

# 第6部 各種物理検層法

## 第1章 概 要

ボーリング孔を利用して地盤の物理的な性状を知る探査を物理検層と呼んでいる。これには各種検層法があるが、斜面調査関係では以下に示すものが代表的である。すなわち、速度、電気、温度、放射能、などの諸性質を利用したものである。ここでは、実施例が少ない反射検層、および多点温度検層と同様の目的で実施される地下水検層は省略した。測定はいずれもボーリング孔全長に対して深度方向に10 cm～2 m程度の間隔で行い、ボーリング柱状図と併せた深度分布図を作成して、地盤、地下水、孔径、などに関する情報を入手する。

- ・速度検層
- ・電気検層
- ・温度検層
- ・多点温度検層
- ・キャリパー検層
- ・密度検層

以下に各検層の概要を示す。

### (1) 速度検層

速度検層によって得られる情報はP波、S波がある。P波で岩盤分類や岩級区分を行い、掘削土工に必要な資料を得る。また、P波・S波で動弾性係数、耐震設計に必要な地盤定数の資料が得られる。

### (2) 電気検層

比抵抗法により得られる情報は、地盤の見掛け比抵抗 $\Omega \cdot m$ で岩相や岩級区分、地下水の存在状況を判断する資料となる。

### (3) 温度検層

温度検層により得られる情報は孔内温度で、温度勾配や温度の急変部・異常部に着目することに

よって、地下水の存在を推定する資料となる。温度センサーにより1点ずつ測定を行う。

#### (4) 多点温度検層

50 cm 毎に設けられた温度センサーを孔内に挿入し、一度に一定深度間隔の孔内温度を測定する検層法である。孔内にお湯などを注入し、その温度を強制的に変化させた後の温度回復状況を調べ、地下水流動層の数、存在深度とその規模を推定する。同じ目的の検層法に食塩水の希釈状況により推定する方法があるが、これは孔内水位より上部の情報を得ることができない。

#### (5) キャリパー検層

キャリパー検層により得られる情報は、ボーリングの掘削孔径である。掘削孔径の変化状態を把握し、土層や岩級区分を行う資料とする。また、各種検層の補正資料としても利用される。

#### (6) 密度検層

密度検層により得られる情報は、放射線の一種である  $\gamma$  線の散乱強度で推定する地盤の密度で、岩相や岩級区分、各種解析用パラメーターを得ることができる。

参考として、表-6.1.1 に各検層の適応を示す。

表-6.1.1 各検層の適応

調査方法	求まる物性値	利用方法	適応
P S 検層 (速度検層)	P波(Vp)速度 S波(Vs)速度	岩盤分類(岩級区分・土工区分) 動弾性係数の推定 耐震設計地盤定数	ケーシング内は不可 崩壊性地盤は塩ビパイプで保護する。 機種にもよるが $\phi 66\sim 86$ mm の孔径が必要
電気検層 (マイクロ検層)	見かけ 比抵抗値 ( $\rho_a$ )	地層の区分 帯水層の判定 断層の検出	ケーシング内は不可 孔内水位以深泥水でも測定可 孔径 $\phi 66\sim 86$ mm
温度検層	孔内温度	水温分布 流入流出深度検出温度勾配	ケーシング内でも可 $\phi 66\sim 86$ mm 孔内水の有無を問わず
多点温度 検層	孔内温度	地下水流動層の深度や規模	ケーシング内でも可 VP 40 以上, $\phi 66\sim 86$ mm 孔内水の有無を問わず
キャリパー 検層	掘削孔径	掘削孔径の変化状態	ケーシング内は不可 $\phi 66\sim 86$ mm
密度検層	$\gamma$ 線に対する散乱	地層の密度 地層区分 解析用の基礎資料	ケーシング内は散乱の補正が必要

また、表-6.1.2には土木・建築構造物の基礎調査を目的として実施される物理検層におけるボーリング孔の条件をまとめた。掘削孔径については、測定機器を制作するメーカーによってゾンデの孔径が異なる。しかし、ここでは現在、広く利用されている測定機器で、比較的良好な記録が得られる範囲ということで記してある。ここに記した掘削孔径の範囲外であっても、工夫することによって測定可能な場合がある。例えば、速度検層の圧着型ポアホールピックで、PS検層を行う場合、その孔径が大きい時には、ポアホールピックに副木を行い、ポアホールピックの径を大きくして孔壁への圧着を容易にする方法等である。

ケーシングの有無については、「検層は裸孔が良い」が原則である。しかし一般に地盤状況が悪く孔壁崩壊が発生する地点は、詳細なデータが必要であるにもかかわらず、ケーシングによって保護することが多く、良好な記録を得るために苦心する。孔内水が無い場合には、孔内に注水（ボーリング掘削時の使用水を）して測定することが多い。

表-6.1.2 検層方法とボーリング孔の条件

検層方法		測定物理量	掘削孔径(mm)					ケーシング	孔内水		
			56	66	76	86	96		有	無	清水
電気検層	ノルマル法	見かけ比抵抗		■				×	×	○	○
	マイクロ法	見かけ比抵抗		■				×	×	○	○
	自然電位法	自然電位		■				×	×	○	○
速度検層	多連式受振計	P波速度(Vp)	■					△	×	○	○
	ポアホールピック (圧着型)	P波速度(Vp) S波速度(Vs)	■					△	○	○	○
	ポアホールピック (浮遊型)	P波速度(Vp) S波速度(Vs)			■			×	×	○	○
密度検層		密度( $\rho$ )		■				○	○	○	○
キャリパー(孔径)検層		孔径(D)		■				×	○	○	○
温度検層		温度(T)		■				○	○	○	○
多点温度検層		温度(T)		■				○	○	○	○

※電気検層（ノルマン法）：ケーシングにかわる塩ビパイプ（開孔率3%程度）の代替により測定可能。

## 第2章 測定方法と山地・斜面への適用

### 2-1 速度検層

速度検層は、地盤の弾性波伝播速度をもとにして地層の硬軟、風化状況、破碎帯、亀裂の多少などの定性的な判断を行う場合や、地表での弾性波探査の解析の補助手段として実施される。またP波・S波の速度値から、ポアソン比、剛性率、ヤング率等の物性値を求めたり、構造物の耐震設計用の基礎資料を得る目的でも行われる。

測定方法は、ボーリング孔内に地震計を測定深度まで降下させておき、地表部のP波・S波震源から起振された弾性波を受振して伝播時間を測定する方法（図-6.2.1右）と、孔内に震源・受振器一体形のゾンデを降下させて測定する方法（図-6.2.1左）があり、いずれも弾性波伝播時間から伝播速度を得るものである。これらとは別に、従来からP波速度を迅速に測定する目的で、孔内に多数の受振器からなるゾンデを降下させて地表の震源からのP波を測定する方法（狭義の速度測定図-6.2.1中）があるが、この手法は弾性波トモグラフィの一環として重要な測定法になっている。地表部でのP波震源は、火薬類、カケヤによる打撃等であり、S波震源は、板を地表に置いて横から叩くなどの方法をとっている。震源・受振器一体形のゾンデの場合には、大深度での測定が可能である。

この検層法の注意事項は次の通りである。

- ① ボーリング孔はケーシングの無い状態が望ましいが、PS検層法は塩ビパイプでの保孔がなされている場合でも測定可能である。いずれのゾンデともジャミングしやすい形状であるた

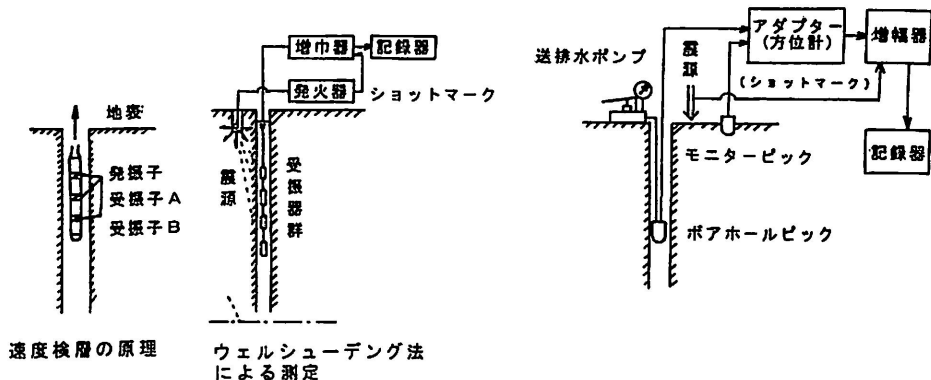


図-6.2.1 速度検層概要図

め、測定に際しては孔内状況について詳細な情報を得た上で、掘進直後に細心の注意をはらって実施すべきである。

- ② PS検層以外の方法は受振器を孔壁に圧着しないため、孔内水位の無い場合は測定不能である。
- ③ ボーリング孔径は、PS 検層と狭義の速度検層の場合、孔径 66 mm で可能であるが、震源・受振器一体形ではゾンデの形状から、孔径は 86 mm、計測区間よりも 4 m 深い深度までの余堀りが必要である。
- ④ 孔壁崩壊したり軟質な地層では、孔径変化の著しい場合があつて記録に乱れを生じることがあるので、解析に際してはキャリパー検層による孔径測定記録を参考にすることが望ましい。
- ⑤ 破砕帯や弱層のような比較的薄い地層を検出するには、震源・受振器一体形ゾンデによる測定法が適している。

## 2-2 電気検層

電気検層はボーリング孔周辺の地質の電気比抵抗を測定するもので、建設地質分野での利用法としては、1. 岩相区分、2. 岩盤区分、3. 地下水探査があげられる。しかし、地下水探査は他の調査法（温度検層、多点温度検層、流向流速測定など）にとってかわられつつある。この検層法は、同じ地質条件でも、ボーリング孔径の違いや孔内水の比抵抗値の影響を受けて測定値が左右されるので、このような影響を含んで測定された比抵抗を見かけ比抵抗と呼んでいる。

原理的には地表の電気探査と同じである。比抵抗の測定は2極法（ノルマル法）が一般的であり、電極間隔は25, 50, 100cmの3種を採用することが多い。図-6.2.2に示すような電極配置によってAB

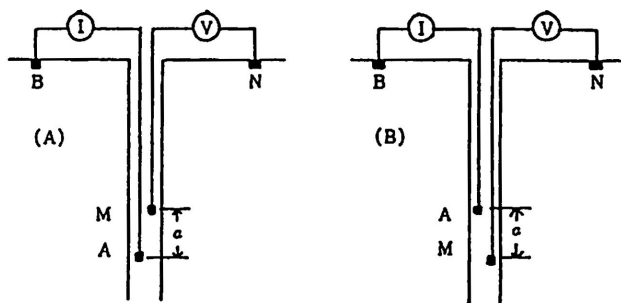


図-6.2.2 電気検層概要図

間に電流を流し、MN間に生じる電位差を測定し、次式によって地層の比抵抗値を求めるものである。

$$\rho_a = 4 \pi a V / I \quad (6.2.1)$$

$\rho_a$  : 地層の見かけ比抵抗

a : 電極間隔 (A, M)

I : 測定電流

V : 測定電位差

当検層法の注意点はボーリング孔内が孔内水で満たされていることと、保孔管としてのケーシングを抜管する必要があることである。孔内泥水などの抵抗も含めて測定するので、孔内水の比抵抗も測定して参考にするべきである。山地部、特に地すべり地などのボーリング孔では、孔内水位の低い場合や、ケーシングの抜管によって孔壁崩壊をきし、測定が不可能になる場合が多い。

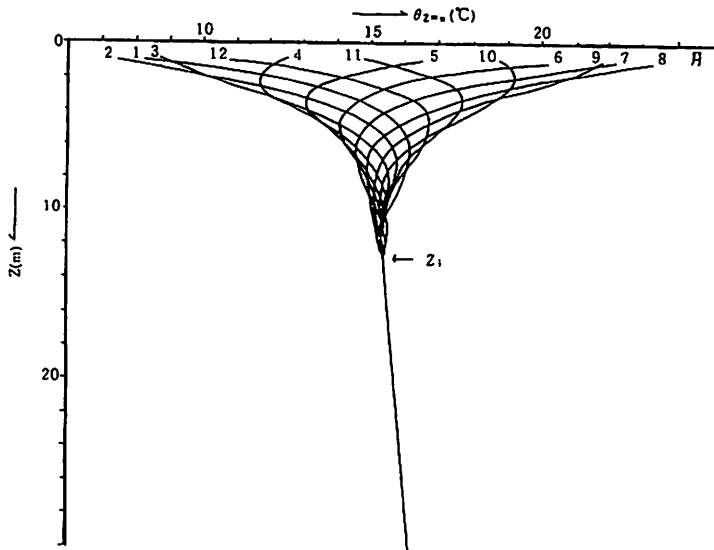
このような場合、次のような対策がとられる。

- (1) 孔内水位が低い場合：注水により、孔内水を満たすことが可能であれば問題はないが、孔内水位を十分に上昇させられない場合も多い。そのような場合、適当な止水材料を注入することが考えられる。しかし、測定後に水位観測孔として利用する場合が多いので、使用する止水材料に注意を要する。
- (2) 保孔対策：ケーシングの抜管前にストレーナやスリット加工した塩ビパイプを挿入し、保孔管とした上でケーシングを抜管し、塩ビパイプ内で測定を行う。あるいは掘進作業中に並行して、孔壁崩壊しない程度の区間毎（5 m 程度）に測定を行うことも考えられるが、データの連続性に注意を払う必要がある。

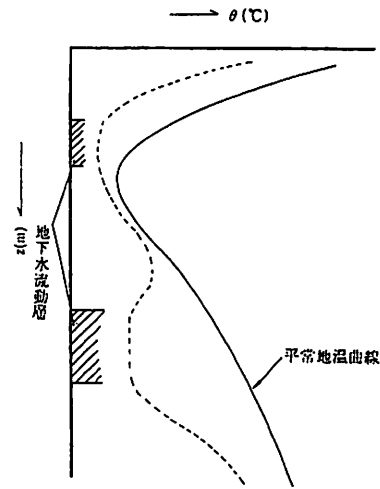
### 2-3 温度検層

地温は太陽熱によって暖められる地表面付近と、地下深部からの熱によって暖められる部分との合成により形成されている。前者による温度変化の到達する深さを通常恒温層深度と呼び、この深度は地方によって異なるが日本では7~16 mといわれている。後者は地層の熱的性質および地下深部からの熱流量によって、その温度の変化状況は異なる。一般的に地温は図-6.2.3に示すような年変化を示す。しかし、流動性地下水が存在するところでは、熱は伝導によって移動すると共に、その地下水の流れによっても移送され再配分される。その結果として、地下水の温度と地中温度とが相互に影響しあって、流動状況に応じて複雑な地中温度分布を示す。たとえば、図-6.2.4の点線のように周囲の地中温度とは異なったものとなる。したがって、予め流動性地下水が存在しない場合の平常地温を調査地の岩石・土壌の熱的性質に基づいて推定しておき、これと実測値とを対比することにより、地下水の流れている深さおよびその厚さに関する概括的な情報を得ることができる。

温度測定器：温度検層を行うための測定器は防水型のサーミスタ精密温度計を用いる。測定精度は±0.1°Cで、読み取りは0.01°Cの桁まで可能な計器がよい。



Zi: 恒温層の深度  
 図-6.2.3 地温年変化の計算例



斜線部: 地下水流動層  
 図-6.2.4 地下水流動層存在による平常地温の乱れ

測定方法：ボーリング孔内の温度分布を測定するには、掘削後1～2週間位放置されたボーリング孔で実施するとよい結果が得られる。これは掘削時のビット回転によって生じる熱と孔内洗浄水とによる温度の乱れをなくすと共に、挿入された保孔管などを周囲の地温・地下水温に十分に馴染ませる必要があるためである。測定に当たっては、センサーを予め孔内の2～3 mの所に下ろし、十分に周囲の温度に馴染ませてから孔口下1 mまで引き上げて、通常50 cm間隔で孔底まで測定する。測定に要する時間は、孔内水位以浅では1測点当り1～3分、以深では10～15秒である。

## 2-4 多点温度検層

多点温度検層の原理：自然状態にある孔内温度を温水・冷水などを注入することにより故意に全深度ほぼ均一に昇温・降温させる。このような状態で、もしそこに地下水流動層が存在すれば、昇温あるいは降温させられた温度は流入した地下水によって変化させられ、乱される前の温度に回復しようとする（図-6.2.5）。またそこに地下水流動層がなければ、昇温・降温させられた温度は熱伝導によって徐々に自然状態の温度に戻ろうとする。この現象を利用して、地下水流動層の数と厚さ、およびその存在深度おと概略の流速に関する情報を得ようとするものである。

多点温度検層器の概要：

- ① センサーの径は、内径50 mmの保孔管内に温度昇温・降温用のホースと共に余裕を持って挿入できる太さである。

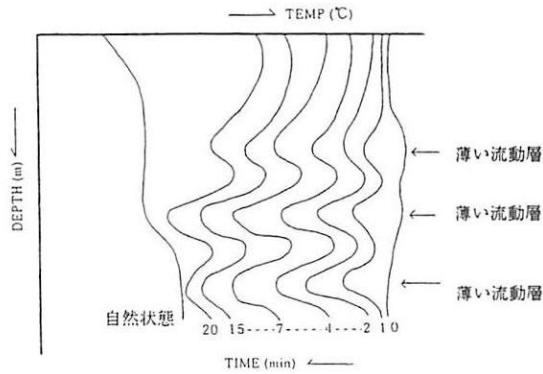


図-6.2.5 多点温度検層の原理

② 測点間隔は 10 cm を基準としているので、層厚の薄い流動層も検出できる。

③  $10^{-4}$  cm/sec 以上の見かけの流速を持つ地下水流動層の検出ができる。

現在製作されている多点温度検層器の概要は写真-6.2.1 に示すように、50 cm 毎に測温体を取り付けたセンサー、測定器基本体、ラップトップ型パソコン、蓄電池および温度攪拌装置一式により構成されている。

センサーは同じ温度特性と精度を持つ測温体を 50 cm 間隔に連続的に設置してある。このセンサーをボーリング孔内に挿入し、これを 10 cm 毎に 0 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm, および 40 cm と持ち上げることによって、孔口から孔底までの温度を 10 cm 間隔でほぼ同時に測定できる。現在市販されているセンサーは長さ 30 m のものであり、測温体は 61 点セットされている。なお現在は、検層深度最大 105 m のものがある。

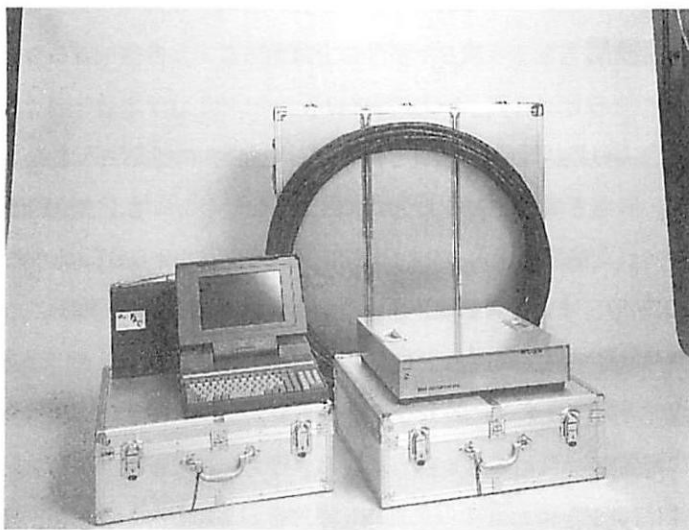


写真-6.2.1 多点温度検層 MTN-30 N 型 (エイワ電子計器製作所(株)製)



検層方法：まず，図-6.2.6 に示すように，

- ① 予め自然状態の温度分布を 10 cm 間隔で測定する。
- ② 次に一様に孔内温度を乱すためのホースをセンサーが設置されている孔の中に挿入し，このホースの中に温水または冷水を注入して，孔内温度をできるだけ一様になるように攪拌する。
- ③ 一様に乱された直後に一度測定を実施する（0分後測定）。
- ④ 市販されている装置では，その後は1～7分までは1分毎に強制的に計測がなされ，7分計測終了後にそれまでの結果が図示される。その後10～60分後まで5分毎に自動的に計測される。ただし，各計測時間終了毎にそれまでの結果が図示されるので，流動層の判定ができた時点で計測を終了することができる。これによって，地下水が孔内に流入してくることによる温度の自然状態への回復の程度が詳細に測定され，地下水流動層の数とその深度，厚さおよび相対的な浸透速度を検討することができる。

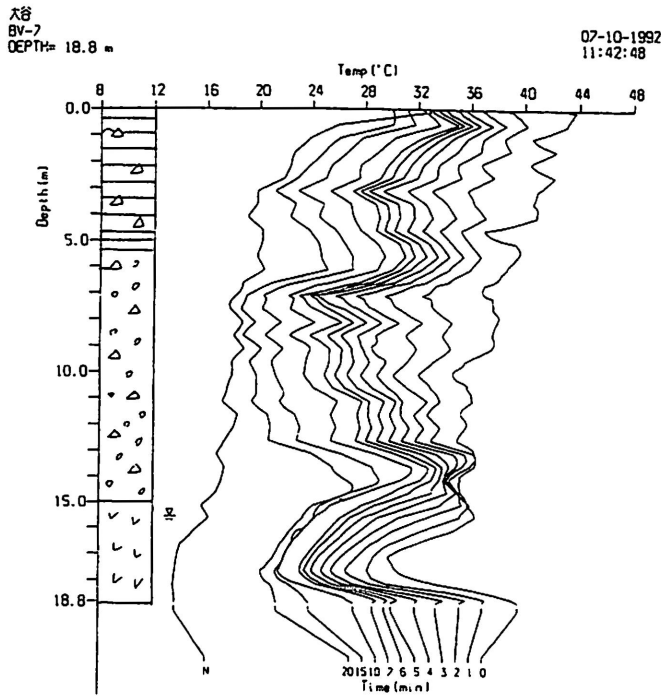


図-6.2.6 検層結果の表現方法「温度-深度曲線」

保孔管は理想的には鋼性のスクリーンを挿入することが好ましいが，開口率 10～15%程度にストレーナー加工を施した塩化ビニールパイプにフィルター材を巻いて挿入しておくことと良好な検層結果を得ることができる。また，孔壁と保孔管との間は砂ではなくて平均粒径 5 mm 程度の礫で補填するとよい。砂の場合は孔内に堆積するおそれがある。

多点温度検層の結果は「温度-深度曲線」として表現し、自然状態と昇温直後との間に記録される温度変化曲線の自然状態への復帰状況から地下水流動層の数とその存在深度およびその厚さを解析する。この際、孔内温度の昇温が均一になされておらず、上記の解釈が順調にできにくい場合がある。このような場合には、図-6.2.7に示すように、変化させた温度が自然状態に戻る割合の時系列的な変化を求めて「温度復元率-深度曲線」に表現して流動層の解釈を行う。なお、温度復元率は次式によって求める。

$$\Delta\theta = \frac{(0分時の温度) - (任意の経過時間に於ける温度)}{(0分時の温度) - (自然状態の温度)} \times 100 \quad (6.2.2)$$

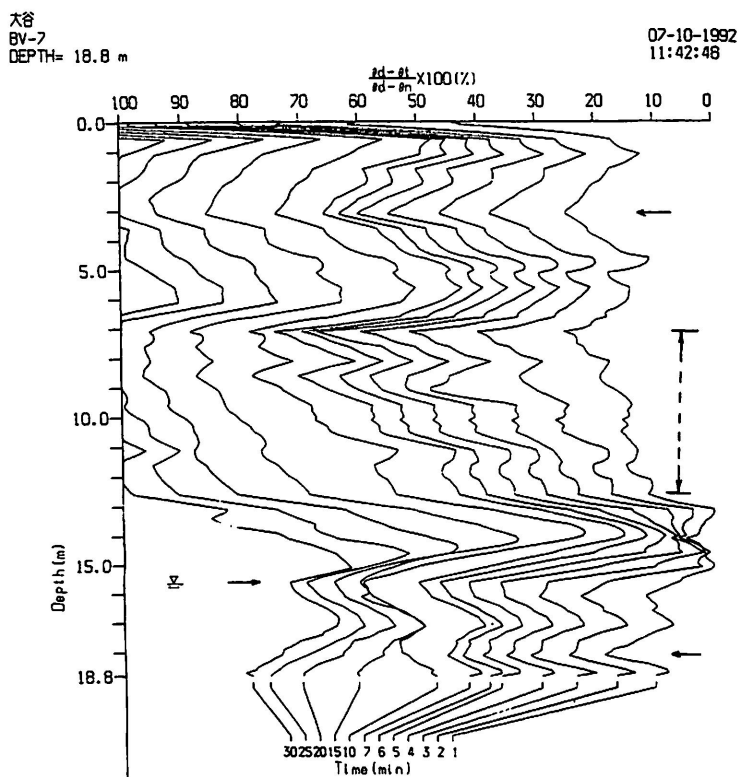


図-6.2.7 検層結果の表現方法「温度復元率-深度曲線」

## 2-5 キャリパー検層

キャリパー検層による孔径測定は、密度検層や孔内流速測定における解析や校正に必要なために行われる。また、孔内載荷試験、速度検層、電気検層等を効果的に実施するために、事前の孔径確

認を行う場合などに適用される。このように、各種検層や孔内原位置試験の補助的手段として用いられており、本検層が単独で用いられるケースは極めて希である。

測定方法は、図-6.2.8に示すようにキャリパーゾンデの孔径測定アームをクランプした状態でボーリング孔内に降下し、軽く孔底に落下させることによりクランプを開放してアームを孔壁に接触させる。アームの開閉量はトランスジューサーにより、電気量として測定器に導かれ、孔径に換算される。この状態でゾンデを引き上げることにより、孔径の連続的な変化が測定できる。

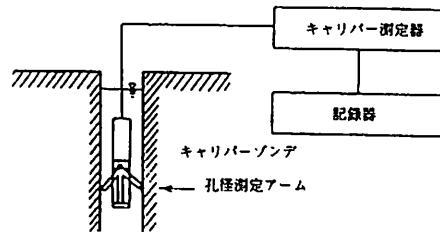


図-6.2.8 キャリパー検層概要図

注意点としては以下の3点があげられる。

- ① 測定方向が1方向であるために、孔壁崩壊がある場合などは測定方向による差がやすく、概略の値を示すものと考えるべきである。
- ② ゾンデを孔底に落下させて孔径測定用のアームを開くので、孔底にスライムが残留している場合には、ゾンデがスライム中に貫入して引き上げが困難になる場合があるので、十分なスライム排除をすべきである。
- ③ 孔壁にアームを押し付けた状態でゾンデを引き上げるために、割れ目が密に発達した岩盤などでは孔壁崩壊を招いてゾンデを引き上げられないおそれがあるので注意深く行う必要がある。

## 2-6 密度検層

地層密度の測定値は、地盤の動的問題をはじめとする各種数値解析を行う場合、コア材や原石山等の材料を検討する場合、地層境界や風化帯の検出を行う場合、等に利用される。

測定方法は、ボーリング孔内に放射性物質（線源）と検出器（GM 計数管、シンチレーション計数管）を降下し、孔壁の地層による放射能の散乱状況から密度を測定するものである。

測定原理は、密度検層は別名  $\gamma$ - $\gamma$  検層ともいわれ、プローブに内蔵されたアイソトープより  $\gamma$  線を放出し、同じプローブの別の位置にあるシンチレーションカウンターで  $\gamma$  線を測定して周囲の物質の密度を知るものである。 $\gamma$  線が物質に当たったとき、主としてコンプトン効果によって  $\gamma$  線が

吸収される。コンプトン効果は物質の密度にほぼ比例しているので、 $\gamma$ 線の吸収の程度を知れば密度を求めることができる。

密度検層のプロープは図-6.2.9のように細長いセンサーで先端部にアイソトープを内蔵し、上部にシンチレーションカウンターが入っている。圧着装置によりボーリング孔の一方に圧着されるようになっている。圧着された位置に $\gamma$ 線を放出する線源があって、孔壁の物質のみ $\gamma$ 線が入るようになっているので孔中のものによる影響はなく、孔径の影響も小さい。

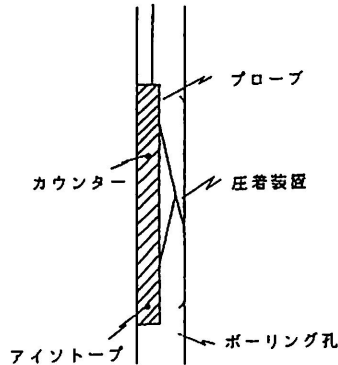


図-6.2.9 密度検層概要図

測定はプローブを孔底よりゆっくりと上昇させながら連続測定を行う。ケーブルをシーブに通すことにより、シーブの車輪が回転してそれに応じて記録紙が送られるのでプローブの上昇に比例して紙送りが出る。

測定値は $\gamma$ 線のカウント数である。この測定された計数率(CPS)を較正曲線により、密度値と比較することで密度を求める。

使用上の注意点：

(1) 較正曲線：上記の測定方法によって得られた値より、較正曲線を整えることによって測定結果としての密度値がすぐに求まるが、較正曲線の整備に手数を要する。

較正曲線の求め方：

- (イ) 実際のボーリング孔で測定を行い、ボーリングコアの密度とそのコアが採取された深度における測定値から求める。
  - (ロ) あらかじめ密度値の分かった2～3種類の供試体(例えば砂、水、コンクリート等)を測定孔と同じ孔内条件(孔内水の有無、ケーシングの有無、孔径)で作製し、それぞれの供試体の密度値における計数値を求める。
- (イ)の方法は非常に簡単であるが、いろいろな孔内条件に対する較正曲線を求めるのに時間がかかる。(ロ)の場合は、供試体を作るのに多くの時間と経費を必要とする。

較正曲線は検出 $\gamma$ 線(計数率:CPS)を対数 $\log I$  ( $I = \text{CPS}$ )で縦軸に、横軸に密度値 $\rho$ を取

れば、較正曲線は直線で表される。較正曲線の求め方は、以下の通りである。

- ①測定したボーリング孔の孔芯の密度値と、その深度における測定値より求める。
- ②測定したボーリング孔と同条件でテストピットを数種類作り、それぞれの密度値における計数値を求める。

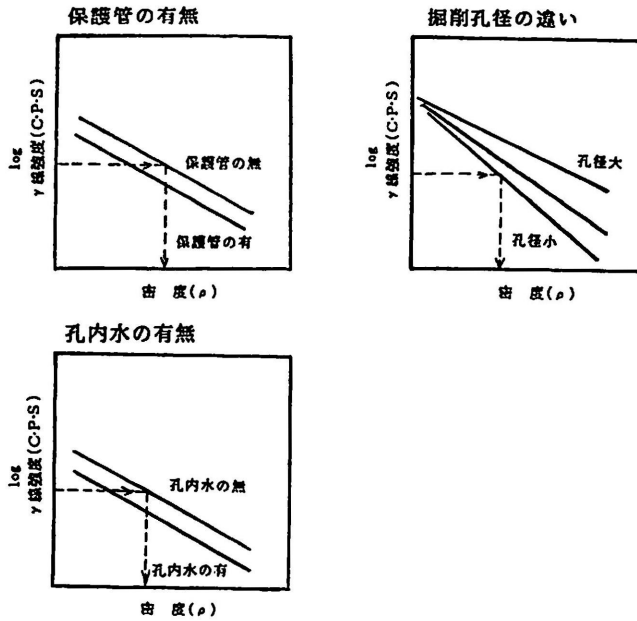


図-6.2.10 密度検層較正曲線 (較正曲線の傾きは孔径の大小, プローブ特性, 試料値により変化する。)

(2) 密度記録の凸凹について：測定記録をみると凹凸が認められる。これは地層の密度によるものもあるがそのほかに、図-6.2.11 (a)のように孔壁に掘削時の凹凸がある場合には、密度検層用のプローブの長さが1 m あるため凹部を通るときに孔壁から離れ、見かけ上密度が小さく現れるものも含まれている。

ケーシングを入れてある場合には、(b)図のようにケーシングの裏側が空いていると、その部分は

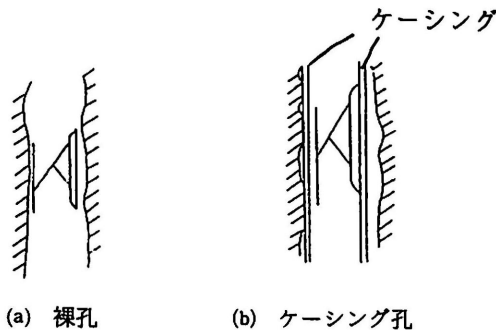


図-6.2.11 密度記録の凸凹の原因

見かけ上密度が小さく現れる。

(3) 密度値に影響を与える孔内条件：

(イ) 孔径：実施例の項に示すように、測定時の計器設定条件より孔径が拡大していると密度値は小さくなる。仮に孔径が小さいと密度値は大きく測定される。したがってキャリパー検層が必要である。

(ロ) 孔内水：孔内水の有無にかかわらず測定は可能であるが、孔内水の無い区間と有る区間を同時に測定した場合には、孔内水の無い区間の密度値が小さい値となる。

(ハ) ケーシング：裸孔で実施することが原則であるが、ケーシングの種類（鋼管・エンビパイプ）その孔径によって校正が必要。

(4) 線源：線源は放射性物質なので、ある一定以上の強度の線源を取り扱う時には法律に基づいた資格が必要である。未使用時には、指定の容器に収納する。

(5) その他：放射性物質の取扱に関する注意が必要であり、線源が弱くなると正確な測定値が得られなくなるので十分な管理が求められる。現場における水中でのキャリブレーションに際しては、ドラム缶に満たした水の中で行うことが多いが、ため池やより大きな貯水槽等で実施することが望ましい。

## 2-7 検層を行う場合の孔内洗浄の必要性

泥水掘りが行われたボーリング孔で、各種検層や地下水観測孔を設置する場合、事前に孔内洗浄が行われるのが普通である。しかし、現実には孔内洗浄を疑いたくなるような結果を散見する。そこで、ここでは孔内洗浄状況が検層結果にどのような影響を与えるかについて、多点温度検層を例に取り、各種の洗浄状態における検層結果を対比してみた。

孔内洗浄状況は以下の通りである。

- ① 予備的な洗浄を行った段階での検層
- ② 深度 30 m で 1 時間揚水洗浄を行った後に検層
- ③ 深度 10 m でさらに 1.5 時間揚水洗浄を行った後に検層
- ④ 空気噴出孔深度 40 m でエアリフト 3 時間洗浄を行った後に検層

検層結果は地下水流動層存在深度を検出するのに適した「温度復元率-深度曲線」に表現し、上述の各洗浄段階における検層結果の相違を比較した。

予備的な洗浄を実施した①の段階における検層結果を図-6.2.12に示す。図より、顕著な地下水流動層の存在を示唆する温度復元率は示されていないので、この段階では泥壁が殆ど残っている状態

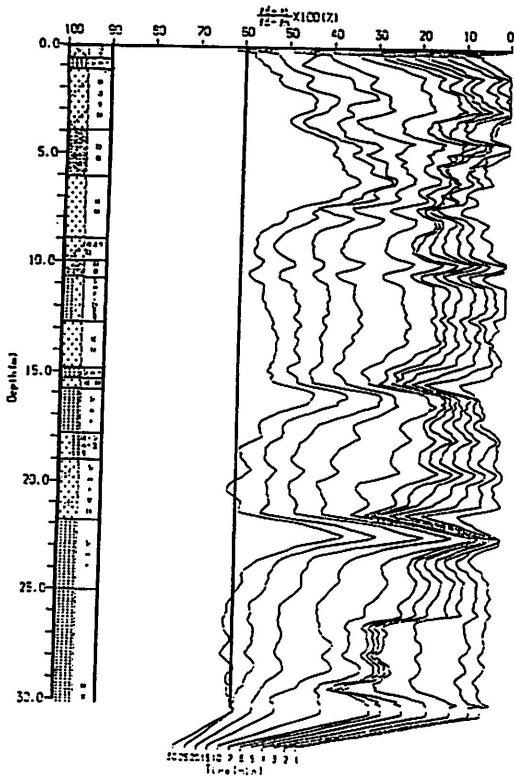


図-6.2.12 予備洗浄を行った段階①での検層例

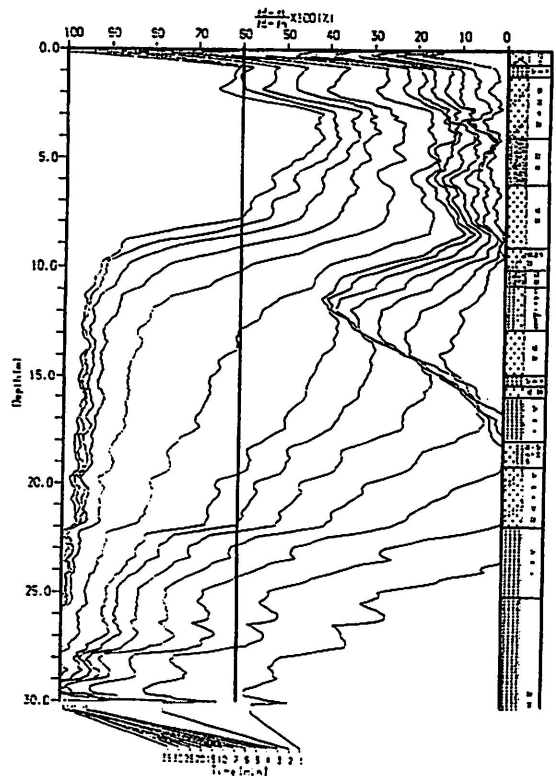


図-6.2.13 十分な洗浄を行った段階④での検層例

であることになる。

②、③の段階における検層結果も①と大同小異であったので、④の段階における検層結果を図-6.2.13に示す。この図を見ると、図-6.2.12とは全く異なる検層結果が示されている。特に顕著な現象は深部からの被圧水の上昇流による温度復元率の大きさである。これは今までの検層では全く認められなかったものである。このことはエアリフトによる洗浄ではじめて泥壁が破壊されたことを示している。この図を見ると、深部からの被圧水上昇による温度復元の影響が深度9 m付近まで及んでいることが示されている。さらに深度2 m付近にも温度復元率が60%を越えるところが出現しており、洗浄効果の大きさが示された。

ボーリング掘削時に使用される泥水は図-6.2.14のAに示すように、孔壁周辺に遮水性の壁を作り、その一部は孔壁内部にまで浸透しているものと推定される。このような状態にあるボーリング孔において各種の検層を実施しても、得られた結果に対して正確な評価を下すことは難しいと考える。したがって、できるだけ正確な情報を得ようとする場合には、十分な洗浄を行い、形成された泥壁、さらに孔壁周辺に浸透した泥水をも完全に除去してから各種検層を行なうべきであることを強く示唆している。

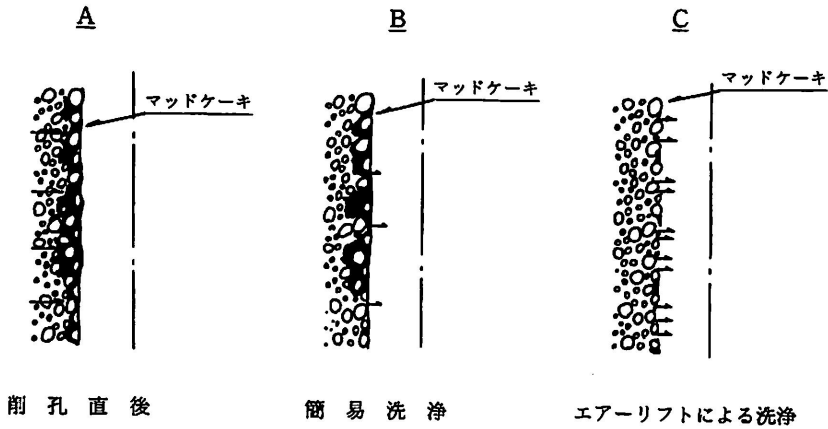


図-6.2.14 泥壁と孔内洗浄の関係

## 2-8 ケーシングが挿入された状態での検層の必要性

これまでの、検層孔が裸孔もしくはそれに近い水位観測孔（塩ビパイプ・ストレーナー加工を挿入）での事例を示したが、ここではボーリング掘削完了直後のケーシングが挿入された状態での多点温度検層例を示す。

検層を実施した調査用ボーリング孔の構造を図-6.2.15に示す。上部は後で砂利を保孔管と孔壁の間に入れるために二重管になっている。ケーシングの径は上部の外管が径100mm、深部まで挿入した内管は径86mmである。内管は必要に応じて深部まで挿入した場合と、孔壁崩壊の危険がないと判断された場所では、途中まで挿入した場合とがある。

このような構造のボーリング孔で実施した多点温度検層の結果を、図-6.2.16に地質柱状図およびケーシング構造と対比して示した。このボーリング孔の孔内水位は、深度13.2mに存在している。図を見ると、孔内水位よりも上部の深度1.1~3.2mと深度5.5~16.5mに温度復元率の大きなところが認められる。これらの区間に地下水の浸出部が存在すると推定される。前者はケーシングが二重になっている部分、後者は内管のみ部分である。また、孔内水位以深では、深度14.8m付近に計測時間30分で、温度復元率が90%のところが、さらに深度23.8mに同じく温度復元率が70%のところが認められる。これらの深度に地下水流動層の存在が推定される。

以上、ボーリング掘削完了時にケーシングが存在する場合でも、地下水流動層の検出が可能であり、層別地下水観測孔の構造を決定する資料となることが示された。

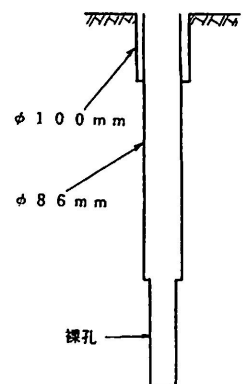


図-6.2.15 ボーリング孔の構造



MULTI. TEMPERATURE LOGGING GRAPHS (θ-D GRAPH)

大谷野路2

7-7

DEPTH= 24.3 m

12-19-1995

13:50:28

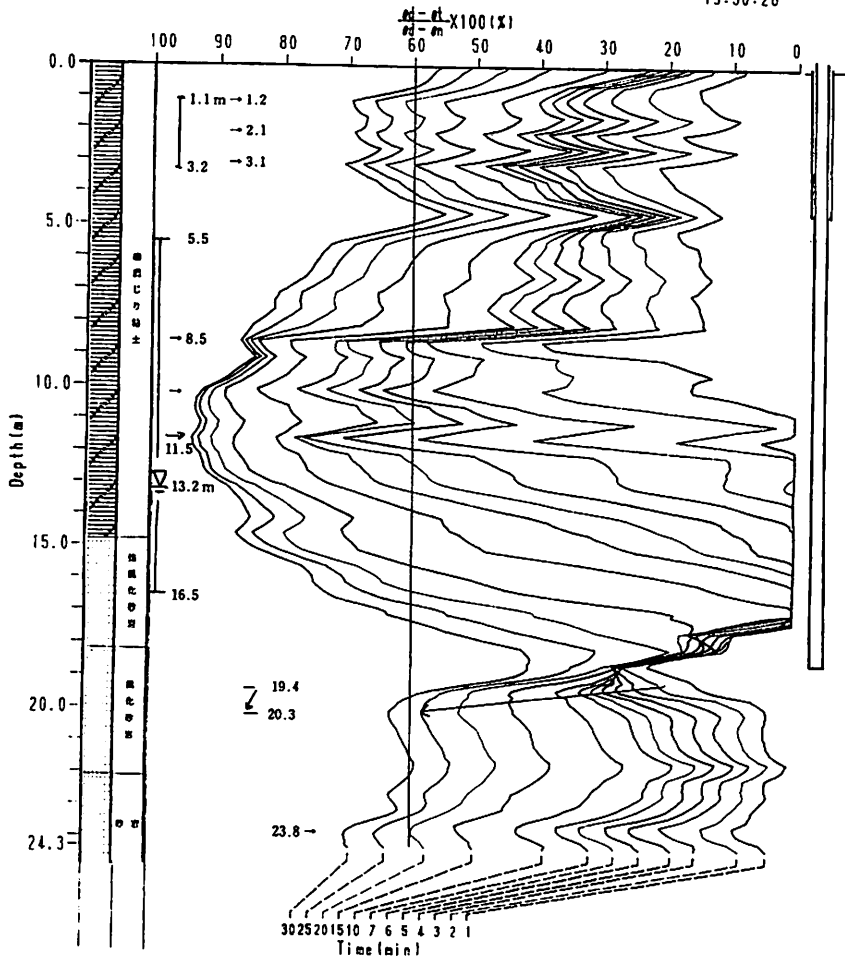


図-6.2.16 ケーシングの存在する調査孔での検層例

## 第3章 調査実施例

### 3-1 速度検層による岩盤評価

ボーリング孔壁周辺の弾性波速度(P波またはS波)を求める方法として、PS検層法(ダウンホール方式)、振源・受振器一体型、多連式地震計によるP波測定、反射検層等の方法がある。ここでは、PS検層法(ダウンホール方式)とサスペンション方式を同じボーリング孔を利用して行い、岩盤の速度値を求めた例について述べる。

調査地点は流紋岩が分布する地域で、岩盤の動弾性係数を知る目的で測定した。測定は、先ずダウンホール方式で実施し、その後、振源・受振器一体型で測定してその結果等を比較した。

(1)ダウンホール方式：起振方法は、P波は岩盤上に鉄板をモルタルで固定し、カケヤで打撃して

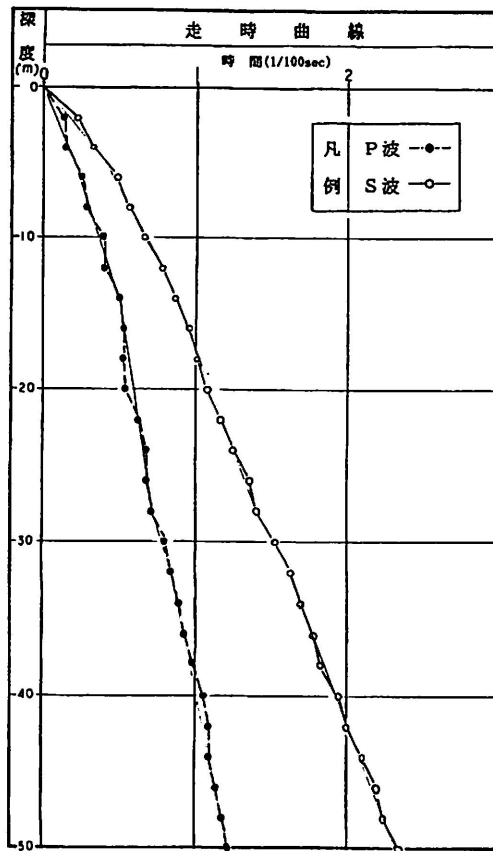


図-6.3.1 速度検層の走時曲線の例

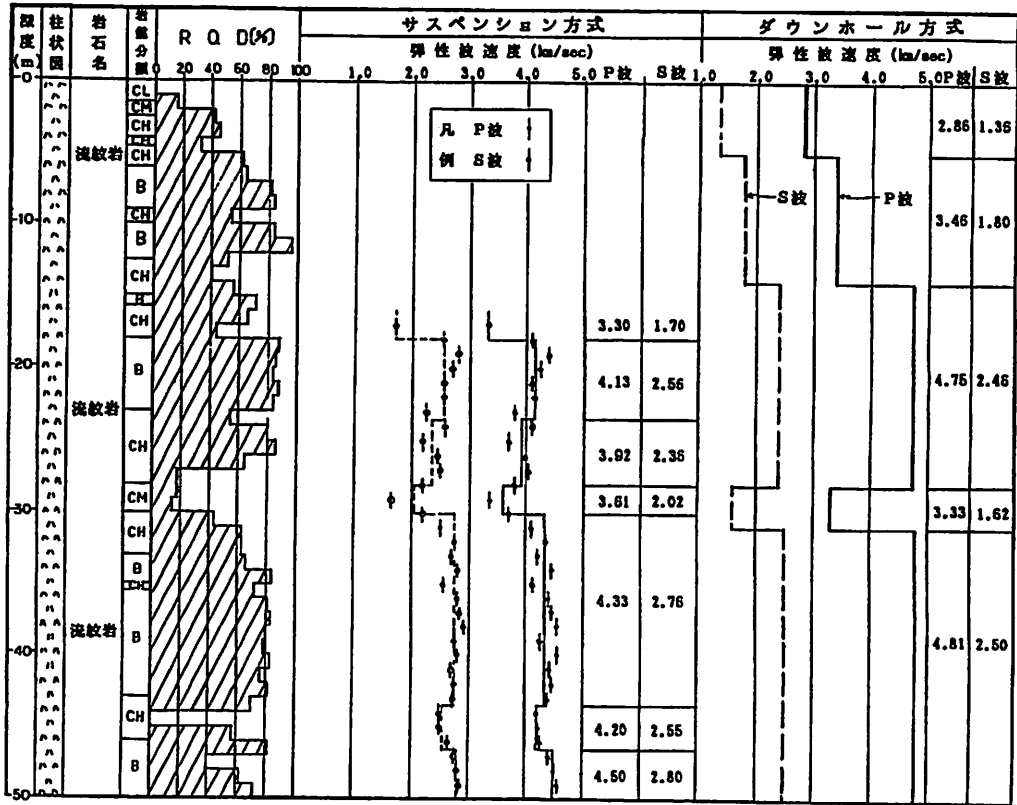


図-6.3.2 速度検層結果の例

起振した。S波は木材(板)をモルタルで岩盤上に固定し、P波と同様にカケヤで左・右より打撃して起振した。測点間隔は2 mである。測定によって得られた記録を読み取り、図-6.3.1に示す走時曲線を作成した。この走時曲線の傾斜から区間速度を求め、図-6.3.2の右へその値を記入した。P波速度は  $V_p=2.86\sim 4.81$  km/s (S波速度は  $V_s=1.36\sim 2.5$  km/s) の値が得られ、表層部は風化作用の影響があるが、深度28~31 m間は、亀裂多く破碎帯状の岩質である。 $V_p=4.75\sim 4.81$  km/s ( $V_s=2.46\sim 2.50$  km/s) の岩質は、R.Q.D > 80%と良好なコアが採取されている。

(2) 振源・受振器一体型：プローブには2組の受振器と発振源が組み込まれている。このプローブを孔壁に圧着せずに水中に吊り下げた状態(漂遊型)で発振源を振動させて2組(1 m間隔)の受振器に振動を与える方法である。孔壁1 m間の時間差を求めて速度を算出することができる。測点間隔は1 m。サスペンション方式の測定結果を、図-6.3.2の左に示してある。1 m区間の速度値を丸印で示し、柱状図のR.Q.Dを参照して区間速度を求めた。これによって得られた速度は、P波速度が  $V_p=3.30\sim 4.50$  km/s、S波速度が  $V_s=1.70\sim 2.80$  km/sであり、ダウンホール方式による結果より細かく区分することができる。これらを測定・解析するに際し、問題点として下記を挙げる

ことができる。

振源の問題：ダウンホール方式では、その振源をボーリング孔口付近に設ける。P波の発振は、地表に置いた鉄板や岩盤露頭部をカケヤで打撃する。S波の発振は、軟弱地盤の場合には容易に厚手の板にスパイクを設けて地表に設定ができる。しかし、岩盤が露出する地点では軟弱地盤より発振源を強打する必要があることからモルタルで板を岩盤等へ固定する。そこで強打による発振によって良い反転の記録が得られる。

解析（速度算出）の問題：ダウンホール方式では、発振源が地表部1ヶ所であり、地表弾性波探査（屈折法）で例えると、片発破の記録であり、走時曲線の傾斜によって速度を決める場合、ボーリング柱状図の岩質状況を十分に参照して決めることが多い。サスペンション方式では、測定結果に基づいて速度を求めると、柱状図に記されている岩質状況とほぼ一致することが多い。すなわち客観的に速度を求めることができる。

孔径の問題：岩盤ボーリングの掘削孔径は66 mmが多い。この孔を利用する場合、ダウンホール方式のゾンデ（受振器）は問題が無いが、振源・受振器一体型では、ゾンデの径が54 mmであり、66 mmの孔径ではクリアランスが少ないために、孔径を76-86 mmで測定することが望ましい。

### 3-2 電気検層による岩盤評価

三群変成岩の緑色片岩分布域と黒色片岩卓越部、および和泉層群の砂岩泥岩分布域を対象に実施した事例を図-6.3.3~6.3.5に示す。いずれも孔内微流速測定（孔内水の上下流速測定）を併用して実施することにより、明確な透水層を確認している。

これらの図から以下の事項を読み取ることができる。

(1) 見かけ比抵抗値は岩相や岩盤区分に有効である。

図-6.3.3の地質は新鮮でほぼ一様な緑色片岩であり、電極間隔100 cmの記録に注目すると見かけ比抵抗は約2 k $\Omega$ ・mを示すが、図-6.3.4の黒色片岩卓越部ではボーリングコアの割れ目が密になって見かけ比抵抗は1 k $\Omega$ ・m程度であり、破碎作用の進んだ部分（小断層）では0.5 k $\Omega$ ・m以下となっている。

同様な傾向は、図-6.3.5でも認められ、電極間隔100 cmに注目すると、見かけ比抵抗は砂岩層で400~900  $\Omega$ ・m、泥岩層で300  $\Omega$ ・mと明瞭な違いを示している。したがって、地すべり地を対象とする場合、移動土塊と不動層との区別をする補助手段として有効と考える。

(2) 岩盤中の透水層の検出は困難な場合が多い

孔内微流速測定結果から判明した岩盤中の透水層の識別を見かけ比抵抗値から行うことは、ここ

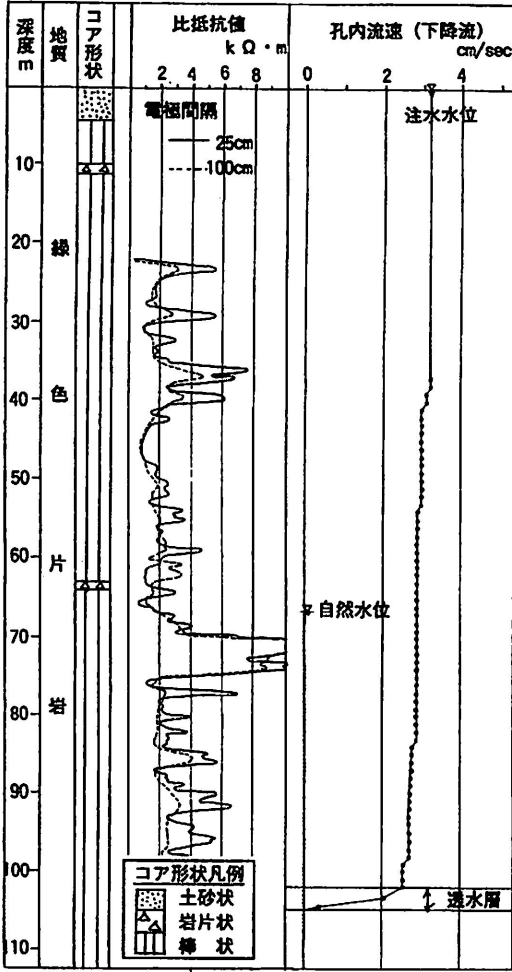


図-6.3.3 緑色片岩での実施例

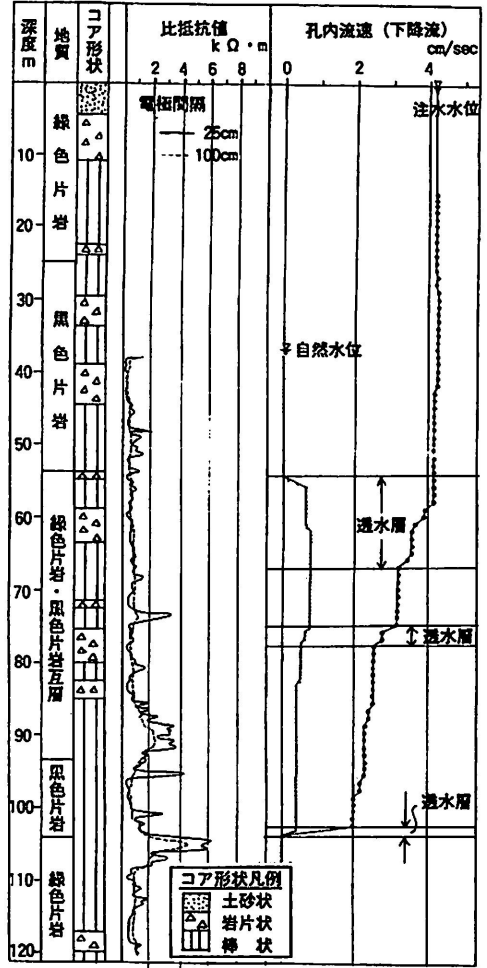


図-6.3.4 黒色片岩卓越部での実施例

にあげた事例では困難である。緑色片岩や砂岩層の透水層は、新鮮な岩盤中のいくつかの割れ目を通じて地下水が流動しており、そのような帯水薄層の検出は電気検層の電極間隔では不可能である。また、緑色片岩・黒色片岩互層の破碎部でも透水層が認められるが、低比抵抗部全体が透水層に相当するのではなく、低比抵抗部でも部分的に粘土化していることにより、透水性の低い場合のあることがわかる。

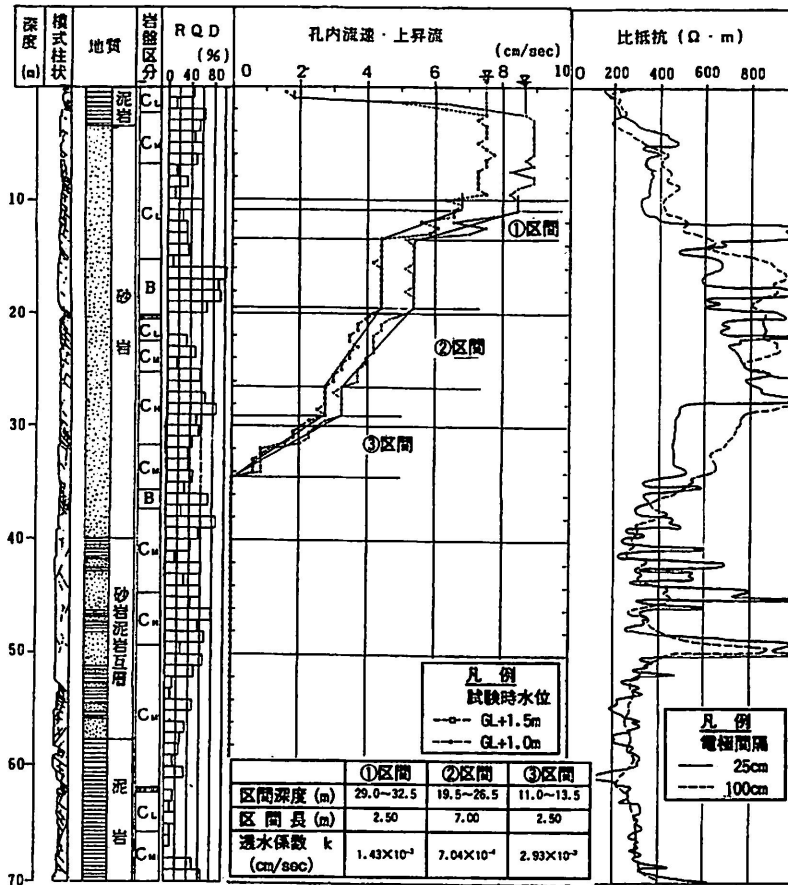


図-6.3.5 砂岩・泥岩分布域での実施例

### 3-3 温度検層による地下水流動層の検出

緑色片岩の地すべり地に掘削されたボーリング孔における温度検層の例を図-6.3.6に示す。掘削深度は25mで、最終孔内水位は深度22m付近に存在する。この水位は降雨の影響を殆ど受けていない。一方、温度検層結果によると、4m付近と10m付近とに温度急変部が認められる。水位日報によると、これらの深度付近で泥水の逸水現象が認められたことが記録されている。そこで本孔からそれぞれ50cm離れた所に深度5mと11mの観測孔を掘削し、それらの孔内水位を測定した。その結果、図の右側に示すように、前者では深度3m付近に、後者では深度6m付近にそれぞれ孔内水位が観測された。

このボーリング孔では25mまで掘削したために、本来であれば3mと6m付近に存在する地下水流動層の水が孔底に流下し、その平衡水位が深度22m付近に現れていることになる。この例から

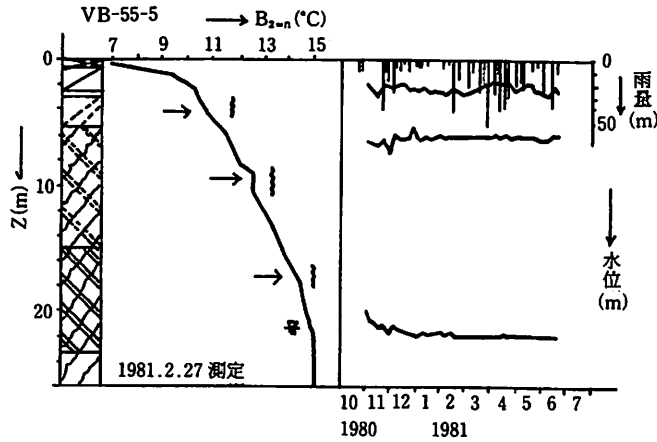


図-6.3.6 温度検層結果と層別地下水観測結果の対比

も、最終掘削深度において観測される水位とは何かという大きな疑問に突き当たる。いふなれば、ボーリング掘削深度に合わせて生じる平衡水位ではあっても、決して真の地下水位ではないことだけは確かである。

図-6.3.7は掘削深度22mのボーリング孔で、その最終孔内水位は深度13m付近に存在している。地下水検層によると深度13~15mに地下水流動層が認められる。一方、温度検層によると、深度6m付近に3°C位の温度飛躍層が認められる。この付近は浅層流動地下水が存在する所で、降雨時にはこれよりも上まで水位が上昇することが観測されている。つまり、この付近からの地下水の湧出量が少ないときは、この孔の平衡水位は深度13~15mの深い所に存在するが、多量の地下水が

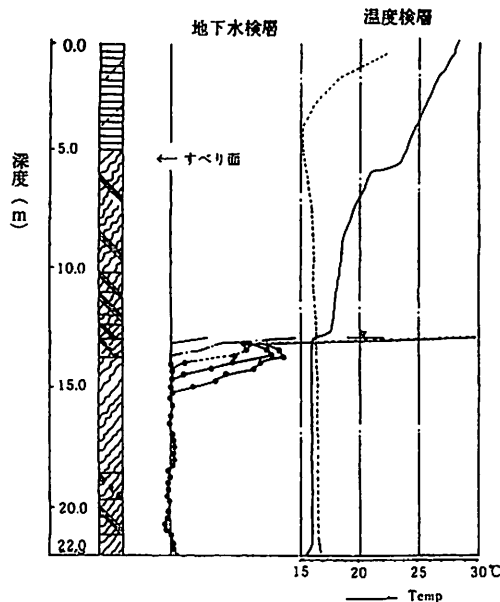


図-6.3.7 温度検層結果とすべり面との対比

供給されると深度13~15m付近だけでは水位の平衡を保つことができず、深度5m以浅にまで上昇するものと推定される。さらに、地中内部歪計の観測結果によると、すべり面は深度5.5m付近に存在しており、孔内水位がこの深度よりも上に上昇すると歪量が増大することが確認されている。温度検層と地中内部歪計の観測結果に基づいて、この地すべり地では、孔内水位を常に深度5.5mよりも下に保つように地下水排除工が施工された。

### 3-4 多点温度検層による地下水流動層の検出

これまでに砂層、砂礫層、石灰岩、崩積土層、種々の風化岩層、等で検層を実施しているので、この中からいくつかの検層例を挙げて、各々の地層や条件における検層例を示す。なお詳細は、竹内篤雄(1996)「温度測定による流動地下水調査法」を参照されたい。

(1) 風化岩での検層例：風化砂岩・安山岩で構成されている地すべり地での検層例を図-6.3.8に示す。これを見ると、孔内水位よりも下では強風化安山岩に吸い込まれるような形でかなり速い地下水流動層の存在が認められる。孔内水位よりも上では、風化砂岩層のなかに亀裂水的な地下水の流出による温度低下部が2, 3箇所認められる。水位日報によると、孔内水位は掘削深度が増すに

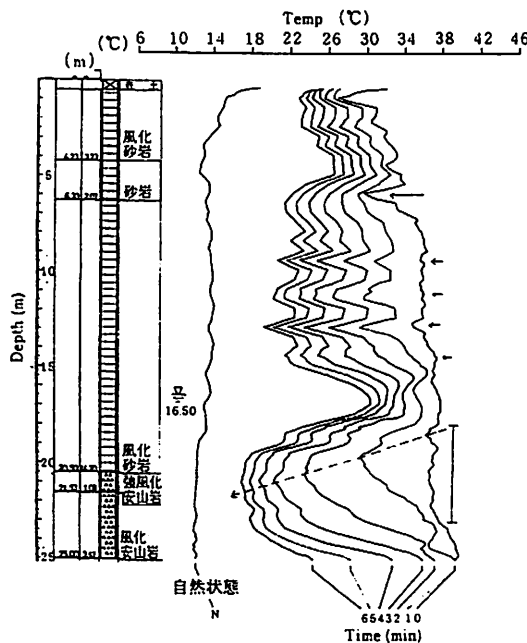


図-6.3.8 風化岩(軟岩II)での検層例

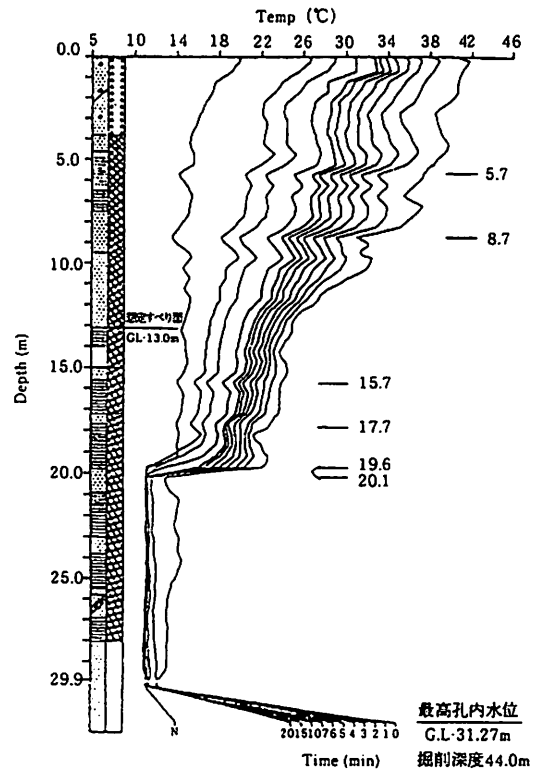


図-6.3.9 孔内水位が極端に深い場合の検層例



したがって低下していることが示されており、このようなボーリング孔においては、各々の地下水流動層に対応した水位観測孔を設置する必要があることを示唆している。

(2) 孔内水位が極端に深い場合の検層例：ここでは最終予定深度まで掘削した段階で、孔内水位が極端に低下してしまった地すべり地でのボーリング孔における検層結果について述べる。検層時の孔内水位は深度 32.3 m 付近に存在していたが、孔口に耳を近づけると、地下水が流下している音を聞くことができた。ただ地下水が流出している深度は不明であった。また、調査地のすべり面は深度 13.0 m 付近に認められているが、水位観測結果によると、最高水位は深度 31.3 m 付近までしか上昇していないことが明らかにされている。この地すべりは融雪期および降雨期に活動することが降水量と土塊活動観測との結果から明らかにされている。したがって、適切な地下水排除工施工のためには、土塊活動に直接関与している地下水流動層の把握が必須のこととなった。このように、孔内水位が深くその浅部に地下水流出箇所の存在が想定される場合には、従来の塩分希釈による地下水検層を実施しても、それに関する情報を得ることは難しい。そこで多点温度検層を実施し、地下水流出深度に関する情報を得ることとなった。その検層結果を図-6.3.9 に示す。この図を見ると、深度 19.6~20.1 m の間に計測開始直後に殆ど自然状態に復元してしまうほど多量の地下水流出箇所が認められる。それ以深はその流出地下水の流下のために温度が低下していることが読み取れる。そこで、このボーリング孔ではその側近に深度 20 m の水位観測孔を設けてその水位を観測した。その結果、融雪期あるいは降雨期にはすべり面を上回る水位上昇が示され、それに合わせて土塊変動も記録された。そこで、この地下水流出深度を対象として地下水排除工が施工された。

(3) 孔内水位が孔口付近と高い場合の検層例(揚水による孔内水位低下状態での検層)：最終掘削段階で、孔内水位が孔口付近にまで上昇したボーリング孔での検層例について述べる。このようなボーリング孔では地下水流動層が水圧によって抑制されている可能性があるため、揚水を継続しつつ検層を実施した。揚水前と後の検層結果を「温度復元率-時間曲線」に表現して図-6.3.10、-6.3.11 に示す。揚水前の検層結果(図-6.3.10)を見ると、孔口付近と深度 3.8 m および孔底付近に多少温度復元率の大きな所が認められる。次にホースを深度 1.5 m 程度挿入してサイホンによって水位低下を行った段階で再度検層を実施した。その結果、図-6.3.11 に示すように深度 3.5 m 付近に明瞭な地下水流動層が検出された。この流動層はすべり面(深度 4.0 m 付近に存在)に直接関与するものであると判断して、この流動層の地下水を排除する計画が立てられ、実行に移された。

この例で示したように、孔内水位が浅い場合にはその水圧によって地下水流動が抑制されていることがあるので、揚水しながら検層を実施することを薦める。

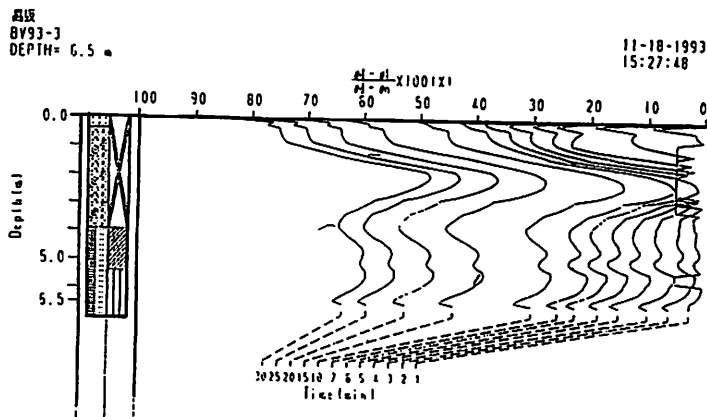


図-6.3.10 揚水前の検層結果

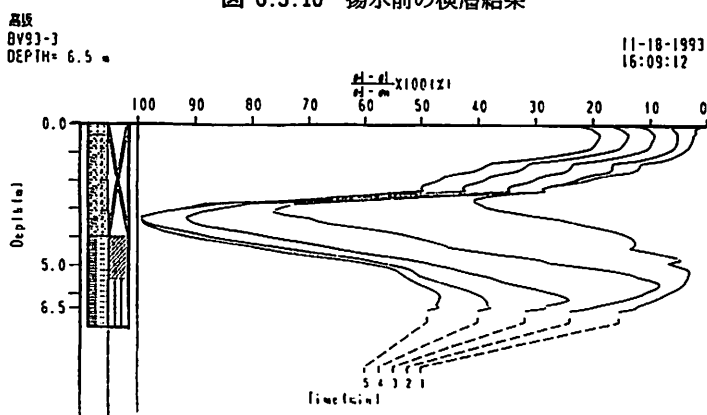


図-6.3.11 揚水しながらの検層結果

### 3-5 キャリパー検層によるすべり面の検出

第三紀層分布区域で発生した地すべり災害に対する調査の一環として、ボーリング孔を利用してキャリパー検層を実施した結果、孔壁の形状からすべり面を推定することができたことが報告されている（図-6.3.12）（片山他：1977）。

地質は砂岩主体であり、地すべり土塊は指圧で砂状化できる程度まで著しく風化の進んだ黄褐色粗粒砂岩、すべり面以深はきわめて新鮮な青灰色粗粒砂岩となっている。すべり面付近には層厚5～10 cmの粘土化したシルト岩を狭在する。

このような地質条件の地すべり地でのボーリング孔においてキャリパー検層を実施した結果、岩盤の風化部と新鮮部において、割れ目の発達状況や強度に大きな差があるため、ボーリング掘削孔径が同じでも風化部では孔径が大きいかつ、不規則な孔径変化を示すのに対して、新鮮部ではほぼ

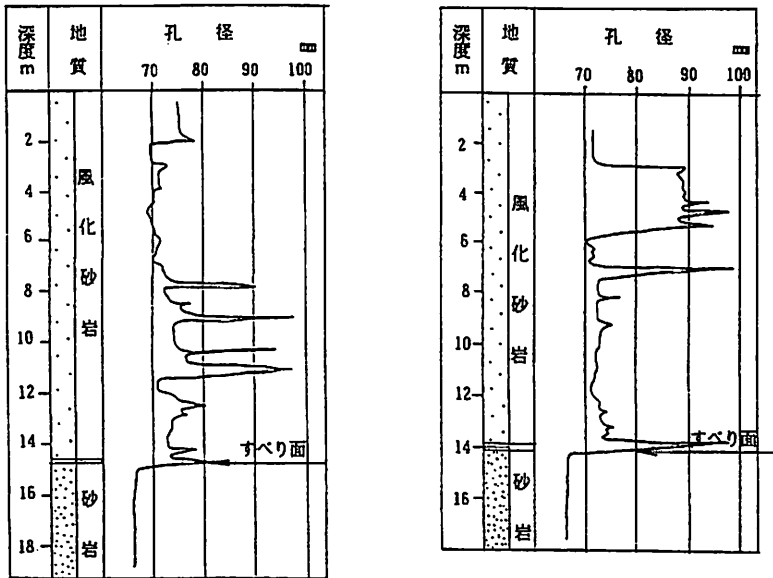


図-6.3.12 キャリパー検層によるすべり面の検出

一様な孔径記録が得られた。この2つの孔径記録パターンの境界部では、その後の動態観測によって地すべり変位が確認されたので、地質によってはすべり面深度想定の一助としてキャリパー検層の利用が有効と考えられる。

### 3-6 密度検層による地山評価

密度検層実施例として、A地点の地盤調査の結果を図-6.3.13に示した。本図には、左より深度、地質記号、地質名、岩級区分、岩質状況 (R.Q.Dと最大コア長)、キャリパー検層 (孔径検層) と密度検層としての減衰したγ線強度の計数値曲線を記してある。測定地点の地質は火山礫を含む凝灰岩および凝灰岩が分布している。ボーリング掘削結果の岩盤評価としてCL級からCH級の岩盤であり、R.Q.Dは0~90%となっている。これらに対比してみると、岩級区分がCL~CM級でR.Q.Dが0~40%を示す区間では、孔径が掘削時のボーリング孔径より拡大しており、地盤の密度は小さくなっているのが判る。R.Q.Dが低い区間は、亀裂が多く発達する区間であり、ボーリング掘削によって亀裂より崩壊して孔径が拡大し、見かけの密度が小さい値で表されている。このような深度の計数値は使用せずに、孔径変化の少ない深度での記録によって地盤の密度値を求めるべきである。本地点で求めた岩石の密度は下記のとおりである。

火山礫凝灰岩 2.11~2.36 g/cm<sup>3</sup>

凝灰岩 2.30 g/cm<sup>3</sup>

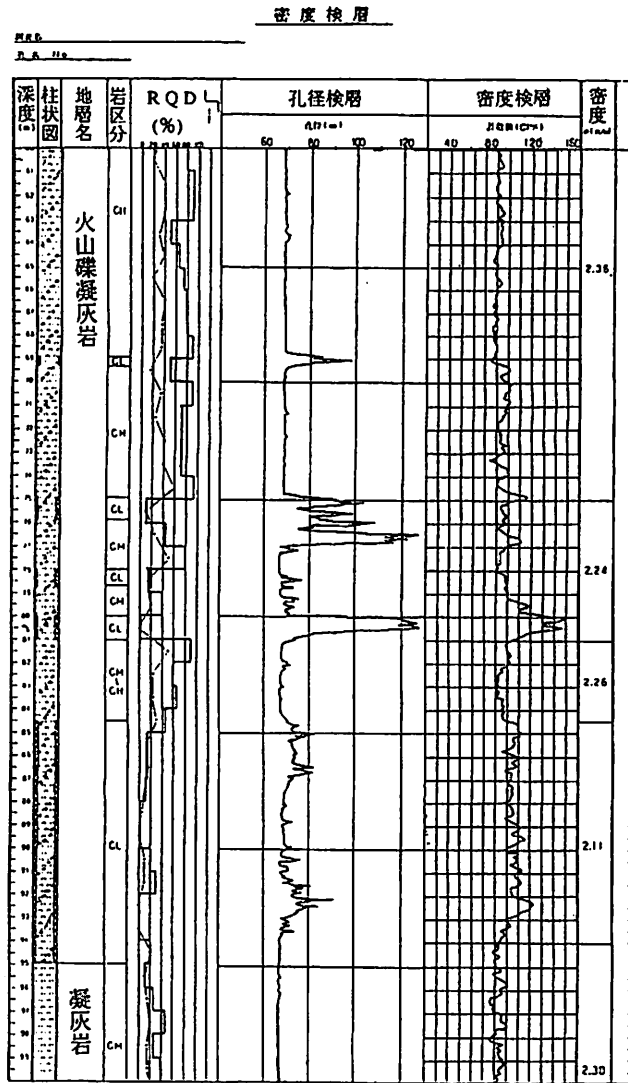


図-6.3.13 密度検層結果図

### 3-7 各種検層の併用による地山評価

検層の目的：検層による地盤評価の確立

検層の種類：速度検層（P波測定，ダウンホール方式，測点間隔1 m）

キャリパー検層

密度検層

電気検層（ノルマル法・・・電極間隔 0.25 m, 0.5 m, 1.0 m）

（マイクロ法・・・電極間隔 2.5 cm, 5.0 cm）

（自然電位法）

地質とコアの状況：ボーリング地点は和泉層群が分布する地点であり、表土部はほとんど無く、地表より風化砂岩が露出している。掘削結果によると、岩種は砂岩を主とし、薄く泥岩を挟んでいる。砂岩は、短柱状～棒状コアで採取されるが、泥岩は片状となっていることが多い。亀裂が多少の指標となる R.Q.D の値は、深度 3.0～12.0 m, 30～40 m 付近で、40%、20%が得られている。その他の区間は 0 または所々で 20～40%の値を示す。

速度検層結果：測点間隔 1 m, ダウンホール方式, すなわちボーリング孔口付近の地表面を打撃して起振し、ボーリング孔内の地震計でその波の到達時間を測定する方法である。その結果を図-6.3.14 に示してある。図の左より、柱状図, 岩石名, 走時曲線（一部の波動記録も併記）区間弾性波速度を示してある。走時曲線は、実測値と補正值（孔口を発振点とした場合）を記して、補正值の傾斜から弾性波速度を求めた。その結果、深度 0～8.0 m までの速度値が 0.6～1.0 km/s と強風化帯の値である。深度 8～28 m 間は 2.0 km/s と風化帯の値で、深度 28 m 以深は 4.0 km/s と新鮮な岩盤の値となっている。ここで、速度を求める場合、片起振の走時曲線であることから走時曲線の乱れ、すなわち凹凸が生ずると区間速度を求めるに不安が生ずる。この凹凸が発生している区間（12～16 m）のコア状況は、岩種が細かい単位で変化している。

R.Q.D は 0 となっており、キャリパー検層では、孔径が 80～100 mm にまで拡大していることが判る（図-6.3.15）。すなわち岩質が悪く孔径が拡大している区間では走時に乱れが生ずると判断される。

キャリパー検層と密度検層：キャリパー検層とは、孔径検層とも言われ、ボーリング孔の孔径変化を求める検層である。図-6.3.15 にはキャリパー検層の結果と R.Q.D を対比してある。一般的に孔径が変化する区間は亀裂が多く、掘削作業中に孔壁が少しづつ崩壊して拡大すると推定され、亀裂の少ない区間は、孔壁が良く保たれて変化が少ない。この関係は前述のとおり、R.Q.D の値とも密接な関係があることが判る。

密度検層は、その測定するボーリング孔の孔径によって測定機の定数を設定する必要がある。本地点ではキャリパー検層によって 67 mm として、その定数によって測定した（図-6.3.15 右側参照）。その結果、孔径が 66～67 mm にほぼ保たれている区間では、岩盤の密度が 2.55～2.60 g/cm<sup>3</sup> と常識的な値を示す。これに対して、孔径が大きく変化している区間では、常識的な値より小さく求まっている。したがって密度検層は、キャリパー検層を併用することによって、より正確に求まることが判る。孔径が拡大している区間では、その都度測定機の定数を変えて測定するべきである。

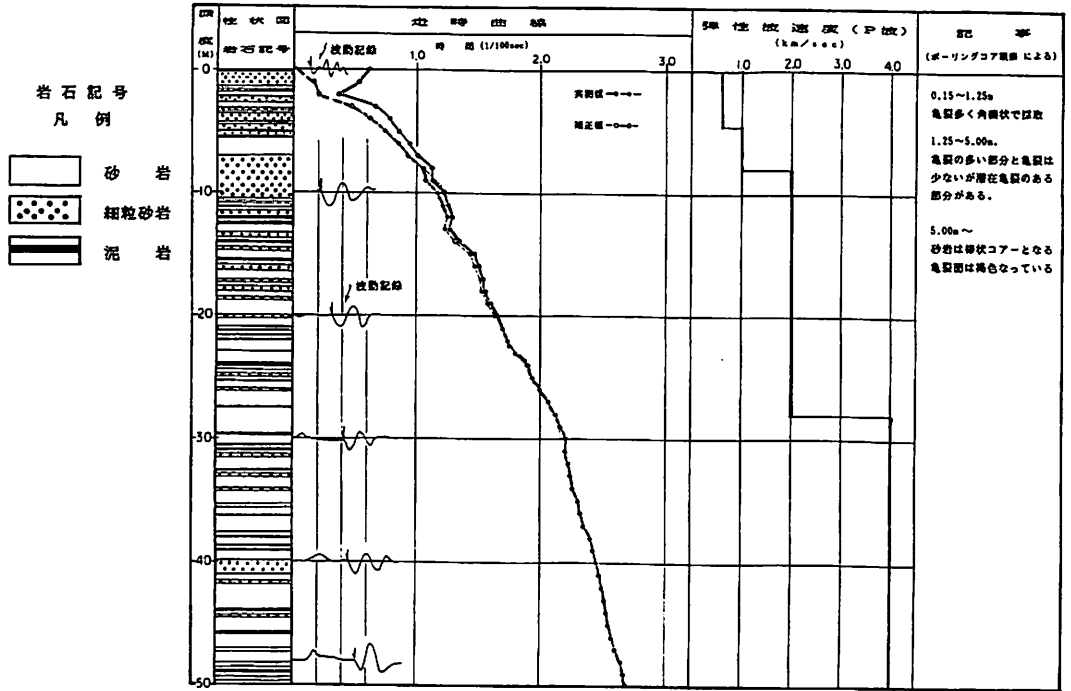


図-6.3.14 速度検層結果

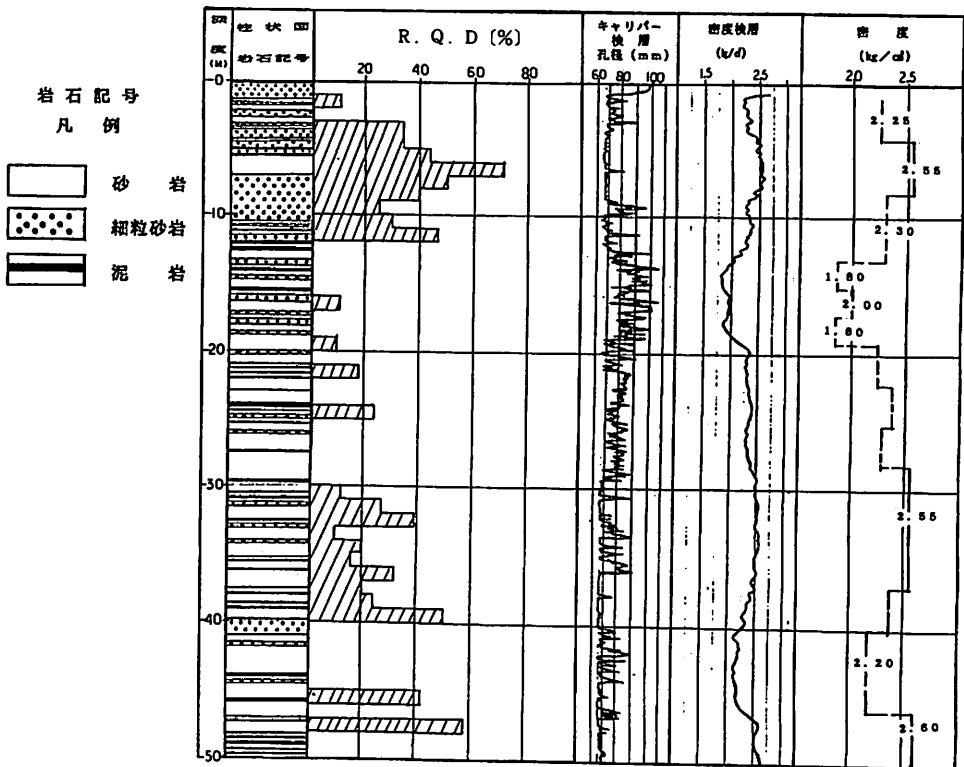


図-6.3.15 キャリパー (孔径) 検層と R.Q.D. および密度検層結果の対比

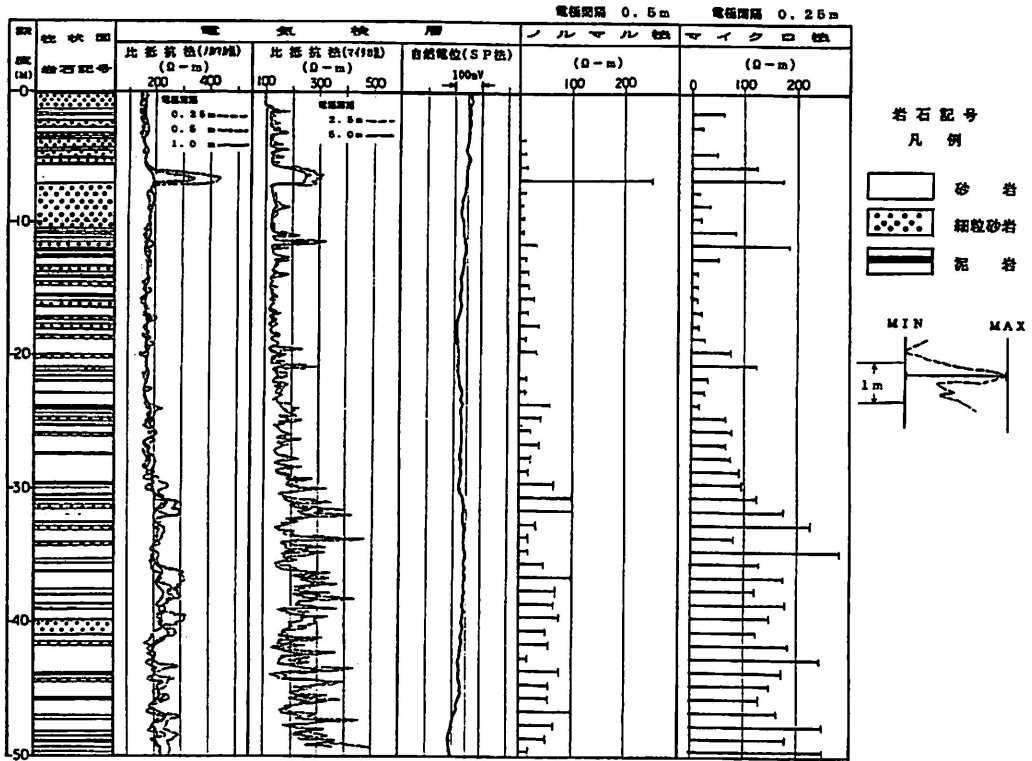


図-6.3.16 電気検層結果とその評価 (単位区間あたりの比抵抗値の差)

電気検層：自然電位法および比抵抗法（ノルマル法とマイクロ法）を行った結果は、図-6.3.16に示してある。自然電位法によって砂岩と泥岩の境界を求めることを目的としたが、特に顕著な変化は認められず、地盤の評価には用いられない。

ノルマル法は、電極間隔を0.25 m、0.5 m、1.0 mの3種類で測定した。その記録をトレースしたものを記載してある。これによると、地表付近が150 Ω・mの比抵抗値で始まり、深度が増加するに従って、記録が右側へ移る。すなわち地層の比抵抗値が大きくなっていることが判る。特に深度30 m付近より変化が大きく、また砂岩と泥岩の比抵抗値の差も大きくなり、新鮮な岩石の性状を表していることが判る。

マイクロ法は、電極間隔を2.5 cm、5 cmの2種類で測定した。そのトレース結果を記載してある。マイクロ法にあっても、ノルマル法と同じく、地表付近が10 Ω・mの値から始まり、深度が増加するに従って記録が右側へ移る傾向にあり、深度が増加するに伴って岩盤が新鮮となっていることが想定される。特に深度30 m以深では、泥岩と砂岩の比抵抗値の差が大きく、岩石の性状の特徴を良く表している。

次にこの電気検層による地盤の評価方法として下記の手法を試みた。ノルマル法およびマイクロ

法両方を用いている。図-6.3.16の評価と記した欄の横棒グラフは、ノルマル法およびマイクロ法の測定記録の1 m 区間における比抵抗値の最大値と最小値の差(A, Bの値)を記したものである(図-6.3.17参照)。

この横棒グラフによると、ノルマル法、マイクロ法両法にあって深度30 m 付近より、グラフの長さが長くなるのが判る。すなわち砂岩は、新鮮になるに従って砂岩特有の比抵抗値の大きくなることを示し、泥岩は、新鮮となっても比抵抗値そのものの増加が小さいことが判る。したがって、この手法を用いることによって電気検層結果より、風化帯と新鮮な岩盤を区分することができることが示されている。

上記の結果をまとめると表-6.3.1のとおりになる。

表-6.3.1 各検層の特徴

検層方法	岩盤評価に対する特徴
速度検層	P波速度による岩盤の評価は最も容易で明確にできる。ただし、走時曲線の乱れは、孔径の変化、拡大に伴うことが多く、キャリパー検層の併用が望ましい。
電気検層	砂岩泥岩互層の分布する地点にあっては、風化帯と新鮮な岩盤の区分が可能である。
密度検層	孔径変化が大きい区間では正確な密度が得られない。正確な密度はキャリパー検層の併用によって得られる。
キャリパー検層	岩盤調査にあってボーリングコアのR.Q.Dと相関する。亀裂の多い区間は、孔径変化(拡大)があり、R.Q.Dは小さい。

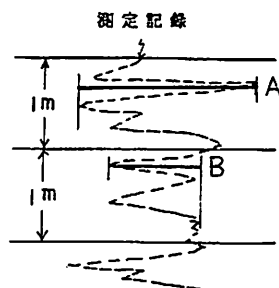


図-6.3.17 電気検層記録の利用方法

### 3-8 検層と流動・自然電位法の併用による地下水流動層、流向流速の推定

調査地は琵琶湖南岸低地に位置し、敷地の東約1 kmには野洲川が北流している。そのために、周辺は非常に地下水が豊富な地域となっている。調査地区内のボーリング孔と既設の上水道井戸および農業用井戸と位置関係を図-6.3.18に示す。調査地内の地盤構成は、図-6.3.19に示すように、

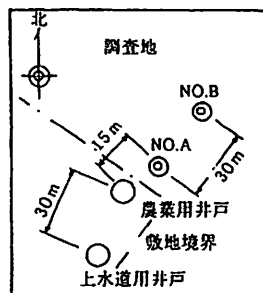


図-6.3.18 調査用ボーリング孔と既設井戸との位置関係

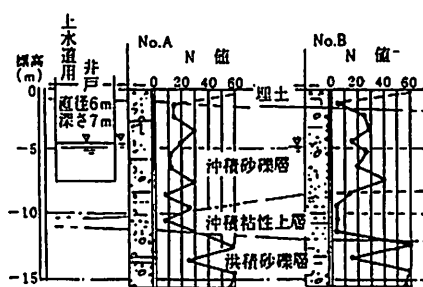


図-6.3.19 地質断面図

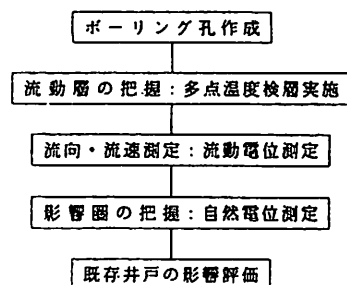


図-6.3.20 地下水流動状況調査の流れ図



地下 10 m 付近に分布する沖積世の粘性土層を境として、その上に砂礫層が、下位には洪積世の砂礫層が存在している。

河川伏流水の既設井戸への影響評価は図-6.3.20 に示した流れ図にしたがって実施した。

多点温度検層は流動地下水の存在深度とその厚さおよび概略の流速を把握するために行った。

流動電位測定は次の方法で行った。図-6.3.21 に示すように、ボーリング孔を中心として 45° 間隔に 8 対の電極を 20 cm 深に埋設した。その後、ボーリング孔内の地下水流動層が存在する深度を中心に食塩水を注入し、各電極の電位変化を時系列的に測定した。その変化状況から、地下水の流動方向と流速に関する情報を得た。

自然電位測定は、既設井戸の影響圏を把握するために実施した。測点網は試験孔 A と B を包含する形で、5 m メッシュに設けた(図-6.3.22)。各測点の自然電位を測線方向とそれに直交する方向で測定し、その結果をベクトル合成して、地下水の流動方向を推定した。

次にそれぞれの調査・測定結果を簡単に述べる。

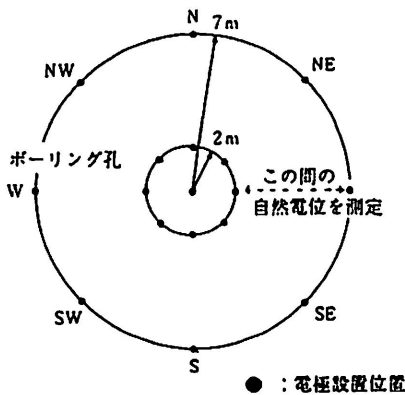


図-6.3.21 流動電位測定のための電極配置

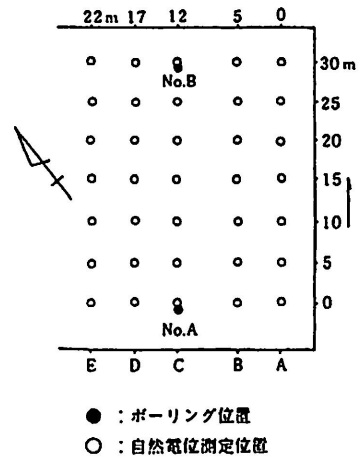


図-6.3.22 自然電位測点網

多点温度検層結果：A 地点の検層結果を図-6.3.23 に示す。この図を見ると、深度 5 m 以深に非常に速い流動層が検出されている。その速度を推定すると、平均 0.02 cm/sec 程度の値となる。

流動電位測定結果：試験孔 A, B における流動電位測定結果によると、A 孔ではほぼ南西方向へ 0.03 cm/sec の流速で流れ、B 地点ではほぼ北東方向へ 0.15 cm/sec 程度で流れていると推定された。

自然電位測定結果：各測点の測定結果をベクトル合成した結果を図-6.3.24 に示す。矢印の方向がその測点における地下水の流動方向を、その長さは流速の大きさを示している。この図によれば、野洲川の伏流水はほぼ南東から北西方向に流れていることが示されている。しかし、農業用井戸お

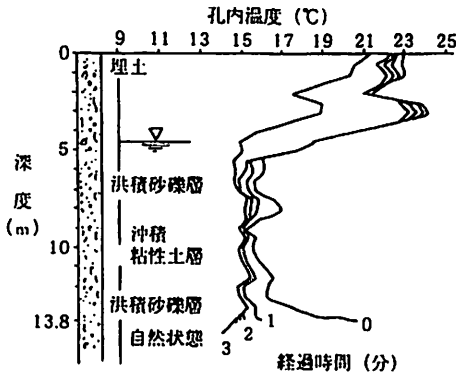


図-6.3.23 多点温度検層結果

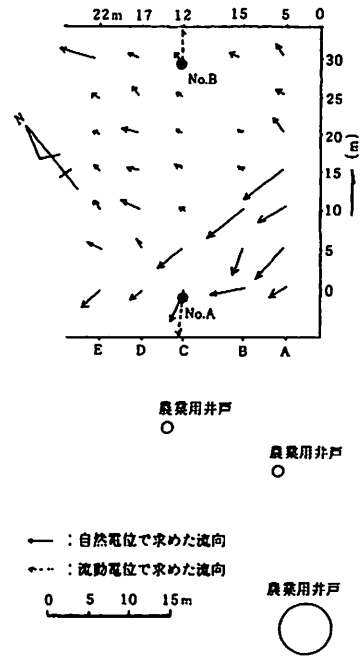


図-6.3.24 自然電位測定結果

よび上水用井戸の影響により、A地点付近の流れは東西から南西方向に渦を巻くように流れているようである。

この調査結果を見ると、浅層流動地下水の流向流速測定は、多点温度検層と自然電位法を併用することにより、他の方法と比較して、短時間に精度高い情報を、しかも安価に得ることができることが示されているようである。