

II-13 気流計測に基づく樹木群落の流水抵抗評価法

徳島大学大学院 学生員 ○吉村 毅
株式会社 大起組 非会員 上原 大輝
徳島大学工学部 正会員 岡部 健士

1. はじめに 近年、植生を伴う河床上の流れに関する実験的研究が数多く行われているが、実河川での現象に関しては、洪水発生時における詳細な水理観測の困難さのために比較資料が皆無の状態であり、信頼性の裏付けが全くされないという問題がある。そこで、本研究では樹木群落を通過する気流（自然風）の計測はさほど困難ではないことに注目し、その計測資料から水流である洪水流に対する樹木群落の抵抗特性量を推定する手法を検討するための実験を行った。

2. 実験内容 本実験では、長さ約7m、幅0.42m、高さ0.32mの風洞に図-1のような直立した樹幹部と流れによって撓んだ枝の樹冠部を持つ樹木を模した植生モデルを配置した。植生モデルは、直径0.4cmのアルミ管に外径0.16cmのゴムチューブを先端に着けた直径0.09cmの銅線を5本差し込んだのち、下流に60°折り曲げている。このような植生モデルを図-2の疎、密2種の千鳥状に配列した。

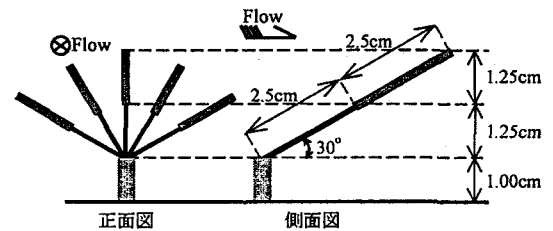


図-1 植生モデルの概要図

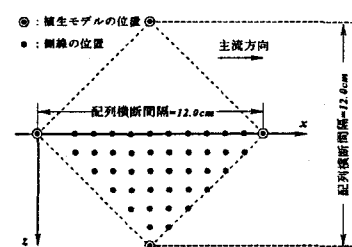


図-2 側線の配置様式

実験では、風洞下流端近くの等流区間において2成分熱線風速計を用い主流および鉛直方向の乱流計測を行った。気流条件は、配列メッシュでの植生モデル高さにおける流速値と樹冠部材の直径に基づく Reynolds 数 Re が湯城・岡部ら¹⁾の水流実験のものとはほぼ一致するように設定した。

3. 実験結果および相似性の検討 図-3および4に、それぞれ気流と水流の流れの $x=1\text{cm}$ および $x=9\text{cm}$ 断面にお

ける縦渦構造を示す。図中の等高線は渦度 ω_x を表し $z=0\text{cm}$ を中心に右側では右回転の渦を正、左側では左回転の渦を正としている。

気流と水流の間には、断面位置によって特徴的な相違が認められる。 $x=1\text{cm}$ の横断面に注目すると、流速ベクトルより、水流、気流ともに $y=1.5\text{cm}$ 付近で流体が左右に大きく分岐している点は共通しているが、これを補完する流れが、気流の場合には主に上層の

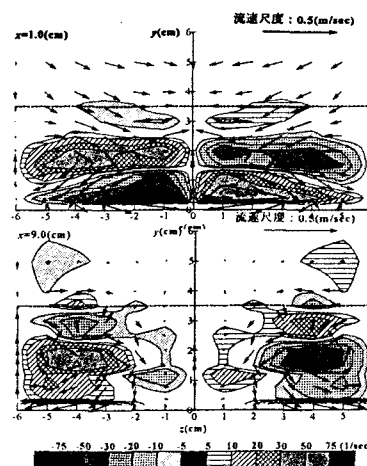


図-3 気流の縦渦構造

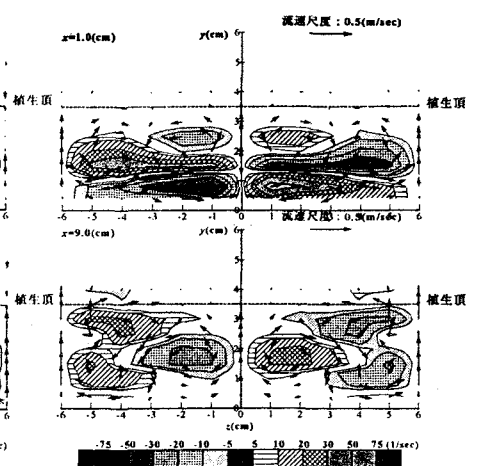


図-4 水流の縦渦構造

水流では植生モデルの左右の床面付近からの供給が主になっている。このため、渦度 ω_x の分布から推定される縦渦は、気流では、扁平で横断方向の径がほぼ等しいものが上下に重なっているが、水流の場合には、縦渦の中心が横断方向に大きくずれている。また、縦渦の存在範囲も気流のほうが明らかに高くなっている。とくに、気流における縦渦の断面形状が円形あるいは楕円形というよりもむしろ長方形に近いことは、この断面付近における dispersive flux が、水流の場合に比べてかなり小さい値をとるであろうことを示唆している。

次に、 $x=9\text{cm}$ の横断面に至ると、横断面流況の相違がより顕著となっている。水流では、一組の渦対が左右に並んで形成されているが、気流では、 x 軸の左右に存在する右回りの渦がほとんど消滅しかかっており、むしろ、樹木模型配列線の間で渦対が上下方向に隣接しているように見えるとともに、強度ならびに渦径の差も大きい。このような相違は、気流の方が各樹木模型による影響により敏感に反応し、その影響が広域まで及ぶことによってもたらされると推測される。

次に、配列メッシュ内において空間平均化されたReynolds応力およびdispersive fluxを図-5に示す。図中の曲線はReynolds応力であり、描点群はReynolds応力にdispersive fluxを加えたものである。形状抵抗力およびReynolds応力はそれぞれ $g \delta I_A$ および $gh \sin \theta$ で除して無次元化したものである。ここに、 δ =最大流速発生点の高さ； I_A =気体柱に換算された圧力水頭の勾配； h =開水路等流の水深。

水流、気流ともに、表面層では外力応力とReynolds応力とがほぼ釣り合い、植生層では植生モデルの頂点から下位に至るにつれてReynolds応力

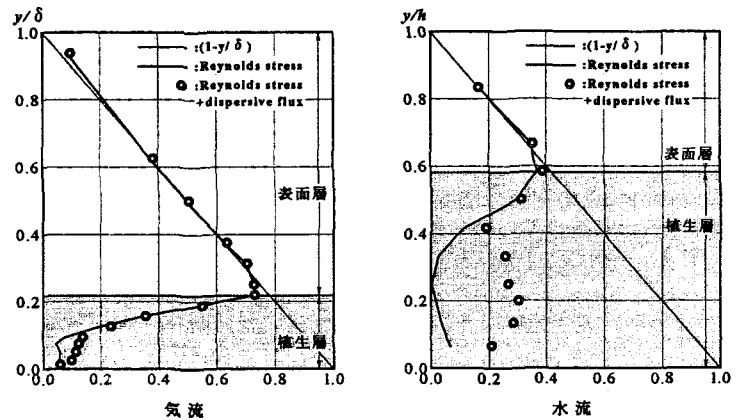


図-5 Reynolds応力およびdispersive flux

の抵抗応力の分担率が急激にゼロ近くまで低減しており定性的には類似している。しかし、定量的に見ると気流に対するdispersive fluxが水流に対するその高々20%の分担率しか持たないことが明らかになった。

これは、もともと非常に困難なdispersive fluxのモデル化を省略し、Reynolds応力の中に含めてしまうという近似的な取り扱いも可能となるため数値計算を行う上では利点になるといえる。

4. 数値計算の結果 図-6(a)・(b)に、清水ら²⁾が提案した標準 $k-\varepsilon$ 乱流モデルの拡張型に基づく数値計算法の適用を試み、気流実験について境界条件とモデル定数の同定を行った結果を示す。前提として、dispersive fluxには実測値を、境界条件とモデル定数については岡部ら³⁾の設定法を用いた。

この計算において、(a)では、 C_{fk} と $C_{f\varepsilon}$ の値を、それぞれ $C_{fk}=0.08$ および $C_{f\varepsilon}=0.16$ 、(b)は、 C_{fk} と $C_{f\varepsilon}$ の値を、それぞれ $C_{fk}=0.06$ および $C_{f\varepsilon}=0.15$ とした。

(a)および(b)を比較すると、ともに流速 U 、Reynolds応力 τ_r および乱流エネルギー k の分布形状が良好に再現されているが、(b)の場合のほう $0.2 \leq y/\delta \leq 0.7$ の領域で、若干ではあるが流速 U の再現性が良くなっている。ここで、(a)、(b)ともに、 $y/\delta \geq 0.7$ の領域で流速の実測値が計算値よりも大きい値をとるのは、この領域における流れの3次元性によるものと考えられる。

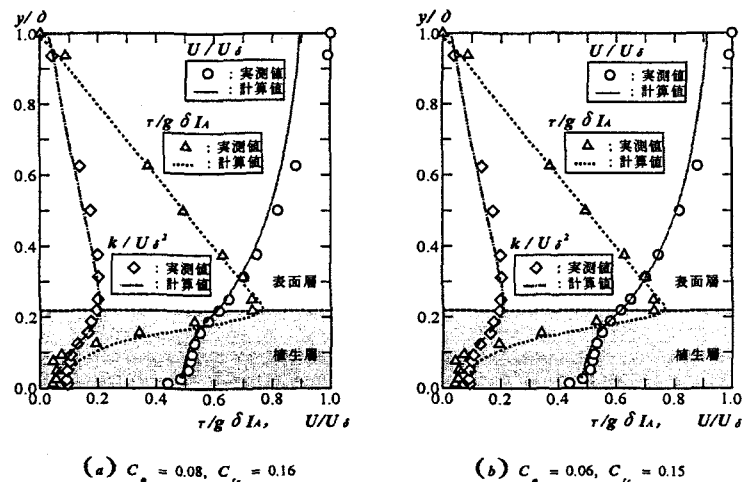


図-6 実験結果と数値計算の比較

これらの結果より、植生の形状抵抗が乱流エネルギーの収支に及ぼす影響に関する係数 C_{fk} および $C_{f\varepsilon}$ を、それぞれ $C_{fk}=0.06$ 、 $C_{f\varepsilon}=0.15$ とした場合が、現段階において最適であると考えられる。

参考文献 1)湯城豊勝・岡部健士・濱井宣明：樹木状植生を持つ河床上の流れの乱流構造とその数値解析法，水工学論文集，第45巻，pp. 847-852，2001 2)清水・辻本・中川：直立性植生層を伴う流れ場の数値計算に関する研究，土論集，No. 447/II 19，pp. 35-44，1992 3)岡部健士・吉村毅・湯城豊勝・竹林洋史：樹木群落を伴う河床上の水流と気流の相似性と数値解法について，水工学論文集，第47巻，pp. 847-852，2003