

7. あとがき

いままで述べてきたことによつて堤体基礎に生ずる間隙圧の場所的及び時間的分布を理論的に算出することができるようになった。さらにここで触れなかつた基礎の境界条件の存在する場合、たとえば

- (1) 土粒子間隙中に空気が存在する場合
- (2) 圧密係数 c が $fn.(x, y)$ として表わされる場合
- (3) 上載荷重が任意の分布をしている場合
- (4) 粘土の2次圧密を考慮する場合

などについては以上の基本式をもとにして理論式を誘導することができるので今後の研究にまちたいと思う。またアースダム自身の内部に生ずる間隙圧分布を探究し、さらに進んで堤体の圧密沈下量を算定できるものと信じている。

終りに、本研究に関して絶えず熱心な御指導をたまわつた京大教授村山博士に厚くお礼を申し上げるとともに、「堤体の土質工学的研究」として文部省科学研究費の援助を受けたことに対しても感謝の意を表するものである。

参 考 文 献

- 1) J.D. Justin, J. Hinds & W.P. Creager; Engineering for Dams, Vol. III, pp. 660—662, (1947).
- 2) K. Terzaghi & R.B. Peck; Soil Mechanics in Engineering Practice, pp. 394—406, (1948).
- 3) M.A. Biot; General Theory of Three-Dimensional Consolidation, J. Applied Physics, Vol. 12, pp. 155—164, (1941).
- 4) M.A. Biot; Consolidation Settlement under a Rectangular Load Distribution, J. Applied Physics, Vol. 12, pp. 426—430, (1941).
- 5) K. Terzaghi; Theoretical Soil Mechanics, pp. 290—296, (1948).
- 6) 石井晴丸; 大阪の地盤沈下に関する研究 pp. 107—109, (1949).
- 7) V.H. Neuber; Ein neuer Ansatz zur Lösung räumlicher Probleme der Elastizitätstheorie, Z. angew. Math. Mech. Vol. 14, pp. 203—212, (1934).
- 8) O.K. Fröhlich; Druckverteilung im Baugrunde, pp. 36—41, 76—81, (1934).
- 9) 三笠正人; On the Settlement of Clay Layer by Partial Load, Proc. 1st Japan National Congress for Applied Mechanics, pp. 303—308, (1951).
- 10) M.A. Biot; Effect of Certain Discontinuities on the Pressure Distribution in a Loaded Soil, Physics, Vol. 6, pp. 367—375, (1935).
- 11) G. P. Tschebotarioff; Soil Mechanics, Foundations, & Earth Structures, pp. 562—565, (1951).

(昭.27.10.16)

UDC 624.131.6:532.546

台地の滲透流について

正 員 工学博士 内 田 茂 男*

ON THE PERCOLATION FLOW THROUGH TABLE-LANDS

(Trans. JSCE April 1952)

Dr. Eng., Shigeo Uchida, C.E. Member

Synopsis In the presented paper viscous percolations through table-lands are investigated. Applying conformal transformations, analytical solutions of typical flows are obtained in the exact forms and are compared with the experiments. A new method of experiments with special considerations to the law of similarity is introduced, giving an excellent result in the comparison with analytical calculation.

要旨 シラスなど滲透性台地の内部における地下滲透流を、理想化した境界条件を用いて多少組織的に調べたものである。ポテンシャル流としての解を、表面張力の省略できるような新しい実験法によつて検証した。従来不明とされていた滲出速度の高い部位が明らかとなつて、それらが定性的には侵蝕のはなはだしい箇所と一致することがわかつた。

1. 緒 言

主として火山噴出物より成る滲透性灰砂層台地は南九州のシラス地帯を始め内外各地に分布しており、いずれも顕著な侵蝕性によつて有名である。その急激な崩壊は地表水の集中落下が主因と考えられるが、地下水の噴出

* 東京大学講師，東京大学工学部土木教室

によつて起つた例も観測されており、また継続的で緩慢な侵蝕は地下水の滲出によるものようで、その例は現地においてみる事ができる。

これら地下水の局部的な流れには個々の複雑な因子が作用して、一般的取扱いが困難と考えられるので、境界条件を単純な形に理想化した滲透性矩形台地について、多少一般的な解析を行つてみた。矩形境界については側方から滲入する Davison¹⁾、Hamel²⁾ 等の解があるのみで台地のように上方から滲入する解は未だ求められていないようである。以下には簡単な境界形を例にとつて、不滲透層と滲透体の関係、排水口、不滲透帯の作用など、実験と比較しつつ解析した結果を報告する。

2. 滲透流に関する基礎的關係

a) 理論的方法

滲透流はレイノルズ数の小さい範囲で Darcy の層流法則に従う。滲透速度の x, y 成分をそれぞれ u, v 、ポテンシャルを ϕ とすると、 $\phi = \kappa(p/\rho g + y)$ で

$$u = -\partial\phi/\partial x, v = -\partial\phi/\partial y \quad \dots\dots\dots(1)$$

ただし、 κ は有効透水係数、 p は圧力、 ρ は液体の密度、 y は垂直方向の長さ、 g は重力の加速度とする。流れが定常で非圧縮の場合には、連続の方程式が

$$\partial u/\partial x + \partial v/\partial y = 0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

地質が均一で κ 一定と考へてよい場合 (1) (2) から

$$\partial^2\phi/\partial x^2 + \partial^2\phi/\partial y^2 = 0 \quad \text{または} \quad \Delta^2\phi = 0 \quad \dots\dots\dots(3)$$

となり、よく知られているように流れはポテンシャル場を形成することとなる。ポテンシャル論を適用するために複素速度ポテンシャル $W = \phi + i\psi$ 、物理面及び hodograph 面を表わす複素函数 $z = x + iy$ 、 $H = u + iv$ 及び H と共軛な $\bar{H} = -dW/dz = u - iv$ を導入する。ポテンシャル場の問題であるから等角写像によつて、 Z と \bar{H} または W 間の対応をつけることができれば問題が解かれるわけである。(\bar{H} 面における境界条件やポテンシャル論については文献 4) 等にゆずり、ここには省略する)。

b) 実験的方法

滲透流の実験は通常砂の模型に水圧をかけて行うが、実物大の流れとの間の相似律については未だ充分な検討が行われていないようである。

相似律は運動の基礎方程式と境界条件の両方について考慮する必要がある。粒子の平均直径を d_p 、平均の滲透速度を U 、流体の動粘性係数を ν としてレイノルズ数 $R = d_p U/\nu$ を定義すると、流れの性質は R の大小によつて表現される。 R のある限界値 R_t について、

$$R = d_p U/\nu < R_t \quad \dots\dots\dots(4)$$

では流れは主として層流状態、 R_t を超えると乱流状態に遷移する⁴⁾。層流状態では Darcy の法則に従うので前記の式 (1) (2) (3) が成立つ。長さの単位 (例えば台地の高さ) を a 、速度の単位を κ とすると、これらの式は無次元量 u/κ 、 v/κ 、 $\phi/\kappa a$ 、 $p/\rho g a$ 、 y/a 等の間の普遍的な関係として表わされるから、 a や κ の値そのものには無関係に成立する。すなわちこのような運動の相似律は (4) なる不等式さえ満たされていれば成立つことがわかる。 R_t は細土について約 1 程度である。

つぎに境界条件であるが、まづ不滲透面と等ポテンシャル面の条件は規模に関係なく満すことができるから、幾何学的に相似であればよい。また圧力一定 (大気圧) 下の滲出滲入面の条件はこの面を大気圧に曝しつつ滲出滲入を行えばよいので、 a に比して省略できる程度の液体の薄層で境界面を覆うことによつて近似的に満たされる。ところが自由表面のある場合を考えると、物理的な自由表面では粒子と液体の表面張力の相互作用によつて毛管上昇が起り、巨視的にはこの平均液面を挟んで Δp なる圧力の不連続が存在する。すなわち Δp に関する相似律の成立が必要となる。表面張力を T とすると次元解析と実験から、 $\Delta p = CT/d_p$ (C は比例常数) なる関係がわかっている。 Δp の無次元量を S として

$$S = \Delta p/\rho g a = CT/\rho g a d_p \quad \dots\dots\dots(5)$$

とおくと、自由表面が時間的に変化しない場合には、 S を等しくすることによつて相似律が満たされる。

数学的な自由表面では一般に $S=0$ なる理想化を行う。 $S \rightarrow 0$ なる実験には、 T 、 a にそれぞれ実用的制限があるので、 d_p を大きくするのが最も有効である。 $d_p \rightarrow$ 大とともに R も大きくなるので、(4) を満たすためには同時に ν を大きくする必要がある。以下の実験では、 $d_p = 4.04 \text{ mm}$ の鉛製球形散弾及び $\nu = 10.9 \text{ cm}^2/\text{s}$ (温度 15.0°C で) なる高粘度機械油を用いた。このとき κ についての R 数は $R_\kappa = 1.23 \times 10^{-4}$ また $S < 0.04$ でいづれも充分小さい値とすることができた。自由表面のない場合には $d_p = 0.15 \text{ mm}$ なる九州浦標準砂による実験も行つた。

図-1 に実験装置を示す。滲入面にフクシンの結晶を挿入して流線を追跡観測し、背面に設けた 20 本のガラス製マンメーターにより水位従つてポテンシャル分布を測定した。ポテンシャル勾配から速度分布を求めて理論と比較した結果、かなりよい一致がみられる。

3. 単純な矩形台地の滲透流

最も基本的な場合として図-2のごとき不滲透層上の矩形台地を考える。連続的な降雨の末期が問題となるので、地下水位の上つた状態として、降雨が上面から、大気圧の下に滲入し、底の不滲透面に沿つて流れた後、大気圧の下に側面へ滲出する場合を考える。

Z 面と H 面の対応をつけるために、これらの境界条件を備えた領域を求めると図-2 が得られる (図中対応する符号で囲まれた内部の領域)。

Schwarz-Christoffel の変換により Z 面及び H 面をそれぞれ t 面の上半面に写像して、BDEB をそれぞれ $-\infty, 0, 1, \infty$ に対応させ、さらに $\sqrt{t} = \lambda$ なる変換を行う。積分を遂行して常数を定めると

$$Z/a = -(2/\pi) \coth^{-1} \lambda \quad \dots\dots\dots (6)$$

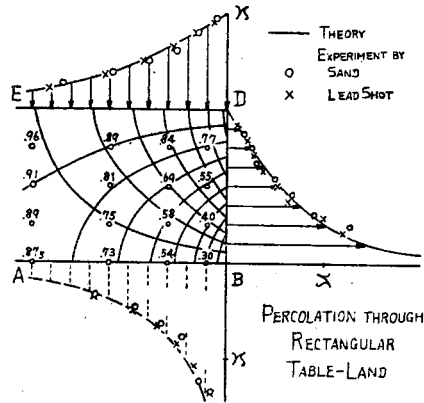
$$\bar{H}/\kappa = i \{ 1 - (2/\pi) \sin^{-1} \lambda \} \quad \dots\dots\dots (7)$$

(6) (7) から λ を消去してつぎの解が得られる。

$$\bar{H}/\kappa = i \{ 1 + (2/\pi) \sin^{-1} (\coth \pi Z/2a) \} \quad \dots\dots\dots (8)$$

(8) から計算した表面速度分布は図-3に示すごとく、台地側面下端 B での滲出速度が限りなく大となり、侵蝕を起しやすいことがわかる。台地上端 D での滲入速度も大きく、垂直侵蝕の誘因となり得る。観測した流線 (写真-1) 及び水位の測定値から内挿した流線及び等ポテンシャル線をも図示した。図中○印は九味浦砂と水、×印は鉛散弾と油の実験により測定した速度分布で、いづれも高速の部分を除きよく一致する。これから自由表面のない滲透流の相似律は層流の条件 (4) のみによつて

図-3 単純な矩形台地の滲透流



滴されることがわかる。

4. 不滲透基盤の深さの影響

不滲透層が深くて、台地下の平地も同様な透水性灰砂層からなる場合が多い。これを理想化した境界形及び物理的性質を考慮して求めた hodograph 面は図-4 のようになる。ただし k は $0 < k < 1$ なる副変数である。

まづ Schwarz-Christoffel の変換によつて Z 面を t 面へ写像し、さらに $\sqrt{t} = \lambda$ なる変換を行うと

$$Z - Z_0 = \frac{A}{2} \int_0^t \frac{dt}{\sqrt{t(1-t)(1-k^2t)}} \\ = \frac{A}{1-k^2} \left\{ \frac{1}{2} \log \frac{1+\lambda}{1-\lambda} - \frac{k}{2} \log \frac{1+k\lambda}{1-k\lambda} \right\}$$

図-1 実験装置

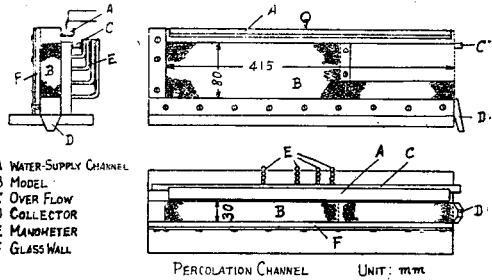


図-2 単純な矩形台地の滲透流における複素平面

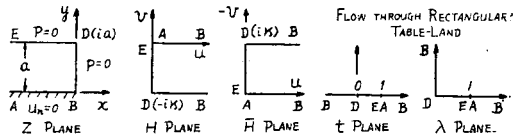


写真-1 単純な矩形台地における滲透流の実験

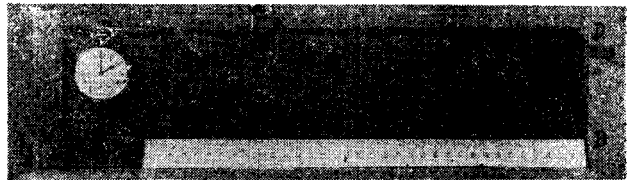
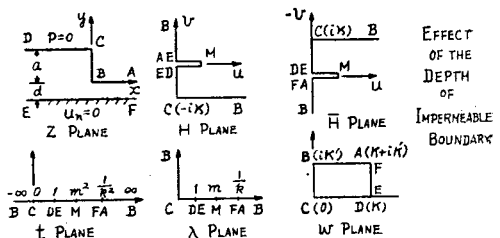


図-4 不滲透層が深部にある場合の複素平面



後の便宜上 Jacobi の楕円函数を用いて $\lambda = \text{sn } w$ なる変換を行い, $Z_c = ia, w = iK'$ から A をきめると

$$\frac{Z}{a} = i - \frac{1}{(1-k)\pi} \left\{ \log \frac{1+\text{sn } w}{1-\text{sn } w} - k \log \frac{1+k \text{sn } w}{1-k \text{sn } w} \right\} \dots\dots\dots(9)$$

AB 面から不透透層までの深さ d は次のごとくなる。

$$d/a = k/(1-k) \dots\dots\dots(10)$$

つぎに \bar{H} 平面を t, λ, w 面へと順次写像変換すると

$$\begin{aligned} \bar{H} - \bar{H}_c &= \frac{B}{2} \int_0^t \frac{t-m^2}{\sqrt{t(1-t)(1-k^2t)}} dt \\ &= B \int_0^\lambda \frac{\lambda^2-m^2}{\sqrt{(1-\lambda^2)(1-k^2\lambda^2)}} d\lambda \\ &= -\frac{B}{k^2} \left\{ \int_0^w \text{dn}^2 w \, dw - \left(1 - \frac{E'}{K'}\right) w \right\} \\ &= -\frac{B}{k^2} \left\{ E(w, k) - \left(1 - \frac{E'}{K'}\right) w \right\} \end{aligned}$$

ただし, $E(w, k)$ は k をパラメーターとする第2種楕円積分, K', E' はそれぞれ $k' = \sqrt{1-k^2}$ をパラメーターとする完全第1及び第2種楕円積分を表わす。また m は

$$m^2 = E'/k^2K'$$

$\bar{H}_c = i\kappa$, また $w_D = K$ から $B = 2i\kappa k^2 K'/\pi$ を得て,

$$\frac{\bar{H}}{\kappa} = i - i \frac{2K'}{\pi} \left\{ E(w, k) - \left(1 - \frac{E'}{K'}\right) w \right\}$$

または Θ 函数を用いて

$$\frac{\bar{H}}{\kappa} = i - i \frac{2K'}{\pi} \left\{ \frac{\Theta'(w)}{\Theta(w)} + \frac{\pi}{2KK'} w \right\} \dots\dots\dots(11)$$

(9) (11) から w を媒介にして速度分布が求められる。

図-5 はその1例で, やはりこの場合も台地下端に高速滲出部が存在する。現地でも同様な境界形について貝殻状の侵蝕洞がこの部分に発達した例が見られる。集水の状態は実験写真-2にもよく現われている。

写真-2 不透透層が深部にある場合の滲透流実験

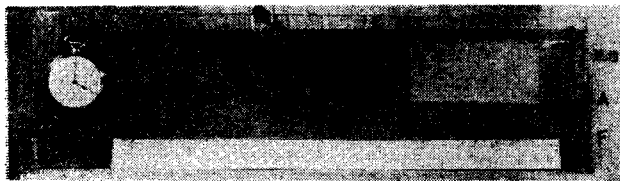
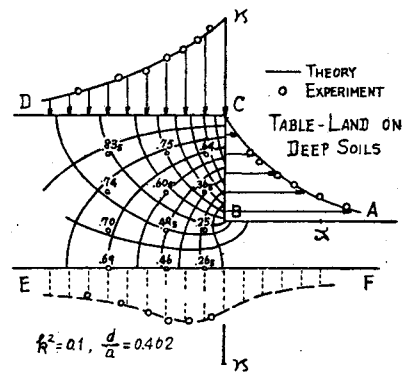


図-5 不透透層が深い場合の滲透流



5. 不透透壁の影響

台地下端を保護する意味で不透透壁を設けた場合, または不透透基盤に段があつた場合の境界形は図-6のごとくなり同様な計算の結果次式を得る。

$$\frac{Z}{a} = i - \frac{1}{\tan^{-1}(k'/k)} \log \frac{k' \text{sn } w + \text{dn } w}{\text{cn } w} \dots\dots(12)$$

$$\frac{\bar{H}}{\kappa} = i - i \frac{2K'}{\pi} \left\{ E(w, k) - \left(1 - \frac{E'}{K'}\right) w \right\} \dots(13)$$

$$d/a = \{(\pi/2)/\tan^{-1}(k'/k)\} - 1 \dots\dots\dots(14)$$

図-6 不透透壁がある場合の複素平面

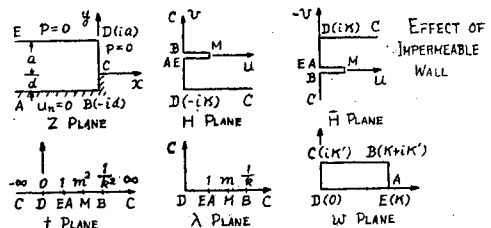


図-7 不透過壁を有する場合の滲透流

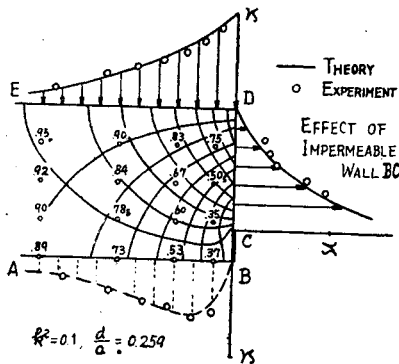


写真-3 不透過壁を有する場合の滲透流の実験

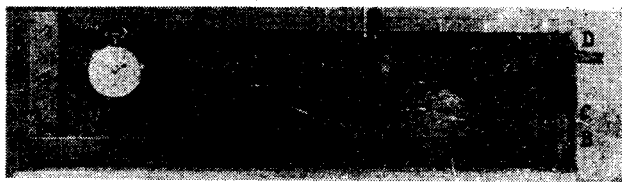


図-7 及び写真-3は計算例と実験の結果である。不透過壁上端 C に高速滲出部ができるので実用的効果は少ない。

6. 水平な排水口の作用

台地下端の侵蝕洞が発達して排水口を形成する場合がある。3 次元の穿孔も多いと考えられるが、ここでは2次元流の近似に

より排水口の作用を定性的に調べる目的で、図-8 のような流れを考える。便宜上 Z~H 面間について前節と同様な計算を行うと

$$\frac{Z}{a} = -i - \frac{1}{\pi} \log \frac{dn w + cn w}{dn w - cn w} \dots\dots\dots(15)$$

$$\frac{H}{\kappa} = -i \frac{2K'}{\pi} \left\{ E(w, k) - \left(1 - \frac{E'}{K'} \right) w \right\} \dots\dots\dots(16)$$

排水口の深さはパラメーター k により計算される。

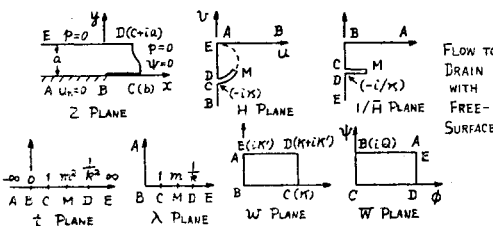
$$b/a = (1/\pi) \log \left\{ (1+k)/(1-k) \right\} \dots\dots\dots(17)$$

図-9 に速度分布の一例を示す。台地下端の滲出速度は小さくなるが、排水口先端に高速滲出部が現われ、ここでの侵蝕進行が予想される。

7. 自由表面を形成しつつ水平な排水口に滲出する滲透流

台地上面からの水の供給が減少したり、縁辺部に不透過帯を設けて水の滲入を阻止した場合、上面から入った水はある自由表面

図-10 自由表面と排水口のある滲透流の複素平面



を形成しつつ排水口に向かって滲出する。乾燥期における自然状態はこれに近いものと考えられ、排水口壁の侵蝕さえ防止できれば安定した状態が得られよう。理想化した境界条件につき、物理的な性質を考慮して得た流れの場とポッドグラフ面を 図-10 に示す。H 面での自由表面は折れ重なった2円弧 CM, DM からなり、このような例は従来解かれていないようである。

Wedernikow⁵⁾ により研究された逆ポッドグラフの方法を用いるために函数 $1/\bar{H}$ を導入する。

$$1/\bar{H} = -dZ/dW = (u+iv)/(u^2+v^2) \dots\dots\dots(18)$$

従つて H 面上の円 $u^2+v^2 = -\kappa w$ で表わされる自由表面は $1/\bar{H}$ 面では $-i/\kappa$ を通り実軸に平行な直線となり、結局図示のような $1/\bar{H}$ 面の領域が定められる。 $1/\bar{H}$ 面を Schwarz-Christoffel の変換によつて t 面上半面へ写像し、 $\sqrt{t} = \lambda, \lambda = sn w$ なる変換を行うと、考える領域は w 面の基本周期 4 辺形内に写像される。

$$\frac{1}{\bar{H}} - \frac{1}{\bar{H}_B} = \frac{B}{2} \int_0^t \frac{t-m^2}{\sqrt{t(1-t)}(1-k^2t)} dt$$

前節と同様に積分を行つて常数をきめると

$$\frac{1}{H} = -i \frac{2K'}{\pi\kappa} \left\{ E(w,k) - \left(1 - \frac{E'}{K'}\right) w \right\} \dots\dots\dots(19)$$

つぎに W 平面を考えると, BC, DE に沿い ϕ が一定, AB, CD に沿い ψ 一定となるから, $\phi_{BC}=0, \psi_{CD}=0$ と選べば 図-10 W 面のごとき領域が対応する。全流量 Q を用いると w 面との関係が次式で表わされる。

$$W = i(K-w)Q/K$$

$$\therefore dW = -(iQ/K)dw \dots\dots\dots(20)$$

(18) (19) (20) から

$$\begin{aligned} Z - Z_B &= \int_{iQ}^W \frac{dZ}{dW} dW = i \frac{Q}{K} \int_0^w \frac{1}{H} dw \\ &= \frac{2QK'}{\pi\kappa K} \int_0^w \left\{ E(w,k) - \left(1 - \frac{E'}{K'}\right) w \right\} dw \dots\dots\dots(21) \end{aligned}$$

ただし, $Z_B=0$ 。この積分は Weierstrass の楕円函数により計算できる。一對の基本周期を $2\omega_1, 2\omega_2$, ただし $\Im(\omega_2/\omega_1) > 0$ とし, Θ 函数について $\Theta(\omega_1)=e_1, \Theta(\omega_2)=e_2$ 及び σ_2 函数と ϑ 函数を導入すると

$$\begin{aligned} Z &= \frac{2QK'}{\pi\kappa K} \left\{ \frac{e_1}{e_1-e_2} \frac{w^2}{2} + \log \sigma_2 \left(\sqrt{\frac{w}{e_1-e_2}} \right) - \left(1 - \frac{E'}{K'}\right) \frac{w^2}{2} \right\} \\ &= \frac{QK'}{\kappa K} \left\{ \frac{w^2}{2KK'} + \frac{2}{\pi} \log \frac{\vartheta_0(w/2K)}{\vartheta_0} \right\} \end{aligned}$$

$\Im(Z_{DE})=a=QK'/\kappa K$ を得るから, 結局

$$\frac{Z}{a} = \frac{w^2}{2KK'} + \frac{2}{\pi} \log \frac{\vartheta_0(w/2K)}{\vartheta_0} \dots\dots\dots(22)$$

また (19) から

$$\frac{\bar{H}}{\kappa} = i \frac{2K'}{\pi} \left\{ E(w,k) - \left(1 - \frac{E'}{K'}\right) w \right\} \dots\dots\dots(23)$$

が与えられるから w を媒介変数として $Z \sim \bar{H}$ の対応がつき問題が解けたことになる。BC= b 及び D 点の y 軸からの距離 C はそれぞれ次式で与えられる。

$$b/a = (K/2K') - (1/\pi) \log k' \dots\dots\dots(24)$$

$$c/a = (K/2K') + (1/\pi) \log(k/k') \dots\dots\dots(25)$$

鉛散弾と機械油を用いて測定した速度分布及び流型の1例を計算値と比較して 図-11 に, また k のいろいろな値に対する自由表面の形を 図-12 及び 写真-4 に示した。滲入部附近の自由表面の形が理論値から少し外れるようであるが, 全般的に理論と実験の一致は良好で, 表面張力の影響を除いた新しい実験法により, 自由表面を有する滲透流の相似律が満されることを示している。

図-11 自由表面を作つて排水口へ滲出する滲透流

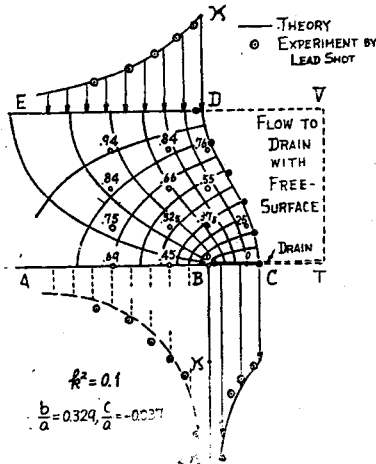


図-12 排水口へ滲出する自由表面の形

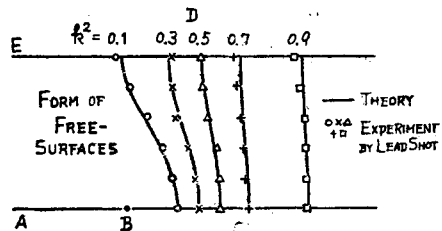


写真-4 自由表面と排水口のある滲透流の実験

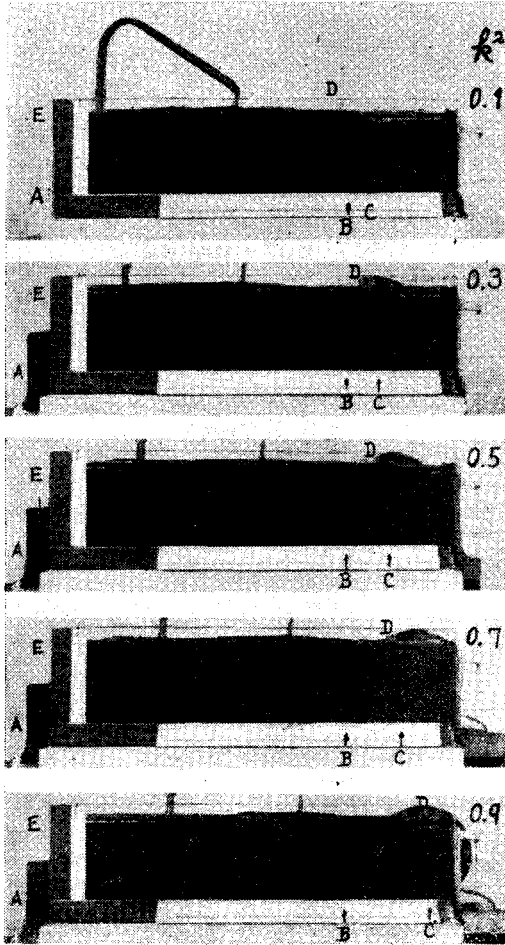


写真-5 単純な自由表面を有する滲透流の実験

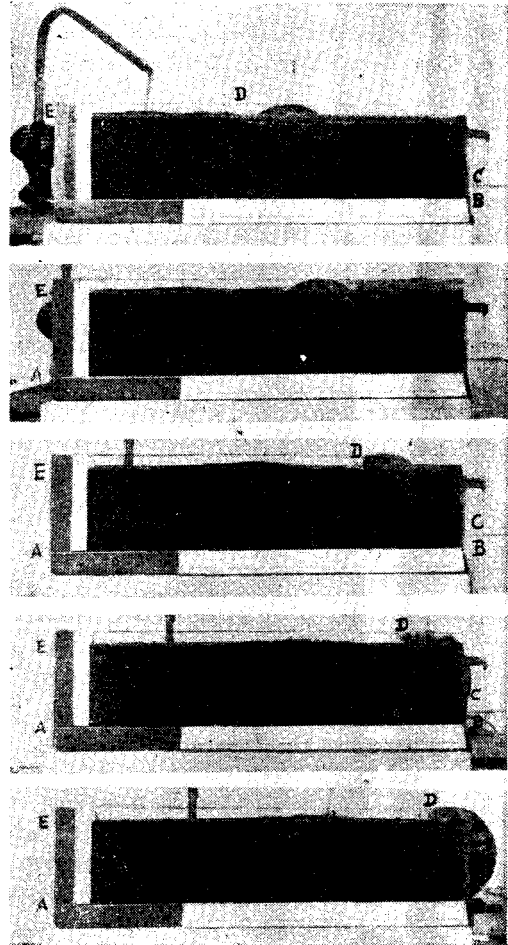


図-13 自由表面を作つて側面に滲出する滲透流

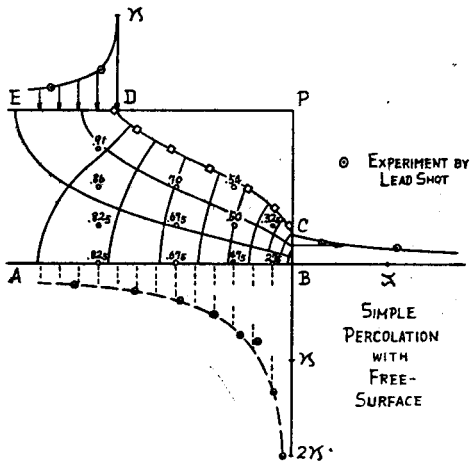


図-14 側面に滲出する自由表面の形

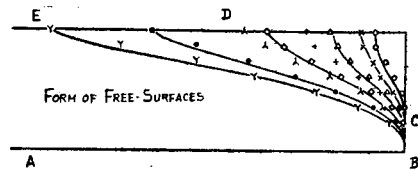
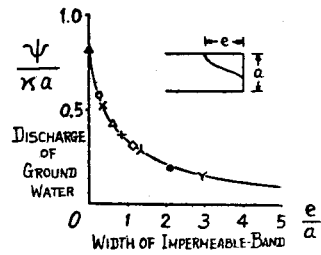


図-15 不滲透帯の中と滲透流量の関係



8. 自由表面を形成しつつ側面に滲出する滲透流

自由表面のある場合に適した実験法が見出されたので、もう一つの基本的な流れを調べてみよう。それは図-13のように上面から滲入した地下水が自由表面を形成しつつ排水口のない側面へ滲出する滲透流で、第3節の場合の乾燥した状態に相当する。現実にはDPから滲入した水が次第につけ加わって行くような自由表面であるが簡単のためその影響は省略した。

測定した速度分布と流型を図-13に、また長さ $DP=e$ を変えた場合の自由表面の形を図-14及び写真-5に示した。 e を大きくすることにより全流量を減少させることができるが、その模様は図-15に示すごとく、 $e/a=0.5$ 程度で0の場合の半分程度に下がる。なおこれらの図中に記した実線は直交曲線座標による図式解法⁶⁾により求めた計算値を参考に示したもので、略算にもかかわらず割合によく一致する。この実験から明らかかなように不滲透性基盤の上におかれた台地内の地下水の状態は、乾燥期には自由表面が低いところにあり、降雨によつて滲透量が増加するにつれこれが上昇して行くことがわかる。第3節の流れはその極限状態に相当する。

9. 結 言

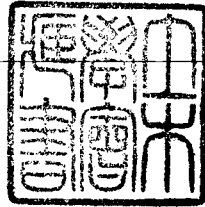
現実の侵蝕に大きな影響をもつ因子としては、寒暖や噴出堆積時の地質の不均一、それにもなう地下水脈の発達などが大きな要素となるのであろうが、ここでは解析の応用として、均一な地質内を一定の含水率で水が移動し、自由表面があつても表面張力の影響は無視すると云うような理想的滲透流について流れの大綱を調べたわけである。

終りに、河田三治教授並びに本間仁教授より賜つた激励と御好意を篤く感謝する次第である。なおこの研究は昭和26年度文部省科学試験研究費の助成を受けたものであることを附記して感謝の意を表す。

文 献

- 1) Davison, B.; Mem. l'Inst. Hydr, Vol.6, Leningrad, 1932., または文献(2)
- 2) Davison, B.; On the Steady Two-Dimensional Motion of Ground-Water with a Free Surface, Phil. Mag.; Vol. 21, pp. 881-903 and pp. 904-922, 1936.
- 3) Hamel, G.; Über Grundwasserströmung, Z.A.M.M., Vol.14, pp. 129-157, 1934.
- 4) Muskat, M.; The Flow of Homogeneous Fluids through Porous Media, p. 300; Mc Graw-Hill, New York, 1937.
- 5) Wedernikow, V.V.; Über die Sickerung und Grundwasserbewegung mit freier Oberfläche, Z.A. M.M., Vol. 17, pp. 155-168, 1937.
- 6) 内田茂男: 曲線座標による境界値問題の近似解法, 理工学研究所報告第1巻第7・8号, pp.101-105, 1947; Jour. Phys. Soc. Japan, Vol.3, pp. 33-40, 1948.

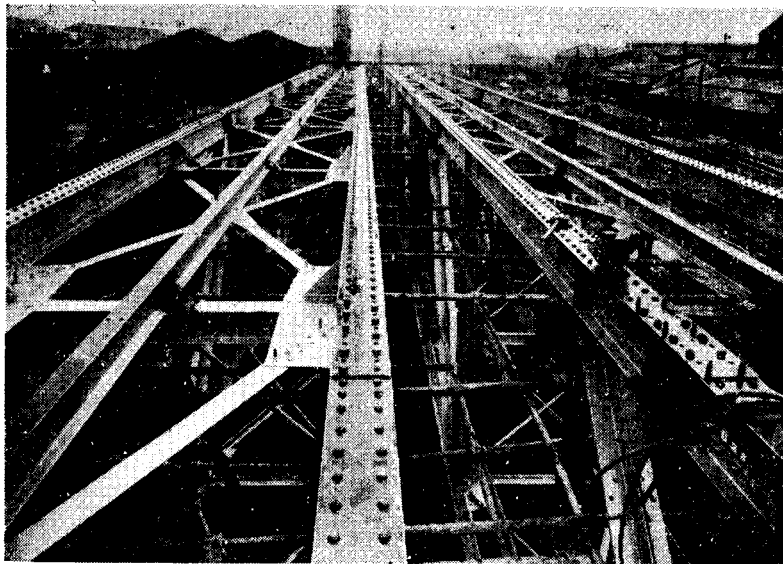
(昭 27.10.17)



昭和28年4月1日印刷 土木学会論文集 定価 120円
 昭和28年4月5日発行 第16号

編集兼発行者 東京都千代田区大手町2丁目4番地 中川一美
 印刷者 東京都港区赤坂溜池5番地 大沼正吉
 印刷所 東京都港区赤坂溜池5番地 株式会社 技報堂

東京中央局区内 千代田区大手町2丁目4番地 電話 和田倉(20)3945 番
 発行所 財団法人 土 木 学 会 振替 東京 16828 番



宮城果生出橋

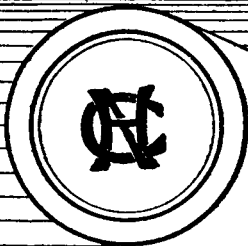
株式
會社

宮地鐵工所

本社及工場 東京都江東区南砂町 9-2470 電話 深川 (74) 4141~4145

— 營業種目 —

1. 橋梁・鉄骨・鉄塔・設計・製作及架設
2. 鉄槽・水力鉄管・水門・設計・製作及組立
3. 起重機・捲揚機・輸送機・設計・製作及据付
4. 鋼構造物設計製作及電弧溶接工事一般



創業以來 29 年間

の 經驗 を

御利用下

管株式會社

HUME PIPE

日本工業規格

日本工業規格

JIS A5303

認可製品

東京營業所 東京都中央区築地二丁目一〇番地
電話 築地 (55) 2361.3233.3792

大阪營業所 大阪市北区西扇町一七番地
電話 豊崎 3317. 3318

八幡營業所 八幡市築地町二丁目一四番地
電話 八幡 462. 818. 2593

函館營業所 函館市龜田町二〇二番地
電話 函館 5081.3512

川崎工場 川崎市下作延一三五八番地
電話 溝ノ口 20. 175. 352. 353

尼崎工場 尼崎市中浜町五四番地
電話 尼崎 998. 1186

八幡工場 八幡市築地町二丁目一四番地
電話 八幡 462. 818. 2593

函館工場 函館市龜田町二〇二番地
電話 函館 5081.3512

TRANSACTIONS

OF THE

JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS

NO. 16

C O N T E N T S

	Page
A Method of Solving Eigenvalue Equations in Hilbert Space <i>By Takzichi Shingō, C.E. Member</i>	1
Method of Slope Distribution Applied to the Analysis of Rigid Frames Regarding Them as Systems of Spokewise Connected Members <i>By Akira Ōhira, C.E. Assoc. Member</i>	10
Some Problems about Quality Control of Field Concrete <i>By Shun-ichi Mizuno, C.E. Member</i>	15
On the Laws of Resistance to Turbulent Flow in Open Smooth Channels <i>By Yūichi Iwagaki, C.E. Assoc. Member</i>	22
Physical Properties of Alloys used in the Tension Test of Wire-Ropes <i>By Keizaburō Kubo, C.E. Member, Shigeo Nakata, C.E. Assoc. Member</i>	29
Fundamental Studies on the Prevention Forest of Stone Fall <i>By Isao Yamaguchi, C.E. Assoc. Member</i>	35
Approximate Method of Conformal Representation and it's Application <i>By Minoru Okabayashi, C.E. Member</i>	40
Investigation of the Locomotive Smoke in the Tunnel from Sanitary Science Standpoint <i>By Dr. Eng., Sakurō Murayama, C.E. Member</i>	44
Study on the Two Dimensional Consolidation of Embankment <i>By Kōichi Aki, C.E. Assoc. Member</i>	51
On the Percolation Flow Through Table-Lands <i>By Dr. Eng., Shigeo Uchida, C.E. Member</i>	59

April 1953

DOBOKU-GAKKAI

JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS

No. 4 2-CHŌME ŌTE-MACHI CHIYODA-KU TOKYO, JAPAN