

集運材用ワイヤロープの支柱としての立木の強さ(6)

誌名	日本林學會誌 = Journal of the Japanese Forestry Society
ISSN	0021485X
著者	森岡, 昇 藤野, 繁春 安達, 久章
巻/号	71巻4号
掲載ページ	p. 155-159
発行年月	1989年4月

短 報

集運材用ワイヤロープの支柱としての立木の強さ (VI)
引抜きに対する細根の抵抗力*

森岡 昇**・藤野繁春***・安達久章**

I. はじめに

立木を引倒したり、根株を引抜くような外力が加わった場合、根系を構成する個々の根はすぐには切れず、伸びたり変形したりしながら、しばらくは外力に抵抗するものと考えられる。そしてこれらの個々の根の抵抗力の総和として根系の支持力が生まれるものと思われる。

このような観点から、既往の引抜き試験の方法(1, 3)に、引抜き荷重をかけたときの根の変位の測定や、切断部位の計測などを付加した方法で試験を行ったので、その結果を報告する。

II. 材料と方法

1. 試験材料

これまでに継続してきた研究結果と対比させるために、材料は前報(2)と同じく名古屋大学稲武演習林内のスギ小径木の根系とした。すなわち12年生の胸高直径6~10 cmのスギ立木6本を伐倒して、その根株から計25本の根を選びこれを試験の対象とした。林地の土壌型はB_cで、A層の厚さは約8 cm、基岩は1 m以下の深さにあり、根は比較的自由に伸長、発達しているように見受けられた。試験対象とした根が主として分布するB層の深さ30~50 cmの土壌の調査結果は次のとおりである。砂質土に近い細粒土；粒径2 mm以上5.2%，2~0.074 mm 37.6%，0.074 mm以下57.2%；自然状態での単位体積当り重量1.23 g/cm³；含水比1.18；コーンペネトロメータで測定したコーン指数4.7 kg/cm²。

2. 現地試験およびビデオテープ解析の方法

試験方法はほぼ塚本らのそれ(1, 3)に準じたが、ビデオ撮影機を併用して、引抜き荷重のほかに荷重によってもたらされる根の変位をも併せて測定することにした。変位計の使用も考えたが、足場の悪い林地内で

は変位計の取り付けと固定に困難があるため、ビデオ撮影機による方法を採用することにした。

すなわち図-1のように引抜き方向に垂直で、2 mほど離れた地盤堅固な点にビデオ撮影機を設置し、引抜かれていく根の動きを映像として、またストレインメータ指示計に刻々表示される荷重の大きさを読み上げてこれを音声として、同時にテープに収録した。撮影機は引抜く根が変わるたびに設置しなおし、被写体である根と撮影機間の距離や撮影機のレンズのピントとズームの位置などの撮影条件を正確に記録した。なお今回は曲がりの大きな根がなかったため、根の伸びる方向と引抜き方向の間に、ずれはほとんど生じなかった。

試験を収録したビデオテープの解析は次の手順によった。まず実験室の壁に単位長5 cmの格子を作って被写体とし、各回の引抜き試験と完全に同じ撮影条件を再設定して撮影を行った。次にこのテープを再生して、ブラウン管上に映し出される格子の寸法を計測し、実長に対する画面拡大率(0.5~1.5倍の範囲にあった。画面の縦と横ではいくらか値が異なる)を求めた。

以上の準備のあとで、試験収録テープを再生した。音声で荷重が示されるたびに、その瞬間のブラウン管

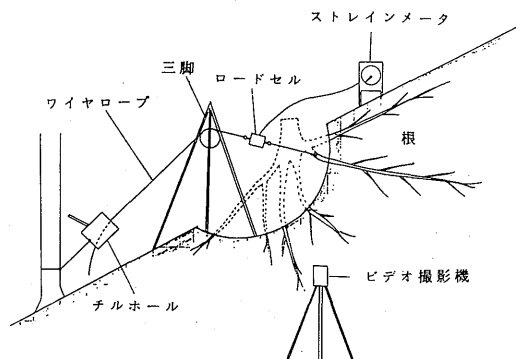


図-1. 引抜き試験の状況

* Noboru MORIOKA, Shigeharu FUJINO, and Hisaaki ADACHI: Strength of standing trees for logging cable support (VI) Pulling strength of small roots

本研究は、第99回日本林学会大会(1988)において発表した。

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

*** 愛知県設業事務所 Aichi Pref. Gov. Shitara Off., Shitara-cho 441-23

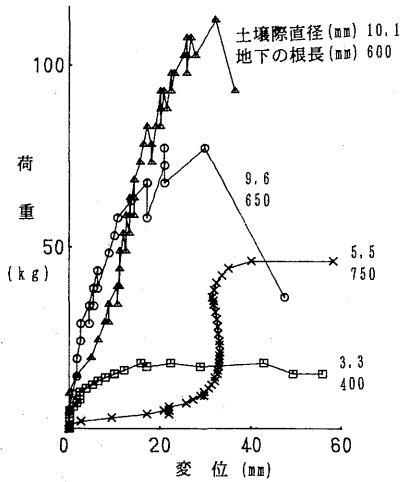


図-2. 荷重-変位曲線の測定例 (立木III)

上の根の目印の位置をマークしておき、あとから各マーク点の水平および垂直位置を一括して計測(0.1 mm 単位)した。パーソナルコンピュータに縦、横の画面拡大率を読み込ませたあと、次々と変化していく [荷重の大きさ、マーク点の水平位置と垂直位置] のデータを順次入力していけば、荷重に対する引抜き変位の関係図が得られる。図-2 はその一例である。

なお引抜いた根は乾燥によって変化しないように、水分をいくらか含ませたうえで密封して実験室に持ち帰り、できるだけ速やかに各部の寸法測定や切断箇所の計測を行った。切断したと認められる部分はすべて切断部の直径を2方向で測り、断面積を算出した。

III. 結果と考察

引抜き試験によって得られた主要結果を表-1 に示す。

表-1. 主要測定結果一覧表

根の No.	根の土壤 際直径 (mm)	土壤際断 面積 (mm ²)	切断した 根の本数	切断部断 面積合計 (mm ²)	引抜いた 根の長さ (mm)	引抜き 角度 (deg)	引抜き最 大荷重 (kg)	最大荷重 時変位 S _m (mm)	破壊時変 位 S _b (mm)
1	4.2	13.5	14	12.1	290	—	31	18.0	30.3
2	2.3	4.2	10	1.0	240	—	9	13.8	22.3
3	3.1	7.3	7	1.0	180	—	10	10.3	10.3
4	16.3	204.8	79	39.7	1430	35	102	28.1	105.7
5	6.3	30.7	78	4.7	690	45	36	18.3	18.3
6	15.1	177.9	75	29.4	820	63	155	32.3	32.3
7	16.5, 6.0	240.8	479	64.3	1080	20	140	37.3	37.3
8	24.0, 8.6	509.8	1007	99.6	770	25	217	44.0	69.3
9	3.3	8.6	40	3.0	400	35	18	15.7	56.0
10	10.1	79.3	151	27.8	600	90	111	25.3	36.0
11	9.6	72.4	185	17.3	650	30	77	20.7	47.3
12	5.5	23.3	29	11.2	750	20	46	34.7	58.3
13	4.9	18.5	72	10.1	400	25	21	22.0	82.0
14	3.6	9.9	137	13.8	240	10	17	14.3	14.3
15	11.4	101.2	100	20.4	710	20	45	12.0	105.3
16	10.1	80.1	196	23.7	520	45	60	32.0	40.0
17	6.2	30.2	129	18.8	730	20	45	38.0	105.3
18	9.2, 5.2, 1.9	90.1	331	56.8	820	70	110	10.7	37.3
19	7.0	37.9	53	13.2	720	30	25	15.2	36.0
20	24.7	—	59	—	265	55	190	48.7	48.7
21	14.2	158.4	215	35.5	670	80	135	33.3	33.3
22	10.4	84.9	59	13.1	630	90	55	28.7	108.0
23	12.4	119.8	55	27.9	760	80	100	53.3	121.3
24	5.5	23.8	38	8.0	350	85	35	26.3	36.3
25	17.4	236.4	178	36.3	560	70	220	38.7	38.7

1) 土壤際直径は2方向の測定値の平均である。2) 引抜き角度は水平面から測り、45°以下を水平根、45°を超えるものを鉛直根とした。3) 最大荷重時変位 S_m は、荷重が増加してほぼ最大に達したときの変位である。厳密な意味での最大荷重時のそれではない。4) 土壤際で分岐している No. 7, 8, 18 の直径は、枝分かれた各根の直径を記載した。5) No. 14 は、切断した根の大半が白根であった。6) No. 20 は幹部に大きな損傷があった。

試験を実施した 25 本の根のうち、No. 20 は幹部が大きく損傷していたので、初めから解析の対象から外した。残りの 24 本についても、分析の項目によっては条件が整わないために対象外としたものがある。例えば土壤際で枝分かれしている No. 7, 8, 20 等の根は、土壤際直径を用いる分析には使用しなかった、といった類である。

なお土壤際とは、引抜きに先立ち根のまわりの緩んだ土を削り落としてしまうと、根株から切り離れた根の頭だけがちょうど土壤部分から生え出した状態になるが、この根の頭の地際の点を指す。今回の試験における土壤際の位置は、根株の中心からの距離では 25~50 cm、地表からの深さでは 5~30 cm の範囲にあった。

1. 根の土壤際直径と最大荷重（引抜き抵抗力）の関係

図-3 に関係を示す。これは塚本らの試験結果(4)とほぼ一致しており、今回の試験に大きな偏りがなかったことを示すものでもある。二つの試験とも、最大荷重が直径でもまた直径の自乗である断面積でもなく、中間の直径の 1.5 乗前後に比例していることは特徴的である。なお水平根と鉛直根に分けた場合は、鉛直根の方がいくらか大きめの抵抗を示している。

土壤際直径 D (mm) のかわりに土壤際の断面積 A_b (mm²) をもちいて最大荷重 F_M との関係調べたところ、次式が得られた。これは図-3 の関係式に $A_b = \pi D^2/4$ を代入して導かれる式 ($F_M = 3.607 A_b^{0.669}$) とほとんど一致している。

$$F_M = 3.785 A_b^{0.669} \quad (1)$$

2. 荷重による変位と破壊の態様

荷重-変位曲線からみた破壊の態様は 1) 急速に荷重が増大し、そのまま破壊してしまうもの、2) 荷重

が最大に達した後もしばらくの間は変位しながら抵抗を持続し、そのあとで破壊するもの、の二つに分けられるようである(図-2 の測定例にも二つの傾向がよく現れている)。

すなわち、表-1 の破壊時変位 S_b (mm) と最大荷重時変位 S_m (mm) の比 S_b/S_m をとってみると、24 個のデータのうち 1.0 のものが 7 個もあり、一方 2.0 以上を示すものも 10 個あって中間は比較的少なかった(平均値は 1.92)。このような差が現れる原因については、後(4. P_A/F_M の値と破壊の態様)で考察する。

3. 切断部の解析

切断した部分は、ある時点でその切断部断面積に相当する引張力が加わった証拠を示すものである。したがって引抜いた根の切断部を調査して荷重との関係を検討することには大きな意味があると考えられる。

1) 切断部の、切断本数別および切断部断面積別の直径分布は図-4 のとおりである。図中の本数率は、切断部直径の小さなものから切断本数を累加していったとき、その直径までの累加切断本数の全切断本数に対する比率であり、面積率は、同じくその直径までの累加切断断面積の全切断断面積合計に対する比率である。

切断するのは細い部分が圧倒的に多く、とくにごく細い根が数多く着生している水平根においてこの傾向が著しい。断面積の分布においては、水平根と鉛直根の間にとくに差は認められない。図は直径 4 mm までを載せてあるが、この 4 mm 以下の細い根の切断が大半であることがわかる。つまり断面積の大きい土壤際で切れることはまずなく、力は土中の直径 4 mm 以下の細い根まで伝わっていき、そこで切断するようである。

2) 土壤際の断面積 A_b (mm²) と切断部断面積合

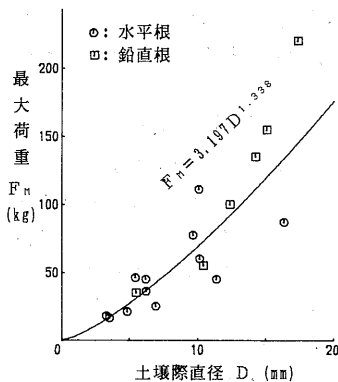


図-3. 根の土壤際直径と最大荷重の関係

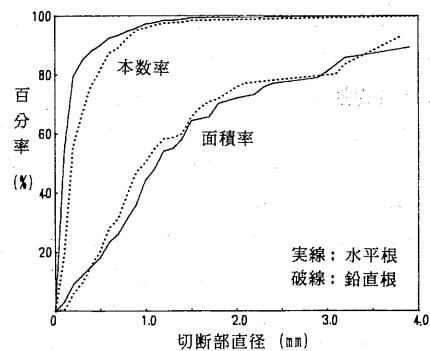


図-4. 切断部直径の分布(累積曲線)

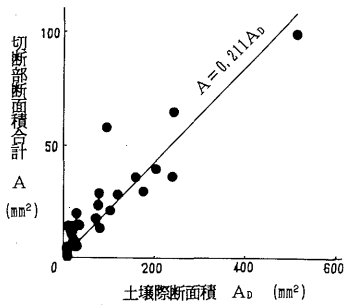


図-5. 土壌際の断面積と切断部断面積合計の関係

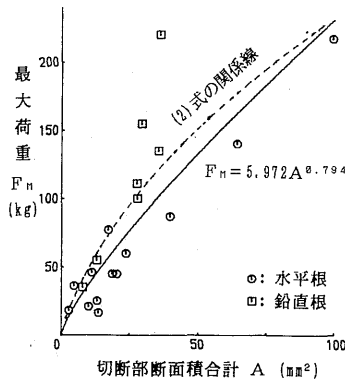


図-6. 切断部断面積合計と最大荷重の関係

計 A (mm^2) の間には、図-5 のように強い比例関係(相関係数 0.91) がみられた。一般に細い根が数多く切断するのであるが、これらを合計すると土壌際の断面積のほぼ 1/5 の断面が切断する勘定になる。

A_b と F_M の関係を表す(1)式とこの図-5 の関係の両者から、 A と F_M の関係に変換してみると(2)式となった。一方測定データから直接求めた関係は図-6 である。係数やべき指数は多少異なるが、測定データの数値範囲においては二つの関係はよく近似している。

$$F_M = 10.72A^{0.669} \quad (2)$$

3) 切断部断面積合計に破壊応力を乗じたもの(断面積強度 P_A (kg) と呼ぶことにする)は、引張りに対する根の材料的強度による抵抗力である。なお破壊応力には、前報(2)で今回の試験材料とほとんど同条件の材料の強度試験を行っているので、その測定値 4.19 (kg/mm^2) を採用することにした。

さて P_A と最大荷重 F_M の比 P_A/F_M は、根自体の強度が荷重に対する抵抗力としてどの程度寄与しているかを示す一つの目安と考えることができる。この値が大であれば根の強度によって荷重が支えられるところが大きく、逆に小さいときには粘着力や摩擦力など根

と土壌の間の力が相当役立っていることを示すものといえよう。

24 個のデータのうち、 P_A/F_M の値が 1.0 未満のものが 8 個、1.0 以上 2.0 未満のものが 12 個、2.0 以上のものが 4 個で、平均 1.38 であった。このように断面積強度が平均でも最大荷重を超えるほど大きな値になることは、外力に対する抵抗力として、根自体の強さが果たす役割が非常に大きいことを示すものである。なお、 P_A/F_M の値が 1 を超えるのは一見矛盾のようであるが、根は全部が同時に切断するとは限らず、順次切れていく場合もある、ということの説明できる。

4. P_A/F_M の値と破壊の態様

1) 前述のように P_A/F_M が抵抗力としての根の働きを表すものとすれば、破壊の態様とも何らかの関係があるのではないかと考えられる。そこでまず破壊の態様を示す指標 S_b/S_m と P_A/F_M の関係を調べてみたが、両因子とも数値の大きい部分でのデータのばらつきが大きかったためか、有意な関係を得るには至らなかった。

2) 次に破壊時までの変位 S_b について、 P_A/F_M が 1.0 未満のもの 8 個を調べてみたところ平均は 32.7 mm で、 P_A/F_M が 1.0 以上のもの 15 個のそれ 67.0 mm よりもはるかに小さかった (1%水準で有意)。 P_A/F_M が小さい根は、破壊時の変位も小さくなる傾向がある、といえよう。なお S_b の全平均は 55.1 mm であった。

3) さらに根が枝分かれして横へ張り出す度合(根元を持って根を自然に吊り下げたときの、根の伸長方向の長さ与此に直角な最大張り出し長さの比)との関連を調べてみた。張り出しの度合を大、小の二段階に分けると、 P_A/F_M が 1.0 未満のものは 8 個のうち 7 個までが小に属し、大のものはただの 1 個に過ぎなかった。この現象の生起確率は 5% 以下であるから、 P_A/F_M の小さい根は枝分かれもまた少ない、ということができよう。

4) 以上二つの結果から、枝分かれの少ないまっすぐに伸びた根は、荷重が限界を越すと一時に切れやすいこと、また根と土壌間に働く力も限界を越えて滑りが生じると激減しやすいこと、などが推測できる。枝分かれの多い根がこの逆の傾向を持つであろうことは十分想像できるが、これについてはさらにデータを集積したうえで結論を出したい。

なお根の直径や断面積、根の長さ、水平根と鉛直根の別、切断根の本数などの因子についても検討したが、

現段階では破壊の態様との間に明確な関係を得るには至らなかった。ただし信頼度 90% 程度の関係になるものは数個認められているから、データを追加採取し、数値処理に工夫をすれば、いくつかの関係が明らかになるものと期待できる。

IV. ま と め

岩石や他の樹木の根系に妨げられず、また比較的柔軟な土壤中に自由に伸長している本研究の根のような場合は、外部から加わった引抜き力は、その多くの部分そのまま根の深いところにまで届いているものと思われる。このことは根が先端の細い部分で切断することが多かったこと、また細い部分であるにもかかわらず切断本数が多いため切断部断面積合計は相当の大きさに達している、その断面でかなりの大きさの引抜き力を受け止めたこととみられること、などから推定できる。

荷重が加わったときの根の変位量は、破壊点において平均 55 mm とかなり大きいものであった。当初の推察どおり、根を引抜いたとき根系を構成する個々の根は、伸びたり変形したりしながらもすぐには切断せず、協同して外力に抵抗することがうかがえた。なお変位

の大小に関係する因子として、断面積強度と最大荷重の比 P_A/F_M や根の枝分かれの状態などがあることが確認された。

本研究は、外力に対して最も有効な抵抗を示すと考えられる根の引抜き抵抗力に重点を置いて、詳しく調べたものである。全体としての立木の強さを知るためには、外力のかかる側での根の圧縮や、力に対して垂直方向に伸びる根のせん断や曲げなどについても測定する必要がある、今後の研究課題と考える。

引用文献

- (1) 阿部和時・岩元 賢・三森利昭・石垣逸朗・垂水秀樹：斜面安定に影響する根系分布と引き抜き抵抗に関する一考察。97 回日林論：595～598, 1986
- (2) 森岡 昇・北川勝弘・近藤 稔・八川 久：集運材用ワイヤロープの支柱としての立木の強さ(V)スギ小径木根系の強度分布。98 回日林論：667～669, 1987
- (3) 塚本良則・峰松浩彦・城戸 毅・小宮山浩司：斜面の基盤構造と樹木の斜面安定効果。緑化工技術 11(1)：1～7, 1984
- (4) —————・藤浪武史：樹木根系の斜面安定効果—主として水平根の量と働きについて—。緑化工技術 12(1)：11～20, 1986

(1988 年 6 月 30 日受理)