

## 2 次元鉛直噴流による洗掘

山口大学工学部

斉藤 隆

山口大学大学院

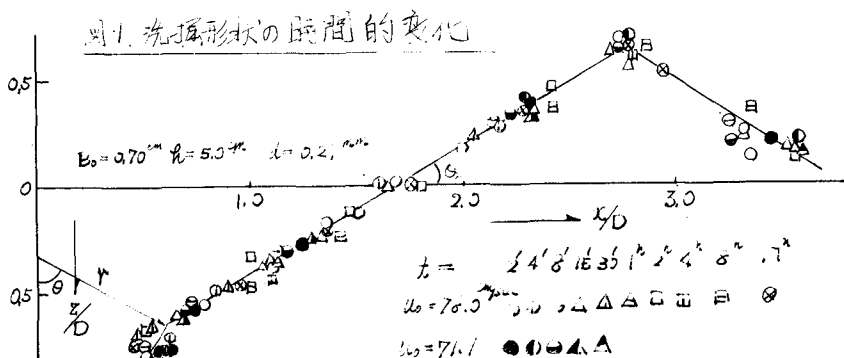
の 名 倉 克 博

### 1 まえがき

水平な砂面に鉛直噴流をあてると、衝突した噴流によって生ずる流れによって、噴流下の砂面は洗掘されていく。砂の移動状態をみると、最初噴流下の砂は掃流状態で洗掘されていくが、洗掘穴の外側に形成される砂堆がある程度発達すると、流れは砂堆の途中から剥離してしまふ。流れが砂堆の途中より剥離して洗掘が行なわれる状態を洗掘の後期と名付けよう。洗掘の後期における砂の移動をみてみると、流れの剥離する点において洗掘穴より流されてきた砂と同時に砂堆砂面より転落してきた砂が巻き込まれて噴き上げられていて、噴き上げられた砂の一部は砂堆の内側砂面に転落し、残りの砂が流れと共に砂堆頂を越えて出ていくことが認められた。洗掘の後期における洗掘の進行は、砂堆頂を越えて出て行く砂量と洗掘される砂量が平衡状態を保つものと看えて、洗掘の時間変化について考察を行なうこととした。

### 2 洗掘形状

洗掘形状と時間的に測定した結果の一つを示したのが図-1で、時間的にはほぼ相似な形で洗掘されていると思われる。噴流出口の初期砂面からの高さ  $h$  が異なると斜面

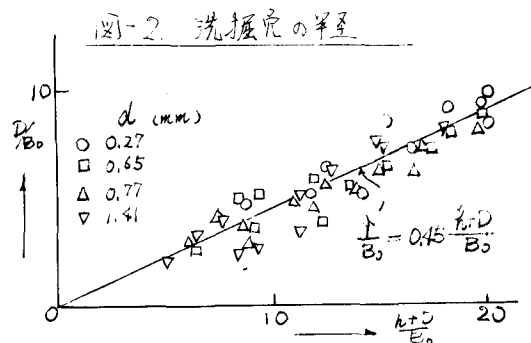


の位置および噴流直下の洗掘面は若干違ふことが認められた。噴流直下の洗掘面を円弧と看え、その半径が噴流の中に比例するものと看え、噴流の性質が自由噴流のそれと同じものとする。

$$\frac{r}{B_0} = \frac{K_2}{\frac{1}{\alpha} \sin \theta + K_2 (1 - \cos \theta)} \frac{h + D}{B_0} \quad \dots (1)$$

となる。

洗掘された容積と堆積した容積は等しくなければならぬということより砂堆頂までの距離  $h$  は



$$\frac{l}{B_0} = \left\{ \frac{D}{B_0} - \frac{\tau}{B_0} (1 - \cos \theta - \sin \theta \tan \theta_s) \right\} \cot \theta_s + \sqrt{\frac{\cot \theta_s}{2}} \left[ \left\{ 2 \frac{D}{B_0} - \frac{\tau}{B_0} (2 - \cos \theta) \right\} \frac{1}{B_0} \sin \theta + \left\{ \frac{D}{B_0} - \frac{\tau}{B_0} (1 - \cos \theta) \right\}^2 \cot \theta_s + \left( \frac{\tau}{B_0} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots (2)$$

となる。噴流中に対する内弧の半径 \$r\$ の比を 2 とし、噴き上げ角 \$\theta = 60^\circ\$ とし (1), (2) 式を計算した結果を図-2, 図-3 に記入してある。

### 3 洗掘深さの時間的变化

内弧洗掘穴から噴き上げられる砂量を \$q\_B\$, 砂堆頂を越えて出て行く砂量を \$q\_S\$ とし, \$dt\$ 時間に最大洗掘深さが \$dD\$ だけ増加したとすると, 基礎式は,

$$\left( \gamma \theta + \frac{l - r \sin \theta}{\cot \theta_s} \right) dD = \frac{q_S}{q_B} \frac{q_B}{1 - \lambda} dt \dots (3)$$

となる。流砂量としては、指数形

$$\frac{q_B}{\sqrt{s g d^3}} = K \left( \frac{u^2}{\tau s g d} \right)^n \left( \frac{1}{\sin \theta + \mu \cos \theta} \right)^n \left( 1 - \frac{\varphi u_c^2}{u^2} \right) \dots (4)$$

を用い, 式中の代表流速としては最大洗掘深さの奥

まで自由噴流が保たれたとして, その奥の噴流内の平均流速を用いることにする。

砂堆を越えて出ていく砂量を推定することは困難であるが, 次の様に単純化して考えることにする。内弧洗掘面から噴き上げられた砂量を 1 とし, ある地点までに砂堆面に沈下した量が \$p\$ だったとする。残量 \$1-p\$ は流れの中に一様に分布している, かつ一様な速度 \$u\_0\$ で沈降しているものとする, その奥の流れの中を \$B\$ とし, \$dt\$ 時間に沈降する量 \$dp\$ は,

$$dp = (1-p) \frac{1}{B/u_0} dt = (1-p) \frac{1}{B/u_0} \frac{dt}{ds} ds \dots (5)$$

と表わされよう。流れの状態としては, 噴流口から出た噴流は自由噴流と同じように振がっていき, 流れが曲げられた後もその性質は変わらず, \$B\$ は噴流内の流速は自由噴流の平均流速となっているものと考え, 上式は \$s=0\$ で \$p=0\$ のもとに積分され, 噴き上げられた砂量のうち砂堆頂を越えて出ていく砂量の割合が求まる。

$$\frac{q_S}{q_B} = \exp \left[ - \frac{2 \cos \theta}{K_1 K_2 K_3} \frac{u_0}{u_0} \left( \frac{H+D}{B_0} \right)^{\frac{1}{2}} \left\{ \left( 1 + \frac{s}{H+D} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right\} \right] \dots (6)$$

基礎式 (3) に式 (6), (4) を代入して整理すると, 最大洗掘深さの時間的变化は

$$\frac{dl}{dt} = \frac{\left\{ 1 - \frac{\varphi u_c^2}{u^2} \right\}^n K_1^{\frac{1}{n}} K_2^{\frac{1}{n}} (H+1)^{\frac{1}{n}}}{(H+1)^n \left\{ \frac{l}{B_0} - \frac{\tau}{B_0} (\sin \theta - \theta \cos \theta) \right\}} \exp \left[ - \frac{2 \cos \theta}{K_1 K_2 K_3} \frac{u_0}{u_0} (H+1)^{\frac{1}{2}} \left\{ \left( \frac{s/B_0}{H+1} + 1 \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right\} \right] \dots (7)$$

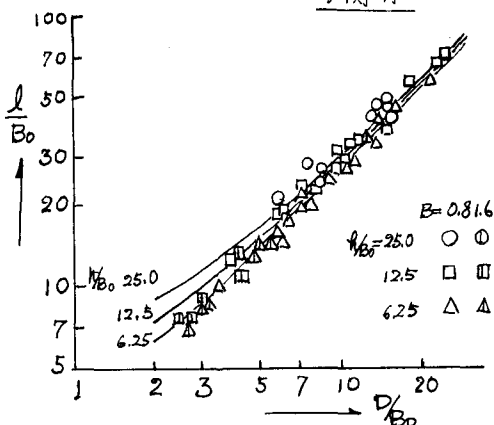
$$\text{ここに, } \tau = (1-\lambda) \cos \theta_s K \left( \frac{K_1^2 K_2^2}{\sin \theta + \mu \cos \theta} \right)^n \frac{\sqrt{s g d^3}}{B_0^2} \left( \frac{u_0^2}{s g d} \right)^n t, \quad H = \frac{h}{B_0}, \quad \eta = \frac{D}{B_0}$$

となる。これより最大洗掘深さ \$\eta\$ は \$H\$, \$u\_0/u\_0\$ あるいは \$u\_0/u\_0\$ および \$\tau\$ によって規定される。

### 4 実験結果と理論式の比較

無次元時間 \$\tau\$ の主要項 \$\propto \sqrt{s g d^3}/B\_0^2 \cdot (u\_0^2/s g d)^n t\$ において, \$n = 3/2\$ とすると粒径が無関係となり

図-3 最大洗掘深さと砂堆頂の位置の関係



$\tau \propto \frac{u_{*c}^3}{g B_0} \cdot \frac{u_{*c}}{B_0}$  と表わされるので無次元時間  $\frac{u_{*c}^3}{g B_0} \cdot \frac{u_{*c}}{B_0}$  に対して最大洗掘深さ  $\frac{D}{B_0}$  を図示したのが図-4である。 $\frac{u_{*c}^3}{g B_0}$ ,  $\frac{u_{*c}}{B_0}$  および  $B/d$  がほとんど一致する実験では、ほぼ一つの直線で表わされるが  $\frac{u_{*c}^3}{g B_0}$  と  $\frac{u_{*c}}{B_0}$  が異しく  $B/d$  の異なる資料では、 $B/d$  の大きい程直線の勾配が大きくなっていく。

他の条件が等しく  $\frac{u_{*c}^3}{g B_0}$  のみを変化させた場合とみると図では  $\frac{u_{*c}^3}{g B_0}$  の大きいほど勾配は急になっていくが、 $\frac{u_{*c}^3}{g B_0}$  および  $B/d$  によって  $\frac{D}{B_0}$  がある値に対して最も急な勾配になっているのが2, 3の実験によって認められている。なお一部の実験では、10数時間の実験と行なってみるが、洗掘の定常状態は得られなかった。

洗掘深さの定常状態は噴き上げ砂量が一一定であるとき、事実上砂堆を越える砂量が零になることであるから、(6)式がある一定値になったときと思われ、式形よりみて、洗掘深さの定常状態になるのは、かなりの時間が必要と思われる。

理論式中の指数  $n$  を  $3/2$  と仮定すると、粒径の影響はなくなるのであるが、実験に於いては上述のように複雑な傾向がみられるので、 $n$  の検討と同時にこれに必要な実験を現在行っている。

