

筑後川水系花月川における実洪水の被災実態から得られた河道設計にあたっての留意点

POINTS ON RIVER CHANNEL DESIGN OBTAINED FROM ACTUAL DAMAGE CAUSED BY FLOODING IN THE KAGETSU RIVER OF THE CHIKUGO RIVER WATER SYSTEM

濱田悠貴¹・石橋正義²・田脇康信³・瀬崎智之⁴・福島雅紀⁵

Yuki HAMADA, Masayoshi ISHIBASHI, Yasunobu TAWAKI,
Tomoyuki SEZAKI and Masaki FUKUSHIMA

¹正会員 工修 元国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室

(国土交通省水管理・国土保全局河川計画課 (〒100-8912 東京都千代田区霞が関2丁目1-3))

²非会員 元九州地方整備局筑後川河川事務所調査課 (〒830-0002 福岡県久留米市高野1丁目2-1)

(北陸地方整備局千曲川河川事務所調査課 (〒380-0903 長野県長野市鶴賀峰村74))

³非会員 九州地方整備局筑後川河川事務所調査課 (〒830-0002 福岡県久留米市高野1丁目2-1)

⁴非会員 工修 国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

⁵正会員 工博 同上

The Kagetsu River in the Chikugo River water system suffered heavy damage due to flooding caused by heavy rain in northern Kyushu in July 2012. In response to the damage caused by the flood, a special emergency project for countermeasures against severe river disasters was adopted, and river channel excavation, embankment construction, and renovation of crossing structures were implemented. The Kagetsu River is a rapid river that forms a fan from a mountainous area through a narrow mountainous area. In flood control measures for such rapid rivers, it is important to respond to "high flow velocity" and "sediment flowing in from mountainous areas". In this report, we report the points to keep in mind when designing a river channel in the project, and the effects and issues of the project that were confirmed by flooding thereafter.

Key Words : Rapid river, Sedimentation, Large-scale river improvement, Large flood

1. はじめに

筑後川水系花月川では、平成24年7月九州北部豪雨に伴う出水（以下、「H24出水」）によって甚大な被害が発生した。この出水による被害を受けて、河川激甚災害対策特別緊急事業（以下、「激特事業」）が採択され、河道掘削、築堤及び横断工作物の改築等が実施された。花月川は、山岳地帯から山間狭隘部を抜け扇状地を形成する急流河川である。こうした急流河川の治水対策では、「高流速」や「山地部から流入する土砂」への対応が重要である。本報では、激特事業での河道設計にあたって留意した点、及び激特事業がほぼ完了した平成29年7月九州北部豪雨に伴う出水（以下、「H29出水」）で確認された激特事業の効果と今後の課題を報告する。

2. H24出水による被害の概要

(1) 花月川の特徴とH24出水による被災状況

花月川は、大分県日田市を流れる流域面積130.2km²、幹線流路延長16.6kmの一級河川である。筑後川合流点から上流へ8.6kmの区間が国管理区間であり、この上流端（8.6kp）から大分県管理の支川有田川との合流点（5.2kp）までが平均河床勾配約1/90、有田川合流点から筑後川合流点までが平均河床勾配約1/240と急流河川である。特に、人口約6.5万人の日田市中心部をこうした急流河川が流下している点の特徴である。

平成24年7月3日、九州北部では停滞した梅雨前線により大雨となり、筑後、山国、矢部川流域などで大きな出水が発生した。日田雨量観測所では6時間雨量169mm、



図-1 堤防表のり面の侵食状況 (7.0kp付近)



図-2 高水敷天端の洗掘状況 (7.0kp付近)

基準地点である花月水位観測所 (3.4kp) において、計画高水位4.48mに対して4.16m (既往最大)、洪水ピーク流量は整備計画目標流量1,100m³/sに対して、1,400m³/sを観測するなど、堤防満杯で洪水が流下したことが記録されている。なお、この出水の11日後の7月14日に再び大雨となり、花月水位観測所で4.37mを記録し、既往最大の記録がわずか11日で更新された。本報では、両出水を合わせて、H24出水と呼ぶ。

この出水により、堤防2箇所 (左岸5.8kp付近、右岸6.2kp付近) が決壊したほか、多くの箇所でも越水氾濫が発生し、全壊家屋1戸、床上浸水414戸、床下浸水306戸の被害が発生した。また、河床の洗掘や護岸の崩落等、河川管理施設の被害は20箇所確認された。以下では、こうした被害の中でも、堤防決壊には至っていないが、高速流による影響が顕著であった箇所、土砂堆積の影響が顕著であった箇所の2箇所について述べる。

(2) 高速流による高水敷及び堤防表のり面の侵食

6.5～7.1kp区間 (以下、「区間A」) は、単断面河道 (7.1～7.4kp) から、右岸側に高水敷を持つ複断面河道に変化する区間である。H24出水では、複断面河道の高水敷上を高速流が走り、図-1に示すように、右岸堤防の



図-3 無堤部から溢水状況 (7.6～8.1kp区間)



図-4 応急復旧の状況 (地蔵元橋から下流を望む)

表のり面が侵食され、決壊の寸前にまで至った。また、高速流が走った高水敷は天端が大きく洗掘され、図-2に示すように、低水護岸の背面も深さ1m以上洗掘され、法肩部下に空洞が発生した。H24出水前の高水敷上には植生が繁茂し、図-2に見られるような直径1m程度の礫は確認されなかった。

(3) 河道内での土砂堆積と無堤部からの溢水

区間Aの約1km上流の7.6～8.1kp区間 (以下、「区間B」) は、河道が左側へ湾曲している区間である。8.1kp付近に地蔵元橋が架橋されており、その橋梁の左右岸には堤防が整備されていたが、その下流の左岸側では自然堤防のような微高地が存在しただけで、無堤部となっていた。

H24出水では、図-3に示すように、左岸の無堤部から溢水が生じ堤内地は浸水した。また、H24出水後には河道内に多量の土砂が堆積したと考えられている。図-4は河道内に堆積した土砂を左岸の堤防法線位置付近に盛土する、応急復旧の状況を撮影したものであり、出水後の河床高は同写真よりも高かったと推測される。

3. 河川改修に向けた被災要因の分析

(1) 区間Aにおける地形変化

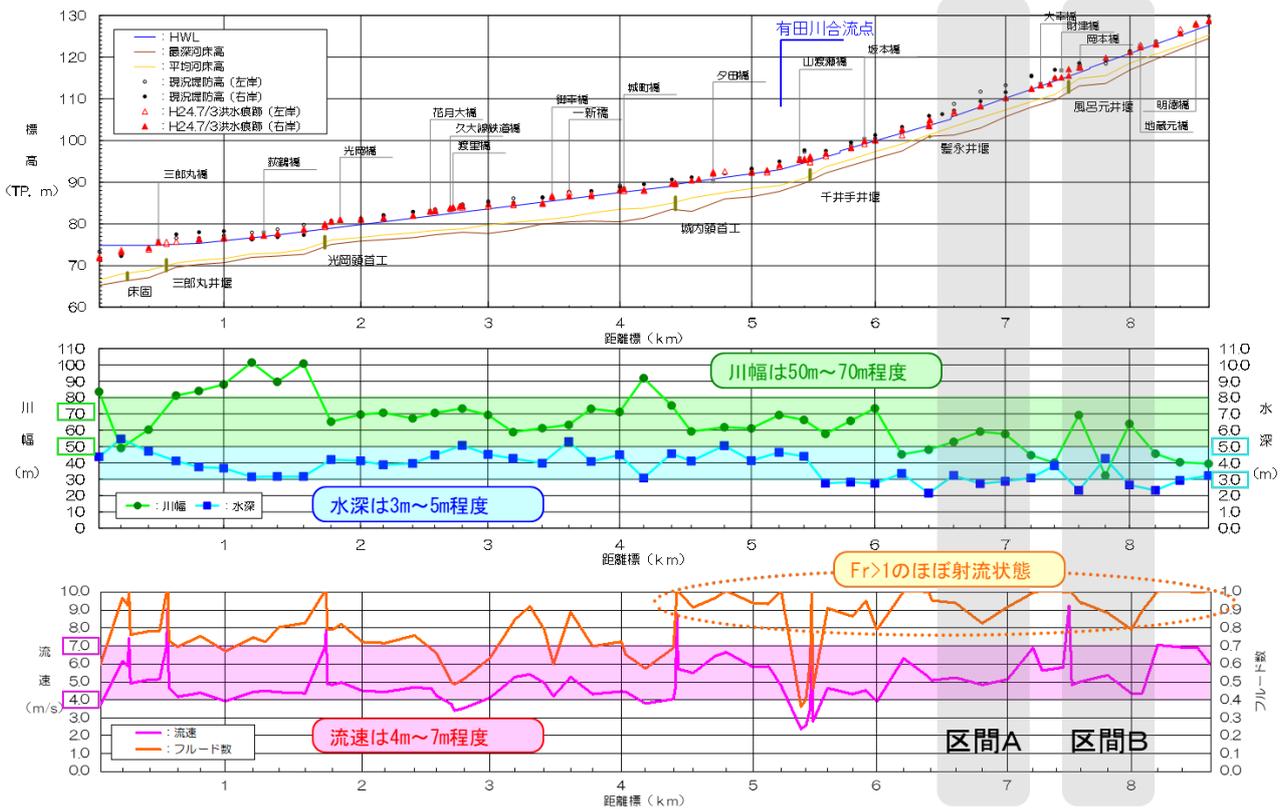


図-7 H24出水時の洪水痕跡水位、川幅、水深、流速等の縦断分布

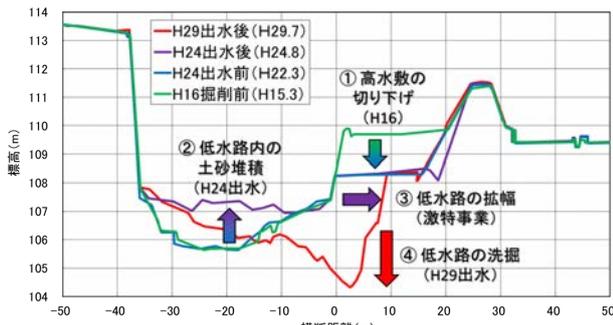


図-5 横断形の変化 (7.0kp)

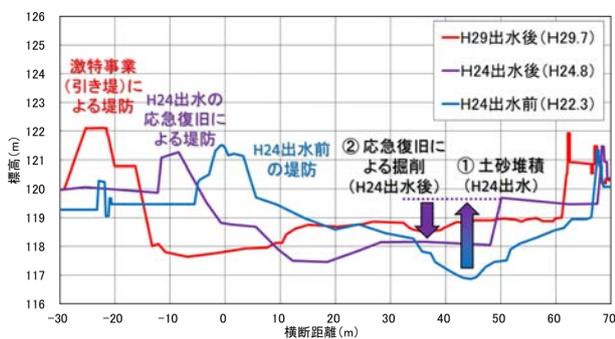


図-6 横断形の変化 (8.0kp)

高流速が走り堤防表のり面が侵食された7.0kpの横断面図を図-5に示す。H24出水前後の横断形状を比較すると、低水路部の河床が2m以上上昇していることを確認できるが、高水敷天端の洗掘状況や堤防表のり面の侵食状況

は明確には確認できない。これは、通常応急復旧後に横断測量が実施されるためであり、低水路部の河床掘削は実施されていないが、堤防のり面や高水敷の洗掘箇所への土砂敷設が実施された後の測量成果と考えられる。7.0kp断面は、単断面から複断面に変化する箇所であり、こうした箇所では高速流が高水敷上に乗り上げやすく、高水敷天端や堤防表のり面に高速流が直接作用するので留意が必要である。

また、区間Aの右岸側では、河積を確保するために高水敷の切り下げが平成16年に実施されている。このことも高速流の高水敷上への乗り上げを助長したと考えられる。なお、高水敷の下層には当時の河床材料が残っており、粒径1m程度の礫が露出したことで河床洗掘を一定の高さにとどめたと推定される。

(2) 区間Bにおける地形変化

地藏元橋の下流に位置する8.0kpの横断面図を図-6に示す。図-5と同様に測量は応急復旧の後に実施された結果である(図-4)。地藏元橋下流の左岸側の一部区間は無堤防が存在し、H24出水時に溢水が生じたと考えられるが、河道内に土砂が堆積したことで溢水量を増加させた可能性もある。

(3) H24出水時の水理諸量の整理及び河床変動解析

洪水痕跡水位、堤防高及び河床高を整理した上で、定期横断測量成果を用いて、H24出水時の洪水ピークでの

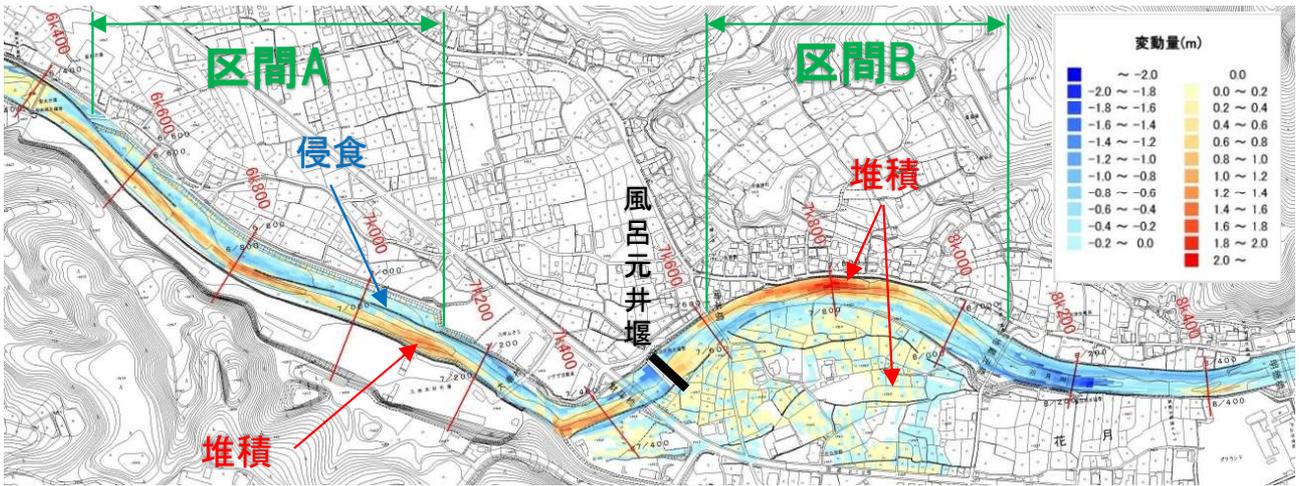


図-9 H24出水に伴う河床変動の計算結果

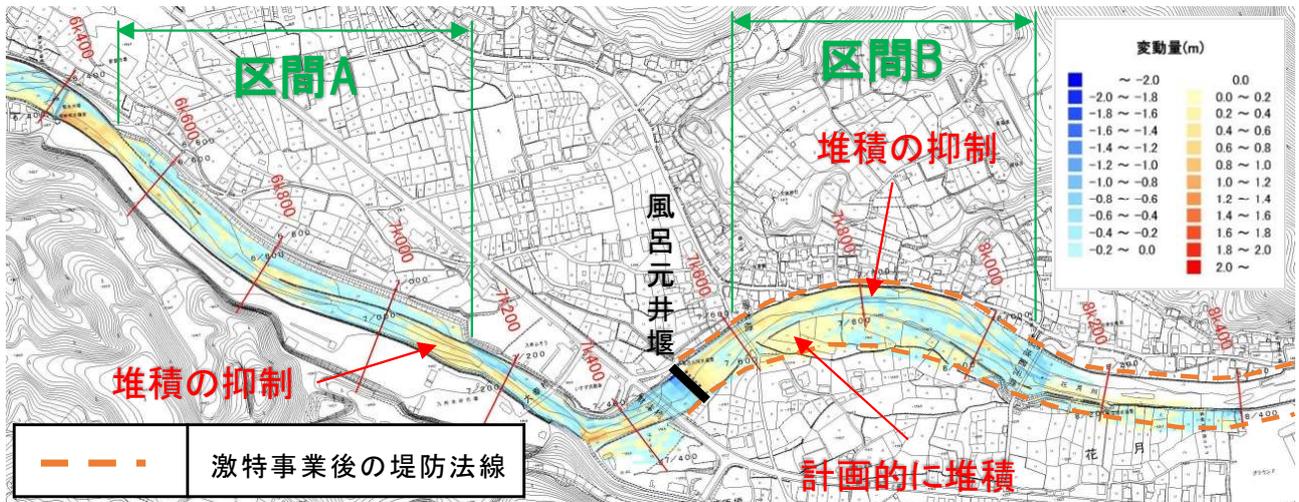


図-10 激特事業完了後の河道で想定される河床変動

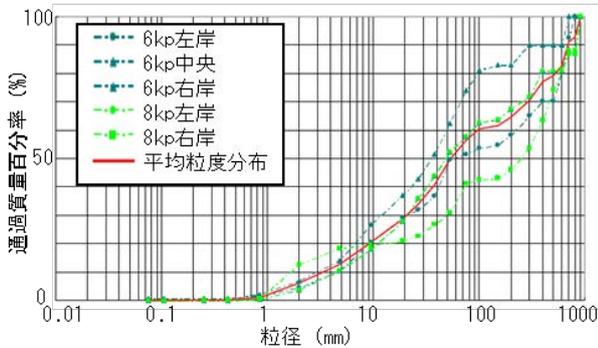


図-8 粒径加積曲線

通過流量 (1,290m³/s) を流下させた場合の準二次元不等流計算により川幅と水深、流速とFr数を算定し、それぞれの縦断面図に整理したものが図-7である。区間A、Bとも川幅50m程度の河道を平均流速5m/sで流下していることを確認できる。平均流速が5m/sであり、湾曲部外岸側などでは、より大きな流速が生じていたと推定され、7.0kp断面の堤防表のり面が植生による被覆のみであったことを考えると、侵食は容易に生じ得たと考えられる。また、低水路部の河床上昇によって高水敷上での流速は増加したと考えられた。

次に、出水に伴う河床変動について検討するため、大粒径から小粒径までの多様な粒径集団を含む河床変動の再現性に優れた長田らの方法²⁾を用いて、H24出水時の河床変動計算を実施した。初期河床形状の設定にあたっては、H24出水前の最新の測量成果である平成22年度測量成果を用いた。河床材料としては、図-8に示す平成22年度の河床材料調査結果を用いて、9粒径を設定した。

図-9は、上記の設定のもと、2回の出水を作用させ、河床変動量を算定した結果である。区間Aでは、7.0～7.2kpの低水路が土砂堆積によって埋没し、高水敷上を高速流が走ったと考えられた。区間Bでも地蔵元橋下流の低水路部での堆積が顕著であり、この堆積によって河積が減少し、左岸側無堤部からの溢水を促進したと考えられた。

4. 河道設計の工夫及びH29出水での被災状況

図-10は、前出の河床変動計算において、初期河道条件をH24出水前河道から激特事業後の河道に変更し、流量ハイドロ及び流入土砂量を変化させずに河床変動解析

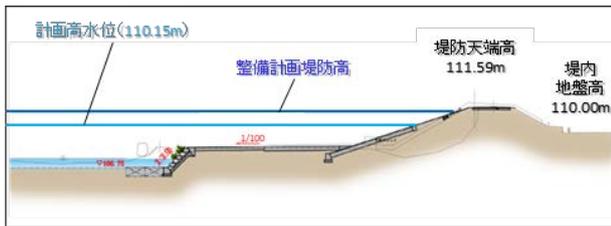


図-11 高水敷の天端保護工等の構造図 (7.0kp)

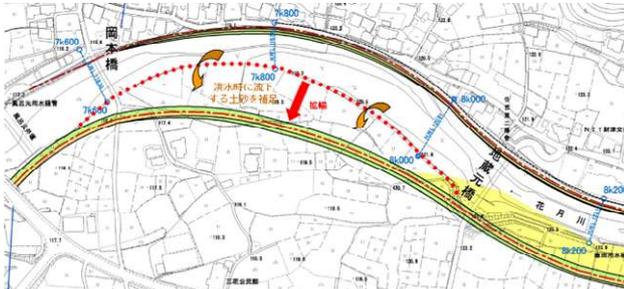


図-12 激特事業による河道法線形の変化 (区間B)



図-13 根固め工前面の洗掘状況 (7.0kp付近)

を実施した結果である。以下に、激特河道後の河道における河道設計の工夫、及び激特事業がほぼ完成していた河道がH24出水より規模の大きい出水を受けた際の応答について記述する。

(1) 高流速への対応

区間Aでは、高流速に対応するため、低水路を拡幅し(図-5)、洪水時に発生する流速を低減させるとともに、区間Aに入る箇所での縦断的な水深(掃流力)の急減を防ぐことにより、土砂堆積の抑制が確認できた(図-10)。しかし、当該箇所が激特河道においても堆積傾向にあることに変わりないことから、H24出水より規模の大きい出水があった場合には高水敷の侵食が発生する可能性があるため、図-11に示すように、高水敷の天端及び堤防の表のり面に保護工を設置した。なお、保護工は、災害復旧工事において調達可能な材料を使用し、標準設計を準用して施工した。

(2) 土砂堆積への対応

区間Bでは、図-12のように、自然堤防の微高地があった赤色点線の法線位置を最大65m程度内岸側へ移動させ、湾曲部の川幅を広げる形で築堤した。このように

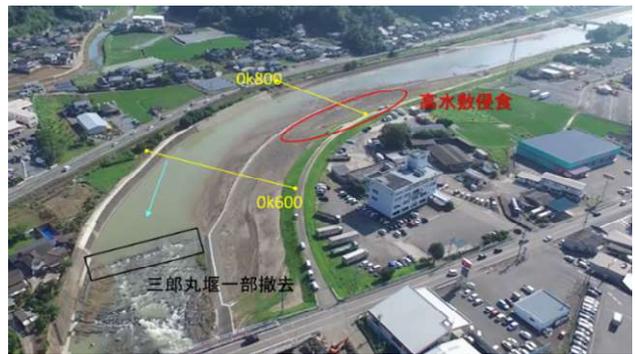


図-14 高水敷天端の洗掘状況 (0.8kp付近)



図-15 H29出水後の土砂の堆積状況 (区間B)

敷高を高くしたまま湾曲部を拡幅することで、土砂堆積が生じやすい区間Bの流下能力を確保した。また、この湾曲部を遊砂地として位置付け、H24出水時のように氾濫による堤内地への土砂堆積を発生させない中でも、洪水時に流下する土砂の一部を外岸側よりも水深の浅くなる湾曲部に計画的に捕捉し、区間Aでの土砂堆積を軽減することを狙った。区間Bの内岸には、H24出水が再度発生した場合に、約1,200m³の土砂が堆積すること、湾曲部の入り口において氾濫による縦断的な水深(掃流力)の急減が抑えられることにより、低水路の土砂堆積が抑制されることを確認した(図-10)。併せて、区間Bで流砂の一部が捕捉されることで区間Aの低水路の土砂堆積も抑制されると考えられた。

(3) H29出水での被災状況

激特事業の開始から5年目となる平成29年7月5日、赤谷川での土砂・洪水氾濫をはじめ、筑後川右岸流域で多数の被害が発生した^{3,4)}。花月川流域でも日田雨量観測所で6時間雨量299mm、花月水位観測所でピーク水位4.53mとH24出水の記録を更新した(以下、「H29出水」)。

H29出水において、花月川では高水敷の侵食、護岸の崩壊など、15箇所で河川管理施設が被災したものの、激特事業によって流下能力が向上し、河道からの氾濫は減少し、国管理区間の花月川沿川における浸水被害は浸水面積で約3割減、床上浸水家屋数で約3割減とすることができた。また、激特事業で改修した箇所が再度被害を受けることはなかった。

区間Aでは、低水路における土砂堆積が抑制され、高

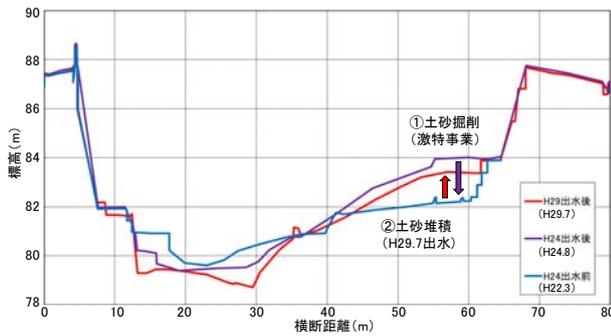


図-16 横断形の変化 (3.6kp)

水敷の洗掘も発生しなかったが、図-13に示すように、低水護岸周辺で洗掘が生じた(図-5)。ただし、激特事業において設置した根固め工が機能し、低水護岸の崩落する状況には至らなかった。

下流部の0.8kp付近では、被害は軽微であったものの、図-14に示すように、高水敷の侵食が発生した。H24出水では被害が生じなかった箇所であるが、激特事業の改修に伴って直下流の堰の一部を切り下げたことから、H24出水時よりも大きな流速が作用したと考えられる。

区間Bでは、遊砂地の機能が発揮されたが、図-15に示すように、想定を上回る土砂の堆積が生じた。H29出水後に7.6～8.1kp区間を25m間隔で実施した横断測量結果から、当該区間に約18,000m³の土砂が堆積したことを確認した。想定した土砂量の約15倍となったが、H29出水時には8.6kの直上流で合流する支川小野川で大規模な山腹崩壊が発生したこと⁴⁾も影響したと考えられた。なお、堆積した土砂は応急復旧により撤去し、現在は遊砂地機能を確保している。

5. まとめ

以下では、それぞれの区間で得られた知見を整理する。その際に、高流速、土砂堆積の観点から花月川の別の区間で確認された事例も合わせて紹介する。

(1) 区間Aで得られた知見

高水敷の天端や堤防の表のり面に高速流が作用する箇所においては、護岸等によって表面を被覆することが重要である。特に、河積を確保するために高水敷を切り下げる場合には、高水敷上における流速の増加に応じた対策を実施する必要がある。また、改修に伴って作用する流速が増加する箇所があるため、改修後の河道において大幅な流速の増加がないことを確認する必要がある。例えば、0.8kp地点の高水敷の侵食事例のように、流下能力が不足する堰の改修に伴って、その上流側の河道に作用する流速が増加する場合があります。増加した流速が高水敷の天端に作用した場合に、天端の表面を侵食する場合

があるので必要に応じて保護工を設置するなどの対策を検討する必要がある。

(2) 区間Bで得られた知見

区間Bでは、湾曲部内岸を拡幅することで遊砂地の機能を確保することができた。設計にあたっては、対象とする出水時に極端な土砂堆積が生じないことを確認したが、上流区間での山腹崩壊なども考慮して、平衡給砂以上の流入があった場合など、流入土砂量が増加した場合の捕捉量についても検討しておくことが重要である。また、湾曲部内岸には計算で設定した粒径よりも細かい粒径の土砂が堆積しており河床材料の粒径の設定においても幅を持たせることの必要性が示唆された。一方、想定を超えた土砂の堆積によって、遊砂地の下流に位置する区間Aの低水路では洗掘が助長された可能性があり、遊砂地の設計にあたっては、下流河道への影響についても十分に確認しておく必要がある。

図-16は、右側へ湾曲する区間に位置する3.6kpの横断面図である。激特事業によって湾曲部内岸に堆積した土砂をH24出水前の砂州高よりも低く平坦になるように掘削したが、H29出水後には2m程度の堆積が生じ、改修前と同様な横断形となった。こうした湾曲部では、湾曲の曲率半径などによって堆積形状が決まるため、河床をスライドダウンするように掘削すると、再堆積が生じにくく維持管理が容易になる。なお、このように湾曲部においてスライドダウンによる掘削を行う場合には、外岸の護岸の基礎高が掘削深よりも深く十分に根入れが確保されていることを確認する必要がある。遊砂地によって流砂の一部を堆積させる河道設計の工夫に加え、再堆積させない横断形の工夫も重要である。

謝辞：本報告は、九州地方整備局河川部、筑後川河川事務所、国土技術政策総合研究所河川研究室等の当時のメンバー（主としてH25～H30）が、河道管理に関する研究会で議論した内容や資料をもとに、現在のメンバーが整理したものである。ここに記して、謝意を表する。

参考文献

- 1) 土木学会九州北部豪雨災害調査団：平成24年7月九州北部豪雨災害調査団報告書，2013。
- 2) 長田健吾，小林幹男，福岡捷二：連続水制を有する急流石礫河道札内川の洪水時の流れ・土砂動態に関する研究，河川技術論文集，第17巻，pp.149-154，2011。
- 3) 秋山壽一郎：平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究，平成29年度科学研究費補助金報告書，2018。
- 4) 筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会：筑後川右岸流域河川・砂防技術検討委員会報告書，2017。

(2020. 4. 2受付)