

急流河川における新たな河岸防護技術 — 巨石付き盛土砂州を用いた 河岸防護工について —

今井 克治¹・小池田 真介²・石井 陽³・岩井 久⁴・石川 俊之⁵

¹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 富山市奥田新町2-1）

²前）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 富山市奥田新町2-1）

³国土交通省北陸地方整備局 富山河川国道事務所 調査第一課長（〒930-8537 富山市奥田新町2-1）

⁴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 富山市奥田新町2-1）

⁵国土交通省北陸地方整備局 富山河川国道事務所 副所長（〒930-8537 富山市奥田新町2-1）

常願寺川では、既設護岸沿いに流れが集中する為に、下流砂州が侵食され、流路が河岸際に固定されたまま下流へ延伸することが観察されてきた。その対策として、巨礫により砂州上流部分を保護した所、洪水時の河床や河岸を安定させ、流路線形を滑らかにすることが分かった。

本研究では、巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の有効性を確認するために現地実験を行い、1）河岸防護工がない場合の砂州の侵食状況、2）河岸防護工がある場合には、大きい流量条件下においても砂州が安定すること、を確認した。本研究より、巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工は、変形を許容する新しい自然性の高い工法であり、その効果を確認できた。

キーワード 急流石礫河川、河床洗掘、砂州、現地実験、河岸防護工

1. はじめに

常願寺川は我が国有数の急流石礫河川であり、洪水時は、その大きなエネルギーにより、河床の変動や河岸洗掘量が大きく、また、不規則な河道線形や河床状態の影響を受けて偏流しやすいため、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。これまでは、被災河岸に対し、新規護岸の施工などの対策を実施してきており、これら護岸の施工により河岸侵食に対する安全性を向上させてきた。その一方、河岸の直線化と摩擦の減少は、流路を河岸際に集めることとなり、結果として護岸前面の流速増大による河床洗掘をもたらし、さらには流路が河岸際に固定されたまま、下流側河岸沿いに進行することになるため、護岸の下流への延伸が必要となる場合がある（写真-1参照）。このようにさらなる護岸を施工することは、河岸際の自然性という観点からは望ましくない状況であり、単に局所的かつ一面的な護岸対策のみでは治水的にも環境的にも十分な対策とは成り得ておらず、河道全体の構造とそれに伴う流れを考慮した新しい急流河川の河岸防護工法が望まれている。

また、急流河川はその特色として、粒度分布の広い河床材料から成る石礫を中心とした砂州が連続して存

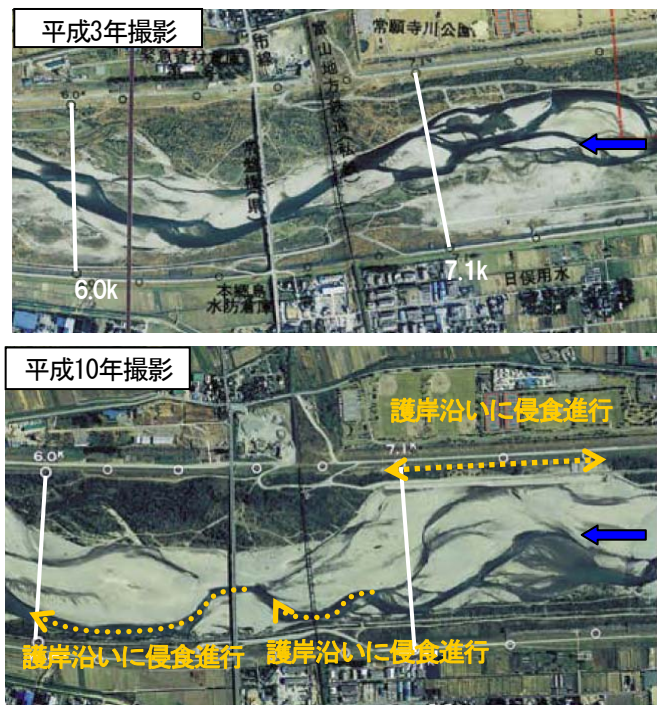


写真-1 滞筋の変化

在し、その間を水が流れ、特に河岸沿いには砂州の発達による豊かな自然性が見られることにある。砂州は

消失した場合には自然回復が困難であり、その砂州が護岸の施工によって侵食、消失していくことは治水上、環境上の課題であるにとらえ、富山河川国道事務所では、中央大学研究開発機構と共同して、2007年に砂州前面の水あたり部に現地の巨石を配し、巨石によって防護される盛土砂州を用いた河岸防護工の試験施工を行ってきた。それらの結果から、巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工は、砂州の侵食・洗掘を抑制し、滑らかな低水路河道線形の維持に効果があり、洪水に対して安定性のある河岸・堤防防護工となる可能性が高いと考えている。

本研究は、この工法が急流河川における砂州を生かした河道づくりに大きく寄与できると考え、より確かな技術確立に向けて、異なる流量条件下における巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の有効性を確認するために、2011年に常願寺川で現地実験を行ったものである。

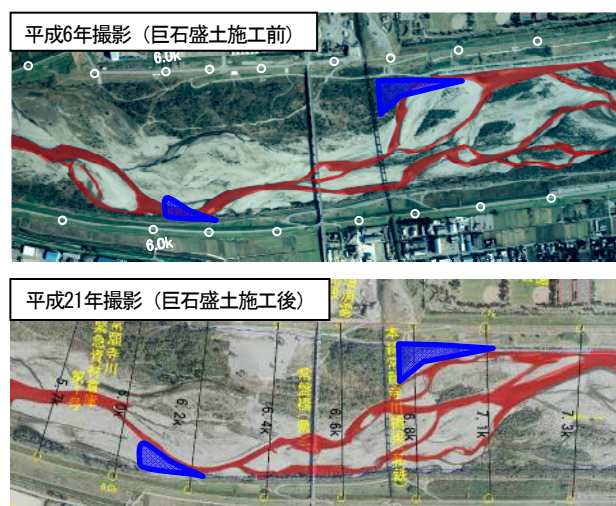


写真-2 試験施工箇所の滞筋の変化
(青着色部が試験施工箇所)



写真-3 試験施工箇所（2010.7撮影）

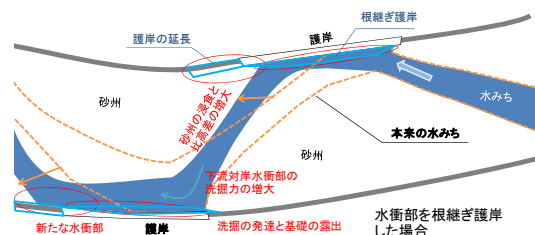


図-1 護岸施工による砂州の侵食による流路の延伸

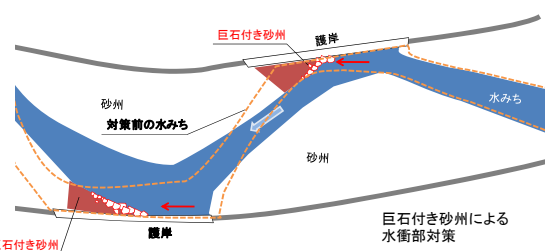


図-2 巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の効果

2. 河道管理の基本的考え方

急流河川の望ましい河道づくりとは、河岸沿いに縦断的、連続的に形成された自然砂州によって、洪水の主流が堤防から離れ、河岸の侵食、洗掘が軽減されるように洪水流が流下する河道構造を維持できると考えており、そのためにはかつてそうであったように、河岸沿いに連続的に砂州を回復することが望ましい。このような砂州を活かした自然性の高い河道を実現するという観点、そして、急流河川では、護岸を用いた河岸防護工はいずれ護岸沿いの洗掘により根継ぎの護岸が必要となる場合が多く、それを避けるという観点からも、既設護岸の前面に、かつて存在した砂州を作り、砂州の水当たり部に巨石を配し水はねさせることによって、護岸とその前面の砂州の一体構造として河岸防護工を形成することは有効であると思われる。2007年に行った現地パイロット試験の経過を写真-2,3に示す。かつて現地河道内にあった砂州を盛土して再生し、砂州上流面に巨石を配置することで水当たりによる砂州の侵食を防ぎ、滑らかな流路線形を再現し（写真-2）、且つ河岸を保護できることが現地モニタリングの結果から明らかとなっている²⁾。また、2年経過後の写真-3では、巨石付きの盛土砂州に植生が生育し、治水上、環境上の望ましい状況を示していることが分かる。

巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の基本的考え方は次のとおりである。図-1のように護岸のみの場合には護岸際に流れが集中する結果、護岸沿い流路が下流に延伸し、下流部の砂州を広い範囲で消失させるこ

表-1 実験水理条件

| 通水 | | 巨石付き盛土を用いた河岸防護工の有無 | | 断面平均流速 [m/s] | 最大流速 [m/s] | 水面幅 [m] | 平均水深 [m] | 流量 [m ³ /s] |
|-----|-----|--------------------|------|-----------------|---------------|------------|-------------|---------------------------|
| | | 水衝部① | 水衝部② | | | | | |
| 1回目 | 低水路 | 有り | 無し | 1.2 | 2.3 | 5.0 | 0.8 | 4.6 |
| | 高水敷 | | | - | - | - | - | - |
| | 全断面 | | | - | - | - | - | - |
| 2回目 | 低水路 | 有り | 有り | 1.4 | 2.6 | 5.0 | 0.7 | 5.2 |
| | 高水敷 | | | 0.8 | 0.9 | 15.0 | 0.2 | 2.4 |
| | 全断面 | | | 1.1 | 2.6 | 20.0 | 0.3 | 7.6 |
| 3回目 | 低水路 | 有り | 有り | 1.6 | 2.3 | 5.2 | 0.8 | 7.0 |
| | 高水敷 | | | 1.4 | 1.9 | 14.8 | 0.3 | 6.7 |
| | 全断面 | | | 1.5 | 2.3 | 20.0 | 0.5 | 13.7 |



写真-4 実験水路平面形（通水前）

とになり、河岸を守るためには、下流に延々と護岸を延長しなければならなくなる。しかし、図-2のように滑らかな護岸沿い流路を形成するように回復させた砂州の上流面に巨石を設置し、護岸沿いに進んできた流れが砂州内へ進入するのを防ぎ、砂州の形状を維持できれば、洪水流に対して安定で自然性の高い河岸になる。回復させる盛土砂州はいわば、河岸を守るために極めて密な間隔で設置する多数の水制群に相当する。しかし、砂州は水制のように人工的な構造物ではなく、自然の柔軟な造形物であることが重要なポイントとなる。これらを河道管理の基本的考え方として、現地実験によって技術的検討を行った。

3. 2011年常願寺川現地実験

（1）実験水路

現地実験水路は、常願寺川左岸6.1kmの砂州上に開削し設けた。写真-4に実験水路の平面形状を、写真-5に実験状況を示す。水路は、常願寺川の滞筋の一つと見立て、写真-4に示すように2箇所の水衝部（上流側を水衝部①、下流側を水衝部②とする）を有する全長170m、全幅20m、河床縦断勾配1/200、低水路河岸法勾配1:1.5の複断面蛇行水路であり、初期の低水路断面は幅4.0m、底幅1.0m、深さ1mである。実験水路への通水は、写真-5に示すように、常願寺川本川をコンクリートブロックにより一部締切り、本川水位を堰上げることにより、調節した流量を通水した。通水条件を表-1に示す。水衝部①では、流速分布が測定されている。水衝部①には高さ2.0m、延長20mのL型擁壁護岸と、その護岸前面に、延長10m、法勾配2割、高さ1mの巨石を有する砂州を用いた河岸防護工を配置し（写真-6）、また、水衝部②は1回目の通水時にはコンクリート護岸



写真-5 実験水路航空写真



写真-6 水衝部①の巨石付き盛土砂州通水前



写真-7 水衝部②通水前



写真-8 水衝部②1回目通水中



写真-11 水衝部②2回目通水中



写真-9 水衝部②通水後護岸前面盛土砂州の消失



写真-12 水衝部②2回目通水後



写真-10 水衝部②巨石付き盛土砂州の設置

前面に巨石を持たない砂州を配置し（写真-7），通水後に砂州の流失状況を調べた。通水2回目以降は，砂州を復元し，砂州上流面に巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工を配置した。巨石は径800mm程度の巨石を根石とし，その上に，やや小さめの巨石を乱積みにした。なお，水衝部①では，事前に根石を河床中に1/2～1/3程度埋設したが，水衝部②では試験中の施工のため河床に埋設させていない。巨石付き盛土砂州下流には，自然の砂州が連続している。

（2）砂州の保全効果

1回目の通水は流量 $5\text{m}^3/\text{s}$ 弱で高水敷上数cm程度の流れである。コンクリート護岸とその前面の砂州のみで巨石を持たない水衝部②では，砂州上流面が激しい水衝部となり，砂州を洗掘し，水衝部が徐々に下流へ移動していき，3時間通水後にはコンクリート護岸沿いの水流により砂州はほぼ消失した（写真-8, 9）。一方で巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工を施工していた水衝部①では，巨石部及びその下流の砂州の変形はほとんど無く，水衝部は巨石部に固定され，十分な水はねがなされた。2回目の通水にあたって，水衝部②では，盛土により砂州を復元し，水衝部①とは延長を変



写真-13 水衝部②3回目通水中

えた延長5m, 法勾配2割, 高さ1.0mの巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工を設置した(写真-10)。通水流量は, 1回目流量よりやや多い $7.6\text{m}^3/\text{s}$, 高水敷水深は0.2m程度である。通水時間は1回目通水より長く4時間30分である。水衝部①については, 1回目の通水と同様, 巨石付き砂州は群体として安定していた。一方, 水衝部②については, 巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工により, 水衝部①と同様, 下流砂州も十分保護され, 水衝部の下流への進行は見られなかった(写真-11, 12)。3回目の通水では通水流量を $13.7\text{m}^3/\text{s}$ の大流量とし, 2時間30分流下させた。写真-13に示すように, 3回目の通水では, 高水敷から0.3mの水深で巨石付き盛土砂州が完全に水没した。これは, 実河川においての平

均年最大流量相当であり, 複断面蛇行河道では, この程度の相対水深のときが最も河床の洗掘深が大きくなることが明らかになっている³⁾。このときにおいても水衝部①では, 砂州は群体として安定しており(写真-14), 水衝部②でも水衝部①と同様, 巨石付き盛土砂州により下流砂州は保護されていた(写真-15)。

次に, 砂州前面の巨石の有無及び通水流量の違いによる河岸防護工付近の横断面形状の変化を示す。通水前に巨石付き盛土砂州が設置されていた水衝部①は図-3の46.4m (No.5) のグラフに示す通り, 異なる流量規模に対しても大きな変状がなく, 下流砂州が保全され, 水衝部下流河道の滞筋は保たれることがわかった。また, 水衝部②については, 図-3の105.2m (No.11) に



写真-14 水衝部①3回目通水後



写真-15 水衝部②3回目通水後

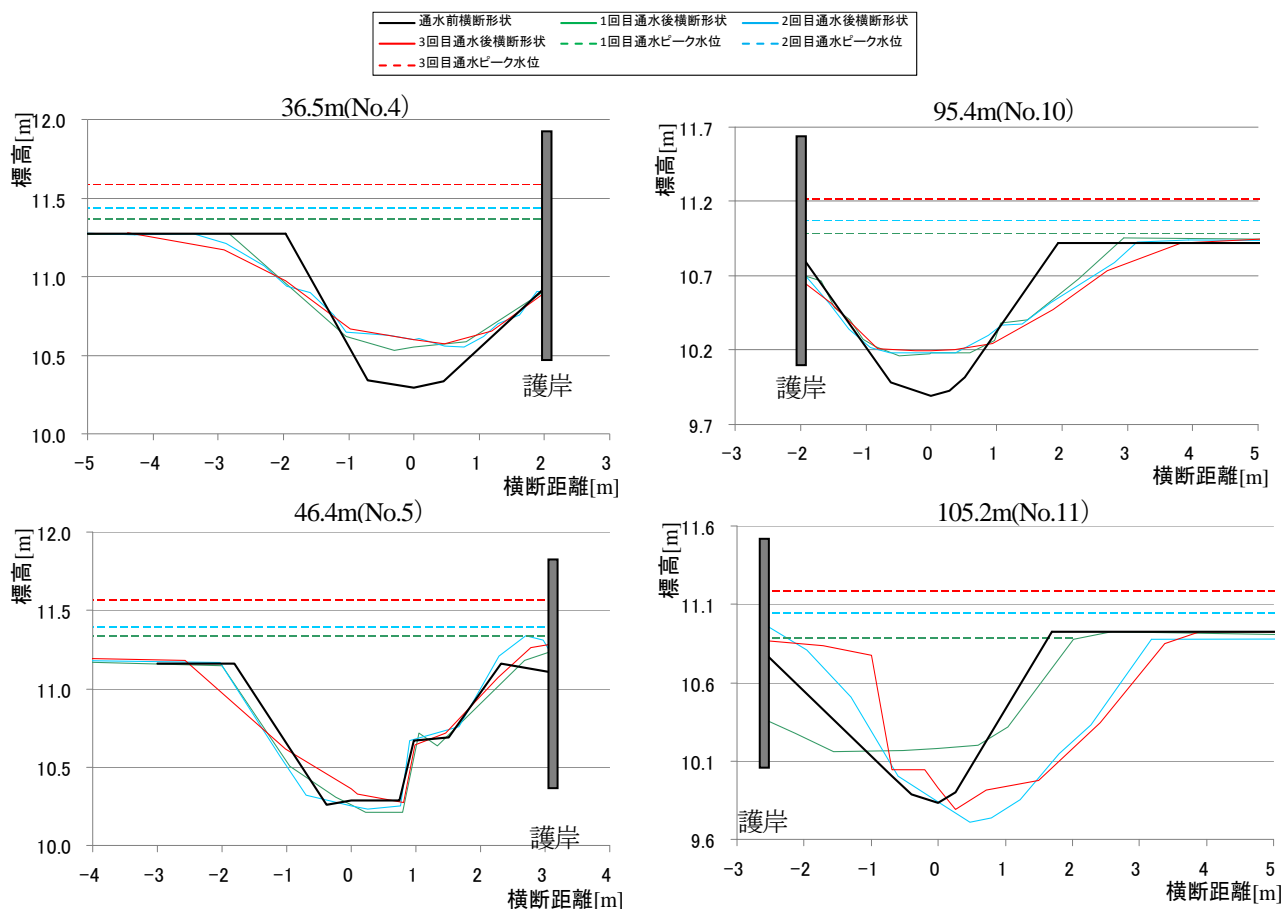


図-3 通水による横断面形状の変化

示す通り、通水1回目のコンクリート護岸と巨石を有しない砂州の場合は護岸沿いに流れが集中し、通水時間内で砂州の大部分が流失したのに対し、巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工を施工した場合には、水衝部で水はねが起こり、盛土砂州及び下流の洗掘が防がれた。大流量の場合には、若干変形するが、群体としての形状は保持され安定していた。これらの結果から、巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工は変形を許容する新しい自然性の高い工法であり、その効果が確認できたと考えている。

4. おわりに

(1) まとめ

2011年の常願寺川現地実験では、現地複断面蛇行水路に2箇所 of 巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工を配置し、最も洗掘作用が強いとされる、低水路満杯水位からそれをやや超える水位条件³⁾までの流量について、河岸防護工の効果、低水路河道線形の変化を観察・計測した。その結果、通水前に丁寧に施工した水衝部①の巨石付き盛土砂州は、流速は十分大きかったにもかかわらず、根石は動かず、砂州の侵食もほとんど生じなかった。一方水衝部②では、盛土砂州を巨石で保護しなかった1回目の通水では、護岸前面の砂州、護岸下流の砂州が大きく侵食、洗掘を受け、コンクリート護岸沿いに水が走り、河道状況は著しく変化した。1回目通水後、水衝部①と同様の巨石付き盛土砂州を現場で簡易的に施工し、流量を増大させ2回目、3回目の通水を実施した。その結果、巨石付き盛土砂州の侵食、洗掘はほとんど生じなかった。これらのことから、簡易な施工しか行っていない場合においても、護岸沿いを走る速い流れを防ぎ、河岸侵食の軽減、低水路線形の改善がなされていることから、容易には流失しない根石群の上に乱積みされた巨石を有する盛土砂州の河岸防護効果は大きく、河道は安定を保つことがわかった。

さらには、写真-3のように護岸工を施工した箇所には自然河岸と同様の植生が見られること、また、自然の砂州の保全自体が、生物にとっても望ましい環境を維持することに繋がるため、この巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工は、治水と環境の調和した新しい急流河川工法であるといえる。

(2) 常願寺川の河道計画について

これまで、急流河川で一般的に行われてきた護岸工に対し、巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工は、自然の砂州を活かすことにより、治水面、環境面の両面から水際の有する重要性を確保しており、さらに現地発生の土砂や石を使うことによって、コストパフォーマンスの上からも河道と河岸づくりに有効であると考えられる。

現地実験で対象とした外力は、急流河川の洪水流外力の中では、大きい外力条件では行われているが、洪水時に起こる現象は多様で複雑である。常願寺川では、石礫河川の河床変動解析法⁴⁾と空中写真による滞筋の変遷、急流河川安全度評価等の総合的な判断から、潜在的なものも含めた河岸侵食の危険度把握を行い、巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の効率的な配置計画を検討しているところである。そして、これらに基づいた巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の本格的な施工を進めるとともに、急流河川における治水と環境の調和した河道計画技術の向上を目指している⁵⁾。

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) 福岡捷二: 洪水の水理と河道の設計法, 森北出版, 2005.
- 4) 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.
- 5) 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. (印刷中)