

機械式主筋定着詳細に関する 技術的課題

益尾 潔 ● 一般社団法人建築構造技術支援機構 代表理事

はじめに

本連載の第1回は特殊形柱梁接合部、第2回は最下階柱・基礎梁接合部、第3回は柱主筋外定着方式柱梁接合部について、それぞれSABTEC指針¹⁾に基づき、接合部内の主筋定着検定に重点をおき執筆した。同指針は、実験的知見に基づくことを基本として作成されている。しかし、実建物の梁、柱主筋定着部には、種々の形態があり、同指針の規定だけでは対処できない場合がある。

そのような場合、機械式定着工法の長所と短所を踏まえ、それぞれの設計条件に対して創意工夫が必要となる。機械式定着工法の長所は、太径鉄筋でも折り曲げずに、定着金物の効果によって設計で保証すべき主筋定着耐力を確保できることであり、短所としては、下記の2点が挙げられる¹⁾。

◎短所①

写①は、梁主筋を折り曲げたU型定着と機械式定着によるト形接合部のせん断ひび割れ状況である。この場合、接合部せん断ひび割れは、U型定着では柱梁接合部全体に分散されるが、機械式定着では、引張側梁主筋定着部から圧縮側梁端部と圧縮側柱端部にかけて集中する傾向がある。

すなわち、折曲げ定着では、梁主筋折曲げ後の余長の定着効果により、接合部せん断ひび割れが分散され、機械式定着では、引張側梁主筋定着部に支圧力が集中し、接合部せん断ひび割れ幅が拡大するおそれがある。

この点が機械式定着の短所①であり、接合部せん断ひび割れ幅の拡大を防止し、設計で保証すべき構造性能を確保するためには、接合部横補強筋の配置が重要である。

◎短所②

図1は、小梁主筋定着部の典型的な破壊形式³⁾であり、折曲げ定着の場合、掻き出し定着破壊を起すおそれはあるが、折曲げ後の余長の定着効果を期待できる。一方、機械式定着の場合、上記の定着効果を期待できず、早期に定着破壊を起すおそれがある。

すなわち、機械式定着による小梁主筋定着部は、ト形接合部内の梁主筋定着部と異なり、上部から拘束されないで、写②のように、上方への上面押し出し破壊に伴い早期に定着破壊を起す³⁾。また、折曲げ定着の場合、小梁主筋定着部の抜け出しに伴い、定着起点となる仕口面が側方に膨らみ、掻き出し定着破壊の兆候は見られるが、早期に定着破壊は起こらない。

上記の点が機械式定着の短所②である。

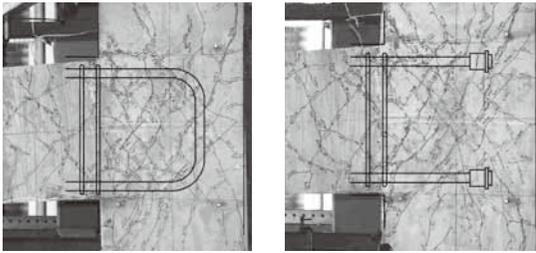
通常、機械式定着工法によると、下記1)~4)の主筋定着部では、折曲げ後の余長の定着効果を期待できないので、折曲げ後の余長に代わる補強筋を配置しなければ、早期に定着破壊を起すおそれがある。

- 1) L形接合部内の梁上端筋定着部
- 2) 柱断面外に配置される基礎梁上端筋定着部
- 3) 小梁主筋定着部
- 4) 梁・梁接合部内の梁主筋定着部

本稿では、実務設計でしばしば遭遇するが、必ずしも適切な解決策を見い出せない下記(1)~(3)の主筋定着部について解決策を模索する。

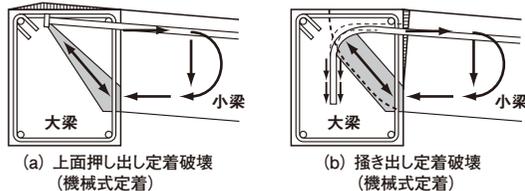
- (1) 梁・梁接合部の梁主筋定着部配筋詳細
- (2) PCa柱梁接合部の梁主筋定着部配筋詳細
- (3) PCa小梁接合部の小梁主筋定着部配筋詳細

また、本稿では、設計の取扱いが必ずしも明確でない鉄骨露出柱脚・基礎梁主筋定着部の注意点についても言及する。



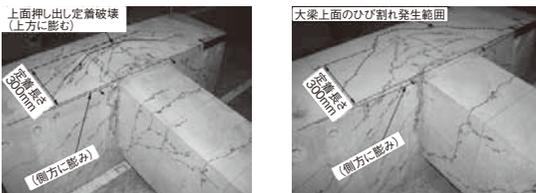
(a) U型定着 (b) 機械式定着

① U型定着と機械式定着によるト形接合部のせん断ひび割れ状況¹⁾



(a) 上面押し出し定着破壊 (機械式定着) (b) 掻き出し定着破壊 (機械式定着)

図1 小梁主筋定着部の典型的な破壊形式³⁾



② 小梁主筋定着部の破壊状況³⁾

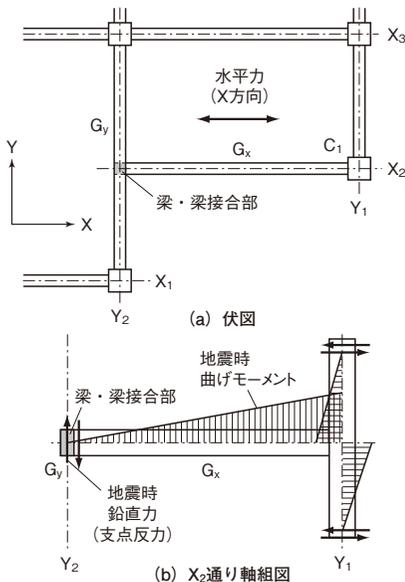


図2 梁・梁接合部に作用するX方向地震時応力

梁・梁接合部の梁主筋定着部配筋詳細

◎基本事項

梁・梁接合部は、図2のように、大梁(G_x)と大梁(G_y)の交差部を指す。この場合、X方向地震荷重に対して、梁・梁接合部中心(支点)には、上下方向

表1 梁・梁接合部の上下拘束筋の検討結果

配筋	G_y 梁主筋			上下拘束筋			T_{wy}/T_{by}	
	a_t (mm^2)	σ_{by} (N/mm^2)	T_{by} (kN)	配筋	Σa_{st} (mm^2)	σ_{wy} (N/mm^2)		T_{wy} (kN)
5-D35	4,785	490	2,345	2-D16-4組	1,592	295	470	0.20

注) G_y 梁断面寸法: $700 \times 850\text{mm}$, 上下拘束筋: 割フープ(重ね長さ $30d$)
 d は上下拘束筋呼び名の値

【定着側梁諸元】

F_c	$B \times D$ (mm)	G_y 梁上下主筋		梁横補強筋		ρ_w (%)
		配筋	鋼種	配筋	鋼種	
F.36	700×850	5+3-D35	SD490	4-D13@150	785N級	0.48

の支点反力(鉛直力)が作用し、曲げモーメントは作用しない。

SABTEC指針15.3節では、梁・梁接合部内の梁主筋定着部は、接合部フェイスでの設計応力に対して定着破壊を起さないことを基本とし、下記の構造規定を満足させることにしている。

規定① $l_{ag} \geq 14d_b$ かつ $\geq (3/4)B$

規定② $C_g \geq 3d_b$

規定③ 梁主筋定着部には、 $T_{wy}/T_{by} \geq 0.2$ の上下拘束筋を配置する。

l_{ag} : 梁主筋定着長さ

B : 定着側の梁幅, d_b : 主筋呼び名の値(直径)

C_g : 梁主筋中心から梁上下面までのかぶり厚さ

T_{wy} : 上面拘束筋足部の全降伏引張力

T_{by} : 上端筋または下端筋の全降伏引張力の大きい方の値

◎設計例

図3は梁・梁接合部の梁主筋定着部配筋例であり、梁・梁接合部の上下拘束筋の検討結果を表1に示す。

この場合、定着部側梁断面($700 \times 850\text{mm}$)内にX方向梁(G_x)主筋5-D35(SD490)が定着され、SABTEC指針15.3節で算定されるX方向梁主筋の上面押し出し定着耐力 T_{Au} (1,854kN)および掻き出し定着耐力 T_{Cu} (2,215kN)は、それぞれ設計用引張力 T_D (1,400kN)を上まわる。ここで、設計用引張力 $T_D = \phi_a \cdot \Sigma a_t \cdot f_{tL}$ とした。 $\phi_a (=1.5)$ は長期荷重時の安全率、 Σa_t は梁主筋断面積、 f_{tL} は梁主筋の長期許容引張応力度を示す。

上記の設計用引張力 T_D は、X方向梁端部の存在応力と比べて安全側に設定されているので、X方向梁(G_x)主筋定着部は、規定②を満足するように、X方向梁端部1,000mmの間を折り曲げ、Y方向梁(G_y)横補強筋と上下拘束筋で囲まれたコア内に配置される。

この場合、X方向梁主筋定着長さ l_{ag} (=525mm = $15d_b = 0.75B$)は規定①を満足し、上下拘束筋(2-D16-4組)は規定③を満足する。また、X方向梁端部1,000mmの間では、X方向梁主筋のかぶり厚さが一

般部よりも大きいので、組立筋(D16)を配置したうえで、一般部と同寸法の横補強筋を配置している。

X方向梁(G_x)主筋定着部の上下拘束筋は、施工性を考慮し、二つのU形筋を重ね継いだ割フープ(重ね長さ: $30d$)¹⁾とし、X方向梁端部が接続する区間でのY方向梁(G_y)横補強筋(外周筋6組)は、同区間の両端と内部に配置している。

上記のように、X方向梁(G_x)とY方向梁(G_y)の梁・梁接合部の配筋詳細は、鉄筋同士の干渉防止が難しいので注意が必要である。

PCa 柱梁接合部の梁主筋定着部配筋詳細

PCa構造には種々の形式⁴⁾があり、PCa柱梁接合部内の梁主筋定着部配筋詳細を一律に定められない。ここでは、図4のように、上下柱がフルPCa材、梁がハーフPCa材で、かつ、XY方向ともに、トップコンクリート内に配置する梁上端筋を1段筋とする配筋詳細例を示す。

この場合、梁上端筋のうち、X方向梁 G_x では屋外側、Y方向梁 G_y では中央の6-D32は、通常のT形接合部と同様、柱断面内の機械式直線定着とし、柱断面外に配置される残り(G_x ではスラブ側2-D32、 G_y では両側ともに2-D32)は、ハーフPCa材に埋め込まれたU形かんざし筋で拘束することで、機械式直線定着としている。

U形かんざし筋は、表2のように、前述の梁・梁接合部の上下拘束筋と同様、 $T_{wy}/T_{by} \geq 0.2$ を満足するように定め、U形かんざし筋の足部長さはハーフPCa材上面からJASS5の直線定着長さ L_2 とした。また、柱断面外の梁主筋(片側各2本)は、T形断面梁の曲げせん断耐力の確保のために、両端フック付き補強筋(1-

表2 柱断面外梁主筋定着部U形かんざし筋の検討結果

柱断面外梁主筋(片側)			U形かんざし筋			T_{wy}/T_{by}		
配筋	a_t (mm ²)	σ_{by} (N/mm ²)	T_{by} (kN)	配筋	Σa_{ag} (mm ²)		σ_{wy} (N/mm ²)	T_{wy} (kN)
2-D32	1,588	490	778	2-D13-3組	762	295	225	0.29

【柱断面諸元および接合部横補強筋】

F_c	$B \times D$ (mm)	柱主筋		接合部 横補強筋
		配筋	鋼種	
F_c36	900 × 900	34-D35	SD490	2-D13-5組

	$B \times D$ (mm)	梁上下主筋		定着長さ(mm)	
		配筋	鋼種	l_{ag1}	l_{ag2}
G_x	800 × 900	6+2-D32	SD490	700	600
G_y		6+4-D32			

l_{ag1} : 柱断面内梁主筋定着長さ

l_{ag2} : 柱断面外梁主筋定着長さ

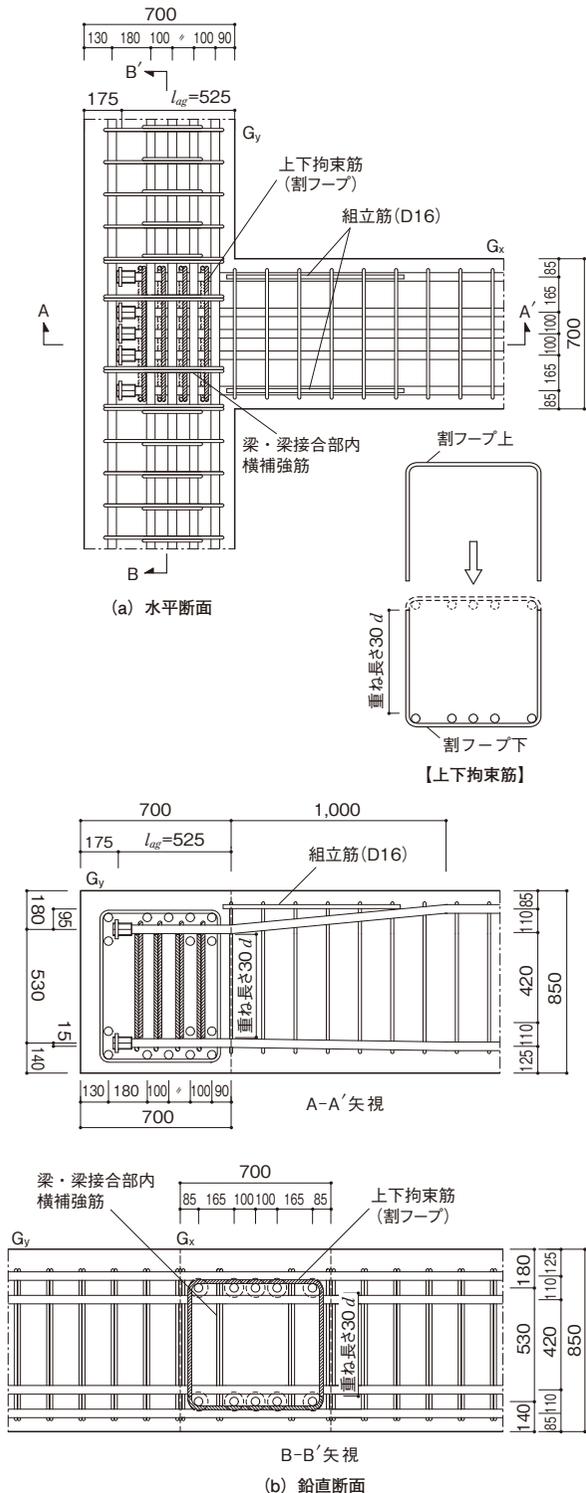
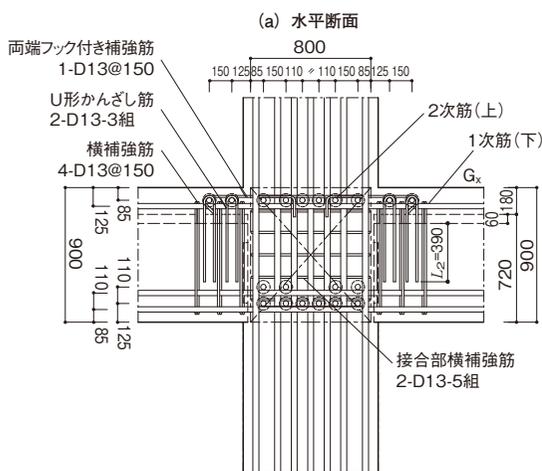
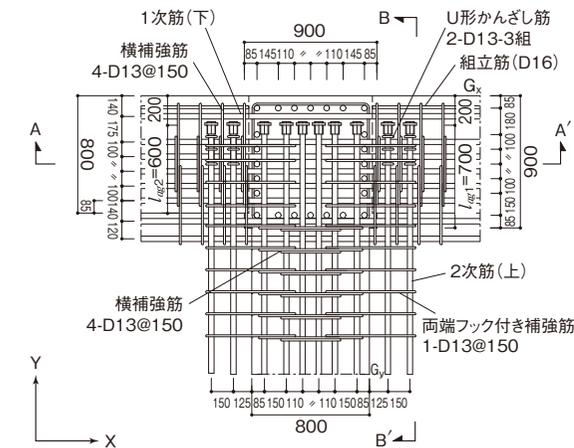
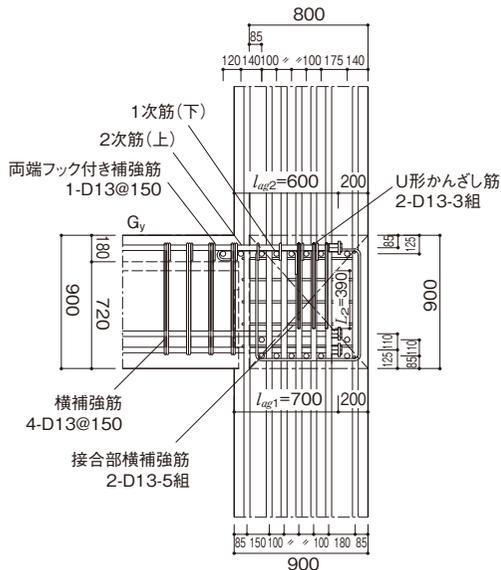


図3 梁・梁接合部の梁主筋定着部配筋例

D13)で拘束することになっている。両端フック付き補強筋は、1端を90°フック、他端を135°フックまたは



(b) 鉛直断面(A-A'矢視)



(c) 鉛直断面(B-B'矢視)

図4 PCa柱梁接合部における機械式梁主筋配筋詳細例

180°フックとし、梁横補強筋と同間隔で配置している。

一方、X方向梁 G_x の横補強筋幅は、横補強筋で囲まれた梁コア部の断面積が大きくなるように、屋外側に配置した組立筋(D16)を含めた梁断面を囲むように決定した。これは、X方向梁 G_x の屋外側かぶりコンクリートのひび割れ防止のほかに、同梁が接続する柱梁接合部の有効幅拡大のための処置である。

PCa小梁接合部における機械式小梁主筋定着詳細

PCa小梁接合部のコンクリートは、通常、図5のように、①大梁PCa部とTop Con、②小梁PCa部と小梁上部(スラブ)で打ち分けられる。

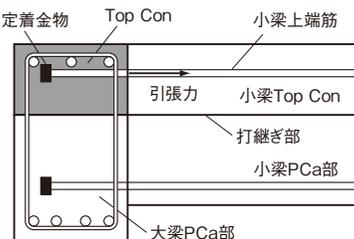
PCa小梁接合部に機械式主筋定着を適用するためには、以下の点を確認する必要がある。

- 1) 大梁PCa部とTop Conの打継ぎ強度を確保する。
- 2) 小梁上端筋定着部の引張力は、定着部周囲の大梁横補強筋の引張抵抗によって伝達する(図6)。

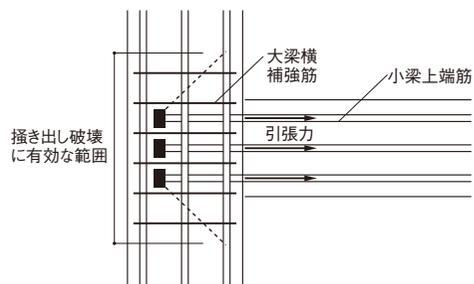
機械式小梁上端筋定着部は、上面押し出し破壊防



図5 PCa小梁接合部コンクリートの打ち分け



(a) 鉛直断面図



(b) 水平断面図

図6 機械式小梁主筋配筋詳細例

止のために、大梁主筋下部に配置するとともに、かんざし筋などの上面拘束筋で拘束する必要がある¹⁾。上面拘束筋は梁・梁接合部の上下拘束筋と同様の設計条件を満足しなければならない。ただし、大梁横補強筋が上面拘束筋を兼ねることができることを確認できれば、かんざし筋の配置を省略してもよいと考えられる。

鉄骨露出柱脚・基礎梁主筋定着部の注意点

鉄骨露出柱脚の場合、一般に、アンカーボルトが埋め込まれる柱型部の設計は文献5)の付録1-2.6柱脚の設計の考え方に基づくことが基本であり、この考え方は、基礎梁主筋定着は柱型部への折曲げ定着を前提としている。

一方、文献6)による露出柱脚の設計では、柱型部への基礎梁主筋の定着設計法は示されていないので、文献6)と同じく日本建築学会発行のRC計算規準17条 定着⁷⁾に準拠することになる。

鉄骨柱、柱型部、外端基礎梁からなる接合部は、安全側の措置として、L形接合部とみなされる。同接合部における基礎梁上端主筋定着部に対する鉄骨柱からの拘束度合いは、RC造L形接合部と比べて低いと考えられる。しかし、現在、鉄骨露出柱脚部での基礎梁主筋定着に関する実験は見当たらない。

これらより、当機構では、鉄骨柱脚部・基礎梁主筋定着研究会(委員長：三谷勲 神戸大学名誉教授)を組織し、図7に示す機械式定着工法による鉄骨露出柱脚部・基礎梁主筋定着の妥当性を実験的に確認することにしている。同実験で得られた設計に反映すべき知見については、稿を改めて執筆したい。

あとがき

本稿では、連載の最終原稿として、実務設計でしばしば遭遇するが、必ずしも適切な解決策を見い出せない機械式主筋定着詳細に関する技術的課題と、その解決策について執筆した。機械式主筋定着に限らないが、すべての設計に適用可能な柱梁接合部配筋詳細を見出すことは難しい。それらの主筋定着検定は、それぞれの柱梁接合部配筋詳細を考慮して行う必要がある。そのような場合に、本稿で提示した考

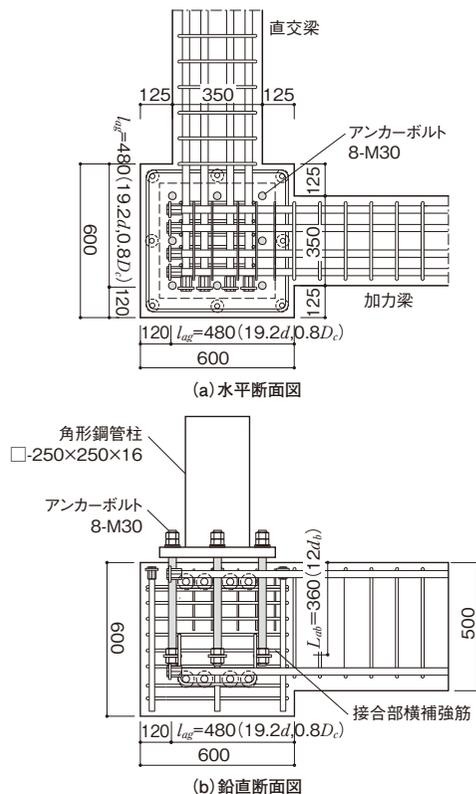


図7 機械式定着工法による鉄骨露出柱脚部・基礎梁主筋定着え方や配筋詳細図を参考にさせていただきたい。

一方、実務設計では、時間的制約より、標準的な柱梁接合部配筋詳細の主筋定着検定を効率的に行う必要がある。そのようなニーズより、当機構では、SABTEC指針¹⁾に準拠した主筋定着検定が可能な一貫構造計算プログラム(BUILD.一貫IV+およびSS3)の組込プログラムを作成した。これらの組込プログラム紹介については改めて執筆したい。

(ますお きよし)

【参考文献】

- 1) (一社)建築構造技術支援機構：SABTEC機械式定着工法 設計指針(2014年)，2014年6月
- 2) (一社)建築構造技術支援機構：SABTEC機械式定着工法 デザインマニュアル(2014年)，2014年6月
- 3) 益尾潔，足立将人，田川浩之：機械式定着によるRC造小梁主筋の定着耐力および必要定着長さ，日本建築学会構造系論文集，第631号，pp.1625-1632，2008年9月
- 4) 日本建築学会：現場打ち同等型プレキャスト鉄筋コンクリート構造設計指針(案)・同解説，2002年
- 5) 国土交通省住宅局監修：2007年版 建築物の構造関係技術基準解説書，付録1-2.6 柱脚の設計の考え方，pp.597-615，2007年
- 6) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針7章 柱脚，pp.291-356，2012年
- 7) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説17条 定着，pp.229-256，2010年