

火山灰堆積斜面での地震動に起因した滑動型崩壊による木造家屋の被災形態推定手法の提案 —2018年北海道胆振東部地震による事例—

北海道大学農学部（現国土交通省九州地方整備局長崎河川国道事務所） ○遠藤優人
北海道大学農学研究院 山田 孝

1. はじめに

2018年9月6日、北海道胆振中東部を震源とするマグニチュード6.7、最大震度7の地震が発生した。この地震により、火山灰堆積斜面において多数の崩壊が集中的に発生した¹⁾。厚真町では、崩壊により発生した崩土の衝撃圧によって木造家屋に被害が生じた。家屋被災が発生した崩壊の約7割が、滑動型崩壊（平滑な斜面で発生した崩壊のうち、崩土が層構造を維持して滑動したもの）に分類される²⁾。家屋の被災形態と衝撃圧の関係を明らかにすることは、被害想定を行う上で重要である。これまで、家屋の被災形態と衝撃圧の関係については、雪崩・津波・泥流・土石流などについては研究が行われている。一方で、今回のような地震動による滑動型崩壊についてのこれらの報告はなされていない。本研究では、滑動型崩壊による木造家屋の被災実態の解明を行い、滑動型崩土の一次元運動モデルを用いて、崩土の衝撃圧による木造家屋の被災形態推定手法の提案を行う。

2. 研究方法

2.1 木造家屋の被災実態の解明

厚真町において、土砂災害を発生させた崩壊80カ所のうち家屋被災が発生した52カ所を選定し、滑動型崩壊が発生した34カ所を、空中写真を用いて抽出した。次に、抽出した崩壊斜面について、数値標高データを用いてArcGISソフトにより地形計測を行った。併せて、家屋の被害程度に応じた被災形態区分を設定し、家屋被災写真による木造家屋の被災形態の判読を行った。今回、被災形態を「軽微」、「損壊」、「半壊」、「全壊」、「流失・埋没」の5つの形態に区分した。「軽微」は、土砂接触するが目立った被害は確認できない状態、「損壊」は、外壁や開口部に被害が生じているものの、構造上の問題はない状態、「半壊」は、柱・梁・壁の一部が破壊される、または外壁の大幅な剥落が認められる状態、「全壊」は、柱・梁・壁の破壊または内部空間の著しい欠損がみられる状態、「流失・埋没」は、一階部分の完全な欠損、完全な瓦礫化、基礎部のみが残存している状態、という五つの区分に分類した。

2.2 崩土の衝撃圧の算出方法

崩土の衝撃圧算出のため、移動時の密度、滑動深、家屋衝突直前の速度の推定を行った。衝撃圧 [kN/m] は流体力として取り扱うことによって、式(1)により表せる。

$$F = \rho \cdot h \cdot v^2 \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、F：衝撃圧， ρ ：密度，h：滑動深，v：速度、である。密度，滑動深については現地調査から設定した。速度については、崩壊発生時の崩土の運動状況を撮影した映像資料がないため、本研究が対象とする滑動型崩壊の一次元運動モデル（図-1）を考案し、数値計算を行った。このとき、崩土の運動を「発生・流下区間」と「氾濫・堆積区間」の2つに分けて考えた。崩土の運動方程式は、断面I－II間に着目して、

$$\frac{d}{dt}\{hx\rho_t V_2 B_d\} = hx\rho_t g \sin\theta_a B_d + \rho_t q_t V_1 \cos(\theta_u - \theta_a) B_u \\ + \frac{1}{2}gh^2 \cos(\theta_u - \theta_a)\{(\sigma - \rho_w)C_u K_a\}B_u - \mu_d hx\rho_t B_d g \cos\theta_a \quad \dots \dots (2)$$

となる。また、連続式は微小項を省略して、

$$hx B_d = q_t B_u \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 h : 滑動深 [m], x : 断面 I-II 間距離 [m], V_1 : 斜面下端速度 [m/s], V_2 : 氾濫・堆積区間速度 [m/s], B_u : 発生・流下区間の崩土幅 [m], B_d : 氾濫・堆積区間の崩土幅 [m], θ_u : 発生・流下斜面勾配 [°], θ_d : 氾濫・堆積斜面勾配 [°], σ : 土粒子の密度 [t/m³], ρ_w : 水の密度 [t/m³], ρ_t : 滑動時の崩土の密度 [t/m³], q_t : 単位時間・単位幅当たりの断面 II への流入土砂量 [m²/s], g : 重力加速度 [m/s²], C_d : 土砂濃度, K_a : 主動土圧係数, μ_u : 発生・流下区間摩擦係数, μ_d : 氾濫・堆積区間摩擦係数, である。崩土の滑動時の動摩擦係数は、「発生・流下区間」では、等価摩擦係数を、「氾濫・堆積区間」では、速度、土砂到達距離、斜度から逆算した値を用いた。

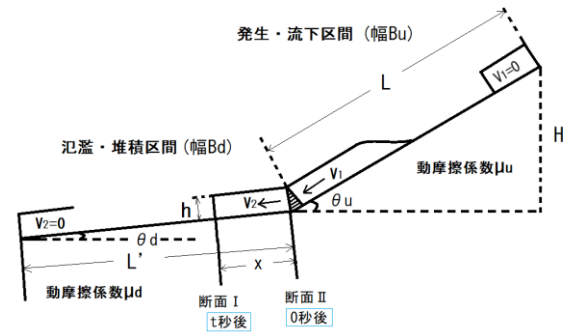


図-1 滑動型崩土の運動モデル

3. 結果・考察

3. 1 木造家屋の被災実態

抽出した木造家屋に行った被災形態判読の結果を図-2に示す。まず、滑動型崩壊による被災家屋の約 9 割に、「流失・埋没」の被害が生じたことが分かった。さらに、滑動型崩壊による人的被害の全てが「流失・埋没」の被災家屋で発生したことが分かった。

3. 2 崩土の衝撃圧

家屋被災形態ごとの衝撃圧を図-3に示す。軽微、損壊、半壊、全壊は対象家屋が一戸であったため、そのまま衝撃圧が下限衝撃圧になるが、流失・埋没の衝撃圧は 99.7~859kN/mの幅があった。なお、家屋衝突直前の崩土の速度は 0.6~20m/s であり、崩土の運動開始から家屋に衝突までに要する時間は 7~22 秒程度であった。

3. 3 木造家屋の被災形態推定手法

各被災形態を引き起こす下限の衝撃圧は、軽微は 1.4[kN/m]、損壊は 6.4[kN/m]、半壊は 44.4[kN/m]、全壊は 57.6[kN/m]、流失・埋没は 99.3[kN/m]となった。また、これらの衝撃圧を用いることにより、斜面下端からの距離に応じた木造家屋の被災形態を推定した。厚真町 B 地区 AA 宅を例に挙げると、斜面下端から 0~130mの範囲で「流失・埋没」、130~150mの範囲で「全壊~軽微」、150m以上で無被害と推定された。

4. 参考文献

- 1) 小山内信智・海堀正博・山田孝・笠井美青・林真一郎・桂真也・古市剛久・柳井清治・竹林洋史・藤浪武史・村上泰啓・伊波友生・佐藤創・中田康隆・阿部友幸・大野宏之・武士俊也・田中利昌・小野田敏・本間宏樹・柳井一希・宮崎知与・上野順也・早川智也・須貝昂平(2019):平成 30 年北海道胆振東部地震による土砂災害, 砂防学会誌, Vol. 71, No. 5, pp54-65
- 2) 間片大地, 山田孝(2020): 地震に起因した火山灰堆積斜面崩壊による崩土の長距離移動実態の解明~2018 年 9 月北海道胆振東部地震による厚真町の事例~, 令和 2 年度地すべり学会研究発表会概要集

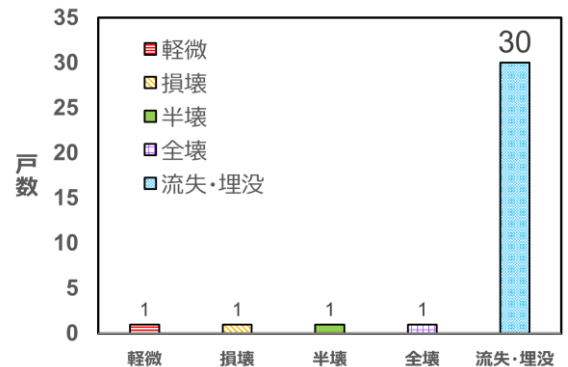


図-2 滑動型崩壊による各被災形態の戸数

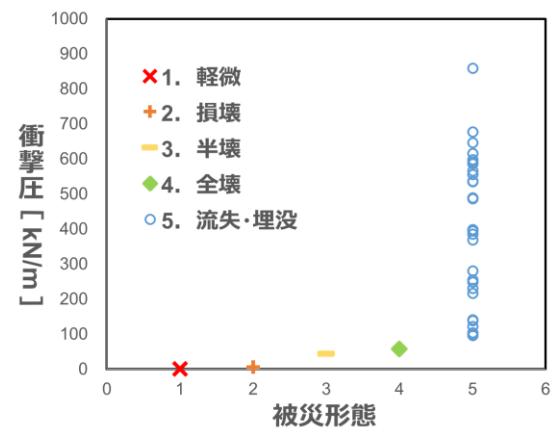


図-3 家屋被災形態ごとの衝撃圧