

曲げ破壊型連層耐震壁を有する RC 造架構の残存耐震性能評価

Post-Earthquake Capacity Evaluation of Reinforced Concrete Frame Structure with Multi-Story Flexural Wall

性能制御システム学研究室 藤田起章

Structural Performance Control System Lab. Kisho Fujita

1. はじめに

地震被害を受けた建物の補修、補強の要否を判定し、合理的な復旧計画を立案するためには、被災後の耐震性能を適切に評価することが重要である。現在用いられている指標として、被災前に対する被災後の耐震性能の比を表す耐震性能残存率Rがある。解析の不要な簡易評価法である、(財)日本建築防災協会の「震災建築物の被災度区分判定基準」¹⁾の耐震性能残存率Rの略算法(以下、現行略算法)は、架構の内力仕事の概念に基づき、同基準で提案されている耐震性能低減係数 η を、部材の終局耐力で重みづけ平均して算出するものである(図-1)。しかし、耐震壁部材と柱梁部材が混在する架構において、耐力・変形能力・エネルギー吸収能は柱・梁部材と耐震壁部材で大きく異なるため、耐震性能残存率Rを略算する際の各部材の寄与度は部材の破壊モードや変形性能に影響されるが、上記の略算法は計算の簡略化のためすべての部材の変形が同一で同時に破壊することを前提としている。そのため、変形性能や破壊性状が異なる部材が混在する架構に対する検討が不足している。

そこで、本研究では、曲げ破壊先行型連層耐震壁を有する建物の残存耐震性能を評価することを目的とする。そのために、新たに部材寄与係数 β を用いた略算法を提案し、現行略算法と提案略算法の妥当性を検証する。

2. 残存耐震性能の略算評価法の提案

略算評価法の流れとしてまず架構の支配破壊モードを判定し、破壊モードに応じてそれぞれRの略算評価を行う。

支配破壊モードの判定は、各破壊モードの安全限界状態における保有耐震性能指標で評価し、各破壊点における保有耐震性能指標が大きい方を支配破壊モードとする。

耐震壁、柱梁部材の変形能力の違いを考慮するための破壊モード部材寄与係数 β_w 、 β_c 、 β_g を新たに定義し、連層耐震壁付きラーメン架構に対するRの略算式1を式(1)のように提案する。

$$R = \frac{\sum(\beta_c M_{uc} \eta_c) + \sum(\beta_g M_{ug} \eta_g) + \sum(\beta_w M_{uw} \eta_w)}{\sum(\beta_c M_{uc}) + \sum(\beta_g M_{ug}) + \sum(\beta_w M_{uw})} \quad (1)$$

β の概念を図-2に示す。耐震壁破壊が支配的な場合、壁部材破壊点における耐力の寄与係数は、耐震診断基準²⁾の考え方「壁の終局変形時における柱の強度寄与係数は0.7にしてよい」を参考にして耐震壁部材が最大耐力になる時、柱梁部材は最大耐力の0.7倍程度であると仮定し、 $\beta_w = 1$ 、 $\beta_c = \beta_g = 0.7$ とする。柱梁破壊が支配的な場合、変形能力の寄与度に部材の終局変形角 θ_u を用い、 $\beta_w = \theta_{uw}$ 、 $\beta_c = \theta_{uc}$ 、 $\beta_g = \theta_{ug}$ とする。

部材寄与係数 β 自身による影響を評価する提案略算法1に加え、部材寄与係数 β と損傷後の部材の残存性能を耐震性能低減

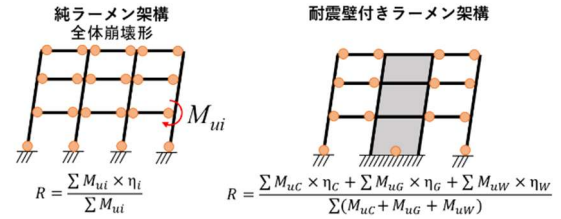


図-1 現行略算法の概念

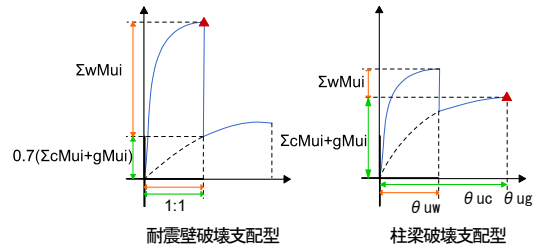


図-2 部材寄与係数 β の概念

表-1 精算法における耐震性能低減係数 η

損傷度	耐力残存率 η_b	変形能力残存率 η_d	減衰残存率 η_h	履歴吸収エネルギー残存率 η_w
I	1	1	0.95	0.95
II	1	0.95	0.8	0.76
III	1	0.85	0.75	0.64
IV	0.6	0.75	0.7	0.32
V	0	0	0	0

係数 η_w で低減する提案略算法2を式(2)で定める。

$$R = \frac{\sum(\beta_c M_{uc} \eta_{wc}) + \sum(\beta_g M_{ug} \eta_{wg}) + \sum(\beta_w M_{uw} \eta_{ww})}{\sum(\beta_c M_{uc}) + \sum(\beta_g M_{ug}) + \sum(\beta_w M_{uw})} \quad (2)$$

現行基準の耐震性能低減係数 η に代わる新たな低減係数としてHAOら³⁾は部材の耐力・変形能力・減衰($M_u \cdot \theta_u \cdot h$)により推定できる履歴吸収エネルギー W_i に基づき、部材の耐震性能低減係数 η_w を W_i の残存率と定義し、表-1の耐力・変形能力・減衰の残存率 η_{bi} 、 η_{di} 、 η_{hi} の積を η_w とした。

3. 振動台実験計画

本研究の精算法及び略算法を適用する解析モデルは、来年度実施予定の東北大学、大林組共同振動台実験の縮小試験体とする。試験体の概要を図-3に、部材の断面詳細を図-4に示す。架構は4階建てとし、試験体質量は振動台の性能に基づき30t(各階の質量は均等)、試験体のスケールは1/4スケールとして設計した。

各部材をモデル化する際は単軸ばねモデルを用いた。各部材の曲げパネにおける復元力特性は図-5のように定める。また、各部材の損傷度は各部材の変形角に応じて図-5のように定めることとする。

試験体の解析は、静的荷重増分解析を行った。解析により得られた層せん断力-層間変形関係から一質点系モデルに縮約して性能曲線を求めた(図-6)。また、一質点系に縮約する際、モデルを1/4スケールから1/1スケールに修正するために解析結果の変形を4倍、荷重を16倍にした

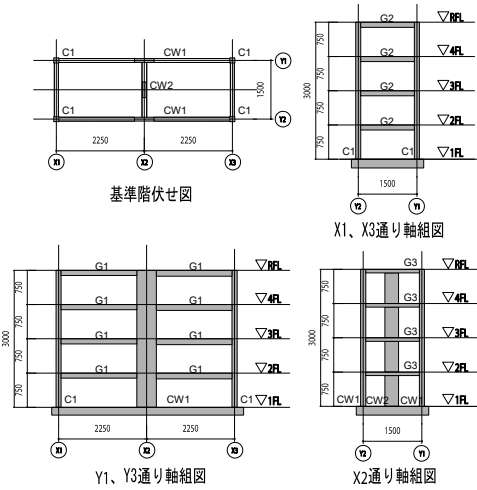


図-3 試験体の概要

4. 略算評価法の妥当性検証

各解析ステップに現行略算法、提案略算法1、2を適用した(図-6)。支配破壊モードは、図-6における各破壊モードの安全限界点の保有耐震性能指標の値から決め、X方向は耐震壁破壊支配型、Y方向は柱梁破壊支配型となった。

次に、HAOら³⁾の研究で用いられる精算法を適用する。精算法では、対象架構において耐震壁部材が最初に損傷度II、III、IVに達するステップ(以下、損傷状態II、損傷状態WIII、損傷状態IV)と、柱梁部材が最初に損傷度II、III、IVに達するステップ(以下、損傷状態FII、損傷状態FIII、損傷状態FIV)の耐震性能残存率を算出した。なお、X方向は耐震壁破壊が支配的なため精算法の適用は耐震壁の損傷度に着目した損傷状態WII、WIII、WIVのみ行った。

各評価法による耐震性能残存率の算定結果をまとめたものを図-7に示す。精算結果と現行略算法による推定結果を比較すると、現行略算法は精算値を安全側に推定できている。しかし、Y方向の損傷状態WIVとFIVにおいて、精算結果では中破と判定されるが、現行略算法では大破と判定され、精算結果を過小評価した。次に、精算結果と提案略算法1による結果を比較すると、壁破壊支配型のX方向において、提案略算法1のRは現行略算法のRと大きく変わることはなかった。一方、柱梁破壊支配型と判定されたY方向は耐震壁部材と柱梁部材の寄与係数 β に大きく差が生じ、柱梁部材の寄与度が相対的に大きくなるため、各損傷状態において推定精度が向上している。最後に、精算結果と提案略算法2による結果を比較すると、破壊モードによる部材寄与度 β と履歴吸収エネルギーの低減を考慮する η_w の両方を略算法に用いることで、X、Y両方向で耐震性能残存率Rの推定精度が向上するという結果になった。

5. まとめ

曲げ破壊型連層耐震壁付きRCラーメン架構に対する残存耐震性能評価を高い精度で簡略化するために、破壊モードごとの部材の寄与度を考慮した略算法1、加えて履歴吸収エネルギーに基づいて耐震性能を低減する略算法2を提案した。また、解析モデルを対象に、既往の精算法との比較により、現行略算法および提案略算法1、2の耐震性能残存率評価の妥当性を

記号	C1	G1	G2	G3
断面形状				
bx	130x130	100x130	100x140	120x90
主筋	4-D10	上端2-D10 下端2-D10	上端2-D10 下端2-D10	上端2-D6 下端2-D6
帯筋	□-D4#60	□-D4#100	□-D4#70	□-D6#30
記号	CW1		CW2	
断面形状				
bx	100x500		80x400	
主筋	20-D13		14-D10	
帯筋	D4#60		D4#140	

図-4 試験体の断面詳細

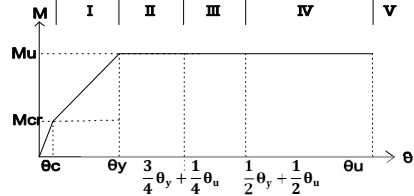


図-5 部材の復元力特性

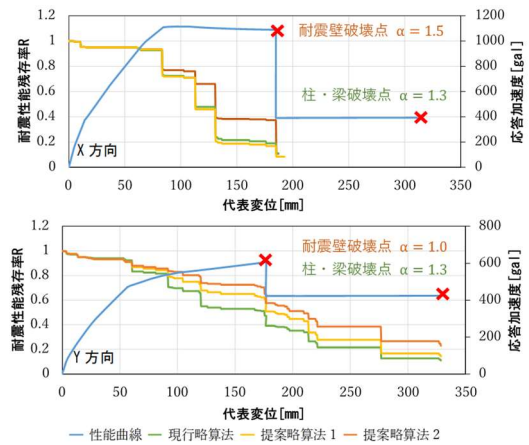


図-6 略算法による耐震性能残存率

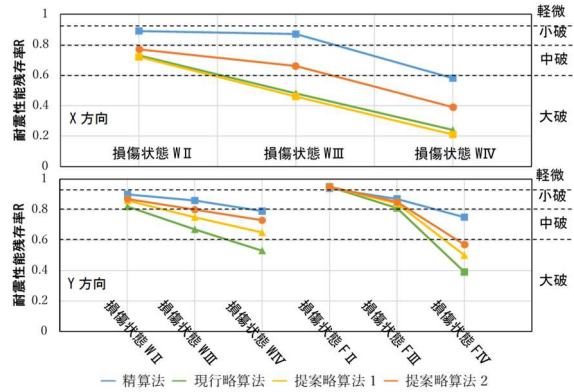


図-7 各評価法の比較

検証した。現行略算法では耐震性能残存率を過小評価するが、提案略算法1、2は破壊モードによる変形能力の違いを考慮し、部材の寄与度を決定できるため、精算結果をより高い精度で推定することができた。さらに、履歴吸収エネルギーも考慮して耐震性能を低減する提案略算法2は、耐震性能残存率の推定精度がさらに上がる結果となった。

参考文献

- 1) 日本防災協会：震災建築物の被災度区分判定基準及び復旧技術指針 2016.3
- 2) 日本建築防災協会：既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準同解説 2001、10
- 3) HAO LINFEI 他：破壊モード混合型被災RC造架構における構造性能低下を考慮した残存耐震性能評価法 コンクリート年次論文集 vol.39、No.2、pp721-726、2017、7