

耐震診断結果を用いた低層 RC 造校舎の地震被害率の予測に関する研究

- (その2) 愛知県における典型的な低層 RC 造校舎の地震応答解析による被害率の予測 -

地震応答解析 建物の地震被害率予測

1995 年兵庫県南部地震 被害率曲線

建物の耐震余力

正会員 白瀬陽一*¹ 同 平松 悠*²

同 竹生修治*³ 同 福和伸夫*⁴

同 宮腰淳一*⁵

1. はじめに

(その1)で構築した愛知県の典型的な低層 RC 造校舎の地震応答解析モデルを用いて地震被害率を算定する。ここでは、入力地震動の方向性、地域特性および用途による建物の耐震性能の違いなどを考慮し、解析により求めた被害率と1995 年兵庫県南部地震での実被害調査に基づく被害率曲線⁷⁾との比較を行うことにより、本手法の妥当性を検証する。さらに構築した解析モデルを用いて、建物が保有する余力などについて検討を加える。

2. 被害のクライテリア

地震応答解析結果から被害率を算定するために必要な被害のクライテリアは、つぎのように設定した。

被災度判定基準によると、建物の被災度区分判定は全体傾斜角を用いて、中破以上： $1/100 <$ 、大破： $3/100 <$

である。は地震応答後の建物頂部での残留変形角であり、ここでは残留全体変形角（建物頂部の残留変形 / 建物高さ）と呼ぶ。一方、ここでは建物の被災度区分判定を、地震応答解析で得られた最大層間変形角 R_{max} で評価するために、 R_{max} との関係を求める必要がある。(その1)で作成した 1,121 棟のモデルに対して、JR 鷹取の記録を、桁行方向に N315E 成分、張間方向に N045E 成分（N315E 成分の最大速度を 150 cm/s で基準化）を入力した応答解析結果を図 1 および図 2 に示す。ここで N315E とは、北から時計回りに 315° 回転した方向を意味する。

図 1 には最大全体変形角（建物頂部の最大変形 / 建物高さ）と残留全体変形角の関係、図 2 には R_{max} と最大全体変形角の関係を示す。これより概ね

$$\text{残留全体変形角} = 1/2 \times \text{最大全体変形角} \quad (1)$$

$$\text{最大全体変形角} = 2/3 \times R_{max} \quad (2)$$

となることが分かる。本研究で設定した復元力特性は、中破程度の変形までは復元力を有するので残留変形を算定可能であるが、大破レベルでは復元力が喪失するため残留全体変形

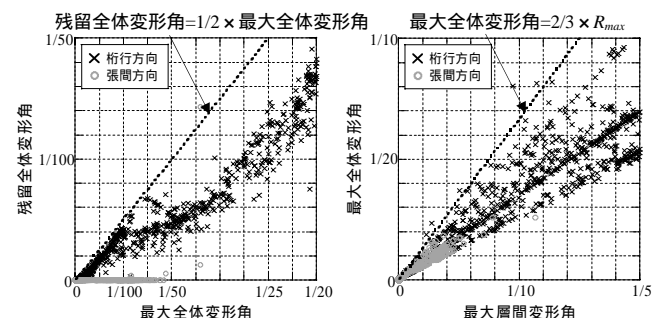


図 1 最大全体変形角と残留全体変形角 図 2 R_{max} と最大全体変形角

角は最大全体変形角と等しくなると考えられる。そこで、中破以上の場合は(1)式と(2)式を、大破の場合は(2)式のみを適用することにする。従って、被害のクライテリアは、中破以上： $1/33 < R_{max}$ 、大破： $1/22 < R_{max}$ となる。ただし、建物の靱性指標 (F 値=0.8 および 1.0) によって被害のクライテリアを変更していない。これは耐震診断データベースの全ての建物について F 値が得られているとは限らないこと、校舎の場合には極脆性柱は階段室の梁に起因し、直行方向には壁があることが多く、柱が崩壊しても鉛直支持能力が失われ無いと考えられること、などを勘案したためである。

3. 1995 年兵庫県南部地震の被害率曲線との比較による検証

3.1 入力地震動の方向性の違いによる補正

図 3 に林らによる 1995 年兵庫県南部地震での 2~5 階建て建物の桁行方向の方位と被害率の関係⁸⁾を示す。各軸の値は中破以上の被害率、括弧内の数字は建物総数を表す。図 3 より入力地震動の方向により被害の差が見られることから、本研究ではこれに基づき被害率の補正を行う。具体的には補正方法として、

桁行 N315E 方向の地震応答解析による被害率 \times $\frac{\text{図 3 の全方向の被害率}}{\text{図 3 の桁行 N315E 方向の被害率}}$ で算定した被害率を、N315E 方向が桁行方向となる建物の被害率を基にした補正被害率とする(図 4)。入力の最大速度は地震動の主軸方向である N315E 成分の最大速度で定義し、最大速度を 80 cm/s から 150 cm/s まで 10 cm/s 毎に基準化する。

3.2 地域特性の違いによる補正

愛知県、神戸市⁹⁾、名古屋市の校舎の I_s 値分布を図 5

に比較して示す。ただし名古屋市の結果は桁行と張間両方向の最小 I_s 値分布である。ここでは、桁行方向に対応すると判断する。標準

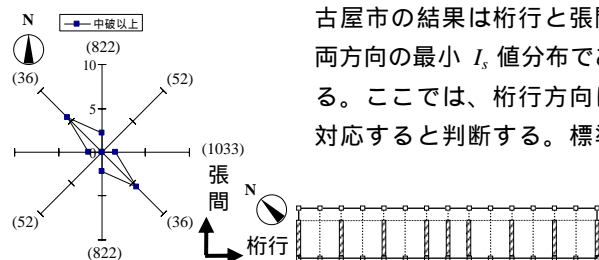


図 3 建物の桁行方向と被害率⁸⁾ 図 4 建物と入力方位の関係

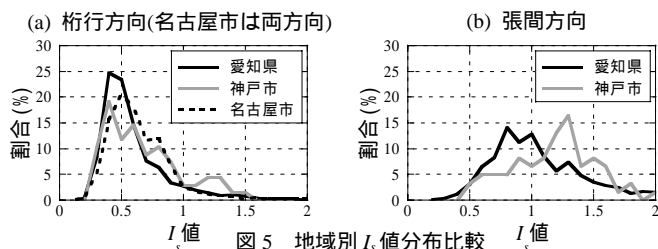


図 5 地域別 I_s 値分布比較

化の進んだ校舎でも地域によってその耐震性能が異なっていることが分かる。地域による耐震性能の違いは建物の平面形状の違い等が影響していると考えられる。例えば愛知県有建物では教室と廊下境に柱がない平面形が多いが、名古屋市の神戸市では教室と廊下境に柱のある建物の割合が高い¹⁾。ここでは愛知県の校舎の耐震性能が神戸市と同等となるように耐震診断結果を補正する。桁行方向については名古屋市の分布(図5(a))と同等と仮定して補正し、張間方向については神戸市の分布を用いて補正する。具体的には愛知県の校舎の I_s 値分布毎に被害率を算定し、結果を名古屋市または神戸市の I_s 値分布形状を用いて加重平均することで被害率を補正している。

3.3 建物用途の違いによる補正

宮腰らが被害率曲線⁷⁾の算定時に用いた建物は、44.6%が集合住宅、残りはその他の用途であるので¹⁰⁾、校舎の被害率の検証に用いるためには、用途による耐震性能の補正を行う必要がある。耐震診断データベースに含まれる4階建て建物の用途別 I_s 値を、層毎に対数正規分布で近似し、その最頻値をプロットした結果を図6に示す。庁舎は桁行と張間方向とで差異が小さいが、集合住宅は桁行と張間方向の I_s 値に明確な違いが見られる。特に張間方向の I_s 値は、集合住宅 > 学校 > 庁舎となっている。地震時に被害が

生じる可能性の高い下層(1~3階)部分の I_s 値は、集合住宅は学校の約1.47倍になっている。そこで、その他の用途と学校の耐震性能は同等と考え、張間方向の I_s 値を加重平均により補正した。その結果、張間方向の I_s 値は1.21倍となった。

3.4 応答解析結果と被害率曲線の比較

3.1項のN315E方向が桁行方向となる建物の補正被害率を宮腰らの被害率曲線⁷⁾と比較した結果を図7に示す。被害率曲線は建物の建設時期によって異なるが、ここでは解析に用いた建物の建設時期の棟数によって加重平均したものをを用いて比較する。応答解析より算定した補正被害率と被害率曲線の対応は良いが、120cm/sを境に解析値は低い速度で小さめ、高い速度で大きめの被害率となっている。この特徴は、被害率曲線を算定した元データとそれを回帰した被害率曲線との差の特徴に類似している。

以上により、本研究による地震被害率算定のための地震応答解析モデルは妥当であると考えられる。

4. 建物が保有する余力についての検討

一般の設計で想定しているモデル(一般設計モデル)と余力考慮モデルの被害率の違いを検討する。一般設計モデルの終局耐力 Q_u は、静的弾塑性解析の結果および I_s 値より算定し、固有周期係数を0.02とする。その結果、余力考慮モデルの Q_u は一般設計モデルに比べ桁行方向で約

1.5倍となっている。JR鷹取および大阪ガス葺合の記録(EW)を桁行方向に入力して算定した被害率を図8に示す。最大速度120cm/sでは余力考慮モデルの被害率は一般設計モデルに比べ1/3倍程度になっている。このことは、1995年兵庫県南部地震において低層RC造建物の被害率がわずかにとどまった理由の一つであると考えられる。

5. まとめ

本報告では愛知県の典型的な低層RC造校舎の地震応答解析モデルを用いて被害率を算定し、実被害調査に基づく被害率曲線との比較により本モデルの妥当性を示した。また一般の設計では考慮しない建物の余力について、その考慮の有無で被害率が大きく異なることを示した。

【参考文献】

- 1) 竹生 他：日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2、pp.719-722、2004.8
- 2) 日本建築学会：1995年兵庫県南部地震鉄筋コンクリート造建築物の被害調査報告書、第 編学校建築、pp.6-20、1997
- 3) 国立学校施設整備技術研究会：平成元年版 学校建築構造設計指針・同解説、1989.4
- 4) 山原 浩：土と基礎、Vol.19、No.8、pp.7-15、1971.8
- 5) Nobuo Fukuwa etc.：Soils and Foundations、Vol.29、No.3、pp.25-40、1989.9
- 6) 八木 他：日本建築学会大会学術講演梗概集 B-2、pp.1005-1006、1998.9
- 7) 宮腰 他：構造工学論文集、Vol.43B、pp.269-276、1997.3
- 8) 林 他：日本建築学会構造系論文集、No.528、pp.135-142、2002.2
- 9) 堀 他：日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2、pp.379-380、1996.9
- 10) 日本建築学会近畿支部鉄筋コンクリート部会：1995年兵庫県南部地震コンクリート系建物被害調査報告書、pp.2-37、1996

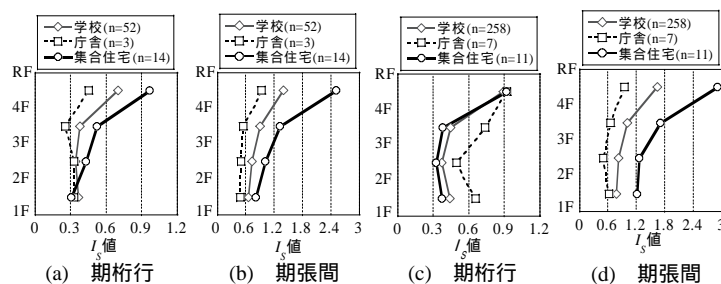


図6 愛知県有4階建て建物の I_s 値(最頻値)高さ方向分布

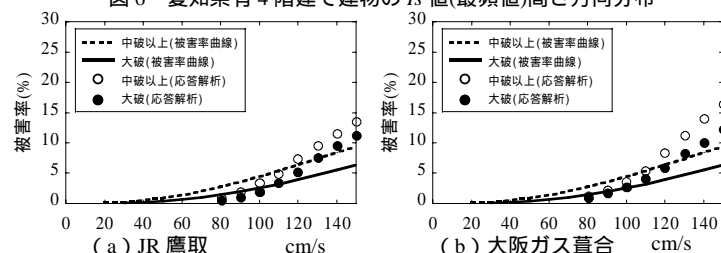


図7 応答解析により算定した補正被害率と被害率曲線の比較

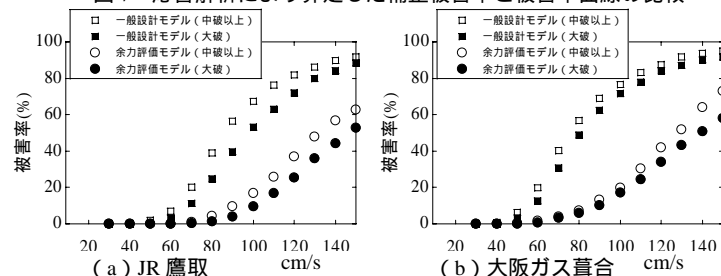


図8 建物の余力の有無による被害率の比較

*1 株式会社 構造設計部門 修士(工学)
 *2 名古屋大学大学院環境学研究科 大学院生
 *3 株式会社 大林組(元名古屋大学大学院) 修士(工学)
 *4 名古屋大学大学院環境学研究科 教授・工博
 *5 清水建設株式会社 技術研究所 博士(工学)

Dept. of Structural Eng., Nikken Sekkei Ltd., M.Eng.
 Graduate Student, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya Univ.
 Obayashi Corp., M.Eng.(Graduated from Nagoya Univ.)
 Prof., Graduate School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr.Eng.
 Institute of Technology, Shimizu Corp., Dr.Eng.