

連層耐震壁を有するRC造4層建物縮小試験体の振動台実験による被災度評価と応答推定  
その5 部材の変形性能を考慮した残存耐震性能評価法の提案と実験結果への適用

残存耐震性能	振動台実験	連層耐震壁	正会員	○藤田 起章*1	正会員	田畑 佑*2
内力仕事	部材寄与度	終局変形	正会員	三浦 耕太*3	正会員	Alex Shegay*4
			正会員	前田 匡樹*5	正会員	Hamood Alwashali*6
			正会員	関 松太郎*7		

1. はじめに

その5では、曲げ破壊先行型連層耐震壁を有するRC造架構の残存耐震性能を評価することを目的とする。そこで、その1に示した被災度判定基準の略算法<sup>1)</sup>に対し新たに略算法を提案する。次に、その2で示した実験結果から耐震性能残存率の正解値  $R_e$  を算出し比較することで、現行略算法で算出される耐震性能残存率  $R_{JBDA}$  と提案略算法で算出される耐震性能残存率  $R_p$  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

提案略算法のおおまかな流れとしてまず架構の破壊モードを判定し、破壊モードに応じて  $R_p$  の算出を行う。

支配破壊モードの判定では、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  $\alpha^8)$  が大きい方を支配破壊モードとする。(図1)

$R_p$  の算出は、現行基準と同じく内力仕事の残存率と定義する。部材の曲げ終局強度  $M_u$  に終局変形角  $\theta_u$  を乗じた内力仕事に、ハオら<sup>4)</sup>が提案した耐震性能低減係数  $\eta_w$ (表1)を乗じることで部材の性能低下を考慮する。提案略算法の算定式を式(1)に示す。ここで、添え字のC、G、Wは柱、梁、耐震壁を表す。

$$R_p = \frac{\sum(M_{uc}\theta_{uc}\eta_w) + \sum(M_{uc}\theta_{uc}) + \sum(M_{uw}\theta_u\eta_w)}{\sum(M_{uc}\theta_{uc}) + \sum(M_{uc}\theta_{uc}) + \sum(M_{uw}\theta_u)} \quad (1)$$

$\theta_u$  は、各部材及び建物全体の破壊モード・終局変形から定まる値を用いることとする。図2に示すように耐震壁破壊支配型の場合、安全限界点が耐震壁の終局点となり柱梁の変形も壁の終局までと考えられるので、 $\theta_{uc}=\theta_{uc}=\theta_{uw}$  とする。柱梁破壊支配型の場合、安全限界点が柱梁の終局点となり、耐震壁が終局になり耐力低下した後も柱梁の変形が進むため、それぞれ異なる変形性能を考慮して、 $\theta_{uc}$ 、 $\theta_{uc}$ 、 $\theta_{uw}$  はそれぞれの終局変形を用いる。

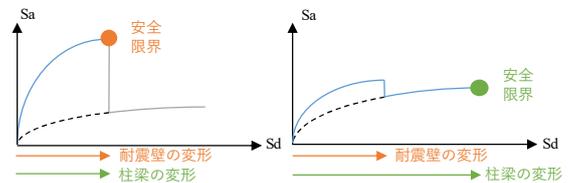
3. 実験結果による耐震性能残存率の正解値の算出

前田ら<sup>14)</sup>は、無損傷の状態から加振する場合と、損傷後に加振する場合で、同じ応答変形となる時の、入力倍率の比を架構の残存耐震性能率と定義した。そこで本研究ではこの定義に基づき、耐震性能残存率の正解値  $R_e$  を算出する。加振ケース Run.N の時の  $R_e$  の算出方法を以下に示す(図3)。

- 1) 加振ケース Run.(N+1)の実験結果における最大応答変形点を点Dとし、その時の加振倍率を  $A_D$  とする。
- 2) 実験結果を再現する解析モデルを用意し、同一地震

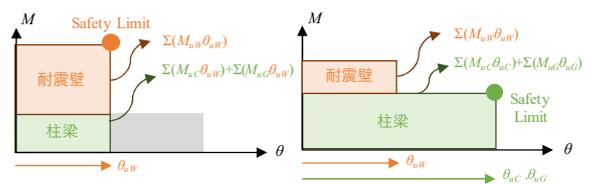
表1 耐震性能低減係数  $\eta$  及び  $\eta_w$

損傷度	現行基準		既往研究
	$\eta$ (柱梁)	$\eta$ (耐震壁)	$\eta_w$
I	0.95	0.95	0.95
II	0.75	0.7	0.76
III	0.5	0.4	0.64
IV	0.2	0.1	0.32
V	0	0	0



(a) 耐震壁破壊支配型 (b) 柱梁破壊支配型

図1 支配破壊モードの算定



(a) 耐震壁破壊支配型 (b) 柱梁破壊支配型

図2 架構全体のエネルギーバランス

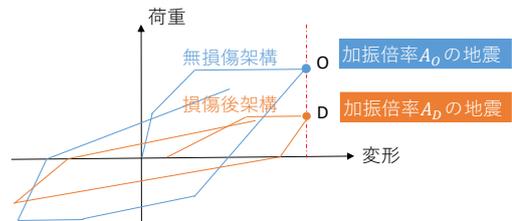


図3 地震動の大きさに基づいた耐震性能残存率

波で、無損傷状態から1回の加振で最大応答変形が点Dと同じになる加振倍率  $A_0$  を地震応答解析から算出する。なおその時の最大応答変形点をOとする。

- 3) 耐震性能残存率  $R_e$  を式(2)で算出する。

$$R_e = A_D/A_0 \quad (2)$$

2)で実験結果を再現するモデルは、その4の解析モデルを使用し、解析にはSNAPver7を用いた。

4. 各評価法の適用と各算定結果の比較

$R_{JBDA}$  及び  $R_p$  の算定に用いる部材の終局強度  $M_u$ 、終局変形角  $\theta_u$  はその3の計算結果を使用した。提案略算法を適用する際、支配破壊モードの判定はその3で示した静的増分解析による保有耐震性能指標を用いた。試験体

のX方向は耐震壁破壊点の保有耐震性能指標の方が大きいことから耐震壁破壊型、Y方向は柱梁破壊点の保有耐震性能指標の方が大きいことから柱梁支配型と判定された。また、 $R_e$  算定時に用いる加振ケースは、ひび割れが発生し始めた Run.3、降伏し始めた Run.4、損傷が進んだ Run.5 とする。

各加振ケースの  $R_{JBDPA}$ 、 $R_p$ 、 $R_e$  の値と、それに伴う荷重変形関係を並べて表記したものを図4に示す。

全体として、 $R_{JBDPA}$  は、実験結果である  $R_e$  の傾向を X、Y 両方向でとらえることができている。しかし、X 方向の Run.5 において、 $R_{JBDPA}$  は  $R_e$  を 4 割程度過小評価した。次に、 $R_p$  も同様に  $R_e$  の傾向を X、Y 両方向でとらえることができている。さらに、 $R_{JBDPA}$  が大きく過小評価した X 方向の Run.5 も 2 割程度の誤差にとどまり、X 方向においては推定精度の向上が見られている。これは、図5(a)に示すように実験における安全限界点は現行基準・提案法と変わらないが、安全限界点 (Run5 の応答) を超えても大きな性能低下 (耐力低下) は見られなかったため、Run5 に関しては、部材の損傷低下を低く見積もる  $R_p$  の方が推定精度が高かったと考えられる。しかし、Y 方向の各加振ケースにおいて、 $R_{JBDPA}$  よりも  $R_p$  の方が  $R_e$  の推定精度が低いという結果になった。これは、その3で述べたように、事前の解析モデルによる破壊モードが実際の破壊モードと一致しなかったためであると考えられる。図5(b)に示すように、架構の安全限界を現行基準では耐震壁破壊点、提案法では柱梁破壊点としているが、実験結果の安全限界点は耐震壁破壊点に近かった。そのため、 $R_{JBDPA}$  の方が推定精度が高いと考えられる。以上のことから、耐震性能残存率の評価法をより推定精度の高いものにするためには架構の支配破壊モードを正確に判定することが必要である。

## 5. まとめ

曲げ破壊先行型耐震壁を有する RC 造架構の残存耐震性能を評価する方法として、架構の破壊モードを考慮した略算法を新たに提案し、現行基準と共にその妥当性を検証した。現行略算法、提案略算法ともに耐震性能残存率の正解値の傾向を概ねとらえているが、変形性能の異なる部材から構成される架構の場合、支配的な破壊モードが正しく予測できれば、提案略算法はより高い精度で評価できた。

## 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，2016
- 2) 文野正裕，前田匡樹，長田正至：部材の残余耐震性能に基づいた震災 RC 造建築物の被災度評価法に関する研究，コンクリート工学年次論文集，第 22 巻第 3 号，pp.1447-1452，2000 年 6 月。

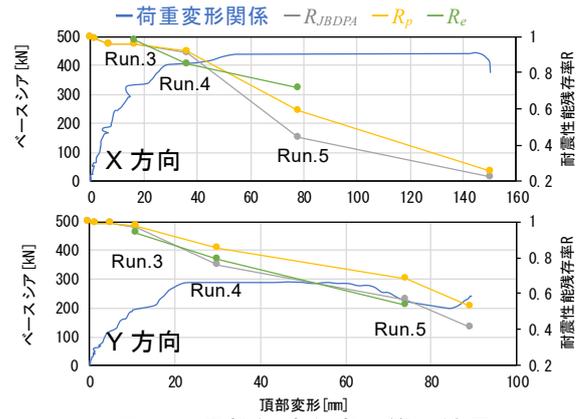


図4 耐震性能残存率の算出結果

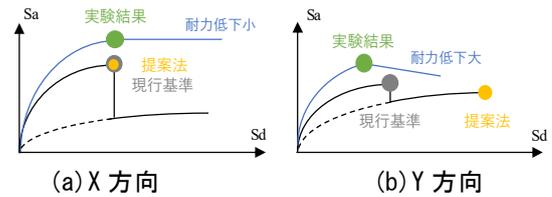


図5 実験結果と解析結果の安全限界点

- 3) 包蘇榮，松川和人，前田匡樹：「RC 造梁降伏型全体崩壊形建物の残存耐震性能評価法」，第 13 回日本地震工学シンポジウム論文集，pp.3255-3260，2010 年 11 月。
- 4) HAO Linfei，晋沂雄，前田匡樹：破壊モード混在型被災 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，コンクリート工学年次論文集，第 39 巻第 2 号，pp.721-726，2017 年 7 月。
- 5) 三浦耕太，前田匡樹：損傷前後の層間変形分布不変仮定に基づいた建物耐震性能に及ぼす各部材の影響度評価法の提案と RC 造梁曲げ降伏型全体崩壊形建物への適用性検討 地震発生直後の即時判定を目的とした被災建物の耐震性能残存率評価法の開発 その 1，日本建築学会構造系論文集，第 83 巻第 747 号，pp.727-737，2018 年 5 月
- 6) 藤田起章，田畑佑，Hamood AlWashali，前田匡樹：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，コンクリート工学年次論文集，第 41 巻第 2 号，pp.799-804，2019 年 7 月
- 7) 松川和人，前田匡樹：地震応答スペクトルに基づく鉄筋コンクリート造建物の倒壊限界評価法，日本建築学会構造系論文集，vol.78.No.693，pp.1913-1921，2013.11
- 8) 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
- 9) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説，1999.9
- 10) 梨本優也，町田隆祐，鈴木裕介，前田匡樹：中小地震観測データを用いた RC 造建築物の即時損傷推定と耐震性能評価手法の検討，コンクリート工学年次論文集，第 37 巻第 2 号，pp.679-684，2015 年 7 月。
- 11) 菊池友介，晋沂雄，前田匡樹：建物の地震観測記録を用いた等価・質点系応答補正法による将来の地震に対する被害予測，コンクリート工学年次論文集，第 39 巻第 2 号，pp.841-846，2017 年 7 月。
- 12) 杉本訓祥，勝俣英雄，洪市克彦，穴吹拓也ほか：縮小 20 層 RC 造建物試験体の長周期地震動による震動実験 その 1~11，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造IV，pp.653-674，2013.3
- 13) 田畑佑，藤田起章，三浦耕太，前田匡樹：加速度センサ記録に基づいた解析モデルの修正による RC 造建物の応答推定手法に関する検討，コンクリート工学年次論文集，2020 (投稿中)
- 14) Masaki Maeda and Dae Eon Kang : Post-Earthquake Damage Evaluation of Reinforced Concrete Buildings, Journal of Advanced Concrete Technology , Vol.7, No.3, pp327-335, 2009

\*1 東北大学大学院工学研究科 博士課程前期

\*2 久米設計

\*3 大林組 技術研究所

\*4 東北大学大学院工学研究科 学術研究員・Ph.D.

\*5 東北大学大学院工学研究科 教授・博士 (工学)

\*6 東北大学大学院工学研究科 助教・博士 (工学)

\*7 建築研究所 工学博士

\*1 Graduate Student, Graduate School of Eng., Tohoku Univ.

\*2 KUME SEKKEI Co., Ltd.

\*3 Technical Research Institute, Obayashi Corporation

\*4 Research Fellow, Graduate School of Eng., Tohoku Univ., Ph.D.

\*6 Prof., Graduate School of Eng., Tohoku Univ., Ph.D

\*5 Assistant Prof., Graduate School of Eng., Tohoku Univ. , Ph.D

\*7 Building Research Institute, Dr. Eng