

バーチャルな木造住宅群の地震時塑性率に基づく
地震動強度の評価手法

徳島大学 学生会員 ○青柳克彦 徳島大学 正会員 井上貴文
徳島大学 フェロー 成行義文

1. はじめに

日本ではこれまで地震による多くの被害があり、今後も大地震が起こる可能性が十分にある。日本に起こりうる大地震に対して少しでも被害を抑えるための防災対策の1つとして震度があり、現在では計測震度計により観測された計測震度が用いられている。地震発生直後、直ちに情報が得られ、一般の人々や自治体の対応の基準となることから、その重要性が年々高くなってきている。したがって、計測震度と実際の建物被害との相関が高いことが望まれる。しかし、計測震度と実際の建物被害が非対応の地震が多数起こっており、計測震度より実際の被害と対応した指標を再検討する必要があると考えられる。そこで本研究では、建物被害との相関が高くなるような地震動強度の検討を目的として、仮想の木造住宅群を作成し時刻歴応答解析を行い、塑性率の合計を地震動強度 I_e の評価手法として検討した。

2. 地震動強度の評価手法

木造二階建て住宅を1質点減衰系としてモデル化し、固有周期を0.05(s)から0.50(s)まで0.05(s)刻みで変化させ、降伏耐力を100(kN)から200(kN)まで10(kN)刻みで変化させた、10通り×11通りの合計110通りの性質を持つ1質点減衰系モデルから構成される図-1のような仮想の木造住宅群を作成した。本研究では、各モデルの質量 m を30(t)、減衰定数 h を0.05と設定し、弾塑性剛性比 γ を0.1としたBilinear型の履歴則を使用している。

仮想の木造住宅群への入力地震動として、強震記録を用いた時刻歴応答解析を行い、110通りの1質点減衰系モデルそれぞれに算出された最大塑性率 μ_d を合計した値を、地震動強度 I_e と以下のように定義した。
(以下、 I_e と呼ぶ。)

$$I_e = \sum_{j=1}^{11} \sum_{i=1}^{10} \mu_{dij} \tag{1}$$

最大塑性率 μ_d は構造物が塑性域に入って変形するときの比率を表し、以下のように表される。

$$\mu_d = \frac{x_{max}}{x_y} \tag{2}$$

ここで、 x_{max} は最大変位、 x_y は降伏変位である。

3. 解析結果

一例として1995年兵庫県南部地震（神戸中央区中山手）の記録の解析結果について示す。図-2に横軸を固有周期 $T(s)$ 、縦軸を最大塑性率 μ とした時の仮想の木造住宅群内の各モデル

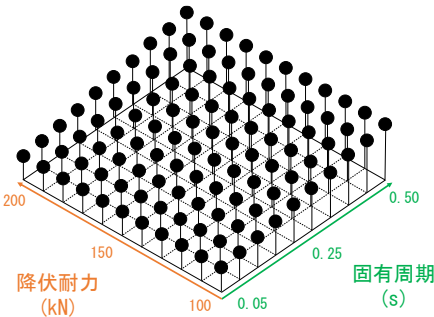


図-1 仮想の木造住宅群イメージ図

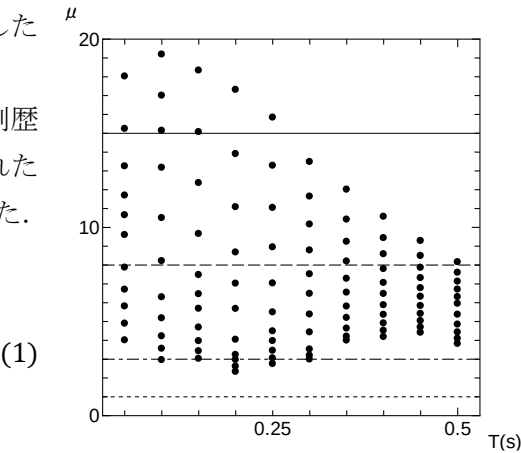


図-2 最大塑性率分布（兵庫県南部地震）

表-1 最大塑性率（兵庫県南部地震）

最大塑性率		降伏耐力 (kN)										
		100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
固有周期 (s)	0.05	18.0	15.2	13.3	11.7	10.7	9.6	7.9	6.7	5.8	4.9	4.0
	0.10	19.2	17.0	15.1	13.2	10.5	8.2	6.3	5.2	4.2	3.6	3.0
	0.15	18.3	15.1	12.4	9.7	7.5	6.5	5.7	4.7	4.0	3.4	3.0
	0.20	17.3	13.9	11.1	8.7	7.0	5.7	4.0	3.2	3.0	2.6	2.3
	0.25	15.8	13.3	11.0	8.9	7.0	5.5	4.5	4.0	3.5	3.1	2.7
	0.30	13.5	11.6	10.2	8.8	7.5	6.5	5.4	4.4	3.5	3.2	3.0
	0.35	12.0	10.4	9.2	8.2	7.3	6.5	5.8	5.2	4.6	4.2	4.0
	0.40	10.6	9.4	8.6	7.8	7.1	6.5	5.9	5.4	4.9	4.5	4.2
	0.45	9.3	8.5	7.9	7.3	6.8	6.3	5.8	5.4	5.0	4.7	4.4
	0.50	8.2	7.6	7.1	6.7	6.3	5.9	5.4	4.8	4.4	4.1	3.8

の最大塑性率を示す。μ=1 の線は無被害と一部破損の境界、μ=3 の線は一部破損と半壊の境界、μ=8 の線は半壊と全壊の境界、μ=15 の線は全壊と倒壊の境界を示している¹⁾。また、表-1 に仮想の木造住宅群内の 110 個のモデルについて地震波を入力した際に算出された各モデルの最大塑性率を示す。兵庫県南部地震においては固有周期が短く、また降伏耐力が低い 1 質点減衰系モデルの塑性率が高くなる傾向がある。これは、固有周期が短く、降伏耐力が低いと、降伏変位が極端に小さくなるためであると考えられる。ここで、兵庫県南部地震(神戸中央区中山手)の I_e は 827 となった。

本研究では兵庫県南部地震の記録を含めた 19 個の強震記録を対象に I_e の検討を行った。表-2 に強震記録と I_e を示す。地点周辺の住家被害対象範囲は、地震動が観測された地点が含まれる市町村で被害調査された文献をもとに設定した。被害を表す指標として、その地域での総被害住家数に対する全壊住家数の割合(以下、全壊率)を用いた。

図-3 は横軸に計測震度の指数、縦軸に全壊率を、図-4 は横軸に I_e 、縦軸に全壊率をとっており、それぞれの指標と被害の関係を示している。点線は回帰直線であり、相関係数は 1 に近い値であるほど相関が高いことを示す。19 個の強震記録についての計測震度と建物被害の相関係数は 0.646 となった。それに対し、 I_e と建物被害の相関係数は 0.872 となり、より 1 に近い値となった。これは、計測震度よりも I_e の方が建物被害と強い相関があることを示唆しており、本研究で示した地震動強度 I_e は建物被害を表す指標として有効である可能性がある。

4. おわりに

本研究では、木造二階建て住宅を対象に仮想の木造住宅群を作成し時刻歴応答解析より得られた塑性率の合計を地震動強度 I_e の評価手法として提案し、実際の建物被害との相関性を検証した。計測震度よりも提案した地震動強度 I_e の方が建物被害と強い相関があることを示した。この地震動強度 I_e は建物被害を表す指標として有効である可能性がある。より相関を高める方法として、実際の検討対象地域の木造住宅の固有周期分布や降伏耐力分布を仮想の木造住宅群に反映させることが考えられる。さらに、実際の地震後に使用されるためには、瞬時に地震動強度 I_e を評価する必要があることから評価手法の効率化を試みる必要があると考えられる。

謝辞 本研究では気象庁の強震観測記録を使用させていただきました。記して謝意を表します。

参考文献 1) 応用アール・エム・エス株式会社：平成 28 年熊本地震現地調査レポート、2016。

表-2 対象とした地震と評価した地震動強度 I_e

記号	地震	地点	計測震度	地震動強度 I_e	全壊率(%)
●	1993年釧路沖地震	釧路市幣舞町	6	802	1.1
■	"	浦河町潮見	5	132	0.0
▲	1995年兵庫県南部地震	神戸中央区中山手	7	827	20.1
×	2000年鳥取県西部地震	境港市東本町	6.0	610	4.5
+	"	米子市博労町	5.1	135	1.4
◆	2001年芸予地震	呉市宝町	5.0	68	0.4
○	2003年宮城県北部地震	涌谷町新町	5.8	341	1.0
□	2003年十勝沖地震	幕別町本町	5.8	756	5.6
△	2004年新潟県中越地震	川口町川口	6.5	2592	43.5
◇	"	小千谷市城内	6.3	1076	5.7
●	2007年能登半島地震	輪島市鳳至町	6.1	227	4.4
■	"	志賀町富来領家町	5.6	234	0.4
▲	2007年新潟県中越沖地震	出雲崎町米田	5.9	418	1.1
×	2008年岩手・宮城内陸地震	栗原市栗駒	5.9	562	1.7
+	2011年東北地方太平洋沖地震	涌谷町新町	6.0	246	7.5
◆	"	大崎市古川三日町	6.2	331	4.9
○	"	筑西市舟生	6.0	313	0.1
□	2016年熊本地震	宇城市松橋町	6.0	245	7.1
△	"	熊本西区春日	6.0	593	2.4

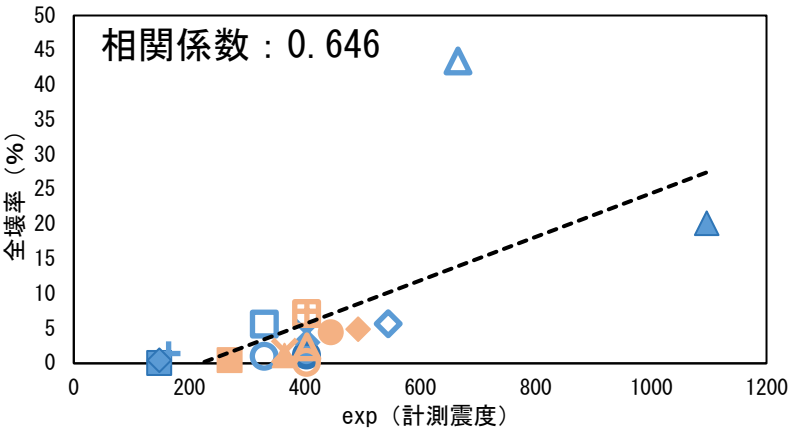


図-3 計測震度と全壊率の関係

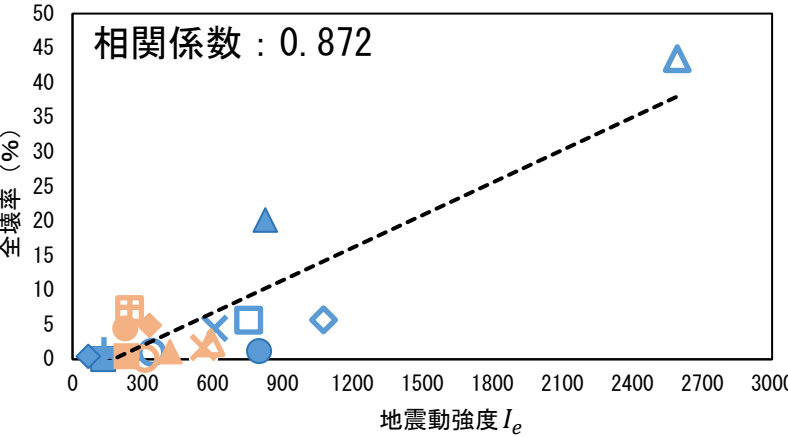


図-4 地震動強度 I_e と全壊率の関係