

降伏破壊する鉄筋コンクリート造側柱梁接合部の構造的な性能評価に関する研究

その2：実験結果及び考察

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

鉄筋コンクリート 側柱梁接合部 二方向水平力
接合部降伏破壊 柱主筋座屈 軸崩壊

1. はじめに

本報では、実験による破壊性状、荷重-変形関係及び層せん断力の二軸相関を考察し、破壊モードについて述べる。

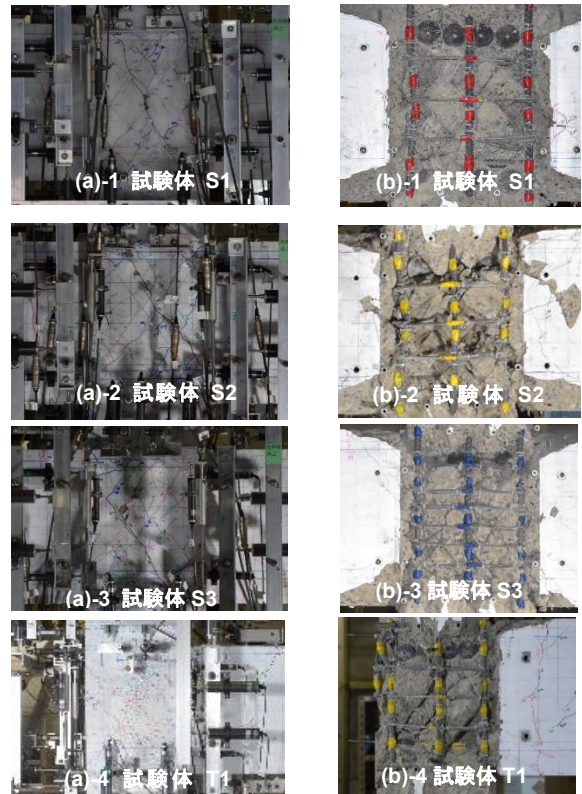
2. 実験結果

2.1 破壊性状及び荷重-変形関係

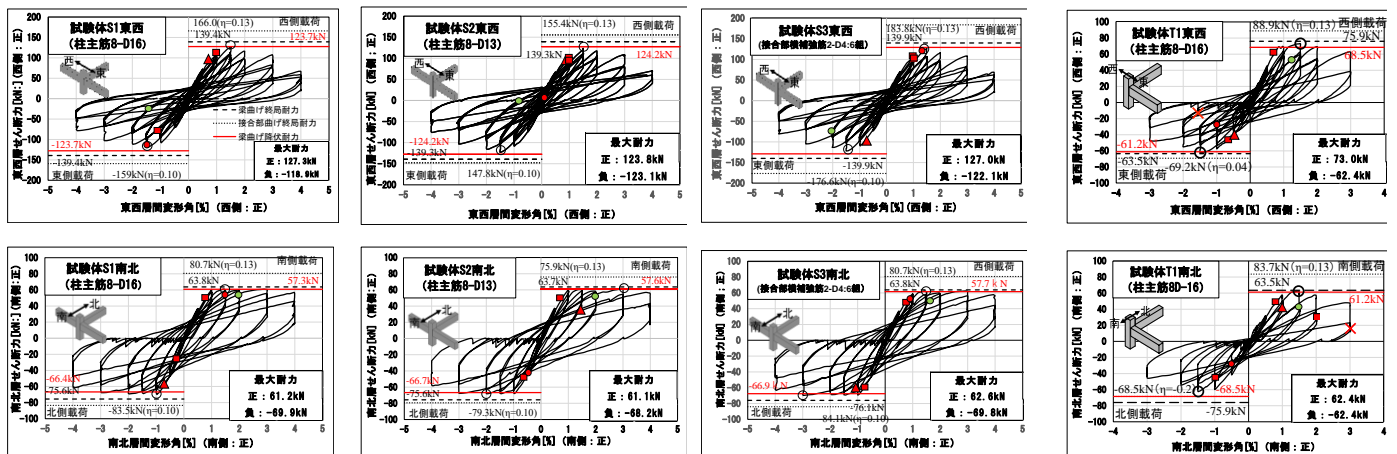
層間変形角 $R=1.5\%$ (最大耐力到達時あるいは直後) 終了時の損傷状況と最終破壊状況を写真1に、東西及び南北一方向の層せん断力-層間変形角関係を図1に示す。本実験の比較対象 T1¹⁾の結果も並列に示す。層せん断力は測定した梁せん断力を用いてモーメントの釣り合いから算出した。図中の梁曲げ降伏時(赤線)と梁曲げ終局時(破線)の層せん断力計算値を求める際は断面解析を用い、それぞれ引張鉄筋の降伏時、圧縮縁コンクリートのひずみが0.003に至る時とした。接合部曲げ終局耐力(点線)^{2),3)}は水平一方向載荷時の計算値を示す。

$R=0.25\%$ では全試験体で梁に曲げひび割れが観測された。 $R=0.5\%$ では柱に曲げひび割れが発生し、柱主筋比の小さい試験体 S2 で柱主筋の引張降伏が生じた。 $R=1.0\%$ では、全試験体の接合部内に明瞭な主対角ひび割れが生じ、梁主筋及び接合部横補強筋の引張降伏が見られた。 $R=1.5\%$ では、S1 及び S3 で柱主筋の引張降伏が生じ、ほぼ全ての方向で最大耐力を迎えた。また、接合部内の斜めひび割れが進展・拡幅し、かぶりコンクリートの一部剥落も見られた。このとき、図1の層せん断力-層間変形角関係において、ほぼ全方向で最大耐力が梁曲げ降伏耐力(赤線)に到達・接近した。 $R=2.0\%$ では、全試験体で東西方向の耐力が低下し、柱主筋の圧縮降伏が生じた。また、接合部パネル上部のかぶりコンクリートの圧壊が進行し、S2 及び S3 では圧壊によって柱主筋の露出が見られた。 $R=3.0\%$ では、全試験体で接合部のかぶりコンクリート圧壊が更に進み、

南面の柱主筋が露出し、座屈の兆候が見られた。S1 及び S2 では接合部コアコンクリートの損傷も激しくなった。一方、接合部横補強筋を分散配置した S3 では、S1 及び S2 と比較して接合部コアコンクリートの損傷が少なかった。 $R=4.0\%$ では全試験体



a) 層間変形角 1.5% 終了時 写真1
b) 最終破壊状況 破壊状況



○ 最大耐力 ■ 梁主筋降伏 ● 柱主筋引張降伏 ● 柱主筋圧縮降伏 ▲ 接合部横補強筋降伏 ✖ 接合部軸崩壊

図1 層せん断力-層間変形角関係

で柱主筋の座屈が進展し、接合部コアコンクリートが圧壊した。このとき、目視による接合部の損傷はS3で最も軽微であり、柱主筋比の小さいS2で最も激しかった。

試験体S1及びS3はR=4.0%第2サイクルまで荷重を完了し、実験を終了した。一方、実験装置の制約上、三軸一点クレーブスの上限回転角7.5度になる時点が荷重許容範囲であり、柱主筋比の小さい試験体S2ではその限界を迎えたため、R=4.0%地点M到達直前で荷重を終了した。実験終了時の柱主筋の座屈状況とコアコンクリートの損傷状態から、全試験体で軸崩壊寸前であったと判断した。S2では柱主筋比が1.06%とS1・S3の1.65%に比べて小さく、柱主筋比の減少が軸崩壊までの時期を早めた。なお、図1から最大耐力以後の耐力低下度合についてS1とT1を比較すると、両試験体とも東西方向では最大耐力発揮後に層せん断力が大きく低下した一方で、南北方向ではS1の耐力低下が少ないことが分かる。両側の直交梁による拘束効果がト形方向の耐力低下抑制に寄与した可能性が考えられる。ただし、第2サイクルでの耐力低下度合を確認したところ、R=3.0%以後は、最大耐力の80%以下に低下した。直交梁による接合部降伏破壊への影響は今後の検討課題とする。

2.2 層せん断力の二軸相関

図2に層せん断力の二軸相関を示す。同図は東西及び南北方向のR=0.5%から2.0%（最大耐力到達後）における、第1サイクルで層せん断力が描く軌跡を表す。梁曲げ降伏耐力及び梁曲げ終局耐力線は矩形、接合部せん断終局耐力線は楕円形とした。接合部曲げ終局耐力線は水平1方向荷重時の耐力計算値を楕円補間し、軸力が変化する地点（東西軸上）ではその差分を直線で結んだ。横軸及び縦軸はそれぞれ荷重経路図（その1の図5）の東西軸及び南北軸に一致するため、第1サイクルで層せん断力の描く軌跡は西地点Aから反時計回りに推移する。全試験体で層せん断力の描く軌跡が接合部せん断終局耐力よりも大幅に内側に位置しているため、接合部のせん断破壊は生じていないと判断した。

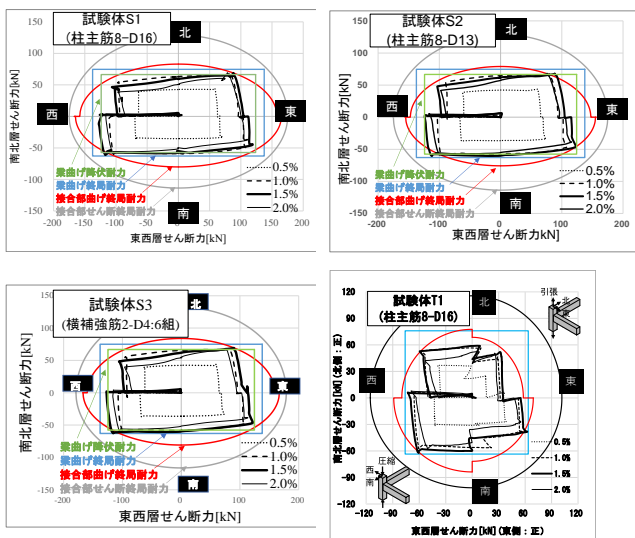


図2 層せん断力の二軸相関（第一サイクルのみ）

R=0.5%（点線）ではいずれの試験体も接合部の損傷が軽微であったため、変形保持方向の耐力は殆ど低下せず、層せん断力の描く軌跡が矩形であった。一方、R=1.0%（破線）では各種鉄筋が随所で降伏し、層せん断力の描く軌跡は僅かに曲線状となった。R=1.5%（太実線）では何れの試験体も最大耐力を迎え、一方向荷重となる西地点で梁曲げ降伏に至った後、二方向荷重となる南西地点で接合部曲げ終局耐力線（赤線）に達した。最大耐力以降のR=2.0%（細実線）では全試験体で接合部損傷進展に伴い水平耐力が低下した。

3. 破壊モードについて

全試験体で最大耐力に到達したR=1.5%までに柱主筋・梁主筋・接合部横補強筋の引張降伏が確認された（図1）。R=1.5%では全荷重方向で層せん断力が梁曲げ降伏耐力に到達もしくは接近したことから、同時期に梁曲げ降伏へ至ったと考えられる。一方向荷重時の最大耐力発揮後、二方向荷重時に層せん断力が接合部曲げ終局耐力計算値に南西地点及び北東地点で到達しており（図2）、本実験の荷重経路から判断すると、R=1.5%の南西地点で接合部降伏破壊が生じたと考える。即ち、全試験体で一方向荷重時の最大耐力到達まで梁曲げ降伏が生じたが、水平二方向荷重により接合部損傷が激しくなったため、梁曲げ終局には至らず、接合部降伏破壊したと判断される。その後、全試験体で接合部コアコンクリートの圧壊に伴い柱主筋が柱梁接合部内で座屈し、軸崩壊へ向かう挙動へ転じた。本傾向は、主筋比の小さいS2で最も激しく、接合部横補強筋を分散配置したS3で少ない傾向を示した。なお、軸崩壊へ向かう挙動については今後更なる検討を行う予定である。

4. まとめ

本報から得られた知見を以下に示す。

- 1) 全試験体において最大耐力を経験したR=1.5%で一方向の西方向荷重時に梁曲げ降伏に至り、その後二方向の南西方向荷重時に接合部降伏破壊が生じた。
- 2) 柱主筋比が1.65%から1.06%と小さくなることで主筋降伏や接合部軸崩壊の時期が早まり、接合部軸崩壊へ不利に働いた。
- 3) 接合部横補強筋比を同等にしながらも2-D6（3組）から2-D4（6組）へと分散配置することで、接合部損傷が抑えられ、接合部軸崩壊抑制へ有利に働くことが確認された。
- 4) 側柱梁試験体では、接合部両側に直交梁が取り付け荷重方向にて接合部降伏後も耐力低下が抑えられた。R=3%第2サイクルで軸崩壊した既往の隅柱梁試験体と比較すると、側柱梁試験体ではR=4%第2サイクル以降と軸崩壊時期が遅れた。側柱梁接合部では両側の直交梁が接合部を拘束することで水平耐力保持能力が向上し、軸崩壊の抑制に寄与した。

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。試験体製作に当たり、東京鐵鋼（株）より鉄筋を提供して頂き、実験実施や検討に元明治大学の磯崎将吾氏、川合浩平氏の協力を得た。ここに記して御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 石川巧真, 村野竜也, 佐野由宇, 晋沂雄, 北山和宏: 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1~4), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.371-378, 2021年9月
- 2) 楠原文雄, 塩原等: 鉄筋コンクリート造十字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.75, No.657, pp.2027-2035, 2010年11月
- 3) 楠原文雄, 塩原等: 鉄筋コンクリート造T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年11月

*1 野村建設工業株式会社（元明治大学大学院生） 修士（工学）
 *2 株式会社ピーエス三菱（元東京都立大学大学院生） 修士（工学）
 *3 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）
 *4 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 Nomura Construction Industrial Co & Engineering Firm, M. Eng.
 *2 P.S. Mitsubishi Construction Co & Engineering Firm, M. Eng.
 *3 Associate Professor, Meiji Univ., Dr. Eng.
 *4 Professor, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.