

確率論的振動解析に基づくRC造学校校舎の耐震性評価 その2：被害率関数の構築

被害率関数
リスク評価

構造耐震指標
兵庫県南部地震

応答解析

正会員

○塚本英司¹

同

松井健太郎²

同

久田嘉章³

1.はじめに

昨年度の前報¹⁾では、埼玉県の耐震判定委員会に提出された耐震診断結果と兵庫県南部地震の観測被害率を用いてRC造学校校舎の50棟の建物群モデルを構築した。解析の結果、耐震診断で評価されるよりも平均1.4倍程度の耐震性能を持っていると推定された。なお、詳細なモデルの構築手法については前報を参照されたい。

本報告では、構築したモデルに入力損失を考慮した観測された地震動を入力し、地震動の破壊力指標の関数と、被害度ー建物強さ指標の関数の二変数から被害率関数を構築する。構築した被害率関数により簡略な地震リスク評価を目的としている。

2. 入力地震動と入力損失

地震時建物に入力する地震動は観測点で記録された地震動より有意に小さくなることが知られている。そのため、いわゆる入力損失効果を考慮する必要がある。入力損失する理由としては様々な要因が考えられるが、今回の解析では建物の埋め込みによる影響と地震動が空間的に変動することによる影響を考慮する。

まず、埋め込みによる影響をモデル化するため地盤の非線形解析ソフトを用いて、観測点の波形を工学的基盤まで戻し、その後、埋込み深さを1mと仮定し、表層地盤を1m取り去り入力面まで戻す解析を行った。また地盤データはK-netから、歪依存特性は建設省告示により指定されているものを使用した。その結果、図1のように周波数領域で見ると一秒以下の短周期領域において低減効果が見られた。よって埋め込みによる低減効果を0.5秒以下では0.8、0.5~1.0秒では0.95、1秒以上では1.0と定義し周波数領域でフィルターを掛けることで考慮した。

次に地震動の空間変動による損失効果だが、地震動は数m違うだけでも一致せず、文献²⁾によれば建物の有効入力、建物の基礎面が十分強固であると仮定すると、基礎面に入力する地震動の平均と考えることができ、地震動のフーリエスペクトルに下記の式(1)を掛けることで求めることができる。

$$F(\omega) = \sqrt{\frac{4}{(BD)^2} \int_0^B \int_0^D (B-x)(D-y) \times Coh(\omega, x, y) \cos\left(\frac{\omega x}{c}\right) \cos\left(\frac{\omega y}{c}\right) dx dy} \quad (1)$$

ここに、Bは建物の幅で10m、Dは奥行きで50m、cは

見かけ上の地震動速度で無限としすべてのモデルで一定の値とした、 ω は円速度、 Coh はルートコヒーレンスで下記の式(2)で表される。

$$Coh(\omega, x, y) = \exp\left[-\left(\frac{\gamma \omega r}{V_s}\right)^2\right] \quad (2)$$

γ は定数で文献³⁾より0.2とし、 V_s は地盤のS波速度で便宜上200m/sとしすべてのモデルで一定とした。この関数と上記で定義した埋め込み効果を組み合わせると図2のようになり、すべての地震動にこのフィルターを掛けることで入力損失効果を考慮した。また、構築したモデルに入力損失を考慮した地震動を入力した結果、耐震診断値の1.4倍程度の耐震性があると示された。

3.被害関数の構築

3.1 被害度と地震動の破壊力指標との関係

被害関数に用いる破壊力指標を選定するため、建物群モデルに最近までに観測された地震動213波を入力し、破壊力指標(PGA：最大加速度、PGV：最大速度、平均速度応答(速度応答スペクトルの0.5-1.5秒の範囲における平均値)、A0：計測震度(A0の自然対数が計測震度))と被害率の関係について考察する。図3に示すように、解析により算定された小破率との関係をプロットし、対数正規分布を仮定した近似曲線を合わせて示したのを見ると、PGAやPGVは小破率との相関関係が悪く、平均応答速度やA0は良い相関関係となっていることが分かる。PGA、PGVの相関が良くないのは、PGAは短周期、PGVはやや短周期が卓越するが一定の周期のみでは、建物を破壊する要因とはならないためである。逆に、計測震度や平均速度応答は計算時に広い周期帯での地震動を考慮しているため、建物被害との相関が良くなっていると考えられる。一般に、A0は建物被害との相関が良いとされている1秒で卓越するフィルターを用いるため、A0を破壊力指標として採用する。

3.2 被害度と建物強さ指標との関係

次に建物強さ指標と被害度の関係について考察する。モデルを構築する際、本研究では耐震診断の結果より、建物モデルを構築しているため、50モデルそれぞれの耐震診断結果から建物強さ指標を設定することができる。そこで、耐震診断結果より、どのような指標が最も相関

が良くなるのか検討する。図 4 はそれぞれ、桁行方向の一階 I_s (構造耐震指標) 値、桁行、梁間それぞれの平均 I_s 値のうち小さいもの、 $C_{TU} \cdot S_D$ (累積強度指標と形状指標の積) の最低値、 I_s 最低値であり、比較の結果、 I_s 最小値が最も相関が良いという結果になった。これは実際の耐震診断でも指標として採用されている値であり妥当な結果と言える、よって本研究の建物強さ指標として建物の最小 I_s 値を採用した。

3.3 被害関数

上記の A_0 と最小 I_s 値の二つの指標を変数とした、二変数の被害関数を構築する。被害関数は対数正規分布を仮定し、予備解析の結果より対数標準偏差 ξ は I_s 値によらず一定とし、中央値 α 、 β は I_s 値により線形的に変化するものと仮定し、被害率を被説明変数、 I_s 値と A_0 を説明変数とし、 α 、 β 、 ξ を変化させ、最小二乗法により下記の式 (3) を求めた。

$$P_{ext}(A_0, I_s) = \Phi((\ln(A_0) - \lambda(I_s)) / \xi) \quad (3)$$

$$\lambda(I_s) = \ln(\alpha \times I_s + \beta) \quad (4)$$

表 1 が計算の結果算定された、パラメータとそのときの相関係数であり、図 5 に解析の結果と被害関数の三次元グラフを示す。また、被害グレードのクライテリア¹⁾は 3 種類の靱性指標別の各部材の損傷度 D_i の合計 D 値が、軽微・無被害 (10 未満)、小破 (10~20 未満)、中破 (20~50 未満)、大破 (50 以上) により判定している。この結果、小破、中破、大破ともに比較的、相関係数も高く、解析の結果を再現できていることがわかる。

4. まとめ

前報により構築したモデルに入力損失を考慮した観測地震動を入力した。入力損失を考慮した場合でも耐震診断の結果よりも 1.4 倍程度強いと考えなければならないことがわかった。また、このモデルの構築により兵庫県南部地震での観測地震動と実被害が対応が関係付けられた。また、解析結果に基づき地震被害関数を構築した。これにより、地震の破壊力、地震被害と建物強さで良い相対関係であることが示された。今後、モデルの妥当性の検証により、耐震診断とハザードマップから簡略なりスク評価が可能となる。

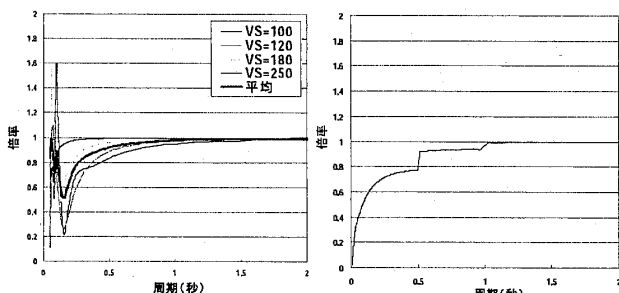


図 1 埋め込みによる低減効果

図 2 入力損失フィルター

[謝辞]

本研究では学校校舎の建物データは埼玉県設計監理協会の耐震判定委員会で検討、修正、分析されたものを用いています。地震動データは気象庁の地震観測記録、防災科学研究所の K-net の地震観測記録を使用させていただきました。また、動的解析に関しては首都大学東京の芳村教授、中村助手に解析プログラムをお借りし、ご指導いただきました。ここに関係者各位に厚くお礼申し上げます。

[参考文献]

- 1) 松井健太郎、久田嘉章：確率論的振動解析に基づく RC 造学校校舎の耐震性評価、日本建築学会学術講演梗概集構造 II, 2005 年 9 月, pp531-532
- 2) Harichandran, R.S.(1987): Stochastic analysis of rigid foundation filtering, Earthquake Engrg and Struct. Dyn., 15, pp889-899
- 3) 大淵正博、岩崎良二、高田毅士：地震動の空間変動と入力損失効果、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.109~110、2005.9

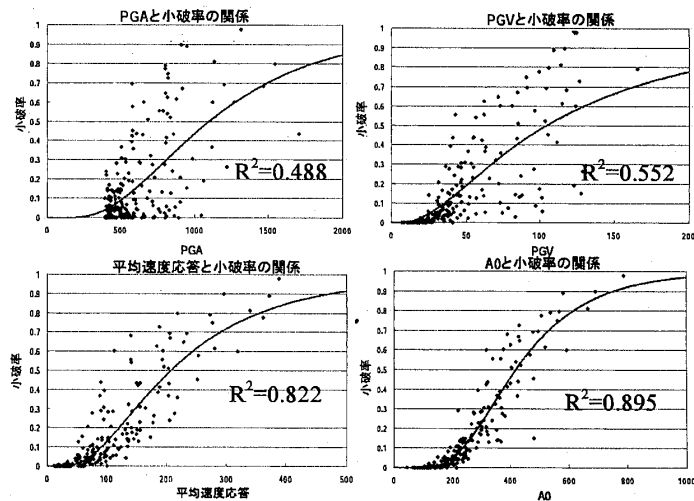


図 3 地震破壊力指標と小破率の関係

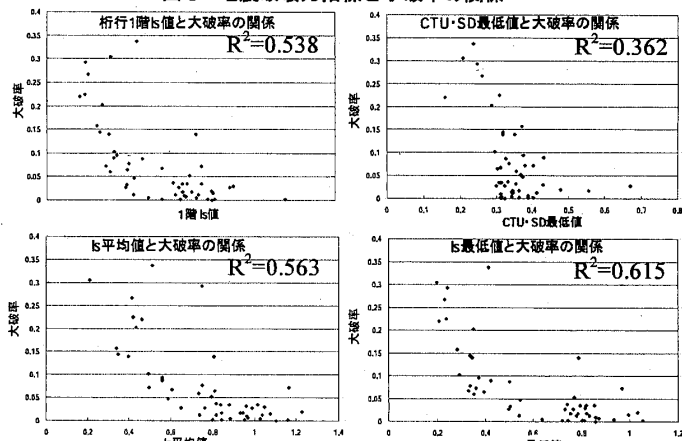


図 4 建物強さ指標と大破率の関係

表 1 被害関数のパラメータと相関係数

	相関係数	α	β	ξ
大破	0.858969	551.3076	416.4178	0.294665
中破	0.839973	452.6972	277.8158	0.373666
小破	0.852694	373.0285	195.6283	0.393077

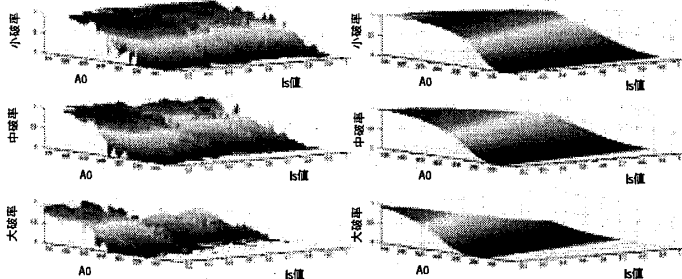


図 5 解析結果 (左) と被害率関数 (右) との比較

*1 工学院大学 大学院
 *2 パシフィックマネジメント株式会社 修士 (工学)
 *3 工学院大学建築学科 教授・工学博士

*1 Graduate Student, Graduate School of Eng. Kogakuin Univ.
 *2 Pacific Management Corporation. M. Eng
 *3 Professor, Dept. of Architecture, Kogakuin Univ., Dr. Eng