

不透過水制周辺の最大洗掘深の予測法について

日本建設コンサルタント(株) 正会員 ○木下俊介 鳥取大学 フェロー 道上正規
鳥取大学工学部 正会員 檜谷 治 鳥取大学大学院 学生員 足立慎吾
North Sinai Development Organization 正会員 Emad Elsayed Elawady

1.はじめに

構造物周辺の局所洗掘に関して、実用上は最大洗掘深をいかに予測するかが重要であり、従来、簡単な現象把握に基づく物理モデルや、室内実験、現場検証データの収集に基づいた次元解析的手法により数多くの予測式が提案されている。しかし、越流型不透過水制に至っては、流れが強い三次元性を示し、非常に複雑な現象となるため、最大洗掘深の予測モデルはほとんど研究されていない。そこで、本研究では越流型不透過水制周辺の局所洗掘現象に関して、水深 h 、水制高 d 、水制長 b 等の局所洗掘の影響因子を変化させ局所洗掘の評価についての実験を行うとともに、最大洗掘深に関して簡単な予測モデルの構築を行った。さらに、静的洗掘、および非越流型水制などの他の水制における最大洗掘深に対して本予測式の適用を行った。

2.実験の概要

実験には幅 $B=40\text{cm}$ の矩形断面直線水路を用いた。長さ 4m にわたり平均粒径 $d_m=0.75\text{mm}$ の一様砂を敷き詰め、厚さ 1.5cm のアクリル製の水制模型を左岸に単独で設置した。水路勾配は、初期状態において等流となるように $1/2500$ に設定している。実験条件を表-1、2に示す。流量に関しては、無次元掃流力 $\tau_* = 0.079$ となるようにし、動的平衡状態となる通水 5 時間後の河床形状を測定している。

また、 $b=10\text{cm}$ 、 $d=5\text{cm}$ 、 $h=10\text{cm}$ の条件では、動的平衡状態において、河床を固定し流速測定を行った。

3.最大洗掘深の影響因子

予測式を構築するにあたり、最大洗掘深に影響する水制のパラメータについて検討を行う。水深 h 、水制高 d 、および、水制長 b を考慮するために、流れに対する水制の占める割合として、面積率 $\alpha (=1 \cdot bd/Bh)$ と最大洗掘深 Z_{max} の関係を図-1 に示す。流れに対して、水制の占める割合が多いほど最大洗掘深は大きくなる傾向にある。最大洗掘深の影響因子として、水制の面積、水深に対する水制高の割合、および面積率といった各パラメータについてそれぞれの影響度合を評価し、最大洗掘深を評価していく必要がある。

4.最大洗掘深の予測モデル

従来、非越流型水制の静的洗掘における予測モデルとして、村本・RAHMAN ら¹⁾によるモデルが提案されている。このモデルを越流型水制に拡張し、最大洗掘深の予測モデルについて再検討を行う。図-2 のように水制設置位置の洗掘孔横断面を台形断面と仮定し、上流側一様流における水制高 d までの流入流量が水制先端部において水制高 d までの集中流量に等しい仮定すると、次式(1)が得られる。

$$(b + \beta b_s) du = \beta b_s (d + z_{max}) u_s \cdots \cdots (1)$$

ここに、 u :上流側一様流の平均流速、 u_s :流量集中部の平均流速である。

表-1 実験条件

水制高 $d(\text{cm})$	水制長 $b(\text{cm})$	下流端水深 $h(\text{cm})$
2.5	10	5,6,7,8,10,13
5	10	6,8,10
7.5	10	8,10
2.5	5	5,6,7,8,10,13
2.5	15	5,6,7,8,10,13

表-2 実験条件

摩擦速度 $u_*(\text{m/sec})$	0.031
マンニングの粗度係数 n	0.014
限界摩擦速度 $u_{*c}(\text{m/sec})$	0.022
無次元限界掃流力 τ_{*c}	0.040

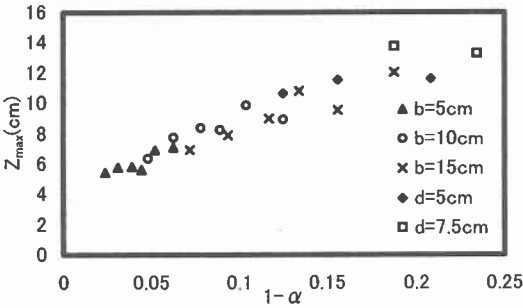


図-1 Z_{max} と α の関係

まず、 b_s は洗掘孔の底面幅である。従来、橋脚における底面幅として、橋脚径の 0.25 倍となっており、越流型水制に対してもこれをほぼ適用できるとし、 b_s を b, d, h の関数として式(2)に示す。

$$b_s = 0.2b + 0.2d \times h/b \cdots \cdots (2)$$

つぎに、 β は流量の集中領域を示す変数である。水制先端部では、 h/d が小さいほど先端部に集中しやすくなるため、 h/d の関数で表す。また、流速測定の結果($h/d=2$)から、底面幅 b_s の 1.5 倍程度までの領域において、上流側一様流の 1.4 倍の流量が集中している。この結果から $h/d=2$ において $\beta=1.5b_s$ となるように変数 β を換算し、式(3)で表す。

$$\beta = 1 + d/h \cdots \cdots (3)$$

一方、式(1)は平均流速の比として u/u_s を算出するが、平均流速は対数則分布に従うと仮定する。また、それぞれ、水制高 d までの鉛直分布を考慮する必要がある。水制先端部の平均流速については、芦田・道上式を用いて、動的平衡状態における流砂量を算定した結果、水制先端部において上流側単位幅流砂量程度の流砂となった。このことから、平均流速の比は式(4)で表す。

$$\frac{u}{u_s} = \frac{\frac{u_s}{\kappa} \left(\ln \frac{d}{k_{s1}} - 1 + \frac{k_{s1}}{d} \right) \times \frac{1}{\alpha}}{\frac{u_s}{\kappa} \left(\ln \frac{z_{\max} + d}{k_{s2}} - 1 + \frac{k_{s2}}{z_{\max} + d} \right)} = \frac{\left(\ln \frac{d}{k_{s1}} - 1 + \frac{k_{s1}}{d} \right) \times \frac{1}{\alpha}}{\left(\ln \frac{z_{\max} + d}{k_{s2}} - 1 + \frac{k_{s2}}{z_{\max} + d} \right)} \cdots \cdots (4)$$

なお、上流側一様流に対して面積率 α で除しているが、これは、幅の狭い水路に対して水制長が大きくなった場合、縮流の影響を考慮し水路幅の広い水路へ換算するためである。

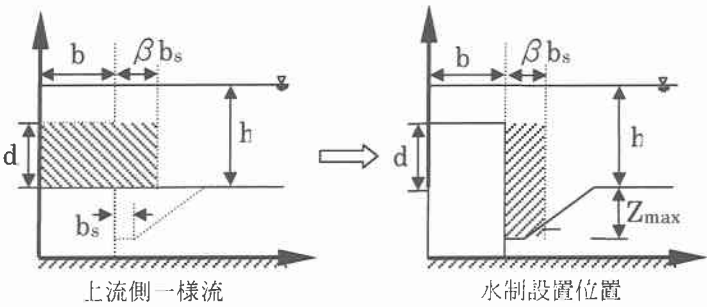
本予測モデルの予測結果として、 $Z_{\max}$ を水深 h で無次元化し図・3 に示す。図中には同様の実験結果^{2),3)}、静的洗掘実験結果⁴⁾、非越流型水制の実験結果⁵⁾に対する計算結果もプロットしている。静的洗掘では、水制先端部の平均流速を砂粒の移動限界流速とし式(4)へ適用することで算出している。また、非越流型に対しては、水制高 d を水深 h に変換することで適用した。図より、いずれの実験結果に対してもある程度の精度で予測できており、本予測法の妥当性が確認された。

5.まとめ

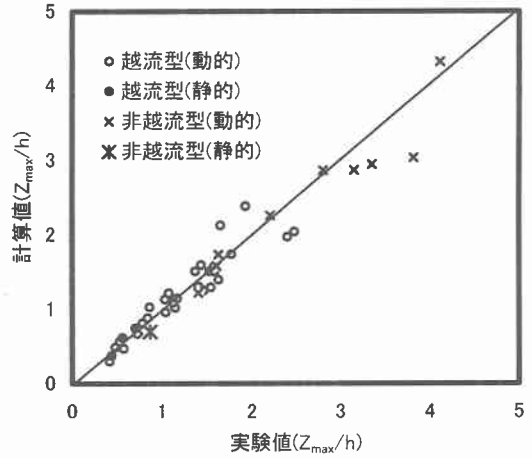
最大洗掘深の予測モデルとして、水制設置位置洗掘孔断面を台形断面と仮定し、上流側一様流と水制先端部の流量の連続関係から予測式を構築した。底面幅 b_s 、流量の集中領域、平均流速の比 u/u_s を変数として、水路幅の狭い場合においても適用できた。

【参考文献】

- 1)村本ら：突堤状河川構造物周辺における最大洗掘深の簡易予測法、土木学会論文集、2000、pp.31-43.
- 2)福岡ら：越流型水制周辺の流れと河床変動、水工学論文集、1998、pp.997-1002.
- 3)秋草ら：水制に関する研究、土木研究所報告第 170 号、1960.
- 4)大本ら：越流型水制群に対する二次流と流砂の応答、水工学論文集、1998、pp.1003-1008.
- 5)道上ら：水制周辺の 2 次元河床変動計算に関する研究、水工学論文集、1992、pp.61-66.



図・2 台形断面の模式図



図・3 予測式の計算結果