

【論文】

鉄骨柱脚の弾性剛性調節機構に関する研究 その2 2軸曲げを受ける場合の力学性能

九谷 和秀* 白川 敏夫* 濱田 敬二**

Study on Adjustment Mechanism of Elastic Rigidity of Steel Column Bases Part 2 Mechanical Performance under Bi-axial Bending

Kazuhide KUTANI Toshio SHIRAKAWA Keiji HAMADA

ABSTRACT In this report, a steel column base in which only the elastic rigidity is able to be adjusted without changing the bending capacity is proposed. As one example of the adjustment mechanism of the elastic rigidity, a joining method of a steel column and a base plate using the flexible joint by splice plates instead of the welded joint is proposed. Here, the mechanical performance of this column base under bi-axial bending is roughly verified by a series of loading tests, and structural problems in this method of construction are extracted.

Keywords : column base, elastic rigidity, semi-rigid, splice plate

1. はじめに

本研究の目的は、比較的低層の鉄骨構造骨組に対して耐力を変えずに剛性調節できる柱脚を開発することであり、前論文¹⁾では、剛性調節機構の一例として、スプライスプレートによる角形鋼管柱とベースプレートの接合法を提案し、概ね目的に沿う力学性能が得られることを検証した。

本論文では、上記柱脚に対して柱心と鋼管角部を結ぶ斜め45°方向への水平加力実験を計画し、2軸曲げを受ける場合の力学性能を検証するとともに本工法における構造上の問題点を抽出する。また、加力済み試験体¹⁾の再利用を図ることにより、被災後の修復性についても検討する。

2. 実験概要

本柱脚部は、Fig.1,2に示すように角形鋼管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）により接合し、アンカーボルトを介して基礎（実験では鋼製基礎とした）と緊結する構造と

* 建築学科

** 織本匠構造設計研究所

し、試験体はSP5~8の4体とした。また、柱母材の約1/2の曲げ耐力、並びに反曲点高比が約1/3となる弾性剛性を有し、かつスプライスのみ降伏する構造とした。

スプライスとベースプレートは完全溶込み溶接、スプライスと柱はナローギャップ溶接とした。また、柱とベースプレートはメタルタッチとし溶接していない。なお、試験体SP6~8は、ベースプレート上面に隅肉溶接した突起物を柱内部に挿入して、せん断力の伝達機構を強化した。

鋼柱は、STKR400、□-200×200×8、ベースプレートは、SS400、PL-19×360×360とし、共に前実験¹⁾に用いた試験体の一部を再利用した。スプライスは、SM490A、PL-6×50×330（伸び部寸法）とし、レーザ加工により製作した。アンカーボルトは、ABR490、8M16、転造ねじ、埋込み深さ $L_b=40d$ （ d :軸径）とした。また、アンカーボルトには実験開始直前に手締め程度の初期導入張力を与えた。なお、本実験に用いた鋼材の機械的性質はTable1に示す通りである。

加力状況と変位の測定位置をFig.2に示す。加力

点は自由端とし、一定軸力 N とせん断力 Q は、ロードセルを用いて計測した。加力点はベースプレート下面から反曲点高さ $h=1200\text{mm}$ の位置とし、水平繰返し加力時の除荷点は柱下端の回転角 $\theta=\pm 1/400, \pm 1/200, \pm 1/100, \pm 1/50, \pm 1/20\text{rad}$ (傾斜計による) を目標値とした。なお、 N は圧縮を正とし、試験体 SP5~8 の順に $0.25A_c\sigma_Y, 0.25A_cF, 0, -2A_s\sigma_Y$ すなわち 557, 352, 0, -228kN とした。ここに、 A_c, A_s はそれぞれ柱断面積、スプライス 1 枚の断面積、 σ_Y, F はそれぞれ鋼柱の降伏点、 F 値を表す。また、スプライスとアンカーボルトの歪は材長 1/2 点の表裏に、柱の歪はベースプレート上面から 50mm 上の角部に歪ゲージを貼付して計測した。

3. 結果と考察

終局曲げ耐力の実験値 $EM+$, $EM-$ は、それぞれ正、負方向水平加力におけるスプライス降伏時の耐力とし、Table2 に示す。

本柱脚の耐荷機構を Fig.3 に示す。ここで、鋼製基礎と鋼柱を剛体と想定すると、柱脚部の終局耐力は、他の構成要素に先行するスプライスの引張降伏によって決定され则认为される。したがって、ここでは降伏曲げ耐力²⁾を終局曲げ耐力 M_U と見なしている。Fig.3(a) は、Fig.2(b) に示した x 軸回りの曲げを受ける場合¹⁾ の耐荷機構である。圧縮合力 C

の作用点は曲げ圧縮側柱外縁 (柱心から距離 d_c) と想定され、スプライス 1 枚の引張耐力を $A_s \cdot \sigma_Y$ とすると、Fig.1 から $d_s=1.12d_c$ であることから、 M_U は (1) 式のように表される。

Table 1 Mechanical properties of the steel

Materials		σ_Y	σ_B	ϵ_B
Part	Shape	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(%)
Column	PL- 8	373	467	26
Base plate	PL-19	271	413	33
Splice plate	PL- 6	394	543	25
Anchor bolt	ϕ -14.55	364	539	30

Table 2 Test results of SP-series

Specimen	N (kN)	$EM+$	$EM-$	M_U (kNm)	$EM+$	$EM-$
		(kNm)	(kNm)		M_U	M_U
SP5	557	113.8	108.0	103.5	1.10	1.04
SP6	352	94.4	91.5	83.0	1.14	1.10
SP7	0	55.0	52.8	47.8	1.15	1.11
SP8	-228	28.7	27.1	24.9	1.15	1.09

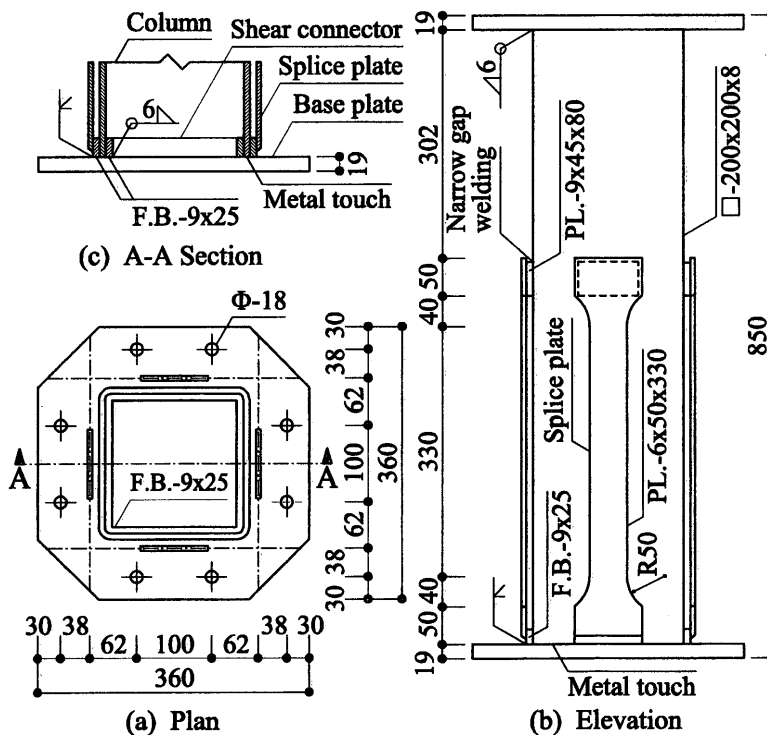
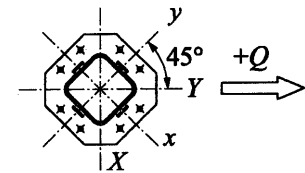
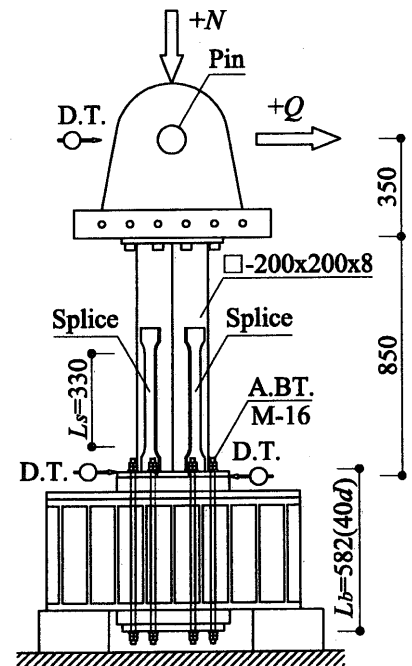


Fig.1 Details of column bases



(b) A-A section



(a) Elevation

Fig.2 Test setup and location of displacement transducers

一方、Fig.3(b)は X 軸回りの曲げを受ける本実験の場合の耐力機構であり、鋼柱が降伏した事実から圧縮合力 C の作用点を柱心から距離 d_c と仮定すると、 M_U は(2)式のように表される。

$$M_U = (4.12A_s \cdot \sigma_Y + N)d_c \quad \dots\dots(1)$$

$$M_U = (4A_s \cdot \sigma_Y + N)d_c \quad \dots\dots(2)$$

前実験¹⁾と本実験の実験耐力が酷似していることから、 $d_c \approx d_c = 100$ と推察されるが、この点については今後の実験等によって明らかにしたい。

次に、本柱脚部の M-N 相関関係を Fig.4 に示す。柱断面積を Fig.3(b)のように細分割し、圧縮降伏する柱と引張降伏するスプライスの M-N 相関耐力同士の累加耐力³⁾を実線で、(1)式を破線で示す。圧縮軸力下では、累加耐力は実験耐力を可成り安全側に評価しており、(1)式による耐力の方が実情に近い。これは、歪み硬化に伴う鋼柱の耐力上昇が著しいためと推察される。

なお、(1),(2)式における柱軸力 N の上限値は、基礎および鋼柱の耐力性能に依存する値であり、実設計に適用する際は、基礎コンクリートおよび鋼柱の耐力を考慮して設計する必要がある。

以上から、研究の現段階では2軸曲げを受ける場合の終局曲げ耐力評価式として x 軸回りの上記(1)式を用いた。併せて、弾性剛性評価式³⁾も同軸回りの下記(3),(4)式を用いることとした。なお、本実験では鋼製基礎の変形が無視できることから、 $0 \leq M \leq Nd_c$ では $K_c = \infty$ とした (Fig.5 参照)。

$$K_m = 1 / (1/K_1 + 1/K_2 + 1/K_3) \quad \dots\dots(3)$$

$$K_t = 1 / (1/K_4 + 1/K_5 + 1/K_6) \quad \dots\dots(4)$$

ここに、

$$K_1 = 2E_s \cdot A_b (d_b + d_c)^2 / L_b, \quad K_2 = E_s \cdot A_s (d_s + d_c)^2 / L_s$$

$$K_3 = E_s \cdot B_e \cdot r^3 (d_b + d_c)^3 / \{ (d_b - d_s)^2 (d_s + d_c) (4d_b - d_s + 3d_c) \}$$

$$K_4 = 4E_s \cdot A_b \cdot d_b^2 / L_b, \quad K_5 = 2E_s \cdot A_s \cdot d_s^2 / L_s$$

$$K_6 = E_s \cdot B_e \cdot r^3 \cdot d_b / \{ 2(d_b - d_s)^2 \}$$

E_s : 鋼材のヤング係数

A_b : アンカーボルト1本の軸断面積

A_s : スプライス1枚の断面積

L_b, L_s : Fig.2 参照, その他 : Fig.5,6 参照

柱脚の曲げモーメント M と回転角 θ の関係を Fig.7 に示す。なお、縦軸は(1)式による終局曲げ耐力 M_U で無次元化した。また、実験値の M は $M = Qh + N\delta$ とし、 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、弾性剛性を点線で、スプライス、アンカーボルト、鋼柱の降伏をそれぞれ ∇ , \blacktriangledown , \circ 記号で示す。

前論文¹⁾と同様に柱頭と柱脚の曲げ耐力比が 1/2、かつ反曲点高比が 1/3 となるようスプライスの長さ

を調節して得られた本柱脚の弾性剛性は、実験曲線を概ね追跡している。また、本柱脚はスプライスに若干のねじれを伴うものの、終局曲げ耐力はスプラ

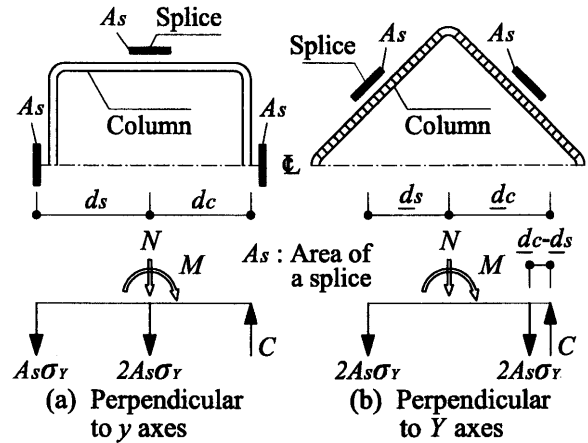


Fig.3 Load carrying mechanism

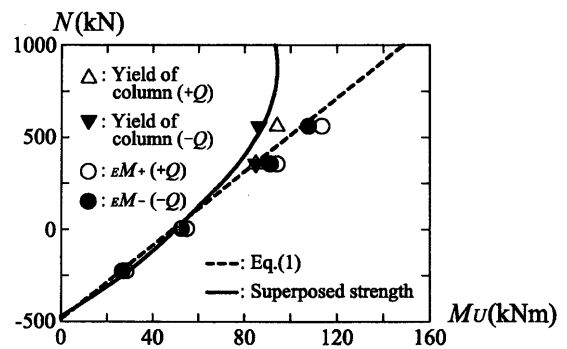


Fig.4 M-N interaction curves

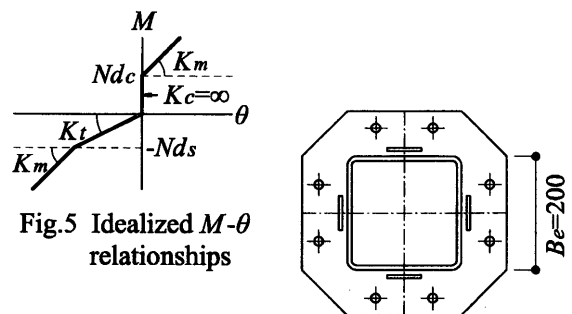


Fig.5 Idealized M-θ relationships

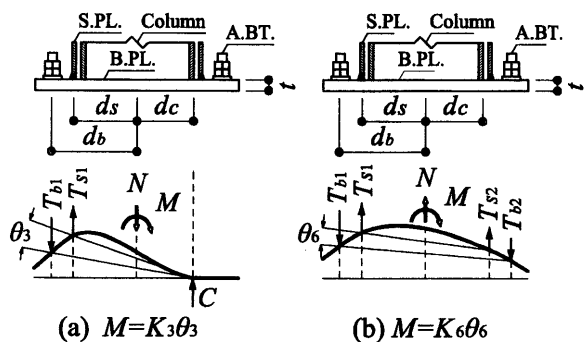
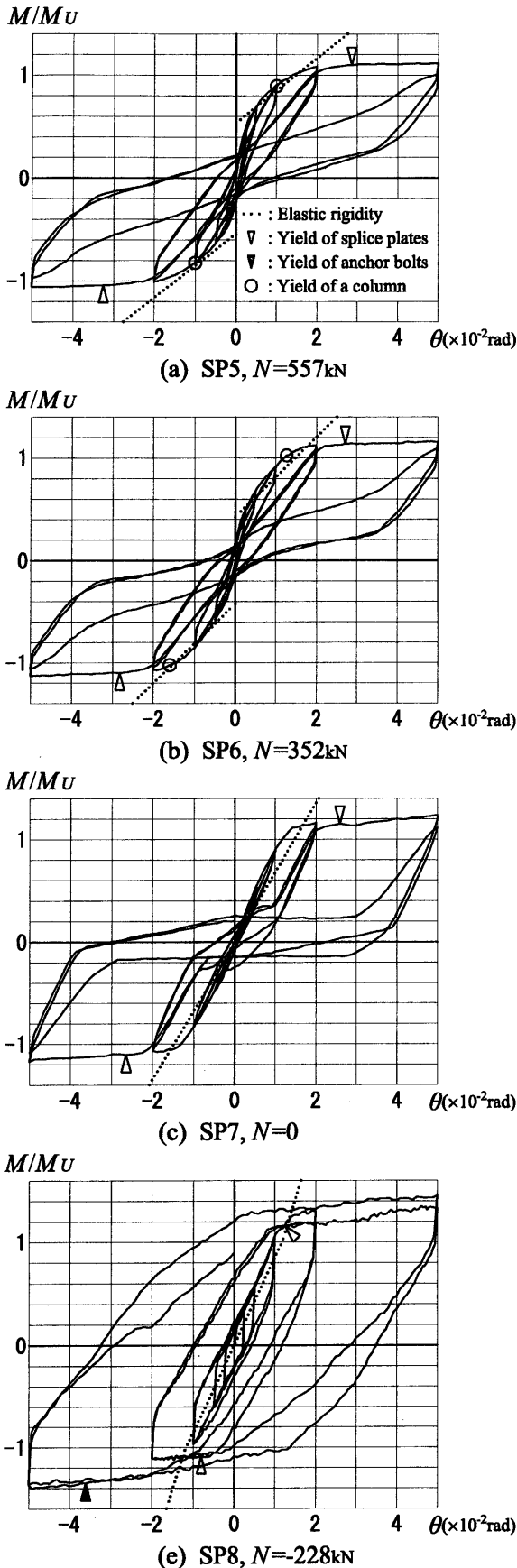


Fig.6 Idealized deformation of base plates

Fig.7 $M-\theta$ relationships

イスの引張降伏により決定され、計算値と実験値は概ね一致している。

上記 x 軸回りの計算値は、弾性剛性・終局曲げ耐力とともに X 軸回りの耐荷機構の実態との整合性を欠くものではあるが、前者の計算値により後者の力学性能を概ね評価できることから、実用上の問題は少ないと言えよう。

本柱脚は、スプライスが座屈し、単純圧縮・引張降伏状態にならないため前論文¹⁾と同様にスリップ型の復元力特性を示した。また、圧縮軸力 $0.25A_c\sigma_y$ と $0.25A_cF$ を受ける鋼管柱脚の角部は、水平加力時に局部的な圧縮降伏を起こすものの、軸力・曲げについての耐荷性能の劣化には至らなかった。一方、引張軸力 $-2A_s\sigma_y$ を受ける場合は、スプライス降伏後の歪み硬化に伴う耐力上昇のため一部のアンカーボルトに引張降伏が見られた。なお、スプライス取り付け部の異状並びにベースプレート上面に設けた突起物によるせん断抵抗の効果は、特に観察されなかった。

本工法は、被災後の修復性を重視することから、柱脚部におけるアンカーボルトの耐力をより一層高めるとともにその配置についても見直す必要がある。また、実設計に適用するためには、ベースプレートの曲げ変形を無視できる構造とし、弾性剛性の計算法を単純化すべきであろう。

4. 結び

本実験結果から、次の結論が得られた。

- (1) 本柱脚が 2 軸曲げを受ける際の力学性能は、主軸回りの終局曲げ耐力評価式(1)式、並びに弾性剛性評価式(3),(4)式により概ね評価できる。
- (2) 本柱脚が 2 軸曲げを受ける際の鋼管角部の局部的な圧縮降伏は、無視できる程度である。
- (3) 本柱脚部は、実用性および修復性の観点からベースプレートの剛性およびアンカーボルトの耐力を高める必要がある。

【参考文献】

- 1) 九谷和秀, 白川敏夫, 増田貫志, 浜田敬二: 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) 秋山 宏: 鉄骨柱脚の耐震設計, 技報堂, 1985
- 3) 九谷和秀, 増田貫志: 鉄骨構造露出形式柱脚部の終局耐力に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文報告集, No.433, pp.39-49, 1992.3