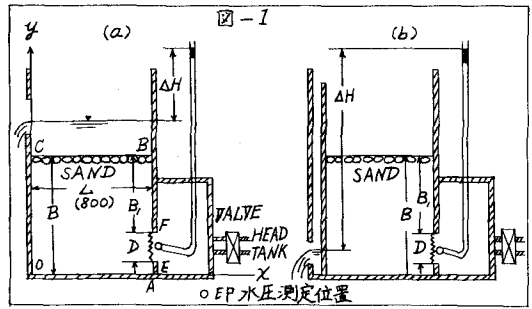


1, まえがき *quick sand* の砂層流動化にあたり, 動水勾配が一様でない場合については水理学的に明瞭でない点が残されている。従来, 二次元縦スリット並びに全断面流出による噴砂現象について, *sand jet* の発生条件や性質などについて述べてきたが, 今回は横スリットによる噴砂現象について未完成ながら浸透理論の概念と実験結果について述べる。横スリットとは水が試料中に流入する方向が横方向である場合のことであつて, フローティングダム下流部や矢板の噴砂限界等にも共通する問題である。

2. 実験装置並びに実験方法

実験装置は図-1に示す如く高さ一定のヘッドタンクから導いた水を, スリットを通じて試料中に流入させるようにしたものである。図-1(a)は水位が試料上面より上にある場合, (b)は水位が殆んど0に近い場合である。スリットの高さDとして $20\text{ cm} \cdot 10\text{ cm} \cdot 5\text{ cm} \cdot 2.5\text{ cm}$ 。



$1.25\text{ cm} \cdot 0.625\text{ cm}$ の6種を用いた二次元装置である。実験に用いた試料は福島県産相馬砂で真比重2.65 粒径 $0.75\text{ mm} \sim 0.49\text{ mm}$ 浸透速度 0.35 cm/sec 。單粒子の沈降速度は 10.72 cm/sec のもので, 成るべく均一になるよう砂の厚さ 3 cm おきに軽く突き固めたものである。実験はバルブを調節して順次水压をあらかじめ定常状態に達した後の圧力水頭・水位・流量を測定した。圧力をあげて少くとも *sand jet* を形成するに至る。*sand jet* を形成すると, スリット内の圧力水頭は減少し流量は増大する。このときの安定状態を測定して一つの実験を終える。砂の厚さは $B_1 = 5\text{ cm} \cdot 10\text{ cm} \cdot 20\text{ cm} \cdot 30\text{ cm} \cdot 40\text{ cm}$ である。

3. スリットよりの浸透解析概念

二次元的な噴砂現象を対象にして試料表面より水位が高い場合, X方向の流速を u Y方向の流速を v とすると, 二次元定常流の連続式は

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

これは $v \cdot dx - u \cdot dy$ が全微分なるための必要十分条件であるから

$$v \cdot dx - u \cdot dy = d\psi \quad (2)$$

なる流れの関数 ψ (単位中流量) が存在する。

u ならびに v を ψ であらわすと

$$u = -\frac{\partial \psi}{\partial y} \quad v = \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (3)$$

つぎに流れが非回転であるためには

$$\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

(4) 式は $u \cdot dx + v \cdot dy$ が全微分であるための必要十分条件であるから

$$u \cdot dx + v \cdot dy = d\Phi \quad (5)$$

なる速度ポテンシャル Φ が存在する。

u ならびに v を Φ であらわすと

$$u = \frac{\partial \Phi}{\partial x} \quad v = \frac{\partial \Phi}{\partial y} \quad (6)$$

(6) 式を (1) 式に, (3) 式を (4) 式に代入すると

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} = 0 \quad \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0 \quad (7)$$

従つて Φ と ψ はともに Laplace の微分方程式を満足し交換可能である。

つぎに複素ポテンシャル w は

$$w = \psi + i\phi \quad \text{----- (8)}$$

で定義され、 w は (1) 式 (4) 式を満足することは (7) 式より明らかであり又 (3) 式 (6) 式から *Cauchy-Riemann* の微分方程式を満足しているので、 w は正則である。従って二次元の非回転定常流では境界条件を満足するように w を求めるとよい。

図-2 に定義された Z 面- w 面に対して *Schwarz-Christoffel* の定理を適用すると

Z 面においては

$$Z = M \int \frac{dt}{\sqrt{(-m-t)(0-t)(1-t)}} \quad \text{----- (9)}$$

w 面においては

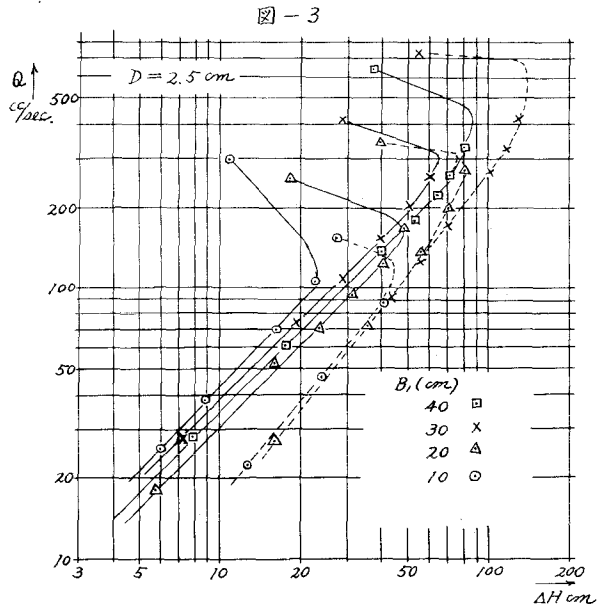
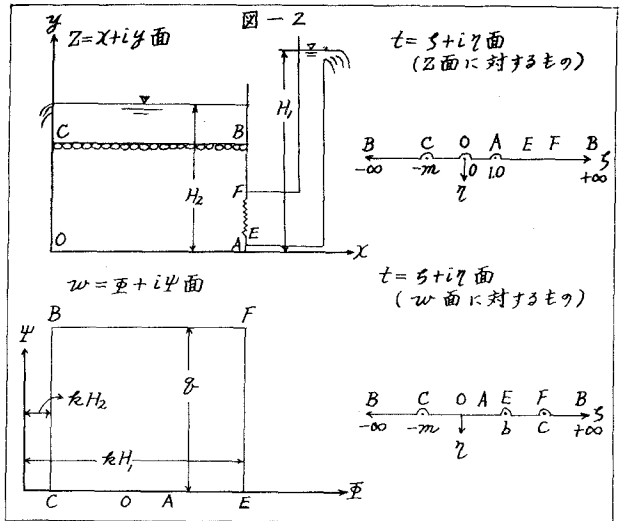
$$w = N \int \frac{dt}{\sqrt{(-m-t)(b-t)(c-t)}} \quad \text{----- (10)}$$

ここに、 M ならびに N は一般の多角形では複素定数であり、 $m, 1, b, c$ の内一々は任意に定めてよいので b を 1 とした。

(9) (10) 式より各線上の z ならびに流速を求めることが出来るわけである。

4. 実験結果 図-3 は実験結果の一

例で、二次元スリット流 Q cc/sec. と ΔH cm との関係を図示したものである。図中 ——— は水位が地表より上にある場合 ----- は地下水位が殆んど 0 に近い場合である。尚前に記した ϕ との関係は $Q = \phi \times 24.0$ (スリット奥行 24.0 cm) である。 ΔH の値が砂流動附近に達すると、 ΔH の増大量に比し Q の増大量が大きくなり直線部からそれる。砂流動が発生すると ΔH は減少すると共に Q は増大し、サンドジェットが安定状に達して一ツツ実験を終る。 Q と ΔH との関係は、水位が地表より上にある場合両対数紙上で 45° 傾斜の直線となり滲透の



法則を満足していることが分るが、地下水位が0に近い場合には勾配は前よりも急で $Q \propto \Delta H^{1.22}$ なる関係がある。然し後者の場合は砂の厚み B_1 が異っても略に同一の直線となる。

つぎに sand jet の発生が ΔH の最大値とみて、これを ΔH_* とすると

$$\Delta H_g = f(B_1, D, L, \text{砂の密度 } \rho_s, \text{空隙率 } n, \text{slit の形状, 水位 } h) \quad \text{----- (11)}$$

が期待される。動水勾配一様な場合は、動水勾配 I_c が次の値に達すると噴砂がおけるとされている。

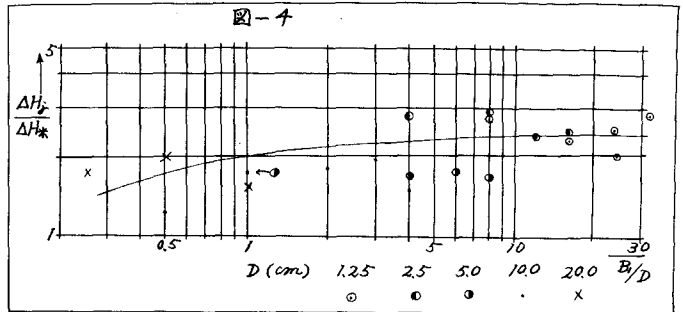
$$I_c = \frac{\Delta H_*}{B_1} = \frac{1}{B_1} \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho} (1 - n) \quad \text{----- (12)}$$

この実験では $I_c \approx 0.93$ であり (11) 式に (12) 式を導入すると

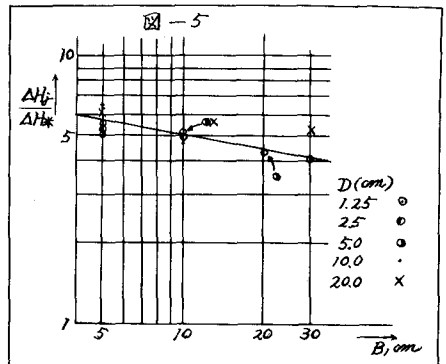
$$\Delta H_g / \Delta H_* = f(B_1/D, B_1/L, h/B_1, \text{slit の形状}) \quad \text{----- (13)}$$

となる。水位が地表より上にある

場合について $\Delta H_g / \Delta H_*$ の実験値と主要な parameter B_1/D との関係プロットしたのが図-4である。二次元スリットの場合は、slit 附近では (12) 式以上の限界勾配以上の流体力にさらされ、上部に安定な荷重がのっている感を



呈するため、 $\Delta H_g / \Delta H_*$ の値は B_1/D の小さいときよりほかの値から B_1/D と共に増加して $\Delta H_g / \Delta H_* \approx 3.0$ の値に漸近するようである。また D が異なる値に対する測定がほぼ同一曲線上にのることから $\Delta H_g / \Delta H_*$ には B_1/D が主要な役割をもつと云えよう。この点については縦スリットの場合と同じである。地下水位が0の場合は図-5に示しているが、sand jet は起り難く、また $\Delta H_g / \Delta H_*$ の値は砂の厚み B_1 の増大と共に小さくなる。しかもスリット中 D が変化しても同じ B_1 に対して $\Delta H_g / \Delta H_*$ の値は略に同一である。このことは L を一定のもとで実験を行ったので断定は出来ないが B_1/L が主要な parameter となるのではないかと推論される。然し $\Delta H_g / \Delta H_*$ の値が可成大きい値であることは注意を要することであろう。縦スリットの場合においては B_1 の値の増大と共に $\Delta H_g / \Delta H_*$ の値は増加し略に一定の値に近づいたりに対し、横スリットの場合は逆の結果が出てゐる。



5. おむび 以上、横スリットの場合について述べたが、実験回数も少なく実験値のずれが何に基因するものか判然としないうで、この点を説明すると共に浸透理論を解析し実験結果との関連を求めることが今後に残された課題である。終りに、九州大学工学部水工土木学教室 椿東一郎教授の御指導によることを申し述べ深甚の謝意を表します。