

【論文】

PC 鋼棒を内蔵する CFT 柱脚の力学性能

九谷 和秀* 白川 敏夫* 濱田 敬二** 河野 昭彦***

Mechanical Performance of CFT Column Bases with built-in PC bars

Kazuhide KUTANI Toshio SHIRAKAWA Keiji HAMADA Akihiko KAWANO

ABSTRACT In this report, a concrete filled steel tubular column base with built-in PC bars to achieve a self-centering system and an improvement of resistance of a column is proposed. In addition, a joining method of a steel column and a base plate is used a joint by splice plates instead of a welded joint to prevent the structure being damaged. From the test result under a cyclic lateral load with a constant axial load or an axial load added by tightened main bars, the mechanical performance of this column base is roughly verified, and structural problems in this method of construction are extracted.

Keywords: column base, concrete filled steel tubular column, splice plate, steel bar for prestressed concrete

1. はじめに

前論文^{1), 2)}では、柱とベースプレートをスプライスプレート（以下スプライスと略す）により溶接接合する工法を提案し、スプライスの塑性変形のみを許容する本工法の力学性能と被災後の修復性について検証した。

本論文では、本工法の適用範囲を CFT 柱脚にまで拡張し、CFT 柱の耐荷性能の向上³⁾に寄与するとともに本工法及び露出柱脚自体の弱点であるベースプレート位置での不連続性を緩和するため、PC 鋼棒を内蔵することとし、さらにセルフセンタリング機構⁴⁾を取り入れた CFT 柱脚の新工法を提案する。ここでは、本工法による CFT 柱脚の水平加力実験を実施し、力学性能の検証と構造上の問題点の抽出を行う。

2. 実験概要

試験体 CS シリーズは、Fig.1, Fig.2 及び Table2 のように CFT 柱 (BCR295, □-200×200×6) とベースプレート (SN490B, 50×360×360) を 4 枚のスプライス (SN400B, 平行部 6×50×100) を用いて溶接接合 (工場溶接) した。なお、試験体 CS1, CS5, CS6 は鋼管外面に、CS2, CS7 は鋼管内面にスプライス

を配置した。また、CS5-CS7 は主筋 (PC 鋼棒, 8M14, アンボンド, ベースプレートとトッププレートを貫通) を有しており、Table2 に示す導入張力を与えて締結した。アンカーボルト (PC 鋼棒, 8M24, アンボンド) には、ベースプレートが基礎 (実験では鋼製基礎を使用) から離間しないよう導入張力 (軸歪み度 $\leq 0.15\%$, 総付加軸力 $\leq 1000\text{kN}$) を与えた。なお、実験に使用した鋼材及びコンクリートの機械的性質は Table1 に示す通りである。

加力状況と変位の計測位置を Fig.2 に示す。一定軸力 N とせん断力 Q は、ベースプレート下面から反曲点高さ $h=1200\text{mm}$ の位置の柱頭 (自由端) に与えた。 N は圧縮を正とし、試験体 CS1, CS2 には主筋 (PC 鋼棒, 8M14) に初期歪み $\epsilon_0=0.2\%$ を与えるのに相当する $N=427\text{kN}$ を与えた。なお、この値は、鋼管柱及び CFT 柱の圧縮耐力のそれぞれ 24.1, 11.7% に相当する。除荷点は柱脚回転角 $\theta=\pm 1/200, \pm 1/100, \pm 1/50\text{rad}$ を目標値とし、各 2 回づつ繰り返した。また、荷重はロードセル、回転角は傾斜計を用いて計測した。

試験体各部の歪みを測定するため、主筋及びスプライスは材長の中央近傍に、柱はベースプレート上面からそれぞれ 30mm 上の角部近傍に歪ゲージを貼付した。なお、内付スプライスの歪みは溶接時の不手際 (熱によるリード線の短絡) により計測できなかった。

* 九州産業大学工学部建築学科

** 織本匠構造設計研究所

*** 九州大学大学院人間環境学研究院

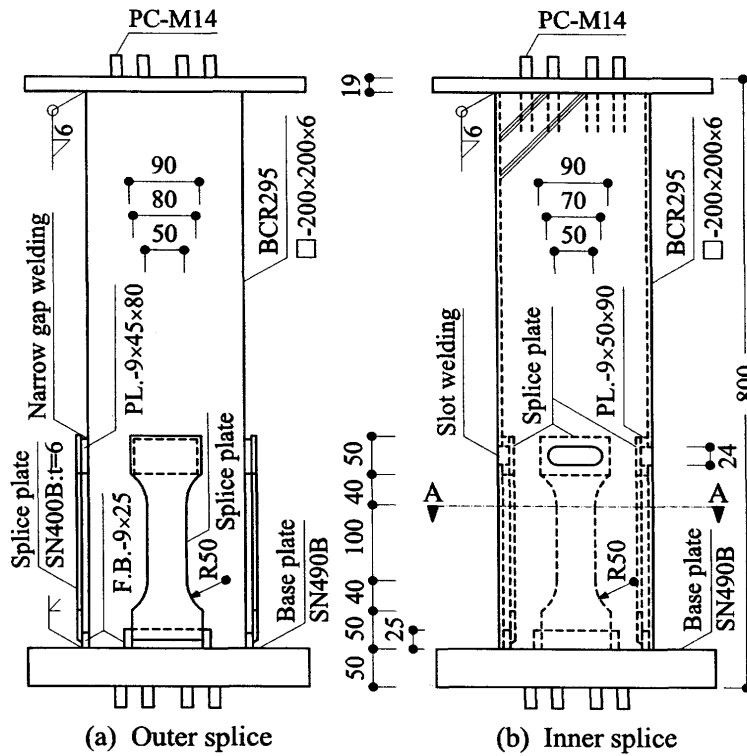
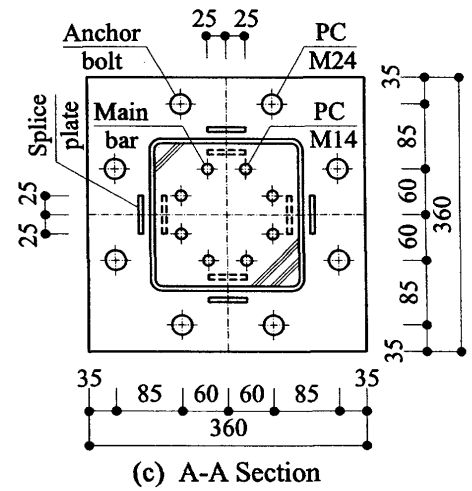


Fig.1 Details of CFT column bases



(c) A-A Section

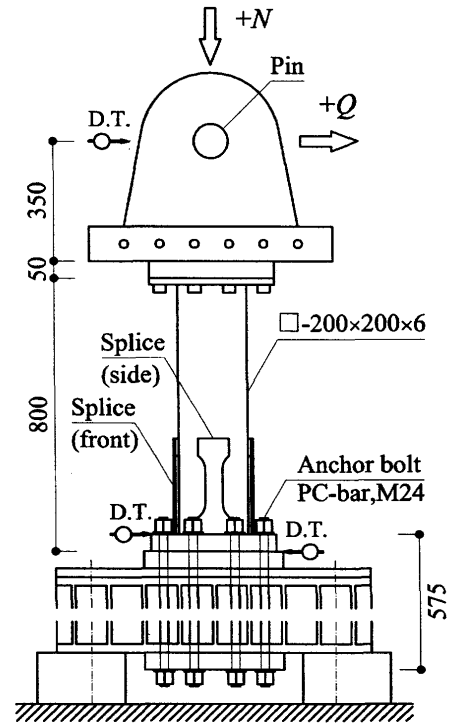


Fig.2 Test setup and location of displacement transducers

3. 結果と考察

試験体各部の終局曲げ耐力の計算値を Table3 及び Fig.3 に示す。本論では、主要構造部材の損傷を抑制するため、並びにセルフセンタリング性能を確認するため、CFT 柱断面耐力⁵⁾と比較してスプライス接合部の曲げ耐力を低めに設定した。試験体 CS5 は柱断面耐力の 1/3、その他は 1/2 程度に相当する。また、性能評価を簡易にするため、ベースプレートの離間モーメント⁶⁾がスプライス接合部の曲げ耐力を上回るようベースプレート位置の曲げ耐力⁶⁾を大幅に高めたが、実設計では、保有耐力接合を目標とすべきであろう。

柱頭水平力 Q と柱脚回転角 θ の関係を Fig.4 に示す。また、実験条件 (Table2 参照) の相違によるエネルギー消費量 ($\theta = \pm 1/50 \text{ rad}$ における繰返し加力時を例示) の相違を Table4 に示す。試験体 CS1 と CS2、並びに CS6 と CS7 をそれぞれ比較すると、内付スプライスの CS2, CS7 の方が外付の CS1, CS6 よりもエネルギー消費量が 10-20% 程度大きく、復元力の劣化が 10% 程度小さく、また回転角のスリップ量も小さくなり、より紡錘形に近い性状を示した。

外付スプライスは、残留伸びを生じた側が圧縮力を受ける側に転じた後に Photo.1 のように面外曲げ変形を起こし、上下取付部の間隔が加力前の

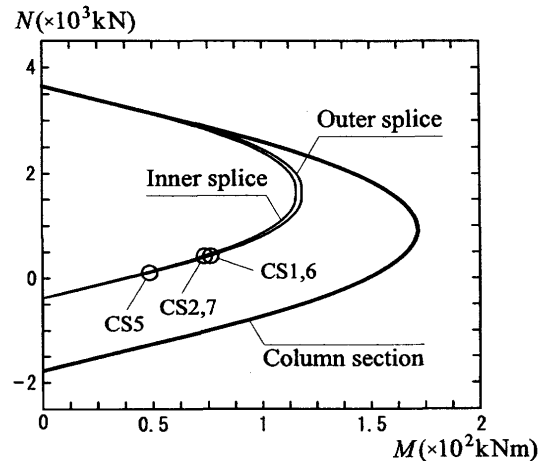


Fig.3 M-N interaction curves

Table 1 Mechanical properties of materials

Materials		σ_Y	σ_B	ϵ_B
Part	Shape	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(%)
Column	Ⓡ-6	391	468	35
Splice plate	Ⓡ-6	316	441	30
Main bar	φ-13	1245	1295	13
Anchor bolt	φ-23	1181	1273	13
Concrete	—	—	62.5	—

Table 2 Test conditions of CS-series

Specimen	N (kN)	Main bar (8-M14)	A. bolt (8-M24)	Location of splice plate
CS1	427	—	$\epsilon_0=0.15\%$	Outer splice
CS2	427	—	$\epsilon_0=0.15\%$	Inner splice
CS5	0	$\epsilon_0=0.05\%$	$\epsilon_0=0.15\%$	Outer splice
CS6	0	$\epsilon_0=0.20\%$	$\epsilon_0=0.15\%$	Outer splice
CS7	0	$\epsilon_0=0.20\%$	$\epsilon_0=0.15\%$	Inner splice

ϵ_0 : Initial strain. A. bolt : Anchor bolt.

Table 3 Ultimate bending capacity of CS-series

Specimen	N_1 (kN)	N_2 (kN)	cM_U^{*1} (kNm)	sM_U^{*1} (kNm)	$B M_U^{*2}$ (kNm)	$B M^{*2}$ (kNm)
CS1	427	1402	165.1	76.3	556.4	140.2
CS2	427	1402	165.1	73.4	556.4	140.2
CS5	107	975	154.0	48.5	513.7	97.5
CS6	427	975	165.1	76.3	513.7	97.5
CS7	427	975	165.1	73.4	513.7	97.5

N_1 : Axial force above a base plate.

N_2 : Axial force in the underside of a base plate.

cM_U : Capacity of column section.

sM_U : Capacity in the top surface of a base plate.

$B M_U$: Capacity in the underside of a base plate.

$B M$: Moment when a base plate parts from a base.

*1 : Superposed strength. ⁵⁾

*2 : By Akiyama. ⁶⁾

Table 4 Test results of CS-series

Specimen	E_1 (kNm)	E_2 (kNm)	$\frac{E_2}{E_1}$	θ_r ($\times 10^{-3}$ rad)
CS1	2.00	1.58	0.79	1.27
CS2	2.39	2.12	0.89	9.56
CS5	1.72	1.21	0.70	8.35
CS6	1.99	1.39	0.70	1.48
CS7	2.11	1.68	0.80	3.77

E_1 : Energy consumption in the 1st of 1/50rad.

E_2 : Energy consumption in the 2nd of 1/50rad.

θ_r : Residual rotation.

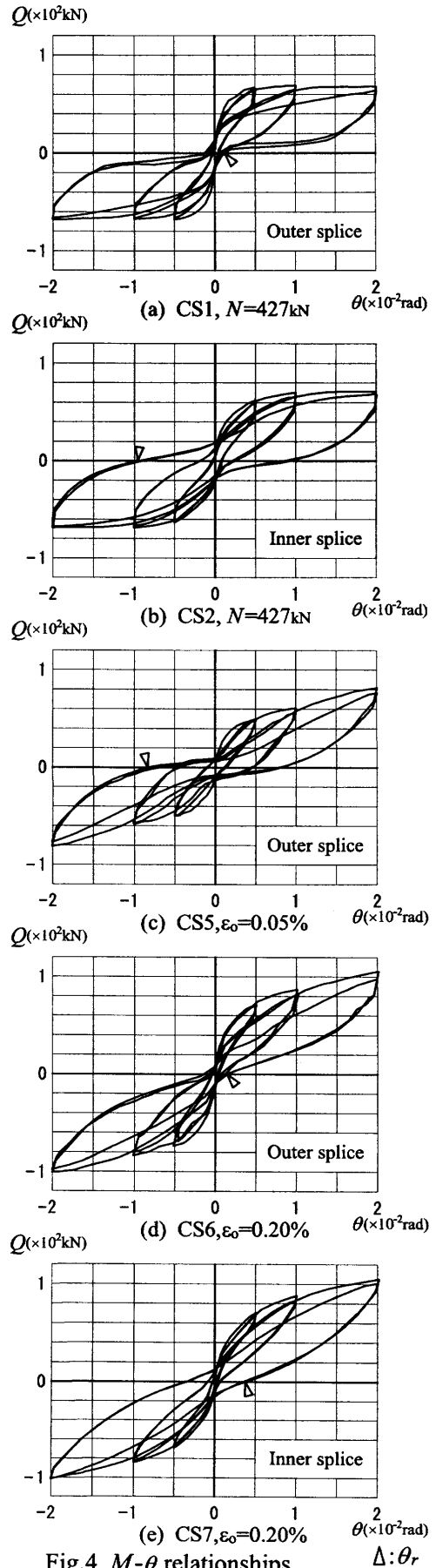


Fig.4 M-θ relationships

Δ: θ_r

間隔に近付きやすい。したがって、外付スプライスの試験体は、相対的にエネルギー消費量が小さくなるとともに復元力の劣化とスリップ量が増大している。なお、上記の力学性能は、本論文の3.3倍程度の細長比の外付スプライスを使用した実験結果^{1), 2)}と比較してかなり改善されている。

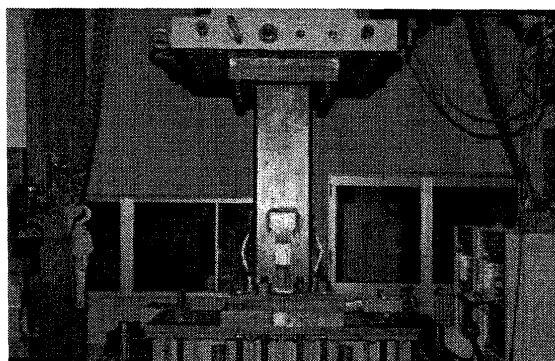


Photo.1 Outer splice

一方、内付スプライスは、面外変形がコンクリートによって拘束され、片振り引張圧縮状態になることから、残留伸びを生じた側においても除荷後の圧縮抵抗が健在である。したがって、相対的にエネルギー消費量が大きくなり、復元力の劣化とスリップ挙動が減少している。

柱脚回転角 $\theta = \pm 1/50\text{rad}$ まで各2回づつ繰り返し加力した際の除荷完了時点 ($Q=0$) の残留回転角の最大値 θ を Table4 と Fig.4 (Δ 記号) に示す。残留回転角 θ は試験体 CS1, CS2, CS5-CS7 の順に、1.27, 9.56, 8.35, 1.48, 3.77 ($\times 10^3 \text{rad}$) を示した。

一定圧縮軸力を受ける場合、外付スプライス CS1 と内付スプライス CS2 の残留回転角を比較すると、前者は $1/785\text{rad}$ とかなり小さく、後者は $1/105\text{rad}$ と大きくなり、後者の残留回転角を小さくするには、より大きな軸力を必要とする。したがって、圧縮軸力によるセルフセンタリングを達成するには、残留回転角とスプライスの圧縮抵抗に基づく接合部の耐力と作用軸力の大きさの関係を定量化する必要がある。

一方、軸力 0 かつ外付スプライスの場合、PC 鋼棒の初期歪み (上述の一定軸力に相当) $\varepsilon_0 = 0.05\%$ の CS5 と $\varepsilon_0 = 0.2\%$ の CS6 の残留回転角を比較すると、前者は $1/120\text{rad}$ と大きく、後者は $1/674\text{rad}$ とかなり小さい。また、軸力 0、内付スプライス、 $\varepsilon_0 = 0.2\%$ の CS7 の θ は $1/265\text{rad}$ と大きいものの、 θ の増大に伴い PC 鋼棒に蓄えられた歪みエネルギーによって CS2 より大幅に改善されている。

以上から、圧縮軸力によるセルフセンタリングが達成できない場合には、セルフセンタリング装置を併用するとよいと判断される。さらに、内蔵鉄筋を柱一節分程度の長さとし、柱軸力と装置の初期導入軸力の総和を主体としてセルフセンタリングを達成する工法も考えられる。

なお、本実験では、鋼柱とベースプレートのズレは殆ど観察されず、CFT 柱から基礎に至る PC 鋼棒のだぼ効果については検証できなかった。

4. 結び

本実験結果から、次の結論が得られた。

- (1) スプライスの圧縮抵抗力を高めることは、復元力の劣化の抑制とスリップの低減に繋がる。
- (2) スプライスの圧縮抵抗力は細長比を小さくすること、あるいは CFT 鋼管内面に取付けることで改善される。
- (3) 復元力がスリップ型の柱脚は、圧縮軸力によるセルフセンタリングが達成されやすい。
- (4) 圧縮軸力によるセルフセンタリングを達成するには、残留回転角とスプライスの圧縮抵抗に基づく接合部の耐力と作用軸力の大きさの関係を定量化する必要がある。
- (5) 圧縮軸力によるセルフセンタリングが達成できない場合には、セルフセンタリング装置を併用するとよい。

【参考文献】

- 1) 九谷和秀, 白川敏夫, 増田貫志, 濱田敬二: 鉄骨柱脚の弾性剛性調節機構に関する研究, 鋼構造年次論文報告集, Vol.11, pp.579-582, 2003.11
- 2) 九谷和秀, 白川敏夫, 濱田敬二: 2 軸曲げを受ける弾性剛性調節機構付き鉄骨柱脚の力学性能, 鋼構造年次論文報告集, Vol.12, pp.277-280, 2004.11
- 3) 中山信雄, 武藤 肇, 平田 亨, 金子洋文: 鉄筋を内蔵する円形 CFT の力学性状, その 1, 実験結果ならびに評価式の提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, 構造 III, pp.1131-1132, 2005.9
- 4) 池永昌容, 長江拓也, 中島正愛, 吹田啓一郎: 残留変形低減をめざしたセルフセンタリング柱脚の開発と載荷実験, 日本建築学会構造系論文集, No.612, pp.223-230, 2007.2
- 5) 日本建築学会: コンクリート充填鋼管構造設計施工指針, 1997
- 6) 秋山 宏: 鉄骨柱脚の耐震設計, 技報堂, 1985