

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1：実験概要

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

1. はじめに

鉄筋コンクリート (RC) の柱梁接合部に対して従来は、せん断破壊を防止する設計が為された¹⁾。塩原は²⁾柱梁接合部の曲げ抵抗機構による破壊 (以下、接合部降伏破壊) を提唱し、十分なせん断余裕度を確保しても、柱の梁に対する曲げ耐力の比 (柱梁耐力比) が 1 に近い場合は接合部降伏破壊を生じて、梁曲げ終局耐力を発揮できないことを指摘した。特に、中低層 RC 建物の柱梁接合部では降伏破壊が生じやすいと考えられ、接合部に損傷が集中し建物が部分崩壊に至ったと考えられる被害が報告された³⁾。

立体隅柱梁接合部の軸崩壊機構に関する研究は Hassan・Moeble⁴⁾ により行われ、Shear-Friction モデルに基づく接合部軸崩壊時の変形性能評価式を提案した。しかし、この研究では接合部のせん断破壊に着目しており、接合部内に横補強筋が配されていないなど、日本の実情と異なる点が存在する。立体隅柱梁接合部の降伏破壊を検証した研究には片江ら⁵⁾、石塚ら⁶⁾があり、いずれも一定軸力下での実験であったが接合部軸崩壊の兆候が見られたことを報告した。崔ら⁷⁾は立体隅柱梁部分架構がせん断破壊しても軸力比 0.9 程度まで軸支持能力を保持したことを示したが、降伏破壊する接合部の軸力支持性能に着目した実験研究は村上ら⁸⁾・西田ら⁹⁾による平面試験体を用いた研究等があるのみで数少ない。

そこで本研究では、隅柱梁部分架構に変動軸力および2方向水平力を静的載荷する実験を行い、軸力および接合部横補強筋量が接合部降伏破壊とその後の軸崩壊に与える影響を検証する。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

図1に試験体の配筋、表1に試験体諸元および材料特性を示す。本研究では立体隅柱梁部分架構試験体3体および比較用の平面ト形試験体1体を作製した。実験変数は柱軸力および接合部補強筋量である。柱断面寸法 (310×310mm)、梁幅 (250mm)、梁せい (400mm) は全試験体で共通であり、平面試験体 F1 は立体試験体 F2, F3 の東西方向と共通の配筋である。梁主筋は接合部内に機械式定着し、定着長さは 260mm で柱せいの 0.84 倍である。試験体 F1, F2, F4 は中層建物の低層部、試験体 F3 は同じく中層部を想定し、それぞれの長期軸力比は 0.07 および 0.04 とした。変動軸力は試験体 F1, F2, F4 では梁せん断力に比例させたが、試験体 F3 では最大耐力後の梁せん断力の低下に伴う軸力低下を考慮しない場合を想定し、層間変位に比例させた。梁主筋降伏時の引張力に対する接合部横補強筋降伏引張力の比として定義される接合部補強比は F1, F2, F3 の 17% に対し、F4 のみその二倍の 33% とした。表1に示す鉄筋 D6 の降伏ひずみ (0.40%) は 0.2% オフセット法によるが、(その2) 以降の実験結果の検討における D6 の降伏判定では材料試験による応力-ひずみ関係をバイリニアモデルに置換

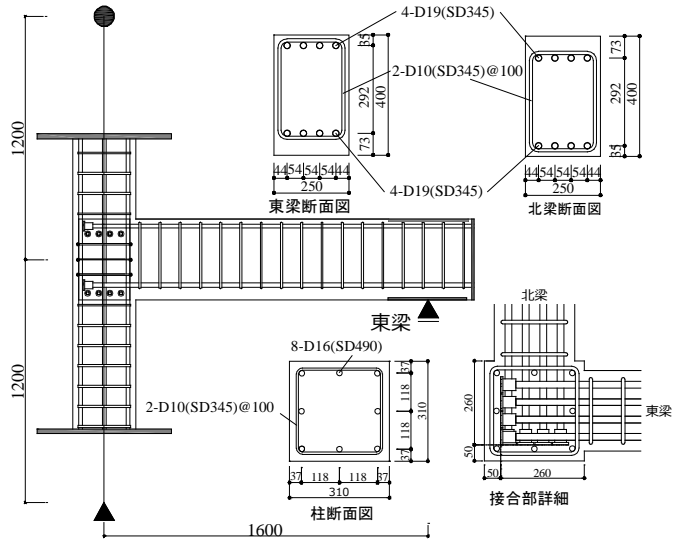


図1 試験体の配筋

表1 試験体諸元および材料特性

試験体名	F1	F2	F3	F4
試験体形状	平面ト形柱梁部分架構		立体隅柱梁部分架構	
柱 (310×310mm)	主筋 8-D16(SD490), pg=1.65% 帯筋 2-D10(SD295A)@100			
梁 (250×400mm)	主筋 上端下端ともに4-D19(SD345), pt=1.26% or 1.40% あばら筋 2-D10(SD295A)@100			
接合部	横補強筋 2-D6(SD345), 3組 pjw=0.27%		2-D10(SD295A), 3組 pjw=0.61%	
接合部補強比	17%		34%	
上柱	正載荷	軸力 840 [kN] 軸力比 0.13		
	負載荷	軸力 33 [kN] 軸力比 0.01	軸力 154 [kN] 軸力比 0.02	軸力 0 [kN] 軸力比 0
柱梁曲げ耐力比	1.66-2.65	1.15-3.13	0.97-3.13	1.12-3.13
接合部せん断余裕度	1方向入力	1.44		
	2方向入力	1.02		
強度低下率 β ₁	1.02-1.20	0.96-1.38	0.90-1.38	1.03-1.47
想定破壊モード	接合部曲げ降伏破壊後の軸保持性能低下		接合部曲げ降伏破壊後の軸崩壊	

pg: 柱主筋比, pt: 引張鉄筋比 (pt=at/bd), pjw: 接合部横補強筋比 (pjw=aw/b)

aw: 一組のせん断補強筋断面積, b: 柱幅, s: 接合部横補強筋の間隔

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 [%]
D6(SD345)	412	0.40	598	21
D10(SD295A)	368	0.18	519	20
D16(SD490)	533	0.26	702	19
D19(SD345)	402	0.20	565	23

※鉄筋D6の降伏点は0.2%オフセット法により定めた。

コンクリート	圧縮強度 [N/mm ²]	圧縮強度時ひずみ [%]	ヤング係数 [kN/mm]
全試験体共通	66.3	0.24	36.1

※コンクリートのヤング係数は圧縮強度の1/3時の割線剛性とした。

したときの2次勾配開始点である0.21%を使用した。梁およ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、柱梁耐力比を求めた。柱梁耐力比は加力方向および柱軸力比により変化するので、その値を図2に示す。括弧内の数値は各方向で変

動する柱軸力比である（後述）。1 方向加力時の接合部せん断余裕度は全試験体で約 1.4 とし、柱梁接合部のせん断破壊を防止した。文献¹⁰⁾で定める強度低下率 β_j は、梁曲げ終局耐力に対する接合部降伏耐力の比であり、接合部降伏耐力は文献¹¹⁾に基づき算出した。

2.2 加力計画

図 3 に加力装置、図 4 に柱頭に与える载荷経路を示す。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、梁は東と北に設置した。2つの梁の支持条件および柱芯から梁端支持点までの距離（1600mm）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。立体試験体の柱頭の载荷経路は口の字形とし、第 1 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 2 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（柱頭層間変位を柱の支持点間距離 2400mm で除した値）0.25%、0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、3.0%、4.0%をそれぞれ载荷し、層間変形角 0.25%のみ第 1 サイクル、その他の層間変形角では第 1 および第 2 サイクルを 1 回ずつ载荷した。一方、平面試験体は 1 方向正負交番繰り返し载荷とし、層間変形角 0.25%を 1 サイクル、その他の層間変形角では立体試験体の柱頭が描く累積変位量と等しくするために 5 サイクルずつ载荷した。

図 5 に軸力変動ルールを示す。試験体 F3 のみは層間変位角に比例して軸力を変動させた。加力方向により、上柱が梁から遠ざかる方向を正側、上柱が梁に近づく方向を負側とした。軸力は正側で高圧縮、負側で低圧縮となるよう上柱の軸力を変動させた。平面試験体の軸力は東西方向の梁せん断力に比例して常に変動するが、立体試験体では図 6 のように鉛直時の柱頭加力点を原点とした平面座標系において象限ごとに変化する一定軸力を与えることで軸力変動を簡略に考慮した。平面試験体と同様に原点から地点 A および地点 R から原点の区間は軸力を常に変動させ、それ以外の区間は一定軸力となる。軸力変動点である地点 A および E では東梁のせん断力あるいは東西層間変位に、地点 L および P では北梁のせん断力あるいは南北層間変位に比例させ軸力を変動させた。

柱梁耐力比は 2 方向負荷時（地点 F および Q）が最も小さく、その地点で接合部降伏破壊が発生し、軸力が最大である正载荷時（地点 B および M）に軸崩壊が発生することを想定した。ここで平面試験体を用いた既往実験⁸⁹⁾と同等の破壊モードとなることを仮定した。本実験では柱梁接合部内の柱主筋が局所的に座屈しコアコンクリートの顕著な剥落と共に、上柱と下柱との間の相対回転角が急増した時点（その 4 参照）で接合部軸崩壊が発生したと判断し加力を終了した。なお、試験体 F4 では層間変形角 4.0%の加力サイクルを終了後に柱梁接合部の残存軸耐力を評価するため、2 方向水平力を除荷した後に軸圧縮試験を行った（その 2 参照）。

3. まとめ

本報（その 1）では、RC 隅柱梁部分架構の耐震性能評価に関する構造実験の概要を報告した。謝辞は（その 5）に示す。

- *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）

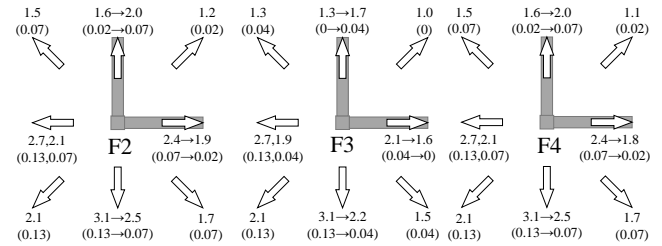


図 2 各試験体の加力方向ごとの柱梁耐力比（軸力比）

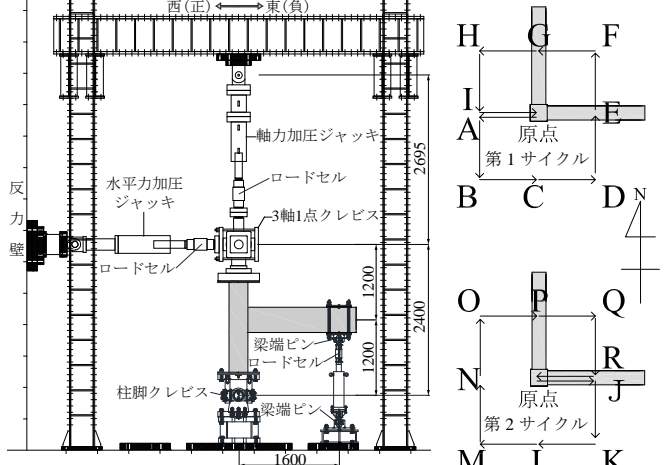


図 3 加力装置

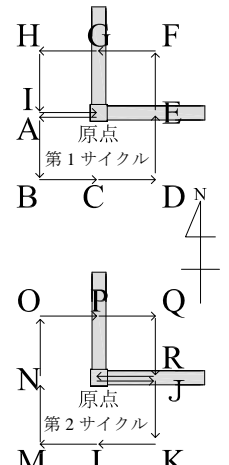


図 4 载荷経路

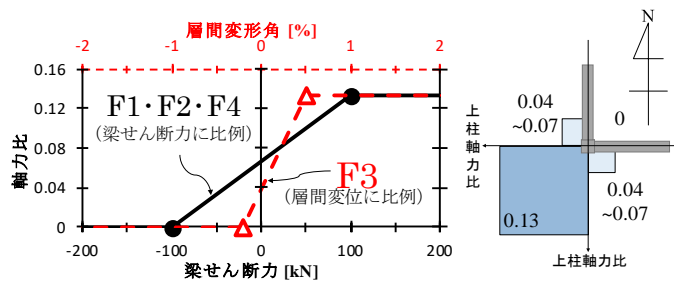


図 5 軸力変動ルール

図 6 軸力概念図

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) 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
- 3) 齋藤真也、向井智久、塩原等：2016 年熊本地震により被災した鉄筋コンクリート造庁舎の柱梁接合部に關する検討、コンクリート工学年次論文集、第 40 巻第 2 号、pp.1039-1044、2018 年。
- 4) W. M. Hassan, and J. P. Moehle: Quantification of Residual Axial Capacity of Beam-column Joints in Existing Concrete Buildings under Seismic Load Reversals, 4th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, Kos Island, Greece, 12-14 June 2013.
- 5) 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。
- 6) 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およ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、第 81 巻、第 729 号、pp.1881-1891、2016 年 11 月。
- 7) 崔建宇、藤井栄、渡邊史夫：二方向荷重をうける隅柱・梁接合部のせん断性能と柱軸力の関係、コンクリート工学年次論文集、第 24 巻第 2 号、pp.451-456、2002 年。
- 8) 村上久志、Hu Yanbing、晋沂雄、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。
- 9) 西田智康、鈴木裕介、前田匡樹：変動軸力の大きさが接合部降伏する T 型柱梁接合部の破壊性状及び構造性能に与える影響に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文集、第 41 巻第 2 号、pp.253-258、2019 年。
- 10) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算基準（案）・同解説、2016
- 11) 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、2013.11

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