

耐震診断結果に基づく低層 RC 造校舎の地震被害率の予測に関する研究

- (その2) 地震応答解析による被害率の算定 -

建物の地震被害率予測 実被害
1995 年兵庫県南部地震 被害率曲線

正会員 白瀬陽一*¹ 同 平松 悠*²
同 福和伸夫*³ 同 宮腰淳一*⁴

1. はじめに

本報告では、(その1)で作成した低層 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、地震応答解析により算定した被害率と、兵庫県南部地震での実被害調査に基づく被害率曲線との比較を行うことにより、本モデルの妥当性を検証する。さらに本手法を兵庫県南部地震で被災した個別事例に適用し、その被害程度について検証する。

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には、最大層間変形角を用いて、下式より算定する。

$$\text{被害率} = \frac{\theta \text{が被害のクライテリアを超えた建物棟数}}{\text{全建物棟数}} \times 100(\%)$$

上式を用いる際には、中破、大破といった被災度ごとのクライテリアを設定する必要がある。ここでは、過去の地震被害状況から推定された、以下のクライテリアを用いる⁶⁾。

中破以上: $1/150 <$ (3)

大破: $1/75 <$ (4)

なお、極脆性柱の有無によって被害のクライテリアは異なると考えられるが、本研究では F 値によらず同じクライテリアとした。その理由は、愛知県の耐震診断データベースでは、極脆性柱の有無が必ずしも判明していないこと、また校舎の場合、極脆性柱は階段室の段差梁との関係で直交方向に壁があることが多く、そのため柱が破壊しても鉛直支持力が失われまいと考えられること、などを勘案したためである。

3. 兵庫県南部地震の被害率曲線との比較

3.1 入力地震動の方向性の違いによる補正

図1に、兵庫県南部地震における2~5階建てRC造建物の桁行の方位と被害率との関係⁷⁾を示す。図中、半径方向は桁行の方位を示し、各軸の大きさは中破以上の被害率(()内は全棟数)を示している。図より、入力地震動の方向性により被害率に差があることから、本研究では図1に基づいて地震応答解析から算定した被害率を補正する。具体的には、桁行方向がN315E方向の建物(図2参照)について計算した場合、被害率を下式により補正する。

$$\text{桁行N315E方向の算定被害率} \times \frac{\text{図1の全方向の被害率}}{\text{図1の桁行N315E方向の被害率}}$$

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。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、80cm/sから150cm/sまで10cm/s毎に被害率を求める。その際、入力損失効果⁸⁾を考慮

し、入力地震動の大きさを0.9倍する。

3.2 地域特性の違いによる補正

兵庫県南部地震時の神戸市と、本研究で耐震診断データベースとして用いた愛知県とでは、 I_s 値分布が異なる。そこで、図3に、愛知県、名古屋市、神戸市における校舎の I_s 値分布を比較して示す¹⁾。図中、名古屋市の I_s 値は、桁行と張間との最小 I_s 値であるが、ここでは桁行の I_s 値と見なすことにする。図より、地域によって I_s 値分布が異なることがわかる。これは、愛知県の校舎では教室と廊下境に柱がない場合が多いが、名古屋市や神戸市の校舎では教室と廊下境に柱のある割合が多いといった、平面形状の違いなどが影響していると考えられる。ここでは、愛知県の校舎の I_s 値分布ごとに被害率を算定し、桁行方向は名古屋市の分布(図3(a))、張間方向は神戸市の分布(図3(b))を用いて被害率を補正する。これは神戸市の I_s 値分布がやや小さめの可能性があること、および神戸市と名古屋市の校舎の平面形状が似ていることを勘案したためである。

3.3 建物用途の違いによる補正

被害率曲線を作成する際に用いられた建物の用途は、44.6%が集合住宅で、残りはその他の用途である。校舎と集合住宅では、その耐震性能(I_s 値)が異なる可能性がある。そこで、愛知県の耐震診断データベースを用いて、4階建て校舎と集合住宅の I_s 値の違いを図4に示す¹⁾。図は各階の I_s 値の分布を対数正規分布で近似し、その最頻値を年代別・方向別に示している。本研究では、この集合住宅と校舎の I_s 値の違いに着目して、被害率を補正する。地震時に被害が生じる

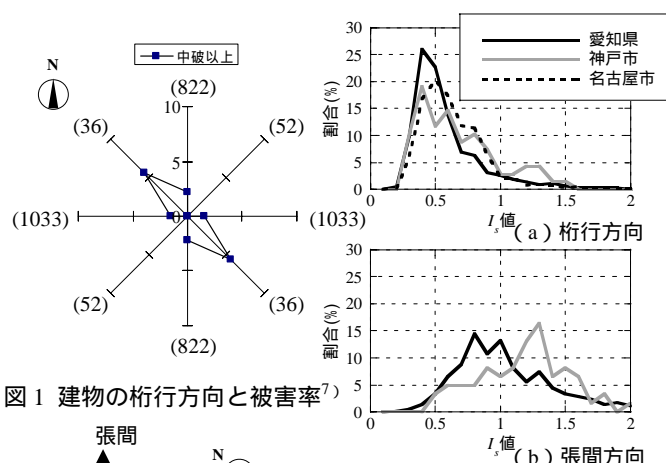


図1 建物の桁行方向と被害率⁷⁾

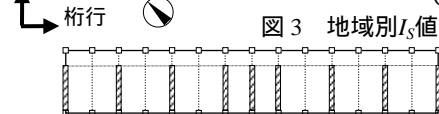


図2 建物と入力の方位の関係

図3 地域別 I_s 値分布の比較

可能性の高い1~3階のI期とII期を合わせた集合住宅の平均 I_s 値は、校舎の1.47倍である。被害率曲線の構築に用いた建物のうち、その他の用途の耐震性能が校舎と同等であると仮定すると、44.6%の建物の I_s 値を1.47倍することになるので、結果として張間方向の I_s 値は平均的に1.21倍となる。なお、桁行方向の I_s 値は建物用途による明瞭な違いは見られないため、被害率の補正は行わない。

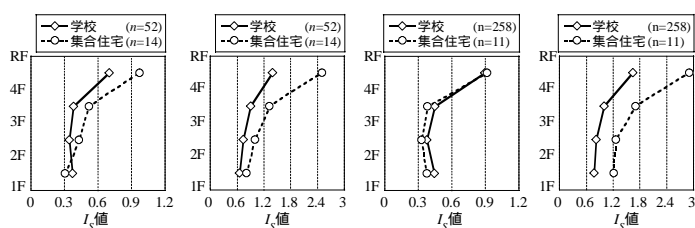
3.4 応答解析結果と被害率曲線の比較

図5に、建物の桁行方向がN000E方向の補正被害率（入力地震動：JR鷹取）およびN315方向の補正被害率（入力地震動：葺合）を、被害率曲線と比較して示す。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。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最大速度で小さめ、高い最大速度で大きめの被害率となっている。この特徴は、被害率曲線を作成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⁹⁾。これらから、本研究の地震応答解析モデルは概ね妥当と考えられる。

4. 個別事例の検討

兵庫県南部地震で被災した個々の校舎¹⁰⁾に本手法を適用し、被害程度を検証する。被災建物のコンクリート強度は低いことも考えられるため、ここでは建物の余力について、コンクリート強度の割増しは考慮しないこととする。検証した個別事例うち、代表的な2棟について、図6に耐震診断結果（桁行方向）を示す。図の見かけの F 値（=各階 I_s 値/{各階 $C_T \cdot S_D$ 値}/ T 値）とは平均的な F 値を表している。

図6より建物A（神戸市立鷹匠中学校（西館））および建物



(a) 期桁行 (b) 期張間 (c) 期桁行 (d) 期張間

図4 愛知県内4階建て建物 I_s 値（最頻値）の高さ方向分布

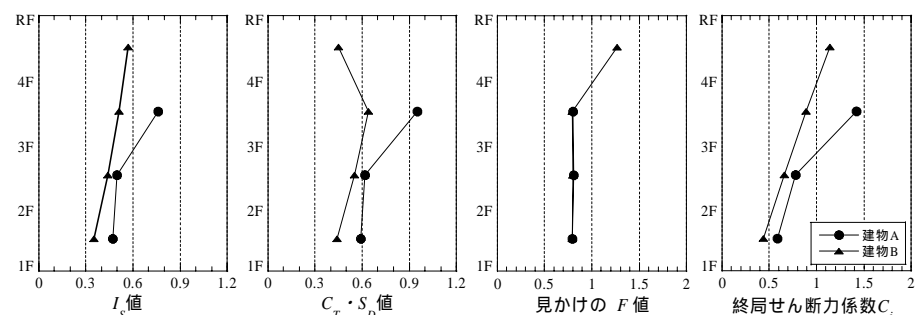


図6 個別事例の耐震診断結果（桁行方向）

B（神戸市立大橋中学校（北校舎東棟））ともに1階の見かけの F 値は0.80となり、破壊形式は脆性柱である¹⁰⁾。被災度判定基準より、建物Aは中破、建物Bは倒壊と判定され、両建物の被災度の最も大きい階は1階であった¹⁰⁾。桁行方向の柱にはせん断破壊が確認されており¹⁰⁾、これは耐震診断結果の破壊形式と対応している。図7に個別事例の地震応答解析結果を示す。入力地震動は観測記録の位置と建物の所在地¹⁰⁾から、建物Aは葺合、建物BはJR鷹取とした。また建物の桁行方向と地震動の入力方向（図2参照）を考慮し、建物AはN000E方向、建物BはN090E方向の地震動を、建物の桁行方向に入力する。なお、両建物の所在地における最大地動速度は140cm/s以上と推定されている¹¹⁾。図7より、建物Aは160cm/sで中破以上のクライテリア（=1/150）に達している。また建物Bは160cm/sで倒壊のクライテリア（=1/29）を超えている。これらから、本手法は個々の被災事例の被害程度と概ね対応したといえる。

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。また本手法が個々の被災事例の被害程度と概ね対応することを示した。

【参考文献】

- 1) 平松 他：学術講演梗概集 C-2, pp.715-718, 2005.9、2) 下平 他：GBRC, Vol.83, pp.3-10, 1996.7、3) 芳村 他：構造系論文集, 第587号, pp.197-204, 2005.1、4) 山田：鉄筋コンクリート構造物の耐震安全性, 1976.8、5) 藤井 他：学術講演梗概集, 構造系, pp.413-414, 1986.8、6) 楊 他：構造工学論文集, Vol.51B, pp.207-213, 2005.3、7) 林 他：構造系論文集, 第528号, pp.135-142, 2000.2、8) 安井 他：構造系論文集, 第512号, pp.111-118, 1998.10、9) 宮腰 他：構造工学論文集, Vol.43B, pp.269-276, 1997.3、10) 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, 1997.3、11) 林 他：構造系論文集, 第502号, pp.61-68, 1997.12

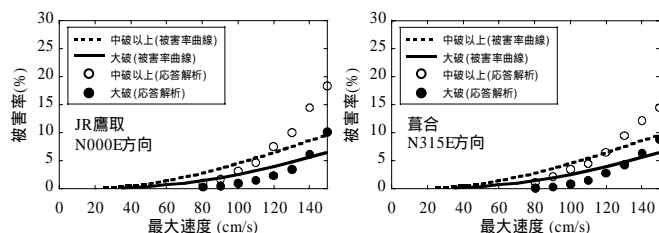


図5 応答解析より算定した補正被害率と被害率曲線の比較

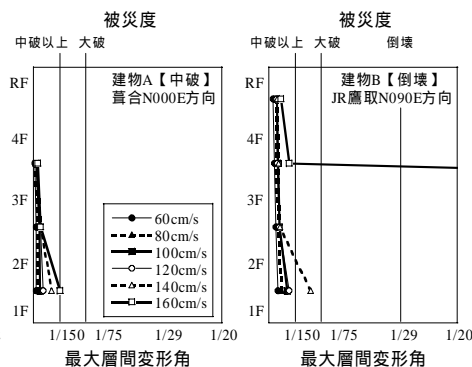


図7 個別事例の地震応答解析結果

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

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