

土 木 研 究 所 資 料

第 3 4 9 号

利根川河口堰仮締切堤漏水調査

昭和 4 3 年 3 月

建設省土木研究所

1. ま え が き

昭和41年度の調査に引き続き42年度も抵抗子を格子状に接続して作ったネットワークモデルを用いて浸透流の電気模型実験を実施した。

実験を行なった浸透流は昨年度と同様、川の中の円形仮締切堤の内部をドライにした時の、締切区域内への浸透と鋼矢板で作られたセル式仮締切堤体の浸透の2つであった。

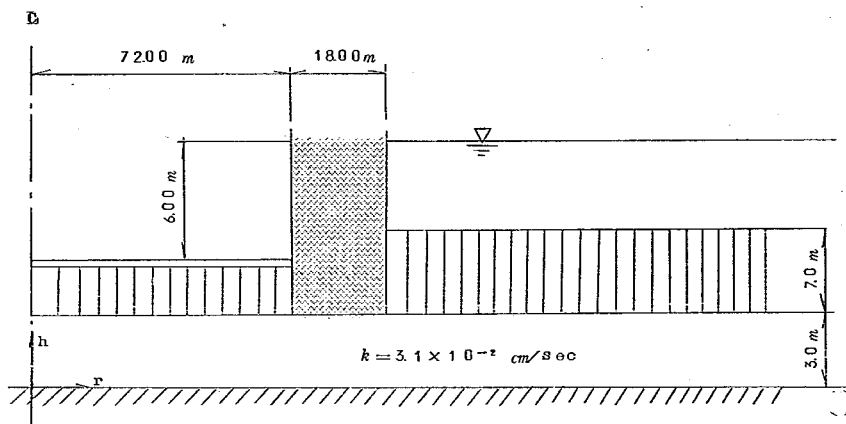
円形仮締切堤の締切区域への漏水はすでに前回の報告書に詳しく述べたが、実際の浸透と対比させて浸透の問題を検討するには模型の浸透条件を多少修正して実験を行なった方がよいことがわかり、追加実験を行なった。セル式仮締切堤の浸透は、このような幅の狭い締切堤を通して流入する漏水量がどの程度かを調べるのが目的であるが、同時に矢板の止水性も明らかにすることができるので、現場におけるピエゾメーターによる浸透流の水頭観測結果と比較するため、電気模型実験を行なうことになった。

以下両方の実験について述べるが、実験の原理、方法などは前年度の報告書に詳しく説明してあるので省略し、主として実験結果についてのみ述べる。

2. 締切区域への浸透流

(1) 締切堤内側への浸透

セル式の仮締切堤の設置を円形と仮定し、かつ地盤を単純化して取扱うことは前回と全く同じである。今回の実験で修正された点は締切区域の地表が1mだけ堀削されることで、区域内の地表が仮締切堤の外側の川底より約1m低くなることである。したがって、仮締切内外の水位差も1m増えて6mとなった。浸透の考え方、地層構成などは前回と同様である。浸透条件は図-1に示す。

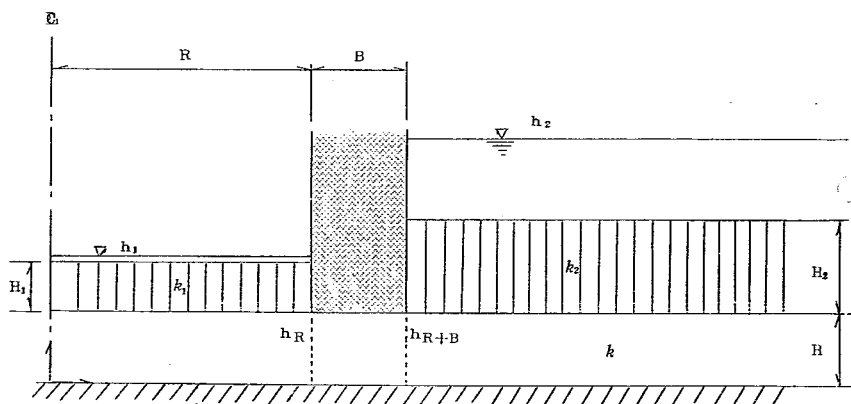


図一 1 仮締切堤防の浸透条件

(2) 浸透流の計算

図一 1 のような単純な浸透条件では浸透流を次に示すような式によって表わすことができる。

計算式の誘導は前回の報告書にゆずり、式のみを示す。式中の記号は図一 2 のようにとる。



図一 2 浸透の略図

透水層内の水頭は

$0 \leq r \leq R$ のとき

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

$R \leq r \leq R+B$ のとき

$$h_R - h = (h_R - h_{R+B}) \frac{\mathcal{L}_n \left(\frac{r}{R} \right)}{\mathcal{L}_n \left(\frac{R+B}{R} \right)}$$

$R+B \leq r$ のとき

$$h_2 - h = (h_2 - h_{R+B}) \frac{K_0 \left(\frac{r}{\lambda_2} \right)}{K_0 \left(\frac{R+B}{\lambda_2} \right)}$$

$r=R$ における水頭 h_R は

$$h_R = \frac{-RIL_n[\lambda_2 - (R+B)KL_n]h_1 - \lambda_1(R+B)KL_nh_2}{[\lambda_2 - (R+B)KL_n][\lambda_1 - RIL_n] - \lambda_1\lambda_2}$$

$r=R+B$

$$h_{R+B} = \frac{-RIL_n\lambda_2h_1 - (R+B)KL_n(\lambda_1 - RIL_n)h_2}{[\lambda_2 - (R+B)KL_n][\lambda_1 - RIL_n] - \lambda_1\lambda_2}$$

$r=R$ の断面の流量 Q_R は

$$Q_R = 2\pi kH \frac{RI(R+B)KL_n(h_2 - h_1)}{[\lambda_2 - (R+B)KL_n][\lambda_1 - RIL_n] - \lambda_1\lambda_2}$$

ただし、

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

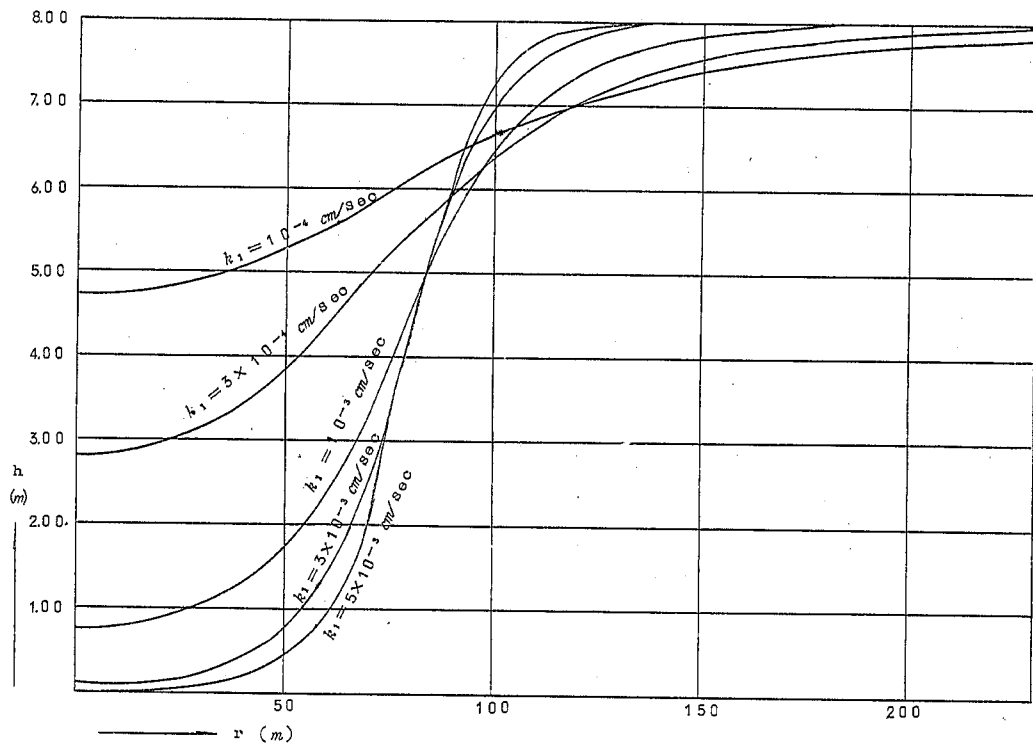
である。

上の式を用いて図-1に示した浸透条件で計算を行なう。

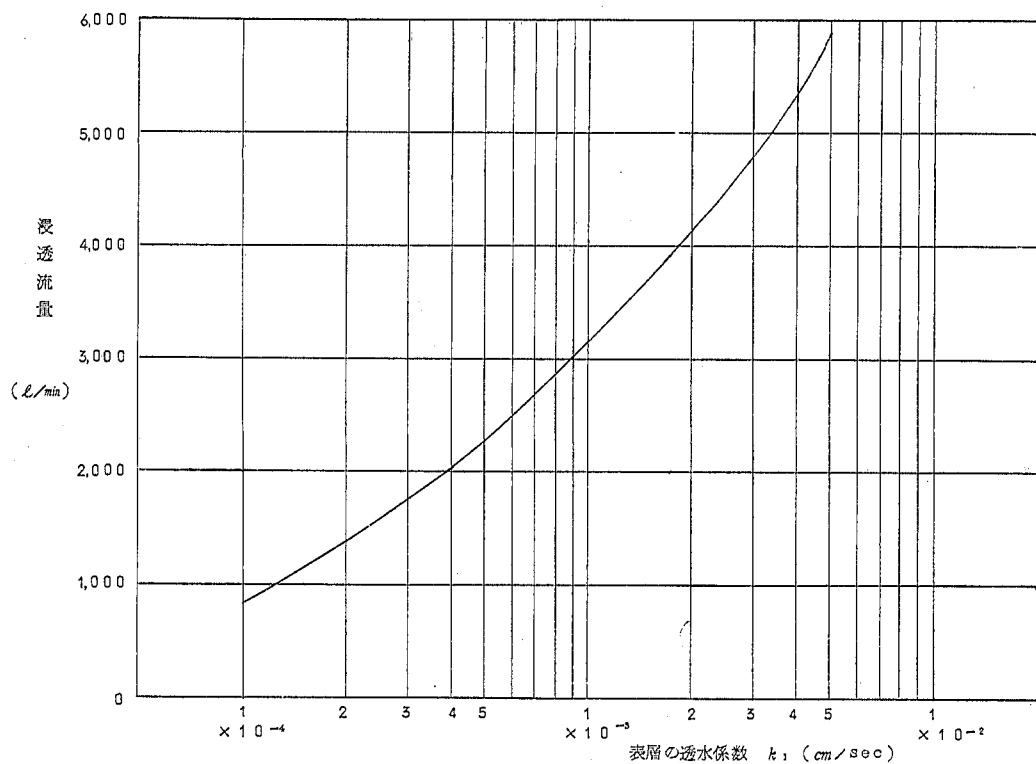
まず、深度 $YP = 12.00m$ から $14.00m$ に存在する透水層内の水頭分布であるが、計算では表層の半透水層の透水係数は締切堤の内外とも同じと仮定して、この透水係数が変化した場合の値を求めて図-3に示した。表層の透水係数のみを $10^{-4}cm/sec$ から $5 \times 10^{-3}cm/sec$ まで変えたが、それによって透水層水の水頭分布がかなり大きく変化することがわかる。

また締切区域内への浸透流量と表層の透水係数の関係を示したのが図-4である。

図-3および図-4は地層を単純化して考えており、透水層の水頭が上昇してもパイピングは起らないと考えているが実際は、透水層内の水頭が或る程度上昇すると表層の弱点からパイピングが生じるので、計算で考えたような条件とはかなり異ってくるはずである。



図一 3 計算で求めた透水層内の水頭分布



図一四 計算で求めた浸透流量

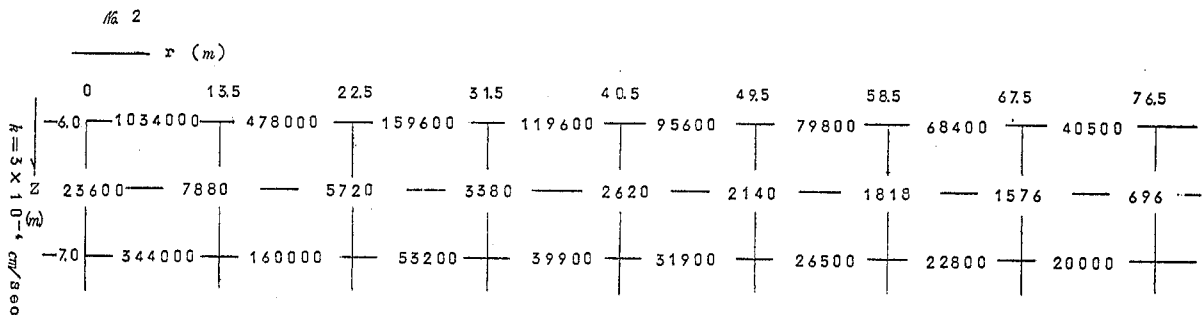
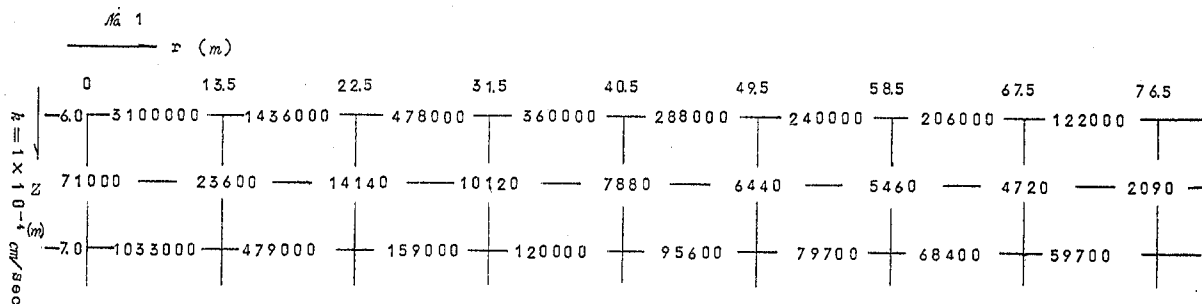


図 - 5 模型地盤の抵抗値 (Ω)

(3) ネットワークモデル

縮切区域内の地表の高さが低くなるので前年度製作した模型を一部手直しの必要が生じた。実験に用いる抵抗子の抵抗の求め方は前年度の報告書に述べたので省略し、縮切堤の内側の表層の抵抗値を変更した部分のみ図-5に示した。表層の透水係数を $1 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ と $3 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ にした場合の値をそれぞれ示したがその他の値は前報告書の値と全く同様である。

(4) 実験の条件

表層の透水係数を $1 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ と $3 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ にした模型について電気模型実験を行なったが前回と同様、漏水対策としてデープウエル工法およびウエルポイント工法を施工した場合の効果を調べることを目的とした。

模型の上でこれらの工法を適用した条件を作った実験を行なった。

デープウエルは縮切の中心から 6.75 m の位置に深度 -13 m の透水性の高い砂礫層の中央に設置した。またウエルポイントは表層の半透水層内に設け表層で浸透水を汲み上げようとするものであるため、縮切区域内へ多数設置することになる。

デープウエルおよびウエルポイントの設置箇所は図-6および図-7に示す。

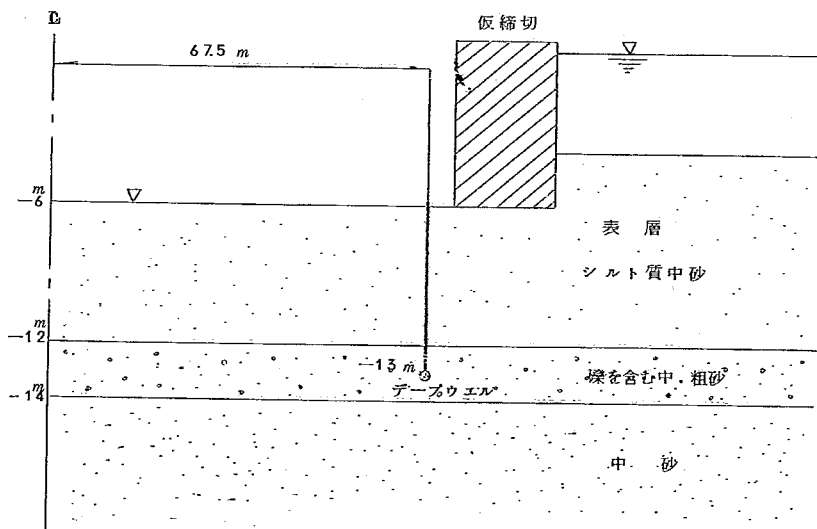
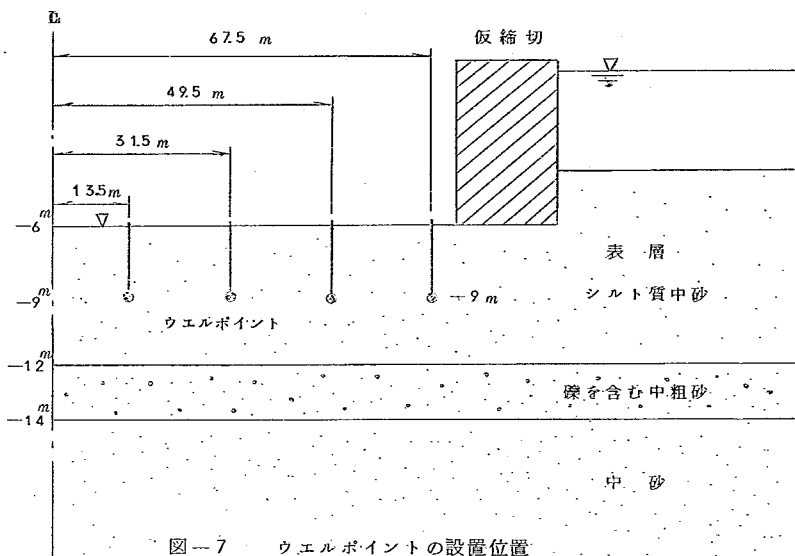


図-6 デープウエルの設置位置



図一七 ウエルポイントの設置位置

(5) 実験結果

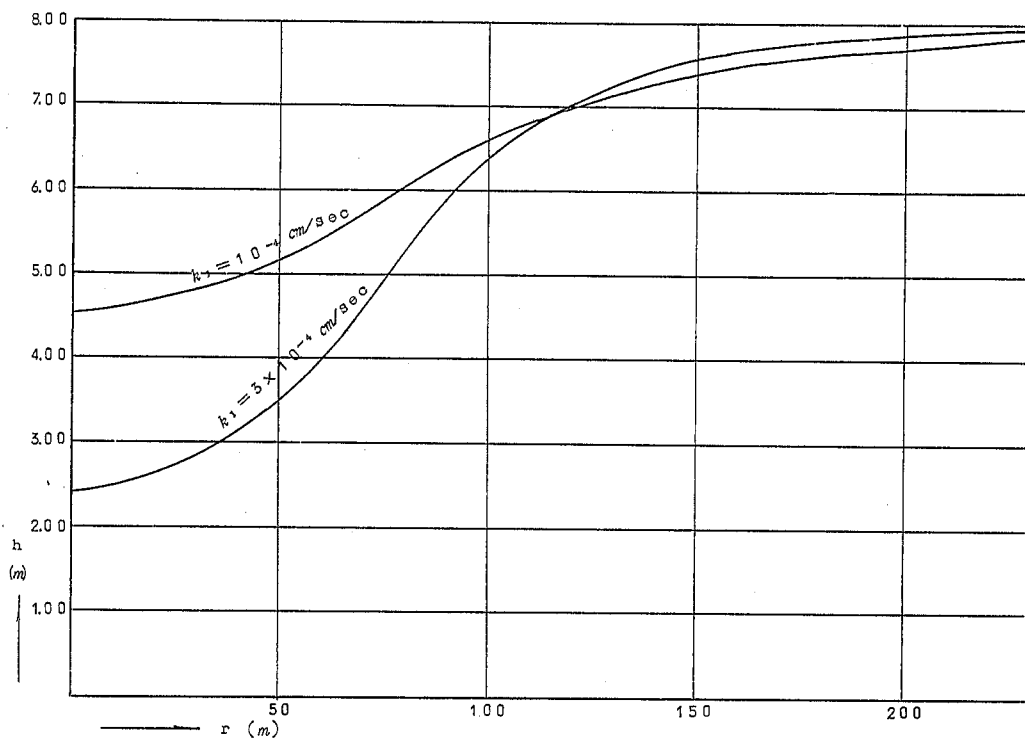
実験は表層の透水係数を $k_1 = 1.0 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ にしたものを底1とし、 $k_2 = 3 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ にしたものを底2とする。実験の一覧表は表一および表二に示すとおりで、デープウエルあるいはウエルポイントからの排水流量を変えて浸透状態を調べた。実験底1についてはデープウエル工法で8通り、ウエルポイント工法で11通り、合計19通りである。

また底2の実験ではデープウエル工法で7通り、ウエルポイント工法では5通り合計12通りの実験を行なった。

各実験について全接点の電位の測定を行なっているので地層断面に等ポテンシャル線群を描くことができるが省略し、実験結果をまとめたものについてのみ説明を加える。

図一八は実験で求めた透水性砂礫層の最上部の水頭分布を示したもので、先に示した図一三の計算結果に対応する。両者の値はよく一致していることがわかる。

次に図一九は地盤の深さ方向の過剰水頭の分布を示したもので、締切区域内へのパイピングあるいは表層のクイックサンド現象を防止するための効果を判断する資料となる。図に掲げてある水頭の値は表層で最大の動水勾配を持つ位置の値を示してある。すなわちデープウエル工法の場合には締切の中心から67.5 m、またウエルポイント工法の場合中心から58.5 mの位置の水頭



図—8 実験で求めた透水層内の水頭分布

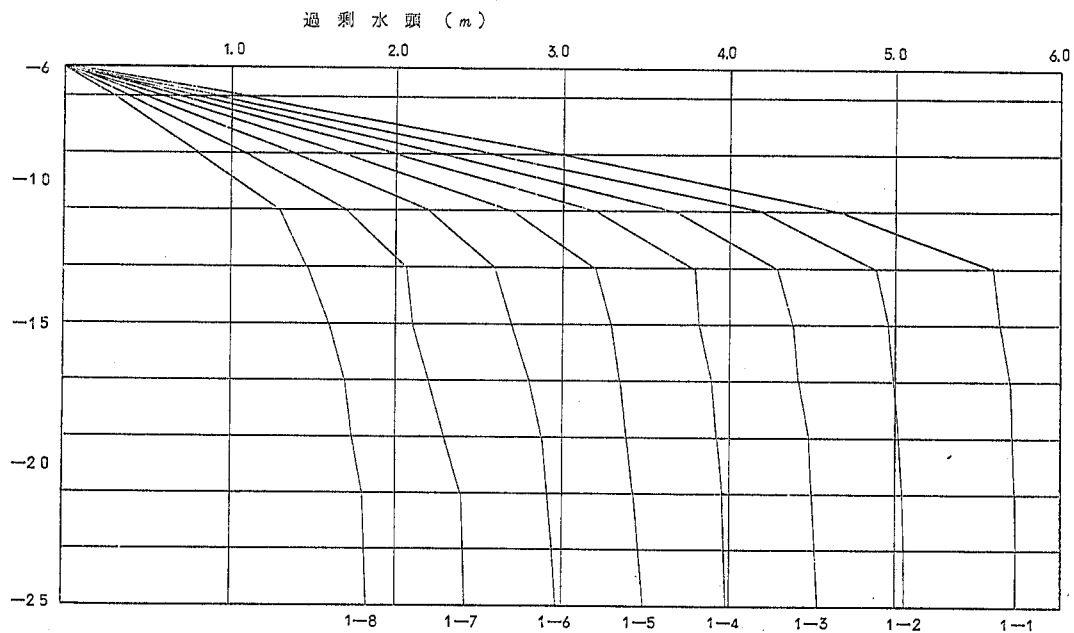


図-9(a) 深さ方向の水頭分布

ディープウェル

No.1 $k_1 = 1.0 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$

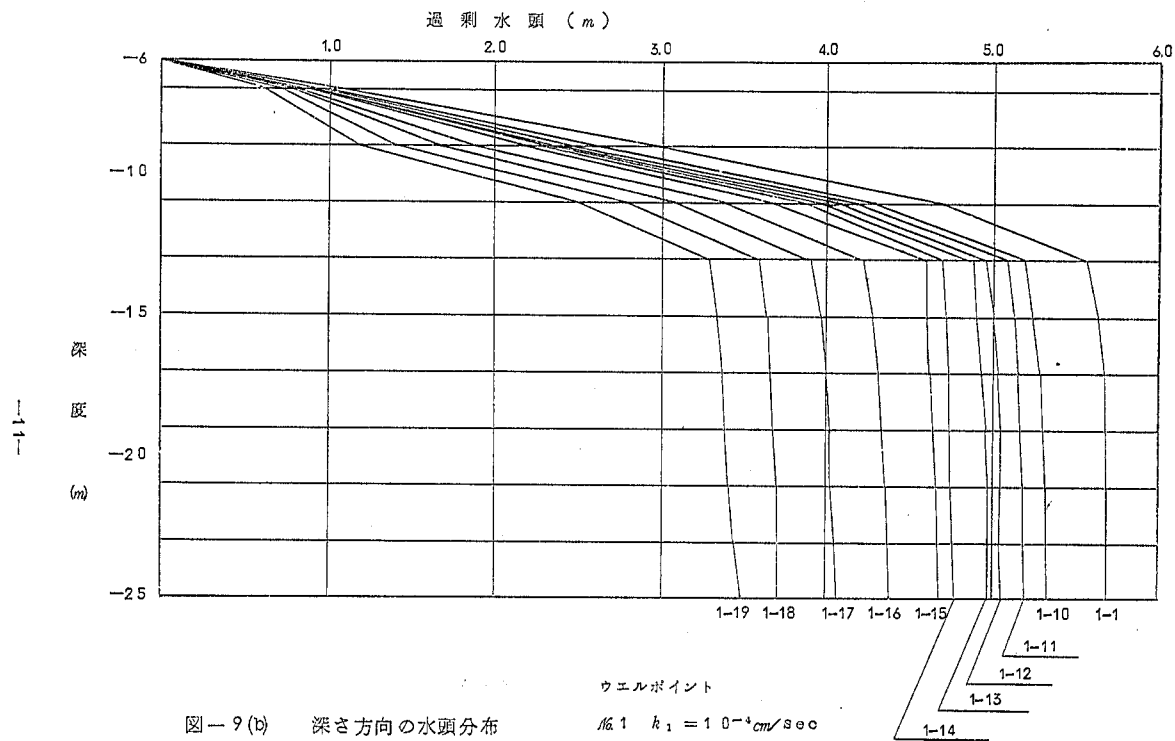


図-9(b) 深さ方向の水頭分布

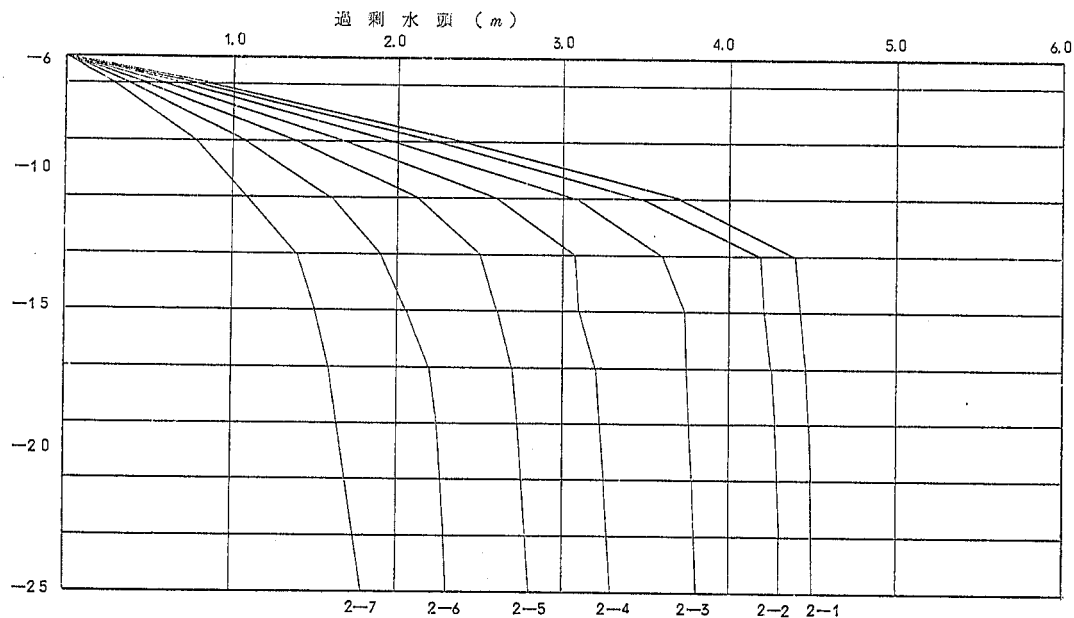


図-9(c) 深さ方向の水頭分布

ディープウェル

$k_1 = 3 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$

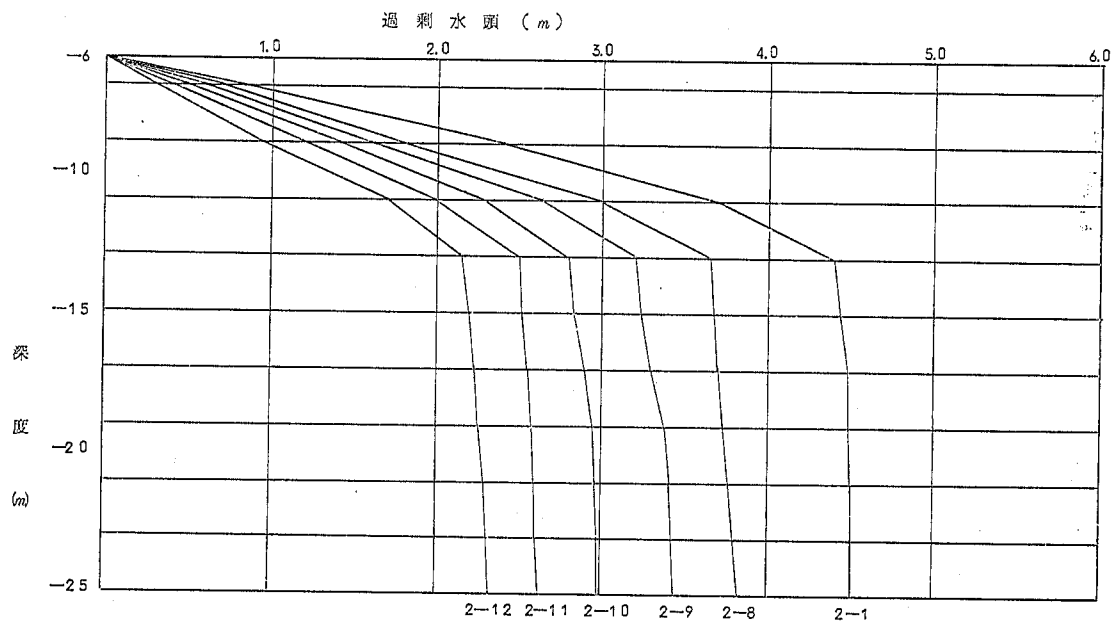


図-9(d) 深さ方向の水頭分布

ウエルポイント

№2 $k_1 = 3 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$

表-1 模型実験一覧表 表 1

$$k_1 = 10^{-4} \text{ cm/sec}$$

番 号	排水条件	ウエル位置	ウエル 流出量	地表 流出量	合計流出量	最大動水 勾配
1-1	なし	なし	$\frac{\text{L}}{\text{min}}$ 0	$\frac{\text{L}}{\text{min}}$ 897	$\frac{\text{L}}{\text{min}}$ 897	1.024
1-2	ディープウエル	$r=67.5\text{m}$ $YP=-13.0\text{m}$	371	781	1,152	0.900
1-3	"	"	674	702	1,376	0.800
1-4	"	"	975	611	1,586	0.700
1-5	"	"	1,273	524	1,797	0.600
1-6	"	"	1,612	402	2,014	0.500
1-7	"	"	1,878	348	2,226	0.400
1-8	"	"	2,172	264	2,436	0.300
1-9	ウエルポイント	$r=67.5\text{YP}=-$ $49.5-2.0\text{m}$ 31.5	合計 135 107 21 7	801	936	0.880
1-10	"	$r=67.5\text{YP}=-$ $49.5-2.0\text{m}$ 31.5 13.5	合計 229 149 51 26 3	737	966	0.848
1-11	"	$r=67.5\text{YP}=-$ $49.5-2.0\text{m}$ 31.5 13.5	合計 354 193 83 46 12	668	1,002	0.824
1-12	"	$r=67.5\text{YP}=-$ $49.5-2.0\text{m}$ 31.5 13.5	合計 433 235 113 65 20	603	1,036	0.800
1-13	"	$r=67.5\text{YP}=-$ $49.5-2.0\text{m}$ 31.5 13.5	合計 531 277 144 83 27	538	1,069	0.766

番 号	排水条件	ウエル位置	ウエル 流 出 量	地 表 面 流 出 量	合計流出量	最大効水 配
1-14		r= YP 67.5 -2.0m 42.5 31.5 13.5	合計 655 326 186 106 36	464	1,109	0.744
1-15		r= YP 67.5 -2.0m 42.5 31.5 13.5	合計 820 395 240 137 48	357	1,177	0.700
1-16		r= YP 67.5 -2.0m 42.5 31.5 13.5	合計 1,077 522 311 182 62	239	1,316	0.590
1-17		r= YP 67.5 -2.0m 42.5 31.5 13.5	合計 1,219 590 361 195 73	187	1,406	0.500
1-18		r= YP 67.5 -2.0m 42.5 31.5 13.5	合計 1,387 656 418 230 83	147	1,534	0.400
1-19		r= YP 67.5 -2.0m 42.5 31.5 13.5	合計 1,572 740 463 274 95	108	1,680	0.300

表-2 模型実験一覧表 表 2

$$k_1 = 3 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$$

番 号	排水条件	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	$\frac{\ell}{\text{min}}$ 0	$\frac{\ell}{\text{min}}$ 1,848	$\frac{\ell}{\text{min}}$ 1,848	0.840
2-2	ディーブウエル	r= YP 67.5m -13m	185	1,760	1,945	0.800
2-3	"	r= YP 67.5m -13m	677	1,545	2,222	0.700
2-4	"	r= YP 67.5m -13m	1,169	1,325	2,494	0.600
2-5	"	r= YP 67.5m -13m	1,660	1,102	2,762	0.500
2-6	"	r= YP 67.5m -13m	2,147	891	3,038	0.400
2-7	"	r= YP 67.5m -13m	2,627	686	3,313	0.300
2-8	ウエルポイント	r= YP 67.5m -9.0m 49.5	合計 473 388 85	1,506	1,979	0.700
2-9	"	r= YP 67.5 -9.0m 49.5 31.5 13.5	合計 1,263 727 335 151 50	925	2,188	0.600
2-10	"	r= YP 67.5 -9.0m 49.5 31.5 13.5	合計 1,929 1,052 526 265 86	420	2,349	0.500
2-11	"	r= YP 67.5 -9.0m 49.5 31.5 13.5	合計 2,210 1,175 616 317 102	300	2,510	0.400
2-12	"	r= YP 67.5 -9.0m 49.5 31.5 13.5	合計 2,505 1,303 708 373 121	175	2,680	0.300

分布を示す曲線である。表一1および表一2に示すように、ウエルからの排水流量を変えた場合の分布曲線を1つの図面にまとめて示してある。

図一10は実験結果を整理し、縦軸に浸透流量をとり、横軸に表層中に生じる浸透流の鉛直方向の最大動水勾配をとったもので、表層中の最大動水勾配を減少させるために必要な排水量がわかる。

3. セル式締切堤体内の浸透流

(1) 実験の目的

いままで述べてきた電気模型実験では地表面より上の位置にある仮締切堤は不透水性と仮定し、また計算では仮締切堤は根入れのあるものと考え透水性の砂礫層の上の表層は仮締切堤の幅の部分は不透水性と仮定した。しかし、止水性の鋼矢板で作られたセルと云っても中詰めは砂であり、仮締切堤を通してかなりの漏水があるものと考えられる。このため、仮締切堤を通してどの程度の漏水があるかを調べることを目的としてネットワークモデルの実験をすることになったが、また同時に、実際に用いられている鋼矢板の止水性を明らかにするため模型実験の結果と比較する意味もあった。実験は現在も継続中なので報告は今まで行なった一部である。

(2) ネットワークモデル

締切区域への浸透流と同様にラジアルフローと考えることにしたので、模型の製作に用いる抵抗子の抵抗値を計算によって求めた。なお、透水係数は表層およびセル中詰砂で $3 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ とし、両者の透水係数の比を1:100と仮定している。求めた値は図一11のとおりである。

実験では仮締切堤を中心にして浸透を考えているため、模型の地盤の範囲は締切区域の中心から 6.15 m から 10.5 m の間、深度は -2.5 m までとした。ネットワークモデルの格子間隔は $\Delta Z = 1 \text{ m}$ 、 $\Delta r = 3 \text{ m}$ にとった。

すでに述べたように浸透流をラジアルフローと考えたが、仮締切堤の位置は締切堤の中心からかなり離れているので、平面浸透流と仮定してもさしつかえなかったと考えられる。

(3) 実験

模型地盤の範囲を狭くしたので模型の $r = 6.15 \text{ m}$ および $r = 10.5 \text{ m}$ の位置にある接点にも境界条件として一定の電位を与えることが必要になる。実際にはどのような値を持つかはつきりしないが、近似的に先の締切区域への浸透流の模型実験でウエルなどの対策工法をほどこさない場合について求めた実験結果からその位置のポテンシャルを読みとり、境界条件として用いることにした。しかしいまだに行なった締切区域への浸透の実験では地中に打設された矢板の止水

性は無視しているので、矢板に止水性があるならば当然地盤内のポテンシャルの分布も異なるはずである。

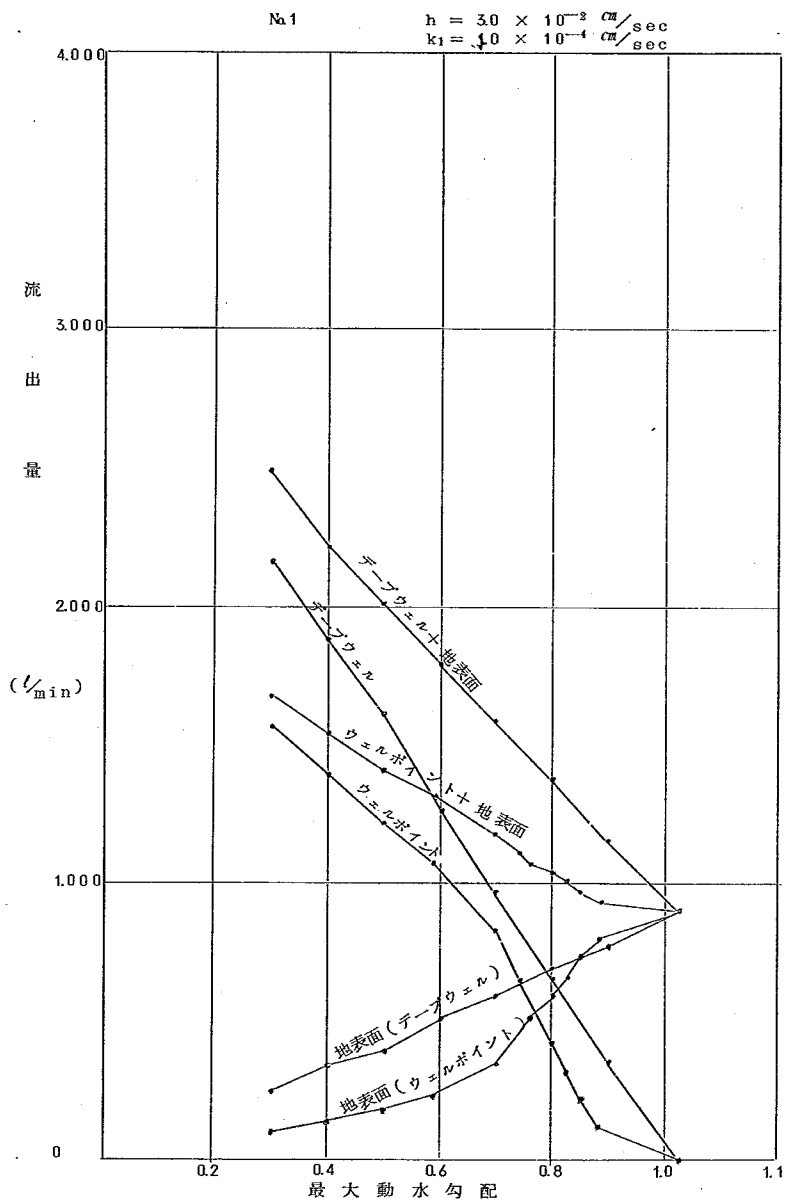
実験では銅矢板の打設深さを -14 m と仮定し、その止水性を変えて、地盤内に生じるポテンシャルの測定を行なっているが、矢板の止水性は矢板が打設してある地層の層厚何 m 分に対応するという表現で示すことにしている。

現在まで行なった実験では矢板の地盤の中にある分のみの止水性を考え、セルの直立部で河の水と接する部分での止水性は全く無視している。セルの前面、背面の矢板ともに止水性はあるはずで、実験でもこれを考えなければならぬと思われるので、これについては引き続き実験を行なう。

実験の一覧表は表-3に示した。また実験から求めた地盤内の等ポテンシャル線群は図-12のとおりである。地盤に打込まれた矢板の止水性いかんによってセル内の自由水面に変化が生じることがわかる。

表-3 実験一覧表

実験番号	銅矢板の透水性
1	止水性なし
2	透水層の部分のみ砂礫層 6 m に対応する止水性
3	全体にわたり地層の 6 m に対応する止水性
4	" 9 m "
5	" 12 m "
6	" 15 m "
7	" 18 m "
8	銅矢板全体が完全な止水性



図一 10 (a) 浸透流量と最大動水勾配

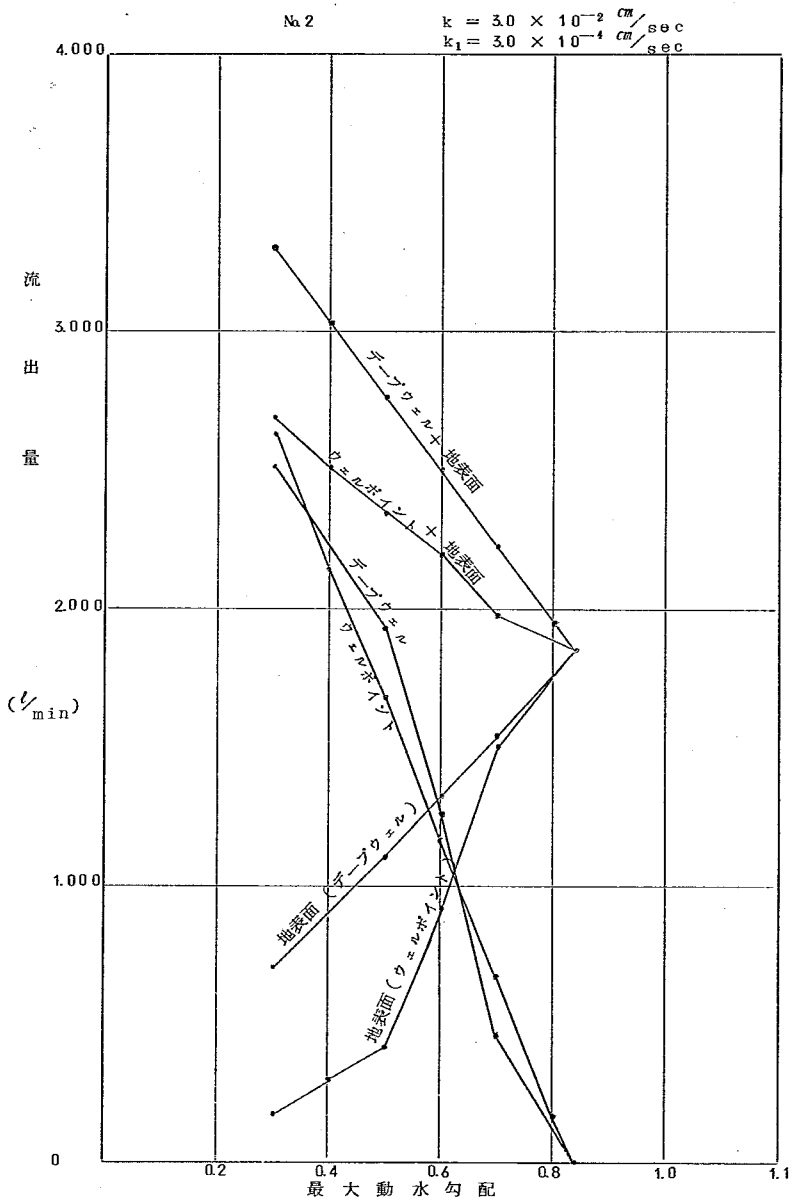


図-10 (b) 浸透流量と最大動水勾配

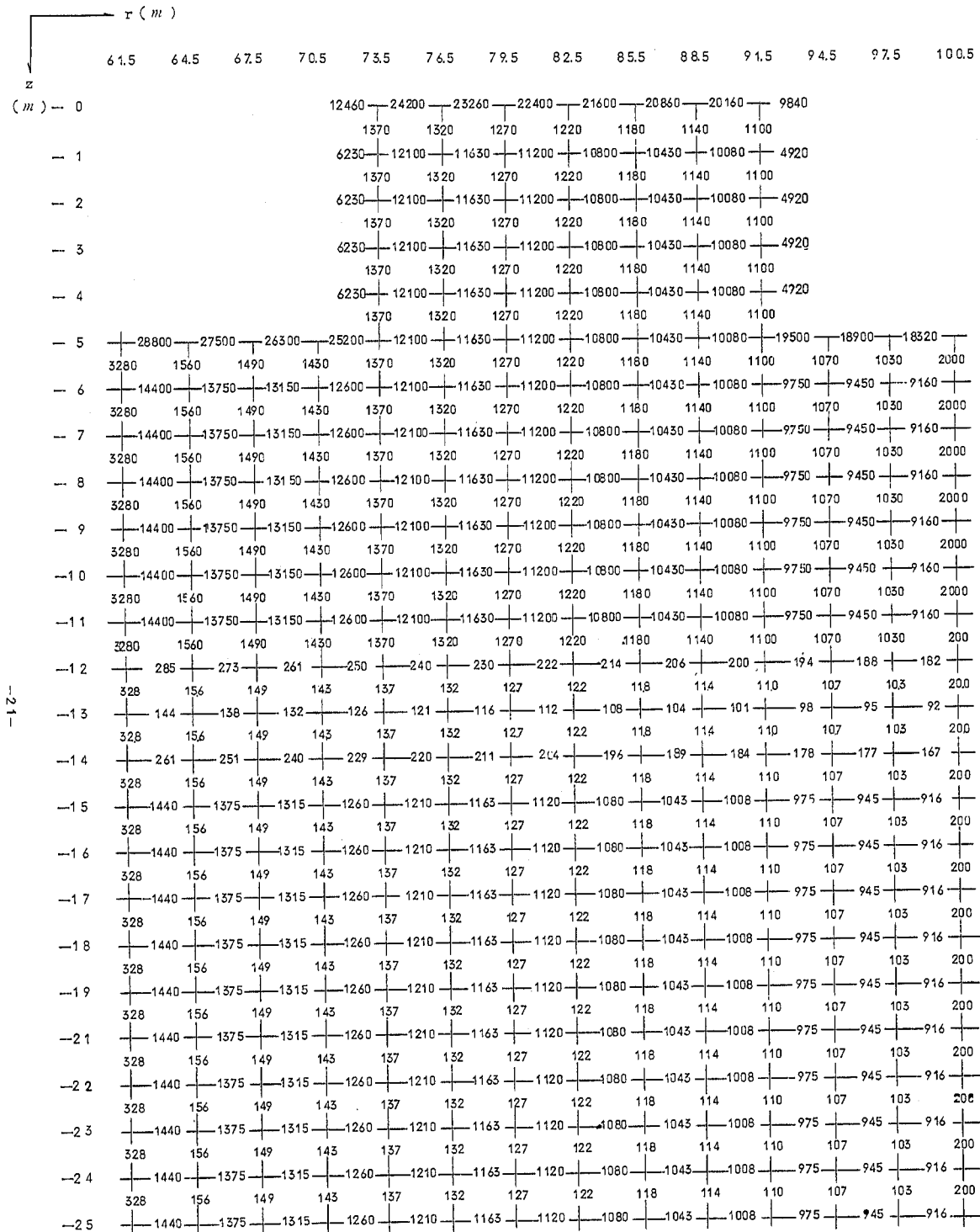


図-1 1 模型地盤の抵抗値 (Ω)

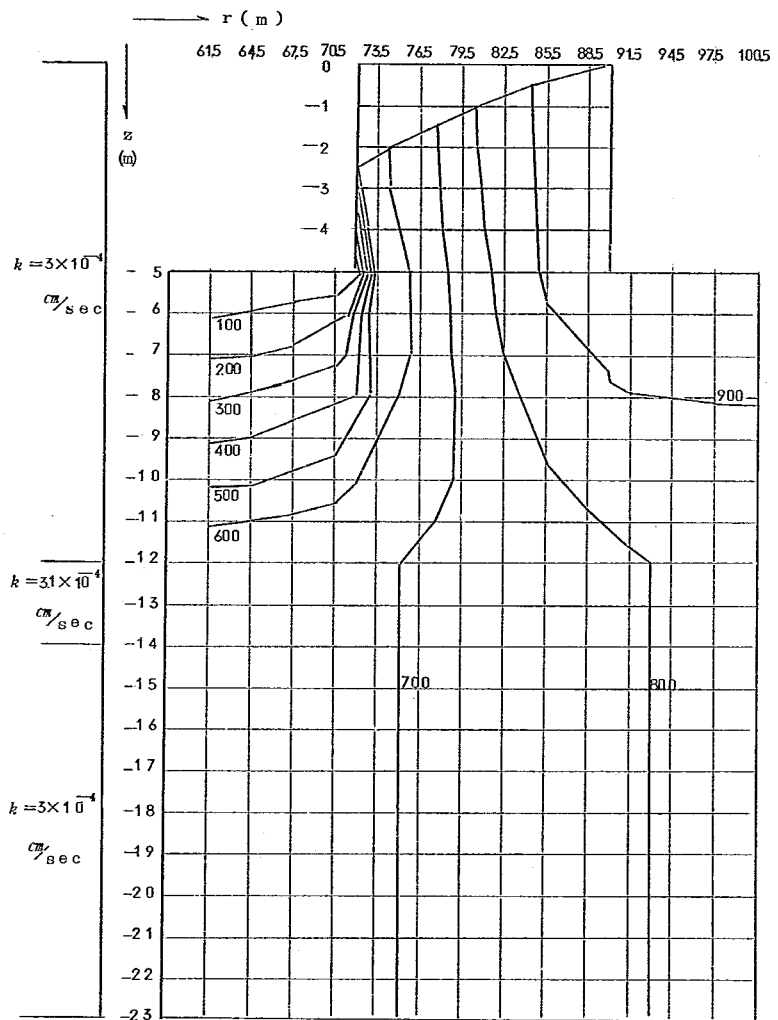
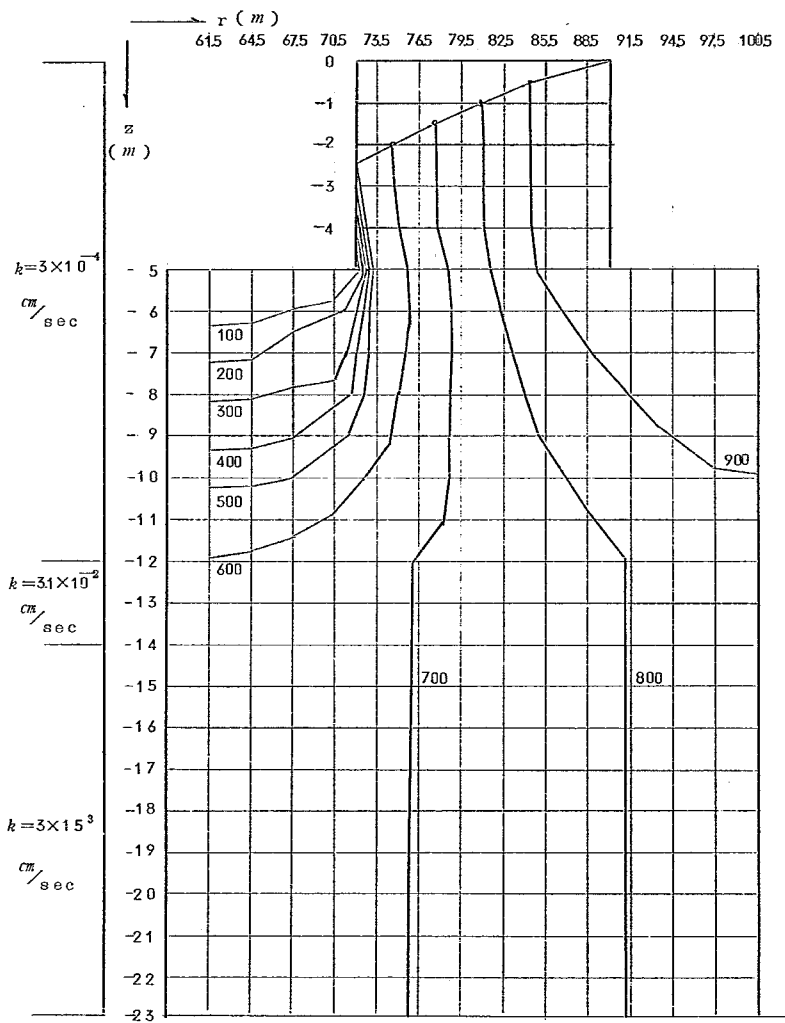
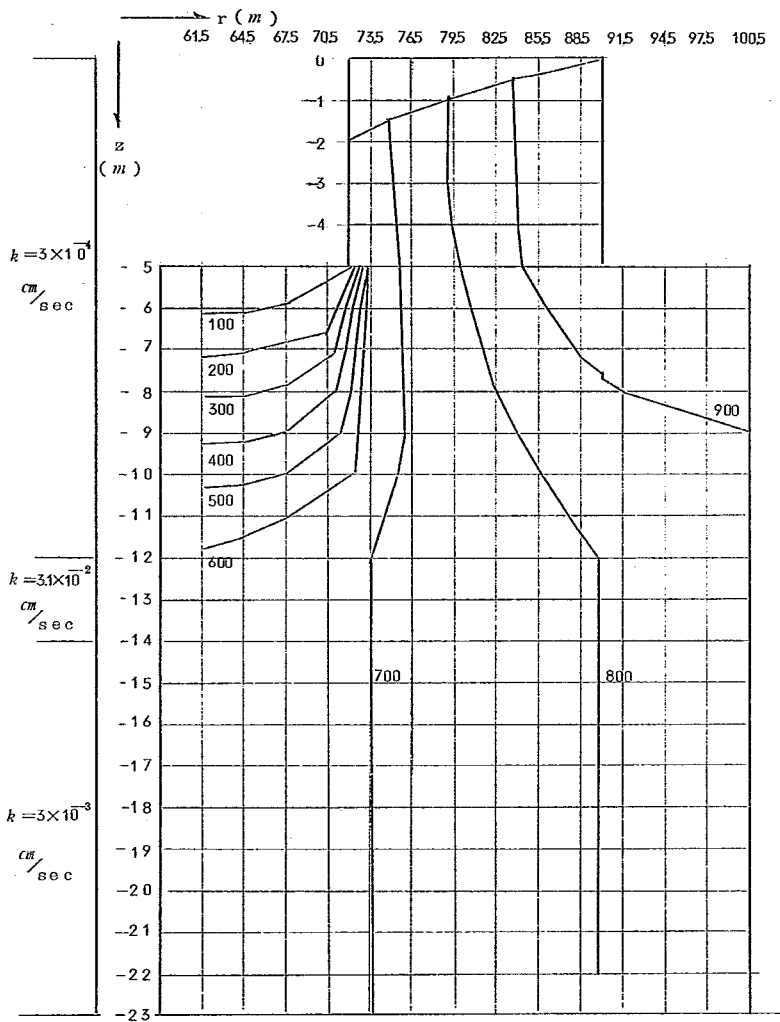


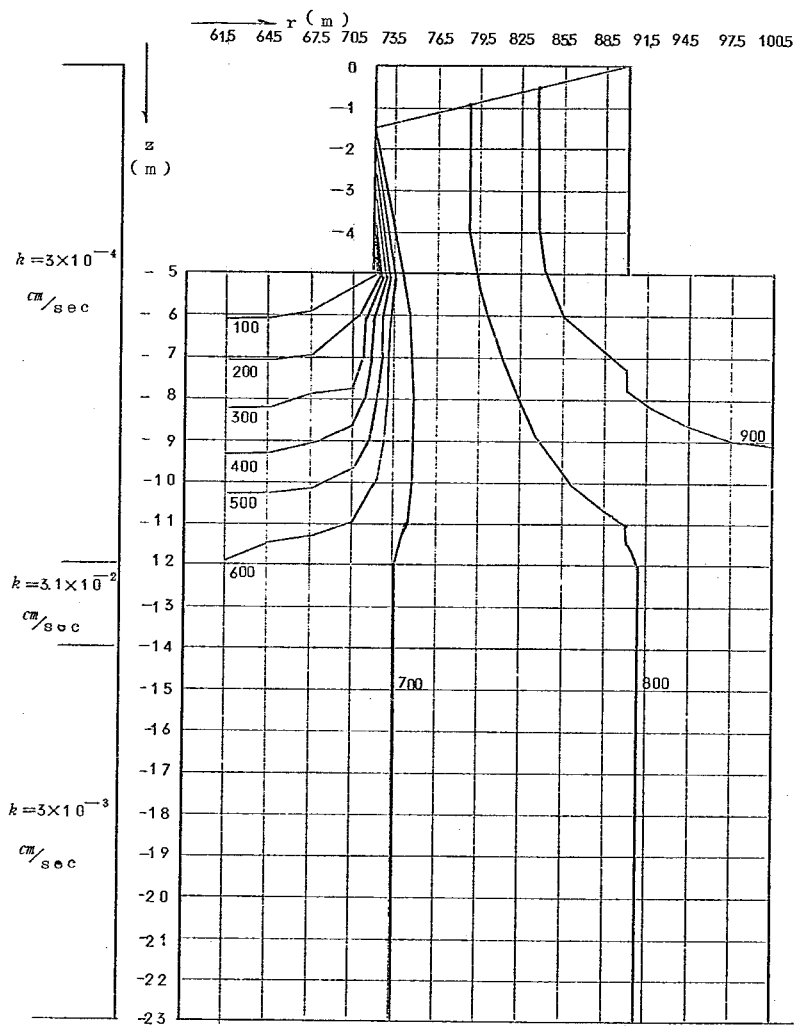
図-12 (a) 透水層内の等ポテンシャル線 (実験番号 1)



図一 12 (b) 透水層内の等ポテンシャル線 (実験番号 2)



図一 1 2 (c) 透水層内の等ポテンシャル線 (実験番号 3)



図一 12 (d) 透水層内の等ポテンシャル線 (実験番号 4)

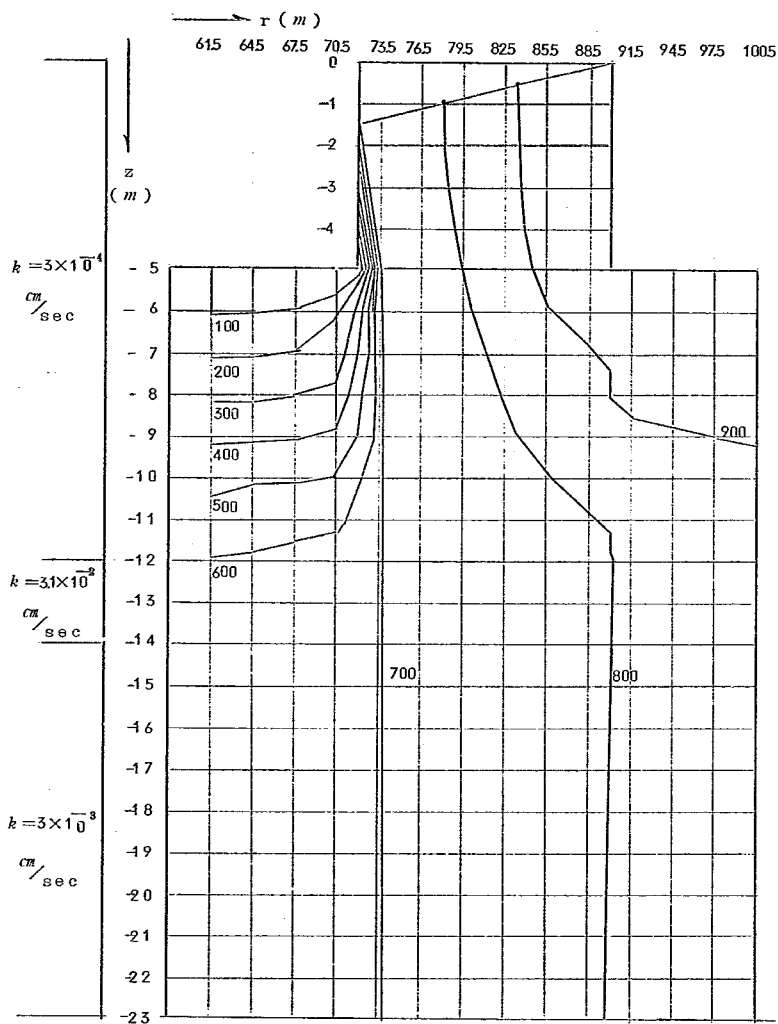
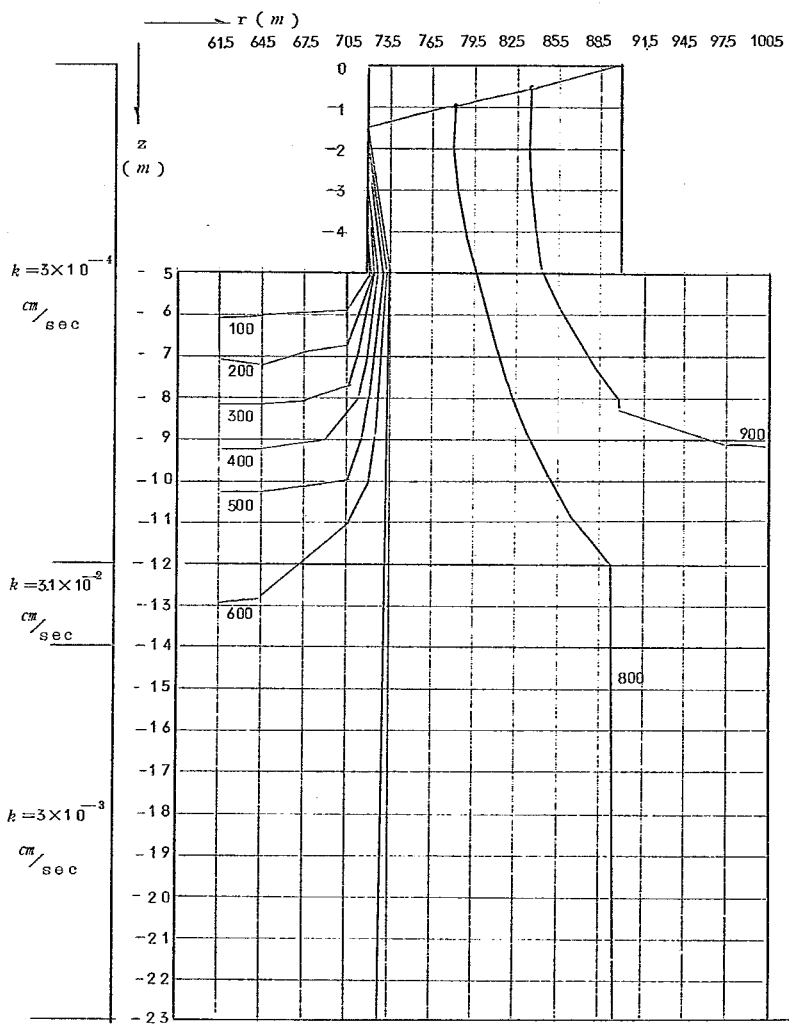


図-12 (e) 透水層内の等ポテンシャル線 (実験番号 5)



図一 12 (f) 透水層内の等ポテンシャル線 (実験番号 6)

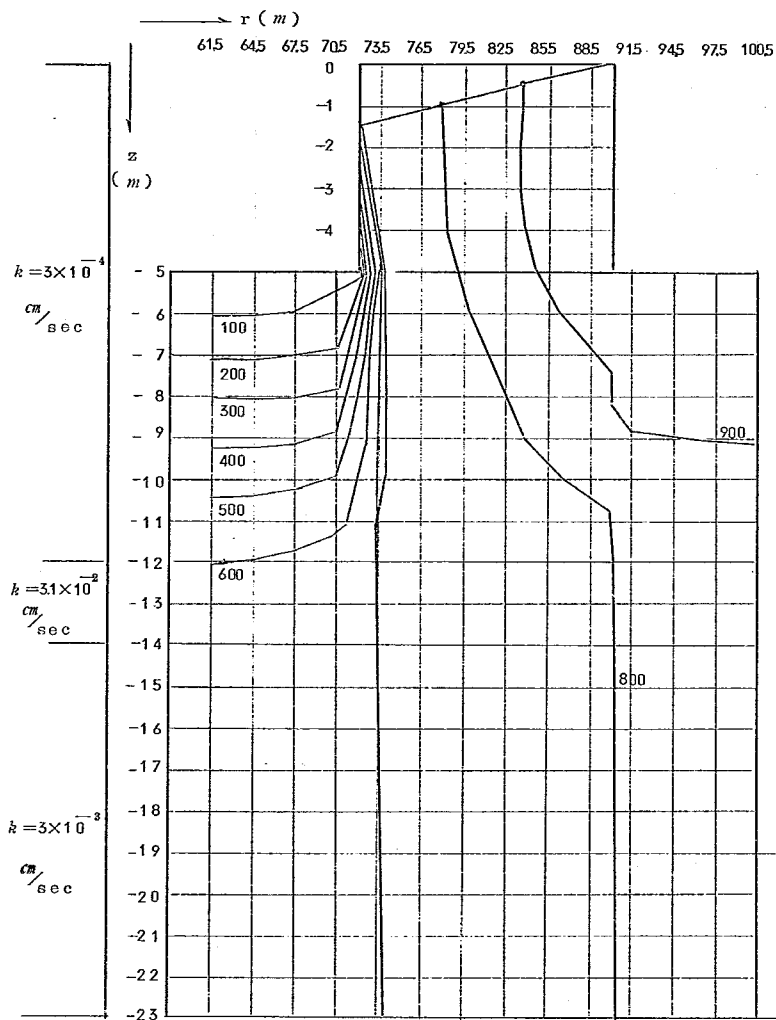


図-12 (g) 透水層内の等ポテンシャル線 (実験番号7)

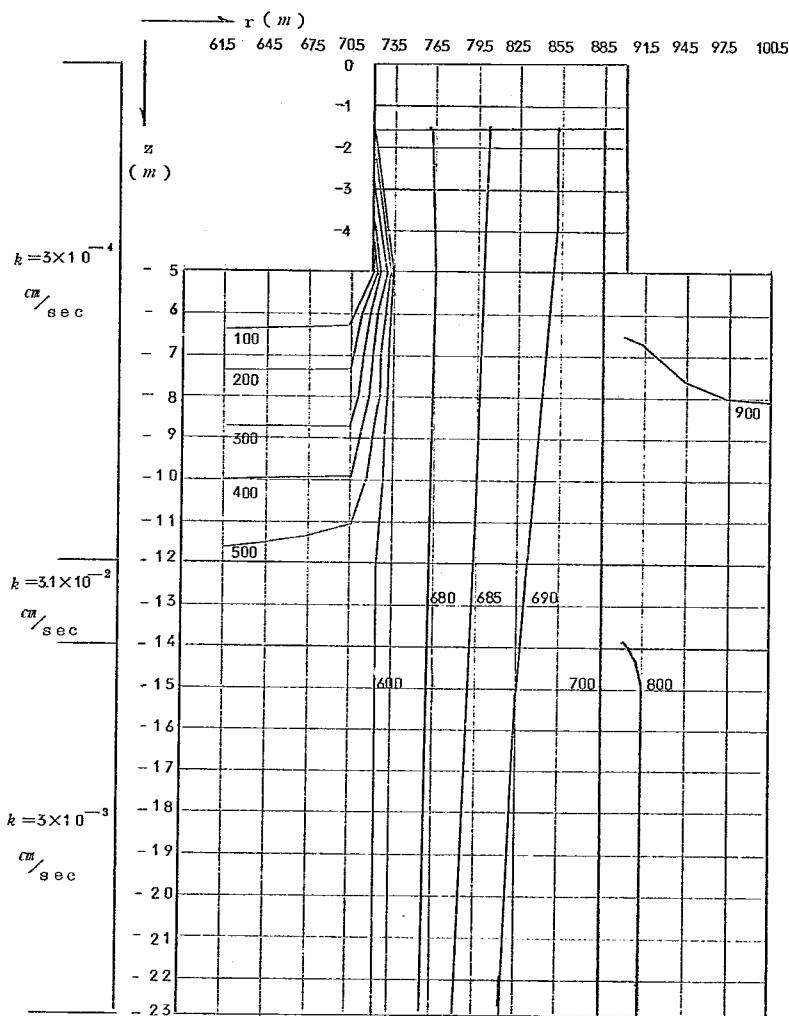


図-12 (h) 透水層内の等ポテンシャル線 (実験番号 8)

正 誤 表

頁	位 置	誤	正
10	図-9(a)		斜交車道〔深度(m)〕
12	図-9(b)		"
18	上より6行	地盤の下の部分	地盤の中のある部分
19	図-10(a)	$h = 3.0 \times 10^{-2} \frac{cm}{sec}$	$[h] = 3.0 \times 10^{-2} \frac{cm}{sec}$