## 四万十川における流下能力確保とスジアオノリの 生育環境創出を両立させる砂州掘削方法の検討 INVESTIGATION OF RIVER IMPROVEMENT METHOD FOR SECURING DISCHARGE CAPACITY AND CREATING A HABITAT OF ENTEROMORPHA PROLIFERA IN THE DOWNSTREAM OF THE SHIMANTO RIVER

岡田 将治<sup>1</sup>・中平 歩<sup>2</sup>・張 浩<sup>3</sup>・松岡 直明<sup>4</sup> Shoji OKADA, Ayumi NAKAHIRA, Hao ZHANG and Naoaki MATSUOKA

 <sup>1</sup>正会員 博士(工学) 高知工業高等専門学校 准教授 ソーシャルデザイン工学科 (〒783-8508 高知県南国市物部乙200-1)
<sup>2</sup>正会員 学士(工学) いであ(株) 大阪支社 水圏部 (〒559-8519 大阪市住之江区南港北1-24-22)
<sup>3</sup>正会員 博士(工学) 高知大学 准教授 教育研究部自然科学系農学部門 (〒783-8502 高知県南国市物部乙200)
<sup>4</sup>学生会員 準学士(工学) 高知工業高等専門学校専攻科 建設工学専攻 (〒783-8508 高知県南国市物部乙200-1)

Recently, the lack of discharge capacity due to sediment deposition and reduction of crop yields of natural Enteromorpha prolifera become problems in the downstream area of Shimanto River. After the riverbed was dredged to be suitable for the growth of the Enteromopha prolifera in the section where discharge capacity was insufficient, new vegetation area was observed.

To examine the dredging method, in this study, we constructed a riverbed variation analysis model that reproduces the flow and the sediment dynamics of the actual flooding. Moreover, it was confirmed that river bed fluctuation did not occur in the entire river channel at the average annual maximum discharge of 6000m<sup>3</sup>/s, and no sediment deposition occurred at the dredge site. By using the riverbed variation analysis model constructed in this re-search, we could propose effective dredge method of sandbar which can secure the discharge capacity and enable creation of Enteromorpha prolifera growing environment.

Key Words : Enteromorpha prolifera, Sandbar excavation, Growth ground creation

#### 1. 序論

高知県西部を流れる一級河川四万十川の河口より4km から6kmの区間では,近年河床が堆積傾向にあるため, 計画流量に対する流下断面が不足し,治水上の課題と なっている.さらに,近年同区間に生育する全国的にも 希少な天然スジアオノリの収穫量が激減し,深刻な問題 となっている.また,四万十川直轄管理区間(河口~ 13.4km)では,昭和41年から昭和56年の期間に約350万㎡, 県が管理する指定区間では13.4kmから源流点までの区間 で計7地点(梼原町1地点,中土佐町1地点,四万十町3地 点,四万十市2地点)において昭和43年から平成7年の期 間までに約560万㎡の砂利が採取されている<sup>1)</sup>.近年では, 砂利採取による下流域への土砂供給量の変化と河床高お よび河床形状への影響が懸念されている.

著者ら<sup>2</sup>は,砂利採取が盛んにされていた期間と砂利 採取禁止後から平成24年までの直轄管理区間への流入土 砂量の推定から、砂利採取禁止後に流入土砂量が13倍 に増加していることを明らかにし、この増加が砂利採取 による影響の主要因であることが示した.また、砂利採 取禁止後からスジアオノリの生育できる河床高の範囲の 面積が減少しており、上流からの土砂供給量の変化がス ジアオノリの生育環境に影響を及ぼしている可能性が高 いことを指摘した.直轄管理区間の上流部では土砂が堆 積傾向にあり、直轄管理区間への土砂堆積の要因が砂利 採取禁止後からの土砂供給量の増加によるものと推察で きることから、今後この区間への土砂堆積が進行してく ると予想される.

そこで、四万十川を管理する国土交通省中村河川国道 事務所では、平成26年度と平成27年度には流下断面が不 足する区間において、それまでスジアオノリが繁茂して いなかった砂州の河床高を生育に適した高さ<sup>3)</sup>まで切り 下げることにより、流下能力を向上させつつ、新たな繁 茂域の形成が確認された. 今後、砂州の切り下げ範囲を



拡げ,治水だけでなく,生態環境にも配慮した河道改修 を進めていくためには,出水時の河床変動特性を把握し, 埋め戻しが生じにくい箇所および方法を選定することが 重要となる.

そこで、本研究では四万十川下流域における治水とス ジアオノリの生育環境創出を両立することのできる河道 改修方法を検討するために、出水時の流況および土砂動 態を再現する河床変動解析モデルを構築し、効果的な掘 削箇所および掘削方法について検討した.

## 2. 砂州の掘削によるスジアオノリの生育場創出 の試み

四万十川の河川管理者である国土交通省中村河川国道 事務所では、平成26年10月と平成27年11月に流下能力の 確保とスジアオノリの生育環境創出を目的として、河口 から5km付近の砂州の試験掘削を実施した. 試験掘削を実施する場所は、模型水路を用いた移動床 実験により再堆積が生じにくいと考えられる内岸砂州の 下流部(河口から4.6kmより上流の350m区間)とした.平 成26年度の掘削断面の形状は、図-1に示すように上下流 の連続性を確保して生態系を遮断しないように、大野ら <sup>3</sup>の調査結果に基づいたスジアオノリの生育に適した河 床高(T.P.-0.25~-1.75m)の上限値から下限値にかけて緩 勾配をつけて変化させた.その結果、図-3に示すように それまで繁茂していなかった区間に新たな繁茂域の形成 が確認された.また、平成27年度も冬季の繁茂期までに 河床変動が生じるような大きい規模の出水がなかったた め、平成26年度に掘削した区間に繁茂域が形成され、冬 季の収穫期には良好な漁場となった.

この成果から平成27年11月には掘削範囲を拡げ,繁茂 域の拡大を目指して,さらに上流250m区間で砂州掘削 を実施した.平成27年度には掘削方法の違いによる効果 を検証するため,図-2に示すように河積がなるべく大き



図-6UAV空中写真測量,GPS測深機およびLPデータ から作成した解析対象区間の河床形状

くなるようスジアオノリの生育に適した河床高の下限値 まで急勾配で掘削を行った.

その後、収穫期となった平成28年2月初旬の繁茂状況 の示したのが図-4である.平成26年の掘削方法では、岸 側から約30m区間で被度が51~100%に向上し、新しい収 穫場として連日川漁師で賑わっていた.一方、平成27年 の掘削方法では被度の変化はほとんど見られなかった. このことから、前者の掘削方法がスジアオノリの繁茂域 の拡大により効果的であることがわかった.

さらに、図-5に示すように掘削域において掘削前後の 河床高を想定した高さに水温・塩分計を設置し、25日間 連続計測を実施した.各地点における塩分の時間平均値 を求めると,掘削前の河床高0mでは13.6psuであったが, 掘削することにより掘削後の河床高-1.5mでは30.6psuと 高い値になっている.中間の河床高-0.74mでは21.6psu であった.著者ら4の現地調査結果によれば、スジアオ ノリの生育に適した塩分(25~30psu)となる時間帯の割合 が重要な指標となることから、砂州の掘削によって広い 範囲でスジアオノリの生育に適した塩分環境が形成され ていることが確認された.

以上より、スジアオノリの生育環境を考慮して河道改 修を行う際には、平成26年度に実施した緩勾配で掘削す る方法がより効果的であることがわかった.

## 3. 四万十川下流部における河床変動特性の把握 のための現地観測と河床変動解析

今後,砂州掘削により,流下能力を確保しつつ,スジ アオノリの生育環境創出を両立できる新たな掘削箇所の 設定や出水による掘削箇所の河床変動を把握するために は,四万十川下流部における出水時の流況および土砂動 態を再現することのできる河床変動解析モデルを構築す



図-7 出水時における観測体制

る必要がある.以下にそのための現地調査,洪水観測お よびそれらの結果に基づいた河床変動解析モデルの構築 について検討した.

#### (1) 河道地形測量および出水時の流況計測

従来,当該区間において河床変動解析を行う際の河道 モデルは,200m間隔で実施された定期横断測量結果の みで作成されており,出水前の最新の河床形状ではない ことや,合流部や湾曲部の河床形状の再現性が低いこと が課題となっていた.そこで,河床変動解析の精度向上 のため,出水前に山路砂州(河口より6.6kmから8.0km)お よび後川合流部砂州においてUAVを用いた写真測量を 実施した.さらに,出水前後には主にスジアオノリの生 育場とされている河口より4.0kmから8.0km区間を対象と して,GPS測探機を用いて水中部の詳細な地形測量を行 い,高水敷上の樹木が繁茂する区域ではレーザプロファ イラのグラウンドデータを加え,10m×10mグリッドの 詳細な河道モデルを作成した.

レーザプロファイラデータは、検討区間に設置されている河川構造物(大はね水制1基,水制28基)および後川 合流部の形状をより詳細に再現するために用いた.作成 した平成28年度の河道モデルを図-6に示す.

平成28年9月出水を対象として、図-7に示す検討区間 に設置した計10台の水位計で縦断水面形の時間変化を計 測し,洪水中の流況の再現性を検証するために、4台(不 破下流,山路,横堤,井沢)の河川管理用CCTVカメラ映 像を用いて,STIV画像解析から得られる表面流速分布 を推定した.

#### (2) 河床変動解析モデルの構築

平成27年9月19日から22日の期間に発生した洪水を対 象として,平面二次元河床変動解析を実施した.解析条



図-8 四万十川本川の縦断水面形の実測値と解析値の比較



図-10 平成28年9月出水前後の河床変動高(実測結果)



図-12 山路地点水位と気象庁中村観測所における 風向・風速(平成28年9月20日~21日)

件として、低水路、高水敷の粗度係数をそれぞれ0.030, 0.035とし、昭和62年に実施された河床材料調査結果か ら得られた低水路河床の粒度分布(Deoが35mm)を与えた. 河床変動解析の計算条件には、平成28年9月出水時の実 崎の水位データを下流端水位の境界条件とし、検討区間 にある本川4地点(不破、高速、山路、竹島)および支川2 地点(横堤、古津賀)の水位ハイドログラフを用いて本川 の具同(ピーク流量6000㎡/s)と支川の大用寺田(ピーク流 量1500㎡/s)の流量ハイドログラフを逆算した.図-8に実 測結果と解析結果の縦断水面形の時間変化を、図-9に逆 算した本川および支川後川の流量ハイドログラフを示す. 本川と支川の流量ピークは、前者が9月20日の17時頃、 後者は11時頃であり、本川のピーク時には支川からの流



図-9 逆算した本川と支川の上流端流量ハイドログラフ



図-11 平成28年9月出水前後の河床変動高(解析結果)



図-13 山路地点におけるSTIV法と二次元流況河床変動 解析から得られた横断流速分布の比較

入の影響はほとんどなかったことがわかる.

図-10,図-11に出水前後の河床高変動高について、それぞれ実測結果と解析結果を示す.

両者を比較すると、本川では河口より4.6kmから4.8km 区間と河口から5.0kmから5.4km区間で同様な河床変動が 見られ、概ね再現できている.一方、支川の後川では、 実測と解析結果ともに河床変動はほぼ見られなかった. なお、この出水の規模が年平均最大流量の6000m<sup>3</sup>/sで河 床変動が河道全体で生じる時間帯が短かったことから、 砂州を掘削した箇所では土砂堆積は見られなかった.そ の点では、本川の河道湾曲部の内岸砂州において掘削し た効果があったといえる.

# (3) 既設のCCTVカメラを用いたKU-STIV法による洪水流の計測と解析結果の検証

前節の河床変動解析結果の妥当性を検証するため、出水中に既設のCCTVカメラで撮影した動画を用いたSTIV 法により表面流速分布を算出し、解析結果と比較した.

解析モデルのメッシュ間隔に合わせて検査線を10m間 隔で設定し,既往の研究5を参考に,画像解析に用いる 映像の長さを20秒,検査線の長さを15mとした.また, 流速解析後の流速線のマニュアル補正に加えて,風 による影響を考慮するため,CCTVカメラの近くに 設置されている気象庁中村観測所の風向風速データ を式(1)の土研式6に適用して画像解析から得られる 表面流速分布の風速補正を行った.

$$U = U_{obs.} - U_{wind} \times 0.074 \tag{1}$$

ここに, *U*<sub>obs</sub>: KU-STIV法により得られた表面流速 (m/s), *U*<sub>wind</sub>: 流下方向成分の風速(m/s), 現地観測結果の 計算に用いる補正係数は0.074としている.

図-12に山路の出水中の水位と中村観測所で計測され た風向風速の時系列を示す.9月20日9時の風速は7.1m/s と非常に大きく、CCTVカメラが雨風の影響を大きく受 けたため、画像解析が困難であったが、幸い水位上昇期 からピーク付近の時間帯には風も弱まり、表面流速の算 出が問題なく行うことができた.

図-13に山路地点における断面形状と河床変動解析 結果から得られる平均流速,画像解析から得られる 表面流速に0.85をかけた平均流速値を示す.両者を 比較すると.各時刻の流速分布が同様であり,本解 析モデルで流況を再現できていることが確認できた. また,STIV法ではCCTVカメラから約250m離れた地 点までの表面流速が得られ,主流部全体の流況が把 握できることを確認した.また,他の3地点について も画像解析結果から得られた表面流速分布が河床変動解 析結果の流速と概ね一致することが確認できた.

## 4. 大規模出水時における河床変動予測と掘削箇 所の妥当性の考察

平成26年および27年に試験的に行われた砂州の掘削に際しては、一般的に河床変動が生じにくい河道弯曲部の内岸下流にあること、模型移動床水路の実験結果から実施箇所が選定された.結果的に平成28年度のピーク流量が6000m<sup>3</sup>/sの中小規模の出水では維持できたことから、掘削箇所としては妥当であったといえる.

しかしながら,近年では3,4年に1回程度ピーク流量 10,000m<sup>3</sup>/sの出水が発生しており,図-14に示すように, 平成26年8月出水の規模は,本研究で解析対象とした平 成28年9月出水と比較すると,河床変動が生じ始める 2000m<sup>3</sup>/sを超える洪水継続時間が3倍長くなっている.



図-14 平成28年9月出水と平成26年8月出水時における 推定流量ハイドログラフの比較(9.5km具同地点)



図-15 10000m<sup>3</sup>/s規模の出水後の河床変動高(解析結果)



図-16 四万十川(5.0-7.4km)現況河道の流下能力

そこで,3章で構築した河床変動解析モデルを用いて大 規模出水時の河床変動高を計算し,掘削箇所の再堆積の 可能性を検討した.

図-15に平成26年8月出水が生じた場合の河床変動高コ ンターを示す.試験掘削を実施した箇所に顕著な堆 積は生じていないものの,上流側の砂州が徐々に前 進し,堆積傾向が確認できることから,今後この規 模の出水が数回発生すれば,掘削域が再堆積する可 能性が高い.つぎに,平成26年および27年度の砂州 の試験掘削後の現況河道の流下能力図を図-16に示 す.不破地区の堤防整備による効果を除き,5.0km から6.4kmの区間においては,流下能力は平均 300m<sup>3</sup>/s程度向上しているものの,計画高水流量に 対して1000m<sup>3</sup>/s以上不足する区間もあるため,大規 模出水時における河床変動解析モデルの再現性の検 証も含め,効率的に管理ができる適切な河道掘削箇 所の検討が今後必要である.

### 5. 結論

四万十川下流域における治水および生育環境創出を両 立することができる河道改修方法を検討するために、出 水時の流況・土砂動態を再現する河床変動解析モデルを 構築し、効果的な掘削箇所および掘削方法について検討 した.本論文で明らかとなった点は以下のとおりである.

- 平成26年度、平成27年度に試験的に実施した砂州の 掘削により、新たなスジアオノリの生育場の形成が 確認された.また、繁茂分布調査および水質調査を 実施した結果、掘削断面の形状は平成26年度の緩勾 配で掘削するのがより効果的であることがわかった.
- 2) 出水前後にUAVを用いた空中写真測量およびGPS測 探機およびVRS-GPSを用いた水面下の地形測量を組 み合わせることにより、支川の後川を含む四万十川 の詳細な河道地形モデルを作成でき、洪水時の水位、 流速、河床高変動高を概ね再現できる河床変動解析 モデルを構築した。
- 3) 平成28年9月に発生した年平均最大流量6000m<sup>3</sup>/s規模の出水では、継続時間も短かったため、河道全体で河床変動が生じず、掘削箇所では土砂堆積が起こらないことを確認でき、移動床水路実験<sup>2)</sup>より得られた河道湾曲部の内岸砂州を掘削する方法は妥当であった。
- 4) 近年3,4年に1回発生しているピーク流量10000㎡/s 規模の出水を対象として河床変動解析を実施した結果,1回の出水では掘削箇所への土砂堆積は生じず, スジアオノリの生育に適した環境を維持できる可能 性が高いことがわかった.
- 5) 平成26年,27年に実施した砂州の掘削によって,当 該区間の流下能力は300m<sup>3</sup>/s程度向上した.計画高

水流量に対して1000m3/s以上不足する区間もあるた め、今後は、さらに規模の大きい出水を対象として モデルの有効性を検証するとともに、河道管理の観 点から土砂の堆積が生じにくい河道平面形、横断面 形の検討、河道改修の方法とその後の再堆積期間か ら費用対効果を総合的に評価し、効果的な手法につ いて検討・提案していく予定である.

謝辞:本研究は、国土交通省河川砂防技術研究開発(地 域課題)「四万十川における治水とスジアオノリの生育 環境創出を両立させる河道管理技術の構築」(代表:岡 田将治)の一環として実施した.国土交通省四国地方整 備局中村河川国道事務所には、データ提供、現地調査の 実施にあたりご協力をいただいた.ここに記して謝意を 表する.

#### 参考文献

- 国土交通省中村河川国道事務所:平成25年度四万十川河床変 動検討業務報告書,平成26年3月.
- 2) 中平歩,岡田将治,張浩:土砂供給量の変化が四万十川下流の河床形状とスジアオノリの生育環境に及ぼす影響,土木学会論文集B1(水工学), Vol73, No.4, I\_1087-I\_1092, 2017.
- 大野正夫,水谷里香,田井野清也,高橋勇夫:四万十川に生息するスジアオノリの生態,高知大学海洋生物研報, No.19, pp.27-35,1999.
- 4) 岡田将治:四万十川スジアオノリの成育環境保全を考慮した 河道管理技術に関する基礎的研究,平成22年度河川整備基 金助成事業報告書.
- 5) 岩見洋一・萬矢敦啓・本永良樹・藤田一郎:非接触型流速計 による河川の流量観測,河川流量観測の新時代,第4巻, pp.29-38,2014.
- 6) 国立研究開発法人土木研究所:流量観測の高度化マニュアル Appendix D-II, D-II\_20-21, 2016.

(2017.4.3受付)