日本建築学会大会学術講演梗概集
（中国） 2017 年 8 月

建物の応答加速度記録を用いた RC 造建物の地震時即時被害推定と将来の地震動に対する被害予測

正会員 ○菊池 友介[*1] 同 晉 沂雄[*2]
同 前田 匡樹[*3]

応答加速度記録 等価一質点系応答 多質点系応答
即時被害推定 将来被害推定 被災度判定

1. はじめに

近年，人口減少による新築建物需要の低下や地球環境問題などの背景から，建物の耐用年数の長期化が求められている。被災建物の復旧を合理的に実施するには，建物の損傷状態・残存耐震性能の適切な評価が不可欠である。文献 1）においては，**図-1** に示すように設計慣行に基づいて作成された解析モデルを用いた等価一質点系における応答・損傷の推定と耐震性能評価手法の検討がなされている。

本論文ではこれに加え，建物が経験した観測応答から多質点系において解析モデルを修正し，修正した解析モデルを用いて未経験領域までを含めた応答を推定することにより，地震時の即時被害推定手法（以下，即時推定）と将来起こり得る地震に対する被害推定手法（以下，将来推定）の提案を行い，既報 [1)]の等価一質点系による推定を含めて被災度判定を行うことで提案手法の妥当性の検証を行う。

2. 検討に用いる実験の概要 [2), 3)]

本研究において解析対象とする実験は，建築基準整備促進事業 [2)]において 2012 年に E-defense で実施された，縮小 20 層 RC 造試験体の震動実験である。**図-2** に試験体図を示し，**表-1** には主な加振ケースを示す。実験結果より，Run.1，2 ではひび割れは発生したが降伏箇所は確認されず，Run.3 で梁が降伏し始め Run.4，5 では柱も降伏した。Run.5 では層間変形角 1/35rad.という大変形であったが倒壊には至らなかった。主に梁部材に降伏ヒンジが形成されたため，崩壊形式は梁降伏先行型の全体崩壊形と判断された。

3. 多質点系における修正解析モデルによる被害推定手法に関する検討

本章では観測層における復元力特性を観測値の剛性・耐力に基づき修正し，修正した復元力特性を有する質点モデル（以下，修正質点モデル）の時刻歴応答解析を行うことで，層レベルの応答や被害をより詳細に把握可能とする手法を提案する。また，本提案手法を 2 章で述べた震動実験結果に適用することにより，その妥当性の検証を行う。想定加速度センサ設置数は 5 点（以下，部分観測）と 21 点（以下，全層観測）により検討を行った。**図-3** に修正質点モデルによる推定の概念図を示す。

復元力特性の修正パラメータの決定に際し，観測応答から建物の変形の進展レベルを推定することが必要となる。そこで，本検討では観測応答の Q-δ 関係における 1 サイクル最大応答時の割線剛性により変形進展レベルの推定を行った。**図-4** に例として部分観測の場合における 1 層の割線剛性の推移を示す。推定割線剛性は観測割線剛性の移動平均曲線を線形置換することにより算出し，修正質点モデルにおける初期剛性は低下前剛性 K_b を使用した。**図-5** に部分観測，全層観測における剛性低下率 K_a/K_b を示す。この剛性低下率によりひび割れ・降伏判定用の剛性低下率を

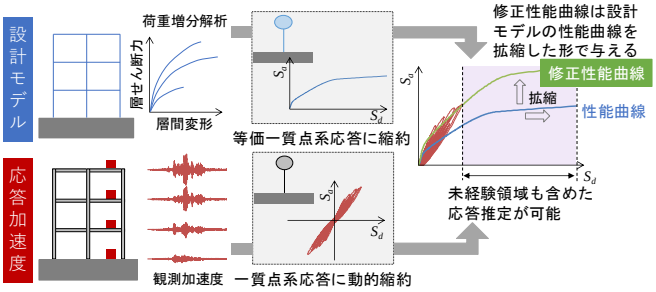


図-1 等価一質点系応答補正法の概要 [1)]

表-1 主な加振ケース

加振ケース	基本波形	入力倍率	目標層間変形角 (rad.)	実層間変形角 (rad.)
Run.1	東京観測波	100%	1/200	1/234
Run.2		200%	1/100	1/137
Run.3		300%		1/86
Run.4	津島波	150%	1/50	1/64
Run.5		200%		1/35

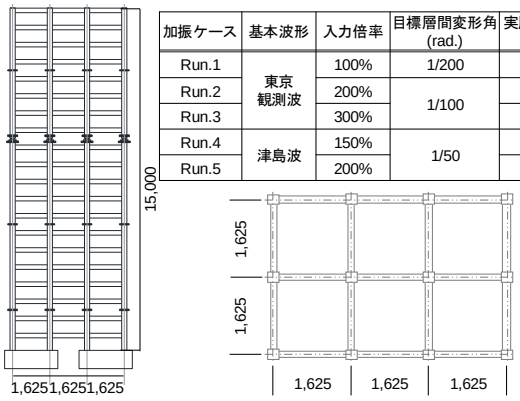


図-2 試験体図（単位：mm） [2), 3)]

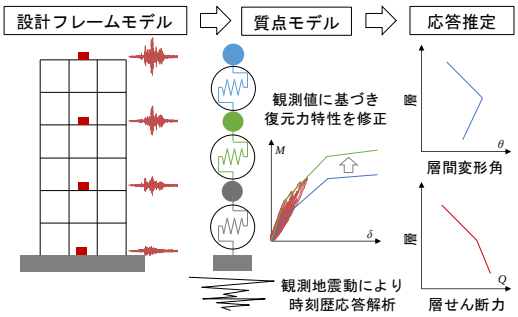


図-3 修正質点モデルによる推定の概要

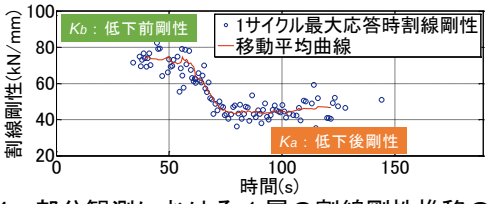


図-4 部分観測における 1 層の割線剛性推移の例

Quick damage estimation and damage prediction due to future earthquakes for R/C buildings by using observation of seismic response

KIKUCHI Yusuke, JIN Kiwoong, MAEDA Masaki

定め，判定値を超えた層における耐力を観測値に基づき修正することにより，修正質点モデルを作成した。

図-6 に即時推定における Run.5 応答の推定結果を示す。設計モデルに比べ推定精度の向上がみられるが，全層の観測値を用い修正したモデルによる応答に比べ，部分観測による応答が実験値に近づく結果となった。これは，観測応答を用いて被害推定を行うには建物全体の挙動を捉えることが重要であり，全層の応答に基づき解析モデルを修正することで，逆に観測応答のばらつきが大きく影響し建物全体のバランスが崩れ，実際とは異なる層に変形が集中する等の想定とは異なる挙動を示す場合があることに起因するものと考えられる。

4. 地震時即時被害推定と将来の地震動に対する被害予測に関する耐震性能残存率 *R* による検討

本章では，等価一質点系応答補正法による推定と修正質点モデルの応答解析結果から，耐震性能残存率 *R* を評価する。また，これらの結果と，2 章で述べた震動実験における部材の損傷と降伏状況に基づき算出した *R* を比較することにより，被害推定手法の妥当性の検証を行う。本検討における *R* の算定は，文献 4）で提案された全体崩壊形建物を対象とした残存耐震性能評価法による式(1)を用いた。

$$R = \frac{\sum \eta M_{u柱} + \sum \eta M_{u梁}}{\sum (M_{u柱} + M_{u梁})} \times 100(\%) \qquad (1)$$

ここで，M_u：降伏ヒンジの終局耐力，η：耐震性能低減係数

この際，等価一質点系応答補正法における各部材の損傷度は文献 4）に従いそれぞれの塑性率と対応させて決定した。また，性能曲線修正前後で部材の塑性率は不変と仮定し，修正性能曲線で最大応答変形が得られたステップと同ステップにおける部材の塑性率により損傷度を算出した。一方，修正質点モデルによる損傷度は各層の塑性率により同様の方法で算出した。

図-7 に即時・将来推定結果における観測値と推定値による *R* の比を示す。ここで，R_o は実験結果による *R* の観測値を，R_e は各推定手法により算出した *R* を表す。即時，将来推定結果ともに推定する被害レベルが大きくなるほど推定精度が低下する傾向にあるが，等価一質点系応答補正法による *R* は比較的ばらつきが小さく，観測点数が与える推定精度への影響は小さい。また，修正質点モデルについては部分観測による *R* の推定精度がより高くなる傾向がみられた。これは，前述のように全層の応答に基づいて解析モデルを修正した場合，観測応答のばらつきにより想定とは異なる挙動を示す場合があるためと考えられ，ある程度質点を集中させ復元力特性を修正することで，建物全体の挙動を概ね捉えることができると予測される。ただし，観測点数がさらに少なくなった場合については推定精度が低下することが予想され，観測点数が与える推定精度への影響については更なる検討が必要であると考えられる。

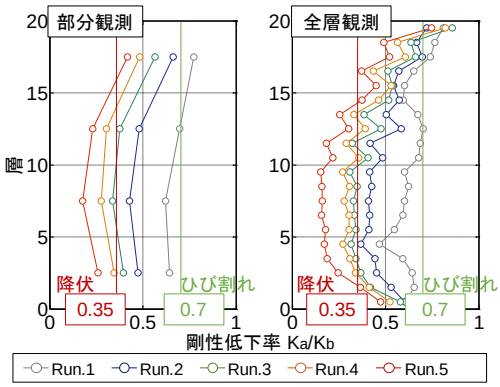
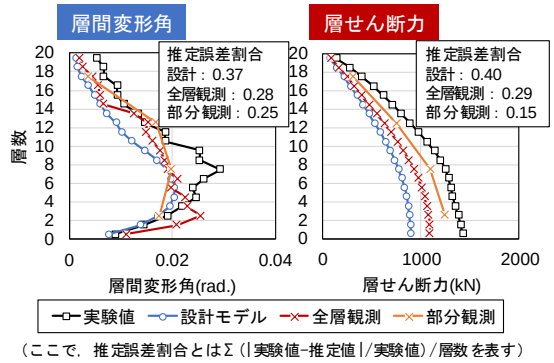


図-5　部分観測，全層観測における剛性低下率 K_a/K_b



（ここで，推定誤差割合とはΣ（|実験値−推定値|/実験値）/層数 を表す）

図-6　即時推定における Run.5 応答推定の例

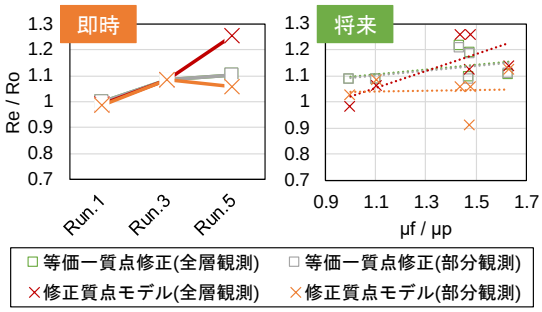


図-7　耐震性能残存率 *R* の比：R_e(推定値)/R_o(観測値)

5. まとめ

修正質点モデルによる応答推定手法を提案し，また，修正質点モデルと等価一質点系応答補正法による耐震性能残存率 *R* の推定値を実験に基づく *R* の観測値と比較し検討を行った。その結果，等価一質点系応答補正法では，観測点数が *R* の推定精度へ与える影響は小さく，また，修正質点モデルについては，本検討条件下では部分観測における修正質点モデルにより実被害が概ね推定可能であることを示した。

参考文献

1) 梨本優也，前田匡樹 ほか：中小地震観測データを用いた RC 造建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，Vol.37，No.2，pp.679-684，2015.7
2) (株)大林組 ほか：平成 24 年度　国土交通省　建築基準整備促進事業：27-1：長周期地震動に対する鉄筋コンクリート造建物の安全検証方法に関する検討，平成 25 年 3 月
3) 杉本訓祥 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~その 11，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造Ⅳ，pp.653-674，2013.3
4) 包蘇栄　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，第 13 回日本地震工学シンポジウム論文集，pp3255-3260，2010 年 11 月

*1 大成建設株式会社　修士（工学）
*2 東北大学大学院工学研究科　助教・博士（工学）
*3 東北大学大学院工学研究科　教授・博士（工学）

*1 TAISEI Corporation, Master.Eng.
*2 Assistant Professor,Graduate School of Eng., Tohoku Univ., Dr. Eng.
*3 Professor, Graduate School of Eng., Tohoku Univ., Dr. Eng.