

II-110 地下水流による噴砂現象

愛媛大学工学部土木工学教室 正員 ○菟野正次
九州大学工学部水工土木学教室 " 崎山正常
九州大学工学部水工土木学教室 " 椿 東一郎

1. 新潟地震に於て被害の大きかった低地砂層地域で地下水の噴出土砂の吹き上げがみられた。この現象を model 化して sand jet の発生条件や jet の性質などについて若干の考察を行なった。さて quick sand の砂層流動化は動水勾配 I_c が次式 $I_c = \frac{\Delta H^*}{B} = \frac{\beta - p}{p} (1 - n) \dots \dots \dots (1)$

ここに n : 空隙率 β, p : 砂粒および水の密度 ΔH^* : 水位差 B : 砂層の厚さ

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勾配が一樣で砂層にそっての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勾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。この実験も動水勾配が大きく変化する例である。

2. 実験の概要 実験装置は図-1の如く高さ4m

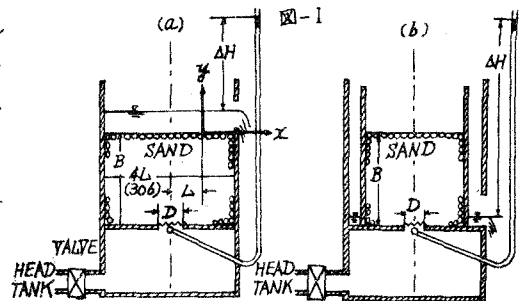
のヘッドタンク(水位一定)から導いた水を slit を通じて上部砂層に流入させる。この slit が不透水層に生じた割れ目に対応するもので、 $D = 1.25 \text{ cm}$ ・

$0.625 \text{ cm} \cdot 0.313 \text{ cm}$ の2次元的なものと直径

$D = 1.25 \text{ cm}$ の半円 slit を用いた。試料は真比重

2.65 粒径 $0.75 \sim 0.49 \text{ mm}$ 単粒子の沈降速度は

10.72 cm/sec であり、実験に用いた砂の厚さ $B = 5, 7.5, 10, 15, 20, 25 \text{ cm}$ の6種類で図-1(a)のように水位が砂層上にある場合と図-1(b)のように地下水位が殆んど存在しない場合について行なった。



3. 水位が砂層上にある場合の slit より の 透 透 解 析

two-dimensional flow の場合には図-1(a)の右半分を考え、 Z

平面の X 軸を図-2のようにとると、この矩形領域は Schwarz-

Christoffel の定理により 楕円積分 $Z = M \int \frac{dt}{\sqrt{(1-t)(1-mt)(1-t)(1-t)}}$

により $t = z + iz$ 平面に寫像される。又複素速度 potential

$w = \bar{z} + iz$ は図-2の Z 面を参照して矩形領域を形成するから

楕円積分 $w = N \int \frac{dt}{\sqrt{(1-t)(1-t)(1-mt)(1-mt)}}$ により t 平面に寫像

され、 t 平面を媒介として w と Z との関係が求められる。 Z 面と t 面との対応関係のうち $O'B'$ 線上・ $B'A'$ 線

上の対応から C の値が B/L 及び B/C の関数として求められる。同様にして w 平面と t 平面との対応から

右平面の流量(単位巾あたり) q は $q = \frac{\sqrt{(1-m)(1+m)}}{2}$, $\kappa^2 = \frac{(1-m)(1+m)}{(1-m)(1+m)}$, $\kappa'^2 = 1 - \kappa^2 \dots \dots \dots (2)$

とおき $\frac{q}{K(H_1 - H_2)} = \frac{K(\kappa')}{K(\kappa)} \dots \dots \dots (3)$ ことに $K(\kappa), K(\kappa')$ は κ, κ' を母数とする第一種完全楕円積分である。

また噴砂現象を規定する量として slit の中心 $B'A'$ 線上における動水勾配及び流速は

$$u = -\frac{\partial \Phi}{\partial y} = + \frac{K(H_1 - H_2)}{B} \frac{K(m)}{K(\kappa)} \sqrt{\frac{1-t}{1-t}} \dots \dots \dots (4)$$

$$\text{ただし } t = -\left\{ \frac{m(1+m) + m(1-m)\sin^2\theta}{(1+m) - (1-m)\sin^2\theta} \right\}, \quad \sin\theta = \sqrt{\frac{1-t}{1-t}}, \quad y/B = -\frac{F(\theta, m')}{K(m)} \frac{L}{B} \dots \dots \dots (5)$$

$F(\theta, m')$ は m' を母数とする第一種楕円積分で、 $B, B/L$, 及び B/D を與えると(3)式より流量の無次元化された

$\frac{q}{K(H_1 - H_2)}$ が求められる(4)式より動水勾配の無次元化された $\frac{B}{H_1 - H_2} \left(-\frac{1}{K} \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right)$ が $\frac{B+y}{B}$ の関数として求められる

る本実験の例について計算した結果を図-3に示した。これより① slit 附近においては $\frac{B}{\Delta H} \left(-\frac{1}{\pi} \frac{\partial \sigma}{\partial y} \right)$ の値は一般に大きく、その近傍における変化はきわめて著しくその値は B/L 及び D/L に大きく規定されるが、 $\frac{B+y}{B} \geq 0.1$ より上部では変化は緩慢になり砂の上層部において 0.4 ~ 0.5 程度の値をもち B/L 及び D/L による変化は少ない。② D/L 一定の場合 slit 位置の動水勾配は B/L が大きい程大きい値をとり B/L 一定の場合には D/L が小さい程大きい。

4. 実験結果 地下水位が 0 に近いときの Jet 並びに砂流動範囲の形状は D が変化しても殆んど変らない。slit 附近においては強い動水勾配のため Jet 並びに砂流動中は D に比し著しく増大するが $\frac{B+y}{B} \geq 0.1$ ~ 0.2 以上になると開き角 6° ~ 7° 程度の凹凸はあつても一応安定した形をなす。砂流動範囲は地表近く迄は Jet の形と同一であり地表近くになつて著しく拡大されるが Jet の中は変らない。水面が地表より上にある場合は地下水位が 0 に近い場合に比し幾分広がっているようであるが、0.313 cm・0.625 cm slit については殆んど同じ形状をなす。然し 1.25 cm slit で B が 10 cm 以上になると開き角が大きくなり $B/10$ cm で 10° 程度である。つぎに計算の対象となつた二次元 slit の流量 Q cc/sec.

(3) 式の Q とは $Q = 8 \times 2 \times 30$ と水位差 ΔH とは $Q \propto \Delta H$ の関係にあり (3) 式を用いて逆算された Q の値はほぼ 0.34 cm/sec. 程度で理論が妥当であることが分る。水位が殆んど 0 に近いときは $Q \propto \Delta H^{0.25}$ の関係がある。sand jet の発生が ΔH の最大とみなしこれを ΔH_c 、空洞発生時の水位差を ΔH_c とし、 P_0 および P_1 の代りに (1) 式の $I_c = \frac{\Delta H_c}{B}$ (この実験では 0.93) を導入すると $\frac{\Delta H_c}{\Delta H_*} \cdot \frac{\Delta H_c}{\Delta H_*} = f(B/D, L/D, \tau/B, \text{slit の形状})$ が期待され $\frac{\Delta H_c}{\Delta H_*} \cdot \frac{\Delta H_c}{\Delta H_*}$ と主要な parameter B/D との関係プロットしたのが図-4である。二次元 slit の場合は slit 附近では (1) 式の限界勾配以上の流体力にさらされ水面が砂層上に存在する場合の $\Delta H_c/\Delta H_*$ の値は B/D の小さいときのほぼ 1 の値から B/D とともに増加して 2 の値に漸近する。又 D の変化による測定がほぼ同一曲線上にあることから B/D が主要な役割をもつと云えよう。水位 ± 0 のときは

sand jet はおこり難い。slit 附近の強い動水勾配のため $\Delta H_c/\Delta H_*$ が 1 以下の値において砂層の内部破かいがおこることは注意を要する。半円 slit の $\Delta H_c/\Delta H_*$ は B/D の増加とともに 4.25 に漸近。二次元 slit にくうべて砂層の内部破かいが起り難いことが知られる。

