7. 複合型露出柱脚のコンパクト形状に関する軸力曲げ耐力相関式の提案

Proposal of Axial Force Bending Strength Interaction Equation for Compact Type of Composite Exposed-Type Column Bases

生島優花*　寺内将貴*　柳田佳伸*　新井佑一郎*　石鍋雄一郎**

ー概要ー

筆者らは、鉄骨造建物の柱脚部の部材として複合型露出柱脚の開発を行ってきた。既報 [1] では、通常タイプ形状について、提案した軸力曲げ耐力相関式の妥当性が、実験結果との対比において確認されている。その後、改良したコンパクトタイプ形状（**図 1**）については、通常タイプに比べて構造性能の向上が実験により確認されている。ただし、ベースプレートの形状とアンカーボルトの配置が通常タイプと異なるため、その形状に合わせた軸力曲げ耐力相関式を提案する必要があった。

本報では、複合型露出柱脚のコンパクトタイプ形状について、本工法独自の軸力を考慮した曲げ耐力式を提案し、軸力曲げ耐力相関図（**図 2**）を作成した。また、提案した軸力曲げ耐力相関図と既報 [2] の実験結果の比較を行い、その妥当性を示した。

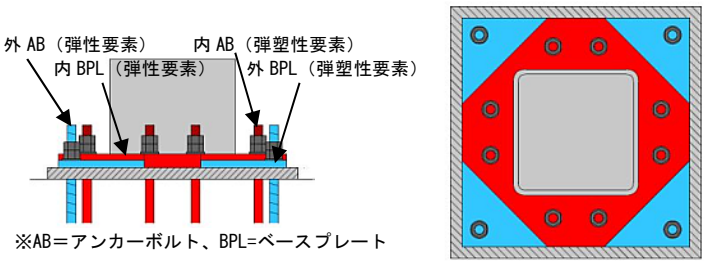

図 1　複合型露出柱脚のコンパクトタイプ形状の構成概念図

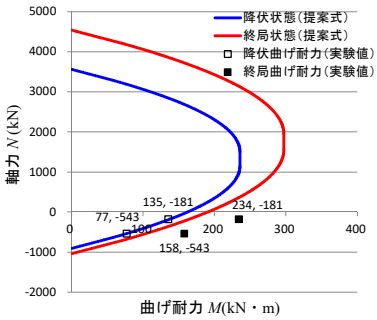

図 2　コンパクトタイプ形状の軸力曲げ耐力相関図

ー技術的な特長ー

複合型露出柱脚は、内側に配置されたアンカーボルト（弾塑性要素）とベースプレート（弾性要素）でアンカーボルト降伏型を形成し、外側に配置されたアンカーボルト（弾性要素）とベースプレート（弾塑性要素）によりベースプレート降伏型を形成する。

それぞれの降伏要素がほぼ同時に降伏するよう設計することで、その復元力特性モデルはアンカーボルト降伏型（スリップ型）とベースプレート降伏型（最大点指向型）を累加したものとなる（**図 3**）。これにより、従来の露出柱脚ではスリップ型の復元力特性となるアンカーボルト降伏後の領域において、ベースプレート降伏要素により耐力負担が期待できる復元力特性（**図 4**）となることを特長としている。また、2 回目以降の繰返し荷重下において、同様の復元力特性となることを確認している。

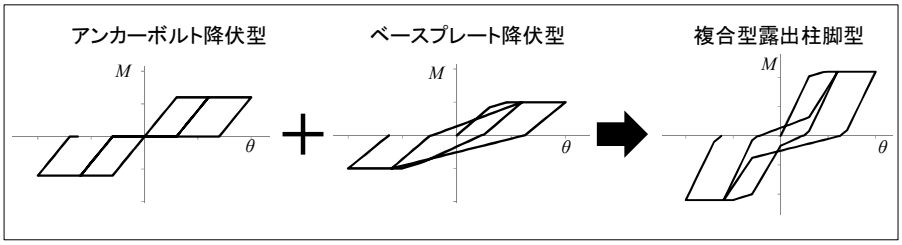

図 3　複合型露出柱脚の復元力特性モデル

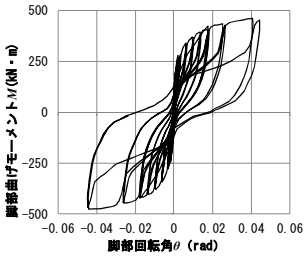

図 4　複合型露出柱脚の復元力特性

1）新井佑一郎，柳田佳伸，寺内将貴，石鍋雄一郎：複合型露出柱脚の設計用曲げ耐力式の提案，第 15 回日本地震工学シンポジウム論文集，pp.2439-2448，2018.11
2）寺内将貴，柳田佳伸，新井佑一郎，石鍋雄一郎：複合型露出柱脚のコンパクト型試験体に関する性能確認実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.843-844，2020.9

*技術研究所 構造研究部 建築構造研究室　**日本大学

複合型露出柱脚のコンパクト形状に関する軸力曲げ耐力相関式の提案

Proposal of Axial Force Bending Strength Interaction Equation for Compact Type of Composite Exposed-Type Column Bases

○生島優花*　寺内将貴*　柳田佳伸*　新井佑一郎*　石鍋雄一郎**
Yuka IKUSHIMA　Masaki TERAUCHI　Yoshinobu YANAGITA　Yuichiro ARAI　Yuichiro ISHINABE

ABSTRACT The composite-type exposed column base is one type of exposed column base in steel frame building. In this paper, For the compact type of Composite Exposed-type column bases, the axial force bending strength interaction formula was proposed as a calculation method of the yield bending strength considering the axial force. The axial force bending strength interaction diagram calculated in proposal formulas was compared with previously reported experimental results, and its validity was shown.

Keywords :露出型柱脚, ベースプレート降伏型, アンカーボルト降伏型, N-M 相関図, 曲げ耐力
Exposed-type column bases, Base plate yield type, Anchor bolt yield type, N-M interaction diagram, Bending strength

1. はじめに

複合型露出柱脚[1)]は、一体化された凸型のベースプレートにより構成されている。中央の厚い部分を内ベースプレート、外周の薄い部分を外ベースプレートと呼ぶ。内・外ベースプレートは、それぞれが内・外アンカーボルトで基礎に緊結されている。内ベースプレートと内アンカーボルトは、一般的な露出柱脚と同様の降伏形式（アンカーボルト降伏型）を構成し、内アンカーボルトが塑性変形する。一方、外ベースプレートは十分な強度を有する外アンカーボルトで基礎に固定されているため、地震時に外アンカーボルト緊結部と内ベースプレート端部の間に相対変位が生じ、外ベースプレートが塑性変形する。

このように、2 種類の弾塑性要素（図 1）は並列バネの関係となり、設計時には各要素の単純累加が可能となる。復元力特性モデルは、アンカーボルト降伏型およびベースプレート降伏型を累加した複合型露出柱脚特有の復元力特性となる（図 2）。

構造設計を行う際には軸力を考慮した曲げ耐

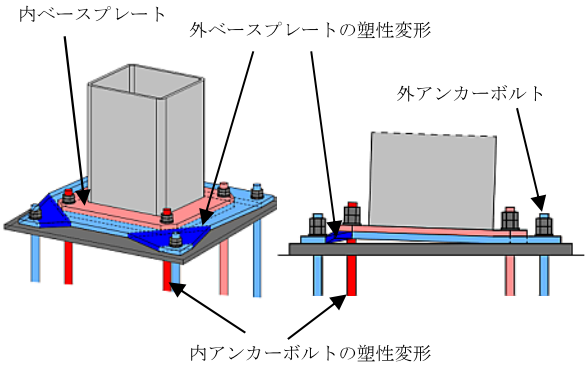

図 1　複合型露出柱脚の地震時変形状況

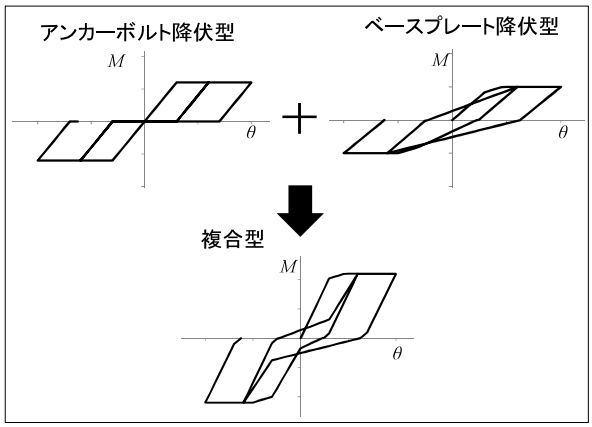

図 2　複合型露出柱脚の復元力特性

*技術研究所　構造研究部　建築構造研究室
**日本大学短期大学部　准教授

力の相関図が必要となる。既報[2)]では、通常タイプ（図 3）において鋼構造接合部設計指針[3)]や既往の研究[4)]を参考に軸力を考慮した曲げ耐力式を提示したがコンパクトタイプ[5)]（図 4）は、ベースプレートの形状およびアンカーボルトの配置と本数が、通常タイプと異なるため、その形状に合わせた設計用曲げ耐力式を示す必要がある。

本稿では、複合型露出柱脚のコンパクトタイプの N-M 相関式の提示を試みる。また、提案した N-M 相関式と既往の実験結果[5),6)]を比較する。

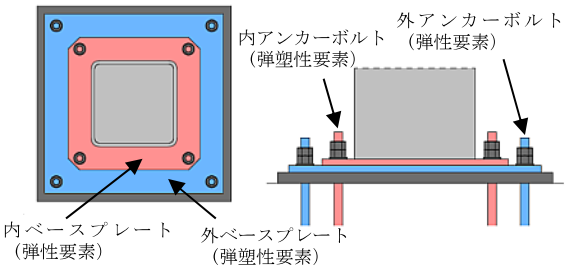

図 3　複合型露出柱脚（通常タイプ）の概念図

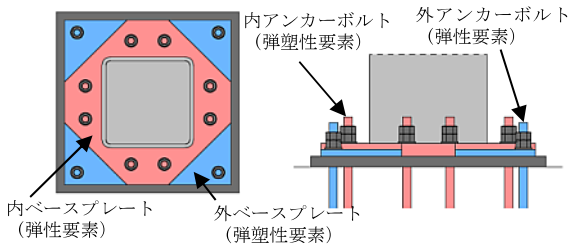

図 4　複合型露出柱脚（コンパクトタイプ）の概念図

２. 複合型露出柱脚の曲げ耐力

２．１. 通常タイプの軸力を考慮した曲げ耐力式（N-M 相関式）

一般的な露出柱脚における軸力を考慮した曲げ耐力式は鋼構造接合部設計指針[3)]に示されているように、柱脚に作用する柱軸力、曲げモーメント、アンカーボルト引張軸力および基礎圧縮反力の釣り合い式である。

一方、複合型露出柱脚の通常タイプでは、反力において引張側に内アンカーボルト引張軸力に加え、外ベースプレートに作用する力が追加されている。N-M 相関式の提案では、一般的な N-M 相関式の形式から大幅な変更が生じないようにするために、外ベースプレートに作用する力を、等価な外アンカーボルトの軸力に置き換える。これにより、複合型露出柱脚の通常タイプは鋼構造接合部設計指針[3)]の曲げ耐力式を準用することが可能となった[2)]。また、既往の研究[4),7)]を参考に、圧縮側コンクリートの反力を矩形のストレスブロックとして仮定した。これにより降伏耐力、終局耐力ともに式の形は同一となるため、状態に応じて値を変化させることで耐力の算出を行うことができる。下記式を降伏耐力に適用する場合は、N_cの算出にコンクリートの短期許容応力を、T_g、d_gに降伏耐力に対応する値を用いる。終局耐力では想定する状態に応じた N_c、T_g、d_g を用いる。

終局状態は外ベースプレートの塑性変形領域が全塑性状態と定義しているため、外アンカーボルト群の引張軸力では、矩形断面定数である 1.5 を乗じた値を用いる。また、降伏時は内アンカーボルトのネジ部断面積を用いているが、設計指針[2)]を参考に終局時には内アンカーボルトの軸部断面積を用いる。

鋼構造接合部設計指針[3)]を参考に提案した通常タイプの降伏曲げ耐力式を**式（１．１）～（１．３）**に、終局曲げ耐力式を**式（１．４）～（１．６）**に示す。各部の寸法記号を**図 5** に示す。

軸力を考慮した複合型露出柱脚の降伏曲げ耐力 M_{by}

$$M_{by} = \left(\frac{N_{c1}}{N} - 1\right) \cdot d_{g1} \cdot N$$

$$(N_{c1} \geqq N > N_{c1} - T_{g1}) \qquad (1.1)$$

$$M_{by} = d_{g1} \cdot T_{g1} + \left(1 - \frac{N + T_{g1}}{N_{c1}}\right) \cdot \frac{B_i - 2u}{2} \cdot \left(N + T_{g1}\right)$$

$$(N_{c1} - T_{g1} \geqq N > -T_{g1}) \qquad (1.2)$$

$$M_{by} = d_{g1} \cdot \left(N + 2T_{g1}\right)$$

$$(-T_{g1} \geqq N > -2T_{g1}) \qquad (1.3)$$

軸力を考慮した複合型露出柱脚の終局曲げ耐力 M_{bu}

$$M_{bu} = \left(\frac{N_{c2}}{N} - 1\right) \cdot d_{g2} \cdot N$$

$$(N_{c2} \geqq N > N_{c2} - T_{g2}) \qquad (1.4)$$

$$M_{bu} = d_{g2} \cdot T_{g2} + \left(1 - \frac{N + T_{g2}}{N_{c2}}\right) \cdot \frac{B_i - 2u}{2} \cdot \left(N + T_{g2}\right)$$

$$(N_{c2} - T_{g2} \geqq N > -T_{g2}) \qquad (1.5)$$

$$M_{bu} = d_{g2} \cdot (N + 2T_{g2})$$

$$(-T_{g2} \leqq N > -2T_{g2}) \quad （１．６）$$

T_{i1}　：　引張側内アンカーボルト群の短期許容耐力

$T_{i1} = n_{ti} \cdot {}_b a_{ie} \cdot {}_a\sigma_{yi}$

n_{ti}　：　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

${}_a\sigma_{yi}$　：　内アンカーボルトの設計基準強度（F値）

T_{ob1}[2)]　：　外ベースプレートが弾性限に達した時点での外AB群引張軸力

$$T_{ob1} = \frac{{}_bM_y \cdot n_{bo}}{n_{to} \cdot (d_{ci} + d_s)}$$

$$= \frac{b \cdot B_o \cdot t_o^2 \cdot n_{bo}}{d \cdot c_m \cdot n_{to} \cdot (d_{ci} + d_s)} \cdot {}_b\sigma_{yo}$$

${}_bM_y$[2)]　：　外ベースプレート降伏型の基準降伏曲げ耐力

n_{bo}　：　弾塑性板の数

n_{to}　：　引張側外アンカーボルト本数

d_{ci}　：　柱芯から圧縮側内ベースプレート突出部中心間の距離

d_s　：　柱芯から外アンカーボルト芯までの距離

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　：　外ベースプレート板厚

d　：　弾塑性板の幅

c_m　：　ベースプレート形状係数(=2.3)

${}_b\sigma_{yo}$　：　外ベースプレートの設計基準強度（F値）

T_{g1}　：　降伏曲げ耐力到達時における引張側内外アンカーボルト群の合計軸力

$T_{g1} = T_{i1} + T_{ob1}$

d_{g1}　：　降伏曲げ耐力時の引張側アンカーボルト群重心位置

$$d_{g1} = \frac{T_{i1} \cdot d_t + T_{ob1} \cdot d_s}{T_{i1} + T_{ob1}}$$

d_t　：　柱芯から内アンカーボルト芯までの距離

N_{c1}　：　内ベースプレート下の基礎コンクリートの短期許容耐力

$$N_{c1} = \frac{2}{3} F_c \cdot (B_i \cdot D_i - 2u^2)$$

F_c　：　基礎コンクリートの設計基準強度

B_i　：　内ベースプレート幅 (=内ベースプレートせいD_i)

u　：　隅切り幅

N　：　柱軸力

T_{i2}　：　引張側内アンカーボルト群の軸部降伏耐力

$T_{i2} = n_{ti} \cdot {}_b a_i \cdot {}_a\sigma_{yi}$

${}_b a_i$　：　内アンカーボルト軸部の断面積

T_{ob2}[2)]　：　外ベースプレートが全塑性状態に達した時点での外AB群引張軸力

$$T_{ob2} = s \cdot \frac{{}_bM_y \cdot n_{bo}}{n_{to} \cdot (d_{ci} + d_s)}$$

$$= s \cdot \frac{b \cdot B_o \cdot t_o^2 \cdot n_{bo}}{d \cdot c_m \cdot n_{to} \cdot (d_{ci} + d_s)} \cdot {}_b\sigma_{yo}$$

s　：　ベースプレート降伏型における降伏曲げ耐力の割増率（＝1.5）

T_{g2}　：　終局曲げ耐力到達時における引張側内外アンカーボルト群の合計軸力

$T_{g2} = T_{i2} + T_{ob2}$

d_{g2}　：　終局曲げ耐力時の引張側アンカーボルト群重心位置

$$d_{g2} = \frac{T_{i2} \cdot d_t + T_{ob2} \cdot d_s}{T_{i2} + T_{ob2}}$$

N_{c2}　：　内ベースプレート下の基礎コンクリートの終局耐力

$$N_{c2} = 0.85 F_c \cdot (B_i \cdot D_i - 2u^2)$$

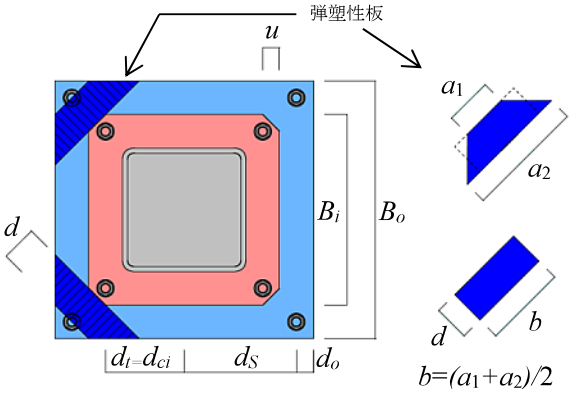

図５　通常タイプの各部の寸法記号

提案した通常タイプ用の複合型露出柱脚の降伏曲げ耐力式および終局曲げ耐力式と既往の実験[5),6)]で得た曲げ耐力を比較する。試験体の概要を**表１**に、その結果を**表２**および**図６～７**に示す。通常タイプの実験値の算出方法に関しては既報[1),6),8)]を参照されたい。

計算値と実験値を比較した結果、圧縮軸力下

（予備実験、累加性能確認実験）および引張軸力下（全引張試験）ともに実験値との対応性は良好であり、提案した通常タイプのＮ－Ｍ相関式は、適切な評価が可能であることを示した。

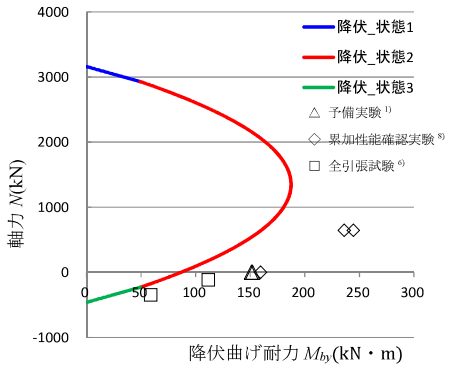

図６　通常タイプの N-M_{by} 相関図（降伏）

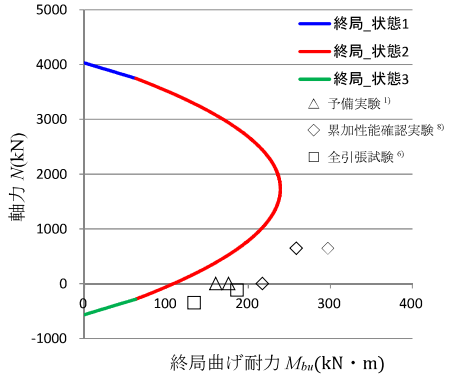

図７　通常タイプの N-M_{bu} 相関図（終局）

２．２．コンパクトタイプの軸力を考慮した曲げ耐力式（N-M 相関式）の提案

コンパクトタイプ（図 4）において、通常タイプの式をベースに軸力を考慮した降伏曲げ耐力式の提示を試みる。

加力方向に対して正側に配置されているアンカーボルトを圧縮側アンカーボルト、負側を引張側アンカーボルトとする。図 8 に示す通り引張側内アンカーボルトは立面図における柱の外側に位置している内アンカーボルト（A 群）とし、柱芯付近の内アンカーボルトを柱の内側に位置している内アンカーボルト（B 群）とした。そして、B 群の内アンカーボルトを図 9 のように柱芯に配置されたアンカーボルトに合力として換算した。

通常タイプでは、内ベースプレートの隅切り幅 u は内ベースプレート面積に対して微小であったことから、式（１．２）では内ベースプレート幅を$B_i - 2u$ とした。一方、コンパクトタイプでは、内ベースプレート形状が異なるため図 10 に示す通り台形部分の面積を矩形に置換して考えることとする。

表１　通常タイプの試験体概要

試験名	試験体名	軸力 (kN)	内アンカーボルト	外アンカーボルト	内ベースプレート	外ベースプレート	柱
予備実験 1)	16N	0	SNR400 M22	SD345 D29	SN490C　t=32mm	SS400 t=16mm	BCR295 t=12mm 250×250mm
	16R						
累加性能確認実験 8)	複合型 A	645	ABR40 M22	SD345 D29	SN490C　t=32mm	SS400 t=16mm	BCR295 t=16mm 250×250mm
	複合型 B	0			SN490C　t=40mm		
	補強型	645					
全引張試験 6)	N-116	-116	ABR400 M22	TS700 M30	SN490C　t=40mm	SN400B t=16mm	BCR295 t=16mm 250×250mm
	N-348	-348					

表２　通常タイプの曲げ耐力式による計算結果と実験結果

試験体名	軸力 (kN)	降伏曲げ耐力(kN・m)			終局曲げ耐力(kN・m)		
		計算値	実験値	実験値/計算値	計算値	実験値	実験値/計算値
16N	0	82.4	150.9	1.83	123.6	160.4	1.30
16R	0	82.4	152.3	1.85	123.6	175.9	1.42
複合型 A	645	163.0	236.1	1.45	244.5	258.3	1.06
複合型 B	0	82.4	159.4	1.93	123.6	217.1	1.76
補強型	645	163.0	244.5	1.50	244.5	297.0	1.21
N-116	-116	67.9	111.7	1.65	101.8	186.1	1.83
N-348	-348	38.9	58.8	1.51	58.3	133.7	2.29

式は柱脚の応力状態を考慮した力の釣り合い式で、図 11(a)～(e)に示すように軸力に応じて 5 つの範囲に場合分けしている。提案する降伏曲げ耐力の式を式（２．１）～（２．５）に示す。

$$M_{by} = \left(\frac{N_{c1}}{N} - 1\right) \cdot d_{g1} \cdot N$$

$$(N_{c1} \geqq N > N_{c1} - T_{g1}) \quad （２．１）$$

$$M_{by} = d_{g1} \cdot T_{g1} + \left(1 - \frac{N + T_{g1}}{N_{c1}}\right) \cdot \frac{B_i - 0.75u}{2} \cdot (N + T_{g1})$$

$$(N_{c1} - T_{g1} \geqq N > N_{c1}/2 - T_{g1}) \quad （２．２）$$

$$M_{by} = d_{g1} \cdot T_{g1} + \frac{B_i - 0.75u}{8} \cdot N_{c1}$$

$$(N_{c1}/2 - T_{g1} \geqq N > N_{c1}/2 - T_{g1} - T_{m1}) \quad （２．３）$$

$$M_{by} = d_{g1} \cdot T_{g1} + \left(1 - \frac{N + T_{g1} + T_{m1}}{N_{c1}}\right) \cdot \frac{B_i - 0.75u}{2} \cdot (N + T_{g1} + T_{m1})$$

$$(N_{c1}/2 - T_{g1} - T_{m1} \geqq N > -T_{g1} - T_{m1}) \quad （２．４）$$

$$M_{by} = d_{g1} \cdot (N + 2T_{g1} + T_{m1})$$

$$(-T_{g1} - T_{m1} \geqq N > -2T_{g1} - T_{m1}) \quad （２．５）$$

T_{m1}　：　柱芯位置に設けられた内アンカーボルト群の短期許容耐力

$T_{m1} = n_{tm} \cdot {}_b a_{ie} \cdot {}_a \sigma_{yi}$

n_{tm}　：　柱芯位置に配置された内アンカーボルト本数

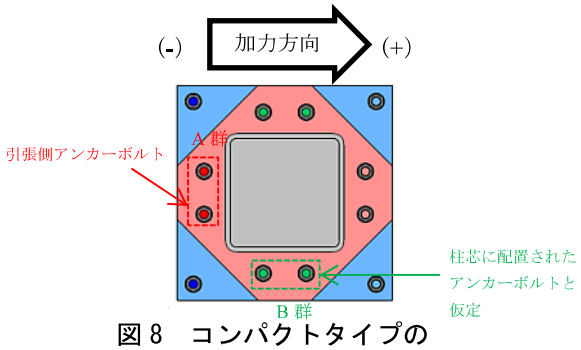

図 8　コンパクトタイプの
アンカーボルトの扱い

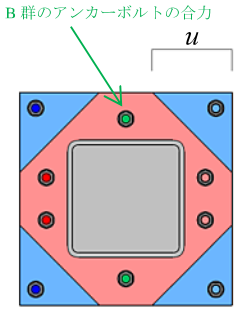

図 9　B 群換算状態図

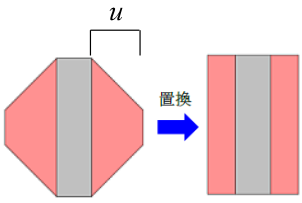

図 10　内ベースプレート
幅の扱い

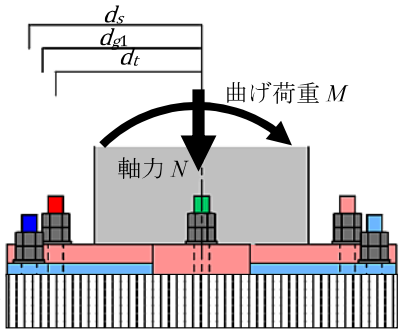

図 11(a)　式（２．１）の状態 1

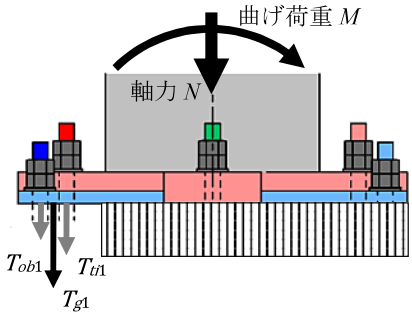

図 11(b)　式（２．２）の状態 2

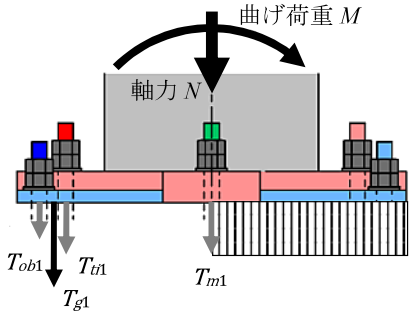

図 11(c)　式（２．３）の状態 3

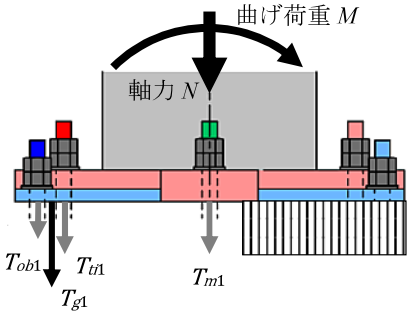

図 11(d)　式（２．４）の状態 4

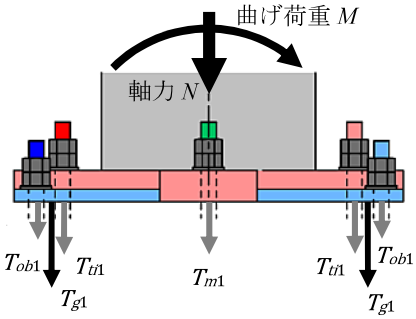

図 11(e)　式（２．５）の状態 5

同様の場合分けによって提案した終局曲げ耐力の式を**式（２．６）～（２．１０）**に示す。

式（２．１）～（２．１０）を用いて作成したコンパクトタイプの N-M 相関図を**図 12** に示す。軸力による付加曲げモーメントを考慮した複合型露出柱脚の終局曲げ耐力 M_{bu}

$$M_{bu} = \left(\frac{N_{c2}}{N} - 1\right) \cdot d_{g2} \cdot N$$

$$(N_{c2} \geqq N > N_{c2} - T_{g2}) \qquad (2.6)$$

$$M_{bu} = d_{g2} \cdot T_{g2} + \left(1 - \frac{N + T_{g2}}{N_{c2}}\right) \cdot \frac{B_i - 0.75u}{2} \cdot (N + T_{g2})$$

$$(N_{c2} - T_{g2} \geqq N > N_{c2}/2 - T_{g2}) \qquad (2.7)$$

$$M_{bu} = d_{g2} \cdot T_{g2} + \frac{B_i - 0.75u}{8} \cdot N_{c2}$$

$$(N_{c2}/2 - T_{g2} \geqq N > N_{c2}/2 - T_{g2} - T_{m2}) \qquad (2.8)$$

$$M_{bu} = d_{g2} \cdot T_{g2} + \left(1 - \frac{N + T_{g2} + T_{m2}}{N_{c2}}\right) \cdot \frac{B_i - 0.75u}{2} \cdot (N + T_{g2} + T_{m2})$$

$$(N_{c2}/2 - T_{g2} - T_{m2} \geqq N > -T_{g2} - T_{m2}) \qquad (2.9)$$

$$M_{bu} = d_{g2} \cdot (N + 2T_{g2} + T_{m2})$$

$$(-T_{g2} - T_{m2} \geqq N > -2T_{g2} - T_{m2}) \qquad (2.10)$$

T_{m2} ：　柱芯位置に設けられた内アンカーボルト群の軸部降伏耐力

$$T_{m2} = n_{tm} \cdot {}_b a_i \cdot {}_a\sigma_{yi}$$

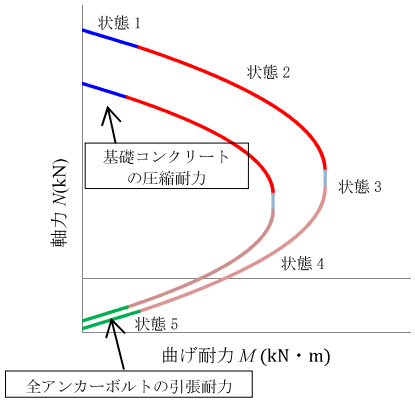

図 12　コンパクトタイプの N-M 相関図

２．３．提案した N-M 相関式と実験結果との比較

提案したコンパクトタイプ用の複合型露出柱脚の曲げ耐力式と既往の実験[5),6)]で得た降伏曲げ耐力を比較する。試験体の概要を**表 3** に、その結果を**表 4** および**図 13～16** に示す。すべての試験体に鋼製基礎を用いているが、提案した曲げ耐力式には圧縮耐力として基礎コンクリートの強度を用いる必要がある。そこで、実験で載荷した軸力は柱降伏軸力に比べて 0.2 倍以下とそれほど大きくないため、基礎部の圧縮耐力を過大に評価しないよう F_c=24 のコンクリートと仮定して計算を行った。また、材料強度 ${}_a\sigma_{yi}$、${}_b\sigma_{yo}$ は材料試験値を代入し、提案した曲げ耐力式より計算値を算出した。実験結果の降伏曲げ耐力 M_{by} の評価は、試験体の内アンカーボルトに貼り付けたひずみゲージが降伏ひずみを超過した時点の曲げモーメントとし、終局曲げ耐力 M_{bu} は、柱部材角が 1/50rad に達した点とした。

降伏曲げ耐力について、試験体 A の実験値は 271.1kN・m、試験体 B は 135.4 kN・m、試験体 C は 77.4 kN・m となった。計算値と実験値を比較した結果、試験体 A の実験値は計算値の 1.16 倍、試験体 B は 0.99 倍、試験体 C は 1.01 倍であった。

終局曲げ耐力について、試験体 A の実験値は 341.6kN・m、試験体 B は 234.4kN・m、試験体 C は 158.0kN・m となった。計算値と実験値を比較した結果、試験体 A の実験値は計算値の 1.22 倍、試験体 B は 1.43 倍、試験体 C は 1.53 倍であった。以上より、圧縮軸力下（試験体 A）および引張軸力下（試験体 B、試験体 C）ともに実験値との対応性は良好であり、提案したコンパクトタイプの N－M 相関式は、適切な評価が可能であることを示した。

表 3　コンパクトタイプの試験体概要

試験体名	軸力 (kN)	内 AB	外 AB	内 BPL	外 BPL	柱
試験体 A [5)]	645	ABR400 M22	SD490 D29	HBL325B　t=45mm	SN400B　t=19mm	BCR295 t=16mm 250×250mm
試験体 B [6)]	-181		TS700 M30	SN490C　t=40mm	SN400B　t=16mm	
試験体 C [6)]	-543					

表 4　コンパクトタイプの実験結果と曲げ耐力式による計算結果

試験体名	軸力 (kN)	降伏曲げ耐力(kN・m)			終局曲げ耐力(kN・m)		
		計算値	実験値	実験値/計算値	計算値	実験値	実験値/計算値
試験体 A	645	234.1	271.1	1.16	280.7	341.6	1.22
試験体 B	−181	137.2	135.4	0.99	164.2	234.4	1.43
試験体 C	−543	76.4	77.4	1.01	103.4	158.0	1.53

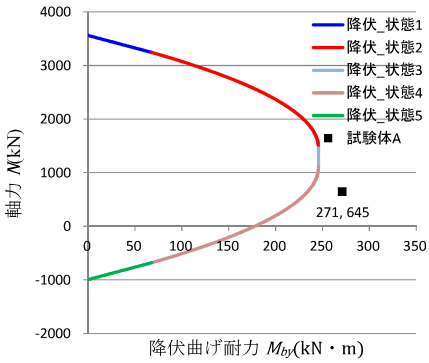

図 13　N-M_{by} 相関図（試験体 A）

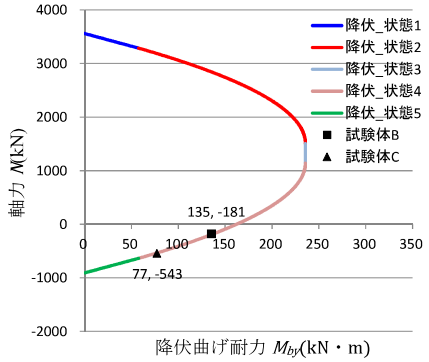

図 14　N-M_{by} 相関図（試験体 B および試験体 C）

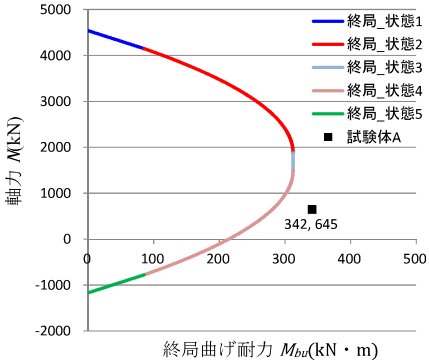

図 15　N-M_{bu} 相関図（試験体 A）

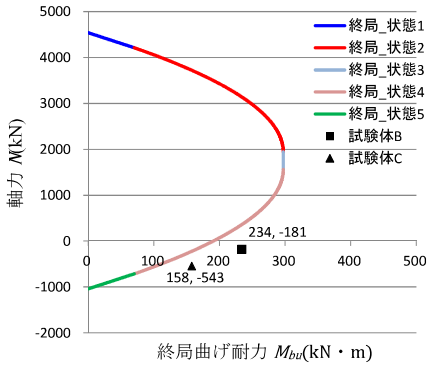

図 16　N-M_{bu} 相関図（試験体 B および試験体 C）

3．まとめ

本稿では、複合型露出柱脚のコンパクトタイプに適用する軸力を考慮した曲げ耐力を提案した。曲げ耐力式による計算値と、既往[5),6)]の実験結果を比較した結果、得られた知見を以下に示す。

1）提案した曲げ耐力式による計算値と既往の実験結果[5),6)]を比較した結果、対応性は良好であり、N－M 相関図の適用が可能であることを示した。

2）複合型露出柱脚のコンパクトタイプは、柱より外側の内アンカーボルトを引張側内アンカーボルトとし、柱より内側の内アンカーボルトを柱芯に合力として換算することで、従来の曲げ耐力式を準用することは可能である。

3）今後の課題として、B 群の内アンカーボルトを柱芯に合力として換算することについて、内アンカーボルト本数との適用性を検討する必要がある。

［参考文献］

1）柳田佳伸，寺内将貴，新井佑一郎，石鍋雄一郎：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，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1171-1174，2016.8
2）新井佑一郎，柳田佳伸，寺内将貴，石鍋雄一郎：複合型露出柱脚の設計用曲げ耐力式の提案，第 15 回日本地震工学シンポジウム論文集，pp.2439-2448，2018.11
3）鋼構造接合部設計指針，日本建築学会，2021.2
4）加藤勉，佐藤邦昭，佐伯俊夫，中村嘉宏，坂本光雄，山田俊一：鋳鋼製柱脚金物 HIBASE を用いた露出型柱脚の研究，その 6，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1225-1226，1984.10
5）寺内将貴，柳田佳伸，新井佑一郎，石鍋雄一郎：複合型露出柱脚のコンパクト型試験体に関する性能確認実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.843-844，2020.9
6）生島優花，柳田佳伸，新井佑一郎，寺内将貴，石鍋雄一郎：複合型露出柱脚の引張軸力作用時の構造性能に関する実験的研究，その 1，実験概要と実験結果，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.943-944，2021.7
7）九谷和秀，河添隆司，増田浩志：鉄骨柱脚部の力学性状に関する実験的研究，露出形式柱脚の降伏耐力について，その 1，日本建築学会九州支部報告，pp.329-332，1986.3
8）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