

橋脚周辺の局所洗掘に及ぼす小規模構造物付設の影響

愛媛大学大学院 学生会員 ○寶田将浩
 国土交通省 四国地方整備局 正会員 西岡周平
 愛媛大学大学院 正会員 伊福 誠

1. はじめに

現在、多くの河川構造物の建設が進み、人間活動面からの多様な要請に応えることが求められている。しかしながら、一方では河川を取り巻く環境が複雑化し、河川管理への取組みがより一層重要な課題として問われるようになってきている。

橋脚周辺における局所洗掘を防止・軽減する方法としては、これまでも様々な研究がなされており、洗掘軽減効果は得られているが、限られた条件下での実験および解析におけるものであり、実河川への適用となると経済性、構造物の強度など多くの問題を抱えており、確立されたものがあるとはいえないのが実情である。

さらに近年、公共事業費が徐々に削減され、老朽化した構造物を撤去し、新たな構造物を築造することは困難な状況になりつつある。

こうしたことから、本研究では、図1に示すように橋脚前面の河床面上に小規模な構造物(以下、protector と記す)を付設し、その形状効果から橋脚近傍で生じる下降流を減殺し、局所洗掘を軽減させることを目的として、3次元のLES(Large Eddy Simulation)を用いて数値解析的に調べようとした。

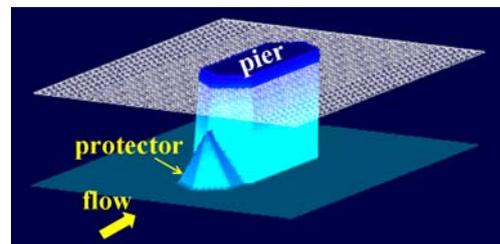


図1 protector を付設した橋脚の概念図

2. 数値解析法

(1) 解析モデル

解析対象とする河川および橋脚は、それぞれ肱川の支流である大和川およびそこに計画された内子橋の橋脚である。橋脚の形状は長さ4.5m、幅1.2mの小判型である。解析水路は水深4m、河川幅40mの矩形断面とし、縦断方向距離は40m、橋脚は中央部に配置した。また、流量は計画流量の100m³/s、河床を構成する砂の粒径および密度は、それぞれ1mmおよび2,650kg/m³、移動床の空隙率は0.4とした。なお、砂の移動形態は、掃流および浮遊を考慮した。

(2) 計算格子間隔と各種係数の評価

計算格子間隔は、橋脚周辺を10cm、それ以外を20cmとし、鉛直方向は水深を20等分した。また、時間間隔は0.01sとし、1,800秒間計算した。なお、Smagorinsky定数は0.1、Manningの粗度係数は0.03m^{-1/3}・sである。

解析にはσ座標系を用いた。

3. 数値解析結果

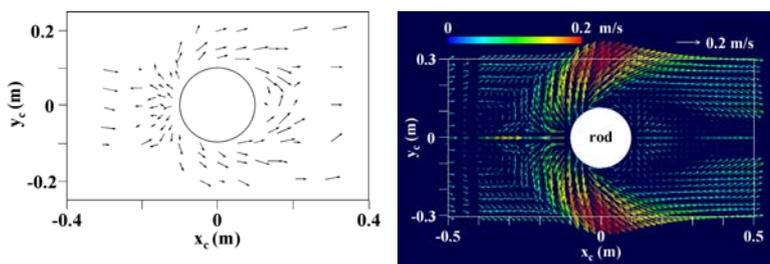
(1) 既往の実験に基づく解析

初めに、本数値シミュレータの有用性を検証するために、福岡ら(1997)の実験に基づいた解析を行った。

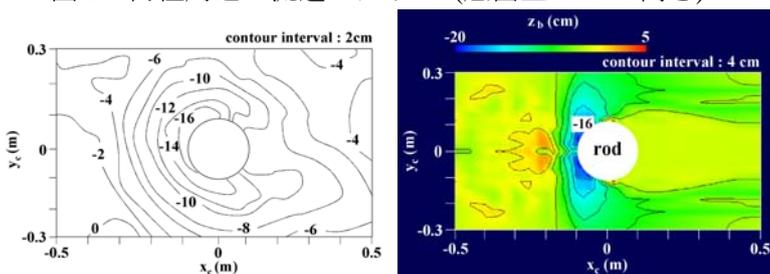
図2および図3は、それぞれ円柱周辺の底面から1cmの高さにおける流速ベクトルの空間分布および地形変化を示す。(a)および(b)は、それぞれ福岡らの実験ケース2の結果および本解析結果である。なお、実験ケース2での最大洗掘深は約18cmであるので、ほぼその深さに到達する時間における結果である。

図2(b)をみると、円柱前面においては洗掘孔斜面に沿って上流へ向かう流れが生じている。また、円柱側面から後面にかけては、円柱側面で流れが加速し、洗掘孔に沿って下流へ向かう流況を呈している。この結果は(a)と似た傾向を示す。

図3(b)をみると、円柱の直前面付近では従



(a) 実験結果 (福岡ら) (b) 解析結果
 図2 円柱周辺の流速ベクトル (底面上1cmの高さ)



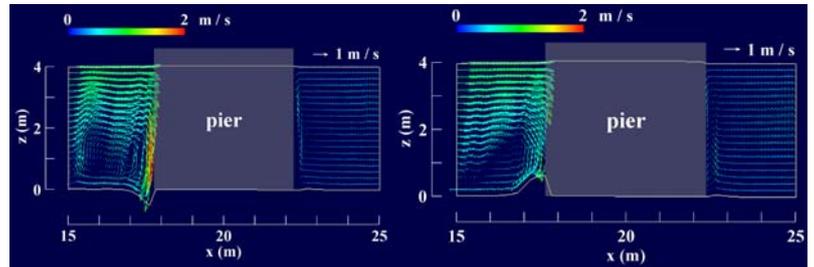
(a) 実験結果 (福岡ら) (b) 解析結果
 図3 円柱周辺の地形変化

来の実験で得られている同心円状の洗掘孔形状ではないものの、最大洗掘深が円柱前面より水路側壁側で生じ、下流側へ向けて舌状に洗掘孔が広がっていることは、(a)と似た傾向を示す。

以上のことから、本数値シミュレータによって不透過構造物周辺の流れおよび地形変化を再現できると考える。

(2) 橋脚周辺における流速ベクトル(u-w)の空間分布

図4は、水路中央における橋脚周辺の流速ベクトル(u-w)の空間分布を示すものである。対象とする領域は、水路縦断方向に $x=15\sim 25\text{m}$ および底面から水面にかけての範囲である。なお、(a)および(b)は、それぞれ protector がない場合および protector を付設した場合における結果である。



(a) protector なし (b) protector あり
図4 橋脚周辺の流速ベクトル(u-w)の空間分布

(a)をみると、橋脚前面においては鉛直下降流が顕著であり、その上流側では下降流に起因する時計回りの渦が生じている。また、この渦によって底面の砂が巻き上げられ、橋脚前面において洗掘孔が生じるといった局所洗掘の一連のメカニズムが確認できる。なお、橋脚後面においては極めて弱い上流向きの流れが生じている。

(b)をみると、(a)に比べて橋脚前面における鉛直下降流が弱い。また、その上流側における渦の発生はみられず、protector の形状に沿った上流向きの流れが生じている。

(3) 橋脚周辺における地形変化

図5は、橋脚周辺における地形変化を示すものであり、底面の変動高さを最大洗掘深の絶対値で除した無次元量 $z_b/|s_{\min}|$ を用いて評価している。また、これは計算開始から30分後の結果である。対象とする領域は、水路縦断方向に $x=15\sim 25\text{m}$ および橋脚中心から横断方向に 3m であり、 $y_c=0\text{m}$ は河道中央である。なお、中央より下半分および上半分を、それぞれ protector がない場合および protector を付設した場合としている。

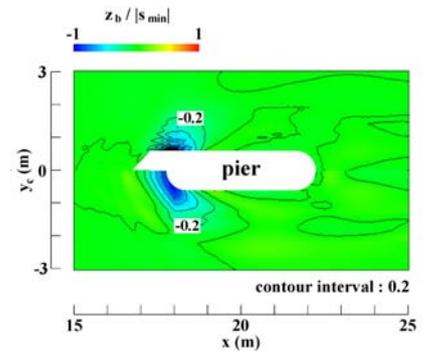


図5 橋脚周辺の地形変化

図5をみると、protector がない場合、橋脚前面から側面にかけて舌状洗掘孔の形成が顕著であり、最大洗掘深は $x=18\text{m}$ 、 $y_c=-0.5\text{m}$ の位置で生じ、その規模は約 0.8m である。一方、protector を付設した場合、橋脚前面における局所洗掘はみられず、洗掘孔の生じる位置は橋脚側面に移動している。最大洗掘深は $x=18.1\text{m}$ 、 $y_c=0.7\text{m}$ の位置で生じ、その規模は約 0.6m である。すなわち、protector を付設することで、洗掘孔の規模を縮小させることができると思われる。

(4) protector の付設法・規模と最大洗掘深との関係

図6は、protector の付設法・規模が最大洗掘深に及ぼす影響を示したものである。 h_p/l_p および $|s_{\min}|/D$ は、それぞれ protector の高さを protector の長さおよび最大洗掘深の絶対値を円柱橋脚の直径もしくは小判型橋脚の幅で無次元化したものである。円柱橋脚の直径は 1.2m であり、protector の高さは $0.3, 0.6, 0.9, 1.2$ および 1.5m である。また、protector の長さは 1m である。なお、type1~6 の条件については、表1に示す通りである。

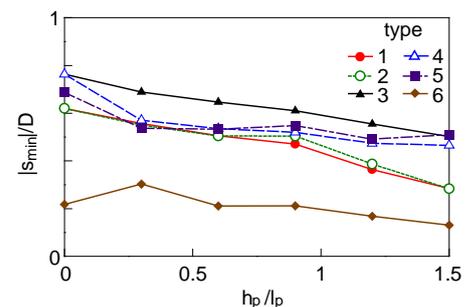


図6 protector の付設法・規模と最大洗掘深との関係

図6をみると、円柱橋脚の場合、最大洗掘深は、protector を前・後面に付設する場合と前面のみに付設する場合とはほぼ同一である。一方、小判型橋脚の場合、最大洗掘深は、protector を前面のみに付設する場合が減少の割合が大きい。すなわち、流水域を遮断する面積あるいは体積が比較的大きい構造物では、protector の付設法が最大洗掘深に及ぼす影響が大きくなる。なお、全てのタイプについてみると、protector を実河川へ適用するにあたっては、洗掘軽減効果や経済性等を踏まえれば、 $h_p/l_p = 1.2$ 程度の規模が妥当ではないかと考える。

表1 type1~6 の諸条件

type	橋脚形状	protector の付設条件	底質条件	
			粒径 (mm)	移動形態
1	円柱	前・後面	1	掃流
2	円柱	前面	1	掃流
3	小判型	前・後面	1	掃流
4	小判型	前面	1	掃流
5	小判型	前面	1	掃流・浮遊
6	小判型	前面	5	掃流