

II-356

河道内樹木群周辺流れの横断混合に及ぼす高水敷高さの影響

名古屋工業大学 正会員 富永 晃宏

N T T 正会員 柴田健一郎

浅沼 組

大場 章裕

1. まえがき 樹木群内の低速流と外部の高速流との横断方向での主流の大きな流速差による変曲点不安定性により大規模平面渦が発生することが一般的に認められている¹⁾。この大規模平面渦は流れの抵抗に支配的であり、樹木群内への浮遊砂の堆積等にも寄与しているものと考えられる。実際の河道で樹木群は低水路床より高いところにある場合が多いため、本研究では高水敷上の樹木群の密生度とともに高水敷高さを変化させて、樹木群の生育高さが横断混合へ及ぼす影響を検討した。また、非定常の二次元数値解析を行い実験結果との比較を行った。

2. 実験方法 実験には幅60cm、長さ13mの勾配可変型水路を用い、水路形状を矩形単断面と水路左岸に幅20cm高さ2cm、4cmの高水敷を設置した複断面水路の3種類(それぞれCASE名0,2,4)とした。各水路 $y=0\text{cm}\sim 20\text{cm}$ (以下、左岸)に樹木群模型とし直径2mm、長さ15cmの竹串を3種類の配置(それぞれCASE名a,b,c)で水路上流端3m~8mに設置した。水路断面形状および竹串の配置を図-1に示す。流量18ℓ/sの定常流で、樹木群モデル設置区間において竹串が水没しない水深6cmの等流とし、流速および水深を上流端より6mの位置で計測した。また、染料による可視化実験も行った。

3. 実験結果 図-2は、高水敷高さ0cm、4cmの流下方向の水深平均流速の横断分布である。樹木群内では $y<15\text{cm}$ で、主流域では $y=35\text{cm}\sim 55\text{cm}$ 区間の流速が両ケースともほぼ横断方向に一定となり、境界の混合の影響がない領域が確認される。CASE 4では、高水敷と低水路の境界で大きな流速差があり、樹木群側の流速勾配が大きいものに対し、CASE 0の流速分布の傾きは直線的で、樹木群外の流速勾配はCASE 4よりも大きい。これよりCASE 0では樹木群の遅い流れが境界部に広く影響を与えていることがわかる。図-3にCASE 0Cおよび4Cの $y=12\text{cm}$ における主流速のスペクトル分布を示す。CASE 0Cについては周波数が2.0~2.5Hz付近にピークが認められ、流速は周期4~5sの周期的変動をしていることがわかる。これは染料による可視化実験によって確認された大規模水平渦の周期とほぼ一致する。一方、CASE 4Cでは可視化ではやはり大機坊主の存在が確認されたが、ピークが顕著でなくなり高周波数の成分も卓越してくる。図-4はCASE 0Cの流下方向流速 u と横断方向流速 v のパターン解析図である。 u と v の時間変動の位相は境界部で π のずれを示し、これより植生内部で $\pi/2$ 、外部で $-\pi/2$ のずれを示す。境界

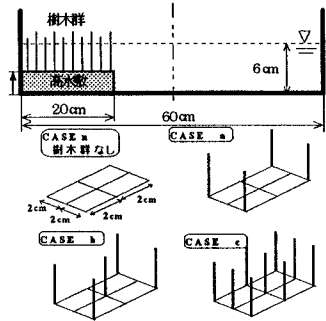


図-1 水路断面と樹木群配置

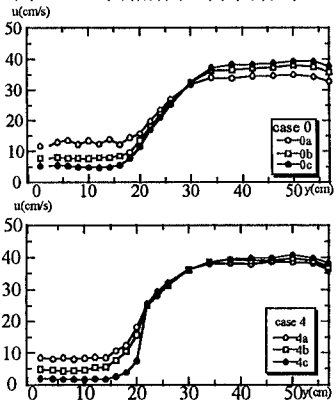


図-2 水深平均流速横断分布

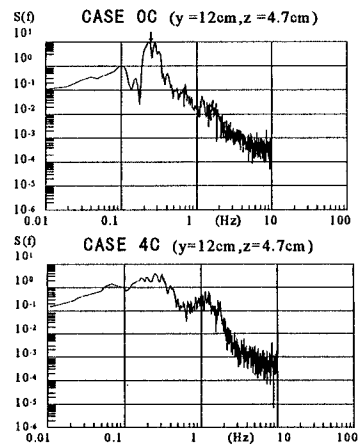


図-3 流速のスペクトル分布

樹木群流れ、複断面流れ、横断混合、組織渦、数値計算

〒466 名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学工学部社会開発工学科 TEL&FAX 052-735-5490

領域では樹木群内から外側への低速流体の輸送と樹木群内への高速流体の輸送が効率的に行われていることを示している。植生域内では u が減速してピークに達した後遅れてこの低速流体が低水路側へ流出し、その後を高速流が埋め戻すというプロセスを繰り返しており、これは可視化観測からも確認された。図-5はCASE 0C, 4Cのレイノルズ応力 $-uv$ の横断分布図である。レイノルズ応力は境界部で大きな値をとるが、CASE 4Cでは、境界の狭い範囲でしか大きな値をとらないのに対し、CASE 0cでは境界部から右岸にかけ広い範囲でかなり大きな値をとっている。また、かなり2次元的な流れであることを示唆し、水深の深さを持つ水平渦の運動量輸送効果が広い範囲で流れの横断混合が生じさせていることを意味している。

4. 二次元数値計算 組織渦構造を再現する数値計算としては、灘岡・八木のモデル²⁾や木村・細田の計算³⁾があるが、ここでは著者らが用いてきた簡易な水深平均のゼロ方程式モデルに樹木群の形状抵抗を組み入れた基礎式をSIMPLE法によって解く計算法⁴⁾を拡張して、組織渦の再現が可能かを検討したものである。基礎式等は文献4)のものと同一でありここでは省略する。渦動粘性係数を $\nu_t = \lambda u_* h$ として与え、各ケースとも渦動粘性係数パラメータ $\lambda = 0.04$ とした。まず移流項にハイブリッド法を用いて定常解を得た後、中心差分に切り替えて周期境界条件の下で時間に対して完全陰解法で非定常計算を行った。この計算により高水敷高さが小さい場合は振幅が大きく明確な周期変動が現れたが、高水敷高さが4cmの場合は変動がほとんど発生しなかった。規則変動の周期は約6.6sとなり実験での周期約4~5sに比べ長くなった。図-6は横断方向流速 v と流下方向流速 u の平面コンターである。 v は樹木群境界をピークとして水路幅全体にわたり正負の値を流下方向に交互に取る。 u は樹木群内が低速のとき外部では高速となり高速域・低速域が流下方向に一定間隔で交互に現れている。 v は u の樹木群内低速域の上流側で正、下流側で負になっており、境界部において時計周りの水平渦の存在が明確にわかる。

5. あとがき 樹木群密度がある程度大きくなると規則的で大規模な水平渦が発生することが改めて確認された。高水敷高さが大きくなると水平渦の発達が抑制され、流れの横断混合が境界部の比較的狭い範囲において限られ、流速変動の規則性が弱まる。非定常の二次元数値計算によって流速、水深の規則的時間変動が再現され、高水敷がある場合時間変動振幅が小さくなる傾向が再現できた。時間変動の周期が実験結果に比べ長い周期となった点については、さらに検討が必要である。なお本研究は文部省科学研究費基盤研究(A)(代表者:池田駿介 東京工業大学教授)の補助を受けたことを記して謝意を表します。

<参考文献>1)池田駿介・太田賢一・長谷川洋, 土木学会論文集, No.443/II-18, pp.47-54, 1992, 2)灘岡和夫・八木宏, 土木学会論文集, No.475/II-24, pp.35-44, 1993, 3)木村一郎・細田尚・友近文志, 土木学会論文集, No.509/II-30, pp.99-109, 1995, 4)富永晃宏・長尾正志・庄建治朗, 水工学論文集, vol.41, pp.681-683, 1997.

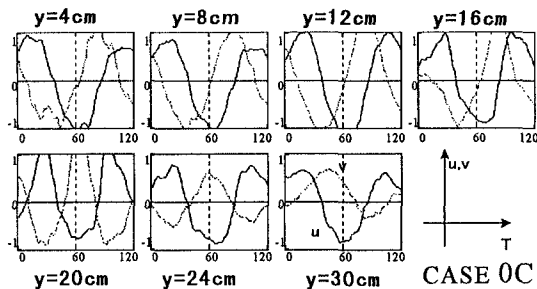
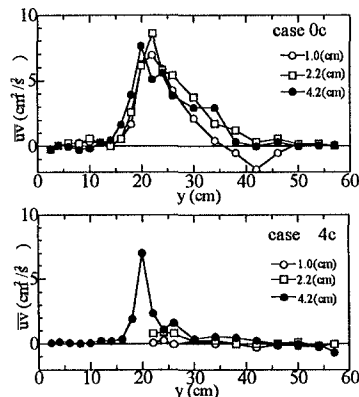
図-4 u, v 変動のパターン解析

図-5 レイノルズ応力横断分布

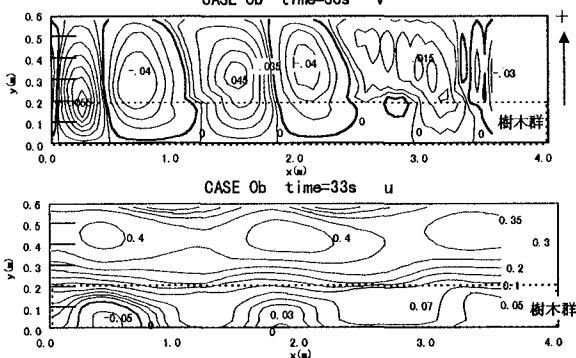


図-6 横断方向および流下方向流速コンター(計算値)