

II-275 橋脚周辺の水理特性に関する実験的研究(1)

洗掘深の経時変化特性

京都大学防災研究所 正員 大年 邦雄

京都大学防災研究所 正員 今本 博 健

1. はじめに：河道内に橋脚が設置されると、その形状、大きさ、配置に応じて橋脚周辺の水理特性は設置前とはかなり異なったものとなり、橋脚、流れおよび河床特性の相互作用によって局所的な河床変動(洗掘・堆積)を生じる。局所洗掘現象は橋脚自体の安全性に係る極めて重要な現象であるため、従来より数多くの研究が続けられているが、従来より指摘されている局所洗掘形態¹⁾のうち、静的洗掘(clear water scour)では洗掘の進行が遅く平衡状態も明確ではないため、洗掘深の経時変化特性を明らかにすることが重要であるのに対し、動的洗掘(scour with continuous sediment motion)では比較的短時間で平衡状態に達したのち河床波の進行にともなって洗掘深が変動するため、その変動特性を検討することが必要となる。

本研究は、橋脚周辺の水理特性を明らかにする第一段階として、静的洗掘における洗掘深の経時変化特性について検討したものであるが、全洗掘時間を対象とした洗掘深の経時変化特性に重点を置いている。

2. 実験的検討：橋脚周辺の局所洗掘現象は、流れ、河床材料および橋脚に関する種々の物理量に支配されるが、中川ら²⁾の研究を参考にして円柱橋脚前面に生じる最大洗掘深を規定するパラメータを次元解析によって検討すると式が得られる。³⁾

$$\frac{1}{\sqrt{sgd}} \frac{dz_s}{dt} = f_N(N_s) = \frac{U}{\sqrt{sgd}}, \frac{H}{D}, \frac{D}{d}, \frac{z_s}{D} \quad (1)$$

ここに、 z_s は時間 t における最大洗掘深、 D は円柱径、 U および H は接近流の平均流速および水深、 d は砂粒径(一様粒径)、 $S = \rho_s/\rho - 1$ である。

実験は³⁾、上式に含まれるパラメータに着目し、 N_s , H/D , D/d を系統的に変化した条件下で実施し、超音波河床計を用いて円柱前面の洗掘深を計測した。図-1~3は、得られた計測結果の教例を無次元時間 Ut/D に対して示したものである。各図に示された洗掘深の増大過程および実験時の目視観察より、1)円柱前面の下降流による急激な初期洗掘過程、2)洗掘深の発達過程、3)洗掘深の増大速度 dz_s/dt が非常に小さくなる平衡状態への移行過程、が認められるが、平衡状態($dz_s/dt = 0$)の存在は通水時間内では明確でない。これらの図より、洗掘過程をたとえば上記した1)~3)のように分割する取扱いは、明確な分割基準にも問題が残し、妥当であるとは言えないと考えられる。

全洗掘時間に対する洗掘深の増大過程を定式化したものとしては、Torsethagen⁴⁾による次

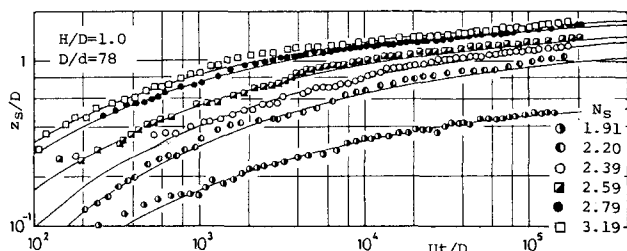


図-1 洗掘深の経時変化 (N_s 変化)

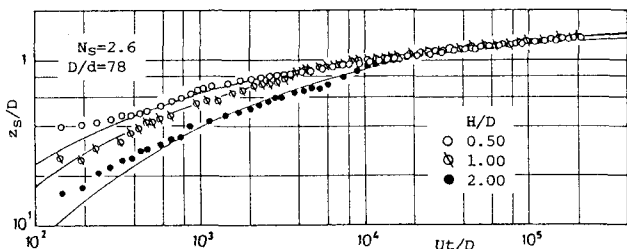


図-2 洗掘深の経時変化 (H/D 変化)

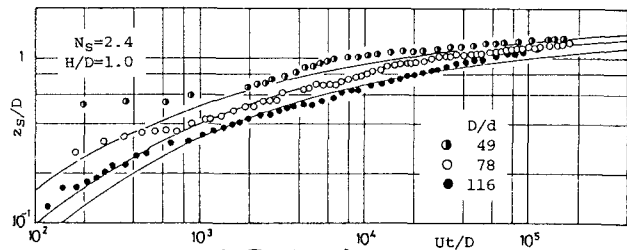


図-3 洗掘深の経時変化 (D/d 変化)

式が導かれる。

$$\frac{z_s}{z_{se}} = \exp \{ -(t/t_0)^{-\alpha} \} \quad (2)$$

ここに、 z_{se} は平衡洗掘深、 t_0 は $\frac{z_s}{z_{se}} = \frac{1}{e} = 0.362$ となる
ときの時間、 α は定数である。上式は、ポリスチレン粒子
を河床材料として行われた実験より得られたものであ
る。上式を本実験結果に適用すると、 $\alpha=0.3$ とおけば
良好な適合性を示すことがわかった。(図-1~3の曲線は
 $\alpha=0.3$ としたものである。)そこで、式(2)を計測値に適用
して評価される z_{se} と t_0 がパラメータ $N_s, H/D, D/d$ と
どのような関係にあるかを検討した。

図-4~7は、それぞれ、 z_{se} および t_0 とこれらのパラメ
ータとの関係を示したものであって、以下の特性が認め
られる。図-4に示した平衡洗掘深と円柱径との比 z_{se}/D
は、 $H/D=1.0, D/d=78$ のものに見られるように、 N_s の
増大とともにほぼ直線的に増大するが、その直線関係に
は H/D および D/d が関係し、同一の N_s に対しては、 H/D
の大きいほどまた D/d の小さいほど z_{se}/D は大きいこと
を示している。一方、無次元時間 $\sqrt{sgd} \cdot t_0/D$ は、 N_s の増
大とともに減少し、図-5の $H/D=1.0, D/d=78$ のものに
対しては図中の直線で

$$\sqrt{sgd} \cdot t_0/D = \exp(aN_s + b), \quad a, b \text{ は定数} \quad (3)$$

また t_0 に及ぼす H/D および D/d の影響を見ると、同図の $N_s=2.6, D/d=78$ お
よび $N_s=2.4, H/D=1.0$ のものに對してそれぞれ図-6および図-7が示され、

$$\sqrt{sgd} \cdot t_0/D \sim (H/D)^p, \quad \sqrt{sgd} \cdot t_0/D \sim (D/d)^q \quad (4)$$

の関係が認められる。ここに p および q は定数である。

式(4)より、式(3)に含まれる定数 a, b は H/D および D/d の関数であることが
わかるが、実験ケースが少ないため検討されおらず、今後式(3)に關して検
討する必要がある。

3. おわりに：静的洗掘における最大洗掘深の経時変化は、全洗掘時間に対
して式(2)で良好に表わされ、式に含まれる z_{se}, α, t_0 の特性もある程度明
らかにされた。式(2), (3)より、洗掘深の増大速度は式(5)のように表わされる。

$$\frac{dz_s}{dt} = \frac{\alpha \sqrt{sgd}}{\exp(aN_s + b)} \cdot \frac{z_s}{D} \cdot \left\{ \ln \left(\frac{z_{se}}{z_s} \right) \right\}^{\frac{\alpha+1}{\alpha}} \quad (5)$$

流量および水深が時間的に変化する非定常時々の洗掘深の評価には、 $\frac{dz_s}{dt}$
を定式化しておくことが必要であるが、式(5)は静的洗掘状態を対象としたも
のである。今後は動的洗掘状態について取扱う必要がある。

参考文献：1) Shen et al.; Proc. ASCE, Vol. 95, HY6, 1969. 2) 中川 S; 土木学会論文報告集, 第19号, 1961.

3) 今年大年; 京大防災研年報, 1983, (投稿予定)

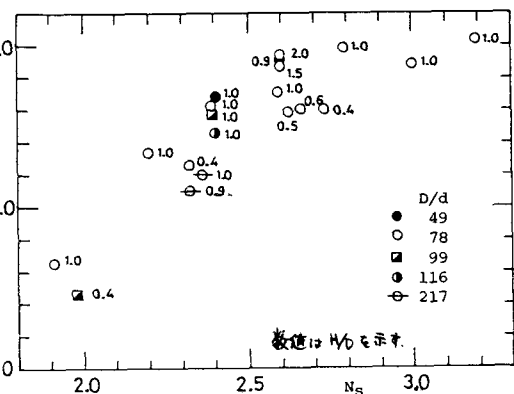


図-4 平衡洗掘深 z_{se}/D と N_s との関係

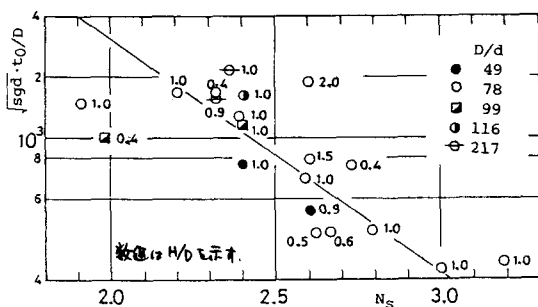


図-5 無次元特性時間 $\sqrt{sgd} \cdot t_0/D$ と N_s との関係

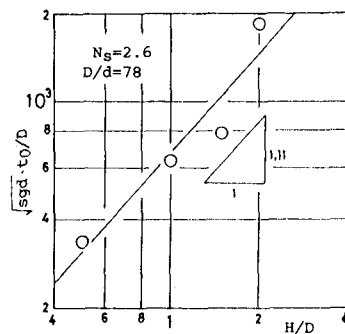


図-6 無次元特性時間 $\sqrt{sgd} \cdot t_0/D$ と H/D との関係

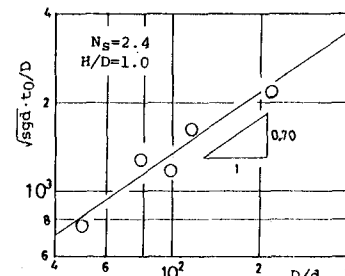


図-7 無次元特性時間 $\sqrt{sgd} \cdot t_0/D$ と D/d との関係