

全断面流出による噴砂現象

愛媛大学工学部土木工学教室

正員

瀧野正次

1.新潟地震で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 の発生条件などについて若干の考察を行った。quick sand の砂層流動化は動水勾配 I_c が次式 $I_c = \frac{\Delta H^*}{B} = \frac{\rho_s - \rho}{\rho} (1 - n) \dots (1)$ ここで n : 空隙率 ρ_s : ρ : 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臭が残されている。従来縦スリットの場合における jet の発生条件や性質などについて述べたが、今回は全断面より流出する噴砂現象の動水勾配変化について述べる。

2. 実験装置ならびに実験結果

実験装置は図-1の如く高さ4mのヘッド・タンク(水位一定)から導いた水を全断面 slit を通じて上部砂層に流入させる。実験槽は円筒で内径 $D = 17.5 \text{ cm}, 10.4 \text{ cm}, 4.35 \text{ cm}$ の3種を用い試料は表-1に記したものと並びにこれを上層・下層に分け使用した。試料の比重は表に示した如く粒径に変化なく略: 同一であり、図の○印は圧力測定個所で水位との差を ΔH とした。尚表-1に

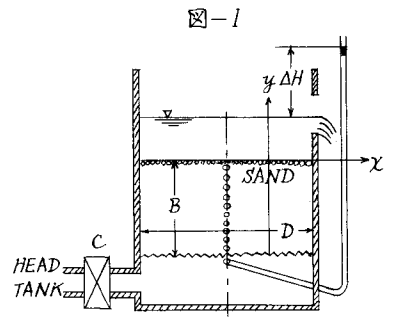


表-1. 試料の性質

記した $-1.0 \sim +0.25$ 試料は $-1.0 \sim +0.5$, $-0.5 \sim +0.25$ 試料を重量比で 1 : 1 に配合したものである。

粒径 mm	単位容積重量 γ/m^3	透水係数 cm/sec	水中の算粒子沈降速度 cm/sec	比重	空隙率 %
$-2.0 \sim +1.0$	1381.4	0.214	13.55	2.65	47.87
$-1.0 \sim +0.5$	1397.6	0.118	9.97	2.65	47.26
$-0.5 \sim +0.25$	1367.6	0.083	8.26	2.65	48.40
$-1.0 \sim +0.25$	1418.1	0.099	9.10	2.65	46.49
-0.25	1499.5	0.051	5.39	2.64	43.20

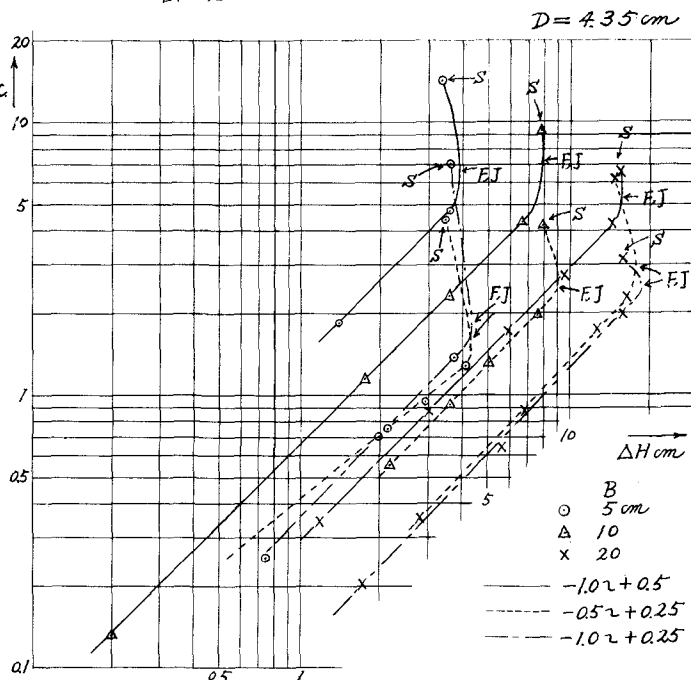
実験経過の一例を次に示す。図-2は網直下における $\Delta H \text{ cm}$ と流量 $Q \text{ cc}/\text{sec}$ の関係を図示したものであり流動発生F、サンドジェット発生Jおよびサンドジェットの安定点Sが矢印で記入してある。 Q および ΔH の関係ははじめ両対数紙上で45°傾斜の直線となり透過の法則を満足していることが分る。又サンドジェットの発生点に近づくとき空気の発達により45°の直線からそれ ΔH の最大点においてサンドジェットが発生する。 $-1.0 \text{ mm} \sim +0.25 \text{ mm}$ で $B = 10 \text{ cm}$ の場合は $-0.5 \text{ mm} \sim +0.25 \text{ mm}$ $B = 10 \text{ cm}$ の場合と全く同じであったので省略した。上層試料と下層試料を変化した場合においても同様45°の直線となる。尚図は $D = 4.35 \text{ cm}$ の場合であるが、 $17.5 \text{ cm}, 10.4 \text{ cm}$ の場合も殆んど変化がない。

ジェット並びに砂流動中は若干の凹凸があるにしても略: 同じ形であり D が変化しても殆んど変らない。然し D に比し B が大きくなると網上に水室が出来水室は漸次拡大されると共に試料の一部が逐次下部より沈下回流されつゝある限界に達するとジェットを発生する。

図-3は横軸に網から上

方にとつた距離 H 、縦軸に H の夾における ΔH の値をとつたものであり、同記号は同状態の場合の測定結果である。均一試料の場合の一例は図-3(b)に記してある。これは $D=4.35\text{ cm}$ の場合であるが D を変化しても又試料が均一でなくても同一のもの、場合は同様な傾向を示す。即ち略々直線的に変化するが、このことは動水勾配が一様なることを示すものである。図-3

図-2



(a)は D

$= 17.5$
cmで上層と下層の厚さは同一にして試料を変化させた場合で

あつて下

層より上

層が細粒

の場合の

動水勾配

の変化は

図-3

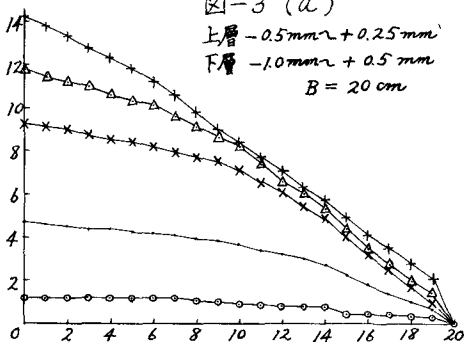
(b)と同じ

傾向に近

いが若干

図-3 (a)

上層 $-0.5\text{ mm} \sim +0.25\text{ mm}$
下層 $-1.0\text{ mm} \sim +0.5\text{ mm}$
 $B = 20\text{ cm}$



上層 $-1.0\text{ mm} \sim +0.5\text{ mm}$
下層 $-0.5\text{ mm} \sim +0.25\text{ mm}$
 $B = 20\text{ cm}$

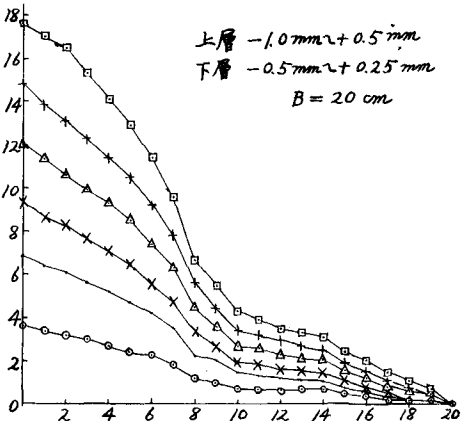
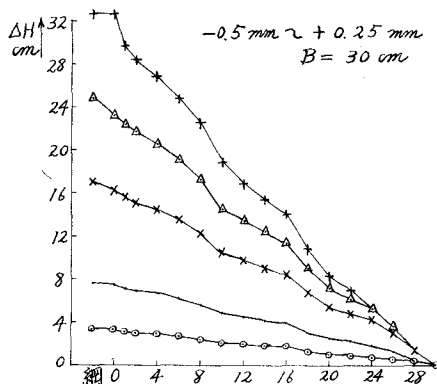
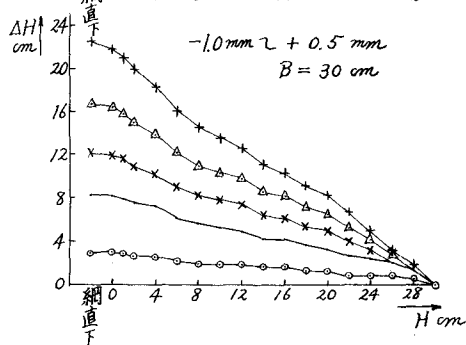


図-3 (b)

$-0.5\text{ mm} \sim +0.25\text{ mm}$
 $B = 30\text{ cm}$



$-1.0\text{ mm} \sim +0.5\text{ mm}$
 $B = 30\text{ cm}$



上方に行くに従って動水勾配は大きくなる。然し下層より上層が粗粒の場合には下層部の動水勾配が著しく大きくなっても上層部での動水勾配は著しく小さくなる。この傾向はDが小さくなる程著しい。従つてこの場合では可成大きな水圧差がないとサンドジェットは起り得ないことが予想される。

噴砂のおこる水圧差については同一試料の場合ならびにこれを一様に混合した試料の場合では従来述べられ、つゝクイックサンド理論と一致する。又上層と下層の試料を変化させた場合については上層の試料が下層の試料より細粒の場合は前述の場合と同様従来クイックサンド理論が成立するが上層の試料が下層の試料より粗粒の場合には従来理論は成立しない。サンドジェットが発生は図-2

から分かる様に ΔH の最大ときであり、これを ΔH_f とし上層・下層試料の密度を ρ_1, ρ_2 各層の厚みを B_1, B_2 空隙率を n_1, n_2 とすると

$$\Delta H_f = f(D, B_1, B_2, \rho_1, \rho_2, n_1, n_2, \text{水位}) \text{ が期待される。}$$

ρ_1, ρ_2 ならびに n_1, n_2 の代りに(1)式で定義される動水勾配

図-4

$$I_c = \left\{ \frac{\rho_1 - \rho}{\rho} (1 - n_1) B_1 + \frac{\rho_2 - \rho}{\rho} (1 - n_2) B_2 \right\} / B \quad \frac{\Delta H_f}{\Delta H_*} / 10$$

を導入し、上層と下層の厚みを同一即ち $B_1 = B_2$ の場合においては

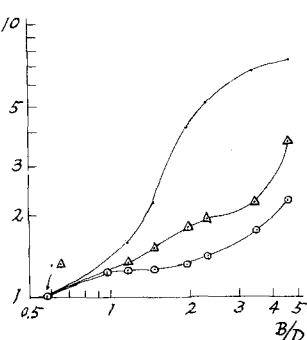
$$\frac{\Delta H_f}{\Delta H_*} = f\left(\frac{B}{D}, \frac{\rho_c}{B}\right)$$

となり $\Delta H_f / \Delta H_*$ と B/D との関係をプロットしたのが図-4である。上層・下層の試料が同一の場合 $D = 17.5 \text{ cm}, 10.4 \text{ cm}, 4.35 \text{ cm}$ の測定が同一曲線上にあることから $\Delta H_f / \Delta H_*$ には

B/D が主要な役割をもつといえよう。然し実験回数が不十分で断定することが出来ないが、一定 B/D が0.5以下では $\Delta H_f / \Delta H_*$ は略: 1であるが B/D の増大と共に除々に増し、ある限界に達すると $\Delta H_f / \Delta H_*$ の増加率は大きくなり、更に B/D が増加すると

$\Delta H_f / \Delta H_*$ の増加率は小さくなりある一定の値をとるのではないかと思われる。

尚本研究は九州大学工学部水工土木学教室菅東一郎教授の御指導によるもので深甚の謝意を表します。



記号	下層 mm	上層 mm
○	-0.5 ~ +0.25	-1.0 ~ +0.5
△	-0.25	-1.0 ~ +0.5
・	-0.25	-2.0 ~ +1.0