

河川構造物周辺の局所洗掘防護工に関する研究

京都大学工学部 正員 中川 博次 京都大学工学部 正員 村上 正吾
 京都大学工学部 正員 仙波 秀治 佐藤 工業 正員 ○金崎 伸夫

1. まえがき

実際の河川には、種々の河川構造物があり、その存在による境界条件の変化に伴う局所流が生じ、その周辺に、それぞれに特有の局所洗掘が生じるため、それに対応した防護工が施工される。本報では、特に橋脚周辺に施工される捨石工、三角ブロック、テトラポッドのような、その構造が透水性の高い疎な洗掘防護工の洗掘軽減効果に関する実験的検討を行ない、こうした疎な構造の防護工内に橋脚前面部に沿って流入する流れによる洗掘機構のモデル化を行った。

2. 実験的検討

実験は、長さ14m、幅1.5m、深さ0.45mの長方形断面水路、および長さ7m、幅0.33m、深さ0.3mの長方形断面水路で行なわれ、前者(Case-A)では径 $D=10\text{cm}$ 、後者ではそれぞれ径が $D=7\text{cm}$ (Case-B)、 $D=3\text{cm}$ (Case-C)の円柱が用いられた。実験は、Case-Aでは水深 $h_0=12.3\sim 14.0\text{cm}$ 、平均流速 $U=24.3\sim 28.2\text{cm/s}$ 、Case-Bでは水深 $h_0=10.0\sim 12.7\text{cm}$ 、平均流速 $U=37.9\sim 46.3\text{cm/s}$ 、Case-Cでは水深 $h_0=6.0\text{cm}$ 、平均流速 $U=29.2\text{cm/s}$ で行なわれた。疎な構造の防護工として、ガラスビーズ、アクリルプレートを実施した。表-1に防護工の条件を示した。

防護工を施した場合の円柱周辺の流れの特徴の把握のため、円柱上流より染料を注入し、流れの可視化を行った結果、図-1に示すような流れが観察された。図-2、図-3にそれぞれCase-Bの最終洗掘孔の等深線の平面図および中央測線に沿う洗掘深を示した。この図より洗掘領域、洗掘深ともに防護工によって軽減されることがわかる。ところで、こうした防護工の効果は、その厚さと河床の砂粒径と防護工の空隙スケールとの比によって影響されるものと考えられる。図-4は、ガラスビーズを施さない場合の洗掘深 z_{s0} と施した場合の洗掘深 z_s との比 z_s/z_{s0} と、防護工厚さ H_s とビーズ径 d_b との比 H_s/d_b との関係を示したものである。層厚 H_s/d_b の増加とともに、 z_s/z_{s0} は減少し、両者の間には線形関係が認められるようである。Case-A~Cの洗掘深の遞減率の差は、防護工の積み方や径の違いに起因する透水性の違いによるものと思われる。一方、図-5には、 z_s/z_{s0} とガラスビーズの透水係数 $\sqrt{K}$ と砂粒径 d の比 $\sqrt{K}/d$ の関係が示されており、防護工の空隙スケールの効果より層厚の効果のほうが今回の実験では大きいこと示している。

3. 円柱に沿う下降流による洗掘のモデル化

防護工を施さない場合の静的洗掘の最終洗掘深は、 $z_{s0}=(\sqrt{\gamma_0 \cdot \eta}-1)/k_w \cdots \cdots (1)$ で表わされる。但し、 γ_0 は非擾乱流部の掃流力と渦による掃流力との比、 η は非擾乱流部での掃流力と限界掃流力との比、 k_w は渦スケールに関する定数である。図-1に示される下降流は防護工を通過することによって、その流速は遞減する。これによる掃流力と非擾乱流部の掃流力の比が γ_0' であるとすると、この下降流による洗掘深は式(1)とこの γ_0' を用いて $z_s=(\sqrt{\gamma_0' \cdot \eta}-1)/k_w \cdots \cdots (2)$ と表わすことができる。防護工1層を通過する前後の流速に対してBernoulliの定理を適用すると、N層通過した時の γ_0' と元の γ_0 の間の関係として次の関係が得られる。 $\gamma_0'/\gamma_0=(1-f \cdot d_b/\sqrt{K})^N \cdots \cdots (3)$ ただし、 f は摩擦損失係数である。Nakagawa¹⁾らはWardの非線形Darcy則にもとづき、 f を次のように表わしている。 $f=2cn^2 \cdots \cdots (4)$ ここで、 c は非線形抵抗係数、 n は空隙率である。図-4の各実験ごとの z_s/z_{s0} と $N=H_s/d_b$ に対して、式(1)~(3)を用いて推定された f とReynolds数 Re_k との関係を求めた結果が図-6に示されている。ただし、Reynolds数 Re_k を定義するにあたって、下降流の流速は平均流速の半分程度と考えられることにより、 $Re_k=U\sqrt{K}/2\nu$ とした。一方、得られた f と、式(4)で表わされる f との対応を見たものが図-7である。

Hiroji NAKAGAWA, Shogo NURAKAMI, Hideharu SENBA, Nobuo KANASAKI

式(4) によって f のオーダーはほぼ推定されるものと思われる．図-4 中の実線および破線は平均的な f と式(1)～(3) を用いて z_s/z_{s0} を計算したものであり，これより f を適切に評価すれば，適切な防護工厚さの算定が可能であると思われる．

4. あとがき

本研究では，図-1 に示した局所流・浸透流による洗掘現象のうち，下降流によるものについての検討を行なったが，今後はそれらによる洗掘の検討も進め，防護工の効果の評価を行なう予定である．

<<参考文献>> 1) Nakagawa et al. : JHHE, JSCE, Vol.6, No.1, pp.13-22, 1988.

表-1 洗掘防護工の条件

CASE	種類	d_p (cm)	層数	CASE	種類	d_p (cm)	層数	CASE	種類	d_p (cm)	層数
A-1	防護工なし	—	—	A-9	ガラスビーズ	1.70	2	B-7	ガラスビーズ	1.30	3
A-2	ガラスビーズ	2.97	1	A-10	ガラスビーズ	1.70	1	B-8	防護工なし	—	—
A-3	アクリルプレート	1.00	1	B-1	防護工なし	—	—	B-9	ガラスビーズ	2.97	1
A-4	アクリルプレート	1.00	1	B-2	ガラスビーズ	2.97	1	C-1	防護工なし	—	—
A-5	アクリルプレート	1.00	2	B-3	ガラスビーズ	2.97	2	C-2	アクリルプレート	1.00	1
A-6	ガラスビーズ	2.97	2	B-4	ガラスビーズ	2.97	3	C-3	ガラスビーズ	1.70	1
A-7	ガラスビーズ	2.97	1	B-5	ガラスビーズ	1.30	1	C-4	ガラスビーズ	1.70	2
A-8	ガラスビーズ	1.70	1	B-6	ガラスビーズ	1.30	2	C-5	ガラスビーズ	1.70	3

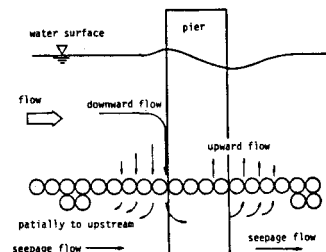


図-1 流れの概況図

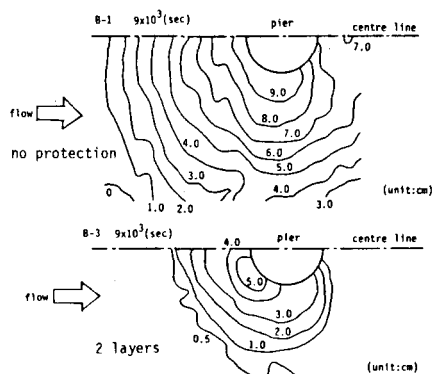


図-2 洗掘孔形状平面図（等深線表示）

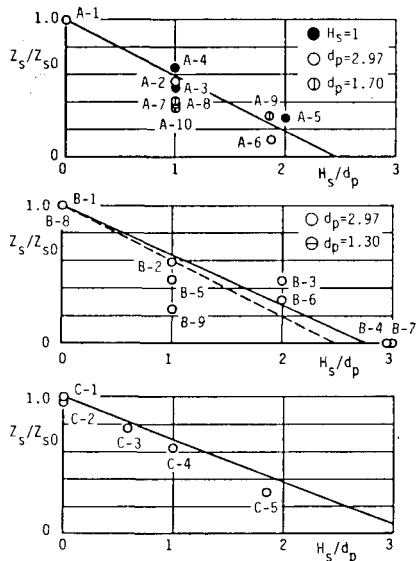


図-4 防護工の効果（層厚の効果）

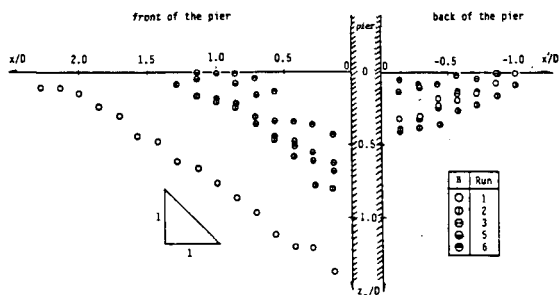


図-3 洗掘孔形状側面図

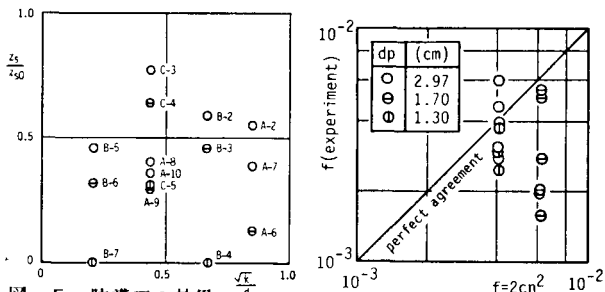


図-5 防護工の効果（空隙スケールの効果）

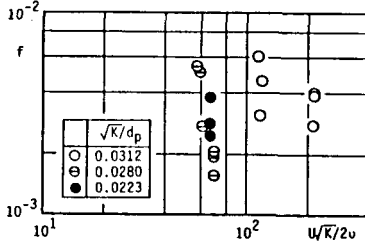


図-6 摩擦損失係数 f

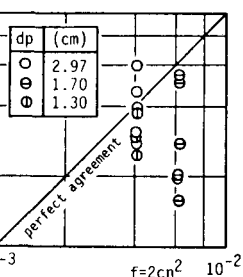


図-7 式(4)の検証