

## 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

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

被害関数 大加速度入力 RC 造建物  
破壊力指標

## 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の破壊力指標(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。地震動の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>等が挙げられる。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・川瀬が構築した既存 RC 造の建物群モデル(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であると指摘している。いずれも観測記録の数には限界があり、1G 付近の強震動での検討は少ない。

以上のことより本研究では、長戸・川瀬モデルに観測強震動と振幅を割増した多数の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同定し、被害との相関性を調べる。最後に弾性応答スペクトルの周期軸での積分値と被害との相関性を検討する。

## 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強震動は、K-NET、KiK-NET、および兵庫県南部地震とノースリッジ地震で観測された強震動のうち NS,EW の一方で PGA が 200gal 以上となった地点、計 320 地点で、そのうち大破及び倒壊の解析結果となった 33 地点の強震動と、それを経験的震源モデルである<sup>2)</sup>モデル<sup>4)</sup>を使い Mw(モーメントマグニチュード)を 0.5 増やす事で振幅を割増した強震動の計 66 個のデータで被害関数を構築した。震源距離と、Mw、PGA(2成分の大きいほう)の関係を図 1 に示した。

## 3. 被害関数構築

長戸・川瀬<sup>3)</sup>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使った。各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。破壊力指標は計測震度以外は水平 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  $\lambda$  は標準正規分布関数で  $\mu$  とは  $\ln x$  の平均値と標準偏差である。この  $\mu$  と  $\sigma$  は確率紙を使い求めた<sup>5)</sup>。求められた被害関数と解析被害率の図を PGA と PGA\*PGV、 $A_0$  の場合を図 2 に示した。

各破壊力指標と解析被害率の確率紙上の相関係数を図 3 に示す。ここで[存在比率より]とは建物頻度を考慮した相関係数で、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。表 1 に各モデルの存在比率を示す。計測震度  $A_0$  がどの場合においても最も良い相関を示している。PGV と SI は相関平均が高いが低層建物で相関が低い。一方 PGA は全体に相関が低い低層建物で相関が良い。PGA\*PGV はこの傾向を補い合っていると考えられ、存在比率を考えた相関が高くなっている。

## 4. 弾性加速度応答スペクトルの周期に関する積分値

弾性加速度応答スペクトルを基に(2)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。

$$I = \int_{T_s}^{T_E} S(T) dT \quad (2)$$

ここで、 $S(T)$ : 弾性加速度応答スペクトル、 $T$ : 周期(秒)である。 $T_s$ によって線種を変え、 $T_E$ を横軸にとって、 $I$ と被害率の相関係数に各モデルの存在比率で重みをつけた結果を図 4 に示す。また各モデルにおいて最も相関が良かった積分範囲とその相関係数を表 4 に示す。表から建物が高層になるほど積分範囲が長周期側にシフトするのが確認できる。存在比率で重みをつけた場合には 0.1~1.4 秒での積分値が最も相関が高くなった。いずれの場合も 0.1 秒程度から積分した値の相関が高くなっている。境<sup>1)</sup>らは弾性応答スペクトルの等価周期での積分値(0.8 秒~1.2 秒程度)を提案している。本研究の結果が短周期を必

要とする理由は、解析被害率が小さな強震動が全体に占める割合が大きく、被害関数が小さいところで決まっている影響があると考えられる。

### 5. まとめ

本研究は増田らの検討に、振幅を割り増した強震動を加えることで大加速度入力時の被害と相関の良い地震動の破壊力指標を検討し、PGA\*PGV と計測震度(A<sub>0</sub>)が被害との相関が高い事を確認した。また弾性加速度応答スペクトルの積分値では0.1秒～1.4秒での積分値が最も相関が良くなった。

[謝辞]

本研究は日本原子力発電株式会社「大加速度入力時の建造物の安全性評価指標に関する研究」の一部として実地しました。九州大学の(現 清水建設)増田有周氏に多大なる協力を得ました。本研究では防災科学研究所の K-NET, KiK-NET, PEER Ground Motions の地震観測記録を使用させて頂きました。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) Boore, D.M.(1983). Stochastic Simulation of High-Frequency Ground Motions based on Seismological Models of Radiated Spectra, Bull. Seism. Soc. Am., 73, pp. 1865-1894.
- 5) 伊藤學，亀田弘行：土木・建築のための確率・統計の基礎，丸善株式会社，258-281，1977

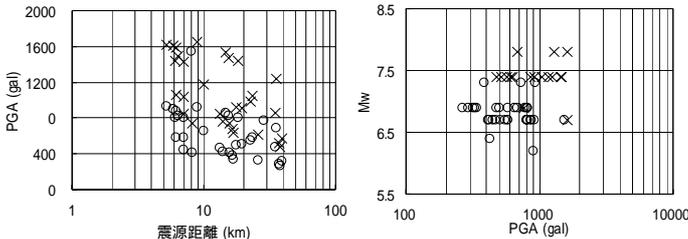


図1 被害関数構築に用いた強震動の特性

(○は観測波、×は振幅を割増した地震波)

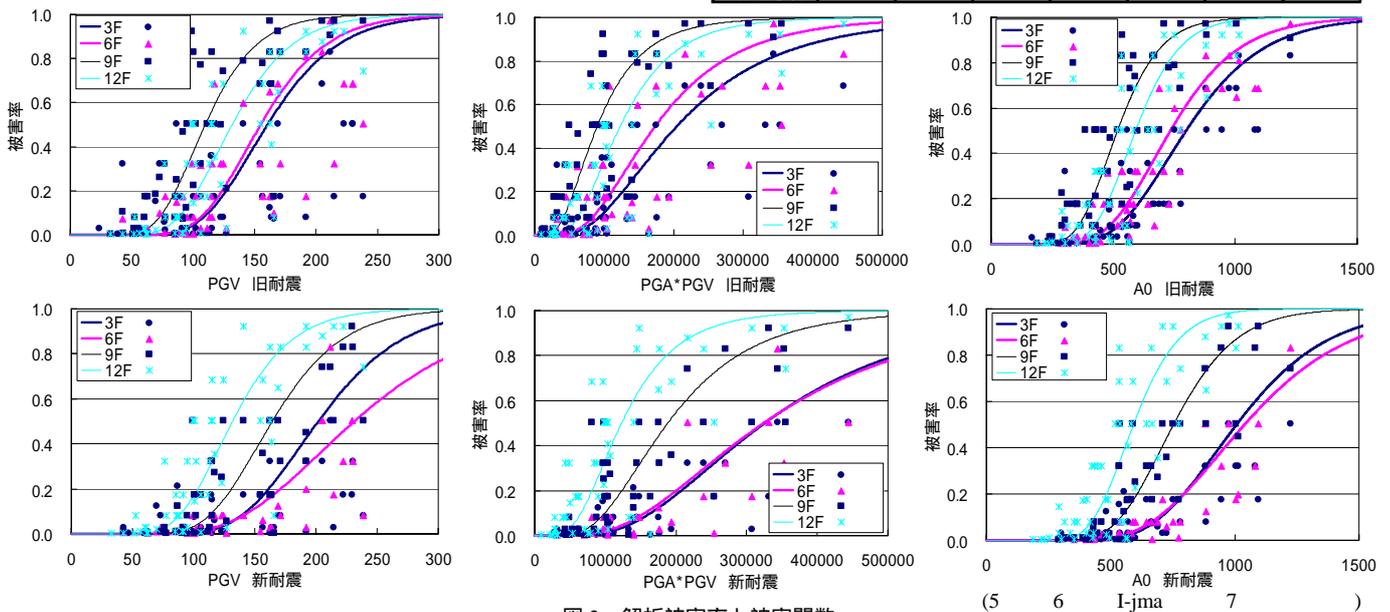


図2 解析被害率と被害関数

\*1 工学院大学大学院工学研究科 修士課程

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

\*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

表1 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	0.013
新耐震	0.290	0.156	0.028	

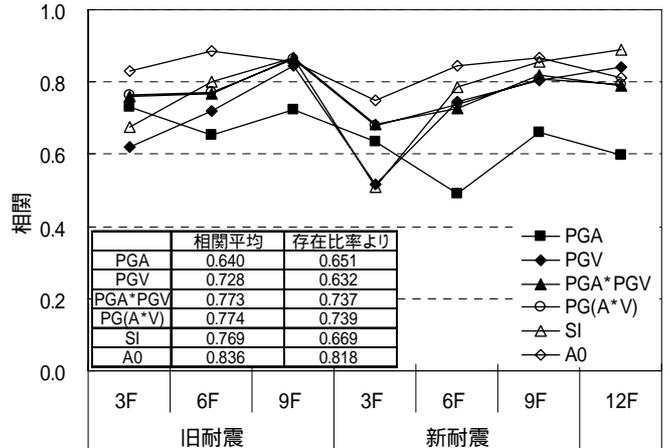


図3 確率紙上の相関係数

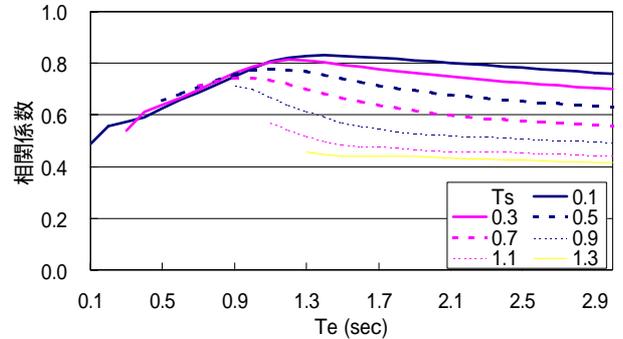


図4 積分する周期範囲と被害の相関係数

表2 各モデルの積分範囲と相関係数の最高値

	旧耐震			新耐震			12F
	3F	6F	9F	3F	6F	9F	
T <sub>s</sub>	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.3
T <sub>E</sub>	1.2	1.6	3.0	1.2	1.9	2.6	3.0
相関係数	0.853	0.891	0.901	0.819	0.862	0.897	0.890