

低水路管理における中州掘削の有効性と その留意点について

EFFECTIVENESS AND ATTENTION OF GRAVEL-BAR-EXCAVATION FOR MAIN-CHANNEL MANAGEMENT

岩見収二¹・清水義彦²
Shuji IWAMI, Yoshihiko SHIMIZU

¹正会員 修(工) 群馬大学大学院工学研究科 博士後期課程 (〒376-8515 桐生市天神町1-5-1)

²正会員 博(工) 群馬大学大学院工学研究科 准教授 (〒376-8515 桐生市天神町1-5-1)

Recently, in a lot of gravel bed rivers, as results of vegetated and fixed bars and of concentration around the main channel of flood disturbance, the fluvial environment has been deteriorating. In such rivers, the gravel bar reproduction has been tackled by increasing the tractive force and flood frequency by the river-bed excavation etc. For example, on Watarase river, the effectiveness of river-bed excavation for flood disturbance was shown as a result of a flood on September 2007. However, this flood disturbance caused the river bed deformation around the gravel bar too.

In this paper, as a result of numerical study on the flood on September 2007 at Watarase river, the influences that the scale of the excavation and the gravel bar materials would exert on the flood disturbance and the water level and so on was evaluated. In addition, effectiveness and notes of gravel-bar-excauation for the main channel management were shown.

Key Words : *Bed excavation, Bed materials, gravel-bed river, flood disturbance, riverbed deformation, main channel management*

1. はじめに

最近の数十年におけるわが国の礫床河川の多くでは、低水路の河床低下と横断面内比高の拡大によって、非冠水領域や洪水攪乱の軽微な領域の出現、植物の過剰な繁茂、低水路の固定化、低水路周辺での洪水攪乱の集中などが生じている。

このような河川環境の劣化が生じている河川では、河川環境を改善するため、砂州の切り下げや河道掘削による冠水頻度の増加と掃流力の増大を通じた礫河原再生の取り組みが実施されている^{1), 2), 3), 4)}。

利根川水系渡良瀬川の礫床区間では、洪水攪乱を目的として実施した中州内部の部分掘削(掘削路の設置)箇所が、平成19年9月の台風9号出水により攪乱を受けており、この攪乱が中州掘削の効果であったことが示されている^{5), 6)}。

一方、この中州の攪乱により、中州下流においても地形変化が確認されており、中州での攪乱による流出土砂が、周辺の河道特性、河川環境に影響を与える可能性が

示唆される。このことは、中州掘削の規模や中州の構成材料等により、中州の攪乱規模とともに、周辺の地形変化や水位等へ影響を与える可能性を示している。

本研究では、渡良瀬川の中州における平成19年台風9号出水を対象として、中州に設けた掘削路の規模や河床材料が河道攪乱や攪乱に伴う周辺の河道特性等に及ぼす影響について数値計算により評価し、低水路管理における中州掘削の有効性と留意点について考察したものである。

2. 中州掘削工事と攪乱状況の概要

(1) 対象河道特性と中州掘削工事の概要

対象とする中州は、河床勾配1/130程度の礫床区間にある狭窄部(幅約100m)下流の河道区間(幅約240~300m)に位置する。低水路は中州で分岐し、右岸側低水路には中州先端付近から下流にかけて落差の大きな瀬が形成され、このため中小洪水では右岸側を集中して流れていた。

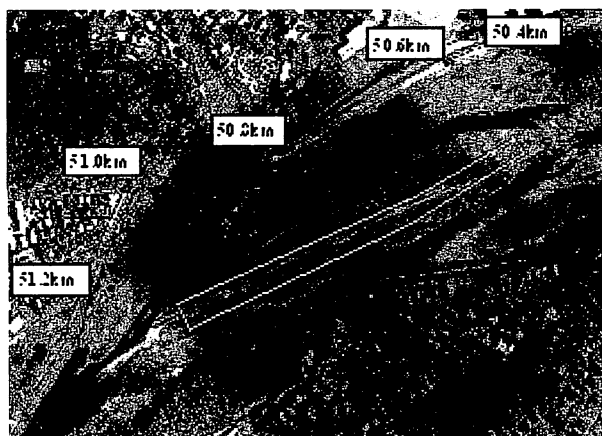


図-1 対象中州の平面形状と掘削範囲

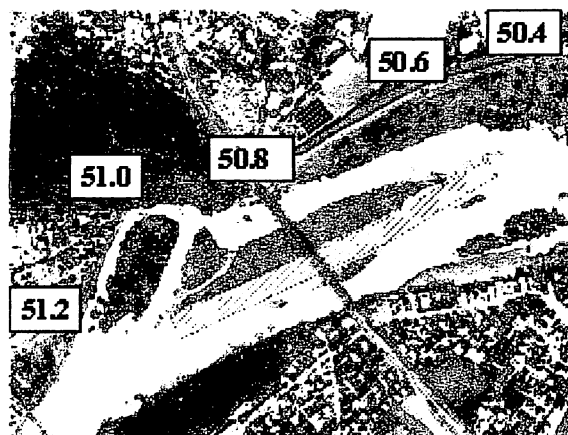


図-3 台風9号出水時の中州の状況（斜線部は掘削）

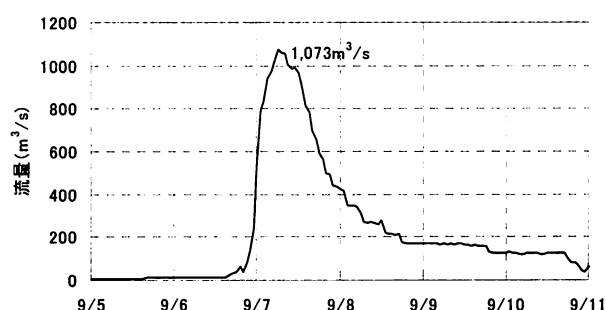


図-2 流量ハイドログラフ
(平成19年台風9号出水 高津戸)

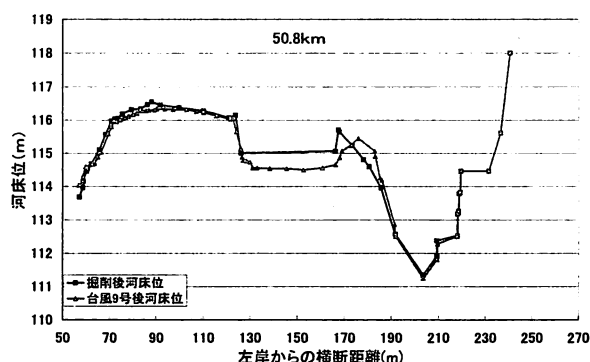


図-4 掘削路中央付近(50.8k)の河床変動

ここでの最深河床と中州との最大比高は約5.0mにもなり、これが中州の冠水頻度低下とともに攪乱規模も低下させている。一方、低水路は粗粒化が顕著に進み、その河床表層は20cm～30cm程度の石で覆われている。

中州上に設けられた掘削路の平面形状は幅40mの長方形で、中州のやや右岸側に配置し、掘削路左右岸側は現状形状を残している。深さは約1m～1.5mで、底面高は右岸側低水路の平常時水面より2m程度(50.8k)高い。また、掘削路上下流端の中州も現状のままである。図-1は中州の掘削範囲を垂直空写真に示したものである。

(2) 平成19年台風9号出水による中州の攪乱状況

掘削工事後に発生した平成19年9月6日台風9号出水により、対象中州は中規模な出水を経験した。流量規模は対象中州上流地点にある高津戸での流量観測により約1,000m³/sである。流量ハイドログラフを図-2に示す。これは、ピーク流量において低水路満杯流量をやや越える規模(生起確率は1/5程度)である。

出水中の状況を示す航空写真を図-3に示す(斜線部が掘削路に相当)。これより、出水時には掘削路に流水が導かれ、完全に流路化したことが分かる。また、今回掘削しなかった中州部分(掘削路左岸側、図-3参照)は冠水していない。

図-4に掘削路中央付近50.8kmにおける台風9号出水前

後の横断地形(測量)を示す。これより掘削路内で顕著な河床変動が生じたことが分かる。

3. 掘削規模による河道攪乱効果

(1) 検討方針と計算条件

渡良瀬川の中州に設けられた掘削路は水路幅40mであり、この規模の掘削路では、河道攪乱に対する中州掘削の効果があることが示されている⁹⁾。一方で、人為的に掘削する規模を減らし、洪水の営力により河道攪乱を誘発することが有利であることから、少ない掘削規模での河道攪乱状況を把握し、最適な掘削規模を検討することも重要である。以上の観点から、掘削路の規模を感度分析的に変更し、掘削規模が河道攪乱に及ぼす影響を評価するとともに、掘削規模毎の河道攪乱が周辺の地形変化や水位変化等の治水に及ぼす影響を分析した。

掘削規模は、掘削路なし、掘削路幅40m及び20mの3ケースとした。掘削路幅20mのケースでの掘削路は、掘削路幅40mの掘削路の左岸寄りに配置した。

計算には、混合粒径を考慮した一般座標系の平面2次元河床変動モデルを用い、流量条件は平成19年9号台風出水の流量ハイドログラフ(図-2)を対象とした。掘削規模の影響のみを評価するため、樹木群や植生の影響は

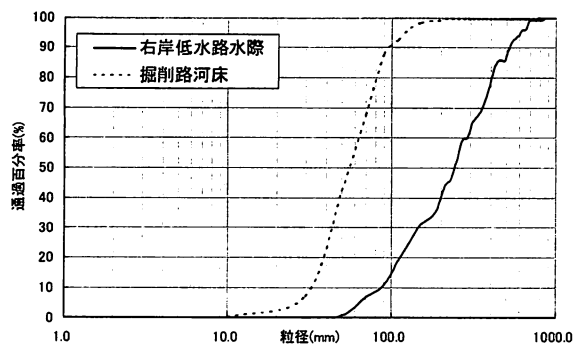


図-5 出水後の河床材料の粒度構成

考慮しないこととし、粗度係数は、計算範囲に $n=0.035$ （低水路粗度係数）を一律に与えた。

河床材料は、洪水後の河床材料調査（図-5）によると、低水路部と掘削路床で大きく異なっているため、対象砂州上には掘削路での調査結果を、その他の低水路部には低水路水際での調査結果を与えた。計算期間は、洪水ピーク時を含む15時間とした。流砂量は、掃流砂のみを対象として芦田・道上式⁷⁾を用い、上流端からの供給土砂量は調査結果の河床材料から求められる平衡流砂量とした。また、粒度の計算は平野⁸⁾による粒度分布の連続

式を用い、深度方向の粒度の履歴を考慮出来るモデルとした。なお、河床変動計算モデルの検証は、洪水後の測量が実施されていないため、痕跡水位の適合性のみで行っている。

(2) 流況および河道攪乱の状況

ピーク流量時における掘削規模毎の流速ベクトルと河床変動高を図-6にそれぞれ示す。

図-6の流速ベクトルより、掘削路を設けた場合は、掘削路の規模によらず、洪水流が砂州内に誘導されるとともに、掘削しない場合に比べて低水路流速は緩和されることが分かる。図-7に50.8kにおけるピーク流量時の流速の横断分布を示す。低水路流速は、掘削なしでは $3.0\text{m/s} \sim 4.0\text{m/s}$ であるのに対して、掘削路設けた場合は $2.0\text{m/s} \sim 3.5\text{m/s}$ 程度まで低下する。この傾向は左岸側の低水路で顕著である。一方、砂州上の流速は、掘削なしでは 0m/s （冠水しない）であるのに対して、掘削路を設けた場合 4.5m/s 程度まで増加する。これらは、掘削路が掘削部上流側の主流（横断面内最大流速）を取り込みやすい位置に設けられているためである。

図-6の河床変動高をみると、砂州上の攪乱は、掘削しない場合でも生じているが、掘削路を設けた場合の方が

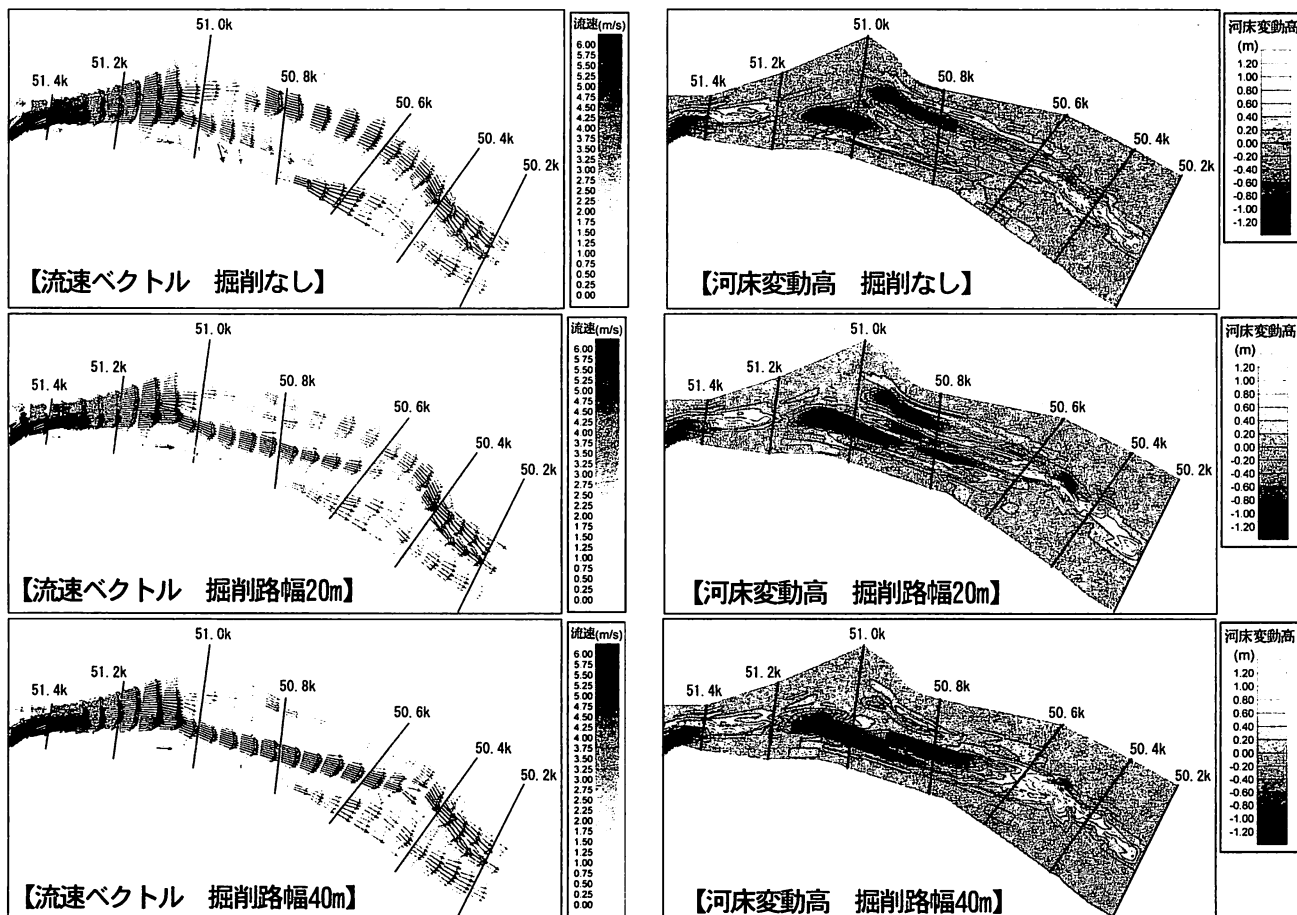


図-6 流速ベクトルと河床変動高（河床変動計算結果 ピーク流量時 $1,072\text{m}^3/\text{s}$ ）

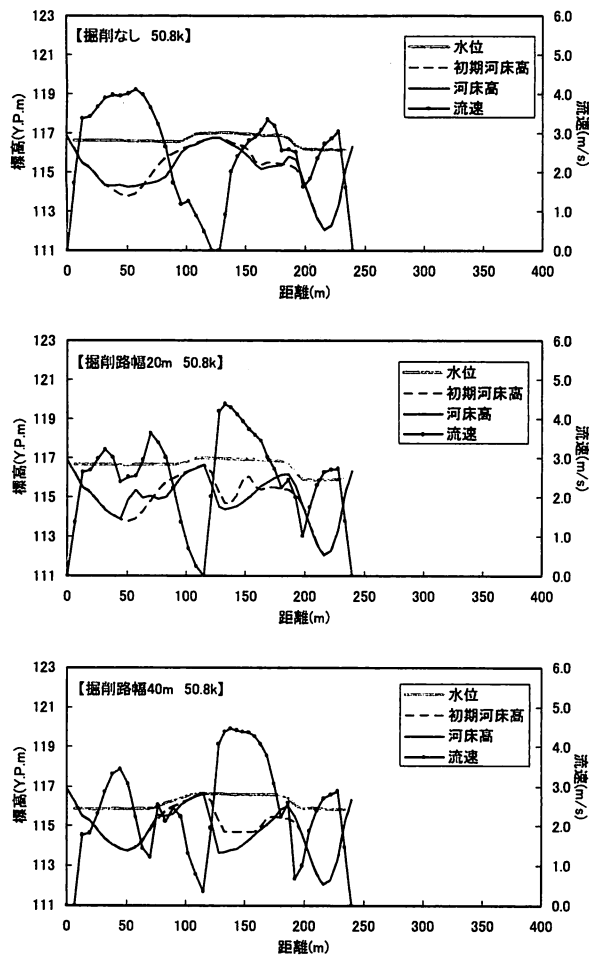


図-7 掘削規模毎の流速の縦断分布 (50.8k)
(河床変動計算結果 ピーク流量時 $1,072\text{m}^3/\text{s}$)

顕著である。掘削路幅40mでは、掘削路床で洗掘し、掘削箇所の下流に堆積が生じる。掘削路幅20mの場合は、砂州上に複雑な攪乱が生じるとともに、掘削路の中程から上流区間で洗掘が生じ、中程から下流区間に堆積が生じる。図-7に示す50.8kのピーク流量時の横断形状を見ると、掘削路を設けた場合、掘削路付近で洗掘が生じていることが分かる。この洗掘は、掘削路幅40mの場合1m程度、掘削路幅20mの場合0.2m程度となっており、掘削規模が多きいほど顕著な洗掘が生じる結果となっている。

砂州下流端付近の流況(図-6)を見ると、掘削路40mでは、掘削路に沿って砂州の下流端まで流速が増加し、低水路とスムーズに接続することから、巧く流量分担しているという意味でのセカンダリーチャンネルとして、その機能を発揮している。一方、掘削路幅20mでは、掘削路の出口付近で流向をやや左岸側へと変えながら、両側の低水路へ落ち込むような流れとなる。これは、掘削路の下流部分に生じる堆積により、掘削路が埋没するためである。すなわち、掘削規模によっては、掘削路の埋没を生じ、それに伴う偏流等によって、新たな水衝部等を生じる可能性がある。

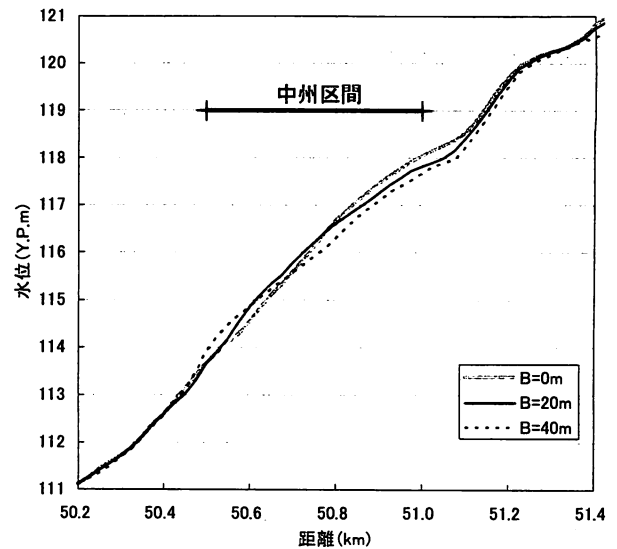


図-8 平均水位の縦断形
(河床変動計算結果 ピーク流量時 $1,072\text{m}^3/\text{s}$)

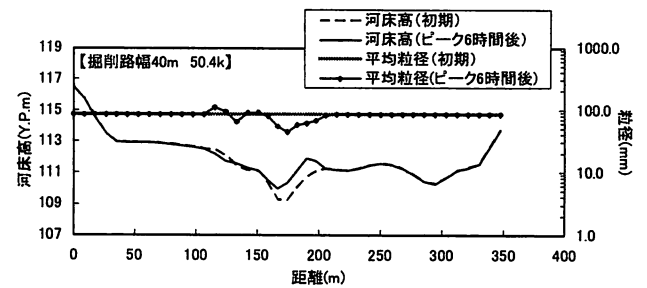


図-9 河床高と平均粒径の横断分布 (50.4k)
(河床変動計算結果 洪水後)

(3) 洪水時の水位への影響

掘削規模毎のピーク流量時の平均水位の縦断形を図-8に示す。これによると、掘削路を設けたことにより水位が上昇する区間生じていることが分かる。掘削路幅40mでは砂州下流の50.5k付近で約40cm、掘削路幅20mでは砂州下流端(50.6k)付近で約30cmの水位上昇となっている。それより上流では、掘削路幅40mで約40cm、掘削路幅20mで約25cm水位が低下している。これは、砂州上では掘削路の設置と洪水時の掘削路の洗掘による河積拡大により水位が低下する一方で、砂州下流での堆積による河積縮小により、水位上昇を生じるためである。

図-9は、掘削路幅40mでの砂州下流付近(50.4k)の洪水前後横断形状と平均粒径の変化を示したものである。河床高は洪水前後で上昇し、河床上昇範囲の粒径は小さくなっている。砂州上の粒径が低水路に比べて細かいことから、掘削路での洗掘された土砂が砂州下流まで流下して堆積したものと判断できる。

以上より、砂州上の粒径が細かく、砂州上の洗掘と砂州下流への堆積が生じるような場合には、局所的に河道の水位を上昇させる恐れがあり、流下能力不足区間等では注意が必要である。

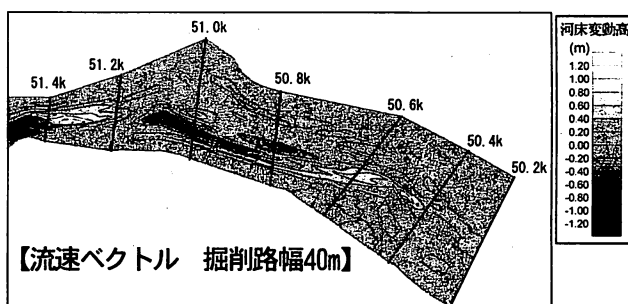
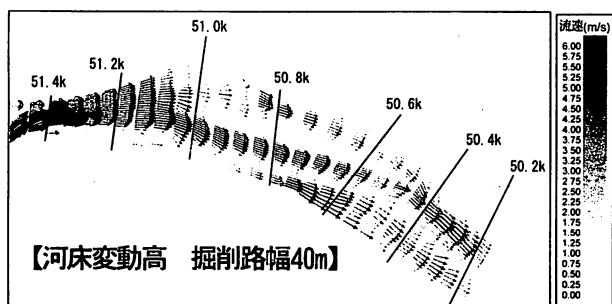


図-10 流速ベクトルと河床変動高 (掘削路幅40m 粗い河床材料 ピーク流量時 $1,072\text{m}^3/\text{s}$)

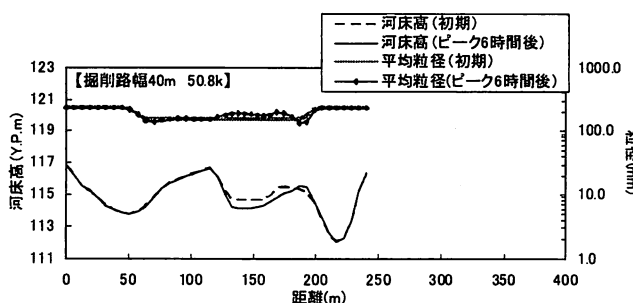


図-11 河床高と平均粒径の横断分布 (50.8k)
(河床変動計算結果 掘削路幅40m 粗い河床材料 洪水後)

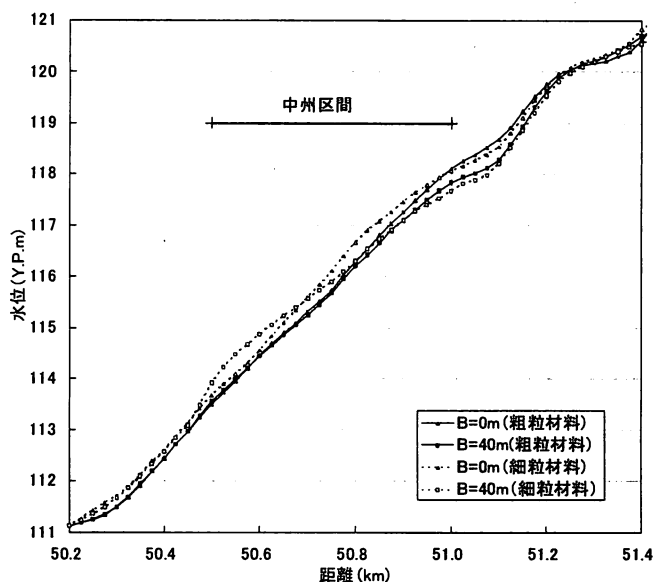


図-13 平均水位の縦断形
(河床変動計算結果 ピーク流量時 $1,072\text{m}^3/\text{s}$)

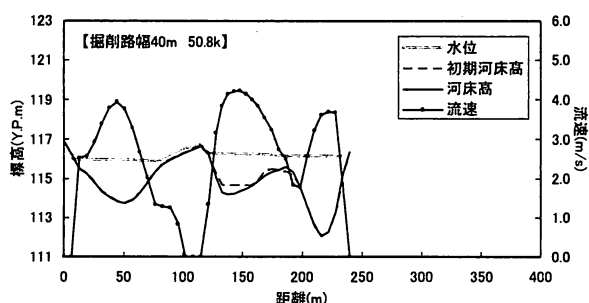
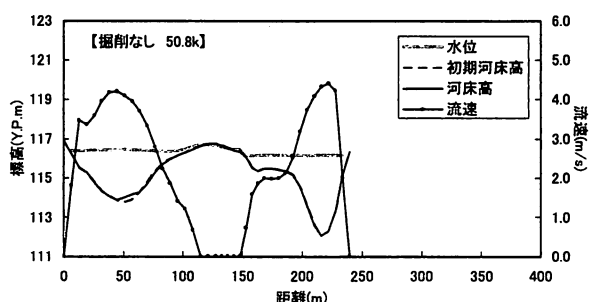


図-12 流速の横断分布 (50.8k)
(掘削路幅40m 粗い河床材料 ピーク流量時 $1,072\text{m}^3/\text{s}$)

4. 河床材料が河道攪乱に与える影響

渡良瀬川で対象とした砂州は、比較的細かい粒径の構成材料によって形成されている。このような場合は、砂州上に設けた掘削路の洗掘とその下流の堆積など顕著な河道攪乱が生じる。一方、比較的粗い粒径の構成材料によって砂州が形成されている場合や、砂州が層構造をなしており、下層から粗い粒径が露出するような場合は、河道攪乱状況が異なることが予想される⁶⁾。

ここでは、粗い構成材料で形成された砂州を想定し、比較的粗い粒径を砂州上に与えた場合の河道攪乱状況を推定することにより、河床材料が河道攪乱に与える影響を分析した。

砂州上の河床材料は、図-5に示す掘削路と低水路水際の平均的な粒度組成を与え、その他の低水路部には低水路水際の調査結果を与えた。

掘削路幅を40mとし、粗粒径土砂を与えた場合のピーク流量時における流速ベクトルと河床変動高を図-10に示す。砂州上の粒径が細粒径である図-6と比較すると、粒径が粗くなったことによって砂州上の攪乱が大幅に抑制され、砂州上掘削路の流速も遅くなることが分かる。これは、細粒径の場合は、掘削路の洗掘により、河積を増大しながら流れを誘導するのに対して、粒径が粗い場合は河床変動が抑制され、初期の掘削断面のまま維持されるためである。これに伴い、低水路流速を抑制する効果も減少し、50.8k付近右岸の低水路では、5.0m程度の流速が生じている。また、掘削路における洪水後の河床材料は、図-11に示すように、平均粒径で約150mmから最大約200mmまで粗粒化しており、河床変動の抑制を促進する方向に作用している。

50.8kにおける掘削なしと掘削路幅40mでのピーク流量時の流速の横断分布を図-12に示す。掘削路幅40mのケースを見ると、細粒材料の砂州の場合の図-9と比べて、掘削路の洗掘がほとんど生じなくなるとともに、流速は4.5m/sから4.2m/sまで減少している。一方、低水路の流速は、細粒材料の場合と粗粒材料の場合を比較すると、左岸低水路では3.4m/sから4.0m/sに、右岸低水路では2.9m/sから3.7m/sに増加する。粒径の異なる河床変動高コンター図（図-6、図-10）を比較すると、粒径によって砂州上の河道攪乱状況が大きく異なっており、これが低水路および砂州上の流速が変化することによる。特に右岸低水路の流速は、細粒材料の砂州（3.1m/s）と粗粒材料の砂州（4.1m/s）とで大きく異なっている。

掘削なし、掘削路幅40mでの粗粒材料の砂州での平均水位の縦断形を図-13に示す。図には、細粒材料の砂州での平均水位の縦断形も併記した。細粒材料の砂州の場合、掘削路を設けた場合、河道攪乱により掘削路下流に堆積が生じるため、水位が上昇する。一方、粗粒材料の砂州では、河道攪乱がほとんど発生しないため水位上昇は生じず、砂州上流側における水位低減効果が認められる。これは、掘削路によって砂州区間の河積が増加したことによる。

以上より、砂州を構成する粒径によって、河道攪乱の状況が変化し、それにあわせて砂州上および低水路の流況も異なったものとなる。さらに、河道水位への影響の程度も異なったものとなる。したがって、砂州掘削等を行い、洪水による河道攪乱を誘発させる場合には、河床材料をはじめとする河道特性を十分把握し、河床変動状況、流況および水位への影響等を考慮した低水路管理が重要である。

5. 中州掘削の有効性と留意点

以下に本研究により得られた中州掘削の有効性と留意点を以下に示す。

- ・ 中州に掘削路を設けることにより、洪水時に掘削路がセカンダリーチャンネルとして機能し、低水路流速を緩和する。
- ・ 掘削路での洪水誘導により、掘削路床が洗掘されるなど、中州上の攪乱が誘発される。
- ・ 設ける掘削路の規模によって、攪乱状況が変化する。掘削規模が小さい場合は、掘削路の埋没により、新たな水衝部等を生じる恐れがある。
- ・ 中州掘削と掘削路の洗掘により、砂州付近の水位を低減させる効果があるが、砂州上の粒径が細かく、砂州下流で顕著な堆積を生じるような場合に

は、河道の水位を上昇させる恐れがある。

- ・ 粒径の異なる砂州では、設ける掘削路の形状が同じ場合でも、河道攪乱状況、砂州周辺の流況、水位上昇等への影響が異なるものとなる。粗粒材料の砂州では、細粒材料の砂州に比べて河道攪乱の程度が小さくなり、低水路の流速低減効果等は小さくなるが、河道水位を下げる効果は大きくなる。

以上より、中州掘削等による低水路管理では、掘削形状、掘削規模等に加え、砂州を構成する河床材料等の河道特性により、河道攪乱や流速緩和の効果が異なる可能性がある。

したがって、砂州上の河床材料をはじめとする河道特性を十分に把握し、河道水位の上昇や、流況の変化（水衝部形成等）等と与える影響の可能性を十分検討した上で、中州掘削等の低水路管理方法を決定することが重要である。

謝辞：本研究を進めるにあたり、国土交通省関東地方整備局渡良瀬川河川事務所より貴重なデータの提供を受けた。また、平成20年度科学研究費（基盤研究(C)、代表・清水義彦）の助成を受けた。また、（財）河川環境管理財団・平成20年度河川整備基金研究助成（代表・清水義彦）を受けた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 植木真生・福島雅紀・山下武宣：河道掘削および砂礫の敷設供給に対する河床の応答，河川技術論文集，第13巻，pp.381-386，2007。
- 2) 眞田淳二・浦上将人・前野詩朗・渡辺敏：2006年7月出水を経験した旭川下流部礫河原再生箇所モニタリング結果と考察，河川技術論文集，第13巻，pp.129-134，2007。
- 3) 竹内義幸・青木研・渡邊雄二・加村大輔：四万十川入田地区における砂礫河原再生のモニタリング中間結果について，河川技術論文集，第13巻，pp.119-122，2007。
- 4) 渡辺敏：河道内植生の管理と礫河原再生に関する研究，博士論文，岡山大学大学院自然科学研究科，2007。
- 5) 清水義彦・岩見収二・石川陽介・佐藤文泰・磯田忠生・遠藤武志：洪水攪乱の誘発を目的とした中州掘削工事の効果評価とその考察，河川技術論文集，第14巻，pp.169-174，2008。
- 6) 岩見収二・清水義彦：洪水攪乱誘発に対する中州掘削と河床材料の効果，水工学論文集，第53巻，pp.601-606，2009。
- 7) 芦田和男・道上正規：移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究，土木学会論文報告集，第206号，pp.55-63，1977。
- 8) 平野宗夫：Armoringをとまなう河床低下について，土木学会論文集，第195号，pp.55-65，1971。

(2009. 4. 9受付)