

<解説>

四万十川における治水とスジアオノリの生育環境の 創出を両立させる新たな河道改修方法の検討

岡田 将治*, 松岡 直明**, 中平 歩***

River Improvement Method for Securing Discharge Capacity and Creating a Habitat of Enteromorpha Prolifera in the Shimanto River

Shoji OKADA, Naoaki MATSUOKA and Ayumi NAKAHIRA

* Department of Social Design Engineering, National Institute of Technology, Kochi College,

** Kochi Prefecture, Hata Civil Engineering Office,

*** IDEA Consultants, Inc., Osaka Branch Office,

Abstract

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 the Shimanto River. After the riverbed was dredged to be suitable for the growth of the *Enteromorpha prolifera* in the section where discharge capacity was insufficient, new vegetation area was observed. To examine the dredging method, we constructed a riverbed variation analysis model that reproduces the flow and the sediment dynamics during the flooding. Moreover, it was confirmed that river bed fluctuation did not occur in the entire river channel at the average annual maximum discharge of 6000m³/s, and no sediment deposition occurred at the dredged area. By using the riverbed variation analysis model constructed in this research, 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. はじめに

高知県西部を流れる一級河川四万十川の河口部から4kmから6kmの区間では、近年河床が堆積傾向に進み、計画流量に対する流下断面が不足して治水上の課題となっている。また、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近年激減している。これらの治水と河川生態系の課題は、上流域からの土砂供給量の変化に起因している可能性が高いことが筆者らのこれまでの研究によりわかってきた。

国土交通省中村河川国道事務所の資料¹⁾によれば、国が管理する直轄区間(河口から13.4km区間)では昭和41年から昭和56年の期間に約350万m³、県が管理する指定区間では7地点(梶原町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年の期間に約560万m³の砂利が採取されている。砂利採取が禁止されて以降は、採取地点およびその下流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きた。著者ら²⁾は、砂利採取が盛んに行われた期間と砂利採取禁止後から平成24年までの期間の直轄管理区間への流入土砂量の推定を行い、砂利採取禁止後に流入土砂量が1.3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を示唆した。また、砂利採取禁止後からスジア

*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 200-1)

**高知県幡多土木事務所 (〒787-0010 高知県四万十市古津賀 4-16)

**いであ(株)大阪支社 (〒559-0034 大阪府大阪市住之江区南港北 1-24-22)

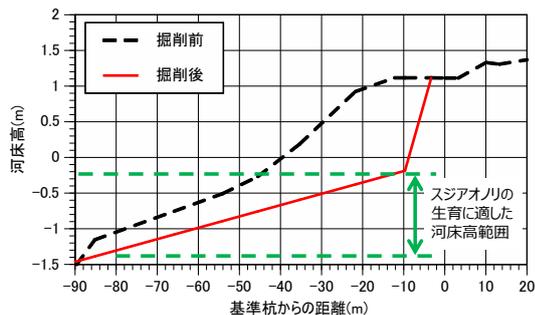


Fig.1 Cross-sectional shape dredged in 2013 (Line No.7)

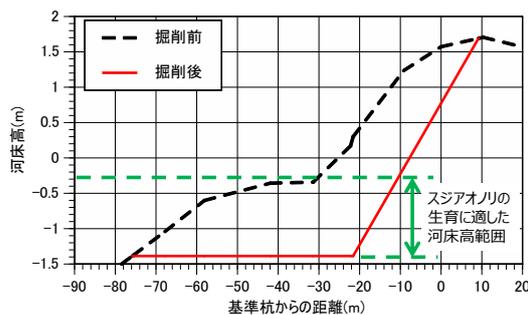


Fig.2 Cross-sectional shape dredged in 2014 (Line No.8)

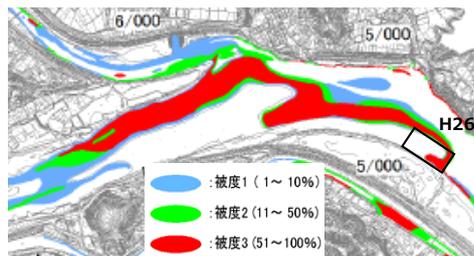


Fig.3 Dredged area and growth area of *Enteromorpha prolifera*
(Right: Jan. 2013, Left: Jan. 2014)

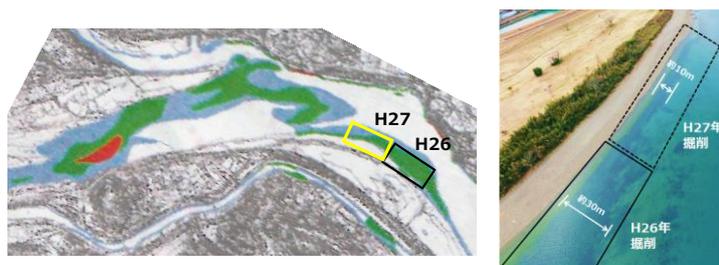


Fig.4 Growing area of *Enteromorpha prolifera*
at dredged area (Feb. 7th 2015)

オノリの生育できるとされ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増大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。四万十川の直轄管理区間の上流部においては、河床の堆積傾向が確認されていることから、今後はその影響がさらに下流側へ顕著に現れてくるものと予想される。

河川管理者である国土交通省中村河川国道事務所は、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、砂州の切り下げによる流下能力の向上に加え、スジアオノリの生育環境を創出するために、掘削高を生育に適した高さ³⁾とすることにより、新たな繁茂域が形成されることを確認した。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、本稿では、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、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考察した結果を報告する。

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ている。試験掘削を実施する場所は、事前に実施した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、Fig.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³⁾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、Fig.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、Fig.2に示すように河積がなるべく大きくなるようスジアオ

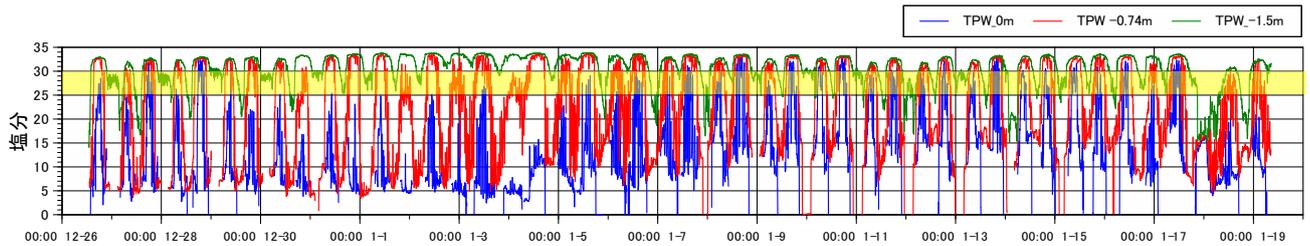


Fig.5 Time variation of the salinity concentration at each depth in dredged area in winter of 2017

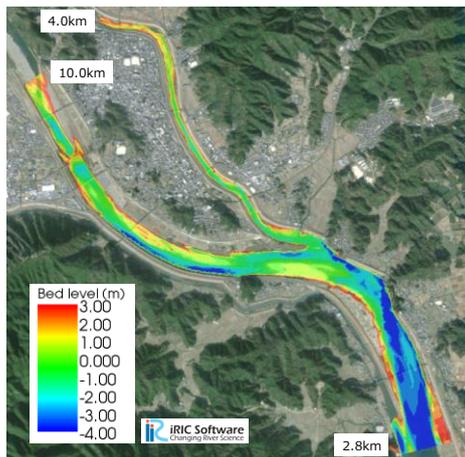


Fig.6 Bedform of the analyzed area made by UAV aero photo survey and laser profiler data



Fig.7 Observation system of water level and CCTV camera during flooding

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 Fig.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、Fig.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。著者らが実施した現地調査結果⁴⁾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生育環境の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明らかとなった。

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

3.1 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

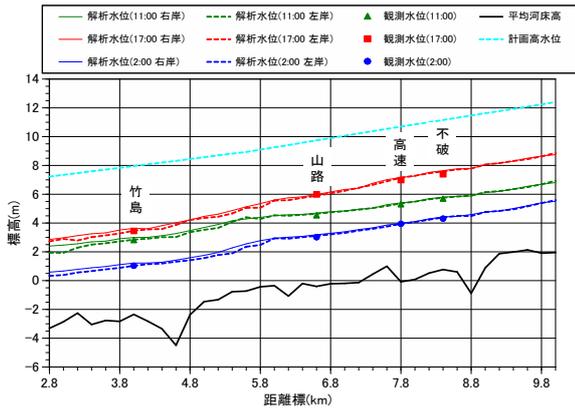


Fig.8 Observed and analyzed results of longitudinal water distribution in the Shimanto river

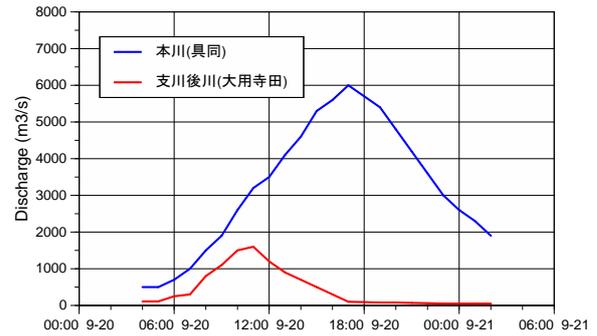


Fig.9 Analyzed result of discharge hydrograph of main river and tributary river

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 Fig.6 に示す。平成 28 年 9 月出水を対象として, Fig.7 に示す検討区間に設置した計 10 台の水位計で縦断面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。

3.2 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(D_{60} 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 m^3/s)と支川の大用寺田(ピーク流量 1500 m^3/s)の流量ハイドログラフを逆算した。Fig.8 に実測結果と解析結果の縦断面水面形の時間変化を, Fig.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入の影響はほとんどなかったことがわかる。

Fig.10, Fig.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 6000 m^3/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。

4. 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

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。

$$U = U_{obs.} - U_{wind} \times 0.074 \quad (1)$$

ここに, $U_{obs.}$: KU-STIV 法により得られた表面流速(m/s), U_{wind} : 流下方向成分の風速(m/s), 現地観測結果



Fig.10 Measured riverbed level change before and after the flood of Sept. 2015



Fig.11 Analyzed result of riverbed level change before and after the flood of Sept. 2015

の計算に用いる補正係数は0.074としている。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。

Fig.12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。

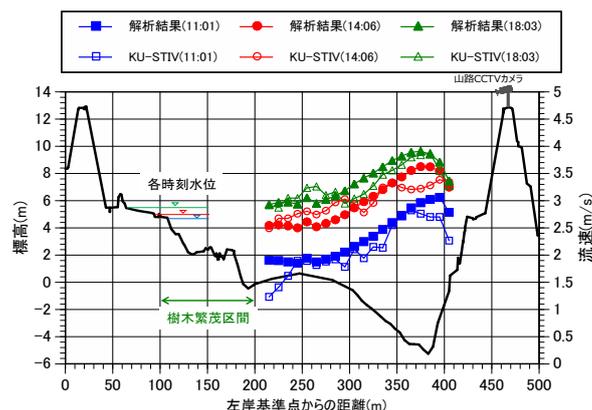


Fig.12 Cross-sectional velocity distribution at Yamaji point analyzed by the STIV method and 2D numerical analysis model

5. 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湾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6000m³/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10,000m³/sの出水が発生しており、Fig.13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2000m³/sを超える洪水継続時間が3倍長くなっている。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。

Fig.14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Fig.15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の間においては、流下能力は平均300m³/s程度向上しているものの、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、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。

6. おわりに

- 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年度に実施した緩勾配がより効果的であることがわかった。

- 2) 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6000 m³/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²⁾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 m³/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300 m³/s程度向上した。計画高水流量に対して1000 m³/s以上不足する区間もあるため、今後は、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、その効果的な手法について検討する必要がある。

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」(平成27~29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。

参考・引用文献

- 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)，Vol.73，No.4，I_1087-I_1092，2017。
- 3) 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，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。

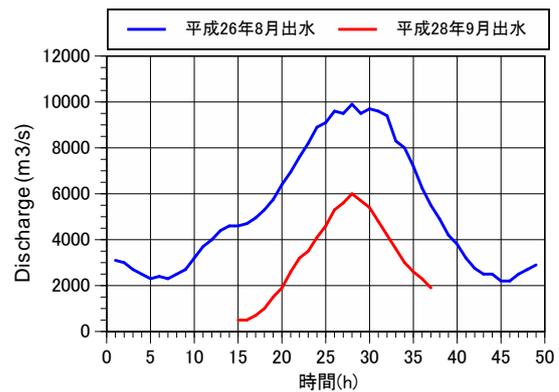


Fig.13 Analyzed result of discharge hydrograph of 2013 Flood and 2015 Flood at Gudo point



Fig.14 Analyzed result of bed level change after a large-scale flooding ($Q_{peak}=10,000\text{m}^3/\text{s}$)

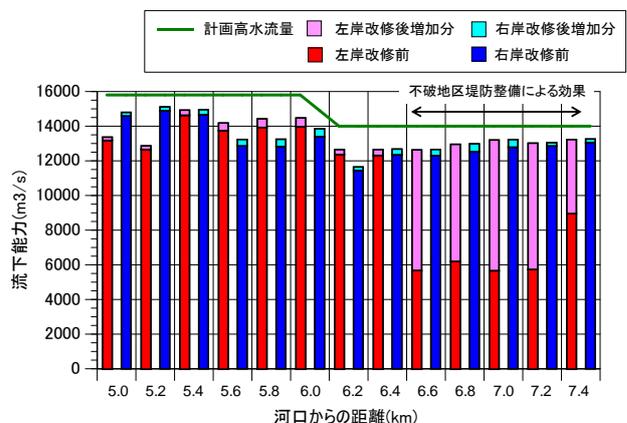


Fig.15 Discharge capacity of the Shimanto river (5.0-7.4km)