

論文 基礎コンクリートを配した複合型露出柱脚の性能確認実験

柳田 佳伸^{*1}・新井 佑一郎^{*1}・石鍋 雄一郎^{*2}・牛島 栄^{*3}

要旨：複合型露出柱脚は、アンカーボルト降伏型とベースプレート降伏型の2つの耐震要素を並列配置した鉄骨の露出柱脚である。これまで、鋼製基礎を用いた実験において、基本性能を確認している。また、基礎コンクリートを再現した実大実験では、ベースモルタルを補強した状態で実験を実施し、その効果を確認している。ただし、設計条件によってはベースモルタルの補強は必ずしも必要とは限らない。そこで、ベースモルタルを補強せずに試験体を製作し実験を実施した。本論文では、その実験結果について考察する。

キーワード：複合型, ベースモルタル, 並列配置, 基礎コンクリート

1. はじめに

複合型露出柱脚は、従来のアンカーボルト降伏型にベースプレート降伏型の要素を取り入れた柱脚である。これまでに鋼製基礎を用いた予備実験¹⁾、累加性能実験²⁾および基礎コンクリートを配した実大実験³⁾を実施しており、いずれもアンカーボルトとベースプレートがほぼ同時に降伏し、降伏曲げ耐力および弾性回転剛性は両者を累加することで評価できることを確認した。また、ベースモルタルを鋼製板で補強した実大実験において、実験後に確認したベースモルタルは破壊しており、鋼製板がなければベースプレート角部に生じる「てこ反力」を受けられる状態ではなかったが、曲げ耐力の低下は見られなかった。これは、鋼製板によってベースモルタルが保護されていたためと考えられる。この結果から、ベースモルタルを補強することが有効であることを確認した。

ただし、柱脚に作用する応力状態（引張力が小さい場合など）によっては、必ずしもベースモルタルの補強が必要とは限らない。この場合、耐震性能に与える影響を確認する必要がある。そこで、ベースモルタルを補強せずに基礎コンクリートを再現した試験体を製作し、耐震性能を確認するため実験を実施した。本論文では、実験結果から得られた耐震性能および実験後の損傷状況について考察する。

2. 複合型露出柱脚の概要

複合型露出柱脚は2つの耐震要素を同時に降伏させる露出柱脚であり、2種類のアンカーボルトとベースプレートによって構成されている。構成概要を図-1に示す。

内アンカーボルトと内ベースプレートは在来柱脚と同様の役割をもつ。外ベースプレートは内アンカーボルトとほぼ同時に降伏し図-2に示すように塑性変形を生じる。このとき、相対変位が生じるように外アンカーボルト

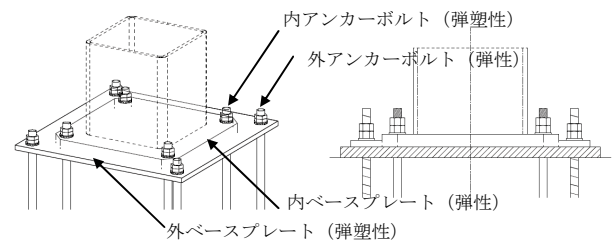


図-1 複合型露出柱脚の概要図

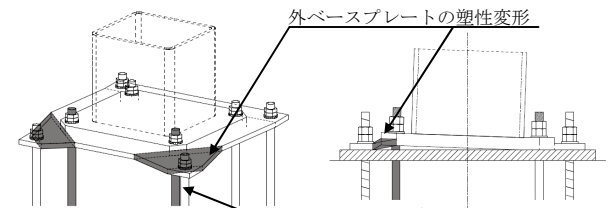


図-2 変形概念図

は基礎に強固に固定される。

3 実験計画

3.1 試験体概要

外アンカーボルトおよび内ベースプレートは弾性範囲とした。また、内アンカーボルトと外ベースプレートがほぼ同時に降伏するように両者の形状・寸法を設定し製作した。両者がほぼ同時に降伏する目安として、内アンカーボルトの降伏回転角に対して外ベースプレートの降伏回転角の比率が0.8~1.3倍程度の範囲に収まることを目標とした。

表-1に試験体諸元を示す。

内アンカーボルトは建築構造用アンカーボルト (ABR400) を使用し、外アンカーボルトは、D29 (ねじ節の異形鉄筋 SD345) を用いた。両アンカーボルトの定着長さは、内アンカーボルト軸径の約20倍に設定した。内ベースプレートは、弾性範囲に留めるため、外ベースプレート厚の2倍以上となるように設定した。

*1 青木あすなろ建設 (株) 技術研究所 建築研究室 博士 (工学) (正会員)

*2 日本大学 理工学部建築学科助教 博士 (工学)

*3 青木あすなろ建設 (株) 常務執行役員技術研究所長 博士 (工学) (フェロー会員)

外ベースプレートは図-3に示すように内ベースプレートの外周に突合せ溶接を施し一体化させている。図中斜線部は、想定する弾塑性変形領域である。

表-1 試験体諸元

試験体部材名	部材形状	材質
柱断面	250×250×16	BCR295
柱型断面	730×730	普通コンクリート
ベースモルタル	700×700×30	プレミックスタイプ
内ベースプレート	450×450×40	SN490C
外ベースプレート	650×650×16	SS400
内アンカーボルト	M22, $l=440\text{mm}$	ABR400
外アンカーボルト	D29, $l=440\text{mm}$	SD345

※アンカーボルト長さ l は有効長さを示す。

内ベースプレートの角部は、塑性変形領域が明確になるよう 45° 方向に切断している。

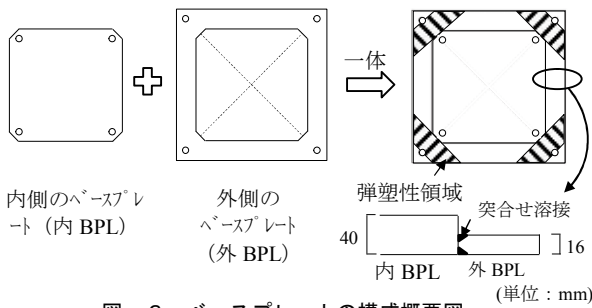


図-3 ベースプレートの構成概要図 (単位: mm)

基礎コンクリートの配筋および形状を表-2, 図-4に示す。

表-2 試験体基礎コンクリート各部の断面及び配筋量

部材名	梁断面	柱型断面
断面サイズ	600×550(mm)	730×730(mm)
主筋	上 5-D22(SD345) 下 5-D22(SD345)	16-D19(SD345) 4-D13(SD295)
せん断補強筋	D13@100(SD295)	D13@100(SD295)

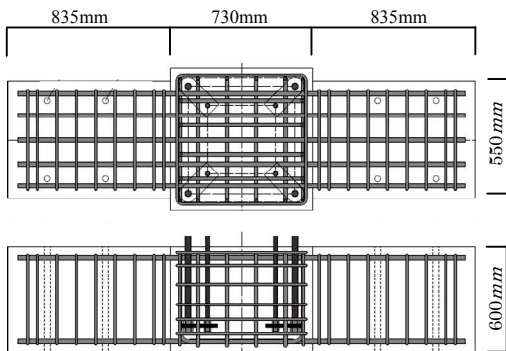


図-4 試験体(基礎コンクリート)概要図

基礎コンクリートは、既往の研究³⁾をもとに設定した実大試験体の予測耐力および、既往の実験^{1~3)}で見られた柱脚降伏後の曲げ耐力上昇の挙動を参考に、実験で想定される荷重(予測耐力の2倍)でも $F_d/3$ 以下に留まるように設計した。アンカーボルトの引抜き抵抗によるコーン状破壊の検討は、文献⁴⁾を参考に、外アンカーボルト

と内アンカーボルトの両方から作用する引張力を累加した荷重に対し、コーン状破壊の耐力が上回るように設計した。定着板はアンカーボルトの引抜き抵抗要素である。本実験において、定着板は内アンカーボルトと外アンカーボルトを兼用した一体形としている。

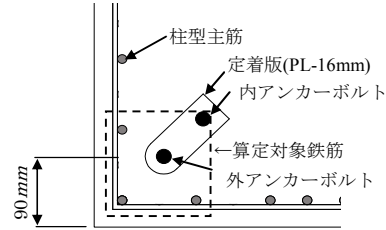


図-5 有効とする鉄筋の範囲

$$T_c = 0.6 \times \frac{\sqrt{9.80665 F_c}}{10} \cdot A_c + 0.7 \cdot n_e \cdot a_s \cdot \sigma_y \quad (1)$$

ここに、

- T_c : 基礎コンクリートのコーン破壊耐力
- F_c : 基礎コンクリートの設計基準強度
- A_c : コーン破壊の有効投影面積
- n_e : コーン破壊耐力の算定対象となる基礎柱型主筋の本数
- a_s : 算定対象領域内にある基礎柱型主筋の1本あたりの断面積
- σ_y : 柱型主筋の基準強度 (F値)

ここで、繰返しに加力に対する耐久性を考慮し、効果を見込む鉄筋を内アンカーボルトから基礎コンクリート外面を結んだ領域の内側とし、該当する鉄筋本数は、図-5に示す範囲のみ有効とした。

また、複合型露出柱脚は、一般の柱脚に比べてベースプレートが大きくなる。そのため、ベースプレートに対する基礎柱型の大きさの割合を、一般の柱脚より小さくするようにした。ただし、外アンカーボルトと基礎柱型外面までの距離が近くなるため、外アンカーボルトが引張と同時にせん断力を受けると耐力低下および基礎柱型の側方破壊を生じる恐れがある。そこで、外アンカーボルト上部の周囲には、せん断力を負担させないように縁切り材として断熱用発泡ポリエチレンテープを巻いている(図-6)。

ベースモルタルの厚さは、50mm とするのが一般的であるが、本実験では、より厳しい施工条件下でのベースモルタルへの損傷状況を確認するため 30mm とした。ベースモルタルは、図-6に示すように外ベースプレート上面と同レベルになるまで充填した。

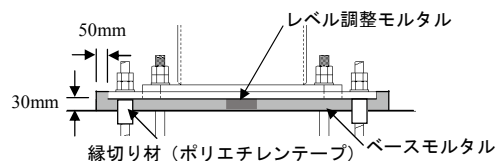


図-6 ベースモルタルの範囲

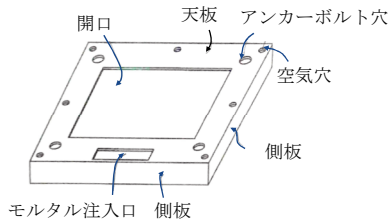


図-7 実大実験で用いたベースモルタル補強カバーの例³⁾

なお、文献3)においてベースモルタルを補強した鋼製板（ベースモルタル補強カバー）の形状を図-7で紹介する。中央部は、摩擦力を確保するための開口部を設けている。ベースモルタル補強カバーは、外ベースプレート角部に生じる「てこ反力」によって、ベースモルタルに生じる損傷を保護することから、設置することを原則としている。ただし、柱脚に作用する応力状態（引張力が小さい場合など）によっては必ずしも必要とは限らない。本実験では、ベースモルタル補強カバーを設置しない場合を想定している。

鋼材の引張試験結果、コンクリートおよび無収縮モルタルの圧縮試験結果を表-3、4に示す。コンクリートの設計基準強度は21N/mm²とした。

表-3 材料試験結果

部材名	鋼種	降伏応力度 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び率 (%)	試験片
内 BP	SN490C	329.6	494.1	32	4号
外 BP	SS400	308.6	424.4	35	1A号
内 AB	ABR400	320.2	457.8	28	2号
外 AB	SD345	389.7	571.1	23	14A号
柱	BCR295	395.6	506.5	45	5号

※BP：ベースプレート、AB：アンカーボルト

表-4 コンクリートおよび無収縮モルタル圧縮強度

部材名	材齢	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング率 (×10 ⁴ N/mm ²)	ポアソン比
コンクリート	28日	23.8	2.23	0.20
モルタル	28日	59.7	-	-

3.2 加力実験概要

試験体には実状に近い状況を想定し 645kN（柱軸降伏耐力の 0.2 倍）の軸力を載荷した。加力装置を図-8 に載荷プログラムを表-5 に示す。

加力は一定軸力を保持しながら水平力を作用させて行い、変位制御は試験体の柱部材角 R （図-9）を基準として、正負交番繰り返し載荷を行った。弾性範囲での柱脚の挙動を確認した後、柱部材角 R が 1/33 になるまで加力した。その後、地震被害を想定した補修後の耐震性能を確認するため、柱部材角が 1/17 になるまで加力した。補修は、内アンカーボルトの塑性変形によって生じた内ベースプレートとナットの隙間に厚座金を挿入した後、内アンカーボルトのナットを締め直した。

また、ベースプレート降伏型には、塑性化後の小サイクルにおいてもエネルギーを吸収する特性がある。この特性を確認するため、柱部材角 1/100、1/67 での加力を

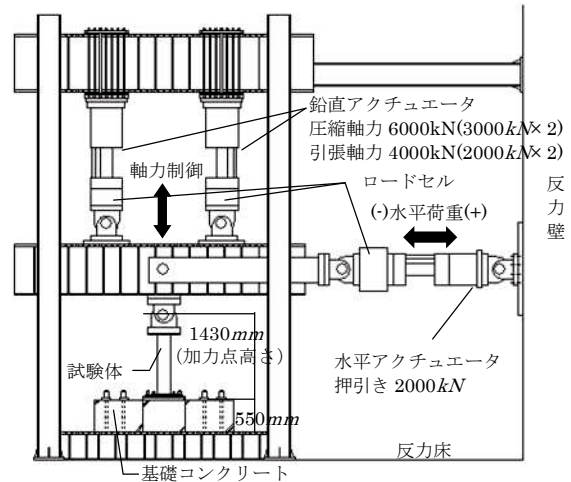


図-8 加力装置

表-5 加力サイクル

サイクル数	制 御	
	軸力導入 645kN	
1回	弾性範囲確認 水平荷重 30kN	
2回	柱部材角	$R=1/200 \text{ rad}$
		$R=1/133 \text{ rad}$
		$R=1/100 \text{ rad}$
		$R=1/67 \text{ rad}$
		$R=1/50 \text{ rad}$
2回	内アンカーボルトの締直し補修	$R=1/40 \text{ rad}$
		$R=1/33 \text{ rad}$
		$R=1/25 \text{ rad}$
		$R=1/100 \text{ rad}$
		$R=1/67 \text{ rad}$
2回	柱部材角	$R=1/17 \text{ rad}$

行った。

図-9には柱脚モーメントの算定および柱部材角、柱脚回転角の計測位置とその概要を示す。計測について、柱部材角 R を測定するため柱の上下2ヶ所に高感度変位計を設置した。外ベースプレートの浮き上がりおよび柱脚回転角を計測するために外側・内側のベースプレートに高感度変位計を4か所ずつ設置した。また、鋼管柱および各ベースプレートおよびアンカーボルトには、ひず

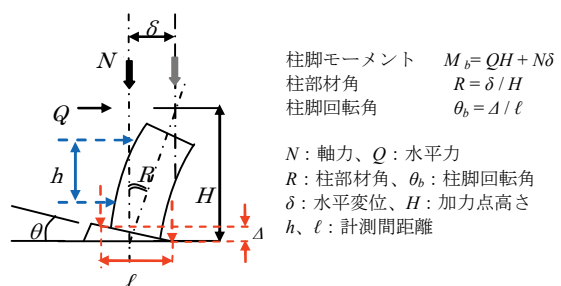


図-9 柱部材角・柱脚回転角

$$\begin{aligned} \text{柱脚モーメント} & M_b = QH + N\delta \\ \text{柱部材角} & R = \delta / H \\ \text{柱脚回転角} & \theta_b = \Delta / l \end{aligned}$$

N : 軸力、 Q : 水平力
 R : 柱部材角、 θ_b : 柱脚回転角
 δ : 水平変位、 H : 加力点高さ
 h, l : 計測間距離

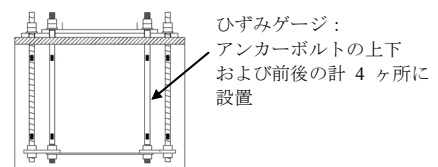


図-10 ひずみゲージ貼付位置

みゲージを貼付けた。図-10にはアンカーボルトに貼り付けたひずみゲージの位置を示す。

表-6には本実験に用いた試験体の降伏曲げ耐力および弾性回転剛性の計算値を示す。

表-6 内ABと外BPの降伏曲げ耐力と弾性回転剛性の計算値

名称	降伏曲げ耐力	弾性回転剛性	降伏回転角
内 AB	53.8 (kNm)	14614 (kNm/rad)	0.0037 (rad)
外 BP	60.2 (kNm)	9373 (kNm/rad)	0.0064 (rad)
複合	114 (kNm)	23987 (kNm/rad)	0.0048 (rad)

※AB：アンカーボルト、BP：外ベースプレート

降伏強度は素材試験結果の値を用いた。

※軸力による付加曲げモーメント $M_N = N \cdot d_c = 80.4 \text{ kNm}$

降伏曲げ耐力および弾性回転剛性の算定には、次式を用いた。

$$\text{降伏曲げ耐力 } {}_f M_y = {}_a M_y + {}_b M_y \quad (2)$$

$$\text{弾性回転剛性 } {}_f K_r = {}_a K_r + {}_b K_r \quad (3)$$

$${}_a M_y = n_t \cdot {}_b a \cdot {}_a \sigma_y (d_c + d_t), \quad {}_a K_r = \frac{E \cdot n_t \cdot {}_b a (d_c + d_t)^2}{R \ell_b} \quad (4)$$

$${}_b M_y = \frac{{}_b \sigma_y \cdot {}_b B_0 \cdot t_o^2}{d \cdot c_m}, \quad {}_b K_r = \frac{E \cdot {}_b B_0^2 \cdot t_o}{150 d \cdot c_m} \quad (5)$$

ここに、 ${}_a M_y$, ${}_a K_r$ は文献5), ${}_b M_y$, ${}_b K_r$ は文献6)による。なお、式中の記号は以下に示す通りである。

- n_t : 引張側内アンカーボルト本数
- ${}_b a$: 内アンカーボルト断面積
- ${}_a \sigma_y$: 内アンカーボルトの許容応力度
- d_c : 柱芯から柱外縁までの距離
- d_t : 柱芯から内アンカーボルト断面群図心までの距離
- ℓ_b : 内アンカーボルトの有効長さ
- R : 内ベースプレートの剛性に係る係数(=2)
- E : 鋼材のヤング係数
- ${}_b \sigma_y$: 外ベースプレートの許容応力度
- b : 弾塑性板要素の平均長さ
- d : 弾塑性板要素の幅
- B_0 : 外ベースプレートの幅
- t_o : 外ベースプレート厚
- c_m : 実験定数(=2.3)

4 実験結果

4.1 復元力特性

実験結果から得られた柱脚モーメント M_b と柱脚回転角 θ_b の関係を図-11, 12に示す。図-11は補修前, 図-12は補修後の M_b - θ_b 関係を示している。また, 図-11には(2)式を用いて算定した降伏曲げ耐力の計算値と実験値を示す。実験値はアンカーボルトに貼付けたひずみゲージのうちいずれかが、降伏点に達した値(図中△)とした。なお、外ベースプレートもほぼ同時に降伏点に達したことを確認している。 M_N は軸力によって柱脚に生じる付加曲げモーメントである。図-13には参考として基本性能を確認するために行った鋼製基礎を用いた実験(補強型)²⁾の M_b - θ_b 関係を破線で示している。RC基礎の場合、てこ反力によってベースモルタルに損傷が生じる。その場合、耐震性能に与える影響を確認するために既往の実験²⁾との対比を行う。

図中には、複合型露出柱脚の累加式より求めた弾性回転剛性の計算値(青色)と実験値(緑色)および降伏曲げ耐力の実験値(△)を記載している。図中の赤線は地震後の補修を想定して、内アンカーボルトの締め直しを

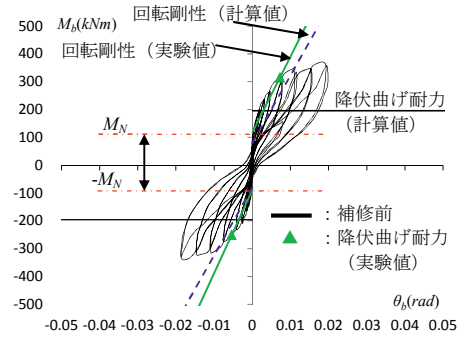


図-11 補修前の M_b - θ_b 関係

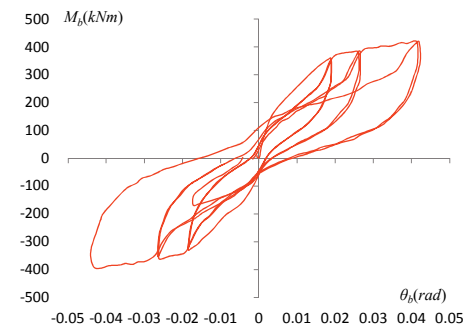


図-12 補修後の M_b - θ_b 関係

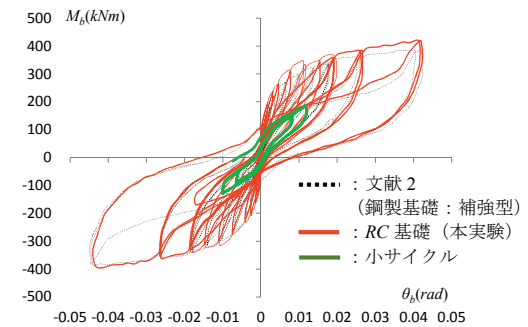


図-13 RC基礎と鋼製基礎²⁾試験体の M_b - θ_b 関係

行った後、緑色は小サイクルでの M_b - θ_b 関係(図-13)を示している。

図-11~13の M_b - θ_b 関係についての考察を以下に述べる。

柱脚 M_b - θ_b 関係は、これまでの実験結果と同様にアンカーボルト降伏型と外ベースプレート降伏型の復元力特性を累加したものとなっている。

アンカーボルト降伏型の復元力特性であるスリップ型との対比において、スリップ型は軸力による曲げモーメント M_N を下回ると内アンカーボルトによる曲げ抵抗力が消失するため、 $M_b \leq |M_N|$ の領域ではエネルギーを吸収しない。これに対し本実験ではベースプレートの面外曲げによる曲げ抵抗力が常に作用し、エネルギーを吸収していることがわかる。このことは、ベースプレート降伏型の復元力特性(最大点指向型)が累加されていることを示している。また、降伏曲げ耐力に達した以降の勾配は緩やかになり、内アンカーボルトと外ベースプレ

トが共に降伏したと考えられる。

補修後の履歴において、軸力による曲げモーメントを超えた以降から、新たな領域に入るまでの回転剛性が回復していることがわかる。これは、内アンカーボルトの締め直しによる効果である。新たな領域に入って以降については、補修前と同様の履歴特性を示している。また、本試験体は、鋼製基礎の試験体（補強型）との比較において、ほぼ同じ履歴特性を示していることがわかる。ベースモルタルを無補強とした本実験において、既往の研究と同様の履歴特性を示しており、耐震性の低下は見られなかった。

外ベースプレートは弾塑性要素での塑性化が見られ、外アンカーボルトの軸部は弾性範囲に留まったことを確認した。これにより、外ベースプレートの降伏メカニズムを形成する前提条件である、四隅の固定機能を最終サイクルまで保持することが可能であることを確認した。

基礎コンクリートと鋼製基礎との違いについて、両者の履歴特性は、ほぼ同じであるが、ベースプレートと基礎との密着性の程度は異なるため、柱脚が離間する前後の履歴が同じになるとは考えにくい。そこで、図-11より抽出した柱脚が離間する前後の $M_b-\theta_b$ 関係を図-14に示し、その詳細を確認する。

初期の $M_b-\theta_b$ 関係について、既往の実験¹⁾²⁾ではベースプレートとのわずかなガタツキによる影響から、柱脚が早期に離間している。これに対し、本実験（基礎コンクリート）の場合は、ベースモルタルとベースプレートとの密着性が高いことから、軸力による曲げモーメント M_N に達するまで柱脚が離間していないことがわかる。また、柱脚が離間する時のモーメントが計算値を上回っている。計算値では回転軸を柱外面として安全側に算定しているのに対し、実際にはベースプレートの剛性により、回転軸が柱外面より外側に移動したためである。

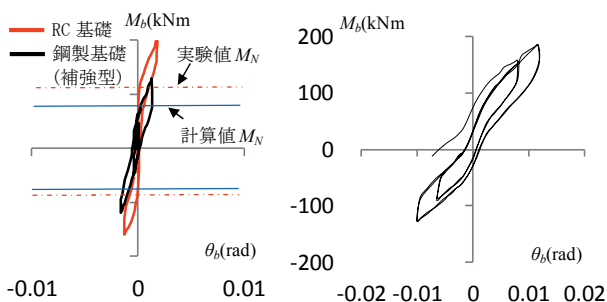


図-14 柱脚の離間前後の $M_b-\theta_b$ 関係

ベースプレート降伏型の復元力特性の特徴を示すものとして、図-13から抽出した小サイクル時の $M_b-\theta_b$ 関係を図-15に示す。塑性化して以降でも、変形の進展に伴い最大点を指向することで、エネルギーを吸収す

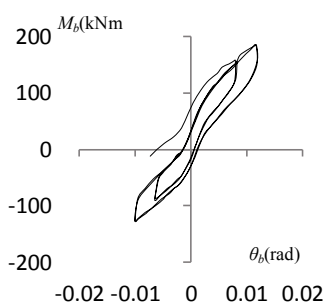


図-15 補修後の小サイクル時の $M_b-\theta_b$ 関係

る特性をもつことが分かる。この特性は、典型的なスリップ型と明らかに異なる。

図-13, 14より、鋼製基礎とRC基礎ではベースプレートと基礎との密着性の違いが初期の $M_b-\theta_b$ 関係に表れているが、その後の履歴特性にほとんど影響していないことがわかる。

4.2 実験値と計算値の比較

弾性回転剛性および降伏曲げ耐力の計算値と実験値を表-7に示す。降伏曲げ耐力の実験値は、内アンカーボルト降伏時の曲げモーメントからベースプレートの離間時の軸力による付加曲げモーメント M_N は含まない。

表-7 脚部の弾性回転剛性と降伏曲げ耐力の実験値と計算値

加力方向	軸力 (kN)	回転剛性 ($\times 10^3 \cdot kN \cdot m/rad$)		実験値 / 計算値	降伏耐力 ($kN \cdot m$)		実験値 / 計算値
		計算値	実験値		計算値	実験値	
正加力	645	24.0	27.3	1.14	114	196.7	1.73
負加力			29.9	1.25		161.8	

※軸力による付加曲げモーメント M_N は考慮していない。

弾性回転剛性の実験値は、降伏曲げ耐力の実験値を降伏回転角で除して求めた。

弾性回転剛性および降伏曲げ耐力ともに実験値は計算値を上回った。

以上より、複合型露出柱脚は、アンカーボルト降伏型にベースプレート降伏型を採り入れたことにより、大変形時の繰返し加力を受けた状態においても常に抵抗力を保持することを示した。

5. 実験後の試験体状況

5.1 アンカーボルトの変形

実験後のアンカーボルトの状況を写真-1に示す。内アンカーボルトは、内側にハの字に変形していることがわかる。内ベースプレートは十分な剛性をもつ一方で、内アンカーボルトは塑性変形することから、柱脚回転角が大きくなるに従い、内アンカーボルトが柱の中心に向かって変形するためである。

外アンカーボルトは内アンカーボルトとは対照的に外側に逆ハの字に変形している。

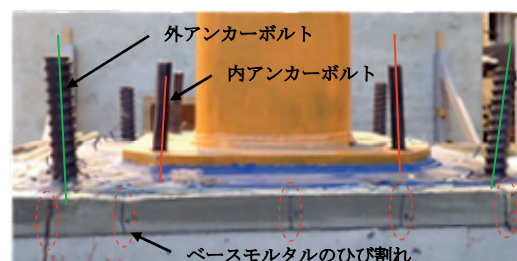


写真-1 実験後のアンカーボルトの変形

外アンカーボルトは十分な軸剛性を有する一方で、外ベースプレートは塑性変形に伴う、てこ反力によって外側に開くように曲げ変形を生じるためである。内アンカーボルトと外アンカーボルトが異なる変形を生じたことは、両者は互いに対照的な役割をもつことを表している。

5.2 ベースモルタルの状況

ベースモルタル側面のひび割れ（写真－1）は、柱部材角 1/200 を超えたところで発生した。その後、部材角が大きくなるに従い、ひび割れ箇所が増加が見られた。ただし、ベースモルタル側面のひび割れ発生時の回転剛性に、顕著な剛性低下は見られなかった（図－13）。

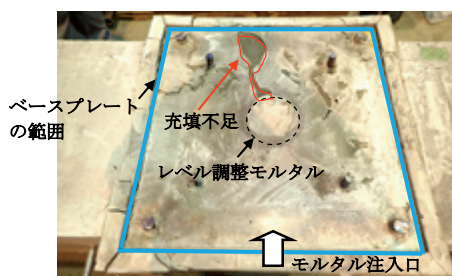
基礎コンクリートのひび割れは、柱部材角 1/40 を超えて発生した。その後、変形が大きくなるに従い、ひび割れ箇所が増加したが、ひび割れ発生時の回転剛性に顕著な剛性低下は見られなかった（図－13）。

基礎柱型の側方破壊は見られず、外アンカーボルトの引き抜きによる検討を基に配置した鉄筋量および検討方法に問題がなかったこと、外アンカーボルトの配置についても基礎コンクリートの損傷に影響を与えないことがわかった。

実験後のベースモルタルの状況を写真－2に示す。

ベースモルタルの充填は、一部に不十分な所があることがわかった。充填が不十分な箇所はモルタル注入口と反対側の部分であり、レベル調整モルタルを回り込ませることが、如何に難しいかがわかる。この要因については、今後の課題とする。

ベースプレート下面のモルタルには、特に目立った損傷は見られなかった。 $M_b-\theta_b$ 関係は、既往の研究と同様の履歴特性を示しており、曲げ耐力の低下は見られなかった。このことからベースモルタルは、てこ反力を受ける強度を保持していたことがわかる。今後は、ベースモルタルの補強が必要となる条件を提示することが課題となる。



写真－2 実験後のベースモルタルの状況

6.まとめ

本論文において、基礎コンクリートを有する複合型露出柱脚の実験を実施した結果、以下のことを確認した。

(1) アンカーボルト降伏型とベースプレート降伏型を

並列配置することで、降伏曲げ耐力および弾性回転剛性は、両者を単純累加し、評価できることを履歴特性および実験値と計算値との対比において確認した。

- (2) 厚さ 30mm の無補強のベースモルタルを施した試験体の実験結果 ($M_b-\theta_b$ 関係) は、安定した履歴特性を示しており、柱脚の曲げ耐力の低下は見られなかった。
- (3) 外アンカーボルトに作用する引抜きに伴うコーン状破壊は、最終サイクルにおいて生じなかったことを確認した。
- (4) 大変形後に補修した場合においても、補修前と変わらない耐震性能をもつことがわかった。
- (5) 実験後のアンカーボルトの状況から、内アンカーボルトはハの字に外アンカーボルトは逆ハの字に変形しており、それぞれに要求される耐震性能が対照的な関係にあることを確認した。
- (6) 実験後に確認したベースモルタルは、一部に充填不足があることを確認した。ただし、履歴特性から柱脚の曲げ耐力および剛性が低下するなどの変化が無かったことから、充填不足は耐震性能に影響を与えるものではなかったと言える。
- (7) ベースモルタルを補強することなく、複合型露出柱脚の耐震性能を発揮させることは可能である。ただし、設計条件等による十分な検討が必要である。今後は、ベースモルタルの補強が必要となる条件を提示することが課題となる。

参考文献

- 1) 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, その 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1171-1172, 2016.8
- 2) 寺内将貴, 柳田佳伸, 新井佑一郎, 石鍋雄一郎: 複合型露出柱脚の耐力・回転剛性の累加要素に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1331-1332, 2018.9
- 3) 新井佑一郎, 柳田佳伸, 寺内将貴, 石鍋雄一郎: 鉄筋コンクリート製基礎を有する複合型露出柱脚の実大検証実験, 鋼構造年次論文報告集, 第 25 巻, pp287-294, 2017.11
- 4) 鋼構造接合部設計指針, 日本建築学会, P261,2012.3
- 5) 秋山宏: 鉄骨柱脚の耐震設計, 技報堂出版, P23,P25,1985.3
- 6) 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, pp303-310, 2005.3