIRST $\times 10^{NLC}$
METH: Method (1=epsilon algorithm, 2=ordinary quotient difference algorithm, 3=quotient difference algorithm with acceleration)
METH = 3
NN: Parameter for the Hoog algorithm
NN = 30

N: Number of size fractions
N = 1

IQD: Diffusion in grains/blocks (0 = false, 1 = true)
IQD = 1

FB(I): Percent of total aquifer volume composed of size fraction I (expressed in decimal form)

Note that $\sum_{I=1}^{N} FB(I) = 1$

BD(I): Dimensionless size for size fraction I (radius of the i^{th} fraction divided by the largest block radius, i.e., one of the dimensionless sizes must be 1.0)

GAMMA(I): Dimensionless diffusion parameter for size fraction I

SIGMA(I): Dimensionless storage parameter for size fraction I

SK(I): Dimensionless skin parameter for size fraction I

Output Parameters

The output file produced by the Moench program (RCV2AMOS.OUT) presents dimensionless time (t_D) and concentration (C_D) values. These dimensionless values can be converted to real units using the following equations:

$t = t_D\, t_a$

where $t_a = \dfrac{\pi\phi_f h(r_\ell^2 - r_w^2)}{q_o}$;

$C = C_D\, C_i$

where $C_i = \dfrac{M}{\pi h\phi_f (r_\ell^2 - r_w^2)}$ for Dirac type input,

where M = mass of injected tracer;

and $C_i = C_0 \dfrac{2\, r_i}{\pi\, r_l}$ for continuous input,

where C_0 is the constant concentration in the input well.

14　水理地質構造モデルの検討

14.1　試験エリアの水理地質構造

平成７年度までに実施した調査・試験結果から推定された、試験対象エリアの水理地質構造および地下水流動状況をまとめると、以下のようである。

・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（Ａゾーン～Ｆゾーンと呼ぶ）。
・削孔時の圧力応答の多くは、個々のゾーンの内部で観測されており、ゾーン間の水理学的連結性は少ない。
・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孔に向かって、割れ目の頻度および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、かつ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。
・当初、試験エリア内における不連続な水圧分布が生じる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、粘土質充填物を介在する割れ目または破砕帯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。想定される地質構造的要因の一つは、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。
・水圧分布から、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。

本年度実施した試験では、上記の知見と大きく異なる現象は見られなかった。

以下、本年度に実施したKH-22孔とKH-24孔の削孔時の水圧応答観測結果について述べた後、これまで実施した各試錐孔の流量検層結果とＢＴＶ・コア観察による割れ目分布についてまとめる。最後に本年度実施した圧力干渉試験結果の解析結果から判明した各ゾーンの水理的特徴を示す。

14.1.1　削孔時の水圧応答観測

KH-22孔およびKH-24孔削孔時の水圧応答を図-14.1.1、図-14.1.2に各々示す。図中にはＡ～Ｆまでの水圧ゾーンを併せて示した。これらの図から、いくつかの例外を除いて、水圧応答は個々のゾーン内において生じているのが分かる。

14.1.2　流量検層による透水量係数の分布

平成６年度から実施してきたKH-19孔～KH-25孔の流量検層結果から算定した透水係数の分布を図-14.1.3に示す。この図を見ると、KH-19孔の25m以深ではオーダーが比較的揃った透水係数が分布するが、中心の試錐孔（KH-21、25、24、25孔）では透水係数の高い部分が幾つかの深度（深度20m付近、50m付近など）に集中する傾向が見られ、さらに西側（KH-23、KH-22孔）へ向かって、透水係数が低くなっている。これらの透水性の分布を図-14.1.4に示す各試錐孔内の開口割れ目の分布と比較すると、割れ目の存在位置やクラスタリング等の点で関連性が示唆される。

14.1.3　圧力干渉試験の解析結果

図-14.1.5に、本年度実施した圧力干渉試験の解析により得られた試験対象エリア内の水圧拡散係数の分布を示す。この解析結果から、各ゾーンの水理学的性質がより明らかになった。その主なものを、以下にまとめる（坑道の影響で水圧低下したＡゾーンを除く）。

Zone-B

・３つの不透水境界（2～80m）で囲まれる。
・流れの次元はボーリング孔から離れるにしたがって、２次元から1次元のチャンネル流れに移行する。
・KH-23孔には、Zone-Bは存在しないが、KH-22孔とはつながっている。

Zone-C

・３つの不透水境界（2～50m）で囲まれる。
・水圧拡散係数は、非常に大きな幅を示す（特に、$2\times10^{-4}m^2/s$というエリア内最小値の区間がある）
・Zone-B、Zone-Dへのゾーンをまたぐ応答が見られる。

Zone-D

・KH-19孔で、当初確認された高圧帯に相当する。

・東側に向かって、２つの領域に分岐しながら、KH-23、KH-20、KH-24、KH-25、KH-21に延びる。浅い方の分岐は、KH-24、KH-25で止まっており、西側に延びる形跡はない。深い方の分岐は、KH-23孔とKH-22孔の途中で消滅する。

・水圧拡散係数は、東側から西側に向かって減少する傾向にある。大きな拡散係数を有する区間が、北東から南西に向かって延びる（主要割れ目方向）。

Zone-E

・２ないし３つの不透水境界（1～60m）で囲まれる。

・水圧拡散係数は、西側から東側に向かって減少する傾向にある。

・Zone-Dと対称形の分布形状を示す。

・ゾーンの占める面積も、西側から東側に向かって減少する傾向にある。

Zone-F

・２つの不透水境界（5～20m）で囲まれる。

・両側の境界ボーリング孔（KH-19、KH-22）には、つながっていない。

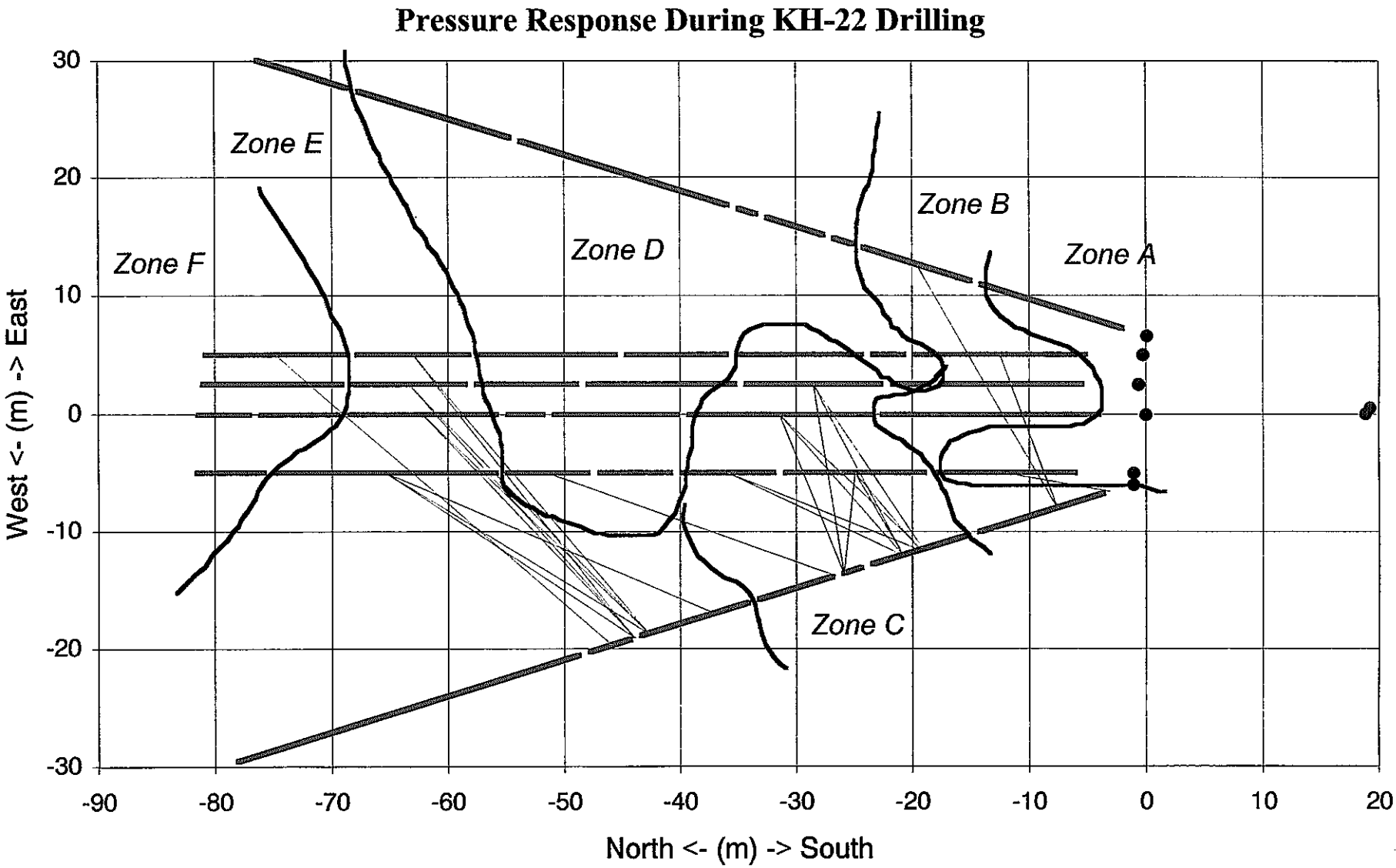


図-14.1.1　KH-22孔削孔時の水圧応答と水圧ゾーン

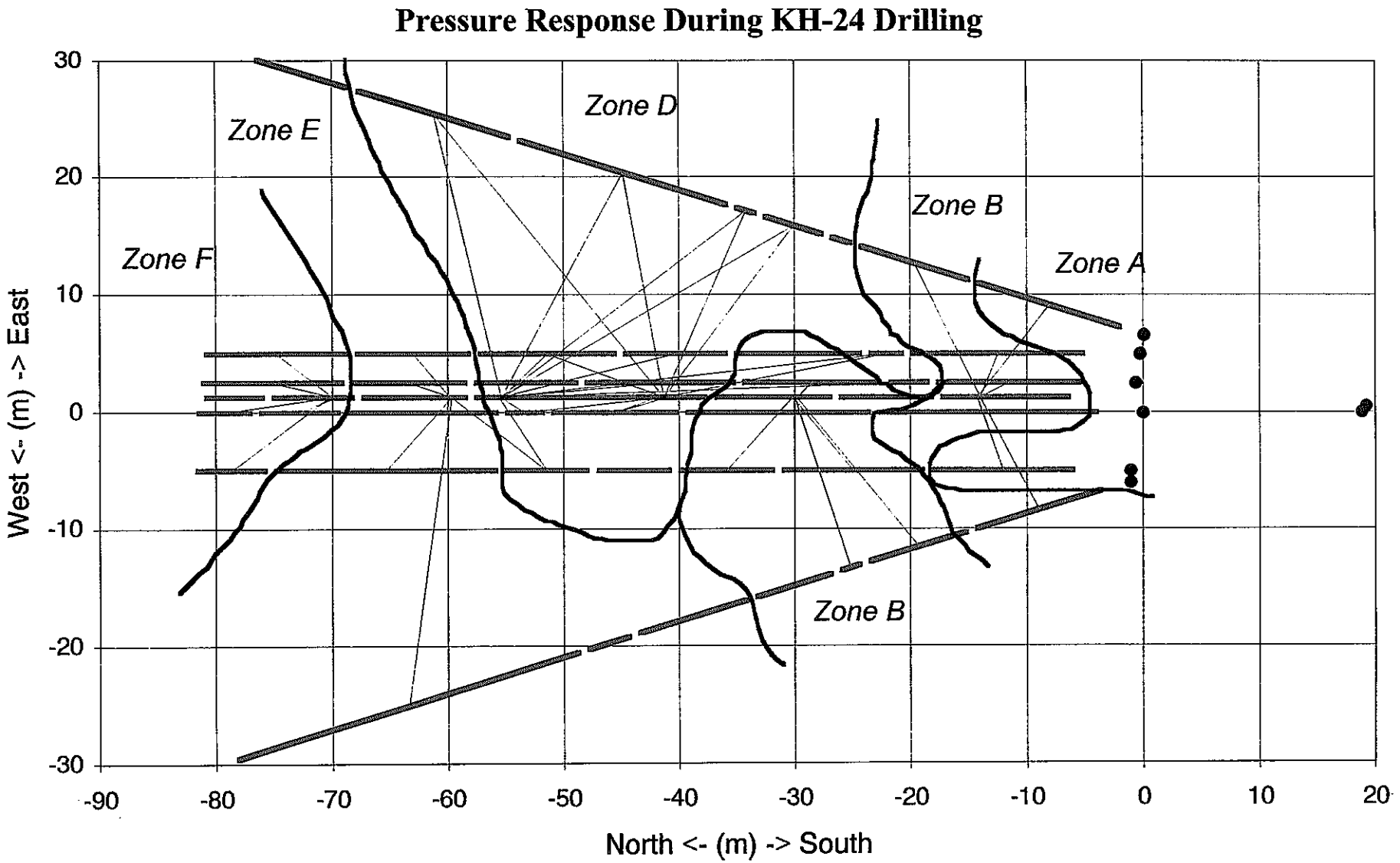


図-14.1.2　KH-24孔削孔時の水圧応答と水圧ゾーン

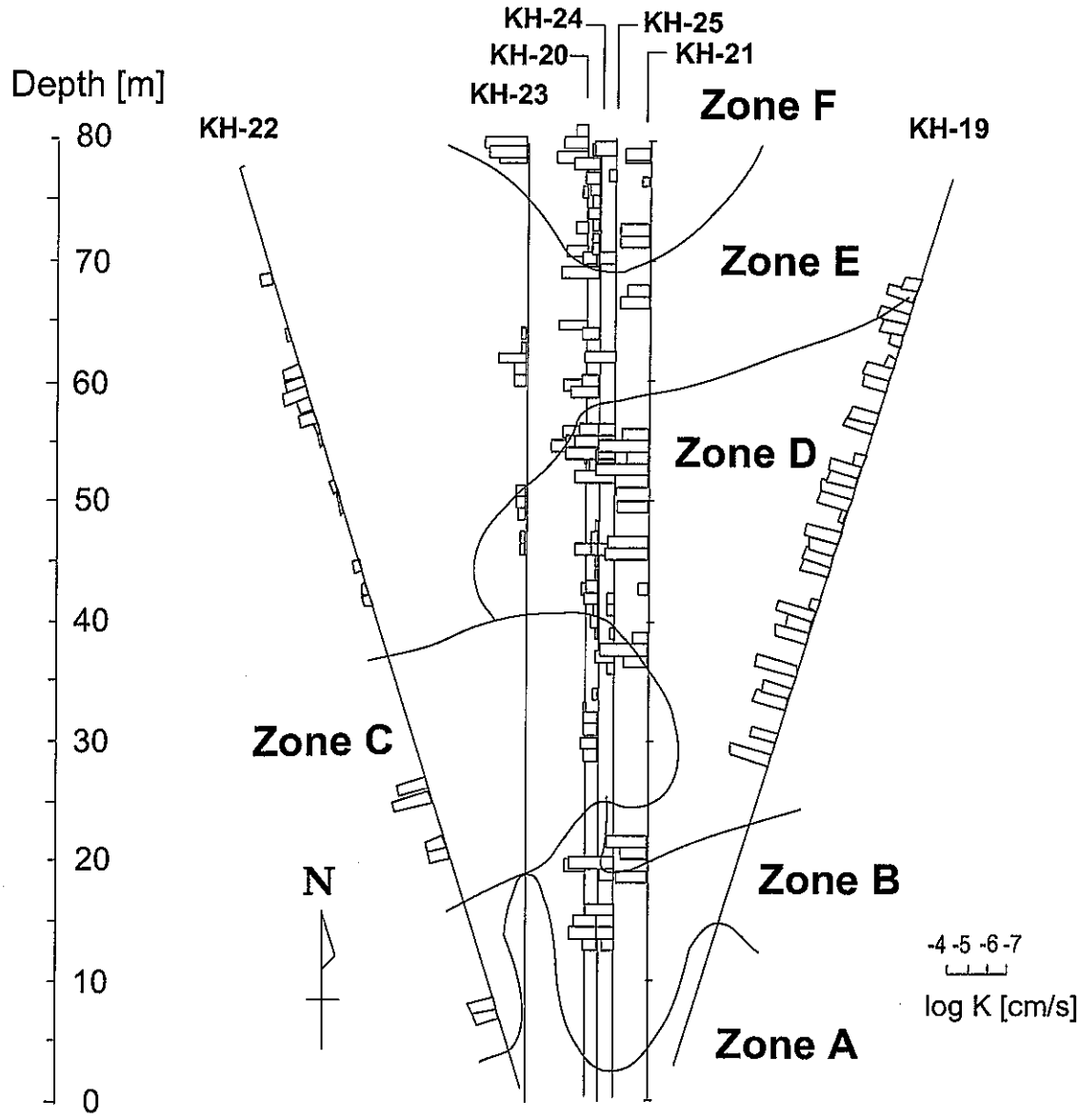


図-14.1.3　流量検層から求められた透水係数の分布

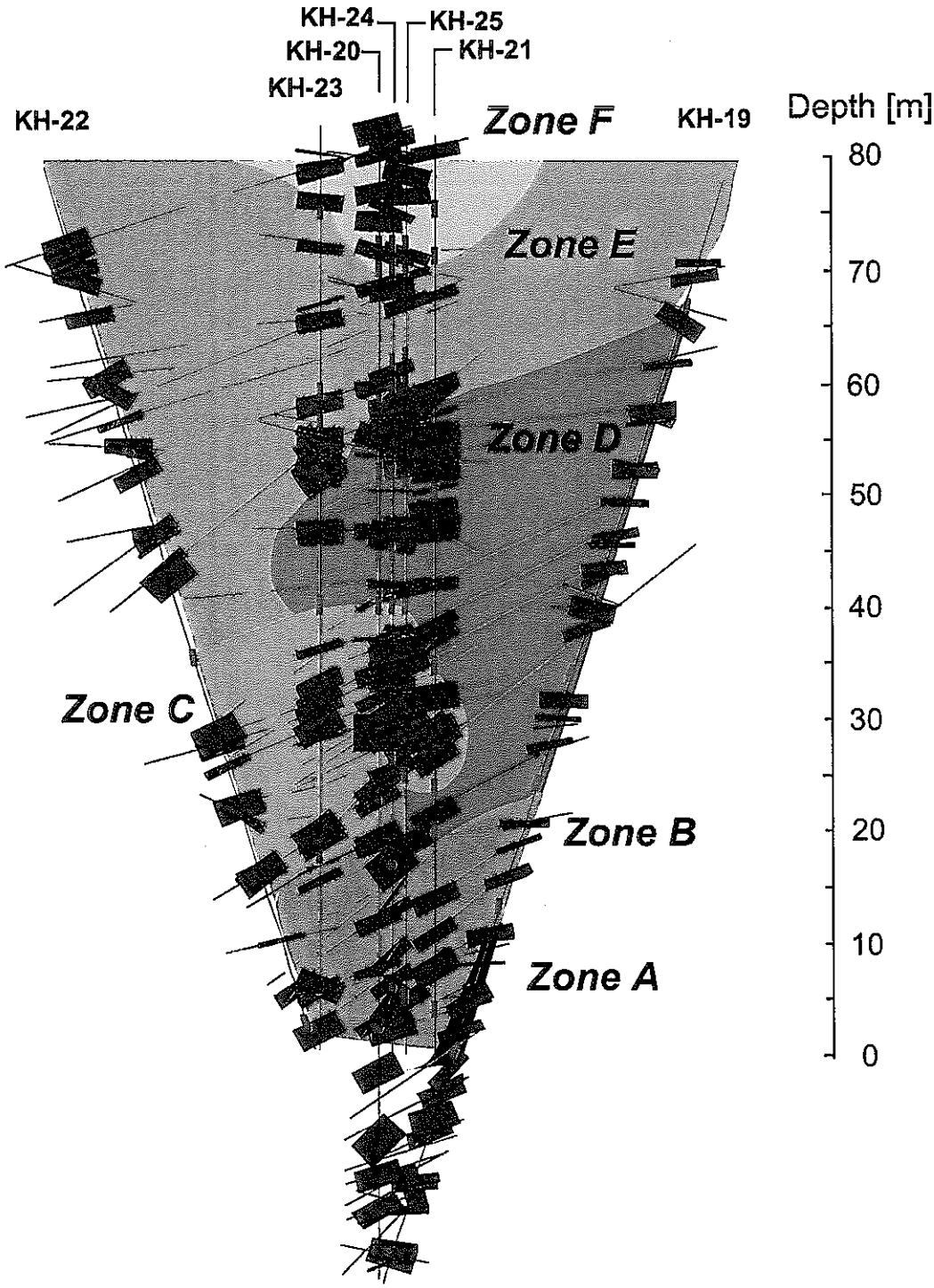


図-14.1.4　試験エリア内の開口亀裂（充填鉱物幅5mm以上）の分布

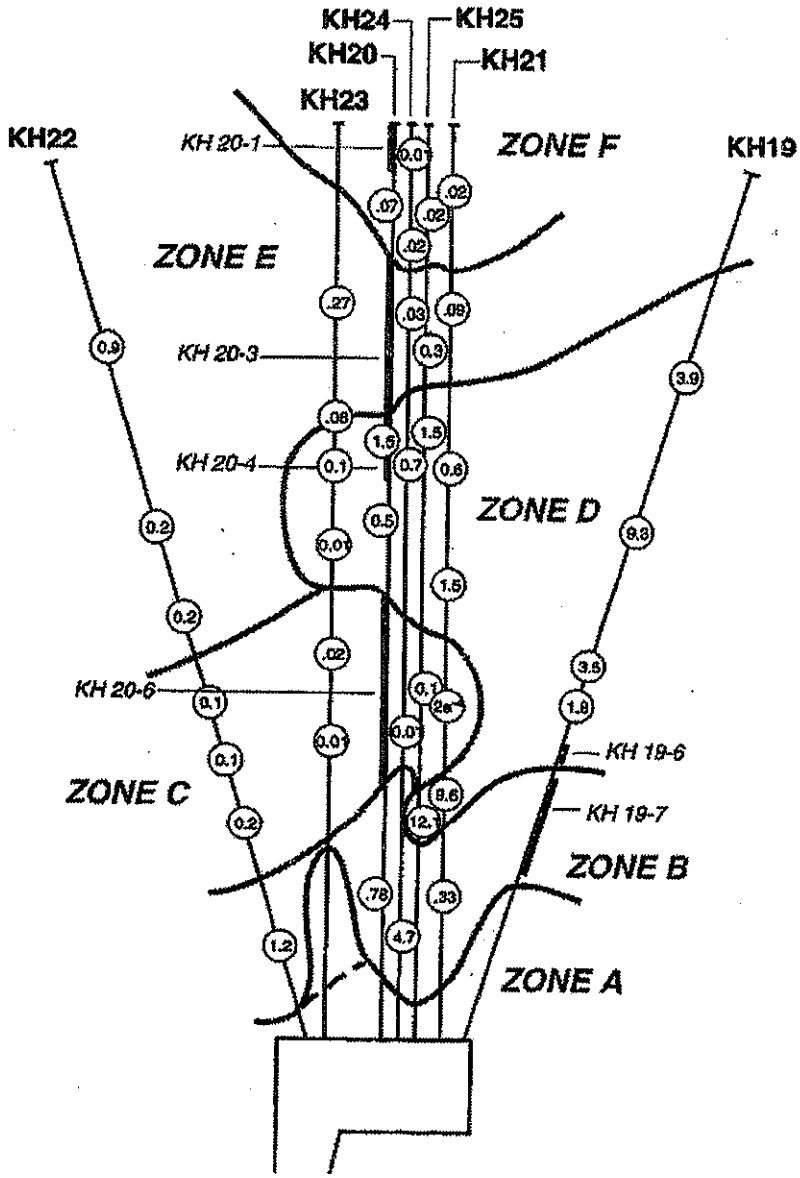


図-14.1.5　水圧拡散係数の分布

14.2　試験対象割れ目

来年度実施予定のトレーサー試験の対象割れ目を選定するにあたり，まず試錐孔の掘削時の水圧応答などの各調査の結果を総合判断し、ゾーンD、E、Fの各々のゾーンにおいて、試験候補割れ目および割れ目帯の抽出を行った。そして、抽出された候補割れ目に対して予備的トレーサ試験を実施し、水圧およびトレーサー移行に関する連続性を確認した。その結果、試験対象割れ目として、２つの単一割れ目（ゾーンFおよびE）と１つの割れ目帯（ゾーンD）が選定された。以下に各試験対象割れ目に関して説明する。

14.2.1　地質的特徴

(1)対象割れ目-1

各試錐孔内の深度69m～70m（Fゾーン）に認められ、単一に近いと考えられる割れ目である。

各試錐孔ＢＴＶおよびコア観察において認められる地質的特徴を以下に記す。

・KH-20孔：深度89m(掘削時)に認められる割れ目。走向傾斜N72W89Nでオレンジ色の中変質を伴う。充填幅は10mmで充填鉱物としては黒色鉱物と沸石が認められる。

・KH-24孔：深度69.60mと69.91mに認められる割れ目。前者は走向傾斜N79W73Nでオレンジ色の強変質を伴う。充填幅は15mmで充填鉱物としては、方解石、暗緑色鉱物、沸石が認められる。一方、後者は走向傾斜N85E89Nでオレンジ色の強変質を伴う。充填幅は10mmで充填鉱物としては、方解石、暗緑色鉱物、黄緑色鉱物を伴う。

・KH-25孔：深度69.32mと69.43mに認められる割れ目。前者は走向傾斜EW73Nでオレンジ～灰色の中～強変質を伴う。充填幅は3mmで充填鉱物として暗緑色鉱物、沸石、方解石が認められる。一方、後者は走向傾斜N71E76Nでオレンジ～灰色の中～強変質を伴う。充填幅は12mmで充填鉱物として黄緑色鉱物、暗緑色鉱物、沸石を伴う。

(2)対象割れ目-2

Eゾーンに認められる割れ目である。各試錐孔における特徴を示す。

KH-20孔：深度77.36mと77.45m(掘削時)に認められる割れ目。前者は走向傾斜

N74E73Nでオレンジ色の強変質を伴う。充填幅は10mmで充填鉱物として黄緑色鉱物、沸石、方解石を伴う。一方、後者は走向傾斜N80E73Nでオレンジ色の強変質を伴う。充填幅は20mmで、充填鉱物として暗緑色鉱物、方解石、沸石を伴う。

KH-24孔：深度59.43mと59.51mに認められる割れ目。前者は走向傾斜N69E73Nでオレンジ色の全体変質を伴う。充填幅は4mmで充填鉱物として方解石、沸石が認められる。一方、後者は走向傾斜N71E76Nでオレンジ色の全体変質を伴う。充填幅は15mmで、充填鉱物として、方解石、沸石が認められる。

KH-25孔：59.67mの割れ目に連続していくと推定されるが、開口しておらず水みちの連続性は認められない。

(3)対象割れ目帯

Dゾーンに認められる割れ目帯で，割れ目帯中には，多数の水みち割れ目が存在する。そのうち典型的な一例に関して各試錐孔における特徴を示す

KH-20孔：深度72.78mと72.82mに認められる割れ目。前者は走向傾斜N69W65Nでオレンジ～灰色の強変質を伴う。充填幅は40mmで、黄緑色鉱物、暗緑色鉱物、方解石、沸石が認められる。一方、後者は走向傾斜N69W65Nでオレンジ～灰色の強変質を伴う。充填幅は20mmで、充填鉱物として暗緑色鉱物、黄緑色鉱物、方解石、沸石を伴う。

KH-24孔：深度53.95mに認められる割れ目。走向傾斜N79W60Nで、灰色の強変質を伴う。充填幅は50mmで充填鉱物として暗緑色鉱物が認められる。

KH-25孔：深度53.51mに認められる割れ目。走向傾斜N79W74Sで、赤色の強変質を伴う。充填幅は10mmで、充填鉱物として暗緑色鉱物、方解石が認められる。

14.2.2　予備的トレーサー試験における連続性

予備的トレーサー試験では、KH-20孔、KH-24孔、KH-25孔の各試錐孔内における、対象割れ目-1、2の深度付近から塩水トレーサーを注入し、孔間での連続性を確認した。その結果を表-14.2.1にまとめて示す。以下に各割れ目におけるトレーサー移行の連続性に関して述べる。

(1)　対象割れ目-1

14.2.1の地質観察によれば、本割れ目はKH-20孔、KH-24孔、KH-25孔の３孔間のいずれも深度69～70m付近に存在する。そこで、予備的トレーサー試験では、各孔の同深度からトレーサーを注入し、他孔でのトレーサー侵出地点を調査している。表-14.2.1に示したように、いくつかの例外を除けば、基本的に同一深度においてトレーサー侵出が確認されており、少なくともトレーサー移行に関しては、単一と見なしうる割れ目であると認められる。

ただし、KH-24孔からの注入に対してKH-20孔が検出不能、KH-25孔から注入に対してKH-20孔が孔底付近となっている。それらの理由として、前者は注入の方向が下から上であること、後者は前日の試験の影響が考えられる（表-9.3.2参照）。

(2)　対象割れ目-2

本割れ目は、地質観察によればKH-20孔、KH-24孔、KH-25孔の３孔間の59～60m付近に存在する。表-14.2.1によれば、KH-20孔とKH-24孔の間では、対象割れ目深度において互いにトレーサー侵出が確認されているが、KH-25孔への連続性は確認されなかった。特にKH-25孔の深度59～60mからの注入が不能であったことから、本割れ目はKH-20孔とKH-24孔との間でのみ連続し、KH-25孔へは連続しないものと考えられ、これは地質観察において開口が認められないことと整合的である。

表-14.2.1　試験対象割れ目におけるトレーサー注入・侵出深度
（予備的トレーサー試験結果）

注入孔	*対象割れ目 1*	*対象割れ目 2*
KH-20孔	KH20 **69-70m** → KH25 **67m** ↓ KH24 **70m**	KH20 **58-59m** → KH25 **79m** (不明瞭) ↓ KH24 **59-60m**
KH-24孔	KH20 検出不能 KH25 **70m** KH24 **69-70m**	KH20 **59m** **69m** KH25 KH24 **58-67m**
KH-25孔	KH20 孔底付近 KH25 **69-70m** KH24 **70m**	KH20 注入不能 KH25 **59-60m** KH24 注入不能

15　次年度の調査試験計画

本年度は、平成７年度に引続き、孔間透水試験および非収着性トレーサー試験をおこなうための準備段階として、KH-22、KH-24の２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、予備的トレーサー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、今回抽出した透水性割れ目を対象とした孔間透水試験および非収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

昨年度までの成果を踏まえて、本委託研究の実施計画を事業団と協議の上で策定する。

(2) 非収着性トレーサー試験の実施

３区間の試験対象区間毎に、1.5ヶ月内で、注排水孔の組み合わせ、注排水流量条件を変えて、それぞれ４回以上の非収着性トレーサー試験を実施する。トレーサーの投入は注排水孔周辺の圧力流量条件が定常に達したと判断された後に行うものとする。非収着性トレーサー試験は、主にKH-20孔、KH-24孔、KH-25を使用し、適宜他のボーリング孔も使用する。

制御項目は以下の通り。

① 注水区間への注水流量

② 排水区間からの排水流量

③ 注入トレーサー濃度（最大1wt%）

測定項目は以下の通り。

① 注水区間への注水流量、排水区間からの排水流量

② 注入トレーサー濃度（孔口、パッカー区間内共）

③ 排水トレーサー濃度（パッカー区間内、孔口[*1]）

④ 他のパッカー区間におけるトレーサー濃度

⑤ 各孔各区間の間隙水圧変化

*1:トレーサー濃度の測定はトレーサー試験対象区間に設置してある電気伝導度計にて測定をするが、併せて孔口においても採水し、トレーサー濃度を測定する。なお、採水したサンプルのうち一回のトレーサー試験毎に20サンプル以上を動燃事業団へ提出するものとする。

(3) 孔間透水試験解析

動燃事業団が実施する孔間透水試験データを解析し、トレーサー試験対象区間の透水特性を評価する。

(4) 非収着性トレーサー試験結果の解析

(2)で実施した非収着性トレーサー試験それぞれについて解析解等を用いて解析し、試験対象区間の物質移行特性（分散係数、物質移行に寄与する亀裂開口幅等）を評価する。

(5)　間隙水圧計測

非収着性トレーサー試験実施期間中のみならず、試験外期間中において各ボーリング孔に設置した間隙水圧測定システムを用いて間隙水圧を測定する。

16　おわりに

本年度の作業により、当初予定の７本のボーリング孔全て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完了した。また、KH-20、KH-24、KH-25の３孔を用いた予備的トレーサー試験を実施し、来年度実施予定の非収着性トレーサー試験において対象とする、透水性割れ目の抽出を行った。

本原位置試験の最終年度である次年度は、これらの試験結果をもとに、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行う。