

余笹川大洪水災害復旧10年後の 河道変化に関する考察

CHANGES OF CHANNEL AFTER TEN YEARS
FROM DISASTER RESTORATION WORKS IN YOSASA RIVER

三品 智和¹・須賀 如川²

Tomokazu MISHINA, Nyosen SUGA

¹正会員 博(工) 中央技術株式会社 設計部 河川チーム (〒310-0902 茨城県水戸市渡里町3082番地)

²フェロー員 工博 特別上級技術者[防災] 宇都宮大学名誉教授 河相工学研究堂 代表
(〒276-0023 千葉県八千代市勝田台4-2-4)

This paper deals with changes of river channel after ten years from disaster restoration works in Yosasa-river. The main construction was performed as to revetment, its foot protection and widening of the channel. These were carried out in a short term of three years. Unstable meandering flow figure in the channel was expected to change after disaster restoration works. Generally, river morphological regime is apt to restore to original river channel even by usual disaster restoration works. In this paper, the structure of jam-up deposit of large stones and morphological river channel are considered base on field investigation. Main causes of the change of morphological channel were founded to be influenced in the stability of graded large bed materials .

Key Words : Yosasa-river, disaster restoration works, changes of channel, jam-up deposit of large stones

1. はじめに

平成20年は余笹川大水害から10年が経過した年である。平成10年8月末、那須地方では60年前の大洪水をしのぐ未曾有の大洪水が発生し、甚大な被害が生じた。余笹川の災害復旧事業は、3カ年の短期間に約16kmに亘り2~3倍程度の河道拡幅、及び護岸根固工・水制工・帯工と捷水路等の施工を行った。図-1に余笹川の位置図を示す。

改修後は、未改修河川から一変して、全川改修の河道となった。H13年時の調査結果¹⁾²⁾では、今後は護岸施工に伴い河岸からの土砂供給が減少し、かつ河道拡幅により掃流力が低下することが予測された。特に余笹川の場合には、巨石・玉石等の大礫の割合が縦断的に異なっており、従って河床低下は一様ではなく局部的に生じること、また掃流力の減少により河道内には不安定な砂州形成と新規の蛇行形成が生じることが予測された。

治水面の課題としては、護岸前面のみおの呼込みと鮮明化により局部的な河床洗掘が生じ、護岸の基礎崩壊の危険性があげられた。また、平成10年災害の落橋の多くは流木による堰上げと跳水現象が原因であり、大洪水がしばらく生起しない中期的な予測をすると、発達した砂

州における樹林化が課題としてあげられた。

こういった諸問題のなかで本報告では、大礫堆とそれによるステップ構造、及び蛇行流路の安定性に拮って考察を行った。一般に通常の災害復旧では元の川に復元する性質があると言われているが、大規模な災害復旧後の



図-1 余笹川位置図

河道変化は他に事例が少なく、未知なことも少なくない。考察の結果が今後の災害復旧事業の計画に資することを目的としている。

2. 余笹川の大礫堆とステップ構造の安定性

(1) 余笹川と洪水および災害復旧の概要

H10洪水では那須観測所において最大時間雨量90mm/h、日最大雨量640mm/day、連続雨量(5日)1254mm/dayを記録しており、1/1000以上の大洪水であった。余笹川の流路幅は洪水前後で20～40mから60～100mと、3～5倍に拡幅した。また、大きな湾曲部では洪水流の直進性によって新流路が形成された。余笹川は一級河川那珂川の支川で流域面積343.5km²、流路延長37.5kmであり、その内災害復旧事業は那珂川合流点から16km間で実施された(図-1参照)。事業期間は前述の通りH11～H13の約3カ年であった。図-2には改修前後の河道幅(左右堤防法尻間)が示されている。改修河道幅は平均で洪水前の2～3倍の50～80mとし、湾曲部では流量調整のため100～150m程度と広くしている。なお、計画規模は1/50とし、平均河床勾配は1/100～1/150である。

主な支川として、那珂川合流点より3.7km付近で黒川が合流している。黒川と比較すると、余笹川(黒川合流点上流)は流域面積127km²、流路延長36km、H10実績流量1740m³/sに対して、黒川(三蔵川合流点上流)は流域面積98km²、流路延長40km、H10実績流量810m³/sである。流域形状は余笹川より黒川が羽状型の形状を呈しており、流域形状係数で示すと余笹川0.09に対し黒川0.06である。また、H10洪水実績の比流量(m³/s/km²)は、余笹川13.7に対し黒川8.3であり、単位面積あたりの洪水流量は余笹川の方が大きい。

(2) 谷底沖積地と自由蛇行流路

余笹川流域の特徴としては、丘陵地開折の谷底平野と平野内の自由蛇行流路があげられる。余笹川の地形は那

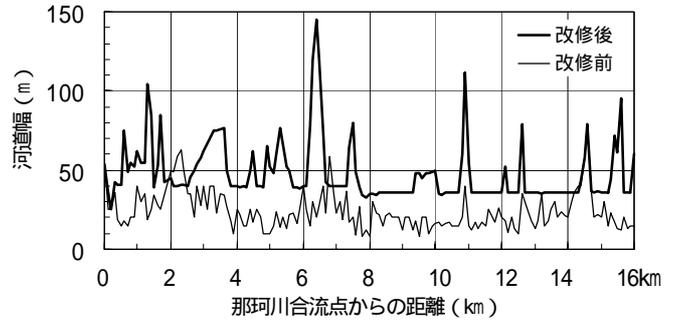


図-2 改修前後の河道幅の縦断変化

須火山の朝日岳(1896m)を水源とし、山地河道出口から黒川合流点付近までは高久丘陵を開折して流下し、その下流は高久丘陵と八溝山地(古生代)の境界を流下するといった谷底平野を呈している。谷底平野は火山性の堆積土砂で覆われており、平成10年洪水では平均河道流下能力の4倍程度³⁾の洪水流量が流下し、洪水前の3～5倍の河道拡幅が生じた。余笹川が横侵食河道⁴⁾と位置付けられる所以である。

余笹川の蛇行流路は、谷底沖積地の中央部での蛇行が多いのが特徴的である。これに対し黒川は余笹川に比べて沖積地幅が狭く、大礫径とその割合が小さいことから沖積地端沿いを直線的に流下し、流路位置の変化は比較的少ない⁵⁾。H10洪水の余笹川では、沖積地中央部での蛇行区間において直進流が生じ、堤内地に新流路が形成され大きな被害が生じた。図-3には余笹川の谷底平野内の沖積幅と旧河道湾曲部の曲率半径の縦断変化を示した。図にはH10洪水時の新流路、沖積地中央部での蛇行流路、及び巨石・玉石の河道内割合が高い区間をそれぞれ示している。なお、河道内の巨石・玉石割合の高い区間は、論文¹⁾で示したグレードEに相当し、洪水後に河道内ほぼ全面に巨石・玉石が存在していた区間であり、写真判定により測定したものである。図より谷底平野の沖積幅は150～450mであり、旧国道4号橋より下流側(14k)から沖積幅が広がり、黒川合流点(3.6k付近)からさらに拡大する。旧河道湾曲部の曲率半径は100～400mと広範囲であるが、沖積地中央部での蛇行流路は概ね100～200m程度である。

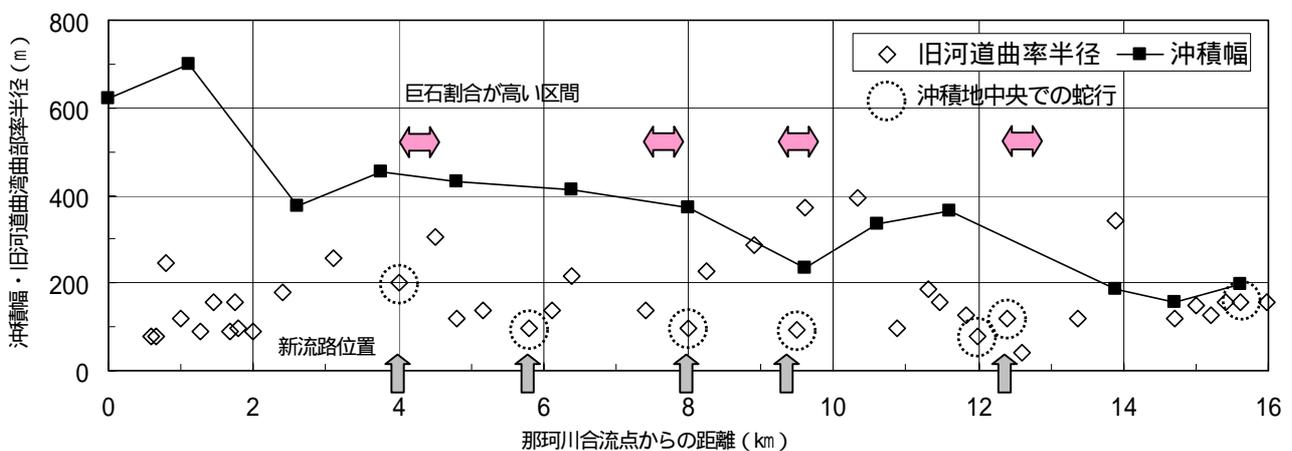


図-3 余笹川における沖積幅と河道湾曲部の曲率半径の縦断変化

H10洪水の顕著な新流路の形成は4k・6k・8k・9.5k・12.5k付近の5区間で生じており、その内6k以外は共通して、沖積地中央部での蛇行流路でかつ巨石割合が高い区間である。これからH10洪水の新流路は、沖積地中央部の自由蛇行区間において顕著であり、洪水流の直進性による影響が大きい。さらに新流路の形成によって、大量の河道内巨石が発生したことが考えられる。6k付近については、砂利・礫主体で巨石が少ない区間であったので、新流路の規模は他区間より少なかったものと考えられる。この新流路の形成と巨石の発生との関係は次項で述べる。

(3) 河岸侵食による大礫供給

洪水直後の余笹川では、縦断的に巨石・玉石等の割合が異なり、明瞭に区分されていた。図-4には洪水後の河岸沿い最大巨石径の縦断分布を示した。この図はH11測定結果⁶⁾にH13測定結果⁷⁾を追加したものであり、測定方法は調査地点において目視により最大巨石径を判断し、3点法により測定している。図には図-3と同様に新流路形成位置を記載している。図より黒川合流点(3.7k)より上流側では、1m以上の巨石が全体を通して存在している。特に6～7k・12～13k・15～16kの3区間は1.5m程度の巨石径が存在している。

余笹川の大礫供給は、以下に示すことから山地からの供給のほか河岸侵食による供給が主体と判断される。山本ら⁸⁾によれば高久丘陵地は火山砕屑物(那須火山を起源とする火山角礫岩と火山泥流)と上層の火山灰層(関東ローム)からなり、現河道内の巨石は河岸侵食による火山砕屑物からの抜け落ちによるものが主体と推定されている。この推定に関連付けて、図-3に示した巨石割合の高い区間と新流路区間は、ほぼ同じ区間である。また、図-4から1m以上の巨石径は全体を通して存在している。このことから、H10年洪水で大規模な河岸侵食が生じた区間では、河岸からの大礫供給が顕著であったことが考えられる。例えば、H13調査の10.6k付近の写真-1を見ても、巨石は角張り色も火山系の色(黄土)をしており、洪水作用はそれほど受けていないようである。火山砕屑物からの抜け落ちと判断できる。

(4) 大礫堆を介したステップ構造とその安定性

まず河道内の巨石数の変移について、写真-2は4.6k付近のH13とH20の比較写真である。撮影方向は異なるが同地区を撮影している。改修時と比べて現河道は極端に巨石数が減っていることがわかる。巨石の大半は石張護岸や捨石工等に採用されたためである。しかし、現在でも大礫堆によるステップ構造は確認できる。写真-3は余笹川1.3k付近のステップを示した。このステップは大礫のジャムアップにより形成されたものであり、その安定性は大礫径とその割合に支配される。

次に洪水直後と現河道のステップ位置の変化について、図-5には洪水直後の測量成果を基に最深河床高の縦断落

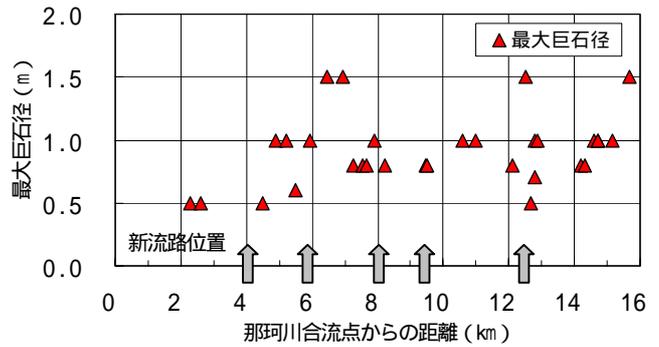


図-4 河岸沿い最大巨石径の縦断変化



写真-1 余笹川10.6k付近の現地写真(H13撮影)



写真-2 余笹川4.6k付近のH13とH20の比較写真



写真-3 余笹川1.3k付近のステップ(H20.11.14撮影)

差を100m間隔で示した。計画河床勾配(1/100~1/150)から縦断落差が概ね $Z=2\text{m}$ 以上の区間(1/50より急勾配)をステップと判断して、図に矢印(22ステップ)で記載している。洪水直後の余笹川では比較的規模の大きいステップ ($Z=2\text{m}$ 以上)は、平均して700~800m間隔に1基存在している。この結果を基に現地にてステップ位置の確認を行った。現地調査は平成20年8月6日の中規模洪水直後の比較的流量の大きい時に実施した。写真-4は中洪水時の余笹川10.5kのステップであるが、目視でも明瞭にステップを確認することができる。図-5に現地において確認できたステップを印で9ヶ所記載している。12~16k区間(7ヶ所)に関しては未測定である。

結果として、計15ステップ地点を確認し、その内4ステップ(5・7・10・11)は帯工・落差工・頭首工等の横断構造物によりステップは無くなっていた。残り11ステップの内、9ステップは現在でも大礫堆によるステップ地形が形成されており、洪水後10年後の現段階では大礫堆の安定によりステップの維持が図られているようである。今後、極めて大きい洪水の生起をまって、その安定性は確認されるであろう。

3. 現河道の蛇行流路の特徴

(1) 改修河道内の蛇行流路の横断位置

改修河道内の旧河道位置について、図-6は改修河道内における旧川位置を全面・一部(端部と中央)・新水路の3区分で示したものである。測定間隔は改修平面図⁷⁾を基に20mで行った。その全体割合を図-7に示した。河道内全幅で旧河道が存在する区間は全体の10%(約1.6km)、一部(端部と中央)で旧河道が存在する区間は62%(約10km)、河道内に旧河道が存在しない新水路区間は28%(約4.4km)となっている。一部旧河道だけで見ると、中央部より端部区間が3倍程度多く、当該区間では片側方向に河道を拡幅している。

新規に開削した区間としては、例えば図-3に示した沖積中央部での蛇行区間(7地区)が該当し、曲率半径を大きくした河道法線形に変更している。また、黒川合流点下流の1.7k地先(図-1参照)では、H10洪水前はS字を描く、穿入蛇行を形成していた。H10洪水では当該地区で堰上げが生じ、S字の河岸段丘の上を流下し、牛舎が流された。改修計画ではS字の旧河道を残しつつ、S字を直線的に開削している。

全区間を通して見ると、処々に新水路区間が存在しているが、大半は現河道内に旧河道が存在している。現状の蛇行流路は、改修河道の全横断幅では形成しておらず、通常の流下幅は、改修幅約40~50mに対して、現地簡易測定で20~30m程度である。これは、図-2に示した旧河道幅と同程度である。これから見ても、改修河道幅の中で旧河道の復元化は進行しているようである。

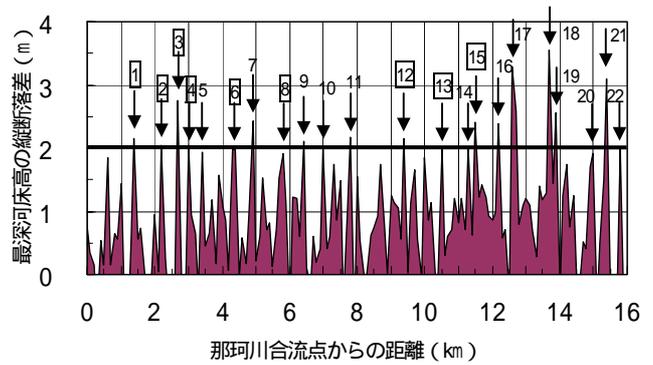


図-5 洪水直後(H10)の最深河床高の縦断落差(100m間隔)



写真-4 余笹川10.5k付近の洪水中ステップ(H20.8.6撮影)

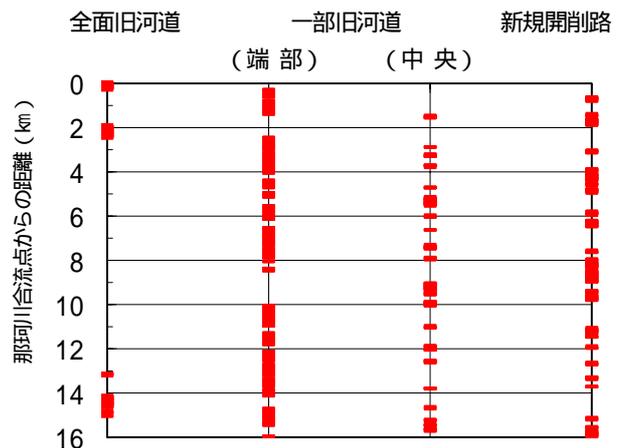


図-6 改修河道幅内の旧河道位置

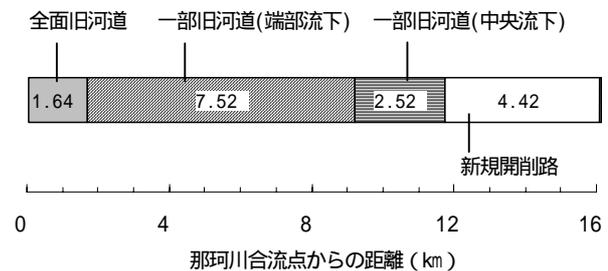


図-7 改修河道内の旧河道位置の割合

(2) 黒川合流点より下流側の蛇行流路

当該区間の河道では、処々に基岩の露出が見られた。この岩は高久丘陵の下位にある溶結凝灰岩であり、岩質は強固でこの地域に広く分布する。改修状況としては、区間全体ではほぼ玉石護岸が施工されているが、那珂川合流点付近(0~1km)、捷水路付近(1.7k)では山付部が残さ

れている。山付部はH10洪水流に対しても耐侵食性の高い岩である。特に捷水路付近の左岸側は、中生代の花崗岩(八溝山地)から成り強固な岩である。蛇行形態は、単列蛇行を基本としており流路変動は小さく安定している。流送土砂の多くは湾曲部内側に堆積し、ポイントバーを形成している。直線部では一部捨石工前面に寄州形成が見受けられるが顕著ではない。

着目すべき点は、ステップ下流のポイントバーの発達である。例えば写真-3に示した1.3k付近では、ステップの安定流路によりポイントバーは発達し植生繁茂が生じている。今後は中小洪水が続くと高木に遷移し、ポイントバーの固定化が生じることが考えられる。現在のところは、水衝部の護岸前面の深掘れは生じておらず、今後も通常洪水程度では今回の根固工の効果により極端な河床変動は生じないものと判断される。ただし、今後の課題としては、河床高と砂州高の比高差が増大し、水衝作用の増大が懸念される。

また、写真-5の3k付近のように湾曲部の水衝部側では、河岸前面に大礫の集積が見られる。これは大洪水時には河岸沿いで主流を呈しており、通常出水ではその内側を流下している。このように、大きな湾曲部では洪水主流は流量減少とともに若干河岸から離れて流下しており、通常出水では護岸前面の流速は河道中央に比して小さい傾向にある。

(3) 黒川合流点より上流側の蛇行流路

当該区間の地形は高久段丘の開折による谷底沖積であり、平野内では自由蛇行流路を形成している。現河道の蛇行形態は単列蛇行を基本とするが、拡幅した湾曲部では一部複列化が生じている。流送土砂の多くは、下流部と同じく湾曲部内側で堆積し、ポイントバーを形成している。また、広大な湾曲部(6.4k, 10.9k)では土砂堆積が多く、樹林化が進行している。直線部では河床低下が進行しており、岩の露出が多く見られる。この岩は下流地区と同様に溶結凝灰岩と考えられる。H13の河道調査⁷⁾では区間全体を通して、目立って岩の露出が確認されなかった。このことから判断して、直線部では流送土砂の大半が通過しており、今後は流路の固定化が進むものと推測される。

当該区間における顕著な蛇行流路の変化としては、帯工・落差工前後の流路形態の不安定化があげられる。図-8には帯工前後の蛇行流路を模式的に示した。この蛇行流路は災害復旧上流の砂防区間においても同様に見られる。帯工の上流側では区間の平均河床勾配より緩く、河岸前面には寄州の形成が見られる。帯工を挟む流れは収束し、帯工直下流では河床洗掘が生じている、さらに下流側では河道中央に形成された中州上に堆積している。中州の延長は現地の簡易測量では、通常の流路幅約30mに対して、2倍の約60m程度である。例として、余笹川3.5k付近を写真-6に示す。この中州は主として砂・砂利



写真-5 余笹川3k付近の水衝部(H20.11.14撮影)

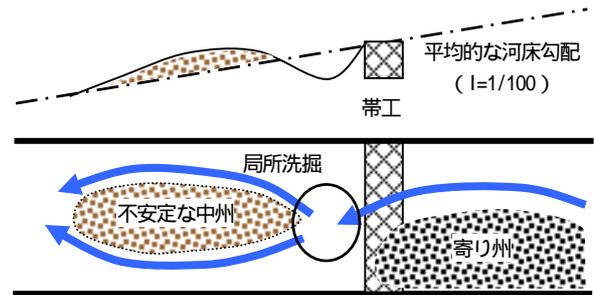


図-8 流路工施工に伴う流路変化の模式図



写真-6 余笹川3.5k付近の2列蛇行流(H20.11.14撮影)



写真-7 余笹川9.2k付近の湾曲部(H20.8.6撮影)

で構成されており、不安定である。通常の中小出水では、中州を介して2列蛇行となるが、大洪水時には主流は中州中央を流下する。現在のところは、植生繁茂の進行は顕著ではないが、大洪水の頻度が少なければ、植生繁茂の進行によっては砂州が固定化し、左右岸の護岸沿いの流れが顕著になることが予測される。ただし、上述の帯工前後の流路形態は、全ての区間で共通しているものでもない。余笹川改修では帯工の片側に窪地を設け、平常時の水深確保(魚類の遡上対応)を行っている所もある。

そこでは帯工下流は寄州状に堆積し、2列流路ではなく単列流路となっている。

次に当該区間では全体を通して、湾曲部の外側に水制工を設置している区間が多い。例として写真-7には余笹川9.2k付近の湾曲部を示しているが、水衝部側の植生が繁茂している所にはブロック水制が設置されている。当該地区の水制工は水制長約10m、水制高さ1m程度、水制間隔約20mである。水制工の機能の一つには河岸前面への寄州形成と河岸沿い流速を河道中央側に離す効果があり、当該地区はこれに該当する。調査日(H20.8.6)は出水の翌日にあたり、ピーク水位は現地痕跡から平常水位より約1～1.5m程度高い。これらから判断すると、水制工の天端高は年平均洪水くらいであり、寄州形成を図る上では効果的である。実際に水制工の下流背後には土砂が堆積し、寄州形成と植生繁茂が見られる。今後の流送土砂量の減少を想定すると、余笹川では流路の固定化に伴い、護岸前面のみおの鮮明化と河岸沿い流速の増大は起こり易い。当該地区のような低い水制工は、治水面で効果的な働きをするものと評価できる。

4.まとめ

以下に本報告の主要な結果を示す

- 1) 被災直後の河道内は、縦断的に明瞭に巨石割合の高い区間と低い区間が区分されていた。特に巨石割合の高い区間では、10年前と比べて現在では玉石はほとんど姿を消し、かつ極端に巨石が減った。大礫の多くが捨石工や石張護岸に用いられたためである。しかし、現在でも残された大礫を介してステップ地形が形成されており、大礫のジャムアップによる安定化も見られる。特に洪水直後と現在のステップ位置が同じ場所で生じていることがわかったが、このことは特筆に値する。
- 2) 全区間を通して、局部的に河床低下が進行し、露岩箇所が増大した。それは直線部において顕著である。その理由には護岸整備により側方侵食からの土砂供給の減少、及び河道内の大礫採取等があげられる。側方侵食の顕著な余笹川では、流送土砂の減少により局部的な河床低下が顕在化してきた。

- 3) 流送土砂(細粒分)の多くは、湾曲部内側とステップ直下流の中州に堆積している。前者はポイントバーの形成と発達、後者は中州形成と2列蛇行の形成にそれぞれ関与している。今後は両者共に植生繁茂(高木生育)の進行によっては流路の固定化が予測される。特に平成10年洪水では流木原因による橋梁の流失が顕著であったため、今後余笹川では河道内の高木管理に留意すべき点がある。
- 4) 当初、護岸前面におけるみおの鮮明化と局所洗掘の進行が予測された。しかし、河岸のみおは寄っているが、根固・水制の効果があり顕著な局所洗掘は生じていない。今後の課題として、同様の性質を持つ河川では、護岸基礎高を深くすることも重要だが、根固・水制を尊重し、オーバースペックにならない検討が必要である。

参考文献

- 1) 三品智和・須賀如川・助川純一郎・古川保明・菅俣崇・福田一郎・築瀬和裕：余笹川の災害対策後河道の河道特性に関する考察，水工学論文集，Vol.46，pp343-348，2002.2.
- 2) 三品智和・須賀如川・助川純一郎・古川保明・福田一郎・築瀬和裕：余笹川災害復旧河道の追加安全対策，第2回建設コンサルタント業務・研究発表会 論文集，pp49-52，2002.6.
- 3) 上野鉄男：余笹川流域の1998年8月水害の研究，京都大学砂防研究所年報，第47号B，2004.4.
- 4) 伊藤和典・須賀堯三・池田裕一：余笹川にみる低頻度大洪水による横侵食性河道変化の実態とその考察，水工学論文集，Vol.45，pp781-786，2001.2.
- 5) 三品智和・須賀如川・助川純一郎・古川保明：谷底沖積地の自由蛇行河川における護岸・根固の現地調査と二・三の考察，河川技術論文集，vol.9，pp131-136，2003.6.
- 6) 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，vol.44，pp407-412，2000.2.
- 7) アイ・エヌ・エー(株)：平成13年度 余笹川河道安全度調査検討業務委託報告書，2001.11.
- 8) 山本晃一・赤羽忠志・和田健一：中小河川における大規模災害復旧計画の課題と対応，河川環境総合研究所報告，第9号，2004.3.

(2009.4.9受付)