

JNC TJ7420 2005-127

1
図書

A N - 1 号孔及び A N - 3 号孔
における動燃式 J F T 試験
間隙水圧測定（追加調査）

平成元年三月

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
電話：029-282-1122（代表）
ファックス：029-282-7980
電子メール：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

1989年3月

AN-1号孔およびAN-3号孔における
動燃式JFT試験・間隙水圧測定（追加調査）

（動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書）

平田 洋一*

要 旨

放射性廃棄物地層処分に際しては、天然バリアにおける核種の移行、遅延現象を検討するために地下水の流動機構を把握する必要がある。この地下水流動機構の一環として、結晶質岩（花崗岩）中の割れ目を主な対象として、AN-1、AN-3号孔において間隙水圧および透水係数の測定を行った。この調査測定は1987年11月から今年度まで4回にわたって行っており、本報告書はこれまでの結果を総合的にとりまとめたものである。

本報告書は、大成基礎設計株式会社が動力炉・核燃料開発事業団中部事業所との契約により実施した業務の成果である。

事業団担当部：動力炉・核燃料開発事業団 中部事業所

*大成基礎設計株式会社

目 次

まえがき 1 p

第一編 測定報告 2

 1 一般事項 2

 2 地質概要 3

 3 測定概要 4

 3-1 測定装置と測定方法 4

 3-2 解析 4

 4 測定結果 7

第二編 考察 8

 1 これまでの経過と問題点 8

 2 条件の整理 8

 2-1 ポアホールについて 8

 2-2 地層の詳細 8

 2-3 測定深度の決定に関して 9

 2-4 測定器の問題 9

 2-5 測定結果の再整理 9

 3 測定器の誤差に関する検討 12

 4 目詰まりに関する検討 13

 5 まとめと今後の課題 16

資料 17

 調査位置図 18

 地形図 19

 地質図 20

 柱状図 21

 測定結果 23

 資料

 写真

まえがき

放射性核廃棄物地層処分に際しては、天然バリアにおける核種の移行、遅延現象を検討するために地下水の流動機構を把握する必要がある。この地下水流動機構の調査の一環として、結晶質岩（花崗岩）中の割れ目を主な対象としAN-1、AN-3号孔において間隙水圧及び透水係数の測定を行なった。この調査測定は昭和62年11月から今年度まで4回にわたって行なっており、本報告書はその総合的なレポートである。

第一編は平成元年に行なった測定結果を取り纏めたものである。第二編は過去のデータを一括して、多少の考察を記したものである。

またこれまでの調査にあたり動力炉・核燃料開発事業団の関係者各位に多大な便宜を計っていただいたことを感謝する次第である。

第一編測定報告

1 一般事項

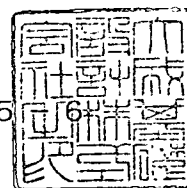
- 1) 件名 AN-1号孔及びAN-3号孔における動燃式JFT
試験・間隙水圧測定(追加調査)
- 2) 場所 岐阜県瑞浪市正馬様洞
- 3) 項目 動燃式JFTによる透水試験及び間隙水圧測定 各12
点
- 4) 期間 自 平成元年2月
至 平成元年3月
- 5) 担当 大成基礎設計株式会社

東京都澁谷区千駄ヶ谷4-5

TEL 03-478-4111

FAX 03-470-0283

主任技術者 平田洋一



2 地質概要

今回調査を実施したAN-1、3号孔は、JR中央線土岐市駅の北東約4kmの所で、山地内の小さな谷に位置している。この地域の地層は古生層及び花崗岩類を基盤とし、その上位に新第三紀、第四紀の各層を有する。新第三紀は、土岐堆積盆地、その東方の岩村堆積盆地及び北西の可児堆積盆地等に分かれて分布し、岩村・土岐の各盆地には瑞浪層群が、可児盆地には可児層群が発達し、大局的には一連の中新統として分布する。鮮新統瀬戸層群はこれらを明瞭な不整合で覆っている。

この地域の基盤は、西部には粘板岩、ホルンフェルス等の古生層も多いが、中生代末～古第三紀初期に貫入したと考えられる領家花崗岩類が、その大部分を占めており、今回の調査対象層でもある。これらは岩層変化が著しく、粗～中粒黒雲母花崗岩、斑状黒雲母花崗岩、中粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩等からなり、割れ目が発達している。この花崗岩を貫いて石英斑岩、花崗斑岩等の岩脈が、一般走向NNW～SSEで貫入している。

3 測定概要

3-1 測定装置と測定方法

今回の調査に於いて使用した低水圧制御水理試験機（動燃式JFT試験機）は、動力炉・核燃料開発事業団と大成基礎設計（株）が共同開発した試験機である。

測定装置の全体構成は、図1-1に示す。

今回の調査では、ダブルバッカー方式を用いて、測定区間を2.60mにして試験を行なった。

今回の調査孔は、φ99mmの削孔径である。

透水試験には通常の管内水位測定法とパルス法の二通りの方法があり透水性が良い場合は前者を、悪い場合は後者の試験を行なう。今回の調査では通常法とパルス法の2つを使用した透水試験を行なった。

通常法は一般的な岩盤における透水係数の測定法であり、図1-1の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することによって透水係数を求める方法である。水位はインナーバッカーに取り付けられた水圧計で圧力としてとらえる。パルス法は閉鎖空間内の圧力変化量と装置の弾性変形量を用いる。

3-2 解析

透水試験の解析には、Hvorslevの単孔式非定常透水試験の解析式を用いる。

$$k = (2R)^2 \ln(mL/r) \ln(H_1/H_2) / 8L(t_2 - t_1)$$

k : 透水係数 (cm/sec)

R : ピエゾメーター管内半径 (cm)

r : 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 t に対応する水位 (cm)

t_1 , t_2 および H_1 , H_2 は $t \sim \log H$ グラフから得られる直線から読み取る。

パルス法の場合は Hvorslev の単孔式非定常透水試験の解析式を次のよう
に變形して使用する。

$$k = (2\theta) \ln(L/r) \ln(P/P_0) / 8L(t-t_0)$$

$$\theta = V \cdot \Delta P / \pi \cdot E \cdot \Delta H$$

P : 閉鎖空間内の圧力

θ : ロッドの仮想半径

V : 水及びパッカーの体積 (cm^3)

E : 水及びパッカーの弾性係数 (kg/cm^2)

ΔH 、 ΔP : 単位の圧力及び水頭

間隙水圧は次式により求められる。

$$P = p + H \gamma_w$$

P : 求める間隙水圧

p : 圧力計の値

H : 圧力計から測定深度までの距離

γ_w : 水の単位体積重量

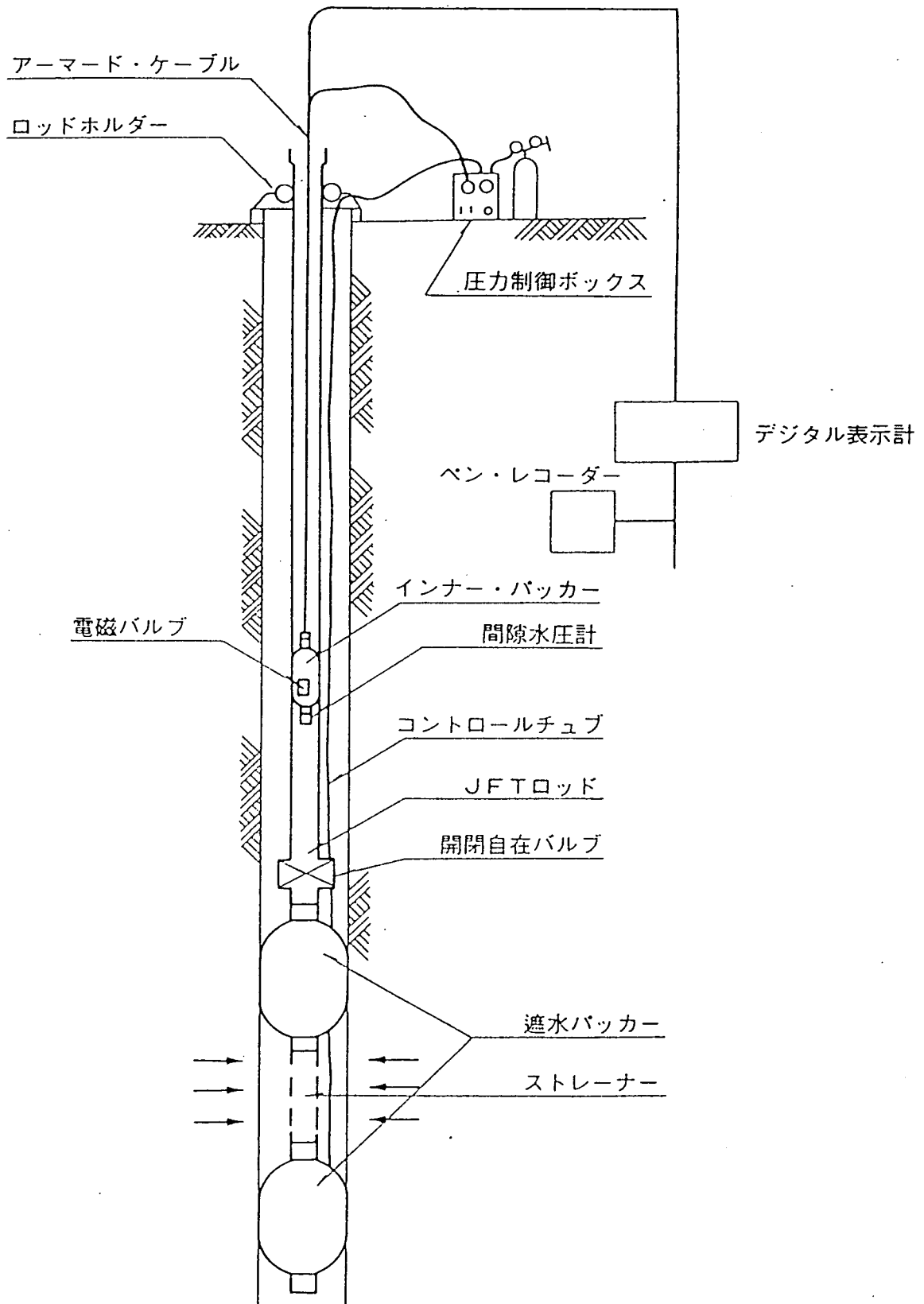


図 1 - 1 低水圧制御水理試験機概念図

4 測定結果

表 1 - 1 に解析結果を示す。

表 1 - 1 解析結果一覧表

No.	測定深度 GL-m	間隙水圧 GL-m	透水係数 cm/sec
1-1	38.00 ~ 40.60	17.40	1.6×10^{-7}
1-2	50.35 ~ 52.95	17.68	2.4×10^{-7}
1-3	57.85 ~ 60.45	17.57	7.7×10^{-5}
1-4	77.70 ~ 80.30	17.54	3.4×10^{-6}
1-5	88.50 ~ 91.10	17.62	3.6×10^{-6}
1-6	101.45 ~ 104.05	17.65	4.5×10^{-8}
1-8	159.25 ~ 161.85	20.31	2.3×10^{-7}
3-1	77.70 ~ 80.30	15.92	2.5×10^{-5}
3-2	137.00 ~ 139.60	15.83	5.8×10^{-6}
3-3	153.70 ~ 158.30	15.89	4.1×10^{-4}
3-4	172.70 ~ 175.30	15.09	1.7×10^{-8}
3-5	229.70 ~ 232.30	15.90	9.1×10^{-7}

第二編 考察

1 これまでの経過と問題点

動燃式 J F T は 62 年に試作一号が完成し、A N - 1 号孔において計 13 点の現場測定を行なっている。その後現在使用している試験機を製作し 63 年に A N - 1 と A N - 3 においてそれぞれ測定を行なった。その結果 A N - 1 号孔の測定結果が 62 年と 63 年で大きく異なった点があることが明かとなった。

その原因が測定上のエラーによるものか、試験機の誤差によるものか、あるいはボアホールの変化によるものかを解明するため、平成元年に計 12 点の再測定を行なった。

本編ではこの問題に関して考察する。

2 条件の整理

2-1 ボアホールについて

A N - 1 と A N - 3 は水平距離で約 40m はなれているが地層はいずれも花崗岩であり、際立った差はない。掘削深度は A N - 1 が約 1000m, A N - 3 が 500m で異なる。掘削孔径はいずれも $\phi 99$ mm である。また両孔とも孔内水が黒褐色の物質により汚染されていたことは特筆すべきことである。この物質は鉄、マンガン等で成っており、ボーリングロッドが直接の成因と見られている。63 年に行なった B T V 検層の結果、汚染深度はそれぞれ A N - 1 が 400m, A N - 3 が 250m までと報告されている。

2-2 地層の詳細

ここで対象とする地層は G L - 300 m までの花崗岩であるが、特筆すべき事項は見当たらない。ただし A N - 1 と A N - 3 を比べると、R Q D が A N - 3 は全体に悪いのに対し A N - 1 では層状に悪いところが見られる。したがって割れ目の連続性に関しては A N - 3 の方が良いと考えられる。

しかし中性子検層の間隙率測定結果では A N - 1 が 10% 程度の値をとるのに対し、A N - 3 は数% であり R Q D と必ずしも一致しない。

2-3 測定深度の決定に関して

1) AN-1、62年測定分

流向流速検層の深度決定を目的として行なっており、透水性の良いところを主に選んでいる。測定深度設定の資料の一つであるBTVが、他の検層と比べ深度上のずれがあったために同一層を目標としながら2深度に分けて測定したところがある。

2) AN-1、63年度分

割れ目の形態と透水係数の関係という観点から深度を選定しており、透水性の良いところだけを選んだものではない。割れ目の集中した、即ち透水性が良いと考えられる深度は以下の通りである。

77.6~80.2m,	145.4~148.0m,	217.9~220.5m,
221.6~224.2m,	253.2~255.8m,	265.2~267.8m
268.7~271.3m,	292.1~294.7m,	302.4~305.0m

3) AN-3、63年度分

基本的に次の2点を除き透水性の良い割れ目帯だけを選んだ。

66.7~69.3m,	73.3~75.9m,
-------------	-------------

4) AN-1、平成元年度分

62年度測定時に 10^{-4} cm/sオーダーとなった深度を6点選定した。また63年度のデータチェックのため2点を選定した。GL-77.6~80.3mの深度は62年、63年、及び元年度の3回にわたり測定している。

5) AN-3、平成元年度分

測定器の精度検定を目標として透水係数 10^{-4} ~ 10^{-8} cm/sの間で各オーダーの深度を一点ずつ選んで測定した。

2-4 測定器の問題

62年度を境にして使用した測定器は異なっている。62年は測定理論を検証するための試作型であったが、それ以後は実用モデルを使用した。最大の違いはロッド径であり62年は $\phi 50$ mm、以後は32mmである。

また62年には測定途中でバッカーを破損し、標準の短いバッカーにきりかえている。このショートバッカーに切り替えてからのデータが全て 10^{-4} cm/s以上となっているのは興味深い。

2-5 測定結果の再整理

今までにAN-1、AN-3、合せて69点の測定を行なっているが、ここで測定結果の一欄を表2-1に示す。

表2-1 (1) AN-1号孔測定結果

No.	深度 GL-m	62年度		63年度		元年度	
		k	p	k	p	k	p
1	25.2 ~ 27.8			3.1×10^{-8}	17.00		
2	38.0 ~ 40.6	4.0×10^{-4}	17.25			1.6×10^{-7}	17.40
3	44.7 ~ 47.0	7.7×10^{-9}	20.48				
4	50.4 ~ 53.0	1.6×10^{-7}	15.47			2.4×10^{-7}	17.68
5	52.4 ~ 54.7	5.3×10^{-8}	16.72				
6	57.9 ~ 60.5	2.5×10^{-5}	17.35			7.7×10^{-5}	17.57
7	60.5 ~ 62.8	3.9×10^{-4}	17.20				
8	68.9 ~ 71.2	7.9×10^{-8}	16.41				
9	77.6 ~ 80.3	3.9×10^{-4}	17.29	4.3×10^{-6}	15.25	3.4×10^{-6}	17.54
10	80.8 ~ 83.1	3.1×10^{-4}	16.73				
11	88.5 ~ 91.1			1.2×10^{-6}	15.08	3.6×10^{-6}	17.62
12	101.5 ~ 104.1	3.3×10^{-4}	17.10			4.5×10^{-8}	17.65
13	110.2 ~ 112.8			9.3×10^{-9}	16.83		
14	120.6 ~ 122.9	3.2×10^{-4}	17.10				
15	138.2 ~ 140.8			1.6×10^{-4} ₈	17.61		
16	145.4 ~ 148.0			1.1×10^{-4} ₇	17.72		
17	159.3 ~ 161.9	1.3×10^{-4}	17.24			2.3×10^{-7}	20.31
18	162.9 ~ 165.2	1.5×10^{-4}	17.30				
19	173.4 ~ 176.0			1.3×10^{-7}	18.05		
20	178.7 ~ 181.3			8.1×10^{-8}	17.33		
21	187.7 ~ 190.3			1.0×10^{-9}	16.4		
22	204.7 ~ 207.3			9.5×10^{-8}	17.96		
23	217.9 ~ 220.5			8.0×10^{-7}	18.16		
24	221.6 ~ 224.2			1.8×10^{-6}	18.03		
25	229.2 ~ 231.8			3.3×10^{-10}	15.87		
26	243.7 ~ 246.3			1.3×10^{-8}	16.98		
27	253.2 ~ 255.8			4.9×10^{-7}	17.45		
28	265.2 ~ 267.8			2.1×10^{-4}	17.89		
29	268.7 ~ 271.3			2.0×10^{-6}	17.98		
30	278.7 ~ 281.3			9.3×10^{-8}	17.86		
31	292.1 ~ 294.7			3.4×10^{-6}	17.98		
32	302.4 ~ 305.0			6.3×10^{-6}	18.00		

k = 透水係数 cm/s

p = 間隙水圧 GL-m

表 2 - 1 (2) A N - 3 号孔測定結果

No	深度 GL - m	63年度		元年度	
		k	p	k	p
1	45.7 ~ 48.3	1.6×10^{-5}	13.74		
2	49.4 ~ 52.0	4.3×10^{-8}	15.19		
3	59.7 ~ 62.3	6.0×10^{-7}	15.23		
4	66.7 ~ 69.3	5.7×10^{-8}	15.15		
5	73.3 ~ 75.9	6.8×10^{-5}	15.07		
6	77.7 ~ 80.3	3.7×10^{-5}	15.33	2.5×10^{-5}	15.92
7	82.1 ~ 84.7	6.6×10^{-5}	15.14		
8	86.7 ~ 89.3	1.8×10^{-6}	15.18		
9	104.7 ~ 107.3	9.2×10^{-8}	15.20		
10	115.2 ~ 117.8	9.5×10^{-5}	15.28		
11	137.0 ~ 139.6	4.7×10^{-6}	15.28	5.8×10^{-6}	15.83
12	150.2 ~ 152.8	1.1×10^{-4}	15.31		
13	153.7 ~ 156.3	4.6×10^{-4}	15.25	4.1×10^{-4}	15.89
14	160.7 ~ 163.3	3.8×10^{-5}	15.26		
15	172.7 ~ 175.3	6.8×10^{-8}	15.27	1.7×10^{-8}	15.09
16	214.7 ~ 217.3	4.5×10^{-7}	15.17		
17	229.7 ~ 232.3	4.9×10^{-7}	15.12	9.1×10^{-7}	15.90
18	233.7 ~ 236.3	1.4×10^{-7}	15.26		
19	243.7 ~ 246.3	2.3×10^{-4}	15.17		
20	250.2 ~ 252.8	2.0×10^{-8}	15.38		
21	282.7 ~ 285.3	7.5×10^{-8}	15.33		
22	288.7 ~ 291.3	1.4×10^{-4}	15.35		
23	293.7 ~ 296.3	1.0×10^{-4}	15.19		
24	302.7 ~ 305.3	5.0×10^{-4}	15.49		

k = 透水係数 cm/s

p = 間隙水圧 GL-m

3 測定器の誤差に関する検討。

測定器の誤差または精度とは、本来測定対象物に対する絶対的な差を評価するものであるが、現場透水試験機の場合対象となる真の透水係数を設定することが困難であるため、ここで言う誤差とは繰り返し再現性に関する誤差を示す。現場実験による誤差検定は巻末資料に記したように良い再現性を示し、ここで問題とするほどの誤差は発生し得ない。

従って次にある種のトラブルを想定して考察を行なう。透水試験の精度を支配する要素は大きく3つに分けられる。

- ① 水圧、水量等の測定精度
- ② 遮断または遮水性能
- ③ 地層の問題

このうち①②は測定器の問題であるが③は試験孔の掘削技術を含み別問題である。

①に関しては動燃式JFTの場合ヒズミゲージ式の水圧計を使用して水位を測定しており、透水係数測定上は都合が良い。つまり変水位透水試験では水位変動を無次元対数化して用いるので、校正係数が狂ったとしても解析勾配上に違いが表われない。

またパルス法の場合はバッカーの弾性が移動水量として大きく関与するが、ここでは通常法を対象としており、従って装置を変えても（試作と実用のモデルの違い）それ自体は誤差要因にならない。

②についてはロッドとバッカーの2点が問題となる。ロッドのリークはパルス法の場合にはかなりデリケートであるが、 10^{-4} cm/sオーダーの通常法では、誤差要因としては除外して良いと考えられる。

バッカーに関しては「2-4 測定器の問題」の所で記したようにバッカー長と測定結果の因果関係が認められる。この点に関しては次のように考える。

有効遮水長はそれぞれ120cmと70cm程度で、確かに遮水性能は低下するであろうが、過去の常識では8点全てがバッカーでリークするとは考えられない。

62年の測定中にこの点に関しては1度チェックしている。破損したのは上部バッカーであるのでボーリング孔にGLまで注水し、ロッド内の水位を測定した。この時のデータは消失しており客観性のある数値と

して示すことはできないが、注水後暫くしてから僅かに水位が動いた程度でリークは無いと判断している。(注水によって水位が多少上がるのは水力学的に当然でありパッカーリークとは直接結付かない。)

以上今回問題となっている測定値の違いが機械的誤差によるものかどうか検討したが、その可能性は低いと考えられる

4 目詰まりに関する検討

測定上のエラーが無ければ残るは地層側の問題である。つまり岩盤が何らかの原因により変化し、透水係数が低下した場合である。これについては前記したように汚染されていた報告もあり、その可能性は高い。

考察に当たり次の条件を仮定する。

- ・ 透水係数は岩盤の割れ目によって支配される。
- ・ 割れ目は一本とする。
- ・ 透水係数は割れ目の厚さによって決まる。

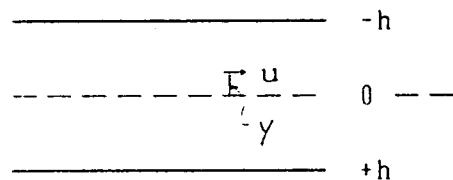
割れ目における地下水の流れはストークスの式により表わすことができるが、そのうち平行平板流は平面ポアソユ流とよばれ、ダルシー則が成立する。以下に割れ目が目詰まりした場合の、透水係数の低下について考察する。

< 平行平板流 >

右の図において y における

流速 u は

$$U = \frac{\alpha}{2\eta} (h^2 - y^2) \dots 2-1$$



全流量 Q は u を ± h で積分すれば良く、平均流速 v は Q を割れ目の断面積 A = 2 h で割ることにより得られる。

即ち

$$Q = 2 \int_0^h u \, dy = \frac{2\alpha}{3\eta} h^3 \dots 2-2$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{2h} = \frac{\alpha}{3\eta} h^2 \dots 2-3$$

α は圧力勾配と呼ばれるがこれを単位動水勾配 i に置き換えれば V は透水係数 k と同じとなる。

ここで

$$\alpha = \frac{\rho wgh}{L} = 980 \text{ g/cm}^2\text{s}^2 \quad \dots 2-4$$

$$\eta = 1.0 \times 10^{-2} \text{ g/cms}$$

$$\therefore v = k = 3.3 \times 10^4 \cdot h^2 \text{ cm/s} \quad \dots 2-5$$

< 透水係数と割れ目幅 >

割れ目の透水係数を考える場合には、平面の2次元流と見なせるので条件的に3次元流を考慮した Hvorslev の式より、2次元流を仮定した次の Bouwer & Rice の式の方がより妥当と考える。

$$k = \frac{r^2 \ln(R/r_0)}{2L} \cdot \frac{1}{t_2 - t_1} \ln(h_1/h_2) \quad \dots 2-6$$

k ... 割れ目の透水係数 cm/s

L ... ストレーナ長、即ち割れ目幅 cm

r ... ロッド半径 cm

R ... 影響円半径 cm

r_0 ... 井戸半径 cm

ここで条件として

$$r = 1.6 \text{ cm}$$

$$R = 5000 \text{ cm}$$

$$r_0 = 5 \text{ cm}$$

の数値を用い、また L 自体が k の関数であるから、

$$k = (6.45 \times 10^5 \times N^5)^{1/3} \quad \dots 2-7$$

$$N = \frac{\ln(h_1 - h_2)}{t_2 - t_1} \quad \dots 2-8$$

となる。

2-5 式及び 2-7 式より測定結果を再整理すると次表となる。

表 2 - 2 割れ目の幅と透水係数

NO	深度 GL-m	元の透水係数	真の透水係数	幅 mm
1	38.0 ~ 40.3	4.0×10^{-4}	6.5×10^{-6}	0.14
2	60.5 ~ 62.8	3.9×10^{-4}	6.4×10^{-6}	0.14
3	77.7 ~ 80.0	3.9×10^{-4}	6.4×10^{-6}	0.14
4	80.8 ~ 83.1	3.1×10^{-4}	5.5×10^{-6}	0.13
5	101.5 ~ 103.8	3.3×10^{-4}	5.7×10^{-6}	0.13
6	120.6 ~ 122.9	3.2×10^{-4}	5.6×10^{-6}	0.13
7	159.3 ~ 161.6	1.3×10^{-4}	3.1×10^{-6}	0.09
8	162.9 ~ 165.2	1.5×10^{-4}	3.4×10^{-6}	0.10

透水係数単位 cm/s

<目詰まりに関する検討>

式 2 - 5 に示した Bouwer & Rice の式は右の図のように Thiem の考えを非定常化したものである。

Thiem の式は

$$Q \frac{1}{r} dr = 2\pi Dk dh \quad \dots 2-9$$

で示される。

目詰まりの無い場合

$k=k_1$, $Q=Q_1$, $H=H_1$ の条件で 2-9

式を解くと

$$Q_1 = \frac{2\pi Dk_1 H_1}{\ln(R/r_0)} \quad \dots 2-10$$

これは Thiem の式そのものである。

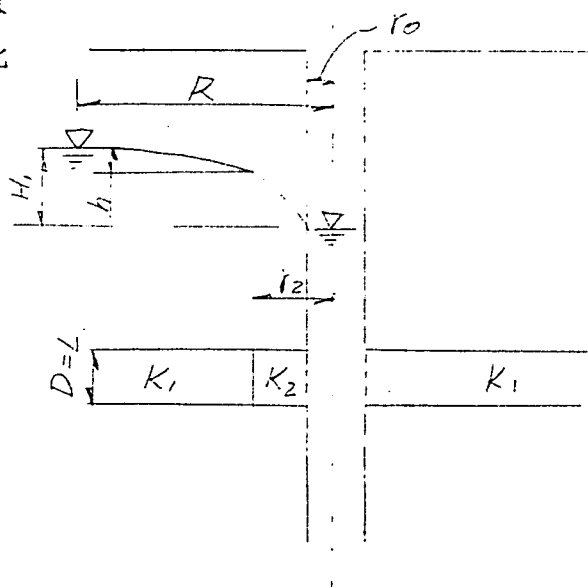
目詰まりをした場合次式となる。

$$Q_2 = \frac{2\pi Dk_2 (H_2 - h)}{\ln(r_2/r_0)} = \frac{2\pi Dk_1 h}{\ln(R/r_2)} \quad \dots 2-11$$

また目詰まりをしたのにこれを無視した場合は

$$Q_2 = \frac{2\pi Dk_3 H_2}{\ln(R/r_0)} \quad \dots 2-12$$

k_1 は 62 年に測定した値、 k_3 はその後に測定した値、 k_2 及び r_2 がここで



問題とする値である。

2-11式と2-12式より

$$k_2 = \frac{k_3}{\ln(R/r_0) \left(1 - \frac{k_3}{k_1} \cdot \frac{\ln(R/r_2)}{\ln(R/r_0)}\right)} \cdot \ln(r_2/r_0) \dots \dots 2-13$$

GL-38.0 ~ 40.6m を例に取り、 $K_1 = 6.5 \text{ cm/s}$, $r_0 = 5 \text{ cm}$, $R = 5000 \text{ cm}$. また k_3 は $1.6 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ を 2-7 式で変換した値 $3.5 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ を用いると次の表のようになる。

表 2-3 計算結果例

r_2 cm	透水係数 cm/s	換算割れ目幅 mm
5.1	1.0×10^{-4}	5.5×10^{-4}
5.2	2.0×10^{-4}	7.8×10^{-4}
5.5	4.9×10^{-4}	1.2×10^{-3}
6.0	9.3×10^{-4}	1.7×10^{-3}
7.0	1.7×10^{-3}	2.2×10^{-3}
8.0	2.4×10^{-3}	2.7×10^{-3}
9.0	3.0×10^{-3}	3.0×10^{-3}
10.0	3.5×10^{-3}	3.3×10^{-3}

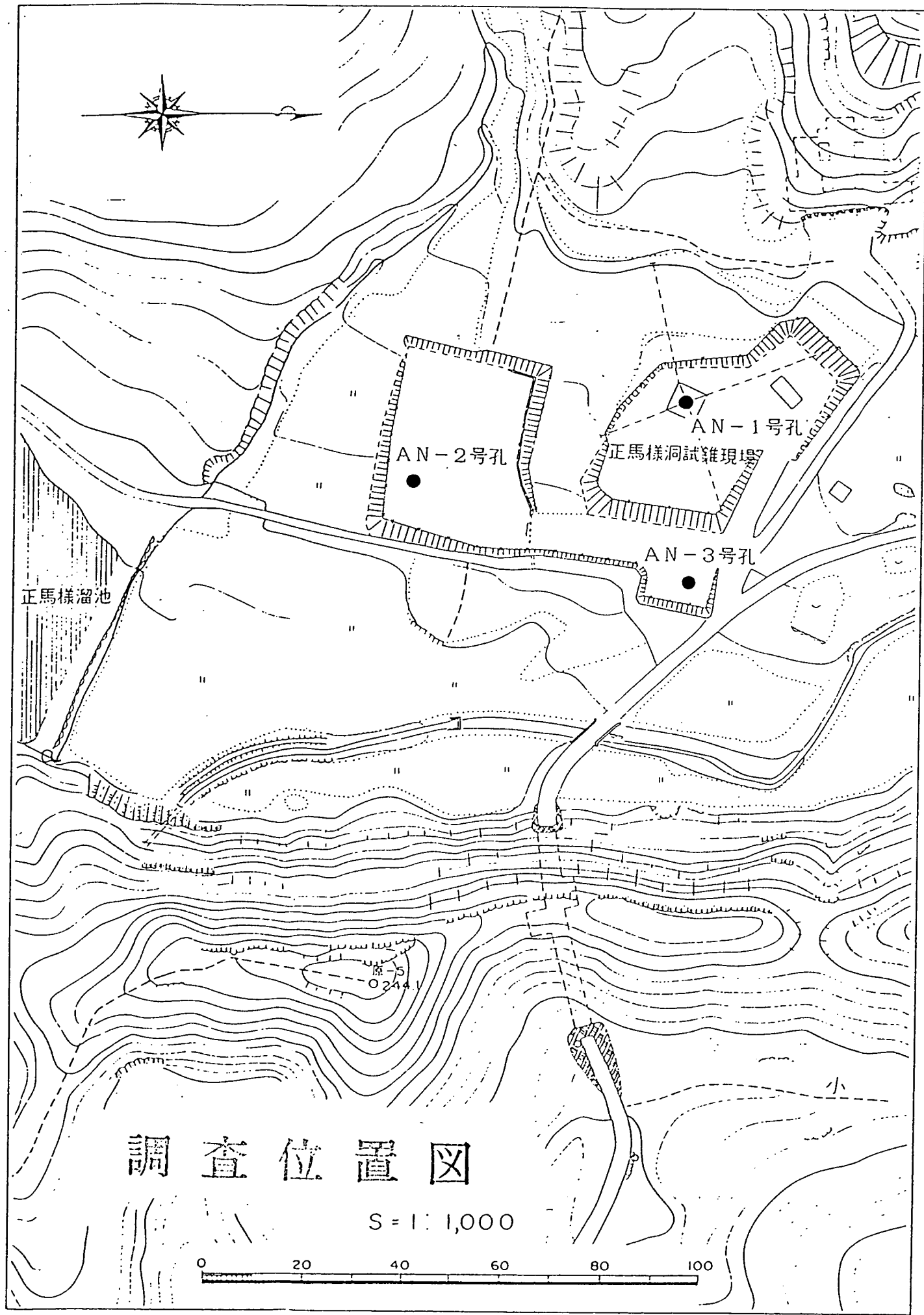
透水係数 $1.0 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ の汚れが 1mm 割れ目に付着すれば、今回のような事態が発生することになる。

5 まとめと今後の課題

AN-1号孔において測定された透水係数が、大幅に変化した原因としてはパッカーのリークと割れ目の目詰まりの2つが考えられたがパッカーのリークは可能性が低く目詰まりの可能性が高い。

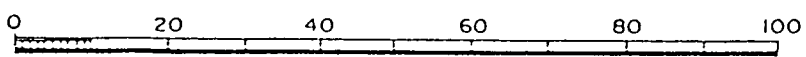
目詰まりに関しては試算したところ $1.0 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ の汚れが、わずか 1mm 付着すればよいことが分かった。しかしこの算定式は誘導過程においてかなり強引な仮定を設定しており、今後の課題としてはこの目詰まりに関するメカニズムを明らかにすることであろう。

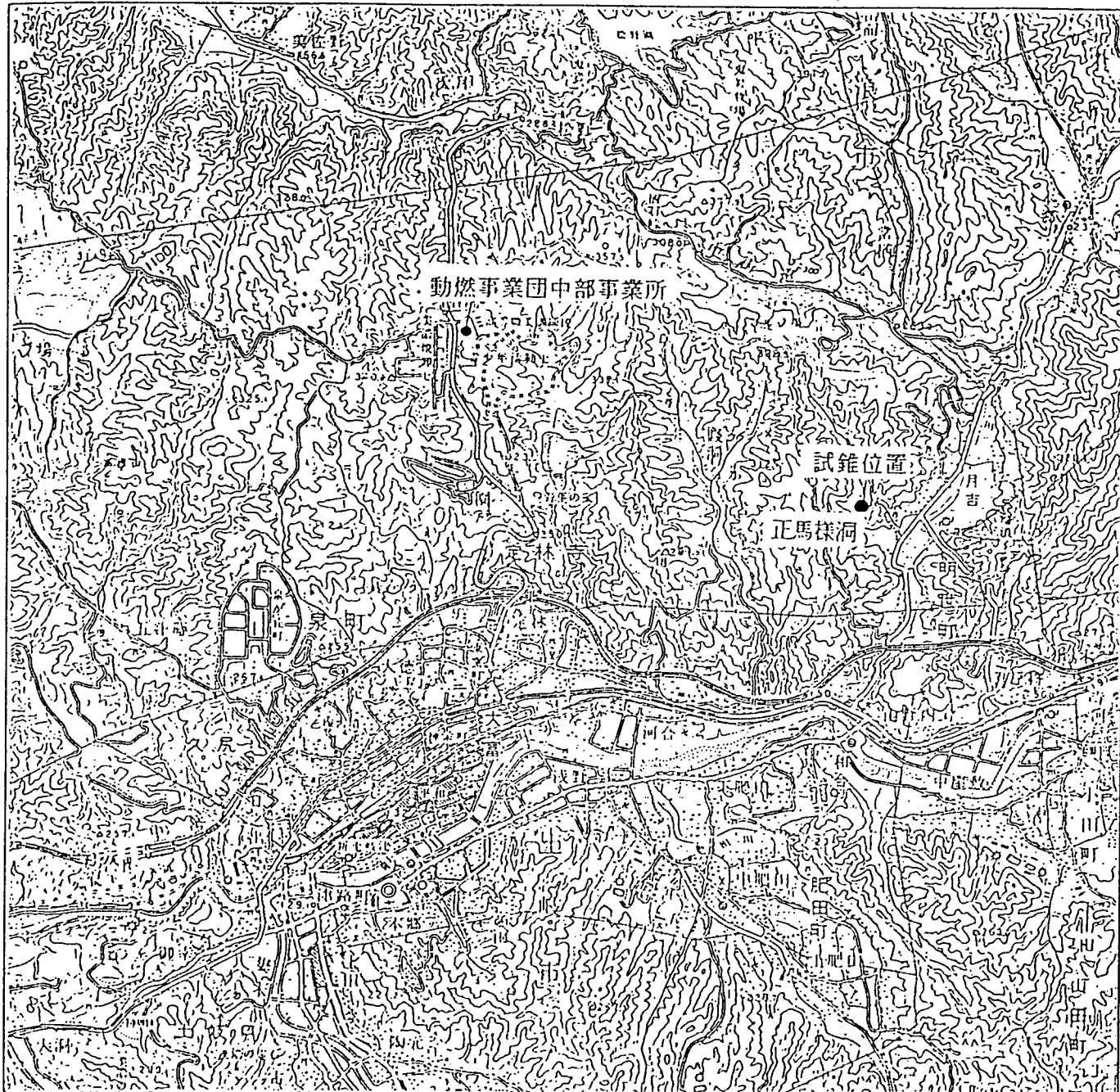
資 料



調査位置図

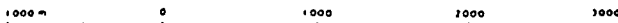
S = 1 : 1,000

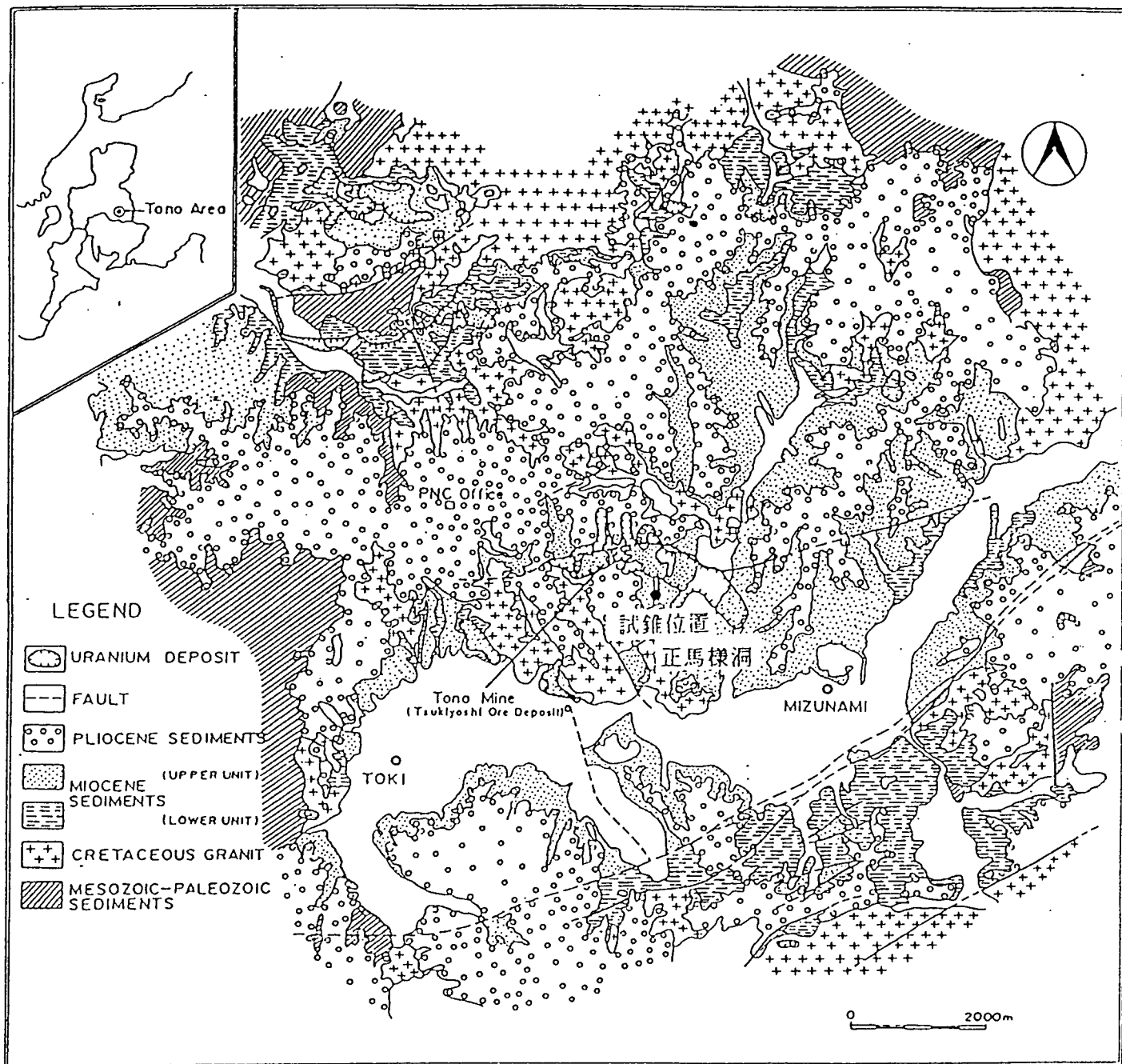











地形図

1:50,000

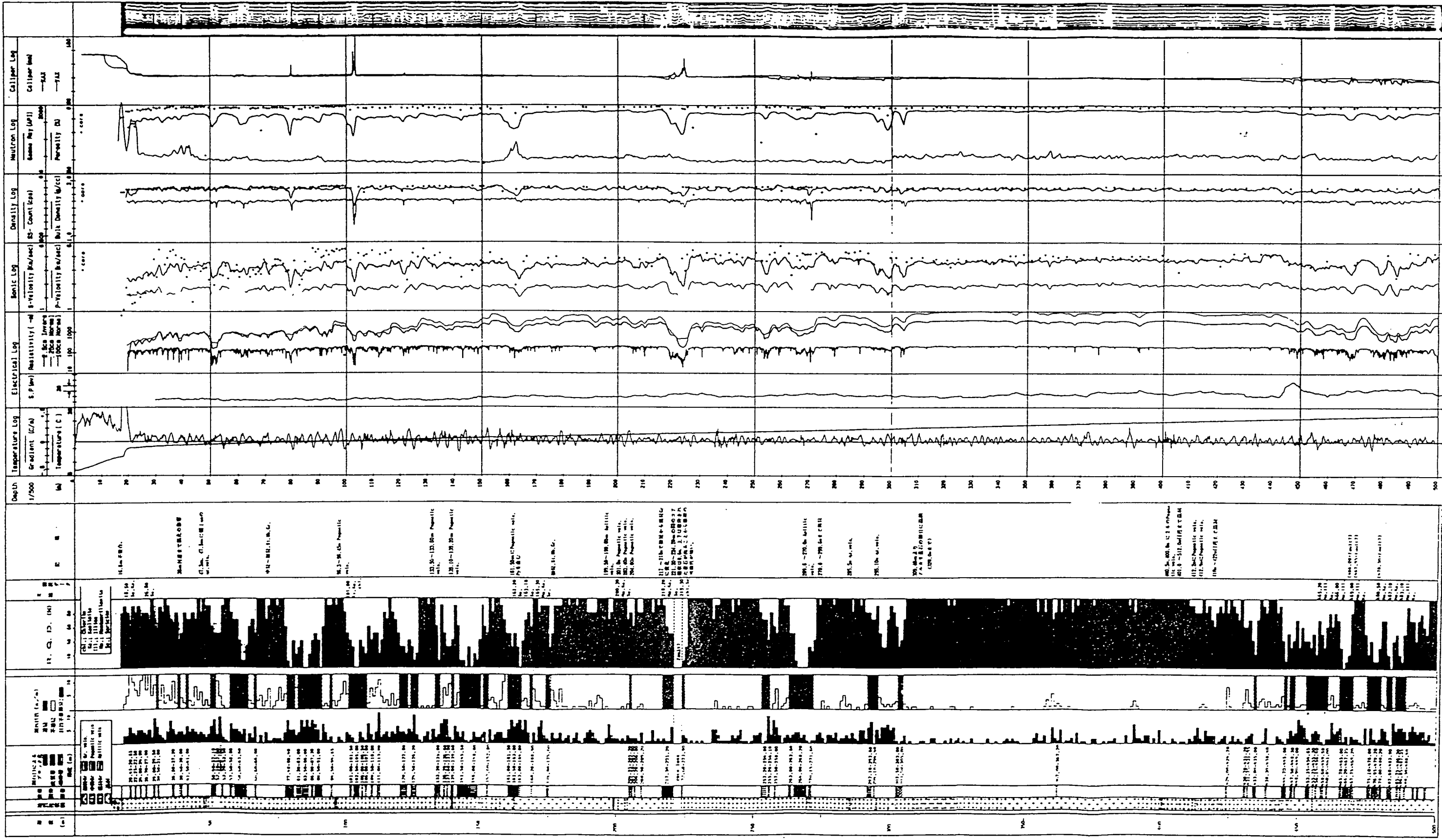




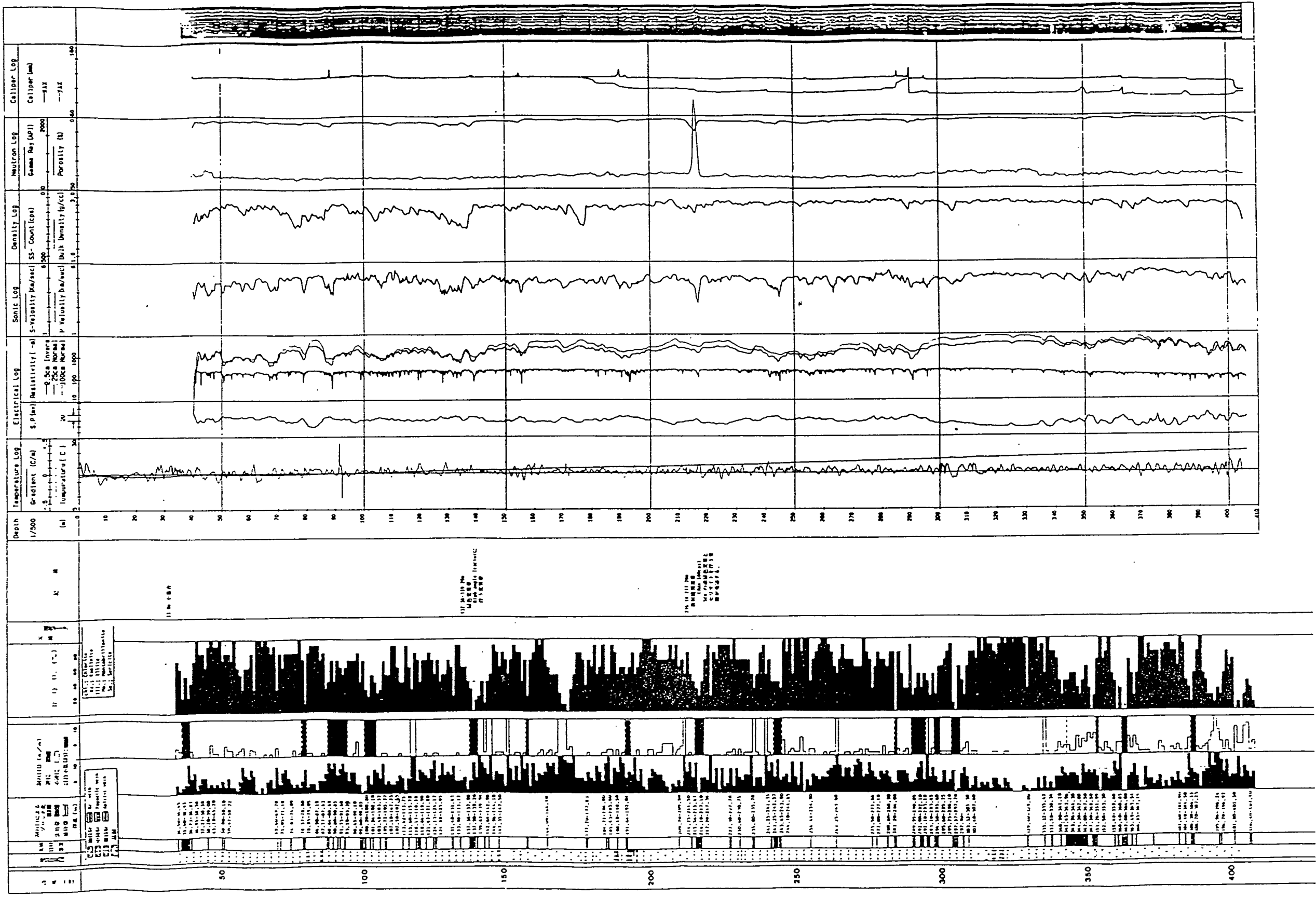
LEGEND

-  URANIUM DEPOSIT
-  FAULT
-  PLIOCENE SEDIMENTS
-  MIOCENE SEDIMENTS (UPPER UNIT)
-  MIOCENE SEDIMENTS (LOWER UNIT)
-  CRETACEOUS GRANIT
-  MESOZOIC-PALEOZOIC SEDIMENTS

地質図



AN-1号孔综合层柱状图

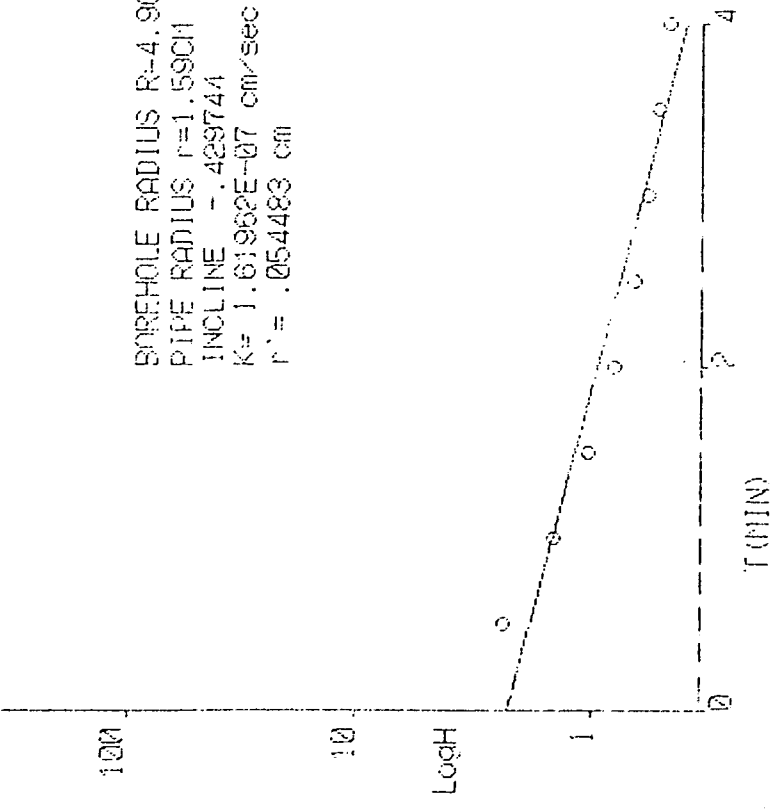


AN-3号孔総合検層柱状図

TEST NO AN-1-1 (P) DEPTH GL- 33 ~ 40.6 M NATURAL WATER LEVEL GL-17.4 M

BOREHOLE RADIUS R=4.9CM
 PIPE RADIUS r=1.59CM
 INCLINE = .429744
 K= 1.61962E-07 cm/sec
 r' = .054483 cm

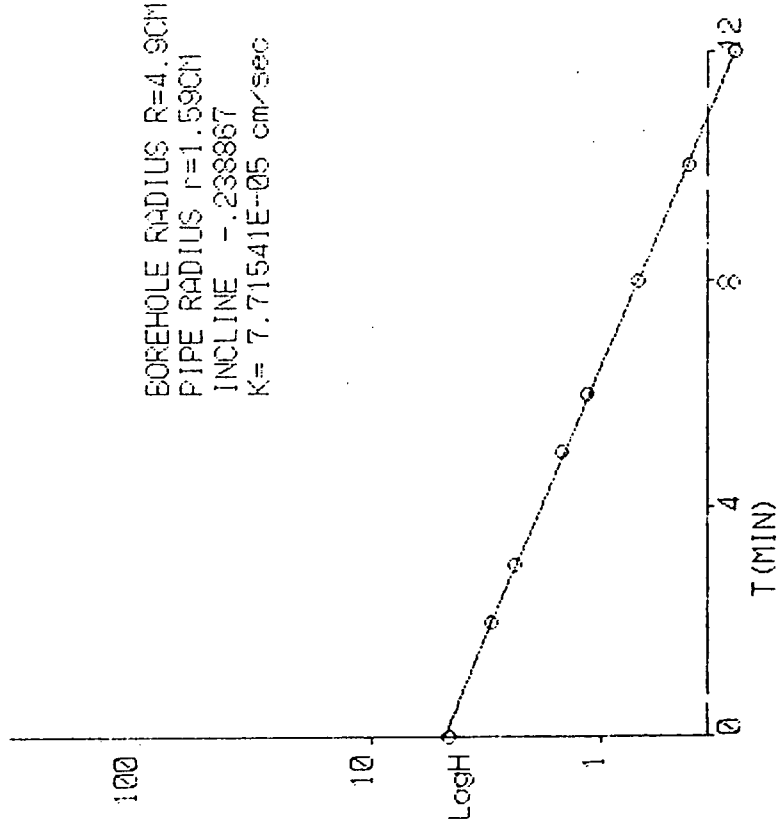
T (MIN)	H (GL-M)
0.50	15.04
1.00	15.95
1.50	16.35
2.00	16.59
2.50	16.73
3.00	16.80
3.50	16.87
4.00	16.92



TEST NO AN-1-3 DEPTH GL- 57.85 ~ 60.45 M NATURAL WATER LEVEL GL-17.57 M

BOREHOLE RADIUS R=4.9CM
 PIPE RADIUS r=1.59CM
 INCLINE = .238867
 K= 7.71541E-05 cm/sec

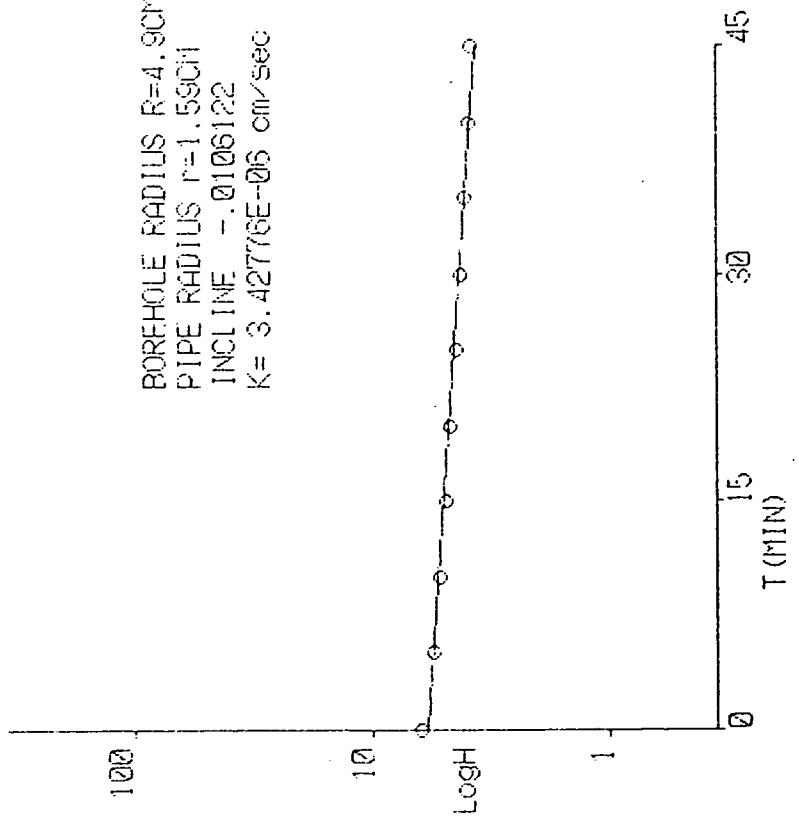
T (MIN)	H (GL-M)
0.00	22.16
2.00	20.55
3.00	19.94
5.00	19.06
6.00	18.72
8.00	18.27
10.00	18.00
12.00	17.84



TEST NO AN-1-4 DEPTH GL- 77.7 -- 80.3 M NATURAL WATER LEVEL 01-17.54 M

BOREHOLE RADIUS R=4.9CM
 PIPE RADIUS r=1.59CM
 INCLINE =.0106122
 K= 3.42776E-06 cm²/sec

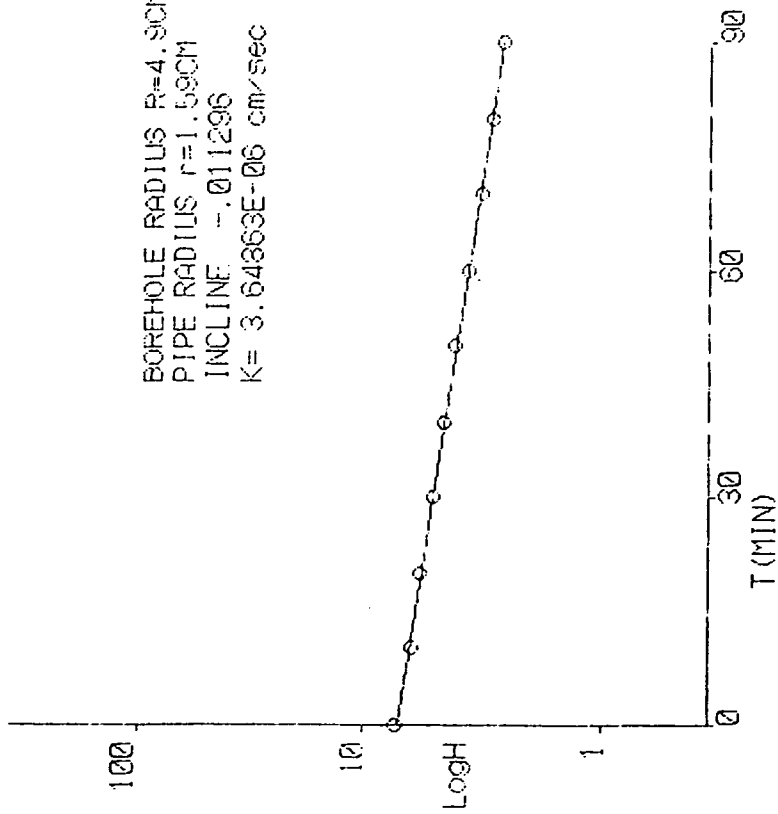
T (MIN)	H (GL-M)
0.00	23.80
5.00	23.09
10.00	22.75
15.00	22.45
20.00	22.20
25.00	21.96
30.00	21.78
35.00	21.62
40.00	21.45
45.00	21.30



TEST NO AN-1-5 DEPTH GL- 88.5 --- 91.1 M NATURAL WATER LEVEL GL-17.62 M

BOREHOLE RADIUS R=4.9CM
 PIPE RADIUS r=1.59CM
 INCLINE = .011296
 K= 3.64863E-06 CM/SEC

T (MIN)	H(GL-M)
0.00	24.94
10.00	24.07
20.00	23.48
30.00	22.76
40.00	22.28
50.00	21.79
60.00	21.33
70.00	20.92
80.00	20.56
90.00	20.26

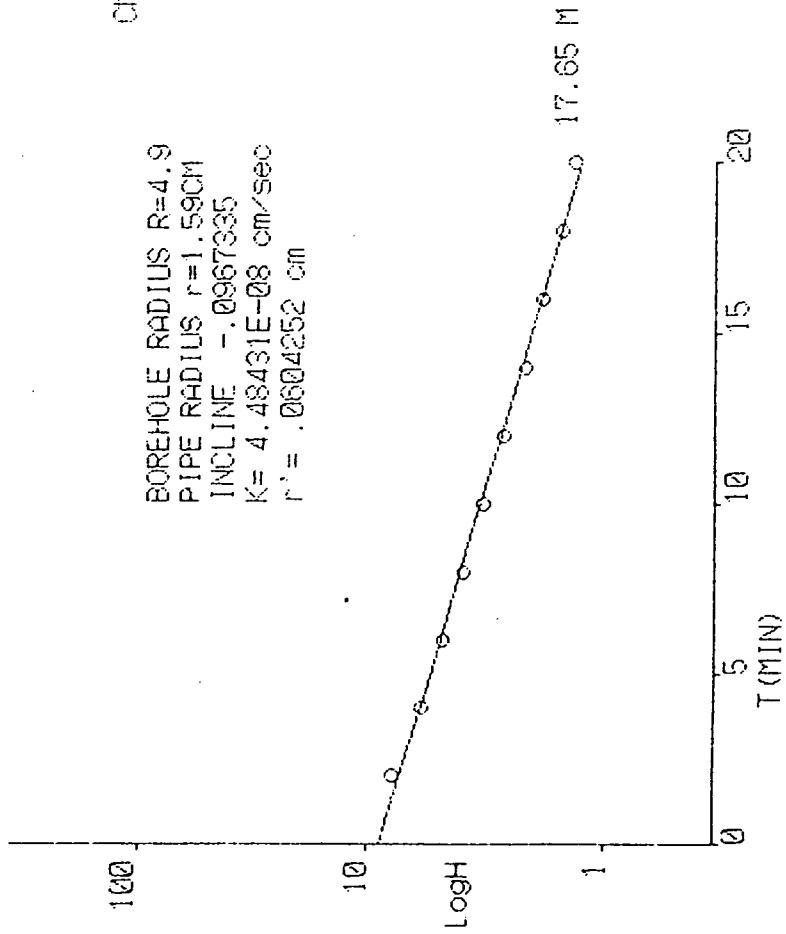


TEST NO AN-I-6(P) DEPTH GL- 101.45 ~ 101.05 NATURAL WATER LEVEL GL-117.65

T (MIN)	H (GL-M)
2.00	9.83
4.00	11.59
6.00	12.80
8.00	13.69
10.00	14.38
12.00	14.93
14.00	15.45
16.00	15.80
18.00	16.10
20.00	16.27

CM

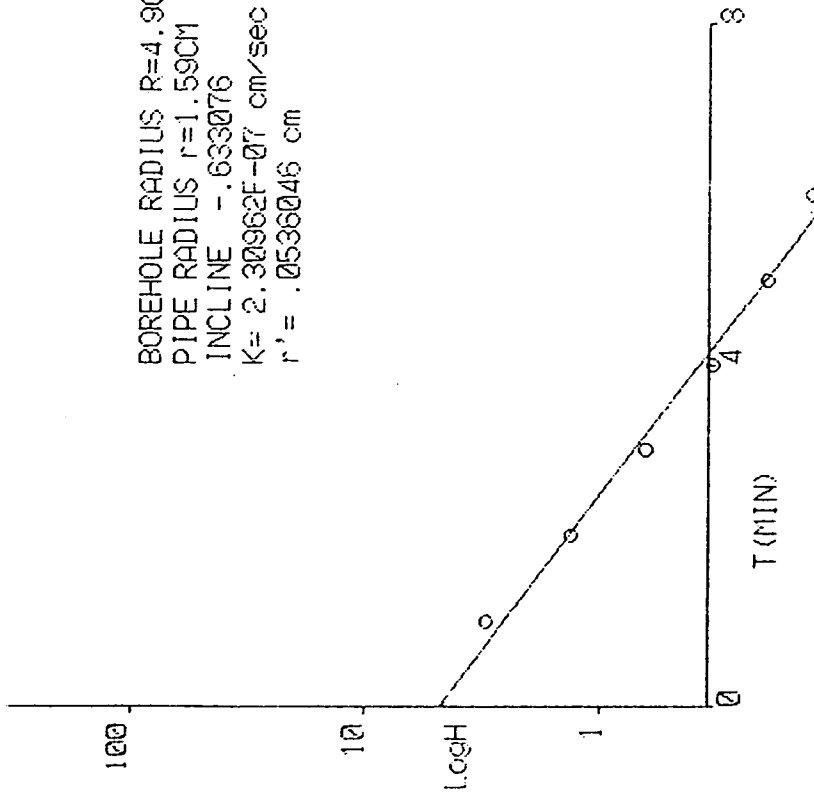
BOREHOLE RADIUS R=4.9
 PIPE RADIUS r=1.59CM
 INCLINE = .0967335
 K= 4.48431E-08 cm/sec
 r' = .0604252 cm



TEST NO AN-1-8 DEPTH GL- 159.25 ~ 161.85 M NATURAL WATER LEVEL GL-20.31 M

BOREHOLE RADIUS R=4.9CM
 PIPE RADIUS r=1.59CM
 INCLINE = .633076
 K= 2.38962E-07 cm/sec
 r' = .0536045 cm

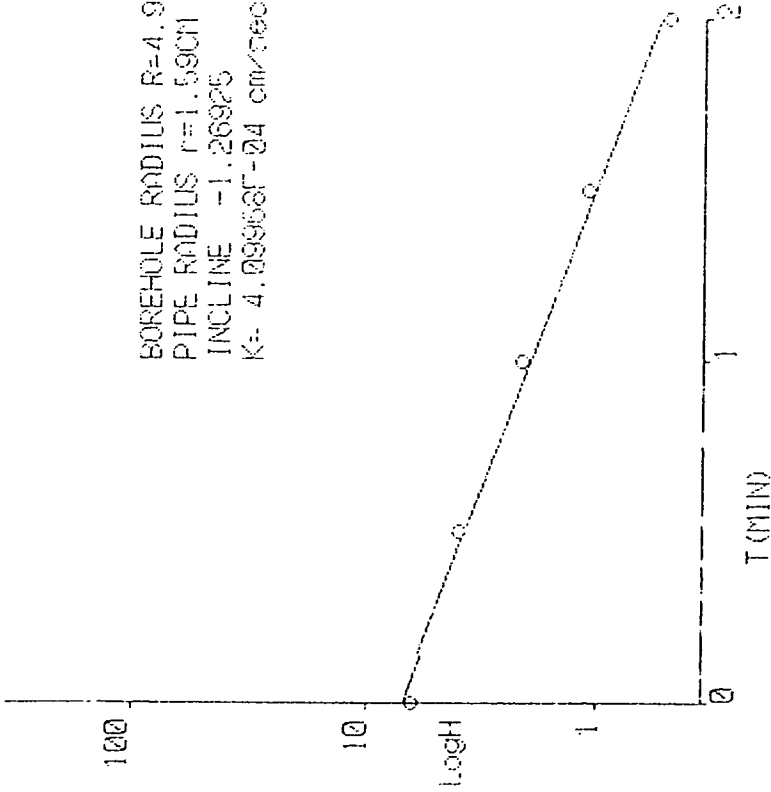
T(MIN)	H(GL-M)
1.00	17.23
2.00	18.98
3.00	19.66
4.00	19.97
5.00	20.11
6.00	20.18



TEST NO HN-3-3 DEPTH GL- 153.7 ~ 156.3 ft NATURAL WATER LEVEL GL-15.89 ft

BOREHOLE RADIUS R=4.9CH
PIPE RADIUS r=1.59CH
INCLINE -1.26925
K= 4.09958E-24 cm/sec

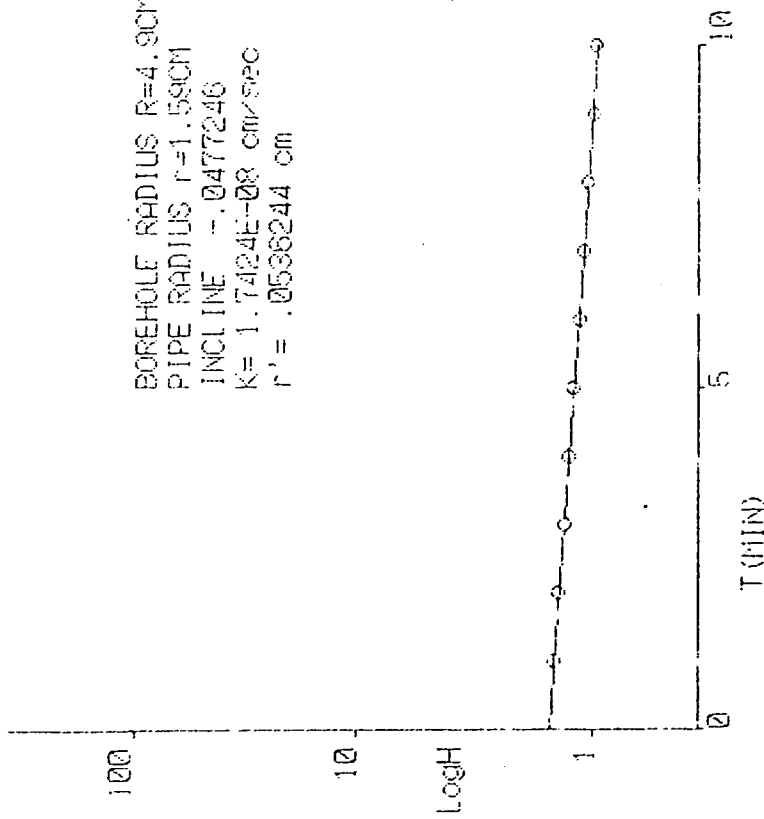
T(MIN)	H(GL-FT)
0.00	22.31
0.50	19.73
1.00	18.00
1.50	17.00
2.00	16.39



TEST NO AN-3-4 DEPTH GL- 172.7 ~ 175.3 M NATURAL WATER LEVEL GL-15.09 M

BOREHOLE RADIUS R=4.9CM
 PIPE RADIUS r=1.59CM
 INCLINE = .0477246
 K= 1.7424E-08 CM/SEC
 r' = .0536244 CM

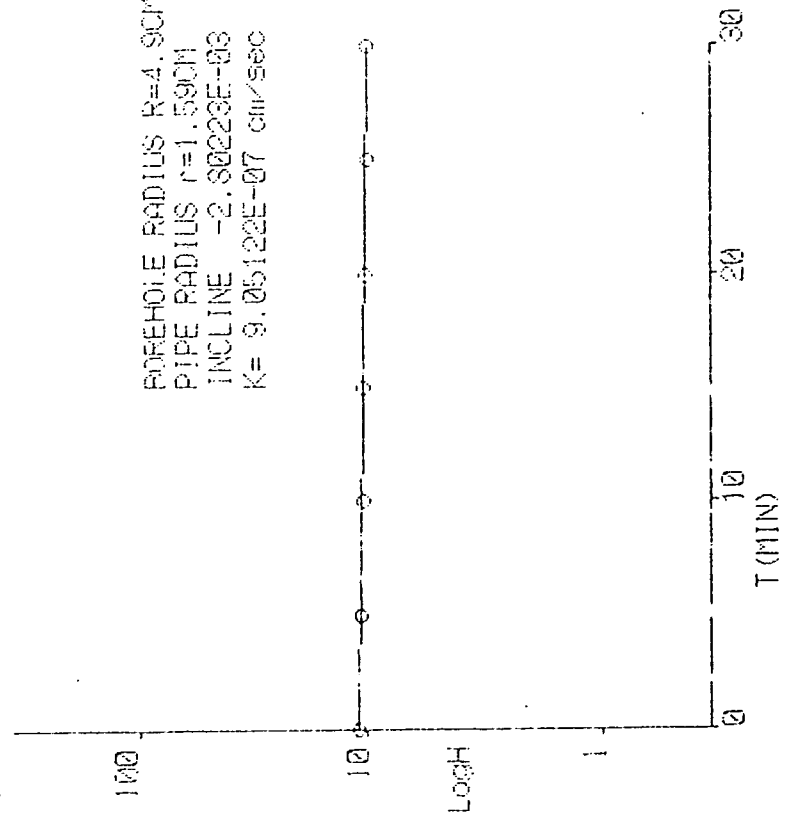
T (MIN)	H(GL-M)
1.00	13.61
2.00	13.67
3.00	13.74
4.00	13.81
5.00	13.87
6.00	13.93
7.00	13.98
8.00	14.03
9.00	14.08
10.00	14.12



TEST NO AN-3-5 DEPTH GL- 229.7 -- 232.9 ft NATURAL WATER LEVEL GL-15.9 ft

TIME	H (GL-M)
0.00	26.23
5.00	26.07
10.00	26.48
15.00	26.34
20.00	26.21
25.00	26.07
30.00	25.95

BOREHOLE RADIUS R=4.9CM
 PIPE RADIUS r=1.59CM
 INCLINE -2.8023E-03
 K= 9.05122E-07 cm/sec



動燃式 J F T による 透水係数測定に関する検討

大成基礎設計（株） 平田洋一

1 概要

動燃式 J F T は開発が終了し、実用機が現場において測定を開始しているが、その結果は極めて良好である。しかしいくつかの点で、現場で実験的に確かめておきたいことがあったが、今回その実験の機会に恵まれた。ここにその結果を報告する。

実験内容は

- ① 注入法と回復法による結果の違いについて
 - ② 繰り返し測定による測定値の変化
 - ③ パルス法と通常法との比較
 - ④ ポンプテストによる結果との比較
- の四点である。

なおこの実験は A N - 3 号孔において、昭和 6 3 年 1 0 月に行ったものである。

2 注入法と回復法について

理論的には両者はまったく同じにならないといけないのだが、一般的な経験によると注入法の方が小さくなるといわれている。その理由は目詰まりによるものであり、従って回復法の方が目詰まりがなく精度が良いといわれる。しかしこれは孔内水が目詰まりを発生させるほど汚れていることを示しており、正しい試験を行えば両者は一致しなければならない。

今回 N O 2 2 , 2 3 の 2 点で比較を行った。その結果それぞれ

N O 2 2 9 . 9 7 (注) ~ 8 . 9 4 (回) E X P - 5 cm/sec

N O 2 3 4 . 6 5 (注) ~ 3 . 9 9 (回) E X P - 4 cm/sec

となり、かなり良い一致を見ることができた。このことよりダブルバッカーを用いてボアホールの中で測定を行えば、孔内水は比較的きれいな状態を保つので、注入、回復のどちらを採用してもまったく問題ないことは明らかであろう。

3 繰り返し測定について

前記した注入、回復の問題もまさに繰り返し測定に他ならないが、それ以外にもパルス法による繰り返しを行っている。それらの結果の一覧表を次に示す。

表-1 繰り返し測定結果一覧

単位 cm/sec

NO	1回目	2回目	3回目
3	(回) 5.48 EXP-7	(P) 6.05 EXP-7	
6	(P) 1.25 EXP-6	(P) 1.47 EXP-7	(回) 1.84 EXP-6
17	(P) 8.25 EXP-8	(P) 9.16 EXP-8	
22	(注) 9.97 EXP-5	(回) 8.94 EXP-5	
23	(注) 4.65 EXP-4	(回) 3.99 EXP-4	

(回)・・・回復法

(注)・・・注入法

(P)・・・パルス法

を示す。

NO6を除いて良い一致をしており、測定に関する精度は満足しているといえる。繰り返しに関しては本質的には地層側の性質変化が問題となり、その具体的要因は測定時の水圧変化、または水の移動に伴う土粒子の移動といわれている。

この点からいえば測定時の差圧力は小さい方が良いのだが、圧力等の測定精度上ある程度の差圧はどうしても必要となる。今回最大で約 1 kg/cm^2 の差圧を発生させているが、結果に差がないことからみて、少なくともこの地層に関しては 1 kg/cm^2 の差圧で地層が変質することはないようである。

次にNO6について考える。

NO6ではパルス法が1つだけ1オーダー小さくなっているが、他の2回、回復法とパルス法はほぼ一致している。この時の測定順は次のようにして行った。

パルス-----パルス(異常データ)-----回復

本測定器はパルス法を行う際、地上から空気圧によりパルス圧を発生させているが、2回目のパルス試験の時この空気が測定閉鎖空間部分に流入したのではないかと見られる。そうすると空気は圧縮流体なので、パルス法の試験では透水係数は小さく試算される。

この心配はパルス法を行う際、常につきまとうことであるが、本装置にはいま

のところこれをチェックする機能はなく、ある程度経験的な感にたよるところがある。しかしこれも1回だけの試験であればほとんど問題ない。

4 パルス法と通常法との比較

この比較は透水係数がEXP-6~7 cm/sec程度の間でのみ行えることである。今回NO3, 6において比較を行った。その結果は次にしめす。

NO3 5.48 (回) ~ 6.05 (バ) × EXP-7 cm/sec

NO6 1.84 (回) ~ 1.25 (バ) × EXP-6 cm/sec

これに関してもかなり良い一致をみており、即ちパルス法における補正の正当性を示すものである。

5 ポンプテストとの比較

ここでポンプテストとはいわゆる揚水試験のことであるが、本システムでは揚水は不可能であり、注水による負の揚水試験として考える。また定量注水を特にしたわけでもなく、理論的にはかなりあいまいな点もあるが、全体的にはそれなりの妥当性があると考えた。

< 試験方法 >

- ・実験はNO17地点を用いた。ここにおけるパルス法の透水係数は 8.72 ± 0.44 EXP-8 cm/secである。
- ・注水はパイプ内に初めに10mの水を投入し放置する。このときの水位低下速度は透水係数が小さいのでかなり遅い。
- ・実際の測定では放置時間(揚水時間)200分間とし、このときの水位変化量は60cmであった。これより揚水量 q は $q = 0.04$ cc/secとなる。
- ・これは水圧の相対変化量としてはわずか6%(10mの水位に対して0.6m)であり、一定水位、一定流量の疑似揚水試験状態が近似的に成立する。
- ・上記放置後インナーパッカーを拡張すると揚水停止後の水位回復と同じ条件となり、Theisの非平衡論の摘要が可能となる。

<解析結果>

巻末図より J a c o b の方法を用いて解析する。

$$k = q \cdot \ln(t/t') \cdot l / (4 \pi s L)$$

$$q = 0.04 \text{ cc/sec}$$

$$L = 260 \text{ cm}$$

グラフより

$$t/t' = 10$$

$$s = 800 \text{ cm}$$

$$k = 3.52 \text{ EXP} - 8 \text{ cm/sec}$$

となった。

<結論>

パルス法と比較すると2.5倍の差が発生しており、他の比較と比べると著しく大きな差であるが、水理試験の一般論からいえば、それほどの差とも思えない。

理論的に言っても H v o r s l e v の式は不完全井を対象にするのに対し、T h e i s の式は完全井を対象とするが、地層条件は H v o r s l e v の式の方がマッチする。ストレーナ長が十分に長くなると水平流が卓越してくるので、T h e i s の理論が成立するが、現今では被圧不完全井における非平衡論は完成しておらず、むしろ T h e i s の方法をここに当てはめるのが無理なように思える。なおこの問題は C o o p e r らの理論においても同様である。

<もう1つの問題>

今回の実験は水圧が本来の状態ではなく、乱れた状態から試験を開始した場合と考えることもできる。測定結果を H v o r s l e v の方法で解析すると

$$k = 2.45 \text{ EXP} - 8 \text{ cm/sec}$$

となりやはり大きな誤差が発生している。

従って測定に際しては必ず初めに間隙水圧を測定し、水圧の安定を待ってから透水試験を行う必要性がここで確認された。

6 まとめと今後の課題

従来理論はともかくとして、実際の測定上いろいろと問題があるといわれた現場透水試験であったが、今回の実験結果により次のことが明らかになった。

- ・ 注入法と回復法に関しては、理論通りでどちらを採用しても問題ない。
- ・ バルス法の精度は通常法とほぼ同じ精度で測定が可能である。
- ・ 動燃式 J F T は高い安定性を有し個々の測定結果は十分に信頼できる。
- ・ 岩盤のような完全井の設置が難しい地層では、非平衡論を主体とするポンプテストとの比較は難しく、今後の重要な課題と考える。

しかし今回の結論は限られた数少ないデータをもとにしており、一般性をもたすためには数多いデータを積み重ねる必要がある。

以上



