

柔軟性を有する植生および流木が洪水流に与える影響について*

秋田大学理工学部 坂入海帆

秋田大学大学院理工学研究科 自見寿孝・齋藤憲寿・渡辺一也

1. はじめに

近年、大雨や融雪に伴い河川の流量が増加している。これにより堤防の侵食や決壊が起こり、越水が増えている。河道に堆積した流木により流下能力が低下することで氾濫を引き起こす¹⁾。さらに、河道に分布している植生は、流水抵抗の働きを持ち、洪水時の水位を上昇させる要因となる²⁾。この背景を踏まえ、本研究の目的は、水理実験を通じて、植生と流木が相互作用する際の流木の挙動や水位上昇に関する詳細な検討を行う。また、既往研究³⁾では植生モデル材質を剛体で用いたが本実験では柔軟な植生モデルを用いて実験を行う。

2. 研究対象

研究対象として、2022年8月に発生した記録的大雨により氾濫した五城目町や内川川、富津内川のような中小河川を対象にする。馬場目川圏域河川整備計画⁴⁾より馬場目川圏域中流部である富津内川合流点の川幅は30~50m、勾配は1/300である。したがって、本研究では川幅30mの河川を想定し、縮尺を1/100として実験を行う。

3. 実験方法

当研究の初期段階では、適切な直径の竹ひごを選定する実験を行った。その後、本研究で採用した柔軟植生と、既往研究で使用された剛体植生の間で、植生と流木の相互作用、特に流木の挙動や水位上昇に関する詳細な比較分析を実施した。本研究では、幅0.3m、長さ15m、勾配1/300の矩形水路を使用した。植生モデルには底面に針葉樹の木材を使用し、竹ひごを用いて柔軟な植生を模擬した。直径1.5mmの植生モデルを図-1に示す。実験条件として、流量30m³/h(洪水時)、流木の長さ200mm、最大40本の流木を植生モデルから一定の距離を保って投入した。直径1mm、1.5mm、1.8mm、3.0mm、4.0mmの植生モデルを用いて実験を行った。

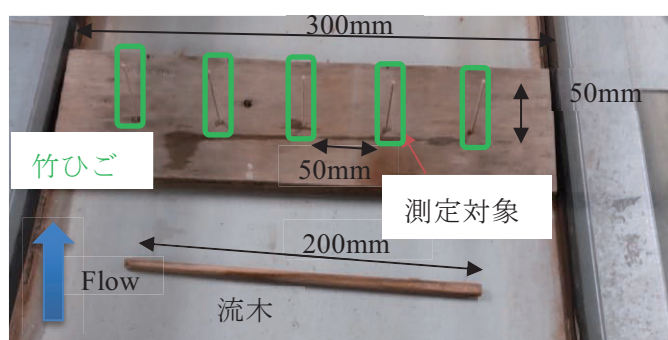


図-1 植生モデル

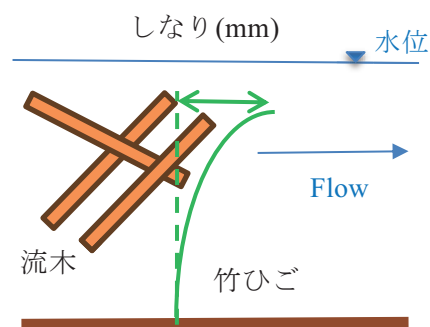


図-2 実験概要

* The impact of vegetation and driftwood with flexibility on flood flows by Kaiho SAKAIRI, Yoshitaka JIKEN, Noritoshi SAITO and Kazuya WATANABE

実験概要を図-2に示す。実験結果は図-3に示す。以下のグラフは植生のしなりと流木堆積数との関係を示している。実験条件として、流木を5本ずつ計40本まで増やしていった。

「流木堆積数 0」は流量のみの状況を指す。径 1.0 mm については、15本目で折れたため 10 本までの結果のみとなっている。図-3 から、直径 1.0 mm では流木数の増加とともにしなりが急激に増加した。直径 3.0 mm と 4.0 mm ではしなりが観察され

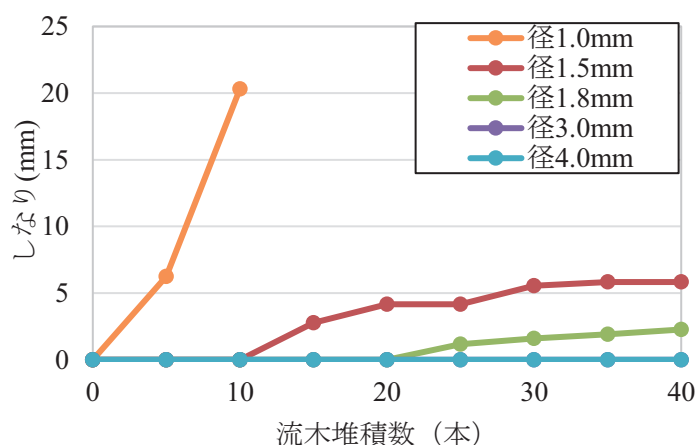


図-3 しなりと堆積数の関係

なかった。そして直径 1.5 mm と 1.8 mm ではしなりの増加が緩やかであったことがわかる。直径が小さく、流木の本数が多いほどしなりが大きくなる傾向が見られた。

次に、同一の矩形水路で異なる密度を持つ2種類の植生モデルを使用し、流木模型を水路の一端から投入した。植生モデルは直径 1.5 mm、高さ 50 mm の竹ひごを使用し、密度は高密度 (50 mm 間隔で 25 本)、低密度 (100 mm 間隔で 9 本) の2種類とした⁵⁾。高密度と低密度の植生モデルをそれぞれ図-4、図-5に示す。そして赤点は水位の測定ポイントを示す。計測箇所は植生間と植生後方に分類し、高密度では各列に5点、低密度では各列3点計測した。各列の水位を平均して、1列目を基準点 (0 mm) とした。高密度の場合は 50 mm 間隔で6列、低密度の場合は 100 mm 間隔で4列の水位を算出した。さらに、植生層を通過した際の水位も 400 mm の列で計測し、同様にその平均値を求めた。流木模型がない状態の水位を基準とした水位の変化を、水位上昇率で評価した。水位上昇率の計算方法は式(1)によって表される。

$$\text{水位上昇率(\%)} = \frac{\text{流木堆積時の水位}}{\text{流木無しの水位}} \times 100 - 100 \quad (1)$$

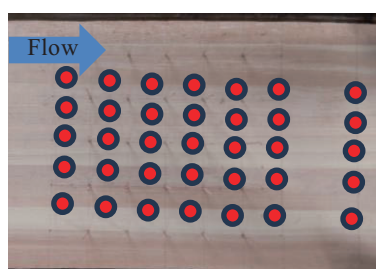


図-4 高密度植生

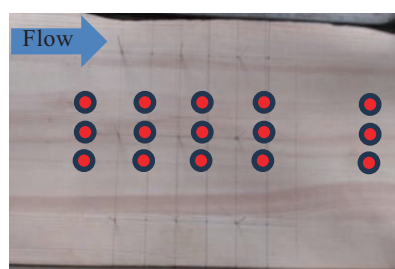


図-5 低密度植生

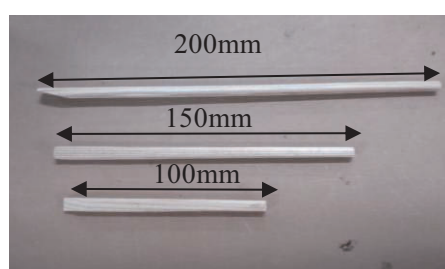


図-6 流木モデル

流木モデル (図-6) は秋田県に広く分布する杉を使用し、想定される流木の長さは 20 m、15 m、10 m で、縮尺 1/100 に基づき、それぞれ 200 mm、150 mm、100 mm の模型を使用した。実験方法は、馬場目川の計画高水流量を基準にした「洪水流量」、流量を 0.0083 m³/s で行った。秋田県雄物川の支川である荒川に流入した杉流木数⁶⁾に基づき、流木モデルは植生層の 0.8 m

上流から 40 本ずつ、流木長ごとに 1 秒間に 3 本ずつ投入した。流木長、密度ごとに 5 回ずつ実験を行い、合計 30 回の実験を実施した。流木の堆積状況は、流木堆積率で評価され、式(2)で表される。

$$\text{流木堆積率(\%)} = \frac{\text{堆積した流木の本数}}{\text{投入した流木の本数}} \times 100 \quad (2)$$

4. 実験結果

(1) 流木の挙動について

高密生度植生モデルの流木の挙動を植生層上と横から撮影した柔軟植生を図-7 剛体植生を図-8 に示す。低密生度植生モデルの場合も同様に柔軟植生を図-9 剛体植生を図-10 に示す。左から 200 mm, 150 mm, 100 mm の流木モデルの様子である。写真は流量 0.0083 m³/s 時の挙動を撮影したものである。流木の挙動として、まず植生層前方に堆積すると同時に水位が上昇する。そして、水位が植生より高くなることで流木が植生の上部を通過して後方の植生について堆積することが確認できた。さらに流木長が長いほど水位が上昇することも確認できた。柔軟植生の高密生度について流木長 200mm では、植生層広域で堆積している。150mm では、植生層前方に堆積している。100 mm では、半分以上が植生層を通過した。剛体植生の高密生度 200mm では、植生層前方に堆積しているが、150mm では後方に堆積している。柔軟植生の低密度生の場合、流木長に関わらず、植生層の両端に堆積している。一方、剛体植生の低密度生の場合、については密度に関わらず、流木長 200mm では植生層前方に、150mm では植生層中央に流れの 100 mm では両端に堆積する傾向が確認できた。

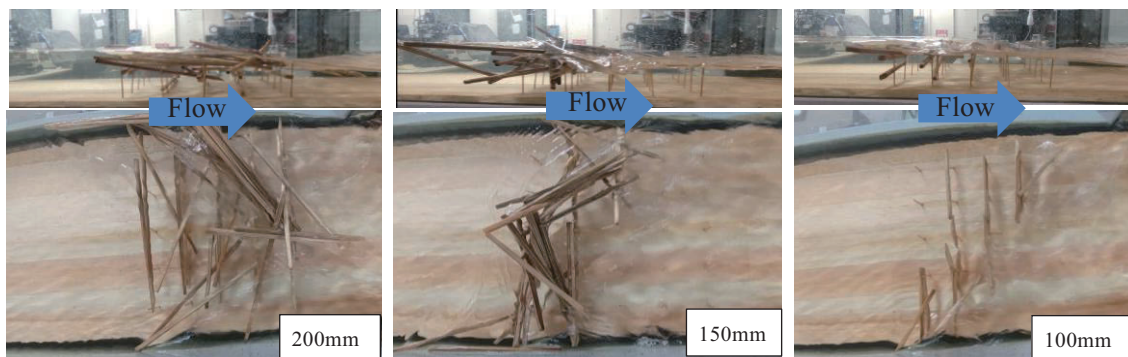


図-7 柔軟植生 高密生度

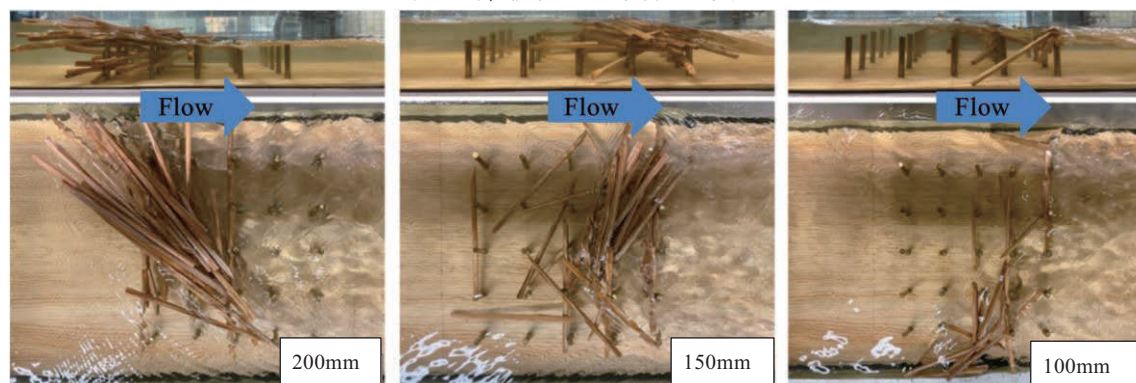


図-8 剛体植生 高密生度

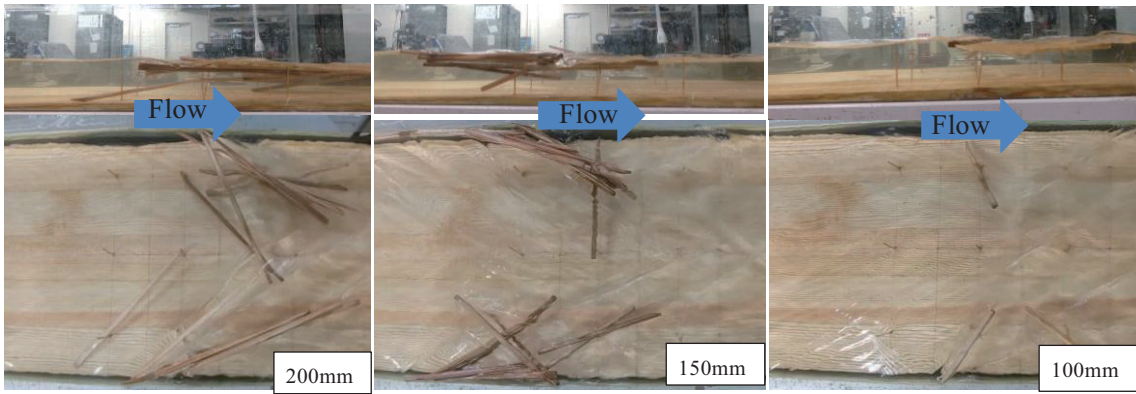


図-9 柔軟植生 低密生度

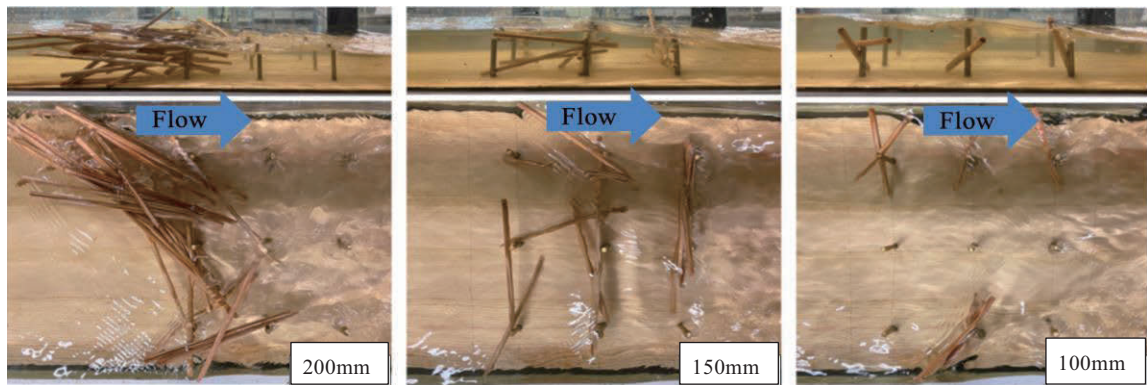


図-10 剛体植生 低密生度

(2) 流木堆積率について

流木長と流木堆積率の関係を以下に示す。高密生度における柔軟植生を図-11 に剛体植生を図-12, 低密度生における柔軟植生を図-13 に剛体植生を図-14 に示す。高密生度において流木長 200mm では柔軟植生の方が剛体植生より堆積するが, 150mm, 100 mm では剛体植生の方が堆積する。

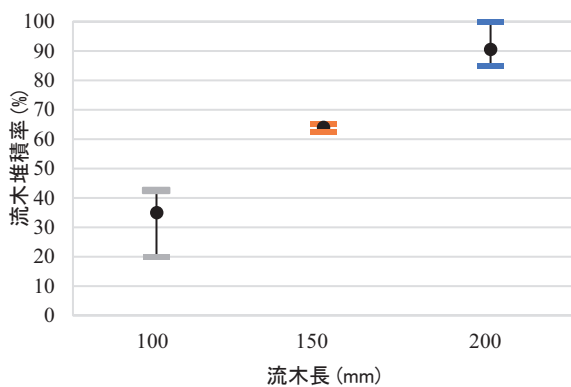


図-11 柔軟植生 高密生度

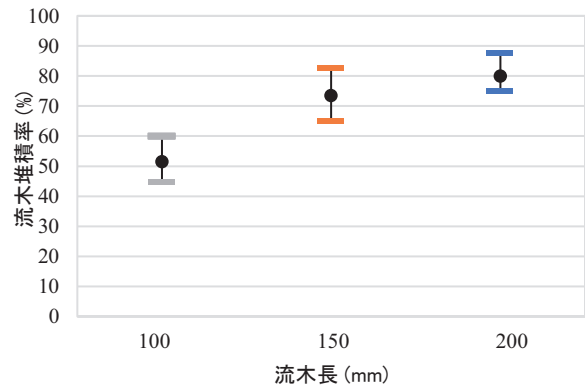


図-12 剛体植生 高密生度

低密度生において流木長が等しい場合，柔軟植生より剛体植生の方が堆積する。柔軟植生より剛体植生の方がより堆積する理由として，流木が堆積増加により流れの抵抗が増加する。そして，しなることで流れの抵抗が減少する ことが知られている。そのため，剛体植生の方が柔軟植生より堆積したと考えられる。

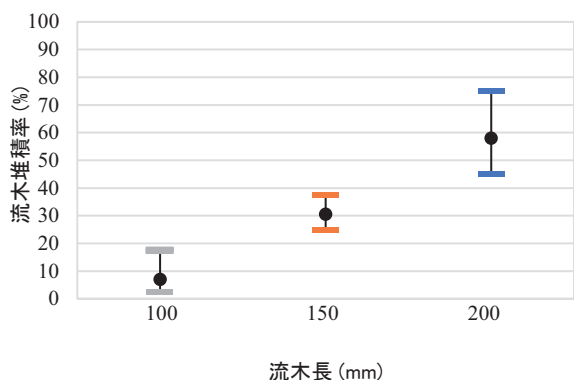


図-13 柔軟植生 低密度度

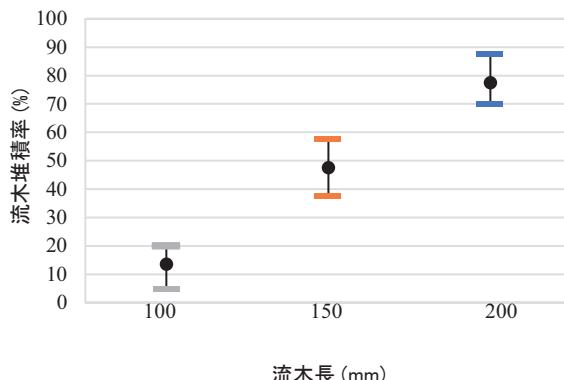


図-14 剛体植生 低密度度

(3) 水位の上昇率について

各流木長における水位上昇率について，高密度生における柔軟植生を図-15 に剛体植生を図-16，低密度生における柔軟植生を図-17 に剛体植生を図-18 に示す。

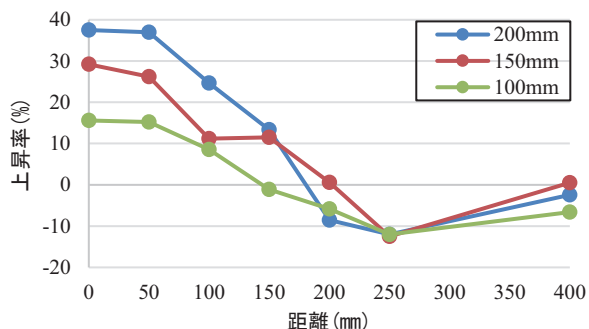


図-15 柔軟植生 高密度度

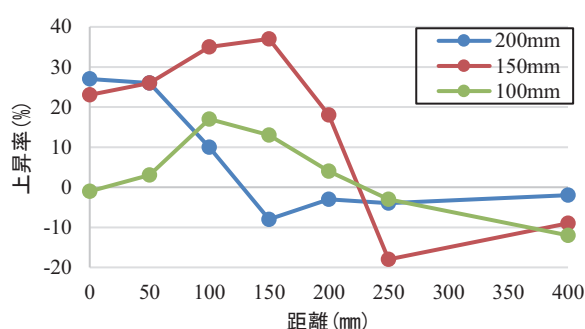


図-16 剛体植生 高密度度

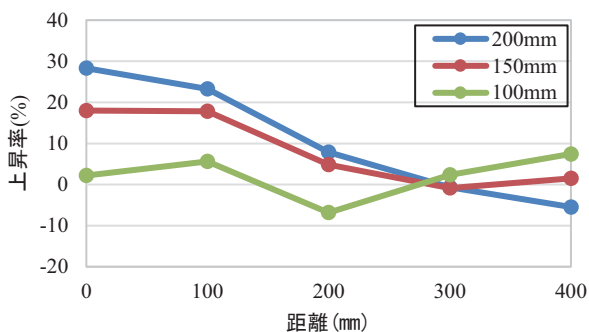


図-17 柔軟植生 低密度度

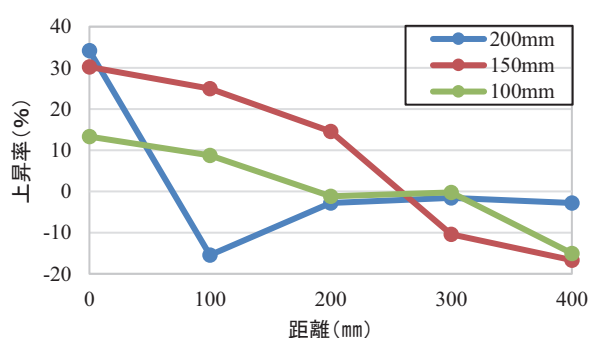


図-18 剛体植生 低密度度

高密度生において柔軟植生は植生層の1列目で水位上昇率が最大となったが剛体植生（流木長：150mm 100mm）では植生層の3，4列目と中央付近で水位上昇率が最大となった。低密度生の場合，柔軟植生，剛体植生どちらも前方で水位上昇率が最大となった。剛体植生で流木長

200mm では、水位が急激に減少したことがわかる。また、上昇率についてはすべての場合において 40%～-20%の範囲内であった。さらに、どの植生でも水位の上昇と減少を繰り返すことが確認できた。

5. おわりに

本研究では、植生の密度と流木長による水位上昇量について検討を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 流木の挙動について、まず植生層前方に堆積すると同時に水位が上昇する。そして、水位が植生より高くなることで流木が植生の上部を通過して後方の植生について堆積する。
- 2) 流木の堆積について、柔軟植生は剛体植生と比較して流木が長いと、堆積率が上昇する一方で流木が短いと、堆積率が減少する。つまり柔軟植生は流木長によって堆積率が大幅に変動することが分かった。また、どちらの植生も流木が長く、密度が高いほど堆積率が上昇する。
- 3) 水位の上昇について、高密生度の場合、柔軟植生は植生層前方で水位上昇が大きくなるが、剛体植生（流木長：150 mm, 100 mm）では植生層中央で上昇率が大きくなった。一方低密度生の場合では、柔軟植生、剛体植生どちらも前方で水位上昇率が最大となり、上昇率についてはすべての場合において 40%～-20%の範囲内であった。

謝辞

本研究を行うにあたり科学研究費補助金（20H00256, 代表：風間 聡）の助成を受けた。ここに記し、謝意を表する。

参考文献

- 1) 国土交通省：土砂・洪水氾濫時に流出する流木の対策計画の基本的な考え方,
<https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/sabo/dosyakouzuihanran_ryuuboku_r0508.pdf>
(2024/1/10 閲覧)
- 2) 吉田圭介, 前野詩朗, 藤田駿佑, 松山悟, 岩城智大, 平井康隆：旭川における植生分布の経年変化を考慮した洪水流の数値解析, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.71, No.4, I_1039-I_1044, 2015.
- 3) 大森蒼士, 自見寿孝, 齋藤憲寿, 渡辺一也：植生及び流木が洪水流に与える影響について, 東北地域災害科学研究, 第 59 巻, pp. 63-68, 2023.
- 4) 秋田県：二級河川馬場目川水系馬場目川圏域河川整備計画変更, 平成 27 年 2 月,
<https://www.pref.akita.lg.jp/uploads/public/archive_0000010601_00/seibi_babame.pdf>
(2024/1/10 閲覧)
- 5) 赤堀良介, 春日井勇輝：植生内の流れの構造と浮遊砂堆積状況の関連について, 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_753-I_760, 2014.
- 6) 松林由里子：2017 年秋田豪雨によって水田に堆積した流木の特徴：東北地域災害科学研究, 第 56 巻, pp. 1-6, 2020.
- 7) 辻本哲郎, 北村忠紀：柔軟な植生粗度を伴う流れに関する研究, 土木学会論文集 No-607/II-45, pp.29-44, 1998.