

PNC ^T~~J~~ 7409 97-003

5

~~限定資料~~

図書室

本資料は1999年 3 月 / 日付けで登録区分
変更する。

研究調整 Gr【管理担当箇所名】

試錐調査による表層の水理地質構造の把握(その1)

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1997年3月

株式会社 ペ ス コ

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

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), 1997

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

~~本資料についての問い合わせは下記に願います。~~

~~〒509-51 岐阜県土岐市泉町定林寺園戸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~~

試錐調査による表層の水理地質構造の把握（その1）

久田 司*・三輪 章**・平川 清純**

要 旨



本報告書は、動力炉・核燃料開発事業団 東濃地科学センターが実施している広域地下水流動調査の一環として、東濃地域における表層地質の分布や構造および表層部における地下水の賦存状態を明らかにすることを目的とし、瑞浪市釜戸町エスポラン地区および日吉町常柄地区において地表踏査、試錐掘削、電気検層および簡易揚水試験を実施し、これらの地区の表層の水理地質構造を調査した成果報告書である。

釜戸町エスポラン地区では濃飛流紋岩類の表層風化部を帯水層として地下水が賦存し、日吉町常柄地区では瑞浪層群明世累層の礫岩および砂岩中に地下水が賦存することが確認された。これらの帯水層について、簡易揚水試験（揚水井単独の揚水試験および水位回復試験）を実施し、帯水層係数（透水量係数、透水係数、貯留係数、比貯留係数）を算出した。その結果、各地区において 10^{-4} cm/secのオーダーの透水係数が得られた。

また、本調査において用いた手法により、表層の水理地質構造の概略が十分に把握できることが明らかとなった。

本報告書は、株式会社ペスコが動力炉・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：08C1155

事業団担当部課室および担当者：東濃地科学センター地質環境研究室

*：株式会社ペスコ 地科学事業部 地科学調査部

**：株式会社ペスコ 中部事務所 地質調査部

I 釜戸町エスポラン地区

試錐調査による表層の水理地質構造の把握（その1）

I 釜戸町エスポラン地区

目 次

1. 調査概要	1
1.1 調査目的	1
1.2 調査地域	1
1.3 調査期間	1
1.4 調査項目	1
2. 地 質	3
2.1 地質概説	3
2.2 地表踏査	3
2.3 試錐掘削地点の選定	3
2.4 試錐調査による地質柱状の把握	5
3. 電気検層	7
3.1 概説	7
3.2 検層結果	7
3.3 帯水層の把握	7
4. 揚水試験および水位回復試験	11
4.1 概 要	11
4.1.1 試験内容	11
4.1.2 試験に用いる試錐孔とその措置	11
4.1.3 使用機器	11
4.2 試験手順	12
4.2.1 段階揚水試験	12
4.2.2 定流量揚水試験	12
4.2.3 水位回復試験	12

4.3	解析法	13
4.3.1	段階揚水試験	13
4.3.2	定流量揚水試験	13
4.3.3	水位回復試験	14
4.4	試験結果および解析	15
4.4.1	段階揚水試験	15
4.4.2	定流量揚水試験および水位回復試験	16
4.5	地下水試料の採水	17
5.	考察	24

参考文献

揚水試験・水位回復試験データシート（釜戸町エスポラン地区）

1. 調査概要

1.1 調査目的

本調査は、東濃地域における表層地質の分布や構造および表層部における地下水の賦存状態を明らかにすることを目的とする。この目的のため、瑞浪市釜戸町エスポラン地区において、地表踏査およびノンコア試錐を実施し、表層部の地質分布を把握する。また、試錐孔を利用した揚水試験および水位回復試験を行い、透水係数（透水量係数）および比貯留係数（貯留係数）を求め、表層の水理地質構造を明らかにする。

1.2 調査地域

瑞浪市釜戸町エスポラン団地地内（図 I.1.1）

1.3 調査期間

平成8年11月20日 ～ 平成8年12月6日

1.4 調査項目

- ・ 地表踏査
- ・ 試錐調査（ノンコア試錐掘削、地質柱状図の作成）
- ・ 電気検層
- ・ 揚水試験および水位回復試験
- ・ 地下水試料の採取

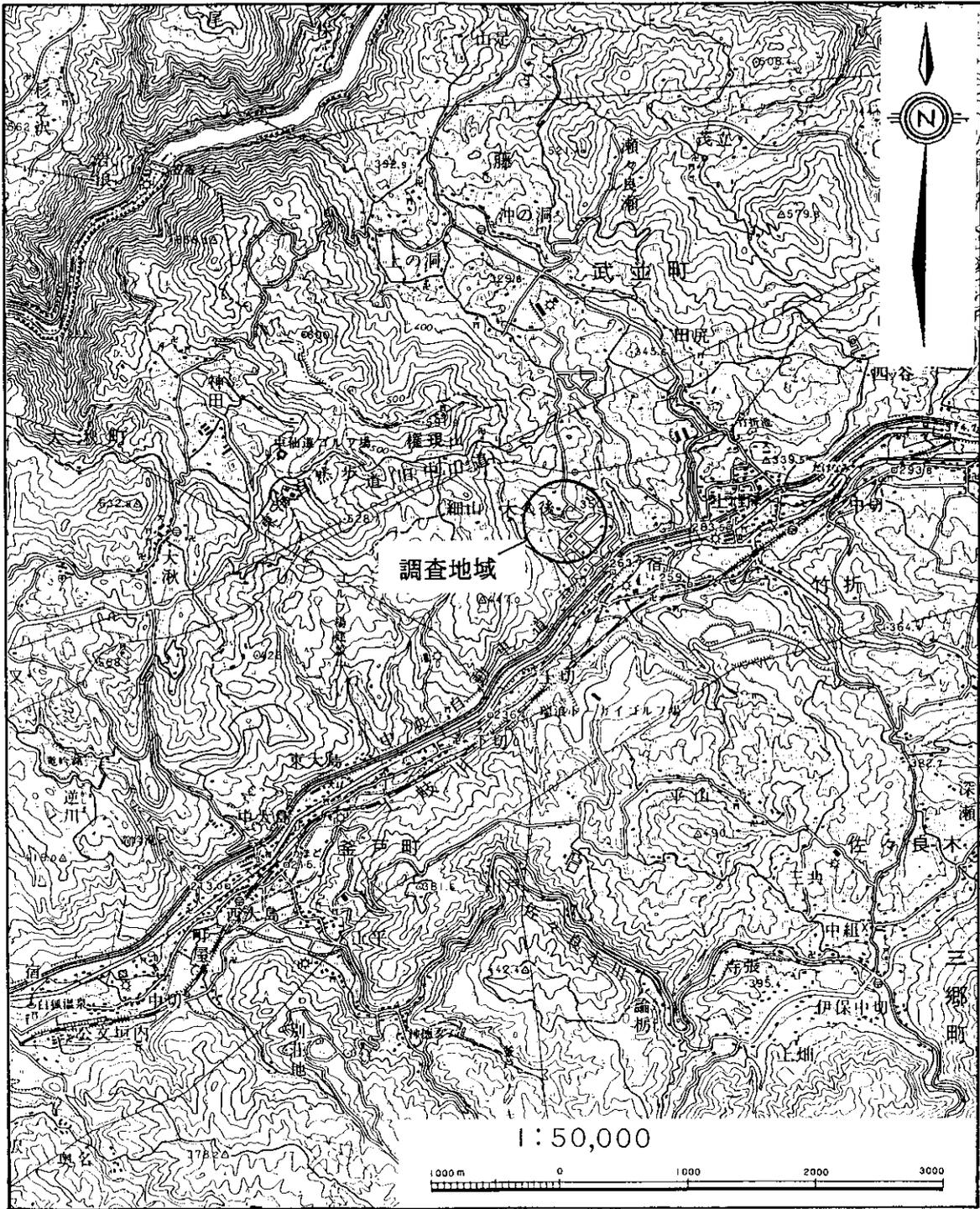


図 I.1.1 調査地域位置図 (釜戸町エスポラン地区)

2. 地 質

2.1 地質概説

本調査地域は、白亜紀後期の濃飛流紋岩類が基盤として広く分布する。その上位は、不整合で鮮新世～更新世の瀬戸層群が覆う。地質調査所発行（1990年）の20万分の1地質図幅「飯田」によれば、エスポラン団地地区の一部にも瀬戸層群が分布するとされる。

基盤の濃飛流紋岩類は、流紋岩～デイサイト質の溶結凝灰岩を主体とし、凝灰岩、角礫岩、溶岩などを伴う。溶結凝灰岩は一見して石英斑岩状であり、固いがもろく、風化すると角礫となる。本地域周辺では釜戸駅付近から東北へ恵那市へかけて広く分布する。

瀬戸層群は、下位の地層を不整合に覆う未固結堆積物で、土岐口陶土層と土岐砂礫岩層に区分される。本地域に一部分布するとされるのは、土岐砂礫岩層でチャートや濃飛流紋岩の細円礫～大円礫を主体としている。一般に風化が進み”くさり礫”となっている。

2.2 地表踏査

試錐掘削に先立ち地表踏査を実施した。踏査の結果は地質概略図として図1.2.1に示す。

本調査地域には、濃飛流紋岩類に属する流紋岩質～デイサイト質の凝灰角礫岩が広く分布する。この岩石は同質の岩片を含む角礫岩であり、1～2mm程度の石英結晶が顕著に観察される。また、一见して石英斑岩状の見かけを呈する。本岩は堅固な岩石で、新鮮な岩体が中央自動車道との分岐点付近からエスポラン団地の入口付近に崖をなして分布している。また、この岩石は風化すると、石英が褐色を帯び、全般に灰～茶褐色の色となり、さらに風化が進めば砂礫状の見かけを呈する。風化が進み砂礫上の岩石は、掘削地点付近や北東方の向鍛冶屋地内に認められる。

さらに、掘削地点の北東約10mに隣接する既存井戸（ピット）では、粘土化の進んだ凝灰角礫岩起源の破碎された岩石が露出している。この周辺では、粘土化あるいは珪化がしばしば認められ、破碎帯が存在すると考えられる。

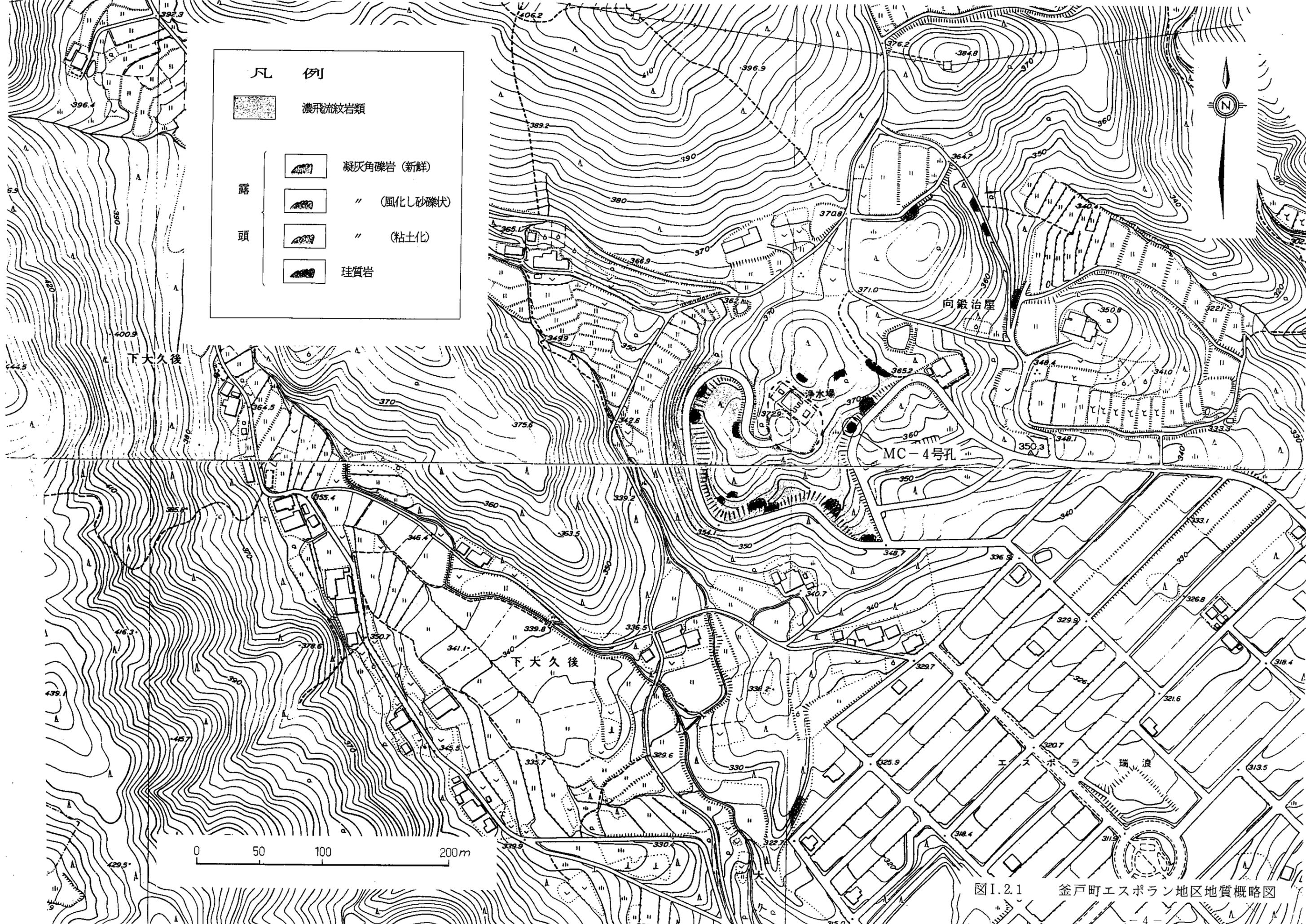
なお、地表踏査の範囲内では瀬戸層群の分布は認められない。

2.3 試錐掘削地点の選定

地表踏査の結果、エスポラン団地浄水場の南東方の道路脇において、濃飛流紋岩類の風化部および破碎帯に起因する裂か部分からの地下水供給の可能性を目標として掘削が可能であると判断された。また、試錐機等の機材の搬入・据付けにも問題がないことから、この地点を掘削地点（MC-4号孔）に決定した。

凡 例

	濃飛流紋岩類	
露 頭		凝灰角礫岩 (新鮮)
		" (風化し砂礫状)
		" (粘土化)
	珪質岩	



図I.2.1 釜戸町エスポラン地区地質概略図

2.4 試錐調査による地質柱状の把握

MC-4号孔の試錐掘削はノンコアで実施された。掘削状況と掘屑の観察より地質柱状図（図I.2.2）を作成した。

本孔内の地質は、全孔にわたり濃飛流紋岩類（基盤岩）の凝灰角礫岩である。

GL-13.0mまでが基盤岩の風化部、GL-13.0m以深では新鮮な凝灰角礫岩となる。

基盤の風化部の中でも、GL-9.8～11.3mまでは新鮮な角礫岩を挟んでおり、健岩部と風化部が繰り返して分布する可能性がある。また、GL-3.0～8.5mには粘土層が確認される。この粘土層は径数mmの石英粒を含み、風化角礫岩がさらに粘土化を被ったものと推定されるが、詳細な構造は不明である。

また、GL-13.0m以深の新鮮な凝灰角礫岩中には、しばしば裂かの発達が見られる。裂か部では掘屑が大きくなる傾向があること、また、掘屑に裂かが酸化環境にさらされて形成されたと考えられる鉄酸化鉱物が認められること、などから裂か部の存在が確認できる。裂かはGL-15m付近、GL-19m付近、GL-25m付近の3か所に発達していると考えられる。

釜戸MC-4号孔 地質柱状図

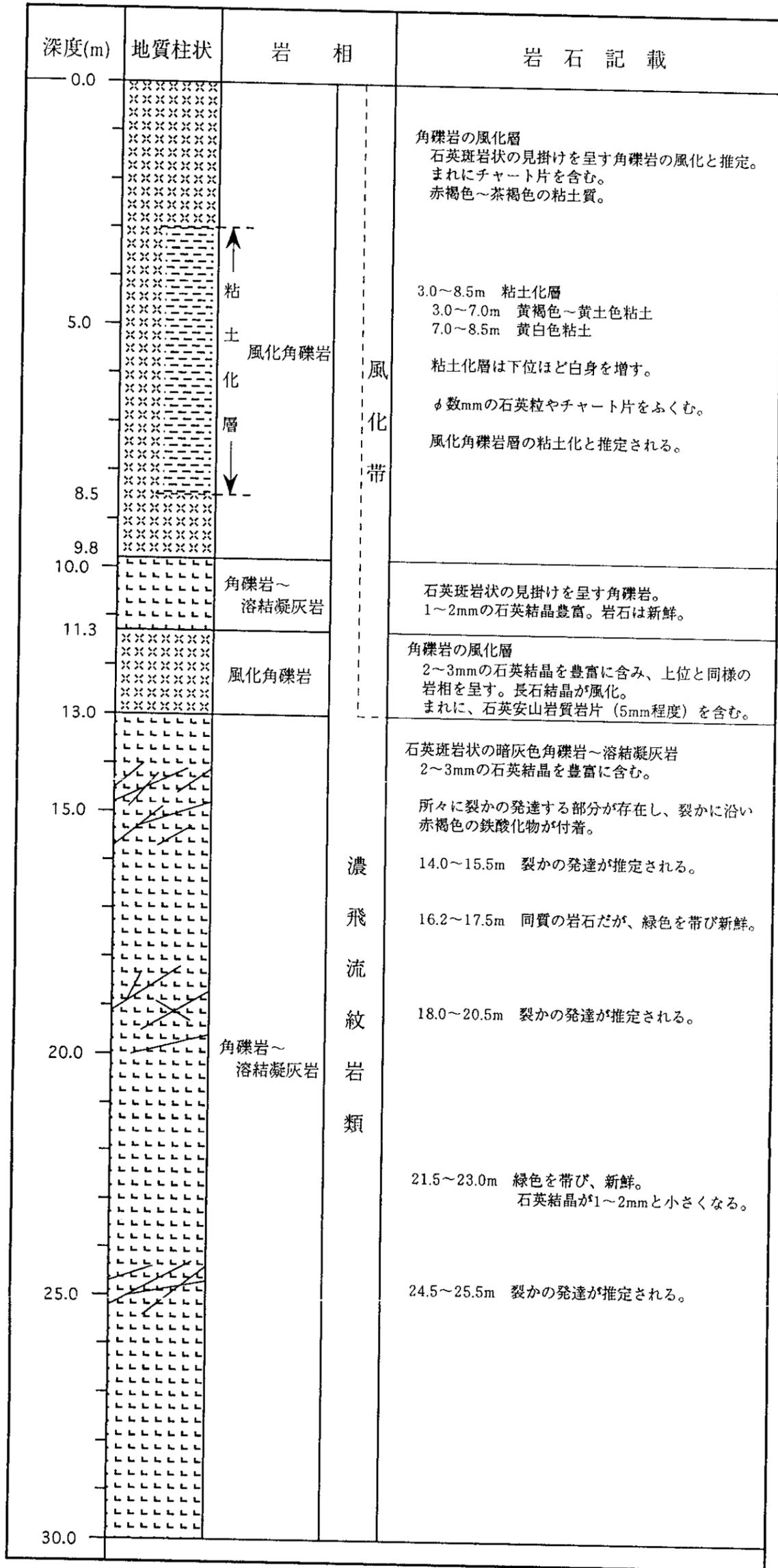


図 I. 2. 2 MC-4号孔 地質柱状図

3. 電気検層

3.1 概要

掘削された試錐孔について、帯水層を把握し、定流量揚水試験および水位回復試験の候補区間を設定するため電気検層を実施する。

検層器は、McOHM-EL(Model-2119)（応用地質社製）を用い、ノルマル法比抵抗検層を行う。電極間隔は、25cm、50cm、100cmの3種類でプローブの1度の昇降で同時に測定される。また、比抵抗測定とともに自然電位の測定が行われる。

MC-4号孔では、孔内崩壊の危険を避けるため、ストレーナー（5”塩化ビニール管：VP 125）挿入後に電気検層を実施した。

3.2 検層結果

電気検層の結果は地質柱状図と併せて図 I. 3. 1に示す。

本地域に分布する濃飛流紋岩類は高い比抵抗値を示すことが想定されたため、通電電流を2mAとして測定を行った。

測定の結果、約4m間隔で周期的に10kΩm以上の高い比抵抗値が計測されている。この約4mの間隔は、ストレーナー接続部の間隔に一致し、塩化ビニール管自体の抵抗値を示しているものと考えられる。接続部以外では比抵抗変化が測定されているものの、明確な構造を検討するには至らなかった。日吉町常柄地区においては、塩化ビニール管挿入後の電気検層でも100Ωmの値が測定されており、本地域の濃飛流紋岩類が高い比抵抗値を示すことが推定される。

3.3 帯水層の把握

本孔での電気検層は、前記のように塩化ビニール管の影響を受けた結果となり、明確な比抵抗構造を検討することができなかった。

したがって、地質状況と掘削時の状況から帯水層を検討することとした。

本地域に分布する岩石のうち、新鮮な濃飛流紋岩類は緻密で透水性は低いと考えられる。しかし、これらの岩石の風化が進み、砂礫状となる場合には透水層になり得ると考えられる。本孔はノンコア試錐のため、角礫岩風化部の詳しい岩相は不明であるが、掘削時にGL-9.2mより湧水が確認されていることから、本孔の帯水層はGL-10～-13mの風化角

礫岩層にあるものと推定される。

また、GL-13m以深の健岩部においても裂かの発達が予想され、この部分からも地下水の供給が考えられる。

釜戸MC-4号孔 電気検層結果

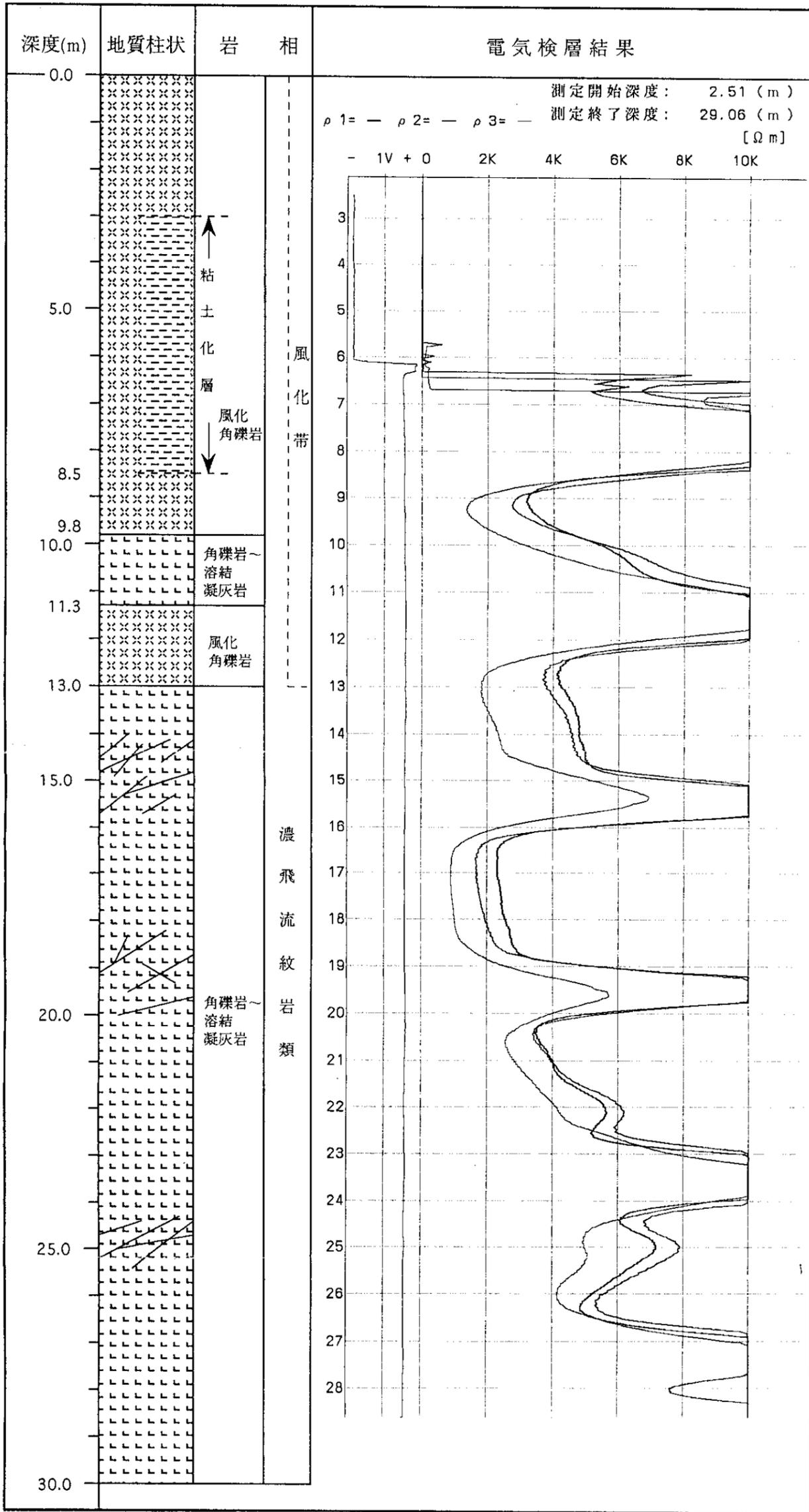


図 I. 3. 1 MC-4号孔 電気検層柱状図

釜戸MC-4号孔 孔内状況図

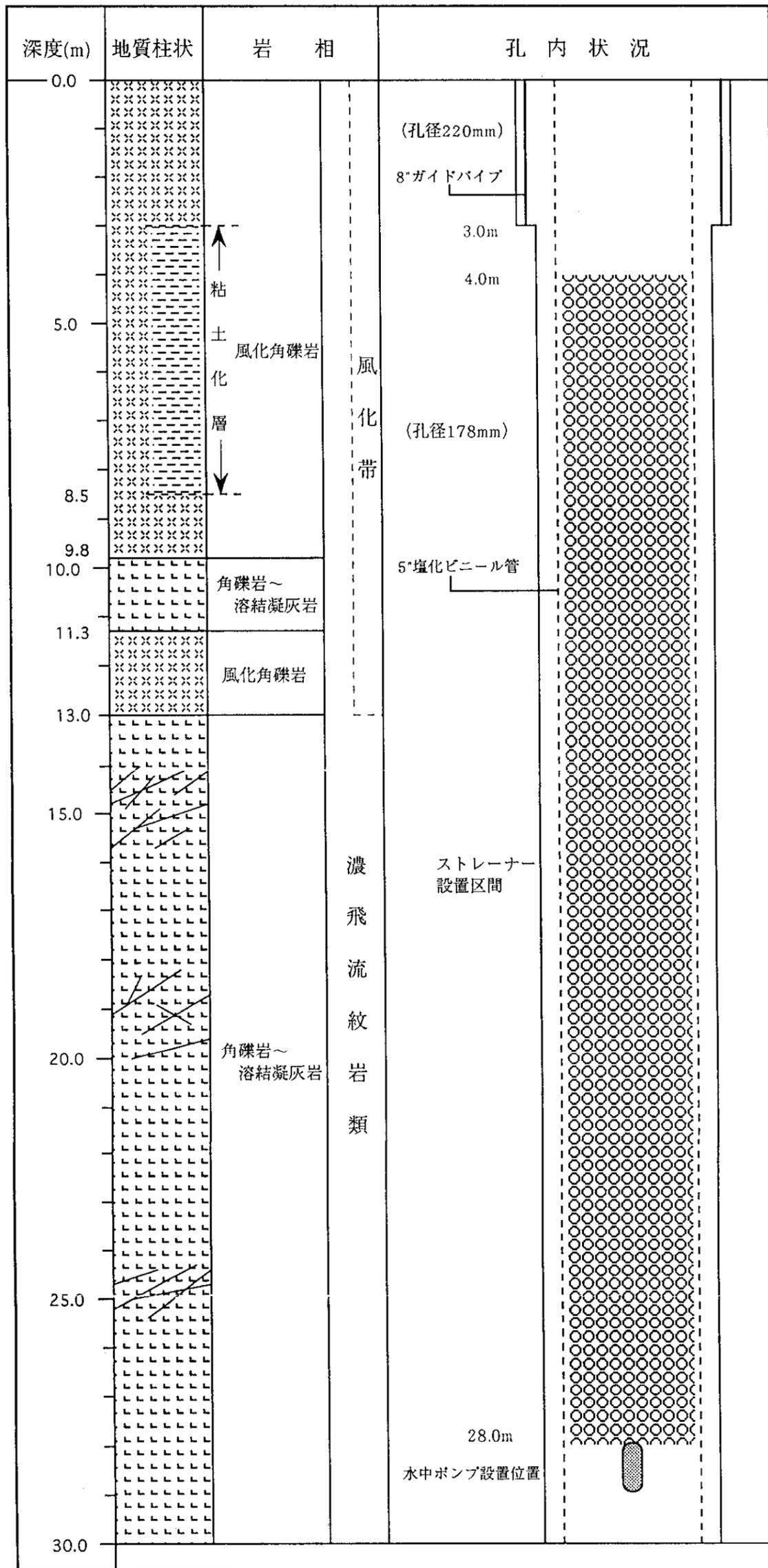


図 I. 3. 2 MC-4号孔 孔内状況図

4. 揚水試験および水位回復試験

4.1 概要

4.1.1 試験内容

調査地域における帯水層の水理学的特性を把握するため、揚水試験および水位回復試験を実施して帯水層係数（透水量係数、透水係数、貯留係数、比貯留係数）を算出する。

試験は、①段階揚水試験、②定流量揚水試験および③水位回復試験の順に実施する。

段階揚水試験は、比較的短い時間毎に一定量の揚水を行い、段階的に揚水量を増加させて揚水量と水位低下量の関係を求める。この結果から、井戸の限界揚水量と定流量揚水試験時の揚水量を決定する。

定流量揚水試験および水位回復試験は、帯水層係数を算出するための試験である。定流量揚水試験では、一定量の揚水を継続し、水位低下を経時的に測定する。水位回復試験は、定流量揚水試験の揚水を停止した時点から開始し、水位回復状況を定流量揚水試験と同様に経時的に測定する。

4.1.2 試験に用いる試錐孔とその措置

本調査で実施する揚水試験では、観測井は設けず、1つの試錐孔（揚水井）において揚水と水位変化の測定を同時に行う揚水井単独の揚水試験を実施した。

また、地質状況と電気検層から推定される帯水層について、ストレーナー（塩化ビニール管）を設置するが、孔壁とストレーナー間の充填や帯水層の上下の遮水などの措置は施していない。

4.1.3 使用機器

揚水試験および水位回復試験に使用した機器は次のとおりである。

- ①揚水装置：水中モーターポンプ、インバーター、揚水管
- ②水量測定：計測バケツ
- ③水位測定：水位計、水位センサー
- ④時間計測：ストップウォッチ

本調査では水中モーターポンプを用いて揚水を行った。水中モーターポンプにはインバーターを接続し、ポンプ出力を制御することにより揚水量の調節が可能である。なお、MC-4号孔では逆止弁は設置していない。

揚水量の測定には容量10ℓの計測バケツを用いた。水位の測定は、巻尺式の水位計に

よりmm単位にて測定した。同時に、孔内には水位センサー（最小読取単位 10cm）を設置しており、随時水位の変化を確認できる。

4.2 試験手順

4.2.1 段階揚水試験

本孔（MC-4号孔）では、各段階の揚水継続時間を20～30分間として試験を行った。少量の揚水量から試験を開始し、20～30分間の定流量揚水を行った後、その時点での水位を記録して揚水量を次の段階へ増加させる。この測定を繰り返し、各段階の揚水量と水位降下量の関係を求める。

水位は孔内に設置した水位センサーを用いて10cm単位で測定した。また、揚水量は、10ℓ/分、25ℓ/分、39ℓ/分、52ℓ/分、60ℓ/分、72ℓ/分、90ℓ/分、105ℓ/分、120ℓ/分と9段階に変化させた。

4.2.2 定流量揚水試験

試験開始直前の初期水位を測定して揚水を開始する。揚水開始後は、設定した揚水量となるよう速やかに水中ポンプの出力を調節する。揚水開始と同時に時間計測を開始し、経時的に水位を測定して水位降下量を求める。水位の測定は巻尺式の水位計を用いてmm単位まで読取る。

水位測定の時間間隔は、揚水開始から最初の1分間を10秒毎、以後3分までを15秒毎、5分まで30秒毎、15分まで1分毎、1時間まで5分毎、それ以降は10分毎とした。

揚水量は水位の降下に伴い減少するため、随時、揚水量の測定を行い、一定の揚水量を保つよう調節する。

4.2.3 水位回復試験

定流量揚水試験を終了し、揚水を停止した時点から水位回復試験を開始する。揚水を停止した時点から、定流量揚水試験と同じ時間間隔（3時間以降は30分毎、6時間以降は1時間毎とした）により経時的に水位を測定し、揚水停止時水位からの水位回復量および定流量揚水試験開始時の初期水位との水位差（残留水位降下量）を求める。

4.3 解析法

4.3.1 段階揚水試験

段階揚水試験の結果は、両対数グラフ上に揚水量 Q と水位降下量 s の関係をプロットして整理する。このグラフ上においてプロットの勾配が 45° から変化する点が、揚水井近傍の地下水の流れが層流状態から乱流状態へ移行する限界揚水量とされる。この結果から乱流状態を生じない揚水量を設定し、次の定流量揚水試験を実施する。

4.3.2 定流量揚水試験

理想的な条件下で定流量揚水された場合の水位降下量 s は、タイスの公式で次式のように示される。

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad \text{式(4.1)}$$

ここで、 $u < 0.01$ であれば (4.1)式は、

$$s = \frac{2.3Q}{4\pi T} \left\{ \log\left(\frac{t}{r^2}\right) - \log\left(\frac{S}{2.25T}\right) \right\} \quad \text{式(4.2)}$$

と近似される(ヤコブの近似式)。

- ここで、
- s : 水位降下量 (m)
 - r : 揚水井からの距離 (m)
 - t : 揚水開始からの経過時間 (min)
 - Q : 揚水量 (m^3/min)
 - T : 透水量係数 (m^2/min)
 - S : 貯留係数
 - $u = S r^2 / 4 T t$
 - $W(u)$: 井戸関数

さらに、任意の観測井について、揚水継続時間 t_1 、 t_2 の水位降下量を s_1 、 s_2 として差をとると (4.2)式より、

$$\begin{aligned} \Delta s = s_2 - s_1 &= \frac{2.3Q}{4\pi T} \left\{ \log\left(\frac{t_2}{r^2}\right) - \log\left(\frac{S}{2.25T}\right) \right\} \\ &\quad - \frac{2.3Q}{4\pi T} \left\{ \log\left(\frac{t_1}{r^2}\right) - \log\left(\frac{S}{2.25T}\right) \right\} \\ &= \frac{2.3Q}{4\pi T} \left(\log\frac{t_2}{t_1} \right) = \frac{0.183Q}{T} \left(\log\frac{t_2}{t_1} \right) \quad \text{式(4.3)} \end{aligned}$$

となる。

解析は、片対数グラフの対数目盛に揚水継続時間 t 、算術目盛に水位降下量 s をプロットし、この $t-s$ 曲線に近似する直線を引く。 $\log t$ の 1 サイクル間の水位降下を Δs にとれば、(4.3)式で $\log t_2/t_1 = 1$ となり、透水量係数 T は次式で求められる。

$$T = \frac{0.183Q}{\Delta s} \quad \text{式(4.4)}$$

また、直線を延長して、水位降下量 $s = 0$ の軸との交点 t_0 を求めると、(4.2)式より、貯留係数 S を次式で求めることができる。

$$S = \frac{2.25T \cdot t_0}{r^2} \quad \text{式(4.5)}$$

4.3.3 水位回復試験

一般に、水位回復のデータ解析には、タイスの方法が用いられる。

揚水停止後の残留水位降下量 s' は、揚水量 Q の揚水が継続された場合の水位降下量 s_1 と揚水停止時から開始される注水量 Q の注水による水位の上昇量 s_2 の和として表すことができる。

$$s' = s_1 + s_2$$

$$s_1 = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \approx \frac{Q}{4\pi T} \ln \left(\frac{2.25Tt}{Sr^2} \right)$$

$$s_2 = \frac{Q}{4\pi T} W(u') \approx \frac{Q}{4\pi T} \ln \left(\frac{2.25Tt'}{S'r^2} \right)$$

$$s' \approx \frac{Q}{4\pi T} \left\{ \ln \left(\frac{2.25Tt}{Sr^2} \right) - \ln \left(\frac{2.25Tt'}{S'r^2} \right) \right\} \quad \text{式(4.6)}$$

となる。ここで、

- t : 揚水開始からの時間
- t_0 : 揚水停止までの時間
- t' : 揚水停止からの時間 ($t' = t - t_0$)
- S' : 回復期間中の貯留係数
- $u = Sr^2 / 4Tt$
- $u' = S'r^2 / 4Tt'$

である。(4.6)式において $S = S'$ であれば、

$$s' = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \left(\frac{t}{t'} \right) \quad \text{式(4.7)}$$

となる。

解析は、片対数グラフの対数目盛に t/t' 、算術目盛に残留水位低下量 s' をプロットし、このプロットに近似する直線を引く。この直線の $\log(t/t')$ の 1 サイクル間の勾配 $\Delta s'$ を求めれば、次式により透水量係数 T が求められる。

$$T = \frac{2.3Q}{4\pi\Delta s'} = \frac{0.183Q}{\Delta s} \quad \text{式(4.8)}$$

なお、この方法では貯留係数を求めることはできない。

西垣・高坂(1984)は、回復試験結果から貯留係数を求める方法を示している。

揚水停止後の水位回復量 s_r は、残留水位低下量 s' と揚水停止時の水位低下量 s_0 を用いて次のように表される。

$$\begin{aligned} s_r &= s_0 - s' \\ s_r &= \frac{Q}{4\pi T} \left\{ \ln\left(\frac{2.25Tt_0}{Sr^2}\right) - \ln\left(\frac{2.25Tt}{Sr^2}\right) + \ln\left(\frac{2.25Tt'}{S'r^2}\right) \right\} \\ &= \frac{2.3Q}{4\pi T} \left\{ \log\left(\frac{t_0 t'}{t r^2}\right) - \log\left(\frac{S'}{2.25T}\right) \right\} \quad \text{式(4.9)} \end{aligned}$$

この式は、(4.2)式と同形であり、片対数グラフ上に s_r と $\log(t_0 t' / tr^2)$ の関係をプロットし、このプロットに最もよく合う直線を引いて、この直線の $\log(t/t')$ の 1 サイクル間の勾配 Δs_r および水位回復量 $s = 0$ との交点 $(t_0 t' / tr^2)_0$ を求めれば、次式により透水量係数 T と貯留係数 S' が得られる。

$$T = \frac{2.3Q}{4\pi\Delta s_r} = \frac{0.183Q}{\Delta s_r} \quad \text{式(4.10)}$$

$$S' = 2.25T \left(\frac{t_0 t'}{t r^2} \right)_0 \quad \text{式(4.11)}$$

4.4 試験結果および解析

4.4.1 段階揚水試験

MC-4号孔の段階揚水試験の結果を図I.4.1に示す。

この図より、揚水量が24ℓ/分から90ℓ/分までは、若干のばらつきがあるものの、揚水量と水位降下量の関係は傾き45°の直線上に配列している。揚水量100ℓ/分以上では、この直線から外れて水位降下量が大きくなる。

したがって、本孔の限界揚水量は90ℓ／分と求められる。また、この結果に基づき、定流量揚水試験の揚水量を限界揚水量の80%以下の65ℓ／分に設定した。

4.4.2 定流量揚水試験および水位回復試験

MC-4号孔の定流量揚水試験は65ℓ／分の揚水量にて行った。揚水継続時間は約2時間(127.3分)、その後、水位回復試験に移り24時間(1440分)の水位回復状況を測定した。定流量揚水試験の結果を図I.4.2に、水位回復試験の結果を図I.4.3～図I.4.4に示す。また、測定データはデータシートとして巻末に添付する。

図I.4.2より、本孔の水位降下は片対数グラフ上において、段階的な変化を示している。すなわち、水位降下量4.5m付近と6m付近において、曲線の勾配が緩くなり水位降下の割合が減少している。この水位変化は少量の揚水によっても同様の傾向が認められた。24ℓ／分の揚水量にて試験を行った結果を参考として図I.4.5～図I.4.7に示す。図I.4.5において、65ℓ／分の定流量揚水試験と同様に段階的な水位変化が現れている。この水位変化は、本孔の帯水層が均質なものではなく、亀裂性の帯水層構造であるためと考えられる。

また、図I.4.2より水位降下量7m(GL-13m)以深では、水位は急激に降下し井戸が空の状態になった。さらに、水位回復試験の結果(図I.4.3)もこの位置まで急速に水位が回復することを示している。したがって、GL-13m以深には有効な帯水層は存在しないと考えられる。地質的にもGL-13m以深では、いくらかの亀裂の発達は見られるものの新鮮な岩石が分布しており、これらが難透水層となり上位の地層に地下水を胚胎させているものと推定される。

定流量揚水の結果(図I.4.2、図I.4.5)をさらに詳しく見ると、これらのプロットは上に凸の曲線となっている。理想的な条件下での定流量揚水時の水位変化は片対数グラフ上で直線に近似され、このような上に凸の曲線は過剰揚水の場合とされる。本孔の段階揚水試験は、各段階での揚水時間を20～30分として水位の定常状態を十分に確認していないため、限界揚水量の算定が過大になったと考えられる。

MC-4号孔での定流量揚水試験および水位回復試験の結果より帯水層定数の算出を行った。前項の解析法に記したように、定流量揚水試験についてはヤコブの方法、水位回復試験についてはタイスの方法と、西垣・高坂の方法を用いて解析を行った。

解析結果については、各試験の結果図(図I.4.2～図I.4.7)に示している。また、算出された帯水層定数を表I.4.1に一覧表として示す。

なお、透水量係数Tと透水係数kの関係は、帯水層の層厚をmとして、

$$T = k m \quad \text{式(4.12)}$$

で表される。前述のように、本孔の帯水層は揚水試験結果から GL-13m以浅にあると考えられる。しかしながら、ストレーナーが GL- 4.0m ~ -28.0mまでの間に設置され、試験時にはこの全区間から地下水が供給されることになるため、帯水層係数の算出にあたっては帯水層の層厚を24mとした。したがって、これらの結果は、この区間の平均的な値を示すことになる。

表 I. 4. 1 釜戸町エスポラン地区MC - 4号孔 帯水層係数一覧表

釜戸町エスポラン地区 MC - 4号孔 (m=24m)	透水量係数		透水係数 (cm/sec)	貯留係数	比貯留係数 (1/cm)
	(m ² /min)	(cm ² /sec)			
65 l / min 定流量揚水試験	4.12 × 10 ⁻³	6.87 × 10 ⁻¹	2.86 × 10 ⁻⁴	1.627	6.78 × 10 ⁻⁴
水位回復試験	2.09 × 10 ⁻³	3.48 × 10 ⁻¹	1.45 × 10 ⁻⁴	0.0508	2.12 × 10 ⁻⁵
24 l / min 定流量揚水試験	2.31 × 10 ⁻³	3.85 × 10 ⁻¹	1.60 × 10 ⁻⁴	3.051	1.27 × 10 ⁻³
水位回復試験	2.74 × 10 ⁻³	4.56 × 10 ⁻¹	1.90 × 10 ⁻⁴	8.232	3.43 × 10 ⁻³

表 I. 4. 1のとおり、MC - 4号孔での定流量揚水試験および水位回復試験により、透水係数(透水量係数)については、各試験でほぼ一定した値が得られた。本孔周辺の帯水層の透水係数は 1.45 ~ 2.86 × 10⁻⁴(cm/sec)である。

一方、比貯留係数(貯留係数)については一定した値が得られていない。65 l / 分定流量揚水試験と24 l / 分定流量揚水試験の結果では、算出された比貯留係数のオーダーは1桁異なっている。特に、65 l / 分定流量揚水試験後の水位回復試験では、10⁻⁵(1/cm)の小さな値となっている。

4.5 地下水試料の採水

MC - 4号孔の地下水の採水を揚水試験時に行った。水中ポンプにより汲み出された地下水を地上にて採水びんに採水した。

採水した地下水の化学分析は動燃事業団により実施された。分析結果を資料として表 I. 4. 2に示す。

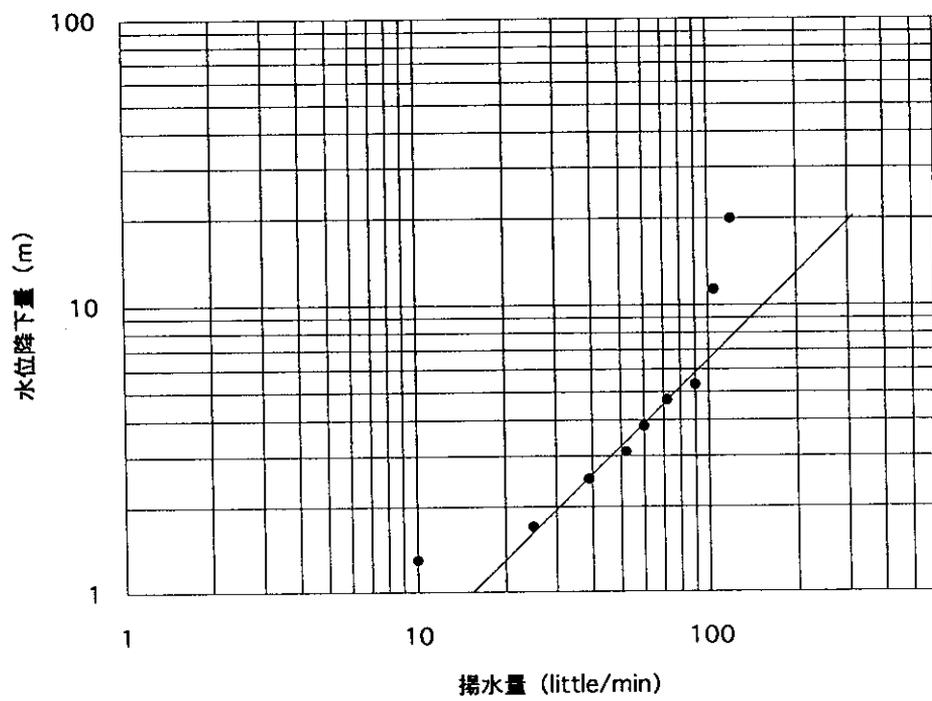


図 I.4.1 MC-4号孔 段階揚水試験結果

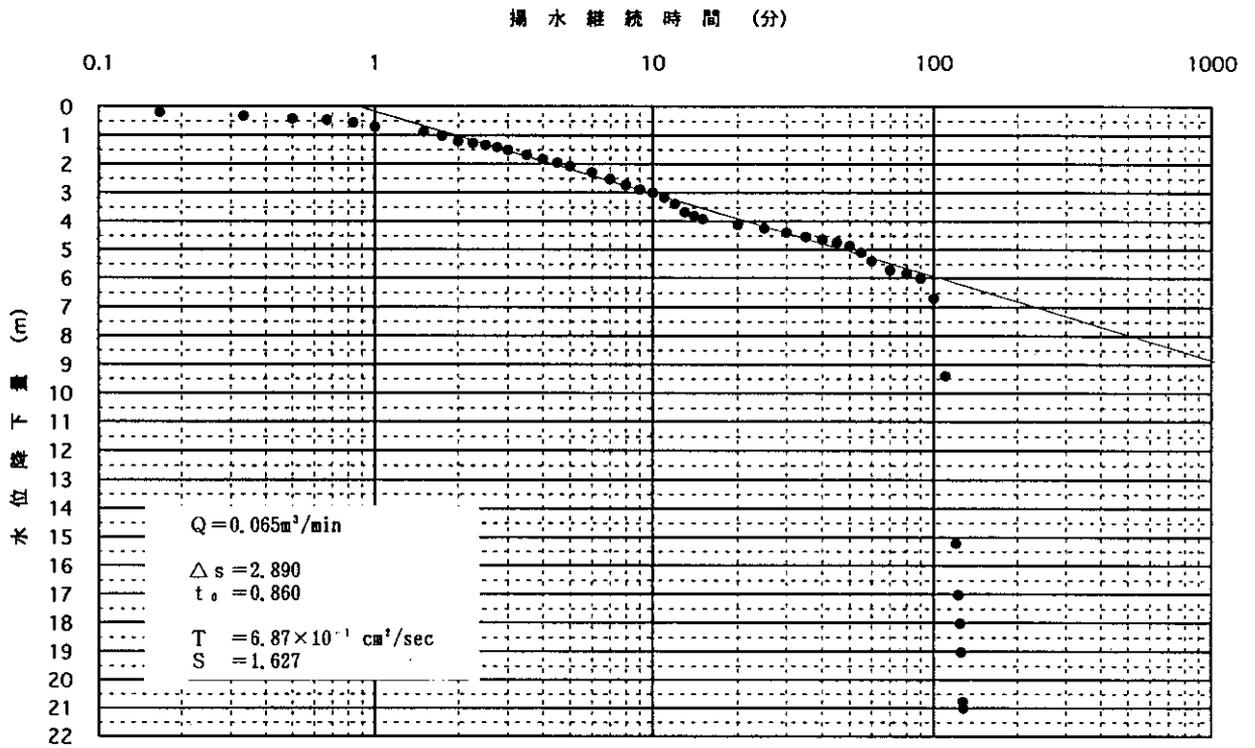


図 I. 4. 2 MC - 4 号孔 定流量揚水試験結果 (65 ℓ / 分定流量揚水)

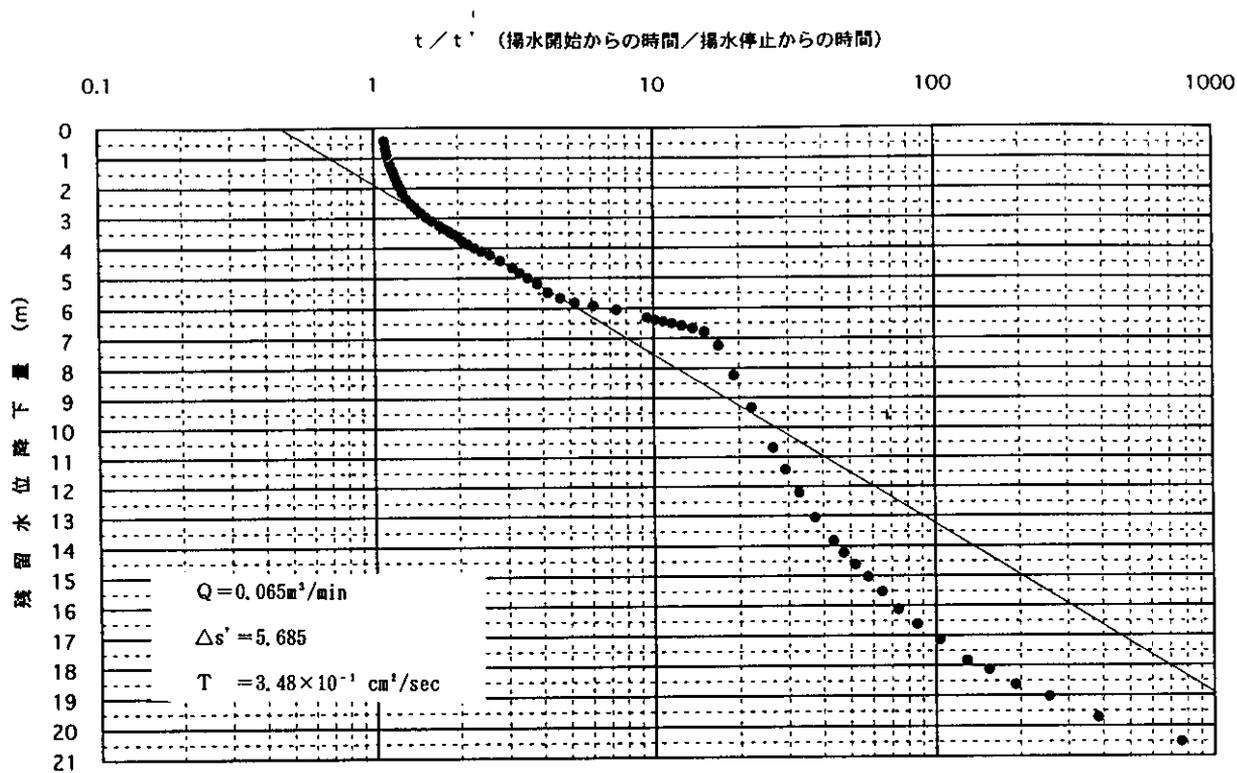


図 I. 4. 3 MC - 4 号孔 水位回復試験結果 (タイスの方法)

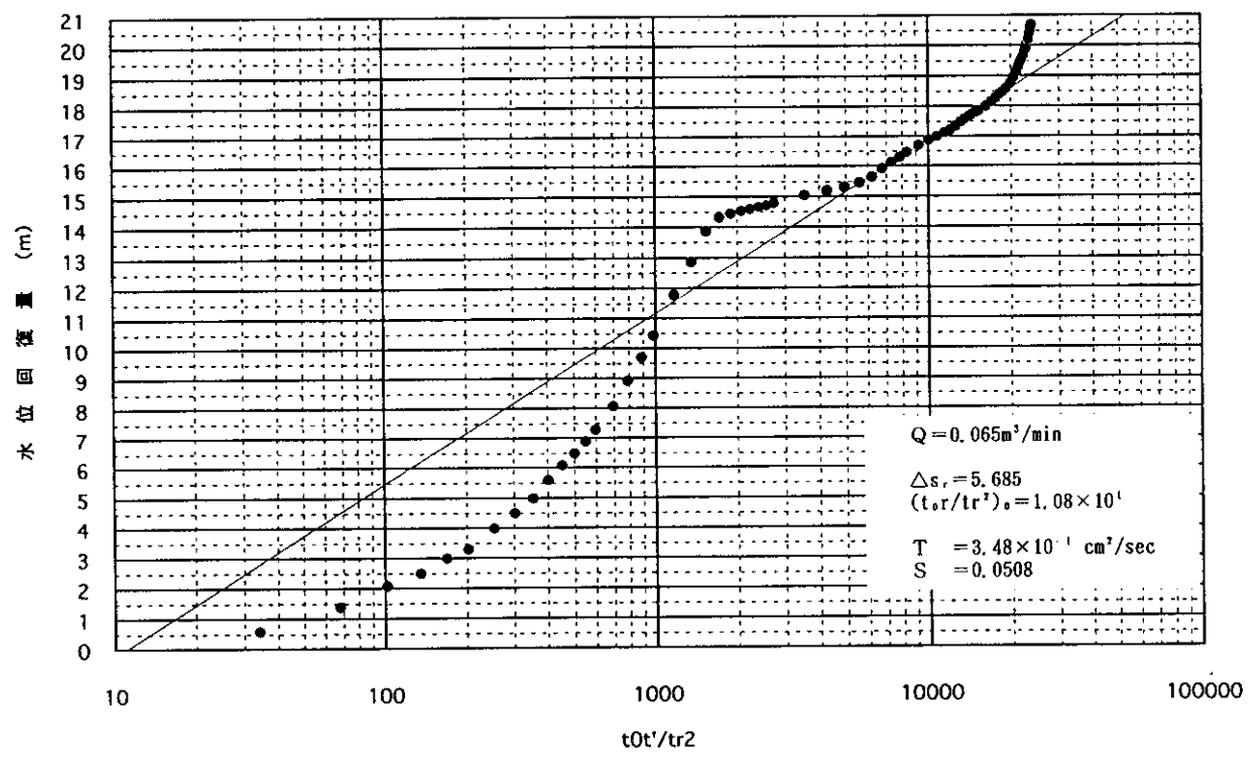


図 I. 4. 4 MC - 4 号孔 水位回復試験結果 (西垣・高坂の方法)

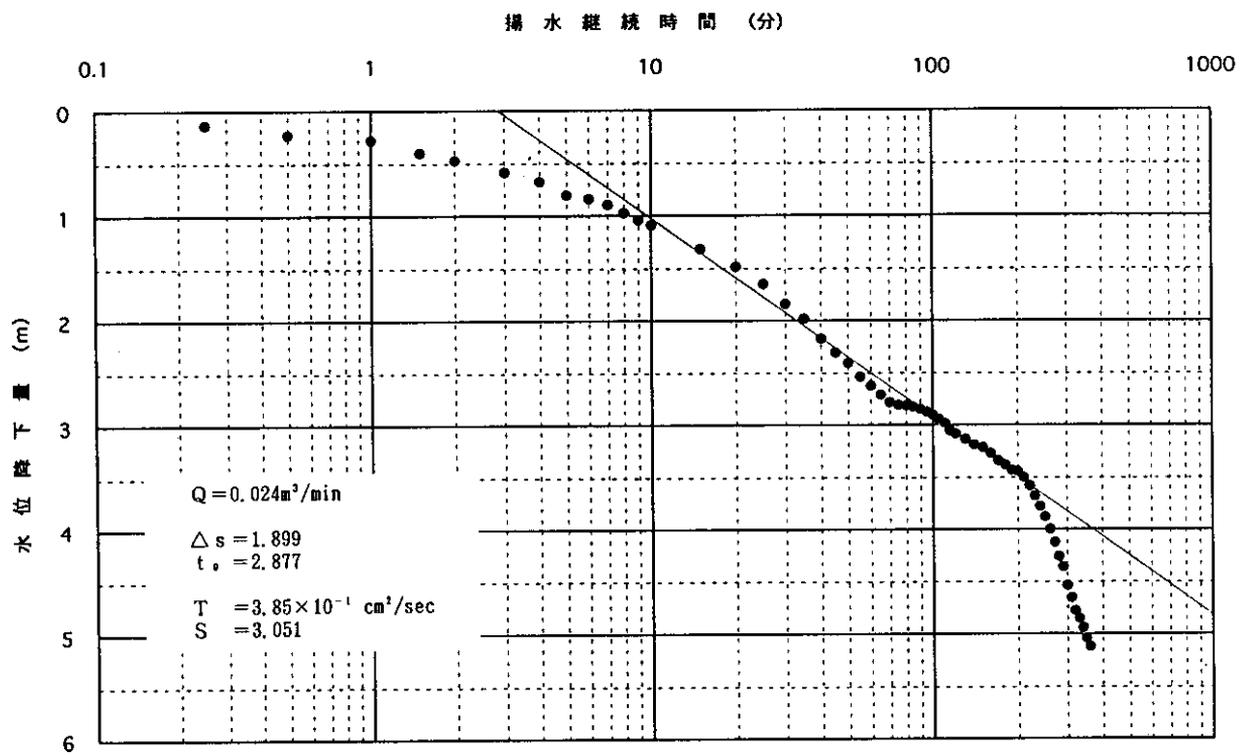


図 I. 4. 5 MC - 4 号孔 定流量揚水試験結果 (24 ℓ / 分定流量揚水)

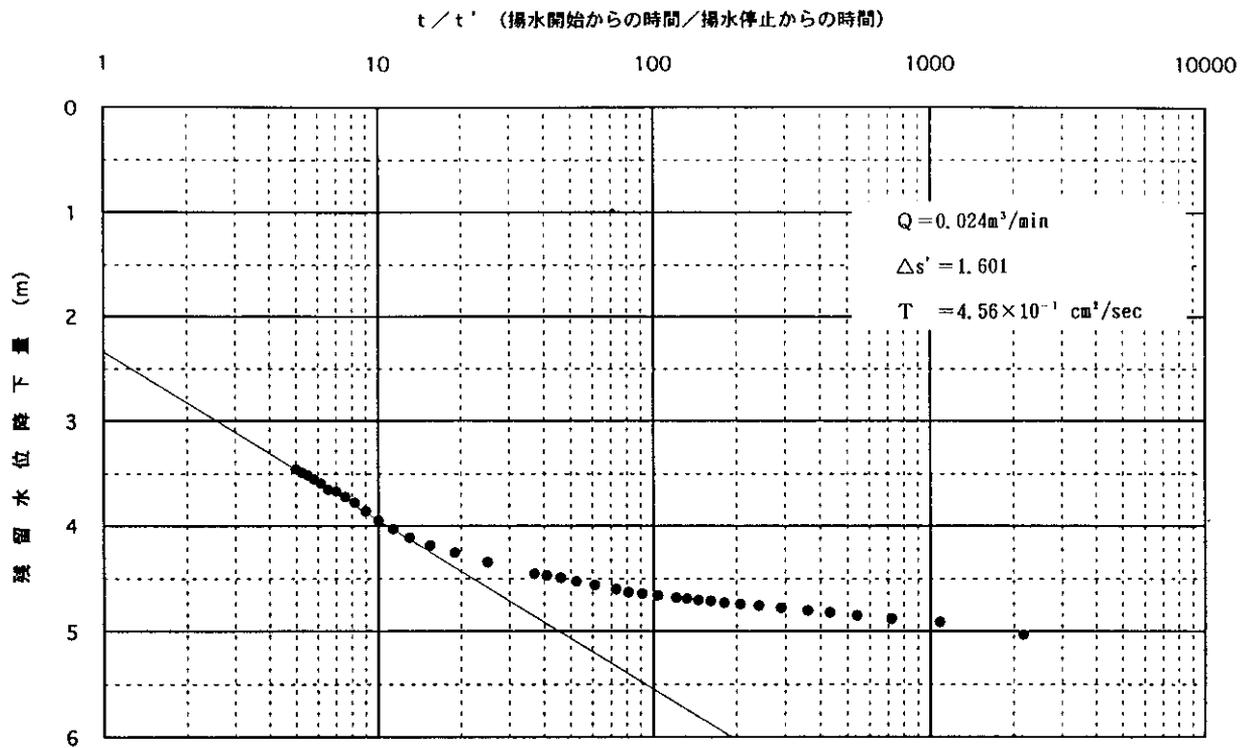


図 I. 4. 6 MC - 4 号孔 水位回復試験結果 (タイスの方法)

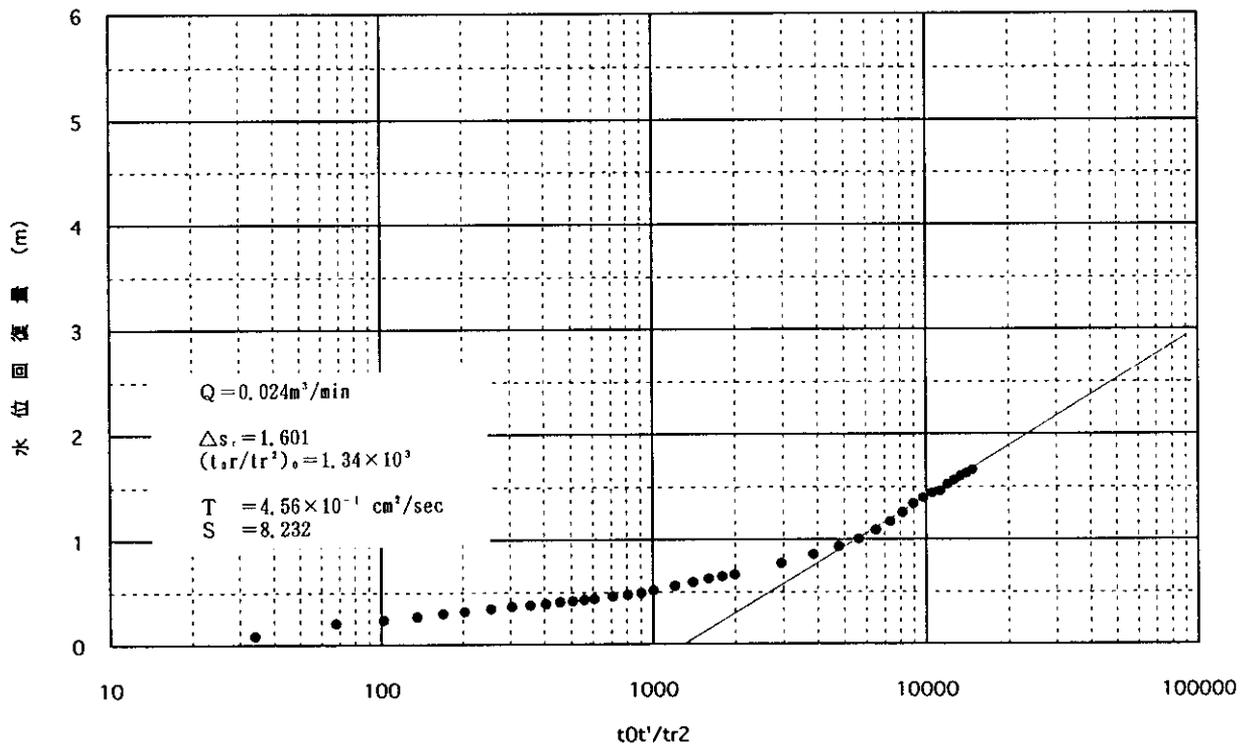


図 I. 4. 7 MC - 4 号孔 水位回復試験結果 (西垣・高坂の方法)

表 I. 4. 2 釜戸町エスポラン地区 地下水分析結果

項目	pH	EC μ S/cm	Si (ppm)	Ti (ppm)	Al ³⁺ (ppm)	T. Fe (ppm)	Mn (ppm)	Mg ²⁺ (ppm)	Ca ²⁺ (ppm)	Sr ²⁺ (ppm)	Na ⁺ (ppm)	K ⁺ (ppm)	F ⁻ (ppm)
分析値	6. 0	34	9. 11	< 0. 01	< 0. 1	< 0. 02	< 0. 01	0. 28	1. 68	0. 02	3. 2	1. 7	0. 05
項目	Cl ⁻ (ppm)	NO ₂ ⁻ (ppm)	PO ₄ ³⁻ (ppm)	Br ⁻ (ppm)	NO ₃ ⁻ (ppm)	SO ₄ ²⁻ (ppm)	CO ₃ ²⁻ (ppm)	HCO ₃ ⁻ (ppm)	U (ppb)	TC (ppm)	IC (ppm)	TOC (ppm)	NPOC (ppm)
分析値	1. 19	< 0. 02	< 0. 02	< 0. 02	< 0. 02	0. 85	< 1	23. 6	—	8. 54	7. 50	1. 04	0. 90

5. 考 察

地表踏査および試錐調査の結果、MC-4号孔周辺は濃飛流紋岩類の凝灰角礫岩が広く分布し、瀬戸層群の分布は認められない。本孔では、濃飛流紋岩類は地表よりGL-13m付近まで風化帯を形成する。

地質状況と揚水試験の結果から、GL-13m以深の健岩部には有効な帯水構造は存在せず、帯水層は濃飛流紋岩類の風化帯にあり、健岩部が難透水層として機能しているものと推定される。ただし、この帯水層は亀裂性の帯水構造を有するものと推定される。

なお、本孔から約10mの位置には既存の井戸があるが、揚水試験時の水位観察の結果、MC-4号孔での揚水はこの井戸の水位に影響を与えていないことが確認された。GL-3.0～-8.5mに分布する粘土層が両者の遮水壁となっているものと考えられる。

本調査の揚水試験は、観測井を設けず揚水井単独での揚水試験により実施したが、定流量揚水試験および水位回復試験の結果、ほぼ一定した透水係数（透水量係数）が導かれた。これによれば、本孔周辺の帯水層の透水係数は $1.45 \sim 2.86 \times 10^{-4}$ (cm/sec) となる。ただし、本孔では帯水層の把握が十分になされておらず、ストレーナーが広範囲に設置されたため、算出された透水係数等の帯水層係数は、ストレーナー設置区間全体を帯水層として考えた場合の値と考えるべきである。本孔の帯水層の厚さは、ストレーナー設置区間よりも薄いと考えられるため、透水係数や比貯留係数は実際の値より小さく得られている可能性がある。

今後の調査に関しては、帯水層の正確な把握が課題となる。また、揚水井単独の揚水試験のため、試験結果には井戸の貯留性や井戸周辺の地盤の貯留性が影響していると考えられる。さらに、帯水層の均質性や試錐孔の仕上げ方など、揚水試験の解析に影響を与える項目についての評価が十分になされていない。これらの影響を評価し、解析結果の信頼性を向上させることが今後の課題となろう。

参考文献

糸魚川 淳二(1980), 瑞浪地域の地質. 瑞浪市化石博物館専報, 第1号, pp.1-50.

水収支研究グループ(1993), 地下水資源・環境論 -その理論と実践-. 共立出版.

西垣 誠・高坂 信章(1984), 井戸半径を考慮した揚水試験における水位降下特性とその解析方法. 土質工学会論文報告集, Vol.24, No.4, pp.194-204.

高坂 信章(1993), 最近の地下水調査方法と計測技術. 5.2 多孔式揚水試験. 地下水学会誌, 第35巻, 第4号, pp.313-323.

高橋 賢之助(1990), 掘削のための地下水調査法. 山海堂.

山田 直利・脇田 浩二・広島 俊男・駒沢 正夫(1990), 20万分の1地質図幅「飯田」(第2版). 地質調査所.

揚水試験・水位回復試験 データシート

(釜戸町エスポラン地区)

測定時刻	揚水継続時間 (分)	水 位		水位降下量 (m)	水 量 (ℓ/分)	水 温 (℃)
		(測定値(m))	(GL-(m))			
10時30分	0.17	6.385	6.175	0.190		
	0.33	6.500	6.290	0.305		
	0.50	6.595	6.385	0.400		
	0.67	6.650	6.440	0.455		
	0.83	6.745	6.535	0.550		
	1.00	6.885	6.675	0.690		
	1.50	7.065	6.855	0.870	66	
	1.75	7.195	6.985	1.000		
	2.00	7.395	7.185	1.200		
	2.25	7.456	7.246	1.261		
	2.50	7.520	7.310	1.325		
	2.75	7.600	7.390	1.405		
	3.00	7.695	7.485	1.500	65	
	3.50	7.873	7.663	1.678		
	4.00	8.005	7.795	1.810		
	4.50	8.135	7.925	1.940		
	5.00	8.260	8.050	2.065		
	6.00	8.475	8.265	2.280		
	7.00	8.705	8.495	2.510	66	14.0
	8.00	8.913	8.703	2.718		
	9.00	9.075	8.865	2.880		
10時40分	10.00	9.190	8.980	2.995	65	
	11.00	9.355	9.145	3.160		
	12.00	9.583	9.373	3.388	62→65	
	13.00	9.865	9.655	3.670		
	14.00	9.990	9.780	3.795		
	15.00	10.105	9.895	3.910	65	
10時50分	20.00	10.305	10.095	4.110	63→65	
	25.00	10.440	10.230	4.245	62→66	
11時00分	30.00	10.575	10.365	4.380	63→65	
	35.00	10.726	10.516	4.531	65	
	40.00	10.835	10.625	4.640	64	
	45.00	10.925	10.715	4.730	65	14.0
	50.00	11.050	10.840	4.855	66	
	55.00	11.285	11.075	5.090		
11時30分	60.00	11.595	11.385	5.400	63→65	
	70.00	11.910	11.700	5.715	65	14.1
	80.00	12.015	11.805	5.820	64	
12時00分	90.00	12.185	11.975	5.990	65	
	100.00	12.890	12.680	6.695	63→65	
	110.00	15.585	15.375	9.390	62→65	
12時30分	120.00	21.410	21.200	15.215		
	122.00	23.210	23.000	17.015		
	124.00	24.210	24.000	18.015	60→65	
	125.25	25.210	25.000	19.015		
	127.00	26.960	26.750	20.765		
	127.33	27.210	27.000	21.015		

試験日：平成8年12月4～5日(天候)

初期水位：GL- 5.985

揚水停止時の水位：GL- 27.100

孔名：釜戸 MC-4

測定時刻	回復継続時間 (分)	t / t'	水 位		水位回復量 (m)	残留水位降下量 (m)
			(測定値(m))	(GL-(m))		
12時38分	0.17	763.46	26.710	26.500	0.600	20.515
	0.33	383.37	25.910	25.700	1.400	19.715
	0.50	255.66	25.210	25.000	2.100	19.015
	0.67	191.90	24.810	24.600	2.500	18.615
	0.83	153.86	24.310	24.100	3.000	18.115
	1.00	128.33	24.010	23.800	3.300	17.815
	1.25	102.86	23.310	23.100	4.000	17.115
	1.50	85.89	22.810	22.600	4.500	16.615
	1.75	73.76	22.310	22.100	5.000	16.115
	2.00	64.67	21.710	21.500	5.600	15.515
	2.25	57.59	21.210	21.000	6.100	15.015
	2.50	51.93	20.810	20.600	6.500	14.615
	2.75	47.30	20.410	20.200	6.900	14.215
	3.00	43.44	20.010	19.800	7.300	13.815
	3.50	37.38	19.230	19.020	8.080	13.035
	4.00	32.83	18.390	18.180	8.920	12.195
	4.50	29.30	17.605	17.395	9.705	11.410
	5.00	26.47	16.875	16.665	10.435	10.680
	6.00	22.22	15.520	15.310	11.790	9.325
	7.00	19.19	14.435	14.225	12.875	8.240
	8.00	16.92	13.432	13.222	13.878	7.237
	9.00	15.15	12.978	12.768	14.332	6.783
	10.00	13.73	12.850	12.640	14.460	6.655
	11.00	12.58	12.768	12.558	14.542	6.573
12時50分	12.00	11.61	12.695	12.485	14.615	6.500
	13.00	10.79	12.628	12.418	14.682	6.433
	14.00	10.10	12.572	12.362	14.738	6.377
	15.00	9.49	12.498	12.288	14.812	6.303
	20.00	7.37	12.242	12.032	15.068	6.047
	25.00	6.09	12.098	11.888	15.212	5.903
	30.00	5.24	11.992	11.782	15.318	5.797
	35.00	4.64	11.845	11.635	15.465	5.650
	40.00	4.18	11.662	11.452	15.648	5.467
	45.00	3.83	11.380	11.170	15.930	5.185
	50.00	3.55	11.175	10.965	16.135	4.980
	55.00	3.32	11.012	10.802	16.298	4.817
13時38分	60.00	3.12	10.848	10.638	16.462	4.653
	70.00	2.82	10.605	10.395	16.705	4.410
	80.00	2.59	10.425	10.215	16.885	4.230
	90.00	2.41	10.298	10.088	17.012	4.103
	100.00	2.27	10.182	9.972	17.128	3.987
	110.00	2.16	10.065	9.855	17.245	3.870
14時38分	120.00	2.06	9.946	9.736	17.364	3.751

*t/t' = 揚水開始からの時間 / 揚水停止からの時間

測定時刻	回復継続時間 (分)	t / t'	水 位		水位回復量 (m)	残留水位降下量 (m)
			(測定値(m))	(GL-(m))		
	130.00	1.98	9.808	9.598	17.502	3.613
	140.00	1.91	9.708	9.498	17.602	3.513
	150.00	1.85	9.632	9.422	17.678	3.437
	160.00	1.80	9.562	9.352	17.748	3.367
	170.00	1.75	9.495	9.285	17.815	3.300
15時38分	180.00	1.71	9.448	9.238	17.862	3.253
	210.00	1.61	9.295	9.085	18.015	3.100
16時38分	240.00	1.53	9.153	8.943	18.157	2.958
	270.00	1.47	9.020	8.810	18.290	2.825
17時38分	300.00	1.42	8.913	8.703	18.397	2.718
	330.00	1.39	8.810	8.600	18.500	2.615
18時38分	360.00	1.35	8.720	8.510	18.590	2.525
	420.00	1.30	8.545	8.335	18.765	2.350
	480.00	1.27	8.348	8.138	18.962	2.153
21時38分	540.00	1.24	8.155	7.945	19.155	1.960
	600.00	1.21	7.997	7.787	19.313	1.802
	660.00	1.19	7.840	7.630	19.470	1.645
0時38分	720.00	1.18	7.700	7.490	19.610	1.505
	780.00	1.16	7.588	7.378	19.722	1.393
	840.00	1.15	7.489	7.279	19.821	1.294
3時38分	900.00	1.14	7.399	7.189	19.911	1.204
	1020.00	1.12	7.196	6.986	20.114	1.001
6時38分	1080.00	1.12	7.103	6.893	20.207	0.908
	1140.00	1.11	7.074	6.864	20.236	0.879
	1200.00	1.11	6.935	6.725	20.375	0.740
9時38分	1260.00	1.10	6.860	6.650	20.450	0.665
	1320.00	1.10	6.780	6.570	20.530	0.585
	1380.00	1.09	6.689	6.479	20.621	0.494
12時38分	1440.00	1.09	6.605	6.395	20.705	0.410

*t/t' = 揚水開始からの時間 / 揚水停止からの時間

孔名：釜戸 MC-4

測定時刻	揚水継続時間 (分)	水 位		水位降下量 (m)	水 量 (ℓ/分)	水 温 (℃)
		(測定値(m))	(GL-(m))			
10時10分	0.25	6.100	5.890	0.130		
	0.50	6.193	5.983	0.223		
	1.00	6.245	6.035	0.275		
	1.50	6.365	6.155	0.395	24.0	
	2.00	6.438	6.228	0.468		
	3.00	6.553	6.343	0.583		
	4.00	6.642	6.432	0.672		
	5.00	6.770	6.560	0.800	27.0	
	6.00	6.805	6.595	0.835	25.0	
	7.00	6.863	6.653	0.893	25.0	
	8.00	6.942	6.732	0.972	25.0	
	9.00	7.011	6.801	1.041		13.9
10時20分	10.00	7.056	6.846	1.086	25.0	
	15.00	7.286	7.076	1.316	24.0	
10時30分	20.00	7.455	7.245	1.485		
	25.00	7.620	7.410	1.650	21.0	
10時40分	30.00	7.810	7.600	1.840	23.0	
	35.00	7.952	7.742	1.982	24.0	
10時50分	40.00	8.143	7.933	2.173	24.0	
	45.00	8.273	8.063	2.303	23.0	
11時00分	50.00	8.376	8.166	2.406	21.0	
	55.00	8.502	8.292	2.532	24.0	
	60.00	8.590	8.380	2.620	23.0	
	65.00	8.675	8.465	2.705	24.0	
	70.00	8.748	8.538	2.778	24.0	
	75.00	8.778	8.568	2.808	24.0	14.0
11時30分	80.00	8.780	8.570	2.810	24.0	
	85.00	8.793	8.583	2.823	24.0	
	90.00	8.813	8.603	2.843		
	95.00	8.840	8.630	2.870	24.0	14.0
	100.00	8.872	8.662	2.902	23.0	
	105.00	8.910	8.700	2.940	23.0	
12時00分	110.00	8.948	8.738	2.978	22.0	
	115.00	9.021	8.811	3.051		
	120.00	9.052	8.842	3.082	24.0	
	130.00	9.105	8.895	3.135	24.0	14.2
12時30分	140.00	9.156	8.946	3.186	24.0	
	150.00	9.182	8.972	3.212	24.0	14.2
	160.00	9.238	9.028	3.268	24.0	
13時00分	170.00	9.305	9.095	3.335	23.0	
	180.00	9.348	9.138	3.378	23.0	
	190.00	9.400	9.190	3.430	24.0	
13時30分	200.00	9.410	9.200	3.440	23.5	14.2
	210.00	9.468	9.258	3.498	23.5	
	220.00	9.550	9.340	3.580	23.0	
14時00分	230.00	9.648	9.438	3.678	24.0	

測定時刻	揚水継続時間 (分)	水 位		水位降下量 (m)	水 量 (ℓ/分)	水 温 (℃)
		(測定値(m))	(GL-(m))			
	240.00	9.750	9.540	3.780	24.0	
	250.00	9.848	9.638	3.878	22.0	
14時30分	260.00	9.968	9.758	3.998	23.0	
	270.00	10.092	9.882	4.122	23.0	14.2
	280.00	10.228	10.018	4.258	23.0	
15時00分	290.00	10.328	10.118	4.358	22.0	
	300.00	10.505	10.295	4.535	24.0	14.1
	310.00	10.618	10.408	4.648	24.0	
15時30分	320.00	10.745	10.535	4.775	24.0	
	330.00	10.818	10.608	4.848	23.0	
	340.00	10.905	10.695	4.935	21.0	
16時00分	350.00	11.010	10.800	5.040	24.0	
	360.00	11.088	10.878	5.118		

試験日：平成8年12月2日(天候)

初期水位：GL- 5.760

孔名：釜戸 MC-4

揚水停止時の水位：GL- 10.878

測定時刻	回復継続時間 (分)	t / t'	水 位		水位回復量 (m)	残留水位降下量 (m)
			(測定値(m))	(GL-(m))		
16時15分	0.17	2161.00	11.000	10.790	0.088	5.030
	0.33	1081.00	10.880	10.670	0.208	4.910
	0.50	721.00	10.850	10.640	0.238	4.880
	0.67	541.00	10.820	10.610	0.268	4.850
	0.83	433.00	10.790	10.580	0.298	4.820
	1.00	361.00	10.770	10.560	0.318	4.800
	1.25	289.00	10.745	10.535	0.343	4.775
	1.50	241.00	10.725	10.515	0.363	4.755
	1.75	206.71	10.712	10.502	0.376	4.742
	2.00	181.00	10.696	10.486	0.392	4.726
	2.25	161.00	10.680	10.470	0.408	4.710
	2.50	145.00	10.672	10.462	0.416	4.702
	2.75	131.91	10.660	10.450	0.428	4.690
	3.00	121.00	10.650	10.440	0.438	4.680
	3.50	103.86	10.630	10.420	0.458	4.660
	4.00	91.00	10.610	10.400	0.478	4.640
	4.50	81.00	10.599	10.389	0.489	4.629
	5.00	73.00	10.570	10.360	0.518	4.600
	6.00	61.00	10.530	10.320	0.558	4.560
	7.00	52.43	10.493	10.283	0.595	4.523
	8.00	46.00	10.460	10.250	0.628	4.490
	9.00	41.00	10.440	10.230	0.648	4.470
	10.00	37.00	10.420	10.210	0.668	4.450
16時30分	15.00	25.00	10.313	10.103	0.775	4.343
	20.00	19.00	10.225	10.015	0.863	4.255
	25.00	15.40	10.155	9.945	0.933	4.185
16時45分	30.00	13.00	10.078	9.868	1.010	4.108
	35.00	11.29	10.000	9.790	1.088	4.030
	40.00	10.00	9.918	9.708	1.170	3.948
17時00分	45.00	9.00	9.828	9.618	1.260	3.858
	50.00	8.20	9.747	9.537	1.341	3.777
	55.00	7.55	9.692	9.482	1.396	3.722
	60.00	7.00	9.642	9.432	1.446	3.672
	65.00	6.54	9.624	9.414	1.464	3.654
	70.00	6.14	9.562	9.352	1.526	3.592
	75.00	5.80	9.522	9.312	1.566	3.552
	80.00	5.50	9.482	9.272	1.606	3.512
	85.00	5.24	9.458	9.248	1.630	3.488
17時45分	90.00	5.00	9.428	9.218	1.660	3.458

*t/t' = 揚水開始からの時間 / 揚水停止からの時間

Ⅱ 日吉町常柄地区

試錐調査による表層の水理地質構造の把握（その1）

Ⅱ 日吉町常柄地区

目 次

1. 調査概要	1
1.1 調査目的	1
1.2 調査地域	1
1.3 調査期間	1
1.4 調査項目	1
2. 地 質	3
2.1 地質概説	3
2.2 地表踏査	3
2.3 試錐掘削地点の選定	5
2.4 試錐調査による地質柱状の把握	5
3. 電気検層	9
3.1 概 要	9
3.2 検層結果	9
3.3 帯水層の把握	13
4. 揚水試験および水位回復試験	17
4.1 概 説	17
4.1.1 試験内容	17
4.1.2 試験に用いる試錐孔とその措置	17
4.1.3 使用機器	17
4.2 試験手順	18
4.2.1 段階揚水試験	18
4.2.2 定流量揚水試験	19
4.2.3 水位回復試験	19

4.3	解析法	20
4.3.1	段階揚水試験	20
4.3.2	定流量揚水試験	20
4.3.3	水位回復試験	21
4.4	試験結果および解析	23
4.4.1	MC-5号孔	23
4.4.2	MC-6号孔	24
4.4.3	MC-7号孔	25
4.5	地下水試料の採水	27
5.	考察	38

参考文献

揚水試験・水位回復試験データシート（日吉町常柄地区）

1. 調査概要

1.1 調査目的

本調査は、東濃地域における表層地質の分布や構造および表層部における地下水の賦存状態を明らかにすることを目的とする。この目的のため、瑞浪市日吉町常柄地区において地表踏査および試錐調査を実施して表層部の地質分布を把握する。また、試錐孔を利用した揚水試験および水位回復試験を行い、透水係数（透水量係数）、比貯留係数（貯留係数）を算出して表層の水理地質構造を明らかにする。

1.2 調査地域

瑞浪市日吉町常柄地内（図Ⅱ.1.1）

1.3 調査期間

MC－5号孔：平成8年12月7日 ～ 平成8年12月19日

MC－6号孔：平成9年2月5日 ～ 平成9年2月19日

MC－7号孔：平成9年2月14日 ～ 平成9年2月27日

1.4 調査項目

(1) MC－5号孔

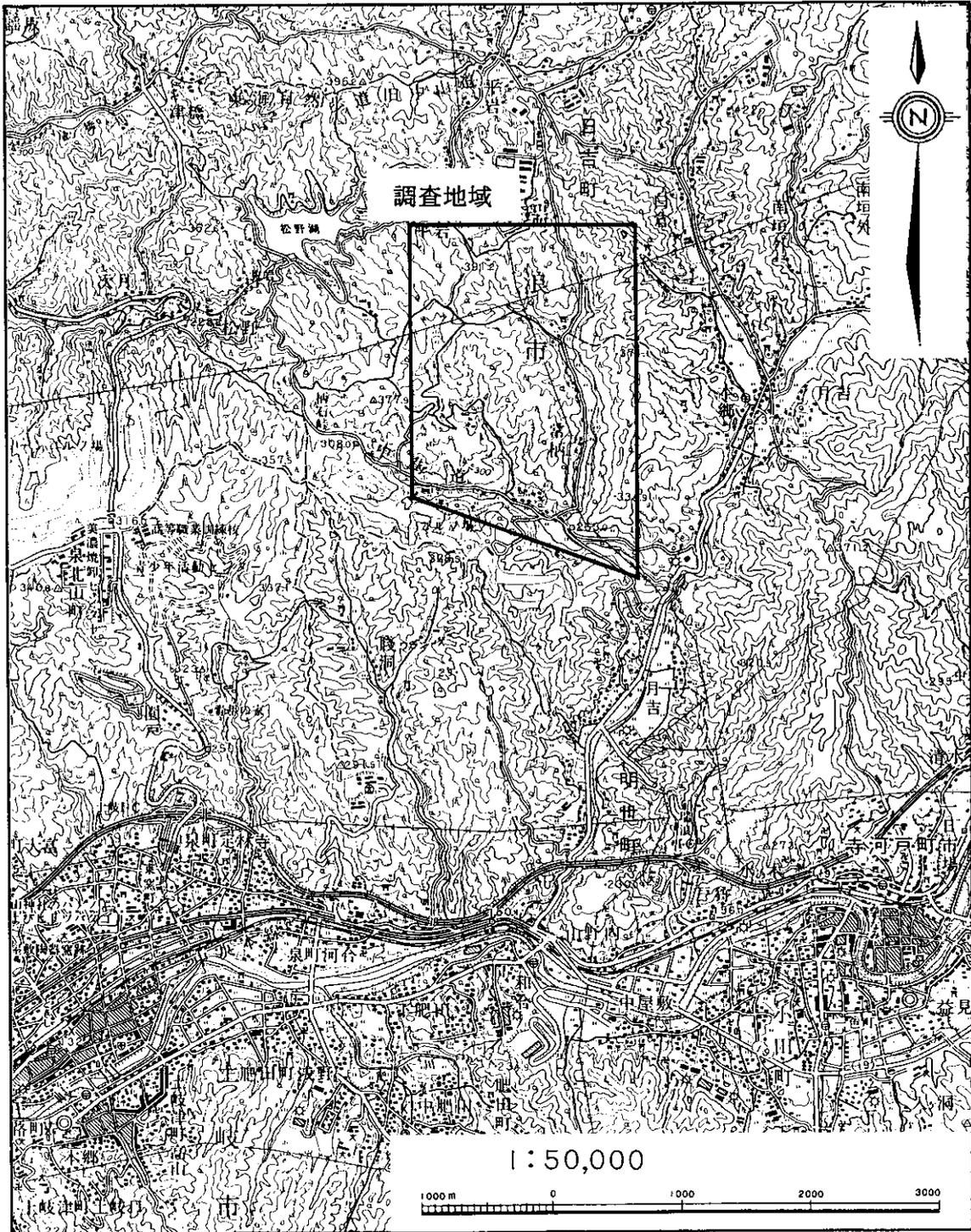
地表踏査、試錐調査（ノンコア試錐の実施、電気検層、揚水試験および水位回復試験、地下水試料の採取）

(2) MC－6号孔

地表踏査、試錐調査（コア観察、電気検層、揚水試験および水位回復試験、地下水試料の採取）

(3) MC－7号孔

地表踏査、試錐調査（コア観察、電気検層、揚水試験および水位回復試験、地下水試料の採取）



図Ⅱ.1.1 調査地域位置図

2. 地 質

2.1 地質概説

本調査地域は、「土岐堆積盆地」の北西縁にあたり、白亜紀～古第三紀の花崗岩類（土岐花崗岩）を基盤とし、その上位に新第三紀中新世の瑞浪層群（土岐夾炭累層、明世累層、生俵累層）、鮮新世～更新世の瀬戸層群、および第四紀層が分布する。

基盤の花崗岩類は、中～粗粒の黒雲母花崗岩、斑状の黒雲母花崗岩などからなり、本調査地域では南部に広く分布する。瑞浪層群は、火山碎屑物に富む砂岩、泥岩を主体として常道川沿いにまとまって分布する。瀬戸層群はこれらを不整合に覆って分布している。チャートや濃飛流紋岩類、花崗岩類の細円礫～大円礫を主体とした砂礫岩で、一般に風化が進み“くさり礫”となっている。

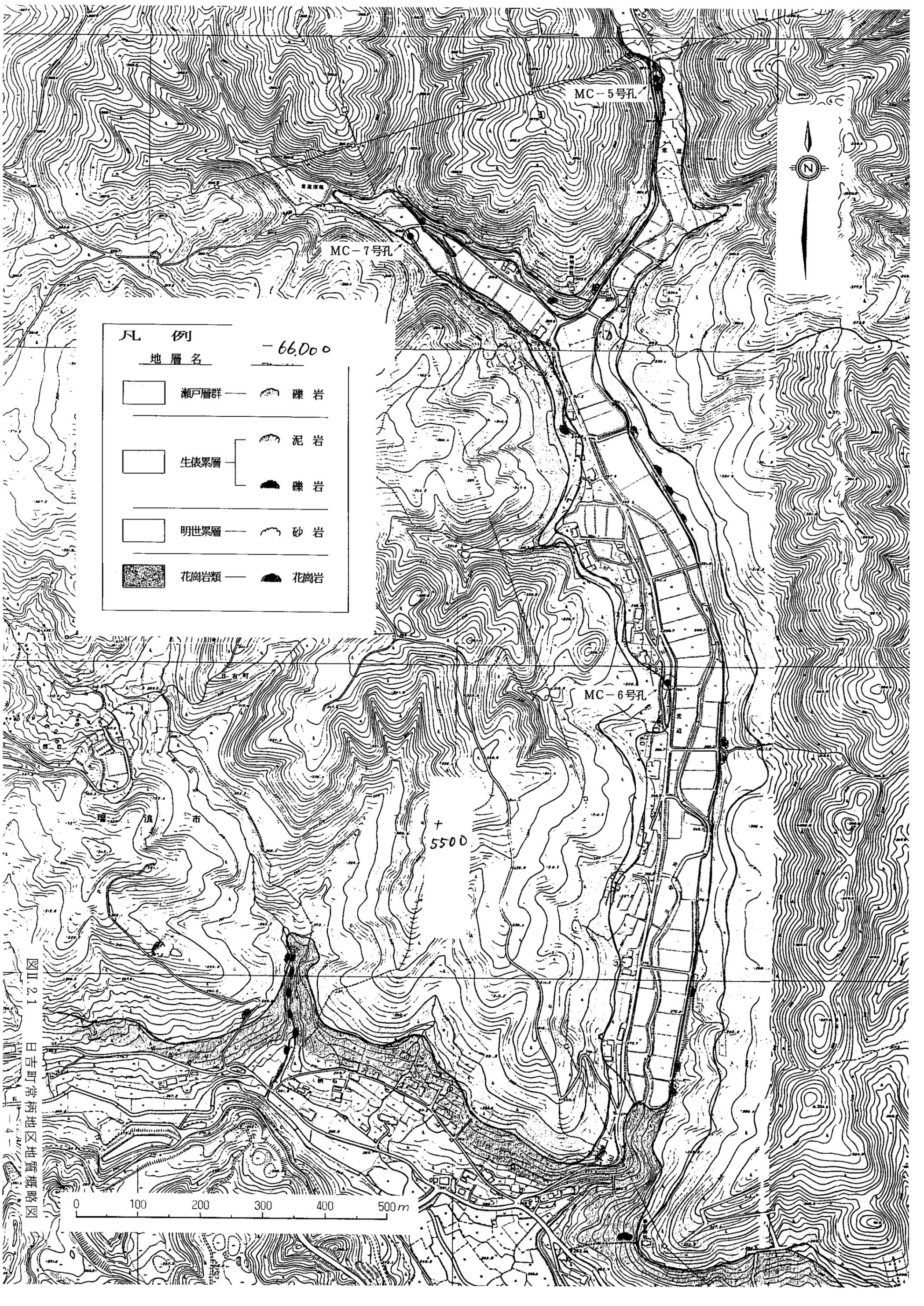
2.2 地表踏査

試錐掘削地点の選定に先立ち、本地域の地表踏査を実施した。踏査の結果は図Ⅱ.2.1に露頭位置も含めて地質概略図として示す。

本調査地域は、柄石地区と常道地区の2地区に分けられる。柄石地区は調査地域の南部の地区で、柄石峠に至る西北西－東南東方向の沢沿いの地区である。また、常道地区は平岩へ至る南北方向の常道川沿いの地区である。両地区は地質の分布にも相違が見られる。

柄石地区では基盤の花崗岩類が広く分布する。花崗岩の岩体には、板状の節理が発達するが総じて新鮮である。花崗岩類の上位は、不整合によって瀬戸層群の砂礫岩が直接重なり、瑞浪層群は欠如している。瀬戸層群と花崗岩類との不整合は柄石集落西方の沢で確認される。

一方、常道地区においては、基盤の花崗岩類は露出せず、瑞浪層群の生俵累層が常道川沿いの低地部に分布している。本地区の生俵累層は灰白色の凝灰質泥岩を主体とし、一部に礫岩が認められる。また、神明神社以北の常道川河床には、青灰色の凝灰質中～細粒砂岩が露出し、これと同質の岩石が試錐により生俵累層礫岩の下位に確認されることより、明世累層と考えられる。これらの瑞浪層群の上位には、標高 280～300mを堆積面として瀬戸層群が広く分布している。



凡例

地層名

-66.000

- | | | | |
|--|------|--|-----|
| | 瀬戸層群 | | 礫岩 |
| | 生伎累層 | | 泥岩 |
| | | | 礫岩 |
| | 明世累層 | | 砂岩 |
| | 花崗岩類 | | 花崗岩 |

图 2.1 日吉町管内地区地质概略图

0 100 200 300 400 500m

2.3 試錐掘削地点の選定

地表踏査の結果、表層水理調査の対象となる層準は、柄石地区では瀬戸層群（土岐砂礫層）と花崗岩の境界付近、常道地区では生俵累層の砂礫岩層および明世累層の一部が最適と考えられる。

しかしながら、道路状況等より、柄石地区では試錐機等の搬入・据付けが困難であるため、常道地区において図Ⅱ.2.1の図中に示した3点を試錐掘削地点として選定した。

2.4 試錐調査による地質柱状の把握

MC-5号孔のノンコア試錐掘削、およびMC-6号孔とMC-7号孔で採取されたコアの観察から地質柱状図（図Ⅱ.2.2～図Ⅱ.2.4）を作成した。

(1) MC-5号孔

GL-3.5mまで細礫岩、GL-3.5m以深は凝灰質の細～中粒砂岩が堆積している。この砂岩は深度により粒度の変化はあるものの、GL-13.5～-16.0mに凝灰質シルト岩を挟むほかは均質な岩相を示す。常道川河床に露出する砂岩と同質で明世累層と考えられる。

(2) MC-6号孔

GL-7.0mまで生俵累層の細～中礫岩、GL-7.0～-8.5mに凝灰質の泥質砂岩が堆積し、以深は濃飛流紋岩類の礫を主体とする大礫岩が厚く堆積している。この大礫岩の基質はスライムからは中粒砂岩と推定されるが、コアは採取されず、固結度が悪いものと考えられる。また、礫岩中のGL-11m付近では、岩相から明世累層に対比されると考えられる砂岩が採取されており、この深度に生俵累層と明世累層の境界を推定した。

(3) MC-7号孔では、

GL-5.1mまでは、地表にも露出する凝灰質泥岩がみられ、下位にはGL-9.1mまで大礫岩が堆積する。この礫岩が生俵累層の基底となり、GL-9.1mからは明瞭な級化を示す明世累層の砂岩が堆積する。この砂岩の下位には、中～粗粒砂岩を基質とする大礫岩が厚く堆積している。この大礫岩の基質は深度により変化するが、GL-19～20m付近は細粒で粘土質となっている。

以上より、本地区では地表付近に生俵累層の凝灰質泥岩が露出するが層厚は厚くなく、下位では礫岩となる。生俵累層全体では北に向かい層厚を減じる。明世累層の最上位は砂岩が堆積し、厚さの変化が著しい。さらに、下位の礫岩は常道地区中央部に厚く堆積していると推定される。

日吉MC - 5号孔 地質柱状図

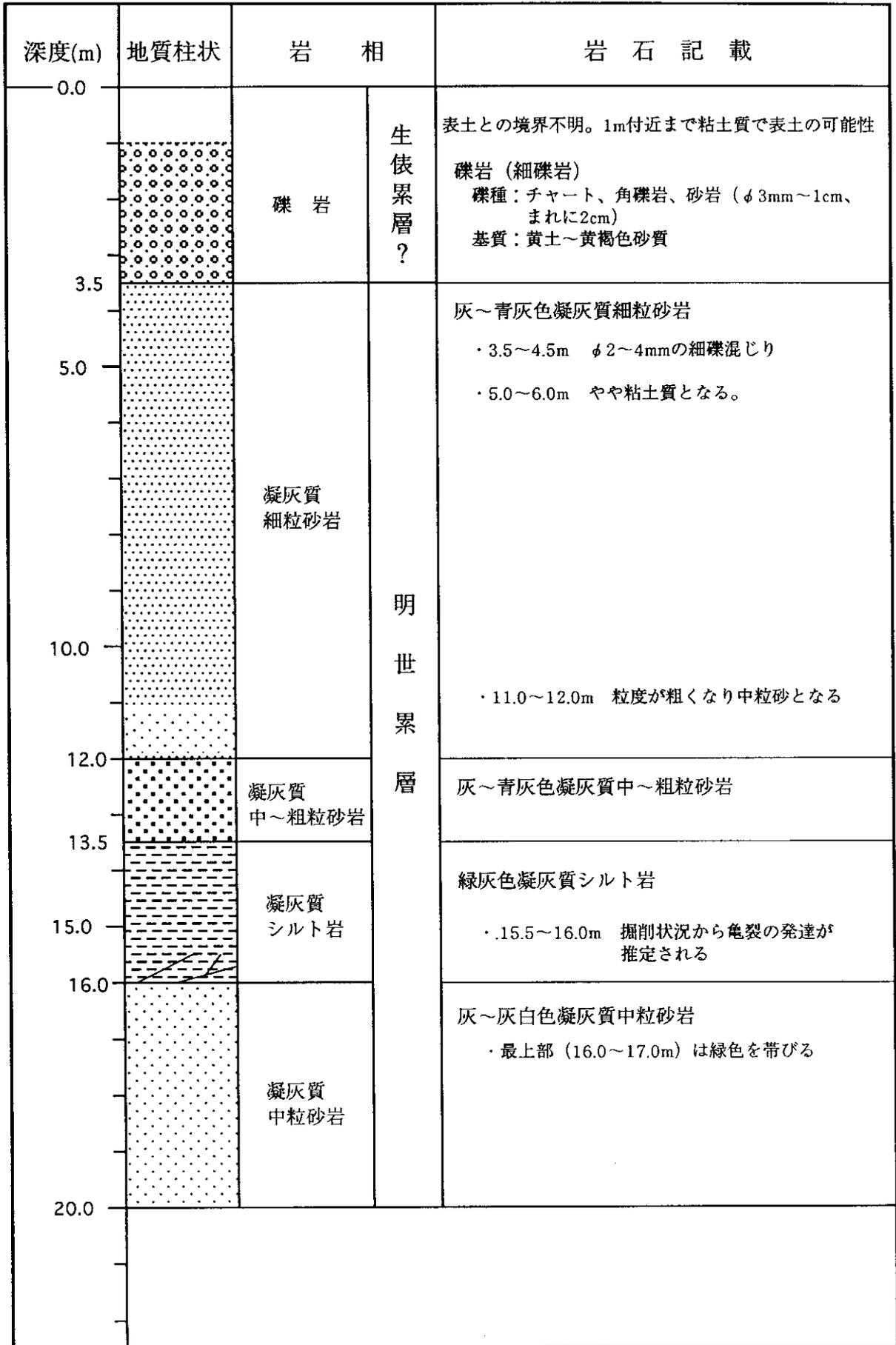
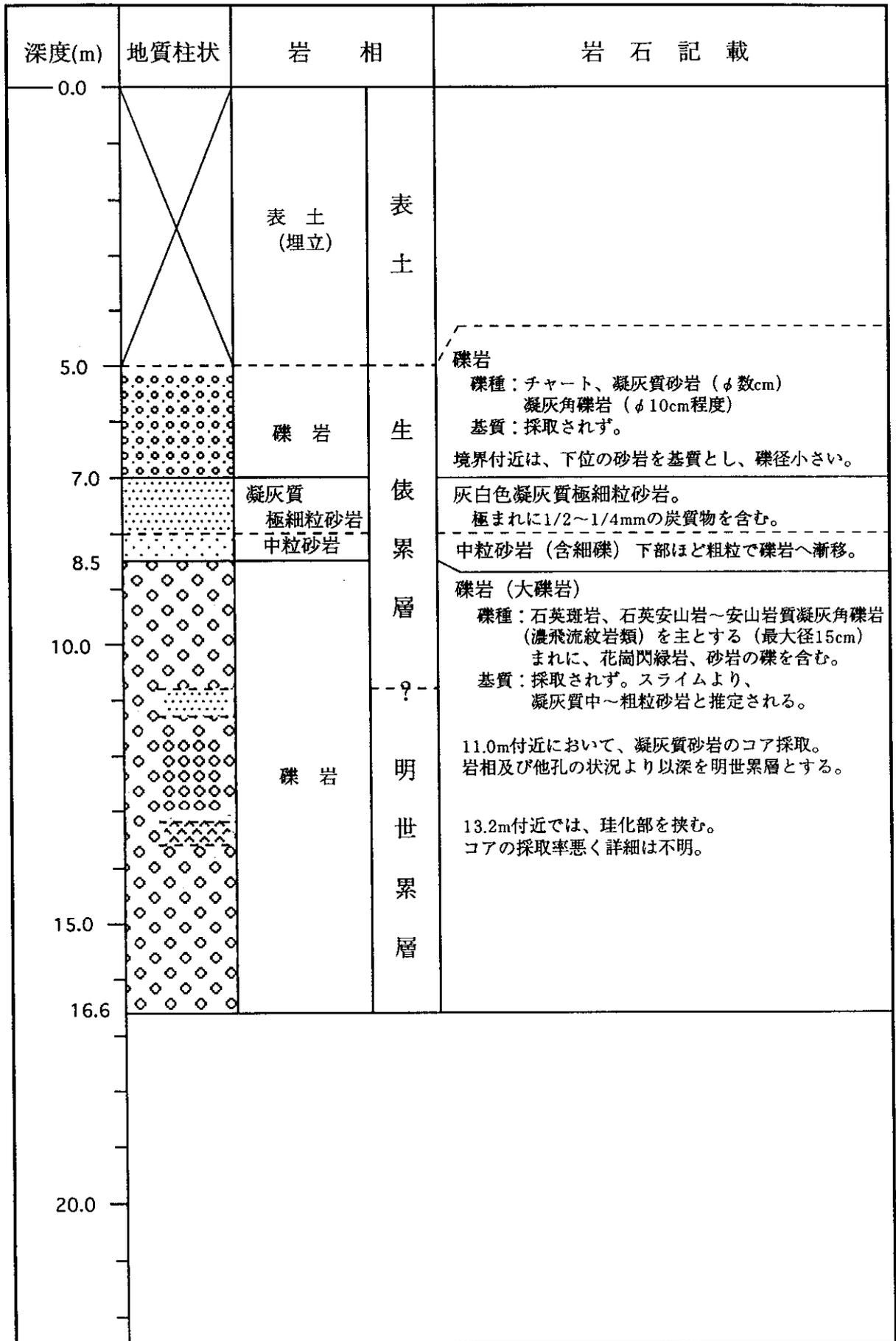


図 II. 2. 2

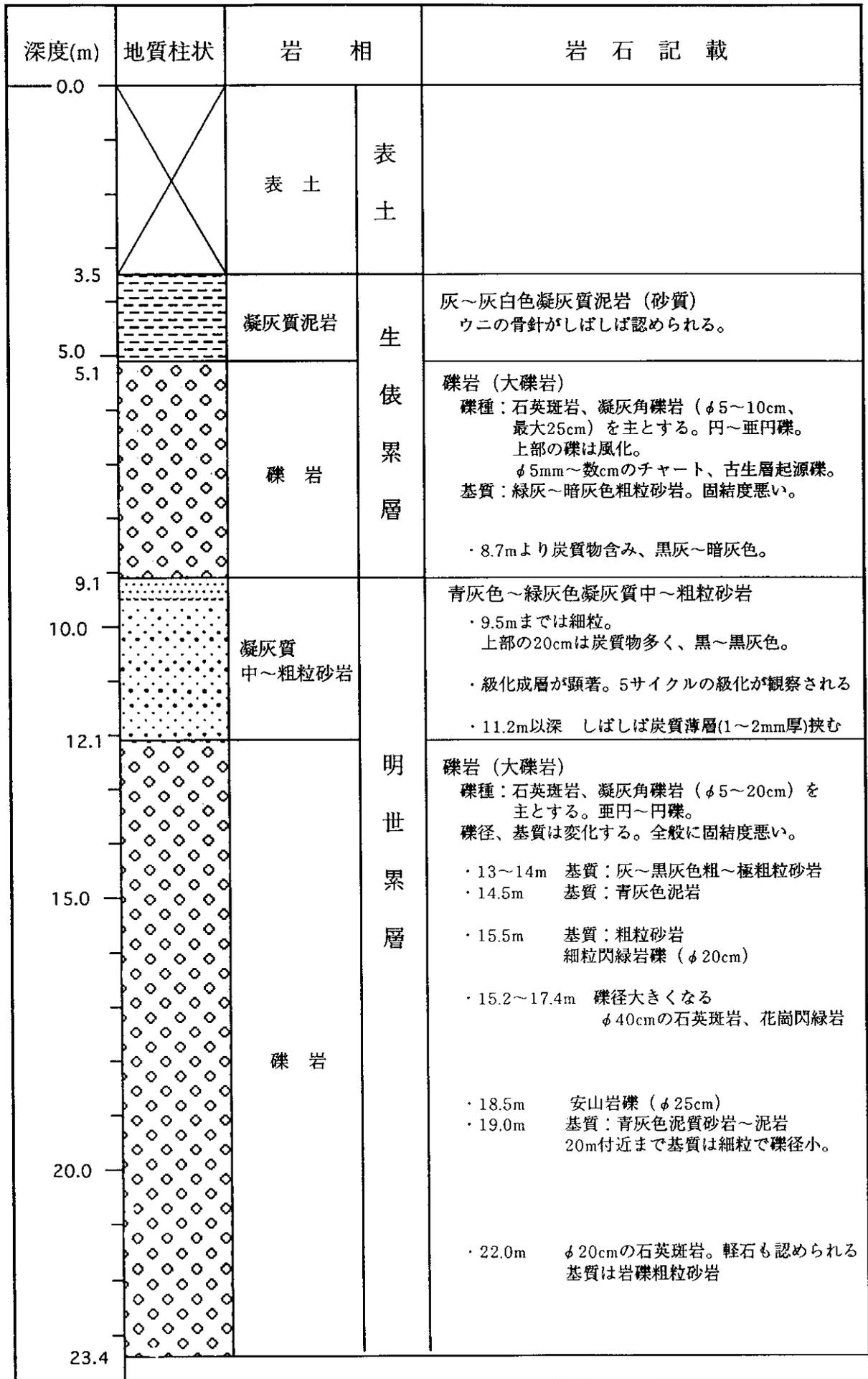
MC - 5号孔 地質柱状図

日吉MC-6号孔 地質柱状図



図II.2.3 MC-6号孔 地質柱状図

日吉MC-7号孔 地質柱状図



図Ⅱ.2.4 MC-7号孔 地質柱状図

3. 電気検層

3.1 概要

掘削された各試錐孔について、帯水層を把握し、定流量揚水試験および水位回復試験の候補区間を設定するため電気検層を実施する。

使用検層器： McOHM-EL(Model-2119) (応用地質社製)

検層項目： 比抵抗検層 (ノルマル法)、自然電位

電極間隔： 25cm、50cm、100cm

3.2 検層結果

電気検層の結果は地質柱状図と併せ図Ⅱ.3.1～図Ⅱ.3.3に示す。

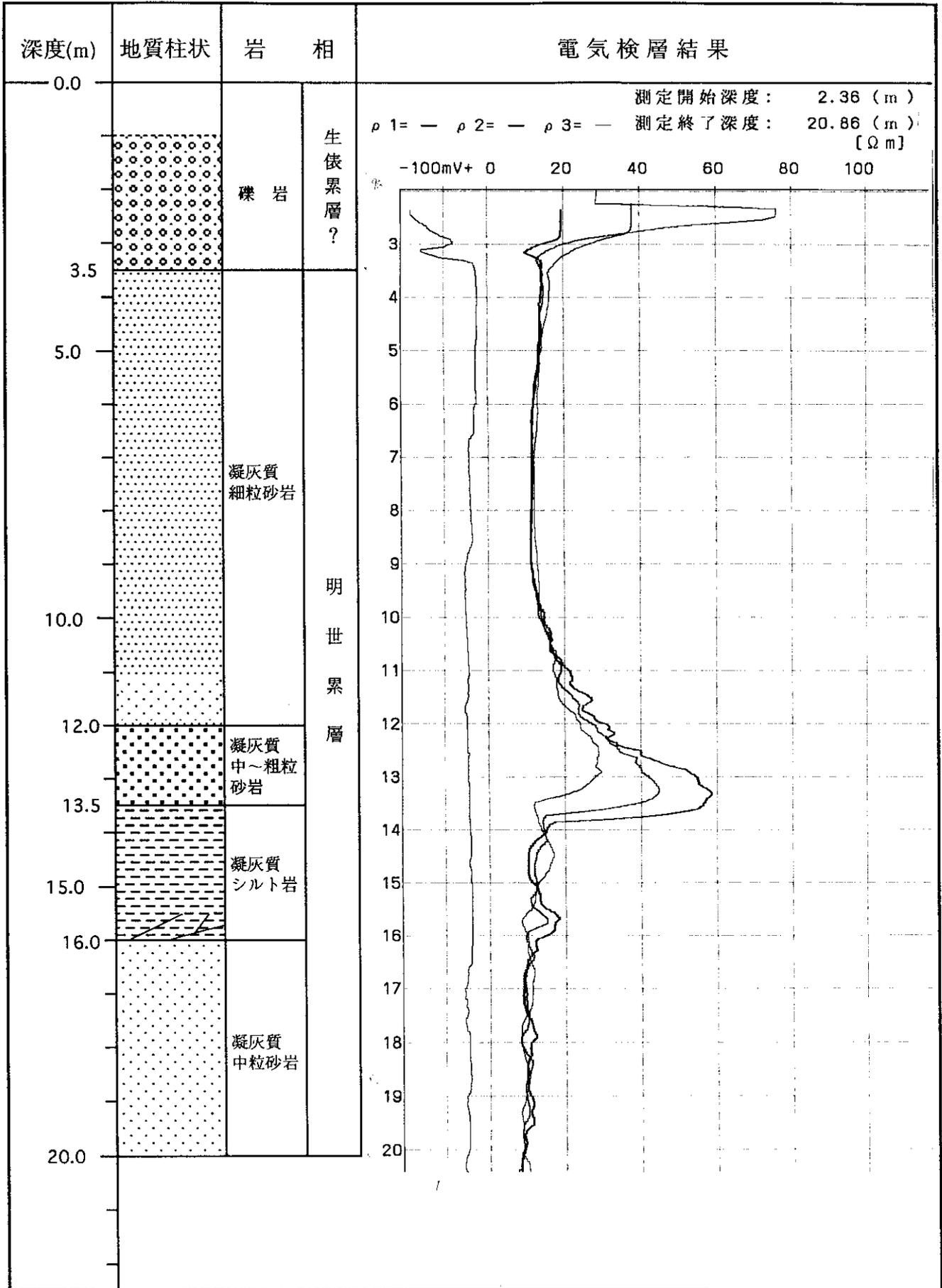
MC-5号孔、MC-7号孔は裸孔にて電気検層を実施した。MC-6号孔では、孔内崩壊が激しく、裸孔での検層が不可能な状況であったため、5"塩化ビニール管に小孔を開けた孔明管を設置して検層を実施した。

本地域では、主として砂岩や礫岩が分布し、比抵抗値は低いと考えられたため、測定電流は20mAとした。

裸孔にて検層を実施したMC-5号孔とMC-7号孔については、砂岩や泥岩部では10～20Ωmの低い比抵抗値を示す。また、礫岩部では50～100Ωm程度の値を示している。いずれも比抵抗値の変化は顕著で、岩相の変化とも調和的である。

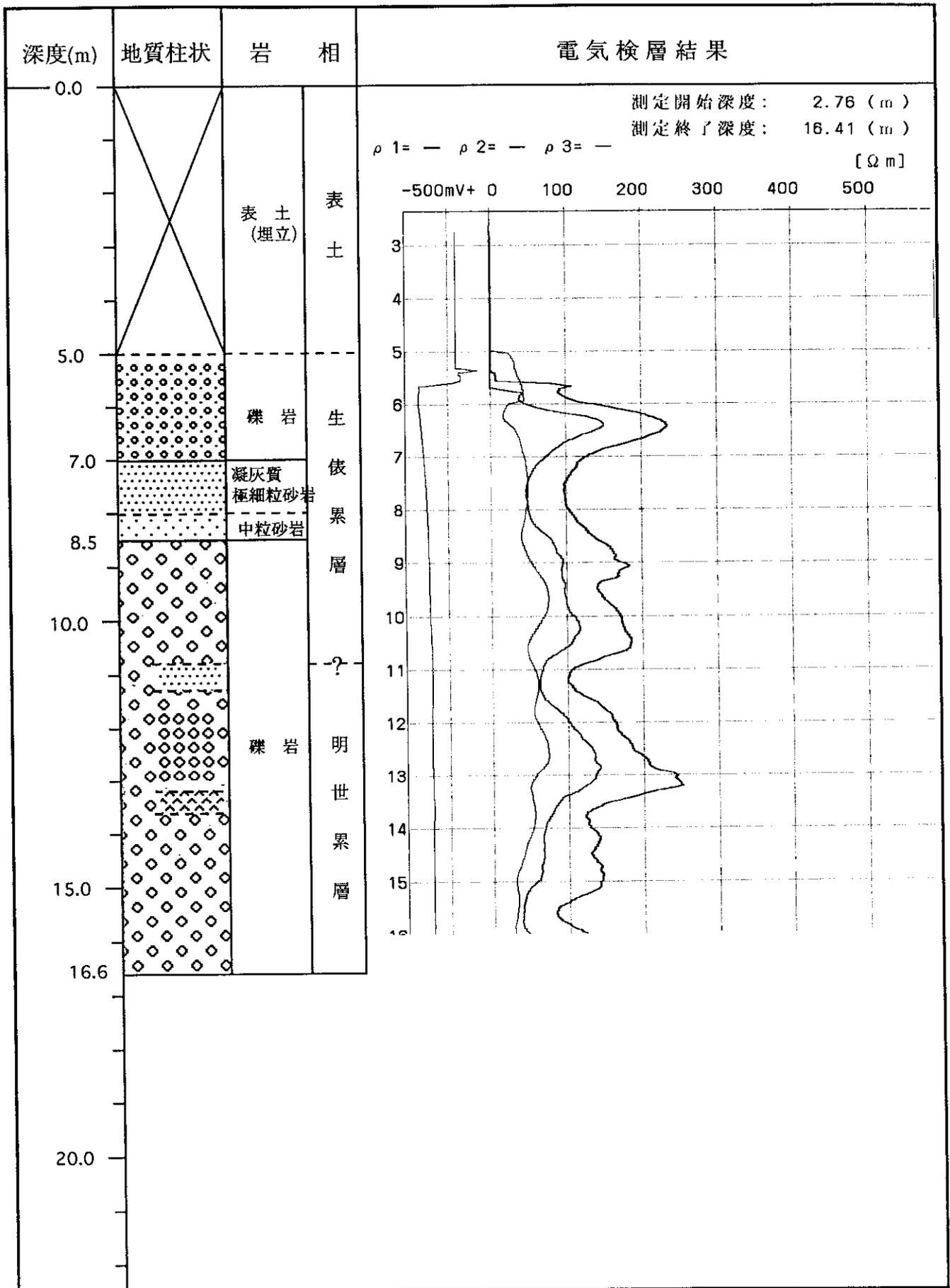
MC-6号孔は、岩相的にはMC-5号孔やMC-7号孔と大差はないため、比抵抗値も同様な値を有するものと考えられる。孔明管を通した検層結果は、やや高めの比抵抗値を示すが、その変化は岩相と調和的である。また、小孔の開いていない部分の塩化ビニール管内での比抵抗値は、25cmの電極間隔で約1.5KΩmであり、検層結果は塩化ビニール管の影響を受けて高い値とはなるが、塩化ビニール自体の比抵抗値ではないと考えられる。したがって、孔明管を通した検層結果も帯水層の判定資料として用いることができると考えられる。

日吉MC-5号孔 電気検層結果



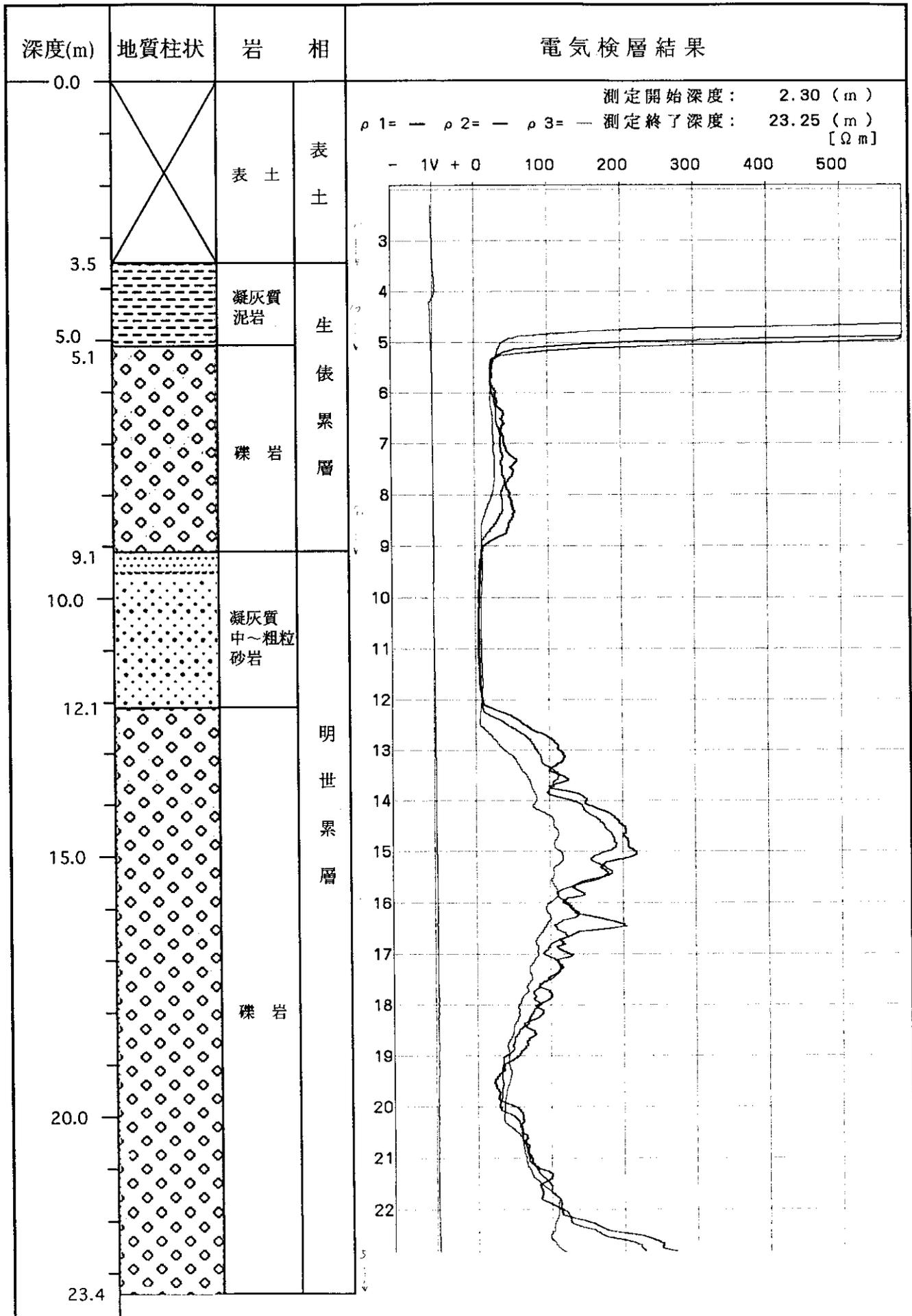
図Ⅱ.3.1 MC-5号孔 電気検層柱状図

日吉MC-6号孔 電気検層結果



図Ⅱ.3.2 MC-6号孔 電気検層柱状図

日吉MC-7号孔 電気検層結果



図Ⅱ.3.3

MC-7号孔 電気検層柱状図

3.3 帯水層の把握

(1) MC-5号孔

電気検層結果は GL-10m付近から GL-14mまで比抵抗値が大きく変化し、地下水の胚胎が示唆される。また、GL-15～-16mでも小さな変化が認められ、若干の地下水が賦存する可能性があるため、GL-10～-16mを揚水試験区間としてストレーナーを設置した。

地質的には、この帯水層は GL-13.5～-16mに堆積する凝灰質シルト岩が難透水層となり、上位の粒度の粗い砂岩層に地下水を胚胎させているものと考えられる。さらに、その上位には検層結果から難透水性と考えられる凝灰質細粒砂岩が堆積しており、本孔の地下水は被圧地下水と考えられる。また、GL-15～-16mの間の変化は、シルト岩中に裂かの発達が推定されており、これに起因するものと推定される。

(2) MC-6号孔

本孔の電気検層結果は、前記のように孔明管を通していているため明瞭ではないが、相対的に低比抵抗値を示す部分（GL-7m付近、GL-11m付近）は、砂岩が堆積する位置にあたる。そして、その上部の礫岩中で比抵抗値は大きく変化し、地下水を胚胎していると考えられる。揚水試験区間としては、比抵抗値の変化の最も大きい GL-12.0～-14.0mを選定した。

GL-13.5～-14m付近では礫岩中に珪化した緻密な岩石を挟んでおり、これが難透水層となり、上位に帯水層を形成していると推定される。また、GL-7～-8.5mには難透水性の砂岩が堆積しており、本孔の試験対象となる地下水は被圧地下水と考えられる。

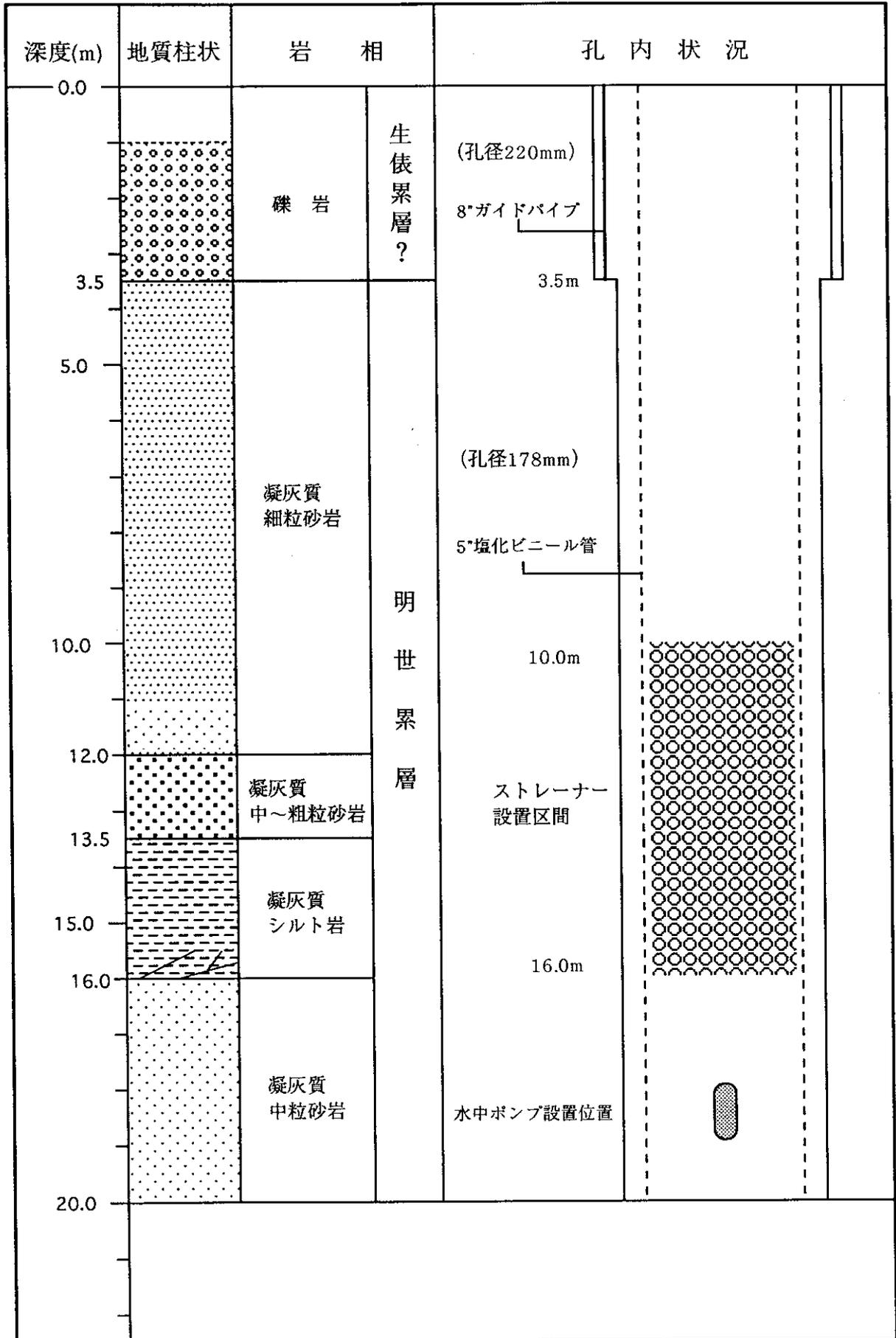
(3) MC-7号孔

電気検層結果は GL-12m以深で顕著に変化が現れる。GL-12～-19mにて大きく変化し地下水の胚胎を示唆している。さらに、GL-20m以深でも地下水の存在が示される。

GL-20m以深の変化は孔底まで達しており連続性が不明なため、揚水試験の区間は GL-12～-19mとした。

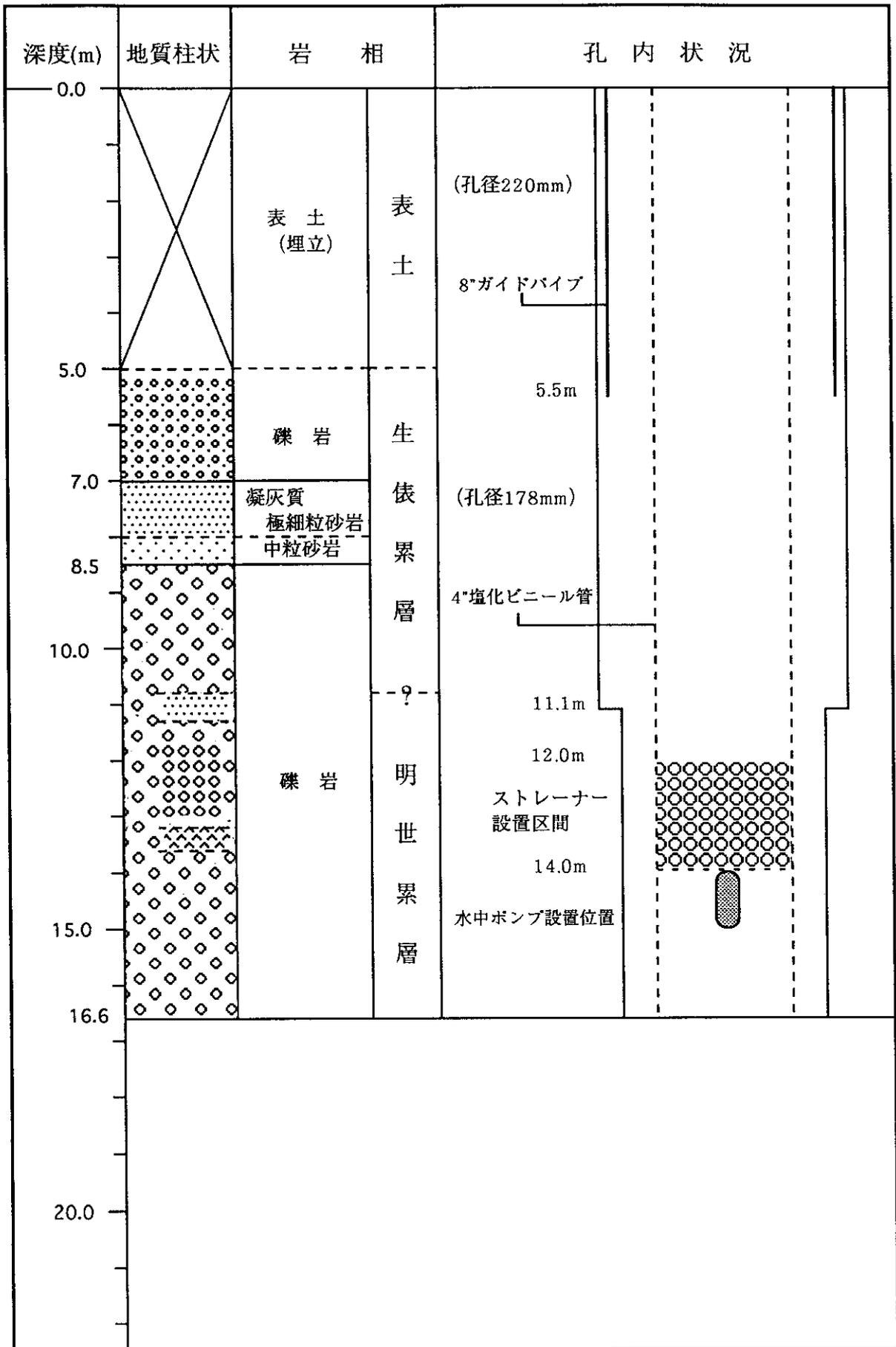
本孔の帯水層は礫岩中に存在する。この礫岩の基質は、全般的には粗粒砂岩であるが、GL-19～-20mの間は細粒の粘土質で透水性が低いため、その上位に地下水の胚胎が可能となったものと考えられる。また、礫岩の上位には難透水性の凝灰質砂岩が堆積しており、地下水は被圧地下水であると考えられる。

日吉MC-5号孔 孔内状況図



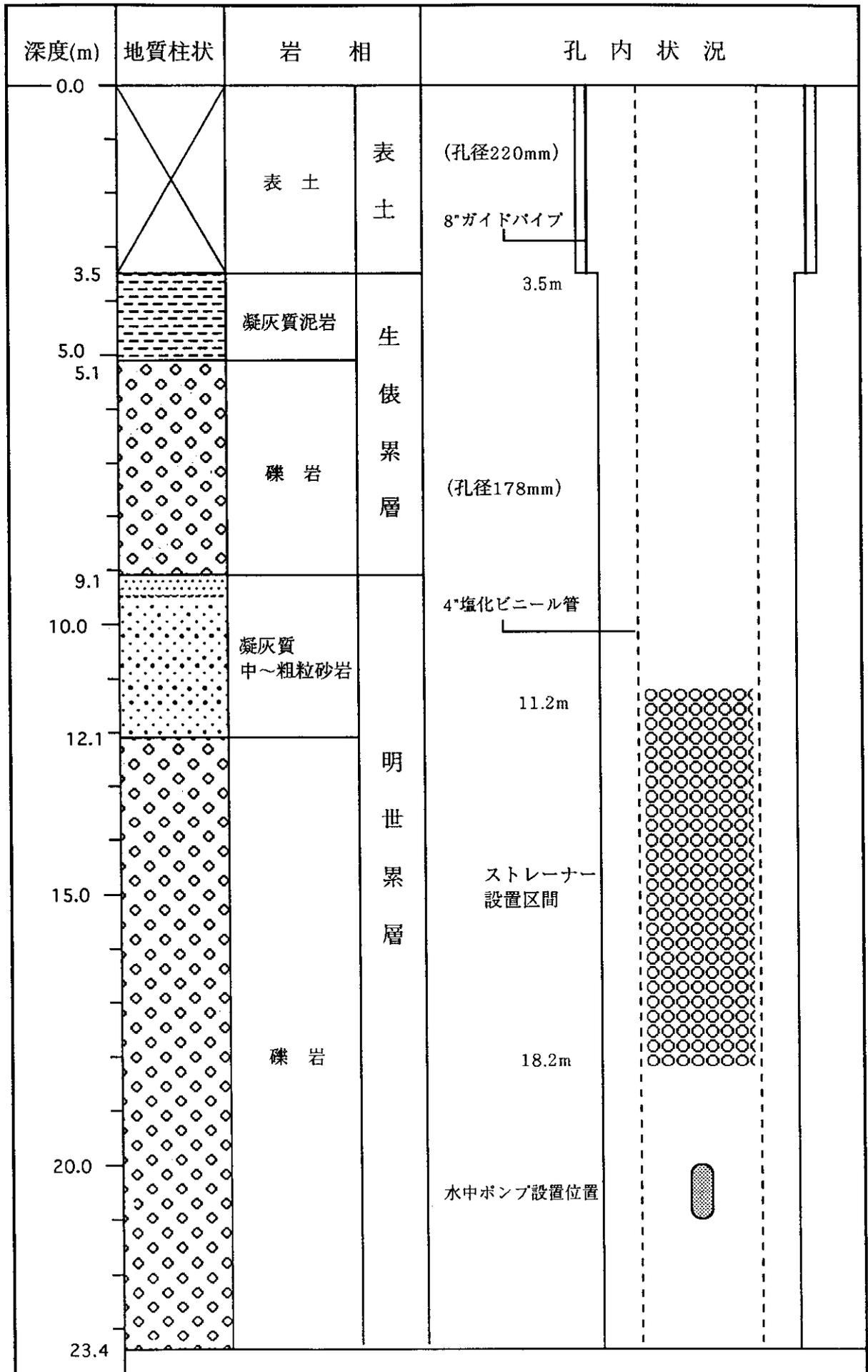
図Ⅱ.3.4 MC-5号孔 孔内状況図

日吉MC-6号孔 孔内状況図



図Ⅱ.3.5 MC-6号孔 孔内状況図

日吉MC-7号孔 孔内状況図



図Ⅱ.3.6 MC-7号孔 孔内状況図

4. 揚水試験および水位回復試験

4.1 概要

4.1.1 試験内容

調査地域における帯水層の水理学的特性を把握するため、揚水試験および水位回復試験を実施して帯水層係数（透水量係数、透水係数、貯留係数、比貯留係数）を算出する。

試験は、①段階揚水試験、②定流量揚水試験および③水位回復試験の順に実施する。

段階揚水試験は、比較的短い時間毎に一定量の揚水を行い、段階的に揚水量を増加させ揚水量と水位降下量の関係を求める。この結果から、井戸の限界揚水量と定流量揚水試験時の揚水量を決定する。

定流量揚水試験および水位回復試験は、帯水層係数を算出するための試験である。定流量揚水試験では、一定量の揚水を継続し、水位降下を経時的に測定する。水位回復試験は、定流量揚水試験の揚水を停止した時点から開始し、水位回復状況を定流量揚水試験と同様に経時的に測定する。

4.1.2 試験に用いる試錐孔とその措置

本調査で実施する揚水試験では、観測井は設けず、1つの試錐孔（揚水井）において揚水と水位変化の測定を同時に行う揚水井単独での揚水試験を実施した。

地質状況と電気検層から推定される帯水層についてストレーナー（塩化ビニール管）を設置するが、孔壁とストレーナー間の充填や帯水層の上下の遮水などの措置は施していない。

4.1.3 使用機器

揚水試験および水位回復試験に使用した機器は次のとおりである。

- ①揚水装置：水中モーターポンプ、インバーター、揚水管、逆止弁
- ②水量測定：計測バケツ
- ③水位測定：水位計、水位センサー
- ④時間計測：ストップウォッチ

本調査では水中モーターポンプを用いて揚水を行った。水中モーターポンプにはインバーターを接続し、ポンプ出力を制御することにより揚水量の調節が可能である。また、水中ポンプ直上には逆止弁を設置し、ポンプ停止直後に揚水管内に留まった水が孔内に逆流することを防ぐ。

揚水量の測定には容量10ℓの計測バケツを用いた。水位の測定には巻尺式の水位計を用い、mm単位まで読取を行った。同時に、孔内には水位センサー（最小読取単位10cm）を設置しており、随時水位を確認できる。

4.2 試験手順

4.2.1 段階揚水試験

- ① 調査地域の地質や掘削時の湧水状況、さらには水中ポンプ据付後の予備揚水の結果に基づき、4～5段階の揚水量を設定する。
- ② 試験開始直前に初期水位の測定を行う。
- ③ ①で設定した少量の揚水量から揚水を開始し、経時的に水位を測定して水位降下量を求める。また、水位降下に伴って揚水量が減少するため、揚水量を測定し必要に応じて調節を行う。

水位測定の時間間隔は次のように設定したが、水位変化の状況により調整した。

揚水開始から最初の1分間	:	10秒毎
以下	3分まで	: 30秒毎
	5分まで	: 1分毎
	30分まで	: 5分毎
	1時間まで	: 10分毎
	以後	: 30分毎

- ④ 各段階の揚水継続時間は定めず、水位降下の状況から定常状態への移行が確認されるまでとする。この状態の判定には、片対数グラフ上にプロットした揚水継続時間（対数）と水位降下量の関係を用いる。グラフ上にプロットされた点は、時間の経過につれて直線上に配列する。水位降下の割合が減少し、プロットがこの直線から外れることから定常状態への移行を判定する。
- ⑤ 定常状態への移行が確認された時点で揚水量を増加させ、上記の測定を繰り返す。

なお、日吉町地区各孔の段階揚水試験の揚水量は次のように設定した。

MC-5号孔： 6ℓ/分、12ℓ/分、20ℓ/分、28ℓ/分

MC-6号孔： 5ℓ/分、8ℓ/分、12ℓ/分

MC-7号孔： 10ℓ/分、18ℓ/分、25ℓ/分、36ℓ/分、60ℓ/分

4.2.2 定流量揚水試験

- ① 段階揚水試験の結果に基づき揚水量を決定する（試験結果の項を参照）。
- ② 試験開始直前に初期水位を測定する。
- ③ 初期水位測定後、揚水を開始する。設定した揚水量となるよう速やかに調節する。
揚水開始と同時に時間計測を開始し、経時的に水位を測定して水位降下量を求める。
水位の測定は巻尺式の水位計を用いてmm単位まで読取る。

水位測定の時間間隔は次のように設定したが、水位変化の状況により調整した。

揚水開始から最初の1分間	:	10秒毎
以下 5分まで	:	30秒毎
10分まで	:	1分毎
30分まで	:	5分毎
1時間まで	:	10分毎
以後	:	30分毎

- ④ 揚水量は水位の降下に伴い減少する。このため、随時、揚水量の測定を行い一定の揚水量を保つよう調整する。
- ⑤ 揚水は水位降下の状況から定常状態への移行が確認されるまでとする。この判定は段階揚水試験の手順に述べたとおりである。

なお、各孔の定流量揚水試験の揚水量は、段階揚水試験の結果より次のように設定した（試験結果の項を参照）。

MC-5号孔	:	16ℓ/分
MC-6号孔	:	8ℓ/分
MC-7号孔	:	16ℓ/分

4.2.3 水位回復試験

- ① 定流量揚水試験を終了し、揚水を停止した時点から水位回復試験を開始する。
- ② 揚水を停止した時点から、定流量揚水試験と同じ時間間隔により経時的に水位を測定し、揚水停止時水位からの水位回復量および定流量揚水試験開始時の初期水位との水位差（残留水位降下量）を求める。

4.3 解析法

4.3.1 段階揚水試験

段階揚水試験の結果は、両対数グラフ上に揚水量（Q）と水位降下量（s）の関係をプロットして整理する。このグラフ上においてプロットの勾配が45° から変化する点が、揚水井近傍の地下水の流れが層流状態から乱流状態へ移行する限界揚水量とされる。この結果から、乱流状態を生じない揚水量を設定し、次の定流量揚水試験を実施する。

4.3.2 定流量揚水試験

理想的な条件下で定流量揚水された場合の水位降下量（s）は、タイスの公式で次式のように示される。

$$s = \frac{Q}{4 \pi T} W(u) \quad \text{式(4.1)}$$

ここで、 $u < 0.01$ であれば（4.1）式は、

$$s = \frac{2.3Q}{4 \pi T} \left\{ \log \left(\frac{t}{r^2} \right) - \log \left(\frac{S}{2.25T} \right) \right\} \quad \text{式(4.2)}$$

と近似される（ヤコブの近似式）。

- ここで、
- s : 水位降下量 (m)
 - r : 揚水井からの距離 (m)
 - t : 揚水開始からの経過時間 (min)
 - Q : 揚水量 (m^3/min)
 - T : 透水量係数 (m^2/min)
 - S : 貯留係数
 - u : $S r^2 / 4 T t$
 - W(u) : 井戸関数

さらに、任意の観測井について、揚水継続時間 t_1 、 t_2 の水位降下量を s_1 、 s_2 として差をとると（4.2）式より、

$$\begin{aligned} \Delta s = s_2 - s_1 &= \frac{2.3Q}{4 \pi T} \left\{ \log \left(\frac{t_2}{r^2} \right) - \log \left(\frac{S}{2.25T} \right) \right\} \\ &\quad - \frac{2.3Q}{4 \pi T} \left\{ \log \left(\frac{t_1}{r^2} \right) - \log \left(\frac{S}{2.25T} \right) \right\} \\ &= \frac{2.3Q}{4 \pi T} \left(\log \frac{t_2}{t_1} \right) = \frac{0.183Q}{T} \left(\log \frac{t_2}{t_1} \right) \quad \text{式(4.3)} \end{aligned}$$

となる。

解析は、片対数グラフの対数目盛に揚水継続時間（ t ）、算術目盛に水位降下量（ s ）をプロットし、この $t-s$ 曲線に近似する直線を引く。 $\log t$ の 1 サイクル間の水位降下を Δs にとれば、(4.3)式で $\log t_2/t_1 = 1$ となり、透水量係数（ T ）は次式により求められる。

$$T = \frac{0.183Q}{\Delta s} \quad \text{式(4.4)}$$

また、直線を延長して、水位降下量 $s = 0$ の軸との交点 t_0 を求めると、(4.2)式より、貯留係数（ S ）を次式で求めることができる。

$$S = \frac{2.25T \cdot t_0}{r^2} \quad \text{式(4.5)}$$

4.3.3 水位回復試験

一般に、水位回復のデータ解析には、タイスの方法が用いられる。

揚水停止後の残留水位降下量 s' は、揚水量 Q の揚水が継続された場合の水位降下量 s_1 と揚水停止時から開始される注水量 Q の注水による水位の上昇量 s_2 の和として表すことができる。

$$s' = s_1 + s_2$$

$$s_1 = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \approx \frac{Q}{4\pi T} \ln \left(\frac{2.25Tt}{Sr^2} \right)$$

$$s_2 = \frac{Q}{4\pi T} W(u') \approx \frac{Q}{4\pi T} \ln \left(\frac{2.25Tt'}{S'r^2} \right)$$

$$s' \approx \frac{Q}{4\pi T} \left\{ \ln \left(\frac{2.25Tt}{Sr^2} \right) - \ln \left(\frac{2.25Tt'}{S'r^2} \right) \right\} \quad \text{式(4.6)}$$

となる。ここで、

- t : 揚水開始からの時間
- t_0 : 揚水停止までの時間
- t' : 揚水停止からの時間 ($t' = t - t_0$)
- S' : 回復期間中の貯留係数
- $u = Sr^2 / 4Tt$
- $u' = S'r^2 / 4Tt'$

である。

(4.6)式において $S = S'$ であれば、

$$s' = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log\left(\frac{t}{t'}\right) \quad \text{式(4.7)}$$

となる。

解析は、片対数グラフの対数目盛に t/t' 、算術目盛に残留水位低下量 s' をプロットし、このプロットに近似する直線を引く。この直線の $\log(t/t')$ の1サイクル間の勾配 $\Delta s'$ を求めれば次式により透水量係数 T が求められる。

$$T = \frac{2.3Q}{4\pi \Delta s'} = \frac{0.183Q}{\Delta s} \quad \text{式(4.8)}$$

なお、この方法では、貯留係数を求めることはできない。

西垣・高坂(1984)は、回復試験結果から貯留係数を求める方法を示している。

揚水停止後の水位回復量 s_r は、残留水位低下量 s' と揚水停止時の水位低下量 s_0 を用いて次のように表される。

$$\begin{aligned} s_r &= s_0 - s' \\ s_r &\approx \frac{Q}{4\pi T} \left\{ \ln\left(\frac{2.25T t_0}{S r^2}\right) - \ln\left(\frac{2.25T t}{S r^2}\right) + \ln\left(\frac{2.25T t'}{S' r^2}\right) \right\} \\ &= \frac{2.3Q}{4\pi T} \left\{ \log\left(\frac{t_0 t'}{t r^2}\right) - \log\left(\frac{S'}{2.25T}\right) \right\} \quad \text{式(4.9)} \end{aligned}$$

この式は、(4.2)式と同型であり、片対数グラフ上に s_r と $\log(t_0 t'/t r^2)$ の関係をプロットし、このプロットに最もよく合う直線を引いて、この直線の $\log(t/t')$ の1サイクル間の勾配 Δs_r および水位回復量 $s = 0$ との交点 $(t_0 t'/t r^2)_0$ を求めれば、次式により透水量係数 T と貯留係数 S' が得られる。

$$T = \frac{2.3Q}{4\pi \Delta s_r} = \frac{0.183Q}{\Delta s_r} \quad \text{式(4.10)}$$

$$S' = 2.25T \left(\frac{t_0 t'}{t r^2}\right)_0 \quad \text{式(4.11)}$$

4.4 試験結果および解析

各試験の測定値についてはデータシートとして巻末に一括して掲載する。

4.4.1 MC-5号孔

(1) 段階揚水試験

MC-5号孔の段階揚水試験の結果を図Ⅱ.4.1および図Ⅱ.4.2に示す。図Ⅱ.4.1には揚水量と水位降下量の関係を、図Ⅱ.4.2には各揚水量毎の揚水継続時間と水位降下量の関係を示した。

試験は6ℓ/分、12ℓ/分、20ℓ/分、28ℓ/分の4段階の揚水を行った。28ℓ/分の揚水では、水位の定常状態は観察されず、井戸底まで水位降下が継続していたため、図Ⅱ.4.1には含まれていない。

図Ⅱ.4.1のプロットでは3点がほぼ直線上に配列して大きな変化が見られず、さらに20ℓ/分の揚水時に水位が安定する徴候が認められたため、20ℓ/分を本孔の限界揚水量と考え、定流量揚水試験の揚水量はその80%の16ℓ/分と設定した。

(2) 定流量揚水試験および水位回復試験

MC-5号孔の定流量揚水試験は揚水量16ℓ/分で行い、揚水を16時間（780分）継続し、その後、水位回復試験に移行し14時間（840分）の水位回復状況を測定した。定流量揚水試験の結果を図Ⅱ.4.3に、水位回復試験の結果を図Ⅱ.4.4～図Ⅱ.4.5に示す。

定流量揚水試験の結果（図Ⅱ.4.3）は、片対数グラフ上において、水位降下曲線が上に凸の曲線となった。このような上に凸の曲線は過剰揚水の場合とされる。この原因は、段階揚水試験から求めた限界揚水量が過剰であったためと考えられる。図Ⅱ.4.2において、20ℓ/分の揚水時の水位降下曲線もやや上に凸の曲線となっており、水位の安定する徴候は認められたものの真の限界揚水量に対して過剰な揚水であったと考えられる。したがって、図Ⅱ.4.1に点線で示したように12ℓ/分程度が本孔の真の限界揚水量であったと考えられる。

また、図Ⅱ.4.3より水位降下量12.5m（GL-14m）以深では、水位は急激に降下する。電気検層の結果からは、本孔の主要な帯水層はGL-11～-14mと考えられ、地質的にはGL-13.5m付近で岩相が変化し凝灰質シルト岩が分布する。この水位の急激な降下は、水位がGL-11～-14mの帯水層下まで降下し、それ以深には有効な帯水層が存在せず、地下水の供給が断たれたためと考えられる。このことから、凝灰質シルト岩が難透水層となり上位の地層中に地下水を胚胎させているものと推定される。

MC-5号孔での定流量揚水試験および水位回復試験の結果より帯水層係数の算出を行った。前項の解析法に記したように、定流量揚水試験についてはヤコブの方法、水位回復試験についてはタイスの方法と、西垣・高坂の方法を用いて解析を行った。

解析結果については、各試験の結果図(図Ⅱ.4.3~図Ⅱ.4.5)に示している。また、算出された帯水層係数は本項末に他孔と一括して一覧表(表Ⅱ.4.1)として示す。

この結果、いずれも 10^{-4} (cm/sec)オーダーの透水係数が得られたが、水位回復試験では定流量揚水試験よりも小さな値となっている。

なお、被圧帯水層中の透水量係数 T と透水係数 k の関係は、帯水層の層厚を D として、

$$T = k D \quad \text{式(4.12)}$$

で表される。前述のように、本孔の帯水層はGL-14m以浅にあると考えられる。しかし、ストレーナーはGL-10.0m~-16.0mの間に設置され、試験時にはこの全区間から地下水が供給されるため、帯水層の層厚は6mとした。したがって、求められた帯水層係数は、この区間の平均的な値を示している。

4.4.2 MC-6号孔

(1) 段階揚水試験

MC-6号孔の段階揚水試験の結果を図Ⅱ.4.6および図Ⅱ.4.7に示す。

試験は5ℓ/分、8ℓ/分、12ℓ/分の3段階の揚水を行った。また、図Ⅱ.4.6には段階揚水試験前に行った予備揚水時の6ℓ/分揚水の水位降下量を含めている。

図Ⅱ.4.7より、8ℓ/分揚水時に、GL-6~-8m付近まで水位が急降下している。その後、プロットは直線上に配列し、最終的には定常状態への移行を示している。また、図Ⅱ.4.6においても、両対数グラフ上で勾配 45° の線を2本引くことができる。これは、帯水層が複数存在するためと考えられる。本孔は、GL-7.0~-8.5mの凝灰質砂岩、GL-11m付近の砂岩、GL-13m付近の珪化部など難透水層となり得る岩相が複数存在する。電気検層の結果もこれを示唆しており、これらの層を難透水層としてその上位に複数の帯水層が存在しているものと推定される。ストレーナーはそのうちの1層に設置しているが、各帯水層間に遮水措置は施していないため、互いに影響を及ぼすことは十分に考えられる。

さて、本孔の限界揚水量については、図Ⅱ.4.6において2つの直線関係が得られるが、12ℓ/分揚水では勾配 45° の直線上にプロットされ定常状態への移行も確認されること、さらに、予備揚水時に16ℓ/分では過剰揚水の水位降下曲線となったことから、12ℓ/

分を限界揚水量と考え、定流量揚水試験の揚水量を 8 ℓ / 分と設定した。

(2) 定流量揚水試験および水位回復試験

MC - 6 号孔の定流量揚水試験は揚水量 8 ℓ / 分で行い、揚水を 4 時間 (240 分) 継続し、その後、水位回復試験に移行し 5 時間 30 分 (330 分) の水位回復状況を測定した。定流量揚水試験の結果を図 II. 4. 8 に、水位回復試験の結果を図 II. 4. 9 ~ 図 II. 4. 10 に示す。

図 II. 4. 8 に示されるとおり、定流量揚水試験においても GL- 6 ~ - 8 m 付近まで水位が急降下しており、段階揚水試験時の水位降下の状況が再現された結果となった。この現象は、本孔の水位変化の特徴であり、前述のとおり複数の帯水層の存在に起因するものと考えられる。

MC - 6 号孔での定流量揚水試験および水位回復試験の結果より帯水層係数の算出を行った。前項の解析法に記したように、定流量揚水試験についてはヤコブの方法、水位回復試験についてはタイスの方法と、西垣・高坂の方法を用いて解析を行った。

解析結果については、各試験の結果図 (図 II. 4. 9 ~ 図 II. 4. 10) に示している。また、算出された帯水層係数は本項末に他孔と一括して一覧表 (表 II. 4. 1) として示す。

この結果、いずれも 2.0×10^{-1} (cm/sec) 前後の透水係数が得られたが、比貯留係数については、水位回復試験の結果は小さな値となっている。

4. 4. 3 MC - 7 号孔

(1) 段階揚水試験

MC - 7 号孔の段階揚水試験の結果を図 II. 4. 11 および図 II. 4. 12 に示す。

試験は 10 ℓ / 分、18 ℓ / 分、25 ℓ / 分、36 ℓ / 分、60 ℓ / 分の 5 段階の揚水を行った。図 II. 4. 12 に示されるように、10 ℓ / 分から 36 ℓ / 分までの 4 つの段階では水位は定常状態への移行を示した。しかし、60 ℓ / 分の揚水では過剰揚水の状態にあり、水位は井戸底まで降下した。

また、図 II. 4. 11 より、揚水量 18 ℓ / 分までは勾配 45° の直線上にプロットされ、20 ℓ / 分の揚水量から図中の点線のように勾配 45° の直線上から外れることが明らかとなった。

したがって、本孔の限界揚水量を 20 ℓ / 分と考え、定流量揚水試験の揚水量を 16 ℓ / 分と設定した。

(2) 定流量揚水試験および水位回復試験

MC-7号孔の定流量揚水試験は揚水量16ℓ/分で行い、揚水を3時間(180分)継続し、その後、水位回復試験に移行し6時間(360分)の水位回復状況を測定した。定流量揚水試験の結果を図Ⅱ.4.13に、水位回復試験の結果を図Ⅱ.4.14～図Ⅱ.4.15に示す。

図Ⅱ.4.13では、揚水継続時間が3分～100分の間で水位降下曲線は直線状となり、それ以降に定常状態へ移行している。この水位降下曲線から、ほぼ理想的な条件下で試験が行われたと考えることができる。

MC-7号孔での定流量揚水試験および水位回復試験の結果より帯水層係数の算出を行った。前項の解析法に記したように、定流量揚水試験についてはヤコブの方法、水位回復試験についてはタイスの方法と、西垣・高坂の方法を用いて解析を行った。

解析結果については、各試験の結果図(図Ⅱ.4.13～図Ⅱ.4.15)に示している。また、算出された帯水層係数は他孔の結果と一括して一覧表(表Ⅱ.4.1)として示す。

この結果、透水係数は 5.0×10^{-4} (cm/sec)前後の透水係数が得られたが、比貯留係数については、水位回復試験の結果が小さな値を示している。

表Ⅱ.4.1 日吉地区 帯水層係数一覧表

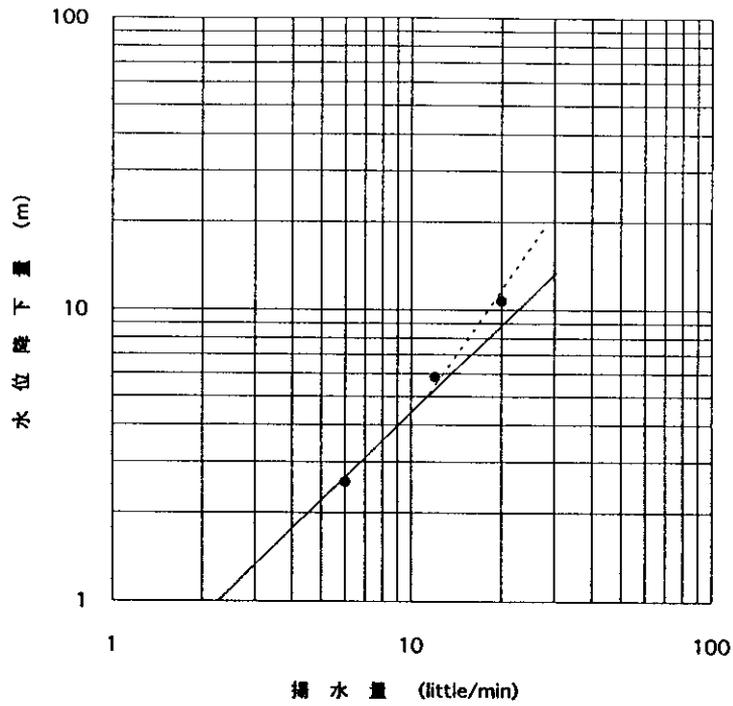
	透水量係数		透水係数 (cm/sec)	貯留係数	比貯留係数 (1/cm)
	(m ² /min)	(cm ² /sec)			
日吉地区 MC-5号孔 (D=6 m)					
16ℓ/min 定量揚水試験	1.64×10^{-3}	2.73×10^{-1}	4.56×10^{-4}	0.251	4.18×10^{-4}
水位回復試験	6.43×10^{-4}	1.07×10^{-1}	1.79×10^{-4}	0.176	2.93×10^{-4}
日吉地区 MC-6号孔 (D=2 m)					
8ℓ/min 定量揚水試験	2.32×10^{-4}	3.87×10^{-2}	1.93×10^{-4}	3.324	1.66×10^{-2}
水位回復試験	3.04×10^{-4}	5.07×10^{-2}	2.53×10^{-4}	1.798	8.99×10^{-3}
日吉地区 MC-7号孔 (D=7 m)					
16ℓ/min 定量揚水試験	1.73×10^{-3}	2.88×10^{-1}	4.12×10^{-4}	1.335	1.91×10^{-3}
水位回復試験	2.87×10^{-3}	4.78×10^{-1}	6.83×10^{-4}	0.169	2.41×10^{-4}

表Ⅱ.4.1のように、日吉町常柄地区3孔について帯水層係数が算出されたが、透水係数については各試験で多少のばらつきがみられるものの、 10^{-4} (cm/sec)オーダーの値が得られた。しかし、比貯留係数については、MC-5号孔では定量揚水試験と水位回復試験でほぼ同じ値が得られたが、いずれの孔についても水位回復試験の結果は小さな値をしめしている。

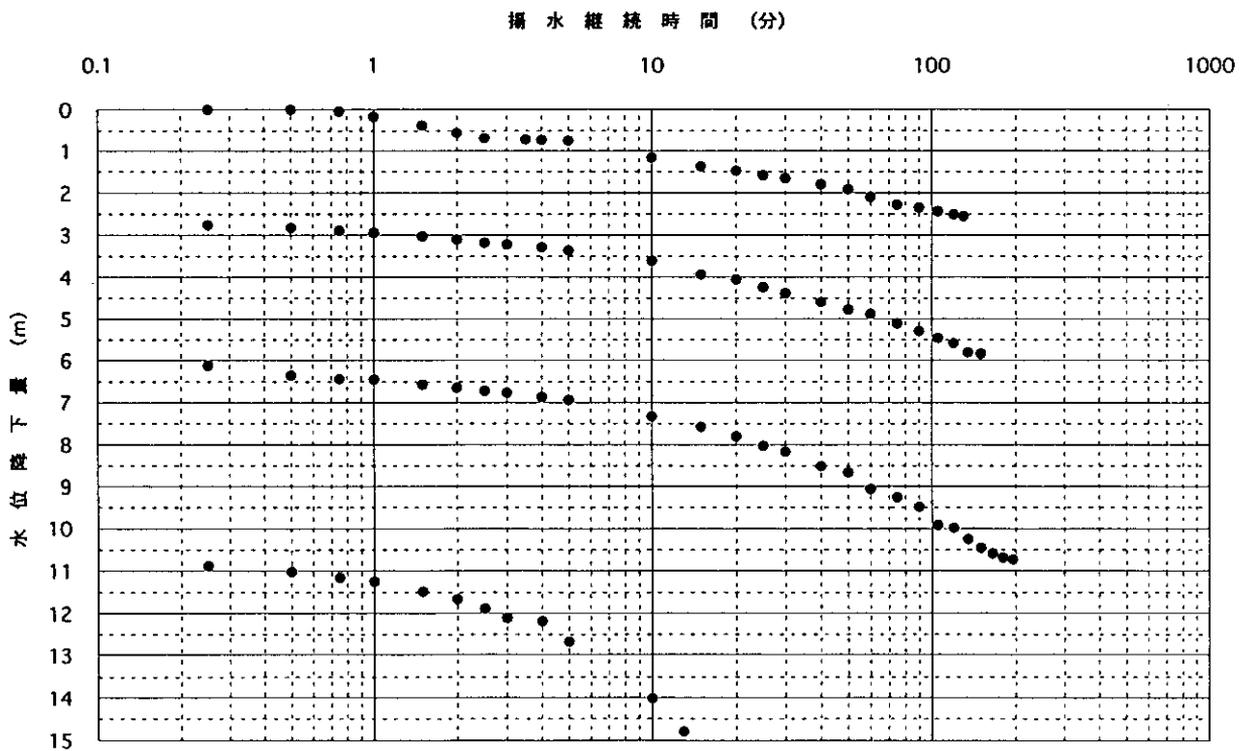
4.5 地下水試料の採水

日吉地区の3孔(MC-5号孔~MC-7号孔)の地下水の採水を揚水試験時に行った。水中ポンプにより汲み出された地下水を地上にて採水びんに採水した。

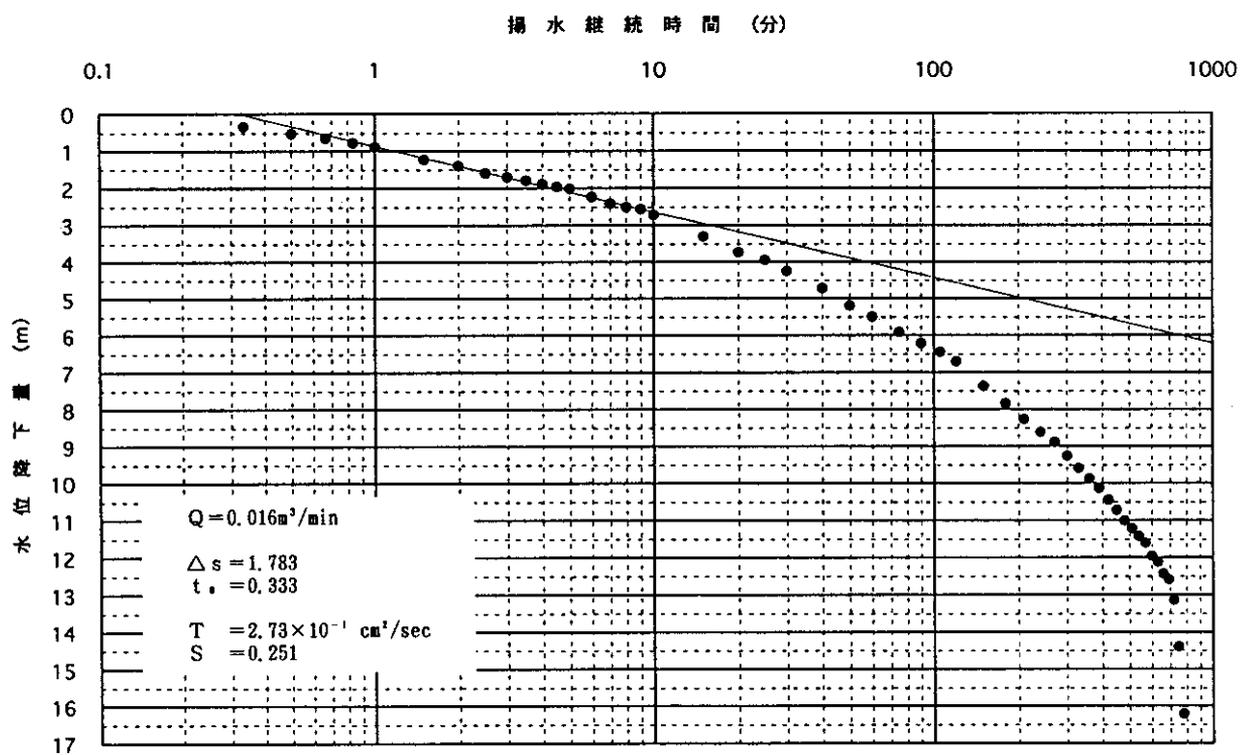
採水した地下水の化学分析は動燃事業団により実施された。分析結果を資料として表Ⅱ.4.2に示す。



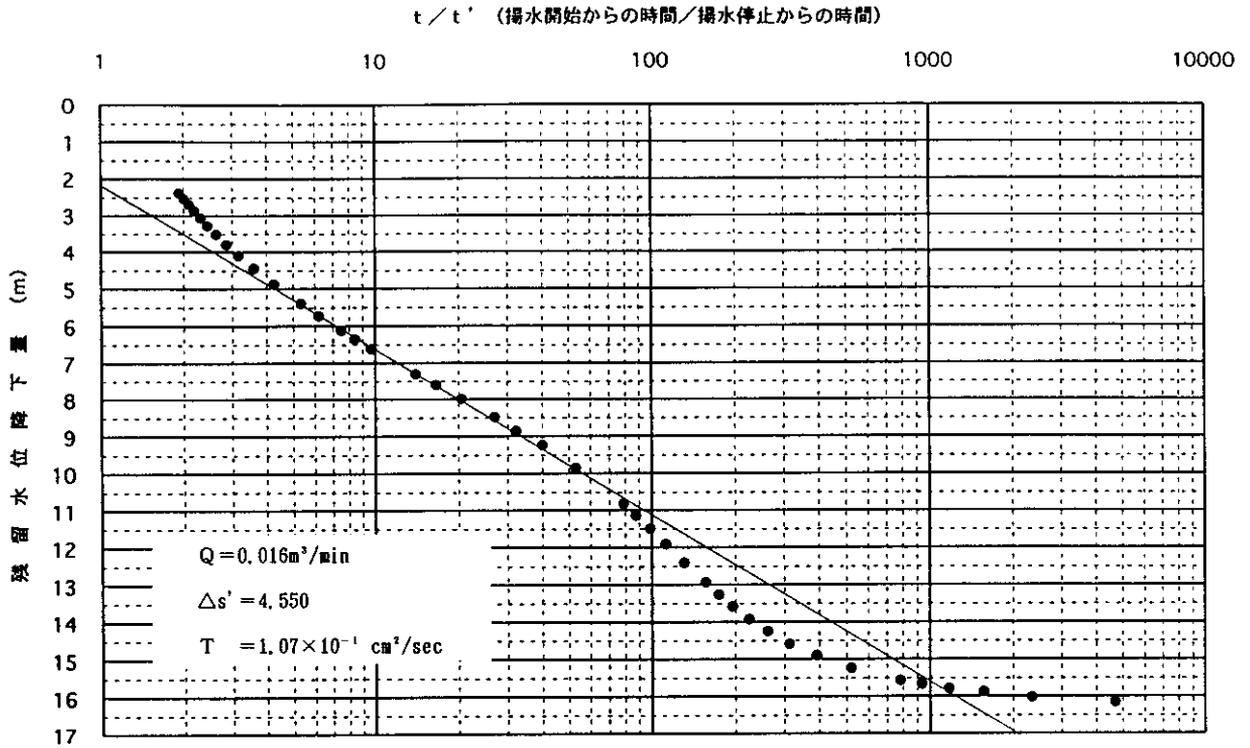
図II.4.1 MC-5号孔 段階揚水試験結果 (揚水量-水位降下量関係図)



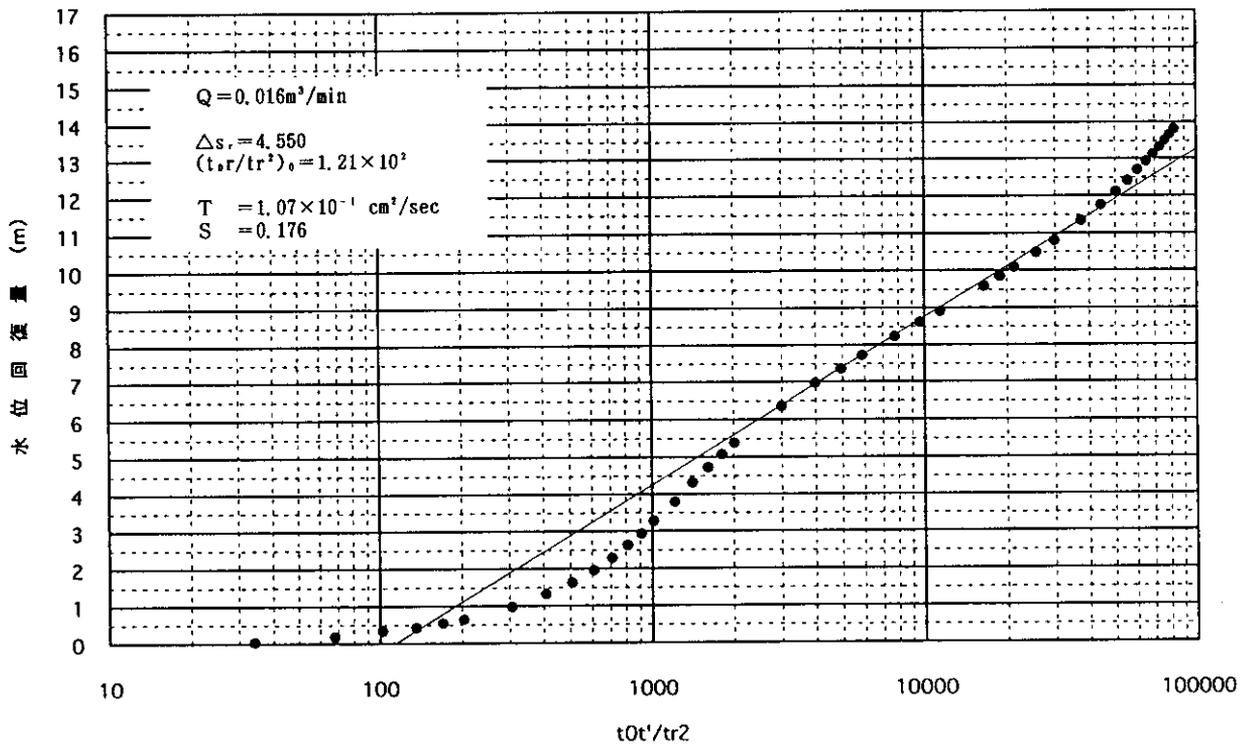
図II.4.2 MC-5号孔 段階揚水試験結果 (揚水継続時間-水位降下量関係図)



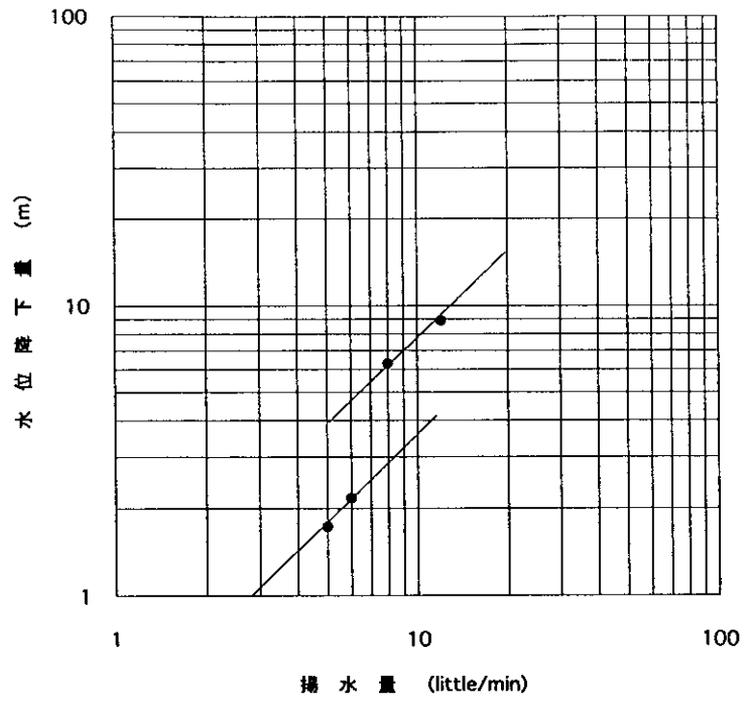
図II. 4. 3 MC - 5号孔 定流量揚水試験結果



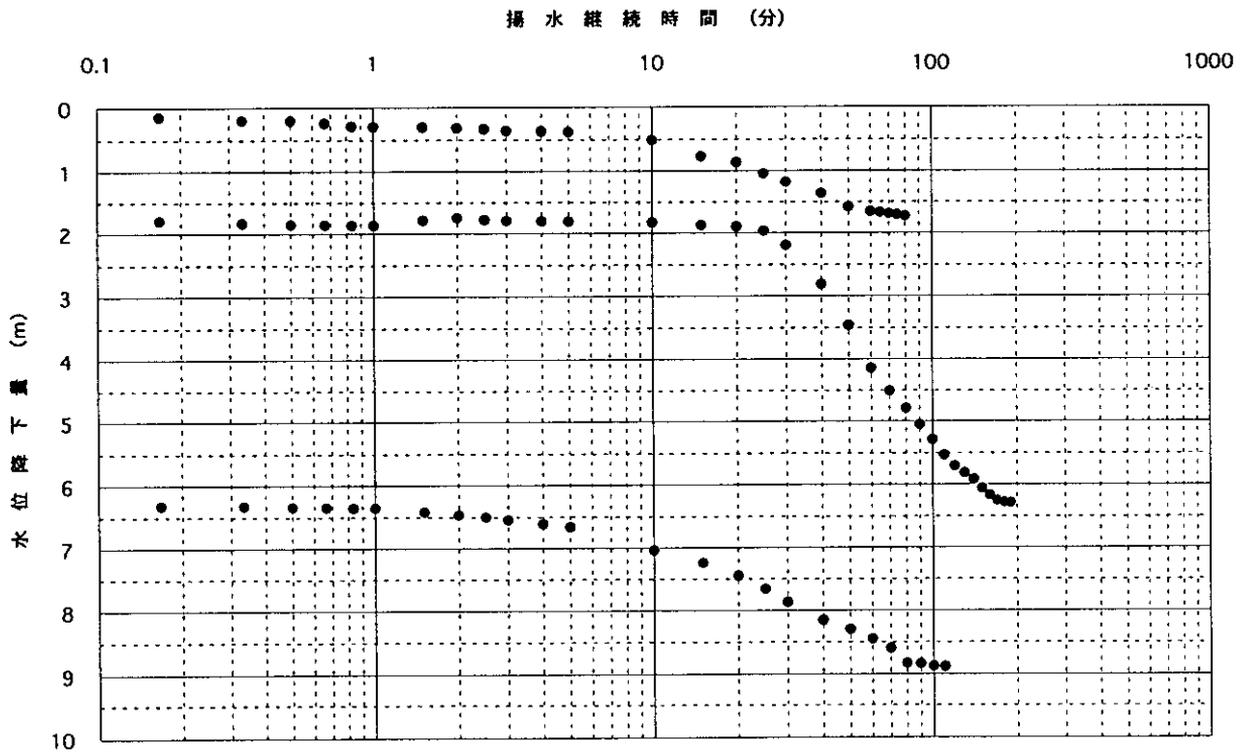
図Ⅱ.4.4 MC-5号孔 水位回復試験結果 (タイスの方法)



図Ⅱ.4.5 MC-5号孔 水位回復試験結果 (西垣・高坂の方法)



図II.4.6 MC-6号孔 段階揚水試験結果 (揚水量-水位降下量関係図)



図II.4.7 MC-6号孔 段階揚水試験結果 (揚水継続時間-水位降下量関係図)

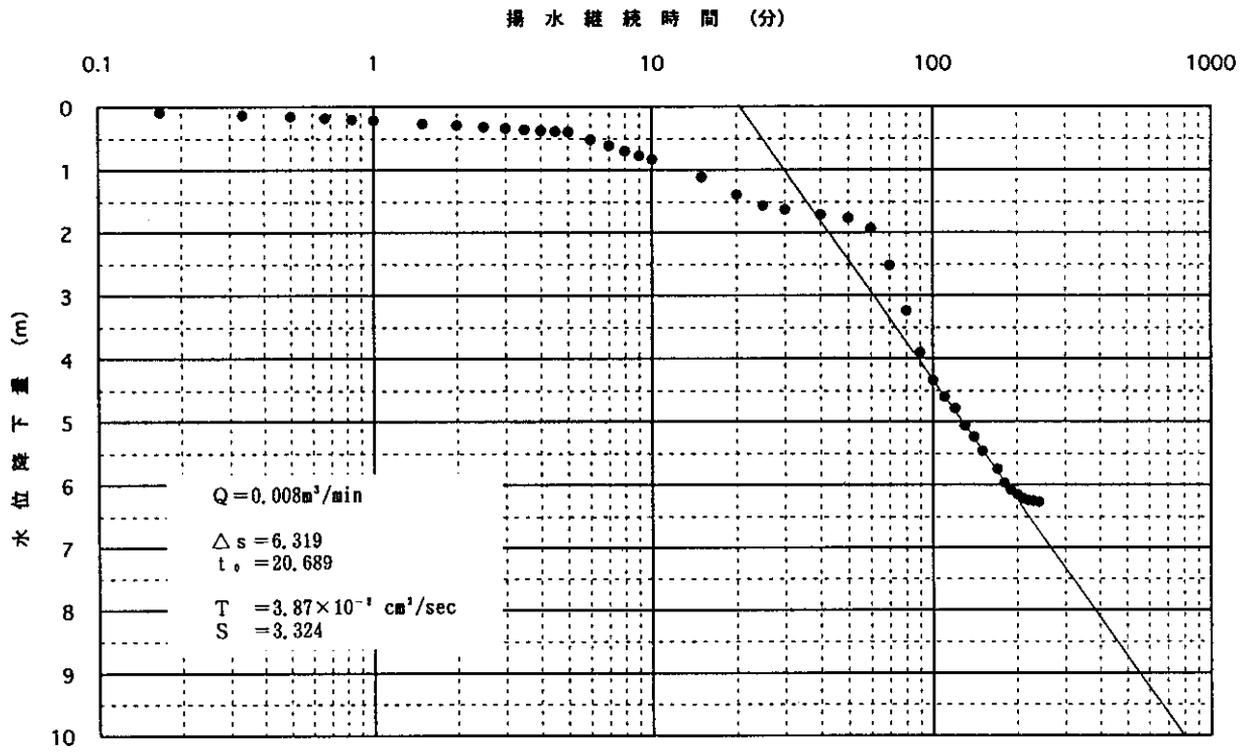
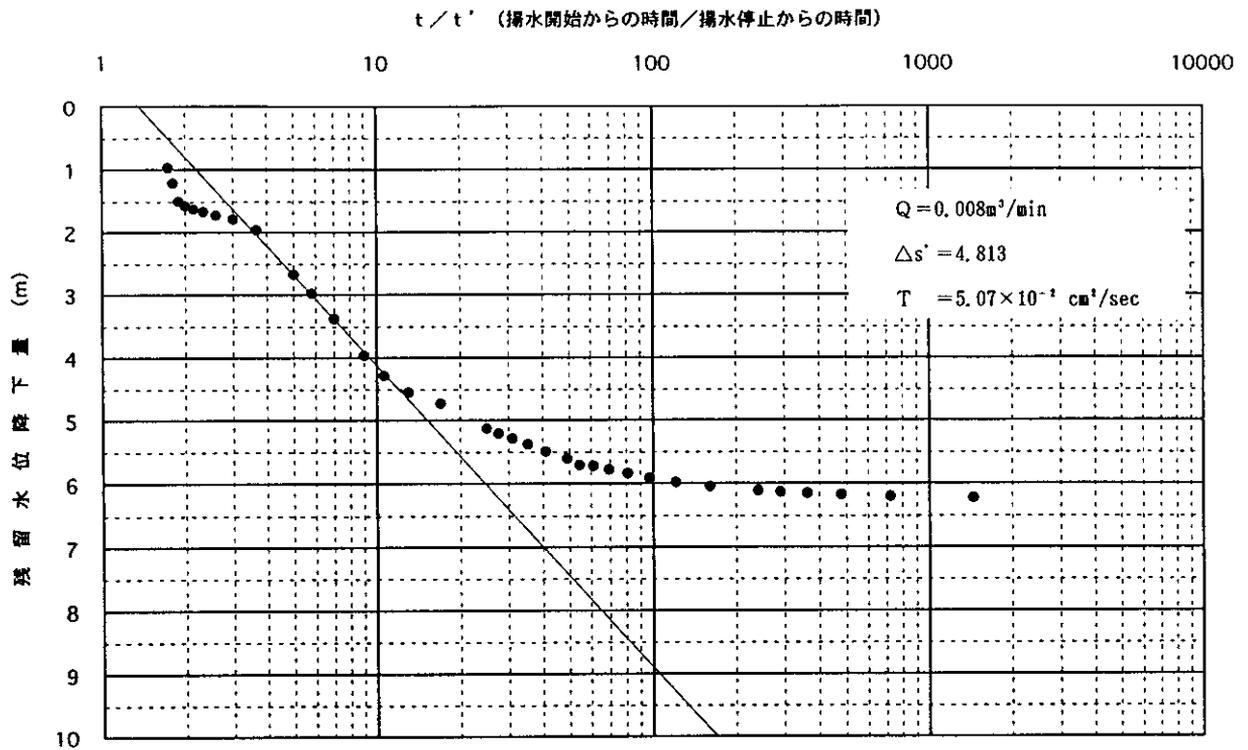
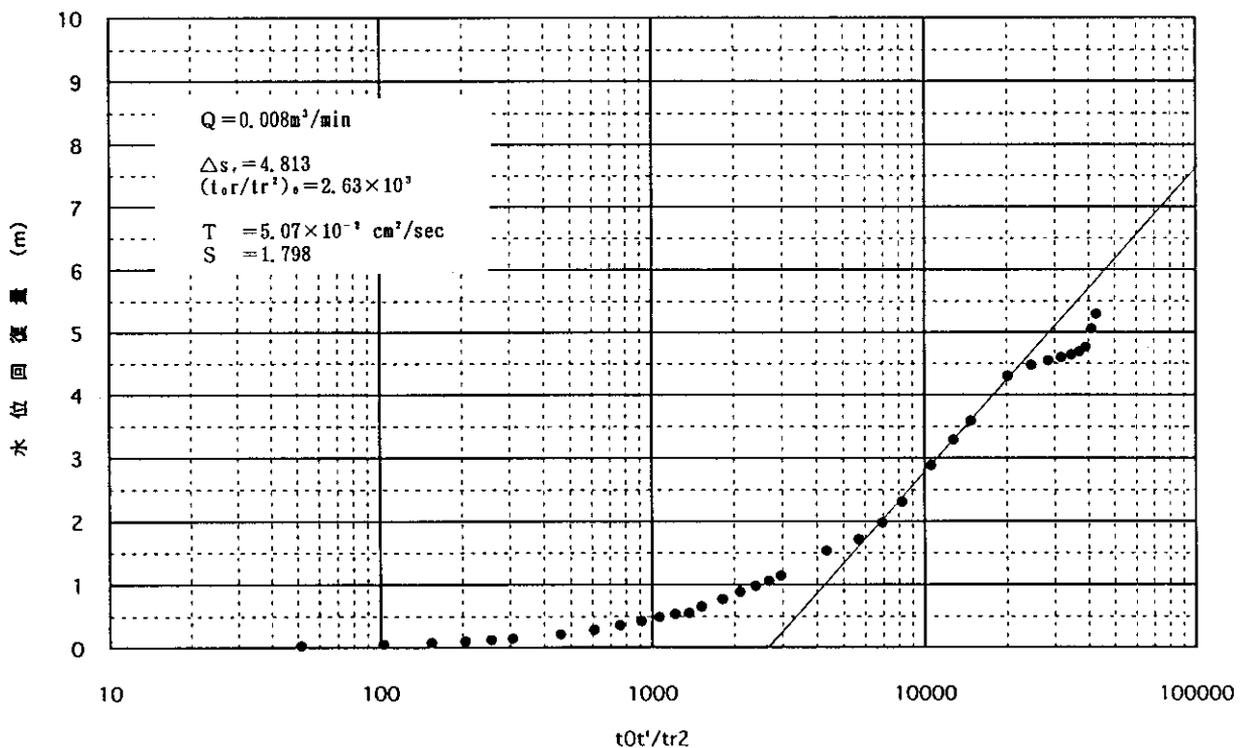


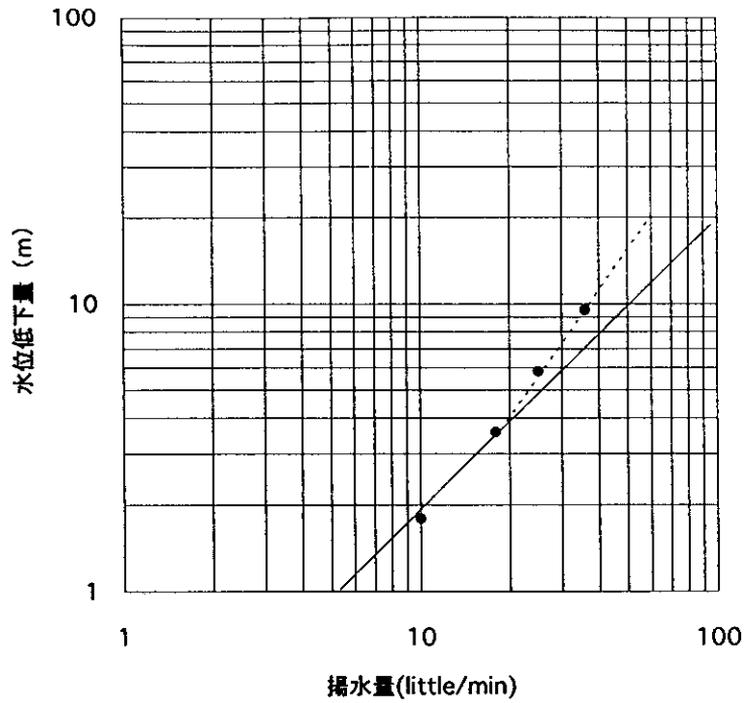
図 II. 4. 8 MC - 6 号孔 定流量揚水試験結果



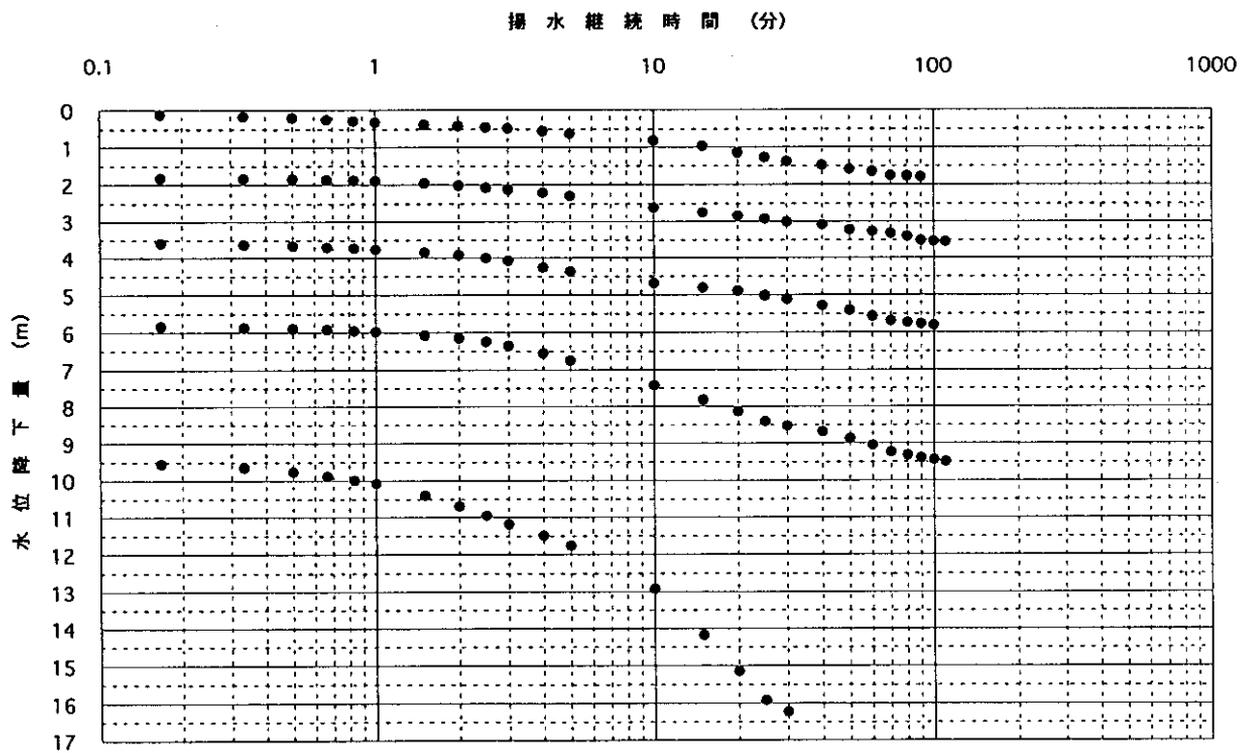
図Ⅱ.4.9 MC-6号孔 水位回復試験結果 (タイスの方法)



図Ⅱ.4.10 MC-6号孔 水位回復試験結果 (西垣・高坂の方法)



図II.4.11 MC-7号孔 段階揚水試験結果 (揚水量-水位低下量関係図)



図II.4.12 MC-7号孔 段階揚水試験結果 (揚水継続時間-水位低下量関係図)

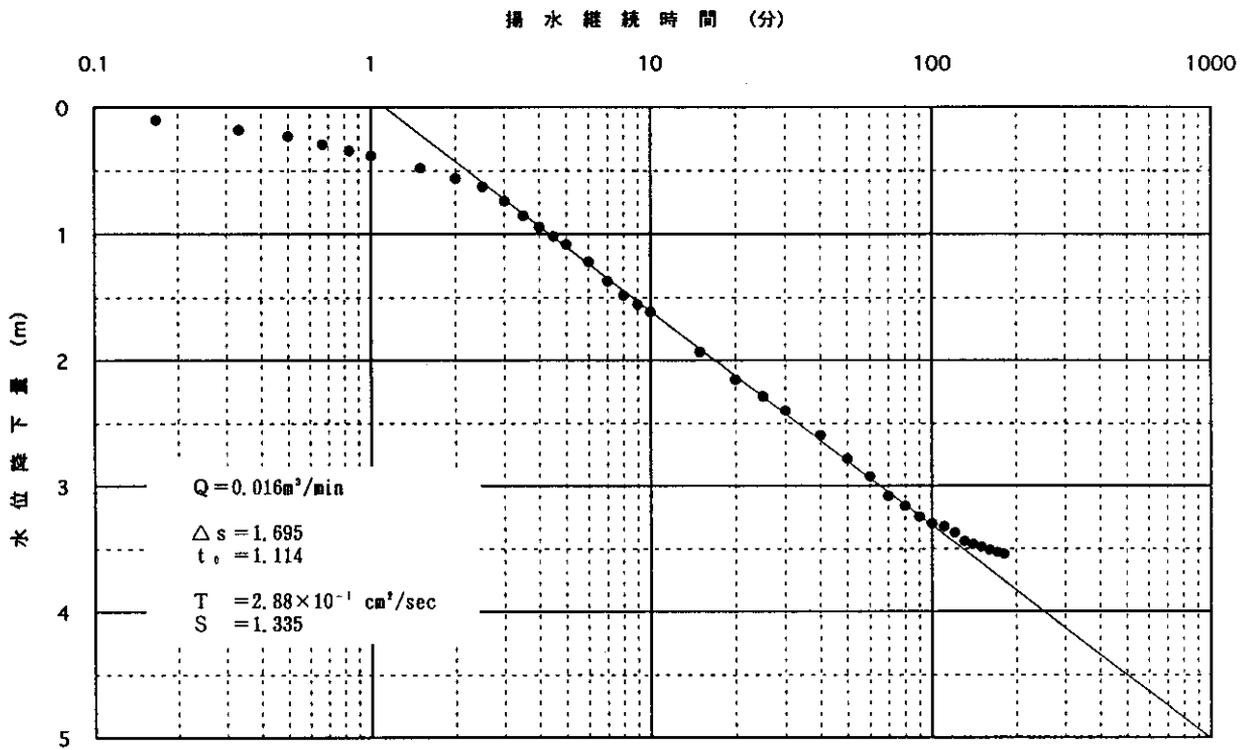
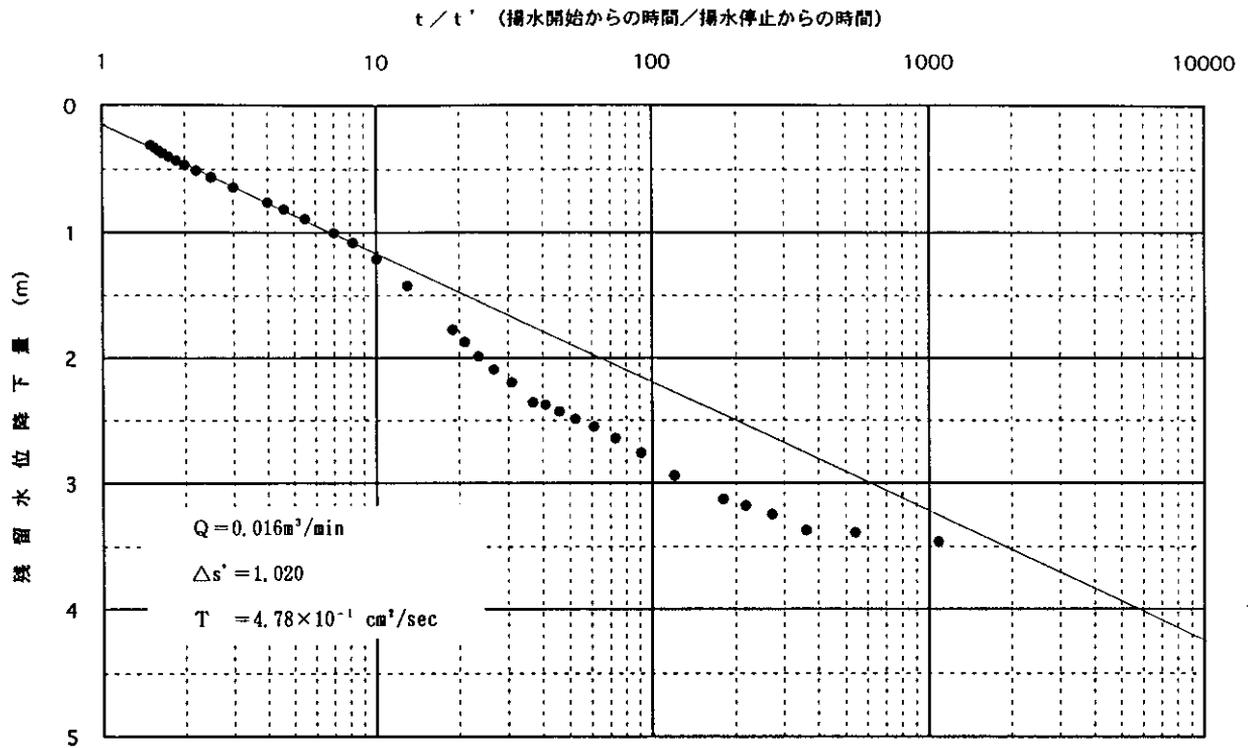
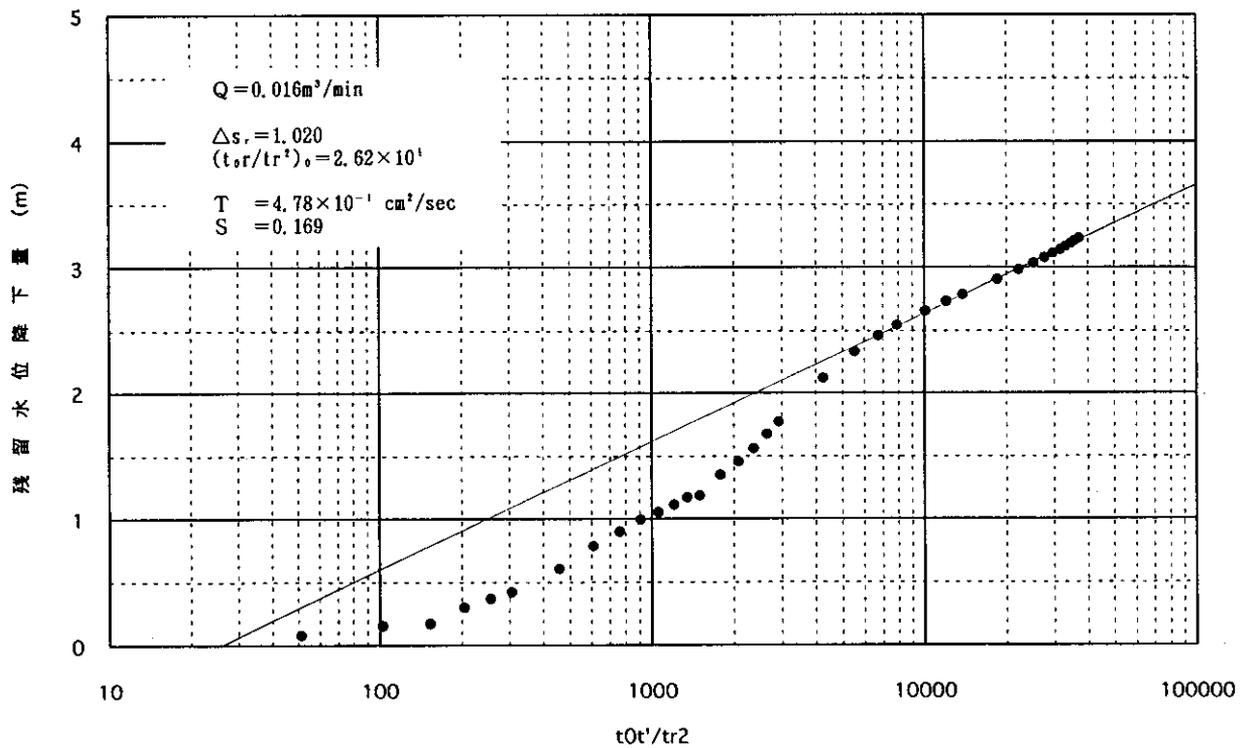


図 II. 4. 13 MC - 7 号孔 定流量揚水試験結果



図Ⅱ. 4. 14 MC-7号孔 水位回復試験結果 (タイスの方法)



図Ⅱ. 4. 15 MC-7号孔 水位回復試験結果 (西垣・高坂の方法)

表 II. 4. 2 日吉町常柄地区 地下水分析結果

項 目		pH	EC μS/cm	Si (ppm)	Ti (ppm)	Al ³⁺ (ppm)	T. Fe (ppm)	Mn (ppm)	Mg ²⁺ (ppm)	Ca ²⁺ (ppm)	Sr ²⁺ (ppm)	Na ⁺ (ppm)	K ⁺ (ppm)	F ⁻ (ppm)
分 析 値	MC-5号孔	7. 7	124	35. 68	< 0. 01	< 0. 1	0. 40	0. 06	1. 06	7. 97	0. 05	16. 4	1. 1	0. 16
	MC-6号孔	6. 8	135	17. 86	< 0. 01	< 0. 1	< 0. 02	0. 11	1. 97	12. 64	0. 07	10. 3	3. 0	0. 06
	MC-7号孔	6. 9	101	27. 57	< 0. 01	< 0. 1	0. 32	0. 15	1. 14	7. 60	0. 05	11. 5	2. 8	0. 19
項 目		Cl ⁻ (ppm)	NO ₂ ⁻ (ppm)	PO ₄ ³⁻ (ppm)	Br ⁻ (ppm)	NO ₃ ⁻ (ppm)	SO ₄ ²⁻ (ppm)	CO ₃ ²⁻ (ppm)	HCO ₃ ⁻ (ppm)	U (ppb)	TC (ppm)	IC (ppm)	TOC (ppm)	NPOC (ppm)
分 析 値	MC-5号孔	0. 93	< 0. 02	0. 21	< 0. 02	< 0. 02	2. 12	< 1	79. 5	0. 09	19. 68	18. 70	0. 98	0. 96
	MC-6号孔	4. 35	0. 06	< 0. 02	< 0. 02	1. 29	9. 73	< 1	67. 7	0. 23	15. 55	13. 93	1. 62	1. 50
	MC-7号孔	1. 01	< 0. 02	< 0. 02	< 0. 02	< 0. 02	2. 66	< 1	64. 1	0. 06	16. 76	15. 42	1. 34	1. 34

5. 考 察

地表踏査および試錐調査の結果、本調査地域の柄石地区では基盤の花崗岩が、常道地区では瑞浪層群が河川沿いの低地部に露出し、これらを瀬戸層群が不整合に覆っている。

また、試錐調査を実施した常道地区では、地表では生俵累層の凝灰質泥岩が露出し、下位に向かい、生俵累層の礫岩、明世累層の凝灰質砂岩、礫岩の順に堆積している。

各試錐孔について、地質状況と電気検層の結果より設定された揚水試験の対象区間、その岩相、得られた透水係数と比貯留係数を下に一覧として示す。

孔 名	ストレーナー区間 (m)	地層区分	対象岩相	透水係数 (cm/sec)	比貯留係数 (1/cm)	直下の岩相
MC-5	GL-10.0 ～-16.0	明世累層	中～ 粗粒砂岩	揚水 4.56×10 ⁻⁴ 回復 1.79×10 ⁻⁴	4.18×10 ⁻⁴ 2.93×10 ⁻⁴	シルト岩
MC-6	GL-12.0 ～-14.0	明世累層	礫 岩	揚水 1.93×10 ⁻⁴ 回復 2.53×10 ⁻⁴	1.66×10 ⁻² 8.99×10 ⁻³	珪化岩 凝灰岩？
MC-7	GL-11.2 ～-18.2	明世累層	礫 岩	揚水 4.12×10 ⁻⁴ 回復 6.83×10 ⁻⁴	1.91×10 ⁻³ 2.41×10 ⁻⁴	礫 岩 粘土質基質

上表のとおり、本地区で実施した揚水試験は、すべて明世累層中の帯水層が対象とされた。求められた透水係数は、いずれも10⁻⁴(cm/sec)のオーダーとなり、本地区の明世累層中の平均的な透水係数と考えられる。ただし、MC-6号孔とMC-7号孔の礫岩の岩相は同質であるにも係わらず、その透水係数には若干の相違があり、本調査では岩相と透水係数の相関は明らかとならない。比貯留係数については、MC-7号孔では揚水試験と回復試験の差が大きい。他についてはほぼ一致した値が得られている。

本調査の揚水試験は揚水井単独で行っており、井戸周辺の損失量が十分に評価されていないことが問題点として挙げられる。他に、試錐孔の仕上げ方など、揚水時の井戸周辺の地下水流動に影響を与える項目についての評価が十分になされていない。

今後、このような調査を進展し、異なる地区の解析結果を対比して評価するためには、上記のような試験結果に影響を与え得る要因について十分に検討し、解析結果の信頼性を向上させることが課題となろう。

参考文献

糸魚川 淳二(1980), 瑞浪地域の地質. 瑞浪市化石博物館専報, 第1号, pp.1-50.

水収支研究グループ(1993), 地下水資源・環境論 -その理論と実践-. 共立出版.

西垣 誠・高坂 信章(1984), 井戸半径を考慮した揚水試験における水位降下特性とその解析方法. 土質工学会論文報告集, Vol.24, No.4, pp.194-204.

高坂 信章(1993), 最近の地下水調査方法と計測技術. 5.2 多孔式揚水試験. 地下水学会誌, 第35巻, 第4号, pp.313-323.

高橋 賢之助(1990), 掘削のための地下水調査法. 山海堂.

山田 直利・脇田 浩二・広島 俊男・駒沢 正夫(1990), 20万分の1地質図幅「飯田」(第2版). 地質調査所.

揚水試験・水位回復試験 データシート

(日吉町常柄地区)

測定時刻	揚水継続時間		水 位		水位降下量 (m)	水 量 (ℓ/分)	水 温 (℃)
	(分)	(分)	(測定値(m))	(GL-(m))			
10時20分	0.25	0.25	2.816	2.636	0.001	6	
	0.50	0.50	2.816	2.636	0.001		
	0.75	0.75	2.850	2.670	0.035		
	1.00	1.00	2.985	2.805	0.170		
	1.50	1.50	3.195	3.015	0.380		
	2.00	2.00	3.375	3.195	0.560		
	2.50	2.50	3.505	3.325	0.690		
	3.50	3.50	3.533	3.353	0.718		
	4.00	4.00	3.548	3.368	0.733		
	5.00	5.00	3.573	3.393	0.758		
	10.00	10.00	3.980	3.800	1.165		
	15.00	15.00	4.178	3.998	1.363		
	20.00	20.00	4.294	4.114	1.479		
	25.00	25.00	4.392	4.212	1.577		
	30.00	30.00	4.472	4.292	1.657		
11時00分	40.00	40.00	4.613	4.433	1.798		
	50.00	50.00	4.730	4.550	1.915		
	60.00	60.00	4.916	4.736	2.101		
	75.00	75.00	5.105	4.925	2.290		
	90.00	90.00	5.164	4.984	2.349		
	105.00	105.00	5.250	5.070	2.435		
	120.00	120.00	5.325	5.145	2.510		
12時30分	130.00	130.00	5.370	5.190	2.555	↓	
	130.25	0.25	5.575	5.395	2.760	12	
	130.50	0.50	5.638	5.458	2.823		
	130.75	0.75	5.705	5.525	2.890		
	131.00	1.00	5.763	5.583	2.948		
	131.50	1.50	5.848	5.668	3.033		
	132.00	2.00	5.925	5.745	3.110		
	132.50	2.50	6.000	5.820	3.185		
	133.00	3.00	6.035	5.855	3.220		
	134.00	4.00	6.108	5.928	3.293		
	135.00	5.00	6.180	6.000	3.365		
	140.00	10.00	6.426	6.246	3.611		
	145.00	15.00	6.758	6.578	3.943		
	150.00	20.00	6.872	6.692	4.057		
	155.00	25.00	7.055	6.875	4.240		
13時00分	160.00	30.00	7.195	7.015	4.380		
	170.00	40.00	7.408	7.228	4.593		
	180.00	50.00	7.592	7.412	4.777		
	190.00	60.00	7.695	7.515	4.880		
	205.00	75.00	7.928	7.748	5.113		
14時00分	220.00	90.00	8.115	7.935	5.300		
	235.00	105.00	8.273	8.093	5.458		
	250.00	120.00	8.403	8.223	5.588		
	265.00	135.00	8.615	8.435	5.800	↓	

測定時刻	揚水継続時間		水 位		水位降下量 (m)	水 量 (ℓ/分)	水 温 (℃)
	(分)	(分)	(測定値(m))	(GL-(m))			
15時00分	280.00	150.00	8.655	8.475	5.840	12	
	280.25	0.25	8.940	8.760	6.125	20	
	280.50	0.50	9.175	8.995	6.360		
	280.75	0.75	9.255	9.075	6.440		
	281.00	1.00	9.268	9.088	6.453		
	281.50	1.50	9.392	9.212	6.577		
	282.00	2.00	9.465	9.285	6.650		
	282.50	2.50	9.538	9.358	6.723		
	283.00	3.00	9.586	9.406	6.771		
	284.00	4.00	9.682	9.502	6.867		
	285.00	5.00	9.757	9.577	6.942		
	290.00	10.00	10.138	9.958	7.323		
	295.00	15.00	10.394	10.214	7.579		
	300.00	20.00	10.623	10.443	7.808		
	305.00	25.00	10.840	10.660	8.025		
	310.00	30.00	10.988	10.808	8.173		
	320.00	40.00	11.336	11.156	8.521		
	330.00	50.00	11.482	11.302	8.667		
16時00分	340.00	60.00	11.885	11.705	9.070		
	355.00	75.00	12.080	11.900	9.265		
	370.00	90.00	12.307	12.127	9.492		
	385.00	105.00	12.730	12.550	9.915		
17時00分	400.00	120.00	12.800	12.620	9.985		
	415.00	135.00	13.070	12.890	10.255		
	430.00	150.00	13.275	13.095	10.460		
	445.00	165.00	13.405	13.225	10.590		
18時00分	460.00	180.00	13.505	13.325	10.690		
	475.00	195.00	13.542	13.362	10.727	▽	
	475.25	0.25	13.690	13.510	10.875	28	
	475.50	0.50	13.835	13.655	11.020		
	475.75	0.75	13.972	13.792	11.157		
	476.00	1.00	14.060	13.880	11.245		
	476.50	1.50	14.295	14.115	11.480		
	477.00	2.00	14.480	14.300	11.665		
	477.50	2.50	14.695	14.515	11.880		
	478.00	3.00	14.925	14.745	12.110		
	479.00	4.00	15.000	14.820	12.185		
	480.00	5.00	15.485	15.305	12.670		
	485.00	10.00	16.828	16.648	14.013		
	488.00	13.00	17.600	17.420	14.785	▽	

測定時刻	揚水継続時間 (分)	水 位		水位降下量 (m)	水 量 (ℓ/分)	水 温 (℃)
		(測定値(m))	(GL(m))			
9時35分	0.17	1.875	1.695	0.157		
	0.33	2.048	1.868	0.330		
	0.50	2.235	2.055	0.517		
	0.67	2.365	2.185	0.647		
	0.83	2.482	2.302	0.764		
	1.00	2.600	2.420	0.882		
	1.50	2.932	2.752	1.214		
	2.00	3.110	2.930	1.392	18.0	
	2.50	3.305	3.125	1.587		
	3.00	3.410	3.230	1.692		
	3.50	3.502	3.322	1.784	15.6	
	4.00	3.592	3.412	1.874		
	4.50	3.668	3.488	1.950	15.4	
9時40分	5.00	3.720	3.540	2.002		
	6.00	3.946	3.766	2.228	16.0	
	7.00	4.118	3.938	2.400		
	8.00	4.225	4.045	2.507	16.0	
	9.00	4.276	4.096	2.558		
	10.00	4.430	4.250	2.712		
	15.00	5.018	4.838	3.300	16.2	
	20.00	5.442	5.262	3.724	16.0	14.3
10時00分	25.00	5.648	5.468	3.930	15.0	
	30.00	5.964	5.784	4.246	15.4	14.5
	40.00	6.432	6.252	4.714	15.2	
	50.00	6.900	6.720	5.182	16.0	
10時35分	60.00	7.210	7.030	5.492	16.0	
	75.00	7.620	7.440	5.902	16.2	
11時05分	90.00	7.932	7.752	6.214	15.8	
	105.00	8.165	7.985	6.447	15.6	
11時35分	120.00	8.415	8.235	6.697	15.4	
	150.00	9.079	8.899	7.361	16.0	14.5
12時35分	180.00	9.545	9.365	7.827	15.8	
	210.00	9.972	9.792	8.254	16.2	14.4
	240.00	10.335	10.155	8.617	16.0	
	270.00	10.602	10.422	8.884	16.0	
	300.00	10.972	10.792	9.254	16.0	
	330.00	11.303	11.123	9.585	15.8	
15時35分	360.00	11.583	11.403	9.865	16.0	
	390.00	11.848	11.668	10.130		
	420.00	12.160	11.980	10.442		
	450.00	12.432	12.252	10.714	16.0	
	480.00	12.715	12.535	10.997	15.6	
	510.00	12.922	12.742	11.204	16.0	
18時35分	540.00	13.132	12.952	11.414	16.0	
	570.00	13.312	13.132	11.594	16.0	
	600.00	13.675	13.495	11.957	15.8	

測定時刻	揚水継続時間 (分)	水 位		水位降下量 (m)	水 量 (ℓ/分)	水 温 (℃)
		(測定値(m))	(GL-(m))			
	630.00	13.830	13.650	12.112	16.0	
	660.00	14.150	13.970	12.432	16.0	
	690.00	14.310	14.130	12.592	16.0	
21時35分	720.00	14.863	14.683	13.145	15.8	
	750.00	16.102	15.922	14.384	16.0	
22時35分	780.00	17.930	17.750	16.212	16.0	

回復試験データシート

試験日：平成8年12月16～17日 (天候 曇)

初期水位：GL- 1.538

揚水停止時の水位：GL- 17.750

孔名：日吉 MC-5

測定時刻	回復継続時間 (分)	t / t'	水 位		水位回復量 (m)	残留水位降下量 (m)
			(測定値(m))	(GL-(m))		
22時35分	0.17	4681.00	17.870	17.690	0.060	16.152
	0.33	2341.00	17.735	17.555	0.195	16.017
	0.50	1561.00	17.585	17.405	0.345	15.867
	0.67	1171.00	17.495	17.315	0.435	15.777
	0.83	937.00	17.378	17.198	0.552	15.660
	1.00	781.00	17.278	17.098	0.652	15.560
	1.50	521.00	16.945	16.765	0.985	15.227
	2.00	391.00	16.600	16.420	1.330	14.882
	2.50	313.00	16.295	16.115	1.635	14.577
	3.00	261.00	15.962	15.782	1.968	14.244
	3.50	223.86	15.638	15.458	2.292	13.920
	4.00	196.00	15.298	15.118	2.632	13.580
	4.50	174.33	14.985	14.805	2.945	13.267
	5.00	157.00	14.650	14.470	3.280	12.932
	6.00	131.00	14.128	13.948	3.802	12.410
	7.00	112.43	13.622	13.442	4.308	11.904
	8.00	98.50	13.200	13.020	4.730	11.482
	9.00	87.67	12.845	12.665	5.085	11.127
	10.00	79.00	12.538	12.358	5.392	10.820
	15.00	53.00	11.560	11.380	6.370	9.842
	20.00	40.00	10.952	10.772	6.978	9.234
	25.00	32.20	10.575	10.395	7.355	8.857
	30.00	27.00	10.198	10.018	7.732	8.480
	40.00	20.50	9.692	9.512	8.238	7.974
	50.00	16.60	9.310	9.130	8.620	7.592
23時35分	60.00	14.00	9.015	8.835	8.915	7.297
	90.00	9.67	8.332	8.152	9.598	6.614
	105.00	8.43	8.070	7.890	9.860	6.352
0時35分	120.00	7.50	7.829	7.649	10.101	6.111
	150.00	6.20	7.443	7.263	10.487	5.725
	180.00	5.33	7.115	6.935	10.815	5.397
	240.00	4.25	6.580	6.400	11.350	4.862
3時35分	300.00	3.60	6.160	5.980	11.770	4.442
	360.00	3.17	5.810	5.630	12.120	4.092
	420.00	2.86	5.512	5.332	12.418	3.794
6時35分	480.00	2.63	5.223	5.043	12.707	3.505
	540.00	2.44	4.992	4.812	12.938	3.274
	600.00	2.30	4.776	4.596	13.154	3.058
9時35分	660.00	2.18	4.583	4.403	13.347	2.865
	720.00	2.08	4.406	4.226	13.524	2.688
	780.00	2.00	4.243	4.063	13.687	2.525
12時35分	840.00	1.93	4.098	3.918	13.832	2.380

*t/t' = 揚水開始からの時間 / 揚水停止からの時間

測定時刻	揚水継続時間		水 位		水位降下量 (m)	水 量 (ℓ/分)	水 温 (℃)
	(分)	(分)	(測定値(m))	(GL-(m))			
12時40分	0.17	0.17	3.900	3.800	0.145		
	0.33	0.33	3.945	3.845	0.190		
	0.50	0.50	3.955	3.855	0.200		
	0.67	0.67	3.988	3.888	0.233		
	0.83	0.83	4.042	3.942	0.287		
	1.00	1.00	4.050	3.950	0.295		
	1.50	1.50	4.055	3.955	0.300	5.0	
	2.00	2.00	4.072	3.972	0.317		
	2.50	2.50	4.085	3.985	0.330	7.0	
	3.00	3.00	4.110	4.010	0.355		
	4.00	4.00	4.120	4.020	0.365	5.5	
	5.00	5.00	4.132	4.032	0.377		
	10.00	10.00	4.265	4.165	0.510	5.0	
	15.00	15.00	4.525	4.425	0.770		
13時00分	20.00	20.00	4.620	4.520	0.865		
	25.00	25.00	4.795	4.695	1.040		
	30.00	30.00	4.935	4.835	1.180	4.5→5.0	
	40.00	40.00	5.120	5.020	1.365	4.5→5.0	
13時30分	50.00	50.00	5.335	5.235	1.580	5.0	
	60.00	60.00	5.410	5.310	1.655	5.0	
	65.00	65.00	5.423	5.323	1.668		
	70.00	70.00	5.442	5.342	1.687	5.0	
	75.00	75.00	5.458	5.358	1.703		
14時00分	80.00	80.00	5.480	5.380	1.725	5.0→8.0	
	80.17	0.17	5.545	5.445	1.790		
	80.33	0.33	5.580	5.480	1.825		
	80.50	0.50	5.600	5.500	1.845		
	80.67	0.67	5.610	5.510	1.855		
	80.83	0.83	5.615	5.515	1.860		
	81.00	1.00	5.620	5.520	1.865		
	81.50	1.50	5.535	5.435	1.780		
	82.00	2.00	5.505	5.405	1.750		
	82.50	2.50	5.532	5.432	1.777		
	83.00	3.00	5.545	5.445	1.790	8.0	
	84.00	4.00	5.552	5.452	1.797	8.5	
	85.00	5.00	5.558	5.458	1.803		
	90.00	10.00	5.580	5.480	1.825		
	95.00	15.00	5.628	5.528	1.873	8.0	
	100.00	20.00	5.648	5.548	1.893	7.5→8.0	
	105.00	25.00	5.715	5.615	1.960	→8.0	
14時30分	110.00	30.00	5.945	5.845	2.190	8.0	
	120.00	40.00	6.565	6.465	2.810	→8.0	
	130.00	50.00	7.213	7.113	3.458	→8.5	
15時00分	140.00	60.00	7.900	7.800	4.145	→8.0	
	150.00	70.00	8.262	8.162	4.507	→8.2	
	160.00	80.00	8.548	8.448	4.793	→8.5	

測定時刻	揚水継続時間		水 位		水位降下量 (m)	水 量 (ℓ/分)	水 温 (℃)
	(分)	(分)	(測定値(m))	(GL-(m))			
15時30分	170.00	90.00	8.806	8.706	5.051	8.0	
	180.00	100.00	9.045	8.945	5.290	8.0	
	190.00	110.00	9.290	9.190	5.535	8.0	
16時00分	200.00	120.00	9.461	9.361	5.706	8.0	
	210.00	130.00	9.570	9.470	5.815	7.6→8.2	
	220.00	140.00	9.668	9.568	5.913	7.5→8.2	
16時30分	230.00	150.00	9.811	9.711	6.056	7.8→8.2	
	240.00	160.00	9.919	9.819	6.164	→8.0	
	250.00	170.00	10.005	9.905	6.250	8.0	
17時00分	260.00	180.00	10.039	9.939	6.284	8.0	
	270.00	190.00	10.042	9.942	6.287	8.0→12.0	
17時10分	270.17	0.17	10.075	9.975	6.320		
	270.33	0.33	10.082	9.982	6.327		
	270.50	0.50	10.095	9.995	6.340		
	270.67	0.67	10.100	10.000	6.345		
	270.83	0.83	10.105	10.005	6.350		
	271.00	1.00	10.110	10.010	6.355		
	271.50	1.50	10.170	10.070	6.415		
	272.00	2.00	10.225	10.125	6.470		
	272.50	2.50	10.261	10.161	6.506		
	273.00	3.00	10.302	10.202	6.547	12.0	
	274.00	4.00	10.370	10.270	6.615	11.2	
	275.00	5.00	10.420	10.320	6.665	→12.0	
	280.00	10.00	10.790	10.690	7.035	11.4→12.2	
	285.00	15.00	10.995	10.895	7.240	11.5→12.2	
17時30分	290.00	20.00	11.200	11.100	7.445	12.0	
	295.00	25.00	11.412	11.312	7.657	→12.2	
	300.00	30.00	11.620	11.520	7.865	11.6→12.0	
	310.00	40.00	11.905	11.805	8.150	→12.0	
18時00分	320.00	50.00	12.055	11.955	8.300	12.0	
	330.00	60.00	12.200	12.100	8.445	→12.2	
	340.00	70.00	12.350	12.250	8.595		
18時30分	350.00	80.00	12.588	12.488	8.833	12.0	
	360.00	90.00	12.590	12.490	8.835	12.0	
	370.00	100.00	12.625	12.525	8.870		
19時00分	380.00	110.00	12.635	12.535	8.880		

測定時刻	揚水継続時間 (分)	水 位		水位降下量 (m)	水 量 (ℓ/分)	水 温 (℃)
		(測定値(m))	(GL-(m))			
9時08分	0.17	3.950	3.850	0.085		
	0.33	3.990	3.890	0.125		
	0.50	4.015	3.915	0.150		
	0.67	4.040	3.940	0.175		
	0.83	4.065	3.965	0.200		
	1.00	4.080	3.980	0.215	8.0	
	1.50	4.130	4.030	0.265		
9時10分	2.00	4.150	4.050	0.285		
	2.50	4.178	4.078	0.313		
	3.00	4.200	4.100	0.335	7.6→8.0	
	3.50	4.220	4.120	0.355		
	4.00	4.235	4.135	0.370		
	4.50	4.250	4.150	0.385	7.6→8.2	
	5.00	4.262	4.162	0.397		13.8
	6.00	4.380	4.280	0.515	8.0	
	7.00	4.478	4.378	0.613		
	8.00	4.560	4.460	0.695	7.8	
	9.00	4.630	4.530	0.765		
	10.00	4.690	4.590	0.825	7.4→8.2	
	15.00	4.972	4.872	1.107	8.0	14.0
	20.00	5.255	5.155	1.390	8.0	
	25.00	5.422	5.322	1.557	7.6→8.4	14.0
	30.00	5.488	5.388	1.623	7.6→8.2	
	40.00	5.570	5.470	1.705	8.4	
	50.00	5.625	5.525	1.760	8.0	14.1
10時08分	60.00	5.788	5.688	1.923	7.6→8.2	
	70.00	6.380	6.280	2.515		
	80.00	7.103	7.003	3.238		
	90.00	7.758	7.658	3.893	7.8→8.0	
	100.00	8.202	8.102	4.337		
	110.00	8.463	8.363	4.598		
11時08分	120.00	8.641	8.541	4.776	8.0	14.2
	130.00	8.924	8.824	5.059		
	140.00	9.102	9.002	5.237		
	150.00	9.324	9.224	5.459	8.0	14.2
	170.00	9.612	9.512	5.747		
12時08分	180.00	9.832	9.732	5.967	8.0	14.5
	190.00	9.945	9.845	6.080		
	200.00	10.008	9.908	6.143		
	210.00	10.075	9.975	6.210	8.0	14.5
	220.00	10.110	10.010	6.245		
	230.00	10.120	10.020	6.255		
13時08分	240.00	10.130	10.030	6.265	8.0	

試験日：平成9年2月18日 (天候 晴)

初期水位：GL- 3.765

揚水停止時の水位：GL- 10.030

孔名：日吉 MC-6

測定時刻	回復継続時間 (分)	t / t'	水 位		水位回復量 (m)	残留水位降下量 (m)
			(測定値(m))	(GL-(m))		
13時08分	0.17	1441.00	10.090	9.990	0.040	6.225
	0.33	721.00	10.068	9.968	0.062	6.203
	0.50	481.00	10.040	9.940	0.090	6.175
	0.67	361.00	10.020	9.920	0.110	6.155
	0.83	289.00	9.998	9.898	0.132	6.133
	1.00	241.00	9.975	9.875	0.155	6.110
	1.50	161.00	9.910	9.810	0.220	6.045
13時10分	2.00	121.00	9.842	9.742	0.288	5.977
	2.50	97.00	9.770	9.670	0.360	5.905
	3.00	81.00	9.700	9.600	0.430	5.835
	3.50	69.57	9.640	9.540	0.490	5.775
	4.00	61.00	9.585	9.485	0.545	5.720
	4.50	54.33	9.570	9.470	0.560	5.705
	5.00	49.00	9.470	9.370	0.660	5.605
	6.00	41.00	9.355	9.255	0.775	5.490
	7.00	35.29	9.240	9.140	0.890	5.375
	8.00	31.00	9.145	9.045	0.985	5.280
	9.00	27.67	9.068	8.968	1.062	5.203
	10.00	25.00	8.990	8.890	1.140	5.125
	15.00	17.00	8.590	8.490	1.540	4.725
	20.00	13.00	8.410	8.310	1.720	4.545
	25.00	10.60	8.145	8.045	1.985	4.280
	30.00	9.00	7.820	7.720	2.310	3.955
	40.00	7.00	7.240	7.140	2.890	3.375
	50.00	5.80	6.835	6.735	3.295	2.970
14時08分	60.00	5.00	6.535	6.435	3.595	2.670
	90.00	3.67	5.822	5.722	4.308	1.957
15時08分	120.00	3.00	5.650	5.550	4.480	1.785
	150.00	2.60	5.580	5.480	4.550	1.715
16時08分	180.00	2.33	5.528	5.428	4.602	1.663
	210.00	2.14	5.486	5.386	4.644	1.621
17時08分	240.00	2.00	5.433	5.333	4.697	1.568
	270.00	1.89	5.363	5.263	4.767	1.498
18時08分	300.00	1.80	5.070	4.970	5.060	1.205
	330.00	1.73	4.827	4.727	5.303	0.962

*t/t' = 揚水開始からの時間 / 揚水停止からの時間

測定時刻	揚水継続時間		水 位		水位降下量 (m)	水 量 (ℓ/分)	水 温 (℃)
	(分)	(分)	(測定値(m))	(GL-(m))			
11時00分	0.17	0.17	0.760	0.560	0.120		
	0.33	0.33	0.810	0.610	0.170		
	0.50	0.50	0.845	0.645	0.205		
	0.67	0.67	0.892	0.692	0.252		
	0.83	0.83	0.925	0.725	0.285		
	1.00	1.00	0.960	0.760	0.320		
	1.50	1.50	1.020	0.820	0.380	9.8	
	2.00	2.00	1.060	0.860	0.420		
	2.50	2.50	1.095	0.895	0.455		
	3.00	3.00	1.130	0.930	0.490	9.6→10.0	
	4.00	4.00	1.195	0.995	0.555		
	5.00	5.00	1.272	1.072	0.632	9.8→10.0	
	10.00	10.00	1.450	1.250	0.810		
	15.00	15.00	1.608	1.408	0.968	10.0	
	20.00	20.00	1.788	1.588	1.148	10.4	
	25.00	25.00	1.910	1.710	1.270	9.6→10.2	
11時30分	30.00	30.00	2.020	1.820	1.380		
	40.00	40.00	2.112	1.912	1.472	9.8→10.4	
	50.00	50.00	2.230	2.030	1.590	10.2	
12時00分	60.00	60.00	2.290	2.090	1.650	9.6→10.2	
	70.00	70.00	2.395	2.195	1.755	10.2	
	80.00	80.00	2.412	2.212	1.772	10.0	
12時30分	90.00	90.00	2.430	2.230	1.790	10.0→18.0	
	90.17	0.17	2.455	2.255	1.815		
	90.33	0.33	2.470	2.270	1.830		
	90.50	0.50	2.488	2.288	1.848		
	90.67	0.67	2.505	2.305	1.865		
	90.83	0.83	2.515	2.315	1.875		
	91.00	1.00	2.532	2.332	1.892		
	91.50	1.50	2.588	2.388	1.948	16.0→	
	92.00	2.00	2.658	2.458	2.018		
	92.50	2.50	2.718	2.518	2.078	17.6	
	93.00	3.00	2.760	2.560	2.120	18.4	
	94.00	4.00	2.855	2.655	2.215		
	95.00	5.00	2.932	2.732	2.292	18.0	
	100.00	10.00	3.250	3.050	2.610	18.0	
	105.00	15.00	3.385	3.185	2.745	17.8	
	110.00	20.00	3.478	3.278	2.838		
	115.00	25.00	3.555	3.355	2.915	17.5→18.2	
13時00分	120.00	30.00	3.642	3.442	3.002	18.0	
	130.00	40.00	3.732	3.532	3.092	17.8→18.0	
	140.00	50.00	3.872	3.672	3.232	18.0	
13時30分	150.00	60.00	3.910	3.710	3.270	17.8→18.0	
	160.00	70.00	3.965	3.765	3.325		
	170.00	80.00	4.055	3.855	3.415	17.8→18.0	
14時00分	180.00	90.00	4.155	3.955	3.515		

測定時刻	揚水継続時間		水 位		水位降下量 (m)	水 量 (ℓ/分)	水 温 (℃)
	(分)	(分)	(測定値(m))	(GL-(m))			
	190.00	100.00	4.185	3.985	3.545	18.0	
	200.00	110.00	4.200	4.000	3.560	18.0→25.0	
	200.17	0.17	4.235	4.035	3.595		
	200.33	0.33	4.275	4.075	3.635		
	200.50	0.50	4.310	4.110	3.670		
	200.67	0.67	4.340	4.140	3.700	24.0	
	200.83	0.83	4.372	4.172	3.732		
	201.00	1.00	4.398	4.198	3.758		
	201.50	1.50	4.480	4.280	3.840		
	202.00	2.00	4.555	4.355	3.915	24.0	
	202.50	2.50	4.635	4.435	3.995		
	203.00	3.00	4.712	4.512	4.072	24.0→	
	204.00	4.00	4.895	4.695	4.255	25.0	
	205.00	5.00	5.000	4.800	4.360	25.0	
14時30分	210.00	10.00	5.320	5.120	4.680	24.0→25.0	
	215.00	15.00	5.442	5.242	4.802	24.0→25.0	
	220.00	20.00	5.535	5.335	4.895	24.0→25.0	
	225.00	25.00	5.652	5.452	5.012	25.0	
	230.00	30.00	5.750	5.550	5.110	25.0	
15時00分	240.00	40.00	5.920	5.720	5.280	24.8	
	250.00	50.00	6.038	5.838	5.398	24.6→25.0	
	260.00	60.00	6.205	6.005	5.565	25.0	
15時30分	270.00	70.00	6.330	6.130	5.690	25.0	
	280.00	80.00	6.375	6.175	5.735	25.2	
	290.00	90.00	6.415	6.215	5.775	25.0	
16時00分	300.00	100.00	6.445	6.245	5.805	25.0→36.0	
	300.17	0.17	6.470	6.270	5.830		
	300.33	0.33	6.505	6.305	5.865		
	300.50	0.50	6.532	6.332	5.892		
	300.67	0.67	6.555	6.355	5.915	32.0→	
	300.83	0.83	6.590	6.390	5.950		
	301.00	1.00	6.620	6.420	5.980		
	301.50	1.50	6.712	6.512	6.072		
	302.00	2.00	6.795	6.595	6.155	32.0→	
	302.50	2.50	6.888	6.688	6.248		
	303.00	3.00	7.000	6.800	6.360	34.0→	
	304.00	4.00	7.190	6.990	6.550	34.5→	
	305.00	5.00	7.395	7.195	6.755	36.0	
	310.00	10.00	8.060	7.860	7.420	34.0→36.0	
	315.00	15.00	8.460	8.260	7.820	35.0→36.0	
	320.00	20.00	8.780	8.580	8.140	35.2→36.0	
	325.00	25.00	9.040	8.840	8.400	36.0	
16時30分	330.00	30.00	9.158	8.958	8.518	36.0	
	340.00	40.00	9.330	9.130	8.690	36.0	
	350.00	50.00	9.510	9.310	8.870	35.8	
17時00分	360.00	60.00	9.695	9.495	9.055	36.0	
	370.00	70.00	9.875	9.675	9.235	36.0	

測定時刻	揚水継続時間		水 位		水位降下量 (m)	水 量 (ℓ/分)	水 温 (℃)
	(分)	(分)	(測定値(m))	(GL-(m))			
	380.00	80.00	9.958	9.758	9.318	36.0	
17時30分	390.00	90.00	10.030	9.830	9.390	36.0	
	400.00	100.00	10.082	9.882	9.442	36.0	
	410.00	110.00	10.132	9.932	9.492	36.0→60	
	410.17	0.17	10.198	9.998	9.558		
	410.33	0.33	10.288	10.088	9.648		
	410.50	0.50	10.400	10.200	9.760		
	410.67	0.67	10.525	10.325	9.885		
	410.83	0.83	10.628	10.428	9.988		
	411.00	1.00	10.725	10.525	10.085		
	411.50	1.50	11.040	10.840	10.400	54.0→	
	412.00	2.00	11.332	11.132	10.692		
	412.50	2.50	11.595	11.395	10.955	57.0→	
	413.00	3.00	11.815	11.615	11.175		
	414.00	4.00	12.125	11.925	11.485	57.0→	
	415.00	5.00	12.400	12.200	11.760		
18時00分	420.00	10.00	13.560	13.360	12.920	→60.0	
	425.00	15.00	14.820	14.620	14.180	60.0	
	430.00	20.00	15.780	15.580	15.140	60.0	
	435.00	25.00	16.555	16.355	15.915	60.0	
18時20分	440.00	30.00	16.860	16.660	16.220		

測定時刻	揚水継続時間 (分)	水 位		水位降下量 (m)	水 量 (ℓ/分)	水 温 (℃)
		(測定値(m))	(GL(m))			
9時00分	0.17	1.310	1.110	0.100		
	0.33	1.385	1.185	0.175		
	0.50	1.435	1.235	0.225		
	0.67	1.500	1.300	0.290		
	0.83	1.550	1.350	0.340		
	1.00	1.590	1.390	0.380	20.0→	
	1.50	1.688	1.488	0.478		
	2.00	1.770	1.570	0.560		
	2.50	1.835	1.635	0.625	18.0→	
	3.00	1.948	1.748	0.738		
	3.50	2.060	1.860	0.850	16.2	
	4.00	2.150	1.950	0.940		
	4.50	2.222	2.022	1.012	15.5→16.2	
	5.00	2.290	2.090	1.080		13.8
	6.00	2.425	2.225	1.215	16.0	
	7.00	2.580	2.380	1.370	→16.2	
	8.00	2.690	2.490	1.480	16.0	
	9.00	2.762	2.562	1.552	15.8→16.0	
	10.00	2.820	2.620	1.610	16.0	
	15.00	3.140	2.940	1.930	15.8→16.0	13.5
	20.00	3.360	3.160	2.150	15.8	
	25.00	3.495	3.295	2.285	16.0	13.6
9時30分	30.00	3.610	3.410	2.400	15.6→16.0	
	40.00	3.805	3.605	2.595	15.8→16.2	13.8
	50.00	3.990	3.790	2.780	15.8→16.0	13.8
10時00分	60.00	4.130	3.930	2.920	15.8→16.2	14.0
	70.00	4.290	4.090	3.080	16.0	13.8
	80.00	4.370	4.170	3.160	16.0	
10時30分	90.00	4.455	4.255	3.245	16.0	13.8
	100.00	4.510	4.310	3.300	16.0	
	110.00	4.532	4.332	3.322	15.8→16.0	14.0
11時00分	120.00	4.582	4.382	3.372	16.0	
	130.00	4.650	4.450	3.440	16.0	
	140.00	4.675	4.475	3.465	16.0	14.0
11時30分	150.00	4.695	4.495	3.485	15.8	
	160.00	4.722	4.522	3.512	16.0	
	170.00	4.740	4.540	3.530	16.0	13.9
12時00分	180.00	4.755	4.555	3.545		

試験日：平成9年2月26日 (天候 晴)

初期水位：GL 1.010

揚水停止時の水位：GL 4.555

孔名：日吉 MC-7

測定時刻	回復継続時間 (分)	t / t'	水 位		水位回復量 (m)	残留水位降下量 (m)
			(測定値(m))	(GL-(m))		
12時00分	0.17	1081.00	4.670	4.470	0.085	3.460
	0.33	541.00	4.600	4.400	0.155	3.390
	0.50	361.00	4.580	4.380	0.175	3.370
	0.67	271.00	4.455	4.255	0.300	3.245
	0.83	217.00	4.385	4.185	0.370	3.175
	1.00	181.00	4.338	4.138	0.417	3.128
	1.50	121.00	4.148	3.948	0.607	2.938
	2.00	91.00	3.970	3.770	0.785	2.760
	2.50	73.00	3.855	3.655	0.900	2.645
	3.00	61.00	3.762	3.562	0.993	2.552
	3.50	52.43	3.700	3.500	1.055	2.490
	4.00	46.00	3.640	3.440	1.115	2.430
	4.50	41.00	3.585	3.385	1.170	2.375
	5.00	37.00	3.568	3.368	1.187	2.358
	6.00	31.00	3.405	3.205	1.350	2.195
	7.00	26.71	3.300	3.100	1.455	2.090
	8.00	23.50	3.195	2.995	1.560	1.985
	9.00	21.00	3.080	2.880	1.675	1.870
	10.00	19.00	2.982	2.782	1.773	1.772
	15.00	13.00	2.635	2.435	2.120	1.425
	20.00	10.00	2.420	2.220	2.335	1.210
	25.00	8.20	2.290	2.090	2.465	1.080
12時30分	30.00	7.00	2.208	2.008	2.547	0.998
	40.00	5.50	2.098	1.898	2.657	0.888
	50.00	4.60	2.022	1.822	2.733	0.812
13時00分	60.00	4.00	1.968	1.768	2.787	0.758
	90.00	3.00	1.850	1.650	2.905	0.640
14時00分	120.00	2.50	1.770	1.570	2.985	0.560
	150.00	2.20	1.720	1.520	3.035	0.510
15時00分	180.00	2.00	1.675	1.475	3.080	0.465
	210.00	1.86	1.640	1.440	3.115	0.430
16時00分	240.00	1.75	1.610	1.410	3.145	0.400
	270.00	1.67	1.585	1.385	3.170	0.375
17時00分	300.00	1.60	1.560	1.360	3.195	0.350
	330.00	1.55	1.538	1.338	3.217	0.328
18時00分	360.00	1.50	1.520	1.320	3.235	0.310