

被災 RC 造建物の残存耐震性能に及ぼす部材の影響度と部材特性の関係

Effect of Characteristics in Structural Elements on Residual Seismic Capacity of RC Building Damaged due to Earthquakes

リハビリテーション工学研究室 前田美里

Laboratory of Building Rehabilitation Engineering Misato MAETA

1. はじめに

建物が地震被害を受けた場合、被災後の耐震性能がどの程度残存しているか評価し、適切な復旧計画を立案する必要がある。現在は、一般的に用いられている層崩壊を対象とした評価指標である被災度区分判定基準の耐震性能残存率 R^1 と、梁曲げ降伏型全体崩壊を想定した手法²⁾が提案されている。

文献 1)では、表 1 に示すように各部材の損傷度に応じた値である耐震性能低下率 η を、当該層の層せん断力 ΣQ_{ui} に対する当該部材の負担せん断力 Q_{ui} の割合で重みづけ平均して耐震性能残存率 R を算出する。文献 2)の手法は、塑性ヒンジが生じる部位の回転角 θ_i が全て同じになると仮定し、曲げ終局モーメントの総和 ΣM_{ui} (内力仕事に相当) に対する当該部位の曲げ終局モーメント M_{ui} の比率で η を重みづけ平均して算出する。いずれの評価手法においても崩壊形が特定のケースに限定されてしまうこと、耐力のみで各部材の架構耐震性能への影響度を決定することに問題がある。そこで本研究では、各部材の剛性、架構内での位置関係が建物全体のエネルギー吸収、全体変形へ及ぼす影響の違いを考慮した指標として架構耐震性能に及ぼす各部位の影響度 E_r を新たに提案するとともに、あらゆる崩壊形にも適用可能である耐震性能残存率 R の評価法の提案を行う。さらに、上記のような部材特性の違いがどのように架構耐震性能に影響するかの検討を行う。

2. 耐震性能残存率の算定方法の提案

2.1 算定方法

本研究では、段階に応じた 3 種類の算定手法を提案した。

(1) 3 次判定法

3 次判定法は、コンピューターによる Pushover 解析を行い、より精度よく影響度 E_r を算定する手法である。

建物に未だ損傷が生じていない状態の通常の解析モデルを基本モデルとし、基本モデルに対して影響度を算出する部位一ヶ所に損傷が生じたと仮定して耐力を 0 とした建物モデルを部分ピンモデルと定義する (図 1)。そして、それぞれのモデルにおいて Pushover 解析の結果から保有耐震性能指標 α, α' を算出する。ここで、保有耐震性能指標³⁾は、架構の減衰、耐力及び変形が考慮された指標である。基本モデルに対する部分ピンモデルの α の減少率を D_r とし、全てのヒンジ位置での D_r の和が 1 になるよう基準化したものを当該部位の影響度 E_r と定義する (図 2)。

(2) 2 次判定法

2 次判定法は、3 次判定法における D_r の導出を、コンピューターによる Pushover 解析を行わず手計算可能であるまでに簡略化した手法である。具体的には D_r を、1 層のせん断力率 Q と高さ方向の層の耐力比率による補正係数 κ_b 、階の位置によ

表 1 耐震性能残存率の算出方法

	耐震性能残存率 R
被災度区分判定基準 (層崩壊形)	$\sum \left(\frac{Q_{ui}}{\sum Q_{ui}} \times \eta \right)$
包らによる研究 (梁曲げ降伏型全体崩壊形)	$\sum \left(\frac{M_{ui}}{\sum M_{ui}} \times \eta \right) ※$
本研究	$\sum \left(\frac{E_{ri} \times \eta}{耐力 \times 減衰 \times 変形} \right) ※$

※ 以下の式より

$$\sum \left(\frac{M_{ui} \times \theta_{ui}}{\sum (M_{ui} \times \theta_{ui})} \times \eta \right)$$

η : 各部材の損傷に応じた性能低下率

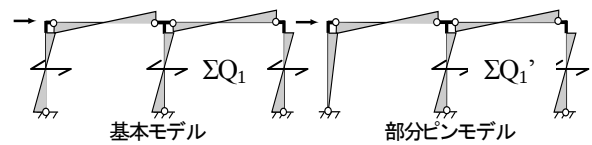


図 1 基本モデルと部分ピンモデル (1 層の場合)

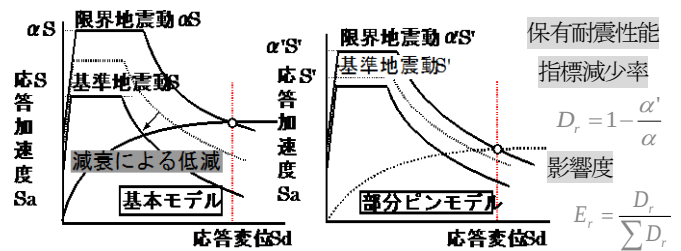


図 2 3 次判定法による影響度の推定

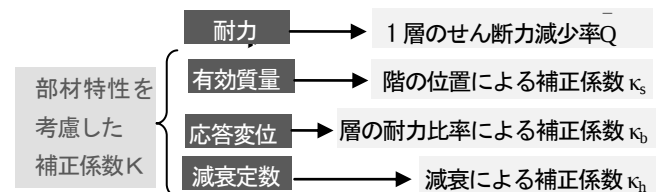


図 3 2 次判定法に用いる各補正係数の評価項目

表 2 補正係数 κ_b のグループ分類

層間変形 D_s	補正係数 κ_b
大	1.4
中	1.0
小	0.6

表 3 1 次判定法における補正係数 κ_h

	剛比	減衰	補正係数 κ_h
曲げ部材	短柱・短梁	$K > 1.5$	大
	基準部材	$0.66 < K < 1.5$	中
	長柱・長梁	$K < 0.66$	小
せん断部材			0.66

る補正係数 κ_s および減衰による補正係数 κ_h を用いて式 (1) によって算出する。

$$D_r = Q \times \kappa_b \times \kappa_s \times \kappa_h = Q \times K \quad (1)$$

建物全体のエネルギー吸収、全体変形への影響分を、部材特性を考慮した補正係数 $K (= \kappa_b \times \kappa_s \times \kappa_h)$ と定義する。図 3 に 3 次判定法との対応関係を示す。

Q は部分ピンモデルにおける基本モデルに対するメカニズム時の 1 層のせん断力減少率 $(= 1 - \Sigma(Q_i') / \Sigma Q_i))$ であり、既往の手法の耐力 $(= M_{ui} / \Sigma M_{ui})$ に対応する値である (図 1)。

κ_s は各層の変形分布に基づく有効質量の変動による、応答加速度 S_a (等価 1 質点系の見かけの耐力) への影響を評価す

る係数であり、低い階ほど大きくなる。

κ_b は応答変位 S_d への寄与分を評価する係数であり、耐力に余裕がなく、層間変形が大きい層で大きくなる。

κ_h は減衰への寄与を表す係数であり、弾性時の力の集まりやすさ（部材の剛度）に応じた値とする。

(3) 1次判定法

1次判定法は、地震発生直後の急を要する被災度判定にも対応可能であるように、式(1)に示す補正係数 κ_b 、 κ_h の算出をより簡易化したものである。

補正係数 κ_b は、建物の層間変形を、被害調査の際に記録する損傷度から推定される層間変形比率 s_D で評価し、その大小関係から各層を3グループに分類する。各グループに対して表2のように値を定める。

補正係数 κ_h は、部材種別や部材長から推定される減衰の大小関係に基づいて、建物の各部材を3つのグループに分類する。各グループに対して表3のように値を定める。

3. 算定結果の比較

本項では、図4に示す破壊モード混在型モデルをはじめとする各種モデルについて、3次判定法、2次判定法及び1次判定法による影響度の比較を行った。代表して図5に図4のモデルの影響度 E_r の算定結果を示す。2次判定法及び1次判定法は様々なモデルで3次判定法と概ね対応する結果が得られ、簡易的な手法でも E_r を精度よく算出できることがわかった。

4. 既往の手法との精度検証

既往の手法では、同じ耐力である部材は、建物内の位置にかかわらず架構耐震性能への影響度は同様と考えられていた。一方提案手法では、2章で定義した変形、減衰及び有効質量を考慮した部材特性 K を耐力に乘じることでより正確に建物内における部材の重要度を評価可能になった。本項では、3次判定法から1次判定法までの対応が良いという結果のもと、図4に示す破壊モード混在型の3階建て建物を例として、1次判定法を用いて K を算出することで、部材特性の違いによる架構耐震性能への影響度の違いを把握する。

図6に示すように建物の高さ方向の層間変形分布比率を変化させた図4のモデルについて、 K を算出し、その値を平均値で基準化した結果を図7に示す。中間層の変形を最大にしたモデルは、 K の最大値で1.6、最小値で0.5を示し、変形、減衰及び有効質量を考慮して正確に影響度を算出するためには、既往の手法に対して $0.5 \sim 1.6 (=K)$ を乗じる必要がある。特に下層の変形が大きいモデルほど、 K の最大値と最小値の範囲が大きくなるので、既往の手法では十分に影響度を評価できないといえる。

図9に、2層の変形が最大であるモデルの右側スパンの梁の剛比を変化させた場合（図8）における K とヒンジ位置との関係を示す。図9より、通常部材よりも短い梁（剛比大）は、長い（剛比小）場合と比較していずれの階においても K 、即ち影響度が大きくなる。またせん断部材は、同じ階の曲げ部材よりも影響度が小さくなる。

5. まとめ

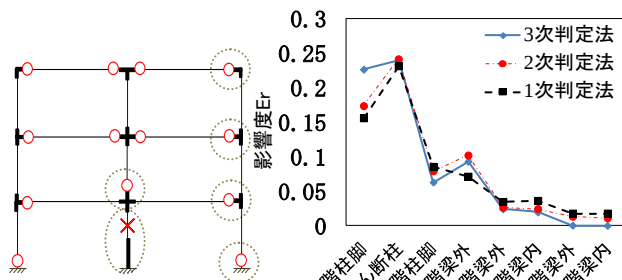


図4 破壊モード混在型モデル

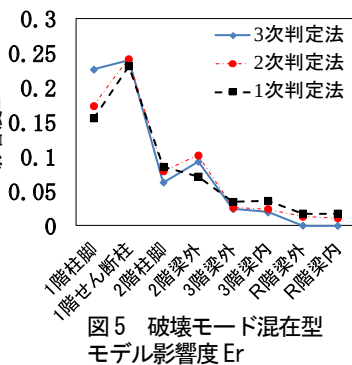


図5 破壊モード混在型モデル影響度 E_r

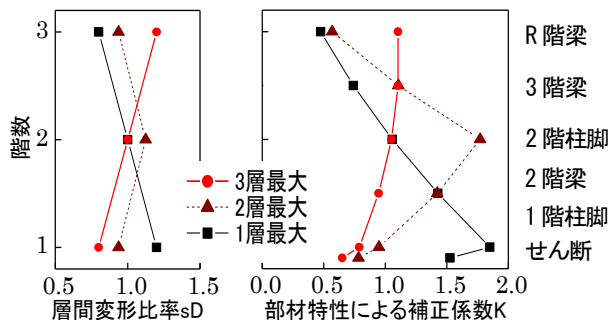


図6 階数—層間変形比率 s_D 関係

図7 部材特性による補正係数 K 関係

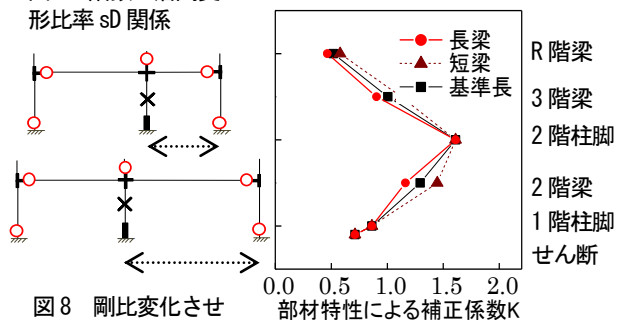


図8 剛比変化させた検討モデル

図9 部材特性による補正係数 K 関係

・被災 RC 造建物の残存耐震性能に、建物全体のエネルギー吸収、全体変形、有効質量への影響の違いを考慮した評価手法を段階的に3種類提案した。崩壊形に関わらず、Pushover 解析を用いるより詳細な3次判定法を、手計算可能である2次判定法及びより2次判定法を簡易化し、緊急時の判定に適用可能な1次判定法で概ね精度よく評価できる。

・各部材が残存耐震性能に及ぼす影響は、変形が大きい層にある部材ほど大きく、下の階程大きい。また、部材の剛比が大きい程大きく、破壊モードで比較すると曲げ部材とせん断部材では、せん断部材のほうが小さい。

・層間変形を変化させた3層2スパンの破壊モード混在型建物で部材特性による影響度を検討した結果、建物全体のエネルギー吸収、全体変形及び有効質量への影響分（＝部材特性を考慮した補正係数 K ）は、 $0.5 \sim 1.6$ の範囲の値になり、下の方の変形が大きい建物ほど、部材特性を考慮した補正係数 K の最大値と最小値の値の差が大きくなる。

[参考文献]

- 1) 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，2002.8
- 2) 包蘇栄，前田匡樹ほか：RC造梁降伏型全体崩壊形建物の残存耐震性能評価法，日本地震工学シンポジウム，Vol.13，pp.3255-3260，2010
- 3) 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