

様式 8-1

「研究者・研究機関」部門

河川基金助成事業

「河床材料の粒度構成変化が河道内樹林化・
流路変動特性に与える影響の実験的検討」

助成番号：2024-5211-026

富山県立大学大学院工学研究科

職 名 准教授 氏 名 久加 朋子

2024 年度

1. はじめに

近年、全国各地の沖積河川において、河道内への樹木侵入が河川管理上の重要な課題となっている。特に北海道内の河川ではヤナギ類の繁茂が顕著であり、融雪出水期に風や流水によって種子が散布されることで、河川地形に起因する流況や流路変動の影響を受けながら分布が拡大する。一方、樹木は出水時に流れに対して抵抗として作用し、河川地形の形成過程に相互作用的な影響を及ぼすことが知られている¹⁾²⁾。

これまでの多くの研究では、河道内植生が流路の平面形を変化させ、流路本数を減少させて網状河川を蛇行河川へ移行させること、砂州の固定化を促進すること、および河岸浸食を抑制する効果などが報告されている³⁾⁴⁾⁵⁾。しかしながら、これらの研究の多くは一様粒径場を対象としており、混合粒径場における流路変動特性や植生の侵入特性、さらに植生が流れや地形形成に及ぼす影響については明らかになっていない点が多い。

そこで本研究では、2016年に申請者らが実施した一様粒径場における水路実験結果⁶⁾との比較を行えるように、同一の条件下における混合粒径場での大規模水路実験を実施した。具体的には、一様粒径条件で網状流路が形成された際の水理条件のもと、河床材料のみを平均粒径のほぼ類似する混合粒径に変更した実験を行う。ならびに、給砂に植生種子を混ぜ、実験中に流水による種子散布が行われるようにした。これより、本実験では混合粒径場の流れ・流路変動と共に運搬された種子の定着箇所の傾向を把握する。さらに、定着した植生種子発芽・成長後、再び通水実験を行い、混合粒径場における樹木が流路変動に与える影響の把握を行った。これらの成果より、一様粒径場と混合粒径場における違いを把握することを目的とする。なお、本年度は実験を行うことが主目的であり、詳細なデータ分析については今後の検討課題とする。

キーワード：河道内樹林化、一様粒径、混合粒径、数値解析

2. 実験方法

2.1 実験水路

実験には、寒地土木研究所所有の長方形矩形水路を用い、初期水路形状として水路延長 26.0 m、水路幅 3.0m、低水路幅 0.45 m、勾配 0.01 を作成した（図-1）。初期地形の土砂は

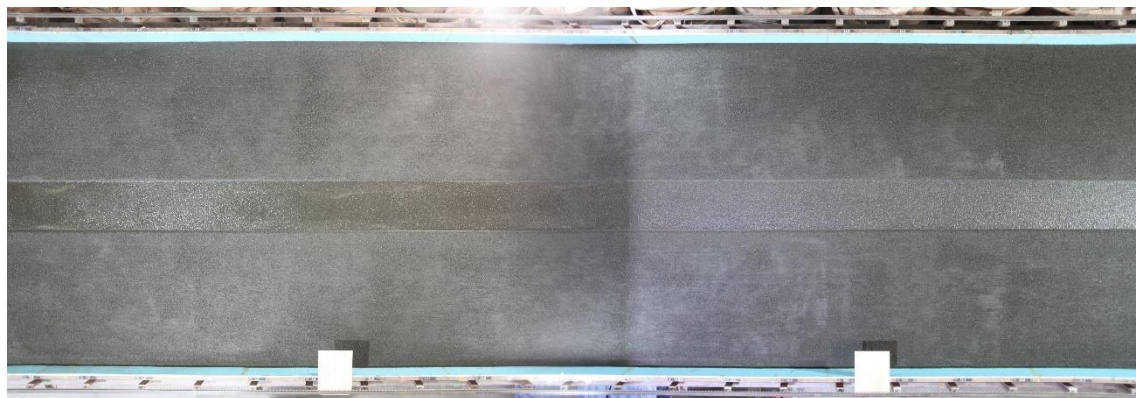


図-1 初期河床の様子（水路上部から撮影）

表-1 実験ケース

Case	初期地形	初期水深	初期無次元掃流力	通水時間	植生
Case1	複断面水路	14mm	0.111	8.5	種子散布
Case2	Case1 終了後の地形	—	—	1.5	植生繁茂

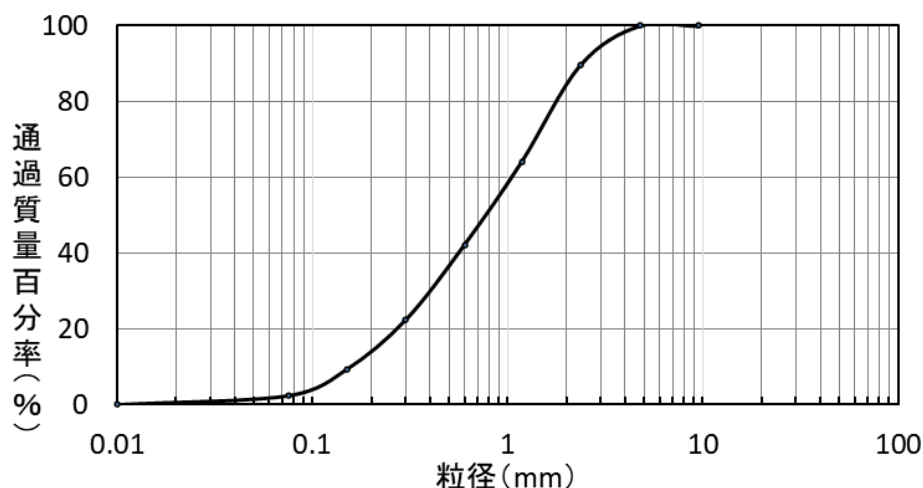


図-2 実験に用いた混合粒径材料の粒径加積曲線

高水敷に厚さ10cm，低水路に厚さ8 cmで敷設し，低水路河岸高は2 cmとなるようにした。これら条件は2016年に同水路で実施した一様粒径を用いた網状流路実験²⁾と同じ初期形状である。本年度の検討では，河床材料のみ混合粒径に変更している。本実験にて用いた混合砂は平均粒径0.76 mmであり，粒径加積曲線を図-2に示す。

2.2 実験ケース

実験ケースを表-1に示す。本実験の水理条件は，既往実験⁷⁾および岸・黒木⁸⁾を参考とし，初期条件下で交互砂州が形成される流況となるよう設定した。これは，一様粒径を用いた2016年の既往実験において，交互砂州が形成された後に低水路幅の拡幅に伴い，多列流路へと時間変化した条件に対応するものである。流量は $0.00276 \text{ m}^3/\text{s}$ の一定とし，初期河床材料には混合砂を用いた。水路上流端からは2016年実験と同じ給砂量を平衡掃流砂量として継続的に供給した。混合粒径場では，一様粒径の既往実験⁷⁾と平衡掃流砂量が異なる可能性もあるが，本研究では条件の統一を優先し，同量の給砂量を設定した。

Case 1は，8.5時間の通水中に平衡掃流砂量の供給と植生種子の散布を継続したケースである。種子は，上流端から給砂する土砂にあらかじめ混合しておき，通水中に流水によって自然に輸送・定着するようにした。用いた植生種子は寒冷地用の西洋芝（bentgrass: 図-3）であり，給砂材料に対する種子の混合比率は既往実験⁷⁾と同様に82:1とした。また，種子の散布時期を識別可能とするため，通水時間に応じて種子に着色を施した。具体的には，2～5.5時間に供給した種子を青，5.5～7時間を赤，7～8.5時間を黄とし，順に混合して供給した。着色種子の例を図-4に示す。

Case 2 は、Case 1 終了後に 11 日間の養生期間を設け、種子の発芽・成長を促した後、植生が生えた状態で再度通水を行ったケースである。図に、植生の養生中の様子を示す。通



図-3 Bentgrass (Case2 開始前)

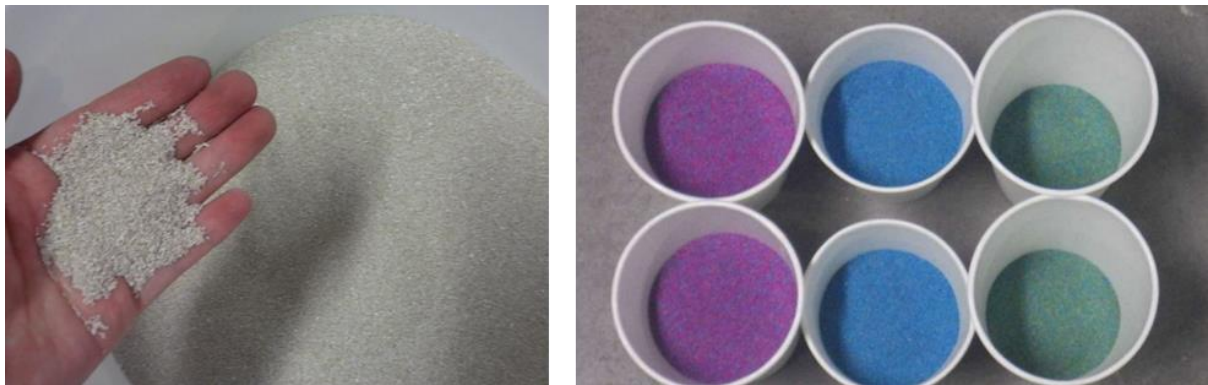


図-4 実験に用いた種子、左) 着色前、右) 着色種子（赤、青、黄）

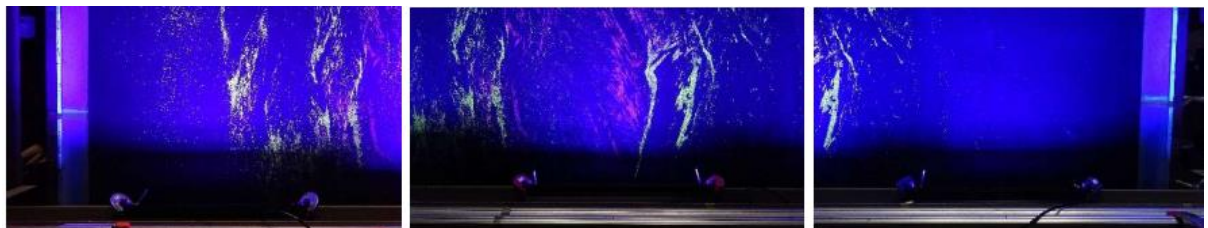


図-5 Case1 終了後のブラックライト照射撮影の様子

水時間は 1.5 時間とし、定着した植生が流路変動に及ぼす影響の把握を目的とした。Case2 の通水中は、上流端から平衡掃流砂のみ供給し続け、種子の散布は行わなかった。

実験データの取得は、通水中の流れ・河床変動の記録として、水路上部にタイムラプスカメラ（2 分間隔）および 4K ビデオを設置し撮影を行った。また、通水前後には河床高を超高速インラインプロファイル測定器（KEYENCE 社製）にて計測した。この他、Case 1 では定着した種子の位置を後から確認するため、ブラックライト照射下でカメラ撮影を行った。撮影の様子を図-5 に示す。

3. 結果と考察

3.1 実験終了時の平面形状

図-6に、Case 1における実験開始から終了までの河床および流路変動の時系列写真を示す。図よ

り、Case 1では、実験開始後1時間経過時点までの流路形態は交互砂州状を示して

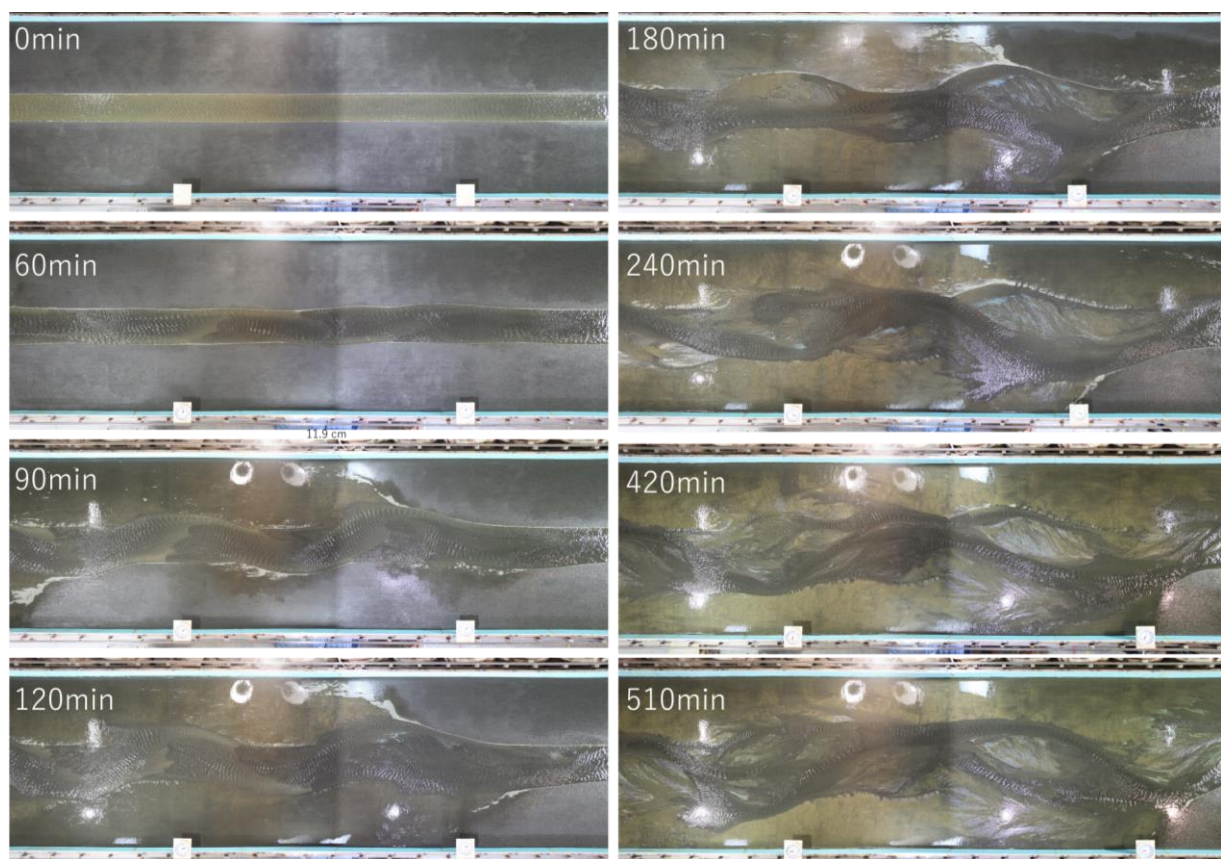


図-6 Case 1の実験開始から終了時までの流路変動の時間変化（混合粒径）

いたが、1.5時間経過後には河岸侵食を伴う側方移動や蛇行化が確認された。その後、混合粒径河床では側壁まで到達するような流路の移動は見られなかったものの、水路内で複数の流路が形成され、多列流路の様相を呈していた。なお、既往の一樣粒径を用いた実験と比較すると、交互砂州から浮州が形成され、それに伴う河岸侵食と蛇行形状の出現に至るまでの経過時間が短くなっているように見受けられた。また、一樣粒径では低水路が側壁付近まで拡幅したのに対し、混合粒径では途中から拡幅が止まり、その内部で多列化した流路が形成される傾向が確認された。

3.2 Case1終了後の植生繁茂状況

図-7に、Case1の通水終了から11日後の植生繁茂状況を示す。比較のため、既往実験における一樣粒径場での植生繁茂状況も併せて示している。図より、Case2では流路本数が少なく、砂州上への植生定着密度が明らかに高い傾向が確認された。この要因として、混合粒径場では浮州の形成が早く、流路変動も小さかったため、砂州上にいったん停止した種子が再移動せず、高密度で定着しやすい状況が形成されたためと考えられる。また、浮州形成の早期化により、既往の一樣粒径実験よりも種子散布を2時間早く開始しており、これも高密度な定着に影響した可能性がある。以上のことから、一樣粒径に近い河床材料の河川よりも、混合粒径場の方が実河川でも種子定着に有利かどうかについては、その理由も含めて、より単純化された交互砂州条件などでの実験等により再確認が必要と考えている。



Case2開始前（混合粒径）



既往実験（一様粒径）

図-7 混合粒径と既往実験（一様粒径）における植生定着状況の比較，
左）Case2開始前（Case1終了から11日間植生養生），右）既往実験⁷⁾

3.3 Case2の河床・流路変動と植生流失状況

図-8に、Case2実験の開始時および終了時の水路内の状況を示す。植生は主に砂州上や高水敷上に定着しており、一様な分布ではなく縦断方向に筋状に群落を形成している。この傾向は一様粒径の既往実験と同様であり、これは出水時に砂州上を通過する流れが主流路へと戻る場所（水際）にて種子の定着が生じやすいためである。

流路位置については、Case2の実験前後で位置に大きな変化は見られず、局所的な河床洗堀に伴い高水敷と低水路との比高差が増加していた。これは、植生の存在により流路の固定化が進んだためと考えられ、混合粒径に一度通水した後の再通水であることから、河床材料の締固めの影響の可能性も現時点では否定できない。一方、過去の一様粒径実験では、植生密度が低いこともあり、植生による流路固定化よりも、植生が流れに対する抵抗となって新たな流路が形成される傾向が見られた。

植生の流失については、Case2では流路変動が小さいことからほとんど確認されなかった。一方で、一様粒径実験では流路の移動に伴う砂州・高水敷の侵食により、多くの植生が流失していた。このため、一様粒径実験では密度の低い植生による多列流路のモード数増加の傾向を報告したが、今回の混合粒径場ではその傾向は認められなかった。この点については、植生密度の影響なのか、混合粒径を用いた場合の特性なのか、今回の実験から判断することは難しい。

以上より、一様粒径に近い河川と混合粒径を有する河川とでは流路変動特性が異なり、それが植生の定着や流失特性に影響を与えることが明らかとなった。ただし、混合粒径かつ植生を対象とした実験は極めて少なく、今回得られた結果の一般性については今後の検討が必要である。今後は、

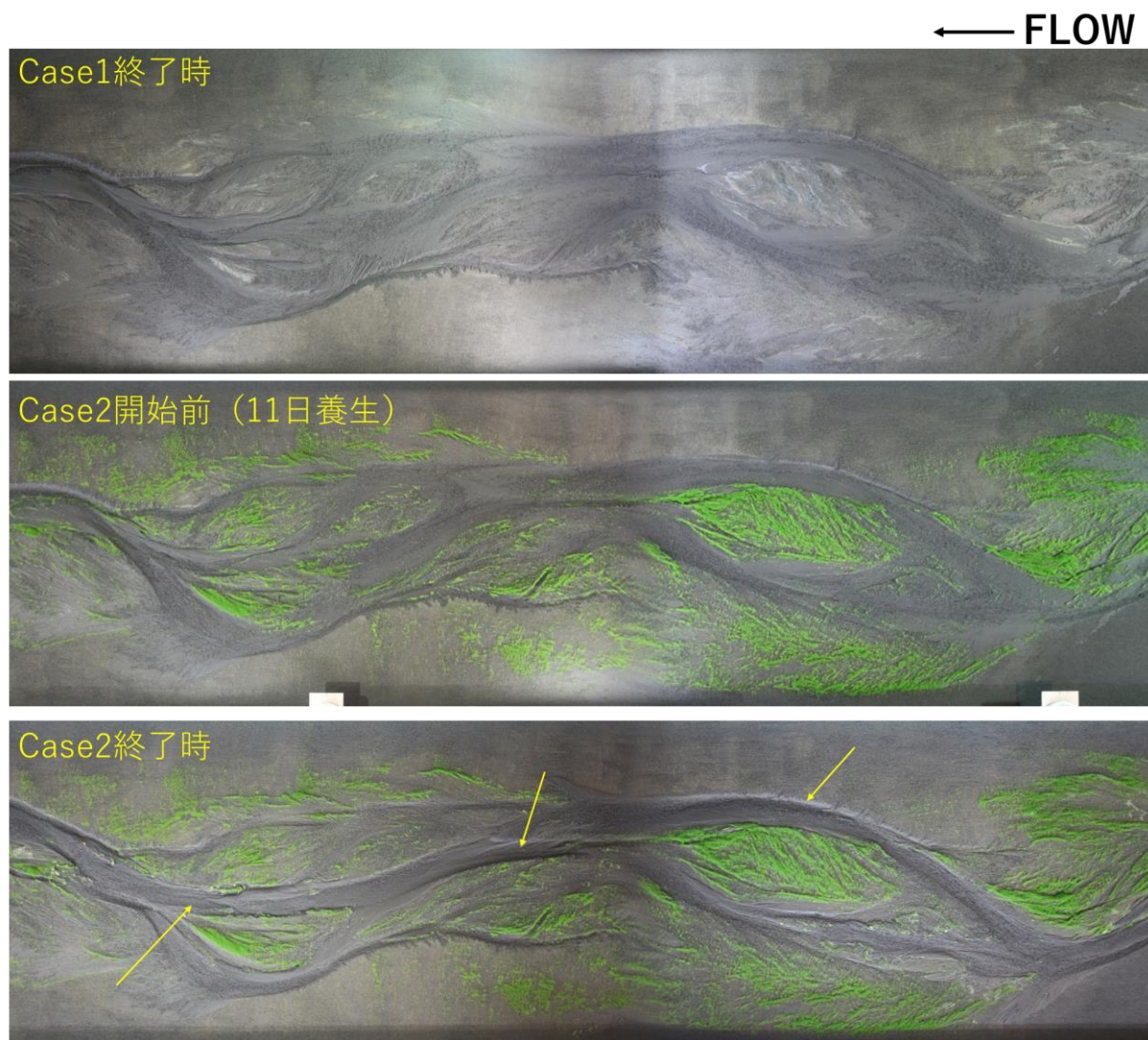


図-8 Case 1終了時，Case2開始時（Case1後から11日間植生養生），Case2終了時，
黄矢印は流路が明瞭に深く掘れた場所を示す

より単純化された条件での実験や、植生密度を調整したケース等を通じて、さらに詳細な検討を行っていく予定である。

4. 結論

本研究では、河道内への植生侵入が著しい北海道内の沖積河川を念頭に、混合粒径場を対象とした大規模水路実験を実施し、樹木の侵入特性および流路変動への影響について検討した。実験は、2016年に一様粒径を対象として実施された既往研究との比較が可能となるよう、水理条件および初期地形を再現し、河床材料のみを混合粒径とした上で、流水による種子散布と定着、および再通水による植生の影響把握を行った。以下に、本研究で得られた成果を示す。

- (1) 混合粒径場においては、実験開始後に交互砂州が短時間で浮州へと移行し、蛇行形状を伴いながら多列流路が形成された。この過程は、一様粒径場での既往実験と比べて明らかに

短時間で進行しており、蛇行形状が現れたのちの側岸侵食の規模も小さかった。

- (2) 植生種子の定着状況としては、砂州上において高密度かつ縦断方向に筋状の分布が確認され、一様粒径実験に比べて明らかに定着密度が高かった。これは、流路位置の変動が小さかったことで種子の再移動が抑制され、砂州上に安定して定着したためと考えられる。
- (3) 再通水によって確認された流路変動は限定的であり、流路位置の大きな変化は見られなかった。また、局所的な河床洗掘が生じて砂州と高水敷の比高差が増大した。これは、高密度に定着した植生が河岸侵食を抑制した結果として流路の固定化が生じたことを示していると考えられるが、混合粒径に一度通水した後の再通水であることから、河床材料の締固めの影響の可能性も現時点では否定できない。
- (4) 今後は、実河川における再現性や一般性を検証するため、より単純化された条件下での追加実験や、同一条件下における植生密度（散布量）を制御したケースを設定し、今回の実験結果との比較とあわせて検討を進めていく必要がある。

参考文献

1. Gran, K., Paola, C., 2001. Riparian vegetation controls on braided stream dynamics. *Water Resources Research* 37: 3275-3283.
2. Crosato, A., Saleh, M.S., 2011. Numerical study on the effects of floodplain vegetation on river planform style. *Earth Surface Processes and Landforms* 36: 711-720.
3. Tal, M., Paola, C., 2010. Effects of vegetation on channel morphodynamics: results and insights from laboratory experiments. *Earth Surface Processes and Landforms* 35: 1014-1028.
4. 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
5. 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.
6. van Dijk, W.M., Teske, R., van de Lageweg, W.I., Kleinhans, M.G., 2013a. Effects of vegetation distribution on experimental river channel dynamics. *Water Resources Research* 49: 7558-7574.
7. 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, 土木学会論文集 B1(水工学), 73(4), 883-888, 2017.
8. 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