

橋脚周辺の局所洗掘防止策の数値解析

愛媛大学大学院 学生会員 ○寶田将浩
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)を設置・埋め込むことで、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およびprotectorの適切な埋め込み深さを検討することで、局所洗掘領域を最小限にとどめることを目的として、3次元LESを用いて数値解析的に調べる。

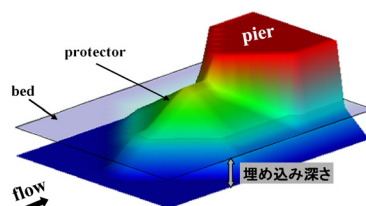


図1 protectorを埋め込んだ概念図

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、それぞれ肱川の支川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、断面平均流速は0.625m/s、Froude数は0.11、河床を構成する底質粒径および密度は、それぞれ1mmおよび2,650kg/m³、移動床の空隙率は0.4とした。

(2) protectorに関する諸条件

計画するprotectorの形状は図2に示すとおりである。(a)および(b)は橋脚に埋設板(以下、plateと記す)を取り付けたものおよびprotectorを埋め込んだ側面図である。埋め込む深さは1m、0.75m、0.5mの3パターンである。

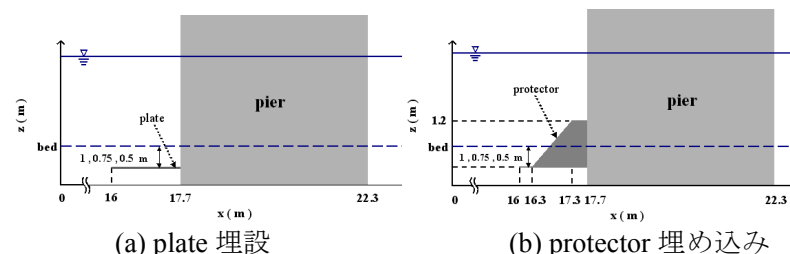


図2 protectorの模式図

(3) 各種係数と格子間隔の評価

水平格子間隔は、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。

3. 数値解析結果

(1) 橋脚周辺の流速ベクトル(u-w)の空間分布

図3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=15~25m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、それぞれ河道中央におけるprotectorを付設した場合およびprotectorを1m埋め込んだ場合の結果である。

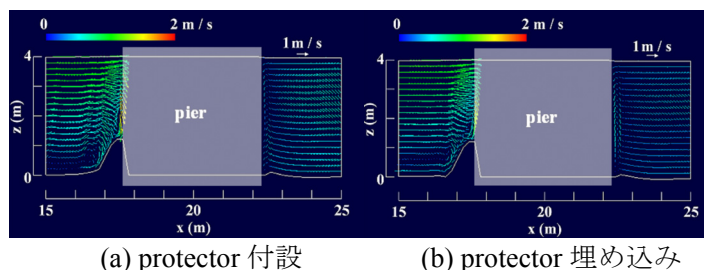


図3 流速ベクトル(u-w)の空間分布

(a)をみると、橋脚前面においては鉛直下降流が生じており、protectorの頂部に達した下降流は、

protectorの上流側法面に沿って上流向きの流れを形成し、鉛直上昇流へと遷移して、protectorの上流側では時計回りの渦を形成している。また、この渦によって底面の砂が巻き上げられ、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、橋脚前面においては(a)と比較すると鉛直下降流は緩流化している。また、protectorの頂部に達

した下降流は、protector の上流側法面に沿って底面まで下降する流れがみられるが、渦は生じていない。これは、protector を埋め込むことで、橋脚前面の局所洗掘深が小さくなったためであると考える。

(2) 橋脚周辺における地形変化

図4は橋脚周辺における地形変化である。また、計算開始後から30分の結果である。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 5m であり、 $y_c=0\text{m}$ は河道中央である。なお、中央より上半分および下半分を、それぞれ protector を付設した場合および protector を 1m 埋め込んだ場合としている。

図4をみると、protector を付設した場合には、橋脚側面に凹凸形状の洗掘孔が生じており、最大洗掘深は $x=18\text{m}$, $y_c=0.7\text{m}$ で約 0.79m である。一方、protector を 1m 埋め込んだ場合には、橋脚側面において横断方向に舌状の洗掘孔が形成されており、最大洗掘深は $x=18\text{m}$, $y_c=-0.8\text{m}$ で約 0.5m であり、洗掘深は約 0.3m 浅くなっている。すなわち、protector を埋め込むことで、洗掘深をコントロールすることにより橋脚前面の流れが緩流化されたためであると考える。

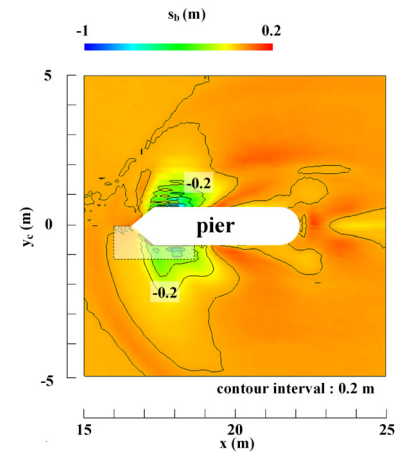


図4 橋脚周辺の地形変化

(3) protector の埋設深さと最大洗掘深との関係

図5は橋脚前方に plate のみを埋め込んだ場合の橋脚周辺の地形変化である。また、これらは計算開始後から30分後の結果である。対象とする領域は、図4と同様である。なお、中央より上半分および下半分を、それぞれ protector を 1m 埋め込んだ場合および 0.5m 埋め込んだ場合としている。

図5をみると、protector を 1m 埋め込んだ場合には、橋脚前面付近における洗掘深さは plate の深さは plate の深さより浅く、 $x=17.9\text{m}$, $y_c=0.2\text{m}$ で最大洗掘深 1m が確認される。一方、protector を 0.5m 埋め込んだ場合には、橋脚前面付近の plate の位置では 0.5m より洗掘されていないが、plate の埋め込み領域の外である $x=18\text{m}$, $y_c=1.2\text{m}$ で最大洗掘深 1.02m が確認される。これは、洗掘深が plate の埋設深さに達し、橋脚前面部において洗掘が生じなくなったため、plate の側面部で橋脚前面部と同様の洗掘が生じたためであると考えられる。

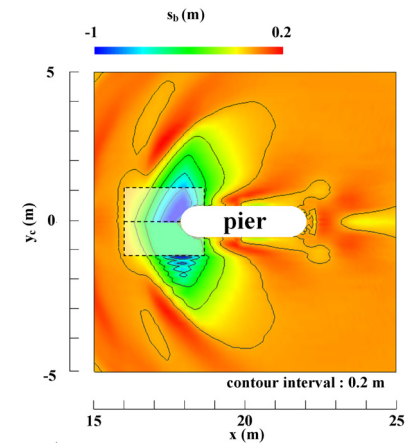


図5 plate 埋設の地形変化

(4) plate の埋設深さの設定法

中川・鈴木(1974)は、室内実験および現地データをもとに動的平衡状態における平衡洗掘深についての経験式を提案している。

$$s_{\min}/D = 3.4 - 0.9 \log D/d \quad (1)$$

ここに、 $s_{\min}$ は平衡洗掘深、 D は円柱橋脚の直径、 d は底質の粒径である。式(1)は実験データおよび現地データを用いた経験式にも関わらず、その適用範囲は $20 \leq D/d \leq 2000$ であるとし、現地データは適用範囲外であるので、導出過程において誤りがあったのではないかとと思われる。

図6は中川・鈴木が経験式(1)を導出するのに用いた室内実験および現地データの無次元洗掘深 $s_{\min}/D$ と D/d との関係を示したものである。図中のデータをもとに最小二乗法を用いた非線形回帰式は次式(図中の赤破線)のようになる。

$$s_{\min}/D = 2.92 - 0.68 \log D/d \quad (2)$$

なお、式(2)の適用範囲は、 $22.5 \leq D/d \leq 7500$ である。

plate を埋設する深さを予測することが橋脚周辺の局所洗掘領域を最小限にとどめるために重要となる。そこで、本研究で解析に用いた数値モデルで現地スケールの円柱橋脚 ($D=1.2\text{m}$, $d=1\text{mm}$) についての計算結果をプロットしたのが図6中の赤の三角印である。計算して得た無次元洗掘深は 0.878 であり、式(2)で算出される洗掘深より 6% 程度大きいだけで式(2)とよく対応している。なお、長さ 4.6m 、幅 1.2m の小判型橋脚の無次元洗掘深は 0.903 であり、円柱橋脚のそれとほぼ同一である。

式(2)を求めるのに使用した室内実験および現地データの上限は式(2)の 1.1 倍程度(図中の青一点鎖線)である。以上のことから、安全側を考慮して plate の埋設深さは式(2)で算出される洗掘深の 1.2 倍程度(図中の緑実線)に設定すればよいのではないかと考える。

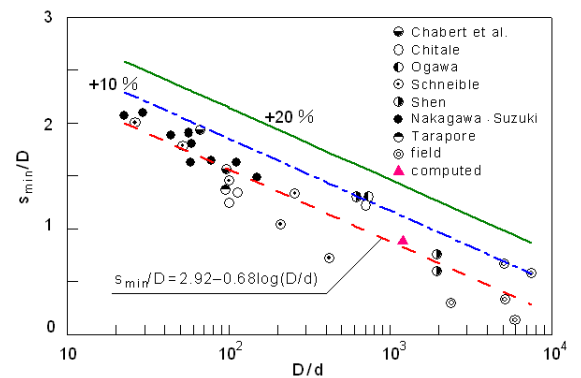


図6 $s_{\min}/D$ と D/d との関係