

「巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工」の 機能維持確保のための技術検討

TECHNICAL INVESTIGATION FOR MAINTENANCE OF BANK PROTECTION WORKS USING SANDBARS WITH BOULDERS IN RAPID AND STONY BED RIVERS

丸山和基¹・二俣秀²・今井克治³・徳島美幸⁴・福岡捷二⁵

Kazuki MARUYAMA, Hiizu FUTAMATA, Katsuharu IMAI,
Miyuki TOKUSHIMA and Shoji FUKUOKA

¹非会員 国土交通省北陸地方整備局 河川部 河川計画課長
(元 富山河川国道事務所 調査第一課長) (〒950-8801 新潟県新潟市中央区美咲町1-1-1)

²非会員 国土交通省北陸地方整備局 河川部 河川工事課長
(元 富山河川国道事務所 技術副所長) (〒950-8801 新潟県新潟市中央区美咲町1-1-1)

³非会員 国土交通省北陸地方整備局 黒部河川事務所 工務課 河川係長
(元 富山河川国道事務所 調査第一課 河川調査係長) (〒938-0042 富山県黒部市天神新173)

⁴非会員 国土交通省北陸地方整備局 富山河川国道事務所 調査第一課
(〒930-8537 富山県富山市奥田新町2-1)

⁵フェロー Ph.D 工博 中央大学研究開発機構教授 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

The bank protection works using sandbars with boulders which are local riverbed products have been developed and applied in the Jyoganji river, which is one of the most rapid stony rivers in Japan.

These works have two advantages compared to ordinary concrete revetment; 1) making its maintenance easy in the use local riverbed constituent material, 2) extending life-span of banks with existing bank protection works.

This paper shows technical investigation of securing functional maintenance of the bank protection works based on monitoring study and numerical simulation.

Key Words : protection works by boulders, monitoring, rapid stony river, bank erosion, simulation

1. はじめに

急流石礫河川である常願寺川は、洪水時の河床変動が大きく、河岸侵食、河床洗掘による破堤氾濫の危険性が高い河川である。このため、急流河川の河岸侵食対策として、根継護岸などコンクリート護岸を主体とした対策を実施してきたが、護岸を主体とした対策工は、流路が護岸際に固定化し、結果として、護岸前面で流速増大による河床洗掘をもたらし、さらには、護岸下流にある砂州の侵食・縮小化により河岸侵食が堤防まで到達する危険性が高まることが示された¹⁾ (図-1)。この問題に対し、富山河川国道事務所と中央大学研究開発機構は共同で巨石や中小礫など現地河床材料を利用した新たな河岸防護技術である「巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工」^{1)~9)}(以下、本工法)を開発し、平成19年度より現地施工を行っている。

本工法は、現地河床材料を利用した構造のため、補修などの維持管理が容易なこと、また従来の護岸と一体的

に予防保全的に巨石付き盛土砂州を配置することで、河川管理施設の長寿命化を図ることが期待されている。

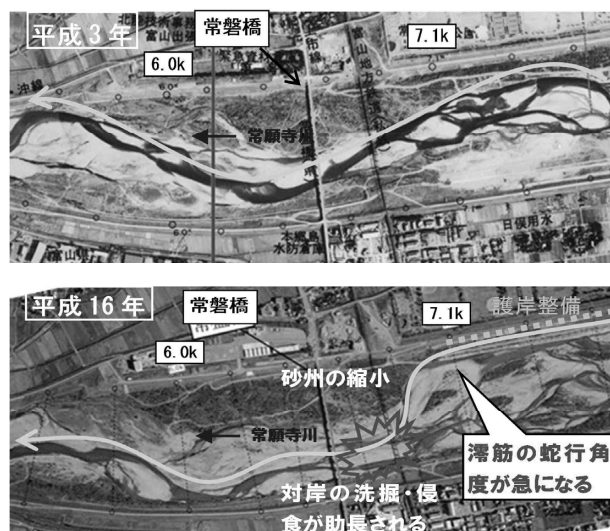


図-1 航空写真による滞筋の変遷 (常願寺川 6.0k~7.1k)

そこで、本論文では、施工後3年間にわたり、継続してモニタリングが実施されている右岸11.7k付近の施工箇所を対象に、モニタリング調査及び、長田・福岡³⁾の石礫河川の二次元河床変動解析法を用いた洪水流・河床変動解析を行い、本工法の機能維持管理のための技術的検討を行ったものである。

2. 本工法を用いた河川管理の考え方

急流河川では、図-1のように護岸際に流れが集中し、下流部の砂州が消失することにより、護岸沿いの流路が下流へ伸び、そのため下流への護岸の延伸が必要となる。このことに対し、図-2のように、河岸沿いに存在する砂州を保全・回復させ、その砂州の上流端水衝部となる部分に巨石を配置することで、盛土砂州が「極めて密な間隔で設置する多数の柔らかな水制群」の役割を持ち、護岸沿いに進んできた流れが砂州中に侵入するのを防ぎ、中小洪水に対して安定で自然性の高い河岸が形成される。これはまた、既設護岸の長寿命化を図ることを可能にする。

図-3に本工法の構造を示す。本工法は、根石工、中詰め盛土工、石材法覆工、及びリップラップ工から構成されている。本工法は、現地発生した土砂や石を使うこと、自然の砂州を活かすことにより、治水面、環境面から水際の有する機能を保全し、施工や補修も容易にできることから、治水と環境の調和したコストパフォーマンスの高い工法である。

本工法は、①河岸沿いの砂州の侵食が進行している箇所、②滞筋が急激に湾曲しており、是正が必要な箇所、③平面二次元河床変動解析結果から、河岸際で高速流の発生、洗掘が予測される3箇所に着目し、河川全体を見通した流れに着目して適正な位置での施工が検討される。常願寺川においては右岸9.2k、右岸11.7k、右岸13.5k、及び左岸8.2kの計4箇所で大施工が行われている。

施工後3年が経過し、継続して本工法の詳細なモニタリングが実施されている右岸11.7k付近の施工箇所を対象に、①維持管理上の効果・メリット、②補修基準の明確化の2点についてモニタリング結果及び水理解析で得られた知見から技術評価を行った。

3. 本工法の維持管理上の効果

(1) 河川管理施設の長寿命化

1) モニタリングによる分析評価

上述したように、常願寺川のような急流河川では、洪水時の河床変動が大きく、河岸際の洗掘や侵食が破堤氾濫を引き起こす危険性が高い。H24年には元付工(法覆工と根固工間の河岸保護工)の下流側で練石張護岸の損傷が確認された。その時の状況を図-4に示す。損傷は、河岸際にみお筋が固定化した箇所で確認され、繰り返し発

生する中小出水時において護岸背面の土砂が吸出しを受け、洪水時に転石が練石張護岸に衝突を繰り返したことが要因と推察される。このことから洪水時における護岸へのダメージを軽減させることが重要である。

本施工が実施されたH24年以降発生した出水は、表-1に示す8出水である。このうち、天端冠水はH24年7月7日、H25年6月19日、8月1日、8月23日、9月16日の5回である。また、H25年は繰り返し出水が発生している。

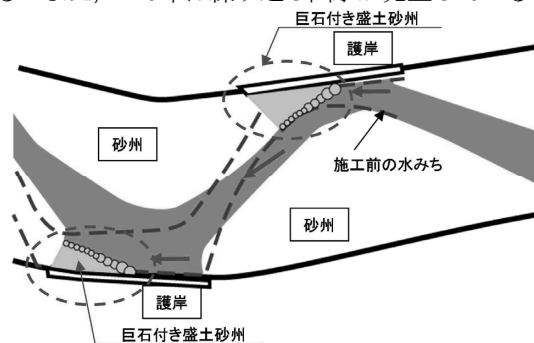


図-2 巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工による水衝部対策

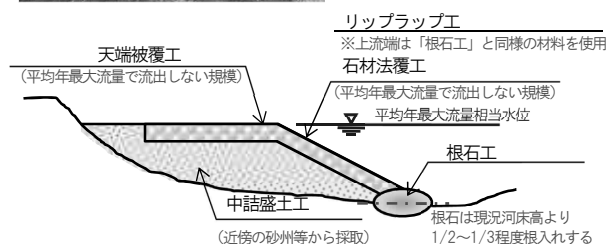
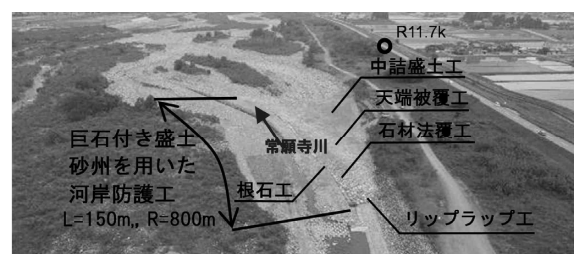


図-3 本工法の構造（右岸11.7k）

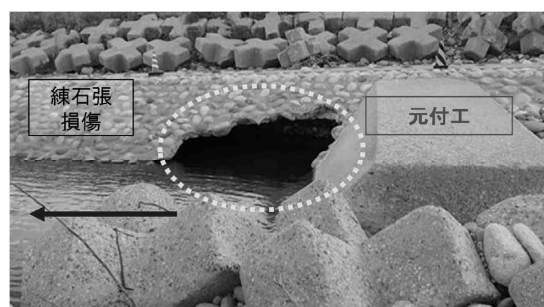


図-4 元付工下流の練石張護岸の損傷状況（右岸11.9k）

表-1 本工法設置以降の出水

NO	発生日	瓶岩ピーク流量	天端冠水の有無
1	H24.7.7	440.0m³/s	有り
2	H25.6.19	438.9m³/s	有り
3	H25.7.27	316.6m³/s	無し
4	H25.7.29	413.2m³/s	無し
5	H25.8.1	344.0m³/s	有り
6	H25.8.23	444.3m³/s	有り
7	H25.9.16	432.9m³/s	有り
8	H26.10.14	367.9m³/s	無し

河岸防護工の天端を洪水が流下したH25年6月出水の状況を図-5に示す。これより、主流は根石ラインに沿って滑らかに河岸を離れ、河道中央に向けられており、河岸防護工の機能である主流の制御効果が発揮されていることが確認できる。



図-5 H25年6月出水の状況(常願寺川右岸11.7k付近)



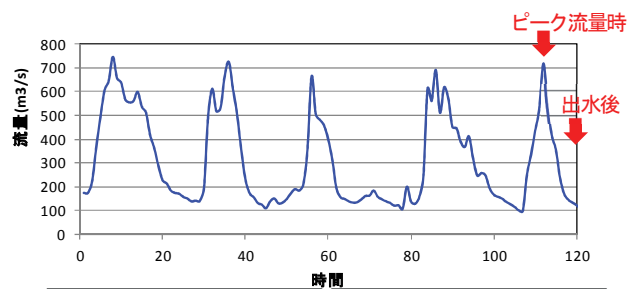
図-6 施工後～出水後の河道の変遷(常願寺川右岸11.7k施工箇所)

図-6は、本工法設置直後とH25年6月出水後の航空写真である。これより、出水後は中小出水の侵食・洗掘作用を受けて、みお筋は滑らかに河岸を離れ河道中央に導かれている。

2) 水理解析による分析評価

本工法のみお筋の是正効果、既設護岸前面の洗掘・侵食抑制効果について、長田・福岡³⁾の石礫河川の二次元河床変動解析法を用い、洪水流・河床変動解析を行い、本工法設置の効果検証を行った。対象区間は、11.3k～12.2k、対象出水は、図-7に示す平均年最大流量規模の洪水を繰り返し与えた。

結果を図-8、図-9に示す。本工法設置前の河道における流速ベクトルをみると、砂州上に4.0m/s～5.0m/sの高流速が発生し、滞筋が河岸際に寄っている。一方、設置後の砂州上の流速は2.0～3.5m/sとなり低減している。



□メッシュサイズ 縦断: 25m、横断: 6m～50m	□外力 700m³/s程度×5出水
□河道条件 河岸防護工なし: H19河床高 河岸防護工あり: H25.10河床高	□境界条件 上流端: 流量 下流端: 等流水位

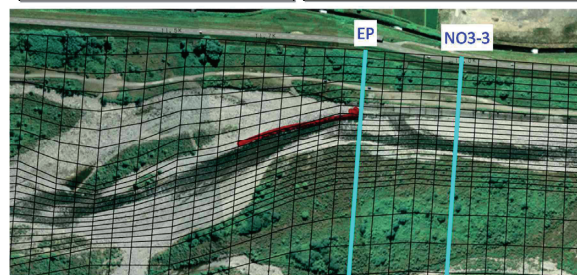


図-7 計算条件

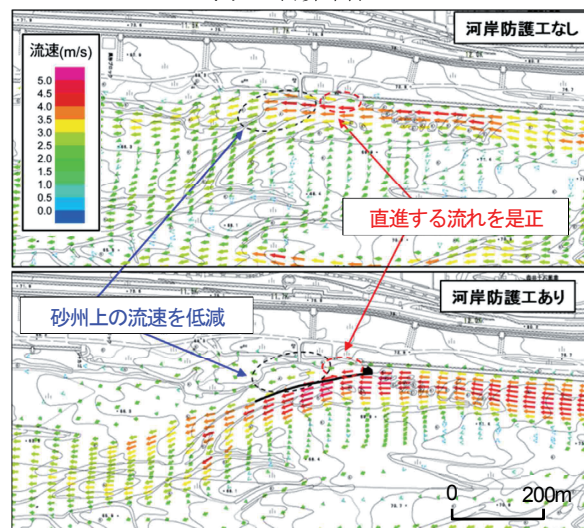


図-8 流速ベクトル図(流量ピーク時)

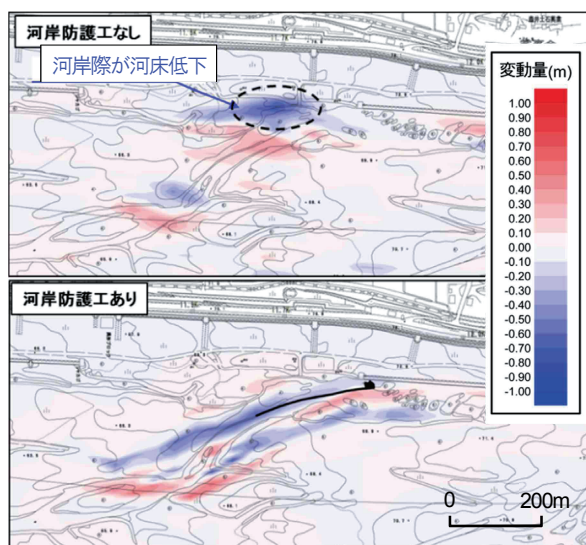


図-9 河床変動量コンター図(出水後)

これは、本出水より若干規模の小さいH25年8月出水でのPIV解析でも同様の結果が得られている。高流速域はリップラップ工～石材法覆工の上流区間となっており、根石ラインに沿って滑らかに河岸を離れ、河道中央に導かれている状況が確認できる。

次に、河床変動量を比較すると、水衝部に巨石を設置しない場合は砂州の洗掘長が約200m、洗掘深は最大0.5mに達し、河岸の損傷、下流砂州の侵食・縮小が助長される結果が示された。それに対し、設置した場合は河岸際の河床洗掘がほとんど生じず砂州に沿って滑らかに洪水が流下できることが確認された。

以上のことから、本工法は、繰り返し発生する中小出水に対して洪水の主流が滑らかに河道中央部に導かれることで河岸の損傷や護岸下流砂州の侵食・縮小を防ぎ、大規模出水に対抗する河川管理施設の長寿命化に大きな効果があることがわかった。

さらに、本工法は変形に対して屈撓性を持つことから群体として安定している限り、補修の必要がなく長期にわたり機能が維持できる。また、現地河床材料を使用しているため補修を行う場合にも材料の入手が容易なことや、護岸補修のように一連区間の補修が必要なく、締切などの仮設備を必ずしも必要としないこと等から補修の容易さ、コストや工期短縮の観点等、多くのメリットを有している。

4. 本工法の補修基準の明確化

(1) リップラップ工背後の補修基準

本工法は、巨石群の自重と中小礫の噛み合わせ効果により安定し、侵食等に伴う若干の変形を許容した構造で、治水と環境の調和した工法としての効果が期待される。特に水衝部保護のために設置されている上流端のリップラップ工は、本工法の中でも最も重要な箇所である。

図-10は、施工直後からH24年10月時点のリップラップ工の定点観測結果を示したものである。これより、リップラップ部は根石の移動は生じていないものの、中小礫の間詰めが流出することもあり、その時には背面部は巨石が移動しており、噛み合わせ効果が弱くなっている。

これは図-11に示すH25年6月出水とH26年10月出水($Q=367.9\text{m}^3/\text{s}$)の比較より、リップラップ部上で水位の上昇が確認されている。このことから、図-12に示すように、洪水中にリップラップ部に衝突した水流が鉛直方向に跳ね上がり、勢いを有したまま背後の巨石群への強い落ち込み流が発生したため、図-10に示す中小礫が流出し、隣接する巨石間に隙間ができたと考えられる。このことから最も重要なことは、水衝部に当たった水流の盛り上がりからの落ち込みが小さくなるようにリップラップの高さと背後域の高さが面一となるように盛土砂州の構造を維持すること、また、補修基準は、隣接する巨石



図-10 リップラップ背面部の巨石の移動状況



図-11 H25年6月出水とH26年10月出水($Q=367.9\text{m}^3/\text{s}$)のリップラップ部の状況

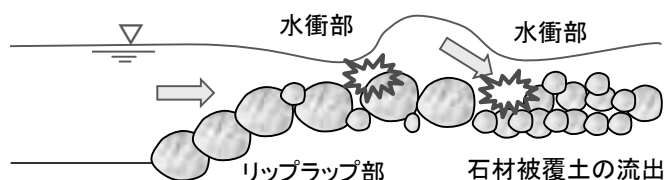


図-12 リップラップ工背面の侵食メカニズム

間の間隔が間詰め工の粒径程度(約0.2m～0.3m)開いた場合、巨石の積み直し及び間詰め工の充填を行うこととした。

(2) リップラップ部直上流の堆積土砂の撤去基準

本工法により、主流路が滑らかに是正されていることが分かった。一方で、図-13に示すように本工法上流に位置していた交互砂州が徐々に下流側へ移動し、現在では防護工直上流に砂州の前縁が到達している。また、水はね時の二次的流れによって上流に土砂が堆積する傾向にある。これら砂礫の堆積が進行することにより、リップラップ部に当たる洪水流速・流向の変化による防護工の変形や背後の侵食等の問題が懸念される。

このことから、前出の平面二次元洪水流・河床変動解析モデルを用いて、現状の土砂堆積部の高さをメッシュ

ごとに+1.0m, +1.5m, +2.0m堆積した場合の地盤高を想定し、図-7に示す条件下での河岸防護工への影響について分析・評価した。

図-14に対象とした土砂堆積部を、図-15に+1.0m, +1.5m, +2.0m堆積した場合の流速ベクトル図を示す。これより、砂州高が現況より1.0m以上高くなると、リップラップ前面の標高差が小さくなり防護工天端に流れが乗り上げやすくなり、防護工上流では砂州の侵食が始まる5.0m/s以上の高速流が生じている。なお、Case3において5.0m/s以上の高速流が発生する区間が短くなっているが、これは対岸へ向かう流れが強くなるためと考えられる。以上のことから、土砂堆積による撤去基準としては、防護工上流部に1.0m以上土砂が堆積した場合にこの土砂を撤去することとした。

また、上流の砂州に植生が繁茂することによって固定化する可能性について検討した。検討方法は、現状よりも砂州高を0.25m~1.0mまで0.25mピッチに上げた場合に砂州が冠水する流量とその時の断面平均流速を等流計算によって推算し、植生の繁茂が起こりうるかを確認した。検討箇所は図-7に示すリップラップ前面（EP）とリップラップ上流（NO-3-3）の2地点とし、結果を表-2に示す。これより、砂州が1.0m堆積した場合でも約50m³/sで冠水し、約3.0m/sの流速があることが分かる。常願寺川の平均年最大流量は約700m³/sであること及びアキグミは約3.0m/sの流速で流出することから、アキグミやヤナギ等の植物が萌芽し、生長することによる砂州の固定化の可能性は低いと判断される。

(3) 石材法覆工の補修基準

河岸防護工の側面は、石材法覆工や天端被覆工から構成されており、洪水流の侵食を受けやすい水際部では、現地発生材よりも大きな粒径の石材を利用している。

図-16に示すように、繰り返し出水を受けた場合に天端被覆工や法覆工が流失し、現地発生土を使用している中詰盛土工が露出した場合、本工法の特徴の一つである

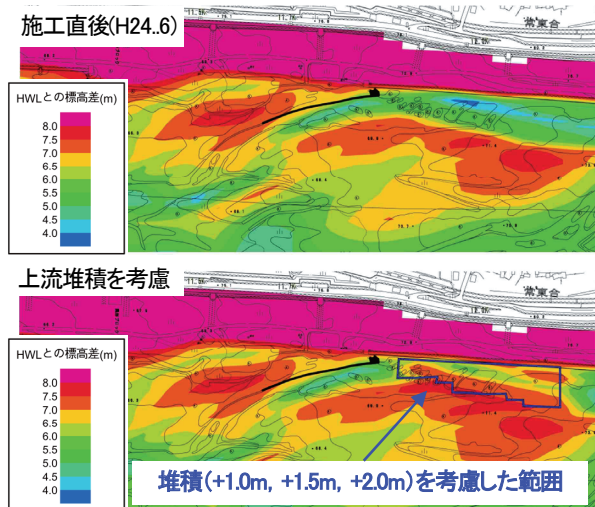


図-14 河床高の設定 (HWLからの標高差)



図-13 本工法設置以降の砂州の移動状況

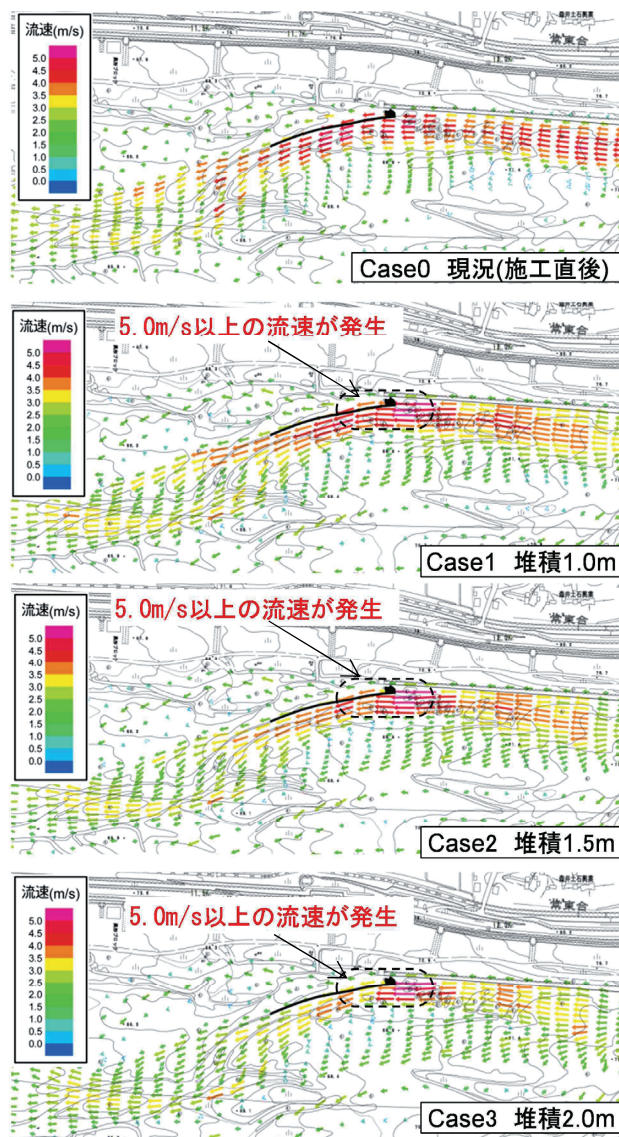


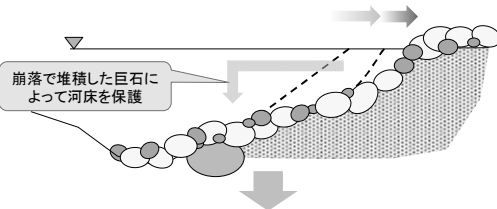
図-15 流速ベクトル図(流量ピーク時)

表-2 砂州高と冠水流量の関係

	リップラップ前面 (EP)			リップラップ上流 (NO3-3)		
	砂州高 (T.P.m)	砂州が冠水 する流量 (m³/s)	流速 (m/s)	砂州高 (T.P.m)	砂州が冠水 する流量 (m³/s)	流速 (m/s)
現況	68.07	13	2.1	70.95	11	1.7
0.25m上昇	68.32	21	2.3	71.20	20	1.9
0.50m上昇	68.57	29	2.5	71.45	29	2.1
0.75m上昇	68.82	39	2.6	71.70	40	2.3
1.00m上昇	69.07	52	2.8	71.95	53	2.5
平水位 (11m³/s)	67.90			70.90		

【群体として安定】

多少変形しても、石材法覆工や天端被覆工から巨石が供給され、群体として安定した状態になり、侵食が止まる
→補修は必要ない



【補修を検討】

背後から巨石が供給されているが、侵食が進行しており、中詰め盛土工が一部露出
→補修を行う

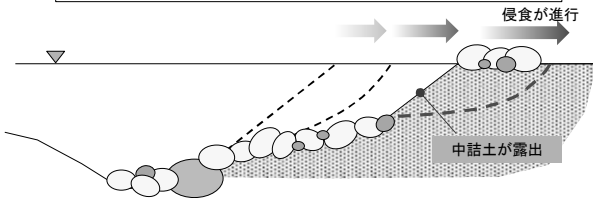


図-16 石材法覆工の補修のタイミング

巨石が移動した場合でも背後もしくは上部から巨石が供給され、従来機能を維持し続けるという利点が損なわれ、巨石付き盛土砂州の侵食が進行する可能性があることから、補修を行うこととした。

5. おわりに～維持管理基準の設定～

本論文では、現地施工後のモニタリング調査及び石礫河川の特性を踏まえた水理解析により、巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の機能維持確保のための技術的検討を行った。

その結果、本工法は繰り返し発生した中小出水に対しても、洪水の主流が滑らかに河道中央部に導くことで、河岸の損傷や護岸下流砂州の侵食・縮小を防ぎ、大規模出水に対抗する河川管理施設の長寿命化を図る利点が明らかになった。

一方、本工法上流端のリップラップでは、洪水流が鉛直方向に跳ね上がり、その落ち込み流により変状が見られた箇所もあること、リップラップの高さと背後域の高さが面一となるように維持し、乗上げ流が滑らかに流れる工夫が必要なが分かった。また、砂州の移動に伴いリップラップ上流に土砂が堆積し、堆積が進むことで水衝部への水の当たり方に影響することから、常に前面の堆積土の高さに注意することなどが必要なことが分

表-3 維持管理基準(右岸11.7kの事例)

リップラップ工	・隣接する巨石間の間詰め工が流出し、巨石間の間隔の大きさが間詰め工の粒径程度開いた場合
土砂堆積の撤去	・1m以上土砂が堆積した場合
石材法覆工	・石材法覆工が流出し中詰め盛土工が露出した場合

かった。なお、鉛直方向の水跳ねを抑制するため、リップラップの勾配を緩くする改良案についても今後現地施工と併せて検討していく予定である。

以上より、本工法の必要な機能を持続的に確保するための基準として表-3にまとめた。本工法は、治水と環境の両面から多くの利点を有している。従って、この利点を活かすことが大切で、そのために必要な維持管理は、それほど労力やコストがかかるものではない。比較的簡単な維持管理を適切に行うことによって、本工法の機能維持を図り、確かな技術に高めていくことが重要である。今後は、さらにモニタリングにより知見を蓄積し、基準の妥当性や精度向上を行う予定である。また、全国の急流河川に本工法を普及していくための手引き⁶⁾を更新していく予定である。

参考文献

- 1)長田健吾，安部友則，福岡捷二：急流礫床河川における低水路護岸沿いの深掘れ流路形成とその特性，河川技術論文集，第13巻，pp.321-326，2007。
- 2)澤原和哉，須賀正志，安部友則，福岡捷二：急流河川における巨石を用いた新たな河岸侵食対策の立案と検証，河川技術論文集第15巻，pp109-114，2008。
- 3)長田健吾，福岡捷二：石礫河川の河床高移動機構と表層石礫の凸凹分布に着目した二次元河床変動解析法，土木学会論文集B1（水工学），vol.68，No.1，pp.1-20，2012。
- 4)長田健吾，福岡捷二，氏家清彦：急流河川における砂州を活かした治水と環境の調和した河道計画，河川技術論文集，第18巻，2012。
- 5)小池田真介，石井陽，岩井久，石川俊之，福岡捷二：水衝部対策を施工した砂州による自然性の高い河岸防護工の創出，河川技術論文集，第18巻，2012。
- 6)国土交通省北陸地方整備局河川部・急流河川研究会：治水と環境の調和した新たな河岸防護技術の手引き～巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工～，2013。

(2015. 4. 3受付)