

水門下流部の沈堀

山口 大 淳 正 齋 藤 隆
○ 山口 大 淳 淳 玄 堀 康 政
大 竹 市 役 所 正 頼 田 正 久

局所沈堀現象は砂粒移動量の場所的変化に起因するもので、砂移動が非平衡状態であると同時に沈堀の進行に伴ってその附近の流れが変化して、沈堀の進行と流れの変化とが有機的に関連した複雑なる現象である。

局所沈堀に関して、Laursenが砂の運搬条件を用いたもの理論的研究の謝辞で、その後土層は非平衡状態の流砂間接に砂の運搬の式に導入して理論的に研究している。しかしながら、明らかに沈堀の進行に伴う流れの変化があるのにこれを考慮した研究はみあたらない。

本文は、沈堀穴附近におけるきわめて複雑なる流れを大胆にはあるが段着壁面噴流流れによって近似すること、沈堀の進行に伴う流れの変化を導入し、後期沈堀における沈堀形状がほぼ相似である実験事実より埋めどしのModelを用いて水門下流部の局所沈堀の説明を試みたいのである。

Einsteinの流砂Modelを用い、砂粒の平均移動距離 $l = \lambda_1 d$ (d は砂粒の粒径、 λ_1 は比例常数)とし、砂粒の移動確率 P を平衡状態のもの P_0 で代用し、平衡状態の無次元流砂量を $\Phi_0 (= \frac{B_0}{\sqrt{sgd^3}})$ とすると、非平衡状態の流砂量 Φ ($= \frac{B}{\sqrt{sgd^3}}$)は次式で与えられる。

$$(1) \frac{\partial \Phi}{\partial \xi} = \frac{B_0}{\lambda_1 d} (\Phi_0 - \Phi), \quad \Phi = \exp\left(-\frac{B_0}{\lambda_1 d} \xi\right) \int \frac{B_0}{\lambda_1 d} \Phi_0 \exp\left(\frac{B_0}{\lambda_1 d} \xi\right) d\xi$$

ここに、 $\xi = z/B_0$ 、 B_0 は噴出口厚さである。

河床変動の基礎式を上式で代わって書きなおすと次式となる。

$$(2) \frac{\partial \xi}{\partial \tau} = \frac{1}{5\lambda_1(1-\lambda)} \left(\frac{U_0}{\sqrt{sgd}}\right)^{-3} \left(\frac{d}{B_0}\right)^{-1} (\Phi_0 - \Phi)$$

$$\tau = \frac{U_0^2}{g B_0} \frac{U_0}{B_0} \xi, \quad \xi = \frac{z}{B_0}$$

平衡状態における流砂公式として

Kalinski-Brown形を用いる。

$$(3) \Phi = \Phi_c \left(1 - \frac{\Phi_c}{\Phi}\right)$$

$$\Phi = \frac{U^2}{sgd}, \quad \Phi_c = \frac{U_c^2}{sgd}$$

ここに、 U_c 、 U_{nc} は摩擦速度および限界摩擦速度である。

沈堀穴附近の流れは図-1に示すように噴出流上下にRollerがある複雑な流れであるが、 D_d なる段着境界面に再接触し、再接触点より下流は段着境界面に沿って拡散する壁面噴流流れで近似することにする。

図-1 沈堀モデル

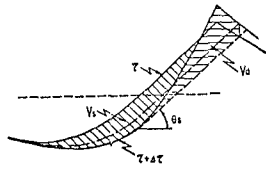
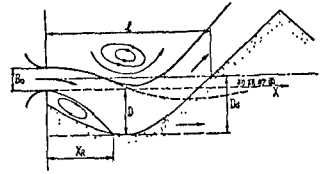
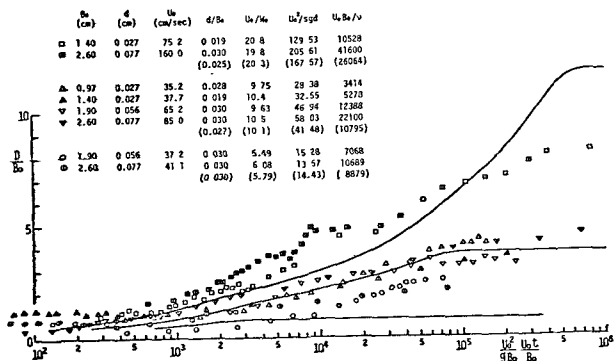


図-2 沈堀深さの時間的变化



昨年提案した主流部の流れを考慮した境界層速度分布則で、境界層の発達に関する計算結果より得た局所抵抗係数 ($C_x = 2U\kappa^2/U_m^2$) の計算を簡便化するために実験式化すると次式となる。

水平壁面噴流

$$(4-1) \quad C_x = \left\{ 0.0128 + 0.082 \left(\frac{d}{B_0} \right)^{\frac{1}{2}} \right\} \left(\frac{x}{B_0} \right)^{-\{0.237 + 0.150 \exp(-100 \frac{d}{B_0})\}}$$

$$(5-1) \quad \frac{U_m}{U_0} = \left(\frac{x_E + Z_0}{x + Z_0} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad \frac{x_E}{x} = 1.0 - 0.248 \frac{x_E}{B_0} \left(\frac{x_E}{d} \right)^{-\frac{1}{4}}, \quad \frac{x^*}{B_0} = 14.44, \quad \frac{Z_0}{B_0} = 5.0$$

再接触壁面噴流

$$(4-2) \quad C_x = \left\{ 0.0105 + 0.100 \left(\frac{d}{B_0} \right)^{\frac{1}{2}} \right\} \left(\frac{x}{B_0} \right)^{-\{0.105 + 0.223 \exp(-100 \frac{d}{B_0})\}}$$

$$(5-2) \quad \frac{U_m}{U_0} = K_1 K_2 \sqrt{15.4 / \left(\frac{x}{B_0} + 5.9 \right)}, \quad K_1 = \left\{ 24 / \left(\frac{D}{B_0} + 1.9 \right) \right\}^{\frac{1}{8}}, \quad K_2 = A^{\frac{(\frac{d}{B_0})^2}{4 \{ (\frac{d}{B_0})^2 + 0.005 \}}}, \quad A = 0.553 + 0.176 \ln \left(\frac{D}{B_0} \right)$$

再接触点位置 x_R は土木学会論文集に発表したのであるが、高さ d が小さい場合にも適合するように仮想噴流幅 B_x を導入すると次の式で与えられる。

$$(6) \quad \frac{Z_0}{B_0} = \left(\frac{R}{B_0} + \frac{B_d}{B_0} \right) \sin \theta_R$$

$$(7) \quad \frac{D}{B_0} + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{B_x^*}{B_0} \right) = \frac{R}{B_0} (1 - \cos \theta_R) + \frac{B_d}{B_0} \cos \theta_R$$

$$(8) \quad \frac{B_d}{B_0} = \frac{1}{6} \frac{S + S_0}{B_0} \tanh^{-1} \left\{ \left(\frac{B_0}{B_x} - \frac{1}{2} \right) \sqrt{\frac{4R}{3} \frac{S + S_0}{B_0}} \right\}, \quad \frac{S}{B_0} = \frac{R}{B_0} \theta_R$$

$$(9) \quad \frac{B_x^*}{B_0} = 1.0 + \left(\frac{0.5}{D/B_0} \right)^{1.4}$$

R は最大流速点を連ねた曲線の曲率半径である。

後期流堀になると、噴出流上・下のRollerの強さの变化によって噴出流上・下に動揺し、この平均流の動揺によって流堀穴下流傾斜面を形成している砂粒のかなりの部分の転落または崩落を以て、平均的にはほぼ安息角の斜面を形成し相似な流堀形状を呈する。この理めをどしを次のようにModel化する。図-1の ΔT 時間における式(1)~(9)による流堀量を V_s とする。で ΔT 時の砂の水平安息角 θ より急な部分の砂の容積を V_d とし、流堀面勾配が θ より小さい部分では ΔT 時間における流堀深さ Δz のうち $\Delta z \cdot V_d / (V_d + V_s)$ が埋めるとされ、で ΔT 時の流堀形状は図-1の一点鎖線で示した形状とする。

上述の流堀のModelおよび埋めどしりのModelを用い、平衡状態における砂移動において云われている $\lambda_1=100$ 、 $K=15$ 、 $m=1.8$ なる値を用いて流堀計算を行なった結果と実験結果とを比較したのが図-2、3、4である。いずれの場合も、計算値は実験結果を量的にも満足できる程度に説明している。

図-3 流堀形状

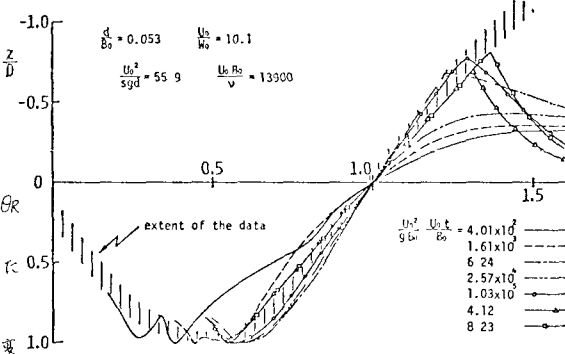


図-4 流堀深さと流堀長さの関係

	B_0 (cm)	d (cm)	U_0 (cm/sec)	d/B_0	U_0/W_0	U_0^2/sgd	$U_0 B_0/v$
□	1.00	0.045	110.4	0.045	19.1	167.50	11040
▣	1.40	0.077	169.0	0.055	20.9	239.39	23660
■	2.60	0.077	160.0	0.055	19.8	205.61	41600
△	1.00	0.045	55.2	0.045	9.53	41.88	5520
▲	1.40	0.077	85.1	0.055	10.5	58.16	11914
▽	1.40	0.077	85.9	0.055	10.6	59.26	12026
▼	2.00	0.092	93.3	0.046	9.98	58.51	18660
▲	2.60	0.141	123.0	0.054	10.3	66.36	31980
○	1.40	0.077	44.0	0.055	5.44	15.44	6160
⊙	1.40	0.077	45.7	0.055	5.65	16.77	6398
⊗	2.00	0.092	46.7	0.046	5.00	14.66	9340
●	2.00	0.141	59.5	0.054	5.00	15.53	15470

