

往復流による橋脚周辺の局所洗掘について

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
 中 国 電 力 正員 ○国 西 達 也

1.はじめに： 本研究は、潮流を模擬した往復流によって生起する円柱橋脚周辺の局所洗掘を、特に洗掘に支配的である円柱前面の馬蹄渦と、流向が反転することによる洗掘孔形状の変化および埋め戻し砂の量的評価について若干の考察を行なうとともに、実験によってその妥当性を検証したものである。

2.馬蹄渦のスケール： 1方向流による洗掘の場合には、前面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ともに大きくなり、次のように表わされる¹⁾。

$$r = r_0 + C_r Z_s = k_0 D + C_r Z_s \quad (C_r, k_0: \text{定数}, Z_s: \text{洗掘深}, D: \text{円柱径}) \quad (1)$$

この性質は、往復流においても同様であると考えられる。

3.馬蹄渦の掃流力： 円柱の存在に起因する循環の減少 $\Delta\Gamma$ は、ポテンシャル流れの仮定に基づくと $\Delta\Gamma = 0.5DU_H$ と表わされる(U_H : 接近流の表面流速)。これが、馬蹄渦の循環に比例すると仮定し、(1)式を用いると渦の外縁速度 V が評価され、また洗掘孔内の摩擦速度 u_* および τ_* は次のように定式化される。

$$u_* = (\alpha/4\pi) \cdot (\Phi/\Phi_r) \cdot u_{*0} / (k_0 + C_r Z_s/D), \quad \tau_* = (\alpha/4\pi)^2 \cdot (\Phi/\Phi_r)^2 \cdot \tau_{*0} / (k_0 + C_r Z_s/D)^2 \quad (2)$$

ここに、 $\alpha = pU_H/U$ (= 定数)、 $\Phi = 6.0 + 5.75 \log_{10}(H/2d)$ 、 $\Phi_r = V/u_{*0}$ である(H : 水深、 d : 砂粒径)。

著者ら²⁾は、平衡状態での洗掘孔内の砂粒の静的バランスから τ_{*c} を次のように表わした。

$$\tau_{*c} = \xi / \Phi_r^2, \quad \xi = 2A_s \tan \phi / \{ \varepsilon A_s (C_D + C_L \tan \phi) \} \quad (A_s, A_s, C_D, C_L \text{ はそれぞれ定数}) \quad (3)$$

4.砂量バランス： 洗掘深の増加量を見積もるためには、洗掘孔形状の時間的相似性に立脚して、洗掘孔内から出ていく砂量を評価しなければならない。また、堆積状態にあるときの堆積増加量についても同様である。ここでは、洗掘・堆積過程を、円柱中心を通る縦断面で代表させ、それぞれについて、形状が大きく変化すると思われるところで場合分けしてバランス式を導くことにより、洗掘速度を定式化する。

i) 第1洗掘・堆積過程： 図1は、初めの半周期における海底形状の変化を示している。これを見ると、洗掘される側では、洗掘孔斜面が砂粒の安息角を保ちながら広がっていく。一方、堆積される側では、ほぼ二等辺三角形形状に砂が堆積し、後方斜面へと砂が堆積している。このときの洗掘・堆積をそれぞれ、第1洗掘・堆積過程とし、図2のように模式化する。微小時間 Δt の間に、洗掘深が ΔZ_s 増加したとするときの、第1洗掘過程における砂量のバランス式は以下になる。

$$q_s / (1 - \lambda) \cdot k_1 D \cdot \Delta t = (k_1 D + Z_s / \tan \phi) \cdot \Delta Z_s \quad (4)$$

ここに、 λ : 空隙率、 k_1 : 定数である。

なお、第1堆積過程においては、洗掘深の対象箇所がF点であるため、堆積増加量は0であるとする。

ii) 第2洗掘・堆積過程： 図3に示すように、2周期目以降の洗掘および堆積過程であり、洗掘側は、洗掘孔斜面が、その外側の三角形の堆積領域の内側斜面とまだ一致していないときの状態である。これを模式化して図4に示す。すなわち、平坦に埋め戻された孔CFは、初めC'D'E'となり、さらにC''D''E''

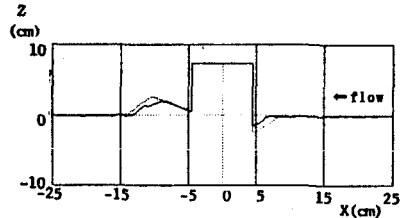


図1 第1洗掘・堆積過程

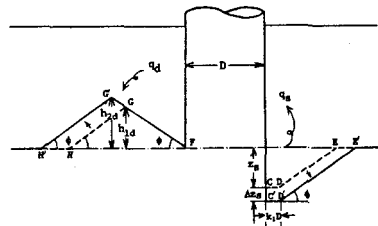


図2 第1洗掘・堆積過程 (模式図)

Hirotake IMAMOTO, Kunio OHTOSHI, Tatsuya KUNISHI

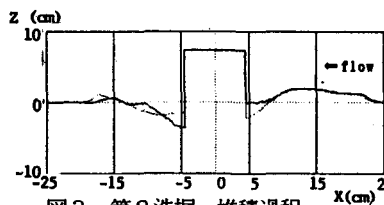


図3 第2洗掘・堆積過程

へと変化する。一方、堆積側は円柱を挟んで反対側の洗掘孔から、K点を境界として円柱側に q_a 、外側に q_o の砂量が堆積すると考える。このときの洗掘・堆積それぞれの過程における洗掘孔内の砂量のバランス式は次のようになる。

$$q_s/(1-\lambda) \cdot k_1 D \cdot \Delta t = (k_1 D + Z_s/\tan \phi - Z_{s2}/\tan \phi) \cdot \Delta Z_s \quad (5)$$

iii) 第3洗掘過程: ii) から洗掘がさらに進むと、洗掘孔斜面は、その外側の三角形の堆積領域の内側斜面と同一斜面として作用し始める(図5)。すなわち、C'D'部分がさらに低下するとともに、D'E'斜面がFG斜面と一致して広がる。このときの洗掘過程のバランス式は次のようになる。

$$q_s/(1-\lambda) \cdot k_1 D \cdot \Delta t = (k_1 D + Z_s/\tan \phi + h_{1s}/\tan \phi) \cdot \Delta Z_s \quad (7)$$

これ以降の堆積過程は、すべて第2堆積過程と同じである。また、 q_a/q_o 、 Z_{s2} および h_{1s} は、洗掘孔の幾何形状から決定される。

以上の(4)～(7)式から、洗掘・堆積増加量を求めるためには、 q_s および q_a を見積もる必要がある。 q_s には、Yalin³⁾の流砂量式を拡張して次のように表わす。

$$q_s = 1/(k_1 D) \cdot c_1 u_* d \{j_* - (1/a) \cdot \ln(1+aj_*)\} \quad (8)$$

ここに、 $j_* = \tau_* / \tau_{*c} - 1$, $a = c_2 \sqrt{\tau_{*c}}$, (c_1, c_2 : 定数)

一方、堆積状態にあるときの、洗掘孔への流入砂量 q_a については、円柱を挟んで反対側の洗掘状態にある孔の洗掘深と関連があると考えて、実験により図6を得、次式で近似した。

$$q_a/q_s = 1.375 + 0.526 \ln(Z_s/D + 0.2) \quad \text{for } Z_s/D \leq 0.3, \quad q_a/q_s = 1 \quad \text{for } Z_s/D > 0.3 \quad (9)$$

5. 計算結果および実験結果: 図7は洗掘深の時間的変化の計算結果および実験結果を示しているが、実験結果を見ると

$U_{max} T/D$ が大きいほど、最大洗掘深は大きくなっており、計算結果もそのような定性的傾向をよく説明している。しかし定量的には計算結果のほうが洗掘深を過大に評価しており、堆積状態における適合度も悪く、今後の課題として残る。

参考文献: 1) 岸力・黒木幹男: 北大工学部研究報告, No. 67, 1973. 2) 今本・大年: 京大防災年報, 29号B-2, pp. 487-503, 1986. 3) Yalin, M. S.: ASCE, Vol. 89, HY3, pp. 221-250, 1963.

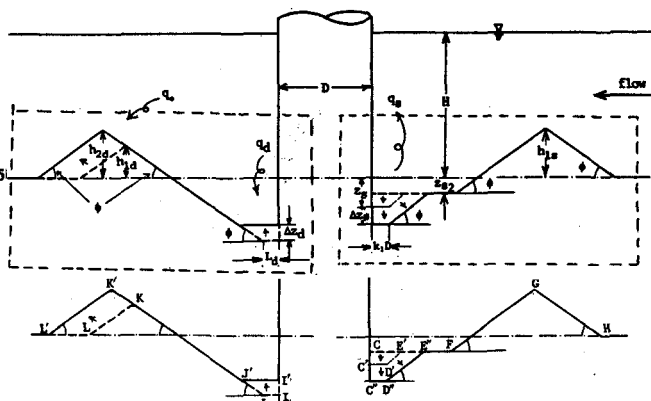


図4 第2洗掘・堆積過程(模式図)

$$q_a/(1-\lambda) \cdot k_1 D \cdot \Delta t = L_a \cdot \Delta Z_a \quad (6)$$

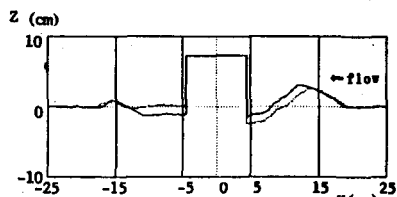


図5 第3洗掘過程

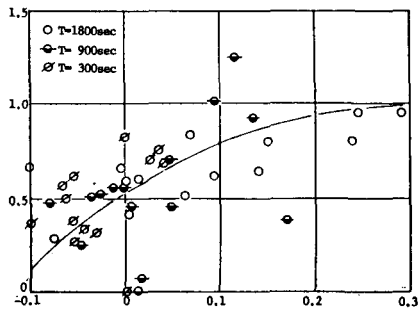


図6 q_a と Z_s の関係

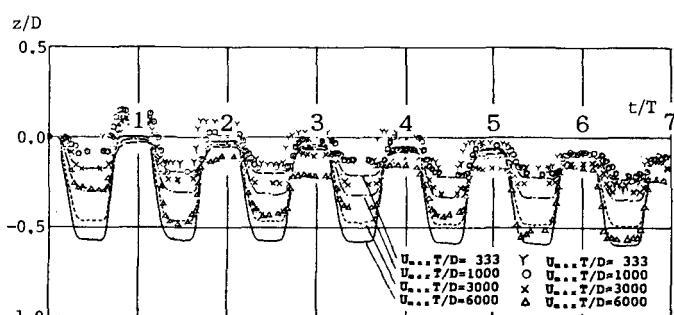


図7 洗掘深の時間的変化(計算結果および実験結果)