河川技術論文集, 第18巻, 2012年6月

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

COMPREHENSIVE CHANNEL PLANNING BY THE USE OF SANDBARS IN STONY BED RIVERS

長田健吾[1]・福岡捷二[2]・氏家清彦[3]
Kengo OSADA, Shoji FUKUOKA and Kiyohiko UJIIE

[1]正会員　博士（工学）　阿南工業高等専門学校建設システム工学科
（〒774-0017 徳島県阿南市見能林町青木265）
[2]フェロー　Ph.D　工博　中央大学研究開発機構（〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27）
[3]非会員　工修　国土交通省北陸地方整備局　富山河川国道事務所
（〒930-8537 富山県富山市奥田新町2-1）

In the Jyoganji River, it is a serious problem for a river improvement that severe scouring along riverbanks has been increased by the installation of concrete revetment works. A new bank protection method is required for the channel design for harmonization between flood control and river environment in stony bed rivers.

This study investigates the formation process of channels developed along the riverbank and presents the problem of revetment works in the Jyoganji River by the analysis of the flood flow and riverbed variation. Then, we demonstrate riverbank protection capability of sandbars with boulders as a flow attacking measure, and propose a comprehensive channel planning by the use of sandbars in stony bed rivers.

Key Words : *Stony bed river, channel planning, bank protection work, sandbar, boulder*

1．序論

常願寺川は，洪水時の河床変動が大きく，河岸際の洗掘深や河岸侵食の場所及び大きさを予測することが大変難しい河川である．このため，洪水後に河岸被災箇所が見つかると更なる河岸侵食を心配し，新たな護岸施工または既設護岸の根継ぎをするなどの対策が行われるのが一般であった．しかし，長田・安部[1)]らは，護岸設置の経年データから，低水路コンクリート護岸の設置により，護岸際に接する水流による流路延長が経年的に延伸し，また深掘れの発達による高水敷と河岸際流路との比高差の増大、砂州の縮退を明らかにし，河岸侵食が堤防まで到達する危険性が高まっていることを示した．しかし，護岸沿いの流れ・深掘れ流路の発達・固定化との定量的な関係、砂州の持つ重要性についてはよく調べられていない．急流河川にあっては、上述の低水路コンクリート護岸の問題点を解決し，河道の特性を活かした治水と環境の調和した河岸防護工を用いた河道計画をつくることが求められている．

本研究では，最初に，長田・安部ら[1)]，澤原・須賀ら[2)]の研究を取り上げ、常願寺川における河岸際の深掘れ流路の形成についてこれまで得られている成果と、その対策として行われている巨石付き盛土砂州を用いた現地パイロット試験について述べる．次に，H9年及び現状河道（H20年）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た洪水流・河床変動解析を行い，低水路コンクリート護岸の設置により河岸際の深掘れ流路がどのように延伸し，砂州がどのように消失するのか，さらに，現状河道における河岸際の洗掘深の大きい箇所を抽出し，ここに護岸に代わる方法として現地パイロット試験[2)]で有効性が示された巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工を施工した場合の効果を示す．最後に，巨石付き盛土砂州を，自然砂州を活かしながら設置する場合，どのような構造で施工するのが適切か等，急流河川における自然砂州を活かした治水と環境の調和した河道計画について論じる．

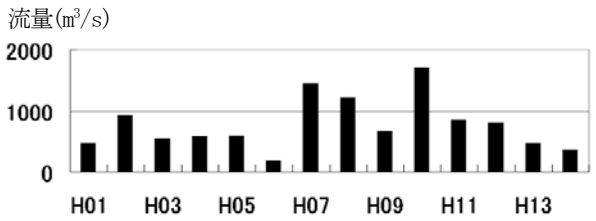


図-1　年最大流量

距離	H14年	H9年	H7年	H6年	H3年
6.8km					
7.1km	600m A1	200m A1			
7.3km	A1				
7.5km	A1	200m A1	150m A1		
7.7km					
8.0km					
8.2km					
8.4km	150m A1	150m A1			
8.6km					
8.8km					
9.1km					
9.3km	200m A2	200m A2	200m A2	200m A2	200m A2
9.5km					
9.7km	100m B				
10.0km					
10.2km					
10.4km	200m A1				
10.6km					
10.8km					
11.1km					
11.3km					
11.5km					
11.7km					
12.0km	700m A1	200m A1	200m C		
12.2km	A1				
12.4km	C				
12.6km	A1		150m C		
12.8km				200m A1	200m A1
13.1km					
13.3km					
13.5km	700m A1				
13.7km	A1	500m C			
14.0km	A1	A1	400m C	300m C	300m C
14.2km	A1	A1	C		
14.4km					

護岸設置箇所

新設護岸および改修箇所

河岸際に流路が接している箇所と長さ

A:低水路護岸工に流路が接している，もしくは低水路護岸工と流路の間が 20m 以内の箇所
A1:洗掘が護床ブロックまで到達していない箇所
A2:洗掘が護床ブロックまで到達している箇所
B:低水路護岸工と流路の間が 20m～30m の箇所
C:自然河岸

図-2　護岸設置位置と河岸際流路の経年変化（右岸）[1)]

2．常願寺川における護岸設置による河岸際の深掘れ流路形成と巨石付き盛土砂州を用いた水衝部対策の現地パイロット試験 [1)、2)]

図-1に常願寺川の年最大流量の時系列を，図-2に長田・安部ら[1)] が示した護岸設置位置と河岸際深掘れ流路の関係（右岸側のみ）を示す．図-2は、護岸の設置データ，横断図および航空写真の経年変化から作成したもの

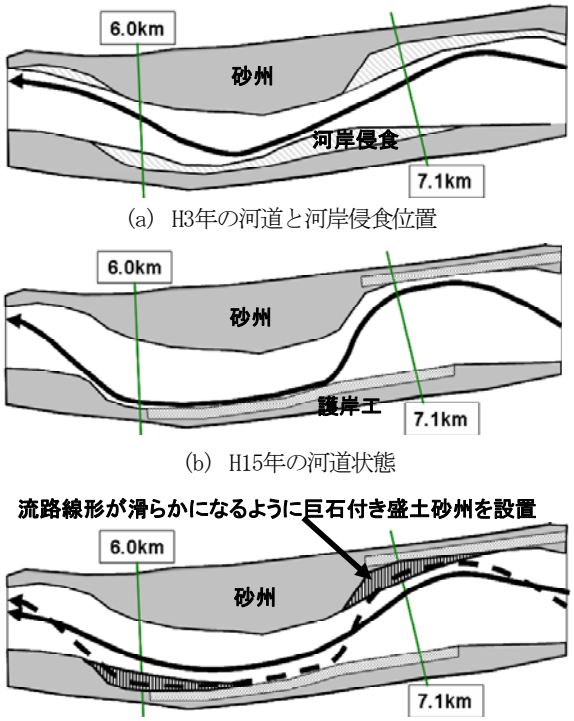
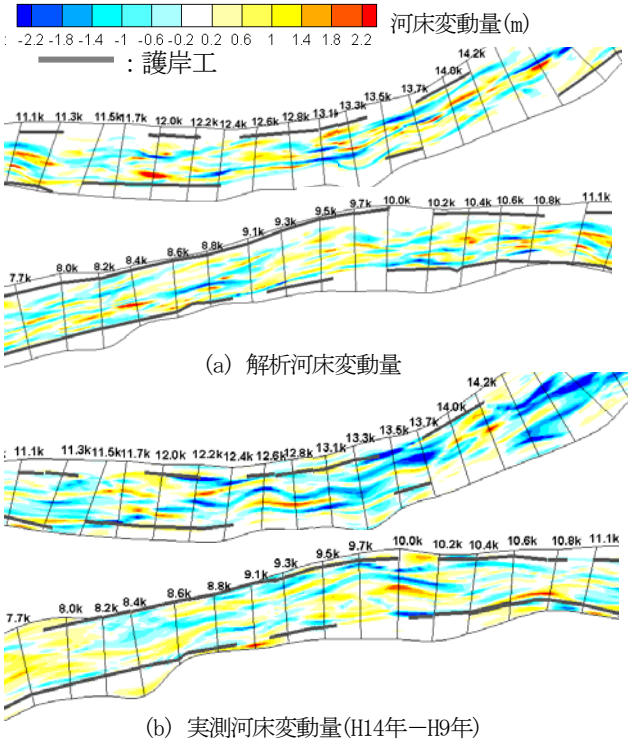


図-3　砂州・澪筋の経年変化と巨石付き盛土砂州[1)]

図-4　巨石付き盛土砂州の現地パイロット試験

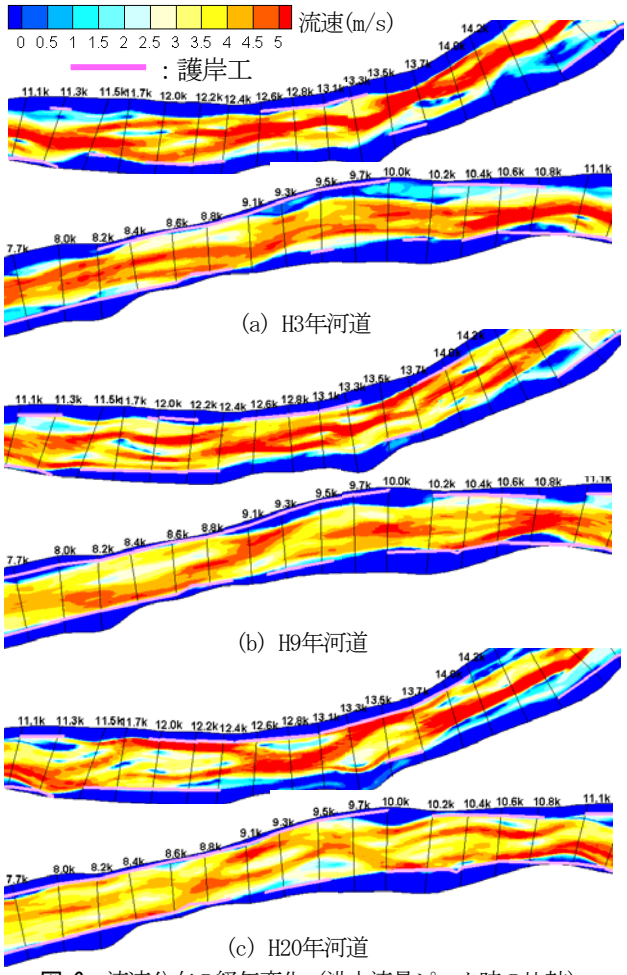
である．H7年とH10年に大きな洪水があり，河岸侵食による被災が多く発生し，護岸の新設もしくは根継ぎによる改修が多くの箇所で行われた．護岸の新規設置が進むことにより，経年的に護岸設置箇所が延伸するとともに，河岸際に接する深掘れ流路の延長も長くなっていることが分かる．12.0k付近や13.5k付近では，河岸際に接する深掘れ流路の延長が700mに達し、下流側7.1k付近においても河岸に接する流路の延長が600mと，長い区間にわたって河岸際に深い澪筋が形成されていることが分かる．図-3に，H3年とH15年の砂州および流路の状況を示す．図-3(a)に示すH3年河道は，流路線形が滑らかで，大きな砂州を有していた．しかし，その後の洪水による河岸侵食により砂州が徐々に消失するとともに，護岸の設置により河岸際に流路が形成されることで流路の蛇行振幅が大きくなり，河岸に当たる流路の角度の増大により，さらに河岸際の洗掘深や河岸侵食が大きくなる状況が現れている．河岸際深掘れ流路の発達や河岸侵食を抑止するためには，流路の蛇行線形をできるだけ滑らかにする必要がある．澤原・須賀ら[2)]は，H3年河道を望ましい河



(a) 解析河床変動量

(b) 実測河床変動量(H14年－H9年)

図-5 河床変動量の比較

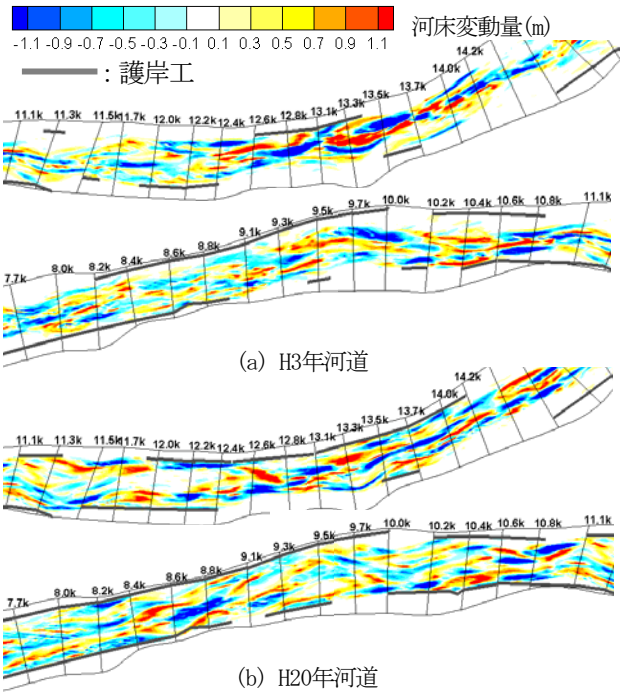


(a) H3年河道

(b) H9年河道

(c) H20年河道

図-6 流速分布の経年変化（洪水流量ピーク時の比較）



(a) H3年河道

(b) H20年河道

図-7 解析による各断面形の河床変動

道に位置づけ，**図-3(c)**に示すようにH3年の砂州線形を参考に形状を決定した自然性の高い巨石付き盛土砂州による河岸防護工を提案し，**図-4**に示すように現地パイロット試験の実施により，その水はね効果を検討した．これまで発生した洪水流に対し，砂州は安定的に維持され，洪水流を対岸にはねる効果があることが確認された．

この自然性の高い巨石付き盛土砂州を急流河川の河岸防護工として確立するためには，河岸際深掘れ流路が延伸する機構を明らかにし，どのような場所にどのような構造で設置するのが適切かについて検討する必要がある．以下に，石礫河川の二次元河床変動解析法を用い，上述の課題について検討する．

３．河床変動解析を用いた河岸際深掘れ流路の形成過程の解明と現状河道における河岸際の大きな深掘れ箇所の抽出

(1) 護岸設置による河岸際深掘れ流路の形成過程

常願寺川では，H3年以降の洪水とコンクリート護岸の設置により経年的に河岸際の深掘れ流路が形成されてきた[1)]．本研究では，H3年河道が望ましい流路を有する河道と考え、H3年河道とH9年河道，現状河道（H20年）にH10年洪水波形を流下させた場合の解析を行い，コンクリート護岸の設置により流況及び河床変動が経年的にどのように変化してきたのかについて示す．また，河岸際の深掘れ流路が発達してきた要因を解析結果と経年的な護岸設置のデータから分析する．

まず，石礫河川の河床変動解析法[3)]の常願寺川洪水流への適用性の検証として，**図-5**にH9年河道にH10年洪水を流下させた場合の解析河床変動結果と実測値（H14年－H9年）との比較を示す．図には，護岸工の設置位置も

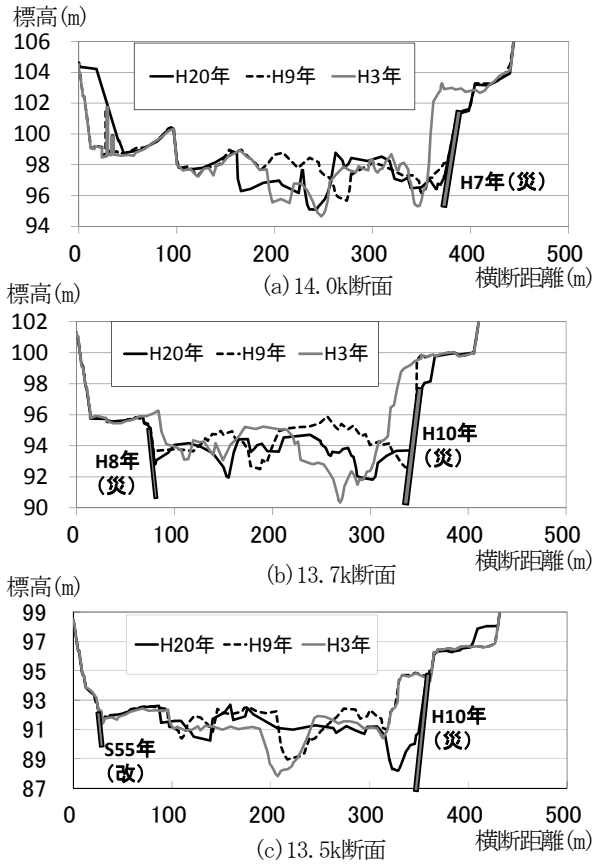


図-8 13.5k～14.0kの横断経年変化

併せて示す．H10年洪水では，河岸侵食が多く発生し，13.5k右岸や12.2k右岸は，河岸侵食幅が大きかった箇所である．本解析法では，河岸侵食は捉えることは出来ないが，13.5kの河岸侵食の前面の大きな深掘れは，解析でも現れている．11.7k左岸や10.0k左岸の洗掘もほぼ表現できている．このように本解析法は，常願寺川の河床変動を概ね説明できることが示された．

図-6に，各年の断面形状にH10年波形を流下させた場合の流量ピーク時（1600m^3/s程度）における解析流速分布を示す．また，**図-7**には，H3年，H20年河道における河床変動量の結果を示す．H3年河道の流況を見ると，河岸際の砂州の存在により流速の速い澪筋は，ほとんどの箇所で河道の中心部を流下し，澪筋の線形も滑らかな形状をしていることが分かる．河床変動も**図-7**に示すように，河道の中心付近で主に生じている．H9年の状況を見ると，H3年に比べ護岸の設置位置が増え，流速の速い澪筋も河岸際に多く見られるようになっている．この要因について14k付近を例に考察する．

図-8に，13.5k～14.0kの横断面形状の経年変化を示す．まず，14.0k断面でH7年に河岸侵食が生じ，護岸工が設置されている．護岸は，侵食を受ける前（H3年）の河岸位置に戻すのではなく，引いて設置され，さらに**図-6**に示すように，ほぼ直線的に設置される．H3年の自然の砂州河岸には凹凸が見られるが，護岸の設置により徐々に直線的な河岸へと変化している．コンクリート護岸工で作られた直線的な河岸は，周辺の大きな石が存在する河道に比べ抵抗が小さくなるため，河岸際の流速は速くなる．**図-6(b)**のH9年河道では，13.7k右岸の流速が5m/sを超え，直線的な河岸際で高流速が生じていることが分かる．これに加えて，護岸が設置されることにより河岸からの土砂供給もなくなるため，河岸際流路の深掘れと固定化が進み，洪水流量が河岸際に集中しやすい構造へと変化する．この結果，**図-8**に示すように，H7年に護岸工を設置した14.0kの下流側で新たな河岸侵食が生じている．護岸工を設置した上下流において，新たな河床洗掘や河岸侵食が生じ，その対応策として新たな護岸工が設置されてきたことで，結果的に河岸際の深掘れ流路の延伸につながった．

(2) 現河道における河岸際の大きな洗掘予想箇所の抽出

河岸際深掘れ流路が発達した現状河道（H20年河道）を対象とした解析結果から，現状河道における危険箇所の抽出を行う．**図-6(c)**の流況を見ると，13.5kや12.0k付近の右岸には，縦断的に長い区間で流速5m/sを超える高流速域が河岸際に生じ，H9年断面よりさらに河岸際に洪水流量を集中させるような構造となっていることが分かる．**図-7(b)**の河床変動結果を見ると，13.5k付近や12.0k付近の右岸では，縦断的に河岸際で河床洗掘が生じ，さらに護岸の設置されている下流側11.7k付近において砂州の洗掘が生じ，河岸際深掘れ流路の延伸が懸念される．本研究では，13.5k付近および12.0k付近の右岸側を大きな洗掘予想箇所に選び，既設のコンクリート護岸前面に，根継ぎ護岸に代えて自然性豊かな巨石付き盛土砂州を用いた河岸侵食防護工による水衝部対策とその効果について検討する．

4．巨石付き盛土砂州を用いた自然性豊かな水衝部対策工と具体的な施工計画

(1) 巨石付き盛土砂州の設置位置と縦横断形状の決め方

図-9に示すように，12k付近においてもH3年河道の澪筋線形は滑らかで，河道中心部を澪筋が流下していた．一方，H20年の澪筋は，蛇行振幅が大きく，河岸際に当たる流路の角度も大きくなっている．滑らかな流路線形を有していたH3年の砂州形状を参考に，流路の蛇行振幅を是正するため，巨石付き盛土砂州の設置位置と平面形状を決定した．本研究では，巨石付き盛土砂州の大きさの違いにより，水衝部および固定砂州にどのような影響が現れるかについて検討するため，大きさの違う3つの案を設定した．**図-10**に，各案の河床形状と盛土量の比較を示す．盛土量の比較対象として，巨石付き盛土砂州の現地パイロット試験[2]として行われた6.1k左岸，7.1k右岸の盛土量を併せて示す．300m案は，下流側の澪筋および砂州に滑らかに繋がるように設定した案で，砂州の

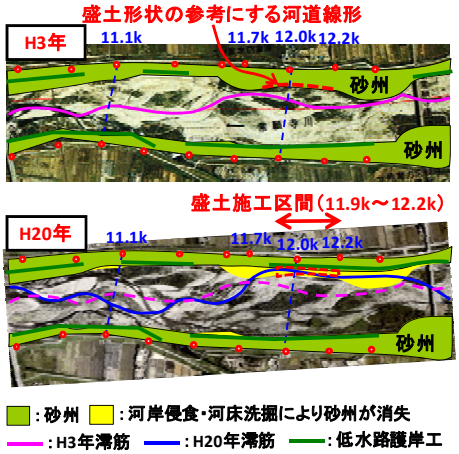
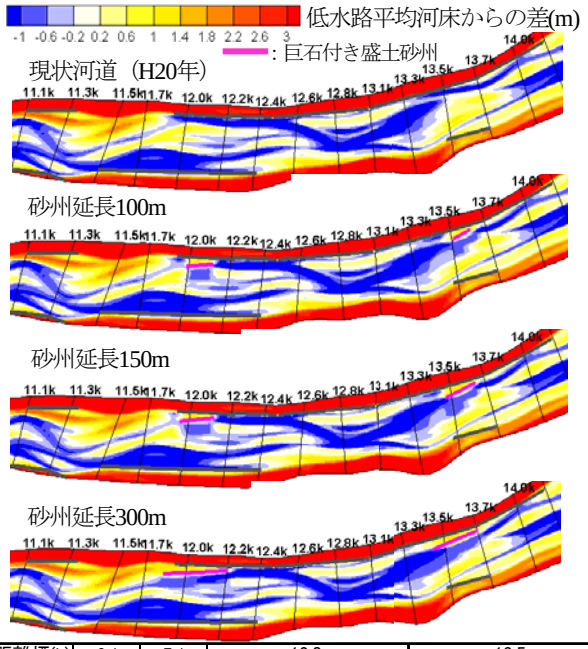


図-9　巨石付き盛土砂州の設置位置・平面形状の決め方



距離標(k)	6.1	7.1	12.0			13.5		
延長(m)	150	200	100	150	300	100	150	300
土量(m3)	7000	13000	11000	15000	24000	10000	14000	20000

図-10　巨石付き盛土砂州案の河床形状と盛土量

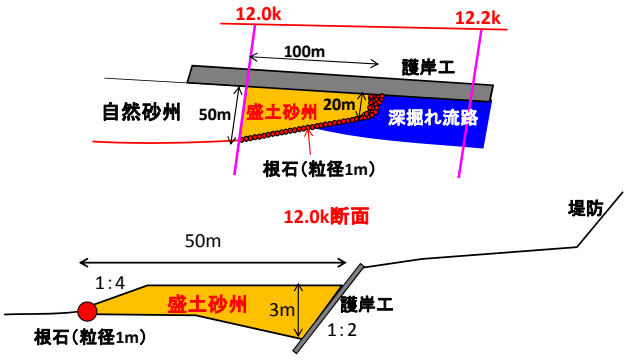


図-11　巨石付き盛土砂州の縦横断形状
（12.0kの100m案を例に）

安定性は高いが多くの盛土量が必要となる．その他の2案は，それよりも短い100m，150mの案を設定した．図-11に，盛土砂州の縦横断形状を12.0kの100m案を例に示す．盛土砂州高は，接続する自然砂州の高さを考慮して深掘れした流路を埋める程度で良いと考えている．盛土砂州先端および前面には，根石となる巨石を配置し，接続する自然盛土砂州および自然砂州の安定化を図る．ただし，根石は3分の1程度埋没させ，容易には流出しない構造とする．盛土の傾斜は，安定性を考えて護岸の傾斜よりも緩い1：4で設定した．この構造について，H10年洪水波形を与えた場合の洪水流・河床変動解析を行い，河床洗掘・河岸侵食対策としての機能と有効性について検討する．

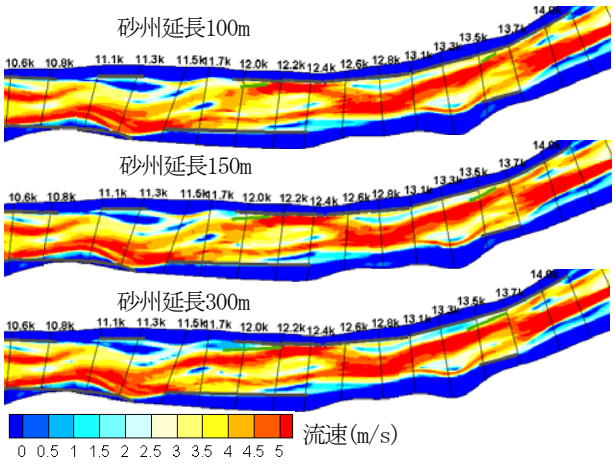


図-12　巨石付き盛土砂州を設置した場合の流速分布

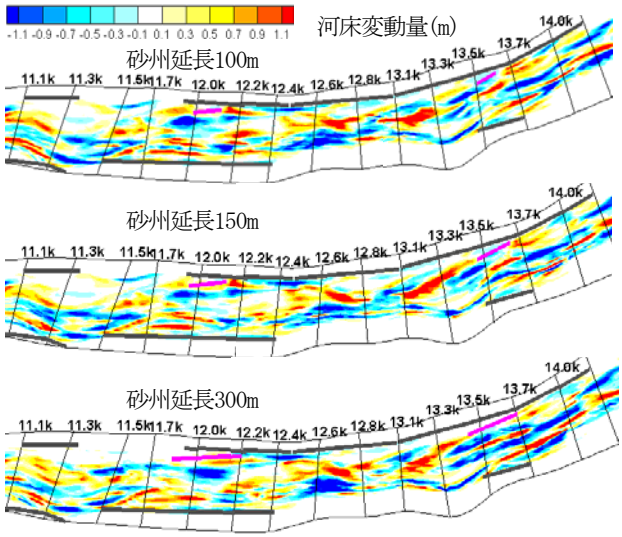


図-13　巨石付き盛土砂州を設置した場合の河床変動

(2) 巨石付き盛土砂州の設置効果の検証

図-12は，洪水流量ピーク時の流速分布を示す．砂州上の水深は，12k断面において0.5m～1m程度である．12.0kや13.5kに生じていた河岸際の高流速域は，砂州により河道中央部へはねられていることが分かる．300m案は，安定して河道中央部へ流量を導いているが，他の100m，150m案も，十分な水はね効果が見られる．図-13に，河床変動量の比較を示す．巨石付き盛土砂州の周辺では，砂州の先端部に堆積が生じ，100m，150m案では，

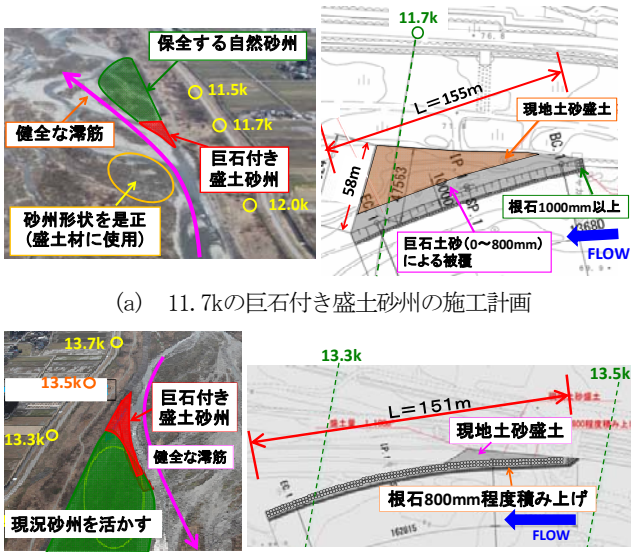
背後への堆積も見られ，深掘れ流路の延伸要因となる下流側の洗掘はほとんど生じていない．同様の検討を，S39年洪水波形（ピーク流量2500m³/s）である大規模な流量においても，水はね効果や河岸際深掘れ流路の発達の抑制効果が得られることが明らかとなった．このような結果から，提案した巨石付き盛土砂州は，河岸防護工として十分な機能を有することが分かった．砂州の延長が長いほど，河道中心部へ洪水流を導く効果や，砂州自体の安定性は高いが，100m程度の短い盛土砂州でも，水衝部での水はねを確実に行うことができ，十分に機能を果たすことが明らかとなった．安定性やコストを考えると，150m程度の砂州延長が良いのではないかと考えられる．

(3) 巨石付き盛土砂州の現地河川での施工計画

現地パイロット試験[2]，常願寺川現地実験の成果[4]及び石礫河川の洪水流河床変動解析結果をもとに，巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工の施工計画が常願寺川で検討されている．**図-14**は，11.7kと13.5kで計画されている巨石付き盛土砂州の施工計画図である．施工計画の盛土砂州延長は，150m程度である．設置位置は，現地河川の状況を踏まえ，**図-10**の設置位置より200m程度下流に施工される．11.7kに施工される巨石付き盛土砂州の構造は，**図-11**とほぼ同様である．一方，13.5kの施工計画は，下流側に存在する現状の砂州を活かす形で設計され，新たな盛土量は少量（1100m³）で済むようにされている．また，砂州の安定を図るため，根石材料（粒径0.8m）を3層積むように設計されている．巨石付き砂州にかかるコストは，同じ長さのコンクリート護岸工に比べると約1/7～1/10程度の費用であり，急流河川の治水と環境の調和した川づくりにおいて有効な方法であるといえる．今後，現地施工し，洪水流に対する巨石付き盛土砂州のパフォーマンスのモニタリングを行い，水衝部対策効果及び河道全体として見たときの計画論の有効性を確認する．これにより，自然砂州を活かした急流河川の河道設計法としての技術を確立することが期待される．

5．結論

急流河川で慣用的に使われてきた護岸および根継ぎ護岸設置による問題点を，実測データと石礫河川の河床変動解析法を用いた検討から明らかにし，これに代わる砂州を活用した自然性豊かな新しい河岸防護工の有効性を示した．急流河川の特徴は広い空間を石礫からなる豊かな砂州が連続する河道であり，これを活かした河道を実現する上で，巨石付き盛土砂州を現地河川に順次適用し，自然豊かな河道づくりを進めていくことになる．提案した方法を他河川へ適用する場合，根石となる巨石が確保できないことも考えられるため，その場合には巨石に代わる自然性の高い二次製品を開発することが必要である．



(a) 11.7kの巨石付き盛土砂州の施工計画

(b) 13.5kの巨石付き盛土砂州の施工計画

図-14 現地河川における巨石付き盛土砂州の施工計画

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14巻，pp.109-114，2008.

3) 長田健吾，福岡捷二：石礫河川の河床変動機構と表層石礫の凹凸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，Vol.68，No.1，pp.1-20，2012.

4) 小池田真介，石井陽，岩井久，石川俊之，福岡捷二：水衝部対策工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.（印刷中）

(2012.4.5受付)