

# 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5：軸崩壊に至る柱梁接合部における柱主筋の座屈性状の検討

正会員 ○村野 竜也\*1 佐野 由宇\*2 井上 諒\*3  
同 晉 沂雄\*4 北山 和宏\*5

鉄筋コンクリート 隅柱梁接合部 接合部降伏破壊  
柱主筋座屈 座屈ひずみ 軸崩壊

### 1. はじめに

その4<sup>1)</sup>に続き、本報ではこれまでの検討結果<sup>2)</sup>から確認された接合部降伏破壊に伴う軸崩壊に至るまでに当たり、出隅部柱主筋の座屈長さの特定や、ひずみ推移と座屈ひずみ計算値との関係を中心とした柱主筋の座屈性状について検討する。

### 2. 出隅部柱主筋の曲率分布による座屈長さの特定

実験時の観察により最も局部座屈の激しかった南西出隅部の柱主筋(C1)について、柱主筋に貼付したひずみゲージの値による曲率分布から局所的な座屈性状を検討する。図1に主筋の曲率の算出方法、図2に実験の柱頭載荷経路、図3に梁がとりつかない接合部内の南西隅柱主筋の高さ方向(C1-1~C1-6)への曲率分布を試験体T1及びT2を対象として示す。座屈発生位置及び座屈発生時期については、その4に示す通り、丸山ら<sup>3)</sup>の提案により、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求めた。図1のように柱主筋が座屈すると局所的な屈曲が生じるため、柱主筋の表裏に貼付した2枚のひずみゲージのうち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となる。試験体T1では概ね層間変形角 $R=2\%$ からC1-2位置を中心に屈曲が始まり、その後C1-1及びC1-3位置でC1-2とは反対方向の屈曲が顕著となった。一方、試験体T2では $R=3\%$ 付近からC1-2及びC1-4位置での曲率が若干増大したが、C1-2・C1-3・C1-4位置における曲率の符号が同じであることから、柱梁接合部の全高に渡り座屈が生じる可能性が見られた。

本実験の試験体における出隅部柱主筋の座屈長さを図3の曲率分布及び柱梁接合部の最終破壊状況から特定した。柱梁接合部の最終破壊状況と特定した座屈長さを写真1に示す。試験体T1とT3では上柱危険断面位置に最も近い帯筋から接合部中央近傍までとし、座屈長さを約187.5mmと判断した。試験体T2では他試験体より座屈区間が長く、上柱の危険断面位置に最も近い帯筋から接合部内の下部に位置する横補強筋にかけて座屈が生じたと判断し、座屈長さを約375mmとした。

試験体T1及び柱主筋比がT1と同等の試験体T3では、隅部柱主筋の局部座屈による横たわみは、柱梁接合部内に生じる圧縮ストラット上の位置で生じ、上柱帯筋と接合部横補強筋の配筋間隔が大きい区間を中心に増大した。座屈長さは接合部高さの半分程度となった。一方、柱主筋比が他試験体より約1.5倍大きい試験体T2では、接合部横補強筋を3本またいで座屈が生じ、座屈長さは接合部の全高さ程度まで大きくなった。接合部横補強筋による主筋への拘束力が相対的に大きいと、横補強筋の間もしくは少ない本数の横補強筋をまたいで柱主筋の局部座屈が発生するが、柱主筋量が大きく接合部

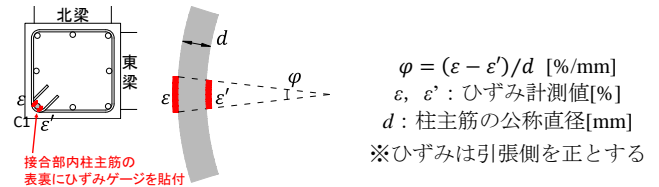


図1 柱主筋の曲率の算出方法

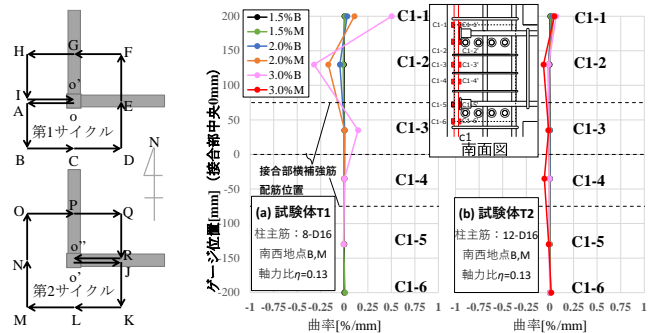


図3 南西隅の柱主筋の曲率分布

図2 載荷経路

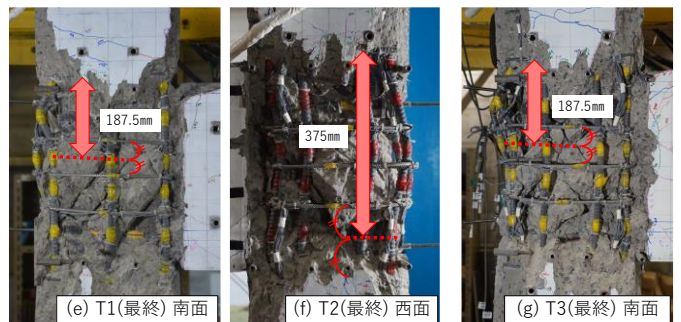


写真1 柱梁接合部の最終破壊状況と柱主筋の座屈の様子

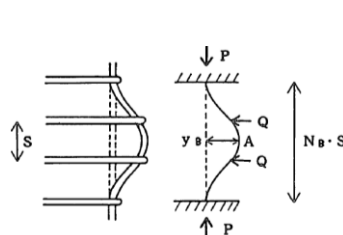


図4 主筋の座屈モデル<sup>4)</sup>  
(座屈区間数  $N_B=3$  の例)

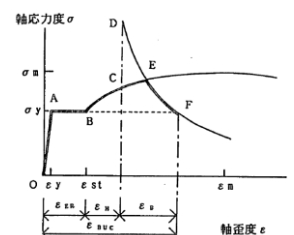


図5 軸方向応力度—ひずみ関係の概念図<sup>4)</sup>

横補強筋による拘束力が相対的に小さくなると、座屈長さが長くなる可能性が考えられる。なお、接合部横補強筋の拘束力と柱主筋比による柱主筋座屈長さとの関係については、今後詳細に検討する必要がある。

### 3. 出隅部柱主筋のひずみ推移と座屈ひずみ計算値との比較

加藤によるRC柱の主筋座屈に関する既往研究<sup>4)</sup>では、横補強筋を有するRC柱主筋の座屈発生時のひずみ推定法を提

案した。同文献では純圧縮軸力下において、ひずみ硬化開始点以後のオライー座屈応力度時のひずみに横補強筋の拘束によるひずみ増分を加味し、柱主筋の座屈発生時の圧縮ひずみ ( $\epsilon_{BUC}$ ) を評価している。帯筋により拘束された主筋の座屈モデルを図 4<sup>4)</sup>に示す。同図で、 $N_B$  は座屈区間数、 $S$  は横補強筋間隔、 $N_B \cdot S$  は座屈長さとなり、座屈発生時の境界条件は両端固定としている。次に、座屈発生時の柱主筋の応力度-ひずみ関係を図 5<sup>4)</sup>のように提案している。C 点とは、中間の横補強筋を無視し瞬間剛性を用いて求めたオライー座屈応力度がその時の主筋応力度より小さくなった点とし、潜在座屈開始点としている。また、曲線 D-E-F は横補強筋を跨ぐ場合で、横補強筋の拘束力を加味すると柱主筋の応力度-ひずみ関係は曲線 B-E-F を描くとしている。ここで、降伏棚 B 点までのひずみ  $\epsilon_{ER}$ 、B 点から潜在座屈点 C 点までのひずみ  $\epsilon_{EH}$ 、D 点から F 点までのひずみ  $\epsilon_B$  の和により、 $\epsilon_{BUC}$  が算出できる。なお、C 点の決定は複雑であるため、文献<sup>4)</sup>では実験に基づく経験式により評価している。

本研究では文献<sup>4)</sup>の方法を準用し、接合部内の柱主筋 C1 における  $\epsilon_{BUC}$  の算出を試みた。本試験体では座屈区間内における横補強筋の間隔は均等でないが、計算の便宜上、座屈区間における横補強筋の間隔を均等と仮定し、 $\epsilon_{BUC}$  を評価した。詳細な算出方法は同文献を参考されたい。座屈長さは試験体 T1 及び T3 では 187.5mm, T2 では 375mm とし、その他の値は材料試験結果を用いた。その結果、試験体 T1, T2, T3 の柱主筋 C1 における  $\epsilon_{BUC}$  計算値はそれぞれ -2.35%, -2.6%, -2.55% となった。算出した各試験体の柱主筋 C1 の  $\epsilon_{BUC}$  計算値 (赤実線) と実験結果によるひずみ推移を図 6 に示す。実験値は、接合部中央から上柱危険断面位置の間に貼付した 3 箇所の表裏 2 枚組のひずみゲージの出力値を用い、圧縮側を負の値で表す。横軸は柱頭累積水平変位を取り、図中の横方向の黒色破線は主筋の降伏ひずみ、縦方向の赤破線は実験終了時期である。図の上部に層間変形角  $R$  と主要な加力地点も併記した。

試験体 T1 及び T3 の柱主筋 C1 では、曲率分布による座屈発生時期 (T1: $R=2.0\%$ , T3: $R=1.5\%$ ) から圧縮ひずみが増加し始め、その直後の軸力増大地点、つまり T1 では  $R=2.0\%$  地点 M, T3 では  $R=2.0\%$  地点 B で C1-1 及び C1-2' のひずみが大きく圧縮となった。この際、C1-1 と C1-1' 及び C1-2 と C1-2'、即ち同個所の表裏のひずみ値に顕著な乖離が見られた。これは局部座屈が生じたためであり、図 6 中に黒丸で示すように、その圧縮ひずみ実験値は  $\epsilon_{BUC}$  計算値とほぼ一致した。試験体 T2 でも曲率分布による座屈発生時期 ( $R=3.0\%$ ) から圧縮ひずみの増加が見られたが、T1 及び T3 のように表裏となるひずみ値に大きな乖離は見られず、圧縮ひずみ実験値は  $\epsilon_{BUC}$  計算値を下回った。柱主筋比が大きい試験体 T2 では、柱主筋 1 本の圧縮負担力が他試験体に比べて少なくなるため、座屈発生時期や軸崩壊時期が遅れた可能性が考えられる。文献<sup>4)</sup>では曲げ応力やせん断力の影響が考慮されておらず、更なる検討が

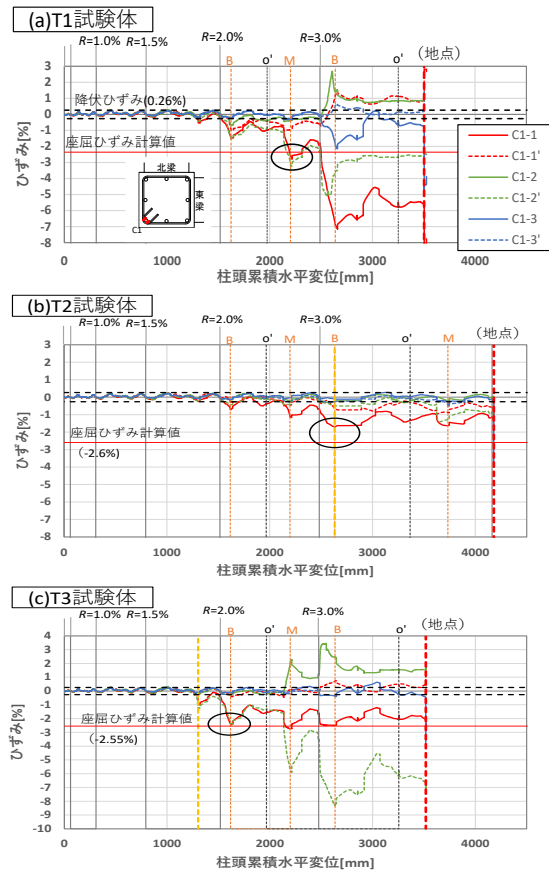


図 6 出隅部柱主筋 C1 のひずみ推移

必要であるものの、接合部内の主筋座屈ひずみの定量的推定に準用できる可能性がある。

#### 4. まとめ

本報のまとめを以下に示す。謝辞はその 6 に示す。

- (1) 柱主筋比が 1.58%~1.65% の試験体の場合、柱梁接合部内の圧縮ストラット上の位置において局部座屈が生じ、座屈長さは柱梁接合部高さの半分程度となったが、柱主筋比が 2.48% (接合部横補強筋比は同等) の試験体では接合部の全高にわたって座屈が生じた。接合部横補強筋の拘束力と柱主筋比の関係によって座屈長さが決まる可能性が考えられるが、本検討では比較対象が少ないため今後詳細に検討する必要がある。
- (2) 局部座屈の最も激しかった出隅部柱主筋では、最大耐力経歴以降から接合部内柱主筋の圧縮ひずみが増大傾向を示し、同個所の両面に貼付したひずみゲージの内 1 枚で圧縮ひずみが急増し、反対側のひずみゲージでは圧縮ひずみが増加しない、もしくは引張りひずみが増加する様子が見られ、局部座屈が発生したことが確認された。柱主筋の局部座屈発生近傍時における圧縮ひずみが既往研究<sup>4)</sup>による RC 柱主筋の座屈発生時の圧縮ひずみ計算値と概ね対応するケースも見られた。

#### 【参考文献】

- 1) 石川巧真, 佐野由宇, 村野竜也, 晋祈雄, 北山和宏: 三方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 1-その 4), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, pp. 371-378, 2021.9
- 2) 佐野由宇, 藤間淳, 石川巧真, 晋祈雄, 北山和宏: 変動軸力および 2 方向水平力が作用する鉄筋コンクリート立体隅柱梁接合部における降伏破壊および軸崩壊に関する研究 日本建築学会構造系論文集, Vol.87, No.792, pp.217-228, 2022.2
- 3) 丸山久一, 趙唯堅, 清水敏二: RC 柱の主筋座屈に関する基礎的研究, JCI, 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
- 4) 加藤大介: 鉄筋コンクリート部材の主筋の座屈性状に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 436 号, pp.135-143, 1992.6

\*1 明治大学大学院理工学研究科建築・都市学専攻 大学院生  
 \*2 石本建築事務所 (元明治大学大学院生) 修士 (工学)  
 \*3 東京都立大学大学院都市環境科学研究科建築学域 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)  
 \*5 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

\*1 Graduate Student, Meiji University  
 \*2 Ishimoto Architectural & Engineering Firm, M. Eng.  
 \*3 Graduate Student, Tokyo Metropolitan Univ.  
 \*4 Associate Professor, Meiji Univ., Dr. Eng.  
 \*5 Professor, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.