

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25630184

研究課題名(和文)三次元微細構造解析によるRC柱梁接合部の破壊シミュレーションと配筋詳細の合理化

研究課題名(英文) Numerical Simulation of failure of RC beam-column joint by 3D discrete analysis method and proposal of rational reinforcement bar arrangement

研究代表者

長井 宏平 (NAGAI, Kohei)

東京大学・生産技術研究所・准教授

研究者番号：00451790

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：鉄筋コンクリート構造の柱梁接合部の三次元的な鉄筋配置をモデル化した数値解析により、三次元に輻輳した配筋による力学相互作用とひび割れ進展を再現したうえで柱梁接合部破壊現象を解明し、合理的な柱梁接合部の設計法と配筋詳細について提案することを目的に、研究代表者が開発した三次元離散解析手法剛体ばねモデル(RBSM)のシステムを拡張し、主に柱梁接合部に機械式定着具を配置した際の破壊形式への影響を検討した。システム拡張により500万自由度を超える非線形解析が可能となり、機械式定着具の定着性能と接合部破壊への横方向筋の配置の影響を実験と同様に再現することに成功した。

研究成果の概要(英文)：A meso-scale analysis of reinforced concrete members by a 3D discrete element analysis, called RBSM, was conducted in this study especially focusing on the beam-column joint part where the reinforcement bar arrangement is very complex. The study by a 3D meso-scale discrete analysis is useful since the reinforcement arrangement can be modeled in an accurate manner, local failure can be predicted precisely. In this study, analysis was conducted in order to investigate the effect of the stirrups arrangement on the failure of beam column joints with mechanical anchorages through the comparison with the experimental results. The simulation results were in good agreement with the experimental results. Based on the simulation results, the causes of major cracks were described. Eventually, the failure process of beam column joints with mechanical anchorages has been revealed through the study of the internal stress and the cracking pattern of RBSM.

研究分野：工学

キーワード：RC接合部 過密配筋 配筋詳細 離散解析 ひび割れ進展

1. 研究開始当初の背景

土木学会コンクリート標準示方書に代表される鉄筋コンクリート(RC)構造の設計基準において、柱梁接合部の設計法は合理的でなく未だに仕様規定的で、接合部を剛域と仮定し、柱や梁から延びる鉄筋を構造細目規定を満たしつつ収めているのが現状である。耐震基準の厳格化もあり、特に接合部の鉄筋量は増加しており、過度に安全な鉄筋量が配置されていると考えられるとともに、鉄筋組立作業時間と施工不良の危険性が増している。しかしながら接合部における配筋詳細は長年に渡り改訂がなされておらず、数値の根拠が不明な項目が多数残されており、合理的でないことが指摘されている。一方、建築分野においては、柱梁接合部の挙動解明のために多くの実験が行われ、設計基準が構築されている。しかし、検討は実験とそれに基づく力の流れのストラットによるもので、多方向かつ過密な配筋時における詳細な力学特性の把握はなされておらず、一般性は低い。さらに近年、塩原らの研究により接合部破壊の新たな形式と、それに基づいた設計法が提案されるなど、建築分野においても接合部の力学挙動は把握されていない。

これらの問題に対し、複雑な柱梁接合部の三次元配筋を鉄筋の節までモデル化し解析する微細構造解析により、複雑な応力状態およびひび割れ進展挙動を再現し、多方向配筋等の影響を直接的に解明することが有用である。ここでは一要素サイズは 2cm^3 程度以下である。これまでに研究代表者が開発した三次元離散解析システムを用いて、鉄筋の節をモデル化したうえでの鉄筋の一軸引張定着性能を横方向筋拘束効果も含め適切に再現する約 150 万自由度の大規模計算に成功しており、これを拡張することで接合部の数値解析が可能になると考えられる。

2. 研究の目的

鉄筋コンクリート構造の柱梁接合部の三次元的な鉄筋配置をモデル化した数値解析により、三次元に輻輳した配筋による力学相互作用とひび割れ進展を再現したうえで柱梁接合部破壊現象を解明し、合理的な柱梁接合部の設計法と配筋詳細について提案することを目的に、研究代表者が開発した三次元離散解析手法剛体ばねモデル(RBSM)のシステムを拡張し、主に柱梁接合部に機械式定着具を配置した際の破壊形式への影響を検討した。

3. 研究の方法

研究代表者が開発した剛体ばねモデル(RBSM)解析システムを拡張し、接合部の形状及び複雑な配筋を半自動的にメッシュ分割が可能なシステムを構築する。このシステムにより、鉄筋の形状、配置、継手や、多方向配筋時の力学相互作用を局所応力やひび割れ進展に着目して解明するとともに、機械式

定着具の適用範囲についても検討する。検証実験では、接合部への繰り返し載荷で導入される多方向ひび割れを画像解析手法を用いて計測する。これらを通し、合理的な柱梁接合部の設計法を提案可能とする。

4. 研究成果

(1) 解析システムの拡張

開発されている三次元離散解析システムへ、鉄筋の節や機械式定着具の複雑な形状と鉄筋曲げ部を、半自動的にモデル化できるアルゴリズムを導入し、比較的容易に接合部内の複雑な配筋を解析モデル内で表現できるようにした。具体的には、1本ごとの鉄筋の始点と終点の座標、鉄筋直径、端部の形状(曲げや定着具)などの情報を設定しシステムに受け渡すと、自動的に節形状も含んだモデルが作成される。多数の鉄筋を同時に配置が可能であり、接合部の複雑な配筋のモデル化が可能となった。また、これまでのシステムでは鉄筋節形状のモデル化が複雑であったために要素数が多くなっていたがシンプルなモデル化に変更することで解析要素数を減らすことも本研究内で行った。これにより解析時間の短縮が可能となった。

また並列計算システムを導入することで計算速度を向上させ、500万自由度を超える解析が可能となった。

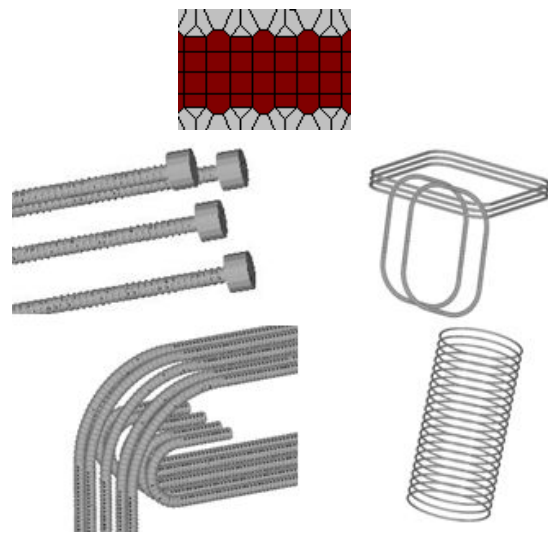


図1 鉄筋モデルの例

(2) 折り曲げ鉄筋を用いた柱梁接合部の破壊シミュレーション

柱梁接合部の典型的な配筋方法である折り曲げ鉄筋を配したモデルの数値解析を実施し、既往の実験結果との比較を行った。配筋は実験と同様にしている。なおここでは、帯鉄筋の節はモデル化せずに丸鋼となっている。解析モデルを図2に示す。

荷重変位関係、破壊パターンを図3に示す。柱梁接合部の大規模計算が可能となり、解析結果も概ね実験と同様の結果が得られ、解析

の有用性が確認された。また、内部応力状態も解析で確認でき、内部ひび割れ進展とともに、書く鉄筋の役割が検討できる(図4)。

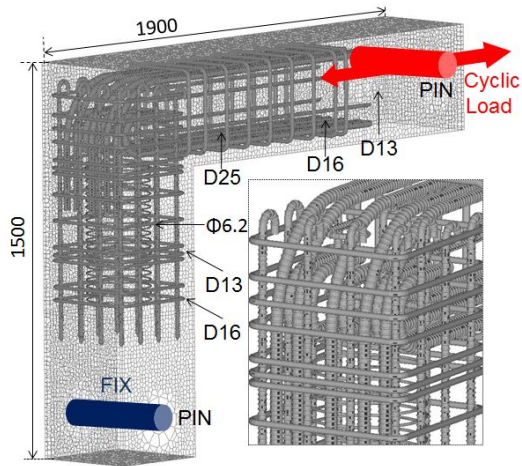


図2 解析モデル (690,741 要素)

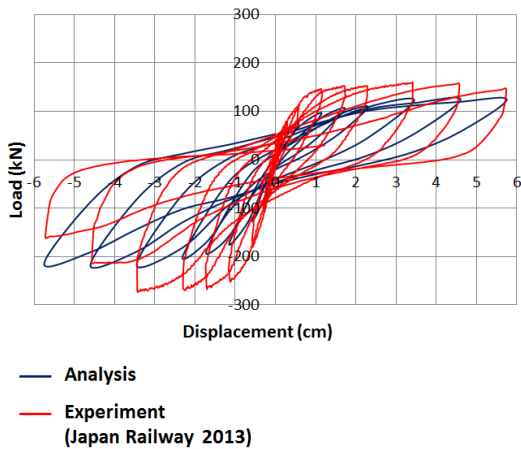


図3 荷重変位関係

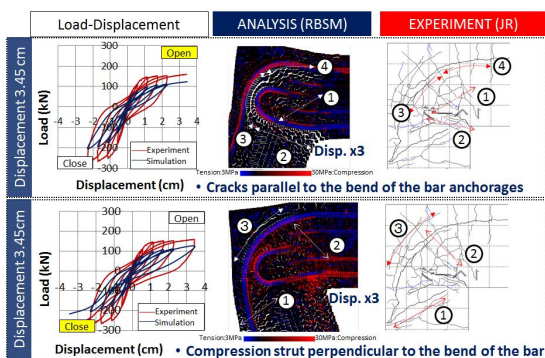


図4 内部応力状態とひび割れ

(3) 機械式定着具を用いた柱梁接合部の破壊シミュレーション

機械式定着を柱梁接合部に用いる場合は、定着具近傍からの局所応力によりかぶり部分で早期に破壊が起こることが指摘されており、合理的な配筋のために各鉄筋の役割が明確化されることが望まれている。既往の実

験で、柱梁接合部に機械式定着を配し、その定着性能向上とかぶり側の破壊を抑制するための横方向筋量をパラメータとした実験が行われており、ここではその実験を対象に解析を行った。解析モデルを以下に示す。なお、解析での荷重は一方向のみである。

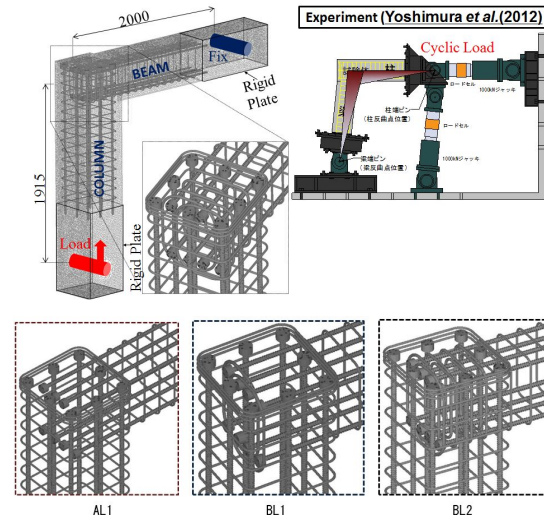


図5 解析モデル

荷重変位関係、破壊パターンを以下に示す。概ね実験と同様の結果が得られ、解析の有用性が確認された。機械式定着への横方向筋量を増やすことで、耐力が増加し、破壊パターンが接合部破壊から、梁の曲げ破壊へと変化することが実験と同様に解析された。このような詳細配筋を実物と同様に再現することで、適切は配筋の検討が可能となった。

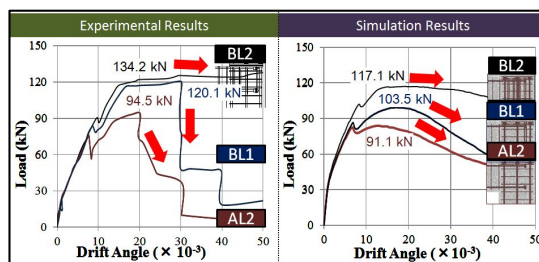


図6 荷重変位関係

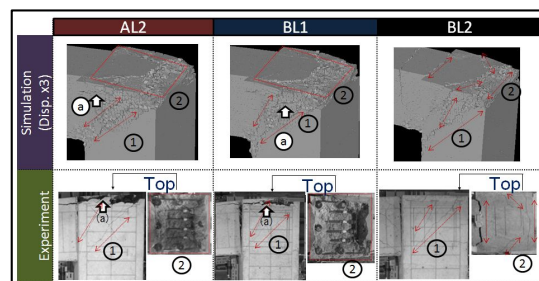


図7 破壊パターン

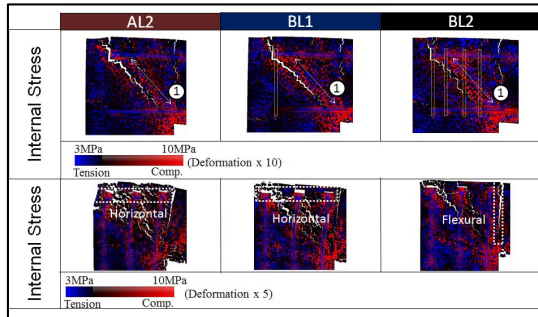


図 8 内部応力状態とひび割れ

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

Liyanto EDDY, Kohei NAGAI: Effect of Stirrup Arrangement on Failure of Beam Column Joint with Mechanical Anchorages by 3D Discrete Model, コンクリート工学年次論文集, 2015 査読有り (印刷中)

<http://data.jci-net.or.jp/search.shtml>

Kohei NAGAI, Daisuke HAYASHI, Liyanto EDDY: Numerical Simulation of Failure of Anchorage with Shifted Mechanical Anchorage Bars by 3D Discrete Model, Advances in Structural Engineering, Vol.17, No.6, pp.861-870, 2014 査読有り

<http://multi-science.atypon.com/toc/ase/17/6>

〔学会発表〕(計 1 件)

Liyanto EDDY, Kohei NAGAI: Numerical Simulation of Failure of Beam Column Joint with Complex Reinforcement Arrangement by 3D Discrete Model, Proceedings of The 6th International Conference of Asian Concrete Federation (ACF2014), 2014, 2014 年 9 月 22 日, ソウル (韓国)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

国内外の別 :

取得状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

取得年月日 :

国内外の別 :

〔その他〕

ホームページ等

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

長井 宏平 (NAGAI, Kohei)

東京大学・生産技術研究所・准教授

研究者番号 : 00451790