河川技術論文集, 第18巻, 2012年6月

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

NATURE FRIENDLY BANK PROTECTION WORKS USING SANDBARS WITH BOULDERS IN THE JYOGANJI RIVER

小池田真介[1]・石井陽[2]・岩井久[3]・石川俊之[4]・福岡捷二[5]
Shinsuke KOIKEDA，Akira ISHII，Hisashi IWAI，Toshiyuki ISHIKAWA and Shoji FUKUOKA

[1]非会員　国土交通省北陸地方整備局 金沢河川国道事務所 河川管理課 専門職
（〒920-9648 金沢市西念4-23-5）
[2]非会員　国土交通省北陸地方整備局 富山河川国道事務所 調査第一課長
（〒930-8537 富山市奥田新町2-1）
[3]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 河川調査係
（〒930-8537 富山市奥田新町2-1）
[4]正会員　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）
[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）

It has been observed in the Jyoganji river, which is one of the most rapid stony rivers in Japan, that bars in front of banks are eroded and washed away by concentrated flow along concrete revetments. To prevent bar erosions from floods, upstream side of bars were protected by boulders. The protection work has been found to contribute significantly to the stabilization of riverbed and banks under flooding.

This paper shows the results of field experiments conducted to verify the effectiveness of the protection works under the different conditions in flow discharge (Q = 8 & 15 m^3/s) as follows: (1) In the experiments for un-protected alternating bars, the erosion and washing away process reappeared as observed in the Jyoganji river. (2) It was confirmed that the protection works were effective even under the large discharge condition (Q = 15 m^3/s).

Key Words : *rapid stony river , alternating bars , bank erosion , protection works by boulders*

1. はじめに

常願寺川は我が国有数の急流石礫床河川であり，洪水時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たが，これら護岸の施工により一時的に河岸侵食を抑制し，侵食に対する安全性を向上させるが，河岸の直線化と摩擦の減少により洪水流量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てきた．そのため，さらなる洗掘から護岸欠損を避けるために，写真-１のような根継ぎ護岸工を実施しているが，河岸沿いの洗掘増大により，下流への護岸の延伸が必要となり，さらなる護岸の施工により自然性の低い河川となっている．このため，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いず，河道全体の構造とそれに伴う流れを考慮した急流河川の新しい河岸防護工法が望まれている．急流河川の特色は，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．この砂州が護岸の施工によって侵食，消失していくことが治水上，環境上の課題である．一旦，消失した砂州は自然回復することは困難であることから，この課題に対し，富山河川国道事務所と中央大学研究開発機構は共同して，2007年に砂州前面の水あたり部に現地の巨石を配し，防護する巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の試験施工を行ってきた．著者らは，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，自然の砂州を保全し，滑らかな低水路河道線形の維持に効果があり，洪水に対して安定な河岸，堤防防護工となる可能性が高いと考えている．

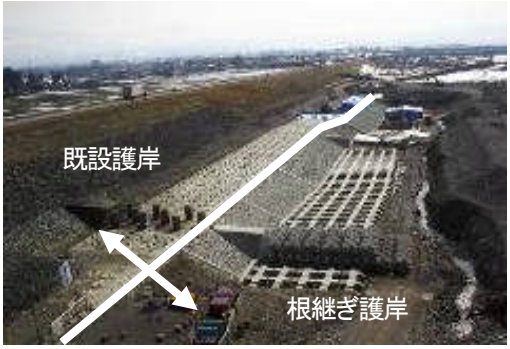

写真-1　これまでの河岸侵食対策（根継ぎ護岸工）

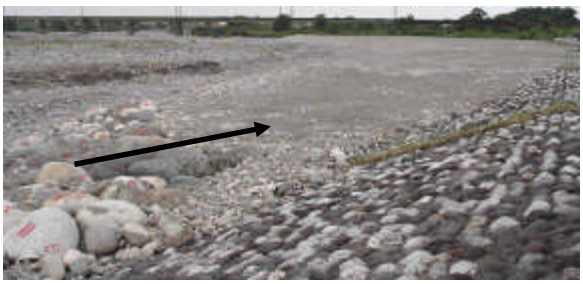

写真-2　現地パイロット試験直後　巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工(2007.6撮影)

写真-3　洪水時(流量580m³/s)巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工(2012.5撮影)

写真-4　現在4年が経過した巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工(2012.6撮影)

本研究では，常願寺川における巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工試験施工結果を受けて，この工法のより確かな技術確立に向けて，2011年に常願寺川で現地実験を行い，急流河川における砂州を生かした河道づくりのため，異なる流量規模に対しても，砂州の侵食・洗掘を抑制する自然性の高い河岸防護工の技術開発を行い，これを常願寺川の河道計画に適用することを目的として検討を行った．

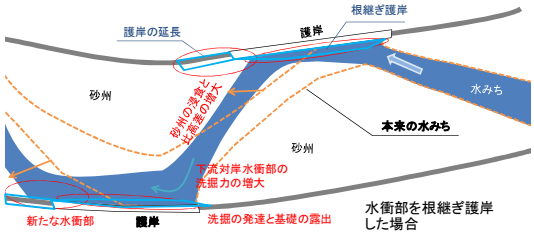

図-1　護岸施工による砂州の浸食による流路の延伸

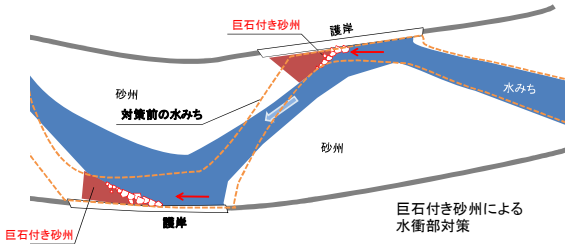

図-2　巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の効果

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ことであると考える．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ためには，望ましい河道状況に変化するように盛土砂州を用いた河岸防護工の開発が必要である．2007年に行った現地パイロット試験の経過を**写真-2,3,4**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，且つ河岸を保護できることを現地モニタリングの結果から明らかにした[2)]．4年経過後の結果を**写真-4**に示す．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．

以上のことから明らかになったことは，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ことから，これを避けるには，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をすることによって，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が望ましいということである．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

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	最大流速	水面幅	平均水深	流量
		水衝部①	水衝部②	[m/s]	[m/s]	[m]	[m]	[m^3/s]
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

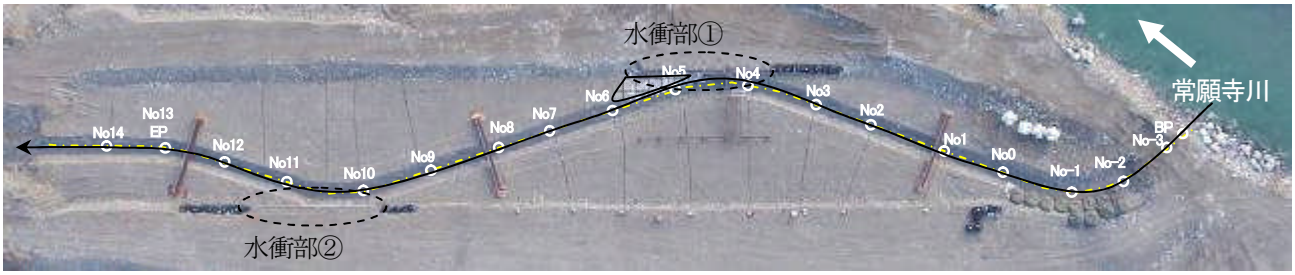

写真-5　実験水路平面形（通水前）

写真-6　1回目通水中の実験水路航空写真

写真-7　水衝部①の巨石付き盛土砂州通水前

写真-8　水衝部②通水前

に流れが集中する結果，護岸沿い流路が下流の砂州の中まで延び，下流部の砂州を広い範囲で消失させることになり，河岸を守るために下流に延々と護岸を延長しなければならない．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し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中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．回復す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である．これを基本的考え方として，現地実験によって技術的検討を行う．

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-5**に実験水路の平面形状を，**写真-6**に実験状況を示す．水路は，常願寺川の澪筋の一つと見立て，**写真-5**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）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-6**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

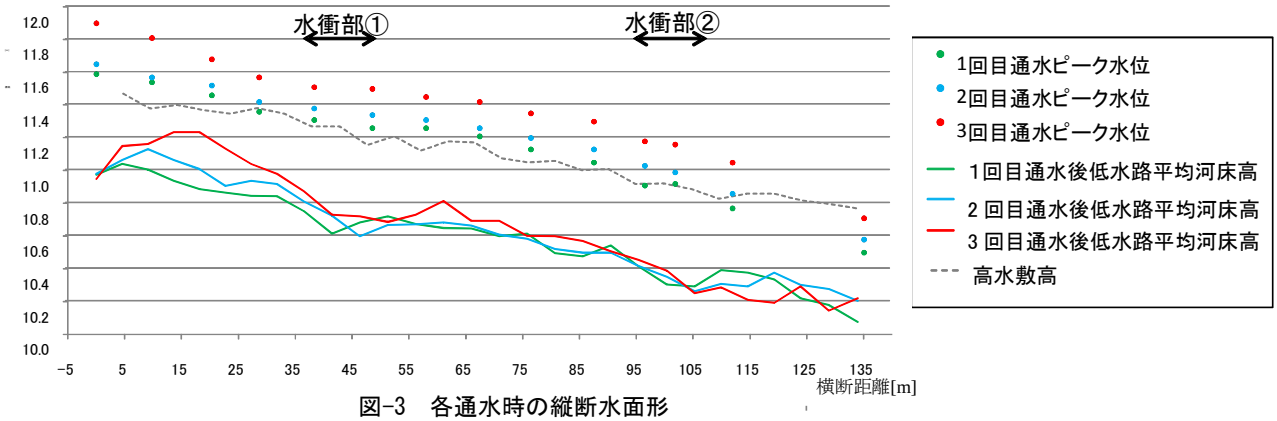

図-3　各通水時の縦断水面形

写真-9　水衝部②1 回目通水中

写真-10　水衝部②1 回目通水後護岸前面の盛土砂州の消失

写真-11　水衝部②1 回目通水後巨石付き盛土砂州の設置

写真-12　水衝部②2 回目通水中

写真-13　水衝部②2 回目通水後　変化無し

写真-14　水衝部②3 回目通水中

る砂州を用いた河岸防護工を配置し(**写真-7**)，また，水衝部②は1回目の通水時にはコンクリート護岸前面に巨石を持たない砂州を配置し(**写真-8**)，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（**図-2**，**写真-8**）．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．尚，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

図-3は各通水で河床が平衡に達した時の水面形と平

写真-15　水衝部①3回目通水後　巨石付き砂州変形無しの状況

写真-16　水衝部②3回目通水後　殆ど変化無し

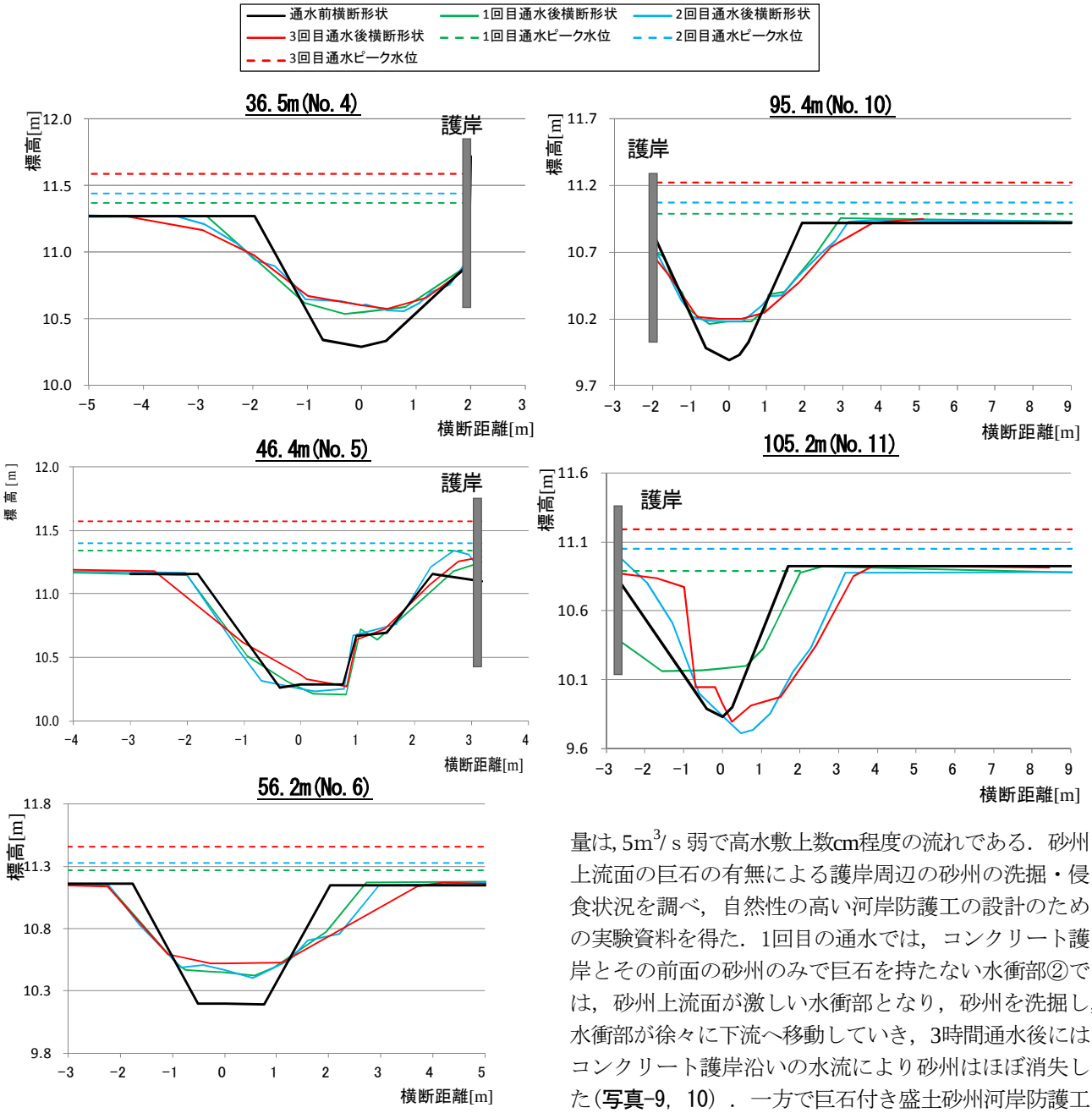

図-4　通水による水衝部①の横断形状の変化

均河床高の縦断分布を示す．表-1に示すように，通水3回目は流量増のため，上流域の河岸侵食により河床が上昇したが，中・下流部の変化量は小さい．1回目の流量は，5m^3/s弱で高水敷上数cm程度の流れである．砂州上流面の巨石の有無による護岸周辺の砂州の洗掘・侵食状況を調べ，自然性の高い河岸防護工の設計のための実験資料を得た．1回目の通水では，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-9，10）．一方で巨石付き盛土砂州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，盛土により砂州を復元し，水衝部①と同様に延長10m，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-11**）．通水流量は，1回目流量よりやや多い7.6m^3/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（**写真-12**）．水衝部①については，1回目の通水と同様，巨石付き砂州の変形は見られなかった．　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-13**）．3回目の通水にあたって水衝部②の巨石付き盛土砂州の砂州長は2回目の半分の5mに整形した．通水流量は13.7m^3/sの大流量を2時間30分流下させた．**写真-14**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，実河川においての年平均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]．このとき水衝部①では，砂州は安定しており（**写真-15**），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-16**）．

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縦・横断面形の変化を示す．
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-4**に示す通り，異なる流量規模に対しても変状がなく，下流砂州が保全され，水衝部下流河道の澪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-5**に示す通り，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の場合には，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，河岸防護工は群体として形状は保持される．このように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．

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箇所の巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工を配置し，最も水衝作用が強い低水路満杯水位からそれをやや超える水位条件[3]での流量範囲について，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，また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，簡易な施工でも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．

以上のことから，巨石付き盛土砂州を護岸前面に配置し，護岸沿いを走る速い流れを防ぐことによって，河岸浸食の軽減，低水路線形の改善がなされた．さらには，このような自然の砂州の保全は，生物にとっても望ましい環境を創出することになり，まさに治水と環境の調和した適切な急流河川工法であると考える．

(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使われてきた護岸工に対し，新しい巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工は，現地発生の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重要性を確保し，さらにコストパフォーマンスの上から河道と河岸づくりに有効であることが示された．

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，大きい外力条件で行われたが，洪水時に起こる現象は多様で複雑である．常願寺川では，現状河道における既設護岸の危険箇所の検討把握に基づき，巨石付き盛土砂州と既設護岸を一体とした河岸防護工をどの場所にどのように設置すべきかその評価手法を検討している．そのために，石礫河川の河床変動解析法[4]と本研究結果を用い，河岸侵食の危険度把握を行い，これに基づき巨石付き盛土砂州の効果的な縦断配置，構造を決め，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)

(2012.4.5受付)