

建設省土木研究所 正員 平林 桂  
 正員 福岡捷二  
 正員 藤田光一  
 正員 加賀谷均

1. まえがき

近年、河川の粗度係数の増加が問題になっている。この原因の一つとして考えられるものに、低水路河岸沿い及び高水敷上における樹木の繁茂による抵抗の増大が挙げられる。樹木群が流れに及ぼす抵抗は、樹木の形状や、繁茂状況が多様であるため、またそれらの抗力の測定が困難であること等によりほとんど明らかにされていないのが実状である。そこで本検討においてはまず樹木一本に注目し、流水中に樹木を浸しその抗力を測定することにより抵抗特性を明らかにし、樹木群全体に働く抗力特性を知るための資料とする。実験に用いた樹木は、形状が比較的単純でありかつ材質が均一な竹を選んだ。また、樹木はその育成条件等により葉の面積を変えるため、ここでは枝、および葉に分割して実験、検討を行った。

2. 実験

2-1. 測定方法

本実験は、幅6.0m、長さ100mの一樣断面水路を用い、図-1に示す測定装置により流水中の樹木に作用する抗力を測定するものである。測定項目は樹木の形状、樹木に働く抗力およびそのときの流速である。実験に先だち、本測定装置を用いて円柱に作用する抗力を測定し、装置の精度を検証した。すなわち、二次元円柱に働く抗力および流速を求め、これより抗力係数を算出し、一般によく知られている円柱の抗力係数と比較した結果、本測定装置は十分な精度をもつことが確認された。

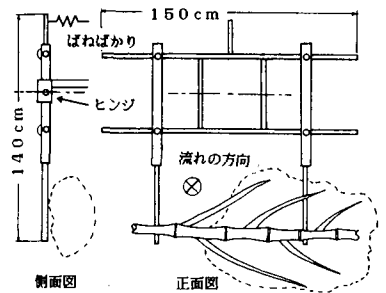


図-1 測定装置

2-2. 樹木に作用する抗力

本実験においては、葉をすべて取り去った樹木（以後これを樹木と称す）の抗力を測定することにより、樹木の抗力係数を調べた。抗力係数  $C_d$  は次式により算出された。

$$C_d = D / (1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot V^2) \quad (1)$$

ここに、 $D$ : 樹木に働く抗力、 $\rho$ : 水の密度、 $A$ : 枝の投影面積、 $V$ : 流速である。(1)式により求めた  $C_d$  と  $Re$  数 ( $=V \cdot d / \nu$ ,  $d=A/L$ ,  $L$ : 樹木の長さ) の関係をいろいろな樹木について示したのが図-2である。これによれば、樹木の  $C_d$  は、 $5000 < Re < 20000$  の範囲において樹木の  $C_d$  と  $Re$  数の関係は樹木ごとに異なるが、各樹木については  $Re$  数によってはほとんど変化しない。そこで、各樹木ごとに  $C_d$  の平均値  $C_{dm}$  を求め、 $C_{dm}$  の変化が  $Re$  数以外のどのようなパラメータによって起こされるかを検討する。図-3に示すように樹木は幹である第一枝を中心に第二枝が放射状にまいてる構造なので第二枝同志の相互干渉により流速が減少することが考えられる。そこで、第二枝の密度を表わすパラメータとして第二枝の投影面積

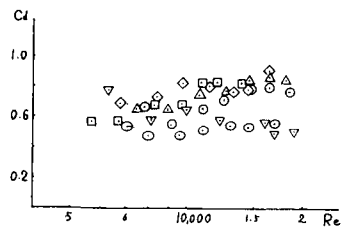


図-2 樹木の  $C_d$  と  $Re$  の関係

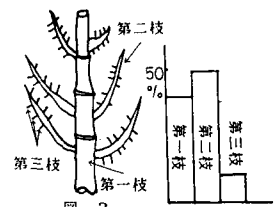


図-3 樹木の形状および各枝投影面積比

と全投影面積の比 $F$ を選ぶ。樹木ごとの平均の $C_{dm}$ と $F$ との関係を示したのが図-4である。抗力係数が $F$ とほぼ一義的な関係にあるので、これにより樹木の抗力係数は次式により示される。ただし、 $F < 0.45$ については現在のところ実験資料がなくさらに検討が必要である。

$$F < 0.6 \text{ のとき } C_{dm} = 0.75$$

$$F > 0.6 \text{ のとき } C_{dm} = -4 \cdot F + 3.15 \quad (2)$$

### 2-3. 葉に作用する抗力

ここでは、樹木中の葉の抗力係数を調べた。実験では、葉のみに作用する抗力を知るために葉のまわりの流速がなるべく葉以外のものに影響を受けないようピアノ線に多数の葉をつけたものを測定装置に5cm間隔で3本取り付けこれに働く抗力を測定した。ピアノ線に作用する抗力は計算によって求め、これと(ピアノ線+葉)の抗力との差を葉群に作用する抗力とした。測定された抗力 $D$ を用いて抗力係数 $C_f$ を求め、これと $Re$ 数( $=V \cdot X / \nu$ ,  $X$ :葉の平均長さ)の関係を示したのが図-5である。ここで、異なる記号は葉の密度分布の違いによる抗力係数の違いを示している。これより $C_f$ は $Re$ の逆数に比例し $D$ は $V$ の1.5乗に比例することがわかる。層流境界層におけるBlasiusの解も $C_f \propto 1/Re$ であるので葉の抵抗も層流境界層的なものになっていると考えられる。なお、参考のため図-5にBlasiusの層流解を示す。

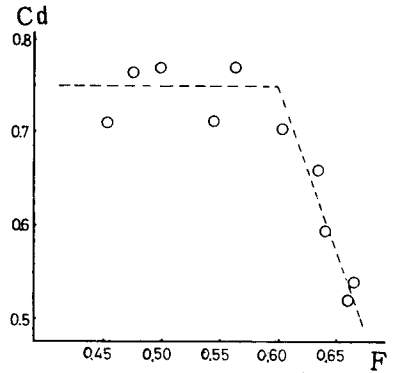


図-4  $C_{dm} - F$  の関係

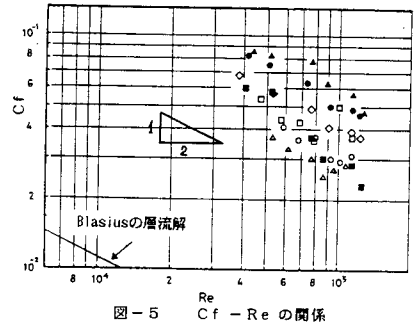


図-5  $C_f - Re$  の関係

ここで葉の密度の違いにより抗力係数に差があらわれる原因について説明する。図-6のように、葉の総表面積 $A_l$ と流下方向に葉がなびいてつくる面積 $A_0 (=X \cdot L_p)$ 、 $L_p$ :ピアノ線の長さ)の比 $A_l/A_0$ を平面上の葉の密度を表わすパラメータとし、これと、各葉群ごとに $C_f = \alpha / Re$ と定義される $\alpha$ の関係を示したのが図-7である。これによれば、 $A_l/A_0$ が増加するに従い $\alpha$ は単調に増加し一旦ピーク値をとりその後減少するのがわかる。これは、葉の密度がきわめて高いときは葉全体があたかも一枚の平板のようにふるまい、葉に働く抗力が平板上の層流境界層に起因する抗力の理論値に近づく傾向を持つ。一方、これよりすこし密度が低くなると、葉と葉の間を通る流れが三次元的な挙動をしその結果流体抵抗を増大させる。さらに密度が低くなれば葉の相互干渉はほとんどなくなり葉群全体の抗力は減少するものと考えられる。

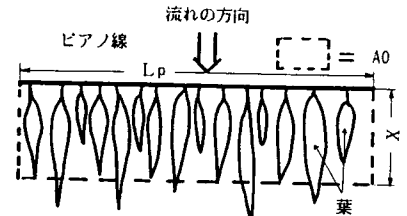


図-6 面積 $A_0$ の説明

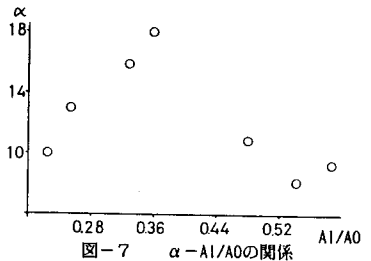


図-7  $\alpha - A_l/A_0$  の関係

なお本検討終了後、樹木の後流の影響下で、葉の抗力係数の変動を知るための実験を行なったが、実際の樹木の直径程度(約0.5cm)では、後流は葉にはほとんど影響しないことがわかった。

### 3. 結論

(1) 枝に作用する抗力は次式で示される。

$$D = 1/2 \cdot C_{dm} \cdot \rho \cdot A \cdot V^2 \quad F < 0.6 \text{ のとき } C_{dm} = 0.75 \quad F > 0.6 \text{ のとき } C_{dm} = -4 \cdot F + 3.15$$

(2) 葉に作用する抗力は流速の1.5乗に比例することを示し、葉群の分布と抗力係数の値の関係を説明した。