

低圧ルジオン水理試験による
水理学データの取得
(TFA - 1号孔)

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1998年3月

株式会社 ダイヤコンサルタント

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒509-51 岐阜県土岐市泉町定林寺字園戸959-31

動力炉・核燃料開発事業団

東濃地科学センター

技術開発課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to : Technology
Development Section, Tono Geoscience Center, Power Reactor and Nuclear Fuel
Development Corporation 959-31 Sonodo, Jorinji, Izumi-machi, Toki-shi, Gifu-ken
509-51, Japan.

⑥ 動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development
Corporation) 1998

低圧ルジオン水理試験による 水理学データの取得 (TFA - 1号孔)

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1998年3月

株式会社 ダイヤコンサルタント

公開資料

PNC TJ7308 98-004

1998年 3月

低圧ルジオン水理試験による水理学データの取得

(TFA-1号孔)

河辺 文雄*

要旨

本業務は、月吉断層とその周辺の水理学特性を把握するために、東濃鉱山NATM連絡坑道の水平試錐孔(TFA-1号孔)で低圧ルジオン水理試験を行い、月吉断層とその周辺岩盤の透水性の不均質性を定量的に把握することを目的としている。

本業務では、低透水域を自然水頭に近い範囲での測定が可能な低圧ルジオン水理試験装置を用い、試錐孔内の5区間で間隙水圧測定、低圧ルジオン水理試験装置による透水試験を実施した。

その結果、試験区内での間隙水圧は 0kgf/cm^2 で、透水係数は $1\times 10^{-5}\sim 5\times 10^{-7}\text{cm/sec}$ の結果を得た。断層周辺では、断層破碎により比較的大きい値を示し、その影響範囲から離れるに従い、透水係数は小さくなる傾向を示した。

本報告書は、株式会社ダイヤコンサルタントが動力炉・核燃料開発事業団との契約により実施した業務の成果である。

契約番号：09C1311

事業団担当部課室：東濃地科学センター、地質環境研究室

室長 坪田浩二

* 株式会社ダイヤコンサルタント名古屋支店

OPEN UES ONLY
PNC TJ7308 98-004
March, 1998

It is the acquisition of underground waterway studies data
by lowpressure lugeon underground waterway examination
(TFA-I number hole)

Humio Koube*

Abstract

This business, examines in the level drilling hole (TFA-I number hole) lowpressure lugeon underground waterway of Tono mining NATM information gallery to grasp Tsukiyoshi fault and the peripheral underground waterway studies characteristic, and is as a purpose grasping non-homogeneous nature of permeability nature of Tsukiyoshi fault and the peripheral bedrock quantitatively.

By this business, I enforced water permeance examination with the device which examined the gap water pressure measurement, lowpressure lugeon underground waterway between 5 wards of in drilling hole using the device that lowpressure lugeon underground waterway that the measurement by range near by natural water head was possible examined low water permeance level.

As a result, as for the gap water pressure in examination section, water permeance coefficient got a result of $1 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-7}$ cm/sec by 0kgf/cm².

As I showed a value big comparatively by fault crush at the dislocation outskirts, and was it apart from the influence range, water permeance coefficient showed the tendency that became small.

Work was performed by Dia Consultants Co. Ltd. under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

Contract Number : 09C1311

PNC Liaison; Tono Geoscience Center, Geological feature environment laboratory
Section Chief Koji Tubota

*Dia Consultants Co. Ltd., Nagoya Office

目 次

項

1.はじめに	1
2.調査概要	1
3.調査内容	5
3.1 試験装置概要	5
3.2 試験区間	6
3.3 試験方法	6
3.4 透水係数およびルジオン値の算出式	7
4.既存資料による調査孔状況	8
4.1 地質状況	8
4.2 孔内検層・BTV結果概要	9
4.3 試験区間状況	11
5.試験結果と考察	14
5.1 間隙水圧測定結果	14
5.2 間隙水圧測定結果についての考察	14
5.3 低圧ルジオン水理試験結果	18
5.4 低圧ルジオン水理試験結果についての考察	18
5.5 一般的な水理特性と調査孔の関連	22
6.今後の課題点等	24
7.まとめ	26
参考文献	26

巻末資料

- 低圧ルジオン水理試験データ(透水試験記録)
- 参考資料(ボーリングコア観察資料、孔内検層結果総合図)
- 現場記録写真

図 目 次

	項
図 - 1 調査位置図	2
図 - 2 試験孔位置図	3
図 - 3 試験区間図	4
図 - 4 試験装置概要図	5
図 - 5 注入パターン図	7
図 - 6 パッカーブレーカー破裂位置図	13
図 - 7 調査孔周辺の長期間隙水圧観測孔①	14
図 - 8 調査孔周辺の長期間隙水圧観測孔②	15
図 - 9 間隙水圧測定経時変化図①	16
図 - 9 間隙水圧測定経時変化図②	17
図 - 10 透水履歴図	20
図 - 11 飽和地盤と不飽和地盤の地下水水流モデル	22
図 - 12 透水係数と飽和度の関係	22
図 - 13 4連パッカーブレーカー	25

表 目 次

	項
表 - 1 孔内検層・BTV結果概要一覧表	10
表 - 2 試験区間状況一覧表	12
表 - 3 低圧ルジオン水理試験結果一覧表	18

1. はじめに

本報告書は動力炉・核燃料開発事業団の御発注により株式会社ダイヤコンサルタントが実施した低圧ルジオン水理試験の結果をまとめたものである。

本業務実施に当たっては、地質環境研究室並びに東濃鉱山の担当各位に種々の御指導、御助言をいただき、無事業務の完了をみることができた。

2. 調査概要

本業務の概要を以下に示す。

1) 調査件名： 低圧ルジオン水理試験による水理学データの取得
(TFA-1号孔)

2) 調査場所： 岐阜県土岐市今泉町河合
動力炉・核燃料開発事業団東濃地科学センター東濃鉱山
北延NATM連絡坑道TFA-1号孔(図-1および図-2)

3) 調査工程： 自 平成9年1月9日～至 平成10年3月23日

4) 調査目的： 現在まで、月吉断層とその周辺岩盤の特性についての研究の一環とし、東濃鉱山北延NATM連絡坑道に水平30mの試錐孔(TFA-1号孔)を掘削し、この試錐孔を用いて地下水分析、BTW、物理検層を行っている。そこで、月吉断層とその周辺の水理学特性を把握するために、試錐孔内で低圧ルジオン水理試験を行い、月吉断層の透水性の不均質性を定量的に把握することを目的とした。

5) 調査数量： 5区間(図-3)

6) 調査計画： 動力炉・核燃料開発事業団東濃地科学センター

7) 調査担当： 株式会社 ダイヤコンサルタント
橋井智毅・河辺文雄・川添健司

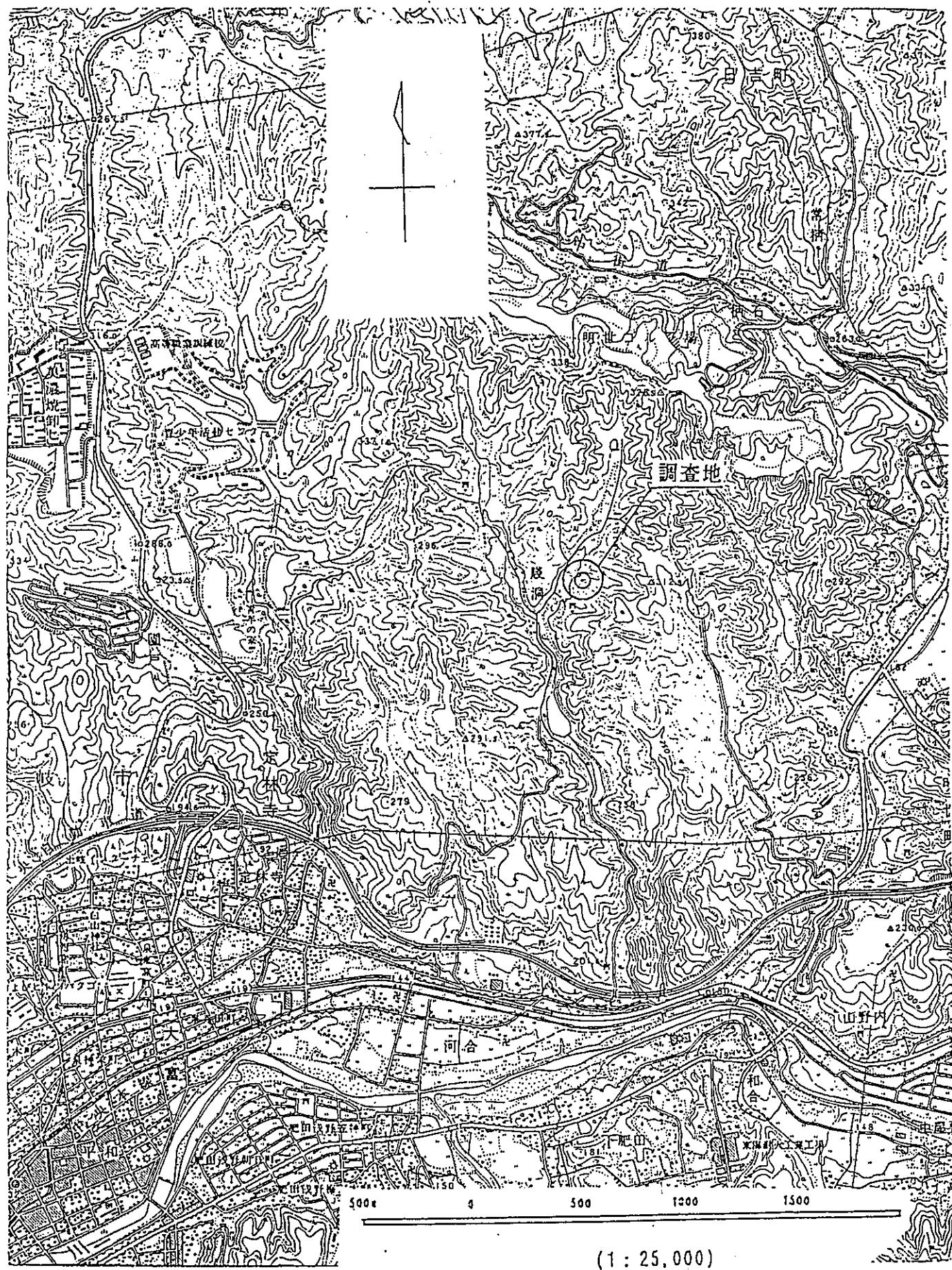


図-1 調査位置図

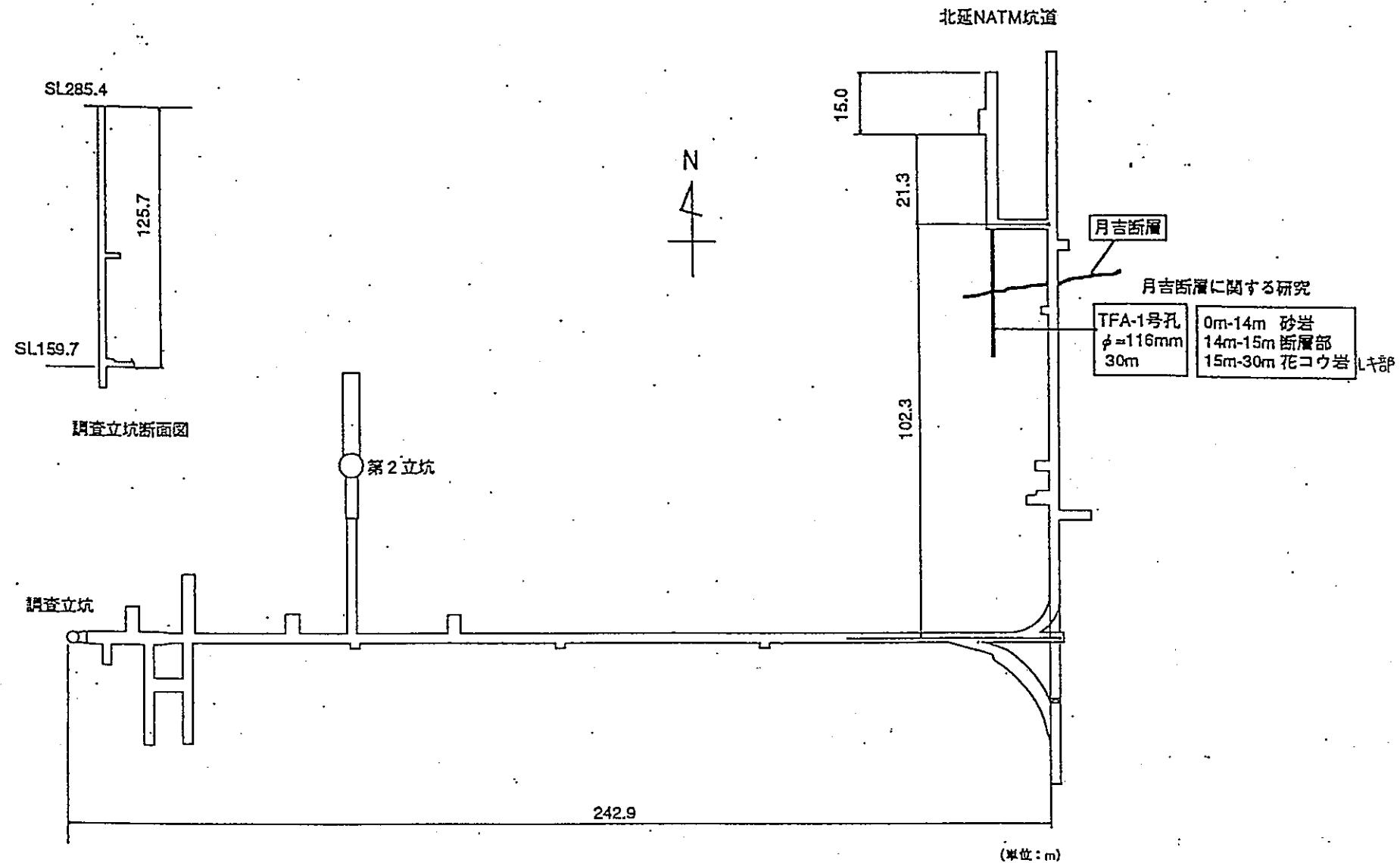
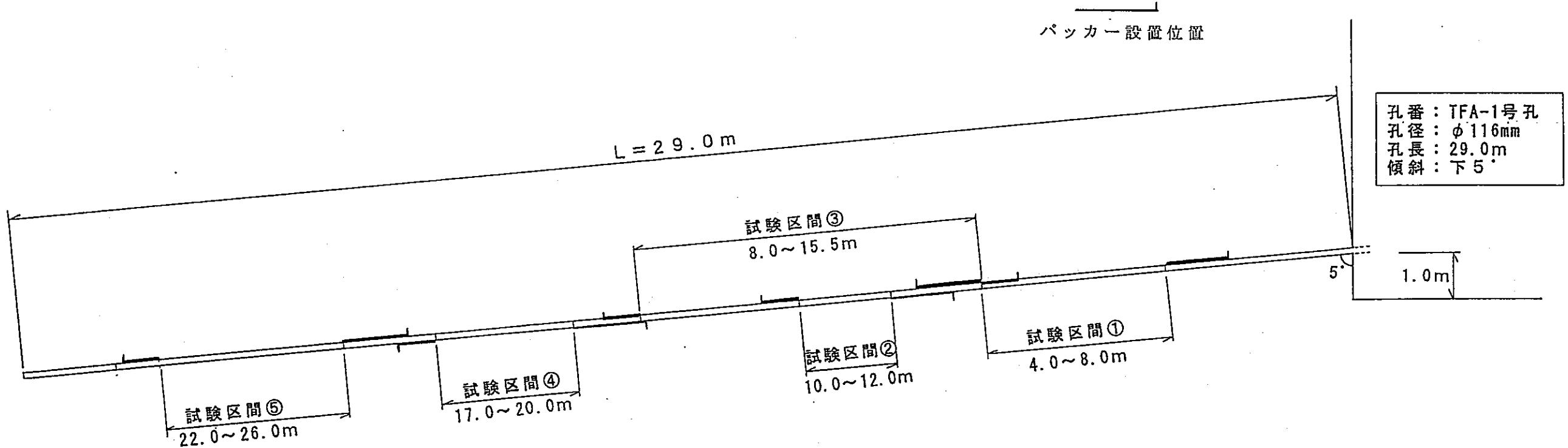


図-2 試験孔位置図

図-3 試験区間図 (1:100)



3. 調査内容

調査内容は以下の通りである。

3.1 試験装置概要

図-4に低圧ルジオン水理試験の試験装置の概要図を示す。

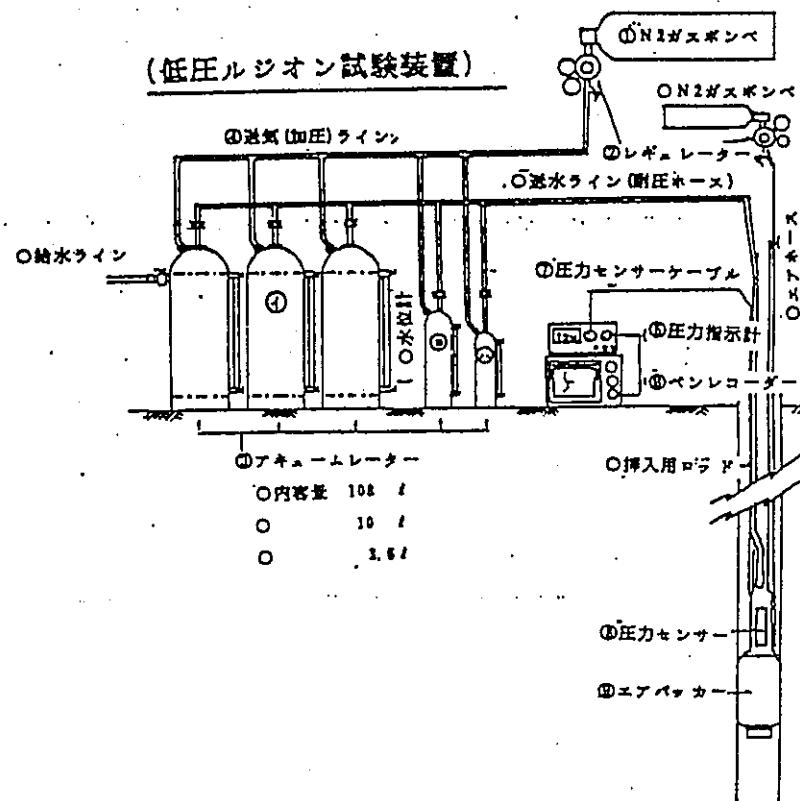


図-4 試験装置概要図

低圧ルジオン水理試験装置は、従来からダム等で行われているルジオン試験でカバーできなかつた低透水域(Lu_{≤1}ルジオン)を自然水頭に近い範囲での測定が可能な試験装置である。また、注入圧の測定をボーリング孔の外で測定するのではなく、注入区間(試験区間)直上で測定できる構造である。パッカーは、Φ76mmのダブルパッカーを用いることで、Φ125mmの孔径にまでは対応できる。アキュームレーターは108kg、10kg、3.6kgの3種類からなり、注入量に応じて切り替える。

3.2 試験区間

試験区間はボーリング結果、検層結果、BTV結果及び本試験時における孔内状況（パッカー効果）より以下の5地点とした。

試験区間1：4～8m*（断層前）

試験区間2：10～12m（断層手前近傍）

試験区間3：8～15.5m（断層区間）

試験区間4：17～20m（断層奥近傍）

試験区間5：22～26m（断層後）

*深度は孔口からの斜距離を表す（以下同じ）

なお、試験は区間1-2-5-4-3の順で実施した。

3.3 試験方法

以下に低圧ルジオン水理試験の試験手順を示す。

①試験装置（圧力センサー、送水ホース、パッカー、ストレーナ管）を組み、ロッドにて試験区間に設置する。孔壁の崩壊の恐れのある場合にはケーシングを挿入した後、試験装置を設置する。

②孔口及び送水ホースより孔内に送水し、ホース内及び試験区内のエアーを排除する。エアーの排除は孔口でエアーの有無の観察により確認する。

④エアーを完全に排除後、パッカーをかける。この時送水ホースを口元で遮断する。

⑤パッカーの効果は孔内水の変化、圧力の変化で確認する。その後、圧力（間隙水圧）の安定を待つ。

⑥間隙水圧の安定は、圧力センサーによる圧力を、圧力表示計、ペンレコーダに表示させ、定常状態の確認を行う。

なお、本試験に使用した圧力センサー、圧力表示計、ペンレコーダは以下の精度である。

圧力センサー、圧力表示計：測定精度 $0.00\text{kgf/cm}^2 \sim 10.00\text{kgf/cm}^2$

ペンレコーダ：入力レンジ5～250mv、5～25v(12レンジ)

チャートスピード20～180mm/h、20～180mm/min(12レンジ)

⑥安定後、間隙水圧を考慮し、図-5に示す注入圧力パターン(0.25kgf/cm^2 ピッチ)で昇圧、降圧を行う。

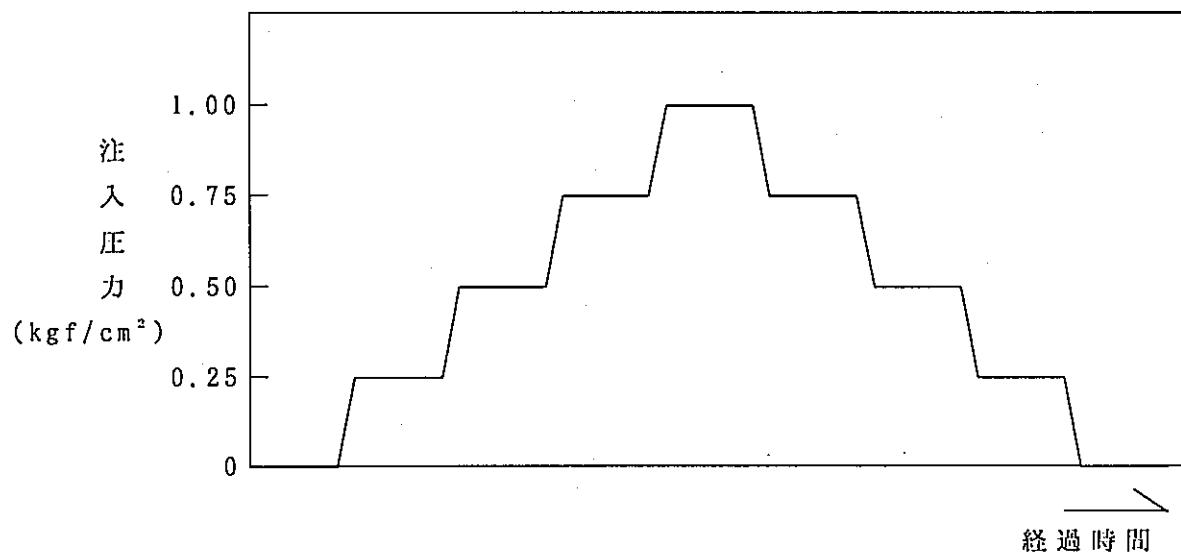


図-5 注入圧力パターン図

⑦注入量は1分毎にアキュームレータの水位計で測定し、5分間以上の安定注入量を確認し次の段階に進む。

⑧各圧力段階の注入量を測定し、試験は終了である。終了後バッカーを開放し、試験装置を回収する。

3-4 透水係数およびルジオン値の算出式

透水係数およびルジオン値の算出は、「ルジオンテスト技術指針・同解説」¹⁾に準じて行った。

3-4-1 透水係数の算出式

$$K = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot H} \cdot \log_e \frac{L}{r}$$

K :	透水係数	(cm/sec)
Q :	透水量	(cm ³ /sec)
L :	試験区間長	(cm)
H :	全水頭	(cm)
r :	試験孔半径	(cm)

3-4-2 換算ルジオン値

ルジオン値とは、P-Q曲線において注入圧力が10kgf/cm²の1m当たりの注入量であり、1m当たり1ℓ/min注入する場合を1ルジオンと称している。

換算ルジオン値は次式で求める。

$$L_u' = \frac{10 \cdot (Q_2 - Q_1)}{(P_2 - P_1) \cdot L}$$

L_u' : 換算ルジオン値
 Q_1 : P_1 時の注入量 (kg/min)
 Q_2 : P_2 時の注入量 (kg/min)
 P_1 : Q_1 時の全水頭 (kgf/cm^2)
 P_2 : Q_2 時の全水頭 (kgf/cm^2)
 L : 試験区間長 (m)

3-4-3 換算透水係数の算出

ダルシーの法則が成立する層流の場合、流量と透水係数の関係は

$$Q = k \cdot i \cdot A$$

Q : 流量
 k : 定数(透水係数)
 i : 動水勾配 = H/L
(H : 水頭差、 L : 浸透距離)
 A : 断面積

の関係が成立する。しかし、ルジオン値が大きい($L_u=10 \sim 20$ を超える)乱流の場合には、ダルシーの法則による計算を適用できない。

透水係数の算出に当たっては、換算ルジオン値と同様に $P-Q$ 曲線の勾配から換算透水係数を求めることができる。

換算透水係数は次式によって求まる。

$$K = \frac{(Q_2 - Q_1)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (H_2 - H_1)} \cdot \log_e \frac{L}{r}$$

K : 透水係数 (cm/sec)
 Q_1 : H_1 時の透水量 (cm^3/sec)
 Q_2 : H_2 時の透水量 (cm^3/sec)
 L : 試験区間長 (cm)
 H_1 : Q_1 時の全水頭 (cm)
 H_2 : Q_2 時の全水頭 (cm)
 r : 試験孔半径 (cm)

なお、5章で述べる透水係数は上記の換算透水係数である。

4. 既存資料による調査孔状況

低圧ルジョン水理試験を行う以前に既存調査として、本調査孔においてボーリングコア観察、各種孔内検層²⁾、BTV³⁾を行っている。巻末に、ボーリングコア観察資料、孔内検層結果総合図を参考資料として添付する。以下にその既存調査の概要を述べる。

4.1 地質状況区分

本試験孔の地質は瑞浪層群の堆積岩及び花崗岩からなり、14.6~14.79mの月吉断層を挟んで、堆積岩と花崗岩のレキ部に大分される。以下にその分類について述べる。

① 堆積岩

主に中～粗粒砂岩からなり、3.8m以深は礫部も含まれる。11.4m以深では変質細粒砂岩となり、断層粘土を挟む。

② 月吉断層を含む破碎帶

12.5m程度以深から月吉断層(14.6~14.79m)を挟んで、崩壊性の細粒砂岩、および中～粗粒砂岩となる。

③ 花崗岩レキ部

16.0m程度以深より中～粗粒砂岩、角礫岩を含む花崗岩の礫部、玉石状で一部に細粒砂岩および粘土を混入する。20.0m程度以深より固結した硬質な粗粒砂岩、および角礫岩を主体とする。

4.2 孔内検層・BTV結果概要

低圧ルジョン水理試験に先立ち行った各種の孔内検層²⁾では、調査孔の状態をA～D層の4層のグループに分けている。その結果の概要を、BTV³⁾による亀裂状況と共に表-1に示す。

表-1 孔内検層・BTV結果概要一覧表

層区分	深度 (m)	想定地層	温度検層	電気検層 *1		密度検層	音波検層	孔径検層	中性子検層	BTV結果 *2
			温 度 (度)	自然電位 変 化	比抵抗値 (ohm-m)	密 度 (g/cm ³)	P波速度 (km/sec)	孔 径 (mm)	地層孔隙率 (%)	亀裂位置(m) (亀裂幅)
A層	1.8 (13.8	上部 砂岩層	14.9	負へ移行 16.5m 17.8m 18.3m 正へ移行 22.0m	12.8 20.8	2.07	2.22	122.1	42.6	①5.66～6.68 (1.8mm, 剥離)
					13.5 21.2	2.00	2.00	122.3	46.7	②6.70～6.97 (1.5mm, 剥離)
B層	13.8 (15.2	断層を含 む破碎帶	14.5	73.3 23.8						③10.96～11.37 (3.7mm, 開口)
					60.5 48.4	2.26 2.22	2.75 2.40	115.0 114.9	14.1 28.8	④13.37～13.73 (2.1mm, 剥離)
C層	15.2 (16.9	レキ岩を 含む層								⑤13.96～14.64 (3.3mm, 開口)
										⑥16.06～16.55 (1.1mm, 密着)
D層	16.9 (28.9	下部 砂岩層								
検層結果に による透水係 数(cm/sec)	—	—	—	—	10^{-3} 10^{-5}	10^{-5} 10^{-6}	10^{-5} 10^{-6}	—	10^{-5} 10^{-8}	

*1：自然電位は孔内水の出入りにより移行するが、最大は16.5mの5mVと微小である
比抵抗値の上段はショートノルマル値、下段はロングノルマル値

*2：①～④は派生を伴う亀裂で、⑤、⑥は単独の亀裂である。
なお⑥は溝みと思われる。

4.3 試験区間状況

地質状況、孔内検層結果、BTV結果を踏まえ、低圧ルジオン水理試験の試験区間状況を表-2に示す。なお、パッカー設置箇所、パッカー破裂箇所も併記する。また、図-6にパッカー破裂位置図を示す。

なお、本調査で述べる「断層」とは14.6~14.8mの断層粘土部を言い、「破碎部」とはその周辺部を言う。

表-2 試験区間状況一覧表

試験区間		深度(m)	地質		孔径検層 平均孔径mm	BTVによる 亀裂位置(m) ^{*3}	温度検層 孔内温度	電気検層自然 電位変化	センサー ^{*2} 位置(m)	備考
区間①	試験区間	4.0~8.0	中粗粒 砂岩	礫部を含む	122.1	①5.66~6.88 ②6.70~6.97	14.5°C	-	2.18	試験順序1
	バッカー上(L) ^{*1}	2.6~4.0	中粗粒 砂岩	-	122.1	-		-	-	-
	バッカー下(S)	8.0~9.4	粗粒 砂岩	礫部含む	122.1	-		-	-	-
区間②	試験区間	10.0~12.0	粗粒 砂岩	礫部含む 11.4:細粒	122.1	③10.96~11.37	14.9°C	-	8.18	試験順序2
	バッカー上(L)	8.6~10.0	粗粒 砂岩	礫部含む	122.1	-		-	-	-
	バッカー下(S)	12.0~12.8	粗粒 砂岩	礫部含む 12.4:花崗岩質	122.1	-		-	-	-
区間③	試験区間	8.0~15.5	細粗粒 砂岩	礫部含む 14.6~14.8:新層粘土	122.1	③10.96~11.37 ④13.37~13.73 ⑤13.96~14.64	16.3mで貞へ移行	-	8.75	試験順序5
	バッカー上(S)	7.2~8.0	粗粒 砂岩	礫部含む	122.1	-		-	-	-
	バッカー下(S)	15.5~16.3	粗粒 砂岩	礫部含む 15.95:花崗岩質	115.0	-		-	-	-
区間④	試験区間	17.0~20.0	粗粒 角礫岩	礫部含む 崩壊性	114.9	-	18.3mで貞へ移行	-	15.18	試験順序4
	バッカー上(L)	15.6~17.0	粗粒 砂岩	15.95:花崗岩質	115.0	⑥16.06~16.55		-	-	-
	バッカー下(S)	20.0~20.8	粗粒 砂岩	硬質 礫部含む	114.9	-		-	-	-
区間⑤	試験区間	22.0~26.0	粗粒 砂岩	硬質 礫部含む	114.9	-	22.0mで 正へ移行	-	20.18	試験順序3
	バッカー上(L)	20.6~22.0	粗粒 砂岩	硬質 礫部含む	114.9	-		-	-	-
	バッcker下(S)	26.0~26.8	粗粒 砂岩	硬質 礫部含む	114.9	-		-	-	-
バッカー 破裂箇所	13.0~14.4 バッカー(L)	中粗粒 砂岩	~13.5:花崗岩質	122.3	④13.37~13.73 ⑤13.96~14.64	-	-	-	-	試験順序2 (区間②)で破裂
	13.1~14.5 バッcker(L)	中粗粒 砂岩	~13.5:花崗岩質	122.3	④13.37~13.73 ⑤13.96~14.64	-	-	-	-	試験順序5 (区間③)で破裂
	10.7~11.5 バッcker(S)	粗粒 砂岩	礫部含む	122.1	③10.96~11.37	-	-	-	-	試験順序5 (区間③)で破裂

*1:ロングバッカー(L)1.40m, ショートバッcker(S)0.83m

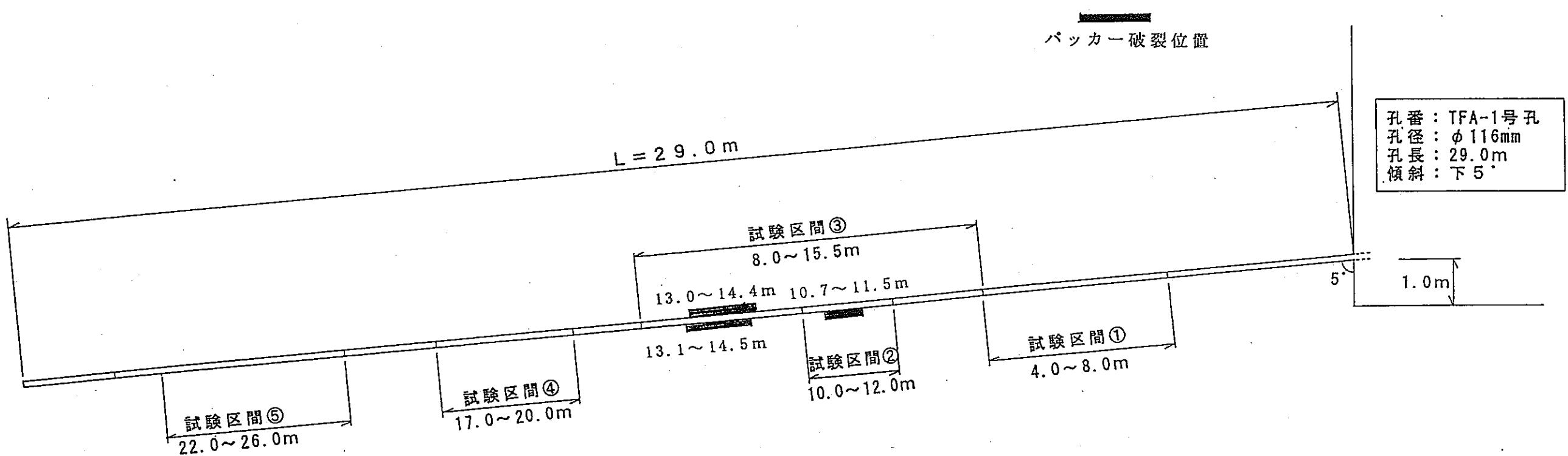
*2:区間上端よりロングバッcker時1.82m, ショートバッcker時1.25m

*3:①亀裂幅1.8mmの派生を伴う剥離亀裂, ②亀裂幅1.5mmの派生を伴う剥離亀裂

③亀裂幅3.7mmの派生を伴う開口亀裂, ④亀裂幅2.1mmの派生を伴う剥離亀裂

⑤亀裂幅3.3mmの単独の開口亀裂, ⑥亀裂幅1.1mmの単独の密着亀裂(窪みと思われる)

図-6 パッカ一破裂位置図 ($S=1:100$)



5. 試験結果と考察

5.1 間隙水圧測定結果

低圧ルジオン水理試験に先立ち、間隙水圧を測定した。間隙水圧の安定は、圧力センサーによる圧力を圧力表示計を介してペンレコーダに表示させ、その安定を判断した。図-9に間隙水圧経時変化図を示す。なお、測定区間とセンサー位置、および圧力センサー・圧力指示計の精度上、表示値に対する実際圧は以下の通りである。

$$\text{実際圧} = \{\text{表示値} - \text{初期値}(0.20)\} \div 2 + \text{距離(センサー位置と測定区間)} \text{補正}$$

本調査において得られた安定圧は、区間①(4~8m)で 0.02kgf/cm^2 、区間②(10~12m)で -0.06kgf/cm^2 、区間③(8~15.5m)で 0.07kgf/cm^2 、区間④(17~20m)で -0.02kgf/cm^2 、区間⑤(22~26m)で -0.07kgf/cm^2 の値を得た。

5.2 間隙水圧結果における考察

間隙水圧結果の値は、試験孔の深さからすれば非常に小さな値であり、特に負圧となる区間が多い。これらの現象が起きた理由として、以下のように考えられる。

1. センサー測定精度(フルスケールに対し0.25%)。
2. 調査孔周辺(図-7)で行っている長期の間隙水圧測定²⁾によると、坑道影響により、調査孔周辺のピエゾ水頭は坑道レベル付近である。また、本試験孔坑道の下には更に下盤坑道が存在する。

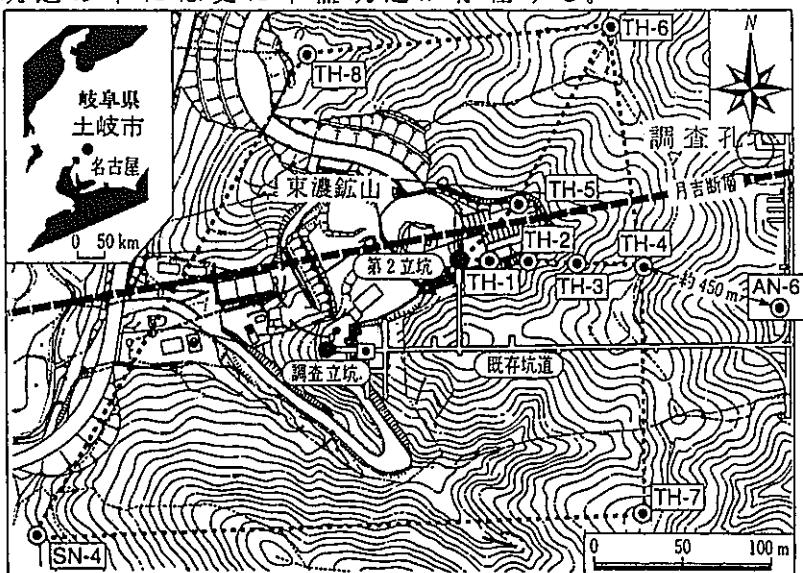
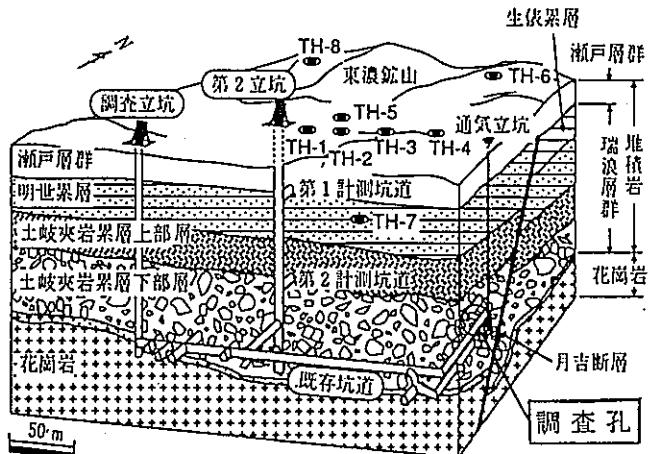


図-7 調査孔周辺の長期間隙水圧観測孔位置図①



図一8 調査孔周辺の長期間隙水圧観測孔位置図②

3. 電気検層結果³⁾において、自然電位の変化は微小であり、また温度検層結果³⁾では、温度変化がほとんど見られず、調査孔への地下水の流入は無いと考えられる。
4. 試験区間3(8~15.5m)の間隙水圧測定値は0.07kgf/cm²と若干の値を示したが、これは当初の試験区間位置で3回のパッカー破裂により、区間延長をしたことによる、何らかの原因と考えられる。

以上のことから、本調査において調査孔での明らかな間隙水圧は測定されておらず、全体としては、すべての試験区間の間隙水圧は0kgf/cm²と考えられる。

**この頁は PDF 化されていません。
内容の閲覧が必要な場合は、技術資料管理
担当箇所で原本冊子を参照して下さい。**

5.3 低圧ルジオン水理試験結果

本調査の目的は、月吉断層とその周辺岩盤の透水性の把握であるが、断層周辺を中心とし孔壁崩壊により、断層部を代表する試験の実施ができなかつた。また、間隙水圧は概ね 0 kgf/cm^2 であったが、後述する理由により試験区間は飽和状態であると考えられる。

また、ルジオン値は概ね 1 以下と小さく、ダルシーの法則が成立することから、3 章で述べた計算式よりルジオン値、透水係数を算出した。

その結果は巻末に低圧ルジオン水理試験データ(透水試験記録)としてまとめて示す。表-3 に低圧ルジオン水理試験結果一覧表を示し、以下にその結果について述べる。

表-3 低圧ルジオン水理試験結果一覧表

試験区間	深度 (m)	地質		間隙水圧 $u(\text{kg}/\text{cm}^2)$	透水係数 $K(\text{cm/sec})$	換算ルジオン値 Lu'
①断層前	4.0～8.0	中～粗粒砂岩	縦部含む	0	4.81×10^{-7}	0.042
②断層手前近傍	10.0～12.0	粗粒砂岩	縦部含む 11.4～： 崩壊性颗粒	0	1.19×10^{-5}	1.263
③断層区間	8.0～15.5	細～粗粒砂岩	縦部含む 14.6～14.8：	0	8.26×10^{-6}	0.641
	12.0～15.5	細～粗粒砂岩	断層粘土	0	5.32×10^{-6}	—
④断層奥近傍	17.0～20.0	粗粒角砾岩	崩壊性 花崗岩颗粒含む	0	3.42×10^{-6}	0.327
⑤断層後	22.0～26.0	粗粒砂岩	硬質、縦部含む	0	1.57×10^{-6}	0.140

・12.0～15.5m の透水係数は他区間の試験結果より求めた参考値である

本調査で得られた透水係数は、 $1.2 \times 10^{-5} \sim 4.8 \times 10^{-7} \text{ cm/sec}$ であり、断層周辺の破碎部で $1.2 \times 10^{-5} \sim 8.3 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$ と比較的大きく、断層以深では 3.4×10^{-6} と小さくなり、最深部の比較的硬質な砂岩では $1.6 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$ となる。また、孔口に近い区間 1 (4～8 m) の透水係数は $4.8 \times 10^{-7} \text{ cm/sec}$ と最も小さい値を示した。これらから、断層周辺では破碎により大きい透水性を示し、破碎部範囲から離れるに従い透水性は小さくなることが分かる。ただし、本調査では月吉断層の透水性は得られていないが、断層粘土の透水性は難透水性であると思われる。孔全体としての透水係数は、孔内検層から求めた透水係数 $10^{-5} \sim 10^{-6} \text{ cm/sec}$ に概ね一致している。

5.4 低圧ルジオン水理試験結果における考察

試験区間を飽和状態とした理由として、以下のように考える。

1. 孔口および送水ホースより注水し、孔内を満水状態としている。
2. 不飽和地盤では流量が安定せず流量の安定に長時間を要する⁵⁾が、当試験においては比較的早く定常的な流量を得られた。（巻末データ参照）
3. 各圧力段階における透水量の安定性。（図-10 透水履歴図参照）
4. 透水係数が低く試験区間周辺の影響範囲が狭い。

以上のことから、本低圧ルジオン水理試験実施時においては、試験区間周辺の影響範囲は飽和状態であると判断した。

以下に透水係数についての検討事項を述べる。

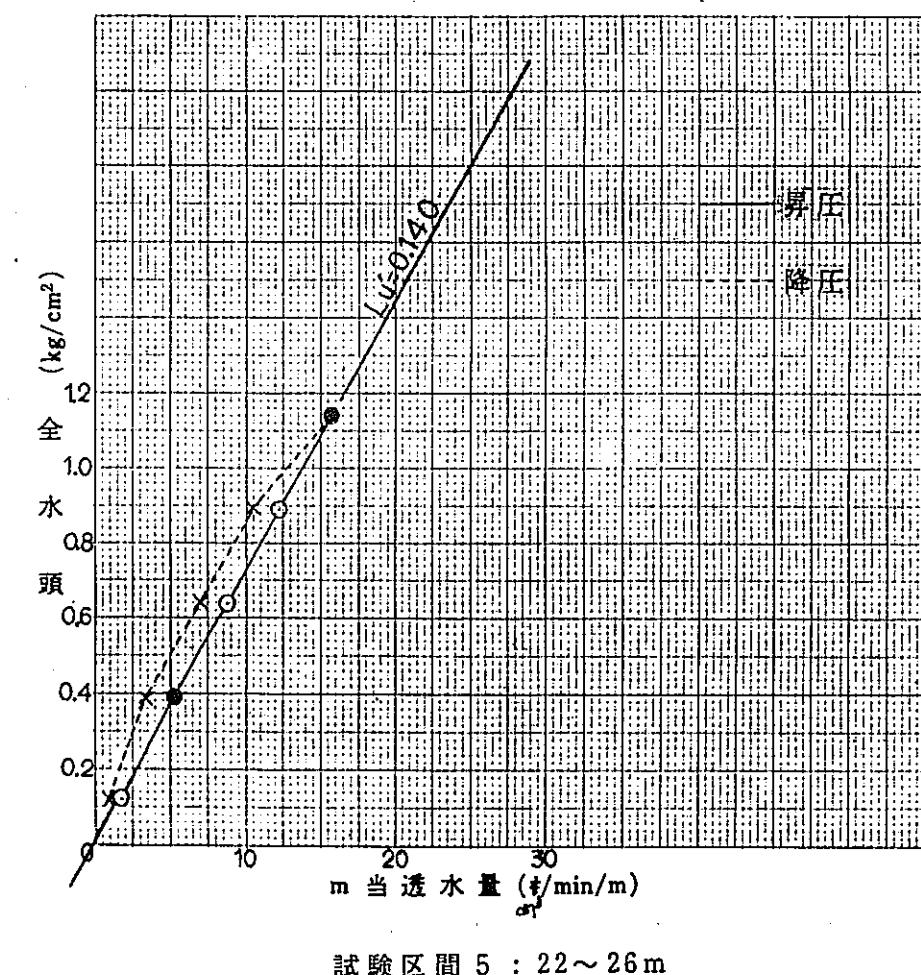
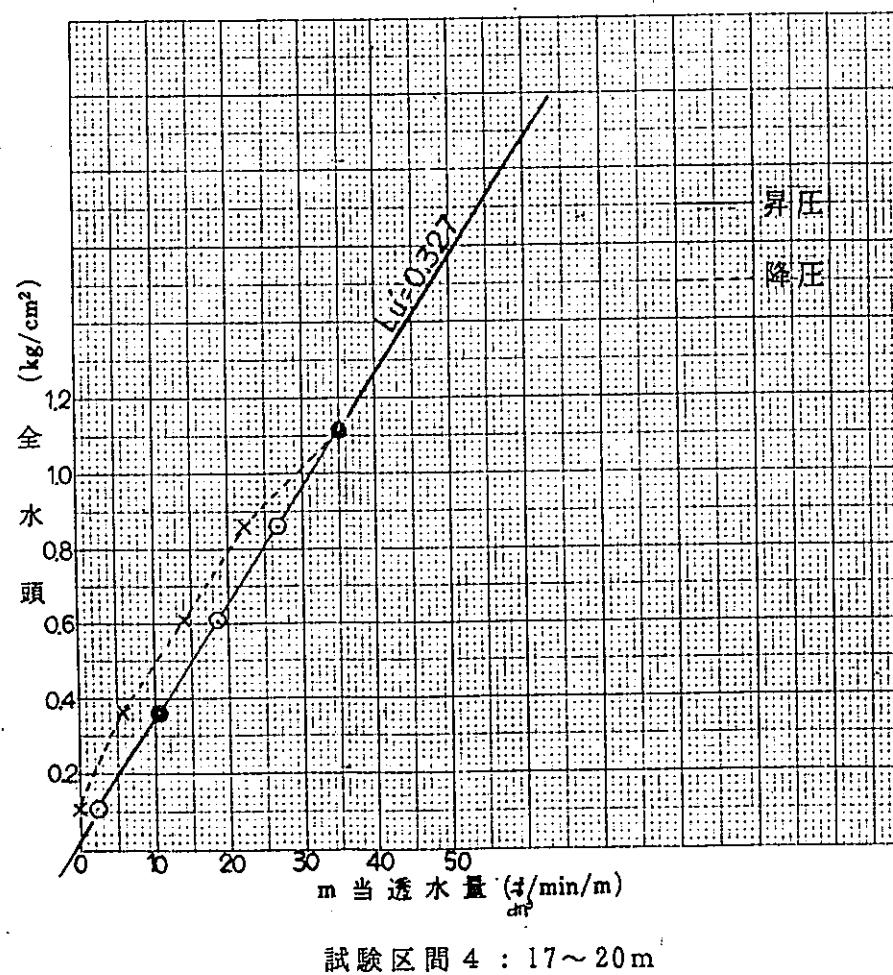
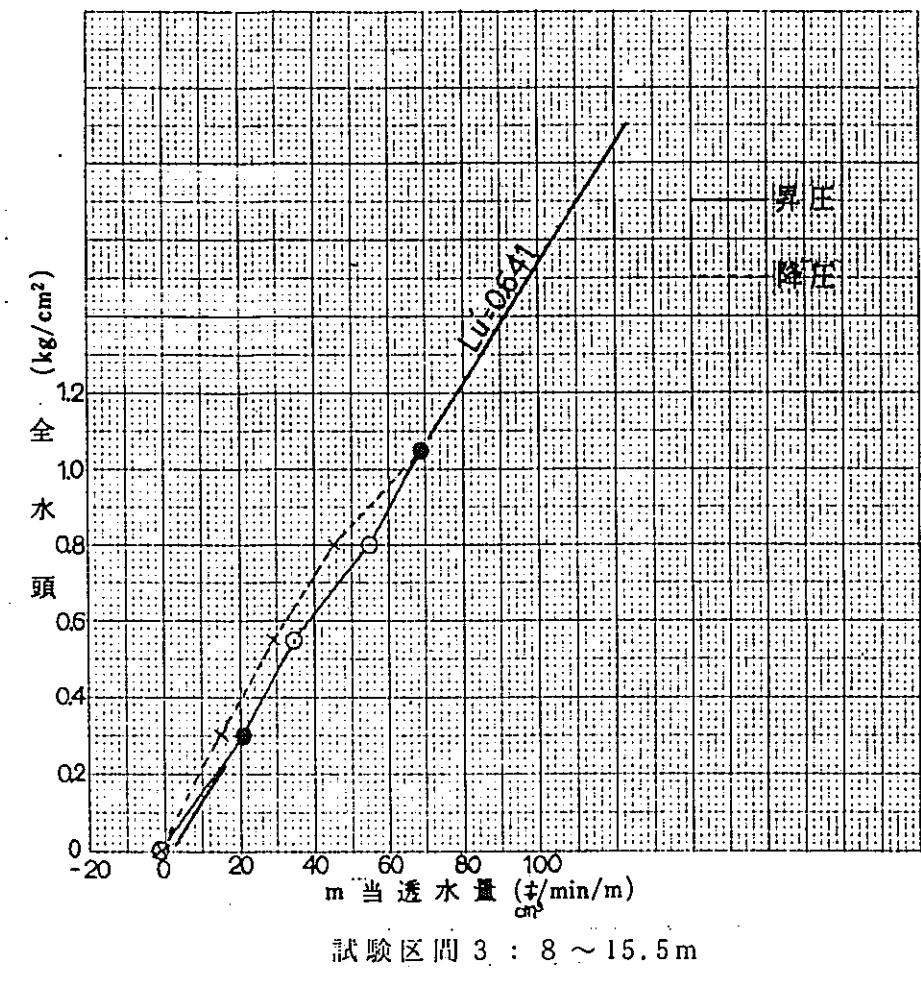
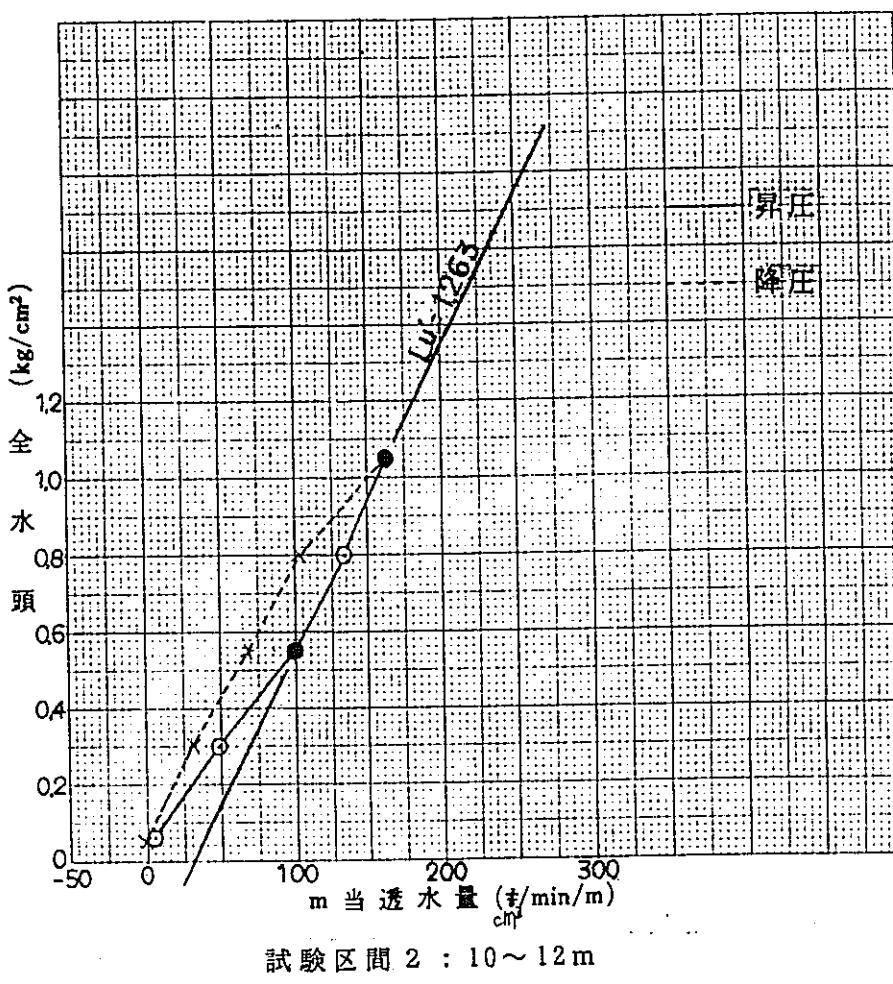
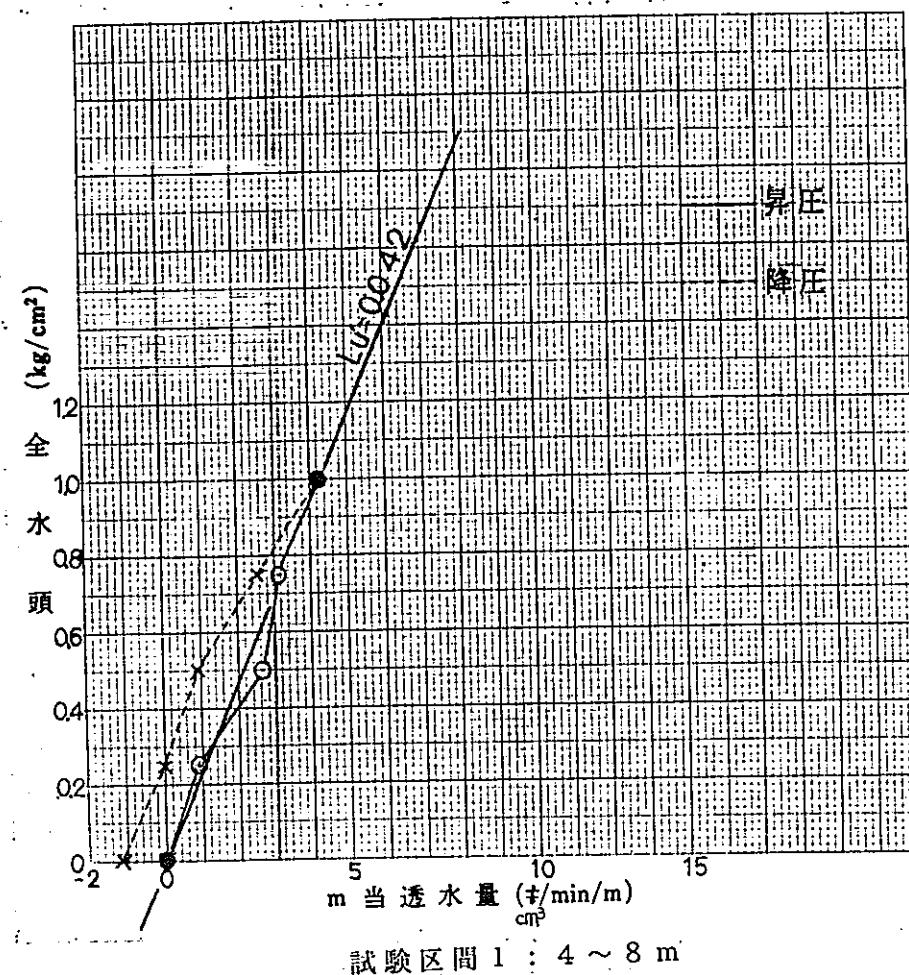
1) 区間別の透水係数について

区間別で最も大きい透水係数が得られたのは、区間2(10.0~12.0m)の $1.2 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$ である。この区間では、BTV結果から11~11.5m付近に亀裂幅3.7mmの派生を伴う開口亀裂が確認されており、この亀裂の影響が大きいと言える。断層を挟んだ試験区間3(8~15.5m)では、11~11.4, 13.4~13.7, 14~14.6m付近に3本の亀裂が確認されている。この試験区内のパッカー位置の13.0~14.0m, 13.1~14.5m, 10.7~11.5mでは、いずれも亀裂を含みパッカーが破裂した。破裂により亀裂の節理が開口もしくは目詰まりをおこし、試験への影響があったと考えられる。

2) 孔内水の流れを確認するために、次のような点検を行った。

全区間試験終了後に孔内を満水とし、その経時変化を24h, 48hで測定し、24hで孔口より約4m、48hで孔口より約4.5mの水位変化を確認した。試験時に比べこの水位変化は小さい。すなわち、試験時に試験区間外の孔内水が無くなることは無いと判断した。これにより、パッカーの効果はあったと判断する。

図一〇 透水履歴図



3) 参考透水係数

本調査結果から断層を挟む短区間(12.0~15.5m)の透水係数を把握するため次のことを行った。8~10mでは試験を行っていないため、区間1の値を採用し、その他区間2、3の試験結果から当区間の注入圧、注入量を推定し、透水係数を求めた。その透水係数は 5.32×10^{-6} cm/secの値を得た。しかし、この区間では数回のバッカーの破裂があり、試験区間の変更等をしており、これらを考慮するとその信頼性は低く、参考値として取り扱うのが適切と考える。

4.3 一般的な水理特性と本調査との関連

本調査においては、低圧ルジオン水理試験を試験影響範囲を飽和状態のもとで行ったが、以下に飽和地盤と不飽和地盤の透水係数について述べる。

仮に、図-11aのような節理モデルを考えた場合、地下水はこのような水で満たされた間隙に沿って流れる。一方、図-11bのような不飽和の間隙において地下水は、まだ水で満たされている間隙と、空になった間隙の濡れた壁面の両方を利用して流れる。しかし、地下水の流れやすい水で満たされた間

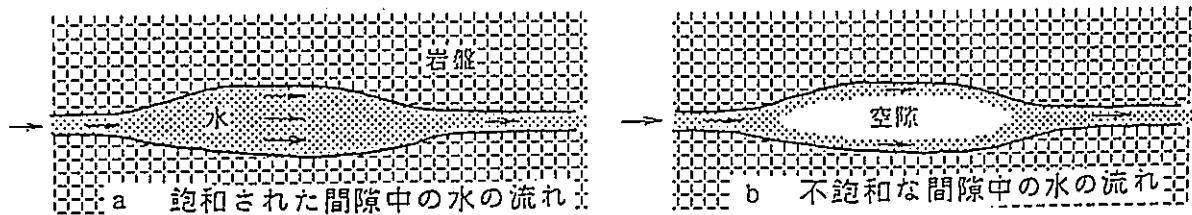


図-11 飽和地盤と不飽和地盤での地下水流モデル

隙はすでに失われているので、透水性は著しく低下する。このような飽和～不飽和地盤との透水係数の関係は、一般的に図-12の関係が示されている。その把握には飽和度を求める必要があり、飽和度が95%以上であれば、透水係数に実用上差はなくなる。

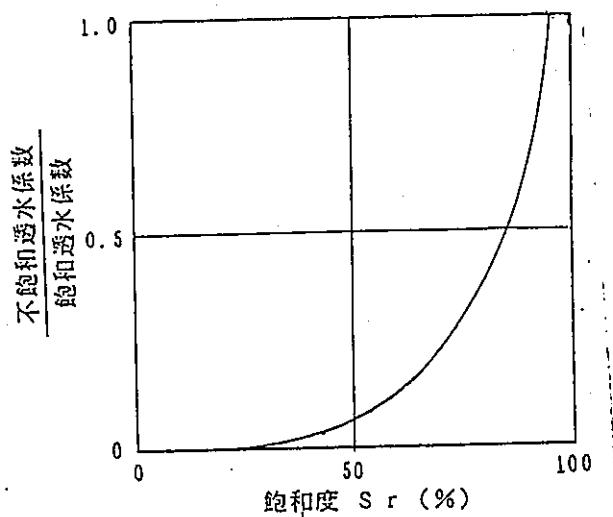


図-12 透水係数と飽和度の関係

坑道の掘削の影響により、透水係数は節理が開口し間隙が広がって透水係数が高まる現象と、自然地下水位が低下し、地盤が飽和状態から不飽和状態へ移行し、不飽和性が高まり、透水係数が低下するという現象が現れる。

本試錐孔周辺の地盤は、当試錐孔坑道とその下に存在する下盤坑道の影響により、飽和地盤と不飽和地盤の境界付近であると考えられる。今回は、孔内注水による孔内水の変化等から、試験時の影響範囲は飽和度が95%以上であると考えられ、飽和地盤と判断した。また、不飽和地盤での原位置での透水試験は、現時点では研究は成されているが、その手法は確立されていないのが現状である。

6. 今後の課題点等

本試験においての問題点、課題点を以下に述べる。

・孔内状態について

掘削孔径は $\phi 116\text{mm}$ であるが、断層周辺を中心とし、孔壁が崩れ孔径が相当大きくなっていると考えられる。そのため、今回用いた孔径 125mm まで適応可能な径 76mm のパッカーでは、試験区間を遮断できずパッカーの破裂が起こった。パッカーの破裂によりさらに孔壁崩壊が起こり、当初パッカーの効いた箇所でも効かなくなってしまった。

本孔は掘削完了時に孔径検層を行っており、その結果より試験区間を決定したが、その後の孔内状況は把握していない。対策としては、低圧ルジオン試験実施直前に孔径検層を行い、それに見合うパッカー(本孔では孔径 160mm 程度まで対応可能な径 100mm 程度のパッカー：特注品)を用いる。また、現行のハードパッカーではパッカー膨張時に孔壁を圧迫するため、低圧で孔壁に密着することが可能なソフトパッカーの作成も1手法である。

・断層周辺部で試験を行うに当たり詳細なデータを得るには

現行の試錐孔を用いて試験を行うには、上記の通り試験直前に孔径検層を行い、それに見合うパッカーを用いることが必要である。但し試錐孔は崩壊等により目詰まり等が想定されるため、試験前には十分試験区間を洗浄する。

良策としては新たな試錐孔を設けることで、この場合断層の深度は想定可能なため、その直上まで掘削し、パッカー区間をセメンテーションした後、試験区間を掘削しシングルパッカーを用いる方法も考えられる。シングルパッカーを用いることで、ダブルパッカーの最低試験区間長である 0.90m よりも短い試験区間の設定が可能となる。

・ダブルパッカーでの下端パッカーの効果確認

上端パッカーは、孔内水の変化でパッカーの効きが確認できるが、下端パッカーはその確認が困難である。現行では、圧力センサーの変化、送水による注入量で確認している。パッカーの効果の確認を容易にするには、図-13のように上下パッカーの更に上下にパッカーを設け、この両漏洩チェック区

間内に圧力センサーを設置する方法がある。注水した時に試験区間の両側の漏洩チェック区间で圧力の変化があるか否かをもって確実な判定ができると考える。現在研究中であるが、4連パッカーでの実施例及び3連のセンサー埋め込み等の実績が無く、パッカー部分の限られたスペースに圧力センサーを最大3本挿入し、更にその水密(水封)性を確保するのは非常に困難な技術である。

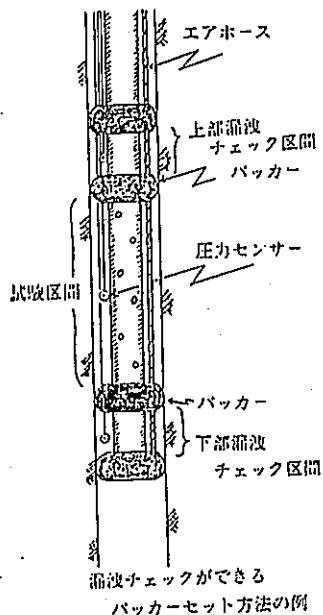


図-13 4連パッカー

・間隙水圧の長時間観測

飽和、不飽和の状態を確認するため、上記に示したようなパッカー、および試験孔の状況に適した測定法にて、間隙水圧を長時間測定することにより、地盤の地下水分布状況を把握しておくことも今後の課題の1つである。

7.まとめ

本調査において得た結論を以下に示す。

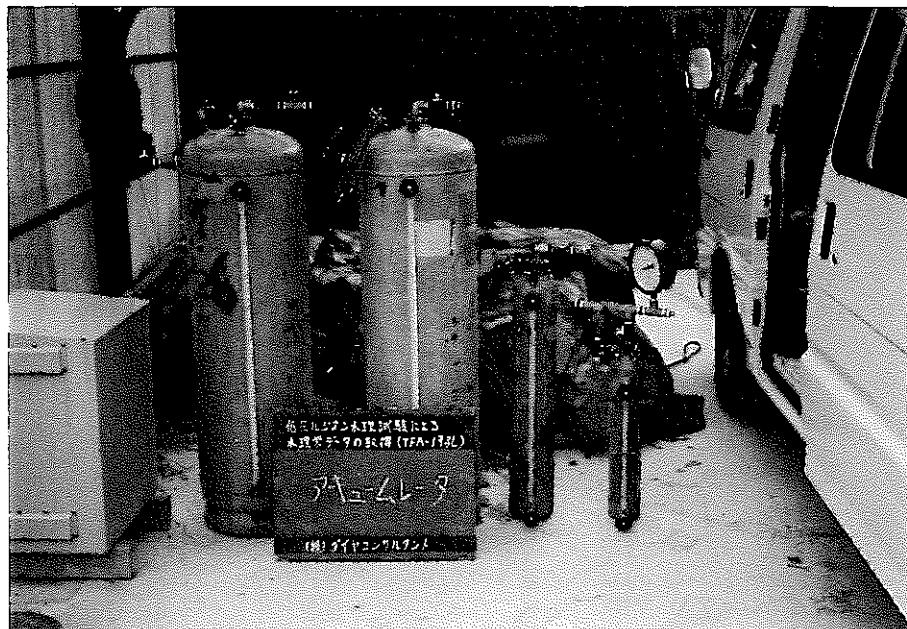
- ・各試験区間内での間隙水圧は 0 kgf/cm^2 であった。
- ・低圧ルジオン水理試験時の試験影響範囲は、既往資料等から飽和状態であると判断できる。
- ・透水係数は断層周辺では、断層破碎により大きい値($1.2 \times 10^{-6} \sim 8.3 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$)を示し、その影響範囲から離れるに従い、透水係数は小さく($1.6 \times 10^{-8} \sim 4.8 \times 10^{-7} \text{ cm/sec}$)なる。

参考文献

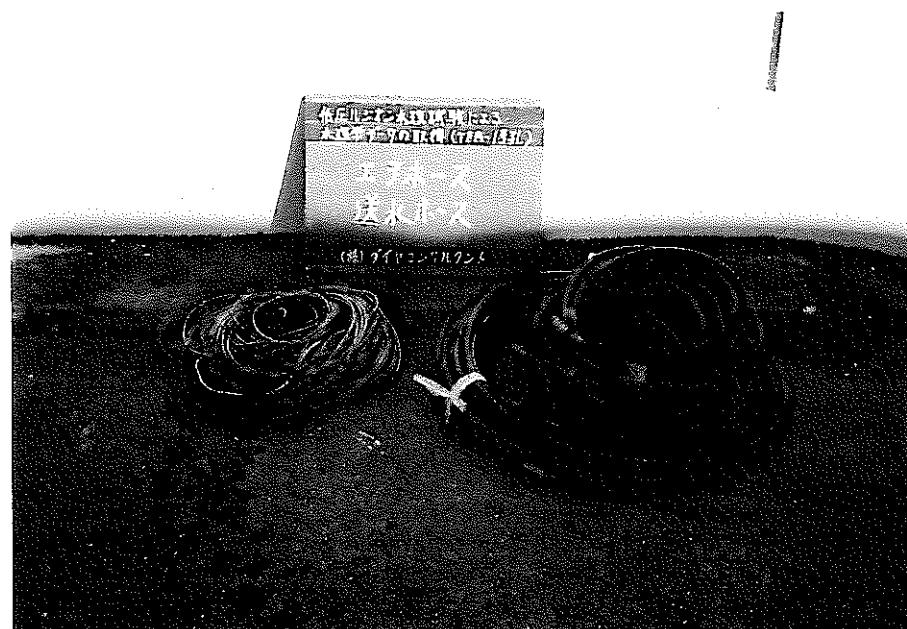
- 1)建設省河川局開発課監修 財団法人国土開発センター発行
ルジオンテスト技術指針・同解説(1984年6月)
- 2)TFA-1号孔における物理検層作業 報告書 (1998年2月)
- 3)ボアホールテレビジョン装置によるTFA-1号孔の孔内壁面観察
報告書(1997年12月)
- 4)立坑掘削に伴う間隙水圧の長期観測 地盤工学会 土と基礎(1996, 11号)
- 5)三次元的流动条件を考慮したルジオン値から透水係数の換算方法について
第8回岩の力学国内シンポジウム講演論文集(1990, 2214)

低圧ルジオン水理試験データ
(透水試験記録)

低圧ルジオン試験装置



アキュームレータ



エアホース

送水ホース



圧力計

低圧ルジオン試験装置



圧力指示計

ペンレコーダ



エアパッカー



圧力計台座

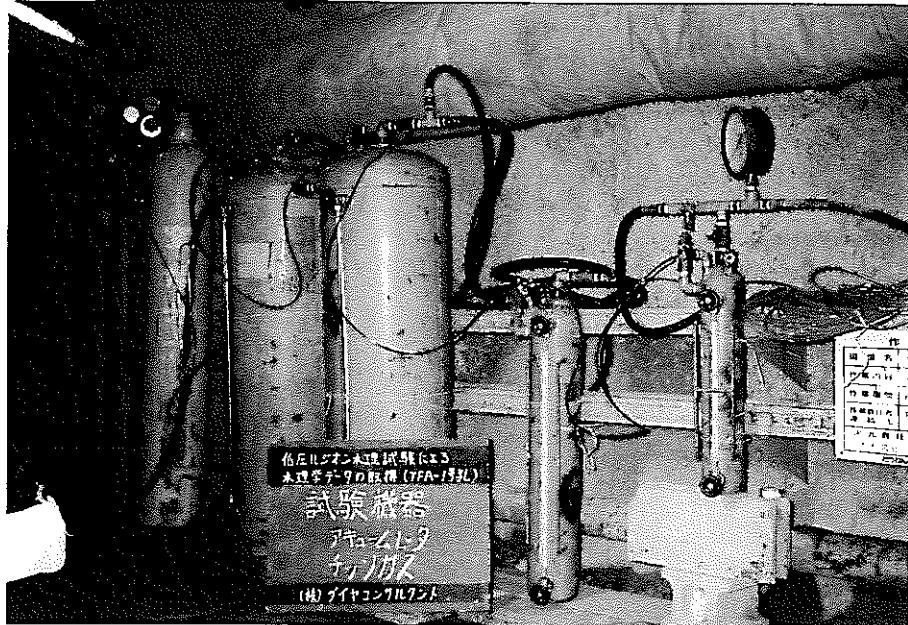
送水ホース台座

低圧ルジオソ試験装置

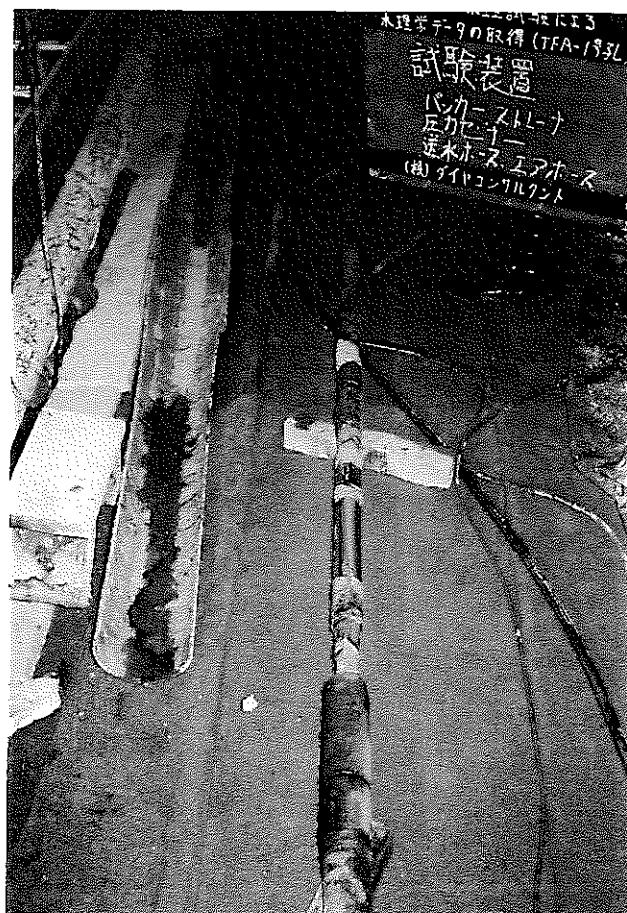


ストレーナ

試験装置接続状況



アキュームレータ， 窒素ガス， ホース類



センサー類

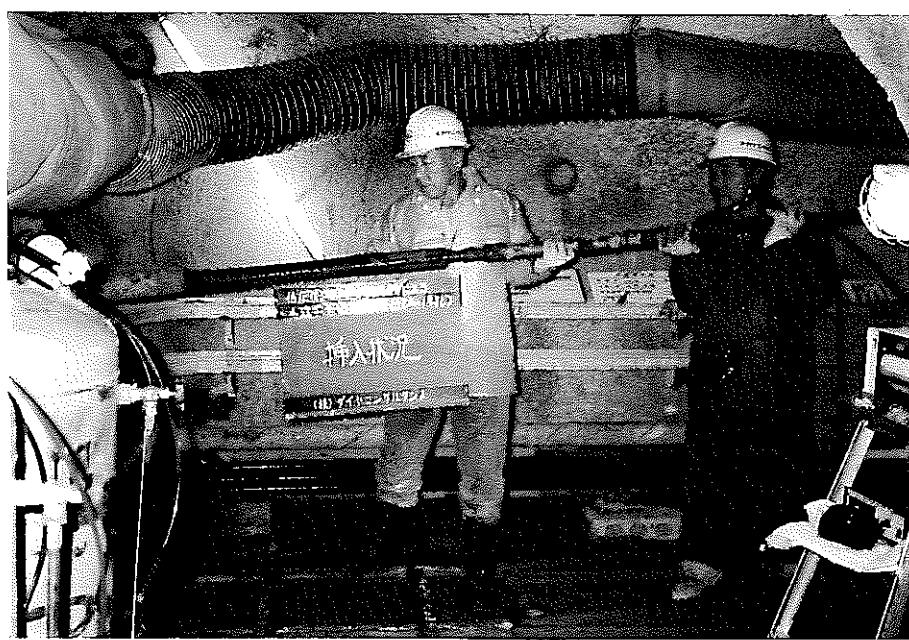


パッカー， ストレーナ

低圧ルジオン試験

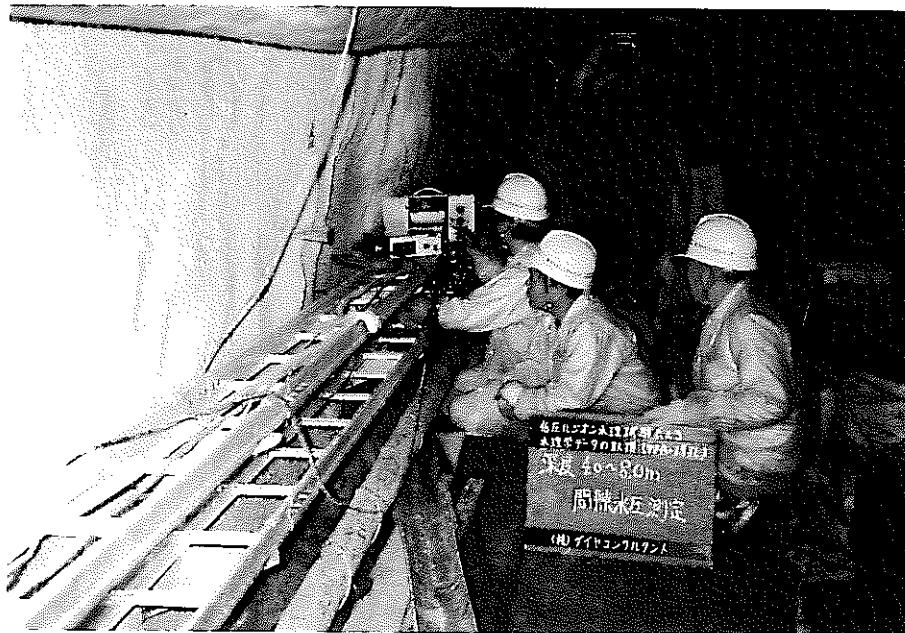


挿入前

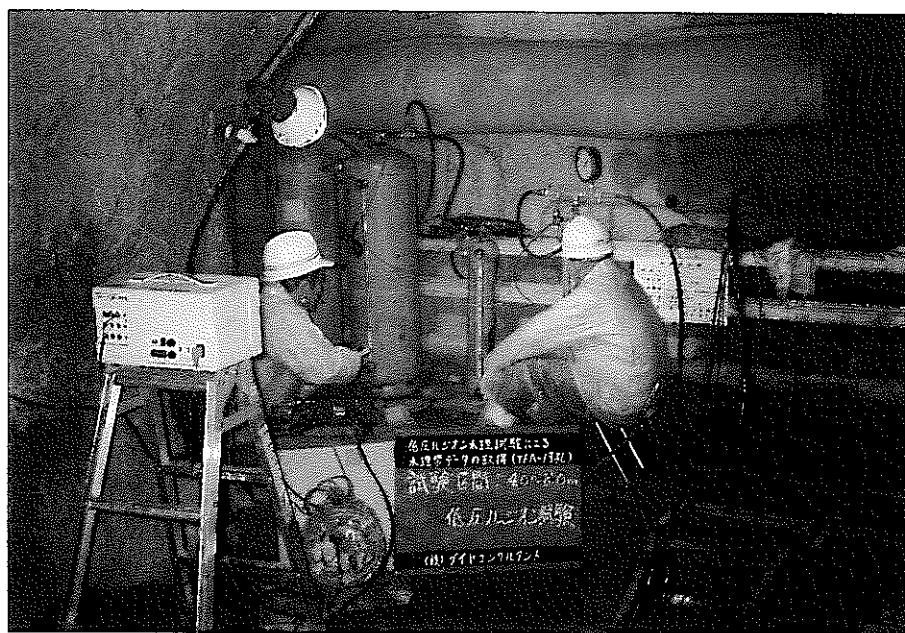


挿入状況

低圧ルジオン式馬込（試験区間1：4.0～8.0m）



間隙水圧測定状況

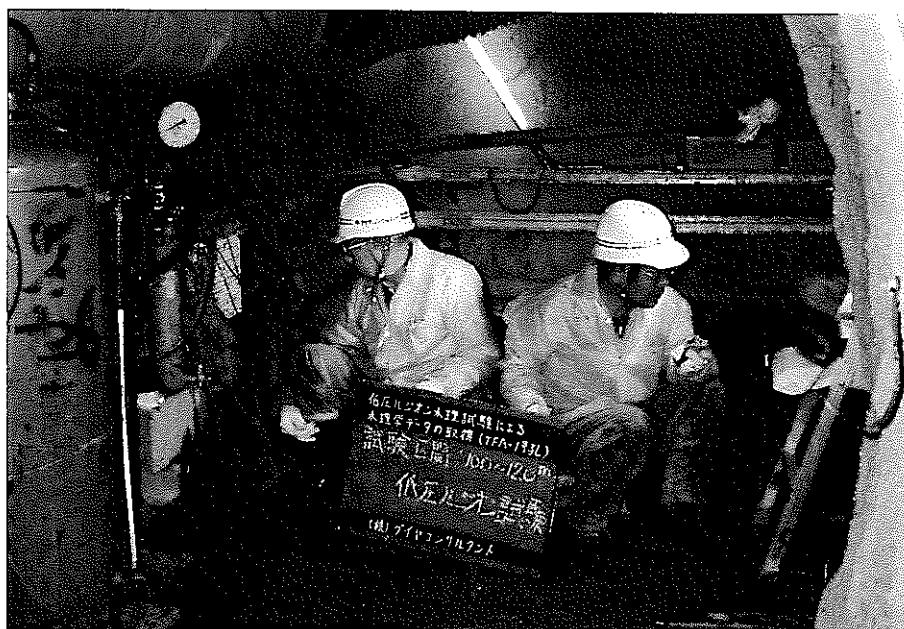


低圧ルジオン試験状況

低圧ルジオン試験(試験区間 2 : 10.0~12.0m)

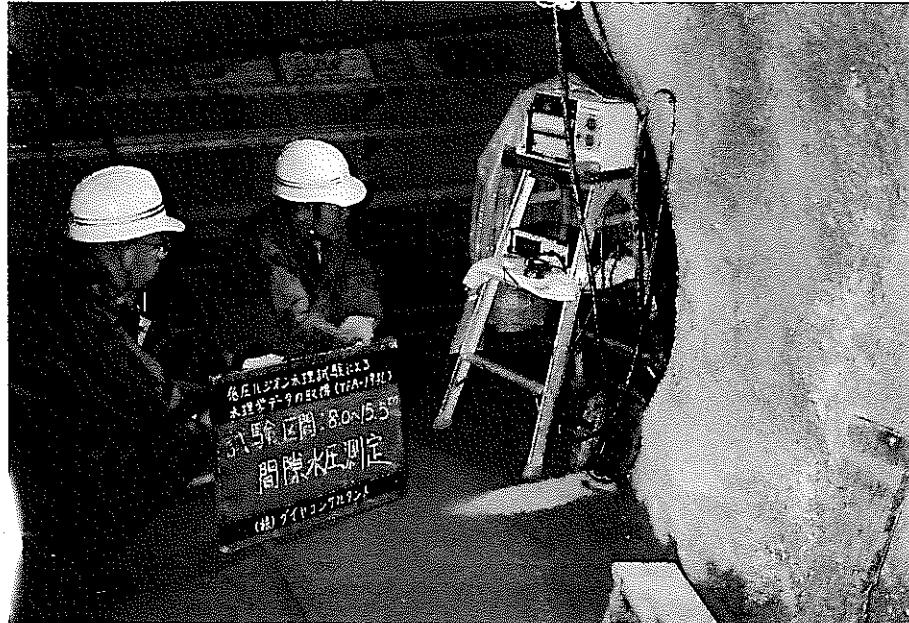


間隙水圧測定状況

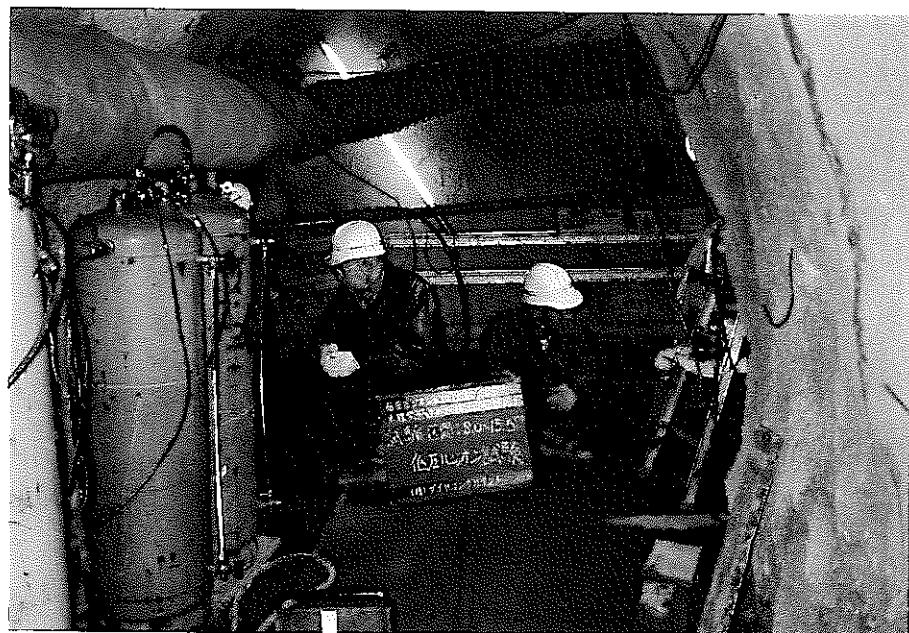


低圧ルジオン試験状況

低圧ルジオン試式馬金(試験区間3:8.0~15.5m)

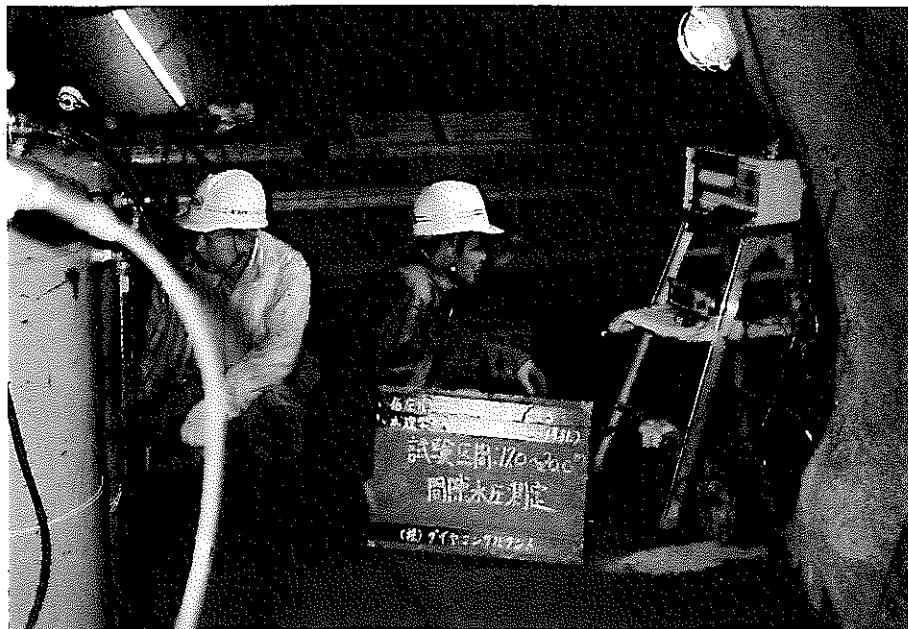


間隙水圧測定状況

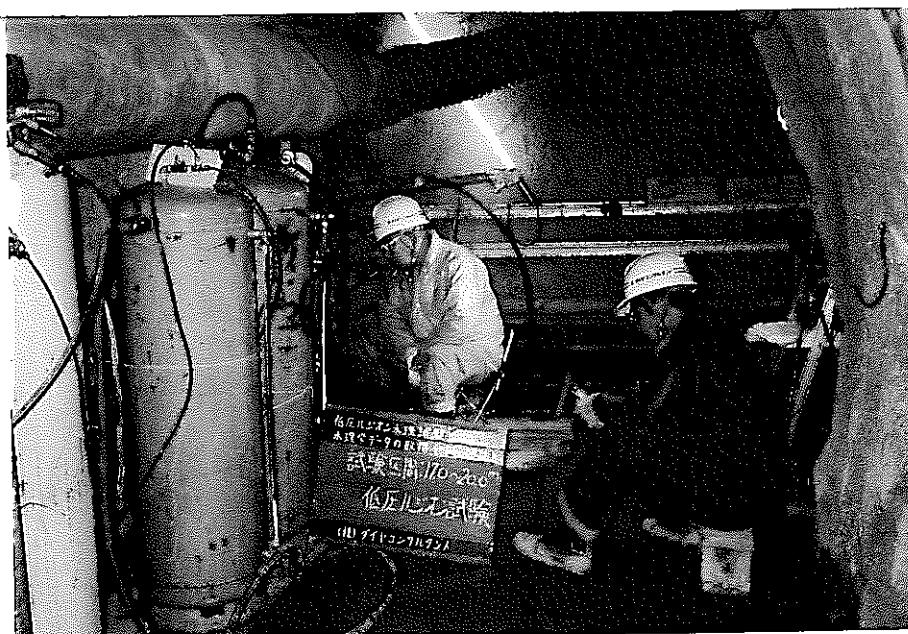


低圧ルジオン試験状況

低圧ルジオ n 試験区間 4 : 17.0~20.0m

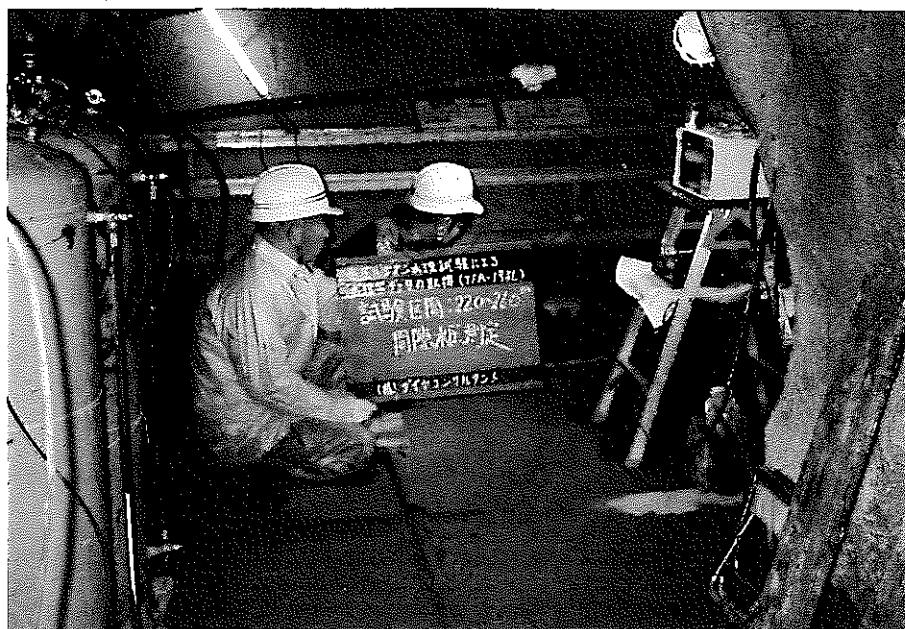


間隙水圧測定状況

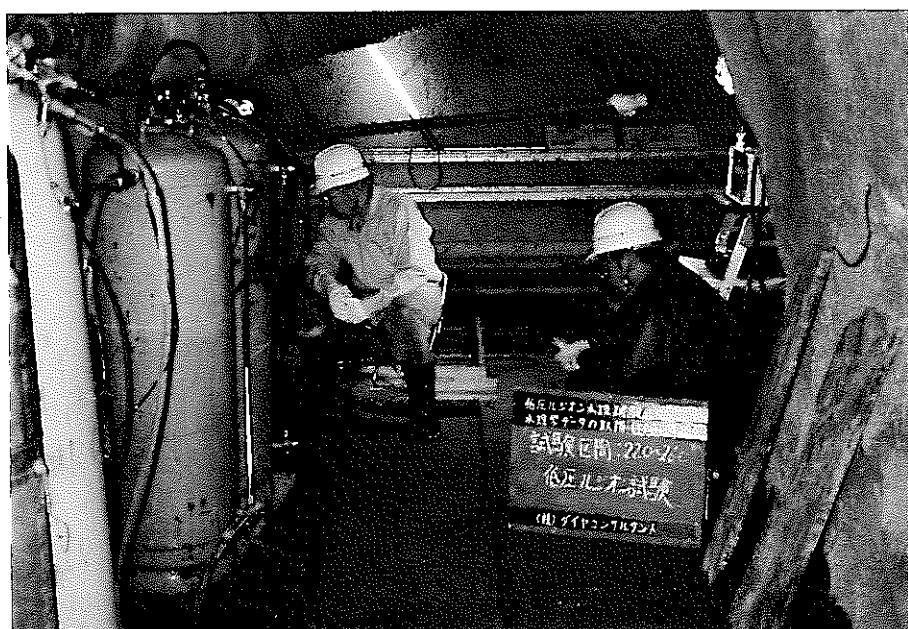


低圧ルジオ n 試験状況

低圧ルジオン試験馬鹿(試験区間5:22.0~26.0m)



隙水圧測定状況

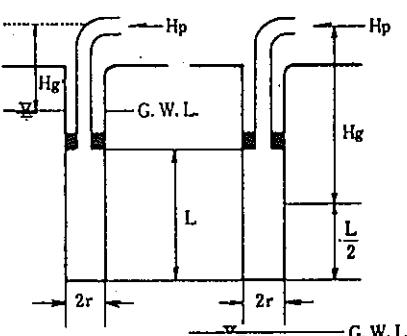
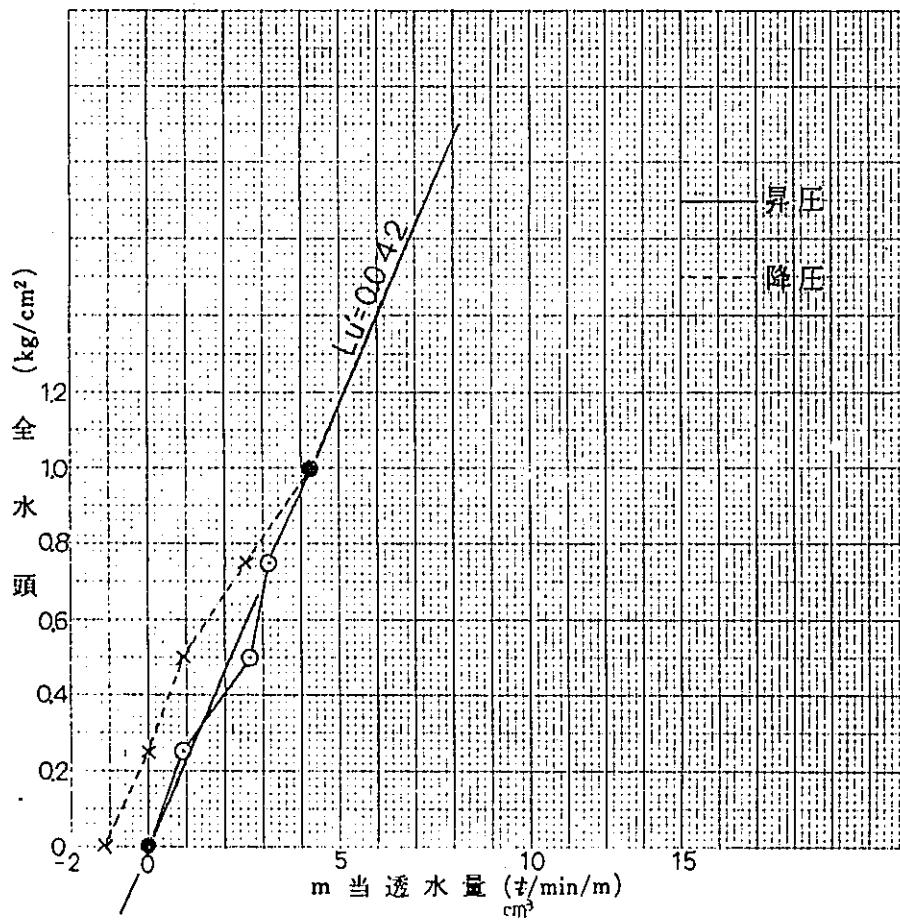


低圧ルジオン試験状況

透水試驗記録

試験区間 1

地区名	東濃鉱山	孔番	TFA-15孔	試験月日	H10.1.21
測定深度	4.0m~8.0m	区間長	4.0m	孔径	Φ116mm
地下水位	0 kg/cm ²	計器高	1.0m	バッカーの種類	ダブルエアバッカー



$$K = \frac{q}{2\pi LH} \log_e \left(\frac{L}{r} \right)$$

k : 透水係数 (cm/sec)

q : 透水量 (cm^3/sec)

L : 試験部分の長さ (cm)

r : 試験孔の半径 (cm)

H : 全水頭 (cm) Hg + Hp

Hg: 静水压

.Hp：加压 力

- 4 -

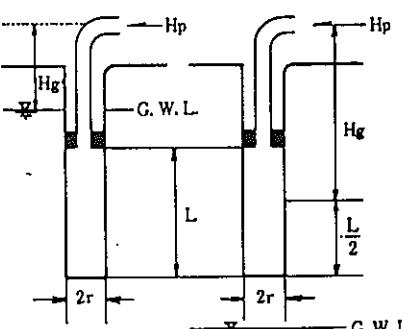
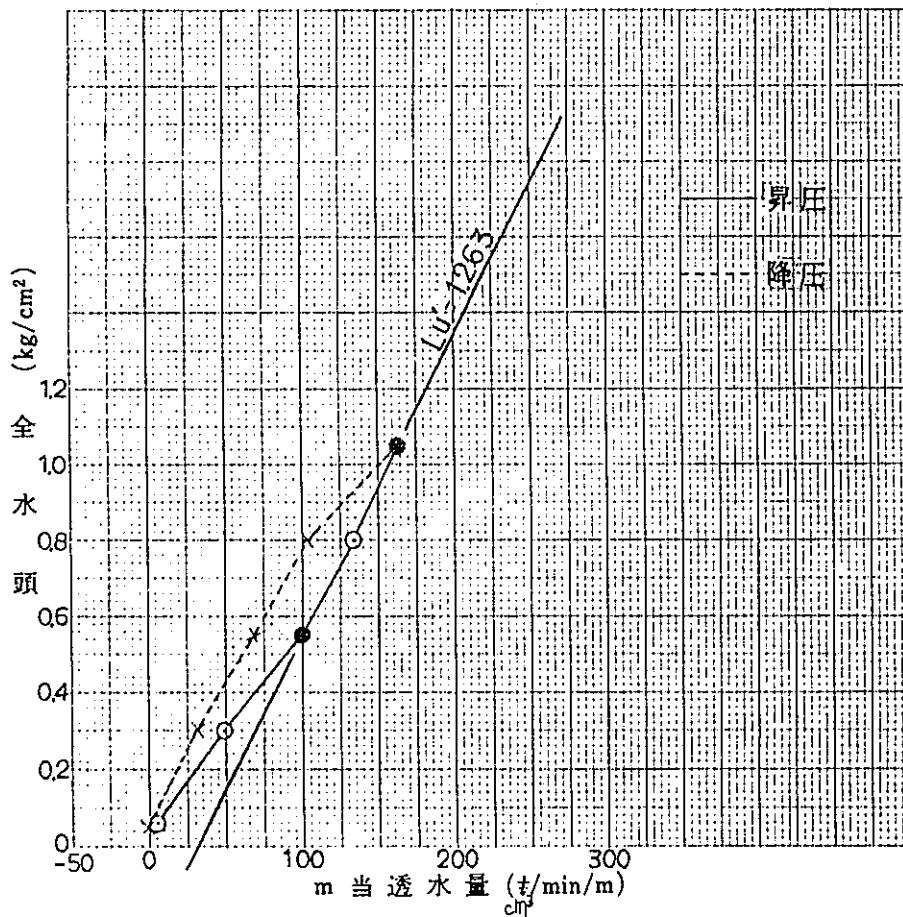
K.K. ダイヤコンサルタント

透水試験記録

試験区間 2

地区名	東濃鉱山	孔番	TFA-1号孔	試験月日	H16.1.23
測定深度	10.0m ~ 12.0m	区間長	2.0 m	孔径	Φ 116 mm
地盤水位	0 kg/cm²	計器高	1.0 m	パッカーチ種類	ダブルエラバッカー

計器水圧 kg/cm²	全水頭 kg/cm²	毎分透水量 cc					平均透水量 cc/min	m当透水量 cc/min/m	ルジオン値 Lu	毎秒透水量 cm³/sec	透水係数 K(cm/sec)
		1 6	2 7	3 8	4 9	5 10					
	0.06	10.5 10.5	10.5 10.5	10.5 10.5	10.5 14.0	7.0	10.50	5.25	0.875	0.175	8.22×10^{-6}
	0.30	108.8 15.2	108.8 95.2	95.2 95.2	108.8 108.8	95.2 95.2	97.92	48.96	1.632	1.632	1.53×10^{-5}
	0.55	244.8 190.4	217.6 204.0	217.6 204.0	204.0 190.4	204.0 204.0	200.11	100.06	1.819	3.335	1.71×10^{-5}
	0.80	244.8 272.0	312.8 258.4	258.4 272.0	285.6 258.4	272.0 272.0	267.47	133.74	1.672	4.458	1.57×10^{-5}
	1.05	380.8 326.4	326.4 326.4	353.6 326.4	326.4 326.4	326.4 340.0	326.40	163.20	1.554	5.440	1.46×10^{-5}
	0.80	231.2 204.0	244.8 204.0	231.2 217.6	204.0 204.0	204.0 204.0	205.94	102.97	1.287	3.432	1.21×10^{-5}
	0.55	122.4 136.0	122.4 143.8	136.0 136.0	136.0 136.0	136.0 129.2	136.00	68.00	1.236	2.267	1.16×10^{-5}
	0.30	68.0 54.4	81.6 68.0	61.2 68.0	61.2 61.2	68.0 61.2	62.90	31.45	1.048	1.048	9.85×10^{-6}
	0.05	-7.0 0	-7.0 -3.5	-7.0 0	-7.0 -3.5	-7.0 0	-3.50	-1.75	—	—	—



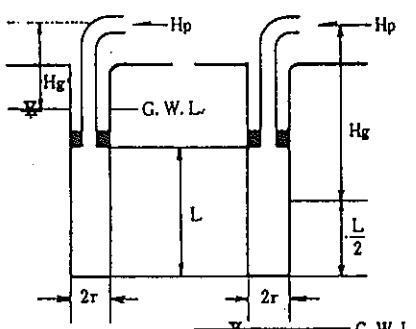
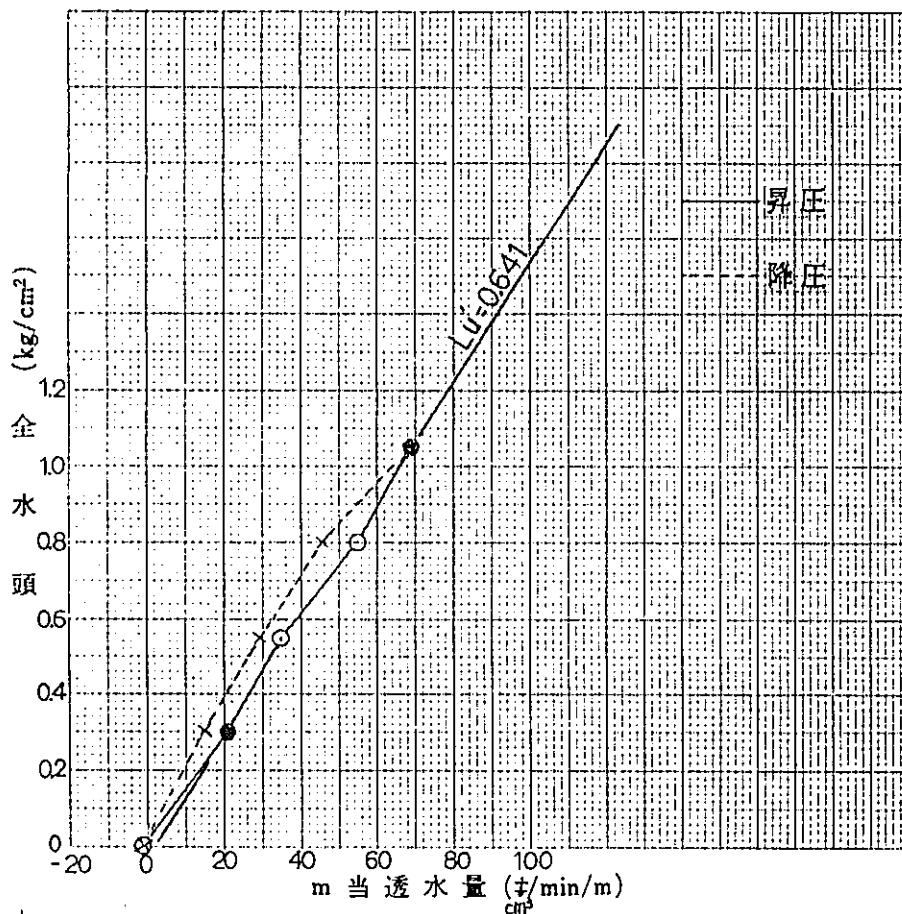
$$K = \frac{q}{2\pi LH} \log_e \left(\frac{L}{r} \right)$$

k : 透水係数 (cm/sec)
 q : 透水量 (cm³/sec)
 L : 試験部分の長さ (cm)
 r : 試験孔の半径 (cm)
 H : 全水頭 (cm) $H_g + H_p$
 Hg : 静水圧
 Hp : 加圧力

透水試驗記録

試験区間 3

地区名	東濃鉱山	孔番	TFA-1号孔	試験月日	H10.2.5
測定深度	8.0m~15.5m	区間長	7.5m	孔径	Φ116mm
地下水位	0Kg/cm ²	計器高	1.0m	バッカーの種類	ダブルリズバッカー



$$K = \frac{q}{2\pi LH} \log_e \left(\frac{L}{r} \right)$$

k : 透水係数 (cm/sec)

q : 透水量 (cm^3/sec)

L : 試験部分の長さ (cm)

r : 試験孔の半径 (cm)

H : 全水頭 (cm) Hg + Hp

Hg : 静水压
H₂O : 水压

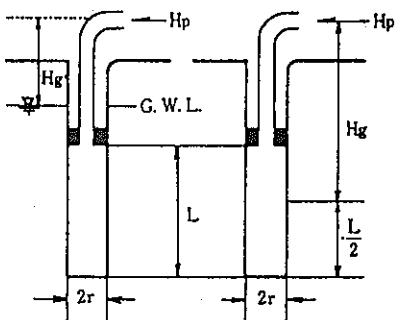
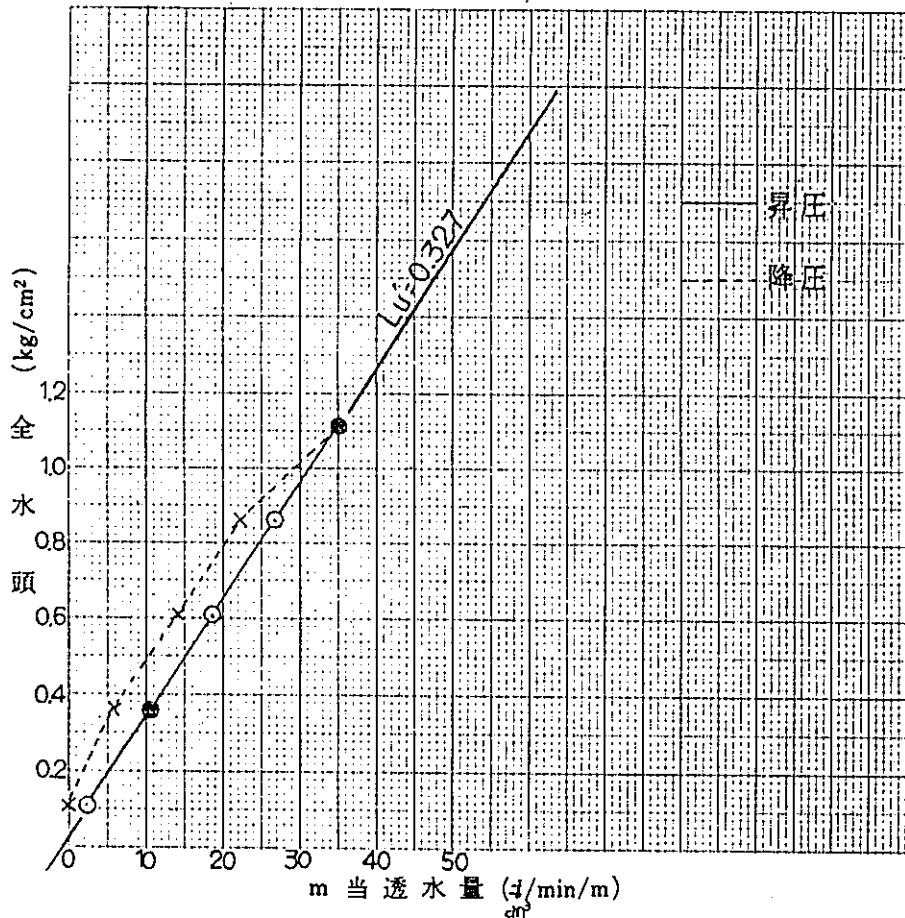
HP・加圧力

透水試験記録

試験区間 4

地区名	東濃鉱山	孔番	TFA-1号孔	試験月日	H10.1.29
測定深度	17.0m ~ 20.0m	区間長	3.0m	孔径	Φ116 mm
地下水位	0 kg/cm²	計器高	1.0 m	パッカの種類	ダブルエアパッカ

計器水圧 kg/cm²	全水頭 kg/cm²	毎分透水量 $\frac{cm^3}{min}$					平均透水量 $\frac{cm^3}{min}$	m当透水量 $\frac{cm^3}{min/m}$	ルジオン値 Lu	每秒透水量 cm^3/sec	透水係数 K(cm/sec)
		1 6	2 7	3 8	4 9	5 10					
	0.11	7.0 7.0	7.0 7.0	7.0 7.0	7.0 7.0	7.0 7.0	7.00	2.33	0.212	0.117	2.22×10^{-6}
	0.36	28.0 31.5	28.0 35.0	31.5 28.0	31.5 31.5	31.5 31.5	31.50	10.50	0.292	0.525	3.05×10^{-6}
	0.61	59.5 56.0	56.0 56.0	59.5 56.0	56.0 59.5	56.0 56.0	56.00	18.67	0.306	0.933	3.20×10^{-6}
	0.86	80.5 80.5	77.0 80.5	80.5 80.5	80.5 80.5	73.5 80.5	80.50	26.83	0.312	1.341	3.27×10^{-6}
	1.11	112.0 105.0	112.0 105.0	105.0 105.0	105.0 105.0	105.0 105.0	105.00	35.00	0.315	1.750	3.30×10^{-6}
	0.86	70.0 63.0	63.0 70.0	70.0 63.0	63.0 70.0	63.0 63.0	66.50	22.17	0.258	1.108	2.70×10^{-6}
	0.61	31.5 42.0	31.5 42.0	38.5 42.0	38.5 42.0	42.0 42.0	42.00	14.00	0.230	0.700	2.40×10^{-6}
	0.36	14.0 17.5	14.0 17.5	14.0 17.5	17.5 21.0	17.5 17.5	17.50	5.83	0.162	0.292	1.70×10^{-6}
	0.11	-3.5 0	-3.5 0	0 0	0 0	-7.0 0	0	0	—	—	—



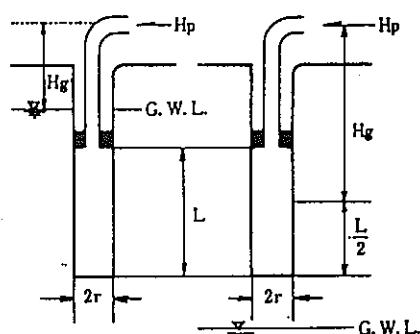
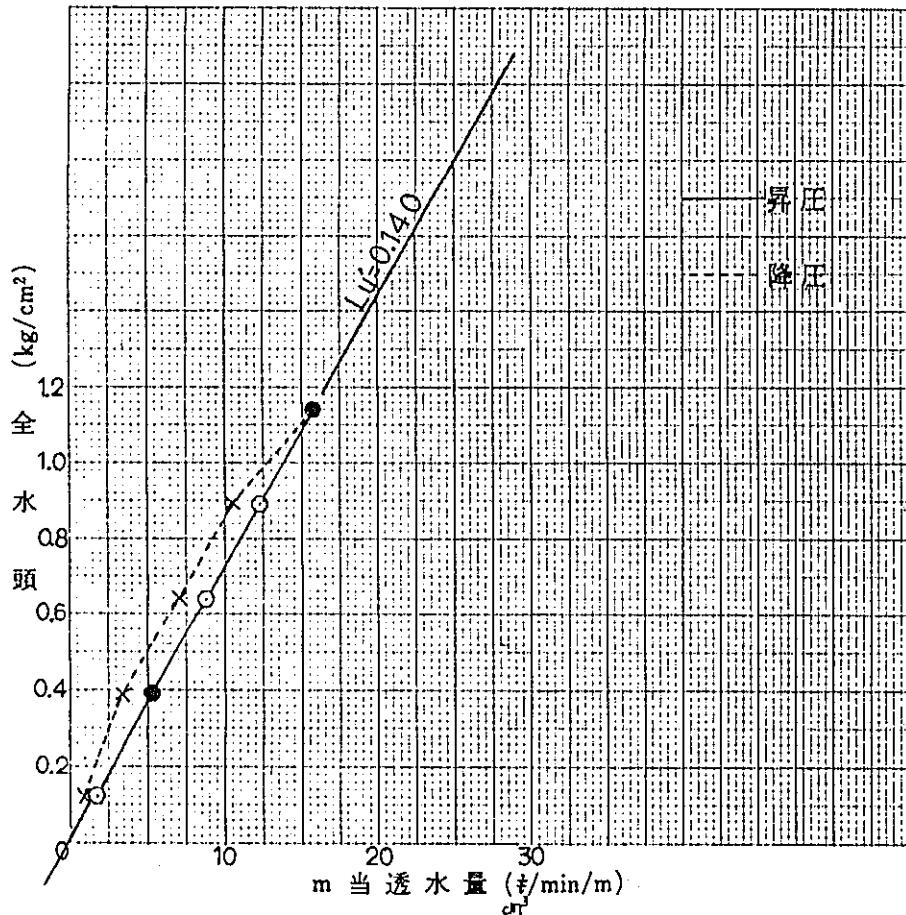
$$K = \frac{q}{2\pi LH} \log_e \left(\frac{L}{r} \right)$$

k : 透水係数 (cm/sec)
 q : 透水量 (cm^3/sec)
 L : 試験部分の長さ (cm)
 r : 試験孔の半径 (cm)
 H : 全水頭 (cm) $H_g + H_p$
 Hg : 静水圧
 Hp : 加圧力

透水試驗記錄

試験区間 5

地区名	東濃鉱山	孔番	TFA-1号孔	試験月日	H10.1.27
測定深度	22.0m~26.0m	区間長	4.0 m	孔径	φ116 mm
地下水位	0 kg/cm ²	計器高	1.0 m	パッカーの種類	ダブルエアパッカー



$$K = \frac{q}{2\pi LH} \log_e \left(\frac{L}{r} \right)$$

k : 透水係数 (cm/sec)

q : 透水量 (cm^3/sec)

L : 試験部分の長さ (cm)

r : 試験孔の半径 (cm)

H : 全水頭 (cm) Hg + Hp

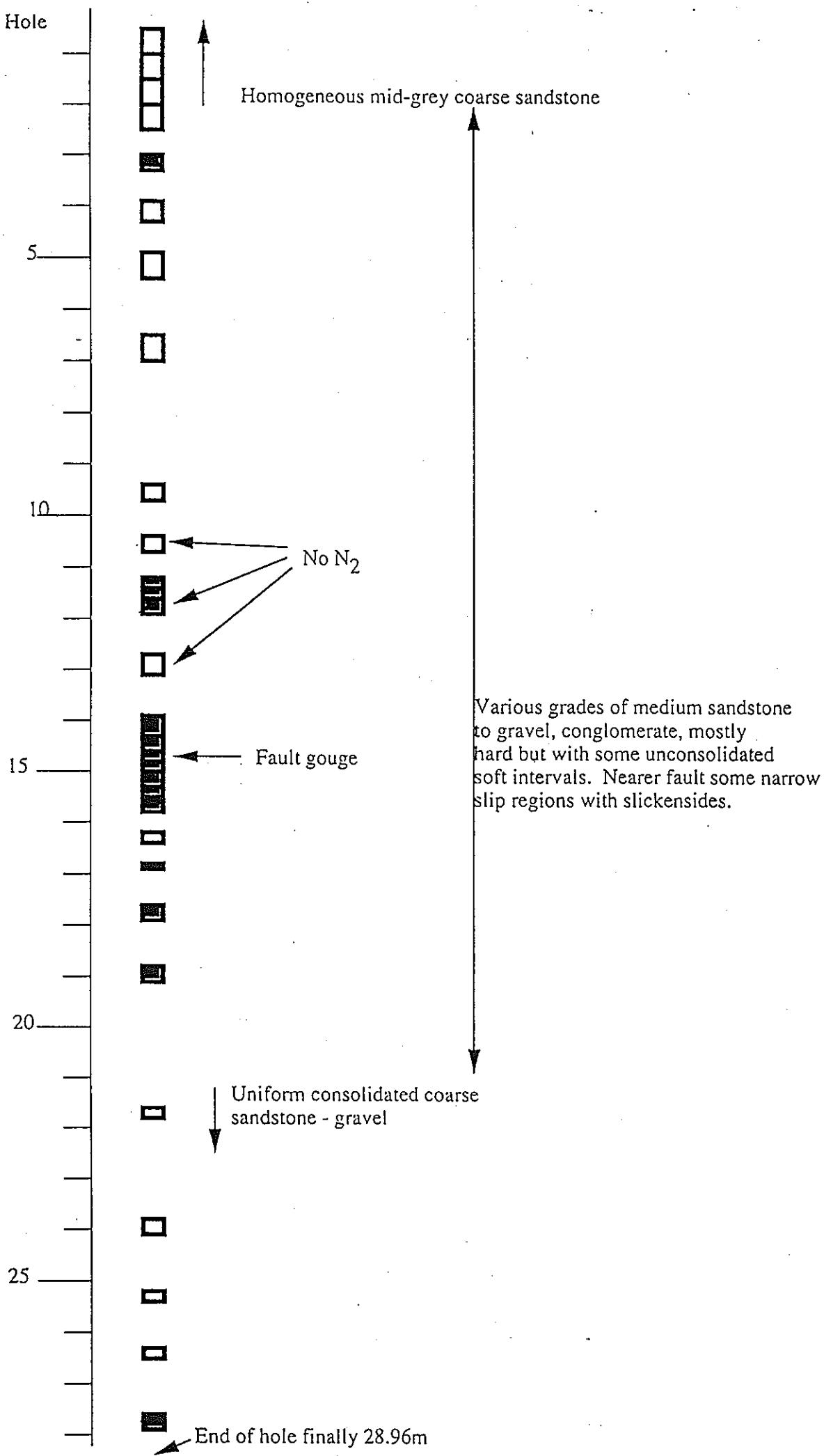
Hg: 静水压

H_p: 加 压 力

参考資料

(1~9:ボーリングコア観察資料, 10:孔内検層結果総合図)

Start of Hole



Key notes: Cols. 1-3 show the date, time and depths of each drilling run. "Al bag" column shows intervals preserved in Al bags; shaded samples were sent to BGS.

Date	Run	Al	Geol	Depth	bag	Breaks	bdys	Description
				0.00				
6/27	?							0.00-0.50 130mm diameter core "pre-drilling preparation" hole. About 5cm of concrete tunnel lining followed by homogeneous mid-grey coarse grained sandstone. Several breaks.
	?	0.50		0.51				
7/1	13:45		0.51					0.50-1.50 Start of standard 85mm core hole. Homogeneous mid-grey coarse grained sandstone.
			1.00	SC1.00				
			1.00					
	14:15	1.50	1.50					
	15:00		1.50					1.50-1.98/2.16 Homogeneous mid-grey coarse-grained sandstone.
			1.97	SC1.97				
			1.97					
			1.98	2.16				1.98/2.16-2.54 Coarse-grained sandstone and gravel.
	15:15	2.54	2.54					
7/2	11:00					2.61		2.54-2.61 Coarse-grained sandstone and gravel.
								2.61-3.80 Medium-coarse-grained grey sandstone.
			B3.00					
			3.00					
			3.25	B3.25				
			B3.80	3.80				
			B3.80	3.80				
			3.87					3.80-4.34 Gravel and sandstone.
	11:30	4.34	4.34			4.20		4.20-End Medium-coarse grained grey sandstone.
								End of core

7/2						
		4.34		4.27	Start of core deduced to be left in hole from last core run because this run had over long core recovery and previous was short.	
13:40				4.74	4.27-4.74 Coarse-grained dark grey sandstone and gravel	
		4.89			4.74-5.35 Medium-coarse-grained dark grey sandstone with gravel veins.	
		5.35		5.35	5.35-5.96 Coarse-grained dark grey sandstone with gravel.	
				5.96	5.96-6.14 Medium-coarse grained dark grey sandstone.	
14:00		6.14			6.14-6.24 Medium-coarse-grained dark grey sandstone.	
7/3	09:25			6.24	6.24-6.97 Medium-coarse-grained sandstone and gravel.	
		6.50			6.97-7.18 Medium-coarse-grained sandstone.	
		6.97		7.18	7.18-end Medium-coarse-grained sandstone and gravel.	
	09:40	7.99		7.90	7.90 End of core	

7/3	10:35	7.99				7.99-8.30 Very coarse grey sandstone with gravel
			8.30			8.30-8.45 Very wet loose gravel.
			8.45			8.45-end Very coarse grey sandstone with gravel
		9.39				
10:50	9.79	9.73	9.73	9.79		9.73 End of core 9.79 Start of core
13:20						9.79-11.41 Coarse grey sandstone with gravel.
		10.42				
		NoN ₂				
		10.70				
		11.19				
		11.41		11.41		
13:50	11.59	11.59				11.41-end Fine altered sandstone tending to clay with slicken lines.

7/3	14:40	11.59 NoN ₂ 11.90		11.90	11.59-11.90 Fine altered sandstone (gouge clay).
					11.90-end Coarse sandstone with gravel.
			12.30 12.42		12.30-12.42 Soft gravel. 12.42-12.58 A few narrow slip planes (fault related?)
		12.65 NoN ₂ 13.14			
7/4	15:00	13.34	13.34	13.34	13.34-13.50 Broken fine sandstone with slickenlines.
	09:50			13.50	13.50-14.60 Medium-coarse-grained sandstone with gravel
		13.85 14.25 14.25 14.60 14.60 14.79 14.79		14.60	14.60-14.79 Soft fault gouge
				14.79	14.79-15.04 Hard crushed fine sandstone-clay
	10:20	15.04	15.04	15.04	

7/4	13:10	15.04		15.04-15.95 Medium-coarse grey sandstone becoming coarse then with gravel.
		15.30		
		15.36		
		15.50		
		15.50		
		15.74		
7/7	4:00	15.95		N.B. 16.43 end of core run because apparent length of recovered core greater than drilled length, but next core run's starting point taken from drillers' depth 16.36
		6.15		15.95-end Granite (boulder).
	10:45	16.36		
		6.43		16.36-16.60/16.70 Granite (boulder).
		16.43		
		16.60		
		16.70		16.60/16.70-17.86 Coarse grey sandstone with increasing gravel and large conglomerate/breccia blocks.
		17.30		
		17.38		17.30-17.38 Soft
		17.62		17.38-17.62 Large conglomerate block (greenish altered igneous looking rock?)
	11:05	17.62		
		17.86		17.80-17.86 Conglomerate block.
	13:35	17.86		17.86-18.00 Loose gravel, fairly rounded, almost pebbles.
		18.00		18.00-18.25 Soft coarse sand-gravel
	13:55	18.25		
		18.46		18.25-18.46 Very broken breccia, assorted clasts, more angular than above.

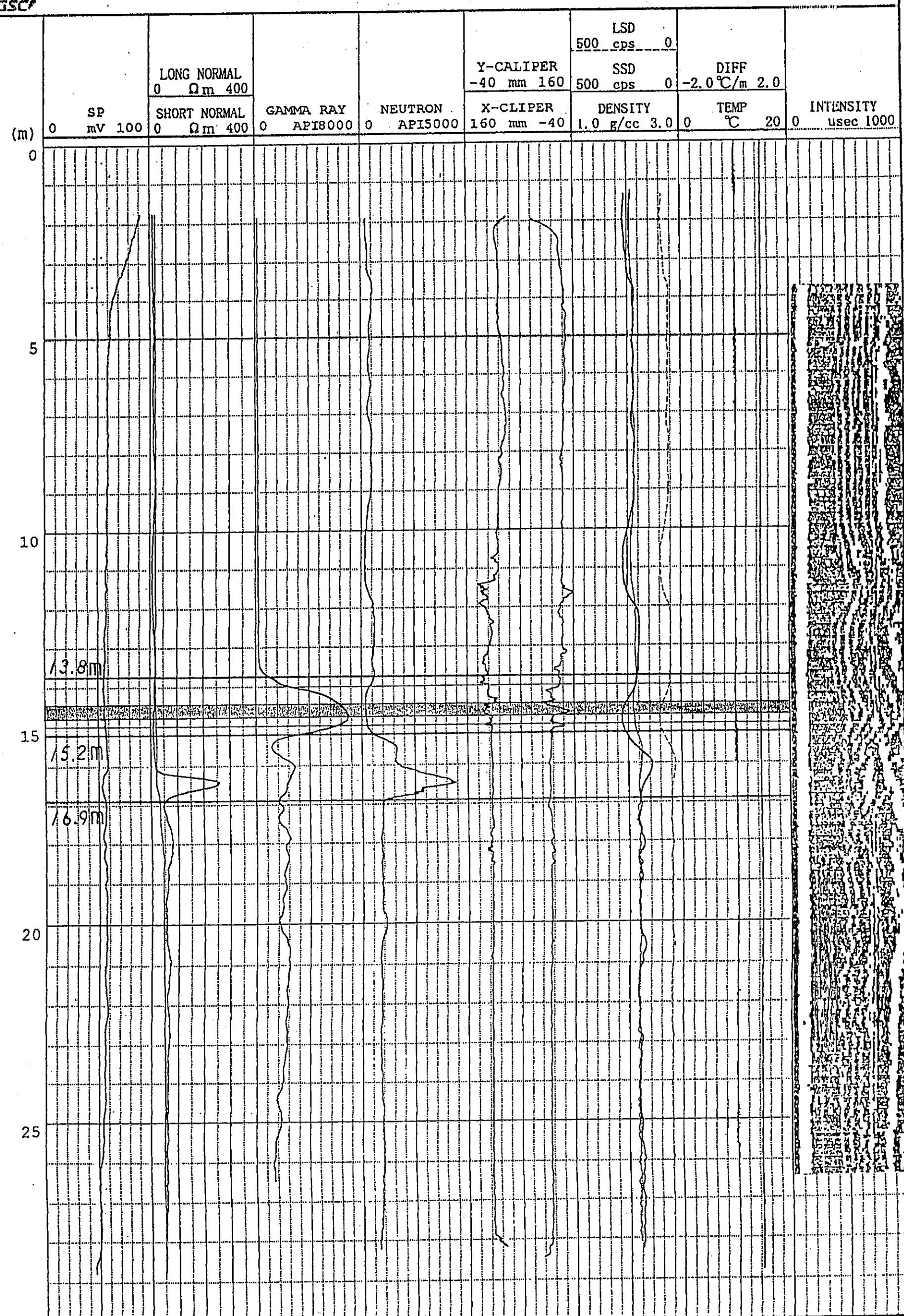
7/7	14:40	18.46			18.46-18.72 Soft broken.
			18.72		18.72-19.30 Hard coarse sandstone.
		18.83			
		19.10	19.04	19.04-19.12 Thin (0.5cm) fine sandstone-clay layer.	
			19.12	19.16-19.25 Granite clast.	
			19.30	19.30-20.05 Coarse becomes very coarse to breccia.	
			19.56	19.56-19.61 Soft interval.	
			19.61		
			19.92	19.92 Thin layer of fine sandstone-clay	
			20.05	20.05-20.26 Rubble.	
7/8	15:00	20.26			20.26-20.90 Soft sand-gravel becomes harder, more consolidated, also with more large clasts.
	09:20				
			20.90	20.90-end Hard coarse sandstone-breccia (larger clasts visibly of granite).	
		21.55			
	09:35	21.78	21.78		

7/8	10:45	21.78				Beginning-End Hard consolidated v.coarse sst-breccia with occassional "large" (several cm) clasts.
		22.55				
		22.84				
	11:00	23.58				
	13:35					As previous run with maybe more larger clasts.
		23.82				
		24.08				
		25.18				
	13:50	25.38	25.38			

7/9	09:55	25.36			As previous run but some very large (up to 20cm) clasts (of granite and greenish altered igneous rock?).
		26.25			
		26.50			
					26.50-26.80 Large (green altered igneous?) clast.
	09:55	27.18			5-10cm clast
	10:55		27.21		27.21 End of core (length expanded because of breaks).
					27.18-end As previous run.
		27.55			27.22-27.35 Large clast, surrounding rock soft.
		27.85			
	11:15	28.96			



TFA-1



孔内検層結果総合図