

建物地震被災度の定量的評価法に関する研究

その4 損傷前後の層間変形分布不変仮定に基づいた部材の影響度評価法の提案と地震応答解析による精度検証

正会員 ○三浦 耕太*
正会員 前田 匡樹**

地震被災度 耐震性能残存率 層間変形
地震応答解析 部材の影響度

1. はじめに

巨大地震発生時における企業の事業継続性の判断とその後の効率的な復旧計画の立案のためには、建物の地震被災度を定量的に把握することが重要である。筆者らは、既報¹⁾において、建物各箇所(部材)の損傷度に応じて定まる耐震性能低減係数 η^3 を、建物耐震性能に及ぼす各箇所の影響度 E_r で重みづけ平均して(1)式で建物の耐震性能残存率 R (=被災後耐震性能/新築時耐震性能)を算出する手法を提案した。

$$R = \sum(E_{rj} \times \eta_j) \quad (1)$$

同手法では、図1に示す通常の建物モデル(基本モデル)に対して、一部材(箇所)の耐力を0とした部分ピンモデルの耐震性能(耐力、変形、減衰)がどの程度低下(変化)するかを独自の計算手法で求め、その結果に基づいて各箇所の影響度 E_r を求めていたが、変形の評価手法に関して、理論的な裏付けが不十分であり、手順も複雑であるという問題があった。また、影響度 E_r の算定精度については、文献4)における精算法による算定値と比較することで検証を行っていたが、精算法自体の妥当性について、具体的な検討がなされていなかった。

そこで、本研究では、梁曲げ降伏型のRC造純ラーメン建物を対象として、部分ピンモデルにおける変形分布が基本モデルと同一と仮定した簡略的な影響度 E_r の評価法を新たに提案する。また、地震応答解析により、提案手法及び精算法の精度検証を行う。

2. 既往の文献における精算的な影響度 E_r 算定法(精算法)⁴⁾

図1に示す基本モデル及び部分ピンモデルのPushover解析を行う。得られた荷重変形関係(縮約1自由度系の応答加速度 S_a -応答変位 S_d 関係)と減衰定数 h から、両モデルについて、安全限界時(最大層間変形角=1/50)の保有耐震性能指標 α 、 α' を算定し、その差から部分ピンモデルにおける保有耐震性能指標減少率 D_r を求める。全てのヒンジ位置について減少率 D_r を求め、和を1に基準化したものを影響度 E_r と定義する。

3. 損傷前後の層間変形分布不変仮定に基づいた簡略的な影響度 E_r 算定法(提案手法: 同一層間変形法)

基本モデルにおけるPushover解析結果と、解析の入力データとしても用いる基本的な部材情報、及びピンとする箇所の部材特性(耐力、減衰)に基づく簡易解析によって、部分ピンモデルにおける安全限界時の応答加速度 S_a' 、応答変位 S_d' 、減衰定数 h' を推定し、保有耐震性能指標 α' 並びに各箇所の影響度 E_r を算定する(図2)。尚、上述の3つの指標(S_a' 、 S_d' 、 h')の算定には、安全限界時における各層のせん断力 $\Sigma Q_i'$ と層間変形 δ_i' 、及び減衰定数 h_i' が必要となるが、文献1)2)からわかるように、層間変形 δ_i' の推定には他の要素と比べて複雑な計算を要すると考えられるため、提案手法においては、計算の

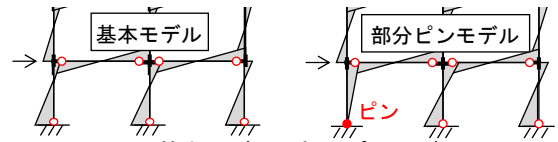


図1 基本モデルと部分ピンモデル

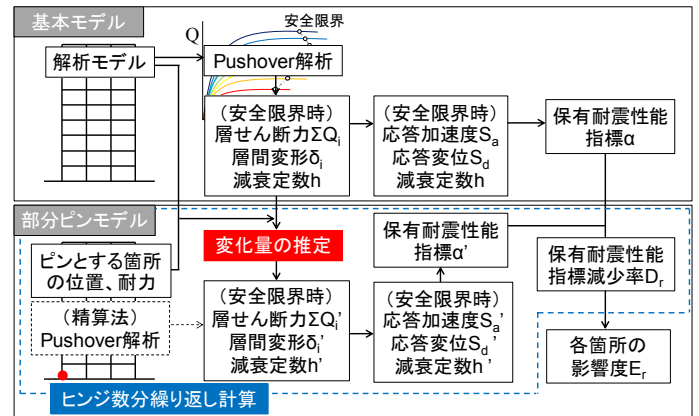


図2 提案手法及び既往の精算法における影響度 E_r の算定法

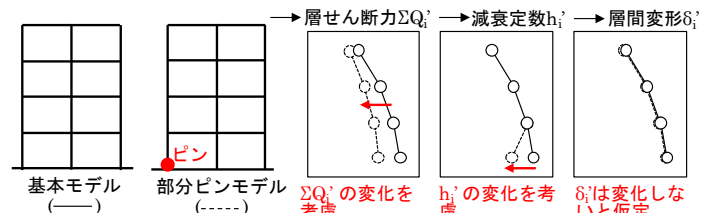


図3 同一層間変形法(提案手法)の概念

簡便さを優先し、層間変形 δ_i' が基本モデルと同一であると仮定して各指標の算定を行う(図3)。提案手法(同一層間変形法)における各指標の算定方法を以下に示す。

3.1 応答変位 S_d' の算定

安全限界時の応答変位 S_d' は、各層の質量と層間変形 δ_i' から定まるため、層間変形 δ_i' が基本モデルと等しいと仮定すれば、応答変位 S_d' は基本モデルと同一の値として求められる。

3.2 応答加速度 S_a' の算定

部分ピンモデルにおける安全限界時の i 層せん断力 $\Sigma Q_i'$ は、基本モデルのPushover解析結果における i 層せん断力 ΣQ_i と、建物全体の耐力 ΣM_u (全てのヒンジ発生位置における曲げ耐力の合計値)に対するピンとする箇所が基本モデルで負担していた耐力 M_{up} の比率($M_{up}/\Sigma M_u$)に基づき、(2)式で求められる。

$$\Sigma Q_i' = (1 - M_{up}/\Sigma M_u) \times \Sigma Q_i \quad (2)$$

(2)式で求めた1層せん断力 $\Sigma Q_i'$ を有効質量 M_{ud}' で除し、安全限界時の応答加速度 S_a' を求める。

3.3 減衰定数 h' の算定

部分ピンモデルにおける建物の減衰定数 h' は、(3)式で求め

られる基本モデルの減衰定数 h からピン位置の負担分を取り除き、(4)式で求められる。

$$h = \Sigma(h_j W_j) / \Sigma W_j \quad (3)$$

$$h' = \frac{\Sigma(h_j W_j) - h_p W_p}{\Sigma W_j - W_p} \quad (4)$$

h_j 、 W_j (h_p 、 W_p) : 基本モデルの Pushover 解析結果から求めた安全限界時の各部材 (ピン位置) の減衰定数、歪エネルギー

4. 地震応答解析による精度検証方法

同一層間変形法及び精算法で算定した影響度 E_r と耐震性能低減係数 η に基づいて(1)式で計算される耐震性能残存率 R と、地震応答解析に基づいて (定義に従って) 計算される耐震性能残存率 R_{dyn} の比較を行う。

4.1 影響度 E_r を用いた耐震性能残存率 R の算定手順

- 1) 建物が地震被害を受けることを想定し、新築建物モデル (通常の建物モデル) に対して、任意の波形を用いて地震応答解析を行い、各箇所 (部材) の最大塑性率 μ を算定する。
- 2) 表 1 のように設定した関係 η を用い、塑性率 μ の値から、被災建物における各箇所の耐震性能低減係数 η を求める。
- 3) 耐震性能低減係数 η と 2、3 章に示した方法で求めた影響度 E_r から、(1)式で被災建物の耐震性能残存率 R を求める。

4.2 地震応答解析に基づく耐震性能残存率 R_{dyn} の算定手順

- 1) 新築建物モデルに対して、一度の地震 (入力) で丁度安全限界に達するような告示波の入力倍率 A_1 を求める。
- 2) 4.1 と同一の被災建物を想定し、文献 3) の考えに従って、各箇所 (部材) の耐震性能 (復元力特性上のエネルギー吸収能力) を新築建物モデルの η 倍に低減したもの (図 4) を被災建物モデルとする。各箇所の η は 4.1 の 2) で求めた値を用いる。
- 3) 被災建物モデルに対して、丁度安全限界に達するような告示波の入力倍率 A_2 を求める。
- 4) 入力倍率 A_1 及び A_2 に基づき、(5)式で被災建物の耐震性能残存率 R_{dyn} を求める。

$$R_{dyn} = A_2 / A_1 \quad (5)$$

A_1 を新築時の耐震性能、 A_2 を被災後の耐震性能と考えれば、 R_{dyn} は耐震性能残存率の定義に合致する値となる。

5. 地震応答解析による精度検証結果

5.1 建物モデル及び入力地震波

対象は図 5 に示す梁曲げ降伏型の RC 造純ラーメン建物とし、建物層数は 3,5,7,10 の 4 種類とした。それぞれの層数について、新築建物モデルの Pushover 解析結果における安全限界時の層間変形分布が均一な E モデル、下層の変形が大きい B モデル、上層の変形が大きい T モデルの 3 種類 (合計 $4 \times 3 = 12$ モデル) を設定した。地震被害を想定するための入力地震波は、告示波 (ランダム位相) とし、入力倍率は、各々のモデルに対して 0.2~1.3 倍で変化させた。

5.2 検討結果

同一層間変形法 (提案手法) あるいは精算法で求めた各箇所の影響度 E_r を用いて算定した耐震性能残存率 R と、地震応答解析結果に基づいて算定した耐震性能残存率 R_{dyn} の比較を図 6 に示す。図中には、 $R > R_{dyn}$ となる (危険側の評価となる) ケースの割合を合わせて示している。同一層間変形法を用いた場合、E モデルにおいては、概ね $R \leq R_{dyn}$ となっており、耐震性能残

表 1 塑性率—耐震性能低減係数 η 関係

塑性率 μ	耐震性能低減係数 η
$\sim \mu_{cr}$	1
$\mu_{cr} \sim 1$	0.95
1~2	0.75
2~3	0.5
3~5	0.2
5~	0

μ_{cr} : ひび割れ発生時

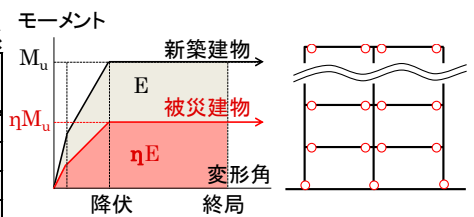


図 4 被災建物モデルにおける部材の復元力特性

図 5 RC 造純ラーメン建物モデル (3,5,7,10 層)

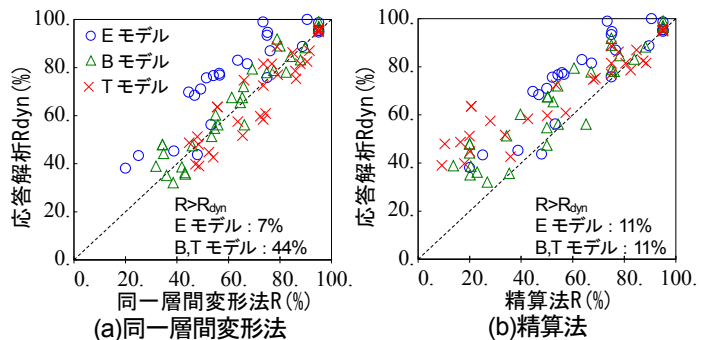


図 6 影響度 E_r を用いて求めた耐震性能残存率 R と地震応答解析に基づいて算定した耐震性能残存率 R_{dyn} の比較

存率 R を精度よく安全側に推定出来ているが、B モデル、T モデルにおいては危険側の評価を与える傾向が見られる。一方、精算法を用いた場合には、いずれのモデルにおいても、耐震性能残存率 R を概ね精度良く安全側に評価することが出来る。従って、層間変形分布にばらつきのある建物に対しては、提案手法においても、部分ピンモデルにおける層間変形の変化を考慮して影響度 E_r の算定を行うことで、影響度 E_r 並びに耐震性能残存率 R の評価精度が改善するものと考えられるが、具体的な手法については今後の課題である。

6. まとめ

簡略的な被災建物の耐震性能残存率評価法として、部材損傷によって層間変形分布が変わらないという仮定に基づいて算定した、建物耐震性能に及ぼす各箇所の影響度 E_r で、耐震性能低減係数 η を重み付けする手法を提案した。地震応答解析による精度検証の結果、層間変形分布が均一な建物に対しては、提案手法を用いて精度良く安全側に影響度 E_r 並びに耐震性能残存率 R を算定出来るが、層間変形分布にばらつきのある建物に対しては、危険側に評価する傾向があることがわかった。

参考文献

- 1) 三浦耕太, 中村充 : 建物地震被災度の定量的評価法に関する研究 その 1 部材特性を用いた簡易解析に基づく評価法の提案, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.375-376, 2015
- 2) 三浦耕太, 諏訪仁, 中村充 : 建物地震被災度の定量的評価法に関する研究 その 3 一部材を損傷させた建物モデルの層間変形推定手法に関する検討, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.135-136, 2017
- 3) 日本建築防災協会 : 震災建築物の被災度区分判定基準及び復旧技術指針, 2016
- 4) 三浦耕太, 前田匡樹ほか : 架構耐震性能に及ぼす各部位の影響度に基づいた RC 造被災建物の残存耐震性能評価法の多層建物への拡張, コンクリート工学年次論文集 Vol.34, No.2, pp.847-852, 2012
- 5) 日本建築学会 : 鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針 (案)・同解説, 2004.7

*大林組

**東北大学大学院 教授・博士 (工学)

*Obayashi Corporation

*Prof., Graduate School, Tohoku Univ., Dr.Eng