

II - 40

風応力下における単一樹木の変形特性の検討

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

樹木は幹や枝、葉部のたわみ具合、なびく度合いにしたがってその形状を変化させる構造特性や透過性を有するため、風速の増減によって同程度の投影面積をもつほかの物体よりも風から受ける抵抗を変化させていると考えられる。この変形特性を考慮することが単一樹木の抗力を検討する上で重要な事項になる。そこで本研究では、樹種の異なる4種類の樹木模型に対して、樹木模型そのままの場合と葉を減じた場合について大型風洞による実験を行い、単一樹木の変形特性に関する検討を述べる。

2. 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。

実験には生木を使用せずに樹木模型を使用した。生木と樹木模型との相違点は幹や葉の剛性や厚みなどの構造的なものであるが、葉の形状や面積及び密度は近似的に製作されており、力学的挙動には類似性が期待されることや実験の再現性が高い利点等を有している。また、樹木模型の幹はモミジ、ケヤキにおいてナツツバキの幹を用いており、シラカバ、ヒノキにおいてはそれぞれの樹木の幹を使用している。

3. 実験結果および考察

(1) 樹高とたわみの関係

風応力下における樹木は、低風速時には葉や枝のなびく様子が見られ、風速の上昇によって幹のたわみ様子が見られる。各樹木模型の風速10m/sec毎において計測長の最下点より0.2mごとにたわみ量を計測した。図-1に各樹木の風速Uにおける樹木の高さzと幹のたわみδとの関係を示す。ヒノキにおいて樹形は広円錐形であり、樹形が乱れにくい形状のため樹木の内部を

表-1 樹木寸法一覧

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	0.7458	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	0.000893	計測せず	0.000539
ヒノキ	0.3669	0.3434	0.1828	0.002303	計測せず	0.001264

注) 投影面積は無風時(Rear)の場合
V₀:水中で測った実体積(m³)

見ることができず、幹のたわみを確認することが困難である。そのためヒノキにおいては葉を含んだたわみを計測している。モミジ、シラカバにおいて葉の有無によりたわみが変化することが確認できる。また、樹高0.4mから上部においてたわみの増加が大きく見られた。モミジよりシラカバのたわみのほうが大きく、これはモミジ模型の幹に用いられているナツツバキは床柱等の構造材として使用される樹木であるが、シラカバは広葉樹の中でも軽軟であることが考えられる。

(2) 樹高と幹の断面積の関係

図-2に樹高差z-z₀と樹木の幹の断面積A(z)との関係を示す。樹木の高さ0.2mを基準z₀とし、0.2mごとに幹の直径を実測している。しかし、幹の直径を実測するとき葉や枝が多く見られる部分になると各樹木固有の節があり、正確な計測は困難である。

そこで幹を鉛直な構造モデルとして荷重が作用するものとして仮定すると以下の関係が得られる。

$$z \text{ の荷重 } \sigma \cdot A(z) \quad (1)$$

$$z+dz \text{ の荷重 } \sigma \cdot A(z+dz) \quad (2)$$

$$dz \text{ の重さ } \rho \cdot A(z) \cdot dz \quad (3)$$

式(1), (2), (3)に対して Taylor 展開, 力のつりあいを用いると

$$\sigma \cdot A(z) + \rho \cdot A(z) dz = \sigma \cdot A(z) + \sigma \cdot \frac{dA}{dz} dz \quad (4)$$

となり, A(z)は以下の微分方程式を得ることができる。

$$\frac{dA}{dz} = \frac{\rho}{\sigma} \cdot A(z) \quad (5)$$

これを積分すると

$$A(z) = A_0 \cdot e^{\rho z / \sigma} \quad (6)$$

A_0 を積分定数とし、 A_0 は $z=z_0$ となる点で決定し、式(7)を得ることができる。

$$A(z) = A(z_0) \cdot e^{\rho(z-z_0)/\sigma} \quad (7)$$

上記した式を用いると各樹高に対する断面積を算定することができ、樹高差 $z-z_0$ の0.2から0.6mに対し、線形の近似式を与え $A(z_0)$ を得た。ここで得た $A(z_0)$ を式(7)に代入し、各樹高における幹の断面積を算出した。
(3)樹木のヤング率について

各風速における樹高 z とたわみ δ の関係は、樹種ごとに特有の変化が見られた。そこで変形の度合いを明確に示すため、樹種による変形しにくさを表す係数としてヤング率を求める必要がある。

樹木を片持ち梁として見立て、集中荷重が作用すると仮定するとヤング率は以下の式で表される。

$$E = \frac{P}{I\delta} \left(\frac{lz^2}{2} - \frac{z^3}{6} \right) \quad (8)$$

ここで、 E :ヤング率(N/m^2)、 P :樹木抗力(N)、 I :幹の断面2次モーメント(m^4)、 δ :たわみ(m)、 l :抗力の作用位置(m)、 z :樹高(m)である。

図-3にモミジ(2/2)葉における風速 U とヤング率 E の関係を示す。 $z=0.2m$ 、 $0.4m$ では樹木の設置部に近いため、たわみが小さくヤング率の計算に影響を与えたと考えられる。 $z=0.8m$ では枝や葉が多く節が存在し、葉や枝の振動が見られるために値が安定しないと推察される。 $z=0.6m$ では風速10m/sec程度まで値が大きくなるが、さらに風速が上昇すると比較的安定した傾向が見られる。

図-4にモミジの(2/2)葉、(1/2)葉、(0/2)葉の $z=0.6m$ の風速 U とヤング率 E の関係を示す。葉の有無に関係なく同様な傾向が見られ、風速10m/sec程度からほぼ一定の値が見られた。低風速では枝や葉が大きく抗力を受け持つために大きく増加し、樹木の内部に風応力が浸透すると抗力の増加が一定の勾配を示すために同程度の値が得られると考えられる。

上記より、樹木のヤング率は設置面から十分な距離を考慮することで幹の断面積とたわみの関係より、適切なヤング率を推定できると考えられる。

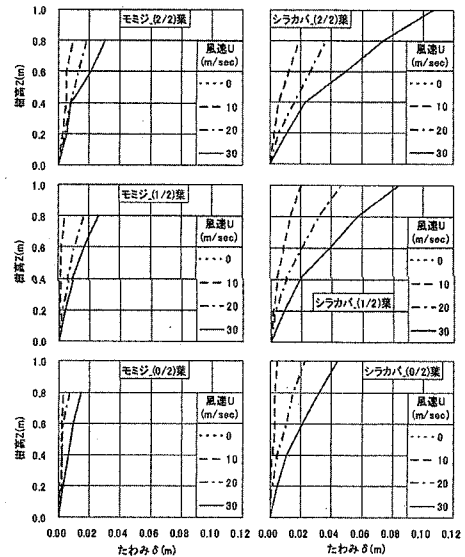


図-1 樹高 z とたわみ δ の関係

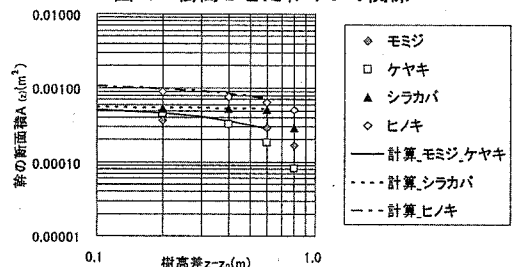


図-2 樹高差 $z-z_0$ と樹木の幹の断面積 $A(z)$ との関係

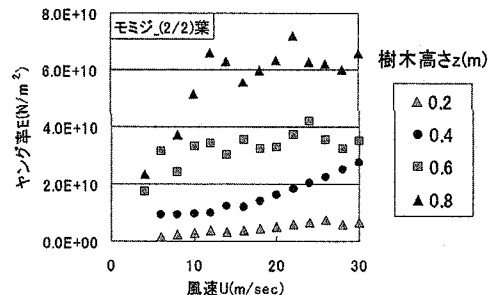


図-3 各樹高における風速 U とヤング率 E との関係

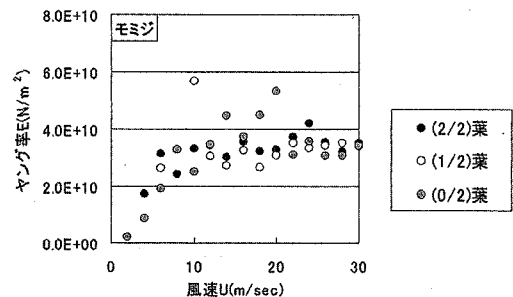


図-4 風速 U とヤング率 E との関係