

# 三方向地震力を受けて降伏破壊した鉄筋コンクリート隅柱梁接合部の軸崩壊に関する研究 その4：隅柱梁接合部の軸崩壊および変形性能に対する柱主筋の影響

正会員 ○石川巧真\*2 村野竜也\*3 佐野由宇\*3  
同 晉沂雄\*4 北山和宏\*1

鉄筋コンクリート 隅柱梁接合部 三方向地震力  
接合部降伏破壊 軸崩壊 柱主筋座屈

## 1. はじめに

その3に続き、本報では柱主筋の本数および径の違いが隅柱梁接合部の軸崩壊および変形性能に与える影響について考察する。

## 2. 柱主筋の座屈発生位置および曲率分布

柱主筋の局所的な座屈を検討するために、柱主筋の曲率を考える。図1に曲率の算出方法、図2に梁が取り付けられない南西隅の柱主筋の曲率分布を試験体 T1 および T2 を対象として示す。本研究では丸山ら<sup>1)</sup>の提案する方法により、柱梁接合部内の柱主筋の表裏に貼付した2枚のひずみゲージを用いて柱主筋の座屈発生位置を定めた。図1のように柱主筋が座屈すると座屈範囲では局所的に屈曲するため、柱主筋の表裏に貼付した2枚のひずみゲージの一方では圧縮ひずみの増加、他方では圧縮ひずみの減少または引張ひずみの増加を示す。

南西隅の柱主筋の座屈発生時期は試験体 T1 で層間変形角 2.0%であった一方、柱中段筋本数を柱断面の各面 1 本から 2 本に増やした試験体 T2 では同 3.0%と遅れた。いずれも圧縮軸力増加側の南西載荷時に柱梁接合部内に形成される圧縮束付近（上柱危険断面付近）で座屈するとともに、上下柱が接合部を中心に「く」の字状に傾き出した。層間変形角 3.0%の南西地点 B（桃色の線）における曲率の最大値（絶対値）は試験体 T1 で 0.50%/mm である一方、試験体 T2 では 0.07%/mm であった（いずれも座屈）。柱中段筋本数の増量によって南西隅の柱主筋の局部座屈が抑制され、曲率が小さくなった。

## 3. 下柱に対する上柱の回転角の推移

柱主筋の座屈に伴い、上柱および下柱が互いに「く」の字状に傾く挙動に着目する。図3に下柱に対する上柱の回転角（以下、相対回転角）の算出方法、図4に試験体柱頭の載荷経路、図5に水平2方向の相対回転角が描く軌跡を示す。上柱および下柱の回転角は柱頭および柱脚の鋼板に設置した傾斜計（KB-10EB：東京測器研究所製、分解能 0.005deg.）により、東西および南北の各方向について測定した。図5は東西および南北方向の相対回転角が東西軸と南北軸とで構成される座標平面上に描く軌跡であり、下柱に対する上柱の回転角の大きさおよび回転方向を表す。その軌跡上に柱主筋の座屈発生時から接合部軸崩壊時までの主要な点を示し、接合部軸崩壊に至るまでの相対回転角が描く軌跡に着目する。

試験体 T1 では層間変形角 2.0%の南西地点 M への載荷中に南西面の柱主筋が接合部コンクリートに形成される斜め圧縮束に沿った位置で座屈し（図5(a)の①）、南西地点 M で東西および南北方向の相対回転角が各々 -0.9%、-0.8%に達した（②）。層間変形角 3.0%では接合部出隅のコンクリート剥落

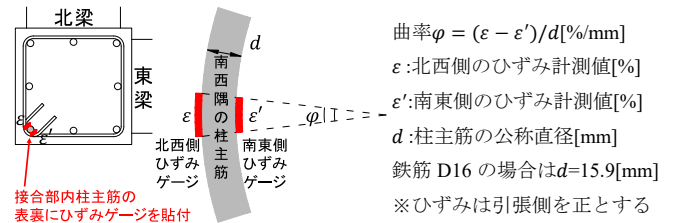


図1 柱主筋の曲率の算出方法

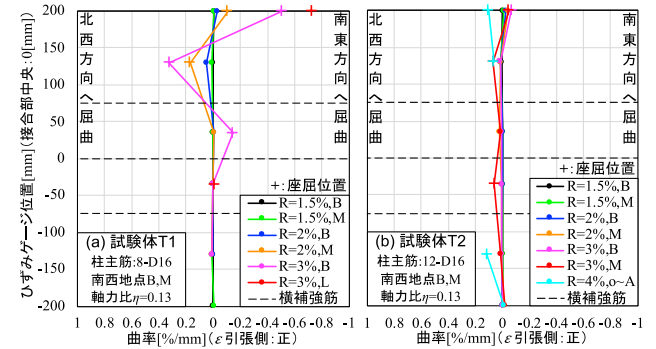


図2 南西隅の柱主筋の曲率分布

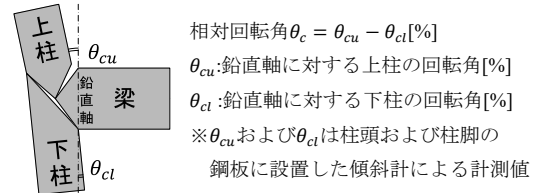


図3 相対回転角の算出方法

および柱主筋の局部座屈が進行し、南西地点 B での相対回転角は各々 -2.6%、-2.6%と、層間変形角 2.0%の南西地点 M における値の約3倍となった（③）。柱主筋の局部座屈によって相対回転角が急増したことがわかる。その後は引張軸力側の北東載荷で相対回転角の描く軌跡が北東方向へ推移し、東西および南北方向の相対回転角が各々 -1.8%、-1.6%まで戻ったがいずれも南西側に残留した（④）。層間変形角 3.0%の南地点 L（⑤）で柱圧縮軸力を漸増させると、上下柱が接合部を中心に「く」の字状に大きく傾き、それに伴い相対回転角の描く軌跡が南西方向へ推移した。接合部のコアコンクリート膨張、および横補強筋 135°フックの結束部からの抜け出しによって接合部の損傷が進行し、上柱軸力比が 0.11 に達した時点（⑥）で接合部軸崩壊に至った。①から⑥までのいずれの点も南西側の第3象限に位置し、南西隅の柱主筋の座屈発生後に相対回転角の描く軌跡が南西方向へ大きく推移したことから、柱主筋の局部座屈が相対回転角の増大を促したと考える。柱中段筋本数が多い試験体 T2 では層間変形角 3.0%の西地点 A への載荷中に柱主筋が座屈し（図5(b)の①）、南西地点 B

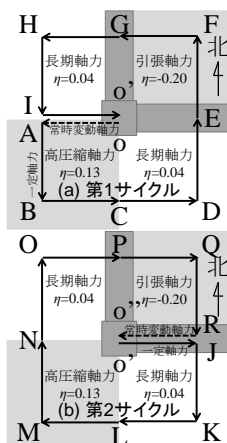


図4 荷経路

で東西および南北方向の相対回転角が各々-0.6%、-0.3%に達した(②)。他の試験体に比べて接合部出隅のコンクリート剥落および南西面の柱主筋の座屈が軽微であったため、相対回転角が最も小さかった。層間変形角4.0%では西地点Aへの荷重中に突発的な接合部コアコンクリートの剥落、およびそれに伴う柱主筋の急激な座屈により相対回転角の描く軌跡が南西方向へ大きく推移し、接合部軸崩壊に至った(③~④)。

柱中段筋を各面2本配置したが柱主筋径は小さい試験体T3では、層間変形角2.0%の南西地点Mへの荷重中に南西面の柱主筋が圧縮束に沿った位置で座屈し(図5(c)の①)、南西地点Mで東西および南北方向の相対回転角が各々-1.7%、-1.4%に達した(②)。以降は相対回転角の描く軌跡が南西方向へ大きく推移し、相対回転角が全試験体で最も大きくなった。この結果は柱主筋の局部座屈が顕著であった最終破壊状況とも合致したことから、柱中段筋本数を増やしても柱主筋径を小さくすることは接合部軸崩壊の抑止に不利であると考えられる。

いずれの試験体も接合部コアコンクリートの圧壊に伴って柱主筋が座屈することにより、上柱および下柱が互いに「く」の字状に傾いて接合部軸崩壊に至った。これは、立体隅柱梁部分架構に変動軸力(上柱軸力比0~0.13)および2方向水平力を導入した既往実験<sup>2)</sup>で見られた軸崩壊機構と同じである。

#### 4. 柱主筋比と軸崩壊時柱頭累積変位との関係

図6に柱主筋比と軸崩壊時柱頭累積変位との関係を示す。柱頭累積変位は、実験開始から接合部軸崩壊発生までに柱頭が水平面に描いた軌跡を荷重方向と無関係に累加して求めた。

柱主筋比が互いにほぼ同一である試験体F3<sup>2)</sup>、T1(1.65%)およびT3(1.58%)の軸崩壊時柱頭累積変位は3396mmであった(上柱軸力比はいずれも0.11)。軸崩壊時柱頭累積変位に差は見られなかったが、柱主筋径の小さい試験体T3では柱主筋の局部座屈が全試験体で最も顕著であった。それに伴い、下柱に対する上柱の回転角が柱主筋径の大きい試験体T1に比べて大きくなったことから、柱主筋比をほぼ同一にするため中段筋本数を増やしたが柱主筋径を小さくした試験体T3のほうが接合部軸崩壊の抑止に不利である。一方、柱主筋比が大きい試験体T2では軸崩壊時柱頭累積変位が3946mmとなり、

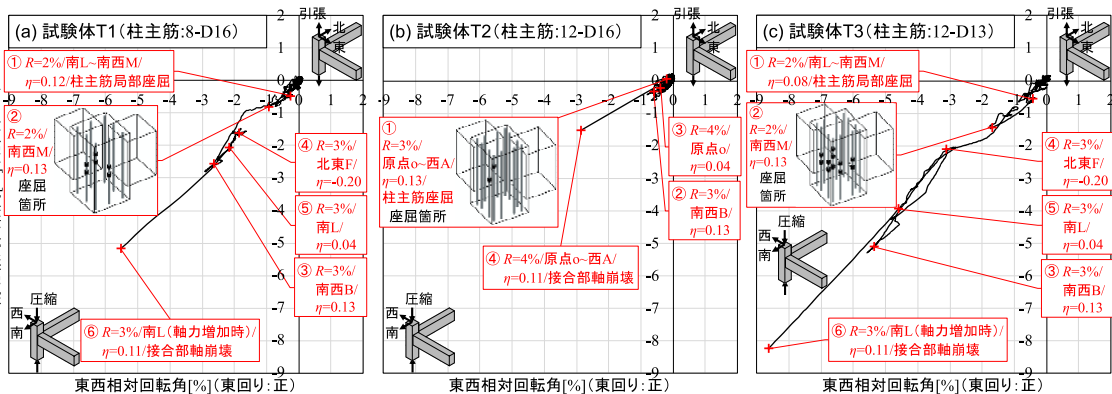


図5 水平2方向の相対回転角が描く軌跡

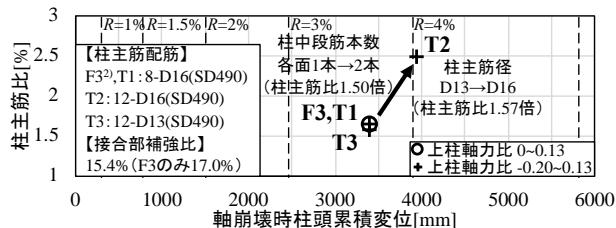


図6 柱主筋比と軸崩壊時柱頭累積変位との関係

試験体T1およびT3に対して16%増加した。柱主筋の座屈が全試験体で最も軽微であり、下柱に対する上柱の回転角が小さかったことから、柱中段筋本数の増量および柱主筋の太径化が架構の水平変形性能向上および軸崩壊防止に寄与した。

#### 5. まとめ

隅柱梁部分架構に変動軸力(上柱軸力比0.20~0.13)および2方向水平力を荷重する実験の結果を検討し、柱主筋が隅柱梁接合部の軸崩壊および変形性能に与える影響について以下の知見を得た。

- (1) いずれの隅柱梁接合部も降伏破壊が生じた後に、層間変形角3.0~4.0%で柱圧縮軸力を保持できなくなり接合部軸崩壊に至った。
- (2) 本実験における隅柱梁接合部の軸崩壊は、梁が取り付けられない接合部出隅の柱主筋の座屈に伴い、下柱に対する上柱の回転角が増大することによって生じた。これは上柱および下柱が接合部を中心に「く」の字状に傾く観察結果と一致し、隅柱梁部分架構に変動軸力(上柱軸力比0~0.13)および2方向水平力を導入した既往実験<sup>2)</sup>で見られた軸崩壊機構と同じであった。
- (3) 柱中段筋本数を柱断面の各面1本から2本に増やすことにより柱主筋座屈時の層間変形角が2.0%から3.0%まで増加し、柱主筋の局部座屈が抑制された。軸崩壊時の柱頭水平変位累積値は16%増加し、架構の水平変形性能向上および軸崩壊防止に寄与した。
- (4) 柱主筋比が同等の場合(1.58~1.65%)、柱中段筋本数を増やしても柱主筋径を小さくすると接合部軸崩壊の抑止に不利であった。

#### 謝辞

本研究はJSPS科学研究費補助金・基盤研究C(研究代表者:北山和宏)により行った。本研究の実施にあたり、東京鐵鋼株式会社から鉄筋を提供していただき、高周波熱錬株式会社からは試験体作製全般にわたって援助を得た。実験の実施および検討の一部に富澤良氏(元東京都立大学)、内藤希氏(元明治大学)の協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

#### 参考文献

- 1) 丸山久一, 趙唯清, 清水敬二: RC柱の主筋座屈に関する基礎的研究, コンクリート構造物の靱性と配筋方法に関するシンポジウム論文集, pp. 47-60, 1990.5
- 2) 藤間淳, 王君穎, 佐野由宇, 鄭家齊, 石川巧真, 菅折雄, 北山和宏: 変動軸力および2方向水平力を受けるRC隅柱梁接合部の降伏破壊および軸崩壊に関する研究(その1~その5), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp. 357-366, 2020.9

\*1 東京都立大学大学院都市環境科学研究科建築学域 教授 工博  
 \*2 鹿島建設株式会社 修士(工学)(元東京都立大学大学院 大学院生)  
 \*3 明治大学大学院理工学研究科建築・都市学専攻 大学院生  
 \*4 明治大学大学院理工学研究科建築・都市学専攻 准教授 博士(工学)

\*1 Professor, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.  
 \*2 Kajima Corporation, M. Eng.  
 \*3 Graduate Student, Meiji Univ.  
 \*4 Associate Professor, Meiji Univ., Dr. Eng.