

二段円柱橋脚周辺の局所洗掘特性について(2)

京都大学防災研究所 正員 今本 博 健
 京都大学防災研究所 正員 大年 邦 雄
 京都大学大学院 学生員 ○国 西 達 也

1. はじめに

本研究は大円柱の上に小円柱がのった二段型円柱橋脚における局所洗掘特性を合理的に説明するシミュレーションモデルを構築したものである。

2. 洗掘過程のシミュレーション

ここでは洗掘に対して支配的である円柱前面の馬蹄渦に着目したモデル化を行う。

2.1 洗掘孔における砂量のバランス

図1に示すように二段円柱中心を通る鉛直縦断面内の円柱前方の河床形状を模式化する。すなわち洗掘孔底部の幅は一定で、 $GCEF (=A_b)$ の領域

が馬蹄渦によって直接洗掘され、 $ABCG (=A_s)$ 領域では洗掘深の増大と共に砂粒が滑落していく。いま Δt の間に洗掘深が Δz_s 増大したとすると、砂量のバランス式は次のように表わされる。

$$q_b \cdot A_b \cdot \Delta t / (1-\lambda) = (A_b + A_s) \cdot \Delta z_s \quad (1)$$

ここに、 λ は空隙率、 q_b は A_b 領域において単位時間、単位面積あたりに流出した砂粒の実質体積であり Yalin¹⁾ の流砂量式を拡張して用いる。すなわち、

$$q_b = 1 / (k_1 D_2) \cdot C_1 u_* d \{ j_* - (1/\beta) \ln(1 + \beta j_*) \} \quad (2)$$

ここに、 $j_* = \tau_* / \tau_{*c} - 1$, $\beta = C_2 \sqrt{\tau_{*c}}$, C_1 および C_2 はそれぞれ定数であり、 A_b は次の

ように表わされる。

$$A_b = 0.5 k_1 (k_1 + 1) D_2^2 \theta$$

$$A_s = 0.5 (z_s / \tan \phi) \{ z_s / \tan \phi + (2k_1 + 1) D_2 \} \theta \quad (3)$$

2.2 馬蹄渦のスケール

一様円柱の場合には、前方底部に形成される馬蹄渦は半径 r_0 の円で近似され、そのスケールは洗掘深の増大と共に大きくなり、

$$r = r_0 + C_r z_s = k_0 D_2 + C_r z_s \quad (4)$$

(C_r は定数) と表わされる。二段円柱の場合にも同様であることが認められた。

2.3 馬蹄渦の掃流力

円柱の存在に起因する循環の減少は一様円柱の場合には、ポテンシャルフローの仮定に基づくと $\Delta \Gamma_u = 0.5 D U_*$ と表わされる (U_H は接近流の表面流速)。これより二段円柱の場合の循環の減少を次のように仮定する。

$$\Delta \Gamma = 0.5 D_1 U_H K \quad (5)$$

ここに、 K は二段円柱であることの効果を表わす係数で次のようにおく。

$$K = 1 + (D_2/D_1 - 1) (h_2/H)^a \quad (6)$$

(5) 式の $\Delta \Gamma$ が上・下段円柱底部にそれぞれ形成される馬蹄渦の循環 Γ_1 および Γ_2 の和の定数倍であると仮定する。また、洗掘の進行とともに洗掘孔内に流れが集中することが実験より観察されたので、 Γ_2 の占める割合 (R_2) は次第に増大するものと考えられる。従って P を定数として を次のようにおく。

$$R_2 = \Gamma_2 / P \Delta \Gamma = \frac{D_2 (z_s + h_2) + D_1 (H - h_2)}{D_2 (H + z_s)} \quad (7)$$

また、渦外縁速度を V とすると $\Gamma_2 = 2\pi r V$ と表わされ、これと (4), (5), (7) 式を用いると

v が評価され洗掘孔内の摩擦速度 u_* および無次元掃流力 τ_* が次のように定式化される。

$$u_* = (\alpha/4\pi) (\Phi/\Phi_S) \cdot E \cdot K \cdot R_2 \cdot u_{*0} \quad (8)$$

$$\tau_* = (\alpha/4\pi)^2 (\Phi/\Phi_S)^2 \cdot E^2 \cdot K^2 \cdot R_2^2 \cdot \tau_{*0} \quad (9)$$

ここに、 $E = (D_1/D_2)/(k_0 + C_r z_S/D_2)$ $\alpha = pU_H/U$

$$\Phi_S = V/u_* \quad \Phi = 6.0 + 5.75 \log_{10} (H/2d)$$

である。

著者ら²⁾は、洗掘孔内の砂粒の静的バランスから平衡状態における渦外遠速度を定式化した。これより平衡状態の限界無次元掃流力 τ_{*c} が次の様に表わされる。

$$\tau_{*c} = E/\Phi_S^2 \quad (10)$$

ここに、 $E = 2A_3 \tan \varphi / \{ \varepsilon A_2 (C_D + C_L \tan \varphi) \}$

である。以上の諸式を用いると、洗掘深の時間的増大速度（洗掘速度）が次のような関数形で表わされる。 (11)

$$\frac{\Delta(z_S/D_2)}{\Delta(u_{*0}t/D_2)} = f(D_1/D_2, h_2/D_2, \tau_{*0}, H/D_2, D_2/d, z_S/D_2)$$

なお、平衡洗掘深は上式の左辺が零となる時の洗掘深として評価される。

3. 計算結果および実験結果

図2は洗掘深の時間的变化の計算結果および実験結果を示したものであるが、実験結果をみると D_1/D_2 の小さいほど h_2/D_2 の影響が顕著であり、計算結果もそのような定性的傾向をよく説明している。しかし、定量的には h_2/D_2 の小さな場合の計算結果の適合性が悪く今後の課題として残る。

図3は平衡洗掘深の計算結果を示している。図中の各曲線に○で示した点は一様円柱での平衡洗掘深に一致するときの段高を表わしている。これより、 D_1/D_2 の小さいほど段高の及ぼす影響は顕著であり、二段型円柱橋脚は円柱径比および段高の値により、一様円柱と比べて洗掘を促進する効果と抑制する効果の二面性を持っていることを示唆している。

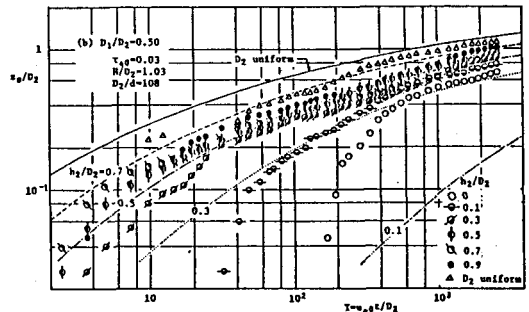
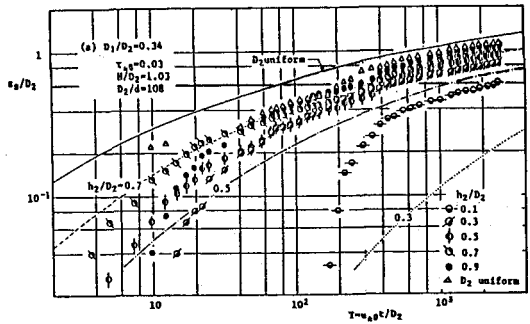


図2 洗掘深の時間的变化

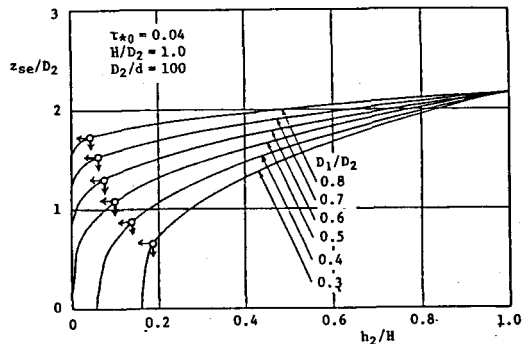


図3 平衡洗掘深

参考文献

- 1) Yalin, M.S.: An expression for bed-load transportation, Proc. ASCE, Vol. 89, HY3, pp. 221-250, 1963.
- 2) 今本・大年; 開水路流れに設置された橋脚周辺の水利特性について(4), 京都大学防災研究所年報, 第29号B-2, pp. 487-503, 1986.