

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04701

研究課題名（和文）植生の鉛直構造や洪水時の破壊・浮遊物捕捉によるリスク変化を考慮した戦略的植生管理

研究課題名（英文）Strategic forest management in rivers where flooding risk is changed during flood event by vertical tree structures, destruction and trapping of floating debris

研究代表者

田中 規夫（Tanaka, Norio）

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：80323377

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：樹冠高と河川水位の関係、樹木による浮遊物捕捉等に応じて洪水時に生じる抵抗変化が局所的な水位や河床変動に与える影響を明らかにすることを目的とした研究を行った。樹林帯に浮遊物が捕捉された状態を大きく3種類に分類し、樹林帯前面部で浮遊物を捕捉するI型は局所的な水位上昇と偏流に影響すること、内部の樹木単位で捕捉するU型のほうが樹林帯による水位上昇影響は大きいこと等をもとに浮遊物の捕捉による樹林帯抵抗の増加分を実験により定量評価した。また、樹木の樹冠高が流れの三次元構造に与える影響や、樹林帯背後と堤防とのギャップ幅が堤防近傍流速に与える影響など、河道内樹林の管理に必要な条件を数値解析により明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

堤防沿いにある有限幅樹林帯が洪水時に発生した流木等の浮遊物を捕捉した場合に生じる流れの変化、特に側岸水位や洗堀に与える影響を調べた。浮遊物を捕捉した場合は側岸付近、特に樹林帯斜め上流側の水位を上昇させ、かつ下流側に定在波のような水面変動をもたらした。また、樹林帯と側岸の距離についても影響が最大になる距離が樹林帯スケールに応じて存在することを明らかにした。洪水時の植生流失と捕捉により弱点が新たに形成されるものであり、現象の解明と危険な条件の抽出結果は学術的価値が高い。三次元数値解析より得られたパッチ形状と樹冠高影響は、危険域を形成させないための樹木管理に示唆を与えるもので社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：This study was aimed to investigate local flood water depth and erosion affected by trapping phenomenon of floating due to vegetation and the relationship between tree crown height and water surface level. Trapping situation of floating produced by washout of trees and grasses in a river was classified. Debris jam in front of several trees, I-type trapping, acts to increase the local water depth in front and produces strong current along the forest. The second type, U-type trapping by each tree, increases the water depth in front and inside the forest. Backwater by U-type trapping is larger than that by I-type trapping. Increase in resistance by trapping was quantified by hydraulic experiment. Effects of the trapping on the sidewall water depths and velocities were analyzed considering the gap length of patch type forest. Tree crown height was investigated by three dimensional numerical simulation, and important characteristics which can contribute forest management has been derived.

研究分野：河川工学

キーワード：植生抵抗 浮遊物捕捉形態 局所洗堀 背水特性 風応力 アスペクト比 ギャップ距離

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

河道内樹林は水位上昇や偏流によりその周辺での洪水流に影響を与えるものの、下流の流出を遅らせ河道内貯留に寄与する場合もある。ICT 技術の進展により植生の鉛直構造や侵入初期の画像判別が取得可能になってきた。河川流計算において植生の鉛直構造を簡略にモデル化している場合が多いが、植生が混在した場合には、抵抗特性や二次流が変化し、局所的な水位や底面せん断力に影響を与える。また、洪水時の卓越風向と植生構造によって漂流ゴミを捕捉しやすい樹林帯が存在し、抵抗増による局所的な水位上昇や河床変動特性が変化し、越流・破堤箇所にも影響する場合がある。河川特性(合流や狭窄部特性)に応じて、植生分布の経年的変化と洪水時の抵抗変化を考慮した河道維持管理技術の構築が必要である。

2. 研究の目的

河道内樹林化に関する研究は、樹林化のメカニズム、洪水攪乱と破壊の関連、樹木管理方法の面から行われてきた。近年においては上流域で大量の土砂流木災害を伴う洪水など複合災害も発生している。草本・木本などが浮遊物となり捕捉されて、付加的な抵抗を及ぼしたと考えられる事例もある。今後は土砂や浮遊物の生産・輸送・捕捉も含めて流域を管理する必要がある。河川も流下能力に余力のある箇所においては河道内貯留を高める工夫をするなど、流域で洪水を適切に管理するための河道管理が必要である。

水系全体を視野に入れたモデルでは個々の流体现象は簡略化されてモデル化されることが多い。しかし、河道の変動や河岸侵食による流木発生などは簡略化しすぎるとその本質を失う。河道内で生じている植生周辺の流れやその破壊・捕捉に伴う複合現象を解明し、真の対策手法を考えるためには、構造物や樹林帯の破壊や輸送、衝突による衝撃力、捕捉に伴う抵抗増加を組み込んだ流体の数値シミュレーション手法が必要であり、それらを精度よく推定するための基礎実験が重要となる。

3. 研究の方法

1) 河道内植生の繁茂状況に応じた抵抗特性(現地条件の整理と水理実験)

検証を行うことを考慮し、2019年に破堤被害の発生した入間川流域を含む荒川全体を開発対象流域として研究を行った。樹冠高と河川水位の関係、植生構造と卓越風向に応じた浮遊物捕捉などに応じて、水深平均化された浅水方程式では解析できない鉛直方向の流速分布や洪水時の抵抗変化が局所的な水位や河床変動に与える影響を以下の観点から具体的に明らかにした。

多年生高茎草本(ヨシ、オギ、ツルヨシなど)など流速の鉛直分布に大きく影響を与える植物の分布をGISデータ(水辺の国勢調査データ(植生)と現地観測)により解析し、植生タイプを類型化した。低木の樹冠高と樹冠幅の関係などGISデータでは未取得のものについて、UAVによる写真取得と画像解析(密度等)、樹冠高の現地計測を代表的樹木について行ない、水理実験の植生模型混在条件を分類した。また、UAVの空撮+画像処理により、草本・木本の動態(洪水時流失を含む)を洪水期の前後に把握した。付着ゴミ等の現地計測結果を元に洪水痕跡縦断を取得した。

水理模型実験では、延長15mの可変勾配開水路に、鉛直方向分布をもつ植生を設置し、水面形の変化を計測し、抵抗特性を把握した。また、浮遊物の捕捉率を変化させた条件での水面形計測も行った。浮遊物影響有無による植生域の抵抗特性を水位毎に明らかにした。

2) 数値解析手法の構築と実験の検証

浮遊物捕捉効果・遮蔽効果による抵抗変化を考慮可能なモデルを作成するため、浮遊物捕捉による抵抗変化特性や、植生の鉛直構造に応じた抵抗変化を明らかにし、解析モデルに組み込んだ。

3) 潜在的氾濫リスクを軽減するための河道維持管理技術の構築

構築した統合モデルをもとに荒川の熊谷地点で数値解析を行い、流木生成や下流砂州への土砂供給影響に関係する樹林帯、浮遊物の捕捉に関係して河道内貯留を高めている樹林帯の定量的評価を行った。また小規模なパッチ状の樹林帯が堤防付近の水位、流れ場、河床変動に与える影響の評価を行い、河道の潜在的氾濫リスクを軽減するための樹林帯条件などを明らかにした。

4. 研究成果

樹冠高と河川水位の関係、植生構造と卓越風向に応じた浮遊物捕捉などに応じて、水深平均化された浅水方程式では解析できない鉛直方向の流速分布や洪水時の抵抗変化が局所的な水位や河床変動に与える影響を明らかにすることを目的として実験と数値解析を行った。樹林帯に浮遊物が捕捉された状態を大きく3種類に分類し、実樹木と捕捉物をモデル化した水理実験により抵抗特性を調べた。樹林帯前面部で浮遊物を捕捉するI型は局所的な水位上昇に影響し、内部の樹木単位で捕捉するU型のほうが樹林帯による水位上昇影響は大きかった(図-1(左))。捕捉物の厚さを倍にした場合、抗力係数はI型の場合は1.2-2.1倍、U型の場合は1.3-1.6倍となった。これは捕捉物内を通過する際に流速が減少するため、後ろ側の抵抗が前側よりは小さくなるが、流速を捕捉物前面で評価しているためである。本実験において算出された抗力係数を用い

ることで、水深積分型の平面二次元の洪水解析において河道内植生と浮遊物の捕捉による抗力の増加分を精度よく計算可能になることが期待される。一方、流木ダムやU型トラップ物の形成過程に関してはさらなる検討が必要である。形成過程に関しては、浮遊物の発生・流動・捕捉をラグランジェ的に追いかける流失物動態の初期モデルを作成し、平面二次元モデルと組み合わせることで、洪水時の時々刻々の抵抗変化を表現することができた。なお、モデルには表面を浮遊する流失物が風により受けるせん断力で風下側に流されるメカニズムを組み込んでいる。

次に、有限幅樹林帯が浮遊物を捕捉した場合に生じる流れの変化、特に側岸水位や洗掘に与える影響を調べた。実験はI型トラップを模擬して行った。有限幅樹林帯は流れに対する角度を変化させて実験を行った。浮遊物を捕捉しない場合はその差異は少ないものの、捕捉した場合は側岸付近、特に樹林帯斜め上流側の水位を上昇させ、かつ下流側に定在波のような三次元的な水面変動をもたらした。また、樹林帯と側岸の距離についても影響が最大になる距離が樹林帯スケールに応じて存在することが明らかになった。移動床実験においても浮遊物を捕捉した場合には、抵抗特性や二次流が変化し、局所的な水位や底面せん断力に大きな影響を与えることが確認された。

三次元数値解析により樹木管理に必要な観点を検討した。VOF法を円柱群周りの流れにあてはめ、円柱より細かい格子で解析することにより、有限幅円柱群周りの乱流構造を詳細に明らかにすること、樹木の樹冠高が流れの三次元構造に与える影響を解明すること、破壊された草本木本を捕捉した際に樹林帯周辺に生じる洗掘現象を明らかにすること、を目的として行った。

有限幅樹林帯の樹冠高さ変化に関しては、1) 樹林帯背後のエネルギー、流体力の減少と、2) 樹林帯背後とギャップ領域の流速差に着目して計算を行った。樹冠高比(=樹冠高さ/樹木高さ)を0.2から0.5の間、アスペクト比は1(FM-1)、1.5(FM-2)の2種類を行い、FM-2で樹冠高が低い場合、樹林帯による堰上げ背水はFM-1よりはるかに大きく、最大のエネルギー損失は67%、樹林帯背後の流体力は50-59%まで低下する一方で、ギャップ領域に大きな流速増加をもたらした。FM-1で樹冠高が低い場合は、下流並びにギャップ領域に大きな流速変化をもたらさないことを示した。河道内樹林の管理として、樹木密度だけでなくパッチ形状と樹冠高影響も考慮する必要性を示した。

次に、草本・木本などの浮遊物捕捉が樹林帯周辺の洗掘現象に与える影響を評価した。有限幅樹林帯を側壁付近に配置し、その角度と側壁までの隙間の距離を変化させて、捕捉の有無(捕捉する形をI型、U型の2種類)による洗掘深や洗掘領域の変化をフルード数0.7で調べた。側壁沿いに最大洗掘深があらわれるのは、捕捉がない場合には流れに対する角度が90-120度であり、川幅で無次元化したギャップ幅が0.014であった。しかしI型、U型で捕捉した場合には、ギャップ幅がそれぞれ0.014-0.25、0.014-0.375の間で洗掘量がさらに増加した。流れ場のみで計算を行った場合は図-1(右)に示すように、無次元ギャップ幅が0.3の場合に底面せん断力が最大値を取ることが示された。このような最悪現象を避けるためには、様々な捕捉状態における流れ場と底面せん断力の変化をさらに解明していくことが必要である。このように、洪水時に流失し、下流の樹林帯で浮遊物を捕捉する現象が生じた場合の有限幅樹林帯の危険性を定量的に示した。

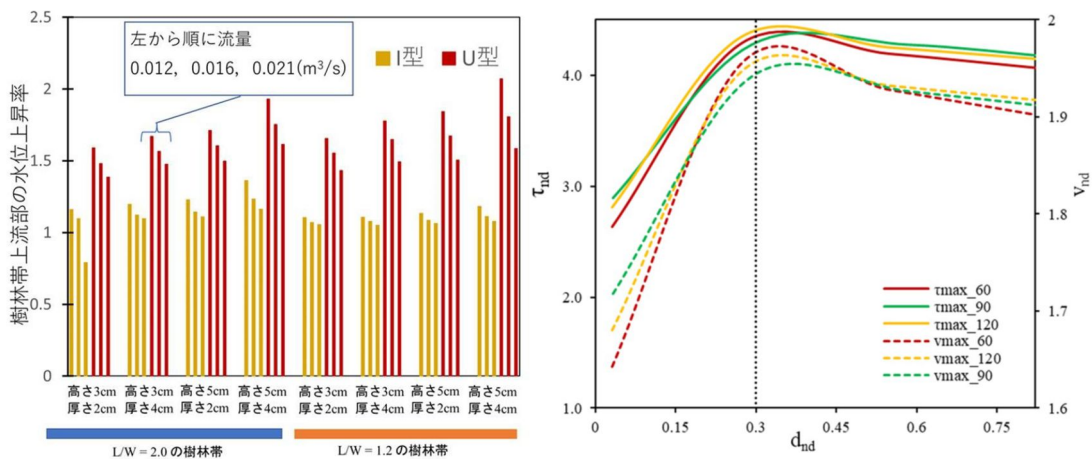


図-1 樹林帯による浮遊物捕捉影響 (左)水位上昇率、(右)無次元ギャップ幅(植生の端部から側壁までの距離/植生の横断方向投影幅)によるせん断力の変化(角度による比較)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Wickramasinghe, R., Tanaka, N.	4. 巻 -
2. 論文標題 Investigation of Flow Structures Along the Embankment Generated Nearby Finite Riparian Vegetation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geohazard Mitigation	6. 最初と最後の頁 45-53
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-981-16-6140-2_5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 岩田敦行, 田中規夫, 五十嵐善哉	4. 巻 Vol.77, No.2
2. 論文標題 出水時に観測された浮遊物捕捉形態の相違が樹林帯の抵抗特性に与える影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学) Vol.77, No.2, I_1033-I_1038, 2021.	6. 最初と最後の頁 I_1033-I_1038
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/jscejhe.77.2_I_1033	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Aina, Tanaka, N.	4. 巻 Vol.20, No.12
2. 論文標題 Experimental Study to Evaluate the Effectiveness of the Variation in Crown Portion of a Tree on the Flow Properties Considering the Finite Length Forest	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Civil Engineering	6. 最初と最後の頁 1461-1478
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s40999-022-00759-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Wickramasinghe, R., Tanaka, N.	4. 巻 19
2. 論文標題 Investigation of hydrodynamics along an embankment generated by a nearby riparian vegetation patch	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Landscape and Ecological Engineering	6. 最初と最後の頁 179-197
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11355-022-00535-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------