

第 4 回

# 露出柱脚編3章～5章の概要

益尾 潔◎(一社)建築構造技術支援機構 代表理事

## 本稿の構成

本連載第3回<sup>3)</sup>では、露出柱脚編1章と2章について概説した。本稿では、露出柱脚編3章～5章<sup>2)</sup>の機械式定着工法による設計規定を中心に執筆する。柱型部配筋詳細各部名称を、図1に示す。

### 【露出柱脚編の目次】

- 1章 適用範囲
- 2章 材料
- 3章 鉄骨露出柱脚・基礎梁主筋定着部の基本事項
- 4章 鉄骨露出柱脚・基礎梁主筋定着部の設計
- 5章 柱型部せん断設計
- 6章 柱型部配筋詳細設計例
- 7章 柱型部配筋詳細図例

## 露出柱脚編 3 章

### ◎アンカーボルトの構造規定

アンカーボルト定着長さ $L_{ab}$ は、伸び能力のあるJIS B 1220適合アンカーボルトの場合、鋼構造接合部設計指針<sup>5)</sup>と同様、 $L_{ab} \geq 20d_a$  ( $d_a$ : アンカーボルト軸部直径)とし、既製品露出柱脚アンカーボルトの場合、既製品メーカー仕様を満足するとした。

また、JIS B 1220適合アンカーボルトの場合、ベースプレートの設計、アンカーボルト孔クリアランスなど、露出柱脚の基本事項は鋼構造接合部設計指針によるとした。

露出柱脚編4.1アンカーボルト定着部では、アンカーボルトの掻き出し定着破壊を考慮し、アンカーボルト定着耐力 $T_{au}$ は露出柱脚編・指針式(4.4)を満足するとした。また、実験を基に構造規定では、最外縁アンカーボルト中心から柱型側面までのかぶり厚さ

$C_{sa}$ を $4d_a$ 以上とした。

### ◎柱型主筋の構造規定

実験を基に、柱型主筋上端・定着金物付きの場合、柱型主筋全長を $30d$ 以上とし、柱型主筋上端・直線定着の場合、 $30d$ にJASS 5のフック付き定着長さ $L_{2h}$ と直線定着 $L_2$ との差 $10d$ を加えて $40d$ 以上とした。 $d$ は柱型主筋呼び名の値を示す。ただし、既製品露出柱脚の柱型主筋量は、既製品メーカー仕様と同等以上とした。

一方、RC構造設計指針<sup>1)</sup>柱主筋外定着方式編5章(1)と同様、基礎梁下端筋(1段筋)中心からの柱主筋の突出長さ $C_{Bot}$ は、図1のように、柱主筋下端・定着金物付きまたは $90^\circ$ フック定着の場合 $3d$ 以上とし、柱主筋下端・直線定着の場合 $5d$ 以上とした(RC構造設計指針14.2節の解説(1)参照)。

### ◎柱型横補強筋および定着部拘束筋の構造規定

柱型横補強筋比は、靱性保証型指針<sup>6)</sup>と同様、0.3%以上とし、柱型横補強筋と定着部拘束筋の全補強筋量を露出柱脚編5.3節で定め、基礎梁下端筋の降伏引張耐力に応じ、定着部拘束筋量を露出柱脚編5.4節で規定した。

### ◎基礎梁主筋定着部の構造規定

露出柱脚実験<sup>2),3)</sup>では、基礎梁下面に地反力が生じない直接基礎を想定し、柱型下面を拘束しない最上階RC造L形接合部<sup>1)</sup>と同様の加力方法を採用した。実験結果<sup>2)</sup>によると、機械式定着試験体では、L形が閉じる正加力時にはアンカーボルト引張降伏後、基礎梁上端筋定着部近傍で柱型部せん断ひび割れの進展に伴う損傷は顕在化しないが、基礎梁主筋折曲げ余長部の効果を期待できない。

これらより、図1のように、基礎梁上端筋は、基礎形式にかかわらず、機械式直線定着としてもよいとし、基礎梁下端筋は、直接基礎の場合、基礎梁中段

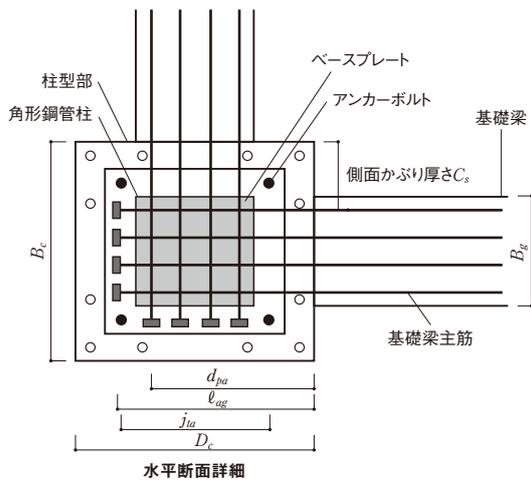
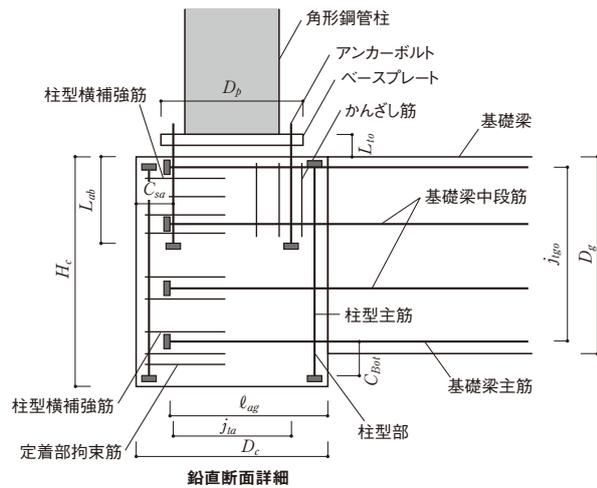


図1 柱型部配筋詳細各部名称



鉛直断面詳細

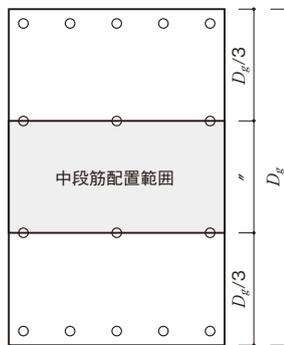


図2 基礎梁中段筋配置範囲

筋を配置し、基礎梁上下主筋定着部の応力を緩和すれば、機械式直線定着としてもよいとした。

一方、杭基礎の場合、杭頭補強筋の定着長さを柱型部下面から  $L_2$  または  $L_{2h}$  以上とすれば、RC 構造設計指針<sup>1)</sup> 14.2 節 (3) と同様、基礎梁下端筋は機械式直線定着としてもよいとした。ただし、引抜力が生じる 1 本杭の場合、柱型主筋と杭頭補強筋の間はあき重ね継手<sup>7)</sup> とするとした。

次に、基礎梁中段筋は、露出柱脚編・指針式 (5.1.11) (略算式) と精算式との比較検討結果<sup>2)</sup> に基づき、図2のように、基礎梁上下端面から  $D_g/3$  を除いた中央部に配置するとした。  $D_g$  は基礎梁せいを示す。

## 露出柱脚編 4 章

### ◎アンカーボルト定着部

#### 1) 引張側アンカーボルトの定着機構

実験時の主要な柱型部せん断ひび割れは、おおむね図3の掻き出し破壊面に沿って発生した。これらよ

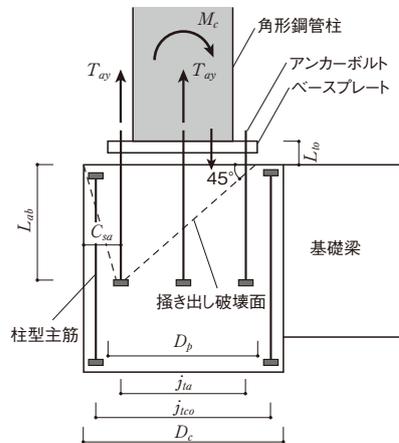


図3 アンカーボルト掻き出し破壊面

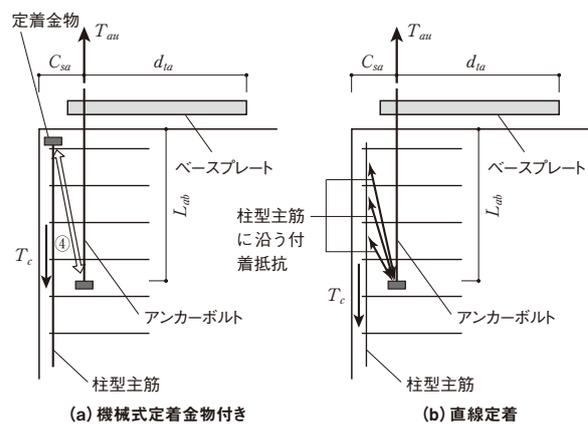


図4 引張側アンカーボルト定着耐力の伝達機構

り、図4のように、機械式定着金物付きの場合、補助ストラット④の鉛直力は、柱型主筋頭部定着金物直下に支圧力として伝達され、直線定着の場合、柱型主筋頭部から下部の付着抵抗によって伝達されるとした<sup>3)</sup>。以上より、引張側アンカーボルト引張耐力  $T_{au}$  は、露出柱脚編・指針式 (4.1) で算定するとした。

同式では、実験的知見を基に、RC造ト形接合部内梁主筋定着部の掻き出し定着耐力式<sup>1)</sup>と同様、コンクリート寄与分 $T_{co}$ に柱型主筋降伏引張耐力の寄与分 $\gamma_c \cdot T_{cy}$ を加えている。コンクリート寄与分 $T_{co}$ は、コンクリートの掻き出しせん断強度 $0.31\sqrt{F_c}$ に、掻き出しせん断水平投影面積 $b_e \cdot (L_{abo} + C_{sa})$ を乗じて求められる。 $b_e$ は柱型有効幅、 $L_{abo} + C_{sa}$ は掻き出し破壊面の水平投影長さを示す(図3)。

実験結果のひずみ測定値から求まる柱型主筋の最大引張応力は、正加力では $200\text{N/mm}^2$ 程度、負加力では $300\text{N/mm}^2$ 程度であり、SD345の規格降伏点 $345\text{N/mm}^2$ に対する柱型主筋の最大引張応力の比は $0.6\sim 0.9$ 程度である。これらより、アンカーボルト定着耐力 $T_{au}$ の算定時には、靱性保証型設計指針式<sup>6)</sup>と同様、 $T_{cy}$ の低減係数 $\gamma_c$ を $0.7$ とした。

2) アンカーボルト定着耐力余裕度および柱型部せん断終局耐力安全率

実験結果によると、機械式定着試験体のアンカーボルト定着耐力余裕度 $T_{au}/\Sigma T_{ay}$ は $1.2\sim 2.0$ 程度であり、柱型部せん断破壊型の場合、耐力安全率 $Q_{\max}/cQ_{pu} = 1.1\sim 1.5$ 程度、柱脚部曲げ破壊型の場合、耐力安全率 $Q_{\max}/Q_{cu} = 1.3$ 程度である。 $\Sigma T_{ay}$ は引張側と中段アンカーボルトで決定する全降伏引張耐力、 $Q_{\max}$ は最大耐力実験値、 $cQ_{pu}$ は柱型部せん断終局耐力時柱せん断力、 $Q_{cu}$ は柱型部終局強度設計用柱せん断力(柱脚部曲げ終局耐力時柱せん断力)である。

これらより、RC造ト形接合部試験体<sup>1)</sup>と同様、 $T_{au}$ の低減係数 $\beta_c = 0.6$ とし、露出柱脚編・指針式(4.4)によるアンカーボルト定着耐力余裕度 $T_{au}/\Sigma T_{ay}$ を $1.2$ 以上とすれば、柱型部せん断破壊型の場合、 $Q_{\max}/Q_{cu} \geq 1.0$ となり、柱脚部曲げ破壊型の場合、 $Q_{\max}/Q_{cu} \geq 1.0$ となる。一方、既製品露出柱脚の場合、アンカーボルト定着耐力にかかわる標準仕様が定められているので、アンカーボルト定着耐力の検定は省略してもよいとした。また、露出柱脚の保有耐力接合の条件を満足する場合、骨組の崩壊機構形成時までアンカーボルト定着破壊および柱型部せん断破壊は防止されるので、アンカーボルト定着耐力の検定は省略してもよいとした。

3) ベースプレート下コンクリート中立軸比

露出柱脚編・指針式(4.5)のベースプレート下コン

クリート中立軸比 $X_n/D_b$ は、実験結果および既製品露出柱脚を用いた設計例に基づき $0.25$ 以下とした。

4) 柱型主筋全降伏引張耐力

露出柱脚編・指針式(4.6)の柱型主筋全降伏引張耐力 $N_{cy}$ は、既製品露出柱脚の標準仕様による柱型主筋量を考慮し、アンカーボルトの全降伏引張耐力 $N_{ay}$ 以上とした。

#### ◎基礎梁主筋定着部

機械式直線定着による基礎梁主筋定着長さ $l_{ag}$ は、露出柱脚実験を基に、上端筋、下端筋、中段筋ともに、RC構造設計指針・指針式(8.1)の必要定着長さ $l_{ao}$ 以上、 $16d_b$ 以上、アンカーボルト中心で囲まれた範囲を超えることとした(図1)。 $d_b$ は基礎梁主筋呼び名の値を示す。一方、最外縁アンカーボルト中心間距離 $j_{ia}$ 区間の基礎梁上端筋定着部は、RC構造設計指針14.2節(2)、基礎梁下端筋定着部は同指針14.2節(3)によるとした\*。

## 露出柱脚編 5 章

#### ◎終局強度設計用せん断力

露出柱脚編5.1節では、RC構造設計指針5.1.1項と同様、図5の応力状態を考慮し、直接基礎の場合、最下階L形、T形柱型部終局強度設計用せん断力 $V_{muh}$ 、 $V_{muv}$ を指針式(5.1.1)で算定し、杭基礎の場合、鉄骨柱、基礎梁、柱型部、杭からなるト形、十字形柱型部の $V_{muh}$ を指針式(5.1.8)で算定する。

また、杭基礎の場合、柱型部終局強度設計用柱せん断力 $Q_{cu}$ は基礎梁端曲げ終局耐力で決定するとし、指針式(5.1.9)、指針式(5.1.10)で算定する。

一方、露出柱脚実験<sup>3)</sup>では、柱軸力を加力せず水平加力を行っているため、柱型部の設計時には、露出柱脚編・式(解4.1)による柱軸力が作用しない柱脚部全塑性曲げモーメント $M_{ap}$ を用い、指針式(5.1.1)の $V_{muh}$ 、 $V_{muv}$ を算定する。

#### ◎柱型部せん断終局耐力

露出柱脚編5.1節では、RC構造設計指針6章の柱梁接合部と同様、靱性保証型設計指針<sup>5)</sup>に準じ、水平、鉛直方向の柱型部せん断終局耐力 $V_{puh}$ 、 $V_{puv}$ を指針式(5.2.1)で算定する。その際、実験値との適合性を考慮し、L形柱型部(直接基礎)の場合、正負

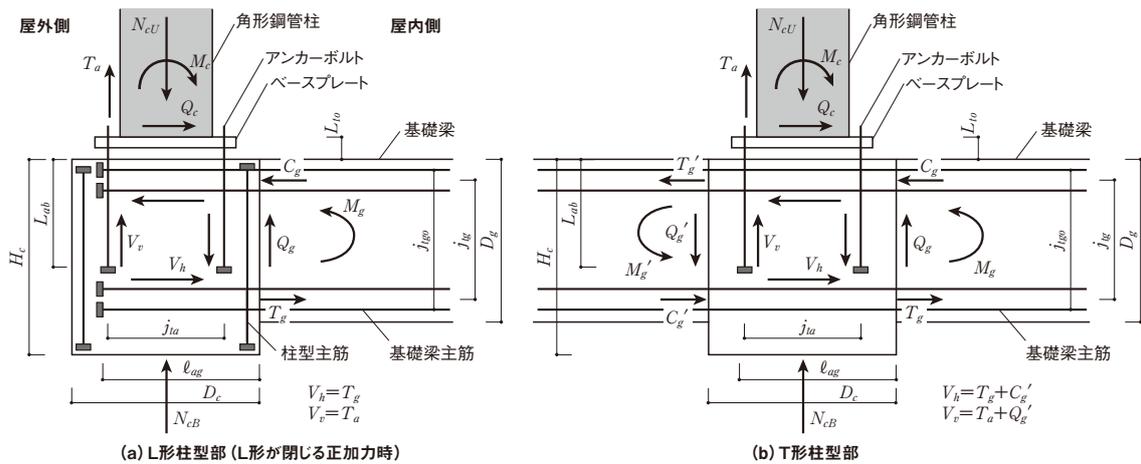


図5 最下階L形、T形柱型部の応力状態

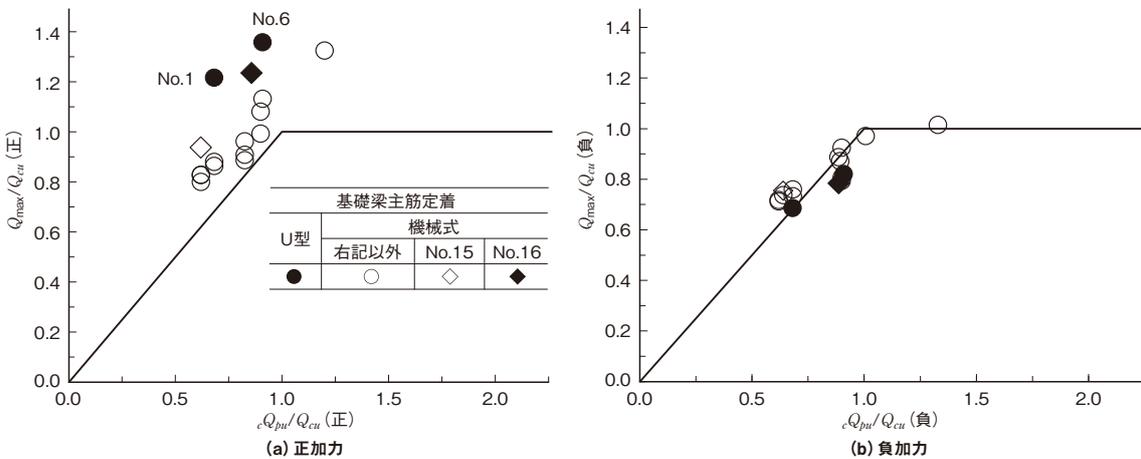


図7 耐力安全率 $Q_{max}/Q_{cu}$ —柱型部せん断余裕度 $cQ_{pu}/Q_{cu}(=\lambda_p)$ 関係

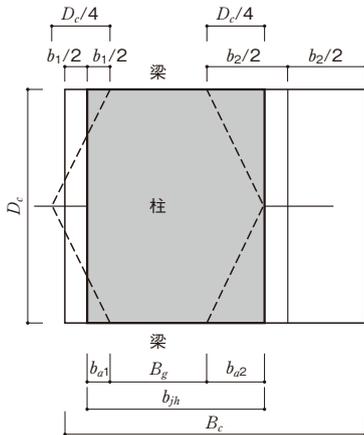


図6 柱型部水平有効幅

加力ともに、柱型部形状係数 $\kappa_u=0.4$ としている。

また、直接基礎を想定したL形、T形柱型部の水平有効幅 $b_{jh}$ は梁幅 $B_g$ 、鉛直有効幅 $b_{jv}$ はベースプレート幅 $B_p$ を用いて指針式(5.2.3)で算定し、水平方向の有効せいは(L形) $D_{jh}=\ell_{ag}$ 、(T形) $D_{jh}=D_c$ 、鉛直方向の有効せいは、L形、T形接合部ともに $D_{jv}=\ell_{ag}$

$L_{ab}$ としている。 $D_c$ は柱型せいを示す(図6)。

耐力安全率 $Q_{max}/Q_{cu}$ —柱型部せん断余裕度 $cQ_{pu}/Q_{cu}(=\lambda_p)$ 関係を、図7に示す。 $Q_{max}$ は最大耐力実験値、 $Q_{cu}$ は柱型部終局強度設計用せん断力、 $cQ_{pu}$ は柱型部せん断終局耐力時柱せん断力である。

同図によると、機械式定着試験体の場合、正負加力ともに、おおむね $\lambda_p \geq 1$ の $Q_{max}$ は $Q_{cu}$ を上まわり、 $\lambda_p < 1$ の $Q_{max}$ は $cQ_{pu}$ を上まわる。これらより、露出柱脚編3章(3)の指針式(3.2)および指針式(3.3)を満足すれば、柱型部のせん断破壊は防止できる。

### ◎柱型横補強筋と定着部拘束筋の全補強筋量

露出柱脚実験の限界層間変形角 $R_{80}$ —柱型部せん断余裕度 $cQ_{pu}/Q_{cu}$ 関係を、図8に示す。 $R_{80}$ は最大耐力 $Q_{max}$ の80%耐力低下時の限界層間変形角実験値であり、同図中には柱型部せん断余裕度 $cQ_{pu}/Q_{cu}$ で決定する限界層間変形角 $R_{80a}$ を併記した。これによると、U型定着、機械式定着試験体ともに、正負加力

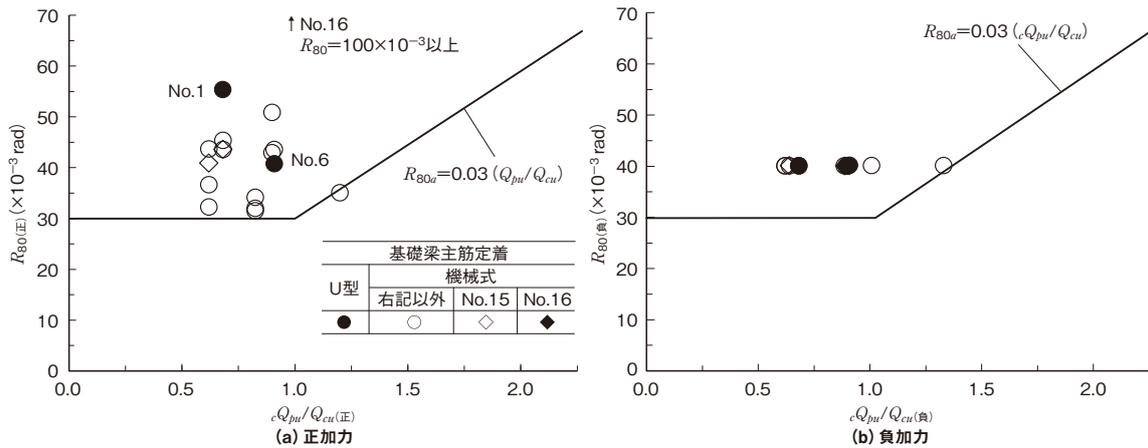


図8 限界層間変形角 $R_{80}$ —柱型部せん断余裕 $cQ_{pu}/Q_{cu}(=\lambda_p)$ 関係

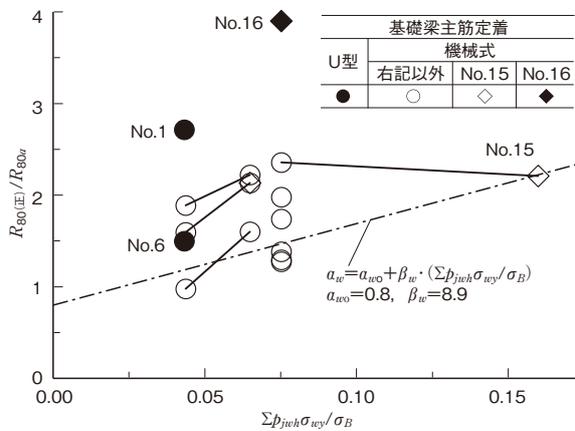


図9 正加力時 $R_{80}/R_{80a} - \sum \rho_{jwh} \cdot \sigma_{wy} / \sigma_B$ 関係  
時の $R_{80}$ は $R_{80a}$ をおおむね上まわる。

図9に、正加力時 $R_{80}/R_{80a} - \sum \rho_{jwh} \cdot \sigma_{wy} / \sigma_B$ 関係を示す。 $\sum \rho_{jwh}$ は柱型横補強筋と定着部拘束筋との全補強筋比、 $\sigma_{wy}$ は柱型横補強筋の降伏強度、 $\sigma_B$ はコンクリートの実圧縮強度である。同図によると、 $R_{80(IE)}/R_{80a}$ の実験値は破線で示した露出柱脚編・指針式(解5.3.2)の補正係数 $a_w$ をおおむね上まわる。

これらより、露出柱脚編5.3節では、RC構造設計指針・柱主筋外定着方式編2章(2)と同様、各地震力方向の柱型横補強筋と定着部拘束筋の全補強筋量 $\sum(\rho_{jwh} \cdot \sigma_{wy})$ は指針式(5.3.1)を満足することとした。

#### ◎定着部拘束筋

露出柱脚編5.4節では、RC構造設計指針・柱主筋外定着方針編4.1節と同様、露出柱脚実験を基に、XY方向ともに、定着部拘束筋として、基礎梁下端1段筋直下に外周筋2組以上または中子併用筋(副帯筋2本)1組以上を配置するとしている。ただし、定着部拘束筋は指針式(5.4.1)を満足するように定める

としている\*。

#### ◎かんざし筋

露出柱脚編5.5節では、露出柱脚実験を基に、柱型部仕口面から埋め込まれた基礎梁上端筋定着部の上部には、かんざし筋比 $\rho_{jwv} \geq 0.10\%$ のかんざし筋を配置するとしている。ただし、基礎梁上端筋定着部は上部側(2次筋側)だけとしてもよい。

#### おわりに

本稿では、RCS混合構造設計指針(2017年)<sup>2)</sup>・露出柱脚編3章～5章について概説した。本連載の第5回では、検定計算例集<sup>4)</sup>による既製品露出柱脚を用いた検定結果について概説する。

(ますお きよし)

#### 【参考文献】

- (一社)建築構造技術支援機構：SABTEC機械式定着工法RC構造設計指針(2017年)，2017年10月
- (一社)建築構造技術支援機構：SABTEC機械式定着工法RCS混合構造設計指針(2017年)，2017年10月
- 益尾潔：本連載第3回RCS混合構造設計指針(2017年)の全体構成，建築技術2018年7月号，pp.162-166
- (一社)建築構造技術支援機構 [https://sabtec.or.jp/sabtec\\_design\\_manual.php](https://sabtec.or.jp/sabtec_design_manual.php)：SABTEC機械式定着工法 鉄骨露出柱脚・基礎梁主筋定着部編による検定計算例集
- (一社)日本建築学会：鋼構造接合部設計指針7.2露出柱脚の設計，pp.292-326，2012年
- (社)日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の靱性保証型耐震設計指針・同解説，1999年
- (社)日本建築学会：鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説，2010年

#### 【注】

\*を付した文章は、本編適用可能工法 ([https://sabtec.or.jp/method\\_evaluation.php](https://sabtec.or.jp/method_evaluation.php)) のRCS混合構造設計指針(2018年)による追記および修正文章である。