

台風 23 号における橋脚周辺の局所洗掘に関する再現計算

鳥取大学工学部 正会員 ○梶川 勇樹

鳥取大学工学部 正会員 檜谷 治

1. はじめに

橋脚周りの局所洗掘現象については、その防災上の重要性から従来より数多くの研究が行なわれており、特に近年では数値解析に基づく研究が活発に行われている。福岡ら¹⁾は静水圧近似による準3次元流モデルを使用し、流砂の非平衡性を導入した掃流砂・浮遊砂による河床変動計算を行なっている。長田ら²⁾は移動一般座標系に基づく非静水圧3次元流モデルを使用し、河床砂の離脱・堆積に関する確率モデルと砂粒の運動方程式とを組み合わせた河床変動モデルにより、実験結果を良好に再現している。しかし、これらの研究の多くは実験室レベルの現象を対象とした検討例がほとんどであり、実河川規模を対象とした数値モデルの再現性に関する検討例は数少ない。そこで、本研究では岡山県を流れる旭川・新大原橋橋脚部周辺で発生した局所洗掘現象に関し、2次元浅水流モデルおよび3次元流モデルによる河床変動計算を試み、現地調査結果との比較からその再現性について検討する。

2. 局所洗掘現象に関する現地調査について

岡山県を流れる旭川・新大原橋橋脚部周辺では、平成16年10月20日台風23号時の洪水の影響により局所洗掘現象が発生した。その際、橋脚部周辺には洗掘調査用にレンガが敷設されており、洪水後にその流出・飛散数の確認による洗掘調査が行われている。図-1に1橋脚の諸元およびレンガ敷設位置を示す。レンガ単体のサイズは高さ0.065mであり、1箇所当たり25個（1.625m）のレンガが敷設されている。洪水後の調査結果を表-1に示す。橋脚部前面に当たるB箇所では全てのレンガが流出し、1.6m以上の洗掘深が発生したものと考えられる。

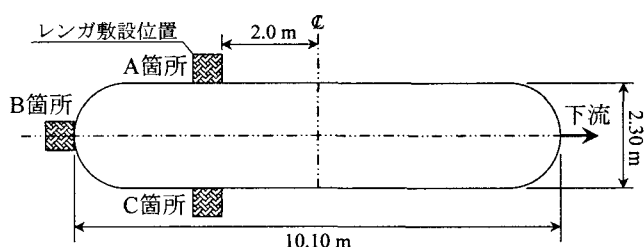


図-1 1橋脚の諸元およびレンガ敷設位置

表-1 洗掘調査結果

敷設地点	流出数	洗掘深
A箇所	12 個	12 個×0.065m/個 = 0.780m
B箇所	25 個（全て流出）	25 個×0.065m/個 = 1.625m 以上
C箇所	11 個	11 個×0.065m/個 = 0.715m

3. 数値計算モデルと計算条件

実河川規模を対象として数値計算を行なう場合、実用性の観点から従来より2次元浅水流モデルによる検討が数多く行なわれている。そこで、本研究ではその浅水流モデルおよび3次元流モデルの両者による河床変動計算を試みる。ここで、本研究では一様粒径の掃流砂のみを対象とする。右にデカルト座標系(x,y,z)における各流況解析の連続式、運動方程式および流砂の連続式をそれぞれ示す。ここに、各記号については慣用に従うが、3次元流計算による河床変動モデルに関しては基礎式にFAVOR法³⁾を導入している。以上の基礎式をMacCormack法により離散化し計算を進める。また、掃流砂の算定には局所河床勾配の影響を考慮した平衡流砂量式である芦田・道上式により算定する³⁾。

計算条件を表-2に示す。計算では、1橋脚のみを対象とし、流下方向に30m、横断方向に20mの計算領域内中央部に設置する。単位幅流量はその時のピーク流量である2000 m³/sより設定し、河床材料はその地点の平均粒径を与える。

【2次元浅水流モデル】

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{u}h)}{\partial x} + \frac{\partial(\bar{v}h)}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial(\bar{u}h)}{\partial t} + \beta_{xx} \frac{\partial(\bar{u}^2 h)}{\partial x} + \beta_{xy} \frac{\partial(\bar{u}\bar{v}h)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} + \nu_s \left\{ \frac{\partial^2(\bar{u}h)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\bar{u}h)}{\partial y^2} \right\} - \frac{\tau_{bx}}{\rho}$$

$$\frac{\partial(\bar{v}h)}{\partial t} + \beta_{yx} \frac{\partial(\bar{u}\bar{v}h)}{\partial x} + \beta_{yy} \frac{\partial(\bar{v}^2 h)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} + \nu_s \left\{ \frac{\partial^2(\bar{v}h)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\bar{v}h)}{\partial y^2} \right\} - \frac{\tau_{by}}{\rho}$$

【3次元流モデル】³⁾

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \{ A_{ij} u_j \} = 0$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{1}{V} \left\{ A_{ij} u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right\} = g_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{1}{V} \left[\frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ A_{ij} \nu_s \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right\} \right]$$

【河床変動モデル】³⁾

$$\frac{\partial}{\partial t} (S_b z_b) + \frac{1}{1-\lambda} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (L_{bx} q_{bx}) + \frac{\partial}{\partial y} (L_{by} q_{by}) \right\} = 0$$

表-2 計算条件

単位幅流量 q (m ² /s)	10.0	Δt (sec)	0.01
下流端水深 h_f (m)	3.857	$\Delta x, \Delta y$ (m)	0.30
河床勾配 i_b	1/1000	Δz (m)	0.15
河床材料の粒径 d_m (mm)	90	粗度係数 n	0.03

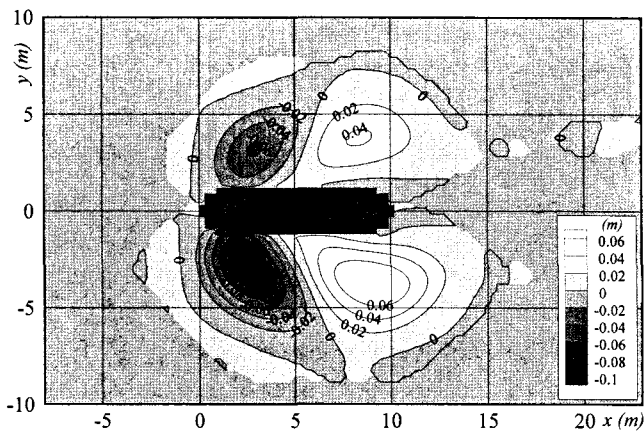


図-2 河床変動量コンター図（浅水流モデル）

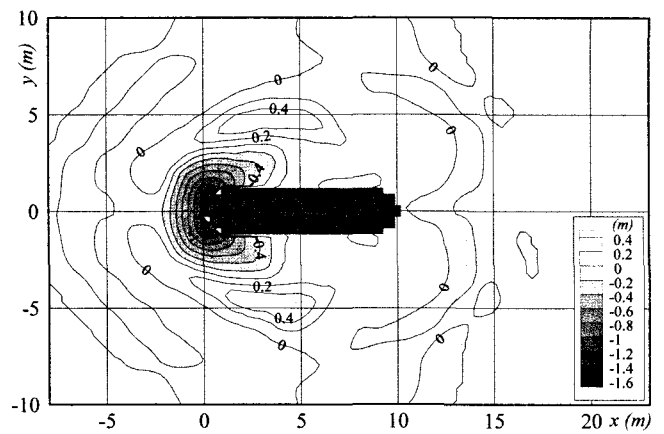


図-3 河床変動量コンター図（3次元流モデル）

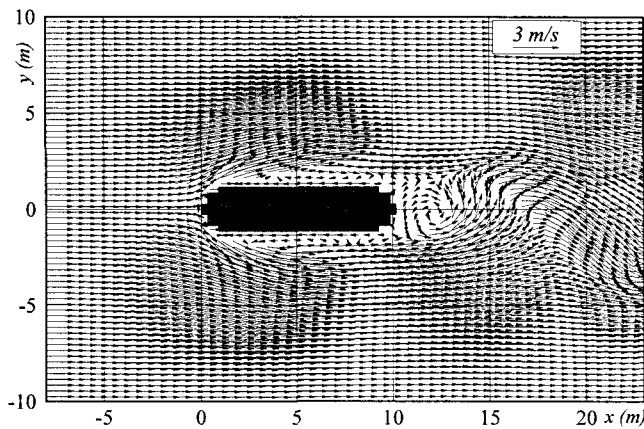


図-4 平面流速ベクトル図（浅水流モデル）

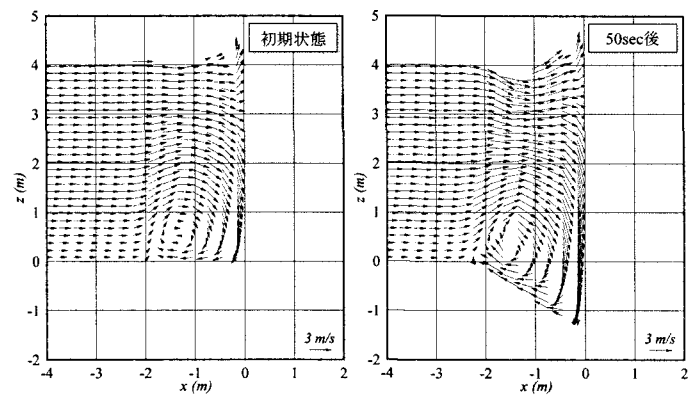


図-5 縦断流速ベクトル図（3次元流モデル）

4. 計算結果と考察

計算結果として、まず、図-2 および図-3 にそれぞれ浅水流モデルおよび 3 次元流モデルによる初期平坦河床からの河床変動量コンター図を示す。図から分かるように、浅水流モデルによる結果は橋脚側面部より兩岸方向に向かって洗掘孔が形成されているのに対し、3 次元流モデルでは橋脚先端部に局所的に洗掘孔が形成されている。そして、図-4 に浅水流モデルによる初期平面流速ベクトル図を示す。図より、橋脚前面では流れが左右に分断され、橋脚側面では縮流の影響により流れが加速されていることが分かる。したがって、浅水流モデルにおける洗掘孔形成の主要因は、橋脚の存在によるこの縮流の影響であるものと考えられる。一方、図-5 に 3 次元流モデルによる初期および洗掘後の橋脚前面における縦断流速ベクトル図を示す。図から分かるように、洗掘の進行に伴い洗掘孔内部には明瞭な馬蹄形渦が発達している。したがって、3 次元流モデルにおける洗掘孔形成に関しては、この局所的な渦流が大きく影響しているものと考えられる。このような局所的な内部流況については浅水流モデルで再現することができず、その結果両者の洗掘孔形状に大きな違いが現れたものと考えられる。また、表-3 に両計算結果による各地点の洗掘深を示す。表-1 の現地調査結果との比較より、浅水流モデルではその結果を全く再現できていないものの、3 次元流モデルでは現地規模におけるその洗掘深を概ね再現できていることが分かる。

5. まとめ

本研究により、浅水流モデルに基づく河床変動計算では現地規模においても橋脚周りの局所洗掘を評価できないこと、また現地調査結果との比較から本 3 次元流モデルによりその洗掘現象を概ね再現できることが示された。

【参考文献】1)福岡ら：橋脚まわりの局所洗掘推定のための実用的数値シミュレーションの開発，土木学会論文集，No.497/II-28，1994．2)長田ら：円柱周りの流れと局所洗掘現象の 3 次元数値解析，水工学論文集，第 45 巻，pp.427-432，2001．3)梶川ら：常射流混在場における段落ち下流部の局所洗掘現象に関する数値計算，水工学論文集，第 49 巻，pp.775-780，2004．