

## 注水による現場透水試験の実施例

守 谷 正 博\*  
野 田 健 二\*

## 1. はしがき

最近、現場透水試験が、1) アースダムの施工管理上  
2) 既設アースダムの安定度検討のため、3) アースダム  
のような基礎地盤の透水性を考える必要のある構造物  
の基礎地盤調査、などに活用されるようになった。愛知  
用水公団では、この現場透水試験を牧尾橋ダム左岸の和  
田サドルダイクをはじめ、補助ため池予定地、幹線水路  
々線などに室内試験と並行して大いに利用している。

現場透水試験は、井戸掘、オーガーホール、ボーリ  
ングホールなどで注水あるいは揚水を行って、ホール付近  
の地盤の透水係数を求めるものである。揚水試験は従来  
から地下水利用のための地盤透水性の調査に使われてお  
り、その方法にもいろいろある。注水試験は最近になっ  
てはじめて実施されるようになったもので、まだ確固と  
した方法論もなく、われわれも現地で実際問題に直面し  
研究、打開した事項が非常に多かった。

すなわち、従来はほとんど揚水試験だけが現場透水試  
験であって、地下水面上の土層の透水係数はおもに室  
内で変水位水頭、定水位水頭の両透水試験を行って求め  
るか、または粒度分析の結果から計算式によって求めて  
いた。しかし計算によって比較的正しい結果が得られる  
のは、粒子が比較的均一な粗粒土の場合だけである。ま  
た、粘土の透水係数は圧密試験の結果から算定できる。  
ところが三角座標においてロームを中心にした砂質、シ  
ルト質、粘土、砂質粘土、の各ロームのように粒度組成  
の中間的なものは、その自然状態での圧密状態が非常に  
複雑で透水係数は理論的な解析と一致しない。しかも日  
頃われわれが調査の対象とし、その解明を要求される土  
はそのような土が多い。

一般に、室内試験にかける試料は非常に少なく、室内  
試験の結果をただちに広い自然土層の透水係数とみなす  
のは非常に危険である。また、うまく土層から「乱さな  
い試料」を取っても試料を試験器の容器に水密に接着さ  
せることはむづかしく、試料と容器の接触面から多量の  
漏水をおこし、透水係数が無意味に大きく出ることにな  
る。以上のような室内試験の欠点を補い、より正しい透  
水係数を知るために現場透水試験を行う。

さて今までに実施した試験の結果から現場透水試験を  
評価すれば、一方では「現場注水試験による透水係数は

\*愛知用水公団工務部設計課

過小である」という批判をうけてはいるが、この論文で  
述べるように相当効果的な試験方法であると考ええる。

本論文では、最近行った試験方法を簡単に述べ、次に  
補助ため池曲り池予定地点の調査内容を説明し、さらに  
室内試験および粒度分析との比較を行う。

なお、揚水試験については別の機会にゆずる。

## 2. 注水による現場透水試験法

これを大別すると、図-1 (1), (2)に示すように、孔中  
の水深  $H$  を透過面 (Perforated section) の長さ  $A$  に  
等しくする方法と、水位を透過面上端より高く、すな  
わち  $H$  を  $A$  より大きくする方法になる。今、 $H=A$   
の方法を「注入の方法」 $H>A$ の方法を「圧入の方法」  
とよぶことにする。

詳細は本誌 Vol. 4 No. 2. p. 35「土の透水試験(その  
2) 河上房義」を参照されたい。

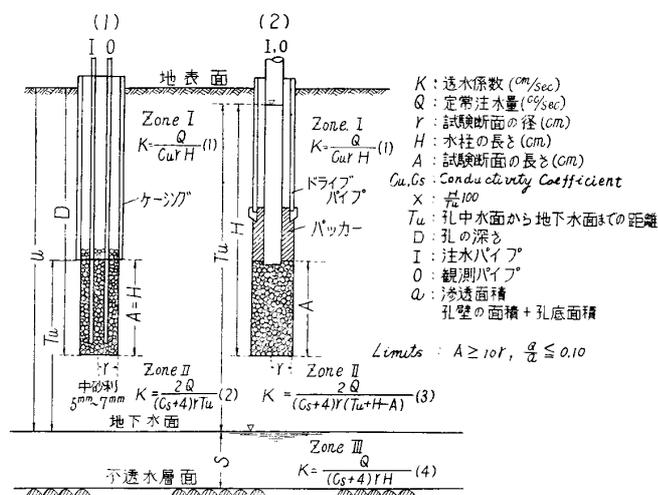


図-1

## 3. 実施例

## 3.1 実施地点の概要

愛知用水曲り池は同計画補助ため池の一つで、図-2に  
示すように、愛知県西加茂郡三好村にあり、階段状に並  
んだ既設の下池、中池、曲り池、新池のうち曲り池の地  
点で両岸の山頂までかさ上げして約 200 万  $m^3$  を貯水す  
る計画のものである。

現場透水試験は 図-2 に示すように、ダムおよびため  
池周辺のボーリング調査を行った諸点のうち、No. 2,  
No. 9, No. 11, No. 20 の各点で行った。ボーリングに  
よって得たコアは粒度分析を行った。それらにもとづい

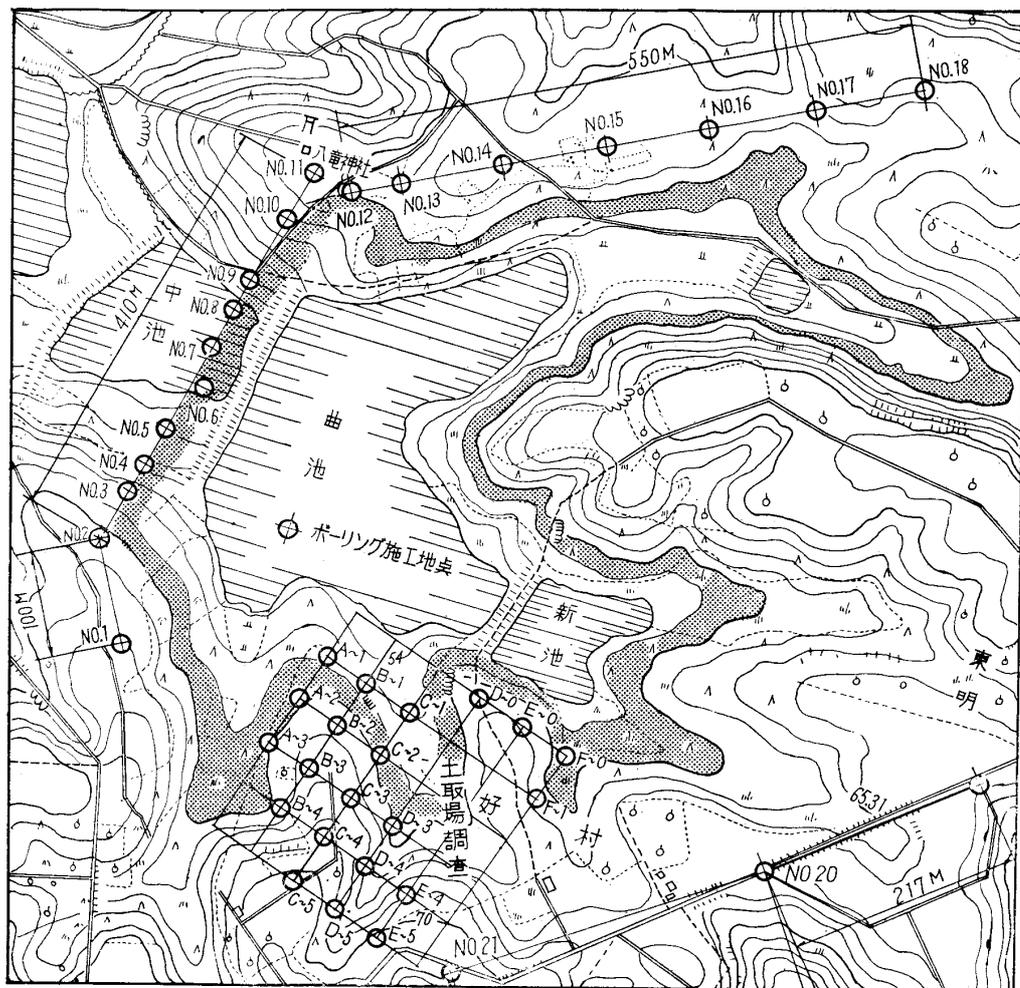


図-2 曲池調査地点位置図

で基礎地盤の地層図を画けば、図-3 のとおりで、土層は非常にはん雑な層をなしている。

(b) 「圧入試験には孔壁を完全にしや水するパッカーを用意しなければならない。」この試験は (a) で述べ

### 3.2 試験方法について

曲り池の現場透水試験に先だって、われわれは他の補助ため池（長成池、松野池）などの基礎地盤にいろいろの方法で透水試験を試み数多くの貴重な体験を得た。過去の調査によって得た注水試験実施上の注意事項は次のとおりである。

(a) 「注入試験はいろいろな条件がそろわないと使えない。」注入試験を実施するに必要な条件とは、(1)調査する土層が地下水面以上であること。(2)透水係数があまり小さくないこと。(3)土層が比較的乾いていて、地表水の滲透がないこと。などで、このような諸条件がみたされる土層は一般に地表近くだけである

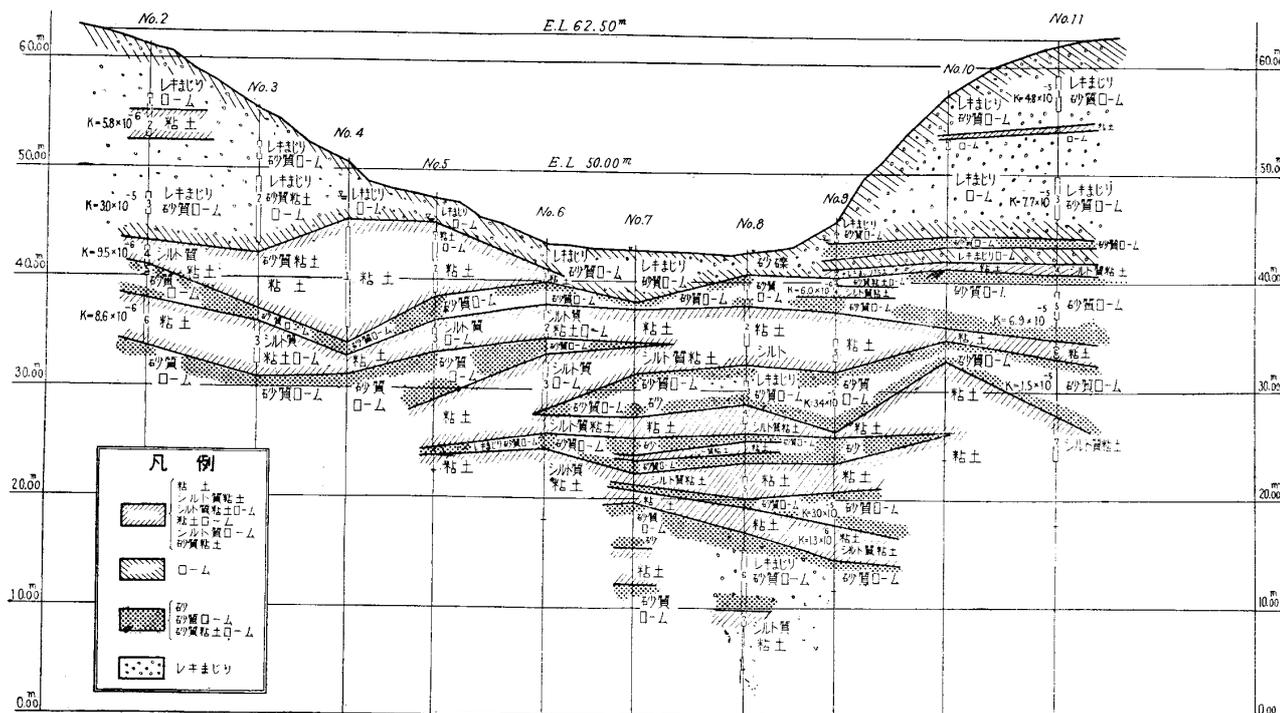


図-3 曲り池ダムサイト土質図

たような注入試験の欠点を補うことができるが、高水圧で行うにはさきに定めた滲透面上への滲透がないような完全なパッカーを用意しなければならない。ドライブパイプ、ケーシングパイプなどは孔壁のしや水には全く役に立たない。

(c) 「圧入試験の水頭Hは透水係数(実施中は注水量)によって加減しなければならない。」これはあまり高水頭をかけすぎるとパイピングなどによって自然土層を乱す危険性があるからである。このため、水圧をかける方法としてポンプによる方法、やぐらを組みその上に水槽を上げる方法などがあるが、水頭の加減が容易にできるものでなければならない。

曲り池の試験方法は上記のことを考えて決めた。

曲り池ダムサイドでは地下水面が地表に近いので、注入法より圧入法を多く使った。圧入試験は前述のように完全しや水ができ、効果的でしかも孔壁を乱さず取付け、取りはずしの容易なパッカーが必要である。図-4はこのために試験実施中考案使用したもので、3・3・1のとおりにより操作し、使用結果は良好であった。

各点での試験諸元は表-1のとおりである。

3・3 使産器具について

3・3・1 圧入水量測定装置

圧入試験の場合、その注水量 Q は 図-4 に示すようなものを使って測った。

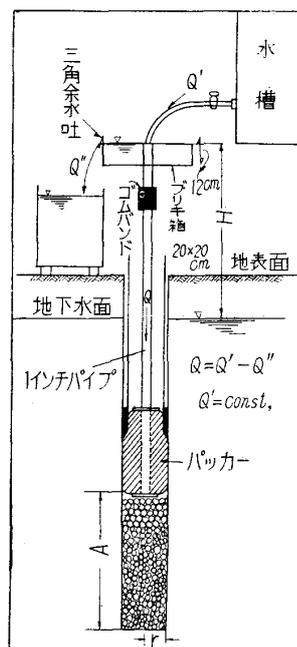


図-4

孔中の試験準備が終れば水槽のコックを開き、適当な水量をブリキ箱付1インチパイプに注入する。水槽からの水が滲透面からの滲透水量より多い場合には1インチパイプからブリキ箱に水が越流し、さらに側面余水吐から流れ出る。水槽からの一定流入量に対し越流量を観測し一定になれば、滲透量Qも一定したことになる。

3・3・2 パッカー

図-5(1)に示すような有効長さ50 cm、内径1インチパイプに径80mmの鉄製フランジを取付け、(2)に示す

表-1

試験番号	滲透面の深さ	土質名称	地下水の深さ	試験方法	ゾーン	r	Tu	A	X	Cu	s	H	Q	Kcm/sec	備考
No. 2	1 6.12~8.00	粘土	11.18	注 入	I	5.08	466.5	148.5	31.8	60	-	148.5	0.383	$8.8 \times 10^{-6}$	
	2 14.00~15.50	レキまじり砂質ローム	"	圧 入	III	"	"	150	"	-	51	1211	10.17	$3.5 \times 10^{-5}$	
	3 18.00~19.50	粘土	"	"	III	"	"	150	"	-	51	1198	3.17	$9.5 \times 10^{-6}$	
	4 23.50~25.00	粘土	"	"	III	"	"	150	"	-	51	1253	3.0	$8.6 \times 10^{-6}$	
	5 9.85~25.00	-	"	"	III	"	"	1515	"	-	310	1243	21.8	$1.1 \times 10^{-5}$	
	6 0.30~25.00	-	"	"	III	"	"	2470	"	-	470	1161	27.7	$9.9 \times 10^{-6}$	
No. 11	1 5.00~6.50	粘土, 砂質粘土ローム粘土	1.63	圧 入	III	5.08	"	150	"	-	51	1083.5	1.83	$6.0 \times 10^{-6}$	
	2 14.50~16.00	レキまじり砂質ローム	"	"	III	"	"	150	"	-	51	1083.5	10.42	$3.4 \times 10^{-5}$	
	3 25.00~26.50	砂質ローム	"	"	III	"	"	150	"	-	51	1083.5	8.92	$3.0 \times 10^{-5}$	
	4 28.00~29.50	粘土	"	"	III	"	"	150	"	-	51	1083.5	0.383	$1.3 \times 10^{-6}$	
	5 13.90~29.50	-	"	"	II	"	"	156	"	-	320	1083.5	26.3	$1.5 \times 10^{-5}$	
	6 0.40~29.50	-	"	"	III	"	"	2910	"	-	550	649.5	18.2	$1.0 \times 10^{-5}$	
No. 11	1 3.03~4.50	レキまじり砂質ローム	19.53	注 入	I	5.08	1632.8	147.8	9.1	60	-	147.8	2.141	$4.8 \times 10^{-5}$	
	2 12.51~14.00	レキまじり砂質ローム	"	"	I	"	683.9	148.9	21.8	60	-	148.9	3.5	$7.7 \times 10^{-5}$	
	3 22.60~24.10	砂質ローム	"	圧 入	III	"	"	150	"	-	51	356.7	6.833	$6.9 \times 10^{-5}$	
	4 29.25~30.75	砂質ローム	"	"	III	"	"	150	"	-	51	1178.8	5.00	$1.5 \times 10^{-5}$	
	5 19.60~30.75	-	"	"	III	"	"	1115	"	-	230	639.5	15.5	$2.0 \times 10^{-5}$	
	6 4.12~30.75	-	"	注 入	III	"	"	2663.2	"	-	500	1523.5	41.33	$1.1 \times 10^{-5}$	
No. 20	1 7.04~8.50	レキまじり砂質ローム	11.05	注 入	II	5.08	401	146	36.41	-	50	146.0	4.03	$7.3 \times 10^{-5}$	
	1 9.30~10.80	砂質ローム	"	"	II	"	170	150	88.2	-	51	150.0	1.43	$6.0 \times 10^{-5}$	
	2 11.20~16.70	砂質ローム	"	圧 入	III	"	"	150	"	-	51	1175	5.25	$1.6 \times 10^{-5}$	
	3 18.60~20.10	粘土	"	"	III	"	"	150	"	-	51	1195	0.27	$8.1 \times 10^{-7}$	
	4 9.30~20.10	-	"	"	III	"	"	1080	"	-	235	1195	23.2	$1.6 \times 10^{-5}$	
	5 0.50~20.10	-	"	"	III	"	"	1960	"	-	390	1135	27.2	$1.2 \times 10^{-5}$	

報 文・論 文

ゴム製パッカーを送気孔を上にして挿入し、さらに上部に 80 mm の鉄製フランジを取付けたもので、1 インチ圧入パイプに結んで孔中に下げる。ゴム製パッカーは外径 83 mm で空気ポンプで径 5 インチ程度までふくらませることができる。柔軟性はちょうど軟式庭球用ゴムマリ程度で上、下部はふくらみが横方向だけになるよう硬質ゴムを使用した。

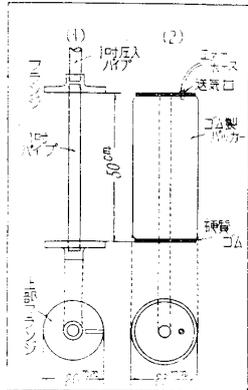


図-5

らませてその上にセメントミルクを流し込んだ。

3.4 試験の結果

図-4に示した方法で試験を行ったものは No.2 の2~6, No.9 の1~6, No.20 の3~6 の15ヶ所。No.11の1, 2, 6, No.20 の1, 2 の6カ所は別の方法で、(詳細は割愛)またパッカーにコンブを使った圧入試験はNo.11の3~5の3カ所で行った。試験は1時間々隔で注水量および水位を観測し、約50時間連続注水した。その最終観測値を図-1に示した計算式で計算した結果は表-1に示すとおりである。

表中、Aの値が大きいもの、すなわち各点の5, 6回目の試験はその地点での全層にわたる平均的な透水係数を求めるために行ったものである。

3.5 試験結果の検討

表-1に示した試験結果を検討するため、滲透面の深さにある土層のボーリングコアを粒度分析した。その結果の一部を示せば図-6 図-7のごとくである。また曲り池ではため池周辺に数カ所土層が露出しているがけがあるので、これらがけからの参考に種々の土層の試料をとり、粒度分析、密度測定、室内透水試験などを行って基礎地盤の土層と比較した。これらの試験は粗粒土について重点的に行ったが、図-7はがけから取った試料のうち粒度分布が基礎地盤の土に似ているものの粒度曲線である。

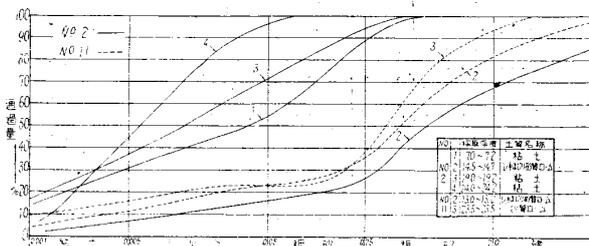


図-6

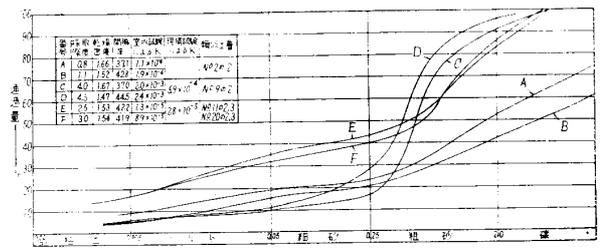


図-7

図中の表で「現場試験によるk」というのはこれらの試料を取ったがけの近くで行った現場透水試験の結果である。また室内試験は内径 20 cm の試験器に径約 10~15 cm の試料を入れ、容器のすき間にセメントペーストを充たし変水位水頭で実施した結果である。試験中フルオレシインを使って滲透水がどのように試料を通して流れるかをみたが、矢張り試料周囲からの透水が多く、試験結果は真の値より大きく出ていると考えられた。またこれら A~F の試料は取った深さが浅く、基礎地盤からの試料 No.2 の 2, No.9 の 2, No.11 の 2, 3, はいずれも 13 m 以下の相当深いところのものなので、圧密の程度は図-7に示した A~F の間隙率より相当小さいものと思われるので図-7の室内試験の値はそのまま基礎地盤の土層には適用できないようにも思われた。しかしこの両者の試験を比較することによって試験の方法による誤差範囲がわかり、それを考えてより正しい値を得るために大いに役立つと思われる。

粒度分布から透水係数を推定するために Terzaghi 博士の式を使用して透水係数の計算を試みた。

$$K = \left(\frac{c}{\eta_0}\right) \left(\frac{\eta_0}{\eta_t}\right) (\epsilon - 0.15)^3 (1 + \epsilon) d^2 \dots\dots\dots (5)$$

ここに  $\epsilon$ : 土の間ゲキ比

$\eta_0$ : 標準温度のときの土の粘性係数

$\eta_t$ :  $t^\circ\text{C}$  のときの水の粘性係数

$c$ : 土の粒度による係数

$d$ : 土の有効径

土の有効径は粒径加積曲線の 10% 粒径であるが、Krüger は次の式を使って求めることを提唱している。

$$\frac{1}{d_w} = \frac{g_1}{d_1} + \frac{g_2}{d_2} + \frac{g_3}{d_3} \dots\dots\dots (6)$$

ここに  $d_1, d_2, \dots\dots$ : 粒子の直径

$g_1, g_2, \dots\dots$ : 粒子の量

また  $\eta_0$  を  $10^\circ\text{C}$  のときの粘性係数とし、 $\eta_t = \eta_0$  とする。また  $\left(\frac{c}{\eta_0}\right) = (800 \sim 460)$  と考えて計算した結果は

表-2 のとおりである。

上記の Terzaghi 博士の式は粘土質の土についての理論式であるが、A~D は (とくに C, D は)、細粒土というよりはむしろ粗粒土と考えられるので、同じく Terzaghi 博士の粗粒土に関する理論式、

表-2

番号	有効径		間隙率 $\lambda$	間隙比 $\epsilon$	(5) 式による透水係数		(7) 式による透水係数	
	$d_{10}$	$d_w$			$Kd_{10}$	$Kd_w$	$Kd_{20}$	$Kd_w$
A	0.007	0.00796	0.37	0.58	2.8~4.9 $\times 10^{-5}$	3.7~6.3 $\times 10^{-5}$	1.8~3.0 $\times 10^{-5}$	2.4~3.9 $\times 10^{-5}$
B	0.018	0.0130	0.43	0.74	5.4~9.5 $\times 10^{-4}$	2.8~4.9 $\times 10^{-4}$	1.9~4.3 $\times 10^{-4}$	1.0~1.76 $\times 10^{-4}$
C	0.052	0.0185	0.37	0.58	1.6~2.7 $\times 10^{-3}$	2.0~3.4 $\times 10^{-4}$	1.0~1.7 $\times 10^{-3}$	1.3~2.1 $\times 10^{-4}$
D	0.033	0.0191	0.45	0.79	2.4~4.1 $\times 10^{-3}$	$7.9 \times 10^{-4}$ $\sim 1.4 \times 10^{-3}$	$7.4 \times 10^{-4}$ $\sim 1.3 \times 10^{-3}$	2.4~4.4 $\times 10^{-4}$
E	-	0.00441	0.42	0.72	-	2.9~5.0 $\times 10^{-5}$	-	-
F	-	0.00568	0.42	0.71	-	4.5~7.8 $\times 10^{-5}$	-	-

注  $\frac{C}{\eta_0} = 800 \sim 460$

$$K = \left(\frac{C}{\eta_0}\right) \left(\frac{\eta_0}{\eta_t}\right) \left(\frac{\lambda - 0.13}{\sqrt{1 - \lambda}}\right)^2 d^2 \dots \dots \dots (7)$$

ここに  $\lambda$ : 土の間ゲキ率

を使ってA~Dの透水係数を計算した、結果は表-2の末記のとおりである。以上いろいろの方法で求めた透水係数の値を図示すれば図-8のとおりである。

図-8の値と表-1との値を比較してみると、C、DとNo.9の2とはひどく値がちがう。このような大きくちがった値が出る原因についてはいろいろの理由が考えられるが、これだけで現場透水試験(注水による)で

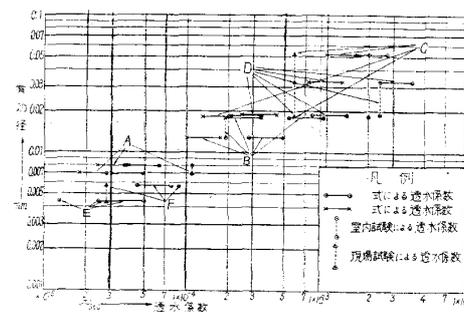


図-8

得た透水係数が真の値より小であると考えるのは早計であると思う。土層の状態、粒度、圧密度などによって他の試験による値とよく合致した値を得る場合もあれば非常にちがった値を得る場合もある。とくにC、DあるいはNo.9の2のような室内試験の困難な土では、どの方法による値がもっとも正しいものであるかは以上の資料では判断できない。現在われわれはこのNo.9の2およびこれと同様な土層の調査を引続き行っているので、近いうちに結論を得ると思う。この種の土層以外のところでは非常に接近した値が得られた。

3・6 むすび

以上、注水による現場透水試験の実施例についてのべたが、まだその結論といえるほどのものを得ていないのは残念である。今後諸氏のご批判をおねがいする。以上

支 部 だ よ り

東 北 支 部

支部役員懇談会開催

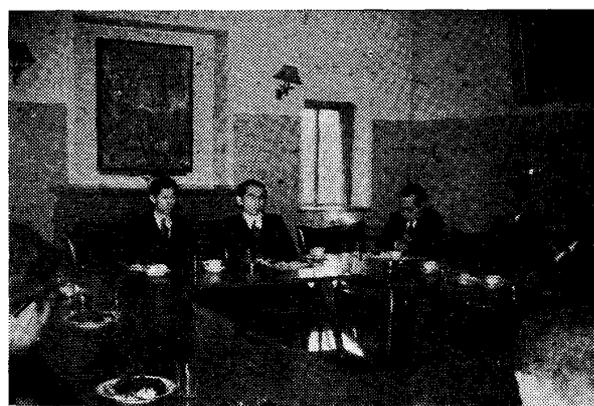
2月1日午前11時より仙台市東1番丁クローバー食堂に於いて、東大教授星塾和(副会長)最上武雄の両先生を囲んで支部役員との懇談会が行われた。

河上房義氏(支部幹事長)の挨拶に引続いて出席者の自己照会の後、各々両先生が立って土質工学会中央部の現状並に今後の運動方針について御説明があり、支部役員との活発な意見の交換を行って午後1時散会した。

参加者

星塾和(東大教授副会長) 最上武雄(東大教授) 川瀬正俊(商議員) 前田忠次 柴田未雄 泉 弥四郎(代理高橋) 河上房義(幹事長) 遠藤慎治(幹事) 菊地忠

雄 松田義久(代理高畑克己) 池田道雄 今野彦貞 奥津春雄 関野幹 加藤達三 以上



会 場