

地下水調査に対する微流速計の利用

真鍋弘道・上野将司・森野道夫

Use of a Micro-Flow Meter in Investigations of Underground Water

Hiromichi MANABE

Shoji UENO

Michio MORINO

Abstract

A micro-flow meter, manufactured by the French company, Socosor, was used as part of an underground water investigation to determine the flow of borehole water. This paper gives an explanation of the micro-flow meter, examples of measurements, and expresses some interpretations of data on ground characteristics, permeability of natural ground and underground water yielded by measurements taken with this instrument. In addition, a comparison is made between types of permeability tests, and the characteristics of underground water as indicated by the micro-flow meter is discussed.

The permeability test method that has been used until now has been limited in that it yielded only the mean value of various layers that fall within an arbitrary test section. However, with the micro-flow meter, continuous measurement in the borehole is possible. Also, this device can determine the various depths at which permeability changes, and can compute permeability coefficients as well. These characteristics make it possible to obtain more accurate and detailed data on underground water flow, permeability, etc.. It is expected that in the future many more uses will be found.

1 まえがき

微流速計は、ボーリング孔内における鉛直方向の地下水流動を測定する機器で、1975年に当社が、フランスのSOCOSOR社より導入したものである。この数年間にわたって各種地下水調査に本測定器を適用した結果、多くの興味あるデータを得ることができた。

本報告は、いくつかの測定例および解析例を示し、微流速計による測定の解析から得られる地山の地下水に関する情報について説明するものである。また、ルジオンテストなど他の測定法による透水係数との比較も行なった。

とりまとめに際し、種々の調査結果を使用させて頂いた各発注機関、関係者の方々には深く感謝の意を表す次第である。

2 微流速計の概要

(1) 特徴

微流速計は原理的には河川の流量測定に用いられる流速計と同様の装置であるが、ボーリング孔内のような場所で使用するため、次のような点がとくに考慮されて作られている。

- i) 低流速の測定ができること。
- ii) 測定による抵抗によって水の流れに影響を与えないこと。

このために、流速計のプロペラの比重を、測定する流体(水)の比重に近づけること、プロペラの回転数の検出には磁石(磁力)や抵抗体を用いるシステムによらず、光電素子を使用する検出法が採用されている。

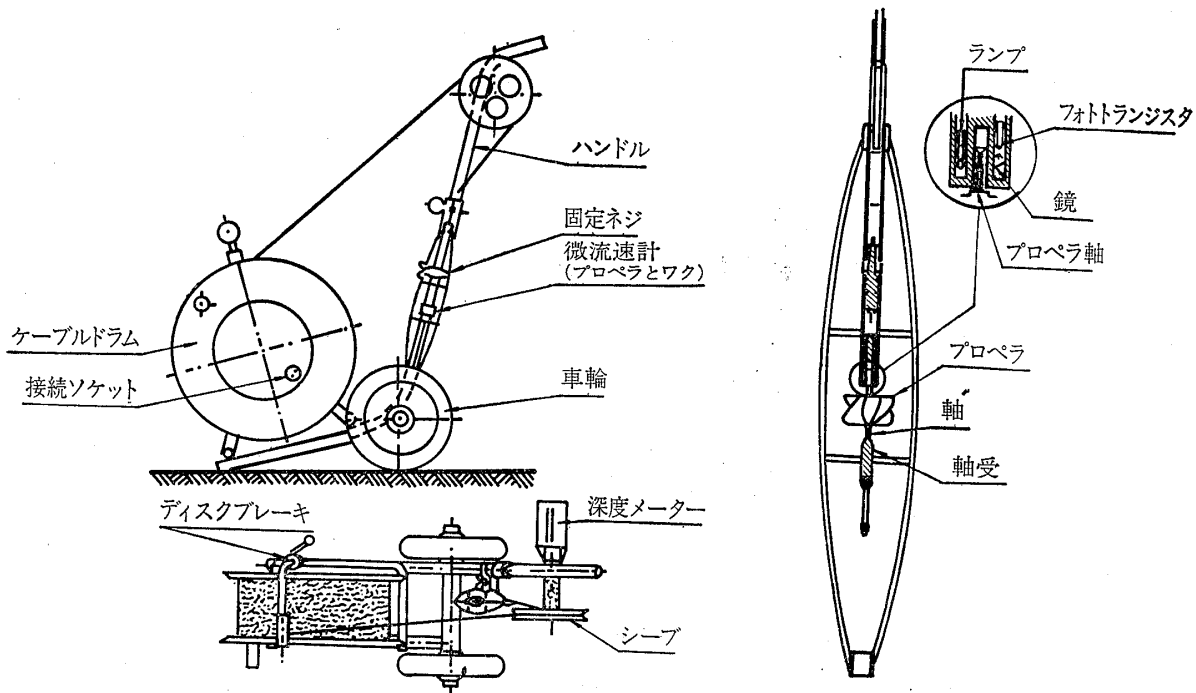


図-1 微流速計概要図
Fig. 1 Micro-flowmeter

(2) 構成

微流速計は地表に置かれる測定計器部と孔内に降下するゾンデ部およびケーブルとからなる。

〈地表測定計器部〉

プロペラの回転数を表示する計測器本体、ケーブルを収納するドラム、ケーブルのくり出し長さを測る円板シーブと1cmまで読み取り可能な深度計、および車輪付架台とからなっている。

〈ゾンデ部〉

電球と光電素子からなる回転数検出部、光線の遮断・開放シャッターを軸に備えたプラスチック製プロペラおよびフレームからなっている。プロペラは4枚羽根（低流速用）と6枚羽根（高流速用）とが準備されており、またフレームは、外径42mmと外径70mmのものがあり、ボーリング孔径の大小によって取り替えるようになっている。

(3) 仕様

- i) 適用温度範囲……0°C～45°C
- ii) 電源……内部電源：DC 9V
外部電源：DC 12V
- iii) 流速測定範囲……2～200cm/sec
- iv) 測定可能深度……400m
- v) 寸法・重量……105(H)×89(D)×44(W)cm
30kg（ケーブル100m付）

3 測定方法

微流速計を使用するボーリング孔は、孔内を洗浄する必要があるため孔壁崩壊が発生しやすい状況にある。したがって、そのような場合には、径2インチ（内径50mm）のストレーナ加工した塩ビパイプを挿入して保孔した後測定を行なうこともある。

具体的な測定手順は次のとおりである。

- i) ゾンデをボーリング孔内に降下する。その際、プロペラ位置を地表面に一致させ、深度計目盛りを0に合わせておく。
- ii) 孔底までゾンデを降下し、流速を測定しながらゾンデを引き揚げる。
- iii) 測定間隔は一般に0.5m 毎に行なうが、流速変化の急変する箇所では0.1m おきに、変化のない区間では1.0～2.0m 間隔で適宜に実施してもよい。測定結果は表-1のようにデータシートに記入する。
- iv) 孔内水流が上昇か下降かの判定は、ケーブルを上下に移動させた時、プロペラ回転数の変化を見れば比較的容易に行なうことができる。すなわち、ケーブルを上向きに引き揚げた時、回転数が減少するならば水流は上向き(+)で、逆に増加するならば水流は下向き(-)である。

プロペラの回転数から流速に換算するのは、実験によって求めた換算式によるが、この微流速計の場合、おお

表-1 試験結果記録
Table-1 Measuring data

調査名: 地質解析業務 調査年月日: 昭和51年8月3日
 調査地: 県 市 町 地盤標高: m
 地点: No. 地下水位: GL 0m
 羽根の種別: 6枚羽根 作業時間: 12.00~15.00 測定者:

深度 (m)	時間 (sec)	スクリーンの回転数 (n)	水流方向 (+/-)	毎秒当りの回転数 (\bar{n}/sec)	孔内流速 (v cm/sec)	深度 (m)	時間 (sec)	スクリーンの回転数 (n)	水流方向 (+/-)	毎秒当りの回転数 (\bar{n}/sec)	孔内流速 (v cm/sec)
1	20	70	+	3.5	63.33	24	10	63	+	6.3	113.03
2	20	68	+	3.4	61.55	26	10	68	+	6.8	121.90
3	20	71	+	3.55	64.21	27	10	68	+	6.8	121.90
4	20	74	+	3.7	66.88	28	10	67	+	6.7	120.13
5	20	71	+	3.55	64.21	30	10	69	+	6.9	123.68
8	20	71	+	3.55	64.21	32	10	68	+	6.8	121.90
9	20	70	+	3.5	63.33	33	10	64	+	6.4	114.80
9:50	20	70	+	3.5	63.33	34	10	68	+	6.8	121.90
10	20	76	+	3.8	68.65	35	10	67	+	6.7	120.13
10:025	20	86	+	4.3	77.53	36	10	67	+	6.7	120.13
10:050	20	91	+	4.55	81.96	37	10	65	+	6.5	116.58
10:075	20	100	+	5.0	89.95	38	10	66	+	6.6	118.35
10:10	20	110	+	5.05	98.83	38:5	10	60	+	6.0	107.70
10:20	20	117	+	5.85	105.04	39	10	61	+	6.1	109.48
10:50	20	120	+	6.0	107.70	40	10	64	+	6.4	114.80
11	20	120	+	6.0	107.70	40:5	10	58	+	5.8	104.15
12	10	64	+	6.4	114.80	41	10	58	+	5.8	104.15
14	10	61	+	6.1	109.48	42	10	58	+	5.8	104.15
16	10	63	+	6.3	113.03	44	10	56	+	5.6	100.60
18	10	61	+	6.1	109.48	46	10	57	+	5.7	102.38
20	10	61	+	6.1	109.48	47	10	56	+	5.6	100.60
22	10	63	+	6.3	113.03						

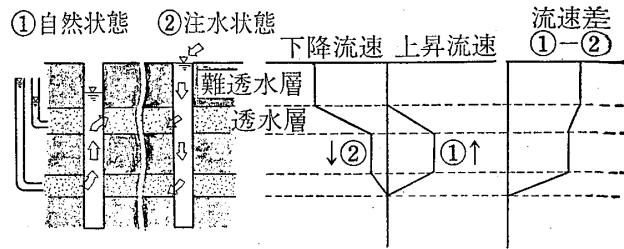
測定時の状況:

速度: 筐体 $\phi=70\text{mm}$ (孔径80~90mm)	4枚羽根 $v=7.65 \times \bar{n} + 0.3$	6枚羽根 $v=16.3 \times \bar{n} + 1.3$	透水係数 $k = Qi/2\pi \Delta pln \frac{R}{r}$
速度: 筐体 $\phi=42\text{mm}$ (孔径52~60mm)	4枚羽根 $v=7.1 \times \bar{n} + 0.4$	6枚羽根 $v=17.75 \times \bar{n} + 1.2$	

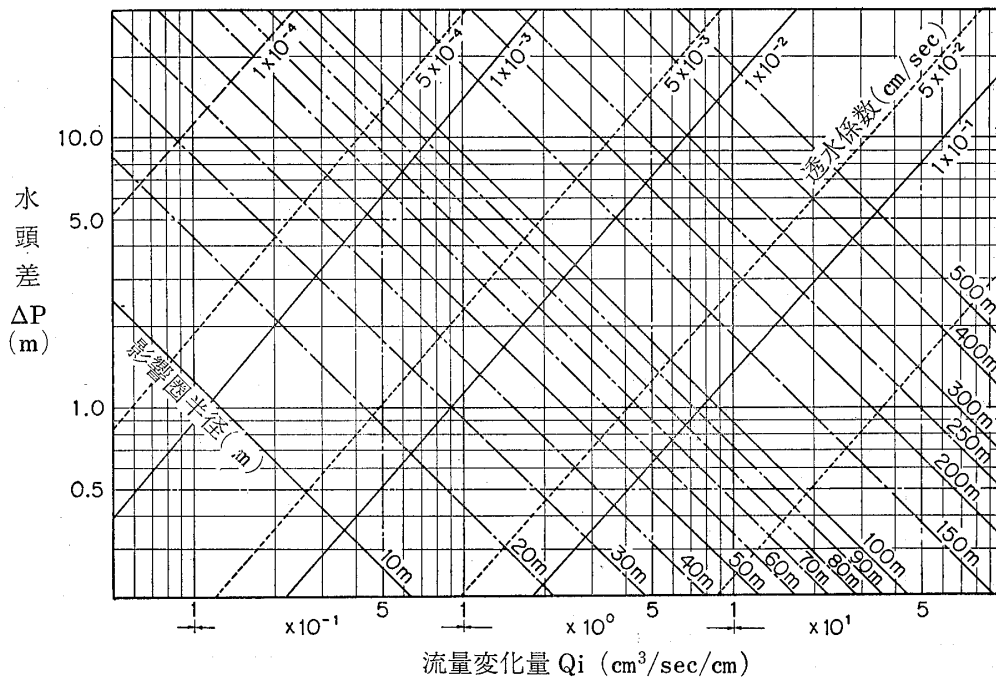
表一 流速換算式
Table-2 Calculation of flow velocity

	フレーム径42mm 孔径66mm	フレーム径70mm 孔径86mm
4枚羽根使用	$v=7.1\bar{n}+0.4$	$v=7.65\bar{n}+0.3$
6枚羽根使用	$v=17.75\bar{n}+1.2$	$v=16.3\bar{n}+1.3$

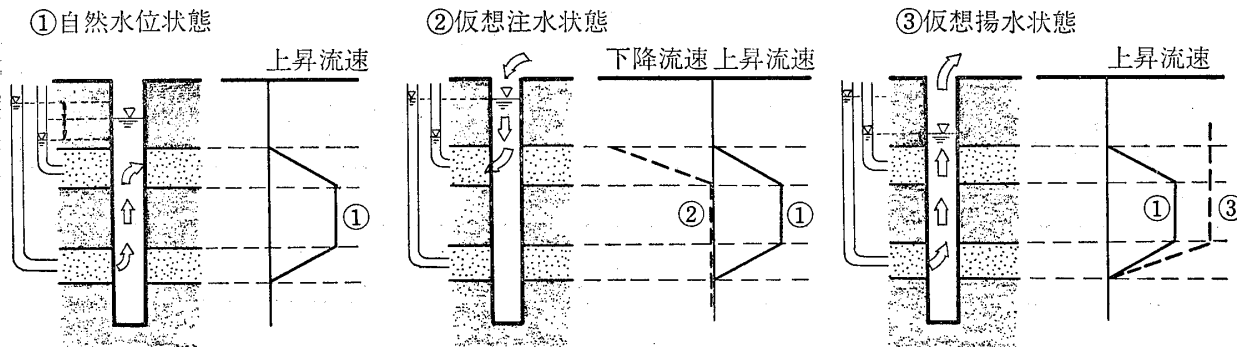
(註) v =流速(cm/sec) \bar{n} =プロペラ回転数(回/sec)



図一 孔内水流と測定によって得られるデータとの関係
Fig. 2 Measuring data and water flow in borehole



図一 水頭差, 流量変化量と影響圏半径, 透水係数との関係
Fig. 3 Relation among water head, water flow, effective range radius and coefficient of permeability



図一 水頭算定用説明図
Fig. 4 Calculation of water head of a permeable layer

むね表—2に示す式によっている。

4 測定結果の解釈

ボーリング孔内における垂直方向の自然流速の測定のみでは有効な結果は得られない。すなわち、自然状態の測定では流量増加部分と減少部分の位置(深度)が判明するのみで、帯水層から湧水しているか逆に逸水しているかの情報が得られるにすぎない。ボーリング孔内の自然水位を揚水、または注水することによって水位変化をさせて流速測定を行ない、自然状態の水位における流速測定結果と比較してはじめて有効な解釈が可能となる。

(1) 定性的解釈

微流速計による孔内流速の測定結果を模式図として図—2に示す。水頭差のある2層以上の透水層をボーリングで掘抜いた場合は、水頭の高い層から低い層へとボーリング孔を通して地下水流動が生じる。図の場合、自然水位状態において水流の動きは上昇であるが、注水状態にすることによって水流の向きは下降となる。これは自然水位状態で湧水区間であった下部透水層が逸水区間に変化したため、このような水流変化は孔内水の水頭変化に従っていることがわかる。そして水流方向に向かって流速が増加する区間は湧水区間であり、反対に水流方向に向かって流速が減少する区間は逸水区間である。

(2) 透水係数の算定

図—2において、流速差は孔内水の水頭変化による孔壁からの水の出入りの差を示している。したがって、流速差の勾配が緩いところは、ある水頭変化に対して湧水変化量の少ない部分(透水係数の小さな部分)であり、勾配が急なところは水頭の変化に対して湧水変化量の大きな部分(透水係数の大きな部分)であることを意味する。この流速差における勾配とは、単位深度長あたりの湧水(逸水)量変化であると言える。これを記号 Q_i で表示し、ボーリング深度区間1cmあたりの湧水(逸水)量変化ccで表わすことにする。流速差の勾配の一定な区間における透水係数(k : cm/sec)は、その区間が水平で均一な連続層からなると仮定すれば、透水係数を与えるde Dupuitの式(1)を適用することができる。

$$k = \frac{Q_i}{2\pi \Delta p} \ln \frac{R}{r} \quad (1)$$

ただし、 Δp : 水頭変化量 (cm)
 R : 影響圏半径 (cm)
 r : 孔の有効半径 (cm)

ここで R は対数項に入っている関係上、常識的な値を用いても k に対しては影響が少ないが、多孔式揚水試験によって確認したり微流速測定時に水頭変化(Δp)を4

回以上与えて R を式のうえて消去するような方法もできる。ここではSichardtによる次の実験公式(2)を用いて、水位変化量(Δp)・流量変化量(Q_i)・影響圏半径(R)・透水係数(k)の関係をノモグラフとして図—3に示した。

$$R = 300(H - h_0) \sqrt{k} \quad (2)$$

R : 影響圏半径 (cm)

$H - h_0$: 水位変化量 (cm)

(3) 各透水層の水頭の算定

前述のように孔内水流の変化状況が孔内水の水頭変化に従っていることが理解できるので、ここでは透水層毎の水頭を分離して求める方法について述べる。図—4に示すようなモデルをもとに説明する。自然水位状態においては下部透水層の水頭が上部透水層の水頭より高い位置にあるため、孔内上昇水流が発生し、孔内(平衡水位は両透水層の水頭の間)に位置するようになる。この孔内水位と求めるべき両透水層の水頭との差を図示するように Δp_1 、 Δp_2 とする。この時の自然水位状態の測定データは、実線①で示すものが得られる。

まず図示するように下部透水層の水頭に等しいような仮定の注水状態を考えた場合、下部透水層での水の動きはなくなり、破線②で示すような仮想データが得られるはずである。また、上部透水層の水頭に等しいような仮想揚水状態を考えると、上部透水層での湧水および逸水はなくなり、破線③で示すような仮想データが得られるはずである。したがって、透水係数(k)が求められていれば、下部透水層の水頭は、データ①および②から求められる単位深度長あたりの湧水変化量(Q_{i1})をもとに、(1)式より

$$\Delta p_1 = \frac{Q_{i1}}{2\pi k} \ln \frac{R}{r}$$

として求めることができる。同様に、上部透水層の水頭はデータ①および③から求められる Q_{i2} をもとに

$$\Delta p_2 = \frac{Q_{i2}}{2\pi k} \ln \frac{R}{r}$$

として求めることができる。

ここで Q_{i1} 、 Q_{i2} については、データ②および③の流速変化がないため、データ①の流速変化だけから決定することができ、各透水層毎の水頭を求める一般式は

$$\Delta p' = \frac{Q_i'}{2\pi k} \ln \frac{R}{r} \quad (3)$$

ただし、 $\Delta p'$: 求めるべき水頭変化量 (cm)

Q_i' : 1状態での実測データから求められる湧水量変化 (cc/cm・sec)

なお、透水係数を算出しなくとも、 $2\pi k \ln \frac{R}{r}$ が一定であるので、同一透水層では、 $\Delta p = Q_i \cdot C$ とおくこと

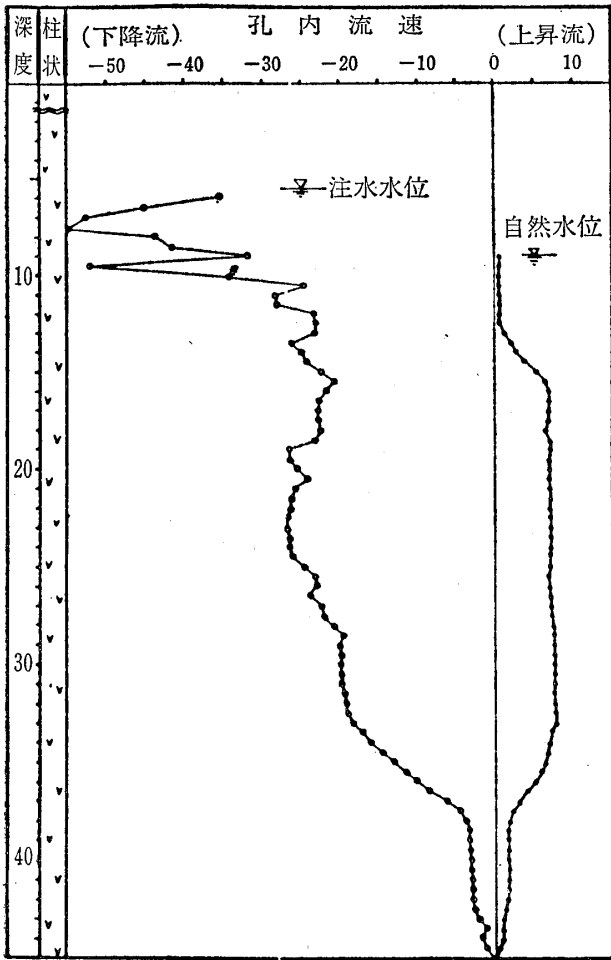


図-5 測定例 (1)
Fig. 5 Example of measuring result (1)

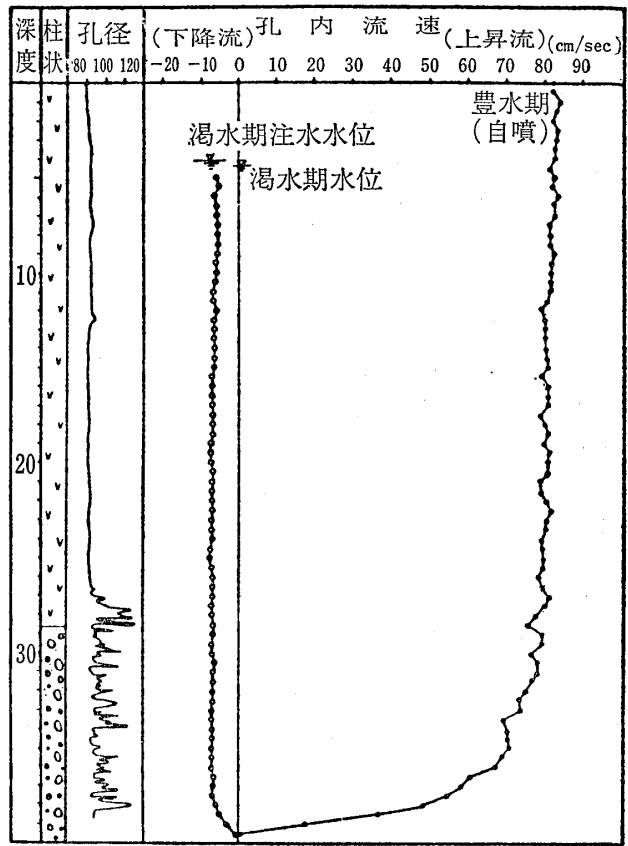


図-7 測定例 (2)
Fig. 7 Example of measuring result (2)

ができる。したがって、データ②もしくは③の状態を推定するために、2状態での測定結果から $\Delta p, Q_i$ を明らかにし、 $\Delta p_1, \Delta p_2$ を計算によって知ることができる。

5 測定実施例

これまで述べてのように、微流速測定結果から透水区間、各透水層の透水係数および水頭を明らかにすることができるが、これらをもとにした具体的な測定解析例を以下に示す。

(1) ダムサイトにおける浸透流調査

ダムサイトでの浸透流を明らかにする目的で微流速測定を実施した。測定結果の1例を図-5に示す。図より自然水位状態では深度33.0~38.0m間から湧水して上位の深度12.0~15.0m間で逸水するような上昇流が認められる。また注水によって孔内水位を上昇させて水頭差をつけると、自然水位状態で上昇流であったものが下降流となり、湧水区間は逸水区間に変化する。透水区間は自然水位状態で認められなかった深度24.0~28.0m間で逸水区間が新たに生じている。

このような測定結果をもとに、各ボーリング孔に対し

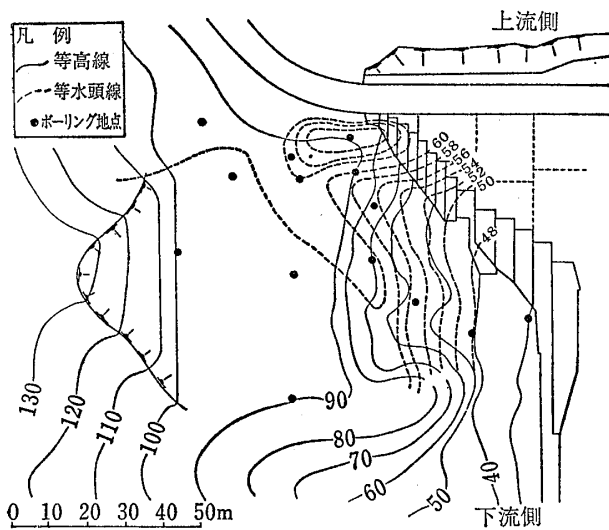


図-6 同一層準の透水層の等水頭線図
Fig. 6 Equipotential contour map of a permeable layer

て透水層毎の水頭を前述の計算方法によって求め、同一層準の透水層について、等水頭線図として表現したものが図一6であり、被圧水の分布状況などを明らかにすることができた。

(2) 透水層の季節的水圧変化の測定

調査地の地質は、上位に安山岩が分布し、下位に砂礫層からなる湖成起源の堆積物が分布している。孔内微流速測定は同一のボーリング孔を用いて渇水期と豊水期に行なった。結果は図一7に示すように、渇水期の自然水位では孔内水の動きは認められず、豊水期には安山岩下位の堆積層中から湧水しており、渇水期の水圧に対して豊水期の水圧が著しく上昇したことがわかる。また渇水期においても注水を行なうと豊水期の湧水箇所と同様な部分で逸水が見られることから、堆積層の透水性がよく、水圧が季節的に変動しやすい状況にあることが確認された。

(3) トンネルにおける浸透流調査

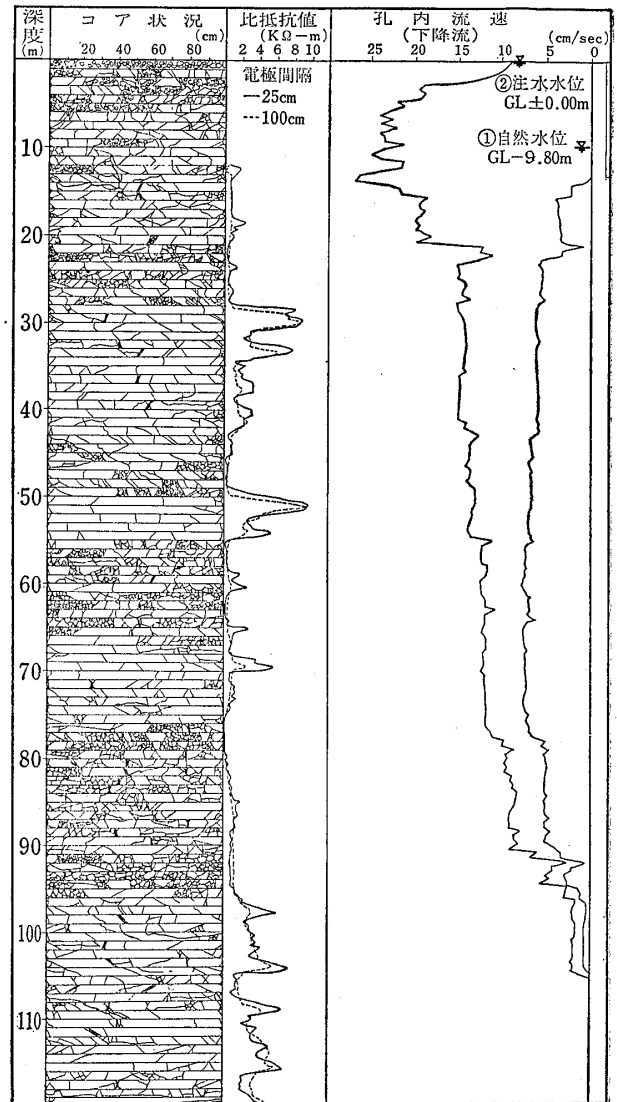
トンネル湧水が周辺地盤の地下水流動に与える影響を把握するために行なった調査で、トンネル横断方向にボーリング孔を掘削し、全孔で孔内微流速測定を実施した。地質は変成岩であり、ボーリングコア状況は測定結果例とともに図一8に示した。

この測定例によると、自然水位状態で下降する水流が認められ、深度14m付近と深度22m付近から孔内に湧水して深度77m付近、深度90~96mおよび深度105m付近で孔内から逸水する状況を示している。また注水状態では、同様に下降水流が認められ、湧水区間であった部分も逸水区間へと変化し、新たな逸水区間が出現している。

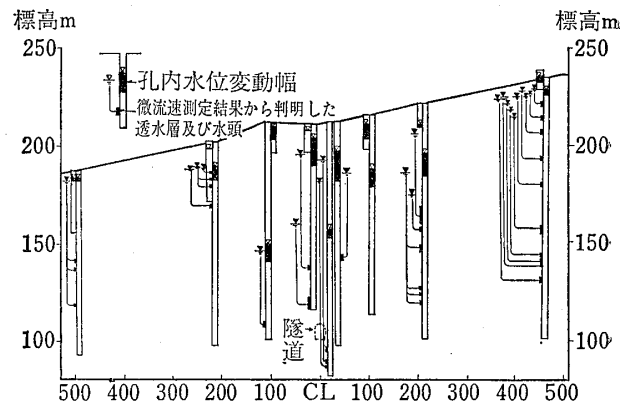
このような測定結果をもとに各ボーリング孔に対して透水層毎の水頭を算出し、図一9のトンネル横断面図に示したが、トンネル周辺地盤の地下水流動が複雑な状況にあることがわかった。

(4) 風化岩盤における水脈調査

古生層分布地域で実施した水脈調査での測定例を図一10に示す。地質は深度45.5mまでが風化変質の著しい粘土化した地層であり、この下位には比較的新鮮であるが、割れ目の多いチャートや粘板岩が分布している。孔内水位は深度13.8mであり、この状態での孔内水流は認められなかったため、図示するような①②の注水状態に対して測定を行なった。この結果、注水水位に応じた下降水流が確認され、深度45.0~49.0m区間の風化帯境界部にあたる部分で逸水することが明らかとなった。また深度17m付近と深度35.0~40.0mにおいて流速変化が認められるが、図上での変化形態からみて、流量変化ではなく



図一8 測定例(3)
Fig. 8 Example of measuring result (3)



図一9 トンネル周辺地盤の水頭分布図 (大島; 1976)
Fig. 9 Distribution of water head around a proposal tunnel site

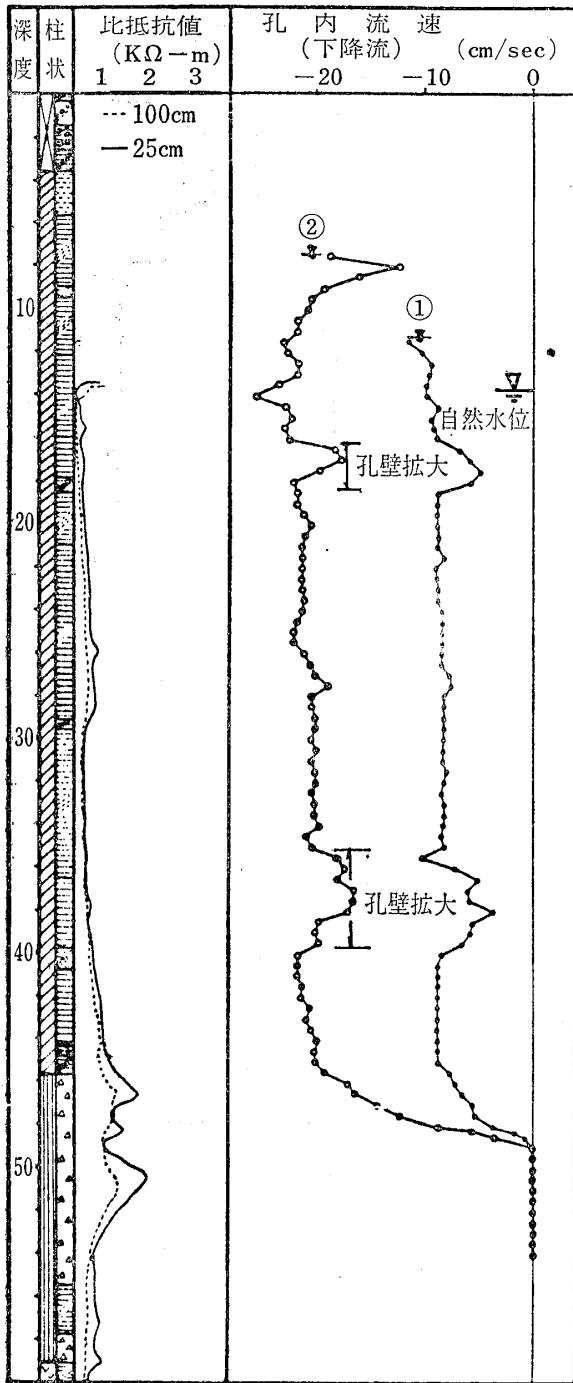


図-10 測定例(4)
Fig. 10 Example of measuring result (4)

ボーリング孔が拡大していることによる流速低下とみることができる。したがって、深度45.0~49.0m区間だけが透水層となる。

この地域で行なった他の数孔のボーリング地点においても透水層は風化帯境界部付近に位置しており、地質構造をあわせて考察することにより、調査地域の水脈を推

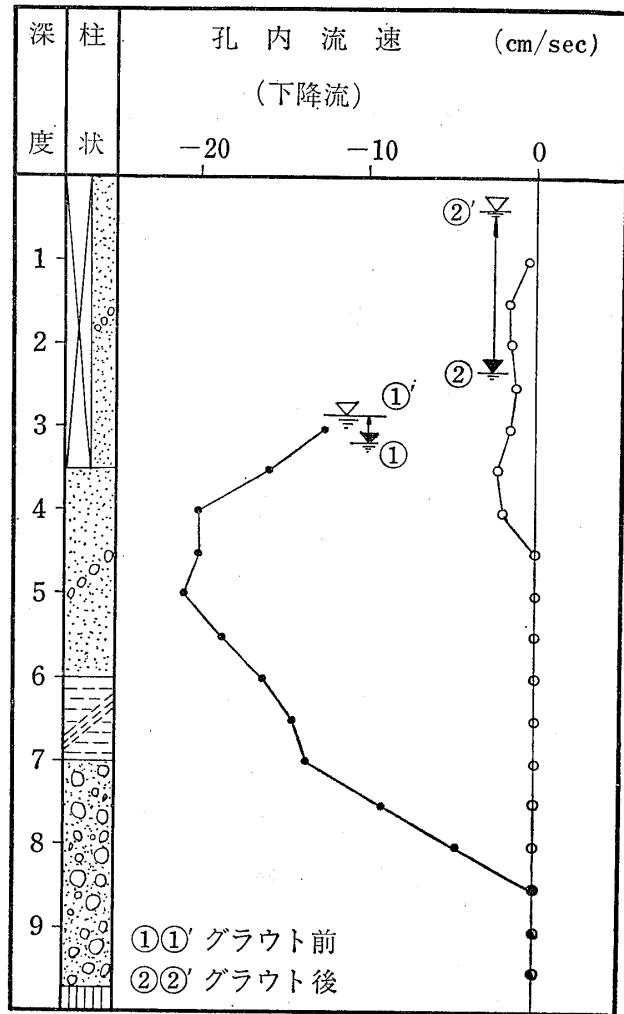


図-11 測定例(5)
Fig. 11 Example of measuring result (5)

定した。

(5) 深礎工予定地のグラウト止水効果の判定

地盤状況は図-11の柱状図に示すとおりで、地表部から深度3.5mまでが砂質土による盛土層であり、深度9.7mまでは砂質土・シルト・砂礫からなる未固結の沖積層が分布し、最下部には基盤である第三紀層泥岩が分布する。

深礎工の支持層は第三紀層泥岩上面とし、グラウトによる止水工も泥岩上面まで行なうように設計された。図-11は深礎工予定地の中央に掘削されたボーリング孔におけるグラウト前後の孔内水流測定結果を示したもので、①②の水位はグラウト前後の孔内水位を示し、①'②'の水位は①②の水位に対する注水水位を示している。①②の水位条件では孔内水流は認められず、①'②'のように注水することによって孔壁からの逸水が確認された。グラウト前には注水状態で深度5.0~8.5m区間で著しい

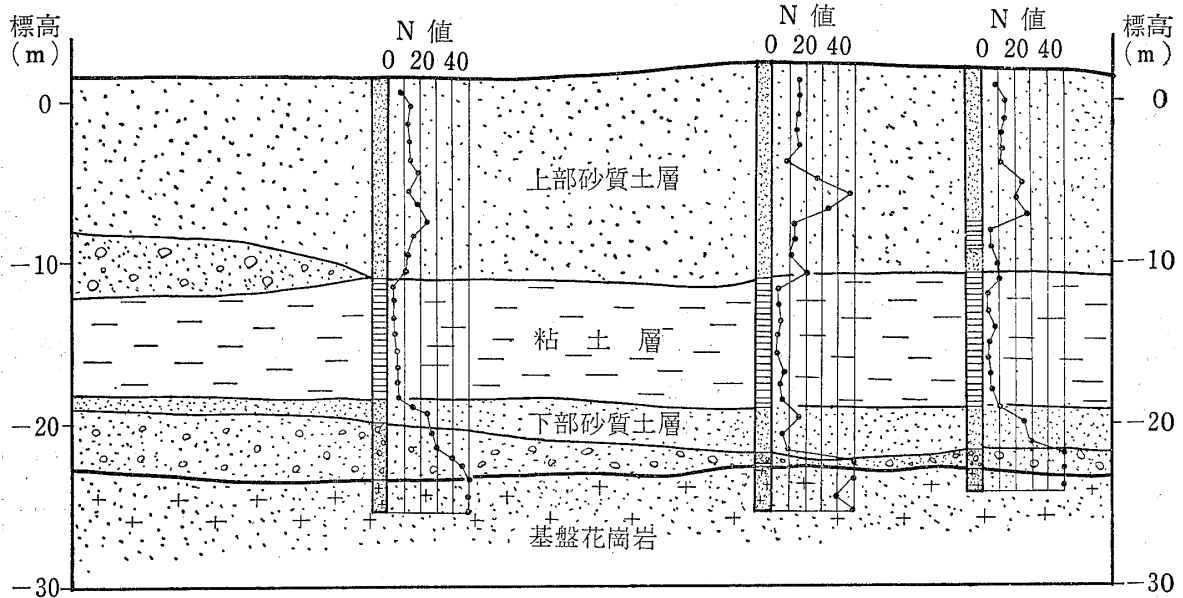


図-12 場所打グイ施工区間地質断面図
Fig. 12 Geological section of the site where the cast-in-place pile is worked

逸水現象が認められたが、グラウト後の注水状態での測定結果では、表層部での逸水がわずかに認められているだけで、グラウトによる止水効果があがっていることが確認された。

(6) 場所打グイの工法選定

図-12の地質断面図に示す区間において高架橋が計画され、基礎工法として場所打グイが採用されることとなった。地盤状況は図示するように標高-23m付近を基底として分布する沖積層と下位のマサ状風化花崗岩に区分され、支持層としてはマサ状風化花崗岩が妥当と判断された。

当地区では5本の調査ボーリングが行なわれ、孔内微流速測定が実施された。1例を図-13に示すが、自然水位での測定では下部砂質土層からの湧水が上昇流となって上部砂質土層で逸水していることがわかる。これに対して、注水水位では全体が下降流であり、湧水区間が逸水区間となっている。したがって当地域では、下部砂質土層の水頭が上部砂質土層の水頭よりわずかに高いことが明らかとなった。また図-13において、深度15m付近までの流速が遅くなっているが、ボーリング掘進中の孔壁拡大による影響であり、上部砂質土層がルーズであることもわかった。

場所打グイ工法としては、①地下水が高く、下部帯水層が被圧していること、②ルーズな砂質土が分布することの2点から孔壁保持の確実な工法としてベント工法が採用された。

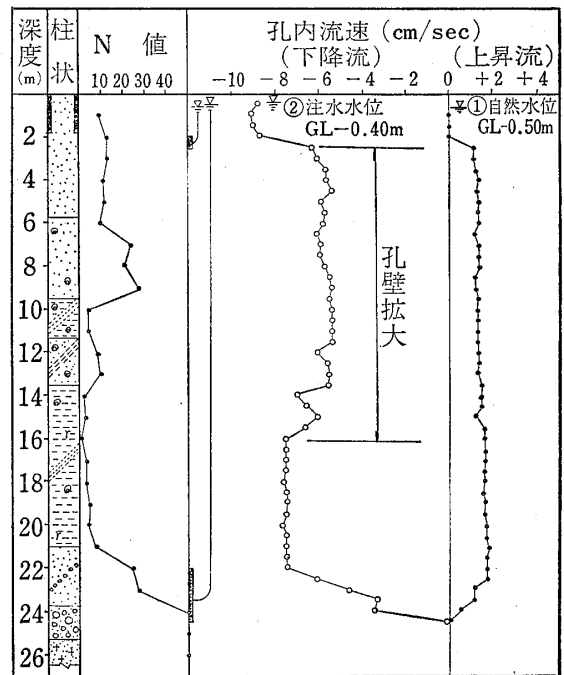


図-13 測定例(6)
Fig. 13 Example of measuring result (6)

(7) 隣接井戸の相互干渉調査

図-14のような地質分布区域において、既設井戸②の採水対象地下水を新設井戸①が引いているのではないかと問題があつて調査を行なったものである。井戸①②の距離は300mで孔口標高はほぼ同一であるが、井戸

①は自噴井であり、井戸②はポンプによる揚水井である。また双方の井戸とも、ストレーナ区間が同一レベル付近にあり、弱熔結の始良火砕流堆積物を採水対象層としている。したがって井戸①の上部ストレーナ区間における孔内水流動状況に重点を置いて測定を行なった。

測定は井戸①だけの実施であったが、自然状態において、図-14に示すように深度170m以深からの湧水による上昇流が確認され、地表部までの孔内流速がほぼ一定であることがわかった。このため上部ストレーナ区間において、湧水や逸水現象が確認されず、井戸①は上部ストレーナ区間から採水していないことが明らかとなり、井戸①は井戸②の採水対象地下水に干渉していないとの結論を得ることができた。

6 微流速計による透水係数と他の方法との比較

微流速計測定実施箇所において、ルジオンテスト、湧水圧測定、単孔式透水試験等をも実施した実例があるので、相互の比較検討を試みた。

ボーリング孔内における各種透水試験の透水係数算定には、地盤条件、試験方法等の違いにより各種の計算式が提案されているが、今回の透水係数算定に用いた式は以下の各式である。

- 孔内微流速測定結果からの透水係数算定は、4-(2)項に示した de Dupuit の式を用いた。
- ルジオンテストからの算定には「ルジオンテスト(6) 施工指針(案)同解説」に基づき次式を使用した。

$$k = \frac{Q}{2\pi LH} \ln \frac{L}{r} \quad (3)$$

ここに、
 Q : 注入量 (cm³/sec)
 L : 試験区間長 (cm)
 H : 全水頭 (cm)
 r : 試験孔の半径 (cm)

なお、試験は管内抵抗の少ない内径 35.7mm のガス管を使用して実施しているが、施工指針(案)により、管内抵抗による損失水頭(h)を考慮して透水係数を算定した。

$$h = \alpha Q^2 L \quad (4)$$

ここに、
 Q : 注入量 (ℓ/min)
 L : 注人管長 (m)
 α : 8 × 10⁻⁶ (min²/ℓ²)

- 湧水圧測定の場合は、初期非定常流を考慮した M. Juvl Hvorsler の式を用いた。

(被圧透水層の場合)

$$kh = \frac{d^2 \ln \left(\frac{2mL}{D} \right) + \sqrt{1 + \left(\frac{2mL}{D} \right)^2}}{8L(t_{n+1} - t_n)} \cdot \ln \frac{H_n}{H_{n+1}} \quad (5)$$

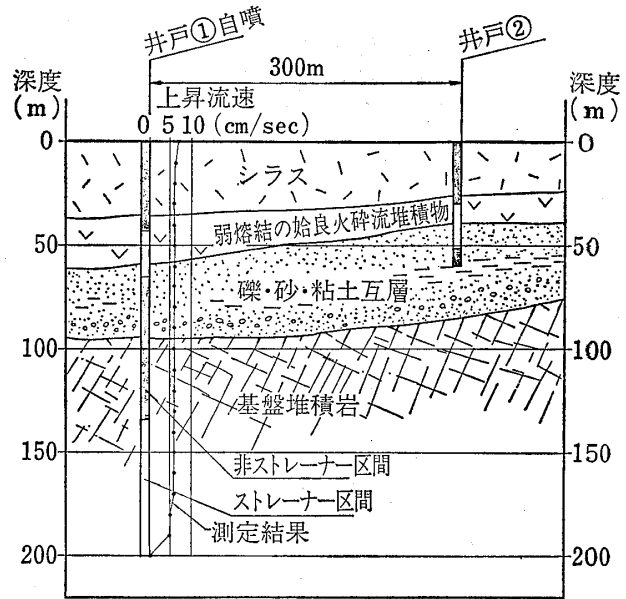


図-14 概略地質断面図
 Fig. 14 Geological section of the site

(自由水面透水層の場合)

$$kh = \frac{d^2 \ln \left(\frac{mL}{D} \right) + \sqrt{1 + \left(\frac{2mL}{D} \right)^2}}{8L(t_{n+1} - t_n)} \cdot \ln \frac{H_n}{H_{n+1}} \quad (6)$$

ここに、
 d : 測定管の内径 (cm)
 D : 孔径 (cm)
 L : 試験区間長 (cm)
 t : 経過時間 (sec)
 H_n : t - t_n における圧力水頭 (cm)……最高水位からの水位の深さ
 m : kh/kv
 kh : 水平方向の透水係数 (cm/sec)
 kv : 垂直方向の透水係数 (cm/sec)

実際の場合 m > 1, 2mL/D > 4 であるので、簡略化し変形した式を用いている。

- 単孔式透水試験は、回復法または注入法により、水位、経過時間を測定し、次式により算定した。

$$k = \frac{2.3\pi r^2}{E(t_1 - t_2)} \log \frac{h_2}{h_1} \quad (7)$$

ここに、
 r : 管の半径
 t₁, t₂ : 試験開始後経過時間 (sec)
 h₁, h₂ : 経過時に対応する水位での平衡水位との差 (cm)
 E : 係数

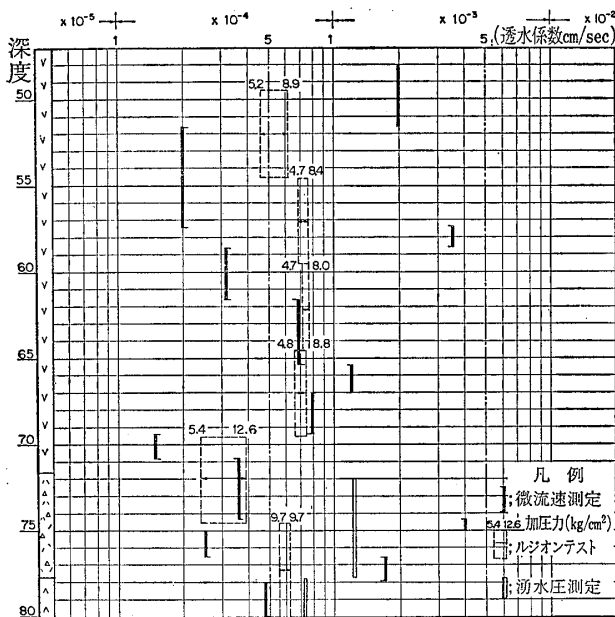


図-15 各種測定法による透水係数の比較
Fig. 15 Comparison of the coefficient of permeability by means of different methods

以上の各式により透水係数を算定し、図-15に岩盤部における測定例として、微流速測定、ルジオンテスト、湧水圧測定の結果を示した。

ルジオンテストでは各加圧段階により、水頭差と注入量が比例しない場合が多く、透水係数は試験圧力毎に異なって算定されるので、ある幅がある。

ルジオンテストおよび湧水圧測定の試験区間は、コア状況により決定される場合もあるが、一般に試験区間内の透水性区間の境界が明らかでないので、試験区間や透水性区間の判断は、人為的に適当な区間が採用されており、ルジオンテストでは深度5m間隔で行なわれる場合が多い。したがって、試験区間の平均値的なあるいは見掛け上の透水性が求められているといえよう。

孔内微流速測定によれば、図-15に示すとおり、実際の地山状況に即し、透水性の異なる深度境界が明らかとなり、かつ、その区間での透水性が求められる。このことにより、長区間同程度の透水性を有しているのか、1条の亀裂、あるいはごく小区間のみ透水性が高いのかを明確にすることが可能である。

なお、図-15において、ルジオンテスト、湧水圧測定により求められた人為的な区間割りの透水性を、孔内微流速測定で得られた透水性の異なる境界で区切り、その区間に対して、注入量あるいは湧水量を割りふれば、孔内微流速測定による透水係数とほぼ対応することにな

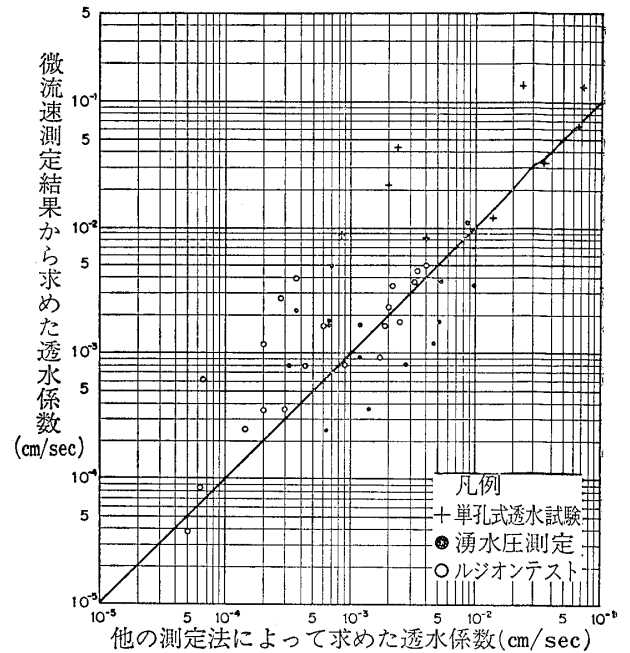


図-16 微流速測定結果から求めた透水係数と他の測定法によって求めた透水係数の関係
Fig. 16 Comparison of coefficient of permeability by the micro-flow meter and that of other methods

る。

図-16に孔内微流速測定で求めた透水係数と、ルジオンテスト、湧水圧測定、単孔式透水試験での透水係数との関係を示す。

ルジオンテストでは、各加圧段階で透水係数が異なり、限界圧力との関係もあるので、図-16では、もっとも加圧力（水頭差）の低い段階における透水係数を図示した。

各試験とも測定区間が異なっている場合が多いので、孔内微流速測定で求められた透水性の異なる境界で区切り直し、透水係数算出区間を同一として換算した透水係数である。

図-16に示すように、孔内微流速測定による透水係数と他の調査法による透水係数とはオーダー的にはほぼ一致しているといえる。

7 あとがき

孔内微流速計による種々の測定を行なってみて、地下水調査法の手段としてかなり有効な測定法であると感じられたので、ここに測定例とともに報告した次第である。

人為的に試験区間を限定し、その区間の平均的透水性を把握するのではなく、微流速測定の方法では実際の地

山の透水性の異なる境界を明確にすることができ、かつその区間内の透水性が求まるので、この孔内微流速計の特徴は意義があり、ここに紹介した測定、解析例にとどまらず、今後、工夫次第ではさらに種々の目的に使用可能と思われる。パイピングの限界圧判定、ダムグラウト効果のチェックや、透水断面の作成など、水の流動を解析し、一層具体的に地下水状況を判定するうえで有効な調査手段となるものと思われる。また、地下水調査のみではなく、流水の微流速が検出可能であり、例えばダム貯水の流動状況把握などにも使用可能であろう。

さらに現場測定、解析を加えて地下水、流水についての新知見を得たいと思っている。今後とも諸兄の御鞭撻と御教示を賜わりたく、お願いする次第である。

参 考 文 献

- (1) 土質工学会(1966)：土質工学ハンドブック
- (2) 藤井勢之(1969)：JFTの解析について (株)応用地質調査事務所社内資料
- (3) 大島洋志(1976)：トンネル工事の計測入門(3)水に関する測定 トンネルと地下 第7巻 第10号 pp. 44—50
- (4) 原位置試験及び測定の問題とその評価について (1976)：(株)応用地質調査事務所社内資料
- (5) 羽田 忍(1977)：微流速計の利用とその解釈 応用地質 第18巻 第1・2号 pp. 26—37
- (6) 建設省河川局監修(1977)：ルジオンテスト施工指針 (案)同解説