

砂礫層河床の透水係数測定について

—— 静内ダムサイトにおける実測およびその考察 ——

正員 北海道電力 K.K. 土木部 桃 井 義 之

1. ま え が き

北海道における電力需要の急激な増加に対処するため、北海道電力 K.K. の手により日高一貫電源開発が行なわれているが、その一環として静内発電所が近く建設される運びとなった。この発電所は、静内川水系メナシベツ川に基礎岩盤上 66 m のダムを造ることにより、最終出力 46,000 KW を発電するものであるが、計画カ所が河川の下流にあるため、河床の砂礫層がかなり厚く (15~17 m)、施工上種々の問題点がある。とくに最も問題となるものは、ダムの準備工事において、仮締切を行なう際にこの砂礫層をどのように取り扱うかということである。もし、砂礫層の浸透水量がきわめて少なければ、2 次締切の高さを図-1 の実験で示したように低くし、浸透水をポンプアップすることにより締切の目的を充分果たすことができる。

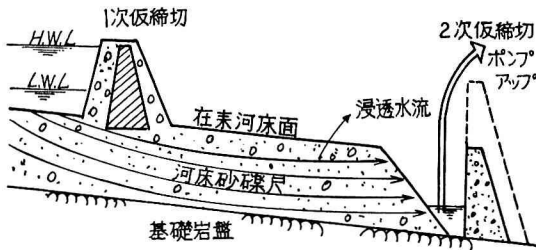


図-1 仮締切縦断面図

したがって工事計画をたてるにあたっては、まず自然の堆積状態における河床砂礫層の浸透水量を決定しなければならないが、従来の各種工事や実験においては、このダムサイトのような河床状態について事前に現場の透水量を求め、これを粒度その他との関連において総合的に考察した例に乏しいため、昭和 36 年夏以降において調査を実施した。今回の試験は、第 1 段階として砂礫層河床の透水性を調べる目的で、現場透水試験と、砂礫層の粒度分析を行ない、それらの結果を総合的に検討して、所期の目的を果たすことができた。ここにその概要を記して、ご参考にする。

2. 現場透水試験

2.1. 試験方法

一般に透水試験として用いられるのは、各層間注水試験および全層揚水試験の 2 種類であり、今回の調査でもこの 2 法を併用した。前者は Bureau of Reclamation, "Earth Manual" 中の B 試験法としてあげられているものであり、後者はこの孔を揚水孔とし、別に設けた観測孔により水位を測定することにより試験を行なうものである。

(i) 試験孔の配置

調査は夏期渇水期を利用して行なったのであるが、図-2 写真-1 で見られるとおり、河川敷の中洲に試験カ所が制約された。

ブロック [I], [II], [III] は締切の上流側で、[IV] は締切の下流側であり、補助的に砂礫層の最も厚いダムセーター上にブロック [V] を試験カ所として選定した。

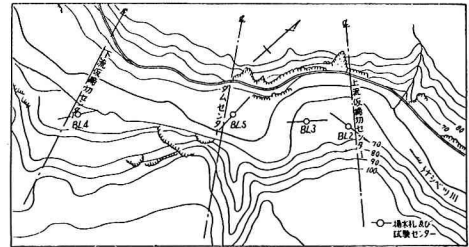


図-2 静内ダム透水試験カ所

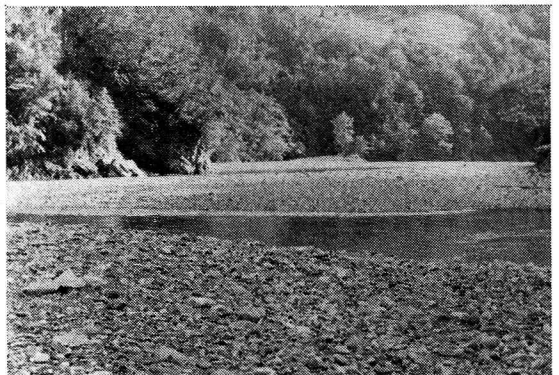


写真-1 静内ダム付近

揚水試験は各ブロックとも地下水の状態を調査し、水位観測孔の方向を地下水面の最急勾配方向にとったが、その配列は表-1 のようである。なおブロック [I] は、7月末の洪水により中洲が流失し、揚水試験を行なうことができなかった。

表-1 揚水試験における観測孔の配列
(ここに、 U 、 D は揚水孔センターからの距離で、 U は上流側、 D は下流側)

r (m)	ブ ロ ッ ク			
	[II]	[III]	[IV]	[V]
U_1	1.10	0.51	0.55	0.56
U_2	2.21	1.04	1.00	1.05
U_3	3.91	2.05	1.91	1.57
U_4	5.88	3.02	2.86	2.57
U_5	—	5.95	3.79	3.47
D_1	1.175	0.54	0.56	0.48
D_2	2.27	1.02	0.93	1.00
D_3	4.27	2.08	2.08	1.58
D_4	6.28	3.16	3.03	2.62
D_5	—	6.25	3.83	3.47

(ii) 試験孔の掘進方法

試験孔はできるだけ大孔径が望ましいのであるが、現地の状況および技術的に可能な範囲で、最大径 200 mm とした。各層の厚さは原則として 2 m とした。施工は図-3 のように、まず玉石の比較的に多い表層部を $\phi 200$ mm で掘

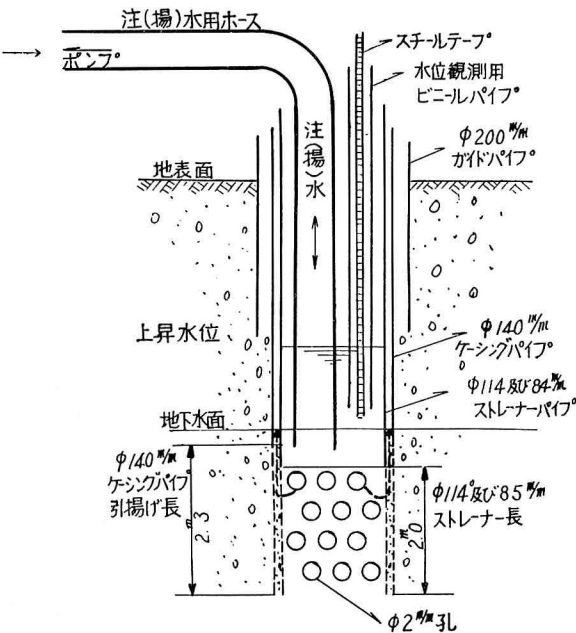


図-3 注水試験方法

進し、ガイド・パイプを挿入し、つぎに $\phi 140$ mm ケシング・パイプを試験断面の孔底まで掘進、その中に $\phi 115$ mm のストレーナー・パイプを挿入した。つぎに $\phi 140$ mm ケシング・パイプを若干の余裕 (0.3 m) をとって引き上げた。こうすることにより、ストレーナー・パイプ周辺の空隙は崩壊し、砂礫はストレーナー・パイプと密着することになる。

しかしながらこれは仮定であり、実際にはいくぶん異なった状態になる。すなわち、接触面から多少の漏水が考えられ、このため透水係数は実際の値より大きく出ると考えられる。今回の試験は、さらにこのボーリングホールを利用し、全長にストレーナーのついたパイプを挿入し、全層の状態を調べるための揚水試験を実施する計画であったので図-3 の点線をつたわっての漏水に対するセメンテーションなどは行なわなかった。これによる誤差については、結果の項について述べる。

(iii) 試験器具

ストレーナーは長さを1本当り 2 m とし、表-2、写真-2 に示すものを使用した。その孔径を決める際にはつぎの

表-2 ストレーナー諸元

	$\phi 140$ m/m	$\phi 114$ m/m	$\phi 84$ m/m
ストレーナー長 (m)	2	2	1.8
ストレーナー孔径 (mm)	2	2	2
孔数 (個)	6,000	6,000	3,000
r_1 (cm)	7.0	5.7	4.2
r_e (cm)	0.152	0.150	0.0834
C_s	1,100	1,100	1,700
$1 / \left(C_s + 4 \frac{r_1}{r_e} \right) r_e$	5.13×10^{-3}	5.32×10^{-3}	6.30×10^{-3}



写真-2 ストレーナー・パイプ挿入状況

ような注意が必要である。①試験する際ストレーナー自体の透水係数を求めるような結果になることをさけるため、ストレーナー孔には十分な孔面積を与える。②ストレーナー孔に砂粒がつまらない程度の大きさのものとする。また極端に大きくしたために砂粒が流れ込むようなものでもない。この目的でストレーナーの内側に網をはる方法などもあるが、今回はそのような方法を使用しなかった。③パイプ自体の強度も問題になるが、今回のようにストレーナー・パイプに対し力をかけないような場合には、できるだけ孔数を多くしたほうがよい。

流量測定は流量計（水道用メーター）を使用した、その検定には三角ゼキを用い、流量が 20 l/min 以上ではその誤差は 5% 以内であった。

水位関係はスチールテープに青チョークをぬり、これを観測用ビニールパイプ中に挿入し、水でぬれた部分までの長さを測った。この方法は一見原始的ではあるが、非常に確実かつ精度の高いものとして推奨できる。

2.2. 適用公式

(i) 各層間注水試験

米国開拓局“Earth Manual”にある現場透水試験のうち B 試験法としてあげられているもので、適用対象としては固結・未固結の層で飽和・未飽和の場合いづれでもよいものとしている。

この試験で注意すべきことは、孔の周壁を乱すことをさけるのはもちろん、孔壁にケーシングを密着させること、穿孔部分（ストレーナー）の天端から上でケーシング内の水位を保てるような注水量とすることなどで、この方法によって地層の粒径があらいいほど、均質なほど、よく締まっているほど、良好な結果が得られる。

今回の試験では B 試験法の公式のうち、全飽和層に対する次式を適用する。

$$K = \frac{Q}{\left(C_s + 4 \frac{r_1}{r_e}\right) r_e \cdot H} \quad (1)$$

ここで

K = 透水係数 (cm/sec), Q = 注水量 (cm^3/sec)

H = 井戸の中の水の高さ (cm)

A = 穿孔部分の長さ (cm)

r_1 = ケーシングの外径または固結した土にけた孔の半径 (cm)

r_e = 井戸の有効半径 $= r_1 \times \left(\frac{\text{穿孔の面積}}{\text{穿孔部分の表面積}} \right)$, ケーシングを必要としないときは $r_e = r_1$ とする。

C_s = 飽和層における係数 (Earth Manual, fig. 104 参照)

T_u = ケーシング内の水位から地下水面までの距離 (cm)

a = 試験区域の表面積, すなわち穿孔部分の表面積に

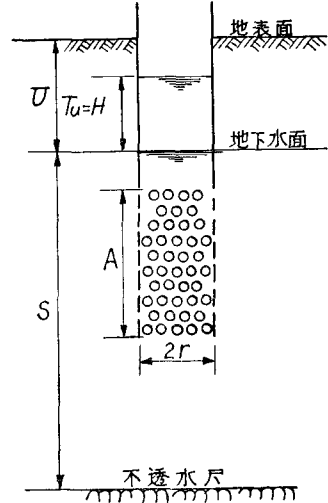


図-4 試験断面

底面積を加えたもの (cm^2)

S = 不透水層上にある飽和透水層の厚さ (cm)

$X = \frac{H}{T_u} \times 100$ 不飽和部分への百分率 (%)

U = 地下水面上の不飽和層の厚さ (cm)

D = 地表から孔底までの距離 (cm)

制限: $S \geq 5A$, $A \geq 10 \cdot r_e$, $\frac{Q}{a} \leq 3.0$ (cm/sec)

なお上記の制限のほか、ストレーナー穿孔面積に不足がないかどうかのチェックの意味で、ストレーナー無・孔底のみからの注水定常状態での試験を行なったが、その時の透水係数算出公式としては (2) 式を使用した。これは米国工兵隊が土質調査に対して使用しているもので、Hvorslev の与えた式である。

$$K = \frac{Q}{2.75 DH} \quad (2)$$

ここで

K = 透水係数 (cm/sec)

D = ケーシングの外径 (cm)

H = 注水による孔中水面上昇高 (cm)

Q = 注水量 (cm^3/sec)

(ii) 全層揚水試験

深井戸に対してのテイエムの式 (3) からの変形式

$$K = \frac{Q \ln r_2/r_1}{\pi (h_0^2 - h_1^2)} \quad (3)$$

である (4) の限定式を使用した。

$$K = 0.366 Q \cdot C \quad (4)$$

ここで

K = 透水係数 (cm/sec)

Q = 揚水量 (cm^3/sec)

表-3 透水試験結果一覽表

項目位置 ブ ロ ッ ク No.	試験断面 (長さ cm × 径 mm)	標 高 (m)		河川水温 (°C)	一定注入 量 Q (cm ³ /sec)	注 水 に よ る 平 衡 時 の 数 値			揚水による 透水係数 (cm/sec)	備 考
		地表面	地下水面			上昇水位 H (cm)	測定時間 (時・分)	透水係数 (測定値) (cm/sec)		
ブ ロ ッ ク [II]	2.00	64.12	63.24	18.5	400	26.4	2:39	3.94×10^{-1}	4.06×10^{-1}	孔底のみ開
	3.83	"	62.98	21.8	300	10.0	0:28	7.80×10^{-1}	7.50×10^{-1}	"
	1.88~3.52	"	62.92	17.0	334	6.6	1:11	3.62×10^{-1}	3.89×10^{-1}	ストレーナー有孔底閉
	1.88~3.83	"	62.94	18.0	750	12.5	0:23	3.06×10^{-1}	3.21×10^{-1}	ストレーナー有孔底開
	3.60~5.55	"	62.96	22.0	383	17.2	0:28	1.45×10^{-1}	1.38×10^{-1}	ストレーナー有孔底閉
ブ ロ ッ ク [III]	"	"	62.97	21.0	700	14.1	0:24	2.54×10^{-1}	2.48×10^{-1}	ストレーナー有孔底開
	2.25~4.25	64.72	62.61	18.0	816	29.0	0:54	1.50×10^{-1}	1.58×10^{-1}	ストレーナー有孔底開
	5.91	"	62.61	19.0	183	213.9	1:22	2.22×10^{-2}	2.27×10^{-2}	ストレーナー無孔底開
	3.81~5.81	"	62.72	16.0	542	31.4	0:29	9.20×10^{-2}	1.01×10^{-1}	ストレーナー有孔底開
	5.07~7.07	"	62.59	16.0	467	42.0	0:24	6.60×10^{-2}	7.26×10^{-2}	"
ブ ロ ッ ク [IV]	4.74	63.44	62.96	16.0	167	5.1	0:18	8.50×10^{-1}	9.34×10^{-1}	ストレーナー無孔底開
	2.85~4.85	"	62.91	17.5	467	3.9	0:30	6.37×10^{-1}	7.33×10^{-1}	ストレーナー有孔底開
	5.32~7.12	"	62.66	15.0	400	4.6	0:25	5.47×10^{-1}	6.16×10^{-1}	"
	4.00	62.54	61.56	15.0	484	20.3	1:20	6.18×10^{-1}	6.95×10^{-1}	ストレーナー無孔底開
	1.94~3.94	"	61.71	11.0	800	9.1	1:00	4.68×10^{-1}	5.90×10^{-1}	ストレーナー有孔底開
ブ ロ ッ ク [V]	4.00~6.00	"	61.09	14.0	1000	9.9	1:10	5.37×10^{-1}	6.36×10^{-1}	"
	6.10	"	61.39	13.0	500	18.5	1:20	7.03×10^{-1}	8.33×10^{-1}	ストレーナー無孔底開
	6.10~8.10	"	61.52	11.5	467	5.6	0:40	5.25×10^{-1}	6.85×10^{-1}	ストレーナー無孔底開
	4.00	63.25	62.00	10.0	200	29.3	0:40	1.77×10^{-1}	2.30×10^{-1}	ストレーナー無孔底開
	2.00~4.00	"	62.00	10.5	683	23.5	0:35	1.55×10^{-1}	1.98×10^{-1}	ストレーナー有孔底開
ブ ロ ッ ク [VI]	4.25~6.25	"	62.24	9.0	667	9.2	0:40	3.86×10^{-1}	5.14×10^{-1}	"
	5.90~7.90	"	62.29	10.0	650	10.3	0:30	3.36×10^{-1}	4.37×10^{-1}	"
	8.15~10.15	"	62.28	9.5	475	6.6	0:35	4.53×10^{-1}	5.94×10^{-1}	"
	10.30~12.30	"	61.97	8.0	467	6.6	0:37	4.46×10^{-1}	6.10×10^{-1}	"
	12.10~14.10	"	61.88	7.0	467	9.5	0:40	3.10×10^{-1}	4.36×10^{-1}	"
ブ ロ ッ ク [VII]	13.70~15.70	"	61.81	8.0	450	9.6	0:40	2.96×10^{-1}	4.04×10^{-1}	"

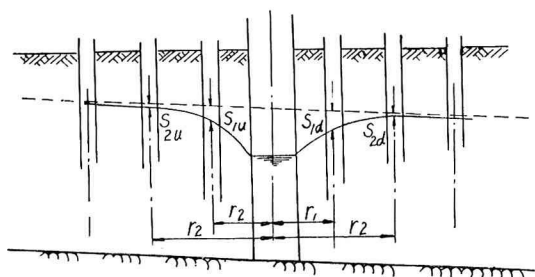


図-5 揚水試験センター



写真-3 揚水試験センター

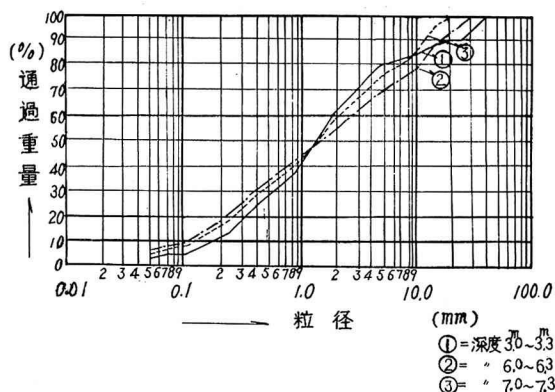


図-6 粒径加積曲線 (ブロック [III])

この砂礫層の特色は、表層 (3 m) では $\phi 30$ cm 程度の玉石がところどころにあり、下層にゆくにしがたがって完全な砂層となる。シルト分は比較的に少ない。

ただしレーモンド・サンプラー内径は $\phi 48$ mm なので、最大粒径を 48 mm として粒度分析したものである。

粒度から透水係数を算出する実験式としては、つぎのような方法がある。

3. 1. Hazen の実験式

$$K = 116 (0.7 + 0.03 d) D_{10}^2 \quad (5)$$

ここで

K = 透水係数 (cm/sec)

t = 水温 ($^{\circ}\text{C}$) = 20°C

D_{10} = 粒径加積曲線のうちで重量百分率で 10% に対応する粒径 (cm)

* $\begin{cases} D_{60}/D_{10} = \text{均等係数} \\ D_{60} = D_{10} \text{ と同様の考え方で } 60\% \text{ に対応する粒径} \end{cases}$

これは Hazen が均等係数 2 以下の均等な砂について得た式であって、簡単な割合によく実際とあうといわれている。

3. 2. Creager の実験式

Engineering for Dams, Vol. III, p. 649 にあるように D_{20} 粒径を求め、これから経験的に K を求めることも行なわれている。ただし D_{20} は、 D_{10} 同様の考え方で 20% に対応する粒径 (mm) である。この値を示したものが表-4 である。

3. 3. 西松建設 K.K. の実験値

mm 単位で示した D_{10} から K を求める方法も行なわれている。

$$K = D_{10} \text{ (cm/sec)} \quad (6)$$

ここで

D_{10} = 10% 粒径で単位は mm

(6) 式は、西松建設 K.K. がインテリジェント工法研究の際

$$C = A/B$$

$$A = (\log_{10} r_2/r_1)/0.25 M$$

$$M = 4 m - (S_{1u} + S_{1d} + S_{2u} + S_{2d})$$

$$B = (1/2) \times (S_{1u} + S_{1d} - S_{2u} - S_{2d})$$

以上の平衡式のほか、タイス・野満の式、回復式などの非平衡式があるが、今回の砂礫層の調査では、平衡に達する時間が数秒のオーダーできわめて短かく、非平衡の状態を測定することができなかった。

2. 3. 測定結果

以上の結果をまとめたものが表-3 である。

3. 試料採取および粒度分析

以上のように、今回は注水・揚水の両法により砂礫層の透水試験を行なったわけであるが、もし試料の粒度分析のみで透水係数を推定することができれば、地層の透水性を検討する貴重な資料となると考え、前記試験とあわせて各ブロックの注水孔のごく近く (1 m) で試料採取を行ない、粒度を測定して透水性との関連を求めることとした。当初の考えでは、空隙率なども測定して正確を期するつもりであったが、このダムサイトの地層がかなりあらい砂礫からなるため、完全な不攪乱試料を採取しえなかった。レーモンド・サンプラーにより採取したサンプル (ブロック [II] ~ [V]) から粒径加積曲線を作ると、(たとえばブロック [III]) 図-6 のようになり、*均等係数は 10~30 程度で、きわめて不均等である。

表-4 20% 粒径にもとづく透水係数近似値
(Engineering for Dams, Vol. III. p. 649)

20% Size (mm)	$k \times 10^{-4}$ (cm/sec)	U.S. Bureau of Soil Classification)
0.005	0.030	Coarse clay
0.01	0.105	Fine silt
0.02	0.400	Coarse silt
0.03	0.850	
0.04	1.750	
0.05	2.800	
0.06	4.60	Very fine sand
0.07	6.50	
0.08	9.00	
0.09	14.00	
0.10	17.50	Fine sand
0.12	26.00	
0.14	38.00	
0.16	51.00	
0.18	68.50	Medium sand
0.20	89.00	
0.25	140.00	
0.30	220.00	
0.35	320.00	Coarse sand
0.40	450.00	
0.45	580.00	
0.50	750.00	
0.60	1,100	Fine gravel
0.70	1,600	
0.80	2,150	
0.90	2,800	
1.00	3,600	Fine gravel
2.00	18,000	

補助的に行なって発表したもので、同社では非常によく実
際と合うものとの結論を出している。

しかし後 2 者では温度の項が入っていないので、あくま
でも近似式であるので、その程度のものとして利用すべき
である。

以上いずれの方法によるとしても、試料採取は各ブロッ
クとも 2 m に 1 本の割合でレーモンド・サンプラーを打ち
込んだので、各層ごとに異なった透水係数値が出ている。
これを全層平均して比較するためにつぎのような仮定をし
た。

すなわち揚水・注水による透水係数値は水平方向の透水
係数に近いので、これを近似的に水平方向の透水係数とす
る。図-7 のようにレーモンド・サンプラーで採取した試料

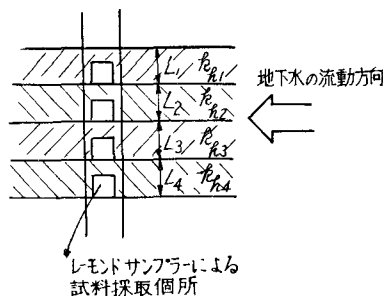


図-7 平均透水係数の考え方

から粒度分析により求めた透水係数は、水平方向 (層に平
行) の透水係数とみてさしつかえないから、(7) 式により層
平均透水係数を算出しようことになる。

$$\bar{K} = (\sum k_{hi} \cdot L_i) / \sum L_i \quad (7)$$

以上の結果をまとめると 図-8、表-5 のとおりとなる。

4. 結果の考察

以上のように今回の調査においては、

- ① 注水による各層間の K -値
- ② 揚水試験による全層の K -値
- ③ 粒度分析による K -値
 - (i) Hazen の公式で D_{10} から求める法
 - (ii) Creager の D_{20} から求める法
 - (iii) 西松建設の提唱する D_{10} から求める法

などの種々の方法により、それぞれ多少異なった K -値の
グループを求めたことになる。これらの値を総体的に考察
するにあたって、まず揚水試験による K -値の算出過程を
考えてみると、Darcy の法則に基づいている関係から、層
流状態であるという仮定があり、さらに地下水の流動方向
を考慮しているのが特長といえるが、この式は流れの方向
が明らかである場合には正確な式とされており、今回の試
験ではあらかじめ地下水の流動方向を実測し、センターを
決めてあるので、精度から見るとこの公式が一番よいとみ
てさしつかえない。

したがって、揚水試験による K -値を基準として、各方
法による K -値を比較して見ると、表-6 のとおりである。

この表から、つぎのようなことを指摘することができ
る。

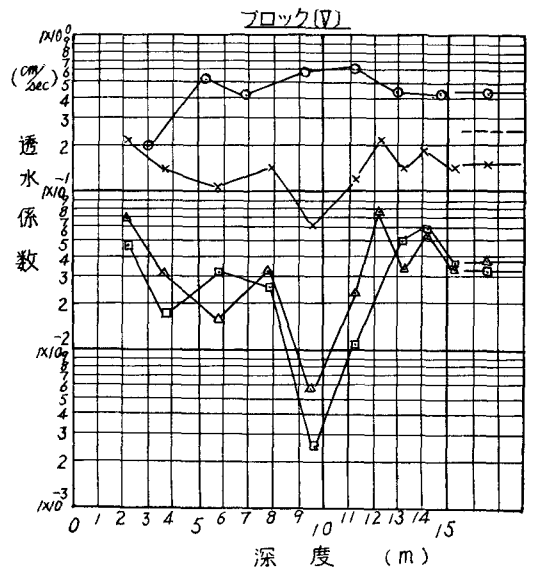
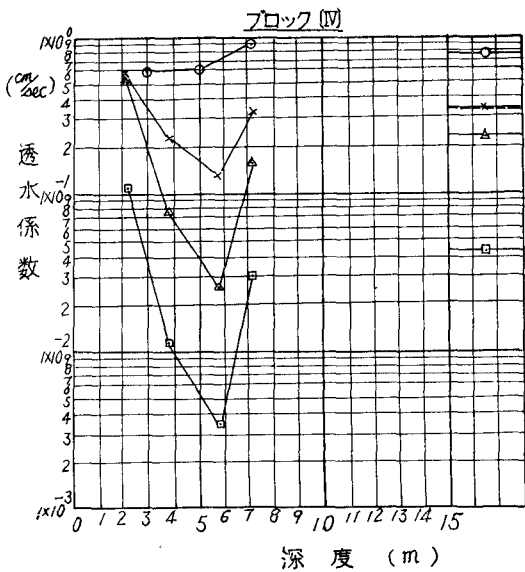
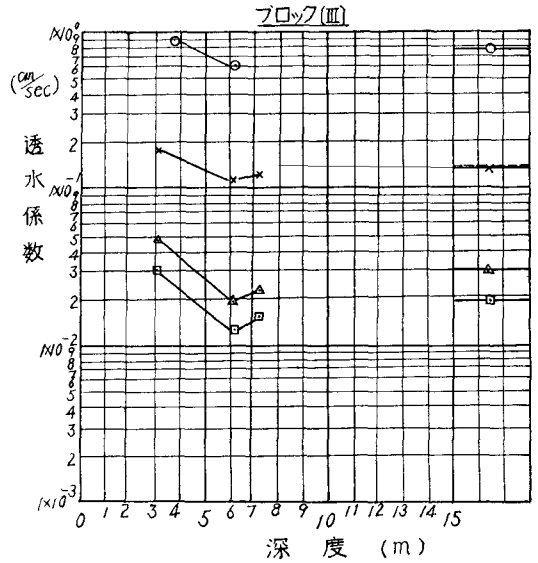
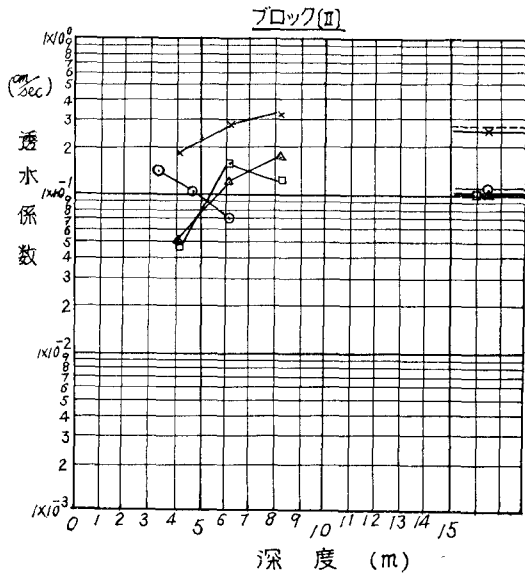
- (i) ブロック [IV], [V] の値からすぐ結論づけること
は危険ではあるが、揚水試験による K -値に対し、注水試
験による K -値は 2~3 倍大きく出ている。すなわち B 試
験法による砂礫層注水試験を行なった場合、2~3 倍の安全
率をもった K -値が得られるといえそうである。

(ii) これに比し Hazen, Creager の方法による K -値は全体的に揚水試験の値に比べて10~40%の小さい K -値を与える。したがって、少なくとも均等係数が10~30程度の地層に対して、Hazen の式をただちに適用するのは実際的に危険であると思われる。

(iii) 西松建設が「プレバクト工法におけるイントルージ

ョングラウチングと伏流水との関係について」の中で結論を出している方法、すなわち10%有効径を mm 単位で表わしたものが K (cm/sec) であるという考え方についてみれば、その近似度が60~100%とほぼ一致した値を示している。

以上より、静内ダムサイト付近で実施した透水試験およ



こゝで ○ = 注水試験による k -値
 △ = 粒度分析から Hazen 式を用いた k -値
 □ = " " Creager の D_{20} ;
 × = " " 西松の K の D_{10} ;
 ----- = 揚水試験による k -値

で いずれも 右端の水平直線は全戸の平均値を示す。

図-8 各種方法による透水係数の比較

表-5 粒度試験結果一覧表

ブ ロ ッ ク	項 目 採取 深度(m)	D_{10} (mm)	D_{20} (mm)	D_{60} (mm)	D_{60}/D_{10}	実験式による透水係数値 (cm/sec)		
						Hazen	Creager	西 松
[II]	4.0~4.3	0.185	0.410	3.80	21	5.17×10^{-2}	4.76×10^{-2}	1.85×10^{-1}
	6.0~6.3	0.290	0.700	6.40	22	1.27×10^{-1}	1.60×10^{-1}	2.90×10^{-1}
	8.0~8.3	0.340	0.650	3.82	11	1.75×10^{-1}	1.35×10^{-1}	3.40×10^{-1}
[III]	3.0~3.3	0.180	0.340	1.80	10	4.90×10^{-2}	3.00×10^{-2}	1.80×10^{-1}
	6.0~6.3	0.113	0.240	2.55	23	1.93×10^{-2}	1.30×10^{-2}	1.13×10^{-1}
	7.0~7.3	0.122	0.260	2.05	17	2.26×10^{-2}	1.56×10^{-2}	1.22×10^{-1}
[IV]	2.0~2.3	0.600	0.600	11.30	19	5.44×10^{-1}	1.10×10^{-1}	6.00×10^{-1}
	3.7~4.0	0.225	0.225	8.00	35	7.69×10^{-2}	1.15×10^{-2}	2.25×10^{-1}
	5.6~5.9	0.133	0.133	0.60	5	2.69×10^{-2}	3.40×10^{-3}	1.33×10^{-1}
	7.0~7.2	0.340	0.340	4.80	14	1.75×10^{-1}	3.00×10^{-2}	3.40×10^{-1}
[V]	2.0~2.3	0.215	0.440	6.00	28	7.00×10^{-2}	4.76×10^{-2}	2.15×10^{-1}
	3.5~3.8	0.145	0.270	2.50	17	3.17×10^{-2}	1.72×10^{-2}	1.45×10^{-1}
	5.7~6.0	0.107	0.350	4.00	37	1.74×10^{-2}	3.20×10^{-2}	1.07×10^{-1}
	7.6~8.0	0.145	0.320	10.00	69	3.17×10^{-2}	2.60×10^{-2}	1.45×10^{-1}
	9.3~9.6	0.062	0.120	0.50	8	5.81×10^{-3}	2.60×10^{-3}	6.20×10^{-1}
	11.0~11.3	0.125	0.220	1.26	10	2.36×10^{-2}	1.10×10^{-2}	1.25×10^{-1}
	12.0~12.3	0.220	0.500	3.05	14	7.33×10^{-2}	7.50×10^{-2}	2.20×10^{-1}
	13.0~13.3	0.150	0.420	12.70	85	3.40×10^{-2}	5.02×10^{-2}	1.50×10^{-1}
	14.0~14.3	0.190	0.460	4.30	22	5.45×10^{-2}	6.14×10^{-2}	1.90×10^{-1}
	15.0~15.3	0.150	0.360	1.70	11	3.40×10^{-2}	3.46×10^{-2}	1.50×10^{-1}

表-6 各種透水係数比較表

区 分 比 較 ブ ロ ッ ク	現場試験による方法			粒度試験による方法					
	①揚水試験 による K-値 (cm/sec)	注水試験による		Hazen による		Creager による		西松建設K.K.による	
		②K-値 (cm/sec)	②/①	③K-値 (cm/sec)	③/①	④K-値 (cm/sec)	④/①	⑤K-値 (cm/sec)	⑤/①
[II]	2.98×10^{-1}	1.16×10^{-1}	0.4	1.17×10^{-1}	0.4	1.01×10^{-1}	0.4	2.59×10^{-1}	0.9
[III]	1.26×10^{-1}	6.89×10^{-1}	5.5	3.00×10^{-2}	0.2	1.90×10^{-2}	0.2	1.29×10^{-1}	1.0
[IV]	3.60×10^{-1}	6.27×10^{-1}	1.7	2.27×10^{-1}	0.6	4.31×10^{-2}	0.1	3.41×10^{-1}	0.9
[V]	2.50×10^{-1}	4.30×10^{-1}	1.7	3.62×10^{-2}	0.1	3.28×10^{-2}	0.1	1.48×10^{-1}	0.6

び各種の検討から、つぎのようなことが結論的に要約される。

(1) 砂礫層河床の透水度を現場で試験する場合は、揚水試験による K-値 が实际的に妥当な数値と考えられる。

(2) 透水試験によらず、粒度試験の結果から透水係数を推定する場合は、地層の均等係数により、判定に用いる式の選定に注意する必要がある。均等係数が 2 以下のきわめて均等地層には、Hazen の式、Creager の図表によるこ

とができる。

均等係数が 10~30 程度の不均等層では D_{10} を mm 単位で表わした数値そのものを K-値 と考えたものが、むしろ実際に近いものと考えられる。

(3) シルト分を含んださらに微粒な層に対する適用は、この実験を行なった場所と状況が異なるので、さらに検討を要するが、上記と同様な手法で D_{60}/D_{10} をファクターにして求めることができるものと考えられる。

5. 試験をふりかえって

はじめに述べたように、この試験は最大厚 17 m に及ぶ河床堆積砂礫層を対象として、ダムを築造するさいにおける工事上の目途を得るために実施したものであるが、先人諸家の説が果たしてどの程度適用可能であるか、よるべき資料に乏しいために、現場試験を中心に種々の考察を行なったものである。

このダムサイト付近のように、比較的あらい砂礫層が厚く堆積している場所では、ボーリングそのものがかかなり困難であり、かつ出水頻度がかかなり高い河況にあっては、継続作業に非常な苦心を要した。しかも試験の性質上、予定地全域にわたって、可能な限り広い場所を必要とし、当初は 7～8 月の渇水期をねらって試験の予定であったところ、数次の出水とそれに引き続く増水に見舞われ、作業はしばしば中断したり、観測孔や試験孔の埋没をみ、また一度は大洪水により大型削孔機が転倒水没するなど、現場では幾多の辛酸をなめた。したがって、これらの気象条件の合間を縫って、昼夜の観測を続け、いくたびかやり直しをしながら、ようやく本稿に述べたような一応の結論を得、今後の工事に対する指針を得ることができたのは、筆者にとって無上の幸福であった。これについては、今回のような試

験実施に対して許可を与えられ、激励をしていただいた上司の厚志と、困難繁煩な試験実施に堪えて現場施工にあたった日本特殊土木工業 K.K. の方々のご努力によるものと感謝に堪えない。(ちなみにこの工事は、昭和 36 年 7 月 10 日から 10 月 31 日にわたって、工事費 385 万円—災害による補償費を含む—で日本特殊土木工業 K.K. 札幌支店の請負で施工したものである。)

また現場の資料整理・解析に真剣な努力を傾けられた当課の池田達哉氏、および理論・現場施工の両面にわたって親身なご指導と示唆を賜った電力中央研究所の矢作文彌氏に対し、とくに厚い感謝をささげる次第である。

参 考 文 献

- 1) 山本莊毅著「地下水調査法」
- 2) “Earth Manual” Bureau of Reclamation, U.S.A.
- 3) 土質工学会編「土質試験法解説 (第 1 集)」
- 4) 西松建設 K.K. 「プレパクト工法におけるインテリジョン・グラウチングと伏流水との関係について」
- 5) W. P. Creager, “Engineering for Dams”, Vol. III.
- 6) 土と基礎, Vol. 5, No. 2 「注水による現場透水試験の実施例」
- 7) 土と基礎, Vol. 6, No. 1 「和田サドルの透水試験について」