

釜石鉱山における粘土充填・熱負荷試験 (平成7年度)

(動力炉・核燃料開発事業団 受託研究内容報告書)

概要集

1996年3月

株式会社 間組

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

本資料についての問合せは下記に願います。

〒319-11 茨城県那珂郡東海村大字村松4-33

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所

技術開発推進本部・技術管理室

限 定 資 料
PNC ZJ 1412 96-002
1996年 3月

釜石鉱山における粘土充填・熱負荷試験

茂呂 吉司*

Tran Duc Phi Oanh*

雨宮 清**

要　　旨

放射性廃棄物の地層処分においては緩衝材とその周辺岩盤に、廃棄体から発生する熱による力学・透水特性の変化、地下水の侵入による伝熱・力学特性の変化、緩衝材の膨潤、岩盤の変形による伝熱・透水特性の変化等が相互に複合して生じる。このため、人工バリア及びその周辺岩盤の伝熱特性、力学的挙動、水理特性等を評価するためには、これらの熱—水—応力連成現象を解析するモデル、コードの開発・確証が必要である。

特に、亀裂性結晶質岩における深地層を理解するために、白亜紀初期の花崗岩を母岩とする釜石鉱山における原位置試験が計画され、熱—水—応力連成概念モデルを確立し、数学モデルとコンピューターコードを確証するために釜石原位置試験の1つとして、原位置熱—水—応力連成試験が計画された。連成試験計画は、試験坑道掘削、岩の特性調査、試験ピット掘削、ベントナイトの埋設と連成試験の5段階に分かれている。試験坑道は幅5m、奥行10m、高さ7mで、掘削機と発破によって掘削され、各種計測機器を埋設するために14本の試錐が行なわれた。

本年度は、14本の試錐、計測機器の埋設と試験ピットの掘削を実施したので報告する。

本報告書は、株式会社間組が、動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号：070D0131

事業団担当部課室および担当者：環境技術開発部地層処分開発室 石川 博久

*：株式会社間組技術研究所

**：株式会社間組技術本部原子力部

COMMERCIAL PROPRIETARY
PNC ZJ 1412 96-002
MARCH, 1996

Coupled Thermal-Hydro-Mechanical Experiment at Kamaishi Mine

Yoshiji Moro *

Tran Duc Phi Oanh *

Kiyoshi Amemiya **

Abstract

In the case of geological disposal of high level radioactive wastes, a coupled phenomenon involving thermal (T), hydrological (H), and mechanical (M) processes occurs in the buffer materials and surrounding rocks. This coupled phenomenon implies hydromechanical (HM) processes by heat dispersion, thermomechanical (TM) processes by ground water seepage, and thermohydrological (TH) processes by swelling of buffer materials and deformation of surrounding rocks.

In order to understand the deep geological condition in fractured crystalline rock, PNC initiated the in-situ experiments in the Kamaishi Mine, where early Cretaceous granodiorite hosts the experiments.

The coupled thermo-hydro-mechanical (T-H-M) experiment in situ has been planned as a task of Kamaishi in-situ experiments in order to establish the coupled T-H-M conceptual models and to build up confidence to the mathematical models and computer codes. The program of T-H-M experiment is divided into five phases; Excavation of Drifts, Measurement of Rock Properties, Excavation of Test Pit, Setting up of Bentonite, and T-H-M test. The experimental drift was opened, 5m × 10m in square and 7m in height, by drill and blast method and then forteen boreholes were drilled in order to install several sensors.

This year we carried out the drilling of forteen boreholes, insatallation of sensors and the Excavation of Test Pit and report the results.

Work performed by HAZAMA Corporation under contact with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation (PNC).

PNC Liaison : Hirohisa Ishikawa, Waste Technology Development Division, Geological Isolation Technology Section

* : Technical Research Institute of HAZAMA Corporation

** : Nuclear Power Department of HAZAMA Corporation

1. 概要	1-1
2. 工程表	2-1
3. 試験場	3-1
3.1 電気制御盤	3-1
3.2 データ収集システム	3-3
3.2.1 仕様	3-3
3.2.2 設置位置	3-11
4. 試錐	4-1
4.1 実施内容及び実施箇所	4-1
4.2 岩芯観察	4-3
4.2.1 岩芯記載法	4-3
4.2.2 割れ目記載法	4-6
4.3 ポアホールテレビ観察	4-17
4.3.1 概要	4-17
4.3.2 観察結果	4-25
5. 計測機器	5-1
5.1 概要	5-1
5.2 間隙水圧計 (BP-2KBT)	5-3
5.2.1 概要と機器仕様	5-3
5.2.2 設置位置及び設置方法	5-5
5.3 ジョイント変位計 (JH-600)	5-8
5.3.1 概要及び機器仕様	5-8
5.3.2 設置位置及び設置方法	5-9
5.4 小型ひずみ計 (BS-75BS)	5-11
5.4.1 機器仕様	5-11
5.4.2 設置位置及び設置方法	5-13

5.5 小型二成分ボアホールひずみ計 (MBS40-2C)	5-16
5.5.1 機器仕様	5-16
5.5.2 設置位置及び設置方法	5-17
5.6 熱電対	5-20
5.6.1 概要	5-20
5.6.2 設置位置・方法	5-20
5.7 ピゲージ	5-24
5.7.1 概要	5-24
5.7.2 設置位置・方法	5-24
5.8 軸変位計	5-27
5.8.1 概要	5-27
5.8.2 設置位置・方法	5-27
5.9 測定機器埋設位置	5-30
 6. 透水試験	6-1
6.1 概要	6-1
6.2 試験結果	6-1
6.3 実数次元モデルの適用	6-13
6.3.1 目的	6-13
6.3.2 基礎理論	6-13
6.3.3 定圧試験定流量試験のタイプカーブ	6-18
6.3.4 釜石原位置試験結果への適用	6-19
6.4 透水テンソルの算定	6-29
6.4.1 理論曲線の作成	6-29
6.4.2 原位置への適用	6-33
6.4.3 釜石原位置試験への適用	6-37
6.5 まとめ	6-37
 7. 試験ピット掘削	7-1
7.1 はじめに	7-1

7.2 準備	7-2
7.2.1 資機材の搬入・搬出及び付帯設備の設置	7-2
7.2.2 機械据付け	7-3
7.3 堀削場所・仕様及び手順	7-10
7.3.1 堀削場所	7-10
7.3.2 仕様	7-10
7.3.3 堀削手順	7-14
7.4 堀削期間	7-17
 8. ピット内亀裂観察	8-1
8.1 概要	8-1
8.2 観察結果	8-1
 9. 孔内載荷試験 (S200)	9-1
9.1 試験装置	9-1
9.2 測定方法	9-1
9.2.1 測定位置	9-1
9.2.2 載荷方法	9-5
9.2.3 変形係数の算出方法	9-6
9.3 測定結果	9-6
 10. 孔内載荷試験 (エラストメータ)	10-1
10.1 試験装置	10-1
10.2 測定方法	10-2
10.2.1 測定位置	10-2
10.2.2 載荷方法	10-4
10.2.3 変形係数の算出方法	10-5
10.3 測定結果	10-6
 11. ピット孔径変化測定	11-1

11.1	概要	11-1
11.2	測定機器	11-2
11.3	測定手順	11-7
11.3.1	測定準備	11-7
11.3.2	直径測定	11-7
11.3.3	弦の測定	11-8
11.4	測定結果	11-10
12. トリベック設置・計測		12-1
12.1	計測機器	12-1
12.2	設置位置・方法	12-4
12.2.1	設置位置	12-4
12.2.2	設置方法	12-7
12.3	測定結果	12-11
12.3.1	測定結果	12-11
12.3.2	考察	12-20
13. 埋設計測機器観察データ		13-1
13.1	間隙水圧計 (BP-2KBT)	13-1
13.2	ジョイント変位計 (JH-600)	13-1
13.3	小型ひずみ計 (BS-75BS)	13-2
13.4	小型二成分ボアホールひずみ計 (MBS40-2C)	13-2
13.5	熱電対	13-2
13.6	軸変位計	13-2
13.7	π ゲージ	13-2
14 まとめ		14-1

1. 概要

放射性廃棄物の地層処分においては緩衝材とその周辺岩盤に、廃棄体から発生する熱による力学・透水特性の変化、地下水の侵入による伝熱・力学特性の変化、緩衝材の膨潤、岩盤の変形による伝熱・透水特性の変化等が相互に複合して生じる。このため、人工バリア及びその周辺岩盤の伝熱特性、力学的挙動、水理特性等を評価するためには、これらの熱一水一応力連成現象を解析するモデル、コードの開発・確証が必要である。

特に、亀裂性結晶質岩における深地層を理解するために、白亜紀初期の花崗岩を母岩とする釜石鉱山における原位置試験が計画され、熱一水一応力連成概念モデルを確立し、数学モデルとコンピューターコードを確証するために釜石原位置試験の1つとして、原位置熱一水一応力連成試験が計画された。連成試験計画は、試験坑道掘削、岩の特性調査、試験ピット掘削、ペントナイトの埋設と連成試験の5段階に分かれている。試験坑道は幅5m、奥行10m、高さ7mで、掘削機と発破によって掘削され、各種計測機器を埋設するために14本の試錐が行なわれた。

本年度は、14本の試錐、計測機器の埋設と試験ピットの掘削を実施したので報告する。

2. 工程表

前述した作業内容は釜石鉱山の操業日を尊重して、工程を組んだ。図2-1に釜石鉱山の平成7年4月から平成8年3月までの操業日と休日を記した。実際に実施した作業内容を表2-1から表2-10に示す。

	月	火	水	木	金	土	日		月	火	水	木	金	土	日
4月						1	2	10月							1
	3	4	5	6	7	8	9		2	3	4	5	6	7	8
	10	11	12	13	14	15	16		9	10	11	12	13	14	15
	17	18	19	20	21	22	23		16	17	18	19	20	21	22
	24	25	26	27	28	29	30		23	24	25	26	27	28	29
5月	1	2	3	4	5	6	7	11月	30	31	1	2	3	4	5
	8	9	10	11	12	13	14		6	7	8	9	10	11	12
	15	16	17	18	19	20	21		13	14	15	16	17	18	19
	22	23	24	25	26	27	28		20	21	22	23	24	25	26
	29	30	31	1	2	3	4		27	28	29	30	1	2	3
6月	5	6	7	8	9	10	11	12月	4	5	6	7	8	9	10
	12	13	14	15	16	17	18		11	12	13	14	15	16	17
	19	20	21	22	23	24	25		18	19	20	21	22	23	24
	26	27	28	29	30	1	2		25	26	27	28	29	30	31
7月	3	4	5	6	7	8	9	1月	1	2	3	4	5	6	7
	10	11	12	13	14	15	16		8	9	10	11	12	13	14
	17	18	19	20	21	22	23		15	16	17	18	19	20	21
	24	25	26	27	28	29	30		22	23	24	25	26	27	28
	31	1	2	3	4	5	6		29	30	31	1	2	3	4
8月	7	8	9	10	11	12	13	2月	5	6	7	8	9	10	11
	14	15	16	17	18	19	20		12	13	14	15	16	17	18
	21	22	23	24	25	26	27		19	20	21	22	23	24	25
	28	29	30	31	1	2	3		26	27	28	29	1	2	3
9月	4	5	6	7	8	9	10	3月	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17		11	12	13	14	15	16	17
	18	19	20	21	22	23	24		18	19	20	21	22	23	24
	25	26	27	28	29	30			25	26	27	28	29	30	31

図2-1 釜石鉱山の操業日（平成7年4月から平成8年3月まで、網線部が休日）

表2-1 工程表（平成7年6月）

調査研究項目	実施箇所・仕様	6月			問題点
		10	20	30	
1. 岩盤特性調査					
1.1 試錐掘削 運搬			—		
搬入、仮設			—		
削孔			—	—	6月12日
機材移設				—	
1.2 BTV調査、コア観察					
BTV観察					
コア観察					
2. 試験、計測					
2.3 孔内センサー設置					
間隙水圧計					コア観察により設置位置を検討
4. 計測システム、試験場整備					
4.1 分電盤設置					
運搬、搬入、設置		—			

表2-2 工程表（平成7年7月）

調査研究項目	実施箇所・仕様	7月			問題点
		10	20	30	
1. 岩盤特性調査					
1.2 BTV調査、コア観察					
BTV観察結果まとめ		---	---		
コア観察		—			6月27日→7月3日
2. 試験、計測					
2.1 孔内センサー設置					
間隙水圧計			—		7月12日→13日
2.2 透水試験					
2.3 孔内載荷試験					
4. 計測システム、試験場整備					
4.2 観測小屋設置					
4.3 計測機器の調整					
間隙水圧計			—		7月13日→14日

表2-3 工程表（平成7年8月）

調査研究項目	実施箇所・仕様	8月			問題点
		10	20	30	
2. 試験、計測					
2.1 孔内センサー設置					
間隙水圧計	KBH2,4,6				
2.2 透水試験	KBH2,4,6,7				一 8月24日→9月5日
2.3 孔内載荷試験					
S200	KBH7				

表2-4 工程表（平成7年9月）

調査研究項目	実施箇所・仕様	9月			問題点
		10	20	30	
1. 岩盤特性調査					
1.1 試錐掘削	KBM1～7			—	9月27日位置決め
2. 試験、計測					
2.1 孔内センサー設置					
間隙水圧計	KBH2,4,6		—		9月20日→21日
トリベック設置	KBM4,5				
ひずみ計埋設	KBM1,2,3				
2.2 透水試験	KBH2,4,6,7	---			8月24日→9月5日
2.3 孔内載荷試験					
S200	KBH7		—		
4. 計測システム、試験場整備				—	ケーブルの養生

表2-5 工程表（平成7年10月）

調査研究項目	実施箇所・仕様	10月			問題点
		10	20	30	
1. 岩盤特性調査					
1.1 試錐掘削	KBM1~7	---	---		
1.2 BTV調査、コア観察	KBM6,7				
2. 試験、計測					
2.1 孔内センサー設置					
ひずみ計の設置	KBM1,2,3				
トリペック設置	KBM4,5		—		10月24日
トリペック測定	KBM4,5				
ショイント変位計設置	KBM6,7		—		
2.2 透水試験実施	KBH1~7	---	---		
2.3 孔内載荷試験	KBH7				
3. ピット掘削 ($\phi = 1.7m$ 、 $L=5m$)					
3.1 ピット掘削					
機材搬入					
5. 報告書作成		---	---	---	

表2-6 工程表（平成7年11月）

調査研究項目	実施箇所・仕様	11月			問題点
		10	20	30	
1. 岩盤特性調査					
1.2 BTV調査、コア観察	KBM6,7		—		11月17日 (ジョイント変位計用)
2. 試験、計測					
2.1 孔内センサー設置					
ひずみ計の設置	KBM1,2,3	—			11月1日～2日
トライベック測定	KBM4,5		—		11月10日 (初期値測定)
ジョイント変位計設置	KBM6,7			—	11月21日
2.3 孔内載荷試験					
エラストメーター	KBH7		—		11月17日
3. ピット掘削 ($\phi=1.7m, L=5m$)					
3.1 ピット掘削 機材搬入			—	---	11月17日→ 11月30日
コアボーリング ($\phi=25cm, L=5m$)					
機材入れ替え					
ショットボーリング ($\phi=1.7m, L=5m$)					
4. 計測システム、試験場整備					
4.2 観測小屋 測定室の板囲い					11月18日
5. 報告書作成		---	---	---	

表2-7 工程表（平成7年12月）

調査研究項目	実施箇所・仕様	12月			問題点
		10	20	30	
1. 岩盤特性調査					
1.2 BTV調査、コア観察	KBM6,7				
2. 試験、計測					
2.1 孔内センサー設置					
トリベック測定	KBM4,5				
ショットボーリング設置	KBM6,7				
3. ピット掘削 ($\phi=1.7m, L=5m$)					
3.1 ピット掘削					
コアボーリング ($\phi=25cm, L=5m$)		---	---		12月1日→12月13日
機材入れ替え			—	—	12月14日→22日
ショットボーリング ($\phi=1.7m, L=5m$)					1月16日→2月10日
5. 報告書作成		---	---	---	

表2-8 工程表（平成8年1月）

調査研究項目	実施箇所・仕様	1月			問題点
		10	20	30	
1. 岩盤特性調査					
1.2 BTV調査、コア観察	KBM6,7		—		1月9日
2. 試験、計測					
2.1 孔内センサー設置					
トライペック測定	KBM4,5		—		1月9日
ジョイント変位計設置	KBM6,7		—		1月10日
ピット孔径変位計設置	ピット			—	1月29日→30日
3. ピット掘削 ($\phi = 1.7m, L=5m$)					
3.1 ピット掘削					
ショットボーリング ($\phi = 1.7m, L=5m$)			—	—	1月11日→2月28日
5. 報告書作成		—	—	—	

表2-9 工程表（平成8年2月）

調査研究項目	実施箇所・仕様	2月			問題点
		10	20	30	
1. 岩盤特性調査					
2. 試験、計測					
2.1 孔内センサー設置					
トリペック測定	KBM4,5		—		2月16日
ピット孔径変位計測定	ピット	---	---	—	2月1日, 5日, 7日, 13日, 16日, 21日, 27日
2.3 孔内載荷試験					
S200					
3. ピット掘削 ($\phi = 1.7m, L=5m$)					
3.1 ピット掘削					
ショットホールリング ($\phi = 1.7m, L=5m$)	ピット	---	---	---	1月11日→2月28日
3.2 ピット内亀裂観察	ピット		—		
5. 報告書作成		---	---	---	

表2-10 工程表(平成8年3月)

調査研究項目	実施箇所・仕様	3月			問題点
		10	20	30	
1. 岩盤特性調査					
2. 試験、計測					
2.1 孔内センサー設置					
トリペック測定	KBM4,5	—			3月11日
ピット孔径変位計測定	ピット				
2.3 孔内載荷試験					
S200		—			3月11日
3. ピット掘削 ($\phi=1.7m$ 、 $L=5m$)					
3.1 ピット掘削					
ショットボーリング ($\phi=1.7m$, $L=5m$)					
3.2 ピット内亀裂観察	ピット	—			3月11日→13日
5. 報告書作成		---	—		

3. 試験場

3.1 電気制御盤

本試験坑道付近には電気設備が無く、またデータ収録、試錐、試験ピット掘削などではほぼ定常に電気を必要とするので、試験坑道に分電盤を設置した。設置位置を図3-1に、また分電盤の概略図を図3-2に示す。

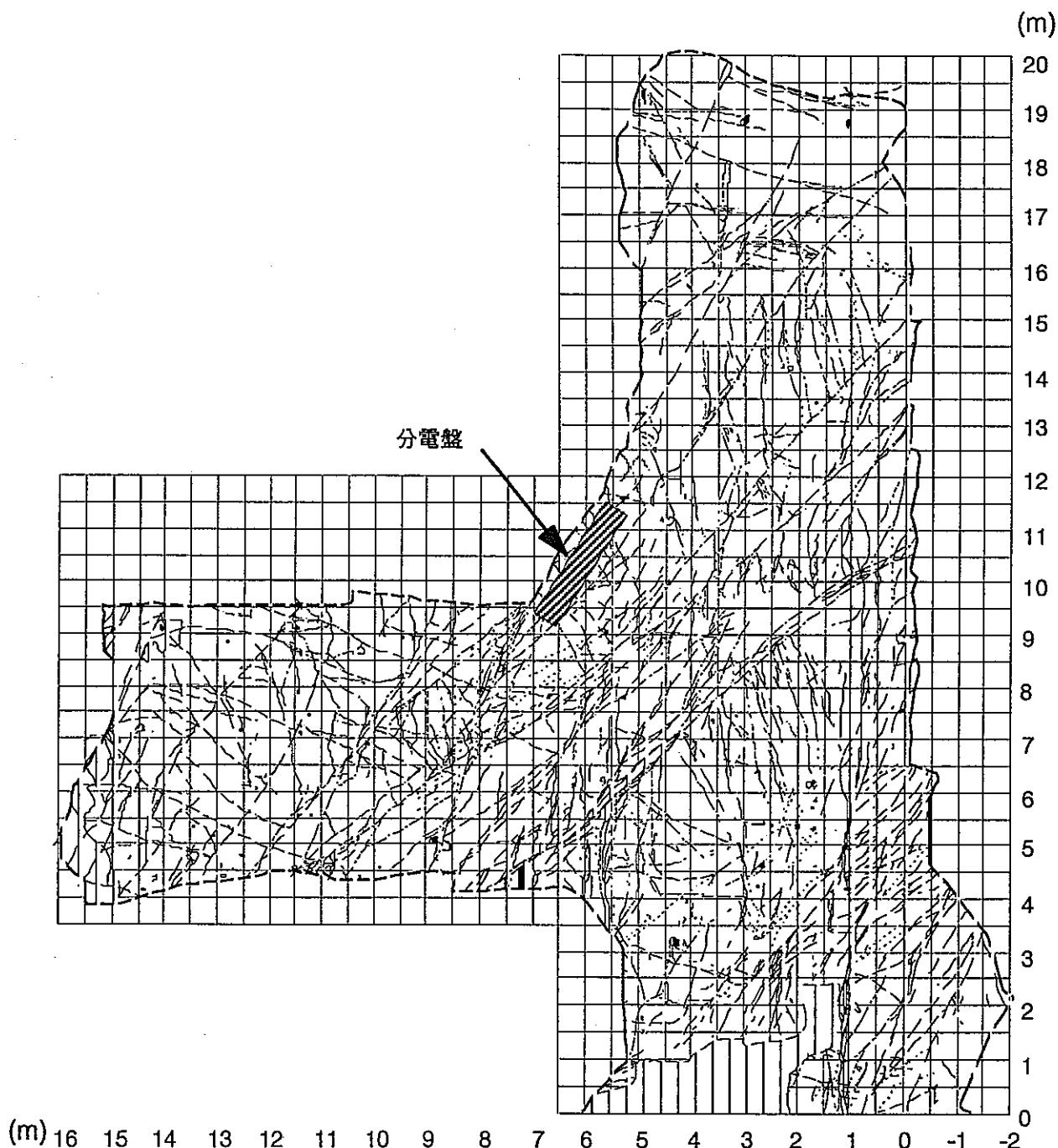


図3-1 分電盤設置位置

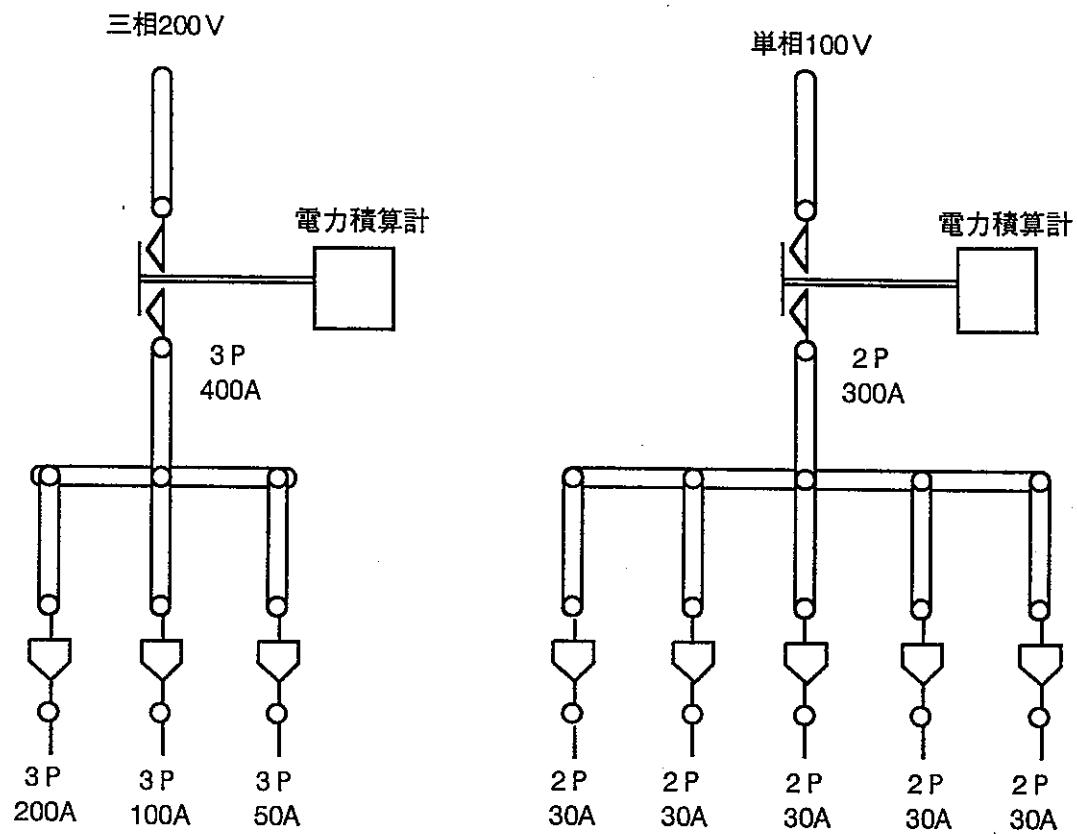


図3-2 分電盤概略図

3.2 データ収集システム

3.2.1 仕様

各種計測機器を用いた計測に供するロガー及びスキャナーを常設し、それらの稼働環境を整える計測室を設置した。これらのデータロガーおよびスキャナーは動力炉・核燃料開発事業団殿からの支給品である。

表3-1 データ収録システム構成品

項目	計測ラック	データロガー	スキャナー
製造	昭和機器	共和電業	
数量	1式	1台	2台

表3-2 データロガー仕様（1）

項目	仕様
機種	UCAM-70A-20（土木用）
測定対象	①ひずみ（ひずみゲージ）
	②各種物理量（ひずみゲージ式変換器）
	③直流電圧、電流
	④温度（熱電対、白銀測温抵抗器）
	⑤測温機能付土木用変換器の温度測定
測定点数	①10点 標準内蔵（オプションで10点毎に20点増設可能、合計30点内蔵可能）
	②1000点 スキャ接続時最大（スキャのみ：50点×20台=1000点、内蔵30点とスキャ：30点+50点×19台=980点）
入力端子	①ハンド付、ネジ止め共用型
	②NDIS規格コネクタ
入力雷サージ保護器	アレスタ内蔵
切換素子	半導体リレー
測定点モード	1点毎に操作キーにより指定
接続可能スキャナ	USB-70A（オプションのスキャニングフェース（USI-70A）を挿入することにより従来型スキャナも接続可能）

表3-3 データロガー仕様（2）

項目	仕様	
スキャニング速度 (全点一括で 速度指定可能)	①0.05秒／点	
	②0.1秒／点	
	③1.0秒／点	
	④5.0秒／点	
動作モード	①自動スキャニング測定	
	②10点モニタ測定	
	③6点コール測定	
測定ファンクション	①イニシャル値測定（初期不平衡値）：オリジナル値を測定し、イニシャル値として記憶	
	②メジャーカー値測定：オリジナル値からイニシャル値を差し引いた変化分を測定	
	③オリジナル値測定：イニシャル値を差し引かない値を測定	
初期値 記憶範囲	0～±50000×10 ⁻⁶ ひずみ（×1レンジ）	
	0～±500000×10 ⁻⁶ ひずみ（×10レンジ）	
処理機能	①定数演算機能	較正係数等の乗算
	②変換器要領、定格 出力	演算機能
	③内蔵単位	30種（スペースを含む）
	④グラフ表示機能	時系列データグラフ表示（Y-Tグラフ）
		チャンネル間データグラフ表示（X-Yグラフ）
		1スキャンのチャンネル別データグラフ表示（バーグラフ表示）
	⑤チャンネル間、同一チャン ネル測定間演算機能	四則演算
		最大値
		最小値
		合計値
		平均値
		標準偏差
		%偏差
		3軸ゼット解析
	⑥単位自動変換機能	同次元の別単位を指定することにより定数（較正係数等）を変更 しなくとも自動的に指定単位に変換

表3-4 データロガー仕様（3）

項目	仕様					
ひずみ測定	①適用ひずみゲージ	1ケージ法（2、3線式、定電圧）120Ω、240Ω、350Ω 2、4ケージ法、ひずみゲージ式変換器（定電圧）60Ω～1000Ω 4ケージ法、ひずみゲージ式変換器（定電流）350Ω タミー共通は、フルタミー法およびコンタミー法（USB-70A使用時）による				
		定電圧 約2VDC (60～1000Ω)				
		定電流 約5.7mA (350Ω：4ケージ法及びひずみゲージ式変換器) 測定点毎に定電圧または定電流の指定可能				
		③ゲージ率 2.00、ただし定数演算機能にて2.00/Ks（使用ゲージのゲージ率）値を乗ずる事により補正可能				
	④測定範囲、分解度、精度 (注) レンジ×1、×10は自動切換	レンジ	測定範囲	分解度	精度	
		×1	0～±50000×10 ⁻⁶ ひずみ	1×10 ⁻⁶ ひずみ	± (表示値の0.05%+1) ×10 ⁻⁶ ひずみ	
		×10	0～±500000×10 ⁻⁶ ひずみ	10×10 ⁻⁶ ひずみ	± (表示値の0.05%+10) ×10 ⁻⁶ ひずみ	
直電圧測定	①信号源抵抗 ②測定範囲、分解能、精度、入力抵抗 (注) レンジmV、Vは手動設定、×1、×10は自動切換	1kΩ以下				
		レンジ	測定範囲	分解能	精度	入力抵抗
		mV	×1 0～±50.000mV	1 μV	± (表示値の0.05%+1)	10MΩ以上
			×10 0～±500.00mV	10 μV		
		V	×1 0～±5.0000V	100 μV		1MΩ以上
			×10 0～±50.000V	1mV		
直流電流測定	①測定範囲、分解能、精度 (注) ただし外部シャント抵抗器250Ω（高精度）が必要。 外部シャント抵抗器の精度を含まず。	レンジ	測定範囲	分解能	精度	
		×1	0～±50.00mA	10 μA	± (表示値の0.05%+0.01) mA	
測温機能付 土木用変換器 温度測定	①測定範囲、分解能、精度 (1点で対象物理量と温度の測定が可能)	単位	測定範囲	分解能	精度	
		温度直読	-50.0～+200.0°C	0.1°C	±0.5°C	
		温度抵抗値	80.00～180.00Ω	10mΩ	±0.1Ω	

表3-5 データロガー仕様（4）

項目	仕様								
温度測定	①信号源抵抗	1kΩ以下							
	(注) ・内部基準接点補償器と熱電対の精度を含まず。 ・基準接点補償は、外部冷接点と内部基準接点の切換可能。	種類	測定範囲	分解能	精度	内部規準接点 補償器精度			
		K (CA)	-200~+1370°C	0.1°C	± (表示値の0.05%+0.4) °C	±0.5°C (入力端子温度平衡時) (周囲温度0~50°C)			
		T (CC)	-200~+400°C						
		E (CRC)	-200~+1000°C						
		J (IC)	-200~+900°C						
		N	-200~+1300°C						
		B	+200~+1770°C						
		S	0~+1770°C	10mΩ	± (表示値の0.05%+0.6) °C				
		R	0~+1770°C						
トリガースタート	(注) 結線法3線式、測温抵抗体の精度は含まず。	種類	測定範囲	分解能	精度				
		Pt 100	温度直読 -200~+660°C	0.1°C	± (表示値の0.05%+0.3) °C				
			温度抵抗値 18.49~332.66Ω	10mΩ	± ((表示値-100) の0.05%+0.1) Ω				
		JPt 100	温度直読 -200~+510°C	0.1°C	± (表示値の0.05%+0.3) °C				
			温度抵抗値 17.14~287.40Ω	10mΩ	± ((表示値-100) の0.05%+0.1) Ω				
		モニタチャンネルの測定値がトリガ値を超えた場合、自動スキャニング測定を行なう。							
インターパル測定	①トリガ値は100種類迄設定可能								
	②トリガ値 相対値								
	③トリガ値1種類につき32767回測定迄設定可能 (0回に設定すると無限回測定となる)								
	④トリガ値の種類毎にモニタチャンネルの指定可能								
	測定間隔と測定開始時刻を設定する事により、繰り返し自動スキャニング測定を行なう。								
	①インターパル系統8系統の独立したインターパルを持つ (マチインターパル機能)								
	②インターパル時間は100種類迄設定可能								
	③インターパル時間 1秒~99日23時59分59秒 (1秒単位で設定可能)								
	④インターパル時間の1種類につき32767回測定迄設定可能 (0回に設定すると無限回測定となる)								
	⑤測定開始時刻 年月日時分秒設定								

表3-6 データロガー仕様（5）

項目	仕様			
トリガインターバル	モニタチャンネルの測定値がトリガ値を越えた場合、自動的にインターバル測定を行なう。			
	①トリガ値	絶対値		
ストレージ機能	スキャニング測定毎のデータを蓄積記憶すると共に、そのデータを再生し、表示、印字、伝送もできる。			
	①ストレージデータ数 (注) ただし、設定条件により変化する。 内蔵RAMディスクバッテリバックアップ（1ヶ月間満充電時）	記録コード メディア	ASCII	バ'付リ
クロック	年月日時分秒（バッテリバックアップ1ヶ月間 満充電時）	内蔵RAMディスク	約35000データ	約120000データ
		メモリカート	約35000データ	約120000データ
表示	②データ再生	フロッピーディスク	約42000データ	約130000データ
	スキャニング測定毎にデータ出力			
プリンタ	①52行／行	感熱式、記録紙幅112mm		
	②832ドット／ライン			
操作キー	③14行／秒			
	④記録紙	A4長マーカ機能、印字データ中のA4用紙貼り付け長さ毎にフィートとマーカを挿入可		
メモリカートトライア	⑤印字内容	データ設定条件、表示画面のhardtコピー、アナログトレント記録（波形リアルタイム印字）		
	⑥外部プリンタ出力付			
メモリカートトライア	ファンクションキー、テンキー、カーソルキー			
	①容量	1Mバ'イト、メモリカート対応		
	②記録コード	ASCII、バ'付リ		
	③記録内容	データ、設定条件（メモリカートUMC-70Aはオプション）		

表3-7 データロガー仕様（6）

項目	仕様	
フロッピーディスクドライブ*	1台	標準内蔵
	1台	オプションで1台増設可能 合計2台内蔵可能
		3.5インチ マイクロフロッピーディスク
		フロッピーメディア 2HD、2DD自動切換
		記録フォーマット MS-DOSフォーマット（NEC社及びIBM社対応）
	記録コード	ASCII（市販ソフトで読み込み可能）、バイナリ
	記録内容	データ、設定条件
インターフェース	①GP-IB (IEEE-488)	トーカ、リスカ機能 伝送内容 データ、設定条件、制御信号
	②EIA-232-D（旧 RS-232-C相当）	伝送速度 1200、2400、4800、9600波特 伝送内容 データ、設定条件、制御信号
	リモート制御機能	測定のスタート、ストップ入力、測定中のビギン出力
自己診断機能	①メモリチェック	
	②hardt*チェック	
	③表示チェック	
	④プリントチェック	
	⑤スキヤク較正值チェック（フリッジ電源、基準接点端子温度）	
	⑥安定度チェック	
	⑦絶縁抵抗チェック	
	⑧入力断線チェック（フリッジ入力、バーンアウト）	
使用温湿度 範囲	①0～+50°C	
	②20～85%RH（非結露）	ただしフロッピーディスクドライブを使用する場合は+5～+45°C、20～80%RH（非結露） (ただしメディアを含まず)
電源	①AC90～132V／180～264V 50Hz／60Hz 約100VA	
外寸寸法、 重量	①427（W）×177（H）×420（D）mm（突起部含まず）	
	②約16Kg	

表3-8 スキャナー仕様（1）

型式名	USB-51A	USB-51AT	
測定点数	50点		
カスケード接続	10台 UCAM-10シリーズ 最大500点 10台 UCAM-5Bシリーズ 最大500点 20台 UCAM-8シリーズ 最大1000点		
測定点切替素子	電子回路用リレー		
測定入力	10点毎に入力モードを設定可能 ・ひずみゲージ 1枚ゲージ (2、3線式) 120Ω 2枚ゲージ (対辺アクティブ) 120Ω 2、4枚ゲージ 60～1000Ω ダミー共通接続はツールダミーゲージ法による。 ・ひずみゲージ式変換器 60～1000Ω ・直流電圧	10点毎に入力モードを設定可能 ・温度 各種熱電対 K、T、R、E、J対応 (組み合わせUCAMの取り扱い説明書参照) ・直流電圧	
	測定範囲は、組み合わせUCAMの取り扱い説明書参照		
	10点単位で設定可能	10点単位で設定可能	
モード番号	内 容	モード番号	内 容
0	スキップ	0	スキップ
1	1枚ゲージ共通ダミー	1	熱電対 K (CA)
2	1枚ゲージ共通アクティブ	2	熱電対 T (CC)
3	1枚ゲージアクティブ	3	熱電対 R
4	2枚ゲージアクティブ、ダミー	4	熱電対 E (CRC)
5	2枚ゲージアクティブ、アクティブ	5	熱電対 J (JC)
6	2枚ゲージ対辺アクティブ 4枚ゲージ対辺アクティブ	6	-----
7	4枚ゲージフルアクティブ	7	-----
8	直流電圧	8	直流電圧
9	直流電流	9	直流電流
	UCAM10/5BTと組み合せた場合を示す。 (他の機種の場合は、組み合わせUCAMの取扱説明書参照)		

表3-9 スキャナー仕様（2）

型式名	USB-51A	USB-51AT
接続端子	<ul style="list-style-type: none"> ・ネジ止め端子とハンダ付端子共用型 ・NDIS規格ワンタッチコネクタ (オプション) <p>測定範囲は、組み合わせUCAMの取り扱い説明書参照</p>	・ネジ止め端子
較 正	-10000×10 ⁻⁶ ひずみ相当の較正器内蔵	
基準冷接点		内蔵
雷サージ対策		なし
使用温湿度範囲	0～+40°C 80%R.H.以下 (非結露)	
電 源	UCAMから供給	
外形寸法	425 (幅) × 88 (高) × 427 (奥) (mm) 突起部含まず	
重 量	約8kg	

3.2.2 設置位置

設置位置は図3-3に示すように計測坑道の先端部分に計測小屋を設けて計測装置類を仮設した。

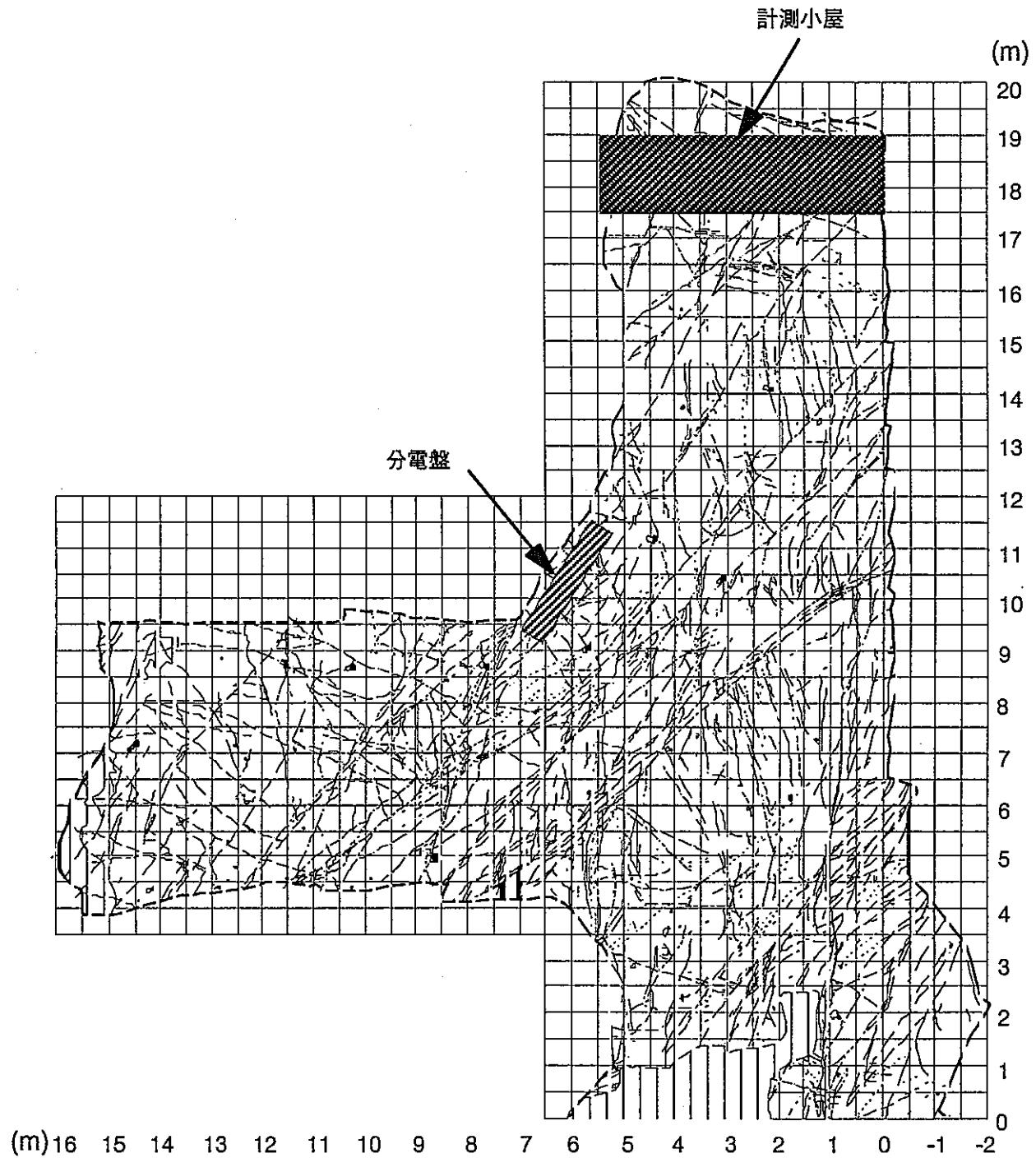


図3-3 計測システム設置位置

4. 試錐

4.1 実施内容及び実施箇所

透水試験、孔内載荷試験、間隙水圧計測及び各種計測機器埋設のために試錐を実施した。実施した試錐の仕様を表4-1に、レイアウトを図4-1に示す。

表4-1 試錐孔と仕様

用途	孔径	長さ	位置	傾き	作業時期	岩芯観察	BTB観察
透水試験 孔内載荷試験	76mm	8.00m	KBH7	90°	6月14~15日	○	○
透水試験 間隙水圧計埋設	66mm	8.00m	KBH1	90°	6月20日	○	○
	66mm	8.00m	KBH2	90°	6月21日	○	○
	66mm	8.05m	KBH3	83°	6月22日	○	○
	66mm	8.05m	KBH4	83°	6月23~26日	○	○
	66mm	8.00m	KBH5	90°	6月19日	○	○
	66mm	8.00m	KBH6	90°	6月17日	○	○
小型ひずみ計 (BS-76) 埋設	76mm	8.00m	KBM1	90°	10月16~17日	○	
ボアホール型二成分 ひずみ計 (MBS40) 埋設	66mm	3.50m	KMB2	90°	10月13~14日	○	
	66mm	3.50m	KBM3	90°	10月9日	○	
ジョイント変位計 埋設	76mm	5.00m	KBM6	75°	10月20日	○	
	76mm	5.00m	KBM7	57°	10月21日	○	
トリベック埋設	126mm	10.00m	KBM4	90°	10月4日~10月7日	○	
	126mm	10.00m	KBM5	90°	9月29日~10月4日	○	

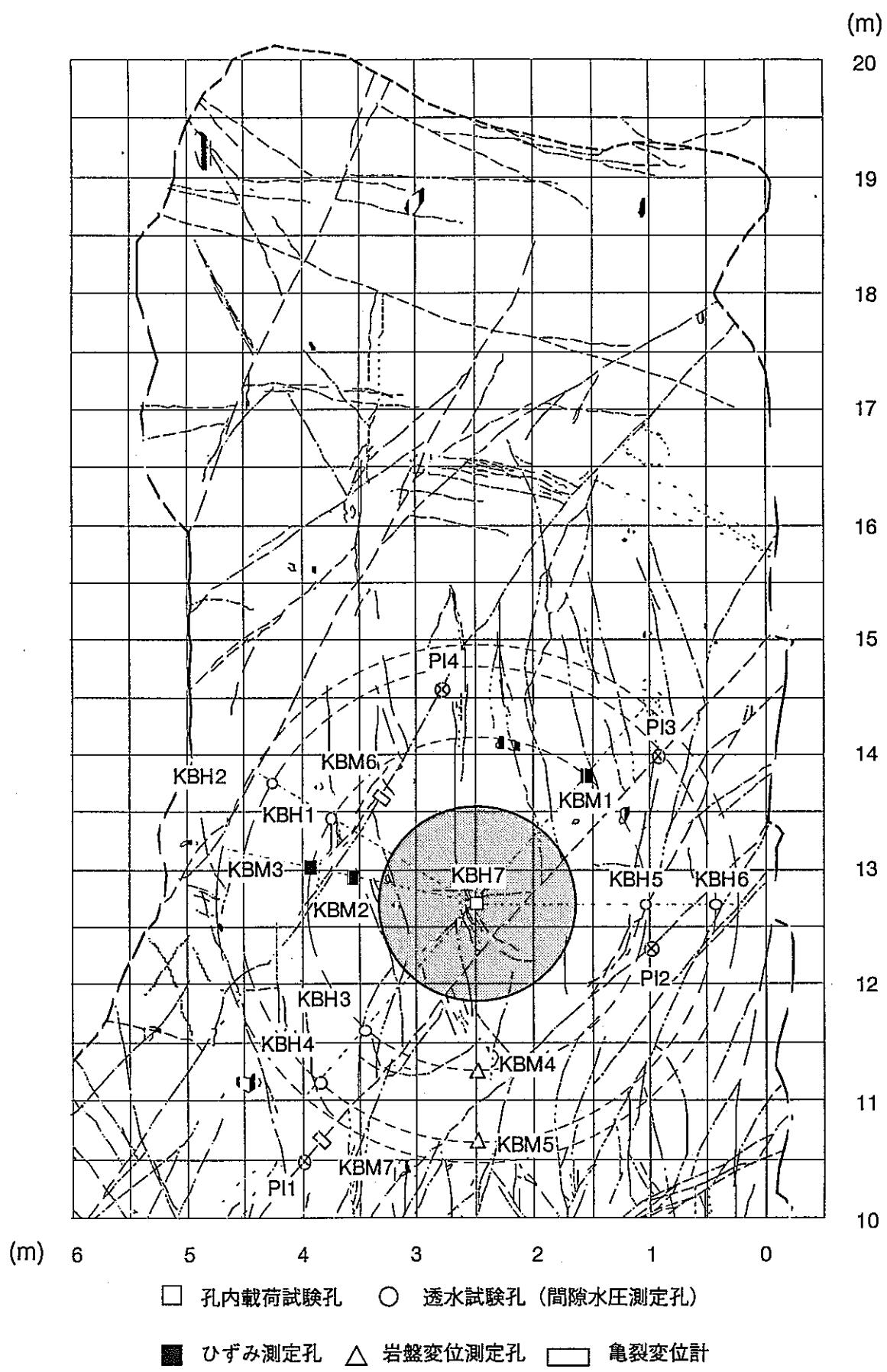


図4-1 試錐孔実施位置

4.2 岩芯観察

4.2.1 岩芯記載法

(1) 割れ目スケッチ

割れ目の展開スケッチは1:5のスケールで作成した。スケッチの凡例は以下の通りとした。

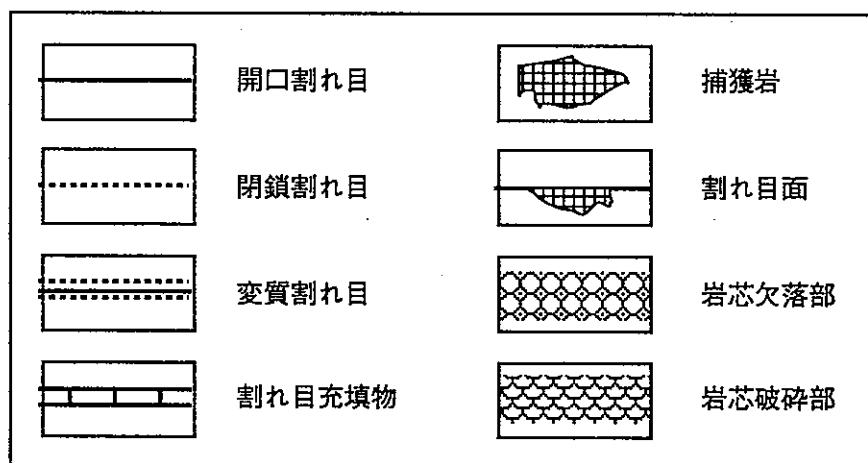


図4-2 割れ目スケッチの際の凡例

(2) 柱状図

岩相および変質について、1:5のスケールで柱状図を作成した。変質については、程度および色を記載した。変質の程度および色は、以下の通りに分類した。

表4-2 変質の程度

略号	変質程度	変質率 (%)	備考
WH	全体変質	100	母岩と流体が充分に対応
IL	強変質	50~100	母岩組織が一部不明瞭
MD	中変質	50±	
WK	弱変質	10~50	母岩組織明瞭
VW	微弱変質	0~10	初生鉱物の一部が変質
FS	未変質	0	流体が全く到達していない

表4-3 変質の色

略号	変質の色	備考
RE	赤色変質	斜長石中のヘマタイトに起因、斜長石のセリタイト化
PK	ピンク色変質	斜長石の濁沸石化、セリサイト化
OR	オレンジ色変質	斜長石のセリサイト化
WT	白色変質	斜長石のソーシュライト化
GN	緑色変質	有色鉱物の緑泥石化、(アドウ石化)
GY	灰色変質	-----
BR	褐色変質	-----
YG	黄緑色変質	有色鉱物の緑泥石化、緑簾石化

(3) 岩芯破碎部

岩芯が物理的に破碎している箇所および程度を記載した。破碎の程度を以下のとおり分類した。

表4-4 破碎の程度

程度	復元状態	破碎状況
A	復元可能	各々の破片に角があり、ほとんど岩芯に欠陥がない
B	復元可能	各々の破片に角があるが、所々に細粒化による欠陥が存在する
C	復元可能	全体的に細粒化しているが、各々の破片に角がある
D	復元不能	各々の破片が丸みを帯び、細粒化による欠陥が大半を占める
E	復元不能	粘土化を伴い、大部分が欠落している。各々の破片も粘性を失い、粒子状に分離する。

(4) R.Q.D

岩芯の各1m区間において、長さ10cm以上の岩芯が占める割合を記載する。岩芯の長さは中心線と岩芯の分離面の交点間の距離とする。

R.Q.D.の算出方法は以下の通りである。

$$R.Q.D.(\%) = (a+b+c+d+e)cm / 100cm \times 100$$

ただし、以下の点に留意する。

(注1) 充填鉱物等が板状に剥がれたもの等は、その掘進長に対する長さをR.Q.D.の対象外とする。

(注2) 岩芯を20cm以上横切る割れ目については、その端から端までをR.Q.D.の対象外とする。

(注3) e+fが10cm以上存在する場合は、R.Q.D.の対象とする。

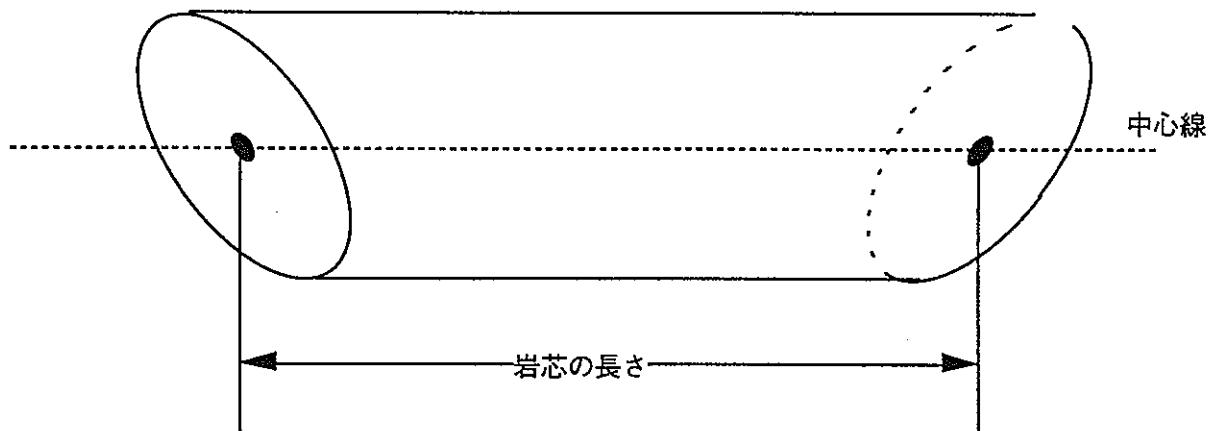


図4-3 岩芯の長さ

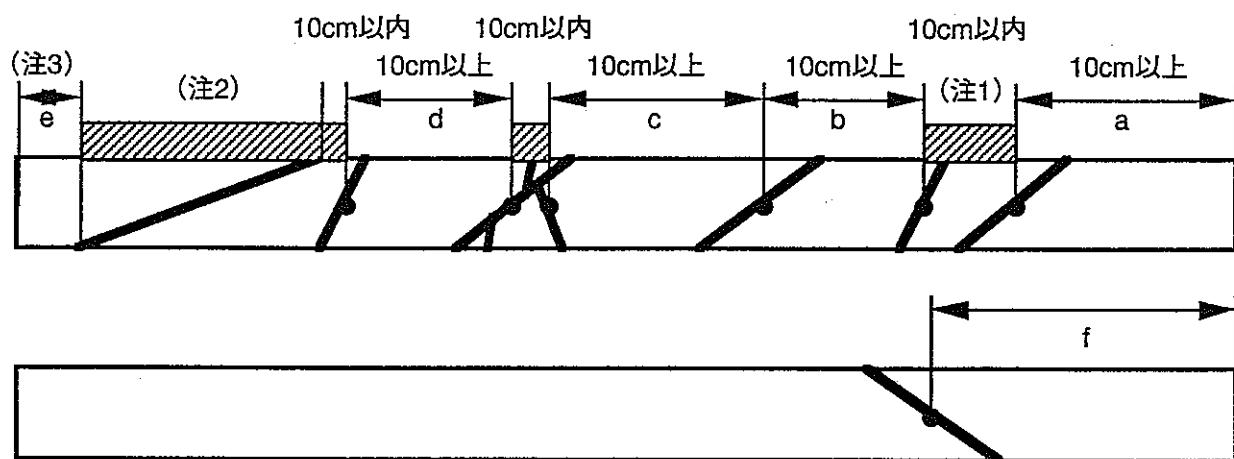


図4-4 R.Q.D.

4.2.2 割れ目記載法

(1) 岩石・鉱物略号一覧表

表4-6に岩石・鉱物略号の一覧表を示す。

表4-6 岩石・鉱物略号一覧表

初生鉱物		変質鉱物		不透明鉱物		岩石	
Qz	石英	Cal	方解石	Py	黄鐵鉱	GD	閃綠石
Kf	カリ長石	Ep	緑簾石	Hm	赤鐵鉱	Di	花崗岩閃綠石
Or	正長石	Act	アクチノライト	Mt	磁鐵鉱	Ap	アブライト
Pl	斜長石	Pre	アドゥ石	IIm	チタン鉄鉱	Lp	ランプロファイア
Ab	曹長石	L	濁沸石	Cp	黃銅鉱		
Horn	角閃石	ST	束沸石	OPQ	不透明鉱物		
Bio	黒雲母	Chl	緑泥石				
Ap	アバタイト	Mo	モンモリロナイト			その他	
Tour	電気石	Clay	粘土鉱物			YGP	黃緑色部
Zr	ジルコン					DGP	暗緑色部
Sph	クサビ石					BKP	黒色部
Dp	透輝石					GYP	灰色部
Hd	灰鐵輝石					WTP	白色部
En	エンスタタイト					GYC	灰色粘土
Fs	フェロシライト					WTC	白色粘土
Fo	フォルステライト						
Fa	ファヤライト						

(2) 割れ目の位置

岩芯の中心線との交点を割れ目位置とした(図4-5)。

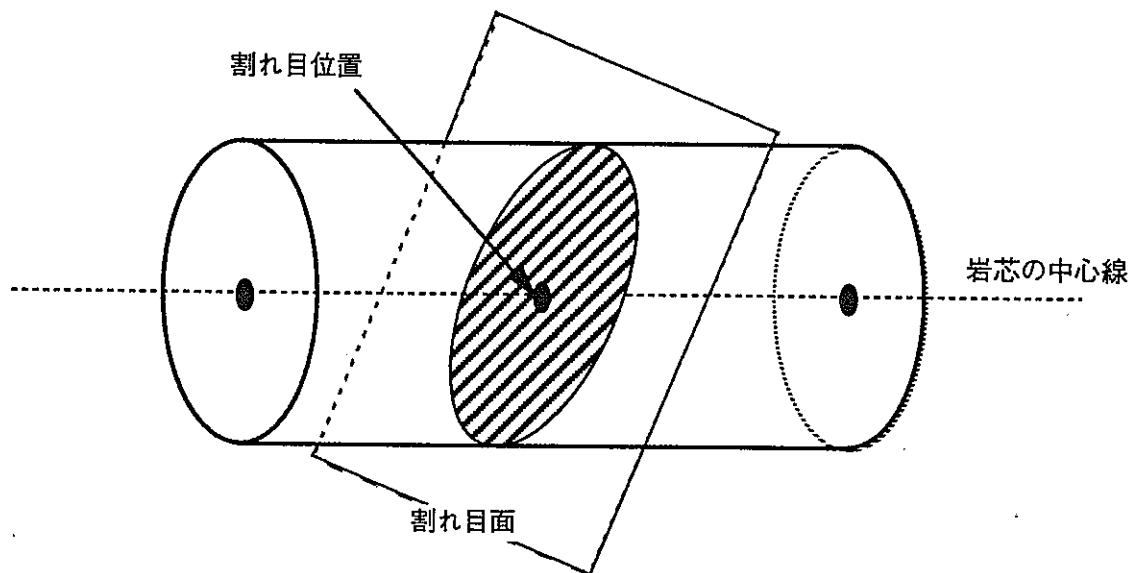


図4-5 割れ目の位置

(3) 開口の有無 (PT1)

開口の有無を示す記号は表4-7の通りである。開口割れ目なら開口幅を測定し、開口幅が変化している場合は最大値を記載した。

表4-7 割れ目の位置

記号	意味	状態
O	開口割れ目	割れ目面から岩芯が分離しているもの
PO	部分開口割れ目	割れ目の一部に開口が認められるもの
C	閉鎖割れ目	割れ目に沿った開口が認められないもの

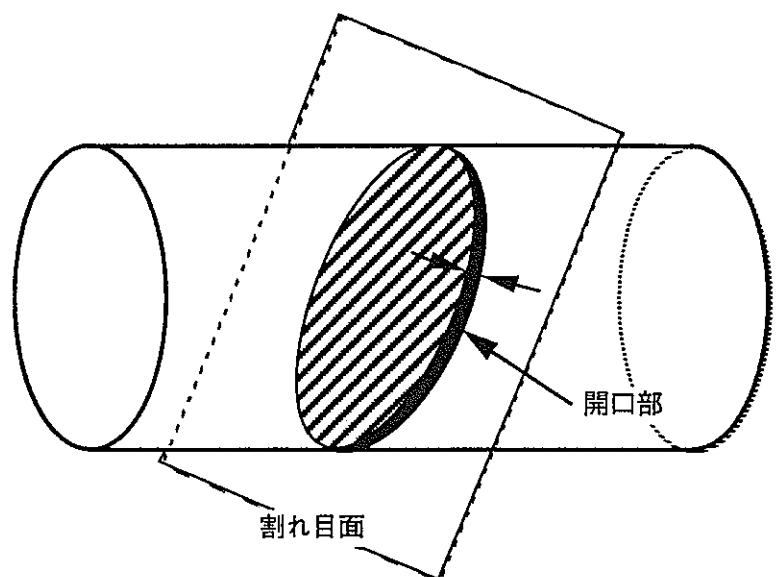
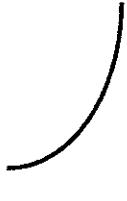
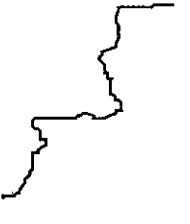
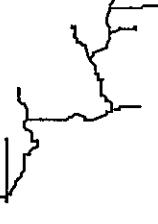
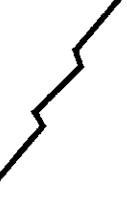
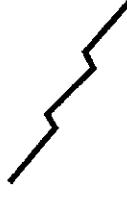


図4-6 割れ目面と開口部

(4) 割れ目の性状 (PT2)

割れ目の性状を表4-8の様に分類した。この分類基準は原位置試験開始当初に、日鉄鉱業株式会社がAECLの分類基準に準拠して作成したものである。

表4-8 割れ目の性状の分類

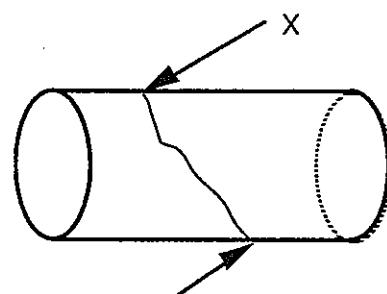
基本グループ	副グループ			
	毛状割れ目を伴わないパターン	短い毛状割れ目を伴うパターン	長い毛状割れ目を伴うパターン	不連続な割れ目パターン
P(Planar)				
C(Curved)				
I(Irregular)				
S(Stepped)				

(5) 割れ目の性状 (PT2)

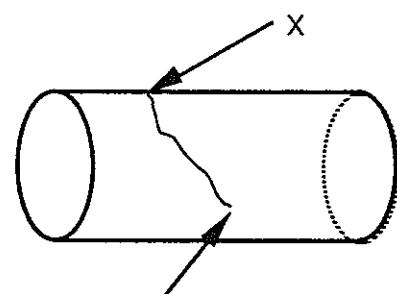
割れ目の各端の形状を以下の4通りに分類し、その組み合わせを記載した。

表4-9 割れ目端の形状

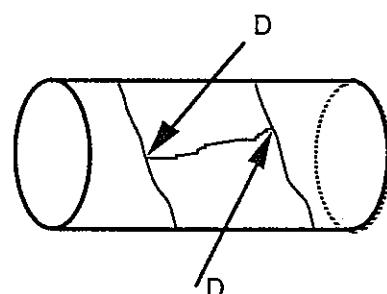
記号	形状
X	割れ目の端が調査範囲外へ連続するもの
R	割れ目の端が調査範囲内で消滅するもの
D	割れ目の端が調査範囲内で他の割れ目で止まっているもの
B	割れ目の端が調査範囲内で他の割れ目から枝分かれするもの



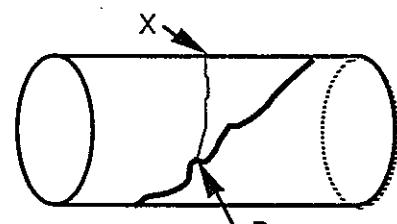
端の形状：XX



端の形状：XR



端の形状：DD



端の形状：XB

図4-9 割れ目端の形状

(6) 割れ目面の粗さ

割れ目面の粗さを以下の4通りに分類した。

表4-10 割れ目端の形状

記号	形状
P	滑らか
S	やや滑らか
I	やや粗い
C	粗い

(7) 変位

割れ目面に沿った見掛け上の移動距離（隔離）を記載した。方位が分かるもに関しては、そのセンスを以下の4通りに区分した。横ずれおよび縦ずれの両者が認められたものに関しては、その組み合わせを記載し、（横ずれ／縦ずれ）の比を記載した。

表4-11 ずれの表記

記号	性状
S	左横ずれ
D	右横ずれ
N	正縦ずれ
R	逆縦ずれ

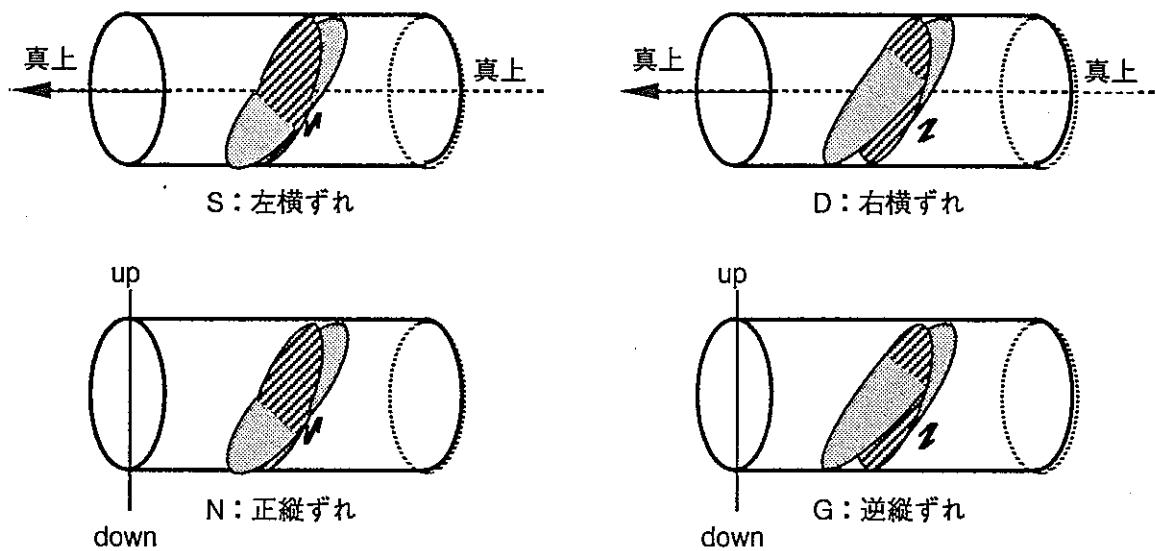


図4-10 ずれの分類

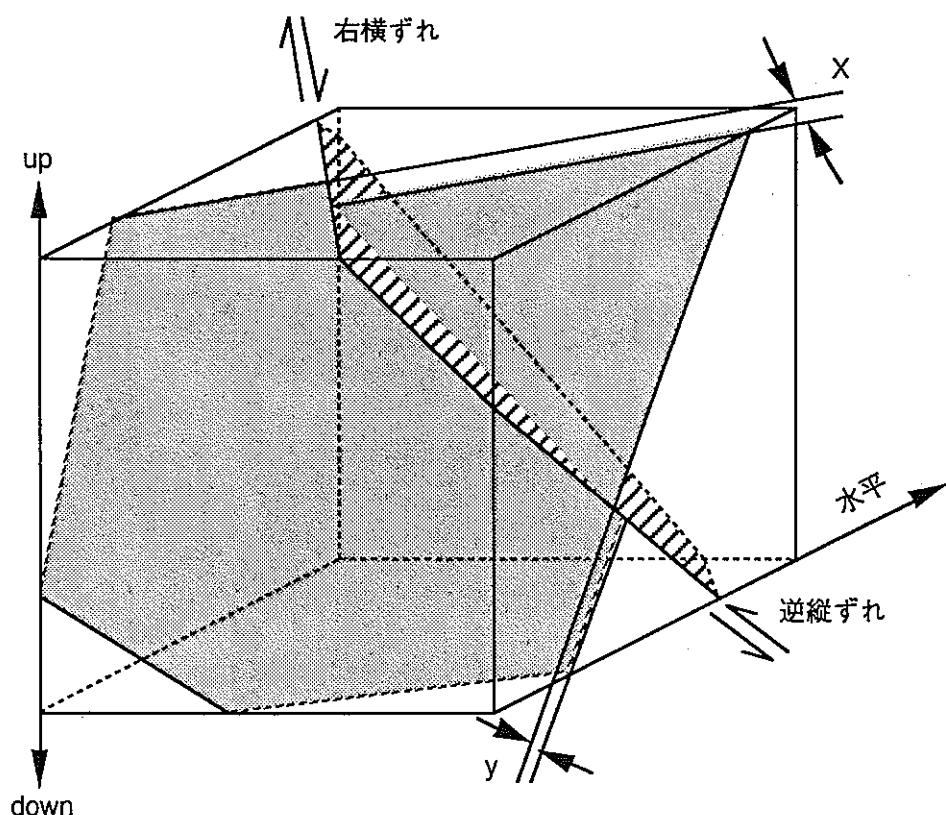


図4-11 ずれの比 (D-R, x/y)

(8) 条線の方向

走行・傾斜が明瞭な割れ目については、割れ目面を復元し、条線の走行・傾斜を測定した。ボアホールテレビ観察あるいは割れ目面の走行・傾斜の解析を行う前に岩芯を調査した場合は、以下の向きを条線の方向として記載した。

ただし、条線の方向は、時計周りに 360° で記載し、条線の向きが不明なものは、 $0\sim 180^{\circ}$ で記載した。

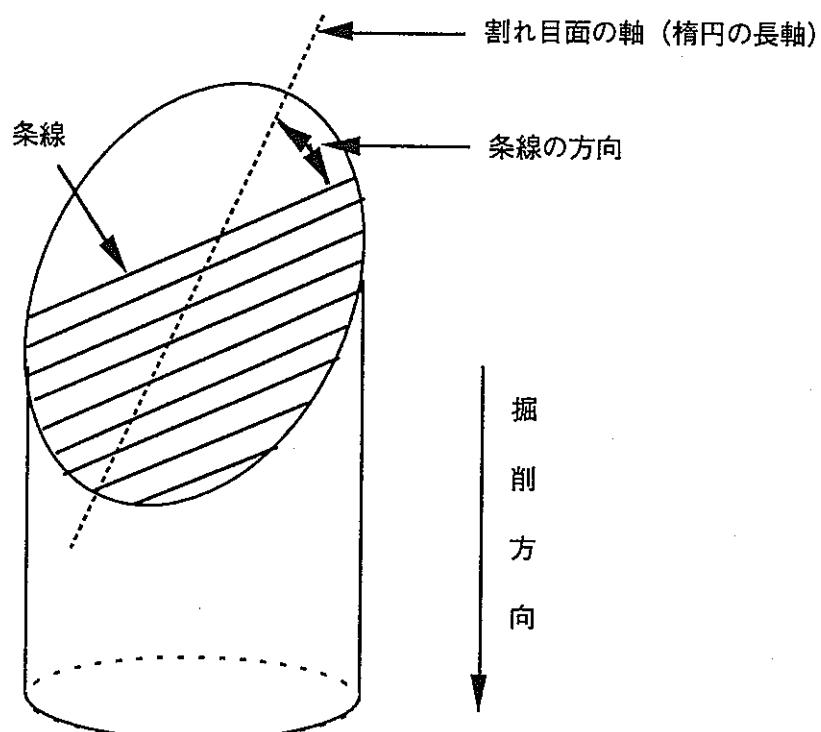


図4-12 条線の方向

(9) 破碎帯

割れ目がネットワーク状に発達し、微細割れ目が多数発達した区間を破碎帯とし、その出現区間、幅および程度を記載した。

表4-12 破碎帯の分類

記号	割れ目の程度	母岩レンズ
A	ネットワーク状に割れ目が発達	母岩レンズは健岩
B	ネットワーク状に割れ目が発達	母岩レンズ中に微小な割れ目が多数発達
C	ネットワーク状に発達した割れ目の交差部で充填幅が大きくなる	母岩レンズ中には微小な割れ目が多数発達
D	母岩レンズが丸みを帯び、割れ目の交差部が不明瞭になる	母岩レンズ中は微小な割れ目に粉碎され、各々の粒子は粘性を失う

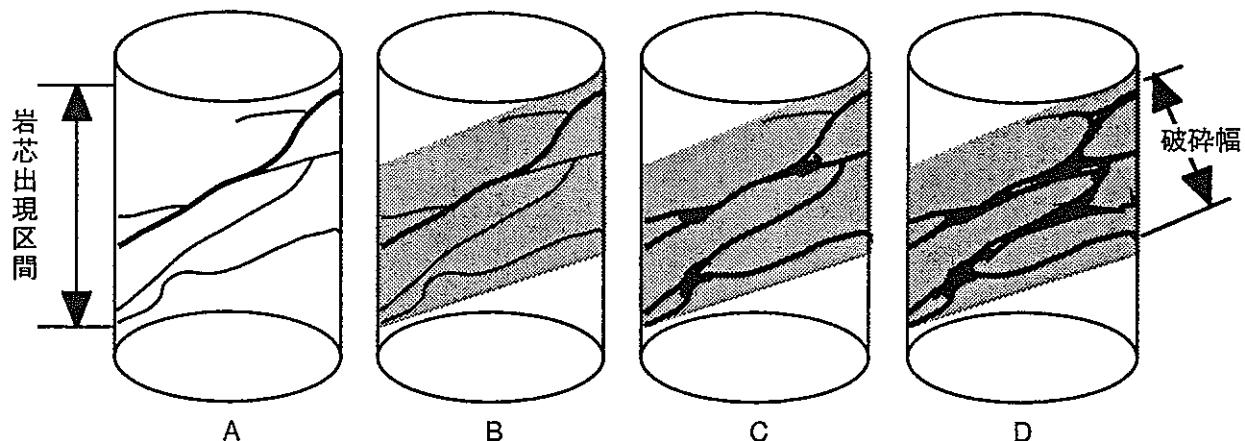


図4-13 破碎帯の分類

(10) 変質の程度、色、ハロー一幅

変質の程度、色の分類は表4-2、表4-3と同じである。また、ハロー一幅の概念図を図4-14に示す。ただし、変質帯中の割れ目でハローが隣接する割れ目のハローと連続するものは、割れ目までの距離の半分を変質ハローの幅とし、+を付け加える。

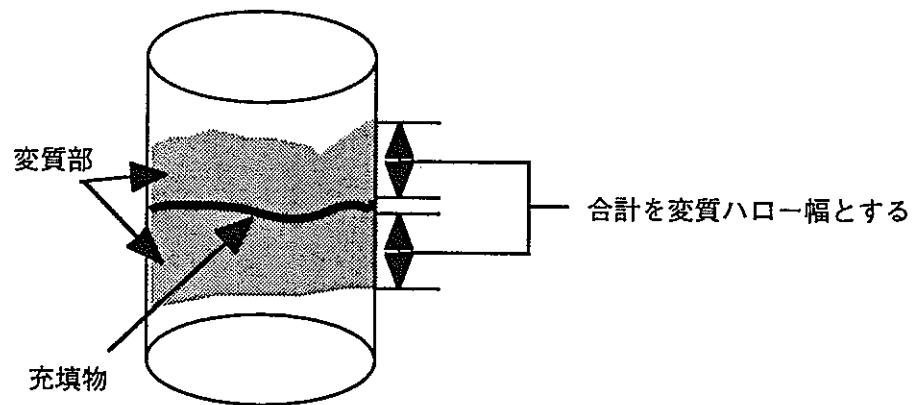


図4-14 ハロー一幅の概念

(11) 割れ目充填物

量比の多い順に充填物を記載した。充填幅は最大値を記載した。測定方法は1mm定規で測定し、mm単位で記載した。

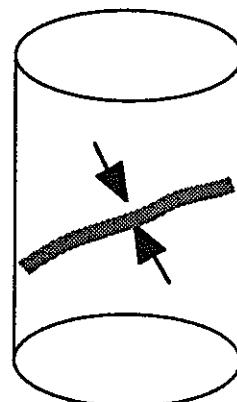


図4-15 割れ目充填物の定義

(12) 備考

割れ目面の表面の情報、破碎の情報、割れ目の形態についての情報も記載した。

開口割れ目で割れ目面が観察されるものについて記載した。また、派生割れ目を伴っている割れ目について、その幅を記載した。

表4-13 割れ目面の表面の分類

記号	割れ目面の性状
coating	脈充填物 (Deposite Mineral) が割れ目面で自形成長しているもの
bearing	フィルム状の鉱物が割れ目面に付着したもの
FS	割れ目面の表面が新鮮な栗橋花崗閃緑岩であるもの
alteration	割れ目面の表面が変質した栗橋花崗閃緑岩であるもの
Py	割れ目面の表面にパラマイトが付着したもの
Hm	割れ目面の表面にヘマタイトが付着したもの

4.2.3 岩芯観察結果

岩芯の観察はKBH1、KBH2、KBH3、KBH4、KBH5、KBH6、KBH7およびKBM1、KBM2、KBM3、KBM4、KBM5、KBM6、KBM7に対して実施した。

4.3 ボアホールテレビ観察

4.3.1 概要

KBH1、KBH2、KBH3、KBH4、KBH5、KBH6、KBH7の試錐終了後、試錐孔に対してBTV観察を実施した。調査の目的は亀裂の位置、頻度の把握にある。調査数量を表4-14に示す。

表4-14 調査数量表

試錐孔	調査数量	展開画像（写真）	孔径	備考
KBH1	0.20m～7.74m	0.20m～7.74m	66mm	
KBH2	0.20m～7.83m	0.20m～7.83m	66mm	
KBH3	0.20m～7.63m	0.20m～7.63m	66mm	斜孔
KBH4	0.20m～7.64m	0.20m～7.64m	66mm	斜孔
KBH5	0.20m～7.90m	0.20m～7.90m	66mm	
KBH6	0.20m～7.90m	0.20m～7.90m	66mm	
KBH7	0.20m～7.75m	0.20m～7.75m	76mm	
合計	52.99m	52.99m		

4.3.2 測定・解析方法

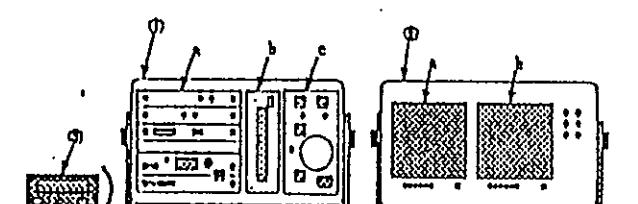
（1） BIPシステムの構成と特長

試錐孔内の観察および解析にBIPシステムを用いた。その構成図を図4-16に示す。システムは、現場システムと室内システムからなり、現場システムは試錐孔内を降下またはロッドなどにより押し込まれるプローブ（ゾンデ）部分、深度カウンターを備えた昇降装置、画像展開記録・プローブ制御装置およびテレビモニターなどで構成され、それぞれポータブルユニットとしてまとめられている。

室内システムは、32ビットパソコン、カラーコピー機および35mmフィルムレコーダ、磁気記録データドライブ、光磁気ディスクドライブおよび専用解析ソフトウェアから構成される。

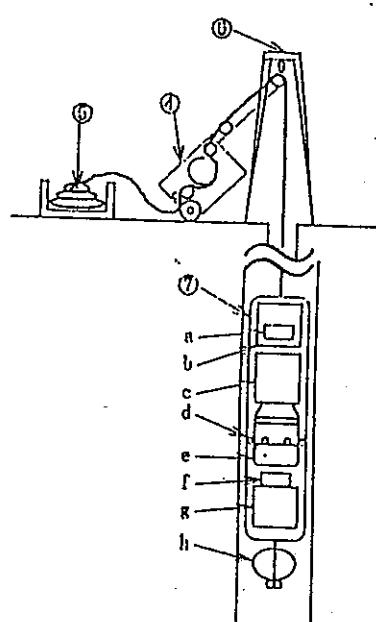
以下に機能と特長をまとめると。

- ① 簡便な画像取り込みシステムによって高速の観察記録が可能。（0.00～1.50cm/s→0.00～54.00m/h最大で72.00m/h）
- ② 吊り下げ方式により鉛直孔、下向き斜孔、ロッド方式により水平孔、上向き斜孔、上向き鉛直孔にも適用可能。
- ③ 観察可能な孔の孔径：水中で50～230mm、空気中で50～250mm（条件付き実績あり、φ50mmプローブ使用時のみ50mm以上可能）
- ④ 孔壁の全周生画像とリアルタイムの360° 展開画像が10インチ2連モニターにより同時観察可能。亀裂からの湧水、ガスの噴出状況はゾンデを停止させ長時間の連続観察が可能。
- ⑤ 孔壁の展開画像は、カセット式磁気テープまたは光磁気ディスクにデジタル記録し、孔壁全周画像および展開画像はVTRに録画することが可能。
- ⑥ 必要箇所では、180° 孔壁展開機能により、360° 展開時の倍の精度で孔壁の半周連続観察可能。
- ⑦ 孔壁展開画像は、デジタル記録テープまたは光磁気ディスクからコンピューターのディスプレー上に再現可能。また、再現された展開画像はディスプレー上で亀裂などの不連続面の走向・傾斜・幅を計測することが可能。測定された走向・傾斜などのデータはフロッピーディスクに記録され統計処理やステレオネット表示が可能。展開画像は、フィルムレコーダーまたは、カラーコピー機に接続することにより出力可能。
- ⑧ 高速コンピューターグラフィックスにより、孔壁画像を任意の方向から三次元観察が可能。



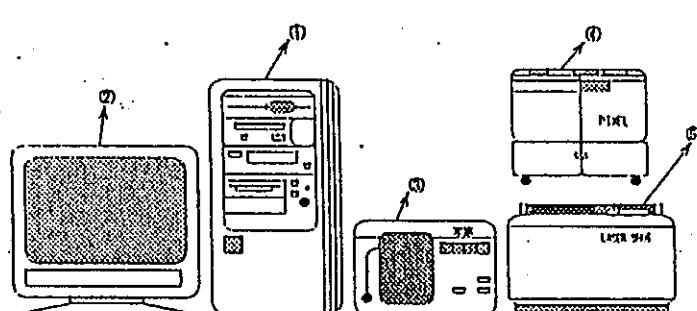
番号	名称
①	画像処理ユニット
	a 各種画像処理ボード
	b MOドライブユニット
②	c プローブコントローラー
	2連モニター
	a 孔壁画像モニター
③	b 展開画像モニター
	MTドライブユニット

図4-16 現場システム（画像処理ユニット部）



番号	名称
④	簡易型ウィンチ（プローブ降下装置）
⑤	複合ケーブル
⑥	三脚
	標準型プローブ（φ50mm・60mm）
a	内部制御ユニット
b	方位センサー
c	TVカメラユニット
d	照明ユニット
e	コーン型ミラー
f	方位コンパス
g	バッテリー
h	セントライザー

図4-17 現場システム（画像取り込み・降下装置部）



番号	名称
①	レックス社製タワー型統合パソコン 486DX/661 (IBM-AT互換機)
②	14~17インチマルチスキャンカラーモニター
③	フィルムレコーダー (35mmフィルム・ポラロイド)
④	カラーレーザープリンター (カラーコピー機)
⑤	レーザープリンター
⑥	X-Yプロッター

図4-18 室内解析システム

(2) BIPシステム現場測定方法

現場作業は、図4-19のフローの通りである。

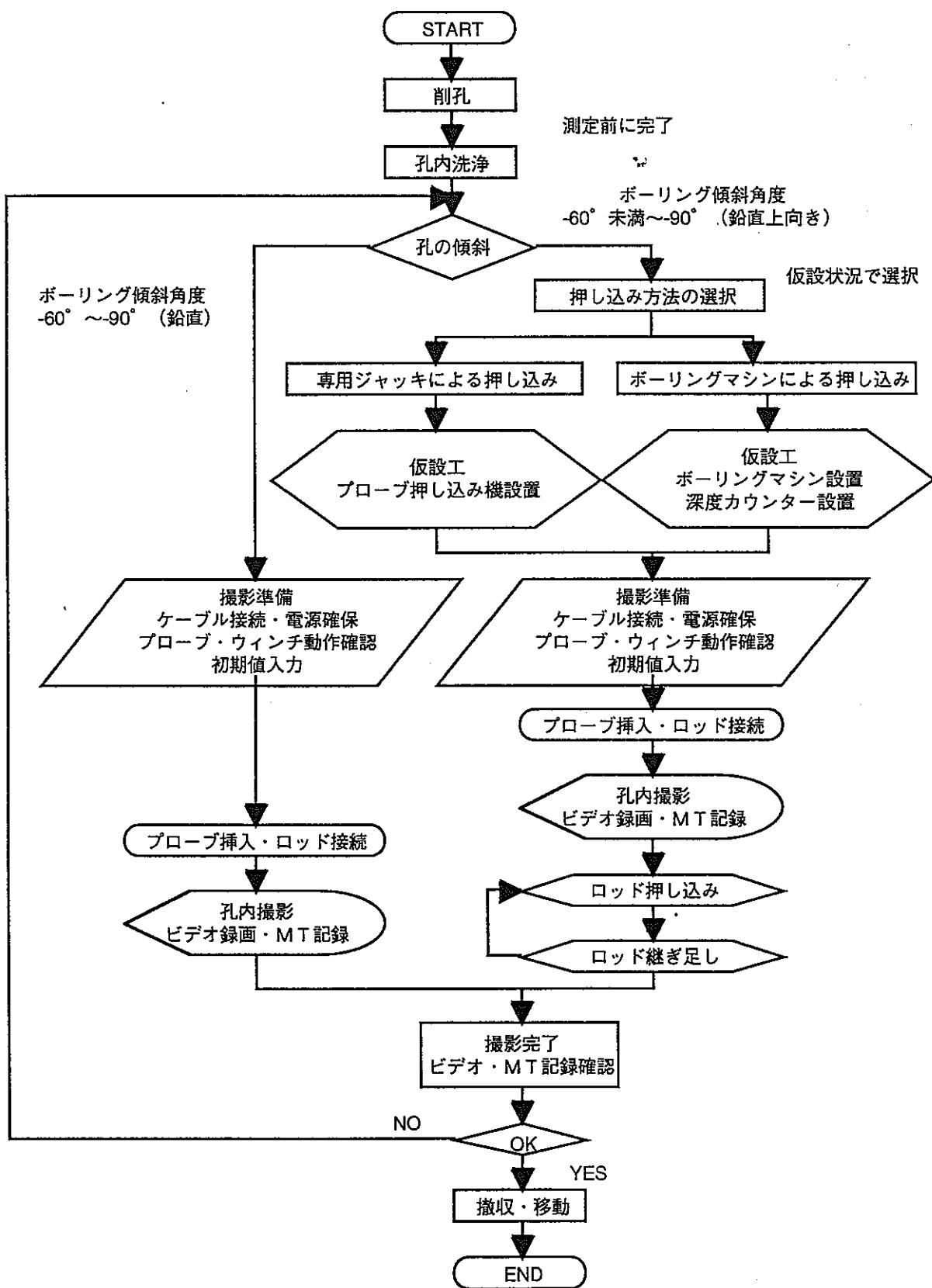


図4-19 現場作業フロー

(3) 画像処理の考え方

不連続面の走向・傾斜の測定は、現場で観察記録した磁気テープを読み出して室内解析システムのディスプレー上に表示し、孔壁との切合線として示される一連の地層面、亀裂面をマウスカーソルでポイントティングすることによって行なった（図4-20）。

計算された該当面の走向・傾斜はディスプレーおよびフロッピーディスクに表示記録される。また、同様に開口幅もポイントした2点間の実距離として示される。

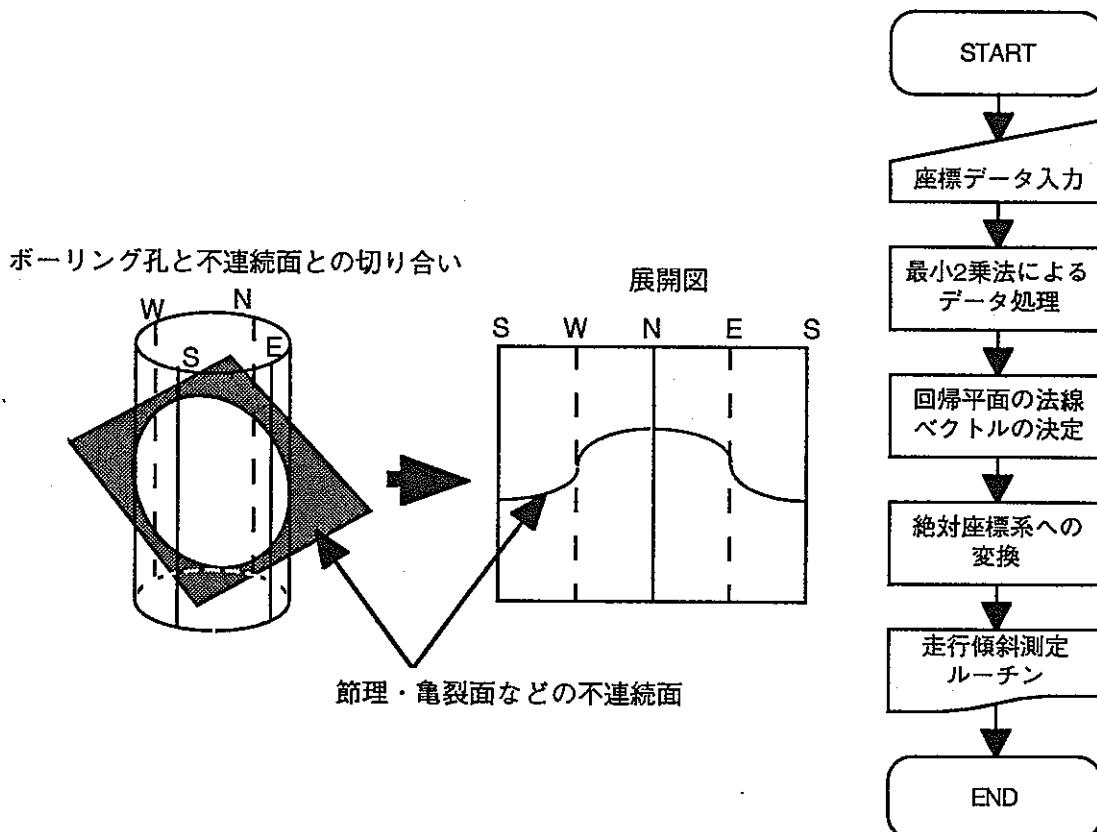


図4-20 走向・傾斜計算ルーチン

(4) 不連続面解析

ボーリング孔内の岩盤状況および不連続面解析にあたり以下のものを作成した。

1) 孔壁展開写真

測定ボーリング孔について孔壁展開写真（カラーハードコピー）を作成した。展開写真是、写真

中央が真北あるいは孔壁の上を示し、両端が南の方向または孔壁の下を示している。

2) 不連続面ステレオネット

一覧表のデータより不連続面の方向データをステレオネット（シュミットネット下半球）・コンターマップに投影した。

3) 不連続面一覧表

孔壁展開画像より得られた各不連続面の分布深度、走向・傾斜、区分、開口度などの情報を以下のように整理した。

①分布深度

各面要素と孔壁に出現する亀裂などの切り合い線のほぼ中点を記載した。

②走向・傾斜

孔の全周の50%以上連続する面要素について計測を行った。破碎帯など、ある程度の厚さを有する面要素についてはその上端、下端面の走向・傾斜を計測し表記した。

③区分

面要素は表4-15のように5つに区分した。

表4-15 面要素の区分

項目	説明
初生構造	層理、片理、流理、岩相境界など
開口亀裂	亀裂、節理のうち画像上で1.0mm以上の開口性が認められ、開口幅の測定が可能なものの
ヘーグラック	亀裂、節理のうち画像上で開口性が1.0mm未満のもの
破碎部	破碎部（帯）または、断層の上端、下端に区分した
鉱物脈	有色鉱物脈（石英・方解石など）

④開口度

孔壁面の面要素との切り合い線の最大傾斜部分の幅を計測した。わずかな凹凸が見られるものについては数点の平均をとった。

⑤形状・状態・備考

面要素の状態区分の細分類などを記載した。たとえば、粘土介在、不規則、グラウト充填、不連続、白色鉱物、ラミナなど。

4) 岩盤亀裂状態解析図

本解析はボーリング孔内における孔壁観察結果から岩盤の状態を定量的に評価する手法である。概要を図4-21に示す。本図は総合的に岩盤評価を行うために、表4-16に示す各チャートを複合して示している。

表4-16 各チャートの意味

チャート	意味
亀裂（不連続面）分布図	亀裂の発達位置と大きさをプロット
1mあたりの亀裂（不連続面）	単位mあたりの発達頻度を表示
累積亀裂開口幅量曲線	孔底を基準として亀裂の1本あたりの開口幅を孔底より累積したもの
累積亀裂開口量曲線	孔底を基準として単位mあたりの亀裂本数を孔底より累積したもの

このうち、累積亀裂開口量曲線は孔壁の連続画像から岩盤の緩み量と緩み領域を定量的に判定するためには考案した手法である。これは孔壁に現れた亀裂の見掛け開口幅および単位メートルあたりの亀裂本数を計測し、この量を孔の深部（仮定として岩盤の非緩み領域にあることが前提である）の任意の点を基準点とし、これから孔の浅部に向かって累積し、深度一累積亀裂開口量・深度一累積亀裂本数の関係でグラフ化したものである。この方法によれば、岩盤内部に一定確率で不連続面が発達するならば、累積亀裂開口量・累積亀裂本数の傾きは常に一定（リニアに増加）に表現される。一方、応力解法やその他の理由で開口量・亀裂本数が変化した場合には傾きの変化で示される。すなわち、岩盤の性状の変化、特に緩み-非緩み状態の変化には有効な方法であると考えられる。

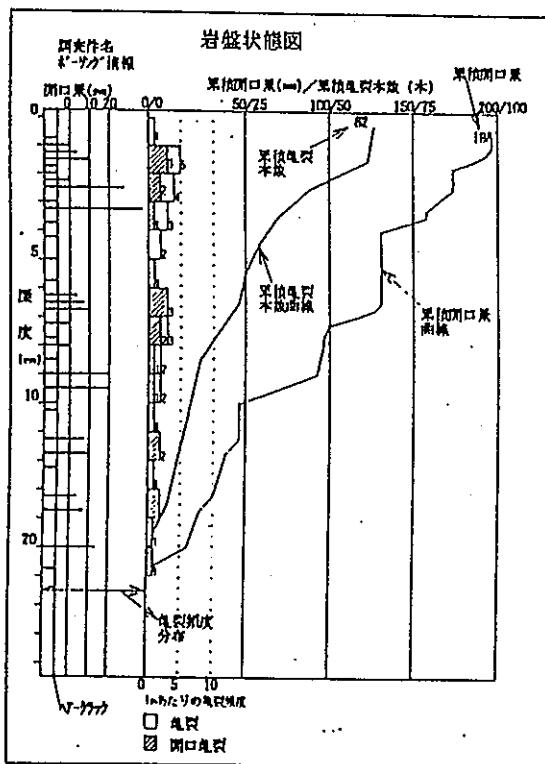


図4-21 岩盤状態図の例

5) 孔壁展開画像ビデオテープ

測定ボーリング孔について展開画像ビデオテープを作成した。

4.3.2 観察結果

前述のシステムを用い、試錐孔内の岩盤壁を観察した。

図4-22～図4-28に各試錐孔の亀裂を初生構造、開口亀裂、ヘアークラック、破碎部、鉱物脈に分類してシュミットネットを下半球で描いた。また、全ての試錐孔に対して全不連続面の下半球シュミットネットを作成したものを図4-29に、亀裂系のみ、鉱物脈のみ、開口亀裂のみ、ヘアークラックのみで下半球シュミットネットを作成したものをそれぞれ図4-30、図4-31、図4-32、図4-33に示す。そのうち亀裂系、開口亀裂、ヘアークラックについてはコンターマップを作成した（図4-34、図4-35、図4-36）。

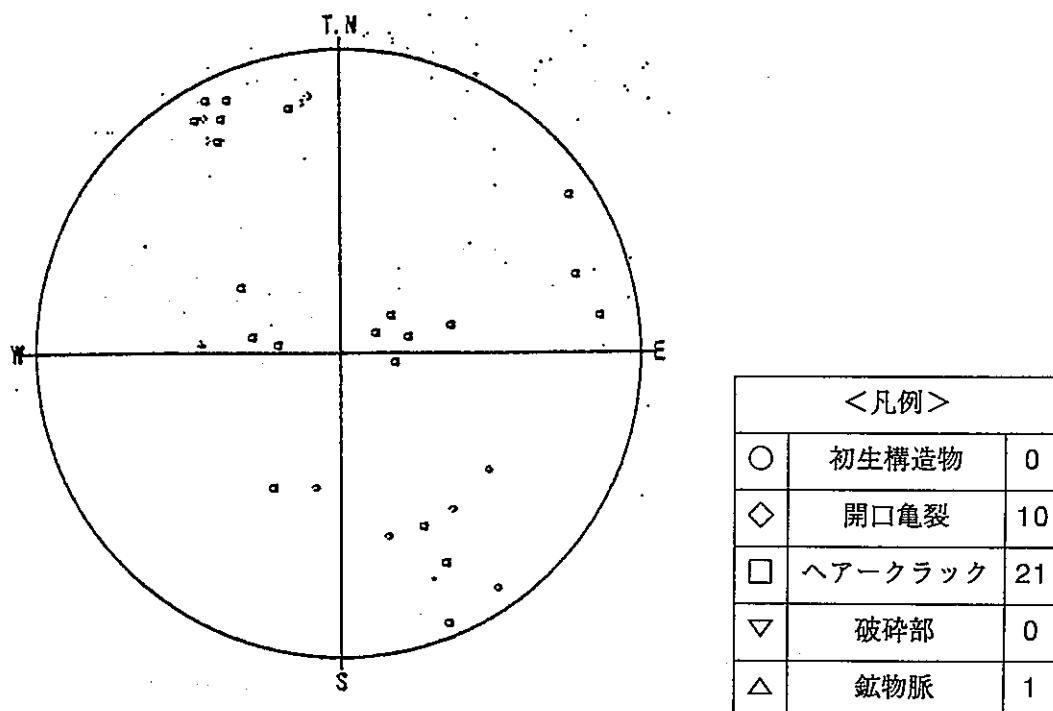


図4-22 下半球シュミットネット (KBH1、データ数：32/32)

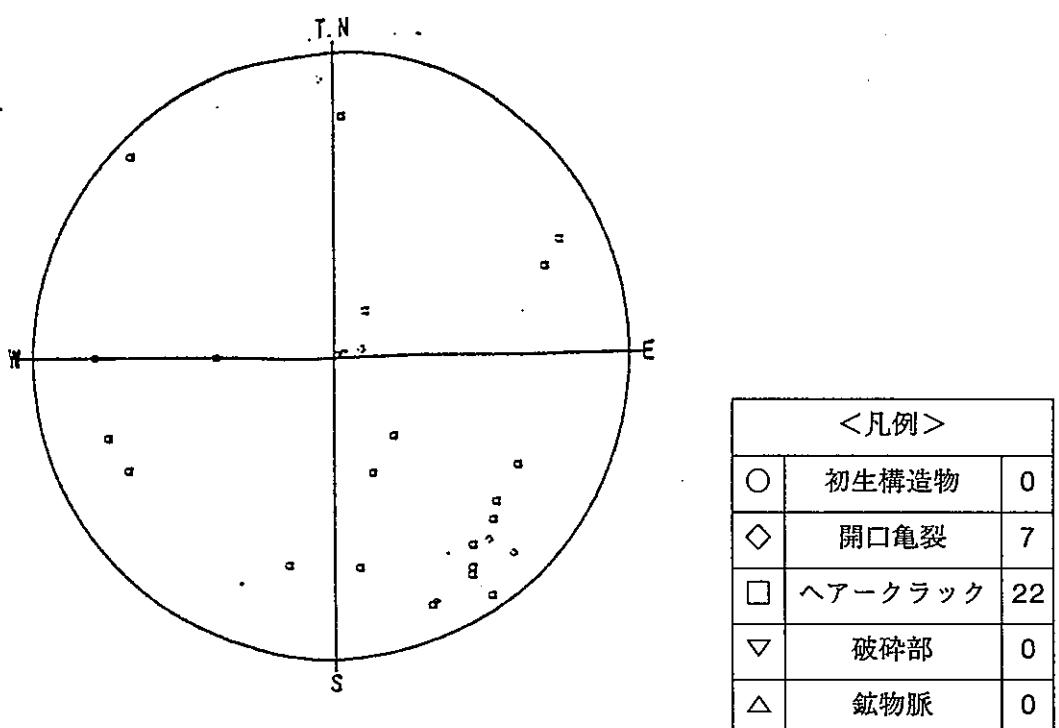


図4-23 下半球シュミットネット (KBH2、データ数：29/29)

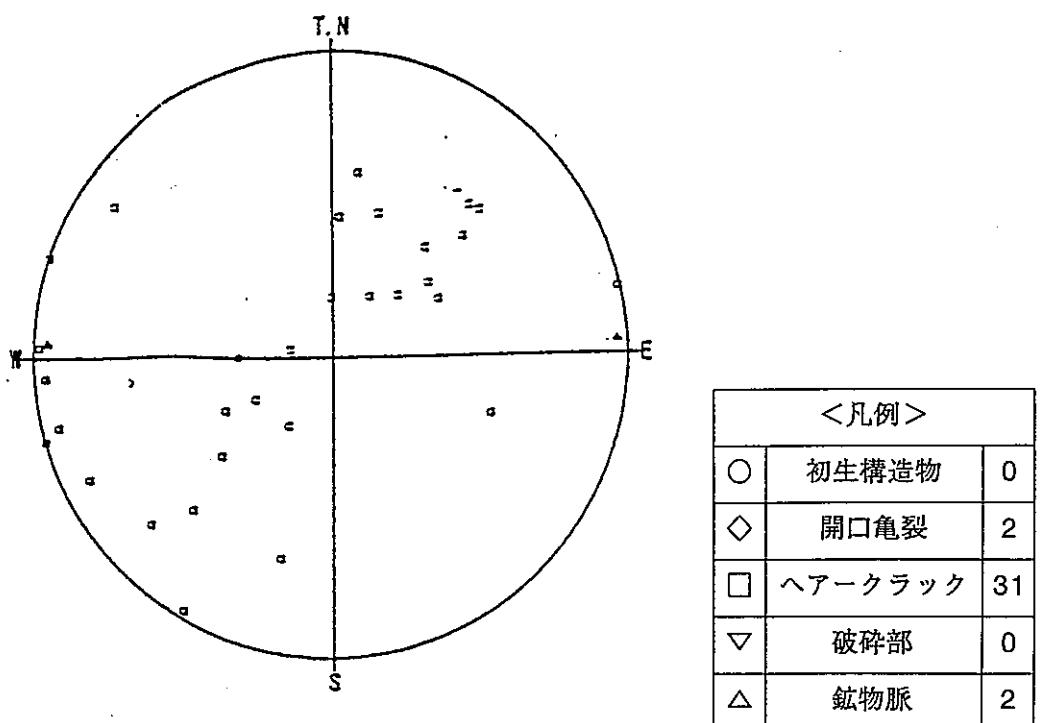


図4-24 下半球シュミットネット (KBH3、データ数：35/35)

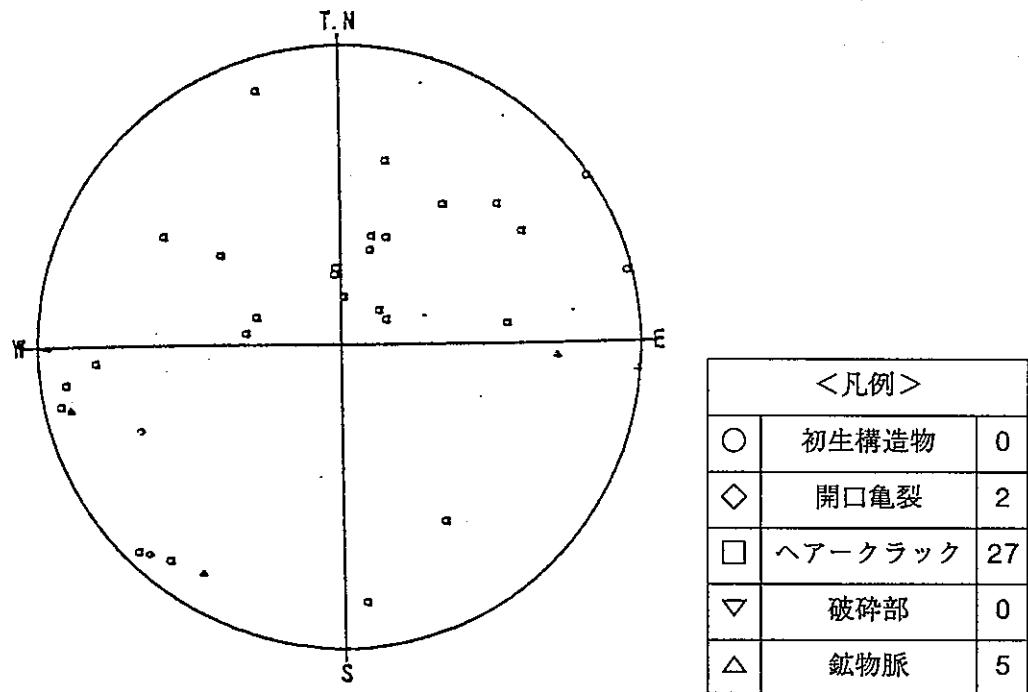


図4-25 下半球シュミットネット (KBH4、データ数：34/34)

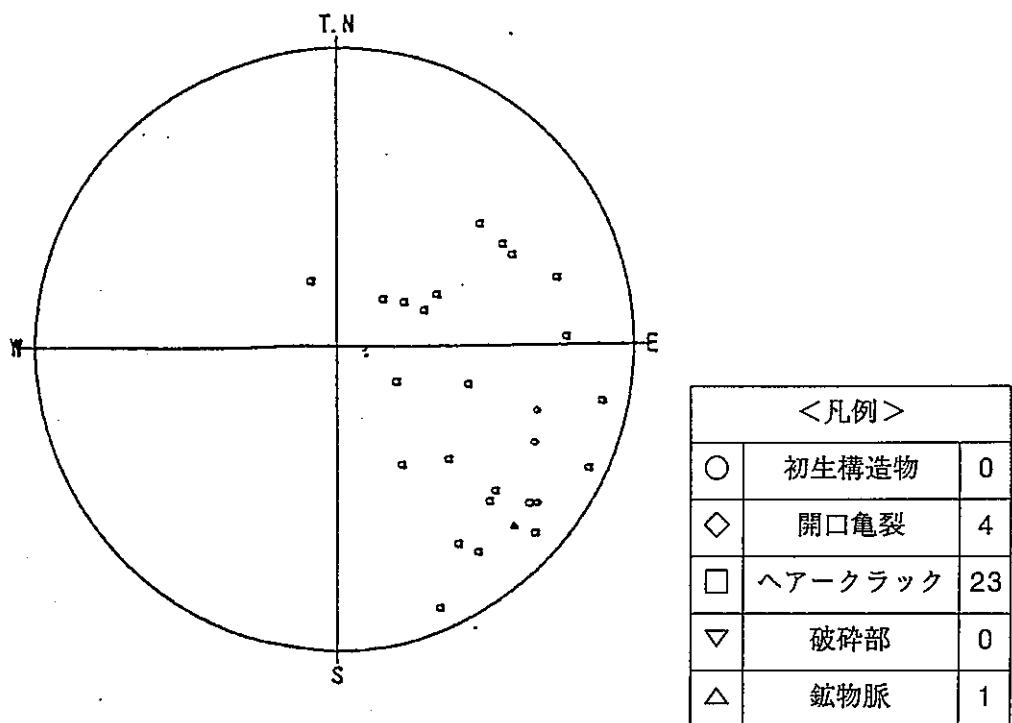


図4-26 下半球シュミットネット (KBH5、データ数：28/28)

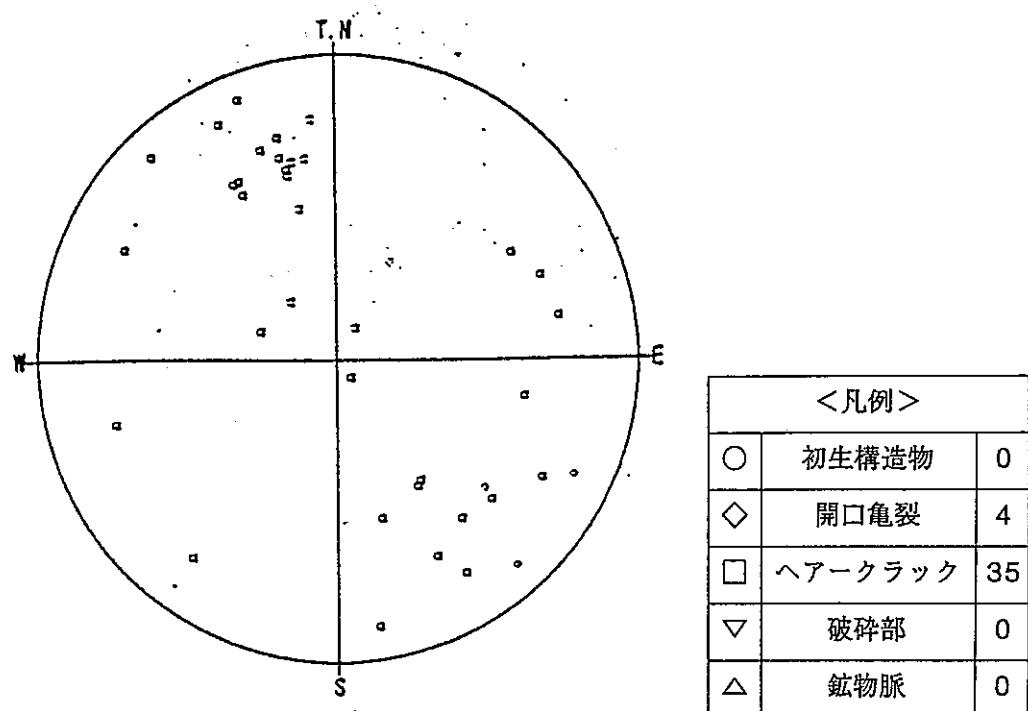
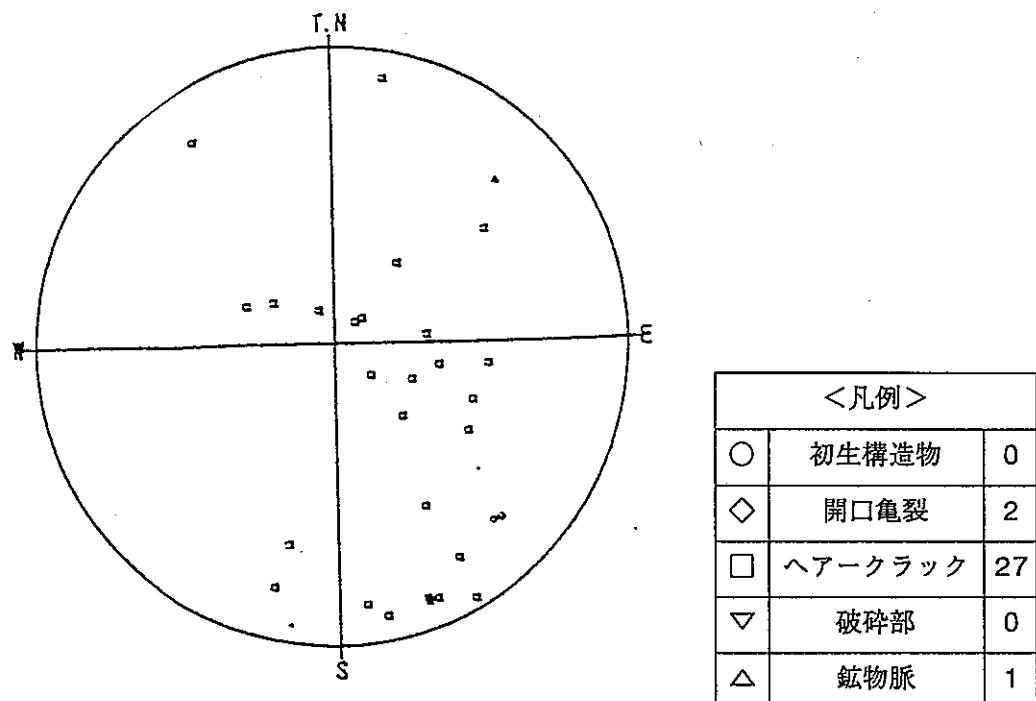
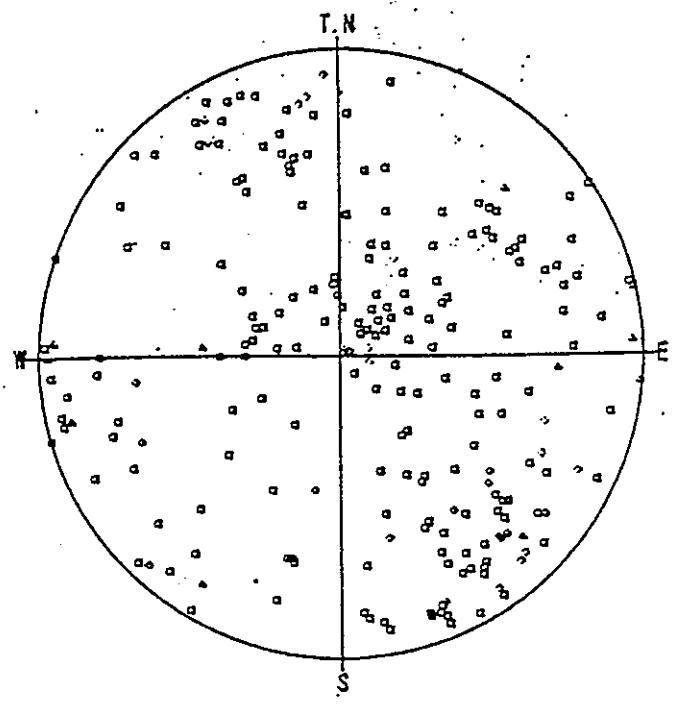
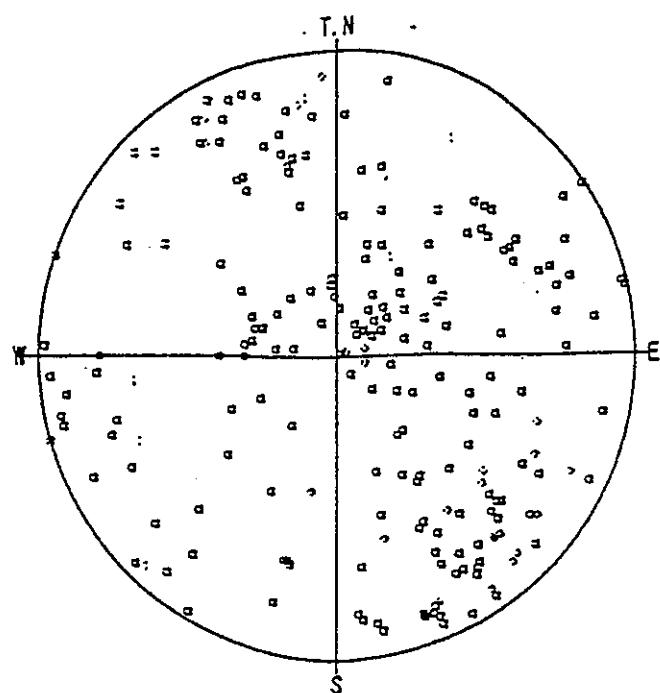


図4-28 下半球シュミットネット (KBH7、データ数: 39/39)



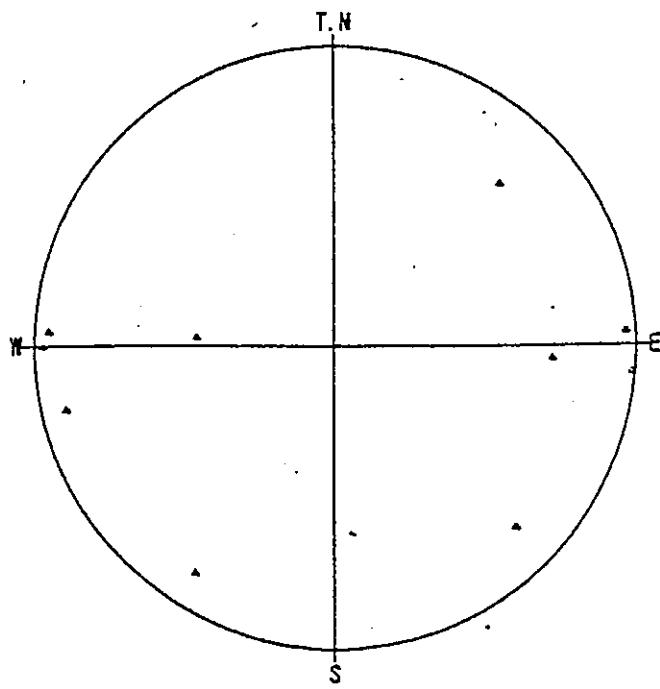
<凡例>		
○	初生構造物	0
◇	開口亀裂	31
□	ヘーアクラック	186
▽	破碎部	0
△	鉱物脈	10

図4-29 下半球シュミットネット (全不連続面、データ数：227/227)



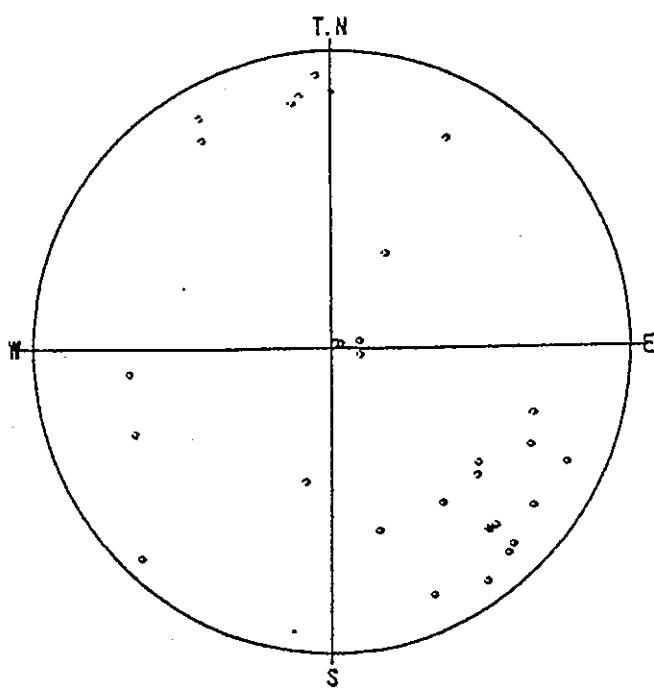
<凡例>		
○	初生構造物	0
◇	開口亀裂	31
□	ヘーアクラック	186
▽	破碎部	0
△	鉱物脈	0

図4-30 下半球シュミットネット (亀裂系、データ数：217/227)



<凡例>		
○	初生構造物	0
◇	開口亀裂	0
□	ヘアークラック	0
▽	破碎部	0
△	鉱物脈	10

図4-31 下半球シュミットネット (鉱物脈、データ数: 10/227)



<凡例>		
○	初生構造物	0
◇	開口亀裂	31
□	ヘアークラック	0
▽	破碎部	0
△	鉱物脈	0

図4-32 下半球シュミットネット (開口亀裂、データ数: 31/227)

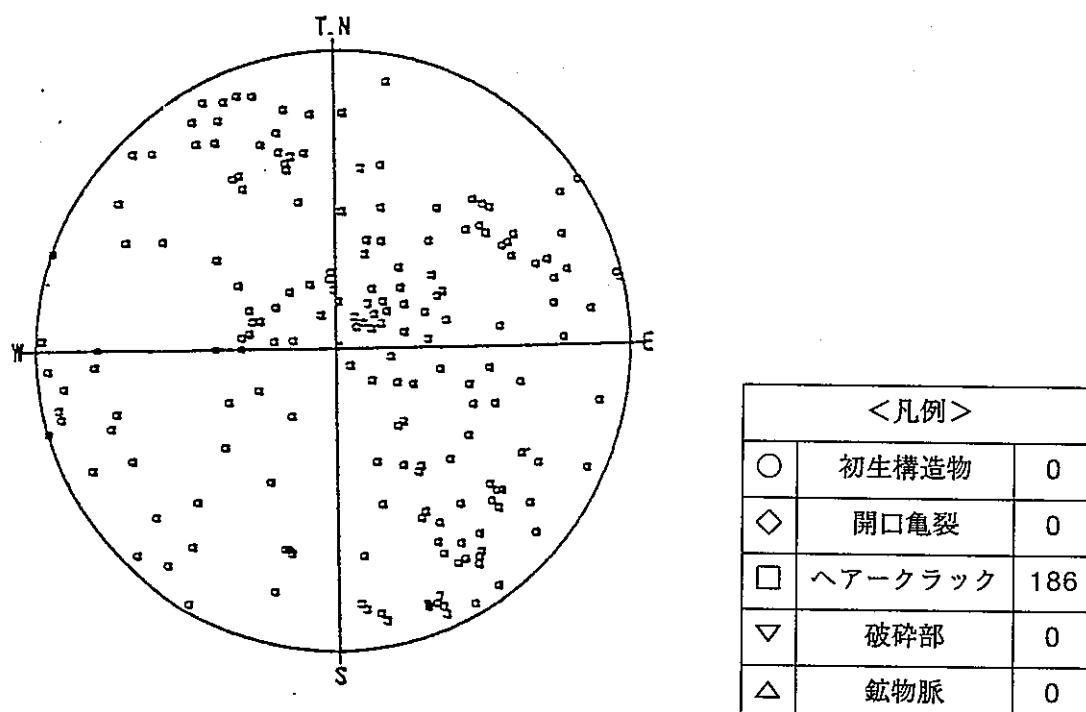


図4-33 下半球シュミットネット（ヘアークラック、データ数：186/227）

深度区間:0.200-7.700m
開口量:0.0-3.0mm
区分:2/5 形状:1/1
状態:6/6 備考:12/12
投影法:シュミット 下半球
データ数:217

コンター値 (%)
コンター1: 0
コンター2: 2
コンター3: 3
コンター4: 4
コンター5: 5
ピーカー値
N 45 W 10 SW

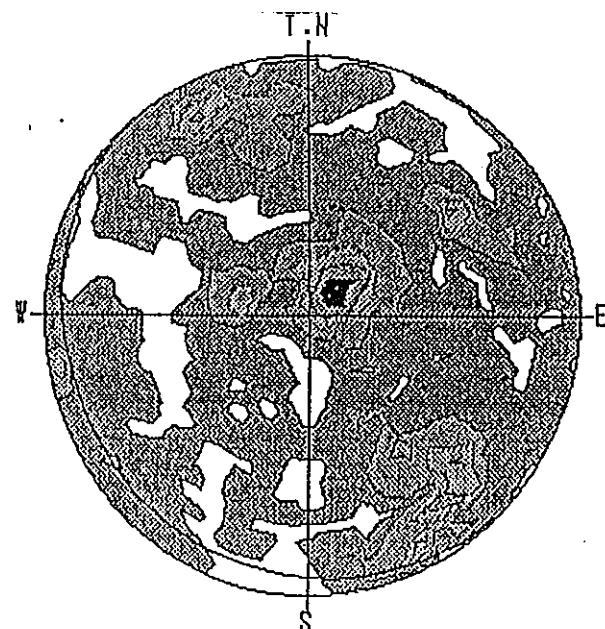
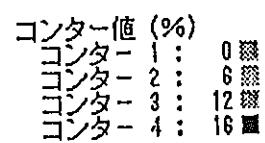


図4-34 コンターマップ（亀裂系、データ数：217）

深度区間:0.200-7.700m
 開口量:0.0-3.0mm
 区分:1/5 形状:1/1
 状態:6/6 備考:12/12
 投影法:シュミット 下半球
 データ数:31



ピーク値
 N 47 E 74 NW

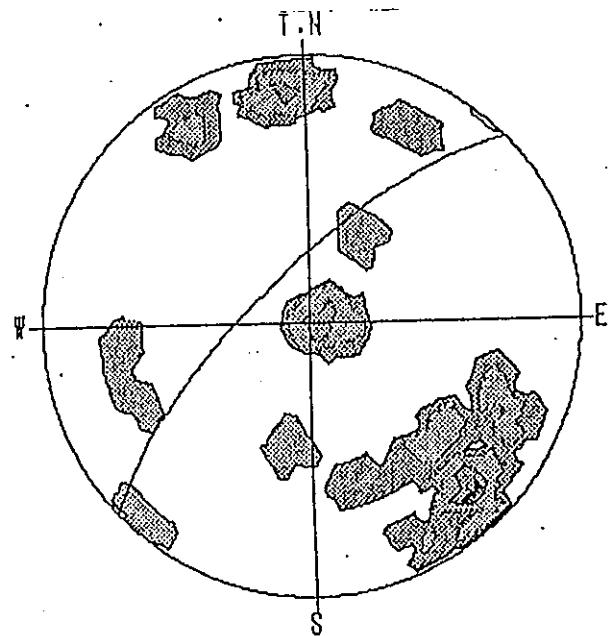
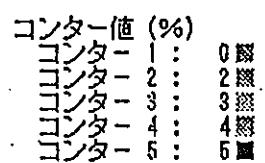


図4-35 コンターマップ（開口亀裂、データ数：31）

深度区間:0.200-7.700m
 開口量:0.0-3.0mm
 区分:1/5 形状:1/1
 状態:6/6 備考:12/12
 投影法:シュミット 下半球
 データ数:186



ピーク値
 N 38 W 55 SW
 N 45 W 15 SW

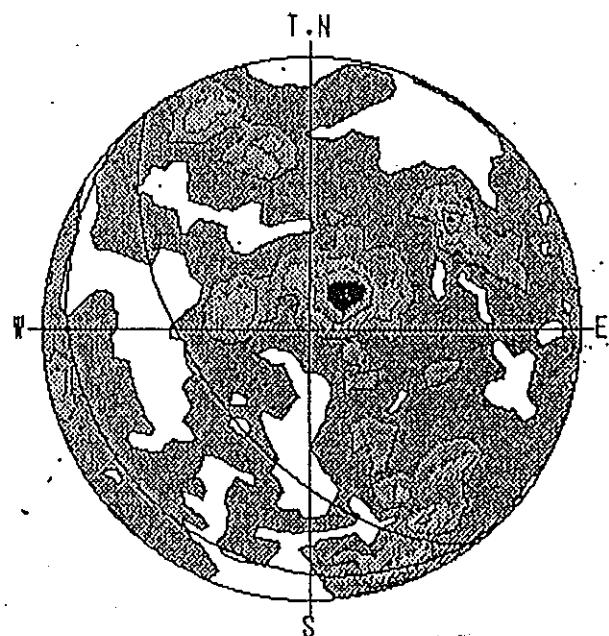


図4-36 コンターマップ（ヘアークラック、データ数：186）

5. 計測機器

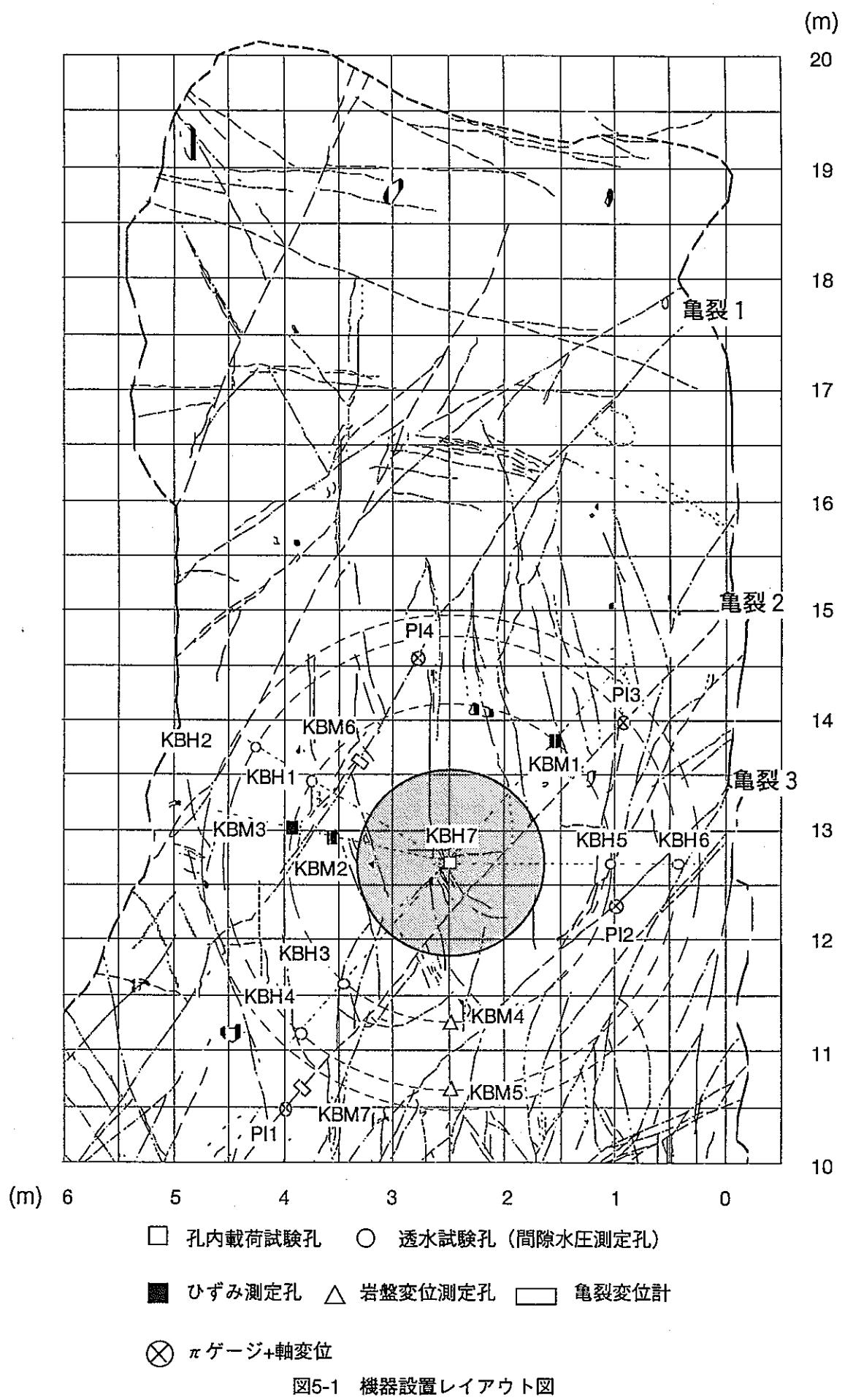
5.1 概要

図5-1の様に本試験場には、多くの亀裂があり、ピット掘削の影響を受けて、亀裂あるいは岩盤が動き、間隙水圧などが変化する可能性がある。それらの現象を観察するために、周辺岩盤に各種計測機器を埋設した。計測機器の設置に際しては、比較的大きいと考えられる亀裂1、2、3に着目してレイアウトを決定した。ピットはKBH7を中心とする位置に掘削する。図中では網かけ部分がピット掘削予定位置である。

亀裂の挙動を観察するために、 π ゲージおよび軸変位計を試験坑道床面に設置し、ジョイント変位計を試錐孔と亀裂の交差部に設置した。ピットの掘削による周辺岩盤のひずみを観察するために2種類のひずみ計（小型ひずみ計、ボアホール型二成分ひずみ計）を熱電対と共に埋設した。また、掘削に伴う周辺岩盤の間隙水圧の変化の観察あるいは孔間透水試験に供するためには間隙水圧計を設置した。本間隙水圧計は同時に温度も計測できる。埋設した機器のリストを表5-1に示す。これらの計測機器はすべて計測システム中のデータロガーに接続し、一定の時間間隔でデータを取得している。データはデータロガーのメモリーに蓄え、隨時、フロッピーディスクによって室内のパソコンに運び、室内でデータの整理を行う。

表5-1 埋設機器リスト

機器名称	測定項目	数量
間隙水圧計	間隙水圧+温度	29
小型ひずみ計	ひずみ	6
ボアホール型二成分ひずみ計	ひずみ	2
熱電対	温度	5
ジョイント変位計	変位	2
高感度変位計（軸変位計）	変位	4
亀裂変位計（ π ゲージ）	変位	8



5.2 間隙水圧計 (B P—2 K B T)

5.2.1 概要と機器仕様

ピット掘削やグラウト、粘土充填・熱負荷試験によるピット周辺の間隙水圧の変化の把握、ピット掘削前に実施する孔間透水試験に供するため、間隙水圧計を多段式パッカーと共に岩盤中に設置した。

間隙水圧計の外観は図5-2に示すような外径20mmの圧力トランスデューサー型で温度も同時に測定できる。測定部は敏感なので、フラットフィルター (10μ) により保護されている。

間隙水圧計の仕様を表5-2に示す。

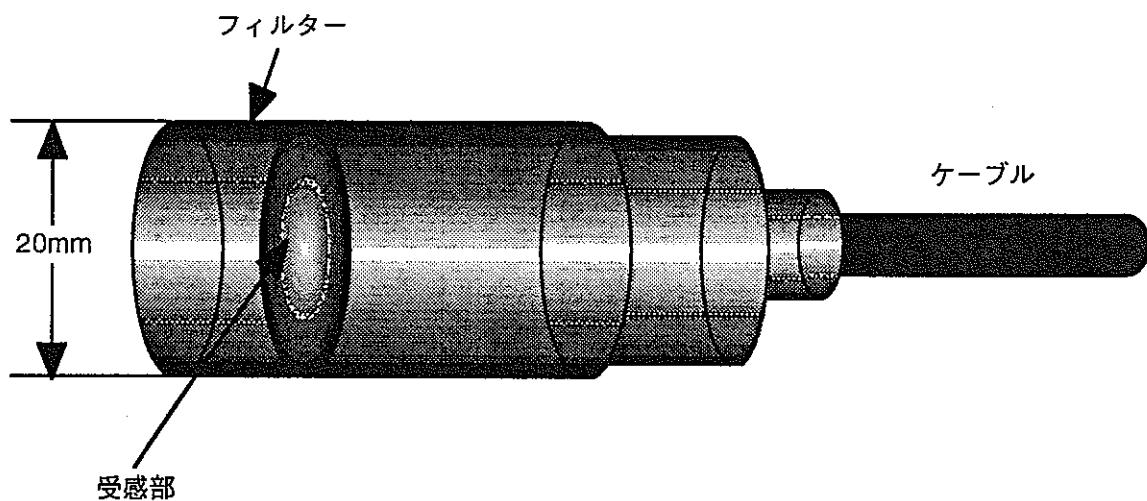


図5-2 間隙水圧計の外観図

表5-2 間隙水圧計の仕様

項目	仕様
製造	共和電業
型式	BP-2KBT
定格出力	0.75mV/V以上 (2000×10^{-6} ひずみ以上)
非直線性	2%RO
推奨印加電圧	2~10V
入出力抵抗	350Ω
許容過負荷	150%
重量	約320g
測定範囲	温度 -30~+70°C
	圧力 2kgf/cm ² (許容負荷を考慮すると3kgf/cm ²)
数量	29個

5.2.2 設置位置及び設置方法

機器は図5-3に示すように、パッカー間の芯棒に付着させて、試錐孔に埋設した。図の様にパッカー間に設置することにより、パッカー間の間隙水圧と温度が測定できる。

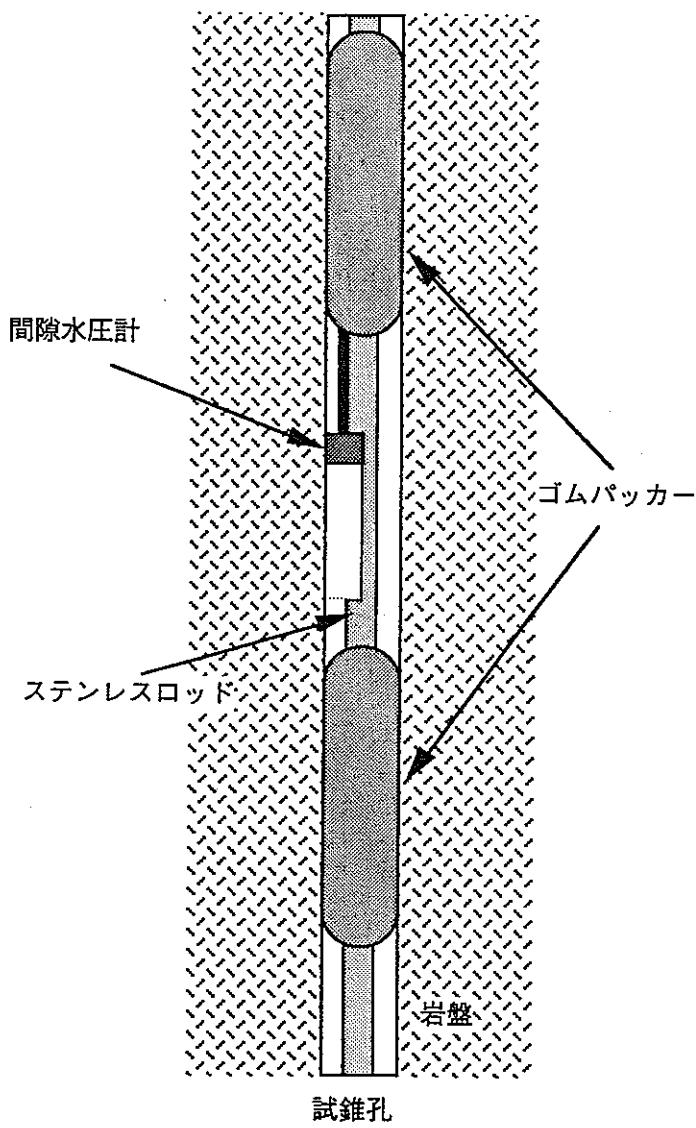


図5-3 間隙水圧計とパッカー

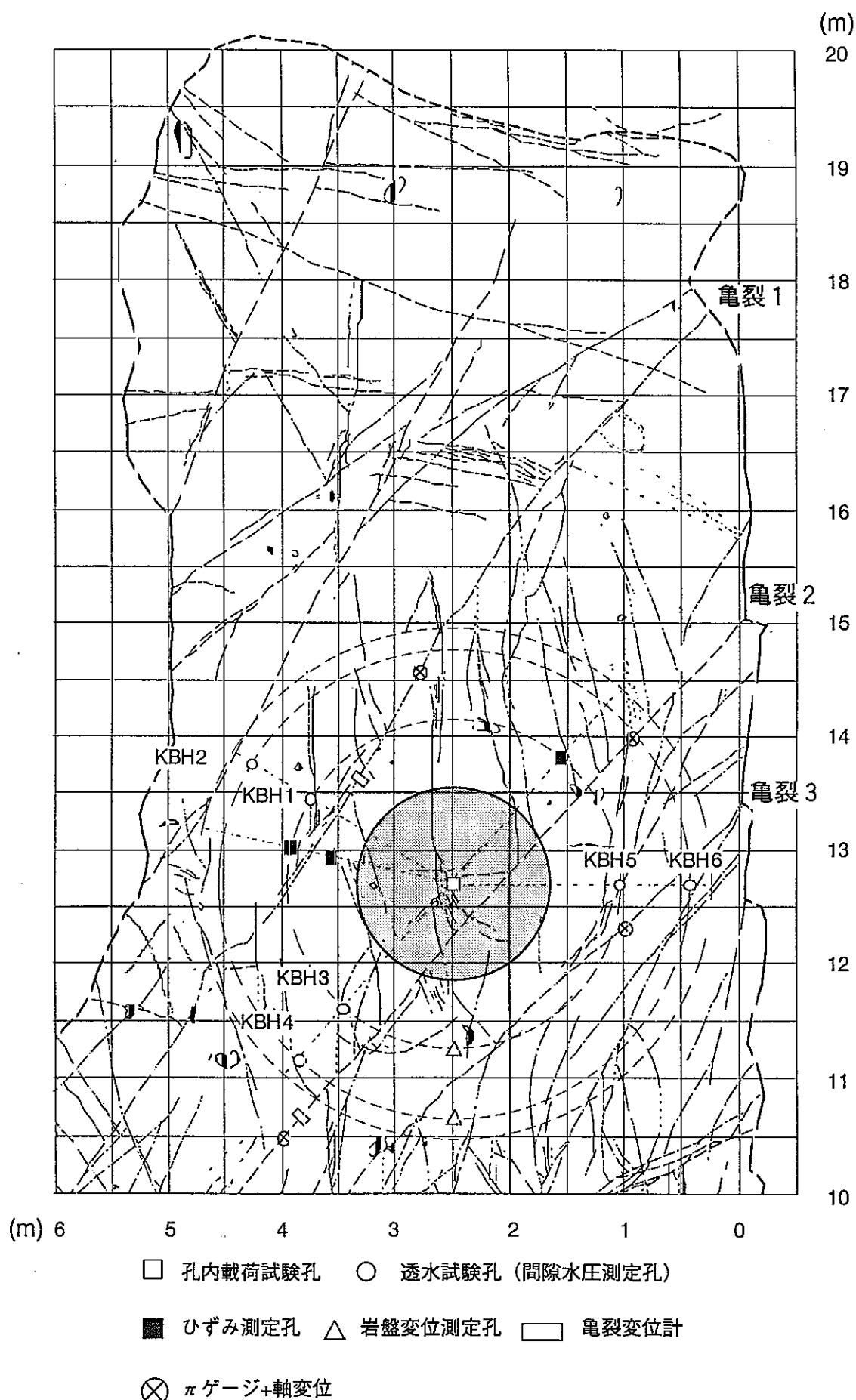


図5-4 他の計測孔と間隙水圧計埋設孔との位置関係

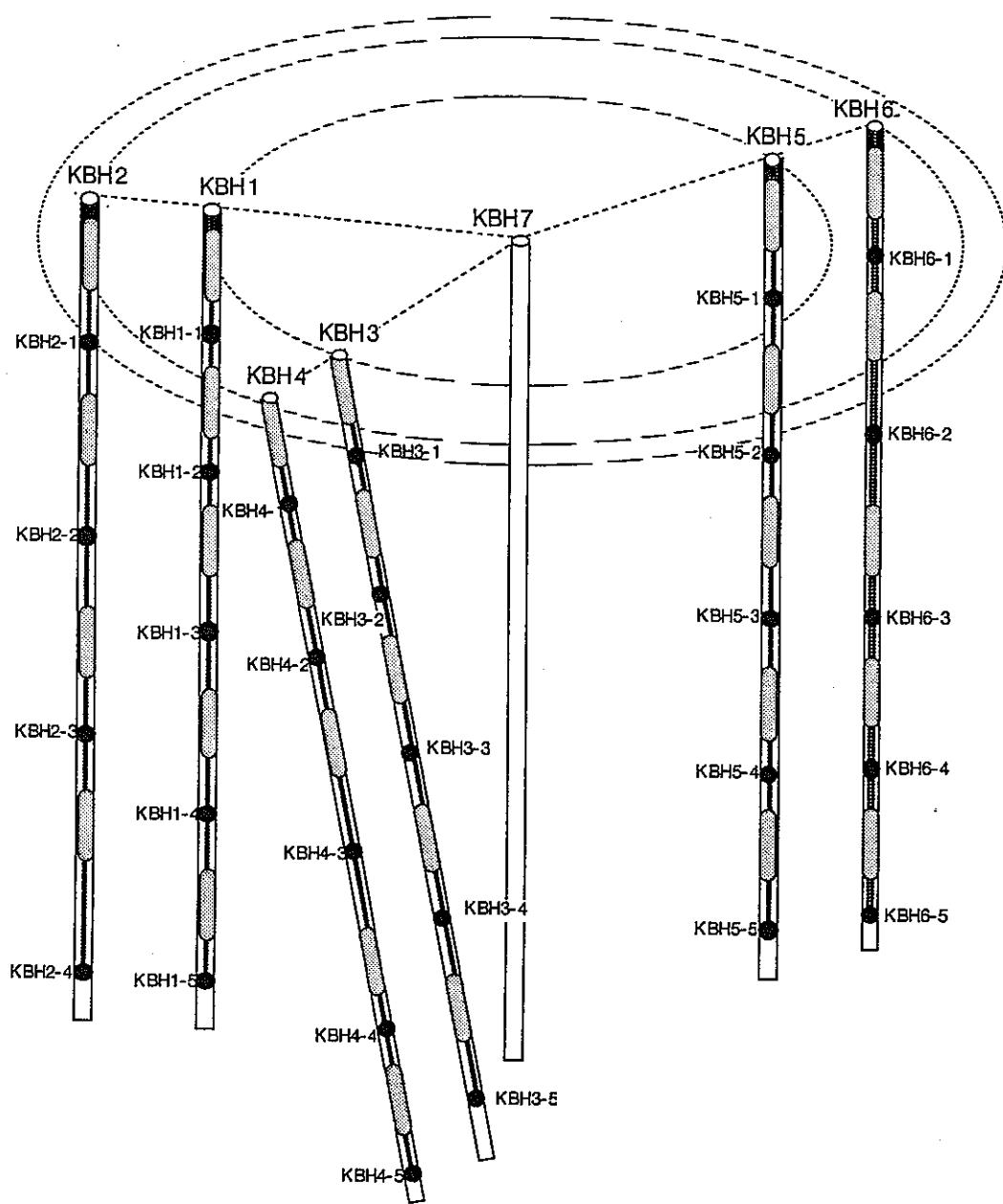


図5-5 各間隙水圧計埋設孔の様子

5.3 ジョイント変位計 (JH-600)

5.3.1 概要及び機器仕様

試験ピット周辺の亀裂の挙動を観察するためにジョイント変位計を設置した。装置は図5-6に示すようなもので、本体2つと測定部分1つから成っている。測定部の中に3つの差動トランスLVDT (Linear variable differential deformeter) があり、直交三方向の変位量を測定できる。亀裂の直交三方向の変位量を測定するために、測定部分が亀裂と試錐孔の交差部分に位置するように、両端の本体から突出するバネ式の固定ピンでボアホール孔壁に固定した。

ジョイント変位計の仕様を表5-3に示す。今回は亀裂部分からの湧水を考慮して、耐水圧2kgf/cm²とした。

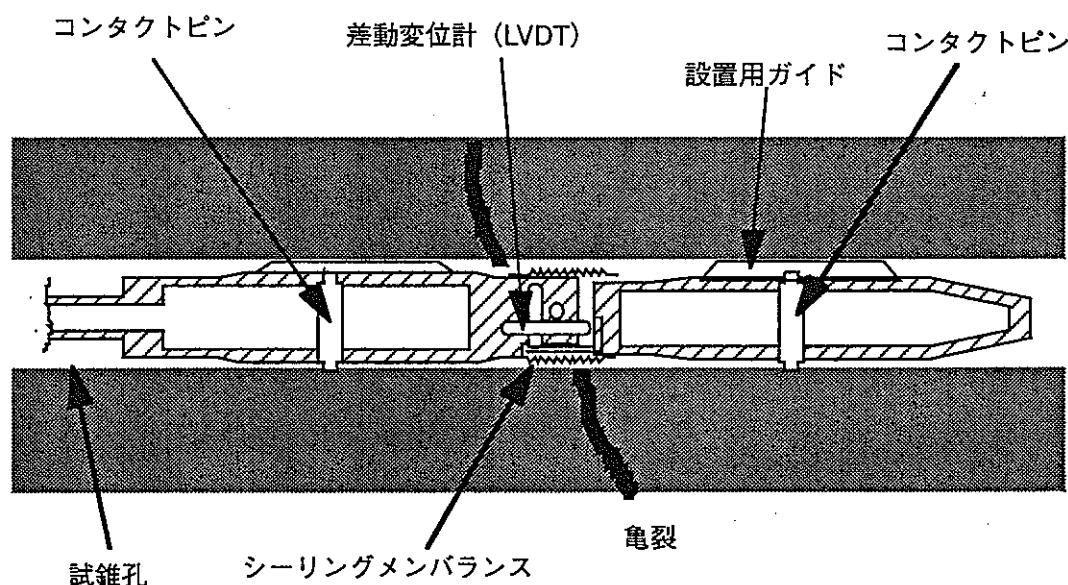


図5-6 ジョイント変位計概要

表5-3 ジョイント変位計の仕様

項目	仕様
製造	株式会社 メック
測定範囲	±2.5mm
分解能	0.005mm
測定軸	X軸、Y軸、Z軸の三方向
適応試錐孔	φ 76mm
測定出力	専用アンプ使用にて 約±10V (約0.25mm/V)
寸法	φ 56mm×L450mm (KBM6) φ 56mm×L1400mm (KBM7) *突起部含まず
重量	約1000g
数量	2組

5.3.2 設置位置及び設置方法

亀裂1を測定するために、試錐孔KBM6、亀裂2の挙動を観察するために試錐孔KBM7を掘削し、それぞれにジョイント変位計を埋設した。各孔の位置を図5-7に示す。

ジョイント変位計の測定軸は、試錐孔に平行な方向がZ軸で、Z軸に対して垂直上向きをX軸、垂直水平向きをY軸とした。

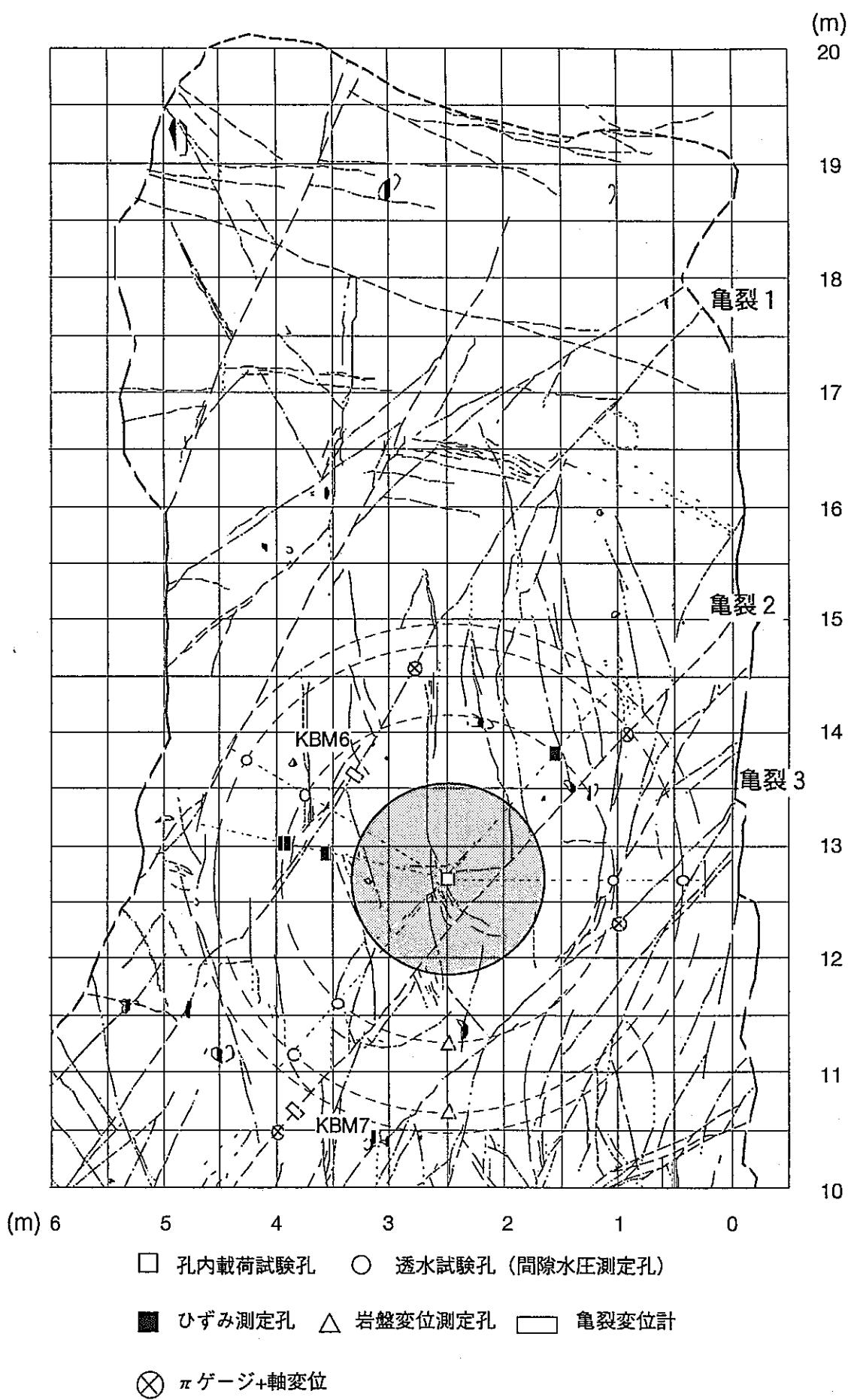


図5-7 他の計測孔とジョイント変位計孔との位置関係

5.4 小型ひずみ計 (BS-75BS)

5.4.1 機器仕様

ピット周辺岩盤のピット掘削前後の周辺岩盤のひずみの変化を計測するためにひずみ計を埋設した。このひずみ計は、本来、岩盤の初期地圧を計測し、地下構造物の設計・施工に利用するためのもので、岩盤内の試錐孔内に設置し、セメントミルク注入により固定後、試錐孔の近傍で試験ピットを掘削することにより変化する試錐孔のひずみを測定し、初期地圧を計測することができる。

外観は図5-8に示すように、一方向の変位（ひずみ）のみ測定できるもので、試錐内に設置する場合は図5-9に示すように水平面上の直交二方向を測定できるように設置する。

この装置は仕様（表5-4）からわかるように、定格容量±1000×10⁶のひずみを計測するもので、標点距離75mm（センサー測定方向長）に対して、上記容量による変位分を計算すると、

$$75 \times 1000 \times 10^6 = 0.075\text{mm} \quad (75\text{ミクロン})$$

になり、これが測定できる最低変位量である。

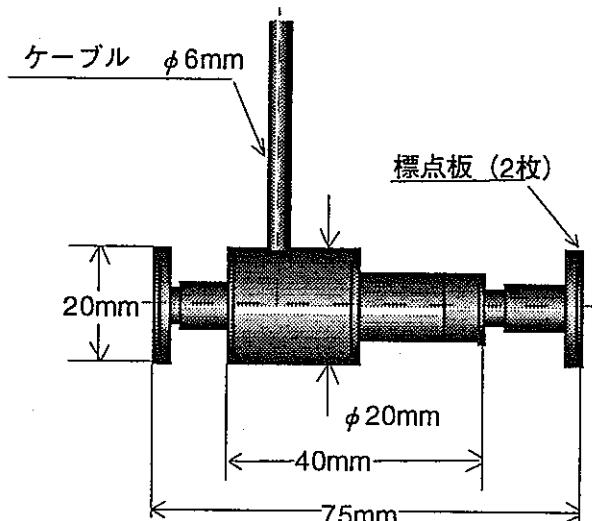


図5-8 小型ひずみ計の外観図

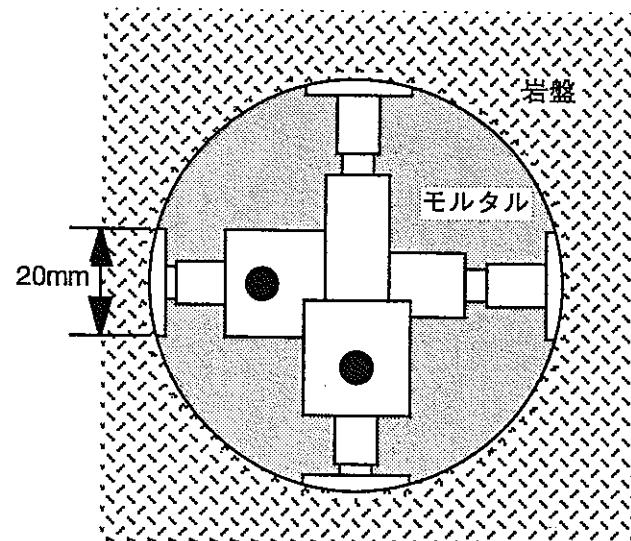


図5-9 試錐内の小型ひずみ計の外観図

表5-4 小型ひずみ計 (BS-75BS) の仕様

項目	仕様
製造	共和電業
型式名	BS-75BS 56155
外形寸法	φ20×75mm
定格容量	±1000×10 ⁻⁶
許容過負荷	120%
定格出力電圧	1mV/V以上 (±2000×10 ⁻⁶ ひずみ以上)
非直線性	2%RO以下
ヒステリシス	2%RO以下
許容印加電圧	10V (ACまたはDC)
入力抵抗	350Ω±2%
出力抵抗	350Ω±2%
絶縁抵抗	500MΩ以上 (DC 25V 印加時)
温度補償範囲	0°C～+50°C
許容温度範囲	-10°C～+60°C
零点の温度影響	0.1%RO/°C以内
出力の温度影響	0.1%/°C以内
ケーブル	種類 クロロレンキャブタイア
	規格及び長さ 0.3mm ² ×4C 30m (外径 φ6mm)
	先端 先端むきだし
外装	鋼地肌 (応力絶縁のためにビニールテープ巻き)
耐水圧性	1kgf/cm ² (ひずみ計両面フリーの状態では、水圧1kgf/cm ² 当り約1000×10 ⁻⁶ ひずみの出力)
数量	6個

5.4.2 設置位置及び設置方法

6個のBS-75BSを試錐孔KBM1に埋設した。1mのアルミ角棒8本の所定の位置に穴を開け、ひずみ計をボルト締めし、埋設した。前述したとおり、ひずみ計は敏感であるから、ひずみ計の標点板に衝撃を与えたり、曲げたりしないように留意しながら、アルミ角棒を1本ずつ繋いで試錐孔に挿入した。

ひずみ計取り付けの概略図を図5-10に、埋設の手順を以下に示す。

- ① アルミ角棒-1にBS-75BS No.1、No.2をエンビ製取付バンドを用い、ボルト締めする。その際、No.1とNo.2を90°Cずらして隣接させる。BS-75BS No.1、No.2の中間点に熱電対の先端を取り付けた。熱電対については後述する。
- ② BS-75BS No.1、No.2を取り付けたアルミ角棒-1を試錐孔に挿入した。この時、BS-75BS No.1を試験ピット中心方向に向けた。挿入の際には、孔壁と標点板を、できるだけ接触させないように留意した。挿入の途中で何か引っ掛けた感じがした場合は、無理に押し込まず、ゆっくり引き上げたり、降ろしたりを繰り返しながら挿入した。
- ③ アルミ角棒-1とアルミ角棒-2を留め具を用いて接続し、試錐孔に挿入した。この時、アルミ角棒の面が試験ピット中心に向いていることを確認した。
- ④ アルミ角棒-3を前述の要領でアルミ角棒-2に接続し、試錐孔に挿入した。
- ⑤ アルミ角棒-4にBS-75BS No.3、No.4を取り付け、その中間点に熱電対の先端を取り付けた。
- ⑥ アルミ角棒-4をアルミ角棒-3に接続し、試錐孔に挿入する。この時、BS-75BS No.1とBS-75BS No.3が同一方向（試験ピット中心方向）を向くようにした。
- ⑦ 以上の繰り返しにより、アルミ角棒8本を試錐孔に挿入し、上端を固定した。
- ⑧ セメントミルクを試錐孔上部より、試錐孔が完全に充填されるまで流し込んだ。

表5-5に埋設した小型ひずみ計と深度、機器番号を示す。また、小型ひずみ計を埋設した試錐孔の位置を図5-11に示す。

表5-5 埋設したひずみ計と深度、機器番号

試錐孔	深度 (m)		機器番号	位置関係	方向
KBM1	7.84	No.1	568180002	下	試験ピット中心方向
		No.2	568170001	上	試験ピット接戦方向
	4.74	No.3	568180003	下	試験ピット中心方向
		No.4	568170002	上	試験ピット接戦方向
	1.77	No.5	568170003	下	試験ピット中心方向
		No.6	568180001	上	試験ピット接戦方向

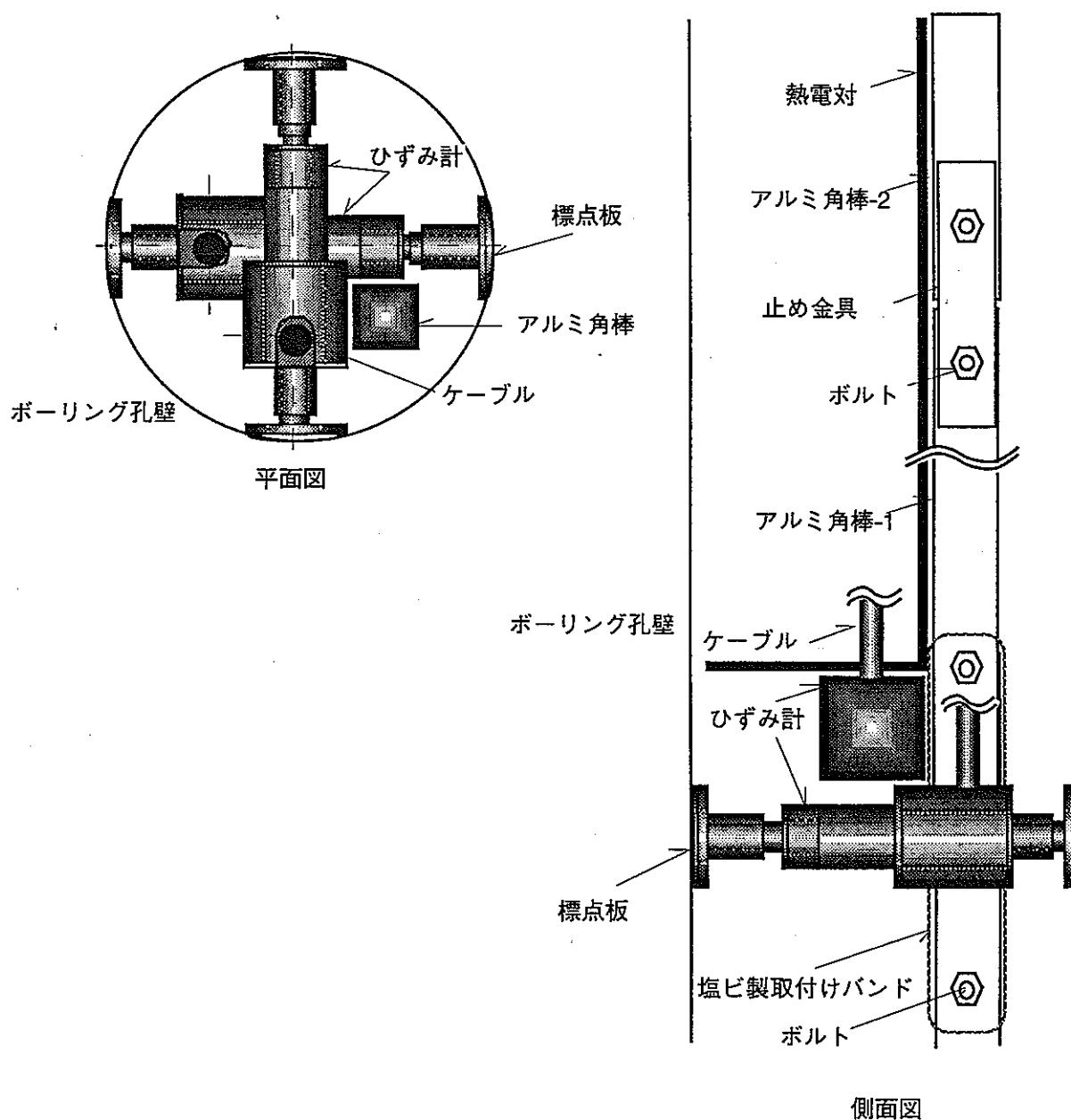


図5-10 小型ひずみ計取り付けの概念図

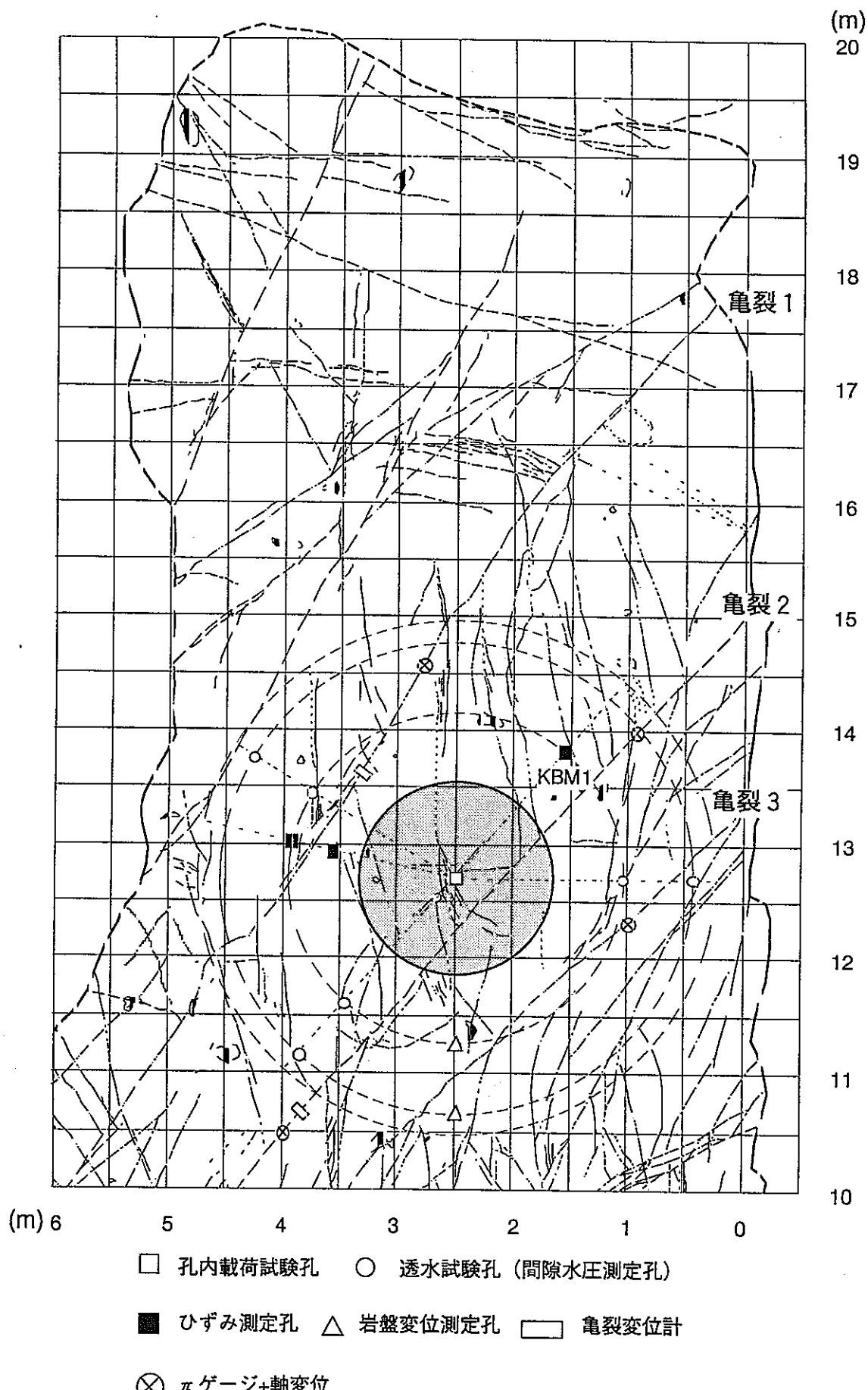


図5-11 小型ひずみ計埋設孔位置

5.5 ボアホール型二成分ひずみ計 (MBS40-2C)

5.5.1 機器仕様

本装置は岩盤内部のひずみ検出を目的に製作されたもので、試錐孔に対して直交する軸二方向の岩盤内部のひずみを高感度に検出できる様に開発された防水タイプの一体型ボアホール型ひずみ計である。応答性が良く $10^7 \sim 10^3$ のひずみが検出でき高感度安定測定ができる。本体に保護回路付きバッファアンプ内蔵の為、出力信号については長距離ケーブルに於いてもノイズの少ない安定した出力が得られ、直接に計測器や記録計に接続できる。

1) 測定項目

処分ピット掘削前後、熱負荷前後のピット周辺岩盤のひずみを測定する。測定方向はボーリング孔に対して直交軸二方向である。

2) 装置

図5-12に示す様に本体部と固定部からなる一体型の防水型である。保護回路付きバッファアンプ内蔵のため、長距離ケーブルを用いても出力信号はノイズが少なく安定している。

3) 仕様

本装置の仕様を表5-6に示す。

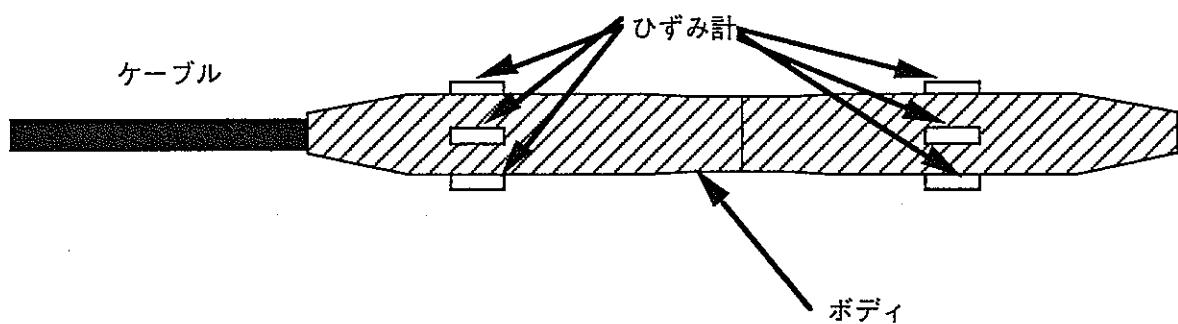


図5-12 超小型2成分ボアホールひずみ計(MBS40-2C)の概略図

表5-6 ボアホール型二成分ひずみ計（MBS40-2C）の仕様

項目	仕様
製造	有限会社テクノ菅谷
形式	ボアホール防水型
測定成分	90° 分割 二成分
測定範囲	$10^{-7} \sim 10^{-3}$
感度	$1 \mu/30mV$ (8.33×10^{-7} ひずみ)
供給電源	DC±12V
消費電力	+12V(42mA)
許容温度範囲	-5°C ~ +50°C
許容湿度範囲	0~100%
材質	BSBM
寸法	$\phi 40\text{mm} \times \text{長さ}248\text{mm}$
重量	約1.5kg
数量	2個

※ ボアホール荷重変位位置、拡大センサー出力値、磁気センサー出力値についての試験成績書を資料に添付する。

5.5.2 設置位置及び設置方法

ボアホール型二成分ひずみ計（MBS40-2C）の取り付け概念図を図5-13に示す。また、以下に埋設手順を示す。

- ① MBS40-2Cに3mのアルミ角棒を接続し固定する。また、熱電対の先端が、MBS40-2Cの受感部の中心にくるように取り付ける。
- ② MBS40-2CのN方向をピット中心方向に向け、試錐孔に挿入する。
- ③ MBS40-2Cの受感部の中心が、試錐孔口より3mの位置になるように調節し、アルミ角棒の上端を固定する。
- ④ セメントミルクを試錐孔上部より、試錐孔が完全に充填されるまで流し込む。

表5-7に埋設したボアホール型二成分ひずみ計と深度、機器番号を示す。また、ボアホール型二成分ひずみ計を設置した試錐孔の位置を図5-14に示す。

表5-7 埋設したひずみ計と深度、機器番号

試錐孔	深度 (m)	機器番号
KBM2	3.00	MBS40-2C-10
KBM3	3.00	MBS40-2C-11

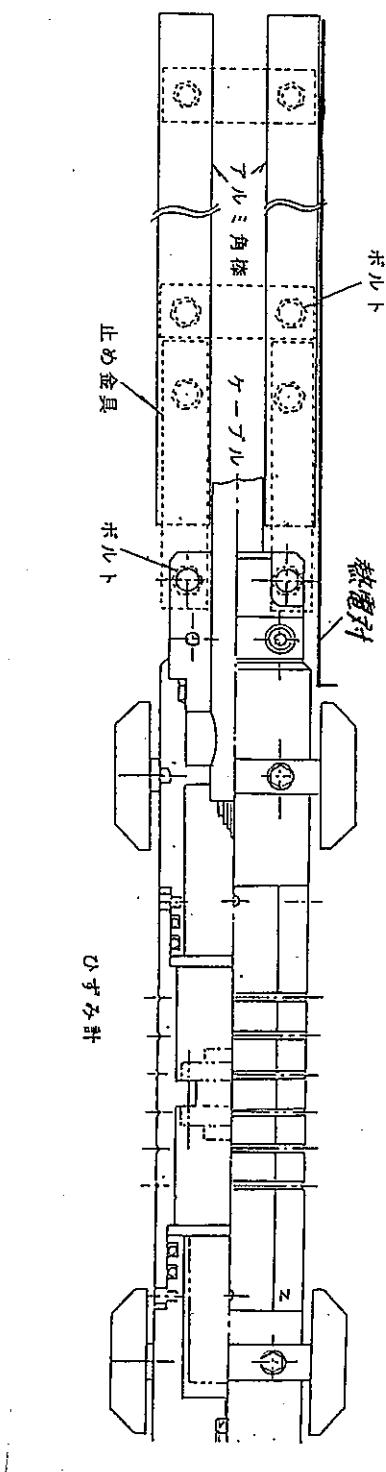
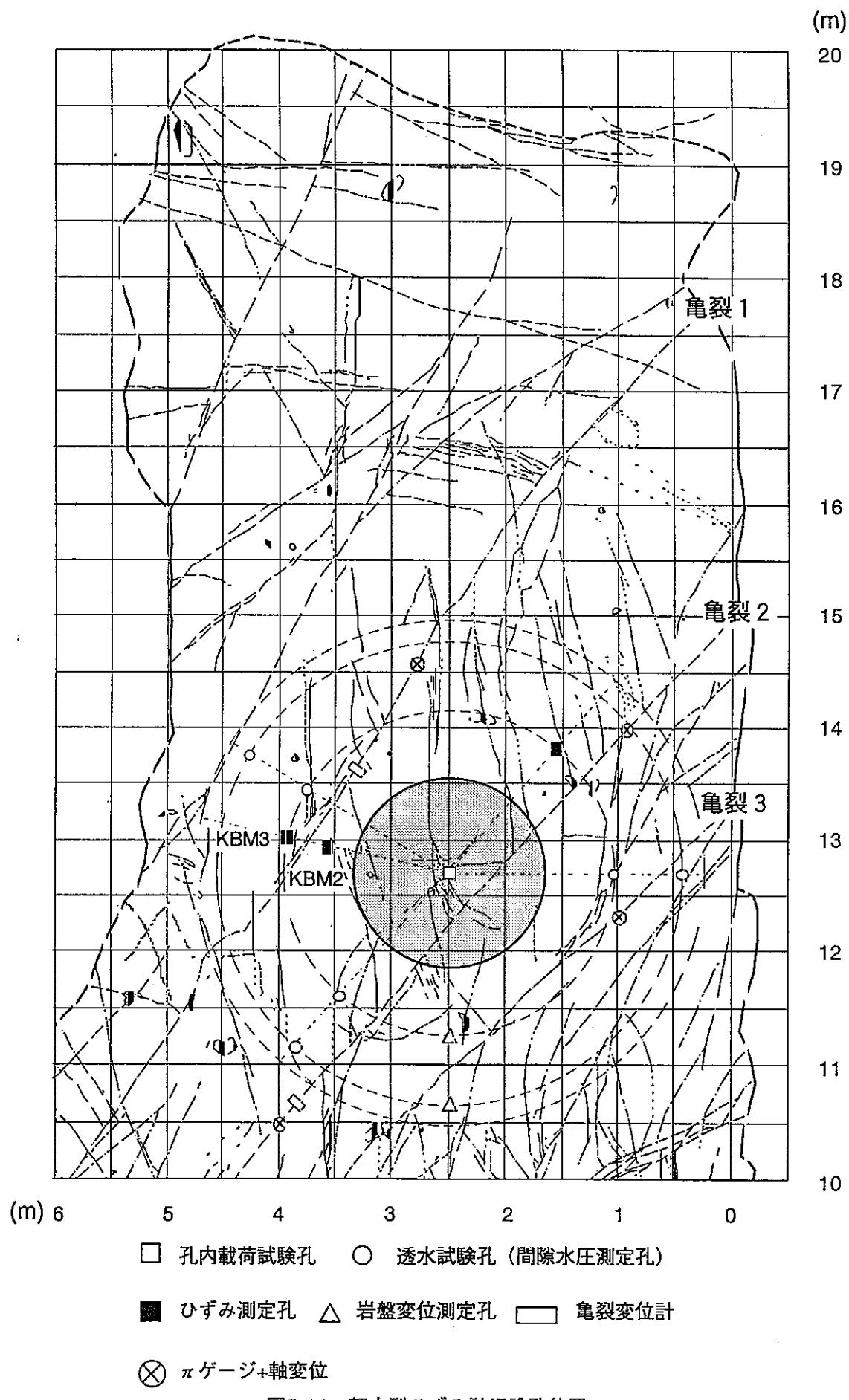


図5-13 ボアホール型二成分ひずみ計取り付けの概念図



5.6 熱電対

5.6.1 概要

前述の小型ひずみ計（BS75-BS）とボアホール型二成分ひずみ計（MBS40-2C）とともに試錐孔内に埋設し、ひずみ測定位置での温度変化を測定する。今回埋設した熱電対はニンブロックス・シース型熱電対である。

熱電対の仕様を表5-8に示す。外観図を図5-15に示す。

また、試験成績書を資料に添付する。

表5-8 熱電対の仕様

項目	仕様
製造	助川電熱
熱電対種類	T (CC) 、 S
階級	0.75級
対級	シングル
シース外径	3.2mm
シース材質	SUS316
基準熱起電力および温度に対する許容誤差	JIS規格 C1602-1981に準ずる
絶縁抵抗	5MΩ以上 (250VDCメガーによる)
数量	5個

5.6.2 設置位置・方法

熱電対5個を小型ひずみ計およびボアホール型二成分ひずみ計と合わせて、各々埋設した。KBM1についてはひずみ計BS-75BS三組のそれぞれの中間点に位置するようにし、KBM2およびKBM3については、ひずみ計MBS40-2Cの受感部の中心に位置するように埋設した。また、熱電対の先端をL字型に曲げ、試錐孔壁にできるだけ接触するようにした。取り付け概念図を図5-16に示す。

設置位置は図5-17に示す。

表5-9 各熱電対の埋設深度

熱電対No.	試錐孔	深度 (m)
546319	KBM1	7.84
546320		4.74
546316		1.77
546317	KBM2	3.00
546318	KBM3	3.00

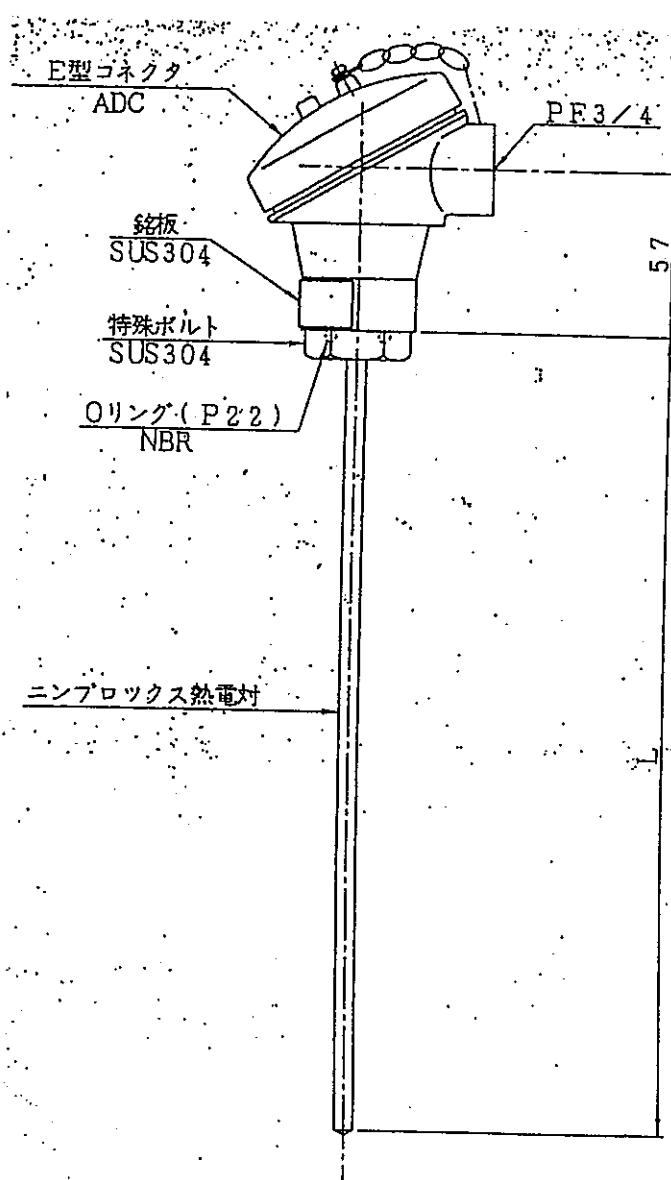


図5-15 热電対の外観図

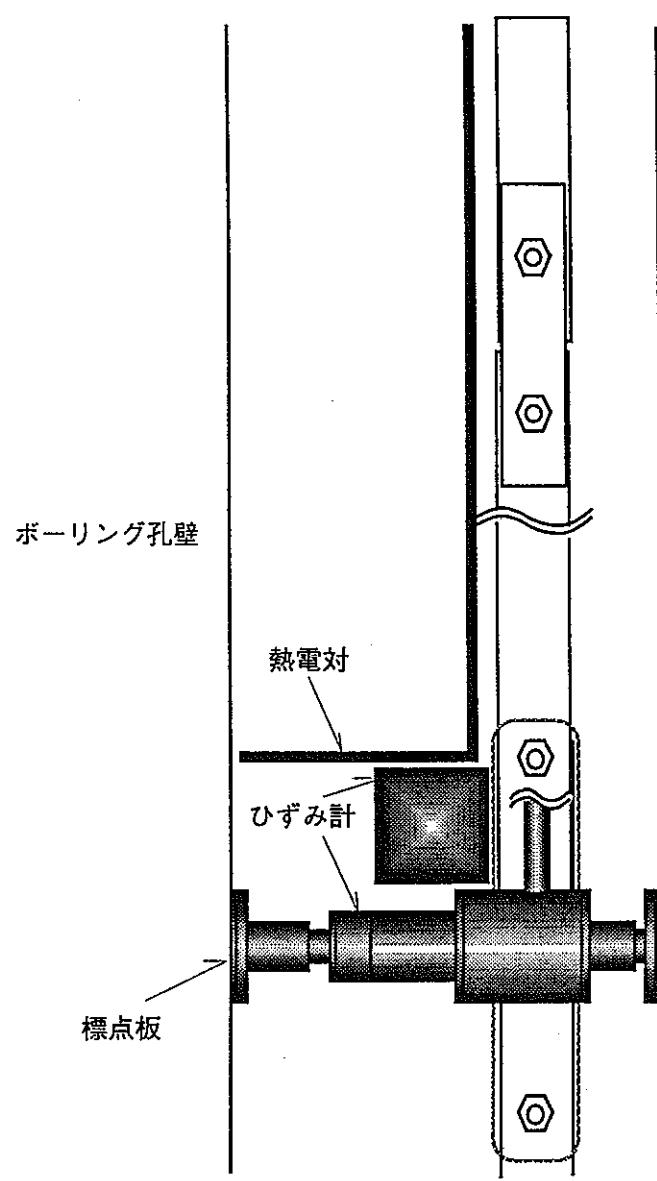


図5-16 热電対取り付けの概念図

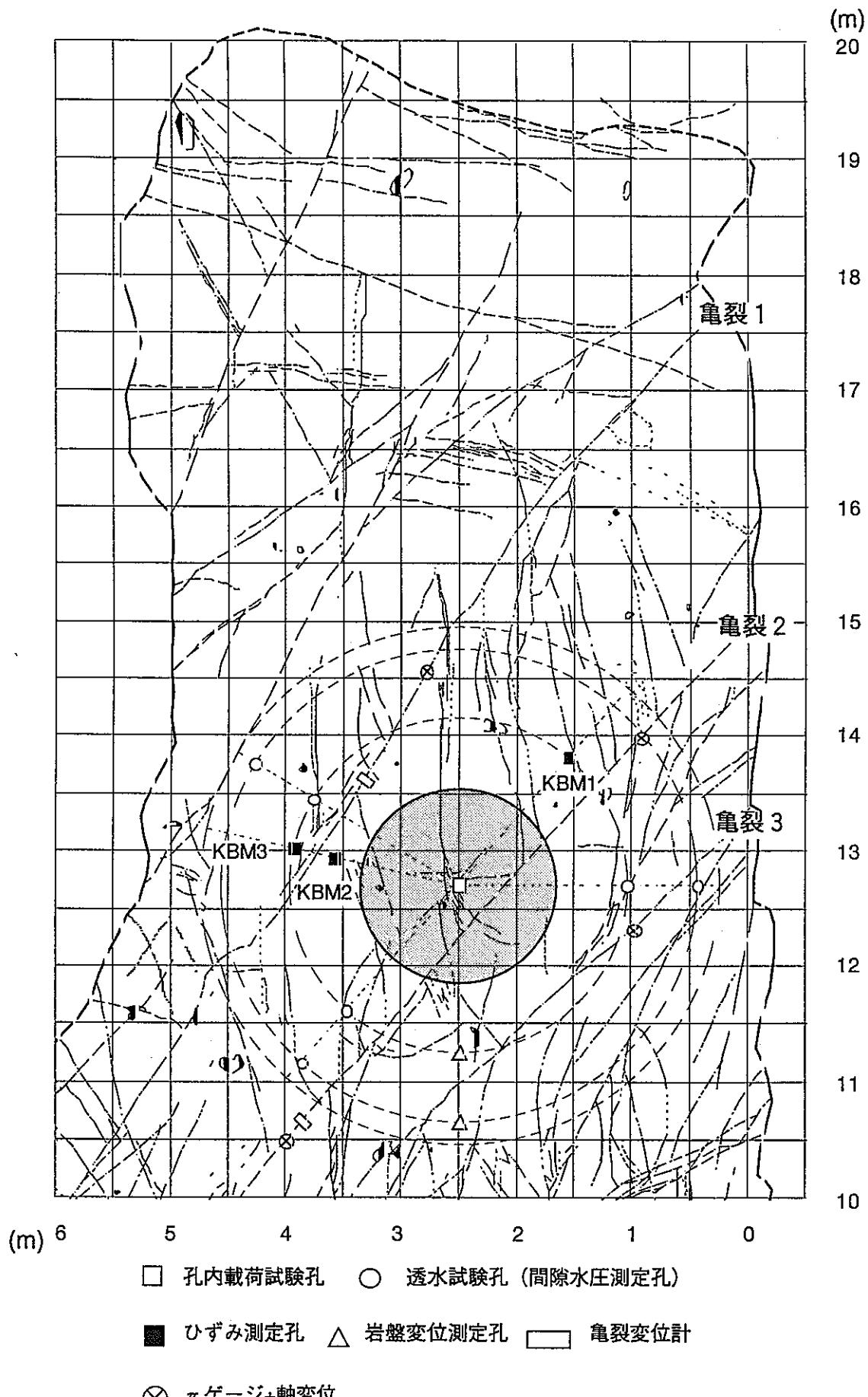


図5-17 热電対設置位置

5.7 π ゲージ

5.7.1 概要

試験坑道床面に露出している亀裂の水平面方向の変位を測定するために π ゲージを坑道床面に取り付けた。 π ゲージの仕様を表5-10に示す。

π ゲージは動力炉・核燃料事業団殿の支給品である。

図5-10 π ゲージの仕様

項目	仕様
製造	共和電業
引張りひずみ	2.0%(0.00140 m)max
圧縮ひずみ	0.3%(0.00021 m)max
定格出力	±1 mV/V
非線形性	2 %RO
推奨印加電圧	2~10 V
入力／出力抵抗	350 Ω
保証作動温度	-10~+60°C
固定端間隔	70 mm
重量	0.450 kg
数量	8

5.7.2 設置位置・方法

図5-18に示すように1つの亀裂に対して、それに直角な方向と、45° 傾いた方向の変位を測定できるよう設置した。坑道床面に直接 π ゲージを設置することは困難なので、岩盤にアンカーボルトを打ち込み、モルタルで固定し、それらに π ゲージをナットとワッシャーで固定した。

設置位置を図5-19に示す。

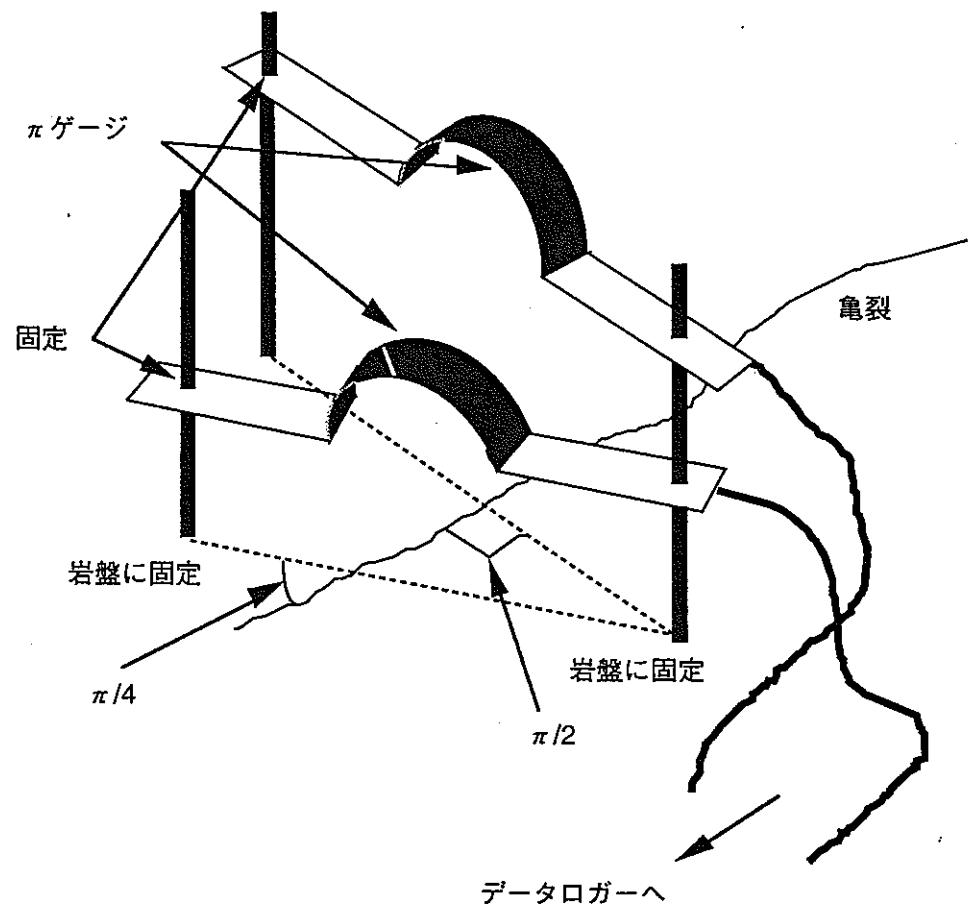
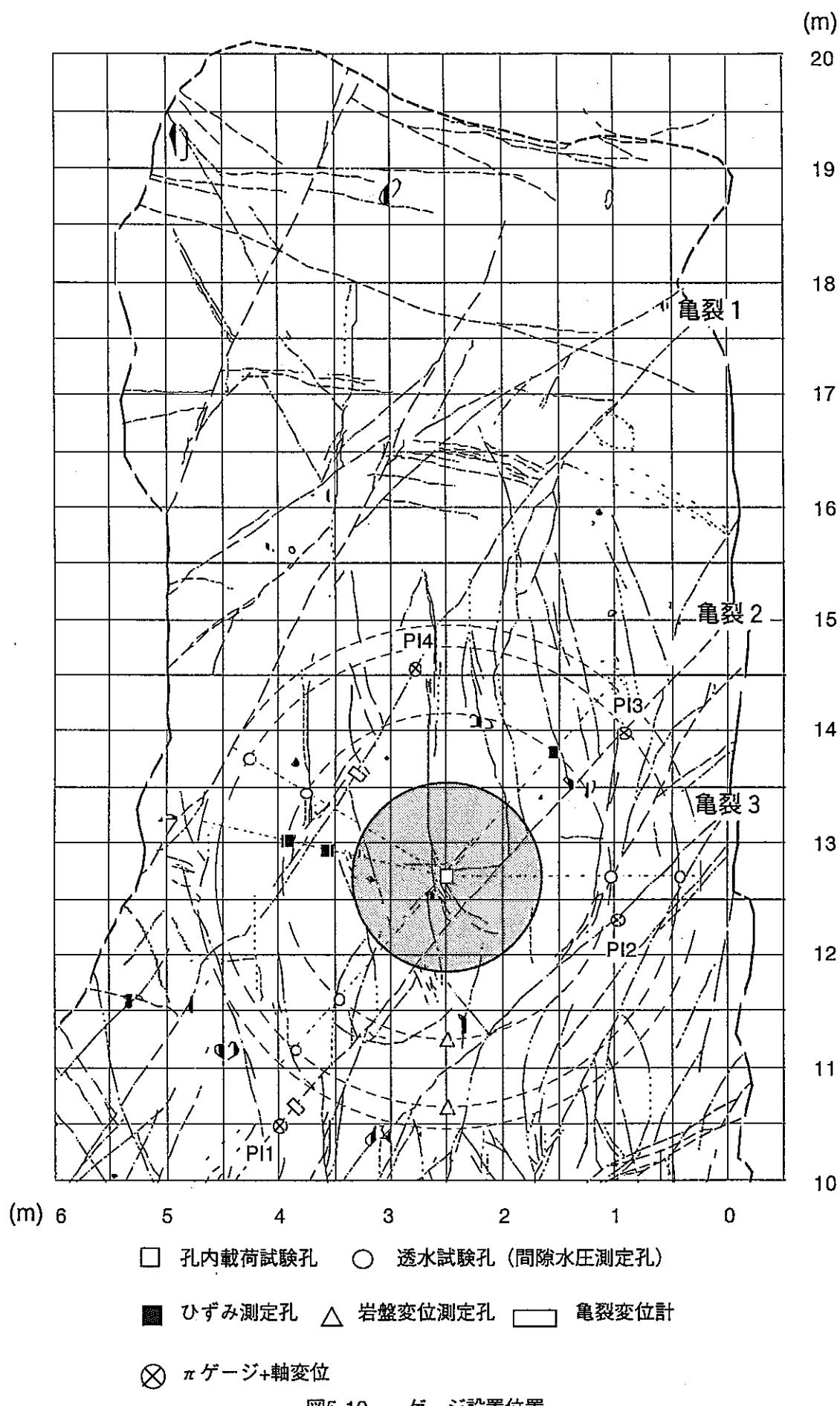


図5-18 π ゲージ設置状況



5.8 軸変位計

5.8.1 概要

試験坑道床面に露出している亀裂の鉛直方向の変位を測定するために軸変位計を坑道床面に取り付けた。

軸変位計の仕様を表5-11に示す。

軸変位計は動力炉・核燃料事業団殿の支給品である。

図5-11 軸変位計の仕様

項目	仕様
製造	東京測器
測定範囲	0.0100 m
精度	0.1 %
定格出力	0.005 V/V以上
非線形性	0.1 %RO
推奨印加電圧	2 V以下
入出力抵抗	350Ω
保証温度	0°C ~ +60°C
長さ	123 mm
外径	20 mm
重量	0.090 kg
数量	4

5.8.2 設置位置・方法

図5-20に示すように1つの亀裂に対して、亀裂の片側の岩盤にアンカーボルトを打ち込み、モルタルで固定し、そのボルトにステンレスの固定用の板とネジで軸変位計を固定した。

設置位置を図5-21に示す。

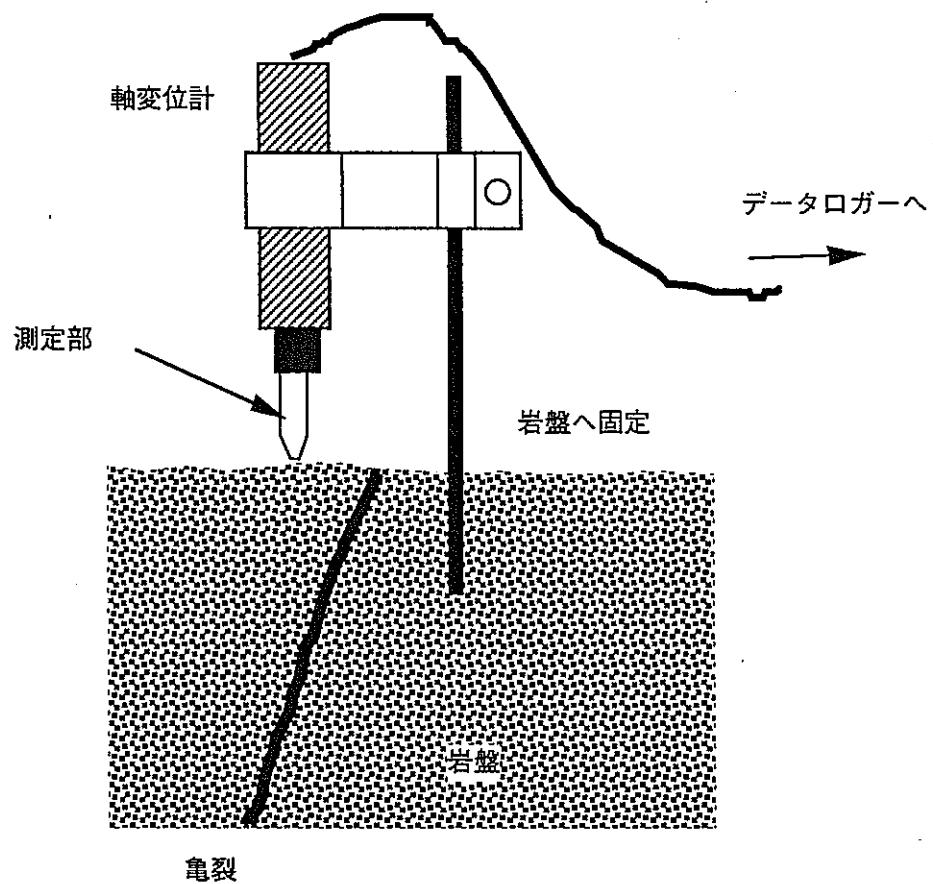
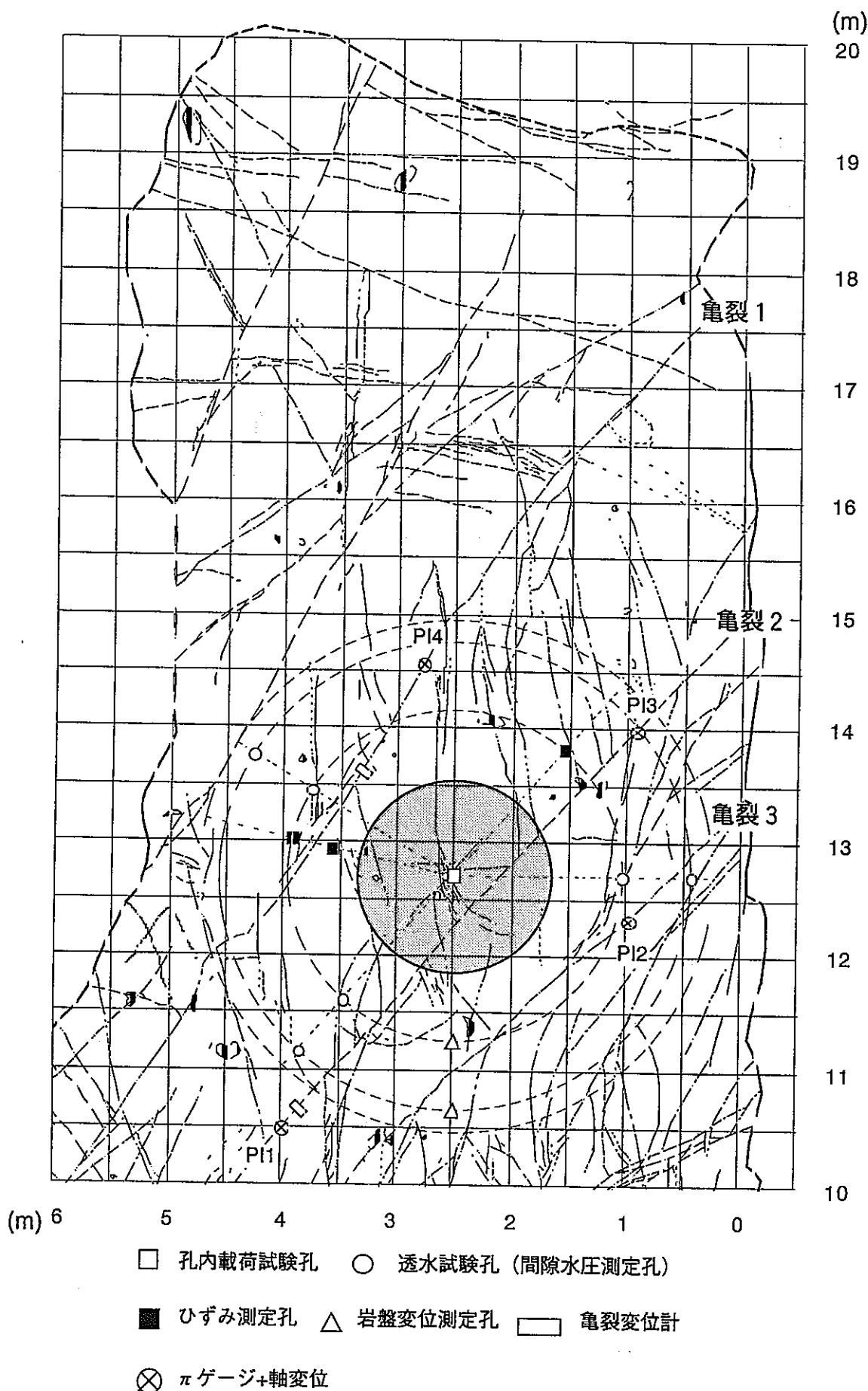


図5-20 軸変位計設置状況



5.9 測定機器埋設位置

前述した計測機器を埋設した位置について表5-12～表5-14にまとめた。表中の各計測機器の座標であるが、試験坑道近傍に基準点を設け、その点を $(X, Y, Z) = (0, 0, 0)$ とした。また、X、Y方向については、図5-22に示す。

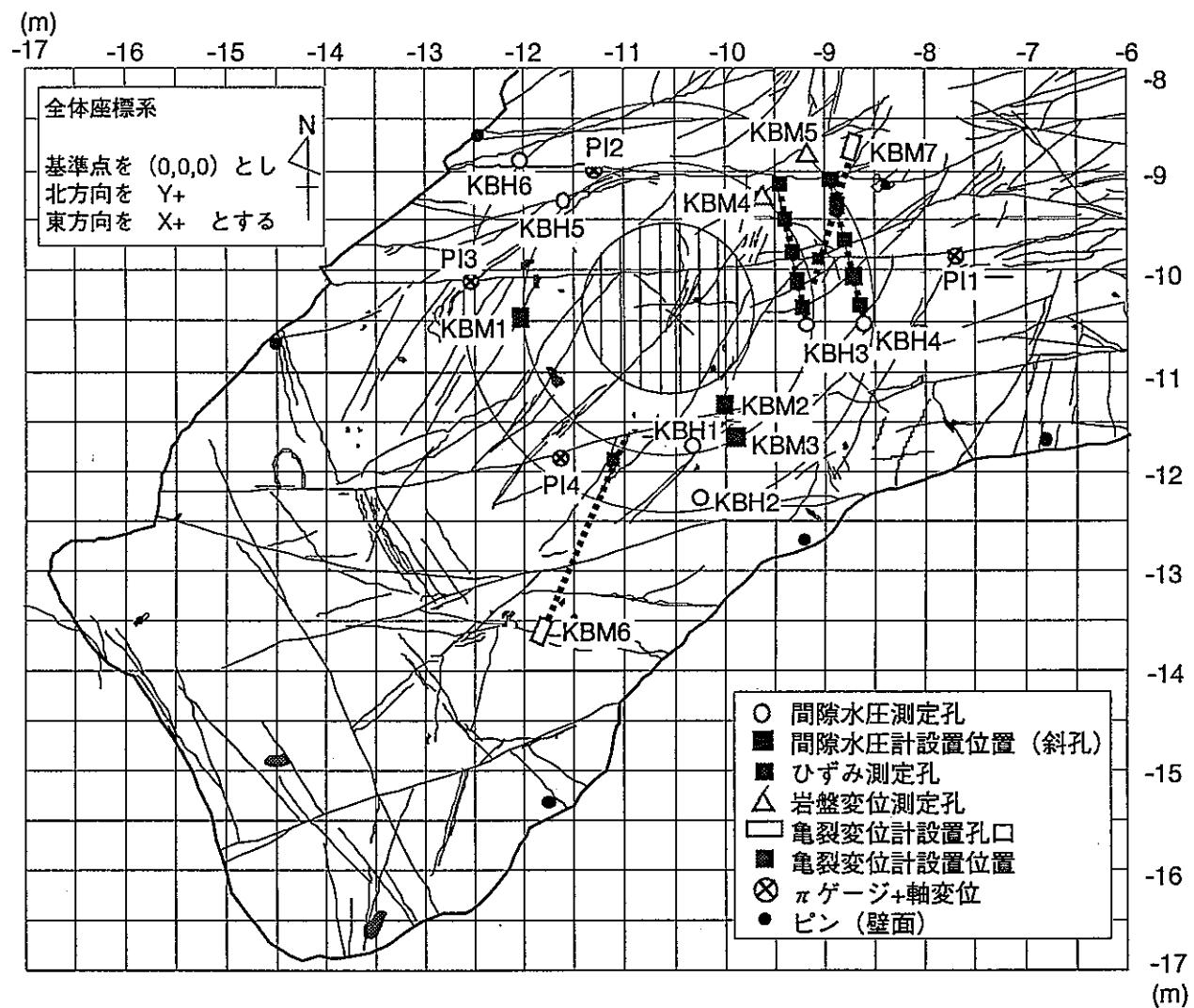


表5-12 測定機器埋設位置（間隙水圧計）

機器名称	センサー名	叻 [*] -Ch.	測定項目	測定値 記号	読み值	座標 (m)			ボーリング孔 / 設置位置
						x	y	z	
間隙水圧計	PT-1	4	間隙水圧/ 温度	H-1/T-1	MPa/°C	-10.34	-11.76	-3.60	KBH1
	2	3		H-2/T-2	MPa/°C	-10.34	-11.76	-4.95	
	3	2		H-3/T-3	MPa/°C	-10.34	-11.76	-6.52	
	4	1		H-4/T-4	MPa/°C	-10.34	-11.76	-8.32	
	5	0		H-5/T-5	MPa/°C	-10.34	-11.76	-10.02	
	6	9		H-6/T-6	MPa/°C	-10.30	-12.24	-3.67	KBH2
	7	8		H-7/T-7	MPa/°C	-10.30	-12.24	-5.57	
	8	7		H-8/T-8	MPa/°C	-10.30	-12.24	-7.52	
	9	6		H-9/T-9	MPa/°C	-10.30	-12.24	-9.57	
	10	14		H-10/T-10	MPa/°C	-9.23	-10.34	-3.53	KBH3
	11	13		H-11/T-11	MPa/°C	-9.28	-10.08	-4.90	
	12	12		H-12/T-12	MPa/°C	-9.34	-9.79	-6.45	
	13	11		H-13/T-13	MPa/°C	-9.40	-9.47	-8.11	
	14	10		H-14/T-14	MPa/°C	-9.46	-9.13	-9.88	
	15	19		H-15/T-15	MPa/°C	-8.66	-10.31	-3.53	KBH4
	16	18		H-16/T-16	MPa/°C	-8.72	-10.03	-5.05	
	17	17		H-17/T-17	MPa/°C	-8.80	-9.66	-6.97	
	18	16		H-18/T-18	MPa/°C	-8.88	-9.33	-8.73	
	19	15		H-19/T-19	MPa/°C	-8.94	-9.07	-10.11	
	20	24		H-20/T-20	MPa/°C	-11.60	-9.31	-3.63	KBH5
	21	23		H-21/T-21	MPa/°C	-11.60	-9.31	-5.18	
	22	22		H-22/T-22	MPa/°C	-11.60	-9.31	-6.78	
	23	21		H-23/T-23	MPa/°C	-11.60	-9.31	-8.33	
	24	20		H-24/T-24	MPa/°C	-11.60	-9.31	-9.88	
	25	29		H-25/T-25	MPa/°C	-12.04	-8.90	-3.53	KBH6
	26	28		H-26/T-26	MPa/°C	-12.04	-8.90	-5.28	
	27	27		H-27/T-27	MPa/°C	-12.04	-8.90	-7.08	
	28	26		H-28/T-28	MPa/°C	-12.04	-8.90	-8.58	
	29	25		H-29/T-29	MPa/°C	-12.04	-8.90	-10.03	

表5-13 測定機器埋設位置（ひずみ計、熱電対、ジョイント変位計）

機器名称	センサ名	ロガー Ch.	測定項目	測定値 記号	読み値	座標 (m)			ボーリング孔 / 設置位置
						x	y	z	
小型 ひずみ計	SD-1	100	ひずみ(r)	M-1	$\mu \epsilon$	-12.04	-10.45	-4.41	KBM1
	2	101	ひずみ(θ)	M-2	$\mu \epsilon$	-12.04	-10.45	-4.41	
	3	102	ひずみ(r)	M-3	$\mu \epsilon$	-12.04	-10.45	-7.41	
	4	103	ひずみ(θ)	M-4	$\mu \epsilon$	-12.04	-10.45	-7.41	
	5	104	ひずみ(r)	M-5	$\mu \epsilon$	-12.04	-10.45	-10.41	
	6	105	ひずみ(θ)	M-6	$\mu \epsilon$	-12.04	-10.45	-10.41	
ボアホール 型二成分 ひずみ計	SB-1	140	ひずみ(r)	M-7	V	-10.01	-11.34	-5.36	KBM2
	1	141	ひずみ(θ)	M-8	V	-10.01	-11.34	-5.36	
	SB-2	142	ひずみ(r)	M-9	V	-9.91	-11.67	-5.48	KBM3
	2	143	ひずみ(θ)	M-10	V	-9.91	-11.67	-5.48	
熱電対	TC-1	150	温度	T-30	°C	-12.04	-10.45	-4.41	KBM1
	2	151	温度	T-31	°C	-12.04	-10.45	-7.41	
	3	152	温度	T-32	°C	-12.04	-10.45	-10.41	
	4	153	温度	T-33	°C	-10.01	-11.34	-5.36	KBM2
	5	154	温度	T-34	°C	-9.91	-11.67	-5.48	KBM3
ジョイント 変位計	JM-1	144	変位	M-11	V	-11.11	-11.87	-6.36	KBM6
	1	145	変位	M-12	V	-11.11	-11.87	-6.36	
	1	146	変位	M-13	V	-11.11	-11.87	-6.36	
	JM-2	147	変位	M-14	V	-9.23	-10.35	-5.64	KBM7
	2	148	変位	M-15	V	-9.23	-10.35	-5.64	
	2	149	変位	M-16	V	-9.23	-10.35	-5.64	

表5-14 測定機器埋設位置（軸変位計、πゲージ）

機器名称	センサ名	叻ー Ch.	測定項目	測定値 記号	読み值	座標 (m)			ボーリング孔 /設置位置
						x	y	z	
高感度変位 計 (軸変位計)	T-1	203	変位	M-17	$\mu \epsilon$	-7.70	-9.82	-2.54	PI1
	2	204	変位	M-18	$\mu \epsilon$	-11.30	-9.00	-2.44	PI2
	3	205	変位	M-19	$\mu \epsilon$	-12.57	-10.08	-2.20	PI3
	4	206	変位	M-20	$\mu \epsilon$	-11.64	-11.87	-2.34	PI4
亀裂変位計 (πゲージ)	P-1	216	変位	M-21	$\mu \epsilon$	-7.70	-9.82	-2.54	PI1
	2	217	変位	M-22	$\mu \epsilon$	-7.70	-9.82	-2.54	
	3	218	変位	M-23	$\mu \epsilon$	-11.30	-9.00	-2.44	PI2
	4	219	変位	M-24	$\mu \epsilon$	-11.30	-9.00	-2.44	
	5	220	変位	M-25	$\mu \epsilon$	-12.57	-10.08	-2.20	PI3
	6	221	変位	M-26	$\mu \epsilon$	-12.57	-10.08	-2.20	
	7	222	変位	M-27	$\mu \epsilon$	-11.64	-11.87	-2.34	PI4
	8	223	変位	M-28	$\mu \epsilon$	-11.64	-11.87	-2.34	

6. 透水試験

6.1 概要

亀裂調査に引き続き、7本の透水試験用の試錐孔（KBH1～7）を使用して透水試験を実施した。7本の試錐孔のうち3本は間隙水圧計を設置した観測用の試錐孔とし、残りの4本の試錐孔で定圧力注入試験と定流量注入試験の2種類の試験を実施した。また、試験結果を用い、次元解析の検討及び透水テンソルの算定を行なった。本章では、これらの結果について報告する。

6.2 試験結果

図6-1に試錐孔のレイアウトを示す。試錐孔の掘削終了後、各孔の水位を低下させ、水位の回復状況を観察した。図6-2にその結果を示す。7本の試錐孔は互いに近いにも関わらず、各々の水位は大きく異なる結果となった。特にKBH5とKBH6は距離が40cm離れているだけなのにも関わらず、KBH5は全く水が無く、KBH6は孔口近くまで水位が回復している。これは、KBH5が湧水性の亀裂を横切っていないためだと思われる。透水試験を実施する前に、観測用の試錐孔に間隙水圧計を設置した。今回の試験では、KBH1、3、5を観測用の試錐孔とし、その他の4本の試錐孔で注入式透水試験を実施した。図6-3にボアホールテレビカメラにより観察された各試錐孔における亀裂の位置、及び観測用の試錐孔に設置したパッカーの位置を示す。同図に示すように、観測用の試錐孔はパッカーを用い5区間に区分され、それぞれの区間に間隙水圧計を設置した。注入は、その他の4本の試錐孔において実施した。注入区間は1mとし、その位置も図6-3に示している。同図に示すように、KBH2、4、6では7区間、KBH7では6区間で注入を実施した。図6-4には、注入区間において測定された初期水圧の分布を示す。他の試錐孔と比較して、KBH7の4～6mにおける水圧はかなり高くなっている。試験は定圧力注入透水試験、定流量注入透水試験の2種類を実施した。最初に定圧力透水試験を、全ての注入区間で実施した。定圧試験においては注入流量が $1\text{cm}^3/\text{min}$ 以上の区間のみの測定を行なった。定圧試験の結果を踏まえ、透水性の比較的高い区間において定流量透水試験を実施した。

表6-1に定圧試験の結果を示す。それぞれの試錐孔において1区間づつ高透水性の区間が存在した。これらの区間から注入をした時のみ、観測用の試錐孔において圧力応答が観測された。表6-1には圧力応答が観測された区間も示す。図6-3の各試錐孔における亀裂分布と比較してみると、これらの注入区間と観測区間には開口亀裂が存在していることが分かる。このことより、これらの開口亀裂が透水性亀裂であるものと推測される。また、表6-1には、定流量試験を実施した区間とその流量を示している。

定圧力試験の結果を用い、次式から注入区間の透水係数 k (cm/s)を算定した。

$$k = \frac{Q}{2\pi L h} \ln \left(\frac{L}{r_w} \right) \quad (6-1)$$

ここで、 Q (cm³/s)は注入流量、 L (cm)は注入区間の長さ、 h (cm)は注入圧力、 r_w (cm)は試錐孔径である。

図6-9に算定された透水係数の分布を示す。注入流量が1cm³/min以下の区間の透水係数は10⁻⁸cm/s以下となる。この図からは坑道底盤から3m下付近に高透水性のゾーンがあることが考えられる。図6-6に観測された圧力応答の関係図を示す。試験領域が狭いにも関わらず、圧力応答の観測された測線は少ない。また、坑道底盤から3m下付近の区間から区間に圧力応答が観察されたものは、わずか一測線である。すなわち、本試験領域においては、坑道底盤から3m下付近に高透水性ゾーンというものは存在していないことが分かる。これらの結果より、本試験サイトは全体的に低透水であり、その中にいくつかの高透水性の亀裂が存在しているものと推察される。

定流量試験終了後、KBH2、4、6に間隙水圧計を設置した。また、透水試験の結果から、KBH3の深さ2m付近にあるパッカーでふさがれた亀裂が透水性であるものと推測されたため、KBH3のパッカーシステムを上に20cm移動した。図6-7に各試錐孔のパッカー位置を示す。また、図6-8に設置した間隙水圧計で計測された水頭分布を示す。この配置のもとで、2回目の注入試験を実施した。注入は各観測区間に設置された注入用のチューブを用い、定圧力注入で試験を実施した。KBH7は深さ2~4mの区間が高透水であったため、この区間に透水試験装置を設置した。図6-9に2回目の試験の結果観測された圧力応答の測線を示す。図6-6においては観測されていた測線が、本結果では観測されていない区間がある。この要因として、観測区間に設置された注入用チューブの径が小さいため、高透水の区間では十分な注入が出来なかつたためと思われる。

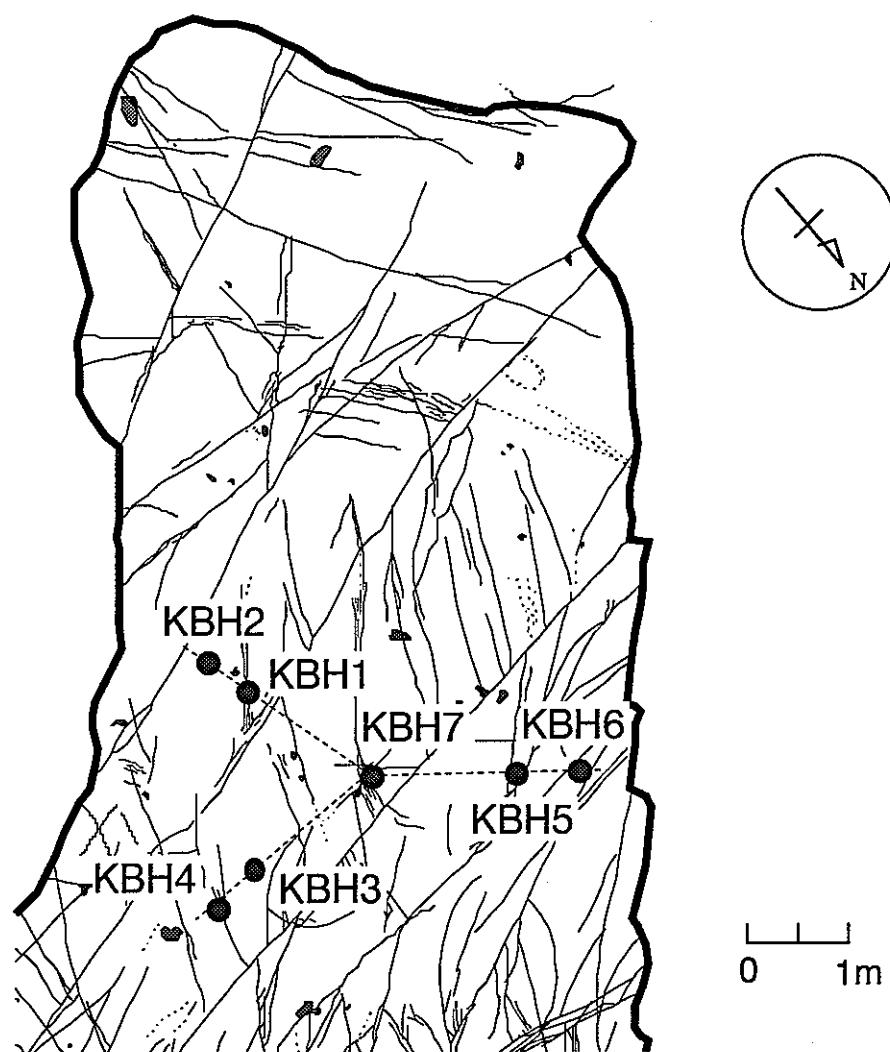


図6-1 試錐孔の位置

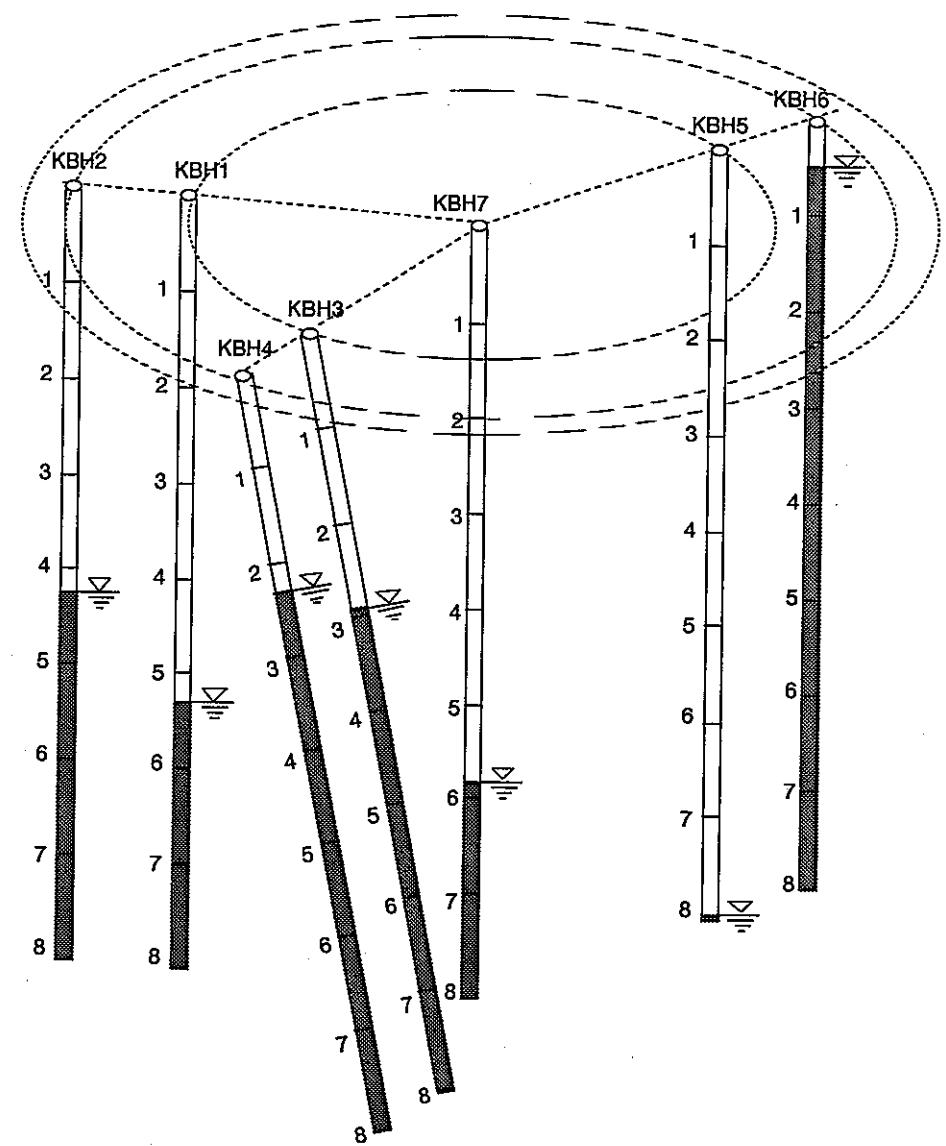


図6-2 各試錐孔の初期水位

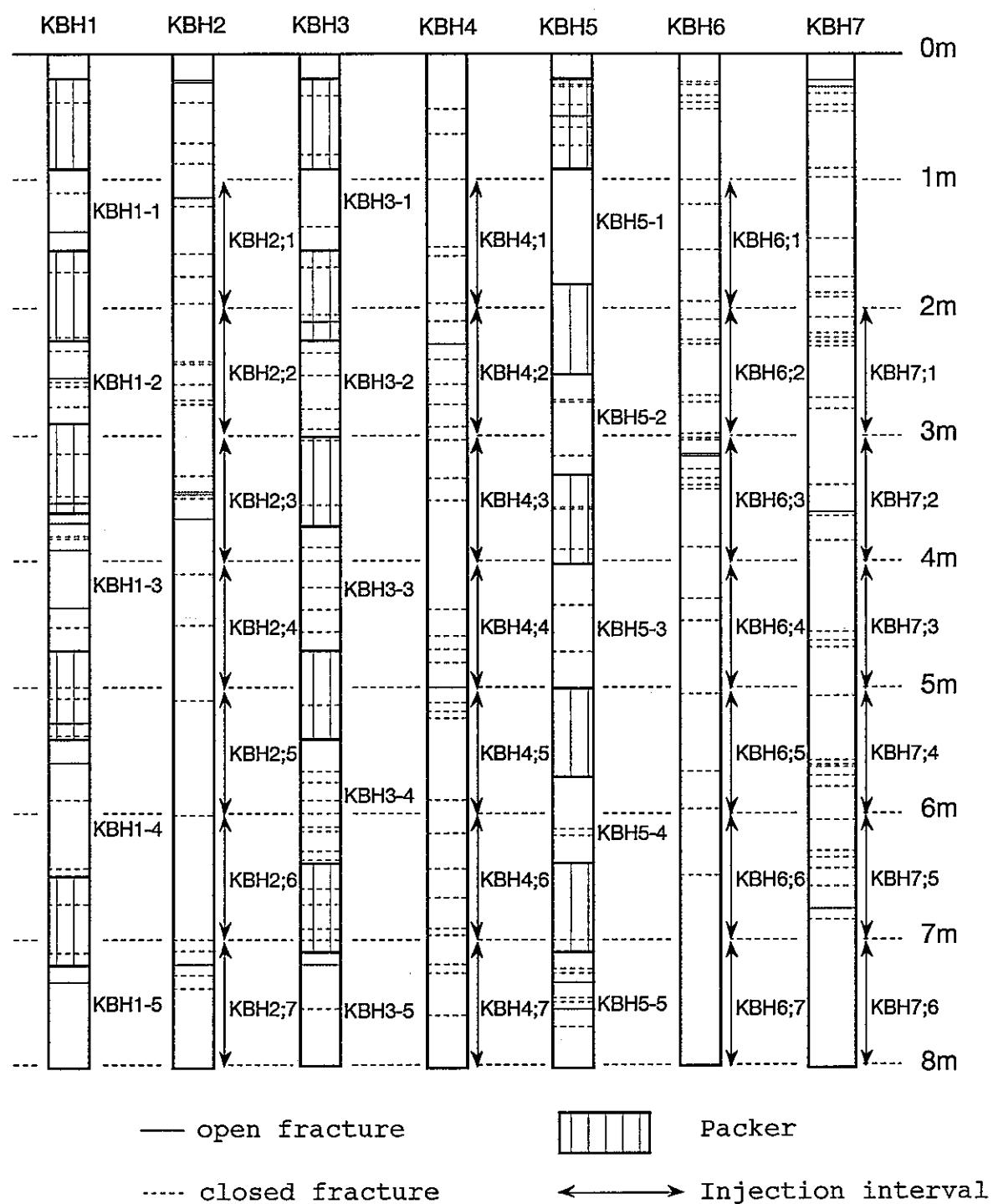


図6-3 試錐孔内の亀裂の位置及び設置したパッカーの位置

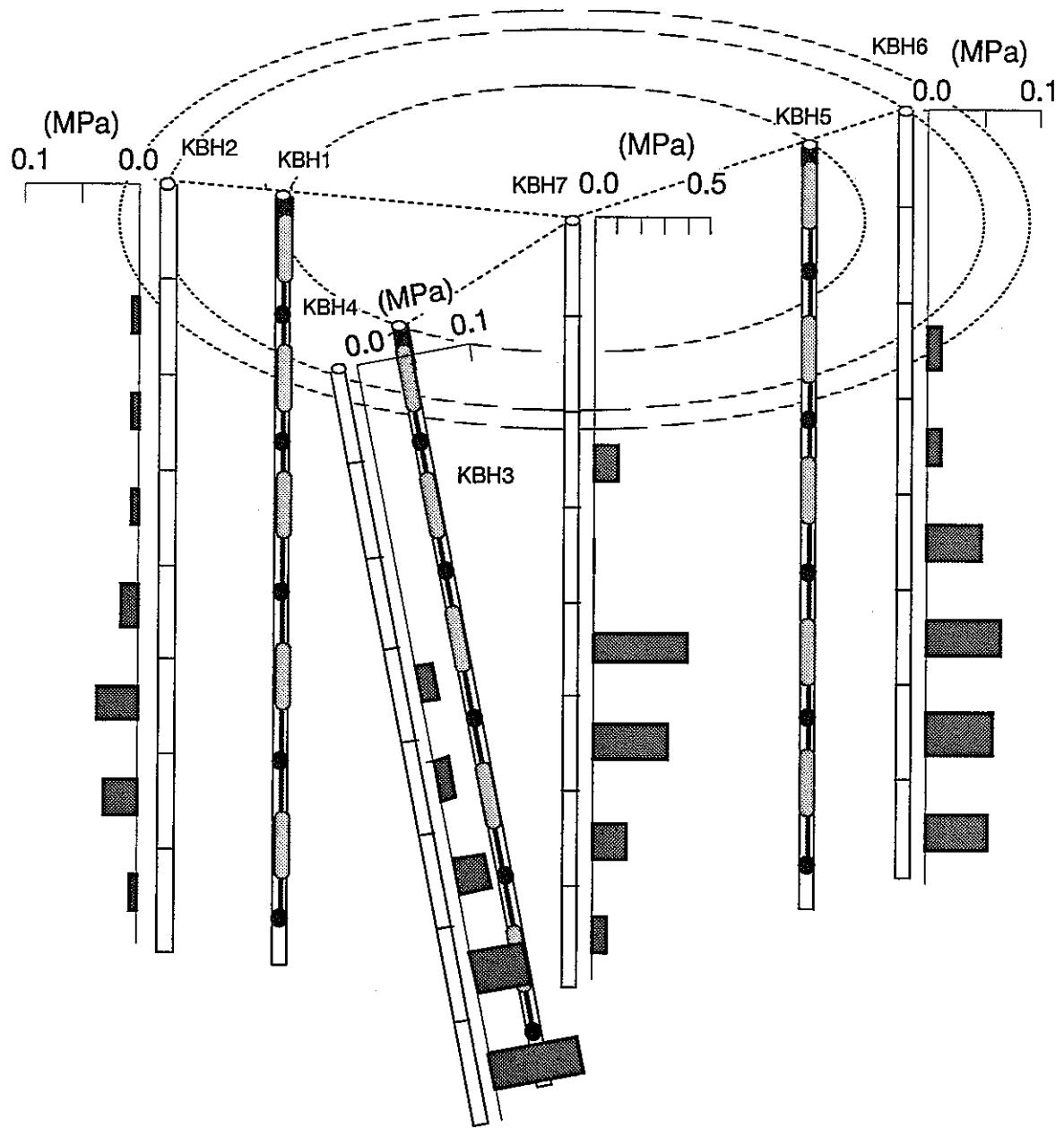


図6-4 初期水頭分布

表6-1 定圧力透水試験の結果

	注入区間	区間名	初期水压 (kgf/cm ²)	注入圧力 (kgf/cm ²)	注入流量 (cm ³ /min)	圧力応答 観測区間	定流量試験 実施区間 及び注入流量 (cm ³ /min)
KBH2	1～2	KBH2;1	0.05	3	9.0		10
	2～3	KBH2;2	0.06	3	<1.0		
	3～4	KBH2;3	0.07	3	3300.0	KBH1-1	3000
	4～5	KBH2;4	0.14	3	<1.0		
	5～6	KBH2;5	0.37	3	<1.0		
	6～7	KBH2;6	0.30	3	<1.0		
	7～8	KBH2;7	0.05	3	7.9		8
KBH4	1～2	KBH4;1	0.00	3	<1.0		
	2～3	KBH4;2	0.00	3	700.0	KBH1-4,5-5	700
	3～4	KBH4;3	0.15	3	<1.0		
	4～5	KBH4;4	0.14	3	6.1		6
	5～6	KBH4;5	0.29	3	3.7		
	6～7	KBH4;6	0.48	3	<1.0		
	7～8	KBH4;7	0.79	3	<1.0		
KBH6	1～2	KBH6;1	0.00	3	2.5		
	2～3	KBH6;2	0.14	3	2.7		5
	3～4	KBH6;3	0.14	3	2600.0	KBH5-1	2500
	4～5	KBH6;4	0.50	3	<1.0		
	5～6	KBH6;5	0.66	3	<1.0		
	6～7	KBH6;6	0.59	3	<1.0		
	7～8	KBH6;7	0.55	3	<1.0		
KBH7	2～3	KBH7;1	1.10	4	94.1		120
	3～4	KBH7;2	0.07	3	1470.0	KBH1-3,4,5	1500
	4～5	KBH7;3	4.10	5	1.6		
	5～6	KBH7;4	3.30	4	1.8		
	6～7	KBH7;5	1.50	3	19.0		18
	7～8	KBH7;6	0.60	3	<1.0		

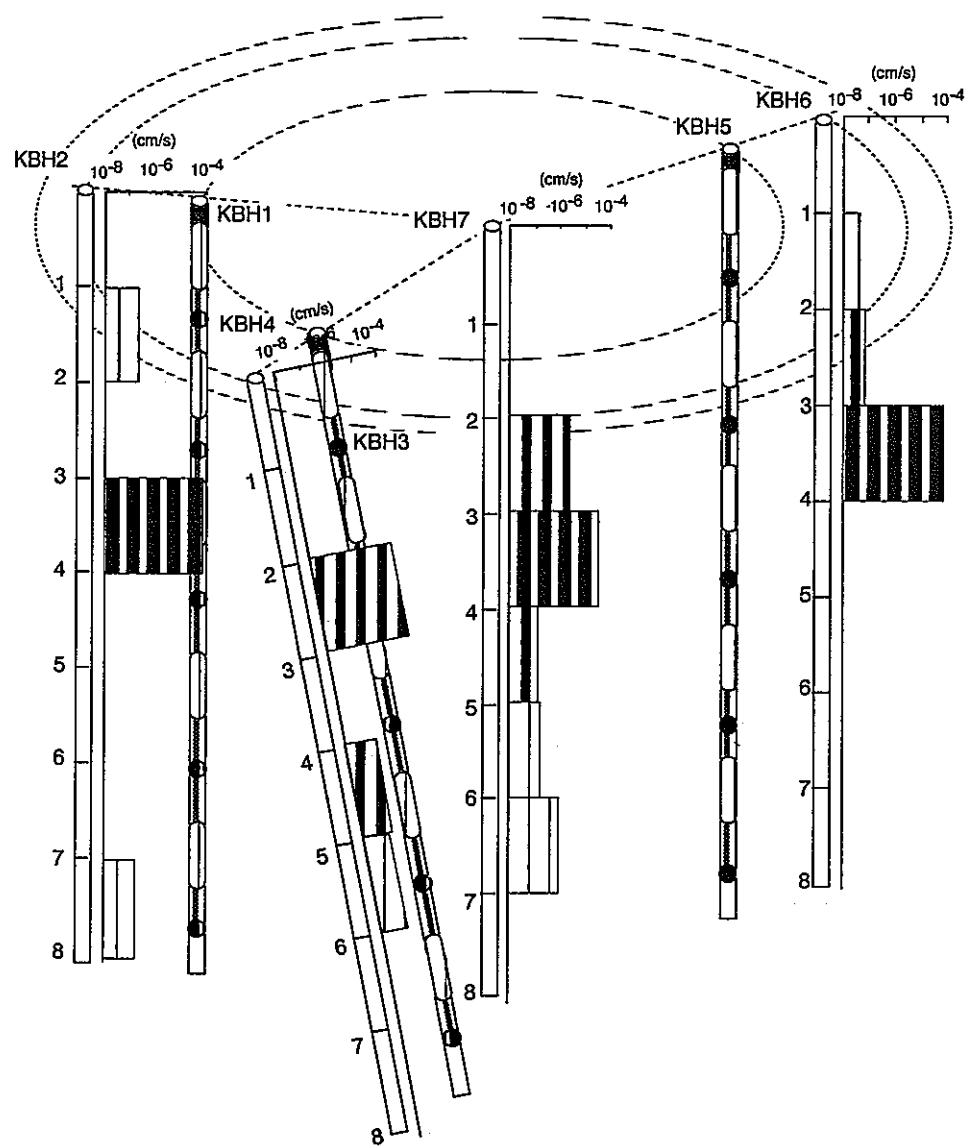


図6-5 透水係数分布

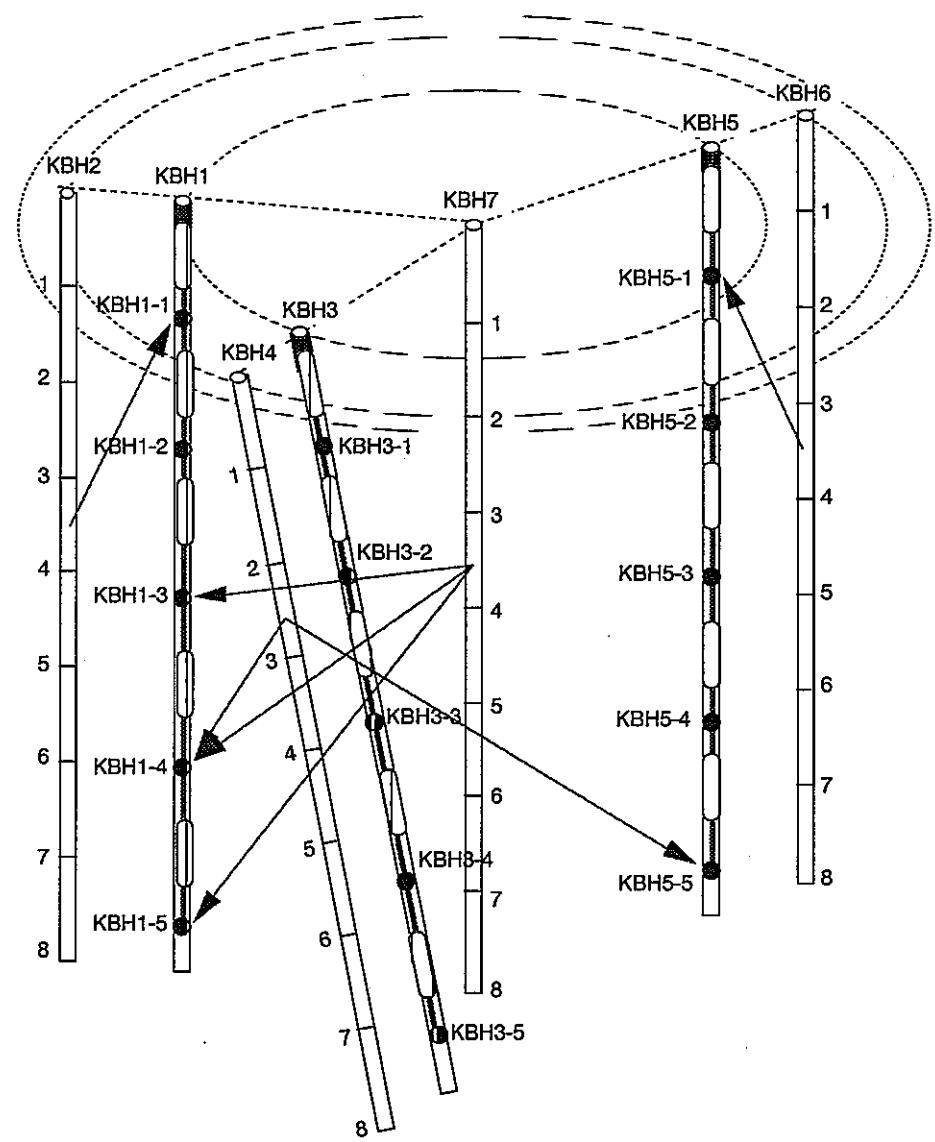


図6-6 定圧試験で得られた圧力応答

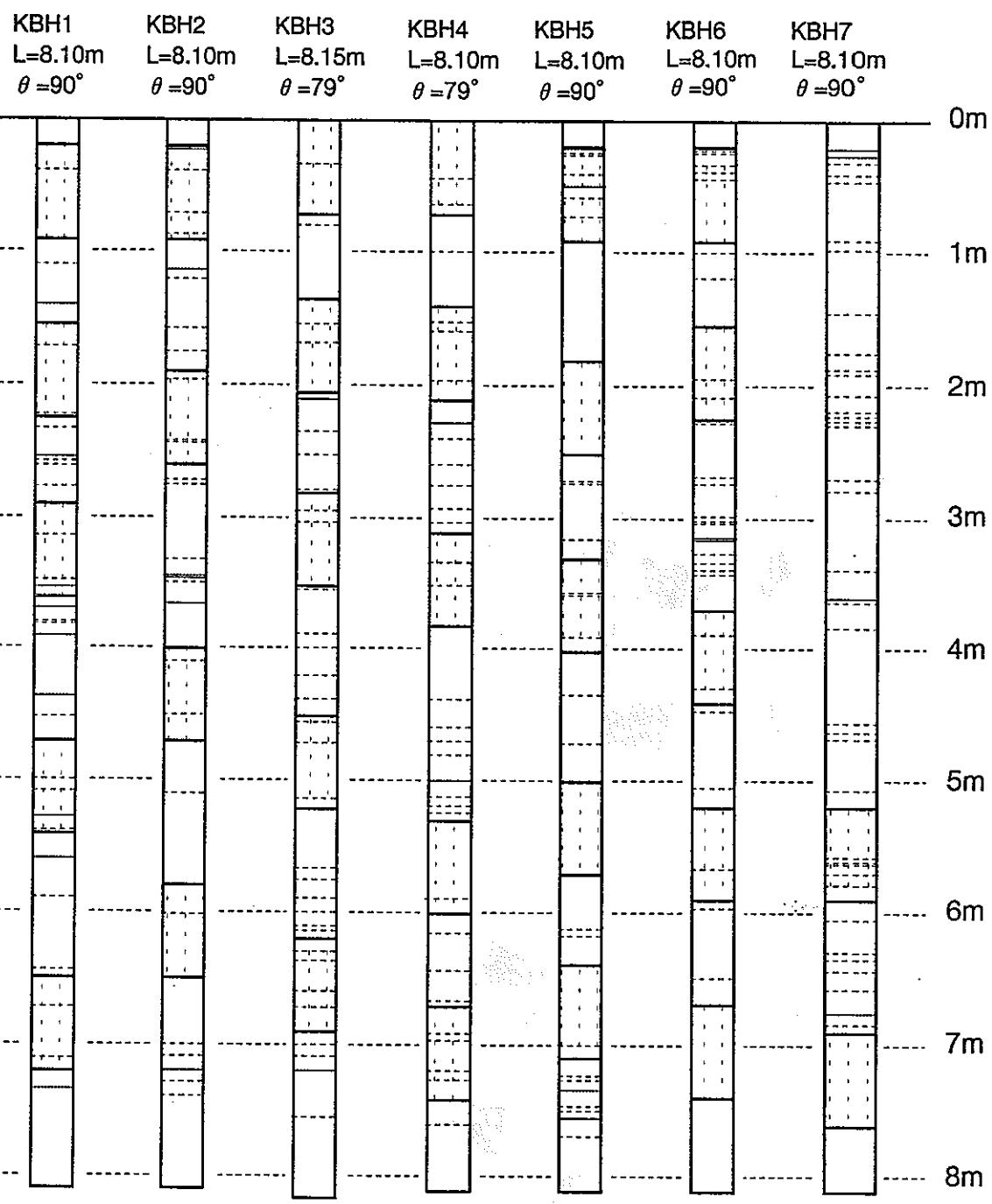


図6-7 2回目の試験でのパッカー設置位置

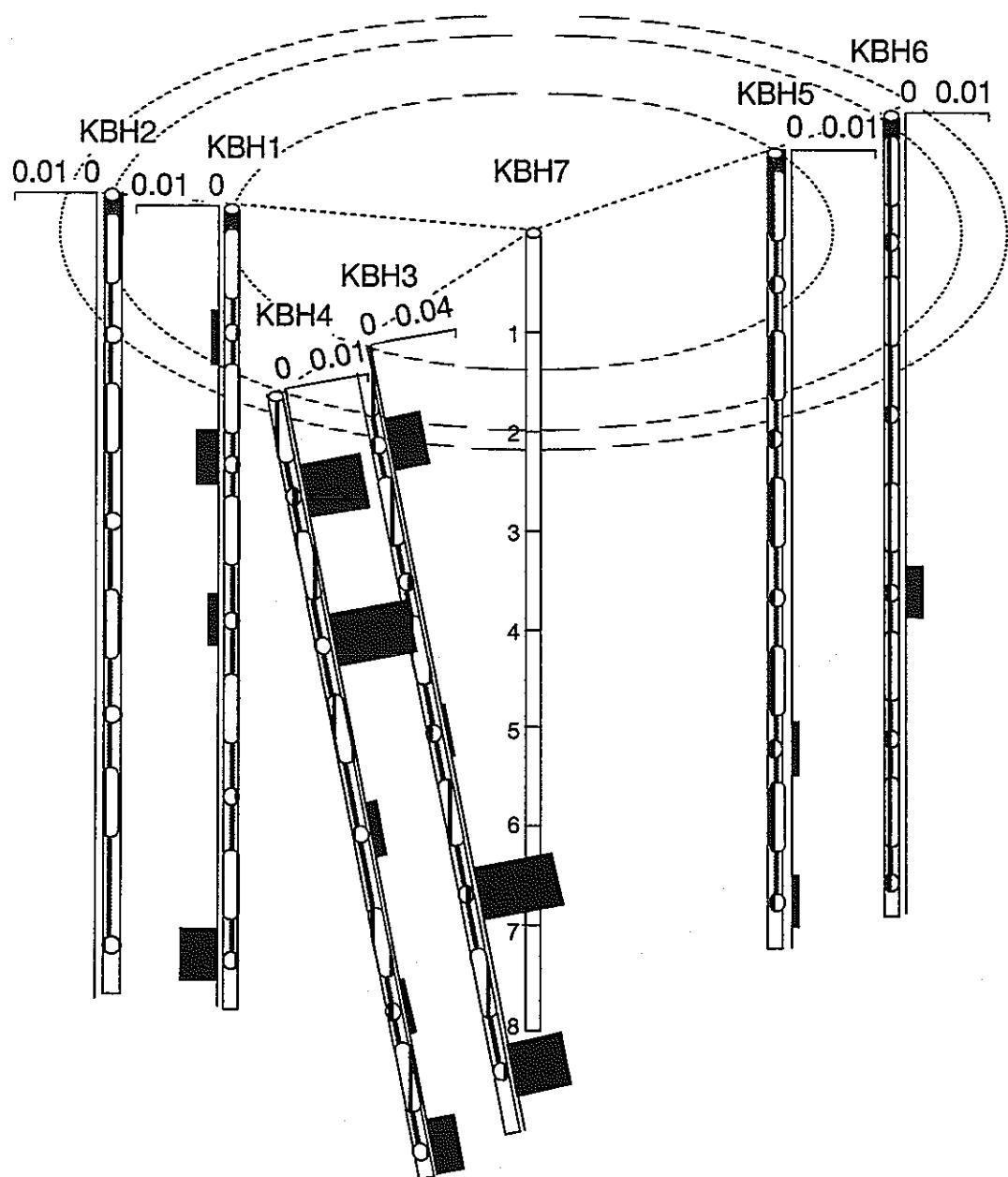


図6-8 2回目の試験前の初期水頭分布

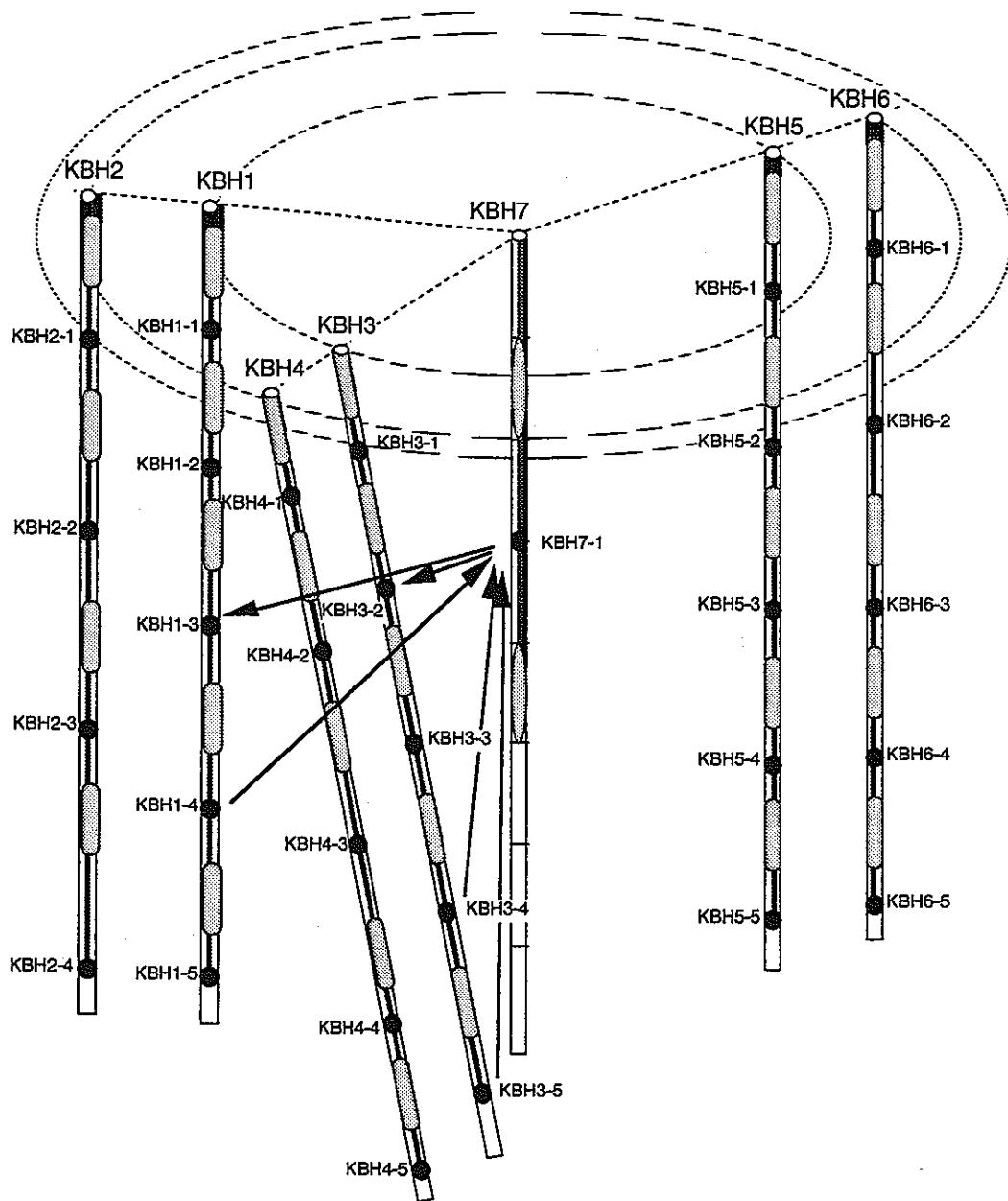


図6-9 試験2で得られた圧力応答

6.3 実数次元モデルの適用

6.3.1 目的

岩盤内の地下水の流れの状況は、間隙の形状が亀裂等の影響を受けるため、土質地盤とは大きく異なり、強い異方性と不均一性を持っている。最近の多くの研究では、亀裂性岩盤の流れをモデル化するのに、直接間隙形状をモデル化したり、等価連続体としてモデル化することが試みられている。このようなモデルでは、亀裂観測結果から解析モデルが構築される。しかし、亀裂の開口幅は原位置で直接測定することが難しく、また地下水の流れに寄与する水理学的開口幅を測定することは不可能であるため、原位置透水試験の結果をキャリブレーションすることにより、水理学的開口幅は求められている。さらに、地質調査の限られた情報から岩盤全体の亀裂構造を推定することは、困難である。このような理由から、連続体のモデルにしろ、不連続体のモデルにしろ、多くの不確定要因は残っているのである。しかし、原位置試験から透水係数を算定する手法はある程度確立しているのである。このように、原位置試験から透水係数を得る際に用いたモデルと数値解析のモデルが異なっているのであれば、そのような透水係数からキャリブレーションした亀裂の水理学的開口幅というものはそのモデルにおいて意味をなさないものとなる。

このような不確定要因を解消するために、Barkerにより提案された実数次元の流れ場のモデル化手法の釜石試験への適用を行なった。この手法では、理論式によるタイプカーブと実測値をフィッティングさせることにより、流れ場の実数次元を求め、その次元における透水係数と貯留係数を算定する。本節においては、最初にBarkerの理論に基づき、定圧試験、定流量試験のそれぞれにおけるタイプカーブを求める。そして、釜石での試験の結果を実数次元のモデルに適用する。ここで得られた次元というものの物理的な意味というものは明らかとなっていないが、圧力変化による亀裂構造の変化及び異方性の増加を指標となるものと思われる。

6.3.2 基礎理論

(1) 支配方程式

Barkerにより提案された実数次元を考慮した地下水の連続式は次の通りである。

$$\frac{1}{\alpha_1} \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{r^{n-1}} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^{n-1} \frac{\partial h}{\partial r} \right) \quad (6-2)$$

ここで、 $\alpha_1 = K_f / S_{f_w}$ 、 K_f は透水係数、 S_{f_w} は比貯留係数、 n は実数次元で1から3の値をとる。 h は全水頭、 r は注入孔中心からの距離である。

また、次式により注入孔周辺のスキン効果を表現する。

$$H = h - S_{f_w} \frac{\partial h}{\partial r} \Big|_{r=r_w} \quad (6-3)$$

ここで、 S_f はスキン効果の次元係数、 H は注入孔の全水頭、 r_w は注入孔の半径である。

したがって、注入孔における保存式は次のようになる。

$$S_w \frac{\partial H}{\partial t} = Q + K b^{3-n} \alpha_n r_w^{n-1} \frac{\partial h}{\partial r} \Big|_{r=r_w} \quad (6-4)$$

ここで、 S_w は貯留容量、 Q は注入量である。 α_n は次式で与えられる。

$$\alpha_n = \frac{2\pi^{n/2}}{\Gamma(n/2)} \quad (6-5)$$

ここで、 Γ はガンマ関数、 $b^{3-n} \alpha_n r_w^{n-1}$ は距離 r における注入水の通過面積である。図6-10に各次元における流れ場の概念図を示す。

境界条件としては、注入点より無限遠の地点で水頭0とする。

$$h(\infty, t) = 0 \quad (6-6)$$

注入点の境界条件は以下の通りである。

$$\begin{aligned} H &= H_o & : \text{定圧試験} \\ Q &= Q_o & : \text{定流量試験} \end{aligned} \quad (6-7)$$

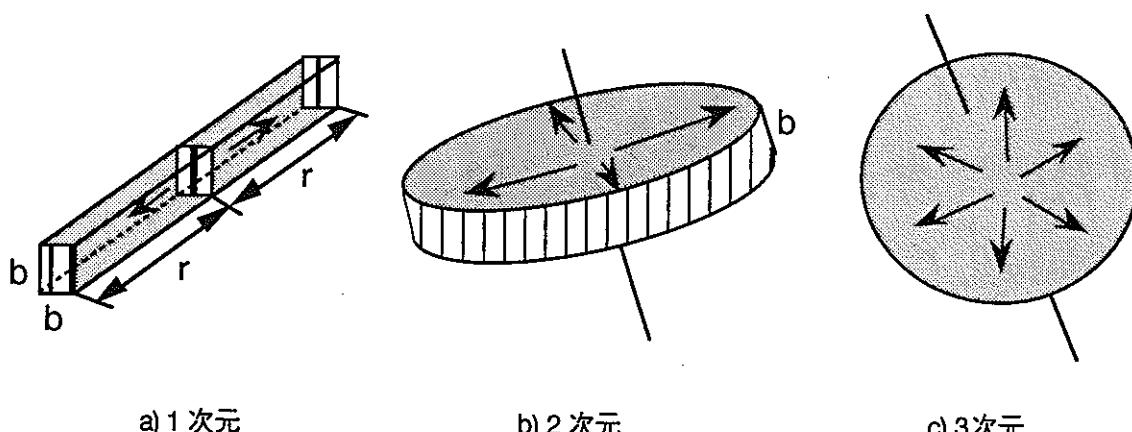


図6-10 実数次元における流れ場の概念図

また、初期条件としては全領域において水頭 0 である。

$$h(r,0) = H(0) = 0 \quad (6-8)$$

(2) 定圧試験のタイプカーブ

次のように無次元量を定義する。

$$h_D = \frac{h}{H_0} \quad (6-9)$$

$$t_D = \frac{\alpha_1 t}{r_w^2} \quad (6-10)$$

$$r_D = \frac{r}{r_w} \quad (6-11)$$

$$Q_D = \frac{Q}{K_f b^{3-n} \alpha_n r_w^{n-1}} \quad (6-12)$$

以上の式を(6-2)、(6-3)、(6-4)式に代入することにより以下の式を得る。

$$\frac{\partial h_D}{\partial t} = \frac{n-1}{r_D} \frac{\partial h_D}{\partial r_D} + \frac{\partial^2 h_D}{\partial r_D^2} \quad (6-13)$$

$$H_D = h_D - S_f \left. \frac{\partial h_D}{\partial r_D} \right|_{r_D=1} \quad (6-14)$$

$$\beta \frac{\partial H_D}{\partial t_D} = Q_D + \gamma \left. \frac{\partial h_D}{\partial r_D} \right|_{r_D=1} \quad (6-15)$$

ここで、 $\beta = \pi H_0 / (S_f b^{3-n} \alpha_n r_w^{n-1})$ 、 $\gamma = H_0 / r_w$ である。

これらの式を解くのに、ラプラス変換を行う。補助式は以下の通りである。

$$\overline{h_D p} = \frac{n-1}{r_D} \frac{\partial \overline{h_D}}{\partial r_D} + \frac{\partial^2 \overline{h_D}}{\partial r_D^2} \quad (6-16)$$

$$\overline{H_D} = \overline{h_D} - S_f \left. \frac{\partial \overline{h_D}}{\partial r_D} \right|_{r_D=1} \quad (6-17)$$

$$\beta \overline{H_D p} = \overline{Q_D} + \gamma \left. \frac{\partial \overline{h_D}}{\partial r_D} \right|_{r_D=1} \quad (6-18)$$

注入点の境界条件は次のようになる。

$$\overline{H_D} = \frac{1}{p} \quad (6-19)$$

(6-16)式の一般解は次のようになる。

$$\overline{h_D} = C(p) r_D^\nu K_\nu(\sqrt{p} r_D) + D(p) r_D^\nu I_\nu(\sqrt{p} r_D) \quad (6-20)$$

ここで、 $I\nu$ 、 $K\nu$ は一種、二種の n 次の修正ベッセル関数であり、 $\nu = 1-n/2$ である。(6-20)式における係数 $D(p)$ は以下の境界条件のもとでは 0 となる。

$$\lim_{r_D \rightarrow \infty} \bar{h}_D = 0 \quad (6-21)$$

したがって、この場合の一般解は次のようになる。

$$\bar{h}_D = C(p)r_D^\nu K_\nu(\sqrt{p}r_D) \quad (6-22)$$

上式の注入孔の壁面における導関数は次のように書ける。

$$\frac{\partial \bar{h}_D}{\partial r_D} = -C(p)r_D^\nu \sqrt{p} K_{\nu-1}(\sqrt{p}r_D) \quad (6-23)$$

また、(6-22)、(6-23)式を(6-14)式に代入すると次のようになる。

$$\bar{H}_D = C(p) \left(K_\nu(\sqrt{p}) + S_N \sqrt{p} K_{\nu-1}(\sqrt{p}) \right) \quad (6-24)$$

この式より $C(p)$ が決定される。

また、(6-22)、(6-23)式及び(6-14)式から得られた $C(p)$ を代入することにより、(6-15)式は次のようになる。

$$\bar{Q}_D = \bar{H}_D \left\{ \beta p + \gamma \frac{\sqrt{p} K_{\nu-1}(\sqrt{p})}{K_\nu(\sqrt{p}) + S_N \sqrt{p} K_{\nu-1}(\sqrt{p})} \right\} \quad (6-25)$$

上式に境界条件、(6-19)式を適用することにより、無次元注入流量は次のようになる。

$$\bar{Q}_D = \frac{1}{p} \left\{ \beta p + \gamma \frac{\sqrt{p} K_{\nu-1}(\sqrt{p})}{K_\nu(\sqrt{p}) + S_N \sqrt{p} K_{\nu-1}(\sqrt{p})} \right\} \quad (6-26)$$

数値ラプラス逆変換を用いることにより、任意の次元における Q_D が得られる。この場合の結果の確認は定常状態の流量と比較することにより行う。定圧試験における定常注入流量は 2 次元以上の場合、次式のようになる。

$$H_{t \rightarrow \infty} = \frac{-Q_{t \rightarrow \infty} \Gamma(1-\nu) r_w^{2\nu} (1-2\nu S_f)}{4\pi^{1-\nu} K_f b^{3-n} \nu} \quad (6-27)$$

α_n 、 Q_D 、 γ を用いることにより、上式は次のように書き換えられる。

$$Q_D = \frac{2\gamma v}{1 - 2vS_f} \quad (6-28)$$

t_D の値が大きい時に(6-26)式から得られる Q_D の値と比較した結果、数値ラプラス逆変換が正しく行われたことが分かる。

(6-24)式の $C(p)$ を(6-22)式に代入し、(6-19)式の境界条件を適用すると、無次元水頭は次のように得られる。

$$\bar{h}_D = \frac{r_D^{\nu} K_v(\sqrt{p} r_D)}{p \left\{ K_v(\sqrt{p}) + S_N \sqrt{p} K_{v-1}(\sqrt{p}) \right\}} \quad (6-29)$$

定圧試験における観測孔の水頭変化はこの式を用いて評価出来る。

(3) 定流量試験のタイプカーブ

定流量試験の場合、無次元量は次のように通常の井戸問題で用いられるものとなる。

$$h_D = \frac{K b^{3-n} \alpha_n r_w^{n-1}}{Q_0 r_w} (h_i - h) \quad (6-30)$$

$$H_D = \frac{K b^{3-n} \alpha_n r_w^{n-1}}{Q_0 r_w} (H_i - H) \quad (6-31)$$

$$Q_D = \frac{Q}{Q_0} \quad (6-32)$$

初期水頭は0であると通常は仮定する。すなわち $h_i=0$ 、 $H_i=0$ である。また、式(6-30)、(6-31)より、無次元量 h_D 、 H_D は、周囲の岩盤及び注入点の水頭変化を表すことが分かる。

(6-30)、(6-31)式を(6-2)、(6-3)式に代入することにより、(6-16)、(6-17)式と同様の式が得られる。(6-4)式より、次式が得られる。

$$\eta \frac{\partial H_D}{\partial r_D} = -Q_D + \frac{\partial h_D}{\partial r_D} \Big|_{r_D=1} \quad (6-33)$$

ここで、 $\eta = \pi r_w / S_N b^{3-n} \alpha_n r_w^{n-1}$ である。(6-23)、(6-24)、(6-25)式はそのままである。これらの式を(6-33)式の導関数に代入することにより、注入点の無次元水頭が得られる。

$$\bar{H}_D = -\frac{Q_D}{\eta p} \left(\eta p + \frac{\sqrt{p} K_{v-1}(\sqrt{p})}{K_v(\sqrt{p}) + S_N \sqrt{p} K_{v-1}(\sqrt{p})} \right)^{-1} \quad (6-34)$$

定流量試験の際の境界条件の(6-7)式を適用することにより、最終的に次式が得られる。

$$\bar{H}_D = -\frac{1}{p} \left(\eta p + \frac{\sqrt{p} K_{v-1}(\sqrt{p})}{K_v(\sqrt{p}) + S_N \sqrt{p} K_{v-1}(\sqrt{p})} \right)^{-1} \quad (6-35)$$

したがって、上式を数値ラプラス逆変換することにより、定流量試験のタイプカーブが求められる。

6.3.3 定圧試験、定流量試験のタイプカーブ

(1) 定圧試験

図6-11に定圧試験のタイプカーブを示す。横軸は T_D 、縦軸は Q_D である。また、 $\beta = 5.28 \times 10^6$ 、 $\gamma = 132$ である。ここではスキン効果を表すパラメータ S_f は0としている。このカーブは β の値による影響は少なく、 γ の値により上下に移動する。このカーブを定圧試験結果に適用するために、最初に初期水頭 H_0 と注入孔の半径 r_w から γ の値を決めておく。各次元のタイプカーブは γ の関数として求められ、観測結果をフィッティングすることにより、次元が算定される。そして、得られた次元の値及びマッチングポイントの値から透水係数 K_f が式(6-12)から計算される。比貯留係数 S_f は、 K_f 、 t_D 、 t 、 r_w の値を用い式(6-10)から計算できる。

(2) 定流量試験

図6-12に定流量試験のタイプカーブを示す。横軸は T_D 、縦軸は H_D である。また、 η は100である。このカーブは η の値に依存している。したがって、フィッティングは η の異なる幾つかのタイプカーブを用いて行う必要がある。このプロセスはコンピュータにプログラミングしており、自動で行なっている。透水係数、比貯留係数の求め方は、定圧試験の場合と同様である。

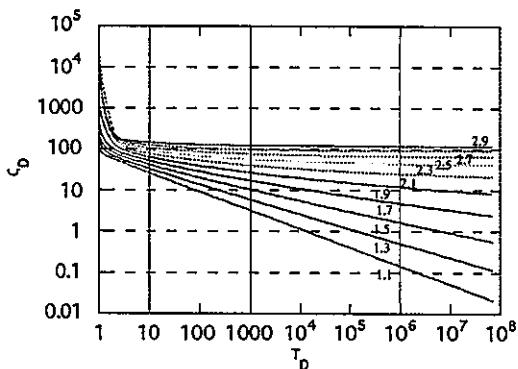


図6-11 定圧試験のタイプカーブ

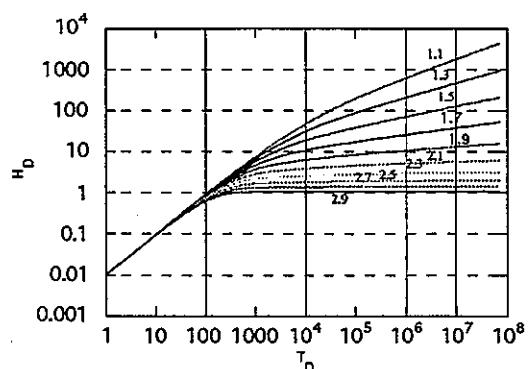


図6-12 定流量試験のタイプカーブ

6.3.4 釜石原位置試験結果への適用

(1) 単一孔試験

上記手法を釜石試験結果に適用した結果を表6-2、6-3に示す。表6-2が定圧試験の結果、表6-3が定流量試験の結果である。定流量試験においては、注入圧の増加傾向がタイプカーブの傾向と異なっているものがあったため、フィッティングが困難であった。そこで、ここではフィッティングできたものの結果を示す。しかし、同定できたものは、定圧試験と良く似た傾向を示した。したがって、定圧試験の結果を用いて、物性値の考察を行なった。

注入圧3kg/cm²で実施された定圧試験で得られた透水係数の幾何平均は 2.5×10^{-9} m/sで、 $\ln(K)$ の標準偏差は3.1である。透水係数は図6-13に示すように、対数正規分布であると仮定できる。また、次元の平均は2.2、標準偏差は0.46で、図6-14に示すように正規分布であると仮定できる。

図6-15は、注入点間の距離 x を関数として透水係数の相関係数を求めたものである。これを指数関数 $\eta e^{-\eta x}$ でフィッティングした。その際、係数 η は1以下となる必要がある。すなわちnugget effectがゼロである。この結果、相関長は1.54m、 η は0.0182となった。また、 $\eta=1$ とした場合は、相関長は0.624mとなった。どちらにしろ、相関長は小さな値となった。同様に、次元の相関係数を求めたものを図6-16に示す。透水係数の場合と同様に $\eta=1$ とした場合、相関長は0.57mとなった。これも小さな値である。これは、物性値や流れの様相が短い距離の間で変化していることを表している。すなわち、不均一性や異方性が非常に高いことが推察される。

定圧試験では、区間KBH2;3、KBH4;2、KBH6;3において注入圧を段階的に上昇している。各注入段階におけるフィッティング結果を表6-4に示す。図6-17、6-18、6-19は注入圧と、透水係数及び次元の関係である。これらの図から、注入圧の増加に伴い、透水係数は増加し、あるピーク値を持つ結果となってい

ることが分かる。さらに次元は注入圧の増加に伴い大きくなっていることが分かる。次元が大きい場合、注入流量が同じであれば透水係数は小さく得られる。すなわち、透水係数の値にピーク値があるのは、次元が増加していることと関係があるものと思われる。これらの結果は、力学問題とカップリングした地下水解析のモデルを考える際に有益な知見となると考えられる。

表6-2 定圧試験の結果

ケース	次元	K_f (m/s)	S_f (1/m)	K_f/S_f (m ² /s)
KBH2;1	1.3	1.17×10^{-9}	1.25×10^{-6}	9.36×10^{-4}
KBH2;3	2.6	1.18×10^{-5}	3.75×10^{-4}	3.15×10^{-2}
KBH2;5	2.1	8.85×10^{-11}	6.78×10^{-7}	1.31×10^{-4}
KBH2;7	2.1	1.83×10^{-9}	4.06×10^{-6}	4.51×10^{-4}
KBH4;1	2.1	3.67×10^{-10}	2.81×10^{-6}	1.31×10^{-4}
KBH4;2	2.1	1.76×10^{-7}	6.50×10^{-4}	2.71×10^{-4}
KBH4;3	2.9	6.22×10^{-10}	1.29×10^{-5}	4.82×10^{-5}
KBH4;4	2.3	1.95×10^{-9}	1.24×10^{-6}	1.57×10^{-4}
KBH4;5	2.1	4.05×10^{-10}	2.10×10^0	1.93×10^{-10}
KBH4;6	2.1	2.80×10^{-10}	1.34×10^{-6}	2.09×10^{-4}
KBH6;1	1.1	2.12×10^{-10}	7.82×10^{-7}	2.71×10^{-4}
KBH6;2	2.1	8.04×10^{-10}	5.94×10^{-6}	1.35×10^{-4}
KBH6;3	2.9	2.50×10^{-6}	3.88×10^{-2}	6.44×10^{-5}
KBH6;4	2.6	6.77×10^{-11}	2.18×10^{-6}	3.11×10^{-5}
KBH7;1	2.9	4.29×10^{-7}	3.17×10^{-3}	1.35×10^{-4}
KBH7;2	2.1	1.65×10^{-6}	2.70×10^{-14}	6.11×10^7
KBH7;3	2.6	3.77×10^{-10}	1.27×10^{-4}	2.97×10^{-6}
KBH7;4	2.1	3.64×10^{-10}	2.25×10^{-5}	1.62×10^{-5}
KBH7;5	2.9	4.34×10^{-8}	1.27×10^{-4}	3.42×10^{-4}
KBH7;6	2.1	2.13×10^{-10}	1.70×10^{-5}	1.25×10^{-5}

表6-3 定流量試験の結果

ケース	次元	K_f (m/s)	S_f (1/m)	K_f/S_f (m ² /s)
KBH2;1	1.1	2.76×10^{-8}	3.81×10^{-6}	7.24×10^{-3}
KBH2;3	2.2	6.78×10^{-5}	4.36×10^{-2}	1.56×10^{-3}
KBH2;7	1.8	4.03×10^{-9}	1.47×10^{-5}	2.74×10^{-4}
KBH4;2	1.9	6.22×10^{-7}	8.57×10^{-4}	7.26×10^{-4}
KBH4;4	1.4	5.87×10^{-10}	8.62×10^{-5}	6.81×10^{-6}
KBH6;2	1.7	1.40×10^{-9}	1.79×10^{-4}	7.82×10^{-6}
KBH6;3	1.2	1.44×10^{-6}	3.96×10^{-4}	3.64×10^{-3}
KBH7;2	2.6	5.56×10^{-7}	1.28×10^{-4}	4.34×10^{-3}
KBH7;3	1.8	1.70×10^{-6}	3.53×10^{-3}	4.82×10^{-4}
KBH7;5	1.8	2.26×10^{-8}	7.83×10^{-6}	2.89×10^{-3}

表6-4 定圧試験(段階注入圧力試験)の結果

ケース	注入圧 (kgf/cm ²)	次元	K_f (m/s)	S_f (1/m)	K_f/S_f (m ² /s)
KBH2;3	1	2.1	1.26×10^{-6}	7.25×10^{-3}	1.74×10^{-4}
	2	2.4	1.35×10^{-5}	1.55×10^{-1}	8.71×10^{-6}
	3	2.6	1.18×10^{-5}	3.75×10^{-4}	3.15×10^{-2}
KBH4;2	1	1.4	1.36×10^{-7}	5.52×10^{-4}	2.46×10^{-4}
	2	2.5	4.29×10^{-6}	7.76×10^{-1}	5.53×10^{-6}
	3	2.3	4.46×10^{-7}	2.03×10^{-9}	2.20×10^2
KBH6;3	1	1.6	3.63×10^{-7}	1.01×10^{-3}	3.59×10^{-4}
	2	2.7	3.53×10^{-6}	2.52×10^{-1}	1.40×10^{-5}
	3	2.5	1.35×10^{-5}	2.98×10^{-1}	4.53×10^{-5}
	4	2.7	1.75×10^{-6}	9.14×10^{-7}	1.91×10^0

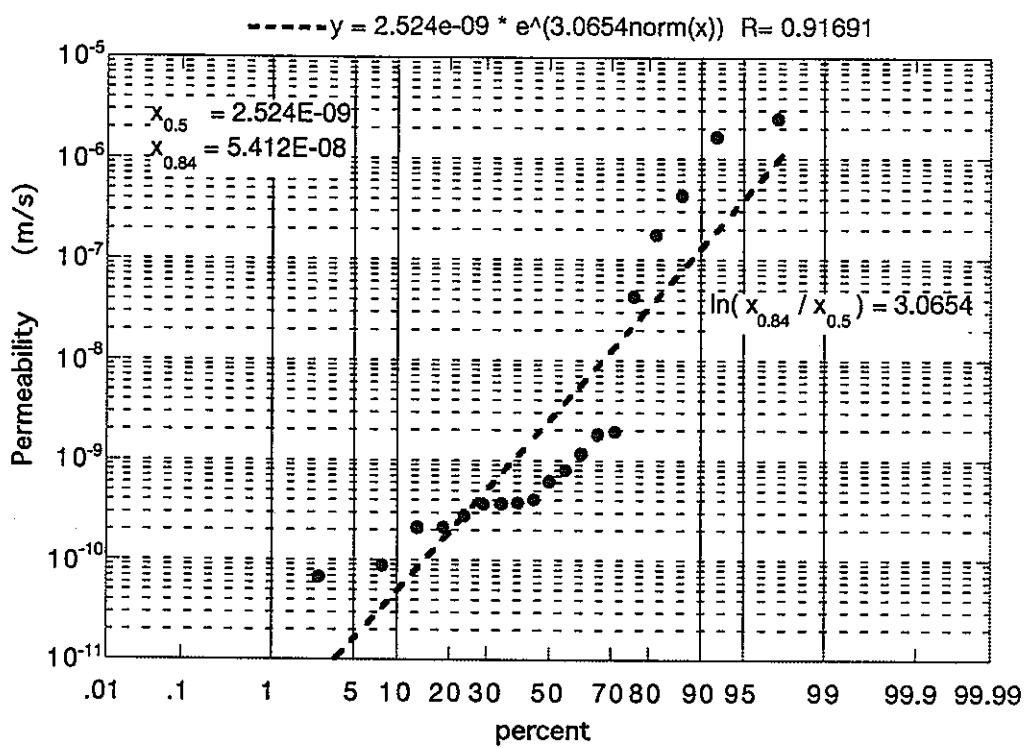


図6-13 透水係数の分布

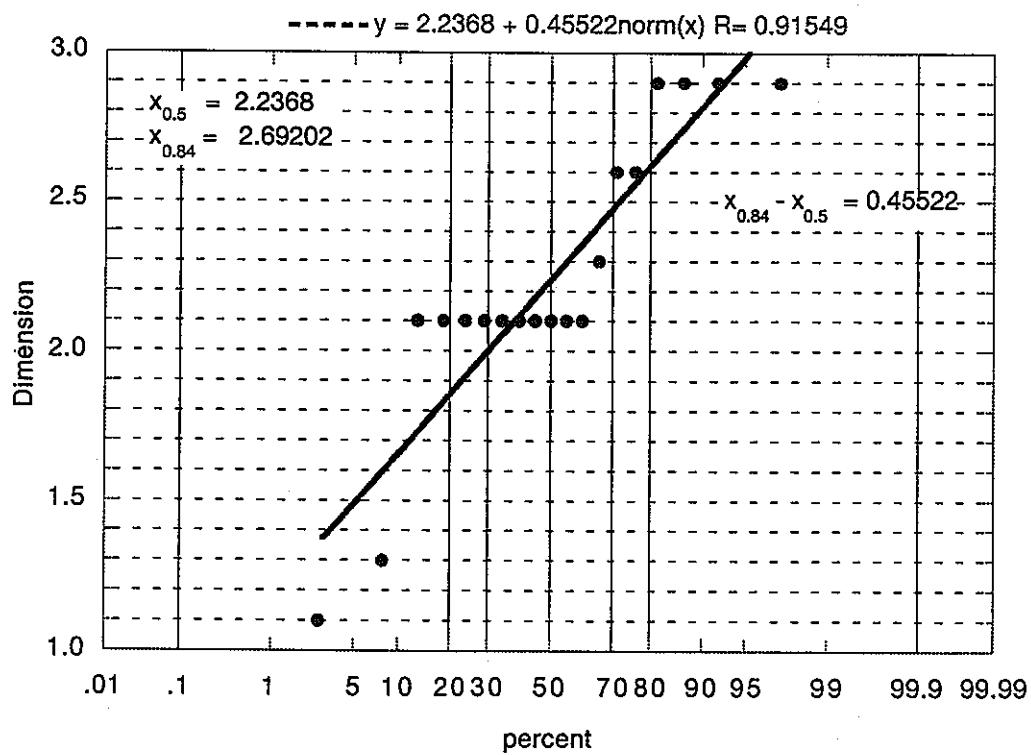


図6-14 次元の分布

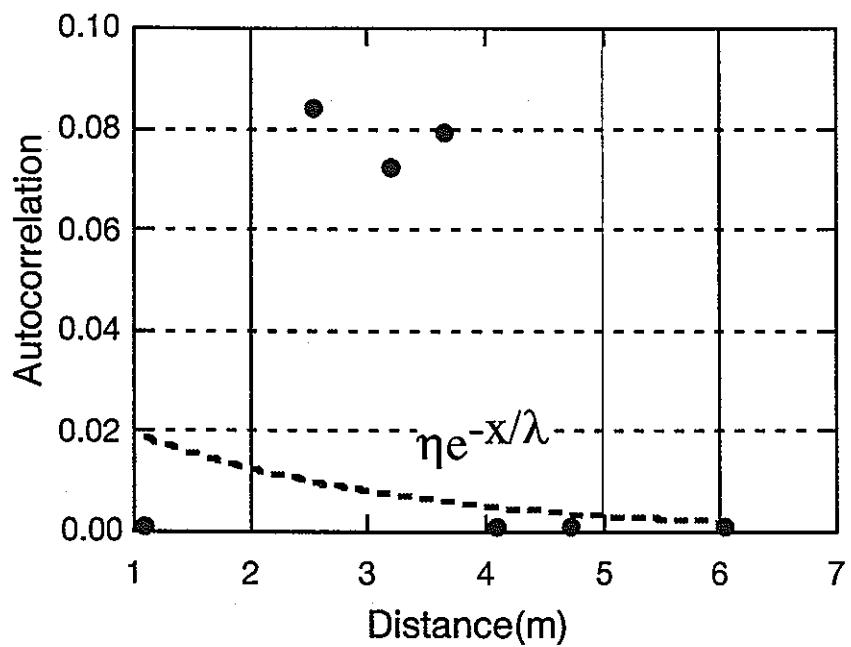


図6-15 距離の関数としての相関係数（透水係数）

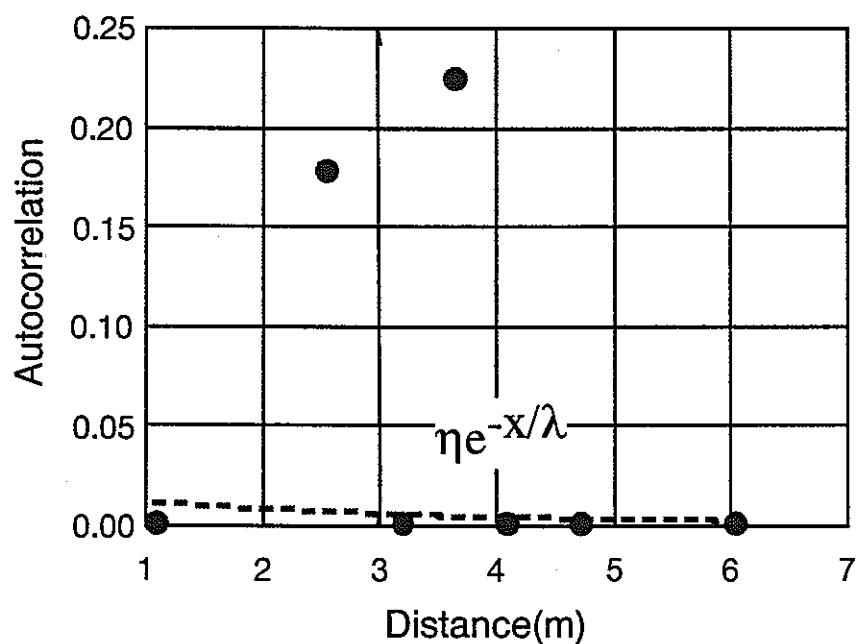
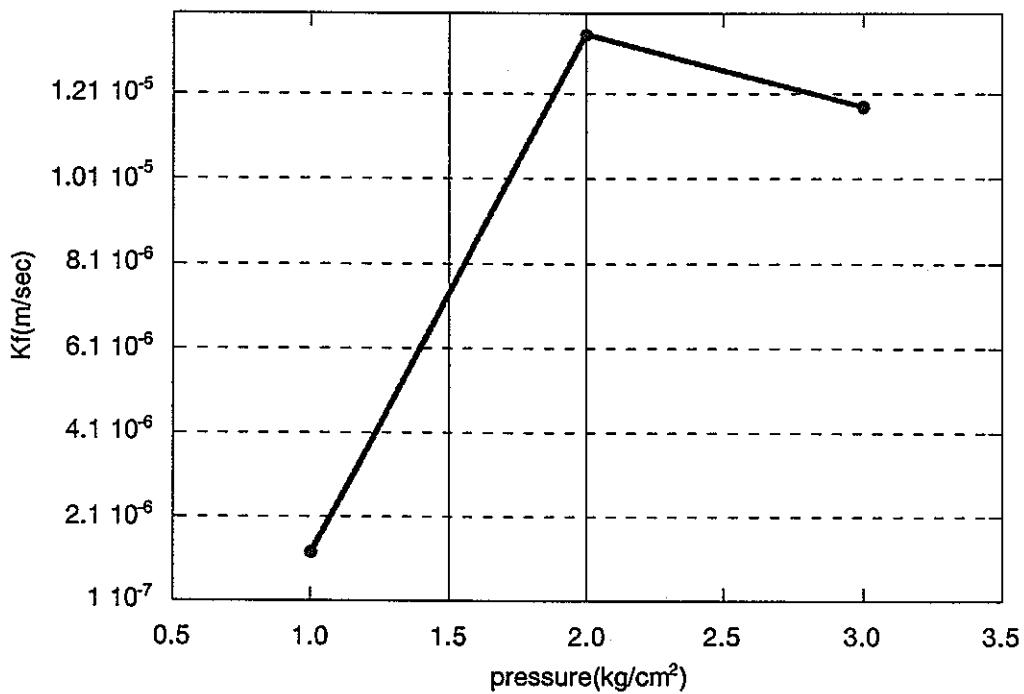
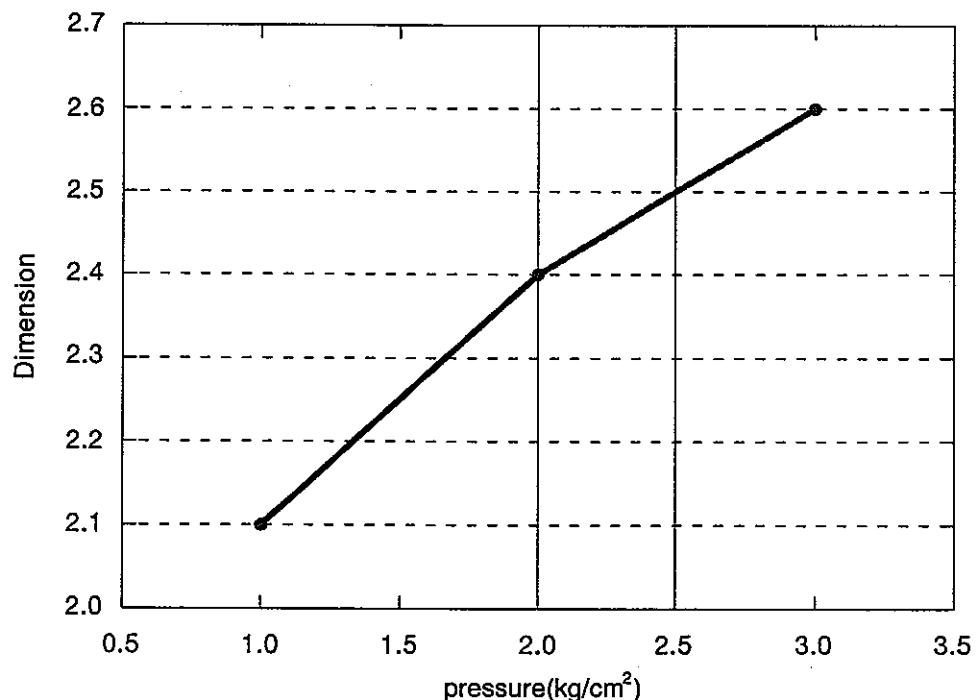


図6-16 距離の関数としての相関係数（次元）

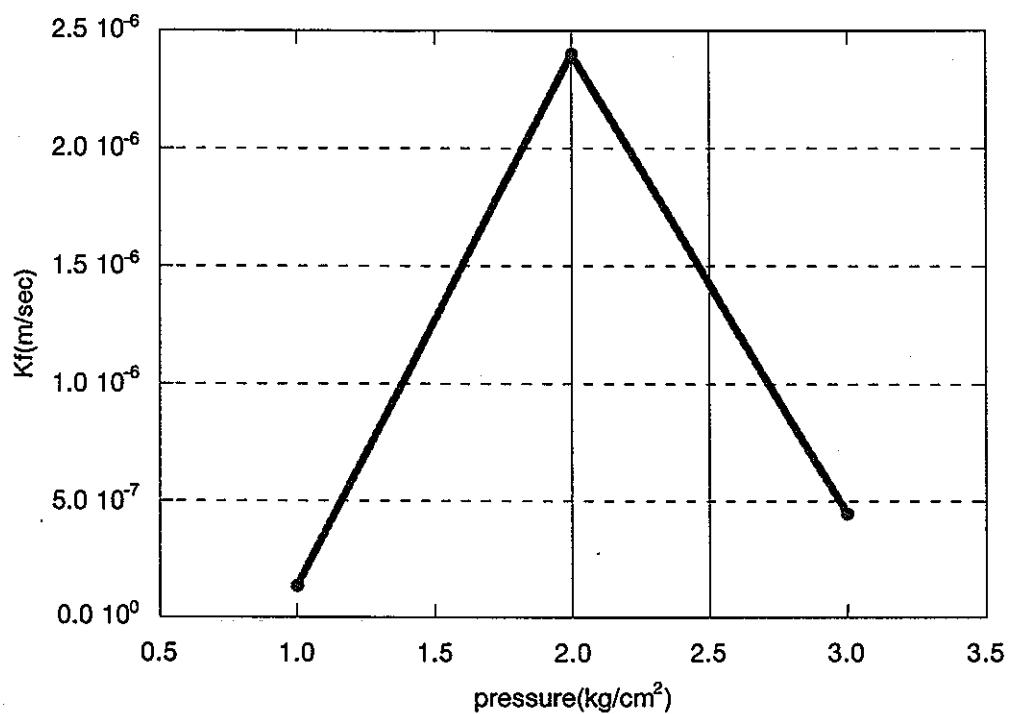


(a) 透水係数と注入圧の関係

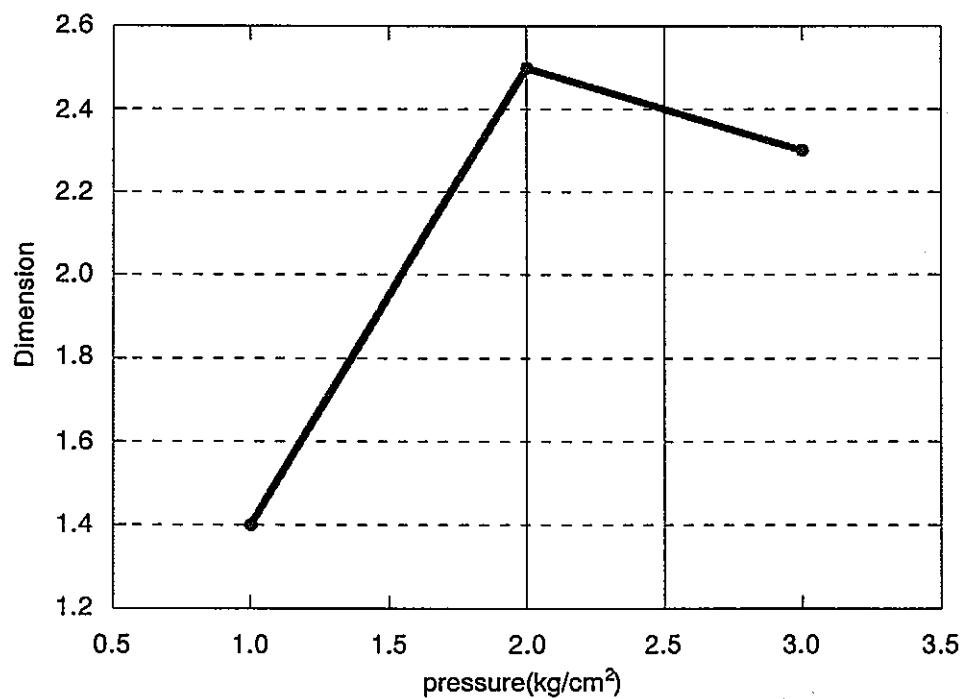


(b) 次元と注入圧の関係

図6-17 透水係数、次元の注入圧との関係 KBH2;3(3-4m)

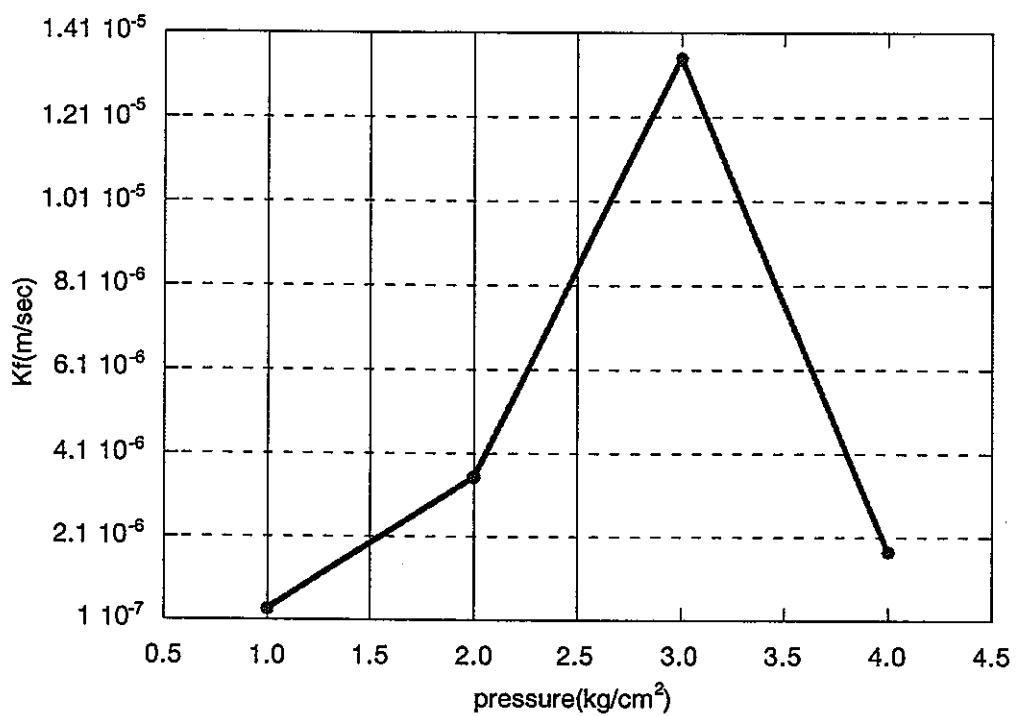


(a) 透水係数と注入圧の関係

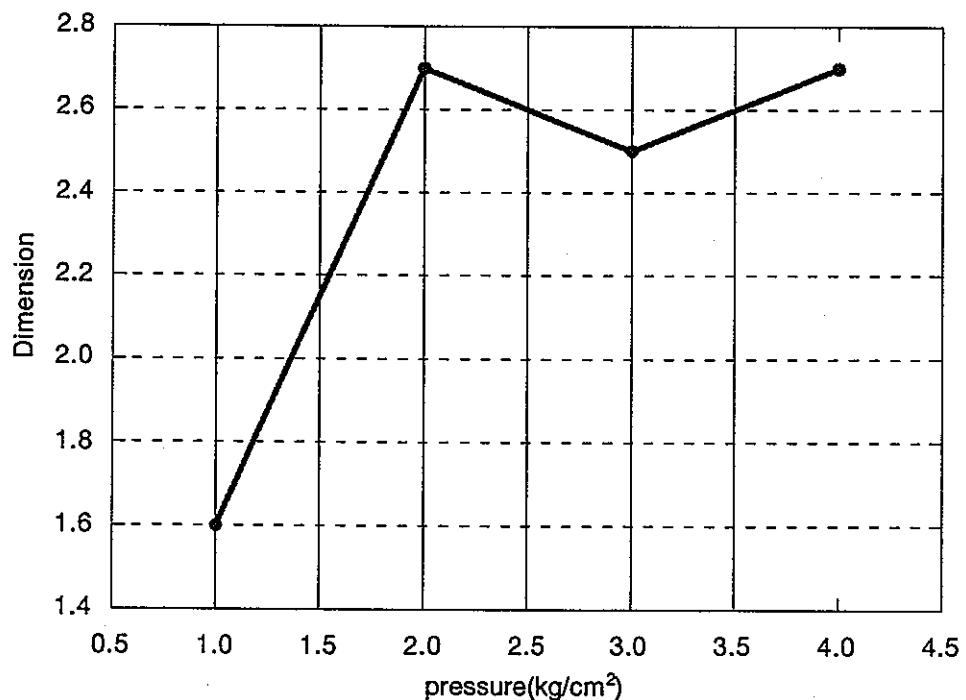


(b) 次元と注入圧の関係

図6-18 透水係数、次元の注入圧との関係 KBH4;2(2-3m)



(a) 透水係数と注入圧の関係



(b) 次元と注入圧の関係

図6-19 透水係数、次元の注入圧との関係 KBH6;3(3-4m)

(2) 孔間試験

KBH2、4、6、7で定圧試験、定流量試験を実施している間、KBH1、3、5を用いて圧力応答が観察された。そして、定圧試験を実施している時に、観測孔において明瞭な圧力応答が観測された。この結果を孔間試験として評価することが出来る。結果を表6-5に示す。7区間において圧力応答が観測された。図6-20に、圧力応答が観測された際の、注入区間と応答観測区間の透水係数の比較を示す。この図より、観測区間の方が透水係数が大きく得られていることが分かる。図6-21に同様に次元について比較した結果を示す。次元については、明瞭な関係は得られていない。観測区間の結果は2つの試錐孔間のフローパスから得たものであるが、注入区間の結果はもっと多くの流路の影響を受けている。次元はこのような領域の平均的な流れの様相を表していると推察される。次元は注入区間と観測区間に明瞭な関係が得られなかつことより、水みちというものは流水領域の体積の影響を受けないものと考えられる。一方、透水係数は流水領域の体積の影響を受けているものと考えられる。

表6-5 孔間試験結果

注入区間		KBH2;3	KBH4;2		KBH6;3	KBH7;3		
観測区間		KBH1-1	KBH1-4	KBH5-5	KBH5-1	KBH1-3	KBH1-4	KBH1-5
距離 (m)		2.172	4.383	6.056	2.242	1.642	2.932	4.486
単位 ベクトル	X	-0.0548	-0.3482	-0.4919	0.2252	0.2259	0.1265	0.0827
	Y	0.2192	-0.4280	-0.0761	-0.1708	-0.8642	-0.4840	-0.3163
	Z	0.9742	-0.8339	-0.8339	0.9594	-0.4501	-0.8660	-0.9449
<i>b</i> (m)		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<i>Qo</i> (m ³ /s)		0.18	0.042	0.042	0.15	0.09	0.09	0.09
次元		2.9	2.1	2.9	2.6	1.1	1.4	1.1
<i>K_f</i> (m/s)		6.98×10^{-5}	1.19×10^{-5}	1.11×10^{-5}	6.53×10^{-6}	4.58×10^{-4}	1.80×10^{-4}	4.12×10^{-5}
<i>S_f</i> (1/m)		1.07×10^{-3}	2.94×10^{-3}	6.07×10^{-4}	1.50×10^{-3}	1.06×10^{-2}	3.12×10^{-2}	1.51×10^{-2}

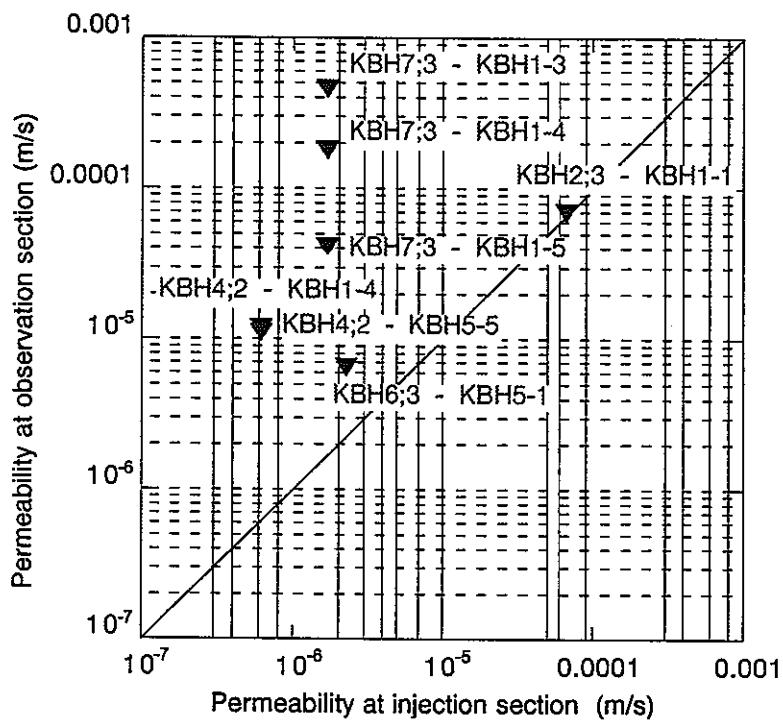


図6-20 注入区間と観測区間の透水係数の比較

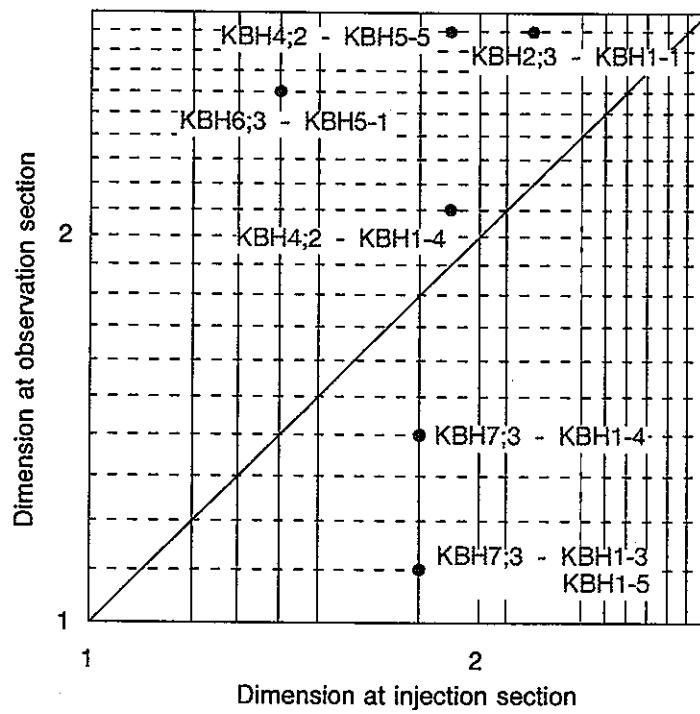


図6-21 注入区間と観測区間の次元の比較

6.4 透水テンソルの算定

6.4.1 理論曲線の作成

Hsiehらが提案した手法は、孔間透水試験領域の地盤を三次元均質異方性媒体（多孔質体）に近似することを目的とする手法で、近似可能な場合は透水テンソルと比貯留係数が算定できる。試験の特徴は、事前に透水テンソルの主軸を評価する必要がなく、任意の方向のボーリング孔を用いて試験が行なえることである。ただし、ボーリング孔の最低必要本数は、全て平行な場合は3本、平行でない場合は2本である。均質異方性媒体における支配方程式は以下の様になる。

$$\nabla \cdot \mathbf{K} \nabla h = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (6-36)$$

ここで、 h は水頭、 \mathbf{K} は透水テンソル、 S_s は比貯留係数、 t は時間である。 \mathbf{K} は対称行列で正値であると仮定する。また初期状態の水頭分布は一様、境界は無限であると仮定する。

$$h(\mathbf{x}, t) = h_o \quad ; \quad t = 0 \quad (6-37)$$

$$h(\mathbf{x}, t) = h_o \quad ; \quad |\mathbf{x}| \rightarrow \infty \quad (6-38)$$

理論解は、三次元の無限領域において任意の注入区間から注入を開始した後、観測区間における水頭増加量を与えるものである。理論解は注入区間と観測区間を点または有限長さの線と仮定するものでその組み合わせから表6-6の様な4ケースが誘導されている。

表6-6 理想化した試験区間の組み合わせ

	注入区間	観測区間
ケース 1	点とみなす	点とみなす
ケース 2	線とみなす	点とみなす
ケース 3	点とみなす	線とみなす
ケース 4	線とみなす	線とみなす

ケース 1 の場合の位置 \mathbf{x} 、時間 t における水頭増加量 Δh の理論解は次のようにになる。

$$\Delta h = \frac{Q}{4\pi G_{xx}^{1/2}} \operatorname{erfc} \left[\left(\frac{S_s G_{xx}}{4D} \right)^{1/2} t \right] \quad (6-39)$$

ここで、erfc()は補誤差関数、 \mathbf{x} は注入点を原点とした場合の観測点の位置ベクトルである。また D は透水係数テンソル \mathbf{K} の行列式、 G_{xx} は二次形式でありそれぞれ次式で表わされる。

$$D = K_{11}K_{22}K_{33} + 2K_{12}K_{23}K_{13} - K_{11}K_{23}^2 - K_{22}K_{13}^2 - K_{33}K_{12}^2 \quad (6-40)$$

$$G_{xx} = \mathbf{x}^T \mathbf{A} \mathbf{x} = x_i x_j A_{ij} \quad (6-41)$$

ここで、 T は転置を意味し、テンソル表示は総和規約に従う。 \mathbf{A} は透水係数テンソル \mathbf{K} の隨伴行列であり次式で表わされる。

$$A_{ii} = K_{jj} K_{kk} - K_{jk}^2 \quad (6-42)$$

$$A_{ij} = A_{ji} = K_{ik} K_{jk} - K_{ij} K_{kk} \quad (6-43)$$

上記の理論解の変数を無次元化し、無次元時間 t_D と無次元水頭増加量 Δh_{PD} の関係に変換すると次式が得られる。

$$\Delta h_{PD} = \operatorname{erfc} \left[\frac{1}{(4t_D)^{1/2}} \right] \quad (6-44)$$

ここで、無次元水頭増加量 Δh_{PD} と無次元時間 t_D は次式で与えられる。

$$\Delta h_{PD} = \frac{4\pi \Delta h G_{xx}^{1/2}}{Q} \quad (6-45)$$

$$t_D = \frac{Dt}{S_S G_{xx}} \quad (6-46)$$

等方性の媒体では、以下の様になる。

$$K_{12} = K_{23} = K_{13} = 0 \quad (6-47)$$

$$K_{11} = K_{22} = K_{33} = K \quad (6-48)$$

したがって、 D 、 \mathbf{K} 、 \mathbf{A} は単位行列を \mathbf{I} とすると以下の様になる。

$$D = K^3 \quad (6-49)$$

$$\mathbf{K} = K \mathbf{I} \quad (6-50)$$

$$\mathbf{A} = K^2 \mathbf{I} \quad (6-51)$$

また、 G_{xx} は次式の様になる。

$$G_{xx} = R^2 K^2 \quad (6-52)$$

以上より、(6-45)、(6-46)式は以下の様な形になる。

$$\Delta h_{PD} = \frac{4\pi R K \Delta h}{Q} \quad (6-53)$$

$$t_D = \frac{K t}{S_S R^2} \quad (6-54)$$

ここで、 R は注入点からの距離である。等方性の媒体での解は、注入点から点対称であるとみなされる。

ケース 2、3、4 の場合の解は以下の通りである。

(ケース 2)

注入区間の中心を原点とし、注入区間の方向ベクトルを

$$\mathbf{L}^T = (\ell_1, \ell_2, \ell_3) \quad (6-55)$$

とすると、無次元水頭増加量 Δh_{LD} は次式の様になる。

$$\Delta h_{LD} = \frac{1}{2} \int_{w=1/(4t_D)}^{w=\infty} \frac{1}{w} \exp \left[-\left(1 - \alpha_2^2\right) w \right] \cdot \left\{ \operatorname{erf} \left[w^{1/2} \left(\alpha_2 + 1/\alpha_1 \right) \right] - \operatorname{erf} \left[w^{1/2} \left(\alpha_2 - 1/\alpha_1 \right) \right] \right\} dw \quad (6-56)$$

$$\Delta h_{LD} = \frac{8\pi \Delta h G_{\ell\ell}^{1/2}}{Q} \quad (6-57)$$

ここで、 α_1 、 α_2 は \mathbf{x} 、 \mathbf{L} の単位ベクトルを \mathbf{e} 、 \mathbf{e}_ℓ とすると次式の様になる。

$$\alpha_1 = \left(\frac{2R}{L} \right) \left[\frac{\mathbf{e}^T \mathbf{A} \mathbf{e}}{\mathbf{e}_\ell^T \mathbf{A} \mathbf{e}_\ell} \right]^{1/2} \quad (6-58)$$

$$\alpha_2 = \left(\frac{\mathbf{e}^T \mathbf{A} \mathbf{e}_\ell}{\left[(\mathbf{e}^T \mathbf{A} \mathbf{e})(\mathbf{e}_\ell^T \mathbf{A} \mathbf{e}_\ell) \right]^{1/2}} \right) \quad (6-59)$$

(ケース 3)

観測区間の方向ベクトルを

$$\mathbf{b}^T = (b_1, b_2, b_3) \quad (6-60)$$

とすると、無次元水頭増加量 $\overline{\Delta h_{PD}}$ は次式の様になる。

$$\overline{\Delta h_{PD}} = \frac{\beta_1}{4} \int_{w=1/(4t_D)}^{w=\infty} \frac{1}{w} \exp \left[-\left(1 - \beta_2^2\right) w \right] \cdot \left\{ \operatorname{erf} \left[w^{1/2} (\beta_2 + 1/\beta_1) \right] - \operatorname{erf} \left[w^{1/2} (\beta_2 - 1/\beta_1) \right] \right\} dw \quad (6-61)$$

$$\overline{\Delta h_{PD}} = \frac{4\pi \overline{\Delta h} G_{xx}^{1/2}}{Q} \quad (6-62)$$

ここで、 β_1 、 β_2 は**x**、**b**の単位ベクトルを**e**、**e_b**とすると次式の様になる。

$$\beta_1 = \left(\frac{2R}{B} \right) \left[\frac{\mathbf{e}^T \mathbf{A} \mathbf{e}}{\mathbf{e}_b^T \mathbf{A} \mathbf{e}_b} \right]^{1/2} \quad (6-63)$$

$$\beta_2 = \left(\frac{\mathbf{e}^T \mathbf{A} \mathbf{e}_b}{\left[(\mathbf{e}^T \mathbf{A} \mathbf{e})(\mathbf{e}_b^T \mathbf{A} \mathbf{e}_b) \right]^{1/2}} \right) \quad (6-64)$$

(ケース4)

(6-44)、(6-56)、(6-61)、(6-65)式より各ケースにおける無次元水位増加量と無次元時間の関係が得られる。

また、各式において α_1 はRとL/2の比、 α_2 は**x**と**L**との間の角度、 β_1 は**x**と**b**の大きさの比、 β_2 は**x**と**b**との間の角度の関係を表わすパラメータである。理論曲線はパラメータ α_1 、 β_1 が大きくなるに従ってケース1の理論曲線に漸近しており、ほぼ $\alpha_1 \geq 5.0$ 、 $\beta_1 \geq 5.0$ となると各理論曲線はケース1の理論曲線と一致している。したがって、Hsiehらは $\alpha_1 \geq 5.0$ 、 $\beta_1 \geq 5.0$ となるような試験条件の場合、ケース1における理論解が適用できると提案している。

$$\begin{aligned} \overline{\Delta h_{LD}} &= \frac{1}{2} \int_{w=1/(4t_D)}^{w=\infty} \frac{1}{w} \exp \left[-\left(1 - \alpha_2^2\right) w \right] \\ &\cdot \int_{\lambda=-1}^{\lambda=1} \exp \left\{ -\left[(1 - c^2) \lambda^2 / \beta_1^2 + 2(\beta_2 - \alpha_2 c) \lambda / \beta_1 \right] w \right\} \\ &\cdot \left\{ \operatorname{erf} \left[w^{1/2} (\alpha_2 + 1/\alpha_1 + \lambda c/\beta_1) \right] - \operatorname{erf} \left[w^{1/2} (\alpha_2 - 1/\alpha_1 + \lambda c/\beta_1) \right] \right\} d\lambda dw \quad (6-65) \end{aligned}$$

$$\overline{\Delta h_{LD}} = \frac{8\pi \overline{\Delta h} G_{\ell\ell}^{1/2}}{Q} \quad (6-66)$$

$$c = \frac{G_{\ell b}}{(G_{\ell\ell} G_{bb})^{1/2}} \quad (6-67)$$

6.4.2 原位置への適用

\mathbf{q} 、 ∇h を比流量、水頭勾配とし、 \mathbf{n} を \mathbf{q} の方向の単位ベクトルとすると、 \mathbf{n} に平行な方向の透水係数 $K_d(\mathbf{n})$ は \mathbf{q} の大きさと $-\nabla h$ の \mathbf{n} 方向成分の比として定義され（図6-22参照）、次式の様になる。

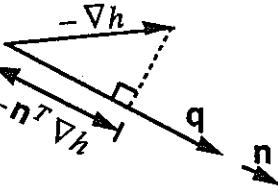


図6-22 \mathbf{q} と $-\nabla h$ の位置関係

$$K_d(\mathbf{n}) = -\frac{|\mathbf{q}|}{\mathbf{n}^T \nabla h} \quad (6-68)$$

また、一般的なダルシー則は次式で表わされる。

$$\mathbf{q} = -\mathbf{K} \nabla h \quad (6-69)$$

(6-69)式の両辺に $\mathbf{n}^T \mathbf{K}^{-1}$ を乗じ、 \mathbf{q} を $\mathbf{n} |\mathbf{q}|$ と置き換えると次式となる。

$$(\mathbf{n}^T \mathbf{K}^{-1} \mathbf{n}) |\mathbf{q}| = -\mathbf{n}^T \nabla h \quad (6-70)$$

(6-68)式と(6-70)式より、 $K_d(\mathbf{n})$ は次式の様になる。

$$K_d(\mathbf{n}) = \frac{1}{(\mathbf{n}^T \mathbf{K}^{-1} \mathbf{n})} \quad (6-71)$$

ケース1における理論解(6-39)式は、 \mathbf{A} が $D\mathbf{K}^{-1}$ と等しい時、 $K_d(\mathbf{n})$ で表わされる。(6-71)式から、二次形式 $(\mathbf{n}^T \mathbf{A} \mathbf{n})$ は次式の様になる。

$$(\mathbf{n}^T \mathbf{A} \mathbf{n}) = \frac{D}{K_d(\mathbf{n})} \quad (6-72)$$

したがって、 \mathbf{e} を注入点と観測点を結ぶ方向ベクトル、 R をその間の距離とすると、 G_{xx} は

$$G_{xx} = R^2 \cdot \frac{D}{K_d(\mathbf{e})} \quad (6-73)$$

と表わされ、その結果(6-39)式は次式の様になる。

$$\Delta h = \frac{Q K_d(\mathbf{e})^{1/2}}{4 \pi R D^{1/2}} \operatorname{erfc} \left[\left(\frac{R^2 S_S}{4 K_d(\mathbf{e}) t} \right)^{1/2} \right] \quad (6-74)$$

(6-39)式と同様に、(6-44)式の無次元時間 t_D と無次元水頭増加量 Δh_{PD} の関係に変換すると、無次元水頭増加量 Δh_{PD} と無次元時間 t_D は次式で与えられる。

$$\Delta h_{PD} = \frac{4\pi R \Delta h}{Q} \left[\frac{D}{K_d(\mathbf{e})} \right]^{1/2} \quad (6-75)$$

$$t_D = \frac{K_d(\mathbf{e}) t}{R^2 S_s} \quad (6-76)$$

(6-75)、(6-76)式はケース1の場合の解であるが、ケース2～4の場合でも $\alpha_1 \geq 5.0$ 、 $\beta_1 \geq 5.0$ となるような場合はこの理論解が適用できる。(6-58)、(6-63)式で定義されたパラメータ α_1 、 β_1 は方向透水係数を用いると次式の様になる。

$$\alpha_1 = \left(\frac{2R}{L} \right) \left[\frac{K_d(\mathbf{e}_a)}{K_d(\mathbf{e})} \right]^{1/2} \quad (6-77)$$

$$\beta_1 = \left(\frac{2R}{B} \right) \left[\frac{K_d(\mathbf{e}_b)}{K_d(\mathbf{e})} \right]^{1/2} \quad (6-78)$$

ここで、 \mathbf{e}_a は注入区間方向の単位ベクトル、 \mathbf{e}_b は観測区間方向の単位ベクトル、 \mathbf{e} は注入区間の中心と観測区間の中心とを結ぶ方向の単位ベクトルである。また $K_d(\mathbf{e}_a)$ 、 $K_d(\mathbf{e}_b)$ 、 $K_d(\mathbf{e})$ はそれぞれ \mathbf{e}_a 方向の透水係数、 \mathbf{e}_b 方向の透水係数、 \mathbf{e} 方向の透水係数である。

(6-77)、(6-78)式に用いる透水係数は本試験で求められるものであり、事前に上記の規準を満たしているか確認することはできない。したがって、事前情報から $K_d(\mathbf{e}_a)$ 、 $K_d(\mathbf{e}_b)$ 、 $K_d(\mathbf{e})$ を推定し、規準を満たすような L 、 B 、 R を設定し、試験を行なう。この結果得られた透水係数を用いて再度これらの条件が満たされていたかを確認する必要がある。

試験データのフィッティングは以下の手順で各方向の試験毎に行なう。

①観測結果を理論曲線と同サイズの両対数用紙に $\log - \log \Delta h$ の関係としてプロットする。

②両軸を平行に保ったまま理論曲線と重ね合わせる。もし、注入流量が一定ではなく、注入圧力が一定であるのならば、初期の Δh は理論曲線より上にくるのでこの値は無視する。

③任意のマッチングポイントを選び、 Δh_j^* 、 Δh_{PD}^* 、 t_j^* 、 t_D^* の値を読み取る。

④次式から $D/K_d(\mathbf{e}_j)$ 、 $K_d(\mathbf{e}_j)/S_s$ の値を算定する。

$$\frac{D}{K_d(\mathbf{e}_j)} = \left(\frac{Q_j \Delta h_{PD}^*}{4\pi R_j \Delta h_j^*} \right)^2 \quad (6-79)$$

$$\frac{K_d(\mathbf{e}_j)}{S_s} = \frac{R_j^2 t_D^*}{t_j^*} \quad (6-80)$$

⑤ $D/K_d(\mathbf{e}_j)$ 、 $K_d(\mathbf{e}_j)/S_s$ の値から D/S_s の値を計算する。

理論上は 6 個の観測結果で透水テンソルの 6 成分が決定される。(6-71)式における n を \mathbf{e}_j と置き換えると次式の様になる。

$$\mathbf{e}_j^T \mathbf{K}^{-1} \mathbf{e}_j = \frac{1}{K_d(\mathbf{e}_j)} \quad (6-81)$$

(6-81)式の両辺に S_s を乗じ、

$$\mathbf{U} = S_s \mathbf{K}^{-1} \quad (6-82)$$

と、 \mathbf{U} マトリックスを定義し、左辺を展開すると以下の様になる。

$$e_{j1}^2 U_{11} + e_{j2}^2 U_{22} + e_{j3}^2 U_{33} + 2e_{j1}e_{j2}U_{12} + 2e_{j2}e_{j3}U_{23} + 2e_{j1}e_{j3}U_{13} = \frac{S_s}{K_d(\mathbf{e}_j)} \quad (6-83)$$

ここで e_{ji} ($i=1,3$) は \mathbf{e}_j の各成分である。

(6-83)式の右辺は(6-80)式より既知であるので、6 個の異なる j の値で 6 個の未知数 (U_{11} 、 U_{22} 、 U_{33} 、 U_{12} 、 U_{23} 、 U_{13}) のある 6 個の線形代数方程式が得られる。したがってこの線形代数方程式を解くことによって、 \mathbf{U} マトリックスの各成分を算定することができる。

\mathbf{U} マトリックスが決定された後の手順は以下の通りである。

① \mathbf{U} マトリックスの逆行列を計算する。 $\mathbf{U}^{-1} = S_s^{-1} \mathbf{K}$

② \mathbf{U}^{-1} の行列式を計算する。 $|\mathbf{U}^{-1}| = |S_s^{-1} \mathbf{K}| = D/S_s^3$

③全試験結果から D/S_s の平均値 $\overline{D/S_s}$ を求める。

④次式から S_s を計算する。

$$S_s = \left[\frac{(D/S_s)}{(D/S_s^3)} \right]^{1/2} \quad (6-84)$$

⑤ \mathbf{U}^{-1} ($= S_s^{-1} \mathbf{K}$) に S_s を乗じ \mathbf{K} を得る。

以上の手順は、試験領域における $[K_d(\mathbf{e}_j)/S_s]^{1/2}$ の値が一様で、明確な 3 次元の橈円体が描ける場合のみ有用である。実際は、試験寸法で一様でないので、プロットされたデータを完全に橈円体に一致させることは不可能である。このような場合、 \mathbf{U} マトリックスが正值でない、すなわち、主値が負となり物理的に意味のある値が求められない場合がある。もし、媒体の不均質性がそんなに強くない場合は、6 パターン以上の孔間透水試験が実施され、最小二乗法で橈円体に $[K_d(\mathbf{e}_j)/S_s]^{1/2}$ の値がフィッティングされる。

以上の解析フローを図6-23に示す。

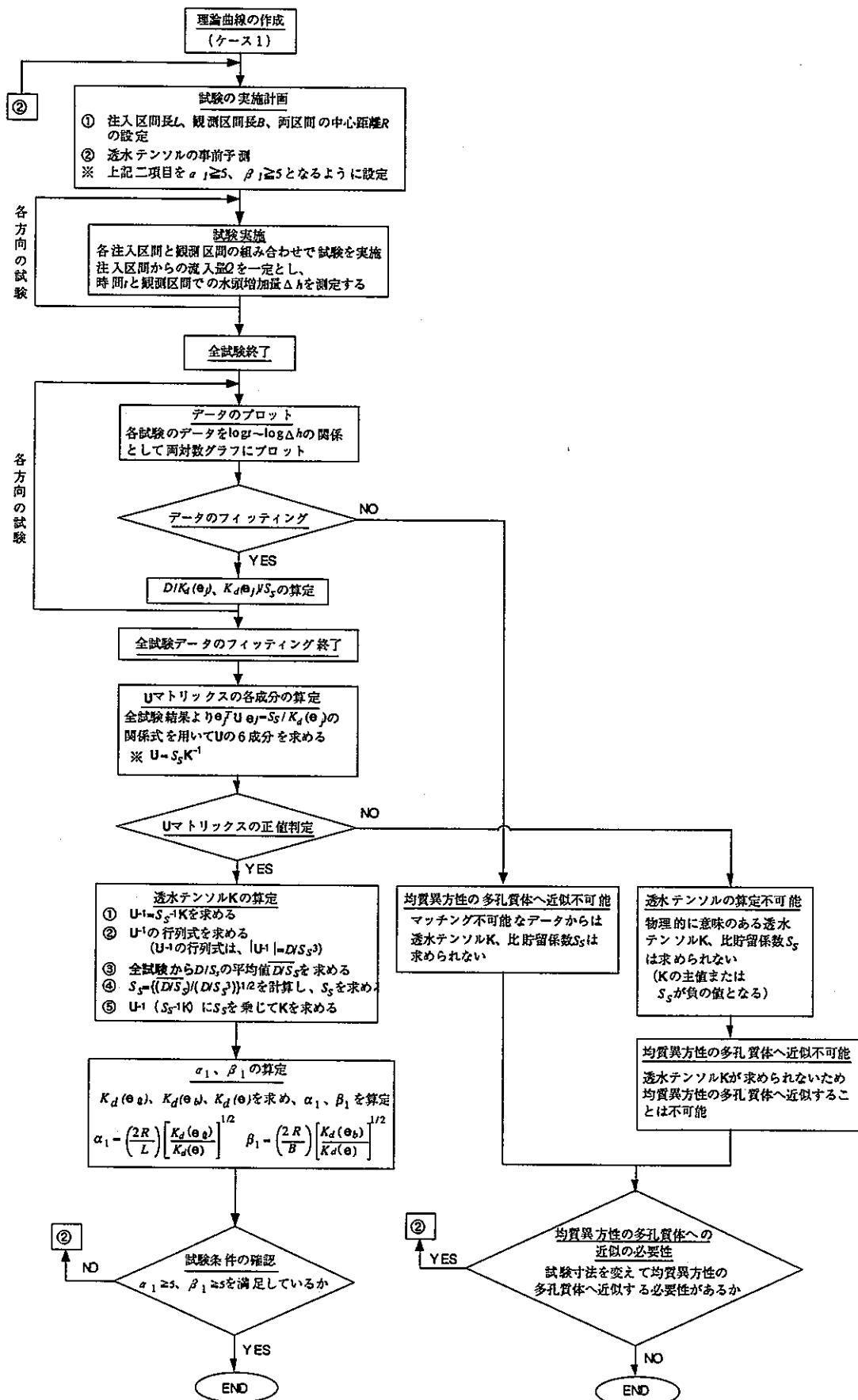


図6-23 解析フロー

6.4.3 篓石原位置試験への適用

篓石試験では表6-5に示すように、7測線において圧力応答が観測されている。これらのデータを用い、上述の手法に基づき透水テンソルの算定を行なった。表6-7には、計算された透水係数テンソルの主値を示す。また、表6-8には主値の方向を示す。主値の一つが負になっていることより、この領域（数m規模）における透水テンソルは求めることが出来ないことが分かる。この結果は、相関長が1mより小さいことからも推察される。

表6-7 透水テンソルの主値

Permeability (m/s)		
K1	K2	K3
0.00947132	-0.082434	0.0838627

表6-8 主値の方向

	Direction of the principal values		
	X	Y	Z
K1	0.942128	0.072194	-0.327389
K2	-0.208547	-0.638400	-0.740914
K3	0.262495	-0.766312	0.586398

6.5 まとめ

透水試験の結果より、連成試験サイトの透水性は全体としては低いことが分かる。しかし、そこには、幾つかの高透水性の亀裂が存在している。したがって、6.4節の結果から分かるように全体を一つの透水テンソルを用いて表現することは不可能であり、不均一な連続体のモデルを用いるか、不連続なモデルを用いるかしないと、この場の水理特性は表現できないものと考えられる。

7. 試験ピット掘削

7.1 はじめに

今回掘削した試験ピットの寸法は、直径1.7m、深さ5mである（図7-1）。掘削時に周辺岩盤および亀裂への影響を最小限に抑えるため、ショットボーリング法を用いて処分ピットを掘削した。

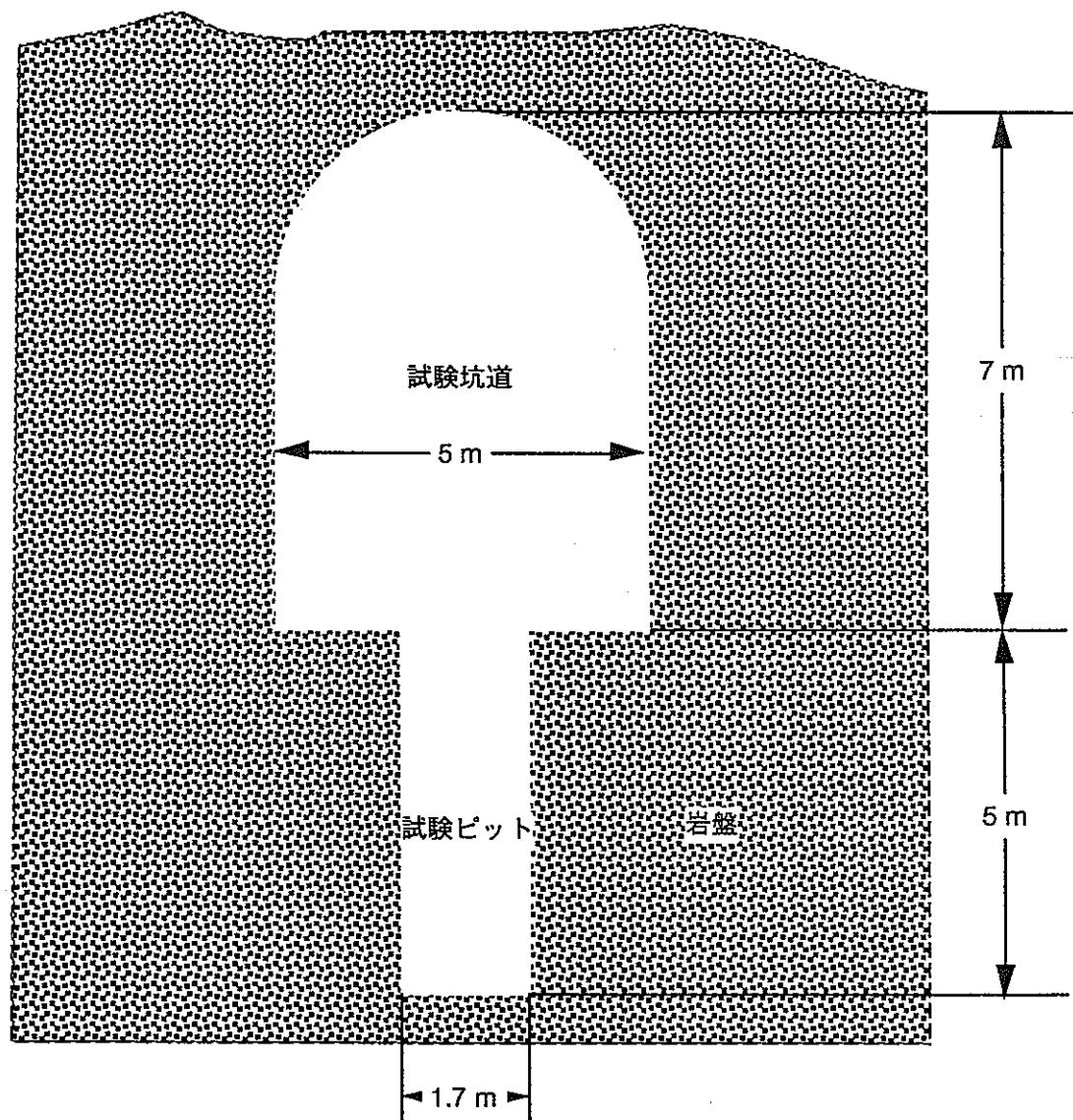


図7-1 試験坑道と試験ピット掘削概念図

7.2 準備

7.2.1 資機材の搬入・搬出及び付帯設備の設置

掘削機械の搬入・搬出の際に制限があったので、今後、同様の作業を実施する際の一助とするためにそれらの制限を記しておく。制限は、坑口付近、試験場までのアクセス坑道（550mレベル坑道）と台車に関するものである。

- ① トラック（11t）、クレーン車（15t～20t）が坑口付近まで入れる
- ② 資機材の搬入搬出は、550mレベル坑道より行う
- ③ 搬入（出）の際の限界寸法は幅1.60m、高さ1.80m（レベルより台車の高さを含む）
- ④ 長さは台車長を2.50mとした場合、分解最大機械長が4.10mまで積載可能

また、こうした制限を踏まえて資機材の搬入・搬出及び付帯設備の設置を実施した。

(1) 搬入順路

550mレベル坑道坑口より約3,900m入った地点で仮置きし、そこから直角に約15m～20m奥の削坑ボイントまで搬入した。尚、仮置き地点まで資機材の乗せ替えは不要であった。

(2) 搬入台車

搬入のための台車の仕様は幅140cm、長さ250cm、最大積載重量5t、高さ制限180cmであった。削坑機（J-1型）の分解後の単体は図7-2及び図7-3の様で、これを台車に積載すると図7-4の様になる。

(3) アンカー（ロック）ボルトの設置（図7-5参照）

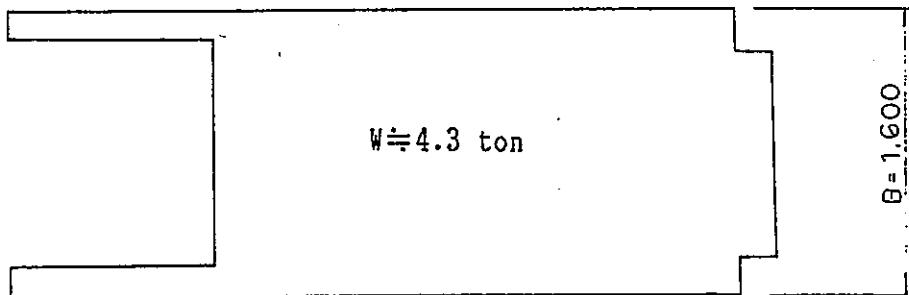
試験ピットの削孔地点に機械を移動又はセットするため、坑道天端にアンカーボルトを打設した。アンカーボルトは機械重量を考慮に入れ、一ヶ所当たり耐荷重7t及び12t以上のものが必要であった。

7.2.2 機械据付け

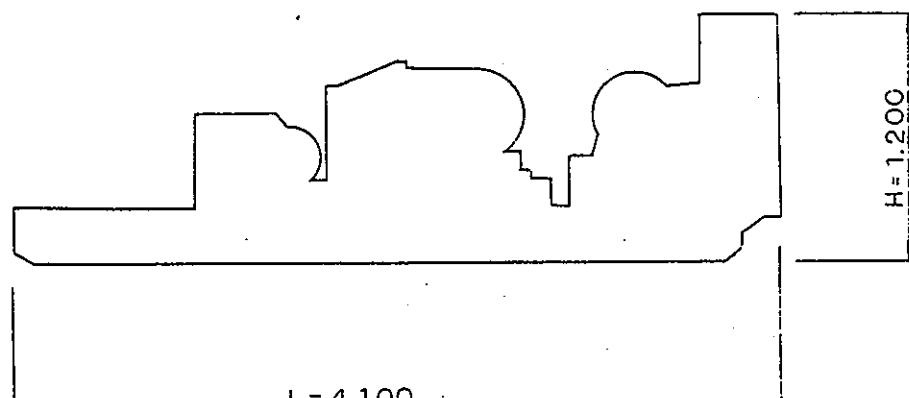
削孔機の構造上及び現場状況から直径170cm、深さ500cmの鋼管（コアーチューブ）をそのまま使用することが不可能なことから、高さ100cmのコアチューブに回転軸を継ぎ足しながら削孔した。そのため、G.L+1.0m以上の足場台上に機械をセットする必要があった（図7-6～図7-8）。足場台は鋼材（主にH鋼）を使用し、機械重量（7.5t）及び削孔時の衝撃に耐えられるものを組み立てた。機械据付、足場組立に際し吊り装置としてロックボルト、チェーンブロックを設置し使用した。

特に以下の項目について留意して作業を実施した。

- 1) 機械搬入及び据え付け時のケーブル養生
- 2) 据え付け時の足場と埋設センサー埋設孔口が重ならないこと

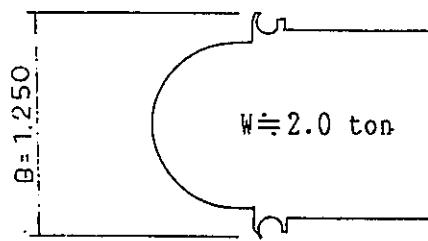


平面図

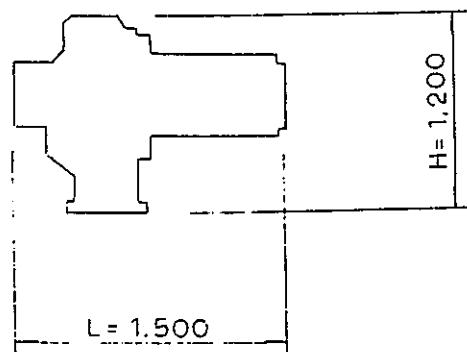


側面図

図7-2 削孔機器の分解図（本体部）



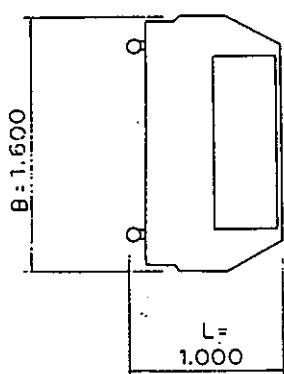
平面図



側面図

図7-3 (1) 削孔機器の分解図 (スイベルト)

平面図



側面図

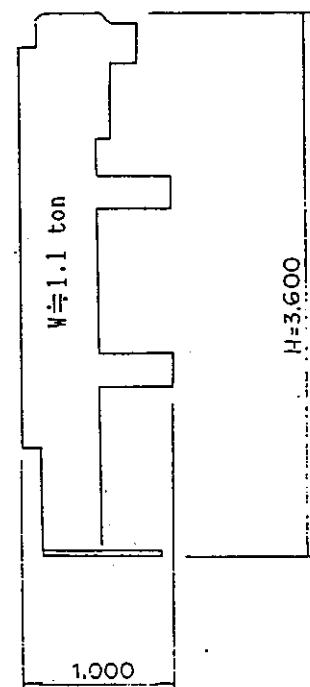


図7-3 (2) 削孔機器の分解図 (檣部)

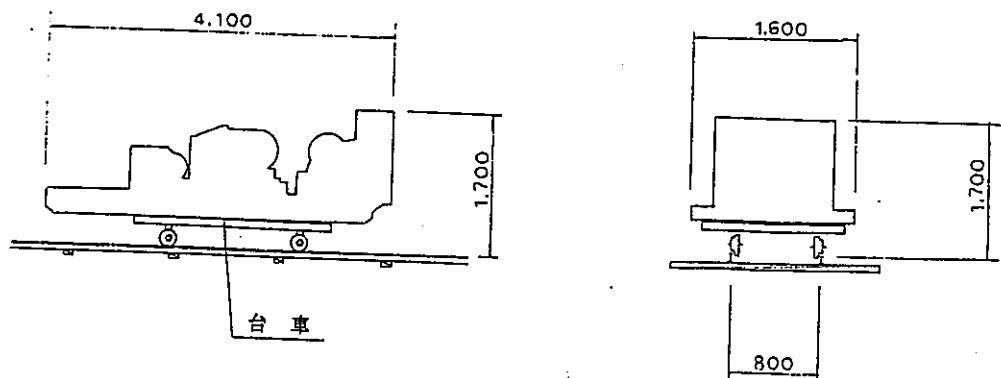


図7-4 (1) 削孔機器積載図（本体）

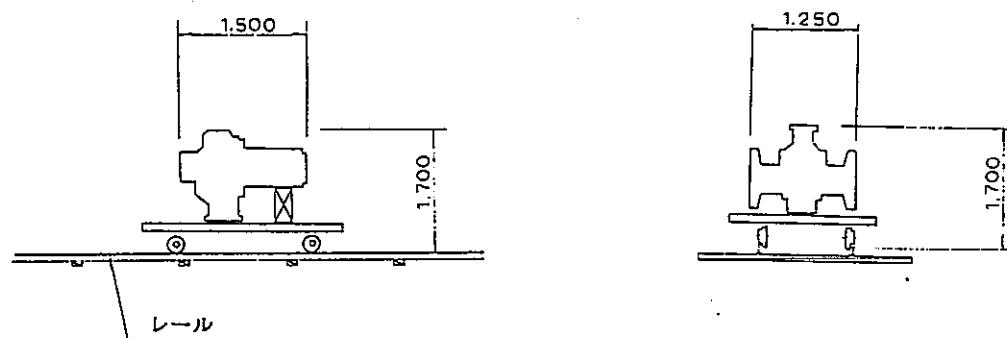


図7-4 (2) 削孔機器積載図（スイベルト部）

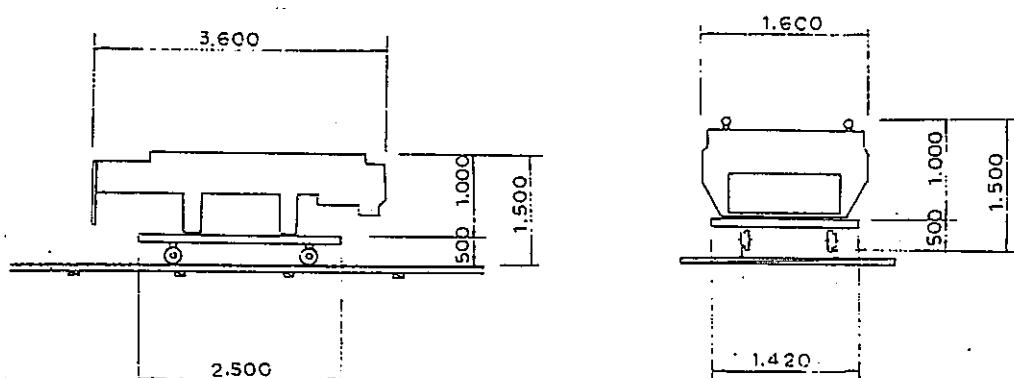


図7-4 (3) 削孔機器積載図（檣部）

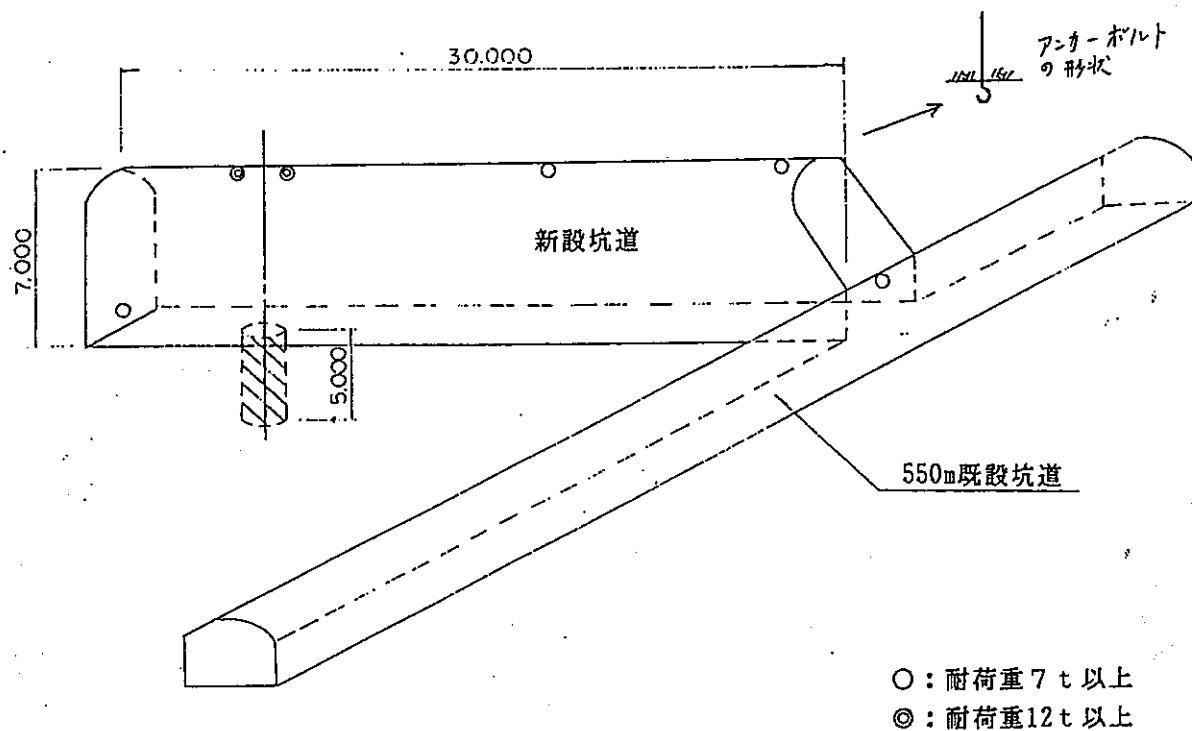


図7-5 (1) アンカーボルト施工個所レイアウト図（鳥瞰図）

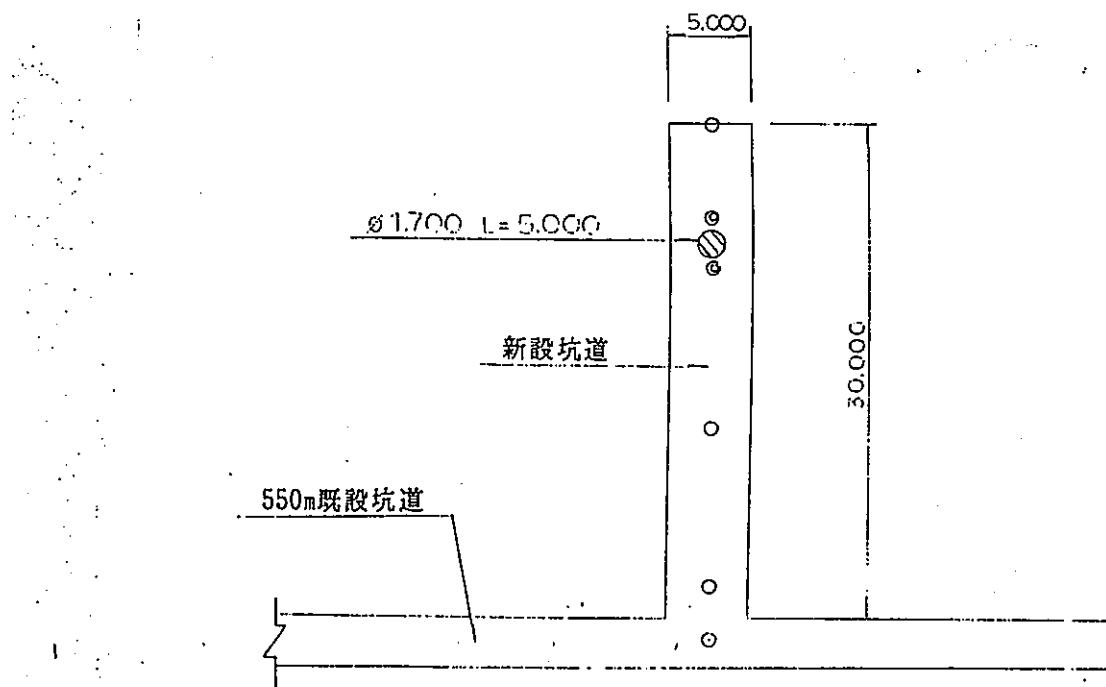


図7-5 (2) アンカーボルト施工個所レイアウト図（平面図）

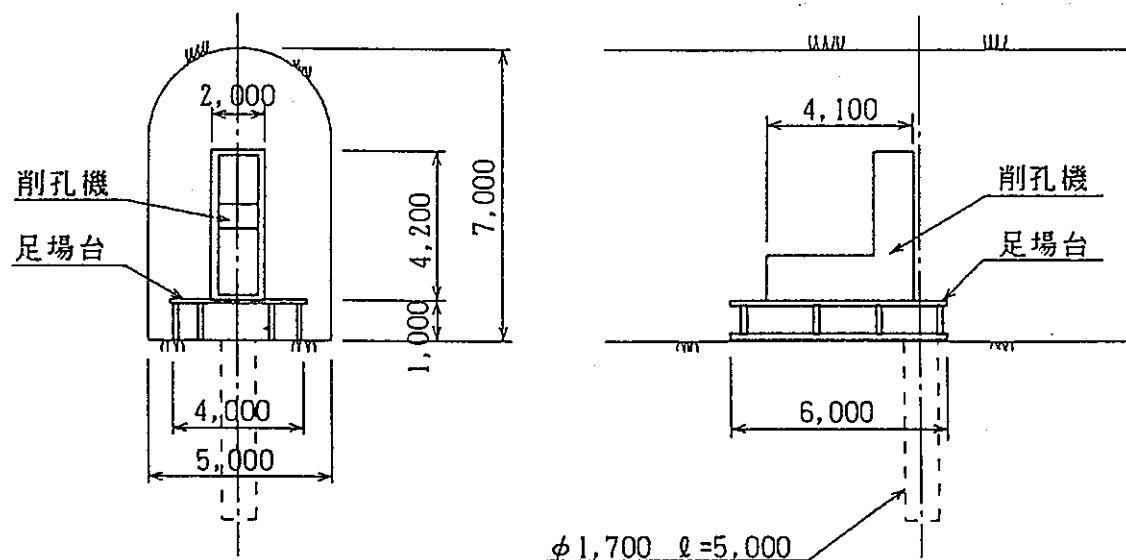


図7-6 機械据付概念図

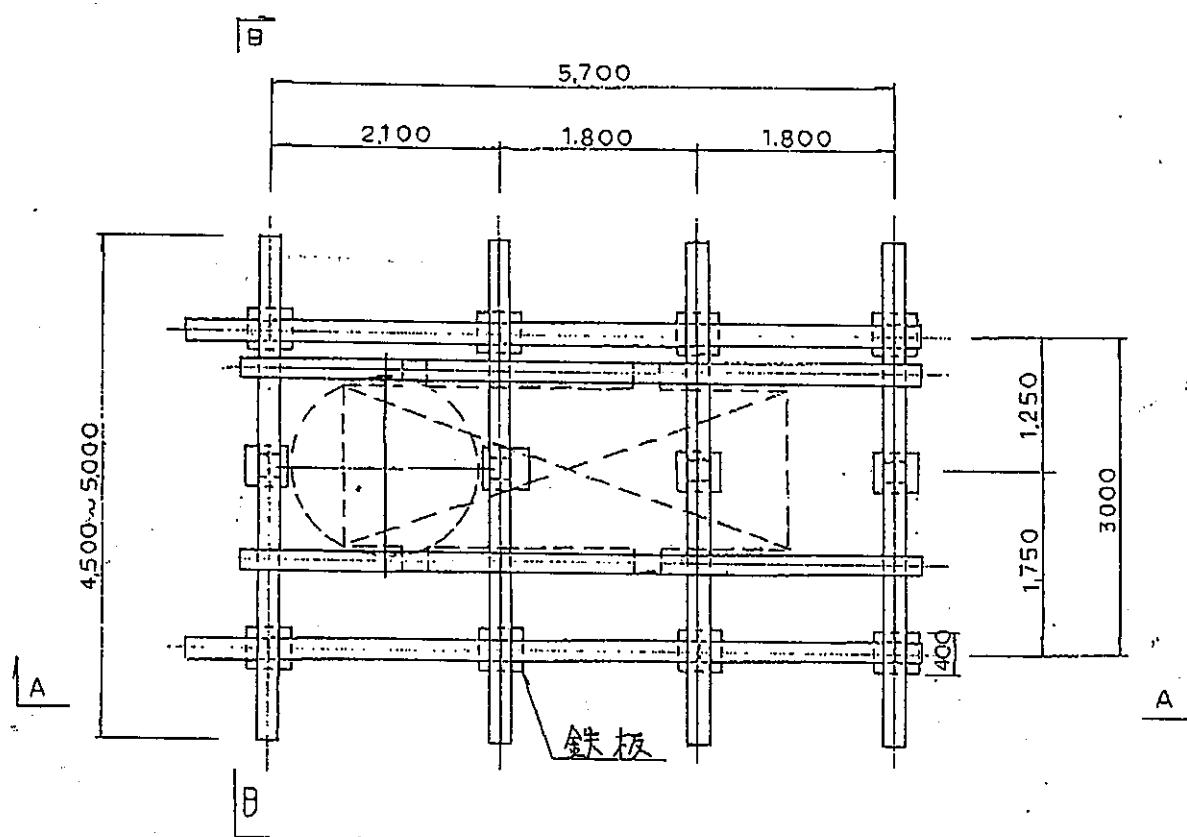


図7-7 (1) 機械設置 (平面図)

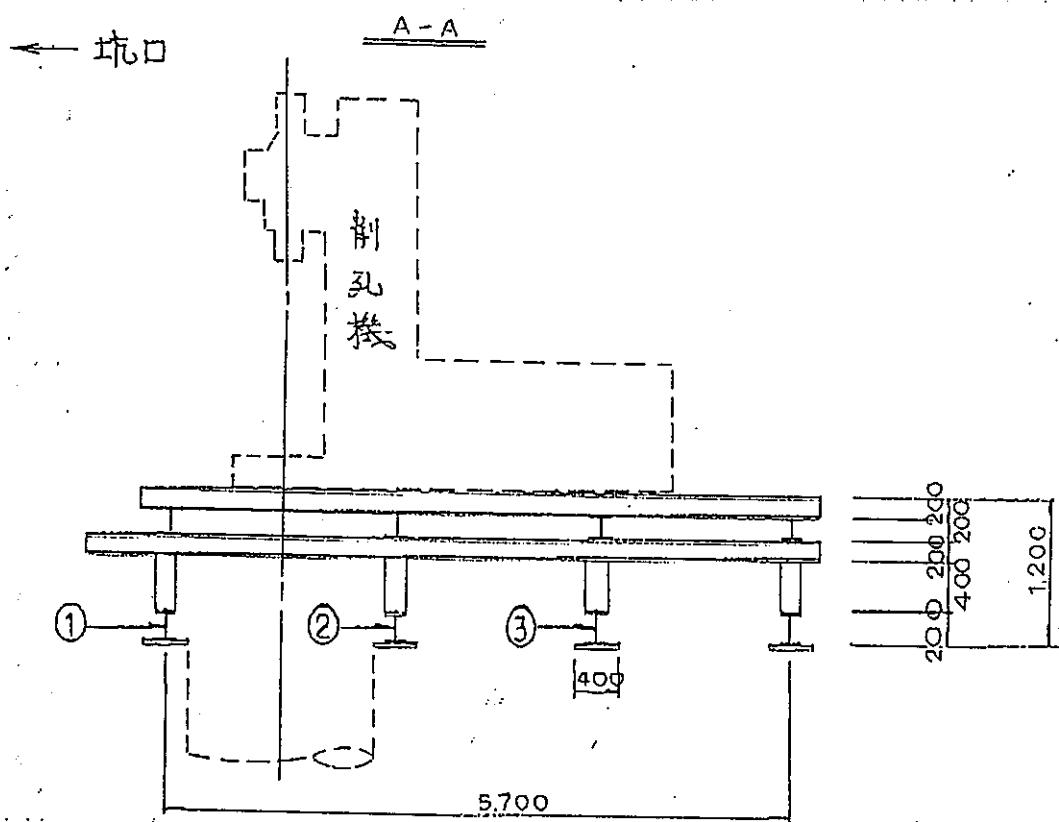


図7-7 (2) 機械設置（側面図）

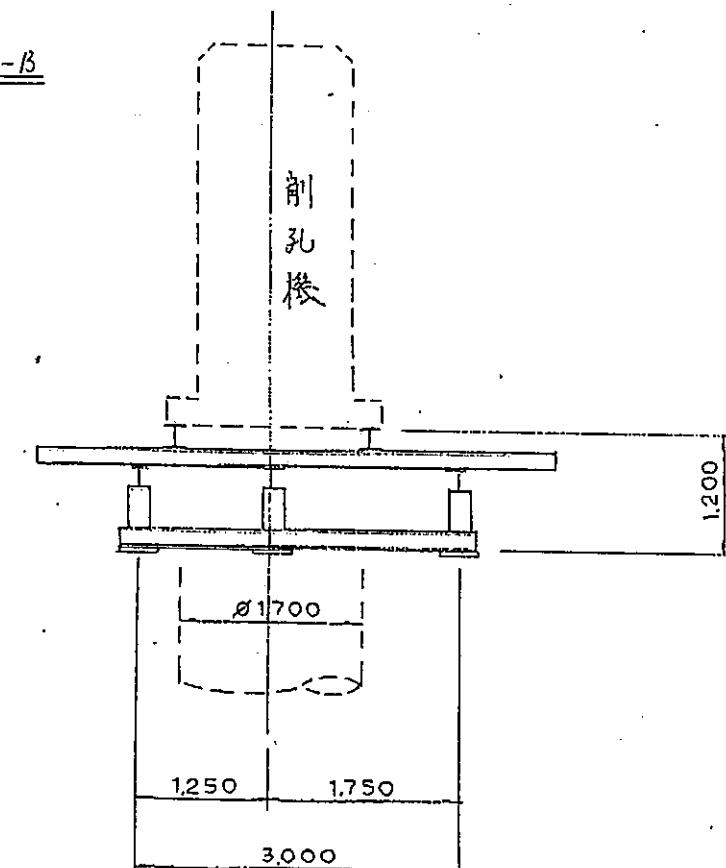


図7-7 (3) 機械設置（正面図）

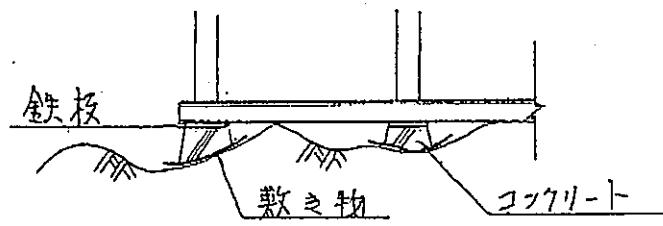


図7-8 足場下部詳細図

7.3 掘削場所・仕様及び手順

7.3.1 掘削場所

550mレベル坑道から、直角方向に幅5.0m×高さ7.0mに拡幅した坑道内（釜石人工バリア試験坑道）で削孔作業を行った。試験ピットを掘削した場所の鳥瞰図および平面図を図7-9に示す。施工地点は花崗岩で、既存資料では一軸圧縮強度=1,800kgf/cm²を呈している。

7.3.2 仕様

掘削作業及び掘削機械の仕様を表7-1に示す。また、掘削機械の概要図を図7-10に示す。

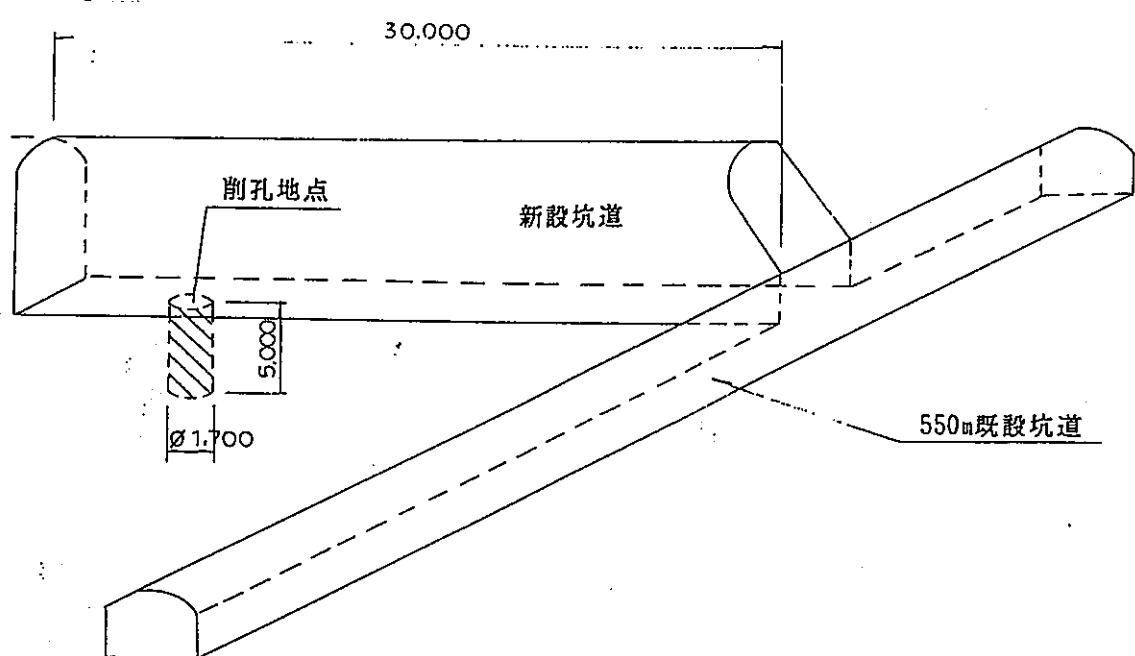


図7-9 (1) 施工箇所レイアウト図（鳥瞰図）

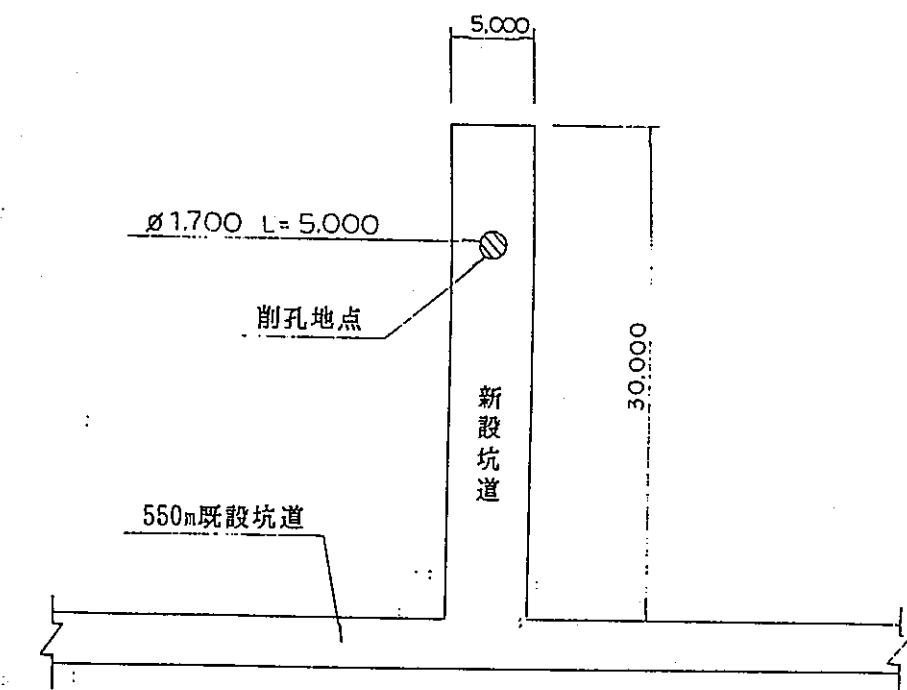
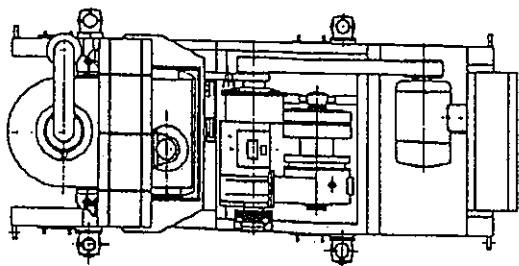


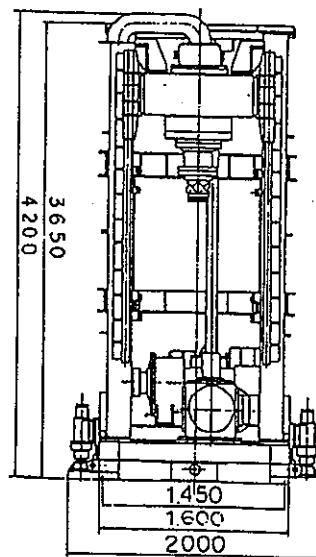
図7-9 (2) 施工箇所レイアウト図（平面図）

表7-1 挖削作業及び掘削機械の仕様

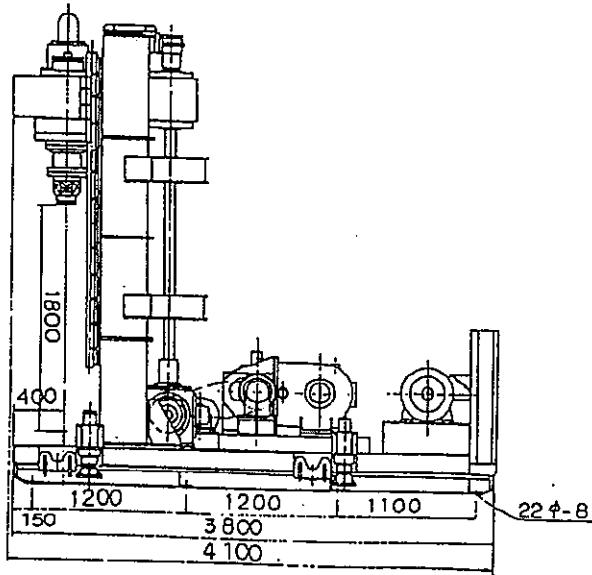
項目	内容
実施者	東邦地下工機株式会社
寸法	φ170cm×深さ500cm
数量	一ヶ所
掘削方法	大口径削孔機を用いたショットボーリング
掘削機器仕様	型式 東邦式J-1型
	削孔能力 20~40m
	削孔孔径 40cm~
	削孔方向 垂直
	最大トルク 2,500kg·m
	スピンドル回転数 13:24:52:6.3(Rev)r.p.m.
	給圧力 18,000kg
	引き抜き力 27,000kg
	有効ストローク長 1,800m/m
	給進速度 0~3.7m/min
	引き抜きスピード 0~2.6m/min
	使用ロッド径 6"フランジロッド
	スライドベース 1,000m/m
	セルトラベリングデバイス ジャッキアップアンドスライディング方式
	所要動力 37kW
	ホイスト 3,000kg
	本体重量 7,500kg
	据付寸法 H×W×L=420cm×200cm×410cm
削岩方法	コアーの取り出し及びピット底部の平滑化は人力



(a) 上から見た図



(b) 上から見た図



(c) 上から見た図

図7-10 挖削機械

7.3.3 挖削手順

試験ピット掘削は、まず下記の(1)を実施し、その後(2)～(3)の手順を繰り返して実施した。1サイクルで50cmの深さが掘削できるので、合計10サイクル、以下の手順を繰り返して掘削を終了し、最後に底面を整形した。

(1) 先進削孔 ($\phi 25\text{cm}$ 、深さ500cm)

直径170cmのショットボーリングに先立ち、ショットボーリングに使用する削孔機（J-1型）を用いて、ダウンザホールハンマーにて、先進削孔 ($\phi 25\text{cm}$) を実施した。先進削孔工の配置は、図7-11の通りである。削孔完了後全孔（5ヶ所）共、次の作業に支障をきたさないもの（発泡スチロール）で閉塞した。

先進削孔の実施位置を図7-12に示す。

なお、ダウンザホールハンマー使用時の空気量は $30\text{m}^3/\text{h} \sim 40\text{m}^3/\text{h}$ 、空気圧 10kgf/cm^2 以上を必要とした。

(2) ショットボーリング工 (直径170cm、深さ500cm)

ショットボーリングは、ショットと称する直径2mm～3mmの鉄粒を水と共に、ケーシングパイプ（直径170cm鋼管）先端（孔底）に取り付けたクラウン部（刃先）へ送り込む（図7-13）。そしてケーシングパイプを回転させることにより、クラウンの肉厚でショットをすり碎き、その稜角で岩盤を掘削する。直径170cmで深さ5mまで一気に削孔することは、クラウン及びケーシングパイプと孔壁の摩擦抵抗を考えると機械の能力上不可能であり、今回は1ステージ50cmの削孔とした。約50cm削孔した後、ケーシングパイプ（クラウン）は、抜管した。掘削中は水を必要量供給し、ある水位以上はポンプアップした。

(3) コアーの取り出し及びピット底部の平滑化

方法として、破碎薬剤の使用が考えられたが、周辺岩盤や亀裂、地下水への影響を考慮して、ドリル（ピック）、ノミを使用して人力で削岩した。コア削岩は、(2)同様約50cmの深さを1ステージとした（図7-14）。掘削中湧水は生じなかったが、掘削に用いた水が作業に支障を来す場合は1)の孔内よりポンプアップした。

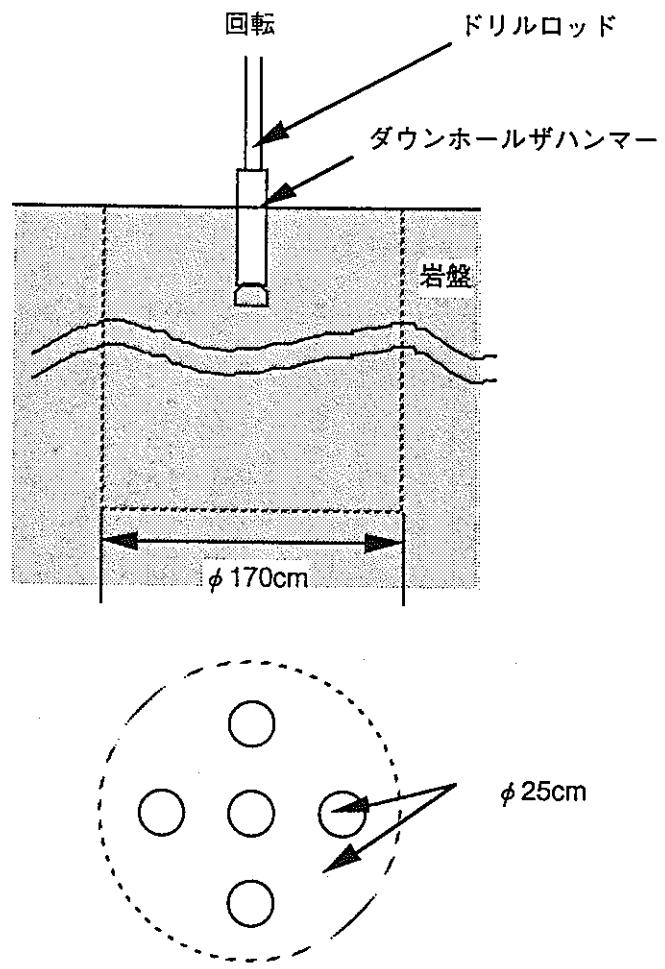


図7-11 先進削孔概要と先進削孔場所

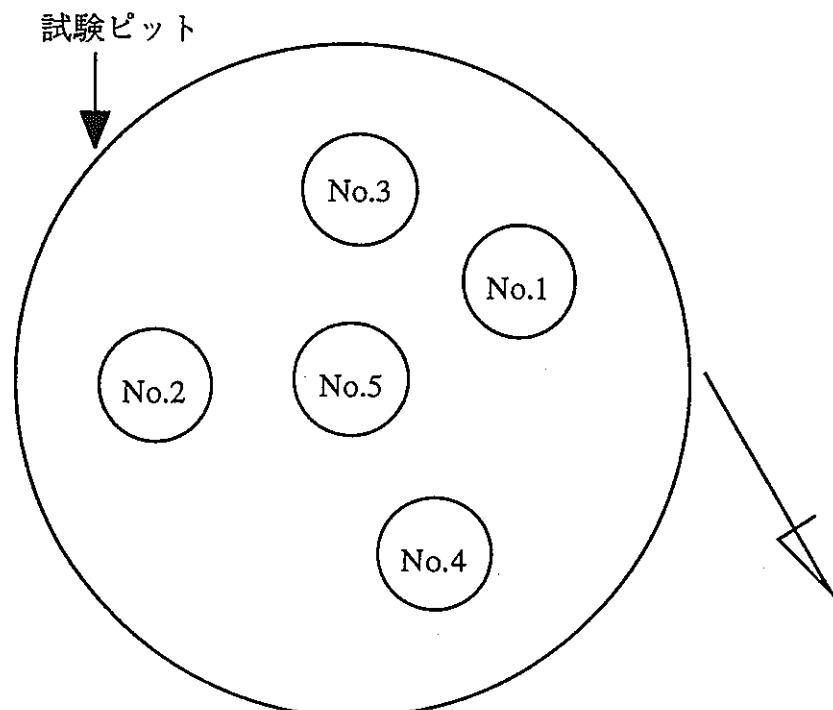


図7-12 先進削孔の実施位置

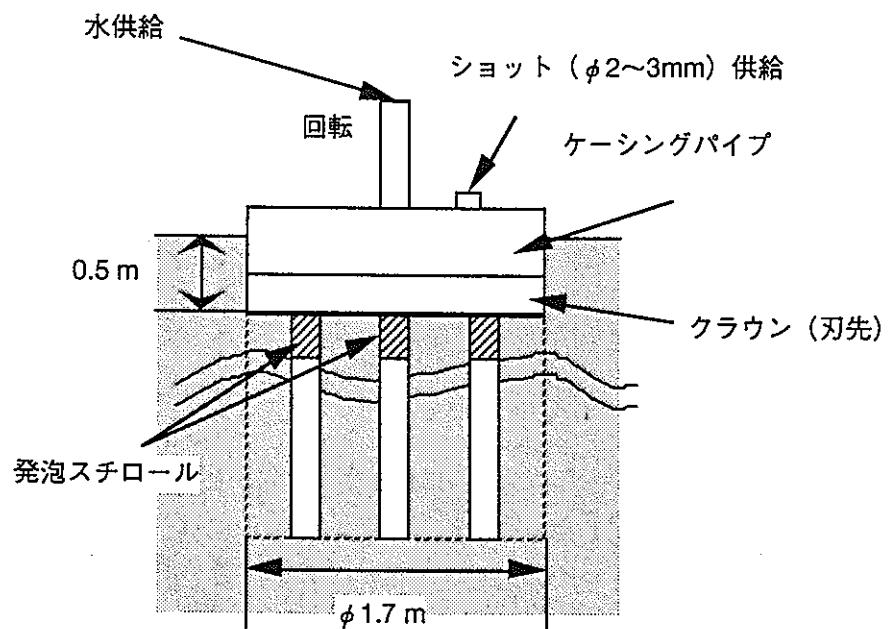


図7-13 ショットボーリング工概要

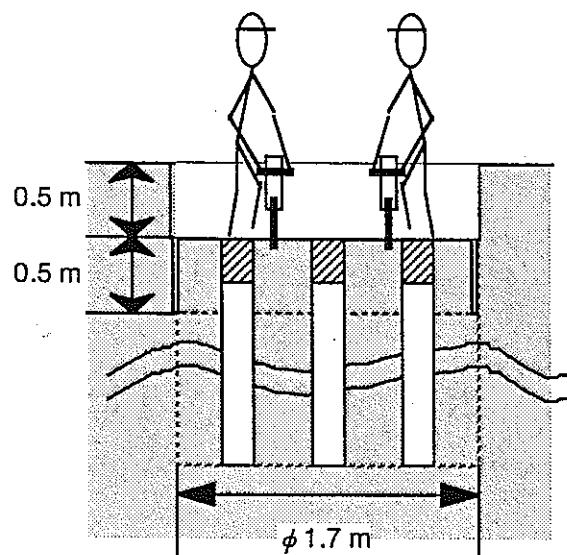


図7-14 コアの取り出し及びピット底部の平滑化概要

7.4 掘削期間

施工期間は、機械搬入が平成7年11月17日から、機械搬出が平成8年3月8日に終了した。詳細な作業工程を表7-2に示す。

表7-2 (a) 掘削の工程表（平成7年11月16日～12月15日）

	11月															12月																	
	16	17	18	●	20	21	22	●	24	25	●	27	28	29	30	1	2	●	4	5	6	7	8	9	●	11	12	13	14	15			
機材搬入	■	■			■	■	■		■	■		■	■																				
エボーリング*																■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
機械入替																														■	■		
ショットボーリング*																																	
機材搬出																																	

表7-2 (b) 掘削の工程表（平成7年12月16日～平成8年1月14日）

	12月															1月																	
	16	●	18	19	20	21	22	●	●	●	25	26	27	28	29	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			
機材搬入																																	
エボーリング*																																	
機械入替	■		■	■																													
ショットボーリング*																														■	■	■	
機材搬出																																	

表7-2 (c) 掘削の工程表（平成8年1月15日～2月13日）

	1月															2月																	
	●	16	17	18	19	20	●	22	23	24	25	26	●	●	29	30	31	1	2	3	●	5	6	7	8	9	●	●	●	13			
機材搬入																																	
エボーリング*																																	
機械入替																																	
ショットボーリング*		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
機材搬出																																	

表7-2 (d) 挖削の工程表 (平成8年2月14日～3月14日)

	2月														3月															
	14	15	16	17	●	19	20	21	22	23	●	●	26	27	28	29	1	●	●	4	5	6	7	8	9	●	11	12	13	14
機材搬入																														
ゴボーリング																														
機械入替																														
ショットボーリング	■	■	■	■		■	■	■	■	■			■	■	■	■	■		■											
機材搬出																				■	■	■	■	■						

8. ピット内亀裂観察

8.1 概要

試験ピット掘削終了後、坑道床面あるいは計測機器埋設時の岩芯鑑定に従った分類法を用いて、試験ピット内の壁面、床面の亀裂観察を実施した。

8.2 観察結果

図8-1に床面の亀裂マップを、図8-2に壁面の亀裂マップを示す。図中のP-5が試験坑道床面で観察される亀裂2に相当する。

掘削終了後は亀裂からの湧水量はメスシリンダーなどで短時間に計量できるほどではなく、亀裂近傍の岩盤表面の水分を拭って、数十分経過後、岩盤表面がぬれてきたと目視できるほどであった。

図8-3に試験ピット壁面の亀裂の走向・傾斜内の亀裂の走向・傾斜をシュミットネットにまとめた。

図8-1～図8-3と試錐孔内の亀裂の観察結果と比較すると、試錐内で観察された水平に近い亀裂がピット内では少なく、亀裂の出現頻度もピット内の方が小さい。これは、試験坑道掘削時に発破が用いられたため、床盤近傍に発破による細かい亀裂が発生し、それを試錐孔で元来の亀裂として評価したためと思われる。亀裂の卓越方向はおおむね一致していると考えられる。

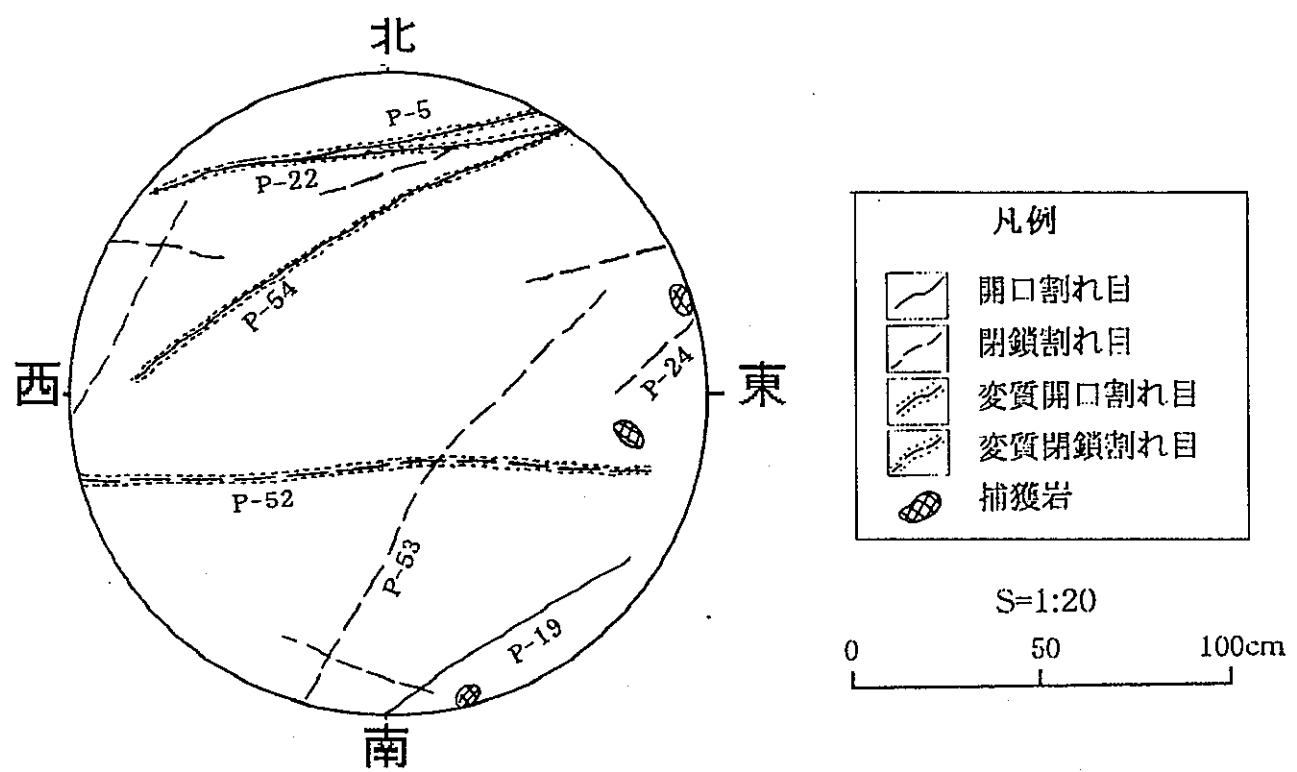
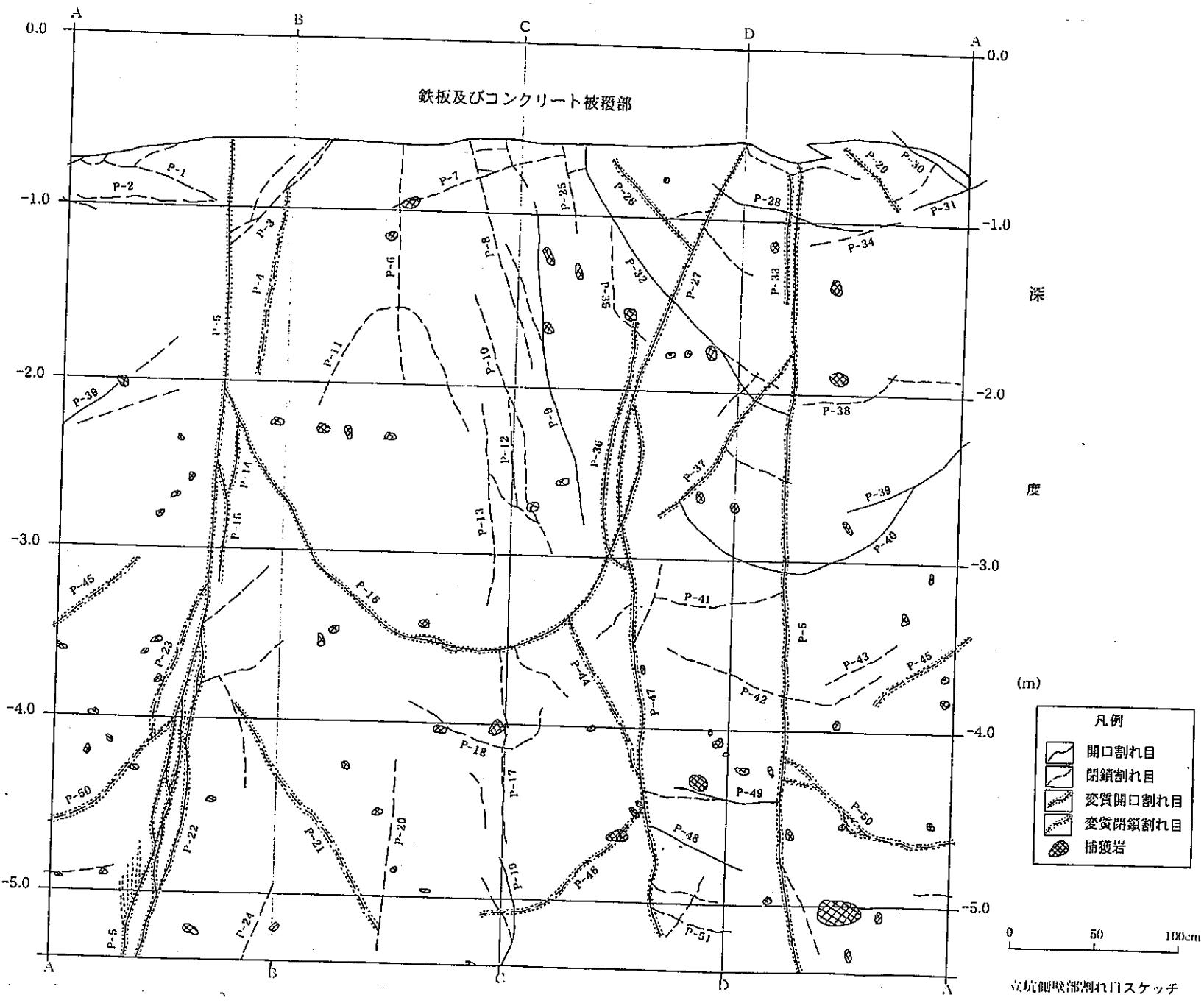


図8-1 試験ピット床面の亀裂マップ (20分の1)

図8-2 試験ピット壁面の亀裂マップ



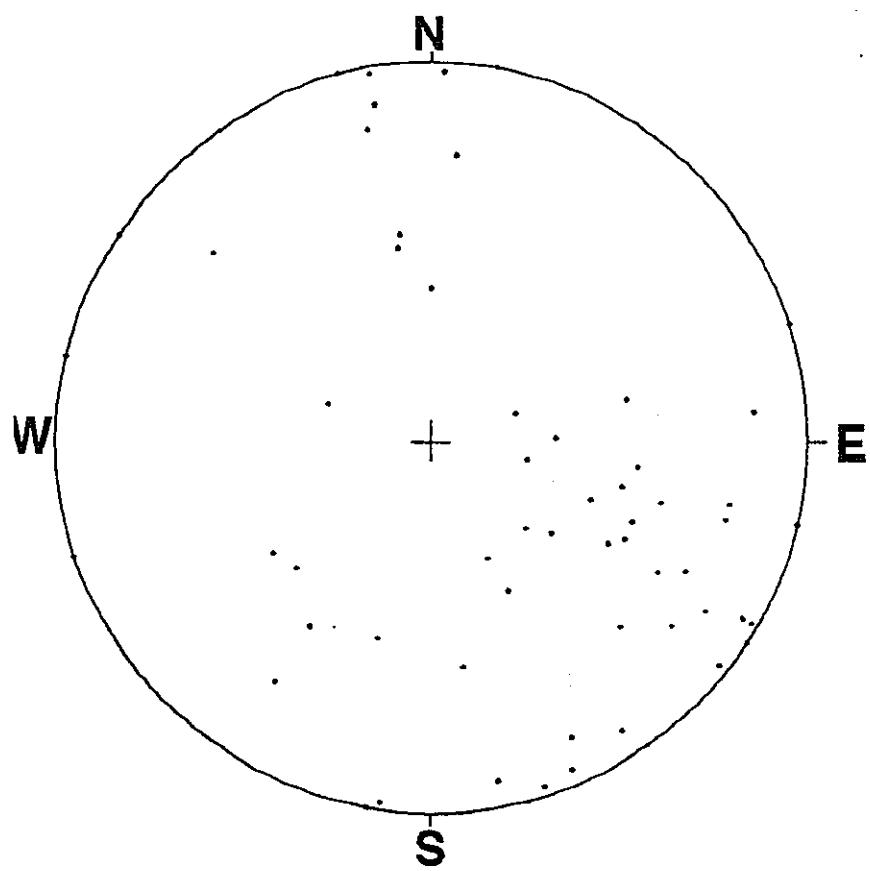


図8-3 試験ピット壁面の亀裂の走向・傾斜（シュミットネット下半球、N=54）

9. 孔内載荷試験 (S200)

孔内載荷試験は、ボーリング孔周辺岩盤の変形特性を把握するために実施した。

9.1 試験装置

試験装置の測定系統図を図9-1に、載荷装置の主な仕様を表9-1に示す。

本試験装置は、地圧を測定するための装置で、10章で述べるエラストメーターも同様である。2種類の試験装置を同じ試錐孔で実施し取得データの比較を実施するため、試錐孔をあまり破壊せずに計測したい。S200は載荷荷重と試錐孔径四方向の変化が同時に測定できる初期応力測定装置で後者のエラストメーターは載荷荷重と試錐孔径一方向の変化が同時に測定できる初期応力測定装置である。また、S200は比較的大きい載荷荷重を発生させることができる。前者は比較的難しく、後者は比較的簡便な計測手法である。

S200は載荷装置としてのプローブと45° 間隔でLVDTが四方向に配置され、四方向で検出された孔径変化と載荷荷重との関係、すなわち4種類の載荷荷重－変位曲線が得られる。すなわち、一方向で亀裂が発生あるいは再開口したときの載荷荷重を読み取ることができる。この点もエラストメーターとの違いである。

9.2 測定方法

9.2.1 測定位置

測定は、KBH7孔において1箇所実施した。測定深度はGL-7.0mである。測定位置を図9-2に示す。

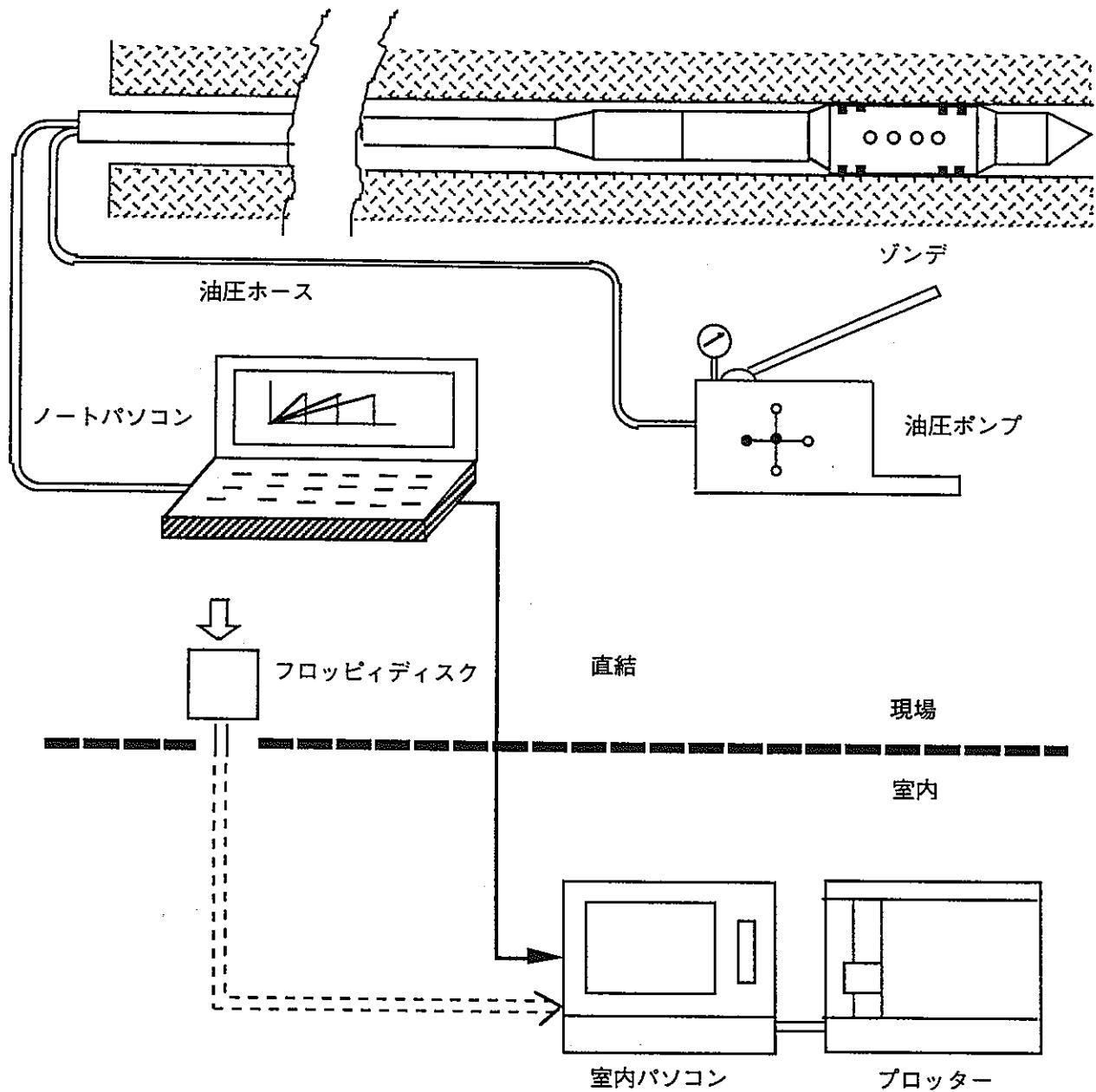
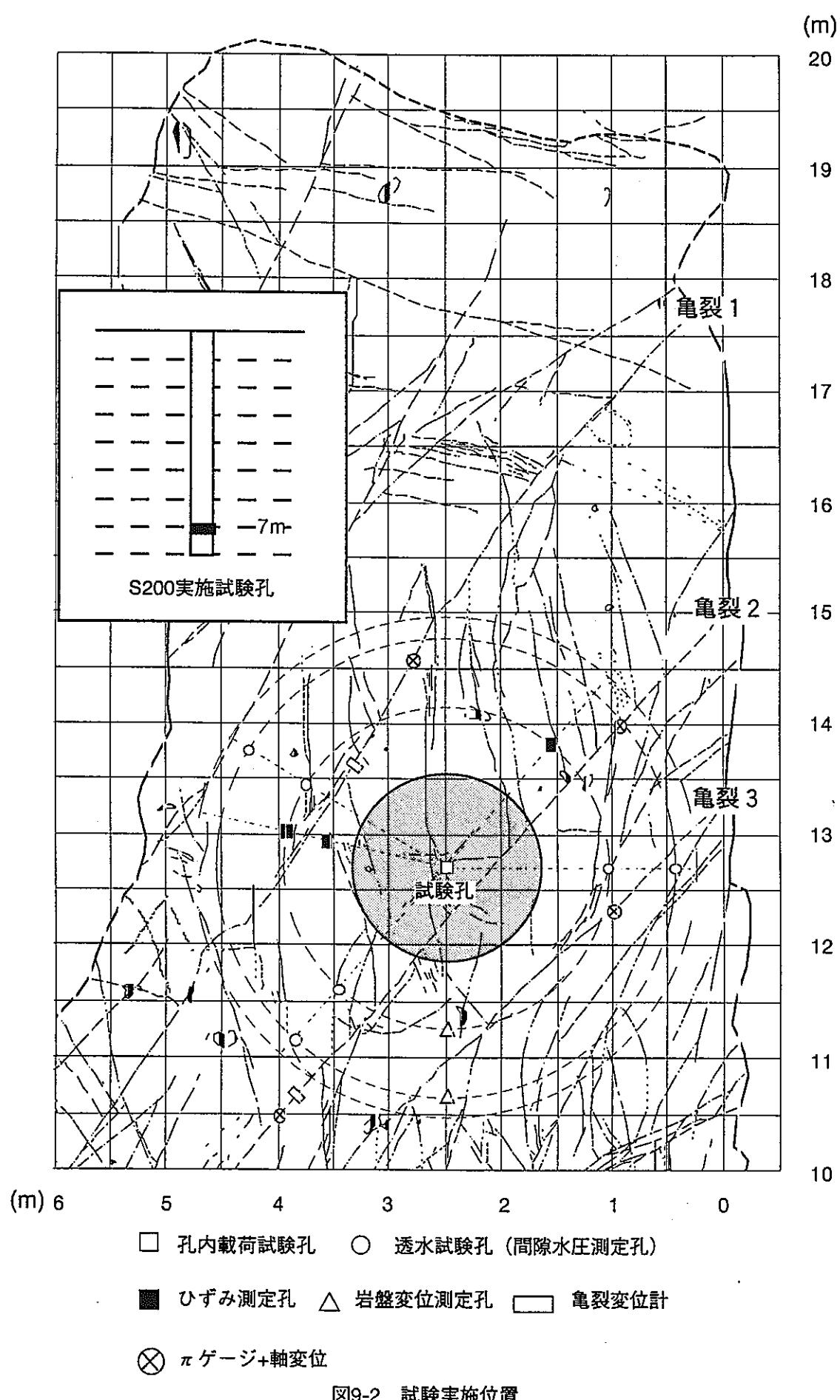


図9-1 ストレスメータ（S200）の測定系統図

表9-1 孔内載荷試験装置の仕様

項目	仕様
載荷方法	等圧分布載荷方式
最大圧力	700kgf/cm ²
圧力最小単位	1/100kgf/cm ²
加圧方法	油圧
試験孔径	76~79mm
変位最小単位	2/1000mm
変位検出方法	4方向の直接測定（差動トランス） (変位計が孔壁に直接接触)



9.2.2 載荷方法

載荷方法は、100、200、300、500 kgf/cm²の段階載荷とした。載荷パターンを図9-3に示す。

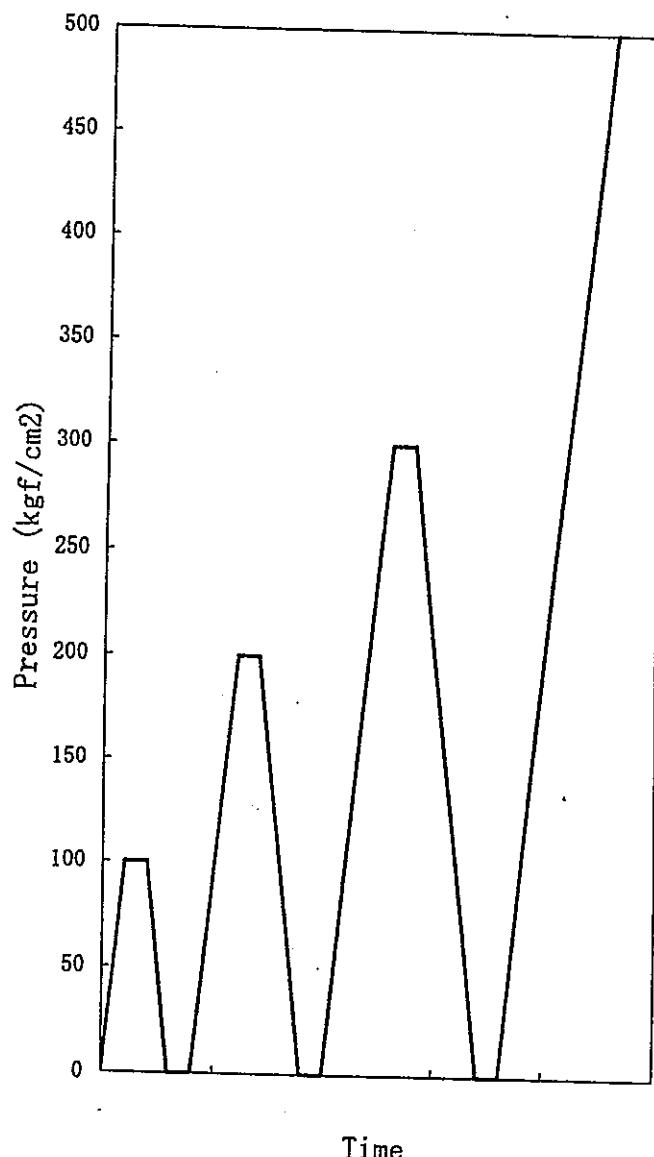


図9-3 載荷パターン

9.2.3 変形係数の算出方法

変形特性を求めるため、応力－変位曲線を作成し、それぞれ変形係数を算出した。算出に当たっては、「孔内載荷試験の現状と課題－指針化の試みー」（土木学会、1988年）を参考にした。

$$D = (1 + \nu) \cdot R_m \cdot \Delta P / \Delta r$$

D：変形係数 (kgf/cm²)

ν ：ポアソン比 0.2とした

R_m：勾配を求める区間の中点の試験孔半径 (cm)

ΔP ：係数を求める区間の応力増分 (kgf/cm²)

Δr ：係数を求める区間の半径増分 (cm)

9.3 測定結果

測定結果を図9-4に示す。(1)～(4)はそれぞれ異なるLVDTによる載荷荷重と試錐孔半径の増分の関係である。また、それらをもとにした変形係数の結果を図9-5と表9-2に示す。ここで、表中の変形係数D₁、D₂はそれぞれ、応力レベル200kgf/cm²以下、応力レベル200kgf/cm²以上で算出したものである。

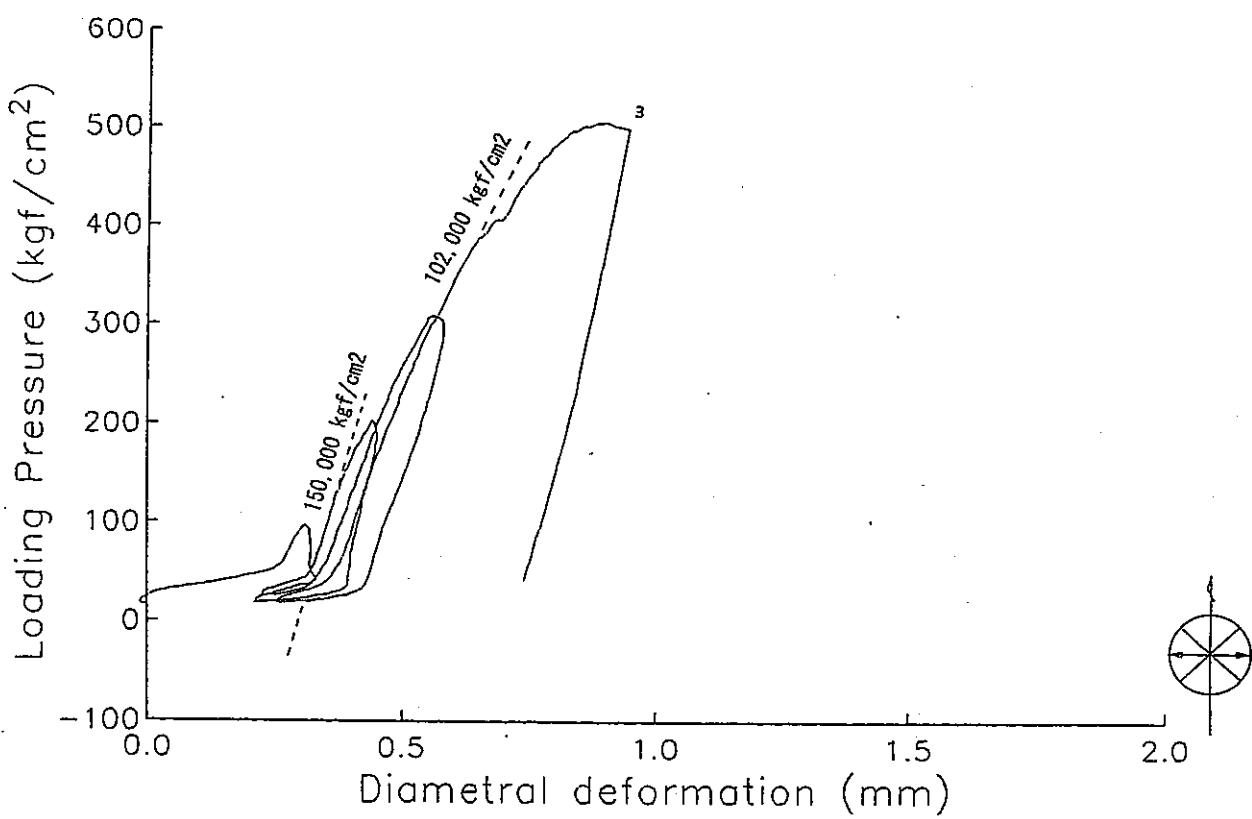


図9-4 (1) 載荷荷重と試錐孔半径の増分の関係

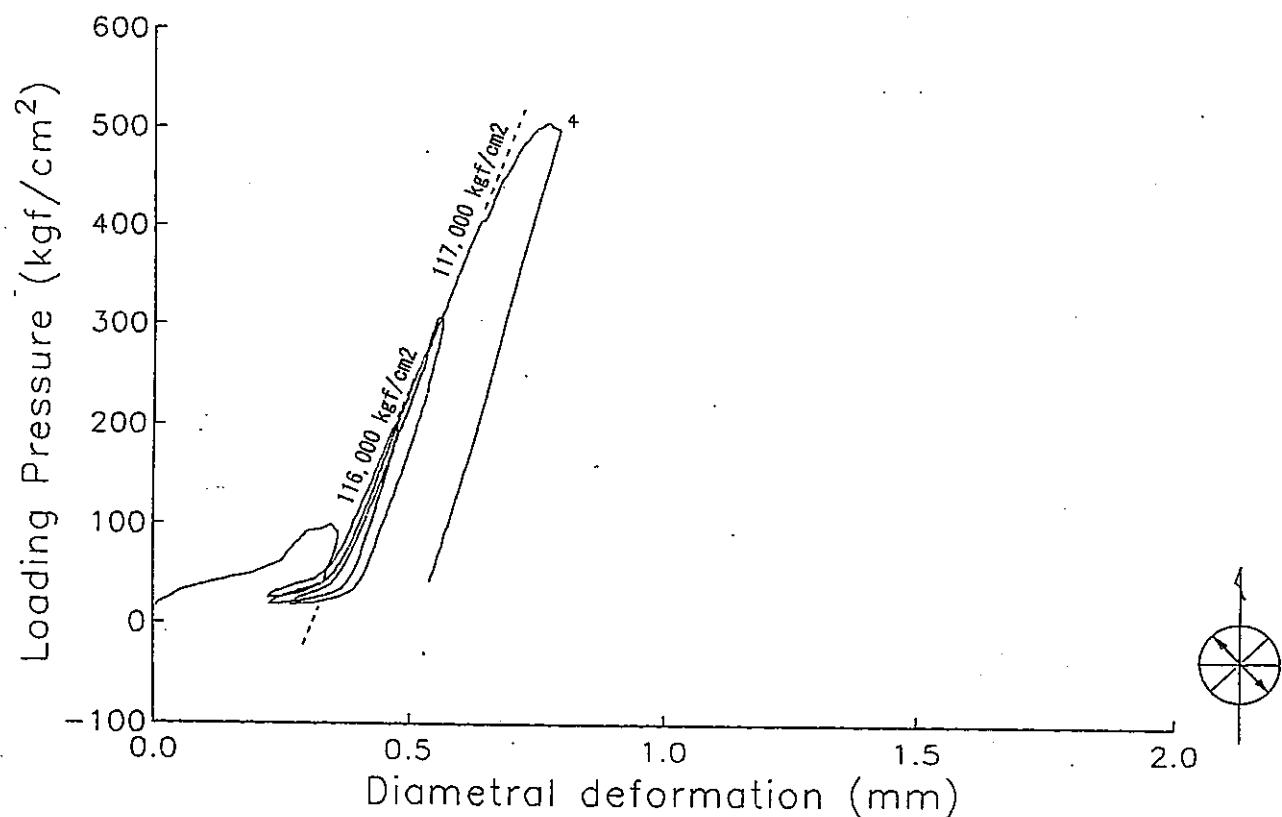


図9-4 (2) 載荷荷重と試錐孔半径の増分の関係

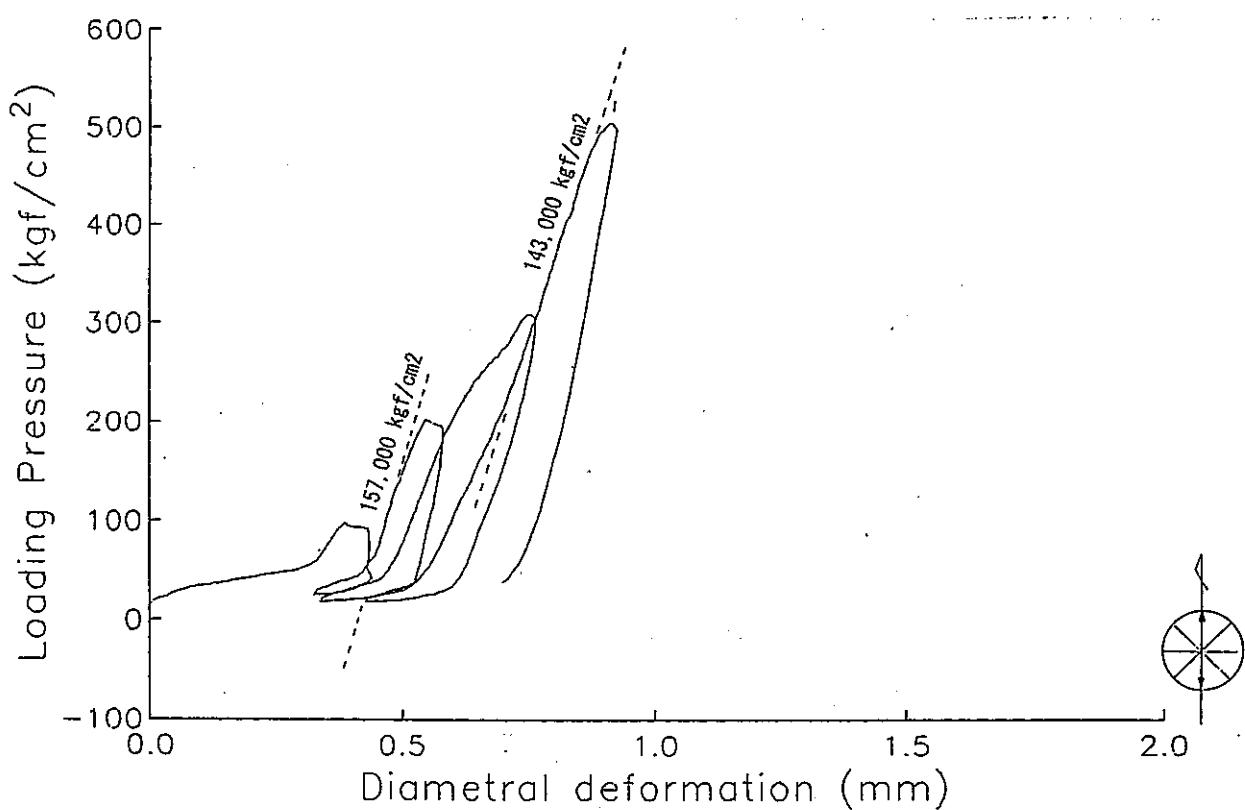


図9-4 (3) 載荷荷重と試錐孔半径の増分の関係

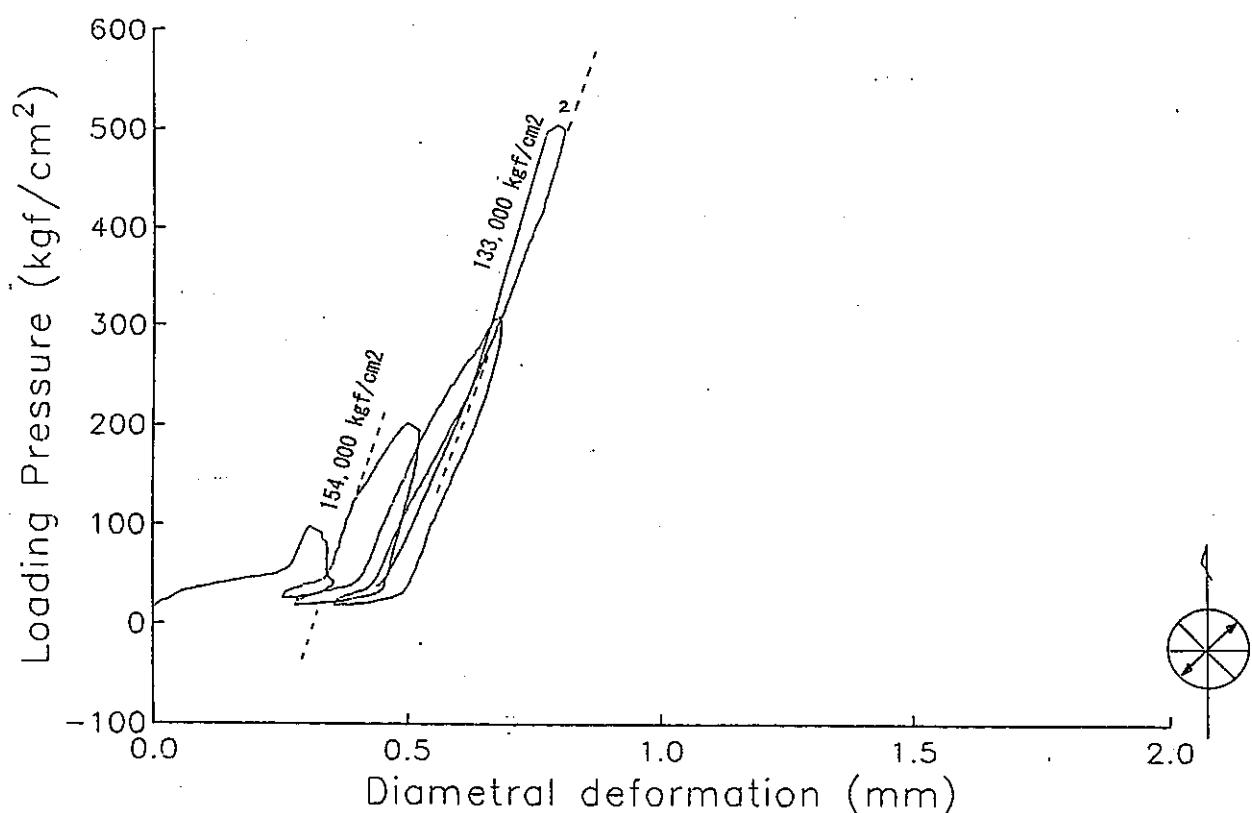


図9-4 (4) 載荷荷重と試錐孔半径の増分の関係

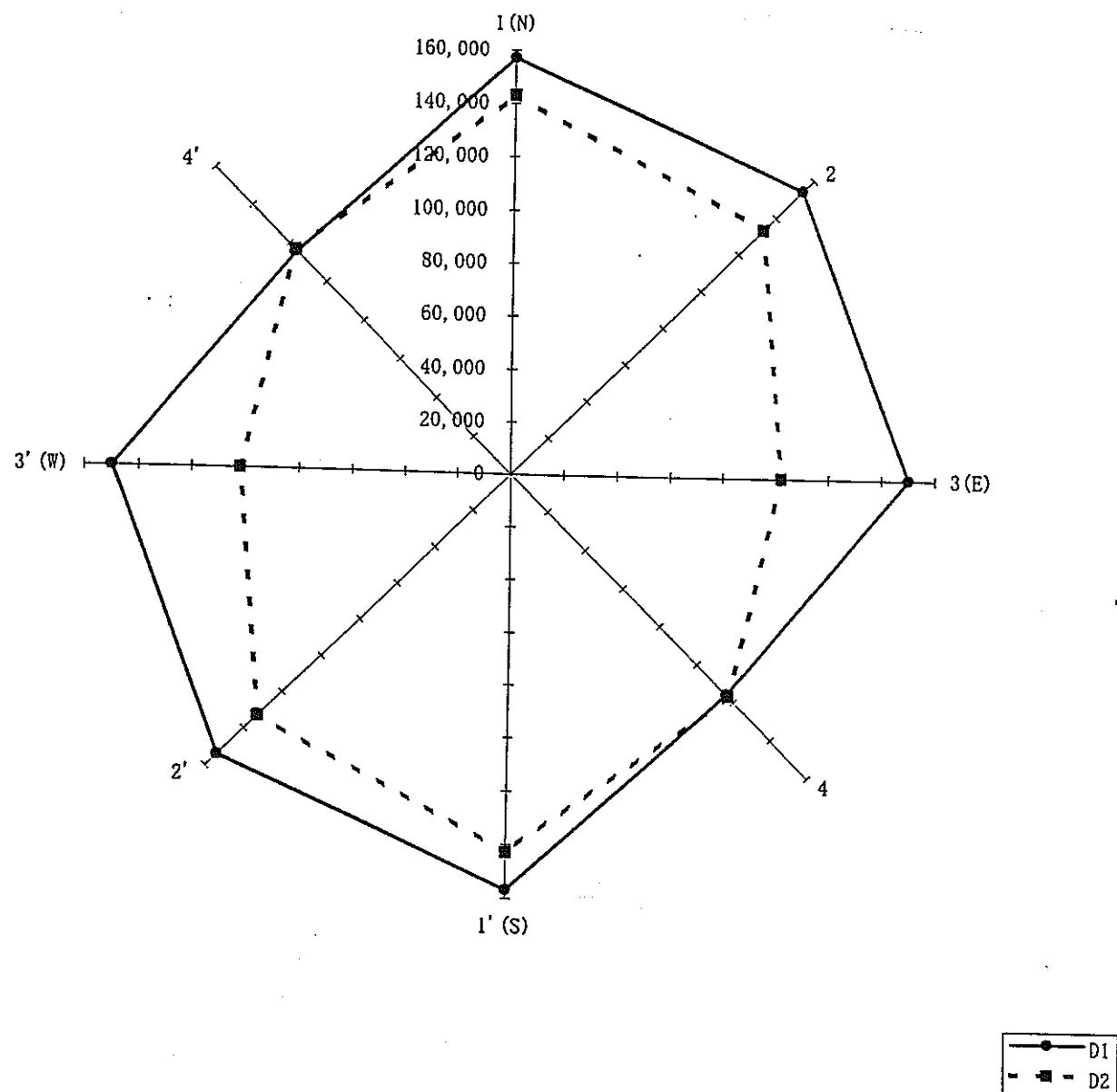


図9-5 D1とD2の平面分布

表9-2 孔内載荷試験結果一覧表

試錐孔	深度 (GL-m)	変位係数 (kgf/cm ²)	
		D1	D2
KBH-7	7.00	150000	102000
		116000	117000
		157000	143000
		154000	133000
		平均値	144000

10. 孔内載荷試験（エラストメータ）

孔内載荷試験は、ボーリング孔周辺岩盤の変形特性を把握するために実施した。試験装置は、エラストメータを使用した。

10.1 試験装置

エラストメータの測定系統図を図10-1に、載荷装置の主な仕様を表10-1に示す。

載荷方式は水圧による等圧分布載荷方式で、孔径変位の検出方法はゴムチューブの内径を測定することによって得られる。

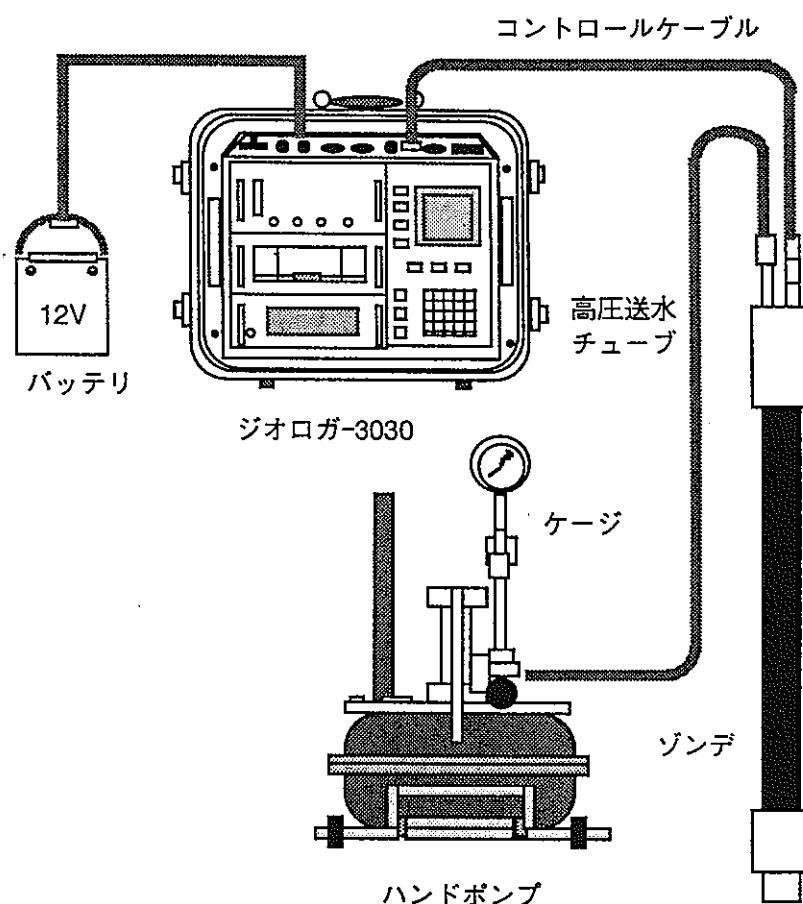


図10-1 エラストメータの測定システム

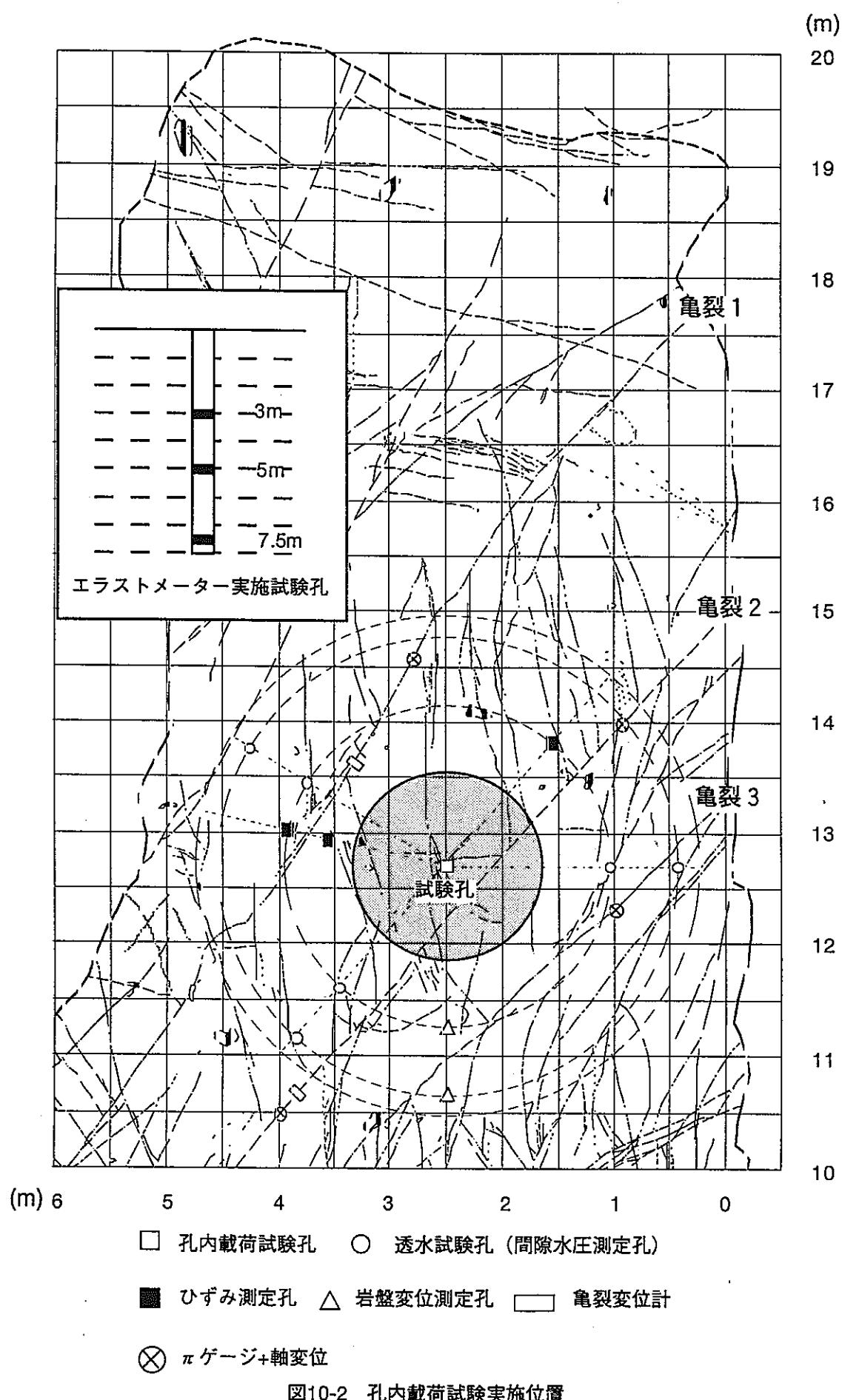
表10-1 エラストメータの仕様

項目	仕様
載荷方法	等圧分布載荷方式
最大圧力	200kgf/cm ²
圧力最小単位	1/10kgf/cm ²
加圧方法	水圧
試験孔径	66~86mm
変位最小単位	1/100mm
変位検出方法	1方向の間接測定（キャリバ） (ゴムチューブ内径を測定)

10.2 測定方法

10.2.1 測定位置

測定は、KBH7孔において3箇所実施した（GL-3.0m、GL-5.0mおよびGL-7.5m）。測定位置を図10-2に示す。



10.2.2 載荷方法

載荷方法は、 200kgf/cm^2 までの単調載荷とした。載荷パターンを図10-3に示す。

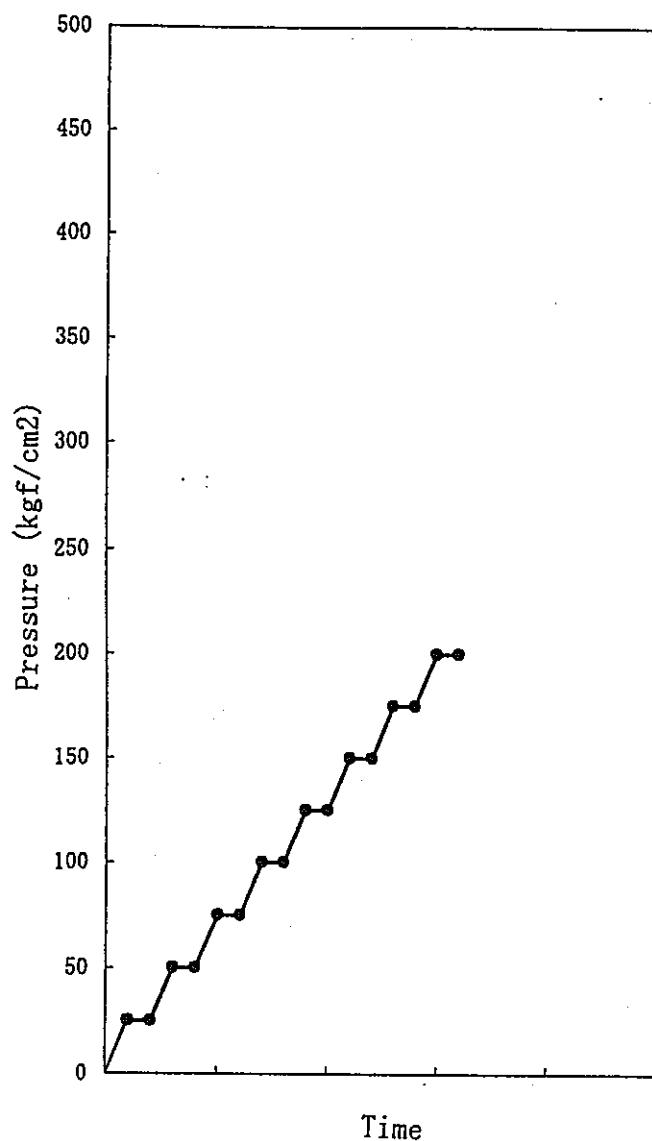


図10-3 孔内載荷試験の載荷パターン

10.2.3 変形係数の算出方法

変形特性を求めるため、応力－変位曲線を作成し、それぞれ変形係数を算出した。算出に当たっては、「孔内載荷試験の現状と課題－指針化の試み－」（土木学会、1988年）を参考にした。

$$D = (1 + \nu) \cdot R_m \cdot \Delta P / \Delta r$$

D：変形係数 (kgf/cm²)

ν ：ポアソン比 0.2とした

R_m：勾配を求める区間の中点の試験孔半径 (cm)

ΔP ：係数を求める区間の応力増分 (kgf/cm²)

Δr ：係数を求める区間の半径増分 (cm)

10.3 測定結果

載荷荷重と孔径変化の関係を各深度ごとに図10-4～図10-6に示す。また、それらから得られた各試験深度での変形係数の一覧を表10-2に示す。

S200とエラストメーターの2つ試験方法から得られた結果を比較すると後者の結果の方が約2倍近い値を示している。これは

- ・前者が四方向の試錐孔半径変化－載荷荷重曲線からそれぞれ求め、後者が一つの試錐孔半径変化－載荷荷重曲線から求めた
- ・前者の試錐孔半径の測定法方がLVDTによるもので後者が載荷プローブの半径の測定によるもの

などの違いなどを考慮してもうまく説明がつかない。ただ、後者の載荷荷重範囲は前者の一部分であり、前者は四方向の試錐孔半径変化－載荷荷重曲線を考慮していることなどを考えると前者の値の方が真に近く、後者、すなわちエラストメーターはこの試験場に対して有効な試験方法でなかったと考えられる。

しかし、再度検討すべき課題であるため次年度に検討し直す予定である。

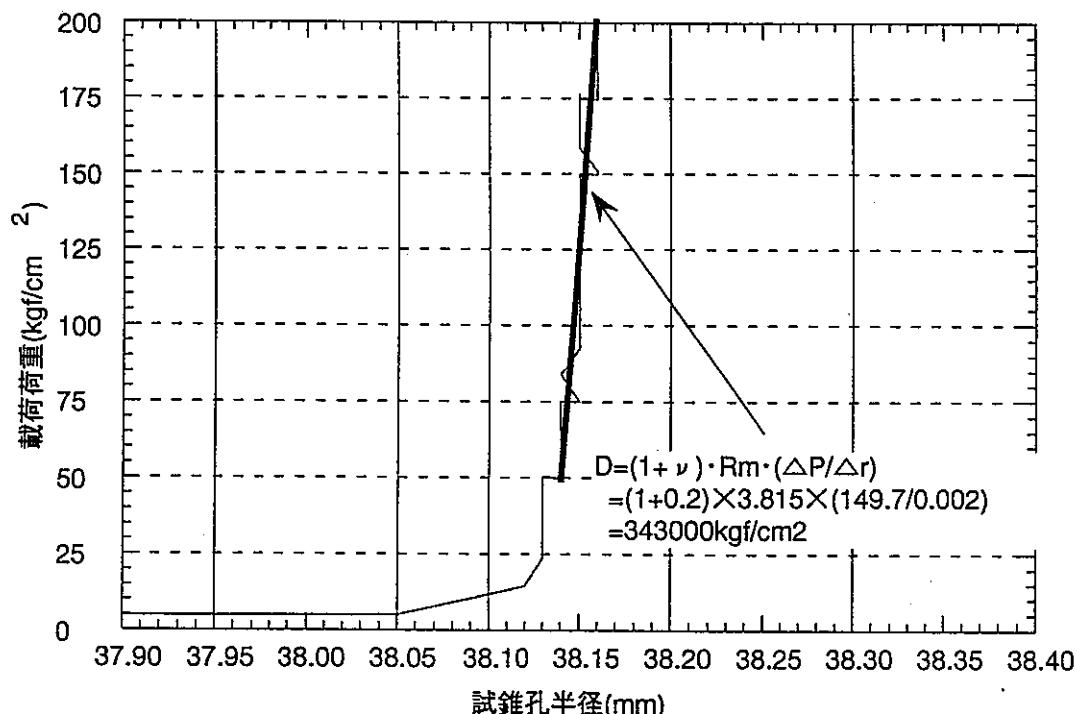


図10-4 載荷荷重と試錐孔半径の関係（深度3m）

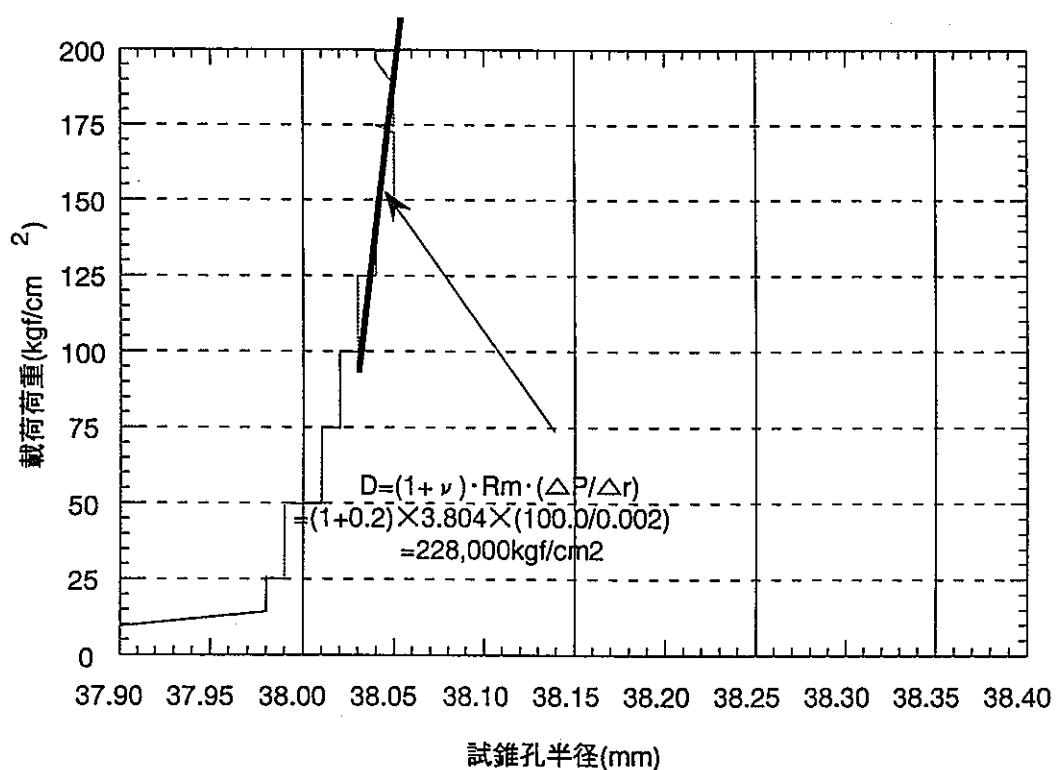
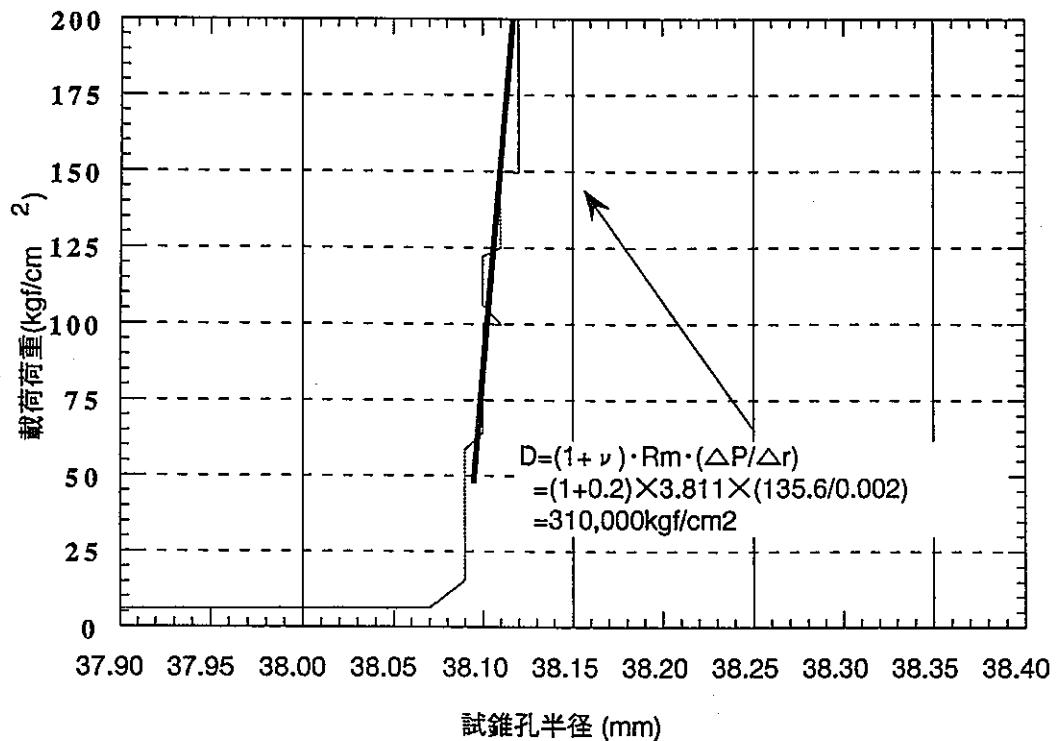


表10-2 孔内載荷試験結果一覧表

試錐孔	深度 (GL-m)	変形係数 (kgf/cm ²)
KBH-7	3.00	343000
	5.00	310000
	7.50	228000

11. ピット孔径変化測定

11.1 概要

試験ピット掘削に伴い、試験ピットの孔径がどのような挙動を示すか観察するために行った。測定箇所は試験ピットを1.5m程掘削してから、深さ約1mの所に4カ所測定点を設けて試験ピットが50cm掘削されるごとに孔径（約1.7m）の変化を測定した。測定位置を図11-1に示す。

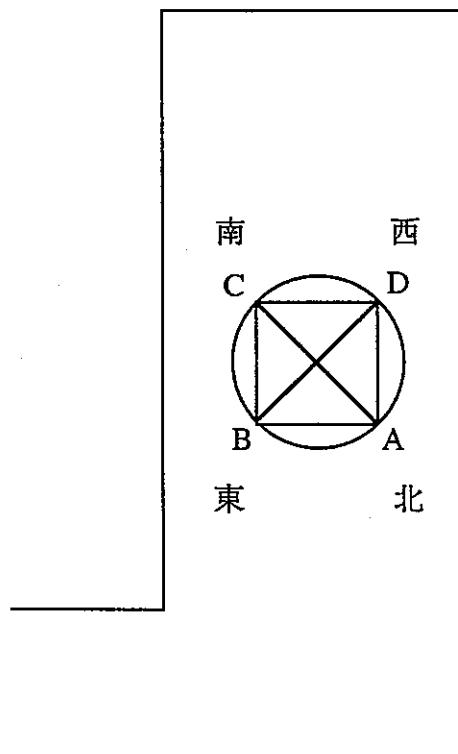


図11-1 孔径変位の測定位置

11.2 測定機器

測定機器は2種類の長さのステンレスロッド（直径測定用と弦測定用）の先端にレーザー変位計を取り付けたものである（図11-2）。この測定機器を用いるためには、片側を測定の度に孔壁の固定点に固定させ、レーザーの反射する位置も孔壁の固定点である必要がある。このため、試験ピットを掘削中に測定することを考慮し、孔壁の固定点（基台、図11-3）と、測定機器を受ける受台（図11-4）あるいはレーザーを反射させるターゲット台を別のものとした。基台は孔壁を縦30cm×横20cm×奥行10cmだけ孔壁を穿ち、その奥にアンカーボルトで固定した（図11-5）。そして、受台あるいは反射台は基台は測定の度にネジ止めによって固定することとした。測定中の概念図を図11-6に、図中の説明を表11-1に、実際に測定した区間を図11-7にそれぞれ示す。

また、このレーザー変位計の仕様を表11-2に示す。

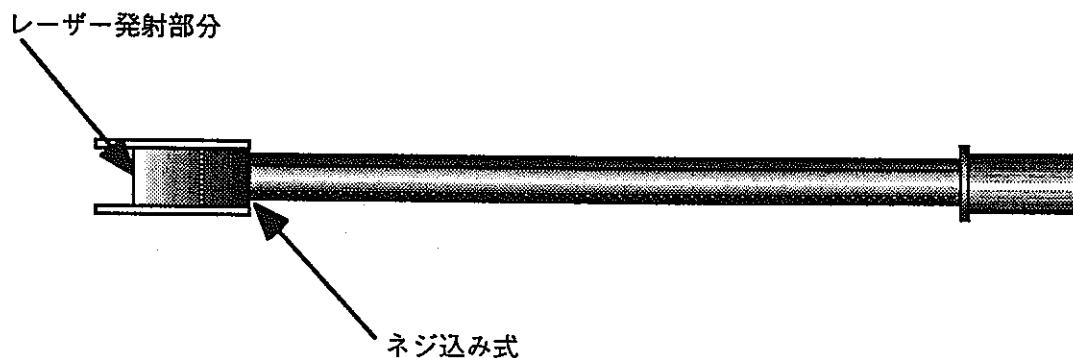


図11-2 測定機器

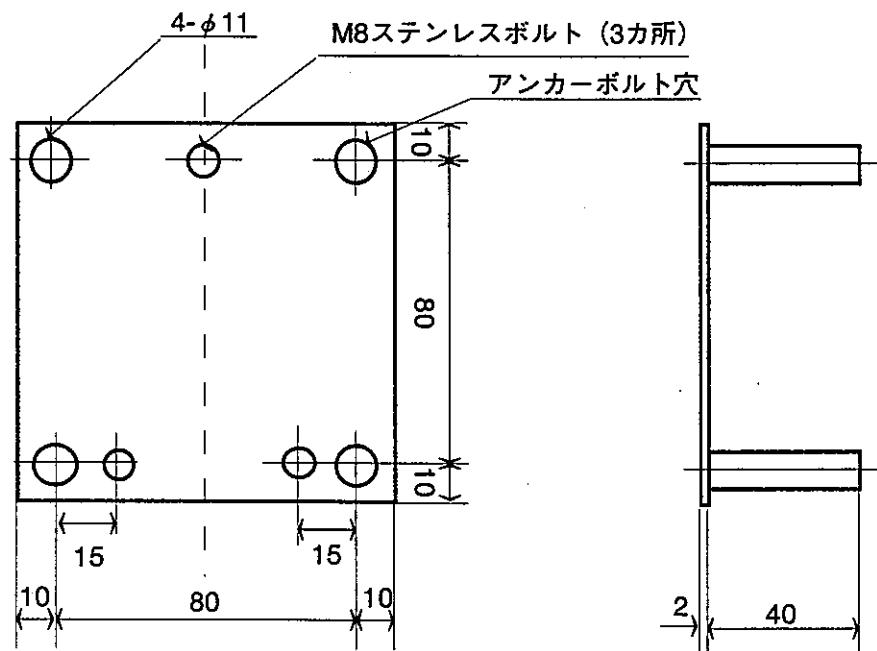


図11-3 基台

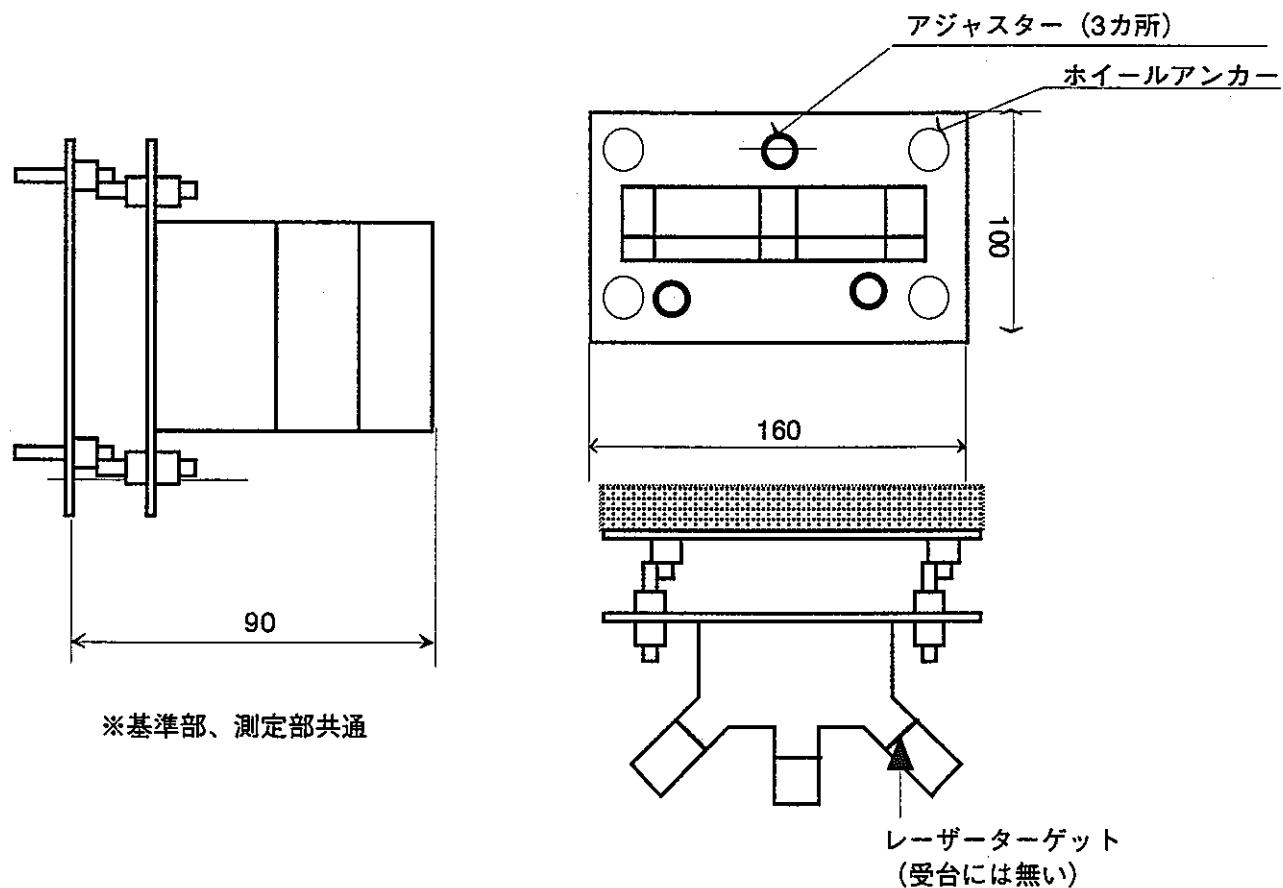


図11-4 受台／ターゲット台

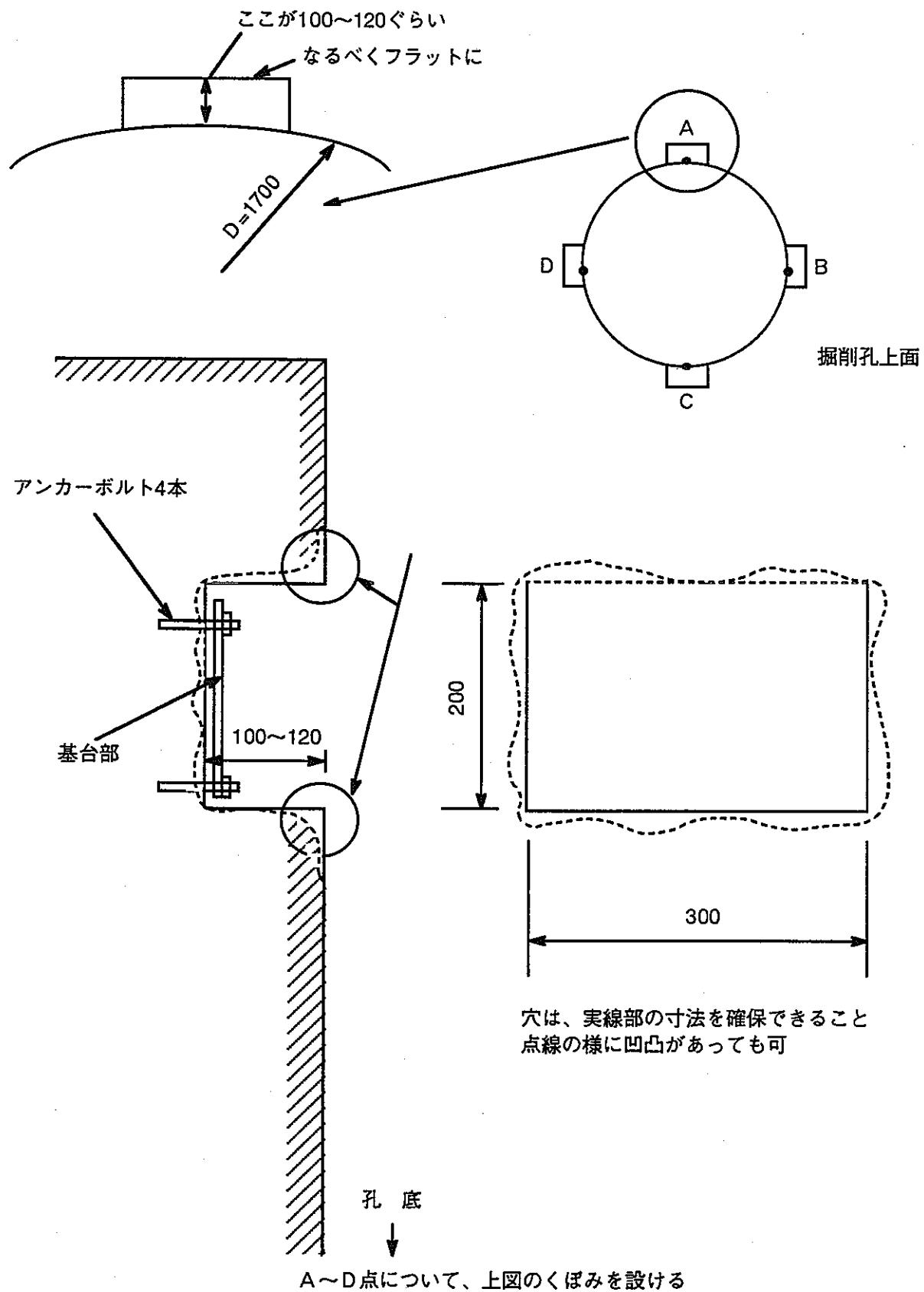


図11-5 受台／ターゲット台

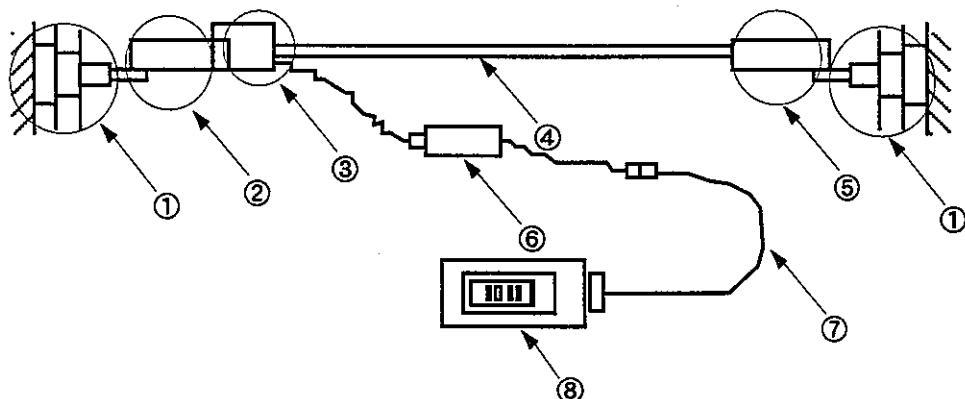


図11-6 測定概念図

表11-1 図11-6の各部の名称と説明

番号	名称	説明
①	基台	孔壁にアンカーボルトで固定。 上下左右に約3mm程度移動できる。 測定点すべてに設置。
②	ターゲット台	変位測定部を受ける受台。測定 個所に合わせて付け替える。
③	変位測定部（計測機器）	レーザー変位計センサーが内蔵 され、2種類の長さのロッドにね じ込みで装着できる。
④	ロッド（計測機器）	直径用、弦用の2種類。
⑤	受台	ロッドを受ける台で、測定個所 によって付け替える。
⑥	レーザー変位計アンプ	専用アンプで、センサーからケ ーブルをコネクターに接続する。
⑦	表示器用ケーブル	アンプと表示器を接続。
⑧	表示器	変位をmm単位で0.01の分解能 でデジタル表示。電源として AC100Vが必要。

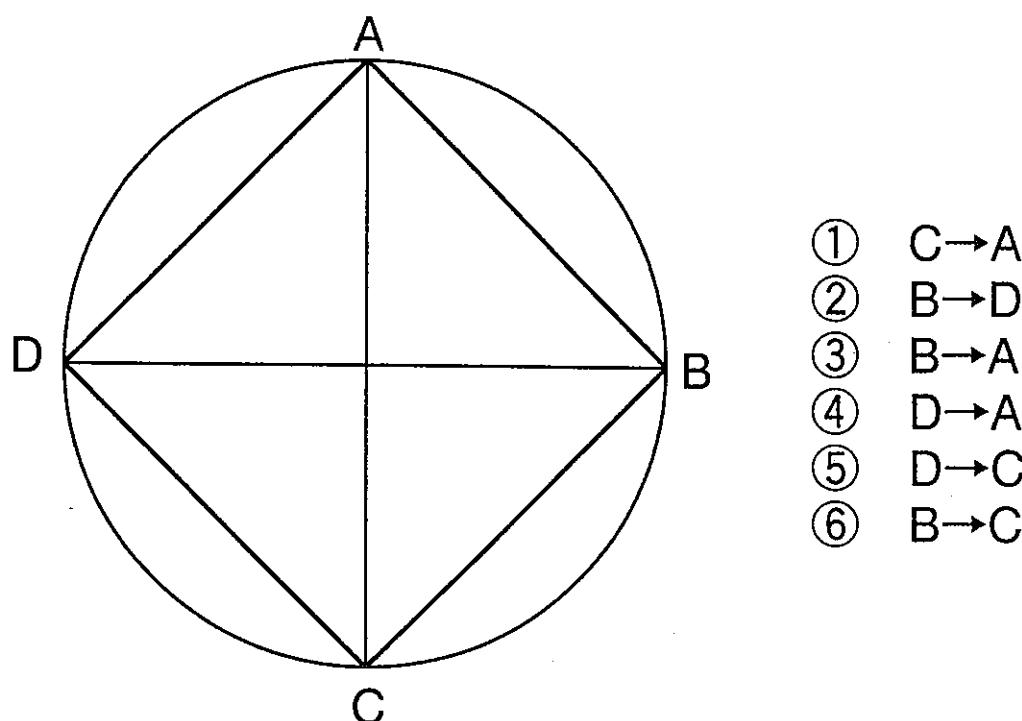


図11-7 実際に測定した個所

表11-2 孔径変位測定システムの仕様

区分	項目	仕様	
レーザー変位計	製造	キーエンス	
	型式	LB-60	
	計測範囲	±40mm	
	基準距離	100mm	
	分解能	最大10 μm	
指示計	製造	メック	
	型式	DI-100	
	分解能	10 μm (LB-60と組み合わせ)	
	電源	100V	
測定受台及びロッド	架台	ターゲット部	3方向45度間隔、1台
		受台	3方向45度間隔、1台
		基台	孔壁4個所
	変位計部	LB-60内蔵	1台
	ロッド	直径用	140cm、1本
		弦用	90cm、1本

11.3 測定手順

測定の効率からまず、直径を測定し次に弦の長さを測定した。以下に手順を示す。

11.3.1 測定準備

レーザー変位計アンプ、表示器を各コネクターで接続する。表示器の電源プラグをコンセントに差し込む。

11.3.2 直径測定

① 直径用ロッドに変位計部をねじ込む。

② C→A測定

ターゲット台をAに装着、受台をCに装着（図11-8）しロッドを乗せて測定する（図11-9）。

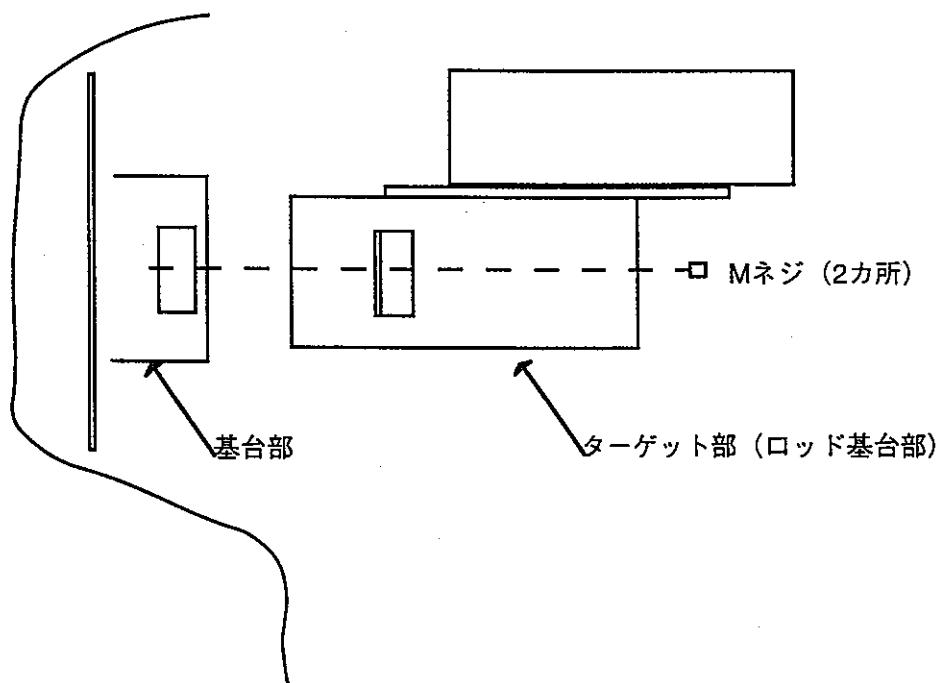
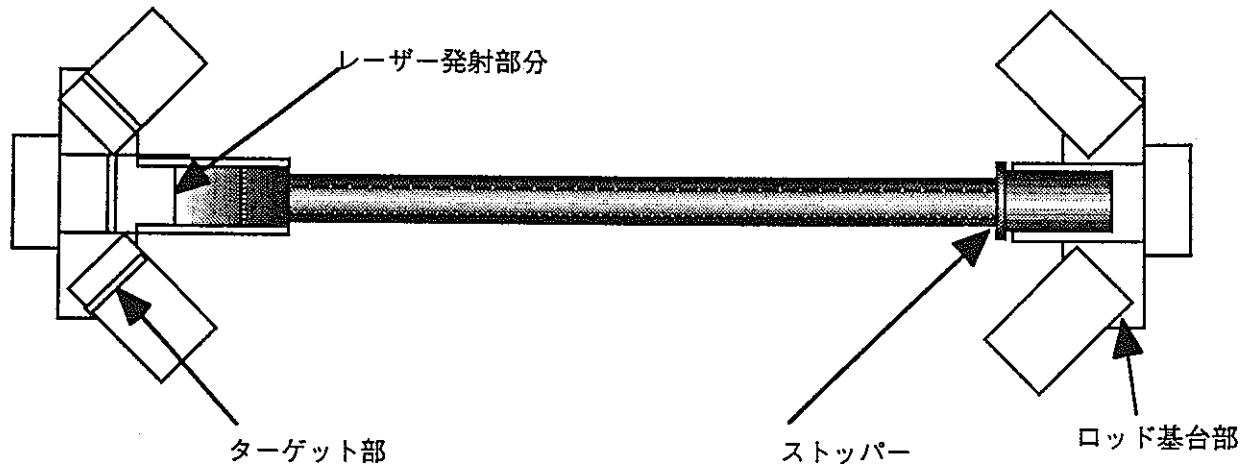


図11-8 ターゲット台（受台）を基台に装着した図

（基台にターゲット台を図のようにしっかりと差し込み、M4ネジ2カ所をとめる）



ロッド基台部にストッパーがきちんと当たるようにロッドを乗せる。
この時、レーザー変位計センサーのLEDが上になるようにする。

図11-9 ターゲット台（受台）にロッドを乗せた図

③ B→D測定

ターゲット台をDに装着、ロッド受台をBに装着し、ロッドを乗せて測定。

11.3.3 弦の測定

① 弦用のロッドに変位計をねじ込み、装着する。11.3.2①と同じ要領で取り付ける。

② B→A測定

ターゲット台をAに装着、ロッド受台をBに装着したままに、ロッドを乗せて測定。

③ D→A測定

ターゲット台をAに装着したまま、ロッド受台をDに装着し、ロッドを乗せて測定。

④ D→C測定

ターゲット台をCに装着、ロッド受台をDに装着したままに、ロッドを乗せて測定。

⑤ B→C測定

ターゲット台をCに装着したまま、ロッド受台をBに装着し、ロッドを乗せて測定。

測定に際しての注意事項は以下のとおりである。

- ・レーザー変位計の取り扱いは慎重にする。
- ・ロッドはロッド受台にストッパーがきちんと当たるように設置する。
- ・測定精度を維持するために基台は泥や砂などをきれいに取り除いて使用する。

11.4 測定結果

測定の結果を表11-3示す。測定値とは直接レーザー変位計から読み取る値で、それにロッドや基台の長さなどを加算したものが固定点間の距離として算出される。角度は固定点間の距離を三辺とする三角形の1つの角度を算出する方法で求めた。本測定で得られる長さは受台／ターゲットによって交際される四角形を基準としており、これら岩盤内に掘り込まれた基台に取り付けられているため、実際のピット径よりひとまわり大きくなっている。

表11-3 測定結果

測定日		1月29日	2月1日	2月5日	2月7日	2月13日	2月16日	2月21日	2月27日
掘削深度		1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
測定値 (mm)	C→A	9.90	10.56	11.06	10.10	11.54	12.50	11.84	11.85
	B→D	5.73	5.71	6.14	7.07	7.44	7.56	7.89	6.9
	B→A	4.86	4.77	5.57	5.91	5.26	6.38	6.49	5.64
	D→A	26.89	26.57	26.20	26.29	30.61	35.48	29.4	31.44
	D→C	17.25	17.57	13.75	13.72	13.92	13.79	14.39	13.26
	B→C	0.63	0.87	1.17	1.58	2.28	2.00	1.99	1.15
固定点間の距離 (mm)	C→A	1833.40	1834.06	1834.56	1833.60	1835.04	1836.00	1835.34	1835.35
	B→D	1829.23	1829.21	1829.64	1830.57	1830.94	1831.06	1831.39	1830.40
	B→A	1272.36	1272.27	1273.07	1273.41	1272.76	1273.88	1273.99	1273.14
	D→A	1292.89	1292.57	1292.20	1292.29	1296.61	1301.48	1295.40	1297.44
	D→C	1284.75	1285.07	1281.25	1281.22	1281.42	1281.29	1281.89	1280.76
	B→C	1266.63	1266.87	1267.17	1267.58	1268.28	1268.00	1267.99	1267.15
角度	∠DAB	89.03°	89.02°	89.01°	88.97°	89.11°	89.38°	89.08°	89.20°
	∠ADC	89.37°	89.33°	89.11°	89.17°	89.28°	89.44°	89.23°	89.27°
	∠DCB	88.44°	88.47°	88.28°	88.23°	88.25°	88.22°	88.23°	88.20°
	∠CBA	87.59°	87.55°	87.57°	87.67°	87.58°	87.56°	87.60°	87.52°

12. トリベック設置・計測

12.1 計測機器

チューリッヒ工科大学教授K.Kovariによって開発されたトリベックは、深度100mまでの孔軸方向変位および水平2方向変位、計3成分変位を、1m毎に高精度計測が可能な測定器である。

トリベックによる測定の概要図を図12-1、図12-2に示した。図12-1に示される様に、あらかじめ埋設した計測用ケーシング内にゾンデを挿入して測定する挿入型の測定器であり、測定区間長は1mである。

測定ゾンデの上端および下端のメジャリングヘッドは、凸型の十字形に加工されている。一方、ボーリング孔内には、メジャリングマークと称する測定点を長さ1mの硬質塩化ビニールパイプに連結して挿入し、パイプと孔壁との間にグラウトを行うことにより、メジャリングマークと地山が一体化して変位するようになる。

メジャリングマークの内側は、図12-2に示す様に、凹型の十字形にくりぬかれており、ゾンデをパイプ内で45°回転し、メジャリングヘッドの上面をメジャリングマークの下面に当てがった位置でゾンデを孔口方向に引張り、上下のメジャリングマークに計測ゾンデの両端のメジャリングヘッドを固定させた状態にして、指示計の表示を読み取る。

この時、ゾンデに接する2つのメジャリングマークの間が測定区間であり、区間長および水平方向の傾きの変化をゾンデに内蔵されている差動トランスおよびサーボアクセロメータによる傾斜計で検出する。

こうした計測を1m毎に、孔底から孔口まで行うことにより、3方向の地中の変位を測定する。

表12-1にトリベックの仕様を示した。

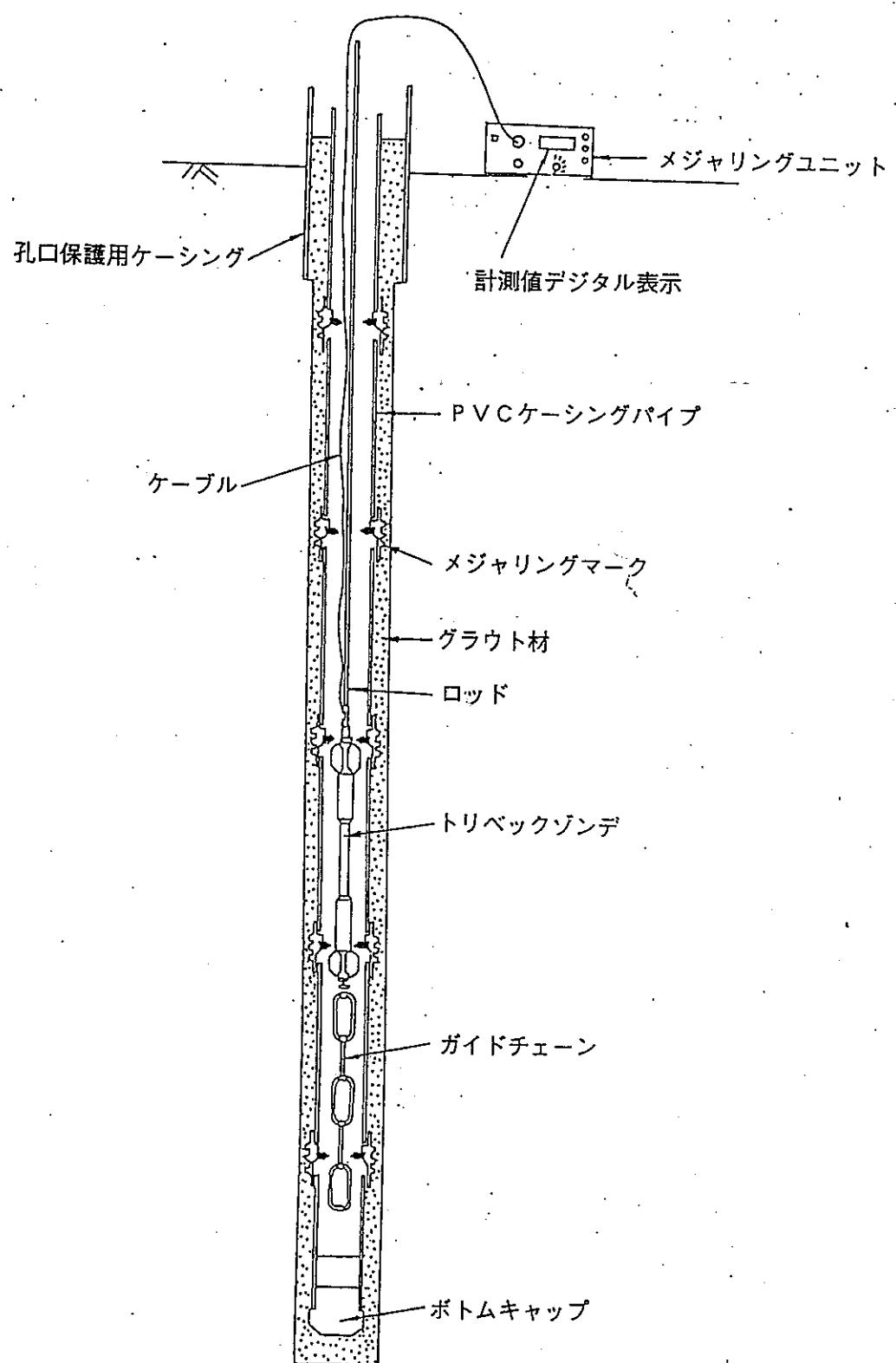


図12-1 トリベック概要図

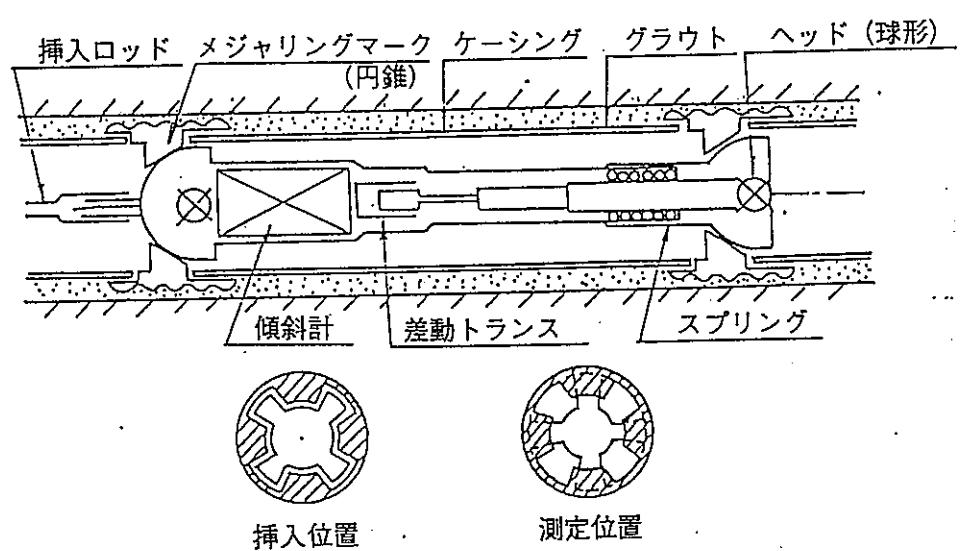


図12-2 メジャリングマークとメジャリングヘッドによる測定

表12-1 トリベック計器仕様

項目	仕様	
トリベックゾンデ	基線長	1000mm
	鉛直方向 (Z)	測定範囲 ±5mm 感度 0.001mm 精度 (標準誤差) ±0.005mm 直線性 ±0.3% 温度係数 <0.002mm/1°C
	水平方向 (X、Y)	測定範囲 ±5.5° / ±14.5° 感度 0.005 / 0.0154mm/m 精度 (標準誤差) ±0.03mm/m 直線性 ±0.3% 温度係数 <0.005mm/1°C 耐水性 15kgf/cm ²
		動作温度 0~+40°C
		動作電圧 110V/AC
		測定範囲 ±10,000 μm
		表示誤差 1 μm
		動作温度 -10~+40°C
校正器	インバースチール校正器	997.5mm および 1002.5mm
	動作温度	0~+40°C
	温度係数	0.8~1.2×10 ⁻⁶ / m°C

12.2 設置位置・方法

12.2.1 設置位置

トリベックの設置位置を図12-3に、また、各孔の設置深度を図12-4に示した。

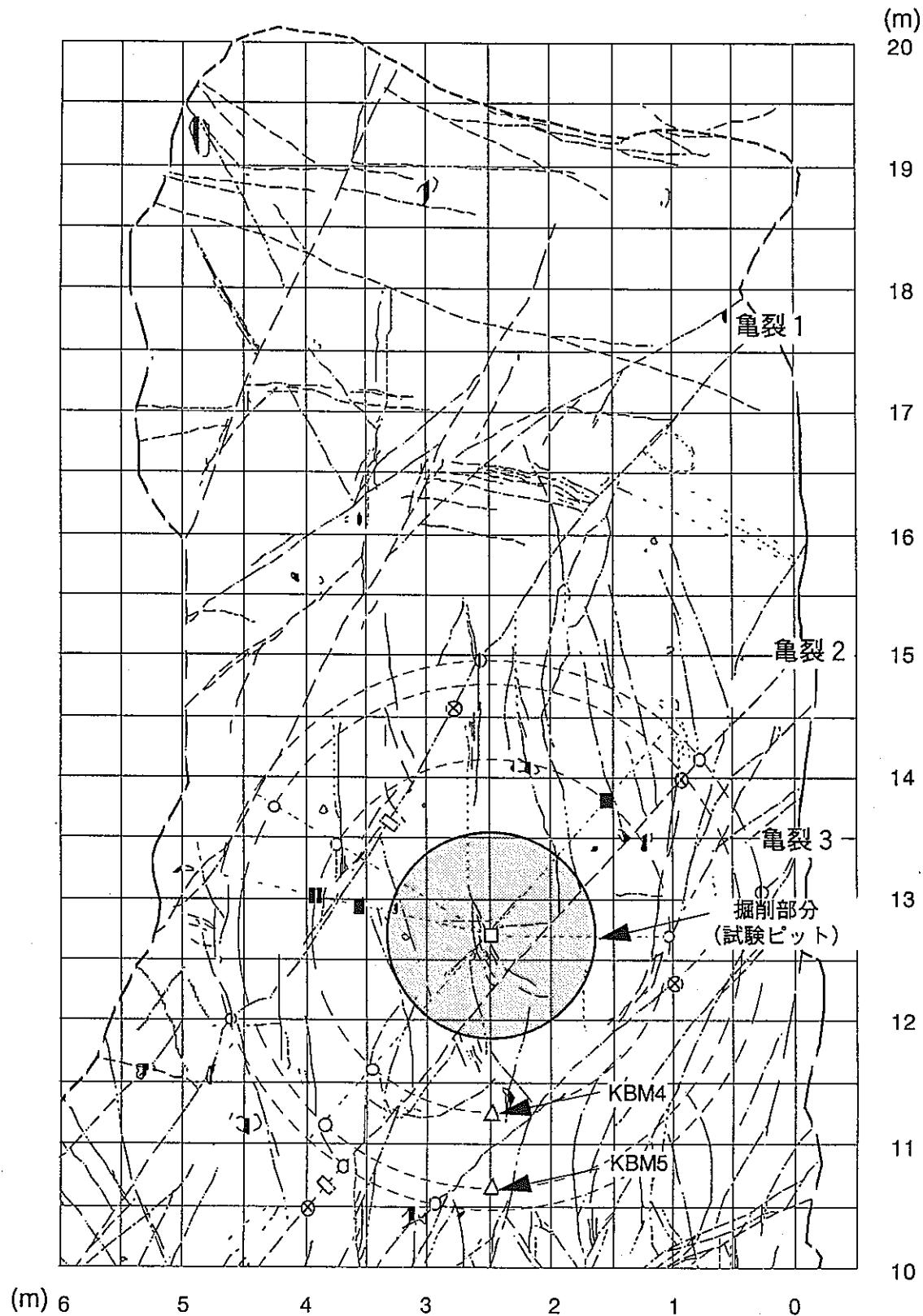


図12-3 トリベック計測孔位置

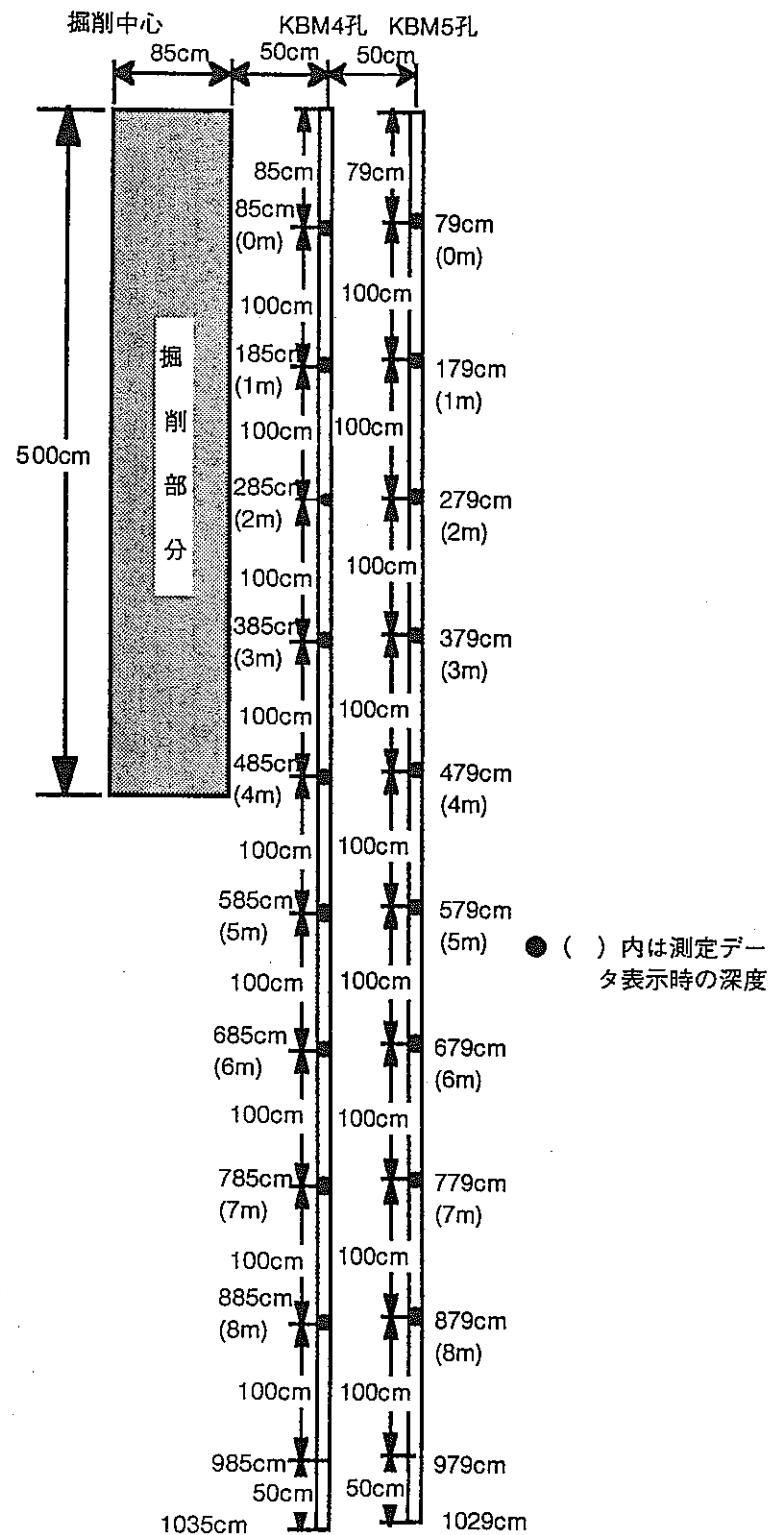


図12-4 各孔の設置深度

12.2.2 設置方法

トリベックはボーリング孔を利用した測定機器のため、測定前に専用のケーシングをボーリング孔内に設置し、グラウトにより地山を一体化させておく必要がある。

専用のケーシングの設置状況の概要を図12-5、図12-6に示した。

設置資材は長さ1m、外径約 $\phi 60$ (mm)のHPVCケーシングであり、これを必要な測定深度まで接続、延長して設置を行う。

図12-6に示した様に、1mのケーシングの接続は4箇所のイモネジを用いていていること、および、ケーシングのつぎ目に約5mmの隙間があることから、地山の変形が生じた場合接続箇所で伸縮が可能な構造になっている。

以下に設置手順を示す。

1) ケーシングの挿入

挿入作業の概要を図12-7に示した。

- ① ケーシングパイプを2mに接続しておく。
- ② 2mに接続したケーシングを計測孔に挿入し、さらに2mのパイプを接続する。接続はイモネジ4コで行いグラウト材がケーシング内に入らない様に生ゴムおよび幅広テープにより防水処理を行う。
- ③ ケーシングの挿入に合わせてグラウトホースを挿入し、孔底からグラウトできる様にする。

2) グラウト

グラウトの概要を図12-8に示した。

- ① グラウトホース（先端が孔底に位置する様に設置済）を用いて、グラウト材をケーシングと地山の間に孔底から注入する。
- ② グラウトが孔口まで上ってきた段階でグラウトを注入する。
- ③ グラウトの注入によりケーシングが浮くため、ケーシング内に清水を入れてバランスをとる。
- ④ グラウトが固化するまでサーシングが動かない様口元を固定する。

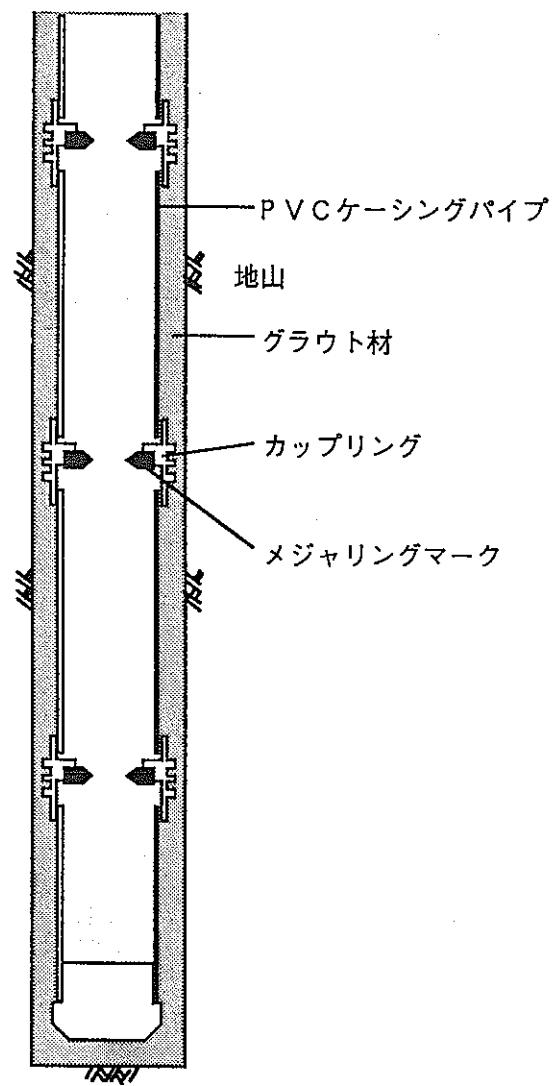


図12-5 専用ケーシングの設置状況

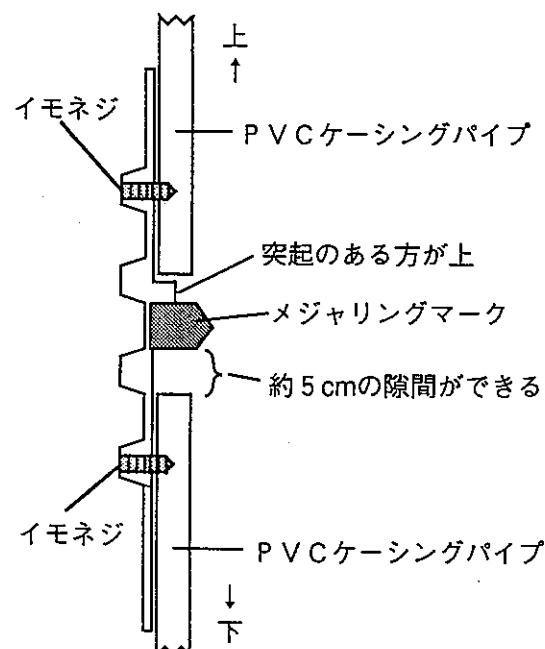
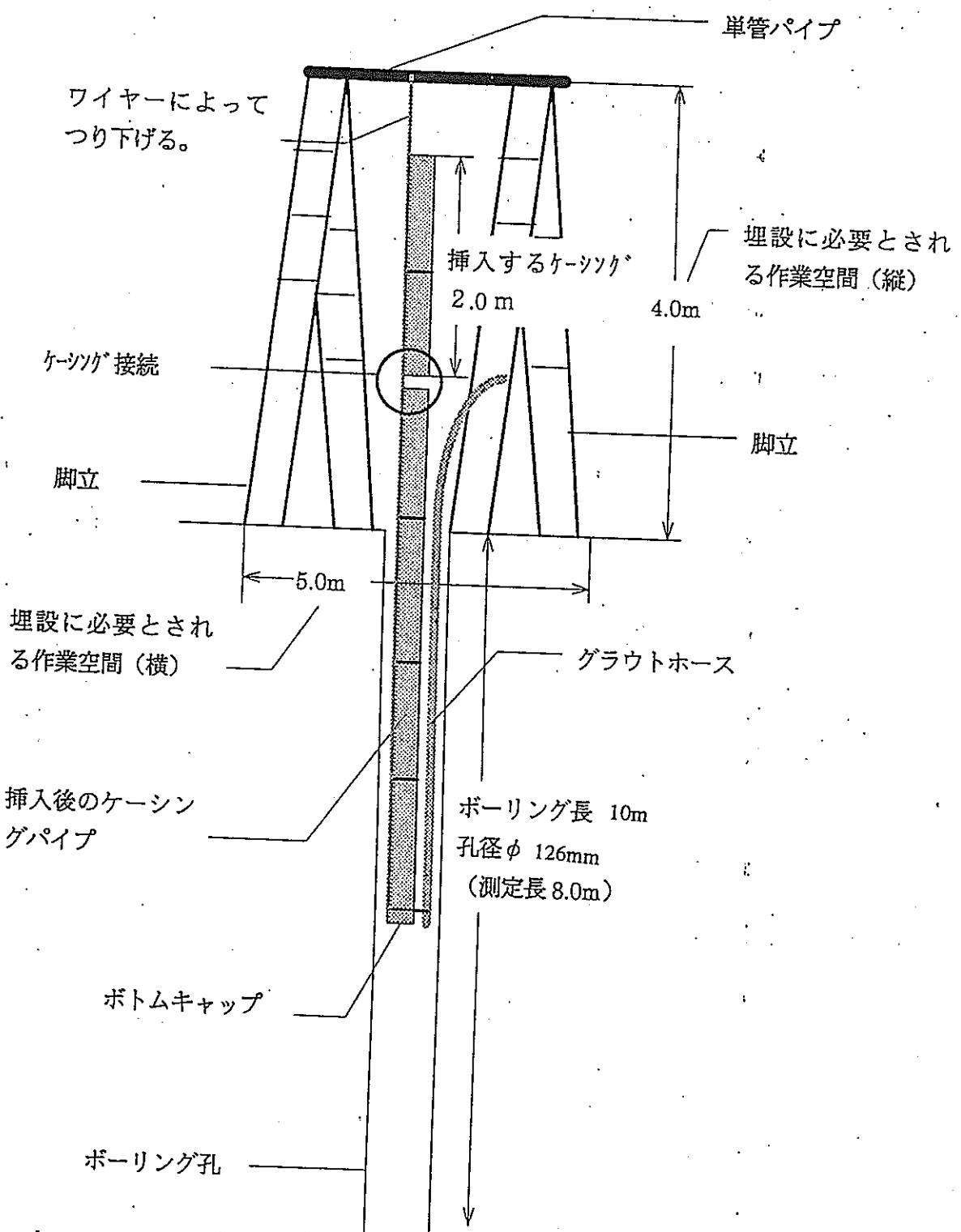
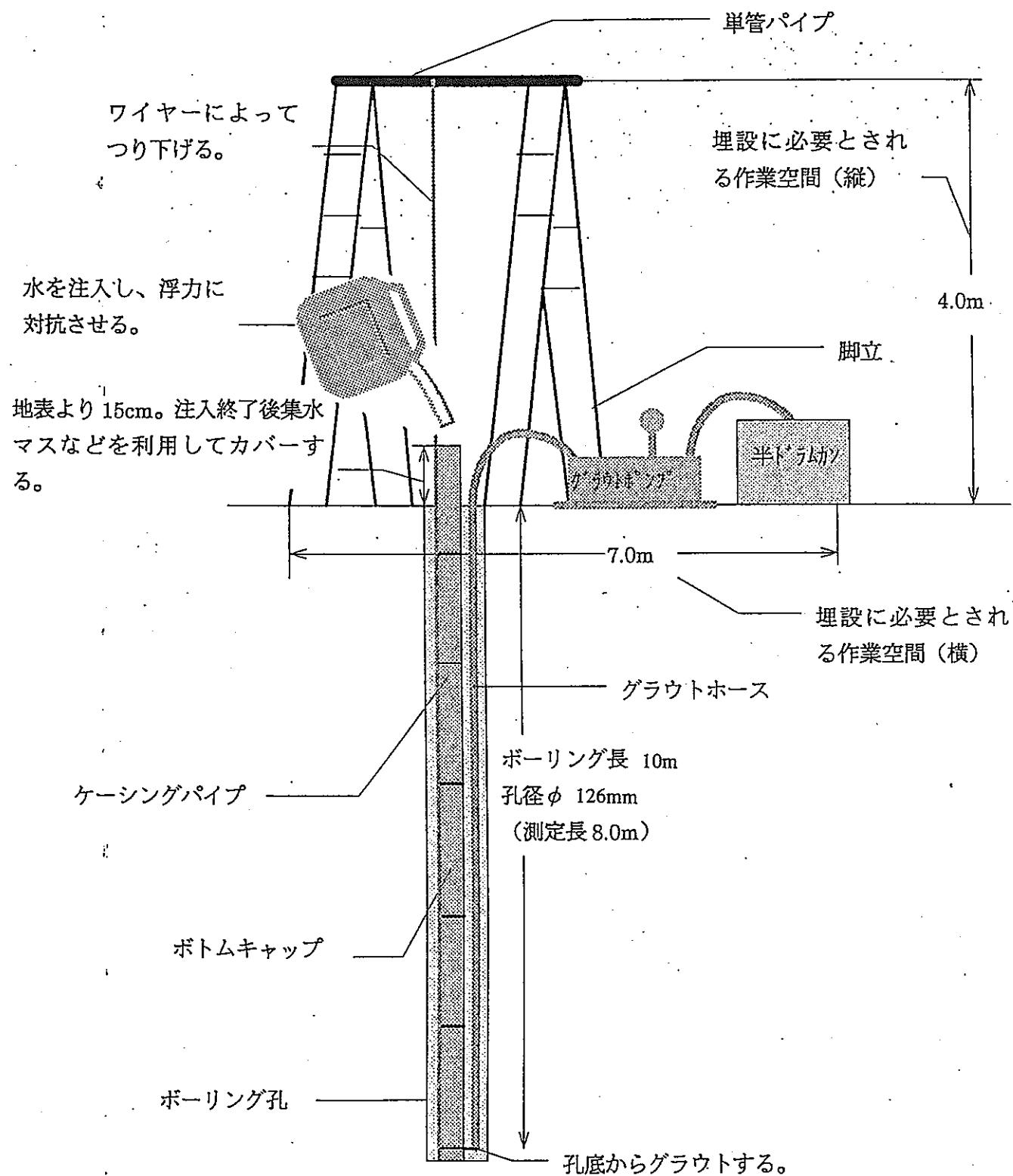


図12-6 ケーシングの接続部分の概要





12.3 測定結果

12.3.1 測定結果

深度と測定位置の関係を表12-1に示した。

なお、表中の

測定データは（深度）と（深度+1m）間の値を示す。

区間変位は（深度）と（深度+1m）間の変位を示す。

累積変位は孔底と（深度）の間の変位を示す。

表12-1 深度（表12-2）と測定位置の関係（単位：m）

表12-2の深度	測定データ	区間変位	累積変位
0	0 ~ 1	0 ~ 1	0 ~ 8
1	1 ~ 2	1 ~ 2	1 ~ 8
2	2 ~ 3	2 ~ 3	2 ~ 8
3	3 ~ 4	3 ~ 4	3 ~ 8
4	4 ~ 5	4 ~ 5	4 ~ 8
5	5 ~ 6	5 ~ 6	5 ~ 8
6	6 ~ 7	6 ~ 7	6 ~ 8
7	7 ~ 8	7 ~ 8	7 ~ 8

また、区間変位量は次式で計算した。

$$\Delta \theta = -(Z_0 - Z_0(0)) \times 0.001 \text{ (mm)}$$

$$\Delta X = ((X_0 - X_{180}) - (X_0(0) - X_{180}(0))) \times 0.5 \times 0.00254 \text{ (mm)}$$

$$\Delta Y = ((Y_0 - Y_{180}) - (Y_0(0) - Y_{180}(0))) \times 0.5 \times 0.00254 \text{ (mm)}$$

ただし、

$\Delta \theta$: 区間変位（伸縮）

ΔX : 区間変位（X方向）

ΔY : 区間変位（Y方向）

Z0 : Z方向読み値
 X0 : X方向読み値、 0° 方向
 X180 : X方向読み値、 180° 方向
 Y0 : Y方向読み値、 90° 方向
 Y180 : Y方向読み値、 270° 方向

※ (0) は初回の測定値を示す。

図12-9に測定方向を示す。

測定データを表12-2～表12-4示した。深度一変位図を図12-10～図12-13に、深度毎のX、Yの変位ベクトル図を図12-14～図12-21に示した。

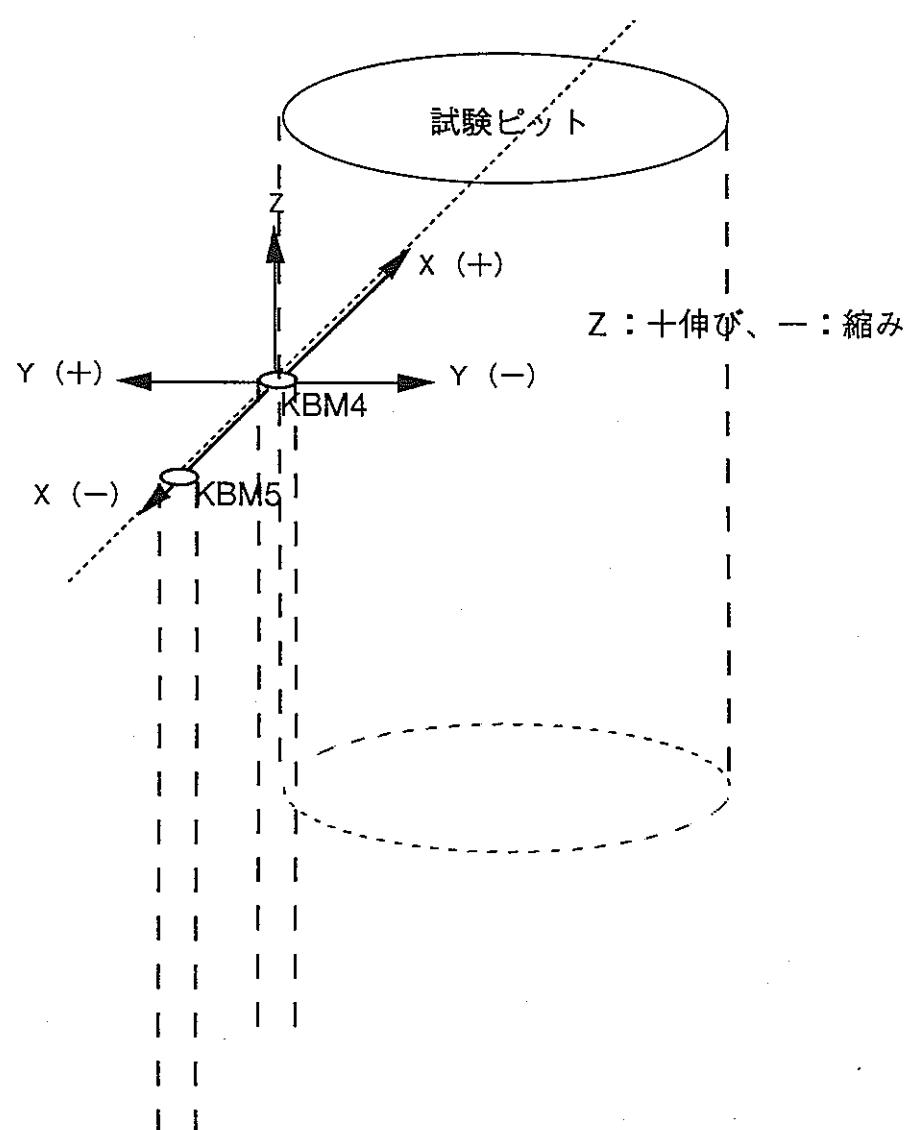


図12-9 測定方向

表12-2 (a) 第1回（初期値）測定結果（平成7年11月10日測定、KBH4）

深度 (m)	測定データ（読み値）						中点シフト		傾き	
	Z0	X0	Y0	Z180	X180	Y180	X0+X180	Y0+Y180	X0-X180	Y0-Y180
1	867	227	-180		-4136	2423	-3909	2243	4363	-2603
2	692	-1607	395		-2306	1835	-3913	2230	699	-1440
3	900	-2718	2117		-1191	111	-3909	2228	-1527	2006
4	850	-2582	2907		-1337	-682	-3919	2225	-1245	3589
5	883	-2380	2737		-1530	-511	-3910	2226	-850	3248
6	1041	-2241	3590		-1672	-1362	-3913	2228	-569	4952
7	890	-820	3611		-3102	-1380	-3922	2231	2282	4991
8	974	1023	3407		-4929	-1175	-3906	2232	5952	4582

表12-2 (b) 第1回（初期値）測定結果（平成7年11月10日測定、KBH5）

深度 (m)	測定データ（読み値）						中点シフト		傾き	
	Z0	X0	Y0	Z180	X180	Y180	X0+X180	Y0+Y180	X0-X180	Y0-Y180
1	625	-3373	-1778		-519	3974	-3892	2196	-2854	-5752
2	551	-2178	-1979		-1708	4188	-3886	2209	-470	-6167
3	917	-1342	-1865		-2571	4079	-3913	2214	1229	-5944
4	446	-1209	-2000		-2665	4228	-3874	2228	1456	-6228
5	987	-1617	-1615		-2280	3845	-3897	2230	663	-5460
6	789	-1053	-1424		-2859	3657	-3912	2233	1806	-5081
7	721	-1354	-352		-2532	2585	-3886	2233	1178	-2937
8	832	-2277	1739		-1620	490	-3897	2229	-657	1249

表12-3 (a) 第2回測定結果 (平成8年1月10日測定、KBH4)

深度 (m)	測定データ (読み値)					区間変位量 (mm)			累積変位量 (mm)		
	Z0	X0	X180	Y0	Y180	$\Delta \vartheta$	ΔX	ΔY	ϑ	X	Y
0	873	344	-4017	-163	2429	-0.006	-0.003	0.014	0.018	-0.128	0.124
1	693	-1475	-2169	406	1856	-0.001	-0.006	-0.013	0.024	-0.126	0.110
2	900	-2647	-1101	2134	128	0.000	-0.024	0.000	0.025	-0.119	0.123
3	851	-2509	-1231	2932	-669	-0.001	-0.042	0.015	0.025	-0.095	0.123
4	879	-2275	-1437	2758	-493	0.004	0.015	0.004	0.026	-0.053	0.108
5	1042	-2159	-1576	3622	-1346	-0.001	-0.018	0.020	0.022	-0.069	0.104
6	887	-754	-3004	3650	-1370	0.003	-0.041	0.037	0.023	-0.051	0.084
7	954	1072	-4872	3451	-1168	0.020	-0.010	0.047	0.020	-0.010	0.047

表12-3 (b) 第2回測定結果 (平成8年1月10日測定、KBH5)

深度 (m)	測定データ (読み値)					区間変位量 (mm)			累積変位量 (mm)		
	Z0	X0	X180	Y0	Y180	$\Delta \vartheta$	ΔX	ΔY	ϑ	X	Y
0	627	-3353	-519	-1716	4005	-0.002	0.025	0.039	-0.039	-0.022	0.056
1	556	-2143	-1675	-1944	4203	-0.005	0.003	0.025	-0.037	-0.047	0.017
2	924	-1264	-2496	-1842	4103	-0.007	0.004	-0.001	-0.032	-0.050	-0.009
3	448	-1123	-2582	-1985	4230	-0.002	0.004	0.017	-0.025	-0.053	-0.008
4	986	-1502	-2175	-1599	3852	0.001	0.013	0.011	-0.023	-0.057	-0.024
5	796	-995	-2765	-1428	3678	-0.007	-0.046	-0.032	-0.024	-0.070	-0.036
6	731	-1286	-2465	-344	2594	-0.010	0.001	-0.001	-0.017	-0.024	-0.004
7	839	-2189	-1512	1737	490	-0.007	-0.025	-0.003	-0.007	-0.025	-0.003

$$\Delta \vartheta = Z0 \times 0.001$$

$$\Delta X = (X0 - X180) \times 0.5 \times 0.00254$$

$$\Delta Y = (Y0 - Y180) \times 0.5 \times 0.00254$$

表12-4 (a) 第3回測定結果（平成8年2月16日測定、KBH4）

深度 (m)	測定データ（読み値）					区間変位量 (mm)			累積変位量 (mm)		
	Z0	X0	X180	Y0	Y180	$\Delta \theta$	ΔX	ΔY	θ	X	Y
0	855	293	-4054	176	2696	0.012	-0.020	0.105	0.067	0.008	-1.074
1	683	-1507	-2211	788	2175	0.009	0.006	0.067	0.055	0.028	-1.180
2	899	-2645	-1119	2432	473	0.001	0.001	-0.060	0.046	0.022	-1.247
3	848	-2474	-1242	3231	-222	0.002	0.017	-0.173	0.045	0.020	-1.187
4	878	-2237	-1443	3106	-30	0.005	0.071	-0.142	0.043	0.004	-1.015
5	1041	-2241	-1573	3901	-834	0.000	-0.126	-0.276	0.038	-0.067	-0.872
6	883	-683	-2970	3940	-826	0.007	0.006	-0.286	0.038	0.058	-0.597
7	943	1143	-4850	3741	-596	0.031	0.052	-0.311	0.031	0.052	-0.311

表12-4 (b) 第3回測定結果（平成8年2月16日測定、KBH5）

深度 (m)	測定データ（読み値）					区間変位量 (mm)			累積変位量 (mm)		
	Z0	X0	X180	Y0	Y180	$\Delta \theta$	ΔX	ΔY	θ	X	Y
0	621	-3223	-371	-1655	3915	0.004	0.003	0.231	0.013	-0.034	1.219
1	535	-2033	-1618	-1900	4120	0.016	0.070	0.187	0.009	-0.037	0.988
2	919	-1211	-2372	-1779	3995	-0.002	-0.086	0.216	-0.007	-0.107	0.801
3	443	-1146	-2560	-1947	4108	0.003	-0.053	0.220	-0.005	-0.020	0.585
4	986	-1453	-2173	-1557	3754	0.001	0.072	0.189	-0.008	0.033	0.366
5	790	-953	-2738	-1390	3581	-0.001	-0.027	0.140	-0.009	-0.039	0.177
6	723	-1265	-2437	-344	2539	-0.002	-0.008	0.069	-0.008	-0.013	0.037
7	838	-2191	-1530	1712	488	-0.006	-0.005	-0.032	-0.006	-0.005	-0.032

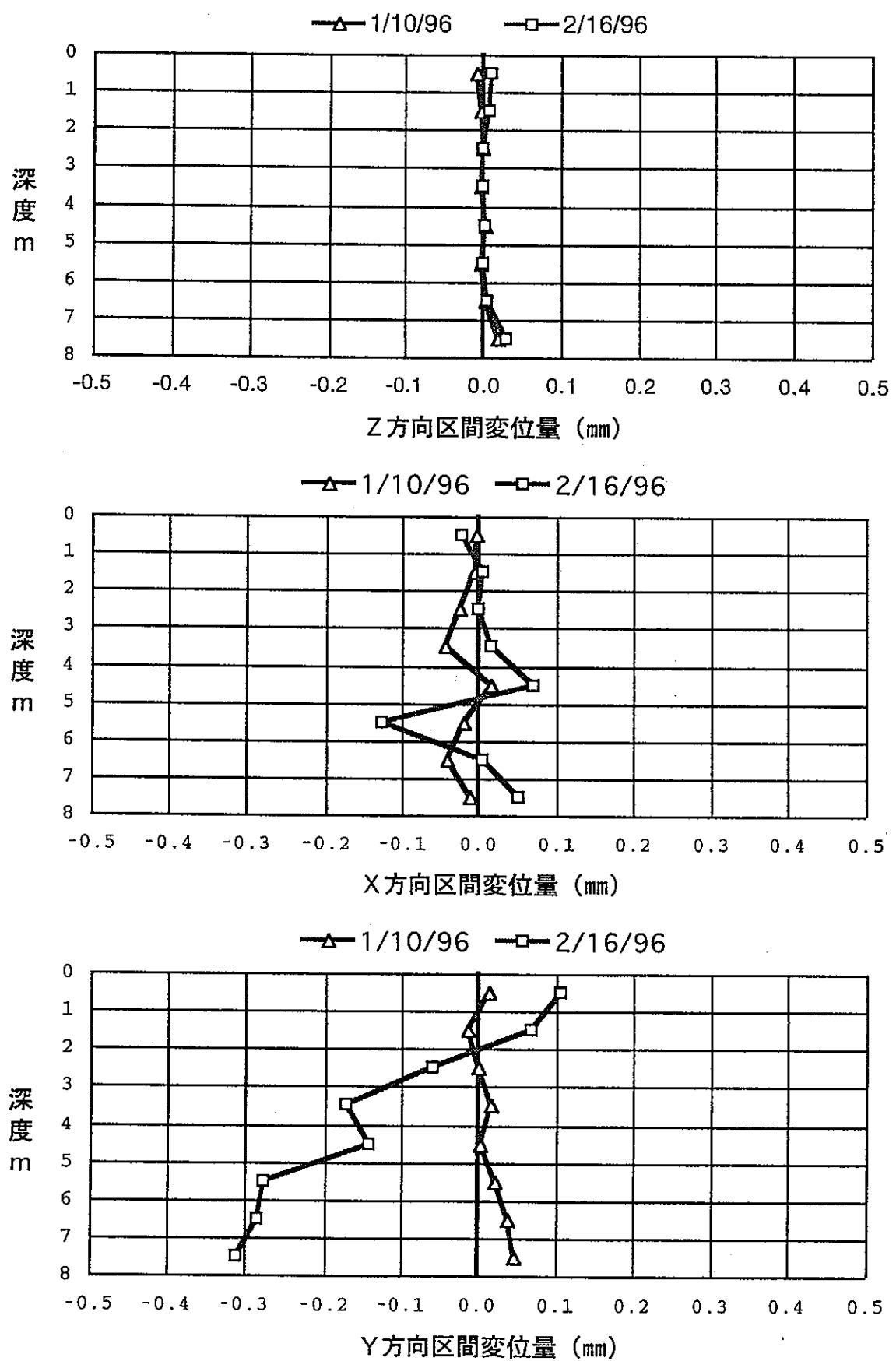


図12-10 区間変位量分布図 KBM4孔

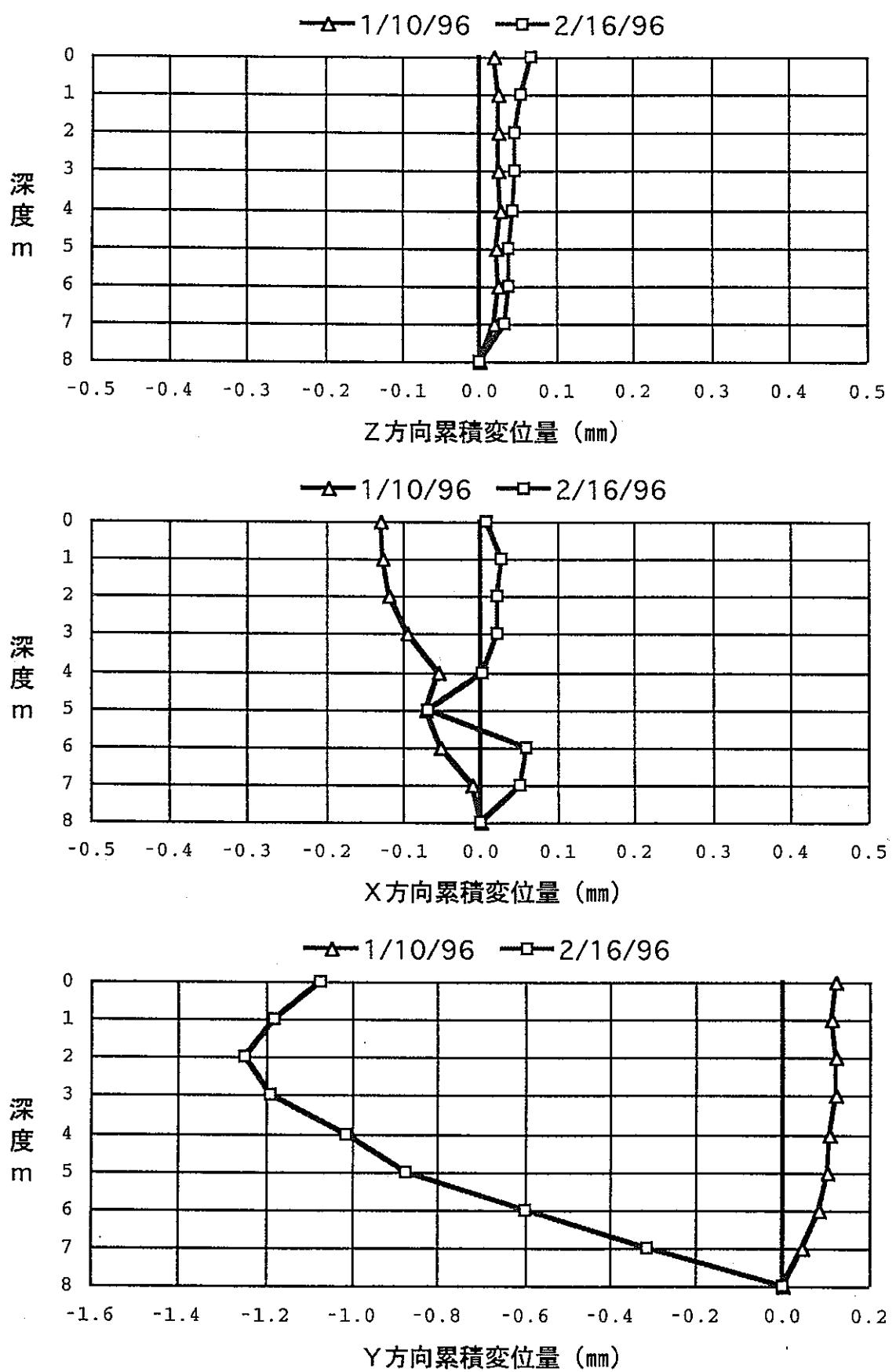


図12-11 累積変位量分布図 KBM4孔

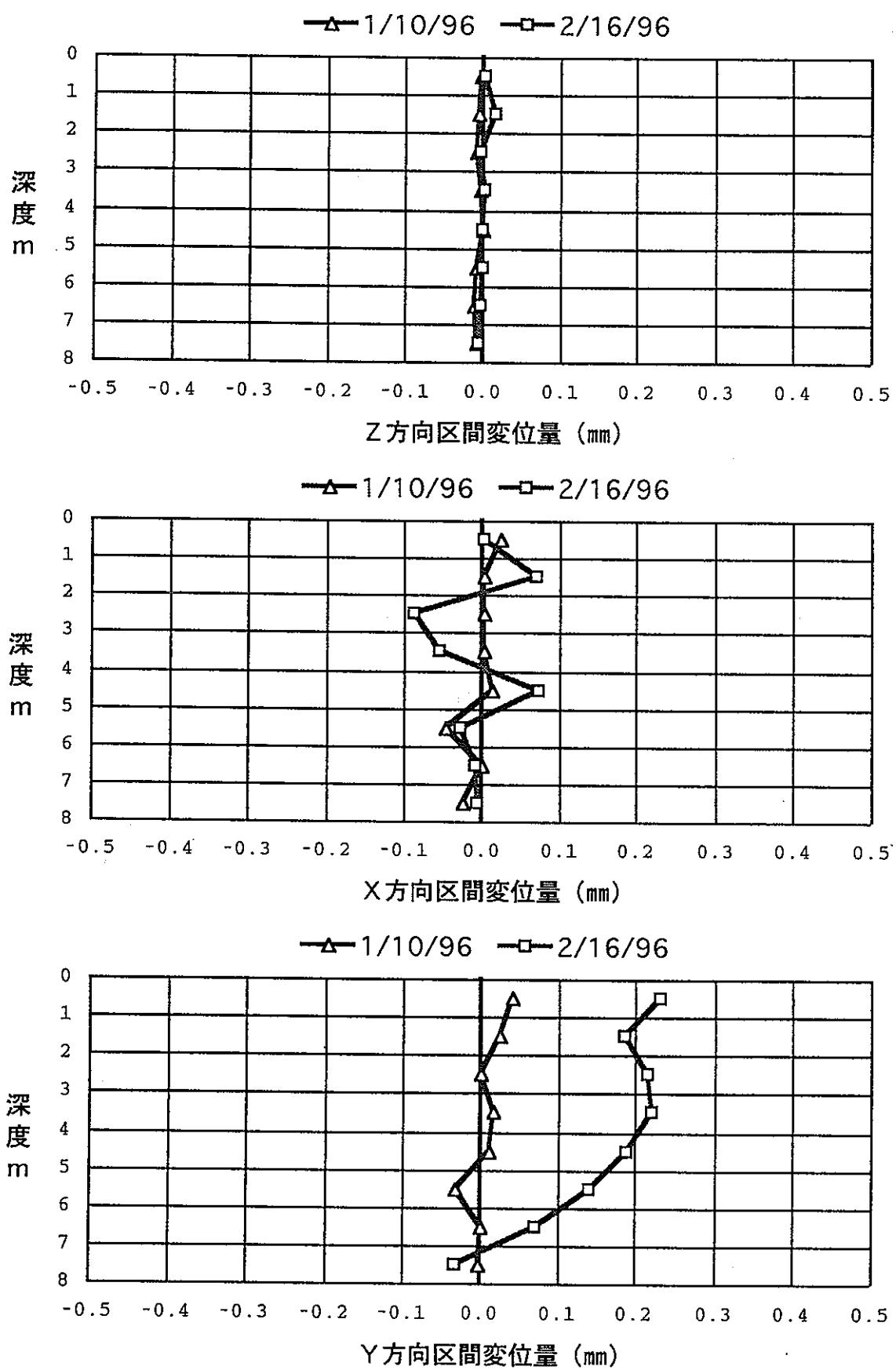


図12-12 区間変位量分布図 KBM5孔

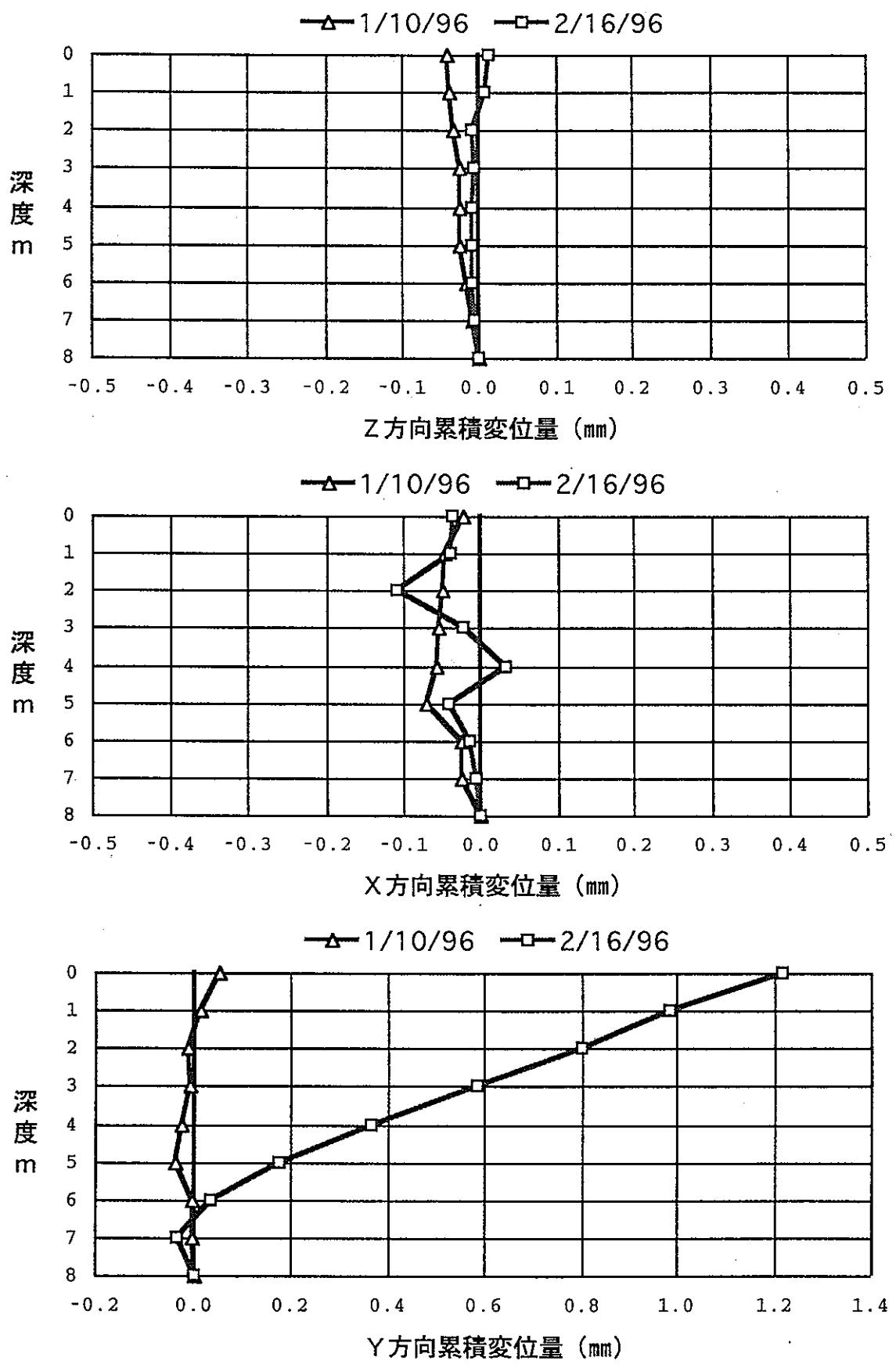


図12-13 累積変位量分布図 KBM5孔

12.3.2 考察

計測時期と施工状況の関係を表12-5に示す。

表12-5 計測時期と施工状況の関係

計測回数	日 時	施 工 状 況
第1回	平成7年11月10日	施工前
第2回	平成8年1月10日	大口径ボーリング実施後
第3回	平成8年2月16日	ピット掘削4m

1) Z方向変位に関して

第2回の測定結果は、概ね0.01mm以下の区間変位となっている。施工状況からZ方向に変位する可能性は小さいこと、および、データが土に変化していることを考えると測定誤差と考えられる。

第3回目の測定結果は、同様に深度3m以下は誤差と考えられるが、KBM4孔で0～2m、KBM5孔で1～2mで変位が見られている。

2) X方向変位に関して

KBM4孔では第2回の測定結果（区間変位）は測定分解能を考慮すると測定精度に近く、かつ、顕著な変位が発生している区間がないことから、変位が発生したかどうかは特定できない測定値である。第3回の測定では深度4～6m間で区間変位が発生している。これは累積変位図に示したように4～6m間の岩石ブロックが-方向へ変位した、あるいは0～4m、6～8m間が+方向へ変位したと考えられる。

KBM5孔では、KBM4孔と同様に第2回の測定の結果により変位が発生したかは特定できない測定値である。第3回の測定では、深度1～5mで区間変位が発生している。これは累積変位図に示したように、2～5m間の岩石ブロックが+方向へ変位したと考えられる。

3) Y方向の変位に関して

KBM4、KBM5孔とも、第2回の測定値では、変位が発生したかどうかを特定できない測定値である。ただし、第3回の測定では2孔とも以下に示す顕著な挙動が見られた。

KBM-4孔：深度3～8m間で、-方向に変形が発生している。

KBM-5孔：深度0～6m間で、+方向に変形が発生している。

4) まとめ

Z方向に関しては、KBM4孔で0～2m、KBM5孔で1～2m間で変位が見られた。

X方向に関しては、KBM-4孔で0～4m間（+方向）、KBM-5孔で2～5m間（+方向）で変位が見られた。

Y方向に関しては、KBM4孔で3～8m間に変形（-方向）、KBM-5孔で0～6m間に変形（+方向）の挙動が見られた。

地質は硬質な花崗岩であり、ピット掘削によって発生する岩片の弾性変形はわずかと考えられるが、測定対象領域は不連続面が多く存在することから、上記の変位挙動は不連続面に起因して発生した可能性が高い。

上記の変位挙動からはZ方向の変位はわずかであり、水平方向の変位が卓越している。特にY方向の変位が特徴的であり、累積変位で見るとKBM4孔とKBM5孔の孔口は、反対方向に同程度（約1.2mm）変位している。したがって、KBM4孔とKBM5孔間に存在する不連続面が変形したものと考えられるが、詳細にはKBM4、KBM5孔周辺の不連続面の3次元的な配置に関する調査を行った上で検討する必要がある。

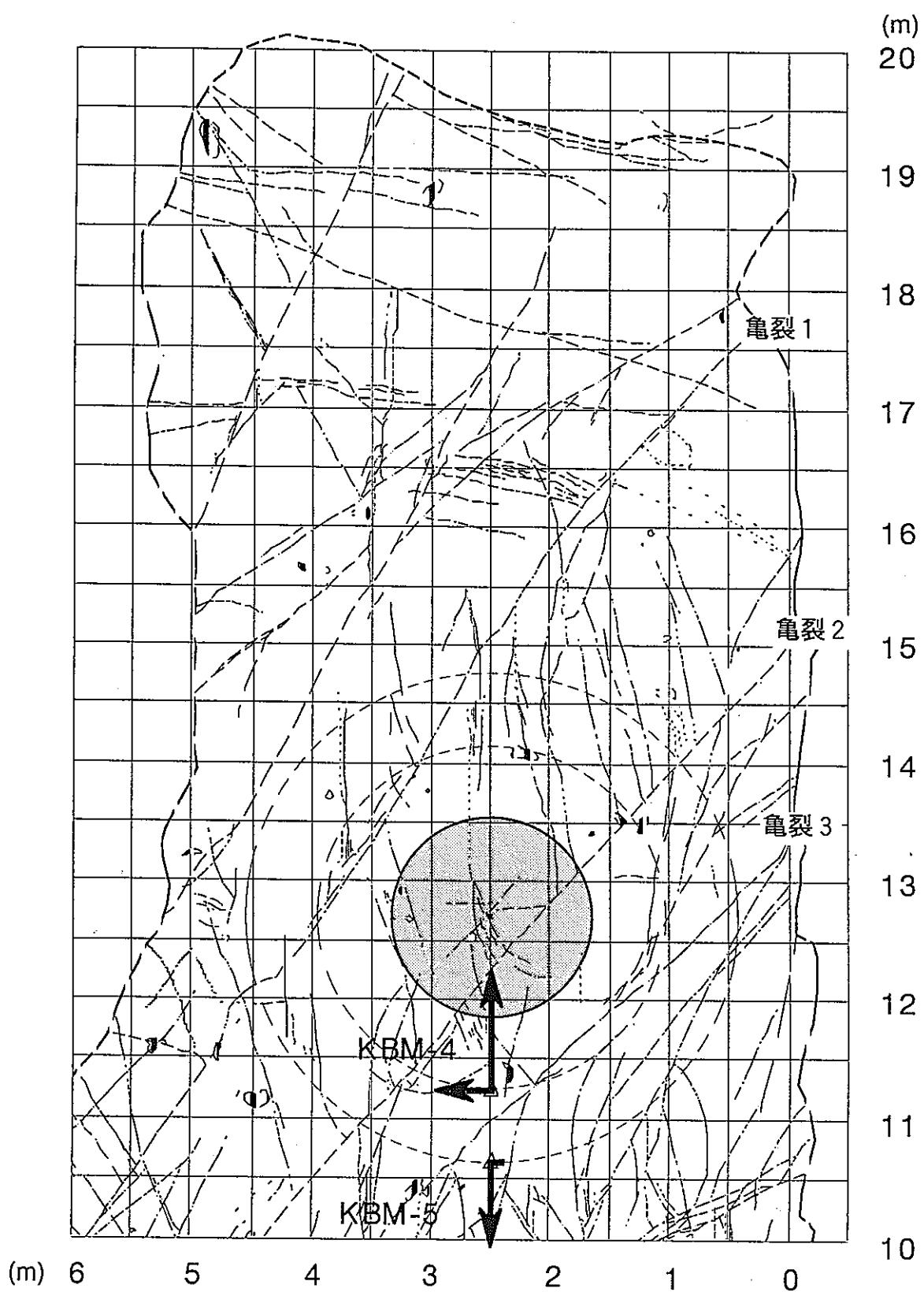
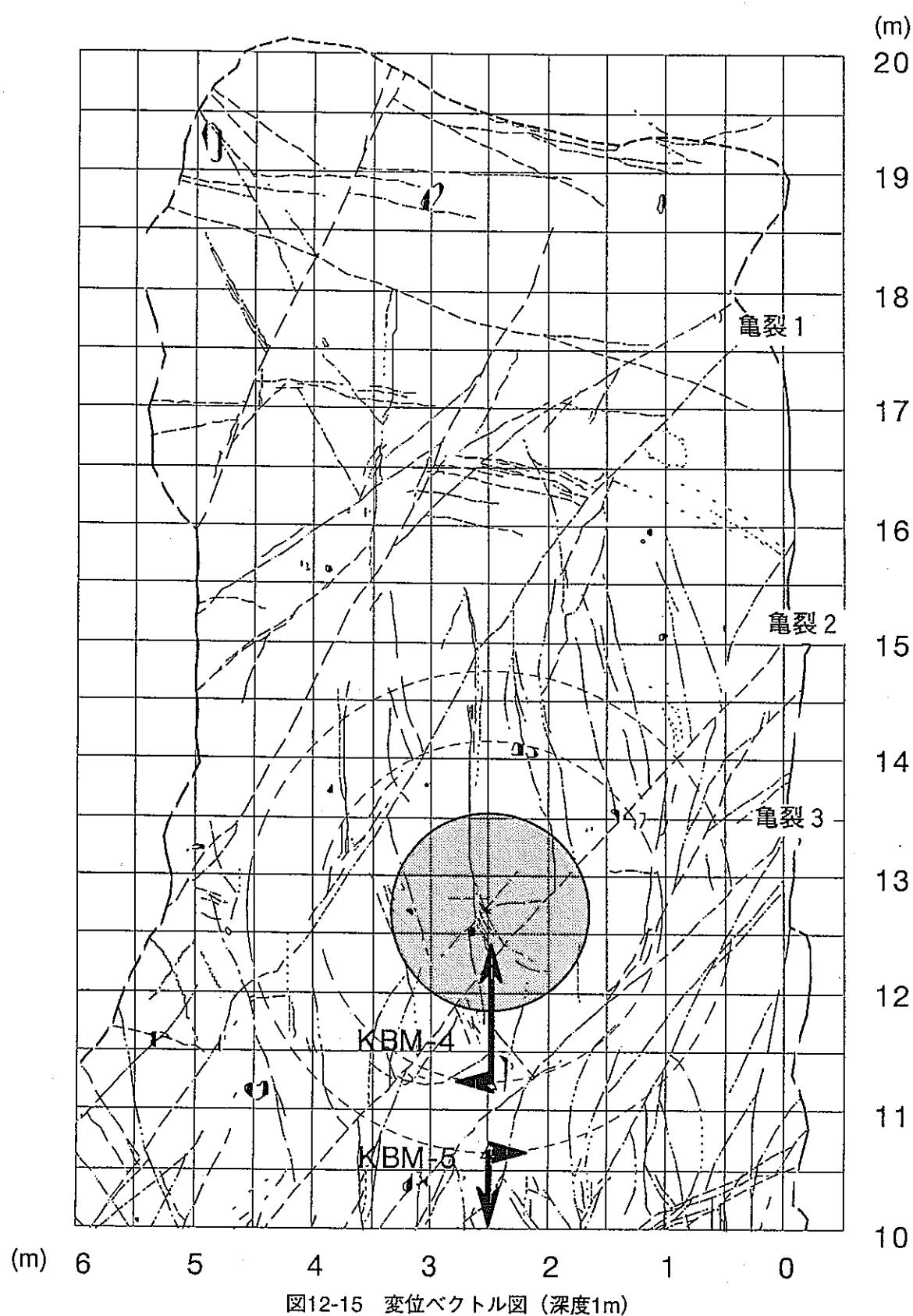


図12-14 変位ベクトル図（深度0m）



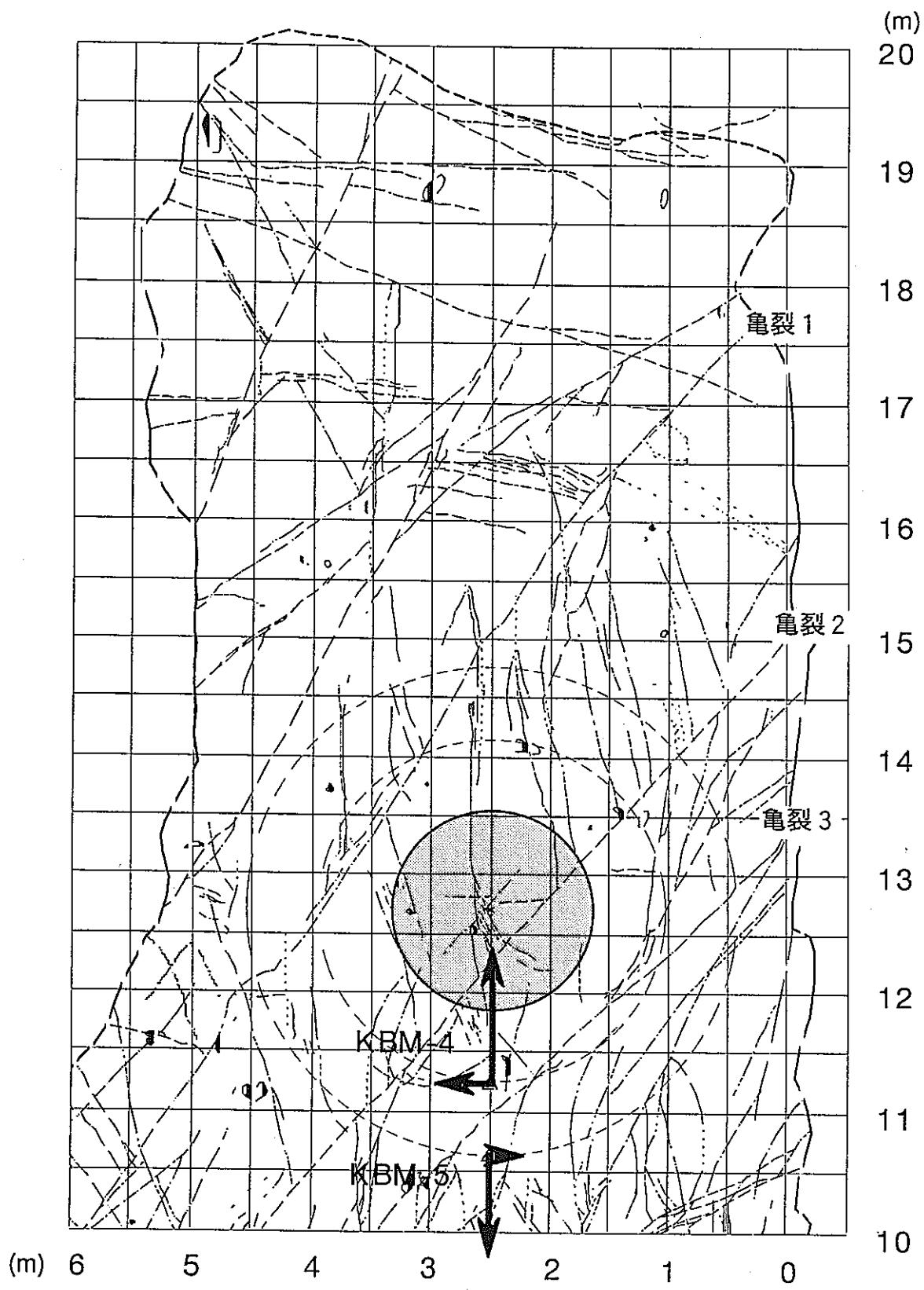


図12-16 変位ベクトル図（深度2m）

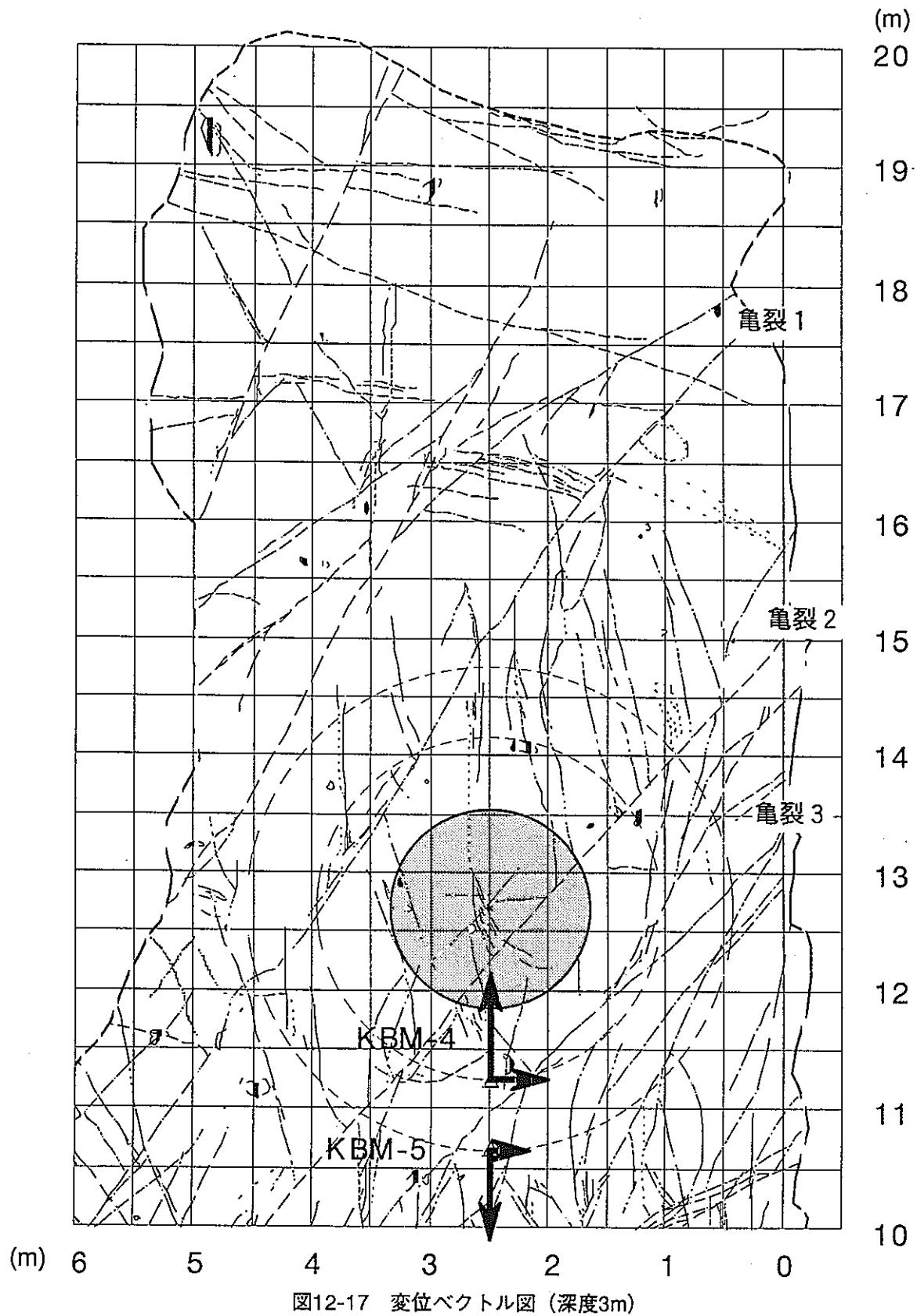
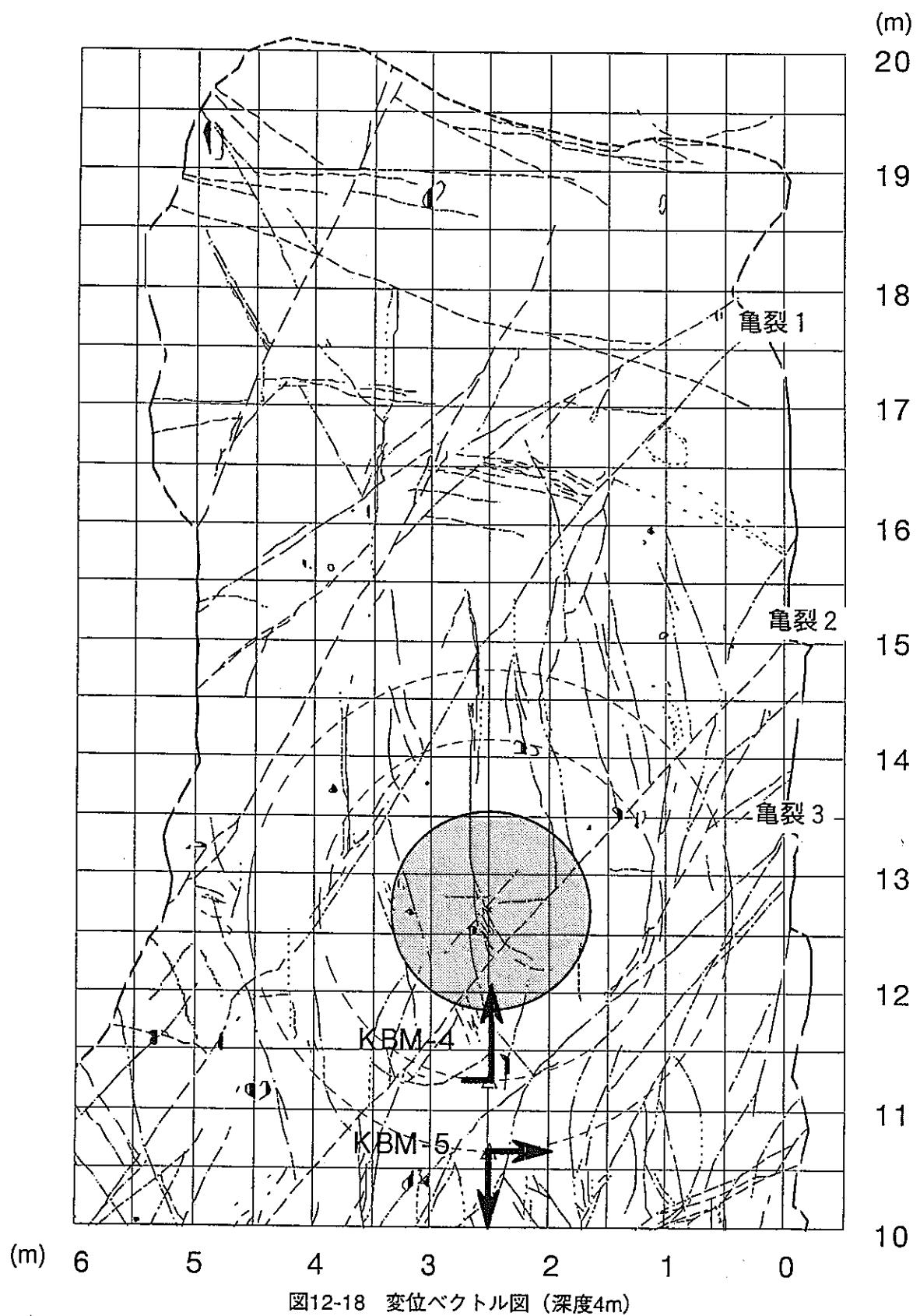


図12-17 変位ベクトル図（深度3m）



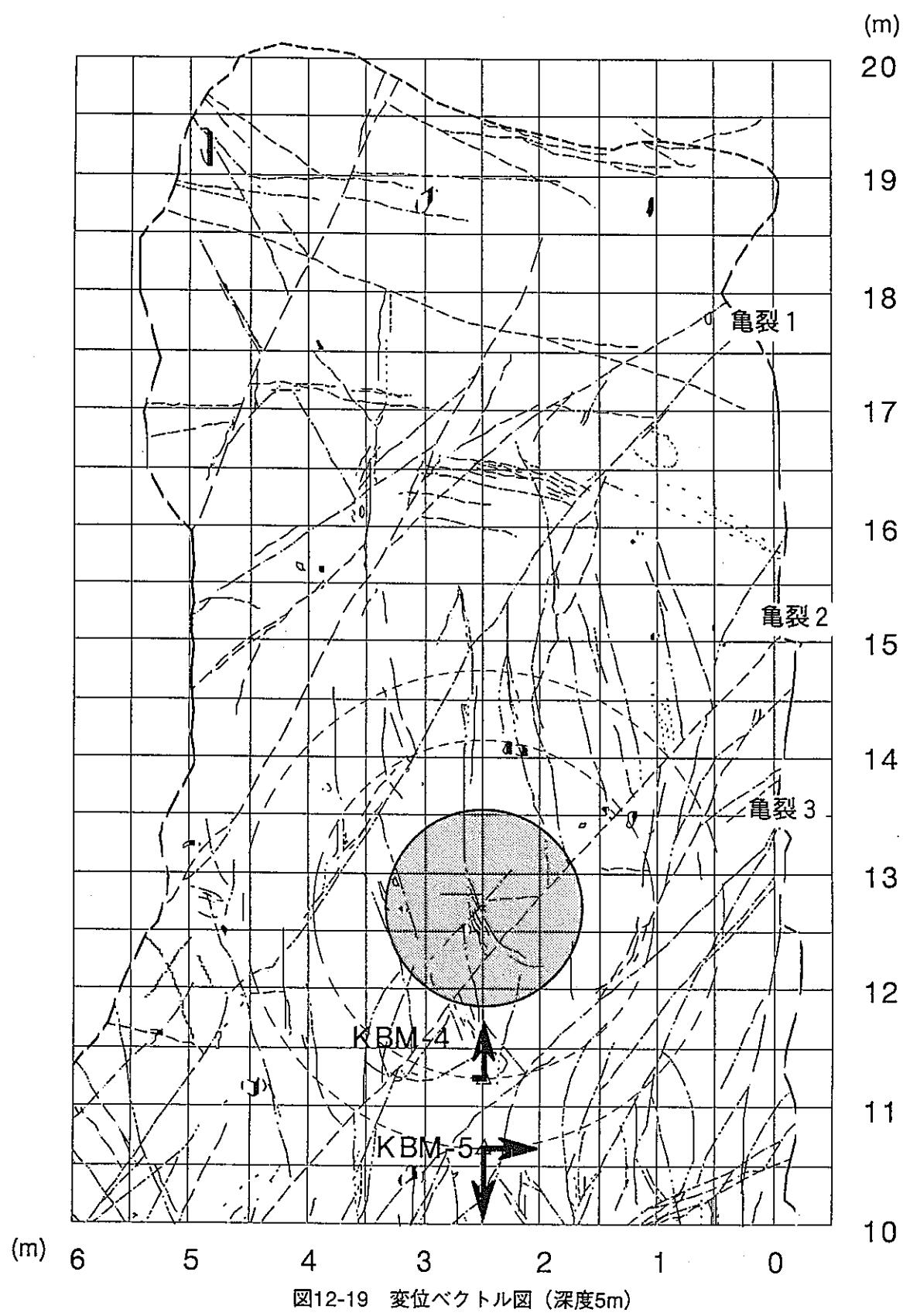


図12-19 変位ベクトル図（深度5m）

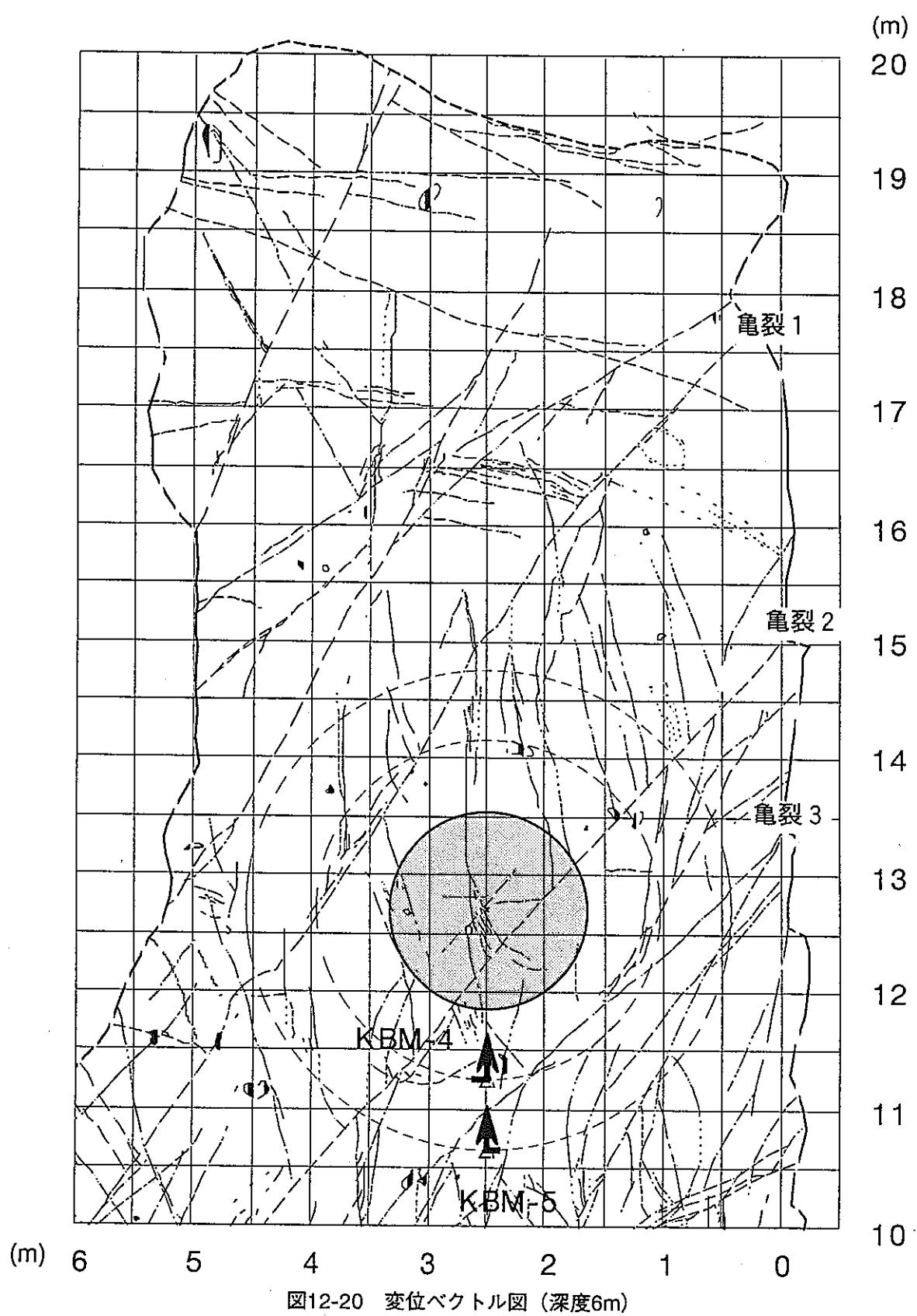


図12-20 変位ベクトル図（深度6m）

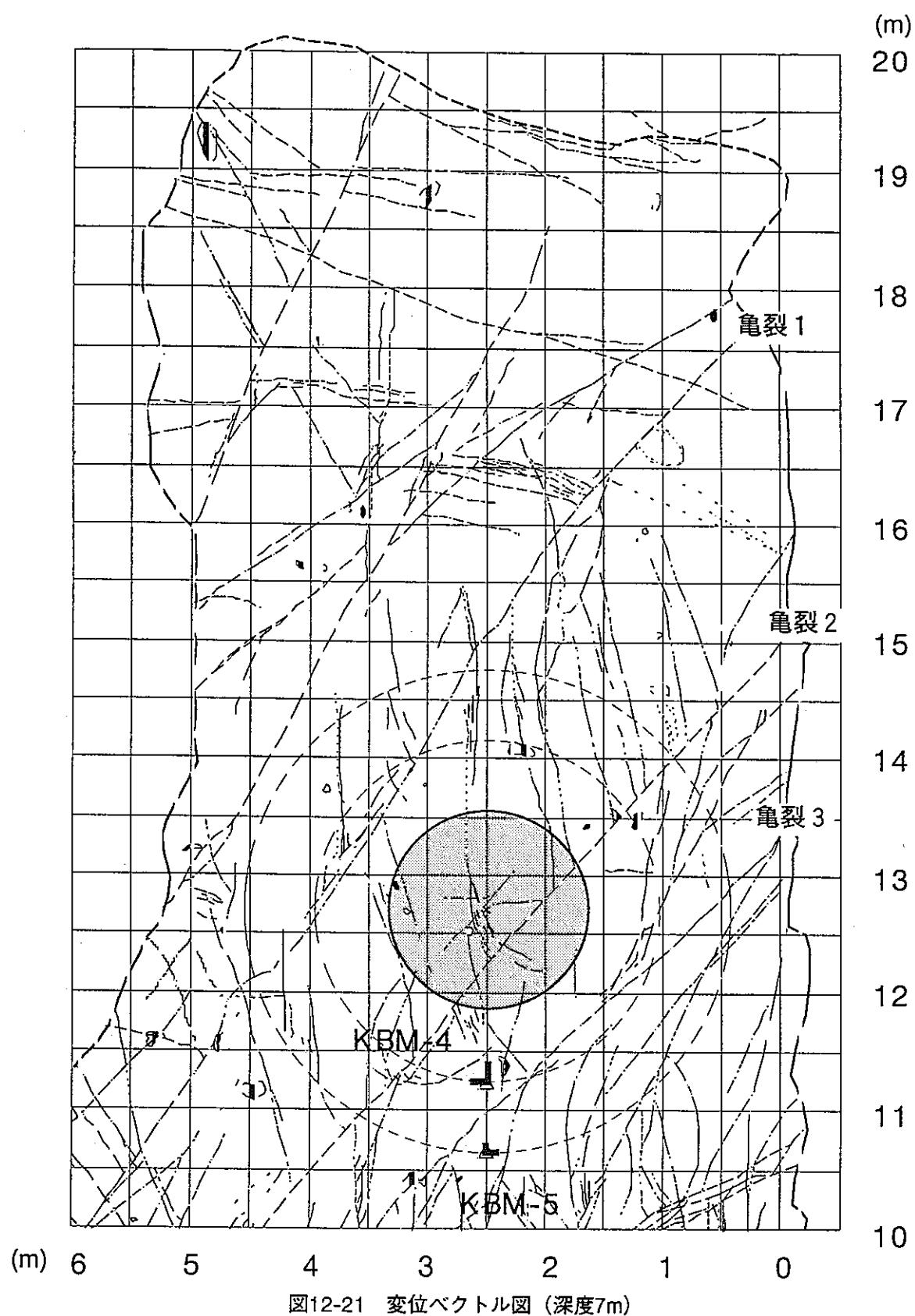


図12-21 変位ベクトル図（深度7m）

13. 埋設計測機器観察データ

5章で説明した岩盤内に埋設した計測機器についてその取得データを経時変化としてまとめた。なお、ここにまとめたデータはすべてデータロガーによって取得されたデータである。それら取得状況を表13-1に示す。

13.1 間隙水圧計 (B P - 2 K B T)

図13-1から図13-6に間隙水圧の経時変化を、図13-7から図13-12に温度の経時変化を示す。各試験孔に間隙水圧計を設置した初期の段階（7月中旬、9月中旬）では、各パッカー区間に水がなく各間隙水圧計もほぼ0に近い値を示している。8月下旬に実施した透水試験の結果によりKBH5において若干の間隙水圧が残留したもののがKBH1、KBH3では間隙水圧はほとんど残留しなかった。また、10月中旬に実施した透水試験ではKBH1のPT-1H、KBH4のPT-15H、KBH6のPT-28Hが残留した間隙水圧を観測している。

12月中旬から実施した試験ピットの掘削で水を用いたので試験ピット近傍の間隙水圧計では間隙水圧の上昇が見られるものもあった。このとき、間隙水圧計のコードがピット掘削関連資材により断線し、その期間のデータが欠落した。これは非常に残念であった。とくにKBH4の各間隙水圧計のデータが興味深い挙動を示していたのでなおのことである。だが全体として、透水試験や水を用いた掘削作業で反応した間隙水圧計は亀裂でその水源とつながっていると考えられる。これは当初の間隙水圧計を設置した目的の1つ、亀裂の連続性を把握すること、が達成されたと考えてよい。

また、間隙水圧計の測温機能による温度変化は12°C～13°Cではほぼ定常であり、試験場周辺の地下水の温度を示していると思われる。

13.2 ジョイント変位計 (JH-600)

図13-13、図13-14にジョイント変位計の経時変化を示す。また、図13-15に試験ピット掘削前後のきれつの相対的挙動を図示する。

図13-13によるとジョイント変位計の三成分のうちY方向が挙動が不確かなので採用されていない。しかし、試験ピットの掘削に伴って、亀裂が動いている様に見えるが、JM-3がほぼ動いていないこと、JM-2の挙動が不確かなことから亀裂-1が動いていとは断言できない。

また、図13-14によると試験ピット掘削期間においては挙動を示すものの次第に亀裂-2が動いたものではない。データから見るとショットボーリング開始後、亀裂-2が動きそのままの状態でしばらく微動し、ショッ

トボーリングの途中でJM-4が突如、掘削前の値を示した。これは、試験ピットによる亀裂-2への影響なのか、ジョイント変位計の固定部がスリップしたのか定かでないが、断定した評価はできない。

図13-15はピット掘削前後の亀裂-1、亀裂-2の相対的な挙動であるが、途中の状況などを踏まえず、掘削前後の値を差し引いて描いたものである。

13.3 小型ひずみ計 (BS-75BS)

図13-16に小型ひずみ計の経時変化を示す。図からわかるとおり、小型ひずみ計はほぼ動いていない。

13.4 ボアホール型二成分ひずみ計 (MBS40-2C)

図13-17にボアホール型二成分ひずみ計の経時変化を示す。設置後は、試錐孔とひずみ計との間のモルタルの影響によりかなり急激に動いている。また、コアボーリングの際にその影響により挙動が不安定になっている。SD-2がショットボーリングの途中で極端に動いているが、明確な説明は不可能である。

13.5 熱電対

図13-18に熱電対によって計測された温度の経時変化を示す。これらのおんどはひずみ計を埋設した個所に埋設したもので、試験ピット掘削時に若干温度が上昇している。これはピット掘削に用いた水の影響かあるいは掘削によって発生した熱によるものと思われる。

13.6 軸変位計

図13-19に軸変位計の経時変化を示す。試験ピット掘削前に設置したもので、長期的な観測データが無いため、断定できないが試験ピットの掘削によって若干の変動が生じている。また、T-4が極端に変化しているがこれは亀裂の変動より亀裂変位計その物が動いたのではないかと考えられる。

13.7 π ゲージ

図13-20、図13-21に亀裂変位計の経時変化を示す。試験ピット掘削前後でほとんど変化していない。しかし、P-3の挙動は π ゲージそのものになんら力が加わった為と考えられる。

表13-1 データロガーによるデータの取得状況

作業日	作業内容	データあり	データなし	データ未回収理由
7/12,13	間隙水圧計設置 (KBH1,3,5)	7/13-8/24 8/25 8/26-9/6 9/7-9/20		
9/20,21	間隙水圧計設置 (KBH2,4,6)	9/21 9/22-10/1 10/2-10/4 10/5-10/17 10/18-10/27 10/28-10/30		
11/1	ひずみ計設置 (KBM1,2,3)	10/31-11/25		
11/21	ジョイント変位計設置 (KBM6,7)			
		11/26-11/27		
		11/28-12/9		
?	ケーブル断線 (KBH3-1~4,KBH4-1~5)		12/10-12/21	
1/9	ジョイント変位計再設置 (KBM7)	12/22-1/13		
1/10	亀裂変位計設置 (PI1,2,3,4)			
1/16	間隙水圧計ケーブル補修 (KBH3-1回復せず)		1/14-1/16	FDが一杯になったため
		1/17-1/27		
1/24?	KBH4-5異常故障		1/28-1/29	
		1/30-2/3		
			2/4	
		2/5-2/8		
			2/9-2/13	
		2/14-2/20		
			2/21-3/7	
		3/8-3/11		
			3/12-3/18	
		3/19-3/31		

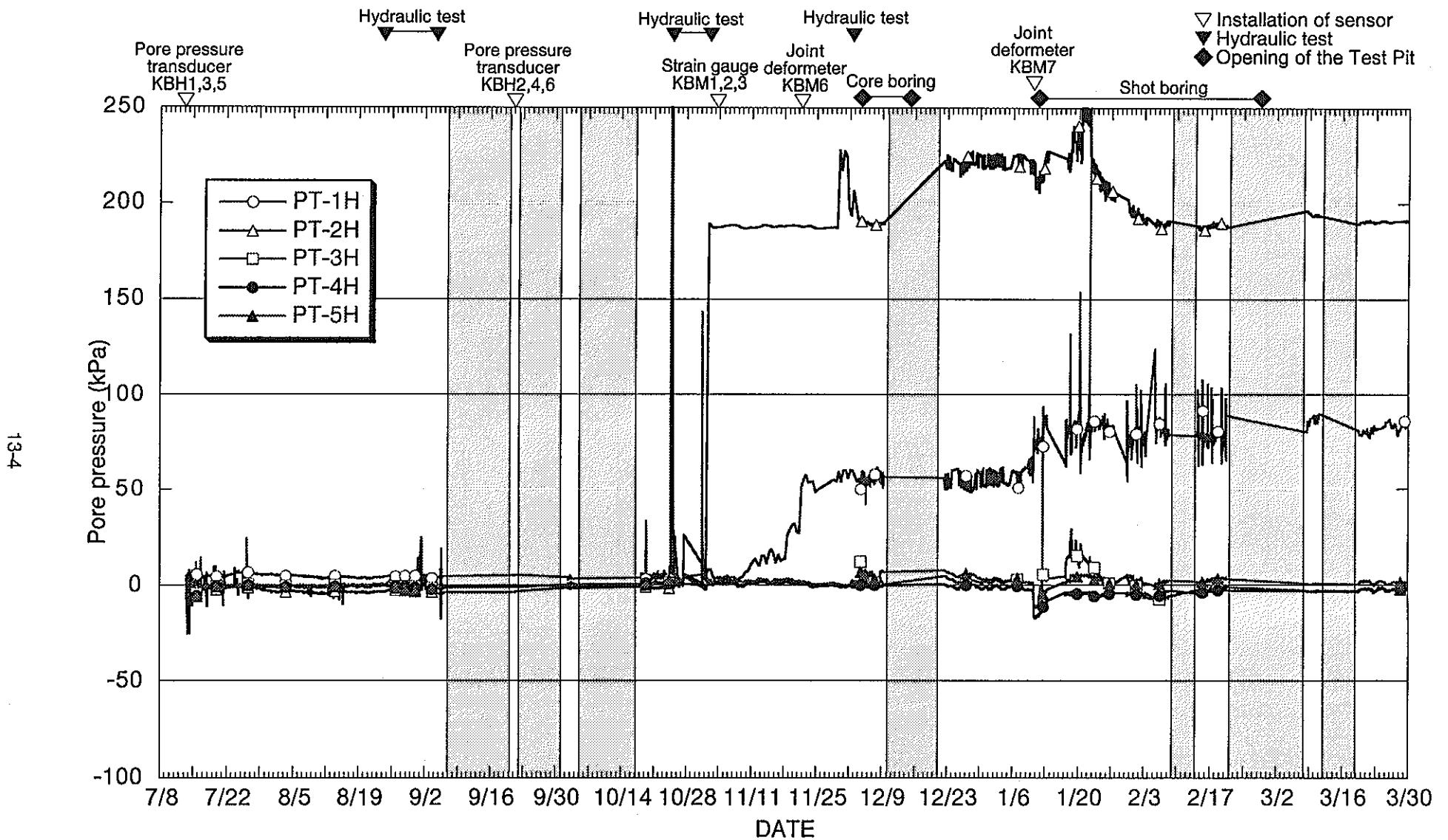


図13-1 間隙水圧計の経時変化 (KBH1 , 1995/7/13-1996/3/31)

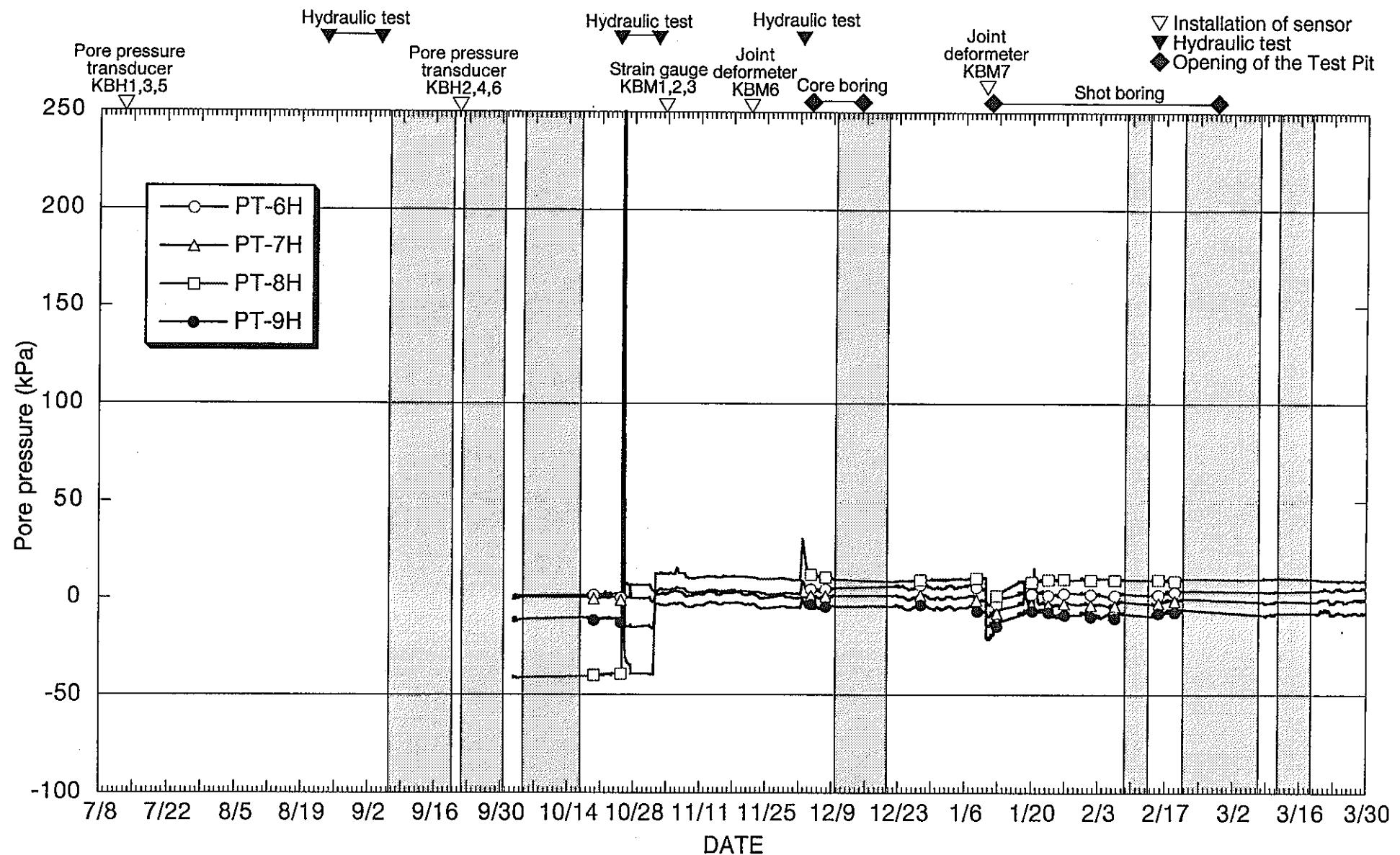


図13-2 間隙水圧計の経時変化 (KBH2 , 1995/7/13-1996/3/31)

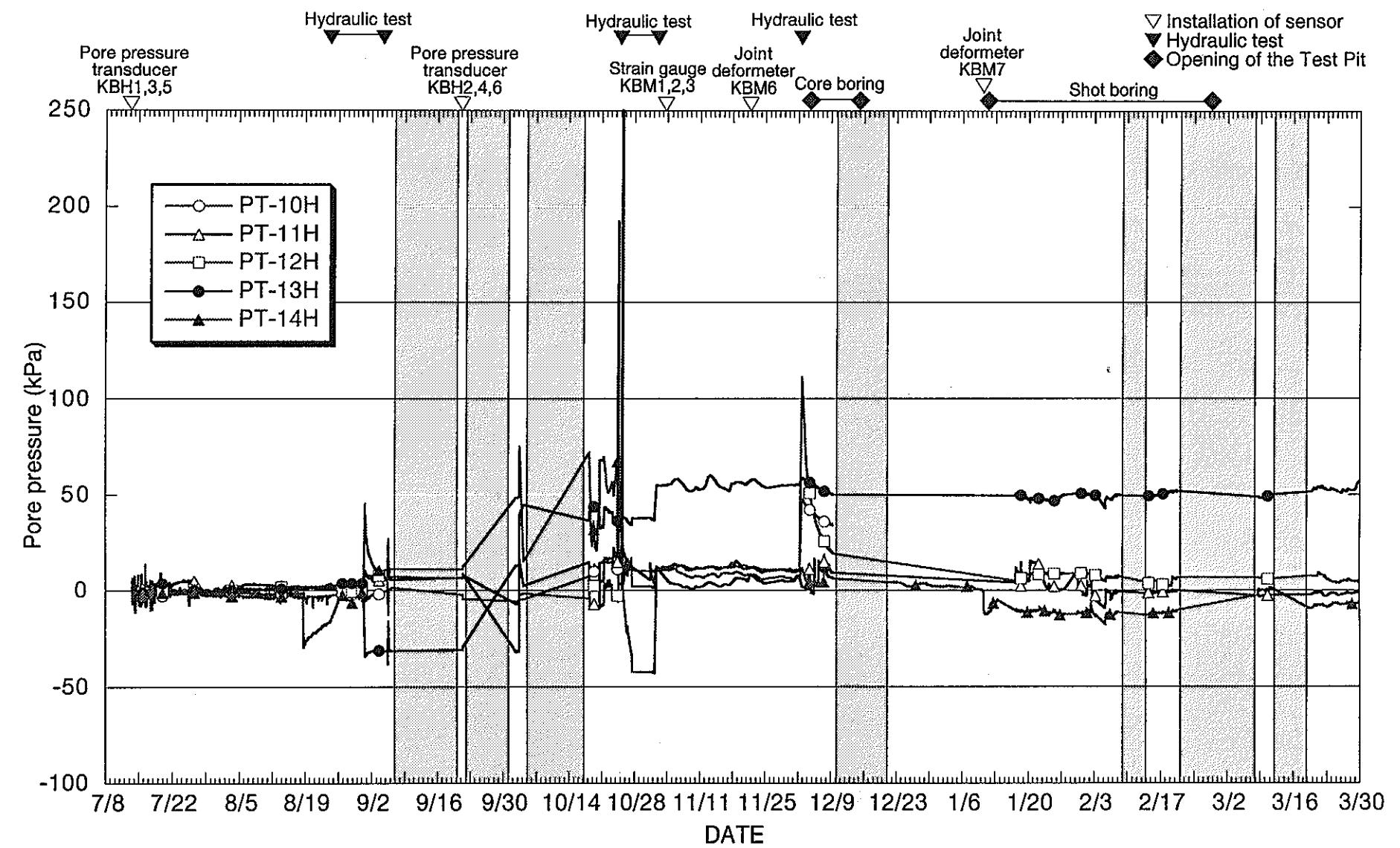


図13-3 間隙水圧計の経時変化 (KBH3 , 1995/7/13-1996/3/31)

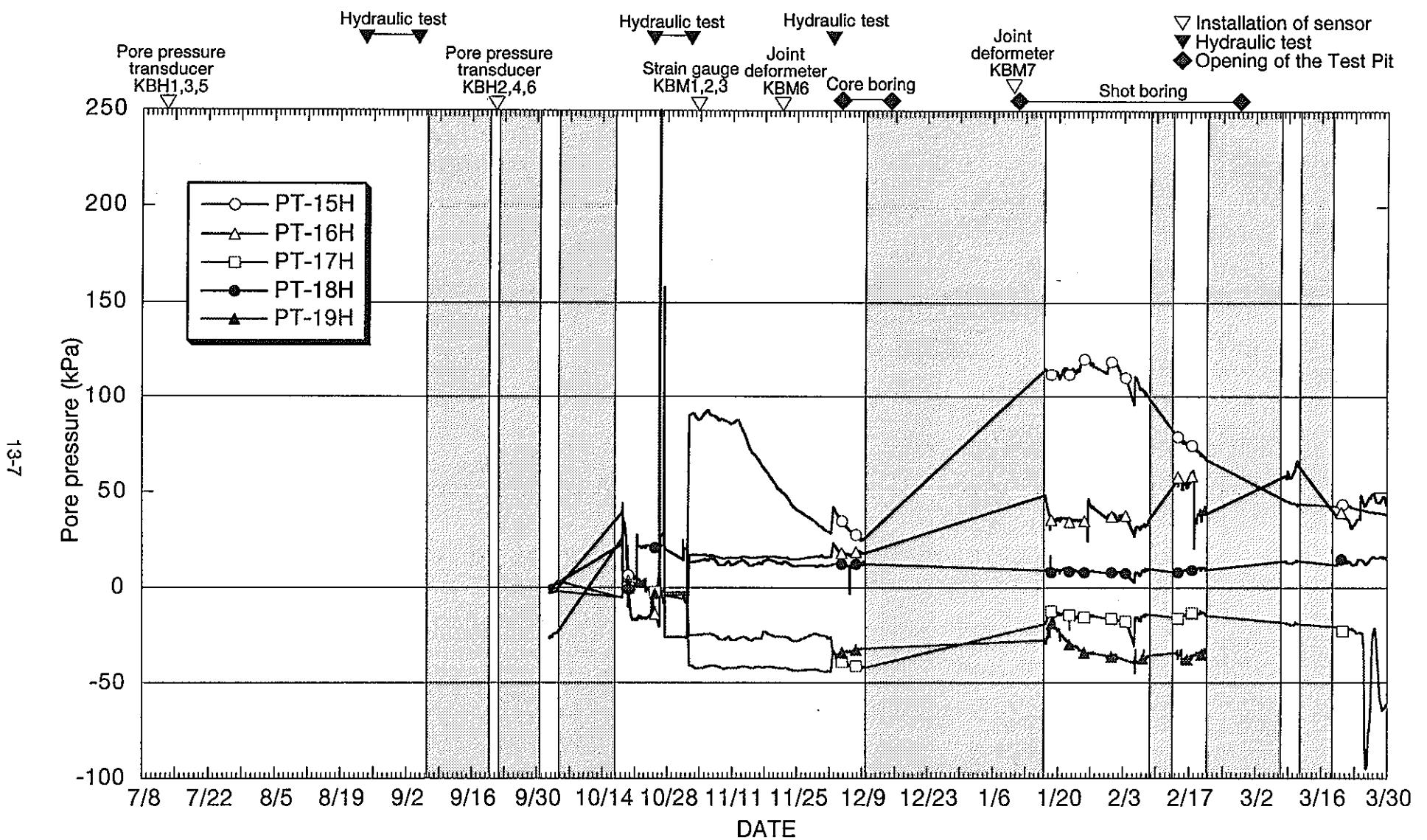


図13-4 間隙水圧計の経時変化 (KBH4 , 1995/7/13-1996/3/31)

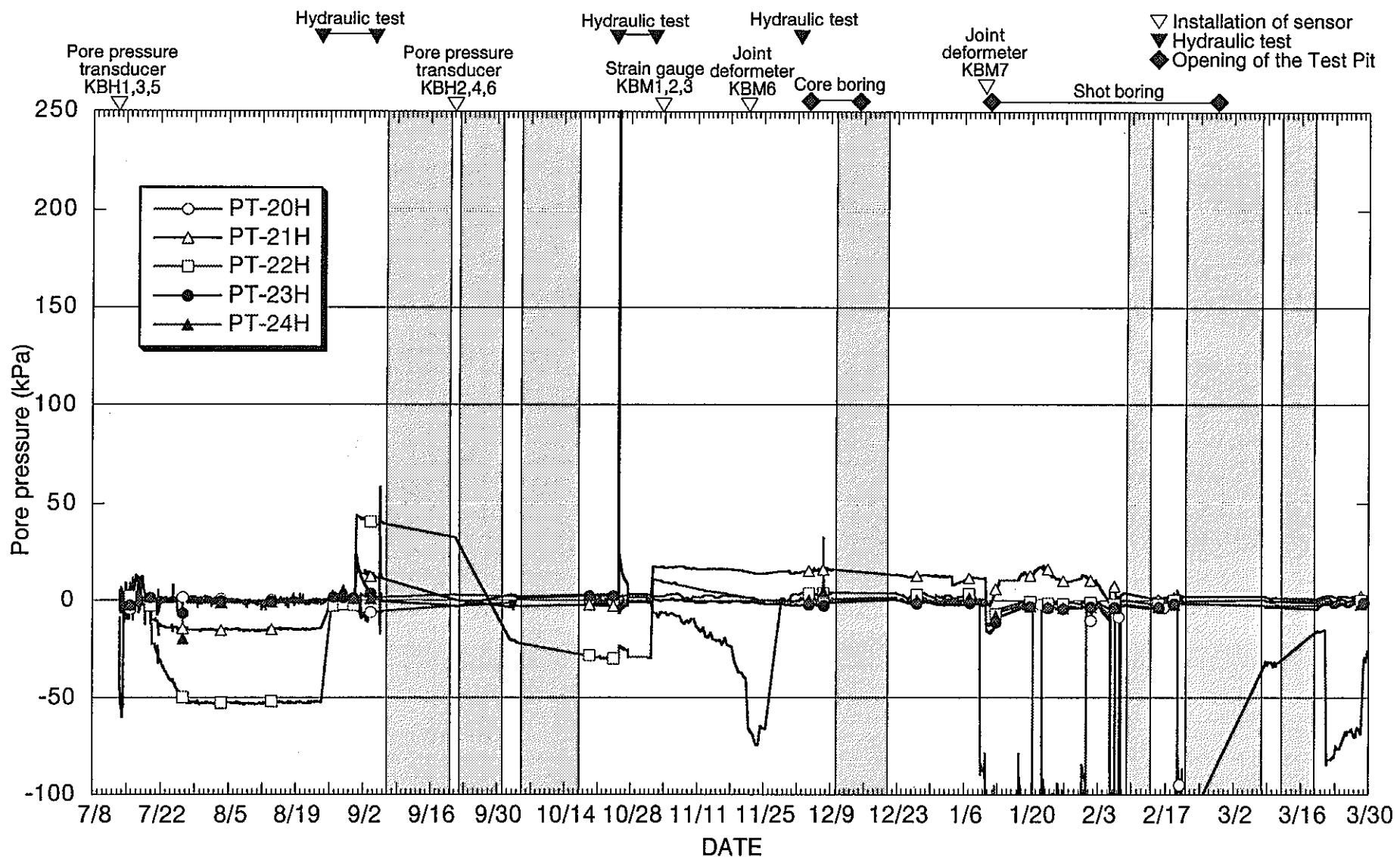


図13-5 間隙水圧計の経時変化 (KBH5 , 1995/7/13-1996/3/31)

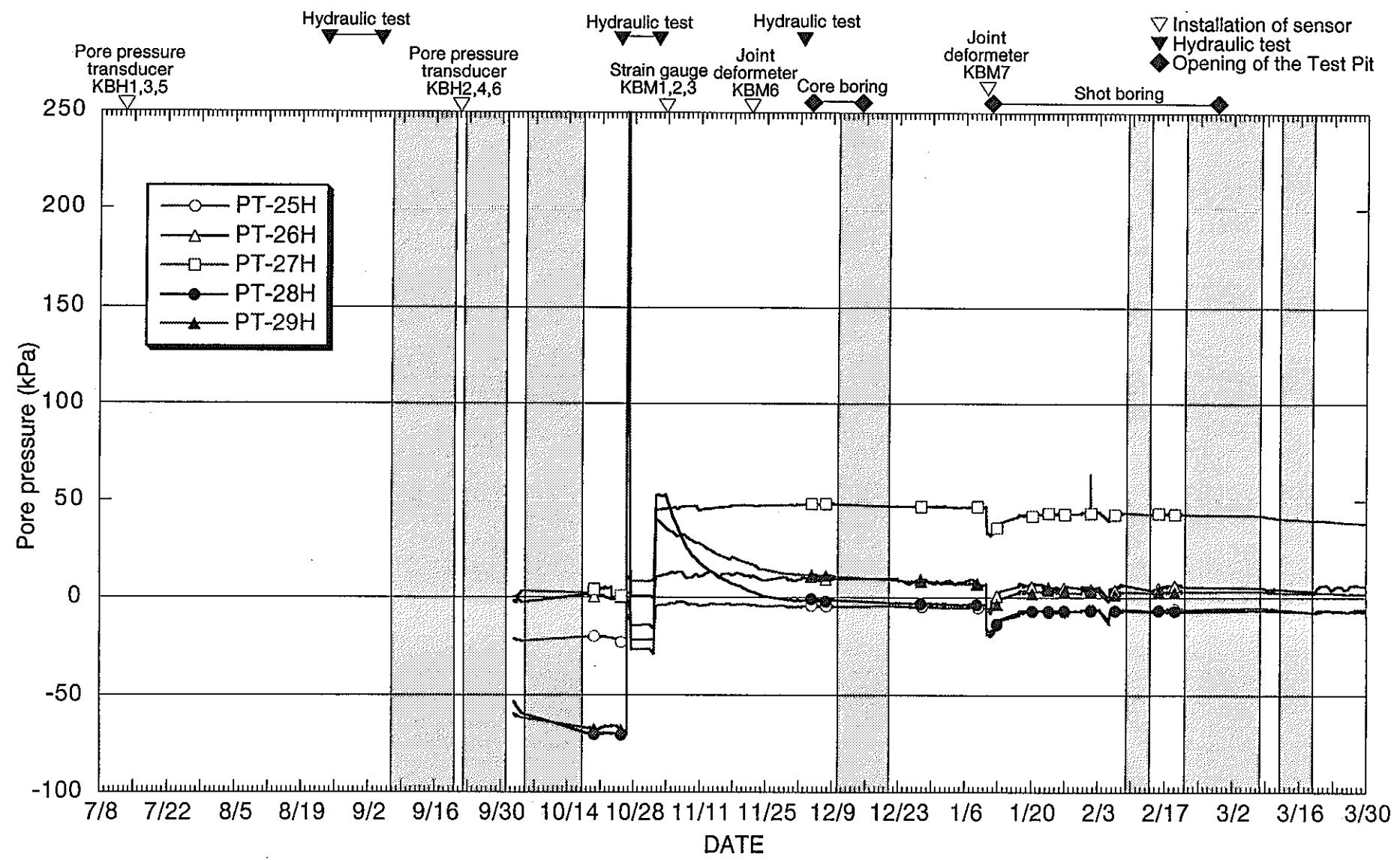


図13-6 間隙水圧計の経時変化 (KBH6 , 1995/7/13-1996/3/31)

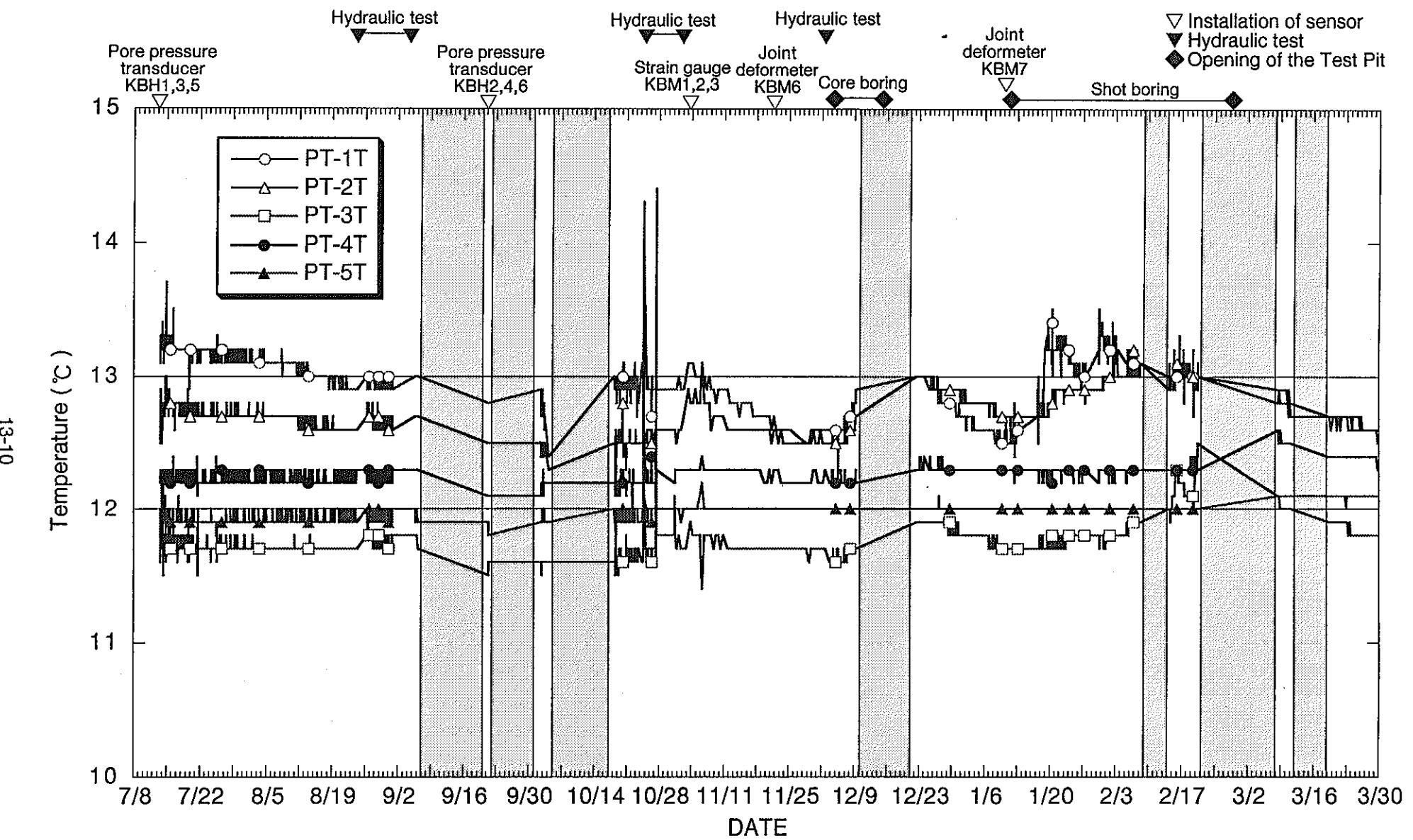


図13-9 温度の経時変化(KBH1, 1995/7/13-1996/3/31)

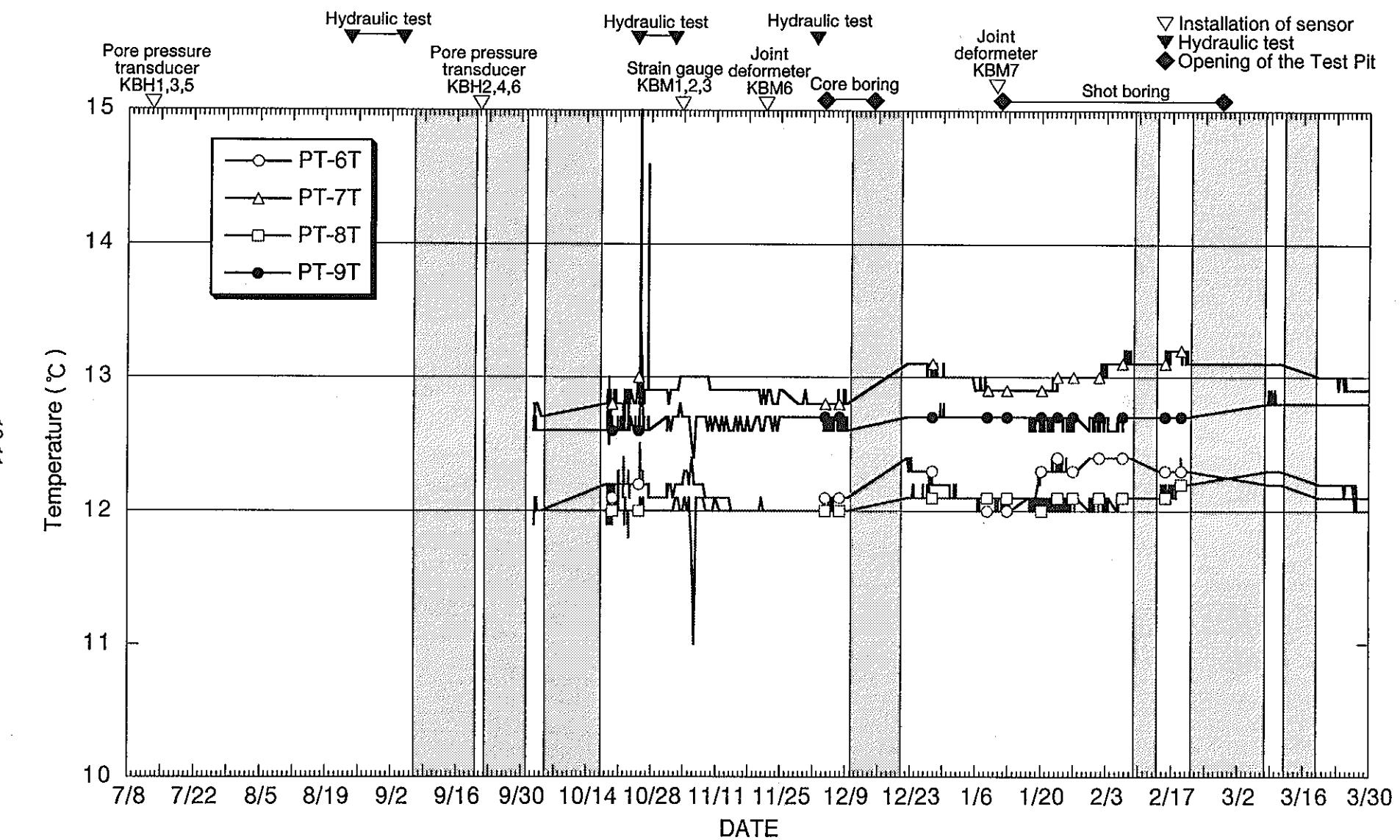


図13-8 温度の経時変化(KBH2, 1995/7/13-1996/3/31)

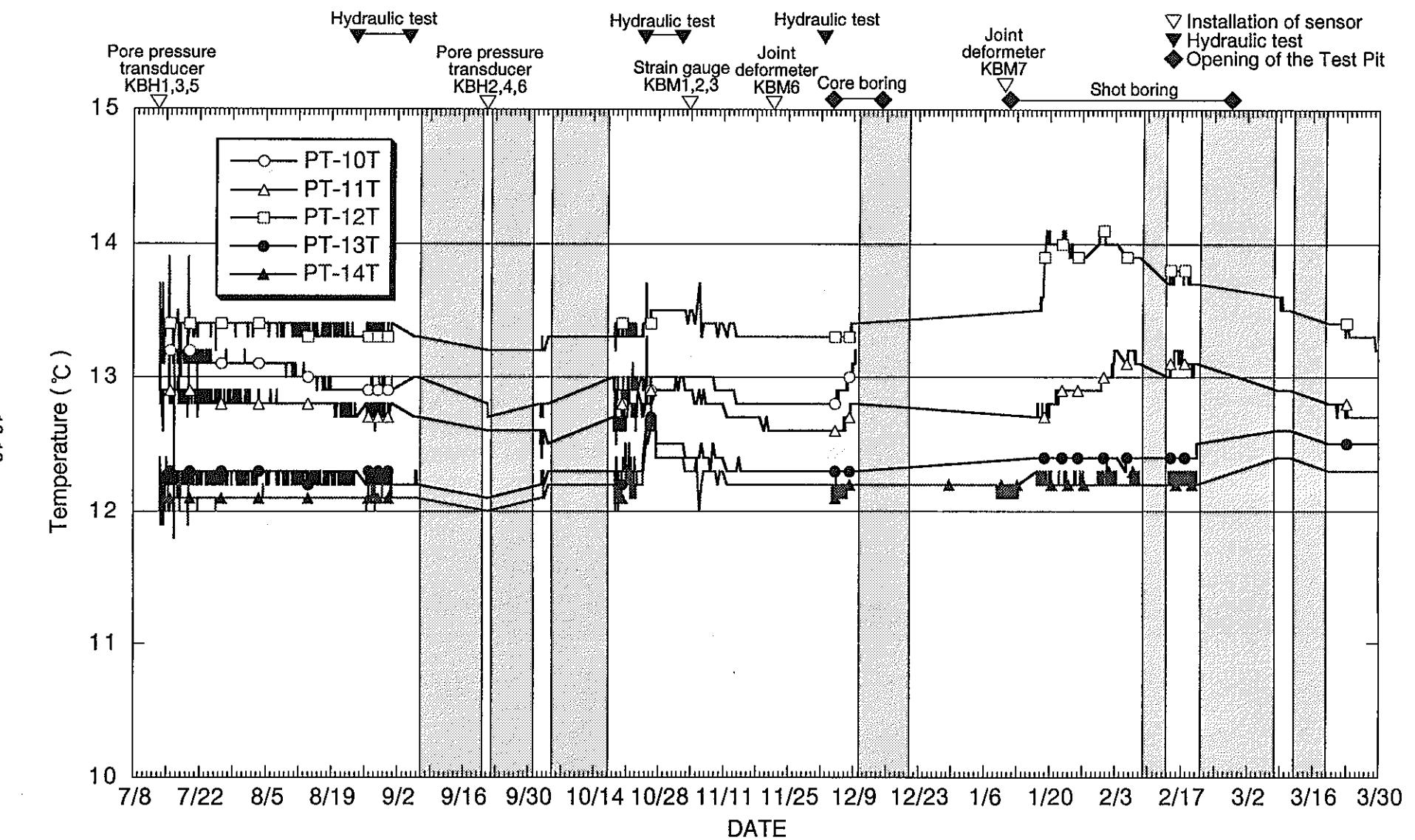


図13-9 温度の経時変化(KBH3, 1995/7/13-1996/3/31)

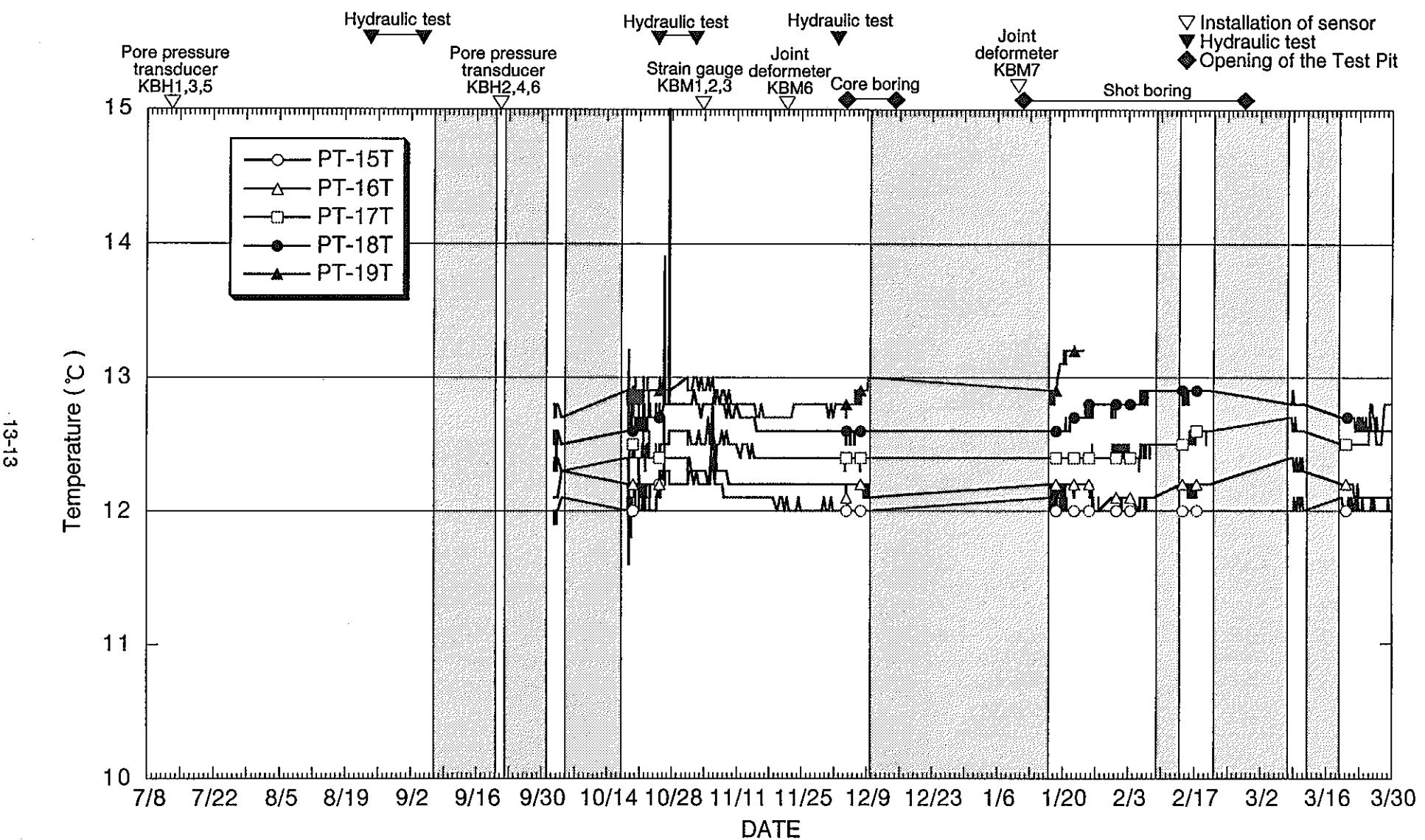


図13-10 溫度の経時変化(KBH4 , 1995/7/13-1996/3/31)

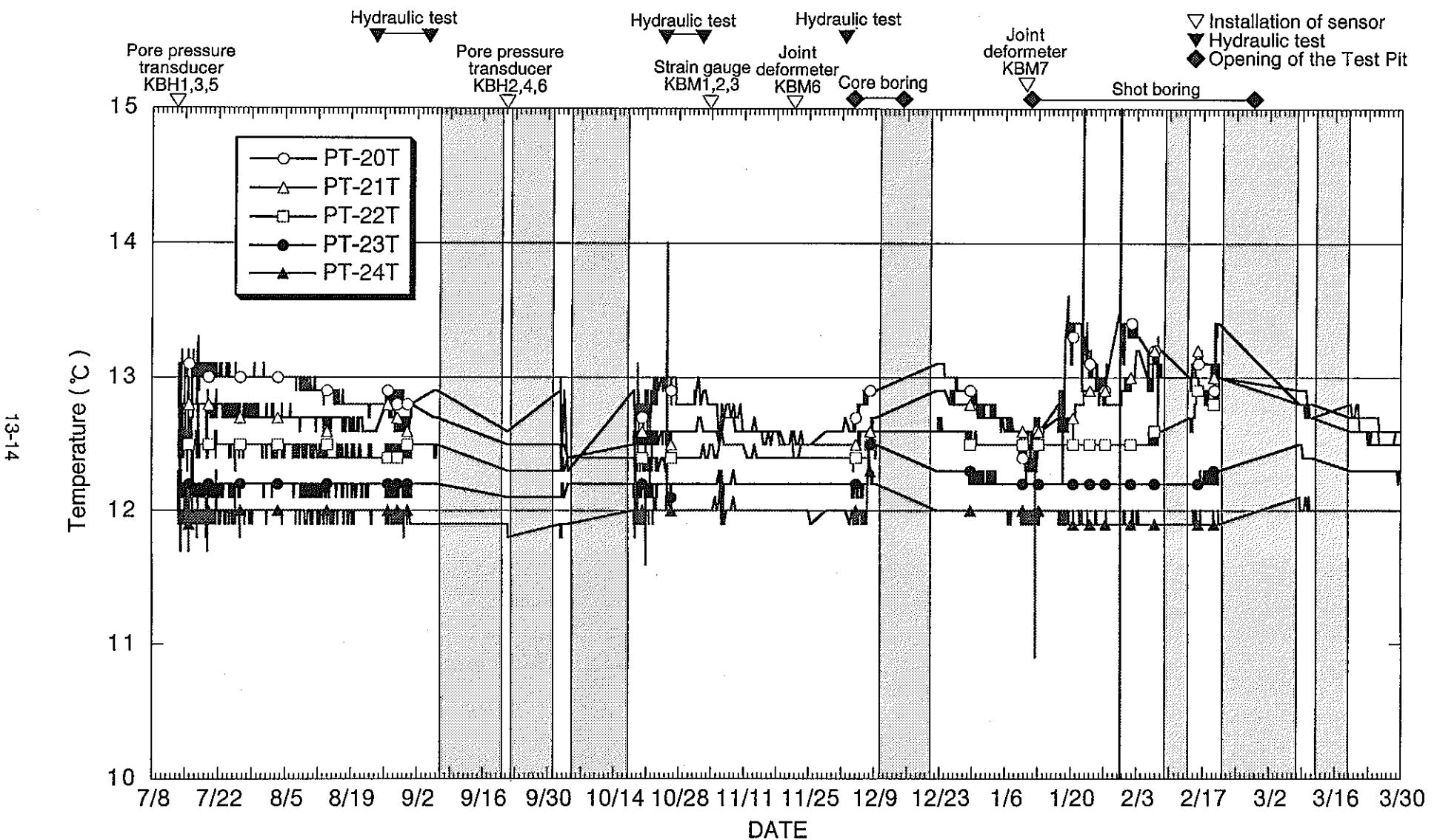


図13-11 温度の経時変化(KBH5, 1995/7/13-1996/3/31)

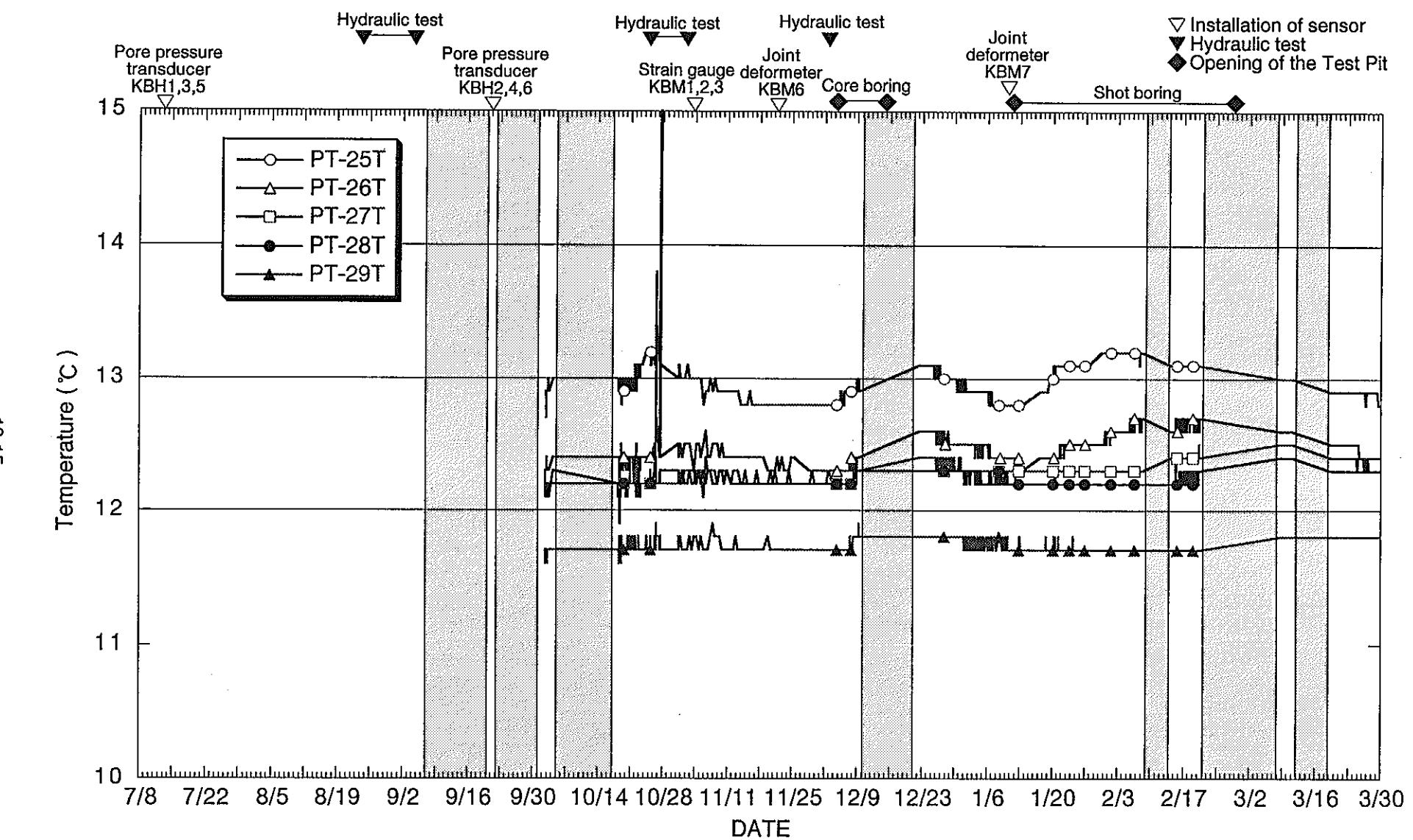


図13-12 温度の経時変化(KBH6, 1995/7/13-1996/3/31)

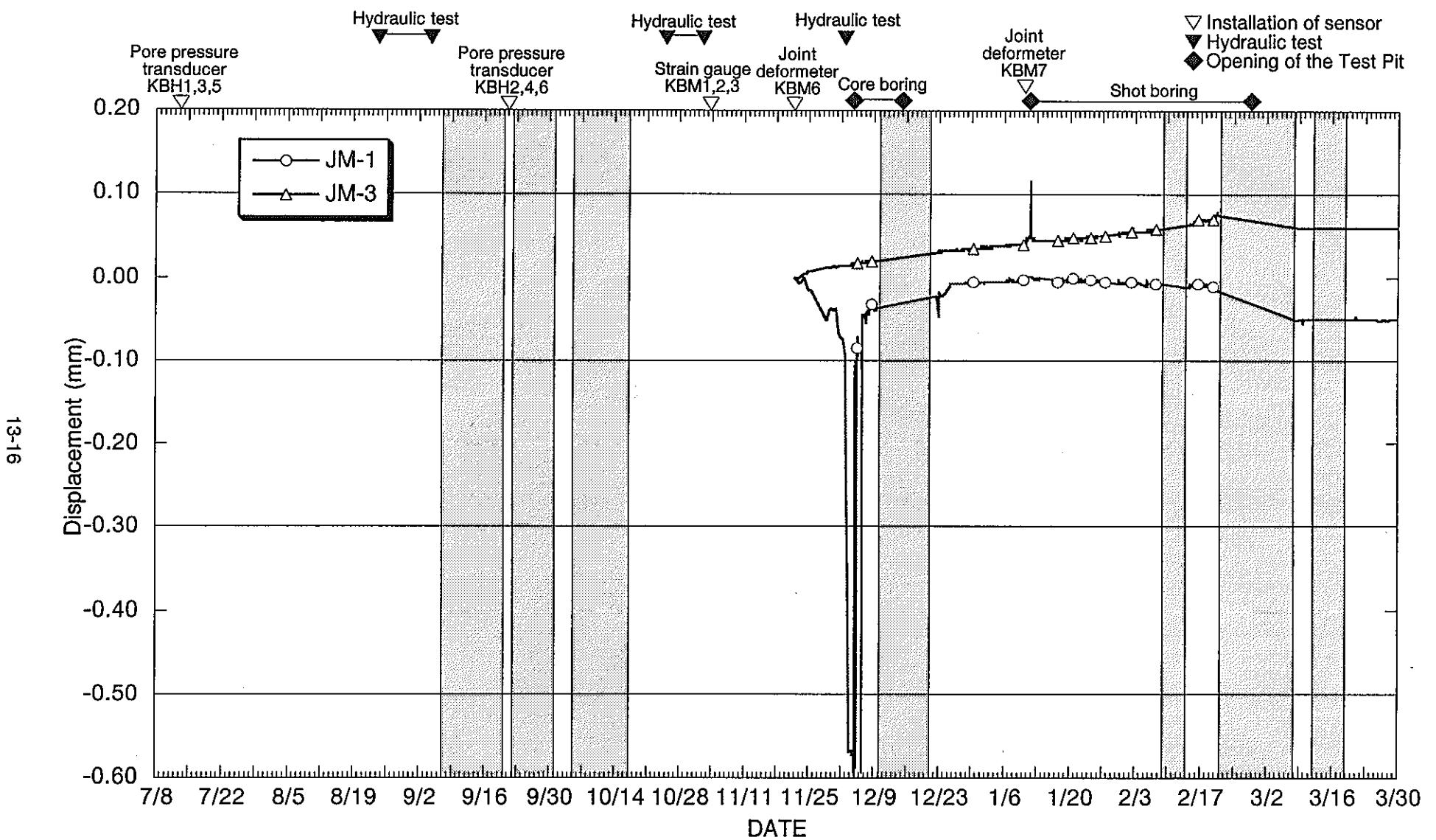


図13-13 ジョイント変位の経時変化(KBM6, 1995/7/13-1996/3/31)

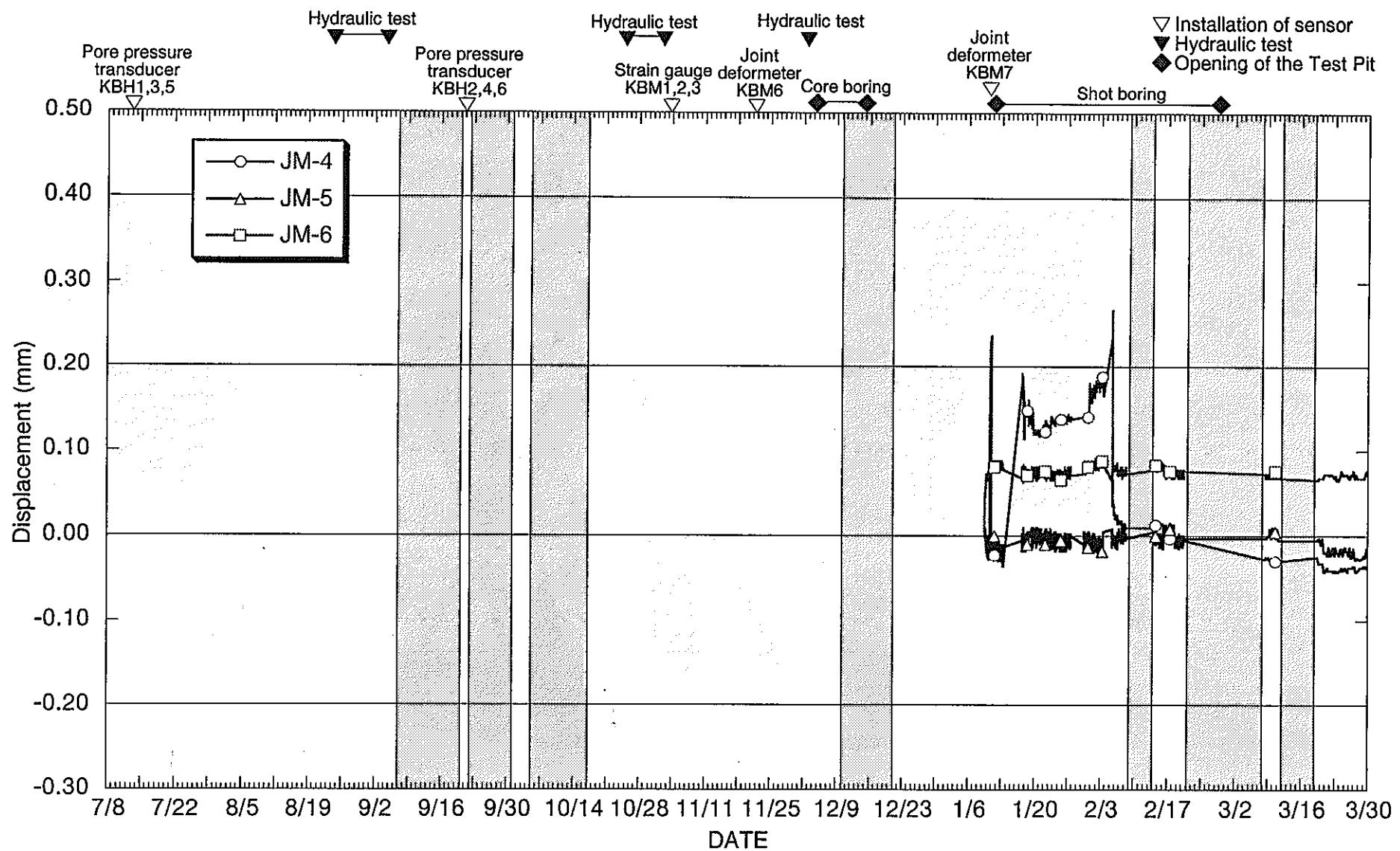


図13-14 ジョイント変位の経時変化(KBM7, 1995/7/13-1996/3/31)

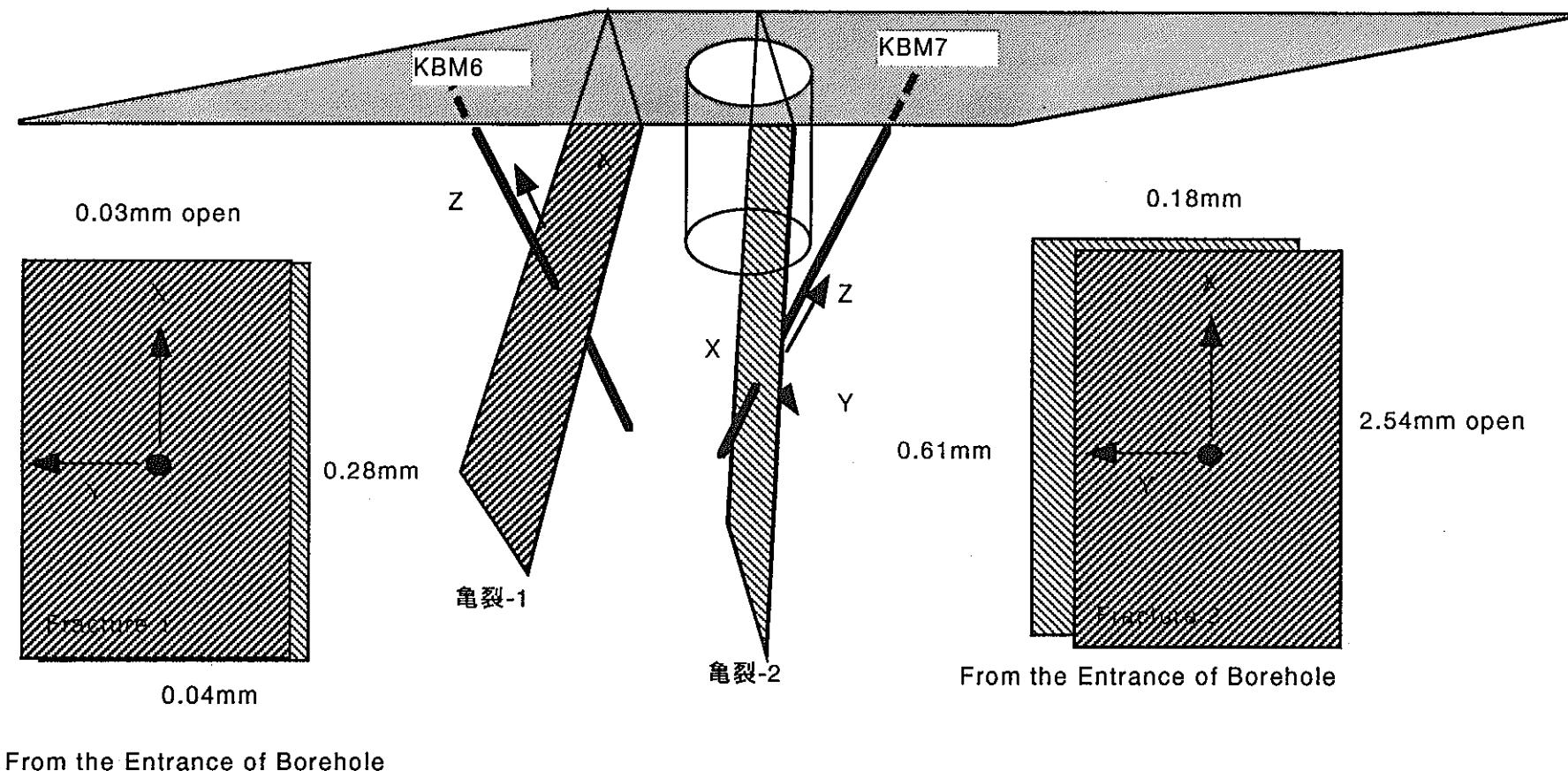


図13-15 裂-1、裂-2のジョイント変位計による相対的挙動

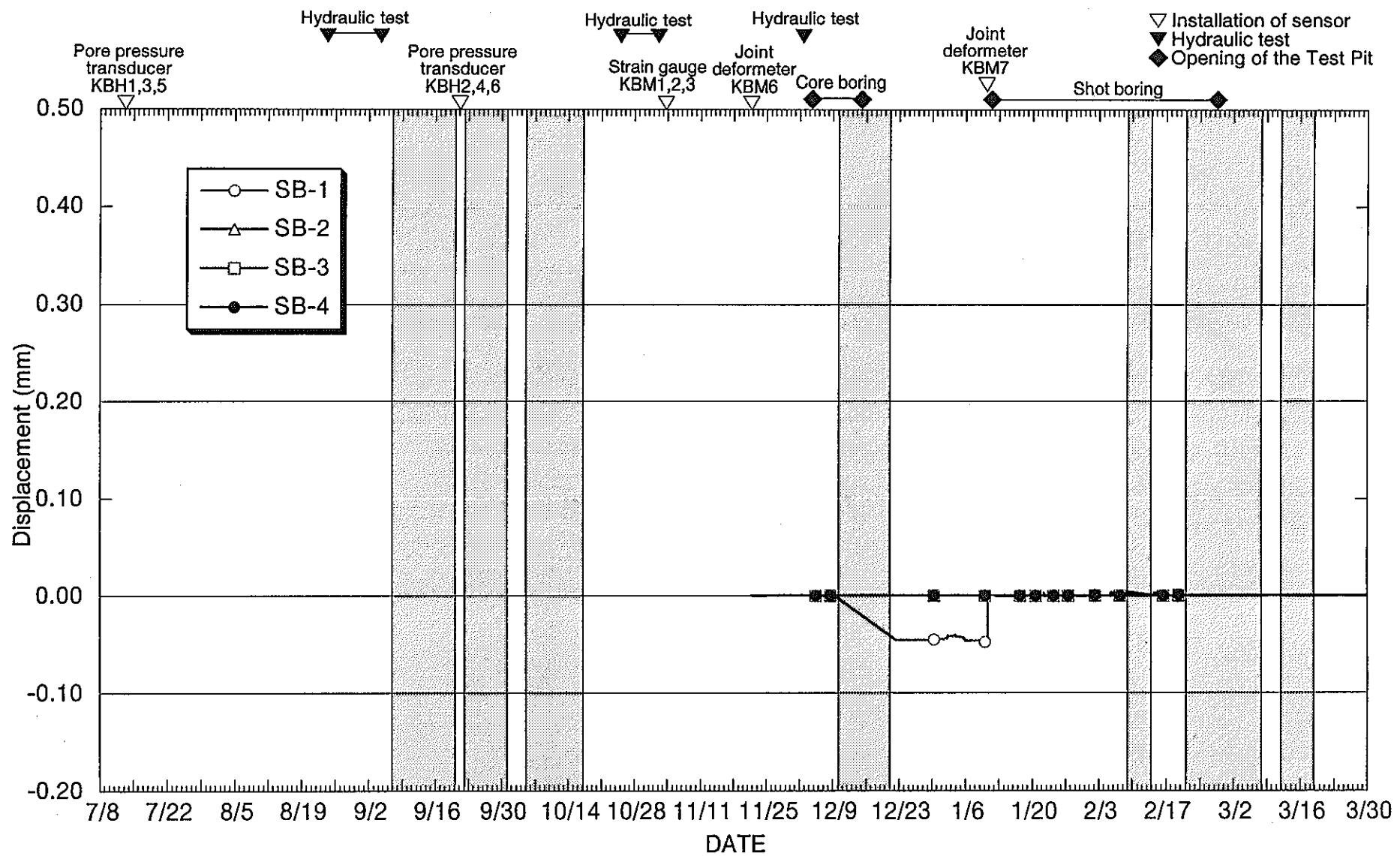


図13-16 ひずみの経時変化(KBM2, KBM3, 1995/7/13-1996/3/31)

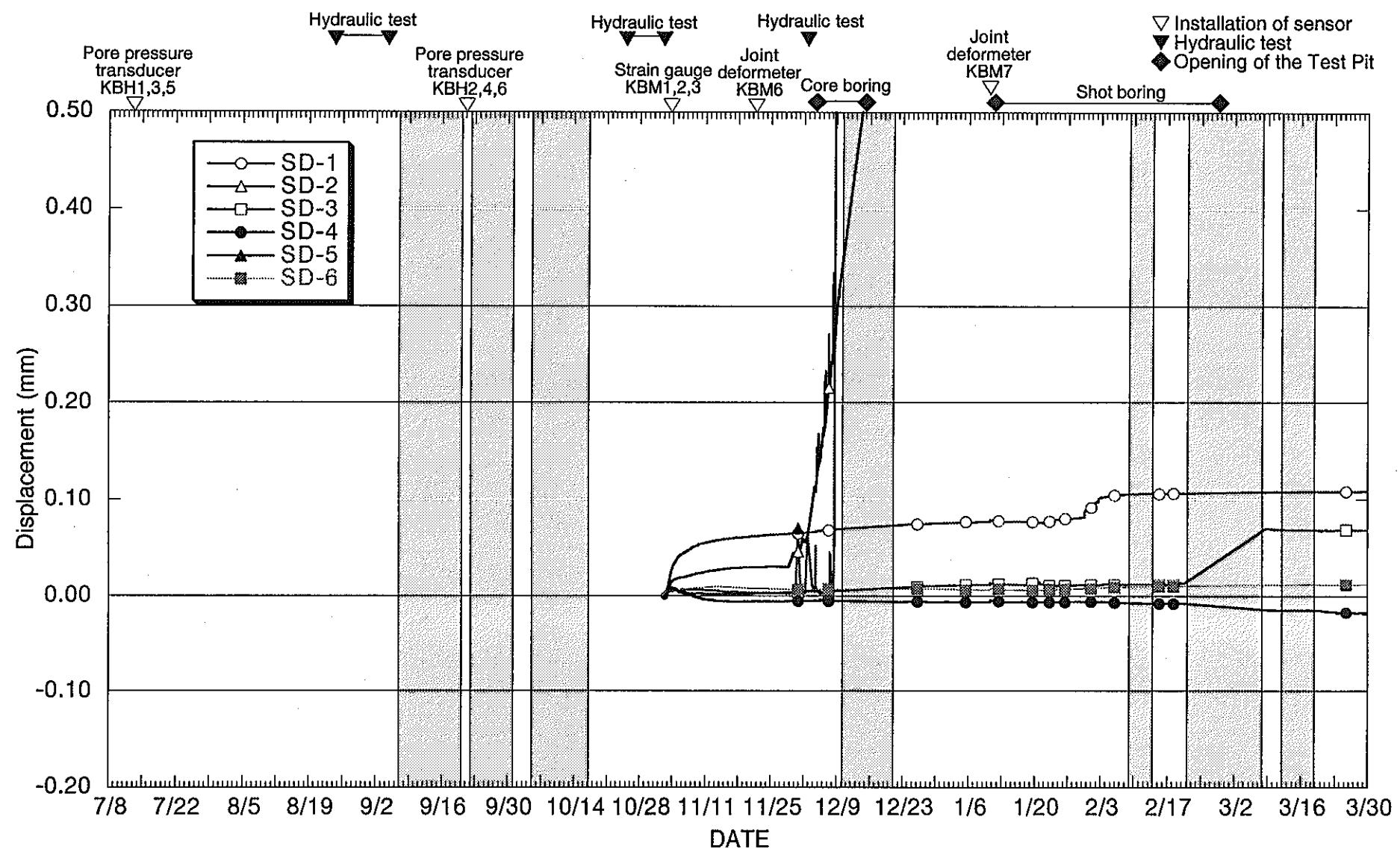


図13-17 ひずみの経時変化(KBM1, 1995/7/13-1996/3/31)

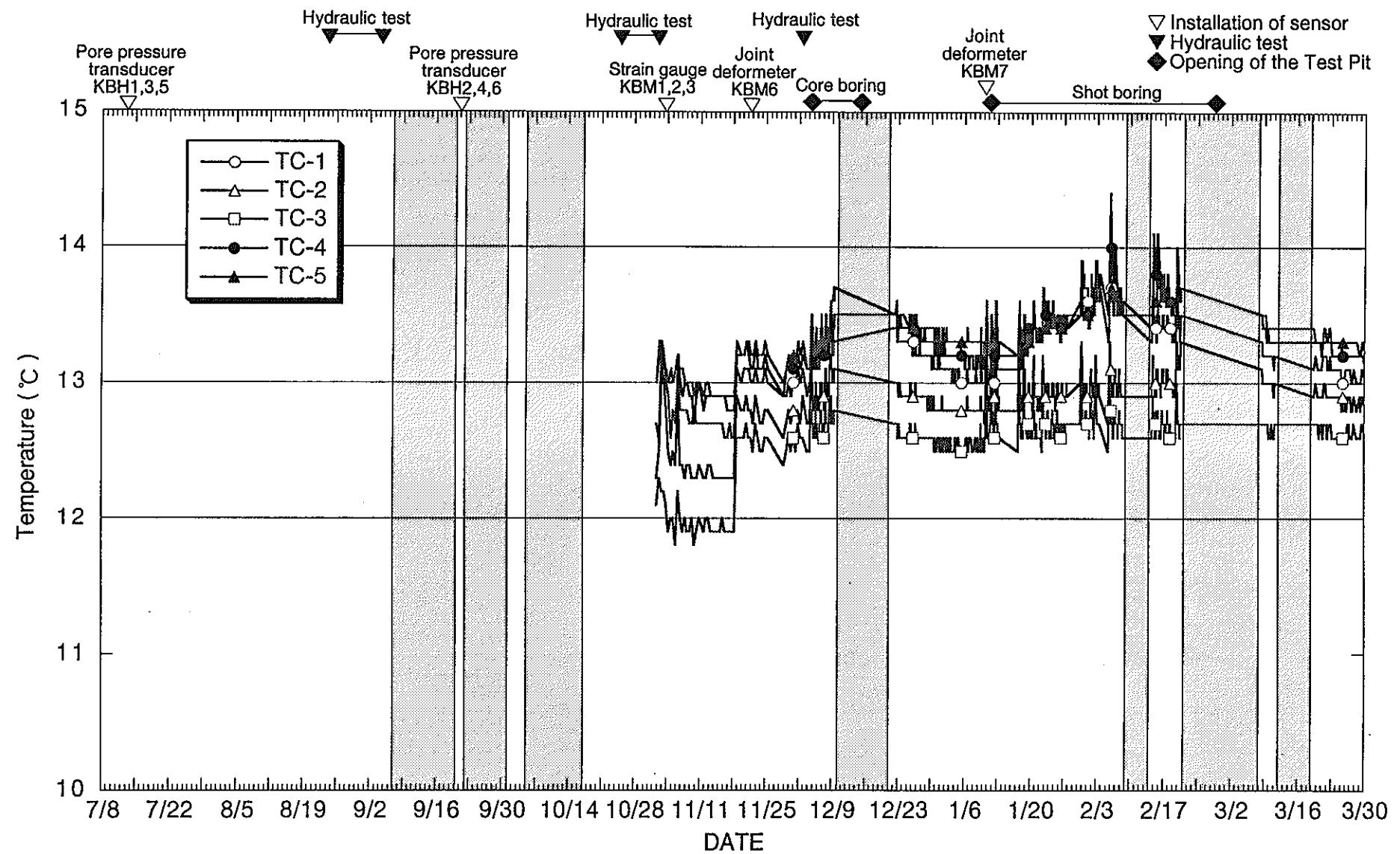


図13-18 温度の経時変化(KBM1, KBM2, KBM3, 1995/7/13-1996/3/31)

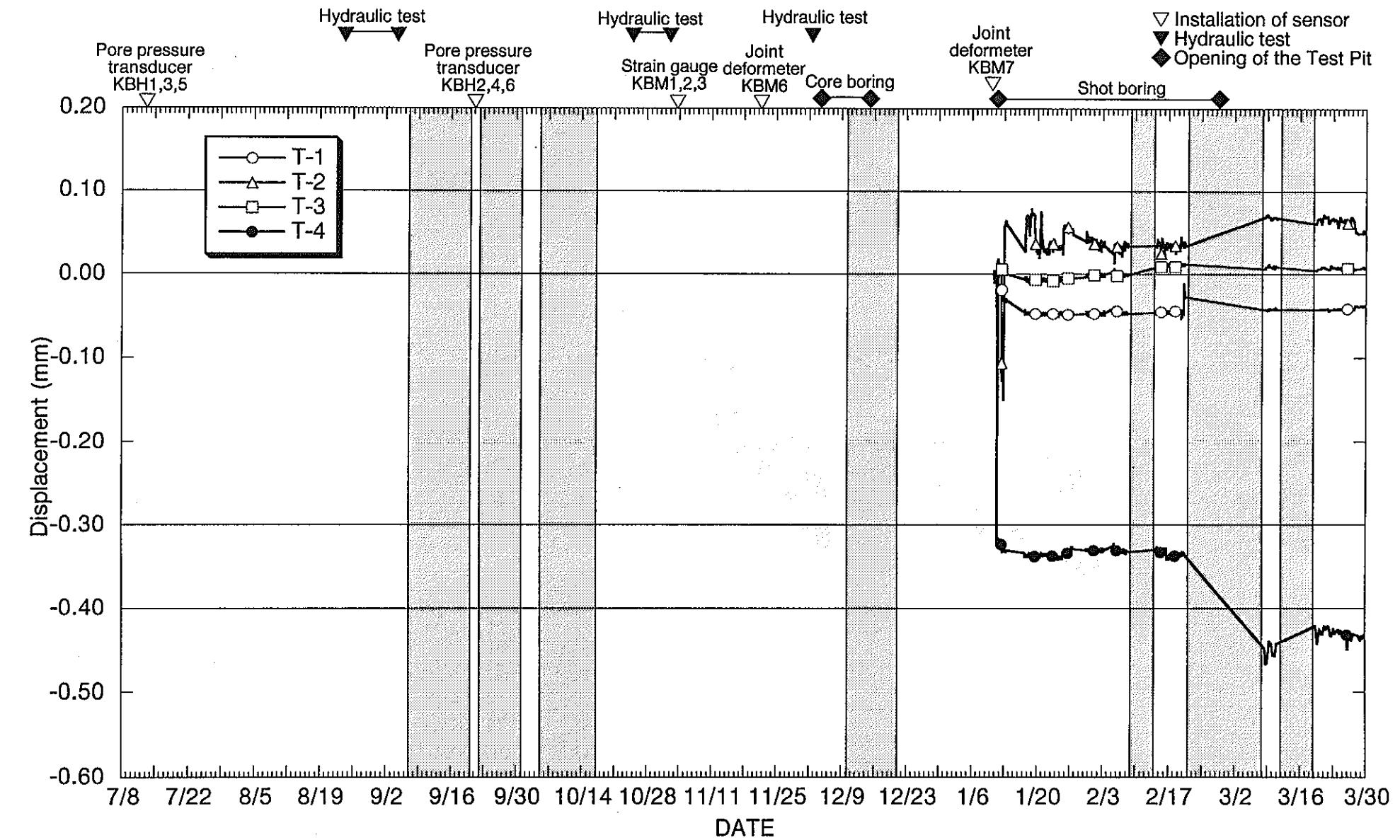


図13-19 軸変位計の経時変化(PI1,2,3,4 , 1995/7/13-1996/3/31)

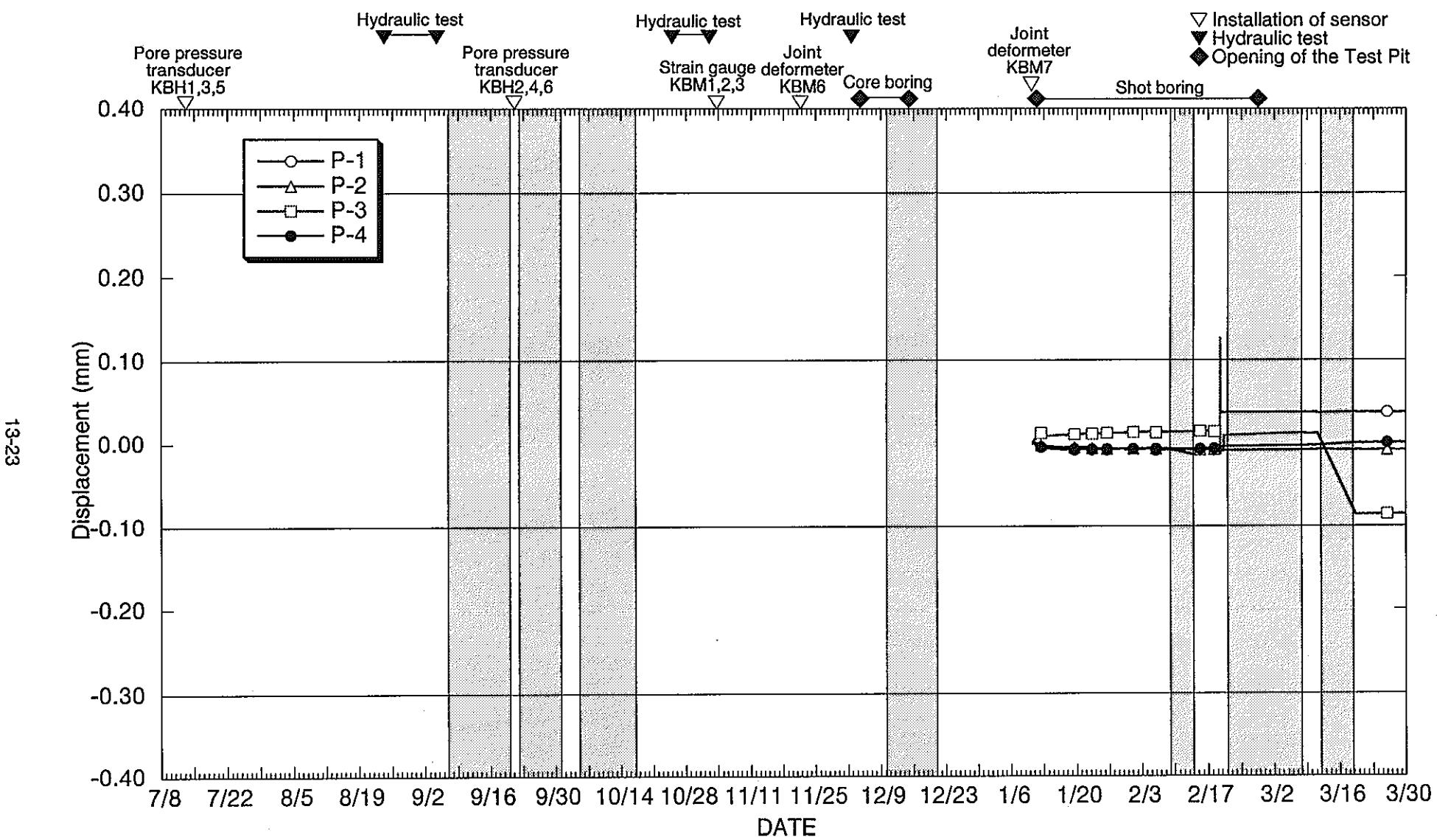


図13-20 ピゲージの経時変化(PI1,2 , 1995/7/13-1996/3/31)

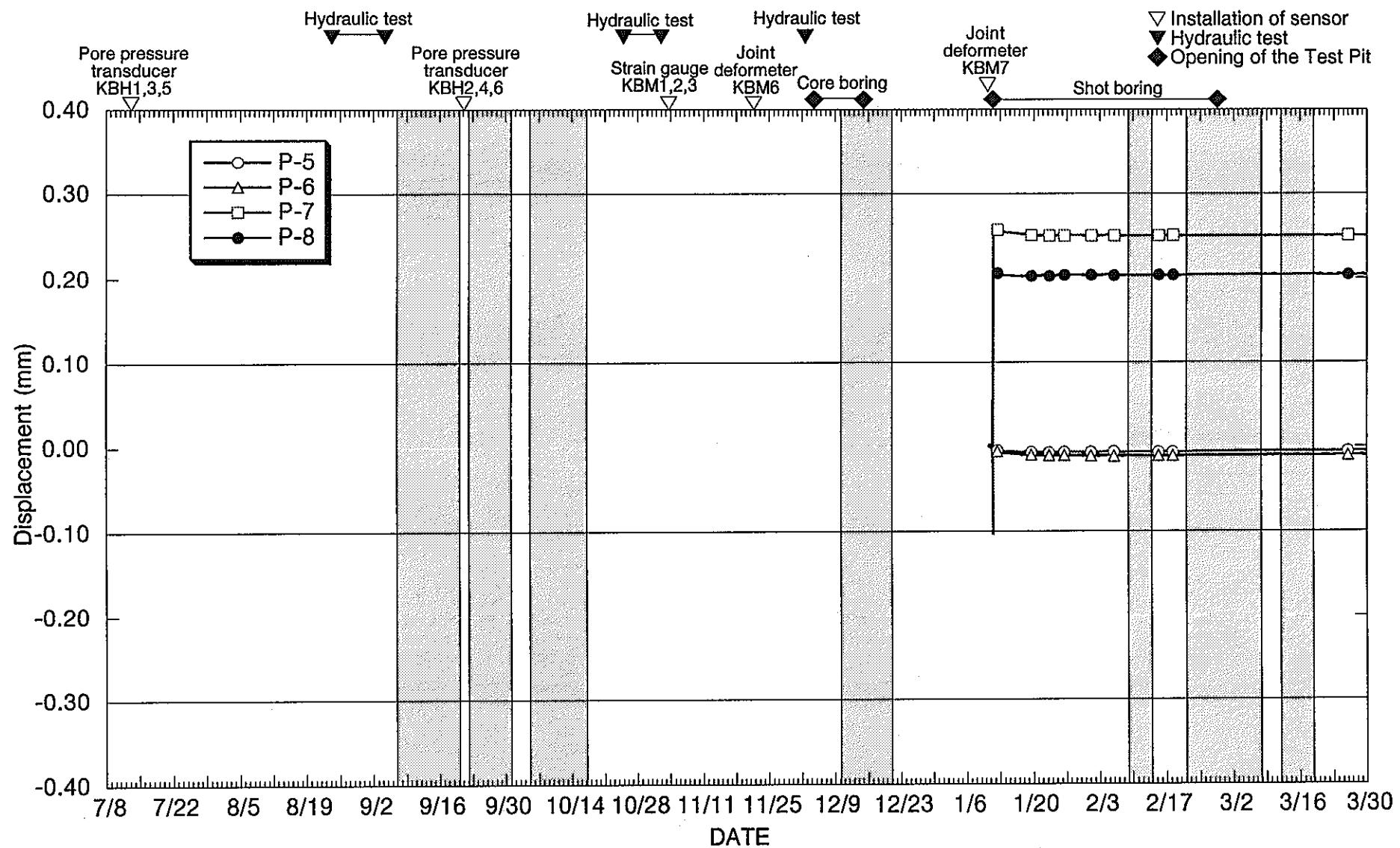


図13-21 π ゲージの経時変化(PI3,4 , 1995/7/13-1996/3/31)

14.まとめ

本年度実施した14本の試錐、透水試験、試験ピットの掘削、各種計測機器の観測データから数多くの知見を得た。それら得られた情報をまとめると以下のようになる。

- ・試験場近傍の亀裂の走向・傾斜
- ・亀裂の水理学的連続性
- ・試験ピット掘削による亀裂の挙動

こうした情報を基に来年度は試験ピット内に緩衝材、ヒーター、センサーを設置し連成試験を実施する予定である。