

余笹川の災害対策後河道の河道特性 に関する考察

CHANGES OF CHANNEL CHARACTERISTICS OF YOSASA-RIVER AFTER DISASTER RESTORATION

三品智和¹・須賀如川²・助川純一郎¹・古川保明¹

菅俣 崇³・福田一郎³・築瀬和裕³

Tomokazu MISHINA, Nyosen SUGA, Junichirou SUKEGAWA, Yasuaki KOGAWA,
Takashi SUGAMATA, Ichirou FUKUDA, Kazuhiro YANASE

¹正会員 中央技術株式会社(〒310-0902 茨城県水戸市渡里町 3082)

²フェロー員 工博 宇都宮大学名誉教授 河相工学研究堂(〒276-0023 千葉県八千代市勝田台 4-2-4)

³栃木県余笹川流域河川改修事務所(〒324-0041 栃木県大田原市本町 2-2828-4)

Disaster restoration works are commonly preformed based on the technical standard from the reason that there is not sufficient time of investigation and study for emergency construction. Therefore, some rivers that have special characteristics require additional studies on the changes of channel characteristics.

In this paper, the result of study of Yosasa-river was described after the disaster restoration works. The channel was considered to have such special characteristics that the natural banks were greatly scoured laterally due to the existence of tight armor coat, during the big flood in 1998 after 60 years. But, the armor coat was found not to be developed by the field investigation, and it was concluded that the degradation was not occurred by the existence of huge amount of sediment transport that was yielded by the bank erosion due to the loose materials of the banks. Now, the channel has protected banks on both sides and the rate of sediment transport is considered to be dramatically decreased. Therefore, additional counter measures are proposed in this case.

Key Word: Yosasa-river, Lateral erosion, Disaster restoration, degradation, local scour

1. はじめに

災害復旧工事は、緊急工事であり、十分な検討を行う時間的余裕がないことから、通常マニュアル的な技術基準に基づいて、改修計画が行われている。しかしながら、特殊な河川特性を持つ河川においては、想定以上の危険性が生じ、技術基準以上の対策が必要となる場合がある。本論文ではその事例として、平成10年8月末に被災した余笹川(那珂川支川)を取りあげ、未改修河川から一変、全川改修された河道について、河道特性を踏まえた安全度評価の検討を試みた。

本論文の位置づけとして、特殊な河川特性を持つ河川、すなわち、全国でも稀な横侵食河道で、拡幅や新水路形成による生産土砂量が多く、縦断的に不規則、かつ激しい蛇行河道に災害復旧工事が行われ

たことである。災害復旧工事は計画規模1/50で近自然工法を採用し、災害年を含め3ヶ年と短期間で実施された。その主な内容は、未改修河川から一変して全川護岸整備され、河道拡幅をしている。場所によっては、洪水前の大蛇行河道が直線河道に、また在来水田であった場所に新規に河道が施工された区間等もある。

今後の河道変化としては、護岸整備に伴い、側方からの供給土砂量が減少し、著しい河床低下と水衝作用の増大が考えられ、その規模は侵食性高い河道特性から考えても大きいものと考えられる。

このように本論文では、特殊な河川特性を持つ余笹川河道について、アーモアコートの内容等詳細な現地調査を実施し、洪水流に対する安全度評価の検討を試みたものである。

2. 余笹川洪水災害と災害復旧工事に関する特徴

平成10年8月末に60年前の大洪水をしのぐ極低頻度の洪水が、未改修河川の余笹川に襲来した。その規模は、最大時間雨量90mm、日雨量607mmとこれまでの既往最大時間雨量44mm、日雨量203mmを遥かにしのぐ記録的な豪雨となった。

河道特性から余笹川を位置づけると、極めて顕著な横侵食河道で、洪水中に20～40m幅の河道から60～100m幅河道となった。また、縦断的に不規則、かつ激しい蛇行河道であったが、湾曲部等において、洪水流の直進性により、多くの新水路が形成された。

災害復旧工事は、一般の技術基準を基本とし、計画規模1/50で、災害年を含めて3ヶ年で実施された。また河道の法線形は原形復旧を基本としているが、やや直線的な河道となっている。また、災害復旧工事には近自然工法が採択されており、その主な工法は、自然石多用の玉石張工、コンクリート・ブロックを覆土した緑化護岸、河床保護のため間伐材使用の木工沈床、縦断形状に配慮したスロープ式落差工等が採用されている。

今後余笹川河道において、予測される河道変化としては、護岸整備に伴う、供給土砂量の著しい減少により、河床低下と洗掘が進行すること、及び河道拡幅により中小洪水時の水位が低下し局所流が強くなり、湾曲部等での水衝作用が増大し、新規の水衝部形成が生ずると考えられる。すなわち、水衝部で局部的に低下し、流れが低いところに集中して、さらに河床低下と局所洗掘を促進させると予測される。また、中小洪水が続く、大洪水がしばらく発生しない場合の中期的な想定をすると、河道内において、ポイントバーや不安定砂州が急速に発達し、旧河道への復元化が生じると考えられる。

これら河道変化予測に対し、今後余笹川河道では次のような問題が懸念される。

- 水衝部での洗掘力増大は護岸崩壊を引き起こし、かつ護岸整備による横侵食の制限からも、鉛直方向の侵食が容易となり危険性が高い。
- 場所によっては河道拡幅に伴い、中小洪水の水位低下による流砂量の減少、及び氾濫減少の想定から、縦断的に不規則な不安定土砂堆積により、河道内に新規蛇行が形成され、その水衝部護岸崩壊の危険性発生。
- 平成10年規模の大洪水が生じた場合の、破堤の危険性。

これら挙げられた問題に対する対策工として、根固工や水制工あるいは木工沈床工等が施工されているが、各地点の河道条件毎強度評価が必要である。また、平成10年規模の洪水流に対しては、超過洪

水対応のハザードマップ等が作られている。また、護岸工については、平成10年大洪水での被災護岸は技術基準に従った1m根入れ護岸に対し、今回は洪水実績を考慮し1.5m根入れ護岸で施工されている。しかしながら、護岸整備により横侵食が制限された今、鉛直方向の侵食が生じ易くなると考えられる。

3. 災害対策後河道の現地調査

(1) 河床面調査

改修後の余笹川の様相は、洪水前の激しい蛇行河道から円滑に直線化され、全川にわたり河道が拡幅され、護岸が整備された。また湾曲部等において被災状況の顕著な箇所では、河道幅を直線河道幅の4倍以上拡幅しているところもある。

ここでは、災害対策後の余笹川河道における河床面状況の現地調査結果を述べる。なお、調査区間は、那珂川・余笹川合流点から余笹川・四ツ川合流点(区間距離16km)とした。ここに、図-1は調査区間の位置図を示したものである。

表-2は、縦断的な河床面状況を示したものである。なお、改修河道内の河床面状況調査は、現地で撮影した写真を基に5段階の分類を行った。分類条件は、表-1に示すように河床面の主な構成材料とそれ以外の構成材料の分布状況から分類を行った。例えば、那珂川合流点から4k500地点での河床面のグレードはEを示している。この地点は、約0.5m程度の巨石が多く分布し、それ以外に砂や砂利の分布が観察されたことを意味している。



図-1 調査位置図

表-1 河床面グレード分類

河床面 グレード	河床面砂礫の分布状況		
	砂	砂 利	巨 石
A	◎		
B	◎	○	
C	◎	○	○
D	○	◎	
E	○	○	◎

◎：河床面の主な材料

○：河床面の材料

表-2 縦断的な河床面状況

調査地点の状況		河道表面の状況	
那珂川・余笹川 合流点からの距離 (m)	参考事項	河床面 グレード	河床面代表 巨石の粒径 (m)
240	那珂川・余笹川 合流点	D	巨石無し
3860	余笹橋	B	巨石無し
4200		E	巨石無し
4500		E	0.5
4880	取水口	C	1.0
5200		D	1.0
5500		D	0.6
5940	協和橋下流側	D	1.0
6920		D	1.5
7240		E	0.8
7640	寺子橋	D	0.8
7900	落差工	E	1.0
8240		D	0.8
9200	木工沈床	D	巨石無し
9460	水制工	E	0.8
9860		D	巨石無し
10000	石堀子橋下流側	D	巨石無し
10380		D	巨石無し
10600		D	1.0
10980		D (巨石を除く)	1.0
11760		D	巨石無し
12100	下川橋下流側	D	0.8
12300		D	巨石無し
12400		D	巨石無し
12520		D	1.5
12660		D	0.5
12800		E	0.7 1.0
12860	下余笹橋下流側	E	1.0
13300		D	巨石無し
14000		D	巨石無し
14180		D (巨石を除く)	0.8
14300	ふれあい公園	-	0.8
14600		D	1.0
14700	中余笹橋付近	D	1.0 1.0
14900		D	巨石無し
15140		D	1.0
15400	蛇行部	C	巨石無し
15440		C	巨石無し
15540		D	巨石無し
15680	余笹川橋下流部	D	1.5
15700	余笹川橋上流側	D	巨石無し
16100	余笹川・四ツ川 合流点	D	1.0

河床面状況は縦断的に不規則で、処々に1m超の巨石が分布していた。この巨石の不規則な分布は、河道拡幅の際に出現したものと考えられる。

(2)河床の粒度分布調査

災害対策後の河床粒度分布調査（アーマーコート調査）を行った。調査区間は、河道表面の現地調査同様那珂川合流点から16km区間で行い、試料採取は、余笹川22箇所、四ツ川（余笹川支川）3箇所、計25箇所で実施し、粒度分布試験を行った。

まず旧河道と改修河道の河床特性について比較検討する。ここで、代表的な旧河道としては、災害対策後河道の粒度分布特性として、洪水前状態のまま残存する余笹川・四ツ川合流点（那珂川合流点から16km地点）及び災害対策後河道は、那珂川合流点から6k420地点の新水路箇所を採用することとした。図-2は旧河道と改修河道における粒度試験結果を示したものである。なお、粒度試験は河床表面から30cmの試料で、目視により河床断面の層の分類を行った1層目の試験結果である。

図より、旧河道（16km地点）における河床の粒度分布特性は、比較的粒度が均一粒径で、平均粒径は4.95cmであった。これは、洪水流によって河床表面の微細粒子が流出し、表面が礫や砂利などの大径材料によって覆われ、アーマーコートが形成されていると言える。しかしながら、アーマーコートの形成にとって重要視される大径砂礫 d_{90} は12cmと河床の安定化に十分な大きさであるとは言いがたい。一方、改修河道（6k420地点）における粒度分布特性は、粒度の分布が広範囲で、比較的粒径の細かい材料で河床が構成され、平均粒径は2.9cmであった。これは、改修工事による河道拡幅・掘削の際に、河床表面に細砂、砂といった粒径の細かい材料が覆い、現状からは洪水流は生じていないと考えられる。

図-3は縦断的な河床の構成材料を粒径別に分類したものである。なお、分類条件は、土質の分類条件に基づき、砂(0.075~0.2cm)、細礫(0.2~0.5cm)、中礫(0.5~2.0cm)、粗礫(7.5cm~)とした。また、採取箇所を旧河道、改修河道内の旧河道上及び新河道に分類している。図より、拡幅によってできた新河道上では、砂、細礫と粒径の細かい河床材料の占める割合が高く、一方、改修河道内に旧河道が存在する箇所では、中礫、粗礫と大径砂礫の占める割合が高いことが認められた。理由として、改修後に生じた小規模な洪水流は、比較的改修河道内の旧河道上に沿って流下する傾向があり、旧河道上の河道表面の砂や細砂が流出し、中礫や粗礫が河床表面を覆ったためであると考えられる。また、同図にアーマーコートの形成の指標となる d_{90} の値を示した。図

より縦断的な d_{90} は、約 10~20cm 程度の粒径が縦断的に一様に分布している傾向があるが、処々に 0.5m 超の巨礫の分布がみられた。今後場所によって異なる巨石の分布は中小洪水によって縦断的に不規則なアーマーコート形成をすることを考えている。特に巨礫の分布箇所から中・粗礫の分布箇所の変化点では河床変動が著しく、河道内に新たな不安定蛇行が生じ易いと考えられる。

このように、旧河道と災害対策後のアーマーコート調査を行った結果、当初旧河道のアーマーコートは発達し、静的安定状態を保っていたと考えていたが、実際旧河道のアーマーコートは十分発達したものではなく、洪水前は供給土砂量が多く、見かけ上安定状態を保っていたと考えられる。一方、災害対策後河道は、縦断的に不規則なアーマーコートの形成が認められた。今後は護岸整備に伴い供給土砂量が減少し、河床低下と洗掘が進行すると推測される。

4. 河床低下の検討

(1) 計算方法

粒度分布の調査結果を基に、各計画規模（1/50，1/10，1/5）における洪水流に対し、混合砂礫を考慮した 1 次元河床変動解析を試みた。計算方法は、粒径別限界掃流力の計算に Egiazaroff 式を用い、掃流砂量計算はその式の修正式である芦田・道上式を使用した。

(2) 計算条件

計算条件として、上流からの供給土砂量は不明確なためゼロとし、水理量は不等流計算結果を基に計画規模 1/50，1/10，1/5 でそれぞれ計算を行った。また、混合砂礫の分類は、土質条件に基づき、砂（0.075~0.2cm），細礫（0.2~0.5cm），中礫（0.5~2cm），粗礫（7.5cm~）に分類し計算を行った。

(3) 計算結果

図-4 は計画規模 1/50 における無次元限界掃流力 τ^*_c と無次元流砂量 q_b^* の関係を示したものである。ここに、不等流計算の粗度係数は 0.030 で行った。なお、粗度係数の選定は、河床強度の調査検討を行うため、小さく取っている。

図より、旧河道および改修河道内の旧河道、新河道と一様に分布していること、また τ^*_c に関係なく q_b^* は全体的に高い値を示していることが認められた。これは、災害対策河道の河床強度が弱いこと、すなわち、アーマーコートが十分に発達していないことを意味している。

図-5 は、各計画規模における 1 時間後の河床低下

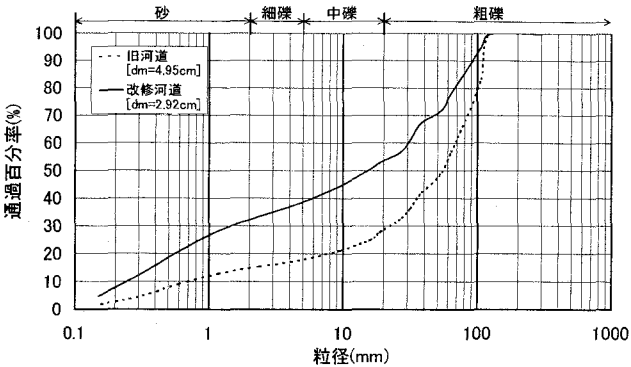


図-2 旧河道と改修河道の粒度試験結果

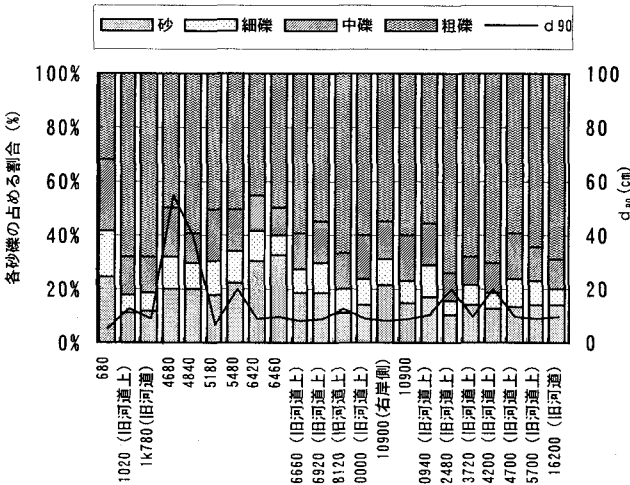


図-3 縦断的な河床の構成材料

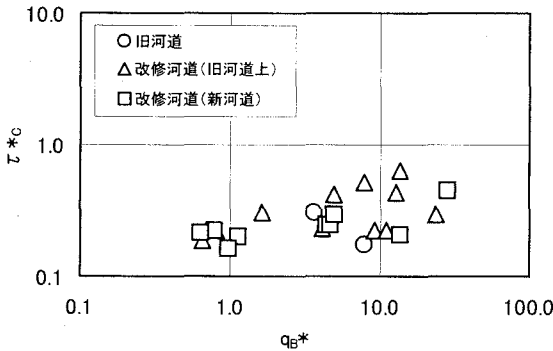


図-4 q_b^* と τ_c^* の関係

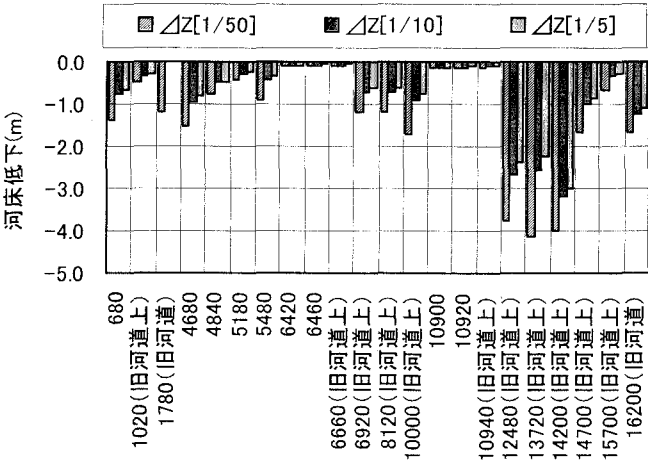


図-5 各計画規模における 1 時間後の河床低下

を予測したものである。図より、縦断的に不規則に河床低下が進行していることが認められた。特に12k480, 13k720, 14k200では河床強度が非常に弱く、計画規模1/5以下でアーマーコートが破壊する結果が得られた。

この計算では、上流からの供給土砂量が考慮されておらず一律ゼロとしているため、実際より河床低下の進行は高い結果となっている。また、掃流砂のみ扱っているため、浮遊砂に係る微細粒子が多く含む個所では再検討しなければならない。しかしながら、余笹川の縦断的河床低下が著しく低下する区間がある程度選定できたこと、また今後改修工事の際の根入れ深さの目安になると考えている。

5. 特殊個所の検討

(1) 余笹川捷水路

洪水前の蛇行河道から直線河道に施工され、低下背水に伴う捷水路上流側の水衝作用増大が懸念される余笹川捷水路区間について検討を試みた。余笹川捷水路は、那珂川合流点から1k500～2kの区間に計画され、旧河道延長1140mに対し、改修河道延長500mとなっている(図-1)。また、改修計画は平水時において旧河道を流下し、洪水時に捷水路流入部で水深が約1.5mを超えると捷水路を流下するよう計画されている。低下背水の影響については、1次元不等流計算を用いて、捷水路上流側の水衝作用の影響を検討した。ここで、1次元不等流計算は、流量 $1400\text{m}^3/\text{s}$ (計画規模1/50)とし、粗度係数を旧河道で0.040、改修河道で0.035とした。計算結果より、旧河道の水位は改修河道の水位と比べて、約3m程高いことがわかった。また、捷水路施工に伴う低下背水の影響範囲は、上流側約400m程度まで影響するが、水衝部までは影響しないことが認められた。すなわち、計画規模1/50($1400\text{m}^3/\text{s}$)以下では、捷水路区間の上流側に与える影響はなく、今後この付近の河床上昇が生じなければ、超過洪水のみ低下背水の影響が生じてくると考えられる。

(2) 四ツ川新規河道

四ツ川新規河道は、土地利用が水田であった場所に新規に河道が施工された。この区間は、余笹川・四ツ川合流点から1k180～1k740に位置し、区間長は560mの河道である(図-1)。また、計画河床勾配は、旧河道の河床勾配に合わせて計画され約1/140である。そのため、従前の旧河道との合流点に河床調整のため、高低差約1mのスロープ式の落差工が設置してある。まず、河床のアーマーコート調査を行った結果について述べる。この区間の粒度分布特性は、

粒度の分布が広範囲で、主な河床材料は砂で10mm以下の粒径が大半を占めていた。また、アーマーコートの形成に重要視される大径砂礫の分布はほとんど観察されず d_{90} は7cmであった。次に中小洪水後に、この区間における不安定土砂の堆積状況調査を行った。なお、洪水時の流量は痕跡水位から判断した結果、 $80\text{m}^3/\text{s}$ (計画規模1/5以下)、流速 $3\text{m}/\text{s}$ 程度であった。調査結果より、水衝部に不安定土砂の堆積が観察された。これは、洪水流の主流部は湾曲部の内側を流れていたことを意味する。すなわち、今後計画規模1/5程度の小規模な洪水が続き、大洪水がしばらく発生しない場合を想定すると、この区間では河道内に新たな不安定蛇行が形成されるため、対策がなされていないこの水衝部は危険性が高いと言える。かつ、1次元不等流計算より、落差工設置個所で急激な流速の増大がみられ、低下背水曲線となり、さらに水衝作用は増大するものと考えられる。

6. 河道の安全度評価

災害対策河道の洪水流に対する河道の安全度評価は、早急な対策が必要な場合(危険度A)、将来的に不安定土砂による蛇行が生じる場合(危険度B)、超過洪水のみ危険とされる場合(危険度C)とプライオリティーを付け3段階評価をした。

危険度Aについて、評価項目は1)河床面の状況調査 2)アーマーコート調査 3)不安定土砂の堆積調査 4)流路幅の拡幅調査 5)不等流計算結果の5項目である。評価結果、河岸延長32km(河川延長16km)中で、10個所(河岸延長3.32km)全体の約1割で認められた。さらに、河道条件毎の強度評価を行った結果、対策工(根固工、床固工等)が不十分と判定された個所は4個所(河岸延長1.32km)認められ、これら早急に対策が必要とされる個所は、捨石等を護岸前面に設置し、護岸基礎工の洗掘を防ぐように対処した。

危険度Bについて、評価項目は危険度Aと同様に5項目である。評価結果、不安定土砂による蛇行が生じ易い個所は9個所(河岸延長3.46km)で全体の約1割認められた。これら危険度Bについては、今後定期的なモニタリングを行う上での重要個所とした。

超過洪水のみ危険とされる危険度Cについては、水害防備林の設置を提案した。設置個所の選定は、既存資料の余笹川流域洪水避難地図(ハザードマップ)及び平成10年洪水の氾濫域図を参考にし、現地調査から背後地状況を踏まえて選定を行った。さらに、モデル地区を提案し、余笹川流域の土地条件に応じた樹林タイプ等の設定を行った。

以上のように、今回使用した個々の評価項目の重

要度に関して、明確な判断がつかず平均的に取り扱ったが、今後著しい河道変化が予測される余笹川では、アーマーコート調査の重要性が高いと考えている。

7. 結 論

余笹川における現地調査の結果、次のことが明らかとなった。

- 1) 当初アーマーコートは十分発達したものと考えていたが、旧河道と災害対策河道のアーマーコート調査を行った結果、旧河道のアーマーコートは十分発達したものではないことがわかった。一方、災害対策河道は、縦断的に不規則なアーマーコートの形成が認められた。
- 2) 旧河道は一般的に言えば、側方侵食や新河道形成による供給土砂量があり、土砂量が多い川として河床低下が生じない川であった。したがって、アーマーコートはそれほど発達していないことがわかった。
- 3) 余笹川における淵は、岩壁の存在する区間に限定されていたと言える。それ以外では蛇行の湾曲部等においてもかなりフラットな河床形状であり、散在する巨石の周辺部等において巨石オーダーの淵が存在していたに過ぎなかった。
- 4) 1m 根入れ護岸（計画河床高または最深河床高を基準）では、水衝部の護岸前面は大洪水時に容易に洗掘され、根固めが不十分な場合は流失した。災害対策河道では、1.5m 根入れ護岸としたが、侵食性が高い余笹川では根固めに留意する方が重要と考えられる。
- 5) 下流水位の低下に伴う、捷水路上流の湾曲部における水衝作用の増大が懸念されたが、勾配が大きいのであまり影響しないことがわかった。
- 6) 四ツ川新規河道では、小規模な洪水によって短期間内に河道内に新たな不安定蛇行の形成が想定できた。今後その水衝部は危険性が高く、かつ低下背水曲線の影響が認められ、さらに水衝作用の増大が考えられる。

8. 課 題

今後生起する洪水流に対し、今回用いた河川特性を考慮した河道安全度評価は、追加対策が必要とされる個所の選定を行う上で有益であると考えている。今回の調査結果では危険個所と選定された個所の検証を行うまでには至らなかったが、今後は特に危険度が高い個所については重点的に調査を行うことが必要である。今後、余笹川は他の通常河川と比較す

ると、河道は著しく変化すると考えられる。例えば改修河道内において、ポイントバーや不安定な砂州が急速に発達し、旧河道への復元化が生じると考えられる。そのため定期的なモニタリング等により、事前に対処することが大切であると考えている。

河川には、それぞれ特徴があるので、特に特徴ある河川の場合には、このような追加調査を行う重要性は高いと考えている。また、今後他の特徴ある河川においても、追加調査を行い個々の河川評価をすることが、河川改修事業の発展に繋がるので推奨したい。

参考文献

- 1) 須賀堯三・伊藤和典・池田裕一：極低頻度大出水後の中小河川における近自然工法の適用の検討－那珂川支川の余笹川の場合－，河川美化・緑化，河川環境管理財団，2001。
- 2) 伊藤和典・須賀堯三・茂木信祥・池田裕一：平成10年8月末の那須出水による余笹川の流路変化の特性，水工学論文集，第44巻，pp407～412，2000。
- 3) 須賀ら：余笹川の洪水災害，1998年南東北・北関東の集中豪雨に関する調査研究，平成10年度科学研究費補助金研究成果報告書，1999。
- 4) 中川一・高橋保・里深好文：1998年洪水による那珂川水系余笹川の河道特性について，水工学論文集，第44巻，pp395～400，2000。
- 5) 栃木県余笹川流域河川改修事務所・株式会社アイ・エヌ・エー：余笹川河道の安全度の調査検討報告書，2001。

(2001.10.1受付)