

新潟県中越地震における余震が木造建造物の被害拡大に及ぼした影響

金沢大学大学院 正会員○村田 晶
同 フェロー 北浦 勝
同 正会員 宮島昌克

1. はじめに

2004年10月23日、新潟県中越地方においてM6.8の地震が発生した。この地震により、新潟県川口町で震度7、小千谷市、山古志村、小国町で震度6強を観測した。また、同日18時11分頃にM6.0、18時34分頃にM6.5の余震が続けて発生し、いずれも最大震度6強を観測した。特に今回の新潟県中越地震では本震後の余震によって木造建造物の破壊が拡大したことが知られている。しかしながら、木造建造物の破壊に対し地震応答の繰り返しがどのように影響しているかについては、未だ定量的に明らかになっていないと言えない。そこで、新潟県中越地震における強震観測記録から得られる波形を用いて地震応答解析を行い、木造建造物破壊に及ぼす地震動の累積による影響を検討する。

2. 新潟県中越地震本震、余震を用いた木造建造物地震応答解析

2.1 木造建造物の地震応答解析概要

地震応答解析に用いる木造建造物モデルは標準的な2階建てをモデル化した、2質点せん断型の振動モデル¹⁾である。ただし、図1に示すように履歴特性は復元力を各層重量とベースシア係数の積で除した基準化復元力に対し、ポリリニア型とスリップ型の履歴特性を0.4:0.6の割合で足し合わせる。また、2層部の剛性は標準的な2階建て木造建造物を考えて1層部の0.6倍と仮定する。また、現代軸組工法による木造軸組では1/30(rad)で剛性が低下する²⁾こと、また、層間変形角が1/10(rad)を越えるとP-Δ効果により自壊する³⁾こと、が言われている。そこで、1/30(rad)以降の履歴特性は1/5(rad)で基準化復元力がゼロになるように設定する。その他の折れ点としては、1/960(rad)、1/120(rad)を設定する。これら折れ点はそれぞれ一部損壊以上、中破以上の被害に対応する。

以上の方法により設定した履歴特性に対し、木造建造物質量の1階を36(t)、2階を27(t)とし、ベースシア係数 C_0 を変数とした解析モデルを用いる。

2.2 解析結果及び考察

(1) 新潟県中越地震本震による解析結果

建造物のベースシア係数を $C_0=0.3$ としたときの本震加速度記録に対する、地震応答解析による1層部最大層間変形角と木造建造物全壊率との関係を図2に示す。ここで、木造建造物全壊率はそれぞれの地域における全壊棟数に大規模半壊棟数および半壊棟数の1/2を加

えた値を全世帯数で除して求める。また、両者の関係を表す相関比 R^2 を本研究ではロジスティック関数を用いた回帰曲線に対する、最小自乗誤差より求める。

図に示すように、層間変形角と全壊率の関係は層間変形角の増加に従い全壊率が増加することから、関係は調和的である。また、本地震による被害と、既往の地震（兵庫県南部地震、鳥取県西部地震）で被害の大きかった地点を比較すると、図中で示す回帰曲線を基準としたとき層間変形角に対し全壊率が大きくなる。このことから、新潟県中越地方の木造建造物は平均的に剛性の高いことが伺える。さらに、全壊率の高い地域のうち小千谷市では全壊率に比べ層間変形角が大きく、小国町、十日町市では全壊率に比べ層間変形角が小さくなる傾向となった。これらより、小国町、十日町市ではその後の余震によって特に被害が拡大したのではないかと考えることができる。

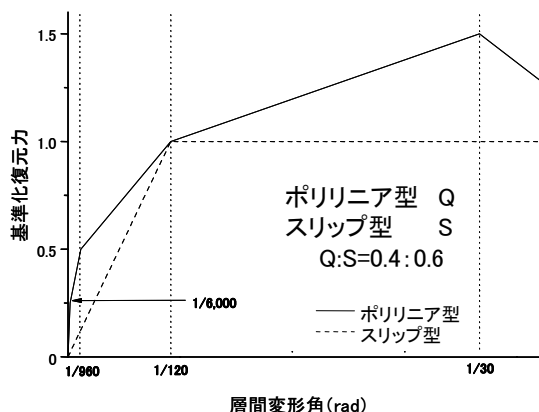


図1 木造建造物モデルの履歴特性

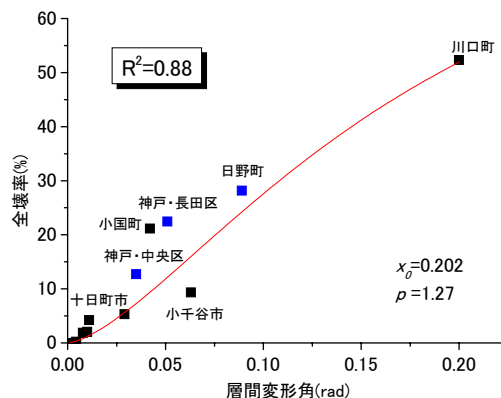


図2 本震による層間変形角と全壊率との関係

キーワード 新潟県中越地震、木造建造物、地震応答解析

連絡先 〒920-1192 石川県金沢市角間町 金沢大学大学院自然科学研究科社会基盤工学専攻 TEL:076-234-4654

(2) 本震と余震を組み合わせた波形による解析結果

本震の強震記録に余震の強震記録を組み合わせる方法は、本震、余震の強震記録に対し、被害に影響を及ぼさないと考えられる振幅レベル（本研究では 10cm/s^2 ）を設定して、強震後そのレベルになったときに記録を打ち切り、それぞれの記録をつなぎ合わせ、連続した強震記録として定義する。

ベースシア係数 $C_0=0.3$ としたときの応答解析による解析結果について、本震では倒壊には至らないJMA小国とJMA小千谷の本震と余震における応答を図3、図4に示す。また比較として、本震記録による解析で倒壊に至ったJMA川口と、それほど大きな層間変形角とならなかったK-NET十日町の強震記録を代表例として用いる（図5、図6）。本研究では本震－余震が引き続き構造物に入力したときの構造物応答履歴に着目しているため、解析条件として本震、余震を連続した一連の地震波形としたもの（A）と、本震終了時の残留層間変形角は引き継ぐものの履歴特性は本震－余震の切り替え時に初期状態から始めるもの（B）、の2タイプを行う。強震後の部材の損傷状況は明確ではないものの、前者は損傷状況をそのまま引き継ぐもの、後者は部材の剛性が回復したものであると解釈できる。

図3、図4に示すように本震－余震を一連の地震波形とし、履歴特性を引き継いだときには、明らかに残留変形角が増加する。このことから、履歴特性を引き継ぎ本震－余震を連続して入力したときには被害拡大に大きく影響することが分かる。一方、図5に示すJMA川口のように本震記録による解析で倒壊に至る強震記録の場合、履歴特性を引き継ぐかどうかによらず、余震が加わっても大きな変化が見られない。一方、図6に示すK-NET十日町では、余震により層間変形角が増加するが、倒壊に至るような解析結果とはならない。

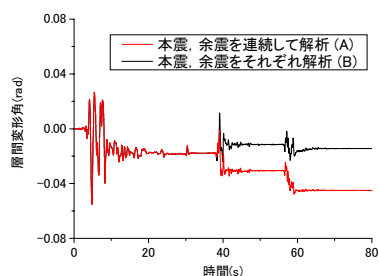


図3 本震、余震での層間変形角時刻歴（JMA小千谷）

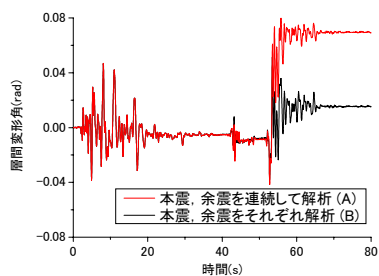


図4 本震、余震での層間変形角時刻歴（JMA小国）

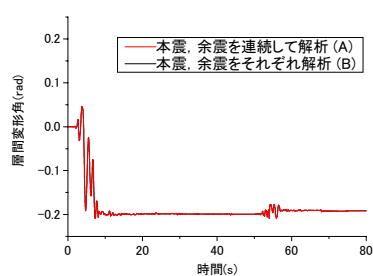


図5 本震、余震での層間変形角時刻歴（JMA川口）

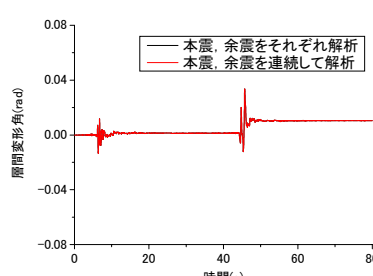


図6 本震、余震での層間変形角時刻歴（K-NET十日町）

以上の結果をまとめたものを図7に示す。本震、余震を連続した一連の地震波形として考慮することで、両者の関係を表す相関比 R^2 は考慮しなかった図2よりも良くなっていることが分かる。

3. まとめ

本研究により得られた知見を以下に示す。

本震、余震を連続した一連の地震波形として考慮することで、本震－余震の連続が木造構造物被害の拡大に大きく影響することを明らかにした。ただし川口町のような激震地区ではベースシア係数が小さい木造構造物の場合、本震の強震部分が入力されると層間変形角が急激に増加するため、本震のみで大破・倒壊等の深刻な被害が生じると考えられる。

今後、被災地区での木造構造物被害を詳細に調査し、解析パラメータを最適化することで、より詳細に被害メカニズムが解明できるものと考えられる。

謝辞： 本研究で用いた強震記録は K-NET、KiK-net（防災科学研究所）、JMA（気象庁）によるものである。また、被害データについては新潟県発表の情報を参考にした。以上の各機関に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 林康裕 他：2000年鳥取県西部地震の地震動強さの評価、日本建築学会構造系論文集、第548号、pp.35-41、2001
- 2) 鈴木祥之 他：強震動下における木造建物の地震応答と耐震性評価、第2回都市直下地震災害総合シンポジウム、pp.211-214、1997.
- 3) 鈴木三四郎 他：軸組木造住宅の地震応答解析 その1～3、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.205-210、2001.

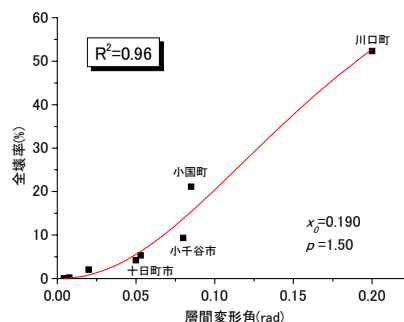


図7 余震を組み込んだ層間変形角と全壊率との関係