

14 樹木の衝撃耐力に関する研究

建設省土木研究所砂防研究室 ○鈴木浩之

水山高久

石川芳治

はじめに

砂防ダムの堆砂域にある樹木は、これまでは流木の原因になる等の理由で伐採されてきた。しかし、この樹木に土石流の衝撃力を緩和する効果があれば、これを利用することによって砂防ダムの安全性を向上させることが出来る。このためには樹木の衝撃緩衝効果を定量的に評価する必要がある。そこで、その第一段階として立木を単純梁と仮定した衝撃曲げ破壊試験等の室内試験を実施し、立木のエネルギー吸収能を推定する手法を検討した。¹⁾ 本研究は、その第二段階として実際の立木に衝撃荷重を与えた現地衝撃载荷試験および静的引き倒し試験を実施して、樹木の持つ衝撃エネルギー吸収能を推定する手法を検討したものである。

1. 試験の概要

試験は群馬県勢多郡黒保根村梨木地先内野国有林で実施した。試験の対象とした樹種は杉で、胸高直径9cm～20cm(根元直径12cm～25cm)、樹高9m～11m、樹齢25～30年生で、試験木は試験地の中から任意に選定した。試験地は沢沿いの礫混じりの砂地で、比較的砂防ダムの堆砂域に近い状況と考えられる。現地衝撃試験は、図-1に示すように2台のクレーンで鋼球(500Kgf)を吊り上げ、これをもう一台のクレーンで設定した速度となる高さまで振り上げ、振子の自由振動により荷重を与えた。計測項目は、変位と衝撃荷重である。静的引き倒し試験は、図-2に示すようにブルドーザーで立木を牽引して樹木の引き倒し強度と変位(回転角)の関係を測定した。

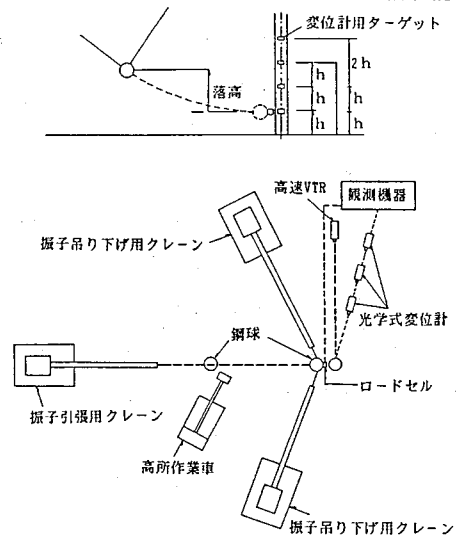


図-1 衝撃力試験の概要

2. 静的引き倒し試験

静的引き倒し試験は、根元直径15cm～20cmの樹木について実施し、载荷高さを変化させて引き倒し強度を測定した。図-3に荷重と载荷点の変位の関係の例を示す。図-4には最大曲げモーメントと樹径の関係を示した。最大荷重は0.3t～0.8t程度となっている。これに対して北村ら²⁾によって全国の試験地で求められた杉の引き倒し

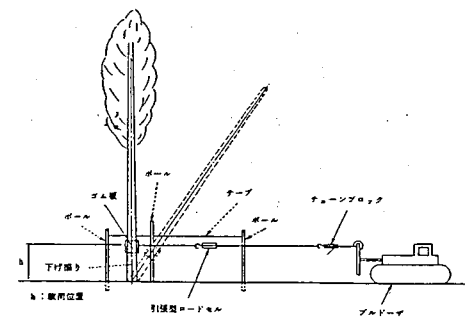


図-2 静的引き倒し試験の概要

強度は2.1t～14.7tとなっており、今回の試験値よりもかなり大きい。これは、北村らの試験は樹木の地際を引っ張っていること、今回の試験地が昭和33年の台風により氾濫した土砂が堆積した砂地であったため、土の引き抜きに対する抵抗力が小さかったことによるものと考えられる。樹木の破壊形態

を見ると、牽引方向の反対側に重さ1.2tfの岩が乗っていたために根が抜けず、地面から30cm付近で折損した1例（図-3——）を除いては全てが根抜けによるものであった。このことから、土石流の流体力による樹木の破壊形態としては、根抜け（根の浮き上がり）が卓越するものと考えられる。ただし、折損した例で分かるように、根に上載荷重がかかっている場合は幹が折損することもあることから、今後の検討が必要である。

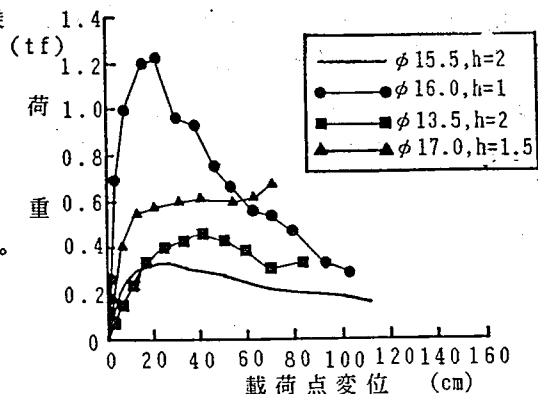


図-3 静的引き倒し荷重と変位の関係

3. 衝撃載荷試験

衝撃載荷試験は、図-1に示したように鋼球を秒速4～8m/sの速度で樹木に衝突させた。載荷位置は地上より1.0m～2.0mで、載荷点に働く衝撃力と変位を測定した。図-5に荷重～時間の測定例を示す。図で見るように最大衝撃荷重 F_{max} は鋼球の衝突直後に発生し、その後荷重が徐々に減少している。室内試験の測定例¹⁾と比較すると最大荷重発生後に荷重が持続することが異なっている。これは、室内試験の場合は、樹木がすべて最大荷重発生直後に折損して荷重が低下しているのに対し、現地試験の場合は樹木が折れず最大荷重が発生した後も片持ち梁としての抵抗を示すためである。しかし、高速度ビデオによって捉えた樹木の変化状況は図-6に示すような形であり、最大衝撃荷重が発生しているときの状況は単純梁として応答していることから、樹木が折損することを想定した場合は、室内実験のように単純梁と考えてもよいと思われる。図-7に最大荷重と樹径の関係を示す。最大荷重は1.7～3.5tfであり、静的引き倒し試験の約5倍の強度となっている。また、最大荷重は、明確ではないが、載荷速度の増加にしたがって増加する傾向がある。試験後に樹木の破壊形態を調べると、載荷点の変位に追従できないために樹冠部の下端付近（地上から7m～9m）に折損が発生しているものの、樹木の破壊

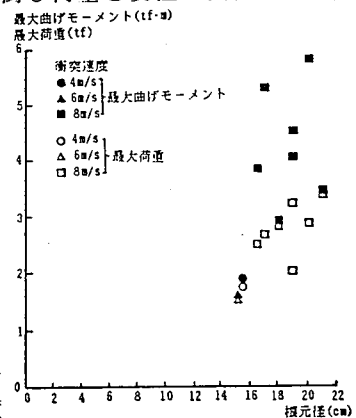


図-4 最大曲げモーメントと根元径の関係

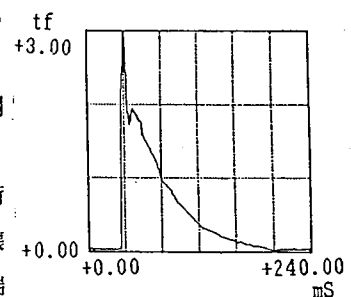


図-5 衝撃試験の荷重の測定例

の決定的な要因は、すべて静的引き倒し試験と同様に根抜け等の根系の破壊である。なお、載荷点での折損は発生していない。ただし、衝撃実験の場合も静的引き倒し試験の場合のように上載荷重によって根元が固定されているような場合の樹木の挙動の検討が必要である。

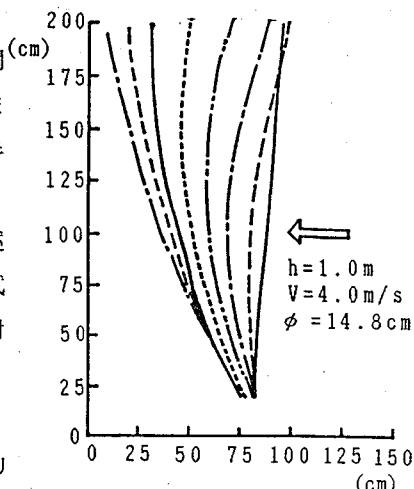
4. 立木のエネルギー吸収能の推定

立木の衝撃緩衝効果を評価するための指標として、エネルギー吸収能について検討する。

(1) 立木の静的エネルギー吸収能 E_s

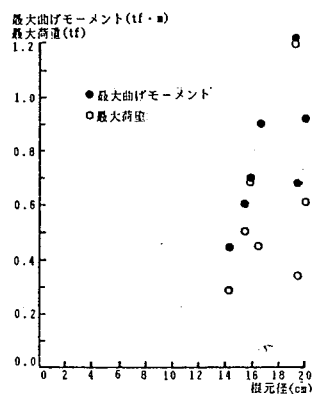
樹木が吸収できるエネルギーを荷重と変位の総和 $E_s = \sum P \cdot \delta$ として求め、最大荷重 P_{max} までに吸収できるエネルギーを E_{s0} 、荷重が P_{max} の70%まで低下した時点でのエネルギー吸収能を E_{s1} 、以下、 P_{max} の

50%までを E_{s2} 、 P_{max} の30%までを E_{s3} と定義する。図-8に試験結果から求めた樹径 ϕ と静的エネルギー吸収能 E_s の関係を示す。 E_s は ϕ にしたがって大きくなる傾向がある。また、載荷高さの影響はほとんど受けない。 E_s を推定する手法は、先の研究で単純梁が折損する場合について検討し、理論的に推定式を導いた。しかし、本試験の結果は既に述べたように根系の強度に強く依存しているためこの推定式を適用することはできない。また、根の浮き上がり等に対する抵抗力は土壌、根の広がり、生育環境、樹種等によって大きく異なるため簡単に求めることが出来ない。そこで、今回は試験結果の範囲内で静的エネルギー吸収能を近似的に求めることにする。試験結果を整理すると、載荷高さの図-6 衝撃荷重による立木の変形例

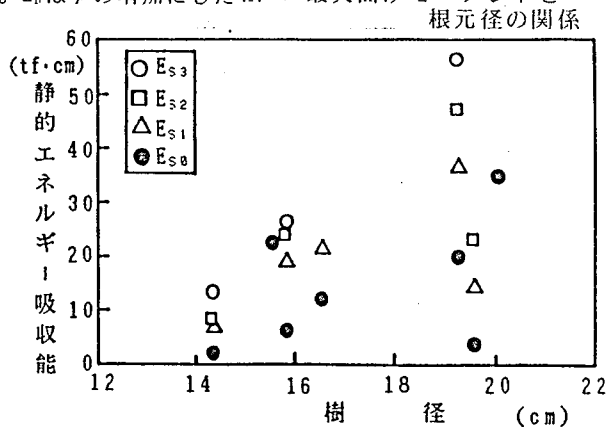


(2) 立木の衝撃エネルギー吸収能 E_D

樹木が吸収できるエネルギーを衝撃荷重と載荷点の変位の総和 $E_D = \sum F \cdot \delta$ として求め、最大荷重 F_{max} までに吸収できるエネルギーを E_{D1} 、荷重が F_{max} の70%まで低下した時点でのエネルギー吸収能を E_{D2} 、以下、 F_{max} の50%までを E_{D3} 、 F_{max} の30%までを E_{D4} と定義する。図-9に試験結果から求めた樹径 ϕ と



衝撃エネルギー吸収能 E_D の関係を示す。 E_D は ϕ の増加にしたがって大きくなる傾向がある。 E_D は載荷高さの影響をほとんど受けていない。これは、測定している荷重が樹木とロードセルが衝突した際に発生する局部めり込みによる荷重や慣性力の影響を含んだ接触点の荷重を測定しているためと考えられる。また、載荷速度が速くなるにしたがい E_D が大きくなる傾向がある。これは、



立木においてもひずみ速度効果等に 図-8 静的エネルギー吸収能と樹径の関係

による耐力の向上が見られるためと考えられる。 E_D と E_s を比較するとほぼ同程度の値になっていることから、静的エネルギー吸収能から衝撃エネルギー吸収能を推定できることになる。

6. 今後の課題

樹木は、土壌、水分、日照条件、気温等の生育条件の影響を強く受ける天然の素材であり、同地区

のものでも、その強度変形特性などが大きく異なることが考えられる。このような樹木についてその衝撃緩衝効果を評価する方法を検討したが、次のような解決しなければならない問題点が残されている。

①本研究では、当初土石流の衝突によって樹木の幹が折損することを想定したが、今回の試験結果からは、根系の強度が樹木の破壊を決定的に支配していることが分かった。しかし、全ての条件において根の強度により樹木の破壊が規定されているかについては、今回の試験結果からは推定できないので、根の強さの評価の検討が必要である。

②試験装置の制約上8m/s以上の衝突速度の試験が行えなかったが、さらに高速で礫が衝突した場合に、根系あるいは幹のどちらの破壊が卓越するかの検討が必要である。

③今回の試験は、10cm～20cm程度の非常に狭い樹径範囲で行っているが、さらに広い範囲での検討も必要である。

④衝撃載荷試験の場合は実験装置の制約上、変位量が荷重終了まで測定されていないことから、 $E_D=E_S$ という結果を再確認する必要がある。おわりに

本研究を進めるに当たり、防衛大学校土木工学科石川信隆教授には貴重なご示唆を頂いた。防衛大学校土木工学科香月智助手、斉藤英明氏には現地試験を手伝って頂いた。農林水産省林業試験場秋谷孝一防災部長、治山第二研究室陶山正憲室長、前橋営林局の関係各位、大間々営林署の関係各位には現地試験のための便宜を図って頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 水山高久、鈴木浩之；樹木の衝撃エネルギー吸収能、砂防学会発表会概要集、昭和62年5月
- 2) 北村嘉一、難波宣士；抜根試験を通して推定した林木根系の崩壊防止機能、林試研究報告第313号、1981

表-1 aの値

	aの値
ES0	0.0438
ES1	0.0845
ES2	0.110
ES3	0.110

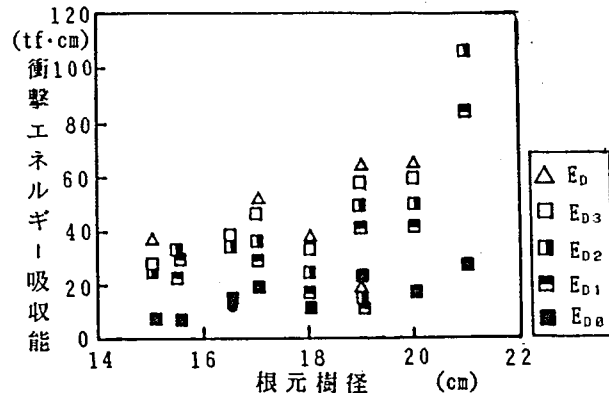


図-9 衝撃エネルギー吸収能と樹径の関係