

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04423

研究課題名(和文) 変状による破壊の局所化を考慮した既存鉄筋コンクリート造骨組の残存耐震性能評価

研究課題名(英文) Residual Seismic Performance evaluation of Existing Reinforced Concrete Frame with Localized Damage due to Deterioration

研究代表者

八十島 章 (Yasojima, Akira)

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号：80437574

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：変状を有する既存鉄筋コンクリート造建物の耐震診断や性能劣化予測の高精度化を考究するために、局所的なかぶりコンクリート欠損や腐食ひび割れを模擬した鉄筋コンクリート造柱の中心圧縮実験・曲げせん断実験およびその柱を含むRC柱群の曲げせん断実験を行った。変状・構造的欠陥のある柱部材の圧縮特性をモデル化し、最大圧縮強度および応力軟化勾配を定量化した。また、かぶりコンクリート欠損の位置と量が柱の曲げ強度とひび割れ損傷過程に与える影響を把握し、かぶりコンクリート欠損を有するRC柱群の耐力および変形性能を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

鉄筋コンクリート造建物の構造部材の劣化度を構造性能指標に合理的に反映させ、既存RC建物の残存耐震性能を的確に評価するためには、変状や構造的欠陥の度合いによる部材性能低下レベルを精査し、周辺部材と骨組架構への影響を評価することが必要である。本研究課題で実施した局所変状を有する柱部材の実験結果とかぶりコンクリート欠損のRC造架構に与える影響の評価は、既存建物の長寿命化・維持管理マネジメントを伴う高精度な耐震診断や鉄筋コンクリート造建物の耐久性設計の確立に資するものである。

研究成果の概要(英文)：In order to investigate high-precision seismic evaluation or performance deterioration prediction of existing reinforced concrete buildings with deterioration, compression tests and shear bending tests of RC columns with localized cover concrete defect or corrosion crack were conducted. Compression characteristics of RC columns with localized deterioration or defect were evaluated, their maximum compressive strength and stress softening gradient were quantified. We illustrated the influence of the position and amount of cover concrete defect on the flexural strength and the crack damage process of RC columns, and clarified seismic capacity and deformation performance of RC column group with cover defect column.

研究分野：建築構造

キーワード：鉄筋コンクリート構造 経年劣化 変状 腐食 ジャンカ かぶりコンクリート 断面欠損 耐久性

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

旧耐震基準で設計された数多くの既存鉄筋コンクリート (RC) 造建物は、高度経済成長期に建設され、竣工後 50 年ほど経過しているため、近い将来、コンクリートの変状や構造的劣化が顕在化することが危惧される。さらに、1981 年以降の新耐震設計法で建設され、耐震診断が行われていない RC 造建物も、竣工後 30 年以上経過してきており、今後、力学的根拠に基づいた総合的かつ確かな耐震診断法と経年劣化を考慮した維持管理技術が必要となってくることが想定される。

現行の耐震診断基準による算定では、部材単体の変状や構造的欠陥によって部材の破壊過程および構造性能がどのくらい変化・低下するのか、さらに、その部材単体の性能低下が骨組架構および建物全体にどの程度影響するのか、に関して力学的評価が明確ではなく、実際に建物が保有する耐震性能と乖離している可能性もある。そのため、変状や経年劣化の量・位置・進行度などによる部材単体の構造性能 (強度・靱性・軸耐力・安全限界・破壊形式) の低下レベルと、変状部材の骨組架構に対する影響度および建物全体が保有する残存耐震性能の関係を明らかにすることが重要である。

2. 研究の目的

本研究の最終目標は、現行の耐震診断基準の経年指標における各項目の減点数値を経験的な検討に基づき修正しようとするものではなく、変状や構造的欠陥の劣化度による部材単体の構造性能低下レベルと骨組架構の残存耐震性能の関連性を材料特性・構成則に基づいて評価し、その変状した部材の骨組架構に与える影響度を考慮した構造耐震指標による耐震診断法を構築することである。

そこで本研究課題では、変状・構造的欠陥を有する既存 RC 造建物の残存耐震性能を評価するために、(1) 変状・欠陥による影響や複数の材料劣化の相互作用を考慮したコンクリートの圧縮特性の定量化、(2) 変状や経年劣化の量・位置・程度・進行度に応じた曲げ柱部材単体の損傷破壊プロセスと構造性能の評価、(3) 変状や構造的欠陥を有する柱部材の構造特性が骨組架構の耐震性能に及ぼす影響度について考究し、柱部材単体の変状・経年劣化・欠陥を起因とした圧縮耐荷機構の局所的損傷と骨組架構の残存構造性能の関係を明らかにする。

3. 研究の方法

上記 (1) ~ (3) に関して、変状・構造的欠陥を模擬した柱部材の中心圧縮実験 (図 1)、局所的なかぶりコンクリートの浮き・剥落を模擬した RC 柱部材単体の曲げせん断加力実験 (図 2)、かぶりコンクリート欠損の柱を含む RC 柱群の加力実験 (図 3, 図 4) を行った。

変状・構造的欠陥の再現については、電食や暴露では変状を発生させる位置や量を制御することが困難であるため、ポリプロピレンシートや押出発泡ポリスチレンの埋め込み、鉄筋の切削や



図 1 中心圧縮実験



図 2 柱の加力実験



図 3 RC 柱群の加力実験

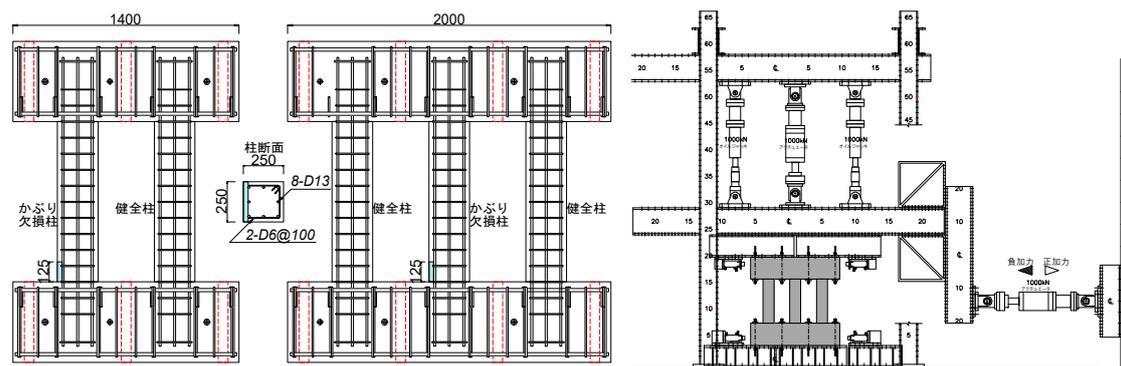


図 4 かぶりコンクリート欠損の柱を含む RC 柱群の試験体および加力装置

ビニールテープの貼付を利用してその量と位置を制御した。変状の量は肉眼ではっきり確認できる程度とし、その位置は曲げ柱の危険断面位置から $0.5D$ 区間 (D : 柱せい) に集中させた。本研究で対象とした変状・構造的欠陥の現象は鉄筋腐食によるひび割れおよび鉄筋断面減少、かぶりコンクリートの部分的な浮き・剥離、鉄筋腐食による付着劣化、ジャンカ (豆板)、加水行為による圧縮強度低下である。

鉄筋腐食ひび割れは、ポリプロピレン (PP) シートをコンクリート打設前に主筋および横補強筋の表面に接着し、コンクリートにスリットを入れることにより模擬した (図 5)。コンクリートの浮き・剥離は、押出発泡ポリスチレンを型枠に貼り付けて打設し、脱型時に取り除くことにより模擬した (図 6)。鉄筋の腐食は、軸方向断面の腐食形状を切削して断面欠損率を 30% とし、鉄筋の付着を完全に切るために切削部にはビニールテープを貼付して模擬した (図 7)。



図 5 鉄筋腐食ひび割れの模擬



図 6 コンクリートの浮き・剥離の模擬

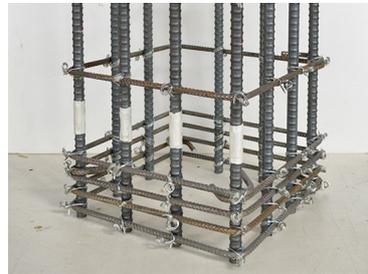
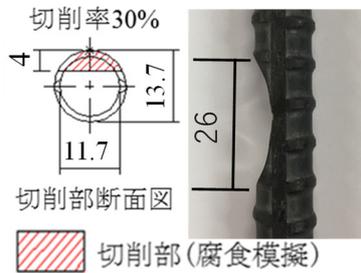


図 7 鉄筋腐食の模擬

4. 研究成果

(1) 変状・構造的欠陥を模擬した RC 柱部材の中心圧縮実験による圧縮特性の検討

鉄筋腐食ひび割れやかぶりコンクリート欠損などの変状・構造的欠陥が圧縮特性に及ぼす影響を明らかにするために、局所的な変状を模擬した柱部材の中心圧縮実験を行った。試験体は実大の曲げ柱の約 $1/2$ スケールで、配筋は 1971 年以降の耐震基準に基づく設計とし、加水行為による圧縮強度の低下を再現するために圧縮強度 11MPa の低強度コンクリートを利用した。試験体数は 28 体であり、その内訳は健全試験体 (3 体)、主筋の腐食ひび割れ模擬 (3 体)、横補強筋の腐食ひび割れ模擬 (3 体)、主筋と横補強筋の両方の腐食ひび割れ模擬 (3 体)、変状領域のかぶりコンクリートの浮き・剥離模擬 (10 体)、かぶりコンクリートの剥離と鉄筋腐食ひび割れの複合劣化 (3 体)、かぶりコンクリートの剥離と鉄筋の断面欠損の複合劣化 (3 体) である。

破壊性状については、鉄筋腐食ひび割れ模擬の PP シートやかぶり欠損部分を起点とし、ひび割れが進展する損傷過程が確認され、変状領域の損傷集中が確認された。鉄筋切削の有無による破壊過程の違いは確認されなかった。かぶり欠損の試験体では、かぶりコンクリートと横補強筋による拘束効果が小さいために、かぶり欠損付近で主筋の座屈が生じて最終破壊に至り、健全試験体や腐食ひび割れ試験体との違いが明確であった (図 8)。

柱の圧縮強度は、鉄筋腐食ひび割れ模擬の PP シートの量や位置ではほとんど影響を受けないが、かぶり欠損の量が増加するにつれて、強度が低下することが確認された (図 9)。ポストピ

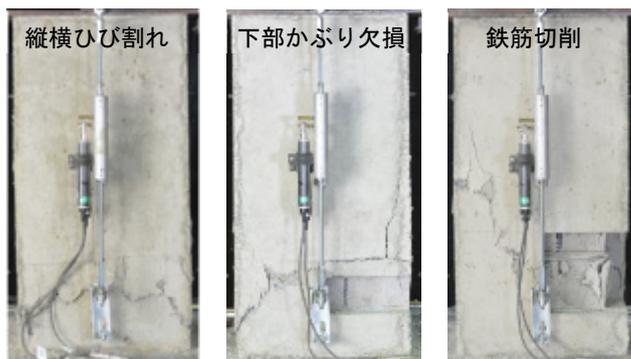


図 8 軸方向ひずみ 1% 付近の破壊状況

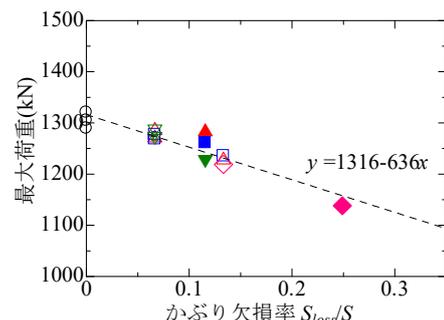


図 9 圧縮強度-かぶり欠損比関係

ーク挙動の軟化勾配についても、かぶり欠損の量に応じて勾配が緩やかになる傾向が明らかになったが、PPシートの量や位置、鉄筋切削の有無による違いは見られなかった。荷重変形関係については、既往のコンクリート構成則（Kent-Parkモデル）と鉄筋屈服を包含した主筋の構成則を用いて、かぶりコンクリートの欠損面積に応じたコンクリートの圧縮力と、主筋の負担力を足し合わせることで実験結果を表現できることを示した（図10）。

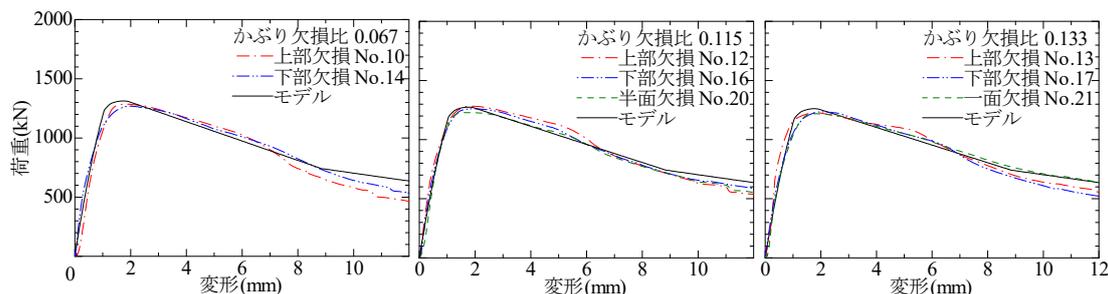


図10 中心圧縮実験結果とモデルの比較

(2) 局所的にかぶりコンクリートが欠損したRC柱の曲げせん断実験による構造的な性能評価

かぶりコンクリート欠損の位置および量が柱の構造的な性能に与える影響を検討するために、局所的なかぶり欠損を模擬したRC柱の曲げせん断実験を行った。試験体は、実大の1/2スケールで曲げ降伏先行型の柱部材（せん断余裕度1.2程度）とし、配筋は主筋12-D13（主筋比1.69%）、横補強筋2-D6@100（せん断補強筋比0.21%）である。変動因子は、かぶりコンクリートの欠損位置およびその量とし、試験体数は5体である。柱の破壊性状について、健全試験体は曲げ降伏後にせん断ひび割れと付着ひび割れが拡大し、ひび割れ損傷が部材全体に広がって最終破壊に至ったが、かぶり欠損の試験体は曲げ降伏後に柱頭せん断ひび割れが発生し、柱頭部に損傷が集中して曲げ降伏後のせん断破壊に至った（図11）。

かぶり欠損が柱の構造的な性能に与える影響を検討した結果、局所的にかぶり欠損した柱の曲げ強度は、平面保持を仮定した断面解析で評価できることを示し、かぶり欠損した柱のポストピーク挙動は、かぶり欠損の位置と量の影響を受けることを確認した（図12）。また、局所的にかぶり欠損した柱は、かぶり欠損付近のせん断変形がかぶり欠損率に応じて顕著に増大することを明らかにした。

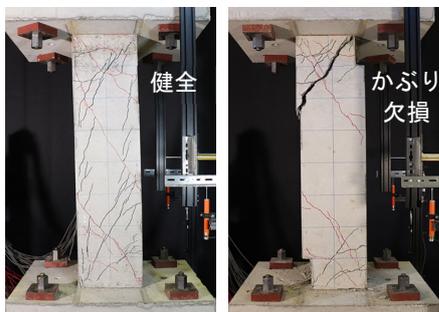


図11 柱の破壊性状（1/33rad時）

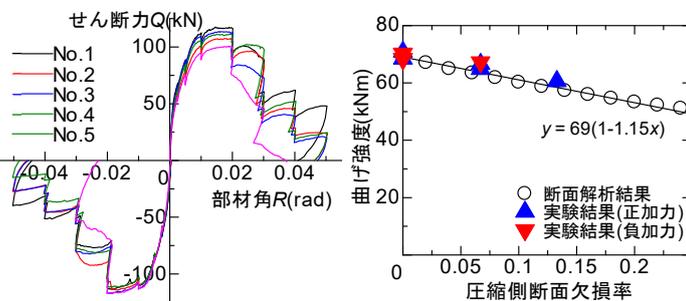


図12 柱の荷重変形関係の包絡線および曲げ強度

(3) かぶりコンクリート欠損の柱を含むRC柱群の加力実験による劣化影響の検証

かぶりコンクリート欠損のあるRC柱がその周辺にある曲げ柱の構造的な性能に与える影響を検討するために、局所的なかぶりコンクリートの欠損を模擬したRC柱を含む複数のRC柱群の構造実験を行った。実験因子はかぶりコンクリート欠損の有無および柱の本数とし、試験体は、健全な曲げ柱単体、かぶりコンクリート欠損のある曲げ柱単体、健全柱1本とかぶり欠損柱1本の曲げ柱群、健全柱2本とかぶり欠損柱1本の曲げ柱群の4種類である。いずれの柱も曲げ降伏先行型（せん断余裕度1.2程度）とし、配筋は主筋8-D13（主筋比1.62%）、せん断補強筋2-D6@100（せん断補強筋比0.25%）である。

実験結果より、かぶりコンクリート欠損のある柱単体の曲げ強度は、引張側と圧縮側の鉄筋重心距離を用いた曲げ略算式にかぶりコンクリート剥落の量を考慮した計算式で算定できることを確認した。また、かぶりコンクリート欠損の柱を含むRC柱群の曲げ強度実験値は、かぶり欠損柱と健全柱の曲げ強度計算値を柱本数分足し合わせた計算値と良く対応することを示し、かぶり欠損柱と健全柱が混在している場合においては、それぞれの耐力計算値を足し合わせることで評価できることを明らかにした。荷重変形関係の包絡線の検討において、健全柱1本とかぶり欠損柱1本の柱2本の場合では、健全柱1本とかぶり欠損柱1本の荷重変形関係の足し合わせよりも、健全柱2本を累加した包絡線が実験結果と概ね対応することが確認された。一方、健全柱2本とかぶり欠損柱1本の柱3本の場合では、各々の荷重変形関係を足し合わせた包絡線によって実験結果を概ね表現できることを示した（図13）。かぶりコンクリート欠損を有する

柱群の限界変形評価においては、変状による劣化だけでなく、柱の軸力負担増加や周辺柱を介した応力再配分も重要であることを明らかにした。

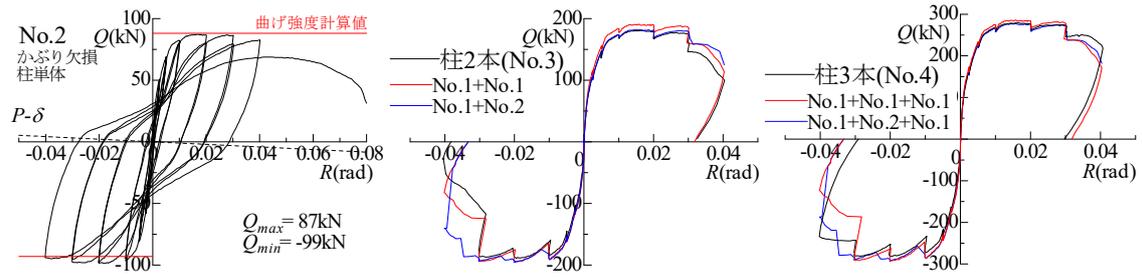


図 13 かぶりコンクリート欠損柱を含む RC 曲げ柱群の実験結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 安田卓, 八十島章	4. 巻 41
2. 論文標題 局所的に劣化したRC柱の圧縮性状に関する研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 115-120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 八十島章, 安田卓	4. 巻 42
2. 論文標題 局所的にかぶり欠損したRC柱の構造性能	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 151-156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 安田卓, 八十島章
2. 発表標題 局所的にかぶり欠損したRC柱の圧縮特性に関する研究
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 八十島章, 八戸孝聡, 大塚雅高
2. 発表標題 丸鋼が使用されたRC造架構の残存耐震性能
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 八十島章, 大塚雅高
2. 発表標題 ひび割れた低強度コンクリートのポストピーク挙動
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井ノ口元暉, 八十島章
2. 発表標題 かぶり欠損させた柱が周辺柱の耐震性能に与える影響
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------