

II-191 局所洗掘の発達について（第2報）

日大大学院理工 学生員 小田 晃
日大理工 正員 粟津 清蔵

1. ま え が き

前報において、着者らは、流砂の連続式と流砂量式、並びに粟津の研究²⁾を基礎にして、 $V \propto h_s^3$ 、 $L \propto h_s$ 等の仮定のもとで、単一橋脚周辺における洗掘深の発達について検討を行い、洗掘初期を除いてほぼ満足する結果を得た。本報では、理論的考察に若干の検討を加え、単一水制をモデルに用いて相対洗掘深と相対時間の関係について解析を行った。

2. 実験装置及び実験条件

実験に用いた水路は、長さ620 cm 幅40 cmの長方形断面水路であり、水路中央部に、長さ135 cm 厚さ14 cmの一様粒径から成る移動床を形成した。水制板は真ちゅう製で、厚さ0.3 cm 幅 $d=3, 6, 9$ cmの3種類、砂礫は平均粒径 $dm=0.171, 0.242, 0.342$ cmの3種類を用いた。なお、最大洗掘深は、実験により水制先端部で発生することが観察されたので、その点において任意の時間の洗掘深を測定した。

3. 理論的考察

Clear Water Scour の条件のもとで、洗掘深の時間的発達の近似解は次式のように得られた。

$$T = \frac{3\alpha(1-\lambda)}{b\beta\varphi_e} \frac{h_{nk}}{dm} F(H, H_0, P), \quad \varphi_e = \frac{U_{kc}^2}{\{(R/P)-1\}gd_m} \quad (1)$$

ここに、 $H=(h_n+h_s)/h_{nk}$ 、 $H_0=h_n/h_{nk}$ 、 $T=U_{kc}t/h_{nk}$ である。式(1)で示された近似解 $F(H, H_0, P)$ は、級数展開における高次の項を無視して近似を行ったことにより、 $H=H_0$ のとき、 $F(H_0, P)$ という残差の項を生じる。そこで、この項を考慮して、 $I=F(H, H_0, P)-F(H_0, P)$ と置けば相対時間は次式で表わされる。

$$T/T_e = t/t_e = I/I_e \quad (2)$$

添字の e は平衡状態を表わす。ここで、洗掘深の発達は、洗掘孔内部の流況や、局所流の性質、また各構造物によって大きく異なると予想される。そこで、それらの影響を考えて、式(2)を次のように仮定する。

$$\frac{t}{t_e} = \left(\frac{I}{I_e}\right)^r, \quad r \text{ は定数} \quad (3)$$

次に相対洗掘深 h_s/h_{se} と相対時間の関係を表わす近似解 I/I_e は複雑であるので簡単化を試みる。式(2)で表わされる一般式から、洗掘深の発達に支配的であると思われる項を選び、次式のように推論する。ただし、平衡時の無次元洗掘深 He は、粒径分の誤差を考えて、 $He=(h_n+h_{se}-dm)/h_{nk}=1.0-H_0dm/h_n$ 、 $h_{nk}=h_n+h_{se}$ とする。

$$\frac{t}{t_e} = f\left(\frac{h_s}{h_{se}} \left(\frac{H}{He}\right)^{p+1} \frac{\ln(1-H^{2p})}{\ln(1-He^{2p})}\right) \quad (4)$$

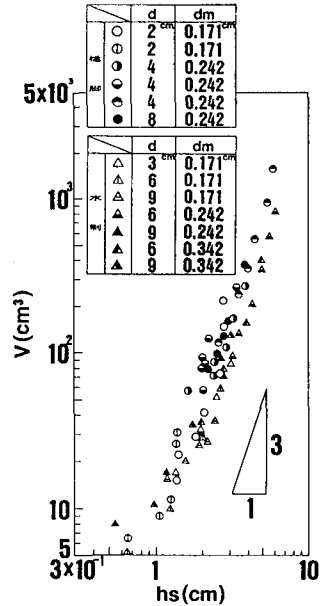


図-1 洗掘孔体積と洗掘深の関係

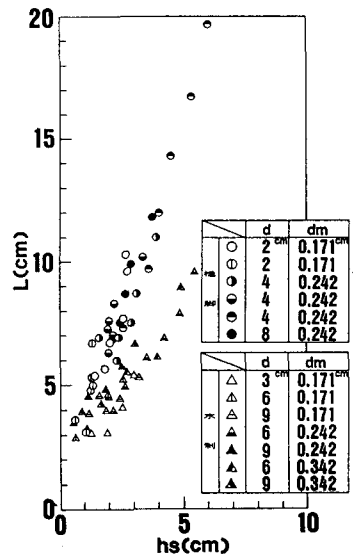


図-2 流砂の通過幅と洗掘深の関係

4. 実験結果

洗掘孔体積 V と砂礫の通過幅として考えた洗掘孔の幅 L が、洗掘深 h_s に比例するかを等高線をもとに調べたところ、図-1、図-2が得られ、橋脚の場合と同様に、 $V \propto h_s^3$ 、 $L \propto h_s$ の成立が示された。次に、式(4)の関係を実験値をもとに整理したところ、図-3が示され、式(4)は次のように表わされることと理解される。

$$\frac{t}{t_e} = \left\{ \frac{h_s}{h_{se}} \left(\frac{H}{H_e} \right)^{p+1} \frac{\ln(1-H^{2p})}{\ln(1-H_e^{2p})} \right\}^2 \quad (5)$$

ここで、式(3)と式(5)より次の関係が得られる。

$$\frac{t}{t_e} = \left(\frac{I}{I_e} \right)^r = \left\{ \frac{h_s}{h_{se}} \left(\frac{H}{H_e} \right)^{p+1} \frac{\ln(1-H^{2p})}{\ln(1-H_e^{2p})} \right\}^2 \quad (6)$$

上式より、 $r=2.0$ として数値計算を行い、実験値と比較したところ、図-4に示されるように良い相関が得られた。次に、式(5)右辺を用いて一般式の簡単化を行う。まず、実験値の平均値より $dm/h_n = 0.02$ として $H_e = 1.0 - 0.02 H_0$ と置き、 H_0 をパラメーターにして数値計算を行った。その結果、図-5が示され h_s/h_{se} と t/t_e の関係式が次のように求まった。

$$\frac{t}{t_e} = \exp \left\{ \frac{(h_s/h_{se}) - 1}{\exp\{2(H_0 - 1.77)\}} \right\}, \quad H_0 \geq 0.5 \quad h_s/h_{se} \geq 0.2 \quad (7)$$

上式を、実験値と比較した図が、図-6である。

5. まとめ

洗掘深の時間的発達に関して、構造物の違いや洗掘孔内部の流況の変化等を考慮するための係数 r を実験値をもとに図-3より、 $r=2.0$ が推測された。それを用いて、一般式を計算し、実験値と比較したところ、図-4のように良い相関が得られ、 $r=2.0$ の妥当性が確認された。また、一般式の簡単化により式(7)が求まり、 $h_s/h_{se} \geq 0.2$ 、 $H_0 \geq 0.5$ の範囲において、図-6に示される直線で、洗掘深の時間的発達を表わされ、良い結果が得られた。

最後に、実験に協力して頂いた昭和六十年度卒研、神戸康宏君、斉藤幸司君、鈴木達也君、鶴田正樹君に感謝の意を表します。

(記号説明) a, b, β : 定数 h_m : 水深 h_{nk} : 洗掘発生限界時の水深 h_s : 洗掘深 p : 対数則の指数式への近似に関する変数であり本実験では $p=1.192$ である。 t : 時間 U_{bc} : 砂礫の限界摩擦速度 λ : 砂礫の空隙率

(参考文献) 1) 小田・粟津: 橋脚周辺における洗掘深の発達について, 第40回土木学会年講, 昭60 2) 粟津: 局所洗掘発生限界の工学的意義, 第33回土木学会年講,

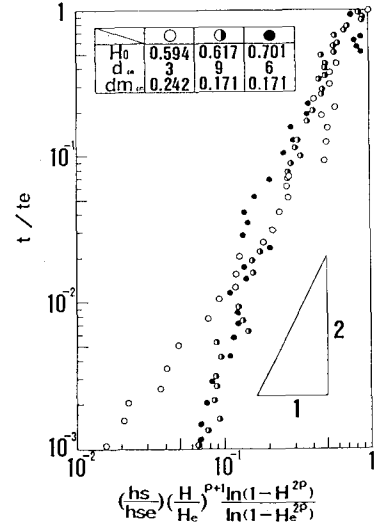


図-3

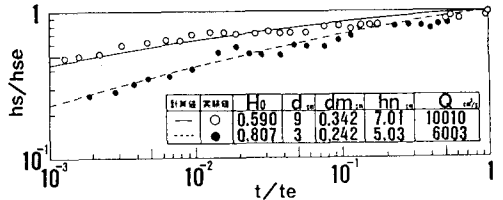


図-4 相対洗掘深と相対時間の関係

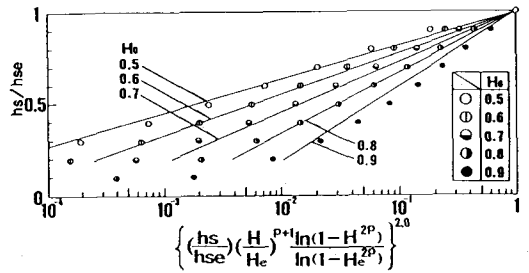


図-5

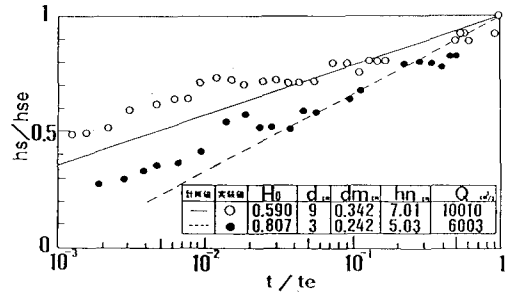


図-6 相対洗掘深と相対時間の関係