

# (67) 鉄骨コンクリート露出型柱脚の復元力特性に関する実験的研究

貞末 和史<sup>1</sup>・南 宏一<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 広島工業大学准教授 工学部建築工学科 (〒731-5193 広島県広島市佐伯区三宅2-1-1)  
E-mail:sadasue@cc.it-hiroshima.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 福山大学名誉教授 (〒729-0292 広島県福山市東村町字三蔵985)  
E-mail:minami@fucc.fukuyama-u.ac.jp

鉄骨鉄筋コンクリート構造に代わり、鉄筋コンクリート構造さらにコンクリート充填鋼管構造と対比させる新しい構造として、かぶりコンクリートを持たない鉄骨コンクリート構造の開発に取り組んでいる。本論では、鉄骨コンクリート柱と鉄筋コンクリート基礎梁との接合に鉄筋のみを用いた露出型柱脚およびアンカーボルトと鉄筋を併用して用いた露出型柱脚を対象として、一定圧縮軸力下で正負繰り返し水平力を与える載荷実験を行って力学特性について検討した。本実験で用いた試験体はいずれも曲げ破壊型の破壊形状となり、柱脚の終局曲げ耐力は柱脚断面を構成するそれぞれ要素の終局曲げ耐力を一般化累加する方法によって実験結果を妥当に評価できることを示し、さらに復元力特性の評価方法を提案した。

**Key Words :** steel concrete composite structure, column bases, ultimate strength, hysteresis curve

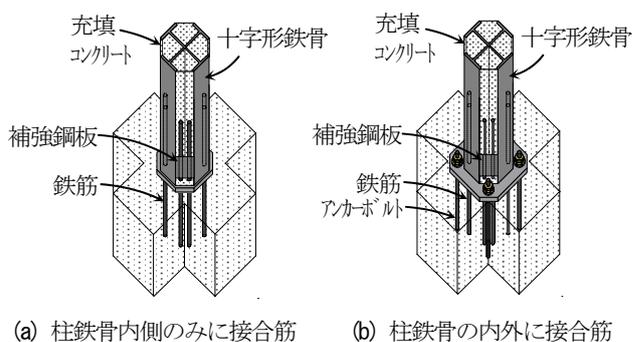
## 1. はじめに

従来型の鉄骨鉄筋コンクリート (SRC) 構造に代わる鋼とコンクリートを用いた合成構造として、図-1に示されるようなかぶりコンクリートを持たない鉄骨コンクリート (SC) 構造の開発に取り組んでいる。SRC規準の構造規定では、鉄骨に対するコンクリートのかぶり厚さは50mm以上とすることが規定されており<sup>1)</sup>、本構造部材はかぶりコンクリートを持たないため、鋼構造やコンクリート充填鋼管 (CFT) 構造と同様に耐火被覆を施すことが必要となるが、フランジ外面以外はコンクリートに取り囲まれているため耐火被覆等の仕上げを要する部分は大幅に削減される。一方、コンクリート打ち込み時に型枠が必要となる点において施工手間が増えるが、鉄骨フランジ外縁をガイドにして型枠の建込みができるため、鉄筋コンクリート (RC) 構造の型枠工事に要求されるほどの建込み精度は必要なく、型枠の転用も容易である。また、本構造ではCFT構造で用いられるような流動性の高い特殊なコンクリートを用いる必要もない。

このような構造部材の設計に関しては、合成構造が対象となるEurocode 4<sup>2)</sup>にも示されているが、さらに、著者が開発を進めるSC部材の材端部では補強鋼板を設けて閉断面を形成していることに特徴があり、補強鋼板に

よってコンクリートの拘束効果とフランジの座屈抑制効果が得られ、SRC柱やCFT柱と同等以上の力学性能を有することが実験で確認されている<sup>3)</sup>。今後は本構造システムの実用化に向けて、柱梁接合部や柱脚の設計法について検討する必要がある。

SC構造における最下層階の柱の柱脚の形式は、基礎梁をSC部材あるいはRC部材にするか、柱鉄骨を基礎梁内に埋込むか埋込まないかの組み合わせによって4種類に大別できる。本研究では施工とコストの両面において最も合理化が期待できる基礎梁をRC部材として柱鉄骨を基礎梁内に埋め込まない露出型柱脚を対象とする。なお、図-1(a)に示されるようにフランジの内側のみに柱



(a) 柱鉄骨内側のみに接合筋 (b) 柱鉄骨の内外に接合筋

図-1 柱脚を有する鉄骨コンクリート柱

脚接合筋（柱と基礎梁を接続するアンカーボルトあるいは鉄筋）を配した露出型柱脚については実験を行なって力学特性を明らかにし、終局曲げ耐力と復元力特性の評価方法を提案している<sup>4)</sup>。本論では、フランジ内側のみに柱脚接合筋を配した露出型柱脚に関する既報の実験<sup>4)</sup>に加え、フランジの内外に柱脚接合筋を配した露出型柱脚の実験を行なって力学的な挙動の違いについて検討した後、終局曲げ耐力と復元力特性の評価方法を提案する。

## 2. 実験概要

### (1) 試験体

試験体形状を図-2に示す。試験体は片持ち柱型の形状であり、試験体の頂部にピンを設けて載荷装置と接続する。各試験体とも柱鉄骨には2H-300×150×6.5×9の充腹型H形鋼による十字形鉄骨を用いており、柱および基礎梁コンクリートの設計基準強度 $F_c$ は30N/mm<sup>2</sup>とし、ベースプレート下面と基礎梁上面の間に30mmのグラウト幅を設け無収縮モルタルを充填した。柱脚接合筋の下端には定着版を設けて、基礎梁への定着長さ $d_f$ は480mmとした。ベースプレートは曲げ降伏しない厚さ（36mm）であり、柱脚に設ける補強鋼板（厚さ6mm）は自然開先部分をフランジに溶け込み溶接した。

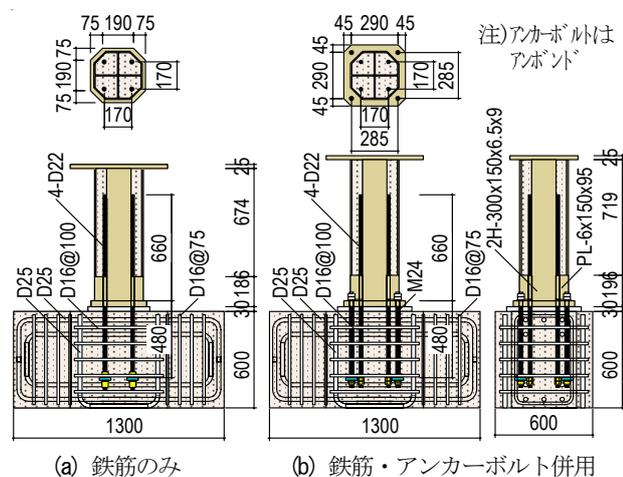


図-2 試験体形状 (単位:mm)

試験体計画を表-1に示す。実験変数は軸力レベルおよび柱と基礎梁の接合方法である。軸力 $N$ の大きさは、軸力比 $cn$ （柱脚断面の圧縮耐力 $N_{cu}$ に対する $N$ の比）が0、0.1および0.2の3レベルとした。柱と基礎梁の接合方法は、フランジ内側のみに鉄筋を配する場合<sup>4)</sup>、フランジ内側の鉄筋と外側のアンカーボルトを併用する場合の2種類とした。鋼材とコンクリートの材料強度を表-2、表-3にそれぞれ示す。

表-2 鋼材の材料強度

		シリーズ I	シリーズ II	シリーズ III
PL-9 フランジ	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	292		308
	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	426		433
	伸び (%)	26.9		21.6
PL-6.5 ウェブ	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	315		343
	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	426		450
	伸び (%)	26.9		17.2
PL-6 補強鋼板	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	334		320
	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	455		458
	伸び (%)	29.0		29.0
PL-36 ベースプレート	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	342		264
	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	536		452
	伸び (%)	26.0		30.0
M24 アンカーボルト	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	—		348
	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	—		547
	伸び (%)	—		24.3
D22 鉄筋	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	380	394	366
	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	556	570	539
	伸び (%)	24.0	23.5	15.6

表-3 コンクリート等の材料強度

		シリーズ I	シリーズ II	シリーズ III
柱	圧縮 (N/mm <sup>2</sup> )	42.6	30.3	30.5
	引張 (N/mm <sup>2</sup> )	3.02	2.76	3.04
	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	30612	29681	31780
基礎梁	圧縮 (N/mm <sup>2</sup> )	31.9	31.4	39.8
	引張 (N/mm <sup>2</sup> )	1.89	2.64	2.92
	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	28819	30071	32862
無収縮 モルタル	圧縮 (N/mm <sup>2</sup> )	76.6	73.8	69.9
	引張 (N/mm <sup>2</sup> )	5.21	4.97	4.78
	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	30722	28448	27518

表-1 試験体計画

試験体	軸力 $N$ (kN)	軸力比		断面強度				柱鉄骨	柱脚接合筋		実験 シリーズ		
		$cn$	$cbn$	$ctN_{cu}$ (kN)	$ctN_{tu}$ (kN)	$cbN_{cu}$ (kN)	$cbN_{tu}$ (kN)		鉄筋	アンカーボルト			
BR00	0	0	0	5118	2732	8289	588	2H- 300×150×6.5×9 (SN400B)	4-D22 (SD345)	—	II		
BR01	724	0.1	0.1	6086		8603	610				I		
BR02	1887	0.3	0.2										
UABR00	0	0	0		2921	10377	1088	2H- 300×150×6.5×9 (SS400)	4-M24 (ABR490B)		III		
UABR01	859	0.2	0.1	5323									
UABR02	2290	0.4	0.2										

注) 柱断面:  $aN_{cu} = sN_{cu} + cN_{cu}$ ,  $aN_{tu} = sN_{tu}$ ,  $ctN_{cu} = N_{cu}$ , 柱脚断面:  $cbN_{cu} = jN_{cu} + cN_{cu}$ ,  $cbN_{tu} = jN_{tu}$ ,  $ctN_{tu} = N_{tu}$ , ここに、 $sN_{cu}$ と $sN_{tu}$ は鉄骨部分の圧縮耐力と引張耐力、 $cN_{cu}$ はコンクリート部分の圧縮耐力、 $jN_{cu}$ と $jN_{tu}$ は柱脚接合筋の圧縮耐力と引張耐力(ただし、アンカーボルトの $jN_{tu}$ は0)とする。

## (2) 荷重方法と変位計測

荷重は図-3に示す荷重装置を使用し、所定の軸力 $N$ を導入後、試験体頂部のピンの位置に正負繰り返しの漸増水平荷重を行った。荷重履歴に関して、試験体UABR00およびUABR01については柱脚ベースプレートの回転角 $\theta_b$ の制御によって、それ以外の試験体に関しては試験体頂部ピン位置での水平方向の変位制御によって、 $\theta_b$ あるいは柱部材角 $R$ （柱頭ピン位置の水平変位 $\delta_m$ /せん断スパン $l$ ） $\approx \pm 0.25\%$ radで正負繰り返し荷重を1回行った後、次に $\theta_b$ （あるいは $R$ ） $\approx \pm 0.5\%$ radで正負繰り返し荷重を2回行い、それ以後は直前の振幅に対して $\theta_b$ （あるいは $R$ ）を $\pm 0.5\%$ rad漸増させる正負繰り返し荷重を2回ずつ耐力低下が著しくなるまで繰り返すものとした。なお、耐力低下を生じない場合は $\theta_b$ （あるいは $R$ ） $\approx \pm 5.0\%$ radで実験を終了した。基礎梁に対する柱頭・柱脚の変位とひずみ度（引張を正とする）は図-4に示す位置において計測した。

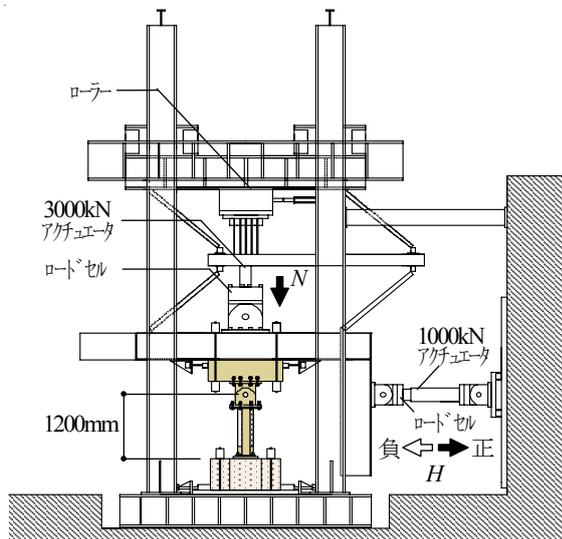


図-3 荷重装置

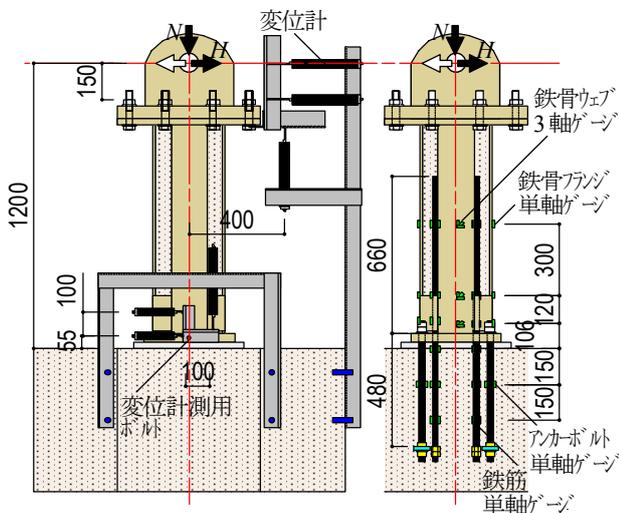


図-4 変位計測とひずみ度計測（単位:mm）

## (3) 破壊状況と履歴特性

最終破壊状況の一例を写真-1、水平力 $H$ と柱部材角 $R$ の履歴曲線を図-5に示す。図-5における点線は軸力による $PA$ 効果を表している。

フランジ内側のみに鉄筋を配した試験体に関して、 $\alpha R=0$ および $0.1$ の場合は荷重終了まで鉄骨のひずみ度は弾性域にあり、フランジに取り囲まれたコンクリートの損傷も軽微なひび割れの発生のみで留まっている。一方、 $\alpha R=0.2$ の場合は最大耐力時に曲げ圧縮側のフランジが柱脚部で圧縮降伏していることが確認されたが、荷重終了まで座屈を生じることはなく、コンクリートの損傷も軽微なひび割れの発生のみで留まっている。また、軸力レベルに関わらず、最大耐力時には曲げ引張側の鉄筋は引張降伏しており、最終的には曲げ圧縮側でベースプレート下部のモルタルが圧壊を生じている。荷重変形関係に関しては作用する軸力が大きい場合ほど最大耐力が大きくなり、BR00は最大耐力に達した以降にやや耐力低下しているが、その他の試験体は $PA$ 効果を考慮すると $R=\pm 5.0\%$ radまで急激な耐力低下を生じていない。また、いずれの軸力下においてもアンカーボルトを用いた鋼構造露出型柱脚の履歴特性に見られるスリップ性状とは異なる履歴特性を示しているが、これは図-6に示されるひずみ度分布を見てわかるように、フランジ内側に配された鉄筋が圧縮力を負担していることが影響している。

フランジ内側の鉄筋と外側のアンカーボルトを併用した試験体に関して、 $\alpha R=0$ の場合は荷重終了まで鉄骨のひずみ度は弾性域にあり、フランジに取り囲まれたコンクリートの損傷も軽微なひび割れの発生のみで留まっている。一方、 $\alpha R=0.1$ の場合は最大耐力時に曲げ圧縮側のフランジが柱脚部で圧縮降伏しているが、荷重終了まで座屈を生じることはなく、コンクリートの損傷も軽微なひび割れの発生のみで留まっていることが確認された。また、 $\alpha R=0$ および $0.1$ の場合は、最大耐力時には曲げ引張側の柱脚接合筋は引張降伏しており、最終的には曲げ圧縮側でベースプレート下部のモルタルが圧壊していること



BR00

BR02

UABR00

UABR02

写真-1 最終破壊状況

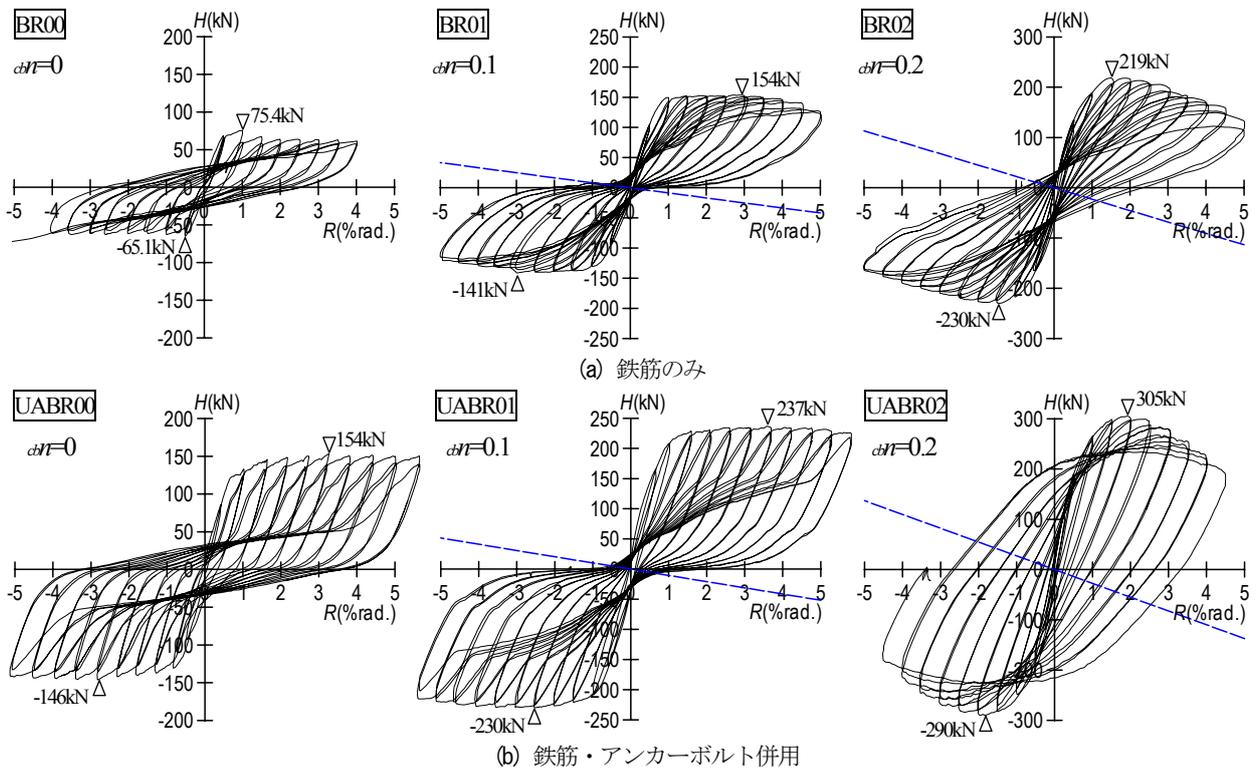


図-5 履歴曲線

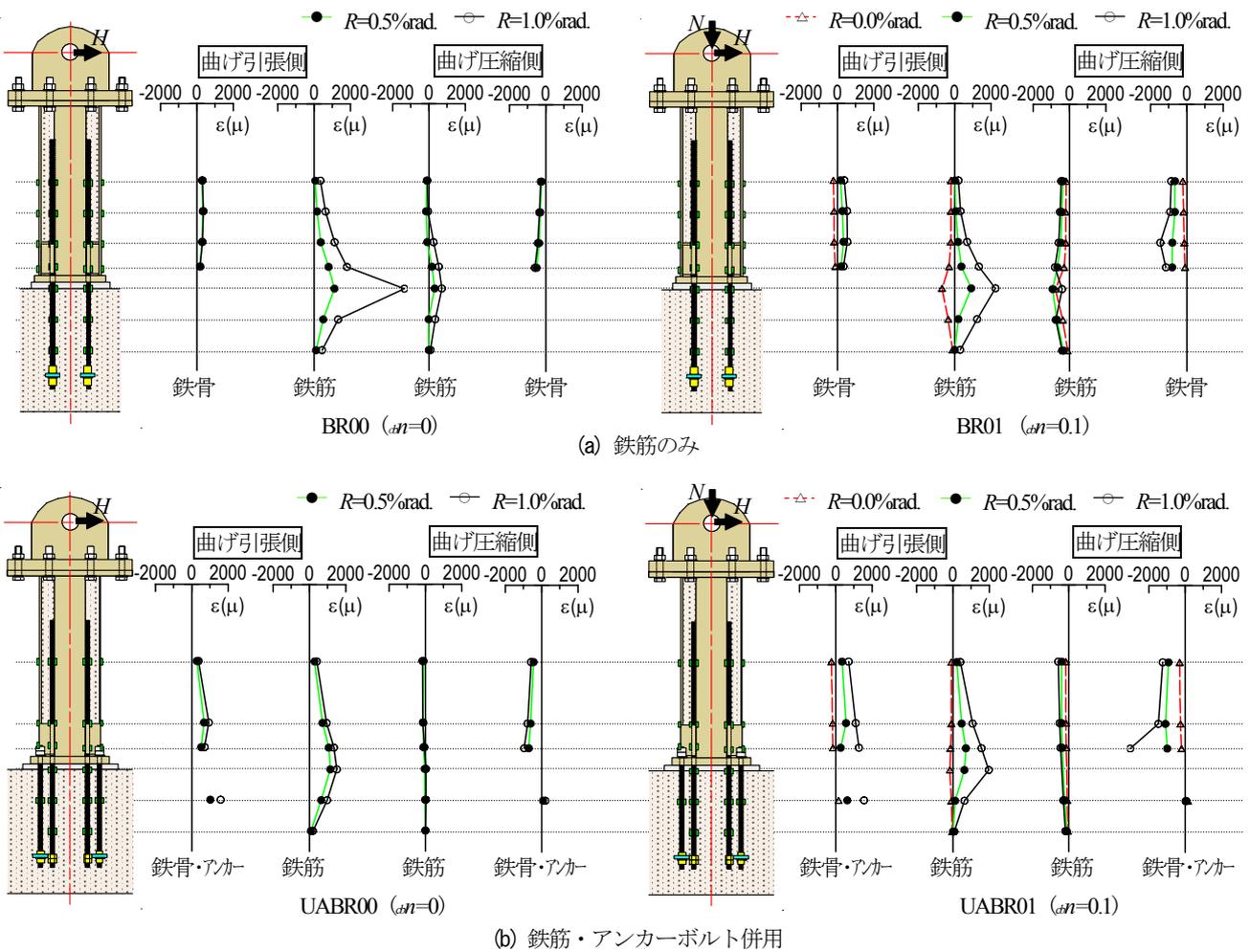


図-6 ひずみ度分布

が確認された。 $\alpha=0.1$ の試験体に関しては鉄骨が塑性変形を生じているが、柱脚接合筋の伸びとベースプレート下部モルタルの圧壊によって柱脚の回転が卓越する破壊状況となり、荷重変形関係は柱脚の回転の影響を大きく受ける履歴特性を示している。フランジ内側の鉄筋と外側のアンカーボルトを併用した場合についても図-6に示されるように鉄筋が圧縮力を負担しているため、鋼構造露出型柱脚とは異なる履歴特性を示している。 $\alpha=0.2$ の場合は最大耐力時に曲げ引張側の柱脚接合筋が引張降伏しているが、曲げ圧縮側のフランジが柱脚部で圧縮降伏し、最終的には補強鋼板上部位置近傍におけるコンクリートが圧壊すると共にフランジが局部座屈を生じているため、 $\alpha=0$ および0.1の場合とは異なり柱の部分の曲げ変形が卓越する紡錘形の履歴特性を示している。

#### 4. 終局曲げ耐力の評価

アンカーボルト部分の終局曲げモーメント $aM_u$ 、鉄筋部分の終局曲げモーメント $mM_u$ 、コンクリート部分の終局曲げモーメント $cM_u$ をそれぞれ求め、一般化累加して柱脚の終局曲げモーメント $M_u$ を求め、 $M_u$ をせん断スパン $l$ で除した値を終局曲げ耐力とする。

アンカーボルトは引張力のみを負担し、鉄筋は引張力

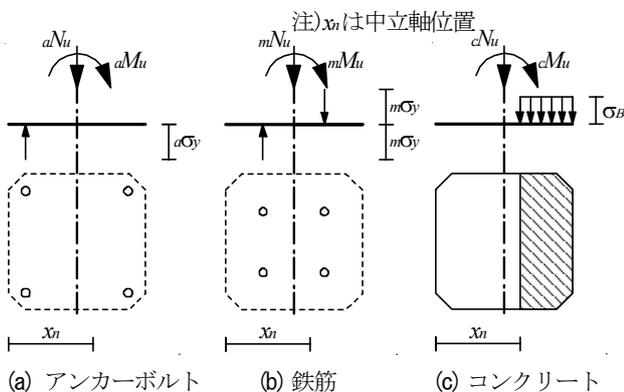


図-7 終局耐力時の応力度分布

と圧縮力を負担すると仮定し、アンカーボルトの軸力 $aN_u$ と $aM_u$ 、鉄筋の軸力 $mN_u$ と $mM_u$ のそれぞれの相関関係は図-7に示されるような応力度分布を仮定して得られるSRC規準<sup>1)</sup>に示される算定式を用いる。

コンクリートの軸力 $cN_u$ と $cM_u$ の相関関係は、図-7に示されるように引張強度を無視して長方形の塑性応力度分布を仮定して得られるSRC規準に準拠する方法によるが、八角形の断面形状に対応した算定式を用いる。なお、SRC規準ではコンクリートの圧縮強度 $\sigma_{bc}$ に対して、コンクリートの充填度の低下等の影響を考慮する低減係数を乗じているが、本部材では密実なコンクリートが充填されるため低減係数は乗じないものとし、 $\sigma_{bc}$ は無収縮モルタルの圧縮強度を用いる。

図-8に一般化累加した軸力 $N_u$ -終局曲げモーメント $M_u$ 相関関係の計算値およびPA効果を考慮した最大曲げモーメントの実験値を示す。実線は柱脚断面の計算値、△印はベースプレート下部位置の実験値である。破線は柱断面の計算値、◇印は補強鋼板上部位置の実験値である。軸力レベルおよび柱と基礎梁の接合方法に関わらず、計算値と実験値の対応は極めて良好であることがわかる。

#### 5. 復元力特性の評価

アンカーボルトがベースプレートに先行して降伏する鋼構造露出型柱脚の復元力特性の評価方法<sup>3)6)</sup>を参考にし、柱脚接合筋がベースプレートに先行して降伏するSC構造露出型柱脚の復元力特性の評価方法を構築する。ただし、柱と基礎梁を接合する鉄筋は柱側への定着長さが短いと鉄筋が引張降伏する前に付着割裂破壊を生じることが考えられるが、提案するモデルでは鉄筋の付着割裂破壊に対して鉄筋の降伏が先行することを条件とし、さらに、柱脚接合筋の降伏に対して、基礎梁コンクリートのコーン状破壊等が先行しないことを条件とする。

柱脚接合筋に鉄筋とアンカーボルトを併用した場合を例として、SC構造露出型柱脚の抵抗機構を図-9に示す。

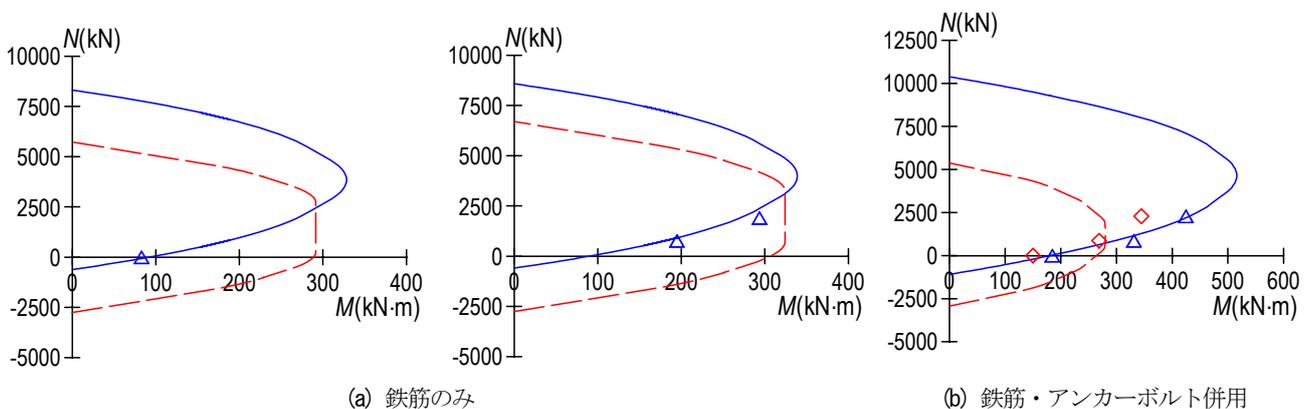


図-8 軸力-終局曲げモーメント相関関係

$aT$ : アンカーボルトの引張力  
 $mT, mC$ : 鉄筋の引張力および圧縮力  
 $cC$ : コンクリート部分の圧縮合力

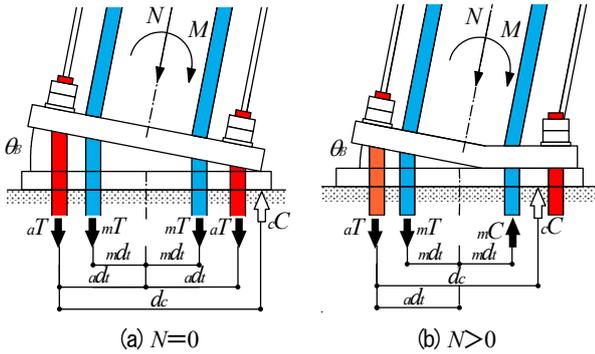


図-9 抵抗機構

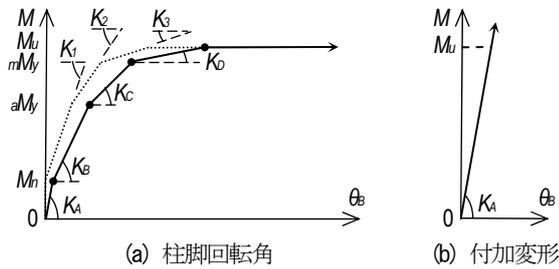


図-10 復元力特性モデル

アンカーボルトは圧縮力にのみ抵抗、鉄筋は引張力と圧縮力に対して抵抗すると仮定すると、柱脚に作用する曲げモーメント  $M$  と回転角  $\theta_b$  の関係は、柱脚接合筋の伸び縮みによって図-10(a)の点線で示される履歴挙動を示し、さらに、ベースプレートやベースプレート下部コンクリートの付加弾性変形(図-10(b)参照)を考慮すると、図-10(a)の実線で示される履歴挙動を示すと考えられる。図-10(a)の実線における各特性点の曲げモーメントを以下に示す。

$$M_u = N(d_c - ad_t) \quad (1)$$

$$aM_y = a\sigma_y \cdot aA_t \cdot \frac{dc^2 + (dc - 2ad_t)^2}{dc} + \frac{mE \cdot mA_t}{ml} a\sigma_y \cdot al \cdot \left( \frac{(dc - ad_t + mdt)^2 + (dc - ad_t - mdt)^2}{dc} \right) + M_n \quad (2)$$

(ただし、 $aM_y \leq M_u$ )

$$mM_y = a\sigma_y \cdot aA_t \cdot dc + m\sigma_y \cdot mA_t \cdot \left( \frac{(dc - ad_t + mdt)^2 + (dc - ad_t - mdt)^2}{dc - ad_t + mdt} \right) + \frac{aE \cdot aA_t}{al} m\sigma_y \cdot ml \cdot \frac{(dc - 2ad_t)^2}{dc - ad_t + mdt} + M_n \quad (3)$$

(ただし、 $mM_y \leq M_u$ )

$$M_u = aM_u + mM_u + cM_u \quad (4)$$

$M_u$ はベースプレートと基礎梁が部分離開する時の曲げモーメントで、 $N$ は軸力(圧縮を正とする)、 $d_c$ は曲げ引張側アンカーボルトからコンクリート部分の圧縮合力点位置までの距離である。

$aM_u$ は曲げ引張側アンカーボルトが引張降伏する時の曲げモーメントで、 $a\sigma_y$ ,  $a\sigma_s$ ,  $aE$ ,  $aA_t$ ,  $ad_t$ および $al$ はアンカーボルトの降伏応力度、降伏ひずみ度、ヤング係数、断面積(曲げ引張側あるいは曲げ圧縮側の片側のみ)、断面図心からの距離および有効定着長さである。

$mM_y$ は曲げ引張側鉄筋が引張降伏する時の曲げモーメントで、 $m\sigma_y$ ,  $m\sigma_s$ ,  $mE$ ,  $mA_t$ ,  $mdt$ および $ml$ は鉄筋の降伏応力度、降伏ひずみ度、ヤング係数、断面積(曲げ引張側あるいは曲げ圧縮側の片側のみ)、断面図心からの距離および有効定着長さである。

$d$ および $ml$ に関しては、既報<sup>4)</sup>に基づいてアンカーボルトに関しては(5)式、鉄筋に関しては(6)式を用いて評価する。

$$d = ad \quad (5)$$

$$ml = \frac{1}{2} d + \frac{1}{2} ad \quad (d \leq 25d, ad \leq 25d) \quad (6)$$

ここに、 $ad$ は柱脚接合筋の基礎梁側への定着長さ、 $d$ は鉄筋の柱側への定着長さ、 $ad$ は鉄筋の直径である。

$M_u$ はアンカーボルトの終局曲げモーメント  $aM_u$ 、鉄筋の終局曲げモーメント  $mM_u$ 、ベースプレート下部コンクリートの終局曲げモーメント  $cM_u$ を一般化累加して求める柱脚の終局曲げモーメントである。

なお、鋼構造のように比較的低圧縮軸力下で設計が行なわれる場合は、圧縮合力点位置が圧縮側フランジ外縁にあるとすれば、各特性点の曲げモーメントを妥当に評価できることが知られているが<sup>5,6)</sup>、本研究で用いた試験体ではベースプレートが厚く、張り出し長さも短く、ベースプレートの弾性変形が極めて微小となるような形状であるため、軸力のない場合の圧縮合力点位置は図-9(a)に示されるように圧縮側ベースプレート外縁にあるとする。ただし、SC構造ではCFT構造と同様に高圧縮軸力を受ける場合を想定して、軸力を受ける場合は、圧縮合力点位置が柱図心側に移動することを考慮できる下式を用いて評価する。

$$d_c = \frac{M_u + (ad_t - mdt)m\sigma_y \cdot mA_t + ad_t \cdot N}{a\sigma_y \cdot aA_t + m\sigma_y \cdot mA_t + N} \quad (7)$$

(7)式は高圧縮軸力を受ける鋼構造露出型柱脚に対して誘導された  $d_c$  の算定式<sup>6)</sup>を基にしており、曲げ圧縮側の柱脚接合筋の影響を考慮していないが、中立軸が曲げ圧縮側の柱脚接合筋の近傍にある場合は曲げ圧縮側の柱脚接合筋の負担軸力は小さく、コンクリートの圧縮合力点位置に与える影響は小さいと考えられる。また、中立

軸が曲げ引張側の柱脚接合筋の近傍となるような高圧縮軸力下でも、コンクリート部分の負担圧縮軸力に対して柱脚接合筋の負担圧縮軸力は小さく、コンクリートの圧縮合力点位置に与える影響は小さいと考えられるため、 $d_c$ の算定では曲げ圧縮側の柱脚接合筋の影響は無視した。

剛性  $K_A$ ,  $K_B$ ,  $K_C$  および  $K_D$  の評価は、文献<sup>6)</sup>に示される評価式を基にして、アンカーボルトの初期張力による影響を無視し、曲げ圧縮側の鉄筋が引張あるいは圧縮抵抗する可能性があることを考慮した下式を用いる。

$$K_A = \frac{1}{R-1} \left( \frac{aM_y}{aM_y - M_n} \right) K_1 \quad (8)$$

$$K_B = \frac{K_A \cdot K_1}{K_A + K_1} \quad (9)$$

$$K_C = \frac{K_A \cdot K_2}{K_A + K_2} \quad (10)$$

$$K_D = \frac{K_A \cdot K_3}{K_A + K_3} \quad (11)$$

$$K_1 = \frac{aE \cdot aA_t}{al} \left[ d_c^2 + (d_c - 2d_t)^2 + \frac{mE \cdot mA_t}{ml} \frac{a\epsilon_y \cdot al}{a\sigma_y \cdot aA_t} \{ (d_c - d_t + nd_t)^2 + (d_c - d_t - nd_t)^2 \} \right] \quad (12)$$

$$K_2 = \frac{mE \cdot mA_t}{ml} \{ (d_c - d_t + nd_t)^2 + (d_c - d_t - nd_t)^2 \} + \frac{aE \cdot aA_t}{al} \frac{m\epsilon_y \cdot ml}{m\sigma_y \cdot mA_t} (d_c - d_t - nd_t)^2 \quad (13)$$

$$K_3 = \frac{mE \cdot mA_t}{ml} \{ (d_c - d_t - nd_t)^2 + \frac{aE \cdot aA_t}{al} \frac{m\epsilon_y \cdot ml}{m\sigma_y \cdot mA_t} (d_c - 2d_t)^2 \} \quad (14)$$

ここに、 $R$ はベースプレートやベースプレート下部コンクリートの付加弾性変形に起因する弾性回転剛性補正係数である。

実験値を点線、計算値を実線とした  $M-\theta$  関係を図-11に示す。実験値と計算値との比較は  $\theta=2.5\%$  rad の範囲における  $M-\theta$  関係を示した。実験値は圧縮軸力による  $P\Delta$  効果を考慮した曲げモーメントを示している。また、柱と基礎梁の接合に鉄筋のみを用いた試験体に関しては、提案した評価式における鉄筋に関する項を0として算定した。

初期剛性の評価に関する弾性回転剛性補正係数  $R$  は、鋼構造接合部設計指針<sup>7)</sup>やCFT指針<sup>8)</sup>では2.0とされているが、 $R$ はベースプレートやベースプレート下部コンクリートの付加弾性変形に起因するものであるため、本来は使用材料や形状等によって異なる値である。本論では、各試験体について、 $\theta=0.25\%$  rad での実験値と計算値が一致する値として  $R$  を同定すると1.00~2.08となった。

図-11ではそれぞれの試験体について同定された  $R$  の値を用いた計算値を示した。

最大曲げモーメントの実験値が一般化累加強度による計算値に達しておらず、最大曲げモーメント以降に耐力低下を生じている試験体BR00に関しては、最大曲げモ

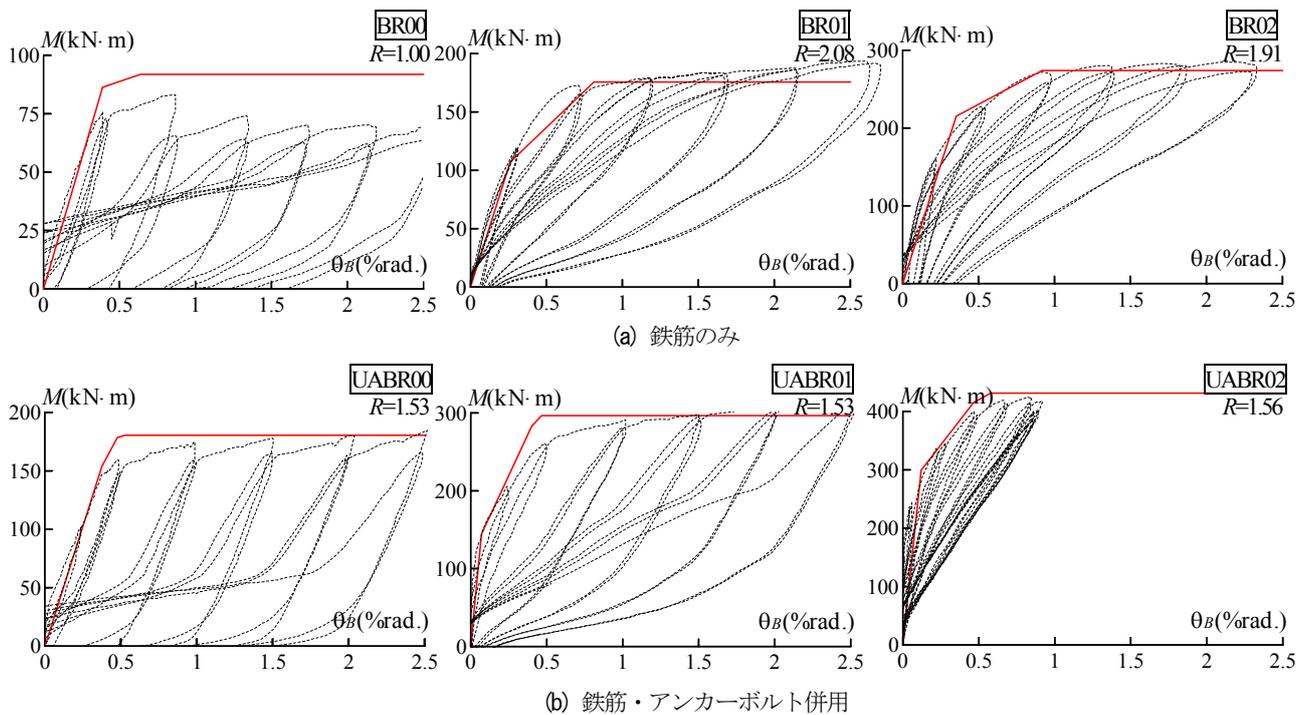


図-11  $M-\theta$  関係

ーメント以降の実験値と計算値に差異を生じているが、その他の試験体に関しては、軸力レベル、柱と基礎梁の接合方法に関わらず実験値と計算値の対応は概ね良好であることがわかる。

## 6. まとめ

本研究によって得られた成果を以下にまとめる。

- 1) 柱と基礎梁の接合に鉄筋とアンカーボルトを併用して用いた露出型柱脚が、 $\mu F=0.2$ の圧縮軸力下にある場合を除く試験体に関しては、柱脚の回転が卓越する破壊状態となった。
- 2) 終局曲げ耐力は柱脚断面を構成する各要素の終局曲げ耐力を一般化累加する方法によって実験値を妥当に評価できる。
- 3) 提案した復元力特性の評価方法は実験値を妥当に評価できる。

## 参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（第5版），2001.1
- 2) British Standards Institution：Eurocode 4 Design of composite steel and concrete structures, 2004
- 3) 福原実苗，藤井英希，南宏一：新形式の鉄骨コンクリート柱の開発研究，構造工学論文集，Vol.54B，pp.471-478，2008.3
- 4) 貞末和史，赤松克哉，南宏一：柱断面内側のみに接合筋が配された鉄骨コンクリート露出型柱脚の復元力特性，日本建築学会構造系論文集 第78巻第687号，pp.1017-1025，2013.5
- 5) 秋山宏：鉄骨柱脚の耐震設計，技報堂，pp.20-30，1985.3
- 6) 玉井宏章，山西央郎，白木剛，高松隆夫，松尾彰：アンカーボルト初期張力や柱軸力の効果を考慮した平面露出柱脚簡易解析モデル，日本建築学会構造系論文集，第628号，pp.991-997，2008.6
- 7) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針，2012.3
- 8) 日本建築学会：コンクリート充填鋼管構造設計施工指針，2008.10

## HYSTERESIS CHARACTERISTIC OF EXPOSED TYPE COLUMN BASES IN STEEL CONCRETE COMPOSITE STRUCTURES

Kazushi SADASUE and Koichi MINAMI

We confirmed the mechanical behavior of exposed type column bases in steel concrete composite columns through the structural tests under the axial load and the cyclic horizontal load. The experimental parameters were as follows, axial load level and method of connecting the column of steel concrete member to the footing beam of reinforced concrete member. The structural tests make it clear that ultimate strength can be evaluated to super posed strength method, in which the ultimate strength of the section of anchor-bolts, reinforcements and concrete below the baseplate. Moreover, proposed evaluation method of restoring force characteristics matches the test result well.