

# 個別要素法を用いた建物崩壊過程における人的被害発生機構推定 -長野県神城断層地震被害例への適用及び比較-

Casualty Occurrence Estimation for Building Collapse Applying Discrete Element Method  
-Application and Comparison to the Damaged Buildings of Kamishiro Fault Earthquake-

松本 将武<sup>1</sup>, 岡田 成幸<sup>2</sup>, 中嶋 唯貴<sup>2</sup>, 田守 伸一郎<sup>3</sup>

Masamu MATSUMOTO<sup>1</sup>, Shigeyuki OKADA<sup>2</sup>, Tadayoshi NAKASHIMA<sup>2</sup>, Shinichiro TAMORI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>北海道大学大学院 工学院

Grad School of Eng., Hokkaido University

<sup>2</sup>北海道大学大学院 工学研究院

Faculty of Eng., Hokkaido University

<sup>3</sup>信州大学 工学部建築学科

Department of Architecture, Shinshu University

The main factor of casualty during building collapse is debris of buildings. Considering relations between casualties and collapse process of buildings is necessary, but previous studies have reported only an indirect correlation without causal process. In order to disclose causes and effects relationship between casualties and building collapse with considering a volumetric loss of indoor-space, we firstly simulated wooden house collapse using 3-dimensional discrete element method (DEM). As a result of this, it was found that indoor unsafe spots are distributed unevenly and temporally. Secondary, we applied DEM to houses damaged in the Kamishiro fault earthquake (2014) and evaluated individual characters relate to ways of collapse.

**Keywords** : Discrete Element Method, Human Casualty, Wooden house, Debris, Kamishiro Fault Earthquake

## 1. はじめに

地震時の死傷者発生は多くの場合、倒壊する建物の構造部材を成傷器とする。特に本邦の地震災害では、木造住宅の崩壊が圧死のほか避難路閉塞による SAR 活動の遅延を要因とする衰弱死を招くケースも見られる。建物倒壊に伴い、構造部材に加え家具等の非構造部材の転倒・散乱で室内空間は大きく変容するが、その状況は住宅の構造や生活様態により住家ごとに異なる。人的被害推定等の目的で、本来であれば室内変容と人的被害は因果関係をもとに考えられるべきであるが、室内変容の詳細な時間変化を示す被害データはほとんど無い上、木造建物の崩壊の複雑性から物理モデルを用いた定量評価方法も限られている(たとえば1)2)。

本報では、建物の崩壊過程を時間追跡可能な個別要素法を用いて人的被害発生機構の推定手法を検討する。2014年長野県神城断層地震での被害調査データに基づき複数住家に対して解析を行い、1件ごとの崩壊性状や人的被害発生可能性の特徴を検証する。

## 2. 長野県神城断層地震

2014年11月22日22時08分頃に発生した長野県神城断層地震は長野県北部を震源とし、最大震度6弱(長野市ほか)が観測された。住家被害は全壊50棟、半壊92棟、一部破損1,428棟、人的被害は死者・行方不明者0名、重傷者10名、軽傷者36名であった<sup>3)</sup>。2015年10月の当グループによる現地被害調査は、長野県白馬村で被災した30世帯の住人に対する聞き取り形式で行われた。質問は建物被害状況、負傷状況、被震時の行動の3項目について時系列を重視し行った。また、可能な場合は住家の平面図を提供頂いた。

調査対象の世帯のうち、被害写真と被震時の行動、平面図等のデータが比較的充実している3世帯(住家A,B,C)(図1)に対し後述の個別要素法モデルを構築し解析対象とする。3住家の崩壊性状の共通点として1階がほぼ潰滅していること、2階が比較的残存していることが挙げられる。また、これら全ての住家で地震発生時1階に住人が居たが、いずれも瓦礫の直撃等による致命傷は免れ倒壊直後に家族らに救出されている。



図1 解析対象の住家

## 3. 個別要素法モデル作成

本報での木造住家の挙動解析には3次元個別要素法を用いた。個別要素法とは個々の要素に仮想バネと仮想ダッシュポットを配し、要素同士の接触判定から得た接触力を元に運動方程式を解き、時々刻々と変化する要素の変位を算出する方法である。この手法は、大変形時の部材散乱状態の時間推移の表現に優れると考えられる。

木造住家の接合部の複雑性や倒壊時に瓦礫として人体損傷を招きうる構造要素を考慮し、モデル化の対象は柱、スラブ、基礎のみとした。屋根と梁は固定荷重としてスラブに質量を加算し、積載荷重は省略する。簡略化によって部材の接合部の表現は粗略になるが、建物全体の崩壊過程の再現性を優先する。加えて、崩壊の中で落下してくる瓦礫による力の計測デバイスとして、平均0.85m×0.85m×0.05mのタイル状の個別要素(以下、計測タイ

ル)を廊下を除く1階の床面に配置する。各計測タイル上での計測値は均一とした上で単位時間当たりの最大相対圧力値を時刻歴で測定する。地震動入力は全ての事例に統一して鉛直方向に重力加速度980gal、水平方向に1100galの矩形パルスを一定時間加力した後、重力加速度のみの加力として自重による崩壊過程を観察した。

得られた崩壊過程に対し、Okada(1996)<sup>4)</sup>で提案されている内部空間被災度W値を与える。平面損失程度W1を[0.0,1.0]で目視で判定する。

#### 4. シミュレーション結果

住家A,B,Cの解析結果を表1に示す。相対時間0.2から1.0(終局状態)までの崩壊過程と累積相対圧力分布、崩壊過程から目視で読み取ったW1を併記する。圧力計測対象とした1階の様子が分かるように1階天井スラブ、2階柱、2階天井スラブは透過して表示している。

住家Aは手前左側に荷重が集中して柱が折損し、全体が振れるように崩壊している。累積圧力は疎らに分布しており、同一室内でも危険箇所が偏在していることが分かる。住家Bは加力方向から大きく外れることなく崩壊しており、これは整形な平面と対称形に近い柱の配置によるものとみられる。しかし危険箇所は住家Aと同様、平面全体に点在しており、y-方向に比較的多く危険箇所が生じている。住家Cでは、不整形な平面であるため住家Aのような振れる崩壊が予想されたが、結果は住家Bと同様、加力方向から大きく外れることなく倒壊した。理由として2階部分が1階部分の中央真上にあることにより住家全体の重心が中心付近に寄っていることが推察される。住家B,Cの圧力分布は相対時間0.8で急激に住家全体に広がっており、床面付近の高さの危険度が大きく上昇していることがわかる。また、要素を全て剛体としていることから落下する構造部材が計測タイル間を跨ぐ際、端部のみでの接触となる事が想定され、これは隣接する計測タイル同士の色の違いが明確な箇所が多くみられる一因と考えられる。

また、終局状態までに一定以上の相対圧力が計測され

た箇所、すなわち色付きの計測タイルの全計測タイル数に対する割合を計算すると、住家Aでは0.23、住家Bでは0.50、住家Cでは0.76となる。これは平面の損失の割合と見做せるのでW1と近似すると考えられるが、終局状態でのW1は全て1.0と読まれており、2~7割程の差異があることが分かる。加えて、表中で近いW1が与えられている場合でも圧力分布が大きく異なる箇所がある。これらは外観の目視だけでは判別不可能な内部空間が存在している可能性を示唆しており、これまでの地震災害でW1=1.0と判定された建物でも多くの生存者がいたという事実とも調和する。以上より、物理モデルによるシミュレーションの有用性が理解できる。

#### 5. おわりに

本報では、個別要素法を用いた木造住宅の崩壊過程における人的被害の発生機構推定手法を地震被害を受けた住宅に適用し建物ごとに危険箇所が時間的、室内平面的に偏在することを確認した。しかし1章で述べたように室内変容の要因は構造部材だけではなく、より詳細な評価の為には家具等の非構造部材の考慮や地震動入力も不可欠である。今後はそれらに加え、より多くの地震被害例への適用や空間損失の評価をする所存である。

#### 謝辞

本研究は、JSPS 科学研究費 JP16H0314107 (基盤B、代表：岡田成幸)の助成を受けたことを附記する。

#### 参考文献

- 1) 中川貴文:大地震動時における木造軸組構法住宅の倒壊解析手法の開発、建築研究所 建築研究資料、2010
- 2) 松本将武、岡田成幸、中嶋唯貴:地震破壊シミュレーションによる建物内死者発生推定のための建物ボリュームロス評価法の検討 その2 木造住家の空間被災度判定、2017年日本建築学会梗概集
- 3) 内閣府:長野県北部を震源とする地震の被害状況等について [http://www.bousai.go.jp/updates/h261122jishin/pdf/h261122jishin\\_14.pdf](http://www.bousai.go.jp/updates/h261122jishin/pdf/h261122jishin_14.pdf)
- 4) Shigeyuki Okada : DESCRIPTION FOR INDOOR SPACE DAMAGE DEGREE OF BUILDING IN EARTHQUAKE , Eleventh World Conference on Earthquake Engineering , 1996

表1 解析結果

相対時間	住家A			住家B			住家C		
	崩壊過程	累積圧力分布	W1	崩壊過程	累積圧力分布	W1	崩壊過程	累積圧力分布	W1
0.2			0.0			0.2			0.2
0.4			0.1			0.3			0.4
0.6			0.4			0.8			0.8
0.8			0.9			0.8			0.9
1.0			1.0			1.0			1.0