

2. 複合型露出柱脚の弾塑性要素に関する実験

Experimental Study on Elastic-Plastic Element of Composite Exposed-type Column Bases

寺内将貴* 柳田佳伸* 新井佑一郎* 石鍋雄一郎**

ー概要ー

複合型露出柱脚は、従来の露出型柱脚の降伏形式であるアンカーボルト降伏型にベースプレート降伏要素を付加した柱脚である。2018年10月31日にビューローベリタスジャパン(株)で建築技術性能証明を取得した。

本報では、それぞれの降伏形式を形成する弾塑性要素(図1)に着目し、複合型露出柱脚において、内側のアンカーボルトのみが降伏する試験体や外側のベースプレートのみが降伏する試験体および在来型露出柱脚への補強を模擬した試験体の加力実験について報告する。

ー技術的な特長ー

複合型露出柱脚は、図1に示すように従来のアンカーボルト降伏要素を形成する内側のアンカーボルト、ベースプレートとベースプレート降伏要素を形成する外側のアンカーボルト、ベースプレートから構成される。これらの弾塑性要素がほぼ同時に降伏するよう設計することで、それぞれの単純累加により、柱脚の耐力および回転剛性を評価することができ、アンカーボルト降伏型特有のスリップ型の履歴特性が改善されることを確認している(図2)。

本報の実験では、アンカーボルト降伏要素のみを形成した試験体と在来型露出柱脚を比較し、それぞれの履歴形状が、一致するような結果を得た(図3)。このことから、複合型露出柱脚特有のベースプレート形状がアンカーボルト降伏要素に与える影響は少ないと考えられる。また、外ベースプレートのみが降伏する試験体では、最大点指向型の履歴形状となった(図4)。

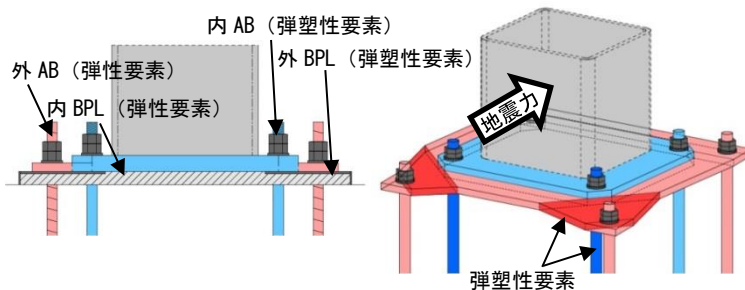


図1 複合型露出柱脚の構成部材と弾塑性要素の概念図*1, *2

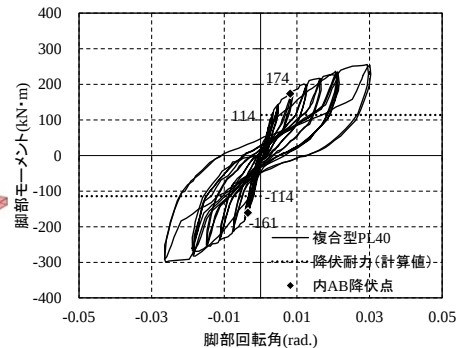


図2 内BPL40型 M-θ 関係図*1

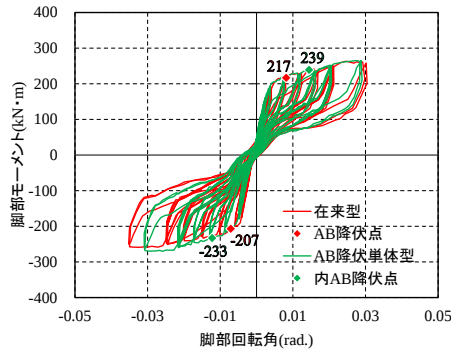


図3 在来型とAB降伏単体型 M-θ 関係図*1

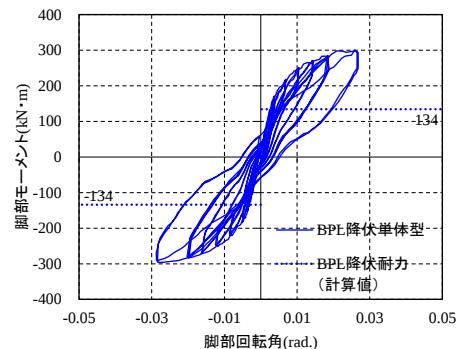


図4 BPL降伏単体型 M-θ 関係図*2

*1 AB=アンカーボルト、*2 BPL=ベースプレート

※本報の内容一部は、日本建築学会大会学術講演概要集(2018.09.pp.1331-1332)で発表済みである。

複合型露出柱脚の弾塑性要素に関する実験

Experimental Study on Elastic-Plastic Element of Composite Exposed-type Column Bases

○寺内 将貴*

柳田 佳伸*

新井 佑一郎*

石鍋 雄一郎**

Masaki TERAUCHI Yoshinobu YANAGITA

Yuichiro ARAI

Yuichiro ISHINABE

ABSTRACT The Composite exposed-type column bases is targeting for mid-low-rise steel frame building. It's a strong point have two kinds of yield mechanisms, commonly used anchor bolt yielding type and a base plate yielding type which is not used much. In this paper, we conducted experiments focusing on two kinds of elasto-plastic elements. And experiments on specimens for reinforcement and confirmed the effect.

Keywords :露出型柱脚, ベースプレート降伏, アンカーボルト降伏, 並列配置

Exposed-type column bases, Yield of base plate, Yield of anchor bolt, Parallel arrangement

1. はじめに

複合型露出柱脚は、中低層鉄骨造建物を対象とした露出型柱脚である。特長として、アンカーボルト（以下、AB）とベースプレート（以下、BPL）が、ほぼ同時に降伏する要素として用いられる。

これまで BPL 降伏型を採用した露出柱脚はあまり用いられていない。その要因として、BPL 降伏型単体では回転剛性を確保し難いこと、また、変形状が複雑なため耐力等の性能評価が難しいことが挙げられる。そこで、複合型露出柱脚は AB 降伏要素と BPL 降伏要素が共存する柱脚としている。AB 降伏要素は、従来の AB 降伏型露出柱脚として回転剛性を確保し、BPL 降伏要素は BPL の形状を工夫し、降伏領域に一定の制限を加えることで評価方法を確立した。これにより、複合型露出柱脚は AB に永久伸びが生じた後も、十分な耐力を保持する。

図 1 に複合型露出柱脚の構成図および降伏概念図を示す。BPL は塑性化させない四隅を切り取った八角形の内側の BPL（以下、内 BPL）と、一部の領域が塑性化する額縁上に内 BPL の部分を取り除いた外側の BPL（以下、外 BPL）から

構成される。これらを突合せ溶接により一体化し、凸型の BPL とする。これにより、AB 降伏型に比べ柱脚全体の耐力が向上するだけでなく AB 降伏型特有のスリップ現象が改善されることは、既報のとおりである^{1), 2)}。

また、AB 降伏型と BPL 降伏型の弾塑性ばねが並列に配置されていることから、柱脚の降伏耐力を単純累加で評価することが可能であることも確認している^{1), 2)}。

本稿では、複合型露出柱脚の AB 降伏要素と、従来の AB 降伏型露出柱脚の比較、BPL 降伏要素単体の評価および在来柱脚の簡易的な補強を目的とした試験体の加力実験について報告する。

2. 実験概要

試験体諸元を表 1、試験体の BPL 形状を図 2 に示す。BPL 降伏単体型は外側の AB（以下、外 AB）を挿さずに AB 降伏要素のみを形成する構成とし、補強型は、内 BPL の四隅に L 型の外 BPL を突合せ溶接し、一体化している。在来型は内 BPL と内側の AB（以下、内 AB）部分だけの一般的な AB 降伏型露出柱脚である。

また、本実験では柱脚のみの性能確認のため、

*技術研究所 構造研究部 建築構造研究室

**日本大学

※本報の内容の一部は、日本建築学会大会学術講演梗概集（2017.08, pp.941-944）にて発表済みである。

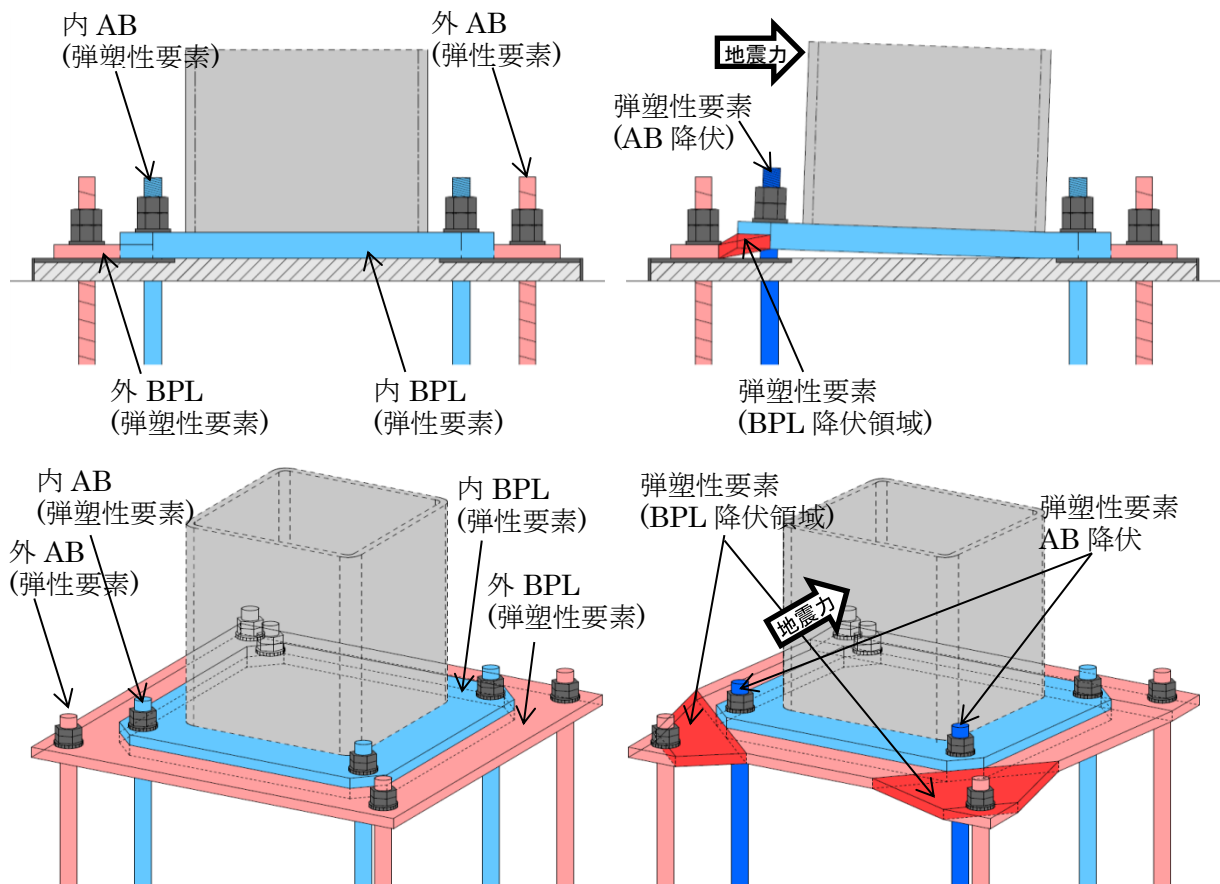


図1 複合型露出柱脚の構成図および降伏概念図

表1 試験体諸元

試験体名	複合型 PL40	複合型 PL32	補強型	BPL 降伏単体型	AB 降伏単体型	在来型
柱	BCR295 - 250×250(mm) t=16mm h=1158mm					
内 BPL※1	SN490C - 450×450(mm) ※4					
	t=40mm	t=32mm	t=40mm			
外 BPL※1	SS400 - 650×650(mm)※3 t=16mm					
内 AB※2	ABR400 - M22 ℓ=440mm (有効長さ)				ABR400 - M22 ℓ=440mm (有効長さ)	
外 AB※2	SD345 - D29 ℓ=440mm (有効長さ)		SD345 - D29 ℓ=440mm (有効長さ)			

※1 BPL=ベースプレート ※2 AB=アンカーボルト ※3 補強型は形状が異なる ※4 在来型のみ隅切りをしていない

基礎部を鋼製基礎とした。

載荷プログラムを表2に示す。加力は軸力を一定に保持し、水平荷重を作用させる。柱に取り付けた変位計をもとに柱部材角を基準として、正負交番繰り返し載荷を行った。また、柱部材角 $R = 1/33\text{rad}$ の加力後、内 AB のナットを締直し³⁾、再度加力を行っている。

内・外 BPL の浮き上がりを計8カ所に高感度変位計を用いて計測した。BPL の横滑りは、外

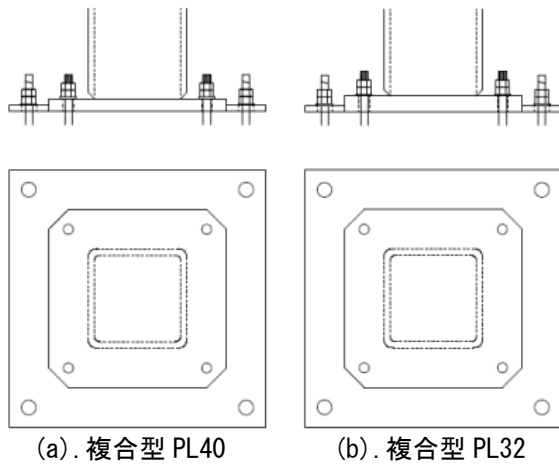
BPL の2カ所に高感度変位計を取り付け計測した。また、柱および内・外 BPL、内・外 AB にはひずみゲージを貼り付けている。

3. 実験結果

各試験体の $M - \theta$ (脚部モーメント - 脚部回転角) 関係を図3～図8に示す。図中には降伏曲げ耐力の計算値((1)式～(3)式)を点線で示す。また、内 AB の降伏点は材料試験から得られた降伏ひずみに達した時点を降伏点としている。

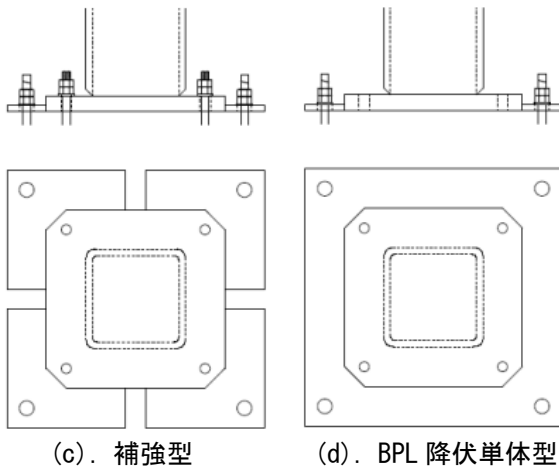
表2 载荷プログラム

正負交番繰返し载荷	サイクル数	制御
	1回	弾性範囲確認 水平荷重 30kN
	2回	柱部材角 $R= 1/200\text{rad}$
		$R= 1/133\text{rad}$
		$R= 1/100\text{rad}$
		$R= 1/67\text{rad}$
		$R= 1/50\text{rad}$
		$R= 1/40\text{rad}$
		$R= 1/33\text{rad}$
	アンカーボルトの締直し補修作業 ³⁾	
	2回	$R= 1/33\text{rad}$
		$R= 1/25\text{rad}$



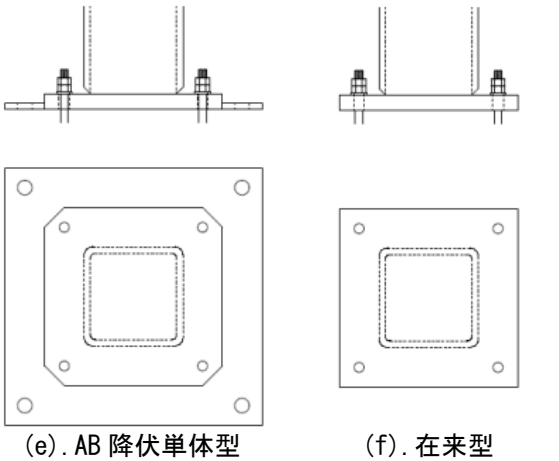
(a). 複合型 PL40

(b). 複合型 PL32



(c). 補強型

(d). BPL 降伏単体型



(e). AB 降伏単体型

(f). 在来型

図2 試験体形状

3.1 履歴形状の比較

軸力の有無と内 BPL の板厚を実験パラメータとしている内 BPL40 (図3) と内 BPL32 (図4) を比較すると、軸力による曲げモーメント M_N の影響から降伏曲げ耐力が付加されている。また、内 BPL の板厚が異なる内 BPL32 型 (図4) と補

・ AB 降伏型降伏曲げ耐力式⁴⁾

$${}_aM_y = n_t \cdot {}_b a_{ie} \cdot {}_a \sigma_y \cdot (d_c + d_t) + M_n \cdots (1)$$

・ BPL 降伏型降伏曲げ耐力式⁵⁾

$${}_bM_y = \frac{b \cdot B_o \cdot t_o^2}{d \cdot c_m} \cdot {}_b \sigma_y + M_n \cdots (2)$$

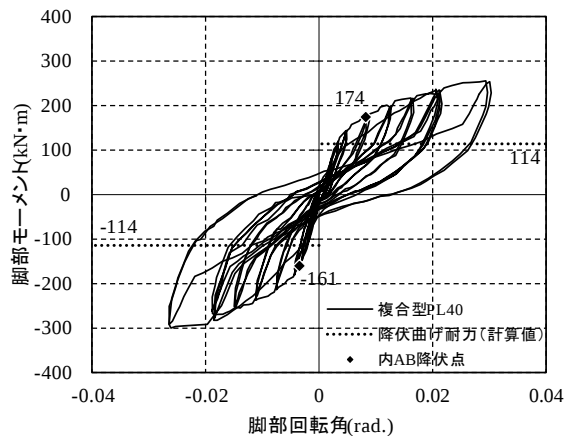
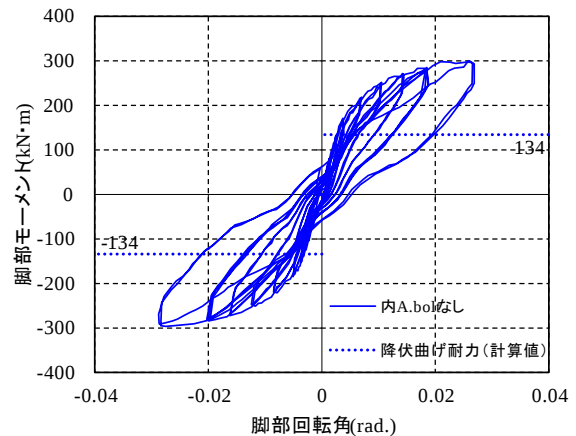
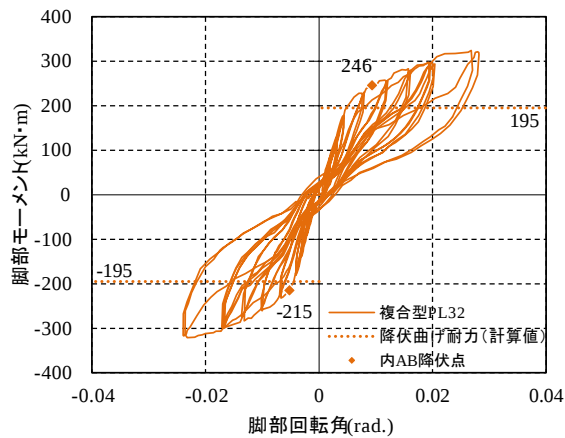
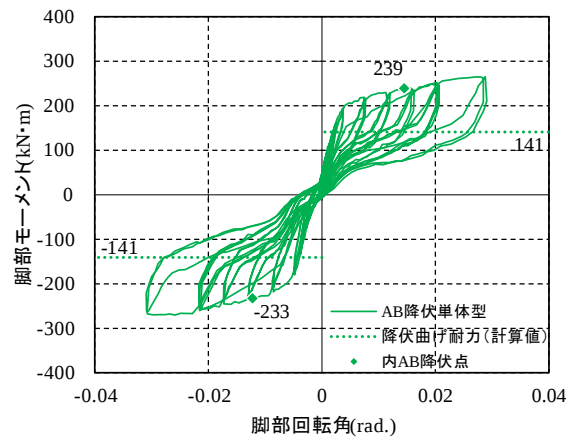
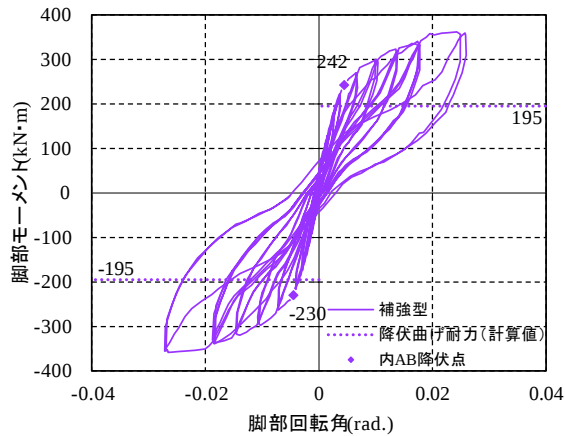
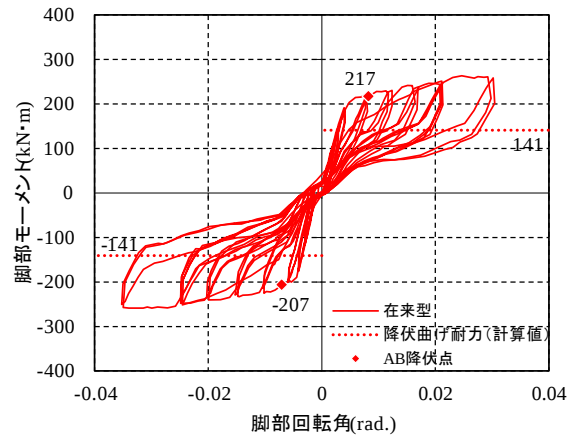
・ 複合型露出柱脚降伏曲げ耐力式¹⁾

$${}_fM_y = {}_aM_y + {}_bM_y - M_n \cdots (3)$$

${}_aM_y$: アンカーボルト降伏型の降伏曲げ耐力
 n_t : 引張側内アンカーボルト本数
 ${}_b a_{ie}$: 内アンカーボルトネジ部の有効断面積
 ${}_a \sigma_y$: 内アンカーボルトの降伏応力度
 d_c : 柱芯から柱外縁までの距離
 d_t : 柱芯から引張側内アンカーボルト芯までの距離
 ${}_bM_y$: ベースプレート降伏型の降伏曲げ耐力
 b : 想定降伏線の平均長さ
 B_o : 外ベースプレートの幅
 t_o : 外ベースプレートの板厚
 ${}_b \sigma_y$: 外ベースプレートの降伏応力度
 c_m : ベースプレート形状係数=2.3
 E : 鋼材のヤング係数
 d : 弾塑性板の幅
 ${}_fM_y$: 複合型露出柱脚の降伏曲げ耐力

強型 (図5) では、内 AB の降伏点が一様一致し、同様の履歴形状となった。

内 AB が無い BPL 降伏単体型 (図6) は、文献³⁾にあるような最大点指向型の履歴形状となり、BPL 降伏型を形成している。また、外 AB を挿入しない AB 降伏単体型 (図7) および在来型 (図8) は、AB 降伏型露出柱脚にみられるス


図3 複合型 PL40 $M-\theta$ 関係図

図6 BPL 降伏単体型 $M-\theta$ 関係図

図4 複合型 PL32 $M-\theta$ 関係図

図7 AB 降伏単体型 $M-\theta$ 関係図

図5 補強型 $M-\theta$ 関係図

図8 在来型 $M-\theta$ 関係図

リップ型の履歴形状となった。

以上から、補強型が(3)式での評価が可能であることを示し、また、複合型露出柱脚特有のBPL形状は、AB降伏要素、BPL降伏要素のそれぞれに与える影響は小さく、特に外ABを挿入しなかったAB降伏単体型は在来型とほぼ一致するような実験結果となったことから、複合型

露出柱脚のAB降伏要素は、従来のAB降伏型の評価式を用いて設計することが可能であることを改めて確認した。

3.2 降伏曲げ耐力の比較

降伏曲げ耐力の計算値と実験値の比較を表3に示す。試験体によってはベースプレートと鋼製基礎間に生じるガタなどの影響から正負での回

転角にズレが生じているため、本報では、図中に示す内 AB 降伏点の正負の平均値を実験値としている。また、降伏曲げ耐力（実験値）の算出方法を図 9 に示す⁴⁾。

表 3 降伏曲げ耐力の比較

試験体名	軸力 [kN]	計算値 M_y [kN・m]	実験値 M_y' [kN・m]	M_y/M_y'
複合型 PL40	0	114 ^{※3}	119	0.96
複合型 PL32	645	195 ^{※3}	221	0.88
補強型			231	0.84
BPL 降伏単体型		134 ^{※2}	200	0.67
AB 降伏単体型		141 ^{※1}	195	0.72
在来型			181	0.78

※1 (1) 式より算出 ※2 (2) 式より算出

※3 (3) 式より算出

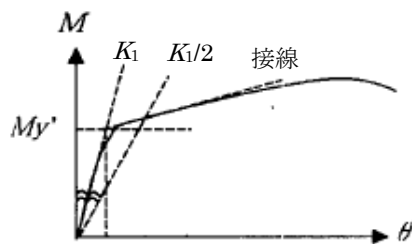


図 9 実験値 M_y' の算出方法⁶⁾

軸力なしの複合型 PL40 の降伏曲げ耐力は計算値と実験値の比率が 0.96 とほぼ一致する結果となった。一方、軸力を付加した複合型 PL32、補強型は実験値が計算値より 1 割から 1.5 割程高くなった。この傾向は、BPL 降伏単体型、AB 降伏単体型、在来型にも共通しており、現状の降伏曲げ耐力式は軸力による曲げモーメント M_n を累加した場合、1 割から 2 割程度安全側に評価していることがわかる。

3.3 試験体の変形状況

各試験体の変形状況を写真 1～6 に示す。

写真 1～写真 3 は複合型露出柱脚の降伏概念図 (図 1) のように外 BPL の一部と内 AB が降伏



写真 1 複合型 PL40 柱部材角 $R=1/33\text{rad}$ 加力状況

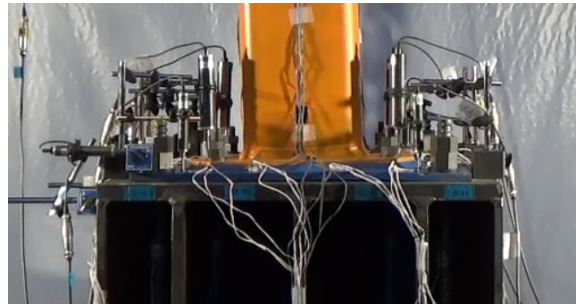


写真 2 複合型 PL32 柱部材角 $R=1/25\text{rad}$ 加力状況

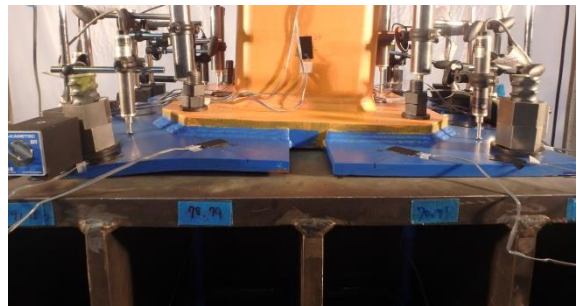


写真 3 補強型 柱部材角 $R=1/33\text{rad}$ 加力状況

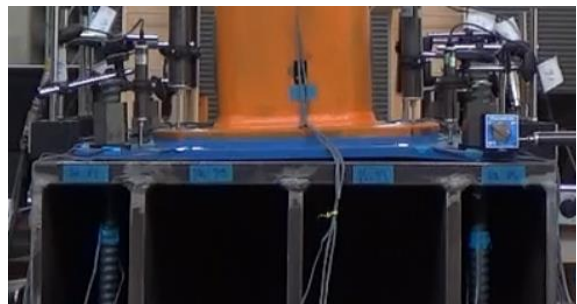


写真 4 BPL 降伏単体型 柱部材角 $R=1/25\text{rad}$ 加力状況

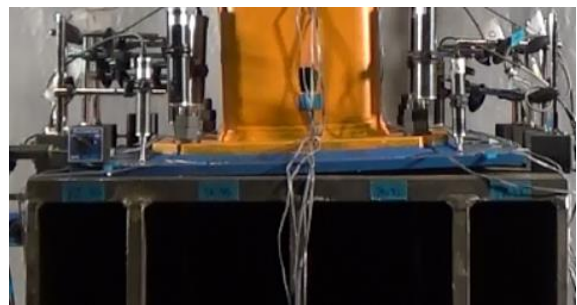


写真 5 AB 降伏単体型 柱部材角 $R=1/25\text{rad}$ 加力状況

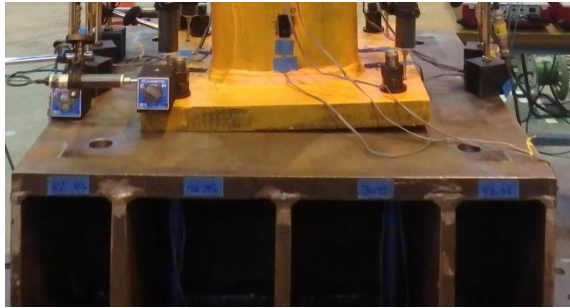


写真6 在来型 柱部材角 $R=1/25\text{rad}$ 加力状況

していることがわかる。また、BPL 降伏のみを形成する写真4では、BPLの変形が写真1～写真3と同様に外 BPL の弾塑性要素部分で変形していることがわかる。

AB 降伏要素のみを形成する試験体（写真5、写真6）には、BPL に大きな変形はみられず、内 AB のみ、変形している。

以上から、複合型露出柱脚特有の凸型の BPL は、AB 降伏要素および BPL 降伏要素の履歴形状や変形状態に対する影響は小さく、それぞれの降伏要素を単体で配置した場合、その単体の降伏要素のみを形成することを確認した。このことから、(3) 式で示すように AB 降伏型の評価式である(1) 式と、BPL 降伏型の評価式(2) 式の単純累加で複合型露出柱脚を評価することができることを改めて確認した。

4. まとめ

本実験で得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 複合型露出柱脚特有の BPL 形状が、AB 降伏要素、BPL 降伏要素に与える影響は小さく、既報にて報告した通り、複合型露出柱脚は AB 降伏型と BPL 降伏型の単純累加により算出できることを確認した。
- 2) AB 降伏単体型および BPL 降伏単体型は、想定通りそれぞれの降伏形式を形成し文献⁴⁾、⁵⁾に示されるような特有の履歴形状となった。
- 3) 在来型露出柱脚への簡易的な補強としての補強型試験体を提案したが、その評価方法は複合型露出柱脚の評価式((3) 式)を用いることが可能である。

[参考文献]

- 1) 柳田佳伸, 寺内将貴, 新井佑一郎, 石鍋雄一郎, 複合型露出柱脚の性能確認のための実大実験に関する報告 その2 実験結果, 日本建築学会大会学術講演概要集, 構造Ⅲ, pp.941-944, 2017.8
- 2) 新井佑一郎, 柳田佳伸, 寺内将貴, 石鍋雄一郎: 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, 日本鋼構造協会鋼構造年次論文集, 第24巻, pp.217-224, 2016.11
- 3) 日本鋼構造協会: 建築構造用アンカーボルトを用いた露出型柱脚設計施工指針・同解説(改定版), 2011.9
- 4) 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, 構造工学論文集, Vol.51B, pp.303-310, 2005.4
- 5) 秋山宏, 鉄骨柱脚の耐震設計, 技法堂出版, 1985.3
- 6) 秋山宏, 山田哲, 松本由香, 竹内徹, 杉本浩一: 鋼構造柱梁改良接合部の終局耐震性に関する実大振動台実験, 日本建築学会構造系論文集, vol.551, pp.141-148, 2002.1