

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に関する実験研究 その2：実験結果と考察

正会員 ○石塚裕彬*1 同 北山和宏*2
同 片江拡*3 同 遠藤俊貴*4

鉄筋コンクリート 隅柱梁接合部 接合部破壊
2方向水平力 柱梁曲げ耐力比 二軸相関

1. はじめに

本稿では、その1で述べた実験概要および破壊性状に続いて、実験結果とその考察について報告する。

2. 実験結果

2.1 層せん断力-層間変形角関係

図1に層せん断力-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、モーメントの釣り合いから算出した。図中の□は梁主筋降伏、△は柱主筋降伏、○は接合部横補強筋の降伏、水平の点線は平面保持の仮定に基づく断面解析により算出した梁曲げ終局耐力、水平の破線は文献1)の接合部曲げ終局耐力の計算値である。載荷経路により、試験体の南北方向加力のピークでは常に2方向加力状態となり、西方向加力時(地点A)のみ1方向加力状態でのピークとなる。

両試験体とも、西方向加力時(地点A)のみ履歴形状にスリップ性状が表れた。試験体Z1は層間変形角1.0%サイクル中に梁および柱主筋(危険断面位置および接合部内)、接合部横補強筋が降伏した。試験体Z2でも梁主筋(危険断面位置および接合部内)と接合部横補強筋が層間変形角1.0%サイクル中に降伏したが、柱主筋は層間変形角1.5%サイクル中に降伏した。柱主筋量の少ない試験体Z1の最大耐力は、東および南方向加力で層間変形角1.0%、西および北方向加力で層間変形角1.5%時に発現したが、柱主筋量の多い試験体Z2では全加力方向において層間変形角1.5%で最大耐力に達した。試験体Z1の最大耐力は梁曲げ終局耐力に至らなかったが、試験体Z2では東および南方向加力でほぼ達しており、梁曲げ終局耐力を概ね発揮した。また、両試験体とも図1の各方向の層せん断力-層間変形角関係で見ると、接合部曲げ終局耐力には至らなかった。

2.2 層せん断力の二軸相関

図2に両試験体の東西および南北方向の層間変形角0.5%、1.0%および1.5%における、加力第1サイクルの層せん断力の描く軌跡をそれぞれ示す。図中に計算による梁曲げ終局耐力(前述)、接合部曲げ終局耐力¹⁾および接合部せん断終局耐力²⁾を各々示し、梁曲げ耐力線は矩形、接合部せん断耐力線は円形とした。接合部曲げ耐力線は各加力方向の計算終局耐力を楕円で結んだ。図の横軸と縦軸は載荷経路図の東西軸と南北軸に一致する。両試験体とも実験値が接合部せん断耐力曲線より大きく内側に位置したため、接合部せん断破壊しなかったと判断した。

試験体Z1では、層間変形角0.5%において柱梁接合部の損傷が少ないため変位保持方向での耐力はほぼ低下せず、

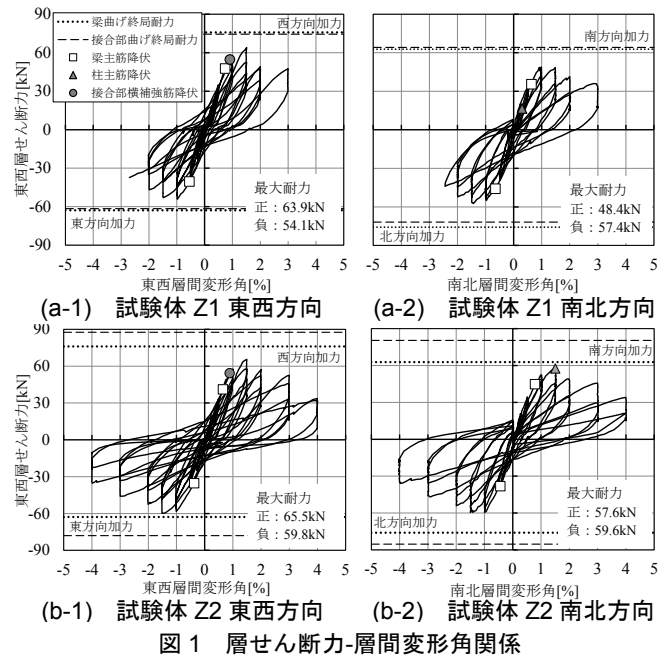


図1 層せん断力-層間変形角関係

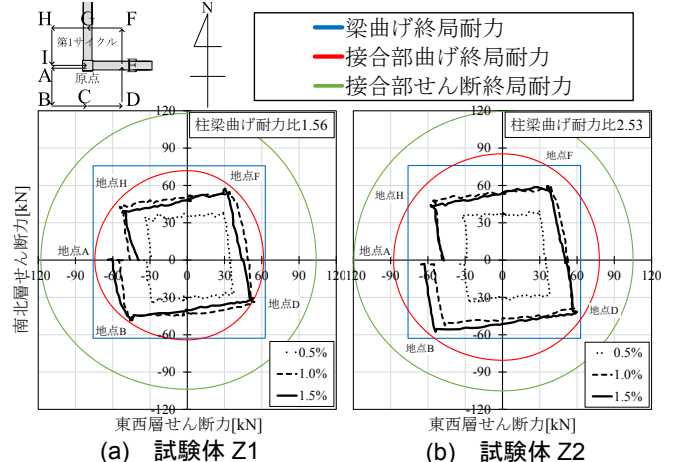


図2 層せん断力の二軸相関

層せん断力の描く軌跡が矩形となった。層間変形角1.0%の二方向加力時に柱梁接合部の損傷が生じたため、変位保持方向で耐力低下して層せん断力の軌跡が曲線を描き、2方向加力ピーク時に接合部曲げ終局耐力曲線と一致した。

試験体Z2では、層間変形角0.5%で試験体Z1と同じく層せん断力の軌跡は矩形を描いた。層間変形角1.5%の加力地点BおよびDにおいて、梁曲げおよび接合部曲げ終局耐力曲線近くに実験値が位置した。それ以降、変形の増大に伴い接合部の損傷が進展して耐力が低下した。

本実験において、水平2方向加力時の隅柱梁接合部曲げ終局耐力は、楠原・塩原¹⁾による接合部曲げ終局耐力計

算値を楕円補完することによって妥当に評価できたと考える。以上より、柱主筋量の少ない試験体 Z1 は柱梁接合部の曲げ破壊、柱主筋量の多い試験体 Z2 は梁の曲げ破壊と柱梁接合部の曲げ破壊がほぼ同時に生じたと判断した。

2.3 本実験と既往実験³⁾の比較

本実験と既往実験の K シリーズ³⁾では柱断面及びコンクリート強度が異なる。そこで、2 方向水平力によって接合部中心に生じる節点モーメント M_j を以下のように基準化して両者の結果を比較した。図 3 の接合部変形機構¹⁾において柱および梁主筋の引張力 T_c および T_b と、その力により発生する曲げモーメント M_1 から M_3 を示す。 M_2 と M_3 は微小なため無視し M_1 のみを考えると、接合部中央から入隅に向かう斜めの危険断面を想定できる。そこで節点モーメント M_j を $b_j j_1^2 \sigma_c$ (b_j : 斜めの危険断面幅、 j_1 : 斜めの危険断面せい、 σ_c : $0.85\sigma_B$ 、 σ_B : コンクリート圧縮強度)で基準化した。断面せい j_1 はコンクリート圧縮点から柱主筋と梁主筋の交点間距離(図 3a)、断面幅 b_j は最外縁の梁主筋と柱主筋との間隔の中心をそれぞれ結んだ長さ(図 3b)とした。

図 4 に基準化節点モーメント M_j とベクトル和による層間変形角の関係を示す。同図は図 2 の載荷経路の原点から地点 C までの包絡線である。柱主筋量の多い試験体 Z2 の最大耐力は試験体 Z1 より 16%大きい。柱の主筋量を増やし柱梁曲げ耐力比を 1.53 から 2.56 とすることにより、二方向加力時の接合部曲げ終局耐力が上昇した。また、試験体 K2 と K3 の最大耐力の差は 24%であり、柱梁曲げ耐力比を柱主筋量よりも圧縮軸力で大きくしたほうが、耐力の差が 1.5 倍大きくなった。

柱梁曲げ耐力比が 1.5 程度で軸力比 0.04 の試験体 Z1 と K2³⁾では、両者とも層間変形角 0.7%で東梁主筋が降伏した。試験体 K2 は層間変形角 1.0%と 1.4%で耐力に差が無いため 1 方向加力時(地点 A)で接合部曲げ破壊した。一方、試験体 Z1 は層間変形角 1.4%まで耐力が増大し続け、2 方向加力時(地点 B)で接合部の曲げ破壊が生じたと考えられるため、両試験体で北梁主筋降伏時の層間変形角が異なった。また、最大耐力は試験体 K2 が 19%上回ったが、これは試験体 K2 の接合部横補強筋の負担力が試験体 Z1 の 1.86 倍であったことが影響したと考える。

柱梁曲げ耐力比が 2.4 程度の試験体 Z2 と K3³⁾では、東梁および北梁主筋の降伏が両者とも層間変形角 0.6%と 1.2%で生じた。試験体 K3 の接合部横補強筋と柱主筋の降伏は加力原点から地点 C の範囲外で生じたため、図 4(b)に降伏位置を示していない。試験体 K3 の最大耐力は試験体 Z2 よりも 28%大きかった。試験体 K3 の圧縮軸力比が試験体 Z2 の 3 倍であったため耐力に差が生じたと考える。

3. まとめ

(1)柱梁曲げ耐力比が 1.5 程度の試験体 Z1 は、層せん断力の描く軌跡が接合部曲げ終局耐力曲線に到達したが、梁曲げ終局耐力に達しなかった。また、最大耐力時には接

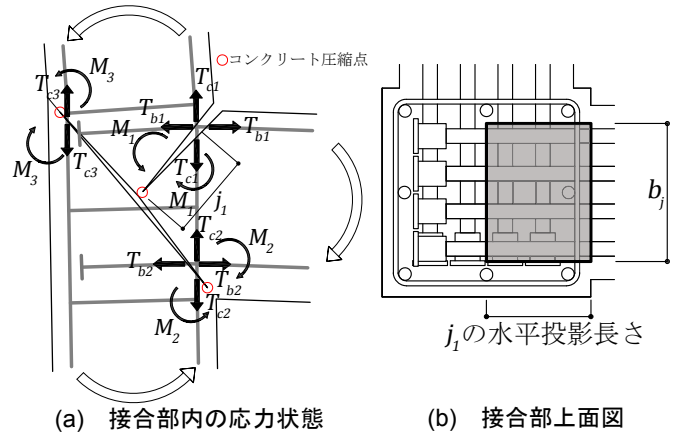


図 3 接合部変形機構¹⁾の斜め危険断面

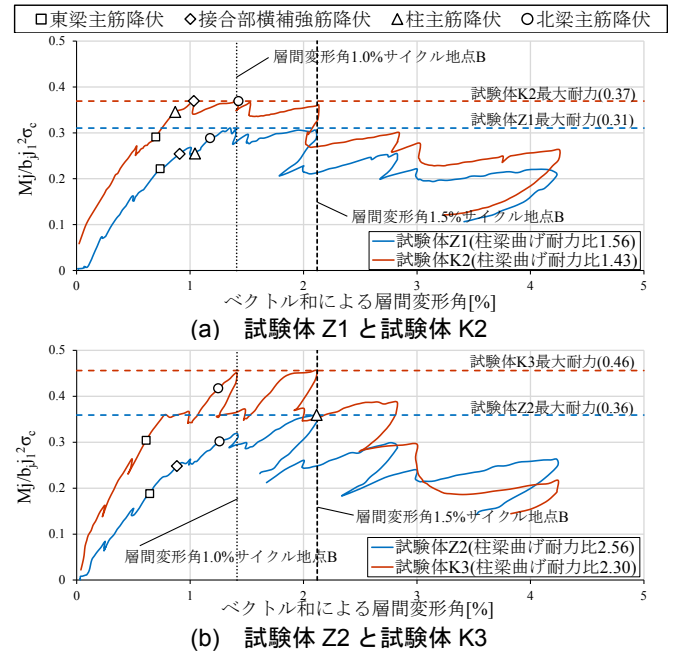


図 4 基準化接点モーメント-層間変形角(ベクトル和)関係

合部内で柱および梁主筋、接合部横補強筋が降伏しており、柱梁接合部の曲げ破壊が生じたと判断した。

(2)柱梁曲げ耐力比が 2.6 の試験体 Z2 は、加力方向によっては梁曲げ終局耐力に達し、試験体 Z1 よりも接合部の損傷が少なかった。しかし、最大耐力時には接合部内の柱主筋と横補強筋も降伏しており、柱梁接合部の曲げ破壊と梁の曲げ破壊がほぼ同時に生じたと判断した。

(3)本実験と既往実験³⁾の比較では、柱梁曲げ耐力比が同等でも、接合部横補強筋の負担力または柱圧縮軸力比が大きいほど柱梁接合部の曲げ終局耐力が増加した。柱梁曲げ耐力比の操作を柱主筋量よりも柱圧縮軸力で行うことで、接合部曲げ終局耐力への影響は大きくなった。

【謝辞】 本研究は日本学術振興会科学研究費補助金・基盤研究 B(研究代表者: 塩原等・東京大学教授)によって実施した。ご助言頂いた塩原等博士、本学の特別研究として本研究を担当した山桐美沙樹氏(現大東建託)、鉄筋を提供いただいた株式会社東京鉄鋼に厚く御礼申し上げます。

【参考文献】 1) 補原文雄, 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 2) 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 3) 片江拓, 佐藤宏一, 北山和宏, 遠藤俊貴: 3 方向加力された鉄筋コンクリート立体隅柱梁接合部の破壊機構に関する実験的研究(その 1、その 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, pp.421-424, 2014.9

*1 首都大学東京大学院 博士前期課程

*2 首都大学東京 教授 工博

*3 (株)ピーエス三菱(元首都大学東京大学院生) 修士(工学)

*4 EQSD 一級建築士事務所(元首都大学東京助教) 博士(工学)

*1 Graduate Student, Tokyo Metropolitan University.

*2 Professor, Tokyo Metropolitan University, Dr.Eng.

*3 P.S. Mitsubishi Construction Co., Ltd., M.Eng.

*4 EQSD Structural Consultants, Dr.Eng.