

日大大学院理工 学 小田 晃
日大理工正 栗津 清蔵

1. ま え が き 水工構造物周辺の局所流による局所洗掘は、一般に時間の経過によって洗掘深が発達する。この研究は投影幅が一定の単一橋脚周辺の洗掘現象を対象として、平衡洗掘深とその到達時間などの支配的因子を調べ、洗掘深の発達に関する研究である。

2. 実験条件と実験方法 実験は、右表に示す条件に従って時間と共に変化する橋脚側部の洗掘深を、クランク型の形状の先端を持つポイントゲージにより測定した。実験手順は、まず、流量 Q_s で洗掘発生限界を求め、その後、水路下流端ゲートを固定して、流量を Q_e まで増加させ洗掘深の測定を行なった。

Table 実験条件

dm (cm)	使用流量 (cm ³ /sec)	
	Q_s	Q_e
0.171	6002	7993
		8013
		9014
		10010
0.242		11016
		13004
0.342	8013	10010
		11520
		13004

実験用水路は、長さ 635cm 幅 40cm の長方形断面水路であり、砂礫の平均粒径 d_m を右表のように3種類、単次を用いて移動床の厚さ 14cm の移動床水路を形成した。

実験用橋脚は、投影幅 4cm の円柱、正四角柱、正八角柱の3種類をそれぞれ単独で使用した。

3. 洗掘深の発達についての考察 洗掘深は、与えられた橋脚・河床物質・流量のもとで時間と共に発達する、この現象を、次の条件のもとに考察する。

① Clear Water Scour に属する洗掘を対象とする。

② 洗掘孔体積 V 、洗掘孔から流出する砂礫の通過幅 L はそれぞれ洗掘深 Z に比例し次のように仮定する。

$$V = \alpha Z^3, \quad L = \beta Z \quad (1)$$

ここに、 α, β は比例定数である。

洗掘孔から流出する砂礫の連続式は、単位幅当たりの流砂量を q_B と置くと、次式のようなになる。

$$L q_B dt = (1 - \lambda) dV \quad (2)$$

ここに、 λ は砂礫の空隙率である。(2)式中の q_B を、次元解析で得られた無次元量を用いて、次式で表わす。

$$\frac{q_B}{k U_* d_m} = a \varphi_c \left\{ \left(\frac{k U_*}{U_{*c}} \right)^2 - 1 \right\} \quad (3)$$

a は係数、 $\varphi_c = U_{*c}^2 / \{ (P_s/P) - 1 \} g d_m$ 、 k は、橋脚設置前の摩擦速度 U_* を、橋脚周辺の摩擦速度に置き換える係数である。

平均流速 U_n と U_* の関係は、 $U_n / U_* = b \{ (h_{np} + Z) / d_m \}^n$ の指数式で近似させ、洗掘発生限界時の $k U_*$ が砂礫の限界摩擦速度 U_{*c} に等しいと考え、 $k U_* / U_{*c} = 1$ 、これより実験値を用いて k を求め、 k の平均値として 2.24 が得られた。なお定数 b, n は実験範囲内では $b = 8.33, n = 0.164$ とした。

(1), (3)式を(2)式に代入した連続の式を、べき級数展開をして次の近似式が得られた。

$$\frac{dZ}{dt} = \frac{a \beta \varphi_c \eta}{3 \alpha (1 - \lambda)} \frac{2(n+1)}{M} \left(\frac{1}{Z} - M \right) \frac{d_m U_{*c}}{h_{np}^2} \quad (4)$$

ここに、

$$Z = \frac{Z}{h_{np}}, \quad M = \frac{2(n+1)}{(2.24)^2 - 1}$$

$$\eta = \frac{1}{b} \left(\frac{U_n}{U_{*c}} \right) \left(\frac{d_m}{h_{np}} \right)^n \quad (5)$$

初期条件 $t = 0$, $z = 0$ で(4)式を解くと、

$$(1-Mz) \exp(Mz) = \exp\left\{\frac{-\alpha\beta\gamma}{3\alpha(1-\lambda)} 2(n+1)M\left(\frac{dm}{hnp}\right) \frac{u_{tc}t}{hnp}\right\} \quad (6)$$

(6)式で、時間 t が無限大のとき、洗掘深は平衡洗掘深 z_e となることより、

$$\frac{z_e}{hnp} = z_e = \frac{1}{M} = \frac{(2.24\gamma)^2 - 1}{2(n+1)} = F_1(\gamma) \quad (7)$$

$F_1(\gamma)$ を、洗掘発生限界、及び平衡洗掘深の実験値を用いて(7)式の間係を調べた結果、次の実験式が得られた (Fig. 1 参照)。

$$z_e = 3.55\gamma - 1.59, \quad M = 1/(3.55\gamma - 1.59) = 1/z_e \quad (8)$$

$z = 0.99z_e$ のとき平衡となると仮定すると、無次元平衡洗掘深到達時間、 $T_e = u_{tc} t_e / hnp$ は、(6)式から得られる。

$$T_e = \frac{3\alpha(1-\lambda)}{-\alpha\beta\gamma} \frac{1}{2(n+1)M} \left(\frac{hnp}{dm}\right) \ln l = F_2(\gamma) \quad (9)$$

ここに、 $l = [(1-Mz) \exp(Mz)]_{z=0.99z_e} = 0.03$, $a, n, \alpha, \beta, \lambda$ は定数であり、乱流であるので γ_e もほぼ定数とみなし、さらに、 hnp/dm は、 γ に含まれることから、 $T_e = F_2(\gamma)$ の関係が推論される。

(9)式の間係を、洗掘発生限界、及び平衡洗掘深到達時間の実験値を用いて調べた結果次の実験式が得られた (Fig. 2 参照)。

$$T_e = 8.02 \times 10^7 \gamma^{14} - 10^3$$

$$\frac{-\alpha\beta\gamma}{3\alpha(1-\lambda)} 2(n+1)M\left(\frac{dm}{hnp}\right) = \frac{\ln l}{8.02 \times 10^7 \gamma^{14} - 10^3} = \frac{\ln 0.03}{T_e} \quad (10)$$

(6)式に、(8)、(10)式を代入すると次式が得られる。

$$\left(1 - \frac{z}{z_e}\right) \exp\left(\frac{z}{z_e}\right) = \exp\left(-3.51 \frac{t}{t_e}\right) \quad (11)$$

この式は、相対洗掘深 z/z_e と相対洗掘継続時間 t/t_e の関係を示す式である。

(11)式と実験値とを比較すると、Fig. 3が得られた。この図から、様々な仮定を設けたにもかかわらず、良い相関が得られていることが見られる。しかし、洗掘開始直後は、洗掘深の発達が著しいために、測定が行なえず、実験値は得られなかった。

4. お す び 洗掘現象を単純化して、理論的考察を行なった結果、平衡洗掘深、その到達時間などを支配する因子が γ であることが分かり、洗掘深の時間的な発達が(11)式で表わされた。しかし、今回の研究は、橋脚周辺の洗掘現象としては橋脚幅が一定という特別な場合についての研究であり、今後、橋脚幅や、様々な仮定をさらに検討してゆき、実際の洗掘現象に近い解を求めるつもりである。

記 号 : hnp : 橋脚設置断面の設置前水深, g : 重力加速度, ρ_s, ρ : 水、砂礫の密度

参考文献 : 1) 栗津清蔵: 橋脚の周りの洗掘についての検討, 第28回土木学会年講, 昭和48年 2) 鈴木幸一: 円柱橋脚周辺の静的洗掘に関する研究, 土木学会論文報告集, 第313号 1981年 3) Carstens, M.R. :

Similarity Laws for Localized Scour, Proc. of A.S.C.E., Vol. 92, HY3, 1966

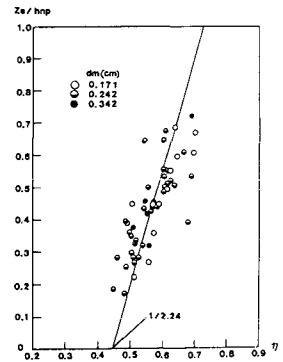


Fig. 1

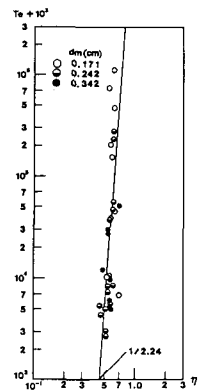


Fig. 2

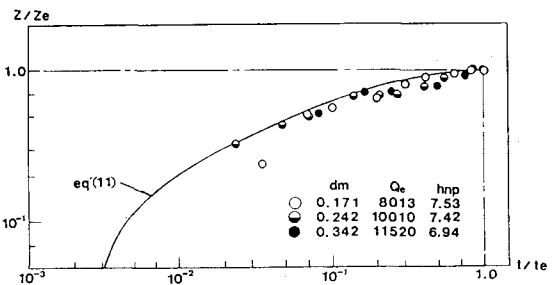


Fig. 3