

II-192 狭窄部周辺の洗掘深の発達について

東京電力(株) 正員 藤谷昌弘
 日大大学院理工 学生員 小田 晃
 日大理工 正員 栗洋清蔵

1. ま え が き 橋脚や水制周辺の洗掘深の時間的発達に関する研究は、従来から多く行われていた。しかしながら、水路幅が徐々に変化する狭窄部については、明らかになっていない。そこで本研究は、狭窄部を対象として、洗掘発生限界時の水深 A_{n*} に注目し、洗掘孔内の流砂の連続式から、近似解を求め、それと実験値とを比較し、一次元解析の立場から、実験値を整理し、それら洗掘深の時間的発達について検討を行うものである。ただしここでは、Clear Water Scour を対象とした。

2. 実験装置及び実験条件 実験水路は、長さ20m、幅36.9cmの長方形断面開水路であり、水路中央部に長さ4m、厚さ13cmの一枚粒径移動床を形成した。使用した砂礫の平均粒径は、 $d_m = 0.171, 0.242, 0.342$ cm 流量 $Q = 16, 17, 18$ g/s 模型は表-1に示す。

表-1

d (cm)	l (cm)	MODEL
4	100	
6	150	
8	200	

3. 理論的考察及び結果 流砂の連続式は、 $\int \rho_s \alpha dS = (1-\lambda) \alpha V$ (ρ_s : 砂礫の通過量, λ : 砂礫の空隙率) であり、これを基に解析を行う。仮定として、まず洗掘孔体積 V と L について考察する。狭窄部周辺での洗掘孔形状が、橋脚や水制と異なり、また砂礫の移動が、最小通水幅 b の全断面において、発生していることが観察された。そこで、ある最大洗掘深 a_s において、 V と b の関係を調べると、図-1に示される関係になることがわかった。従って V は、 b と a_s の積で表わされるものとして実験値を整理すると、図-2が得られ、 V は b と a_s の積に比例することが明らかになった。以上より V と L は、次のように表わされる。

$$V = ab a_s^2, \quad L = b \tag{1}$$

ここで、 a は比例定数である。次に単位幅当たりの流砂量 ρ_s と洗掘孔内の平均摩擦速度 u_{*s} に関しては、小田・栗洋の研究より、次のように表わされる。

$$\frac{\rho_s}{u_{*s} d_m} = \beta \psi_c \left\{ \left(\frac{u_{*s}}{u_{*c}} \right)^2 - 1 \right\}, \quad u_{*s} = u_{*c} \left(\frac{A_{n*}}{A_n + A_s} \right)^p \tag{2}$$

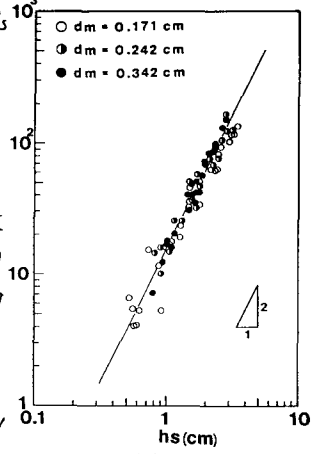
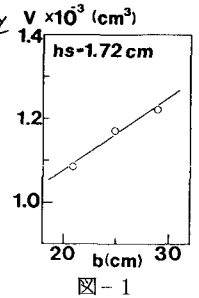
ここで、 β は比例定数、 u_{*c} は砂礫の限界摩擦速度、 $\psi_c = u_{*c} / \{ (\rho_s / \rho - 1) g d_m \}^{1/2}$ 、 A_n は normal flow の水深である。そこで、(1)(2)式を流砂の連続式に代入し、 A_s と時間 T の関係を求める。また無次元洗掘深 $H = (A_n + A_s) / A_{n*}$ 、洗掘開始時の H を $H_0 = A_n / A_{n*}$ 、無次元時間 $T = u_{*c} T / A_{n*}$ とし連続式を無次元化し積分すると、(3)式となる。

$$T = \frac{2a(1-\lambda)}{\beta \psi_c} \frac{A_n}{d_m} \int \frac{H - H_0}{1 - H^{2p}} \frac{H^{2p}}{H_0} dH + C \tag{3}$$

(3)式において、積分定数は $T=0$ のとき $H=H_0$ より $C=DT$ である。また積分部分について、級数展開を行い高次の項を無視して近似解を求める。ここで、 H の代わりに、 $N = (1-H_0)/(1-H)$ を用いて近似解を $F(N, H_0, P)$ と置くと、(3)式は(4)式となる。

$$T = \frac{2a(1-\lambda)}{\beta \psi_c} \frac{A_n}{d_m} \cdot F(N, H_0, P) \tag{4}$$

次に平衡時の N について考えると、変数 H は $H=1.0$ となる。しかしここでは、 N が無限大になる。そこで、平衡洗掘深は粒径分を残したときと仮定し $H=1.0-H_0/d_m$



とする。この h_e を N に代入すれば、平衡時の $N=N_e$ は次のようになる。

$$N_e = \frac{1 - H_0}{1 - H_e} = \frac{An}{dm} \cdot \frac{1 - H_0}{H_0} \quad (5)$$

(5)式を(4)式に代入することにより求めた T_e と N_e を用いて、洗揺深と時間の相対的变化を示す式は、次のように表わされる。

$$\frac{T}{T_e} = \frac{F(N, H_0, P)}{F(N_e, H_0, P)} \sim \frac{N}{N_e} \quad (6)$$

(6)式を基に、実験値を整理すると、図-3が示され、この近似解は、比較的良く一致していることが示された。

4. 次元解析及び結果 次元解析の考察から、平衡洗揺深に達する時間 t_e は、次式により示されるものと推論される。

$$f\left\{\frac{U_* t_e}{An^*}, \frac{An}{dm}, \frac{z^0}{B}(=K), \psi\right\} = 0 \quad (7)$$

(7)式により、実験値を整理すると、図-4が示され、(8)式が得られた。

$$\frac{U_* t_e}{An^*} = T_e = (-0.036 \frac{An}{dm} + 13.8K + 1.65) \times 10^4 \quad (8)$$

$$0.217 \leq K \leq 0.434, 25.7 \leq \frac{An}{dm} \leq 93.3, A < An^*$$

洗揺深の時間的発達については、実験値を相対洗揺深 h_s/Ase と相対時間 t/t_e で整理すると、ほぼ対数変化することが観察された。そこで次のように表わされるものと推論される。

$$\frac{h_s}{Ase} = \left(\frac{t}{t_e}\right)^J \quad (9)$$

この J については、 t_e 同様 (7) 式の関数形が関係しているとして実験値を整理すると、図-5が示され、(10)式が得られた。

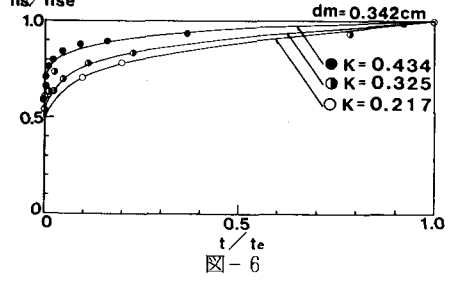
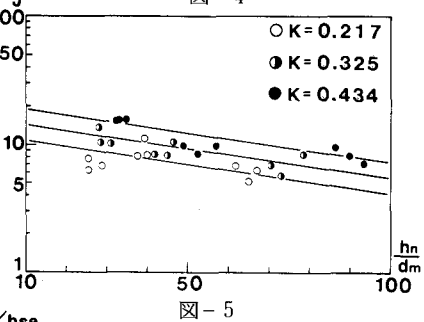
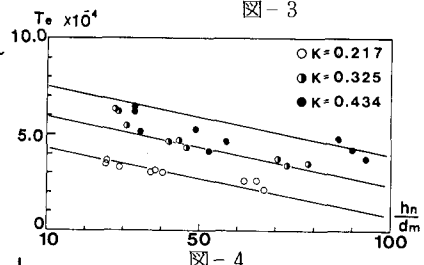
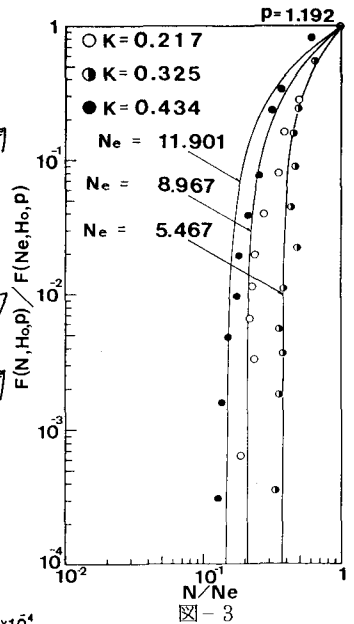
$$J = 10(-4.40 \times 10^{-3} \frac{An}{dm} + 1.15K + 0.811) \quad (10)$$

$$0.217 \leq K \leq 0.434, 25.7 \leq \frac{An}{dm} \leq 93.3, An < An^*$$

(10)式を、(9)式に代入し、実験値と比較すると、図-6が示され、この式は、実験値と比較的良好一致していることが示された。

5. まとめ 流砂の連続式を用いて解析する場合、狭窄部では、仮定として、 $V=abAs^2$ 、 $L=b$ とおくことにより、(6)式は、比較的良い近似を示すことがわかった。また次元解析による考察では、無次元項として、 $\frac{An}{dm}$ と $\frac{z^0}{B}(=K, \text{収縮比})$ に注目することにより、図-4、図-5に示されるような実験式(8)・(9)式が得られた。今後は、近似解および支配因子とつる無次元項について、検討を行い、より広い範囲について実験を行う必要があると思われる。

なお、本研究を行うにあたり、実験および解析に協力いただいた昭和60年度日本大学卒業研究生の大塚光明(静岡県庁)大川真佐雄(大成建設)坂井健(大日コンサルタント)並花隆志(市川伊役所)諸君に感謝の意を表します。(注)添字の e は、平衡状態時を示す。



参考文献
 (1) 鈴木:「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
 (2) 橋・斎藤:「突堤による河床洗掘について」山口工科大学報告第20巻, 第1号, 1969
 (3) 粟津:「局所洗掘発生限界の工学的意義」土木学会年報 853
 (4) 粟津:「水路狭窄部の局所洗掘について」土木学会年報 856
 (5) 粟津:「水路狭窄部の局所洗掘について(第2報)」土木学会年報 857
 (6) 小田・粟津:「橋脚周辺における洗掘家の発達について」土木学会年報 860