

風応力による河道内樹木の倒伏破断機構に関する検討

日本大学工学部 PD フェロー 正会員 ○山田泰正
 日本大学工学部 土木工学科 正会員 長林久夫

1. はじめに

2008年2月23日午後から翌24日にかけて、津軽海峡付近に中心を持つ低気圧が急速に発達し、福島県荒川河道内の樹木において、根元から根返りが起きて倒伏するものや、幹の部分から折れて破断するなど、800本近い樹木に被害を受けた。被害調査をしたところ、全体の65%が根に礫を抱いていたため倒伏しており、また被害樹種は冬季に葉をつけていて、かつ陽樹でありキャノピーを形成するマツが90%以上であった。

このような風災害の樹木に関して数多くの資料が示されているが、砂礫層の樹林帯における被災や、この風災害の特徴的である広分布に多数の樹木が被災した事例、倒伏のみならず多数の樹木の破断したことに關しての知見があまりない。そこで本研究は、福島県荒川河道内という倒伏しやすい礫層の場所で、樹木の倒伏や破断機構を明確にして汎用性が高いものを提案することを目的とし、風災害に対して力学的な評価を行った。

2. 樹木の倒伏限界モーメント

この風災害において樹木が風によって被災した力を算出し、一般的に評価をする必要があるため、樹木の倒伏力について検討を行った。今回の被災調査の結果から、一般的なアカマツと比べ深く根を下ろしておらず、樹木の支持力が弱いものと考えられる。そのため、このアカマツの支持力を一般的なものから算出することが難しいので、荒川河道内の樹木を用いて引倒試験を行い、支持力の推定を行った。

引倒試験は選定した樹木にワイヤロープを地面から1.2mのところをかけ、チェーンブロックおよび重機により水平に引張力を加えた。また、急に力を加えると樹木を破断させてしまう恐れがあるため、引張力はゆっくり加え、倒伏限界力はロードセルによって測定した。選定した樹木は、被災した樹木と同じ条件にするために荒川河道内の被災樹木が多かった場所の樹木を

キーワード：樹木、倒伏力、破断、抗力、風災害、倒伏限界モーメント

連絡先：〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1 TEL&FAX：024-956-8724

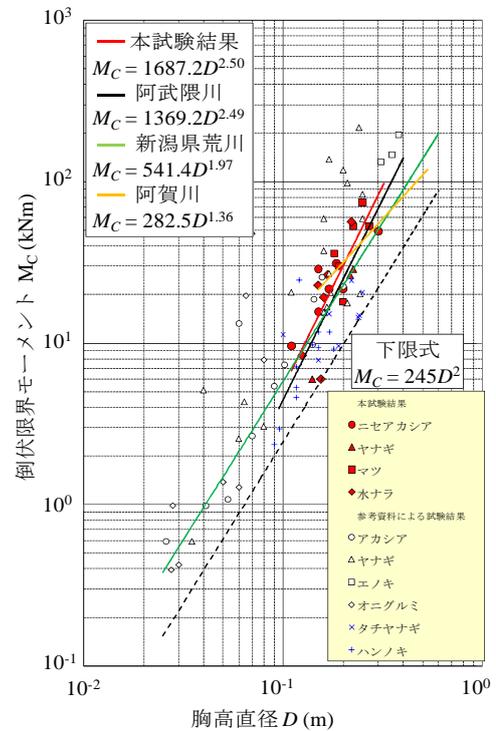


図-1 胸高直径と倒伏限界モーメント

25本使用した。

試験結果について測定した胸高直径 D (m) と倒伏限界モーメント M_c (kNm) との関係を図-1 に示し、比較するために一般的な試験結果と全樹種および土壌に対する倒伏の耐力を評価する安全側の下限式¹⁾、著者らが行った阿武隈川（施工数：19本、土質：砂）および阿賀川（施工数：17本、土質：砂）の試験結果、また北陸地方整備局羽越河川国道事務所が新潟県荒川で行った試験結果を示した。この結果から胸高直径と倒伏限界モーメントは一定の関係式が成り立ち、直立している樹木から安易に測定できる胸高直径から倒伏限界モーメントを算出が出来る。本試験における結果は一般的に言われている安全下限式を上回っているが、樹種別に見るとヤナギとニセアカシアでは一般的な値より下回っていて大量の礫が含まれているために、倒伏耐力が弱くなっているものと考えられる。また、他河川との比較からほぼ同様な傾向と結果が得られた。

3. キャンピ内樹木の倒伏破断機構

この結果より、樹木の簡易的なモデルを用いて倒伏・破断のどちらに被災するか推測を行った。樹木が風を受けた場合、樹木に作用する力を表すと図-2のような片持ち梁とした。図中の記号は H : 樹高、 h_c : 樹冠高、 P : 風による抗力、 h : 抗力作用位置、 h_t : 幹部の高さ、 M_A : 抗力によるモーメント応力である。キャンピ内のアカマツについて樹形調査した結果、次式が成り立ったので使用した。

$$\frac{D_c}{D} = 0.461, \quad \frac{W_c}{D} = 15.441, \quad \frac{h_t}{H} = 0.762, \quad h_t = 15.836D^{0.089},$$

$$h_c = -10.51D + 6.6268 \quad (1)$$

ここで、 D : 胸高直径、 D_c : 幹上部直径、 W_c : 樹冠幅である。抗力は樹冠部にのみ载荷しているものとし、抗力作用位置 $h = h_t + 0.4h_c$ 程度とした。Rundnicki ら²⁾の風洞実験より lodgepole pine の場合、風を受けていない静止した投影面積から算出すると、風速 $U=20(\text{m/s})$ で抗力係数 C_D はほぼ 0.4 であり、樹冠部はほぼ三角形として A としている。樹木の幹は台形とし、樹木径 d は地面からの距離 x の関数とした。また、倒伏限界モーメント M_C は荒川樹木の引倒試験の結果から、また破断限界モーメント M_B は曲げ強さ σ と樹木径 d から次式のように求めた。

$$M_B = \sigma \cdot Z = \sigma \cdot \frac{\pi d^3}{32} \quad (2)$$

倒伏・破断の推算結果を図-3に示し、キャンピ内のアカマツを対象とし、 $U=35(\text{m/s})$ における樹木被災を予測したものである。 $M_A > M_B$ ならば破断、 $M_A > M_C$ ならば倒伏することが予測される。この結果 $D < 0.17(\text{m})$ で倒伏と破断、 $0.17 < D < 0.22(\text{m})$ で倒伏、 $D < 0.22(\text{m})$ ではどちらにも被災しない安全ということになった。被災結果とほぼ一致した結果ではあるが、これよりも太いアカマツが被災していることから、実際には強風によって樹木が前後に振動が起き、倒伏や破断を助長させたこと、またねじれ破断していることが確認されているので3次元的に風が吹きさまざまな力が作用していたことなどが考えられる。

4. まとめ

被災地の樹木を用いて引倒試験から倒伏の実態の評価を行い、汎用可能な樹木の倒伏と破断の条件を作成した。調査結果とほぼ同様な結果だったが、 $U=40(\text{m/s})$

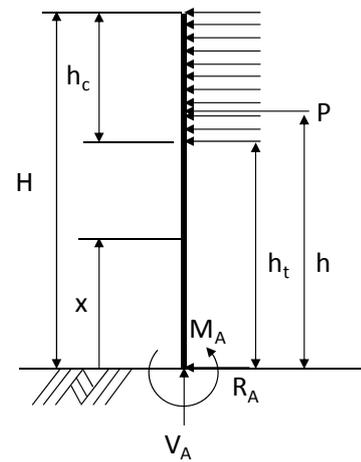


図-2 樹木直立モデル

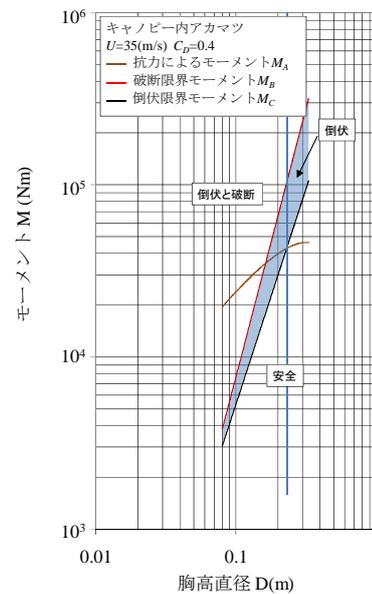


図-3 胸高直径による被災状況の条件

程度の暴風域においては、風による樹木の振動など複雑な力が考えられるため、さらなる検討が必要である。

謝辞：この研究は、日本大学工学部学術フロンティア推進事業から、一部援助を頂いたことを付記する。

参考文献

- 1) (財)リバーフロント整備センター：河川における樹木管理の手引き、海山堂、1989。
- 2) Rudnicki, M., Mitchell, S. J., Novak, M. D.: Wind Tunnel Measurements of Crown Streamlining and Drag Relationships for Three Conifer Species, Can. J. For. Res., Vol.34, 666-676, 2004.
- 3) 山田泰正、長林久夫：強風によって被災した樹木群の倒伏破断機構に関する検討、水工学論文集、Vol.54、2010。