

# 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

## PLAN AND ITS VERIFICATION OF A NEW COUNTERMEASURE USING BOULDERS AGAINST RIVER BANK EROSION IN STEEP RIVERS

澤原和哉<sup>1</sup>・須賀正志<sup>2</sup>・安部友則<sup>3</sup>・福岡捷二<sup>4</sup>  
Kazuya SAWAHARA, Masashi SUGA, Tomonori ABE and Shoji FUKUOKA

<sup>1</sup>工修 国土交通省北陸地方整備局河川部河川管理課係長 (〒950-8801 新潟市中央区美咲町1-1-1)

<sup>2</sup>正会員 工修 国土交通省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)

<sup>3</sup>正会員 工修 独立行政法人土木研究所つくば中央研究所水工研究グループ長 (〒305-8516 つくば市南原1-6)

<sup>4</sup>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 Joganji River in Toyama Prefecture is one of the steepest gravel river beds in Japan. Once flooding occurs, as the energy of river flow rises, river bank scouring and erosion are comparatively greater than normal. As a result, during floods the shape of the river bed is greatly affected and the river's path may change. However, it is difficult to predict potential erosion damage points in advance. After flooding, some countermeasures such as splicing work of revetment are carried out on damaged banks. Nevertheless, as the river bank reinforcement work is being carried out, water flow concentrates on fixed points. Thus, scouring progresses and flow attack points may expand in size. Up to now, effective river bank erosion countermeasures have not been developed. In this paper we report the experimental work on bank erosion countermeasures which use boulders taken from the Joganji River bed, and show validity of the new countermeasure work

*Key Words : Steep river, stony bed river, river bed scouring, erosion countermeasure, 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、洪水時の流水のエネルギーが非常に大きいため、洪水による河岸洗掘、侵食量が緩流河川に比べ大きい。また、洪水発生時には河床が大きく変動することから、濇筋が固定せず、河岸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、洪水後に被災した箇所において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が、護岸の施工に伴い、護岸沿いに流れが集中することによる洗掘の進行や水衝部の延伸が確認されており、河岸侵食対策に歯止めが効かないのが現状となっている。

本研究は常願寺川における低水路護岸工の設置と護岸沿い流路位置の経年変化の関係についての検討に基づき、従来の護岸工に代わる常願寺川の河床材料である巨石を用いた自然性の高い新たな河岸侵食対策の試験施工について報告するものである。

### 2. 従来護岸工の課題・問題点

常願寺川は河口から5k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、侵食量が多い。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きている。

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、河岸が直線化し摩擦が減ること、護岸際の流速が増大するため、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<sup>1)</sup>。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増大するため、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

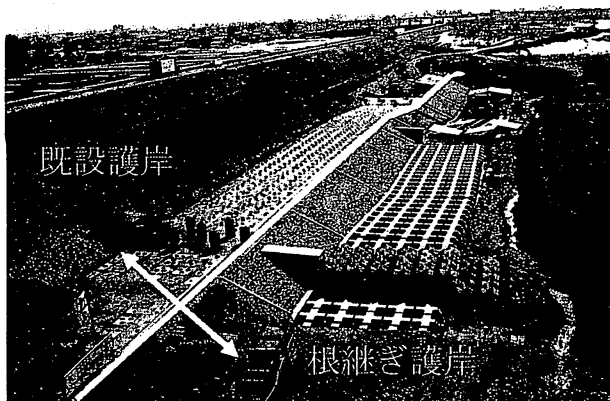


写真-1 常願寺川での河岸侵食対策（根継ぎ護岸工）

くの洪水流量を河岸際を集めるとともに、水衝部が下流側へ移動するため、下流側への低水路護岸の延伸を行っている<sup>7)</sup>。このように、護岸工の根継ぎと下流側への延伸が続く状況を回避しない限り、治水面での課題、問題点が解消されないだけでなく環境や景観への影響も懸念される。

### 3. 巨石による河床・河岸の安定効果

常願寺川において、急流石礫床河川における河床安定機構の解明等を目的とした現地実験を2004年、2005年、2006年に行った<sup>2), 3), 4) 5)</sup>。2006年の実験では2つの蛇行部を持つ延長120mの実験水路を河道内に開削し、下流側の蛇行部には護岸工を設置することで上流側の蛇行部の自然河岸との河床安定機構の比較検討を行った。自然河岸では写真-2(a)、図-1(a)に示すように、石礫の流出により洗掘が進行し、河岸が崩落することによって河岸侵食が拡大する。しかし、河床および崩落した土砂より掃流力に耐えうる巨石が露出することにより釣り合いがとれ、河道が静的平衡状態となり河床、河岸が安定する。また、本来単独であれば流出してしまう砂礫が、巨石間の空隙やその周辺にとどまることが可能となり、さらに砂礫が巨石とかみ合うことで河床、河岸はより強固に安定する<sup>6)</sup>。一方、写真-2(b)、図-1(b)に示す護岸工を設置した蛇行部では、護岸工により河岸侵食は防止できるものの、河岸からの巨石の供給がないため、河床面において掃流力に釣り合う石礫群が現れるまでに洗掘が進行する<sup>6)</sup>。

このように、流水のエネルギーが大きい急流河川では巨石が河床、河岸の安定に大きな役割を持つ。この巨石による河床、河岸の安定機構を活用すれば、強大な流水エネルギーに対し、強固なコンクリート護岸で対処していた従来の急流河川工法の発想を転換する、柔軟性の高い新たな侵食対策が可能となる。

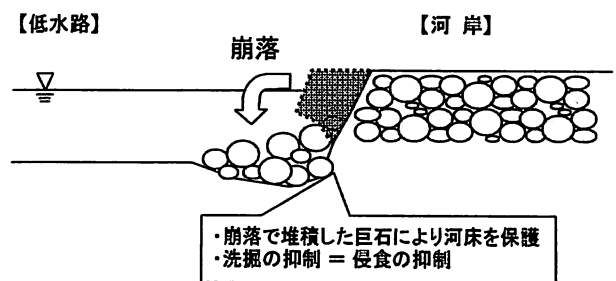


(a) 自然河岸の状況

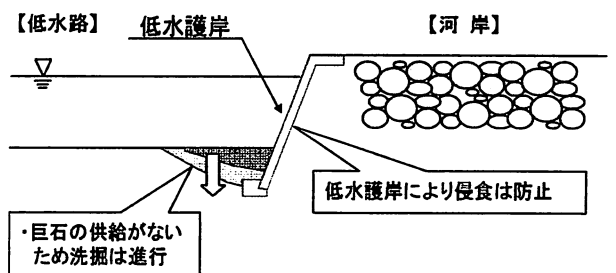


(b) 護岸箇所の状況

写真-2 自然河岸と護岸箇所の状況



(a) 自然河岸の河床・河岸安定過程



(b) 護岸箇所の河床・河岸安定過程

図-1 自然河岸と護岸箇所の河床・河岸安定過程の違い

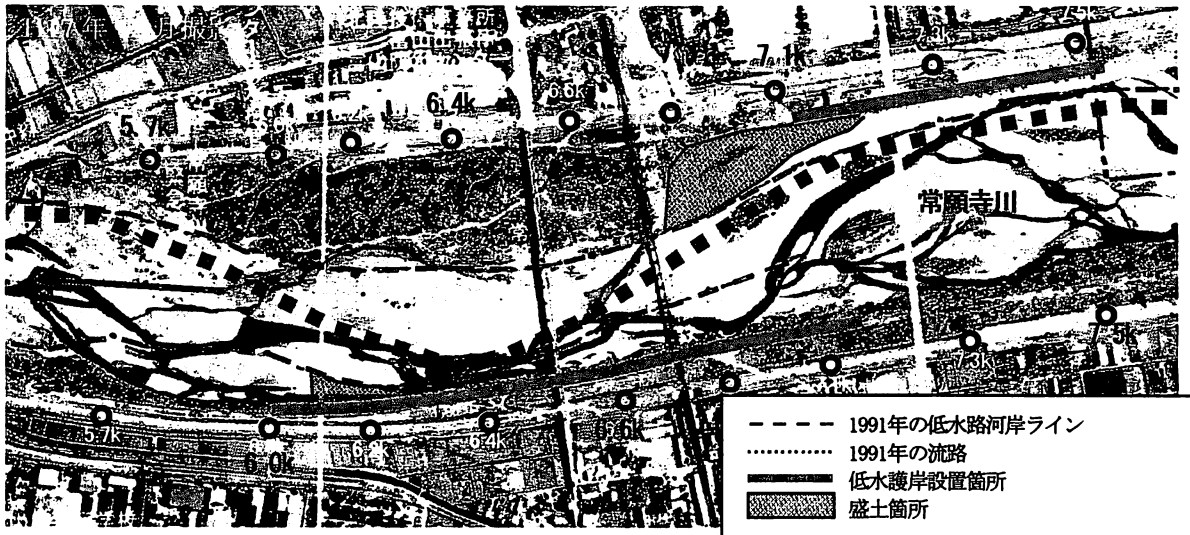


写真-3 常願寺川 (5.7k~7.5k区間) の流路の経年変化および盛土施工箇所

#### 4. 巨石を用いた新たな河岸侵食対策の立案

上述の現地実験および検討結果から常願寺川において、護岸および自然河岸の前面の洗掘，侵食の抑制および適正な流路形成を目的とした巨石盛土による試験施工を実施した。以下に巨石盛土の構造の考え方について述べる。

##### (1) 流路の経年変化と流路形成の方法

写真-3に常願寺川5.7k~7.5k区間の流路の経年変化と巨石盛土施工箇所を示す。写真は2005年の状況であり、現況の低水路河岸ラインは1991年時点に比べ堤防寄りに後退している。特に左岸側では低水護岸が設置されていない6.8k~7.1kまで河岸侵食が進行している。流路は1991年時点ではなめらかであり、水衝部となる箇所も限定されていたが、低水護岸の施工にともない流路が河岸際に固定化され水衝部の延伸がみられる。さらに、流路の蛇行振幅が大きくなることで、河岸への流入角が大きくなることや高水敷と河岸際の比高差が増大するため、河岸際の洗掘深や侵食量が拡大する危険性が高まっている状況にある<sup>1)</sup>。

よって、巨石盛土の試験施工対象箇所は低水護岸沿いに流路が形成されている左岸6.0k~6.2kおよび下流への侵食が進行している右岸6.8k~7.2kとした。また、流路の蛇行線形をなめらかにすることが治水上重要であることから、盛土の線形は流路の蛇行幅が小さく、河岸際の流路延長が短い1991年時点流路線形に近づくよう設定した。

##### (2) 横断構造

図-2に巨石盛土の横断形状を示す。盛土高は高水敷高程度（既設低水護岸の天端高）とし、盛土の基礎には現地採取土を用い、法面（勾配1:4）および天端保護工となる法肩から10mまでの範囲には巨石を1m厚で施工した。

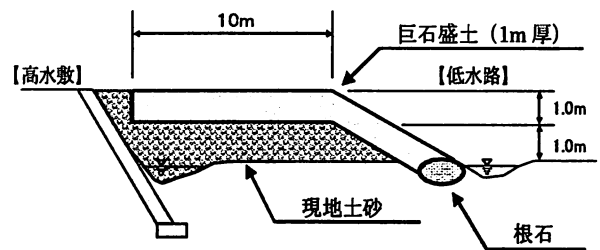


図-2 巨石盛土の横断形状

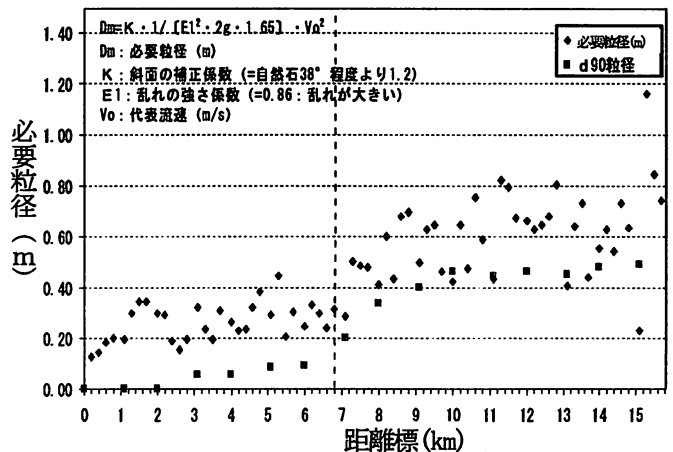


図-3 巨石の必要粒径の検討

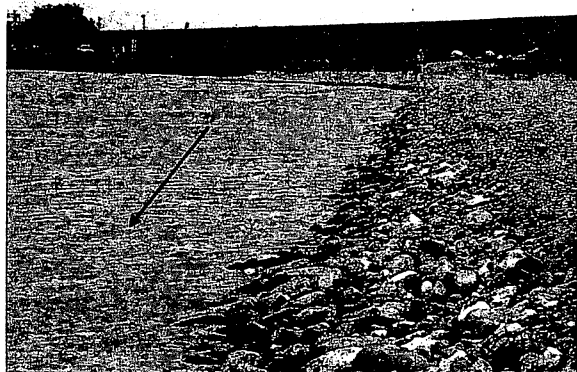
また、法面基礎部には洗掘防止，巨石の捕捉のための根石（1.5~2m程度）を配置し，水流が集中する先端部においても根石と同粒径の巨石を複数段配置した。法面および天端部に配置した巨石の必要粒径の検討にあたっては、「建設省河川砂防技術基準（案）同解説」，「護岸の力学設計法」（財団法人国土開発技術研究センター，平成11年2月）から，一体性が弱い部材からなる法履工の場合で，掃流力に対し移動しない部材の大きさと代表流速との関係式を用いた。施工性や効果の検証を考慮し，平均年最大流量（約720m<sup>3</sup>/s）の掃流力に耐えうる粒径とし，図-3に示すように，今回の試験施工箇所の6.0~



写真-4 施工完了後の状況 (右岸6.8k~7.2k)

表-1 巨石盛土の諸元

施工位置	左岸6.0k~6.2k	右岸6.8k~7.2k
延長 (法長)	約160m	約250m
盛土量	約7,000m <sup>3</sup>	約13,000m <sup>3</sup>



(a) 左岸6.0k~6.2k

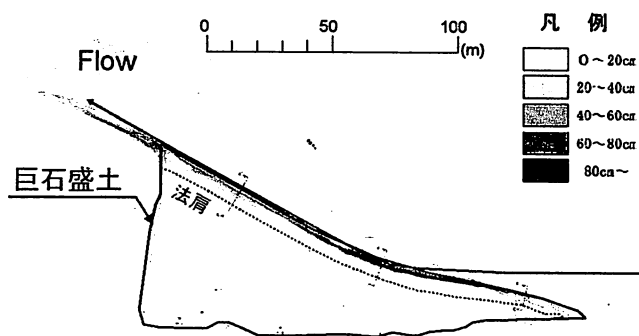


(b) 右岸6.8k~7.2k

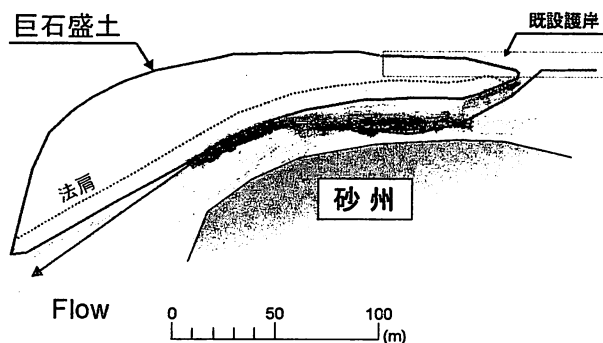
写真-5 洪水時の状況 (2007年9月7日)

7.0k付近における必要粒径0.4m以上のものを用いることとした。この粒径の巨石を常願寺川から採取する場合、D60粒径では施工箇所から20km以上離れた箇所においても条件を満たすことができず、D90粒径で必要粒径を満

たし、採取作業が容易で、運搬性を考慮して11k地点から採取することとした。なお、採取に際しては粒径による選別は行っていない。これは積込作業の容易さを考慮したことに加え、幅広い粒径で構成させることにより、巨石が核となり、砂礫がかみ合うことで河床が安定する効果を期待したものである<sup>6)</sup>。施工完了後の状況を写真-4、諸元を表-1に示す。

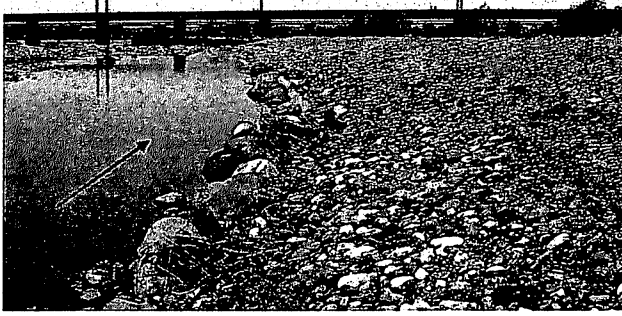


(a) 左岸6.0k~6.2k

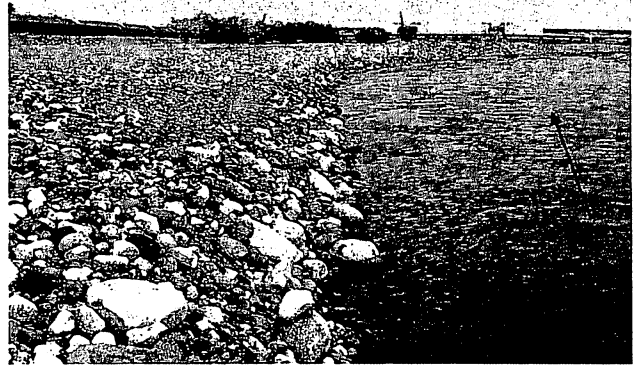


(b) 右岸6.8k~7.2k

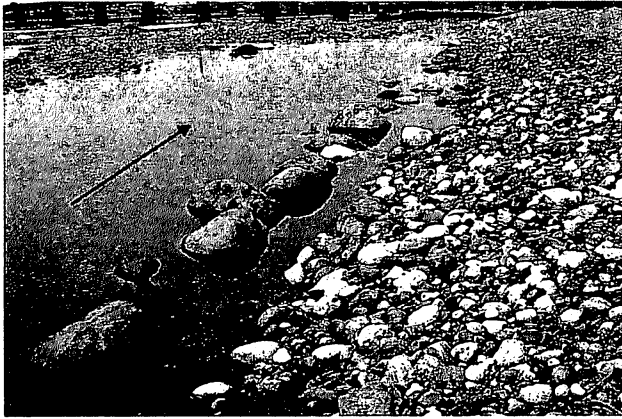
図-4 三次元平板測量による巨石盛土法面の変動状況



(a) 上流から下流を望む



(a) 上流から下流を望む



(b) 最も法面の崩落が見られた箇所



(b) 最も法面の崩落が見られた箇所



(c) 法面の状況

写真-6 洪水後の状況 (右岸6.8k~7.2k)



(c) 法面の状況

写真-7 洪水後の状況 (左岸6.0k~6.2k)

## 5. 洪水に対する効果検証

巨石盛土の効果を検証するため、洪水時および洪水後にモニタリング調査を実施した。2007年に発生した洪水は8月23日が最も大きく約450 $\text{m}^3/\text{s}$ 、次いで9月7日が約330 $\text{m}^3/\text{s}$ であり、それぞれ平均年最大規模洪水の約60%、約45%の中規模洪水であった。9月7日の洪水時の状況を写真-5に示す。施工区間では洪水の主流が左岸寄りであったため、左岸6.0k~6.2kでは巨石盛土の法肩付近ま

で冠水したが、右岸6.8k~7.2kでは法面中央部付近までの冠水にとどまった。一般に複断面河道では、低水路満杯流量時が最も流速が早くなること分かっている<sup>7)</sup>。従って今回受けた洪水は巨石盛土にとって厳しい外力条件となった。

洪水後に三次元平板測量により巨石盛土法面の変動状況を確認した。その結果を図-4に示す。右岸6.8k~7.2kでは既設護岸に沿って流れた洪水流が盛土先端部の巨石によってはねられ、一端河道中央へ戻っているが、比高差の大きい砂州があったため再び巨石盛土中央部に戻り、

右岸7.0k付近の巨石盛土法尻が崩落した。左岸6.0k～6.2kでは、洪水流が巨石盛土の中央部にあたり、そのまま盛土の線形に沿って流下したため、当該箇所において巨石盛土法面の半分程度まで崩落し巨石が噛み合うことにより安定な勾配が形成された。

また、洪水後の法面の粒径をみると、冠水した範囲で細粒分の流出により施工当初に比べ粗くなっていた。右岸6.8k～7.2kおよび左岸6.0k～6.2kにおいて最も法面の崩落が見られた箇所の状況を写真-6および写真-7に示す。巨石盛土の法尻表面は10～20cm径の石が露出していたが、これ以下の粒径の砂礫も多くとどまっていた。

左岸6.0k～6.2kの巨石盛土法面の崩落が見られた箇所では、40cm径以上の巨石も多く露出しており、現地実験と同様に巨石が河床・河岸の安定に寄与していることが確認できた。また、水流が集中する先端部に配置した根石はいずれの箇所でも流出せず、法尻に配置した根石も観測ができた右岸6.8k～7.2kでの移動量は鉛直・水平方向ともに、ほぼ0.5m以下であり、概ね期待した効果が確保できた。

巨石盛土全体としてみれば、今回の洪水で流水のエネルギーが大きかった左岸6.0k～6.2kにおいて法面の半分程度まで崩落が見られたものの、これは施工時に混合していた小粒径の砂礫が流出し、安定勾配に至った結果であり、今後、同程度の洪水が発生しても現在の形状を維持できるものと考えられる。また、施工前に巨石の必要粒径算出した際の流速（平均年最大流量）は、左岸6.0k～6.2kで約2m/s、右岸6.8k～7.2kで約2.5m/sであったものに対し、9月7日洪水時の観測値は表面流速で左岸6.0k～6.2kで約4m/s、右岸6.8k～7.2kで約3.5m/sであり、想定以上の流速であったが巨石盛土法面の崩落は限定的であり、護岸としての機能は大きく損なわれておらず、既設護岸沿いに流路を発達させないで流路線形をなめらかにする当初の目的は達成できている。

## 6. 結論

本研究では、急流河川における従来の護岸工の課題、問題点を解消すべく、巨石による河床、河岸の安定効果を活用した新たな河岸侵食対策として、巨石盛土による

試験施工を実施した。モニタリング調査の結果、2007年に発生した中小洪水は巨石盛土に対しては厳しい外力条件であったが、巨石盛土は、細粒分の流出により法尻において若干の崩落は見られたものの、全体の護岸機能には支障がなく、本工法の適用性が確認できた。今後は、より大きな規模の洪水に対するモニタリング調査を継続して実施するとともに、比高差の増大が懸念される既設護岸箇所の前面に巨石を配置し、洗掘抑制を図るなど適用範囲の拡大についても検討していく予定である。

また、本工法は従来のコンクリート護岸による工法に対し、巨石を近傍で調達可能であったためコストや工期を大幅に縮減できたほか、巨石の粒径を検討し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、常願寺川らしい石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と考えている。

## 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) 黒田勇一, 福岡捷二, 山本輝, 吉田和弘, 井内拓馬: 礫床河川の滞筋形成機構と河床粒度分布特性, 河川技術論文集, 第11巻, pp. 363-368, 2005.
- 3) 福岡捷二, 山崎憲人, 黒田勇一, 井内拓馬, 渡邊明英: 急流河川の河床変動機構と破堤による氾濫流量算定法の調査研究, 河川技術論文集, 第12巻, pp. 55-60, 2006.
- 4) 福岡捷二, 寺沢直樹, 山崎憲人, 塚本洋祐: 巨石を有する礫床河川の水理, 河川技術論文集, 第13巻, pp. 339-344, 2007.
- 5) 山崎憲人, 寺沢直樹, 福岡捷二: 巨石を含む広い礫径分布を有する礫床河川における粒度分布調査手法, 河川技術論文集, 第13巻, pp. 141-146, 2007.
- 6) 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.
- 7) 福岡捷二: 洪水の水理と河道の設計法, 森北出版, 2005.

(2008. 4. 3受付)