

建設省土木研究所 ○鈴木浩之

水山高久

栗原淳一

はじめに

近年、緑の砂防ゾーン創出事業等で樹木の積極的な導入が図られている。このような樹木を利用した砂防施設が検討されている一方で、樹木自体が有する土石流の衝撃緩衝効果については十分検討されておらず、その推定方法も確立されていない。そこで、筆者らはこれまで2箇年にわたってスギを対象にその衝撃緩衝効果を定量的に評価するための試験を行ない、スギ立木の持つ衝撃エネルギー吸収能を推定する手法を提案した。^{1)・2)}

本年度は、対象とする樹種をコナラとし、昨年度と同様の試験・検討を行い、スギに対して得られたエネルギー吸収能の推定式が、樹種の異なるコナラへも適用できるかどうかについて調べた。また、離散化モデルによる立木の衝撃応答シミュレーションを実施して、試験結果との比較および樹木の衝撃エネルギー吸収能を求める手法についても検討を行った。

1. 試験の概要

現地試験では、静的引き倒し試験および衝撃載荷試験を実施した。静的引き倒し試験は、立木にワイヤロープをかけ、チェーンブロックにより引張り力を与えた。衝撃試験は、2台のクレーンで吊り上げた500kgfの鋼球をもう一台のクレーンで設定速度となる高さまで吊り上げ、単振子として鋼球を立木に衝突させて衝撃力を与えた。静的引き倒し試験は、チェーンブロックにより立木に水平引張り力を与えた。また上載荷重として載荷方向の反対の立木の根元に1.5m×3.0m（重量802kgf）の鉄板を所要の重量になるまで積み重ねた。図-1に衝撃試験の設備の概要を示す。

室内試験は、コナラの材料特性を調べるために、局部めり込み試験と単純梁の曲げ試験を実施した。局部めり込み試験は、ロード・セルを200tfアムスラー試験機を用いて直接木材にめり込ませた。単純梁の曲げ試験は、梁のスパンを1mとし、200tfアムスラー型試験機により梁中央へ集中載荷した。

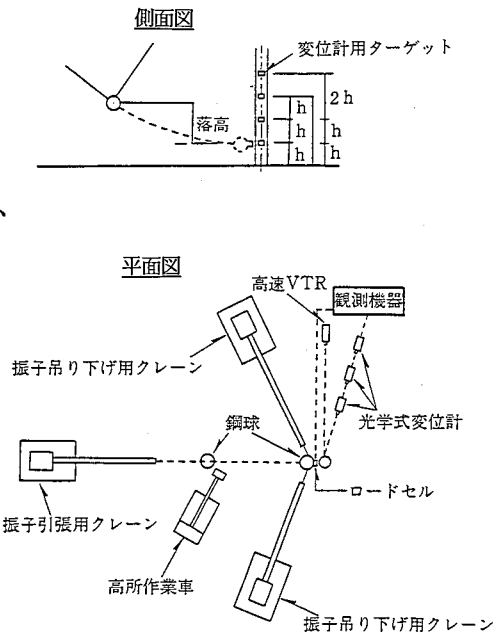


図-1 現地衝撃試験設備の概要

2, 試験結果と考察

2. 1, りめり込みによる局部荷重の推定式

図-2に示すように、本試験に用いたコナラのりめり込みによる局部荷重 F_2 はりめり込み量 α と次式の関係がある。

$$F_2 = k \cdot \alpha \quad (\text{tf}) \cdots \cdots (1)$$

ここに、 α : りめり込み量(cm), k : 剛性を表す係数(tf/cm)である。スギの場合 $k=0.9\text{tf/cm}$ であった²⁾のに対し、本試験で用いたコナラは $k=2.1(\text{tf/cm})$ で、約2倍の局部りめり込みに対する剛性を有していることになる。

2. 2, コナラの単純曲げに対する静的エネルギー吸収能

図-3にコナラの単純曲げに対する静的エネルギー吸収能と木材径の関係を示す。図で見るように、コナラの単純曲げに対する静的エネルギー吸収能は、次式で求められる。

$$E_s = 0.04\phi - 0.28 \quad (\text{tf} \cdot \text{m}) \cdots \cdots (2a)$$

$$[E_s = 0.03\phi - 0.28(\text{tf} \cdot \text{m}): \text{スギ材}^{1)}] \cdots \cdots (2b)$$

ここに、 ϕ : 木材径(cm)である。

2. 3, 立木の静的エネルギー吸収能

図-4に静的引き倒し試験結果から求めたコナラ立木の静的エネルギー吸収能と根元径の関係を示す。図で見るように、ばらつきはあるものの、コナラ立木の静的エネルギー吸収能は根元径の関数として次式で近似できる。

$$E_s = 0.05\phi - 0.52(\text{tf} \cdot \text{m}) \quad : \phi (\text{木材径, cm}) \cdots \cdots (3a)$$

$$[E_s = 0.03\phi - 0.29(\text{tf} \cdot \text{m}): \text{スギ材}^{2)}] \cdots \cdots (3b)$$

上式で見るように、コナラの静的エネルギー吸収能はスギのそれよりも多少大きい。また、コナラの静的引き倒し試験において3つの異なった破壊形態(①根元部分の折損・圧壊、②根の破断、③根抜け)が発生した。スギでは見られなかった①の形態が発生したのは、土の力学的性質、根元径、上載荷重の有無の影響によるものと考えられる他、コナラの方がスギよりも変形しやすいために根抜けよりも樹幹部の変形が先に現れたためと考えられる。

2. 4, 衝撃エネルギー吸収能

衝撃載荷試験においては、昨年度のスギの試験と同様、樹幹部に破壊が発生したものは見られなかった。また、コナラはスギに比べ、変位が大きいという応答特性を有している。衝撃エネルギー吸収能 E_b は最大変位が生ずるまでの荷重 P と変位 δ の総和($E_b = \sum P \cdot \delta$)と定義する。図-5で見るように、

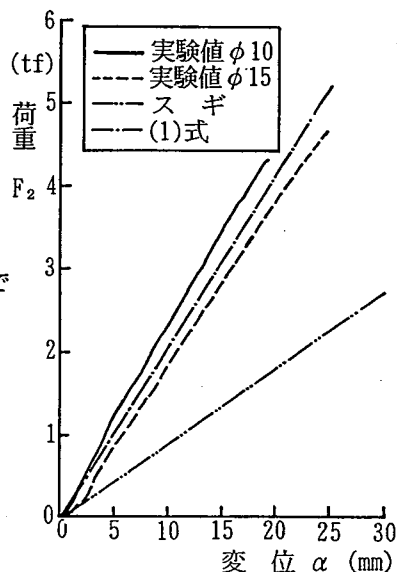


図-2 局部荷重 F_2 とりめり込み量 α の関係

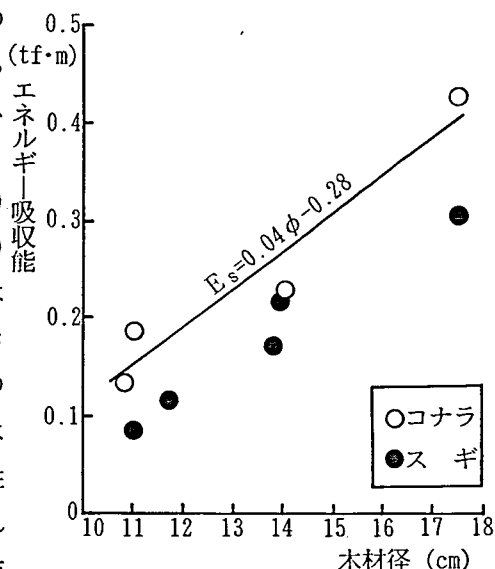


図-3 単純梁の静的エネルギー吸収能と木材径の関係

衝撃载荷試験で得られた衝撃エネルギー吸収能は、静的引き倒し試験による静的エネルギー吸収能と同程度かそれより小さな値となった。これは、重錘が立木に衝突する際および衝突現象後の重錘と樹木のずれ等に起因するものと考えられる。しかし——で囲んだ明らかに重錘がうまく作用しなかったものを除くと、ほぼ $E_D = E_S$ であり、静的引き倒し試験の結果から衝撃エネルギー吸収能を求められることになる。

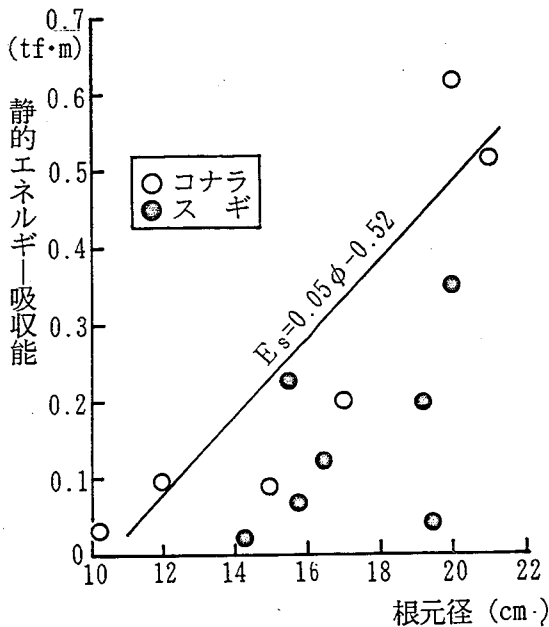


図-4 立木の静的エネルギー吸収能と根元径の関係

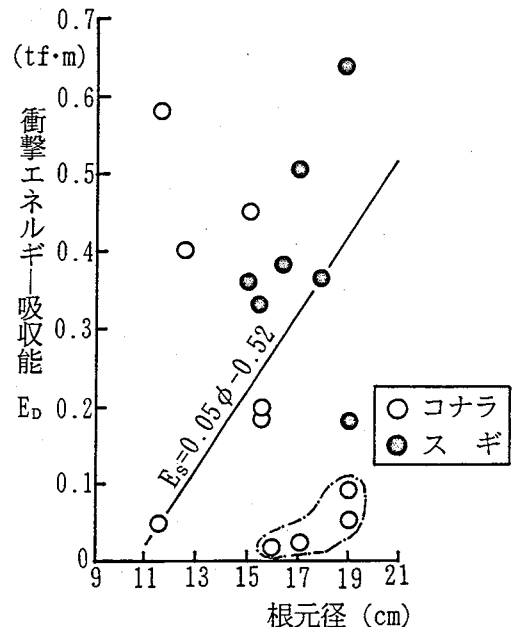


図-5 立木の衝撃エネルギー吸収能と根元径の関係

2. 5. 立木の数値解析

立木の根元径に応じて諸元を変化させた4質点系離散化モデルを用いて数値計算を行ない、衝撃エネルギーを推定し、その妥当性を検討した。計算結果を図-6に実線および破線で示す。計算により求めた衝撃エネルギー吸収能は、重錘重量が500kgfで衝突速度が8m/sec以上の場合静的エネルギー吸収能の約3倍になった。このように、計算結果が試験よりも大きくなった原因としては、計算は重錘が立木に衝突してから終局変位に至るまで完全に一体となって運動する条件で行なっているため、エネルギー吸収能は根元径の増加に従って比例的に増加する。しかし、実際には衝突直後から徐々に鋼球の重心と樹木とのずれが発生するため、実際には急激に荷重が低下し、エネルギー吸収能が小さくなったものと考えられる。一方、変位と時間の関係は、前述の様に鋼球と樹木のずれのために応答時間は多少異なるものの、その大きさと形状はよく一致しており、重錘が樹幹からそれる現象をモデルとして表現できれば、計算の精度はかなり向上するものと思われる。

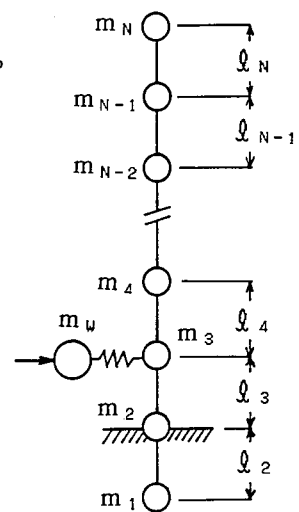


図-6 離散化モデル模式図

以上の結果より、衝撃エネルギー吸収能は、計算結果から得られた値を1/2～1/3倍するか、エネルギー吸収能の推定式（式(3a)）から概略推定できる。

3, おわりに

(1) 今後はより多くの単純曲げ試験あるいは静的引き倒し試験を行って、式(2a)、(3a)の妥当性を検討するとともに、必要に応じその精度を改良していくことが望まれる。

(2) 異なる樹種についても同様な検討を行うことにより、異なる樹木の静的エネルギー吸収能の推定式の間に何らかの相関性を見いだす検討も必要であろう。

(3) 計算には必要な諸定数をあらかじめ与える必要があるほか、計算においては重錘が樹幹から

それる現象の影響を考慮できないため、試験値よりも大きな荷重が長時間発生する結果になる。つまり、試験値よりも樹木のエネルギー吸収能を大きく評価することになる。しかし、これは2次元の面内解析の範囲では考慮できないものであり、樹木と重錘の衝突は確率論的な手法や他の観点からの考察および補正が必要と思われる。

最後に、本研究を進めるにあたり、多くの方々の協力があった。防衛大学校石川信隆教授には、試験および解析全般に渡り御指導頂いた。防衛大学校大野友則講師、香月 智助手、高橋芳彦研究員、星川辰雄氏、八千代エンジニアリング(株)松永 繁氏、渡辺岳志氏には、試験および解析に御協力頂いた。現地試験に際しては、建設省中部地方建設局富士砂防工事事務所の御協力を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 鈴木浩之, 水山高久: 樹木の衝撃エネルギー吸収能, 昭和62年度砂防学会研究発表会概要集, pp250～253, 昭和62年5月
- 2) 鈴木浩之, 水山高久, 石川芳治: 樹木の衝撃耐力に関する研究, 昭和63年度砂防学会研究発表会概要集, pp51～54, 昭和63年5月
- 3) 水山高久, 栗原淳一, 鈴木浩之: 立木の衝撃緩衝効果に関する試験報告書(Ⅱ), 土木研究所資料第2737号, 平成元年2月

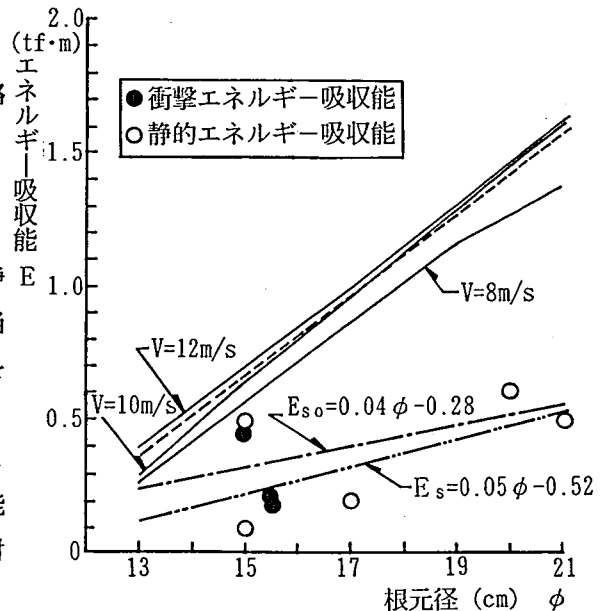


図-7 エネルギー吸収能と根元径の関係