

地震応答解析に基づいた木造建物群の被害率関数と破壊力指標の検討

木造建物群	建物耐力	被害率関数
破壊力指標	被害推定	

正会員	吉田 研史* ¹
同	久田 嘉章* ²
同	川瀬 博* ³
同	伏見 実* ⁴

1. はじめに

地震被害想定に用いられている建物の被害率関数は、おもにこれまでの地震の際に得られた被害統計データと推定地震動分布に基づく経験則である。一方、建物モデルを仮定し、応答スペクトルや地震応答解析などによって建物の応答変形を計算し、そこから被害率関数を構築する方法¹⁾²⁾も検討されており、建物の構造特性や様々な地震動特性を考慮するためにはこの方法が望ましいと考えられる。また、建物群の被害程度を的確に把握するためには、地震動の構造物破壊能を表現する指標（以下、破壊力指標）が建物群の被害と相関をもつ必要があるが、地表面最大速度(PGV)や気象庁震度階が被害と対応しない場合がある。このような背景から境ら³⁾は被害調査結果と観測地震動記録から破壊力指標と建物被害の相関性を検討し、弾性応答スペクトルの等価周期（塑性化による周期の伸びを考慮した周期）での平均値を提案している。また増田・川瀬⁴⁾は長戸・川瀬⁵⁾が構築したRC造建物群モデルに観測記録を入力した解析結果から被害率関数を構築しており、破壊力指標にはPGA×PGVまたは計測震度算定式における加速度 A_0 が有効だとしている。そこで本稿では、筆者らが長戸・川瀬⁶⁾を基に構築した建築年代別の木造建物群モデル⁷⁾を用いた地震応答解析結果から被害率関数の構築を試みる。その際、被害率関数を様々な破壊力指標以外についても構築し、木造建物群の被害と相関の良い破壊力指標について考察する。

2. 建築年代別の木造建物群モデル

長戸・川瀬は兵庫県南部地震の建物被害データと再現強震動に基づく地震応答解析の結果から、既存木造建物の耐力分布を推定している⁶⁾。しかし、基にしている建物被害統計の大破・倒壊率が年代別の統計情報ではなかったために、推定した耐力が全年代の平均値となっていた。そこで著者等は、建築年代別の統計値となっている固定資産台帳⁸⁾に基づいた全壊率を用いて、木造建物群の各年代の標準的な設計耐力に対する実耐力の比を推定した⁷⁾。その後、より詳細な検討を行うために耐力分布の代表値の数を2倍に増やし、入力地震動の表層地盤での増幅を考慮した結果、各年代の耐力比を図1のように再推定しているので、本稿ではこの耐力を持つモデルで解析を行った。

3. 地震応答解析に用いた強震動

地震応答解析に用いた地震動は、K-NET、KiK-net、PEER Strong Motion Database および兵庫県南部地震の観測記録のうちNS,EWの一方でもPGAが400gal以上となった計214地点である。解析に用いた主な地震の諸元を表1に示す。これらの強震記録の水平2成分を構築した建物群モデルに同時に入力し、被害率を算定した。

4. 被害率関数の構築

被害率関数構築に関しては、PGA(地表最大速度)、PGV(地表最大速度)、PGA×PGV、SI(スペクトル強度)、計測震度 A_0 、平均速度応答(地震動の速度応答スペクトルの周期範囲を限定した平均値)の破壊力指標についてそれぞれ構築する。強震記録はSIと A_0 および平均速度応答以外水平2成分の最大値を選択したものをを用いる。SIと平均速度応答は水平2成分のベクトル和から求めた。また、計測震度は3成分から計算するが、他の指標と同様の物理量の次元で表すため計測震度の計算式における加速度 A_0 を用いる。被害率 $P(x)$ と破壊力指標 X の関係は対数正規分布に従うと仮定すると被害率 $P(x)$ は(1)式で表される。

$$P(x) = \Phi \left\{ \frac{\ln X - \lambda}{\zeta} \right\} \quad (1)$$

ここで Φ は標準正規分布関数で λ は $\ln X$ の平均値と標準偏差である。この λ と ζ は確率紙での最小二乗法により求めた。

まず平均速度応答の被害率との相関が最良となる周期範囲を調べた結果、表2に示す周期範囲で、各年代の被害率との相関が高くなった。建築年代が新しくなるほど短周期側にシフトしていることが確認できる。そこで、少し周期を拡張して、0.5~1.5秒の平均速度応答を用いる。

以上によって求めた各破壊力指標の被害率関数のパラメーター値を表3に示す。また全年代モデルについて構築した各破壊力指標の被害率関数を図2に示す。

5. 各破壊力指標と計算被害率の相関係数の比較

被害率 $P(x)$ と各破壊力指標の相関係数を図3に示す。すべての年代において平均速度応答が最も相関が高く、次いでSIと計測震度(A_0)が高い相関を示している。PGAは最も相関が低い。建築年代1982年以降では耐力が大きく、解析による大きな被害率が少なかった事が原因で相関係数が低くなっている。

6. まとめ

建築年代別の木造建物群モデルに地震観測記録を入力

して解析を行い、その結果から各破壊力指標に対する被害率関数を構築することで、被害と相関の良い破壊力指標を検討した。速度応答スペクトルの周期範囲の平均値と被害率の相関関係を検討し、各年代モデルと相関の良い周期範囲を求め、周期 0.5 秒から 1.5 秒の平均速度応答が既往の破壊力指標よりも木造建物の被害と相関があることが示された。

[謝辞]

本研究は、日本原子力発電株式会社「大加速度入力時の構造物の安全性評価指標に関する研究」の一部として実施しました。防災科学研究所の K-NET、KIK-net の地震観測記録、Pacific Earthquake Engineering Research Center 地震観測記録を使用させていただきました。ここに記して感謝の意を表します。

[参考文献]

- 宮腰淳一、林康裕、田村和夫:被害データと地震応答解析に基づく建物群の耐震性能に関する考察,第 10 回日本地震工学シンポジウム,pp327-332,1998
- 山口直也,山崎文雄,地震応答解析に基づく建物被害関数の構築,生産研究,pp341-344,52 巻 8 号
- 境有紀,藤藤一,神野達夫:建物被害率の予測を目的とした地震動の破壊力指標の検討,日本建築学会構造系論文集,第 555 号,pp85-91,2002,5
- 増田有周,長戸健一郎,川瀬博:RC 造建物の地震応答解析に基づく被害関数構築に関する研究,日本建築学会構造系論文集,第 558 号 pp101-108,2002,8
- 長戸健一郎,川瀬博:建物被害データと再現強震動による RC 造建物群の被害予想モデル,日本建築学会構造系論文集,第 544 号,31-37,2001,6
- 長戸健一郎,川瀬博:強震動特性と構造物の被害,月刊地球/号外 No.37,pp203-211,2002
- 吉田研史,久田嘉章,川瀬博:建設年代を考慮した木造建物群被害予測モデルの構築,日本建築学会大会(北海道)学術講演梗概集 B-2,pp1059-1060,2004,8
- 日本建築学会建築経済委員会固定資産評価小委員会WG:1995 年阪神・淡路大震災における神戸市東灘区、灘区及び淡路島北淡町の建物被害に関する実態調査,1998,3

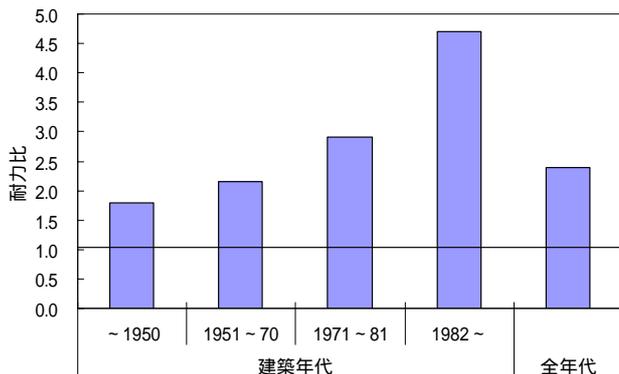


図 1 推定した各年代の耐力比

表 1 主な地震と地点数

地震発生時刻	震源地	Mw	地点
1995/01/17 05:46	兵庫県淡路島北部	M 6.9	12
2000/10/06 13:30	鳥取県西部	M 6.6	11
2001/03/24 15:28	安芸灘沖	M 6.7	9
2003/05/26 18:24	宮城県沖	M 7.0	20
2003/09/26 04:50	北海道十勝沖	M 8.0	21
2004/10/23 17:56	新潟県中越地方	M 6.6	9
2004/10/23 18:34	新潟県中越地方	M 6.3	6
1979/10/15 23:16	IMPERIAL VALLEY	M 6.5	8
1983/07/22 02:39	COALINGA	M 5.8	5
1994/01/17 12:31	NORTHRIDGE	M 6.7	24
1999/09/20 17:47	CHI-CHI	M 7.5	15
その他の地震 (400 (gal) PGA)			75
計			214

表 2 各年代の最適周期範囲と相関係数

	建築年代				全年代
	~ 1950	1951 ~ 1970	1971 ~ 1981	1982 ~	
下限周期 (T_s)	0.54	0.52	0.51	0.52	0.53
上限周期 (T_e)	1.37	1.24	1.28	1.09	1.28
相関係数	0.912	0.895	0.923	0.825	0.913

表 3 構築した被害率関数のパラメーター

		建築年代				全年代
		~ 1950	1951 ~ 1970	1971 ~ 1981	1982 ~	
PGA	平均	6.592	6.606	6.788	6.801	6.713
	標準偏差	0.189	0.142	0.267	0.160	0.244
PGV	平均	4.476	4.514	4.772	4.770	4.617
	標準偏差	0.339	0.305	0.411	0.255	0.343
PGA*PGV	平均	11.040	11.101	11.541	11.537	11.316
	標準偏差	0.538	0.467	0.689	0.412	0.611
SI	平均	5.666	5.725	5.974	6.080	5.834
	標準偏差	0.364	0.347	0.433	0.333	0.387
計測震度 (A_0)	平均	6.049	6.108	6.348	6.505	6.230
	標準偏差	0.350	0.325	0.417	0.354	0.387
平均速度応答 (0.5 ~ 1.5sec)	平均	5.364	5.456	5.736	5.939	5.569
	標準偏差	0.425	0.435	0.517	0.443	0.465

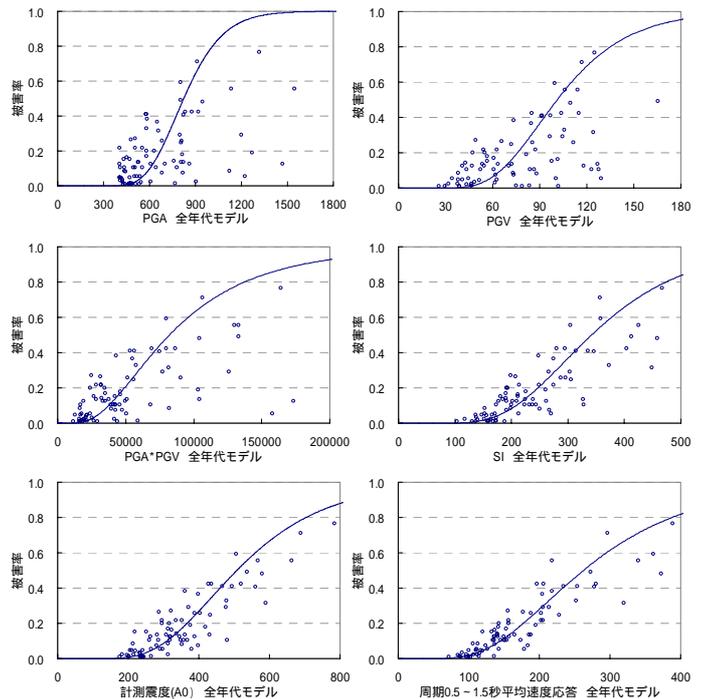


図 2 構築した被害率関数 (全年代モデル)

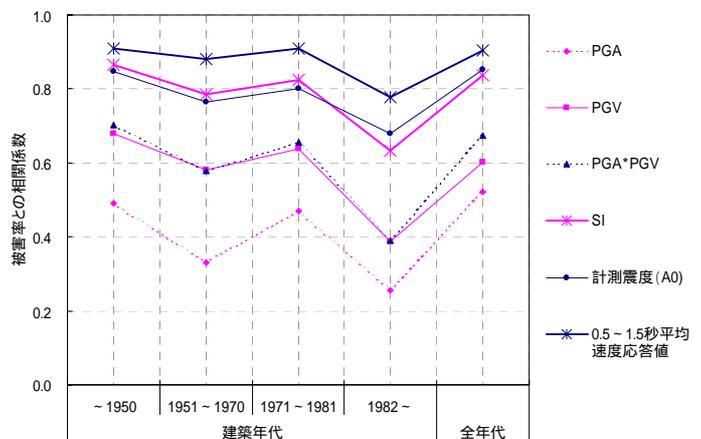


図 3 各破壊力指標の相関係数

*1 株式会社住宅性能評価センター 修士 (工学)

*2 工学院大学建築学科 教授・工学博士

*3 九州大学人間環境学研究院 教授・工学博士

*4 日本原子力発電株式会社 修士 (工学)

*1 Housing Performance Evaluation Center, Inc., M. Eng

*2 Professor, Dept. of Architecture, Kogakuin Univ., Dr. Eng

*3 Professor, Faculty of Human-Environment Studies, Kyusyu Univ., Dr. Eng

*4 The Japan Atomic Power Company, M. Eng