

京都大学工学部
京都大学大学院工学研究科
京都大学大学院工学研究科
京都大学大学院工学研究科

学生員
正会員
学生員
フェロー

○竹中将人
岡本隆明
柴山優人
戸田圭一

1. はじめに

昨今では河道に植生が生い茂る河道樹林化問題が報告されている。樹林化により河床低下や流れ抵抗の増加といった問題が生じているため、環境保全と同時に水害リスクを減らすため、植生を保護した上での河川整備が求められる。そこで本研究では樹木群の伐採位置・量による抵抗特性の変化を量的に評価するため、樹木群落の幅や樹木群密度を変化させて PIV 流速計測を行い、流れ場が安定するまでの距離を調べた。

2. 実験手法および水理条件

実験水路として、全長 10m、幅 40cm、高さ 50cm の可変勾配型水路を用いた。図-1 (a), (b) に実験装置図及び座標系を示す。図のように水路片側に 5m 区間にわたって樹木群落モデルを正方格子状に配置した。本研究で用いた樹木モデルは高さ $h_0=20\text{cm}$ (水中部分 $h=7\text{cm}$)、直径 $d=3\text{mm}$ の木製円柱で作成した剛体植生で、水流の影響による形状変化はしない。樹木模型は発泡スチロール板を用いて水路上部に固定しているため、水路下方からの PIV 計測が可能となっている。 B_p, L_p はそれぞれ横断方向、流下方向の樹木群落の長さである。 B_v, L_v はそれぞれ横断方向、流下方向の樹木モデルの配置間隔である。 H は全水深、 h は水中部分の樹木モデル高さである。

x, y および z をそれぞれ流下方向、鉛直方向および横断方向とする。流下方向の原点($x=0$)は群落上流端位置とし、 $x=L_p$ は樹木群落の下流端を表している。また、鉛直方向の原点($y=0$)は水路底面、横断方向の原点($z=0$)は樹木群落域(Vegetation-zone)と主流域(Main-channel)の境界部とした。

図-1 (a) に水平面の PIV 計測システム(x - z 平面)を示す。3.0W の YAG レーザーを光源として水路片側から厚さ 2.0mm のレーザーライトシート(LLS)を照射し、水路下方に設置した高速度 CCD カメラでデジタル撮影を行った。これによって水面変動の影響を受けずに撮影できる。図-1 (b) に LLS の照射位置(y - z 平面)を示す。LLS の鉛直方向照射位置を $y/H = 0.5$ (半水深位置)とした。群落の上流側から下流端($x=0\text{cm} \sim 450\text{cm}$)までを含むように高速度カメラと LLS の位置を流下方向に変化させている。計測点間隔は樹木群落の上流($x=0 \sim 100\text{cm}$)で 10cm とし、中流域($x=100 \sim 200\text{cm}$)では 20cm、下流端付近($x=200 \sim 400\text{cm}$)では 50cm とした。

樹木群の伐採面積の変化による下流河川の影響範

表-1 実験条件

	λ	$U_m(\text{cm/s})$	$H(\text{cm})$	$B_p(\text{cm})$	B_p/B	$B_v(\text{cm})$	$L_v(\text{cm})$	Re	Fr
CaseA3line	0.311	10	7	7.5	0.188	2.7	2.7	7000	0.12
CaseA6line				15	0.375				
CaseA9line				22.5	0.563				
CaseB3line	0.156	10	7	15	0.375	5.4	5.4	7000	0.12
CaseC3line	0.0788			15					

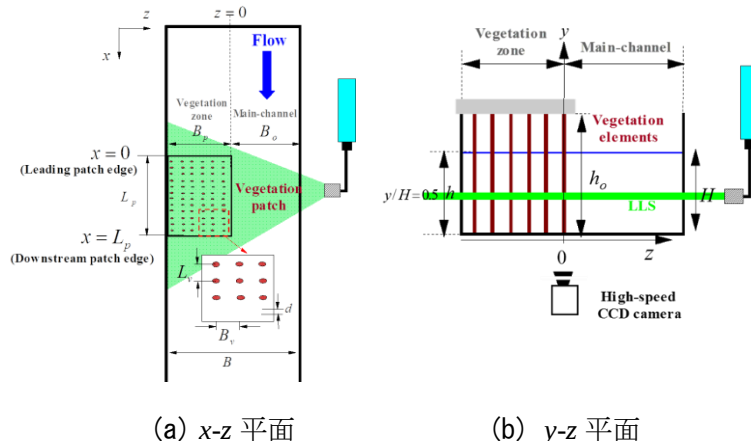


図-1 実験装置

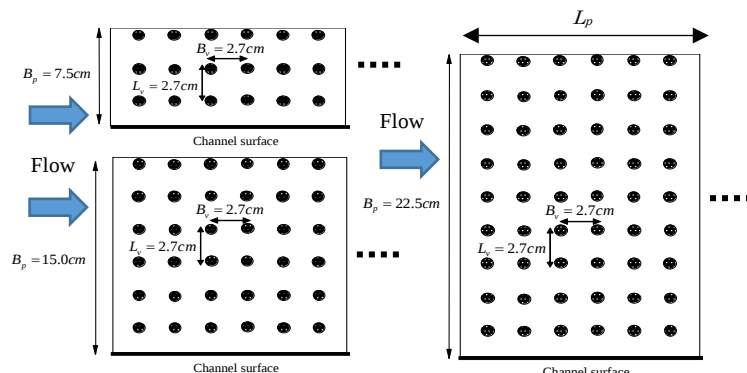


図-2 樹木配置パターン(群落幅変化)

囲を調べるために、図-2 のように樹木群落の横断方向幅 B_p を系統変化させている。群落の幅は $B_p = 7.5, 15, 22.5\text{cm}$ の 3 通り (CaseA3line, CaseA6line, CaseA9line) 実験を行った。また、群落長さ L_p は 500cm で固定した。実験条件は表-1 に示した。

3. 実験結果

図-3 に時間平均主流速の水平面コンターを示す。CaseA3line, CaseA6line, CaseA9line の 3 ケースの結果を比較し、樹木群落の繁茂面積(樹木群落幅 B_p/B)の影響を調べた。 $z/B_p=0$ は樹木境界部である。どのケースにおいても樹木群落外部の主流域(Main-channel: $z/B_p > 0$)では、上流端($x=0$)から流速が流下方向に向かって増加しており、樹木群落内部(Vegetation-zone: $z/B_p < 0$)では樹木抗力の影響を受

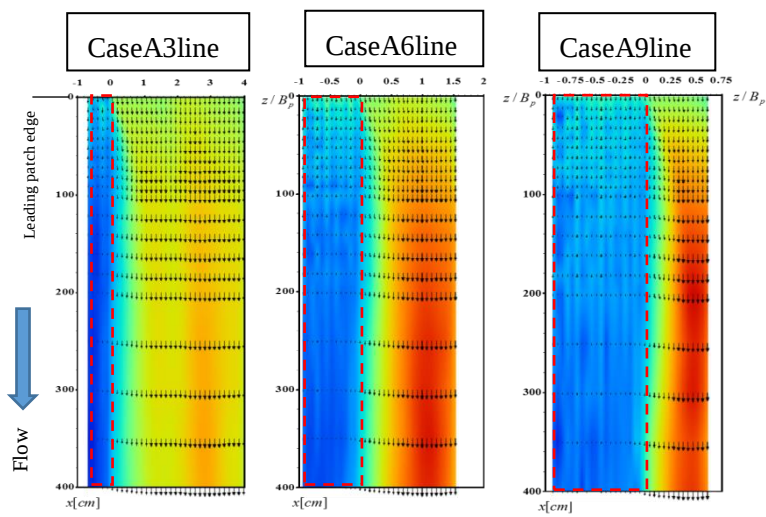


図-3 時間平均主流速水平面コンター

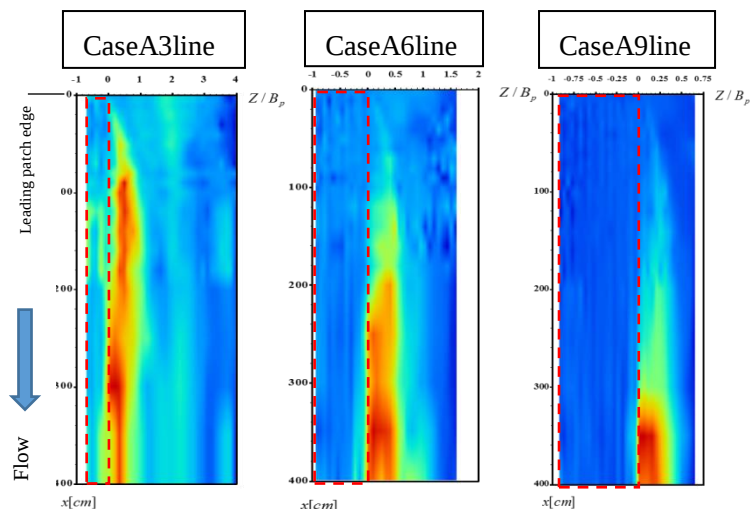


図-4 レイノルズ応力水平面コンター

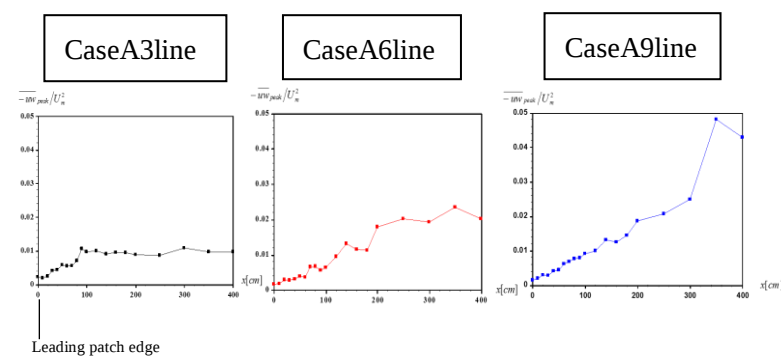


図-5 レイノルズ応力ピーク値の流下方向変化

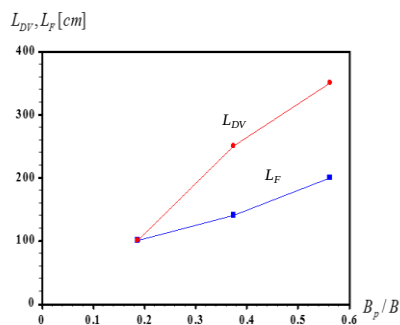


図-6 平均流、乱流の発達距離樹木群幅変化

けて流速が減少している。また、主流域の上流端付近では偏流の発生による流速の増加がみられた。各ケースを比べると、樹木群落幅 B_p/B が大きくなるほど主流域における流速コンターの値も小さくなっていることがわかる。また、流れ構造の流下方向変化に着目すると CaseA3line では $x=100\text{cm}$ 、CaseA6line では $x=140\text{cm}$ 、CaseA9line では $x=200\text{cm}$ 程度で主流域における流速の流下方向変化は緩やかになっており、このことから平均流の遷移過程が終了したと考えられる。

図-4に CaseA3line, CaseA6line, CaseA9line のレイノルズ応力の水平面コンターを示す。群落上流端ではレイノルズ応力のコンターの値は小さく、大規模な乱流構造は見られない。しかし、流下方向に進むにつれて群落境界部($z/B_p=0$)よりやや主流域側でレイノルズ応力が増加し、乱流構造が発達していく様子が観察される。CaseA3line では $x=0-100\text{cm}$ で乱流構造が急激に発達しているが、 $x>100\text{cm}$ で乱流構造の変化が安定していることがわかる。同様に CaseA6line では $x>250\text{cm}$ 、CaseA9line では $x>350\text{cm}$ で乱流構造の発達が終わって安定している事がわかる。

図-5に CaseA3line, CaseA6line, CaseA9line のレイノルズ応力ピーク値の流下方向変化を示す。CaseA3line では上流端($x=0\text{cm}$)から流下方向に進むにつれてレイノルズ応力ピーク値は増加するが、 $x>100\text{cm}$ で変化が緩やかになっている。同様に CaseA6line では $x=200\text{cm}$ 、CaseA9line では $x=350\text{cm}$ までレイノルズ応力が増加しており、乱流構造が発達していると考えられる。

図-6に CaseA3line, CaseA6line, CaseA9line の平均流の発達距離(青線)と乱流の発達距離(赤線)を比較した結果を示す。樹木群幅が小さい場合、2つの発達距離に差はみられないが、樹木群幅が大きくなると乱流構造の発達距離の方が長くなっていることがわかる。

4. おわりに

樹木群幅が大きくなるにしたがい、平均流の発達距離と乱流構造の発達距離は長くなる。CaseA3line では差はみられないが、樹木群幅が大きくなるにしたがい、平均流の発達距離と乱流構造の発達距離の差は大きくなる。しかしレイノルズ応力から評価される混合層厚¹⁾²⁾は樹木群幅に比例しないという結果が得られたので、実験ケースを増やし極値を調べる必要がある。

5. 参考文献

- 1) H. M. Nepf, E.R. Vivoni : Flow structure in depth-limited, vegetated flow, Journal of Geophysical Research, Vol.105/No.C12, pp.28,547-28,557, 2000.
- 2) Nepf, H. M. and Ghisalberti, M. : Flow and transport in channels with submerged vegetation, Acta Geophysica, 56, 3, 753-777, 2008.