

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04078

研究課題名(和文) 壁付き部材からなる架構の合理的耐震設計

研究課題名(英文) Rational seismic design of RC frames with walls

研究代表者

勅使川原 正臣 (TESHIGAWARA, MASAOMI)

名古屋大学・環境学研究科・教授

研究者番号：50344007

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：袖壁・腰壁付RC柱梁架構において、袖壁の損傷がない梁崩壊型(B)、袖壁の損傷を伴う梁崩壊型(B+W)、腰壁の損傷を伴う柱崩壊型(C+W)形式を、袖壁付き柱の節点モーメント(袖壁付き柱の圧縮縁の応力が $F_c$ 以下のモーメント)と腰壁垂壁付き梁の終局時節点モーメントの比( $M_{jc}/M_{jbu}$ )より、(B)形式と(B+W)形式または(C+W)形式の判別を行い、(B+W)形式と(C+W)形式の判別は、袖壁付き柱の終局時節点モーメントと腰壁垂壁付き梁の終局時節点モーメントの比( $M_{jcu}/M_{jbu}$ )より判定する方法を提案した。また、一般の汎用設計ソフトを用いて壁付き部材の架構の耐震設計を行う際の留意点を示した。

研究成果の概要(英文)：In RC frame with wing and standing walls, the method to classify beam collapse type with no damage to the wing wall (B), beam collapse with damage to the wing wall (B + W), or the column collapse type with the damage of the standing wall (C + W), is proposed. The ratio of the moment of the column with the wing wall (moment at the compressive edge of the column with the wing wall is the stress of  $F_c$  or less), to the ultimate moment of the beam with standing wall at the node ( $M_{jc}/M_{jbu}$ ), is the index of classifying Type(B) from Types (B + W) or (C + W). Type (B + W) and Type (C + W) are classified by the ratio of the ultimate moment of column with wing wall to the ultimate moment of the beam with standing wall at the node ( $M_{jcu}/M_{jbu}$ ). In addition, several points of consideration are presented when the seismic design of the frame with wall members is conducted used by general-purpose design software.

研究分野：鉄筋コンクリート構造

キーワード：鉄筋コンクリート造 袖壁付き柱 腰壁付き梁 耐震壁付き柱・梁接合部 壁付き柱梁架構の破壊形式

## 1. 研究開始当初の背景

袖壁や腰壁・垂壁が取り付く鉄筋コンクリート造柱・梁部材では、地震時の変形に伴うこれらの壁の損傷が大きく、場合によっては、柱・梁部材を含む脆性的な破壊が生ずる。東日本大震災では、変形に伴うこれらの壁の損傷による、被災後の使用性の低下が問題となった。また、許容応力度設計では、柱・梁部材に比べて壁端部の応力が大きくなりやすいことから、短期許容耐力が確保しづらいという問題がある。これらを回避するために、現在の鉄筋コンクリート造建物の構造設計では、構造スリットを設けて壁の損傷を抑制する設計が行われる傾向にある。しかし、構造スリットを設けることで、壁付き部材の剛性や強度を発揮できなくなり、変形が大きくなるために、柱や梁の損傷が大きくなる危険性がある。そこで、現在、壁付き部材の剛性や耐力を効果的に活用することで、建物の変形を抑制し、構造物の損傷を抑制する設計法について検討されている（国土交通省：基準整備促進事業 S5(H25-H27), 総合技術開発プロジェクト(H25-H28)）。

このプロジェクトにおいて実施された架構実験において、柱・梁接合部周辺の腰壁と袖壁の交差部において、斜めひび割れに沿った損傷が顕著に見られた。このような損傷は、壁付き梁、壁付き柱の性能を共に低下させる要因であり、避けるべきである。このような破壊を避け、基準法レベルの地震に対して、十分な剛性と強度を確保し損傷を抑え、基準法レベルを超える場合でも確実に梁降伏が先行するように設計するべきであると考え

る。壁付き部材からなる架構の合理的な耐震設計法を構築するためには、壁付き部材の剛性や強度、変形性能の評価モデルや、壁付き柱・梁部分架構における破壊性状について明らかにし、壁の損傷による性能の低下を極力抑制するような構造詳細を提示するとともに、梁降伏を先行させる条件を提示する必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究は、基準法レベルの地震に対しては壁付き部材の剛性や耐力を効果的に活用することで、建物の変形を抑制し、構造物の損傷を抑制し、基準法レベルを超える地震に対して梁降伏型の崩壊メカニズムの確保する合理的な耐震設計法の構築を目標としている。そのため、本研究では、(1) 壁付き部材の性能評価、(2) 壁付き柱・梁部分架構の破壊性状評価、(3) 壁付き部材・架構の解析手

法の提案を目的とする。

## 3. 研究の方法

平成 27 年度は、柱断面に対する付帯壁の断面の大きさ、柱主筋量、壁縦筋量、壁端部筋量や定着方法、軸力の大きさをパラメータとした、壁付き部材の加力実験を行い、構造性能評価のためのデータを蓄積する。また、壁付き部材からなる架構の非線形 FEM 解析を行い、既往の実験と比較することで解析の妥当性を確認する。平成 28 年度以降は、平成 27 年度に実施した壁付き部材の加力実験結果を整理し、復元力特性の評価手法を構築する。また、壁付き柱・梁部分架構の破壊性状を把握するための実験を実施し、接合部周辺壁の破壊性状と構造詳細の関係を明らかにする。また、壁付き架構のフレーム解析手法についても検討する。

## 4. 研究成果

壁付き部材の柱梁接合部の部分架構実験を実施した。まず、国内で行われた壁付き部材の加力実験結果を収集・整理し、壁付き部材の各種耐震性能と各種パラメータの関係を明らかにした。重要なパラメータは、柱断面に対する付帯壁の断面の大きさ、柱主筋量、壁端部筋量や腰壁・たれ壁端部筋の定着条件である。試験体数は、腰壁たれ壁つき梁の断面を一定として、袖壁つき柱の断面、配筋を上記パラメータに沿って変化させた合計 8 体とし、縮尺は 1/2 である。

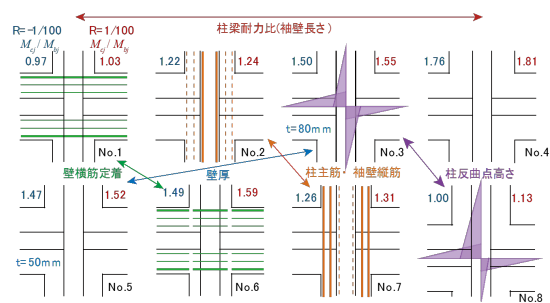


図 1 実験パラメータの概要

柱断面に対する付帯壁の断面が大きくなるほど、壁端部筋量が多くなるほど袖壁端部を危険断面とする梁崩壊系になりやすいこと、その際の腰壁垂壁付き梁の曲げ終局強度に対する袖壁付き柱の曲げ終局強度 1.6 倍以上であったことが確認できた。腰壁垂れ壁の端部筋の定着をなくした試験では、強度高くなるものの、比較的小さな変形からスリップ性状が顕著となった。解析的アプローチとして、

非線形 FEM 解析を実施した。対象は昨年度実施された 3 層 2 スパン架構である。2 階中柱の応力状態を詳細に検討し、中柱のモーメント分布が設計で想定していたよりも反曲点が大きく上方に移動し 2 階中柱の柱脚部での降伏が梁の降伏に先行した現象の要因を明らかにした。また、平成 27 年度に実施する壁付き部材実験や、平成 28 年度以降に実施

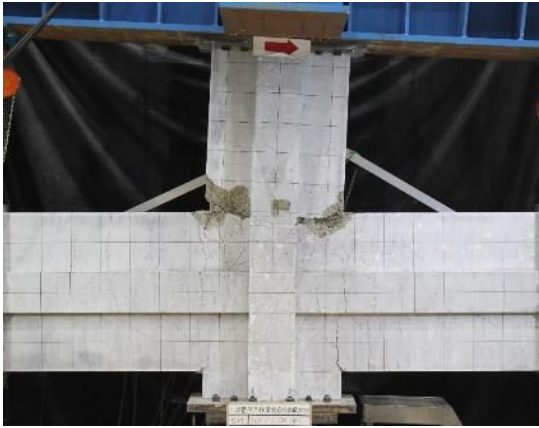


図 2 袖壁付き柱・腰壁付き梁接合部の実験結果（柱崩壊形の例）

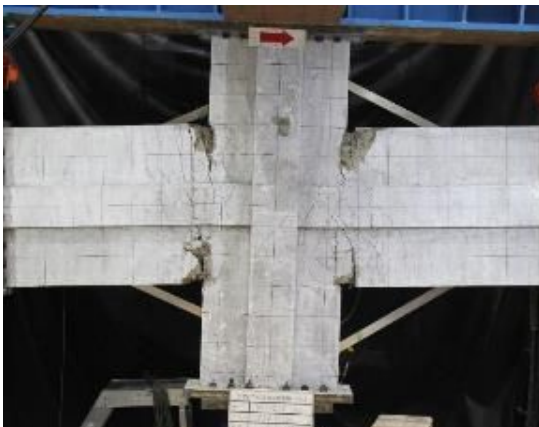


図 3 袖壁付き柱・腰壁付き梁接合部の実験結果（梁崩壊形の例）

する壁付き架構の柱梁部分架構の FEM 解析を実施し、実験で対象とするパラメータの抽出に活用した。

平成 27 年度に引き続き耐力壁つき部材の柱梁接合部の部分架構の追加実験を 9 体の試験体を用いて実施した。試験体のパラメータは、準耐力壁を含む柱梁耐力比、壁厚、柱主筋量・袖壁端部筋量、梁主筋量である。実験により得られた破壊形式は、袖壁の損傷がない梁崩壊型(破壊形式 B)、袖壁の損傷を伴う梁崩壊型(破壊形式 B+W)、腰壁の損傷を伴う柱崩壊型(破壊形式 C+W)である。これらの破壊形式を判別する手法を検討した。判別手法では、袖壁付き柱の節点モーメント(袖壁付き柱の圧縮縁の応力が  $F_c$  以下のモーメン

ト)と腰壁垂壁付き梁の終局時節点モーメントの比( $M_{jc}/M_{jbu}$ )より、破壊形式 B と破壊形式 B+W または破壊形式 C+W の判別を行い、破壊形式 B+W と破壊形式 C+W の判別は、袖壁付き柱の終局時節点モーメントと腰壁垂壁付き梁の終局時節点モーメントの比( $M_{jcu}/M_{jbu}$ )より行っている。提案する判別手法により得られた破壊形式と平成 27 年度実施の実験も含めた実験結果を照らし合わせることで、判別手法の妥当性を評価した。判別方法はコンクリートの圧縮破壊に注目した比較的簡便で合理的な方法である。また、実験結果で得られた破壊形式と  $M_{jc}/M_{jbu}$  -  $M_{jcu}/M_{jbu}$  関係より、破壊形式 B となる  $M_{jc}/M_{jbu}$  および  $M_{jcu}/M_{jbu}$  の条件を示し、袖壁・腰壁・垂壁付き十字型柱梁架構の耐力の評価法を提案した。

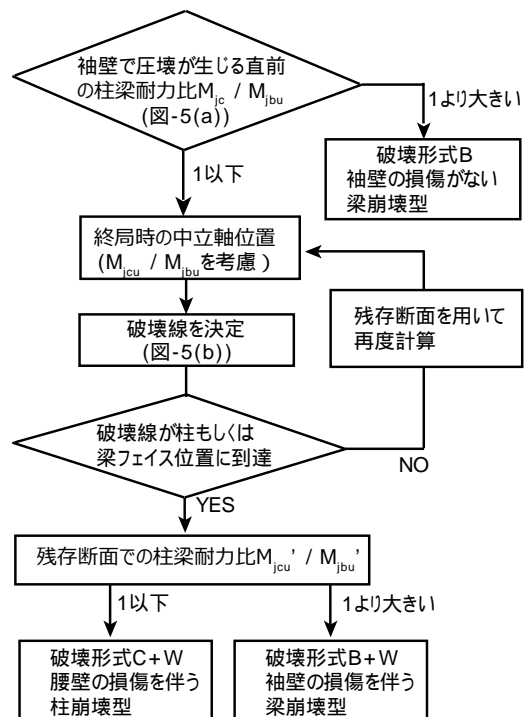
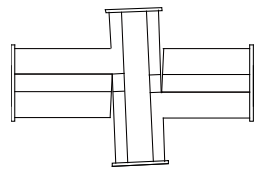
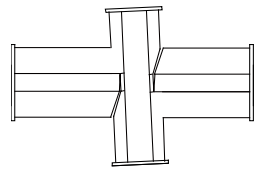


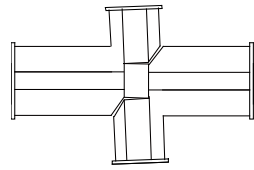
図 4 破壊計式の判定フロー



破壊形式B

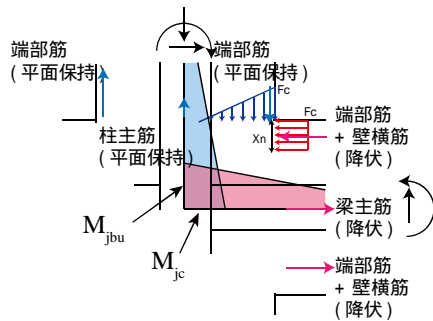


破壊形式B+W

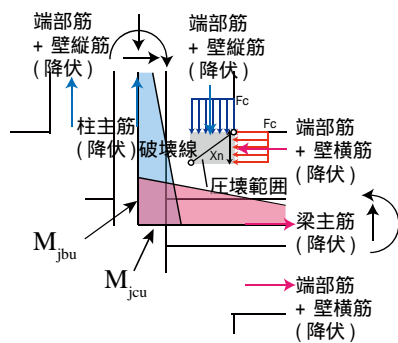


破壊形式C+W

図5 破壊形式の概要



(a) 圧壊が生じる直前



(b) 終局時

図6 想定した応力状態

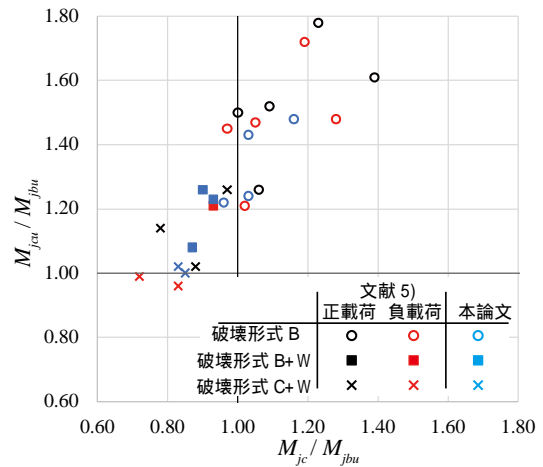


図7 柱梁耐力比と破壊形式の関係

一般の汎用設計ソフトを用いて壁付き部材の架構の耐震設計を行う際の留意点の検討を行った。このような建物の耐震性能を評価するためには、袖壁・腰壁・垂壁の剛域のとり方、袖壁と柱が最終的に分離破壊する場合のモデル化、その判定方法を提案し、架構実験結果で妥当性を検討した。その結果、柱、袖壁を一体の柱としてモデル化した場合には、

- 1) MS モデル、材端ばねモデルともに剛域を全せい1/4にした場合、初期剛性を除き耐力時までの復元力特性を概ね捉えることができた。
  - 2) 部材除去モデルにより耐力低下時の水平耐力を簡易的に模擬することはできたが、部材の除去点について今後の検討が必要である。
- 柱と袖壁を分割したモデル化では、耐力低下点を押さえやすくなる。ただし、柱袖壁の破壊計が一体的なのか、分離型なのかの判定法を精査する必要がある。

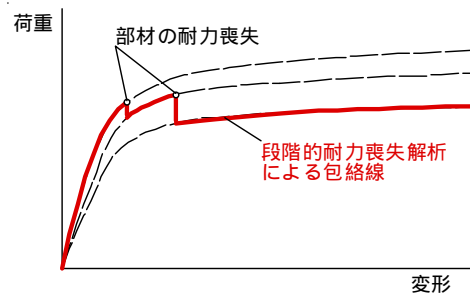
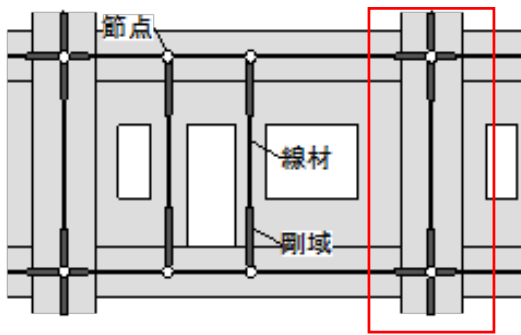
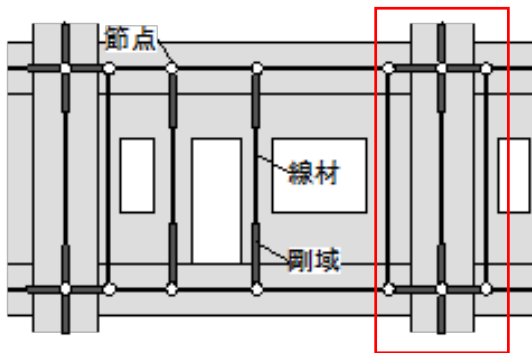


図8 段階的耐力喪失解析モデル





(a)1本の線材モデル



(b)分割の線材モデル

図9 モデル化の方法

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

1. 中村聡宏, 平林道大, 勅使川原正臣: 鉄筋コンクリート造袖壁・腰壁・垂壁付き十字柱梁架構の破壊性状に関する研究, コンクリート工学年次論文集, 査読有, 38-2, 2016, 361-366

2. 中村聡宏, 今阪剛, 勅使川原正臣, 壁谷澤寿一: 鉄筋コンクリート造袖壁・腰壁付き柱の耐震性能, コンクリート工学年次論文集, 査読有, 36, 2015, 109-114

〔学会発表〕(計9件)

1. 森本征晃, 中村陽太, 松井智哉, 勅使川原正臣: RC造二次壁付き2層2スパン架構のフレーム解析手法に関する研究 その1: モデル化手法の概要, 日本建築学会, 2017年

2. 中村陽太, 森本征晃, 松井智哉, 勅使川原正臣: RC造二次壁付き2層2スパン架構のフレーム解析手法に関する研究 その2: 解析結果, 日本建築学会, 2017年

3. 中村聡宏, 平林道大, 勅使川原正臣, 田尻清太郎, 向井智久, 鈴木英之, 石岡拓, 堀伸輔: 鉄筋コンクリート造非耐力壁付き架構の柱梁接合部の加力実験 その4 実験概要, 日本建築学会, 2016年

4. 吉川英孝, 中村聡宏, 勅使川原正臣, 向井智久, 鈴木英之, 内田崇彦, 金川基, 成瀬忠: 鉄筋コンクリート造非耐力壁付き架構の柱梁接合部の加力実験 その5 実験結果, 日本建築学会, 2016年

5. 平林道大, 中村聡宏, 勅使川原正臣, 楠浩一, 近藤祐輔, 内田崇彦, 菊田繁美, 金川基: 鉄筋コンクリート造非耐力壁付き架構の柱梁接合部の加力実験 その6 最大耐力および破壊形式の評価, 日本建築学会, 2016年

6. M. TESHIGAWARA, A. NAKAMURA, T. IMASAKA, K. KABEYASAWA: An evaluation of the critical section on beam-column joint, 16WCEE, 2017

7. 勅使川原正臣, 中村聡宏, 平林道大: 鉄筋コンクリート造非耐力壁付き架構の柱梁接合部の加力実験(その1 実験概要), 日本建築学会, 2015年

8. 中村聡宏, 平林道大, 勅使川原正臣: 鉄筋コンクリート造非耐力壁付き架構の柱梁接合部の加力実験(その2 実験結果), 日本建築学会, 2015年

9. 平林道大, 中村聡宏, 勅使川原正臣: 鉄筋コンクリート造非耐力壁付き架構の柱梁接合部の加力実験(その3 パラメータごとの破壊性状の比較), 日本建築学会, 2015年

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

勅使川原 正臣 (TESHIGAWARA MASAOMI)  
名古屋大学・大学院環境学研究科・教授  
研究者番号: 50344007

(2)研究分担者

( )

研究者番号:

(3)連携研究者

中村 聡宏 (NAKAMURA AKIHIRO)  
国立研究開発法人・建築研究所・研究員  
研究者番号: 10649065