

# 冠雪害に関する立木強度要因

富山県林業試験場

嘉戸 昭夫

## はじめに

冠雪害は樹冠に付着した積雪荷重によってひき起こされる。したがって、冠雪害の防止技術を確認するためには、基礎資料として冠雪荷重や立木強度に係わる要因を明らかにしておくことが重要である。

冠雪害に関する立木強度要因としてよく知られているものに形状比（樹高 / 胸高直径）がある。これまでの報告を総合してみると、形状比の大きい個体は小さい個体に比べて冠雪害を受けやすい傾向がある。しかし、同一林分内の形状比の等しい個体であっても、被害を受けた個体と受けない個体があること、また、被害木の形状比は林分によって異なる場合も多いことなどのために、形状比が耐雪性の指標として適当であるか否かという論議がしばしばなされてきた。

そこで、形状比が立木強度とどのように関連しているのか、また、形状比以外の立木強度要因としてどのような事項があげられるか、などについて考えてみることにする。

## 冠雪害モデルと形状比

一般に、冠雪害は冠雪による鉛直荷重と同時に、偏樹冠、風、根元曲りなどの横荷重因子との複合作用によって発生すると考えられている。これは、力学的にみると不等断面をもつ長柱の偏心圧縮としてとらえることができる（図-1）。

簡単のために、断面が一様で長さ  $l$  の長柱が  $e$  だけ偏心した圧縮荷重  $P$  を受け、先端が  $\delta$  だけ変位を生じた状態でつりあっているとす。この場合の先端のたわみ  $\delta$  は次式で示される。

$$\delta = e \left( \sec \sqrt{\frac{P}{EI}} l - 1 \right) \dots\dots ①$$

$$I = \frac{\pi}{64} d^4$$

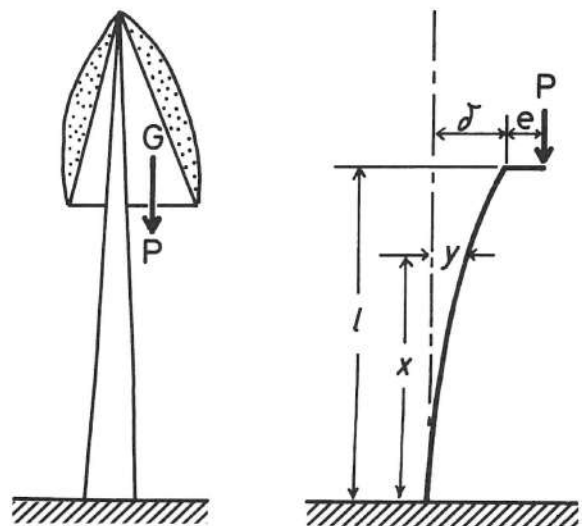


図-1 冠雪害のモデル

なお、Eはヤング率、Iは断面二次モーメント、dは直径を表わす。

このたわみ  $\delta$  と荷重Pとの関係を図示すると、図-2のようになる。たわみと荷重とは直線的な関係にはなく、偏心量eが大きいほど、同一荷重に対するたわみは大きくなる。

また、最大曲げモーメントは根元に生じ、次式のとおりとなる。

$$M_{max} = P(\delta + e) = P e \sec \sqrt{\frac{P}{EI}} \cdot \ell \text{---} \textcircled{2}$$

この式から、最大曲げモーメントは偏心量に比例して増加することが明らかである。したがって、偏樹冠が冠雪害の発生に関与する要因として重視されているのは、このようなことによるものと考えられる。

また、図-2から、荷重がある大きさに近づくとたわみは急速に増大することがわかる。この荷重の上限値は座屈荷重 ( $P_{cr}$ ) と呼ばれており、偏心が全くない場合における長柱の最大耐力に一致する。

なお、座屈とは次のような現象をいう。長柱に鉛直方向の荷重を加えると、その荷重がある大きさに達すると急に曲げモーメントによる横方向のたわみが増大して破壊する。この時の荷重を座屈荷重と呼んでいる。

ところで、樹冠着雪の発達の仕事や荷重の分布に関しては現在のところ明らかになっていないので、冠雪した立木の偏心量を求めることは難しい。そこで、偏心量についてはこの際考慮に入れないこととし、冠雪害のモデルとして立木の座屈を考えてみることにする。

ここで、円形の一様断面の長柱を想定すると、その座屈荷重  $P_{cr}$  は次式で示される。

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E I}{4 \ell^2} = \frac{\pi^3 E d^4}{256 \ell^2} \text{.....} \textcircled{3}$$

この式より、座屈荷重の値は直径の4乗とヤング率に比例して増加するとともに、長さの2乗に反比例して低下することがわかる。ただし、座屈荷重の値が増加したからといって、ただちに耐雪性が高まったとは即断できない。というのは、直径が大きくなれば、座屈荷重と同時に樹冠が大きくなるため、冠雪荷重も増加することが考えられるからである。そこで、幹の断面積に比

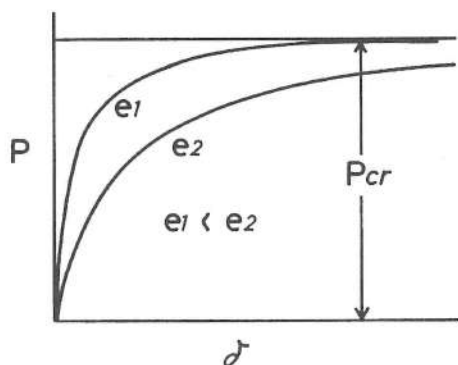


図-2 偏心圧縮荷重を受ける長柱のたわみ $\delta$ と荷重Pとの関係 (eは偏心量)

例して冠雪荷重が増えると仮定すれば、立木の耐雪性の程度を幹の単位断面積当りの耐力、すなわち、座屈応力によって表わすことができよう。例えば、相似形の立木の場合には、座屈荷重は異なるが、座屈応力 $\div$ 耐雪性は等しいことになる。

なお、座屈応力  $\sigma_{cr}$  は座屈荷重  $P_{cr}$  を幹の断面積Aで割ることによって得られる。

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 E}{4 \lambda^2} \dots\dots\dots ④$$

$$A = \frac{\pi}{4} d^2, \quad \lambda = \frac{4\ell}{d}$$

λは細長さ比とよばれ、柱の形状が細長いものほど大きい値となる。

式④から、座屈応力はヤング率に比例し、細長さ比の2乗に反比例することがわかる。仮にヤング率が一定であるとすれば、細長さ比のみを考慮すればよいことになる。

ところで、形状比は胸高直径に対する樹高の比で示されるが、これは細長さ比と本質的にはほぼ同じものとみなすことができる。一般に形状比が70以上の個体がそれ以下の個体に比べて冠雪害の発生頻度が高い傾向がみられるのもこうした理由によるものと考えられる。

### 形状比以外の要因

つぎに、冠雪害の発生に関与する形状比以外の立木強度要因について検討してみよう。

座屈荷重および座屈応力は、式③、④より、ヤング率に比例する。したがって、ヤング率に応じて耐雪性も異なることが考えられるので、個体や品種によってヤング率がどの程度変動するものか把握しておく必要がある。現在のところ、これらに関する報告は少ないが、一例として14年生のタテヤマスギ、ボカスギ、マシヤマスギ林分の結果を紹介しておこう。各品種についてそれぞれ11本ずつ伐採し、実験室において測定した生丸太のヤング率の値を表-1に示した。この結果では、ヤング率の平均値についてみると、品種間に統計的に有意な差異が認められた。また、各品種とも最小値と最大値には2倍以上の開きがあることがわかった。したがって、耐雪性におよぼすヤング率の影響も大きいものと考えられる。

表-1 スギ生丸太のヤング率(14年生)

品 種	ヤング率 (ton/cm <sup>2</sup> )		
	最小	平均	最大
タテヤマスギ	19	31	47
ボカスギ	18	26	35
マシヤマスギ	26	40	72

先に示したモデルでは、断面が一様な場合を想定したが、実際の立木の場合には幹の細りも考慮することが必要である。表-2に胸高直径、樹高が等しいが幹の細りが異なるA、B、Cの三個体の座屈荷重を示した。なお、ヤング率はいずれも30ton/cm<sup>2</sup>とし、座屈荷重はニューマーク法によって近似した。この結果から、幹の細りの程度によって座屈荷重が大きく異なることがわかる。幹の細りは、林齢、立木密度などによって

表-2 幹の細りによる座屈荷重の差異

個体	高さ (m)	0.0	1.3	2.6	3.9	5.2	6.5	7.8	9.1	10.4	座屈荷重(kg)
A	直径 (cm)	21.6	20.0	17.6	15.2	13.0	11.4	10.0	9.0	6.2	134
B		31.8	20.0	16.4	15.0	14.2	13.4	11.8	10.2	8.2	191
C		33.8	20.0	18.8	17.2	16.6	15.4	13.8	11.8	9.0	320

ただし、ヤング率はいずれも30ton/cm<sup>2</sup>とした。

異なることが知られており、立木強度に係わる重要な要因と考えられる。

## おわりに

これまでは、冠雪害に係わる立木強度要因として、測定が容易であるなどの理由から形状比を取りあげることが多かったが、今後はヤング率や幹の細りなどの要因もあわせて考慮することが必要であろう。

また、今回は冠雪荷重については検討しなかったが、同じ幹形を示す立木であっても、着雪の仕方によっては冠雪荷重の重心が異なる場合もあるだろう。この場合には、式③、④の長さ $l$ が変わり、その結果、立木強度も変化することになる。したがって、今後は冠雪の発達仕方や冠雪荷重などに関するデータを得ることが大変重要である。

