

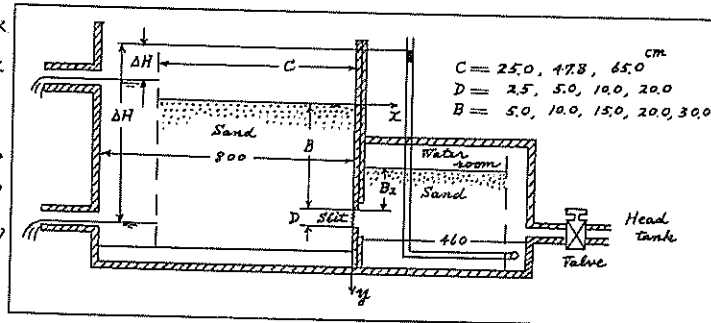
1. まえがき

新潟地震の被害が大きかった低地砂層地域で、地下水が噴出、土砂が吹き上げがみられた。これに類似して、福岡県田川地区の石灰岩地帯においても、又スビ地震においても、みられたことがあります。筆者は、この現象を model 化して、従来、縦スリット（水が流入方向が鉛直方向）の場合ならびに横スリット（スリットの前には試料がない）の場合について、噴砂現象を規定する量・sand jet の発生条件などについて発表してきました。quick sand の砂層流動化は、動水こう配 I_c が次式 $I_c = \frac{\Delta H_s}{B} = \frac{\rho_s - \rho}{\rho} (1 - n)$ ----- (1)' この n は間隙率 ρ_s, ρ は砂粒および水の密度 ΔH_s は水位差 B は砂層の厚みに達したときおこるとされているが、(1)' 式は砂層における動水こう配が一樣で砂層に沿って流動化の可能性が一樣に分布する場合について導かれたもので、動水こう配が一樣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。今回は、横スリット（スリット前後に試料がある場合）における噴砂現象を規定する量・sand jet の発生条件などについて述べるが、これも又動水こう配が大きく変化する場合の一例である。

2. 実験装置ならびに実験結果

実験装置は高さ4mのヘッドタンク（水位一定）から導いた水を、バルブを通して図-1に記した二次元実験装置に流入させるようにしたものである。図-1は、水位上の場合と水位が殆んど0に近い場合とについて記しているが、水位上の場合には左下排水孔を密閉するようにしている。実験に用いた試料は福島県相馬砂で、真比重2.65、粒径0.49 ~ 0.75 mm、浸透速度0.35

図-1



cm/sec. 単粒子の沈降速度10.72 cm/sec. のようになるべく均一になるように砂の厚み約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げ定常状態に達したときの圧力・水頭・水位・流量を測定した。圧力をあげていくと sand jet を形成するに至る。sand jet を形成すると、スリット内圧力は減少し流量は増大する。こうとき安定状態を測定して一つの実験を終える。

スリットからの浸透解析

二次元的な噴砂現象を対象として、試料上面より水位が高い場合について解析した結果を記す。図-1に記したx方向の流速をu、y方向の流速をv、流れの関数（単位巾流量）をψ、速度ポテンシャルをφとあらわすと、二次元定流の連続式ならびに流れが非回転であるための条件より、更にはさらに 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 $w = \phi + i\psi$ で定義され、 w は Cauchy-Riemann の微分方程式を満足しているから w は正則であり、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 を求めるとよいことになる。

図-2

図-2 に定義された Z 面および w 面に対して Schwarz-Christofel の定理を適用すると、 Z 面においては

$$Z = M \int \frac{t-m}{\sqrt{(t+1)(t-1)(t-b)}} dt \quad \dots (1)$$

により、 $t = \xi + i\eta$ 面に写像される。

又、 w 面においては

$$w = N \int \frac{1}{\sqrt{(t+b)(t+1)(t-1)(t-b)}} dt \quad \dots (2)$$

により、 t 面に写像される。ここに、 M, N は一般の多角形では複素定数である。従って、 t 面を媒介として w と Z との関係が求められ、各線上の ϕ, ψ ならびに流速を求めることが出来る。

まず、 Z 面と t 面との対応関係のうち、

CD 線上の対応から

$$\eta = -(B-B_2) + M \left(\sqrt{1-t^2} + m \sin^{-1} t - \frac{\pi}{2} m \right) \quad \dots (3)$$

$$B_2 = M \left(\frac{\pi}{2} m - \sqrt{1-m^2} - m \sin^{-1} m \right)$$

が得られる。つぎに、 CB 線上の対応から

$$B = -M \left(\sqrt{1-m^2} + m \sin^{-1} m + m \frac{\pi}{2} \right) \quad \dots (4)$$

が得られ、(3)(4) 式より

$$B - B_2 = -M m \pi \quad \dots (5)$$

(4)(5) 式より

$$\frac{B - B_2}{B} = \frac{m \pi}{\sqrt{1-m^2} + m \sin^{-1} m + m \frac{\pi}{2}} \quad \dots (6)$$

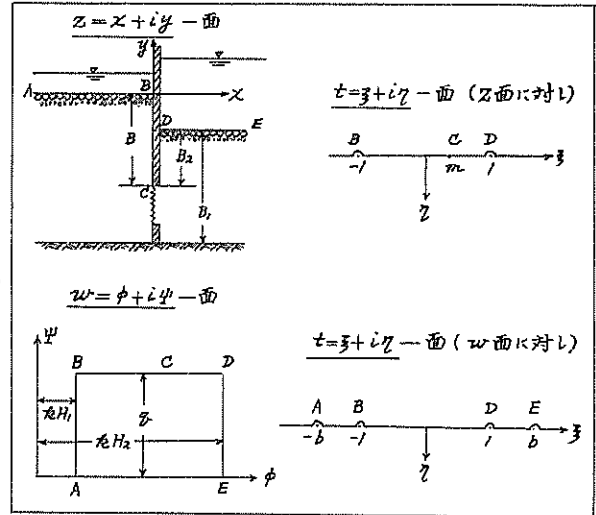
となるので、 B, B_2 が与えられると、(6) 式より m が (5) 式より M が定まる。

同様に、 w 平面と t 平面との対応関係のうち、 DCB 線上の対応から

$$N = \frac{b+1}{2 \cdot K(\kappa)} \ell(H_1 - H_2) \quad \dots (7)$$

ここに、 $K(\kappa)$ は $\kappa = \frac{2\sqrt{b}}{b+1}$ を母数とする第一種完全楕円積分である。

さらに、 BA 線上の対応から、 $\kappa'^2 = 1 - \kappa^2$ において



$$\frac{\eta}{\ell(H_2 - H_1)} = \frac{K(\kappa')}{K(\kappa)} \quad \dots (8)$$

が得られ、 $\frac{\eta}{\ell(H_2 - H_1)}$ が決まると、(8) 式より κ, κ' が定まる。

また噴砂現象を規定する量として、スリット上方 CB 線上の流速は

$$v = -\frac{N}{M} \frac{1}{\sqrt{(t+b)(b-t)(t-m)}} = \frac{b+1}{2M \cdot K(\kappa)} \ell(H_2 - H_1) \frac{1}{(t-m)\sqrt{(t+b)(b-t)}} \quad \dots (9)$$

従って、 CB 線上の動水コウ配は

$$\frac{B}{(H_2 - H_1)} \left(-\frac{1}{\ell} \right) \frac{\partial \eta}{\partial y} = \frac{B \cdot (b+1)}{2M \cdot K(\kappa)} \frac{1}{(t-m)\sqrt{(t+b)(b-t)}} \quad \dots (10)$$

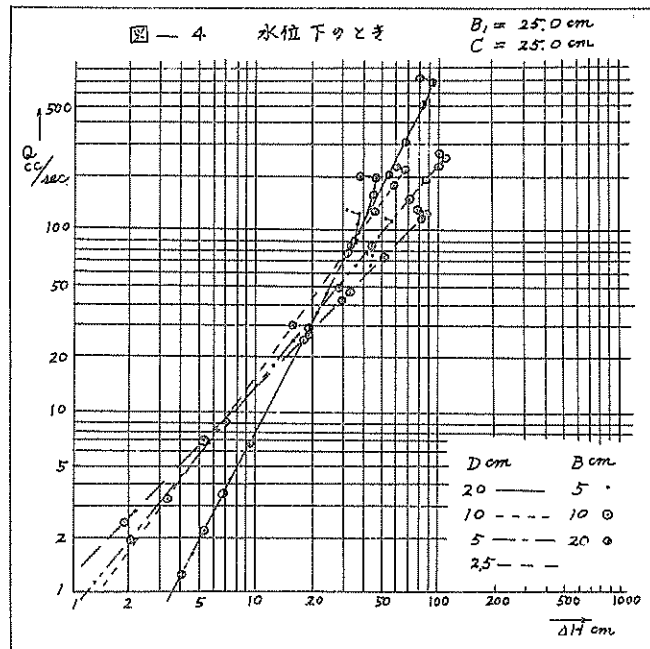
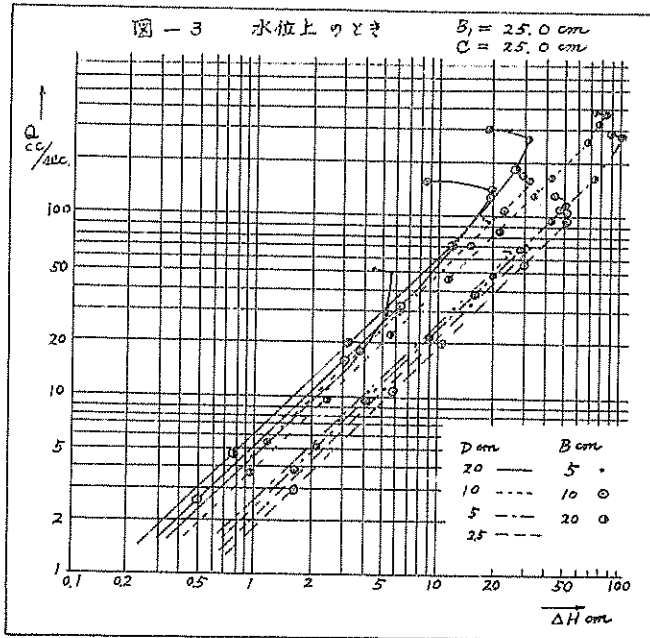
よって、 $B \cdot B_2 \ell(H_2 - H_1) = \Delta H$ に対する η を与えると、動水コウ配が η/B の関数として求められる。スリット巾 D cm が小さいときには、 $\eta/\Delta H$ が B, B_2 に関係なく略一定値をとるが、 D が大きくなると差は大きくなる。

一般にスリット位置における動水コウ配の値は非常に大きく、その近傍における変化は著しい。

、図-3ならびに図-4は実験結果の一例で、二次元スリットの流量 Q cc/sec と ΔH cm との関係を示したものである。図-3は水位が試料上面より上にある場合である。なお前に記した各との関係は、 $Q = 8 \times 18.0$ (スリット奥行 18.0 cm) である。水位が試料上面より上にある場合は、 ΔH の最大に達するまで、両対数紙上で 45° 傾斜の直線となり、浸透の法則を満足する。

又、砂の厚み B が増すにつれ、同じ ΔH の値に対し Q の値は小さくなるようであるが、 $D = 2.0$ cm のときは逆の傾向にある。これは、スリット巾 D が大きくなってくると、 B の影響よりも砂の突き固め方の影響が大きくなり、ゆるみしてくるためではないかと考えられる。図-4は水位が殆んど 0 に近い場合であって、 ΔH の小さい値のときから浸透の法則より著しく離れていくが、 ΔH の最大に達するまで同一直線上にのる。この直線のコラ説は、一般に水位上の場合より急で、 Q の ΔH^2 とおくと、スリット巾 D cm が $2.0 \cdot 1.0 \cdot 5$ のときの Q の値は $1.97 \cdot 1.31 \cdot 1.22$ となり、 D が 2.5 cm 以下になると略々浸透の法則を満足するようになる。

なお噴砂の影響の問題であるが、従来説によると $B/2$ 以内におこるとされている。本実験の結果によると、これを満足するのは水位上の場合において 20 例のうち 2 例だけであって、最大影響圏と $B/2$ の比の値は大きいので 3.0 平均 1.65 であった。水位が殆んど 0 に近い場合においては、この値は更に大きくなり、従来説を満足するのは皆無であって、 15 例のうち最小 1.20 最大 6.08 平均 3.48 であった。



sand jet は ΔH の最大において生じたが、これを ΔH_f とすると、 $\Delta H_f = f(B, B_2, C$ および砂の密度 ρ_s 、間隙率 n , slit の形状、水位 h) が期待される。 ρ_s, n の代りに動水コエフィシェンツの場合 $I_c = \Delta H_m / B$

(この実験では 0.93) を導入すると、

$$\frac{\Delta H_f}{\Delta H_m} = f\left(\frac{B_2}{B}, \frac{C}{D}, \frac{n}{B}, \text{slit の形状}\right) \text{ と}$$

なり、水位上の場合について $\frac{\Delta H_f}{\Delta H_m}$ と

$\frac{B_2}{B}, \frac{C}{D}$ の関係をプロットしたが、図一

五である。 $\frac{\Delta H_f}{\Delta H_m}$ の値は非常に大きく、

$\frac{B_2}{B}, \frac{C}{D}$ の小さいとき $\frac{\Delta H_f}{\Delta H_m}$ の値から $\frac{B_2}{B}, \frac{C}{D}$ の

増加とともに増し 10 前後の値になる

ようである。また、図一五の下の図からわ

かるように、網間隔の増大にともな

$\frac{\Delta H_f}{\Delta H_m}$ の値は小さくなる。

水位が殆んど 0 に近い場合について、

$\frac{\sqrt{C}}{D} \frac{\Delta H_f}{\Delta H_m}$ と $\frac{B_2}{B}, \frac{C}{D}$ の関係をプロットした

のが図一六である。 $\frac{\Delta H_f}{\Delta H_m}$ の値は、1.5 か

ら 15.0 の値を示し、水位上の場合に比

べて噴砂は起こり難い。

