

# 土石流が運搬する大径流木が木製耐力壁に衝突するときの衝撃力

三重大学生物資源学部 ○西山良樹  
 三重大学大学院生物資源学研究科 山田 孝  
 前三重大学生物資源学部 内田康太  
 株式会社林組 紀太一也

## 1. 研究目的

近年の土砂災害では、大径流木が木造家屋の耐力壁に衝突し、土砂災害警戒区域において、被害を拡大したと見られる事例が報告されている(吉留ら, 2015)。しかしながら、現在の土砂災害警戒区域の設定には流木の衝撃力は考慮されていない。流木が砂防堰堤や鋼管部に衝突する時の衝撃力に関する研究成果(鈴木ら, 1987 石川ら, 1990)や津波によって運搬される流木の衝撃力の実験的・理論的研究成果(松富ら, 1999)はあるが、木造家屋に衝突する時の衝撃力に関する研究事例は報告されていない。本研究では、昨年度の実験(内田ら, 2016)に引き続き、フルスケールの木製耐力壁への原木丸太衝撃実験(自由落下試験)を実施し、木製耐力壁の破壊形態と破壊限界を調べ、原木丸太が木製耐力壁に衝突した際の無次元衝撃力算定式を提案した。

## 2. 研究方法

三重大学平倉演習林西俣土場において、原木丸太(杉)を木製耐力壁に動的载荷、衝突(自由落下)させる実験を行った(図-1)。使用した丸太は直径 0.3m、長さ 4m 程度、質量約 220kg であり、木製耐力壁(幅 182 cm、長さ 298 cm)は標準タイプの圧縮筋交耐力壁(木造建築研究フォーラム編, 1995)を制作した。動的载荷重と衝撃荷重の測定は、ゲージ式ロードセル(最大耐荷重 200kN(株)昭和測器)、変位センサーは、キーエンス社の製品を用いた。はじめに、実験Ⅰ(木製耐力壁への丸太衝撃実験 自由落下高  $h=10\sim50\text{cm}$ )を行い、木製耐力壁の破壊限界自由落下高と壁の破壊形態を調べた。次に実験Ⅱ( $h=2.5\sim40\text{cm}$ )では、予備実験(地面に設置したロードセルへの丸太衝撃実験)からロードセル受板と台座の構造・材質を決定し、ロードセルを木製耐力壁に設置して丸太衝撃実験を行った。木製耐力壁直下の地盤に変位センサーを設置し、壁の変位の時間的な変化を計測した。このようにして得られた波形データ、衝撃応答時間、変位などから、力積と運動量の変化の比較や衝撃エネルギー吸収能の算出などを行い、原木丸太が木製耐力壁に衝突した際の無次元衝撃力算定式を提案した。

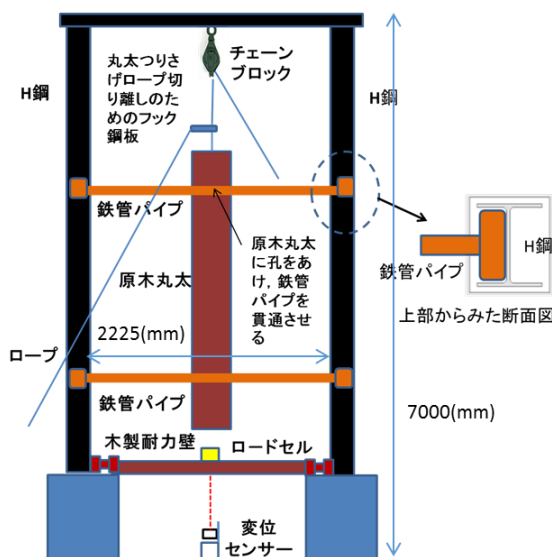


図-1 実験施設の概要

## 3. 結果と考察

実験Ⅰから、自由落下高の増加により、壁の変形は、たわみ→亀裂→局部的曲げ破壊→貫入といった破壊形態を呈することが分かった。 $h=10\text{cm}$ では破壊が起こらず、 $h=15\text{cm}$ から破壊が起こったことから、 $h=10\sim15\text{cm}$ の間に破壊限界自由落下高が存在することが分かった(破壊限界速度  $1.40\sim1.71\text{ (m/s)}$ の間)。実験Ⅱで得られた波形データで、変位の波が立ち上がり始めてから半周期の終わりまでを「変位応答時間」、ピークまでを「最大変位応答時間」とした。また荷重の波が立ち上がり始めてから半周期の終わりまでを「衝撃荷重応答時間」、最初に現れるピークまでを「最大衝撃荷重応答時間」とした。最大衝撃荷重は最大で約  $14\text{kN}$  ( $h=40\text{cm}$ )

となり、動的載荷(載荷速度: 0.02m/s)の約 5.7 倍であることが分かった。最大変位は 7.6~125mm となった。図-2 に力積と運動量の変化を比較した結果を示す。h=20cm 以降から値の差が比較的大きくなり始めることから、h=20cm から木製耐力壁の破壊形態の影響が大きく関わるようになると考えられる。最大衝撃荷重が作用した時の最大変位  $u$  を 1 質点系モデルによって算出し、実験で計測された最大変位  $\delta$  を比較した(図-3)。h=2.5~10cm では両者の値は比較的近いものとなったが、h=20cm から両者の差が大きくなった。これは h=20cm から壁の破壊により、弾性応答変位領域から外れ、衝撃エネルギーの内、曲げ破壊や貫入といった破壊エネルギーに散逸する程度が増大したためだと考えられる。次いで、最大変位までの壁の衝撃エネルギー吸収能  $E_p$  を算出し、衝突前の丸太の運動エネルギーと比較すると、運動エネルギーの約 8~17%に相当することが分かった。また亀裂・曲げ破壊領域では、約 8~10%とほぼ一定値となった。図-4 に、無次元衝撃力  $F/(\gamma D^2 L)$  と無次元衝突速度  $V/(gD)^{0.5}$  の関係を示す( $F$ : 衝撃力,  $V$ : 流速,  $\gamma$ : 流木の単位体積重量,  $D$ : 流木直径,  $L$ : 流木長)。この図から無次元衝突速度の増加に伴って、無次元衝撃力も増加することが分かる。h=2.5~10cm の範囲と h=20~40cm の範囲では壁の破壊形態に違いが見られることを考慮し、それぞれの範囲に適応した衝撃力算定式を求めた(図中の二つの式)。亀裂・曲げ破壊領域での無次元衝撃力と無次元衝突速度の関係式と 2014 年 8 月の広島土砂災害調査事例(吉留ら, 2015, 内田ら, 2016)を基に、直径 0.3m, 長さ 4m, の流木が単木状態・流速 5~10m/s(無次元衝突速度 2.9~5.8)で木造家屋の木製耐力壁に垂直に衝突した時の衝撃力を試算した結果(無次元衝突速度  $V/(gD)^{0.5}$  の値が 2.0 以上の領域に外挿), 衝撃力は約 19~31kN と計算された。ただし、図-4 で示すように、本実験では計測できなかった貫通領域では、衝撃力の値は頭打ちになると考えられるため、実際の衝撃力の値はより小さいと考えられる。

#### 4. 結論

①木製耐力壁は、原木丸太の衝突荷重に応じて、たわみ→亀裂→曲げ破壊→貫入といった破壊形態を呈する。その破壊限界自由落下高は 10cm と 15cm の間である。②原木丸太が木製耐力壁に衝突した時の衝撃荷重は最大で約 14kN となり、動的載荷の約 5.7 倍である。③木製耐力壁の破壊形態を考慮した無次元衝撃力算定式を提案した。この式を用いて、2014 年 8 月に広島県広島市で発生した土石流を事例に流木の衝撃力を試算した結果、約 19~31kN となった。ただし、貫通領域では、実際の衝撃力の値はより小さいと考えられる。

本研究の実施にあたり、平成 28 年度国土交通省河川技術研究開発制度指定課題分野(砂防)「火山地域における流木を伴う山腹崩壊の発生と流動」(研究代表者: 北海道大学大学院農学研究院 丸谷知己)による助成を受けた。

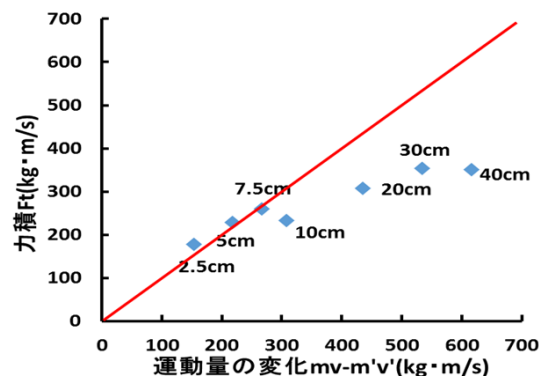


図-2 力積と運動量の変化の比較

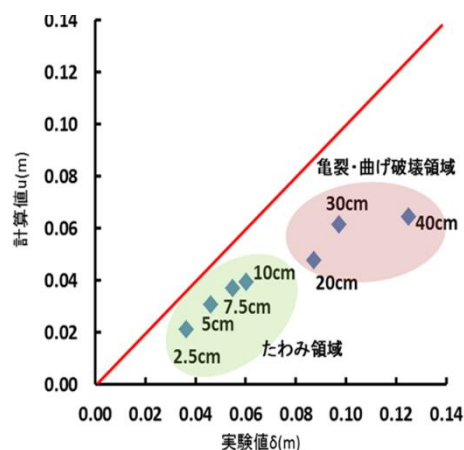


図-3 最大変位の実験値と計算値の比較

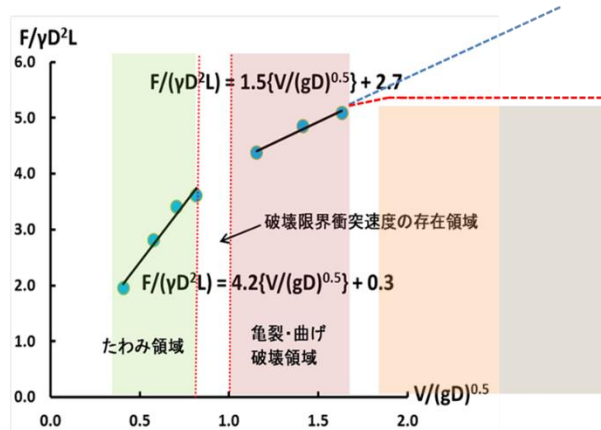


図-4 無次元衝撃力と無次元衝突速度の関係