

第II部門 単列樹木群を有する複断面開水路における乱流構造と2次流特性に関する研究

京都大学 学生員 ○鈴木壮平
 京都大学 フェロー 榎津家久
 京都大学 正会員 山上路生

1. はじめに

我が国の主要河川のほとんどが低水路と高水敷から構成される複断面構造をもつ。さらに実際の河川では高水敷上に草木類の繁茂が観察され、多様な河川生態系を形成している。このような樹木帯は重要な河川環境機能をもつ一方で、流れ場に大きな影響を与える。樹木の生育パターンの一つとして低水路と高水敷境界に集中的に林立するケースが挙げられる。これは淀川などの比較的大きな河川で見られるものであり、近年 Shiono ら(2009)¹⁾などが、このような流れ場に関する実験研究が行われるようになってきた。本研究では実験水路でこの流れ場を再現し、超音波流速計(ADV)による流速の3成分計測を行った。樹木群の間隔を2通りに変えるとともに樹木がない通常の複断面開水路流れの計測も行い、これらの結果から、樹木群が乱流構造と2次流に与える影響やこれらの関係特性を解明した。

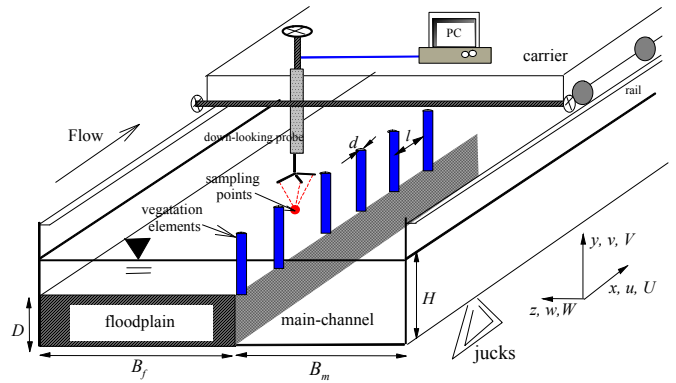


図-1 実験装置

2. 実験手法および水理条件

図-1 に本研究における ADV 計測に用いた実験装置図を示す。本計測で用いた水路は、全長 9m、全幅 $B=150\text{cm}$ の循環式大型直線水路である。水路の両脇にレールを設け、水路を横断するように移動台車を設置してある。底面はステンレス製であり、壁面はガラス製である。十分に整流させるため、最上流部にハニカムを設置した。水路の左岸側にアクリル製のボックスを並べて高水敷とし、複断面水路を再現した。図-1 中の B_m 、 B_f 、 D および H は、それぞれ低水路幅、高水敷幅、高水敷高さおよび低水路水深である。それぞれ $B_m=60\text{cm}$ 、 $B_f=90\text{cm}$ 、 $D=20\text{cm}$ 、 $H=40\text{cm}$ である。断面平均主流速は 17cm/s とした。座標系は、直交座標の x 軸を流下方向、 y 軸を鉛直方向、 z 軸を横断方向とし、底面を $y=0$ 、高水敷と低水路の境界を $z=0$ 、流速の各方向成分の時間平均値を U 、 V および W 、それらに対する乱れ成分を u 、 v および w とする。流速計測には、Sontek 製の下向きタイプの3成分プローブ (\tilde{u} , \tilde{v} , \tilde{w}) および横向きタイプの2成分プローブ (\tilde{u} , \tilde{w}) の microADV を使用した。ADV を移動台車に付属のトラバースに固定し、上流から 6m 地点に台車も固定して計測を行った。サンプリングレートは 50Hz、瞬間流速のサンプル数は各計測点につき 4096 サンプルである。

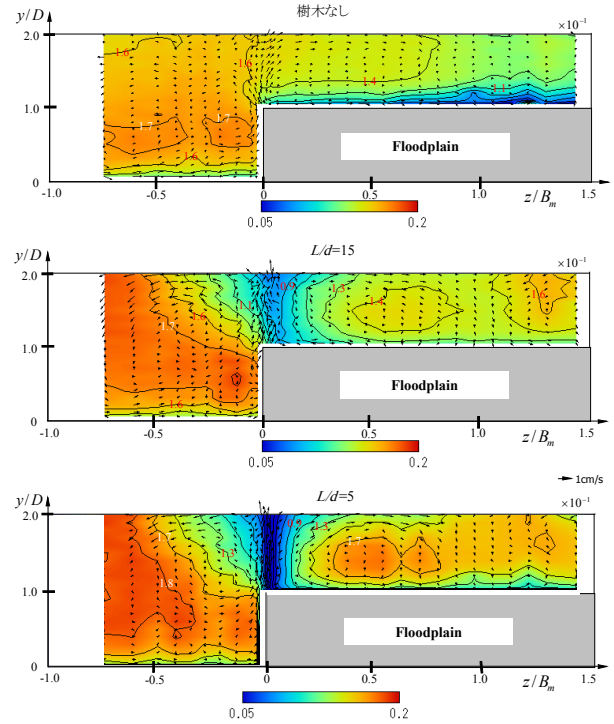


図-2 主流速と2次流分布

樹木間隔については Shiono ら(2009)¹⁾によると実際の樹木の間隔は幹径の 10~20 倍に集中する。そこで本研究では $l/d=15$ (sparse) と $l/d=5$ (dense) の配置間隔を対象とする。樹木高さについては本研究では樹高が自由水面高さよりも大きい流れ (emergent-flow) を対象とする。

3. 実験結果および考察

図-2 は 2次流ベクトルの分布 (V, W) 並びに主流速分布のコンターを併せて示したものである。コン

ター値は最大流速 U_{max} で無次元表示した。

2次流の特性に注目すると、樹木無しのケースでは斜昇流やそれを含む2次流セルなどがみられる。これらの特性は既往の小型水路における LDA データでも報告済みであり、幅 40cm~150cm の間には流れの相似則が成立しそうである。一方、樹木ケースでは2次流の大きさが増加する。これは樹木密度が高いほど顕著であり、特に高水敷上の縦渦が極めて明瞭になる。また、斜昇流の傾きが大きくなる。

主流速分布に関しては樹木無しケースでは上述の2次流の影響として velocity-dip 現象が確認され水面側では高水敷の中央で高速領域が現れており $U(z)$ が二極構造となることがわかる。これも既往研究にみられる複断面流れに特有の現象である。樹木有りケースでは間隔な粗でも境界部で樹木無しケースに比べ主流速の大きな落ち込みが発生する。樹木が emergent であるため、落ち込みの程度は鉛直方向にほぼ一定である。樹木無しのケースと比較すると境界部の減速分だけ周囲の領域において主流速が増加することがわかる。境界部から低水路側にかけては、境界端から斜め 45 度上方に低速域と高速域の境界が存在する。低水路の水面では、下層よりも横断方向流速が大きいため、境界部における低速運動量塊が低水路センター側へより活発に輸送されると考えられる。

運動方程式を水深積分すると底面せん断応力 τ_b は式(1)のように表される。

$$\tau_b / \rho = gI_{ex} H' + d[H'(T - J)] / dz - F_D,$$

$$T = 1/H' \int_{y1}^H -u w dy \quad J = 1/H' \int_{y1}^H U W dy \quad (1)$$

これより植生複断面流れではレイノルズ応力、2次流および植生抗力 F_D による寄与項が現れる。図-3は式レイノルズ応力寄与の T と2次流寄与の J の横断分布をケース間比較したものである。 T については樹木密度の増加とともに境界部のMC側で負、FP側で正となる傾向が顕著であり、値も増加することから樹木による乱れ生成の寄与の影響が大きいことが理解できる。 J については全てのケースにおいてMC側で負、FP側で正の分布が卓越するが、 T の分布ほどケース間の差異は大きくない。図-2の2次流分布で考察したように実際には樹木密度が大きいほど2次流の大きさも増加するが、水面と底面側では W の向きが逆のため、水深積分によって相殺されたものと考えられる。このことから水深積分法は複雑な3次元流れをシンプルに解析できる反面、2次流効果を正確に考察するには不十分な点もある。 $(T-J)$ については、その横断勾配 $\partial(T-J)/\partial z$ は境界極のMC側で負、FP側では境界極近傍で正、少し離れると負の分布をもつ。この傾向は樹木密度が大きいほど顕著である。これらの結果より、MCの底面せ

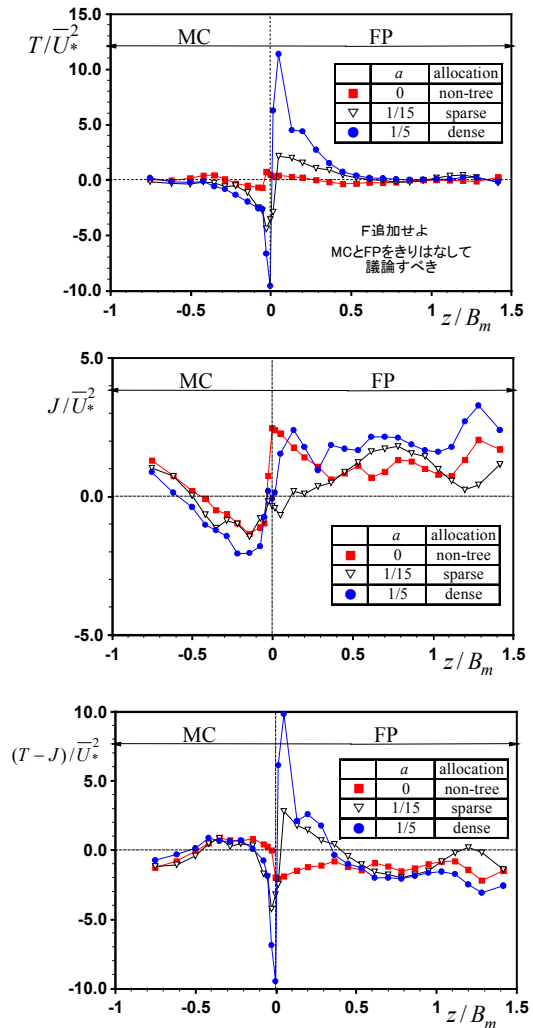


図-3 付加せん断応力の寄与成分の比較

ん断抵抗は、樹木の有無に関わらず、境界近傍で減少作用が働く。一方で高水敷上では底面せん断抵抗は樹木のwake領域で増加、領域外部で減少作用が付加的に発生する。

4. おわりに

本研究では低水路と高水敷の境界部に樹木群が存在する複断面開水路流れを対象にADV計測を行い3次元の乱流構造を調べた。樹木群がある場合には2次流の強さや分布が変化し、それらが主流速等の水理量分布に影響を及ぼすことがわかった。また樹木間隔が密になり乱れが大きくなるほど J よりも T の影響が卓越することが確認され、樹木の有無による τ_b の分布特性にも影響をおよぼすことがわかった。

参考文献

- 1) Shiono, K., Ishigaki, T., Kawanaka, R. and Heatlie, F.: Influence of one line vegetation on stage-discharge rating curves in compound channel., Proc. 33rd IAHR Congress, Vancouver, 8pages on CD-ROM, 2009.
- 2) Tominaga, A. and Nezu, I.: Turbulent structure in compound open channel flows, J. Hydraulic Eng. Vol.117, pp. 21-41, 1991.