

樹木用支柱が高木の耐風性に及ぼす影響

正会員 橋 大介*¹
 正会員 ○直木 哲*²
 正会員 今井一隆*³

高木 耐風性 樹木用支柱
 ワイヤ支柱 倒伏最大モーメント 根回り風速

1. はじめに

街路樹や外構植栽は、都市における景観向上、環境保全、防災などの重要な役割を果たしてきた。とりわけ高木を植栽することは、近年問題になっている地球温暖化やヒートアイランド現象の抑制・緩和対策として、有効な手段の一つと考えられる。一方高木が植栽されている良好な空間を早期に構築するために、樹高のかなりある高木を移植するケースが良く見受けられる。実生や苗木から長期間かけて生育した高木は高い耐風性を示すことが経験上明らかになっているが、移植した受風面積の大きい高木が未だ根系が活着していない状態で風圧を受けるとその耐風性が問題になることがある。さらに近年大型化する台風の相次ぐ襲来を目の当りにすると、移植高木の安全性確保が重要な課題になってくる。そこで著者らは、移植していない高木、移植後支柱を設置しない高木、移植後各種支柱によって支持された高木に関して原位置において引き倒し試験を実施し、移植による耐風性への影響、支柱設置の効果、高木移植の安全性などについて実験を行い、研究成果を報告してきた¹⁾。その結果、10mを超える樹高を有する高木では、実験に適用した支柱類では、必ずしも移植後の十分な耐風性を確保できないことが明らかになった。そこで本研究では、新たなタイプの支柱を適用することによってさらなる耐風性の改善が可能であるかを検証することなどを主目的として実施したので報告する。

2. 実験概要

実験に用いた樹木は、クスノキ、オオシマザクラ、シラカシの3種類の広葉樹7本とした。表1に樹木諸元、支柱のタイプなどを示す。樹高や幹周が最も大きいクスノキ(No.1~3)では、地上支柱や地下支柱の耐風性を補う目的で、ワイヤ支柱を適用した。適用ワイヤは、写真1に示すようなポリプロピレン製の中空構造ロープにした。樹木諸元が最も小さいシラカシ(No.6~7)では、ワイヤ支柱の単独適用とした。樹木諸元が中間にあるオオシマザ

クラ(No.4~5)では、地下支柱または地上支柱を適用した。またワイヤ支柱の固定方法は、土壤中に打込むタイプのアンカーを使用した。なお本実験で用いた地下支柱はスライド式ベース板タイプのものであり、地上支柱は八ツ掛け支柱とした。

樹木の耐風性は、写真2に示す引き倒し試験によって得られる倒伏最大モーメントで評価した。樹木への引張荷重の載荷は、地上より高さ2.5mの位置に玉掛け用繊維ベルトを取付け、もう一方はレバーブロックを0.4 m³油圧ショベルのバケット上のフックに取付け、これらを互いに繋いで引張った。載荷荷重は、定格荷重100kNのロードセルの電圧出力計測値から算出した。また樹木は載荷によって鉛直に自立した状態(傾斜角0°)から回転変位するので、併せて変位測定を実施した。

作用倒伏モーメントは、図1の引き倒し試験載荷模式図に示した測定値を用いて、下式(1)によって算出した。

$$M_i = P_i \cos \alpha_i \times h_1 \cos \theta_i - P_i \sin \alpha_i \times h_1 \sin \theta_i \quad (1)$$

ここに、 M_i : 作用倒伏モーメント(Nm)、 P_i : 載荷荷重(N)、 α_i : 載荷荷重方向と地表面とのなす角度(deg)、 θ_i : 樹木の傾斜角(deg)、 h_1 : 引張用スリングベルト取付け高さ(m)、 h_2 : 油圧ショベルバケットのフック位置高さ(m) - 本試験では $h_2=h_1$ (=2.5m) とした、 L_1 : 試験体樹木芯から油圧ショベルバケットフック位置までの距離(m)



写真1 ワイヤ支柱用ロープ 写真2 引き倒し試験状況

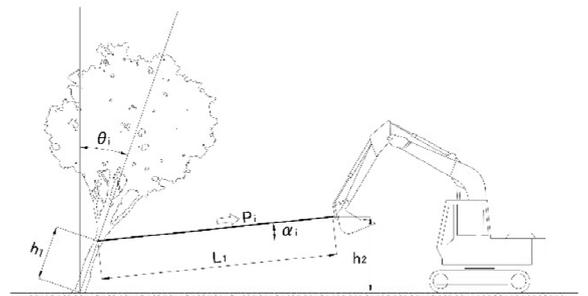


図1 引き倒し試験載荷模式図

表1 実験に用いた樹木の種類、支柱形式と諸元

No.	樹種	支柱形式	樹木の諸元											
			樹高 H(m)	枝下高 Hc(m)	幹周 C(m)	根元周 Co(m)	枝張 W(m)	葉部面積 A ₁ (m ²)	幹部面積 A ₂ (m ²)	受風面積 A(m ²)	受風重心位置 h(m)	根幹直径 (m)	根幹高さ (m)	樹木重量 (kg)
1	クスノキ	地下支柱+ワイヤ支柱	13.0	2.2	0.82	0.98	5.2	44.1	0.57	44.7	7.52	1.50	1.05	2019
2	クスノキ	地上支柱+ワイヤ支柱	14.5	4.0	0.87	1.07	2.7	22.3	1.11	23.4	8.91	1.60	1.08	2243
3	クスノキ	ワイヤ支柱	15.0	2.1	0.95	1.14	4.7	47.6	0.64	48.3	8.45	1.70	1.20	2988
4	オオシマザクラ	地下支柱	11.0	2.3	0.68	0.82	4.5	30.7	0.50	31.2	6.56	1.40	1.00	1581
5	オオシマザクラ	地上支柱	12.0	4.0	0.70	0.83	5.5	34.6	0.89	35.4	7.85	1.50	1.00	1795
6	シラカシ	ワイヤ支柱	6.0	1.0	0.46	0.66	2.5	9.8	0.15	10.0	3.46	1.07	0.77	673
7	シラカシ	ワイヤ支柱	8.0	1.7	0.54	0.74	2.7	13.4	0.29	13.7	4.76	1.25	0.80	1030

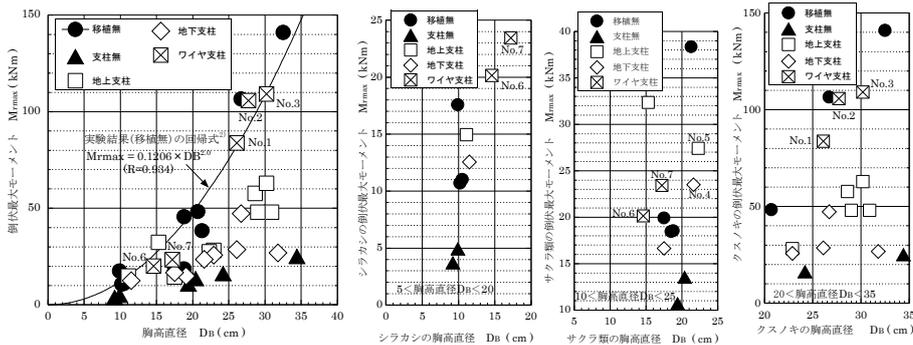


図2 ワイヤ支柱の改善効果(1) 図3 ワイヤ支柱の改善効果(2)

表2 倒伏最大モーメントと根張り風速

No.	樹種	支柱形式	倒伏最大モーメント Mrmax(kNm)	根張り風速 V _{CD0.3} (m/s)	根張り風速 V _{CD0.2} (m/s)
1	クスノキ	地下支柱+ワイヤ支柱	83.8	36.9	45.2
2	クスノキ	地上支柱+ワイヤ支柱	105.7	52.7	64.5
3	クスノキ	ワイヤ支柱	109.2	38.2	46.8
4	サクラ	地下支柱	23.5	25.0	30.7
5	サクラ	地上支柱	27.4	23.2	28.4
6	シラカシ	ワイヤ支柱	20.2	56.6	69.3
7	シラカシ	ワイヤ支柱	23.4	44.4	54.3

一方気体や液体の流れの中に置かれた物質に作用する抗力モーメントは、一般に下式(2)によって算出できる。

$$M_r = 1/2 C_D \rho V^2 A h \quad (2)$$

ここに、M_r:抗力モーメント(Nm), C_D:抗力係数, ρ:空気密度(1.22kg/m³), V:風速(m/s), A:受風面積(m²), h:受風重心(m)。

同式を用いることで風圧力によって樹木地際部に作用するモーメントを算出することができ、引き倒し試験で得られた倒伏最大モーメントの値を抗力モーメントとして代入することで倒伏時の風速を算定することができる。その際以下の仮定のもとに樹木倒伏時の風速を算出した。すなわち樹木の抗力係数 C_Dは、小泉らの研究成果^{2)~3)}をもとに、0.3 および 0.2 として樹木倒伏時の風速 V_{CD0.3} および V_{CD0.2} を算出した。また受風面積は樹冠と樹幹の総和とし、樹幹は長方形、樹冠は楕円形として面積を算定した。

3. 実験結果と考察

著者らの既発表論文のグラフ上¹⁾(樹木の胸高直径と倒伏最大モーメントとの関係を示したグラフ上)に本実験結果をプロットすると、図2~3に示すとおりになった。ワイヤ支柱を移植高木に適用すると、移植無のものと同程度の倒伏最大モーメントを確保することができた(図2参照)。すなわち胸高直径が大きく樹高が10mを超える樹木は、移植により一般に適用される地上支柱や地下支柱を設置しても倒伏最大モーメントは大幅に低下するが、ワイヤ支柱の適用により移植無の樹木の倒伏最大モーメントまで改善できることが明らかになった。また No.1 試験体は地下支柱とワイヤ支柱の併用、No.2 試験体は地上支柱とワイヤ支柱の併用、No.3 試験体はワイヤ支柱のみで実験を実施したが、ワイヤ支柱の適用の効果が卓越している結果になった。すなわちワイヤ支柱単独適用の No.3 試験体の倒伏最大モーメントが本実験値の中で最大値を示した。一方胸高直径が小さく樹高が6~8mのシラカシの場合においても、一般に適用されている支柱を用いた樹木(No.4, No.5 試験体など)や移植無の樹木の倒伏最大モーメントと比較して、同程度以上の値が確保された(図3参照)。著者らの一連の研究成果によれば、耐風性改善効果は、ワイヤ>地上>地下の順になるようである。

表2は、倒伏最大モーメントの値をもとに樹木の根張り風速を算定したものである。抗力係数を0.2とした場合、ワイヤ支柱を用いた試験体(No.1~3, No.6~7 試験体)の根張り風速 V_{CD0.2} は、45.2~69.3m/sの範囲の値になった。一方地下支柱と地上支柱を用いたサクラ試験体(No.4~5 試験体)では、ワイヤ支柱を用いた場合より小さくなり、根張り風速は各々30.7, 28.4m/sになった。したがってワイヤ支柱を用いた移植高木では根張り風速は大きくなり、多くの地域で採用されている建築物の設計基準風速 34m/s を大きく上回る根張り風速を確保できることが明らかになった。

4. 結論および今後の課題

ワイヤ支柱は、樹高および胸高直径の大きい樹木に対してもその耐風性改善効果を期待でき、移植無の樹木の倒伏最大モーメントと比較しても遜色のない値を確保できると考えられる。著者らの研究成果によると、樹木支柱の耐風性改善効果は、ワイヤ>地上>地下の順になるようである。

なおワイヤ支柱の適用(設計・施工)に当たっては、ワイヤの種類・材質・断面寸法、アンカーの種類と固定方法、植栽域の広さ、土壌のN値などを勘案して、その仕様を決定する必要がある。

謝辞

本研究は、(公財)都市緑化機構 特殊緑化共同研究会 調査研究部会 緑化技術分科会の研究業務として実施した。実施に当たって、同分科会に割り当てられた研究予算を使わせていただくとともに、緑化技術分科会メンバーに多大に尽力していただいた。ここにお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 橋大介・直木哲・今井一隆: 移植高木の引き倒し試験による耐風性の評価, 日本建築学会技術報告集, 第24巻, 第58号, pp.1325~1330, 2018
- 2) G. J. Mayhead: Some drag coefficients for British forest trees derived from wind tunnel studies, Agricultural Meteorology, Vol.12, pp.123~130, 1973
- 3) 小泉章夫: 樹冠の抗力係数と樹形計測に基づいた緑化樹木の耐風性診断, 科学研究費助成事業研究成果報告書(2012年度), 2013

*1 都市緑化研究開発集団 代表・工博
*2 直木技術事務所 代表
*3 (公財)都市緑化機構 次長

*1 Urban Green Research Laboratory, Ph.D. in Eng.
*2 Naoki Professional Engineer Office
*3 Organization for Landscape and Urban Green Infrastructure, deputy chief