

移動限界超過流速時における袋状捨て石工の橋脚周辺の洗堀対策効果

東京理科大学大学院 学生会員 ○井上 隆
東京理科大学 正会員 二瓶 泰雄

1. はじめに

近年の集中豪雨に伴う大規模洪水氾濫によって、橋梁などの河川構造物に対する被害が頻発化している。その原因の大半は、大出水に伴い橋脚周辺では局所洗堀に起因し、河川橋梁の沈下や傾斜、橋桁の流出が発生する。橋脚周辺の局所洗堀やその対策に関しては古くから研究が行われており(例えば、福岡ら¹⁾)、現状の対策工法としては、橋脚の周りに矢板を打つ(シートパイル)工法が一般的である。しかし、シートパイル工法は、補強範囲が広いがゆえに、経済効率性や現場施工上の課題があり、改善の余地がある。そのため、著者らは、以前より現行河川橋脚で用いられる各種洗堀対策工(シートパイル工やブロック工、袋状捨て石工)の耐洗堀効果や施工範囲の変化に関する実験的な検討を行った(以下、前報と称す)²⁾。その結果、袋状捨て石工が高い耐洗堀性を示し、施工範囲を上流側に限定させても同等の効果が見られた。ただし、実験時の水理条件としては、洗堀対策工の移動限界条件を下回る流速であったため、今後、移動限界条件を上回る水理条件下での検討が課題として残った。そこで本研究では、移動限界条件を超過する水理条件下における袋状捨て石工の洗堀対策効果を実験的に検証することを目的とする。

2. 実験概要・条件

本報では、前報と同じ橋脚模型(1/15スケール)と河床条件(珪砂3号B、 $D_{50}=1.36\text{ mm}$ 、水路勾配1/400)とし、水理条件(流量・流速・水深)を変えた実験を行う。前報では本学所有の傾斜可変型小型開水路(長さ8.00m、高さ0.30m、幅1.00m)を用いた、本報では、**図-1**に示す本学所有の大型水路(長さ20.0m、高さ1.8m、幅1.0m)を用いた。同水路内に勾配 $i_0=1/400$ の固定床を上流・下流側に設置し、中央の7m区間のみ厚さ0.5mの河床を作製した。コンクリート製橋脚(楕円形、高さ30cm、短径 $D=0.13\text{ m}$ 、長径 $2D=0.26\text{ m}$)を水路上流端から流下方向 $x=13.5\text{ m}$ 、横断方向 $y=0.50\text{ m}$ に固定した。また、上流側から給砂は行わずに実験を行った。

水理条件は、**表-1**に示すように流量 $Q=0.240[\text{m}^3/\text{s}]$ で一定とし、通水時間は10分を1サイクルとして計30分を行った。実験時における洗堀対策条件は、**表-2**に示すように、洗堀工を設置しない無補強(Case1)と袋状捨て石工(Case2)とする。また袋状捨て石工は、実スケールにおける2tonの1/15模型であり、橋脚周辺全体に施工した。この袋状捨て石工の移動限界流速は約 0.80 m/s であるのに対して、実験時の平均流速は前報では 0.43 m/s 、本報では 0.88 m/s であり、本報は移動限界流速を超えている。計測項目は時々刻々の水位と河床高である。河床高はアナログポイントゲージを用いて計測し、水路中央の河床高縦断分布を通水開始10分ごとに、橋脚周りの河床高(計測範囲： $x=12.86\sim14.86\text{ m}$ 、 $y=0.36\sim0.64\text{ m}$ 、計500点)を通水終了時に計測した。

3. 実験結果と考察

袋状捨て石工の移動状況：前報では捨て石工の位置は設置範囲外縁部を除いて変化していなかったが、本報では捨て石工の移動が一部で見られた。その様子を確認するために、通水開始から10、20、30分の捨て石工位置を**図-2**に示す。ここで、捨て石工の位置は、番号毎に色を変えて表している。これより、通水開始10分後では、通水前と比べて袋状捨て石工の一部が下流側に移動している。詳しく見ると、橋脚脇(No.10、11、14、15)の捨て石工は下流側に流され、下流側のNo.17-19の捨て石工はより下流側(図範囲外)まで流出した。それに伴い、外縁部のNo.12、13、16、20が橋脚寄りに移動した。さらに、最上流側(1列目のNo.1-4)の捨て石工

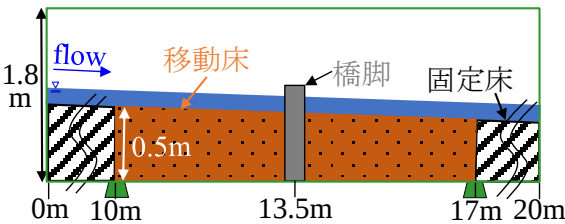


図-1 大型水路の概要

表-1 前報と本研究の水理条件の比較

	本報	前報
流量 $[\text{m}^3/\text{s}]$	0.24	0.03
平均流速 $[\text{m/s}]$	0.88	0.43
通水時間 $[\text{min}]$	30	90

表-2 補強条件

	無補強	袋状捨て石工
対策工	無し	
施工状況		

キーワード 袋状捨て石工、橋脚、河川橋梁、洗堀対策工、移動限界条件

連絡先 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学 TEL04-7124-1501 (内線 4072)

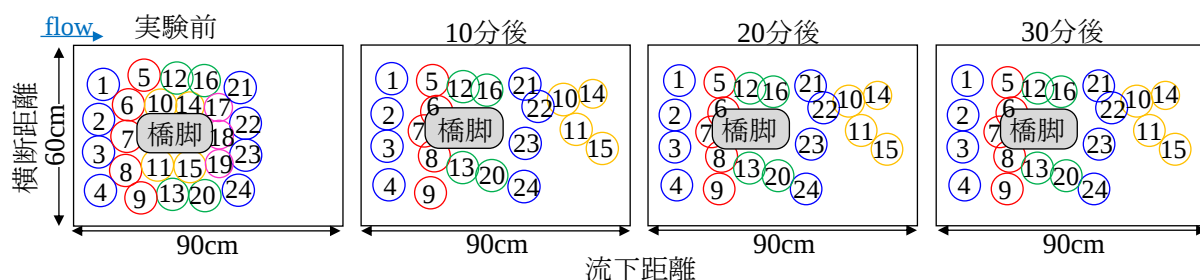


図-2 通水開始から10分毎の袋状捨て石工の位置の推移

はほぼ変位せず、2列目（No.5-9）の捨て石工もやや下流側かつ橋脚寄りに移動した。下流側最後列（No.21-24）の捨て石工も最前列同様に移動量は小さい。次に、通水開始20、30分後では、通水開始10分後からほぼ変化せず、準平衡状態となっている。これより、移動限界を超過する水理条件下では、橋脚側面・下流側の袋状捨て石工は移動するものの、時間と共に移動せず平衡に近い状態となっている。さらに、対策上最も重要な上流側2列の捨て石工の変位は最小限に留まるため、橋脚上流側の洗堀抑制機能を継続的に発揮できたものと推察される。

(2) 橋脚周辺の洗堀状況：通水開始30分後における橋脚周辺の洗堀状況の把握のため、無補強と袋状捨て石工における洗堀深コンターを図-3に示す。ここでの洗堀深は初期河床面を基準とし、洗堀の場合は正、堆積を負で示す。まず、無補強では、橋脚前面を中心に上流側や左右側面方向へ同心円状を描くように洗堀が進むと共に、橋脚下流側では堆積傾向にあるなど、一般的な局所洗堀パターンが発生している。一方、袋状捨て石工における橋脚周囲の洗堀深は、無補強よりも大幅に減少し、洗堀状況が緩和されている。橋脚周囲の洗堀状況を比べるために、通水30分後の橋脚周上の洗堀深変化を図-4に示す。洗堀深の算出するにあたって、橋脚に沿って得られる右周り・左回りの洗堀深を平均している。橋脚前面の最大洗堀深は無補強時では0.21mであるが、袋状捨て石工では0.11mと無補強の約半分である。また、橋脚周囲全体にて、袋状捨て石工の方が洗堀深を減少させている。これより、移動限界を超える水理条件下でも袋状捨て石工の移動が最小限にとどまるため、袋状捨て石工の洗堀抑制機能が維持・発揮されていることが明らかとなった。

(3) 洗堀深の時間変化：洗堀状況の時間変動特性を確認するために、通水開始10、20、30分後における洗堀深の縦断分布を図-5に示す。ここでは、移動床の7m区間を対象とし、橋脚の上・下流端位置も点線で図示する。これより、無補強に関しては、時間と共に洗堀が進行し、上流側の平均洗堀深は、0-10、10-20、20-30分経過時でそれぞれ0.069m、0.086m、0.098mであった。一方、袋状捨て石工では無補強よりも洗堀を抑制できているが、時間と共に洗堀は進行している（0-10、10-20、20-30分経過時でそれぞれ0.047、0.062、0.074m）。このように、袋状捨て石工においても洗堀は徐々に進んでいるが、移動後の袋状捨て石工の位置は0-10分を除いて変わっておらず、周囲の河床変動に合わせて準平衡状態になっていたものと考えられる。

参考文献：1) 福岡，富田，堀田，宮川：土木学会論文集，No. 497/II-28，pp. 71-79，1994，2) 井上，倉上，佐名川，二瓶：土木学会年次学術講演会，Vol. 75，pp. II-11-II-12，2020。

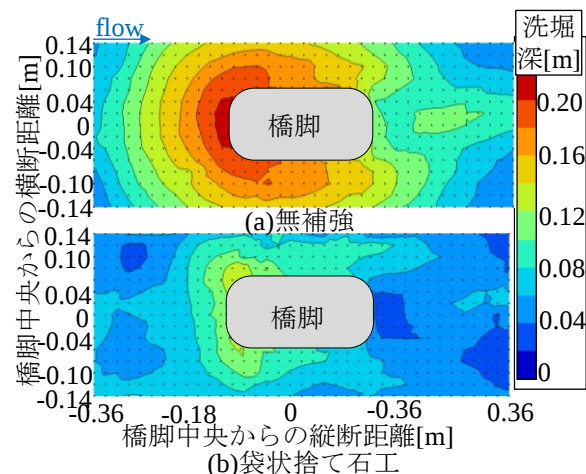


図-3 橋脚周辺の洗堀深コンター（図中黒点：ポイントゲージ計測点）

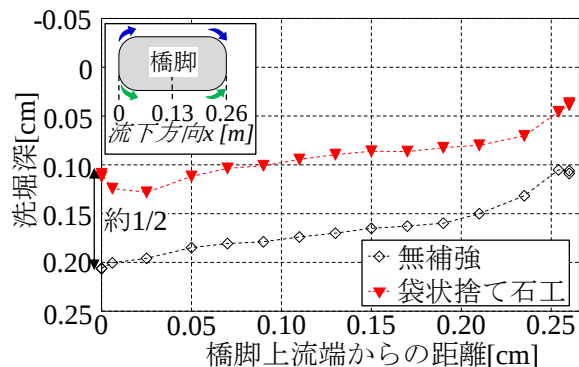


図-4 橋脚周上の洗堀深変化

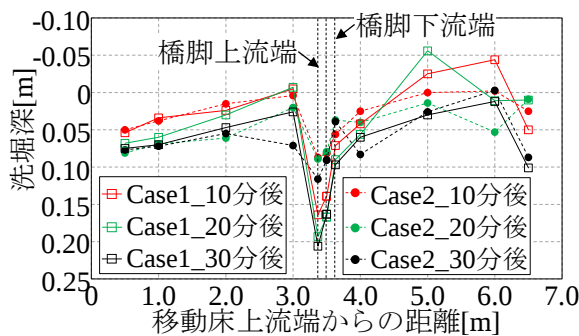


図-5 水路縦断方向における洗堀深時系列変化