

## 大加速度入力時における RC 造建物の地震動の破壊力指標に関する研究

被害率関数 大加速度入力 RC 造建物  
破壊力指標 被害推定

正会員 鈴木 誠太郎\*1 同 吉田 研史\*2  
同 久田 嘉章\*3 同 川瀬 博\*4  
同 伏見 実\*5

表 1 主な地震の諸元

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	25
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	45
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	38
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	18
1989/10/18 0:05	LOMA PRIETA	M 6.9	17
1987/10/1 14:42	WHITTIER	M 6.0	17
その他の地震(200gal) PGA			301
計			653

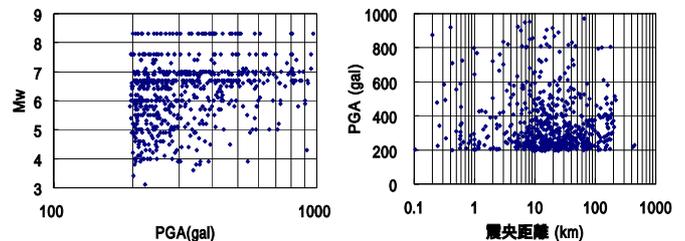


図 1 地震応答解析に用いた強震動の特性

## 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破壊力指標 (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。破壊力指標に関する検討は境ら<sup>1)</sup>、増田・川瀬ら<sup>2)</sup>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) での平均値を提案している。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<sup>3)</sup>) 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。また、昨年度の研究<sup>4)</sup>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、昨年度の研究で用いた観測記録のデータセットに 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 Motions から得た強震記録、さらに大加速度記録を含むデータセットを長戸・川瀬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(A<sub>0</sub>)の指標について個々に被害率関数を構築し、その相関性を調べ、最適な破壊力指標を明らかにする。最後に弾性応答スペクトルの周期軸での平均値と被害との相関性を検討する

## 2. 地震応答解析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-NET、KIK-NET、PEER Ground Motions および兵庫県南部地震の観測記録のうち NS,EW の一方で PGA が 200gal 以上となった地点、計 653 地点である。震央距離と、M<sub>w</sub> (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。

## 3. 地震応答解析

長戸・川瀬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。3,6,9,12 階建を想定した 4 種類のモデルを建築基準法の改正を考慮して、1981 年以前の

建物(以後旧耐震)と 1982 年以降の建物(以後新耐震)に分けて推定を行っている。破壊クライテリアとして 1 層でも 1/30rad 以上となったものは大破以上の被害を受けたものとしている。本研究では 12 階建モデルについては建物被害データが少ないため、旧耐震と新耐震を合わせた耐力のモデルを用いた。各モデルに前述の地震記録の水平 2 成分を同時に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 モデルを用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。ここで、2003 年 9 月 26 日の北海道十勝沖地震は、モーメントマグニチュードが 8.3 であったので除いた。

## 4. 被害率関数構築

被害が算出された 177 個の地震動を用いて被害率関数を構築する。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計測震度の計算式における加速度 A<sub>0</sub> を使う。解析被害率と破壊力指標(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 は標準正規分布関数で と は  $\ln X$  の平均値と標準偏差である。この と は確率紙での最小二乗法により求めた。構築した被害率関数と解析被害率を6階建てモデルの場合を例に図2にPGVを、図3に計測震度( $A_0$ )を示す。また各破壊力指標と解析被害率の確率紙上の相関係数を図4に示す。図中に各破壊力指標の相関係数の平均値を示す。3階の新耐震の相関が悪くなっているがこれは算定した被害率の数が少なかったのが原因だと考えられる。確率紙作業によって求めた被害率関数の回帰係数と相関係数を表2に示す。相関係数の平均は、計測震度( $A_0$ )が最も良い相関を示した。昨年度との比較をした結果、計測震度の相関が最も良かったのは変わらないが、他の指標は全体的に相関が悪くなった。

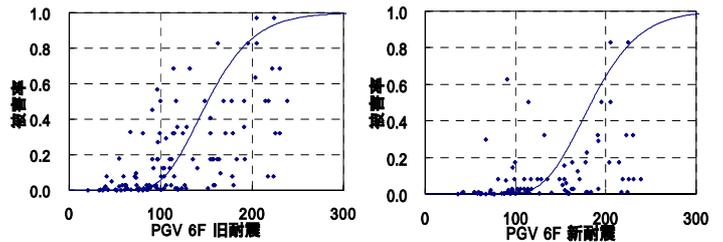


図2 被害率関数と解析被害率(PGV)

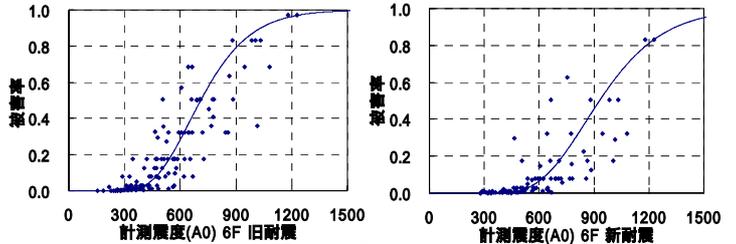


図3 被害率関数と解析被害率(計測震度( $A_0$ ))

### 5. 弾性応答スペクトルの周期に関する平均値

弾性応答スペクトルの平均する周期範囲を様々に変化させて、被害率と平均応答との相関係数について調べた。周期の刻みは0.025秒とした。また減衰定数は5%とした。表3に各モデルにおいて最も相関が良かった周期範囲とその相関係数を示す。表中の $T_s$ は積分開始の周期、 $T_e$ は積分終了の周期である。積分開始の周期( $T_s$ )は階数にかかわらず、0.025秒という短周期で最も相関が良くなった。一方、積分終了の周期( $T_e$ )は建物が高層になるほど長周期側にシフトするのが確認できる。平均加速度応答の周期範囲を各モデルで相関係数が最高となるようにした場合、相関係数の平均値は0.827であった。また、高層の建物の場合は計測震度( $A_0$ )よりも相関が良くなっていることから、対象とする建物群の周期特性に応じた破壊力指標を検討できるのではないかと考えられる。

表2 被害率関数の回帰係数と相関係数

		旧耐震			新耐震			12F
		3F	6F	9F	3F	6F	9F	
PGA	平均	7.237	7.112	6.759	7.443	7.369	7.101	6.918
	標準偏差	0.304	0.256	0.269	0.269	0.258	0.273	0.241
	相関係数	0.711	0.615	0.668	0.630	0.574	0.644	0.582
PGV	平均	5.021	5.020	4.704	5.058	5.214	5.041	4.911
	標準偏差	0.256	0.264	0.316	0.113	0.227	0.251	0.269
	相関係数	0.531	0.622	0.802	0.244	0.492	0.668	0.723
PGA*PGV	平均	12.231	12.103	11.431	12.482	12.555	12.105	11.792
	標準偏差	0.564	0.520	0.586	0.389	0.487	0.519	0.507
	相関係数	0.718	0.750	0.832	0.550	0.671	0.763	0.739
PG(A*V)	平均	11.618	11.497	10.870	11.803	11.932	11.520	11.225
	標準偏差	0.538	0.495	0.586	0.331	0.458	0.502	0.496
	相関係数	0.661	0.677	0.814	0.453	0.596	0.718	0.704
SI	平均	5.965	5.947	5.563	6.093	6.187	5.942	5.768
	標準偏差	0.282	0.298	0.309	0.193	0.270	0.282	0.272
	相関係数	0.678	0.806	0.862	0.479	0.713	0.811	0.795
計測震度( $A_0$ )	平均	6.632	6.565	6.176	6.795	6.834	6.553	6.373
	標準偏差	0.303	0.293	0.296	0.232	0.290	0.282	0.267
	相関係数	0.805	0.870	0.852	0.675	0.813	0.833	0.785

### 6. まとめ

本研究はRC造建物群モデルに地震観測記録と振幅を割増した強震動を入力して解析を行い、その解析結果から各破壊力指標に対する被害関数を構築し、被害と相関の良い破壊力指標を検討し、計測震度がRC造建物の被害と相関が良いことを確認した。さらに弾性応答スペクトルの周期軸での平均値と被害率の相関関係を検討し、各モデルと相関の良い周期範囲を求めた。

#### 【謝辞】

本研究では、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。ここに記して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,第549号43-50,2001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,第558号,101-107,2002年8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,第544号,31-37,2001年6月
- 4) 吉田史:大加速度入力時におけるRC造建物の地震動の破壊力指標に関する研究,日本建築学会大会学術講演梗概集B-2,27-28,2003年9月

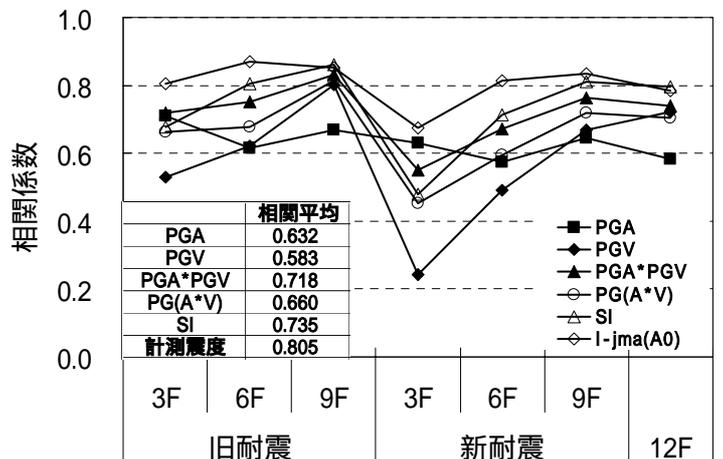


図4 確率紙上の相関係数

表3 相関係数の最大値と周期範囲

		旧耐震			新耐震			12F
		3F	6F	9F	3F	6F	9F	
加速度応答	$T_s$	0.025	0.025	0.025	0.050	0.025	0.025	0.025
	$T_e$	1.300	1.975	3.600	1.100	1.800	2.525	4.050
	相関係数	0.810	0.856	0.893	0.717	0.803	0.857	0.850
速度応答	$T_s$	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
	$T_e$	1.100	1.400	2.575	0.925	1.350	1.875	2.725
	相関係数	0.773	0.829	0.862	0.664	0.759	0.808	0.817
変位応答	$T_s$	0.025	0.025	0.025	0.150	0.025	0.025	0.025
	$T_e$	0.675	0.900	1.325	0.475	0.875	1.000	1.650
	相関係数	0.739	0.779	0.801	0.669	0.673	0.742	0.755

\*1 工学院大学建築学科 研究生

\*2 工学院大学大学院工学研究科 修士課程

\*3 工学院大学建築学科 教授・工学博士

\*4 九州大学人間環境学研究院 教授・工学博士

\*5 日本原子力発電株式会社 修士(工学)

\*1 Researcher, Dept. of Architecture, Kogakuin Univ.

\*2 Graduate Student, Dept. of Architecture, Kogakuin Univ.

\*3 Professor, Dept. of Architecture, Kogakuin Univ., Dr. Eng

\*4 Professor, Faculty of Human-Environment Studies, Kyusyu Univ., Dr. Eng

\*5 The Japan Atomic Power Company, M. Eng