

# 《 富 山 県 》

## 根系の支持力が立木の耐力に及ぼす影響

富山県林業技術センター

嘉戸昭夫・中谷 浩・平 英彰

### I はじめに

昭和60年12月に富山県の西部に位置する氷見市や高岡市を中心に冠雪害が発生した。この地域はボカスギ林が多く、これまでも何度となく冠雪害を受けているが、とりわけ今回の被害は大きいとのことである。なかには樹高が34m、胸高直径が60cmもの大木が根返りしていたり、樹高が30mで胸高直径が42cmの木が22cmの太さの部位で折損しているものも認められた。

筆者らはこのような被害がどの程度の冠雪荷重を受けた場合に発生するのかを明らかにしようと、立木の荷重試験を行ってきた。その結果、立木の耐力は樹幹形、材の強度的性質および根系の支持力から求められることがわかった<sup>1)</sup>。この三つの要因のうち、樹幹形や材の強度的性質については冠雪害との関連でしばしば論議されている。しかし、根系の支持力については根返りや傾幹と密接な関係があると予想されるのにもかかわらず、取り上げられることがすくない。

そこで、根系の支持力の林分による差異および根系の支持力が立木の耐力におよぼす影響などについて検討を行った。この結果については日林誌に投稿中であるが、ここではその概要について述べることにする。

### II 材料と方法

根系の支持力に関する調査を富山県内の5箇所のスギ林(頼成、吉峰、北屋敷、荒館、座主坊)で行った。各調査地の概要は表-1に示すとおりである。根系の支持力を測定したあと立木を伐倒して樹幹形(樹高、胸高直径、細り)、材の強度的性質(曲げヤング率)などを測定した。

表-1. 調査地の概要

調 査 地	頼 成	吉 峰	北 屋 敷	荒 館	座 主 坊
立木本数(本/ha)	2,000	1,500	1,900	1,100	1,600
林 齢 (年)	14	16	18	25	28
供 試 木 数	30	15	10	37	15
平均樹高(m)	9.0	10.7	10.2	19.7	10.8
平均胸高直径(cm)	16.7	16.6	15.0	26.6	15.9
平均根元直径(cm)	21.3	22.8	19.7	36.4	29.4
平均細り係数*(cm/m)	1.87	1.22	1.28	0.89	1.25
平均ヤング率(ton/cm <sup>2</sup> )	32.4	55.8	22.6	49.1	72.1
$\mu$ (10 <sup>-7</sup> rad/kg·cm)	18.68	4.69	31.99	1.01	6.71

\*根元からの高さ x (m) とその部位の直径 y (cm) との直線回帰式を求め、その傾きを細り係数とした。

つぎに、根系の支持力の測定方法について述べる。立木が冠雪荷重を受けると、根元部は根系の発達状態や土壌条件などによって固定条件とはならず回転を生ずる場合がある。根元の回転角 $\theta$ が根元に加わるモーメント $M_0$ に比例すると仮定し、根元の回転係数を $\mu$ とおくと次式が得られる。

$$\theta = \mu M_0 \quad (1)$$

$\mu$ は単位モーメント当りの根元の回転角をあらわすので、この値が小さいほど根系の支持力が大きいといえる。そこで、 $\mu$ を根系の支持力を示す指数として用いることにした。

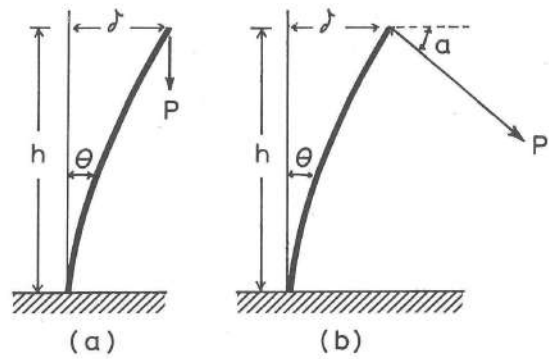
根系の支持力の調査をa、bの二つの方法で行った(図-1)。aは実際の冠雪害を想定して、立木に鉛直な荷重を加える方法で、頼成、吉峰、座主坊の3箇所を実施した。詳細については既報<sup>1)</sup>に述べたとおりで、樹高の5~8割の部位にワイヤーを取り付けチルホールで徐々に鉛直荷重 $P$ を加え、随時、 $P$ と荷重点の水平変位 $\delta$ および根元の回転角 $\theta$ を測定した。この場合の根元のモーメント $M_0$ は次式で示される。

$$M_0 = P \delta \quad (2)$$

bは高さ2~2.5mの部位に徐々に傾斜荷重を加え、その荷重と根元の回転角 $\theta$ を測定する方法で、北屋敷と荒館で実施した。この方法では、立木の変形にともなってワイヤーの傾斜角度も変化するため、ワイヤーの傾斜角度 $\alpha$ と荷重点の水平変位 $\delta$ もあわせて測定した。この場合の根元に加わるモーメントは、傾斜荷重を $P$ 、荷重点の高さを $h$ 、ワイヤーの傾斜角を $\alpha$ とすると、次式で示される。

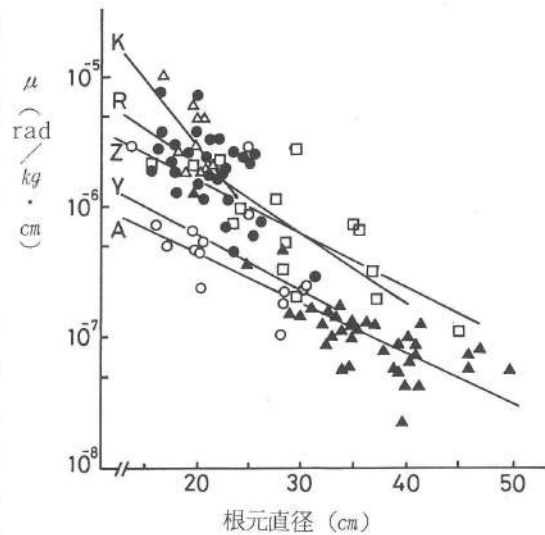
$$M_0 = P (h \cos \alpha + \delta \sin \alpha) \quad (3)$$

以上の方法で実験したところ、 $M_0$ が比較的小さいときには、 $\theta$ は $M_0$ の増加にともなって直線的に大きくなる傾向を示す<sup>1)</sup>。そこで $\theta$ と $M_0$ との間に最小二乗法を適用して直線回帰式を求め、その式の傾きを $\mu$ とした。



- P : 荷重  
 $\theta$  : 根元の回転角  
h : 荷重点高  
 $\delta$  : 荷重点の水平変位  
 $\alpha$  : ワイヤーの傾斜角度

図-1. 根系の支持力の測定方法



- R : 頼成  $\log \mu = -4.57 - 0.0544 D_0$ ,  $r = -0.608$   
○ Y : 吉峰  $\log \mu = -5.33 - 0.0438 D_0$ ,  $r = -0.582$   
△ K : 北屋敷  $\log \mu = -3.44 - 0.1041 D_0$ ,  $r = -0.559$   
▲ A : 荒館  $\log \mu = -5.59 - 0.0386 D_0$ ,  $r = -0.759$   
□ Z : 座主坊  $\log \mu = -4.95 - 0.0416 D_0$ ,  $r = -0.758$

図-2. 根元の回転係数 $\mu$ の林分間差異

### Ⅲ 根系の支持力の差異

根系の支持力は立木の大きさと関係があることが予想されるので、林分による差異を検討する場合には立木の大きさを考慮する必要がある。ここでは立木の大きさを根元直径  $D_0$  であらわすこととし、これと根元の回転係数  $\mu$  との関係を図-2に示した。その結果によると、各調査地とも  $\mu$  は  $D_0$  が大きいほど小さい傾向を示すことから、径級に伴って根系の支持力が増大するといえるが、調査地によって根系の支持力にかなりの差異があることがわかった。この原因については今後の検討課題である。

### Ⅳ 根系の支持力が立木の耐力に及ぼす影響

鉛直荷重に対する立木の最大耐力は、座屈荷重から推定できる。立木を截頭円錐体とみなした場合の座屈荷重 ( $P_{cr}$ ) は、次式から求められる<sup>1)</sup>。

$$P_{cr} = \alpha^2 \cdot \gamma^2 \cdot E \cdot I_0 / L \quad (4)$$

なお、 $\gamma$  は次式を満足する場合の値である。

$$\frac{\tan \gamma}{\gamma} = - \frac{1}{\beta/\alpha - \mu K_0 \alpha \gamma^2}$$

$\alpha$  : 細り比 (根元直径  $D_0$  に対する荷重点直径  $D_L$  の比)

$\beta$  :  $1 - \alpha$

$E$  : 曲げヤング率

$I_0$  : 根元の断面二次モーメント ( $D_0^4 \cdot \pi / 64$ )

$L$  : 荷重点高

$\mu$  : 根元の回転係数

ここでは、根系の支持力 ( $\mu$ ) が座屈荷重に及ぼす影響について (4) 式を用いて検討する。

図-3 は一例として生育段階の異なる二箇所の調査地、北屋敷と荒館における立木の座屈荷重  $P_{cr}$  と

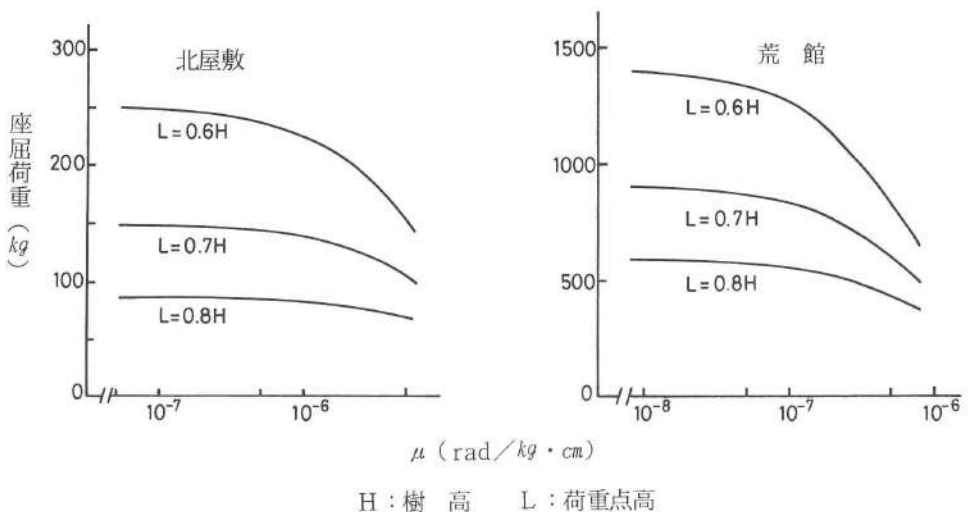


図-3. 立木の座屈荷重に及ぼす根元の回転係数  $\mu$  の影響

根元の回転係数 $\mu$ の関係を荷重点の高さ別に示したものである。なお、この図のPcrは(4)式に表-1.1の値を代入して算出したものである。この結果によると、立木の耐力は、根系の支持力の低下( $\mu$ の増加)にともなって急激に低下し、このような傾向は荷重点が低いほど顕著である。したがって、立木の耐力は冠雪荷重が先端に集中する場合には根系の支持力の影響をあまり受けないが、冠雪荷重が樹幹の下部に作用する場合には大きな影響を受けるものと考えられる。

つぎに、立木の耐力が根系の支持力を考慮した場合としない場合とでどの程度異なるものか検討した。立木の耐力を算出するにあたって、冠雪荷重の重心高を求める必要がある。北屋敷と荒館においてそれぞれ8本の供試木を選び、層厚1mとして葉の垂直分布を調べた結果、樹高に対する樹冠の重心高は北屋敷が6割で、荒館が8割であった。そこで、樹冠の重心を冠雪荷重の重心すなわち北屋敷を $L=0.6H$ 、荒館を $L=0.8H$ と仮定して、それぞれのPcrを計算した。その結果、荒館のPcrは $\mu$ が0の場合に589kg、 $\mu$ が林分の平均値 $1.04 \times 10^{-7}$ の場合には553kgであった。後者の値は前者のそれより6%低下したにすぎないことから、この調査地の耐力は根元が回転しないものと見なしても大差がないようであった。一方、北屋敷のPcrは $\mu$ が0の場合に257kg、 $\mu$ が林分の平均値 $31.99 \times 10^{-7}$ の場合には184kgとなり、後者の値は前者のそれより28%低い値を示した。したがって、この調査地では根系の支持力の影響を受けて、立木の耐力が実際にはかなり低下させられていると考えられた。以上のことから、一般に若い林ほど $\mu$ 値が大きくかつ荷重点が低い傾向があるので、冠雪荷重に対する立木の耐力は根系の支持力の影響を受けやすいものと考えられる。

## Ⅴ 根返りモーメント

冠雪害には、根返りや傾幹など根系の支持力に起因する被害形態がある。これは立木が冠雪荷重を受けて変形していく過程において、樹幹に生じる応力が曲げ破壊応力に達するまえに、根元に加わるモーメントが、根返りに要するモーメントを越えるときに発生する現象である。

そこで、鉛直荷重試験を行って根元の回転係数を測定したあとで、折損した立木を対象に高さ2.5mの部位に傾斜荷重を加えて根返りさせ、この時のモーメントを測定して根返りモーメント $M_r$ とした。なお、 $M_r$ は頼成と座主坊の二箇所測定し、その計算には(3)式を用いた。

このような方法で求めた根返りモーメントも根元の回転係数と同様に根系の支持力を表わす指標の一つであると考えられる。そこで、両者の関係を検討した結果、 $\log M_r$ と $\log \mu$ の間には高い負の相関があり、立木が冠雪荷重を受けて変形していく過程においてその初期に根系の支持力の大きいものは、根返りもしにくいことがわかった。したがって、根返りモーメントは立木を転倒させなくても根元の回転係数から推定できることがわかった。(図-4.)

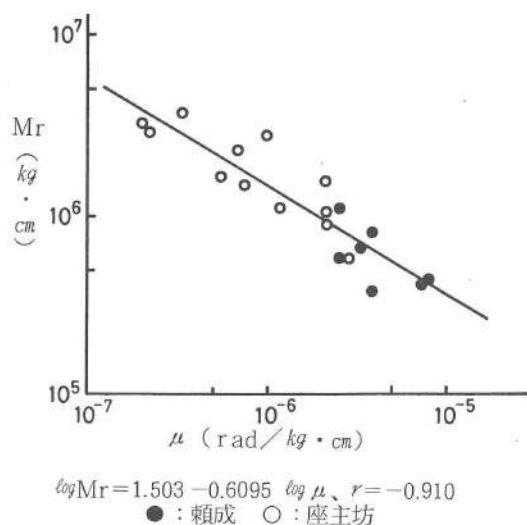


図-4. 根元の回転係数 $\mu$ と根返りモーメントとの関係

## Ⅶ ま と め

根系の支持力が冠雪下における立木の耐力に及ぼす影響について検討した結果の概要は次のとおりである。

- ① 根系の支持力は林分による差異が大きい。
- ② 根系の支持力が冠雪下の立木の耐力に及ぼす影響は荷重点が高い場合に小さく、低いほど大きい。
- ③ 生育段階の若い林ほど $\mu$ 値が大きいかつ荷重点が低い傾向があるので、立木の耐力は根系の支持力の影響を受けやすい。
- ④ 根返りモーメントは根元の回転係数から推定できる。

## Ⅶ 引用文献

- 1) 中谷 浩・嘉戸昭夫・平 英彰・飯島泰男・沢田 稔：スギ造林木の冠雪荷重による樹幹の変形と耐力・木材学会誌 30：886～893、1984