

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 2 月 23 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560662

研究課題名(和文) 3次元有限要素法による高強度RC柱・梁接合部の耐震性能評価法の開発

研究課題名(英文) Development of Seismic Performance Evaluation System on Ultra High Strength Concrete Beam-Column Joints with three-dimensional Finite Element Method

研究代表者

柏崎 隆志 (Kashiwazaki, Takashi)

千葉大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：40251178

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円、(間接経費) 1,260,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、高強度コンクリートの実用化ならびに性能評価型設計法への移行にあたり、第一に、高強度RC造建物の3次元FEM解析のための高強度コンクリートのFEM構成則モデルの開発を行った。次いで、開発した構成則モデルについて、普通強度材料と高強度材料の構成則モデルをパラメータとする解析を実施して妥当性を評価した。これらの解析結果を活用して高強度コンクリートを用いた鉄筋コンクリート構造物の耐震性能評価法の開発を行った。

研究成果の概要(英文)：In these days, practical use of ultra high strength concrete structure and performance-based design has been desired. In this study, constitutive law model of high-strength concrete beam-column joints for a three-dimensional finite element method (FEM) analysis for buildings built with ultra high strength concrete has been developed. Then, the developed constitutive law model was applied and the validity was estimated for normal and ultra high strength concrete beam-column joints with three-dimensional FEM. Finally, seismic performance evaluation system on ultra high strength concrete structure was developed.

研究分野：建築学

科研費の分科・細目：建築構造・材料

キーワード：コンクリート構造 耐震設計 防災 耐震 鉄筋コンクリート

1. 研究開始当初の背景

近年、特に都市部を中心として 40-50 階建の超高層集合住宅が建設されているが、その多くは高強度コンクリートが使用された鉄筋コンクリート構造である。また、最近の RC 構造設計分野では、従来の許容応力度設計法から性能評価型設計法へ移行が望まれている。これは、許容応力度設計法では不明確であった設計対象建物の耐震性能を明確にし、性能評価を的確に行う事を目標としている。このような高強度コンクリートの実用化、ならびに性能評価型設計法への移行にあたり、RC 部材や RC 建物の耐震性能を把握するための有効なアプローチとして、3 次元有限要素法 (3-D FEM) 解析が注目されている。高強度 RC 造建物の 3 次元 FEM 解析のためのモデル開発と、さらに FEM 解析を活用した性能評価型設計法の開発が望まれる。

2. 研究の目的

本研究は、高強度コンクリートの実用化ならびに性能評価型設計法への移行にあたり、高強度 RC 造建物の 3 次元 FEM 解析のためのモデル開発と、さらに FEM 解析を活用した性能評価型設計法の開発について検討を行うことを目的とする。

具体的には、高強度コンクリートを対象とする際の FEM 構成則モデルとして、圧縮強度以降の脆性的な特性、ひび割れによる圧縮強度低下、平滑なひび割れ面形成によるせん断剛性の劣化、コンクリートの鉄筋の付着劣化等を考慮した構成則モデルを開発する。

このモデルの検証を目的として、RC 造柱・梁接合部の対象として 3 次元非線形 FEM 解析を行い地震時挙動に与える影響の考察を行う。

さらに、構成則モデルをパラメータとした解析シミュレーションと普通強度材料と高強度材料の構成則モデルをパラメータとする解析を実施して、構成則モデルを評価する。

これらの解析結果を活用して柱・梁接合部の耐震性能評価法の開発、高強度コンクリートを用いた鉄筋コンクリート構造物の耐震性能評価法の開発を行う事を目的とする。

3. 研究の方法

高強度コンクリートを対象として 3 次元非線形 FEM 解析モデルの開発を行う。特に高強度コンクリートの構成則モデルは、高強度コンクリートを用いた部材の履歴特性や破壊性状に大きく影響を与えると考えられるので、重要である。

高強度コンクリートの FEM 構成則モデルの開発のために、圧縮強度以降の脆性的な特性、ひび割れによる圧縮強度低下、平滑なひび割れ面形成によるせん断剛性の劣化、コンクリートの鉄筋の不着劣化、等を考慮した FEM 構成則モデルを検討する。

また、高速な演算能力と大容量の記憶装置を有する PC ワークステーションを導入して、

解析的な研究を実施するための環境を整備する。特に非線形 3 次元有限要素解析では、大容量入力データの処理、膨大な計算結果の処理などを合理化することが必要であり、本研究にあたっては入力データ作成や解析結果のデータ抽出、視覚化などのプレ・ポストプロセッサ処理も含めて、その計算環境の整備を行う。

次に本研究で開発した高強度コンクリートの構成則モデルの検証のため、RC 柱・梁接合部を対象として 3 次元非線形 FEM 解析を行い、接合部の地震時挙動に影響を与える各種因子のパラメータ解析を実施する。FEM 解析から得られる接合部周辺のコンクリートや鉄筋の応力やひずみ状況、ひび割れ等の損傷状況の詳細な考察から応力伝達機構を考察する。構成則モデルをパラメータとした解析シミュレーションとモデル評価、普通強度材料と高強度材料の構成則モデルをパラメータとして、要素試験体や柱・梁接合部試験体、フレーム試験体の解析を実施し、構成則モデルの評価を行う。

これらの高強度 RC 柱・梁接合部の FEM 解析結果を活用し、柱・梁接合部の耐震性能評価法の開発を行う。すなわち、高強度 RC 造柱・梁接合部の FEM 解析結果、コンクリートや鉄筋の内部応力、ひずみなどのデータを利用して、ひび割れや損傷状況、鉄筋降伏状況などを視覚化して定量的に把握し、RC 構造物の耐震性能評価法の開発を行う。

4. 研究成果

初年度は、高強度コンクリートを対象とした 3 次元非線形 FEM のための解析モデルの開発を行った。

また、高速な演算能力と大容量の記憶装置を有する PC ワークステーションを導入して、入力データ作成や解析結果のデータ抽出、視覚化などのプレ・ポストプロセッサ処理も含めて、解析的な研究を実施するための環境を整備した。

鋼繊維を混入した超高強度鉄筋コンクリート造を対象として、鋼繊維混入量・横補筋比等をパラメータとした柱部材の 3 次元 FEM 解析を行った。実験ではコンクリートに鋼繊維を混入することで、曲げ耐力の向上や変形性能の向上、ひび割れの分散性が確認されている。本解析では、鋼繊維混入試験体におけるコンクリート引張応力-ひずみ関係の引張強度以降に引張応力低下が緩やかなモデルを用いることで、鋼繊維混入コンクリートの曲げ耐力上昇や変形性能改善等の力学的挙動を確認した。

柱・梁接合部について、鋼繊維混入量と梁幅を変数とした三次元 FEM 解析を行った。その結果、コンクリートに鋼繊維を混入した場合、靱性保証型指針を基にした柱・梁接合部の有効幅 b_j とせん断強度 τ_j が向上し、柱・梁接合部せん断耐力が向上するのを確認した。また、鋼繊維混入により梁危険断面位置

での応力度分布が変化し、梁主筋の付着力によって接合部に入力されるせん断力の割合が減少したのを確認できた。

平成 24 年度は、前年度開発した高強度コンクリートの構成則モデルの検証のため、RC 柱・梁接合部を対象として 3 次元非線形 FEM 解析を行い、応力の分布や破壊性状、累積消費ひずみエネルギーなどの実験での把握が困難な項目についても、3 次元的な把握も含めて検討し、主筋の付着性状が接合部を含む架構の破壊性状への影響について考察した。領域を分けて付着特性を入れることにより主筋ひずみを精度よく評価することができた。接合部内の圧縮応力のコンターを示し、付着指標と入力せん断力量の差異によるせん断伝達機構に及ぼす影響について検討した。

また、FEM 解析から得られる接合部周辺のコンクリートや鉄筋の応力やひずみ状況、ひび割れ等の損傷状況の詳細な考察から応力伝達機構を考察した。さらに、普通強度材料と高強度材料の構成則モデルをパラメータとして、要素試験体や柱・梁接合部試験体、フレーム試験体の解析を実施し、構成則モデルの評価を行った。

RC 柱試験体に対して軸力比が 0.6 を超えるような場合に軸力がせん断強度と変形性能に及ぼす影響を検討するために、せん断補強筋量と軸力をパラメータとする 3 次元 FEM 解析を行った。まず既往の実験試験体（軸力比 0.0~0.6）の解析を行い、実験結果との対応を検討した。次に、軸力比を 0.0~0.9 まで 10 段階に変化させたパラメータ解析を行い、軸力の増加によるせん断耐力、変形性能、柱脚の中立軸位置、軸方向変形、ひび割れ幅等について考察した。その結果、高軸力が作用する柱に対してはせん断補強筋量がせん断強度及び変形性能へ与える影響は小さいが、軸変形を抑制できることが分かった。

RC 柱・梁接合部を対象として、柱軸力と梁主筋量が、せん断強度や接合部を含む架構の破壊性状に与える影響について把握するために、既往の実験試験体を対象として 3 次元 FEM 解析を行い、実験結果との比較や解析手法の検証を行った。

3 次元解析では、応力の分布や破壊性状、累積消費ひずみエネルギー等の実験での把握が困難である項目について検討した。また、周りのコンクリートの応力状態により変化する梁主筋の付着特性を、応力状態を考慮した領域に分けてモデル化した。その結果から、実験同様に層せん断力の低下は、梁主筋付着劣化に伴う梁応力中心間距離の減少が原因であることを 3 次元解析により検証した。

平成 25 年度は、これまでに実施した高強度 RC 造柱・梁接合部の FEM 解析結果を活用し、

柱・梁接合部の耐震性能評価法の開発、すなわち FEM 解析から得られるコンクリートや鉄筋の内部応力、ひずみなどのデータを利用し、ひび割れや損傷状況、鉄筋降伏状況などを視覚化して定量的に把握し、RC 構造物の耐震性能評価法の開発を行った。

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 14 件)

- 1) 梁生鈿, 柏崎 隆志, 和泉 信之, 野口 博, 外付け鉄骨ブレースにより耐震補強された RC 骨組のせん断伝達機構に関する解析的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.2, 2013, pp.43-48 (査読有)
- 2) 藤橋 裕太, 柏崎 隆志, 和泉 信之, 野口 博, RC 柱のせん断性能に及ぼす軸力の影響に関する 3 次元 FEM 解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.2, 2013, pp.109-114 (査読有)
- 3) 藤原 賢二, 柏崎 隆志, 和泉 信之, 野口 博, RC 内柱・梁接合部のせん断強度に及ぼす柱軸力と梁主筋付着の影響に関する 3 次元 FEM 解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.2, 2013, pp.229-234 (査読有)
- 4) 張 毅, 柏崎 隆志, 和泉 信之, 野口 博, 梁側面が柱側面を超える偏心 RC 柱・梁接合部の 3 次元 FEM 解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.2, 2013, pp.253-258 (査読有)
- 5) Noguchi H., Kashiwazaki T. and Takatsu H., Analytical Study on Shear Strength of Ultra High Strength Concrete Beam-Column Joints Containing Steel Fiber, Proc. of International Association for Bridge and Structural Engineering Conf. Vol. 98, 2012, pp.252-253 (査読有)
- 6) 梁生鈿, 柏崎 隆志, 野口 博, 枠付き鉄骨ブレース耐震補強工法における間接接合部の破壊挙動に関する解析的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.2, 2012, pp.865-870 (査読有)
- 7) H. Noguchi, T. Kashiwazaki, H. Takatsu and H. Kimura, Analytical Study on Shear Resistance of Beam-Column Joints Composed of Ultra High Strength Concrete Containing Steel Fiber, Proc. of 15th World Conf. on Earthquake Engineering, 2012, 10 (査読無)
- 8) T. Kashiwazaki, C. Jin and H. Noguchi, Analytical Study on Input Shear Forces and Bond Conditions of Beam Main Bars of RC Interior Beam-Column Joints, Proc. of 15th World Conf. on Earthquake Engineering, 2012, 10 (査読無)
- 9) H. Sun, T. Kashiwazaki and H. Noguchi,

Analytical Study on Seismic Performance of RC Frames with Concrete Block Wall, Proc. of 15th World Conf. on Earthquake Engineering, 2012, 10 (査読無)

- 10) Noguchi H., Kashiwazaki T., Takatsu H. and Kimura H., Analytical Study on Earthquake Resistance of Ultra High Strength Concrete Columns Containing Steel Fiber, Proc. of the Structural Engineers World Congress 2011, Session of Seismic Engineering, 2011, 8pps. (査読無)
- 11) 高橋 響子, 柏崎 隆志, 野口 博, 高津 比呂人, 鋼繊維混入超高強度鉄筋コンクリート柱部材の耐震性能に関する FEM 解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.2, 2011, pp.169-174 (査読有)
- 12) 梁 生鈿, 柏崎 隆志, 野口 博, 機械式継手を有する RC 柱・梁接合部の耐震性能に関する解析的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.2, 2011, pp.295-300 (査読有)
- 13) 入澤 尚人, 柏崎 隆志, 野口 博, 高津 比呂人, 鋼繊維混入超高強度コンクリートを用いた柱・梁接合部のせん断耐力に関する解析的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.2, 2011, pp.301-306 (査読有)
- 14) 金 成澤, 柏崎 隆志, 野口 博, 鉄筋コンクリート内柱・梁接合部のせん断入力と梁主筋付着性状に関する解析的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.2, 2011, pp.349-354 (査読有)

[学会発表] (計 4 件)

- 1) 柏崎 隆志, 藤原 賢二, 和泉 信之, 野口 博, RC 内柱・梁接合部のせん断強度に及ぼす柱軸力と梁主筋付着の影響に関する 3 次元 FEM 解析, 日本建築学会大会, 2013 年 8 月 31 日, 北海道大学
- 2) 柏崎 隆志, 枠付き鉄骨ブレース耐震補強工法における間接接合部のせん断抵抗に着目した 3 次元 FEM 解析, 日本建築学会学術講演, 2012 年 9 月 14 日, 名古屋大学, 名古屋市
- 3) 柏崎 隆志, 鋼繊維混入超高強度鉄筋コンクリート柱部材の耐震性能に関する FEM 解析, コンクリート工学年次大会, 2011 年 7 月 14 日, 大阪国際会議場, 大阪市
- 4) 柏崎 隆志, あと施工アンカーの長期許容応力度に関する研究(その 8: へりあきの影響に関する FEM 解析), 日本建築学会学術講演, 2011 年 8 月 23 日, 早稲田大学, 新宿区

[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
特になし

6. 研究組織

(1)研究代表者

柏崎 隆志 (KASHIWAZAKI, Takashi)
千葉大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 40251178

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし