

河川砂防技術研究開発 【成果概要】

①研究代表者	氏名 (ふりがな)		所属	役職
	おかだ しょうじ 岡田 将治		国立高等専門学校機構 高知工業高等専門学校	准教授
②研究テーマ	名称	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		
	政策領域	[分野] 地域課題分野 (河川) [公募課題]	融合技術	(リモートセンシング、非破壊検査、認知行動学 等)
③研究経費 (単位: 万円)	平成27年度	平成28年度	平成29年度	総 合 計
	※端数切り捨て。 187 万円	187 万円	122 万円	496 万円
④研究者氏名 (研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)				
氏 名	所属・役職 (※平成 年3月31日現在)			
張 浩	高知大学総合研究センター ・ 准教授			
⑤研究の目的・目標 (申請書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)				
<p>四万十川下流部の汽水域では、全国的にも希少な天然スジアオノリやアオサ等が生育し、アカメ等の貴重な生物が生息する水域となっている。しかし、近年スジアオノリの収穫量が大きく減少しており、これらの汽水環境の減少や生物多様性の低下が懸念されている。さらに、スジアオノリの主な生育域である河口から3～6kmの区間では河床が堆積傾向にあり、計画流量に対する流下断面が不足していることから、樹木伐採や河道掘削により流下能力を確保するとともに、スジアオノリの生育に適した河床高を目安とした浅場の再生が計画されている。</p> <p>本申請では、上述の治水および生態環境保全・創出に関する課題を両立させることのできる河道改修および維持管理技術の構築を目的とする。</p> <p>(調査・研究内容及び成果) 四万十川下流部(河口から3～6km区間)において、(1)近年の土砂動態とスジアオノリの生育分布の関係、(2)出水時の流況および出水前後の河床形状計測、(3)スジアオノリの繁茂・非繁茂域における水深、水温、塩分濃度の時空間変動に関する現地調査を実施し、出水による河床変動と孢子が着床して発芽・生長する出水期後から冬期にかけての水質環境、および繁茂状況について考察し、支配的な要因について明らかにする。そのためのモニタリング技術として、(4)ラジコンヘリの空撮画像を用いた浅場の河床形状とスジアオノリの繁茂状況の簡易計測技術の確立する。さらに、(2)で実測した出水時の土砂動態を再現する河床変動解析モデルを構築して、(1)～(4)の結果から事務所が試験的に河床掘削を実施する箇所を選定や掘削範囲および掘削高さを定量的に評価し、現地に適用する。これらの検討を複数年実施して検証し、治水と生態環境創出を両立でき、かつ維持管理しやすい河道掘削手法を提案する。</p>				

⑥研究成果

(1) 上流域からの土砂供給量の変化によるスジアオノリの生育環境への影響

平成 28 年度の研究成果として、砂利採取によって直轄区間への流入土砂量が砂利採取禁止前後で 1.3 倍に増加していることが明らかとなり、今後は上流からの流入土砂量の増加により、下流域ではさらに河床の堆積傾向が強まるものと考えられる。

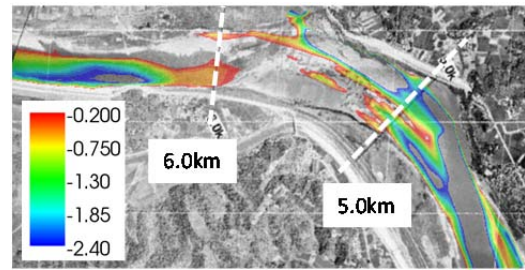
四万十川のスジアオノリの生育に最適な河床高の範囲として、大野ら¹⁾は T.P.-0.75m から T.P.-1.25m としており、これを参考に平成 21 年、24 年および 26 年の 3 年間の繁茂分布と定期横断測量結果から得られる河床形状(河口から 3-8km)を比較したところ、スジアオノリが繁茂している河床高の範囲は T.P.-0.2m から T.P.-2.4m であり、大野の結果に比べて上下限値の範囲が大きいことがわかった。これを指標として、各年度の河床形状から生育可能な河床高の平面分布を示したのが図-1 である。5.0km から 6.0km 右岸にある砂州は、(a) 昭和 41 年には明らかな堆積傾向が確認できるものの、砂利採取が行われていた(b)昭和 54 年には河床が大きく低下しており、上流側では繁茂域の広がりが確認できる。

その一方で、(c)平成 26 年は砂利採取禁止後からの土砂供給量の増加に伴い、合流部砂州に土砂が堆積し、砂州が形成されているため昭和 54 年に比べて生育場が減少しているものの、生育場が下流側に広がっている。

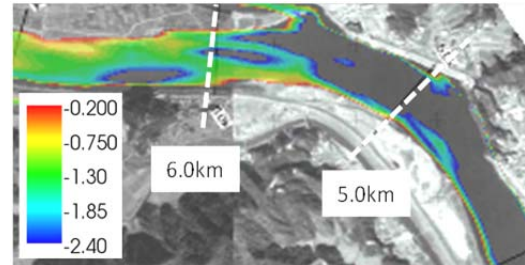
図-2 はこの結果を用いて、スジアオノリの収穫量の記録がない昭和 51 年以前も含めた各年の生育可能な河床高範囲の面積を計算し、その経年変化を示したものである。図より、生育可能な河床高範囲の面積とスジアオノリの収穫量には同様な傾向が確認でき、砂利採取が行われていない昭和 40 年代には、その後の 50 年代に比べてスジアオノリが生育できる環境が多くなかったと推察される。したがって、今後下流への土砂供給量が多くなることは、生育環境にさらに影響すると考えられるため、これらの保全、あるいは治水目的も含めた新しい生育環境の創出が重要となる。

(2) 砂州の掘削方法の違いによるスジアオノリ繁茂域形成への効果の検証

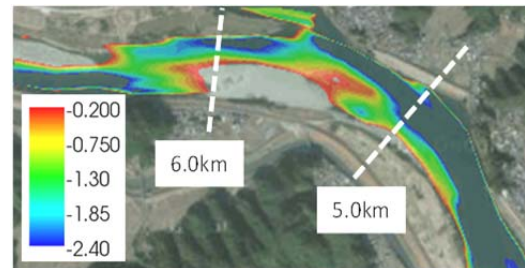
図-3および図-4に、それぞれ平成26年度、27年度に実施した砂州の掘削前後の横断形状を示す。平成26年度のスジアオノリの生育に適した河床高の上限値から下限値にかけて緩勾配とする掘削によって、スジアオノリの非繁茂域であった箇所新たな繁茂域の形成が確認され、塩分濃度もスジアオノリの生育に適した条件となったことを確認した。



(a) 昭和 41 年



(b) 昭和 54 年



(c) 平成 26 年

図-1 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) の平面分布

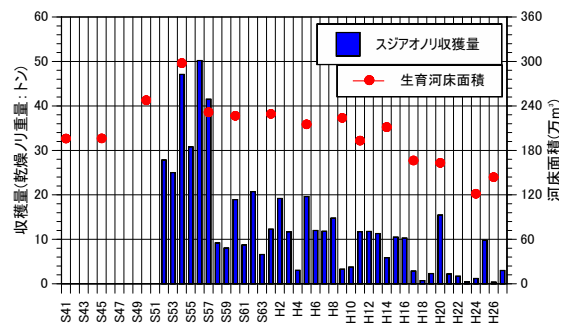


図-2 スジアオノリの収穫量と生育に適した河床高範囲の面積 (3-8km 区間) の経年変化

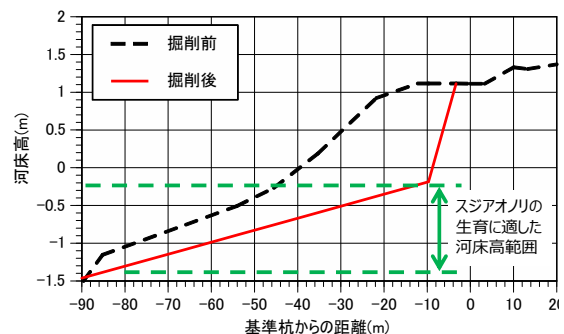


図-3 平成 26 年度に実施した砂州掘削断面図

⑥研究成果（つづき）

27年度は、掘削方法の違いによる効果を検証するため、下限値の範囲を広くするように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月初旬の繁茂状況を示したのが図-5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、前者の緩傾斜をつけた掘削方法がより効果的であることがわかった。

図-6は、年度別の河口部水温の日変化とスジアオノリの収穫量の関係²⁾を示す。近年では平成25年度の収穫量(9.8トン)が最も多く、早い時期にスジアオノリの生育に適していると考えられる水温(16℃以下)まで下がり、その状態が長く続く条件であったことがわかった。

以上により、秋から冬にかけての海水温が低下する時期によって収穫量に変動があるものの、スジアオノリの生育環境を創出するための砂州の掘削方法について知見が得られた。つぎのステップとして、維持管理を考慮した掘削箇所の選定方法について検討を進めていくことができる。

(3) 出水前後の河道地形および出水時の流況計測と二次元河床変動解析モデルの構築

洪水時の流況・河床変動特性を把握し、今後の河床変動が予測できる解析モデルを構築するために、出水の前後において、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7.0km区間を対象に、UAVによる空中写真測量、GPS測深機による詳細な水中の地形測量を実施した。さらに、LPデータを用いて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把握し、図-7に示すような河道モデルを作成した。

出水中の流況を把握するために、図-8に示すように既存の水位計6台に加えて、簡易水位計を本川に4台設置した。また、既設の3台の河川管理用CCTVカメラ(中村河川国道事務所)を活用して出水中(日中)に映像を取得し、STIV画像解析から得られる表面流速分布を推定した。つぎに、平成28年9月19日から22日の期間に発生した出水

を対象に、iRICソフトウェアNays2DHを用いて平面二次元河床変動解析を実施した。低水路、高水敷の粗度係数をそれぞれ0.030、0.035とし、空中写真から樹木の影響も考慮した。河床粒径には昭和62年河床材料調査結果から得られた粒度分布を与えた。

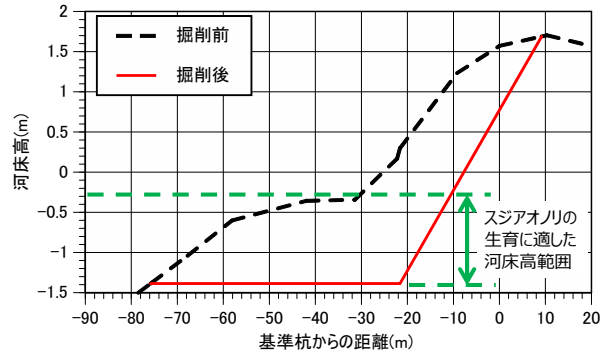


図-4 平成27年度に実施した砂州掘削断面図

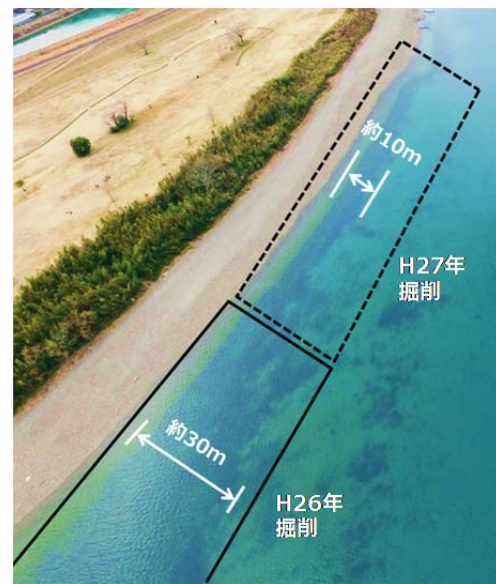


図-5 砂州掘削域のスジアオノリ繁茂状況 (平成28年2月7日撮影)

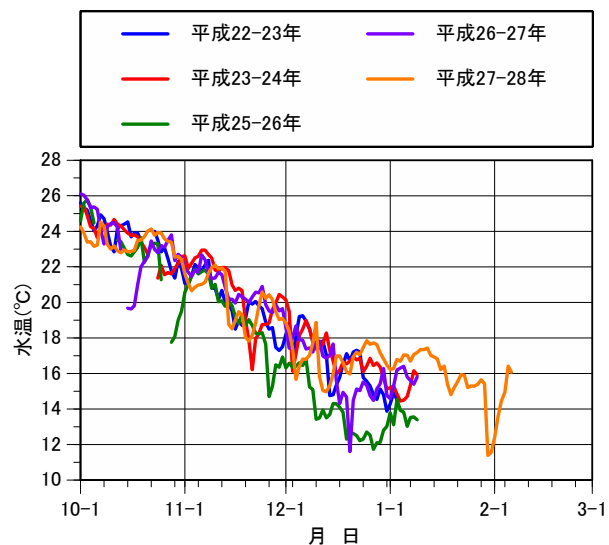


図-6 河口部の水温変化とスジアオノリの収穫量²⁾

⑥研究成果（つづき）

下流端水位の境界条件は出水時の実崎水位ハイドログラフとし、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)の縦断水面形の時間変化を再現できる本川の具同(ピーク流量 $6000\text{m}^3/\text{s}$)と支川後川の大用寺田(ピーク流量 $1500\text{m}^3/\text{s}$)の流量ハイドログラフを逆算した。また, 山路地点においては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, 解析モデルで流況を再現できていることを確認した。

図-9に(a)出水前後の詳細な測量によって得られた河床変動高と(b)河床変動解析によって得られた河床変動高を示す。両者の比較から, 解析により実測結果を概ね再現できていること, 年平均最大流量($6000\text{m}^3/\text{s}$)程度の出水では, 平成26年および27年の掘削箇所には河床変動が生じず, スジアオノリの生育に適した環境が維持できることが確認できた。

(4) 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河道改修案の検討

縦断平均河床高の経年変化を見ると, 後川合流部付近の, 特に5.4kmから6.0kmまでの区間で今後顕著な堆積傾向が予想される。したがって, 計画河道まで掘削したとしても, 再堆積する可能性が高いため, 河床掘削を行わずに河道法線形や河道横断面形を改修することにより, 現況河道の土砂堆積が抑制されるような方法を検討することが望ましい。

そこで, 成29年12月に計測した最新の河床形状を用いて, 4.3の河床変動解析に用いた近年では比較的規模の大きい平成26年8月出水を対象として河床変動解析を行い, 当該区間の土砂堆積メカニズムを明らかにした。その結果, 量が $4000\text{m}^3/\text{s}$ 程度までは, 後川合流付近は低水路全体で無次元掃流力が大きく, 河床砂を流下できているが, 流量がそれより小さくなると, $3500\text{m}^3/\text{s}$ では下流右岸の弯曲内岸部において, 青の流下できない区間が現れ, 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, この洪水の低減期に生じる掃流力の縦断的な変化が当該区間における土砂堆積の主要因であり, この区間の河床

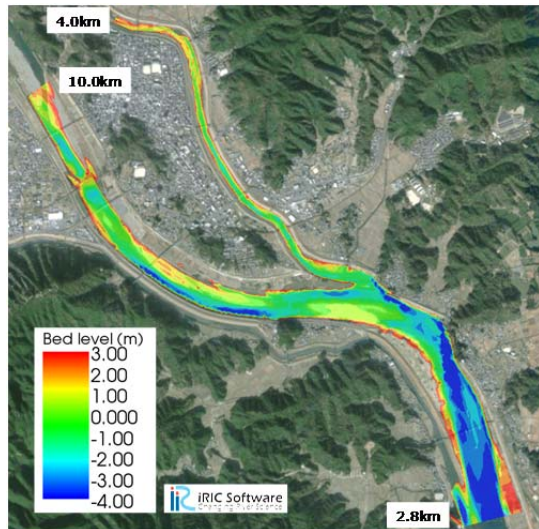


図-7 UAV 空中写真測量, GPS 測深機およびLP データ から作成した解析対象区間の河床形状



図-8 出水時における観測体制



(a) 出水前後の河床変動量(実測結果)



(b) 出水前後の河床変動量(解析結果)

図-9 実測および河床変動解析から得られた河床変動量

⑥研究成果（つづき）

変動特性といえる。したがって、河積を確保するためにこの区間で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、短期間に再堆積による埋め戻しが起こると容易に想定される。

この掃流力の縦断変化は、低水路幅が6.6kmから下流にかけて徐々に大きくなることに起因していると考えられるため、本川左岸の後川との導流堤部分を低水路幅が一定となるような低水路法線形の改修を想定して河床変動解析を行う。

図-10に現況河道から5.6kmから6.2kmの区間の低水路左岸に高水敷を造成する改修案3ケースを示す。造成する地盤高は、現況の高水敷と同じ高さとする。Case Aは、幅40m、Case Bは幅20m、Case CはCase Aに加えて後川との合流を考慮して導流堤を下流に延長している。

各改修案に平成26年8月出水と同じ水理条件を与えた解析結果として、図-11に現況河道、改修河道の洪水ピーク時の縦断水面形と平均河床高、洪水後の平均河床高を示す。流量ピーク時に改修河道は、河積の減少により最大30cm程度水位上昇が見られるものの、Case Cでは断面平均河床高は高水敷を造成した区間で30cm程度の河床低下が見られ、当初想定した土砂堆積の抑制効果を確認することができた。

河川管理者である中村河川国道事務所では、この知見を参考に今後の維持管理を行いやすい河道改修方法について検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 国土交通省中村河川国道事務所: 平成27年度四万十川下流部環境調査業務委託報告書, 平成28年3月.



図-10 現況河道から合流部の導流堤の平面形改修案（赤の範囲を高水敷として造成する場合）

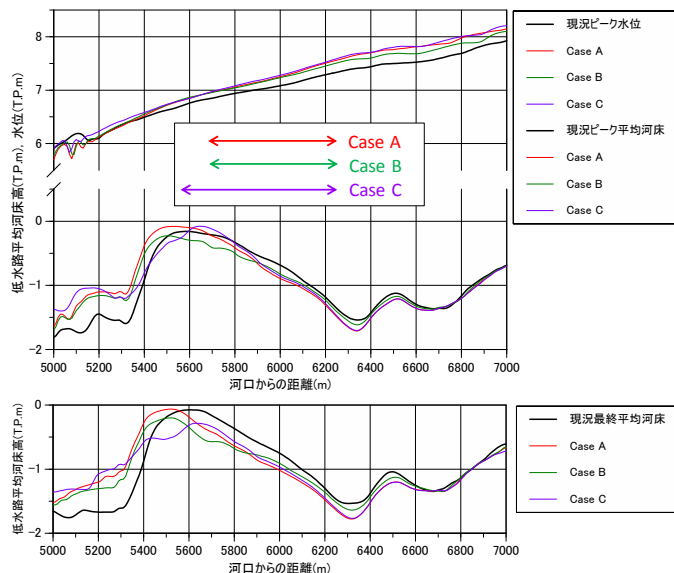


図-11 現況河道、改修河道の洪水ピーク時の縦断水面形と平均河床高および洪水後の縦断平均河床高

⑦研究成果の発表状況

・これまでに発表した代表的な論文

- 1) 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), Vol.73, No.4, L_1087-L_1092, 2017.
- 2) 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, 土木学会河川技術論文集, 第23巻, pp.579-584, 2017.

・国際会議、学会等における発表状況

- 1) 岡田将治, 松岡直明, 吉川和宏: 四万十川・後川合流部における土砂堆積軽減策に関する検討, 平成30年度土木学会四国支部第24回技術研究発表会, 2018年5月.
- 2) 中平歩, 松岡直明, 岡田将治, 張浩: 四万十川・後川合流部における洪水時の流況・河床変動特性, 平成28年度土木学会四国支部第22回技術研究発表会, 2016年5月.
- 3) 上原有稀, 畠中亮子, 中平歩, 岡田将治, 張浩: 四万十川における砂州掘削によるスジアオノリ生育場創出の試み, 平成28年度土木学会四国支部第22回技術研究発表会, 2016年5月.
- 4) 松岡高志, 中平歩, 松岡直明, 岡田将治, 張浩: 四万十川における複数のCCTVカメラを活用した洪水時の流況計測, 平成28年度土木学会四国支部第22回技術研究発表会, 2016年5月.

⑧研究成果の社会への情報発信

研究成果の一部が下記のドキュメンタリー番組で紹介された。

【放送日時、番組名】

平成30年5月26日(土) 14:00-14:55 高知さんさんテレビ(フジテレビ系列)

FNSドキュメンタリー大賞 ときは流れ 水のながれ～四万十川、沈下橋とともに～
(今秋には全国放送も予定されている。)

【番組の内容】

去年11月、四万十川中流の岩間沈下橋が突然“くの字”に折れ曲った。建設から50年を過ぎた沈下橋は今、老朽化に悩まされている。一方、四万十川の川漁師・黒澤雄一郎さんは近年の川の異変を危惧する。スジアオノリの漁場に砂が積もり、年々ノリが生えなくなっているというのだ。日本最後の清流と呼ばれて久しい四万十川だが、近年はその姿に異変が見られるようになった。番組では、清流・四万十川をめぐる人々の姿と思いに迫り、清流の今と、これからを見つめる。

【紹介の内容】

スジアオノリの生育環境場が減少している現状に関して、本研究成果の一部である上流からの土砂供給量の変化による影響が大きいとする説明を行った。また、最終年度に実施した後川合流部付近の土砂堆積抑制のための導流堤改修案に関する模型実験の紹介とその結果を解説した。

⑨表彰、受領歴

なし。

⑩研究の今後の課題・展望等

本研究により、四万十川4kmから6km区間で近年顕著に見られる堆積土砂による流下能力低下の対策として、スジアオノリの生育環境創出のための効果的な掘削方法が明らかとなった。また、実測データに基づいた当該区間の流況および河床変動を再現できる解析モデルを構築できたことにより、河道維持管理の観点から想定する出水規模でも埋め戻しが生じにくい掘削方法や安定河道への改修方法の検討が可能となった。さらに、本研究で構築されたモニタリング手法、河床変動解析モデルは、四万十川で同様な課題となっているアユの瀬づくりへの再生にも活用できると考えており、清流四万十川に代表される河川生態環境に配慮した新たな河川改修方法として発展が期待できる。

なお、河川管理者である国土交通省中村河川国道事務所も本研究の成果を参考に、今後の方策について検討していく予定である。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

本研究では、解析モデルの流況および河床変動の再現性を検証するために、UAVを用いた空撮画像からの水上の地形およびGPS測深機による水中の詳細な河道地形、構造物および樹木情報を取得し、河道モデルを作成している。これらの技術は今後さらに汎用化が進むと予想されるため、河川分野に限らず様々な分野での活用が期待される。

また、国土交通省が管理する河川に多く設置されている既存のCCTVカメラの流況解析への活用は、新たな投資が不要のため実現性が高く、四万十川における観測事例とその成果は汎用的な計測技術として、他の河川への波及効果が期待できる。