

II-44

葉のついた細枝やシート状物体の抗力特性に関する検討

日本大学大学院 学生員 ○鈴木 達也

日本大学工学部 正 員 長林 久夫

1. はじめに

洪水時の流れに及ぼす河道内樹木の影響評価において、草木や樹木群の配置特性と流れ構造との関係及び抗力特性に関する検討がなど精力的に行われている。しかし、単一樹木の抗力特性の研究は比較的少ない。流水中における樹木抗力に関する研究として福岡・藤田ら¹⁾や石川²⁾などの研究が報告されており、枝のみの抗力は流速の2乗に、葉のみの抗力はレイノルズ数のほぼ1/2に比例する関係が見出されている。

これまでに著者らは樹高約1.2mの模型樹木に対して風洞実験を行い、樹幹部と樹冠部の抗力を分離して評価する方法³⁾を提案している。しかし、樹冠部の抗力は葉を含んで評価しており、葉の抗力は分離していない。そこで本研究では、葉の枚数や形状、面積を考慮するため、大型風洞実験において葉のついた細枝と葉を模擬した様々なシート状物体に関する抗力特性に関する実験を行い、樹冠部を代表する細枝と葉の抗力特性に関する検討を行った。

2. 樹木の抗力特性に関する検討

樹木の抗力 F を樹幹部と樹冠部に区分し、式(1)、(2)の関係を得られる。樹木の抗力を幹部と樹冠部の枝部、葉部に区分して式(1)に示す。幹部は流速の2乗に、枝部と葉部はそれぞれ β_c 乗と β_f 乗に比例すると式(2)に示す。

$$F = \frac{1}{2} C_{Dp} \rho A_{Dp} U^2 + \frac{1}{2} C_{c} \rho A_{c} U^2 + \frac{1}{2} C_{f} \rho A_{f} U^2 \quad (1)$$

$$F = \alpha_D U^2 + \alpha_c U^{\beta_c} + \alpha_f U^{\beta_f} = \alpha U^{\beta} \quad (2)$$

ここで F : 樹木の抗力(N), F_D : 幹部の抗力(N), F_c : 樹冠部の抗力(N), C_{Dp} : 幹部の抗力係数, A_{Dp} : 幹部の投影面積(m²), C_c : 枝部の抗力係数, A_c : 枝部の投影面積(m²), C_f : 葉部の抗力係数, A_f : 葉部の面積(m²), ρ : 空気密度(kg/m³), U : 流速(m/sec), $\beta_c, \beta_f, \beta, \alpha_D, \alpha_c, \alpha_f, \alpha$: 定数である。

3. 大型風洞実験

実験は九州大学応用力学研究所の地球大気動態シミュレーション装置(回流式大型境界層風洞)を用いて行

った。実験で使用したモデルの概要を表-1、実験モデルの設置方法を図-1に示す。ここでは物体の特徴ごとに分け Case-1 から Case-5 とした。Case-1 から Case-3 において葉の特性を得るために、Case-1 は同形状で物体の硬さの違うもの、Case-2 はプラスチック板に針金を付けて茎を模擬したもの、Case-3 は茎のある葉模型を用い、Case-4 と Case-5 において枝と葉の特性を得るために Case-4 は細枝模型、Case-5 は枝模型を使用した。

表-1 実験モデル概要

	名称	材質	幅(m)	長さ(m)	厚み(mm)	設置方法
Case-1	OHP膜	OHPシート	0.300	0.100	0.118	(a)
	OHP膜	OHPシート	0.100	0.300	0.118	
	布織	布	0.300	0.100	0.600	
	布織	布	0.100	0.300	0.600	
Case-2	プラスチック大	ポリエチレン	0.105	0.218	0.355	(b)
	プラスチック小	ポリエチレン	0.074	0.155	0.116	
Case-3	葉模型1枚	ポリエチレン	0.037	0.076	0.150	(b)
	葉模型15枚	ポリエチレン	0.037	0.077	0.150	
	名称	材質	樹高(m)	樹冠幅(m)	葉数(枚)	
Case-4	ヒノキ3枝	ビニール	0.120	0.220	計測せず	(b)
	ケヤキ3枝	ビニール	0.115	0.220	計測せず	
Case-5	アカガシ	ポリエステル	0.575	0.430	31	(c)
	クヌギ	ポリエステル	0.620	0.340	42	
	サカキ	ポリエステル	0.505	0.300	42	
	シラカバ	ポリエステル	0.555	0.440	70	

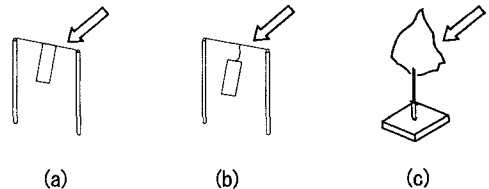


図-1 実験モデルの設置方法

4. 実験結果及び考察

Case-1 と Case-5 について風速と抗力の関係を図-2に、風速と抗力関係式(2)の指数 β の関係を図-3に示す。Case-1 において、フラッタリングが見られるようになると抗力が大きく増加する傾向が見られる。さらに風速を増加させると3次元的な振動が生じ、抗力の増加勾配が緩くなる傾向が見られる。Case-5 において風応力を受けると流下方向にたわむ様子が見られ、枝先からフラッタリングが生じ、風速の増加に伴って根元のほうへフラッタリングが見られるようになる。風速20m/sec 以上では細枝は完全に流下方向になびくようになり、全体でのフラッタリングが見られるようになると β は1.5乗程度の値を示すようになる。これは強風

時において葉や枝は密集した構造になり、葉の形状や面積による変化が小さくなると考えられる。既往の樹木の実験では、抗力はレイノルズ数が高い場合において流速の1.5乗に比例するといわれているが、1乗程度の値を示す場合も見られた。したがって抗力の増加勾配は一樣ではなく樹種や風速によって変化していると考えられる。

図-4にCase-1におけるレイノルズ数と抗力係数の関係を示す。シート状物体は、フラッターリングする場合どのような抗力を示すのか算定するために、投影面積が抗力を受け持つものとしたときは C_c 、平板境界層のように抗力を受けると仮定したときは上部の面積を用いて C_f を評価した。 C_c とした場合では、低レイノルズ数の範囲においてレイノルズ数の増加に伴い減少傾向が見られるが、高レイノルズ数になると減少傾向が見られなくなる。 C_f とした場合では、高レイノルズ数の範囲において減少する傾向が見られる。実験モデルが下流方向に水平状態となるにつれ平板境界層に近いような力が影響していると思われる。

図-5にCase-5におけるレイノルズ数と抗力係数の関係を示す。隣接する風速の実験データを用いて式(1)の右辺第一項を除く樹冠部において連立方程式をつくり、 C_c 、 C_f を算出している。レイノルズ数が低い場合では、抗力係数 C_c は0.8から1.0の範囲である。レイノルズ数が 3×10^5 から 5×10^5 程度の範囲で C_c は急激に減少する。この範囲から抗力係数 C_f は算出されるようになる。風速の増加に伴い C_c が減少すると、 C_f が働く傾向が見られた。レイノルズ数が 5×10^5 程度から C_c 、 C_f は両方作用しており、 C_c の範囲は0.05から0.3程度の範囲であり、 C_f は0.03から0.1程度の範囲を示す。したがって、風速の増加によって葉の受け持つ抗力が作用するものと思われ、葉の抗力分担が増加すると考えられる。

5. おわりに

風応力下における葉のついた細枝やシート状物体に作用する抗力特性に関する実験を行い、樹冠部の抗力を枝部と葉部に区分して、抗力係数 C_c および C_f を算定する方法を示した。葉の付いた細枝はレイノルズ数の増加に伴って枝部の抗力係数 C_c は減少する。レイノルズ数の $-1/2$ 乗に比例する勾配の範囲もあるが、枝や葉が流下方向になびくようになると、 C_c の値は減少し、葉の抗力係数 C_f が作用することが得られた。

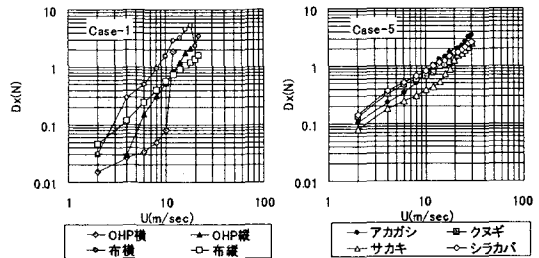


図-2 風速と抗力の関係

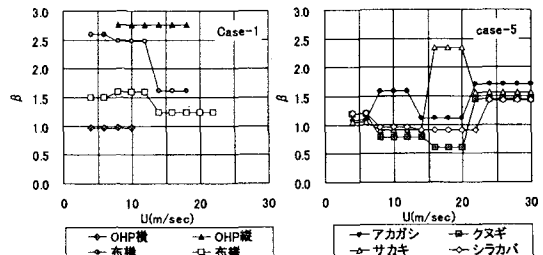


図-3 風速と抗力関係式(2)の指数 β の関係

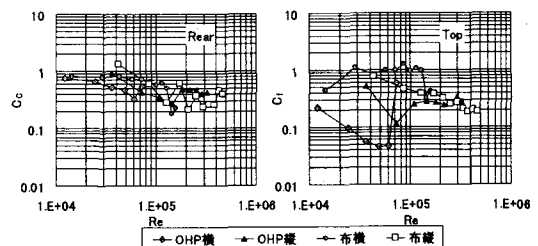


図-4 Case-1におけるレイノルズ数と抗力係数の関係

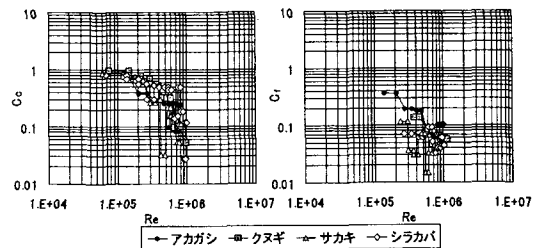


図-5 Case-5におけるレイノルズ数と抗力係数の関係

＜参考文献＞

- 1) 福岡・藤田・平林・坂野: 樹木群の流水抵抗について, 第31回水理講演会論文集, pp. 335-340, 1987.
- 2) 石川忠晴: 水制と灌木が一体となった河川構造物に関する基礎的研究, 平成4年度科学研究費補助金(一般C)研究成果報告書, p. 104, 1993.
- 3) 長林・鈴木・辰野・林・多田・橋本: 風応力下の樹木の抗力評価に関する検討, 流体力の評価とその応用に関する研究論文集, 第3巻, pp. 31-36, 2004.