

降伏破壊する鉄筋コンクリート造側柱梁接合部の構造性能評価に関する研究

その1: 実験概要

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

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

1. 研究背景

現在の鉄筋コンクリート造の柱梁接合部において従来はせん断破壊を防止する設計がなされている。一方、塩原は柱梁接合部の新たな破壊機構^{2)~4)}を提案し、この破壊では十分なせん断余裕度を確保していても、柱梁曲げ耐力比(柱と梁の曲げ終局モーメントの比)が1に近い場合は接合部に損傷が集中し、想定する梁曲げ耐力を十分発揮できないことを指摘した。実際、2016年の熊本地震では5階建てRC庁舎が外周の側柱梁接合部の軸崩壊によってほぼ倒壊した被害が報告された⁵⁾。

接合部降伏破壊に関する研究は、塩原らによる平面試験体を用いた検証実験を中心に行われてきた。しかし、それらの実験では軸力が未載荷である、あるいは軸力の導入がなされていても、平面試験体を対象としており、実建物を十分に模擬していると言えない。石川・北山らは、立体隅柱梁部分架構に引張から圧縮まで変動する柱軸力及び二方向水平力を導入する静的載荷実験を行った⁶⁾。その結果、引張変動軸力比(全柱主筋の降伏時引張力に対する柱軸力の比)が0.2程度の範囲では接合部降伏破壊及びその後の軸崩壊に及ぼす影響が小さいこと、柱主筋比及び径の増大が軸崩壊防止に寄与すること等がわかった。一方、実建物の柱梁接合部においてより多くを占める側柱梁接合部に二方向水平力及び変動軸力を導入した研究は殆どない。前述の通り、側柱梁接合部の破壊は過去の被害建物においても層崩壊の要因と考えられる。そこで本研究では、中低層RC建物の側柱梁接合部に着目し、立体側柱梁部分架構に二方向水平力と変動軸力を与え、接合部降伏破壊時の構造性能について実験的に検討する。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

表1に材料特性、表2に試験体概要、図1に試験体配筋を示す。本研究では立体側柱梁部分架構試験体を3体(S1, S2, S3)計画した。柱断面寸法(310×310mm)、梁幅(250mm)、梁せい(400mm)は既往試験体T1⁶⁾と同じとし、全試験体共通とした。実験変数は梁本数、柱主筋径・主筋比、接合部横補強筋径・本数である。S1及びS3の柱主筋は試験体T1⁶⁾と同配筋の8-D16とし、隅柱梁接合部T1に梁が一本取り付いた場合の柱梁接合部の構造性能について比較・検討する。S2では柱主筋の径を8-D13と小さくし、柱主筋比をS1の1.65%から1.06%とした。これは文献⁵⁾の被害建物で層崩壊の要因となった4階側柱の主筋比(0.84%)にほぼ近い。本設定により、柱主筋の座屈とその後の軸崩壊までの挙動を検討するとともに、実被害建物と同様の層せん断力の二軸相関を有する場合(その2を参照)の地震時挙動や破壊機構の再現を目的とする。また、接

合部横補強筋を分散配置することで柱主筋の座屈を抑制し、軸崩壊を抑制する効果があると考え、S3では接合部横補強筋をS1の2-D6(SD345)・3組から2-D4(SD295A)・6組へ変更した(図2)。接合部横補強筋比(梁主筋上下の重心間距離と柱幅との積に対する接合部横補強筋の全断面積の比)を p_{jw} ⁷⁾とし全試験体で同等とした。表1の接合部横補強筋D4及びD6

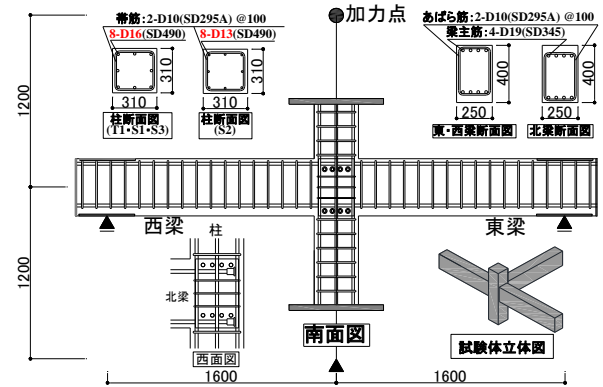


図1 試験体配筋及び断面形状

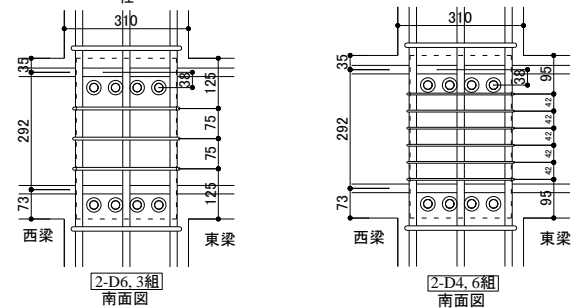


図2 接合部配筋

表1 材料特性

コンクリート	圧縮強度 [N/mm ²]	圧縮強度時ひずみ [%]	割線剛性 [kN/mm ²]	割裂引張強度 [N/mm ²]
試験体S1	63.8	0.27	33	4.17
試験体S2	63.8	0.26	33.5	4.21
試験体S3	65.9	0.25	34.8	4.25

鋼材	降伏応力度 [N/mm ²]	降伏ひずみ [%]	引張強さ [N/mm ²]	破断伸び [%]
D4(SD295A)	397.7	0.39	556.6	16.8
D6(SD345)	373.2	0.38	547.3	22.9
D10(SD295A)	369.7	0.18	504.5	20.2
D13(SD490)	552.8	0.27	729.3	15.0
D16(SD490)	515.5	0.25	687.5	14.8
D19(SD345)	381.9	0.19	545.0	20.0

の降伏応力度は0.2%offset法によるが、降伏ひずみには、材料試験による応力度-ひずみ関係をバイリニアモデルに置換したときの二次勾配開始点(0.19%, 0.21%)をそれぞれ用いた。ト形方向の梁主筋は接合部内に機械式定着とし、定着長さは柱せいの0.84倍の260mmである。

本実験では中層建物の中層部を想定し、全試験体の上柱に与える長期軸力比を0.10と設定した。既往の隅柱梁接合部の実験結果⁹⁾から-0.2程度の引張変動軸力が柱梁接合部の軸崩壊に与える影響が小さいこと、側柱梁接合部では変動軸力幅がより小さいことを考慮し、軸力比の変動幅は長期から最大圧縮まで0.10~0.13とした。以上の設定による柱梁曲げ耐力比を図3に示す。梁及び柱の曲げ終局耐力は平面保持を仮定した断面解析により算出し、圧縮縁のコンクリートのひずみが0.003に至るときを曲げ終局時とした。柱梁曲げ耐力比が最も小さい北東及び北西地点で接合部降伏破壊が生じ、その後圧縮軸力が最大となる地点で軸崩壊が発生することを想定した。接合部曲げ終局耐力は文献^{2),3)}に基づき算出した。文献⁷⁾による強度低下率 β_j は曲げ終局耐力に対する接合部曲げ終局耐力の比であり、1方向載荷時の β_j は1.05~1.27である。

2.2 載荷計画

本実験の加力装置を図4に示す。加力は柱頭の三軸一点クレビスを介し、変位制御の水平ジャッキ2基と荷重制御の鉛直ジャッキ1基により行った。柱脚はピン支持、梁端はローラー支持であり、梁は東・北・西に設置した。3つの梁の支持条件および柱芯から梁端支持点(反曲点)までの距離(1,600mm)は共通である。試験体の柱軸まわりの回転は水平パンタグラフにより拘束した。図5に柱頭に与える水平力の載荷経路を示す。立体試験体の柱頭載荷経路は基準試験体⁹⁾と同様「ロ」の字形とし、第一サイクルでは原点から西方向に所定の変位を与え、その変位を保ったまま南方向に変位を与え、以降反時計回りに一周し原点に戻る。第二サイクルは東方向に所定の変位を与えた後に、時計回りに一周する。層間変形角 R (柱頭層間変位を柱の支持点間距離2,400mmで除した値)0.25%・0.5%・1.0%・1.5%・2.0%・3.0%・4.0%をそれぞれ載荷し、 $R=0.25%$ のみ第一サイクル、その他の層間変形角では第一及び第二サイクルを一回ずつ載荷する。前述の通り、長期に対する軸力比を0.10と設定し、南北方向への載荷時は目標軸力比が0.10(北)~0.13(南)に達するように制御した(図5)。即ち、第一サイクル(反時計回り載荷)では地点A及び地点Eで、第二サイクル(時計回り載荷)では地点J及び地点Nで軸力を変動させ、それ以外の区間は一定軸力とした。軸崩壊の判定には、柱梁接合部内の柱主筋の局部座屈、コアコンクリートの剥落や膨脹およびそれに伴う上下柱の相対回転角の急増によって接合部が著しく損傷する時期等の実験データを用いる。

3. まとめ

本報では、鉄筋コンクリート側柱梁部分架構の耐震性能に関する構造実験の概要を報告した。謝辞はその2に示す。

表2 試験体概要

試験体名	T1	S1	S2	S3	
試験体形状	隅柱梁接合部		側柱梁接合部		
梁	幅×せい	250[mm]×400[mm]			
	主筋	下端・上端ともに4-D19(SD345)			
	あばら筋	2-D10(SD295A)@100			
柱	幅×せい	310[mm]×310[mm]			
	主筋	8-D16(SD490)	8-D13(SD490)	8-D16(SD490)	
	柱主筋比	1.65[%]	1.06[%]	1.65[%]	
	帯筋	2-D10(SD295A)@100			
軸力[kN]	170~850	603~811	591~782	613~812	
軸力比	-0.20~0.13		0.10~0.13		
接合部横補強筋	2-D6(SD345)@75.3組 $\rho_{jw}=0.21[%]$			2-D4(SD295A) @42.6組 $\rho_{jw}=0.19[%]$	
柱梁曲げ耐力比	0.80~3.31	1.10~3.18	0.91~2.72	1.11~3.23	
接合部せん断余裕度	1方向載荷	1.6	1.26~1.78	1.26~1.78	1.53~1.95
	2方向載荷	1.1	1.01~1.03	1.01~1.03	1.17~1.20
強度低下率 β_j	1方向載荷	0.90~1.32	1.10~1.27	1.05~1.19	1.11~1.26

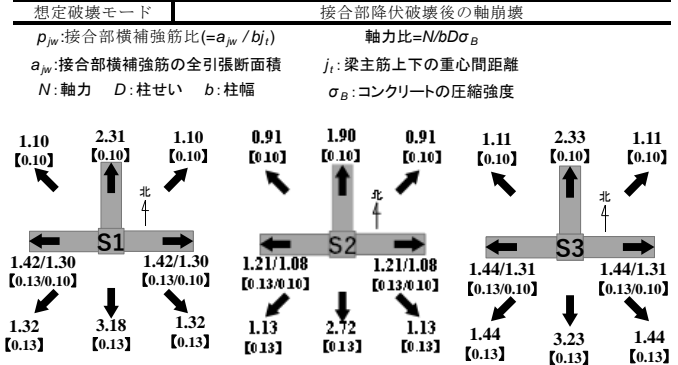


図3 方向別の柱梁曲げ耐力比 (【】内は上軸力比)

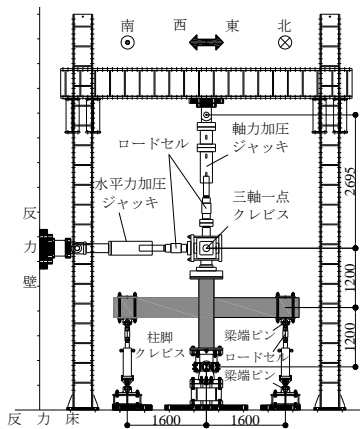


図4 加力装置

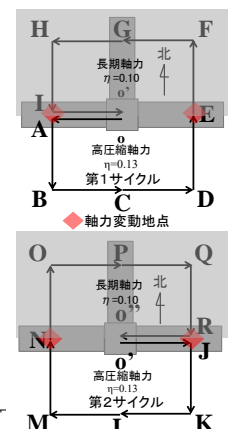


図5 載荷経路と軸力比

参考文献

- 1) 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
- 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.2027-2035，2010.11
- 3) 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
- 4) 塩原等：鉄筋コンクリート柱梁接合部：終局強度と部材端力の相互作用，日本建築学会構造系論文集，Vol.74，No.635，pp.121-128，2009.1
- 5) 国立研究開発法人建築研究所：熊本地震で被災した鉄筋コンクリート造建築物を対象とした地震後継続使用確保に資する検討，建築研究資料，第9章，No.204，2021.10
- 6) 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.371-378，2021.9
- 7) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準・同解説，2021年2月

*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 野村建設工業株式会社(元明治大学大学院生) 修士(工学)
 *3 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)
 *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 Nomura Construction Industrial Co & Engineering Firm, M. Eng.
 *3 P.S. Mitsubishi Construction Co & Engineering Firm, M. Eng.
 *4 Associate Professor, Meiji Univ., Dr. Eng.