

第3回

RCS混合構造設計指針(2017年)の 全体構成

益尾 潔◎一般社団法人建築構造技術支援機構 代表理事

RCS 混合構造設計指針(2017年)の構成

RCS混合構造設計指針(2017年)²⁾は、SRC柱梁接合部編、柱RC梁S接合部・柱SRC梁S接合部編、ならびに新規の鉄骨露出柱脚・基礎梁主筋定着部編(以下、露出柱脚編)からなり、各編ともに、1章 適用範囲、2章 材料について記述している。

本稿では、各編の材料規定、露出柱脚編の設計規定の根拠とした実験および同編で想定したL形柱型部の抵抗機構について概説する。

RCS混合構造設計指針(2017年)の適用可能工法は、露出柱脚実験に参加した伊藤製鐵所、共英製鋼、合同製鐵、JFE条鋼、ディビーエス5社開発の下記工法としている。

ネジプレート定着工法：JFE条鋼

タフ定着工法：共英製鋼

EG定着板工法：合同製鐵

オニプレート定着工法、FRIP定着工法：伊藤製鐵所

DBヘッド定着工法：ディビーエス

RCS 混合構造設計指針(2017年)の材料規定

◎SRC柱梁接合部編

SRC柱梁接合部編2章では、RC構造設計指針(2017年)¹⁾2章で定めた普通強度材料と同様、以下の(1)コンクリート、(2)鉄筋、(3)定着金物、(4)鋼材の材料仕様を定めている。

(1) コンクリート

①種類：普通コンクリート

②設計基準強度 F_c ：21N/mm²以上、60N/mm²以下

(2) 鉄筋

鉄筋は表1とし、各定着工法で使用できる主筋、接合部横補強筋および定着部拘束筋は、いずれもSD295A～SD490としている。

(3) 定着金物

定着金物はSABTEC技術評価取得工法の定着金物とし、本指針適用可能工法では、表2のように、主筋の鋼種と呼び名の組合せを定めている。

(4) 鋼材

鋼材は表3とし、同表の鋼材と同等以上の機械的性質を有する鋼材は使用してもよいとしている。

◎柱RC梁S接合部・柱SRC梁S接合部編

(1) コンクリートおよび(3)定着金物はSRC柱梁接合部編2章(1)、(3)と同じとし、本編の根拠とした実験を基に、(2)本編で用いる柱主筋はSD295A、B、SD345、SD390、柱主筋の呼び名はD13～D41とし、(3)鋼材はSS400、SN400A、B、C、SN490B、C、SM400A、B、C、SM490A、B、Cとしている。

◎露出柱脚編

(1)コンクリート、(2)鉄筋、(3)定着金物、(4)鋼材は、それぞれSRC柱梁接合部編2章(1)～(4)と同じとし、別途、(5)アンカーボルトを規定している。

アンカーボルトは、伸び能力を有するアンカーボルトとして、JIS B 1220(構造用両ねじアンカーボルトセット)に適合するアンカーボルトおよび第三者機関の技術評価を取得した既製品露出柱脚アンカーボルトとしている。これらより、露出柱脚編の設計フローは、図1の技術基準解説書³⁾による設計フロー中、伸び能力を有するアンカーボルトを用いた場合としている。

また、本編の適用可能な露出柱脚は、設計ルート2または設計ルート3で設計された骨組で、本編の規定ならびに下記の①または②の規定を満足する場合としている。

①技術基準解説書³⁾および鋼構造接合部設計指針⁴⁾

表1 使用できる鉄筋の鋼種と呼び名

使用箇所	鋼種	呼び名
主筋	SD295A SD345 SD390 SD490	D13~D41
接合部横補強筋 定着部拘束筋	SD295A SD345 SD390 SD490	D10, D13, D16
かんざし筋	SD295A SD345 SD390	D10, D13, D16

表2 本指針適用可能な主筋の鋼種と呼び名の組合せ

工法名称	商品名またはJIS規格	鋼種	呼び名
オニプレート 定着工法	普通強度鉄筋 ネジ onicon	SD345, SD390, SD490	D19~D41
FRIP定着工法	JIS G 3112 異形棒鋼	SD295A, SD345, SD390, SD490	D13~D41
タフ 定着工法	タフネジ ナット	普通強度鉄筋 タフネジバー	SD345, SD390, SD490
	タフ ヘッド	普通強度鉄筋 タフネジバー	SD345, SD390, SD490
	竹節鉄筋タフコン	SD295A, SD345, SD390	D13~D41
EG定着板工法	JIS G 3112 異形棒鋼	SD295A, SD345, SD390, SD490	D13~D41
ネジプレート 定着工法	普通強度鉄筋 ネジバー	SD295A, SD345, SD390, SD490	D13~D41
DBヘッド定着工法	JIS G 3112 異形棒鋼	SD295A, B, SD345, SD390, SD490	D16~D41

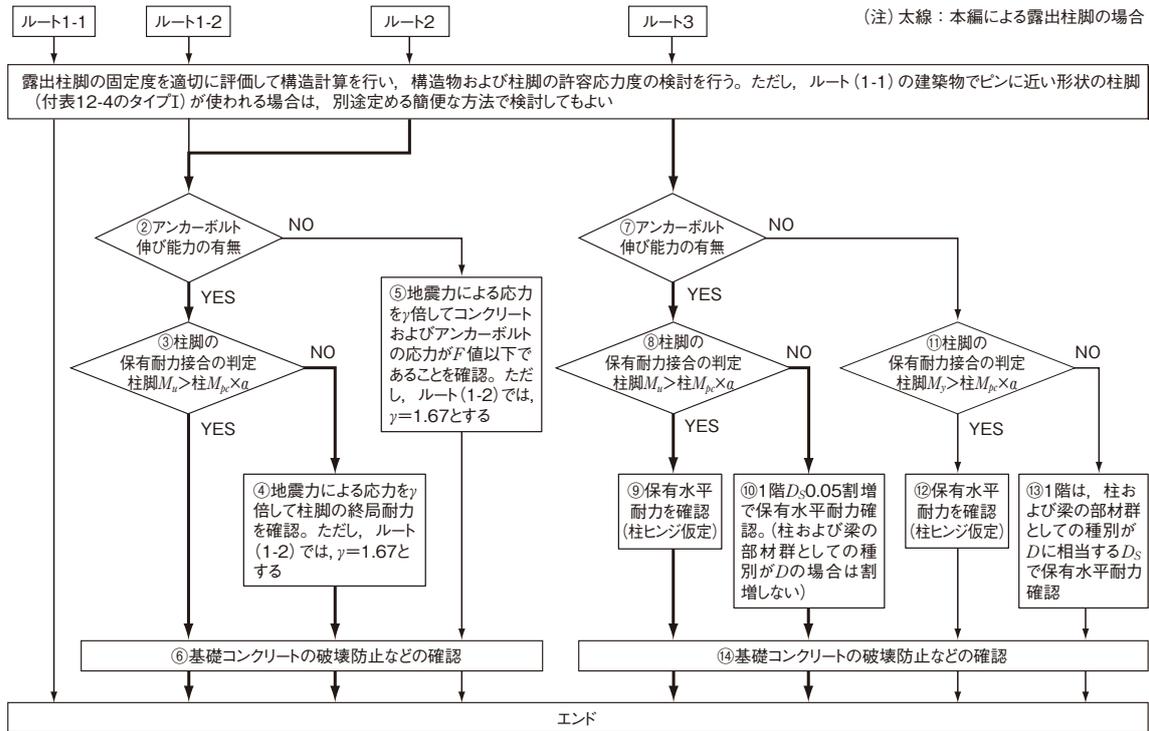


図1 露出柱脚編で想定した設計ルート別の設計フロー³⁾

表3 鋼材の材料記号

材質記号	材料記号
SN400A, B, C, SN490B, C	STK400, STK490
SS400	STKR400, STKR490
SM400A, B, C, SM490A, B, C, SM490YA, YB, SM520B, C	BCR295 BCP235, BCP325
SMA400A, B, C, SMA490A, B, C	BCP325T
STKN400W, B, STKN490B	—

表4 柱型部配筋詳細を確認した既製品露出柱脚

商品名	開発会社
ベースパック	岡部(株), 旭化成建材(株)
ハイベース	センクシア(株)
NCベース	日本鑄造(株)

②第三者機関の技術評価を取得した既製品露出柱脚の設計仕様

①の場合、本編の根拠とした実験条件を考慮し、立ち上がりを設けない露出柱脚とし、②の場合、既製品メーカー仕様を満足する柱型からの立ち上がりは設けてもよいとした。ただし、既製品露出柱脚は、本

編6章「柱型部配筋詳細設計例」で検討対象とした表4の既製品露出柱脚とした。

従来、鋼構造接合部設計指針⁴⁾では、コンクリートおよび鉄筋はRC構造計算規準⁵⁾3条および4条によるとしている。しかし、鉄筋定着を規定する同規準17条では、露出柱脚の柱型部に接続する基礎梁主筋定

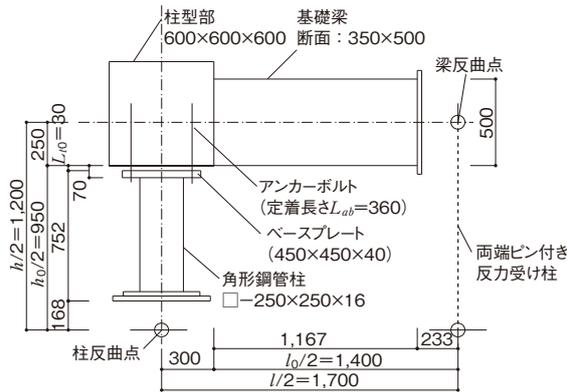


図2 試験体全体寸法および加力方法 (寸法単位: mm)

着について言及していない。また、既製品露出柱脚の設計ハンドブックでは、基礎梁主筋は規定されていない。通常、露出柱脚の柱型部に接続する基礎梁主筋には、SD390までの鉄筋が用いられる。

一方、本編では、露出柱脚実験ならびにSRC造およびRC造柱梁接合部実験を基に、設計基準強度 $F_c 21 \sim 60 \text{ N/mm}^2$ のコンクリートとSD490までの鉄筋を適用範囲としている。その結果、本編によると、SD390までの場合よりも基礎梁主筋本数を減らすか、呼び名を小さくすることで、柱型部配筋の納まりがよくなる。

露出柱脚実験

◎実験計画

従来、基礎梁主筋機械式定着部に柱型部に埋め込んだ露出柱脚実験は行われていない。これに対し、露出柱脚編は、今回の露出柱脚実験を基に構築されている。

今回の露出柱脚実験は、基礎梁下面に地反力が生じない直接基礎を想定したL形架橋試験体を用い、RC造L形接合部実験¹⁾と同様、図2の加力方法によって行われている。ただし、試験体製作時には、基礎梁を下側、鋼管柱を上側にして施工し、実験前に試験体を反転させている。

実験計画は表5の5系列からなり、試験体数は計16体、実験因子は下記の①～⑦としている。

- ①基礎梁主筋定着種別 (U型定着, 機械式定着)
- ②定着金物種別 (ネジ筋鉄筋型, 円形定着板型)
- ③アンカーボルト本数 (8本, 6本)

表5 本編の露出柱脚に関する実験計画

試験体	定着種別	定着金物種別	A.Bolt		F_c N/mm ²	基礎梁主筋鋼種	柱型部横補強筋		柱型主筋頭部定着金物		
			n_a (本)	L_{ab} (mm)			鋼種	組数 (ρ_{wh})			
系列1	No.1	U型	—	360 (12 d_a)	27	SD490	SD295A	4組 (0.25%)	有		
	No.2	機械式	ネジ筋1					8		40	7組 (0.44%)
	No.3		円形1								
	No.4		ネジ筋1								
	No.5		円形1								
系列2	No.6	U型	—	6	27	SD345	SD295A	4組 (0.25%)	無		
	No.7	機械式	ネジ筋1					8		40	7組 (0.44%)
	No.8		ネジ筋2								
系列3	No.9	機械式	ネジ筋2	6	27	SD345	SD295A	7組 (0.44%)	無		
	No.10		円形2								
	No.11		円形3								
系列4	No.12	機械式	ネジ筋2	8	27	SD490	SD295A	7組 (0.44%)	無		
	No.13		円形2								
	No.14		円形3								
系列5	No.15	機械式	ネジ筋2	8	500 (17 d_a)	SD490	SD295A	785	無		
	No.16		ネジ筋2								

【架橋寸法】スパン長 $L/2 = 1,700 \text{ mm}$, 階高 $h/2 = 1,200 \text{ mm}$
【鋼管柱】サイズ: □-250 × 250 × 16, 鋼種: BCR295
【ベースプレート】SN490B, 寸法: 450 × 450 × 40mm
【アンカーボルト】ABR490, M30
【柱型部】断面 ($B_c \times D_c$): 600 × 600mm, 主筋: 8-D19 ($\rho_g = 0.64\%$)
柱型部横補強筋: 2-D10, 定着部拘束筋: 2-D10-2組 (外周部)
【基礎梁】断面 ($B_b \times D_b$): 350 × 500mm, 上下主筋 4-D25 ($\rho_s = 1.29\%$)
定着長さ $l_{ag} (l_{ch}) = 480 (490) \text{ mm}$, 19.2 (19.6) d_b , 0.8 (0.82) D_c
【上部かんざし筋】2-D6-5組 (SD295A), かんざし筋比 $\rho_{wv} = 0.09\%$
 n_a : アンカーボルト本数
 L_{ab}, d_a : アンカーボルト定着長さおよびボルト軸部直径
 F_c : コンクリート目標圧縮強度
 ρ_{wh} : 柱型部横補強筋比
 ρ_g : 柱型主筋比
 ρ_s : 基礎梁引張鉄筋比
 d_b : 基礎梁主筋呼び名の値
 D_c : 柱型部せい

- ④コンクリートの目標圧縮強度 ($F_c 27, F_c 40$)
- ⑤柱型主筋頭部定着金物の有無
- ⑥柱型横補強筋鋼種 (SD295A, 785N/mm²級)
- ⑦アンカーボルト定着長さ L_{ab} (12 d_a , 16.7 d_a)
 d_a はアンカーボルト軸部直径を示す。

代表的試験体の柱型部配筋詳細を図3に示す。同図はアンカーボルト8本タイプの柱型部配筋詳細であり、アンカーボルト6本タイプでは両側の引張側アンカーボルトのみを配置している。

◎実験結果

典型的な柱型部せん断ひび割れ発生状況 ($R = +30.0 \times 10^{-3} \text{ rad}$ 時)を写①, 系列1の基準化柱せん断力 $Q_c / Q_{cu} - R$ 関係包絡線を図4に示す。 Q_c は柱せん断力, R は層間変形角, Q_{cu} は正負加力時L形架橋終局耐力計算値, 同図中の破線はU型定着試験体であり, 同図中には柱型部せん断余裕度 λ_p の値を併記した。

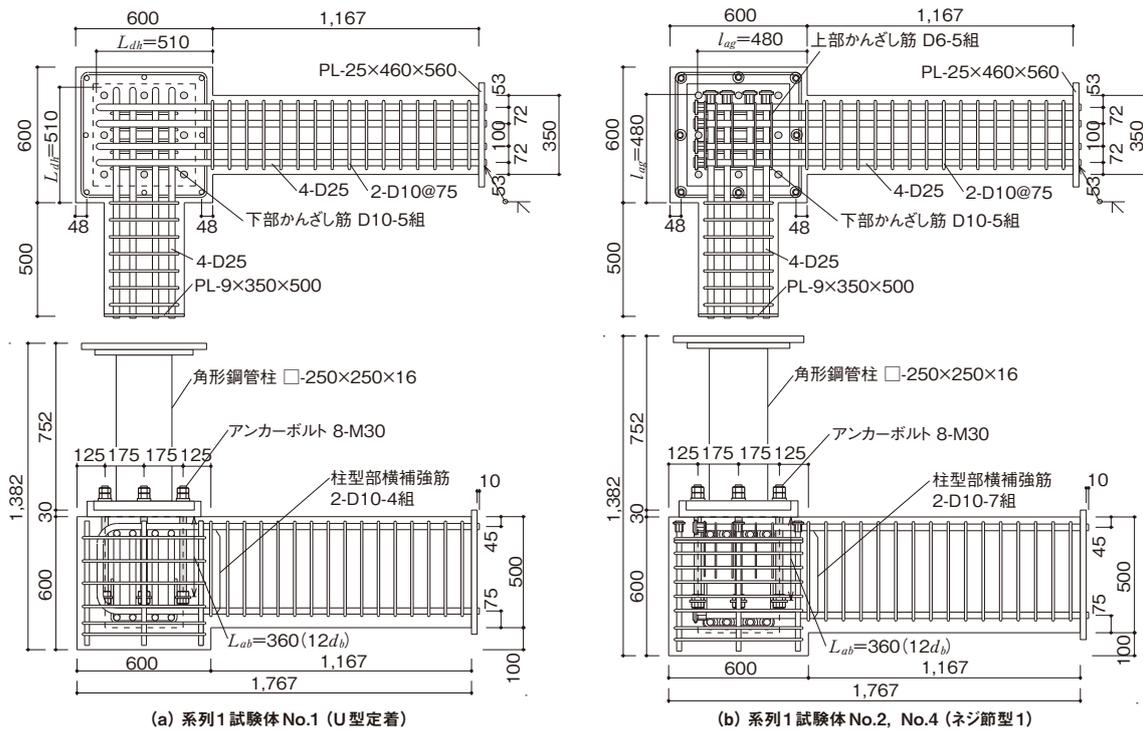
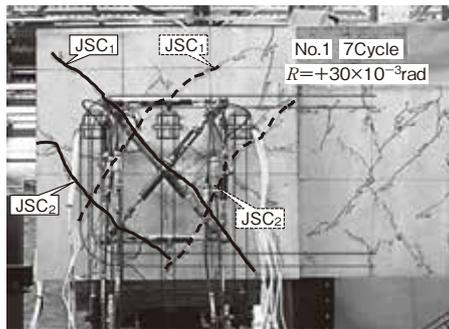


図3 代表試験体の柱型部配筋詳細

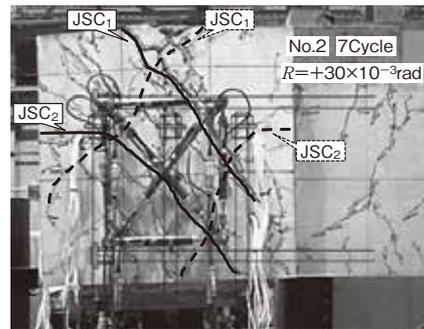


【系列1試験体No.1 (U型定着, $F_c/27$)】

①典型的な柱型部せん断ひび割れ発生状況 ($R=+30.0 \times 10^{-3} \text{rad}$)

系列1のU型定着試験体No.1の正加力時では、柱型部せん断ひび割れ (JSC₁またはJSC₂: 写①) およびアンカーボルト引張降伏が発生し、 $R=+20 \times 10^{-3} \text{rad}$ 以降、柱型部せん断ひび割れ (JSC₂) の進展に伴い最大耐力に達した。機械式定着試験体No.2の正加力時では、アンカーボルト引張降伏および柱型部せん断ひび割れ (JSC₂) 発生後、柱型部せん断ひび割れ (JSC₁: 写①) の進展に伴い、柱型横補強筋が引張降伏し、最大耐力に達した。

図4によると、正加力時には、U型定着の場合、アンカーボルト引張降伏後、柱型部内の基礎梁主筋折曲げ余長部の効果によって、基礎梁主筋定着耐力が機械式定着試験体よりも増加した。ただし、負加力時



【系列1試験体No.2 (ネジ節型1, $F_c/27$)】

には、U型定着試験体と機械式定着試験体の基準化柱せん断力 Q_c/Q_{cu} は同程度である。

各試験体の破壊形式は、正負加力にかかわらず、それぞれアンカーボルト引張降伏後の柱型部せん断破壊型と判別された。これらの実験的知見を基に、本編は構築されている。

露出柱脚編で想定したL形柱型部の抵抗機構

本編では、直接基礎の場合、図5のL形柱型部の抵抗機構を想定した。同図の場合、屋外側アンカーボルトと基礎梁下端筋が引張側となり、主ストラット①～③と補助ストラット④、ならびに中段筋の上側と下

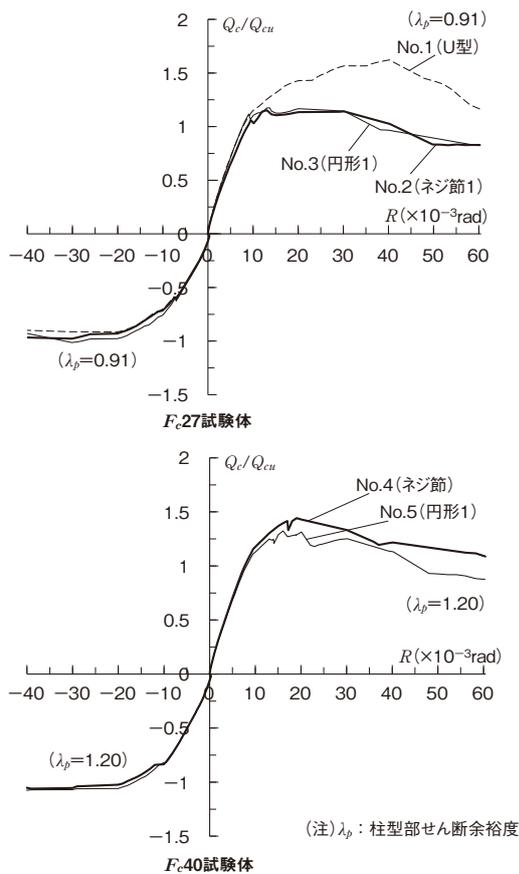


図4 系列1の基準化柱せん断力 Q_c/Q_{cu} - R 関係包絡線
側のストラット②'が形成される。

主ストラット①～③は各定着部から、それぞれ圧縮側基礎梁上端部と屋内側ベースプレート縁端部に向かう。②の鉛直成分は基礎梁下端筋定着部直下の柱型部による拘束力と釣り合い、③の水平成分は柱型下部の柱型横補強筋と定着部拘束筋による横拘束力と釣り合う。④は屋外側アンカーボルト定着部から屋外側柱型主筋頭部に向かうストラットであり、④の鉛直成分は屋外側柱型主筋の引張力と釣り合い、水平成分は柱型上部の柱型横補強筋の横拘束力と釣り合う。また、ストラット②'は、中段筋定着部から圧縮側基礎梁上端部と屋内側ベースプレート縁端部に向かうストラットである。

中段筋有の場合、基礎梁上下1段目主筋の定着部応力は中段筋なしよりも緩和される。また、正加力の場合、上側の中段筋定着部は引張側アンカーボルト定着部から派生するストラット①によって拘束され、L形柱型部せん断終局耐力を高める効果を有する。さらに、基礎梁下端1段目主筋定着部および下側中段

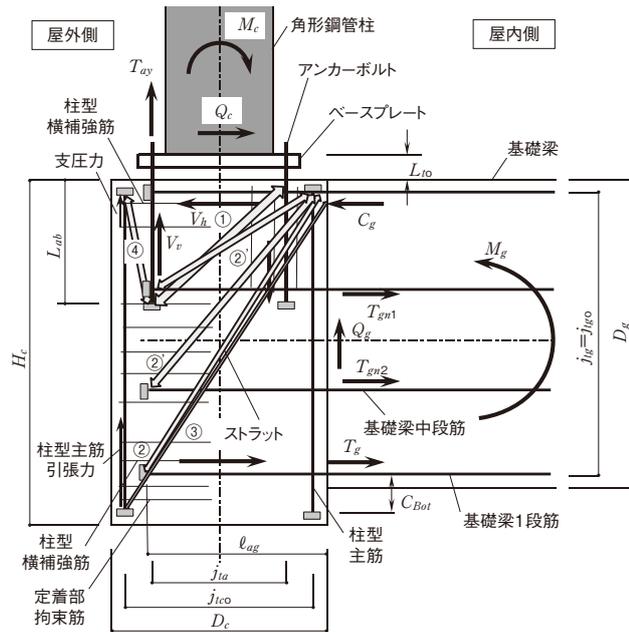


図5 露出柱脚編で想定したL形柱型部の抵抗機構
(正加力時：L形が閉じる場合)

筋定着部は、柱型主筋下端・定着金物から派生するストラット③によって拘束される。

以上より、本編では、図5に示すように、柱型主筋下端は定着金物付きまたは90°フック定着とし、直接基礎の場合、上側中段筋は必ずアンカーボルト定着部よりも上部に配置するとした。

おわりに

本稿では、RCS混合構造設計指針(2017年)各編の材料規定、露出柱脚編の根拠とした実験および同編で想定したL形柱型部の抵抗機構について概説した。一方、本連載の第4回では、露出柱脚編3章～5章について、機械式定着工法による設計規定を中心に概説する。

(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
- 国土交通省住宅局監修：2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書，付1-2.6 柱脚の設計の考え方，pp.625-644，2015年
- (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：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，2010年