

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3：層せん断力の二軸相関および変形成分

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

1. はじめに

その2に引き続き、本報(その3)では層せん断力の二軸相関および層間変形に占める柱、梁および接合部の変形成分の割合を考察し、各試験体の破壊モードについて検討する。

2. 層せん断力の二軸相関

図1に層せん断力の二軸相関を示す。同図の黒線は東西と南北方向の層間変形角0.5%、1.0%、1.5%および2.0%における、正載荷(第1サイクル)時の層せん断力の描く軌跡である。図中には前報で紹介した梁曲げ終局耐力、接合部曲げ終局耐力¹⁾および接合部せん断終局耐力²⁾の計算値もあわせて示す。梁曲げ終局耐力線は矩形とした。接合部せん断終局耐力時の層せん断力計算値は、梁断面の有効せいが上端と下端引張時で異なるため加力方向により若干違うが、ほぼ円形となる。接合部曲げ終局耐力線は各加力方向の計算値を楕円で結び、軸力が変化する地点ではその落差を直線で繋いだ。横軸と縦軸は載荷経路図の東西軸および南北軸に一致するため、層せん断力の描く軌跡は地点Aから反時計回りに推移する。

層間変形角0.5%では柱梁接合部の損傷が少なかったため、変位保持方向での耐力低下は殆どなく、層せん断力の描く軌跡はほぼ矩形であった。一方、層間変形角1.0%では各種鉄筋が降伏し、層せん断力の描く軌跡は若干曲線の形となった。地点Dで層せん断力の描く軌跡が接合部曲げ終局耐力線の近くに位置しており、このときいずれの試験体も南面の柱梁接合部に斜めひび割れが複数発生していた。1方向加力地点から2方向加力地点へ移行する時の方が、変位保持方向の耐力低下が大きくなる傾向があるが、これは2方向加力時の方が接合部曲げ終局耐力線に近づくためと考えられる。

層間変形角1.5%では1方向加力状態の地点Aで東西方向の最大耐力を迎えるが、いずれの試験体も接合部曲げ終局耐力には到達せず、梁曲げ終局耐力にも至らなかった。F4の地点Dのみで東方向の最大耐力が梁曲げ終局耐力に達したが、僅かな到達であった。一方、地点AからBに至るまで東西層せん断力は10kN程度低下し、2方向加力状態で考えると試験体F2及びF3の耐力実験値の描く軌跡が接合部曲げ終局耐力線に到達し、F4の耐力実験値もその耐力計算値に近接した。

層間変形角2.0%以降は全試験体で耐力低下が生じ、層せん断力の描く軌跡の面積も小さくなった。一方、接合部横補強筋量の多いF4ではその描く面積が相対的に大きく、耐力低下も小さい。よって、前報でも述べた通り接合部横補強筋量の増大は接合部損傷後の耐力低下抑制にも有効である。なお、

水平2方向加力時の隅柱梁接合部の曲げ終局耐力は軸力が変動する場合にも、既往実験³⁾⁴⁾と同様に1方向加力時の接合部曲げ耐力計算値を楕円補間することで概ね評価できた。

3. ベクトル和による層せん断力-層間変形角関係

図2に水平2方向のベクトル和による層せん断力-層間変形角関係を示す。同図の正側は、加力地点の原点から地点Cまで、負側は、地点CからGまでにおいて、2方向の層せん断力と層間変形角をベクトルに合成した履歴の包絡線である。図中の一点破線(Q_{ju})は、2方向加力時の接合部曲げ終局耐力計算値である。図中の縦の破線は最大耐力時(層間変形角1.5%時)を表す。正側では層間変形角1.5%の地点Bで全試験体がほぼ接合部曲げ終局耐力計算値に達した。一方、負側においてF2及びF3の最大耐力(地点F)は接合部曲げ終局耐力計算値の0.97倍程度以下となったが、接合部横補強筋量の多いF4では最大耐力とその計算値がほぼ対しF2及びF3の約1.1倍となった。いずれの試験体も高軸力の方に比べて低軸力の方で最大耐力が低下しており、柱の圧縮軸力が小さくなることにより接合部曲げ終局耐力が低下したと考えられる。

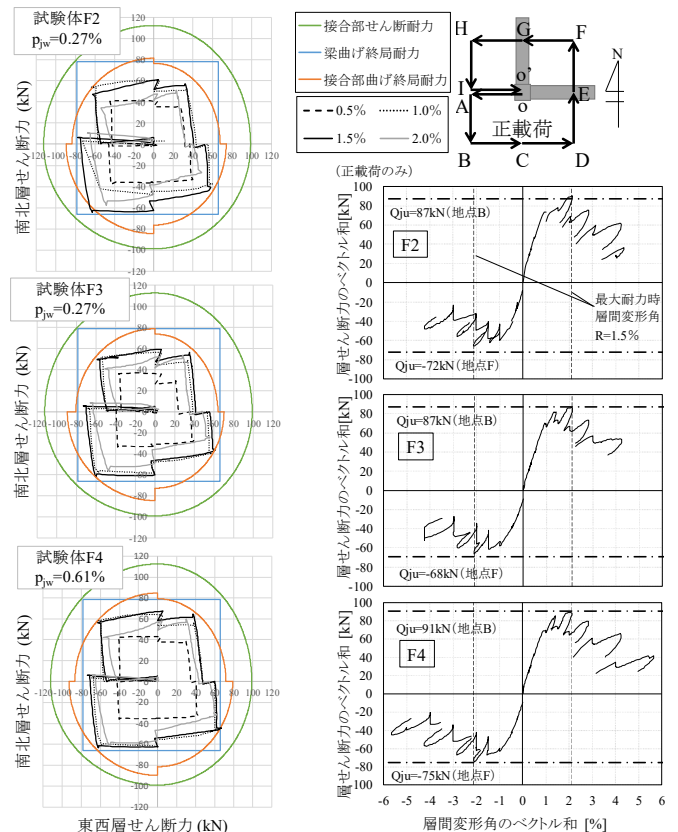


図1 層せん断力の二軸相関

図2 ベクトル和

4. 変形成分

図3に層間変形角に占める柱、梁および接合部の変形成分を積み上げグラフとして示す。東西方向は1方向加力状態（2方向荷重試験体では地点Aと地点Eにおいて軸力変動後のE'）、南北方向は地点BおよびFでの変形成分を表わす。ここで、柱と梁の変形成分は各部材のたわみと危険断面位置での曲げひび割れの開口に起因する回転変形の成分を含む。接合部の変形成分は文献1)及び5)の曲げ変形機構に基づき測定した実験値により算出した^{3),4)}。

1方向荷重試験体F1では、最大耐力を記録した層間変形角2.0%までは梁の変形成分が最も多いが、それ以降は接合部の変形成分の割合が5割以上となり接合部の変形成分が支配的となった。柱の変形成分は負荷荷重時が正荷重時のそれより大きな値を示しており、これは負荷荷重時の圧縮軸力が正荷重時より低く、柱への拘束が相対的に緩和されたためと考える。

2方向荷重試験体でも地点A（西方向加力）において最大耐力となる層間変形角1.5%までは梁の変形が支配的であった。しかし、その後は接合部の変形成分が急増し、層間変形角2.0%で試験体F2およびF3における接合部の変形成分の割合は6割程度となった。なお、試験体F4ではその割合が4割程度であり、接合部横補強筋量の増加によって接合部の曲げ変形が抑制された。また、地点B（南方向加力）および地点F（北方向加力）においても最大耐力に達する以前は梁の変形成分の占める割合が最も大きい、その後は接合部の変形成分が支配的となった。高軸力の作用する地点Bと低軸力の作用する地点Fを比較すると、圧縮軸力が大きくなるほど接合部の変形が拘束され、接合部の変形成分の割合が小さくなる傾向であった。

5. 破壊モードの特定

全試験体において最大耐力以前に柱、梁および接合部横補強筋が降伏し、最大耐力以後の変形成分は接合部が他部位より最も大きくなった。更に、最大耐力実験値が梁曲げ終局耐力計算値にほとんど達しなかった。以上より、全試験体で接

合部曲げ降伏破壊が発生したと判断する。なお、前報で述べた通り全立体試験体で柱主筋が座屈し柱の全体的な形状が「く」の字状に傾き、接合部破壊後の軸崩壊が観察された。軸崩壊については次報（その4）で詳細に検討する。

6. まとめ

その2及びその3から得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 1方向荷重試験体に比べ2方向荷重試験体で柱主筋や接合部横補強筋の降伏時期が早まり、残留ひび割れ幅を含む接合部のひび割れ発生及びコンクリート損傷がより顕著であった。
- (2) 接合部横補強筋量をRC靱性指針による最小横補強筋比の2倍と設定した結果、他の立体試験体に比べ軸力の小さい荷重方向で耐力が約1.1倍上昇し、最大耐力以後の耐力低下も少なかった。接合部損傷を遅らせることもでき、よって接合部横補強筋量の増大は接合部の構造性能の向上及び損傷抑制に有効と言える。
- (3) 層せん断力の二軸相関（2方向荷重状態）を考慮することで、2方向荷重試験体の最大耐力実験値が接合部曲げ終局耐力計算値とほぼ対応する結果となった。本研究で設定した変動軸力の範囲では、1方向加力時の接合部曲げ終局耐力計算値を楕円補間することで、2方向水平荷重時の最大耐力が概ね評価できる。
- (4) 全試験体共通として各方向の最大耐力に達する以前は梁の変形成分の占める割合が最も大きい、最大耐力以後は接合部の変形成分が支配的となった。また、圧縮軸力の大きい方で接合部変形が抑制され、圧縮軸力による接合部への拘束効果が確認された。
- (5) 最大耐力以前に各種鉄筋が降伏したこと、ほぼ全荷重方向で最大耐力実験値が梁曲げ終局耐力計算値を下回ること、また接合部の変形成分の割合等により、全試験体で接合部曲げ降伏破壊が発生したと判断した。
- (6) 接合部コンクリートの損傷、接合部横補強筋フックの抜け出しに伴う柱主筋の座屈、および上下柱の激しい残留傾き等により、2方向荷重試験体では接合部破壊後に軸崩壊に至ったと判断した。一方、1方向荷重試験体では加力

方向の影響によって接合部損傷が相対的に少なくなりましたが、軸崩壊発生直前状態と判断した。

[参考文献]

- 1) 楠原文雄, 塩原等: 鉄筋コンクリート造ト形柱梁接合部の終局モーメント算定法, 日本建築学会構造系論文集, Vol.78, No.693, pp.1949-1958, 2013.11
- 2) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, 1999年
- 3) 片江弘, 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, Vol.80, No.713, pp.1133-1143, 2015年8月
- 4) 石塚裕彬, 北山和宏: 2方向水平力を受ける鉄筋コンクリート造立体隅柱梁接合部の耐震性能及び立体破壊モデルに基づく曲げ終局耐力の評価, 日本建築学会構造系論文集, Vol.81, No.729, pp.1881-1891, 2016年11月
- 5) 楠原文雄, 塩原等: 接合部回転角を含むRC造柱梁接合部部分架構の変形成分と応力およびその測定法, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.2, pp.355-360, 2006年

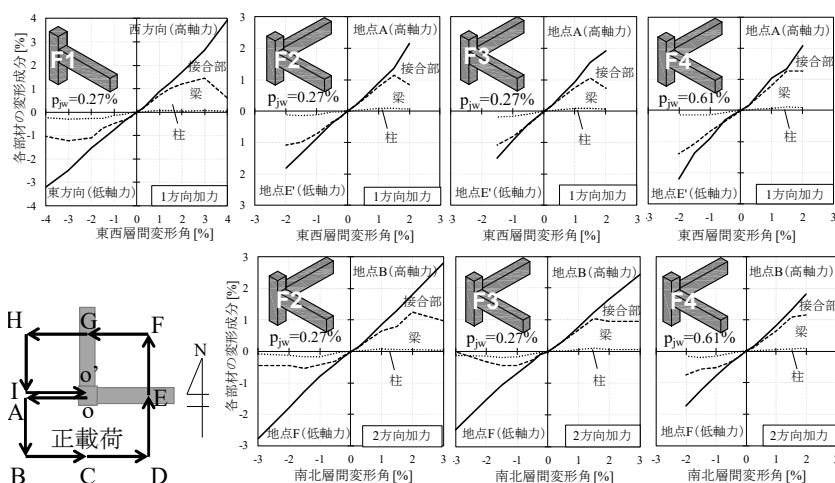


図3 柱、梁および接合部による変形成分

*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 東京工業大学大学院 (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)

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