

RC 隅柱梁接合部の降伏破壊および軸崩壊に与える接合部横補強筋配置の影響に関する研究 その1：実験概要および結果

鉄筋コンクリート 隅柱梁接合部 接合部横補強筋
接合部降伏破壊 軸崩壊 柱主筋座屈

正会員 ○原川 洸*1 同 宮坂 綸宝*2
同 北山 和宏*3 同 晋 彦雄*4

1. はじめに

地震動によって三方向加力される鉄筋コンクリート (RC) 柱梁接合部が降伏破壊¹⁾した後に柱軸力を保持できなくなる現象 (軸崩壊) を生じることが既往の実験研究²⁾³⁾で明らかになった。2016年の熊本地震ではRC中層建物の柱梁接合部が降伏破壊後に軸崩壊する被害を生じた⁴⁾。

文献⁵⁾より立体外周柱梁部分架構において接合部横補強筋を密に配置することで柱主筋の座屈を抑え、軸崩壊を遅らせ得ることが示されたが、立体隅柱梁部分架構において接合部横補強筋を密に配置した実験研究はない。そこで立体隅柱梁部分架構の接合部横補強筋を密に配置した試験体に三方向地震力を導入する静的加力実験を行い、接合部横補強筋の配置による接合部の降伏破壊および軸崩壊への影響を検討する。

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。本研究では接合部横補強筋としてD6を75mm間隔に3組配置した既往試験体F3²⁾を基準に接合部横補強筋の径と本数を実験変数とし、D4のフープ筋を42mm間隔で6組配置した立体隅柱梁部分架構試験体F5を作成した。これは、接合部横補強筋比を同等のままその間隔を狭くすることでコアコンクリートに対する拘束を向上させ、柱主筋の座屈を抑制し接合部降伏破壊後の軸崩壊防止に寄与できると考えたためである。文献³⁾より引張軸力の影響が少なかったことから試験体F3に引張軸力を導入した既往試験体T1³⁾とも比較した。

梁主筋降伏時の引張力に対する接合部横補強筋降伏時の引張力の比として定義される接合部補強比は、試験体F5で19.0%、F3で17.0%、T1で15.4%である。柱梁曲げ耐力比は載荷方向および柱軸力比によって変化するため、その値を図2に示す。括弧内の数値は柱軸力比である。梁および柱の曲げ終局耐力は平面保持仮定の断面解析により、圧縮縁コンクリートのひずみが0.003に至る時とした。

2.2 載荷計画

図3に載荷装置、図4に柱頭に与える水平力の載荷経路を示す。載荷は三軸一点クレーブスを介し水平2方向および鉛直方向の計3基のジャッキにより行った。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。両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 (1600mm) は全試験体で共通である。柱軸回りの回転は水平パンタグラフにより拘束した。柱頭の載荷経路は口の字形とし、第一サイクルでは原点から西方向 (図4の載荷地点A) に所定の変位を与え、その変位を保ちつつ南方向 (地点B)

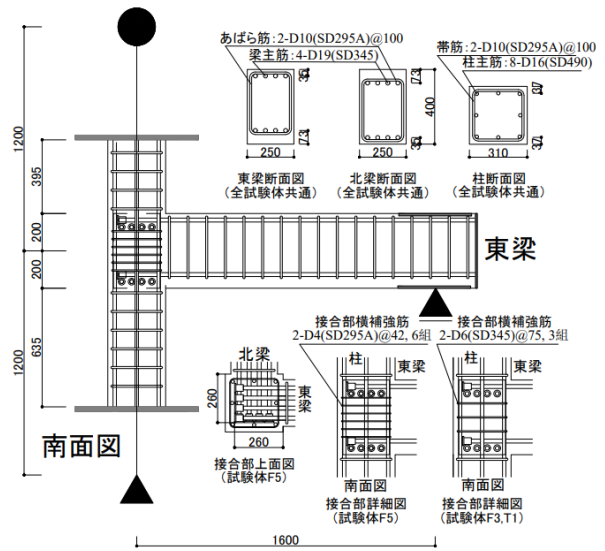


図1 試験体の配筋

表1 試験体諸元および材料特性

試験体名	F5	F3 ²⁾	T1 ³⁾
試験体形状	立体隅柱部分架構		
梁	幅×せい	250[mm]×400[mm]	
	主筋	上端・下端ともに4-D19(SD345)	
柱	あばら筋	2-D10(SD295A)@100	
	幅×せい	310[mm]×310[mm]	
	主筋	8-D16(SD490)	
上柱	柱主筋比	1.65%	
	帯筋	8-D10(SD295A)@100	
接合部横補強筋	軸力	0~802[kN]	0~840[kN]
	軸力比	0~0.13	0~0.13
接合部補強比	19.0%	17.0%	15.4%
柱梁曲げ耐力比	0.98~3.18	0.96~3.14	0.80~3.31

p_{jc} : 接合部横補強筋比(= $a_{jc}/(b_j)$) 圧縮軸力比(= $N/(bD\sigma_c)$ (正号) 引張軸力比(= $N/(a_c\sigma_s)$ (負号)
 a_{jc} : 接合部横補強筋の全断面積 b_j : 柱幅 j_s : 梁主筋上下の重心間距離 N : 軸力(圧縮:正)
 D : 柱せい σ_c : コンクリートの圧縮強度 a_c : 柱主筋の全断面積 σ_s : 柱主筋の降伏応力度

鋼材	降伏強度 [N/mm ²]	降伏ひずみ [%]	引張強さ [N/mm ²]	破断伸び [%]
D4(SD295A)*	398	0.39	557	17
D6(SD345)*	373	0.38	547	23
D10(SD295A)	370	0.18	505	20
D16(SD490)	516	0.25	688	15
D19(SD345)	382	0.19	545	20

*鉄筋D4,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 ²]	割裂引張強度 [N/mm ²]
F5	64.2	0.23	35.1	4.19
F3 ²⁾	66.3	0.24	36.1	3.75
T1 ³⁾	68.4	0.26	35.3	3.73

**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。

に変位を与え、以降は反時計回りに1周し原点に戻る。

第二サイクルでは東方向 (地点 J) に所定の変位を与え時計回りに1周する。層間変形角 R (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%, 1.5%, 2%, 3%,

Joint-Hinging Failure and Axial Collapse of RC Corner Column-Beam Joint with different Spacing of Joint Lateral Hoops (Part1. Outline and Result of Test)

HARAKAWA Hikaru, MIYASAKA Rinho
KITAYAMA Kazuhiro and JIN Kiwoong

4%をそれぞれ载荷し、層間変形角 0.25%のみ第一サイクル、その他の層間変形角では第一および第二サイクルを1回ずつ载荷した。本実験では中層建物の中層部を想定して上柱に与える長期軸力比を0.04とした。地震時の隅柱では梁せん断力に応じて軸力が変動する。しかし実験では、図4のように正立した柱頭を原点とした平面座標系において象限毎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。すなわち第1象限では軸力を0とし、第3象限では圧縮軸力比0.13、第2・4象限では長期軸力比0.04を各々与えた。

3. 破壊性状および層せん断力-層間変形角関係

写真1に層間変形角 R=3%第1サイクル南西地点 B の破壊状況、図5に東西および南北方向の層せん断力-層間変形角関係を示す。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。梁曲げ終局耐力の計算値を破線で、接合部降伏破壊耐力 η の計算値を点線で示す。

最大耐力を迎える R=1.5%まで全試験体の破壊性状に明確な差は見られず、R=0.25%では梁に曲げひび割れ、R=0.5%では柱に曲げひび割れ、R=1%では接合部に斜めひび割れ、梁主筋の降伏(■印)、接合部横補強筋の降伏(▲印)および北東隅柱主筋の引張降伏(●印)が生じた。R=1.5%では全载荷方向で最大耐力(○印)を発揮し、柱梁接合部の降伏破壊が生じた。全試験体ともに北側以外の载荷方向で梁曲げ終局耐力計算値の92%~100%に達した。南西地点 M への载荷中に南西隅柱主筋が圧縮降伏(◆印)した。R=2%では全試験体で水平耐力が低下し、柱梁接合部のコンクリート圧壊および南西地点 M への载荷中に柱主筋の座屈(+印)が生じた。写真1に示すように R=3%南西地点 B では試験体 F3 および T1 で接合部コンクリートの剥落およびコアコンクリート圧壊が生じたが、試験体 F5 は接合部横補強筋の間隔を密に配置することによりコアコンクリートに対する拘束が向上し、損傷が軽微となった。R=3%南地点 L では F3 および T1 で接合部横補強筋の135°フックが分解し、柱主筋の座屈が急激に進行することで柱梁接合部の軸崩壊(×印)が生じた。F5 では南地点 L~南西地点 M への载荷中に、座屈発生位置での接合部横補強筋の破断に伴い下柱に対する上柱の相対回転角が増大し(その2参照)柱梁接合部の軸崩壊に至った。

4. まとめ

本報(その1)では、鉄筋コンクリート隅柱梁部分架構の耐震性能に関する構造実験の概要および本試験体で柱梁接合部の降伏破壊後に軸崩壊が生じたことを報告した。謝辞はその2に示す。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 藤間淳,王君穎,佐野由宇,鄭家齊,石川巧真,晉沂雄,北山和宏: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~その5),日本建築学会大会学術講演梗概集,構造IV,pp.357-366,2020.9.
- 3) 石川巧真,村野竜也,佐野由宇,晉沂雄,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~その4),日本建築学会大会学術講演梗概集,構造IV,pp.371-378,2021.9.
- 4) 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建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.
- 5) 北山和宏,村野竜也,井上諒,晉沂雄: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1,2),日本建築学会大会学術講演梗概集,構造IV,pp.363-366,2023.9

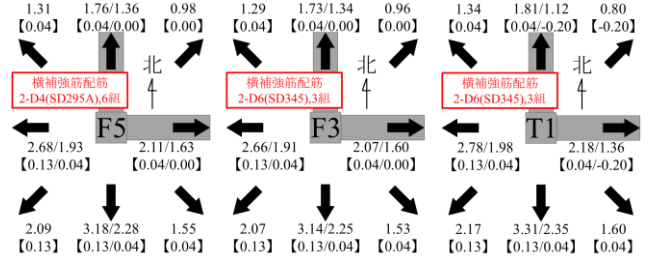


図2 方向別柱梁曲げ耐力比と軸力比

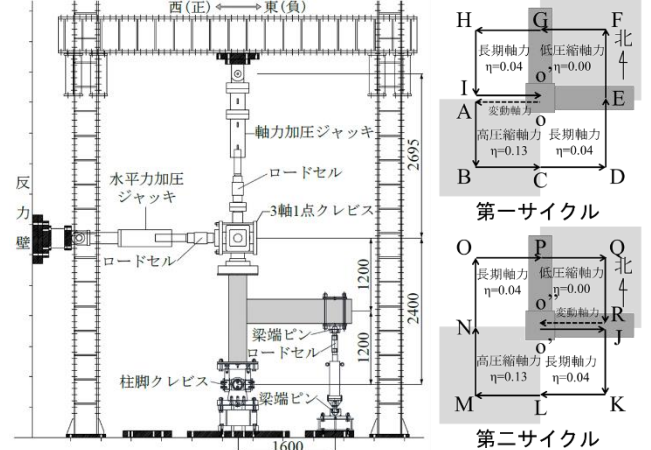


図3 载荷装置(南面図)

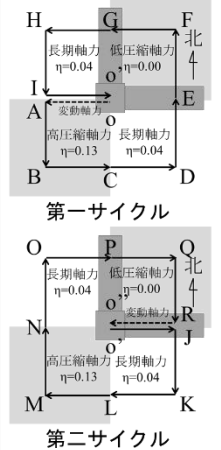


図4 载荷経路

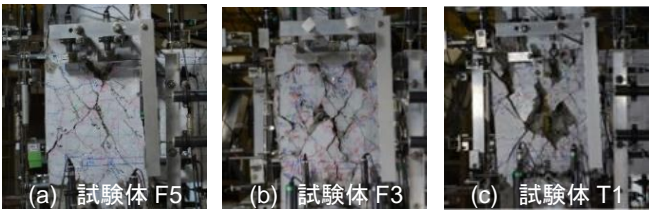


写真1 破壊状況(層間変形角3%南西地点B)

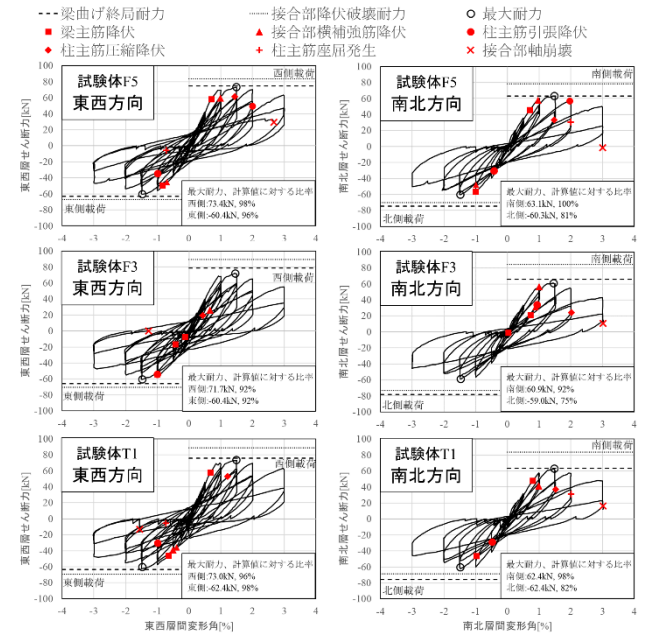


図5 層せん断力-層間変形角関係

*1 東京都立大学大学院都市環境科学研究科建築学域 大学院生
 *2 明治大学大学院理工学研究科建築・都市学専攻 大学院生
 *3 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
 *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 Graduate Student, Tokyo Metropolitan Univ.
 *2 Graduate Student, Meiji Univ.
 *3 Professor, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.
 *4 Associate Professor, Meiji Univ., Dr. Eng.