

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

D1-99215 吉田 研史

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 7.3	36
1997/3/26 17:31	鹿児島県薩摩地方	M 6.5	6
1997/5/13 14:38	鹿児島県薩摩地方	M 6.3	5
2000/10/6 13:30	鳥取県西部	M 7.3	26
2001/3/24 15:28	安芸灘沖	M 6.4	43
1999/9/21 1:47	南投県集集鎮付近	M 7.6	16
その他の地震(200(gal) PGA)			140
計			272

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定量的に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。境は実際の被害調査結果と観測強震動から検討し、弾性応答の等価周期(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・川瀬が構築した既存 RC 造の建物群モデル(以後長戸・川瀬モデル³⁾)に観測強震動を入力した解析結果から検討し、PGA*PGV または計測震度を用いることが適切だと指摘している。いずれも観測強震動の数には限界があり、1G 付近の強震動での検討は少ない。そこで本研究では、長戸・川瀬モデルに観測強震動とそれに倍率を掛けた強震動を入力しその解析結果から大加速度入力時における構造物の破壊に対して信頼性の高い地震動評価指標の検討をする。

2. 方法

初めに観測強震動からデータベースを作成する。また、倍率をかけた地震動からなるデータベースを作成する。次に、長戸・川瀬モデルにデータベースの地震動を入力して地震応答解析を行い得られた解析結果から被害関数を構築する。地震動評価指標として、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同定し、その相関性を調べる。次に弾性応答スペクトルとの関係を検討し、より最適な地震動評価指標を明らかにする。

3. 解析に用いた強震動の特性

今回地震動解析に用いた強震動は、PEER Motions⁴⁾ K-NET⁵⁾、KiK-NET⁶⁾、および兵庫県南部地震と台湾集集地震で観測された強震動のうち NS,EW の一方でも PGA が 200gal 以上となった地点、計 272 地点で、含む主な地震の諸元を表 1 に示す。また、震源距離とマグニチュード、PGA(2成分の大きいほう)の関係を図 1 に示した。

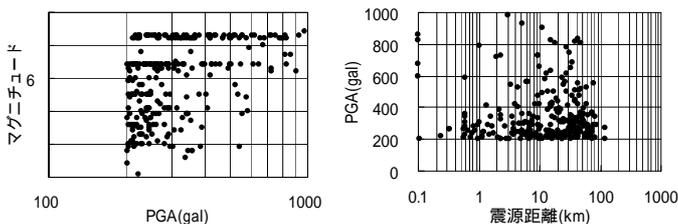


図 1. 地震動特性

4. 被害関数構築

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 造建物の耐力推定から策定している。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。本研究ではこのモデルに前述の強震動の水平 2 成分を同時に入力して応答解析を行い、解析被害率から被害関数を構築する。地震動評価指標は水平 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 の式で表される。

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

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 は確率紙を使い求めた。求められた被害関数と解析被害率は図 2 のようになる。ここでは PGA の旧耐震を示した。

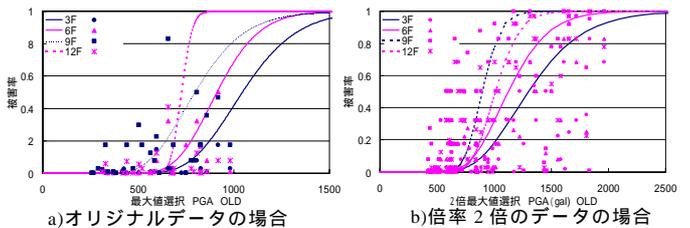


図 2. 解析被害率と被害関数

各地震動評価指標と解析被害率の確率紙上の相関係数を図 3 と表 2 に示す。ここで、存在比率をかけた相関係数とは、長戸・川瀬モデルの基づいている神戸市灘・東灘区の震度階 7 以上の区域内における各モデルの存在比率で重みをつけて求めた相関係数である。表 3 に存在比率を示す。

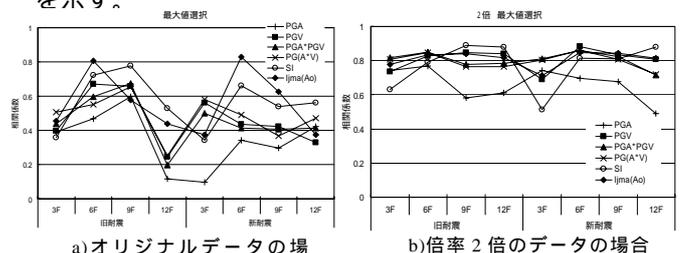


図 3 確率紙上の相関係数

表 2 相関平均と存在比率から求めた相関係数

	オリジナルデータの場合		倍率2倍のデータの場合	
	相関平均	存在比率をかけた相関係数	相関平均	存在比率をかけた相関係数
PGA	0.342	0.307	0.664	0.733
PGV	0.465	0.486	0.807	0.761
PGA*PGV	0.455	0.471	0.804	0.825
PG(A*V)	0.485	0.528	0.796	0.818
SI	0.561	0.457	0.776	0.656
l _{ima} (A _o)	0.560	0.537	0.810	0.779

表 3. 各モデルの存在比率

	3Fモデル	6Fモデル	9Fモデル	12Fモデル
旧耐震	0.380	0.122	0.011	0.005
新耐震	0.290	0.156	0.028	0.009

図からオリジナルデータでの相関が低いことがわかる。これは解析被害率の低く強震動が少なかったことが原因だと考えられる。また 12F モデルは観測被害データが少ない為に相関が低い。どの場合においても PGA は相関が低い。また計測震度が最も良い相関を示している。オリジナルデータでは SI の相関平均は高いが、低層建物で相関が落ちている。一方、倍率 2 倍では PGV が全体として高い相関を示し、PGA*PGV が存在比率から求めた相関係数では最も相関が高くなっている。

5. 弾性応答と被害率の関係

建物被害は地震動の性質のみから決まるものではなく、建物の性質にも依存する。よって、建物の性質を反映させ建物頻度が高い周期帯の弾性応答スペクトルに重みをつければよい。各モデルの存在比率により重みをつけることで、都市の建物被害を 1 つの地震動評価指標で予測できると考えられる。各モデルに存在比率で重みをつけ、横軸に減衰定数 5 % の弾性加速度応答スペクトルの周期、縦軸にその周期における弾性加速度応答と被害率の確率紙上での相関係数をとったものを図 4 に示す。

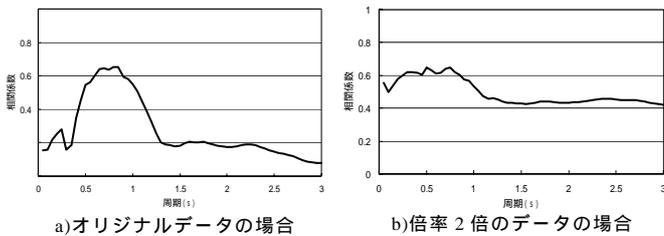


図 4. 弾性加速度応答の周期と被害率の相関係数の関係

図 4 によれば、長戸・川瀬モデルの弾性周期 0.2 ~ 0.45 秒における相関係数は低く、等価周期 0.5 ~ 1.2 秒程が高い相関となる事から、建物被害は等価周期における弾性応答によって決まることがわかる。しかし、倍率 2 倍のデータでは周期 1 秒まで相関が高くなっている。

次に、弾性スペクトルを基に次式によって積分範囲を変えたときの被害率との相関について調べる。減衰定数は 5 % とした。

$$I = \int_{T_s}^{T_E} S(T) dT$$

ここで、 $S(T)$: 弾性加速度スペクトル、 T : 周期 (秒) である。Ts によって線を変え、 T_E を横軸にとって、 I と被害率の相関係数を図 5 に示す。

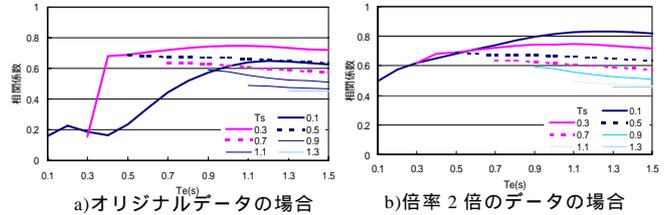


図 5. 弾性応答スペクトルを積分する周期の範囲と被害率の相関係数

図より、オリジナルデータの場合にはいずれも弾性周期 (0.2 ~ 0.45 秒) 付近から等価周期まで積分したものより、等価周期付近である 0.3 ~ 1.1 秒程度までの積分値の相関が大きくなっている。しかし、倍率 2 倍のデータセットでは、0.1 ~ 1.2 秒程度までの積分値が最も相関が良く、弾性周期から積分した値の方が相関が高くなっている。相関係数が高くなった積分範囲での相関係数を図 6 と表 4 に比較のため計測震度を並べて示す。

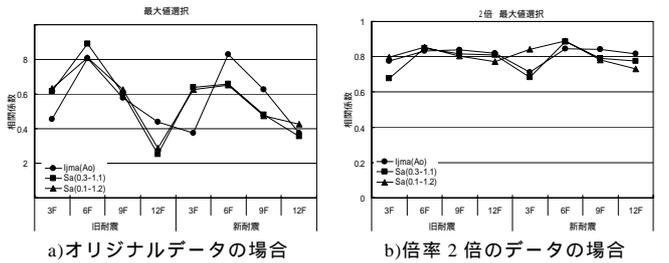


図 6. 弾性応答の積分値の各モデルでの相関係数

表 4. 平均弾性応答の相関平均と重みをかけた相関係数

	オリジナルデータの場合		倍率2倍のデータの場合	
	相関平均	存在比率をかけた相関係数	相関平均	存在比率をかけた相関係数
Sa(0.3-1.1)	0.562	0.655	0.786	0.739
Sa(0.1-1.2)	0.566	0.646	0.809	0.830
l _{ima} (A _o)	0.560	0.537	0.810	0.779

6. まとめ

観測強震動と倍率 2 倍では異なる結果が得られた。倍率をつけた地震動の周期特性の変化には検討の余地がある。各モデルで良好な相関を示した計測震度と、建物頻度を考えた場合に高い相関を示した周期 0.3 秒から 1.1 秒での弾性加速度応答の積分値は地震動評価指標として適切だと考えられる。また長戸・川瀬モデルは兵庫県南部地震時の観測被害から構築されているが、他の都市でも対応できると考えられるので、モデルごとに弾性応答の積分区間を変化させ評価指標を構築すれば、都市の建物頻度を知ることによって被害の予想が可能と考えられる。

[謝辞]

本研究においては、九州大学川瀬・清家研究室の皆様にご協力をいただきました。深く感謝いたします。

[参考文献]

- 1) 境有紀他：1999 年台湾集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 6 月
- 4) PEER Ground Motions: <http://peer.berkeley.edu/research/motions/>
- 5) 防災科学技術研究所, K-NET: <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>
- 6) 防災科学技術研究所, KiK-NET: <http://www.kik.bosai.go.jp/kik/>