

【研究ノート】

倒壊解析に基づく木造住宅の残留変形角と最大層間変形角の関係

小谷菜央¹，平井敬²，永野康行³

¹ 兵庫県立大学大学院減災大学大学院復興研究科，大学院生

² 兵庫県立大学大学院減災大学大学院復興研究科，准教授 博士（工学）

³ 兵庫県立大学大学院減災大学大学院復興研究科，教授 博士（工学）

本研究では，木造住宅が地震による被害を受けた際の構造体の被害程度を定量的に評価することを目的とし，木造住宅倒壊解析ソフトウェア wallstat を用いた時刻歴応答解析を行い，建物の最大層間変形と残留変形との関係について考察した．モデルは2階建ての在来軸組構法木造住宅とし，4種類の卓越振動数を持つ Ricker Wavelet を用いて複数の入力レベルについて解析を実施した．卓越振動数によってばらつきがあるものの，最大層間変形はおおむね残留変形についての一次関数となることが分かった．

キーワード：地震，木造住宅，最大層間変形角，残留変形角

1. はじめに

大規模な地震が発生し，建築物に被害がもたらされたときに，建築物の損傷程度を適切に評価することは重要である．被災度を判定する項目の一つに，柱の残留変形角がある．また，被災建築物応急危険度判定マニュアル¹では，最大層間変形角は残留変形角の2倍程度と見積もられるとしている．しかし，これはわずか数件の木造建物の実大震動台実験結果を根拠としており，実際の建築物の被害程度を正確に表しているかどうかは明らかとなっていない．

残留変形角及び残留傾斜角を取り扱った研究は，一質点系での残留傾斜角の確率分布推定^{2,3}などが行われている．しかし，木造建築物を対象とした残留変形の実態及び最大層間変形との関係は明らかとなっていない．被災建築物の継続使用性・修復性の評価の信頼性を向上させるためには，上記のようなより現実的なモデルによる検討に基づく基礎的な知見の蓄積が必要であると考えられる．

以上の背景を踏まえ，本研究では2階建ての在来軸組構法を対象とし，活断層近傍での地震動を模擬した Ricker Wavelet を用いて時刻歴応答解析を行い，入力地震動の卓越振動数が残留変形と最大層間変形の関係に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする．

2. 解析方法

2.1 解析モデル

解析モデルを図 1 に示す。解析モデルデータは、京大生存圏研究所生存圏開発創成研究系中川貴文准教授より提供されたものを使用した。解析モデルは、耐震等級 1 の耐震性となるように耐力壁を調整して作成した。1 階と 2 階の階高がそれぞれ 2.8 m の 2 階建ての木造住宅である。柱と耐力壁の配置を図 1 に示す。耐力壁には、構造用合板、準耐力壁(石膏ボード)、サイディング壁をそれぞれ設定した。床構面は 24 mm 厚の構造用合板(根太なし直張り 4 周釘打ち・N75@150 以下)とし、屋根構面は 9 mm 厚の構造用合板(垂木@500 以下転ばし・N50@150)とし、モデル化した。重量は別途計算を行い、屋根面に 67 kN、2 階床面に 101 kN、1 階床面に 79 kN をそれぞれ設定し、床と壁に位置する節点の支配面積の割合に応じて各節点に設定した。結果の出力は、図 1 及び図 2 に示した X0, X6 の Y0 軸通り、X0, X9 の Y7 軸通りの XY 方向の変位とした。本稿では、1 層の X9・Y7(X+Y+)柱位置の X 方向の層間変位について言及する。

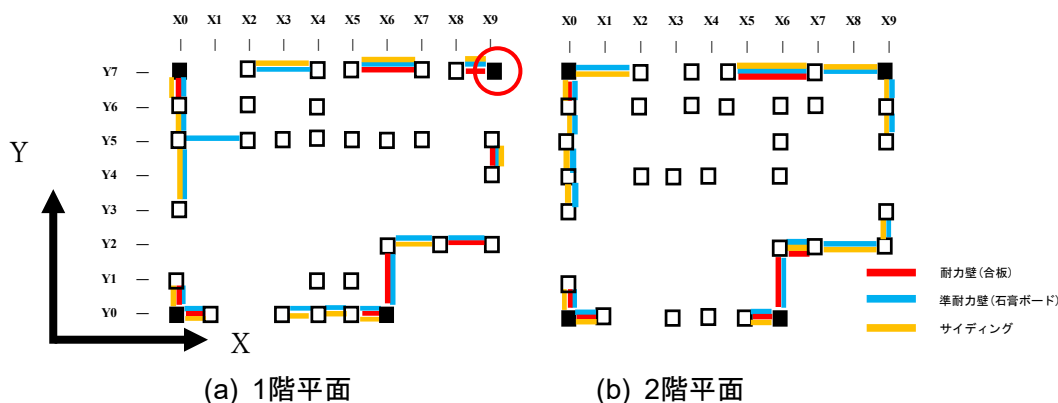


図1 解析モデルの柱と耐力壁の配置(耐震等級1)

2.2 入力波

時刻歴応答解析の入力加速度波形として使用した Ricker Wavelet は、卓越振動数 1.0・1.4Hz のものを使用した。一例として卓越振動数 1.0 Hz の加速度波形を図 2 に示す。ここで、卓越振動数とは、図 2 に示した加速度波形のフーリエ振幅スペクトルがピークを持つ振動数のことである。加速度の絶対値の最大値を初期値 1 cm/s² とし、10 cm/s² 刻みで上昇させ倒壊するまで解析を行った。入力地震動は変位波形に変換し、X 方向に入力した。以降、入力地震動の加速度の絶対値の最大値のことを、単に入力加速度と表記する。

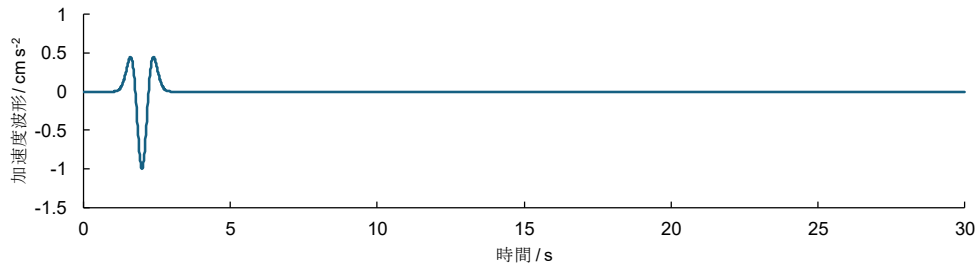
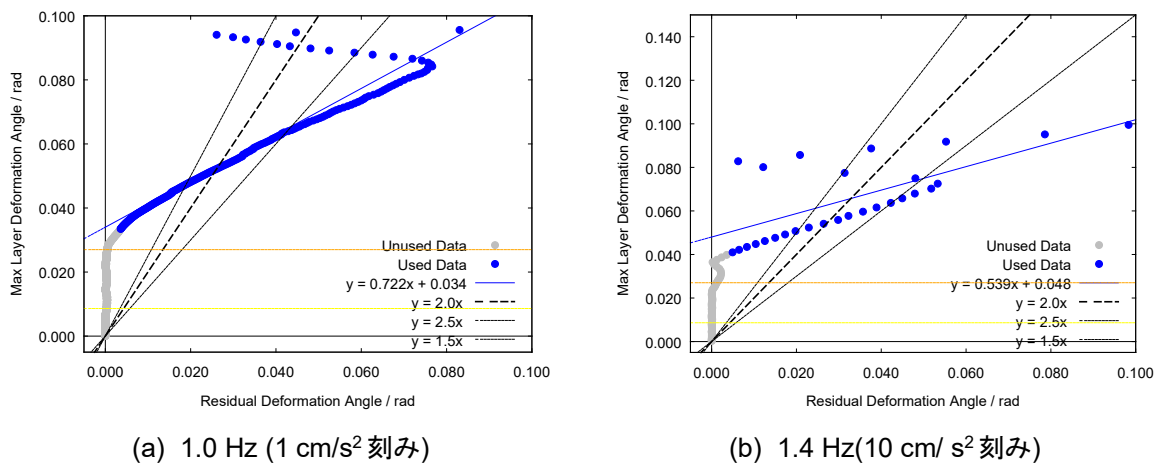


図2 卓越振動数1.0 Hzの加速度波形

3. 時刻歴応答解析の結果における残留変形角と最大層間変形角の関係

解析結果の最大層間変形と残留変形の関係を図3に示す。図3には卓越振動数 1.0 Hz, 1.4 Hz の地動入力と同じ X 方向の残留変形(横軸)及び最大層間変形(縦軸)について示した。いずれの卓越振動数においても、それぞれ倒壊挙動が確認された。倒壊時の入力加速度は、入力の卓越振動数 1.0 Hz, 1.4 Hz に対してそれぞれ 961 cm/s^2 , 1051 cm/s^2 であった。図3(b)では、残留変形角と最大層間変形角が青線で示した残留変形角 0.03 rad 以上を対象にし、最小二乗法により求めた一次関数に沿っていないデータがあった。この関係を検討するため、図4(a)に入力加速度と残留変形角の関係について示した。図4(a)では、入力加速度の増加に伴った残留変形の増加があった入力加速度 $761 \cdot 861 \cdot 961 \text{ cm/s}^2$, $1001 \cdot 1011 \cdot 1041 \text{ cm/s}^2$ をそれぞれ(a)・(b)・(c), (e)・(f)・(g)とし、残留変形の減少があった入力加速度 981 cm/s^2 を(d)として示した。入力加速度 $961 \cdot 981 \cdot 1001 \text{ cm/s}^2$ の時刻歴の層間変位について、図4(b)に示した。図4(b)では、入力加速度の増加に伴い、正の領域にある残留変位点が増加していることが確認された。



(a) 1.0 Hz (1 cm/s^2 刻み)

(b) 1.4 Hz (10 cm/s^2 刻み)

図3 卓越振動数ごとの残留変形角と最大層間変形角

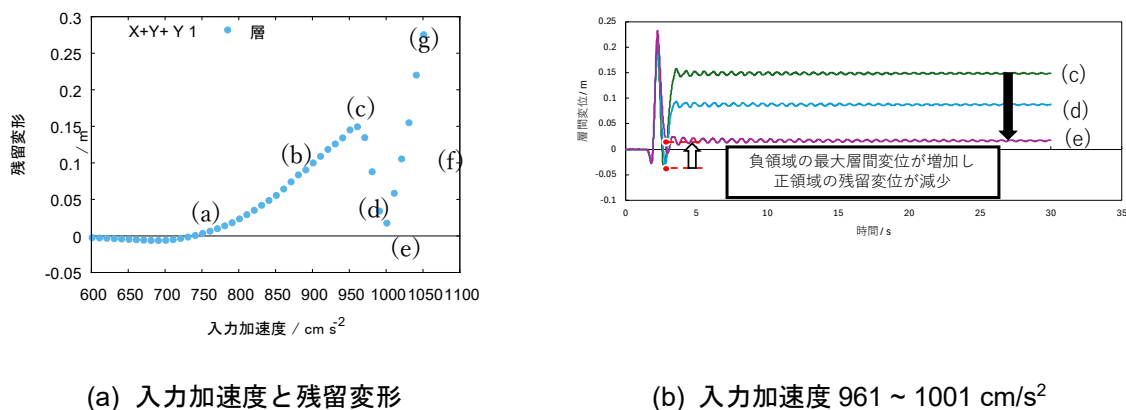


図4 入力加速度ごとの時刻歴の層間変位の推移

4. まとめ

本論では、在来軸組構法の木造住宅を対象として、活断層近傍の地震動を模擬した Ricker Wavelet を用いて木造住宅倒壊解析ソフトウェア wallstat による時刻歴応答解析を行い、最大層間変形と残留変形の関係について検証した。以下、本論で得られた結論を述べる。

- ・入力の卓越振動数 1.0 Hz, 1.4 Hz に対して、それぞれ入力加速度 971 cm/s², 1051 cm/s² でモデルが倒壊挙動を示した。卓越振動数 1.0 Hz の入力波は対象とした解析モデルにおいて最小の加速度の最大値で倒壊傾向を示したことから、解析モデルに対して最も破壊力のある地震波であることが分かった。

- ・入力加速度の卓越振動数 1.4 Hz において、おおむね入力加速度とともに残留変形も増大するが、入力加速度 961~1001 cm/s² 区間では入力加速度の増加に伴い残留変形が減少する傾向にあることが確認できた。

謝辞

本研究で使用した解析モデルデータは、京都大学生存圏研究所生存圏開発創成研究系中川貴文准教授より提供されたものです。また、本研究は公益財団法人ひょうご科学技術協会「企業・大学院連携研究」より助成を受けて、実施したものの一部です。関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 被災建築物応急判定研究会：被災建築物応急危険度判定マニュアル，日本建築防災協会，1998.
- 2) 伊川潤：ランダムウォーク仮定に基づく完全弾塑性一質点系の地震後残留変形の確率分布に関する考察 地震後残留変位の確率分布に関する研究 その 1，日本建築学会構造系論文集，Vol.77，No.674，pp.537-544，2012.
- 3) 伊山潤：ランダムウォーク仮定に基づくバイリニア性一質点系の地震後残留変形の確率分布に関する考察 地震後残留変位の確率分布に関する研究 その 2，日本建築学会構造系論文集，Vol.86，No.675，pp.445-452，2013.

Note:

Relationship Between Residual Deformation Angle and Maximum Story Deformation Angle of Wooden Houses Based on Collapse Analysis

Nao Kotani¹, Takashi Hirai², Yasuyuki Nagano³

¹ Graduate School of Disaster Resilience and Governance, University of Hyogo, Graduate Student

² Graduate School of Disaster Resilience and Governance, University of Hyogo, Associate Professor, Dr.Eng.

³ Graduate School of Disaster Resilience and Governance, University of Hyogo, Professor, Dr.Eng.

Abstract

The purpose of this study was to quantitatively evaluate the degree of damage to wooden houses when they are damaged by earthquakes, and a time history response analysis was performed using the wooden house collapse analysis software WALLSTAT to consider the relationship between the maximum story deformation and residual deformation of the building. The model was a two-story wooden house using traditional post-and-beam construction, and analysis was performed for multiple input levels using Ricker Wavelet with four dominant frequencies. Although there was some variation depending on the dominant frequency, it was found that the maximum story deformation was generally a linear function of the residual deformation.

Keywords: Earthquake, Wooden house, Maximum story drift angle, Residual drift angle