

# 河岸の樹木が側岸侵食に与える影響について

(国研) 寒地土木研究所 寒地河川チーム ○川村 里実  
北海道大学 久加 朋子  
(国研) 寒地土木研究所 寒地河川チーム 矢部 浩規

急流河川では出水時の側岸侵食で堤防決壊や氾濫が生じることがある。近年河道内の樹林化が問題視される中で、侵食に対する樹木の影響を明らかにすることは、樹木管理また侵食対策を検討する上で重要である。本研究では、室内実験、数値シミュレーションにより河岸の樹木が側岸侵食に与える影響を検討し考察した。蛇行流路の水衝部と水衝部以外で植生による侵食抑制効果の影響度合いが大きく異なることを示し、このことが樹木域で側岸侵食が大規模化する要因のひとつであることを明らかにした。

キーワード：側岸侵食、河道内樹木、流路変動、侵食対策

## 1. はじめに

近年、河道内樹林化に関する維持管理上の問題が全国各地の河川で顕在化してきた。そのため、河道内植生と流路変動の関連性への関心が高まりつつあり、現地調査、水路実験、数値解析など多岐にわたる検討がなされている<sup>1)2)</sup>。植生による河岸の耐侵食性に関する従来の研究では、侵食に対する強度が主に河岸の安息角（本研究では、斜面崩落が生じる崩落角とする）で表されることがある<sup>2)3)4)</sup>。これは、植物の根等の影響で河岸における斜面崩落が生じにくくなるために崩落が生じる斜面角度が大きくなることを表す。これらを含む従来の検討によると、一般に植生域（樹林帯）では流れへの抵抗による流速低下や植生根の耐侵食性によって側岸侵食が抑制されるため、砂州の固定化や流路本数の減少、それに伴う流れの集中が流路の蛇行化を促すなどの知見が得られてきた<sup>1)2)3)4)5)</sup>。しかし、側岸の植生が流路変動による側岸侵食現象に与える影響については複雑で未だ十分に把握できていない。

近年、急流河川で頻発している侵食による被災の中には、樹木域で大規模な側岸侵食が生じた事例が散見され（写真-1や後述の図-8）、樹木の耐侵食性がかなり限定的であるように見える。特に十勝川水系の急流部では、写真-2のように河岸高さに対して根長が短いヤナギ類が多く繁茂しており、このような植生が流路変動に伴う側岸侵食に対してどのような影響を与えているのか明らかでない。植生の特性や河川の河道特性に応じて、植生の耐侵食性を把握することは河道維持管理上重要である。

本論文では、写真-2のように河岸に存在する植生が流路変動に伴う側岸侵食現象に対してどのように影響するのか基本的な特性を把握することを目的として、以下の二つの検討を実施した。一つ目は、室内実験において根



写真-1 流路変動による側岸侵食（音更川，2011年出水，帯広開発建設部提供）



写真-2 河岸に繁茂した樹木（音更川上流部）

の特性が異なる2種類の植物を用いた流路変動実験を実施し比較することによって、側岸に繁茂した植物の根が流路変動と側岸侵食に与える影響を検討したものである。二つ目は、実河川において大規模出水時に生じた樹木域での大規模な側岸侵食現象を対象とし、数値シミュレー

ションによって侵食過程における樹木の流水抵抗の影響を検討したものである。以上の二つの検討より河岸の植生が側岸侵食に与える影響について考察した。

## 2. 側岸の植生が流路変動に伴う河岸侵食へ与える影響について

### (1) 水理模型実験

根の特性が異なる2種類の植生（図-1）をそれぞれ養生し、河岸侵食を伴う流路変動の実験を実施した。それぞれの植生のケースと既往実験<sup>9)</sup>の植生無しのケースとを比較し、流路変動に伴う河岸侵食に対する側岸部の植生の影響を検討・考察を行った。

なお、この実験は、河岸高さよりも低い水位で実施しており、植生の流水抵抗は生じないため、単純に根の特性（長さ）の違いを検討するものである。

#### a) 実験概要

実験には、寒地土木研究所が所有する全幅3m延長26mの水路（図-2）を使用した。河床勾配は1/100とし、河床材料には東北硅砂4号（平均粒径0.765m）を使用した。水路全体に河床材料を厚さ0.1m敷設した後、水路中央に幅0.45m、河岸高さ0.02mの初期低水路を整形し、流量2.76l/sを10時間通水して低水路の拡幅過程を観測する実験を実施した。通水前には左右岸にそれぞれ幅0.5mの範囲（図-2）にCase1ではアルファルファ（図-3）、Case2では芝（図-4）を養生させた。いずれのケースも発芽後の平均密度は4-6本/cm<sup>2</sup>であり、かなり高い植生密度で養生した。図-3と図-4を見てもわかるように、Case1のアルファルファに比べてCase2の芝の根は短い。初期低水路河岸高さ0.02mに対して、Case1のアルファルファの根は平均2.3cm、Case2の芝の根は平均0.9cmであり、十勝川水系の音更川や札内川（写真-2）に見られるような樹木の根が河岸高さに対して十分に短い状況を想定するとCase1の根の長さは過大な条件と言える。Case2の根の長さが同現地の根の状況を再現できているとは限らないが、この2種類の植生を配した実験結果を比較することによって、河岸侵食に対する植生の根の影響を把握することを目的とした。なお、通水は山口・渡邊<sup>9)</sup>の実験と同条件で実施し、植生無しの彼らの実験結果と比較した。

#### b) 実験結果

Case1とCase2の通水10時間後の上空からのカメラ画像と河床形状をそれぞれ図-5および図-6に示す。図-6には植生無しの山口・渡邊<sup>9)</sup>の実験も示している（植生の範囲は正確な値が得られていないことに留意）。図を見ると、Case1では植生域で侵食が抑制されているが、Case2では植生域が大規模に侵食されている箇所があり（x=16m付近など）、植生無しのケースよりも河岸が大きく侵食されていることがわかる。



図-1 アルファルファと芝（久加ら<sup>5)</sup>, 2017）

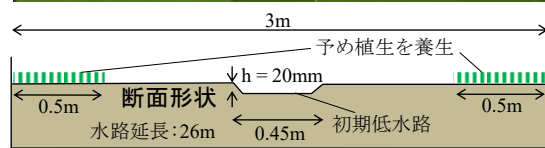


図-2 実験水路概要



図-3 Case1で養生したアルファルファ

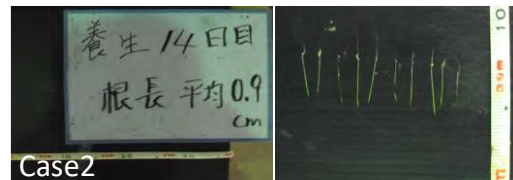


図-4 Case2で養生した芝

実験では、通水中、流路の変動過程を上空からの定点カメラで撮影（2分間隔）した。図-7に1時間毎または20分毎の流路水衝部の軌跡を示す。これを見ると、植生が無い場合は、流路水衝部が比較的速く流下方向へ移動しているのに対して、Case2では、流路水衝部の流下方向への移動が遅く、水衝部がほぼ同じ箇所に留まりながら側方へ大きく侵食が進行してしまっていることがわかる。

#### c) 河岸植生の根が流路変動に与える影響

図-6をみると、Case1およびCase2ともに植生無しの場合よりも流路の河床が低下している（コンター図の色が青色が連続している箇所が多い）のがわかる。これは、植生の根の影響によって斜面崩落が生じにくくなり、斜面崩落が生じるまでの河岸の角度が大きくなることで河岸際の流路で流れの集中が生じた<sup>14)</sup>ことが要因と考えられる。従って、大規模な側岸侵食が見られたCase2も、斜面崩落が生じにくくなるという河岸植生の根の影響が現れていると理解できる。河岸植生の根の影響で斜面崩

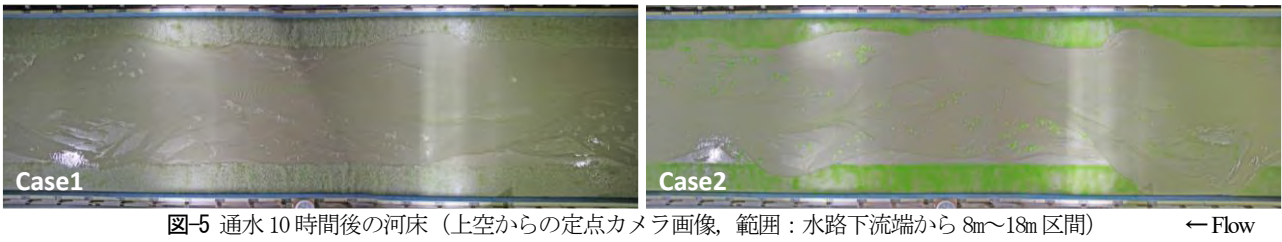


図-5 通水 10 時間後の河床（上空からの定点カメラ画像，範囲：水路下流端から 8m~18m 区間）

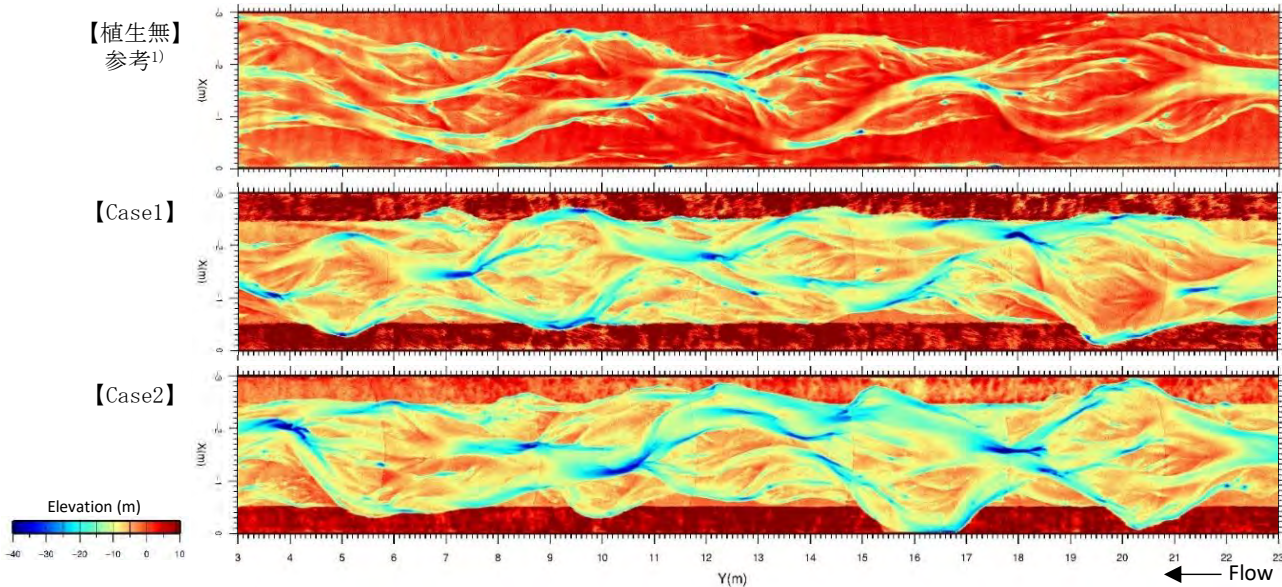
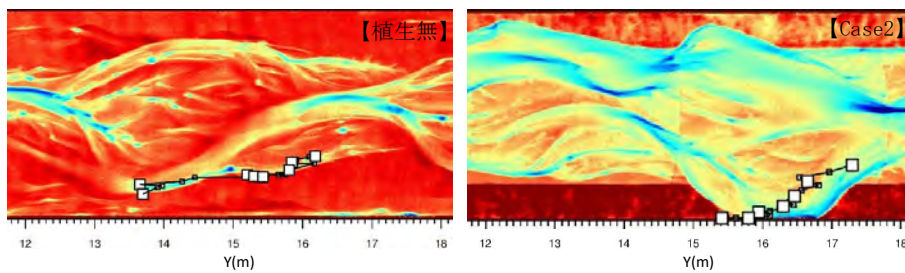


図-6 通水 10 時間後の河床形状（3D スキャナによる計測，初期高水敷高を基準）



—□— 1時間毎の水衝部の位置    —■— 20分毎の水衝部の位置

図-7 蛇行流路の水衝部の軌跡（通水開始から 3 時間以降を表記）

落が生じにくい状況下にも関わらず植生無しの場合よりも側岸侵食が大規模化した過程を以下のように考察する。

まず、植生によって河岸の斜面崩落が抑制されても（崩落角度が大きくなっても）、水衝部では河岸近傍が激しく洗掘されるので、特に河岸に対して根の短い Case2 では、その崩落角度を超えて斜面崩落が生じると、容易に河岸侵食が進行する。また、その一方で、水衝部以外の箇所ではそれほど大きな洗掘が発生しないため植生による崩落抑制の影響が大きく効いて河岸侵食が抑制される。このため、Case2 では、水衝部より下流側に残存する植生河岸によって水衝部の流下が妨げられ、水衝部の位置が固定化されたため、局所的に河岸侵食の進行が継続した。このように水衝部と水衝部以外で植生の耐侵食性の度合いが異なることが、流路の湾曲を助長して側岸侵食を大規模化させた要因と考える。

## (2) 実河川を対象とした数値シミュレーション

2016年8月の台風10号による大規模出水時に十勝川水系では、多くの箇所でも河道内樹木の大部分が消失するとともに流路の著しい拡張や蛇行化に伴う堤防決壊が生じた。この出水時の河道変化を事例として河岸付近に高密度に分布していた樹木の存在が流路変動にどのような影響を及ぼしたかを考察する。ここでは、植生流失を考慮した平面2次元河床変動解析を実施し、植生抵抗が流路変動に伴う大規模河岸侵食に与えた影響を検討した。

なお、大規模出水時は水位が河岸よりも高くなり、植生の流水抵抗の影響は大きいと考えられる。この計算では、植生の流水抵抗の影響を検討するものである。

### a) 対象河道の概要

2016年の大規模出水では、なかでも、音更川上流部の上士幌町付近において、図-8に示すように河道内の樹木



図-8 2016年北海道豪雨災害における音更川上流域の被災状況



図-9 植生有りのケースで設定した植生範囲

域の大部分が消失するとともに流路が大きく蛇行し、水衝部で大規模な河岸侵食が発生することによって左右岸連続で7箇所破堤するといった特徴的な被災状況が認められた。本研究では、この出水時の河道変化を検討の対象とした。

#### b) 計算概要

解析にはiRIC Nays2D (<http://i-ric.org/>) を用い、次のような樹木流失のモデル化を加えた。樹木流失を初期河床からの侵食深に応じて判定するものとし、ここでは植生が流失する侵食深を20cmと設定した。これは、侵食による植生流失は樹木の根長に関わると考えられるため、同十勝川水系支川である札内川での既往報告<sup>7)</sup>の根長を参考としている。

計算領域は、音更川SP1300～SP8600の区間とし、上流端には出水時の川幅変化が比較的小さい中央橋付近(図-8中に示す)を選定した。計算格子は縦断方向に7m、横断方向に4mとし、始めにより小さい格子間隔を用いても下記に示す計算結果が異なることを確認した。計算格子の河床高データには2009年取得のLPデータ(帯広開発建設部)を用いた。上流端流量は、2016年8月台風10号による出水時の土幌観測所の暫定値(帯広開発建

設部)を用いた。河床材料は現地調査結果<sup>9)</sup>より55mmの均一粒径とし、マニング粗度係数は0.03で一定値を与えた。河道内植生の密度は、前出の既往報告<sup>7)</sup>を参考に0.03とした。流砂量式は芦田・道上<sup>9)</sup>の平衡流砂量式を用い、隣り合うメッシュ間の河床高の差が安息角以下になるように斜面崩落を考慮した。

解析は、河道内の植生の有無による違いを検討するために、植生有りと植生無しの2ケースを実施した。植生有りのケースは2016年8月の台風10号による出水時の流路変動の再現計算となる。対象区間の出水前の航空写真(2016年8月)を参考に、計算格子単位で樹木の分布条件を与えた(図-9)。一方、植生無しのケースは、対象区間に樹木が一切存在しないとして樹木による抵抗が無い条件で実施し、植生有りのケースと比較した。

#### c) 計算結果

図-10に植生有りのケースの河床変動量コンター図を示す。本計算では、流路の蛇行化に伴い水衝部で大規模な側岸侵食が生じることによって左右岸連続で複数箇所堤防が侵食される様子が良好に再現されている。本計算は、植生による抵抗や斜面崩落角を設定することで、流路変動にともなう大規模な河岸侵食の特性を再現できる十分な精度があると考えられる。

植生無しのケースの河床変動量コンター図を図-11に示す。このケースでは、側岸侵食の規模が過小評価されており、複数箇所堤防が侵食された被災状況を再現できていない。また、図-12に植生有りと無しの両ケースの横断形状(A-A'断面)の変化を示す。この断面では、蛇行流路の水衝部にあたる右岸側の侵食量に両ケースの違いが見られ、植生無しのケースでは水衝部における河岸侵食の規模が小さい。

このように、植生有りのケースの方が蛇行流路の振幅が大きく水衝部における河岸侵食の規模が大きくなる結果となった。ここでの植生無しの計算とは、単に植生の抵抗をゼロとただけであり、実際の植生無しの状況が正確に再現されているとは限らないという点には留意する必要があるものの、少なくとも水衝部において側岸の植生の抵抗には河岸侵食を抑制する効果が期待できないことがわかる。

#### d) 河岸の植生の抵抗が流路変動に与える影響

図-13に両ケースの植生分布状況と流況を経時的に示す。出水ピーク時(図-13中ハイドログラフの①の時点)は、両ケースともに流れが低水路内で蛇行しているのが確認できるが、植生有りのケースの方がより明確な蛇行流が見られる。これは、河岸や砂州上では植生の抵抗によって流速が低下し、これを迂回するような蛇行流が強調されるためと考えられる。更に、流量低下時(図-13中ハイドログラフの②および③の時点)において、植生無しのケースでは、蛇行流の水衝部が流下するとともに蛇行流が不明瞭になっているのに対して、植生有りのケースでは明確な蛇行流が維持されている。これは、流

水抵抗によって侵食が生じにくいいため植生が流失されにくく残存するために、前述と同様に植生箇所を避けるよ

うな蛇行した主流が維持されやすく、この残存した植生の抵抗によって水衝部の流下が妨げられたためと考えら

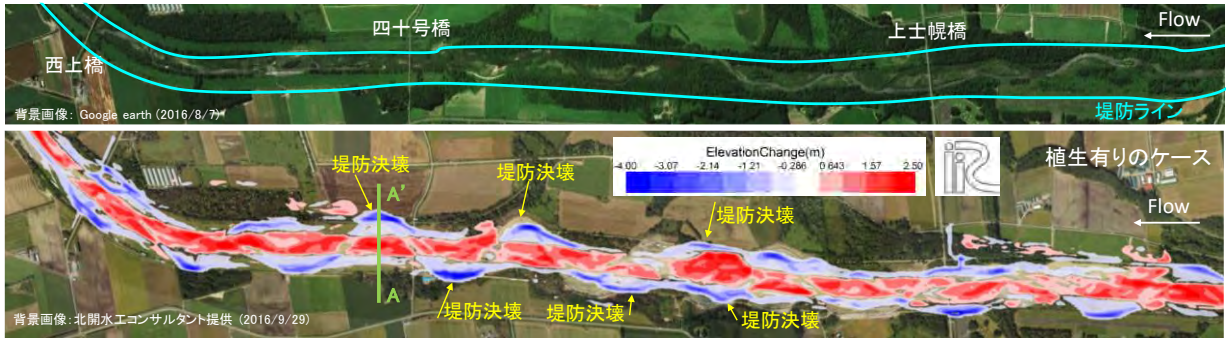


図-10 計算終了時の河床変動量コンター図 (植生有りのケース)

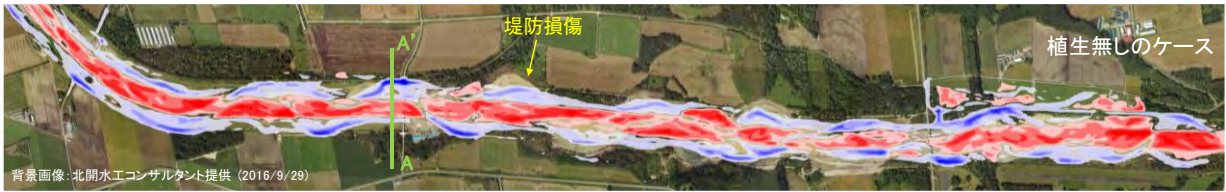


図-11 計算終了時の河床変動量コンター図 (植生無しのケース)

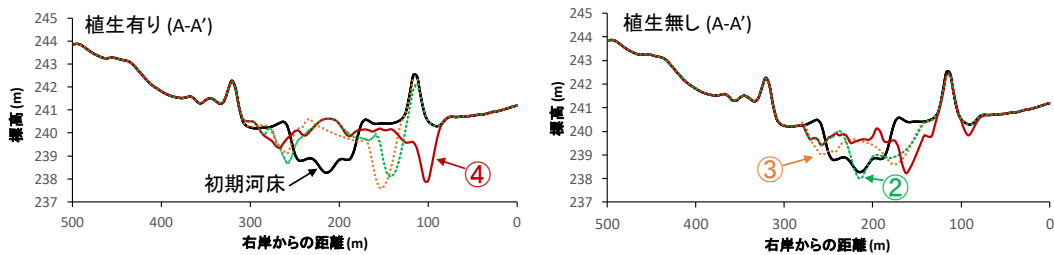


図-12 A-A'断面上の横断図 (①~④)はそれぞれ図-7中に示す時刻に対応

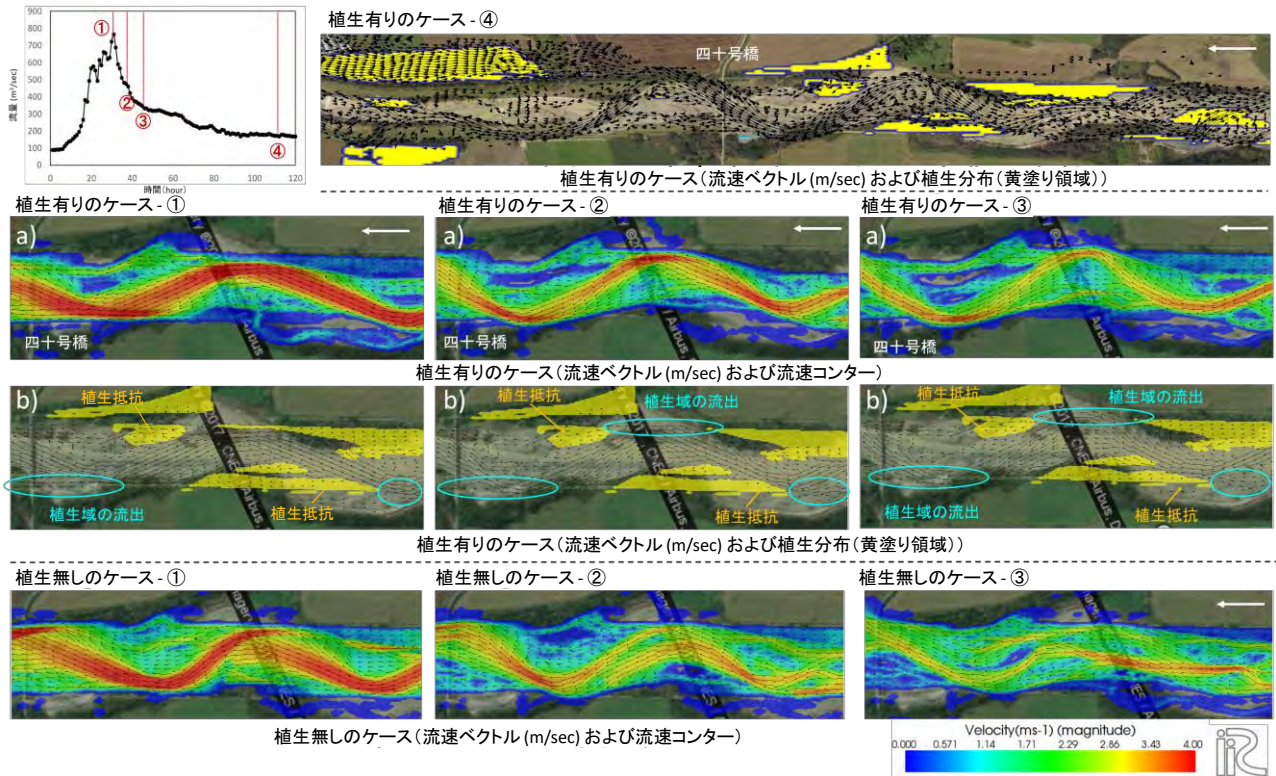


図-13 両ケースの流速分布の経時変化

れる。水衝部以外では植生が残存しやすい一方で、水衝部では、河岸近傍が激しく洗掘されるので、たとえ植生の影響で斜面崩落が生じにくく（崩落角度が大きくなる）としても、その崩落角度を超えるほどの洗掘が生じ、結局は斜面崩落によって河岸侵食が進行する。斜面崩落自体は、河岸の植生の流水抵抗とは無関係に生じるため、植生が存在する河岸でも水衝部では河岸侵食が進行する。つまり、水衝部では植生抵抗に関係なく崩落による侵食が進行するのに対して、水衝部以外では流水抵抗が耐侵食性として働くため、水衝部と水衝部以外で流水抵抗による耐侵食性の度合いが異なる。このことが植生無しのケースよりも側岸侵食が大規模化した要因と考えられる。

### (3) 考察

以上の実験および計算による検討結果および考察をまとめたものを以下に示す。

- ・樹木が繁茂する河岸は、斜面崩落が生じにくくなる（崩落角度が大きくなる）という根の影響や流水抵抗による耐侵食性が働き、河岸侵食は抑制される。しかし、大きな洗掘が生じる箇所では、洗掘によって河岸の角度が著しく大きくなり得るため植生の影響をほとんど受けずに斜面崩落が生じて側岸侵食が進行する。そのため、蛇行流の水衝部などの激しい洗掘が生じる箇所においては、河岸植生には側岸侵食の進行を抑制する効果がほとんどないものと考えておくべきである。

- ・一方、大きく洗掘されることがない箇所では、植生による耐侵食性が働くため、水衝部以外の箇所では河岸侵食が抑制されることにより河岸植生も残存しやすい。

- ・残存する植生によって主流の蛇行が強調されるような場合、より明確な水衝部が現れる。特に水衝部の流下が妨げられる場合は、固定化された水衝部において著しい洗掘が生じることになる。その結果、前述の実験および計算による検討において、いずれも植生有りのケースで河岸侵食の規模が増大したと考えられる。

近年、河道内の樹木繁茂が深刻な問題となっている中で、特に急流河川では、流下能力の確保だけでなく、出水時の主流に与える植生の影響にも配慮した樹木管理が必要とされる。出水時の樹木の流失／残存を予測することは難しい課題であり、上述のように水衝部と水衝部以外で植生による侵食抑制効果の影響度合いが異なることも現象の理解を複雑で困難にする要因の一つである。本研究で得られた知見だけでなく、従来および現在継続されている研究・報告成果等に基づいて予測手法を確立することが重要となる。また、側岸侵食による被害が想定される大規模な出水時に備え、少なくとも断面形状だけでなく平面形状にも配慮した樹木管理の検討が求められる。今後の課題と考える。

### 3. おわりに

本研究では、流路変動に伴う河岸侵食現象に対する河岸の植生の影響を把握することを目的として、室内実験を実施するとともに実河川を対象とした数値シミュレーションを実施し、検討と考察を行った。得られた知見は以下のとおりである。

- ・蛇行流の水衝部では、激しい洗掘による斜面崩落が生じるため、河岸植生には側岸侵食の進行を抑制する効果がほとんどないものと考えておくべきである。

- ・一方、水衝部以外の箇所では植生による河岸侵食を抑制する効果が大きく、植生も残存しやすい。

- ・残存する植生によって水衝部の流下が妨げられる場合は、固定化された水衝部において河岸侵食の規模が著しく増大する。

樹木管理において、出水時の樹木の流失／残存を予測することは難しい課題であり、上述のように水衝部と水衝部以外で植生による侵食抑制効果の影響が異なることも現象の理解を複雑で困難にする要因の一つである。今後の課題として、予測手法の確立とともに、側岸侵食による被害が想定される大規模な出水時に備えて、断面形状だけでなく平面形状にも配慮した樹木管理の検討が求められる。

#### 参考文献

- 1) 清水義彦, 岩見収二: 河道内樹林化による複列砂州の固定化とみお筋の形成過程に関する考察, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.69, 1135-1158, 2013.
- 2) Jang, C. L., Shimizu, Y.: Vegetation effects on the morphological behavior of alluvial channels, Journal of Hydraulic Research, Vol. 45, pp.763-773, 2007.
- 3) Millar RG. 2000. Influence of bank vegetation on alluvial channel patterns. Water Resources Research 36(4): 1109-1118.
- 4) 内田崇浩, 木村一郎, 川村里実, 清水 康行: 河岸強度特性の相違を考慮した 河川地形変遷に関する数値解析的研究, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol. 70, No. 2(応用力学論文集 Vol. 17), I\_793-I\_800, 2014.
- 5) 久加朋子, 山口里実, 渡邊健人, 清水康行: 植生分布を考慮した網状河川の流路変動に関する実験的検討, 水工学論文集, Vol.73, 883-888, 2017.
- 6) 山口里実, 渡邊康玄: 節腹連続河道形状の発達過程に関する実験, 水工学論文集, Vol.60, pp.745-750, 2016.
- 7) 永多朋紀, 渡邊康玄, 安田浩保, 伊藤丹: 砂州地形に誘発された蛇行発達, 水工学論文集, Vol.69, 1009-1104, 2013.
- 8) 村中寿孝, 佐々木香織, 岡部和憲, 長谷川和義: 音更川出水時における河道樹木の流失・堆積について, 平成 29 年度土木学会年次講演会, 2017.
- 9) 芦田和男, 道上正規: 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第 206 号, pp. 59-69, 1972.