

仮縮切における滲透水流

河原田 礼次郎

On the Seepage Flow underneath Cofferdams

Reijiro KAWAHARADA

I 緒 言

水中に構造物を造る場合、dry work するために仮縮切工を施すのであるが、この計画に当つて問題となるのは排水すなわち滲透水の量の計算と縮切自体の安定の如何である。この問題を解決するために縮切の二三の状態の場合について流線網の解析を行つた結果を述べる。

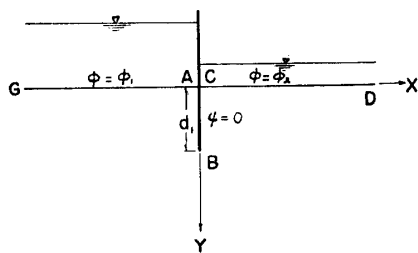
解析の方法としては、等角写像による理論解析とその一部の例証として行つた電気モデルによる実験的解析とである。

II 理 論

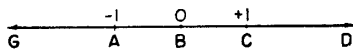
A. 透水層が無限な場合 図1, 2, 3 (Z-plane) に示す様に透水層がGACDの地表面を境として無限の掘り込みを有するとき、これを矢板ABで仮縮切をすると滲透水はこの矢板の下を廻つて滲透していく。この場合の境界条件は次の通りとなる。

- GA 等圧滲入面 $\phi = \text{const.} = \phi_1$
- CD 等圧滲出面 $\phi = \text{const.} = \phi_2$
- AB 矢板 深さ d_1 , $\psi = \text{const.} = 0$
- AC 掘さく深 d_2

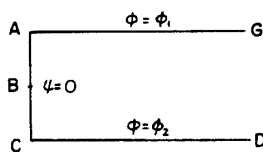
以上の境界条件のもとに Z-plane 及び W-plane の間の写像関係を ζ -plane を媒介として求める。



Z-plane



ζ -plane



W-plane

図 1

1). 掘さくを行わない場合 図1の Z-plane を ζ -plane に写像すると次の様になる。すなわち Schwarz-Christoffel の定理を応用して

$$Z = C_1 \int \frac{\zeta}{\sqrt{\zeta^2 - 1}} d\zeta + C_2$$

$$= C_1 \sqrt{\zeta^2 - 1} + C_2 \quad \dots\dots(1)$$

ここで ζ -plane の様に $A \rightarrow -1$, $B \rightarrow 0$ に対応させると

$$C_2 = 0, \quad C_1 = d_1$$

$$\therefore Z = d_1 \sqrt{\zeta^2 - 1} \quad \dots\dots(2)$$

次に ζ -plane を W-plane に写像することにより

$$W = C_3 \int \frac{d\zeta}{\sqrt{\zeta^2 - 1}} + C_4$$

$$= C_3 \log(\zeta + \sqrt{\zeta^2 - 1}) + C_4 \quad \dots\dots(3)$$

A ($\zeta = -1, W = \phi_1$), C ($\zeta = +1, W = \phi_2$) より $C_4 = \phi_2$, $C_3 = \Delta\phi / i\pi$, $\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2$ をうるから

$$W = \frac{\Delta\phi}{i\pi} \log(\zeta + \sqrt{\zeta^2 - 1}) + \phi_2 \quad \dots\dots(4)$$

(2), (4) により ζ -plane を介して解析されることになる。
 2). 掘さくを行う場合—— CD 面を d_2 だけ掘り下げた場合に写像すると

$$\begin{aligned} Z &= C_1 \int \frac{\zeta-1}{\sqrt{\zeta(\zeta-l)}} d\zeta + C_2 \\ &= C_1 \left[\sqrt{\zeta(\zeta-l)} + \frac{l}{2} \int \frac{d\zeta}{\sqrt{\zeta(\zeta-l)}} - \int \frac{d\zeta}{\sqrt{\zeta(\zeta-l)}} \right] + C_2 \quad \dots\dots(5) \end{aligned}$$

$\sqrt{\frac{\zeta-l}{\zeta}} = t$ とおくと

$$\begin{aligned} &= C_1 \left[\sqrt{\zeta(\zeta-l)} + \left(1 - \frac{l}{2}\right) \int \frac{2}{1-t^2} dt \right] + C_2 \\ &= C_1 \left[\sqrt{\zeta(\zeta-l)} + \left(1 - \frac{l}{2}\right) \log \frac{\sqrt{\zeta} + \sqrt{\zeta-l}}{\sqrt{\zeta} - \sqrt{\zeta-l}} \right] + C_2 \end{aligned}$$

常数 C_1, C_2 を決定するために $A(Z=0, \zeta=0)$, $B(Z=id_1, \zeta=1)$, $C(Z=id_2, \zeta=l)$ なる条件を上式に入れてやれば

$$C_2 = id_2, \quad C_1 = -\frac{2}{\pi} \frac{d_2}{(2-l)}$$

$$\begin{aligned} \therefore Z &= -\frac{d_2}{\pi} \left[\frac{2}{2-l} \sqrt{\zeta(\zeta-l)} + \log \frac{\sqrt{\zeta} + \sqrt{\zeta-l}}{\sqrt{\zeta} - \sqrt{\zeta-l}} \right] \\ &\quad + id_2 \quad \dots\dots(6) \end{aligned}$$

l は境界条件によつて決る常数で

$$\frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{d_1}{d_2}\right) \frac{\sqrt{l-1}}{2-l} + \tan^{-1} \sqrt{l-1} \quad \dots\dots(7)$$

なる条件を満足しなければならない。式の性質上 l の計算は少し繁雑となるが、いま $d_1=1$ としたとき d_2 の値の変化に應ずる l の値を求めてみると表1のようである。

表 1 $d_1=1.0$ としたとき (7) 式を満足する l の値

d_2	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
l	1.93	1.84	1.72	1.56	1.38	1.22	1.10	1.04	1.01	—

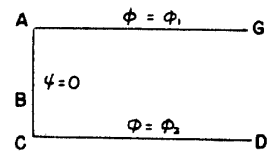
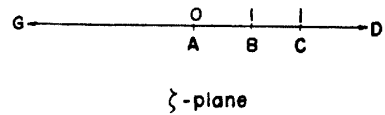
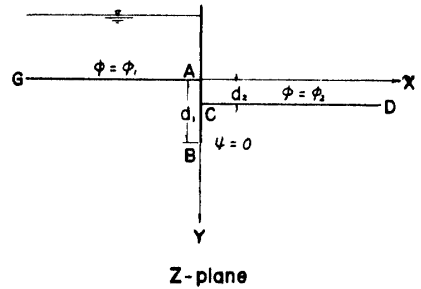
次に W -plane と ζ -plane との対応から

$$\begin{aligned} W &= C_3 \int \frac{d\zeta}{\sqrt{\zeta(\zeta-l)}} + C_4 \\ &= -C_2 \log \frac{\sqrt{\zeta} + \sqrt{\zeta-l}}{\sqrt{\zeta} - \sqrt{\zeta-l}} + C_4 \quad \dots\dots(8) \end{aligned}$$

$A(\zeta=0, W=\phi_1)$, $C(\zeta=l, W=\phi_2)$ より

$$C_3 = -\Delta\phi/i\pi, \quad C_4 = \phi_2$$

図2において Z -plane を ζ -plane



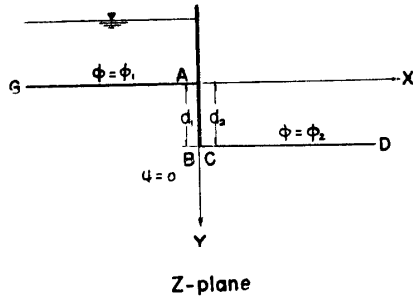
W-plane

図 2

$$\therefore W = \frac{\Delta\phi}{i\pi} \log \frac{\sqrt{\zeta + \sqrt{\zeta - l}}}{\sqrt{\zeta - \sqrt{\zeta - l}}} + \phi_2 \quad \dots\dots(9)$$

(6), (7), (9) の関係からこの場合の解析ができる。

3). 矢板の深さまで掘さくした場合 2の場合の特殊なものとみられる, すなわち $d_2 = d_1$ となる場合で実際には矢板の安定上あり得ないことになるが, 何等かの方法でかかる状態がありうるものとすれば (6), (7) の関係は成り立たないから図3の条件により新めてやると



$$Z = C_1 \int \frac{\zeta - 1}{\sqrt{\zeta(\zeta - 1)}} d\zeta + C_2$$

$$= C_1 \left[\sqrt{\zeta(\zeta - 1)} + \frac{1}{2} \log \frac{\sqrt{\zeta + \sqrt{\zeta - 1}}}{\sqrt{\zeta - \sqrt{\zeta - 1}}} \right] + C_2$$

A ($Z=0, \zeta=0$), B ($Z=id_1, \zeta=+1$), C ($Z=id_2, \zeta=+1$) より $d_1 = d_2 = d$ とすれば

$$C_1 = -2d/\pi, C_2 = id$$

$$\therefore Z = -\frac{2d}{\pi} \left[\sqrt{\zeta(\zeta - 1)} + \frac{1}{2} \log \frac{\sqrt{\zeta + \sqrt{\zeta - 1}}}{\sqrt{\zeta - \sqrt{\zeta - 1}}} \right] + id \quad \dots\dots(10)$$

これは (6) 式において $b_2 = d, l=1$ としたものに等しい, W -plane と ζ -plane との関係は (9) と同じである。

B. 透水層が有限な場合* 以上 A において述べたものは透水層が無限の拡がりを持つたものであつたのに対して, 今度は地表面よりある深さの処に不透水層がある場合についてである。

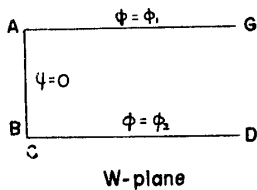
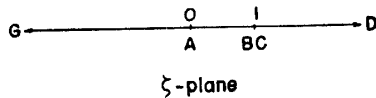


図 3

この場合の境界条件は次の様である。

- GA 等圧滲入面 $\phi = \text{const.} = \phi_1$
- CD 等圧滲出面 $\phi = \text{const.} = \phi_2$
- AB 矢板 深さ $d_1, \psi = \text{const.} = \psi_2$
- AC 掘さく深 d_2
- EF 不透水層面 $\psi = \text{const.} = \psi_1$
- AG \longleftrightarrow EF 透水層の厚さ h

以上の境界条件のもとに Z -plane 及び W -plane の間を ζ -plane 及び T -plane を媒介として求める。

1). 掘さくを行わない場合 図4の Z -plane と ζ -plane との写像関係から

$$Z = C_1 \int \frac{\zeta}{(\zeta^2 - m^2)\sqrt{\zeta^2 - 1}} d\zeta + C_2 \quad \dots\dots(11)$$

* この B については M. Muskat が The Flow of Homogeneous Fluids through Porous Media の P.221—224 に巧妙な解析を行つているが ζ -plane のとり方に疑問があるので敢て別途の解析を進めた訳である。なお $d_1 = d_2$ の場合については Muskat もその解析を省略しているの、比処にはその場合 (B.3) のものも述べる。

$\zeta^2 = t$, さらに $\sqrt{t-1} = P$ とおけば

$$Z = C_1 \int \frac{dP}{P^2 + 1 - m^2} + C_2$$

$$= \frac{C_1}{2\sqrt{m^2-1}} \log \frac{\sqrt{m^2-1} - \sqrt{\zeta^2-1}}{\sqrt{m^2-1} + \sqrt{\zeta^2-1}} + C_2 \dots (12)$$

A ($Z=0, \zeta=-1$) より $C_2=0$

D点を考えるとき ζ -plane 上 D点の上に小円を作れば、この円周上では $\zeta = m + re^{i\theta}$ であるから、 $d\zeta = ire^{i\theta}d\theta$ である。よつて

$$dZ = C_1 \frac{(m + re^{i\theta})ire^{i\theta}d\theta}{[(m + re^{i\theta})^2 - m^2]\sqrt{(m + re^{i\theta})^2 - 1}}$$

$$= C_1 \frac{(m + re^{i\theta})id\theta}{(2m + re^{i\theta})\sqrt{(m + re^{i\theta})^2 - 1}}$$

r を極限に $r=0$ として両辺を積分すれば

$$\int_0^{ih} dZ = iC_1 \frac{1}{2\sqrt{m^2-1}} \int_{\pi}^0 d\theta$$

$$ih = -i \frac{C_1 \pi}{2\sqrt{m^2-1}}$$

$$C_1 = -\frac{2h\sqrt{m^2-1}}{\pi}$$

$$\therefore Z = -\frac{h}{\pi} \log \frac{\sqrt{m^2-1} - \sqrt{\zeta^2-1}}{\sqrt{m^2-1} + \sqrt{\zeta^2-1}} \dots (13)$$

ここで m の値が境界条件によつて求められるように変形する。すなわち $-h/\pi = 1/2 C'$ とおけば上式は

$$\frac{\sqrt{m^2-1} - \sqrt{\zeta^2-1}}{\sqrt{m^2-1} + \sqrt{\zeta^2-1}} = e^{2C'Z}$$

と表わせる。これから

$$\sqrt{m^2-1} = -\sqrt{\zeta^2-1} \coth C'Z \dots (14)$$

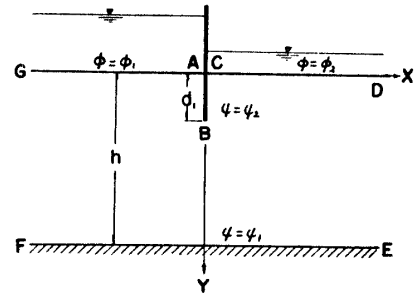
また B ($Z=id_1, \zeta=0$) という関係を (14) に入れると

$$\sqrt{m^2-1} = \cot \frac{\pi d_1}{2h}$$

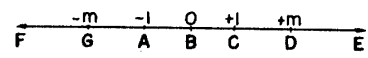
$$\therefore m = \operatorname{cosec} \frac{\pi d_1}{2h} \dots (15)$$

再び (14) 式に戻り ζ を逆に算出すると

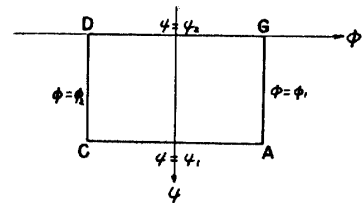
$$\zeta^2 = 1 + \cot^2 \frac{\pi d_1}{2h} \tanh^2 \frac{\pi Z}{2h} \dots (16)$$



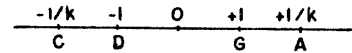
Z-plane



ζ -plane



W-plane



T-plane

4 図

次に W -plane と ζ -plane との写像関係は

$$W = C_3 \int \frac{d\zeta}{\sqrt{(\zeta^2 - m^2)(\zeta^2 - 1)}} + C_4 \quad \dots\dots(17)$$

$C_4 = 0$ と考え上式を標準形になおすために根号の中の4つの根を次のように対応させる。

$$\begin{array}{cccc} \alpha_0 & \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 \\ -m & -1 & +m & +1 \end{array}$$

$$\lambda = \frac{\alpha_1 - \alpha_0}{\alpha_1 - \alpha_2} \cdot \frac{\alpha_3 - \alpha_2}{\alpha_3 - \alpha_0} = \frac{-1 + m}{-1 - m} \cdot \frac{1 - m}{1 + m} = \frac{(m-1)^2}{(m+1)^2}$$

$$k = \frac{1 - \sqrt{\lambda}}{1 + \sqrt{\lambda}} \quad \text{から}$$

$$k^2(1-\lambda) - 2k(1+\lambda) + (1-\lambda) = 0$$

$$mk^2 - k(m^2+1) + m = 0$$

これより

$$k = \frac{(m^2+1) \pm \sqrt{(m^2+1)^2 - 4m^2}}{2m} \quad \text{より} \quad k = \frac{1}{m} \quad \dots\dots(18)$$

$$\text{一方} \quad \frac{\zeta - \alpha_0}{\zeta - \alpha_2} \cdot \frac{\alpha_3 - \alpha_2}{\alpha_3 - \alpha_0} = \pm \frac{t-1}{t+1} \sqrt{\lambda}$$

これより ζ を計算して

$$W = C_5 \int_0^t \frac{dt}{\sqrt{(1-t^2)(1-k^2t^2)}}$$

ここに C_5 は変換の際生ずる常数で T -plane において $G(t=1, W=\phi_1+i\psi_2)$ より

$$W = \phi_1 + i\psi_2 = C_5 \int_0^1 = C_5 K$$

$D(t=-1, W=\phi_2+i\psi_2)$ より

$$W = \phi_2 + i\psi_2 = C_5 \int_0^{-1} = -C_5 K$$

$$\therefore C_5 = \frac{\phi_1 - \phi_2}{2K} = \frac{\Delta\phi}{2K}$$

$$\therefore W = \frac{\Delta\phi}{2K} \int_0^t \frac{dt}{\sqrt{(1-t^2)(1-k^2t^2)}} \quad \dots\dots(19)$$

これが W -plane と ζ -plane との関係を示すもので T -plane が媒介になつている。

次に $A(t=1/k, W=\phi_1+i\psi_1)$ から

$$W = \phi_1 + i\psi_1 = \frac{\Delta\phi}{2K} \int_0^{1/k} = \frac{\Delta\phi}{2K} (K + iK')$$

また $G(t=1, W=\phi_1+i\psi_2)$ より

$$W = \phi_1 + i\psi_2 = \frac{\Delta\phi}{2K} \int_0^1 = \frac{\Delta\phi}{2K} K$$

$$i(\psi_1 - \psi_2) = \frac{\Delta\phi}{2K} iK'$$

$$\phi_1 - \phi_2 = Q = \frac{4\phi K'}{2K}$$

$$\therefore \frac{Q}{4\phi} = \frac{K'}{2K} = C_s \quad \dots\dots(20)$$

ここで K 及び K' は夫々母数 k 及び $\sqrt{1-k^2}$ を有する第一種完全楕円積分である。

2). 掘さくを行う場合—— CD 面を d_2 だけ掘り下げた場合 Z -plane を次の写像函数によつて ζ -plane に写像する。

$$Z = C_1 \int \frac{\zeta - l}{\zeta \sqrt{(\zeta - m)(\zeta - 1)}} d\zeta + C_2 \quad \dots\dots(21)$$

$$\sqrt{\frac{\zeta - 1}{\zeta - m}} = t \quad \text{とおくと}$$

$$Z = 2C_1 \left[\int \frac{dt}{1-t^2} - l \int \frac{dt}{1-mt^2} \right] + C_2$$

これから

$$Z = C_1 \left(\log \frac{\sqrt{\zeta - 1} + \sqrt{\zeta - m}}{\sqrt{\zeta - 1} - \sqrt{\zeta - m}} - \frac{l}{\sqrt{m}} \log \frac{\sqrt{m(\zeta - 1)} + \sqrt{\zeta - m}}{\sqrt{m(\zeta - 1)} - \sqrt{\zeta - m}} \right) + C_2$$

常数を決定するために各点の値を上式に代入すれば

A ($Z=0, \zeta=m$) より $C_2 = 0$

D ($\zeta = re^{i\theta}$) として変換すれば

$$\int_{ih}^{id_2} dZ = \int_{\pi}^0 C_1 i \frac{l}{\sqrt{m}} d\theta$$

$$d_2 - h = C_1 \pi \frac{l}{\sqrt{m}} \quad \dots\dots(22)$$

C ($Z=id_2, \zeta=1$) より

$$d_2 = C_1 \pi \left(1 - \frac{l}{\sqrt{m}} \right) \quad \dots\dots(23)$$

(22), (23) より

$$C_1 = \frac{h}{\pi}$$

また B ($Z=id_1, \zeta=l$) から

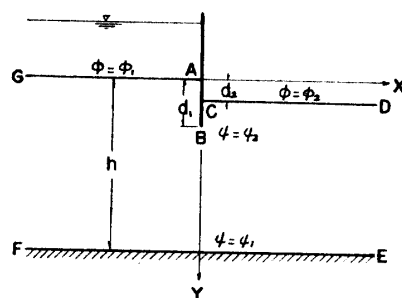
$$\frac{d_1 \pi}{2h} = \tan^{-1} \sqrt{\frac{m-l}{l-1}} - \frac{l}{\sqrt{m}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{m-l}{m(l-1)}} \quad \dots\dots(24)$$

再び (22) から

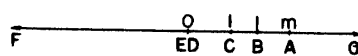
$$l = \left(1 - \frac{d_2}{h} \right) \sqrt{m} \quad \dots\dots(25)$$

原式は

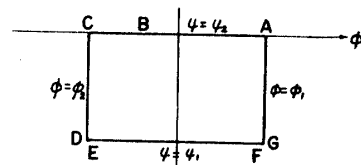
$$Z = \frac{h}{\pi} \left(\log \frac{\sqrt{\zeta - 1} + \sqrt{\zeta - m}}{\sqrt{\zeta - 1} - \sqrt{\zeta - m}} - \frac{l}{\sqrt{m}} \log \frac{\sqrt{m(\zeta - 1)} + \sqrt{\zeta - m}}{\sqrt{m(\zeta - 1)} - \sqrt{\zeta - m}} \right) \quad \dots\dots(26)$$



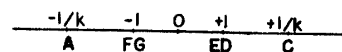
Z-plane



zeta-plane



W-plane



T-plane

したがって境界条件がきまれば (25), (24) から求められる値を (26) に入れることにより解析が出来る。

次に W -plane と ζ -plane との対応を考えると

$$W = C_3 \int \frac{d\zeta}{\sqrt{\zeta(\zeta-m)(\zeta-1)}} + C_1 \quad \dots\dots(27)$$

これを標準形になおすために根号の中の四根を次のように対応させる。

$$\begin{array}{cccc} \alpha_0 & \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 \\ 0 & 1 & \infty & m \end{array}$$

$$\lambda = \frac{\alpha_1 - \alpha_0}{\alpha_1 - \alpha_2} \cdot \frac{\alpha_3 - \alpha_2}{\alpha_3 - \alpha_0} = \frac{1-0}{1-\infty} \cdot \frac{m-\infty}{m-0} = \frac{1}{m}$$

$$k = \frac{1 - \sqrt{\lambda}}{1 + \sqrt{\lambda}} = \frac{\sqrt{m-1}}{\sqrt{m+1}}$$

所要の一次変換式は

$$\frac{\zeta - \alpha_0}{\alpha_3 - \alpha_0} = \frac{t-1}{t+1} \sqrt{\lambda}$$

これから

また

$$\zeta = \frac{t-1}{t+1} \sqrt{m} \quad d\zeta = \frac{2\sqrt{m}}{(t+1)^2} dt$$

この二式を (27) に入れて変換すれば

$$W = C_3 \frac{-2i}{\sqrt{m+1}} \int_0^t \frac{dt}{\sqrt{(1-t^2)(1-k^2t^2)}}$$

T -plane において $F(W = \phi_1 + i\psi_1, t = -1)$ より

$$W = \phi_1 + i\psi_1 = C_3 \frac{-2i}{\sqrt{m+1}} \int_0^{-1} = \frac{2i}{\sqrt{m+1}} C_3 K$$

$E(W = \phi_2 + i\psi_1, t = 1)$ より

$$W = \phi_2 + i\psi_1 = C_3 \frac{-2i}{\sqrt{m+1}} \int_0^{+1} = \frac{-2i}{\sqrt{m+1}} C_3 K$$

$$\phi_1 - \phi_2 = \Delta\phi = 2 \frac{2i}{\sqrt{m+1}} C_3 K$$

$$C_3 = \frac{\Delta\phi \sqrt{m+1}}{2K \cdot 2i}$$

$$\therefore W = -\frac{\Delta\phi}{2K} \int_0^t \frac{dt}{\sqrt{(1-t^2)(1-k^2t^2)}} \quad \dots\dots(28)$$

また B . 1 の場合と同様にして

$$\frac{Q}{\Delta\phi} = \frac{K'}{2K} \quad \dots\dots(29)$$

をうる。

3. 矢板の深さ d_1 まで掘さくした場合 これは上記2. の特別の場合で $d_1 = d_2 (=d)$ となつたときについてである。したがつて図6のようになるが、これをみてもわかるようにB点とC点とが同一点となるから ζ -plane において $l \rightarrow 1$ として考えれば良い。

すなわち (24) あるいは (25) において, $l \rightarrow 1$, $d_1 = d_2 = d$ とおけば

$$\frac{d}{h} = 1 - \frac{1}{\sqrt{m}} \quad \dots\dots(30)$$

また

$$k = \frac{\sqrt{m} - 1}{\sqrt{m} + 1} = \frac{1}{\frac{2h}{d} - 1} \quad \dots\dots(31)$$

(26) に相当するものとしては

$$Z = \frac{h}{\pi} \left(\log \frac{\sqrt{\zeta - 1} + \sqrt{\zeta - m}}{\sqrt{\zeta - 1} - \sqrt{\zeta - m}} - \frac{1}{\sqrt{m}} \log \frac{\sqrt{m(\zeta - 1)} + \sqrt{\zeta - m}}{\sqrt{m(\zeta - 1)} - \sqrt{\zeta - m}} \right) \quad \dots\dots(32)$$

をうる。

次に W -plane についてであるが図5, 6をみてもわかるように全く条件が同じとなるから (28), (29) と同じである。

III 実験例と考察

以上のべた理論式はそれぞれ仮縮切のいろいろな状態に対する厳密解で理論的には良いのであるが、その実用の具体的段階になると勢い計算の繁雑さを免れない。*これを補う意味においてモデル実験が屢々用いられるが、ここにはその一部の例証としてB. 1. すなわち透水層が有限で掘さくを行わない場合についての滲透流量を電気モデルによつて測定した結果をのべる。実験のスケールを図7に示す。

この場合の理論値は (15), (18), (20) より求められるもので、これを実験値とあわせ図8に示す。

h に対して d_1 が大きくなると流量 Q は減少する。すなわち d_1/h の増加 (減少) につれて C_s は減少 (増加) している。

この図において $0 < d_1/h < 0.4$ のとき C_s の値は理論値より実験値の方が小さくなつてゐる。しかも $0.4 \rightarrow 0$ につれてその差が大きくなつてゐる。これは理論では $d_1/h = 0$ つまり矢板を全然打ちこまず、ただ水を阻止しているだけのときは $C_s \rightarrow \infty$ すなわち $Q \rightarrow \infty$ となるのに対し、実際には $Q \rightarrow \infty$ とはなりえずある有限の値をとることにもよると思われる。したがつて現実の滲透流は、この実験の方が理論よりも妥当と考えられる。ただし電気モデルでは洗掘現

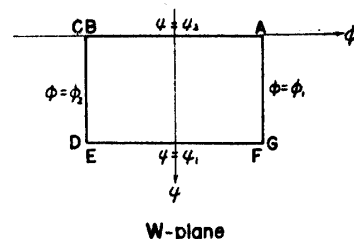
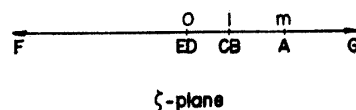
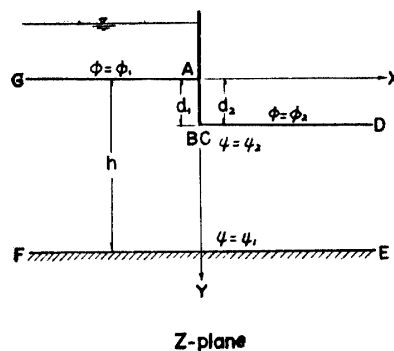


図 6

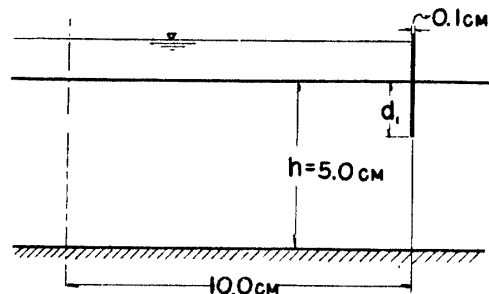


図 7

* この実用化のために Muskat は前記註同の p.224 に有益な図 (Fig 71) を掲載している。

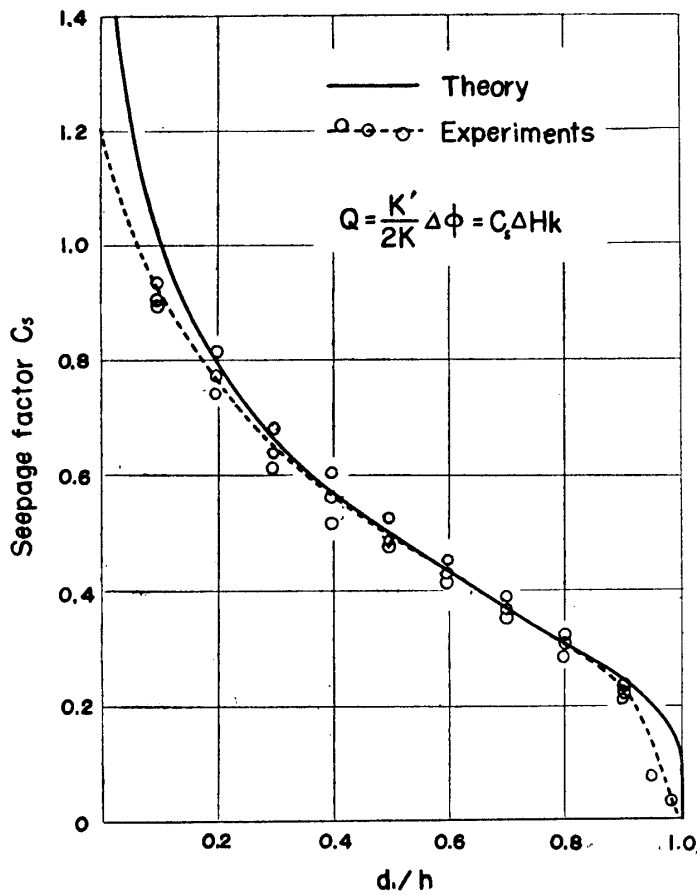


図 8

象の影響がはいつていないことは言うまでもない。また $0.9 < d_1/h < 1.0$ のときにも実験の C_s の値が小さいのは $h - d_1 < 0.5\text{cm}$ となり、操作が困難となつたことと矢板そのものに厚さ (0.1 cm) を与えたためであろう。すなわち理論的には線でなければならない。またこの d_1/h の変化に應ずる流線網の図を図9に示す。

次に掘さくによつて滲透水量の増加する模様を知るために仮締切として矢板を用いる場合とある厚さを有する簡易堰を用いる場合についての等ポテンシャル線図を図10に示した。

何れも電気モデルによつて得られた等ポテンシャル線で流線はこれに直交する訳であるが、繁雑となるので省略した。実線で示されるものは掘さくを行わない場合のものであり、点線は地表面が鎖線のところまで掘さくされた場合のものである。すなわち掘さくによつて等ポテンシャル線の位置は何れも上流側に少しづ

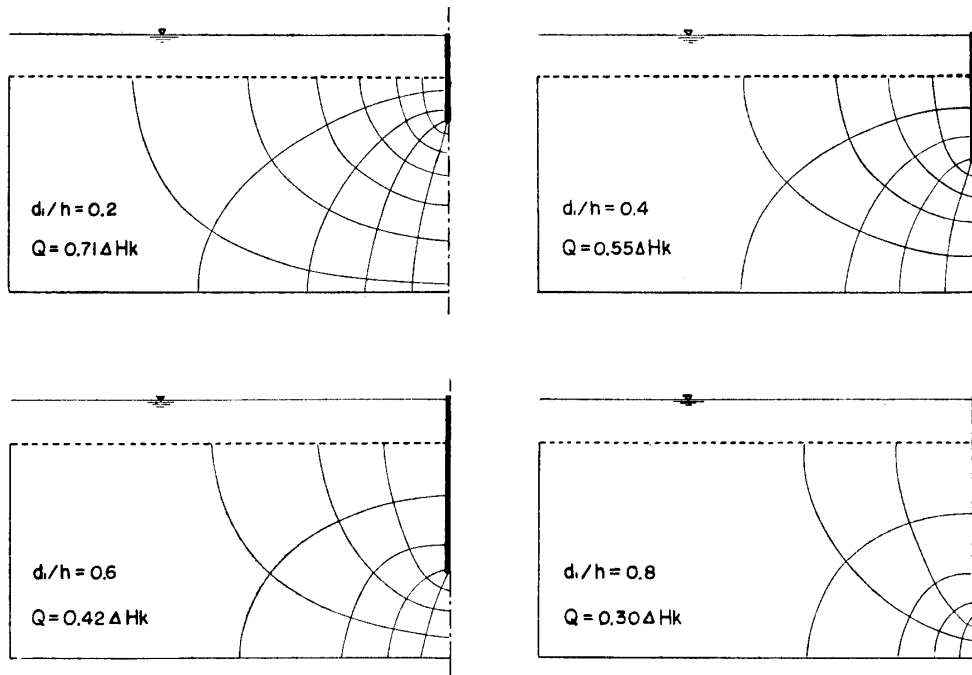


図 9

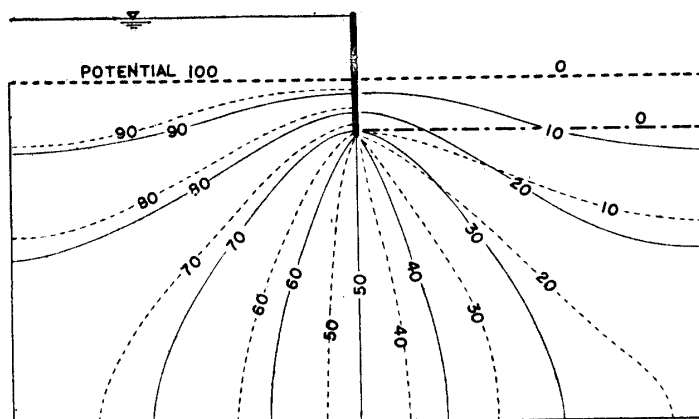


図 10 (a)

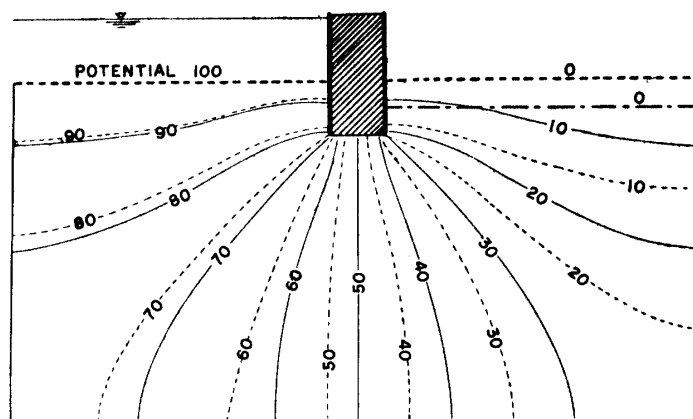


図 10 (b)

つ変位しその間隔が密となつていのがわかる。したがつて滲透水量は増加している訳である。

以上理論の裏付けとしては、幾分物の足りなさを感じるが、その一部の例を挙げて理論の妥当性と併せて電気モデルの実用的価値の高いことを述べた次第である。

最後に九大田町教授、佐大田中助教授の日頃の御指導を感謝して擲筆する。

文 献

- 1) 宮本慶己：二次元問題。
- 2) 竹内端三：楕円函数論。
- 3) M. Muskat: *The Flow of Homogeneous Fluids through Porous Media* (1937).
- 4) 林 桂一：高等函数表。
- 5) 河原田礼次郎：農業土木研究 **23**, 4, 5, (1955).

Résumé

In course of the dry work at the foundation under water, if the ground on the downstream side of the coffer dam is excavated in addition to the drainage by pumping, the seepage flux will increase with the progress of the excavation.

On the seepage flow under the boundary conditions mentioned below, theoretical analyses by the conformal representation and partly experimental analyses by means of the electrical model are given.

1. The permeable stratum is infinite or limited.
2. The ground surface on the downstream side is unexcavated or excavated.