

機械式定着工法における柱梁接合部配筋詳細のモジュール化の提案

株式会社大林組 大阪本店 建築事業部 構造設計部
安井 雅明・福本 義之

1. はじめに

RC建物の高層化に伴い、高さ60m以上の超高層建物を中心に、現場施工の合理化を目的に機械式定着工法が普及し、近年、高さ60m以下の中高層建物への適用事例も増加している¹⁾。これらの建物では、高強度・太径鉄筋が多数用いられ、配筋設計施工の良否が建物の品質に影響するため、構造設計での配筋詳細設計の重要性が高まっている。

構造設計の流れを見ると、設計条件・架構形式などの基本条件を確定させた後に、柱・梁・柱梁接合部の部材寸法と配筋量を決定することになる。その際、

①柱梁接合部の配筋詳細の納まり上の制約条件

②梁の「芯合わせ・外面合わせ・内面合わせ」および「鉛直段差・水平段差」等の建築詳細の要求条件

の解決が配筋詳細設計のポイントとなる。

以上の背景を踏まえ、本稿では、適切かつ合理的な配筋詳細設計の一つの解決策として、「配筋詳細のモジュール化」を提案するものである。

提案の骨子は、「定着金物の寸法や鉄筋間隔の最小規定等の配筋詳細の制約条件を考慮して柱・梁主筋間隔をモジュール化し、柱・梁主筋間隔のモジュールを建物全体に配置する」ことである。その結果、梁の「芯合わせ・外面合わせ・内面合わせ」いずれの場合も、主筋位置を機械的に決定できる。また、梁の「鉛直段差・水平段差」も主筋間隔をモジュール化し、段差寸法を鉄筋間隔の整数倍とするため、接合部配筋詳細が自動的に納まる。

本稿では、ねじ筋鉄筋用の定着金物の使用を想定している。ただし、本稿提案の配筋法は、摩擦圧接型定着板などの円形定着板²⁾にも準用できる。

2. 柱梁接合部配筋詳細の設計手順

柱梁接合部配筋詳細設計は、接合部配筋詳細の納まり検討、定着設計、接合部せん断設計、接合部配筋詳細図の作成の順に行われる。接合部配筋詳細の納まり検討は、主筋の芯かぶりと主筋間隔の決定、すなわち、下記の点を考慮し、柱・梁主筋の水平、鉛直方向の位置を納まりよく決定することが最も重要である。

- ・主筋の最小間隔
- ・主筋継手カプラー部のかぶり厚さと間隔
- ・定着金物・定着板のかぶり厚さと間隔
- ・90°折曲げ横補強筋の径と曲げ半径
- ・135°フック付き横補強筋の納まり
- ・定着金物挿入箇所の梁主筋間隔
- ・折曲げ筋挿入箇所の梁主筋間隔
- ・梁1段筋と2段筋の主筋間隔

3. 配筋詳細のモジュール化

(1) 柱・梁の主筋間隔

・一列に並べる主筋間隔

提案するモジュール化では、柱と梁の一列に並べる主筋間隔を同一とすることを基本とする。この場合、主筋間隔は、使用される柱・梁主筋の最大径によって決め、上層階で鉄筋径が小さくなくても変更しない。

梁主筋間隔の決定要因は、図1に示すように、①鉄筋の最小間隔、②定着金物および機械式継手カプラーの最小間隔の2つである。通常、D29以上の場合、それぞれの定着金物およびカプラーは①を満足すれば、②の最小間隔は満足するので、主筋間隔は、①の最小間隔で決定すればよい。JASS 5では、鉄筋の最小間隔は、下記の数値のうちの最大の値としている³⁾。

- ・鉄筋呼び径の1.5倍+最外径
- ・粗骨材最大寸法の1.25倍+最外径
- ・25mm+最外径

通常、主筋の最小間隔は、5mmピッチごとに丸めた値を、標準ピッチとして採用する。標準ピッチは、施工条件を考慮し、例えば、施工性が良好なPC部材では小さめ、場所打ちコンクリート部材では大きめに決定される。

135°フック付き横補強筋の場合、特にD16では、フックの納まり上、主筋間隔を広げる必要がある場合があるので注意を要する。

D25～D41の最小間隔と標準ピッチの一例を表1に示す。

- ① 主筋最小間隔
- ② 定着金物・機械式継手の最小間隔
- ③ 135° フック付き横補強筋との緩衝
- ④ 定着金物挿入箇所での梁主筋間隔
- ⑤ 折曲げ筋挿入箇所での梁主筋間隔

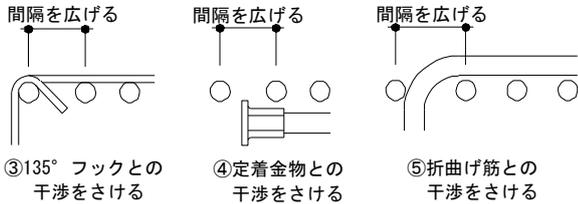


図1 主筋間隔の決定要因

表1 主筋間隔

呼び名	D25	D29	D32	D35	D38	D41
最小間隔	65.5	76.5	84	92.5	100	107.5
標準ピッチ	75	80	90	100	105	115

*設定条件:①最小間隔はJASS5による(②は自動的に考慮)
 :③横補強筋に135° フックは用いない
 :④定着金物挿入部は、図2により一般部間隔より広くしない
 :⑤折曲げ筋挿入は、行わない

・直交する梁主筋間隔および一段筋と二段筋間隔

直交する梁の主筋間隔は、隅柱で直交する梁主筋の定着金物ナット部が当たらないように、図2の位置に設ける。定着金物の定着板部を上下で当たらないようにすると、主筋間隔が大きくなるので、定着板同士は平面的にずらす。

同時に、梁の一段筋と二段筋間隔は、図2に示すように、定着金物ナット部同士が当たらないように、ナット部最大径の2倍以上とする。この主筋間隔の一例を表2に示す。

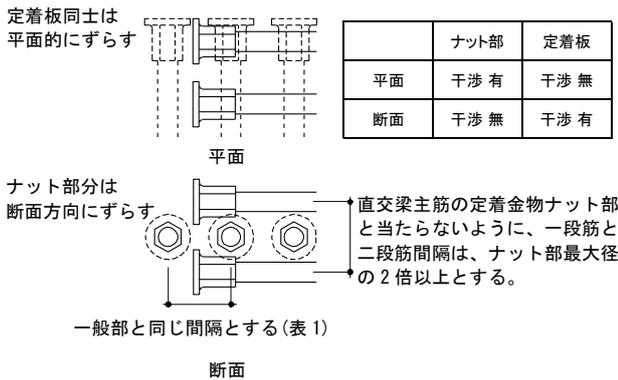


図2 直交梁の定着金物の位置関係

表2 梁の一段筋と二段筋間隔

呼び名	D25	D29	D32	D35	D38	D41
定着金物ナット部最大径	48	53	58	64	69	75
主筋間隔	100	110	120	130	140	160

*設定条件:直交梁と定着金物ナット部同士が干渉しない
 :定着金物ナット部最大径は、文献4)による

(2) 主筋の芯かぶり

柱・梁の芯かぶりは、設計かぶり厚さを確保できるように設ける。注意点は、主筋が機械式継手カプラーで接続される場合である。当然、カプラー部でも、かぶり厚さの確保が必要であるので、主筋の芯かぶりはカプラー部で決定される。主筋の芯かぶりを極力小さくしたい場合は、カプラー部の横補強筋のピッチを密にし、横補強筋径を一般部より小さくし、かぶり厚さを確保するといった工夫することも必要である(図3参照)。設計かぶり厚さについては、建築基準法のかぶり規定だけでなく、品確法の劣化対策等級や、建築主の内規により決定される場合があるので、設計前にかぶり厚さの諸条件を確認する必要がある。

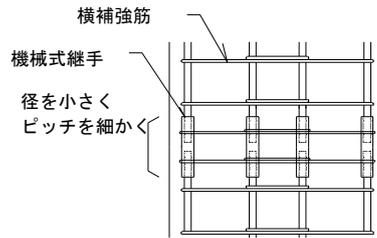


図3 カプラー部の横補強筋

このように設計かぶり厚さを確保し、主筋位置を決定する。その際、カプラー、横補強筋の径や横補強筋加工形状(溶接閉鎖型または135°フック付き閉鎖型)にも注意する必要がある。図4に示すように、柱では隅筋が横補強筋の隅角部で接すること、梁では横補強筋の折曲げ起点で接することを基本とする⁴⁾。

主筋径ごとの芯かぶり位置の一例を表3に示す。

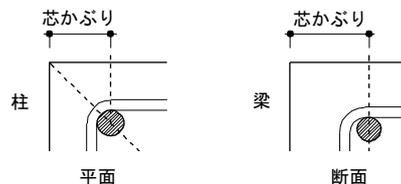


図4 主筋と芯かぶりの関係

表3 主筋の芯かぶり

呼び名	D25	D29	D32	D35	D38	D41
芯かぶり	90	90	90	90	90	90

*設定条件:カプラーは考慮せず、かつ横補強筋に135°フックは用いない
 :要求されたかぶり厚さは50mmとする
 :横補強筋はD13とする(曲げ直径 4d=52)
 :梁主筋の芯かぶりより決定する
 (柱主筋の芯かぶりは上記の値以下となる)

(3) 柱の主筋位置および柱断面

柱の主筋位置としては、まず隅筋位置を決定する。隅筋位置は、(2)の設計かぶり厚さを確保した位置とする。その他の柱主筋の位置は、梁断面と柱断面の位置関係および梁筋の位置を決めた後、梁筋との干渉を避け、(1)の主筋間隔を基本として決定する。また、柱断面内での主筋は、間隔が極力均等になるように配置する。

(4) 梁の主筋位置および梁断面

梁の主筋位置および梁断面の決め方は、梁が柱の中心付近に取り付くか、梁が柱の外表面と合わせで取り付くかによる。ただし、主筋の間隔は、あくまで(1)で決めた間隔を基本とする。

・梁が柱の中心付近に取り付く場合

この場合、まず梁の主筋位置は柱筋に関係なく決定し、配筋上必要な梁幅は『(1)で決めた主筋間隔×(梁主筋(1段筋)本数-1)+設定した芯かぶり×2』で決定する。

設計で用いる梁幅は構造的な数値で決定される。もし、意匠的に梁幅を調整したい場合は、かぶり厚さで調整するのが最も簡単である。もしくは、(1)で決めた主筋間隔を1か所のみ広げて調整する。調整する箇所は、直交する梁主筋の定着金物と干渉しない位置とし、この主筋間隔も上下階では変更しない。

・梁が柱の外表面合わせで取り付く場合

この場合、梁の最も外側の主筋位置は、柱筋と干渉しない位置とする。ただし、柱と梁の主筋同士の干渉を避けるだけでは、納まらない場合も多い。注意を要するのは、定着板と柱主筋との干渉である。これを避けるために、定着板と柱主筋が干渉すると予想される位置に柱主筋を設けないようにする。また、定着金物の取り付け施工が可能であるかどうか確認する。梁が柱の外表面合わせで取り付く隅柱の例を、図5に示す。

柱梁接合部内で梁主筋を機械式継手で継ぐ場合も、そのカプラーの径およびその施工性も考慮したうえで、必要な距離だけ、梁筋を柱筋から離す必要がある。

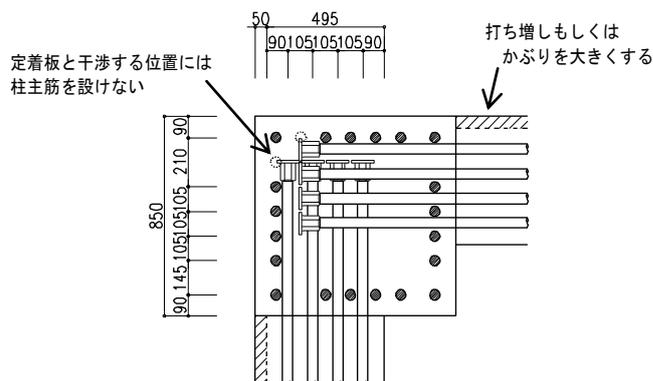


図5 梁が柱の外表面合わせの隅柱の例

このようにして、梁の最外部の主筋位置を決めた後に、残りの梁主筋を(1)で決めた主筋間隔で配置していく。

柱主筋は、梁主筋位置を決定した後に、梁主筋間の中心に梁主筋と同じ間隔(整数倍)で配置していく。

以上のように決定した場合、梁の最外面と柱の最外面のずれは、梁、柱主筋の位置関係とそれぞれに必要なかぶり厚さから自動的に決定する。

意匠的に柱と梁の面の位置関係を決める必要がある場合、鉄筋の位置は変えないで、梁の外表面のかぶりを大きくするか、もしくは打ち増しとして処理する。

(5) 柱・梁断面の絞り(切り替え)方法

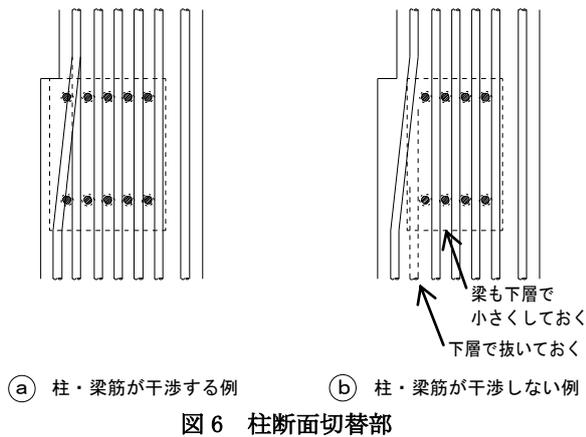
・梁断面の切り替え方

上階で梁幅を小さくする場合(すなわち、梁主筋が減る場合)、主筋の間隔はあくまで(1)で決めた間隔を基本とするので、主筋間隔が鉄筋1本分少なく、すなわち梁幅も主筋間隔だけ小さくする。

・柱断面の切り替え方

上階で柱幅を小さくしたい場合、柱主筋をベントする方法を基本とし、ベントする主筋は、柱幅を小さくする側の最外部の柱主筋のみとする。最外部の主筋とその隣の主筋が近接する場合、ベントした後に柱主筋同士が干渉する。それを避けるために、柱幅を小さくする階より下階で、干渉する柱主筋を止めておく必要がある。すなわち、柱主筋本数の切り替えは、上階での柱断面の切り替えを予測した上で行うことが重要である。また、柱断面を縮小する階は、極力梁幅を縮小した階の直上ではなく、さらにその一つ上階にすると、図6に示すように、ベントした柱主筋と梁主筋は干渉しない。

なお、ベント筋の先端部に機械式継手を設ける場合、上下柱主筋の継手施工に注意が必要である。



以上の柱・梁の断面の切り替え方法の場合、柱・梁（特に梁）断面は、主に構造設計が決定するので、意匠設計との調整が必要となる。この方法の場合、ロスなく柱・梁断面が決定されるため、全体的なコスト削減につながる。さらには、鉄筋が無理なく容易に納まるので、施工的に優れ、建物の品質向上に大きく役立つ。この点は、竣工後のトラブル発生の防止につながるもので、ぜひ実践していただきたい。

(6) 柱梁主筋の定着方法

・梁筋の定着方法

梁筋の定着長さは、柱径の3/4倍以上を目安にし、定着耐力および接合部せん断耐力の設計条件⁵⁾を満足するように決定する。また、定着板から背面の柱面までの距離を、それぞれ必要な背面かぶり厚さを確保した位置とする。この位置を、図7に示すように定着板が、直交の梁主筋の主筋間の中心位置に合わせるようにすると納まりやすい。

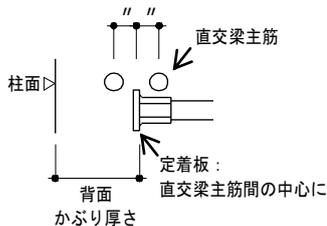


図7 定着板と直交梁主筋との位置関係

また、柱断面が切り替わる階での梁主筋の定着位置が、梁の上層か、下層の柱のどちらの3/4倍以上になるかという疑問が生じる。その場合は、柱接合部に生じる圧縮ストラットの発生の仕方や、接合部の設計をどのようにしているかを考えて、構造設計者が責任を持って判断する必要がある。

・柱筋の定着方法

最上階で柱筋を定着させる場合、梁上面に定着スタブを設けたほうが納まりやすい。通常、最上階にはパラペットがあるので、パラペット高さまでの定着スタブを設けると、意匠計画と整合して問題が生じない。

建物計画上、定着スタブを設けられない場合には、梁上面、もしくは梁上面より若干高い位置で柱を止め、かんざし筋等によって補強することとなる⁵⁾。

また、定着スタブを設けない場合、最上階の梁上端筋は折曲げることが一般的であるので、直交部の梁主筋間隔を広げる必要がないかを確認することが重要である。

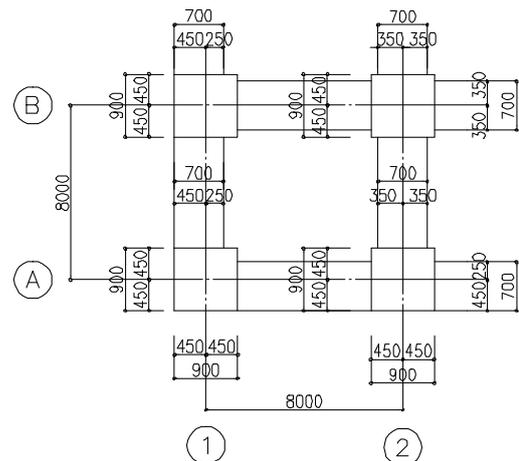
4. 設計例

本設計例では設計ルート3の7階建て、標準スパン8m×8mのRC造純ラーメン建物で積載荷重は病院程度を想定し、機械式定着工法による配筋詳細の検討手順および配筋詳細図の作成手順を示す。通り芯＝柱芯、梁、柱の外周合わせで、外周部柱頭に定着スタブを設ける。

(1) 仮定断面による構造計算

図8に柱・梁の仮定断面を示す。仮定断面の設定時には、同時に、主筋径と1列に並べる主筋本数、主筋ピッチ、隅筋の芯かぶりを考慮して設定する。

この例では主筋の最大径がD32であり、主筋ピッチ、隅筋芯かぶりを100mmと概略寸法を設定し、一列に並べる主筋本数を考慮して部材寸法を設定する。この場合、梁主筋は一列に6本並べ、主筋ピッチと隅筋芯かぶりを合計した700mmを梁幅とした。



柱 900×900	梁 700×900
主筋：8-D32(一列当り)	主筋：6-D29(一列当り)
主筋間隔：100mm	主筋間隔：100mm
主筋芯かぶり：100mm	主筋芯かぶり：100mm

図8 柱・梁の仮定断面

(2) 柱頭スタブの採否

図9に柱頭スタブ有りとなしの場合の配筋詳細を示す。柱頭スタブは、建築的に影響するため、計画初期段階で採否を決定する。ここでは、外周部に柱頭スタブを採用した例を想定している。

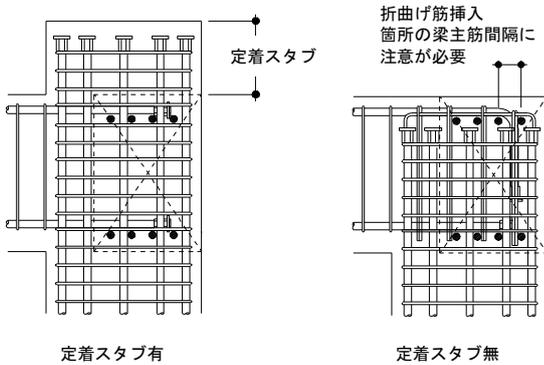


図9 柱頭スタブの採否

(3) 隅柱の柱・梁主筋位置の設定

図10に隅柱の柱・梁主筋位置図を示す。この例では柱主筋 D32、梁主筋 D29 で、柱主筋のほうが太い例である。この主筋位置の決定方法が、本稿の「配筋詳細のモジュール化の提案」のポイントである。

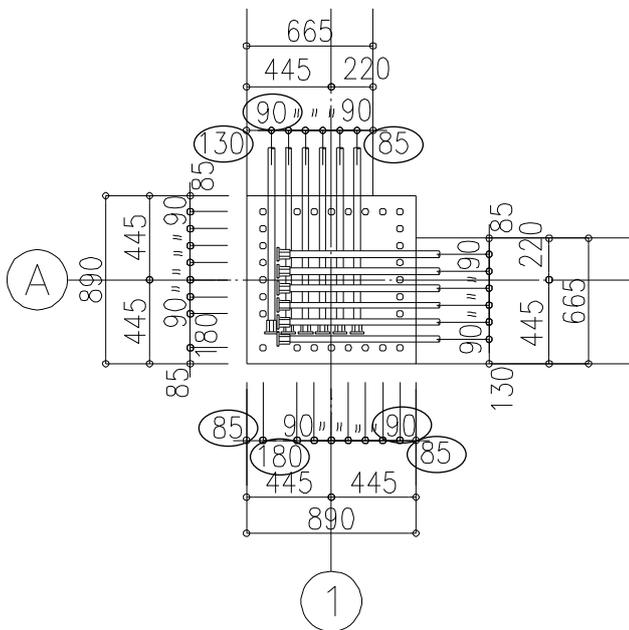


図10 隅柱の柱・梁主筋位置

1) 柱主筋位置

柱隅筋の芯かぶりは表3から85mmとし、柱主筋間隔は表1から90mmとしている。梁外面合わせ部の柱主筋間隔は一般部の倍ピッチの180mmとしている。

2) 梁主筋位置

梁隅筋の芯かぶりは表3から85mmとし、梁主筋間隔は柱主筋間隔に合わせ90mmとしている。梁外面合わせ部の梁隅筋位置は柱隅筋から主筋間隔の1/2だけ入った位置(85+45=130mm)とする。

3) 納まりの良い鉄筋位置決定のための留意点

- ・鉄筋位置を通り芯からどのように配置するかを考える。次に、決定した鉄筋位置を基に躯体断面寸法を決定する。柱幅・柱せいおよび梁幅は、鉄筋の平面位置を基に決定すると、構造的に合理的である。
- ・主筋間隔を柱・梁で同じにすると、梁の水平段差、柱絞り、梁幅低減が原則主筋ピッチで可能となる。
- ・梁外面合わせ部の柱主筋間隔は主筋ピッチの2倍にすると、どの柱も同じ主筋位置にすることができる。また、梁外面合わせ部の隅筋位置は柱隅筋から主筋間隔の1/2だけ入った位置とすると、柱・梁の主筋ピッチや位置関係を同じにできる。

(4) 梁主筋レベルの設定

図11に梁主筋レベル図を示す。梁の二次筋（直交する梁上端筋のうち上側に配置される鉄筋）芯かぶりは、表3から85mmとしている。

一段筋と二段筋の間隔は、定着金物が直交の梁筋と重なることができる値としている。すなわち、表2より定着金物ナット部最大径53mm、最小間隔が106mmとなるため、110mmを設計値としている。二段筋の位置を梁主筋の最小鉄筋間隔から決定すると、直交する定着金物を上下に重ねることができないので、平面的に主筋位置を見直すことが難しく、煩雑である。

一次筋と二次筋の間隔は、一段筋と二段筋間隔の1/2としている。その結果、直交する両方の梁主筋の高さ方向の位置関係を同じにできる。また、鉛直梁段差を設ける場合、一段筋と二段筋間隔の整数倍で上下させればよい。

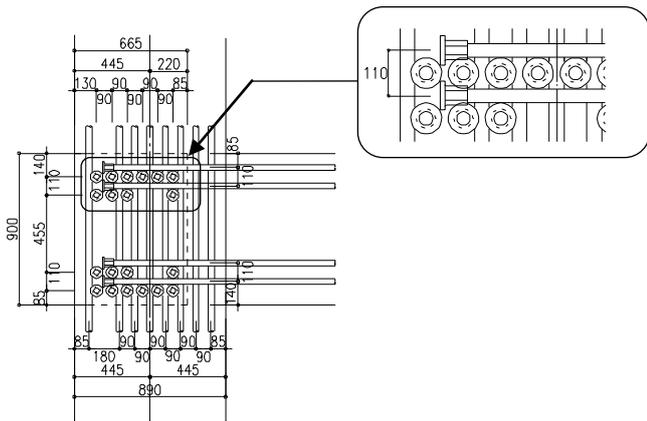


図 11 梁主筋レベル

(5) 隅柱以外の一般部の柱・梁主筋位置の設定

図 12 に隅柱以外の一般部の柱・梁主筋位置図を示す。

柱梁が通り芯に対して芯振り分けの場合、柱または梁主筋のうち、どちらを通り芯に配置するかを決める。この例では柱主筋を通り芯に配置する。

隅柱での柱・梁主筋位置が決定されると、側柱と中柱は、隅柱と同じ平面位置に柱・梁主筋を配置することで、ほぼ自動的に納まる。

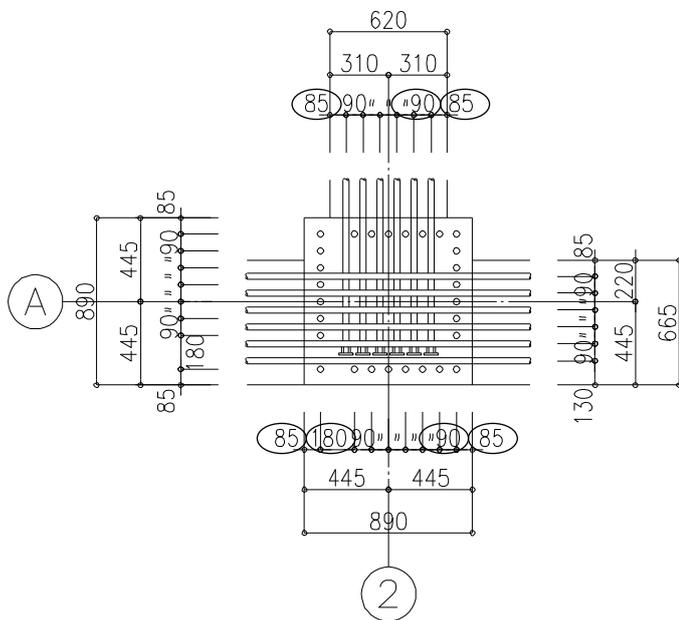


図 12 側柱の柱・梁主筋位置

(6) 主筋位置図の完成

図 13 に決定した主筋位置図を示す。ここでは、定着設計、接合部せん断設計、構造規定の確認を行う。

5. まとめ

本稿では、機械式定着工法による柱梁接合部配筋詳細のモジュール化を提案した。提案の要点を以下に示す。

- 1) 定着金物の寸法や鉄筋間隔の最小規定等の配筋詳細の制約条件を考慮して柱・梁主筋間隔を同一にモジュール化し、柱・梁主筋のモジュールを建物全体に配置すると、配筋詳細設計が明快である。
- 2) 柱・梁の断面寸法は、主筋位置を優先して決定すると、構造的に合理的である。
- 3) 梁の外面合わせまたは内面合わせの場合、隅柱の納まりがクリティカルとなる。
- 4) 梁の水平段差は主筋間隔の整数倍、鉛直段差は 1 段筋と 2 段筋間隔の整数倍とするのが原則である。

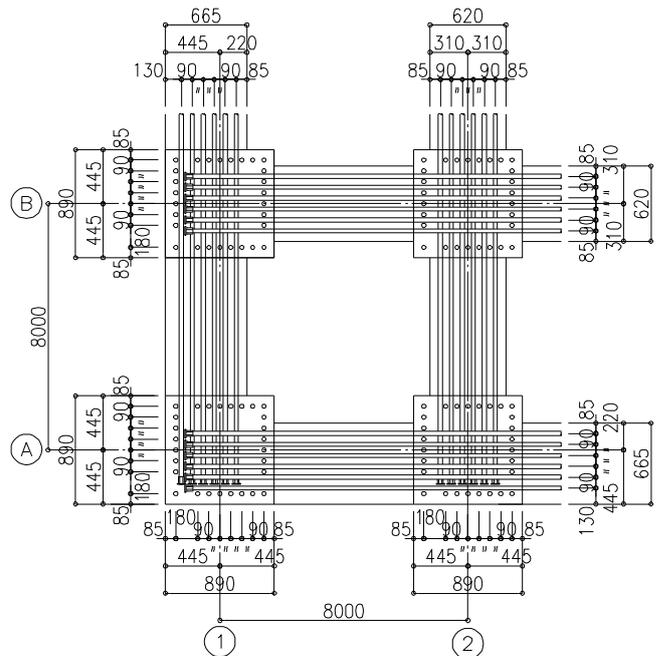


図 13 柱・梁主筋位置図

配筋詳細のモジュール化は、機械式定着工法以外に、折曲げ定着工法でも応用できる部分がある。また、配筋詳細設計の考え方には、本稿とは違うさまざまな工夫も当然あり得る。

S造建物の場合、構造設計者は必ず通り芯と鉄骨ウェブ芯の寸法関係を強く意識する。SRC造建物の場合、梁の水平段差や鉛直段差は任意の寸法ではずらすことができないことをよく認識している。一方、RC造建物の場合、なんとか納まるだろうという意識が構造設計者の心のどこかにあるかも知れない。配筋詳細の納まりの検討はしても、特定の鉄筋が通り芯からいくらのより寸法の位置に配置するか、また特定の鉄筋がフロアレベルからいくらの下がり寸法に配置するかをあまり強く意識しないことが多い。しかし、特に太径鉄筋を使用する場合は、これらの寸法が設計時点で意識的にすべて決められ、施工が確実に実現されなければならない。構造設計者は鉄骨詳細設計と同じ感覚で、配筋詳細を納める設計感覚が必要である。

【参考文献】

- 1) 益尾潔：「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、建築技術、2012.10
- 2) 益尾潔：「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②回 定着金物の品質保証、建築技術、2012.6
- 3) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事、2009
- 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接合部配筋詳細の手引、2010.5
- 5) 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
- 6) 益尾潔，田川浩之，山下利法，小寺耕一郎，丸山透：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