

植生による河岸の耐侵食性が蛇行河川の流路変動に与える影響

Effects of Bank Strength by Vegetation on Meandering Channel Dynamics

北海道大学工学部環境社会工学科 ○学生会員 南郁慧 (Takaaki Minami)

北海道大学 正会員 久加朋子 (Tomoko Kyuka)

寒地土木研究所 正会員 山口里実 (Satomi Yamaguchi)

北海道大学 フェロー会員 清水康行(Yasuyuki Shimizu)

北海道大学 正会員 今日出人(Hideto Kon)

北海道大学 正会員 岩崎理樹(Toshiki Iwasaki)

1. はじめに

河川の維持管理において河道内植生の取り扱い方は重要な課題の一つである。高水敷や低水路内に繁茂する河道内植生は多様な動植物へ生息環境を提供する役割も担う一方で、出水時の河積を減少させるため、流下能力の阻害要因となる。さらに、網状流路を形成するような急勾配の石礫河川では、植生の存在が河岸の耐侵食性を向上させることで低水路内にて流れが集中し、流路が蛇行化するなど、河川本来の流路形態が変化する事例が各地で報告されている²⁾。

例えば、道内においては十勝川水系札内川や音更川の河道形態はここ数十年で大きく変化した。以前は広い礫河原の中をいくつもの細い流路が流れ、いたるところで分岐合流が見られる網状河道であった。しかし近年では植生域の拡大と流路の単列化の傾向が年々強まっている³⁾。河道内植生域の拡大の要因には、全国的に河川上流域におけるダム等の整備による出水頻度の低下や、洪水流量規模の低下などに伴う河道かく乱面積の縮小などが挙げられる。札内川においては 1997 年に札内川ダムの供用が開始されたが、供用開始の前後から低水路内にヤナギ等の植生が侵入し始め定着したと報告されている²⁾。

河道内植生が河川の流路変動に与える影響については、これまでいくつか検討が重ねられてきた¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。興味深いことに河道内植生は側岸侵食を抑制する場合もあれば促進する場合もある可能性が指摘されている。久加ら²⁾は水路実験から植生分布の違いが流路変動に与える影響を検討し、砂州上に広域的に分布する植生が河岸侵食を抑制して流れを集中させることで、流路本数を減少させると共に流路の蛇行化と流路幅拡張をもたらしことを示した。さらに彼らの検討¹⁾では、2016年8月北海道豪雨災害時に左右岸連続破堤が発生した音更川上流域を対象とした数値計算、水路実験により河道内側岸の植生が流路変動に与える影響を検討した。これによれば、河道内植生には期待される侵食抑制効果が認められた一方で、植生の耐侵食性が局所的に弱い場所（例えば蛇行水衝部や高水敷上の植生帯の途切れる箇所）において側方侵食

が大規模化する可能性が示された。これらの報告は、従来の植生が流路変動に与える影響に関する検討⁶⁾などと比べ、急勾配河川に侵入する植生は、大出水時の局所的な流路の側方移動距離を増大させる危険性を有する点を指摘するものである。

しかしながら、上述の報告では、植生による河岸の耐侵食性の違いに伴う蛇行流路の局所的な流路幅拡張について、詳細データに裏付けされた考察までは行われていない。これは、実験中に水面下で進行する河床変動を計測することが難しいという課題があったためである。そこで本研究では、札内川を模した蛇行流路形状での水路実験を行い、植生の有無が流路変動に及ぼす影響について、実験途中に通水を止め、平面および縦断面データを詳細に取得することで、植生の耐侵食性の違いが局所的な河岸侵食を促進させるメカニズムを検討することを試みた。

2. 実験

(1) 實驗水路, 實驗水理條件

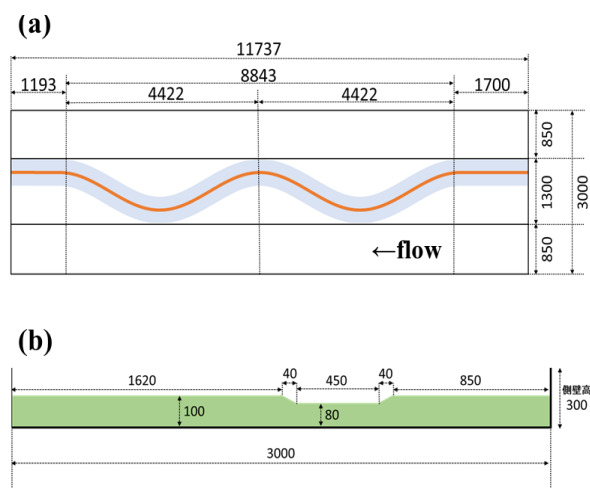


図-1 実験水路概略図（単位：mm），
a) 平面図， b) 断面図（上流側直線部）

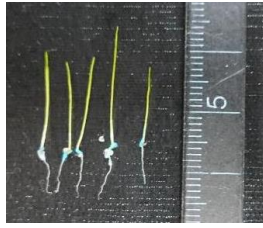


図-2 植生 (bentgrass) の生育状況

実験には国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所所有の可傾斜水路を利用し(図-1), 全長 11.7m, 幅 3m, 勾配 1/100 の長方形矩形水路とした。河床材料には平均粒形 0.765mm の一様砂(東北珪砂 4 号)を使用し, 水路全体に河床材料を 0.1m の厚さで敷設した後, 図-1b に示す初期水路を整形した。初期水路の平面形状は蛇行長 4.71m, 低水路幅 0.45m, 蛇行角 28.7° の 2 波長分の蛇行流路で, 断面形状は低水路幅 0.45m, 河岸高さ 0.02m, 河岸勾配 1:2 の台形とした。実験水路の上下流部にはモルタルで固定床領域を設け, 通水により上下流端の初期河床高が変化しないようにした。

実験での流量は定常流($Q=0.00276\text{m}^3/\text{s}$)とし, 無次元掃流力(τ^*)は 0.111 程度になるように設定した。これは, 同じく札幌内川を模した既往実験引用)を参考に設定した値である。通水中は上流端の河床変動が生じないように河床材料と同じ粒径の一様砂を常時給砂した。

(2) 実験ケース

実験ケースは, 植生のないケース (以下 Case1 とす

る)と植生のあるケース (以下 Case2 とする) の 2 ケースである。実験に用いた植生はベントグラス(西洋芝)であり, Case2 の実験実施の 8 日前に種子散布を行った。種子は河岸および低水路を除く高水敷全域に, 篩を用いて一様に散布した。図-2 に示す通り, Case2 の実験開始時には平均根長が約 7mm, 平均の地上部長は約 15mm に成長した。植生密度は約 $2.5 \text{ 本}/\text{cm}^2$ であった。

実験は, 各ケースにつき計 5 時間の通水を行った。ただし, 河床形状の時間変化を詳細に把握するため, 30 分に一度通水を停止し, 超高精細インラインプロファイル測定器(KEYANCE LJ-X8900)により河床高を測定した。その他の通水中および通水終了時の測定については次のとおりである。通水中は, 水路の真上にデジタル一眼レフカメラを 2 台設置し 2 分間隔で写真撮影を行うことで, 流路変動を把握できるようにした。撮影範囲は水路全体である。また, 上流端左岸には 4K ビデオカメラを設置し上流から下流に向かって水路全体の様子を撮影するとともに, 水路の様々な場所から適宜写真を撮影した。

3. 結果

(1) 植生の有無による蛇行流路の平面形状の変化

図-3 に Case1 および Case2 の通水開始前, 通水開始 150 分時点, 通水終了直後の河床コンター図を, また図-4 に実験終了時の水路上空からの全体写真をそれぞれ示す。

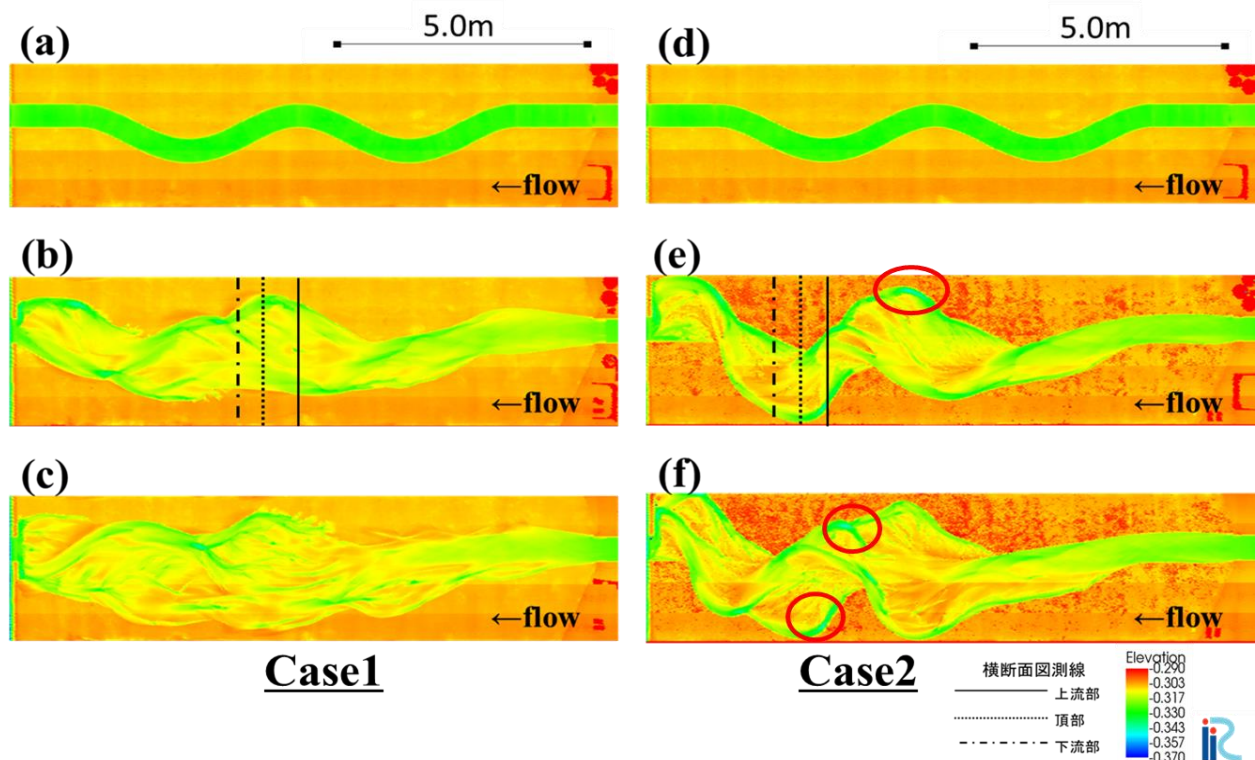


図-3 河床高コンター図, a) 0 分, b) 150 分, c) 300 分, d) 0 分, e) 150 分, f) 300 分

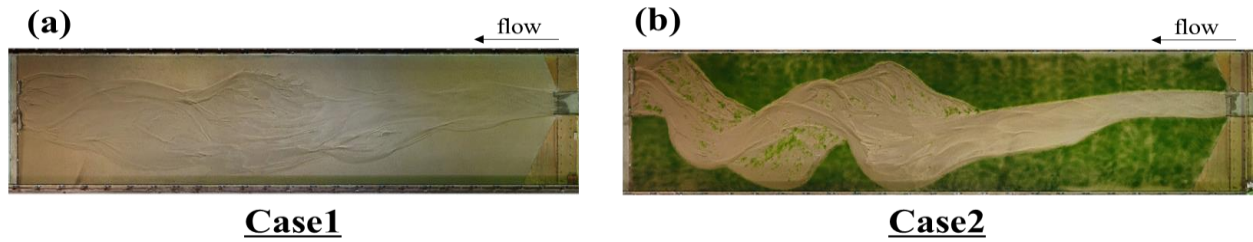


図-4 実験終了時の水路上空からの全体写真, a) Case 1, b) Case 2

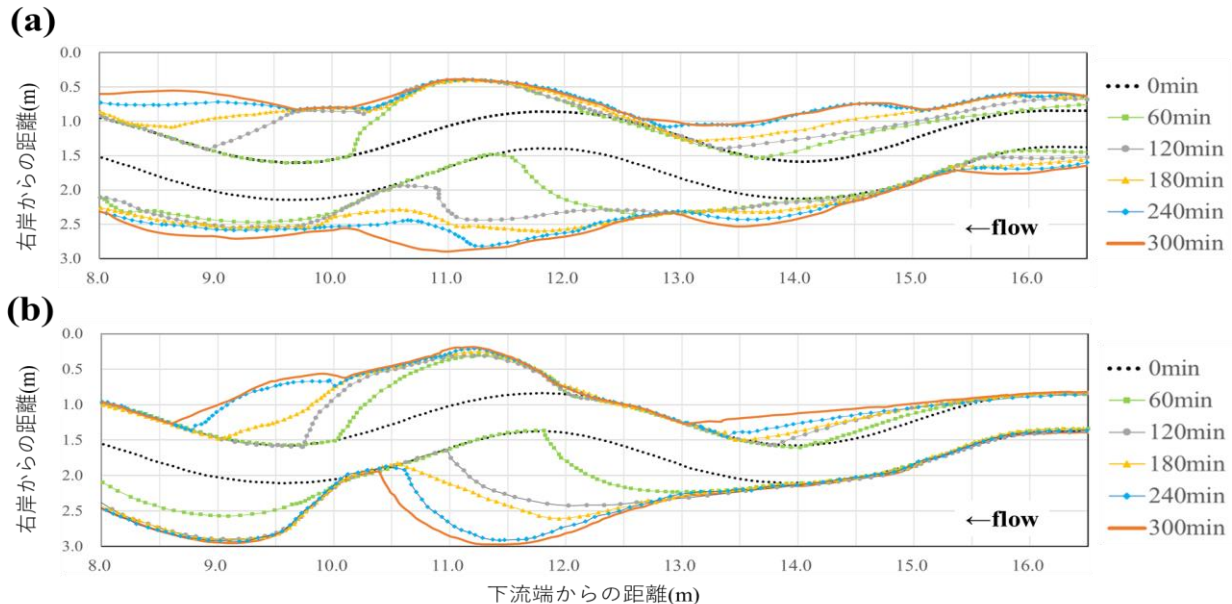


図-5 河岸ラインの時間的変化, a) Case 1, b) Case 2

両ケースの流路の平面形状を比較すると、Case1 では通水開始後 150 分時点では既に蛇行流が維持できなくなっていたことが分かる（図-3b）。低水路内には枝分かれした複数の流路が形成され、通水終了時には網状流路が発達した。これは、Case1 では植生による河岸拘束力がないため河岸の侵食が容易に進み、流れの分岐も相まって網状流路の形態に変化したためである（図-3c）。Case1 の最終的な河岸ラインは直線的な形状であり、局所的に流路幅が増大するような場所はなく、実験終了時の最大流路幅は約 2.5m であった。

一方、植生による河岸拘束力(耐侵食性)を有する Case2 では、流路や水衝部が下流側に移動しつつも蛇行流が発達した。実験終了時の河岸ラインは大きくうねっており（図-3f）、局所的に流路幅が広がったり狭かったりすることが分かる。実験終了時の最大流路幅は約 2.8m であり、局所的な流路の側方移動量は Case2 の方が Case1 に比べて大きくなった。

そこで、Case1 と Case2 の時間的な河岸ラインの移動を比較するため、図-5 に河岸ライン（高水敷河岸の後退）をプロットしたものを示す。図-5 より、通水開始より 60 分経過時の河岸ラインを比較すると、Case1 と Case2 に大きな違いは認められない。しかしながら、通水開始後 120 分の時点になると、Case1 では初期河道に比べると直線的な河岸ラインになりつつある。さらに、通水開始 180 分、240 分と経過するにつれ、河岸ライン

はより直線的となり、拡幅速度は遅くなることで実験終了時まで大きく変化しないことがわかる（図-5a）。一方 Case2 の河岸ラインは、水衝部が移動しつつも終始蛇行流を維持しており、120 分、180 分と、240 分と拡幅速度は少しずつ異なるものの、蛇行頂部から下流側にかけて河岸侵食による流路幅拡幅が続くように見える。ただし、実験中の目視によると、このような河岸侵食は常に発生するというよりは、むしろ数分といった短時間で発生し、その後しばらく停止する、というプロセスを繰り返すものであった。つまり、Case1 は継続的な河岸侵食により河岸ラインは直線化した、Case2 は局所的に短時間での河岸侵食が発生することを繰り返すことで蛇行形状を維持しつつ、より左右岸への側方侵食が大きくなる場所をもたらしたと推察される。

（2）植生が繁茂する場合の水衝部での局所的な侵食特性

ここでは、植生が存在する場合の蛇行流路の水衝部に注目する。図-3 より、Case2 の蛇行の水衝部では、水衝部上流側における河床洗掘が水衝部下流側に比べやや規模が大きい箇所が確認される（図-3 中に赤丸で示す）。そこで図-6 に、Case1 と Case2 の実験開始より 150 分における水衝部上流・頂部・下流の横断河床高（測線の場合は図-3 に示す）を示す。また、同じ時刻の水衝部の河床洗掘の様子が分かる写真を図-7 に示す。

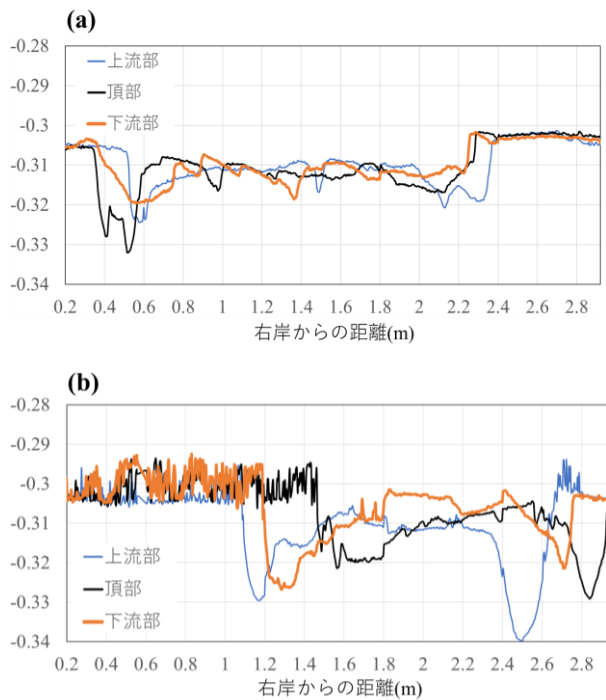


図-6 150分経過時の横断河床高（測線の場所は図-4に示す），a) Case1, b) Case2

Case1 と Case2 の横断河床高を比較すると、Case2 の河床洗掘深は Case1 に比べ非常に大きいことがわかる（図-6）。Case1 では広く浅い流路が形成され、水衝部頂部において最も河床洗掘が進む形状であることが分かる。一方 Case2 では、蛇行頂部よりも上流側の河床洗掘深が最も大きく、続いて蛇行頂部、蛇行頂部よりも下流側に向かうにつれ河床洗掘深が小さくなっていくことがわかる。図-4 によると、蛇行流路の河岸侵食は下流方向に進むことが分かる。これは、河岸侵食が最も進行する断面（蛇行部下流側）と河床洗掘が最も大きくなる（蛇行部上流側）場所が異なる可能性を示すものである。蛇行流路の移動と河床高、および河岸侵食の時間変化については今後、実験データをより詳細に確認する。



図-7 Case2 における水衝部河床洗掘の様子（通水開始 150 分時点）

その他、実験中の目視によると、大部分の時間帯では低水路の高速な流れは水衝部直下には存在せず、むしろ少し離れた場所を流れる傾向が確認された。水衝部直下に低水路の高速な流れが発生する時間はわずかであり、このタイミングで上述した短時間での急速な側方侵食が進行した。この際、河岸侵食に伴う植生流失は上流から下流方向へ順に生じた。植生は植生同士の絡み合いによってある程度までは流失に耐えるものの、いずれかの場

所で植生流失（河岸侵食含む）が発生した場合、そこが起点となり、その直下流に位置する植生群付近で流れの停滞と河床洗掘が発生させ、さらなる植生流失をもたらした。このプロセスが繰り返されることで、急速な側方侵食が進行した。

4. 結論

本研究では、十勝川水系札内川をモデルとした河道内に植生の繁茂する蛇行流路での通水実験を行い、30 分に一度通水を停止して地形を計測することで、植生が河道形態へ及ぼす影響についてのより詳細な検討を試みた。結果、植生のない場合は、河岸ラインは通水開始から 1 時間程度で直線的になり、流路の拡幅速度が低下し、広く浅い網状流路が形成された。一方、植生を有する場合は、短時間で局所的な側岸侵食が繰り返し発生することで蛇行流路を維持しつつ、局所的な流路幅拡幅は植生なしの場合より大きくなった。蛇行部において横断河床高を比較すると、河岸侵食が最も進行する断面（蛇行部下流側）と河床洗掘が最も大きくなる（蛇行部上流側）断面の位置は異なる可能性が確認された。今後、横断形状の時間変化について、実験データをより詳細に分析する。

5. 謝辞

本研究を行うにあたり、JPSP 科研費（代表：久加朋子、課題番号 16K18152）、河川基金助成（代表：久加朋子、課題番号〇〇〇〇〇〇）、国交省・・・・（代表：岩崎理樹、課題番号〇〇〇〇〇〇）を受けた。また、水路実験は水工リサーチ（株）の協力を受けた。

参考文献

- 1) 久加朋子、山口市実：側岸に繁茂する植生が流路変動に与える影響、土木学会論文集 B 1 (水工学)、Vol.74/No.4、p.1135-1140、2018。
- 2) 久加朋子、山口市実、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、土木学会論文集 B 1 (水工学)、Vol.73/No.4、pp.883-888、2017。
- 3) 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、土木学会論文集 B 1 (水工学)、Vol.72/No.4、pp.1081-1086、2016。
- 4) 井上佑輔、久加朋子、山口市実、今日出人、清水康行：急流河川に繁茂する植生の河岸拘束力の違いに伴う流路変動特性に関する実験、2019。
- 5) 渡邊健人、久加朋子、山口市実、清水康行：大規模出水時における河道内樹木と流路変動特性の関係：札内川を事例として、土木学会論文集 B 1 (水工学)、Vol.74/No.5、pp.1015-1020、2018。
- 6) 福岡捷二、新井田浩、佐藤健二：オギの河岸侵食抑制機構と体力の評価、水工学論文集、Vol.36、pp.81-86、1992。