



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	アースダムの漏水について
Author(s)	権平, 昌司; GONDAIRA, Shoji; 山本, 茂 他
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 3(2), 252-274
Issue Date	1959-06-15
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/11691">https://hdl.handle.net/2115/11691</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	3(2)_p252-274.pdf



# アースダムの漏水について

権平昌司\*・山本茂\*  
堂腰純\*\*

## On the Seepage of Earth Dam

By

Shōji GONDAIRA, Shigeru YAMAMOTO and Jun DŌKOSHI

### §1 緒言

アースダムに於ては堤体の下流側に当然浸透流が存在し地表に著しく地下水の流出を見る場合と然らざる場合とがある。然し水だけが透水する場合には殆ど問題が起らないが浸透流と共に堤体を構成している土粒子が移動する場合には崩壊の危険性があり、土質とこれに関連して浸透流の流速が問題である。而も浸透流の流速が大なるに従つて層流域より乱流域に遷移し、従つて土粒子はその為に運動を開始し、極く微細な土粒子から漸次失われ、大きな粒子に迄その影響が及び堤体に危険が及ぶことになる。老朽ダムの漏水は長い年月の間にこの様な状態が著しく進んだ状態であり、堤体自身に対する危険性及び嵩上工事を実施した場合には危険性が予想され漏水調査もこの流速及び“水みち”の追跡にある。

本調査を実施した忠烈布アースダムは聞く所によれば築設した当初から漏水があつたのでその当初においては関係者にとつては一抹の不安が無くもなかつたようであるが長い観察によれば貯水池水位に応じて多少の変化があつてもその変化には一定の限度があり築造後幾年経過しても漏水量が漸増するということがないことと、その洩水が極めて清澄なるものであつて堤体盛土中における所謂パイピング現象的なものではないことのためにそのまま現時に至つたものであるが、新たに新規開田、補水等の目的でダムの嵩上げ工事を施工することになつたのでこの洩水が如何なる性質のものかを解明することが改めて必要なる問題にな

つたのであるが、先ず現在の湧水箇所の位置や水量から見て一応疑が持たれたことは底樋側壁外側とダム盛上部分の境界に沿つて洩水の所謂“水みち”が存在するのではなからうかということが先ず第一の問題であつた。若しこの洩水の様相が明確になればこれに対処する洩水防止または逕減工法が合理的に考案せられる筈である。若し地山そのものが多孔質で透水性の強いものである場合にはダムの嵩上げによる直接の危険度はダム自身に欠陥がある場合に比べて遙かにその程度は低いものと考えられる。

しかし孰れにせよ何んと言つてもこれらの事柄は地下の調査に属する問題なので完全なる解明は困難であるので限られた範囲に問題を限定して調査をすることにした。

従来より行われて来た漏水調査の方法と共に次の列挙する方法が考えられる。

- (1) 色素を用いる方法
- (2) 放射性アイソトープを利用する方法
- (3) 電解液を注入、漏水の電気伝導を利用する方法
- (4) 塩水を注入、定量分析による方法
- (5) ピエゾメーターを利用する方法

今回はこのうちより(3)、(4)、(5)の方法によつて測定を行つた。これ等の得失について述べると“水みち”と思われる所の上流側に適當間隔のボーリングを行い、これに色素法に於ては螢光染料の如き色素(フロレッシェン)、アイソトープ法に於ては水溶性の放射性アイソトープ<sup>32</sup>P、電解液法に於ては塩水等を注ぎ下流側に於て目視又は測定器によつて検出する。漏水の状態を把握する為のこれ等の方法は夫々一長一短

\* 北海道大学農学部農業土木教室

\*\* 北海道大学農学部農業物理第二教室

を有している。即ち色素法に於ては主観性に頼り濃度を定量的に求めることが容易でなく、あまり稀釈される状態では利用出来ないが簡易試験法としてはすぐれている。塩水注入を行つて硝酸銀液で着色状態を見るのもこの部に属す。アイソトープ法は放射能による危害及びトレーサー等の測定器が高価である。然しこれから開拓する分野である。電解液法は色素法と同様の事が云われるが流下した水の電気伝導度乃至電気抵抗の測定を行えばよく比較的簡単であり、定量的にも求められ高感度の測定器も容易に製作され、濃度が高くない場合でも検出が容易である。

然し貯水池からの漏水に電解質分を多く含んでいたり、水温変化が激しい場合には不適當である。定量分析による方法としては投入塩水を下流側で採水塩素量の定量分析を行つて検出する方法がある。ピエゾメーター法は後述の如く、堤体の透水係数及等ポテンシャル線が得られ流れの状態を判断することが出来るが、固い地質の場合測定器設置に困難さがある。

調査地点は北海道上川郡風蓮町忠烈布アースダムである。又ダムは貯水状態にしておき昭和32年11月11日より11日間にわたつてこのダムの漏水調査を実施した。

注意……本法は一応水みちの追跡を現場内に於て相対的に比較する為に行つたもので他地点の土質の異なる場所との比較に対しては多少厳密性を欠く憾がある。その場合には方法及び試験材料寸法、濃度、注入量等を一定にする必要がある。

§2 現況及び調査計画

忠烈布アースダムは北海道天塩川水系、チューレップ川忠烈布に昭和4年着工昭和6年完成したものである。このダムはかんがいのみを目的として築造されたものである。諸元を第1表に示す。

地質は母岩が石英粗面岩質凝灰岩で泥岩がその中にレンズ状に入っている。従つて地山は比較的透水性である。

次に漏水地点及びその附近の平面図を第1図に示す。

(1) 漏水状態……堤体の最下部に設けられた底樋は斜樋からの水を水路迄導いているが、底樋の末端部に於て底樋の左岸寄の外側に著しい漏水が見られた。この水はどの様な“水みち”をたどつて来たものだろうか。嵩上げをした場合に危険性がないだろうかと云うことが問題であつた。その原因として推定される

第1表 諸元

忠烈布アースダム

型 式	アースダム(中心刃金式)
集水面積	2,250 ヘクタール
堤 高	12.10 m
堤 長	310 m
堤 頂 幅	4.30 m
勾 配 (内矩)	1 : 2.5
〃 (外矩)	1 : 2.2
堤 体 積	約 100,000 m <sup>3</sup>
総貯水量	1,758,180 m <sup>3</sup>
有効貯水量	1,598,000 m <sup>3</sup>
洪水量	113 m <sup>3</sup> /sec
取水量 (最大)	0.684 m <sup>3</sup> /sec
受益面積	365 町歩

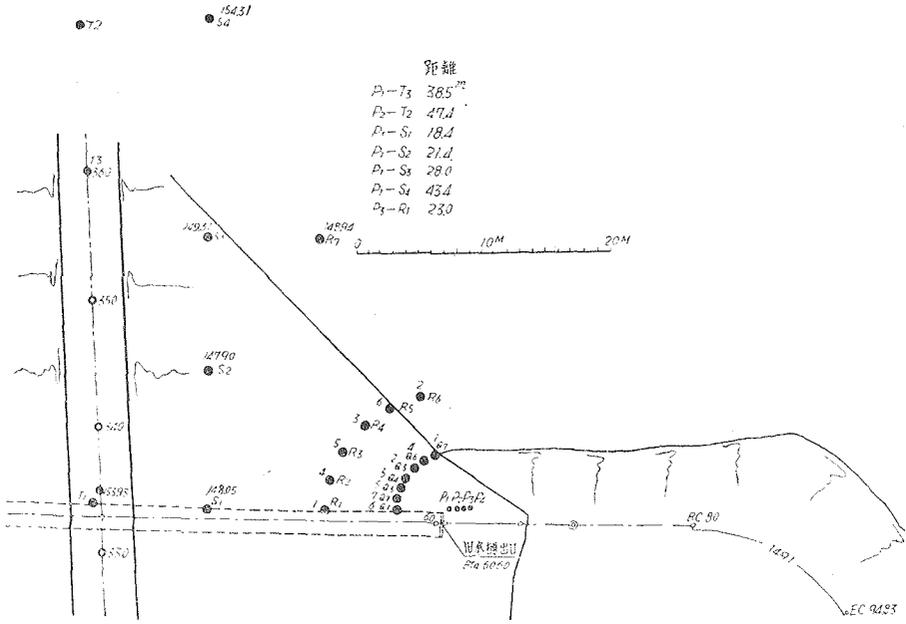
ことは底樋のコンクリートは堤体とは異質である為境界面に於て漏水が行われているのではないか。然らざる場合は地形的に考えて左岸地山からの集水されたものでないか。と云うことが考えられる。地表水となつてあらわれている場所は底樋の延長方向左岸寄りに数カ所あり、夫々を底樋末端に近いものより P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>2A</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub> 等とした (第2図)。

第2表 漏水量 (地表水となつて測定出来た分)

昭和32年11月18日	
測 点	漏水量 1/s
P <sub>1</sub>	0.6
P <sub>2</sub>	1.2
P <sub>2A</sub>	0.3
P <sub>3</sub>	0.7
P <sub>4</sub>	1.4
漏水集水渠水量	10.0

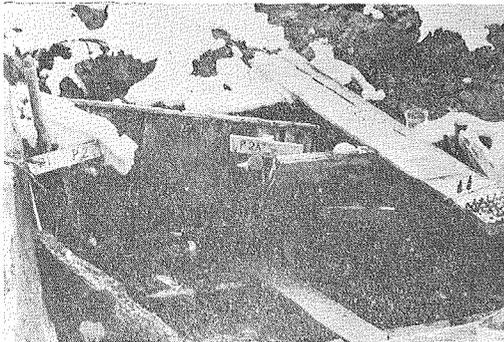
底樋周辺の等高線を第17図に示す。地形的な勾配が底樋の末端に向つている。又底樋を含んだ垂直断面を第18図に示す。又地下水位の等位線図を Q 列, R 列より求めこの結果を第19図に示す。

(2) 調査計画……地表にあらわれた水の水みちを追跡する為、漏水地点 P より地下水の上流側に略々等距離の半円を画き、その円周上に於て等間隔に測点を定める。これを Q 列とし、Q<sub>i</sub> より略々 1 m 毎に Q<sub>7</sub>迄直径 56 m/m のボーリングを地下水面下約 25

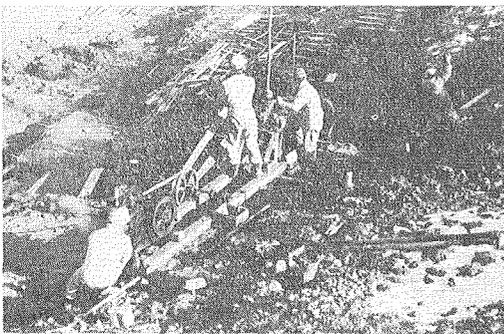


第 1 図 忠烈布アースダム塩水注入試験測点図

cm の深度になる様に行う (第 3 図)。ボーリング地点には同径の鉄管で先端はそのままの開管の状態にする。Q 列注入塩水濃度を 25% とし注入量は 4kg、距離がはなれるに従って注入量は近似的に [距離]<sup>2</sup> に比例する如くする。Q 列の各測点に順次塩水注入を行い“水みち”の方向が決定されたならば更にその方向上流について塩水試験を行い追跡して源流に到達させる。この様な方針のもとに Q 列, R 列, S 列,



第 2 図 漏水湧出点 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>2A</sub>, 及び P<sub>3</sub>



第 3 図 ボーリング作業



第 4 図 ピエゾメーターを電探水位計で測定中

T 列について塩水注入を行つて P 点に於て塩分の検出を行つた。ピエゾメーターは主に底樋沿 (a), (b), (c) 列に設置した (第 4 図)。

**塩分検出方法**

- (1) 高感度電気塩分検出計 (塩分検出感度; 0.001%)
- (2) 硝酸銀溶液による塩素量定量分析
- (3) 硝酸銀溶液による着色試験法

**第 3 表 測 点 距 離 単 位 m**

	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>2A</sub>	P <sub>3</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>4</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>6</sub>	Q <sub>7</sub>
P <sub>1</sub>											
P <sub>2</sub>	0.70										
P <sub>2A</sub>	1.05										
P <sub>3</sub>	1.70										
P <sub>4</sub>	7.90										
P <sub>5</sub>	12.20										
Q <sub>1</sub>	3.40	4.10	4.45	5.10							
Q <sub>2</sub>	3.40	4.10	4.45	5.10	1.0						
Q <sub>3</sub>	3.65	4.25	4.58	5.15		1.0					
Q <sub>4</sub>	4.00	4.50	4.70	5.25			1.0				
Q <sub>5</sub>	4.35	4.75	4.95	5.40				1.0			
Q <sub>6</sub>	4.85	5.10	5.25	5.60					1.0		
Q <sub>7</sub>	5.35	5.50	5.65	5.90						1.0	
R <sub>1</sub>	8.50	9.20	9.55	10.20	5.10	5.35	5.85				
R <sub>2</sub>	8.60	9.30	9.65	10.25	5.35	5.15	5.25	5.60	6.25		
R <sub>3</sub>	8.70	9.30	9.65	10.15	5.95	5.40	5.05	4.95	5.25	5.70	6.35
R <sub>4</sub>	8.85	9.30	9.60	10.05	7.85	6.05	5.30	4.85	4.65	4.70	5.10
R <sub>5</sub>	9.05	9.40	9.65	9.95		7.00	6.10	5.30	4.70	4.30	4.20
R <sub>6</sub>	9.30	9.45	9.55	9.70			7.15	6.20	5.30	4.55	3.90
R <sub>7</sub>				23.00							
S <sub>1</sub>	17.86	18.56	18.91	19.56							
S <sub>2</sub>	21.40										
S <sub>3</sub>	28.00										
S <sub>4</sub>	43.40										
T <sub>1</sub>	26.66	27.36	27.71	28.36							
T <sub>2</sub>	47.40										
T <sub>3</sub>	38.50										

**§3 塩水法による測定方法**

塩分の検出方法として用いられるものを列挙すると

- (1) 硝酸銀溶液を用いた化学的方法
  - (A) 硝酸銀水溶液の白濁着色による方法
  - (B) 塩素量の定量分析より求める方法
- (2) 塩水の電気伝導乃至電気抵抗を測定する方法がある。今回の調査に於ては (1) (A) の方法によつて予察を行い (2) の方法によつて時間的連続観測を実施し、(1) (B) によつて濃度の定量分析を行つて稀釈度の算定を行つた。

**(1) (A) 硝酸銀水溶液の白濁着色による方法**

この方法は (1) (B) の定量分析の際に使用する硝酸銀水溶液約 5 cc を 50 cc の薬瓶に入れこれに P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>2A</sub>, 及び P<sub>3</sub> の水を受け白濁の程度により水みち方向及び測定時間の予察を行う。

**(1) (B) 硝酸銀滴定による塩素量の定量分析**

塩素量の定量に用いられる方法でクヌードセン式海水ビュレット及びピペットを用いると塩素量を直接目盛で % として読みとることが出来便利である。

用意すべき器具

クヌードセン式海水ビネレット	1 本
同上ビネレット	1 本
平底蒸発皿及び攪拌棒 (ガラス)	各1ケ
滴瓶	1 ケ
1 立着色瓶	1 ケ
硝酸銀	若干
クロム硫酸	若干
重クロム酸カリ	若干
コム管	若干

硝酸銀溶液……1000 cc の蒸溜水に硝酸銀  $\text{AgNO}_3$  37.06 gr を溶解させ 1 立着色瓶に入れる。

指示薬……100 cc の蒸溜水に 8gr のクロム硫酸を溶解せしめ滴瓶に入れる。

操作法は省略 (参照 海洋観測法指針)

塩素量  $\text{Cl}\%$  と塩分量  $S\%$  との間にはクヌードセンにより次の式で与えられる。

$$S = 0.030 + 1.8050 \text{Cl}$$

(2) 電気伝導による塩分計

塩水は強電解質溶液である為、分極作用を有し直流法によつては指度の変化があり交流法によつて測定するのが好ましい。然し概略の性質を知る方便としては抵抗値の高い範囲内に於ては直流によつて例えばテスター等によつて知ること出来る。今回は微量の塩分を含んだ水が流下した場合にも検出することの出来る様な高感度の塩分検出計を試作し漏水調査に使用した (第5図)。

交流法によるコールラウシュブリッジの原理を第7図に示す。

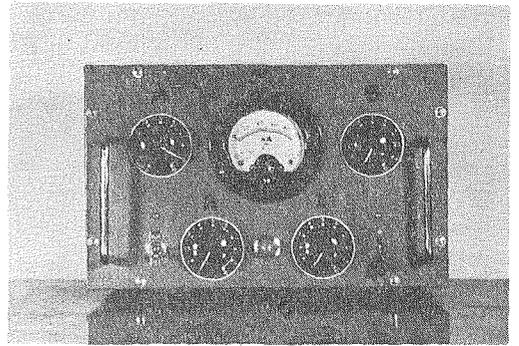
この回路はコールラウシュブリッジと云われるもので電極間のインピーダンス (抵抗に相当) を  $X$  とすると A.C. のプザーによつて生じた交番電圧  $E$  は A B の摺動抵抗に加えられ、D 点を摺動させることによつて次の関係が成立した場合に T (レシーバー) にて消音点が検出される。

$$X = P \frac{R}{Q} \quad (1)$$

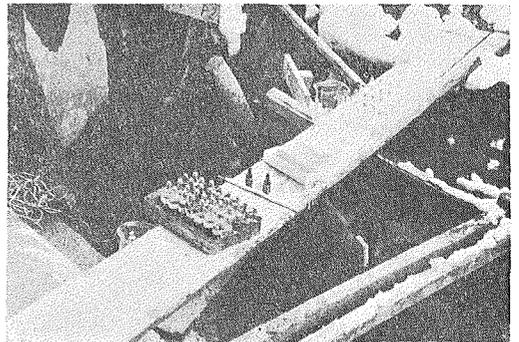
今塩分を含んだ水が電極に接すると抵抗値が変化し、 $X \rightarrow X + \Delta X$  となる。T の抵抗が他の抵抗に比し大なるものを使用すると CD 間の電圧変化  $\Delta e$  は次式で表わされる。

$$\Delta e = \frac{E \Delta X}{(X + P)(X + P + \Delta X)}$$

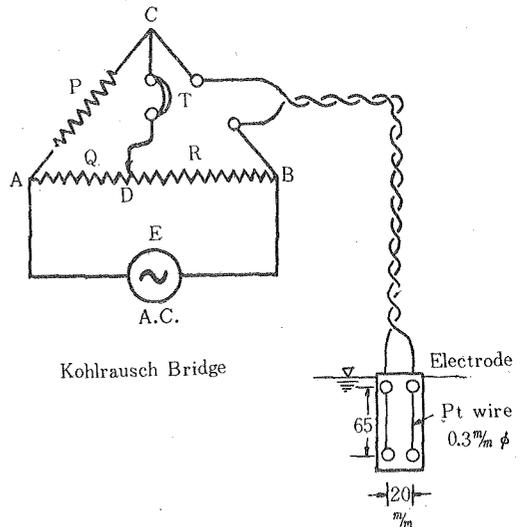
従つて  $\Delta e$  を増幅することによつて流下した塩分を検



第5図 電気塩分検出計



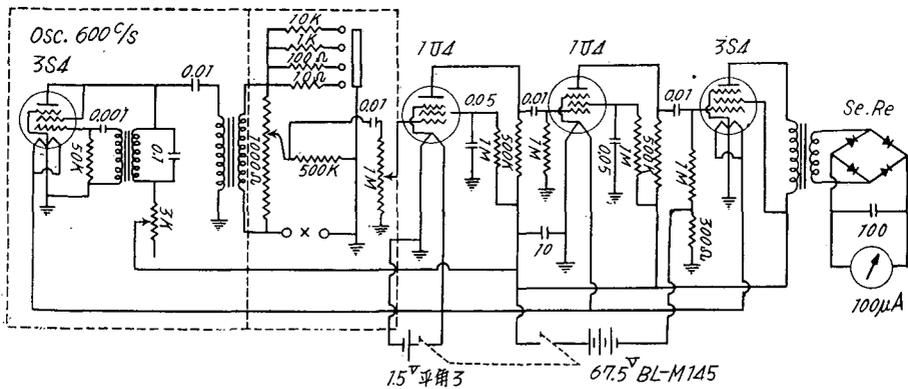
第6図 採水瓶及び電極設置状況



第7図 測定電極及び電気抵抗測定原理図

出することが出来る。増幅率を決めた場合には検定曲線を用いて濃度を直接求めることも出来る。

実際に使用した塩分検出計の回路は第8図に示した



第8図 漏水調査用 電気伝導測定器（塩分検出計）塩前検出感度 0.001%

通りで真空管 3S 4S.F. で正弦波の発振を行い、これをブリッジに接続し 1U 4S.F.X2 及び 3S 4S.F. で3段増幅を行い最後に整流してマイクロアンメーターに接続する。電極間電気抵抗  $X$  はブリッジで(1)式の平衡条件を満足している時はメーター指示は零であるが塩水により電気抵抗が変化すると直ちにメーターに振れとなつてあらわれ塩分を検知することが出来る。

電極はペークライト板に 0.3 m/m  $\phi$  の白金線を長さ 6.5 cm で 2 cm の距離を隔てて平行にビスナットで固着する。白金線以外の部分はデコチン等の封蠟にて被覆する（第7図）。

電極はビニール平行線に接続され計器迄導かれる。

又漏水点に電極が浸る程度の適当な深さにペークライト板を固定する。

#### §4 Q 列測定結果

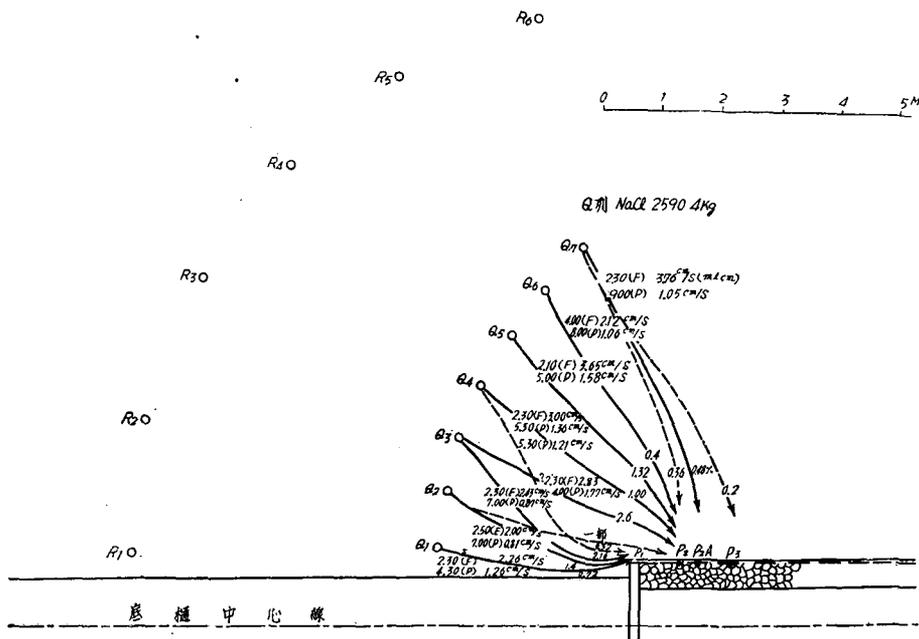
Q 列については  $Q_1$  より  $Q_4$  までは  $P_1$  に塩水が検出せられ、この附近の地形及び地下水の動水勾配より考察してみても流速は底樋に向う分力を有することが判明し、流出濃度からみると底樋周辺部分が他に比して特に稀釈されているとは認め難い。従つて P-Q 列間に於ける漏水状態は略々一様で方向による差はあまり認められないが、 $Q_7$  の地山に近い左岸寄が比較的大きくなつているのは地山が非常に透水性のものであると考えられる。今漏水について若干の考察を試みよ

第 4 表

塩水濃度; 25% 注入量; 4 kg P 点標高; 146.50 M 1957 年 11 月 16 日

時刻	測点	流出点	稀釈濃度 (%)	到達時間		平均実速度 (cm/s)		地下水位 (M)	$h$ (cm)	$L$ (cm)	パーコレーション係数 $k_p$	漏水順位
				Front	Peak	Front $v_0$	Peak					
h m 10.15	$Q_1$	$P_1$	0.072	m s 2.30	m s 4.30	2.26	1.26	147.913	141.3	340	5.44	6
10.16	$Q_2$	$P_1$ $P_2$	0.14 微	2.50	7.00	2.00	0.81	147.933	143.3	340	4.74	7
10.18	$Q_3$	$P_1$ $P_2$	0.216 0.26	2.30	7.00	2.43	0.87	147.915	141.5	425	7.30	5
10.20	$Q_4$	$P_1$ $P_2$	0.032 0.100	2.30	5.30	3.00	1.36	147.905	140.5	450	9.60	3
10.21	$Q_5$	$P_2$	0.132	2.10	1.58	3.65	1.58	147.946	144.6	475	12.00	2
10.23	$Q_6$	$P_2$	0.04	4.00	8.00	2.12	1.06	147.963	146.3	510	750	4
10.24	$Q_7$	$P_2$ $P_{2A}$ $P_3$	0.036 0.048 0.020	2.30	9.00	3.76	1.05	147.873	137.3	565	15.50	1

平均 7.76



第9図 忠烈布アースダム漏水調査 Q列塩水注入試験

う。

§5 パーコレーション係数 (漏水係数) について

今地下水流の実流速を  $v_0$ , Darcy の法則による断面平均流速を  $v$  とし, 有効間隙率を  $\lambda$  とすると次の関係が成立する。

$$v_0 = \frac{v}{\lambda}, \quad v = kI \quad (2)$$

従つて P-Q 間の距離を  $L$ , 水頭差を  $h$ , 塩水を投入した時より流出迄の時間を  $T$  とすれば (第 10 図) 透水係数  $k$  は

$$k = \lambda \frac{L^2}{hT} = \lambda v_0 \frac{L}{h} \quad (3)$$

としてあらわされる。従つて

$$\frac{k}{\lambda} = \frac{v_0 L}{h} = \frac{v_0}{I} \quad (4)$$

透水係数  $k$  と間隙率  $\lambda$ の間には Kozeny の研究がある (第 11 図)。

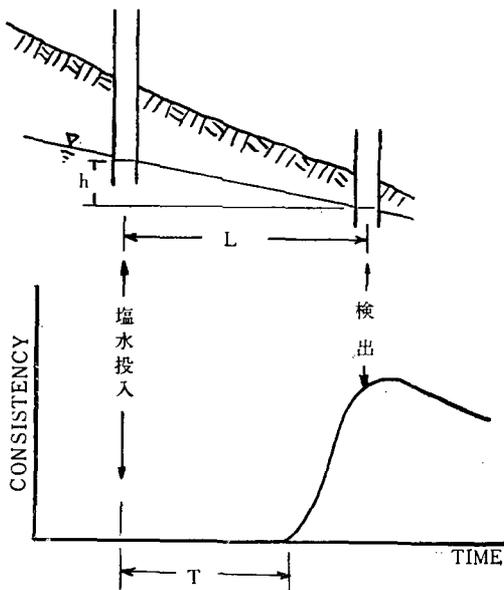
$$k = \frac{\rho c}{36 \mu} \frac{\lambda^3}{(1-\lambda)^2} d^2 \quad (5)$$

但し  $\rho$ ; 水の比重,  $\mu$ ; 粘性係数,  $d$ ; 平均粒径,  $c$ ; 係数

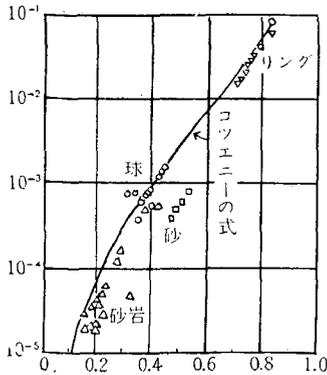
第 5 式によると

$$\frac{k}{\lambda} = \frac{\rho c}{36 \mu} \left( \frac{1}{1-\lambda} - 1 \right)^2 d^2$$

即ち間隙率が大きくなると  $\frac{k}{\lambda}$  の値は  $\left( \frac{1}{1-\lambda} - 1 \right)^2$  に



第 10 図 塩水投入と検出



第 11 図 透水係数と間隙率との関係

比例して大きくなる。又平均粒径  $d$  の自乗にも比例し、 $\frac{k}{\lambda}$  の値は大きい程漏水の程度の著しい事を意味する。

$$k_p \equiv \frac{k}{\lambda} \quad (6)$$

$k_p$ ; Coeff of percolation cm/sec

とおくと  $k_p$  の値を比較することによつて漏水の程度を知る目安とすることが出来る。

(4), (6) より

$$k_p = \frac{v_0}{I} \quad (7)$$

現地に於ける間隙率の測定は一般に困難であり、又透水係数の測定を行わずに実流速と動水勾配より漏水の状態を推定することが出来る。

これによると  $Q_1 \sim P_2$  間に於けるパーコレーション

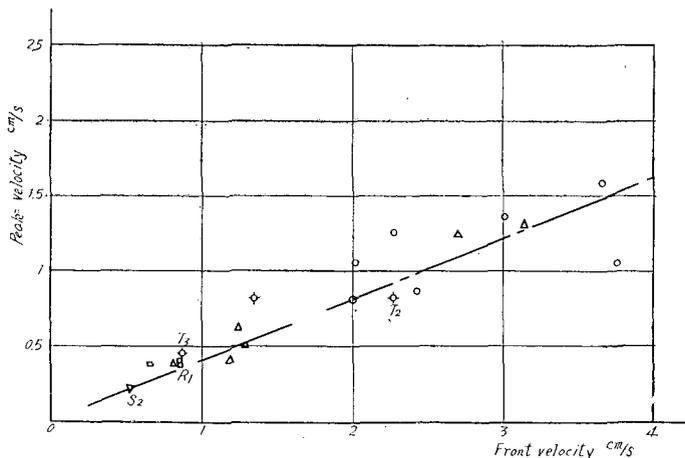
係数が最も大きく最も小さい  $Q_2 \sim P_1$  のそれに比し約 3 倍となつている。漏水の傾向を推察すると左岸地山の漏水が激しいと云うことが云われる。又平均実速度に於て Front と Peak の間には略々直線的な関係があり何れを用いてもパーコレーション係数の性質を左右するものではない(第 12 図)。

$$v_p = 0.4 v_f$$

然し  $v_0$  として Front を用いるか Peak を用いるか更に研究を進める

### § 6 R 列測定結果

R 列の観測結果によると  $Q_1 \sim P_1$  間の漏水状態が著しい結果を示している。即ちこの部分に於ては底樋に沿う流れの存在を示している。この結果は  $S_1$  の観測結果と考慮しなければならぬが  $S_1$  と  $Q_1$  との間に於て左岸より集水が底樋に沿うて流下していることを示しているものと考えられる。このことは第 14 図からもうかがわれる。即ち一般的性質として流出の平均実速度が大きい場合には流水塩水濃度も大きい性質があり、之は速度が大きいと塩水の拡散現象も比較的少ないことを意味するものと思われる。第 14 図 (II) (III) に於ては底樋より離れた部分についてはこのことが裏付けられるが底樋に近づいて  $P_1$  に流出した分について考察すると、流出平均実速度が大きい場合には逆に濃度が低下している。この事実は漏水の大きな箇所には塩水の稀釈される割合が大きく而も平均実速度が大きい。即ち  $P_1$  点に流出している水は底樋の部分に於て集水されて流下している流れの存在を裏

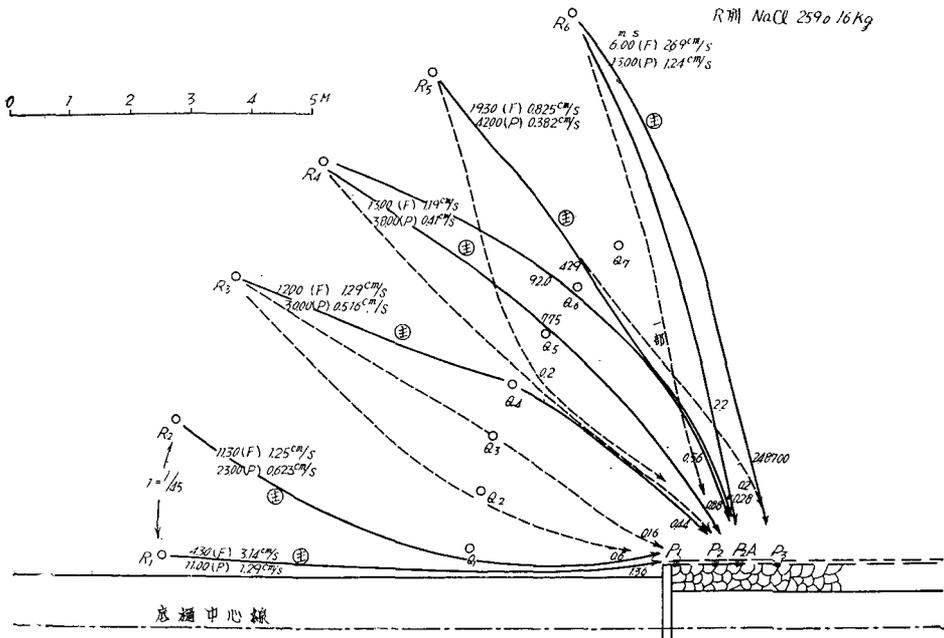


第 12 図 到達初期速度と最高濃度到達速度との関係

第 5 表

塩水濃度; 25% 注入量; 16kg

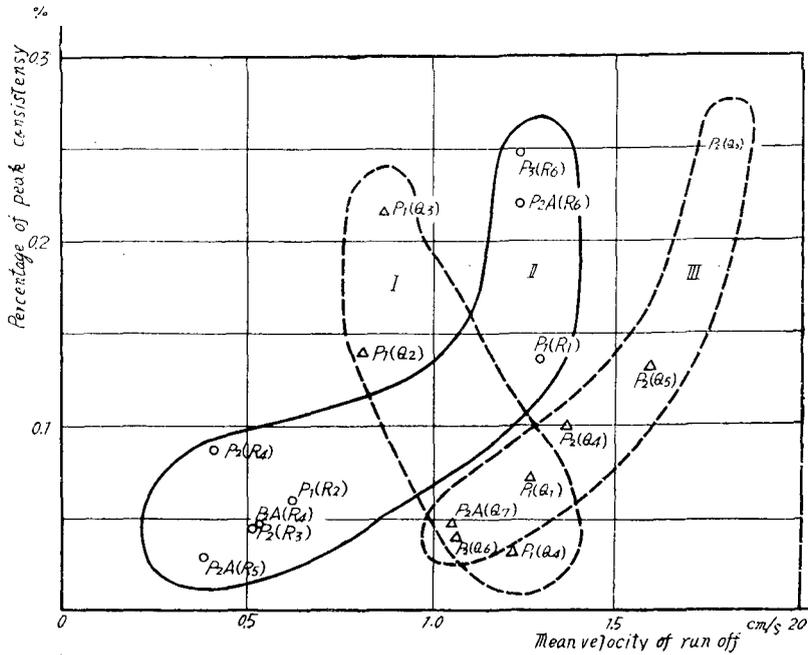
時刻	測点	流出点	稀釈濃度 (%)	到達時間		平均実速度 (cm/sec)		地下水位 (M)	h(cm)	L(cm)	パーコレーション係数 $k_p$ (cm/sec)	漏水順位
				Front	Peak	Front $v_0$	Peak					
19日 h m 8.51	R <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	0.136	m s 4.30	m s 11.00	3.14	1.29	147.961	146.1	850	18.28	1
8.54	R <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	0.06	11.30	23.00	1.25	0.623	148.027	152.7	860	7.04	4
8.57	R <sub>3</sub>	P <sub>1</sub> P <sub>2</sub>	0.016 0.044	12.00	30.00	1.29	0.516	148.250	175.0	930	6.85	5
9.00	R <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> P <sub>2A</sub> P <sub>3</sub>	0.088 0.056	13.00	38.00	1.19	0.41	148.035	153.5	930	7.22	3
9.03	R <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> P <sub>2A</sub> P <sub>3</sub>	微 微	19.30	42.00	0.825	0.382	148.735	223.5	965	3.57	6
9.12	R <sub>6</sub>	P <sub>2</sub> P <sub>2A</sub> P <sub>3</sub>	微 微	6.00	13.00	2.69	1.24	148.177	167.5	970	15.58	2
12月14日	R <sub>7</sub>	P <sub>2</sub>		59.00	100.00	0.650	0.383	R <sub>2</sub> ~R <sub>1</sub> 間の動水勾配 1/25, 平均 6.17				
12月14日	R <sub>8</sub>	P <sub>2A</sub> P <sub>3</sub>		45.00 45.00	100.00 93.00	0.852 0.852	0.384 0.412					



第 13 図 忠烈在アースダム漏水調査 R 列塩水注入試験

付けるものと思われる。次に左岸地山の漏水が大きくなっている。Q 列の観測結果と比較するとき Q<sub>7</sub> 及び R<sub>6</sub> は地山部分に属し、漏水係数も夫々 15.50 と

15.58 で近似して居り、略々同程度の漏水と考えられる。



第 14 図 忠烈布アースダム漏水調査，平均流出速度と流出塩水濃度との関係  
 $P_1$  に流出，底樋周辺で集水されるから  $Q_1$  に近いほど希釈される

§7. S 列測定結果

$S_1$  に塩水注入の結果は  $R_1$   $Q_1$   $P_1$  共に数時間以上の経過を見るも塩水は検出されず，この部分の底樋附近に於ける流れは存在しないと考えられる。 $S_2$  は  $P_1$

にのみ塩水の検出を見  $S_1$  と  $Q_1$  の間に於て底樋の方に地下水流があるものと考えられる。 $S_3$   $S_4$  については観測の手違いで濃度が不明となり解析することが出来なかつた。

第 6 表

塩水濃度； 25 %： 注入量； 32 kg

月 日	測 点	流出点	濃 度 (%)	到達時間		平均速度 (cm/s)		備 考
				Front	Peak	Front	Peak	
11 月 26 日	$S_1$	流出なし						
12 月 7 日	$S_2$	$P_1$		68.00	170.00	0.525	0.210	
11 月 28 日	$S_3$	$P_1$ $P_2$	大 小					観測手違い濃度不明
11 月 30 日	$S_4$							不明，検討要す

§8 T 列測定結果

$T_1$  に対して塩水注入した結果は  $S_1$   $R_1$   $Q_1$   $P_1$  共に反応を見ず  $S_1$  の結果と照合すると  $T_1$ - $S_1$  間に於ては少なくとも底樋に沿う流れは殆ど無視することが出

来る。 $T_3$  は  $P_1$  にのみ塩水の検出を見，これは  $S_2$  同様殆ど底樋の方向に向うと見られる。 $T_2$  については  $P_1$  及び  $P_2$  に塩水の検出を見，これは地山との堤体との交線に沿う方向の流れとして考える。

第 7 表

塩水濃度; 25% 注入量; 32 kg

月 日	測 点	流出点	濃 度 (%)	到 達 時 間		平均速度 (cm/s)	
				Front	Peak	Front	Peak
11 月 21 日	T <sub>1</sub>	流出なし					
12 月 5 日	T <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>		m s 35.00	m s 95.00	m s 2.26	m s 0.832
12 月 5 日	T <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>		60.00	90.00	1.34	0.823
12 月 9 日	T <sub>3</sub>	P <sub>3</sub>		98.00	138.00	0.656	0.465

§9 流出曲線について

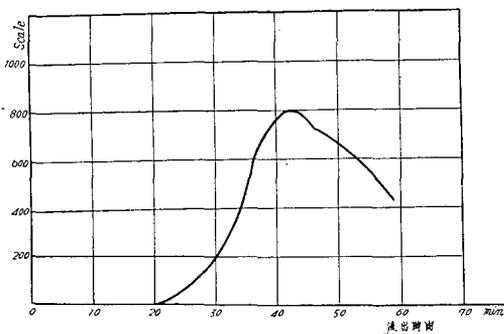
観測結果の 1 例を R<sub>5</sub>-P<sub>2</sub> (第 15 図), S<sub>2</sub>-P<sub>1</sub> (第 16 図) について説明する。第 16 図は R<sub>5</sub> について実測したもので左岸地山寄りであり, その曲線の型は河川の discharge curve と同様な型をなす。

これは塩水の拡散により時間的に, 距離的に濃度が稀釈される為である。然しこの様な形になるには地下水流に含まれて移動拡散する場合の方向が一定の場合にのみ見られる。然し底樋に近く流れる部分については流下の方向が分岐している様な場合が考えられ, 第 15 図の如き形となつてあらわれず, その 1 例として S<sub>2</sub>-P<sub>1</sub> の第 16 図をあげる。即ち P<sub>1</sub> 点に於ける濃度は一度増加してから暫く一定であり, その後急に濃度が高まつてから減少している。これは S<sub>2</sub> から底樋の周辺に沿つて P<sub>1</sub> 迄流下する場合, R<sub>1</sub> 附近は漏水が大きく流速も大きい。S<sub>2</sub> からの水が底樋によせるもののみである場合には第 1 段階の所で自然に濃度の低下を見るべきものが底樋の周辺に近づかず略々直線的に時間を要して流下した所のあまり稀釈されない濃

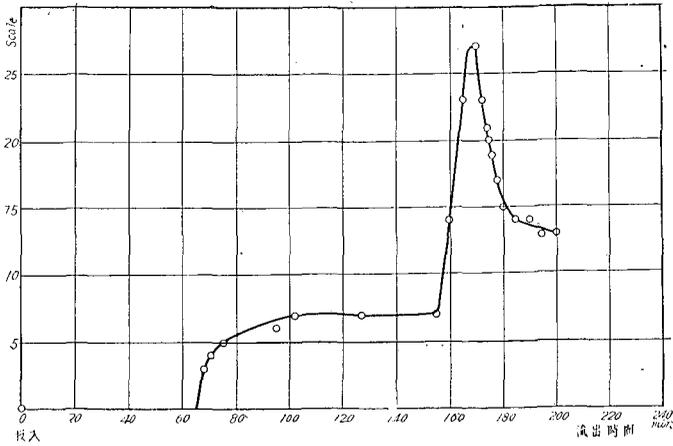
度の塩水が P<sub>1</sub> に検出されたものと考えらるべきである。即ち流出曲線の第 1 段の所は底樋で集水された速度のはやい水に稀釈されて流出された部分であると考えることが出来る。

§10 ピエゾメータによる底樋沿いの諸点における透水係数と等ポテンシャル線図

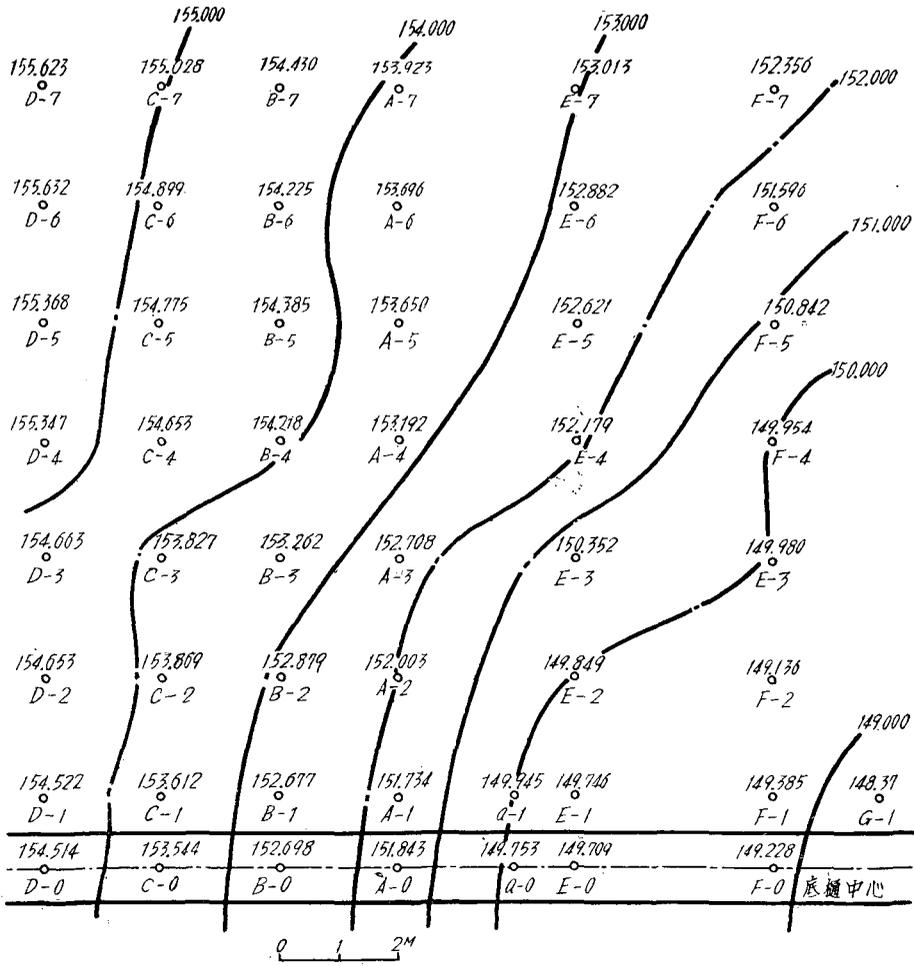
洩水の現況について言えば, 第 19 図に示したように旧設底樋末端附近に始まつて判然たる流出口を示しているものは数箇所を上つている。実際にはこのように集中した流れとならないで地下水流として地表に現われないうまに流出しているものも相当量に達するものと思われる。しかし直観によると一応既設底樋(現場打鉄筋コンクリート製矩形断面樋)の外周と堤体盛土との境においてパイピングを起して流出するものではなかろうかという疑念が誰にも一様に持たれたのであるが, このことを確認することが先ず第一の目標であるとの考えのもとに R<sub>1</sub>Q<sub>1</sub>なる側壁沿いのボーリング孔による塩水法に併せてピエゾメータによる各点の盛土の透水係数を調べると等ポテンシャル線を描いて地下水流の方向とその流量を推定するということが側面から問題を解明する手段であるという見解に立つて底樋軸方向に 3 m づつの距離に三断面をとり各断面には深さを異にして 4 本づつ, 合計 12 本のピエゾメータを設置した。その外に各断面には 1 本づつの地下自由水面観測管を入れた。各ピエゾメータの全長は 3 m から 7 m に及んだ。ピエゾメータ管は 1 m づつ継足しうろようになったもので当教室でかねがね泥炭地調査用に試作した様式のものであつてアース・ダムのように充分締められた粘土分の多い土には強度の点であまり適したものとは言えない



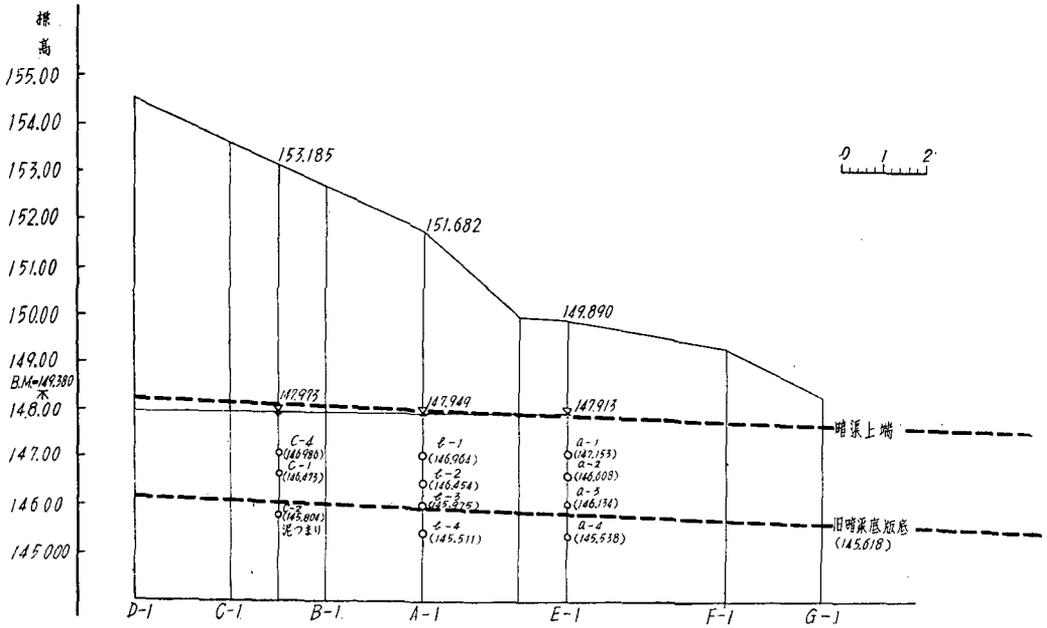
第 15 図 R<sub>5</sub> NaCl 流出試験 P<sub>2</sub> 25% 溶液 16 kg 注入



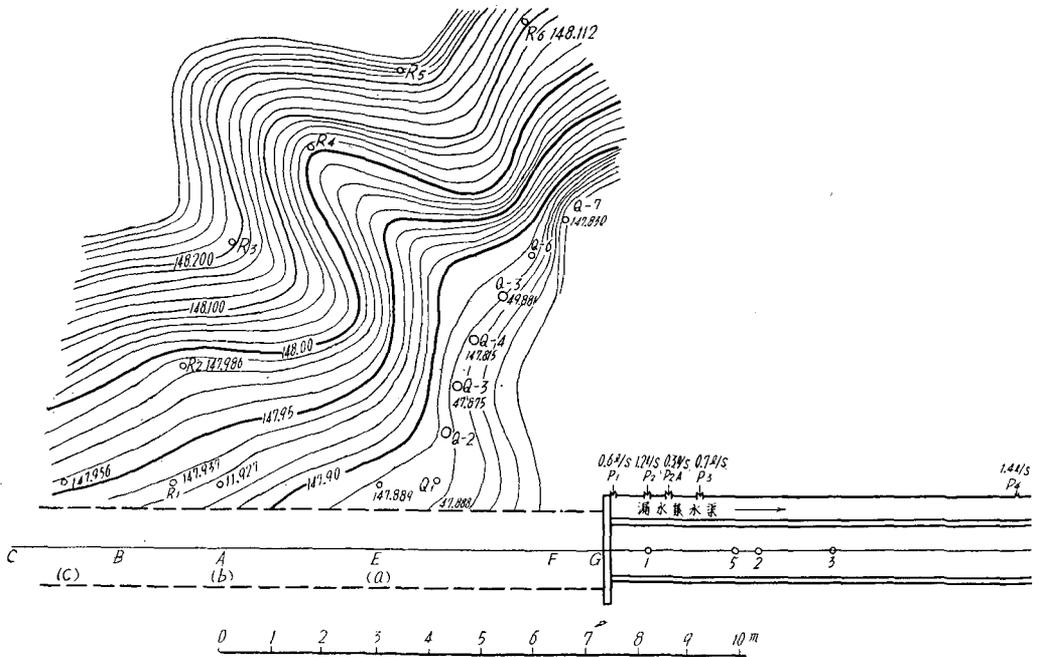
第 15 図 S<sub>2</sub> NaCl 流出試験 P<sub>1</sub> 25% 溶液



第 17 図 底樋周辺等高線図



第 18 図 底樋周辺測点縦断及地下水位 (1957. 11. 11~22)



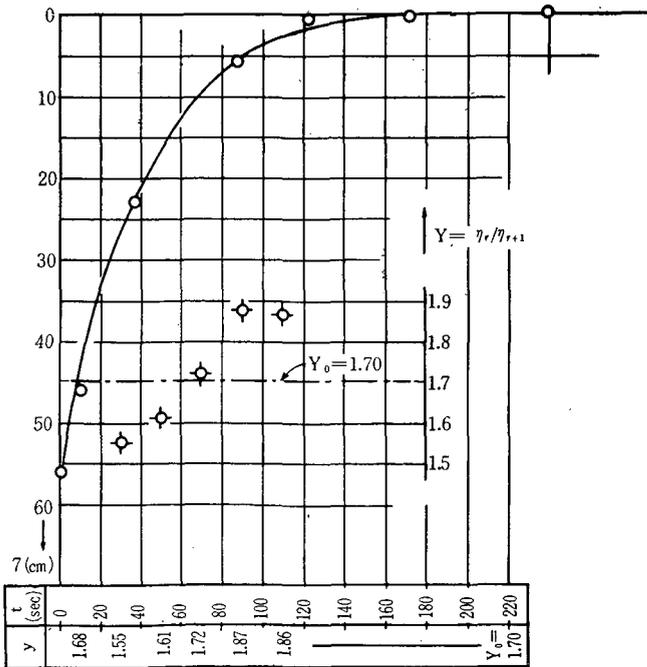
第 19 図 底樋周辺地下水等位線図

が他に代るべきものも考えられなかつたのでそのまま試みた。ところが調査箇所はダムの殻体部（雑土部）であるので地山の風化破砕礫、河川礫等を土中に含有し、到底そのままでは設置出来ないため別に特に硬く焼きを入れた鋼刃先を有する六角錐形ピットを作製しこれにピエゾメータの管径より僅かに小さい直径を有する鉄筋用丸鋼の長さ 1 m づつ順次継足し出来るようにしたものを地中進入につれて順次継足して行き、さらに特別に考案設計したスライディング・ダウン・ハンマーを用いて軟石片を破碎しつつ堤体中に打込んで所定の位置に達すれば丸太材足場に懸げられた能力 2 屯のチェーン・ブロックと数挺のパイプ・レンチを使用してこれを引抜き、直ちにピエゾメータを順次継足しつつその孔中に挿入した。このピエゾメータの先端チップは当教室で特別に考案したもので流入部の孔目が泥土でつまらないように作つてあるものである。

次に押棒を入れてこの二重式チップの内部に収めてある流入部を押し下げる。これと同時に地下水がその圧力差に応じて管内に流入し始めるから電気式水位測定器を用いて上昇してくるピエゾメータ管内の水位を測定し同時にこれに対応する時刻を野帳に記入する。このようにしてその水位の上昇速度を知つて地下の透水係数を求めた。更にこれを数日間放置すると管内水

位は不動の位置を占める。この水位は流入部（ストレーナ部分）の中心位置のポテンシャル高さを示すものであるから、これを測定することによつて等ポテンシャル線図を画くことが出来る。12 本のピエゾメータ管のうち岩石破片の圧迫等のため管壁が損傷し、孔のあいたものがあつたり泥水の流入のため観測値の不確かなものを除去した。第 20 図 (a-1) から第 26 図 (a-3) に至る 7 葉の図はこれらの結果を整理したものであり、第 27 図はこれらの結果をその測点位置に記入し一覧に供したものである。

透水係数の  $k$  が  $10^{-3}$ (cm/sec) 級のもは極微細な砂またはシルトの程度であつてダムの殻体部分の透水係数としては別に大きい値とは思われない。 $10^{-8}$ (cm/se) 級は殆んど不透水性の土壤であつて事実上不透水層と見做されるものであるがこれは恐らく硬く締つた在来地盤の部分でないかと思われる。故にこの調査箇所に限つては底樋壁に沿う“水みち”は考えられない。ただ前節で論述したように地山の傾斜につれての地下水流があるがこれらのものの一部は底樋側壁のために流下が遮まれて集積する流れとなることが底樋の最末端附近一部に生じていることは事実である。しかしこれはダムの下流面堤趾附近一部のことであり、ダム本体の安定には関係がない。この地山は石英粗面



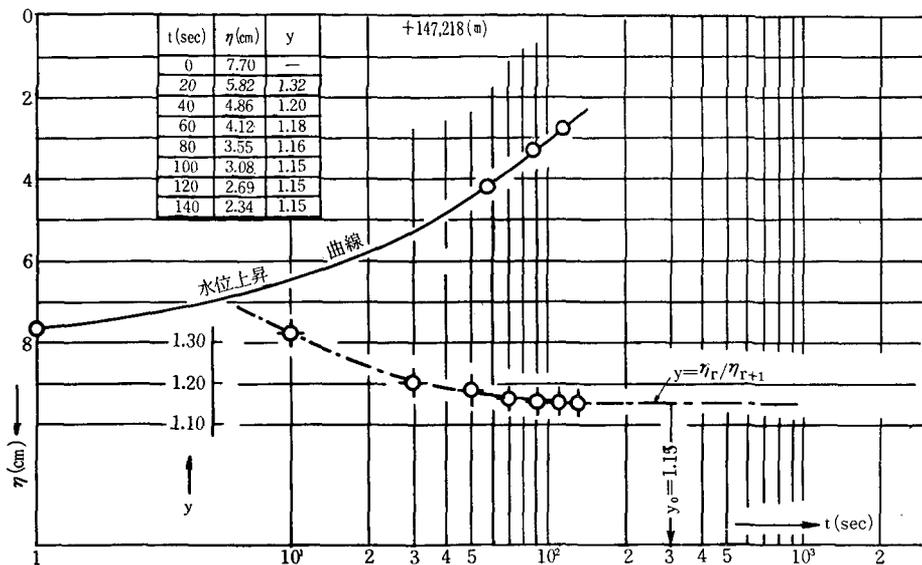
測点標高: 147.153 (m)  
 位 高: 147.922 (m)  
 管 長: 3.065 (m)  
 A = 17.45 (cm)

$$\mu = \frac{\Delta t}{2.3 \log y_0}$$

$$= \frac{20}{2.3 \times 0.23045} = 37.7 \text{ (sec)}$$

$$k = \frac{3.14 \cdot 0.85^2}{17.45 \cdot 37.7} = 3.5 \times 10^{-3} \text{ (cm/sec)}$$

第 20 図 (a-1) 名寄地区風連忠烈布アースダム漏水調査 (昭和 32. 11. 18)



測点標高: 146.134 (m)

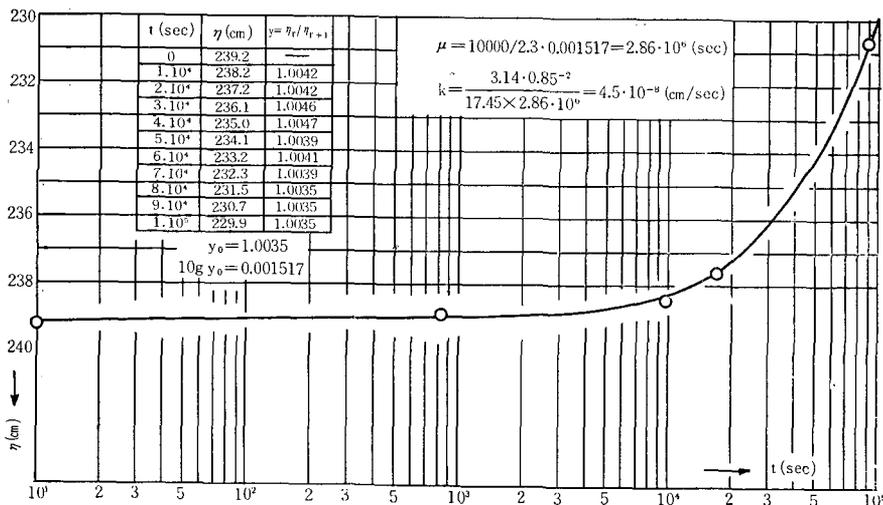
$$\mu = \frac{20}{2.3 \log 1.15} = 143 \text{ (sec)}$$

位 高: 147.218 (m)

管 長: 4.065 (m)

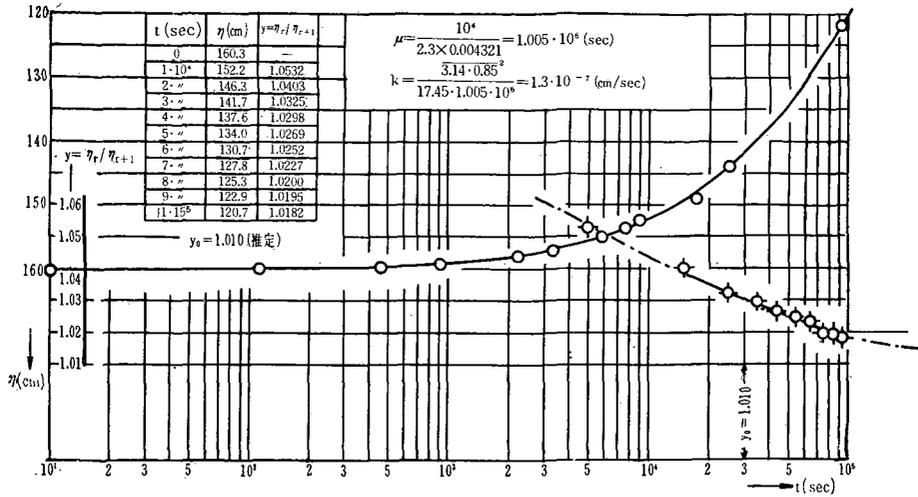
$$k = \frac{3.14 \cdot 0.85^2}{17.45 \cdot 143} = 9.1 \cdot 10^{-4} \text{ (cm/sec)}$$

第 21 図 (a-3) 名寄地区風連忠烈布アース・ダム漏水調査 (昭 32. 11. 18)



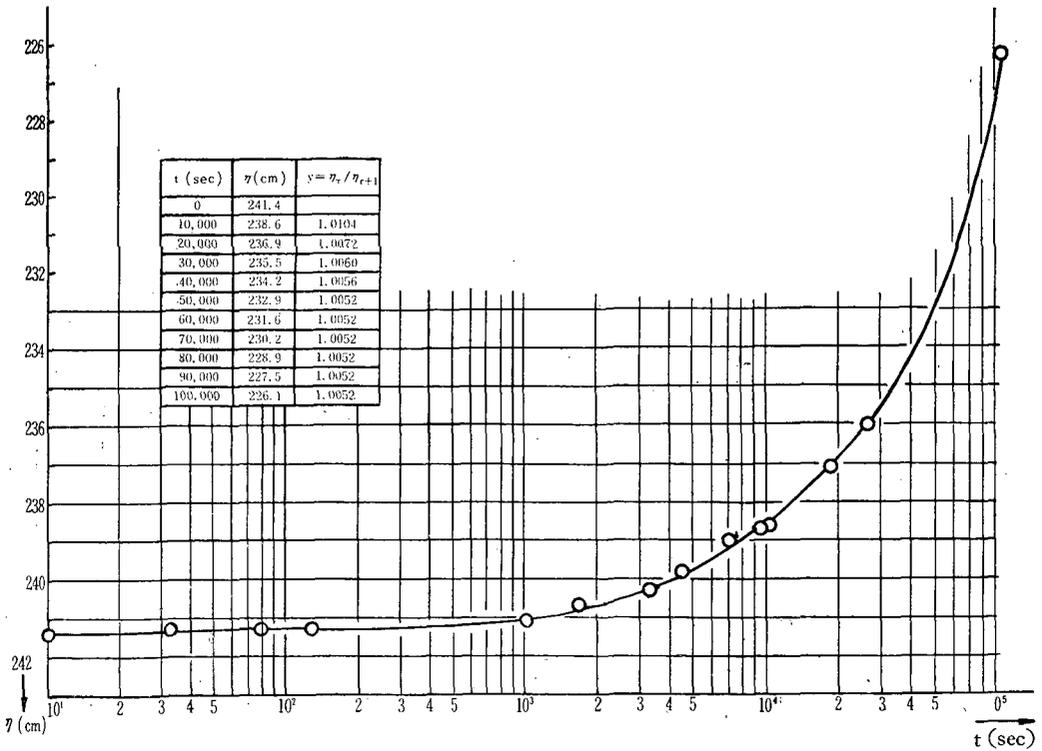
測点位置 (145.538 m) 位高 147.913 m (想定) 管長 5.065 m

第 22 図 (a-4) 名寄地区風連忠烈布アース・ダム漏水調査 (昭 32. 11. 18~19)



測点標高 (145.976 m) 位高 147.949 m 管長 6.065 m

第 23 図 (b-3) 名寄地区風連忠烈布ダム漏水調査 (昭 32. 11. 18~19)



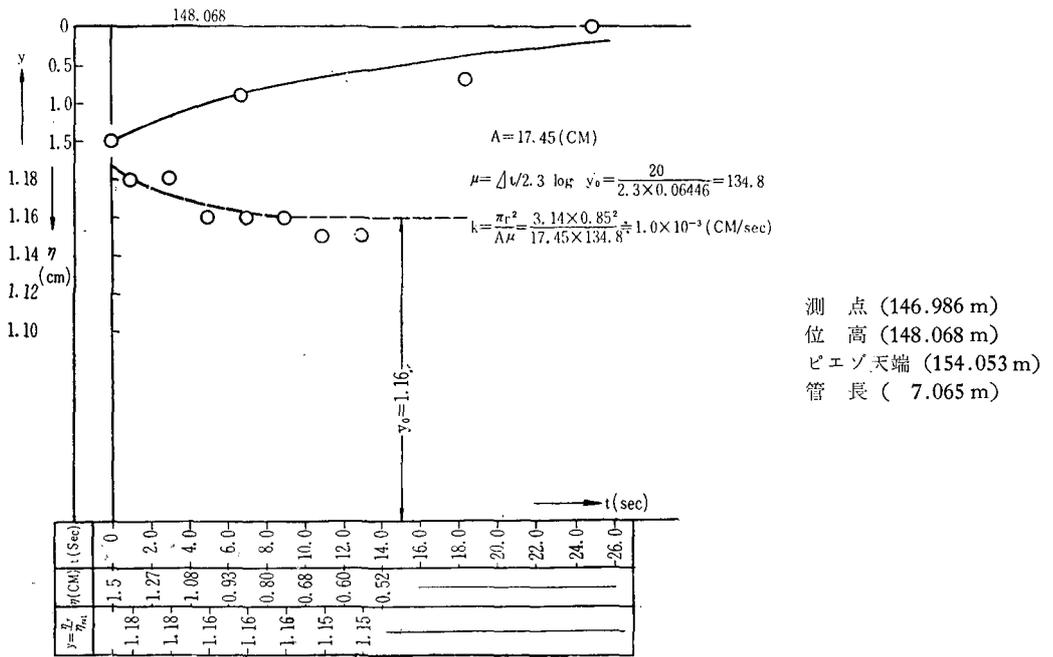
測点位置 (145.511 m) 位高 147.949 m (想定) 管長 7.065 m

$$y_0 = 1.0052$$

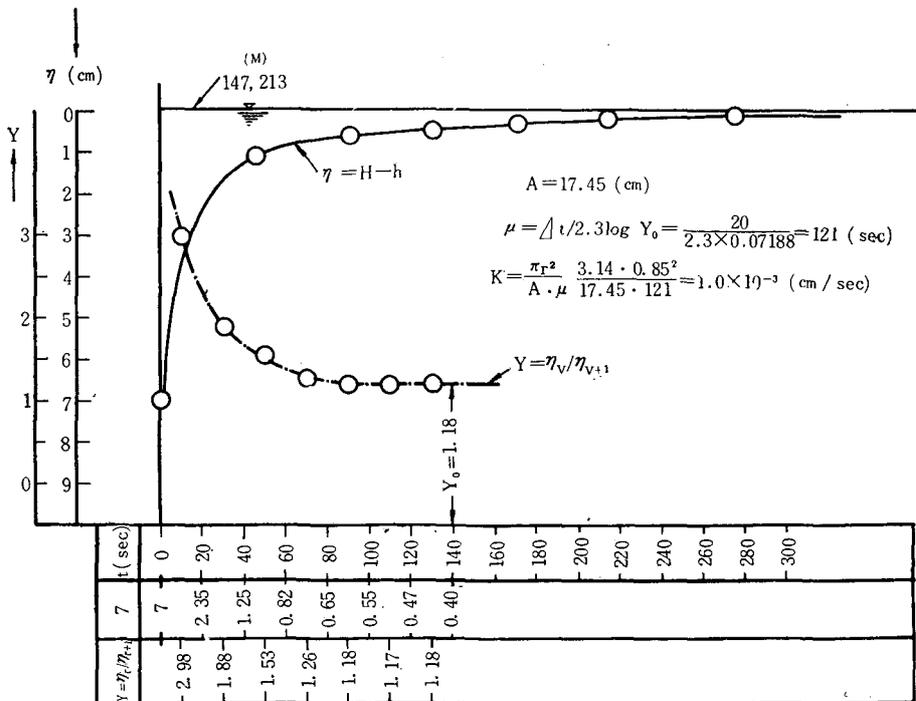
$$\mu = \Delta t / 2.3 \log y_0 = 10000 / 2.3 \times 0.002253 = 1.928 \cdot 10^6 \text{ (sec)}$$

$$k = \frac{\pi r^2}{A \mu} = \frac{3.14 \times 0.85^2}{17.45 \times 1.928 \times 10^6} = 6.8 \cdot 10^{-8} \text{ (cm/sec)}$$

第 24 図 (b-4) 名寄地区風連忠烈右ダム漏水調査 (昭 32. 11. 18~19)

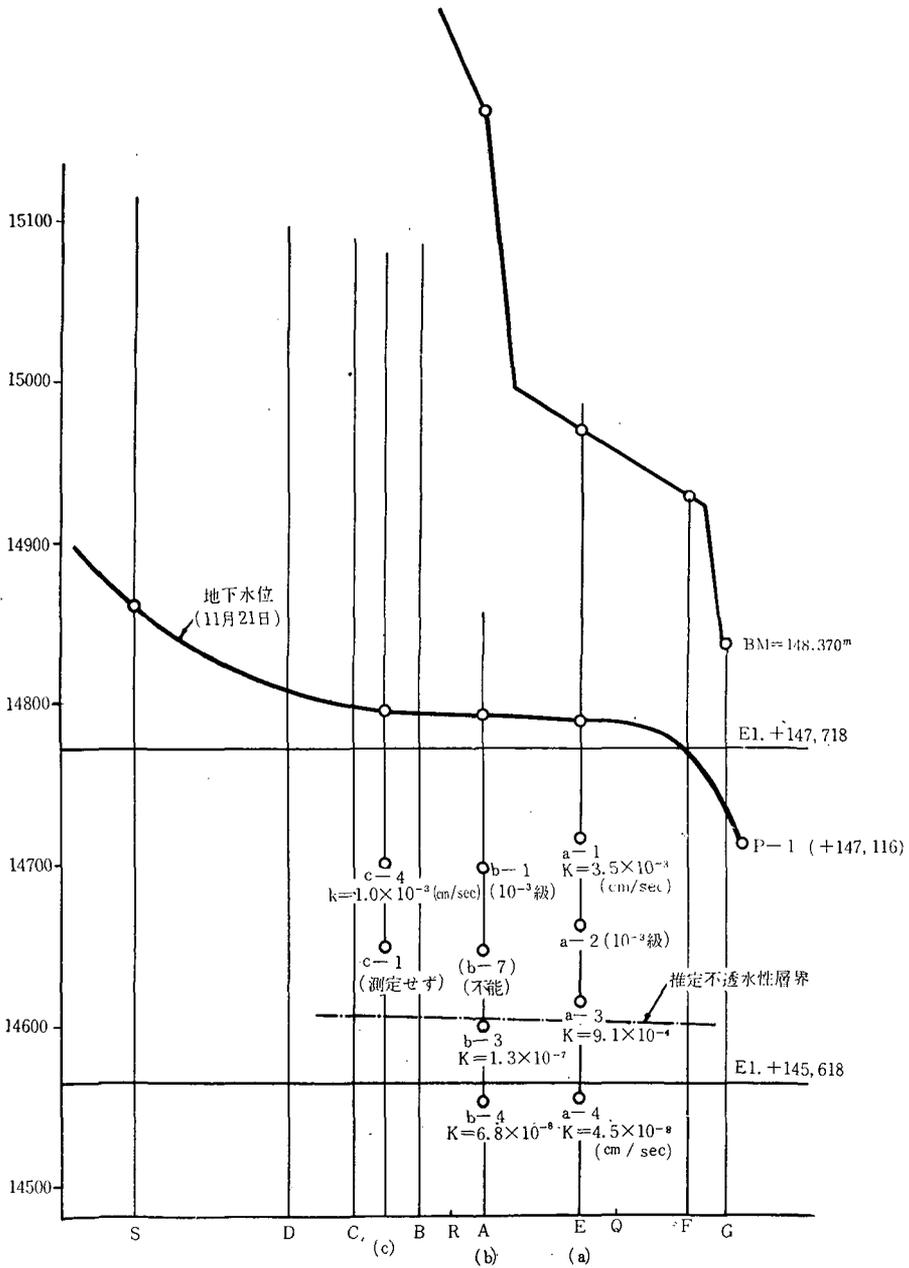


第25 図 (c-4) 名寄地区風連忠烈布アース・ダム漏水調査 (17日11h 42 m 35 s ~ 17日11 h 46 m 44 s)

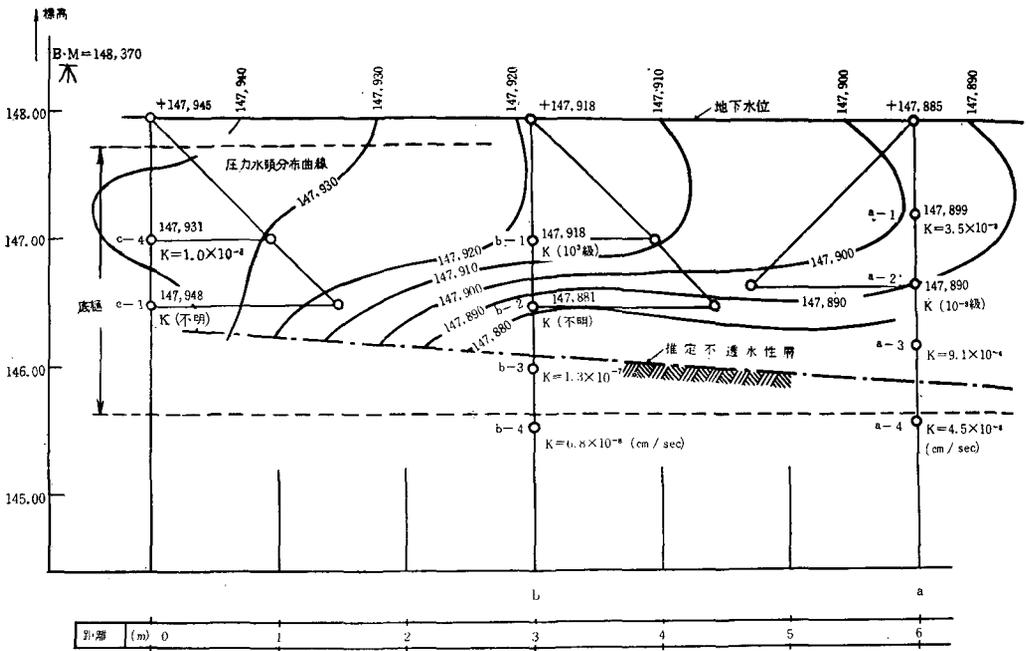


測点位置 146.134 m 位高 147.213 m  $d=1.079$  m 管長 4.065 m

第 26 図 (a-3) 名寄地区風連忠烈布ダム漏水調査 (ポンプ揚水後水位回復後) (昭 33.11.30. 16 h)



第 27 図 ピエゾメータによる透水係数



第 28 図 名寄地区風連忠烈布ダム底樋左側壁沿い地下水流等ポテンシャル線図 (昭 32. 11. 21)

岩質凝灰岩で粗質軟弱でひび割れ、裂目多く、しかも破碎状態になっているかのようである。従つて透水性も強いのであるが地山のこういう性質は如何とも仕難いことであり、僅かに堤体を地山に深く喰い込ませるとかセメント・グラウチングを行うことが常用的工法であるがこのことは既に或る程度考慮されて処置がなされているとのことである。貯水池水位の上昇に対してはさらに一層のグラウチングのカーテン・ウォールの施工等で透水に対する補強策を講ずることが考えられる程度ではなからうか、しかしこれらの洩水防止、あるいは軽減のための工法に関しては我々に与えられた研究課題には属さないから、このことについては一切触れないことにする。

透水係数の求め方については図に示したような簡易法によつた<sup>5)</sup>。

$\eta$ (cm) を測点の全ポテンシャル高さから任意時間  $t$  における管内水位に至る水頭差とし

$$y = \frac{\eta r}{\eta r + 1} \quad (1)$$

としてこの  $y$  を  $t$  毎に記入し、これらの諸点を通つて滑らかな曲線を描き最終の  $y_0$  を求める。

$$\mu = \frac{\Delta t}{2, 3 \log y_0} \quad (2)$$

$$k = \frac{\pi r^2}{A \mu} \quad (\text{cm/sec}) \quad (3)$$

ここに  $A$  はピエゾメータの形状係数で使用したものはすべて  $A=17.45 \text{ cm}$  である。 $r$  はまたピエゾメータ管半径 (cm) である。

第 28 図は底樋側面の地下水流についての等ポテンシャル図であるがこれをもつてもこの流れは極めて静かでダム中を流れる地下水流の通常値を示している。

図から

$$l = 600 \text{ cm}$$

$$\Delta h = 147.931 - 147.890 = 0, 041 \text{ m} = 4.1 \text{ cm}$$

$$I = \frac{4.1}{600} = \frac{1}{150}$$

透水部の  $k$  の平均値は大きくみて大体  $k=5.0 \times 10^{-8} \text{ (cm/sec)}$  である。Darcy の法則によつて

$$v = k \cdot I = 5.0 \times 10^{-8} \times \frac{1}{150} = 3 \times 10^{-5} \text{ (cm/sec)}$$

この流速で流れる地下水流断面積は、図から高さ約 2.50 m, 巾は平面図における塩水法による流れの方向から判定して平均位置で 10 m とすれば

$$A = 2.5(m^2) = 2.5 \times 10^5 \text{ (cm}^2\text{)}$$

故に

$$Q = v \cdot A = 3 \times 10^{-5} \times 2.5 \times 10^5 = 7.5 \text{ (cm}^3\text{/sec)}$$

$$=0.0075(\text{lit./sec})$$

これを P-1 から流れる  $Q_{(P-1)}=0.50(\text{l/sec})$  に比較すれば約 1/70 の程度である。従つてこの  $Q_{(P-1)}$  は底樋壁沿いの本来の地下水流は極くその一部であつてその大半のものは山側から山腹の傾斜なりに流下してくる地山からの流量であるものと判定出来る。

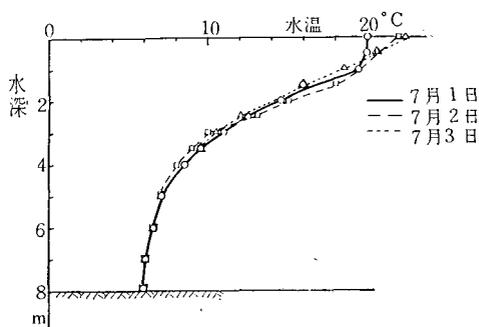
### § 11 漏水水温と貯水池水温について

夏季にあつては貯水池水温は表層に於て高温池底に於て低温であり、昭和 32 年 7 月 1 日～3 日に於ける水温垂直分布は第 29 図の如く表層は約 22°C であるが、水深が増に従つて遞減し、水深 7.8 m に於て 5.8°C であつた。地山深部の地下水水温も略々これに近いものと考えられるが P<sub>1</sub> 点に於ける漏水水温は第 8 表の如く 11.5°～12.0°C で比較的高温であり、貯水池深部の水がダム又は地山の深部を経由して湧出

したものと考えることが出来ない。従つて貯水池表層水が透水性の地山を経由したものであると考えることが出来る。底樋末端より 10 m の距離に於ける漏水がこれより低く 7.0°～7.5°C であることは地山深部からの透水とみることが出来よう。然し漏水水温のみから漏水状態を論ずることは危険であり時期的にも制約されるので参考程度に止められるべきものであらう。

第 8 表

昭和 32 年		7 月 1 日	7 月 2 日	7 月 3 日
測点	時刻	h h	h h	h h
	水深	13~16	13~17	11~13
貯水池水温	m			
	0.00	20.0°C	22.0°C	22.3°C
	0.50	20.0	20.5	20.5
	1.00	19.5	19.5	18.5
	1.50	16.0	18.0	16.0
	2.00	14.5	15.0	14.5
	2.50	12.5	13.0	12.0
	3.00	11.0	10.0	10.5
	3.50	9.5	9.0	9.5
	4.00	8.5	8.0	8.5
漏水	P <sub>1</sub>	12.0	11.5	11.5
	P <sub>1</sub> より 4.00m 下流	12.0	11.5	11.5
	P <sub>1</sub> より 8.00m 下流	10.5	10.5	10.5
	P <sub>1</sub> より 10.00m 下流	7.0	7.5	7.0
堤頂ピエゾメーター		7.5	7.0	7.0
気温及天候	晴	晴	小雨	
	25°～26°C	28°～30°C	21°～22°C	



第 29 図 忠烈布アースダム貯水池水温垂直分布 (昭和 32 年 7 月)

### 結 語

本観測に於ける測定結果を要約すると、

- (1) 底樋末端に見られた漏水は貯水池よりストレートに底樋に沿うて流下したものでなく、左岸寄りの堤体及び地山より集水されたもので堤体と地山と比較する場合には地山の方が漏水性が著しいと云うことが出来る。
- (2) パーコレーション係数により漏水状態を比較すると地山に於て 15.5～15.6、堤体の P-Q 間に於て平均 7.76、P-R 間に於て平均 6.17 であつた。
- (3) 地山及び堤体内透水の平均実速度と注入塩水最高濃度との関係より比較的一様に底樋の方に向つて集水されていることがわかり、S<sub>2</sub> 及び T<sub>3</sub> の注入塩水が P<sub>1</sub> にのみ検出されるのはこの事を証明している。
- (4) ピエゾメータによる透水係数の測定の結果より底樋周辺の流出量は P<sub>1</sub> における湧出量の約 1/70 で極く一部分に過ぎず大部分は地山よりの傾斜に従つて流下した浸透水であるものと判定してよい。
- (5) 塩水法及びピエゾメータの測定によつてアースダムの漏水調査を的確に判定することが可能である。

なお、ボーリング機械掘削によるボーリング孔を利用してオーガ法を利用する予定にしていたが、時間の





関係上割愛した。

また貯水池水温とダム堤体中の各点の浸透水及び湧出水温度等の関係も併せて調査し、側面からの解明手段とした。

最後にこの測定にあたって北大農学部助手梅田安治君及び農学士成田保彦君に観測の援助を受けた。又北海道農地開拓部土地改良課浅野技師には種々観測の便宜をいただいた。併せて厚く感謝の意を表す次第である。

〔追補〕 本調査を実施後、昭和33年10月から11月にわたり地山の地質調査を兼ねて堤体嵩上げ工事のための隧道掘削工事が行われた。この隧道は高さ2.9m×巾3.5m、奥行22mのもので図-1の堤頂中心線を左岸に掘削されたものである。

その結果、本論文の忠烈布アースダム漏水の主な原因は地山に大きな透水性があるためであらうと言うことを図-30、図-31の資料により裏付けることが出来た。即ち隧道の全面にわたり、転石と共に多数の空隙や割目が散在し、地山そのものが非常に porous な透水性のものであることが実証された。従って堤体そのものは不透水性であるにも拘らず、貯水池の水は透水性の地山を迂回して下流側の地表にあらわれ、見かけ上ダムの漏水のような印象を与えているものであることがわかる。

### 参考文献

- 1) 農林省：土地改良事業計画設計基準，第4部
- 2) 本間仁編：一般水理学，丸善
- 3) 山本莊毅：地下水調査法，古今書院

- 4) Tschebotarioff: Soilmechanics, Foundations and Earth Structures. McGraw-Hill.
- 5) 山本 茂・堂腰 純：ピエゾメーター式泥炭現地用透水計の形状係数について，農業土木研究第25巻5号，昭和32年2月

### Résumé

Twenty two borings were made in the Churep Earth Dam and piezometers were set up near the outlet conduit.

Electrode readings were made at four points along the base of the P-line.

The results are summarized as follows:

1. The percolation coefficients as determined by the electrode method were 15.5-15.6 cm/sec for the natural ground at the left end of the dam. The coefficients for the main body of the dam were 7.76 (mean value for seven readings) at P-Q, and 6.17 (mean value of six readings) at P-R.

The coefficient along  $P_1-R_1$  at the side of the outlet conduit was 18.3...three times larger than for the main body of the dam.

2. The coefficients of permeability as determined by piezometers showed that the amount of water seepage through the main body of the dam was only about 1/70 of that from point  $P_1$ .

3. It was found that these tests were practical and reliable.

4. Most of the water observed near end of the outlet conduit was determined to be seeping through the porous and fissured rock-crust of the natural ground at the left end of the dam. Very little was seeping through the main body of the dam.