

コンクリートを充填した偏心断面鉄骨柱の耐震性能評価に関する研究

Seismic Performance of Concrete Filled Eccentric Section Steel Columns

広島工業大学 准教授 貞末 和史

(研究計画ないし研究手法の概略)

鉄骨鉄筋コンクリート (SRC) 構造に代わり、鉄筋コンクリート (RC) 構造さらにコンクリート充填鋼管 (CFT) 構造と対比させる新しい合成構造として、鉄骨コンクリート (SC) 構造の開発に取り組んでいる。本研究では、一定圧縮軸力下で正負繰返し水平力を受ける十字形、T字形およびL字形鉄骨を用いた非対称断面を有するSC柱の載荷実験を行い、破壊性状と構造性能について確認した。また、一般化累加強度による終局曲げ耐力の計算値との対応状況について検討した。

実験に用いた試験体の形状を図1、試験体計画を表1に示す。いずれの試験体とも曲げ破壊が先行することを想定した片持ち柱型の形状であり、試験体の頂部にピンを設けて載荷装置と

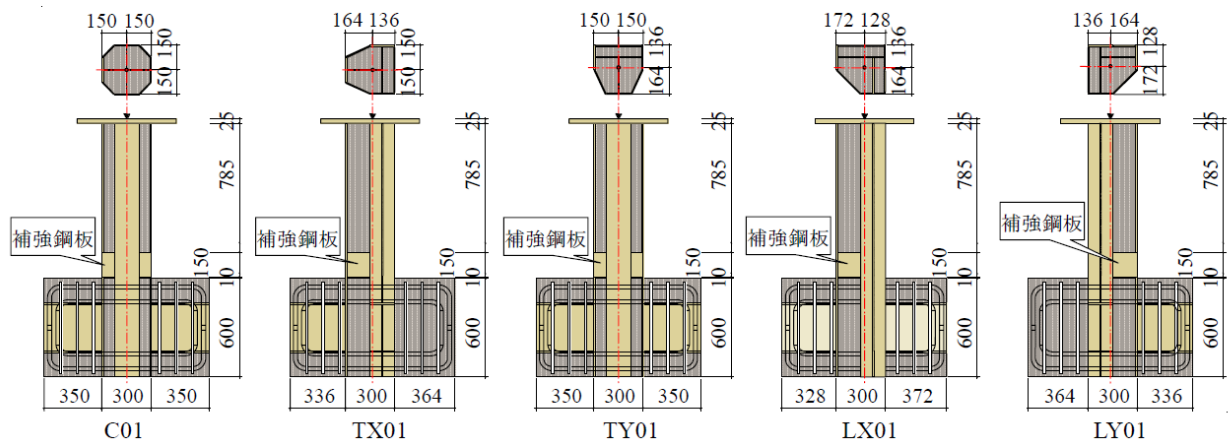


図1 試験体形状 (単位:mm)

表1 試験体計画

試験体	鉄骨	n	N (kN)	N_{cu} (kN)	cN_{cu} (kN)	sN_{cu} (kN)
C01	十字形	0.1	724	6094	3376	2718
TX01	T字形		655	5504	3154	2350
TY01	T字形					
LX01	L字形					
LY01	L字形					
C05	十字形	0.5	2809	5617	2599	3018
TX05	T字形		2517	5035		2436
TY05	T字形					
LX05	L字形					
LY05	L字形					

注) n :軸力比(= N/N_{cu}), N :圧縮軸力, N_{cu} :柱の圧縮耐力(= $cN_{cu}+sN_{cu}$),

cN_{cu} :コンクリート部分の圧縮耐力, sN_{cu} :鉄骨部分の圧縮耐力

接続した。鉄骨はH-300×150×6.5×9の充腹型H形鋼をそれぞれ十字形、T字形およびL字形に溶接加工し、断面外法は300mm×300mmとなっている。柱脚に設ける補強鋼板(厚さ6mm)は自

然開先部分をフランジに溶け込み溶接した。コンクリートは梁（スタブ）上面および柱上部鋼板に設けた孔より打込んだ。なお、実構造物では梁に鉄骨部材を用いることを想定しているが、本実験で用いる試験体ではスタブをSRC部材とした。軸力 N は軸力比 n （圧縮耐力 N_{cu} に対する N の比）を0.1および0.5とした。

荷重は図2に示す荷重装置を使用し、所定の軸力 N を導入後、試験体頂部ピン位置に正負繰り返しの漸増水平荷重を行った。 N および水平力 H の加力位置はそれぞれの試験体における柱の図心の位置として、弾性時に面外方向の変形が生じないようにした。また、荷重装置のL形フレームは反力柱によって試験体面外方向の移動が生じないように拘束され、さらに平行保持装置によって回転が生じないようにしているため、塑性域に入っても面外方向の移動は生じない。

荷重履歴は試験体頂部ピン位置での水平方向の変位制御によって、柱部材角 R （柱頭ピン位置の水平変位 δu /せん断スパン l ） $=\pm 0.25\%$ rad. で正負繰り返し荷重を1回行った後、次に $R=\pm 0.5\%$ rad. で正負繰り返し荷重を2回行い、それ以後は直前の振幅に対して R を $\pm 0.5\%$ rad. 漸増させる正負繰り返し荷重を2回ずつ繰り返すものとした。

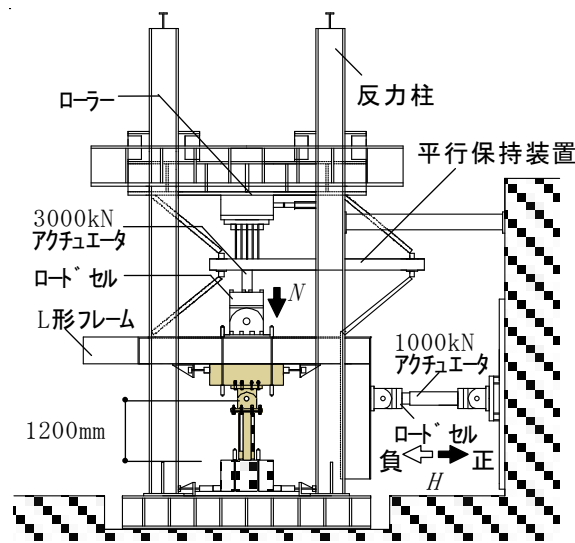


図2 荷重装置

（実験調査によって得られた新しい知見）

最終破壊状況の一例を写真1、水平力 H と柱部材角 R の履歴曲線を図3に示す。図3における点線は軸力による $P\Delta$ 効果を表している。

$n=0.1$ の低圧縮軸力下の試験体の破壊進展状況は、コンクリートの曲げひび割れ発生、曲げ圧縮側フランジの圧縮降伏、曲げ引張側フランジの引張降伏、ウェブの圧縮降伏、補強鋼板上部位置近傍における曲げ圧縮側コンクリートの圧壊の順に進行し、曲げ破壊が卓越する破壊形状となった。荷重変形関係に関しては、鉄骨の降伏やコンクリートの破壊の進展に伴って徐々に剛性低下した後最大耐力に達し、 $R=\pm 4.0\%$ rad.まで変形を漸増させても耐力低下のない優れた変形能力を有していることが確認された。最終的には補強鋼板上部位置におけるフランジが局部座屈して、この近傍における変形が卓越する破壊状況となった。補強鋼板は材端部のコンクリートを拘束する効果に加えて、材端部フランジの座屈を抑制する効果があったものと推察される。また、水平力の加力方向に対して対象断面を有するC01およびTY01に

関しては、 $R=4.0\%rad.$ の振幅まで紡錘形の履歴形状を示しているが、非対称断面となるTX01、LX01およびLY01に関しては、フランジ座屈の影響を受けて履歴ループの形状にややスリップする部分が見られる。

$n=0.5$ の高圧縮軸力下の試験体の破壊進展状況は、コンクリートの曲げひび割れは発生せず、曲げ圧縮側フランジの圧縮降伏、曲げ引張側フランジの引張降伏、ウェブの圧縮降伏、補強鋼板上部位置近傍における曲げ圧縮側コンクリートの圧壊の順に進行した。 $n=0.1$ の場合と比較して、 $n=0.5$ の場合はコンクリート部分の破壊が柱頭側へと広がっているが、最終的には柱脚部の破壊が卓越する曲げ破壊型の破壊形状となった。荷重変形関係に関して、十字形断面の試験体は $R=2.0\%rad.$ で最大耐力に達した以降急激な耐力低下を生じており、高圧縮軸力の作用による変形性能の低下が顕著となった。T字形およびL字形断面の試験体については、 $R=1.5\%rad.$ で最大耐力に達した以降、急激な耐力低下を生じており、さらに変形能力が低下した。十字形断面のSC柱と比較して、T字形およびL字形断面のSC柱の変形能力が低下するのは、フランジに拘束されるコンクリート部分が小さくなっていることが影響していると推察される。なお、 $n=0.1$ の低圧縮軸力下の場合と同様に、最終的には補強鋼板上部位置におけるフランジが局部座屈を生じて、この近傍における変形が卓越する破壊状態となった。

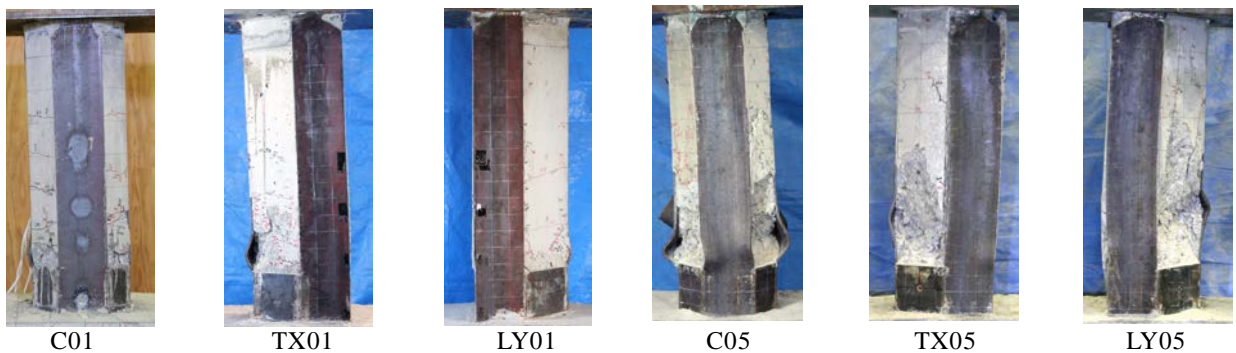


写真1 最終破壊状況

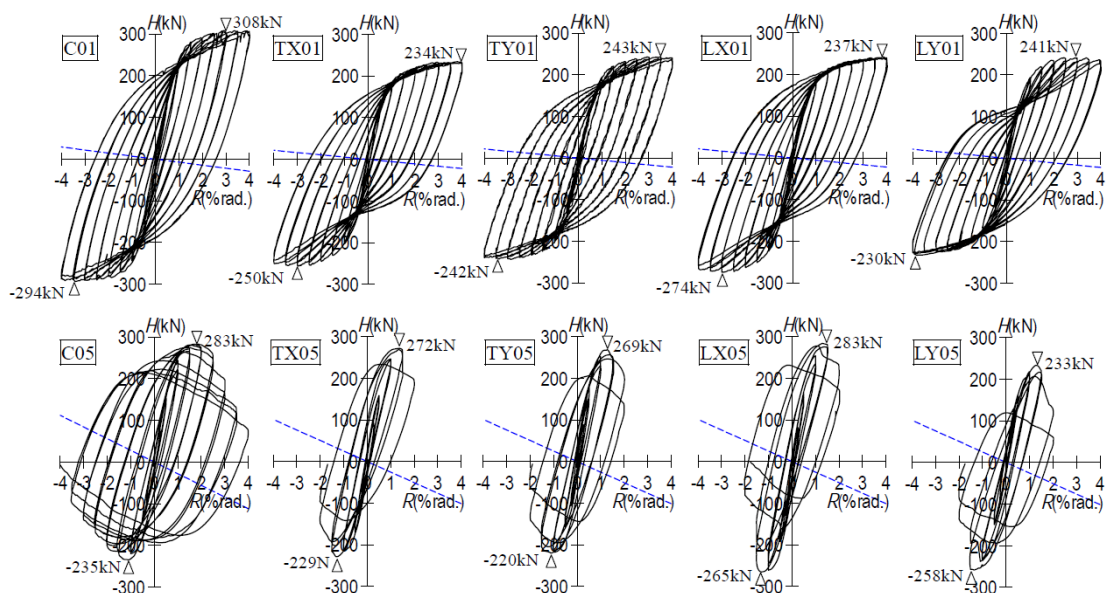


図3 履歴曲線

終局曲げ耐力は、鉄骨部分の終局曲げモーメント sMu とコンクリート部分の終局曲げモーメント cMu をそれぞれ求め、一般化累加してSC柱の終局曲げモーメントを求める。

十字形鉄骨の軸力 sNu と sMu の相関関係は、補強鋼板の存在を無視して、長方形の塑性応力度分布を仮定して得られるSRC規準に示される算定式を用いる。T字形およびL字形鉄骨の軸力-終局曲げモーメント相関関係は、十字形鉄骨と同様の仮定に基づき、それぞれの断面形状に応じてSC柱の図心の位置に軸力が作用していることを考慮して強軸鉄骨と弱軸鉄骨の軸力-終局曲げモーメント相関関係を求め、一般化累加して sMu を求める。

コンクリートの軸力 cNu と cMu の相関関係は引張強度を無視して長方形の塑性応力度分布を仮定して得られるSRC規準に準拠する方法によるが、多角形の断面形状に対応し、それぞれの断面形状に応じてSC柱の図心の位置に軸力が作用していることを考慮した算定式を用いる。なお、SRC規準ではコンクリートの圧縮強度に対してコンクリートの充填度の低下等の影響を考慮する低減係数を乗じているが、本構造では密実なコンクリートが充填されるため低減係数は乗じないものとする。

図4に $Nu-Mu$ 相関関係の計算値および $P-\Delta$ 効果を考慮した最大曲げモーメントの実験値を示す。実線はSC柱、破線は鉄骨、点線はコンクリートの計算値、◇印は実験値である。実験値は補強鋼板直上位置の曲げモーメントとした。実験値/計算値は0.94~1.30（平均値1.12）となり、実験値が計算値を下回る場合が僅かにあるものの、概ね妥当な評価であることが確認された。なお、本実験で用いた試験体では補強鋼板上部位置の破壊によって最大耐力が決まったものと考えられるが、補強鋼板の存在する材端部とそれ以外の部分では作用する応力と耐力がそれぞれ異なるため、設計の際には両断面について検討することが必要である。

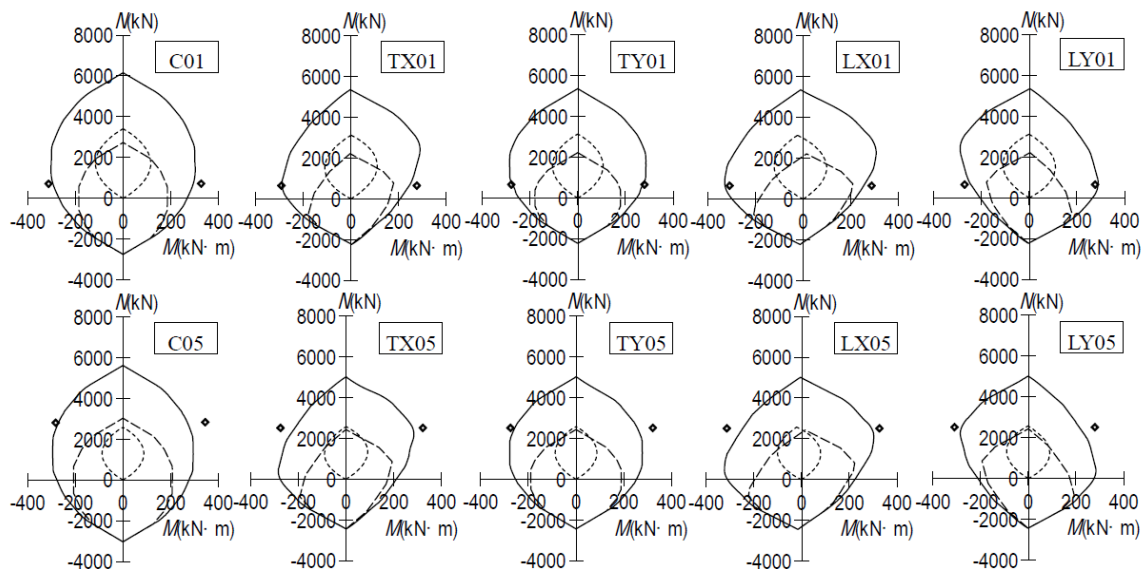


図4 軸力-終局曲げ耐力相関関係

(発 表 論 文)

- 1) 貞末和史, 赤松克哉, 南宏一: 非対称断面を有する鉄骨コンクリート柱の構造性能に関する実験的研究, 第10回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム, pp. 66-1-66-6, 2013. 11
- 2) 貞末和史, 南宏一: 非対称断面鉄骨コンクリート柱の力学特性に関する研究(その2), 日本建築学会中国支部研究報告集 第37巻, pp. 315-318, 2014. 3