

流れの横断・平面特性を指標とした 持続可能な樹木管理方策に関する検討

STUDY ON A SUSTAINABLE VEGETATION MANAGEMENT PLAN USING
CROSSING AND PLANE CHARACTERISTICS OF FLOW AS THE INDEXES

吉武央気¹・清原正道²・本多信二¹・横路朋子³

川口滋⁴・星淳一⁴・菅原誠人⁵

Hiroki YOSHITAKE, Masamichi KIYOHARA, Shinji HONDA, Tomoko YOKOMICHI,
Shigeru KAWAGUCHI, Junichi HOSHI and Masato SUGAWARA

¹正会員 工修 パシフィックコンサルタンツ株式会社 国土保全事業本部河川部
(〒101-8462 東京都千代田区神田錦町3丁目22番地)

²非会員 工修 パシフィックコンサルタンツ株式会社 国土保全事業本部河川部 (同上)

³非会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 国土保全事業本部河川部 (同上)

⁴非会員 国土交通省東北地方整備局酒田河川国道事務所 (〒998-0011 山形県酒田市上安町1丁目2-1)

⁵非会員 国土交通省東北地方整備局山形河川国道事務所 (〒990-9580 山形県山形市成沢西4丁目3-55)

In this study, to clarify the possible sustainability of vegetation management, we focus on the crossing and plane characteristics of flow by setting relative water depth and sinuosity as the new management indexes. Through the arrangement of crossing and plane characteristics and vegetation in the real river, the validity of new indexes is verified. And the influence to flow and river bed variation under relative water depth is confirmed by simulation which is numerical simulation of 2-D river bed transport model.

Based on the above analysis, the measure about vegetation management considered crossing and plane characteristics of flow is investigated. The effectiveness, efficiency and implementation of the measure has also been investigated.

Key Words : *Vegetation management, relative water depth, sinuosity*

1. はじめに

わが国の多くの河川においては、河道内に繁茂する樹木が様々な問題を引き起こす可能性があり、河道内樹木の適切な管理が望まれている。例えば、河道内樹木は洪水流下の妨げとなることで堤防からの越流を誘発する可能性がある。また、樹林化が滞筋や砂州の固定化を助長することで、滞筋における局所洗掘や魚類の生息・産卵環境である瀬や淵を消失させる可能性がある。このような治水や環境上の問題を解決するために、樹木伐採等の河道管理が実施されている。例えば、渡良瀬川では、固定化した砂州上に掘削路を設け、洪水時に土砂の攪乱を誘発するといった樹林化抑制対策が実施されている¹⁾。杣内川では、礫河原再生の取組として、旧流路に導水することで複列砂州を再生し、流路の固定化を解消する試みを実施されている²⁾。しかしながら、樹木管理を実践しているにもかかわらず、伐採後数年を経て樹木の再繁

茂が生じる河川もある。そのため、樹木管理は、様々な現地検証³⁾や数値検証⁴⁾を繰り返しつつ実施されている。その際、対象地点における冠水日数や無次元掃流力等の物理量が樹木管理の指標として考えられている^{5) 6)}。

著者らは、以上の背景を踏まえ、河川流とその挙動に応じて変化する河床や河道内樹木を管理するためには、対象地点における物理量を指標とした局地的な管理を実施するのではなく、横断方向や平面方向の水理特性も含めた大局的な管理を実施することにより、適切な樹木管理が可能になると考えた。岡田・福岡⁷⁾は、相対水深と蛇行度を用いることで複断面水路における洪水流の特性を区分し、相対水深 0.3 を境として単断面的な蛇行流れと複断面的な蛇行流れに区分できることを示している。著者らは、岡田・福岡によって実施された複断面河道における洪水流特性に関する研究成果を実河川における樹木管理に活かすことができないかと考えた。

本研究では、流れの横断・平面特性に着目し、相対水深(砂州上の平均水深と低水路平均水深の比)及び蛇行

度を新たに樹木の管理指標として設定し、当該指標による樹木管理の持続可能性を明らかにすることを目的とした。そこで、東北地方の一級河川である赤川において、流れの横断・平面特性を表す指標と河道の樹林化状況を整理し、指標の有効性を検証した。次に、平面二次元河床変動モデルを用いて、相対水深の違いが流況や河床変動状況に与える影響について確認した。以上の検証により、流れの横断・平面特性を考慮した樹木管理方策を検討し、効率的かつ効果的な樹木管理の実現性について検討した。

2. 流れの横断・平面特性を表す指標

樹木管理の現場では、対象地点における無次元掃流力等の物理量が主な指標として考えられている。しかしながら、砂州の固定化や水衝部の深掘れが進行している河川では、その指標を基に実施された樹木管理方策の効果が十分に得られていない場合がある。その要因の一つとして、砂州が固定化している河道において、中規模洪水時に流れが滞筋に集中し、砂州上の流速が比較的低速となる単断面的な蛇行流れが生じることで砂州上に細粒土砂の堆積や樹木の再繁茂が生じていると考えられる。また、洪水時に砂州上の土砂が更新されうる掃流力が作用したとしても、例えば洪水減衰期において上流から供給される土砂が流出土砂より多ければ、その砂州は堆積傾向となり、いずれ樹林化を招く可能性がある。そこで、対象地点における物理量だけでなく、流れの横断・平面特性を表した指標を新たに樹木管理の指標として用いることで、持続効果の高い樹木管理ができると考えた。

流れの横断特性を表す指標としては、砂州上の平均水深と低水路平均水深の比である相対水深を選定した。流れの平面特性を表す指標としては、流路の蛇行度を選定した。相対水深は、洪水流下中に低水路と砂州のそれぞれが負担する水量比率と換言することができ、数値が大きいくほど砂州上の水深が大きくなる。蛇行度は、流路の曲がり具合を示した数値である。

3. 指標を用いた樹林化の要因分析

樹木管理を実施するための指標として新たに選定した相対水深及び蛇行度と実河川における樹林化状況の相関を取ることで、指標の有効性を検証した。さらに、対象地点における冠水日数も整理し、樹林化の要因分析に用いた。なお、各指標は、河川管理の容易さを考慮し、縦断方向に約 200 m 間隔の距離標ごとに算出した。

(1) 対象河川の概要

対象河川は、山形県の北西部に位置し、庄内平野を流

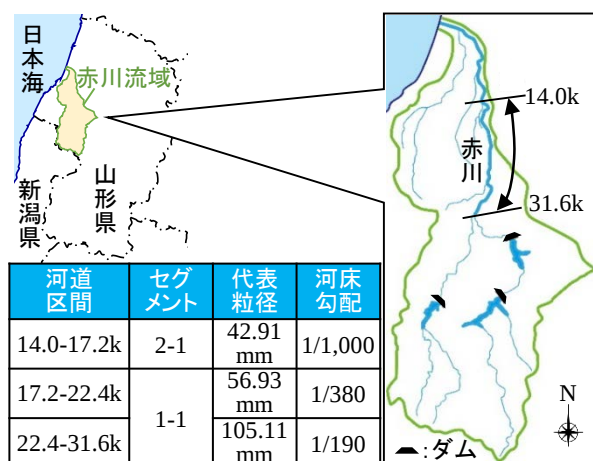
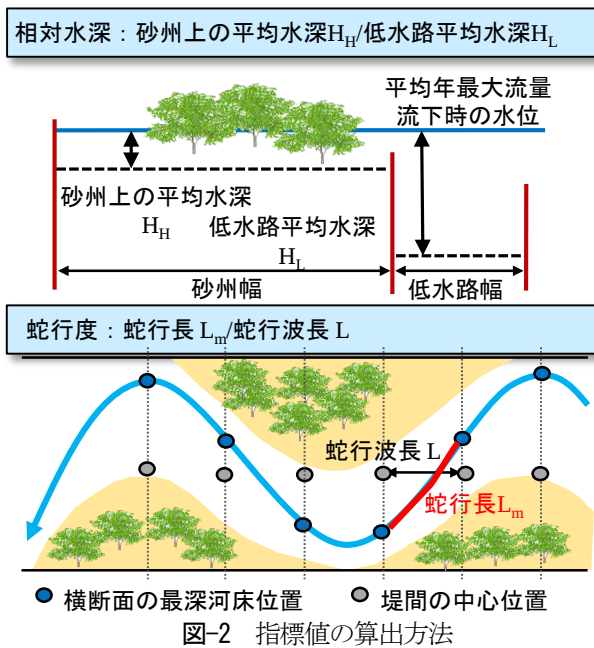


図-1 赤川流域図及び検討区間における河道特性

れる一級河川赤川である。図-1 に流域図及び検討対象区間である国土交通大臣管理区間の上流側（14.0k - 31.6k）における河道特性を示す。この区間の河床は主に礫により構成され、河床形状は単列砂州である。単列砂州の平面位置は、昭和期より大きな変化はなく、流路は固定化傾向であった。河道内樹木は、洪水のたびに破壊・生育を繰り返してきた。しかしながら近年では、流量や土砂供給量の減少等にもとない、礫河原にシロヤナギやハリエンジュが繁茂することで流路の固定化を助長し、流下能力の低下や滞筋での河床洗掘等が懸念されている。その対策として、平成 17 年より外来種の伐採事業が実施されているが、数年後に樹木の再繁茂がみられる地区があり、抜本的な樹林化対策とはなっていない。このような状況を改善し、伐採事業の効果を持続させる対策が求められている。

(2) 指標値の算出方法

指標値の算出方法を図-2 に示す。また、各指標の算出方法を以下に記す。まず、流れの平面特性を表す相対水深の算出方法について説明する。各距離標において平均年最大流量流下時の砂州上の平均水深及び低水路平均水深を準二次元不等流計算により算出した。ここで、低水路幅は平水流量流下時の川幅、砂州幅は平均年最大流量流下時の川幅から低水路幅を差し引いた幅、と定義した。砂州上の平均水深と低水路平均水深の比を取り、相対水深を算出した。次に、流れの平面特性を表す蛇行度の算出方法について説明する。各距離標における堤間の中心位置を縦断方向に結んだ直線距離を蛇行波長と定義した。また、各距離標における最深河床の位置を縦断方向に結んだ 3 次曲線距離を蛇行長と定義した。蛇行波長と蛇行長の比を取り、蛇行度を算出した。最後に、冠水日数の算出方法について説明する。各距離標の砂州の最高河床高と流況曲線より推定した水位を比較することで冠水日数を算出した。なお、各距離標の流況曲線は、対象区間内の水位観測所における平成 21 年から 25 年の日流量より推定した。



(3) 赤川の現況河道に対する検証

各距離標にて算出した指標値と樹木の有無の相関を整理し、各指標と樹林化の因果関係を分析した。相対水深及び蛇行度と樹木の有無の相関を図-3、相対水深及び冠水日数と樹木の有無の相関を図-4 に示す。なお、樹木の存在の有無は、平成 26 年河川水辺の国勢調査結果より確認した。

図-3 より得られた分析結果を記す。相対水深が 0.29 未満の場合、礫河原が存在していない。また、蛇行度が 1.04 以上の場合、礫河原がほとんど存在していないことが判明した。一方、相対水深が 0.3 以上であり、蛇行度が 1.04 未満である場合は、礫河原が存在していた。しかし、同領域においても樹林化した砂州は存在し、更なる要因分析が必要である。このような混在領域となる可能性については後章に述べる。なお、蛇行度が 1.21 であるにもかかわらず礫河原を維持している理由として、著者らは、この砂州は堰直下流に存在し、増水時において水面勾配が大きいため、砂州上の土砂が攪乱しやすい環境であると考えている。

次に図-4 より得られた分析結果を記す。相対水深が 0.3 以上であり、冠水日数が 25 日以上であれば、礫河原が維持されている。しかしながら、冠水日数が 25 日未満の場合は礫河原と樹林化した砂州が混在していた。

以上の分析より、赤川の礫床区間では、流れの横断特性を表す相対水深を 0.3 以上、流れの平面特性を表す蛇行度を 1.04 未満とすることが礫河原を維持するための必要条件であり、さらに冠水日数を 25 日以上とすることで樹木が繁茂しない河道へと導くことができる。

(4) 赤川礫床区間における樹木の管理指標の設定

樹林化が生じにくい河道とする対策としては、樹木伐採と同時に砂州の掘削、低水路線形の是正等を実施する

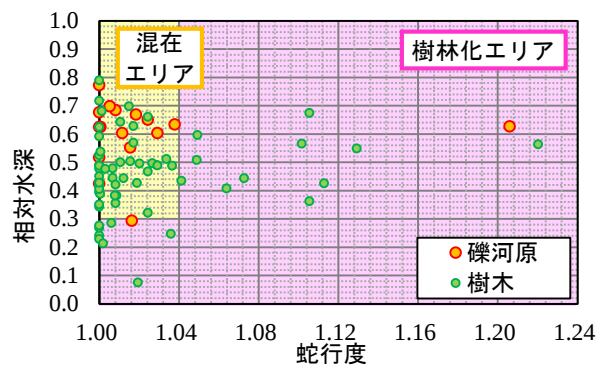


図-3 相対水深、蛇行度及び樹木の有無の相関

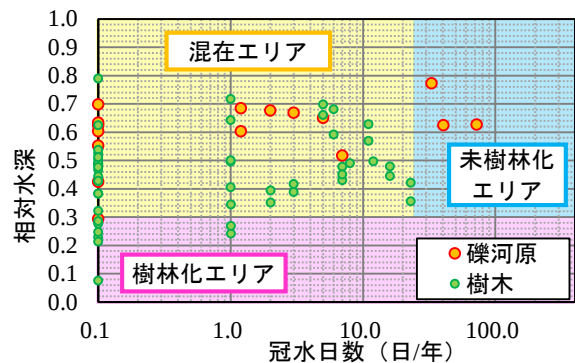


図-4 相対水深、冠水日数及び樹木の有無の相関

ことが考えられる。河道掘削を実施する際は、少なくとも相対水深が 0.3 以上となるように掘削高を設定することが必要である。蛇行度が 1.04 以上の場の対策としては、水制工等により縦断方向の流れを変化させることがよいと考える。以上より、赤川礫床区間における樹木の管理指標として相対水深 0.3 を設定し、その適用条件としては、蛇行度 1.04 未満とする。

4. 河床変動解析モデルを用いた管理指標の検証

過去に実施された樹木伐採の事業箇所を対象に、平面二次元河床変動解析モデルにより流況や河床変動状況を解析し、河床高変動量、無次元掃流力等を把握することで、設定した樹木の管理指標の妥当性を確認した。

(1) 解析モデル

数値解析には、フリーソフトウェア iRIC2.3 の河川流と河床変動を同時に計算可能な Nays2DH[®] を用い、モデルの構築及び不定流の平面二次元解析を実施した。流れの基礎方程式は、一般座標に変換された二次元浅水流方程式である。河床変動の解析は、掃流砂のみを対象とし、河床材料は混合粒径を考慮した。限界無次元掃流力は岩垣の式より、掃流砂量は芦田・道上の式より算定した。

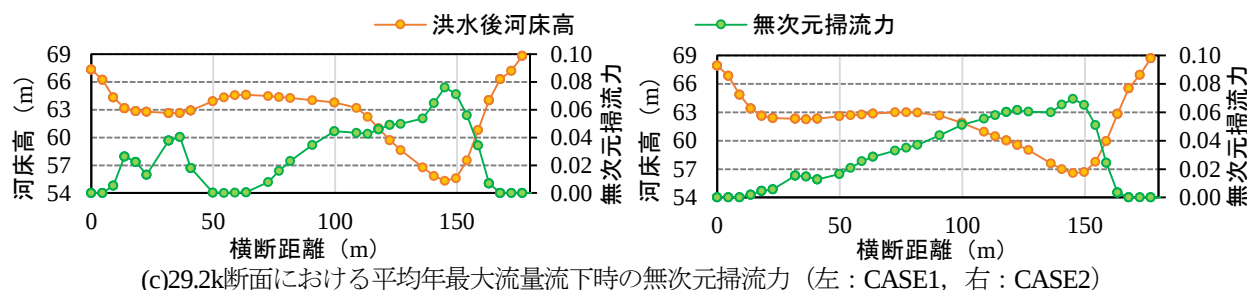
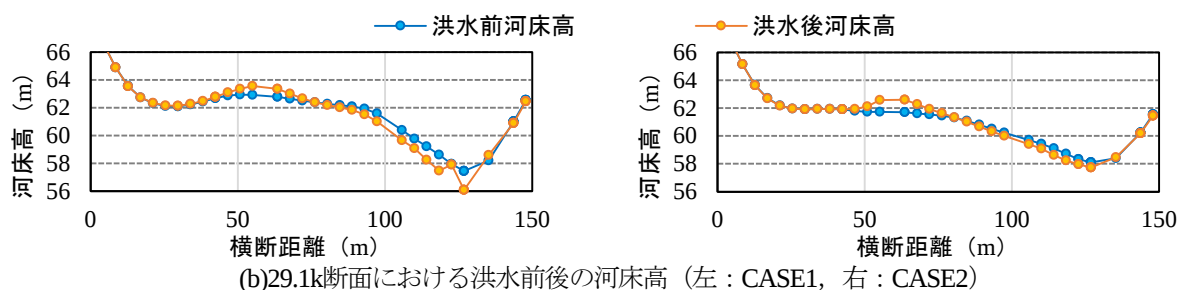
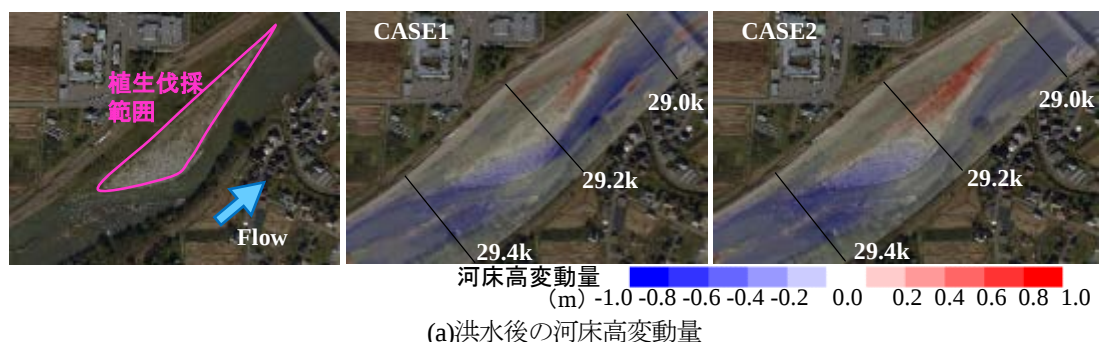


図-5 事業後に礫河原を維持している熊出地区における計算結果

(2) 解析条件

粗度係数は平成 25 年 7 月に発生した洪水水位の再現計算を実施し、河道区分 4 (17.2k - 22.4k) では 0.032 , 河道区分 5 (22.4k - 31.6k) では 0.036 と設定した。上流端には平成 21 年から 25 年の 5 年分の洪水流量を与え、下流端には H-Q 曲線より水位を与えた。植生による抵抗を解析に考慮し、植生分布は平成 26 年に実施の河川水辺の国勢調査結果を基に設定し、群落種ごとに植生高を与えた。河床材料の粒度分布は平成 26、27 年の調査結果を基に河道区分ごとに平均の粒度分布を与えた。

(3) 解析ケース

解析ケースは、過去に樹木伐採と河道掘削が実施された 2 地区を対象とし、表-1 に示すとおり 5 ケースを設定した。1 つ目の地区は、平成 21 年に事業が実施された熊出地区である。事業実施前は平均年最大流量流下時でもほぼ冠水しない砂州であったが、事業により 2 m 程度の砂州の切下げが行われ、相対水深が 0.3 程度を満たす河道形状となった。そこで解析ケースは、事業実施前後の 2 ケースとした。2 つ目の地区は、平成 23 年に事業が実施されたものの、現在、砂州の下流側から

表-1 解析ケース

対象地区	ケース	相対水深	備考
熊出地区	CASE1	—	事業実施前
	CASE2	0.3	事業実施後
馬渡地区	CASE3	0.3	事業実施前
	CASE4	0.3	事業実施後
	CASE5	0.5	仮想

樹木の再繁茂が生じている馬渡地区である。馬渡地区では、事業によって 50 cm 程度の河道掘削を実施したが、事業実施前後において相対水深はほぼ変わらず 0.3 程度であった。そこで、解析ケースとしては、事業実施前後の 2 ケースと相対水深が 0.5 となるように河道掘削を実施した仮想ケースの計 3 ケースとした。

(4) 解析結果の考察

a) 礫河原が維持されている熊出地区

洪水後の河床高変動量の平面分布、29.1k 断面における洪水前後の河床高、29.2k 断面における平均年最大流量流下時の平均粒径に対する無次元掃流力を図-5 に示す。事業前の CASE1 では、滞筋にて洗掘が連続的に生じている。一方、事業後の CASE2 では、滞筋における河床の変化は小さく、安定している。特に 29.1k

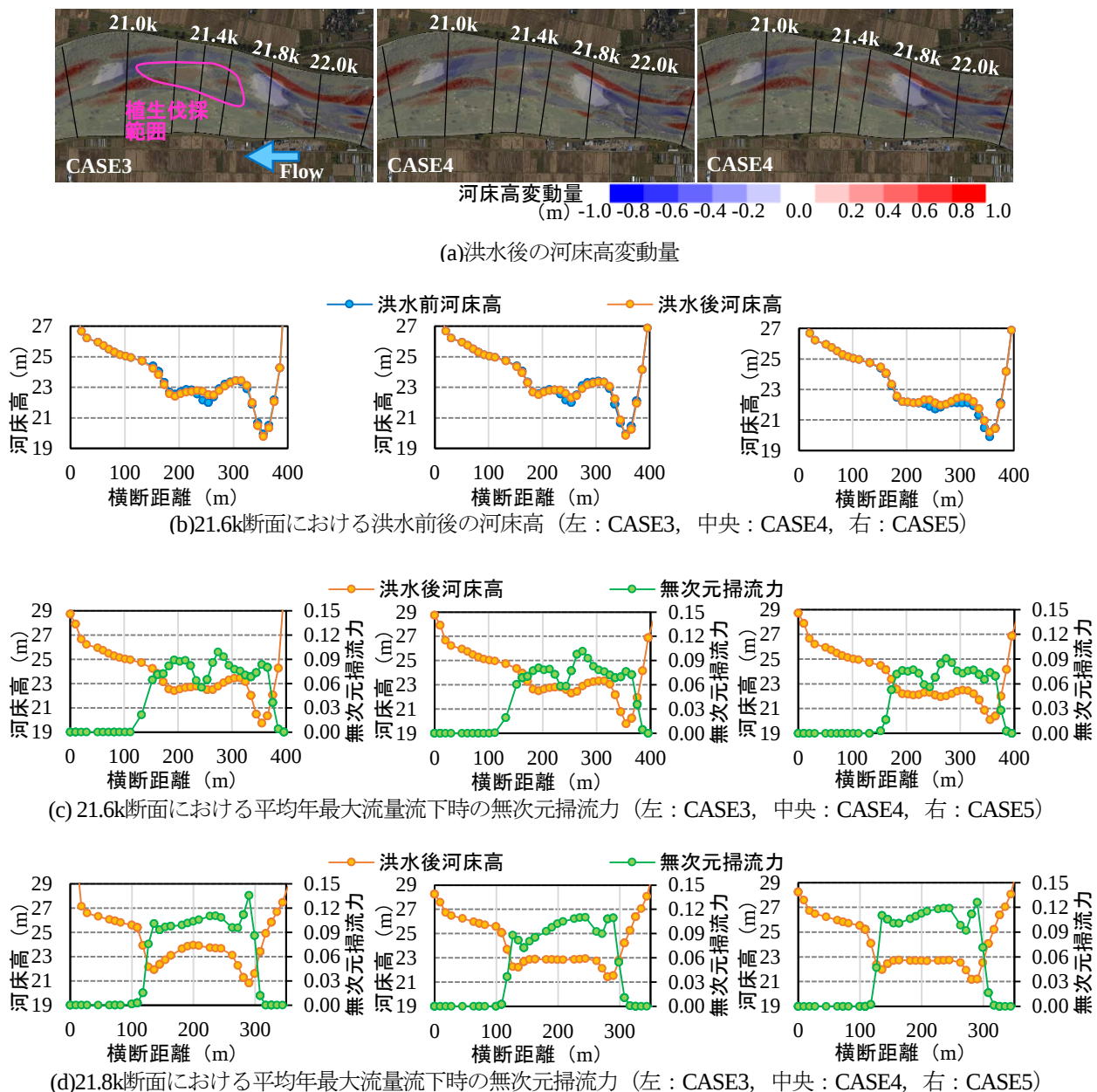


図-6 馬渡地区における計算結果

断面では、事業により、1 m 程度の最深河床の低下が緩和された。さらに、横断方向の無次元掃流力の変化が小さくなり、河道の二極化が生じにくい流況となった。このように、相対水深が 0.3 となるように河道掘削を実施することで、単断面的な蛇行流れから複断面的な蛇行流れへと導くことができた。しかしながら、事業を実施したとしても、砂州の下流側が堆積傾向であった。なお、この堆積傾向は、平成 27 年度末の現河道においても生じている可能性が考えられ、実際に砂州標高を計測していないが、砂州下流側にツルヨシ等の草本類の侵入が確認できる。熊出地区における検証により、相対水深 0.3 を目安とした河道掘削を実施することで、河道の二極化を解消することができ、安定河道の形成により持続効果の高い樹木管理を実施できる可能性が確認できた。

b) 樹木の再繁茂が確認されている馬渡地区

洪水後の河床変動量の平面分布、21.6k 断面における洪水前後の河床高、21.6k 断面及び 21.8k 断面における平均年最大流量流下時の平均粒径に対する無次元掃流力を図-6 に示す。21.6k-21.0k に位置する中州は、相対水深の値にかかわらず、いずれのケースにおいても、堆積傾向であった。2 断面における無次元掃流力の分布を確認すると、平均粒径程度の土砂が攪乱するほどの河床の更新が生じていると考えられるが、中州が堆積傾向である理由としては、上流から下流に向かって土砂の輸送力が低下しているためと考えられる。その要因として、22.0k 断面では両岸に樹木が密生しているために土砂が更新されうる川幅が比較的狭いが、22.0k から 21.6k に下るにつれ土砂が更新されうる川幅が急拡大の傾向にあり、その分掃流力が低下し、中州に土砂が堆積することが考えられる。実際に土砂が更新されうる川幅と

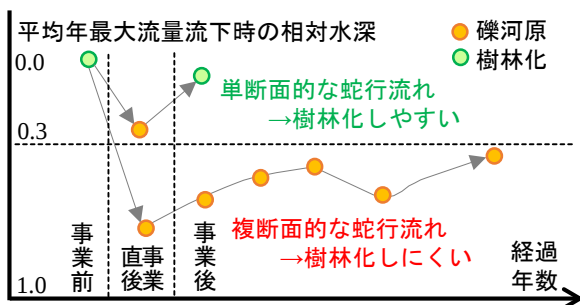


図-7 相対水深を指標とした樹木管理イメージ

して平均粒径に対する無次元掃流力 0.05 以上の川幅を採用したときに、21.8k 断面における川幅は 170 m 程度であるのに対し 21.6k 断面では 210 m 程度の川幅と、200 m 下るのに対して 2 割程度の川幅が増加していた。なお、この縦断的な掃流力の低下が、相対水深が 0.3 以上であるにもかかわらず、現況河道にて樹林化が生じている要因の一つであると考え。このことは、局地的な無次元掃流力だけを樹木管理の指標とすることの限界を示唆しており、流れの横断・平面特性を考慮した樹木管理が必要であると考え。

5. 流れの特性を考慮した樹木管理方策

赤川礫床区間での指標を用いた樹林化要因の分析や河床変動解析モデルを用いた検証計算により、水深方向の指標だけでなく、流れの横断・平面特性を考慮した指標も用いることで持続可能な樹木管理ができる可能性を示した。以上の検討を踏まえ、礫床区間における樹木管理方策の一案を記す。まず、流れの横断特性を表す相対水深を樹木管理の簡易な指標とすることが有効であり、平均年最大流量流下時の相対水深 0.3 を管理指標とすることがよいと考える。管理イメージを図-7 に示す。樹木が繁茂した相対水深 0.3 に満たない砂州に対して、樹木伐採と河道掘削を実施する。その際、相対水深が 0.3 より大きくなるように河道掘削を実施し、礫河原を維持しやすい複断面的な蛇行流れが生じるようにする。これにより、河道の二極化を解消し、持続効果の高い樹木管理が実施可能となる。しかしながら、流れの平面特性を表す指標である蛇行度が 1.04 以上である区間や土砂が更新されうる川幅が急拡大するような場では、相対水深のみを指標とした河道の掘削対策では不十分であり、水の流れを砂州上に誘導するような補助的な水制工等を併用し、無次元掃流力等の物理量の平面分布にも着目した樹木管理を実施する。なお、北陸地方の阿賀川では、河道掘削の実施により相対水深が 0.2 から 0.3 へ更新され、その結果、砂州上の攪乱作用が大きくなり、礫河原の再生に成功している⁹⁾。

6. おわりに

流れの横断・平面特性を表す指標として相対水深、蛇行度を選定し、これらの指標を用いることで持続可能性の高い樹木管理方策の実現性について検討した。以下に得られた主な成果を記す。

- 1) 樹林化が問題となっている赤川の現況河道において、樹木の有無、相対水深や蛇行度、冠水日数を算出することで相関を整理し、各指標と樹林化に関係があることを示した。
- 2) 相対水深を 0.3 以上とすることで、礫河原を維持しやすい流れ場である複断面的な蛇行流れを生じさせ、河道の二極化の解消が期待でき、持続効果の高い樹木管理が可能となることが示唆された。
- 3) 流れの平面特性を表す蛇行度が 1.04 以上の区間や土砂の動きうる川幅が下流方向に広がるような場では、相対水深 0.3 以上としたとしても、砂州上に土砂の堆積が生じる可能性が高い。

参考文献

- 1) 松田浩一，内堀寿美男，清水義彦，石原正義，藤堂正樹：固定化砂州での掘削路開削による洪水攪乱の誘発と樹林化抑制対策に関する研究，河川技術論文集，第16巻，pp.235-240，2010。
- 2) 山口里美，渡邊康玄，武田淳史，住友慶三：流路の固定化が進行した河道における効率的な旧流路回復手法に関する検討，河川技術論文集，第21巻，pp.217-222，2015。
- 3) 佐貫方城，大石哲也，三輪準二：全国一級河川における河道内樹林化と樹木管理の現状に関する考察，河川技術論文集，第16巻，pp.241-246，2010。
- 4) 赤堀遼介，前野詩朗，堀博幸，藤井勲：旭川玉柏試験区における自律的礫河原再生に関する研究，土木学会論文集B1（水工学）Vol.67, No.4, I_871-I_876，2011。
- 5) 海野修司，齋田紀行，伊勢勉，末次忠司，福島雅紀，佐藤孝治，藤本真宗：多摩川永田地区における河道修復事業実施後の生物群集と物理基盤の変化，応用生態工学，Vol.9 No.1，pp.47-62，2006。
- 6) 熊谷利彦，本多信二，堀江幸生：セグメント1 河道における礫河原環境再生に向けた三峰川青島地区での実証的研究，河川技術論文集，第14巻，pp.391-396，2008。
- 7) 岡田将治，福岡捷二：複断面河道における洪水流特性と流砂量・河床変動の研究，土木学会論文集，No.754/II-66，pp.19-31，2004。
- 8) NAYS2DH, <http://i-ric.org/ja/software/18>。
- 9) 仲村学，増田孝幸，高橋昭一，山邊満，渡辺国昭，澤井雄介：阿賀川における礫河原再生に向けた河道整備，河川技術論文集，第19巻，pp.489-494，2013。

(2016.4.4受付)