

局所洗掘現象の進行に伴う護床工の破壊過程に関する数値解析

鳥取大学学術研究院工学系部門 正会員 ○梶川 勇樹, 黒岩 正光
元鳥取大学工学部社会システム土木系学科 非会員 阿波根 慧

1. はじめに

一般に、堰あるいは床止工下流部には、出水時の局所洗掘の発生に伴う当構造物の安定性低下を回避するため、護床工が敷設される。しかしながら、護床工を敷設しても、護床工下流端から局所洗掘が進行し、その結果、護床ブロックが流出・被災する事例が数多く報告されている。そのため、より安全性の高い護床工の設計のためにも、局所洗掘の進行に伴う護床工および堰の破壊限界を評価することは重要な課題である。しかしながら、現状、このような現象を予測できる技術は確立されていない。そこで本研究では、堰下流部における局所洗掘現象の進行と、それに伴う護床工の破壊過程を予測できる数値解析モデルの開発を目的とする。

2. 数値解析モデルと対象実験

本研究では、鉛直2次元断面を対象とし、従来から用いられているオイラー型の流れおよび河床変動モデルと、図-1に示すように、個別要素法に基づき河床面および護床ブロック表面にのみ円形要素を配置して、その移動を追跡するラグランジュ型の解析モデルとを連成させた数値解析モデルを開発した。流況モデルには、基礎方程式にFAVOR法¹⁾を導入し、乱流モデルには標準型 $k-\epsilon$ モデルを採用した。河床変動モデルでは、一様粒径の掃流砂のみを考慮した。個別要素法を用いた護床ブロックの表現では、護床ブロックを構成する各要素間の相対位置を変化させないよう修正する手法を導入した²⁾。ここで、本研究では護床ブロックの移動は河床変動のみによって生じるものとし、ブロックに作用する流体力は考慮していない。

図-2に計算フローチャートを示す。通常、流れおよび河床変動の時間ステップ Δt に対し、個別要素法での時間ステップ Δt_p との間には、 $\Delta t > \Delta t_p$ の関係がある。そこで、流れおよび河床変動計算は Δt で進行させ、その間、個別要素法では $\Delta t/\Delta t_p$ 回の計算をした。

図-3および表-1はそれぞれ樋口ら³⁾により行われた対象実験の概略図および実験条件である。本研究では河床変動のみの再現状況についても検討した(図-3(a))。計算条件として、個別要素法の粒子径を0.001 mとし、ポアソン比 $\nu = 0.2$ 、反発係数 $e = 0.5$ 、 $\Delta t_p = 0.00001$ sとして、後藤ら⁴⁾の方法によりモデル定数を決定した。

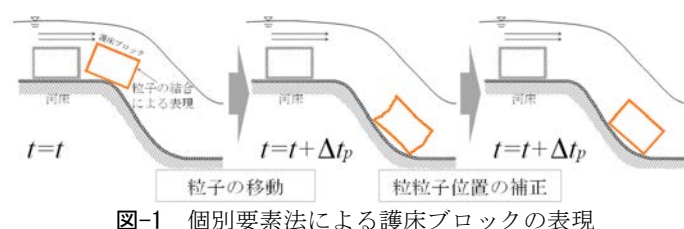


図-1 個別要素法による護床ブロックの表現

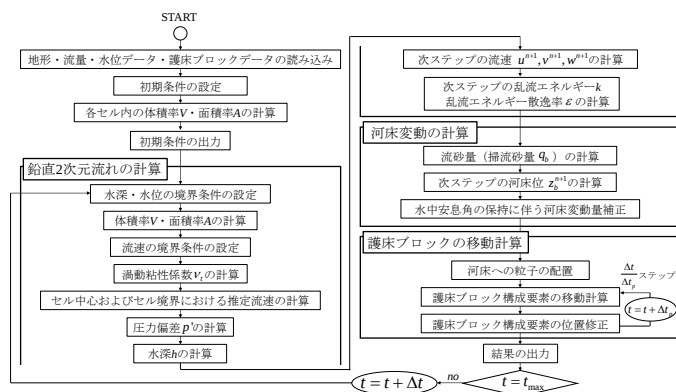
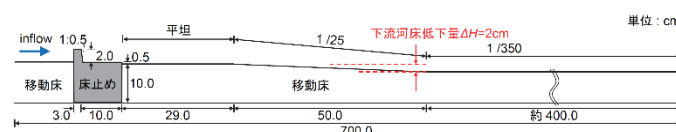
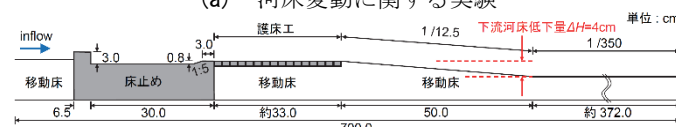


図-2 計算フローチャート



(a) 河床変動に関する実験



(b) 護床工破壊過程に関する実験

図-3 対象実験の概略図(樋口ら³⁾)表-1 実験条件(樋口ら³⁾)

	河床変動に関する実験 (図-3(a))	護床工破壊過程に関する実験 (図-3(b))
河床砂粒径 d_{50} (mm)	0.76	
単位幅流量 q (m ² /s)	0.012	0.006
通水時間 (s)	600	300
護床ブロック諸元	0.019×0.025×0.013 m 密度2,300 kg/m ³ , 質量142 g	

キーワード 堰, 床止工, 護床工, 局所洗掘, 数値解析

連絡先 〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南 4-101 鳥取大学工学部社会システム土木系学科

T E L 0857-31-5696

3. 書計算結果と考察

図-4 は、河床変動実験における通水 600s 後の実験値および計算値による洗掘孔形状を比較したものである。計算では、洗掘孔内に砂堆が確認できるが、これは堰下流流れの特徴である波状跳水流れと潜り噴流流れを繰り返しながら洗掘が進行した形跡である。計算結果は実験結果よりも最大洗掘深が大きく表れているものの、全体的な洗掘孔形状は概ね一致している。したがって、流況および河床変動状況については本数値モデルにより再現可能であると判断した。

図-5 は、計算結果による護床工の破壊過程を示したものである。護床工下流端から洗掘が進行し(45秒)、最下流端ブロックが流出するとともに(94秒)、続けて上流側へと洗掘孔が拡大(98秒以降)しながら上流側ブロックが次々と流出していく様子が再現されている。図-6 は、最下流端護床ブロックの流出開始からの時間経過と流出数を比較したものである。計算結果は、実験に比べてブロック流出数が少ない。この原因としては、ブロックに作用する流体力を考慮していないことも挙げられるが、図-5 から分かるように、主たる原因は本数値モデルにおいて護床ブロックの河床への埋没を考慮していないことにある。その結果、流出した護床ブロックにより下流側水位が堰上げられ、潜り噴流流れへと移行しなくなったことが護床ブロックの流出停止の大きな要因である。したがって、今後は護床ブロックに作用する流体力の考慮とともに、ブロック流出後の処理方法について検討を進める予定である。

4. おわりに

本研究では、堰下流部における局所洗掘現象の進行に伴う護床工の破壊過程を予測できる数値解析モデルを開発し、実験との比較を行った。護床ブロックの流出数が過小評価となったものの、洗掘の進行に伴う護床工の破壊過程を再現することができた。

謝辞 本研究は、公益財団法人河川財団の河川基金助成事業を受けて行われた。ここに記して謝意を表す。

参考文献 1) Hirt, C. W. and Sicilian, J. M.: *Proc. 4th Int. Conf. on Numerical Ship Hydrodynamics*, pp.1-19, 1985. 2) Koshizuka, S., Nobe, A. and Oka, Y.: *Int. J. Numer. Meth. Fluids.*, Vol. 26, pp.751-769, 1988. 3) 樋口敬芳, 片山直哉, 斎藤隆康, 清水義彦: 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 76, No. 2, pp.I_973-I_978, 2020. 4) 後藤仁志, 原田英治, 酒井哲郎: 土木学会論文集, No.691/II-57, pp.159-164, 2001.

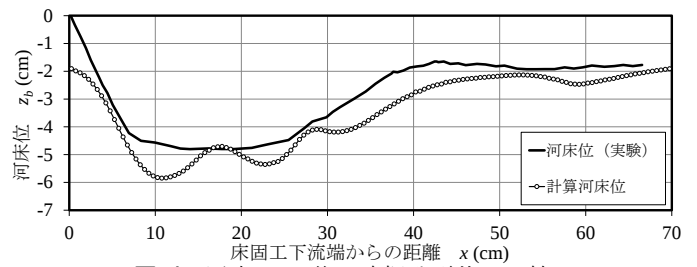


図-4 通水 600s 後の洗掘孔形状の比較

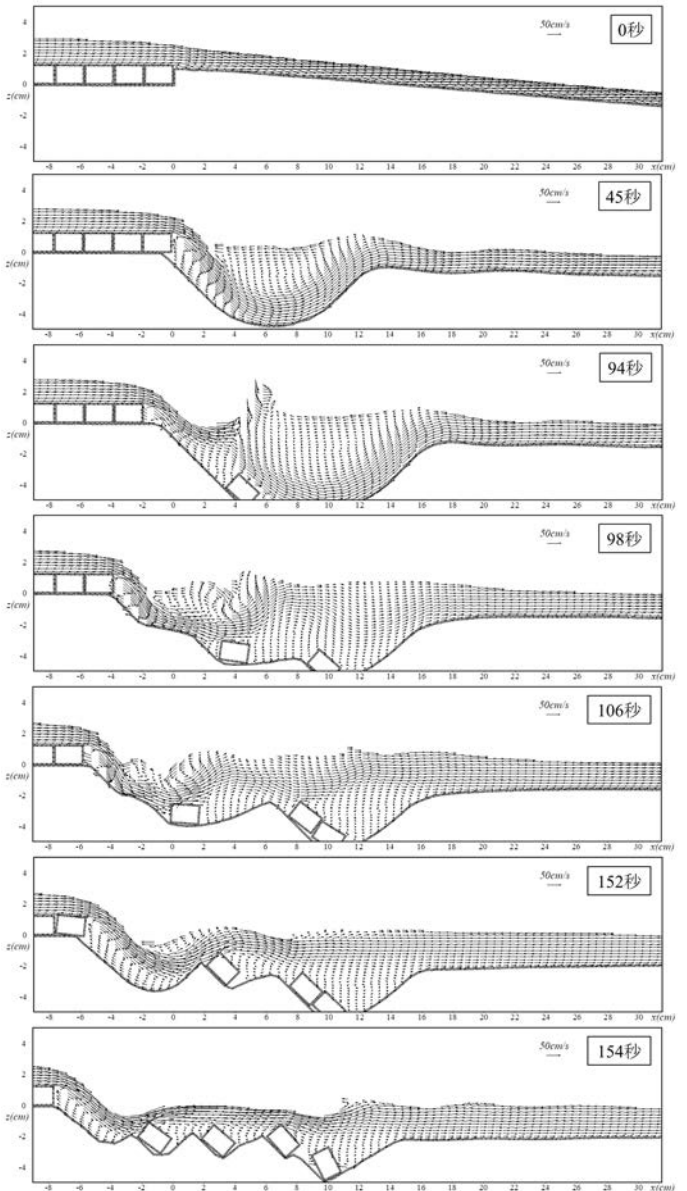


図-5 計算による護床工破壊過程の様子

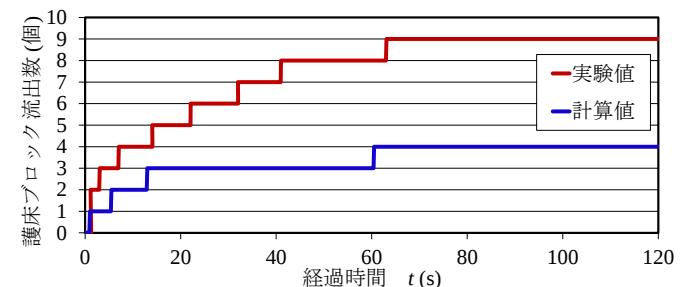


図-6 護床ブロック流出数の比較