

# 小規模構造物の埋設深さが局所洗掘に及ぼす影響

愛媛大学大学院 学生会員 ○小貫修平  
愛媛大学大学院 フェロー 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状である。

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・埋設することで、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 の適切な埋設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。

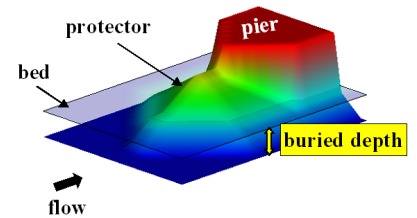


図-1 protector の埋設

## 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 100m<sup>3</sup>/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/m<sup>3</sup>、移動床の空隙率は 0.4 とした。

### (2) 各種係数と格子間隔の評価

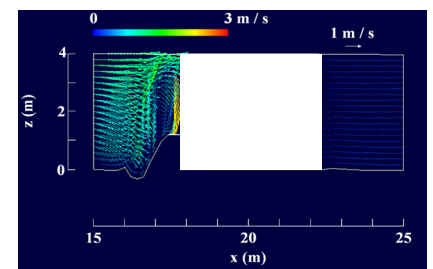
水平格子間隔は、橋脚周辺を 10cm、それ以外を 20cm とし、鉛直方向は水深を 20 等分した。また、時間間隔は 0.01s とし、30 分間計算した。なお、Smagorinsky 定数は 0.1、Manning の粗度係数は 0.03m<sup>-1/3</sup>・s である。

## 3. 数値解析結果

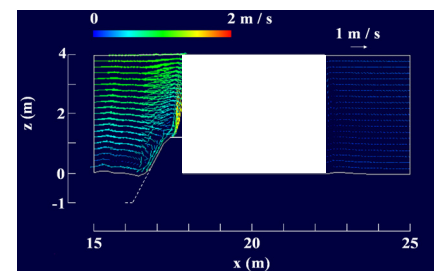
### (1) 橋脚周辺の流速ベクトル(u-w)の空間分布

図2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 埋設した場合である。

(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、この渦の影響をうけ底面の砂が pick-up され、橋脚前面での洗掘が進行すると



(a) protector 付設



(b) protector 埋設

図-2 橋脚周りの流速ベクトル

いった局所洗掘の一連のメカニズムが確認できる。

(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を埋設することで、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られる。

### (2) 橋脚周辺における地形変化

図3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 $5\text{m}$  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は、それぞれprotectorを付設した場合およびprotectorを $1\text{m}$ 埋設した場合である。

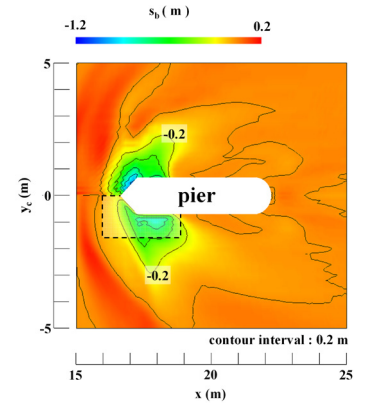


図-3 地形変化

protectorを付設した場合は、橋脚前面に舌状の洗掘孔が生じており、最大洗掘深は $x=17.1\text{m}$ 、 $y_c=0.5\text{m}$ で約 $1.1\text{m}$ である。一方、protectorを $1\text{m}$ 埋設した場合は、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 $x=17.9\text{m}$ 、 $y_c=-1\text{m}$ で約 $0.8\text{m}$ であり、最大洗掘深は約 $0.3\text{m}$ 減少している。すなわち、protectorを埋設することで、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られる。

### (3) plate および protector 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。

図4は中川・鈴木(1974)が経験式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。

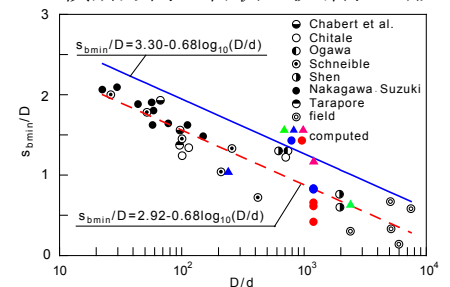


図-4  $s_{b\min}/D$ と $D/d$ との関係

$$s_{b\min}/D = 2.92 - 0.68 \log_{10} D/d \quad (1)$$

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

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4中の赤三角印である。計算して得た無次元洗掘深は $1.17$ であり、図中の黄緑三角印は $D=2.4\text{m}$ ,  $d=1\text{mm}$ の場合で無次元洗掘深は $0.63$ である。さらに、青三角印は $D=1.2\text{m}$ ,  $d=5\text{mm}$ の場合で無次元洗掘深は $1.06$ である。なお、長さ $4.6\text{m}$ 、幅 $1.2\text{m}$ の小判型橋脚の無次元洗掘深は $1.16$ であり、円柱橋脚のそれとほぼ同一である。式(1)中の回帰式の勾配 $0.68$ を同一とすると、もう一方の回帰係数 $2.92$ を $1.13$ 倍した式が図中の青実線であり、次式で表される。

$$s_{b\min}/D = 3.30 - 0.68 \log_{10} D/d \quad (2)$$

表1は直径 $1.2\text{m}$ の円柱橋脚前面にplateおよびprotectorを埋設した場合の最大洗掘深さであり、それぞれ図4中の青丸および赤丸である。なお、網掛けをした部分は、最大洗掘深さがprotectorあるいはplateを埋設した範囲外に生じた場合である。埋設深さが同一の場合、protectorを埋設した場合の洗掘深はplateを埋設した場合のその $0.51\sim 0.79$ 倍程度である。また、protectorおよびplateを埋設した無次元洗掘深は、それぞれ $0.42\sim 0.66$ および $0.82\sim 0.83$ である。さらに、protectorを埋設した場合の最大洗掘深は、protectorを埋設しない場合のそれ(図4中の赤三角印)の $0.36\sim 0.54$ 倍であり洗掘量をかなり軽減できていることが判る。なお、無次元洗掘深は室内実験および現地データに基づいて得た回帰式(1)を上限とするようであることから、適切な埋設深さは回帰式(1)で算出される洗掘深さ程度に設定すれば良いのではないかと考える。

表-1 最大洗掘深

		$s_{b\min}$ (m)	
		plate ●	protector ●
$dp$ (m)	0.5	0.98	0.50
	0.75	0.99	0.73
	1	1.00	0.79