

山口大学 正真 齋 藤 隆

1 まえがき

水平噴流による洗掘は洗掘の進行に伴い、流れの状態および砂粒の移動状態から、洗掘機構は3段階に大別されることが認められた。本文は、我々が一期洗掘と呼ぶ洗掘のごく初期で、すなわち二期における洗掘形状に較べて洗掘形状が平坦な波状を呈しているときの洗掘機構について若干の考察を行なつたものである。

2 洗掘機構

非平衡状態における掃流砂; Einstein のモデルを用い、単位巾と単位時間内に移動する砂粒の数を N 、河床表面の単位面積中における砂粒の数を n 、1個の砂粒が単位時間内に移動を始める確率を P_s 、砂粒の平均移動距離を l とすると、非平衡状態における掃流砂の連続の式は

$$(1) \quad \frac{\partial N}{\partial x} = n P_s - \frac{N}{l}$$

上式中の P_s は砂粒の性質と流れの場によって規定されるから平衡状態のもので代用し、平衡状態での掃流砂量を g_{B0} とおき、Einstein に従つて $P = P_s / (\alpha_1 d \sqrt{sgd})$ 、 $n = 1/\alpha_2 d^2$ 、 $g_{B0} = \alpha_3 \alpha_1^2 N$ とおき、 $\xi = x/B_0$ 、 $\Xi = g_B / \sqrt{sgd^3}$ 、 $\Xi_0 = g_{B0} / \sqrt{sgd^3}$ とすると

$$(2) \quad \frac{\partial \Xi}{\partial \xi} = \frac{B_0}{l} (\Xi_0 - \Xi)$$

砂粒の平均移動距離を $l = \lambda_1 d$ (d : 砂の粒径) とおき $l = \lambda_1 d / (1 - P)$ とおくとそれを l に對して、非平衡状態における掃流砂量は次式で与えられる。

$$(3) \quad \Xi = \exp\left(-\frac{B_0}{\lambda_1 d} \xi\right) \int \Xi_0 \frac{B_0}{\lambda_1 d} \exp\left(\frac{B_0}{\lambda_1 d} \xi\right) d\xi \quad \text{for } l = \lambda_1 d \quad (\text{CASE I})$$

$$(4) \quad \Xi = \exp\left(-\int \frac{B_0}{\lambda_1 d} \frac{d\xi}{1 + \Xi_0/A_*}\right) \int \frac{B_0}{\lambda_1 d} \frac{\Xi_0}{1 + \Xi_0/A_*} \exp\left(\int \frac{B_0}{\lambda_1 d} \frac{d\xi}{1 + \Xi_0/A_*}\right) d\xi \quad (\text{CASE II})$$

> に、 $A_* = \lambda_1 \alpha_3 / \alpha_1 \alpha_2$ である。

洗掘機構; 河床変動の基礎式 $\partial z/\partial t = 1/(1-\lambda) \cdot \partial g_B/\partial x$ と $\xi = x/B_0$ 、 $\tau = U_B^3/g_{B0} \cdot U_*^4/B_0$ によって無次元化し、(2) の関係を用いると

$$(5) \quad \frac{\partial \xi}{\partial \tau} = \frac{1}{S(1-\lambda)} \left(\frac{\sqrt{sgd}}{U_*} \right)^3 \frac{B_0}{\lambda_1 d} (\Xi_0 - \Xi) \quad S = (P_s - P)/P$$

λ : 砂の空隙率を百分に取ったもの

平衡状態における流砂の式として以下の指数形を用いる。

$$(6) \quad \Xi_0 = K \Psi^m \left(1 - \frac{\Psi_c}{\Psi}\right) \quad \Psi = \frac{U_*^2}{sgd}, \quad \Psi_c = \frac{U_{*c}^2}{sgd}$$

CASE A; 圖(2) および(3) にみられるように一期洗掘における最大洗掘深さ $P/B_0 = 1 \sim 2$ で、その形状も滑らかな波状を呈していることから、洗掘の進行に伴う河床面上の流速の変化は無視

い、河床面との流速を Wall-jet の壁面流速に等しいものと考えて摩擦速度 u_{*} を次のように仮定する。

$$(6) \quad u_* = \frac{U_0}{\varphi}, \quad \text{for } \frac{x}{B_0} \leq \frac{30}{2}$$

$$(7) \quad u_* = \frac{U_0}{\varphi} \sqrt{\frac{30}{2} \frac{x}{B_0}} \quad \text{for } \frac{x}{B_0} \geq \frac{30}{2}$$

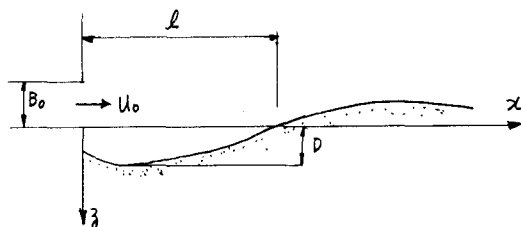
この場合、 Φ_0 および Φ は τ のみの関数で、最大沈降深さの時間的变化および沈降形状は (3), (4) に対してそれぞれ次式となる。

$$(7) \quad \frac{D}{B_0} = \frac{K}{5\lambda(1-\lambda)} \frac{B_0}{d} \frac{1}{\varphi^{2m}} \left(\frac{U_0}{\sqrt{5gd}} \right)^{2m-3} \left\{ 1 - \varphi^2 \frac{u_{*c}}{U_0} \right\} \tau$$

図 - 1

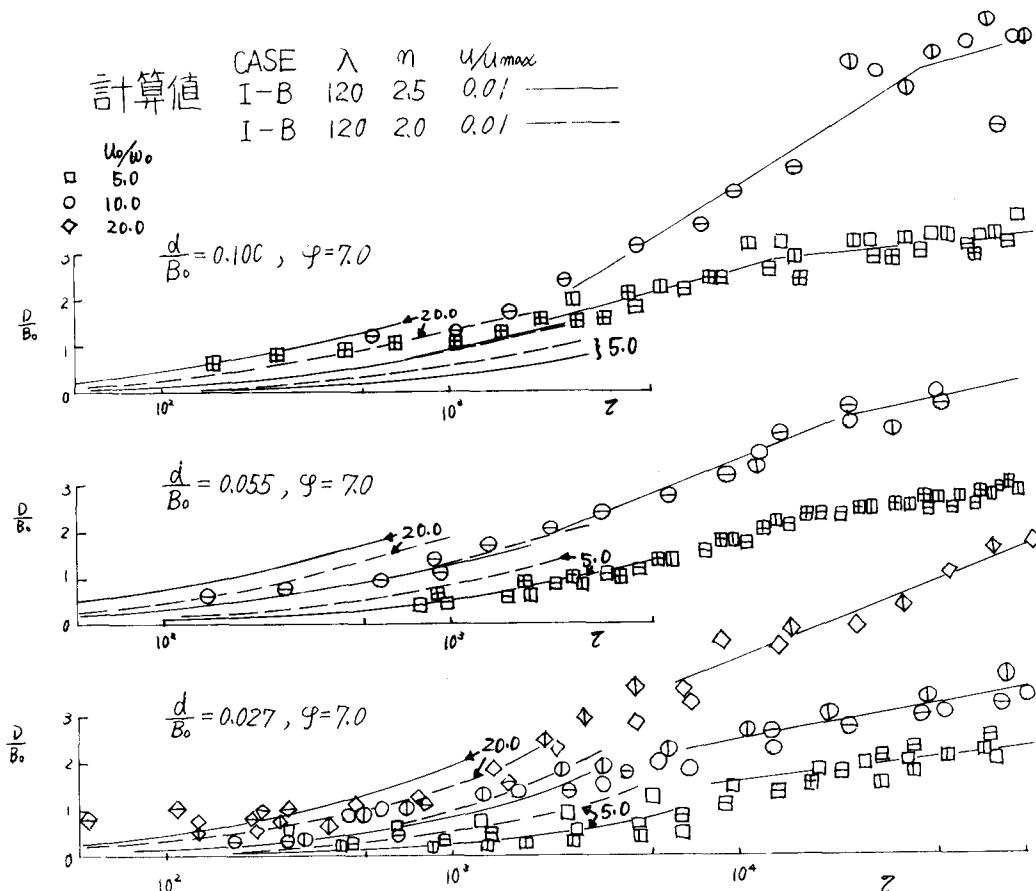
$$(8) \quad \frac{z}{D} = \frac{\Phi_0(\tau) - \Phi(\tau)}{\Phi_0(0)} \quad (\text{CASE I-A})$$

$$(9) \quad \frac{D}{B_0} = \frac{K}{5\lambda(1-\lambda)} \frac{B_0}{d} \frac{1}{\varphi^{2m}} \left(\frac{U_0}{\sqrt{5gd}} \right)^{2m-3} \frac{\left\{ 1 - \varphi^2 \frac{u_{*c}}{U_0} \right\}}{1 + \Phi_0/A_*} \tau$$



$$(10) \quad \frac{z}{D} = \frac{\Phi_0(\tau) - \Phi(\tau)}{\Phi_0(0)} \frac{1 + \Phi_0(0)/A_*}{1 + \Phi_0(\tau)/A_*} \quad (\text{CASE II-A})$$

図 - 2



CASE B: 河床の変動に伴ない河床面上の流速は変化していき、その変化の状態は洗掘深さ、洗掘形状等の影響を受けて非常に複雑なものと考えられ、大雑把に次のように仮定する。壁面噴流の壁面流速を U_{b0} 、河床面上の流速を U_b 、噴流中を Bu として

$$(11) \quad \frac{U_b}{U_{b0}} = \left(1 - \frac{z}{B_u}\right)^m, \quad \frac{Bu}{B_0} = \alpha \varphi + 1.0$$

摩擦速度は CASE A の場合と同様に $u_* = U_b/\varphi$ とおく。

3 実験結果との比較

最大洗掘深さ D/B_0 の時間的変化を現在までに計算したうちで最も ~~実験値に近い結果を示した~~ 本図-2 である。一般的に CASE

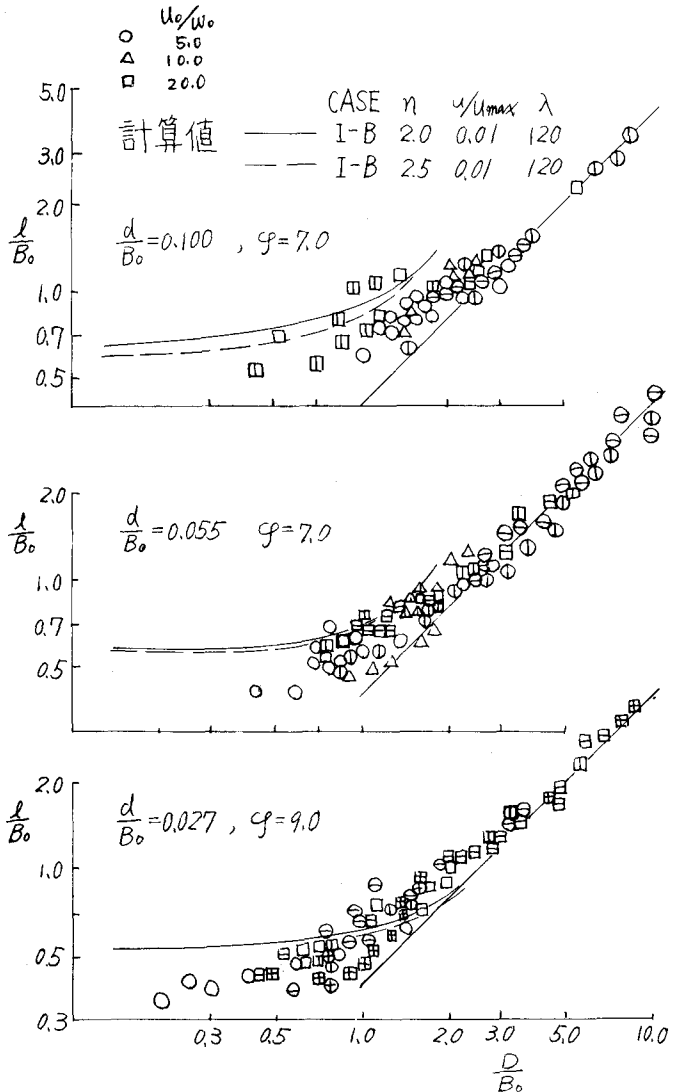
A の場合は時間的変化率が大きく、CASE II の場合は小さかつた ($V_A = 10, 40$ を計算した)。

図中の CASE I-B ($m=1.0$) の計算結果が概ね d/B_0 の値を φ の値が $(d/B_0)^{-1/2}$ に比例していろいろある。

洗掘穴の長さ l/B_0 の実験値と CASE I-B の結果とを比較したものが図-3 である。計算値は U_b/U_{b0} の値によって l/B_0 値も変化するが図に示した CASE ではほとんど 1 曲線となった。CASE A の場合 l/B_0 は D/B_0 の他によって変化するが $9 \sim 14$ 程度となった。また、CASE II の場合は $l/B_0 = 13 \sim 90$ 以上であった。

最後に洗掘形状の測定値と計算値を比較したものが図-4 である。初期洗掘における洗掘形状は初期砂面の形成および実験開始時の金網の除去等の影響で非常にその測定値は散乱している。現在 $m=2.0$ の場合を計算中であるが、 $m=2.0$ の場合の方が洗掘形状の計算値はより

図-3



実験結果の傾向に一致するようである。

4 おわりに

1期波跡における流線形状についての考察を行ない、CASE I-B によっておぼろの程度まで実験結果と一致することを見出せたが、CASE I-B において河床の変動に伴う河床上の流速の変化によっての仮定は大胆なものであつて、現在この仮定について河床を固定する方法によって流速分布の測定を行ない流速変化の状態を実験的に検討する準備をして置く。

図-4

