

四万十川と後川合流部における 土砂堆積軽減策に関する研究

STUDY ON THE RIVER IMPROVEMENT METHOD FOR THE REDUCTION OF SEDIMENT DEPOSITION IN THE CONFLUENCE OF THE SHIMANTO RIVER AND THE UHIRO RIVER

岡田将治¹・吉川和宏²・張 浩³

Shoji OKADA, Kazuhiro YOSHIKAWA and Hao ZHANG

¹正会員 博士(工学) 高知工業高等専門学校 ソーシャルデザイン工学科 准教授
(〒783-8508 高知県南国市物部乙200番1)

²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番1)

³正会員 博士(工学) 高知大学防災推進センター 准教授 (〒783-8502 高知県南国市物部乙200)

Recently, the lack of discharge capacity due to sediment deposition and reduction of crop yields of natural *Enteromorpha prolifera* become problems in from 5.0km to 6.0km from the Shimanto River estuary, confluence of the Ushiro River.

In this study, to mitigate the sediment deposition around the confluence point, we proposed the river improvement method that can control the sediment deposition and maintain by experiments using the movable bed and two-dimensional riverbed variation analysis. Authors clarified that the cause of sediment deposition is the longitudinal and cross-sectional change of tractive force occurring under the condition of 3,500 m³/s by two-dimensional riverbed variation analysis. And it was confirmed that improving the shape of the guide wall at the confluence point can reduce the deposit accumulation.

Key Words : *Enteromorpha prolifera, The river improvement method, Moving bed experiment*

1. 序論

近年、高知県西部を流れる一級河川四万十川の河口より5.0kmから6.0kmの区間、後川(支川)との合流部において土砂が堆積傾向にあり、計画高水流量14,000m³/sを流下させることができないため、治水上の課題となっている。さらに、この土砂堆積により近年同区間に生息する全国的にも希少な天然スジアオノリの生育に適した河床高の条件を満たす面積が減少し、深刻な問題となっている。

また、四万十川直轄管理区間(河口から13.4km)では、昭和41年から昭和56年の期間に約350m³、県が管理する指定区間では13.4kmから源流点までの区間において昭和43年から平成7年の期間までに約560m³の砂利が採取されている。昭和57年には直轄管理区間における砂利採取が禁止されており、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¹⁾。

著者ら²⁾は、砂利採取による直轄区間への流入土砂量の変化について、1次元河床変動解析により検討した結果、砂利採取が禁止された昭和57年から、流入土砂量が1.3倍に増加していることを明らかにした。さらに、砂利採取禁止後から下流域の土砂堆積傾向が強まり、スジアオノリの生育に適した河床高の条件を満たす面積が減少していることを示した。

河道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年度および27年度に、四万十川と後川合流部において、流下能力の向上とスジアオノリの生育環境創出を目的として、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スジアオノリの生育に適した高さまで切り下げる砂州の試験掘削を行った。その結果、流下能力の向上とスジアオノリの繁茂域の創出が確認された³⁾。

しかし、後川合流部では上流から流入してくる土砂により、河床掘削を行ったとしても、中規模以上の洪水により短期間に埋め戻しが起こることが懸念される。した

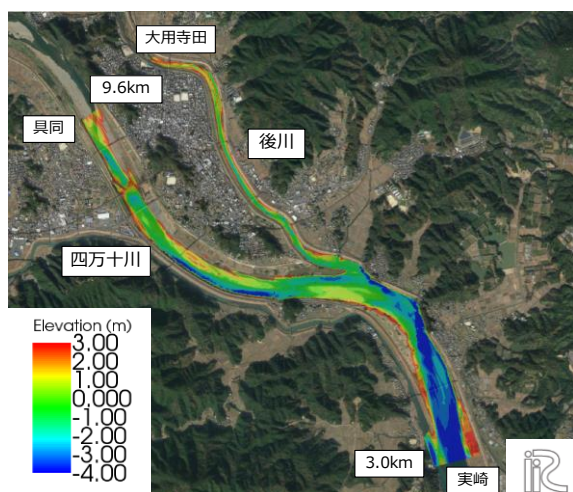


図-1 二次元河床変動解析に用いた河道地形モデル³⁾

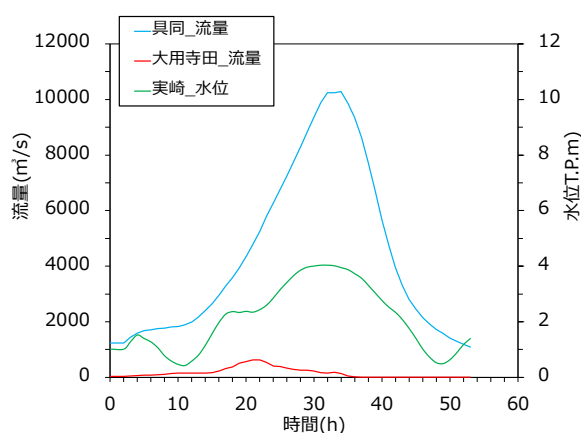


図-2 境界条件として与えた平成26年8月出水時の水位(実崎)・流量(本川：具同 支川：大用寺田)ハイドログラフ

がって、この区間における土砂堆積を軽減およびその状態を維持するために、従来の河床掘削にとらわれない改修方法を検討していくことが重要となる。

そこで本研究では、四万十川と後川合流部における土砂堆積を抑制できる低水路法線形および横断面形状の改修方法について、治水とスジアオノリの生育環境の保全・創出効果を四万十川下流部の実験水路による移動床実験と二次元河床変動解析により検討した。

2. 四万十川と後川合流部における土砂堆積要因の考察

はじめに、四万十川と後川合流部における土砂堆積の原因を明らかにするために、iRICソフトウェアのNays-2DHを用いて、四万十川河口3.0kmから9.6kmの区間を対象とした二次元河床変動を行い、各流量規模における(代表河床粒径36mmに対する)無次元掃流力分布、洪水後の河床変動高を考察した。河床変動解析には、既報³⁾の検討で使用した10m×10mグリッドの河道地形(図-1)を用いた。水面上の地形はUAVによる空中写真測量およびLPデータ、水面下の河床形状はGPS測深機を搭載したボートに



(a) 流量 4,000m³/s



(b) 流量 3,500m³/s



(c) 流量 3,000m³/s

図-3 平成28年河道で平成26年出水を再現した際の各流量規模における無次元掃流力の分布(赤色域は無次元掃流力が0.06を超える範囲)

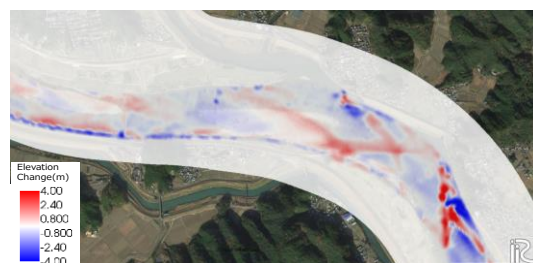


図-4 平成28年河道で平成26年8月出水を再現した際の洪水後の河床変動高コンター

より取得し、解析区間に設置されている大はねや水制群等の河川構造物を詳細に再現している。

河床変動解析の上流端境界条件には、図-2に示す平成26年8月出水(本川ピーク流量10,000m³/s、支川ピーク流量300m³/s)の流量ハイドログラフを与え、下流端境界条件には実崎の実測水位を与えた。既往の研究結果³⁾より、四万十川平均年最大流量6,000m³/s規模の出水では継続時間が短く、河道全体ではあまり河床変動が生じないことから、3、4年に1回の頻度で発生しているピーク流量10,000m³/s規模の出水を河床変動解析の対象とした。低水路と高水敷の粗度係数には、河道計画で使用されている、0.030と0.035をそれぞれ与えた。また、昭和57年に砂利採取禁止後から直轄管理区間(河口から13.4km)への流入土砂量が1.3倍に増加している⁷⁾ことから、上流端からの供給土砂

量の割合を平衡流砂量の130%に設定した。

図-3に平成28年河道で平成26年8月出水を再現した際の各流量規模における無次元掃流力の分布、図-4に平成28年河道で平成26年8月出水を再現した際の洪水後の河床変動高コンターを示す。赤色域は掃流力が無次元限界掃流力の0.06を超え、河床砂が移動する範囲である。これらの図より、流量が $4,000\text{m}^3/\text{s}$ 程度までは、後川合流部付近は低水路全体で掃流力が大きく、河床砂を流下できているが、流量が $3,500\text{m}^3/\text{s}$ に下がると下流右岸の湾曲内岸砂州において河床砂を流下できない範囲が現れ、流量の減少とともにその範囲が下流から上流に拡大していく。

すなわち、洪水下降期である流量 $3,500\text{m}^3/\text{s}$ から生じる掃流力の縦横断変化が当該区間における土砂堆積の原因であることが明らかになった。したがって、この区間では河積確保のために従来の河床掘削を行ったとしても、その堆積傾向が助長されるだけで、出水毎に土砂が再堆積することが想定され、抜本的な対策にはならない。

なお、過去の後川合流部付近の航空写真を確認したところ、導流堤が現在の形状になったのは昭和41年頃であった。また、洪水時の流量が $4,000\text{m}^3/\text{s}$ より大きい時は導流堤部分は越流状態になるが、流量 $3,500\text{m}^3/\text{s}$ 以下では越流せず、低水路内のみを水が流れる。

3. 移動床実験水路を用いた合流部導流堤改修による土砂堆積抑制効果の検証

(1) 移動床実験における合流部導流堤改修案の概要

四万十川と後川合流部における土砂堆積の原因である流量 $3,500\text{m}^3/\text{s}$ から生じる掃流力の縦横断変化を緩和させるために、四万十川河口5.5kmから6.4kmの低水路幅が一定となるような河道改修を提案する。この河道改修法では現況と同じ高さで高水敷を造成し、四万十川本川左岸の導流堤部分の形状を変化させている。

河道改修の土砂堆積抑制効果を検証するために、四万十川下流部の実験水路を用いた移動床実験を行った。移動床実験に用いた水路は四万十川河口より3.6kmから9.4kmの区間を対象に製作しており、平面縮尺は1/1000、鉛直縮尺は1/100の歪型模型である。水路床勾配は、四万十川当該区間の河床勾配が1/2000であることから、実験水路の縮尺(水平方向 1/1000、鉛直方向 1/100)に合わせて1/200とした。また、対象区間内の流れに影響を及ぼすと考えられる河川構造物(大はね水制1基)の模型も設置し、低水路内には粒径1.8mmの砂を敷いている。

(2) 移動床実験による合流部導流堤改修案の土砂堆積抑制効果の検証

実験では現況河道の河床形状を再現するために、平坦に均した河床に四万十川の平均年最大流量($6,000\text{m}^3/\text{s}$)に相当する流量である6L/sを定常で1時間通水し、形成された河床形状を初期河床とする。その後、前章で明らかに

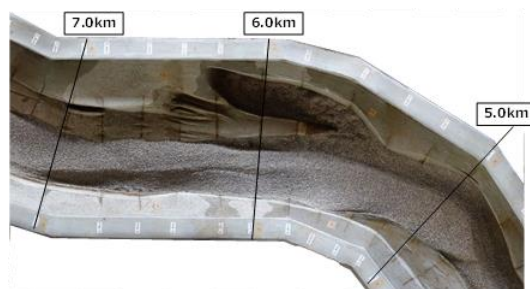
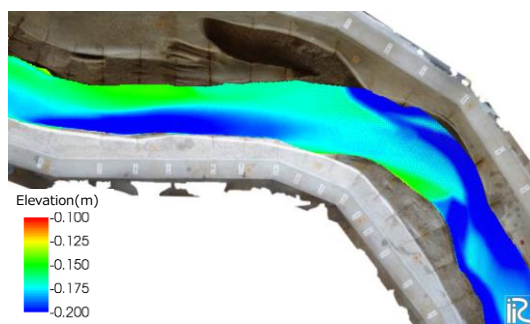
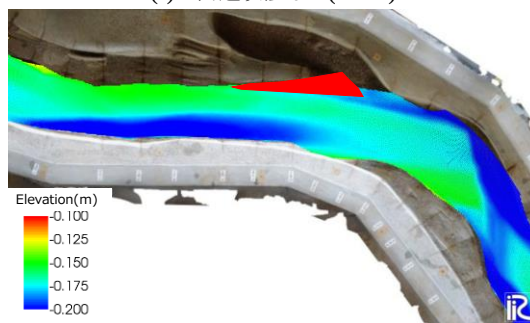


図-5 6L/s通水終了後の移動床実験水路の河床形状(初期河床)



(a) 河道改修なし(Case1)



(b) 河道改修あり(Case2)

図-6 河道改修の有無による3L/s通水後の移動床実験水路の河床形状の比較

した四万十川と後川合流部における土砂堆積の原因である、掃流力の縦横断変化が生じる流量($3,500\text{m}^3/\text{s}$)に相当する流量3L/sを定常で1時間通水した。なお、本実験で与えた流量は、実河川と同程度の掃流力となるように設定しており、上流端からは河床が下がらないように5分毎に100mLの給砂を行った。

実験は3L/s通水時に河道改修を施していないCase1と、河道改修を施したCase2の2ケースを実施し、通水終了後、デジタルカメラを用いて水路内の河床形状を上方から撮影し、SfM(Structure from Motion)によりx,y,z座標を計測した。

図-5に6L/s通水終了後の移動床実験水路の河床形状を示す。この図を後述する図-7と比較すると、後川合流部右岸の土砂堆積部分の河床形状、後川合流部付近の湾曲部左岸(河口5.0kmから5.4km)の深堀れを再現できている。

図-6に河道改修の有無による3L/s通水後の移動床実験水路の河床形状の比較を示す。河道改修なしの(a)に比べて河道改修法ありの(b)では、3L/s(実河川流量 $3,500\text{m}^3/\text{s}$)

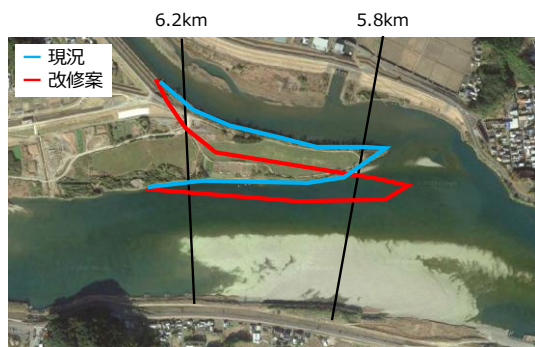
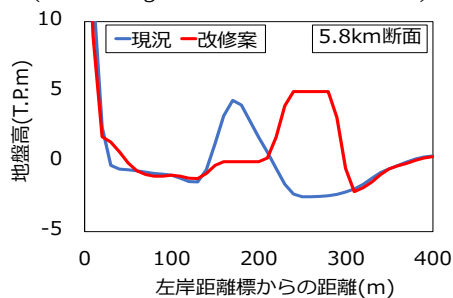
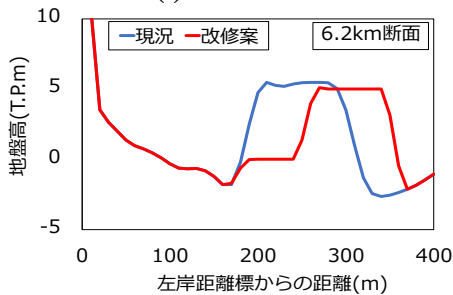


図-7 現況および改修後の導流堤の平面形状
(出典：Google Earth, 2016時の航空写真)



(a) 5.8km断面



(b) 6.2km断面

図-8 5.8km地点と6.2km地点における
現況および改修後の導流堤の横断面形状

通水時に掃流力の縦横断変化が生じなくなったことにより、土砂が下流側に移動しているのが確認できる。

したがって、四万十川左岸の導流堤部分の形状を、後川合流部の低水路幅が一定となるように変化させることにより、土砂堆積を抑制できる可能性があることが示唆された。

4. 二次元河床変動解析による合流部導流堤改修の土砂堆積抑制効果の検証

(1) 実河川における合流部導流堤改修案の概要

図-7に現況河道(青線)および改修後(赤線)の導流堤の平面形状、図-8に5.8km地点と6.2km地点における現況河道および改修後の導流堤の横断面形状を示す。四万十川と後川合流部における土砂堆積の原因である流量 $3,500\text{m}^3/\text{s}$ から生じる掃流力の縦横断変化を緩和させるために、四万十川河口5.5kmから6.4kmの低水路幅が一定と

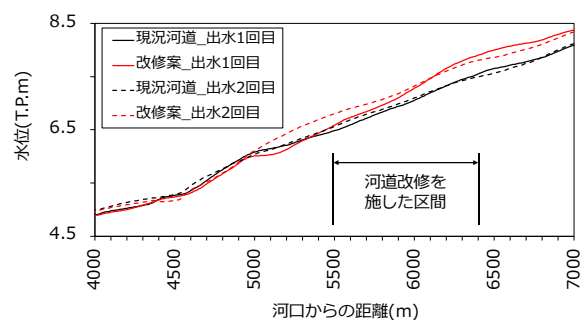


図-9 出水1回目および2回目の現況河道と改修案による
流量ピーク時における横断平均水位の縦断分布の比較



(a) 流量 $4,000\text{m}^3/\text{s}$



(b) 流量 $3,500\text{m}^3/\text{s}$



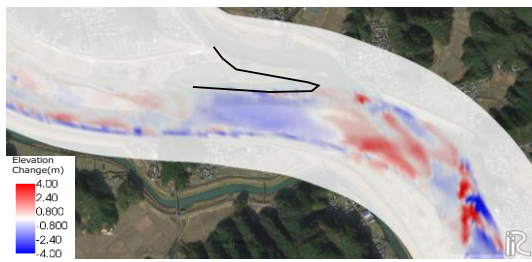
(c) 流量 $3,000\text{m}^3/\text{s}$

図-10 導流堤改修案の出水1回目の
各流量規模における無次元掃流力の分布
(赤色域は無次元掃流力が0.06を超える範囲)

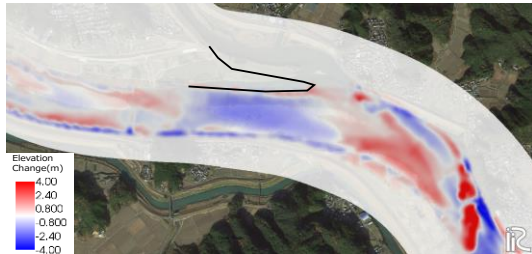
なるような河道平面形とした。また、導流堤の高さは現況と同じとし、同じ形状で右岸側に寄せた低水路横断面形状とした。

(2) 合流部導流堤改修案の土砂堆積抑制による治水効果の検証

河道改修の土砂堆積抑制による治水とスジアオノリ生育環境創出効果を検証するために、iRICソフトウェアのNays-2DHを用いて、四万十川河口3.0kmから9.6kmの区間を対象に平面二次元河床変動解析を行った。まず、各流量規模における無次元掃流力(代表河床粒径 36mm に対する)の分布、洪水後の河床変動高に対する考察を行い、土



(a) 出水1回後



(b) 出水2回後

図-11 出水1回後および2回後の導流堤改修案の洪水後の河床変動高コンター

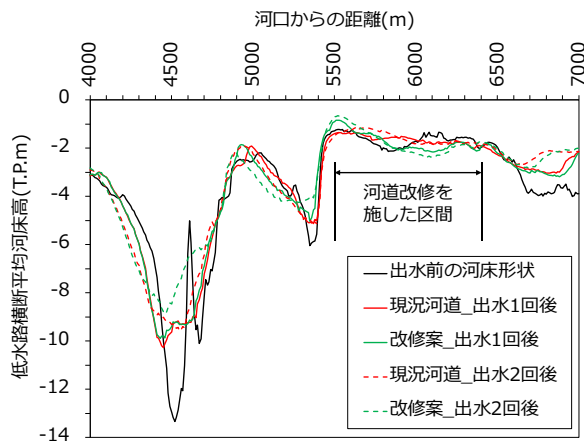
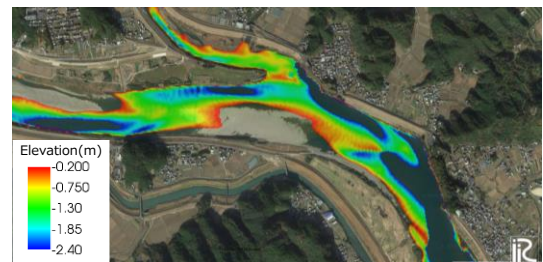


図-12 現況河道と改修案による洪水後の横断平均河床高の縦断分布の比較

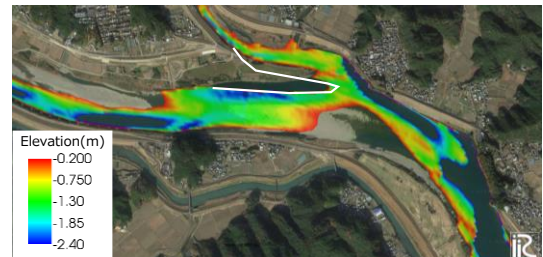
砂堆積抑制による河道改修の治水効果を検証した。河床変動解析には、2章と同様に図-1に示す河道モデルを用い、境界条件には図-2に示す平成26年8月出水を与えた、その他も同様の計算条件とした。また、土砂堆積を抑制し、なおかつその状態を維持できるのかを検証するために出水1回後の地形高を用いて、同様の水理条件で出水2回目の河床変動解析を行った。

図-9に出水1回目および2回目の流量ピーク時における縦断水位を示す。5.5kmから6.4kmの区間が導流堤の改修を行っている区間である。

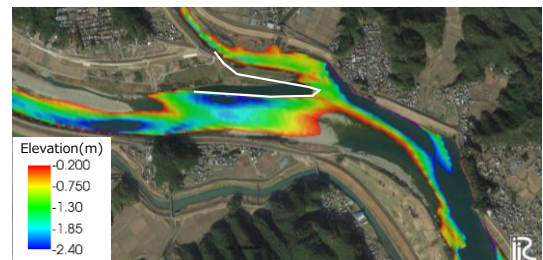
出水1回目の流量ピーク時における現況河道と改修案の横断平均水位の縦断分布を比較すると、改修案では現況河道に比べて6.0kmから7.0kmの区間で最大30cm程度の水位上昇が起こっており、その影響は上流の8.6kmの地点まで確認された。これは導流堤を本川側に移動させたことによる本川の河積の減少に起因する。導流堤の改修区間において、流量ピーク時の河床変動(河積増加)量は



(a) 現況河道(出水1回後)



(b) 改修案(出水1回後)



(c) 改修案(出水2回後)

図-13 現況河道と改修案による洪水後のスジアオノリの生育に適した河床高の範囲(T.P.0.2m~T.P.-2.4m)²⁾の比較

117,000m³であったに対し、導流堤の改修による河積の減少分は約233,600m³であったことから、結果的に合計した河積が減少し、水位が上昇したと考えられる。しかし、出水2回目では1回目と比較して河積が増加したことにより、最大10cm程度の水位低下が確認された。したがって、今後も同じ規模の出水が起こるたびに河積の減少は解消され、水位は低下していくと予想される。

図-10に導流堤改修案の出水1回目の各流量規模における無次元掃流力の分布、図-11に出水1回後および2回後の導流堤改修案の洪水後の河床変動高コンターを示す。現況河道の河床変動解析結果でみられた、流量3,500m³/sから生じる合流部付近のみ掃流力が0.06を下回る現象は改修案では見られず、上流の掃流力の低下と同時に合流部付近の掃流力も低下していくことが確認された。さらに、掃流力が向上したことにより、合流部付近の土砂を流下できるようになり、出水1回後には土砂堆積部分の河床高が1.5m程度低下し、出水2回後においてもその状態を維持することが確認された。図-12に示す現況河道と改修案の出水1回後および2回後の横断平均河床高の縦断分布を比較すると、改修によって低水路幅を狭めた5.5kmから6.4kmの区間では河床高が低下し、その影響が下流に移動しており、土砂堆積の抑制効果がみられる。これらの知見により、四万十川河口より5.5kmから6.4kmの区間で低

水路幅が一定なるように導流堤形状を改修することで、土砂堆積を抑制しその状態を維持できることがわかった。

また、1回出水、2回出水ともに後川(支川)への土砂の流入は見られなかった。これは本川と支川では図-2に示すようにピーク流量に大きな違いがあること、流量がピークに達する時間に違いがあることに起因すると考えられる。

(3) 合流部導流堤改修案の土砂堆積抑制によるスジアオノリ生育環境創出効果の検証

土砂堆積抑制による河道改修のスジアオノリの生育環境への効果を検証するために、洪水後のスジアオノリの生育に適した河床高の範囲に対する考察を行った。図-13 現況河道と改修案による洪水後のスジアオノリの生育に適した河床高の範囲の比較を示す。(a)の現況河道では、土砂堆積部分にスジアオノリの生育可能域は見られないが、(b)の改修案ではその領域が拡大しているのが確認できる。(c)の出水2回後の改修案では、スジアオノリの生育可能域がさらに拡大している。また、それぞれにおけるスジアオノリの生育可能面積を算出したところ、(a)は996,869m²、(b)は997,074m²、(c)は1,018,907m²であった。したがって、河道改修を施すことにより、スジアオノリの生育可能面積が出水1回後には0.02%、出水2回後には2.2%拡大することがわかった。

5. 結論

本論文で明らかになった点を以下にまとめる。

- 1) 四万十川と後川合流部における土砂堆積の原因を明らかにするため、四万十川河口3.0kmから9.6kmの区間を対象に平成26年8月出水を境界条件として平面二次元河床変動解析を行い、各流量規模における無次元掃流力の分布を考察した結果、流量下降期の流量3,500m³/s付近で生じる掃流力の縦横断変化であることがわかった。
- 2) この水理条件下で生じる掃流力の縦横断変化を緩和させるために、四万十川河口5.5kmから6.4kmの低水

路幅が一定となるような合流部の導流堤形状の改修を提案し、その効果を移動床実験と平面二次元河床変動解析により検証した。その結果、ピーク水位が導流堤の改修による河積の減少により最大約30cm上昇したものの、各流量規模で掃流力の縦横断変化が生じなくなり、かつ低水路内の掃流力が向上したことにより、合流部付近の河床高が低下し、土砂堆積が軽減できることを確認した。また、水位の上昇についても出水を受ける度にその影響が小さくなることを確認した。

- 3) 提案する河道改修により、合流部付近の河床高が低下することでスジアオノリの生育可能域が拡大し、その効果は出水を受ける度に効果が得られることが確認できた。

以上より、本研究で提案する合流部の導流堤形状改良による河道改修法は、流下能力の向上とスジアオノリの生育環境の保全・創出が両立できるだけでなく、河川の維持管理も容易になる点で有効といえる。

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」(平成27年～平成30年度、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

- 1) 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。
- 3) 岡田将治，中平歩，張浩，松岡直明：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，河川技術論文集，第23巻，pp.579-584,2017。

(2019. 4. 2受付)