

交互砂州河道における効率的な 植生管理策に関する研究

STUDY ON EFFICIENT MANAGEMENT METHOD TO REDUCE THE VEGETATION IN THE ALTERNATE BAR

長田健吾¹・濱井宣明²・青木朋也³・藤本雅信⁴・嘉田 功⁵・川田健人⁶
Kengo OSADA, Nobuaki HAMAI, Tomoya AOKI, Masanobu FUJIMOTO, Isao KADA
and Hayato KAWATA

¹正会員 博士(工学) 阿南工業高等専門学校准教授 創造技術工学科
(〒774-0017 徳島県阿南市見能林町青木265)

²正会員 博士(工学) 前国土交通省四国地方整備局那賀川河川事務所 調査課係長
(〒774-0011 徳島県阿南市領家町室ノ内390)

³非会員 修士(工学) 国土交通省四国地方整備局那賀川河川事務所 管理課専門官(同上)

⁴非会員 国土交通省四国地方整備局那賀川河川事務所 調査課長(同上)

⁵非会員 前国土交通省四国地方整備局那賀川河川事務所 所長(同上)

⁶非会員 元阿南工業高等専門学校 建設システム工学科(同上)

It is necessary to develop a method for efficient management to reduce the vegetation on the alternate bar in the Naka River with gravel-bed. In this study, the conditions needed to reduce the vegetation have been researched focused on the sandbar of 9km section which has few vegetation by using the two-dimensional flood flow and riverbed variation analysis. The authors have elucidated that it is important for not growing to design river width and cross sectional form with riverbed disturbance by the small-scale flood on an annual basis. Three improvement plans to reduce the vegetation were proposed to the sandbar of 8km section with large amount of vegetation. The authors showed that the third plan considering the flood plain used by inhabitants in addition to improvement of river width and cross sectional form is the efficient way to vegetation management in the alternate bar.

Key Words : *alternate bar, vegetation, river width and cross sectional form, numerical analysis*

1. はじめに

那賀川下流の交互砂州区間では、洪水流を阻害する植生の繁茂領域が経年的に拡大し、滞り筋部では洪水流の集中による深掘れが問題となっている。那賀川交互砂州の植生群の繁茂プロセスは、堤防側から徐々に草本・樹木が侵入してくる形態であり¹⁾、近年、繁茂した植生の軽減策として、植生繁茂が顕著に見られる5k~8kの2つの砂州を対象に伐採及び伐根による対策が実施されている。しかし、植生が繁茂する箇所は滞り筋からの比高が大きいいため、中小規模の洪水では河床かく乱が生じず、植生は短期間で伐採前に近い状態に復元し、繰り返し伐採を実施する必要があるため対策の効果が十分に出ていない。一方、洪水流が集中する滞り筋部では、度重なる出水により水制

工や護岸工が被災し、補修対策が必要な状況となっている。これらの対策を繰り返し行うには膨大な費用が掛かるため、効率的に植生を管理でき、かつ滞り筋部に洪水流を集中させない状況を創出する手法が必要となる。

一方、植生の伐採・伐根が実施されている8k砂州の直上流に位置する那賀川9k左岸の砂州では、経年的に見てほとんど植生の繁茂が見られない。著者らは、この砂州でなぜ植生が繁茂しないかを見出し、それをヒントに効率的な植生対策を立案できないかと考えた。この砂州では、草本の定着もほとんど見られないことから、洪水流によって毎年のように河床表層がかく乱されていることが考えられるが、しっかりとした対策を立案するためには、植生が繁茂しない断面形状や河道状態などの条件を十分な検討の上で明らかにする必要がある。

本研究では、那賀川の現河道における洪水時の流れ、

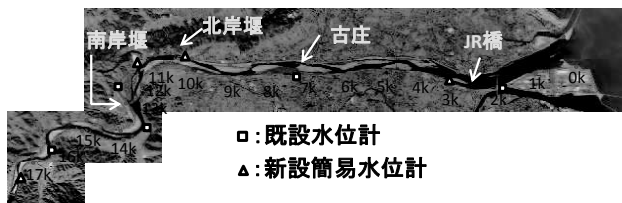


図-1 那賀川下流の交互砂州と水位計の設置位置

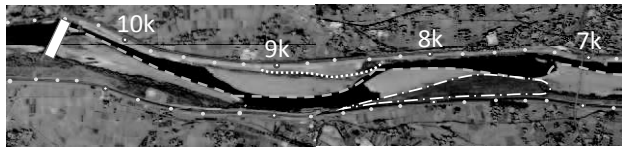


図-2 植生伐採を行っている砂州と9k左岸砂州の関係
(写真は伐採前の状況)



写真-1 8k砂州（伐採前）と9k砂州の高水敷の状況

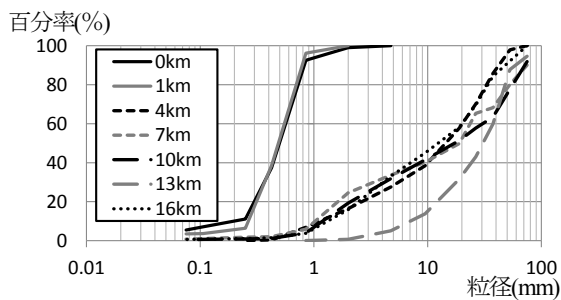


図-3 那賀川下流の粒度分布

土砂移動を精度よく把握するため、図-1に示す4箇所にて新設水位計を設置し、詳細な水面形観測が行える体制を整えた。この観測体制で水面形が得られたH25年9月洪水（毎年生じる規模）を対象に洪水流・土砂移動解析を実施する。この洪水規模において9k左岸砂州と8k右岸砂州で流れと土砂移動にどのような違いがあるかを検討し、植生が繁茂しないための断面形状や河道状態などの条件を整理する。次に、その条件をもとに植生伐採を実施している8k砂州の対策案を3ケース設定し、大中小の各洪水規模で解析を行い、どのような河道状況であれば、治水問題がなく植生が繁茂しない条件に一致するかについて検討を行う。

2. H25年9月洪水の再現計算と植生繁茂を軽減するための条件の抽出

(1) 検討対象区間の河道状況と解析方法

図-2に、検討対象となる植生の繁茂が見られない9k左岸砂州（以下9k砂州と記載）と植生の伐採を行っている

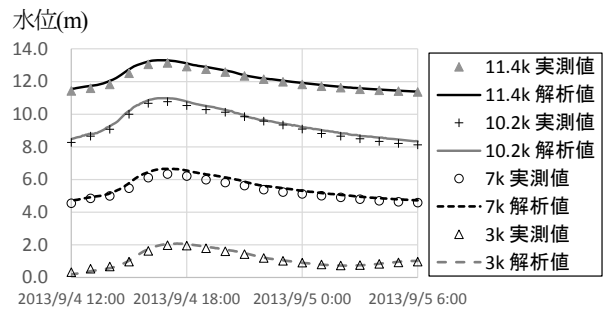


図-4 水位ハイドログラフの実測値と解析値の比較

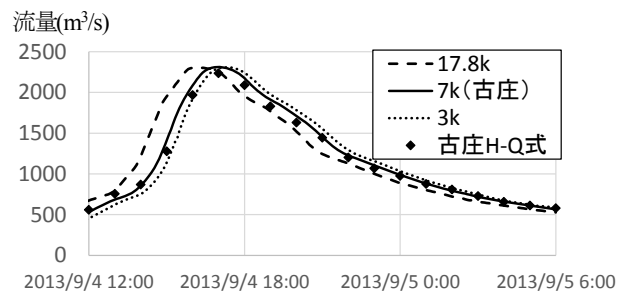


図-5 流量ハイドログラフの実測値と解析値の比較

8k右岸砂州（以下8k砂州と記載）の河道状況を示す。8k砂州の一点鎖線で囲われた区域が植生の伐採・伐根を実施している箇所（以下、植生伐採領域と記載）である。また、9k砂州の細かい点線で示された領域は、グラウンド利用されている高水敷である。写真-1に、8k砂州と9k砂州の比高が高い箇所の状況を示す。8k砂州は、草本や樹木類が多く繁茂していたことで、住民が近寄り難く、利用されることもほとんどない状況である。一方、9k砂州は、左岸側堤内地には住民が利用できるグラウンドが無いことから、高水敷をグラウンドとして利用するために住民により積極的に管理され、常に写真-1右のような芝生の状態が保たれている。また、高水敷から砂州・水際へ入りやすいことから、8k砂州に比べ親水性が高い砂州と言える。このような状況の異なる2つの砂州において、洪水中にどのような流れ・土砂移動が生じ植生繁茂にどのような影響を与えるかを検討するために、毎年生じる小規模洪水であるH25年9月洪水（ピーク流量2300m³/s程度）を対象とした解析を行った。

解析対象区間は、図-1に示す河口から18kmまでの区間である。洪水流解析は、河道線形を捉えられるように一般座標系平面二次元洪水流解析法を用いた。解析に与えた粗度係数は、水位・流量が再現できる値として植生伐採領域を含む全領域で0.03の一定値を与えた。土砂移動解析は、図-3に示す那賀川下流区間の粒度分布を見ると、礫や砂が主な河床材料であることから、混合粒径の解析に一般に用いられる平野の式²⁾と芦田・道上式³⁾を用いた。図-3に示すように、検討対象の砂州付近（7k, 10k）では、平均粒径が20mm程度、D80粒径が60mm程度となる。解析では60mm, 20mm, 7mm, 2mm, 0.6mmの5粒径を用いて図-3の粒度分布を表現し、解析を行った。

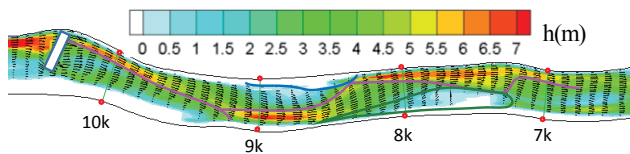


図-6 ピーク流量時の流速分布と水深分布

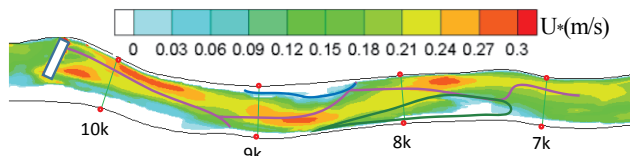


図-7 ピーク流量時の摩擦速度分布

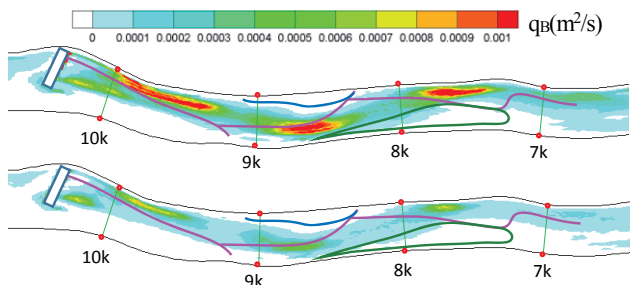


図-8 ピーク流量時の流砂量(上: 20mm, 下: 60mm)

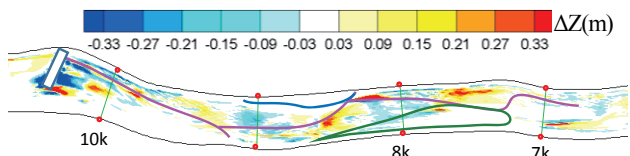
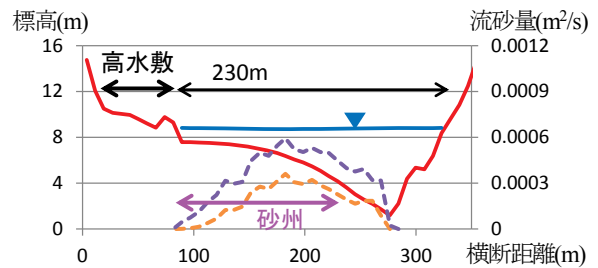


図-9 洪水後河床変動量

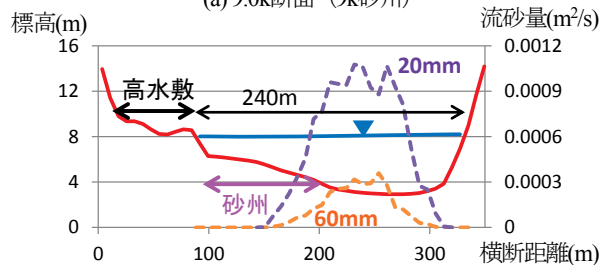
(2) 解析結果と植生繁茂の軽減に必要な条件の抽出

図-4に、水位ハイドログラフの実測値と解析値の比較を示す。水位ハイドログラフの比較は、9k付近の4箇所の観測所のみ掲載している。結果を見ると、7kの古庄観測所で解析値が実測値よりも全体的に高い傾向となった。古庄観測所の水位計は、多くの橋脚を有する那賀川橋の橋脚背面に設置され、実測値には橋脚の影響が出ているが、解析ではこの状況を再現できなかった。その他の箇所では、解析値は実測値を概ね再現できている。図-5には、流量ハイドログラフ実測値と解析値の比較を示す。黒のプロットが7k古庄観測所の実測値を現しており、黒実線で示す解析値は実測値を再現できている。

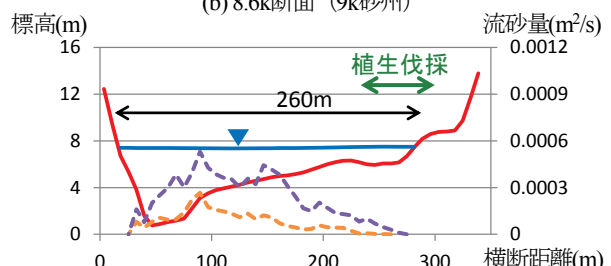
図-6、図-7に、7k～10k区間におけるピーク流量時の水深・流速分布と摩擦速度分布を示す。9k砂州では、高水敷に洪水流が乗らないことで、高水敷前面の砂州上においても速い流速と大きな摩擦速度が生じる。一方、8k砂州では、植生伐採領域への洪水流の浸入はわずかで、大きな摩擦速度が見られるのは対岸の狭い滞り筋部だけである。図-8に、ピーク流量時の平均粒径(20mm)とD80粒径(60mm)の流砂量を、図-9には、洪水後の河床変動量を示す。また、図-10に、9k砂州と8k砂州の代表的な横断面形状と、ピーク流量時の水面および20mmと60mmの流砂量分布を示す。9k砂州では、滞り筋部に土砂移動が集中するのではなく、図-10の9k断面に示すよう



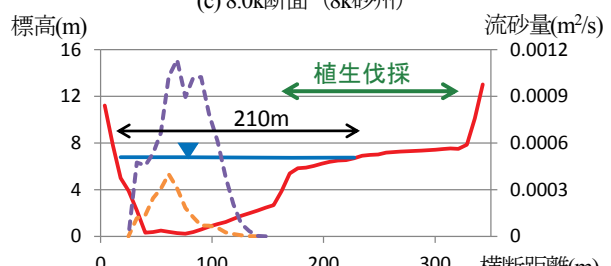
(a) 9.0k断面 (9k砂州)



(b) 8.6k断面 (9k砂州)



(c) 8.0k断面 (8k砂州)



(d) 7.6k断面 (8k砂州)

図-10 横断面で見た9k砂州と8k砂州の違い

に砂州を含む河道中央付近の土砂移動が活発である。砂州上ではD80粒径も活発に移動し、砂州の広い領域で河床変動が生じている。河床表層のD80粒径は河床の安定に寄与することから、これらが移動することで河床表層のかく乱が生じると考えられる。また、9k砂州の特徴として、図-10の9.0k、8.6kを見ると水面幅が230m程度ではほぼ一定であることが分かる。高水敷により、適度に水面幅が狭められたことで、年1回生じる洪水規模で砂州の河床表層が適度にかく乱される状況が創出されていると考えられる。9k砂州では、ツルヨシが一部確認できる箇所もあるが、これらが定着・拡大しないのは、D80粒径の移動によりほとんどが根ごと流出していると考えられる。また、高水敷が写真-1右のように住民により常に管理・利用されていることで、堤防側の草本の侵入から始まる植生繁茂の過程が抑制されていると考えられる。一方、8k砂州を見ると、8k断面では水面幅が広いので、植生伐採領域および砂州部での土砂移動が少なく、7.6k

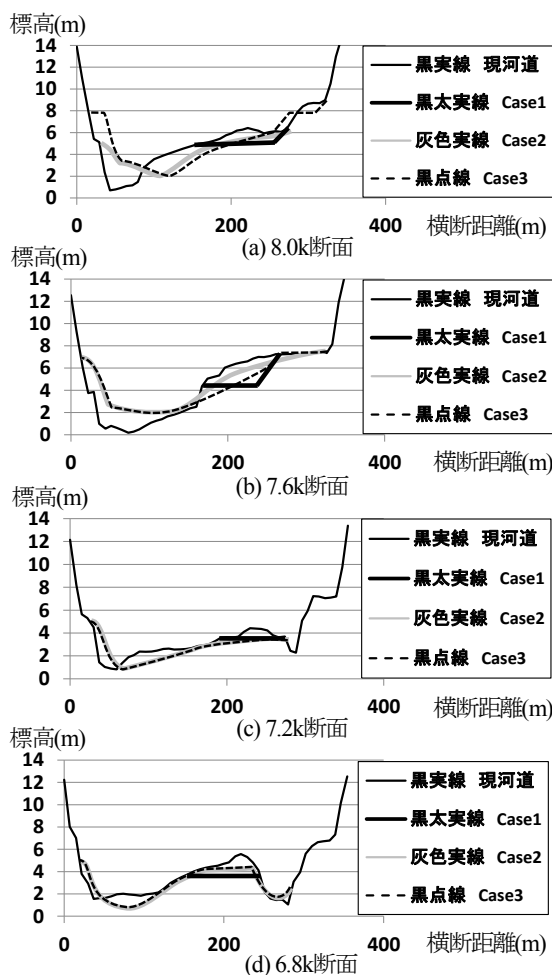


図-11 8k砂州の植生軽減に向けた対策案

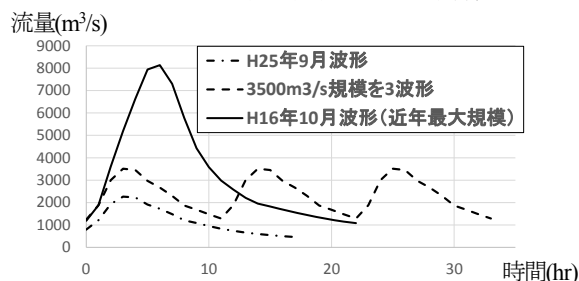


図-12 検討に用いた流量ハイドログラフ

断面は対岸の狭い滞筋部のみに土砂移動が集中する。8k砂州は、年1回生じる洪水規模において、植生伐採領域および砂州部の河床かく乱がほとんど生じないことから、堤防側から侵入してくる植生群を抑制することが出来ないと考えられる。

植生が繁茂していない9k砂州は、高水敷により水面幅が適度に狭められたことで、年に1回生じる小規模洪水により植生を効率的に軽減できていると考えられる。また、9k砂州の断面形状は、7.6kのように洪水流量が集中する狭く深い低水路形状ではなく、水位の上昇とともに徐々に水面幅が広がる船底型⁹⁾に近い断面形状であり、流量の偏りが少なく治水からみても望ましい形状といえる。植生を効率的に管理し、治水上も望ましい状況とするためには、年1回生じる洪水規模で砂州上のD80粒

径を適度に移動させ河床表層がかく乱される川幅に設定すること、流量が偏らない船底型に近い断面形状に設定することが重要といえる。さらに、住民が高水敷を適切に管理・利用することが、堤防側からの植生侵入を抑制し、植生繁茂を軽減する大きな要因となっており、治水・環境の両面に良い効果をもたらしている事例であると考えられる。以下では、上述の検討により得られた植生繁茂を軽減するための断面形状の条件や高水敷の利用を踏まえ、8k砂州に対し、いくつかの対策案を設定し、その治水面も踏まえた対策の有効性について検討する。

3. 8k砂州の植生軽減に向けた対策案の検討

(1) 植生軽減に向けた対策案の設定

9k砂州の断面形状および高水敷利用状況をヒントに、植生が繁茂しやすい8k砂州に対し、図-11に示す3ケースの断面改修による対策案を設定した。Case1は、砂州を各断面の平均河床高まで切り下げ、植生伐採領域と滞筋部との比高を小さくし、植生伐採領域に洪水流が乗るようにした案である。8kや7.6kにおいては川幅と右岸堤防の治水面を意識し、堤防に近い箇所は切り下げを行わず比高の高い砂州を残した。Case2は、縦断的な滞筋線形と船底型断面形状を意識し、砂州を切り下げるとともに対岸滞筋部を埋め戻し、滞筋が河道中央へ寄るようにした案である。左岸への洪水流の集中が緩和され治水上の効果はCase1に比して高いと考えられるが、滞筋を埋め戻すため、これまで形成されてきた魚類等の生息環境への配慮が必要であることから、十分な検討が必要であり、時間と費用を要すると考えられる。Case3は、Case2に加え7.2～8.2k右岸側に高水敷を設定し、住民に利用されることを前提とした断面形状とした。Case3の河道状況は、9k砂州の川幅・断面形状とほぼ同じ条件となっている。

上述の3ケースの対策案に対し、大中小の各洪水規模の解析を行い、植生軽減対策としての効果を検討するとともに、河床洗掘など治水上の問題の有無について検討を行った。図-12に、検討に用いた3パターンの流量ハイドログラフを示す。一点鎖線はH25年9月洪水波形であり、各ケースに対し毎年生じる小規模洪水において植生軽減対策としての効果を検討する。治水上の問題の有無については、2年に1回生じる洪水規模(H25年9月洪水波形を3500m³/sに引き伸ばし)を3波形と、近年最大規模であるH16年10月洪水(ピーク流量8100m³/s)の2パターンで洪水流・河床変動解析を実施し、検討を行った。

(2) 小洪水規模による植生軽減効果の検討

図-13～図-15に、H25年9月洪水波形を各ケースに与えた場合の洪水流・河床変動解析の結果を示す。図-13のCase1と図-6を比較すると、植生伐採領域での水深・流速が増大し、左岸側への流量集中が若干緩和されるこ

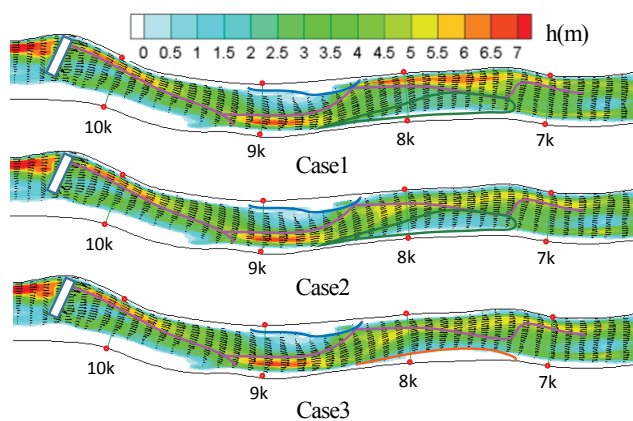


図-13 各Caseにおけるピーク流量時の水深・流速分布

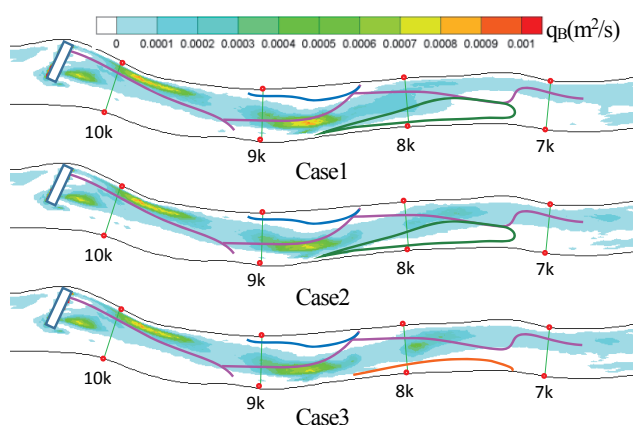


図-14 各Caseにおけるピーク流量時の流砂量（粒径60mm）

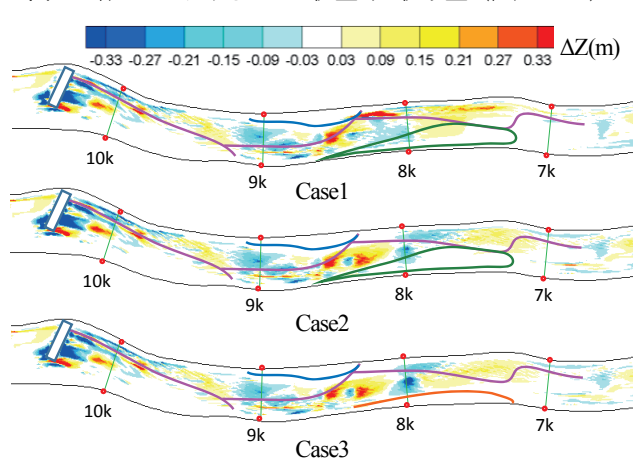


図-15 各Caseにおける洪水後河床変動量

とが分かる。Case1の土砂移動量（図-14）を見ると、左岸滞筋部での土砂移動量が減少し、植生伐採領域での移動量が増加している。河床変動量（図-15）も、植生伐採領域で図-9の現河道の結果に比して河床変動量が大きくなり、滞筋部も若干埋戻される結果となった。しかし、植生伐採領域ではD80粒径が移動していない箇所が多く、河床変動も生じない箇所が残る。このかく乱を受けない箇所から植生が侵入し、結果的に植生域の拡大が生じると考えられる。また、9k断面に比べ砂州部のD80粒径の移動は少なく、砂州部の河床表層のかく乱による植生繁茂の軽減は、9k砂州ほどは期待できない。植生対策の第一段階として想定される案であるが、それ以降の

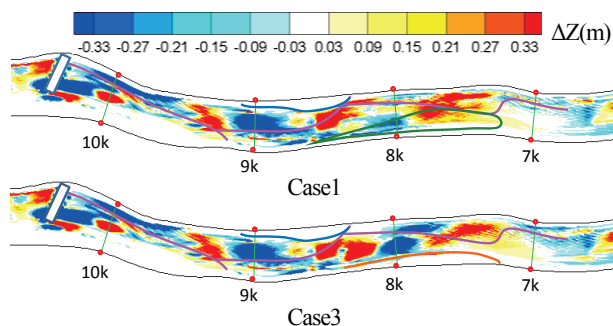


図-16 3500m³/sを3波形与えた場合の洪水後河床変動量

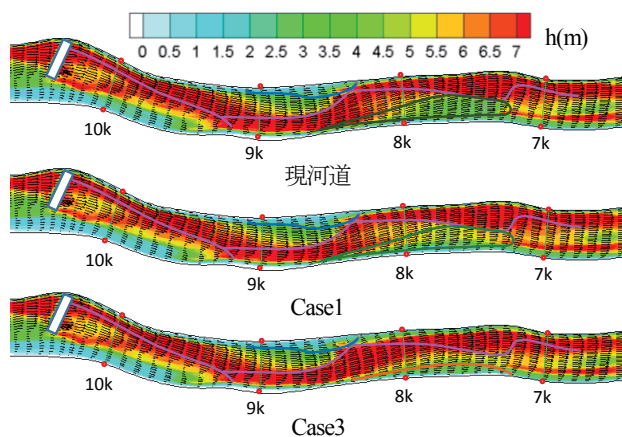


図-17 ピーク流量時（8100m³/s）の水深-流速分布

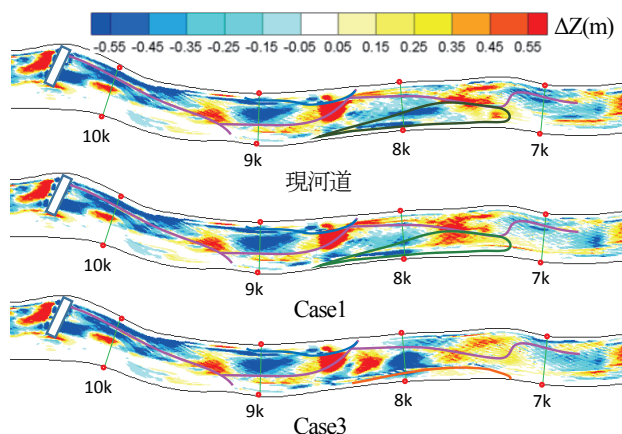


図-18 H16年10月洪水波形による洪水後河床変動量

継続した対策が必要になると考えられる。

次に、Case2の結果を見ると、図-13に示す流況は、流路線形の是正および船底型断面形状への改修により左岸側の高流速域はなくなり、滞筋が河道中央部に形成されている。しかし、植生伐採領域および砂州部での土砂移動量は少なく、河床変動もほとんど生じない結果となった。Case1, Case2のように河道断面形状を是正するだけでは、植生繁茂の軽減に対し、十分な効果が得られないことが明らかとなった。

9k砂州の状況に最も近いCase3の結果について考察する。図-13に示す流況を見ると、右岸側に設定した高水敷には洪水流が乗らず、高水敷により適度に川幅が狭められたことで、高水敷前面の砂州上の流速が上昇した。

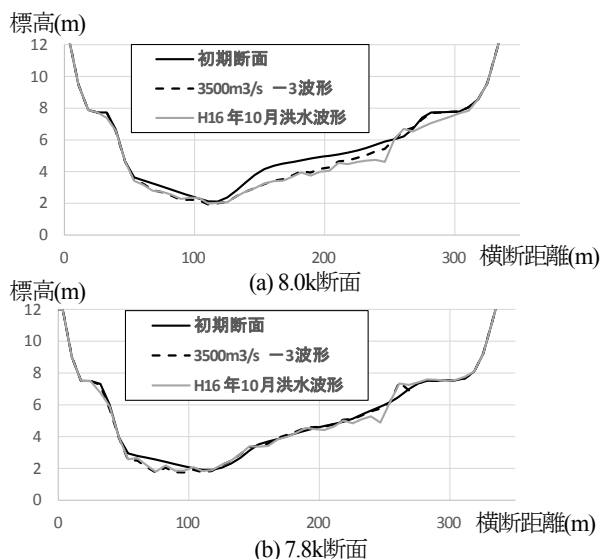


図-19 Case3の8kおよび7.8k断面の河床変動

土砂移動結果(図-14, 図-15)を見ると, 砂州上のD80粒径の移動量は他のケースより活発になり, 9k砂州の砂州上の移動量に近づいた。D80粒径が移動すれば, 砂州の河床表層がかく乱され, 9k砂州のように植生繁茂を効率的に軽減できると考えられる。また, 高水敷からの植生の侵入を防ぐことが繁茂拡大を防ぐ上で重要であり, この軽減策を実現するためには, 高水敷および砂州を住民に適度に利用してもらえる仕組みづくりが必要となる。

(3) 大・中規模洪水を対象とした治水上の問題点の検討

設定した対策案で治水上の問題が生じないかについて, Case1とCase3を対象に検討を実施した。図-16は, ピーク流量3500m³/s規模(2年に1度の頻度)を3波形与えた場合の通水後の河床変動量を示す。Case1では, 8k付近の左岸側では大きな河床洗掘は見られないが, 右岸側の河岸際で洗掘が生じ, Case3では, 7.6k~8kの左岸側で河床洗掘が生じる。また, 7k左岸が水衝部となるため, 若干の河床洗掘が生じる。次に, ピーク流量が8100m³/sの大規模洪水を与えた解析結果について考察する。図-17は, ピーク流量時の水深・流速分布を示し, 図-18は, 洪水後の河床変動量を示す。Case1では, 図-17の流況を見ると, 現河道に比べ砂州を切り下げた分, 左岸側に集中する洪水流が緩和されていることが分かる。図-18の河床変動量を見ると, Case1では左岸滞筋部が堆積傾向となり, 左岸側の安全性は高まると考えられるが, 右岸河岸際においては3500m³/sと同様な河床洗掘が生じる。切り下げによる対策を実施する場合には, 右岸の河岸際を巨石で保護⁷⁾するなど, 河岸保護対策が必要と考えられる。Case3の河床変動結果(図-18)を見ると, Case1で生じていた右岸河岸際の洗掘は発生せず, 高水敷前面の砂州が移動する状況となる。しかし, 3500m³/sの検討と同様, 7k左岸が水衝部となり河床洗掘が生じる。図-19にCase3の8kおよび7.8kの横断形状変化を示す。左岸

側の滞筋部が洗掘を受け, 8100m³/sの検討では高水敷が削られている。このような洗掘が懸念される箇所に対しては, 上述と同様, 巨石などを用いて河床・河岸を保護する必要があると考えられる。7k左岸に対しても, 巨石付き盛土砂州^{7) 8)}などを施し, 河岸を保護すれば安全性を確保できると考えられる。

4. 結論

那賀川交互砂州河道において植生の効率的な管理策を見出すため, 植生が繁茂しない9k砂州の特徴を解析により明らかにした。年に一度生じる規模の洪水で河床表層が適度にかく乱されることが重要で, それが生じる川幅に保つことが必要であることを示した。また, 住民による高水敷の利用が, 植生繁茂の軽減とともに治水面にも大きな効果をもたらしていることを示した。これらの条件をもとに, 植生伐採を実施している砂州において3ケースの対策案を検討した。その結果, 川幅や断面形状を9k砂州に近づけ, 高水敷利用の条件を課せば, 植生対策としての効果が高く, また治水上も現状の狭く深い滞筋が改善されることが明らかとなった。ただし, これらの対策案は, 河道断面形状を大きく改修することになるため, これまで築かれてきた滞筋部の魚類の生息環境や希少植物への配慮が必要であり, 十分な検討の上で実施することが重要となる。

参考文献

- 1) 湯城豊勝, 岡部健士, 鎌田磨人, 郡麻里, 西野賢太郎: 那賀川下流における樹木群落成立とその水理学的影響, 水工学論文集, Vol.44, pp.843-848, 2000.
- 2) 平野宗夫: Armoringを伴う河床低下について, 土木学会論文報告集, 第195号, pp.55-65, 1971.
- 3) 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.59-69, 1972.
- 4) 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.
- 5) 福岡捷二: 温暖化に対する河川の適応技術のあり方ー治水と環境の調和した多自然川づくりの普遍化に向けて, 土木学会論文集F, Vol.66, No.4, pp.471-489, 2010.
- 6) 藤本昌利, 大熊義史, 畠中泰彦, 福岡捷二: 急流河川における高水敷上の自然段差を利用した堤防侵食対策工法の検討, 河川技術論文集, Vol.16, pp.413-418, 2010.
- 7) 長田健吾, 福岡捷二, 氏家清彦: 急流河川における砂州を活かした治水と環境の調和した河道計画, 河川技術論文集, Vol.18, pp.227-232, 2012.
- 8) 小池田真介, 石井陽, 岩井久, 石川俊之, 福岡捷二: 水衝部対策を施工した砂州による自然性の高い河岸防護工の創出, 河川技術論文集, Vol.18, pp.233-238, 2012.

(2014. 4. 3受付)