

急流河川における高水敷上の自然段差を 利用した堤防侵食対策工法の検討

A STUDY ON NEW COUNTERMEASURES
AGAINST EMBANKMENT EROSION IN THE JYOGANJI RIVER

藤本昌利¹・大熊義史²・畠中泰彦³・福岡捷二⁴

Masatoshi FUJIMOTO, Yoshifumi OOKUMA, Yasuhiko HATANAKA and Shoji FUKUOKA

¹非会員 国土交通省北陸地方整備局 利賀ダム工事事務所 調査設計課 調査係長
(〒939-1363 砺波市太郎丸1-5-10)

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 副所長 (〒930-8537 富山市奥田新町2-1)

⁴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 Jyoganji river is one of the most rapid stony rivers in Japan. The energy of flood stream is so large that bank erosion is much greater than that of gentle flow rivers. It is difficult to imagine flow attack points where bank erosion occurs. Therefore, after the flood, we have taken measures by constructing new revetments or underpinning works. However, it takes enormous expense and time to strengthen riverbanks or embankments.

In this paper, we performed field experiments to find a simple and efficient bank protection method for the steep river in a meandering channel dug on a bar of the Jyoganji river. We found a useful technique against the bank erosion by putting stones in order along natural ground steps on the flood plain. The field design is presented for applying to the Jyoganji river.

Key Words : *embankment , rapid flow river , river bank protection , numerical computation*

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、洪水時の流水のエネルギーが非常に大きい。このため、洪水による河岸洗掘、侵食量が緩流河川に比べ格段に大きい。また、洪水時には河道全体で河床が大きく変動することから、濡筋が固定せず、侵食等による被災箇所をあらかじめ予測することが困難である。よって、洪水後に被災箇所に対し、新規護岸の施工あるいは根継ぎ工などの対策を実施してきたところであるが護岸工による河岸及び堤防の防護には多大な費用と時間を必要としている。

本文は、2009年の常願寺川現地実験において、堤防への流水エネルギーを弱め、堤防の侵食を抑制させる目的で連続的に配置した巨石による堤体侵食抑制効果を検討し、この検討に基づき、急流河川の堤防に対する予防的対策として安価で効率性の高い新しい河岸防護工法を提

案するものである。この工法は、河道高水敷上に自然に形成されている段差を活用し、この段差を侵食から守ることによって急流河川の堤防の侵食力を弱める役割を果たすことを目的としている。

2. 常願寺川における侵食対策工法

常願寺川は河口から5km付近までは河床勾配が1/1150～1/520と比較的緩やかであるものの、これより上流では1/200～1/70にもなる急流河川であり、中小規模の洪水であっても河岸洗掘、侵食量が大きい。このような強大な流水エネルギーから堤防を保護するため、従来から石とコンクリートによる強固な練り石護岸を施工している。練り石護岸の施工により河岸侵食は抑制され、侵食に対する安全性は増大するが、河岸が直線化し護岸

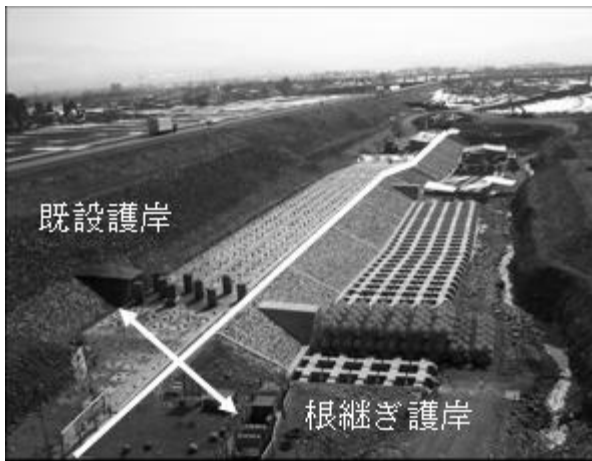


写真-1 常願寺川での河岸侵食対策（根継ぎ護岸工）

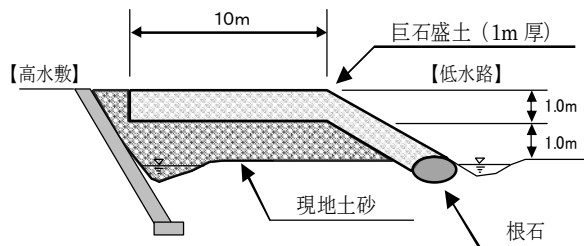


図-1 巨石盛土の横断形状

め、結果として護岸前面の河床をさらに洗掘させるような状況をつくりだしている。現状ではさらなる洗掘から護岸を保護するために写真-1に示すような護岸の根継ぎ対策を実施している。この結果、高水敷と河岸際流路との比高差がさらに増大し、河岸侵食が発生した際の侵食幅が大きくなり、堤防まで侵食が到達する危険性が高まる。また、河岸際に一度できた流路が固定化され、河岸から離れずに、より多くの洪水流量を河岸際に集めるとともに、水衝部が下流側へ移動する問題が生じている¹⁾。この問題に対し、護岸際に固定化した流路を是正し、さらなる洗掘の進行を抑制する目的で巨石による河床、河岸の安定効果²⁾を活用した図-1に示す巨石盛土の試験施工を行い、成果を得ている³⁾。

また、常願寺川扇頂部においては、河道内の粒径80cm程度のを寄せ石として高水敷法面に敷設するいわゆるガラパック工法を1983年から1985年にかけて試験的に施工している⁴⁾。ガラパック工法に用いた巨石は、常願寺川で行われている砂利採取で商品価値が低い巨石は採取されずガラとして採取跡地の河床表面に数多く置き去られたものを利用したものである。写真-2及び図-2にガラパック工法の施工状況を示す。ガラパック工法は、護岸施工までの暫定的な措置として自然高水敷の法面を侵食から保護することを目的として施工したものである。設置から20年以上経過した現在において、ガラパック工法を施工した高水敷法面の大部分は、施工後に発生した洪水によっても侵食を受けていないことから所期の目的を十分に果たしているものと考えられる。しかし、写真-2、図-2に示すように暫定的な防護工法の割には寄せ



写真-2 ガラパック工法の施工状況

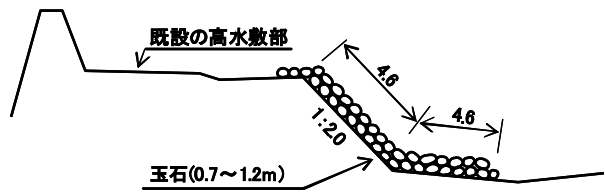


図-2 ガラパックの横断形状

石の数が大量であり、その工法について今日の新しい技術を用いて再検討する必要がある。

本文では、急流河川の災害は、必ずしも流水の直進性の高い大流量時に起こるだけでなく、中小洪水時の水流と河床形状の相互作用によって起こる洪水流の蛇行が流路の変動や洗掘被災をもたらすことも多いことに着目し、より簡易で安価な工法で、中小洪水に対する侵食軽減対策を検討する。中小洪水に対しては、堤防を直接保護するよりむしろ、高水敷で見られる自然の地盤高の高低差を利用し、ガラパック工法よりも少ない数の巨石を用いて堤防へ向かう流れを縦横断的にコントロールし、堤防に直接流水が向かうのを抑制し、堤防に侵食が及ばないようにすることを目的としている。この工法では、流れにより巨石の配列が乱れるなど施設の損傷は許容し、復旧が容易な工法を検討段階から考慮している。

3. 2009年常願寺川現地実験

(1) 2009年常願寺川現地実験の概要

2009年の常願寺川現地実験は、常願寺川8.6kmの砂州上に実験水路を製作して行った。図-3に実験水路平面図を示す。実験水路の平面形状は直線区間及び蛇行区間を有する延長190mとし、縦断勾配は、現地河床勾配と同程度の約1/130となっている。また、図-4に実験水路横断面図を示す。水路断面形は複断面形状として低水路幅3m、全水路幅8mで側岸法勾配は1:1とした。水路の河床材料は現地河床材料をそのまま使用しd60粒径で50mm~150mm

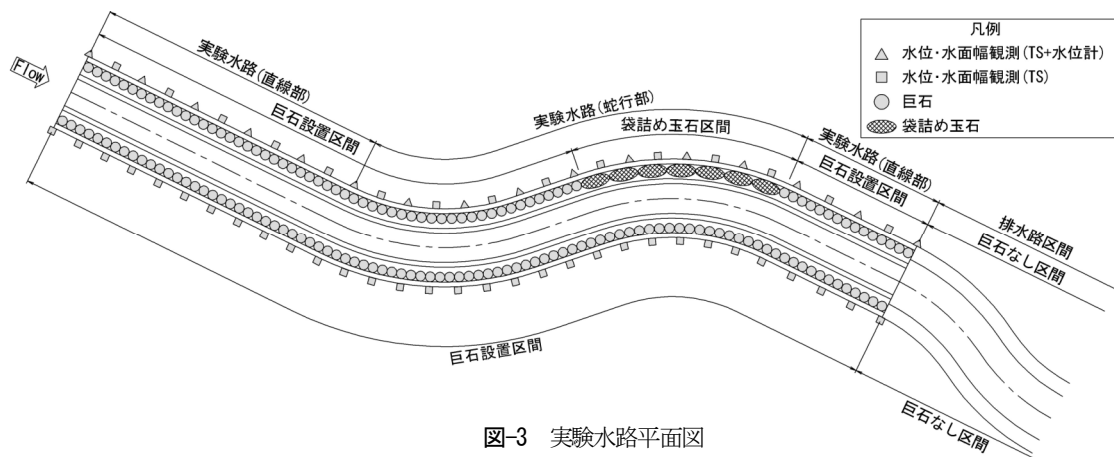


図-3 実験水路平面図

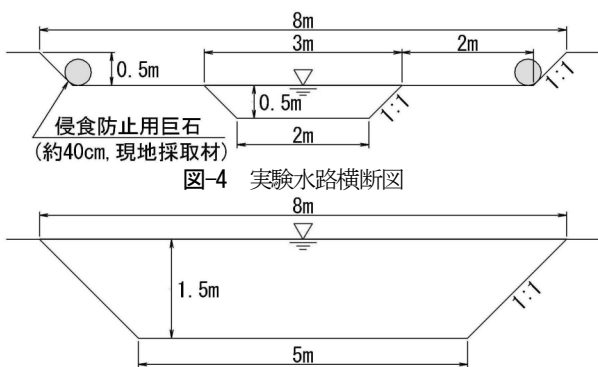


図-4 実験水路横断面

図-5 排水路横断面



写真-5 通水後 (実験水路蛇行区間)



写真-3 通水前 (蛇行部)



写真-6 通水後 (排水路)



写真-4 実験水路満杯流量通水状況

となっている。この実験水路において図-3、写真-3に示すように堤防に相当する上段法面の侵食を軽減するために巨石を法尻付近に単列で縦断的に連続して設置した。設置した巨石は現地で採取した最大粒径(40cm)程度のもを使用している。また、実験水路下流部は図-5に示す単断面形状で巨石を設置しない排水路となっている。本文では、この巨石を縦断的に連続して設置した実験水路と巨石を設置しなかった排水路の侵食状況の違いからも巨石による堤体侵食抑制効果について検討を行った。なお、通水中の水位観測には、光波測距儀測量と水圧式水位計を用い、流量観測は、上流・中流・下流の3断面で横断方向に3点、鉛直方向に2点流速を測定した。通水終了後、河床の平面及び縦横断面形状の測量を実施している。

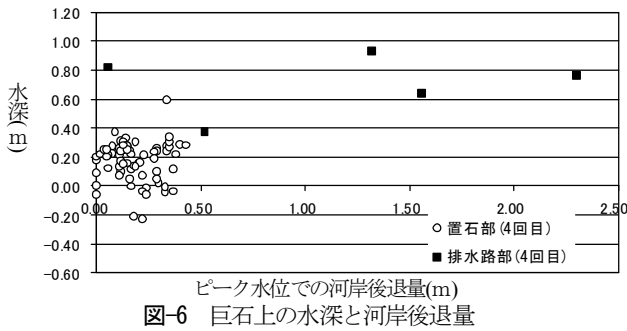


図-6 巨石上の水深と河岸後退量

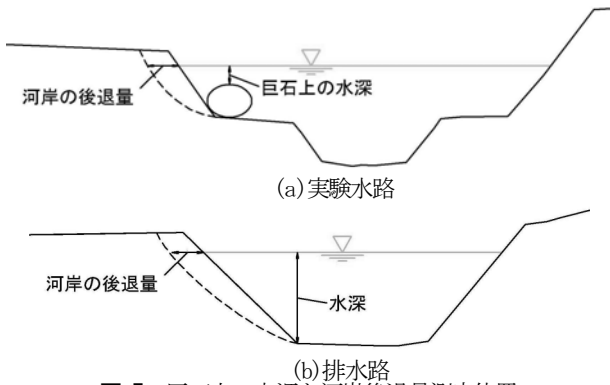


図-7 巨石上の水深と河岸後退量測定位置

(2) 実験結果と解析による考察

写真-4に実験水路満杯流量通水状況を示す。2009年の常願寺川現地実験においては、低水路満杯流量（ $2 \text{ m}^3/\text{s}$ ）から実験水路満杯流量（ $12 \text{ m}^3/\text{s}$ ）までの異なる3パターンの流量を通水した。この3段階の通水実験では、石礫複断面直線-蛇行水路における水路断面形、水面幅、河床材料の時空間的変化を検討している⁵⁾。本研究は水路満杯流量で形成された流路に越流寸前の極めて大流量（ $12 \text{ m}^3/\text{s}$ ）を通水し、石礫複断面直線-蛇行河道の河道防護工法を検討することを目的としている。第3段階のこの流量では高水敷上の巨石が完全に水没した状態で流路の縦横断面形状が概ね安定するまでの時間（約2時間半）通水した。写真-5は通水後の水路蛇行部の状況を示す。通水後は、外岸側の高水敷部が若干侵食を受け、高水敷上に設置した巨石の一部も河道中央側に若干移動しているものも幾つか見られる。しかし、巨石背後の法面には大きな河岸の後退は見られない一方、写真-6に示す下流単断面排水路では、河岸が侵食を受け、通水前の河岸が大きく後退した。図-6及び図-7に実験水路満杯流量通水時の水深とピーク水位での河岸後退量の関係を示す。なお、水深は、実験水路内においては巨石上面と水面高の差分を水深とし、排水路においては、側岸法尻から水面高の差分を水深としている。これより、実験水路内における河岸後退量は40cm程度未満であるのに対し下流排水路では2m以上も河岸が後退している。このことから高水敷上に巨石が縦断的に連続して存在したことで河岸に作用する流れのエネルギーが減勢され侵食が抑制されたものと考えられる。常願寺川において中小洪水で侵食の発生が懸念される箇所において、予防的対策とし

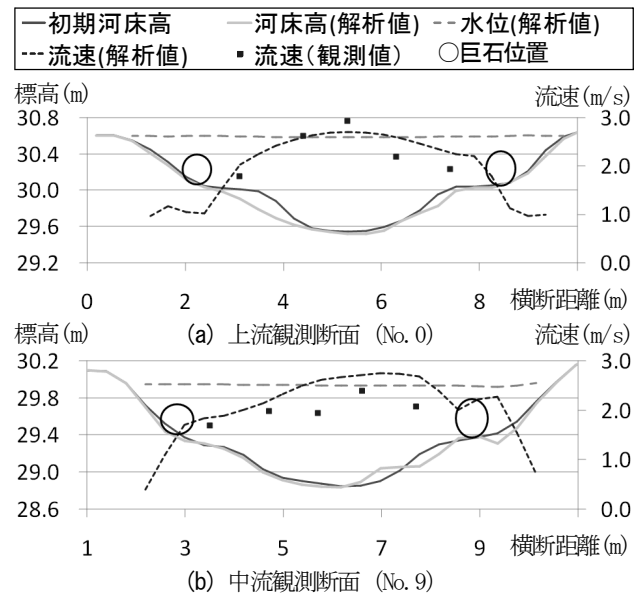


図-8 流量観測断面の河床高変化と流速分布

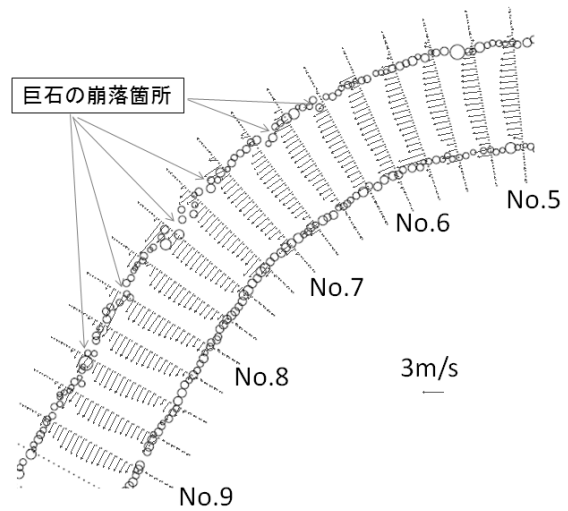


図-9 巨石崩落箇所周辺の流速分布

て高水敷上の地形の段差を利用して巨石を縦断的に配置し、堤防に作用する流水エネルギーを抑えることで堤防に侵食が及ぶことを抑制させる可能性を探究することは意味がある。

次に、水面形の時間変化を解とする非定常二次元洪水流解析と石礫河川の二次元河床変動解析法⁹⁾を一体的に扱う方法を現地実験結果に適用し、解析結果から河道線形による流速の変化および巨石崩落箇所周辺の流況について示す。

図-8に、流量観測断面（上流No. 0と中流No. 9）における通水開始から約2時間後の河床高・水位・流速分布の解析結果と流速の観測結果を示す。図には、左右岸の巨石の位置を丸印で併せて示す。流速分布の観測値と解析値の比較を見ると、図-8(a)に示す上流観測断面（直線区間）では、観測値の分布をほぼ再現している。図-8(b)に示す中流観測断面（蛇行部）は、全体的に解析の流速値が速くなっているものの、蛇行部外岸に位置する

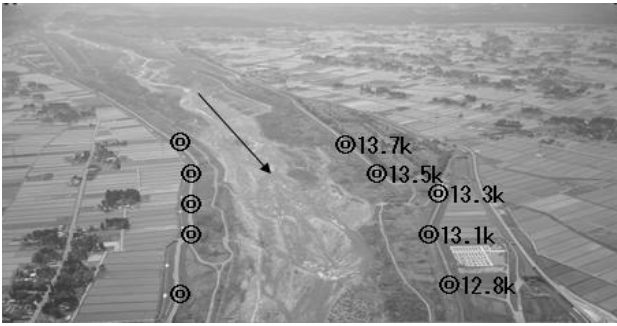


写真-7 2003年常願寺川13.1k付近の航空写真

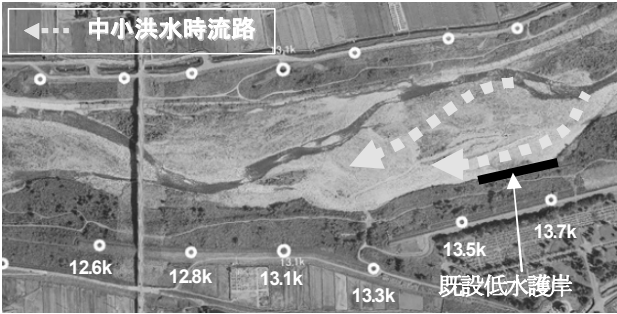


写真-8 2008年常願寺川(12.6k~13.7k区間)河道状況

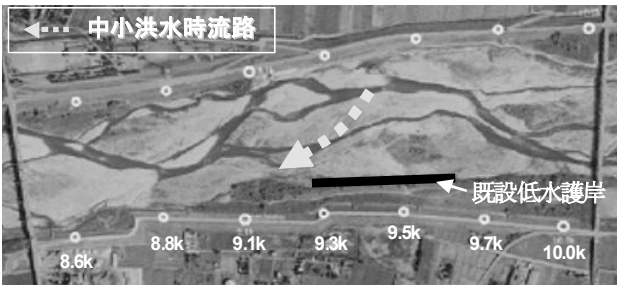


写真-9 2008年常願寺川(8.6k~10.0k区間)河道状況

右岸側に主流が寄る傾向は捉えられている。巨石に作用する流速値を見ると、上流断面では左右岸ともに1m/s~1.5m/s程度である。一方、中流断面の右岸側は、巨石に2m/sを超える流速が作用している。巨石と河岸との間に生ずる流速値も2m/s強となっていて、側岸侵食も若干生じている。しかし、主流速(2.5m/s程度)と比べると、巨石と高水敷により河岸際流速が低減されていることが分かる。図-9に、蛇行部における流速ベクトルと巨石の位置関係(巨石の位置は崩落後の座標を表示)を示す。No.6~No.9の外岸部では、巨石周辺における流速が速く、この区間において河床及び河岸侵食が生じ、図に示すように6箇所で巨石の崩落が見られた。しかし、上述したように、側岸侵食量は自然河岸に比べ極端に小さく、高水敷上に連続的に配置した巨石の流速低減効果により河床・河岸が保護されたことが解析結果からも明らかとなった。

4. 新たな堤防侵食対策工法の立案

2009年常願寺川現地実験で得られた成果を用いて、常願寺川における中小洪水に対する堤防防護について検討を



写真-10 常願寺川13.1k付近の河岸比高差

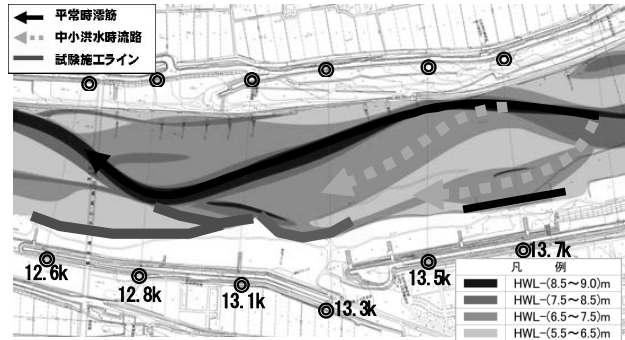


図-10 常願寺川13.1k付近の河岸比高差模式図

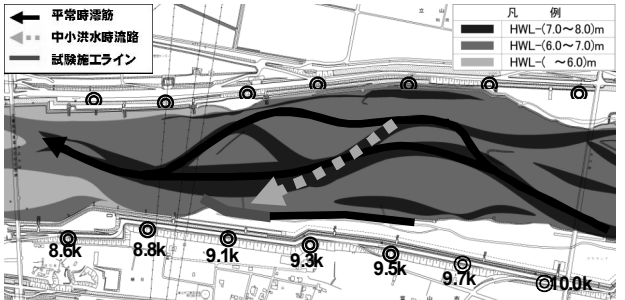


図-11 常願寺川9.1k付近の河岸比高差模式図

行い、簡易で経済性の高い工法の提案を行う。

(1) 試験施工位置の検討

常願寺川は、標高3,000m級の立山連峰から流れ下り、河口から18k付近を扇頂とする常願寺川扇状地を形成している。常願寺川扇状地には、県都富山市が存在し人口・資産が集中している。写真-7に2003年の常願寺川13.1k付近の航空写真を示す。扇頂部から直線的に流下した常願寺川の河道は、13.1k付近において右に蛇行し流れの向きを変えている。このため左岸側は流水の強大なエネルギーが集中しやすい箇所である。また、9.1k付近の河道は周辺堤内地盤より高い天井川区間であり、堤防が破堤した場合のダメージポテンシャルが高い箇所である。写真-8及び写真-9に2008年の河道状況を示す。両箇所ともに平常時の滞筋は右岸側を流れているが、洪水時には自然に形成された中水敷に流水が乗り上がり、左岸側堤防へ向かう流れが発生するため、堤防へ向かう流れのエネルギーを抑え、堤防に侵食が及ぶことを抑制することが必要な箇所である。このため当該箇所に自然地形と巨石を利用した新たな堤防侵食対策工法を検討する。

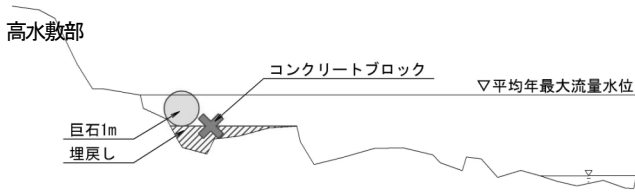


図-12 横断構造図 (9.1k付近)

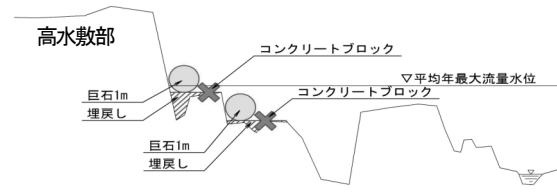


図-13 横断構造図 (13.1k付近)

(2) 平面形状

9.1k及び13.1kの上流側は、ともに過去の滞筋の変動に対応して低水護岸が施工されている。しかし、護岸下流には流れによって自然に形成された段差すなわち河岸形状が存在するが低水護岸は施工されていない。この河岸状況は現地において確認した結果、写真-9に示すように比高差約2mとなっている。

この比高差を利用し、現状の自然河岸平面形状を尊重して試験施工ラインを設定する。図-10及び図-11は設定した試験施工ラインと河岸比高差模式図を示す。これにより、現状の高水敷を最大限保全し、堤防へ向かう流れが発生した場合においても河道中央へ流れのエネルギーを導くことが可能になると考え、新たな工法は、堅固な構造物で河岸を防護するのではなく、洪水継続時間が短い急流河川の中小洪水時に対して自然段差と巨石を用いて堤防へ向かう流れのエネルギーをコントロールするものである。連続する巨石の背後の土砂が一部侵食を受けても洪水時の侵食幅は小さく保たれ、堤防に向かって侵食が及ぶことを抑制する工法である。

巨石の必要粒径は、常願寺川における平均年最大流量(約800 m³/s)の掃流力に耐えうる粒径を用いることとした。必要粒径は、「護岸の力学設計法」⁷⁾を用い、当該箇所における巨石の必要粒径は約1mとした。なお、粒径1mの巨石は、常願寺川18k付近から採取が可能である。

(3) 縦横断構造

図-12及び図-13に新たな工法のための横断形状を示す。現状の河道横断形状に存在する段差に着目し、現地河床材料で巨石設置スペースを整形し、2009年常願寺川現地実験における巨石の配置と同様に縦断的に巨石を配置する。巨石下部には巨石の転動防止と噛み合わせ効果による巨石の安定をより強固にするためコンクリートブロックを配置する。このコンクリートブロックは、今後、本工法を常願寺川の他地区へ展開していく際に巨石に替わる材料としてのブロックの適用性を確認する意味も持つ。

5. おわりに

本文では、2009年常願寺川現地実験より明らかとなった

巨石による堤防への流水エネルギーの低減と侵食の抑制効果に着目し、新たな堤防侵食対策工法を示した。今年度、現地において試験施工を行うとともにモニタリング調査を実施し、その有効性を確認していく予定である。

常願寺川においては急流河川特有の流水の強大なエネルギーにより堤防まで侵食が及ぶ危険性がある地区が今回試験施工地区以外にも存在している。これらの地区に対しても、本工法の妥当性を確認したうえで現地条件を十分加味しながら、新しい対策工法として確かなものに作り上げていきたいと考えている。

また、本工法は従来の根継ぎを中心としたコンクリート護岸による工法に比べ、巨石を近傍で調達可能であり、コンクリートブロックと一体的に施工するためコストや工期を大幅に縮減できる見込みである。さらに、予防的な対策として施工することにより、災害時の対策コストを減少させ、急流河川における河岸侵食対策のトータルコストを縮減できる可能性がある。加えて、常願寺川らしい変化に富んだ礫床河川空間の保全といった景観面での効果や生物の生息・生育環境の創出といった環境面の効果も期待できるものである。

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) 福岡捷二, 長田健吾, 安部友則: 石礫河川の河床安定に果たす石の役割, 水工学論文集, 第52巻, pp. 643-648, 2008.
- 3) 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, pp.109-114, 2008
- 4) 北陸地方建設局 富山工事事務所: 常願寺川の巨石の利用について, 北陸技報, 第48号, 1989
- 5) 前嶋達也, 岩佐将之, 藤本昌利, 長田健吾, 福岡捷二: 石礫複断面直線一蛇行河川の縦・横断面形状と河床材料に関する研究, 河川技術論文集, 第16巻, 2010 (投稿中)
- 6) 長田健吾, 福岡捷二: 石礫蛇行河川の二次元河床変動解析に関する研究, 河川技術論文集, 第15巻, pp.327-332, 2009
- 7) (財)国土開発技術研究センター: 護岸の力学設計法, 山海堂, 1999

(2010. 4. 8受付)