

葉を考慮した樹木の抗力評価に関する検討

日本大学大学院 学生員 ○鈴木 達也

日本大学工学部 正会員 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、大型風洞において樹木模型の初期状態のもの、初期状態から葉の枚数を半減した状態、葉をすべて取り除いた状態の3ケースについて実験を行い、樹木を幹部と樹冠部、さらに樹冠部を枝部と葉部に分離して葉の枚数や面積を考慮した樹木の抗力評価法に関する検討を行った。

2. 樹木の抗力特性に関する検討

各部の抗力に分離した樹木抗力 F は式(1)、(2)で示される。

$$F = \frac{1}{2} C_D \rho A_D U^2 + \frac{1}{2} C_C \rho A_C U^2 + \frac{1}{2} C_f \rho A_f U^2 \quad (1)$$

$$F = F_D + F_C + F_f \quad (2)$$

ここで F : 樹木の抗力(N), F_D : 幹部の抗力(N), F_C : 枝部の抗力(N), F_f : 葉部の抗力(N), C_D : 幹部の抗力係数, A_D : 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 : 風速(m/sec)である。

幹部を円柱と見立て抗力係数 C_D を1.2で与えることにより、樹冠部に葉のない場合において、枝部の抗力係数 C_C は式(3)として与えることができる。また、枝部の抗力係数 C_C と投影面積 A_C は葉のない場合の値を用

いると葉の抗力係数 C_f は式(4)と仮定することができる。

$$C_C = \frac{F - F_D}{\frac{1}{2} \rho A_C U^2} \quad (3)$$

$$C_f = \frac{1}{A_f} \left(\frac{F_C + F_f}{\frac{1}{2} \rho U^2} - C_C A_C \right) \quad (4)$$

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。実験は4樹種について樹木模型の初期状態のもの[(2/2)葉], 初期状態から葉の枚数を半減したもの[(1/2)葉], 葉をすべて除去したもの[(0/2)葉]の3ケースについて最大風速30m/secまで風速2m/secごとに測定を行った。表-1に実験で使用した樹木模型の概要を示す。

樹種	実樹高h (m)	葉数 n_c (枚)			葉の面積 A_L (m ²)		
		(2/2)葉	(1/2)葉	(0/2)葉	(2/2)葉	(1/2)葉	(0/2)葉
モミジ	1.17	1000	506	0	0.7456	0.3773	0
ケヤキ	1.28	438	237	0	0.8375	0.4531	0
シラカバ	1.23	985	523	0	1.0912	0.5794	0
ヒノキ	1.22	1125	515	0	1.5608	0.7145	0

樹種	投影面積 A (m ²)			実体積 V_0 (m ³)		
	(2/2)葉	(1/2)葉	(0/2)葉	(2/2)葉	(1/2)葉	(0/2)葉
モミジ	0.3756	0.2720	0.1151	0.000663	計測せず	0.000618
ケヤキ	0.3203	0.2809	0.1544	0.000828	計測せず	0.000673
シラカバ	0.3369	0.2673	0.1419	0.000693	計測せず	0.000539
ヒノキ	0.3669	0.3434	0.1628	0.002303	計測せず	0.001264

※ 投影面積は無風時(Rear)の場合
 V_0 : 水中で測った実体積(m³)

表-1 樹木寸法一覧

4. 実験結果及び考察

図-1に式(4)より求めた樹木模型の葉の抗力係数 C_f と風速 U との関係を示す。モミジ、ケヤキ、シラカバの3種は低風速時において異なるが、風速8m/sec程度から減少する傾向が見られる。この範囲から葉のフラッタリングが見られるようになり、このときの勾配は

キーワード：抗力、抗力係数、風洞実験、単一樹木、樹冠部

連絡先：〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1番地

日本大学工学部水環境システム研究室 024-956-8724(TEL, FAX)

風速のほぼ-1乗に比例する関係が見られ、平板境界層に近い特性を有していると思われる。また、この関係より葉の抗力推定式を与えている。低風速時には各樹木の(1/2)葉は(2/2)葉より高い値を示しており、これは葉が少ないため葉1枚の抗力が生じると考えられる。モミジは葉1枚の効果が高いと考えられ、推定式において考慮すると誤差が生じると考えられる。

図-2に樹木模型の枝部の抗力係数 C_c とレイノルズ数の関係を示す。レイノルズ数は各樹木模型の葉の代表寸法を用いて算出している。(0/2)葉の枝部の抗力係数 C_c および投影面積 A_c を用いて葉の抗力係数 C_f を算出したが、(2/2)葉、(1/2)葉では風速に応じた変形が(0/2)葉と異なることを考慮してそれぞれの投影面積を用いて C_c の計算を行った。(2/2)葉、(1/2)葉では投影面積はレイノルズ数の増加に伴って投影面積は減少する。しかし、(0/2)葉では投影面積の変化が小さいため、逆勾配になると思われる。葉のある状態においてモミジ、ケヤキ、シラカバの3種は同様な傾向が見られ、強風時では0.25付近に集中している。また、投影面積の算出において低風速時では画像処理による誤差が大きく出ることが考えられ、葉のある状態の枝部の抗力係数 C_c はレイノルズ数に関係なく一様な値と仮定した。

図-3に(2/2)葉の抗力の実験値と計算値の比較を示す。枝部の抗力係数 C_c を一定値とし、葉の抗力係数 C_f を式(3)より算出した場合と葉の抗力推定式より算定した場合について抗力の実験値との比較を行った。枝部の投影面積 A_c は、無風時の面積に樹形の体積変化を考慮して算出している。式(3)より算出した場合において概ね実験値を再現できる。推定式より算定した場合には低風速時には過大評価もあるが、強風時の上限を得ることができ、枝部と葉の抗力係数 C_c 、 C_f は一樣な値を与えても樹木抗力を評価することができると考えられる。

5. おわりに

風応力下における単独樹木に作用する樹木抗力について樹種の異なる4種の模型樹木における抗力特性に関する実験を行い、樹木の抗力を幹部、枝部、葉部に区分して、葉のない状態の枝部の抗力係数 C_c と投影面積 A_c を用いて葉の抗力係数 C_f を算定する方法を示した。さらに無風時の投影面積に樹形の体積変化を考慮し、枝部と葉の抗力係数 C_c 、 C_f は一樣な値を与えても樹木抗力を評価ができることが得られた。

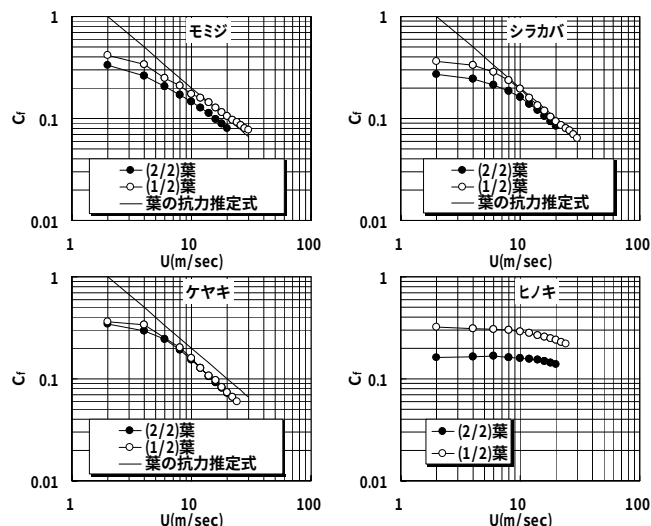


図-1 各樹木模型の葉の抗力係数 C_f

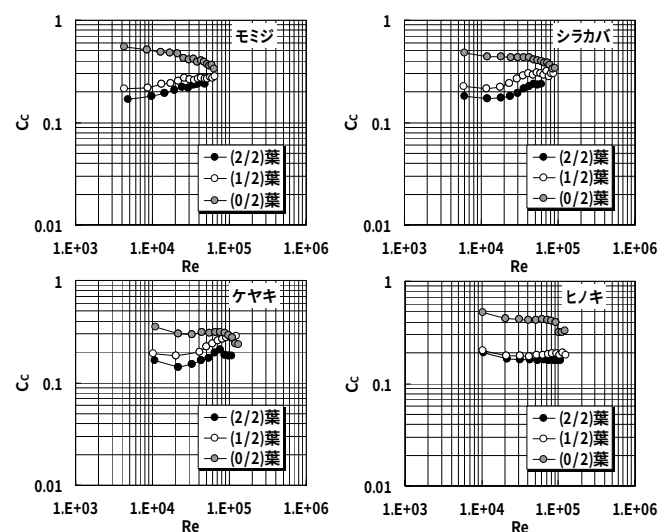


図-2 各樹木模型の枝の抗力係数 C_c

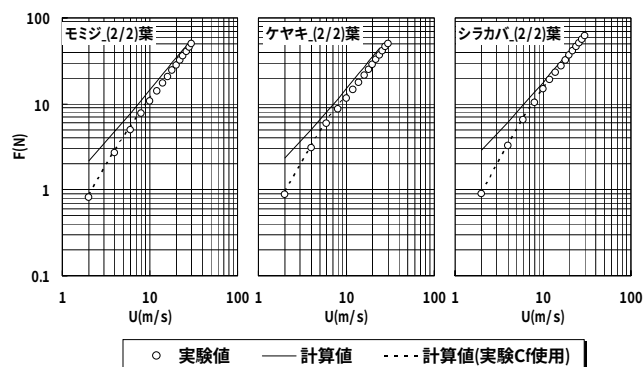


図-3 (2/2)葉の抗力の実験値と計算値の比較

<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.