

【論文】

柱継手の塑性変形を許容した鉄骨柱脚の力学性能

九谷 和秀* 白川 敏夫* 濱田 敬二**

Mechanical Performance of Steel Column Bases Allowed the Plastic Deformation of Column Joints

Kazuhide KUTANI Toshio SHIRAKAWA Keiji HAMADA

ABSTRACT In this report, a method of construction that the plastic deformation of a column joint and only the elastic deformation of a column base are allowed is proposed. In consideration of restoration and structural stability, this column joint by splice plates allowed the plastic deformation is set up on the floor slab as a kind of support. From the test result under a cyclic lateral load with a constant axial load, the mechanical performance of this column joint is roughly verified, and structural problems in this method of construction are extracted. To contribute to the improvement of the structural design method of the steel structure, the questionnaire survey of the fabrication in Kyushu was executed.

Keywords: *column base, column joint, splice plate*

1. はじめに

これまでの著者らの一連の研究^{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）により接合する工法を提案し、弾性剛性調節機構としての力学性能及びスプライスの塑性変形のみを許容する工法による柱脚の修復性について検証した。

本研究では、鉄筋コンクリート造床スラブ等に埋め込まれた鉄骨柱脚の被災後の修復性の向上を図るため、柱脚自体は通常ディテールによる弾性設計とし、代わりに床スラブ直上に設けた柱継手の構成要素のうち、取り替え可能なスプライスの塑性変形のみを許容する新工法を提案する。なお、本工法による修復作業は空中で行え、かつスプライスの取り外し後も相応の鉛直荷重負担能力を期待できることから、比較的容易に行えよう。

本報では、スプライスにより溶接接合された柱継手を有する片持ち柱の一定鉛直荷重下における水平加力実験を計画し、力学性能の検証と構造上の問題点の抽出を行う。なお、本工法における接合法は溶接に限定するものではない。

* 九州産業大学工学部建築学科

** 織本匠構造設計研究所

2. 実験概要

試験体 SP13~16 は、Fig.1,2 に示すように途中に柱継手を有する柱(BCR295, □-200×200×9)とベースプレート(SN400B, 28×360×360)を完全溶け込み溶接接合し、アンカーボルト(PC-bar, 8M24, 全ねじ)を介して基礎(実験では鋼製基礎)と緊結する構造とした。なお、アンカーボルトはアンボンドとし、かつ導入張力は手締め程度とした。

柱継手の位置は、その塑性化によって柱が不安定にならないよう床スラブ直上とし、ここでは、床スラブに 100mm 程度埋め込まれる場合を想定し、ベースプレート上面から 200mm 上に設けた。また、柱継手はスプライス(SN490B, 平行部 22×30×150)による隅肉溶接接合とした。

繰返し水平加力時のスプライスは、引張側で塑性伸びを生じた後、圧縮側に移行して座屈し、柱の表面外へはらみでる挙動^{1),2)}を示す。この現象を低減するため、スプライス板厚の中心線が断面の強軸となるよう幅 10mm のスリットを設け、さらに材長も短く設定した。また、せん断力の伝達機構として継手位置の柱内部に箱状金物を設置し、メタルタッチ部の横ズレ防止を図った。

鋼材の機械的性質を Table1 に示す。

柱断面の全塑性モーメント M_{pc} 、柱継手の終局曲げ耐力³⁾ M_U (ベースプレート下面位置に換算) 及び柱脚の同上耐力³⁾ $c_b M_U$ の計算結果を Fig.3 に示す。なお、柱脚の耐力はベースプレートの曲げ降伏により決定され、柱脚と柱継手の耐力比は試験体 SP13~16 の順に 1.34, 1.41, 1.70, 2.55 となり、継手の降伏が先行するよう計画されている。

また、ここではスプライス総断面積と柱断面積の比は $4A_s/A_c=0.4$ と若干大きめに設定され、柱継手と柱の耐力比 M_U/M_{pc} は、試験体 SP13~16 の順に 1.19, 1.01, 0.65, 0.35 となり、多様な破壊モードが出現し、構造上の問題点を抽出するのに都合がよいよう計画されている。

3. 結果と考察

柱の前面と側面 (Fig.2 参照) に取り付けられたスプライスの歪 (SP16 の前面は 1/20rad 時に断線) をそれぞれ Fig.4, Fig.5 に示す。

引張歪は、前面、側面とも軸力が小さい程増大する傾向を示している。一方、圧縮歪は全般的に小さく、かつ前面では軸力による相違が僅かであり、また側面では殆どゼロに近い。

全長 850mm の試験体の伸縮量 (伸びを正) を Fig.6 に示す。伸縮量は、全長 3.84m の両端ピンの軸力載荷用ジャッキの突出量の鉛直成分から推測した。なお、一定軸力載荷後を原点としており、柱及びスプライスの鉛直荷重による弾性変形は含まれていない。また、実験終了時までのベースプレートの浮き上がりは殆ど観察されなかった。これらから、伸縮量は繰返し水平力による柱及びスプライスの変形に相当するものと考えられる。

圧縮軸力 $0.25A_c\sigma_Y$ を受ける SP13 と $0.25A_cF$ を受ける SP14 の最大縮量は、柱下端の曲げ降伏に起因するものであり、それぞれ最大 1.5, 0.8mm 程度を示すが、無視できる値と言えよう。

軸力のない SP15 と引張軸力 $2A_s\sigma_Y$ を受ける SP16 は、それぞれ最大 2.6, 6.0mm 程度の継手の離間を生じた。実際の構造物には鉛直荷重が作用しており、少々の継手の離間は問題にならないと考えられるが、実用化に際し、過大な引張軸力を受ける柱には、スプライスの降伏に伴う継手の離間量を制限する装置を組み込む必要がある。

柱脚の曲げモーメント M と柱部材角 R の関係を Fig.7 に示す。なお、実験値の M と R は、それぞれ $M=Qh+N\delta$, $R=\delta h$ とした。ここで、 δ は水平加力点とベースプレート下面間における柱の相対水平変位とした。図中には、弾性剛性を点線で、

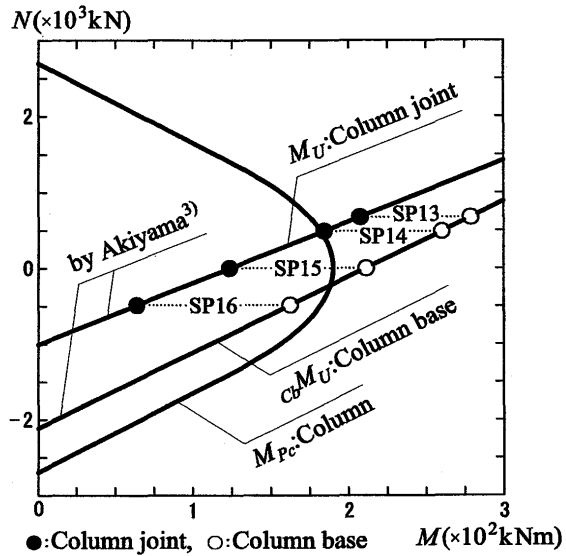


Fig.3 M-N relationships

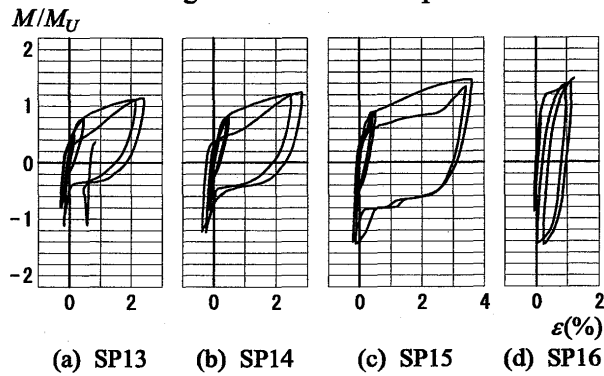


Fig.4 Strain of a front splice plate

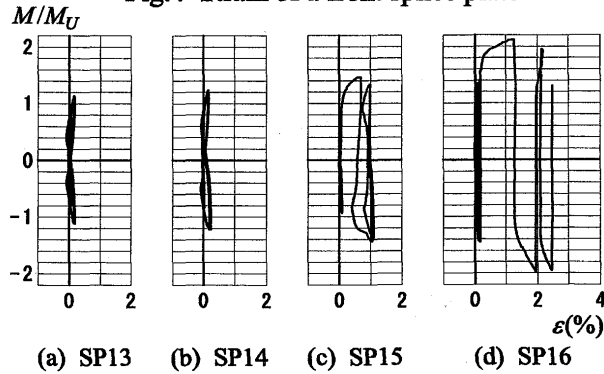


Fig.5 Strain of a side splice plate

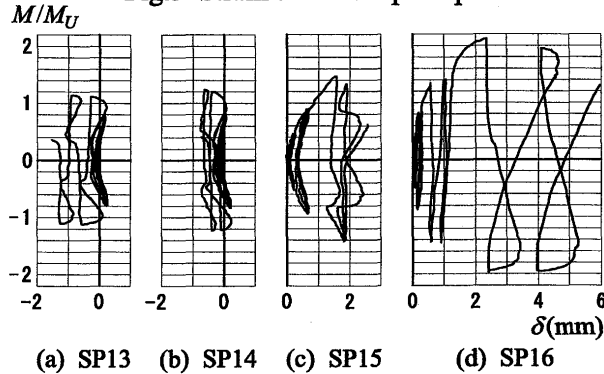


Fig.6 Elongation of specimens

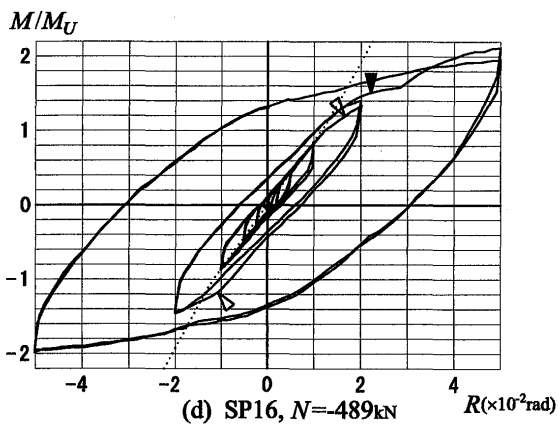
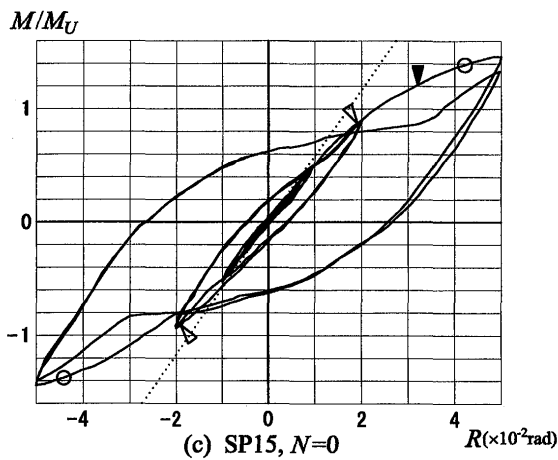
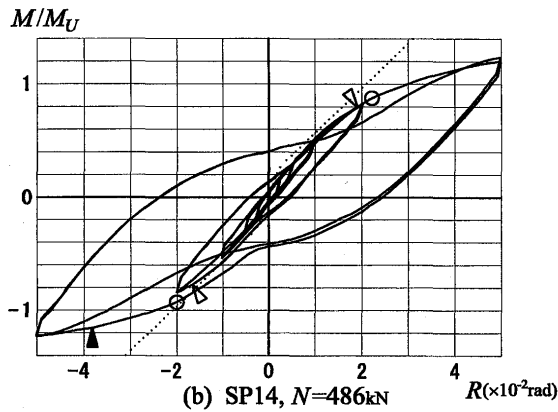
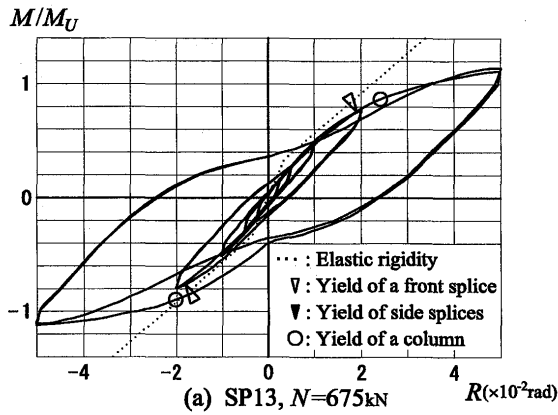


Fig.7 M-R relationships for specimens

歪ゲージの値から判定した曲げ引張側スプライス、側面スプライス及び鋼柱の降伏をそれぞれ▽, ▼, ○印で示す。なお, ▼時を降伏曲げ耐力 $E_M Y$, ▼時を終局曲げ耐力 $E_M U$ とし, Table2 に示す。

弾性剛性の計算値は, $M-R$ 実験曲線を概ね追跡している。また, 試験体 SP14~SP16 は圧縮 $0.25A_c F$ から引張 $2A_s \sigma_Y$ の範囲の軸力を受けており, 終局耐力はスプライスの引張降伏により決定され, $E_M U / M_U = 1.16 \sim 1.51$ を示した。なお, 圧縮軸力 $0.25A_c \sigma_Y$ を受ける SP13 は柱の曲げ降伏により終局に至った。

スプライスは細長比 $\lambda \geq 18$ (両端固定と想定) で, 圧縮抵抗を期待でき, 前報^{1), 2)} のスリップ型と比較してより安定した紡錘形の復元力特性を示した。これは, 板幅方向 (Fig.1(c)の x 軸方向) に座屈するようスリットを設け, かつ長さを短くしてスプライスの面外変形を低減できたことによる。面外変形の最大値 (ノギスで計測) は, 最終ループの $-1/20\text{rad}$ 時かつ最初に曲げ引張を受ける側のスプライスに生じ, 試験体 SP13~16 の順に 3.4 (前報^{1), 2)} の 1 割程度), 1.8, 1.9, 0mm 程度であった。なお, 同一部材角における繰返し加力時には, Fig.4 に示すようにスプライスの歪履歴が除荷点指向型となり, 2 回目の $M-R$ 関係は若干劣化した除荷点指向型の復元力特性を示した。

4. 結び

本実験結果から, 次の結論が得られた。

- (1) 床スラブ等に埋め込まれた柱脚を弾性とし, 代わりに, 床スラブ等の直上に設けた柱継手の塑性変形を許容する本工法は, 構造物の支点としての力学性能を確保することにより, 被災後の修復性を考慮した柱脚部の一工法となり得る。
- (2) スプライスのみを降伏させるには, 柱, 継手, 柱脚の曲げ耐力比を適切に設定する必要がある。
- (3) スプライスの変形挙動を改善することにより本工法の力学性能を向上できる。

【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 軸曲げを受ける剛性調節機構付き鉄骨柱脚の力学性状, 鋼構造年次論文報告集, Vol.12, pp.277-280, 2004.11
- 3) 秋山 宏: 鉄骨柱脚の耐震設計, 技報堂, 1985