

橋脚周辺の局所洗掘対策に対する礫間の浸透流の影響

Effect of Seepage Flow Inside Crushed Stones on Countermeasure Against Local Scour Around Bridge Piers

安田陽一¹, ○田中佑青²
 Youichi Yasuda¹, * Yusei Tanaka²

Abstract: Recent experiments demonstrated that establishing a riverbed protection zone using assembled boulders and crushed stones can prevent local scouring around bridge piers, even when the pier shape is either a pair of cylindrical piers or an oblong cylindrical pier. This report focuses on the fact that the deflected flow formed during floods impacting the bridge pier extends downstream of the installation of assembled boulders. It demonstrates that this leads to a reduction in flow velocity near the riverbed due to seepage flow inside crushed stones in accordance with velocity measurements.

1. はじめに

近年、局所的豪雨が多発生しており、河川を横断する橋梁が流出している^[1]。橋脚が流出する原因として、洪水流により橋脚周辺での局所洗掘の進行が挙げられる。橋脚周辺の局所洗掘に対する対策としては、護床ブロック、リップラップ、かごマット等を橋脚周辺に設置する対策がされている^{[2],[3]}が、多くの橋梁において橋脚の安定につながる対策とは言えない。

本研究室では、様々な構造物周辺に石組みを設置することで底面付近流速の減勢につながることを示しており、橋脚周辺の局所対策についても有効であることを示している^[4]。最近の実験で、石組みと砕石による遷移区間を設けることで、橋脚形状を円柱二本型、または長楕円柱型とした場合でも橋脚周辺の局所洗掘を防ぐことができることを示した。この報告では、洪水時に橋脚に衝突して形成された偏向流れ（以下、偏向流と呼ぶ）が石組み区間よりも下流側に及ぶ^[5]ことに着目し、砕石間の伏流水による底面付近の流速の低減につながることを示した。

2. 実験方法および実験条件

実験では、長さ 17m、幅 0.8m、高さ 0.6m の長方形断面水平水路を用いた。また、水路中央に、高さ 0.475m、直径 0.10m の円柱を二本設置した。Case 1 と Case 2 での違いは、石組みの長さや砕石による捨て石の有無、河床再現区間の長さの違いである（Figure 1, Table 1）。河床再現区間および連続した石組みに用いた礫は、本研究室で検討している長楕円柱型の検討^[4]と同様のものを用いた。砕石捨て石については、平均サイズ 16mm の砕石を用いた捨て石としている。

実験は 10 分の 1 縮尺を想定し、フルードの相似則に従い、Table 1 に示す実験条件で行った。側壁付近には、伏流内の流速の測定のためにプラスチック製のカーラを用いて鉛直方向に空間を設けることで河床の中まで測定を行った。流速測定には、KENEK 製の I 型プローブの 2 次元電磁流速計を用いた。また、水深測定にはポイントゲージを用いた。なお、流量は水路下流に設置された全幅刃せきで測定した越流水深から JIS 規格の流量公式を用いて測定した。

Table 1. Experimental conditions

	$Q(\text{m}^3/\text{s})$	$h_d(\text{m})$	$x_a(\text{m})$	$x_b(\text{m})$	$x_c(\text{m})$	$x_d(\text{m})$
Case 1	0.144	0.246	0.0650	0.896	—	0.700
Case 2	0.144	0.246	0.0341	1.02	1.37	1.00

Note: Q = discharge, h_d = downstream

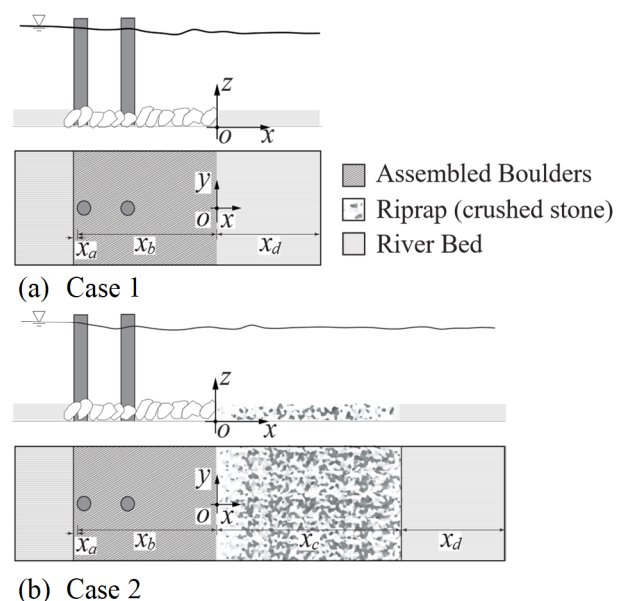


Figure 1. Experimental model

1: 日大理工・教員・土木 2: 日大理工・院(前)・土木

3. 流下方向成分の流速分布

Figure 2 は Case 1, Case 2 の流下方向成分の流速の時間平均流速 \bar{u} および標準偏差 σ の鉛直分布を示す。そこで、石組み下流の局所洗掘の有無を検討するため、底面付近 $0.05 < z \text{ (m)} < 0.10$ の流速に着目する。Case 1 と Case 2 との間で底面付近の時間平均流速 \bar{u} を比較すると、石組み下流端($x=0 \text{ m}$)では同程度であるが、Case 1 では流下方向に向かって加速傾向にある。これは、偏向流の影響が石組み下流では流下方向に向かって底面付近まで及ぶためと考えられる。また、Case 2 の時間平均流速 \bar{u} の方が Case 1 より小さくなる。なお、標準偏差 σ の鉛直分布とその大きさに Case による違いは小さい。これは、偏向流による流れが拡散されず、碎石の間で生じた伏流内の流速によって底面付近の流速が制御されたものと考えられる。

4. 底面付近の変動流速 u' の時系列変化

Figure 3 に $x=0.20 \text{ m}$, $y=0.32 \text{ m}$, $z=0.05 \text{ m}$ での Case 1, Case 2 の流下方向流速の変動流速 u' の時系列変化を示す。ここに、変動流速 u' は瞬間流速 u から時間平均流速 \bar{u} を引いた値 ($u' = u - \bar{u}$) である。図に示されるように、変動流速の変動幅は、Case 2 よりも Case 1 が大きい。これは、碎石を設置したことにより伏流の影響で底面付近の変動幅が小さく、流れの制御に寄与していることが考えられる。

5. まとめ

橋脚下流側の洗堀対策として、巨礫による石組みの他に碎石による保護工区間を適切に設けることによって、洗堀防止に寄与することを受けて、その有効性を実験規模で検討した。巨礫による石組み下流側に実験規模では碎石を用いて保護工を設けることにより、礫間の浸透流が底面付近の流速を制御し、偏向流の影響が底面付近に生じる区間に保護工区間があると有効であることが推定された。また、細石では伏流は生じているが隙間が小さすぎるため、底面付近の流速の制御に寄与しないことが Case 1 と Case 2 との比較から示された。今後は、実験で再現できた石組みおよび碎石による保護工区間を原型で適用した場合の留意事項について検討する。

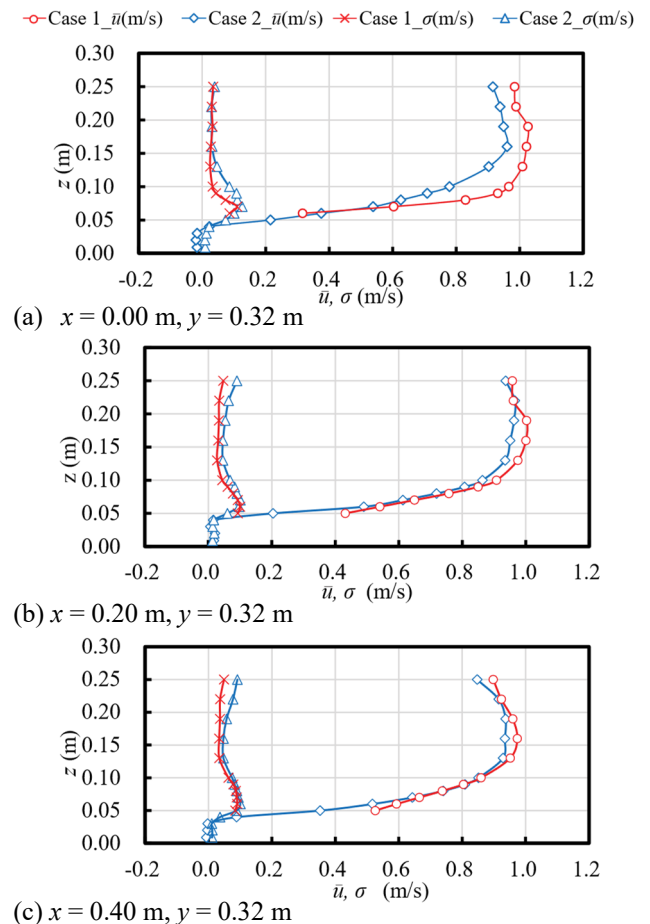


Figure 2. Velocity profiles for x -component.

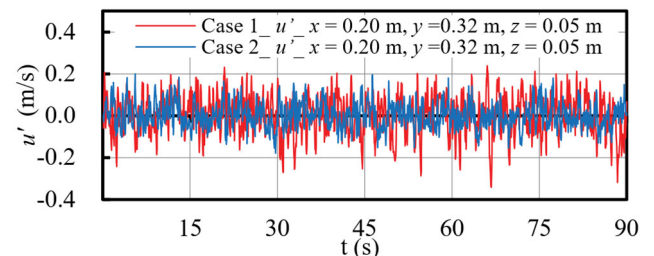


Figure 3. Time-series variation of fluctuating velocity.

6. 参考文献

- [1] 岡本隆明 (2017) 集中豪雨時の橋梁閉塞と河岸浸食対策に関する実験的研究, 平成 29 年度研究報告書, 前田記念工学振興財団, 土木分野 No.5, 6pages.
- [2] 河川を横過する橋脚に関する計画の手引き(案) (2009) 国土技術センター, ISBN4-87759-030-7, JICE 資料第 109001 号, 137 pages.
- [3] 土木技術資料 53-1 橋脚基礎の洗掘への対応事例 (2011)国土交通省国土技術政策総合研究所, 2 pages.
- [4] Yasuda, Y. and Ishitsuka, T. (2023) Experimental Investigation on Countermeasures for Gravel Bed Scouring and Driftwood Deposition Around Pier, Journal of Environmental Science Studies., Vol.6, No.2, pp.26-37.
- [5] 安田陽一, 田中佑青(2025): 石組みと碎石による遷移区間設置による橋脚下流の河床保護に関する実験的検討, 第 80 回年次学術講演会, II 部門, Je-14.