

# 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2：実験結果および破壊モードの特定

鉄筋コンクリート 隅柱梁接合部 三方向地震力  
接合部降伏破壊 軸崩壊 柱主筋座屈

正会員 ○村野竜也\*3 石川巧真\*2 佐野由宇\*3  
同 北山和宏\*1 晋沂雄\*4

## 1. はじめに

その1に引き続き本報では、本実験で特定した隅柱梁部分架構の破壊モードを最初に示し、そのうちの破壊性状及び層せん断力-層間変形角関係について詳述する。

## 2. 破壊モードについて

本報で説明する破壊性状、層せん断力-層間変形角関係、及びその3で後述する層せん断力の二軸相関及び層間変形を構成する各部材の変形成分に基づき特定した各試験体の破壊モードを概説する。東西及び南北方向の層せん断力-層間変形角関係(図2参照)では、全試験体で最大耐力が梁曲げ終局耐力にほぼ到達し、接合部曲げ終局耐力には到達しなかった。一方、層せん断力の二軸相関(その3の図1参照)では、何れの試験体も2方向水平力を受ける南西地点B及び南東地点D(図1参照)の最大耐力時に、層せん断力の描く軌跡が梁曲げ終局耐力及び接合部曲げ終局耐力計算値に到達もしくはほぼ達した。また、最大耐力以降は層間変形に占める柱梁接合部の変形成分の割合が他部位に比べ支配的となった(その3の図3参照)。以上より、全試験体において最大耐力到達前に梁曲げ降伏を生じ、2方向水平荷状態状態で梁曲げ終局とほぼ同時に接合部損傷が進展して接合部降伏破壊へと破壊モードが移行したと判断した。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座屈し、上下柱が柱梁接合部を中心として「く」の字状に傾く軸崩壊挙動が観察された。柱梁接合部の軸崩壊挙動はその4で詳述する。

## 3. 破壊性状

各試験体の層間変形角  $R=1.5\%$  終了時の損傷状況及び最終破壊状況を写真1及び写真2に示す。図1に柱頭の載荷経路を示す。

$R=0.25\%$ では全試験体で梁に曲げひび割れが生じ、 $R=0.5\%$ では軸力が引張となる北東載荷時に輪切り状のひび割れが柱及び柱梁接合部に発生した。 $R=1.0\%$ では全試験体の南面及び西面接合部に明瞭な主対角ひび割れが発生し、何れも軸力が減少する南東及び北東載荷時に大きく進展した。 $R=1.5\%$ では全試験体で最大耐力を迎え、2方向水平力によって圧縮を受ける柱出隅部のかぶりコンクリートが圧壊・剥落し、これが耐力低下の生じる一因となった。

$R=2.0\%$ では全試験体で水平耐力が低下し、接合部パネルのコンクリート圧壊が明瞭に見られた。試験体T1では南西地点Mへの荷重中に梁の取り付け南西面の接合部パネルが中央付近で膨張し、上柱が下柱に対して南西方向へ傾き始めた。柱主筋径の小さい試験体T3では接合部パネルの膨張及び下柱に対する上柱の傾斜がT1より著しく、接合部出隅部のかぶりコンクリート剥落により柱主筋の座屈が観察され、接合部横補強筋が露出した。接合部パネルのコンクリート圧壊と共に柱主筋の負担する圧縮軸力が増加し、柱主筋が座屈する

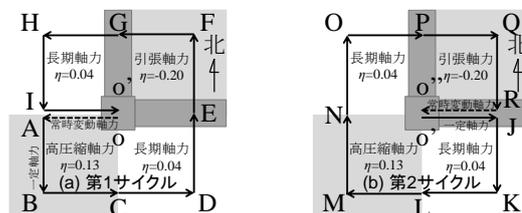


図1 試験体柱頭の載荷経路

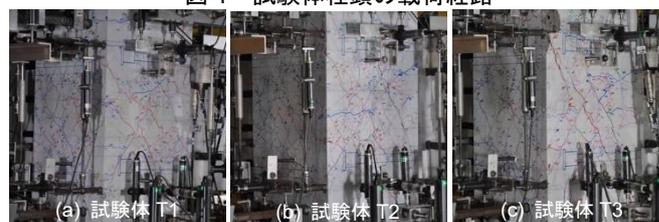


写真1 接合部の損傷状況(層間変形角1.5%終了時)



写真2 接合部の最終破壊状況

ことで接合部のかぶりコンクリート及び接合部横補強筋が面外方向へ押し出されたと考える。試験体T1より柱中段筋本数の多い試験体T2では、南西側の上柱危険断面付近のかぶりコンクリート剥落により柱主筋及び帯筋が僅かに露出したが、接合部損傷は柱主筋径の小さい試験体T3に比べ軽微であった。

$R=3.0\%$ では全試験体で接合部パネルのコンクリート剥落が更に進行し、コアコンクリートの圧壊がより進展した。柱主筋比が同程度の試験体T1及びT3では同3.0%第2サイクルの地点L~Mの圧縮軸力増加時に、上下柱が接合部を中心として「く」の字状に折れ曲がる挙動を示し、柱梁接合部の軸崩壊に至った。一方、柱主筋比の大きい試験体T2では同3.0%における接合部パネルのコンクリート剥落及び柱主筋座屈が最も軽微であった。試験体T2ではその後の $R=4.0\%$ 第1サイクルの原点oから地点Aへの荷重中、爆裂音を伴って柱梁接合部のコアコンクリートが面外方向へ飛散し、接合部南西面の柱主筋座屈が急激に進展して柱梁接合部が軸崩壊した。柱主筋本数の増量及び柱主筋の太径化により部分架構の水平変形性能が向上し、軸崩壊の発生を遅らせる結果となった。

## 4. 層せん断力-層間変形角関係

図2に東西及び南北方向における層せん断力-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。図中に示す梁曲げ降伏耐力及び梁曲げ終局耐力は、その1で説明した平面保持を仮定し

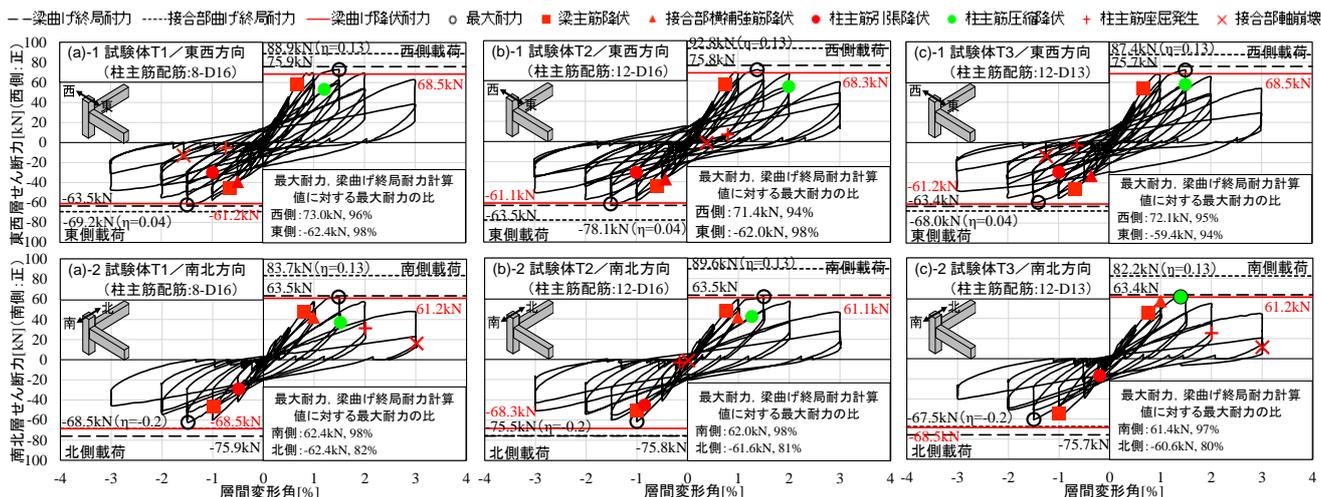


図2 層せん断力-層間変形角関係

た断面解析により算出した。接合部曲げ終局耐力<sup>1)</sup>は軸力増加側または減少側における水平1方向荷重時の計算値を表す。図中の柱主筋座屈発生時点(+印)は、その4で詳述する座屈判定方法に基づくものである。荷重地点によって変動軸力の増減が異なり、第1象限では高圧縮軸力から長期軸力まで、第3象限では長期軸力から引張軸力まで変動する。

全試験体において層間変形角 $R=0.7\sim 1.0\%$ 付近で梁主筋が降伏し、その後接合部の主対角ひび割れの発生に伴って接合部横補強筋が降伏した。接合部横補強筋の降伏発生時期は、柱中段筋を各面2本配置したが柱主筋径の小さい試験体T3で最も早く、 $R=1.0\%$ 第1サイクルの南西地点Bへの荷重中に西面で生じた。一方、試験体T1及びT2では共に同1.0%第1サイクルの南東地点Dへの荷重中に西面と南面で降伏した。その後、柱主筋の引張降伏が始まったが、その時期は試験体T1及びT3が引張軸力側の地点E~Fへの荷重中に対し、試験体T2では北東地点Fの到達直前となり、柱中段筋本数を増やしたことで引張降伏時期が僅かに遅れた。全試験体における柱主筋の引張降伏は2方向水平力により引張を受ける下柱危険断面位置で生じ、試験体T1及びT2では北東隅の柱主筋1本で降伏が見られたのに対し、T3では北東隅の柱主筋を中心に広範囲(6本)に渡り降伏した。

その後、全試験体で最大耐力を迎え、試験体T2の北方向は $R=1.0\%$ サイクル時に、T2の北方向以外と試験体T1及びT3の全方向では $R=1.5\%$ サイクル時に発現した。柱主筋の圧縮降伏発生時期は、試験体T3が最も早く $R=1.5\%$ 第1サイクルの南西地点B、続いて試験体T1が $R=1.5\%$ 第2サイクルの南西地点Mへの荷重中、試験体T2が $R=2.0\%$ 第1サイクルの南西地点Bへの荷重中であつた。試験体T1及びT2では南西隅の柱主筋、T3では南西隅近傍の柱中段筋で圧縮降伏が生じた。

柱主筋の圧縮降伏後、接合部パネルのコンクリート圧壊が進展し、試験体T1とT3では $R=2.0\%$ 第2サイクルの南西地点Mへの荷重中に南西隅柱主筋と梁の取り付けられない南面及び西面の柱中段筋が、接合部コアコンクリートに形成される斜め圧縮束に沿った位置で座屈した。一方、試験体T2は

$R=3.0\%$ 第1サイクルの地点Aへの荷重中に南西隅主筋が上柱危険断面位置で座屈した。

全試験体の最大耐力について、北側以外の荷重方向では梁曲げ降伏耐力を超え、梁曲げ終局耐力計算値に対して北側以外の荷重方向(圧縮軸力側)では94~98%と梁曲げ終局耐力をほぼ発揮した一方、北側の荷重方向(引張軸力側)では80~82%と計算値を大きく下回った。北方向への荷重時は引張軸力が作用することや本実験の荷重経路上、北方向荷重が各加力サイクルの最後の荷重方向となるので、接合部損傷の蓄積により耐力が増加しなくなったと考える。全試験体の全方向において、東西及び南北の層せん断力-層間変形角関係上では接合部曲げ終局耐力計算値へは到達しなかったが、その3の層せん断力の二軸相関の検討から、2方向水平荷重時の最大耐力が接合部曲げ終局耐力線にほぼ到達した。

## 5. まとめ

本報から得られた知見を以下に示す。

- (1) 本実験では、何れの隅柱梁部分架構においても梁主筋、接合部横補強筋及び柱主筋の引張降伏後に最大耐力に到達した。最大耐力前には梁曲げ降伏を生じ、その後梁曲げ終局耐力にほぼ到達すると同時に接合部損傷が激しく進展した。隅柱梁接合部の軸崩壊は、接合部コアコンクリートの圧壊に伴い柱主筋が座屈し、上下柱が柱梁接合部を中心に「く」の字状に傾くことにより生じた。
- (2) 柱中段筋を各面1本から2本に増やし柱主筋比を約1.6%から2.48%に増大することで、柱主筋の圧縮降伏時期を層間変形角1.5%から2.0%まで、軸崩壊の発生時期を層間変形角3.0%から4.0%まで遅らせることができた。このように、柱中段筋本数の増量及び柱主筋の太径化は柱梁接合部の損傷及び軸崩壊の抑制に寄与し、部分架構の水平変形性能が増大した。
- (3) 柱中段筋を各面2本配置し柱主筋比を同等(1.58~1.65%)とした場合、柱主筋の圧縮降伏及び柱梁接合部の軸崩壊は同時期に発生した。柱中段筋本数を増やしても主筋径を小さくすると、接合部横補強筋や柱中段筋の降伏が早まり、接合部損傷が増大した。

### [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年11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 鹿島建設株式会社 修士(工学)(元東京都立大学大学院 大学院生)  
 \*3 明治大学大学院理工学研究科建築・都市学専攻 大学院生  
 \*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 Kajima Corporation, M. Eng.  
 \*3 Graduate Student, Meiji University  
 \*4 Associate Professor, Meiji Univ., Dr. Eng.