

京都大学 学生員 小川 峻司
 京都大学 学生員 松本 知将
 名城大学 正会員 岡本 隆明
 京都大学 正会員 山上 路生

1. はじめに

河道の樹林化は、流れの抵抗の増加や植生群落周辺への浮遊砂堆積の促進につながり、河川の流下能力の低下、河積の減少、さらには水生生物の生息環境の変化を招くことが知られている。これらの問題に適切な対策を講じるためには、植生群落周辺の土砂輸送メカニズムおよび乱流構造を解明し、樹林化の発生を事前に予測することが重要である。また、実河川における植生は柔軟性を有し、流れに対して変形・揺動するため、植生揺動と流速変動の相互作用は複雑かつ植生流れにおいて重要な要素である。

本研究では、室内水路実験を通じて柔軟植生上の開水路流れを対象に PIV による流速計測と PTV による植生変位の同時計測を行った。水深の異なる 4 ケースについて鉛直面内と水平面内の流速分布および植生変位を計測することで、3 次元的乱流構造にかぶり水深比が及ぼす影響について考察した。また、横断方向に並ぶ複数の植生変位を同時計測し、横断方向に非一様な組織構造である Sub-channel 構造¹⁾の横断方向スケールについて評価した。

2. 実験方法

本実験には長さ 10 m、幅 0.40 m、および高さ 0.50 m の水路を使用した。実験装置図を図-1、図-2 に示す（鉛直面 PIV-PTV は省略）。使用した柔軟植生モデルは沈水性の有茎植生をモデル化している。植生要素モデルは PET 製の OHP シートを長さ 70 mm、幅 $b = 8$ mm、厚さ $t_v = 0.1$ mm の短冊状に切ったもので、水路底面に計測部を含めて 6 m の区間にわたって正方格子状に配置した。また、流下方向および横断方向の植生配置間隔 L_v および B_v はいずれも 32 mm であり、植生の密度 $a (= b/B_v L_v)$ は 7.8m^{-1} とした。

流速計測には PIV を用いた。3.0 W の YAG レーザーを光源とする厚さ 2 mm のレーザーライトシート (LLS) を計測断面 ($y/h = 1.1$) に照射し、LLS 内の

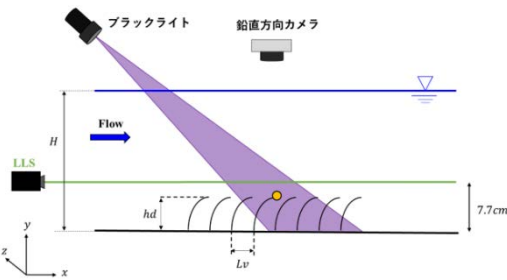


図-1 水平面 PIV-PTV 計測実験装置図

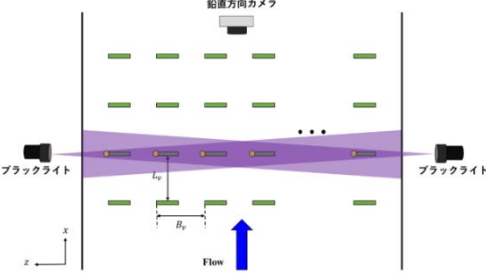


図-2 植生変位同時計測システム

表-1 水理条件

a [m ⁻¹]	H [m]	U_m [m/s]	Q [L/s]	u_* [m/s]	Re	Fr	h [m]	h_d [m]	H/h	揺動形態
7.8	0.084	0.20	6.7	3.6	16,800	0.22	0.070	0.051	1.2	Swaying
	0.140		11.2	3.8	28,000	0.17		0.056	2.0	Monami
	0.210		16.8	4.6	42,000	0.14		0.062	3.0	Monami
	0.280		22.4	4.0	56,000	0.12		0.064	4.0	Monami

トレーサー粒子の挙動を高速カメラでデジタル撮影した。植生先端変位の計測には PTV を使用した。ここで、計測断面の植生先端挙動を可視化するために、植生要素の先端に直径 1 mm の蛍光球を取り付け、ブラックライトを照射することで、計測画像内において植生先端位置の流下方向・横断方向変位を可視化計測した。植生変位同時計測では横断方向に並ぶ計 6 本の植生の水平面内変位を同時計測した（図-2）。

表-1 に本実験の水理条件を示す。断面平均流速 U_m および植生高さ h は固定し、全水深 H を計通りに変化した。

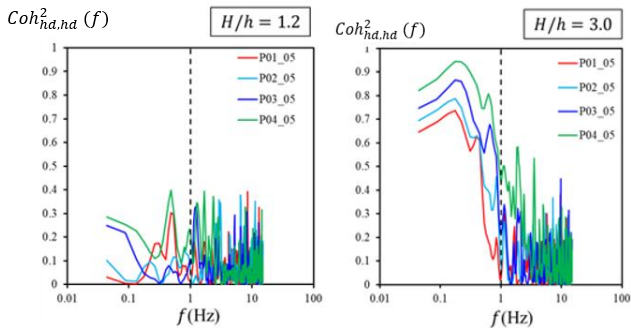


図-3 流下方向に並ぶ2植生変位のコヒーレンス

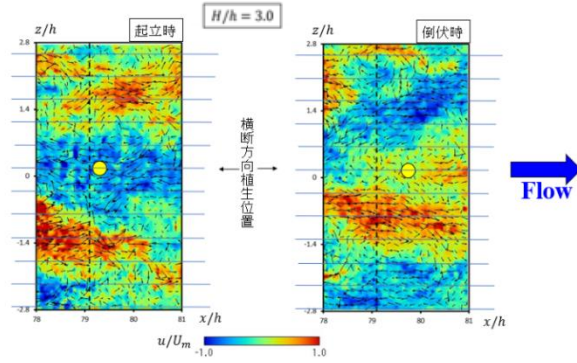


図-4 植生起立時および倒伏時の水平面瞬間流速場

3. 実験結果

鉛直面の PIV-PTV 同時計測の結果から、かぶり水深比(H/h)と植生揺動の関係を調べた。水没植生流れにおいて、複数の植生が組織的に揺動する現象を Monami (藻波) といい、植生群落上で発達する大規模渦に起因することが知られている。流下方向に並ぶ5植生要素を対象に、各2植生変位間について算出したコヒーレンス $Coh^2_{hd,hd}(f)$ を図-3に示す。かぶり水深比が大きいケース ($H/h = 3.0$) は低周波数領域 ($f < 1\text{Hz}$) でコヒーレンスが大きく、Monami は大規模渦によって発生していることが示唆される。

水平面の PIV-PTV 同時計測の結果から、組織的乱流構造の横断方向スケールについて考察する。図-4に Monami 発生の場合 ($H/h = 3.0$) について植生要素の起立時・倒伏時における瞬間変動主流速 u の水平面コンターを示す。植生起立時は植生周辺を低速流 ($u < 0$) が通過し、倒伏時は高速流 ($u > 0$) が通過している。また両方について低速流と高速流が横断方向に交互に並ぶ構造 (Sub-channel 構造) が形成されていることが確認できる。

図-5に各ケースにおける主流速と植生要素の鉛直方向変位の相関係数の横断方向分布を示す。横断方向スケールはかぶり水深比 H/h の増加に伴って大きくなる傾向が確認できる。また、かぶり水深比が比較的大きい ($H/h \geq 3.0$) ケースで横断スケールに顕著な増加が見られないのは、側壁の影響により組織渦の発達が抑制されたためであると推測される。

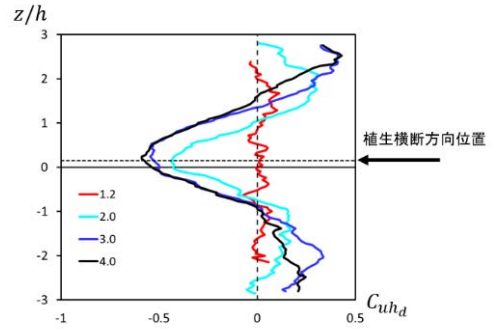


図-5 主流速・植生変位相関係数の横断方向分布

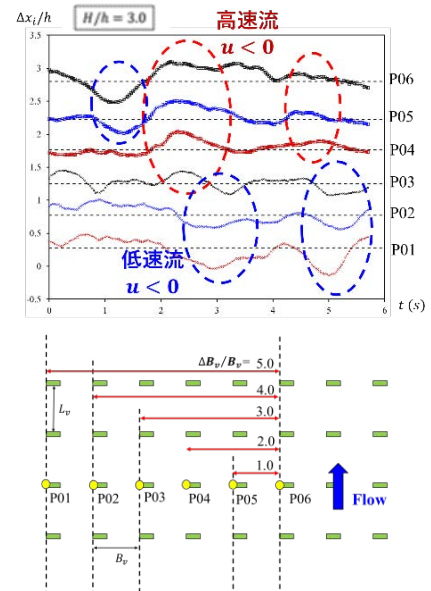


図-6 横断方向6植生変位の時系列変化の比較

Monami の発生するケース ($H/h = 3.0$) について、図-6に横断方向に並ぶ6植生変位の時系列変化の比較と、計測対象とした植生要素の位置関係を示す。隣り合う3~4列の植生が同時に揺動の様子が確認でき、瞬間的な高速領域 ($u > 0$) と低速領域 ($u < 0$) が横断方向に交互に分布していることが示唆される。これは、 $1.5h$ 程度の横断方向幅を有する組織構造 (Sub-channel 構造) の発達を示唆しており、図-4、図-5の横断方向スケールとも概ね一致している。

4. おわりに

本研究では水路実験において流速と植生変位の同時計測を行い、柔軟植生上の乱流構造の横断方向スケールとのかぶり水深比変化について考察した。今後はより幅広い水理条件で実験を行い、結果の一般性を検証したい。

参考文献

- 岡本隆明, 青木成太, 横山博行, 戸田圭一: 柔軟植生群落流れにおける藻波現象のスケール変化と横断方向位相差に関する研究, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.71, No.4, pp.643-648, 2015.