

スギ小径木の引き倒し試験の結果

森 岡 昇[※]・北 川 勝 弘[※]Results of the pulling down test of small
SUGI (*Cryptomeria japonica*) treesNoboru MORIOKA[※] and Katsuhiko KITAGAWA[※]

スギ小径木14本の引き倒し試験を実施し、モーメントと幹の傾きの関係を求めた。径級が大きくなるにつれ、傾きが比較的小さな段階でモーメントが最大に達するとともに、最大値を越えたあと根株支持力が急速に衰える傾向が見受けられた。また径級が大きな木では、いったん幹が傾いた場合、立木の自重自体による転倒モーメントが無視できない大きさになることがわかった。

Small standing trees are often used for the spar or anchor of logging cable way especially in thinning operation. It is necessary to know the strength and rigidity of standing trees beforehand for safe setting of the cable way.

For this purpose we carried out the pulling down test of small sugi (*Cryptomeria japonica*) trees and obtained the relation between moment of pulling force and stem inclination.

- 1) The magnitude of moment of pulling force about point O can be calculated by formula (1).
- 2) The moment reaches the maximum where stem inclination is about 10 degrees.
- 3) The maximum moment is approximately proportional to the cube of D.B.H.
- 4) In case of larger tree the moment decreases rapidly after passing its peak. On the other hand, the moment of small tree keeps rather high value at larger inclination angle.

キーワード：立木支柱，根株の強度，引き倒し試験，架線集材

I. まえがき

間伐材を集材するための簡易な集材架線やモノレールにおいて、支柱あるいはアンカー用として、比較的小径の生立木が利用されることが多い。集材作業の安全と、また支柱などに使用される立木自体の保護を図るためには、生体としての立木の強さを測定し、検討しておくことが必要と考えられる。

前報において、稲武演習林のスギ小径木を対象として立木の一定の高さに水平方向の力を加える実験を行い、立木を傷めない範囲での負荷可能な許容最大モーメントと胸高直径の関係を明かにした⁽²⁾。集運材用ワイヤロープの支柱やアンカーとして立木を利用する際には、当然この許容最大

モーメントが負荷の基準となるが、不測の大きな荷重がかかることを考慮して、立木が完全に破壊されるまでの過程と最大モーメントの大きさを調べておくことも、安全の見地からは大切なことと思われる。

本報告は前報とほぼ同条件の材料と方法により、立木を完全に引き倒すまで実験を継続して、モーメントと立木の傾きの関係の推移を追ったものである。

II. 材料と方法

1. 実験材料

実験材料は前報⁽²⁾と同様、稲武演習林内のスギ人工林の立木14本で、樹齢は18～27年、胸高直

[※]名古屋大学農学部 School of Agriculture, Nagoya University, Chikusa-ku, Nagoya 464

径は6~21cmであった。林地は沢沿いにあり、平均傾斜は約10°であった。なお当日または前日に降雨があったときには、実験を行わなかった。

2. 実験方法

図-1のように実験木の高さ約200cmの位置にロープを掛け、チルホールで傾斜線に垂直な方向(等高線方向)にけん引した。幹の傾きが増したとき樹冠が隣接木に触れるのを避けるため、あらかじめ荷重点の20cmほど上方で実験木の上部樹幹を切除しておいた。

幹の傾き θ (deg) は根際の樹幹に設置した10°読みの傾斜計で測定し、荷重の大きさはロープ張力 F (kg) をひずみゲージ式張力計で測定して求めた。さらにロープのけん引方向 α (deg)、荷重点の水平変位 i (cm)などを計測した。また h (cm) は荷重点の位置、 m (cm) はモーメント中心の位置であり、いずれも根と幹の境(O点)を基準として測った。なお図中の θ' (deg) は荷重点とモーメント中心を結ぶ線の傾きで、 h 、 m および i から計算することができる。幹にたわみがあるときは、 θ' は θ よりもやや大きな値になる。参考までに荷重点の1/2の高さにおける幹のたわみ量も計測しておいた(データは省略)。

測定は傾角0°のときから始めて12°までは2°刻みで、15°から45°までは5°刻みで実施した。すなわち、チルホールで幹の傾きが予定の傾角になるまでけん引していったん止め、その時点での各因子の値を計測したのである。

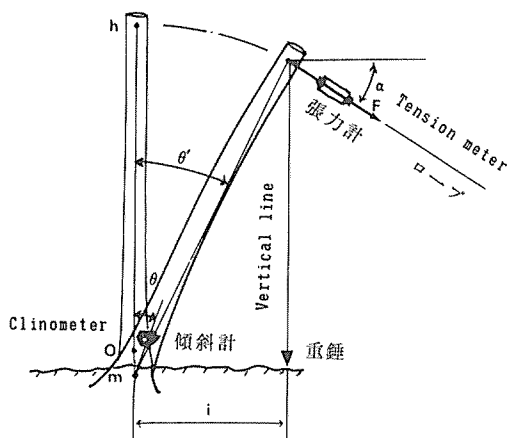


図-1. 試験方法

Fig. 1. Method of pulling down test

III. 結果と考察

1. モーメントの計算

傾角が θ のときのモーメント M (kg·m) は、次式により計算できる。(記号は図-1参照)。

$$M = F \cos(\alpha - \theta') \times (h - m) / 100 \quad (1)$$

たわみが大きい小径木においても、荷重点とモーメント中心間の距離 $h - m$ は負荷前後でほとんど変わらないので、 $\theta' = \sin^{-1} \{ i / (h - m) \}$ として算出した。また m は実験木の胸高直径 D (cm) を前報⁽²⁾ で求めた式 $m = -1.822 D^{1.094}$ に代入して推定した。 m に推定値を用いたのは、個々の実験木について実験中に直接 m を測定することが難しかったことと、本実験においては荷重点が十分に高いために、 m に多少の推定誤差があったとしてもモーメント計算に大きな影響はないと判断したためである。

2. モーメントによる傾角の変化

全14本の実験木について、モーメントを漸次増加していったときの、幹の傾角の変化を示したのが図-2である。図中の数字は実験木の胸高直径を表わす。

負荷開始当初は立木はモーメントの増加に耐えて傾角の変化も僅かでしかないが、さらにモーメントが増すにつれて傾きは次第に速度を速め、傾角10°前後でほぼ極限に達する。根の切れる音が聞こえ始めるのもこの10°付近であり、この時点で根系が破壊されるものと考えられる。モーメントもこの辺りでほぼ最大値に達する。

さらに荷重をかけ続けたとき、モーメントが急激に減少してしまう場合と、モーメントはほぼ最大値を維持しつつ傾角のみ増加していく場合がある。前者は径級が大きな木に多く、後者は径級が小さな木に多い。大きな木になるほど剛直であるが、一面もろいといえよう。

3. 最大モーメントと傾角4°のモーメント

前報で傾角が4°のときのモーメントを立木に負荷し得る許容最大モーメントと考えた⁽²⁾。この傾角4°のモーメント M_4 (kg·m) と破壊最大モーメント M_{BM} (kg·m) を比較したのが、図-3および図-4である。

図-3のように M_{BM} 、 M_4 とも胸高直径のほぼ

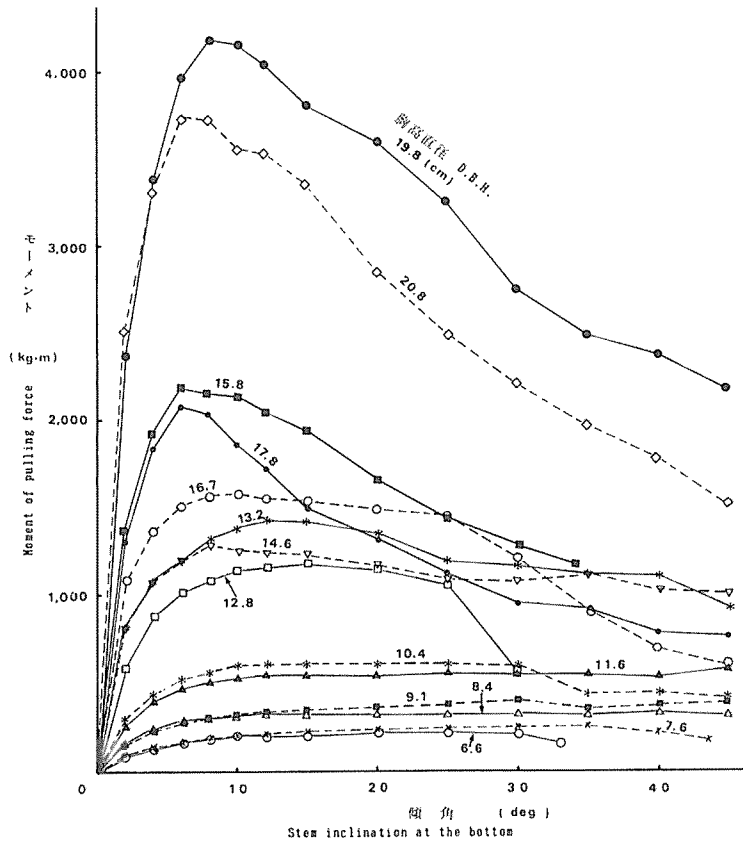


図-2. モーメントと傾角の関係
Fig. 2. Relations between moment of pulling force and stem inclination

3乗に比例しており、これは既往の研究結果^(1,2)と一致している。ただ胸高直径が大きくなるにつれて M_A が次第に M_{BM} に近づく傾向が見受けられるが、これは M_{BM} を生ずる傾角が径級が大になるにつれて次第に小さな方に移動していることも関連があるであろう。

本実験の結果は、6～21cmの径級範囲では前報どおり M_A を許容最大モーメントとみなしても差し支えないが、より径級が大きな立木については最大モーメントと許容最大モーメントの関係についてさらに検討を加える必要があることを示唆している。

4. 立木の自重の影響

傾きが大きくなると立木の自重自体によるモーメントが無視できない。いま幹にたわみがないも

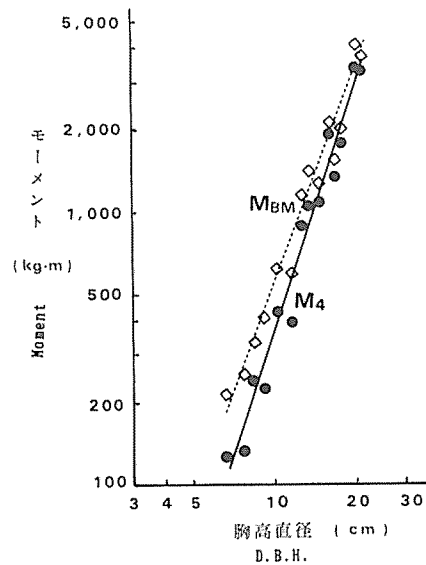


図-3. 破壊最大モーメント M_{BM} と傾角 4° のモーメント M_4 の比較
Fig. 3. Comparison of the breaking moment M_{BM} with M_4 , the moment at 4° inclination

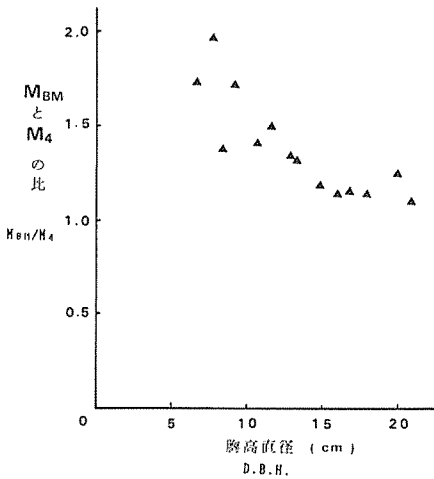


図-4. 胸高直径と M_{BM}/M_A の関係
Fig. 4. Relation between D.B.H. and M_{BM}/M_A

のとすれば、立木が θ だけ傾いたときに幹および枝葉が根株に与えるモーメント M_W ($\text{kg}\cdot\text{m}$) は、幹および枝葉の全重量 W (kg)、その重心位置 S (m) そしてモーメント中心位置 m などから、次式によって計算することができる。

$$M_W = W(S - m/100) \sin \theta \quad (2)$$

一例を挙げれば実験木の一つである胸高直径 15.8cm の立木は、根と幹の境から上方の部分の全長（樹高とみてよい）が 15.72m、枝葉および幹の全重が 153.3kg（幹のみでは 124.3kg）、重心の位置が下から 6.62m であり、 m の値は -37cm と推定された。この立木が隣接木に妨げられることなく自由に 30° 傾いたものとすれば、立木の自重が根株に与えるモーメントは (2) 式から $540\text{kg}\cdot\text{m}$ と計算される。

荷重点より上部を取り去って行った引き倒し実験においては、この立木を 30° 傾けるのに必要なモーメントは $1,290\text{kg}\cdot\text{m}$ であった。また荷重点以下の残存幹部の重量がもたらす傾角 30° 時のモーメントは、 $18\text{kg}\cdot\text{m}$ と計算された。したがって枝葉を付けたままの状態では、この立木が支え得る外部モーメントは差し引き $768\text{kg}\cdot\text{m}$ ($=1,290 + 18 - 540$) と実験値の 60% でしかない勘定になる。

このようにいったん立木が大きく傾いてしまうと、僅かの外部モーメントによっても倒伏しやすくなるので注意を要する。

5. 破壊の態様について

幹が根際から 50cm ほど上部にわたって裂けてしまったもの 1 本と、けん引方向の反対側において幹から太い側根にかけて割れが生じたもの 1 本を除けば、あとはすべて地下の根系部において破壊が起った模様である。表面から観察したところでは、けん引方向の反対側で根鉢が持ち上がる根返りの状態となるケースが最も多かったが、その程度は根鉢が完全に浮き上がってしまうものから地表面がいくらか隆起するにとどまるものまで、様々であった。逆にけん引方向側の根株が地中にめりこむような例も二つほどあった。

なお前述のように、傾きが 10° 近くになると根が切れる音がし始めるが、どの部分の根が切れるのか、あるいは切れるのではなくて裂けるのかなどは、今回の実験ではわからなかった。根を掘り起こして切断箇所を調べるなどして、破壊のメカニズムを探究することも必要であろう。

幹のたわみは、前記の幹が破壊されたもの 2 本を除き、負荷を解除したあとは直ちに旧に復することが観察された。

IV. まとめ

スギ小径木の引き倒し試験を実施したところ、モーメントと幹の傾きの関係曲線は、立木によって、それも主として径級によってかなり形状が異なるという結果が得られた。やや大きめの立木では、傾きが比較的小さな段階で早めにモーメントが最大に達するとともに、モーメントが最大値を越えたあとは根株の支持力が急速に衰える傾向が見受けられた。なお最大モーメントは、既往の研究結果と同じくほぼ胸高直径の 3 乗に比例することが確かめられた。

立木の自重から生ずるモーメントは、傾きが強くなると無視できない大きさとなる。特に径級が大きな立木では、傾角の増大とともにモーメントに対する抵抗力が急減することとあいまって一層転倒が加速されやすく、注意を要する。

今回は表面に現われた測定値のみに基づいてモーメントと傾角の関係を検討したのであるが、今後はさらに進めて、どのような仕組みで根系が破壊され、モーメントに対する抵抗力が失われていくのか、具体的にそのメカニズムを明らかにして測定値を裏付けることが必要だと思われる。

引用文献

- (1) 荻住 昇：樹木根系図説。104-106, 誠文堂新光社, 東京, 1979
- (2) 森岡 昇：集運材用ワイヤロープの支柱としての立木の強さ(Ⅲ) 横荷重による力のモーメントと幹の傾きの関係 —スギ小径木の場合—。日林誌66：160-163, 1984