

2 種類の降伏機構を有する露出型柱脚の強度特性に関する研究

A Study on Strength Properties of Composite Exposed-type Column Bases with Two Types Yield Mechanism

○新井 佑一郎* 柳田 佳伸* 寺内 将貴** 石鍋 雄一郎***
Yuichiro ARAI Yoshinobu YANAGITA Masaki TERAUCHI Yuichiro ISHINABE

ABSTRACT : Composite exposed-type column bases have characteristic that base plate and anchor bolts plastic deformation it together. The column base compounds in anchor bolts hinge which is used in general type it and base plate hinge. Base plate hinge type is superior in earthquake-resistant, but it is difficult to perform structural design. The column base simplifies plastic deformation of base plate and design is easily enabled. In this paper build strength calculating formula of composite exposed-type column bases, and inspected calculating formula by an experiment.

Keywords : 露出型柱脚, ベースプレート降伏, 強度特性

Exposed-type column bases, Yield of base plate, Strength Properties

1. はじめに

中低層の鉄骨建物では露出型柱脚が幅広く用いられている。露出型柱脚はベースプレート(以下 BPL)が取り付けられた鉄骨柱と基礎コンクリートをアンカーボルト(以下 AB)で緊結する構造である。耐震設計時にヒンジを設ける部分は、AB もしくは柱母材がほとんどであり、条件に応じて設計者が選択している。

AB 降伏型の場合、履歴形状はスリップ型となるため、エネルギー吸収能力は乏しい¹⁾。これに対し、柱降伏型の場合は、履歴形状が紡錘形となり高いエネルギー吸収能力が発揮されるため、耐震性に優れた構造となる²⁾。しかし、柱脚の強度を大きくする必要があるので、AB 降伏型に比べ柱脚周辺の部材物量は増加し、コストの増加や施工性の悪化といった課題が発生する。

一方、従来とは異なる柱脚の降伏形式として、BPL を降伏させる機構が提案されている。BPL 降伏型は、曲げを受けて柱脚が回転変形する際に、BPL を曲げ降伏させるものであり、履歴形状は

紡錘型となることからエネルギー吸収能力は高い。また、柱降伏型と比較して、柱脚の強度を抑えられるため、コストの増加や施工性の悪化といった課題も解決される。しかし、BPL の変形挙動が複雑なため³⁾、実設計にはあまり用いられていないのが現状である。

本研究は、BPL 降伏が有する高いエネルギー吸収能力を生かすため、AB 降伏型と BPL 降伏型を組み合わせた 2 種類の降伏機構を有する「複合型露出柱脚」の提案と検証実験を行う⁴⁾。

複合型露出柱脚の特徴は、弾性範囲で BPL と AB の 2 つの要素が、ともに荷重を負担することである。よって、1 次設計レベルで要求される基本的な性能は、実績が豊富な AB 降伏型の設計方法を取り入れることができる。AB 降伏後の 2 次設計レベルでは、BPL 降伏による優れたエネルギー吸収能力を生かし、耐震性を向上させる領域としている。

本論では、既往の研究²⁾を基に、BPL 降伏型の強度式を構築し、実験結果と比較した。また、

*工博 青木あすなろ建設(株)技術研究所(〒300-2622 茨城県つくば市要 36-1) 第 2 種正会員
**工修 青木あすなろ建設(株)技術研究所(同上)
***工博 日本大学理工学部 助教(〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14) 第 2 種正会員
本論文の一部は日本建築学会大会学術講演梗概集,pp.1171-1174, 2016.8 に発表

実験結果から BPL 降伏後の挙動を抽出し、複合型露出柱脚の終局強度算定時に必要な耐力上昇率の実験定数の評価も行い、設計式構築のための条件を設定した。

2. 複合型露出柱脚の概要

2.1 耐力機構の概要

複合型露出柱脚の概念図 4)を 図 1 に示す。

構成上の特徴として、BPL が 2 種類の厚さになっており、内側の厚い BPL を内 BPL、外周部の薄い BPL を外 BPL と称す。AB も同様に 2 種類配置され、内側に配置されているものが内 AB、外周部に配置されているものが外 AB となっている。BPL は、図 2 のように板の重ね合わせではなく凸型の一体構造となっており、隅切りされた八角形の内 BPL に額縁状の外 BPL をはめ込み、双方を突合せ溶接で接合したものである。この形状により、BPL に生じる降伏線位置が明確になり、BPL 降伏時の挙動が予測しやすくなる。

内 AB は構造用 AB で構成され、地震力を受けた際は降伏し、スリップ型の履歴を描く。外 AB は、外 BPL を基礎コンクリートに緊結させる目的で配置されており、柱脚が終局状態に至った場合でも降伏させない。そのため、内 AB と外 AB の間に相対変位が生じることとなり、薄い外 BPL は地震時に面外曲げ降伏し、紡錘型の履歴を描く。複合型露出柱脚は、内 AB と外 BPL の 2 本の弾塑性ばねが並列に取り付けられたモデルとなり、全体の履歴性状はスリップ型(内 AB)と紡錘型(外 BPL)の単純累加となる。全体の履歴性状に紡錘型の要素が含まれるため、安定したエネルギー吸収能力を発揮することが可能な柱脚である。

2.2 複合型露出柱脚の耐力式

ここでは、文献 2 において実施した実験から得た BPL 降伏型における耐力の実験式導出過程を示す。実験式では BPL の挙動を梁としてモデル

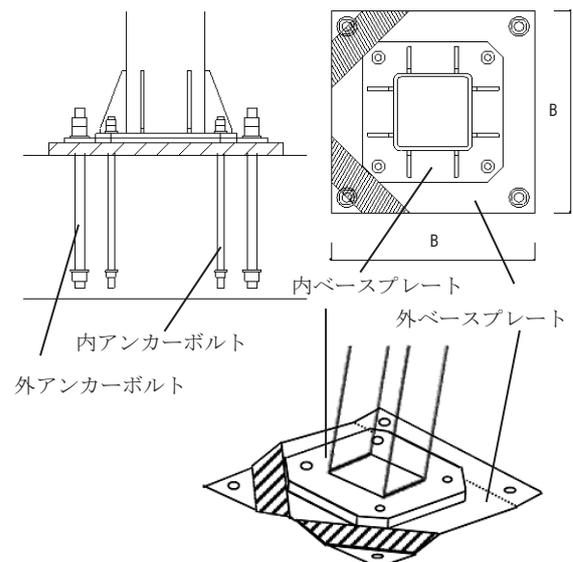


図 1 複合型露出柱脚-概念図

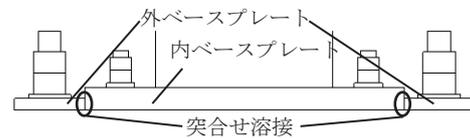


図 2 複合型露出柱脚-断面図

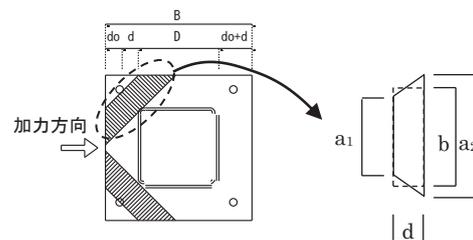


図 3 台形板要素の矩形板への置換

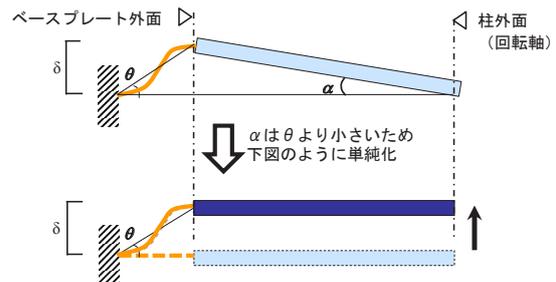


図 4 ベースプレートの变形モデル

化し柱脚の強度を示している。BPL において最も大きく塑性変形する台形板要素(図 3 中の斜線を施した部分)が柱脚の強度を支配すると考えられるため、台形板要素を矩形板に置換し、図 4 のように、この板要素の梁に置き換え、強度式を構築する。なお、内 BPL は弾性要素なので剛体要素と仮定する。以下の実験式を導くプロセスで

は、各物理量の次元だけを考慮し、定数は省略して式を展開している。そして最終的に得られた実験式に実験定数を考慮することによって BPL 降伏型の強度が示される。

実験式を表すための変数を、外 BPL 板厚 t 、外 BPL 幅 B および図 3 中の板要素寸法 d 、 b とする。文献 2 では、BPL のみが降伏する柱脚の強度式を、実験定数を用いて表現している。本論では、既往の実験式が複合型露出柱脚にも適用可能かを簡便に評価するため、実験定数が 4 つのパラメータで構成されていると仮定し、理論との対応性を予備的に検証した。

外 BPL 板要素の降伏曲げ強度 M_{oby} は係数 c_1 を用いて式(1)のように表せる。 c_1 は降伏状態により $1/6 < c_1 < 1/4$ の範囲で値をとるが、降伏モーメントの場合は $c_1=1/6$ である。

$$M_{oby} = c_1 \cdot \sigma_y \cdot b \cdot t^2 \quad \dots (1)$$

M_{oby} : BPL 矩形板の面外曲げ強度 σ_y : BPL の降伏点
 c_1 : 断面性能の係数 b : 台形要素平均幅
 t : BPL 板厚

次に、矩形板要素に生じるせん断力を求める。矩形板要素は、せん断力を受ける梁要素に置換されるため、作用するせん断力 Q_{oby} は式(2)のように表すことができる。

$$Q_{oby} = c_2 \cdot M_{oby} / d \quad \dots (2)$$

Q_{oby} : 降伏板要素作用せん断力 d : 台形要素の高さ
 c_2 : モーメント分布に関する係数

ここで c_2 は、梁モデルのモーメント分布形により異なり、 $1 < c_2 < 2$ の範囲で値をとる。BPL が降伏する場合、図 5 のように板要素の両端は降伏すると考えられるため、 c_2 は 2 に近い値になる。

最後に、BPL 降伏による柱脚の降伏強度を算出する。 Q_{oby} は、BPL 降伏部 1 か所当たりの荷重である。そのため、引張側の外 BPL 降伏箇所数に関する係数 c_3 が必要になる。本論で示す複合型露出柱脚は AB が 4 隅に配置されるため、引張側には Q_{oby} が作用する板要素が 2 か所存在す

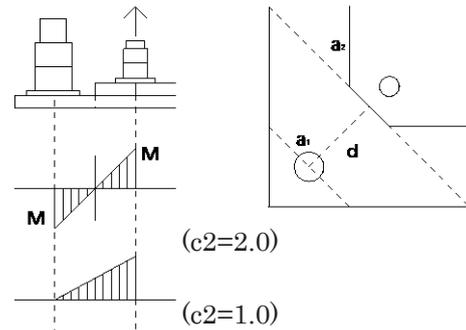


図 5 梁モデルのモーメント分布と c_2 の値

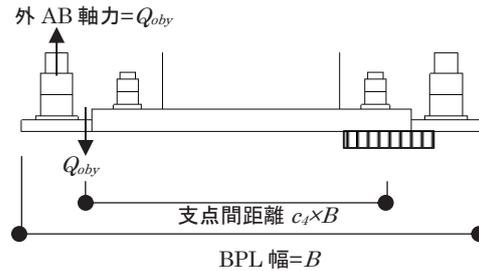


図 6 支点間距離の概念図

る。よって $c_3=2$ となる。さらに、図 5 で示すように、BPL 幅 B に対する支点間距離の補正係数 c_4 を乗じることで、BPL 降伏柱脚の降伏強度を算出することができる。降伏強度算出式と実験定数 c_{am} 算出式を式(3)、(4)に示す。

$${}_f M_{by} = c_3 \cdot c_4 \cdot B \cdot Q_{oby} = c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot c_4 \cdot \frac{\sigma_y B b t^2}{d} = \frac{\sigma_y B b t^2}{d \cdot c_{am}} \quad \dots (3)$$

$$c_{am} = (c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot c_4)^{-1} \quad \dots (4)$$

${}_f M_{by}$: BPL 降伏柱脚の降伏荷重
 c_3 : 降伏要素数
 c_4 : 支点間距離補正係数
 B : BPL 幅

式(3)、(4)中の c_4 は一概に理論解を得ることが難しい。ここで設定されている実験定数 $c_{am}=2.3$ から逆算すると c_4 は約 $2/3$ となり、ベースプレート幅 B の $2/3$ が支点間距離になる。複合型露出柱脚の BPL は柱径に対して比較的大きいことから、 c_4 は現実的な値といえる。また、この耐力式は BPL が降伏を開始する荷重を求めるものである。柱脚の設計では、BPL の全塑性耐力やその後の耐力上昇についても評価する必要がある。そ

のため、柱脚の終局耐力は ϕM_{by} よりも大きな値になる。BPL 降伏領域の断面形状は矩形であるため、形状定数 $s=1.5$ が強度上昇率となる。また、その後の非線形領域における強度上昇を s_a とすると、終局強度 ϕM_{bu} は式(5)のように表される。

$${}_f M_{bu} = s_a \cdot s \cdot {}_f M_{by} \quad \dots (5)$$

${}_f M_{bu}$: BPL降伏柱脚の終局強度 s : 形状定数(=1.5)

s_a : BPL塑性化後の強度上昇係数

なお、アンゲル材を用いた柱脚の研究⁵⁾から、板要素面外曲げ降伏後の耐力上昇は大きく、降伏強度の2~3倍程度になることが示されている。

複合型露出柱脚はAB降伏型にBPL降伏機構を組み合わせたものであり、軸力の効果を加算した単純累加式で柱脚の降伏強度 M_y と終局強度 M_u を表すことができる。

$$M_y = \frac{\sigma_y b B t^2}{d c_{am}} + M_{ay} + M_n = {}_f M_{by} + M_{ay} + M_n \quad \dots (6)$$

$$M_u = s_a \cdot s \cdot {}_f M_{by} + M_{ay} + M_n \quad \dots (7)$$

M_y : 複合型露出柱脚の降伏強度

M_{ay} : アンカーボルト降伏による強度

M_y : 複合型露出柱脚の降伏強度

M_n : 軸力による付加モーメント

ここで、AB降伏による強度 M_{ay} と軸力による付加モーメント M_n は、指針⁶⁾等に示される従来のAB降伏柱脚の設計と同一の式を用いる。

後述する4章では3章の実験結果をもとに、降伏強度の計算式と実験値の対応性、強度上昇係数

s_a の値について検討を行う。

3. 予備検証実験

3.1 実験概要

複合型露出柱脚が想定した挙動を示すのか検

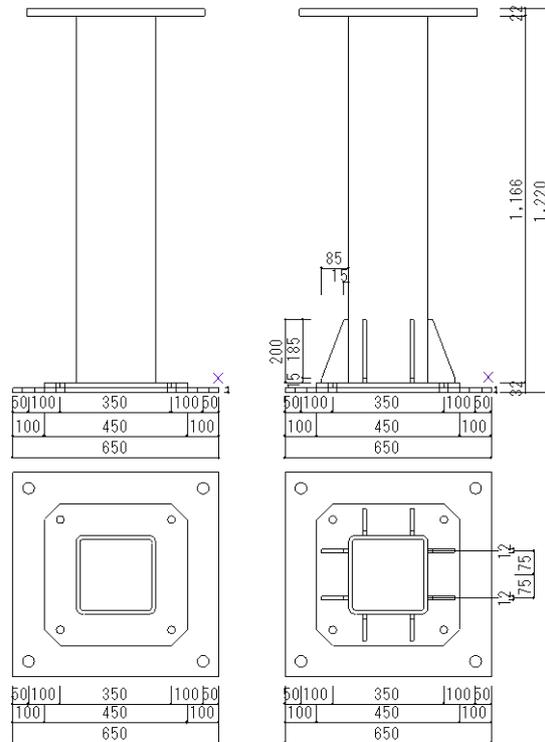


図7 試験体図面

表1 材料試験結果

部材名	鋼種	降伏点(上) oy(N/mm ²)	降伏ひずみ ε(%)	引張強さ ou(N/mm ²)	伸び率 εf(%)	試験片
内AB(9N,16N,25N,25R)	SNR400B	309.7	0.15	459.3	27.5	2号
内AB(16R)		317.9	0.15	462.6	30.9	2号
外AB(9N,16N,16R)	SD345	361.0	0.20	532.0	26.7	14A号
外AB(25N)	SD490	559.9	0.34	736.5	19.0	14A号
外AB(25R)		559.9	0.34	736.5	19.0	14A号
内BPL(9N,16N,25N,25R)	SN490C	348.5	0.17	498.3	32.2	1A号
内BPL(16R)		346.1	0.21	505.1	32.3	1A号
外BPL PL9		366.7	0.20	438.1	27.5	1A号
外BPL PL16(16N)	SS400	281.8	0.13	424.0	30.5	1A号
外BPL PL16(16R)		274.5	0.14	412.7	32.2	1A号
外BPL PL25		303.6	0.14	440.9	31.3	1A号
柱材	BCR295	387.38(0.2%オフセット耐力)		461.5	42.0	5号

表2 試験体諸元

試験体	柱材	内BPL	外BPL	内AB	外AB
9N	□-250×250×12 ℓ=1166mm BCR295	PL32-450×450 (隅切50mm) SN490C	PL9-650×650 SS400	M22 ℓ=550mm ABR400	D29-SD345 ℓ=580mm
16N			PL16-650×650 SS400		
16R					
25N					D29-SD490 ℓ=580mm
25R			PL25-650×650 SS400		

証するため、低層建物の柱下端-柱脚を想定した試験体を製作し加力実験を行った。実験で確認するポイントを以下に示す。

①既往の研究²⁾で示される BPL 降伏型耐力式で予測した試験体耐力と実験結果から評価した耐力が対応するか

②外 BPL に形成される降伏線の位置は想定通りか

③外 AB は終局まで外 BPL を固定する機能を発揮できるか

試験体は、外 BPL の厚さを変数とした 3 パターン (9mm、16mm、25mm) を基本とし、外 BPL 厚さ 16mm、25mm では内 BPL の面外剛性を高めるためにリブ板を取り付けた試験体も製作し、試験体数は計 5 体とした。試験体名称は、外 BPL 厚さの値に添え字 (リブ板なし N、リブ板あり R) をつけ区別している。柱、内 BPL、内 AB の断面と材質はすべての試験体で共通とした。なお、弾塑性要素である内 AB には、ABR400 (M22) を用い、塑性変形能力を確保できるようにしている。使用材料の機械的性質を表 1 に、試験体の諸元表を表 2、試験体形状を図 7 に示す。

加力は、試験体頂部にピン治具を取り付け、柱に軸力とせん断力を同時に作用させた。加力装置の概要を図 8 に示す。図中の鉛直アクチュエータ 2 本で軸力を、水平アクチュエータで柱にせん断力を作用させる。コントロールは柱部材角を基準として、正負交番繰り返し载荷を行った。加力パターンを表 3 に示す。軸力は、外 BPL 厚さ 16mm の試験体 (16N、16R) を除き、柱降伏軸力 N_y の 0.2 倍に相当する圧縮荷重 645kN を定軸力として作用させた。

本実験では、図 8 に示すように BPL 下端の基礎部分を鋼製部材で模擬した。鋼製基礎を用いることにより、基礎コンクリートによる影響因子を

表 3 加力サイクル

	9N 試験体	16N 試験体	25N 試験体	16R 試験体	25R 試験体
軸力	645kN	0kN	645kN	0kN	645kN
加力サイクル	弾性剛性確認 (軸力=0kN)				
	2 サイクル	柱部材角 1/200			
		柱部材角 1/100			
		柱部材角 1/67			
		柱部材角 1/50			
		柱部材角 1/33			
		柱部材角 1/25			
		柱部材角 1/17			
柱部材角 1/10			柱部材角 1/17		

※本稿においては全試験体共通である柱部材角 1/17 までの加力サイクルで考察を行う

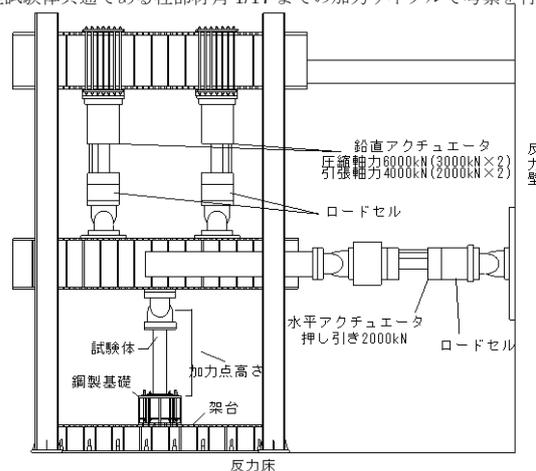


図 8 加力装置図



写真 1 9N 試験体外観 (加力終了後)



写真 2 16R 試験体外観 (加力終了後)

除去し、現象を単純化できるため、複合型露出柱脚の特徴である外 BPL の降伏が全体の履歴性状に及ぼす影響を観察しやすくなる。鋼製基礎は、一般的な BPL-コンクリート間の摩擦係数 ($\mu=0.4\sim 0.5$) が確保できるよう、高力ボルト相当の摩擦面処理 (プラスト処理, $\mu=0.45$) を行っている。また、一般的な AB の定着長 (AB 径の 20 倍) を模擬できる形状となっている。

柱部材角は、BPL 底面から高さ方向に 1100mm の位置に設置したワイヤー変位計の値を、設置高さで除すことで算出している。BPL には浮き上がりを計測するために高感度変位計を計 4 か所に設置した。BPL の横滑りは、外 BPL 左側に 2 か所取り付け付けた高感度変位計で計測した。また、柱角形鋼管および内・外 BPL、内・外 AB にはひずみゲージを貼り付け、降伏判断を行うことにした。外 BPL のひずみゲージ貼り付け位置は、2 章で想定した降伏線位置と対応させている。また、内・外 AB には BPL 底面から 50mm 下の位置にひずみゲージを貼り付けた。

3.2 実験結果 (BPL 変形状態)

実験終了後の BPL 変形状況の例 (9N, 16R 試験体) を写真 1,2 に示す。試験体の BPL 変形状況は、外 BPL の厚さにより異なった。試験体ごとに整理した BPL 変形状況を以下に示す。

9N : 降伏線は内 BPL と外 BPL の隅切り部に発生し、ほぼ想定モデル通りの変形状態となった。

軸力の効果により、圧縮側の内 BPL に若干の塑性化がみられた。

16N: 降伏線は内 BPL と外 BPL の隅切り部に発生し、概ね想定モデル通りの変形状態となった。内 BPL 引張側に若干の塑性変形がみられた。

16R: 降伏線は内 BPL と外 BPL の隅切り部に発生し、想定通りの変形状態となった。リブ板による内 BPL 面外剛性の増加により、内 BPL にほとんど塑性変形はみられなかった。

25N : 変形が BPL 全体におよび、想定位置に降伏線が形成されなかった。変形状態は、想定モデ

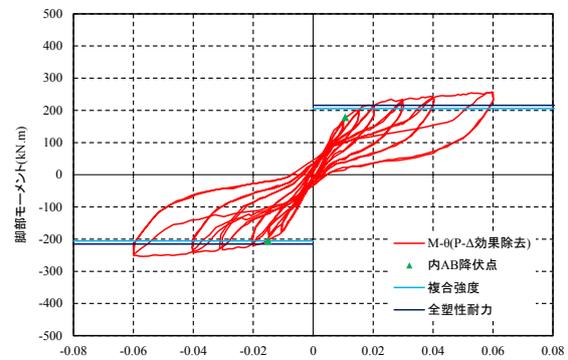


図 9 9N 試験体 M-θ 関係図

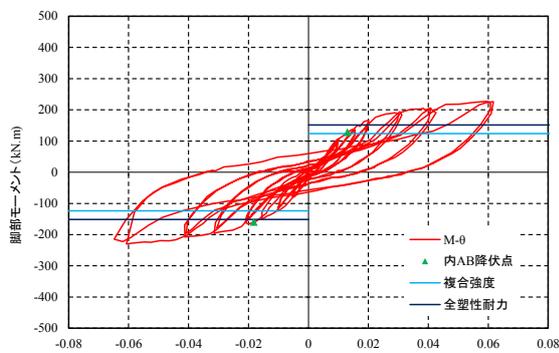


図 10 16N 試験体 M-θ 関係図

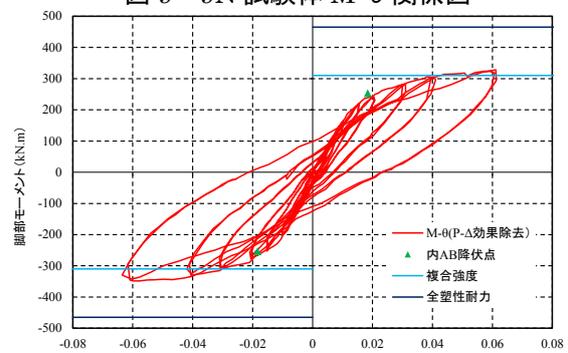


図 12 25N 試験体 M-θ 関係図

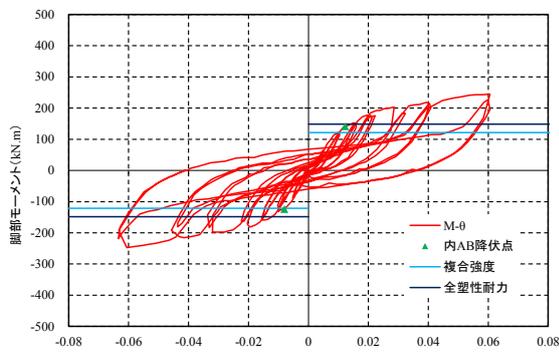


図 11 16R 試験体 M-θ 関係図

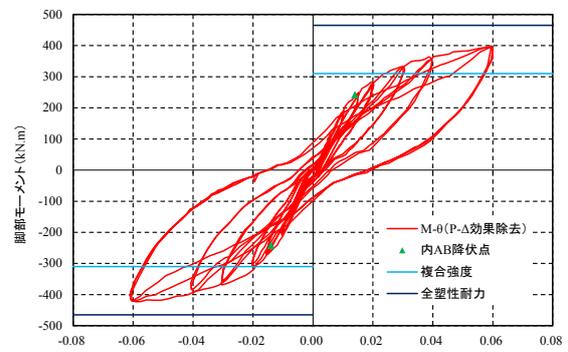


図 13 25R 試験体 M-θ 関係図

ルと異なるものだった。

25R:降伏線は内 BPL の内 AB 穴部分に生じた。降伏線発生位置は想定モデルと異なるものの、全体的な変形形状は想定に近いものとなった。

以上より、外 BPL 厚さが 9mm, 16mm の試験体では概ね想定通りの挙動をとることが確認された。また、外 BPL が 25mm の試験体の結果から、リブ板による補強は面外剛性を増加が、想定した変形形状を実現する上で有効であることが確認された。

3.3 荷重変形関係

実験により得られた、各試験体の脚部モーメント - 柱部材角関係を図 9~13 に示す。脚部モーメントは試験体 BPL 下面を基準に算出した。グラフ中には、2 章に示す式(6), (7)で予測した降伏荷重 (複合強度) と全塑性荷重 (式(7)に $s_a=1.0$, $s=1.5$ を代入した値) も示している。

結果より 9N、16N、16R 試験体は、複合型露出柱脚で想定されるスリップ型と紡錘型が混合された履歴性状となった。これに対し 25N 試験体では、スリップ型の効果が全体の履歴にほとんど表れなかった。これは、BPL が一体的に変形したため、内 AB の変形量が、外 BPL が薄い試験体と比較して小さくなったためだと考えられる。25R 試験体では、リブ板の効果により内 BPL の面外剛性が増加し、内 AB にも荷重が伝達しやすくなったため、スリップ型の効果が履歴にも表れるようになった。なお、すべての試験体で塑性化後も強度上昇する傾向が見られた。

4. 強度式に関する考察

4.1 複合強度算定式の検証

実験結果から評価される柱脚強度と、2 章で示した既往の実験 2)をもとに整理した強度式を比較することで、複合型露出柱脚の強度式の整合性を確認する。なお、検討に用いる実験結果は、想定モデルに近い挙動をした、9N、16N、16R 試

表 4 実験/計算強度比較(単位 kN.m)

試験体名	方向	計算強度	実験値	実験/計算
9N	+	205.4	178.9	0.87
	-		-204.3	0.99
16N	+	125.3	128.2	1.02
	-		-159.5	1.27
16R	+	125.4	156.9	1.25
	-		-124.2	0.99

験体とする。実験結果から求められた、柱脚の降伏強度を表 4 に示す。ここで、降伏強度の判断基準は、引張側の内 AB 群の各々に貼り付けられたひずみゲージのうち 1 本が、材料試験より求めた降伏ひずみを超過した点とした。表中には 2 章式(6)で計算した予測荷重と、実験値に対する計算値の比率も示している。

比較から、実験値と計算値の比率は 0.87~1.3 程度であり、対応性は概ね良好であることが確認された。今後、コンクリート基礎を用いた実験による検証も必要であるが、式(6)の実験定数 $c_{am}=2.3$ とほぼ同値で、複合型露出柱脚の設計が可能であることが示された。

4.2 外 BPL 塑性化後の強度上昇係数 s_a の検証

3 章の実験結果より、複合型露出柱脚は降伏後も緩やかに強度上昇する傾向が見られた。これは、終局時の耐力が全塑性耐力よりも大きくなることを表し、基礎梁などの周辺部材設計に必要な安全率の設定に影響を及ぼす。強度上昇の要因は外 BPL の塑性化後の挙動と考えられるため、実験により得られた荷重 M_{CB} から内 AB 負担分 M_a を除去することで、外 BPL の負担荷重 ${}_fM_b$ を求めた。なお、検証は無軸力の 16N、16R 試験体で行った。 ${}_fM_b, s_a$ の算出式を式(8), (9)に示す。

$${}_fM_b = M_{CB} - M_a = M_{CB} - \sum_{k=1}^n \sigma_{ak} \cdot A_{bi} \cdot d_i \quad \dots (8)$$

$$s_a = {}_fM_b / (s_f \cdot M_{by}) \quad (s=1.5) \quad \dots (9)$$

${}_fM_b$: 外BPL負担荷重 n : 引張側内AB本数
 M_{CB} : 柱脚の全負担荷重 σ_a : 内AB作用応力
 M_a : 内AB負担荷重 d_i : 内AB-圧縮側支点間距離

ここで、内 AB 引張力による脚部の曲げモーメント算定では、支点を内 BPL 圧縮側はね出し部の

中央と仮定し、本実験では $d_f=35\text{cm}$ とした。内 AB 作用応力は、ひずみゲージ計測値をもとに、材料試験に取り得られた応力 - ひずみ曲線に対応する値とした。内 BPL 負担荷重の計算値は、2 章式(5)の $s \times \mu M_{by}$ の値である。 $s \times \mu M_{by}$ と実験結果から式(8)に示す方法で、強度上昇率 s_a を求め

る。比較は、十分塑性化が進んだ柱部材角 1/33, 1/25, 1/17 サイクルの正負 1 回目で行った。比較結果を表 5、6 に示す。

比較結果から、変形量が増加するにつれ M_a , μM_b の値が増加した。全体荷重 M_{CB} に対する外 BPL 負担荷重 μM_b の割合は、16N で 0.6 程度、16R で 0.66 程度と、サイクルによらず一定の値となった。強度上昇率 s_a は 16N で 2 程度、16R で 2.3 程度となり、リブ板を設けたほうが高い値となった。以上の結果より、必要最大回転角を $1/25\text{rad}$ とすると、外 BPL の強度上昇率 s_a は 2.0 程度を設計時に見込めばよいと考えられる。

5. まとめ

本論では、従来の AB 降伏型柱脚に BPL 降伏型の要素を取り込んだ、複合型露出柱脚の強度式を提案し、実験結果と比較した。得られた知見を以下に示す。

- 1) BPL と AB の 2 種類の弾塑性ばねで構成された複合型露出柱脚を提案し、BPL 降伏強度と AB 降伏強度の単純累加で耐力式を構築した。
- 2) 小型の複合型露出柱脚試験体を製作し、加力実験を行った。その結果、BPL の変形状態が想定モデルに近ければ、スリップ型と紡錘型を累加した履歴性状を示すことが確認された。
- 3) リブ板による内 BPL 面外剛性増加効果により、より想定モデルに近い BPL 変形状態を実現

表 5 柱部材角- s_a の比較 (16N 試験体 単位 kN.m)

柱部材角	正負	M	M_{by}	μM_b	外BPL負担率	計算値	s_a
1/33	+	190.4	76.9	113.5	0.60	70.4	1.61
	-	-196.1	-77.5	-118.6	0.60		1.69
1/25	+	206.0	76.9	129.1	0.63		1.83
	-	-207.8	-78.5	129.3	0.62		1.84
1/17	+	227.2	85.7	141.5	0.62		2.01
	-	-230.3	-87.0	-143.3	0.62		2.03

表 6 柱部材角- s_a の比較 (16R 試験体 単位 kN.m)

柱部材角	正負	M	M_{by}	μM_b	外BPL負担率	計算値	s_a
1/33	+	203.3	71.5	131.8	0.65	69.5	1.87
	-	-197.8	-72.1	-125.7	0.64		1.79
1/25	+	218.2	72.0	146.2	0.67		2.08
	-	-215.6	75.3	-140.3	0.65		1.99
1/17	+	244.9	82.5	162.4	0.66		2.31
	-	-247.6	85.6	-162.0	0.65		2.30

可能なことが確認された。

4) 実験による試験体耐力と 2 章の耐力式で評価した耐力を比較した結果、対応性は概ね良好であることが確認された。コンクリート基礎を用いた試験体で再確認が必要だが、既往の研究²⁾で設定した実験定数 $c_{am}=2.3$ と同等の値で、複合型露出柱脚の設計が可能であることが示された。

5) 外 BPL の降伏後耐力上昇係数 s_a は、実験結果から 2.0 程度と設定することで設計が可能であることが示された。

今後は、要素試験と基礎コンクリートを模擬した試験体による実大実験を行い、設計式の構築を行う予定である。

【謝辞】

本研究を行うに際し、(株)伊藤製鐵所に協力をいただいた。関係各位に感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 秋山宏：鉄骨柱脚の耐震設計，技法堂出版，1985.3
- 2) 柳田佳伸，半貫敏夫，秋山宏：露出型鉄骨柱脚の履歴特性に関する実験的研究，日本建築学会構造工学論文集 vol.51B,2005.3
- 3) 高松隆夫，玉井宏章，山西央朗，松尾彰：ノンスリップ型露出柱脚の耐震性能に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集 2005.9, C-1,p.649-650
- 4) 柳田佳伸，寺内将貴，新井佑一郎，石鍋雄一郎：2 種の降伏メカニズムを有する複合型露出柱脚の履歴特性に関する実験的研究 その 1,2：日本建築学会大会学術講演梗概集 2016.8, p.1171-1174
- 5) 國岡恭子，岡田健，山田哲：アングルを接合金物に用いた露出型柱脚の実験 その 1：日本建築学会大会学術講演梗概集 2002.8, p.771-772
- 6) 鋼構造接合部設計指針，日本建築学会，2012.3