

立木の樹幹と根株の力学的バランスを表す指標L比

誌名	日本林學會誌 = Journal of the Japanese Forestry Society
ISSN	0021485X
著者	森岡, 昇 Onwona Agyeman, S. 近藤, 稔 北川, 勝弘
巻/号	73巻5号
掲載ページ	p. 380-383
発行年月	1991年9月

短 報

立木の樹幹と根株の力学的バランスを表す指標 LT 比

森 岡 昇*・オンウォナ アジマン シアウ*・近 藤 稔*・北川勝弘*

MORIOKA, Noboru, ONWONA-AGYEMAN, Siaw, KONDO, Minoru, and KITAGAWA, Katsuhiko: **The load-height tree-height ratio (LT -ratio), an indicator of the mechanical-strength balance between the stem and roots of a standing tree** J. Jpn. For. Soc. 73: 380~383, 1991 A standing tree generally must have a strong stem and a solid root system to withstand mechanical injuries that it is likely to encounter, for example snow break and wind damage. The strength of the stem and roots, therefore, should be well-balanced as the breakage will occur in the weaker one of them. To determine the strength balance of a standing tree, the load-height tree-height (LT) ratio concept is proposed. Load height refers to the height of the lateral load which, if acting, will result a stem breakage or breakage at the roots (uprooting) having equal chances of occurring. A tree whose stem is stronger than its roots will show a large LT -ratio, and in the case of a stem weaker than its roots, the ratio will be smaller. Also discussed is the range of LT -ratios of a model sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON) tree by varying the conditions such as stem curve and diameter. LT -ratios may be useful as a standard for thinning and selective-cutting operations, that is, trees to be cut or left standing can be judged effectively by their LT -ratios.

I. はじめに

風雪害や、あるいは架線支柱として利用した立木に過大なワイヤロープ引張り荷重がかかる場合など、力学的原因に基づく立木の破壊のうち、主要なものは樹幹の破壊と根株の破壊の二つである。破壊は外部荷重に対して、樹幹と根株のどちらか弱い方にまず発生するわけであるから、強い立木の備えるべき要件は、樹幹、根株それぞれの強さが大であるとともに両者のバランスがとれていることである。最近間伐や枝打ちなどの保育作業が不十分なために、強さのバランスが崩れた森林が多くみられる。健全な森林を育成するための一つの基準として、このバランスの度合をなんらかの形で表示しておく必要がある。本研究は、樹幹と根株の力学的バランスを示す指標として、次に示す LT 比を提案するとともに、その有効性を検討したものである。

一般に単一横荷重を立木に負荷したとき、荷重点が高いときは幹折れを生じ、低いときには根返りが生ずる。したがってこの中間に樹幹と根株の両者が同じ確率で破壊を起こすような荷重点(等破壊荷重点と呼ぶ)が存在することになる(図-1)。この等破壊荷重点の高さの、樹高に対する比を LT 比 (Load-height Tree-

height ratio) と定義する。 LT 比が大きい立木は横荷重に対して根返りを起こす確率が高く、反対にこれが小さい立木は幹折れが生じやすい、といえる。

II. LT 比の求め方

樹幹や根株の破壊にはいくつかのタイプ(2)があるが、ここでは「幹折れ」と「根返り」というそれぞれを代表する破壊形態のみが生ずるものとして問題を考えることにした。すなわち、荷重によって発生した曲げ応力が樹幹の破壊応力を超えることによって幹折れが、また荷重による力のモーメントが根株の強度(最大抵抗モーメント)を超えることによって根返りが、それぞれ起きるものとして等破壊荷重点を求めた。

荷重により発生する最大曲げ応力(縁辺応力 σ の最大値) σ_M と力のモーメント M は、それぞれ荷重の大きさ F と荷重点の高さ l の関数として

$$\sigma_M = f(F, l) \quad (1)$$

$$M = g(F, l) \quad (2)$$

で表される。したがって幹折れを引き起こす F と l の組合せは、 σ_M に樹幹材料の破壊応力 σ_B を代入した(3)式で、また根返りを引き起こす F と l の組合せは、同様に根株の最大抵抗モーメント M_{RB} を用いて(4)式で与えられる。

* 名古屋大学農学部 Fac. of Agric., Nagoya Univ., Nagoya 464-01

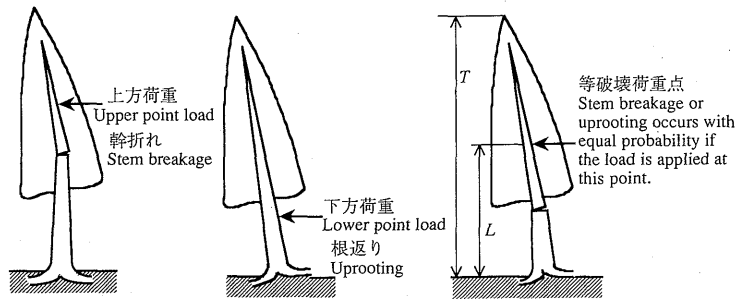


図-1. 負荷位置と破壊形態
Forms of breakage depending on the points of application of load

$$\sigma_B = f(F, l) \quad (3)$$

$$M_{RB} = g(F, l) \quad (4)$$

(3), (4)式を連立させて解けば、幹折れと根返りを同時に引き起こす等破壊荷重の大きさ (F_{EB}) とその荷重位置 (L) が計算できる。 L を樹高 T で割れば、 LT 比が得られる。

III. モデル計算による指標としての有効性の検討

LT 比が具体的にどの程度の数値を示すものか、また条件の変化に対してどのように応答するか等をモデル立木について調べ、指標としての有効性を検討した。なお、広葉樹は樹幹の分岐が著しく主幹が不明のものもあるなど取扱いが面倒なので、ここでは対象を整然とした樹形をもつ針葉樹に限った。

1. モデル立木の諸量

名古屋大学農学部附属稲武演習林内の、23年生のスギ立木の調査結果(5)に基づいて、次のようにモデル立木の諸量を定めた。曲げ破壊応力がやや大きめであるほかは、一般のスギ小径木の条件とほぼ一致していると考えられる。なお樹幹の形と材質に関する仮定は、筆者らの調査結果のほか、造林木の雪害に関する研究(3)において同様の前提のもとに好結果が得られていることも参考にして決めた。

樹高 T , 1,230(cm); 胸高直径 DBH, 9.4(cm); 底部樹幹直径 D , 10.4(cm); 樹幹形, 地上部は完全な円錐形; 樹幹の材質, どの部分も強度的に均質; 樹幹の曲げ破壊応力 σ_B , 730(kgf/cm²); 根株の強度(最大抵抗モーメント) M_{RB} , 40,700(kgf·cm); 根株の回転中心の位置 r , 地下19(cm)。

2. モデルの LT 比の計算

LT 比は次のような手順で計算を行った。簡単のため立木の重量(樹幹および枝葉の)は無視したが、必

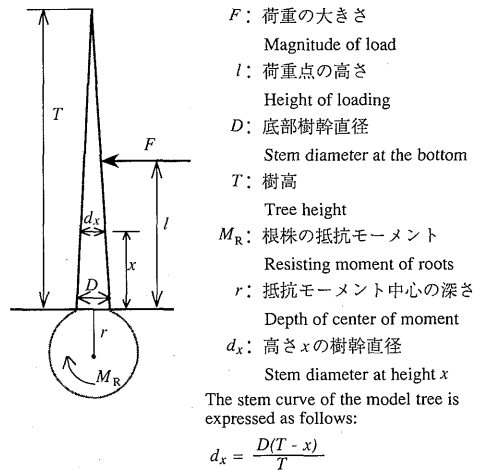


図-2. 負荷の状態と記号
Loading conditions and symbols

- F : 荷重の大きさ
Magnitude of load
 - l : 荷重点の高さ
Height of loading
 - D : 底部樹幹直径
Stem diameter at the bottom
 - T : 樹高
Tree height
 - M_R : 根株の抵抗モーメント
Resisting moment of roots
 - r : 抵抗モーメント中心の深さ
Depth of center of moment
 - d_x : 高さ x の樹幹直径
Stem diameter at height x
- The stem curve of the model tree is expressed as follows:

$$d_x = \frac{D(T-x)}{T}$$

要とあれば荷重の増加分として計算に組み入れることは可能である。

1) 荷重の負荷状況を示す記号を、図-2のように定めた。荷重を受ける地上の円錐樹幹は、地下 r に回転中心をもつ根株の抵抗モーメント M_R によって支えられるものとする。

2) まず根株は十分な強度をもち、破壊はつねに幹折れとして出現するとした場合の、荷重点位置 l と幹折れ破壊荷重の大きさ F_{SB} の関係を求めてみる。

位置 x における樹幹の断面係数 Z_x は $\pi d_x^3/32$ であり、また荷重 F によってこの断面に加えられる曲げモーメント M_x は $F(l-x)$ であるから、縁辺応力 σ は(5)式のように表される。ただし d_x は x 点の樹幹の直径で、円錐樹幹の場合その値は $D(T-x)/T$ として求められる。

$$\sigma = M_x/Z_x = 32(l-x)F/\pi d_x^3 \\ = 32T^3(l-x)F/\pi D^3(T-x)^3 \quad (5)$$

x によって σ の値は変わるから、その最大値 σ_M を求めなければならない。円錐樹幹では最大応力（縁辺応力の最大値） σ_M は、荷重が $l > T/3$ に負荷されたときは(6)式の x の位置に生じ、その大きさは(7)式で与えられる。

$$x = 3l/2 - T/2 \quad (6)$$

$$\sigma_M = 128T^3F/27\pi D^3(T-l)^2 \quad (7)$$

σ_M を樹幹の曲げ破壊応力 σ_B に等しいとおけば、荷重位置が l のときの樹幹破壊荷重の大きさ F_{SB} が得られる ((8)式)。

$$F_{SB} = \frac{27\pi D^3(T-l)^2\sigma_B}{128T^3} \quad (8)$$

なお $0 < l \leq T/3$ のときは、 σ_M はつねに樹幹最下端 ($x=0$) に生じ、その値は(9)式で示される。これより F_{SB} を求めると(10)式となる。

$$\sigma_M = 32lF/\pi D^3 \quad (9)$$

$$F_{SB} = \pi D^3\sigma_B/32l \quad (10)$$

3) 逆に樹幹が十分な強さをもち、破壊はつねに根株側に起きるものと仮定すれば、根株の強さ M_{RB} と荷重による根株回転中心まわりの力のモーメントを等しいとおいて、荷重点位置が l のときの根返り破壊荷重の大きさ F_{RB} を求めることができる ((11)式)。

$$F_{RB} = M_{RB}/(l+r) \quad (11)$$

4) $F_{SB} = F_{RB}$ において求められる l の値が、等破壊荷重点の高さ L である。すなわち(8)式と(11)式から、 $L=818$ (cm)と計算され、これを樹高で割って LT 比 0.67 が得られた。モデル立木では、樹高のちょうど $2/3$ の高さに等破壊荷重点があることがわかる。限度以上に大きな横荷重がこれより上方に加わったときには幹折れが発生し、下方に負荷されたときには根返りが生ずるものと判断される。

なお、ここでの計算には出現しなかったが、 $0 < l \leq T/3$ となる場合には、(8)式のかわりに(10)式を用いて L の計算を行うことになる。

3. 条件が変化したときの LT 比の動き

次にモデルの条件が変化したとき、 LT 比の値がどのように動くかを調べてみよう。

前項では等破壊荷重点の高さ L を求めてから LT 比を算出したが、ここでは LT 比を x ($x=L/T$) で表し、直接 x を求める式を誘導して、それに基づいて検討することにした。なお根株の回転中心の位置 r も樹高 T に比例するものとし、その比例定数を ρ ($r=\rho T$) で

表-1. 条件を変えたときの LT 比の値
Values of LT -ratios under different conditions

	樹幹の曲げ破壊応力 Breaking stress of stem			
	$0.7\sigma_B$	σ_B	$1.3\sigma_B$	
根株の最大抵抗モーメント	$0.7M_{RB}$	0.67	0.74	0.77
Maximum resisting moment of root	M_{RB}	0.57	0.67	0.72
	$1.3M_{RB}$	0.46	0.60	0.67

標準値： σ_B , Standard breaking stress (730 kgf/cm²) ;
 M_{RB} , Standard maximum resisting moment (40,700 kgf·cm).

表した。以上の関係を用い、また l に L を代入して(8)、(11)両式を等しいとおけば、(12)式が導かれる。ただし ρ の値は、モデル立木の r (19 cm) と T (1,230 cm) から計算した 0.01545 を用いることにする。

$$(1-x)^2(\rho+x) = 128M_{RB}/27\pi D^3\sigma_B \quad (12)$$

(12)式では T が消えており、 LT 比 x は樹高によらず一定の値になることがわかる。一般に樹幹の強度が高い場合は分母の σ_B が大となるから x は大きくなり、逆に根株が強い場合は分子の M_{RB} が大となって、 x は小さくなる。 σ_B および M_{RB} の値が標準モデルからそれぞれ $\pm 30\%$ ずつ異なる場合の LT 比の値を、(12)式から計算して表-1に示した。なお、ここでも LT 比が $1/3$ 以下の場合には現れなかったため、(10)式は使用しなかった。

表-1 からみられるように、 LT 比は条件の変化に敏感に応答しており、立木の強度的性質をよく反映することがわかる。

ここでモデルとした立木自体の LT 比の表す意味を考察しておこう。樹冠縦断面の重心付近に樹冠風心があるとすれば、モデル立木の風心は観測の結果、樹高のほぼ $2/3$ 付近にあると推定された。これは偶然にも LT 比と全く同じ値となっている。このことは、強風を受けたときにモデル立木には幹折れと根返りの二つの破壊形態が全く同程度に起こりうることを示している。すなわちモデルに類似した立木から構成される林分では、幹折れと根返り両方の被害がほぼ半数ずつ発生することになる。見方をかえれば、このモデル立木は幹と根の強さのバランスがよくとれており、なんらかの条件で幹と根のどちらか一方の強度が過小となれば、より小さな風速で弱い方の破壊形態ばかりが生ずることになる。

樹幹形によっても、 LT 比が変わることが予想される。樹幹形が KUNZE の幹曲線に従うときの曲げ応力については、以前から研究がなされている (1)。ここでも

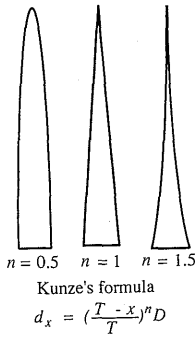


図-3. KUNZE の幹曲線
KUNZE's stem curve

KUNZE の幹曲線式を前提として検討を行った。既述の記号を用いれば、KUNZE の樹幹形は図-3 中の式で表される。 n が 1 のときが標準の円錐樹幹である。 LT 比は円錐樹幹の 0.67 に対し、 n が 0.5 のときは 0.96、また n が 1.5 のときは 0.51 となり、樹幹形に強く影響される。

最後に立木の大きさ(底部樹幹直径 D で表される)と LT 比の関係を検討した。これまでの研究から根株の強さ(抵抗モーメント)はほぼ底部樹幹直径の 3 乗に比例することが推測される(4, 6)ので、この関係($M_{RB} = \tau D^3$, τ は定数)を用いることにすると、(12)式の右辺から直径 D の項が消える。すなわち樹幹形が相似であれば、 LT 比は直径によらず一定となることを示している。これは円錐以外の樹幹形についても同様である。

IV. 結 論

LT 比は条件の変化によく応答し、また樹幹形が相似であれば立木の大きさによらずほぼ一定の値を示すなど、指標として便利な性質を備えている。丈夫な林木や森林を育成していくための一つの指標として、 LT 比が利用できるのではないかと考える。たとえば間伐や択伐の際の伐採対象木の選定の基準として、あるいは林木に対する風雪害の程度を予測する目安として、役立ちうるのではないと思われる。

なお一般の立木を対象として、 LT 比を簡便に測定または推定する方法を現在研究中である。

引用文献

- (1) ASSMANN, E.: The principles of forest yield study. 506 pp, Pergamon Press, Oxford, 1970
- (2) 後藤義明・新田隆三: 強風雪により激害を受けたスギ人工林の被害要因の解析. 日林誌 72: 406~414, 1990
- (3) MAMADA, S., KAWAMURA, Y., YASHIRO, M., and TANIGUCHI, T.: The strength of plantation sugi trees. Mokuzai Gakkaishi 30: 530~537, 1984
- (4) 森岡 昇・北川勝弘: スギ小径木の引き倒し試験の結果. 名大演報 9: 1~5, 1987
- (5) ———・李 永浩・近藤 稔・浪崎浩光: 集運材用ワイヤロープの支柱としての立木の強さ(VIII) 控索による立木アンカーの補強. 100 回日林論: 797~800, 1989
- (6) 玉手三葉寿・榎山徳治・笹沼たつ・高橋亀久松: 立木引き倒し試験. 日林誌 47: 210~213, 1965

(1991年3月25日受理)