

樹木群を有する複断面開水路の流れ構造と解析

広島大学大学院 学生会員 駒井克昭
 広島大学工学部 正会員 渡辺昭英

広島大学工学部 フェロー会員 福岡捷二
 日本工営(株) 正会員 大本泰久

1. 序論

低水路河岸に樹木群を有する複断面開水路では、洪水時に樹木群の存在により水路横断方向の大きな流速差が作られるため大規模な平面渦が発生する。福岡らは低水路河岸に樹木群のある複断面開水路の流れについて、非線形安定問題として浅水流方程式を用いた数値解析を行い、平面2次元的な流れ場を表現できることを明らかにしており¹⁾、この解析法が現地河川の流況をほぼ表し得ることも示している²⁾。本研究では流れの3次元構造を再現するため、3次元数値モデルにより解析を行い物理模型実験の結果と比較検討を行った。

2. 解析方法及び解析条件

図1は解析対象とする物理模型実験に用いた片側複断面開水路の断面形状である。水路床勾配は1/500、樹木群の透過係数は $K=0.45(\text{m/s})$ である。解析モデルには、流下方向に周期境界条件を適用し、3次元流速場 (u, v, w, p) と水位 ζ をフーリエ級数で表しFFTによるスペクトル選点法を用いた3次元数値モデルを使用した。なお本解析では、基本波長を1次モードとする7次モードまでの波動成分について解析を行う。基本波長は実験により得られた知見をもとに、大規模平面渦の波長に近い2.4mに設定した。メッシュ分割数は、鉛直方向に11分割、流下方向に32分割、水路横断方向に80分割としており、特に水路横断方向には樹木群付近で細分化している。断面内の樹木群がある位置においては樹木群の透過係数の定義である $v=Ki^{1/2}$ (v :樹木群内の流速, i :エネルギー勾配)に準じた抵抗が流れの逆方向に生じるように、運動方程式に $-g \cdot u_i \sqrt{u^2 + v^2 + w^2} / K^2$ ($u_i = u, v, w$)の項を加えることで樹木群をモデル内に取り込んでいる。渦動粘性係数には $\nu_t = \kappa u_* h / 6$ (h :水深)を用い、圧力場は静水圧近似を行わずにSMAC法を用いて計算している。

3. 計算結果と実験結果の比較・考察

3.1 平面流況

図2に平面渦の水面コンターを示す。実験に比べ計算ではやや平面渦の長軸の傾きが異なっているが、平面渦に伴う水位変動の規模は実験とほぼ同じであるといえる。さらに図3, 4に示した水深平均の平均流速 u とReynolds応力 $-\overline{u'v'}$ の横断分布形は、平均流速がやや小さくなっているものの、概ね実験結果と一致しており、3次元数値モデルを用いた場合においても、平面2次元的な流れ特性は問題なく再現できているといえる。

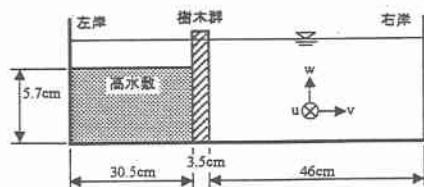


図1 水路断面形状

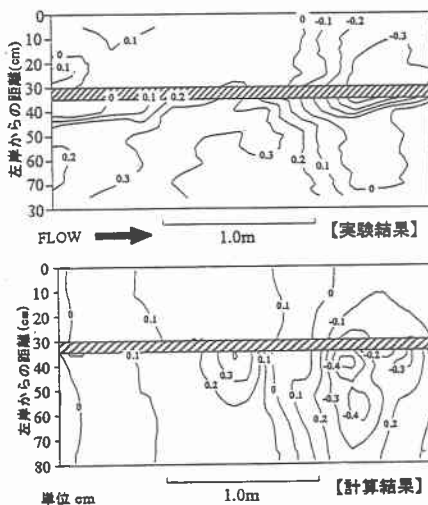
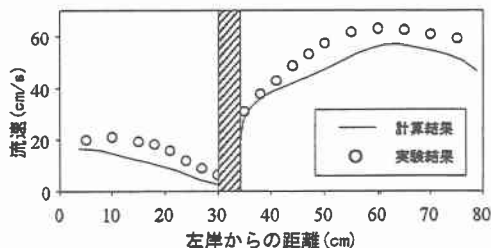
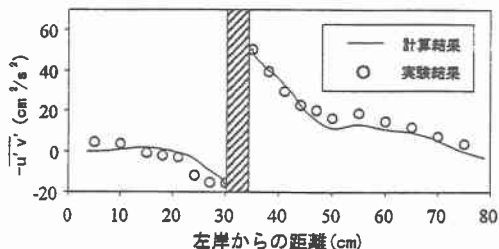
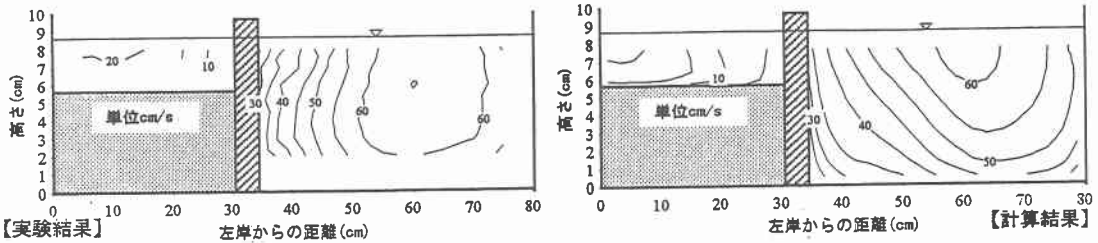
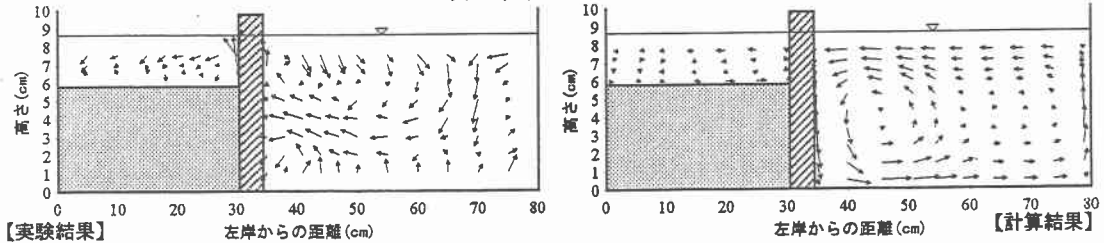
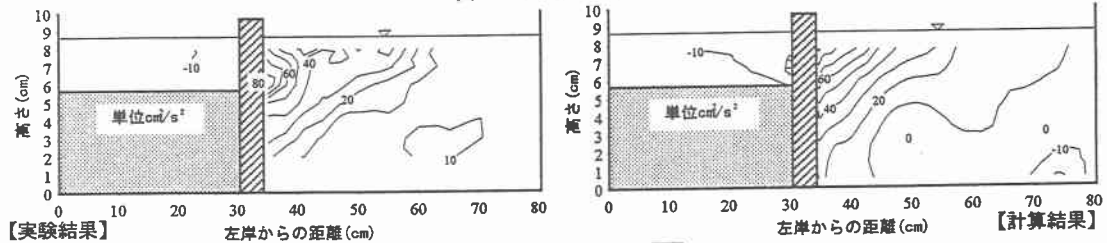


図2 平面渦の水面コンター

図3 平均流速分布(u)図4 Reynolds 応力分布($-\overline{u'v'}$)

図 5 平均流速分布 (u)図 6 二次流分布 (v, w)図 7 Reynolds 応力分布 ($-\overline{u'v'}$)

3.2 3次元的な流れ場

次に、主流速 u 、二次流 v, w と Reynolds 応力 $-\overline{u'v'}$ の断面内分布を図 5～7 に示す。計算では樹木群周辺の水面付近において平均流速 u が減速される鉛直分布特性が表されておらず、2 次流 v, w の分布も実験とは異なる結果となっている。この原因の一つとして、2 次流に係わる樹木群による抵抗が正しく表現できていないことが挙げられる。透過係数 K は本来平衡状態にある流れにおける樹木群の抵抗の評価方法であり、実際には樹木群周辺の流れの影響を受けて透過係数 K が大きくなることや、乱れによる流速変動に伴って透過係数 K が変化することも考えられる。したがって、解析に一定の透過係数 K を用いた場合、樹木群内部の流れや樹木群周辺の流れを減速する効果が厳密には表現できておらず、これが平面渦に伴う樹木群を介した運動量輸送の 3 次元構造が異なる主因であろう。

しかしながら、Reynolds 応力分布 $-\overline{u'v'}$ については水面付近で低水路中央まで広がる断面内分布特性をほぼ表現している。これは水路が複断面形であり、平面渦により樹木群周辺の高水敷高さより上層において運動量交換が活発に行われる流れ構造が堅固に成り立つためである。

4. 結論

樹木群のある複断面開水路の流れについて 3 次元数値モデルを用いて解析を行った結果、平面的な流れ特性は実験結果を良く表した。しかし、鉛直方向の流れ構造は実験結果と異なっており、樹木群を一定の透過係数 K でモデル化したため、実際の樹木群による複雑な抵抗特性が表せなかったことが原因と考えられる。今後、樹木群内の流れが周辺の流れから受ける影響や流速が変動する場合における樹木群の抵抗特性について明らかにし、樹木群のモデル化に反映させる必要がある。

参考文献

- 1) 福岡・渡辺・津森：樹木群を有する開水路における平面せん断流の構造と解析，土木学会論文集 No.491/II-27, pp.41-50, 1994.2
- 2) 福岡・渡辺・上坂・津森：低水路河岸に樹木群のある河道の洪水流の構造—利根川新川通昭和 56 年 8 月洪水—，土木学会論文集 No.509/II-30, pp.79-88, 1995.2