

ゲート直上流で生じる静的洗掘の経時変化に関する検討

電力中央研究所 正会員 太田 一行  
電力中央研究所 正会員 佐藤 隆宏

1. 序論

排砂門・洪水吐きゲートのようにゲートを有する構造物の直上流では、縮流に伴い土砂が巻き上げられることで局所洗掘が生じる。貯水池内の堆砂量・濁度を管理する上で洗掘形状の把握は重要であるが、ゲート直上流での洗掘特性についてはあまり知られておらず、洗掘形状を定量的に予測できるモデルを開発する必要がある。本研究では、洗掘形状の予測モデルを開発するための前段階として、ゲート直上流における静的洗掘の経時変化特性を検討した結果を報告する。

静的洗掘の経時変化特性は、実験的に多く研究されてきた。しかし、経時変化特性を示す普遍的な関数型は存在せず、異なる関数型が提案されてきた(表-1)。この理由の一つとして、静的洗掘が長時間に渡る現象であるにも関わらず、限られた通水時間で得られた実

験データにフィットする関数型が選ばれてきたためであると考えられる。このため提案されてきた実験時間を越えた領域での外挿性については、必ずしも十分に考慮がなされていない。よって本研究では、静的洗掘過程をまず1次元に単純化して考え、侵食過程に関する数値実験を行う。そして、長時間に渡る水深の時間変化に既往の関数型を曲線適合させ、関数型について比較検討する。次に、ゲート直上流における洗掘の移動床実験を行い、数値実験の結果より選定した関数型の適合性を調べるとともに、洗掘特性を検討する。

2. 数値実験による関数型の検討

(1)解析方法および条件 流れを一定流量かつ一定水位の定常流として扱い、掃流砂と浮遊砂を考慮した流砂の連続式によって、単位幅直線水路における一様砂の一次元河床変動を計算する。上流端境界から土砂を供給させていないため、水路内では経時的に侵食が進行する。なお、河床位が流路方向に変化しないように、流路方向に河床位を平均化して計算を行っている。中央粒径 $d_{50} = 0.2 \sim 0.7 \text{mm}$ 、初期流速 $U_i = 0.6 \sim 1.4 \text{m/s}$ 、初期水深 $h_i = 0.4 \sim 1.4 \text{m}$ の範囲内で計算を行い、平衡状態(24時間経過後の水深変化が $0.1d_{50}$ 以下)に達するまで計算を行った。侵食長を1mとして60ケースの数値実験を行っている。

(2)解析結果 数値実験で得られた侵食深 $(h - h_i)$ を平衡時での値 $(h_f - h_i)$ で無次元化し、表-1の関数型を非線形最小二乗法によって曲線適合する。図-1は結果例で、横軸の $T (= tu_{*c}/h_i)$ は無次元時間である。他の関数に比べて、関数Dがプロットへの適合度が高いことが分かる。この理由は関数Dが柔軟な曲線形状を表現でき、

表-1 静的洗掘の経時変化特性を示す関数型

関数型	係数の数	説明
関数(A) $a \log(T)$	1	対数関数型 <sup>1)</sup>
関数(B) $aT^b$	2	累乗関数型 <sup>2)</sup>
関数(C) $\exp\{-a(\log(T))^b\}$	2	指数・対数・累乗関数の組み合わせ型 <sup>3)</sup>
関数(D) $1 - \exp\left\{-\left(\frac{T}{a}\right)^b\right\}$	2	ワイブル累積分布関数型 <sup>4)</sup>

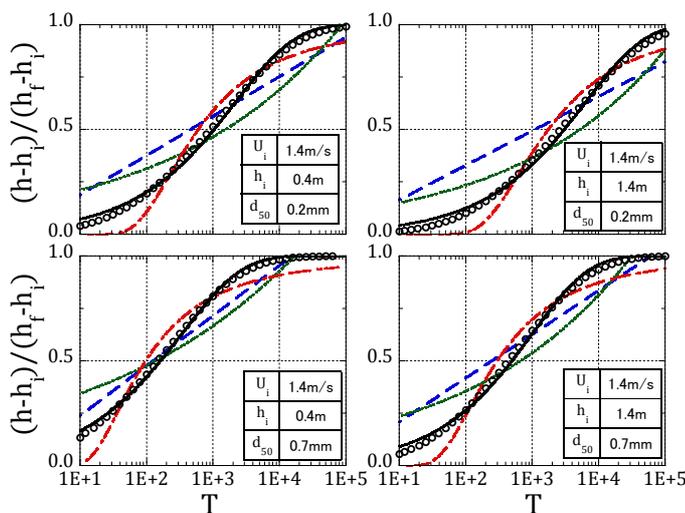


図-1 侵食深の無次元量 $(h - h_i)/(h_f - h_i)$ への曲線適合(プロット:数値実験,破線:関数A,点線:関数B,一点鎖線:関数C,実線:関数D)

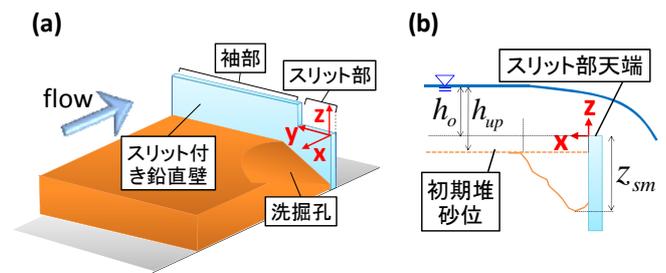


図-2 スリット付き鉛直壁の概略図

キーワード 静的洗掘, ゲート直上流, 静的平衡状態, 移動床実験

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1 6 4 6 電力中央研究所 TEL 04-7182-1181

表-2 実験ケース

Run	Q	Q <sub>sl</sub>	s	d <sub>50</sub>	d <sub>84</sub> /d <sub>16</sub>	h <sub>up</sub>	h <sub>o</sub>	U <sub>sl</sub> /u <sub>*c</sub>
(-)	(l/s)	(l/s)	(-)	(mm)	(-)	(mm)	(mm)	(-)
S05	5.0	3.2	1.63	0.22	1.3	99	74	45
S06	6.0	3.5	1.63	0.22	1.3	95	76	47
P03	3.0	2.6	0.41	0.77	1.2	88	65	60
P04	4.0	2.9	0.41	0.77	1.2	90	68	64
P05	5.0	3.2	0.41	0.77	1.2	99	74	65

Q: 流量, Q<sub>sl</sub>: スリット部通過流量, s: 水中比重, d<sub>50</sub>: 中央粒径, d<sub>84</sub>/d<sub>16</sub>: 粒度分布の標準偏差, U<sub>sl</sub>/u<sub>\*c</sub>: 限界摩擦速度に対するスリット部通過流速

時間無限大で漸近値を有するためである。比較検討から、関数 D が静的平衡状態への漸近過程を表現する関数型に適していることが分かる。

3. ゲート直上流での静的洗掘に関する移動床実験

(1)実験方法および条件 実験は、長さ10.5m、幅0.50m、高さ0.35mの水路で行われた。水路上流端から6.35m下流までの区間に固定台(木製、高さ0.15m)を設置し、固定台末端から0.65m下流の位置にスリット付き鉛直壁(アクリル製)を設置している。固定台と鉛直壁の間に、一様粒径の河床粒子(高さ0.175m)が敷き詰められている。図-2はスリット付き鉛直壁の概略図で、図-3(a)には袖部・スリット部の定義を示し、図-3(b)にはxyz座標、任意y断面における最大洗掘深z<sub>sm</sub>、越流水深h<sub>o</sub>、上流側水深h<sub>up</sub>の定義を示している。河床位計測には、計測台車に搭載されたレーザー変位計(2台)を用いている。計測台車を経時的に動かすことで、yの異なる2つの測線における河床位の経時的なデータを取得している。流量計測には電磁流量計を用いている。さらに、鉛直壁袖部の下流部に堰が設置されており、袖部を通過した流量が計測されている。このため、袖部・スリット部それぞれの通過流量を得ることができる。河床粒子には、けい砂(比重2.63, 水中安息角32.9±0.5度)と桃核粒子(比重1.41, 水中安息角36.3±0.5度)を用いている。実験ケースは表-2に示す通りである。なお、表-2中のU<sub>sl</sub>は、スリット部を越流するときの支配断面における流速であり、スリット部通過流量から算定している。

(2)実験結果 最大洗掘深z<sub>sm</sub>と越流水深h<sub>o</sub>の和を上流部の上流部水深h<sub>up</sub>で無次元化し、初期値からの変化率(z<sub>sm</sub> + h<sub>o</sub> - h<sub>up</sub>)/h<sub>up</sub>を図-3に示す。T(=tu<sub>\*c</sub>/h<sub>up</sub>)は無次元時間である。図-3とU<sub>sl</sub>/u<sub>\*c</sub>(表-2)を見比べると、粒子の種類によらず、全体的に洗掘深がU<sub>sl</sub>/u<sub>\*c</sub>に相関していることが分かる。また、U<sub>sl</sub>/u<sub>\*c</sub>が大きいほど、平衡状態に達するのに時間を要している様子が見られる。図-4(a)(b)を見比べると、水路中央に近いy=90mmの方

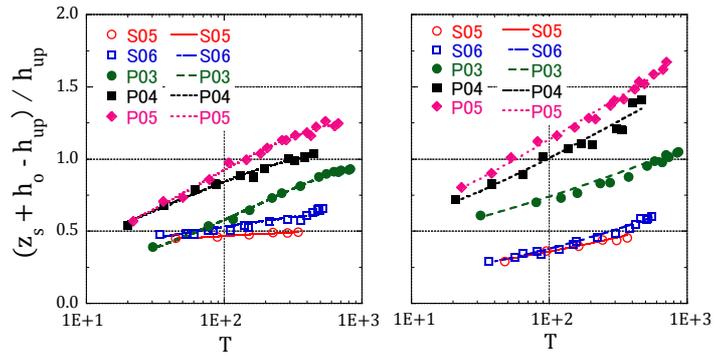


図-3 (z<sub>sm</sub> + h<sub>o</sub> - h<sub>up</sub>)/h<sub>up</sub>の経時変化

が後半にさらに伸びる傾向があり、yによって経時変化特性は異なっている。図中の曲線は、表-1の関数Dをもとにした以下の関数を曲線適合したものである。

$$(z_{sm} + h_o - h_{up})/h_{up} = c(1 - e^{-(T/a)^b}) \quad (1)$$

ここで、a, b, cは適合係数で、cは時間無限大における左辺の漸近値を意味する適合係数である。実験ケースやyによってプロットは様々な推移を示しているにも関わらず、式(1)によって非常に良く表現されていることが分かる。

4. 結論

本研究では、ゲート直上流における静的洗掘の経時変化を検討した。数値実験と移動床実験から、式(1)によってゲート直上流における洗掘の経時変化を良好に表現できることが分かった。また、移動床実験の結果から、ゲート直上流での洗掘の経時変化特性に関する幾つかの知見を得た。今後は式(1)の適合係数と水理量・構造物特性・粒径との関係を検討することで、ゲート直上流での洗掘特性を明らかにする予定である。

参考文献 (1)Ettema, R. (1980). "Scour at bridge piers." Report No. 216. school of Engineering, univ. of Auckland, Auckland NZ. (2)Cunha, L. V. (1975). "Time evolution of local scour." Proc. 16<sup>th</sup> IAHR congress, Sao Paulo 1, 285-299 (3)Melville, B. W. and Chiew, Y.-M. (1999). "The scale for local scour at bridge piers." J. Hydraul. Eng., 125(1), 59-65 (4) Franzetti, S., Larcen, E., Mignosa, P. (1982). Influence of tests duration on the evaluation of ultimate scour around circular piers. Int. Conf. Hydraulic modeling of civil. eng. structures, Coventry, 381-396