

「連載」高強度・太径鉄筋を用いた配筋設計施工の品質保証 第④回

機械式定着工法の実務動向

益尾 潔 ●一般社団法人建築構造技術支援機構 代表理事

機械式定着工法による実務設計の現状

機械式定着工法による実務設計は、通常、第三者機関の技術評価を取得した鉄筋メーカー等による機械式定着工法ごとの設計指針に基づき行われる。現在、機械式定着工法は、超高層建物だけでなく、高さ 60m 以下の一般建物にも普及しつつある。一般建物の骨組では、意匠計画上の理由より、左右梁位置が鉛直方向あるいは水平方向にずれた段差梁付きの柱梁接合部が存在するなど、特殊形状の柱、梁主筋定着部および柱梁接合部がしばしば出現する。

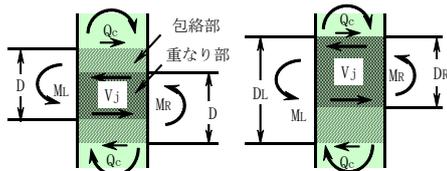
文献 1)～3)の設計指針(以下、SABTEC 共通設計指針と称する)は、一般的な柱梁接合部および主筋定着部を扱った基本設計編のほかに、特殊形状の設計法などをまとめた応用設計編で構成されている。同設計指針は、第三者機関の技術評価を取得した機械式定着工法であれば、いずれの工法にも適用可能な文献 4)の設計指針に準拠することを基本として作成されている。

SABTEC 共通設計指針では、最新の実験に基づく、柱主筋外定着方式編、SRC 柱梁接合部編、柱 RC 梁 S 接合部・柱 SRC 梁 S 接合部編も示されている。また、特殊形状の柱梁接合部などの設計例編と標準配筋詳細編が示されている。

本稿では、同設計指針の特筆すべき事項を紹介する。

鉛直段差梁付き柱梁接合部の設計

地震力を受ける柱梁接合部では、図 1 に示すように、仕口面での左右梁の曲げモーメントの和 (M_L+M_R) および柱せん断力 (Q_c) がそれぞれ変わらなければ、力の釣合いより、段差の大きさに係わらず、柱梁接合部の重なり部のせん断力 V_j は同じになる。しかし、梁主筋定着部および柱梁接合部の抵抗機構は、梁主筋の定着形式によって変化する。



(a) Type A (b) Type B
図 1 段差梁付き十字形接合部の基本タイプ

この設計法の検討では、図 1 の TypeA と TypeB の段差梁付き十字形接合部に関する文献 5)～7)などの実験を調査し、段差梁付き柱梁接合部のせん断終局耐力の設計値と実験値との関係を明確にしている。TypeA は左右梁せいが等しい場合、TypeB は左右梁せいが異なる場合である。

文献 6)の実験では、図 2 に示すように、柱梁接合部の重なり部内の梁主筋を反対側の最外縁柱主筋の外側での貫通型定着としている。この場合、終局耐力は梁主筋通し筋の場合と同程度となる。文献 6)の実験では、図 3 に示すように、柱梁接合部の重なり部内の梁主筋を非貫通型定着としている。この場合、左(L)梁下端引張側、右(R)梁上端引張側となる加力時の終局耐力は、重なり部の左右梁主筋が定着される接合部領域ではコンクリートひび割れ幅が顕著に拡大し、その反対側の加力時よりも低下する。

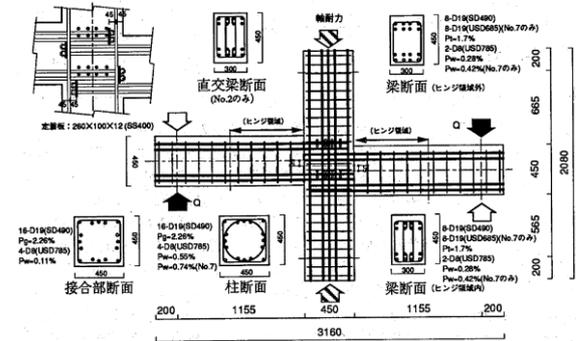


図 2 文献 5)の試験体(TypeA : 貫通定着)

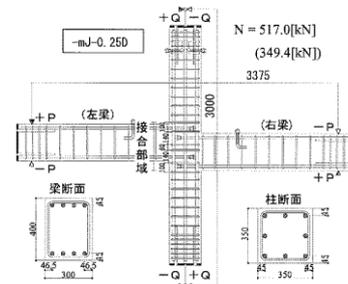


図 3 文献 6)の試験体(TypeA : 非貫通定着)

これらより、SABTEC 共通設計指針では、TypeA、TypeB ともに、段差梁付き十字形接合部の場合、左右梁段差のない通常の十字形接合部と同様、接合部せん断終局耐力 V_{pu} が終局強度設計用せん断力 V_{mu} を上回ることを検定することになっている。

その際、接合部せん断終局耐力 V_{pu} の算定に用いる接合部有効せい D_{jh} は、梁主筋貫通型定着の場合、柱せい D_c と同じとしてもよく、梁主筋非貫通型定着の場合、梁主筋定着長さ ℓ_{ag} を考慮して定めることにしている。ただし、実験範囲を考慮し、左右梁重なり部のせいが Type A では大きい方の梁せいの $(3/4)$ 倍以上、Type B では大きい方の梁せいの $(2/3)$ 倍以上の場合に限定している。

基礎梁下端筋定着タイプ

基礎梁主筋が太径の場合、鉄筋工事の現場施工の可否は基礎梁下端筋の定着方法に左右されるので、基礎梁下端筋の定着方法の選定が重要である。

RC 計算規準 17 条の解説によると、場所打ち杭基礎の場合、基礎梁下端筋は、一般階梁主筋定着部と同様、基礎梁端柱面を定着起点とし、 90° 標準フックまたは機械式定着としてもよい。また、RC 配筋指針 9.2 節の解説では、地震時杭引抜き力が生じないか、あるいは地震時転倒モーメントが生じて、基礎フーチング底面地反力が存在すれば、基礎梁下端筋の定着長さは、一般階梁主筋と同様、投影定着長さ L_a 以上、かつ、総長さ L_2 以上としてもよいとしている。

これらの規定を考慮し、SABTEC 共通設計指針では、基礎梁下端筋定着タイプは、下記の留意事項 1)~3) を満足する場合、表 1 によることができるとしている。ただし、留意事項 1)~3) を満足しない場合、いずれの基礎種別の場合も、曲上げ定着 A タイプ(在来曲上げ定着)とする。

【留意事項】

- 1) 直接基礎、既製杭基礎、場所打ち杭基礎ともに、基礎フーチングまたはパイルキャップ周囲に、有効な”はかま筋”を配置する。
- 2) 既製杭基礎および場所打ち杭基礎で、機械式直線定着タイプとする場合、基礎引抜き力(無)かつ基礎梁下端筋降伏(無)の場合を除き、柱主筋および基礎梁下端筋定着部近傍に追加補強を行うことを推奨する。
- 3) 既製杭基礎、場所打ち杭基礎ともに、杭主筋または杭頭補強筋の定着長さ ℓ_d は、 L_2+5d 以上とする。 L_2 は JASS 5 の直線定着長さ、 d は杭主筋または杭頭補強筋の直径を示す。

留意事項 1) の有効な”はかま筋”は、現在のところ画一的に設計できないが、図 5 に示すように、基礎梁下端筋の

引張力の作用によって、パイルキャップに発生する斜めひび割れ面を横切るはかま筋に生じる引張力に対してはかま筋量を算出する方法を例示している。

留意事項 2) の追加補強は、図 6 に例示するように、基礎梁下端筋定着部と隣接する柱主筋定着部に沿うコンクリートの割裂破壊防止のための補強であり、図 6 の追加補強例は、RC 配筋指針 9.2 節の備考図 9.7 と同じである。

SABTEC 共通設計指針では、以上のほかに、基礎梁幅が柱幅よりも大きい場合および杭偏芯が大きい場合などの最下階柱・基礎梁接合部の配筋詳細が例示されている。

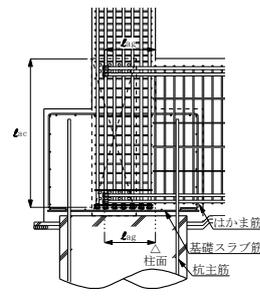
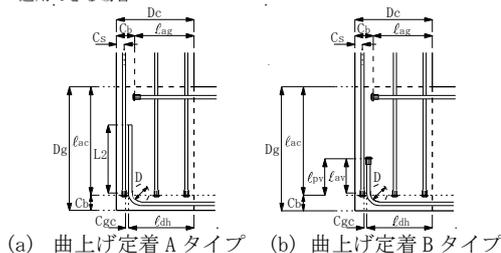
表 1 基礎梁下端筋定着タイプ

基礎種別	基礎引抜き力(有)		基礎引抜き力(無)	
	有	無	有	無
直接基礎	A, B		A, B	直線, A, B
既製杭基礎*	直線 ^{※1} , A, B	直線 ^{※2} , A, B	直線 ^{※2} , A, B	直線, A, B
場所打ち杭基礎	直線 ^{※1} , A, B	直線 ^{※2} , A, B	直線 ^{※2} , A, B	直線, A, B

【凡例】直線：機械式直線定着タイプ、A：曲上げ定着Aタイプ(在来曲上げ定着)
B：曲上げ定着Bタイプ(曲上げ端部機械式定着)

(注)※：基礎引抜き力(有)の既製杭の場合、引抜き力を柱に伝達できるように、基礎フーチングの配筋詳細設計を行った場合に限り、機械式直線定着とすることができる。

※1, ※2：留意事項 2) に示す追加補強の種別によって直線定着タイプ A を適用できる場合



(c)機械式直線定着
図 4 基礎梁下端筋定着部の分類

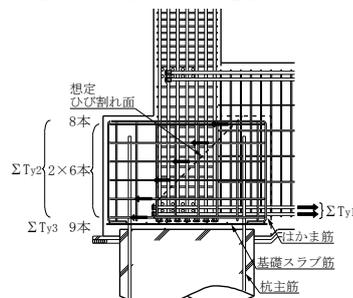


図 5 はかま筋の想定抵抗機構

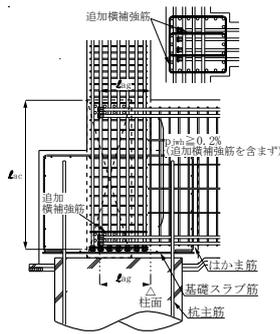


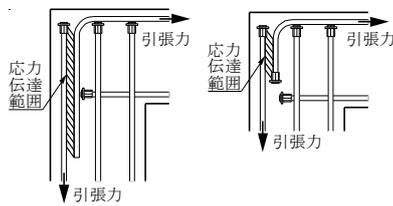
図6 基礎梁下端筋定着部近傍の追加補強例

柱主筋外定着方式によるL形接合部

(1) 開発の背景

最上階L形接合部内の柱、梁主筋定着部の納まりは、最上階だけでなく、各階の柱梁骨組の配筋詳細に大きく影響する。

従来の柱主筋内定着方式のL形接合部では、図7に示すように、梁上端筋の定着力は、折曲げ後の余長部との重ね継ぎ効果によって、出隅の引張側柱主筋に伝達される。この場合、柱主筋定着部は梁上端筋の下部に配置されるので、梁端仕口面から折曲げ起点の間の付着力が早期に喪失し、ト形接合部と比べて接合部横補強筋量を多く配置する必要がある。



(a) 余長部タイプA (b) 余長部タイプB

図7 柱主筋内定着方式によるL形接合部

従来、図8の鉛直スタブ付きL形接合部形式が考案されている。この形式では、定着スタブ内の柱主筋定着部からの押え効果によって、梁上端筋水平のみ込み部の付着性能が向上するので、梁上端筋定着部は、ト形接合部内の梁主筋定着部と同様に扱うことができる。しかし、実験が少ないため、これまで接合部横補強筋量等が安全側に定められていた。

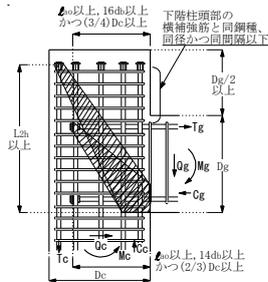
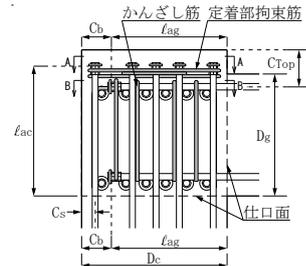


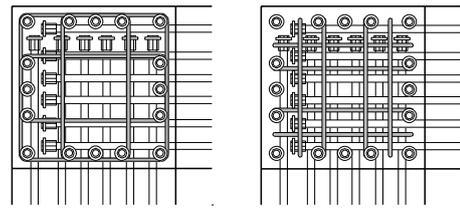
図8 鉛直スタブ付きL形接合部の配筋詳細

以上の接合部配筋詳細では、鉄筋先組工法の施工効率の低下や、鉛直定着スタブが屋上防水層の押えコンクリート表面を大きく超える高さになることより、意匠上の問題や防水の納まりにも問題を残していた。

これらの課題の解消のために、柱主筋外定着方式では、図9に示すように、柱主筋定着部を梁上端筋上部に配置し、定着部拘束筋と梁上端筋の上部から挿入するかんざし筋を用いることによって、スタブを低く抑える方式としている。また、本方式は、逆L形の最下階柱・基礎梁接合部への適用が可能である。



【鉛直断面:柱、梁主筋定着部】



【定着部拘束筋(A-A矢視)】 【かんざし筋(B-B矢視)】

図9 柱主筋外定着方式によるL形接合部

(2) 柱主筋外定着方式による接合部配筋詳細

柱主筋外定着方式による接合部配筋詳細の概要を以下に示す。同配筋詳細は文献8)等の実験を基に定められている。

- 1) 梁上端、下端筋の定着長さ l_{ag} は、それぞれ梁主筋必要定着長さ l_{ao} 以上、 $16d_b$ 以上かつ $(3/4)D_c$ 以上とする。 d_b は梁主筋直径、 D_c は柱せいを示す。
- 2) 柱主筋定着部は梁上端筋の上部に配置することを基本とし、柱主筋定着長さ l_{ac} は、必要定着長さ l_{ao} 以上かつ $18d_b$ 以上とする。 d_b は柱主筋の直径を示す。
- 3) 梁上端筋中心から柱主筋定着金物(定着板)内面までの上面寸法 C_{top} は $3.5 d_b$ 以上とする(図9)。
- 4) XY方向ともに、梁上端筋の上部から所定のかんざし筋を挿入し、1組以上の定着部拘束筋を配置する(図9)。

柱主筋外定着方式の場合、図10の抵抗機構を形成すると考えられる。この場合、梁上端筋定着長さ l_{ag} は、「 $l_{ag}/d_g \geq d_c/l_{ac}$ 」の条件を満足すれば、柱主筋定着金物位置から延びるストラットが梁上端筋定着部と重なる。 d_g 、 d_c は梁および柱の有効せいを示す。通常、柱主筋定着金物位置を梁

上端筋の上部に配置すると、「 $l_{ag} \geq (3/4)D_c$ 」の場合、「 $l_{ag}/d_g \geq d_c/l_{ac}$ 」の条件を概ね満足するので、「 $l_{ag} \geq (3/4)D_c$ 」が梁上端筋定着耐力確保の必要条件になる。

また、図 10 の抵抗機構では、かぶり厚さが小さい上側の梁上端筋かぶり厚さの確保が重要であるので、実験を基に、梁上端筋中心から柱主筋定着金物(定着板)内面までの上面寸法 C_{Top} は 3.5db 以上としている(図 9 参照)。

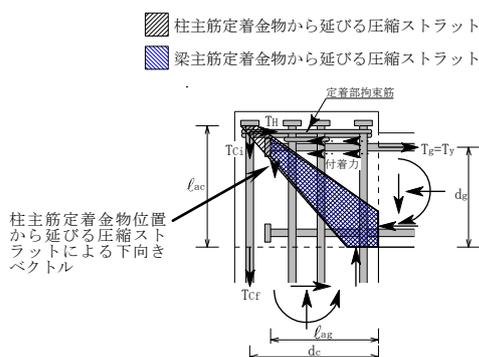


図 10 柱主筋外定着方式による L 形接合部の抵抗機構

さらに、柱主筋外定着の場合、図 11 に示すように、梁端仕口面での梁上端筋の全引張力 T_g が梁上端筋定着金物に伝達され、これに伴い、梁上端筋定着金物位置から外周筋と中子筋で拘束された柱主筋位置にかけて延びる水平構面内ストラットが形成され、その結果、外周筋と中子筋からなる定着部拘束筋の全引張力 T_h が生じる。

すなわち、図 10 の鉛直構面内ストラットおよび図 11 の水平構面内ストラットの形成に伴い、定着部拘束筋に引張力が伝達される。これらの点を考慮し、SABTEC 共通設計指針では、定着部拘束筋の設計条件が定められている。

また、かんざし筋を梁上端筋上部から挿入することで、梁上端筋定着部に対し、かんざし筋の引抜き抵抗力(下向き力)を期待している。

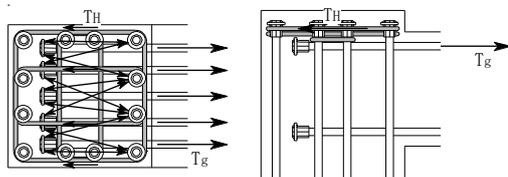


図 11 梁上端筋近傍の水平構面内ストラット

あとがき(設計・施工の品質保証に向けて)

太径主筋の場合、鉄筋工事の現場施工の可否は、接合部配筋詳細の是非によって決定する。しかし、現場施工の段階で、接合部配筋詳細が不適切であることが判明しても手遅れである。そのような事態を回避するためには、現場施工あるいは検査の体制強化のほかに、以下のように、接合

部配筋詳細の設計体制の強化および合理的な接合部配筋詳細の技術開発が必要である。

(1) 接合部配筋詳細の設計体制の強化

接合部配筋詳細について、下記の 2 点を検証できるように設計体制を強化する。

- 1) 基本構造設計の段階では、接合部配筋詳細の基本事項を検証する。
- 2) 配筋設計の段階では、施工上問題となる配筋詳細図を作成し、配筋詳細の納まりを検証する。

(2) 合理的な接合部配筋詳細の技術開発

実務設計で問題となる接合部配筋詳細の設計条件、施工条件等を検討し、合理的な接合部配筋詳細の技術開発を行う。

【参考文献】

- 1) JFE 条鋼(株): DS ネジプレート定着工法設計指針 2012 年 (SABTEC 評価 12-01)、2012 年 5 月 22 日
- 2) (株)伊藤製鐵所: オニプレート定着工法設計指針 2012 年 (SABTEC 評価 12-03)、2012 年 7 月 26 日
- 3) (株)伊藤製鐵所: FRIP 定着工法設計指針 2012 年 (SABTEC 評価 12-04)、2012 年 7 月 26 日
- 4) 日本建築総合試験所・機械式鉄筋定着工法研究委員会: 機械式鉄筋定着工法設計指針(2010 年改定)、2010. 5
- 5) 中村、別所、丸田: 高強度材料を用いた超高層 RC 造柱・はり部分骨組の水平加力実験 (その 2)、AIJ 大会梗概集、構造 II、pp. 869-870、1993. 9
- 6) 廣谷、上村、石橋、林: 機械式定着による段差梁を有する鉄筋コンクリート造梁・柱接合部の抵抗機構、JCI 年次論文集、Vol. 32, No. 2, pp. 319-324、2010
- 7) 佐藤、佐藤、岸田: 左右の梁せいの異なる鉄筋コンクリート造柱梁接合部の終局強度に関する実験研究、AIJ 大会梗概集、構造 IV、pp. 469-470、2010. 9
- 8) 益尾、田川、山下、小寺、丸山: 機械式柱主筋外定着による RC 造 L 形柱梁接合部の構造性能—続報 1、2—、日本建築学会大会梗概集、構造 IV、pp. 531-534、2012. 9