

目 次

1. まえがき	1
2. 仮締切堤内への浸透状態	2
3. 地盤のボーリング結果の概要	5
4. 地盤の土の透水係数	11
5. 代表的な地盤構成	12
6. 締切堤内側への浸透流	14
7. 浸透流の計算	21
8. 浸透流の模型実験	24
9. 抵抗線を組んだ模型の原理	27
10. 軸対称の流れの模型	30
11. 模型の製作	33
12. 実験方法	34
13. 実験内容	37
14. 実験結果	39
15. 実験結果に対する考察	42
16. むすび	48

1 ま え が き

利根川河口部より約20km上流の地点に河口堰の建設工事が昭和40年度より進められている。

堰は既設の常陸川水門と黒部川水門を結ぶ線上に利根川本川を横切って建設され、塩害の防止ならびに河川流出の用水としての利用率の向上を主な目的としている。

堰の建設工事は本川を横断して施工されるため、工事中にも洪水が確実に流出するよう河積を十分に取らねばならず、また河川水面以下で行なわれる堰の工事を安全に進めていけるよう、特に慎重な工事計画が樹てられ、工事中の仮締切^りにはセル工法が採用された。

堰の建設には川を4つに分けて右岸側から順次締切る計画になっている。

41年春には第一回目として最右岸側の締切りが完成し、現在は締切堤内側の水を完全に汲出して水門、床版などの工事が進められているが、締切堤内の排水作業中、水位の低下に伴って、特にセル矢板打設位置付近の地盤に激しいクイックサンドが起り、多量の土砂を洗い出した。このため仮締切りの安定性にも多少の不安が生じたので、一時排水作業を中止し、仮締切根元付近に土砂を埋立て地盤を高くすると同時に、湧出口にも土のう、砂礫を多量に投入し、また締切区域内の各所にウエルポイント工法を適用し、地表面に流出する浸透水の動水コウ配を緩和させることにつとめ、過度のクイックサンド、湧出水を治め、締切区域内部の安定を一応確保するのに成功した。

すでに述べたように、現在実施されている工事は最右岸であるから、締切堤は利根川右岸堤に取付けられており、浸透水は大体河道側の一方から浸入してくるものと考えてもよさそうである。しかしながら来年度以降実施される第2および第3の締切りは河道内の工事になるため周辺が全部水面となり浸透条件

はこれより厳しくなるものと考えられ、今回経験したクイックサンド現象などの経験から、工事に先立ち一応浸透状況の実態をよく調べ、安全に工事を進めていく上に必要な対策工法の検討を行なうことになった。

とくに述べる報告はまず締切工事実施地点の土質調査について簡単に触れ、ついで締切りによる浸透を単純化した形で考え、計算ならびに電気模型実験によって検討を加え、クイックサンドあるいはバイピング現象を防止し、締切堤内が浸透流に対して安定した状態を保つようにするための対策に関して考察を加えた。

2 仮締切堤内への浸透状態

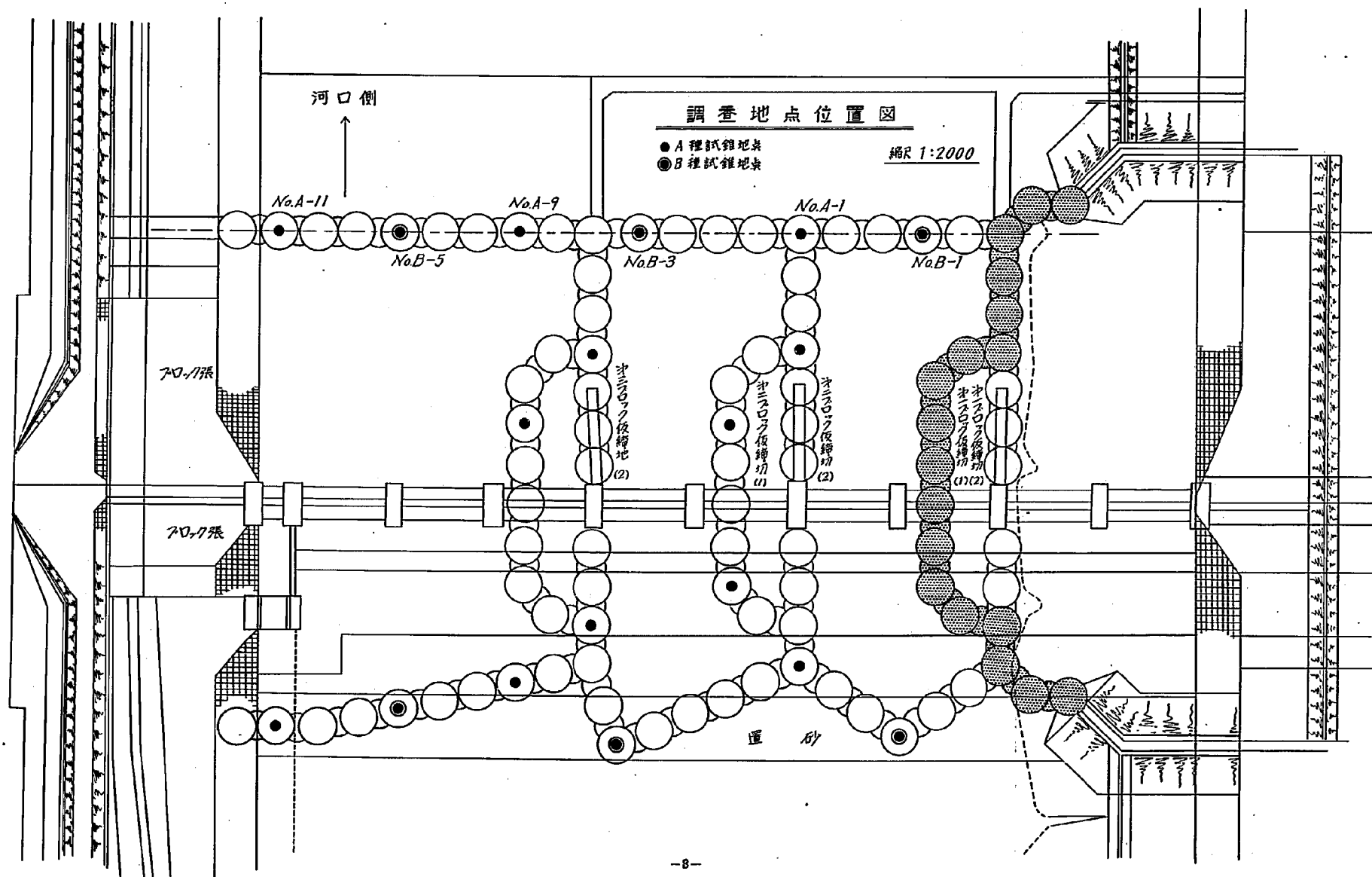
河口堰の建設は右岸側より順次進められ、図-1に示すような第1ブロック仮締切堤が現在作られていて、その内側で工事が行なわれている。

仮締切堤はセル工法によって作られているがその型式は本体部とアーク部からなる円形セルである。工事はまず、軟弱な河床の置換から行なわれ、Y. P. -5.00m~6.00m の現河床はドレッジャーによって-9.00mまで掘削され、代りに運搬されてきた砂によって埋め戻された。この層は建設される堰ならびにエプロンの基礎になり、いわゆる地盤改良で良質な材料によって地盤が置換されたわけである。

その後、所定の位置に矢板が打設され、セル式の仮締切が形成された。使用された矢板は長さ18mの直線形鋼矢板で、円形セル本体の半径は約9mであるがアーク部は幾分半径が小さくなり締切堤の幅もやゝ狭い。打設された鋼矢板の先端の深さは各々に多少の差はあるが大体Y. P. -12m~-13mである。

矢板の打設の完了後セル内部には約Y. P. 3mの高さまで砂が詰められ、締切堤は完成した。セル内部に投入された砂は置換材料と同じである。

図-1 河口堰建設地点に作られる仮締切堤



第一回目の締切堤工事は41年5月に完了し、5月12日より締切内側の排水が開始された。排水作業は継続して行なわれたが5月26日締切内部の水位が-4.82cmになったとき、矢板の根元付近のまだ水面下にある地表面にかなりの土砂の噴き上がりが発見された。その後、水位の低下に伴って、噴出箇所数と規模がますます増大して、締切堤の安定性にも悪影響がありそうなので、一時水位低下を停止し、締切堤の内側へ土砂を埋立てて、いわゆる押え土を施工した。また土砂を吹き上げる湧水口には多量の土のう、砂礫を投入し、流出量の低減を計り、またその後、多数のウエルポイントを施工し、地盤内の浸透水を強制的に汲み上げたので、地表面でのクイックサンドはほとんどおさまった。締切堤内の工事は現在もウエルポイントで水を汲み上げながら実施しているため地盤からの湧出量は非常に少なくなっている。

しかし堰の基礎として打設された中空の鉄筋コンクリート杭の頭部から水が湧き出ているのがあり、これは地盤の深部の浸透水のポテンシャルのかなり高いことを意味している。すなわち打設時杭の先端部が破損されると杭の中空部に水が流入して、そこを通過して上部に流れ出していることを示しており、深部に透水層が存在していることを想像させる。また、締切堤内からの排水を短時間でも停止するとかなりの水が湛水することから、地盤の透水性は相当高いものと判断される。

3. 地盤のボーリング結果の概要

河口堰建設地点付近の地盤の構成状態は河口堰基礎地質調査報告書（昭和38年8月、建設省利根川下流工事々務所）利根川河口堰基礎土質調査（その1）および（その2）（東建地質調査株式会社）に記述されているのでここでは詳細は省略し、概略について簡単に説明をする。

堰建設地点の利根川河床面の高さは流水の洗掘によって場所によりかなりの差があるが大体Y.P.-2.00m~Y.P.-4.00mになっている。河床を横断して実施された多数のボーリングデータから代表的な地層断面図を示すと図-2のとおりである。横断面の位置は河口堰堤軸線より約135m下流側のセル式仮締切堤が築造される線上の断面である。図にも示してあるように河床地盤の上部には沖積シルト層あるいは沖積砂層が存在し、その下に洪積砂層が続いている。

洪積砂層は大体Y.P.-2.0m~2.5m以深に分布し、シルト質をかなり含む黄褐色の砂質土層である。したがってこの層の透水係数は小さく、こゝで取扱っている締切堤内への浸透にはほとんど影響を持たないように思われる。

沖積層は洪積層の上に存在しているが場所によって土質の変化にかなり富んでいて、一応沖積シルト層あるいは沖積砂層という名称で分類しているが実際はこのような地層が明確に存在するのではなく、互に薄層で入り混ったり、中間に変移層があったりして必ずしも明りような区分はない。

まず沖積シルト層であるがこれはほとんど河床面近くにあつてN値が1以下の極めて軟弱な層である。この層の中には多数の砂の薄層を含んでいるが、土を構成する粒子は小さく、透水係数は極めて低いと考えられる。この層は河川中央より左岸側に多く現われ、その厚さも場所によっては5mに達する。河床の表層の大部分を占める沖積砂層も上部はさきに述べた沖積シルト層と同じ時期に堆積したものでシルト質をかなり多量に含有している。その締り具合も比較的緩くN値も1.0程度までである。透水性もさほど大きくない。しかし沖積砂層も深度がY.P.-12.00m程度になると土粒子の粒径が大きくなり、粒径の比較的そろった砂層になってくる。これから以深を一応下部砂層と考えるがこの層は上部砂層に比較するとかなり締っており、中に多量の貝殻片が混入している。この層も不均質で砂の粒度分布は場所、深度によってかなり異なっている。

図-2 河床の代表的な地層断面

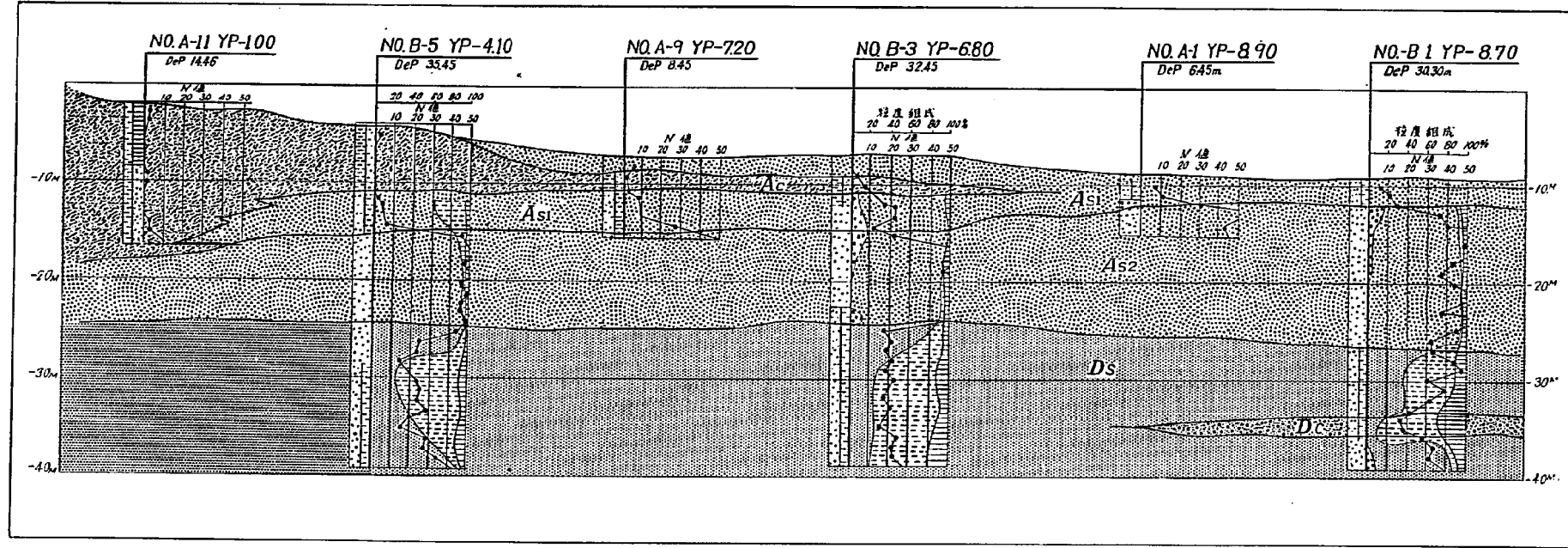
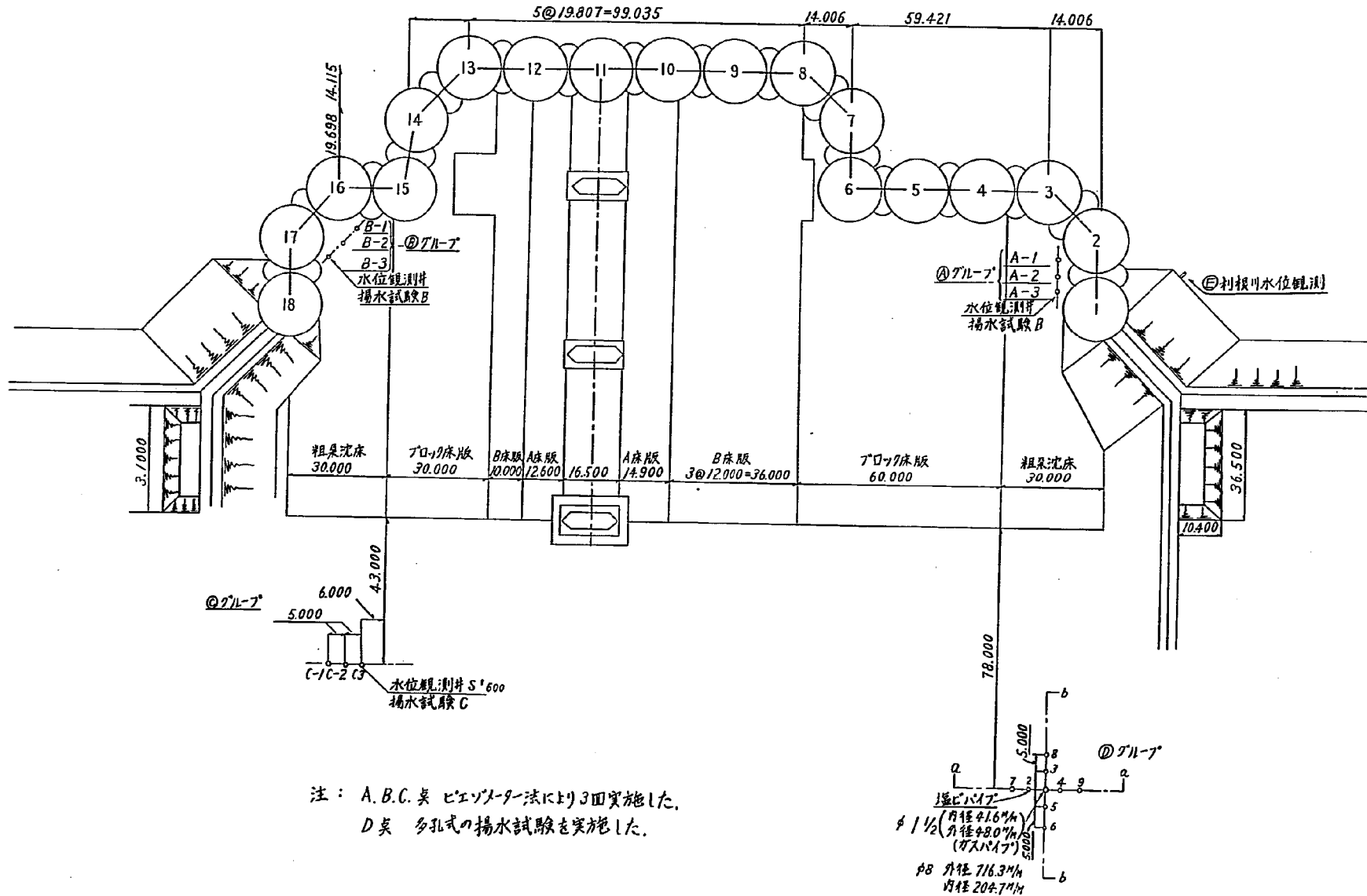


図-3 現場揚水試験実施地奥



る。下部砂層には部分的に透水性の高い層が含まれており、たとえば河口堰建設地点右岸側の地盤ではY.P.-12.00m~-14.00mの層が多量の細礫を含み特に透水性が高いと考えられる。しかし、これら砂礫層を除けば一般によく締まっているため透水性はそれほどよくなく上部砂層と同程度あるいは多少高めのもので判断される。堰建設地点における礫まじり透水層の層厚は比較的小さいが、地盤内の浸透にはかなり大きな影響を持つものと考えられる。この砂礫透水層の存在は水門ケーソン基礎の掘削工事中にも確かめられている。

4 地盤の土の透水係数

土の透水係数を測定するために現場透水試験は41年11月に実施された。実施地点は図-8に示すように現在の締切堤内で2ヶ所また右岸側の高水敷上で2ヶ所である。試験は観測井で水位変動を観測する揚水試験を1箇所(D地点)および一つのボーリング孔を利用して、孔内の水位回復を測定するいわゆるピエゾメーター法による試験を3箇所(A, B, C地点)で実施した。なおピエゾメーター法による試験では試験深度を変えた測定を行なった。試験の詳細は省略し、結果のみ述べるが、まずD地点で実施した揚水試験から求めた透水係数は $k = 1.4 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ であった。これは透水層の厚さを3.0mと仮定し、全透水層の平均透水係数を求めたもので、先に述べた砂礫層での透水係数は当然この値より大きいと考えられる。次にピエゾメーター法により求めた深度別の透水係数を示すと表-1のとおりである。

試験を上部砂層で1回、下部砂層で2回実施するよう試験深度が選んであり、沖積砂層の透水係数は大体 10^{-3} cm/sec のオーダーであることを示している。なおA地点の深度-14.4mの透水係数が $9 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ と大きいのは砂礫層での試験結果を示しているものと判断される。

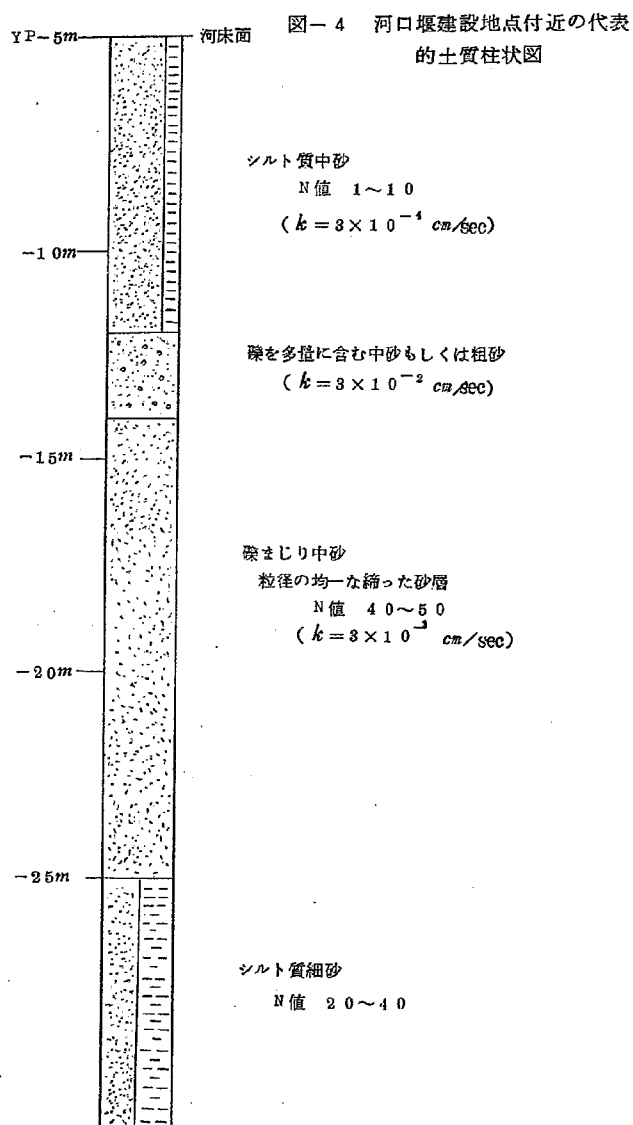
測定地点	試験深度	透水係数
A	Y.P. - 20.7 m	1.2×10^{-3} cm/sec
	Y.P. - 14.4 m	9.0×10^{-3} //
	Y.P. - 10.5 m	1.65×10^{-3} //
B	Y.P. - 19.9 m	4.0×10^{-3} //
	Y.P. - 15.2 m	3.1×10^{-3} //
	Y.P. - 10.2 m	2.7×10^{-3} //

表-1 ビエゾメーター法により求めた深度別透水係数

現場透水試験の他に、ケーソンでの掘削土砂を粒度分析して Hazen の式から概略の透水係数を算出したが、特に透水性の高いと思われる Y.P. - 12 m ~ -14 m の試料の透水係数は $1 \sim 4 \times 10^{-2}$ cm/sec の値を示した。

5. 代表的な地盤構成

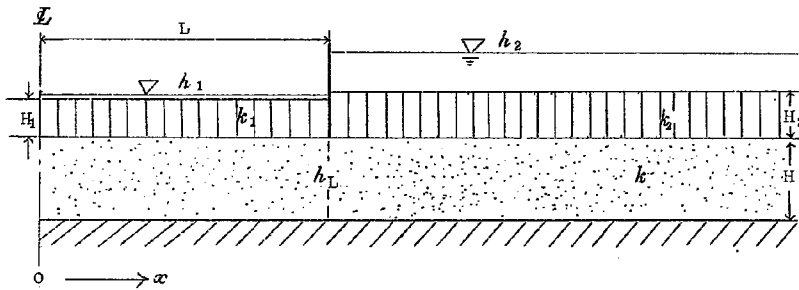
これまで述べてきた土質調査あるいは透水試験結果などから総合的に判断し河口堰建設地点の地盤を図-4に示すような地層構成を考え、浸透流の検討を行なうことにした。先にも述べたように沖積層は決して一様な構成状態でなく場所によりかなり変化に富んでいると思われるが、浸透の検討には図に示すような単純化した地盤として取扱っても近似的には間違いはないと思われる。なお利根川左岸側の地盤は地表面近くにシルト層があるため、地盤漏水に関しては右岸側より幾分条件はよいと考えられる。



6. 締切堤内側への浸透流

実際の地盤はかなり複雑な地層構成になっていると思われるが、ここでは地盤の地層を極めて単純化した形で取扱うことにする。図-4に示したような地盤を考えると、河床の表面近くには比較的透水係数の小さい層が存在し、その下に透水性の大きい透水層が続いていることになる。このような地盤上に締切堤が作られると浸透条件は図-5のように表わされる。

図-5 平行な締切の場合の浸透条件



まず簡単な場合として平面的な流れを考える。締切堤が平行に作られ透水層中の浸透流を x 方向のみの流れと仮定するとダルシーの法則によって浸透流量は

$$q = -kH \frac{dh}{dx} \quad (1)$$

となる。

いま $0 < x < L$ の範囲を考えると連続の方程式は

$$\frac{dq}{dx} = -kH \frac{d^2h}{dx^2} = \frac{h_1 - h}{c_1} \quad (2)$$

ここに $c_1 = \frac{H_1}{k_1}$ また $\lambda_1 = \sqrt{kHc_1}$ とすると

(1)および(2)式から

$$\frac{d^2 h}{dx^2} = -\frac{1}{\lambda_1^2} (h_1 - h) \quad \dots\dots\dots (3)$$

この微分方程式の一般解は

$$\frac{h_1 - h}{c_1} = C_1 e^{\frac{x}{\lambda_1}} + C_2 e^{-\frac{x}{\lambda_1}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$0 \leq x \leq L$ の間を考えると境界条件は

$$\begin{cases} x=0 \text{ のとき} & \frac{dh}{dx} = 0 \\ x=L \text{ のとき} & h = h_L \end{cases}$$

これを(4)式に代入して解くと $0 \leq x \leq L$ の間の流量は

$$q = \frac{kH(h_1 - h_L)}{\lambda_1} \frac{\sinh \frac{L}{\lambda_1}}{\cosh \frac{L}{\lambda_1}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

したがって $x=L$ の断面の流量は

$$q_L = \frac{kH(h_1 - h_L)}{\lambda_1} \tanh \frac{L}{\lambda_1}$$

次に $L < x < \infty$ の区間を考える。

同様な微分方程式に対して境界条件は下のように与えられるので同じように流量が求められる。境界条件は

$$\begin{cases} x=L & h = h_L \\ x=\infty & h = h_2 \end{cases}$$

流量は

$$q = -\frac{kH}{\lambda_2} (h_2 - h_L) e^{-\frac{x-L}{\lambda_2}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

したがって $x=L$ の断面の流量は

$$q_L = -\frac{kH}{\lambda_2} (h_2 - h_L) \quad (8)$$

となる。

(6)式および(8)式から h_L を求めると

$$h_L = \frac{h_2 \lambda_1 + h_1 \lambda_2 \tanh \frac{L}{\lambda_1}}{\lambda_1 + \lambda_2 \tanh \frac{L}{\lambda_1}} \quad (9)$$

透水層内の水頭は次の式で表わすことができる。

$$\left. \begin{aligned} 0 \leq x \leq L \\ h_1 - h &= \frac{(h_1 - h_L) \cosh \frac{x}{\lambda_1}}{\cosh \frac{L}{\lambda_1}} \\ L \leq x < \infty \\ h_2 - h &= (h_2 - h_L) e^{-\frac{x-L}{\lambda_2}} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

次に締切堤が円形に作られ浸透流が radial flow になる場合を取上げる。
浸透条件は図-6のとおりである。締切堤内の中心を原点にして、円筒座標を
考えるとダルシーの法則により透水層内の流量は

$$Q = -2\pi r k H \frac{dh}{dr} \quad (11)$$

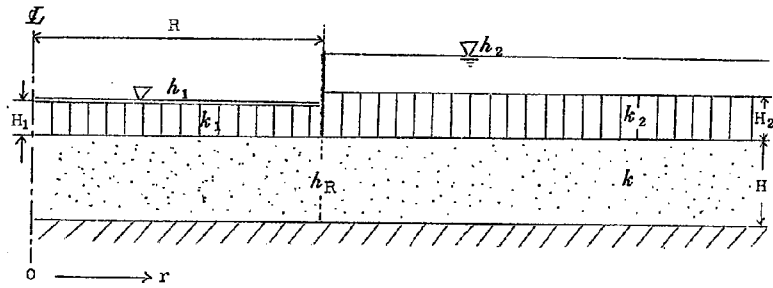
$0 \sim R$ の区間を考えると連続の方程式は

$$\frac{d^2 h}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dh}{dr} = \frac{h_1 - h}{\lambda_1^2} \quad (12)$$

$$\text{よって } \lambda_1 = \sqrt{k H c_1} \quad c_1 = \frac{H_1}{h_1 k}$$

$$\text{いま } \begin{cases} y = -(h_1 - h) \\ x = \frac{r}{\lambda_1} \end{cases}$$

図-6 円形の縮切の場合の浸透条件



とおくと(12)式は

$$-\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{1}{x} \frac{dy}{dx} + y = 0$$

となり解は

$$y = C_1 I_0(x) + C_2 K_0(x)$$

で与えられる。したがって(12)式の解は

$$-(h_1 - h) = C_1 I_0\left(\frac{r}{\lambda_1}\right) + C_2 K_0\left(\frac{r}{\lambda_1}\right) \quad (13)$$

境界条件は

$$r = 0 \quad \frac{dh}{dr} = 0$$

$$r = R \quad h = h_R$$

$$\text{なお} \quad \frac{d}{dx} I_0(x) = I_1(x)$$

$$\frac{d}{dx} K_0(x) = -K_1(x)$$

また $x = 0$ のとき $I_1(x) = 0$, $K_1(x) = \infty$ であるから

(13)式を微分すると

$$\frac{dh}{dr} = \frac{C_1}{\lambda_1} I_1\left(\frac{r}{\lambda_1}\right) - \frac{C_2}{\lambda_1} K_1\left(\frac{r}{\lambda_1}\right) \quad (14)$$

したがって $C_2 = 0$

$$-h_1 - h = C_1 I_0\left(\frac{r}{\lambda_1}\right)$$

$$-h_1 - h_R = C_1 I_0\left(\frac{R}{\lambda_1}\right)$$

$$\text{となるので } C_1 = -\frac{h_1 - h_R}{I_0\left(\frac{R}{\lambda_1}\right)}$$

$$\frac{h_1 - h}{h_1 - h_R} = \frac{I_0\left(\frac{r}{\lambda_1}\right)}{I_0\left(\frac{R}{\lambda_1}\right)} \quad (15)$$

$$\text{ゆえに } Q_r = 2\pi k H \frac{r}{\lambda_1} (h_1 - h_R) \frac{I_1\left(\frac{r}{\lambda_1}\right)}{I_0\left(\frac{R}{\lambda_1}\right)} \quad (16)$$

$r = R$ のときの流量は

$$Q_R = 2\pi k H \frac{R}{\lambda_1} (h_1 - h_R) \frac{I_1\left(\frac{R}{\lambda_1}\right)}{I_0\left(\frac{R}{\lambda_1}\right)} \quad (17)$$

次に $R \leq r < \infty$ の領域では連続方程式は

$$\frac{d^2 h}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dh}{dr} - \frac{h^2 - h}{\lambda_2^2} = 0 \quad (18)$$

となり、同様と境界条件を与える。

$$\begin{cases} r = R & h = h_R \\ r = \infty & h = h^2 \end{cases}$$

方程式を解くと

$$\frac{h_2 - h}{h_2 - h_R} = \frac{K_0\left(\frac{r}{\lambda_2}\right)}{K_0\left(\frac{R}{\lambda_2}\right)} \quad (19)$$

$$\frac{dh}{dr} = \frac{h_1 - h_R}{\lambda_2} \frac{K_1 \left(\frac{r}{\lambda_2} \right)}{K_0 \left(\frac{r}{\lambda_2} \right)}$$

$$\text{よって } Q = -2\pi k H (h_2 - h_R) \frac{r}{\lambda_2} \frac{K_1 \left(\frac{r}{\lambda_2} \right)}{K_0 \left(\frac{r}{\lambda_2} \right)} \quad (20)$$

$x = R$ のときの流量は

$$Q_R = -2\pi k H (h_2 - h_R) \frac{R}{\lambda_2} \frac{K_1 \left(\frac{R}{\lambda_2} \right)}{K_0 \left(\frac{R}{\lambda_2} \right)} \quad (21)$$

(17)式および(21)式から

$$h_R = \frac{\lambda_1 I_0 \left(\frac{R}{\lambda_1} \right) K_1 \left(\frac{R}{\lambda_2} \right) h_2 + \lambda_2 K_0 \left(\frac{R}{\lambda_2} \right) I_1 \left(\frac{R}{\lambda_1} \right) h_1}{\lambda_1 I_0 \left(\frac{R}{\lambda_1} \right) K_1 \left(\frac{R}{\lambda_2} \right) + \lambda_2 K_0 \left(\frac{R}{\lambda_2} \right) I_0 \left(\frac{R}{\lambda_1} \right)} \quad (22)$$

$$Q_R = 2\pi k H (h_1 - h_2) R \frac{I_1 \left(\frac{R}{\lambda_1} \right) K_1 \left(\frac{R}{\lambda_2} \right)}{\lambda_1 I_0 \left(\frac{R}{\lambda_1} \right) K_1 \left(\frac{R}{\lambda_2} \right) + \lambda_2 I_1 \left(\frac{R}{\lambda_1} \right) K_0 \left(\frac{R}{\lambda_2} \right)} \quad (23)$$

以上の計算では締切堤の幅がないものと仮定したが、締切堤が幅を持つ場合も同様に計算できる。

計算過程は省略してその結果のみ示すと次のとおりである。

まず平面的な流れの場合は浸透条件は図-7に示すとおりとなり

$$h_{L+B} = \frac{(\lambda_2 \tanh \frac{L}{\lambda_2}) h_1 + (\lambda_1 + B \tanh \frac{L}{\lambda_1}) h_2}{(B + \lambda_2) \tanh \frac{L}{\lambda_1} + \lambda_1} \quad (24)$$

$$h_L = \frac{((B + \lambda_2) \tanh \frac{L}{\lambda_1}) h_1 + \lambda_1 h_2}{(B + \lambda_2) \tanh \frac{L}{\lambda_1} + \lambda_1} \quad (25)$$

$$Q_L = k H \frac{(h_1 - h_2) \tanh \frac{L}{\lambda_1}}{(B + \lambda_2) \tanh \frac{L}{\lambda_1} + \lambda_1} \quad (26)$$

図-7 幅のある平行な締切の場合の浸透条件

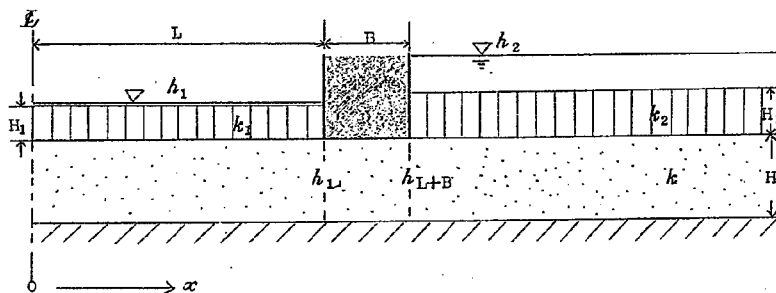
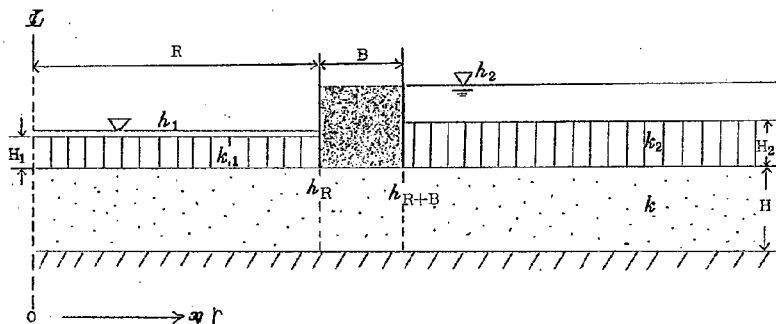


図-8 幅のある円形の締切の場合の浸透条件



つぎに幅のある円形の締切堤の場合の浸透条件は図-8に示すようになり

$$h_R = \frac{-RILn[\lambda_2 - (R+B)KLn]h_1 - \lambda_1(R+B)KLn h_2}{(\lambda_2 - (R+B)KLn)(\lambda_1 - RILn) - \lambda_1 \lambda_2} \quad (27)$$

$$h_{R+B} = \frac{-RILn \lambda_2 h_1 - (R+B)KLn(\lambda_1 - RILn)h_2}{(\lambda_2 - (R+B)KLn)(\lambda_1 - RILn) - \lambda_1 \lambda_2} \quad (28)$$

$$Q_R = 2\pi k H \frac{R I (R+B) K L_n (h_2 - h_1)}{(\lambda_2 - (R+B) K L_n)(\lambda_1 - R I L_n) - \lambda_1 \lambda_2} \quad (29)$$

たゞし式中の K, I, L_n は次式であらわされる。

$$K = \frac{K_1 \left(\frac{R+B}{\lambda_2} \right)}{K_0 \left(\frac{R+B}{\lambda_2} \right)}, \quad I = \frac{I_1 \left(\frac{R}{\lambda_1} \right)}{I_0 \left(\frac{R}{\lambda_1} \right)}, \quad L_n = \ln \frac{R}{R+B} \quad (30)$$

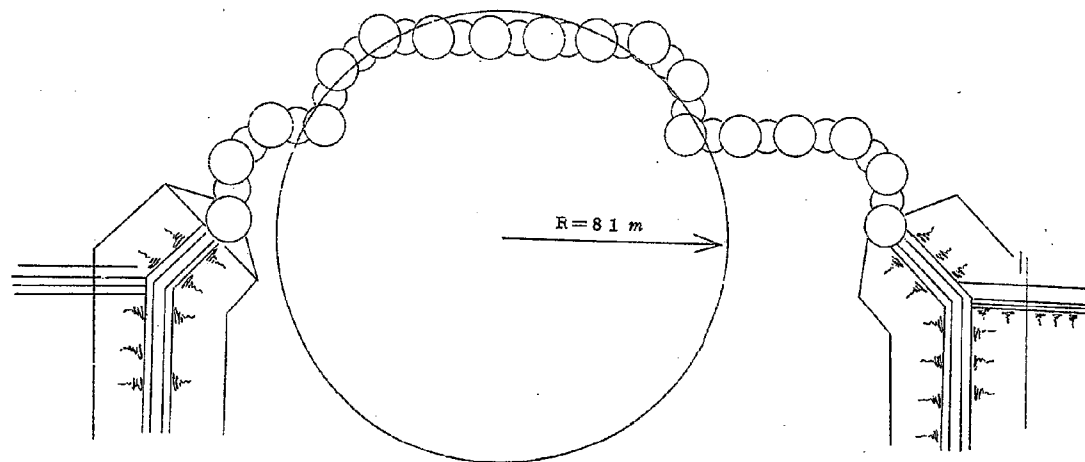
7. 浸透流の計算

前節で述べた浸透流の計算式は実際の数値を代入し、計算を行なってみる。
地盤の構成状態は先の代表地盤にとり、また仮縮切堤は半径 8.1 m の円に築造されているものと仮定する。実際の縮切は円形ではないけれど図-9に示すように円に置き換えてみた。図-4に示すように表層は比較的透水係数の小さい厚さ 7 m の層である。次にその下に続く透水層は $Y P - 12.00\text{ m} \sim 14.00\text{ m}$ の砂礫層とさらに下の砂層であるが、透水層が層を成していると取扱いが面倒になるから、この2層すなわち透水係数 $k = 3 \times 10^{-3}\text{ cm/sec}$ 厚さ 1.1 m の砂層と $k = 3 \times 10^{-2}\text{ cm/sec}$ 厚さ 2.0 m の礫層をまとめて、水平方向の透水係数 $k = 3.1 \times 10^{-2}$ 層厚 3.0 m の透水層と考える。
計算に用いた浸透条件を示す諸数値は図-10のとおりである。なお河川水位は計画高水位をとっている。

計算は(29)式および(30)式を用い透水層内の水頭分布を求めたが、表層の透水係数の差がどのような影響を持つかを明らかにするため $\frac{R}{R+B}$ をいろいろ変えて計算を繰り返した。計算結果は図-11のとおりで、透水層内の水頭を縦軸に縮切中心からの距離を横軸にとって示した。

図-9 仮締切の平面図

(a) 第1ブロックの仮締切



(b) 第2ブロックの仮締切

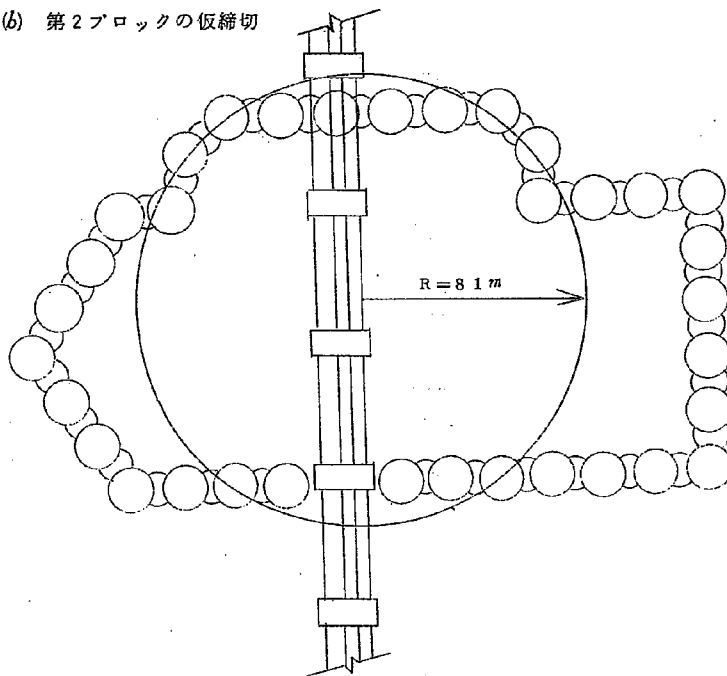


図-10 計算を行なった条件(A)

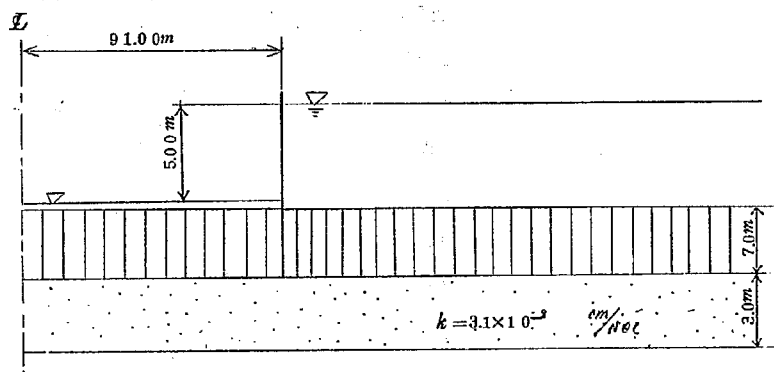
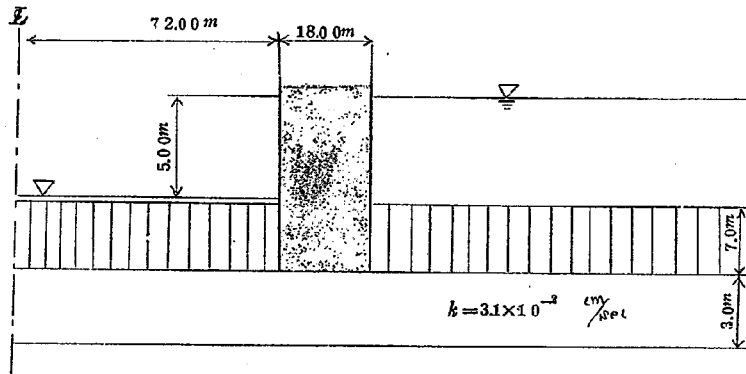


図-10 計算を行なった条件 (B)



また締切地区内へ流入する浸透流量と表層の透水係数の関係は(29式から計算すると図-12に図すとおりである。なお、この場合 $R = 72m$ $R+B$ を $90m$ にとってあり、その他の条件は図-10と同様である。

8 浸透流の模型実験

浸透条件が複雑になり、直接的な解析や現場での調査では解決が困難になると一般に浸透流の数値解法あるいは模型実験が有効である。

模型実験にはいろいろの方法があり、たとえば砂模型、電気模型、粒性流模型などが広く用いられていて、問題の性質によってそれらの特長を生かすように利用されている。

ここで取扱っている浸透流は、河の中に作られた締切地区に向う流れで、締切りの形状は楕円形に近く、また地層の構成も均一性を欠くため、必ずしも radial flow とは考えられないが、一様な radial flow と仮定し、電気模型実験を適用して、検討を加えることにした。

図-11 透水層内の水頭分布

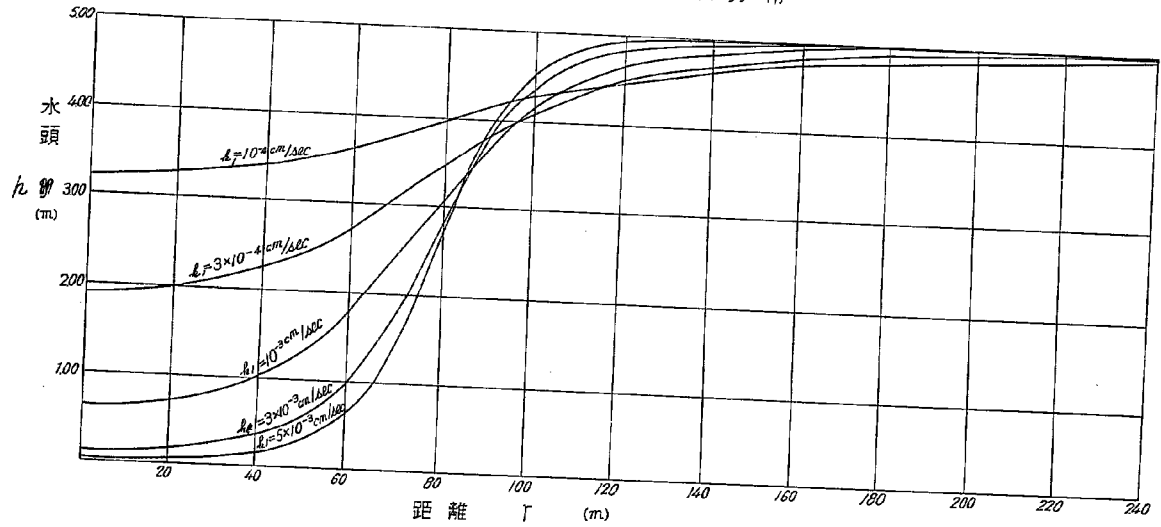
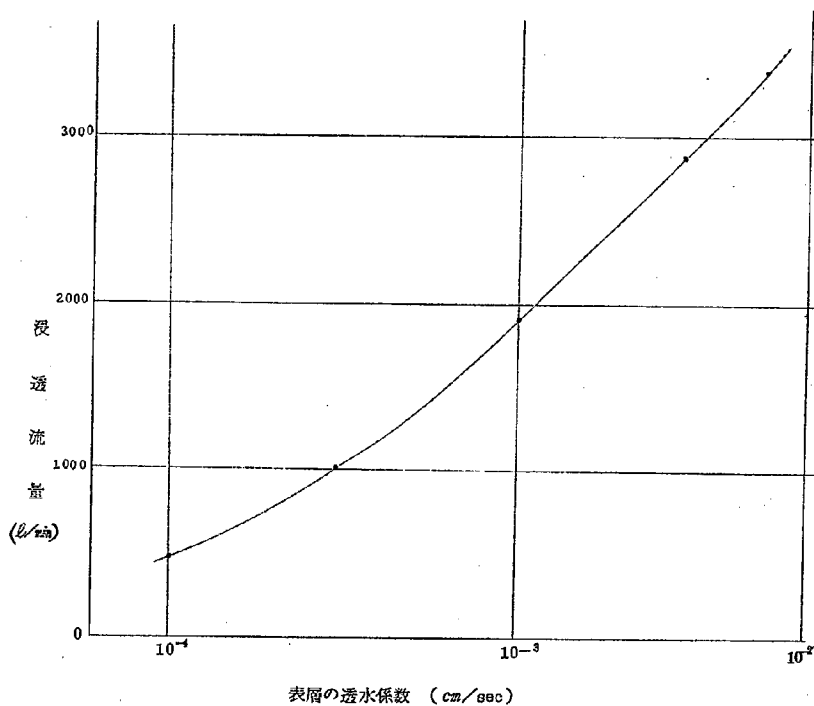


図-12 計算によって求めた締切内への浸透流量



(透水層厚さ 3.0 m 透水係数 $k = 3.1 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$)

浸透流を radial flow と考えれば、流れは軸対称なので多少工夫することによって、二次元模型にすることができる。このために電導度を任意に選定できる炭素被膜抵抗を格子状に接続した模型で実験を行なうことにした。

9 抵抗線を組んだ模型の原理

電気模型実験の原理は透水層内を流れる水の流れを表わすダルシーの式が電
導体中を流れる電流のオームの法則と全く等しいという事実にもとづいている。
電気模型にも種類があり、たとえば電解溶液のはいつた水槽を模型として用い
る方法、グラファイト溶液を厚紙の上に吹き付け電導体の模型を作る方法、あ
るいはこれから述べる抵抗線を格子状に接続して模型を作る方法などがある。

抵抗を接続して模型を作る方法も他の方法と原理は全く同様で、実際の透水
層のある部分を一つの抵抗に置き換えるわけである。格子状に組まれた抵抗の
必要な接点に実際の浸透流に対応させて所定の電位を与える。模型の各接点の
電位は実際の浸透流のポテンシャルに直接対応するので、これを測定すること
によって浸透流を明らかにすることができる。抵抗線で作った模型の一部は図
- 13 のようなものであり、3次元流を取扱う場合には立体的に抵抗を組めば
よい。

図- 13 抵抗線模型の略図

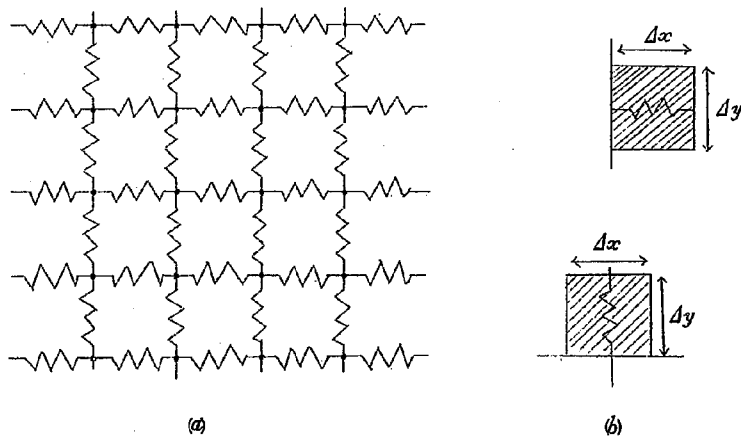
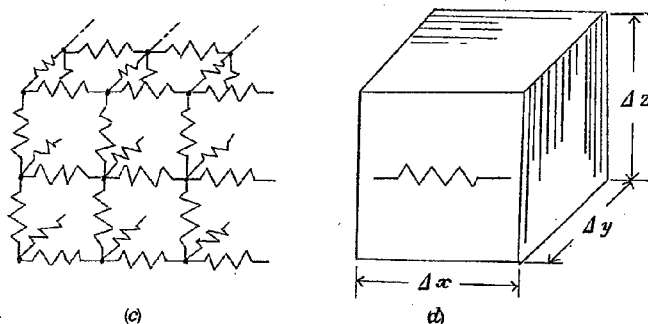


図-13 抵抗線模型の略図



先にも述べたようにオームの法則とダルシーの法則は全く同じで透水係数が電導比の逆数 $\frac{1}{\rho}$ に対応しているわけで、オームの法則もダルシーの法則同様、ラプラスの方程式を満足する。さて図-13にも示したように一つの抵抗線は四角形あるいは直方体の相対する辺と辺または面と面の間の抵抗を置き換えたものと考えれば理解しやすいわけで、いま2次元の場合を考え、四角形の電導比を ρ とすると辺と辺との間の抵抗は

$$R = \rho \frac{l}{w} \quad (31)$$

となる。ここに w は辺の幅、 l は辺間の距離である。

図-13の(b)について言うと

$$R_x = \rho \frac{\Delta x}{\Delta y}, \quad R_y = \rho \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (32)$$

となる。模型を作るには実験の測定を容易にするため R_0/ρ を乗じて

$$R_x = R_0 \frac{\Delta x}{\Delta y}, \quad R_y = R_0 \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (33)$$

とし、都合のよい抵抗を選んでよい。

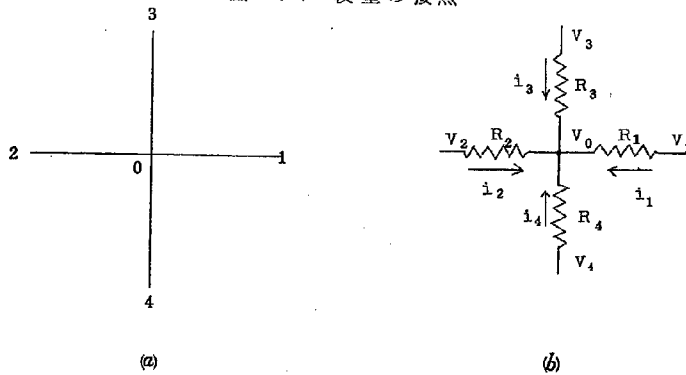
抵抗線によるネットワークの模型がラプラスの方程式の微分係数を有限階差で置き換えた階差式と全く同じ形をしていることを簡単に説明しておく。いま2次元流を考えるとラプラスの方程式は次のような階差式で与えられる。

$$\Delta^2 \phi \cong \frac{\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4 - 4\phi_0}{h^2} = 0 \quad (34)$$

$$\Delta^2 \phi \cong \frac{\phi_1 - \phi_0}{h^2} + \frac{\phi_2 - \phi_0}{h^2} + \frac{\phi_3 - \phi_0}{h^2} + \frac{\phi_4 - \phi_0}{h^2} = 0 \quad (35)$$

こゝに $\Delta x^2 = \Delta y^2 = h^2$ でありサフィックスは図-14(a)に示す隣接の接点位置を示す。

図-14 模型の接点



次に電流の方程式は図-14(b)に示すような接点を考えると

$$i_1 + i_2 + i_3 + i_4 = 0 \quad (36)$$

$$\frac{V_1 - V_0}{R_1} + \frac{V_2 - V_0}{R_2} + \frac{V_3 - V_0}{R_3} + \frac{V_4 - V_0}{R_4} = 0 \quad (37)$$

が得られ、両式からもわかるように、 R が h^2 に比例するように作られるならば、電位 v はポテンシャル ϕ に全く対応することが明らかである。3次元の場合

合についても全く同様なことが言える。

10. 軸対称の流れの模型

すでに述べたように締切地域内への浸透を radial flow と仮定し、円筒座標を考える。この場合独立変数は座標軸からの距離 r と座標軸の方向の縦座標 z である。さて、2次元流の格子模型を考えると水平方向の抵抗は r 方向の浸透に、また垂直方向の抵抗は z 方向の浸透に関係をもつものと考えることができる。

いま r 方向の抵抗を R_r また z 方向の抵抗を R_z とすると、 r_0 の距離にある接点と $r_0 + \Delta r$ の接点に接続する抵抗は次のようになる。

$$R_r = \frac{R_0 l}{A} \quad (38)$$

この場合 $l = \Delta r$ で図-15(b)に示すような r_0 と $r + \Delta r$ の中間での円筒の側面積は

$$A = 2\pi \left(r_0 + \frac{\Delta r}{2} \right) \Delta z \quad (39)$$

したがって抵抗は

$$R_r = \frac{R_0 \Delta r}{2\pi \left\{ r_0 + \left(\frac{\Delta r}{2} \right) \right\} \Delta z} \quad (40)$$

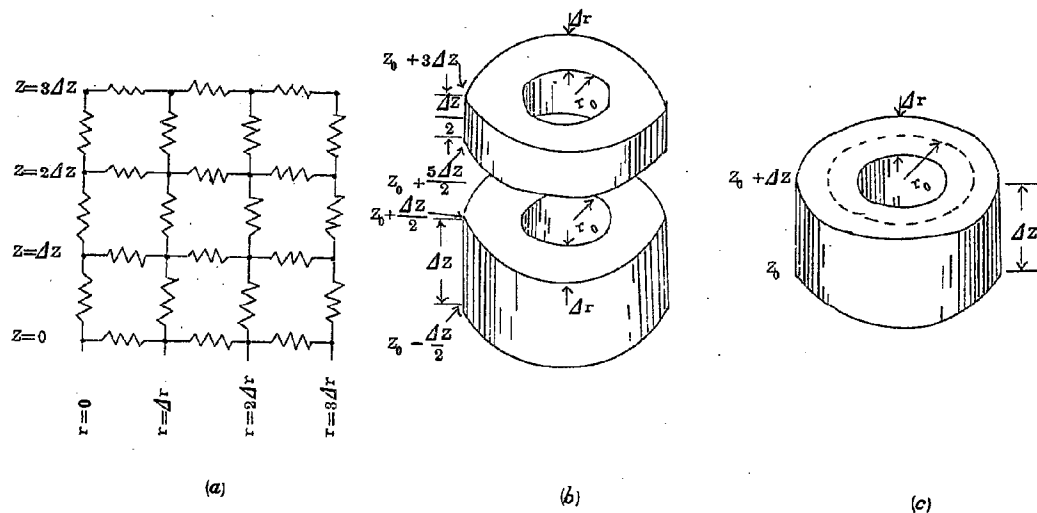
となる。同様に垂直方向の抵抗は図-15(c)に示すように $A = 2\pi r_0 \Delta r$ となり R_z は次のように表わされる。

$$R_z = \frac{R_0 \Delta z}{2\pi r_0 \Delta r} \quad (41)$$

なお浸透の境界面でたとえば図-15(b)の上部に示すような場合には R_{rB} は次のようになる。

$$R_{rB} = \frac{R_0 \Delta r}{\pi \left\{ r_0 + \left(\frac{\Delta r}{2} \right) \right\} \Delta z} \quad (42)$$

図-15 円筒座標の模型



次に抵抗線模型の流量縮尺について触れてみる。

いま垂直方向の流れを考える。電気模型での電位差 ΔV_z はそれに対応する位置での透水層中の水頭差 $(\Delta h)_z$ に直接比例しているわけであるから

$$\Delta V_z = S (\Delta h)_z \quad (43)$$

と書き表わすことができる。

ここに ΔV_z : 電気模型中の電位差 $(\Delta h)_z$: 透水層中の水頭差。

さて、ダルシーの法則によると中心より半径 $r_0 - \frac{\Delta r}{2}$ と $r_0 + \frac{\Delta r}{2}$ の距離の間にある部分の z 方向の流量は

$$q_z = 2\pi r_0 \Delta r \cdot k_z \frac{(\Delta h)_z}{\Delta z} \quad (44)$$

であり、またオームの法則によると、上に示した q_z に対応する電流 I_z は

$$I_z = \frac{\Delta V_z}{R_z}$$

で与えられる。

R_z は(41)式のとおりでであるから

$$I_z = \frac{S (\Delta h)_z}{R_0 \frac{\Delta z}{2\pi r \Delta r}} \quad (45)$$

したがって

$$\frac{I_z}{q_z} = \frac{\frac{S}{R_0} (\Delta h)_z \cdot 2\pi r_0 \Delta r \frac{1}{\Delta z}}{2\pi r_0 \Delta r \frac{R_0 k_z}{\Delta z} \frac{(\Delta h)_z}{\Delta z}} = \frac{S}{R_0 k_z}$$

$$q_z = \frac{R_0 k_z}{S} I_z \quad (46)$$

これは z 方向について考えたが r 方向についても全く同様である。

11 模 型 の 製 作

模型は先に示した代表的地盤の地層構成に合わせて製作した。すでに図-7でも示したように締切堤で囲まれている地区を円に置き換えるが、模型でも締切堤の堤軸は中心より半径81mの円上にあると仮定した。

模型の抵抗値は(40)式、(41)式および(42)式を用いて計算する。こゝで作った模型では $\Delta z = 2\text{ m}$ 、 $\Delta r = 9\text{ m}$ にとり、深度-5mの河床面から深度-25mまでの地盤を模型で再現した。地盤は層をなし、各層ごとに透水係数が異なるので各層の R_0 は $\frac{1}{R_k}$ に比例して値を選ばなければならないことは勿論である。透水層が層をなしているのをこれを模型に直すときに層の境界面を含んだ部分を考えなければならない場合が起ってくる。すなわち、こゝで述べている模型では図-16に示すような場合で、この場合には2つの抵抗を並列につないだものと考え、次の式で抵抗を算出した。

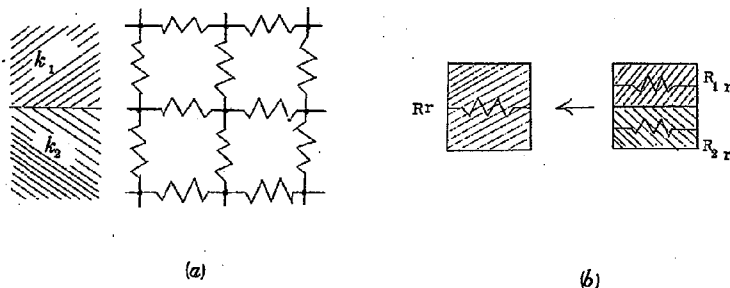
$$R_r = \frac{2 R_{1r} R_{2r}}{R_{1r} + R_{2r}} \quad (47)$$

こゝに R_{1r} 、 R_{2r} は境界面を含まない部分の、第1層および第2層について算出した座標軸から r の位置の抵抗である。

次に模型の範囲であるが、締切堤の位置から外側へ離れるに従って、透水層内の等ポテンシャル線は次第に垂直に近くなるので、模型は締切堤の位置から約819.5mで打ち切り、一番外側の接点には前節の計算式で求めたポテンシャルに相当する電位を境界条件として与えることにした。

製作した電気模型はベークライト板の上に抵抗を格子状にハンダ付けしたもので使用した抵抗値は図-17(a)および(b)のとおりである。なお、図の数値は抵抗のオーム数を示している。図-17(b)の模型は代表的な地盤に合わせて作ったものであるが、表層の透水係数が異なる場合を比較検討するため図-17(a)

図-18 境界層の取扱い



この模型では表層の透水係数を $k = 1 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ と仮定した。

12 実験方法

模型の外側の節点に実際の浸透条件に対応する電位を与え、次に図-18に示すような装置で内部の各接点の電位を測定する。また浸透流量を測定するために模型の中を流れる電流の測定も行なう。実験に使用した主な器具は電位差式抵抗器、検流計などである。

実験は製作した2種の模型を用いて行なったが、漏水対策工法を何も施さない場合に比較して、ウェルポイント法あるいはデープウェル工法などの効果がどの程度現われるか、模型上で確かめることを目的とした。このため、締切堤内側の地盤に対応する模型の内部接点に導線をつなぎ、これにいろいろの電位を与えることによって、ウェルに相似させ、模型内の電位の分布ならびに電流を測定した。

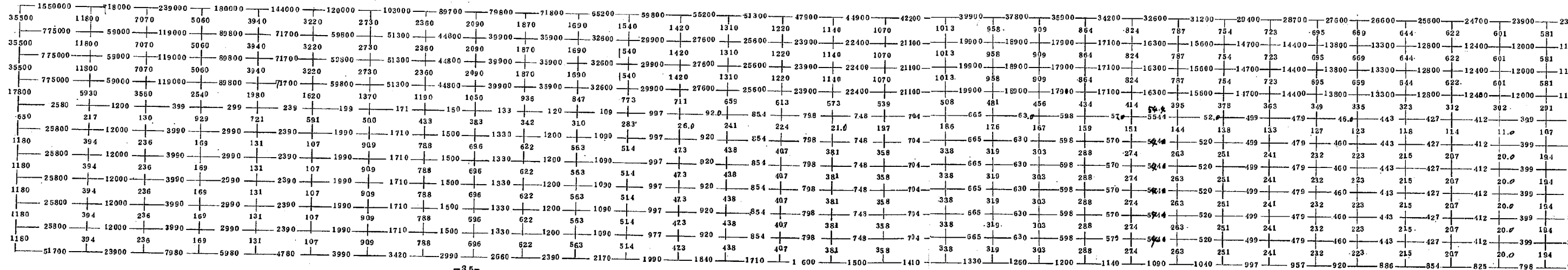
中心

1



(單位 Ω)

(單位 Ω)



(a) 模型の抵抗 (No. 1)

(単位 Ω)

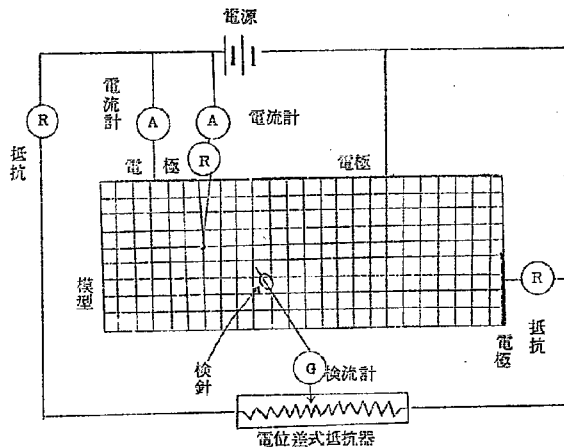
59800	47800	39900	34200	29900	26600	23900	21700	19900	18400	17100	16000	15000	14070	13300	12590	11960	11400	10900	10400	9970	9570	9200	8860	8540	8250	7980	7720	7480	7230	7040	6840	
1310	1070	909	788	696	622	563	514	473	438	407	381	358	338	319	303	288	274	263	251	241	232	223	215	207	200	194	188	182	176	171		
29900	23900	19900	17100	15000	13300	12000	10900	9970	9200	8540	7980	7480	7040	6650	6300	5980	5700	5440	5200	4990	4790	4600	4430	4270	4120	3990	3860	3740	3610	3520	3420	
1310	1070	909	788	696	622	563	514	473	9200	8540	7980	7480	7040	6650	6300	5980	5700	5440	5200	4990	4790	4600	4430	4270	4120	3990	3860	3740	3610	3520	3420	
29900	23900	19900	17100	15000	13300	12000	10900	9970	9200	8540	7980	7480	7040	6650	6300	5980	5700	5440	5200	4990	4790	4600	4430	4270	4120	3990	3860	3740	3610	3520	3420	
663	542	459	398	351	334	284	259	239	221	206	192	181	171	161	153	146	139	133	127	122	117	113	109	105	101	978	947	918	891	865		
299	239	199	171	150	133	120	109	997	920	854	798	748	704	665	630	5980	5700	5440	5200	4990	4790	4600	4430	4270	4120	3990	3860	3740	3610	3520	3420	
722	591	500	433	383	342	310	283	260	241	224	210	197	186	176	167	159	151	144	138	133	127	123	118	114	111	107	103	100	97	94		
2990	2390	1990	1710	1500	1330	1200	1090	997	920	854	798	748	704	665	630	5980	5700	5440	5200	4990	4790	4600	4430	4270	4120	3990	3860	3740	3610	3520	3420	
131	107	909	788	696	622	563	514	473	920	854	798	748	704	665	630	5980	5700	5440	5200	4990	4790	4600	4430	4270	4120	3990	3860	3740	3610	3520	3420	
2990	2390	1990	1710	1500	1330	1200	1090	997	920	854	798	748	704	665	630	5980	5700	5440	5200	4990	4790	4600	4430	4270	4120	3990	3860	3740	3610	3520	3420	
131	107	909	788	696	622	563	514	473	920	854	798	748	704	665	630	5980	5700	5440	5200	4990	4790	4600	4430	4270	4120	3990	3860	3740	3610	3520	3420	
2990	2390	1990	1710	1500	1330	1200	1090	997	920	854	798	748	704	665	630	5980	5700	5440	5200	4990	4790	4600	4430	4270	4120	3990	3860	3740	3610	3520	3420	
131	107	909	788	696	622	563	514	473	920	854	798	748	704	665	630	5980	5700	5440	5200	4990	4790	4600	4430	4270	4120	3990	3860	3740	3610	3520	3420	
2990	2390	1990	1710	1500	1330	1200	1090	997	920	854	798	748	704	665	630	5980	5700	5440	5200	4990	4790	4600	4430	4270	4120	3990	3860	3740	3610	3520	3420	
131	107	909	788	696	622	563	514	473	920	854	798	748	704	665	630	5980	5700	5440	5200	4990	4790	4600	4430	4270	4120	3990	3860	3740	3610	3520	3420	
5980	4780	3990	3420	2990	2660	2390	2170	1990	1840	1710	1600	1500	1410	1330	1260	1200	1140	1090	1040	997	957	920	886	854	825	798	772	748	723	704	684	
) 模型の抵抗 (No. 2)																																
(単位)																																

模型の抵抗 (No. 2)

(単位 Ω)

180000	144000	120000	103000	89700	79800	71800	65200	59800	55200	51300	47900	44900	42200	39900	37800	35900	34200	32600	31200	29400	28700	27600	26600	25500	24700	23900	23200	22400	21670	20600	20500
3940	3220	2730	2360	2090	1870	1690	1540	1420	1310	1220	1140	1070	1013	958	909	864	824	787	754	723	695	669	644	622	601	581	558	545	529	514	
59800	47800	39900	34200	29900	26600	23900	21700	19900	18400	17100	16000	15000	14070	13300	12590	11960	11400	10900	10400	9970	9570	9200	8860	8540	8250	7980	7720	7480	7230	7040	6840
3940	3220	2730	2360	2090	1870	1690	1540	1420	1310	1220	1140	1070	1013	958	909	864	824	787	754	723	695	669	644	622	601	581	558	545	529	514	
59800	47800	39900	34200	29900	26600	23900	21700	19900	18400	17100	16000	15000	14070	13300	12590	11960	11400	10900	10400	9970	9570	9200	8860	8540	8250	7980	7720	7480	7230	7040	6840
1980	1620	1370	1190	1050	936	847	773	711	659	613	573	539	508	481	456	434	414	395	378	363	349	335	323	312	302	291	282	274	265	258	
299	239	199	171	150	133	120	109	997	920	854	798	748	704	665	630	598	570	544	520	499	479	460	443	427	412	399	386	374	361	352	342
721	591	500	433	383	342	310	283	260	241	224	210	197	186	176	167	159	151	144	138	133	127	123	118	114	111	107	103	100	97	94	
2990	2390	1990	1710	1500	1330	1200	1090	997	920	854	798	748	704	665	630	598	570	544	520	499	479	460	443	427	412	399	386	374	361	352	342
131	107	909	788	696	622	563	514	473	438	407	381	358	338	319	303	288	274	263	251	241	232	223	215	207	200	194	188	182	176	171	
2990	2390	1990	1710	1500	1330	1200	1090	997	920	854	798	748	704	665	630	598	570	544	520	499	479	460	443	427	412	399	386	374	361	352	342
131	107	909	788	696	622	563	514	473	438	407	381	358	338	319	303	288	274	263	251	241	232	223	215	207	200	194	188	182	176	171	
2990	2390	1990	1710	1500	1330	1200	1090	997	920	854	798	748	704	665	630	598	570	544	520	499	479	460	443	427	412	399	386	374	361	352	342
131	107	909	788	696	622	563	514	473	438	407	381	358	338	319	303	288	274	263	251	241	232	223	215	207	200	194	188	182	176	171	
2990	2390	1990	1710	1500	1330	1200	1090	997	920	854	798	748	704	665	630	598	570	544	520	499	479	460	443	427	412	399	386	374	361	352	342
131	107	909	788	696	622	563	514	473	438	407	381	358	338	319	303	288	274	263	251	241	232	223	215	207	200	194	188	182	176	171	
5980	4780	3990	3420	2990	2660	2390	2170	1990	1840	1710	1600	1500	1410	1330	1260	1200	1140	1090	1040	997	957	920	886	854	825	798	772	748	723	704	684

図-18 電気模型実験装置の略図



13 実験内容

製作した2種の模型で実験を行なったが、対策工法を比較するため、模型でそれを再現し、電位・電流の測定を繰り返した。2つの模型の相異はすでに述べたように表層の透水係数を $1 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ と $3 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ にした所である。このおのおのの模型で、テープウエルおよびウエルポイントを施工した条件を作り、実験を行なった。デープウエルは図-19に示すように締切中心から67.5mの距離の円周上に一定間隔で設け、深度はAP-13mと仮定する。すなわち締切堤から内側へ4.5mの所に一列に設け先端は透水性の高い砂礫層の中央部に達せしめる。

次にウエルポイントであるがこれは地表層の比較的浅い所に設け、効果的に浸透水を汲み上げるのであるから、数多くのウエルを施工する。

図-19 デープウエルの設置位置

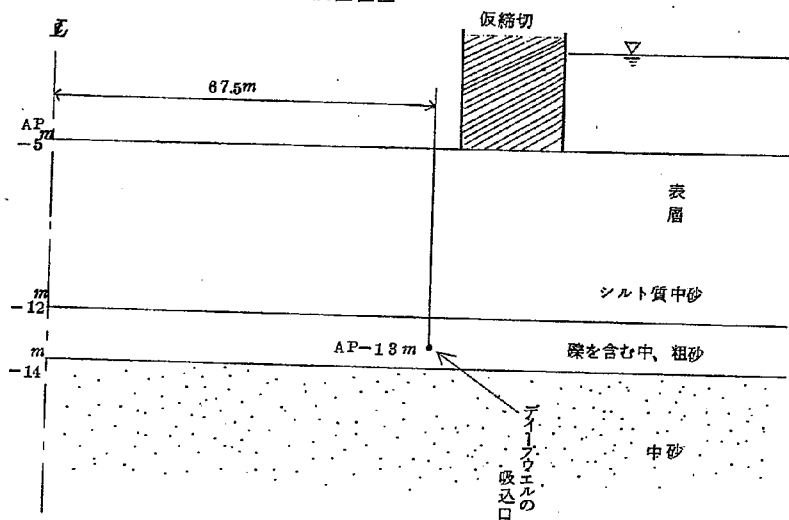
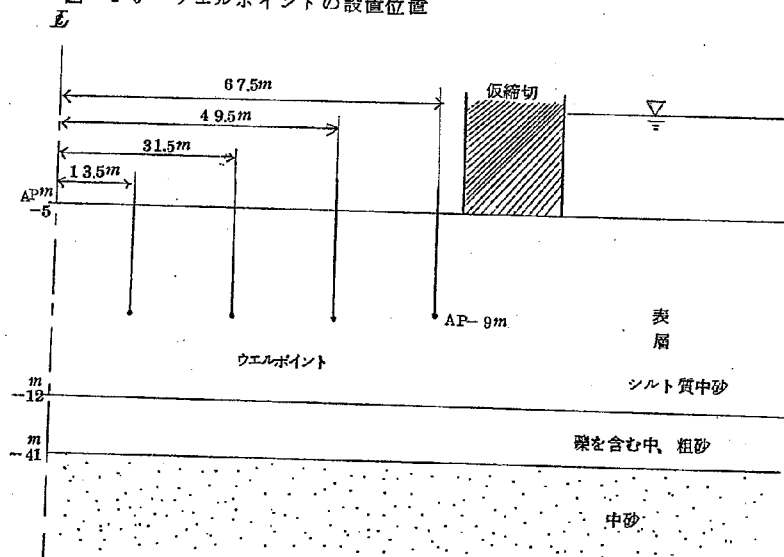


図-20 ウェルポイントの設置位置



この実験で考えたウエルポイントは図-20に示すように深度-9m、中心からの距離は13.5m, 31.5m, 49.5m, 67.5mの同心円上に1列に設けるものと仮定した。

デブウエルおよびウエルポイント工法については共に井戸からの汲上量を変えて、締切堤の内側へ流出してくる浸透流の表層中の動水勾配を検討してみた。したがって表層の透水係数を $k = 1 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ としたNo.1の模型では対策工法のない場合を含めて計8通り、また表層の透水係数を $k = 3 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ としたNo.2の模型では計7通りの実験を行なった。

14. 実験結果

模型実験は以上述べた15通り実施し、そのおのこのについて模型内部の各接点の電位ならびに電流を測定した。模型実験の一覧表を示すと表-1および表-2のとおりである。なお表-1に示す実験番号1の実験は表層の透水係数が $1 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ の場合であり、表-2の実験番号2は表層の透水係数が $3 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ の場合である。

表中には実験で求めた電流から換算したウエル流出量ならびに地表面流出量も記入されており、また締切内側の表層内に生じる浸透流の鉛直方向の最大動水勾配も示されている。

実験で求めた各接点の電位を図-21(a)~(o)に示す。この図を用い、内挿法によって等ポテンシャル線群を描いたのが図-22(a)~(o)である。この図では仮締切堤防付近の等ポテンシャル線を多少修正して描いている。

表-1 模型実験一覧表 (No.1)

実験 番号	対策工法	ウエル位置		ウエル流出量	地表 流出量	合 計 流出量	最大湧水 勾配
				l/min	l/min	l/min	
1-1	なし	なし		0	523	523	0.570
1-2	ディープウエル	中心より 6.75m	EL -13.0m	344	404	938	0.450
1-3	◇	中心より 0.75m	EL -13.0m	794	366	1,160	0.325
1-4	◇	中心より 6.75m	EL -13.0m	1,246	235	1,481	0.200
1-5	ウエルポイント	中心より (1) 6.75m (2) 4.95m (3) 3.15m	EL -9.0m ◇ ◇	合計 69 (1) 57 (2) 11 (3) 1	498	567	0.493
1-6	◇	中心より (1) 6.75m (2) 4.05m (3) 3.15m (4) 1.35m	EL -9.0m ◇ ◇ ◇	合計 183 (1) 107 (2) 48 (3) 24 (4) 4	428	611	0.463
1-7	◇	中心より (1) 6.75m (2) 4.95m (3) 3.15m (4) 1.35m	EL -9.0m ◇ ◇ ◇	合計 299 (1) 155 (2) 85 (3) 46 (4) 13	377	676	0.433
1-8	◇	中心より (1) 6.75m (2) 4.95m (3) 3.15m (4) 1.35m	EL -9.0m ◇ ◇ ◇	合計 386 (1) 193 (2) 113 (3) 59 (4) 21	334	720	0.408

(表層 $k = 1 \times 10^{-4}$ cm/sec)

表-2

模型実験一覧表 (No.2)

実験 番号	対策工法	ウエル位置		ウエル流出量	地表面 流出量	合計 流出量	最大動水 勾配
2-1	なし	なし		ℓ/min 0	ℓ/min 1,134	ℓ/min 1,134	0.468
2-2	ディープウエル	中心より 67.5m	EL -13.0m	529	866	1,395	0.875
2-3	◇	中心より 67.5m	EL -13.0m	1,056	677	1,733	0.275
2-4	◇	中心より 67.5m	EL -13.0m	1,606	466	2,072	0.175
2-5	ウエルポイント	中心より (1)67.5m	EL -9.0m	合計216 (1)216	984	1,200	0.348
2-6	◇	中心より (1)67.5m (2)49.5m (3)31.5m (4)13.5m	EL -9.0m ◇ ◇ ◇	合計436 (1)311 (2)98 (3)26 (4)1	851	1,287	0.318
2-7	◇	中心より (1)67.5m (2)49.5m (3)31.5m (4)13.5m	EL -9.0m ◇ ◇ ◇	合計655 (1)436 (2)150 (3)59 (4)10	697	1,352	0.290

(表層 $k = 3 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$)

15. 実験結果に対する考察

先に示した計算結果と模型実験の結果の比較を行なってみる。計算によって求めた透水層内の圧力分布は図-11のとおりであるが、模型実験では対策工法を施さない場合がこれに対応するので深度 $AP-13\text{ m}$ の位置の水頭を実験結果から換算して同様な水頭分布を図示すると図-23のようになる。この水頭分布は計算結果と極めてよい一致を示している。また流量についても実験ならびに計算結果が極めてよく合っていることが表-1、表-2および図-12から明らかである。また締切堤内側から実際に排水している流量も計算あるいは実験により求めた流量とオーダーはほぼ合っているようである。

締切堤内へのパイピングあるいは地盤のクイックサンド現象を防ぐためには浸透水の流出する地表近くの動水勾配を小さくすることが必要である。このためデープウエル工法あるいはウエルポイント工法を適用するわけであるが、その効果をわかり易くするため地盤内の鉛直断面の水頭分布を図-24 (a)および (b)に示した。鉛直断面は地表面に最大の動水勾配が生じている個所で、デープウエルの場合には締切中心より 6.75 m またウエルポイントの場合には中心より 5.85 m の断面をとっている。図からもわかるようにウエルより多く排水するほど透水層内の水頭が低下し、比較的浅い層から排水するウエルポイントによっても、透水層内の水頭を低下させることが知られる。

図-25は実験結果を整理し、縦軸に浸透流量をとり横軸に表層に現われる最大動水勾配をとってまとめたものである。地表面への流出量およびウエルからの排水量を別々にプロットし、合計の流量も同時に示したが、動水勾配を低下させるためにはかなり多量の揚排水が必要である。動水勾配を低下させるために必要な揚水量はデープウエルよりウエルポイントの方が少なくすむことがわかる。

図-23 実験によって求めた透水層内の水頭分布

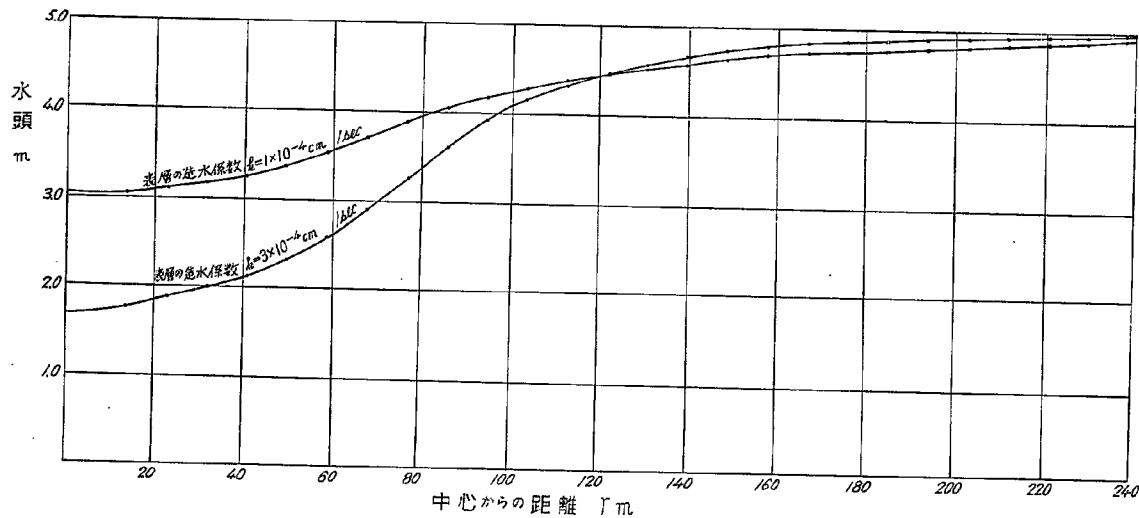


図-24(a) 深さ方向の水頭分布
過剰水頭 (m)

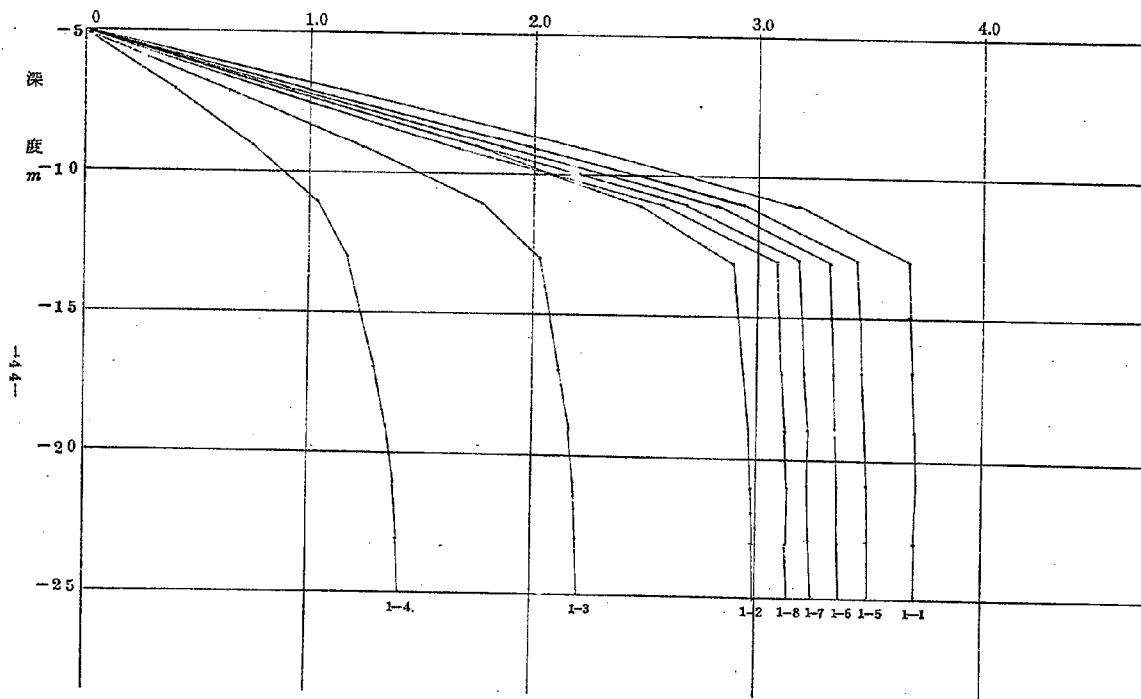


図-24(b) 深さ方向の水頭分布 (No.1)

過剰水頭 (m)

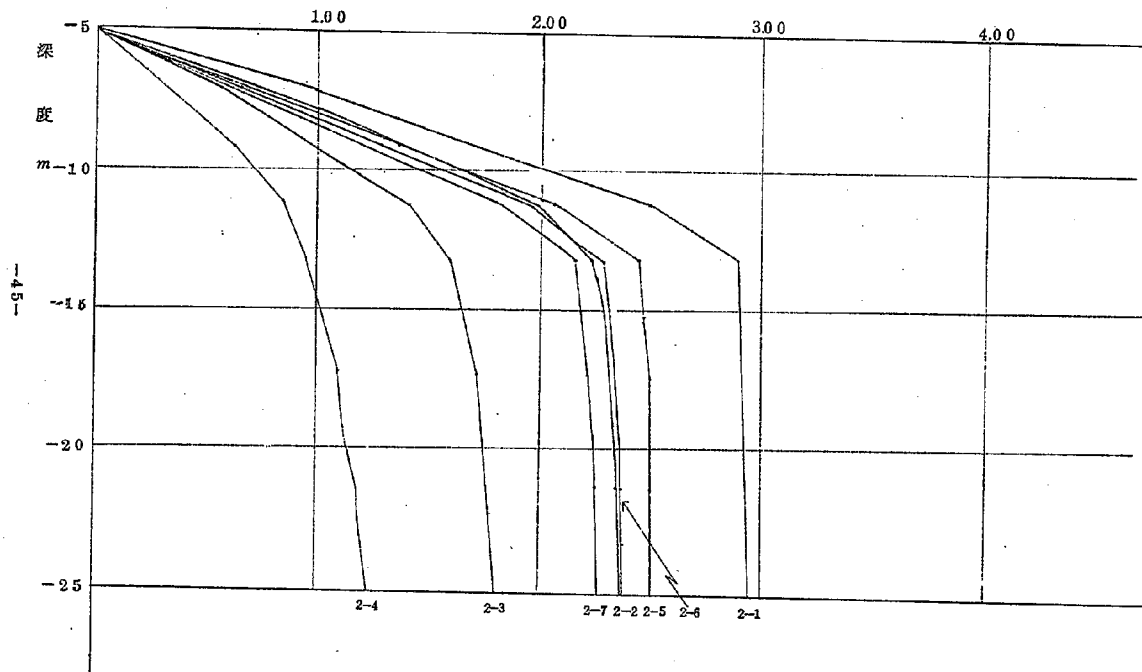


図-25 浸透流量と最大動水勾配の関係 (No. 1)

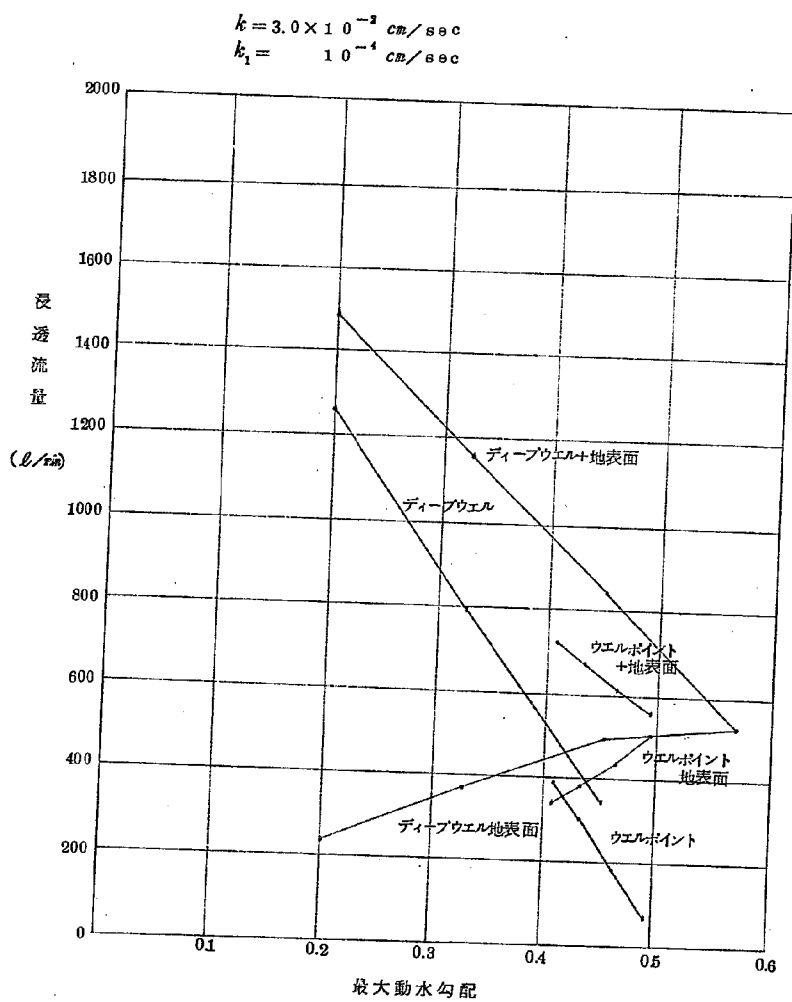
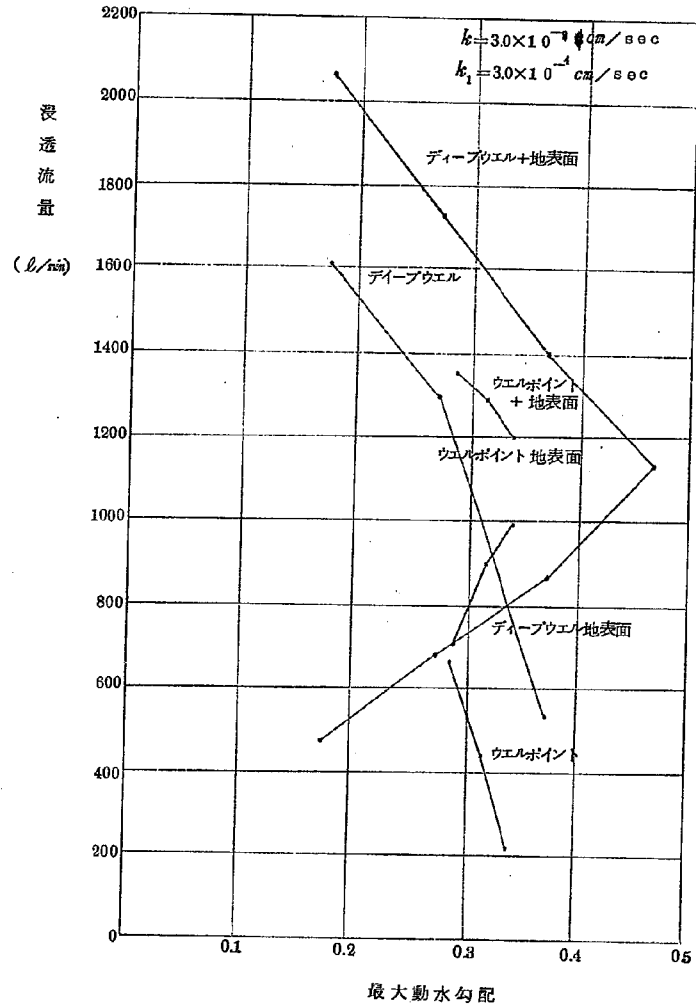


図-25 浸透流量と最大動水勾配の関係 (No.2)



実験番号 1 - 1

図-2 1(b)実験によって求めた地盤内のポテンシャル

実験番号 1 - 2

-48-

1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000

986	988	990	991	992	993	994	995	995	995	995	996	997	997	997	997	998	998
973	977	979	980	984	986	988	989	995	991	992	993	994	994	995	995	996	996
959	965	969	970	976	979	982	984	995	987	992	990	991	992	993	993	994	994
953	958	964	968	972	975	978	981	995	985	992	988	991	990	991	992	993	993
952	958	963	968	972	975	978	981	983	985	987	988	990	990	991	992	993	993
952	958	963	968	972	975	978	981	983	985	987	988	990	990	991	992	993	993
952	958	963	968	972	975	978	981	983	985	987	988	990	990	991	992	993	993
952	958	963	968	972	975	978	981	983	985	987	988	990	990	991	992	993	993
952	958	963	968	972	975	978	981	983	985	987	988	990	990	991	992	993	993

1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000

979	981	983	985	987	989	990	991	992	993	994	995	995	995	996	996	996	996
958	963	967	968	974	977	980	983	985	986	987	988	989	990	990	990	990	990
936	944	951	952	962	966	970	974	977	979	981	983	985	986	987	987	987	987
926	935	943	950	956	961	965	969	972	975	978	980	982	984	985	986	987	987
925	935	943	950	956	961	965	969	972	975	978	980	982	984	985	986	987	987
924	934	942	950	955	961	965	969	972	975	978	980	982	984	985	986	987	987
924	934	942	950	955	961	965	969	972	975	978	980	982	984	985	986	987	987
924	934	942	950	955	961	965	969	972	975	978	980	982	984	985	986	987	987
924	934	942	950	955	961	965	969	972	975	978	980	982	984	985	986	987	987

実験番号 1 - 3

[illegible]

実験番号 1 - 4

[illegible]

實驗番号 1 - 5

0-0-0-0-0-0-0-0-0-661-815-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-
170-167-176-179-183-180-197-190-672-813-943-955-962-967-971-975-979-981-984-
336-332-351-358-365-358-395-358-700-812-891-911-924-934-943-950-957-963-967-
503-519-525-539-551-564-588-597-736-791-844-868-885-901-915-926-936-944-951-
595-604-619-628-645-666-691-720-758-791-820-845-866-885-901-914-925-934-943-
597-605-620-639-648-667-692-722-758-791-820-846-866-885-899-914-925-934-943-
598-607-623-640-650-668-694-724-759-791-820-845-866-885-899-913-925-934-943-
599-609-625-640-652-669-696-725-759-791-820-845-866-884-899-913-925-934-943-
600-610-626-641-654-679-698-726-759-791-820-845-866-884-899-913-924-934-943-
600-610-627-641-655-679-698-727-759-791-820-845-866-884-899-913-924-934-943-
600-610-627-641-655-679-698-727-759-791-820-845-866-884-899-913-924-934-943-

實驗番号 1 - 6

0 0 0 0 0 0 0 0 0.638-800-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-
157-140-164-134-170-140-185-150-649-799-938-951-959-964-969-973-977-980-982-
315-276-329-276-342-276-373-276-675-798-882-904-918-628-938-946-953-960-965-
476-480-499-491-524-519-563-553-713-773-830-856-876-893-907-919-930-939-947-
565-573-588-597-616-637-665-696-737-772-805-833-855-875-892-906-919-929-938-
565-574-590-610-618-639-666-698-727-772-804-832-855-875-890-906-919-929-938-
567-576-592-610-627-640-669-700-738-772-804-832-855-874-890-906-918-929-938-
568-577-594-610-623-641-670-701-738-773-804-831-855-874-890-905-918-929-938-
569-579-596-611-625-652-672-703-738-773-804-831-854-874-890-905-918-928-937-
569-579-597-611-626-652-673-703-739-773-804-831-854-874-890-905-918-928-937-
569-579-597-611-626-652-673-703-739-773-804-831-854-874-890-905-918-928-937-

[illegible]

実験番号 1-7

[illegible]

実験番号 1 - 8

[illegible]

1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000
 983-985-987-989-990-992-993-994-994-995-995-996-996-997-997-998-998
 967-971-974-977-980-983-985-987-988-989-990-991-992-993-993-994-994
 950-956-961-966-970-974-977-980-983-985-986-987-988-989-990-991-991
 941-948-955-960-965-969-973-976-979-981-983-985-986-987-988-989-990
 941-948-955-960-965-969-973-976-979-981-983-985-986-987-988-989-990
 941-948-955-960-965-969-973-976-979-981-983-985-986-987-988-989-990
 941-948-955-960-965-969-973-976-979-981-983-985-986-987-988-989-990
 941-948-955-960-965-969-973-976-979-981-983-985-986-987-988-989-990
 941-948-955-960-965-969-973-976-979-981-983-985-986-987-988-989-990
 941-948-955-960-965-969-973-976-979-981-983-985-986-987-988-989-990

1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000
 982-984-986-988-990-991-992-993-994-995-995-996-997-997-998-998-998
 965-969-973-976-979-982-984-986-988-989-990-991-992-993-994-994-994
 947-953-959-964-969-973-976-979-981-983-985-986-988-989-990-991-991
 938-945-952-958-963-967-971-974-977-980-982-984-986-987-988-989-990
 937-945-952-958-963-967-971-974-977-980-982-984-986-987-988-989-990
 937-945-952-958-963-967-971-974-977-980-982-984-986-987-988-989-990
 937-945-952-958-963-967-971-974-977-980-982-984-986-987-988-989-990
 937-945-952-958-963-967-971-974-977-980-982-984-986-987-988-989-990
 937-945-952-958-963-967-971-974-977-980-982-984-986-987-988-989-990

實驗番号 2 - 1

図-21(j)実験によって求めた地盤内のポテンシヤル

實驗番号 2 - 2

-56-

1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000
 993-993-995-995-996-997-997-998-998-999-999-999-999-999-999-999-999-999
 985-987-989-991-993-994-995-996-997-997-998-998-998-999-999-999-999-999
 976-980-984-986-989-991-993-994-995-996-997-997-998-998-998-998-999-999
 972-977-981-984-987-990-992-993-994-995-996-997-997-998-998-998-999-999
 971-977-981-984-987-989-991-993-994-995-996-997-997-998-998-998-999-999
 971-977-981-984-987-989-991-993-994-995-996-997-997-998-998-998-999-999
 971-977-981-984-987-989-991-993-994-995-996-997-997-998-998-998-999-999
 971-977-981-984-987-989-991-993-994-995-996-997-997-998-998-998-999-999
 971-977-981-984-987-989-991-993-994-995-996-997-997-998-998-998-999-999
 971-977-981-984-987-989-991-993-994-995-996-997-997-998-998-998-999-999

1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000
 989-991-995-994-995-996-997-997-998-998-999-999-999-999-1000-1000-1000-1000
 978-984-986-989-991-993-994-995-996-997-997-998-999-999-999-999-999-999
 967-973-979-983-986-989-991-993-994-995-996-997-998-998-998-998-998-998
 962-969-975-980-984-987-989-991-993-994-995-996-997-997-997-998-998-998
 961-968-975-979-983-986-989-991-993-994-995-996-997-997-997-998-998-998
 961-968-975-979-983-986-989-991-993-994-995-996-997-997-997-998-998-998
 961-968-975-979-983-986-989-991-993-994-995-996-997-997-997-998-998-998
 961-968-974-979-983-986-989-991-993-994-995-996-997-997-997-998-998-998
 961-968-974-979-983-986-989-991-993-994-995-996-997-997-997-998-998-998

実験番号 2 - 3

図-2 1(1)実験によって求めた地盤内のポテンシャル

实验番号 2 - 4

- 58 -

1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000
 937-959-991-998-994-995-996-997-997-998-998-998-999-999-999-999-999
 974-979-988-986-989-991-993-994-995-996-997-997-998-998-999-999
 960-967-974-979-983-986-989-991-993-994-995-996-997-997-998-999-999
 963-961-968-975-980-983-986-989-991-993-994-995-996-997-997-998-998
 963-961-969-975-980-983-986-989-991-993-994-995-996-997-997-998-998
 962-960-969-975-980-983-986-989-991-993-994-995-996-997-997-998-998
 962-960-969-975-980-983-986-989-991-993-994-995-996-997-997-998-998
 962-960-969-975-980-983-986-989-991-993-994-995-996-997-997-998-998
 962-960-969-975-980-983-986-989-991-993-994-995-996-997-997-998-998
 962-960-969-975-980-983-986-989-991-993-994-995-996-997-997-998-998

1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000-1000
 985-987-990-992-993-994-995-996-997-998-998-998-999-999-999-999-999
 969-974-980-984-987-989-991-993-994-995-996-997-998-998-999-999-999
 962-962-969-975-980-983-986-989-991-993-994-995-996-997-998-998-998
 944-966-964-970-976-980-984-987-989-991-993-994-995-996-997-998-998
 944-966-964-970-976-980-984-987-989-991-993-994-995-996-997-998-998
 944-966-964-970-976-980-984-987-989-991-993-994-995-996-997-998-998
 943-965-963-970-976-980-984-987-989-991-993-994-995-996-997-998-998
 943-964-963-970-976-980-984-987-989-991-993-994-995-996-997-998-998
 943-964-963-970-976-980-984-987-989-991-993-994-995-996-997-998-998
 943-964-963-970-976-980-984-987-989-991-993-994-995-996-997-998-998

實驗番号 2 - 5

[illegible]

实验番号 2 - 6

[illegible]

[illegible][illegible]

実験番号 2 - 7

[illegible]

1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
991	992	994	995	996	997	998	999	999	999	999	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
980	984	987	990	992	994	995	998	997	998	998	999	999	999	1000	1000	1000	1000
970	976	980	984	988	990	992	994	995	996	997	998	998	998	999	999	999	999
965	972	977	982	986	989	991	993	994	995	996	997	998	998	999	999	999	999
955	972	977	982	986	989	991	993	994	995	996	997	998	998	999	999	999	999
955	972	977	982	986	989	991	993	994	995	996	997	998	998	999	999	999	999
955	972	977	982	986	989	991	993	994	995	996	997	998	998	999	999	999	999
964	972	977	981	985	988	990	992	994	995	996	997	998	998	999	999	999	999
964	972	977	981	985	988	990	992	994	995	996	997	998	998	999	999	999	999
964	972	977	981	985	988	990	992	994	995	996	997	998	998	999	999	999	999

16 む す び

仮締切堤地盤からの浸透を計算ならびに電気模型によって検討したが、本報告書では、現場での実際の漏水現象との比較検討が十分なされていない。例えば実際地盤の透水層内の水頭分布は十分観測されておらず、打設された杭頭から水が流出してくることなどから透水層内の水頭がかなり高いことを予想する程度である。締切堤内からの排水量の測定資料も十分でないので、さらに観測データを整備し実験結果との対比が必要と思われる。

またクイックサンドを防止するためには最大動水勾配をどの程度に押えるべきか、また必要な排水を確保するためのウエルの構造、間隔をどのようにするべきかなどの問題についてもまだ全然触れていない。すでに述べたように本報告書は計算ならびに実験結果についてのみ記述したので、残された問題については第2報で取扱いたい。

本報告書をまとめるに当たり、荒木所長をはじめ調査設計課の方にはいろいろ御援助をいただいた。とを付記し、感謝の意を表したい。

図-22(a) 透水層内の等ポテンシャル線

実験番号 1-1

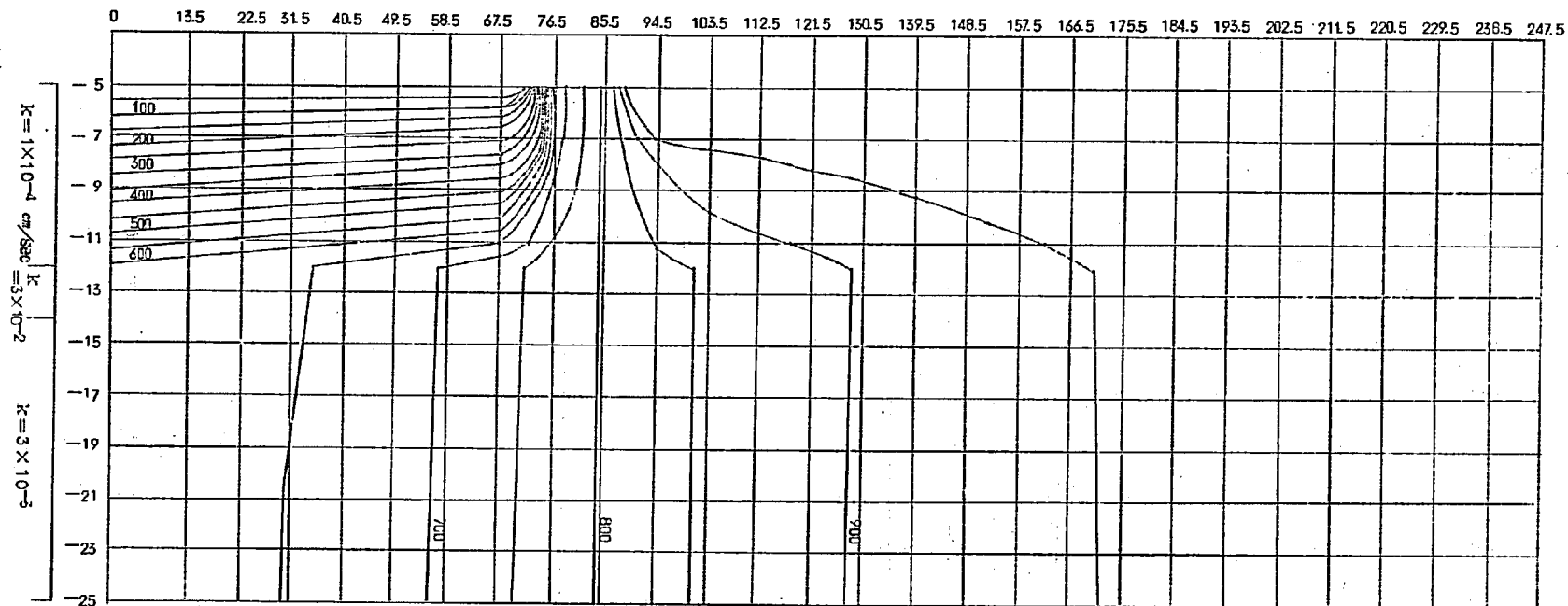


図-22(b) 透水層内の等ポテンシャル線

実験番号 1-2

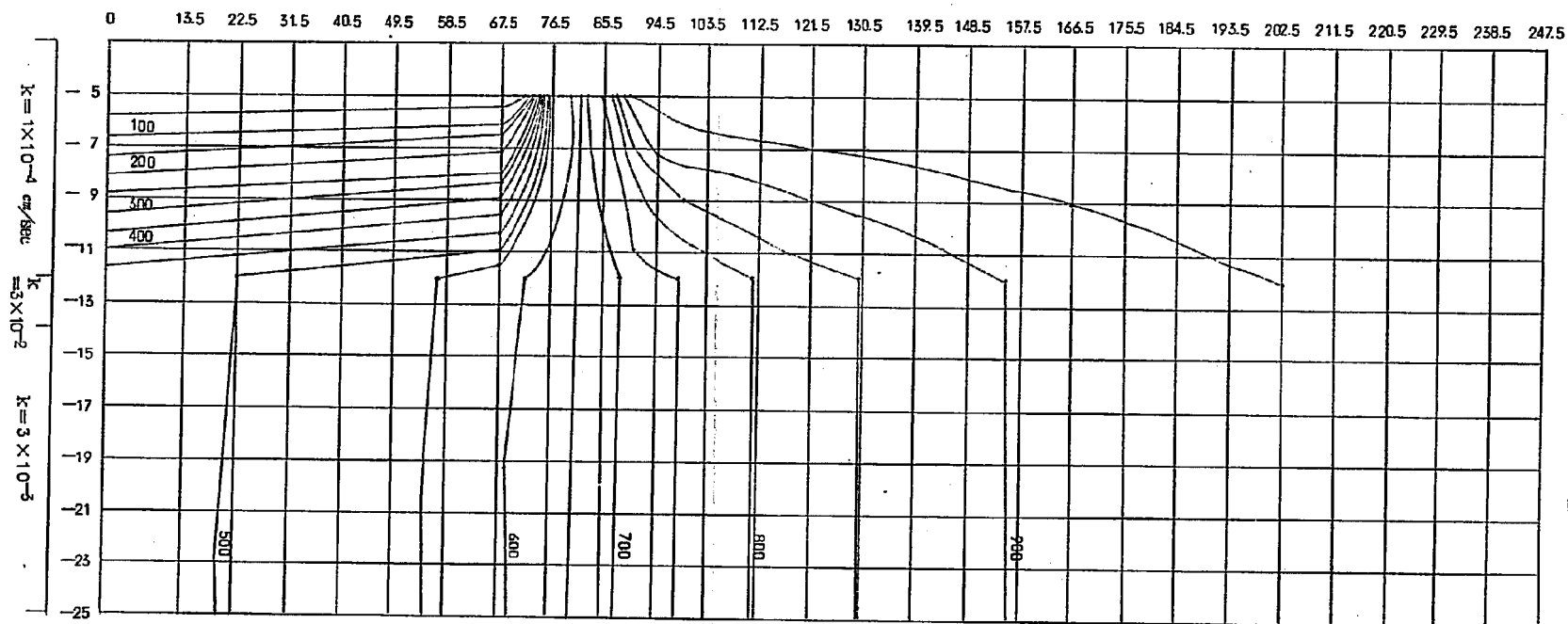


図-22(c) 透水層内の等ポテンシャル線

実験番号 1-3

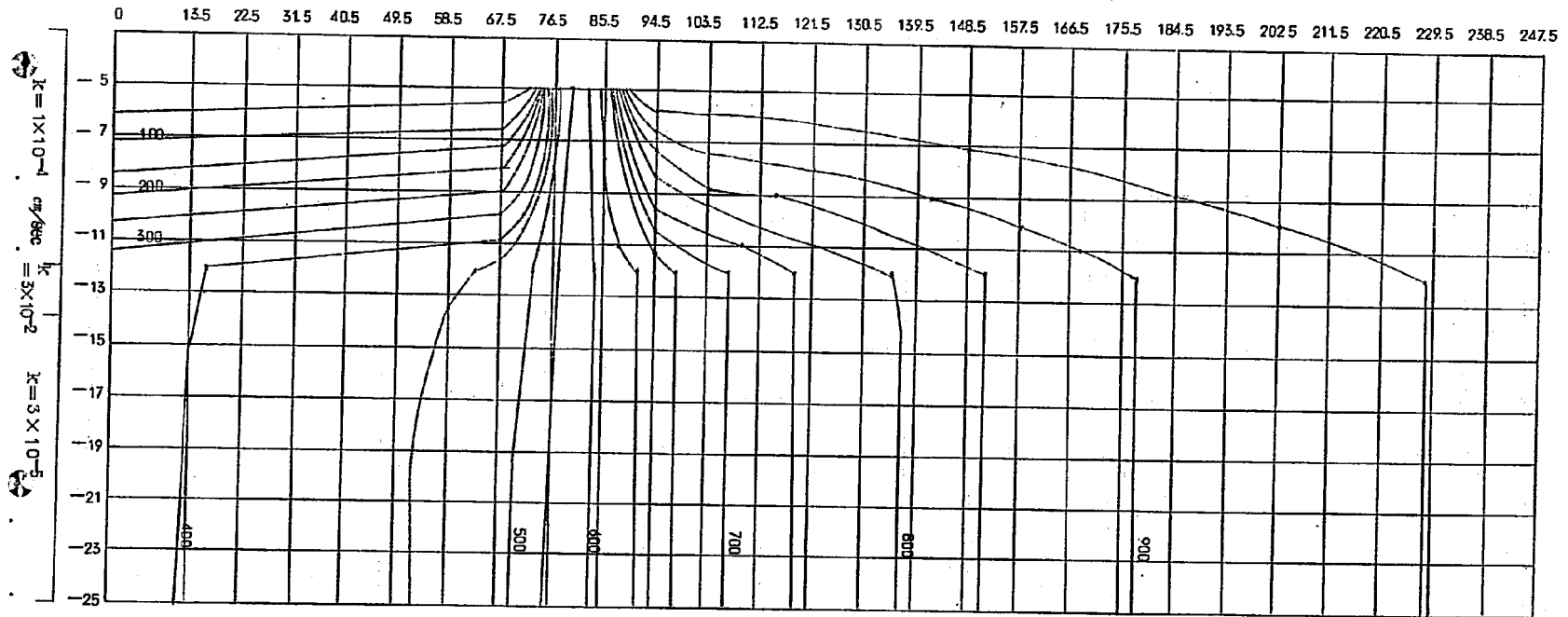


図-22(1) 透水層内の等ポテンシャル線

実験番号 1-4

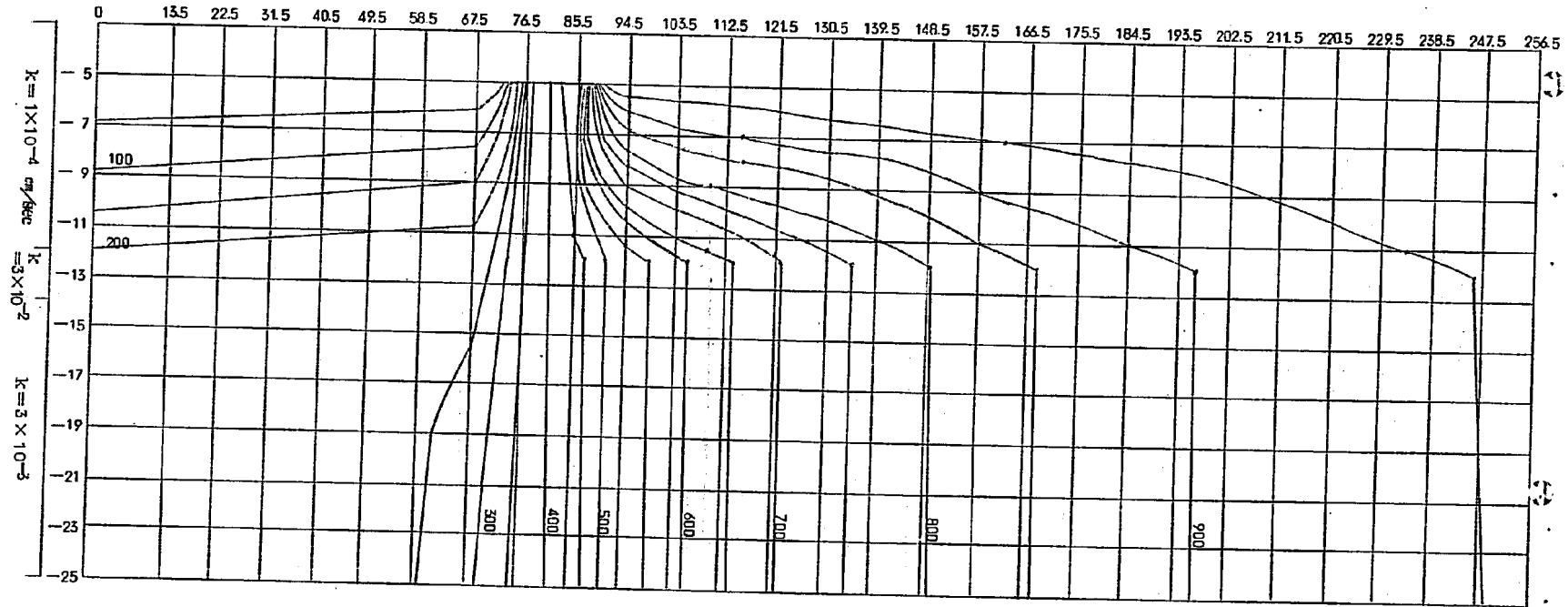


図-22(e) 透水層内の等ポテンシャル線

実験番号 1-5

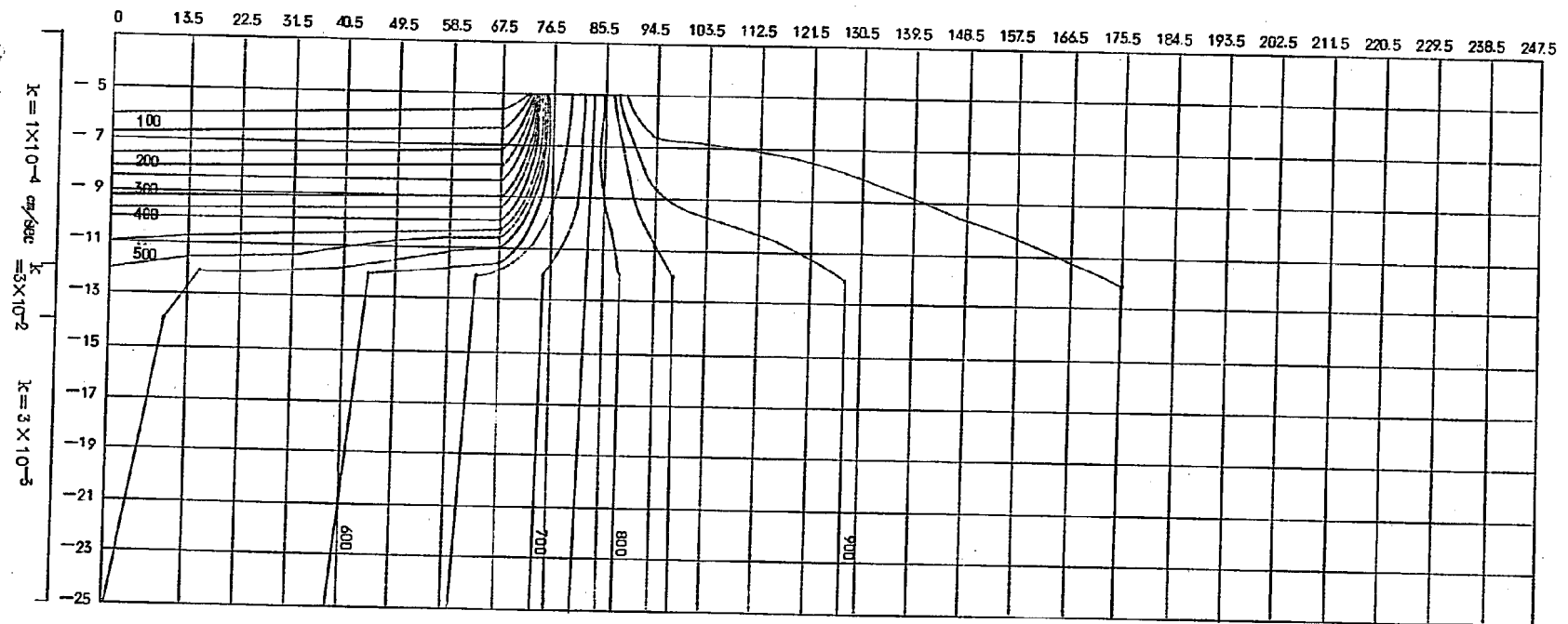


図-22(f) 透水層内の等ポテンシャル線

実験番号 1-6

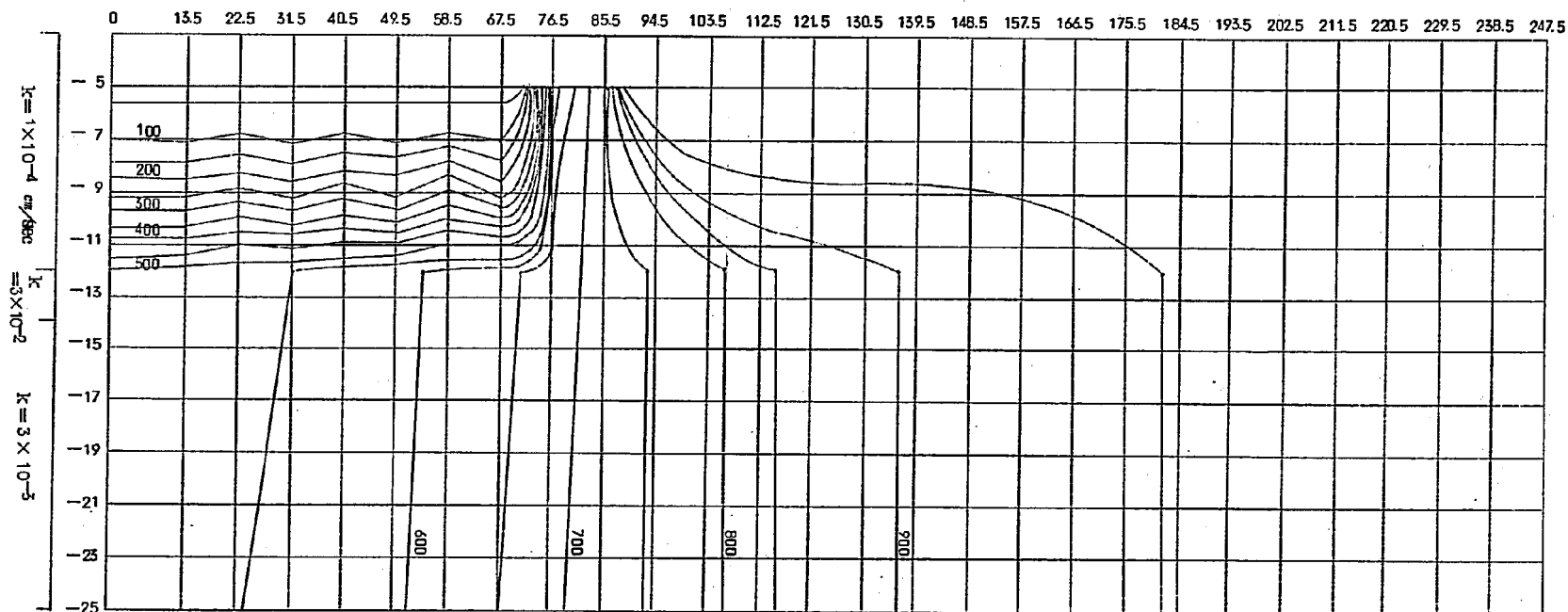


図-22(2) 透水層内の等ポテンシャル線

実験番号 1-7

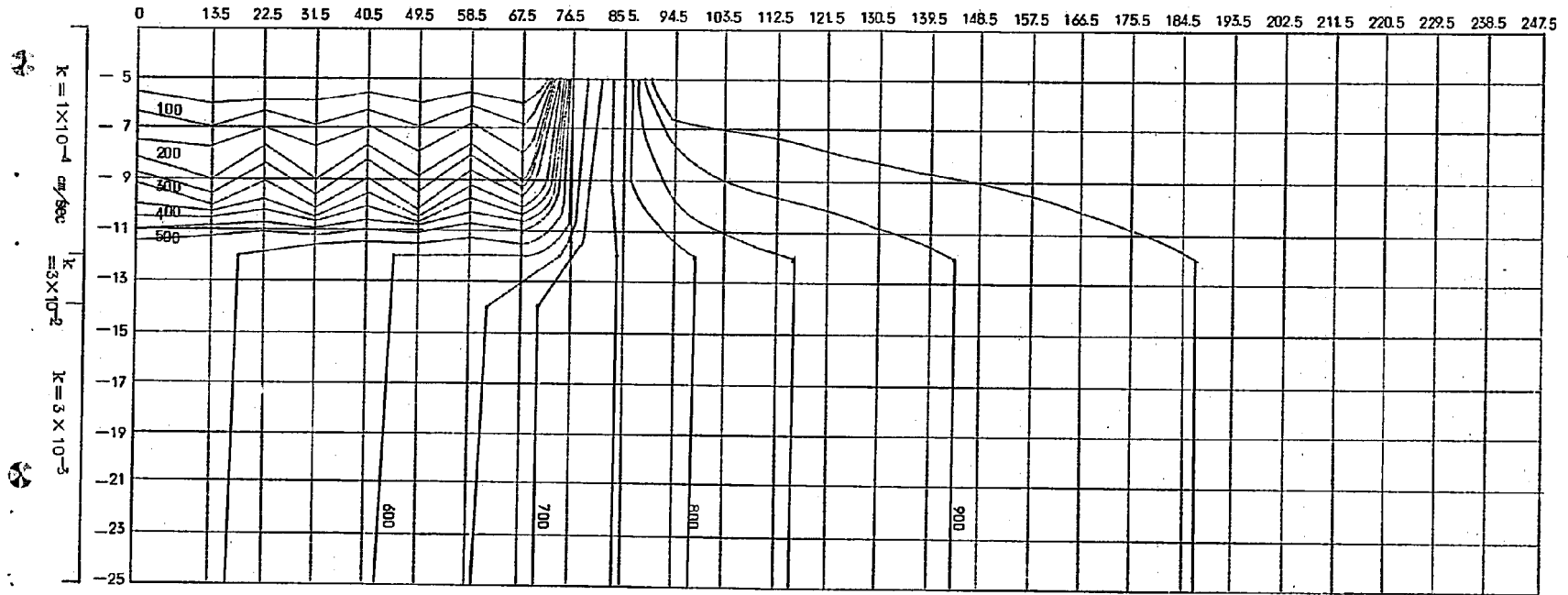


図-22(n) 透水層内の等ポテンシャル線
実験番号 1-8

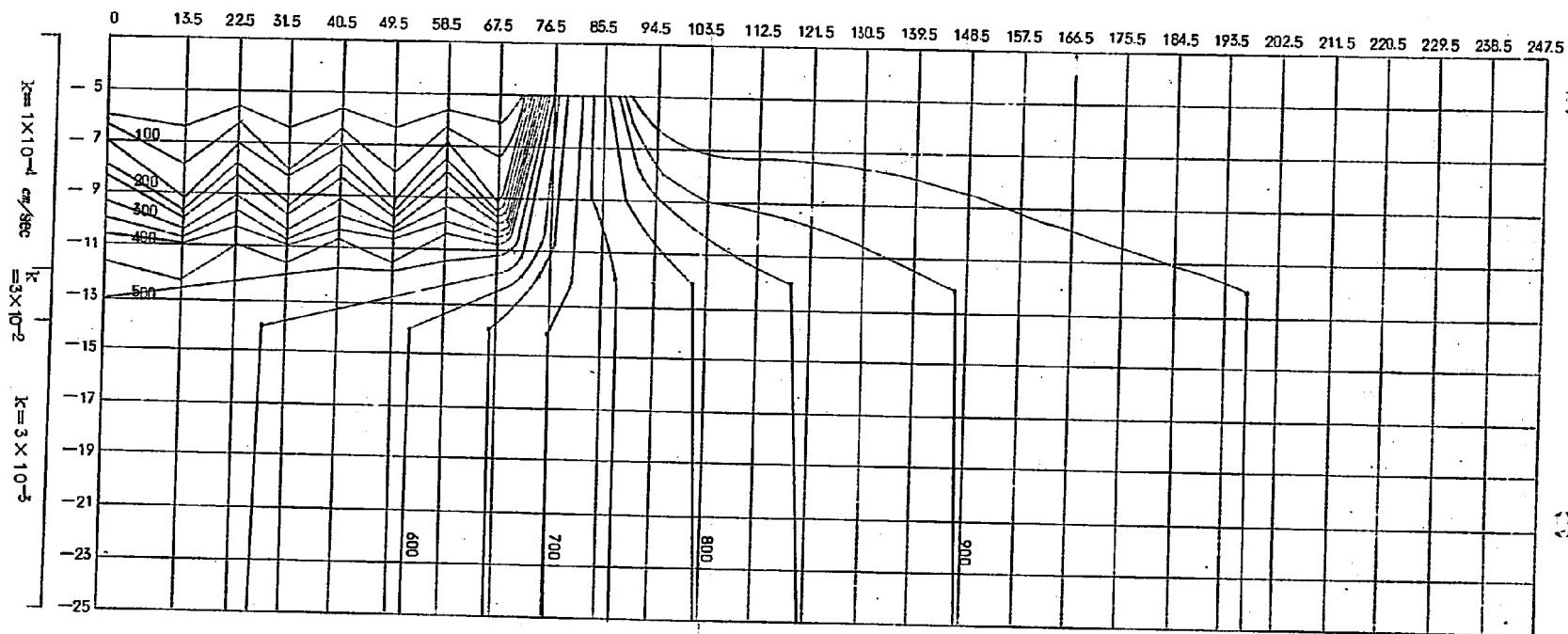


図-22(1) 透水層内の等ポテンシャル線

実験番号 2-1

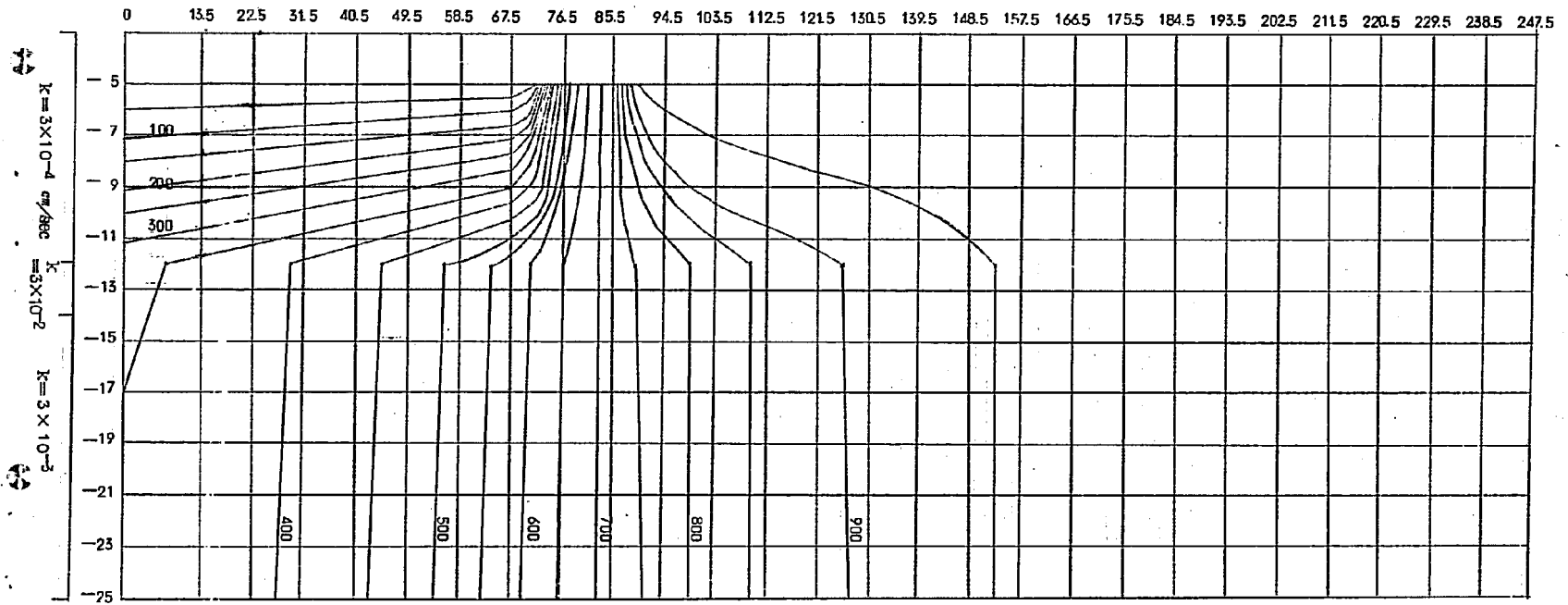


図-22 (i) 透水層内の等ポテンシャル線

実験番号 2-2

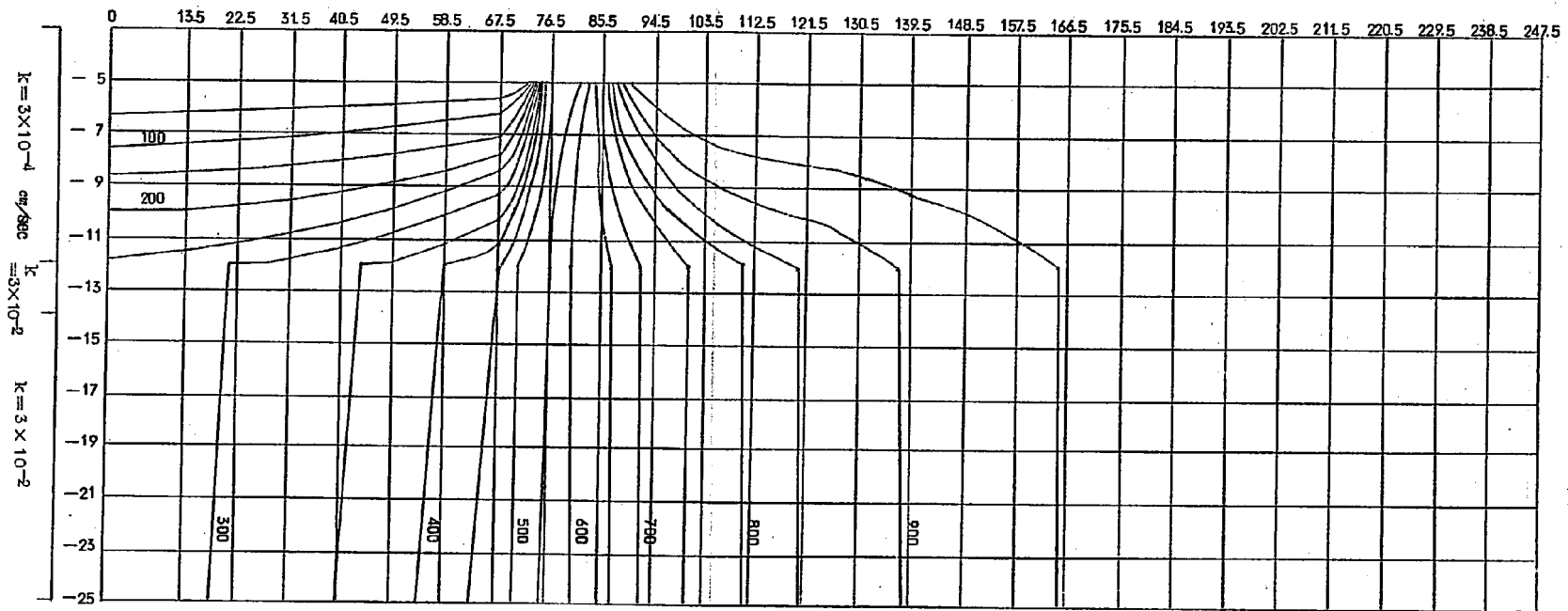


図-22 (c) 透水層内の等ポテンシャル線

実験番号 2-3

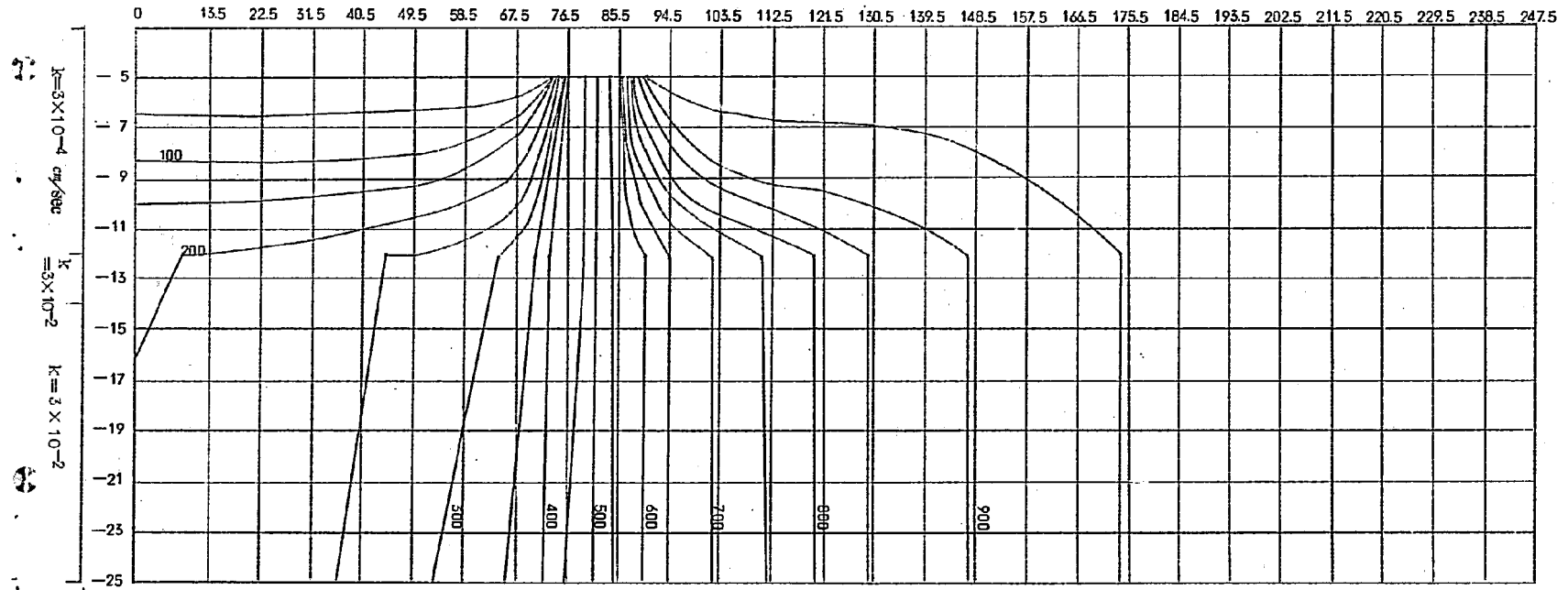


図-22(1) 透水層内の等ポテンシャル線

実験番号 2-4

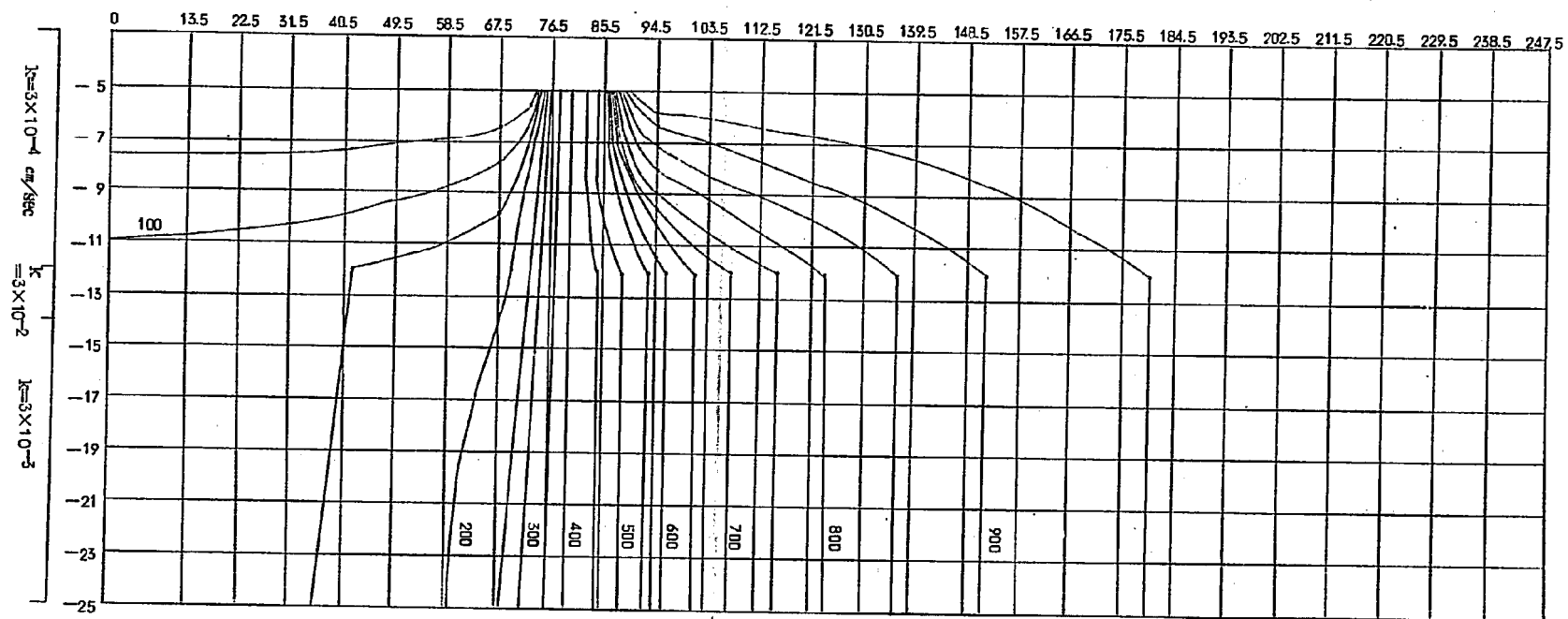


図-22(ハ) 透水層内の等ポテンシャル線

実験番号 2-5

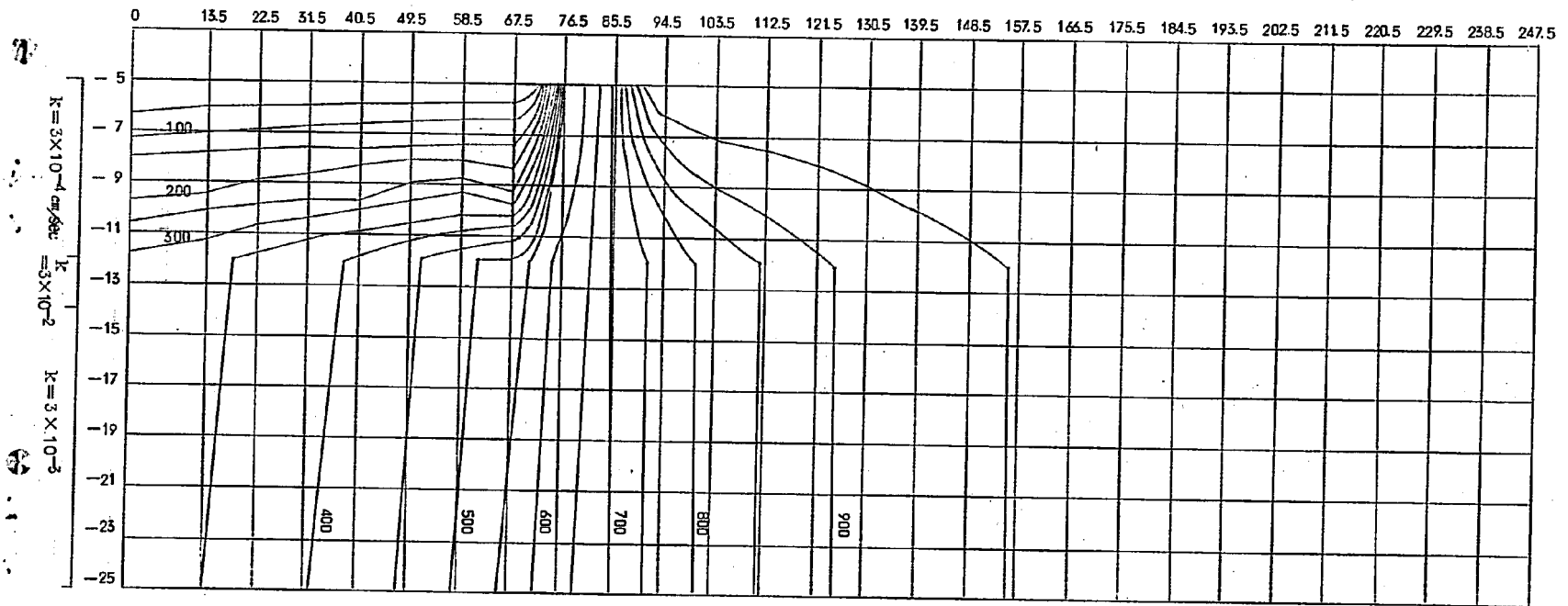


図-22(n) 透水層内の等ポテンシャル線

実験番号 2-6

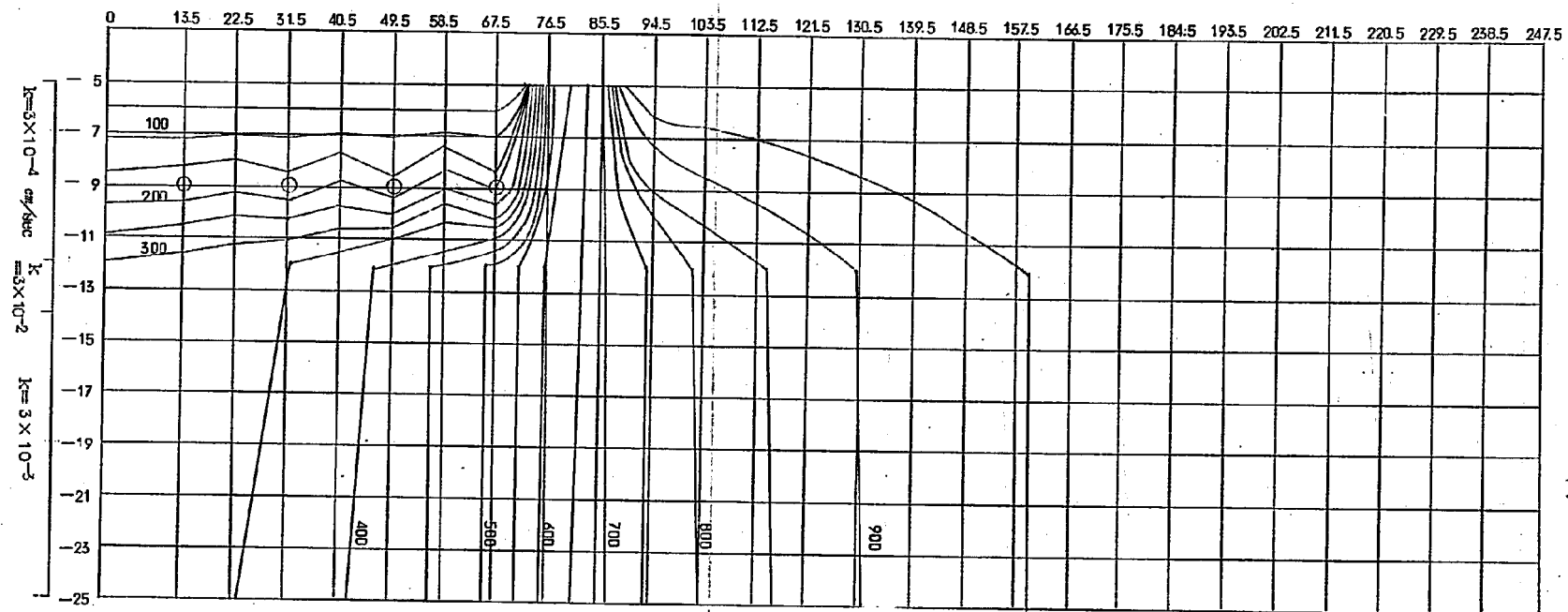


図-22(c) 透水層内の等ポテンシャル線

実験番号 2-7

