

洪水攪乱誘発に対する 中州掘削と河床材料の効果

EFFECTIVENESS OF GRAVEL-BAR-EXCAVATION AND BED-MATERIALS
IN RIVERBED DEFORMATION CAUSED BY FLOOD DISTURBANCE

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, riparian trees in the course of gravel-bed rivers have been very much increasing, while gravel beach without vegetation has been very much decreasing. This study aims to propose effective measures for reproducing gravel bars by leading flood flow over vegetated bars. The bed excavation over the vegetated gravel bar in the segment-1 zone of Watarase River was conducted for the management of riverine trees and the recovery of gravel bars with geomorphic changes caused by flood disturbance. After a flood on September 2007, a significant bed variation was caused in the excavated area which made a secondary channel due to active sediment transport by flood flow. As results of the field survey and the numerical study, it was confirmed that the bed excavation was effective in the riverbed deformation and the management of gravel-bed river. In addition, the importance of riverbed materials in the riverbed deformation was shown.

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

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。利根川水系渡良瀬川の礫床区間では、こうした特徴が顕著に現れ、河道内樹林繁茂の抑制が河川管理上の重要な課題として取り組まれている。

全国的にも、上記のような河川環境の劣化を改善するために、砂州の切り下げや河道掘削を行い、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)}。それらの多くは、砂州の低水路との隣接部分を切り下げ、冠水範囲を広げるものである。

これに対し渡良瀬川では、樹林化した中州において樹林化の抑制と礫州再生を目的とした砂州内部の部分掘削を実施(平成19年3月)している。この掘削箇所は、掘削後の平成19年9月に台風9号による出水を経験し、この洪水による河床変動や洪水後の河床材料の状況が報告されている⁵⁾。

本研究は、上記の中州掘削について、平成19年9月出水(台風9号)を対象とした平面2次元河床変動計算による掘削あり/なしでの流況や河床変動、河床材料変化の相対的、定量的な比較を行うことにより、中州掘削の効果を分析した。加えて、河床材料が河床攪乱に与える効果について検討を行い、河道管理における河床材料の重要性を指摘した。

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る。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(安定域の出現により恒常的にハリエンジュ樹林地が



図-1 対象中州の平面形状と掘削範囲

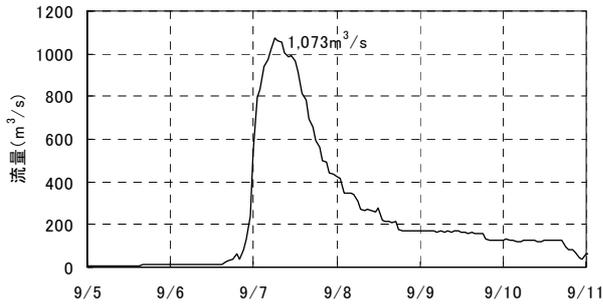


図-2 流量ヒドログラフ
(平成19年台風9号出水 高津戸)

形成されている)。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。

掘削箇所は、中州の縦横断面形状、上流側低水路との位置関係を踏まえた検討より、中小洪水時に掘削路に流水を導くよう設計されており⁵⁾、樹木の伐採・伐根を行って掘削された。その掘削の平面形状は幅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。流量ヒドログラフを図-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)。また、図-4に掘削路を下流方向に見た台風9号出水前および出水中(ピーク流量時)の状況を示した。

これらより、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

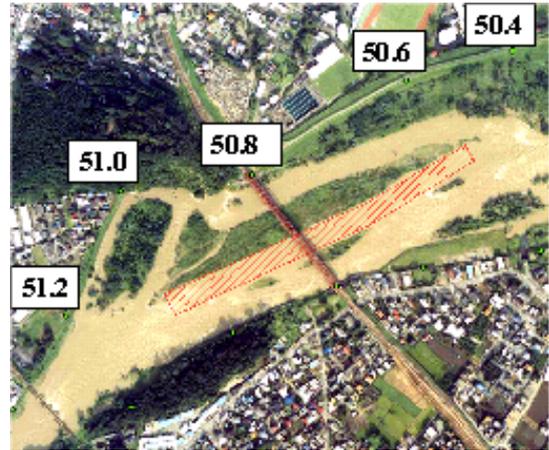


図-3 台風9号出水時の中州の状況(斜線部は掘削)



図-4 出水前、出水中(ピーク流量時)の掘削部
(点線は掘削部の横断範囲を示す)

中州部分(掘削路左岸側、図-3、図-4参照)は冠水していない。

図-5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のみ顕著な河床変動が生じていることが分かる。

出水後、掘削路河床と低水路水際において河床表面を対象に実施した河床材料調査⁵⁾による粒度構成を図-6に示す。掘削路の右岸低水路付近では、低水路の粗粒化を示す大きな石礫(平均粒径23cm)が表層に露出している。一方、掘削路河床では比較的細かい砂礫(平均粒径7cm)が表層に存在し、深さ方向にもほぼ同様な粒度構成であった。今回、掘削路のみで有意な河床変動が生じた要因の1つとして、中州を構成する粒度構成が低水路に比べてかなり細かいことが予想される。

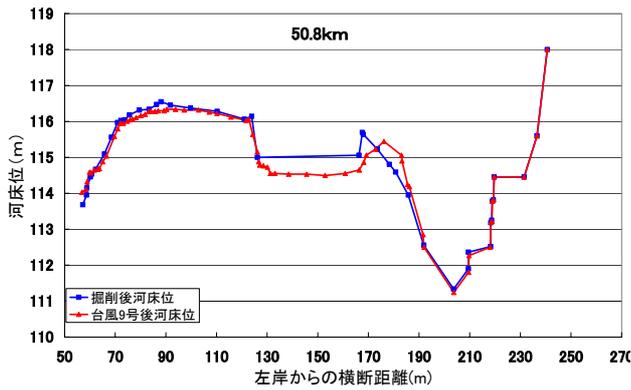


図-5 掘削路中央付近 (50.8k) の河床変動

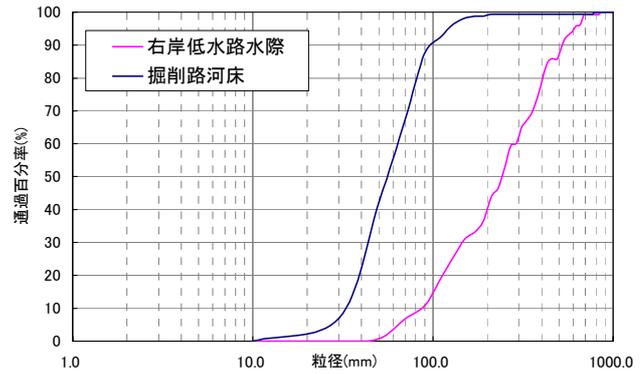


図-6 出水後の河床材料の粒度構成

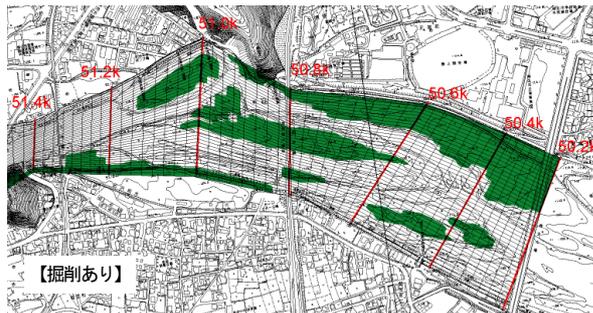


図-7 樹木範囲の設定

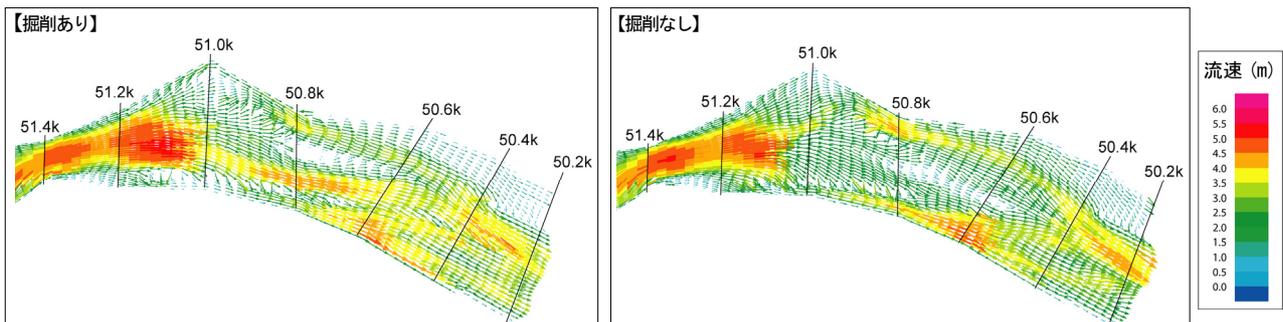


図-8 流速ベクトル図 (河床変動計算結果 ピーク流量時 1,072m³/s)

3. 中州の掘削工事の河道攪乱への効果

平面2次元河床変動計算を用いて、中州の掘削を実施した場合としない場合の流況、河床変動の状況を比較し、中州掘削工事による河道攪乱への効果を分析した。計算には、一般座標系の平面2次元河床変動モデルを用い、樹木群の影響および混合粒径を考慮した。

樹木群の影響は、透過係数 ($k=36 \text{ m/s}$) によって考慮した。また、樹木群の範囲は、掘削した場合は洪水後の空中写真より (図-7参照)、掘削しなかった場合は洪水後の樹木範囲を想定できないため洪水前 (掘削前) の空中写真より設定した。河床材料は、図-6のように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⁹⁾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⁷⁾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。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。

(1) 流況の変化

掘削を実施した場合としない場合のピーク流量時の流速ベクトルを図-8に示す。また、同時刻の流速の横断分布 (50.8k) を図-9に示す。これらより、中州の掘削により、洪水が砂州内部へ誘導され、掘削路がセカンダリーチャンネル (流量フラックスが第2位となる流路) として機能したことが分かる。砂州上の流速は掘削により約2m/sから約4m/sまで増加し、砂州の両脇のみお筋に生じていた高流速は、左岸では約4m/sから約3.5m/sに、右岸では約4m/sから約3m/sに緩和されている。

図-10は掘削有り無しでの横断面内での平均水位の縦

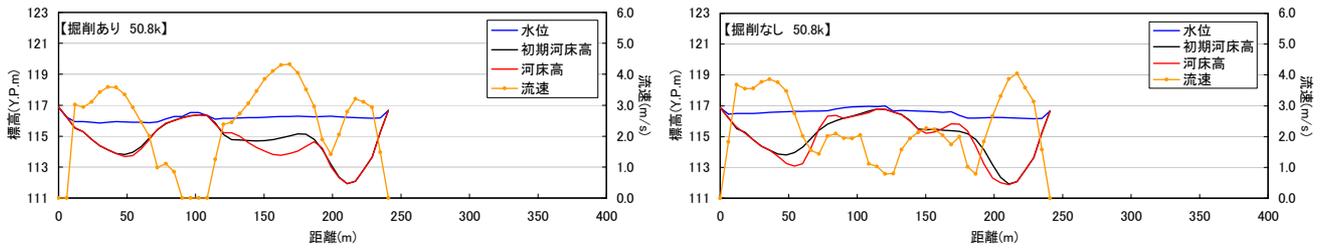


図-9 流速の縦断分布 (50.8k) (河床変動計算結果 ピーク流量時 1,072m³/s)

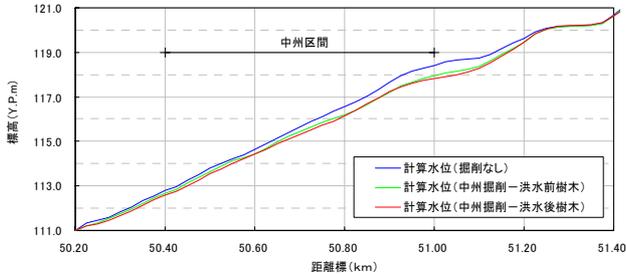


図-10 平均水位の縦断形
(河床変動計算結果 ピーク流量時 1,072m³/s)

断形を比較したものである。中州の掘削により最大60cm程度の水位低下が生じている(51.0k付近)。これより、中州の一部掘削は洪水の誘導と同時に、水位低下に対する効果も有していたことが分かる。一方で、残された砂州上の冠水頻度が低下し、樹林化進行等の影響も懸念される。図-10には樹木群の範囲を洪水前(掘削有り)とした場合の計算水位を併せて示しているが、この場合の水位は、洪水後の樹木範囲を用いた場合の水位に比べて、わずかながら高い結果となっている。これは、洪水前の樹木範囲が洪水後に比べて広いためである。このことは、砂州周辺の環境を改変することにより、砂州

への冠水状況を変化させ得る可能性を示唆している。

(2) 河道攪乱への効果

洪水ピーク6時間後の河床変動コンター図を図-11に示す。掘削を実施した場合、掘削路での河床低下が進行するとともに、砂州下流において堆積が進行している。掘削しない場合も砂州下流での堆積は生じているが、その範囲は狭い。

次に、河床材料の変化状況から、砂州下流に堆積した土砂の起源を分析した。砂州上の河床材料は低水路に比べて細かい構成となっているため、堆積範囲の河床材料が洪水前より細かくなっていれば、砂州上で洗掘された土砂が堆積したと見なすことが出来る。平均粒径の変化量のコンター図を図-12に示す。砂州下流の堆積範囲の河床材料は洪水後細粒化する結果となり、砂州下流の堆積土砂は、砂州上の洗掘土砂が起源と考えられる。一方、砂州の上流端(51.0k~51.2k付近)では河床低下とともに粗粒化が生じ、砂州の侵食と同時に上流から粗粒径の土砂が供給されたものと考えられる。

図-13に洪水ピーク6時間後の河床高と平均粒径の横断分布を示す。51.0k, 50.8k等では掘削により有意な河床

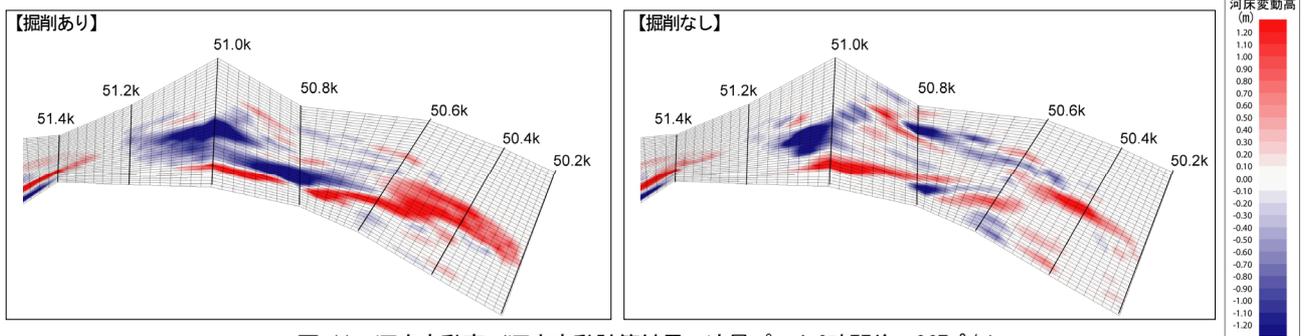


図-11 河床変動高(河床変動計算結果 流量ピーク6時間後 967m³/s)

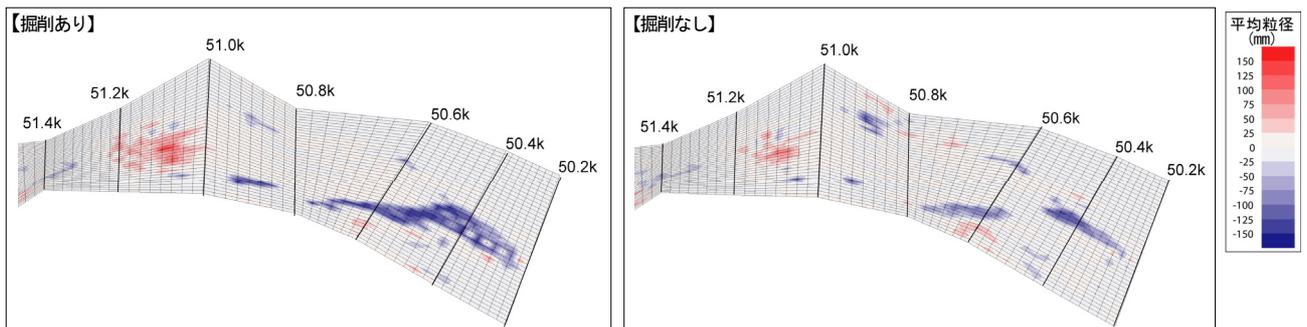


図-12 平均粒径の変化(河床変動計算結果 流量ピーク6時間後 967m³/s)

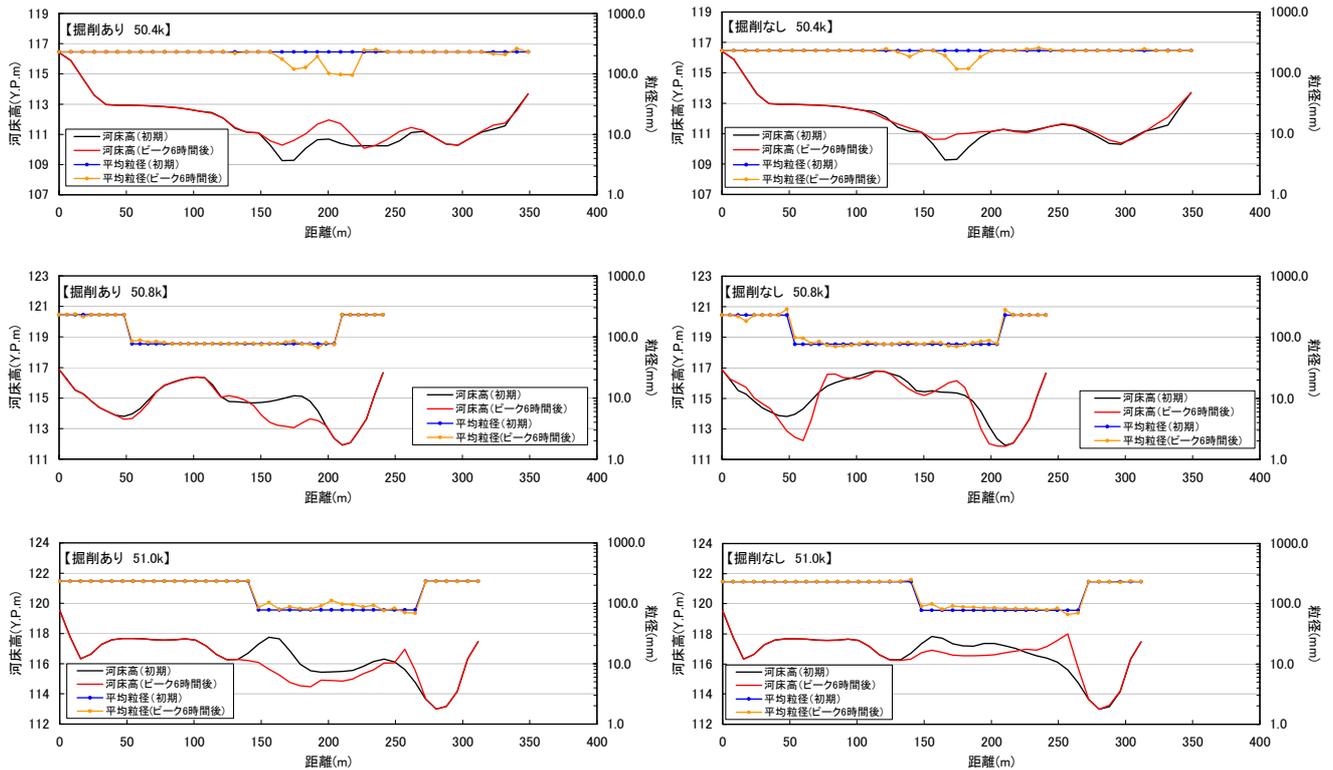


図-13 河床高と平均粒径の横断分布 (河床変動計算結果 流量ピーク6時間後 967m³/s)

変動(河床低下)が生じている。砂州下流(50.4k)では、掘削の有無にかかわらず、堆積と細粒化が生じているが、掘削した場合の方がその変化は顕著である。また、横断方向の河床変動を見ると、掘削路での顕著な河床低下に対して、左右岸の低水路部では、ほとんど河床変動を生じていない。これは、低水路部表層では粗粒化が進行しており、これにより河床変動が抑制されているためである。低水路部(特に右岸)は、水衝部である一方で魚の産卵床として貴重な環境を形成しているが、河床形状、河床材料に大きな変化はなく、河川環境への影響は少ないと考えられる。

なお、粒度組成の変化について、今後、現地調査による検証を実施していく必要がある。

(3) 掘削の効果

以上より、中州掘削より以下に示すような河道攪乱の効果があつたと考えられる。

- 中州を一部掘削することにより、洪水が中州内部に誘導され、掘削路がセカンダリーチャンネルとして機能するようになる。
- 掘削路が流路として機能することにより、低水路部の高流速(水衝部)が緩和される。
- 中州の掘削と洪水による掘削路の洗掘により河積が増大し、縦断的な水位低下が期待できる。
- 掘削路に流れを誘導することにより、掘削路の洗掘、砂州下流での堆積といった有意な河床変動を起こすことが出来る。これは、砂州上の粒径が比較的細か

いことが一因である。

- 低水路部は、表層が粗い石礫で覆われていることにより、顕著な河道攪乱は生じず、水衝部緩和と同時に河川環境保全が保全される。

4. 河道管理における河床材料の重要性

掘削路を設けた場合の河床変動の分析より、河床材料が河道攪乱に大きく影響していることを指摘した。すなわち、低水路部の河床材料は粗く河床変動が抑制される一方、砂州上の河床材料は細かいため、顕著な河道攪乱を生じて、最終的にはセカンダリーチャンネルを形成する。また、他の礫床河川においても、河床変動や横断面内の比高の拡大、植生の繁茂には河床材料が重要な影響を与えることが指摘されている^{8), 9)}。

これらより、河道管理においても河床材料の粒径を考慮することが重要となり得る。ここでは、掘削路床に粗い河床材料を敷設した場合を想定し、平面2次元河床変動計算を用いて河床変動等の状況を分析することにより、任意箇所での河床材料のコントロールが河道攪乱や洪水の流下状況に果たす役割を考察した。計算では、掘削路床の河床材料として低水路部と同じ粗い粒度構成を与えた。その他の条件は、掘削した場合の計算条件を同じとした。

ピーク流量時の流速ベクトルを図-14に、流量ピーク6時間後の河床変動高を図-15にそれぞれ示す。河床変動

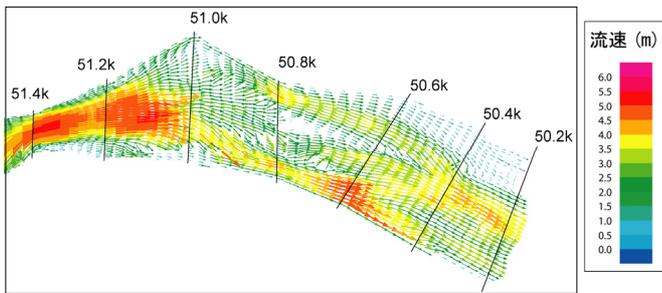


図-14 粗粒径材料敷設時の流速ベクトル
(河床変動計算結果 ピーク流量時 1,072m³/s)

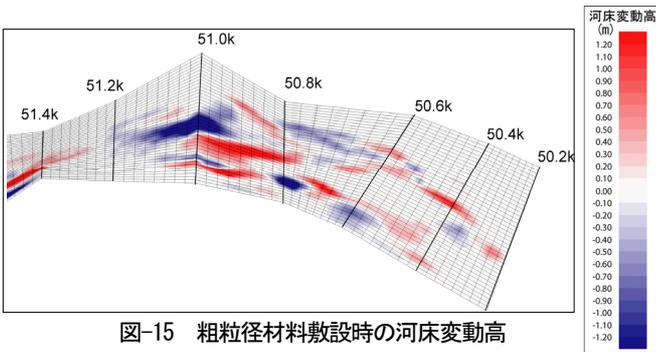


図-15 粗粒径材料敷設時の河床変動高
(河床変動計算結果 流量ピーク6時間後 967m³/s)

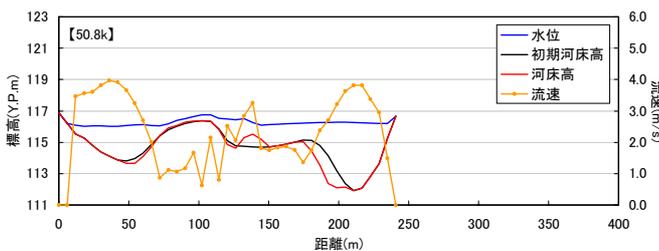


図-16 粗粒径材料敷設時の流速横断分布(50.8k)
(河床変動計算結果 ピーク流量時 1,072m³/s)

高について、粗粒径材料を敷設しない場合のもの(図-11参照)と比較すると、掘削路における河床変動が大きく抑制されることがわかる。これに伴って、砂州下流の堆積範囲も狭くなる。また、粗粒径材料を敷設することによって掘削路の河床低下が抑制されるため、粗粒径材料を敷設しない場合に比べると、掘削路の流速は遅くなり(図-8参照)、セカンダリーチャンネルとしての機能は小さくなる。また、低水路部の流速低減効果も小さい。

掘削路中央付近(50.8k)の流速の横断分布を図-16に示す。粗粒径材料を敷設しない場合(図-9参照)と比較すると、掘削路の流速は約2.5m/s低下し、低水路部の流速は約0.6m/s増加している。なお、低水路部の流速は、掘削しない場合と比べて、ほとんど変化していない。

以上より、河床材料は、河道攪乱の状況に大きな影響を与えることが分かる。渡良瀬川の中州掘削では、河道攪乱により掘削路がセカンダリーチャンネルとして機能した。一方、粗い河床材料を敷設することにより、顕著な攪乱は生じず、洪水を誘導する効果(流路変更の効果)は小さくなる。このことは、今後の低水路管理を考えて

いく上で、中州掘削等の河道改変とともに河床材料のコントロールが重要であることを示唆している。

5. おわりに

以下に本研究により得られた結果を示す。

- ・大規模中州の一部掘削により、流れの砂州内への誘導と顕著な河道攪乱が誘発され、掘削路がセカンダリーチャンネルとして機能するようになる。この結果、低水路部の流速の緩和と縦断的な水位低下が期待できる。
- ・低水路部は、粗い河床材料で覆われていることから、顕著な攪乱は生ず、主要な流路としての機能を維持し、河川環境への影響を最小限に抑えられる。
- ・掘削路に粗粒材料を敷設することにより、河道攪乱(掘削路の河床低下)を抑制することが出来る。このことは河道管理における河床材料コントロールの重要性を示唆している。

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。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での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.土木学会編：土木工学における数値解析，流体解析編，サイエンス社，1974。
- 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) 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。
- 7) 平野宗夫：Armoringをとともう河床低下について，土木学会論文集，第195号，pp.55-65，1971。
- 8) 李參熙・藤田光一・山本晃一：礫床河道における安定植生域拡大のシナリオー多摩川上流部を対象とした事例分析よりー，水工学論文集，第43巻，pp.977-982，2008。
- 9) 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。

(2008. 9. 30受付)