

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4：隅柱梁接合部の軸崩壊機構

鉄筋コンクリート 隅柱梁接合部 変動軸力
2方向水平力 接合部降伏破壊 軸崩壊

正会員 ○藤間淳*4 石川巧真*1 王君穎*1
同 佐野由宇*2 鄭家齊*3 晉沂雄*2
同 北山和宏*1

1. はじめに

その3に引き続き、本報(その4)では隅柱梁接合部の軸崩壊機構について実験結果を用いて考察する。

2. 軸崩壊現象の観測

2.1 隅柱梁接合部の軸崩壊性状

写真1に平面試験体F1および立体試験体F3の最終破壊状況を示す。本実験(Fシリーズ)では柱主筋が局部的に座屈し、コアコンクリートの剥落や膨張に伴い接合部横補強筋の135度フックがほどけるなど接合部に激しい損傷が発生した時点を経験軸力変動試験体F1は梁が取り付けられない西側の柱主筋が層間変形角4%以降に接合部内で全体的にたわみ始めた。その後、層間変形角5%では柱主筋の座屈の進行が目視で確認されたが、局所的な座屈は生じなかった。その他の全立体試験体は2方向水平力の繰り返し载荷によりコアコンクリートが多方向の斜めひび割れによりブロック状に分割され剥落が進行し、梁による拘束がない南面および西面接合部において正側の主対角ストラットに沿って柱主筋が局部的に座屈した。特に南西柱主筋(図2のC1)の上端梁主筋位置において座屈が顕著であり、その後は接合部を中心に上下の柱が折れ曲がる挙動を示した。

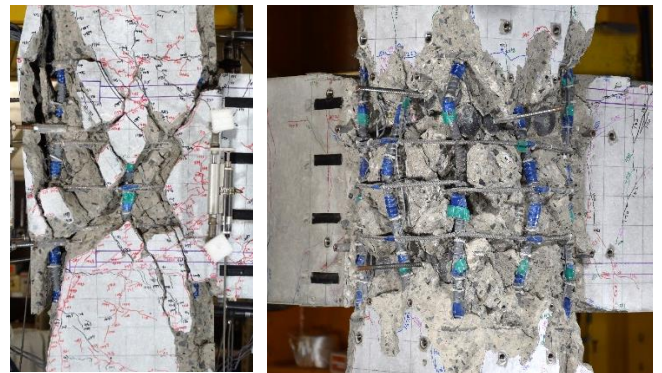
2.2 柱主筋軸ひずみの推移

図1に立体試験体F2の柱中段筋の残留圧縮ひずみ(負の値)の推移(水平破線は降伏ひずみ)を、図2に立体試験体の柱主筋のひずみゲージ位置を示す。4本の柱中段筋の中央近傍に貼付した2枚のひずみゲージの平均値を各加力サイクル終了時(各方向水平力はともに0)において比較した。梁の取り付けられない外側の柱中段筋(C2, C4)が層間変形角2%で圧縮降伏し、梁側の柱中段筋(C5, C7)より圧縮ひずみが大きくなる傾向が全立体試験体で見られた。これは、梁が取り付けられない側の柱梁接合部のかぶり及びコアコンクリートは梁側に比べて剥落が促進され、柱が負担する圧縮軸力がコンクリートから柱主筋に遷移したことを示す。

立体試験体の四隅の接合部内柱主筋にはそれぞれ表と裏にひずみゲージを2枚貼付したが、層間変形角3%以降の大変形時において一方のゲージのひずみが増加するのに対して、他方のひずみは減少する等、互いに逆の挙動を示す箇所があった。これは、柱主筋の座屈によって主筋断面内のひずみ分布が一樣ではなくなったためと考えられるが、ゲージ貼付枚数の不足やコンクリートの剥落に伴うひずみデータ欠損のため、ひずみ値により一律に座屈を判定することは困難であった。

2.3 柱回転角の推移

図3に試験体F1の下柱に対する上柱の相対回転角(下柱-上柱回転角と略記、図3の右図参照)層間変形角関係を示す。下柱-上柱回転角の算出法は文献2)によった。上柱と下柱との傾きが



(a) 平面試験体 F1 (b) 立体試験体 F3

写真1 最終破壊状況

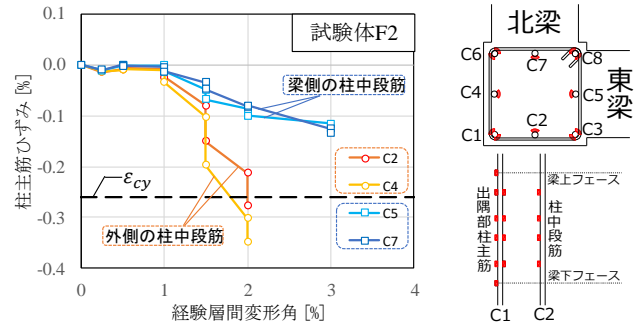


図1 柱中段筋の圧縮ひずみ推移

図2 ひずみゲージ位置

等しければ両者の相対回転角は常に0となるが、一般にト形の部分架構では柱と梁が遠ざかる側の方が剛性は低い¹⁾。本実験でも、正負の载荷ピークで相対回転角が大きくなった。特に層間変形角4%以降に下柱に対して上柱が傾き出すが、このとき試験体F1では西側の柱主筋で座屈が発生した。下柱-上柱回転角は正側の高圧縮軸力によってコアコンクリートの圧壊と共に増大したため、低圧縮軸力の負側より大きくなった。

図4に立体試験体F2における上柱と下柱それぞれの東梁に対する回転角(梁-柱回転角)-東西層間変形角関係を示す。東西層間変形角4%時に上下柱の回転角が逆方向に推移した。それまで上柱と下柱は同様に挙動したが、柱梁接合部内柱主筋の局所的な座屈が進行することで、上柱と下柱が急激に梁から遠ざかる側に傾いたためである。これは、層間変形角4%の加力地点AからB(付図1)に向かう途中で発生したものであり、急激に柱主筋が座屈した実験結果とも一致した。

2.4 柱回転角と柱梁接合部の鉛直変位との関係

図5に柱梁接合部の鉛直変位の算出方法、図6に下柱-上柱回転角および接合部鉛直変位と累積層間変位との関係を示す。下柱-上柱回転角は鉛直線に対して反時計回りを正、鉛直変位は軸縮み方向を正とした。接合部鉛直変位は接合部周

Joint Hinging and Axial Failure of RC Corner Column-Beam Joint Subjected to Varying Axial and Bi-Lateral Loads (Part4. Axial Failure Mechanisms of Corner Column-Beam Joint)

FUJIMA Atsushi, ISHIKAWA Takuma, WANG Junying SANO Yu, ZHENG Jiaqi, JIN Kiwoong KITAYAMA Kazuhiro

りに設置した変位計から算出し、累積層間変位は加力方向にかかわらず柱頭加力点の移動距離を累積したものである。立体試験体 F2 では層間変形角 3%以降に下柱-上柱回転角および接合部鉛直変位が共に増大し、同 4%の加力中にさらに急増した。すなわち、柱主筋の座屈によって下柱-上柱回転角が増大するとともに、コアコンクリートが圧壊して接合部の軸縮みが急増したと考える。平面試験体 F1 では下柱-上柱回転角は増大したが、鉛直変位は層間変形角 5%に至るまで急増しなかったため、加力終了時において軸崩壊発生直前であったと判断した。立体試験体は 2 方向水平力により出隅部の柱主筋が局所的に座屈したため、平面試験体より早期に軸崩壊が発生した。立体試験体 F3 は F2 と同様の傾向であったが、軸力の違いにより層間変形角 3%の途中で鉛直変位が急増した。接合部横補強筋量が多い試験体 F4 では層間変形角 4%の加力終了後の軸圧縮試験中に鉛直変位が急増して軸崩壊した。

3. 既往試験体との軸崩壊機構の比較

写真 2 に軸崩壊した既往試験体 K3²⁾の最終破壊状況を示す。試験体 K3 は柱軸力比 0.12 の一定圧縮軸力下で 2 方向水平力を載荷したが、出隅部の柱主筋が上下の梁主筋位置において座屈した。これは加力方向によらず軸力が一定であるため、加力地点 A~C (付図 1 参照) では柱主筋の上部で、E~G では下部で主対角ストラットによる圧縮力が加わるためである。試験体 K3 では両梁そばの北東柱主筋 (C8, 図 2 参照) でも座屈が見られたが、南西柱主筋 (C1) の方が顕著であり、隅の柱主筋の座屈も梁によりある程度拘束されると考えられる。K および F シリーズ試験体の軸崩壊に至る過程は、平面試験体を用いた既往実験³⁾の崩壊過程、即ち高引張変動軸力時に柱梁接合部が降伏破壊し高圧縮変動軸力時に軸崩壊する過程 (その 5 で説明) とは異なり、それぞれの発生条件は今後の検討を要する。

4. まとめ

隅柱梁部分架構に変動軸力および 2 方向水平力を与える実験の結果を検討し、接合部の軸崩壊機構について以下の知見を得た。

- (1)平面接合部が層間変形角 5%まで軸力を保持したのに対し、立体接合部は層間変形角 3~4%で損傷が顕著となり軸崩壊に至った。
- (2)柱中段筋の接合部内中央での残留圧縮ひずみは、梁の無い側の方が大きく、降伏に至った。これは、梁が無いため接合部コンクリートの剥落が進み、中段筋の負担軸力が増大したためである。
- (3)本実験における隅柱梁接合部の軸崩壊は、梁の取り付けない側の柱主筋座屈に伴い、下柱に対する上柱の相対回転角と接合部の鉛直変位とが増大することにより発生した。柱主筋は接合部降伏破壊後に主対角圧縮ストラットに沿って局所的に座屈した。

参考文献

- 1) 楠原文雄, 藤原圭佑, 塩原等: 架構内での変形を模した境界条件による鉄筋コンクリート造外部柱梁接合部部分架構の実験, コンクリート工学年次論文集, 第 33 巻第 2 号, pp.343-348, 2011 年。
- 2) 片江 拓, 北山和宏: 3 方向加力される鉄筋コンクリート立体隅柱梁接合部の耐震性能に関する実験研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 80 巻, 第 713 号, pp.1133-1143, 2015 年 7 月。
- 3) 村上久志, Hu Yanbing, 晉沂雄, 前田匡樹: 高変動軸力を受ける RC 造外柱梁接合部の破壊性状と構造性能, コンクリート工学年次論文集, 第 40 巻第 2 号, pp.223-228, 2018 年 7 月。

*1 東京都立大学大学院 都市環境科学研究科建築学域
 *2 明治大学大学院 理工学研究科建築・都市学専攻
 *3 東京工業大学 (元明治大学)
 *4 株式会社フジタ (元首都大学東京 現東京都立大学)

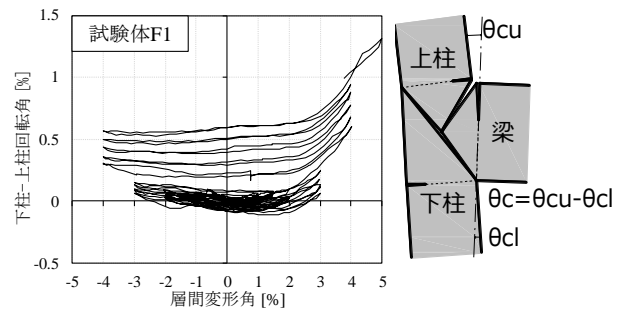


図 3 下柱に対する上柱の回転角の推移

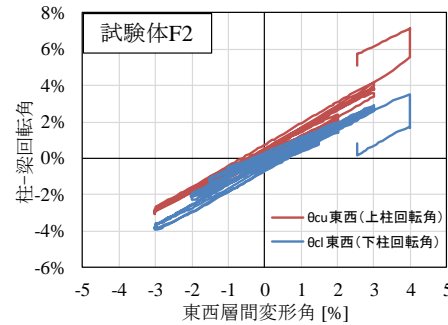


図 4 梁に対する柱の回転角-層間変形角関係

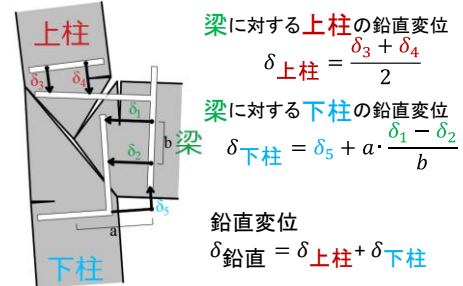


図 5 鉛直変位の算出方法

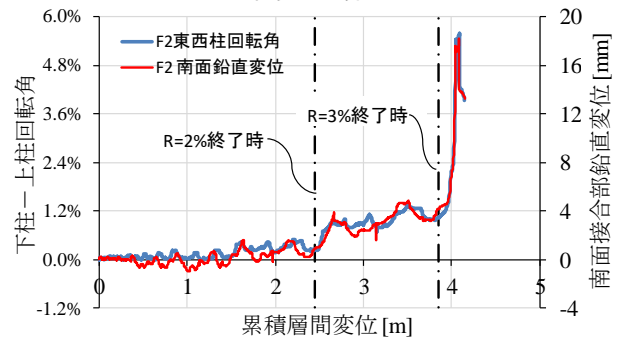
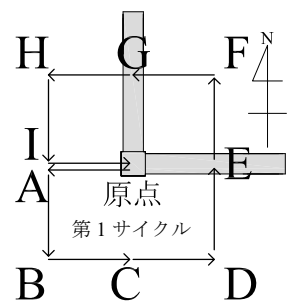


図 6 下柱に対する上柱の回転角と接合部鉛直変位の推移



写真 2 試験体 K3 最終破壊状況



付図 1 加力地点

*1 Tokyo Metropolitan University
 *2 Meiji University
 *3 Tokyo Institute of Technology
 *4 Fujita Corporation