

建物被害と地震動指標の関係に関する研究

D3-00103 鈴木 誠太郎

1. はじめに

予想された強震動に基づいて建物群が受ける被害をいかに精度良く推定するかは都市防災において重要な課題である。強震動による被害を良く再現できる地震動評価指標 (PGA (最大地動加速度) や PGV (最大地動速度) 等) を確立すれば、都市の被害想定や地震被害の把握に有効となる。地震動評価指標に関する検討は境ら¹⁾、増田・川瀬ら²⁾が挙げられる。境は被害調査結果と観測記録から検討し、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) での積分値を提案している。増田は長戸・川瀬が構築した RC 造建物群モデル (以後長戸・川瀬モデル³⁾) に観測記録を入力した解析結果から検討し、PGA×PGV または計測震度が有効だと指摘している。昨年度の研究⁶⁾では RC 造建物群を対象にし長戸・川瀬モデルで解析を行ったところ PGA×PGV や計測震度の相関が良い事を確認している。そこで本研究では、昨年度の研究⁶⁾で用いた観測記録のデータベースに 2003 年 5 月 26 日、7 月 26 日の宮城県北部の地震、9 月 26 日の北海道十勝沖地震の観測記録と PEER Ground Motions⁹⁾から得た強震記録を長戸・川瀬の RC 造建物群モデルに入力し解析を行い、その解析結果から大加速度入力時における RC 造建物の破壊と様々な地震動の破壊力指標との相関関係を検討する。破壊力指標として、PGA、PGV、PGA×PGV、PG(A×V) (時刻歴で加速度と速度を掛けたものの最大値)、SI (スペクトル強度)、計測震度の指標について個々に被害関数を構築し、その相関性を調べ、最適な地震動評価指標を明らかにする。

2. 被害関数構築に用いた強震動の特性

地震応答解析に用いた地震動は、K-NET⁷⁾、KIK-NET⁸⁾、PEER Ground Motions⁹⁾および兵庫県南部地震のうち NS,EW の一方で PGA が 200gal 以上となった地点、計 668 地点である。震源距離と、Mw (モーメントマグニチュード) PGA (2 成分の大きいほう) の関係を図 1 に、主な地震の諸元を表 1 に示す。

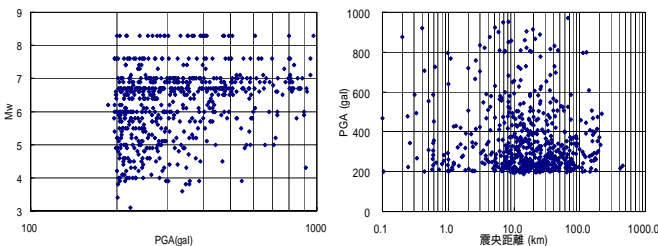


図 1 被害関数構築に用いた強震動の特性

表 1 用いた地震動における主な地震

地震発生時刻 (JST)	震源地	マグニチュード	地点
1995/1/17 5:46	兵庫県淡路島北部	M 6.9	27
2000/10/6 13:30	鳥取県西部	M 6.6	26
2001/3/24 15:28	安芸灘沖	M 6.7	43
1994/1/17 12:31	NORTHRIDGE	M 6.7	47
2003/5/26 18:24	宮城県沖	M 7.0	54
2003/9/26 4:50	北海道十勝沖	M 8.0	49
1999/9/20	台湾地震	M 7.6	39
1983/5/9 2:49	COALINGA	M 5.0	10
1983/7/22 2:39	COALINGA	M 5.8	10
1979/10/15 23:16	IMPERIAL VALLEY	M 6.5	20
1989/10/18 0:05	LOMA PRIETA	M 6.9	19
1987/10/1 14:42	WHITTIER	M 6.0	17
その他の地震(200 (gal) PGA)			307
計			668

3. RC 造建物群モデル

長戸・川瀬³⁾は兵庫県南部地震の建物被害データと再現波に基づく地震応答解析の結果から、既存 RC 造建物の耐力分布を推定している。階数別、建設年代別のデータとなっている。1981 年以前を旧耐震、1982 年以降を新耐震に分類して被害率を算定した。建物高さの違いによる周期特性の違いを考慮して、3,6,9,12 階建てを想定したモデルに合わせて観測被害率を算定した。復元力特性は Degrading tri-linear 型、減衰は瞬間剛性比例型、減衰定数は 5% とした。解析には Newmark の法 (α=1/4) を用い、時間間隔は 0.005s とした。各層の耐力は(1)式で定義した。

$$C_{yi} = A_i C_y \quad - (1)$$

ここで、C_{yi} は i 層の層せん断力係数、A_i は設計で規定されている高さ方向の荷重分布を示す係数 (A_i 分布)、C_y は降伏ベースシア係数(最下層の水平荷重を自重で割ったもの)である。モデルの破壊クライテリアとして、既往の実験結果により最大相関変形角が、RC 造建物では 1/30rad 以上になったモデルが大破以上の被害を受けたものとする。

4. 解析結果

長戸・川瀬の RC 造建物群モデルに前述の地震記録を入力して解析を行った結果、105 地点の強震動で被害率が算出された。さらにデータ数を増やすために、この 105 地点について経験的震源モデルである 2 モデルを使いモーメントマグニチュードを 0.5 増やして振幅を割り増してさらに解析を行った。このとき 2003 年 9 月 26 日の北海道十勝沖地震は、初めからモーメントマグニチュードが 8.3 あったので除いた。最終的に被害が出た 189 個の地震動を用いて被害関数を構築する。

5. 被害関数構築

解析結果から破壊力指標は計測震度以外水平 2 成分の最大値を選択したものをを用いる。計測震度は NS,EW,UD の 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河角の計測震度の計算式における加速度 A_0 を使う。解析被害率と地震動評価指標(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(2)の式で表される。

$$P(x) = \Phi\left\{\frac{\ln X - \lambda}{\zeta}\right\} \quad (2)$$

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 は確率紙を使い求めた。求められた被害関数と解析被害率を図 2(PGA x PGV)・図 3(SI)に、確率紙からの相関係数をオリジナルデータと 2 を加えた全データの場合に分けてそれぞれ図 4、図 5 に示す。

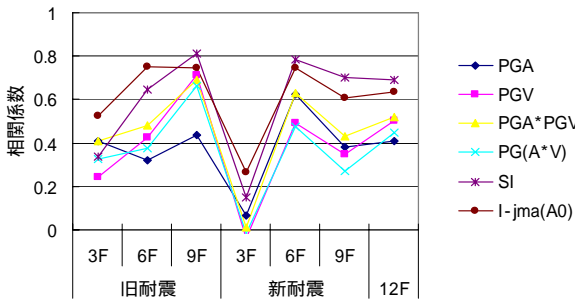


図 3 確率紙による相関係数 (オリジナルデータ)

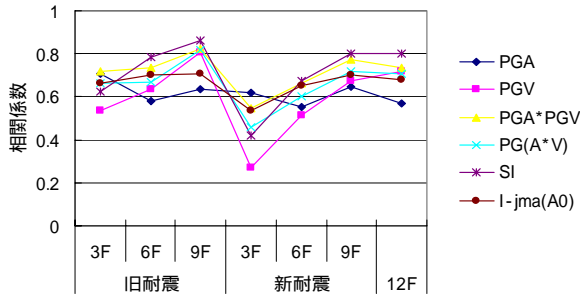


図 4 確率紙による相関係数 (全データ)

図 3、4 をみてわかるように新耐震の 3F の相関が悪くなっているがこれは被害が少なかったのが原因だと考えられる。オリジナルデータのみだけではばらつきが激しいので地震動評価指標を検討出来ないと考えられる。

確率紙からの回帰係数と各破壊力指標と解析被害率の確率紙上の相関係数をオリジナルデータのみと 2 を加えた全データの場合に分けてそれぞれ表 2、表 3 に示す。表 4 に全データの相関の平均を示す。

表 2 確率紙からの回帰係数と相関係数 (オリジナルデータ)

		旧耐震			新耐震		
		3F	6F	9F	3F	6F	9F
PGA	平均	7.241	7.098	6.768	7.440	7.345	7.103
	標準偏差	0.217	0.142	0.186	0.031	0.246	0.163
PGV	平均	4.612	4.756	4.701	4.475	4.846	4.702
	標準偏差	0.259	0.267	0.323	0.129	0.235	0.250
PGA*PGV	平均	11.590	11.512	11.270	11.246	11.867	11.446
	標準偏差	0.562	0.507	0.579	0.334	0.481	0.519
PG(A*V)	平均	6.126	6.329	6.103	6.154	6.863	6.303
	標準偏差	0.271	0.294	0.309	0.186	0.267	0.275
SI	平均	6.549	6.486	6.137	6.742	6.780	6.485
	標準偏差	0.285	0.242	0.242	0.110	0.234	0.195
計測震度(A0)	平均	6.388	6.395	6.024	6.508	6.835	6.383
	標準偏差	0.199	0.268	0.351	0.097	0.231	0.229

表 3 確率紙からの回帰係数と相関係数 (全データ)

		旧耐震			新耐震		
		3F	6F	9F	3F	6F	9F
PGA	平均	6.977	6.756	6.569	6.771	7.022	6.744
	標準偏差	0.303	0.241	0.256	0.265	0.246	0.268
PGV	平均	4.612	4.756	4.701	4.475	4.846	4.702
	標準偏差	0.259	0.267	0.323	0.129	0.235	0.250
PGA*PGV	平均	11.590	11.512	11.270	11.246	11.867	11.446
	標準偏差	0.562	0.507	0.579	0.334	0.481	0.519
PG(A*V)	平均	6.126	6.329	6.103	6.154	6.863	6.303
	標準偏差	0.271	0.294	0.309	0.186	0.267	0.275
SI	平均	6.549	6.486	6.137	6.742	6.780	6.485
	標準偏差	0.285	0.242	0.242	0.110	0.234	0.195
計測震度(A0)	平均	6.388	6.395	6.024	6.508	6.835	6.383
	標準偏差	0.199	0.268	0.351	0.097	0.231	0.229

表 4 全データの相関平均

	PGA	PGV	PGA*PGV	PG(A*V)	SI	計測震度
相関平均	0.615	0.594	0.713	0.662	0.709	0.663

6. まとめ

本研究は長戸・川瀬の RC 造建物群モデルに 668 地点の地震記録を入力として解析を行い、その解析結果からそれぞれの指標に対する被害関数を構築し、被害と関連の良い地震動指標を検討した。相関平均はオリジナルデータの場合、計測震度 A0 が 0.610 で最もよい相関を示した。次いで SI 値が 0.586 だった。全データの場合、PGA x PGV が 0.713 で最も相関が良かった。次いで SI 値が 0.709 だった。昨年度の研究と比べてデータ数が 3 倍近く増えているので信頼性は向上している。その結果、PGA x PGV と SI が相関が良いことを確認した。

【謝辞】

本研究では、防災科学研究所の K-NET, KIK-net 及び PEER Ground Motions の地震観測記録を使用させていただきました。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 境有紀・他：1999 年台湾収集地震に基づいた建物被害を予測する地震動の破壊力指標の検討、日本建築学会構造系論文集、2001 年 11 月
- 2) 増田有周他：RC 造建物の地震応答解析結果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、2002 年 2 月
- 3) 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 2001 年 2 月
- 4) 宮腰淳一・他：構造的な被災判定基準に基づく被害率曲線 日本建築学会大会学術講演梗概集 2003 年 9 月
- 5) 村尾修、山崎文雄：自治体の被害調査結果に基づく兵庫県南部地震の建物被害関数 2000 年 1 月
- 6) 吉田研史：大加速度入力時における構造物の安全性評価指標に関する研究、工学院大学 2002 年度卒業論文 2002 年 2 月
- 7) 防災科学技術研究所, K-NET : <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>
- 8) 防災科学技術研究所, KiK-NET : <http://www.k-net.bosai.go.jp/kik/>
- 9) PEER Ground Motions : <http://peer.berkeley.edu/research/motions/>

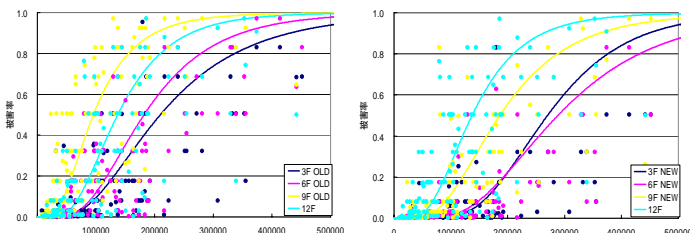


図 2 被害関数と解析被害率(PGA x PGV)

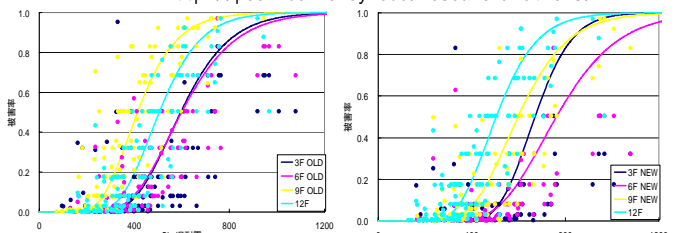


図 3 被害関数と解析被害率(SI)