側岸に繁茂する植生が流路変動に与える影響の検討

久加　朋子[1]

Tokomo KYUKA

[1] 北海道大学大学院工学研究院　博士研究員

要　旨

2016年北海道豪雨災害では，十勝管内の大多数の河川において河道内樹木が大規模流出した．本報では，河道内側岸に繁茂する樹林帯が出水時の流路変動に与える影響を把握することを目的に，音更川における大規模流路変動の事例を対象とし，出水中に次第に樹木が流出することが流路変動に与える影響を数値計算より検討した．これより，植生ありのケースでは植生なしのケースに比べ, 流路水衝部で発生する局所的な側岸侵食が大規模化する現象が確認された．これは，1） 側岸の植生が河岸構成材料の一部として河岸侵食を抑制する一方で，2） 蛇行水衝部などで側岸の植生域が消失した場合，その直下流の側岸部に残存した植生の耐侵食性により水衝部の下流への移動が妨げられるためである．

《キーワード：2016年北海道豪雨災害，流路変動，河道内樹木，樹木流失》

1. はじめに

本年度は，植生環境の長短期変動による河床・流路変動のうち，2016年北海道豪雨災害において十勝管内の大多数の河川において河道内樹木が大規模流出したことを背景に，河道内樹木が出水時に流失することが短期的な流路変動特性に及ぼす影響の検討を実施した．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いる．河道内樹木は出水時の抵抗や流路変動に与える影響が大きいため，これまで現地調査，水路実験，数値解析など多岐にわたる検討がなされてきた．これらの検討によると，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[1),2),3)]．その一方で，局所的なスケールでは，河岸や堤防付近に集中的に繁茂する植生（**図-1**）は河岸構築材料として河岸侵食を抑制するため，流路の側方への移動を抑制するといった防災面での効果も期待されている[4)]．しかしながら，こうした河岸付近に繁茂した植生による河岸侵食抑制効果を検討した報告は幾分存在する[4)] ものの，河岸付近の植生分布が出水時に時空間的に変化することによる流路変動特性までを合わせて検討した報告は非常に限られている．つまり，大規模出水時，河岸付近に広域的に繁茂していた樹木の分布状況が急速に変化する状況下においてどのような流路変動特性が現れるかについては殆ど明らかとされていない．今日，我が国の大多数の河川で河道内樹林化が進行しており，さらに昨今の大規模出水現象の増加を踏まえると，河道内側岸付近に広域的に分布する植生による植生抵抗の時間的な変化がその後の流路変動に与える影響を把握することは河川維持管理上重要な課題であると言える．

図-1　河岸付近に繁茂した樹林帯付近の河岸侵食

2016年8月，北海道豪雨災害では十勝川水系の多数の河川にて河道内樹木の大部分が消失すると共に，流路の著しい拡幅や蛇行化に伴う堤防決壊が生じた．なかでも，音更川上流部の上士幌町付近では，**図-2**に示すとおり直線的に整備された区間において流路が大きく蛇行し，河道内樹林の大部分が消失すると共に，河岸付近の護岸や植生消失を伴った左右岸連続で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．本出水において，このような短い区間で連続的に破堤した被災箇所は他になく，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把握することは重要である，

そこで，本研究では河岸沿いに縦断方向に連続的に分布する植生（樹林）帯に着目し，はじめに音更川上流域を対象に植生流失を考慮した平面2次元河床変動解析を実施し，植生流失による側岸の植生抵抗の変化が流路変動に与えた影響を検討した．次いで，数値解析から得られた流路変動特性の妥当性を確認するため，2種類の植生を用い，同一規模の実験流量に対する側岸付近の植生抵抗による耐侵食性

のみを異ならせた水路実験を実施し，側岸部の植生が流路変動に与える影響を把握した．

2. 数値解析による音更川の検討

（1）解析条件

音更川対象区間における河岸付近の樹林帯が出水時の流路変動に与えた影響を把握することを目的に，水深平均された平面2次元河床変動解析を行った．解析にはiRIC Nays2D（http://i-ric.org/）に，出水中の樹木の流出を初期河床からの侵食深で判定できるように修正を加えたものを用いた．

計算領域は，音更川SP1300～SP8600の区間とし，上流端には比較的川幅変化の認められなかった**図-2**に示す中央橋付近を選定した．計算格子は縦断方向に7m，横断方向に4mとし，始めにそれより小さい格子間隔を用いても下記に示すRun 1の再現計算結果が異ならないことを確認した．計算格子の河床高データには平成21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月出水時に音更川対象区間の流路が大きく蛇行化した台風10号による出水を対象とし，士幌観測所の暫定値（帯広開発建設部）を用いた．河床材料は現地調査結果（(株) 北開水工コンサルタント）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，同じく十勝川水系の支川である札内川の既往報告[5]を参考に，植生密度に0.03，植生の流出する侵食深に20cmを与えた．河床変動計算では，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することで斜面崩落を表現した．解析は3ケースとし，河道内の植生の有無および植生繁茂状況の違いが流路変動に与える影響を把握した．Run 1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である．Run 1では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の有無条件を与えた．Run 2は，対象区間に樹木が分布しなかった場合の流路変動をRun 1と比較するものである．Run 3は，対象区間の樹木の分布状況を異ならせたもので，平水時程度の流量（25m^3/sec）を計算の初期条件として与え，水没しなかった全ての場所（高水敷や浮州）に樹木を

図-2　2016年北海道豪雨災害における音更川上流域の被災状況（上士幌観測所より上流域）

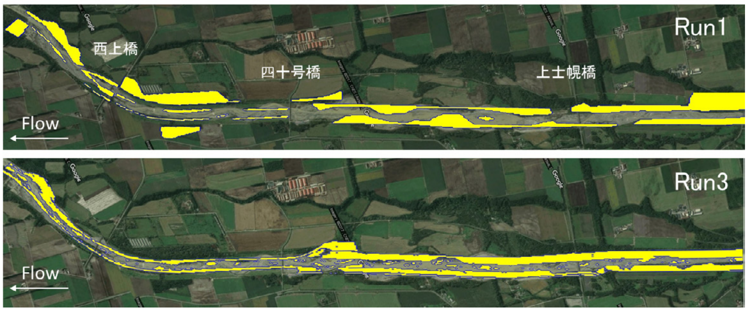


図-3　（左図）Run 1とRun 3の植生分布の初期条件（黄色領域は植生域に該当.ただし，堤内地側の植生は未設定），右写真）同じ場所のH23年度写真（開発局提供），樹木が主流路側に向かって張り出す様子が分かる．

分布させたものである．**図-3**に，Run 1およびRun 3の計算初期の植生分布域を示す．**図-3**より，Run 3ではRun 1よりも対象区間内の河岸沿いに一様に樹林化が進行しており，河岸付近から流路側に張り出す植生域の幅が全体的に変化しないような条件となっていることが分かる．

（2）樹木の存在による流路変動の違い

図-4に出水前の対象区間の様子と，Run 1の計算終了時における河床変動量コンター図を示す．**図-5**にRun 2の計算終了時における河床変動量コンター図を，**図-6**にRun 1とRun 2の横断河床を示す．**図-4**より，本計算は堤防決壊箇所に若干の違いはあるものの，流路の蛇行化に伴い左右岸連続で破堤する様子が再現できていることが分かる．また，**図-6**よりA-A’断面における計算終了時の川幅を確認するとおよそ200m程度であり，実際の音更川における川幅拡大距離の調査結果とほぼ同程度の値が得られた．これより，ここでの流路変動特性の考察にある程度十分な精度があると考えられる．

図-4および**図-5**より，Run 1とRun 2の計算終了時の流路変動を比較すると，流路内および河岸近傍に植生域が存在したRun 1に比べ，Run 2の方が流路の側方への移動量が少なく，蛇行の振幅が小さくなることが分かる．

これは，冒頭に述べた植生に期待される河岸構築材料として河岸侵食を抑制し，流路の側方への移動を抑制する防災効果とは相反する状況が生じたことを示すものである．そこで，Run 1とRun 2の違いは

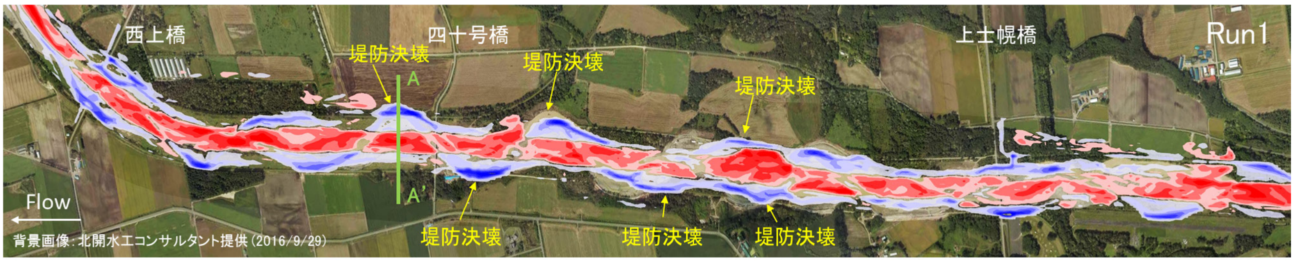


図-4　Run 1の計算終了時の河床変動量コンター図

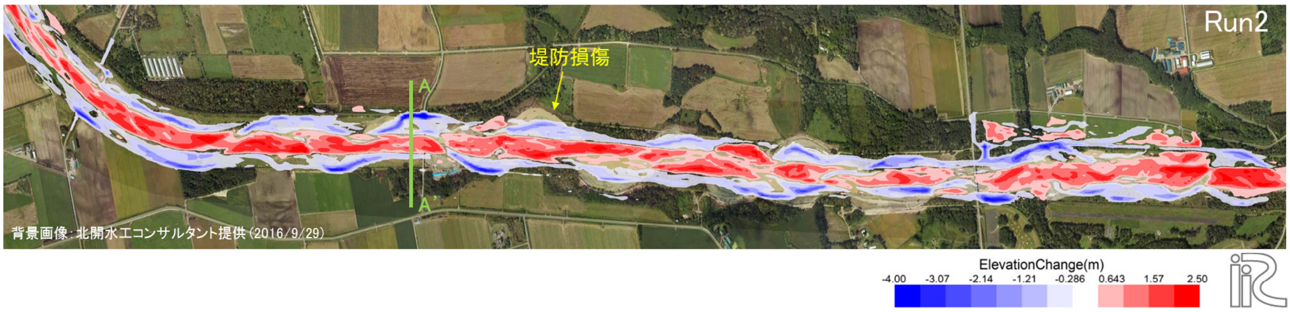


図-5　Run 2（植生なし）の計算終了時の河床変動量コンター図

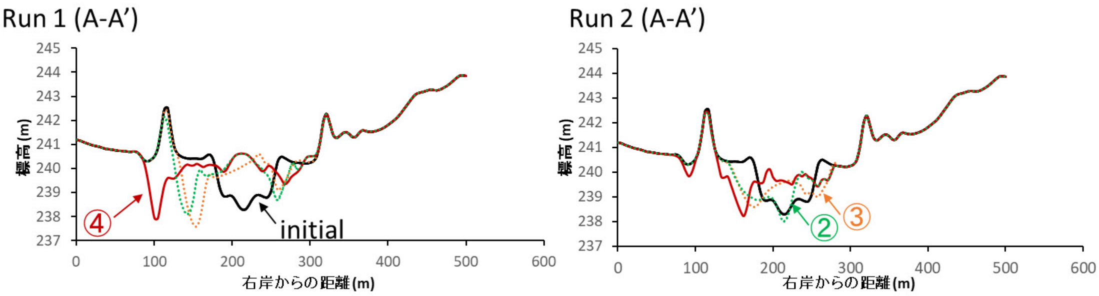
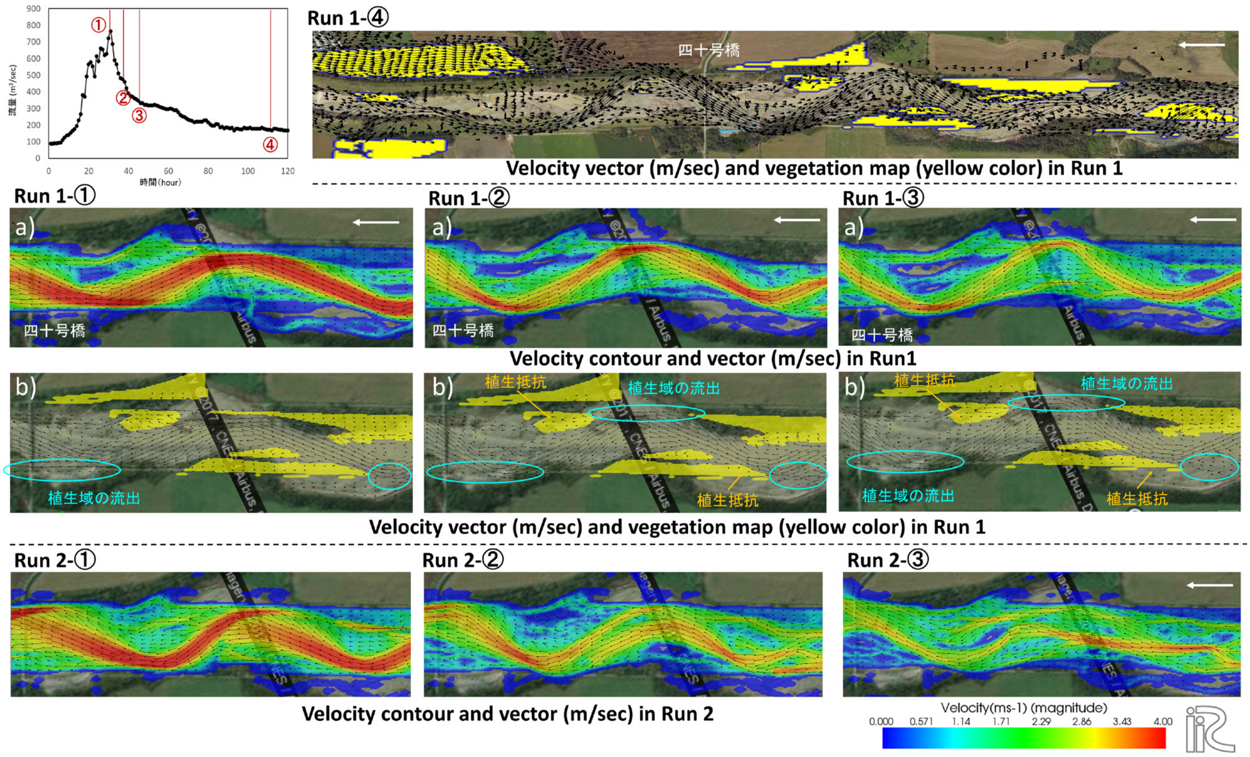
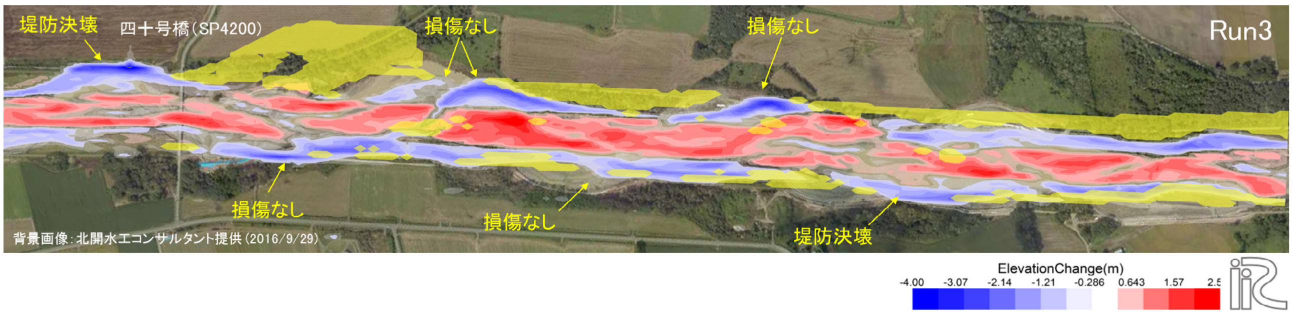


図-6　Run 1, Run 2のA-A’ライン上の横断図（②～④はそれぞれ図-7中に示す時刻に対応）

植生の有無のみであることから，**図-7**にRun 1の河床変動量コンター図および 植生分布状況と流況の時間変化を示す．**図-7**よりRun 1の時間変化を確認すると，出水ピーク前から出水ピーク（**図-7** Run1−①）の流れは主に低水路内で蛇行し，堤防方向に向かう流れは殆ど存在しないことが分かる．この時間帯では，蛇行の水衝部が時間経過とともに下流へ伝播し，河岸近傍の植生域のうち，特にもともと低水路方向に張り出す植生幅の狭かった領域で植生の流失が進行する様子が計算では確認された（なお，出水ピーク時において堤防を越水する流れは認められなかった）．次いで，出水ピーク後（**図-7** Run1−②，③）を見ると，計算では流路が側方に移動し，複数個所の堤防の決壊が認められた．流量低下時に流路が側方移動する傾向は，音更川の過去の出水を対象とした検討と類似する結果であり，これは流量低下時に移動していた土砂が停止・堆積することで，流路内に流れが偏流しやすい状況が創出されるためと考えられる．さらに，流路の蛇行に伴う堤防決壊が認められた場所を計算結果（**図-7** Run1−④）より確認すると，流量増加に伴い河岸の植生流失が進行した場所や，もともと植生域が途切れていたような場所と一致した．これは，このような場所がそもそも蛇行化しやすかった場所である可能性が考えられるものの，Run 2の植生域無しの場合には蛇行振幅の規模が小さくなった（**図-5, 図-7** Run2−③）ことを考えると，Run 1では河岸近傍に残存した植生域が流路蛇行化の拡大に寄与した可能性が推察される．たとえば，



図−7　数値計算Run 1，Run 2による流速分布と植生分布（黄）の経時変化



図−8　Run 2（植生分布条件が異なる）の計算終了時の河床変動量コンター図（青と赤）と植生分布状況（黄）

出水中に河岸の植生域が部分的に消失すると，その場所に流れが集中するため蛇行流の水衝部になりやすくなると共に，その直下流の側岸部に残存した植生域によって水衝部の流下が妨げられることで流路の側方移動量が増大するような機構が考えられる．

そこで，河岸付近の樹木の分布状況の違いによる流路変動特性を比較するため，図-8にRun 3の計算終了時の河床変動量コンター図と植生分布と流況を重ね合わせた図を示す．図-8よりRun 1とRun 3を比較すると，Run 3では河岸近傍の植生域の連続性が高く，部分的に消失した領域が少なかったことが分かる．また，流路の側方への移動量がRun 1より少ないことが分かる．これより，Run 3では冒頭に述べた植生に期待される河岸構築材料としての河岸侵食抑制効果が認められたと考えられる．以上のことから，河岸付近に縦断方向に連続的に分布する樹林帯は，分布条件によっては出水時に河岸侵食を抑制する方向に働く一方で，もともと植生抵抗が小さかった場所などが流路の蛇行により部分的に破壊された（樹林帯の連続性が途切れる）場合など，河岸構成材料として河岸侵食を抑制する働きとは反対に流路の局所的な側方侵食を大規模化する場合も存在する可能性が示された．

3. まとめ

本研究では，河道内側岸に侵入した河道内樹木が出水時に流失することで流路変動の短期的な特性に与える影響を把握するため，現地事例として2016年8月北海道豪雨災害時に左右岸連続で破堤した音更川上流域を対象とした数値計算を行った．結果，河岸近傍の植生域の連続性が高い場合は植生に期待される河岸構築材料としての河岸侵食抑制効果が認められる一方で，植生域が大規模に侵食された箇所が局所的に生じた場合は下流側の側岸に残存する植生域が抵抗となり，流路の局所的な側方移動と，それに伴う河岸侵食が大規模化する可能性が示された．今後，河岸から流路に向かって大規模に張り出すような形で繁茂する樹林帯が出水時の流路の横移動に与える影響について，より詳細に検討する必要があると考えられる．

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 mor−phological behavior of alluvial channels，Journal of Hy−draulic Research, Vol. 45, pp.763−773, 2007.
3) 久加朋子・山口里実・渡邉健人・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.
4) 福岡捷二・新井 田浩・佐藤健二：オギの河岸侵食抑制機構と耐力の評価, 水工学論文集, Vol.36, 81−86, 1992.
5) 永多朋紀・渡邊康玄・清水康行・井上卓也・船木淳悟：礫床河川における河道変化と植生動態に関する研究, 水工学論文集, Vol.60, 1081−1086, 2016.
6) 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.