

令和 2 年 5 月 13 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2018～2019

課題番号：18K18919

研究課題名(和文)科学的アプローチに基づくアクティブな水害防備林の配置整備デザインに関する挑戦研究

研究課題名(英文)Challenging research on active allocation design of floodplain forest by scientific approach

研究代表者

山上 路生(Sanjou, Michio)

京都大学・工学研究科・准教授

研究者番号：80362458

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,400,000円

研究成果の概要(和文)：水害防備林は、環境にフィットした伝統的治水工法の1種である。本プロジェクトでは、水路横断方向に並んだ1ライン場合と、流れ方向に複数ライン配置される場合の2つのシナリオを扱い、水理実験を行った。鉛直および水平PIV、そして抗力計測によって洪水流エネルギーの減衰効率および底面せん断力の変化を検証した。実験結果より、粗い配置ではウェイク型、密配置では噴流に似た構造となることがわかった。さらに下流に堤防があるとそれ自体が水深を制御する堰として機能するため、流下方向の圧力勾配は、防備林の有無によらず、純粋に防備林による流速低減が期待できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自然繁茂している河畔林の間伐や再植林により、比較的低コストで広範囲の流域をカバーできる。研究成果は、効果的な氾濫減衰のための防備林デザインを構築するもので、水防災・水減災・強靱なまちづくり(実用研究)に貢献し、水工災害学、河川工学に関連する幅広い分野において大きな意義をもつ。特に水路実験の高精度実測データは、防備林周辺の河床変動や浸食機構の解明をはじめとする河川力学の基礎学理(基礎研究)の重要課題の突破口としても期待され、学術的意義も大きいと確信する。さらに人工構造物と比べて防備林は整備しやすいため、本成果は伝統的水防対策の再考を促すきっかけとなるとともに全国的に広く波及すると考える。

研究成果の概要(英文)：A flood protection forest is a conventional river-management measure that can fit well into the natural environment. This study focused on single-line tree models placed laterally and multi-line tree models. Horizontal and Vertical particle image velocimetry (PIV) measurements and drag force measurements were conducted in a laboratory flume to examine the reduction efficiency of mean kinetic energy due to the tree members and bottom friction properties. The results showed that the flow structure is related closely to a wake phenomenon for sparsely arranged trees, whereas it is similar to a jet for a dense arrangement. Furthermore, a semi-theoretical formula was developed that was found reasonable in predicting energy reduction efficiency. A downstream bank has an important role to control a depth of oncoming stream, and it implies suppression of the pressure gradient in the streamwise direction. It induces more effective reduction of velocity through the forest.

研究分野：水工水理学

キーワード：水害防備林 エネルギー減衰 洪水流

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

我が国では古くから、堤防の浸食破壊の防止、洪水流の抑制および流木補足等の目的で竹や柳を低水河道に沿って植樹してきた。このような河川樹林帯は平水時においても、水質保全、生物空間の創出、水域のランドスケープの演出など、人工的な河川構造物にはない、大変魅力的なメリットがある。しかしながら、樹木群を過ぎる流れの水理特性やエネルギー低減効果、さらには樹木林背後の堤防浸食の防止機構に関する科学的データや知見は十分ではなく防備林の整備や計画は経験則に頼るのが現状である。さらに全国各地に現存する水害防備林が実際の洪水時に具体的にどのような減災機能を発揮しているのか詳細なデータはほとんどない。これを打破すべく流体力学・水理学的な理論解析と実験水理手法の双方より研究推進する。特に樹木群の配置パターンを系統変化させて、氾濫流減衰や堤防浸食防止との関係を定量評価する。

2. 研究の目的

本研究では、環境面にも有利な数ある伝統工法の一つとして知られる水害防備林に注目し、洪水エネルギーの減衰効果を定量的に評価し、防備林を積極活用するために必要な最適な配置整備デザインの科学指標を提案する。特に直感と経験則に依存する現状をブレークスルーして科学的知見に基づくアクティブな防備林整備につなげることを最終目標とする。

3. 研究の方法

本プロジェクトでは、2通りのシナリオを設定した。1つは防備林が横方向1列に配置される場合。もう一つは流れ方向に格子上に配列される場合である。前者の研究は、防備配置と水流エネルギーの減衰関係を定式化したもので文献¹⁾を参考にされたい。ここでは後者について説明する。

全長 10m、幅 0.4m、高さ 0.5m の可変勾配型水路を用いた。x, y および z はそれぞれ流下方向、鉛直方向、および横断方向であり、水路上流端の位置を $x=0\text{cm}$ 、水路床を $y=0\text{cm}$ 、水路横断方向位置を $z=0\text{cm}$ とした。そしてそれぞれの方向における時間平均流速を U , V および W である。

本研究では防備林模型として円柱塩ビパイプを用いた。横方向の配置間隔は一定で流れ方向に本数を増加させて防備林配置厚さの影響を調べた。さらに防備林下流側に堤防模型を設置し、この有無による流れの影響と堤防上の流れや摩擦の影響を考察した。防備林模型の設置状況、配置方法に関しては図1のようになっており、植生密度でパターンを分けられ計5種類となっている。植生の本数を流下方向に増減することで配置パターンを変えた。また、堤防模型は、アクリル板を用いて作成した。

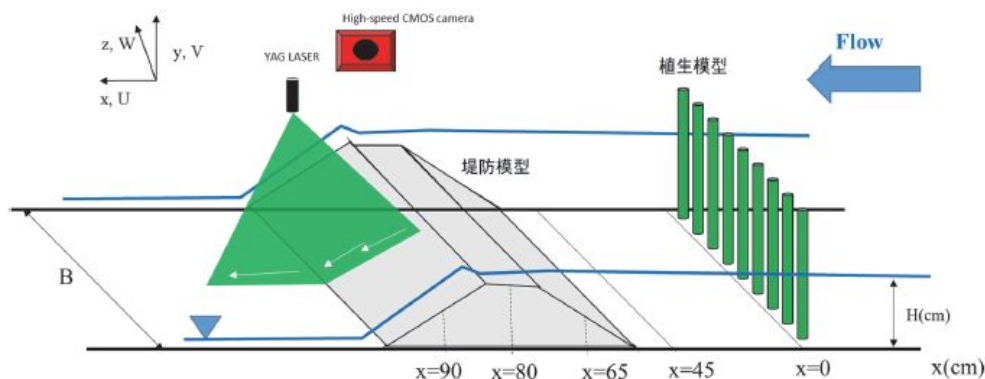


図-1 堤防模型と防備林（植生）模型を水路に設置した実験装置

本研究では防備林や堤体が流況に与える影響について調べるために、PIV法を用いて流速

計測を行った．3.0WのYAGレーザーを光源として水路側方または上方から厚さ2.0mmのレーザーライトシート(LLS)を照射し，高速度CCDカメラ(640×480 pixel)でデジタル撮影した．PIVトレーサーには粒径100 μm ，比重1.02のポリスチレン粒子を用いた．カメラに30Hzの外部トリガーを与えて，500Hzもしくは1400Hzのフレームレートで2枚の連続画像のペアを120秒間計測した．鉛直面PIV計測結果から鉛直面の瞬間流速ベクトル(\tilde{u}, \tilde{v})を算出し，時間平均ベクトル(U, V)を計算した．撮影領域のサイズは14.2×14.2cm領域である．LLSの水平方向の照射位置は $z=20\text{cm}$ (水路中央)もしくは鉛直方向の照射位置は $y=3.7\text{cm}$ (水深の1/2)とした．表-1に水理条件を示す． U_m は堤防なしケースかつ植生模型なしの場合の断面平均流速である．実験ケースは堤防なしケースにおいてはA,B,C,D,Eの5ケース，堤防ありケースにおいてはA,Eの2ケースである．計測回数は堤防なし，ありケース共に $x=50\text{cm}$ を含めた5回である． H は各計測点に置ける水深である

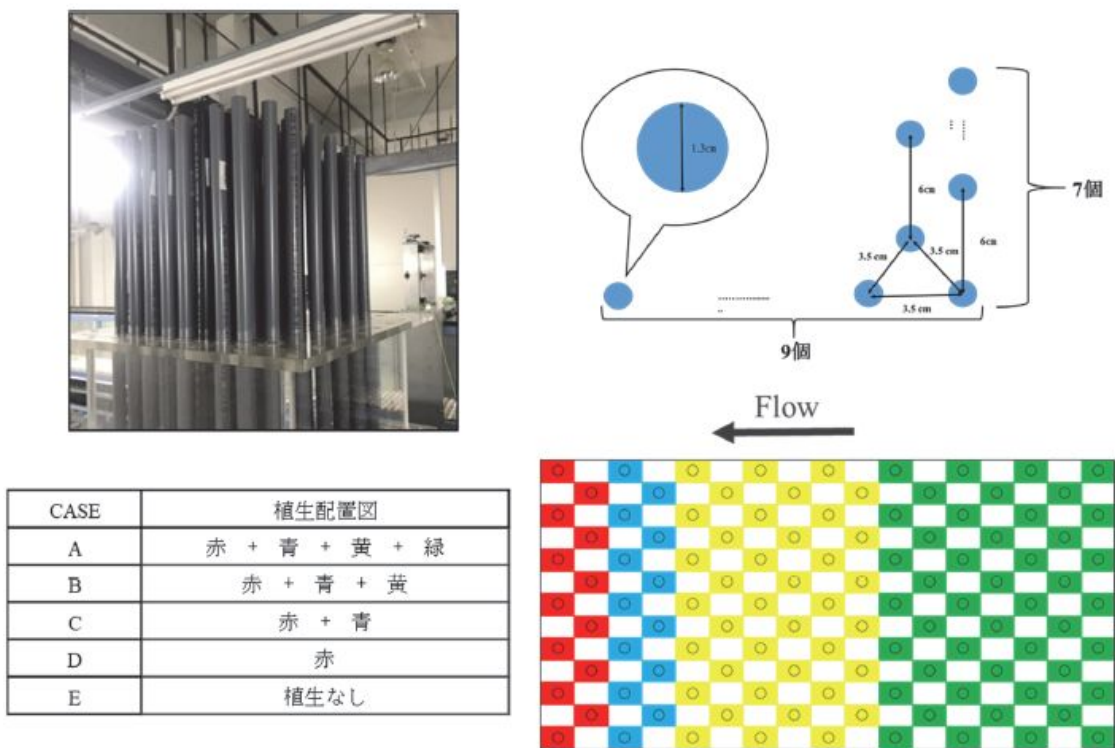


図-2 防備林模型と配置パターン (左上: 模型写真, 右上: 配置間隔, 下: 配置パターン)

4. 研究成果

まず堤防なしケースにおける植生模型後流域の横断方向の摩擦速度比較を行う．図-3はケースA, $x=50\text{cm}$ における横断方向の摩擦速度変化である．縦軸は摩擦速度 u_* で，横軸は水路横断位置 z を植生模型の直径 $D(1.3\text{cm})$ で無次元化した z/D である．今回計測地点は水路中央植生背後である $z/D=15.5$ ，植生背後ではない $z/D=17.5$ ，植生背後である $z/D=19.5$ の3点であり，PIVで計測した．一般に円柱の直後では，高速域と低速域の流速差が大きく混合されていない状態であるため，主流速は横断方向に不連続な分布を持ち，その後流下するにつれて高速域と低速域の混合が行われ，滑らかな分布系へと変化する．今回の結果では， $x=50\text{cm}$ において， $z=20\text{cm}$ の植生背後地点では左右の高速域と混合が進み，流速が大きくなった． $z=23\text{cm}$ では低流速域との混合が進み，流速が $z=20\text{cm}$ より小さくなった．

この傾向を水平PIV計測から得たコンター図からも視覚的に確認する．図-4は $x=50\text{cm}$ 地点にて，水平面PIVで計測した瞬間の流速コンターを0.033sごとの比較である． $z=20\text{cm}$

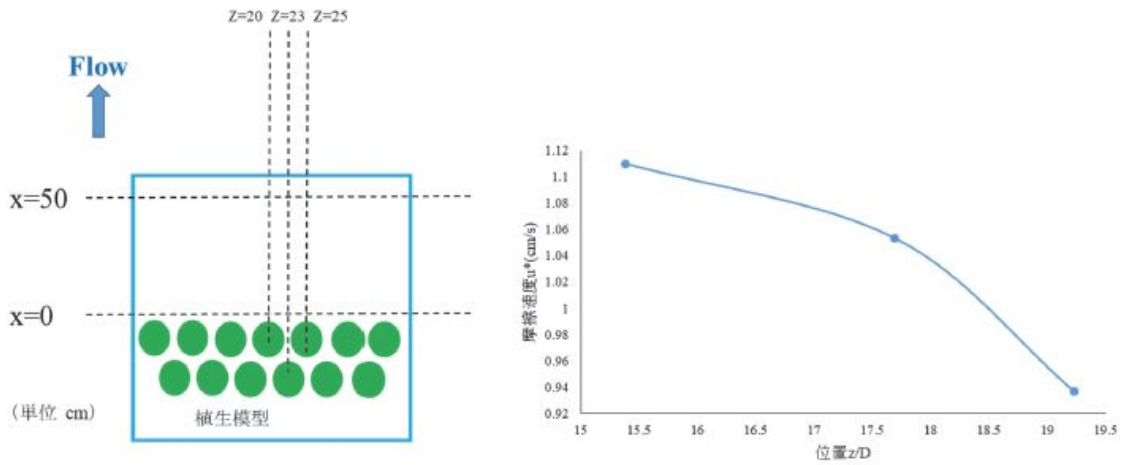


図-3 計測位置と摩擦速度の横断方向変化 ($x=50\text{cm}$)

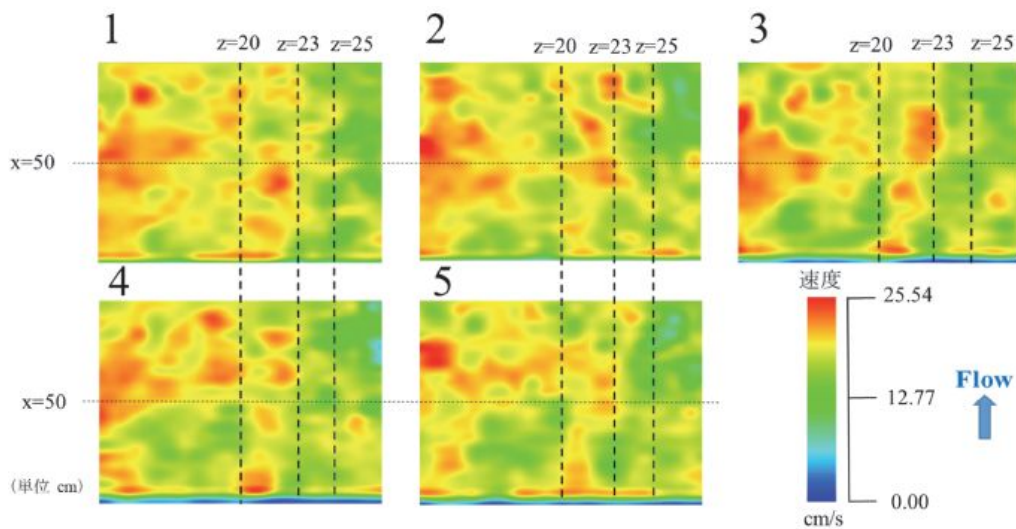


図-4 $x=50\text{cm}$ 周辺における主流速分布

では高速域との混合が進み、流速が速くなる。また、 $z=23\text{cm}$ では低速域との混合が進み、 $z=20\text{cm}$ よりも流速が遅くなっている。このようにコンター図においても上記傾向を確認でき、植生模型の背後では複雑な流れが形成されることが確認された。

図-5 は堤防なしケースにおける植生密度ごとの摩擦速度の x 方向変化を示す。縦軸は摩擦速度 u_* で、横軸は流下方向位置 x を植生模型の直径 D で無次元化した x/D である。流下方向の摩擦速度の傾向を考察していく。 $x=-50\text{cm}$ から $x=50\text{cm}$ にかけて、摩擦速度は一定もしくは上昇している。これは前述のとおり $z=20\text{cm}$ では高速域との混合により水路中央流速が上昇するためだと考えている。次に、 $x=50\text{cm}$ から $x=80\text{cm}$ においても、摩擦速度がほぼ一定か上昇する。これは図3と図4の比較より、 $x=80\text{cm}$ の方の流速が大きいと考えられる。以降、流下するにつれて全ケース一定の値に収束していく。これは、流下するにつれて流速が横断方向に一様になるからである。

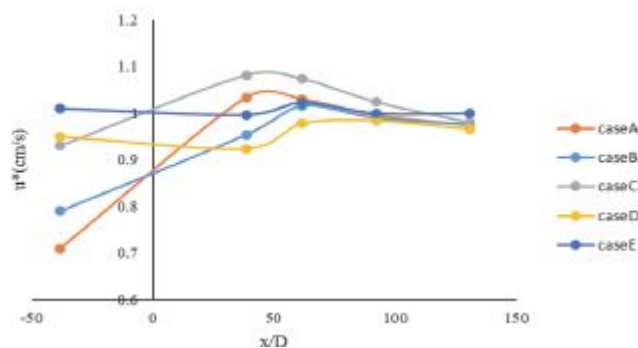


図-5 植生配置ごとの流下方向の摩擦速度変化

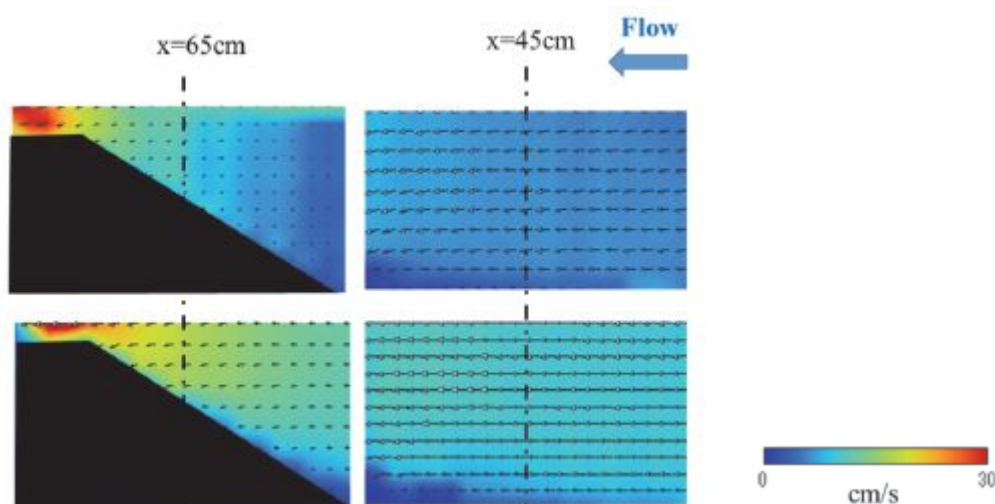


図-6 堤防前面における流れの様子（上：ケース A 防備林有，下：ケース E 防備林無し）

堤防ありケースの断面平均流速変化について考察する．図-6 は防備林ケース A，防備林なしケース E における鉛直 PIV 計測から算出した主流速の平均コンター図である． $x=45\text{cm}$ (防備林背後，堤防上流地点)， $x=65\text{cm}$ (堤防前半部，斜面中央)を計測した．両ケースともに堤防上辺部と堤防後半部斜面で流速が大きくなる． $x=45\text{cm}$ 周辺では流速の大きさは $E>A$ となっている．今回，堤防の堰上げ効果と防備林の影響により，流速が小さくなる．次に $x=65\text{cm}$ の地点でも斜面前半部では流速が $E>A$ となっている．そのため，防備林なしの場合，堤防への浸水と浸食の危険性がやや上昇する．

今回の結果から，防備林下流には噴流が生じるため，ある程度の距離までは，流速や摩擦の大小が横断方向に大きく変化するものと思われる．特に下流に堰がない場合，防備林の上下流面の水位差が大きくなり，むしろ噴流の噴出速度が上昇する可能性があり，局所的には危険性が増すかもしれない．一方で堤防があるとそれ自体が水深を制御する堰として機能するため，流下方向の圧力勾配は，防備林の有無によらず，純粹に防備林による流速低減が期待できる．

したがって，堤体を越えた場合，外水氾濫被害は回避できないが，防備林の流速低減を有効化する可能性が示された．

参考文献

- 1) 山上 路生：水害防備林による洪水エネルギー減衰効率のスケーリング，令和元年度土木学会年次学術講演会講演概要集，II-024

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山上 路生
2. 発表標題 水害防備林による洪水エネルギー減衰効率のスケーリング
3. 学会等名 2019年度土木学会年次学術講演会（高松、発表確定）
4. 発表年 2019年

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----