

ハルニレ立木のサイズと幹折れ耐力の関係

(北大農) ○藤田歩 小泉章夫

1.はじめに

樹木の風倒害を考えるうえで、樹幹の断面係数は重要な指標となる。断面係数は樹幹断面の形状を把握することで計算することができるのだが、実際の樹幹断面の形状を把握することは困難であった。しかし、かたどり法¹⁾によって樹幹断面の正確なイメージを取得することが可能となった。

本研究では樹木の幹折れ耐力の評価法を検討するために、かたどり法や樹幹の各種直径に基づいた断面係数を算出し、どのくらい誤差があるか比較検討した。

またかたどり法によって求めた断面係数を用いて、胸高位における立木のサイズと幹折れ耐力の関係についても検討を行った。

2.供試木

本研究では、サイズの影響を見る目的のためにハルニレ(*Ulmus davidiana* var. *japonica*)を供試木とした。北海道大学札幌キャンパスには自生や植栽を含めて多様なサイズのハルニレが存在するからである。本実験では合計 33 本(胸高直径 197~739mm)を供試木とした。

なお、ハルニレは一般的に腐朽なしでは、枝折れはあっても幹折れはないとされている。しかし 2004 年の台風によって北海道大学の中央ローンにて幹折れした例もある²⁾。

3.試験方法

3.1 かたどり法による樹幹断面イメージの取得

本研究で用いたかたどりゲージは全長 630, 300 mm の 2 種類を用いた(図 1)。これを供試木に押し当て胸高断面一周分をかたどり、樹幹断面の二値画像を作成した(図 2)。本実験では断面係数の値を得る樹幹高さを 130cm にした。これは地上高数mまでは樹幹の曲げ応力の分布が比較的一定であり³⁾、計測しやすく扱いやすい高さであったことによる。以上の方法によって得られた樹幹断面イメージから算出した断面係数を Z_{pr} とする。

断面係数は荷重の方向によって値が変わるため、今回の実験では 30° ごとの方向(計 6 方向)について Z_{pr} を算出した。これらの値から、各供試木において方位角による Z_{pr} の標準偏差を求めた。

なお今回、内部腐朽は考慮しなかった。

3.2 かたどり法と各種直径の円断面仮定による断面係数の比較

各供試木において高さ 130 cm で輪尺を用いて最大直径と最小直径、コンベックスを用いて周囲長を計測した。最大直径と最小直径の平均を平均直径とした。これら 3 つの直径と周囲長から算出した直径を持つ計 4 種の正円の断面係数を算出し、 Z_{pr-min} と比較した。ここで Z_{pr-min} とは各供試木で算出した 6 つの Z_{pr} から最小となる値である。樹木の危険度診断においては最小値が重要なことからこの値を比較対象にした。

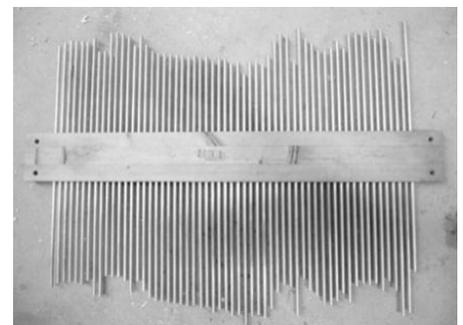


図 1 かたどりゲージ(630mm)



図 2 樹幹断面の二値画像の例

以下、最大直径の円断面仮定から算出した断面係数を Z_{c-max} 、最小直径のそれを Z_{c-min} 、平均直径のそれを Z_{c-av} 、周囲長から算出した直径のそれを Z_{pe} とする。これらの値は各直径を d とすると $\pi d^3/32$ によって求めた。

3.3 樹冠の水平投影図の取得

各供試木について、 30° ごとの 6 方向から樹冠のデジタル画像を撮影した。ただし周囲に障害物があった場合は、樹冠を撮影できる方向のうち Z_{pr} が最小となる方向から撮影した。これを遠近補正⁴⁾、二値画像を作成した。

3.4 限界風速の算出

樹木の幹折れに対する限界風速 v_{max} は以下の式で求められる。

$$v_{max} = \sqrt{\frac{2 \cdot MOR \cdot Z}{A \cdot \rho \cdot C_D \cdot L}} \quad \dots(1)$$

ここで、 v_{max} : 限界風速(m/s), MOR: 曲げ強さ(Pa), Z : 断面係数(m³), A : 樹冠の水平投影面積(m²), ρ : 空気密度(1.2kg/m³), C_b : 抗力係数, L : 樹冠が受ける風圧の中心と対象断面高さとの距離(m)

A と L の値は 3.3 で作成した画像から求めた。断面係数は樹冠を撮影した方向のうち最小となる Z_{pr} とした。なおハルニレ生材の MOR は文献値⁵⁾より求めた。また C_b は文献値^{6,7)}より 0.3 とした。

4. 試験結果と考察

4.1 かたどり法による断面係数の方向別の比較

図 3 のグラフの横軸は胸高直径、縦軸は各供試木の方位角 30° ごとに得た断面係数の変動係数である。このグラフを見ると、胸高直径が大きくなるにつれて変動係数が大きくなった。これは胸高直径が小さいうちは樹幹断面が正円に近い状態であったが、胸高直径が大きくなるにつれ、樹幹断面は正円に近いままか不整な形になっていくかで分かれるためだと考えられる。

また樹木の危険度診断において重要となる断面係数が最小になる方位角の割合は、今回の実験では 120° (東北東~西南西)が最も多くなった。しかし今回の実験では方位角と断面係数の大きさには特に関係性は認められなかった。

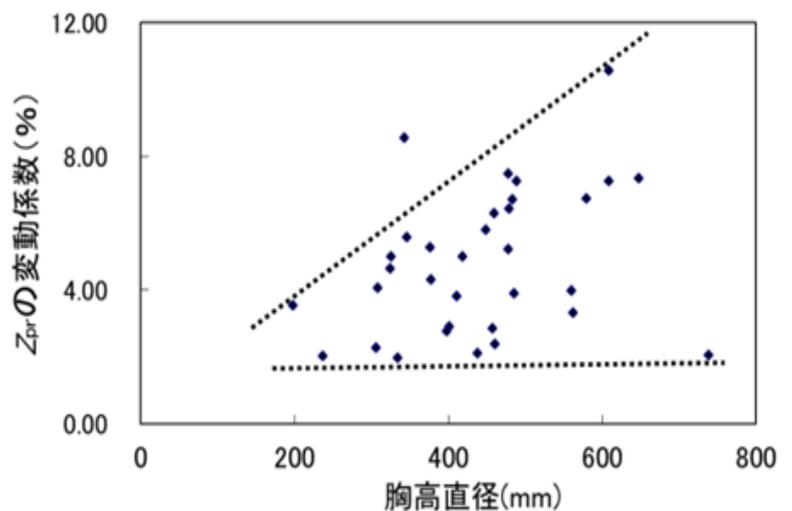


図 3 胸高直径と Z_{pr} の変動係数の関係

4.2 かたどり法と各種直径の円断面仮定による断面係数の比較

図 4 はかたどり法によって求めた各供試木の樹幹断面について計算した 6 つの断面係数の最小値 Z_{pr-min} と、各種直径の円断面仮定の断面係数 Z_{c-max} , Z_{c-min} , Z_{c-av} , Z_{pe} との比を縦軸とした図である(分母は Z_{pr-min})。ここで図を見ると平均値が 100%に近いのは最小直径、次いで平均直径の円断面仮定となった。樹木の危険度診

断においては Z_{pr-min} よりも小さい方が安全側に評価できて有用である。最小直径の円断面仮定による断面係数の平均値は93%であった。標準偏差の大きさも2番目に小さい値であり、今回設定した4つの円断面仮定においては1番有用であるといえる。

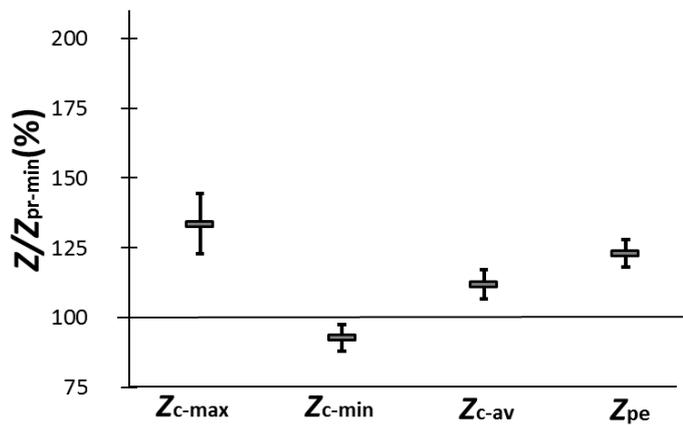


図4 Z_{pr-min} と各種直径をもつ円断面仮定の断面係数の比

図5は横軸が胸高直径で、縦軸が Z_{c-min} と Z_{pr-min} との比であり、黒丸の大きさはかたどりに法によって得た樹幹断面から求めた6つの断面係数の変動係数の大きさである。したがって100%の横線に近い黒丸は Z_{c-min} と Z_{pr-min} が近いことを示し、黒丸が大きいことは樹幹断面が正円よりいびつであったことを示している。これを見ると黒丸が大きいものほど誤差が大きい、すなわち樹幹断面がいびつなものほど Z_{c-min} と Z_{pr-min} との差が大きい。したがって正円に近い樹幹断面をもつ樹木でないと、円断面仮定による樹木の危険度診断の信頼度は小さくなることが分かった。

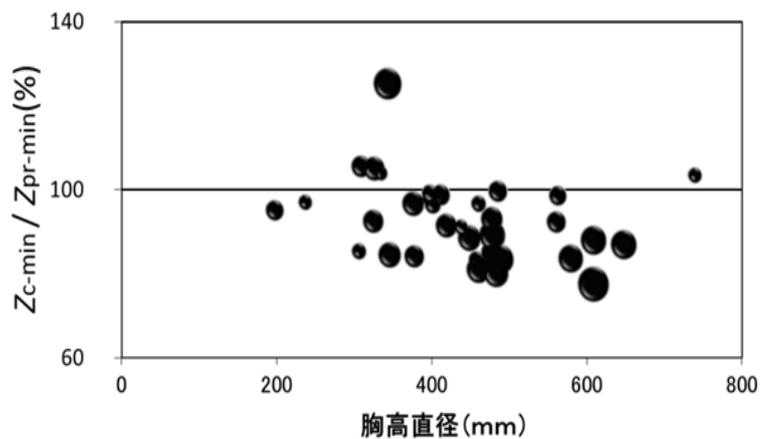


図5 樹幹断面の変動係数による円断面仮定の測定精度

4.3 ハルニレ立木のサイズと幹折れ耐力

図6は横軸が胸高直径、縦軸が限界風速の散布図である。このグラフを見ると胸高直径と限界風速はほぼ比例の関係にあるといえ、胸高直径が小さいほど限界風速も小さくなった。しかし太さの小さいものは樹高も低く、風心高が接地層に近い実際の風速は低減される。したがって細いものほど折れやすいとは言えない。また太さの大きいハルニレは心材腐朽が存在する確率が高い。これによって根元付近でのシェル座屈による幹折れが起こる可能性もあり、太さの大きいものの危険度診断では内部腐朽を計測することが重要である。

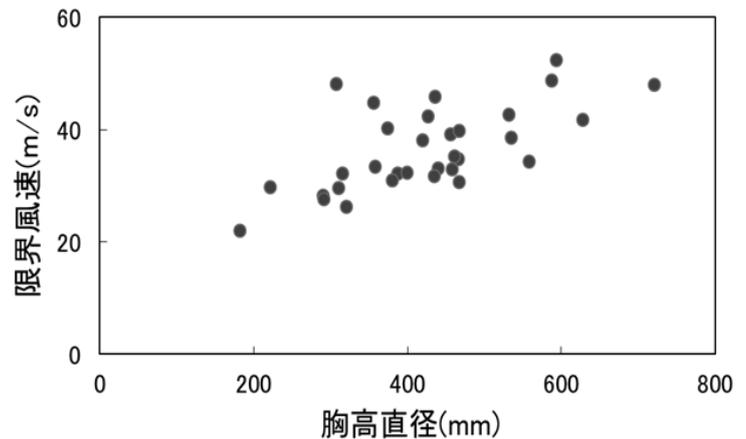


図6 胸高直径と限界風速の関係

4.4 方向別の樹冠面積と断面係数の比較

一本の立木の方向ごとの断面係数と樹冠面積には正の相関は認められなかった。しかし、どの供試木も断面

係数が小さい方角において限界風速が小さくなることはなかった。すなわち、今回の結果では、樹木の耐風性を評価するうえで断面係数の方角による違いは重要なファクターではないことが示された。また限界風速は方角によって異なる値を示したが、その差は比較的小さかった。これは供試木に樹幹断面が不整なものがあったことも影響している。

5.まとめ

1. 胸高直径が大きくなるにつれ断面係数の変動係数は大きくなった。これは樹木が小さいうちは樹幹断面の形状が不整なものが少なかったからだと考えられる。
2. 断面係数を評価するうえで、かたどり法を用いずに円断面仮定によって断面係数を評価するのであれば、最小直径を用いることが比較的正確かつ安全側に評価できる手段だといえる。ただし、不整な形状の樹幹断面をもつ立木では、 Z_{pr-min} との誤差が大きくなり25%近くであった。
3. ハルニレの幹折れに対する限界風速は樹幹径と比例の関係にあった。しかし実際の風速は接地層に近いほど低減されるため、細いものほど折れやすいとはいえない。

今後の課題として、ハルニレより幹折れしやすい樹種の評価や、実際の風速とリンクした評価も必要だと考えられる。

引用文献

- 1) Koizumi, A; Ikeda, K; Sawata, K; Hirai, T: Nondestructive measurement of cross-sectional shape of a tree trunk, *Journal of Wood Science*, 57(4), 276-281 (2011).
- 2) 福井良恵, 宮本敏澄, 小泉章夫, 玉井裕, 矢島崇: 北海道大学構内樹木の2004年台風18号による風倒被害状況および被害木中の腐朽状況, *北海道大学演習林研究報告*, 64(2), 123-129 (2007).
- 3) 小泉章夫: 生立木の非破壊試験による材質評価に関する研究, *北海道大学農学部演習林研究報告*, 44(4), 1329-1415 (1987).
- 4) 池田啓輔: 2008年度修士論文, 幹折れの危険度診断 (2008).
- 5) “Wood Hand Book” Forest Products Laboratory, USDA, Madison, 5-4 (2010).
- 6) Mayhead, GJ: Some drag coefficients for British forest tree derived from wind tunnel studies, *Agricultural Meteorology*, 12, 25-39 (1982).
- 7) Koizumi, A; Motoyama, J; Sawata, K; Sasaki, Y; Hirai, T: Evaluation of drag coefficients of poplar-tree crowns by a field test method, *Journal of Wood Science*, 56(3), 189-193 (2010).