

木造住宅の塑性率に基づく地震動強度の評価

徳島大学大学院 賛助会員 ○木村 健吾 徳島大学 正会員 成行義文
 徳島大学 フェロー 井上貴文

1. はじめに

日本は世界有数の地震大国であり、これまでも地震による数多くの被害が知られている。大地震に対して被害を少しでも抑えるためには防災対策が必須である。その防災対策で用いられる重要な指標として震度が挙げられ、気象庁では、震度は防災関係機関の初動立ち上がりの基準及び災害応急対策の基準としても活用されている。このことは、震度をはじめとする地震動の破壊力指標は、実際の被害と対応する必要がある、ということの意味している。しかしながら、計測震度が運用されてから、震度 6 弱あるいは 6 強を記録したにもかかわらず、観測点周辺での被害はさほどでもなかった例がいくつか挙げられることから、計測震度の被害との対応が問題視されている。本研究では、木造住宅の塑性率に基づく地震動強度を評価し、考察を行った。

2. 地震動強度の評価方法

本研究で用いた解析パターンは、周期は 0.05 秒から 0.05 秒刻みで 0.5 秒までの 10 パターン、降伏せん断力は木造住宅を対象としていることから 100kN から 10kN 刻みで 200kN までの 11 パターン、合計 110 個の解析モデルに対して地震動を入力して最大応答塑性率を算出する。周期および降伏応力ともに高橋・小原¹⁾を元に設定した。1 質点減衰系構造物の強震時応答特性の研究として、非線形系の地震応答解析より得られた最大応答変位とエネルギー一定則を用いて塑性率を算出する。また、解析モデルにある地震波を入力した場合に得られる変位応答スペクトルから各周期における最大変位を用いて塑性率 μ を算出している。塑性率 μ は次式で表される。

$$\mu = \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{Q_A}{Q_B} \right)^2 + 1 \right\} \quad (1)$$

Q_A は弾性応答水平力で剛性 k 、最大応答変位 x を用いて $Q_A = kx$ と表される、 Q_B は降伏せん断力である。

本研究では気象庁の強震観測データより、1995 年の兵庫県南部地震（兵庫県神戸中央区中山手）、2000 年の鳥取県西部地震（鳥取県境港市東本町）、2001 年の芸予地震（広島県北広島町有田）、2003 年の十勝沖地震（北海道浦河町潮見）、2004 年の新潟県中越地震（新潟県川口町川口）、2016 年の熊本地震（熊本県宇城市松橋町）の 7 つの地震波を使用して解析を行う。この地震波のうち、被害が小さかったとされるのは、鳥取県西部地震、芸予地震および十勝沖地震である。入力地震動として水平 2 成分のベクトル和が最大となる方向を用いる。

3. 最大塑性率と建物被害との関係

塑性率は構造物や部材が塑性域に入って変形するときの比率の事であり、構造物の被害の程度を知ることができる。塑性率と被災度との関係を見るために木造住宅のモデルを設定して、実際の被害状況も踏まえた上で、被災度を推定したものを本研究で使用した。

表 1 および表 2 から、塑性率が 8 以上から居住が困難であると考えられる²⁾。

表 1 塑性率と被災度の関係

0 ≤	塑性率 <	1 :	無被害
1 ≤	塑性率 <	3 :	一部破損
3 ≤	塑性率 <	8 :	半壊
8 ≤	塑性率 <	15 :	全壊
15 ≤	塑性率 <	:	倒壊

表 2. 木造構造物の被害の状況

無被害	外観上被害が全くない。
被害軽微	一部の屋根瓦に損傷が見られる。一部の垂れ壁・腰壁・仕上材にひび割れが生じている。
一部破損	大部分の煉瓦および一部の屋根瓦が破損している。一部の壁にひび割れが生じている。一部の仕上材が脱落している。基礎の一部にひび割れが生じている。
半壊	大部分の壁・垂れ壁・腰壁にひび割れが生じ、一部が脱落している。大部分の屋根瓦が破損している。基礎のひび割れが著しい。
全壊	大部分の壁・垂れ壁が破損し、内外装材がほとんど脱落している。筋交いが破損し、柱・梁に割れが生じ、床が破損している。
倒壊	屋根・壁・床・柱等の破損が全面にわたり、建物の変形が著しい。周辺地盤の崩壊により、建物の変形が著しい。

4. 解析結果 と考察 図 1 から図 7 は先述した 110 個の解析パターンにおける各最大応答塑性率をグラフ化したものであり、x 軸に降伏せん断力、y 軸に周期、z 軸に最大応答塑性率を描いたものである。それぞれ z 軸の塑性率の目盛りの大きさは異なるが、それぞれ各地震波がどの周期帯に大きい最大応答塑性率が出ているのかが読み取れる。また、表 3 は各地震波の解析結果から得られた地震力強度と計測震度における震度および実際の被害³⁾をまとめたものである。これらの結果から、被害が大きかったとされる地震波については地震力強度が大きくなり、被害が小さかったとされる震度については地震力強度が小さくなった。その他の地震動については、実際の被害との対応としては被害が大きいとされる兵庫県南部地震、新潟中越地震、熊本地震は地震動強度が大きく出ており、実際の被害と対応していると考えられる。被害が小さいとされる鳥取県西部地震、芸予地震、十勝沖地震についても、地震動強度が小さく出ており、実際の被害と対応していると考えられる。これより、地震動強度と被害の状況には相関があることが考えられる。

表 3 計測震度と地震力強度および被害度の関係

	計測震度	被害度	地震動強度
兵庫県南部地震	「6」	大	802.20
鳥取県西部地震	6.0	小	565.76
芸予地震	5.0	小	268.09
十勝沖地震	5.8	小	193.2
新潟県中越地震	6.5	大	1186.56
熊本地震	5.9	大	1009.26

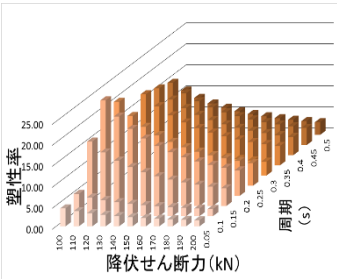


図 1 兵庫県南部地震

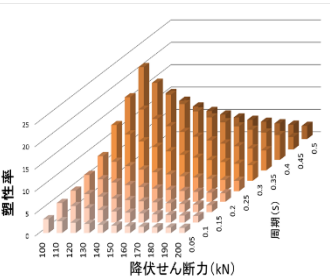


図 2 鳥取県西部地震

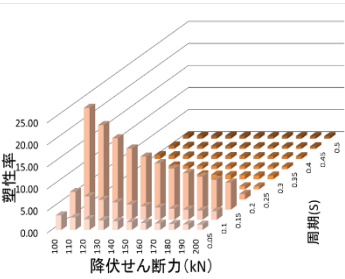


図 3 芸予地震

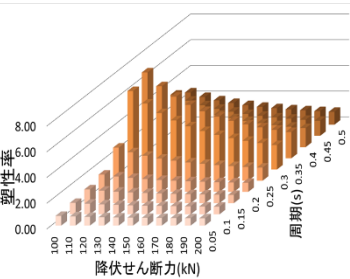


図 4 十勝沖地震

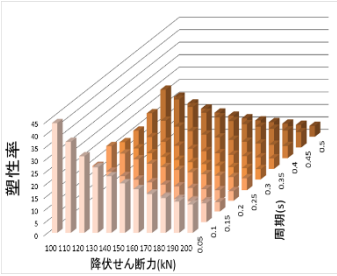


図 5 新潟県中越地震

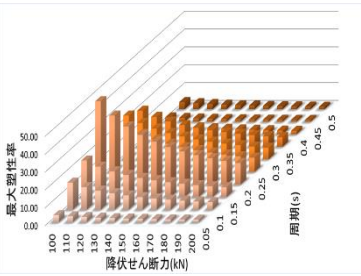


図 6 熊本地震

5.まとめ

表 2 のように被害度と地震動強度に相関がみられることから、提案した地震動強度が地震の強度を表す一つの指標になると考えられる。ただし、木造住宅の倒壊している基準は塑性率が 15 以上であるから、今回の検討では、その数値を大きく上回る結果も多く含まれているため被害の程度を過大評価していると考えられる。本研究では木造 2 階建て住宅を対象とした検討であるが、実際には様々な構造物の種類があることから、それらについての検討も必要であると考えられる。実際には海溝型地震や内陸直下型地震といった地震動の種類によって大きく被害状況が異なるので、それらについても考慮しながら検討を行うことが必要であると考えられる。

参考文献

1) 高橋明日香, 小原勝彦: 木造軸組構法建築の振動性状に関する研究 その 4 固有振動数と限界耐力計算における耐震評価の相関性, 日本建築学会学術講演梗概集, pp218-pp219, 2006
2) 鳥取県庁: 建物被害の想定, pp31-33, 2009
3) 国土交通省気象庁 総務省消防庁: 震度に関する検討会 報告書, pp15-23, 2011