

本資料は2000年3月31日付にて登録区分
変更する。

環境地科学センター [国研開発グループ]

動燃式低水圧制御水理試験装置の開発

(昭和62年度成果報告)

1988年11月

動力炉・核燃料開発事業団
中部事業所 環境地質課

本文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下さい。

〒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

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)
1988

~~この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、限られた関係者だけに配布するものです。従って、その取扱には十分注意を払って下さい。なお、この資料の供覧、複製、転載、引用等には事業団の承認が必要です。また今回の配布目的以外のことには使用しないよう注意して下さい。~~

~~This document is not intended for publication. No public reference nor disclosure to the third party should be made without prior written consent of Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.~~

~~本資料についての問い合わせは下記に願います。~~

~~〒107 東京都港区赤坂1-9-13~~

~~動力炉・核燃料開発事業所~~

~~技術協力部 技術管理室~~



動燃式低水圧制御水理試験装置（動燃式JFT試験機）の開発

目 次

1. はしがき	1
2. 従来の技術と本装置の開発計画	1
3. 試験装置の概要と測定原理	2
4. 算定式とパッカーのキャリブレーション	6
5. 現場適用例	13
6. 現場実験による本装置の評価	23
7. 問題点とその改良点	24
8. おわりに	25
9. 参考文献	25

1. はしがき

高レベル放射能性廃棄物地層処分、地下発電所、無重量実験施設、燃料地下備蓄など地下深部岩盤を対象としたいろいろな地下空間利用計画が近年注目されている。これらにかかわる技術的課題の1つである地下水問題をとりあげると、特に深部岩盤における割れ目系と母岩（マトリックス）を対象とした透水係数、間隙水圧の高精度な測定が必要である。

これらにおける従来の測定方法としては、JFT試験、ルジオンテスト等があるが、JFT試験はトンネルの湧水を、ルジオンテストはダム漏水を背景にしたものであり、言い換えれば高透水性岩盤を対象としている。従って上記地下利用の場合は難透水層を対象とするため、従来の測定方法では適用性に欠ける。

そこで深々度難透水層を対象とした「動燃式低水圧制御水理試験機（動燃式JFT）」を開発し、現場検証実験を行ったところ初期の目的を満足する良好な結果を得たのでここに報告する。

2. 従来の技術と本装置の開発計画

透水係数の測定法は種々あるが、原位置試験法に限れば図-1のように分類されよう。図-1に基き各試験法について比較評価を行なう。単孔式と多孔式を比べると多孔式は基本的に別々の井戸を用いて水位測定と揚水（又は注水）を行なうのに対し、単孔式は同一孔で水量測定と水圧測定を行なう。従って多孔式の場合、本井（親井戸）が目づまり等をしていてもそれは揚水量を決定するだけで観測井を使用するかぎり、透水係数の解析に影響を与えない。しかし、単孔式の場合は、目づまりやスキン効果等が直接的に測定結果に反映する。このため一般的には単孔式より多孔式の方が透水係数の値の精度は良い。だが多孔式は岩盤のように帯水層区分が明確にできない場合は適用が難しく、深さ方向に連続的に測定することは事実上不可能である。

最近研究されているクロスホールパルス法は本来岩盤を対象とした手法であるが実用に至っていない。

次に定常法と非定常法について述べる。定常法は流れが定常状態になるまで測定を続ける必要があるが、透水係数が小さいと非常に長時間の測定を要する。また、難透水地層では注水量も極めて少なくなり、その測定が困難になる。従って、定常法は難透水性に対する適用性を欠くものであると判断せざるを得ない。

一方非定常の場合は、難透水層の場合でも精度よくロッド内の水位が測定できれば透水係数の算定は可能である。つまり後述する(1)式(Hvorslev 1951)に示されるように測定時間はロッド半径 R の2乗に反比例するのでロッド半径を小さくする工夫をすれば短時間に高精度な水位の測定ができる。

以上の比較検討の結果、単孔式非定常法を採用し、代表的試験法のJFTをベースにした測定機の開発を試みることにした。既存のJFTには概ね次の4つの欠点が認められる。

- ① 始めロッド内の水を完全に排除して試験するために、深くなると地下水がロッド内に流入する際の水撃効果による地層の破壊、目づまり等の恐れがある。
- ② 試験に必要なバルブのセットを測定の毎に地上で行うため、深々度で連続測定する場合現場作業の能率が悪化する。
- ③ 難透水性地層での間隙水圧測定が難しい。

④難透水係数の測定が難しい。

以上あげた問題点を克服するため J F T 試験機を改良することが本試験装置の開発計画の骨子である。

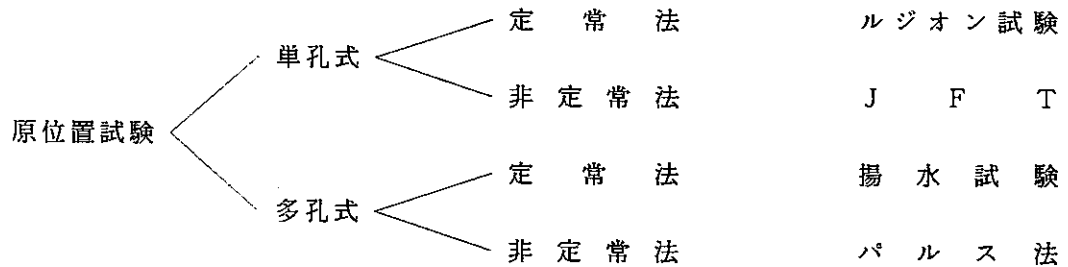


図-1 原位置透水係数測定法の分類

Classification of Site Investigation Method for Determining Hydraulic Conductivity

3. 試験装置の概要と測定原理

開発した試験装置の概要を図-2に示す。従来の J F T と異なる点は図-2中の②の水圧計内蔵のインナーパッカーと、③のの地上操作で開閉自在のバルブを設備したことである。前記した J F T の 4 つの問題点を解決した本装置の試験法と測定原理を述べる。

1) 水撃効果に帯する改良

ロッド内の水を完全に排除しないで、想定される間隙水圧よりやや低い水圧となる位置に管内水位を調整し過大な水圧差を発生させない。本来精度の良い水位 (又は水圧) 測定が可能ならば、透水試験における水頭差は少なくすべきである。たとえば、Cooper らはスラグテストにおいてわずか 56cm の水頭差しか発生させていない。(Cooper et al 1967) 本装置では 10m (1km/cmf) 程度の水頭差を一応の目安にして改良した。

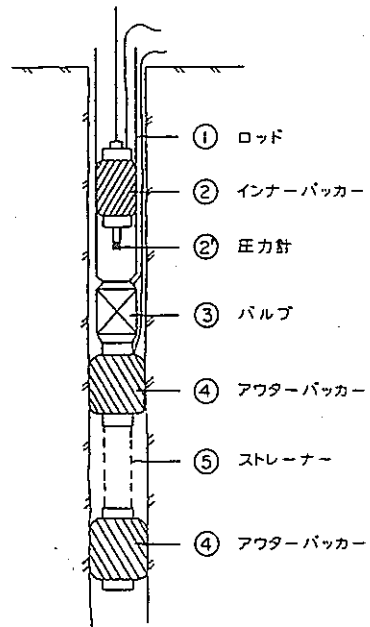


図-2 動燃式 J H T 装置

Schematic of New PNC Aquifer Test Equipment

2) 深々度の作業能率の向上

図-2③のバルブを用いることにより、試験深度の変更に伴うロッドの昇降作業を不要とし、作業能率を向上させた。

3) 難透水層での間隙水圧測定を効率良く行なう。

②のインナーパッカーを水中で拡張するとロッド内に閉鎖空間ができ水の体積移動が極めて少なくなるので、間隙水圧が短時間に測定できる。圧力計による水位測定の考え方は従来からあるが、一般にはロッドまたはバルブ付近に直接取り付けのため、測定深度に見合った容量が必要となり深くなること絶対精度が低下する。しかし本装置で間隙水圧 P の多くを水頭 H で置き替えるので、比較的低圧の圧力計一つであらゆる深度に対応でき、測定精度は不変的に維持できる。

図-2においては $P = H + P_1$ により間隙水圧が求められる。1 kg/cm²の圧力計を使用しているがその精度は満足な値を得ている。

4) 難透水係数の測定を可能にする。

非定常透水試験の基本的な考え方は、水頭差とその時移動する水量の関係から透水係数を求めるものである。前述したように従来のJFTでは水量をロッド内の水位として観測するため、透水係数が小さくなると測定が著しく困難となる。それに対しロッド径を細くして対処することも可能であるが、本試験機ではインナーパッカーの使用により閉鎖空間内の圧力変化として水量を測定することにより極めて微小な数量の測定、即ち難透水係数の測定を可能とした。このように圧力変化を利用した場合のロッド径は弾性係数と体積から求める仮想ロッド半径を使用する。この原理を図-3に模式的に示す。

このような考え方は、すでにJ. D. Bredehoeftらが発表している。(Bredehoeft et al. 1980) 以後この方法をインナーパッカー法と称す。具体的には透水係数が概ね 10^{-6} cm/sec 程度を境にしてそれより小さい場合はインナーパッカー法を用い、大きい場合はパッカーを拡張せず圧力計を水位計とする通常の測定を行なう。また、インナーパッカー法はパッカー拡張時のパイプ内の水量の体積増加によって生じる加圧効果を利用するものでこの原理は注入試験と同じである。

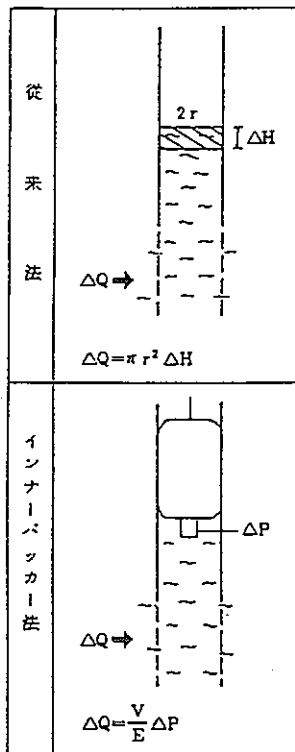


図 - 3 難透水係数測定原理

Schematic Diagram of The Theory for Determining
Low Permeability

4. 算定式とパッカーのキャリブレーション

単孔式透水試験の算定式はいくつか発表されているが、その代表的なものはHvorslev, Kirkham, Bouwer & Rice, Schmid, Cooper等である。彼らの考え方の紹介は他の文献（例えば 西垣誠 1986）に譲るとして、ここでは広く使われているHvorslevの式と貯留係数を考慮したCooperの式の二つを用いる。Hvorslevの式を適用して問題がない場合はそれを採用し、解析図がなめらかな曲線を描く場合は貯留効果が発生したとしてCooperの式を使用する。

なおCooperが論文(Cooper et al 1967)で示したマッチングカーブはロッドがある程度太い場合に適用するが、インナーパッカー法で試験を行なうと仮想半径が極端に小さくなるので適用限界を超える場合がある。その場合のマッチングカーブは前記したBredehoeftらの文献(Bredehoeft et al 1980)に示されたものを使用する。以下に各々の算定式を示す。

(a) Hvorslevの式

〈一般式〉

$$K = \frac{R^2 \ln L / r}{2L(t_2 - t_1)} \ln H_1 / H_2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで k …… 透水係数 (cm/sec)

r …… 透水孔隙部分の半径 (cm)

L …… ストレーナー長 (cm)

R …… ロッドの半径 (cm)

t₁, t₂ …… 水位測定時間 (sec)

H₁, H₂ …… t₁, t₂における自然水位との水位差 (cm)

〈インナーパッカー式〉

$$K = \frac{\theta^2 \ln L / r}{2L(t_2 - t_1)} \ln P_1 / P_2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\theta^2 = \frac{V}{\pi E} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta H} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで θ …… ロッドの仮想半径 (cm)

P₁, P₂ …… t₁, t₂における自然水位との圧力差

V …… 水及びパッカーの体積 (cm³)

E …… 水及びパッカーの弾性係数 (kgf/cm²)

ΔP, ΔH …… 単位の圧力及び水頭

(b) Cooperの式

〈一般式〉

$$K = \frac{R^2 \beta_0}{Lt_0} \ln H_1 / H_2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$S = \frac{\alpha_0}{R^2} r \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで S …… 貯留係数

α_0, β_0 …… 図-4のCooperのマッチングカーブより得られた値

t_0 …… マッチングポイントの時間 (sec)

$\Delta P, \Delta H$ …… 単位の圧力及び水頭

(インパーパッカー式)

$$K = \frac{\theta^2 \beta_0}{L t_0} \dots\dots\dots (6)$$

$$S = \frac{\alpha_0}{\theta^2} r \dots\dots\dots (7)$$

図-4のマッチングカーブとのフィットが悪い場合は図-5を用いる。(3)式の θ を求めるためには水及びパッカーの体積と弾性係数が必要である。このうち水に関しては用意に知れるが、パッカーについては実際にキャリブレーションを行って数値を決定しなければならない。ただし(3)式では形式上体積と弾性係数を用いているが、その目的は体積変化率 V/E であるので、キャリブレーションの整理に当たっては体積変化量そのままを用いている。従って(3)式は実用上は次の(8)式で示される。

$$\theta = \frac{E_w}{V_w} + \frac{\Delta P}{Q} \cdot \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta H} \dots\dots\dots (8)$$

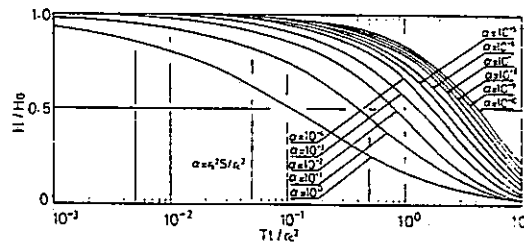


図-4 Cooperの式の標準曲線
Type Curves of Cooper (M. Nisigaki 1986)

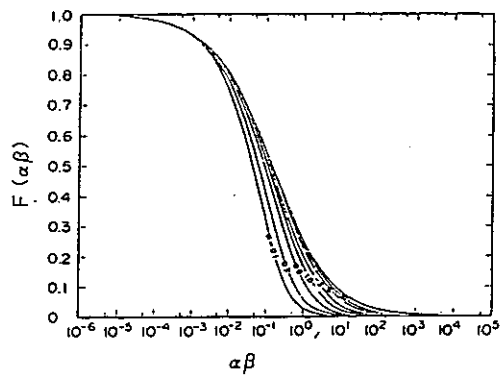


図-5 Bredehoeftの標準曲線
Type Curves of Bredehoeft (1980)

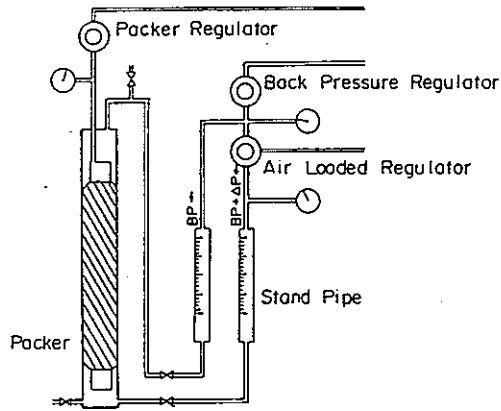


図-6 パッカーキャリブレーション装置
Schematic Diagram of Packer Calibration Equipment

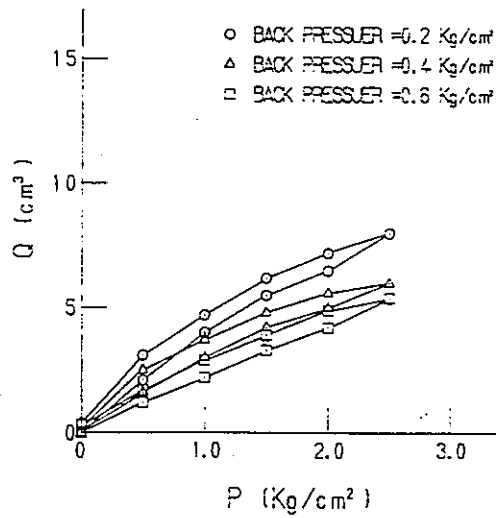


図-7 インナーパッカーキャリブレーション結果
Calibration Curves of Inner Packer

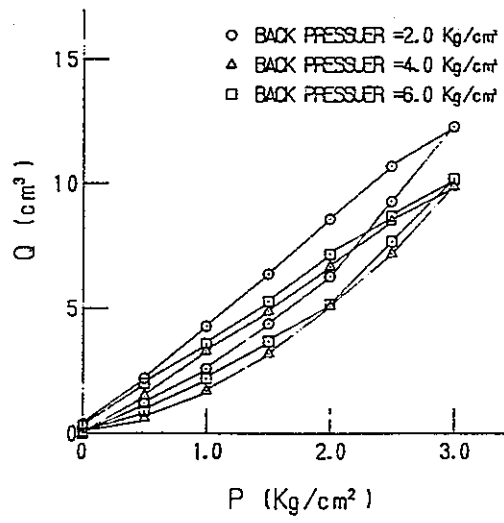


図-8 アウターパッカーキャリブレーション結果
Calibration Curves of Outer Packer

V_w, E_w ……水の体積と弾性係数

$Q/\Delta P$ ……キャリブレーションの結果を図-7、8に示した。

この結果を見ると単純な線形関係ではなく条件によってかなりの違いが見られる。即ち

- ①加圧時と減圧時の挙動が一致しない。
- ②バックプレッシャーによって変化する。
- ③アウターパッカーの減圧時はかなり良い線形を示すが、他のケースは全て非線形である。

しかしこのような条件をそのまま算定に用いることもできないので、以下に述べる方針で設計用のキャリブレーションデータを作成した。

- ①インナーパッカー法の試験は原則的に注入試験法であるから、測定の対象は減圧側となる。従ってキャリブレーションカーブは減圧側を使用する。
- ②バックプレッシャーの影響についていえばアウターパッカーの場合、 4 kg f/cm^2 以上ではほぼ一定の勾配となる。アウターパッカーはほぼ深度に比例するバックプレッシャーを受け、また装置は深々度用に考えられているので総合的に考えると高いバックプレッシャーでのキャリブレーション値を採用すべきである。従って 4 kg f/cm^2 と 6 kg f/cm^2 のバックプレッシャー時の値を平均して用いる。
- ③インナーパッカーはロッド内の水面下4~5mの深度に設置するのでバックプレッシャー 0.4 kg f/cm^2 の時のキャリブレーションデータを採用する。しかし Q/p 相関は非線形であるので圧力 1 kg f/cm^2 までの平均勾配に直して使用する。

以下の方針で作成したキャリブレーションデータを図-9に示す。なお図-9はアウトパッカーの変化量を2倍としたダブルパッカー法の条件であり、その勾配は $Q/p=10.48 \text{ kg f/cm}^2$ となる。

このように一定の条件を想定して作成した設計キャリブレーションが条件が異なった時にどの程度誤差が発生するかを次に検討する。

仮にアウターパッカーのバックプレッシャーが 2 kg f/cm^2 になったとすると $Q/p=11.94 \text{ kg f/cm}^2$ となり約14%の誤差となる。同時にインナーパッカーのバックプレッシャーが 0.2 kg f/cm^2 になったとすると $Q/p=12.54 \text{ kg f/cm}^2$ で誤差は20%となる。これらの誤差はパッカー部分の変化だけで算定した場合であるが、(8)式、(9)式で示すように透水係数に対する実際の誤差は水の変形も関与するものでもう少し小さな値となる。

仮に水位20m、ロッド径5cmとして透水係数の比を求める。

$$\frac{k^2 \theta_2^2}{k^1 \theta_1^2} = \frac{(V_w/E_w + Q_2/P_2)}{(V_w/E_w + Q_1/P_1)} \dots\dots\dots (9)$$

ここで次の値を(9)式に代入すると

$$V_w = 39270 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$E_w = 23000 \text{ (kg f/cm}^2\text{)}$$

$$Q_1/P_1 = 10.48 \text{ (cm}^3\text{/kg f/cm}^2\text{)} \text{ (設計値)}$$

$$Q_2/P_2 = 12.54 \text{ (cm}^3\text{/kg f/cm}^2\text{)} \text{ (誤差を最大にした値)}$$

実際の透水係数の比は次の値となる。

$$\frac{k^2}{k^1} = 1.17$$

即ち17%の誤差が発生することが、この程度の誤差は透水係数の性格から考えると十分

に許容できるといえよう。また深度が深くなる水の体積が増えるのでパッカーキャリブレーション上の誤差はさらに小さくなる。

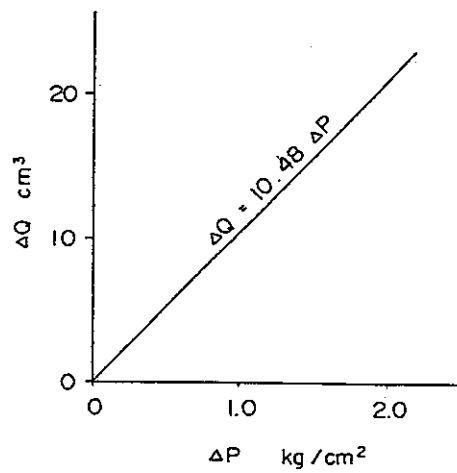


図-9 設計用キャリブレーション
Standard Calibration Curves

5. 現場適用例

本測定機の有効性を実証するための現場実測例を述べる。

(1) 現場の概要

現場実証試験を行った場所は岐阜県東部の低山地帯中に位置し、約20mの被覆層は第三紀体積岩で構成される。基盤をなす領家花コウ岩は20m以深に見られるが、この層が今回の対象層である。この領家花コウ岩は岩相変化が著しく粗～中粒黒雲母花コウ岩、斑状雲岩母花コウ岩、黒雲母花コウ閃緑岩等よりなり、割れ目が発達している。

実験に用いたボーリング孔は、孔径99mm(HQWL)で深度500mまで削孔したものである。このボーリング孔ではコアサンプルによるRQDを始め電気検層、音波検層、中性子検層さらにボアホールテレビ等の種々の調査を行った。その検層結果は図-10に示した。ただし今回の実験は最大深度160mまでなので、それ以深の検層データは省略した。

図-10の検層検結をみるとマイクロ検層は個々の割れ目に反応するため、全体的なイメージがつかみにくい。最も判定しやすいデータは音波検層結果で合計7ヶ所の割れ目帯が決定できた。その深度を表-1に示す。

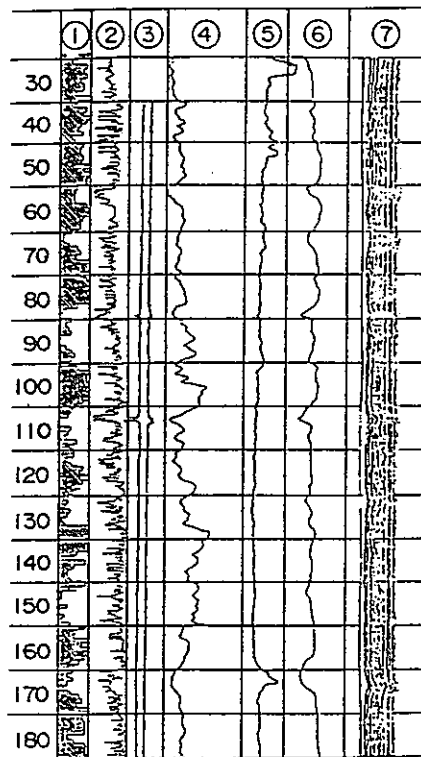
逆に割れ目が少ない所についてはGL-42～47m付近とGL-67～75m付近であると判定された。

(2) 測定装置の仕様と測定の手順

実験に仕様した測定機の概略の仕様を表-2に示す。また測定の手順は従来JFTよりやや複雑になり、図-11のフロー図のようになる。

(3) 透水係数の測定結果

今回は合計13深度で測定を行った。その結果は表-3に示した。また図-12a～cに3つの代表的測定結果例を $t - \log(H_2/H_1)$ 図で整理して示した。aは最も標準的なデータ、bはインナーパッカー法で行った最も透水係数が小さいデータ、cはグラフが曲線状を示し貯留係数が無視できずにCooperの式で解析した例である。この3つのデータを使用し透水係数を算定した例を次に記す。



① R Q D ② 25mmマイクロ検層
 ③ キャリバー ④ ノルマル検層
 ⑤ γ 線検層 ⑥ 中性子検層
 ⑦ 音波検層

① R Q D ② 25mmマイクロ検層
 ③ キャリバー ④ ノルマル検層
 ⑤ γ 線検層 ⑥ 中性子検層
 ⑦ 音波検層

図-10 検層結果

Logging Data

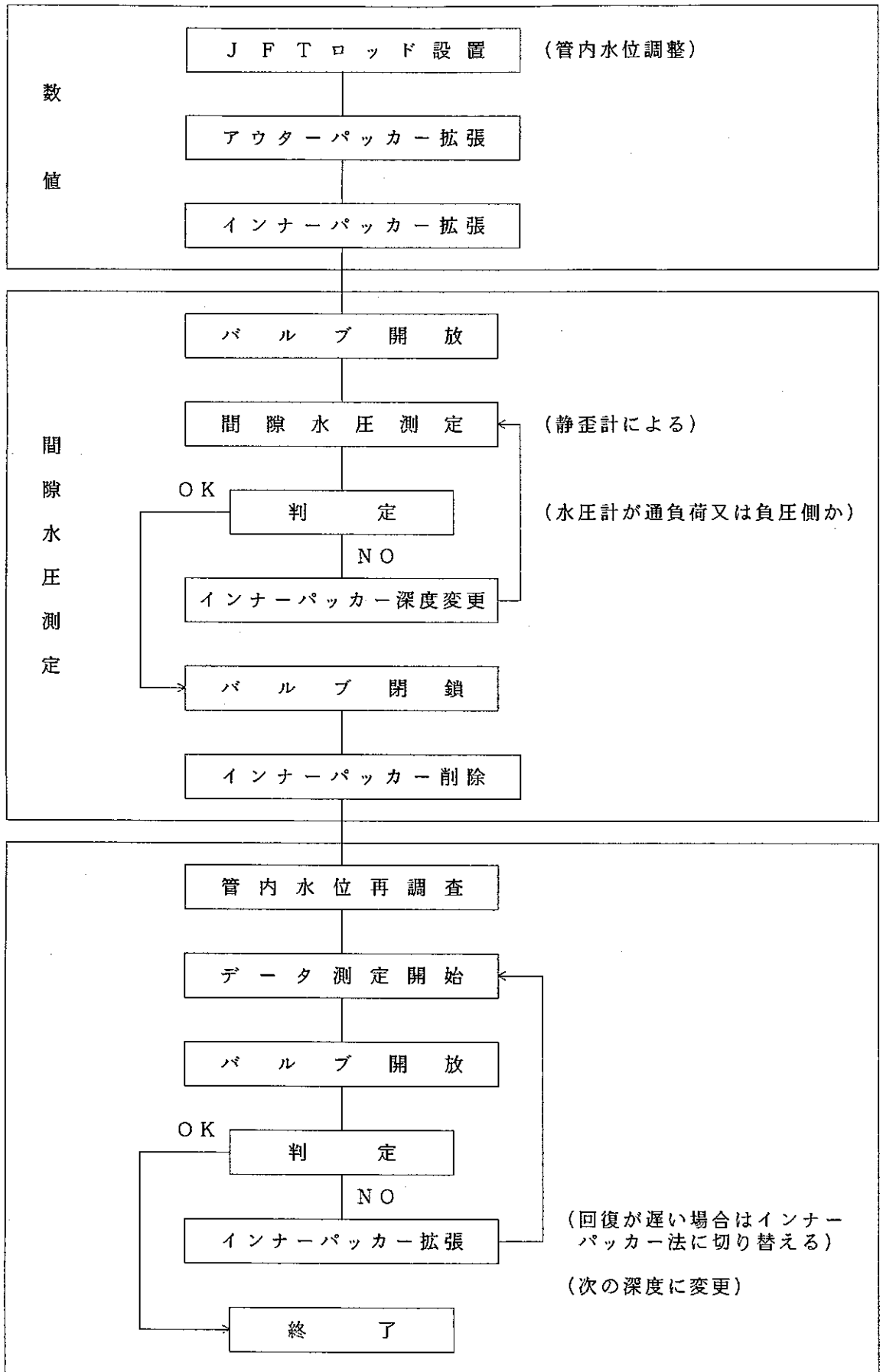


図-11 測定手順フロー

Flow Chart of Measuring Specification

表 - 1 割れ目帯深度表

No	深 度 G L - m
1	38.0 ~ 40.0
2	50.5 ~ 54.5
3	60.5 ~ 63.5
4	77.5 ~ 81.0
5	101.0 ~ 104.0
6	120.5 ~ 123.0
7	161.5 ~ 165.0

表 - 2 測定機仕様一覧表

品 名	内 容
ロッド	内径 ϕ 5.29cm 外径 (最大) ϕ 7.3 cm 継手シール O リング使用
バルブ	水圧駆動方式
アウター パッカー	遮水有効長 1.35m 平常最大外径 ϕ 5.9 cm
インナー パッカー	遮水有効長 0.65m 平常最大外径 ϕ 4.4 cm
圧力計	定格容量 1.0kg/cm ² ヒステリシス 0.2% R O 繰返し性 0.1%

表 - 3 測定結果例

測定深度 GL - m	自然水位 (間隙水圧)	透水係数 cm/sec	貯留係数 cm ⁻¹	解析 方法
38.00 ~ 40.30	17.25	4.0×10^{-4}		H
44.65 ~ 46.95	20.48	8.5×10^{-9}		H 1
50.35 ~ 52.65	15.47	2.6×10^{-7}	5.5×10^{-5}	C
52.35 ~ 54.65	16.72	4.8×10^{-7}	1.9×10^{-5}	B
57.85 ~ 60.15	17.35	2.5×10^{-5}		H
60.50 ~ 52.80	17.20	3.9×10^{-4}		H
58.85 ~ 71.15	16.41	7.9×10^{-8}		H 1
77.70 ~ 80.00	17.29	3.9×10^{-4}		H
80.80 ~ 83.10	16.73	3.1×10^{-4}		H
101.45 ~ 103.75	17.10	3.3×10^{-4}		H
120.55 ~ 122.85	17.10	3.2×10^{-4}		H
159.25 ~ 161.55	17.24	1.3×10^{-4}		H
162.87 ~ 165.17	17.30	1.5×10^{-4}		H

※解析方法HはHvorslev, H1 はインナーパッカー使用のHvorslev,
CはCooper, BはBredehoeftの各式を示す。

① a のデータ (Hvorslevの一般式)

$$R = 2.6 \text{ cm}, \quad t_1 = 0 \text{ sec}, \quad t_2 = 300 \text{ sec (10 min)}$$

$$H_1 = 540 \text{ cm}, \quad H_2 = 68 \text{ cm}, \quad L = 230 \text{ cm}$$

$$r = 4.95 \text{ cm},$$

$$k = 3.9 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$$

② b のデータ (Hvorslevのインナーパッカー式)

$$V_w = 58422 \text{ cm}^3, \quad E_w = 23000 \text{ (kg f/cm}^2\text{)}$$

$$Q/P = 10.48 \text{ cm}^3/\text{kg f/cm}^2, \quad \Delta P = 0.001 \text{ kg f/cm}^2$$

$$\Delta H = 1 \text{ cm}$$

$$\theta = 0.064 \text{ cm}$$

$$t_2 = 3600 \text{ sec (1 hour)}, \quad t_1 = 0 \text{ sec},$$

$$P_1 = 1.2 \text{ kg f/cm}^2, \quad P_2 = 0.49 \text{ kg f/cm}^2,$$

$$r = 4.95 \text{ cm}, \quad L = 230 \text{ cm}$$

$$k = 8.5 \times 10^{-9} \text{ cm/sec}$$

③ c のデータ (Cooperのインナーパッカー式)

$$V_w = 91817 \text{ cm}^3, \quad E_w = 23000 \text{ (kg f/cm}^2\text{)}$$

$$Q/P = 10.48 \text{ cm}^3/\text{kg f/cm}^2, \quad \Delta P = 0.001 \text{ kg f/cm}^2$$

$$\Delta H = 1 \text{ cm}$$

$$\theta = 0.068 \text{ cm}$$

$$\alpha \beta = 0.2, \alpha = 0.1, t = 84 \text{ sec}$$

(図-13のマッチングカーブによる)

$$r = 4.95 \text{ cm}, L = 230 \text{ cm}, \beta = 2$$

$$k = 4.8 \times 10^{-7} \text{ cm/sec}$$

$$s = 1.9 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$$

このようにして求めた透水係数の測定結果をヒストグラフにして図-14に示すと 10^{-5} cm/sec を境にして2つの集団に分かれている。 $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{ cm/sec}$ の集団はすべて表-2に示した割れ目帯に属している。また $10^{-6} \sim 10^{-9} \text{ cm/sec}$ の集団は表-2のNo.2の割れ目帯のデータと割れ目のない所のデータである。このNo.2の割れ目帯のデータだけが今回の測定結果中唯一Cooper法で解析したものであり、即ち割れ目内が粘土で閉塞され貯留効果が発生し、合わせて透水係数が低下したものと測定される。

図-15はNo.2を除いた割れ目帯の透水係数と深度との関係を示したものであり、深度依存性がうかがえる。このような現象はいくつかの文献に示されており、その理由は応力増加による割れ目幅の減少と考えられている。表-4は図-12のaとcの透水係数を Hvorslev と Cooper 両者の算定式を用いて比較したものである。

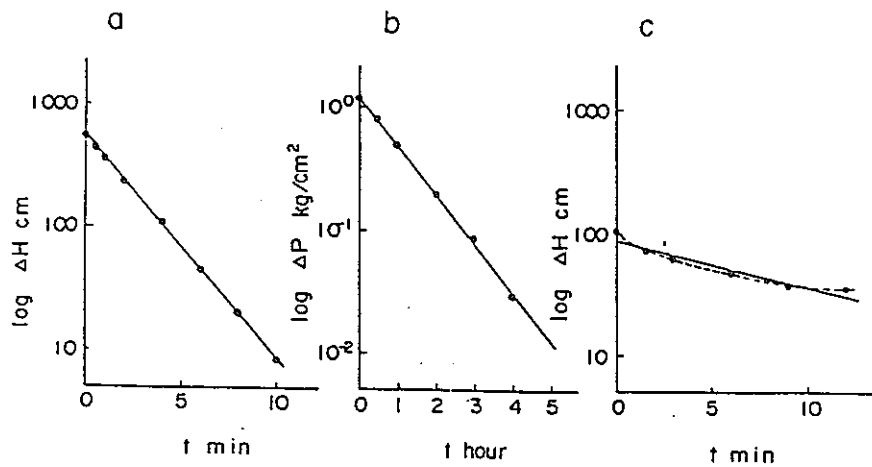


図-12 測定結果例

Sample Data of Low (H/H_0) t Curves

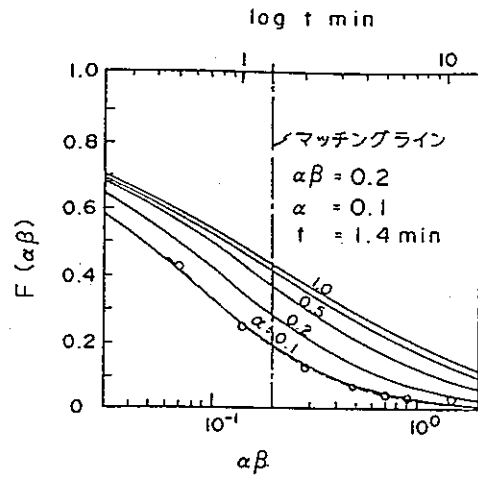


図-13 Bredehoeftの標準曲線使用例
An Instance of Use The Bredehoeft's Type Curvcs

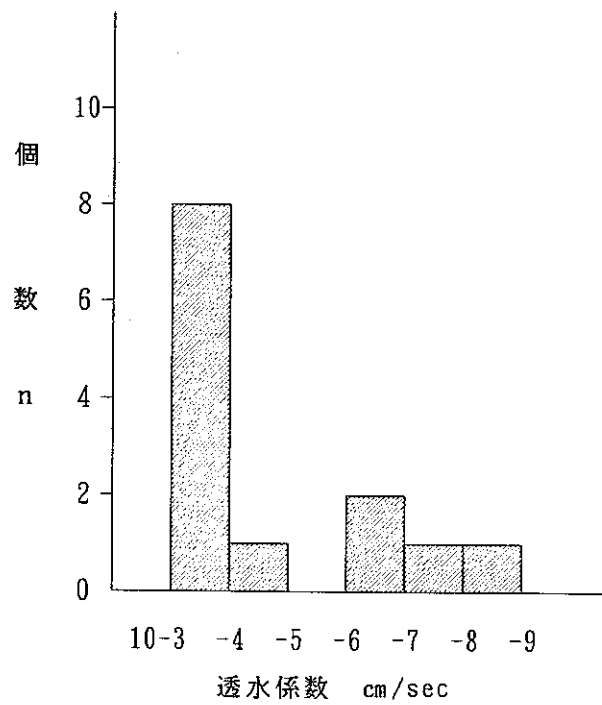


図-14 透水係数ヒストグラム
Histogram of The Coefficient of Permeability

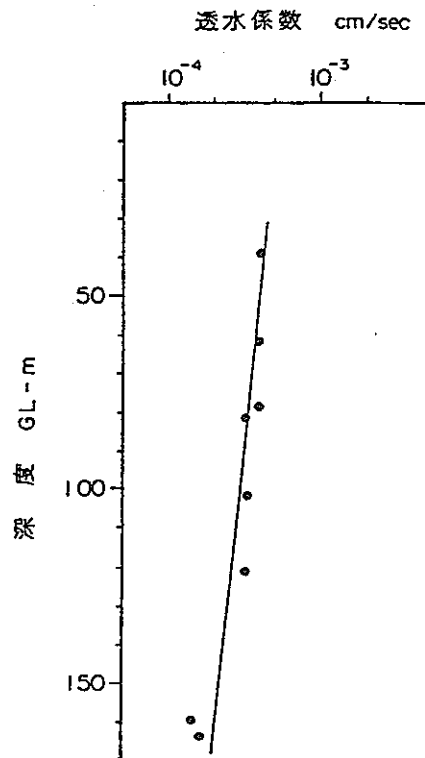


図-15 深度と透水係数の関係

Distribution of Hydraulic Conductivities with Depth

表-4 解析による透水係数の違い

	Hvorsiev (k) cm/sec	Cooper (k) cm/sec	貯留係数 cm ⁻¹
☒-12 (c)	5.0×10^{-8}	4.0×10^{-7}	1.9×10^{-1}
☒-12 (a)	3.8×10^{-4}	7.0×10^{-4}	2.5×10^{-7}

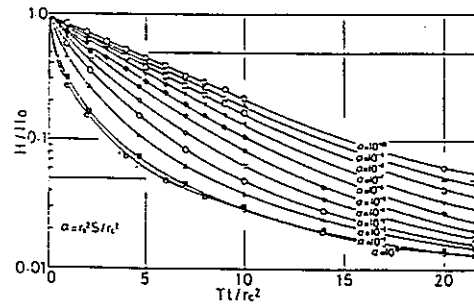


図-16 貯留係数を考慮した透水試験結果

Log (H/H_o)-t Curves with Consideration the
Coefficient of Stotrage

図-16は貯留係数を考慮した場合の $t - \text{Log}H$ 曲線群であるが α が 10^{-6}cm^{-1} 以下となればほぼ直線上となり Hvorslen の式で算定することができる。 α が大きくなると Hvorslev の適用は難しく、今回の実測例では10倍もの差が生じた。

貯留係数、 $t - \text{Log}H$ の非直線性については従来考えられた以上に透水係数に大きな差を発生されることがわかった。

(4) 間隙水圧測定の結果

間隙水圧の測定結果は表-3に示してあるが、これを図に示すと図-17となる。50-60m付近がやや乱れているが全体的にはほぼ静水圧分布を示している。

最小二乗法で求めた関係式は

$$P = 0.1002Z - 1.74 (\text{kgf/cm}^2)$$

となり、完全が静水圧と比較するとわずか 0.2% の誤差である。

このように 160m の深度にわたって完全に近い静水圧分布をしているのは過去の経験から見る限り特異な例であると思われる。その理由の一つとしては縦方向の割れ目が発達していることが確認されており、水理的に地下水が縦につながっているものと考えられる。

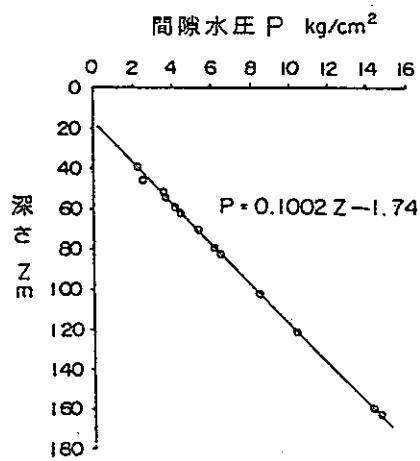


図-17. 間隙水圧分布

Distribution of Pore Water Pressure with Dept

6. 現場実験による本測定機の評価

開発した測定機が従来の技術的な問題を解消したかどうかについて現場実験の結果に基づき考察する。ただし今回の実験では従来の試験法による同時測定を行っていないので、この点についての具体的かつ定量的な比較検討をするには十分でなく、定性的な評価をすることにとどめる。

(1) 水撃効果について

従来のJFT法における瞬時の水圧低下に伴う水撃効果について定性的にはいわれているが、その実体はあまり研究されていないのが現状である。

今回の実験についても水撃における変化があったか否かは確認しておらず、この点に関しては定かではない。しかし実験において最大 1.2kgf/cm^2 、ほとんどの場合 1kgf/cm^2 以下の水頭差で測定を開始しており、少なくとも通常のJFTにより発生する水圧差よりは $1/2 \sim 1/16$ に減少しておりこの点では大幅に改善されたと考えている。

(2) 作業能率の向上

現場の作業日数は12日間である。初期には確実を期するため、間隙水圧測定に時間をかけ一日一点のペースで作業を行った。後半では測定が円滑になり最終的には、一日で2深度を終了させることができた。深度変更に要した時間は 162m から 164m への移動で約10分、 164m から 78m への移動が約20分であった。これを従来のJFTで行なうとすればそれぞれ約3時間程度の作業時間が見込まれ、昇降作業に要する作業効率は確実に向上した。今回は最大深度 160m 付近で測定したが、深くなれば更に作業能率の差が明らかになるだろう。

(3) 間隙水圧測定

間隙水圧の測定もまた作業効率に大きく関係する。図-18は今回最も透水係数が悪かった深度でのインナーパッカー法での測定結果であるが、5～6時間で安定に達し間隙水圧の測定が終了している。

この間隙水圧はチェックのため更に12時間の測定を行ったが変化は見られなかった。この深度の透水係数は $8.5 \times 10^{-9}\text{cm/sec}$ であるが、これを通常のJFTで測定したとするとどのくらいの時間を要するか試算してみると約3000時間を要する。これは事実上一般のJFTでは平衡水位（間隙水圧）の測定が不可能なことを示している。従って本測定機は従来に比べ大幅に間隙水圧の測定能力は向上した。

(4) 透水係数の測定

例で述べたように 10^{-9}cm/sec オーダーの透水係数の測定に成功しており、従来の手法では測定困難なものを測定可能とした計測機に改良したことは事実であるが、問題はその精度である。精度の確認については有効な手段がなく、評価が難しい。しかし現場測定例では貯留係数の問題、透水係数値の深度依存の問題、あるいは割れ目係と母岩での透水係数の違い等を確認し、地層条件と良く適合したデータが得られており、高精度の測定が行われたと考えられる。

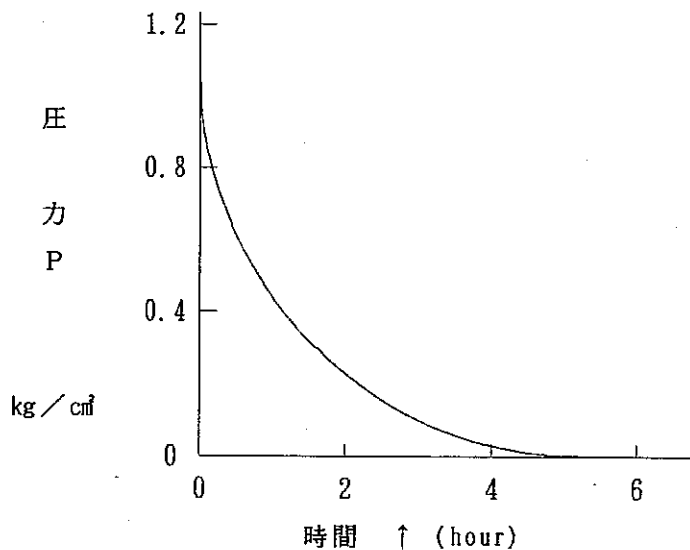


図-18 現場測定データ例

Sample Data of Hydrograph

7. 問題点とその改良

本測定機で現場実験を行った結果を踏まえて、今後に残された問題点とその改良方針について述べると以下のようなになる。

- ① 測定機の寸法が大きいためHQ以下 ($\phi 99\text{mm}$ 以下) のボーリング孔径に対応できない。測定機のロッド外径は $\phi 76\text{mm}$ であるが、これにパッカー、バルブ用コントロールチューブを加えると事実上の外径としては $\phi 85\text{mm}$ を必要とする。

一方では深度が深くなるほどボーリング孔径は細くなるので、深々度用の測定機としては不適當となる。ロッドを細くするにはインナーパッカーも同時に細くする必要があり、またバルブも細くしなければならない。従ってシステムとしてはほとんど100%近い交換を必要とするが技術的には可能なので、 $\phi 66\text{mm}$ のボーリング孔を対象として再設計し現在製作中である。

- ② パッカーのキャリブレーションが不十分である。

インナーパッカーは設置条件がほぼ一定なので問題ないが、アウターパッカーについてはバックプレッシャー、孔径等の条件変化が大きい。本文中に記したキャリブレーションは孔径を一種類に固定し、バックプレッシャーも最大 6 kgf/cm^2 までで実際の測定と比べると不足である。種々の条件で検討し、汎用性の高いキャリブレーションが必要である。

- ③ インナーパッカー拡張時に発生する管内圧力の制御は難しい。

インナーパッカー拡張時に発生する圧力は予想外に大きく $3\sim 4\text{ kgf/cm}^2$ におよぶこともあった。これはパッカー拡張速度をコントロールしてやれば適当な圧力に設定することができるが勘に頼らざるを得ないところがある。

またインナーパッカー法による透水試験においても初期条件が乱れてしまうので、改良する必要がある。対策としては電磁バルブをインナーパッカー内に設置した地上操作で圧力をコントロールさせるとよい。これらの問題を克服するため改良設計して現在、製作中である。

8. おわりに

動燃式 J F T は現場実験において、難透水性地層に対して高い性能を有していることが明らかになった。また深々度に対する適用性もよく、当初の期待通りの能力が得られた。今回の実験で明らかになったいくつかの問題点を改良し、今後更にデータを積み重ねる予定である。本測定機は難透水層を対象としているため、高透水性地層に対する能力はほとんど未知である。これについても近いうちに確認したいと考えている。

最後に設計から現場実験に至るまで関係者各位の御協力をいただき感謝の意を表する次第である。

9. 参考文献

水理公式集昭和46年度改定版土木学会編

西垣 誠 (1986) : 単孔式原位置透水試験法の整理 (その1)

地下水と井戸とポンプ第28巻第2号, P P 11-23

西垣 誠 (1986) : 貯留係数を考慮した単孔式透水試験法。

地下水と井戸とポンプ第28巻第7号, P P 1-7

西垣 誠 (1986) : 単孔式透水試験法の問題点の検討。

地下水と井戸とポンプ第28巻第9号, P P 1-10

Hilton H. Cooper JR, John D. Bredehoeft, and Istavros S. Papadopoulos (1967): Response of a Finite-Diameter Well to an Instantaneous Charge of Water, Water Resources Research vol 3 No. 1, pp 263-269

Hvorslev, M. J. (1951): Time lag and Soil permeability in groundwater observations, Bull: No. 36, Waterways Experiment Station, U.S. Army Corps of Eng: Vicksburg, Miss.

John D. Bredehoeft and Istavros S. Papadopoulos (1980): A Method for Determining the Hydraulic Properties of Tight Formation Water Resources Research vol 16 No. 1, pp 233-269

資 料

本試験方法は、特許出願をしているのでその内容もあわせて報告する。

(14000)

62-環特-08

特 許 原 頁

昭和63年 月 日

特許庁長官 小 川 邦 夫 殿

1. 発明の名称 低水圧制御水理試験法

2. 請求項の数 6

3. 発 明 者

住 所 岐阜県土岐氏泉町定林寺園戸959-31

動力炉・核燃料開発事業団

中部事業所内

氏 名 柳 澤 孝 一 (外1名)

4. 特許出願人

住 所 東京都港区赤坂1丁目9番13号

名 称 動力炉・核燃料開発事業団

代表者 林 正 義 (外1名)

5. 代 理 人

住 所 東京都台東区上野1丁目18番11号

西楽堂ビル7F 梓特許事務所

氏 名 (9249) 弁護士 蛭 川 昌 信
(外4名)

6. 添付書類の目録

(1) 明 細 書 1 通

(2) 図 面 1 通

(3) 委 任 状 2 通

(4) 願 書 副 本 1 通

7. 前記以外の発明者、特許出願人及び代理人

(1) 発明者

住 所

氏 名 平 田 洋 一

(2) 特許出願人

住 所 東京都渋谷区千駄ヶ谷4-5-6

名 称 大成基礎設計株式会社

代表者

(3) 代理人

住 所 東京都台東区上野1丁目18番11号

西楽堂ビル7F 梓特許事務所

氏 名 (8804) 弁護士 阿 部 龍 吉

住 所 同 上

氏 名 (9250) 弁護士 白 井 博 樹

住 所 同 上

氏 名 (9512) 弁護士 内 田 亘 彦

住 所 同 上

氏 名 (9598) 弁護士 菅 井 英 雄

明 細 書

1. 発明の名称

低水圧制御水理試験法

2. 特許請求の範囲

(1) ストレーナの上下にパッカーを配置したダブルパッカー方式の単孔式透水試験において、測定管内に開閉自在なバルブと先端に水圧計を設けたインナーパッカーを配置し、測定管内に岩盤の間隙水位との水頭差圧を小さくするように予め適当な水位を与えたことを特徴とする低水圧制御水理試験法。

(2) 前記バルブを開放することにより、水位を前記水圧計で水圧として検出し、透水係数を求める請求項1記載の低水圧制御水理試験法。

(3) 前記バルブを開放し、インナーパッカーを拡張して管内圧力を検出して間隙水圧を求める請求項1記載低水圧制御水理試験法。

(4) インナーパッカーの拡張により、測定管内の圧力をパルス的に上昇させ、管内圧力変化を検出して透水係数を求める請求項1記載の低水圧制御水理試験法。

(5) インナーパッカー内圧の上昇を電磁バルブにより制御する請求項1記載の低水圧制御水理試験法。

(6) 開閉自在バルブを地上により空気圧制御し、測定管内圧の異常上昇を防止するようにした請求項1記載の低水圧制御水理試験法。

3. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

本発明は、地下水の通路となる割れ目の力学的、水理学的特性を把握するためのボーリング孔を利用した原位置透水試験に係り、特に測定管内にあらかじめ水位を作り測定管内圧力を測定する低水圧制御水理試験法に関する。

〔従来技術〕

従来、一般的な岩盤における透水係数を測定するJFT試験法においては、帯水層をボーリングした孔内に水位観測用の測定管を入れ、下部をパッカーし測定管内の水位の上昇速度から地盤の透水係数を求め、地下水の通路となる割れ目の調査、分析が行われている。

第7図は従来のJFT試験法を示す図で、図中、31はボーリング孔、32は測定管、33はストレート、34、35はパッカー、36はトリップバルブ、37は水位測定素子、38はテスト、39は配管、40は圧力制御ボックス、41はコーデビル、42へ地下水位である。

図において、測定管32は先端を閉鎖してあり、下方にストレーナ33を挟んで測定管32の外側にパッカー34及び35を設けている。

また、パッカー34の上方の測定管32内にトリップバルブ36を設け、地下水が測定管32内に挿入してある水位測定素子37はテスト38に接続してあり、パッカー34及び35と測定管32外の圧力制御ボックス40との間には空気圧送用の配管39が接続されている。

図に示すように、ストレーナ33をパッカー34及び35とともに透水係数を求めようとするボーリング孔31内の測定深度まで降ろし、圧力制御ボックス40を操作して空気を圧送してパッカー34及び35を膨らませてボーリング孔31内への湧水を閉じ込める。次にコーデビル（突き棒）41の先端をトリップバルブ36に突き当てて瞬時にトリップバルブ36を開放するとパッカー34より下方の地下水はストレーナ33の部分を通して測定管32内に流入し、測定管32内を上昇する。この上昇水位を経過時間とともに水位測定素子37で電氣的に測定し、上昇水位と時間の関係から次のHvorslevの単孔式透水試験の解析式を用いて透水係数を求める。

$$K = \frac{(2Rw)^2 \ln(ml/ra)}{8L(t_2 - t_1)} \ln(H_1/H_2) \dots \dots (1)$$

ここに

K：水平透水係数（cm/s）

Rw：測定管の内径（cm）

Ta：ボーリング孔径（cm）

L：測定区間（cm）

m：縦横方向透水係数比（普通1にとる）

H₁、H₂：水位上昇開始からt₁、t₂時間

（sec）後の水位（cm）

上式における

$$\ln (H_1/H_2)$$

$$t_2 - t_1$$

は半対数目盛紙上に、普通目盛に時間 t 、対数目盛に水位 H をとって、 $t - \ln H$ の関係曲線を描き、この曲線の直線部の傾きから求める。

また、この従来の J F T 法において、地下水位が平衡状態に達するまで測定すれば、その水位から帯水層中の間隙水圧を求めることができる。

〔発明が解決しようとする問題点〕

しかしながら、このような従来の J F T 試験法での透水試験では深度を変えて測定するたびにトリップバルブを回収する必要がある。すなわち毎測定ごとに測定管を引き上げなければならない、特に、深いボーリング孔での各深度ごとの測定には極めて比能率である。また、水撃作用により岩盤に力学的ダメージを与え岩盤の状態が変化してしま。さらに、水頭差圧が大きいため岩盤割れ目中の粘土が動き、めづまり現象を引き起こして精度が大幅に低下したり、自然状態では発生しない高水圧条件において測定しており、自然状態とは異なる条件で測定していることとなる。また、解析に使用する $t - \log H$ 曲線図が現場と合わない。また、殊に難透水性の帯水層の場合には水位の回復に時間がかかるため解析上必要な間隙水圧の測定には長時間を必要とする難点がある。

本発明は上記問題点を解決するためのもので、ボーリング孔での透水試験を連続して行うことができ、また、間隙水圧測定時間を著しく短縮することができると共に、岩盤の状態を壊さずに自然の状態で測定することが可能な低水圧制御水理試験法を提供することを目的とする。

〔問題点を解決するための手段〕

本発明の低水圧制御水理試験法は、ストレーナの上下にパッカーを配置したダブルパッカー方式の単孔式透水試験において、測定管内に開閉自在なバルブと先端に水圧計を設けたインナーパッカーを配置し、測定管内に岩盤の間隙水位との水頭差圧を小さくするように予め適当な水位を与えたことを特徴とする。

〔作用〕

本発明は、測定管内に先端に水圧計を設けたインナーパッカーを配置し、予め測定管内に水を入れて岩盤の間隙水圧との水頭差圧を小さくしておき、回復水位の変化を圧力の変化として測定することにより透水係数を求め、難透水性の場合はインナーパッカーを拡張して内圧を上昇させ、その圧力変化を検出することにより透水係数を求めるようにして、

連続的にいろいろ深度での透水試験を行えると共に、測定時間を著しく短縮すると共に、岩盤の状態を自然の状態のまま測定することが可能となる。

〔実施例〕

以下、図面を参照しつつ本発明の実施例について説明する。第1図は本発明の基本原理を説明するための図で、第7図と同一番号は同一内容を示している。図中、1は測定管、2は開閉自在バルブ、3はインナーパッカー、4は間隙水圧計、5はバルブ開閉装置、6はデータロガーである。

図において、測定管1はストレーナ33の上方内部にバルブ開閉装置5で開閉を操作できる開閉自在バルブ2と、管内において昇降可能なインナーパッカー3を有する低圧用の間隙水圧計4とを備えている。開閉自在バルブ2は、水圧式、空気圧式、電気式等を使用することができるが、空気圧式の場合は故障が少なく、バルブの開閉が空気のもれで確認できるので好ましい。スチレーナの長さを変えることにより、遮水パッカーで区分された測定区間長を変えることができる。

開閉自在バルブ2を開にして、インナーパッカー3は拡張することなくボーリング孔31の測定対象深度にストレーナ33が配置されるよう測定管1を設置した後、圧力制御ボックス40を操作してパッカー34及び35を拡張してボーリング孔31の壁面に密着させる。

本発明による透水試験にはJFT法とパルス法の2通りの方法を適用することができる。帯水層の透水性が良い場合には前者を、悪い場合には水位の回復に長時間を要するので後者の試験を行う。

JFT法で透水試験を行うには先ず測定管1内の水位を揚水または注水により適当に調整し、地下水位との水頭差を小さくしておき、開閉自在バルブ2を開放して上昇する管内水位を間隙水圧計4で水圧として時々刻々検出し、データロガー6などで表示記録し、または水位に換算して、従来の技術例における(1)式により透水係数を求める。

パルス法による透水試験では、加圧後閉鎖状態にして、透水する数量変化量を水位変化量として求めるのではなく、閉鎖空間内の圧力変化量から単位圧力当たりの水の圧縮量とパッカーの変化量から求めて解析する。すなわち、本測定装置においては測定管1内の水位を適当に調整し加圧後開閉自在バルブ2を開放してインナーパッカー3を拡張させることにより閉鎖空間をつくる。そして、インナーパッカー3を拡張させることによりパルスのように孔内の圧力が上昇し、その圧力波がストレーナを通して岩盤内へ伝播し、やがて減

衰する。

パルス法の透水係数 K を求めるには水位の変化量 ΔH の代わりに内圧の変化量 ΔP を用いる。また、次式により仮想半径 R をまず決定する。

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

$$R = \frac{\Delta V}{\Pi \cdot \Delta H}$$

ここに

C_w : 水の体積圧縮係数 (cm^3/kg)

V_w : インナーパッカーから下方の閉鎖空間の水の体積 (cm^3)

α : キャリブレーションによるパッカーの圧縮補正係数 (cm^3/kg)

故に (1) 式は次のように書き替えられる

$$K = \frac{(2R)^2 \ln(\text{mL}/\text{ra})}{8L(t_2 - t_1)} \ln(P_1/P_2)$$

間隙水圧はパッカー 34 及び 35 を拡張しボーリング孔 31 に密着させたのち、測定管 1 内の水位を揚水または注水により適当に調整後、開閉自在バルブ 2 を開放し、インナーパッカー 3 を膨張させ閉鎖空間を作り、間隙水圧計 4 の検出によるデータロガー 6 の指示の安定を持って求める。

第 2 図は本発明による低水位制後水理試験装置の一実施例を示す図、第 3 図は測定手順を示すフローチャートで、第 1 図と同一番号は同一内容を示す。なお、図中、10、11、12 は配管、13 は電磁バルブ、14 はアーマードケーブル、15 はケーブル、16 は測定装置、17 はデジタル表示計、18 はペンレーコーダ、19 はパーソナルコンピュータ、20 は AD コンバータ、21 は制御ボックス、22 は測定管ホルダである。

図において、上端は開放で下端は閉鎖した測定管 1 において、下方にストレーナ 33、ストレーナ 33 を挟んで測定管 1 の外側にパッカー 34 及び 35 が設けられ、両パッカーは配管 10 を介して地上に設置した圧力制御ボックス 40 で制御される。パッカー 34 の上方の測定管 1 内に開閉自在バルブ 2 設けられ、配管 11 を介して地上に設置したバルブ開閉装置 5 で開閉操作される。さらに、開閉自在バルブ 2 の上方の測定管 1 内に自由に昇降できる間隙水圧計が設けられ、インナーパッカー 3 と電磁バルブ 13 が備えられ、インナーパッカー 3 を拡張させることにより測定管 1 に間隙水圧計 4 を含む閉鎖空間を形成し

たとき閉鎖空間内の圧力上昇が強い場合にはいほうして間隙水圧計4の破損を防止するようになっている。また、間隙水圧計4の水圧信号はアーマードケーブル14を介して、測定装置16のデジタル表示計17、ペンレーコーダ18、パーソナルコンピュータ19等に伝達され、インナーパッカー3は配管12を介して圧力制御ボックス40に、また、電磁バルブ13はケーブル15を介して制御ボックス21にそれぞれ地上で接続されている。

次に第3図を参照して測定手順について説明する。

開閉自在バルブ2を圧力制御ボックス40の開閉操作により測定管1内の水位を調整確認しながら（ステップ①）、測定管1のストレーナ33をボーリング孔31内の測定対象深度に測定管ホルダ22を通じて設置し、次いで間隙水圧計4を自然水位等から判断して水頭差10m以内に設置する（ステップ②、③）。次に、遮水用のパッカー34及び35を拡張し、ボーリング孔31の壁面に密着させて測定管1内の水位を間隙水圧計4の位置になるよう調整する（ステップ④、⑤）。

次いでバルブ開閉設置5の操作により開閉自在バルブ2を開放し（ステップ⑥）、インナーパッカー3を拡張して閉鎖空間を作り（ステップ⑦）、ストレーナ33からの水圧を測定装置16で表示及び記録しながら水圧の安定するのを待って間隙水圧を測定する（ステップ⑧）。次に、開閉自在バルブ2を閉鎖し（ステップ⑨）、インナーパッカー3を解除して間隙水圧測定を完了する（ステップ⑩）。

次に透水試験を行う。すなわち、測定した間隙水圧をもとに測定管1内の水位を水頭差10m以内に調整を行い（ステップ⑪）、測定装置16を作動させ開閉自在バルブ2を開放して、時間の経過とともに回復水位を水圧として測定してデータの取り込みを行い（ステップ⑫）、水圧から換算した水位から透水係数を求める。透水試験において水位の回復が悪く、パルス法による試験に切り替えるか否か判断し（ステップ⑬）、水位の回復が極端に悪ければインナーパッカー3を拡張し（ステップ⑭）、管内の圧力をパルス的に上昇させて経過時間に対する圧力変化から透水係数を求める。

ステップ⑬で水位の回復が悪くないと判断した場合はある深度における測定は終了する。なお、間隙水圧が測定されている場合はJFT法では水位、また、パルス法では圧力の安定をもって試験を終了し、間隙水圧が測定されていない場合は水位、又は、圧力に安定をもって試験を終了し、次の測定深度へ移動し、以後、各深度に対して同様の手順で測定を継続することになる。

次に、本発明の方法による解析結果を第4図に示す。

第4図はある地点について、GL（地下）-38m~GL-165mにわたって透水係数を求めたものであり、図中、JはJFT法、Pはパルス法を示している。

第4図から、間隙水圧は、ほぼ静水分布をしており、水位にするとGL-17m付近に集中していることが分かる。No. 2, 3の2点ではやや異なっているが、この部分は透水係数も小さく、局所的な水理異常帯と考えられる。また、GL-38m~GL-165mにわたり水位が同一であることから測定対象となった割れ目帯が縦方向につながっている可能性が強いと考えられる。

第5図、第6図にGL-38m~40.30m、GL-50.35m~52.65mにおける $t-\log H$ 曲線を示す。

第4図の測定データにおいては、 $t-\log H$ 曲線はほとんどが第5図に示すように直線を示すが、前述のHvorslevの式においては貯留係数が無視できない程の値である場合に相当し、割れ目帯であるにもかかわらず透水係数が小さく、割れ目を粘土が閉塞していることが理解される。

〔発明の効果〕

以上のように本発明によれば、地上で操作可能な水圧計を設けたインナーパッカー、開閉自在バルブを測定管に設け、測定管内に予め適当な水位を作り岩盤の間隙水圧との圧差を小さくすることにより、従来難透水性の帯水層の場合に特に長時間を必要とする難点があったが、測定時間を著しく短縮することができる。また、測定管を透水試験の測定ごとに引き上げる必要がなく、連続的に測定作業が可能となり測定作業の効率化がはかれる。殊に深々部の測定作業においては多大の効率化がはかれる。さらに、水圧差を小さくすることができるため岩盤へのダメージを小さくし、自然に近い状態での測定試験が可能で、測定精度を向上することができる。

4. 図面の簡単な説明

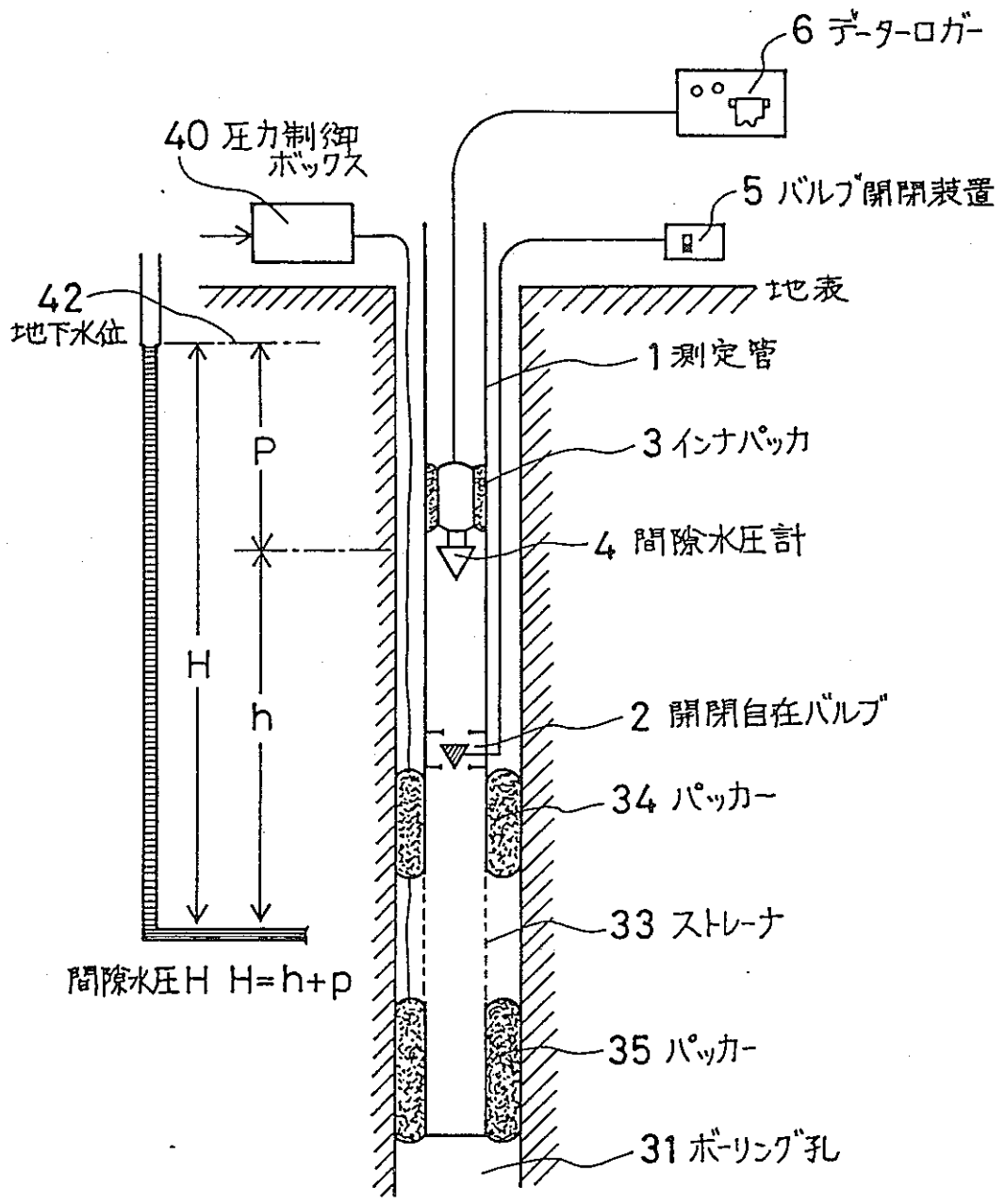
第1図は本発明の基本原理を説明するための図、第2図は本発明による低水位制御水理試験装置の一実施例を示す図、第3図は測定手順を示す図、第4図は測定結果を示す図、第5図、第6図は時間経過に対する水位（水圧）の変化を示す図、第7図は従来のJFT試験法を示す図である。

1…測定管、2…開閉自在バルブ、3…インナーパッカー、4…間隙水圧計、5…バルブ開閉装置、6…データロガー、11、12…配管、13…電磁バルブ、14…アーマードケーブル、15…ケーブル、16…測定装置、17…デジタル表示計、18…ペンレーコーダ、19…パーソナルコンピュータ、20…ADコンバータ、21…制御ボックス、22…測定管ホルダ。

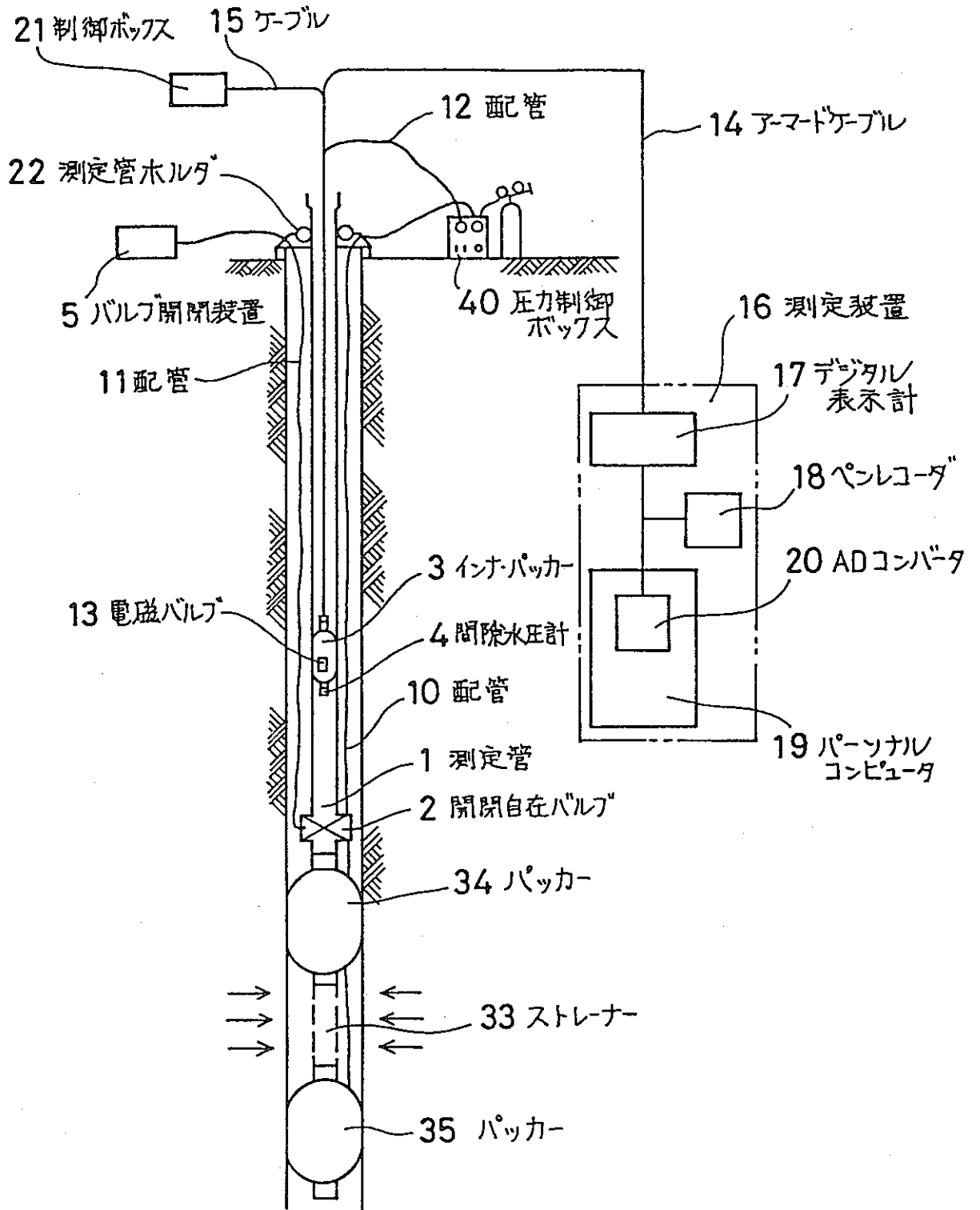
出 願 人 動力炉・核燃料開発事業団

代理人弁護士 蛭 川 昌 信 (外4名)

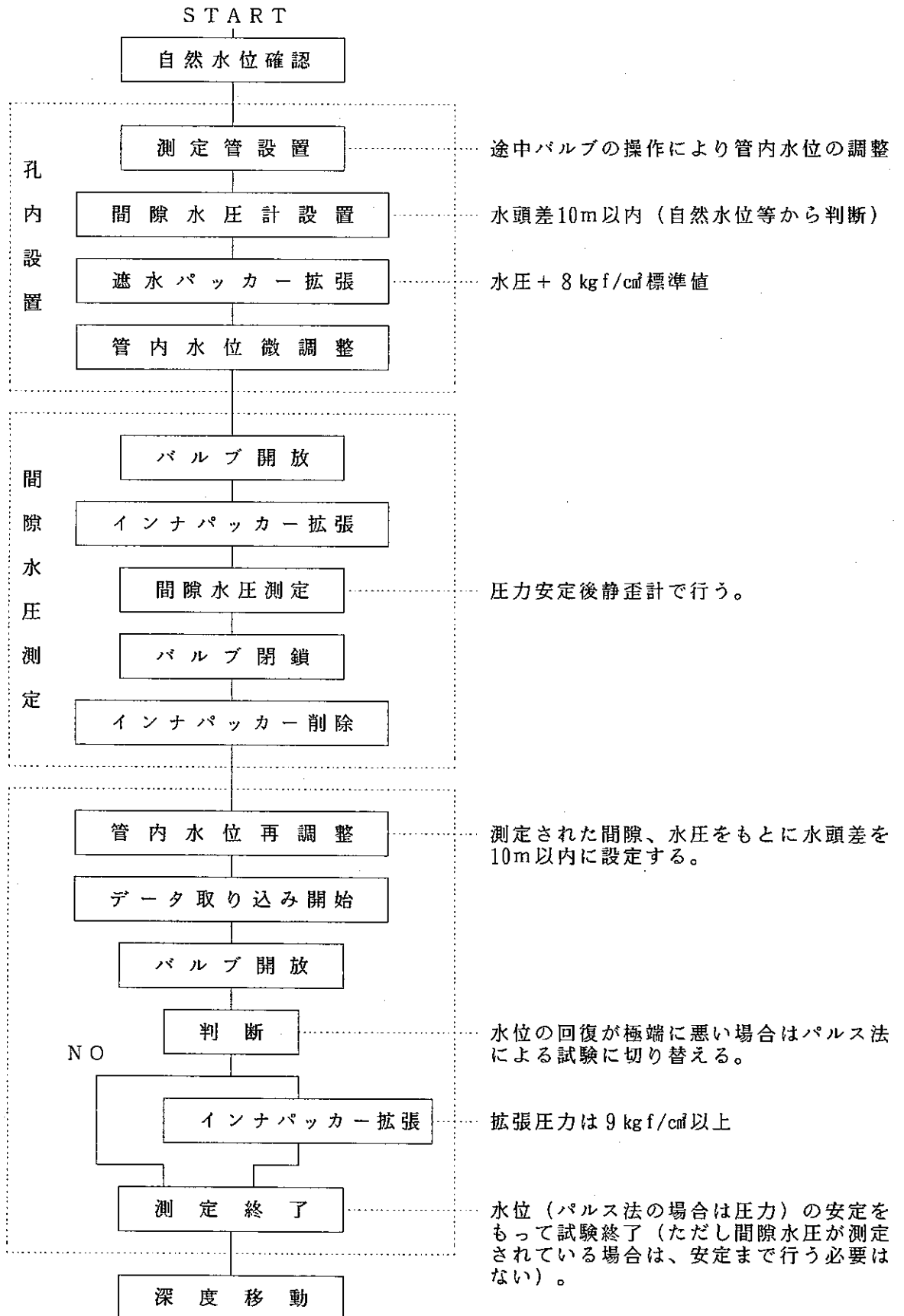
第 1 図



第 2 図



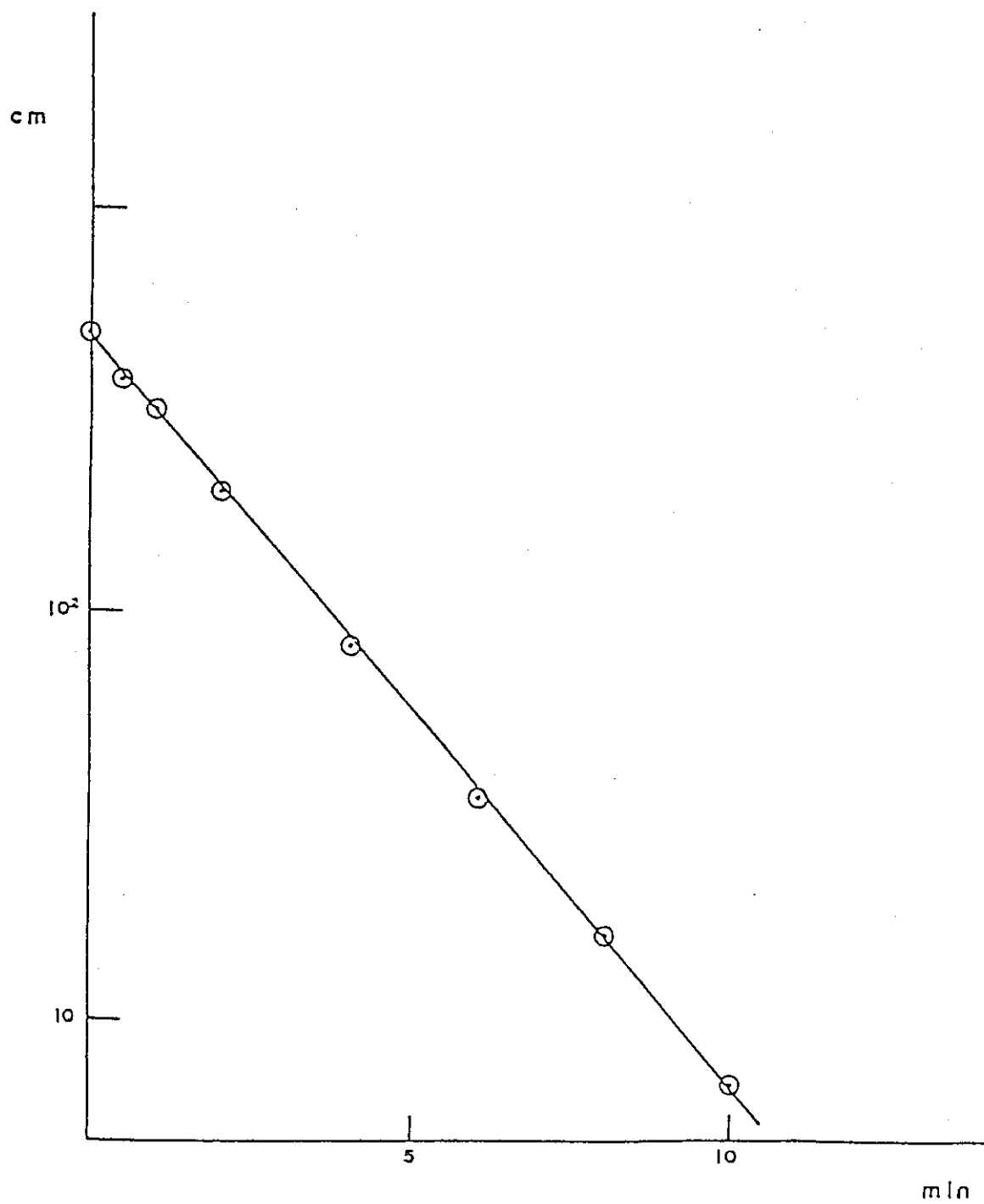
第 3 図



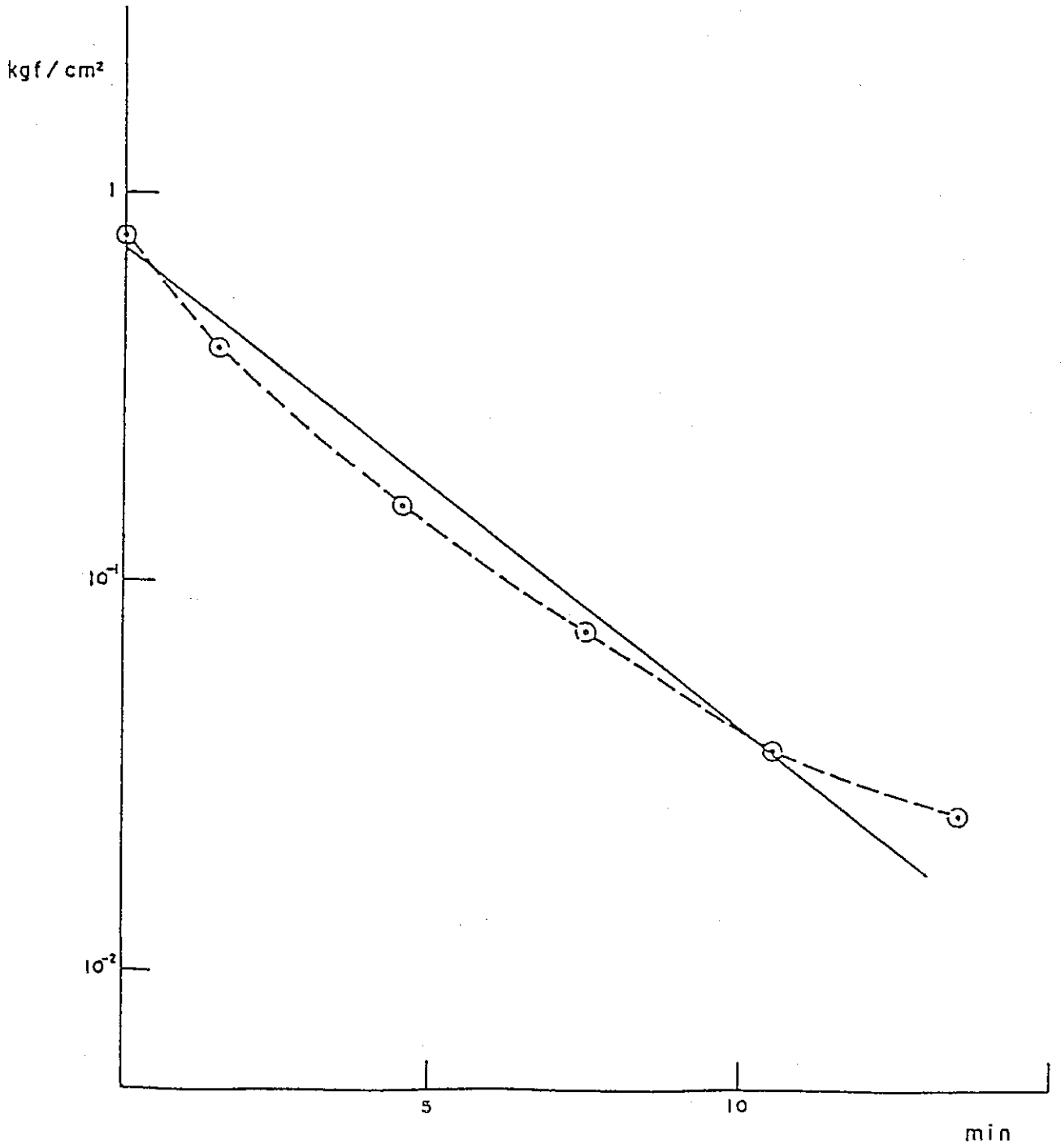
第 4 図

No	深 度 G I. - M	間隙水圧 G I. - M	透 水 係 数 cm/sec	試 験 方 法
1	38.00 ~ 40.30	17.25	4.0×10^{-4}	J
2	44.65 ~ 46.95	20.48	7.7×10^{-5}	P
3	50.35 ~ 52.65	15.47	1.6×10^{-7}	P
4	52.35 ~ 54.65	16.72	5.3×10^{-8}	P
5	57.85 ~ 60.15	17.35	2.5×10^{-5}	J
6	60.50 ~ 62.80	17.20	3.9×10^{-4}	J
7	68.85 ~ 71.15	16.41	7.9×10^{-8}	P
8	77.70 ~ 80.00	17.29	3.9×10^{-4}	J
9	80.80 ~ 83.10	16.73	3.1×10^{-4}	J
10	101.45 ~ 103.75	17.10	3.3×10^{-4}	J
11	120.55 ~ 122.85	17.10	3.2×10^{-4}	J
12	159.25 ~ 161.55	17.24	1.3×10^{-4}	J
13	162.87 ~ 165.17	17.30	1.5×10^{-4}	J

第 5 图



第 6 图



第 7 図

