

流路の平面形状が砂州固定化 および樹木繁茂に与える影響

EFFECT OF CHANNEL PLANIMETRIC ON STABILIZATION OF BARS AND GROWTH OF VEGETATION

吉武央気¹・安田浩保²・須藤達美³

Hiroki YOSHITAKE, Hiroyasu YASUDA and Tatsumi SUTOU

¹正会員 工修 新潟大学大学院 自然科学研究科博士課程後期 (〒950-2181 新潟市西区五十嵐2の町8050)

兼 パシフィックコンサルタンツ (株) 国土基盤事業本部 河川部 つくば技術研究センター

²正会員 工博 新潟大学准教授 災害・復興科学研究所 (〒950-2181 新潟市西区五十嵐2の町8050)

³フェロー会員 工博 パシフィックコンサルタンツ (株) 国土基盤事業本部 河川部
(〒101-8462 千代田区神田錦町3丁目22番地)

In this study, we investigated the possibility of estimating the correlation between stabilization of bars and vegetation growth by the non-uniform strength caused by river-bed configuration. It's suggested from long-term channel evolution of the Kamanashi River that the rectilinear trend of channel caused stabilization of bars and growth of vegetation. Then, we analyzed the relation between stabilization of bars and growth of vegetation by 2-dimensional bed evolution model from Showa period to now, for calculating bed variation, non-dimensional tractive force, B/H , non-equilibrium strength. Therefore, it found that non-uniform strength which closely relate to bed evolution is a more correlational index than non-dimensional tractive force to figure out the variation of stabilized bars and vegetation.

Key Words : *non-uniform strength, stabilization of bars, vegetation control,
2-dimensional bed evolution model*

1. はじめに

砂州が形成されやすい河川では、洪水時でも変形が少ない砂州の固定化と河道内の高密度な樹木繁茂が問題となっている。このような問題に対して、樹木管理の指標の一つとして無次元掃流力が提案^(例えば1), 2)され、これを閾値として樹木伐採や河床掘削等の対策がなされている。しかし、無次元掃流力に基づく樹木管理の効果が十分でない河川も多く、対策後に樹木の再繁茂が生じている。このような河川における経年変化を航空写真で確認すると、昭和中期の時点で樹木繁茂が確認されることは稀である。また、この時点では、河道改修が未実施であることがほとんどで、河道の平面形状は、流路幅が流下方向に増減を繰り返す拡張型であることが多い。一方、現在の河道の平面形状は、人工改修により一定流路幅の直線的な平面形状となっている。流路の平面形状が拡張型から直線型へと変化したことにより、流路内の流れにおける不等流性が徐々に弱化したことが推測される。

著者らは、以上の状況を踏まえ、流れの不等流性が弱化したことが起因となり、砂州の固定化が進行し、それ

が、樹木繁茂を促進しているのではないかと推測している。効率的かつ効果的な樹木管理を実施するためには、従来の地点毎の水理量に代わり、流れの空間分布が有効な評価指標となる可能性が推測される。

本研究の著者らの着想と類似する先行研究としては以下が挙げられる。清水ら³⁾は、渡良瀬川において複数期間の河道の平面形を比較し、砂州の固定化と樹木繁茂に密接な関係があることを言及している。ただし、河道改修による流れの経時的な変化と砂州の固定化の関係性については言及されていない。鈴木ら⁴⁾は、吉野川全川を対象として、樹林化の自然的・人為的要因と植生変化の関係を把握するために無次元掃流力や水深、最深河床高の縦断変化など河道の時空間的変遷を整理している。しかし、砂州の平面形状の変化については、一地区のみを抽出した評価であり、砂州移動限界の視点から停止領域に該当することを考察している。

河道の平面形状と砂州の固定化についての先行研究としては以下が挙げられる。高橋・安田⁵⁾は、流路幅の流下方向の変化が一定以上となる拡張水路では、複列砂州が維持されることを明らかにしている。山口ら⁶⁾は、札内川の築堤当時の平面形状を対象に平面二次元河床変動

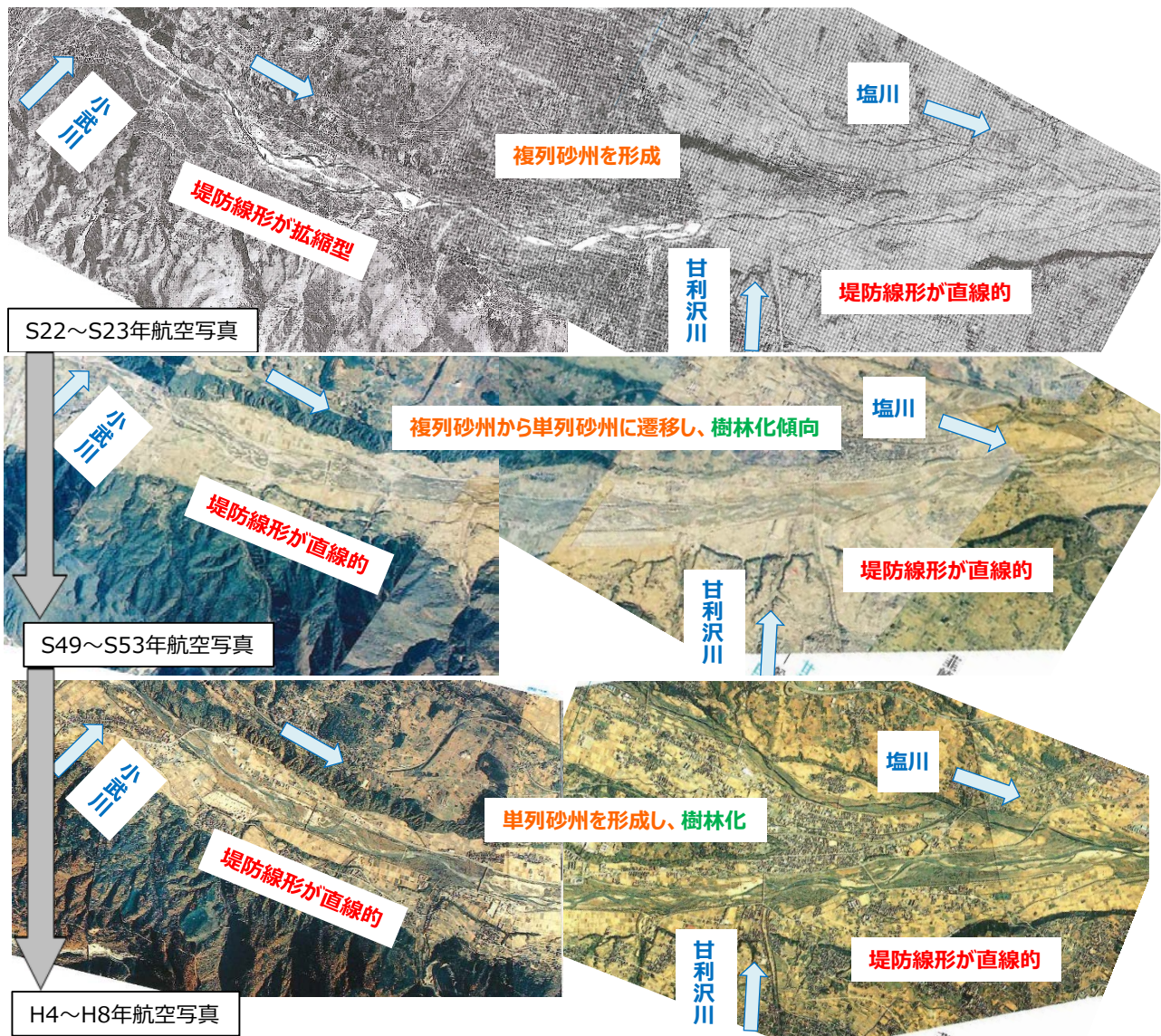


図-1 釜無川上流区間の河道変遷（「社団法人 関東建設弘済会：河・温故知新 関東の河川，1997.」⁸⁾ に加筆）

モデルを用いた現地スケールの数値実験を行い、水路の蛇行形状と河床変動特性には関係があることを明らかにしている。また、一定流路幅の直線流路に形成される交互砂州は、砂州の流下速度が次第に緩慢となり、ほとんど停止したような状態に至り、樹林化の促進を示唆する結果が報告されている⁷⁾。

本研究では、既往研究を踏まえ、流路の平面形状がもたらす不等流性の強度を新たに樹木管理指標とすることで、砂州固定化と樹木繁茂の関係を推定できるかについて検討した。不等流強度に着目したのは、既往の土砂輸送モデルでは、当該地点の掃流力が限界掃流力以上の時は土砂輸送があっても、等流時には河床の鉛直方向の変化がなく、不等流時には河床変動が生じるためである。

以上を踏まえ、本研究では、釜無川の上流・下流の2区間に対し、平面二次元の河床変動解析による分析を行った。昭和中期及び現在における河道の平面形状を幾何学的な境界条件とし、河床変動量、無次元掃流力、川幅水深比、不等流強度等を算出し、砂州の固定化と樹木

繁茂の関係性について分析した。

2. 対象河川の概要

本研究の対象河川は、山梨県を流れる一級河川富士川水系の釜無川とした。釜無川は、山梨県と長野県の境にある鋸岳に源を発し、甲府盆地南端で笛吹川と合流する。複数年代の航空写真を用いて釜無川の河道変遷を図-1及び図-2に整理した。区間は、小武川が合流する地点から塩川・御勅使川が合流するまでの区間を上流区間、塩川・御勅使川が合流する地点から笛吹川が合流するまでの区間を下流区間と分類した。

(1) 上流区間における河道変遷

上流区間のうち小武川が合流する地点から甘利沢川が合流する地点までの区間では、昭和20年代の河道の平面形状は、流路幅が流下方向に増減を繰り返す拡張縮小型で

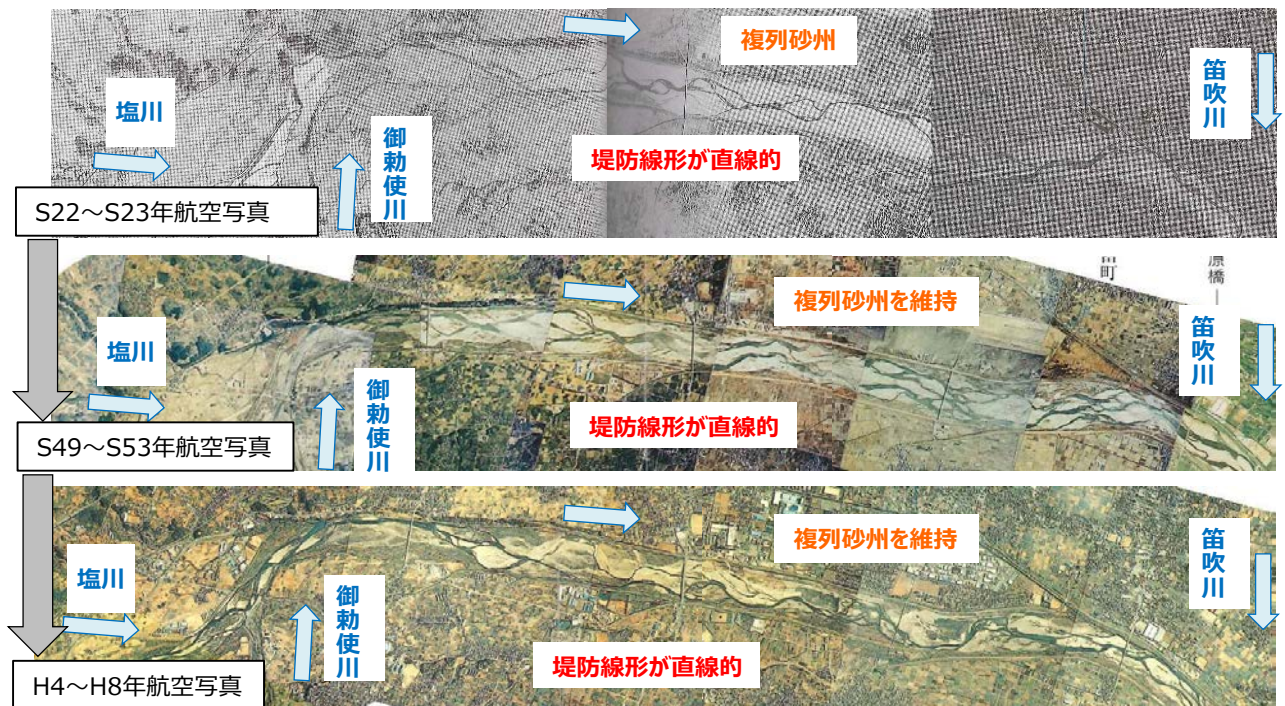


図-2 釜無川下流区間の河道変遷（「社団法人 関東建設弘済会：河・温故知新 関東の河川，1997.」⁸⁾に加筆）

表-1 解析ケース

ケース名	上流・下流	河道の平面形状
CASE11	上流区間	昭和年代
CASE12		平成年代
CASE21	下流区間	昭和年代
CASE22		平成年代

あり、複列砂州が形成されていた。その後、河道改修が進むにつれ、平面形状が直線的になったことに呼応するように、砂州固定化と樹木繁茂が目立つようになった。

甘利沢川が合流する地点から塩川・御勅使川が合流する地点までの区間では、昭和 20 年代時点で直線的な平面形状となっていた。そして、現在では、砂州固定化と樹木繁茂が目立つようになっている。

(2) 下流区間における河道変遷

下流区間では、昭和 20 年代及び現在ともに河道の平面形状は直線的であるものの、両年代とも複列砂州が確認できる。現在、河道内の樹木は繁茂していない。

(3) 砂州及び河道内樹木に影響する要因の整理

上流区間の上流側にはダムは存在しない。よって、本区間の砂州固定化と樹木繁茂には、ダムがもたらす水・土砂の輸送量の変化などは影響していないといえる。一方、下流区間の上流側には、塩川ダム・大門ダムが存在するが、2 ダムに堆積している堆砂土砂量は、不明である。ただし、下流区間では、砂礫河原を経年的に維持しているため、ダムによる土砂減少の影響は小さいと考える。砂利採取量は、国土交通省資料⁹⁾によると、昭和 41 年～平成 6 年に掛けて、概ね同程度である。経年的

な樹木伐採量の情報は不明であるが、平成では、河道内樹木の伐採や公募型樹木等採取等の取り組みがなされている。

3. 平面二次元河床変動解析モデルを用いた評価

(1) 解析モデルの概要

本検討で使用した平面二次元河床変動解析モデルは、実験水路や様々な実河川で再現・予測計算などに使用されている iRIC-Nays2DH Ver3¹⁰⁾ である。本研究では計算点の配置を一般化座標とした。一般化座標は、計算が破綻するほどの深刻な打ち切り誤差が生じることがある¹¹⁾。このため、計算点には、格子縁上の計算点の再配置及び放物線型の方程式による平滑化を施した。

(2) 解析ケース

解析ケースを表-1 に示す。解析ケースは、樹林化傾向が異なる上流区間・下流区間の 2 パターン、河道の平面形状が異なる昭和・平成年代の 2 パターン、計 4 ケースとした。各区間の縦断距離は 10 km 程度であり、小河道区分スケールの長さである。なお、水・土砂の輸送に対して支配的要因と考えられる流量に関しては、昭和・平成年代において平均年最大流量が同程度であったため、検証パラメータとして設定しないこととした。

(3) 解析条件

河道の平面形状は、昭和年代のものは昭和 22～23 年に撮影された航空写真より、平成年代のものは平成 4～8 年に撮影された航空写真より、堤防線形をトレースし

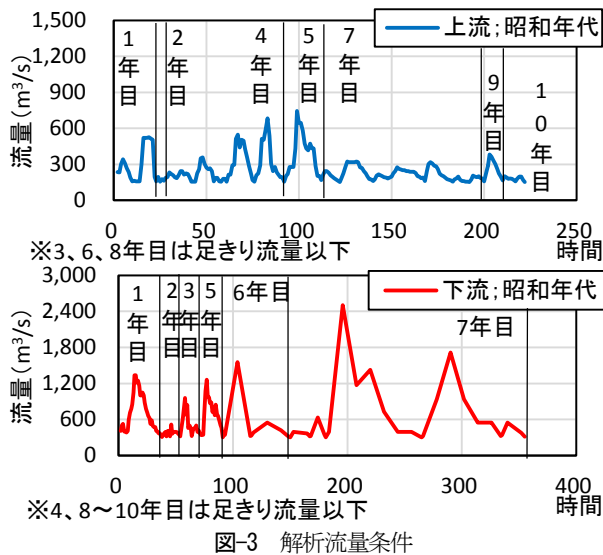


図-3 解析流量条件

て設定した。河床高について、横断方向は平坦とし、縦断方向は一定河床勾配と設定した。河床勾配は、上流区間が 1/100 であり、下流区間が 1/200 とした。河床材は単一粒径として扱った。与えた粒径は、代表粒径として、上流区間が 100 mm、下流区間が 60 mm とした。マンニングの粗度係数は、計画流量規模に対して推定された粗度を与えることとし、上流区間 0.033、下流区間 0.031 とした。計算格子は、横断方向 10 m 程度、縦断方向 30 m 程度となるように設定した。

設定した流量条件を図-3 に示す。上流区間の流量条件は、当該区間に位置する船山橋流量観測所の観測データを設定した。下流区間の流量条件は、当該区間に位置する浅原橋流量観測所の観測データを設定した。土砂が動きうる流量規模を下限値とし、20 年間の連続計算を実施した。上流区間の流量は、観測時刻流量データが存在する最も古い昭和 46～55 年の計 10 年データとした。下流区間の流量は、観測時刻流量データが存在する最も古い昭和 50～61 年（昭和 51、53 年は欠測）の計 10 年データとした。各 10 年データを2 度繰り返し与えることで、20 年分の計算を実施した。

(4) 解析結果

解析結果として、河床変動量、流速、川幅水深比、無次元掃流力、不等流強度を整理し、砂州の固定化と樹木繁茂の関係性について分析した。

a) 河床変動量

各解析ケースの最終時刻（20 年目）における河床変動量図及び流速図を図-4 及び図-5 に示す。なお、同図に断面ごとに無次元掃流力が最大値となる計算点を黒点で表示した。

上流区間における昭和年代の解析（CASE11）では、河道の平面形状の変曲点がきっかけとなり流れの拡散が生じ、複列砂州が形成され、変動が生じやすい河床形状となることが示された。一方、平成年代の解析（CASE12）では、河道の平面形状が直線的であるた

め、流れが単調となり、河床変動量が比較的小さく、河岸近傍が集中的に変動することが示された。このことは、次第に砂州の固定化が生じることを示唆している。

下流区間における解析（CASE21及びCASE22）では、両年代ともに複列的な流れと複列砂州が形成されることが示された。

結果として、CASE12 のみが単列的な河床形態となった。

b) 川幅水深比

交互砂州や複列砂州などの中規模河床形態は、川幅水深比と相関があると考えられている。そこで、各解析ケースの川幅水深比の時間変化を図-6 に示す。黒木・岸による中規模河川領域区分図¹²⁾で考えると、いずれのケースも複列砂州に該当する数値であり、CASE 間で大きな差異はないことが分かった。

c) 代表粒径に対する無次元掃流力

無次元掃流力については、解析期間中の全時刻における、各断面での断面平均値と断面最大値を各々算出した。そして、これらの断面平均値・断面最大値について、全時刻での平均値及び最大値を整理し、縦断変化として整理したものを図-7 に示す。

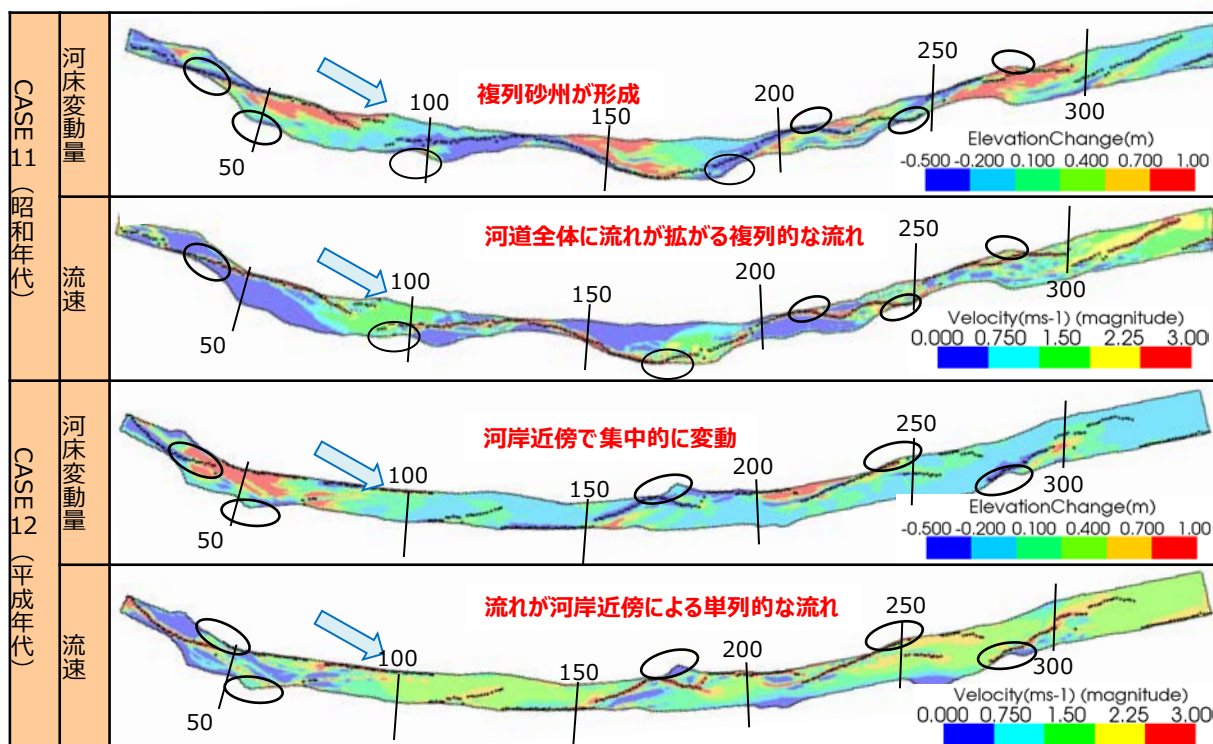
まず、断面・時間平均の無次元掃流力に関して考察する。無次元掃流力は、いずれのケースでも砂礫が動くと考えられる 0.05 より小さい値を推移し、その程度は各 CASE 同じであった。この結果と図-4 及び図-5 に示す河床変動量の結果を踏まえると、無次元掃流力によって確認できるのは、土砂移動の有無だけで、流れや河床変動の状況を予測する上で有益な情報が得られないことが分かる。

次に、断面・時間最大の無次元掃流力に関して考察する。今回算定した最大無次元掃流力は、滞筋で大きくなっている。したがって、CASE 間で比較した時、任意断面において最大値及び平均値が同程度である際には、砂州上の無次元掃流力も同程度であると考えられる。そこで、単列的な流れとなった CASE12 と複列的な流れである CASE11 を比較すると、縦断断面番号が 1～61 や 160～180 において同程度の数値である。この結果と図-4 及び図-5 に示す河床変動量の結果を踏まえると、砂州上の無次元掃流力だけを確認したとしても、砂州の変形の有無の確認は難しく、砂州が固定化するかの予測は難しいと考えられる。

d) 不等流強度

本節では、流路の平面形状がもたらす不等流性の強度を管理指標とすることで、砂州固定化と樹木繁茂の関係を推定できるか調べた。不等流強度は、「当該地点における流速の空間変化」と「縦断平均河床勾配と川幅から算出した断面平均流速」の比と定義した。

流れの傾向が異なる上流区間の解析ケースを対象として整理した最終時刻における不等流強度の空間分布を図-8 に示す。本検討では、メッシュ単位の流速計算結果



○ ※流れに影響を及ぼすと考えられる変曲点（水衝部であり、流路の平面形状が変化している箇所）

図-4 最終時刻（20年目）における河床変動量・流速の空間分布（上流区間）

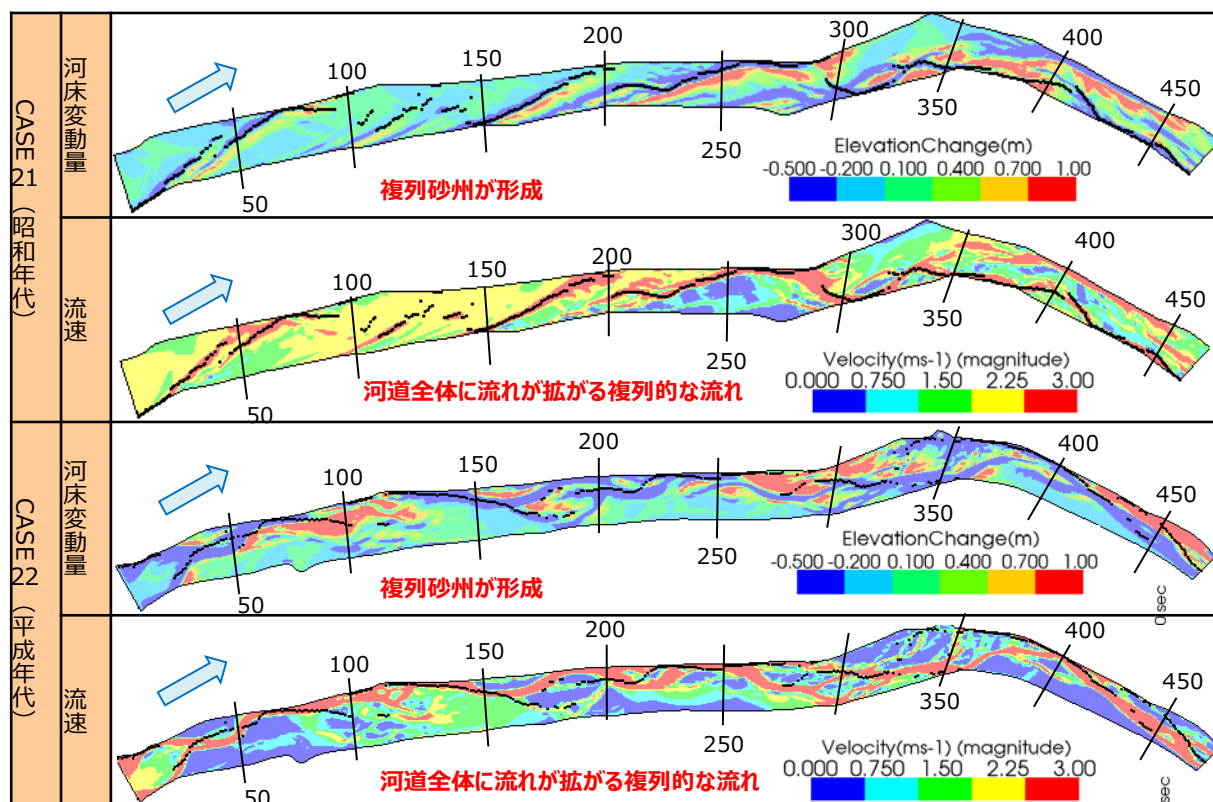


図-5 最終時刻（20年目）における河床変動量・流速の空間分布（下流区間）

を用いて、流れの不等流の空間分布を算出した。流れが複列的であった CASE11 では、河道全体において不等流強度が大小に変化している。つまり、これらの箇所では、河床変動が洗掘か堆積の状態にあり、河床材料の新

陳代謝が起きやすく、樹林化を回避しやすい状態となっていることが推測される。一方、流れが単列的であった CASE12 では、河道全体において不等流強度が小さく、比較的等流状態に近い流れとなっていることが分かった。

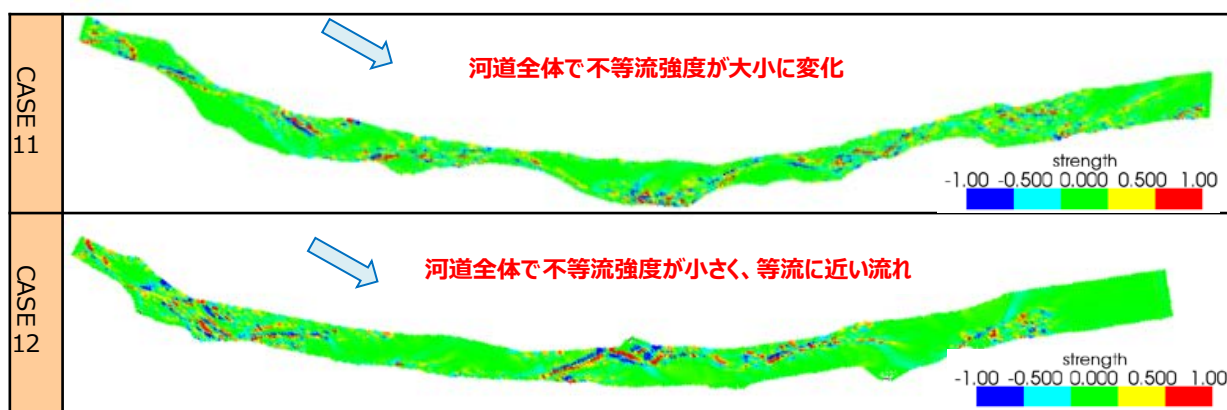


図-8 最終時刻（20年目）における不等流強度の空間

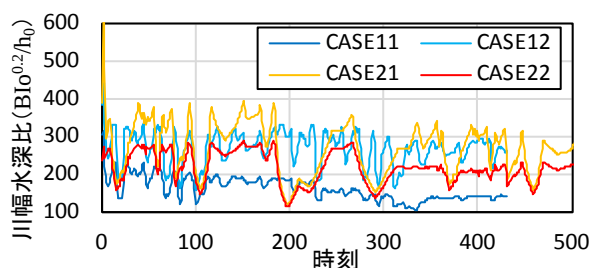


図-6 川幅水深比の時間変化

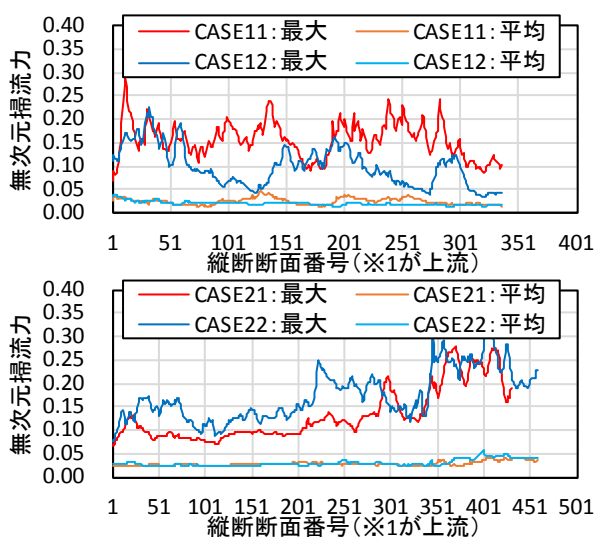


図-7 代表粒径に対する無次元掃流力の縦断変化

4. おわりに

本研究では、流路の平面形状がもたらす不等流性の強度を管理指標とすることで、砂州固定化と樹木繁茂の関係を推定できる可能性を示した。

不等流強度が空間的な分布を持ちかつ無次元掃流力が土砂移動する閾値以上であれば、樹林化の回避に有利と推定される河床材料の新陳代謝が活発な状況であることが推測される。一方、同程度の川幅水深比かつ土砂移動が生じる閾値以上の無次元掃流力が生じたとしても不等流強度が小さければ、等流的な流れとなるため、河床材

料の新陳代謝の領域が限定的となり、砂州が固定化してしまう可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 清水義彦, 小葉竹重機, 赤羽忠志, 藤田浩, 小松みわ子: 渡良瀬川中流域における河道特性と河道内樹林化について, 河川技術論文集, 第4巻, pp.129-134, 1998.
- 4) 鈴木克尚, 吉田高樹, 戸谷英雄: 吉野川における河道特性・地域特性を踏まえた樹木伐採計画について, 河川環境総合研究所報告, 第17号, pp.104-122, 2011.
- 5) 高橋玄, 安田浩保: 複列砂州の維持条件に関する一考察, 土木学会論文集B1 (水工学) Vol.68, No.4, I_961-I_966, 2012.
- 6) 山口里実, 鈴木英一, 清水康行, 井上卓也: 築堤当時の札内川にみられる河床変動特性: 蛇行水路における複列砂州に関する河床変動計算, 土木学会論文集B1 (水工学) Vol.69, No.4, I_1141-I_1146, 2013.
- 7) 石原道秀, 安田浩保, 齊藤選: 河床の力学的平衡状態に基づく樹林化回避地形の推定, 河川技術論文集, 第25巻, 2019 (印刷中)。
- 8) 社団法人関東建設弘済会: 河・温故知新 関東の河川, 1997.
- 9) 国土交通省: 第3回河川整備基本方針検討小委員会資料一富士川水系の関係資料, 2002.
- 10) Nays2DH, <https://i-ric.org/solvers/nays2dh/>.
- 11) 星野剛, 安田浩保: 自然河川の水理解析における一般座標格子が有する打ち切り誤差の理論的評価とその緩和手法, 土木学会応用力学論文集, 第16巻, pp.I573-I582, 2013.
- 12) 黒木幹男, 岸力: 中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究, 土木学会報告集, Vol.342, pp.87-96, 1984.

(2019. 4. 2受付)