

樹木の葉層面積と樹幹・樹枝投影面積分布を考慮した抗力特性の高精度評価に関する研究

埼玉大学 学生会員 竹中 宏
 埼玉大学 正会員 田中 規夫
 埼玉大学 正会員 八木澤 順治

1. はじめに

河道内樹木の抗力特性を把握することは洪水時の水位に与える影響の解明や、流木化条件算定、通常時の樹木破壊条件把握のために重要である。既往研究において、樹木の抗力係数は滑面円柱の抗力係数である $C_D = 1-1.2$ を用いることや樹冠面積に対して抗力係数を与えることが多い。しかし、実際の樹木と洪水の関係を考えた場合、洪水時の水深によって抗力係数が異なることや葉の量・種類によって抵抗が異なることが考えられ、より詳細な検討が必要である。本研究では葉層による付加抵抗()を風洞実験によって求め、樹木鉛直構造を考慮した方法と従来の樹冠面積に対して抗力係数を与える方法を比較し樹木鉛直構造を考慮した方法の検証を行った。

2. 樹木に作用する抗力モーメントの算出手法

樹木に作用する抗力 F , モーメント M は樹木の鉛直構造を考慮して田中ら¹⁾と同様に以下の式(1)- 式(3)を用いて算出した。

$$F = \int_0^h \frac{1}{2} C_D(z) \rho u(z)^2 d(z) dz$$

$$= \frac{1}{2} C_{D-ref} \rho U^2 D_{BH} \int_0^h \frac{d(z)}{D_{BH}} \frac{C_D(z)}{C_{D-ref}} dz$$

$$= \frac{1}{2} C_{D-ref} \rho U^2 D_{BH} \int_0^h \alpha(z) \beta(z) dz \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{d(z)}{D_{BH}}, \beta = \frac{C_D(z)}{C_{D-ref}} \quad (2)$$

$$M = \frac{1}{2} C_{D-ref} \rho U^2 D_{BH} \int_0^h z \alpha(z) \beta(z) dz \quad (3)$$

ここに、 z : 河床からの鉛直高さ(m), C_{D-ref} : 主幹を円柱と仮定した場合の抗力定数(ここでは $C_{D-ref} = 1.0$)とした。 $C_D(z)$, $u(z)$, $d(z)$: それぞれ河床からの高さ z における抗力係数, 流速(m/s), 主幹と枝の幅の和(m), ρ : 流体の密度(kg/m³), h : 抗力を受けた高さ(今回の場合樹高)(m), D_{BH} : 胸高直径(m), $\alpha(z)$: 樹形(幹・枝)の相

違(高さ z における幹・枝幅の総和を胸高における幅 d_{BH} で基準化した比)を表す付加係数, $\beta(z)$: 葉による抵抗係数の付加を表す無次元量である。また、流速の鉛直分布 $u(z)$ を考慮せず 断面平均流速 U (m/s) を用いた。また、樹冠域に対して抗力係数を与える方法は風による外力モーメント²⁾より算出した。

$$M = \frac{1}{2} C_D \rho U^2 A H \quad (4)$$

ここに、 ρ : 流体の密度(kg/m³), C_D : 抗力定数, A : 樹冠の面積(m²)(樹冠高さ × 葉張り), U : 最大瞬間風速(さいたま市気象台観測)(m/s), H : 抗力を受けた高さ (m), 樹冠の抗力係数 0.7 を用いて求めた。

3. 葉層による負荷抵抗()について

樹冠位置での β の値に関しては風洞実験にて得られた値を用いた。一本の枝について葉のついた状態での抗力係数を測定した後に、葉を取り去った状態で抗力係数を測定し、葉による抵抗係数の付加として β を与えた。

4. 現地調査

2009年10月の台風18号による強風(気象庁HPさいたま市気象台観測, 10分ごとの値より, 最大瞬間風速19.6m/s, 風向: 南南西)による倒伏樹木について調査, 解析を行った。

5. 結果および考察

図-1に A_{leaf} / A_{trunk} と葉による付加抵抗 β の関係を示す。枝面積に対して葉面積が相対的に増加すると (A_{leaf} / A_{trunk} が増加すると), A_{leaf} / A_{trunk} が4程度までは β が大きくなり、葉の量に応じて β を決定する必要がある。本実験より、 β の値に関して樹冠位置では2, 主幹では1を与えた。図-3に胸高直径 d_{BH} と式(3)により算出した抗力モーメント計算値 M との比較を示す。下限式は既往研究²⁾と同様の引き倒し試験より求めた。台風18号強風では、引き倒し試験を行った場所周辺で風倒木は見られず、その場所よりやや離れた斜面(限界は半分程度と推定される)や根張りの悪いもの(根の深さが通常の半分以下)

キーワード 河道内樹林, 樹木鉛直構造, 抗力モーメント

連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学大学院理工学研究科

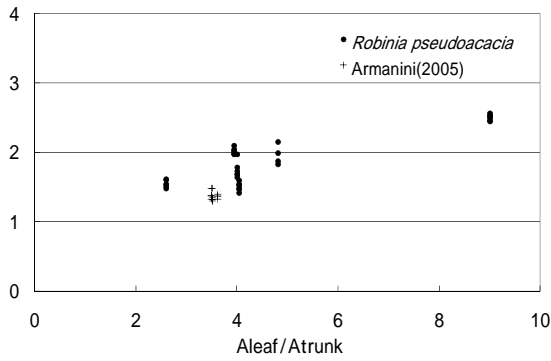


図-1 葉の面積と葉の付加抵抗の関係 : 葉による抵抗係数の付加を表す無次元量 (=葉のついた状態での抗力係数/葉を取り去った状態での抗力係数), A_{trunk} : 枝の投影面積, A_{leaf} : 枝葉の投影面積

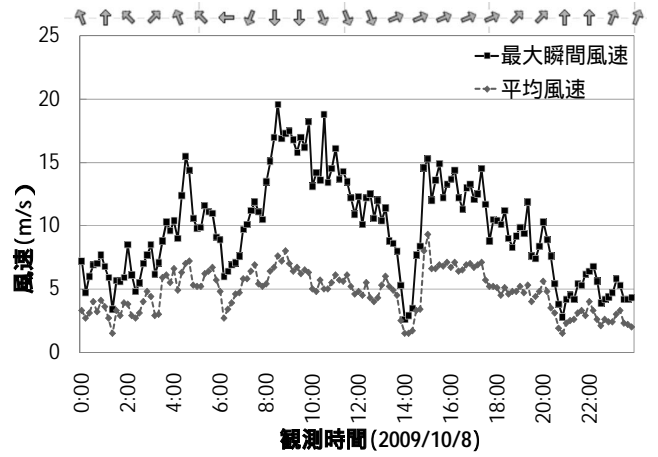


図-2 台風18号(2009.10.8)における平均風速と最大瞬間風速図および風向(さいたま市観測所)

が風倒木として確認された。そのため推定値が下限式を下回った位置にあるのは、おおむね妥当であると考えられる。図-4は式(4)により樹木に作用した抗力モーメントを、図-3と同様の回帰式になるよう C_D を設定し計算したものである。その結果、 $C_D=0.19$ となることがわかった。 $C_D=0.19$ は既往研究の $C_D=0.15-0.35$ の範囲であり、またヤナギの枝面積の樹冠総面積に占める割合が高くないことから確からしい値であるといえる。よって、樹木の鉛直構造を考慮し、葉の量に応じた C_D を用いることで実樹木の抗力係数が算定可能であるといえる。洪水の場合では、洪水位に応じた方向に抗力係数を与えられるというメリットも大きい。

5. おわりに

本研究によって得られた結論を以下に示す。

樹冠の抗力係数を算定する場合、葉面積と枝面積の比に応じた葉による付加抵抗を考慮する必要がある。樹木の鉛直構造(枝の投影面積、葉面積/枝面積の分布)を考慮して算出した抗力モーメントから、樹冠総面積に対する抗力係数 C_D を算出したところ、 C_D は既往研究による値と同等となったことから、鉛直分布計算法の正当性と有効性が検証された。

謝辞: 本研究の一部に、独立行政法人日本学術振興会の「アジア・アフリカ学術基盤形成事業」(コーディネーター・田中規夫)の助成を使用した。記して謝意を表します。

参考文献

1) 田中規夫・佐々木寧: 2006年ジャワ津波災害において海岸林が果たした役割とその破断・なぎ倒し限界, 水工学論文集, 第51巻, pp.1445-1450, 2007.

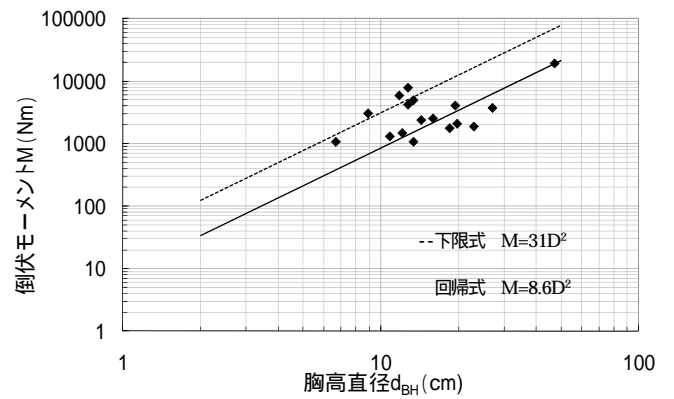


図-3 式(3)を用いた樹木に作用した抗力モーメント計算値Mと胸高直径 d_{BH} の比較

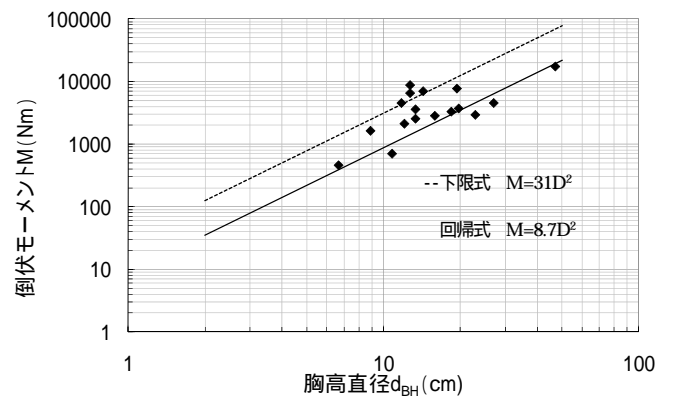


図-4 式(4)を用いた樹木に作用した抗力モーメント計算値Mと胸高直径 d_{BH} の比較

2) (財)リバーフロント整備センター編: 河川における樹木管理の手引き, 山海堂, pp.147-171, 1994.