

地震動のスペクトル特性と木造建物の振動特性を考慮した地震被害予測手法に関する研究 —2007 年能登半島地震への適用—

金沢大学理工研究域	正会員	○村田 晶
同上	正会員	宮島昌克
福井県土木部	正会員	榎波智仁

1. はじめに

現在、地震リスク評価の代表的なものとして、地震ハザードステーション J-SHIS（以下、J-SHIS）の地震動予測地図¹⁾がある。このような地震リスク評価において構造物の被害予測を行う過程は、ある震源を仮定した際の評価地点における地震動の評価と、その地震動を用いた構造物の損傷度評価に分割できる。現在の地震動予測地図では、地震動を最大速度、あるいは計測震度で表現している。これらは予測手法が簡易的であり、被害関数によって建物被害との対応もしやすい。しかしながら、地震動を一つの物理量によって表現することから、本来地震がもつ有用な情報がいくらか欠落し、損傷度評価の精度を犠牲にすることになる。犠牲になる情報には、地震動の周期領域における特性（以下、スペクトル特性）がある。さらに、被害関数は地震動と被害率との経験的な関係を記述しているため、建物の振動における特性（以下、振動特性）が考慮されていない。そのため、被害関数を構築するために対象とした地域と建物の耐震性能が異なる地域では、被害関数の適用が難しい。

そこで本研究では、地震動のスペクトル特性および木造建物の振動特性を考慮できる地震被害予測手法（以下、本手法）の構築を目的とする。本稿では、本手法の構築と同時に、本手法の精度を検証するために実際に起こった地震（2007 年能登半島地震）を想定地震とした地震被害予測も行う。

2. 加速度応答スペクトルの予測手法

地震動の支配要因には震源特性と伝播経路特性および地盤の増幅特性があるといわれている。このことから、加速度応答スペクトルに対して以下の関係式が成り立つ。

$$S_a(T) = F\{O(T), P(T)\} \cdot G(T) \quad (1)$$

ここで T は地震動の周期 (s)、 $S_a(T)$ は地表の加速度応答スペクトル(本手法では減衰定数 0.05 とし、単位は cm/s^2)、 $O(T)$ は震源特性、 $P(T)$ は伝播経路特性、 $G(T)$ は地盤の増幅特性である。本手法では、 $F\{O(T), P(T)\}$ を基盤における加速度応答スペクトルとして、内山、翠川（2006）の距離減衰式²⁾で算定する。さらに、 $G(T)$ は内山、翠川（2003）によって改良された NEHRP の方法³⁾、および参考文献⁴⁾の経験式を用いて算定する。なお、計算上必要となる地盤情報などのパラメータは、J-SHIS の国土数値情報を用いて算定した。以上によって、本手法では、標準地域メッシュの 250m メッシュごとに地表加速度応答スペクトルを予測する。

3. 木造建物の損傷度評価手法

本手法における木造建物の損傷度評価では、地震動のスペクトル特性と木造建物の振動特性を考慮するために等価線形化法を用いる。さらに、建物の振動特性のばらつきを考慮するために、さまざまな振動特性を有する建物の集合体として建物群モデルを構築する。本手法における建物の振動特性とは、個別の木造建物のせん断力-変位関係（以下、復元力特性）を指す。集合体を構成する個別の木造建物は 1 質点 1 自由度系と仮定する。これに初期減衰定数、等価質量、等価高さ、降伏層間変形角、降伏せん断力を設定し、さらに、履歴曲線が描く形状は剛性低下型バイリニアモデルとする。個別の木造建物は対象地域の代表的な木造建物とし、等価質量および等価高さは代表的な木造建物のものを用いる。初期減衰定数は 0.05 とし、降伏層間変形角は、限界耐力計算法で用いられている 1/120 を用いる。また、降伏せん断力に関しては、そのばらつきを考慮して、これを分布させた建物群モデルを構築する。降伏せん断力は固有周期と関係性があるため、固有周期のばらつきを確率密度関数として表し、それによって降伏せん断力のばらつきを表す。固有周期のばらつきを把握する

方法としては、木造建物の築後年と固有周期の関係性を利用する。これは、日本全国の木造建物を対象とした既往研究⁵⁾の統計解析によって、木造建物の固有周期を各築年に対して正規分布でばらつく確率変数として表した関係である。木造建物の築後年のばらつきは、総務省統計局が各市でまとめている木造建物の建築年代別棟数⁶⁾から対数正規分布の確率密度関数として近似する。

4. 2007年能登半島地震に対する本手法の精度検証

本研究では、本手法によって2007年能登半島地震を想定した地震被害予測（以下、想定例）を行い、予測被害率と実際の被害率（以下、実被害率）を比較して精度の検証を行う。ここで1質点1自由度系のパラメータには既往研究⁷⁾の値を用いる。また、木造建物の築後年のばらつきの推定には、参考文献⁶⁾より平成15年度に輪島市でまとめられた木造建物の建築年代別棟数を用いる。本手法による予測被害率と実被害率を比較した結果を図-1に示す。ここで、誤差平均とは、予測被害率と実被害率の差の絶対値の平均をとった値である。本手法では誤差平均が約0.10となった。本研究ではさらに、既往の被害関数を用いた地震被害予測（以下、既往手法）も行い、本手法の精度と比較した。ここでの既往手法は、参考文献⁸⁾に示される手法に準拠している。既往手法による予測被害率と実被害率を比較した結果を図-2に示す。既往手法の誤差平均は約0.23となり、本手法の精度がよいことがわかる。また、既往手法では震源から離れた穴水での予測被害率が0となっており、震源に近い地域（黒島、道下）に関しても被害率を過小で予測していることがわかった。

5. まとめ

本研究によって、地震動のスペクトル特性および木造建物の振動特性を考慮した地震被害予測手法が構築された。想定例より、本手法は実際の地震被害を既往手法より高い精度で予測することが示された。本手法を適用するにあたっては木造建物の振動特性に関するデータが必要となるが、今後、より少ないデータでも予測を行えるような改善を行っていく予定である。

謝辞

想定例にあたり、J-SHISの国土数値情報を利用させていただいた。また、実被害率の算定に日本建築学会の悉皆調査結果を利用させていただいた。関係者各位に謝意を表する。

参考文献

- 1)地震ハザードステーション J-SHIS：地震動予測地図，<http://www.j-shis.bosai.go.jp/#>，2010年現在。
- 2)内山泰生，翠川三郎：震源深さの影響を考慮した工学的基盤における応答スペクトルの距離減衰式，日本建築学会構造系論文集，第606号，pp.81-88，2006。
- 3)内山泰生，翠川三郎：地震記録および非線形応答解析を用いた地盤分類別の地盤増幅率の評価，日本建築学会構造系論文集，第571号，pp.87-93，2003。
- 4)Steven M. Day, Robert Graves, Jacobo Bielak, Douglas Dreger, Shawn Larsen, Kim B. Olsen, Arben Pitarka, and Leonardo Ramirez-Guzman: Model for Basin Effects on Long-Period Response Spectra in Southern California, Earthquake Spectra, Volume 24, No.1, pp.257-277, 2008.
- 5)境有紀，飯塚裕暁：非線形地震応答解析による地震被害推定を目的とした平均的な木造建物群モデルの構築，日本地震工学論文集，第9巻，第1号，pp.32-45，2009。
- 6)総務省統計局：政府統計の総合窓口，<http://www.e-stat.go.jp/SG1/toukeidb/>，2010年現在。
- 7)清水秀丸，新井洋，森井雄史，山田真澄，林康裕：2007年能登半島地震における被災木造建物の耐震性能と地域特性の評価，日本建築学会構造系論文集，Vol.73, No.631, pp.1503-1510，2008。
- 8)内閣府（防災担当）：地震防災マップ作成技術資料，<http://www.bousai.go.jp/oshirase/h17/050513siryoku.pdf>，pp.118-121，2005。

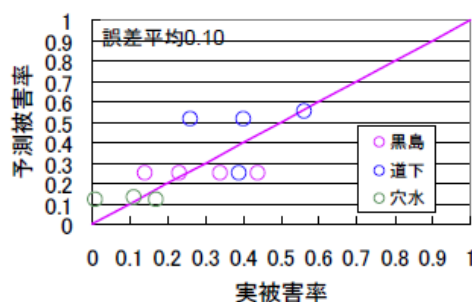


図-1 本手法による予測被害率と実被害率

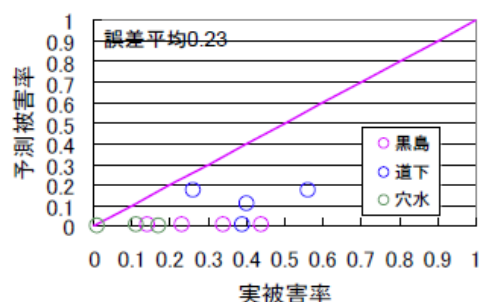


図-2 既往手法による予測被害率と実被害率

キーワード 地震被害予測指標，スペクトル特性，建物応答振動特性，2007年能登半島地震
連絡先 〒920-1192 石川県金沢市角間町 金沢大学理工研究域環境デザイン学系 Tel:076-234-4655