

応答加速度の時刻歴波形を用いた建物被害の分析

21T0461H 中田 美有
指導教員：丸山 喜久

1. 研究背景と目的

近年の大地震では建物への甚大な被害が問題となっており、特に木造建物への被害は深刻である。また、近い将来に南海トラフ巨大地震や首都直下地震の発生が懸念されており、地震によって多数の木造建物が被害を受けることが予想される。

大地震の際に被害を受けた建築物は、建築士などによって応急危険度判定が行われる。しかし現状では、判定員の人手の確保、被害を受けた全ての建物の判定に長い期間を要すること、目視での判断のため個人差が生じることなど、課題が残っている。地震後に速やかに物理量を用いた建物被害の評価を行うことが求められている。

このような背景のもと、本研究では木造建物に加速度センサを取り付けたことを想定し、木造建物の地震応答加速度に基づき、建物の被害程度を予測することを目的とする。具体的には、筋交いの本数を変えた6種類の木造建物のモデルを作成し、地震応答解析を多数行い、応答加速度の時刻歴波形のデータを得た。これらの応答加速度をもとに被害程度の予測モデルを構築した。本研究を通して、地震後の迅速な建物被害の評価に貢献すること、及び建物の設計段階での耐震性能評価の精度向上に寄与することを目指す。

2. 木造建物モデルと入力地震動

本研究では、地表面加速度記録を用いて木造建物モデルの地震応答解析を行った。

(1) 入力地震動

解析に用いる地震動は、気象庁が公表する「日本付近で発生した主な被害地震」¹⁾において、最大震度が大きい地震を10件選んだ。選択した10件の地震において、計測震度が大きい10の観測点の地震を防災科学研究所のK-NETおよびKiK-net²⁾から取得した。これらの地表面加速度記録（NS・EW・UD成分）を地震応答解析に使用した。

(2) 木造建物モデル

応答解析に用いる木造建物モデルは、文献³⁾をもとに作成した。作成した6つのモデルにおいて、全てのモデルの床面積は等しく1階は29.812m²、2階は27.327m²で、筋交いの本数のみ変化させた（表1、表2）。

表1 建物モデルごとの筋交いの本数

	1層X方向	1層Y方向	2層X方向	2層Y方向
モデル1	0	0	0	0
モデル2	4	4	2	2
モデル3	6	6	3	4
モデル4	8	9	4	5
モデル5	18	18	4	5
モデル6	18	18	7	8

表2 必要耐力に対する保有耐力の比

	1層X方向	1層Y方向	2層X方向	2層Y方向
モデル1	1.27	1.472	2.017	3.421
モデル2	1.74	1.943	2.593	3.997
モデル3	1.976	2.178	2.881	4.573
モデル4	2.211	2.531	3.169	4.861
モデル5	3.388	3.59	3.169	4.861
モデル6	3.388	3.59	4.033	5.725

3. 木造住宅倒壊解析ソフトウェア wallstat

wallstat⁴⁾は、木造軸組構法住宅を対象とする数値解析ソフトウェアである。地震時の建物全体の損傷状況や倒壊過程がシミュレーションできるように開発され、解析の様子を視覚的に確認できる。また、バラバラな物体の挙動を計算する非連続体解析法を基本理念としているため、建物が一部破壊しても、その後に倒壊する過程まで計算を続行することが特徴である。実大の木造住宅の振動台実験における倒壊過程を精度よく解析できることが明らかとなっているため、本研究では wallstat を使用して地震応答解析を行い、応答加速度の時刻歴波形のデータを得た（図1）。

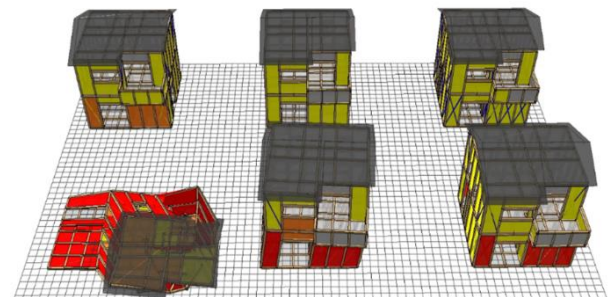


図1 wallstat を用いた木造建物モデルの解析

4. 地震応答解析の結果

木造建物の 2 階の重心位置に加速度センサを設置していると想定し、地震応答解析によって応答加速度を得た。なお、本研究では、木造建物の被害を層間変形角(θ)で評価することとし、被害無し($\theta < 1/120$)、小破($1/120 \leq \theta < 1/30$)、大破($1/30 \leq \theta$)の 3 クラスに分類した。図 2 に、木造建物の応答加速度と応答速度の最大値の関係を被害区分ごとに示す。

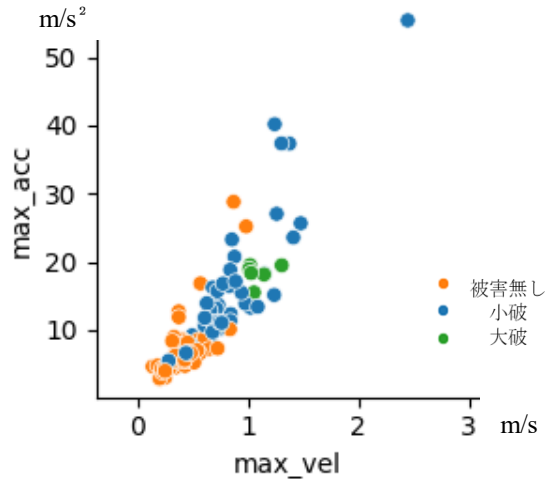


図 2 最大応答加速度と最大応答速度の関係 (建物モデル 4)

本研究の解析結果では、最大応答加速度と層間変形角、最大応答速度と層間変形角のそれぞれの相関係数は低く、単一の指標値では被害程度を予測することは困難と考えられる。

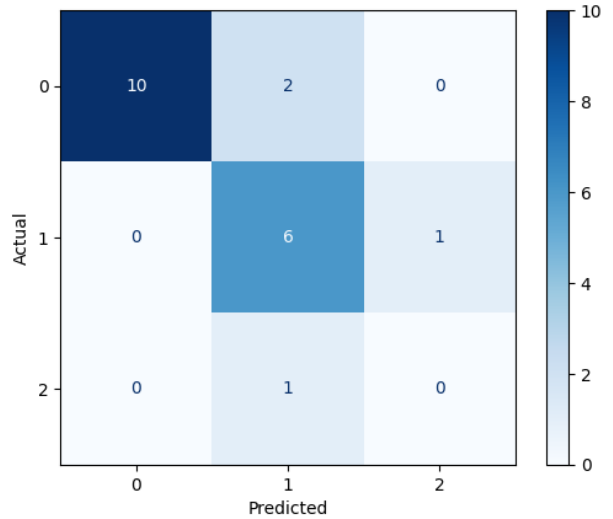
建物モデルごとに結果を比較すると、筋交いの本数を増やすと建物の被害件数が少なく、被害クラスが小さくなることを示すことができた。しかし、筋交いの本数が多いものが、小さいものより被害クラスが大きくなっている事例が一部見られた。これは、建物の固有周期と地震の卓越周期が近い値をとっていたためだと考えられる。

5. 被害予測モデルの構築と精度評価

解析結果を用いて、多項ロジスティック回帰分析を行い、建物モデルごとに、建物の被害クラスを予測するモデルを構築した。100 個の解析データのうち、80 個を訓練データ、20 個をテストデータとした。また、説明変数として最大応答加速度と最大応答速度を用いた。図 3 と表 3 に、建物モデル 4 の予測結果とモデルの精度を示す。

表 3 の再現率・適合率は、被害クラスごとの再現率・再現率の平均をとったものであるため、大破の予測精度が著しく低かったことでモデルの精度を大幅に低下させてしまった。大破の予測精度が低い原因と

して、大破のデータ数が少なかったことや、小破と大破の判別に有効的な説明変数を用いられなかったことが挙げられる。



0:被害無し 1:小破 2:大破

図 3 被害予測モデルの混同行列(建物モデル 4)

表 3 予測モデルの精度(建物モデル 4)

正解率	再現率	適合率
0.800	0.563	0.556

6. まとめと今後の展望

本研究では wallstat を用いて地震応答解析を行い、そこで得られた応答加速度の時刻歴波形を用いて、木造建物の被害程度を予測するモデルを構築した。しかし、被害クラスによってデータ数に大きな違いがあったため、再現率と適合率の差が大きくなってしまい、精度の高い予測モデルの構築はできなかった。

このことから今後の展望として、データ数のばらつきを減らしたうえで、訓練データの数を増やし、より精度の高いモデルの構築を目指していきたい。また、地震の計測震度や木造建物モデルの固有周期等の新たな説明変数を加えて、様々な指標から建物の被害を予測できるモデルにしていきたい。

参考文献

1)国土交通省気象庁：日本付近で発生した主な被害地震（平成 8 年以降），<https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/higai/higai1996-new.html>
2)防災科学研究所：強震観測網（K-NET，KiK-net），<https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
3）鈴木強：耐震シミュレーション wallstat ガイド，学芸出版社，2020。
4）中川貴文：wallstat 木造住宅倒壊解析ソフトウェア，<https://www.rish.kyoto-u.ac.jp/~nakagawa/index.html>