

II-305

組織的に揺動する柔軟な植生層を伴う流れの構造

富山県土木部 正員 長崎敏範
金沢大学工学部 正員 辻本哲郎

1. まえがき

植生層上の流れの構造については基礎実験からその特徴が抽出され¹⁾ またk-ε乱流モデルを用いた数値解析²⁾ によっても的確に記述・予測が可能となってきた。しかしながら植物が柔軟で変形したり組織的に揺動（穂波）する場合、流れの構造は相当変化するものと考えられ、こうした観点からの研究が進められている。本文は、柔軟な植生モデルを用いその上の乱流特性を風洞および水路での乱流計測によって調べ、その後、植生モデルを塗料スプレーを吹き付けて固め、ほとんど変形しない状態での計測を行ない、柔軟な植生層上の流れ特性と比較した。さらに、植生層の挙動をビデオ画像をもとにモデル化し、個々の植生の変形が組織的であるときにもたらされる植生層内植生密度の非均質分布をk-εモデルを用いた植生層を伴う流れの数値解析に導入し、両者の相違を説明することを試みた。

2. 実験

実験には網戸の材料である塩化ビニル糸で構成された植生モデルを用いた。個々の植生は変形前の高さ $K=10\text{cm}$ 、直径 $D=0.026\text{cm}$ で、これを縦断・横断方向間隔 $s_1=0.12\text{cm}$ 、 $s_2=0.3\text{cm}$ に植えつけたものをモデル植生層とした。空气中、水中でのモデル植生の固有振動数はそれぞれ 7.2Hz 、 1.25Hz である。この植生層モデルを幅 0.4m 、長さ 12m の水路、計測区間幅 0.8m 、高さ 0.8m 、長さ 4.0m の風洞に設置し、その上の水流、空気流をそれぞれ小型電磁流速計、ホットフィルム流速計で流下方向・鉛直方向流速の2成分計測を行なった。このとき、植生層は水流、空気流のどちらのなかでも穂波的挙動を呈する（写真1参照）。これらの計測が終了した後、植生層モデルに塗装用スプレーを吹き付け植生を剛にして流れ内で変形・揺動しないようにし、先とはほぼ同等の流れを再現して計測を行ない、柔軟な植生モデルの場合と比較した。

写真1 水流中で形成された穂波

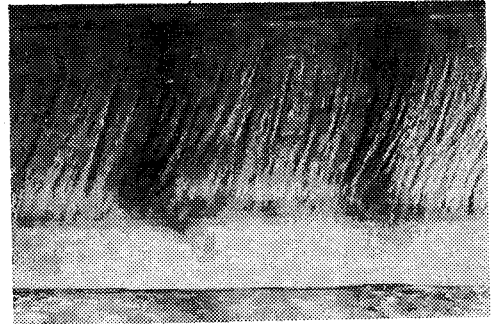


写真1 水流中で形成された穂波

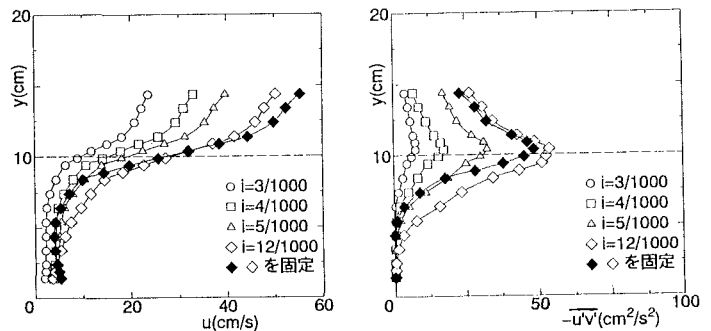


図1 水路実験での流速、Reynolds応力分布

3. 実験結果

図1は水路実験での平均流速、Reynolds応力の分布、図2は風洞実験でのそれらを示す。いずれの実験でも、柔軟な植生モデルを固定する前と後では植生層内に誘導されるReynolds応力、誘導流速、表面流流速に顕著な差が認められる。すなわち柔軟な植生では植生層内で誘導応力、誘導流速とも大きく、その分表面流が減速されている。風洞実験ではさらに剛な植生ではReynolds応力の最大が植生境界より若干上方に存在し、植生境界周辺の表面流に減速が認めら

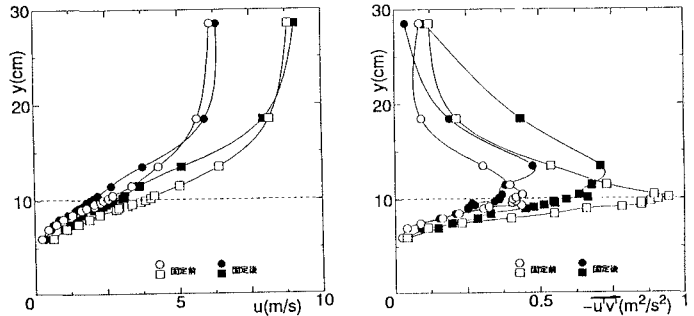


図2 風洞実験での流速、Reynolds応力分布

れる。

4. 植生変形のモデル

植生の組織的揺動は植生層の植生密度の不均一性とそのパターンの流下方向への移動によって特徴付けられる。図3は画像解析で画面の明暗を数値化して穂波の挙動を抽出した例である。こうしたことから個々の植生要素の変形を根部での回転バネモデルで表現し、回転角 θ を流下方向に正弦波状に変化させることで穂波を模擬した。このときの一波長当たりの穂波的挙動は図4に示すとおりで、植生層内で密生度の系統的变化が出現している。

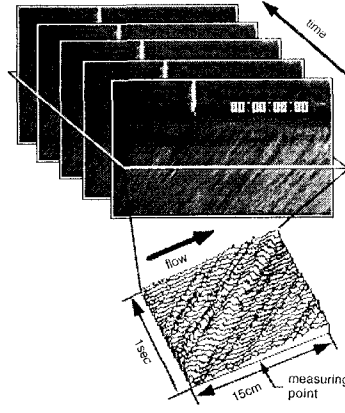


図3 ビデオ画像解析で抽出された穂波

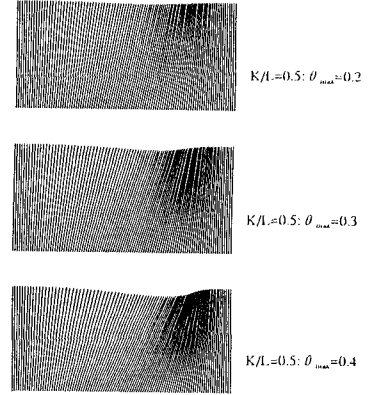


図4 穂波モデル

5. 植生密生度の非均質を考慮したk-εモデルを用いた流れの解析

前章の植生変形モデルを用いて植生層内で密生度が空間的に変化する場にk-ε乱流モデルを用いた植生層を伴う流れの解析²⁾を適用し、穂波を伴う流れを表現することを試みた。すなわち植生層内で図5に模式的に示すように植生要素の傾き、密度を考慮し、植生要素による形状抵抗の流下方向・鉛直方向成分の影響を運動量式、乱れエネルギー式、乱れの散逸率式に付加した。計算では付加項にかかわる数値パラメータは均質植生層を伴う流れについての実験によって同定したほか、他の数値パラメータについては標準値を用いた。流れの計算領域は穂波的挙動の一波長とし、その上・下流端で周期境界条件を課した。

このようにして得られた流速・Reynolds応力分布を図6に実験値と比較した（水路実験）。剛な植生モデルについては均質な密生度を持つ植

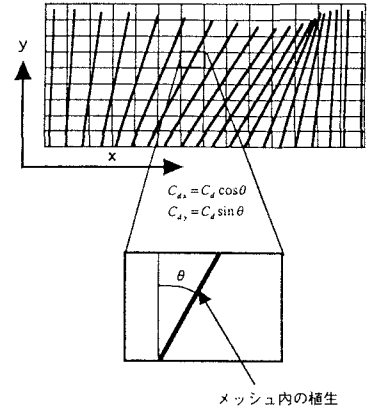


図5 数値計算上での植生の考慮

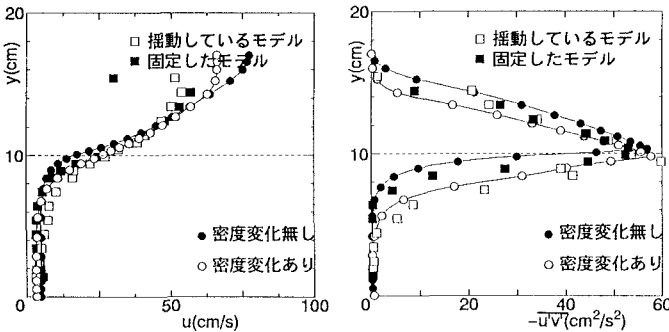
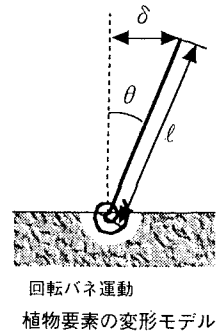


図6 流速分布・Reynolds応力分布についての計算結果



植物要素の変形モデル

生層として計算した。図に示すように本モデルで穂波的挙動を示す柔軟な植生層を伴う流れでの流速・Reynolds応力分布をかなりうまく説明できる。

6. あとがき

植生層が穂波的挙動を示すときの流れ構造の変化を実験的に抽出し、変形しない植生層を伴う流れとの相違が穂波的挙動をそれに伴う植生層内密生度の空間的不均一に起因することを数値計算によって示した。今後、非定常性を取り込んで流れモデルを精緻化する一方、穂波の抵抗増の定量的見積などへと研究を進めたい。

参考文献：1) 清水・辻本・中川・北村：土木学会論文集，No.438，1991，2) 清水・辻本・中川：土木学会論文集，No.447，1992，3) 北村・辻本・中川：第49回土木学会年講，1994。