

低水路河岸沿い樹木群を有する複断面開水路流の3次元解析

広島大学 正会員 ○ 駒井克昭
 広島大学 フェロー会員 福岡捷二
 広島大学 正会員 渡辺明英

1. 序論

複断面河道では低水路河岸に連続的に繁茂した樹木群が多くみられる。このような河道の流れの平面構造については実験的・解析的に明らかにされている¹⁾が、3次元構造についての理解は未だ不十分である。本文では、低水路河岸沿い樹木群を有する複断面開水路流れの3次元解析手法の確立を目的とし、実験結果と解析結果の比較を行い、平均流の鉛直構造と樹木群周辺の乱れの再現性について検討を行う。

2. 解析条件及び解析方法

解析対象とした水路の断面図を図-1に示す。水路勾配1/550、流量23l/sで、樹木群は非水没状態である。

解析にはLESモデルを用い、渦動粘性係数はスマゴリンスキー渦粘性モデルで与える。圧力場はSMAC法を用いて解く。樹木群の透過性は $v=K i_e^{1/2}$ (v : 樹木群内の流速, i_e : エネルギー勾配) で定義される透過係数 K で表すことができ、実験に用いた樹木群模型では $K=1.74\text{m/s}$ である。解析では樹木群のあるメッシュ位置において、樹木群の透過係数 K に相当する抵抗が流れの逆方向に生じるように抗力 $F_i = -g \cdot u_i \sqrt{u^2 + v^2 + w^2} / K^2$ ($i=1,2,3$) を与える。解析は流下方向に2.4mの領域を対象とし、上下流端に周期境界条件を与える。計算格子点数は x,y,z 方向にそれぞれ33,81,22点である。本解析では、流下方向に流れ場をフーリエ級数展開するスペクトル法を用い、基本波長2.4mを1次モードとし、7次モードまで解析する。横断面内では差分法を用い、格子点配置はスタガードメッシュ型である。

3. 解析結果と実験結果の比較及び考察

ここでは十分発達した流れ場の比較を行う。解析開始30s後には、図-2に示すように大規模平面渦が発達し、低水路側の水面変動の規模は実験とほぼ同程度である。図-

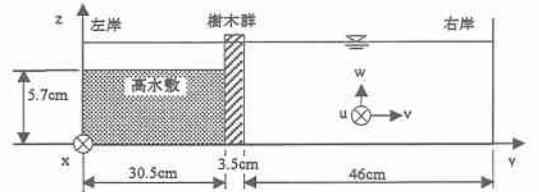


図-1 水路断面図

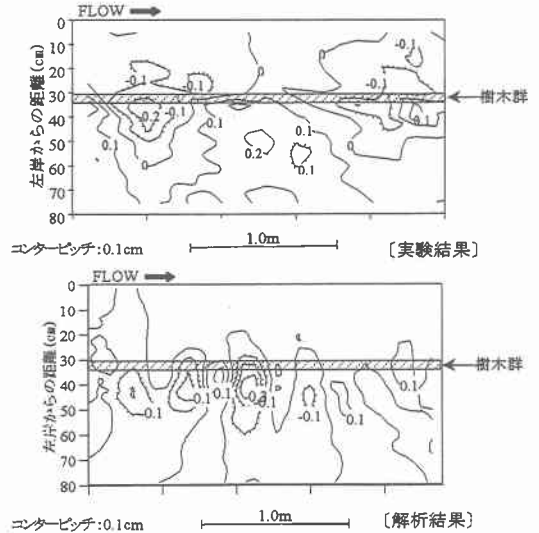


図-2 平面渦の水面コンター

3に示す水深平均流速分布 ($\bar{u}$) では、解析値は実験値を良く表しており、樹木群内外の流れの混合によって主流速が減速される特徴が平均的に表せている。しかしながら、図-4に示す2次流ベクトル ($\bar{v}, \bar{w}$) の結果は異なり、実験では低水路内の樹木群に向かう流れは高水敷高さ付近に現れているのに対し、解析では水面付近に現れ、底面付近には強い右方向への2次流が生じている。

以上のように、解析結果は大規模平面渦と平面的な流況を再現できているものの、流れ場の鉛直構造は再現できていない。本解析モデルで用いたスマゴリンスキーモデルでは乱れエネルギーの輸送過程がモデルに反映されるため、複断面流れの特徴的な2次流である斜昇流やそれに伴う2次流セルの再現が可能となっている²⁾。しかし、低水路河岸沿いに樹木群がある場合には、それが平均流および乱れの構造に与える影響を正しく見積もられているかどうか解析結果を大きく左右すると考えられる。そこで、樹木群周辺の乱れ特性について実験と解析の比較を行い、樹木群の周囲の乱流混合と鉛直構造について検討を行う。

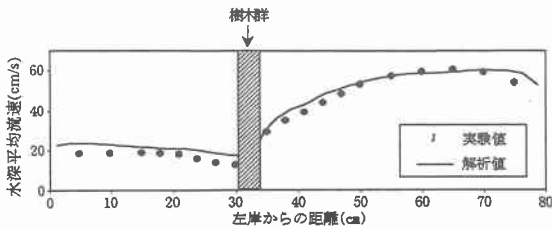
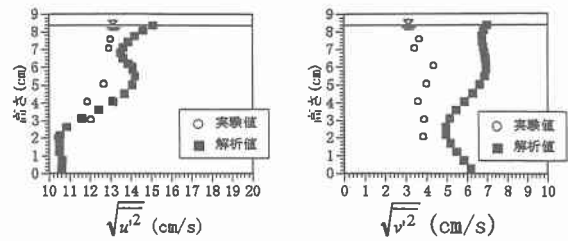
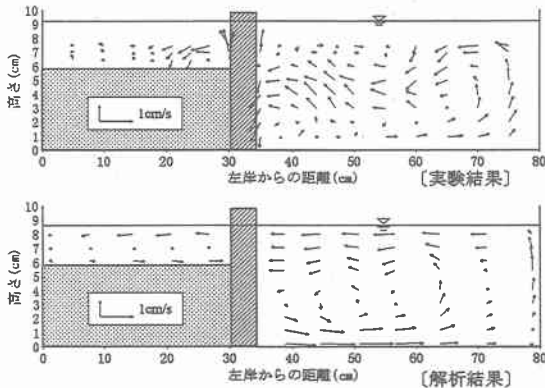
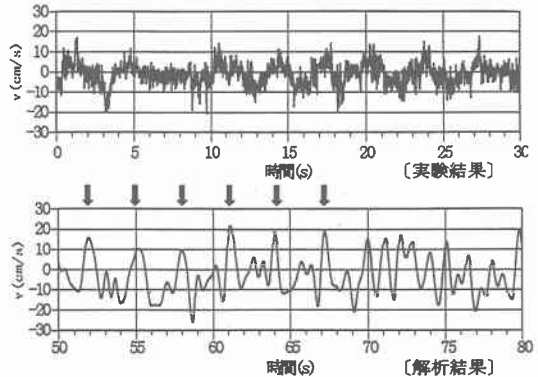
図-3 水深平均流速分布 ($\bar{u}$)図-5 低水路側樹木群近傍における
乱れの鉛直分布図-4 2次流ベクトル ($\bar{v}, \bar{w}$)図-6 v の時系列データ

図-5に低水路側樹木群近傍($y=35\text{cm}$)における流速 u と v の乱れの鉛直分布を示す。これから分かるように、 v の乱れの鉛直分布では水面付近において実験値と解析値の違いが大きい。図-6に樹木群周辺の水面付近($y=40.0\text{cm}$, $z=8.0\text{cm}$)における v の時系列データを示す。実験では高周波の乱れが生じ、大規模平面渦による低周波の流速変動は緩やかであるが、解析では矢印に示したところで急激な周期的変動が生じている。以上より、解析では水面付近における横断方向の乱れ特性が異なっており、樹木群の透過性が適切に表現できていないことがわかる。

この原因として、解析で用いた樹木群の透過係数 K は周囲の流れとの干渉の小さい状態での透過性を表しており、干渉の大きな場合の透過性を表現できていないことが挙げられる。さらに、実験では樹木群の構造は微細であり、樹木群は大きなスケールの流れから高周波乱れを生産する役割を持っていると考えられるが、解析では樹木群の微細な構造まで考慮しておらず、また、スマゴリンスキーモデルでは計算格子スケール以下の乱れは常に消散されるため、高周波乱れの影響を考慮できていない可能性がある。したがって、周囲の流れとの干渉の大きさを考慮するため、透過係数 K と樹木群幅を関係づけて与えることや、樹木群による高周波乱れの生産を乱れエネルギー輸送方程式に反映させることが解析結果の改善につながると考えられる。

4. 結論

LESモデルを用いた3次元解析結果は、実験結果の平面構造は表せたが、鉛直構造は十分に表現し得なかった。この原因として、水面付近における樹木群の透過性が十分に表現できていないことが挙げられる。したがって、水際樹木群を有する流れを解析する場合には、樹木群の透過性や樹木群によってつくられる高周波乱れを適切にモデルに反映させる必要がある。

参考文献

- 1) 福岡捷二, 渡辺明英, 津森貴行: 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) T.G.Thomas, J.J.R.Williams: Large eddy simulation of turbulent flow in an asymmetric compound open channel, Journal of Hydraulic Research, Vol.33, 1995, No.1.