

AN-8号孔におけるJFT試験・間隙水圧測定

報 告 書

平成2年8月

動力炉・核燃料開発事業団
大成基礎設計株式会社

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Tel: 029-282-1122 (代表)

Fax: 029-282-7980

e-mail: jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構

(Japan Nuclear Cycle Development Institute) 2005

AN-8号孔におけるJFT試験・間隙水圧測定

平田洋一*、後藤和幸*、松岡永憲*

要 旨

本報告書は、岐阜県瑞浪市明世町月吉地区で、掘削されているAN-8号孔において実施した、PNC式JFT試験機によるJFT試験及び間隙水圧測定の結果をとりまとめたものである。

試験を実施した地層は瑞浪層群・明世累層である。

試験結果は次に示すとおりである。

- (1) 間隙水圧の測定結果によると、測定区間GL- 9.4m~-11.9mとGL- 8.9m~-11.4mの間隙水圧は、ほぼ等しい値を示した。測定区間GL-11.9m~-14.4mの間隙水圧は、他の区間に比べて小さい値を示した。
- (2) JFT試験の解析方法は、Hvorslev法とCooper法を用いた。
測定区間GL- 9.4m~-11.9mとGL- 8.9m~-11.4mでは、解析手法の違いによる透水係数の差は小さいが、測定区間GL-11.9m~-14.4mでは、解析手法の違いによる透水係数の差がみられた。
- (3) 測定区間GL- 8.9m~-11.4mの透水係数は、GL- 9.4m~-11.9mの透水係数の約2倍の値を示した。

本報告書は、大成基礎設計株式会社が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した成果である。

事業団担当部課室および担当者：中部事業所 環境地質課長 山川 稔

*：大成基礎設計株式会社

HYDRAULIC TEST at AN-8 BOREHOLE

Yoichi Hirata* , Kazuyuki Goto* , Eiken Matsuoka*

Abstract

This report describes the results of hydraulic test with PNC Aquifer Test Method in Akeyo formation at the AN-8 borehole.

PNC Aquifer Test Method can measure permeability and pore water pressure. The investigation site is located in Tsukiyoshi, Akeyo, Mizunami City Gifu prefecture.

The testing result is as follows.

- (1) The difference of pore water pressure between at GL- 9.4m ~-11.9m and at GL- 8.9m ~-11.4m is rather small. Pore water pressure at the depth of GL-11.9m ~-14.4m is lower than others.
- (2) Permeability is computed by two theories. One of them is Hvorslev's theory and another is Cooper's theory.

Using both theories, there are few variation between at GL- 9.4m~ 11.90m and at GL- 8.9m~-11.4m. But at the depth of GL-11.9m ~-14.4m, there is some variation.

- (3) Permeability at GL- 8.9m~-11.4m is about twice as large as the ones at GL- 9.4m ~-11.9m.

Work performed by Taisei Kiso Sekkei Co. Ltd. under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

PNC Liaison : Manager, Waste Isolation Research Section, Chubu Works
(Minoru Yamkawa)

* :Taisei Kiso Sekkei Co. Ltd.

目 次

要 旨 (Abstract)	i
はしがき	1
1. 調査概要	2
2. 地質概要	4
3. 調査方法	5
4. 解析結果および調査結果についての所見	14
5. ま と め	16
***** 資 料 *****	
パツカーの圧縮補正係数一覧表	1
透水試験解析図	2
貯留係数を考慮した単孔式透水試験の標準曲線	24
調査現場写真	26

はしがき

本報告書は、動力炉・核燃料開発事業団の御依頼により、東濃鉾山周辺の水理機構を把握するために、大成基礎設計株式会社が実施したPNC式JFT法による透水試験、間隙水圧測定の結果をとりまとめたものである。

本調査は、岐阜県瑞浪市明世町月吉地区において掘削されているAN-8号孔において実施した(図1-1参照)。

なお、実施に対して、動力炉・核燃料開発事業団中部事業所の担当各位に種々の便宜を図って頂いたことに厚く御礼申し上げます。

1. 調査概要

1) 調査件名 : AN-8号孔におけるJFT試験・間隙水圧測定

2) 調査場所 : 岐阜県瑞浪市明世町月吉地区 AN-8号孔

3) 調査期間 : 自 平成 2年 8月 1日
至 平成 2年 8月31日

4) 調査内容 : PNC式JFT法による透水試験
間隙水圧測定

各 3深度

5) 調査計画 : 動力炉・核燃料開発事業団中部事業所

6) 調査担当 : 大成基礎設計株式会社

〒151 東京都渋谷区千駄ヶ谷4-5-6

TEL 03-403-6151

FAX 03-478-0219

主任技術者 平田 洋一

現場計測者 後藤 和幸

松岡 永憲

報告書担当 松岡 永憲

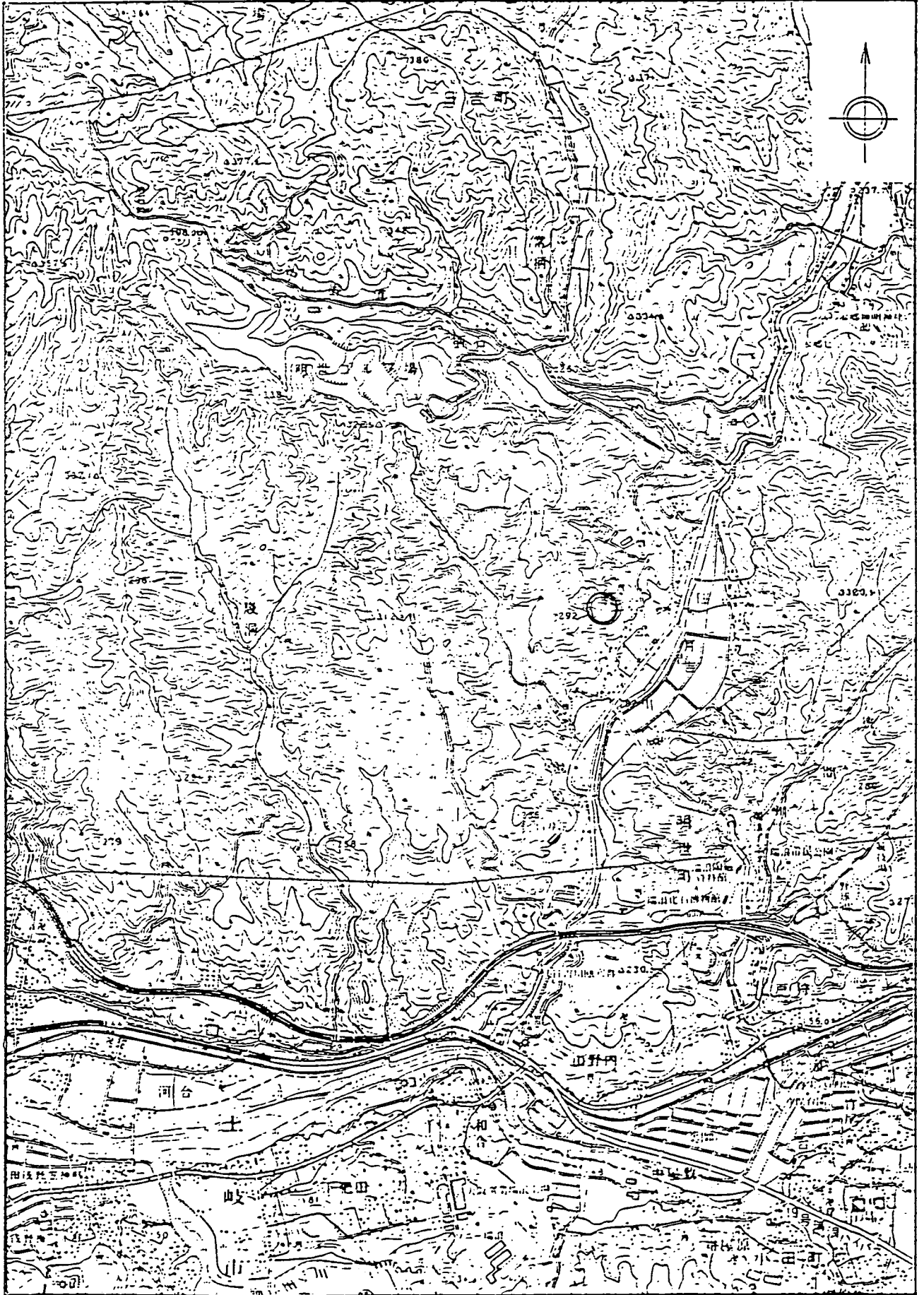


図1-1 調査位置図

調査地 ○

2. 地質概要

今回調査が行われたボーリング孔（AN-8号孔）は、JR中央本線瑞浪駅の北西約3kmの山地内の小さな谷に位置している。

この地域の地層は、花崗岩類を基盤として新第三紀と第四紀の堆積物で構成されている。

新第三紀の地層は土岐盆地とその東方の岩村盆地、北西の可児盆地に分かれて分布している。土岐、岩村盆地においては中新世の地層である瑞浪層群が、可児盆地には同じく中新世の可児層群が発達している。この上部に鮮新世の地層である瀬戸層群が分布している。

第四紀の地層は崖錐性堆積層、段丘堆積層、沖積層から成っている。崖錐性堆積層は屏風山断層崖に沿いにみられるものが特に顕著である。段丘堆積層及び沖積層は、土岐川水系に沿って分布している。段丘は分布高度から、大きく高位段丘と低位段丘に分けられている。

新第三紀の瑞浪層群は、下位より土岐夾炭累層、本郷累層、明世累層、生俵累層に区分される。

今回の調査でJFT試験・間隙水圧測定を実施した地層は明世累層に区分される。以下に明世累層の概略を述べる。

〈明世累層〉

下位より月吉層、戸狩層、山野内層、狭間層、宿洞相に区分される。

月吉層は、正馬様洞付近に発達しており、凝灰質の無層理泥質細粒砂岩を主とするものである。

戸狩層は、凝灰質砂岩を主とし砂岩シルト岩を挟む。砂岩は粗～中粒で軽石を含む。

山野内層は、凝灰質シルト岩～細粒砂岩でよく連続しており、また上部に泥岩層を挟んでいる。シルト岩等の中に多くの貝化石が点在する。

狭間層は、軽石凝灰岩と泥岩の互層である。

宿洞相は、主に中粒砂岩であり基底部には礫岩がある。同層は化石が豊富で種類数が多いことが特徴的である。

3. 調査方法

3-1 試験機概要

今回の調査では、500m級低水圧制御水理試験機（PNC 式JFT 試験機）を使用した。この試験機は、動力炉・核燃料開発事業団と大成基礎設計株式会社が共同開発した試験機である。

今回の調査では、測定区間の上部・下部両方の地下水を遮水したダブルバツカー方式によって試験を行った。測定区間は2.50m とした。

システムの概要及び設置状況を図 3- 1 に示す。

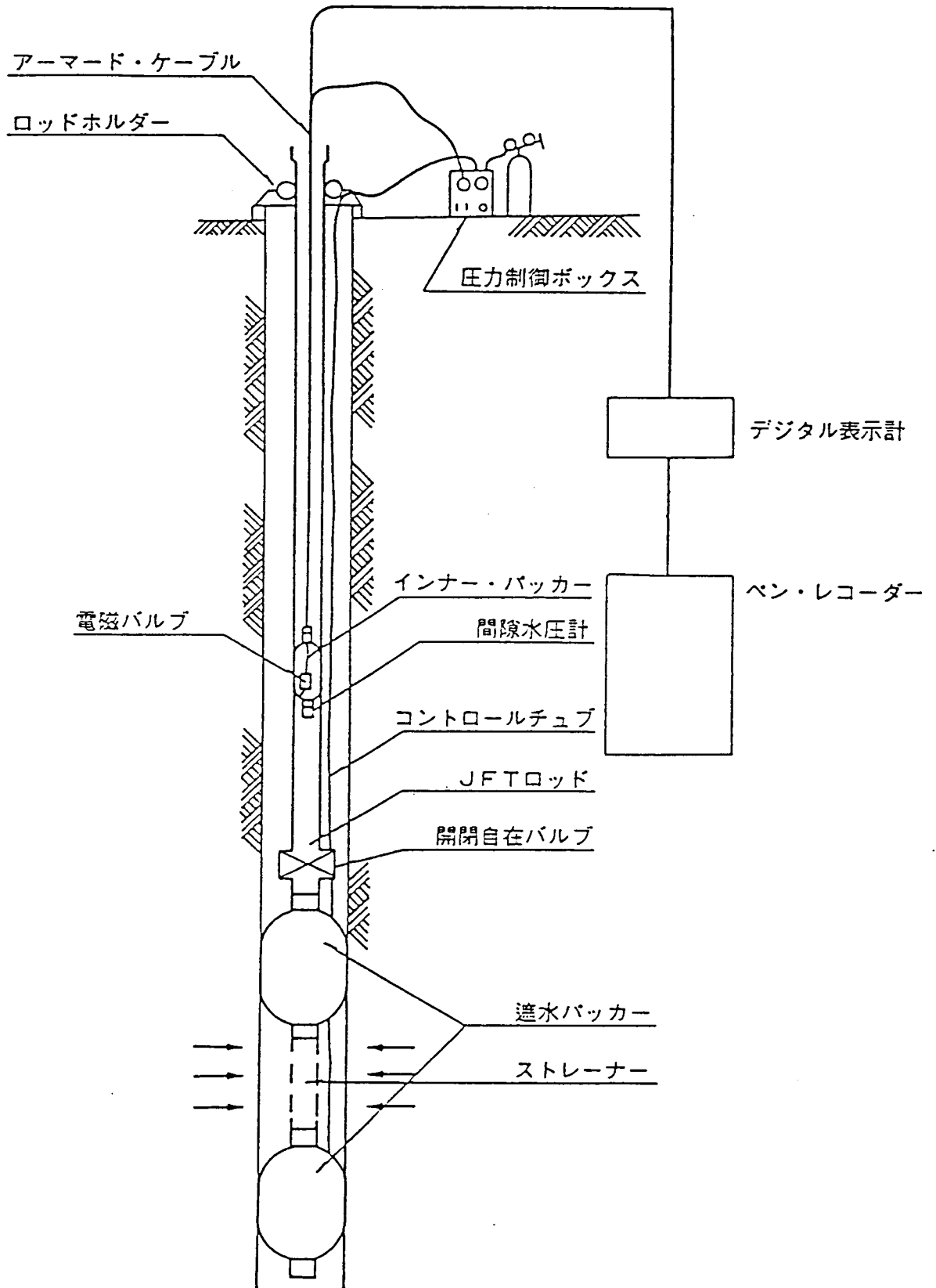


図 3-1 システム概要

3-2 測定原理

本試験機は、JFT 法とパルス法の二通りの方法で透水試験を行うことができる。透水性が良い場合は前者を、悪い場合は後者の試験方法で行う。

〈間隙水圧測定〉

間隙水圧は、インナーパッカーを拡張させ閉鎖空間をつくり、先端の圧力計で測定する。このように閉鎖空間内の圧力伝達を利用して測定することによって、迅速かつ的確に測定できる。

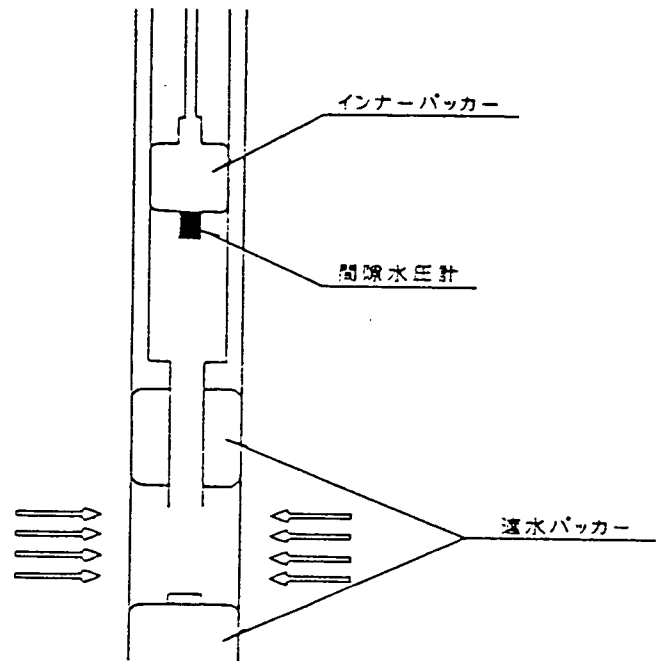


図 3-2 間隙水圧測定原理

〈JFT試験 (JFT 法、注入法)〉

JFT 法は一般的な岩盤における透水係数の測定法であり、図 3-3 のようにバルブ開放後のピエゾメーター管 (JFT ロッドにあたる) 内の水位上昇を測定し、透水係数を求める方法である。水位はインナーパッカー (パッカーは拡張されていない状態) の先端に取り付けられている圧力計で水圧としてとらえる。

注入法はピエゾメーター管内に水を注入して、管内水位を平衡水位よりも高くし、バルブ開放後の水位の低下を測定する方法である。

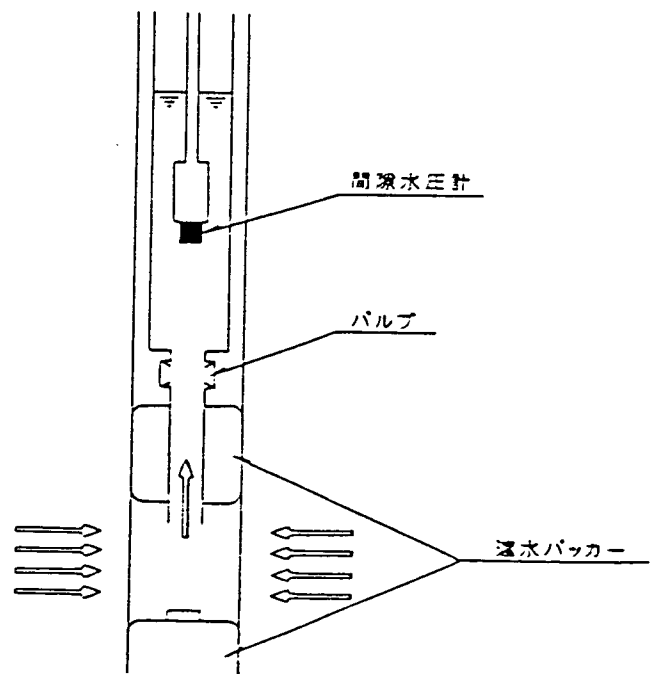


図 3-3 JFT法測定原理

〈JFT試験（パルス法）〉

前記のJFT法は、透水性が極端に悪い場合、水位の回復に長時間を要する。そこで考案されたのがパルス法である。これは1980年にJ. D. Bredhoeft, I. S. Papadopoulosらにより発表された。

この方法は、ピエゾメーター管内を閉鎖状態にして加圧し、透水する水量 ΔV を水の圧縮量とパッカーの変形量に置き換え、水位変化量 ΔH を閉鎖空間内の圧力変化量 ΔP に置き換えて解析するものである。

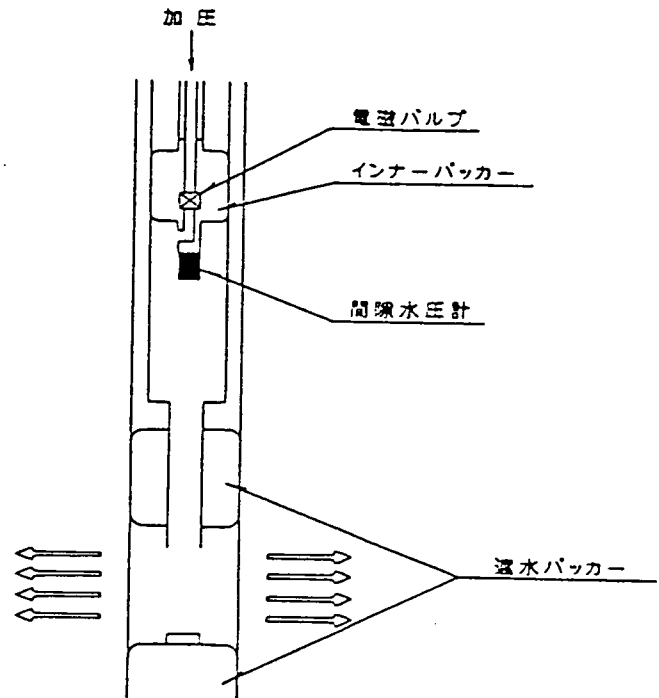


図 3- 4 パルス法測定原理

本試験機においては、インナーパッカーを拡張させることにより、閉鎖空間をつくり、電磁バルブの操作により圧力を上昇させる。

3-4 解析方法

《JFT 法》

解析には、Hvorslevの単孔式非定常透水試験の解析式を用いる。

$$k = [(2R_w)^2 \cdot \text{Ln}(mL/r_o)/8L] \cdot \text{Ln}(H_1/H_2)/(t_2 - t_1)$$

k ; 透水係数 (cm/sec)

R_w ; ピエゾメーター管内半径 (cm)

r_o ; ボーリング孔半径 (cm)

m ; 縦横方向の透水係数比 (通常は $m=1$)

L ; 測定区間 (cm)

t ; 経過時間 (sec)

H ; 経過時間に対応する水位 (cm)

t_1, t_2 及び H_1, H_2 は $t \sim \text{Log}H$ グラフから得られる直線から読み取る。 R_w は本試験機の場合

$$R_w = 1.595 \text{ (cm)}$$

で計算する。この値は試験機をつっているケーブルを考慮に入れるため、実際のロッド径よりも若干小さくなっている。

計算条件

$$r_o = 3.3 \text{ (cm)} \quad [\phi 66\text{mmの場合}]$$

$$m = 1$$

$$L = 250 \text{ (cm)}$$

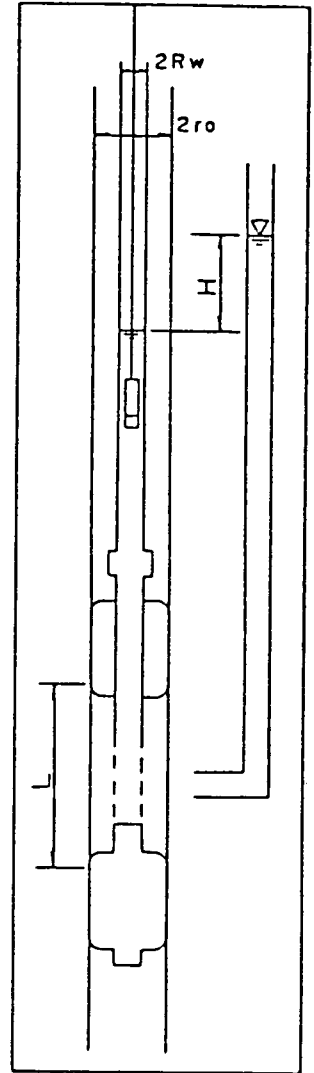


図 3-5 透水係数の算出

《パルス法》

透水係数の算出には、JFT 法と同様に Hvorslev の単孔式非定常透水試験の解析式を用いる。但し、 R_w の代わりに仮想半径 R を求めて仮想ピエゾメータ一を設定する。

仮想半径 R の計算

$$\Delta V = \pi R^2 \Delta H = (C_w \cdot V_w + \alpha) \Delta P$$

$$R^2 = (C_w \cdot V_w + \alpha) \Delta P / \pi \Delta H$$

C_w ; 水の体積圧縮係数 (cm²/kg)

V_w ; 閉鎖空間の水の体積 (cm³)

α ; パッカーの圧縮補正係数 (cm⁵/kg)

～巻末資料参照

計算条件

$$C_w = 4.4 \times 10^{-5} \quad (\text{cm}^2/\text{kg})$$

$$\Delta H = 1 \quad (\text{cm})$$

$$\Delta P = 0.001 \quad (\text{kgf}/\text{cm}^2)$$

閉鎖空間内の水の体積は次のように求める。

$$V_w = V_1 + V_2 \quad (\text{cm}^3)$$

$$V_1 = (3.6 \times 2)^2 \times 3.14 \times h \quad (\text{cm}^3)$$

$$V_2 = r_o^2 \times 3.14 \times L \quad (\text{cm}^3)$$

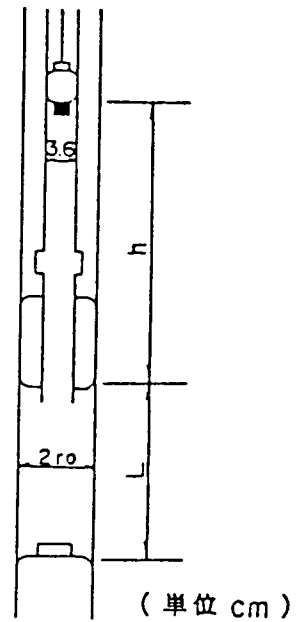


図 3- 6 水の体積

[Cooper法による解析]

試験対象地盤の貯留係数が大きいと前述した $t \sim \text{Log } H$ グラフの直線性が損なわれる。Cooperによる方法は、この貯留係数の影響を考慮に入れた解析方法である。

図 3- 7 に示すように $H/H_0 \sim \text{Log } t$ グラフを作成する。

(H_0 ; 初期水頭)

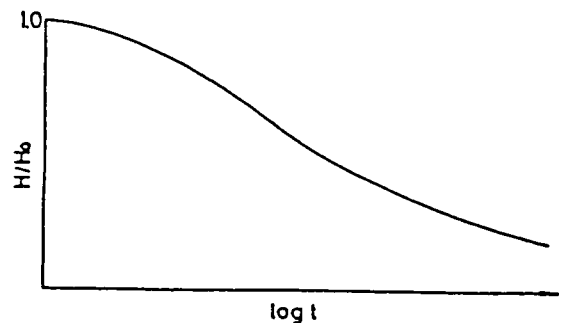


図 3- 7 データ整理

同じスケールの標準曲線（図 3- 8）を準備し図 3- 7 と図 3- 8 を水平に平行移動させて図 3- 9 のようにマッチポイントを決めて、 $\log t_0$ 、 $\log \beta_0$ の値を定める。

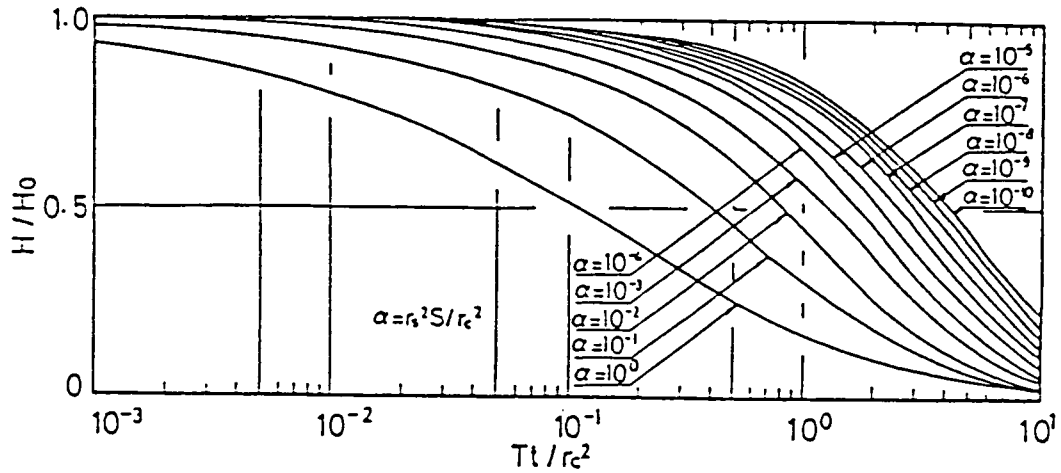


図 3- 8 貯留係数を考慮した単孔式透水試験の標準曲線

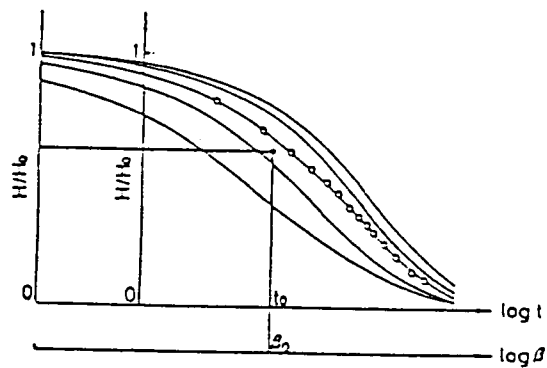


図 3- 9 マッチング

解析式

$$T = r_c^2 \cdot \beta_0 / t_0$$

$$k = T / L$$

r_c ; 管内半径 (= R_w)

パルス法の場合は仮想半径 R

T ; 透水量係数

《間隙水圧》

間隙水圧は次式により求められる。

$$P = p_o + 0.001 \cdot H \cdot \gamma_w$$

P ; 求める間隙水圧 (kg/cm²)

p_o ; 間隙水圧計の値 (kg/cm²)

H ; 間隙水圧計から測定深度までの距離 (cm)

γ_w ; 水の単位体積重量 (g/cm³)

水位表示として表わす場合

$$Z = Z_o + 10 \cdot p_o$$

Z ; 間隙水圧を水位表示した値 (m)

Z_o ; 間隙水圧計設置深度 (m)

として表わされる。

4. 解析結果および調査結果についての所見

4-1 解析結果

JFT 試験、間隙水圧測定の結果を次の表 4-1 に示す。

表 4-1 JFT 試験、間隙水圧測定解析結果一覧表

No.	測定深度 G.L. -m	孔内水位 G.L. -m	間隙水圧 G.L. -m	試験 方法	試験 年 月日	透水係数 cm / sec	
						Hvorslev法	Cooper 法
1	9.40 ~ 11.90	4.16	3.99	回復	01 0801	5.53×10^{-6}	8.55×10^{-6}
2-1	11.90 ~ 14.40	4.25	4.78	回復		01 0802	1.37×10^{-5}
2-2	11.90 ~ 14.40	4.25	4.78	注入	01 0803		1.53×10^{-5}
3-1	8.90 ~ 11.40	4.15	4.00	回復		01 0803	1.20×10^{-5}
3-2	8.90 ~ 11.40	4.15	4.00	注入			1.19×10^{-5}

- ・孔内水位はいずれも試験機を孔内に設置する直前に計測したものである。
- ・間隙水圧はG.L.基準の水位で表示した。

4 - 2 調査結果についての所見

①間隙水圧

No. 1とNo.3-1、No.3-2は測定区間がほぼ重複しているため、間隙水圧はほとんど等しい値となっている。

No.2-1、No.2-2の測定区間は、No.1のすぐ下に位置するが、間隙水圧はNo.1の区間に比べて、 0.079kgf/cm^2 （孔内水位にして 0.79m ）低く、バラツキがやや大きくなっている。

②透水係数

今回のJFT試験結果はHvorslev法とCooper法で解析した。

Hvorslev法は貯留係数を考慮していない解析手法であり、 $t \sim \text{Log } H$ グラフが直線性を示さない場合は、Cooper法を用いる方が良いといわれている。

No.1とNo.3-1、No.3-2では、Cooper法で得られる透水係数がHvorslev法で得られる値の1.4倍～1.6倍程度であり、近い値を示している。No.2-1、No.2-2では、Cooper法で得られる透水係数がHvorslev法で得られる値の0.3倍～0.6倍とバラツキが大きくなっている。このことの要因としては、間隙水圧の安定待ちが不足していた可能性がある。

また、No.1とNo.3-1、No.3-2は測定区間が 0.50m 異なるだけで、透水係数はNo.3-1、No.3-2の方がNo.1の約2倍となっており、G.L.- 8.90m ～G.L.- 9.40m の区間の透水性が高いと考えられる。

5. ま と め

本調査では、岐阜県瑞浪市明世町月吉地区で、掘削されているAN-8号孔において、PNC式JFT試験機によるJFT試験及び間隙水圧測定を実施した。

試験を実施した地層は瑞浪層群・明世累層である。

試験結果は次に示すとおりである。

(1) 間隙水圧の測定結果によると、測定区間GL- 9.4m~-11.9mとGL- 8.9m~-11.4mの間隙水圧はGL-4.0m 付近で、ほぼ等しい値を示した。測定区間GL-11.9m~-14.4mの間隙水圧は、他の区間に比べて小さくGL-4.8m 付近であった。

(2) JFT試験の解析方法は、Hvorslev法とCooper法を用いた。

測定区間GL- 9.4m~-11.9mとGL- 8.9m~-11.4mでは、解析手法の違いによる透水係数の差は小さいが、測定区間GL-11.9m~-14.4mでは、解析手法の違いによる透水係数の差がみられた。

(3) 測定区間GL- 8.9m~-11.4mの透水係数は、 $1.19 \times 10^{-5} \sim 1.83 \times 10^{-5}$ cm/sec で、GL- 9.4m~-11.9mの透水係数 ($5.53 \times 10^{-6} \sim 8.55 \times 10^{-6}$ cm/sec) の約2倍の大きさを示した。

資料

パッカーの圧縮補正係数一覧表

試験孔径 (mm)	補正係数 α (cm^5/Kg)	
	シングルパッカー	ダブルパッカー
ϕ 99	2.6	3.7

透水試験解析図

- ・ 透水試験データシート
- ・ $t \sim \text{Log } (H)$ 曲線
- ・ $\text{Log } t \sim H/H_0$ 曲線
- ・ $t \sim WL$ 曲線

各3深度

透水試験解析図の見方

- ・ $t \sim \text{Log } (H)$ 曲線

Hvorslevの解析式で透水係数を求める場合に用いる。

直線の勾配は最小二乗法を用いる。

- ・ $\text{Log } t \sim H/H_0$ 曲線

Cooperの解析式で透水係数を求める場合に用いる。

- ・ $t \sim WL$ 曲線

透水試験時の管内水位を表示したもの。

- ・ マッチングポイント

$\text{Log } t \sim H/H_0$ 曲線と同じスケールの標準曲線を準備し、標準曲線に対して $\text{Log } t \sim H/H_0$ 曲線を水平移動させる。2本の曲線が最も良く重なり合う位置を求め、その位置で t , β の値を求める。

透水試験結果図

AN-8号孔水理試験
 地層 明世累層

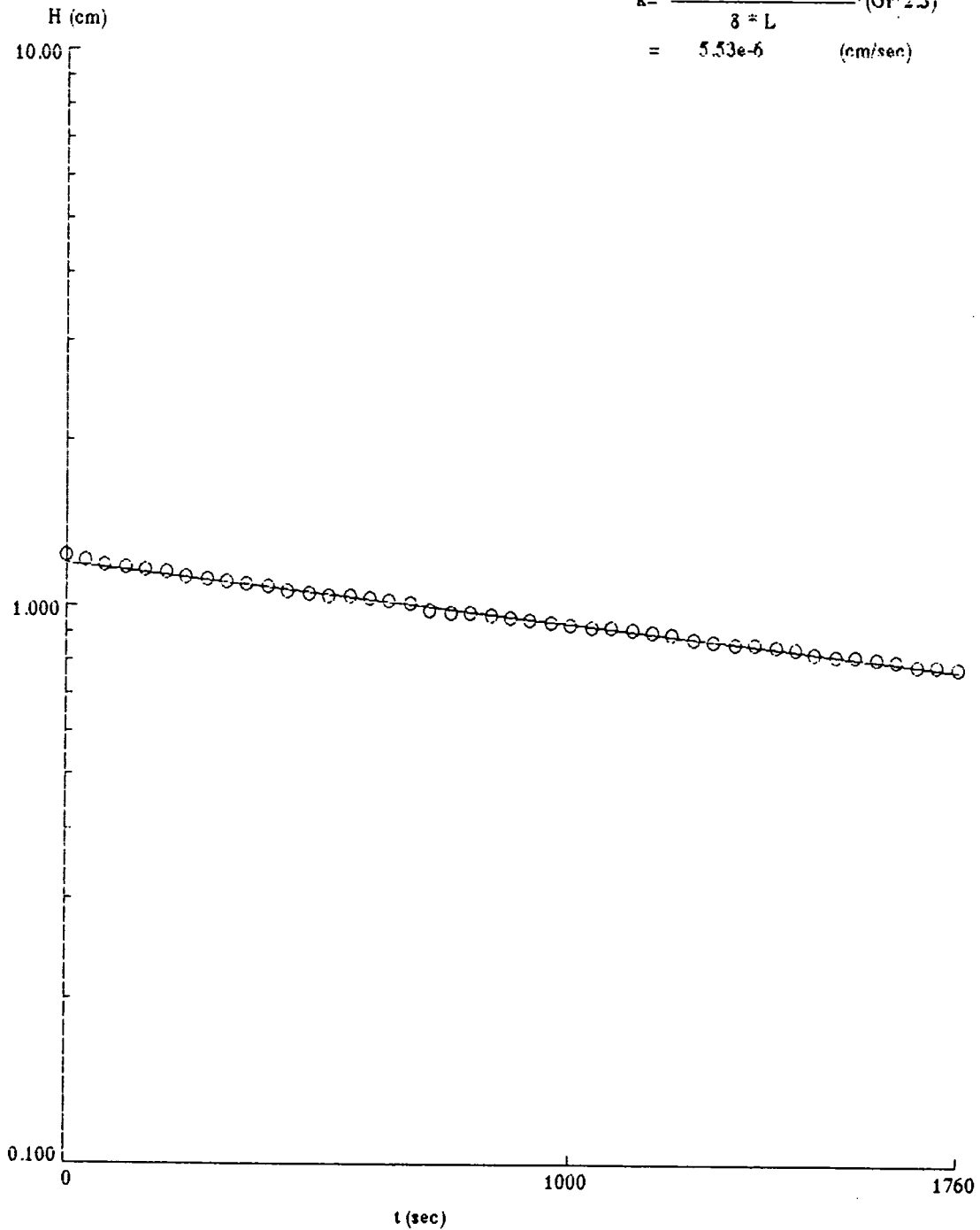
試験深度 G L -9.40 ~ -11.90
 試験方法 回復法

t ~ Log (H) 曲線

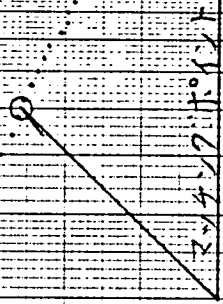
直線の勾配(Gr) : 1.092228e-004
 相関係数 : 0.999

$$k = \frac{(2Rw)^2 \cdot \ln(mL/ro) \cdot (Gr \cdot 2.3)}{8 \cdot L}$$

$$= 5.53e-6 \quad (\text{cm/sec})$$



Log t ~ H/H₀ 曲線 (AN-8 G.L. - 9.40m ~ G.L. - 11.90m 回復法)



$\alpha = 10.5$
 $\beta = 0.42$
 $\gamma = 500 \text{ sec}$

5 10

50 100

500 1000

5000

七 (經過時間 sec)

1.0

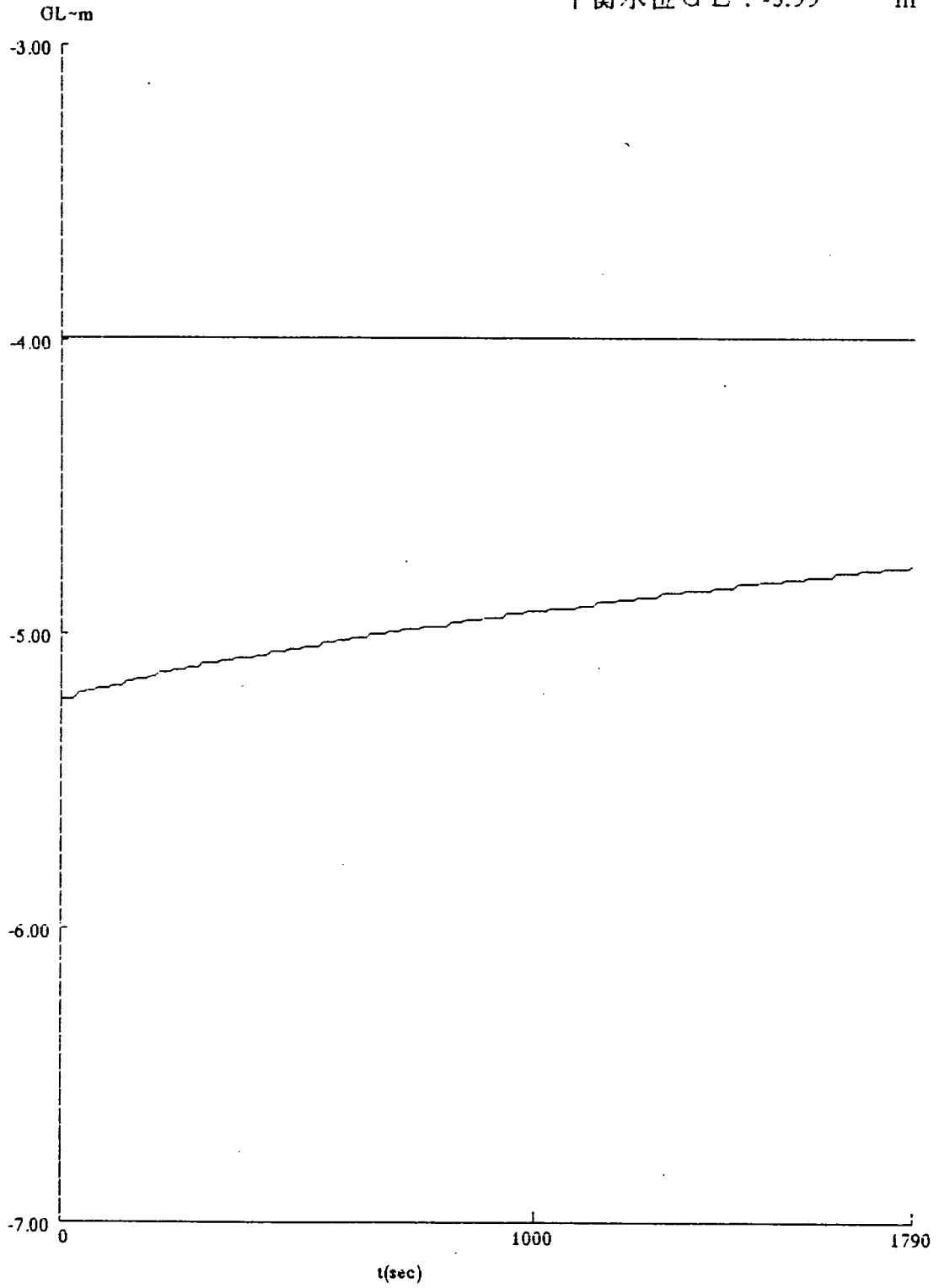
H/H₀

6

0.0

水位(t~WL)曲線

平衡水位GL : -3.99 m



透水試験結果図

AN-8号孔水理試験

試験深度 G L -11.90 ~ -14.40

地層 明世累層

試験方法 回復法

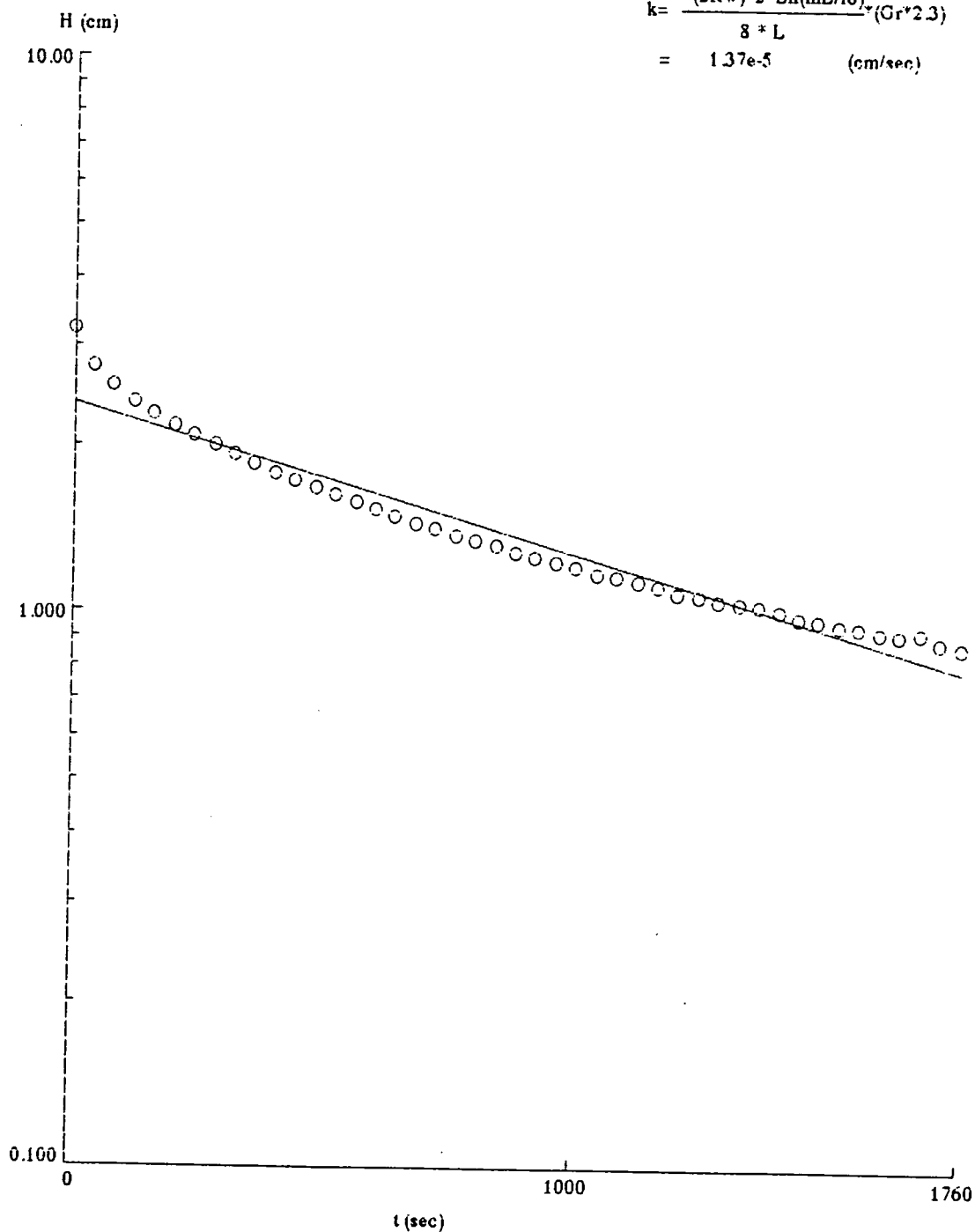
t ~ Log (H) 曲線

直線の勾配(Gr): 2.714890e-004

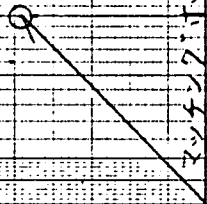
相関係数: 0.973

$$k = \frac{(2Rw)^2 \cdot \ln(mL/ro)}{8 \cdot L} \cdot (Gr^{*2.3})$$

$$= 1.37e-5 \quad (\text{cm/sec})$$



Log $t \sim H/H_0$ 曲線 (AN-8 G.L.-11.90m ~ G.L.-14.40m 回復法)



$\alpha = 10^{-1}$
 $\beta = 0.15$
 $\gamma = 200 \text{ sec}$

10000

5000

1000

500

100

50

10

5

t (経過時間 sec)

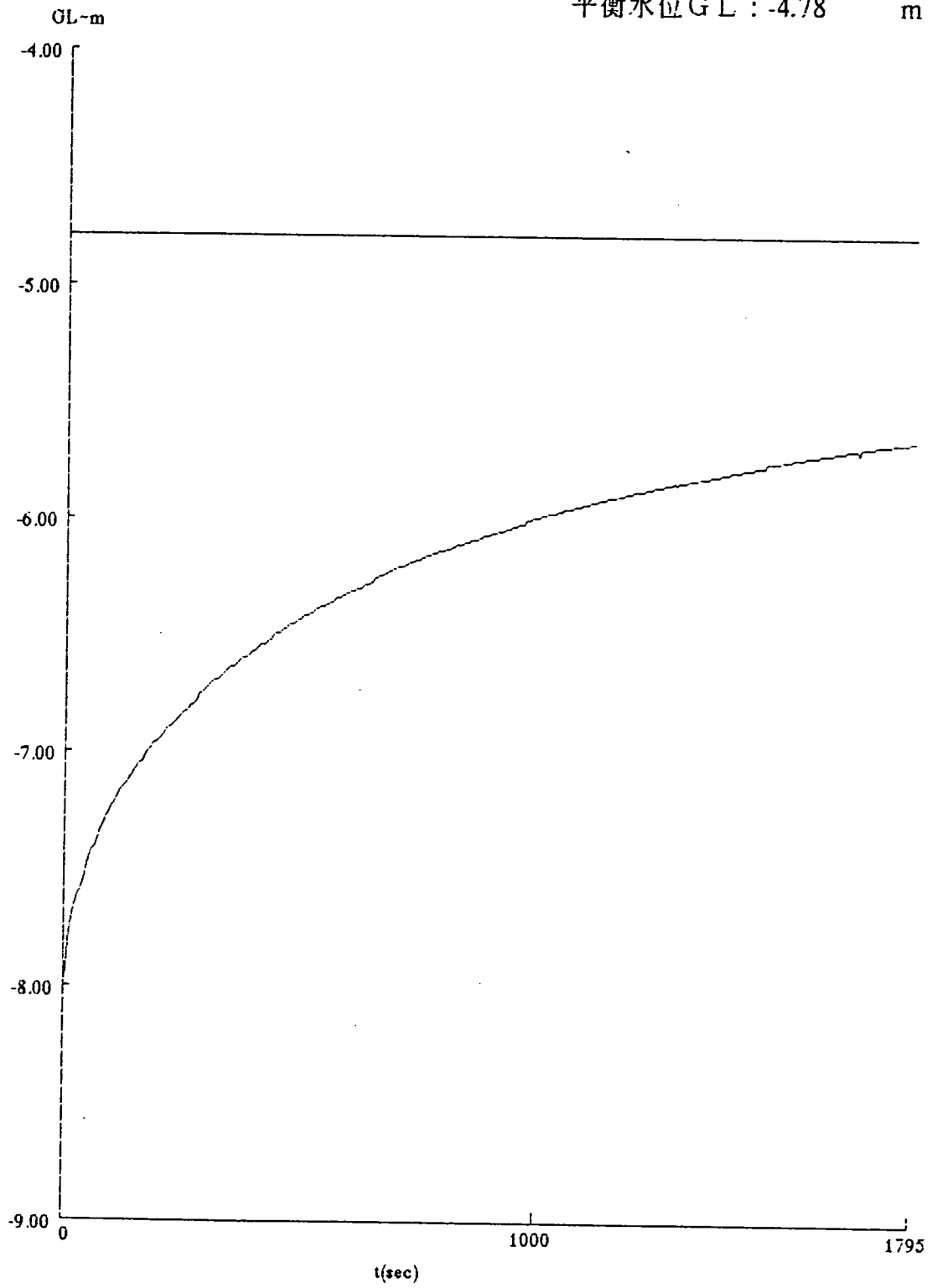
1.0

H/H_0
 10 0.5

0.0

水位(t~WL)曲線

平衡水位GL : -4.78 m



透水試験結果図

AN-8号孔水理試験
 地層 明世累層

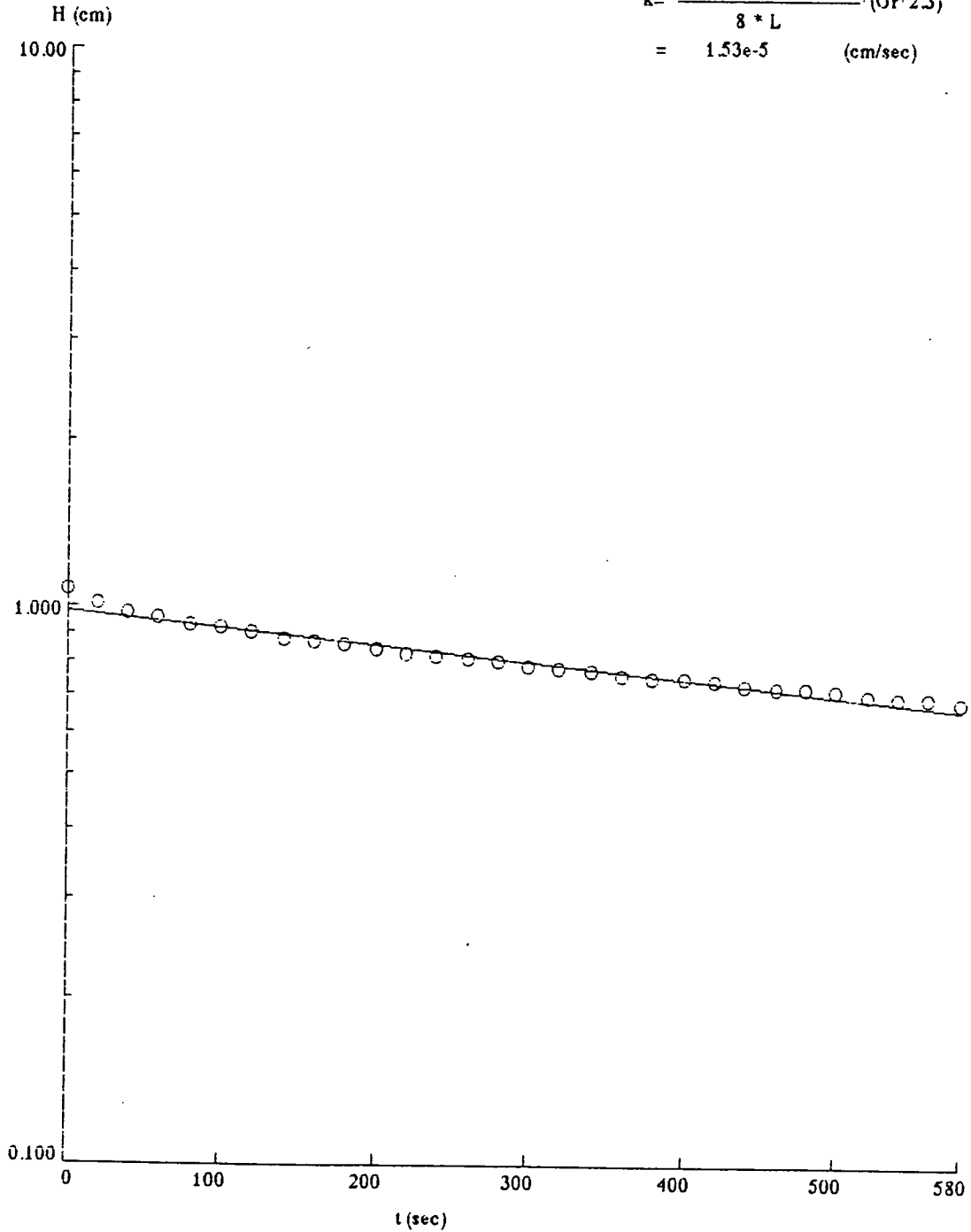
試験深度 G L -11.90 ~ -14.40
 試験方法 注入法

t ~ Log (H) 曲線

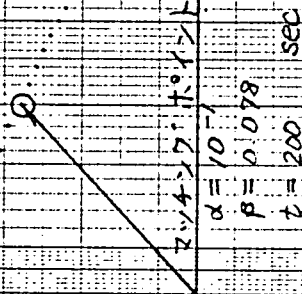
直線の勾配(Gr) : 3.011961e-004
 相関係数 : 0.982

$$k = \frac{(2Rw)^2 \cdot \ln(mL/ro)}{8 \cdot L} \cdot (Gr \cdot 2.3)$$

$$= 1.53e-5 \quad (\text{cm/sec})$$



Log $t \sim H/H_0$ 曲線 (AN-8 G.L.-11.90m ~ G.L.-14.40m 注入法)



1.0

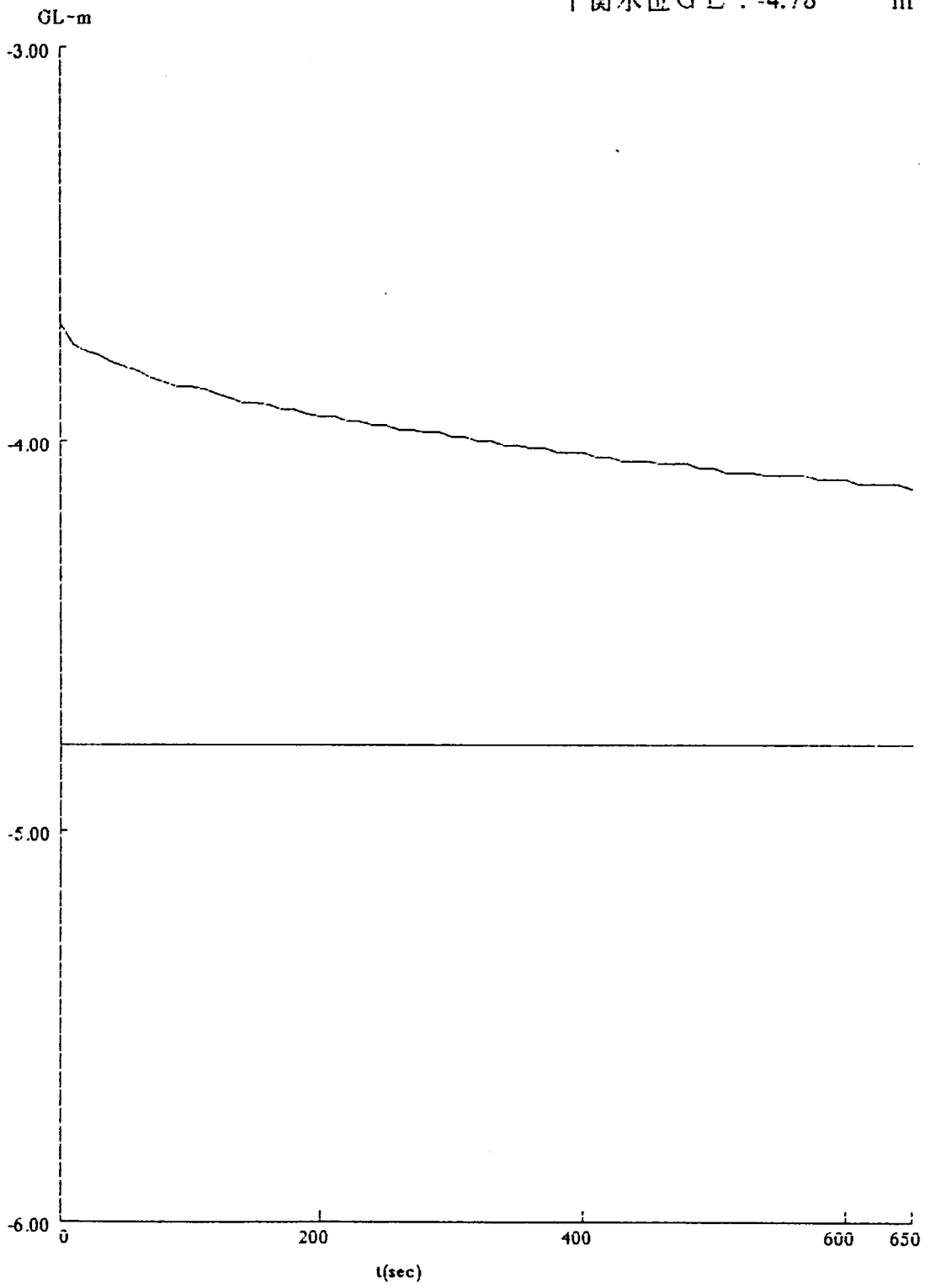
0.5

0.0

SEKIREI A4 NO.407C

水位(t~WL)曲線

平衡水位GL : -4.78 m



Log t ~ H/H₀ 曲線 (AN-8 G.L. - 8.90m ~ G.L. - 11.40m 回復法)

1.0

1.7
H/H₀
0.5

0.0

0

マウチンクポイント

$\alpha = 10^{-5}$

$\beta = 0.9$

$t = 500 \text{ sec}$

5 10

50

100

500

1000

5000

t (経過時間 sec)

透水試験結果図

AN-8号孔水理試験

試験深度 G L -8.90 ~ -11.40

地層 明世累層

試験方法 回復法

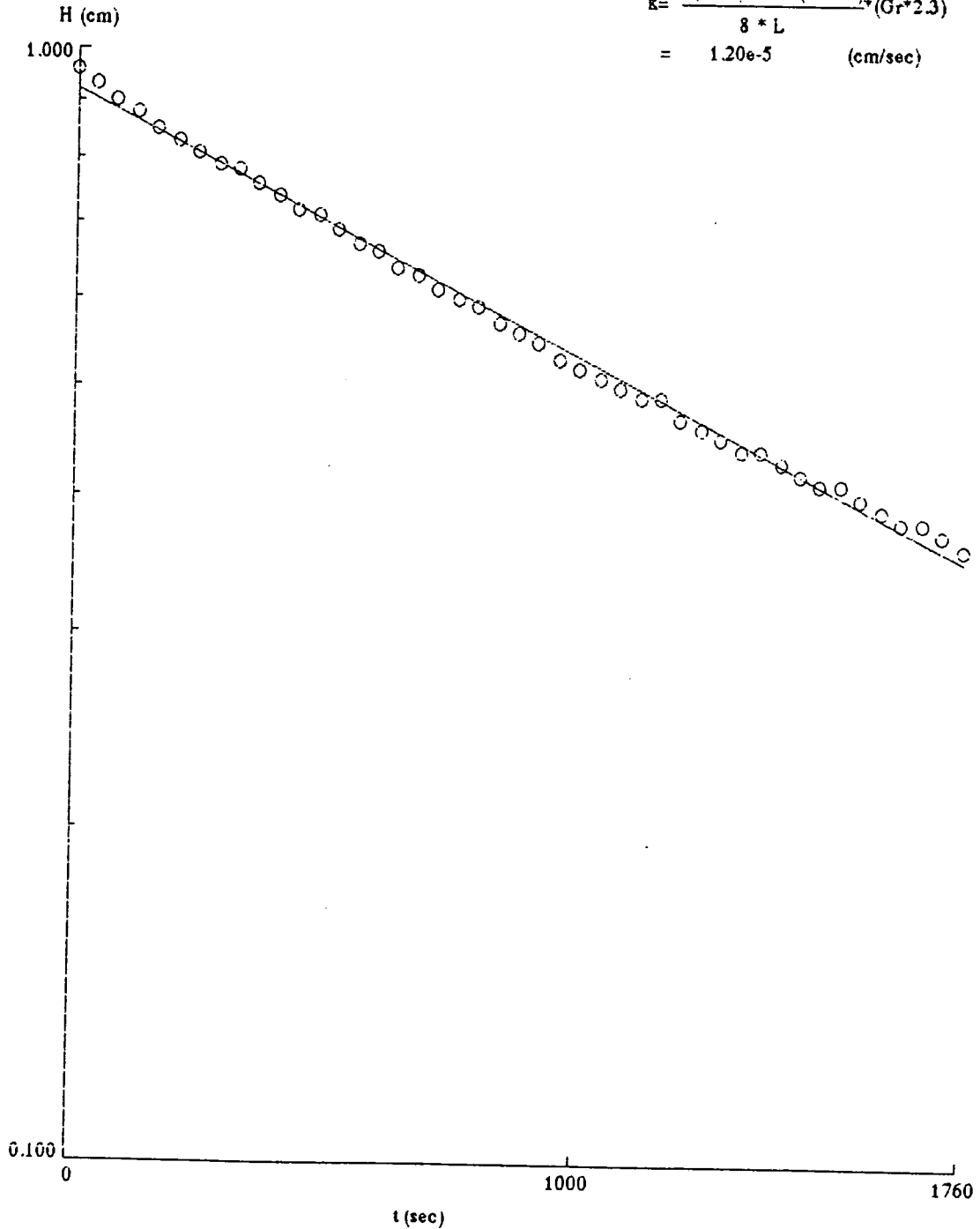
t ~ Log (H) 曲線

直線の勾配(Gr): 2.379018e-004

相関係数: 0.998

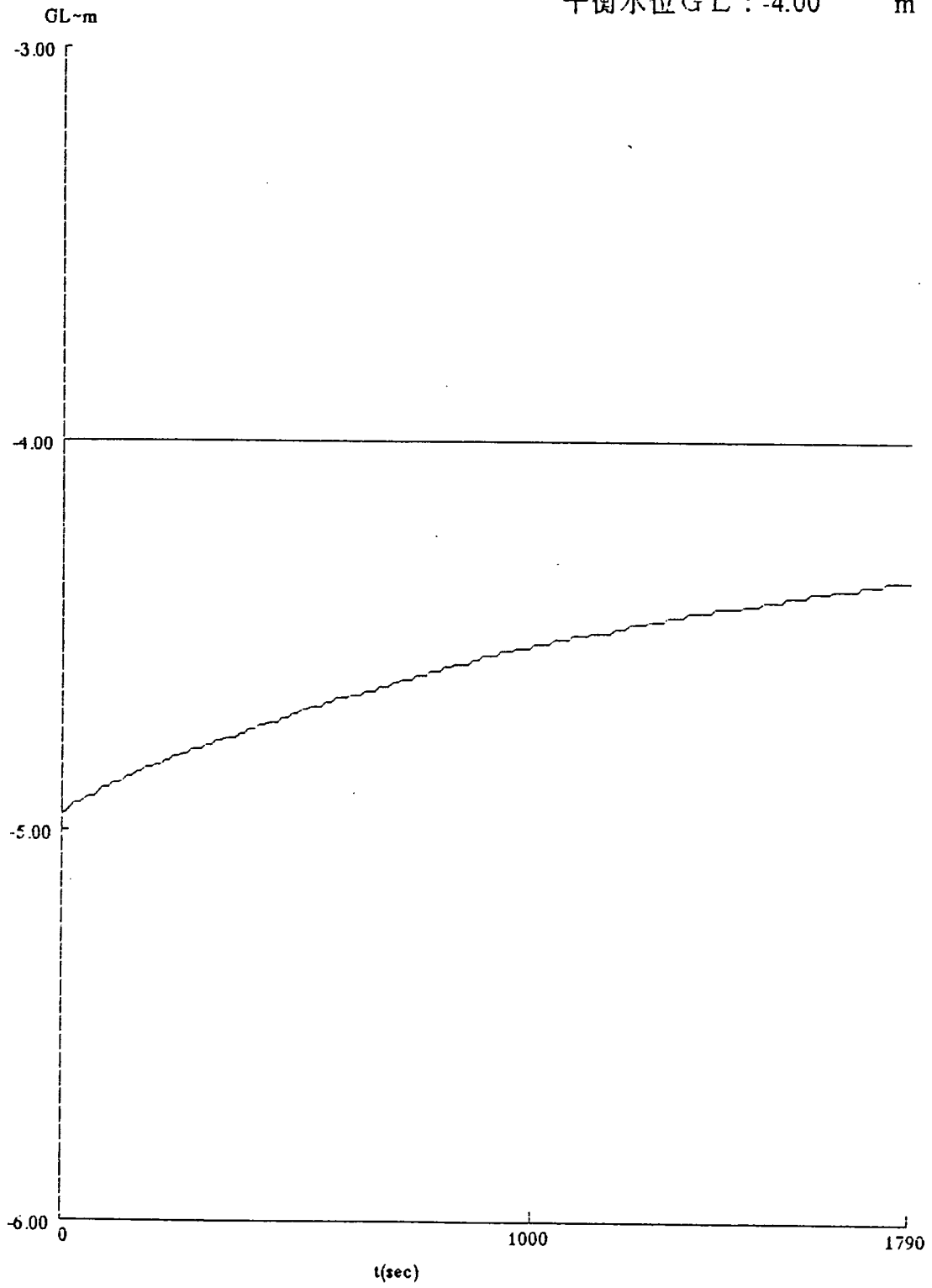
$$k = \frac{(2Rw)^2 \cdot \text{Ln}(mL/ro) \cdot (Gr+2.3)}{8 \cdot L}$$

$$= 1.20e-5 \quad (\text{cm/sec})$$



水位(t~WL)曲線

平衡水位GL : -4.00 m



透水試験結果図

AN-8号孔水理試験
 地層 明世累層

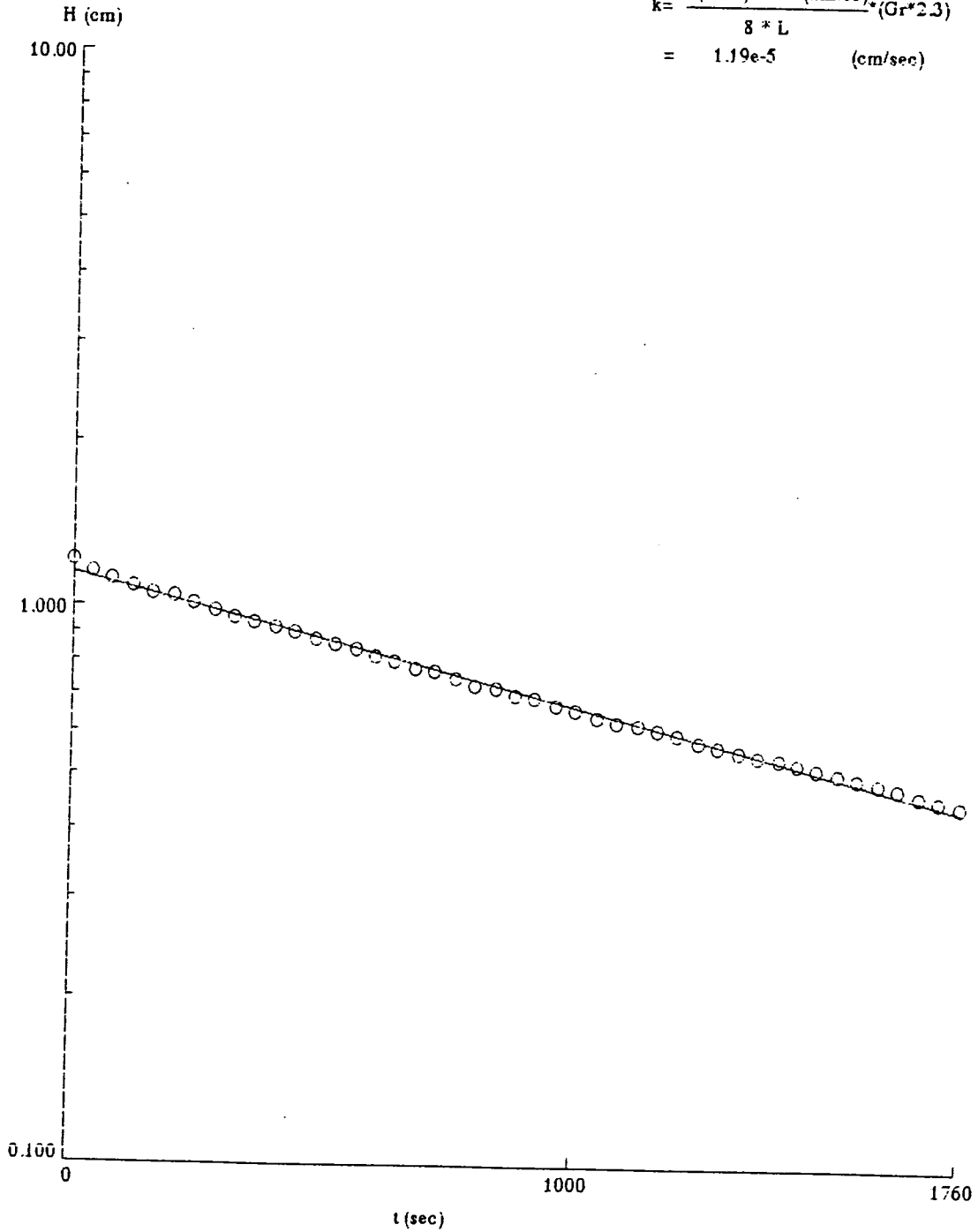
試験深度 G L -8.90 ~ -11.40
 試験方法 注入法

t ~ Log (H) 曲線

直線の勾配(Gr): 2.351478e-004
 相関係数: 0.999

$$k = \frac{(2Rw)^2 \cdot \text{Ln}(mL/ro) \cdot (Gr \cdot 2.3)}{8 \cdot L}$$

$$= 1.19e-5 \quad (\text{cm/sec})$$



Log t ~ H / H₀ 曲線 (AN-8 G.L. - 8.90m ~ G.L. - 11.40m 注入法)



Zy + > 7 ポイント
 $\alpha = 10^{-4}$
 $\beta = 0.8$
 $t = 500 \text{ sec}$

50 100 500 1000 5000

t (経過時間 sec)

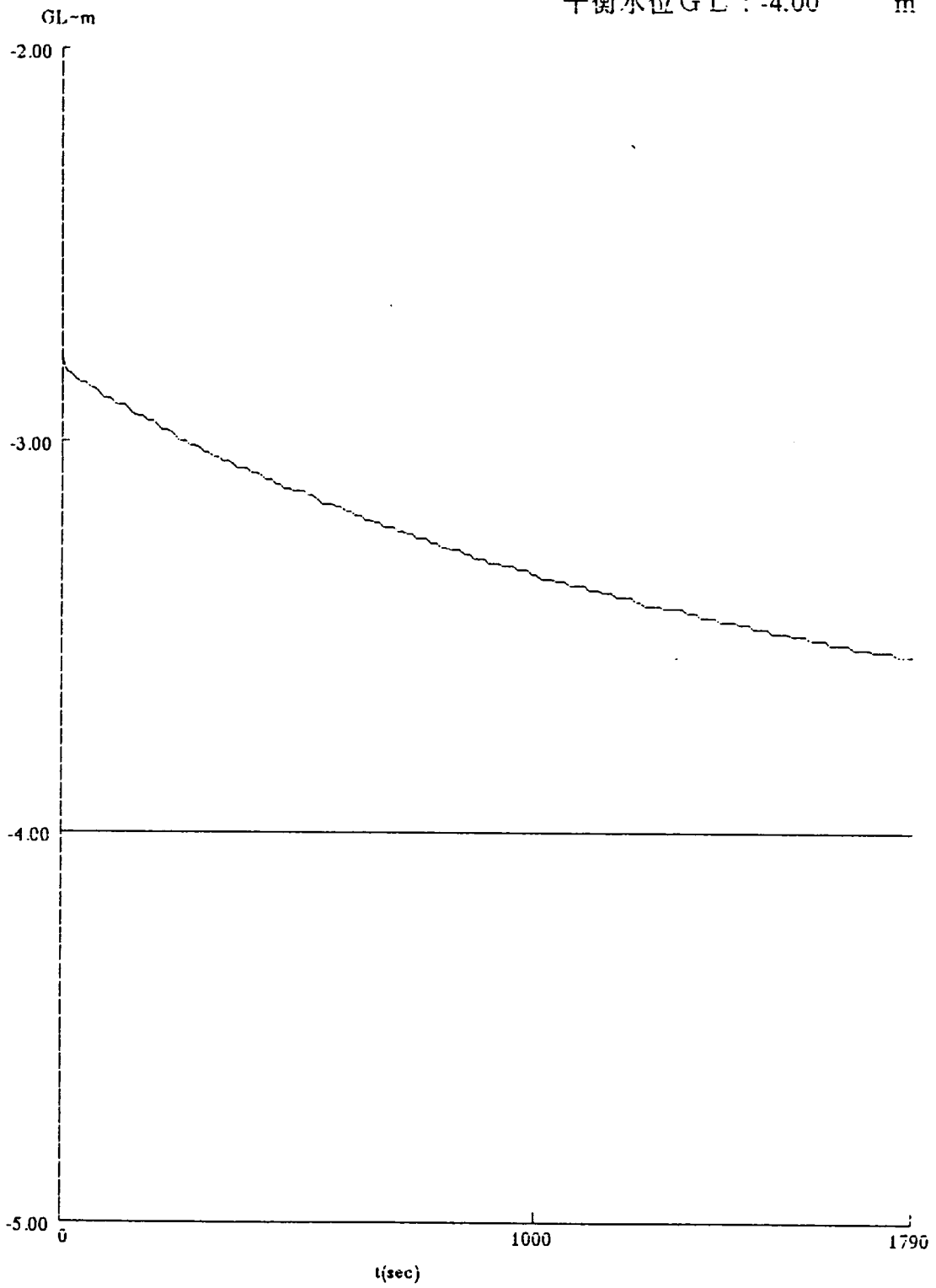
1.0

22
 $\frac{H}{H_0} / 0.5$

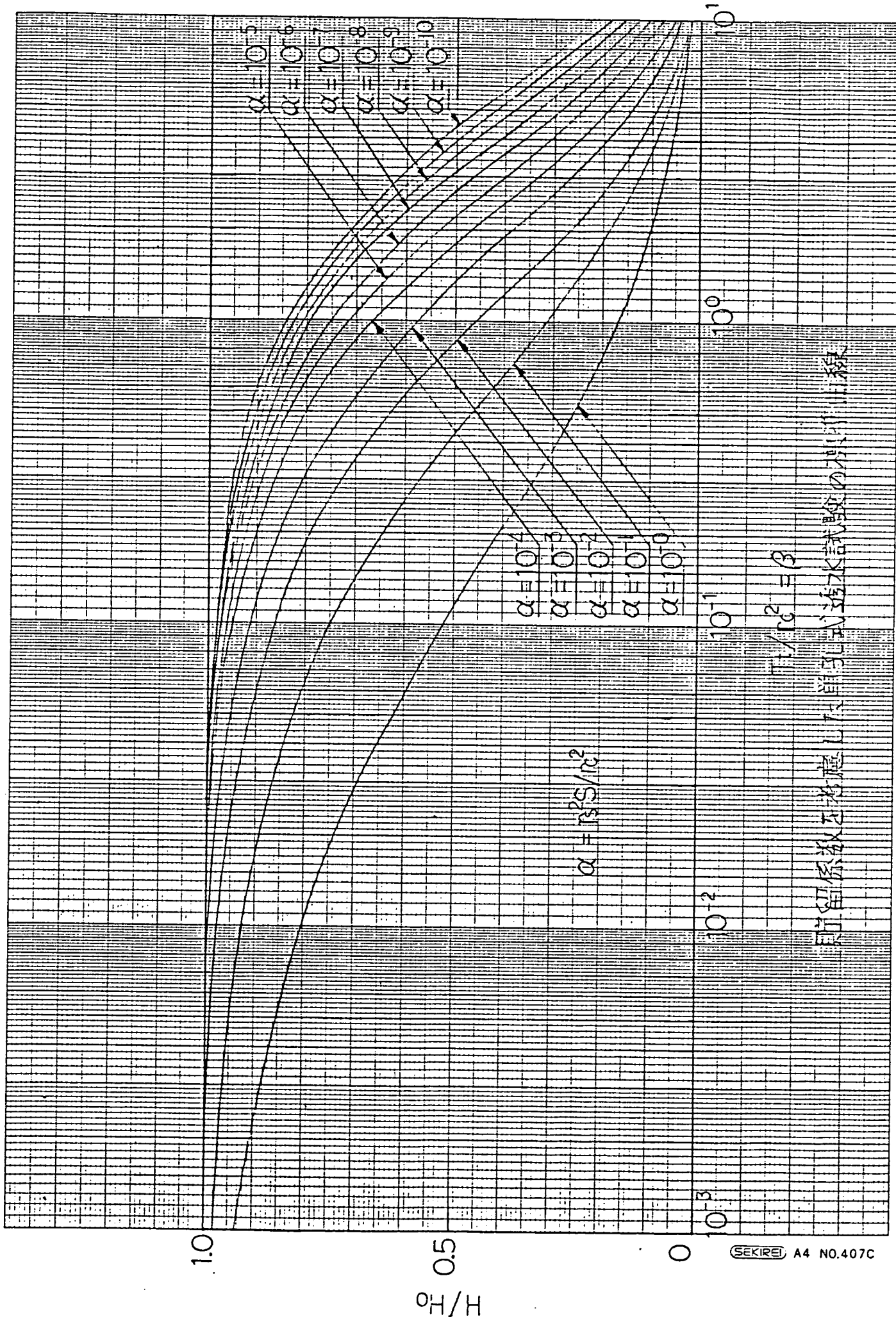
0.0

水位(t~WL)曲線

平衡水位 G L : -4.00 m

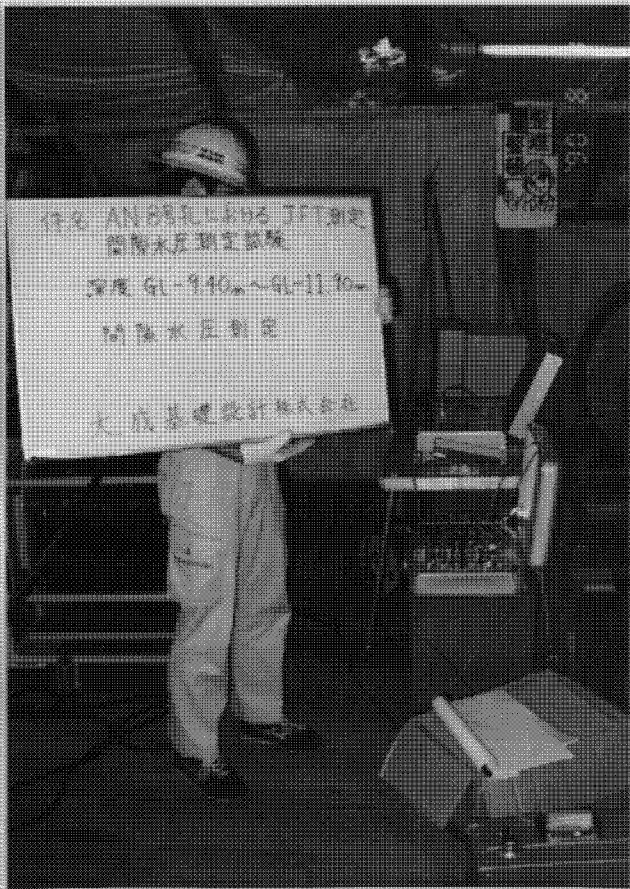
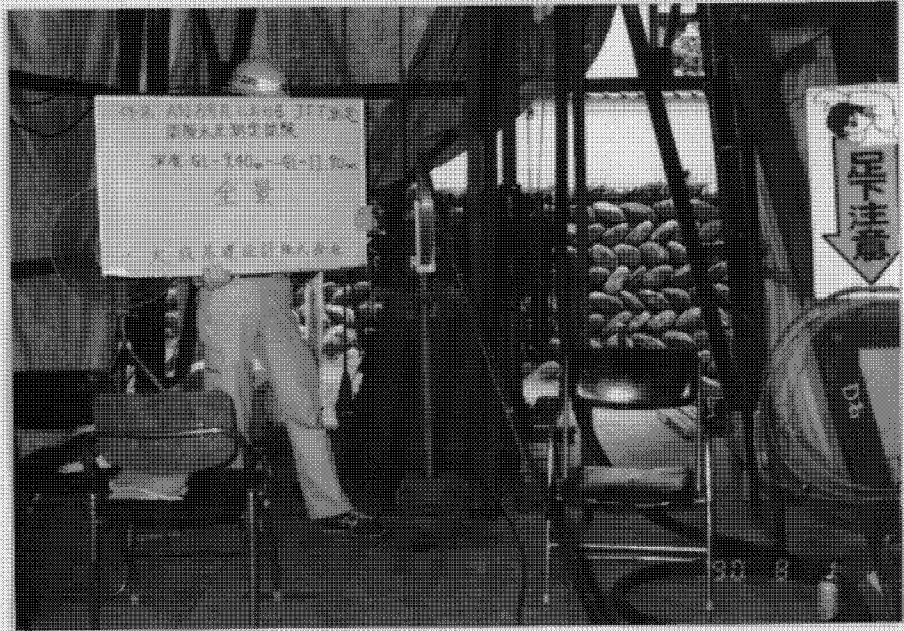


貯留係数を考慮した
単孔式透水試験の標準曲線

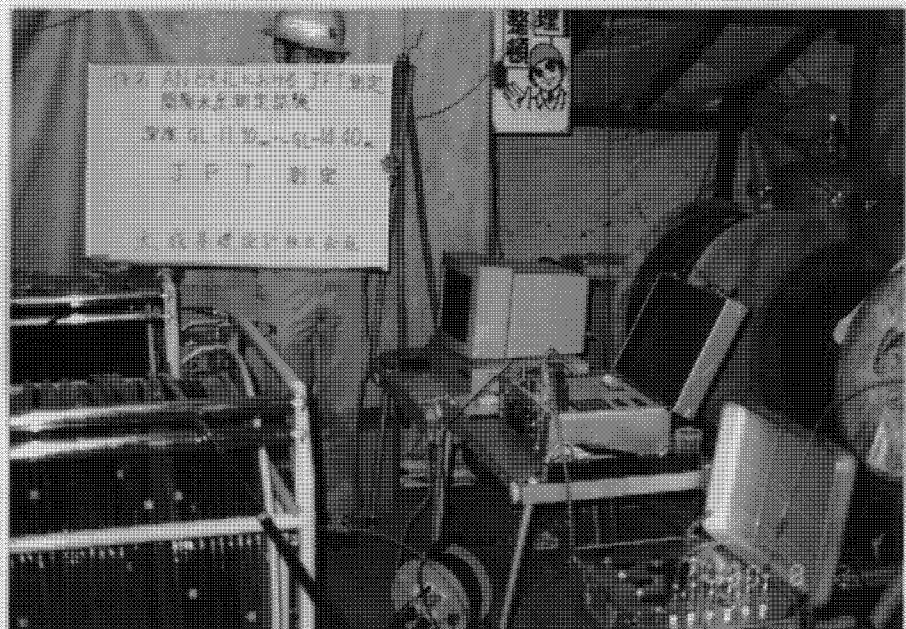
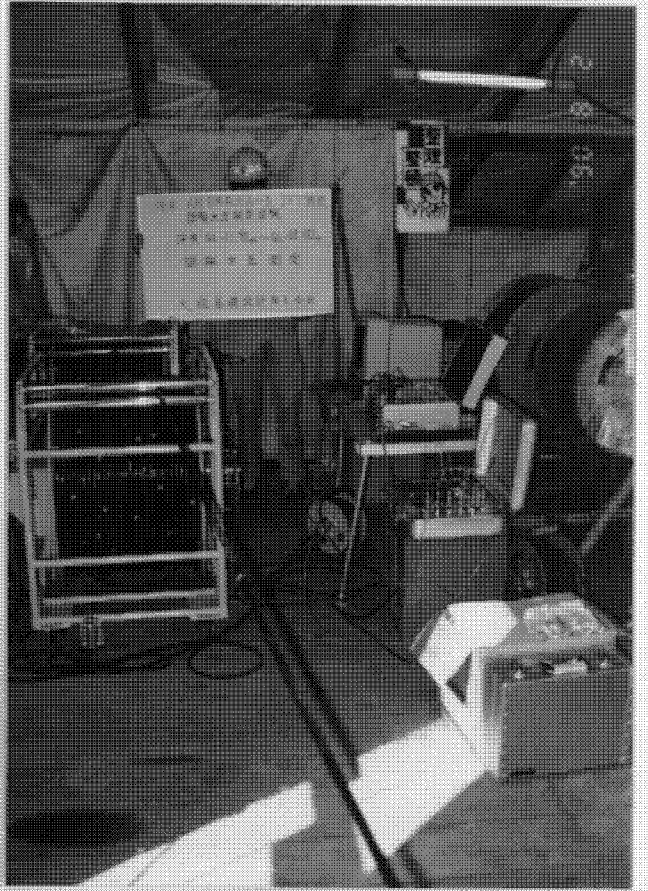
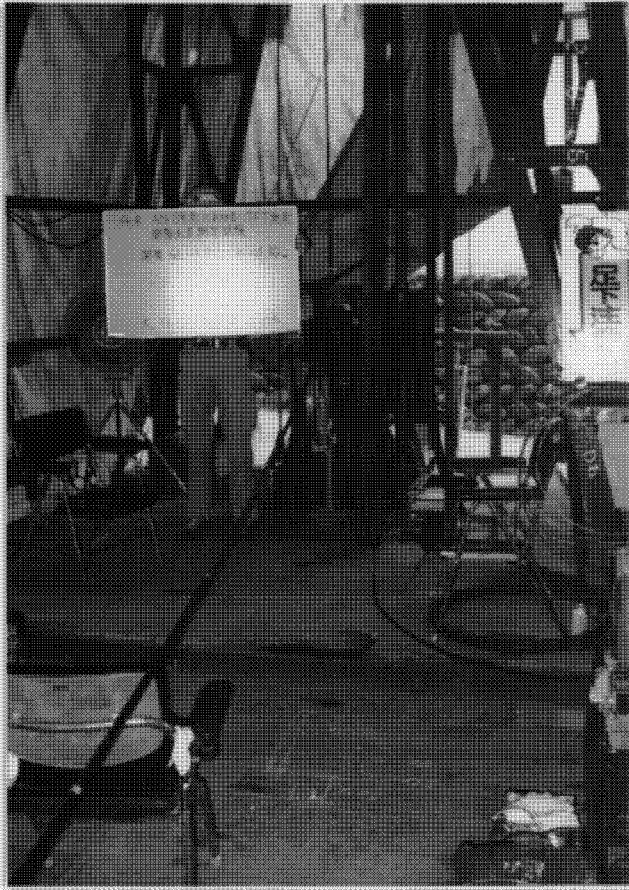


訂留係数を考慮した単孔式透水試験の修正曲線

調査現場写真



調査現場写真



調査現場写真

