

植生を考慮した蛇行河川の流路変動特性に関する実験

Experimental study on morphodynamics of meandering channel considering with vegetation effects

北海道大学工学部環境社会工学科 学生員 井上佑輔 (Yusuke Inoue)
北海道大学大学院工学研究院 ○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)
北海道大学大学院工学研究院 正会員 今日出人 (Hideto Kon)
北海道大学大学院工学研究院 フェロー 清水康行 (Yasuyuki Shimizu)

1. はじめに

近年、全国各地の沖積河川では、河道内への樹木侵入に伴う樹林化が河川管理上の一つの課題となっている。北海道内の河川においても同様であり、たとえば石狩川水系忠別川、十勝川水系音更川や札内川など、以前は複数の流路本数を有する網状河川であり砂州の大半が裸地であったものが、今日では樹林化が進行している(図-1)。

植生が流路変動特性に与える影響については、これまで数多く報告されてきた。たとえば、植生は、砂州の固定化を促すこと、河岸侵食を抑制すること、網状河川の流路本数を減らし短列蛇行砂州形状に変化させること等が知られている^{1), 2)}。さらに、近年では短時間での大出水に着目し、樹林化の進む急流河川においては樹林帯が一部欠けた場所が生じると、下流に残る植生が抵抗となって流路の横方向移動量が增大する可能性も報告されている³⁾。しかし、従来、植生はある程度緩勾配の河川においては出水時の側岸侵食を抑制するように作用するとも考えられおり、どのような状況であれば植生が河岸構成材料として働き、逆にどのような状況であれば流路横断方向への移動を促進するのか、未解明の部分は多い。

出水時における河道内樹林化と河岸侵食や流路変動との関係性について、樹木の侵入状況や河川勾配等まで考慮して検討した例は非常に限られている^{3), 4)}。今日、豪雨災害が全国各地で増加する傾向にあることを考慮すれば、河道内への植生侵入状況の違いが流路変動特性に与える影響を解明することは喫緊の課題であると考えられる。そこで、本研究ではまずは植生の侵入状況の違いに着目し、植生の種類と生長度の違いに応じた流路変動特性の変化を把握することを目的とした。具体的には、植生根が細く短い bentgrass (ベントグラス、西洋芝)、植生根が太く長い alfalfa (アルファルファ) の2種類を用い、比較的緩勾配を有する蛇行流路を模した水路実験より、河道内樹林化によって引き起こされる出水時の流路変動特性を比較検討した。

2. 水路実験

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使用した。水路概要を図-2に示す。水路は全長 26m、幅 3m の長方形矩形水路とし、水路勾配を 1/161 に設定した。実験水路に用いる河床材料は平均粒径 0.74mm の一様砂とし、水路床から 10cm の高さまで敷き詰めた。初期の流路地形は図-2に示す通り、敷

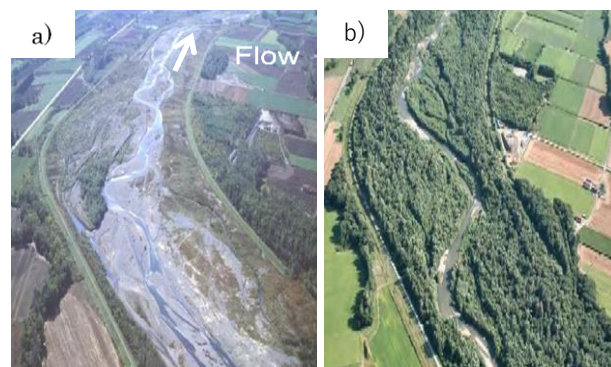


図-1 札内川における河道内樹林化の様子

a) 1974 年, b) 2011 年

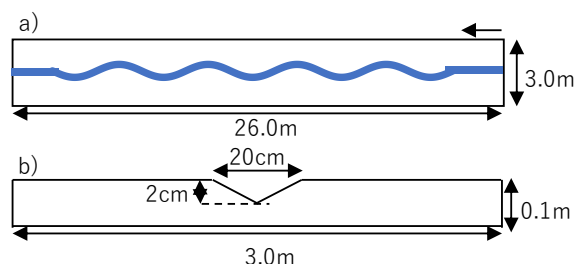


図-2 実験水路概要

a) 平面図, b) 断面図

き詰めた土砂の一部を取り除くことで、蛇行角 28.7° 、低水路幅 20cm の蛇行を 5 波長分作成した。実験水路の水路上下流端には固定床領域をそれぞれ設け、実験中に上下流端の初期河床が変化しないようにした。

実験の水理条件は次の通りである。流量は定常流とし、 $1.0[l/s]$ を与えた。実験初期の低水路中央での平均水深は 2.0cm、無次元掃流力は約 0.08 であった。本実験条件は、岸・黒木の領域区分図⁶⁾において、単列砂州の領域に該当するものである。実験中は、上流端の河床上昇および河床低下が起こらないよう、河床材料と同じ粒径の一様砂を常に給砂した。実験は一つのケースごとに 2 回通水を行った。1 回目の通水時間は 30 分であり、事前実験として土砂移動量がある程度平衡状態に到達するように実施したものである。1 回目通水終了後は、後述する河床高の測定を行うと共に、高水敷全面に後述する植生種子を散布した。2 回目の通水は散布した植生種子が生長してから実施する本実験であり、通水時間を 5.0 時間とした。実験終了直前には、低水路位置と低水路内での

流向を把握するため、メチレンブルーによって着色した水を上流から供給した。

実験ケースは、植生繁茂状況の異なる Case1～Case4 とした。Case1 は植生を繁茂させない状況にて流路変動を確認するケースである。Case2～Case4 は高水敷に植生を繁茂させた状況で流路変動特性を確認するケースであり、Case2 では bentgrass (西洋芝)、Case3 と Case4 は生長度合いの異なる alfalfa を用いた。各々のケースの植生生長度を図-3 に示す。図-3 に示すとおり、Case2 での bentgrass は約 7mm の根長と約 20mm の地上部、Case3 での alfalfa は 30mm の根長と約 40mm の地上部、Case4 での alfalfa は 7mm の根長と約 7mm の地上部であった。

実験中および実験終了後の測定は、下記の通りである。実験中は、水路の真上に一眼レフカメラを 2 台設置し、2 分間隔での写真撮影を行うことで実験中の流路変動を把握できるようにした。2 分間隔での写真撮影区間は、図-2 の赤枠で囲まれた場所であり、水路上流端から 8m ～18m の範囲が該当する。その他、水路上流側から下流に向かってビデオ撮影を行うと共に、適宜、様々な場所から写真を撮影した。実験終了後は、水路内の水が充分になくなった状態にて、河床形状計測を行った。計測には 3Dscanner(X300)を使用した。計測範囲は縦断距離 25m、横断距離 3m とした。3Dscanner の測定では、念のため、スキャナで得られたデータが妥当な河床高を捕捉しているかを判断するため、レーザー砂面計を用いた精度検証を上記計測範囲内の 5 側線 (横断方向 3m) で実施した。

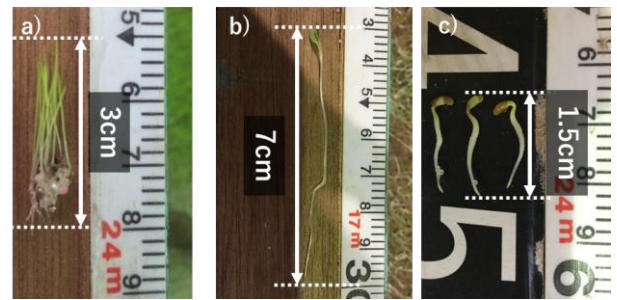


図-3 ケースごとの植生生長度
a) Case2, b) Case3, c) Case4

3. 結果と考察

3.1 植生の侵入状況の違いと流路拡幅

図-4 に、Case1～Case4 の実験終了時のコンター図を示す。また、図-5 には、実験終了時の Case1 から Case4 の斜め写真を示す。図-4-b の青枠内を見ると、流路の縦断方向への移動が最も確認されたのは Case1 であったことが分かる。Case1 では、流路の拡幅の特徴として、蛇行の頂部より下流側が拡幅しているのが見て取れる (図-4-b)。これは、植生の存在しない Case1 では、図-5-a に示すとおり、流路はスクロールバーを形成しながら下流方向へ移動したためである。

一方、実験終了時においても流路の移動と拡幅がほとんど確認されなかったのは、図-4-d に示す最も植生による河岸拘束力強いと考えられる Case3 であった。また、図-4-d および図-5-c によると、Case3 では流路の位置が

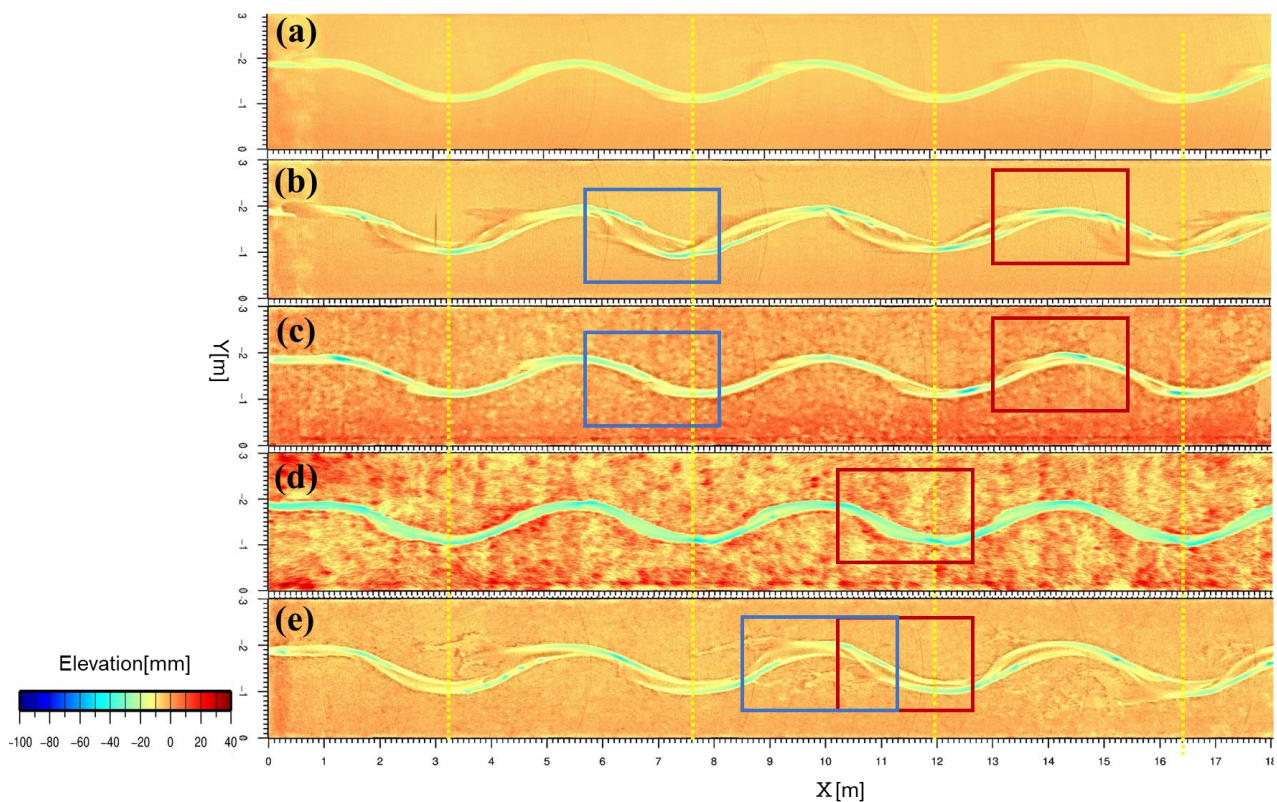


図-4 実験終了時の河床高コンター図

a) 事前通水後 (30 分通水のみ), b) Case 1, c) Case2, d) Case 3, e) Case 4
(青枠: 図-5 の写真位置, 赤枠: 図-7 の水衝部の移動の整理箇所を示す)

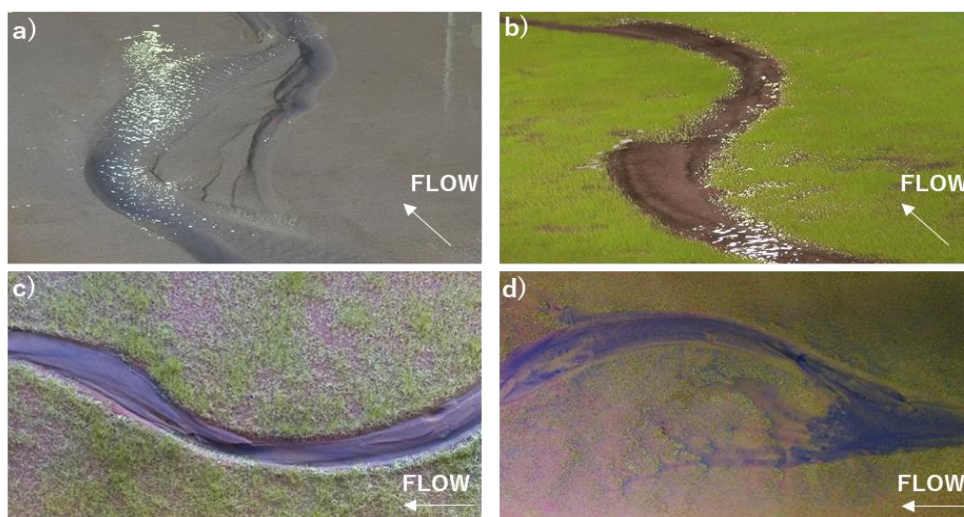


図-5 実験終了時直前の流路の様子 (図-4 にて青枠で示した領域)

a) Case 1, b) Case2, c) Case 3, d) Case 4

殆ど移動せず、低水路の河床高が他のケースに比べて大きく低下している。これは、alfalfa がブッシュのように植生同士でスクラムを組むような状況であったため、河岸浸食を抑制すると共に、流路の縦断方向への移動を抑制したためである。このため、流路幅が時間経過に応じて広がらず、河岸からの土砂供給がないため、その他のケースに比べて次第に鉛直方向への侵食量が增大したものと考えられる。なお、Case3 では流路の横移動が殆ど認められなかった反面、植生が重なった層の鉛直方向下部において、オーバーハングの形で河岸侵食される様子も確認された。

最も流路幅の拡幅が確認されたのは、図-4-e に示す未成熟の alfalfa を用いた Case4 であった。Case4 では、Case1 と異なり、流路の拡幅は確認された反面、Case1 のようなスクロールバーの発達とそれに伴う流路の縦断方向への移動は殆ど確認されなかった。図-5-d から分かる通り、Case4 の流路変動は他のケースと比べて特徴的であり、植生域を縫うように新たな流路が形成された。これらの流路は Chute-cutoff (流路短絡) には至らなかったものの、早いところで通水後 30 分後から現れ、遅いところでも 110 分経過時点でのちに Chute-cutoff に至るような新たな流路形成が確認された。これは、Case1 のスクロールバー形成に伴う流路移動速度よりも明らかに早いタイミングでの高水敷上への新流路形成であった。これは、高水敷上に植生抵抗が弱くとも存在する場合、植生は流れの抵抗として働くため、スクロールバーを形成するよりも部分的に植生抵抗の弱い場所に新流路が形成されやすい状況が創出されたのだと考えられる。

最期に、図-4-c および図-5-b に示す成熟したベントグラスを用いた Case2 では、alfalfa よりも植生抵抗が小さいため、Case3 と異なり流路の縦断方向への移動は殆ど認められないものの、横断方向への拡幅は認められることが分かる。今回の実験は 5 時間で通水を止めたが、より長時間通水を継続した場合、流路変動速度は遅くとも、更なる流路拡幅が生じたものと推察される。

3.2 蛇行部における横断形状

図-6 に、実験終了時の Case1～Case4 について、測線

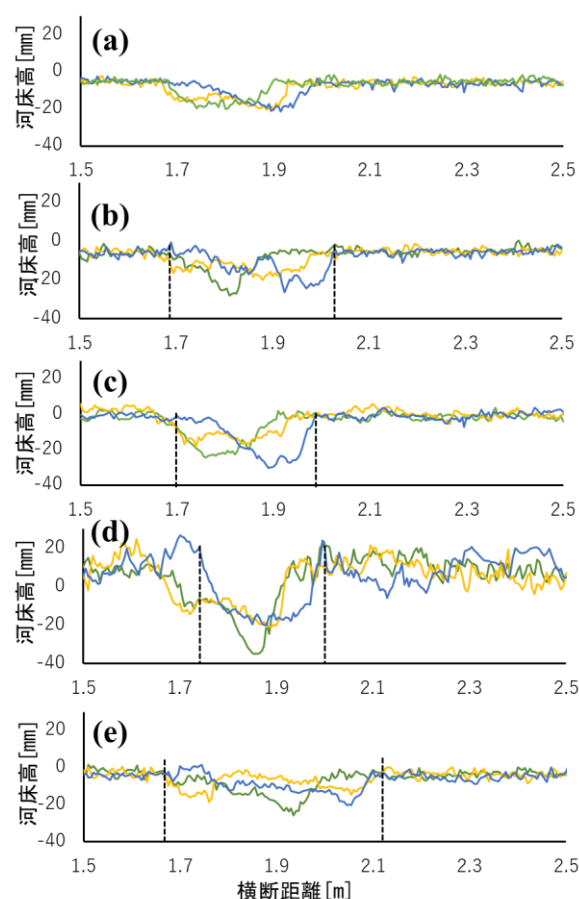


図-6 実験終了時の測線 A, B, C に横断形状

a) 事前通水後 (30 分のみ), b) Case1, c) Case2,

A～C (各々、水路下流端から 9.5m (黄色), 10.0m (青色), 11.0m (緑色) の位置に相当) における横断形状を示す。また、比較対象として事前通水を実施した後 (30 分間のみの) の横断形状も示している。図-6 より、流路の拡幅が最も確認されたのは Case4 であった。これは、上述のとおり、高水敷に新流路が形成され、複雑な流路形態を呈したためである。

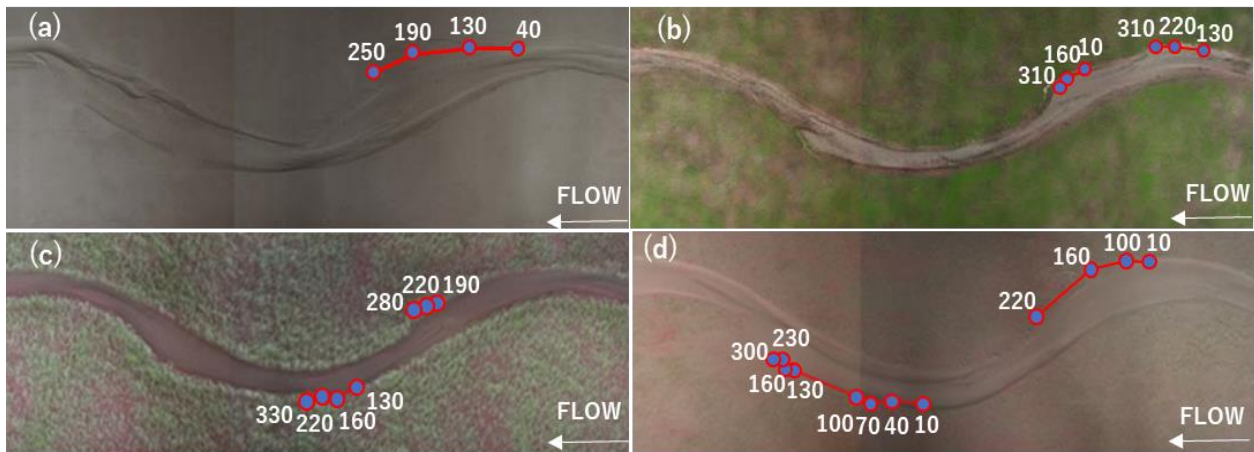


図-7 水衝部の移動(图中数字単位:min)

a)Case1 b)Case2 c)Case3 d)Case4

河床高の変化を比較すると、比較的流路の移動した Case1 と Case4 では実験初期に比べて大きな洗掘が生じていないことが分かる。これは、流路の移動と共に河岸が浸食されるため、Case2 や Case3 に比べて河岸からの土砂供給があったためと考えられる。その一方で、植生による河岸拘束の強かった Case3 では、蛇行部の上流側（図-6-d の緑線）にて顕著な河床低下が認められた。続いて、河床の局所的な浸食が生じた位置を比較すると、Case3 以外のすべてのケースは蛇行上流部と下流部ではほぼ同程度の洗掘深であったことが分かる。これは、後述の通り、Case3 のみ水衝部が殆ど移動しなかったためと考えられる、なお、上述の傾向は、その他蛇行部でも同様に確認された。

3.3 流路変動に伴う蛇行箇所の水衝部の移動

図-7 に、Case1～Case4 における蛇行部の水衝部の時間的变化を示す。ここでは、水衝部を水路上部から 2 分間隔で撮影した画像を用い、流れが河岸に衝突している場所を水衝部と判断とした。図-7 より、Case1～Case4 を比較すると、Case1 はほぼ等時間ごとに等間隔に近い形で水衝部が下流へ移動したことが分かる（図-7-a）。一方、Case4 では水衝部の移動がある程度進行したのち、水衝部の固定が起こったことが分かる（図-7-d）。これは、図中には示していないが、Case4 の水衝部の移動と高水敷上の新流路形成とを比較すると、Chute-cutoff に至ると予想される流路が形成されてから水衝部の移動が止まる現象が確認された。これは、流れが強く当たっていた部分に主流路よりも比較的急勾配な Chute-cutoff に至る新たな流路が形成されたことで流量が 2 分され、蛇行流路の前進が止まったものと考えられる。

一方、植生の河岸拘束力の強い Case3 では水衝部がほぼ移動しなかったことが分かる（図-7-c）。また、bentgrass を用いた Case2 では、実験初期は蛇行下流側の水衝部のみであったが、時間経過とともに蛇行上流部にも水衝部が形成された（図-7-b）。一つの蛇行の中で水衝部が 2 か所形成される理由と、それに伴う長期的な流路変動特性については今後の検討課題である。

4. 結論

本研究で得られた成果は以下の通りである。

- (1) 実験より、蛇行流路の流路変動は高水敷へ繁茂する植生状況によって大きく影響を受けることが示された。
- (2) 高水敷に植生の無いケースでは、蛇行流路はスクロールバーを形成しながら縦断方向へ前進すると共に、横断方向へも拡幅した。
- (3) 河岸拘束力の強い植生が繁茂する場では、蛇行流路は縦断・横断方向共に移動せず、蛇行部上流域に局所洗掘をもたらした。
- (4) 高水敷に比較的弱い植生が繁茂する場では、蛇行流路は高水敷上に新たな流路を比較的短時間で形成した。このケースにおいて、流路は最も複雑な形状を呈した。

5. 謝辞

本研究は、(株) 水工リサーチの佐藤大介氏の協力、北海道大学大学院工学研究院、渡邊健人氏の協力、公益財団法人河川財団の河川基金事業（久加：2018-5211-049）の助成を受けた。ここに謝意を示す。

6. 参考文献

- (1) J. Chang and Y. Shimizu: Vegetation effects on channel morphodynamics: Results and insights from laboratory experiments, Earth Surface Processes and Landforms, Vol.35, pp.1024-1028, 2010
- (2) M. Tal and C. Paola: Effects of vegetation on channel morphodynamics: results and insights from laboratory experiments, Earth Surface Process and Landforms, Vol. 35, pp.1014-1028, 2010.
- (3) 久加朋子, 山口里実: 側岸に繁茂する植生が流路変動に与える影響, 水工学論文集, Vol.74, pp.1135-1140, 2017.
- (4) 渡辺・久加・山口・清水: 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 B1 (水工学), Vol. 74, pp.1015-1020. 2018.
- (5) T. Iwasaki, Y. Shimizu, Y. Kimura: Numeric simulation of bar and bank erosion in a vegetated floodplain: A case study in the Otofuke River, Advanced in water Resource, Vol.93, pp.118-134, 2016.
- (6) 黒木・岸: 中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究, 土木学会論文報告集, 342, pp.87-96, 1984.