

「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①回

配筋設計施工・品質保証の必要性と課題

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

RC 建物の高層化に伴い、鉄筋の高強度化と太径化のニーズが高まる一方で、高密度配筋と鉄筋曲げ加工に係わる配筋設計施工の分野で、種々の技術的問題が発生する。1970年代から1980年代にかけ、高強度せん断補強筋、機械式継手や機械式定着金物などが開発され、パイオニアを中心に開発技術を駆使し、超高層 RC 建物の設計、施工が行われてきた。

近年、高さ 60m 以下の中高層 RC 建物への上記開発技術の適用例が増加している。これらの RC 建物では、構造設計の完了後、施工の段階で、配筋が納まらず苦慮する事例も見られる。これは、配筋設計施工の品質保証体制の不備に起因すると考えられる。

構造設計の段階では、構造計算と設計図作成が分業化され、配筋詳細図が設計段階に作成されず、施工に進むことも多い。高強度・太径鉄筋の場合、柱梁接合部での配筋の納まりを施工段階に調整できない可能性が高い。

高強度・太径鉄筋を用いた RC 建物では、構造設計の段階に、配筋詳細図を作成し、柱梁接合部での配筋の納まりが設計図書や標準仕様書に適合することを確認することが必須である。RC 建物の構造性能は、設計で想定した柱梁接合部の配筋が施工されなければ保証できない。

本連載では、「高強度・太径鉄筋を用いた配筋設計施工の品質保証」体制の構築を目指す観点から、下記①～⑥のテーマについて執筆する。

- ① 配筋設計施工・品質保証の必要性と課題
- ② 機械式定着金物の品質保証
- ③ 機械式定着工法の研究動向
- ④ 機械式定着工法の実務動向
- ⑤ 機械式定着工法による接合部設計プログラム
- ⑥ 新開発のせん断補強筋工法

高強度・太径鉄筋からみた RC 配筋指針

2010 年版 RC 配筋指針¹⁾の主な改定点を以下に示す。

- 1) 適用範囲への SD490 の追加
- 2) 鉄筋の定着長さおよび継手長さの変更

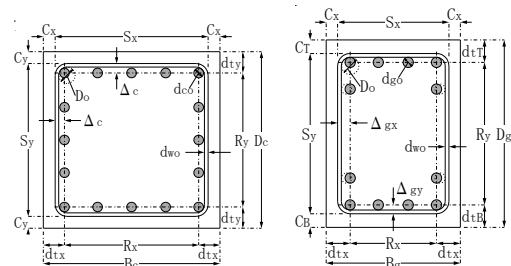
3) 機械式定着工法による納まりの要点の掲載

1) 項と 2) 項の改定は、2010 年版 RC 構造計算規準²⁾の改定に伴うものであり、2009 年改定 JASS 5 の 10 節(鉄筋工事)³⁾との整合も図られている。

筆者は、9 章(各部配筋)の 9.1 基礎、9.2 基礎梁、9.3 柱の改定原稿の執筆、(付録 A5)機械式定着工法による接合部配筋詳細の納まり検討の要点の執筆を担当した。

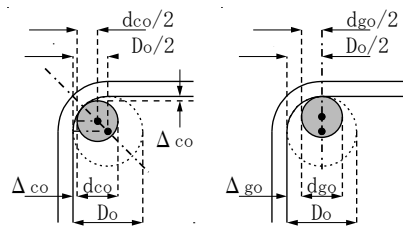
付録 A5 では、太径鉄筋を用いた機械式定着工法による配筋詳細の各部鉄筋寸法の決定方法を示すとともに、靱性保証型設計指針⁴⁾の設計例に対する接合部配筋詳細の検討例を示している。

S_x, S_y : 横補強筋の加工寸法(幅、せい)
 R_x, R_y : X, Y 方向の隅筋間距離
 C_x, C_y (C_T, C_B) : かぶり厚さ
 d_{tx}, d_{ty} (d_{tT}, d_{tB}) : X, Y 方向の主筋中心かぶり厚さ
 $\Delta c, \Delta_{gx}, \Delta_{gy}$: 柱、梁主筋中心の寄り寸法



(a) 柱主筋 (b) 梁主筋

図 1 柱、梁各部鉄筋位置⁵⁾



(a) 柱主筋 (b) 梁主筋

図 2 柱、梁主筋の計算寄り寸法 Δ_{co}, Δ_{go} ⁵⁾

(1) 横補強筋の納まり

柱、梁主筋に D29 以上の太径鉄筋を用いると、主筋の折曲げ加工が難しいだけでなく、せん断補強筋(横補強筋ともいう)の折曲げ直径を大きくする必要があり、その場合、梁幅内に所定主筋本数を配置できないことがある。

RC 配筋指針¹⁾では、図 1 に示すように、柱の隅筋は、横補強筋の隅角部で接すること、梁の隅筋は、横補強筋の折曲げ起点で接することを基本としている。隅筋位置では、図 2 に示すように、隅筋と横補強筋の幾何学的な位置関係より、計算寄り寸法 Δ_{co} 、 Δ_{go} が生じる。計算寄り寸法は、横補強筋の折曲げ内法直径 D_o が主筋最外径 (d_{co} , d_{go}) 以上の場合、下式で求められる。

$$(柱) \Delta_{co} = (D_o - d_{co}) \cdot (1 - 1/\sqrt{2}) / 2 \quad (1)$$

$$(梁) \Delta_{go} = (D_o - d_{go}) / 2 \quad (2)$$

図 1(a), (b) 中には、柱、梁主筋中心と横補強筋外面との距離を表す柱、梁主筋中心の寄り寸法 Δ_c , Δ_{gx} , Δ_{gy} を示している。

図 3 に、横補強筋の折曲げ内法直径 D_o を $4d_w$ として求めた横補強筋と柱隅筋の納まり例を示す。 d_w は横補強筋直径(呼び名に用いる値)を示す。

同図に示すように、柱主筋が D41 の場合、横補強筋を D10 にすると納まらず、横補強筋が D16 の場合、柱主筋を D29 以下にすると、横補強筋と柱主筋の組合せがアンバランスになる。一方、横補強筋の折曲げ内法直径 D_o を $3d_w$ にすると、柱主筋が D29 以上の場合、横補強筋に D10 を使用できず、横補強筋を D13 にしても、D38 以上の柱主筋を使用できない。

すなわち、柱、梁主筋が D29 以上の場合、横補強筋の折曲げ内法直径 D_o は、 $4d_w$ の方が納まりがよい。

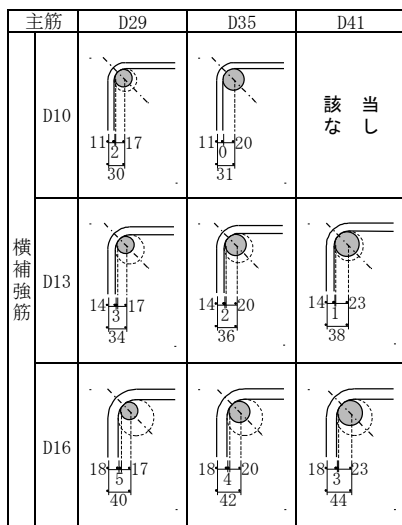


図 3 横補強筋と柱隅筋の納まり例 ($D_o=4 \times d_w$)⁵⁾

第三者機関の技術評価を取得した高強度せん断補強筋の折曲げ内法直径 D_o は、785N/mm² 級までの異形棒鋼では $4d_w$ 以上、1275N/mm² 級では $5d_w$ 以上としている。RC 配筋指針¹⁾の付録 A3(帯筋・あばら筋の形状別柱・梁幅の最小寸法)の計算値は、折曲げ内法直径 D_o を $3d_w$ として算出されているので、同計算値を高強度せん断補強筋にそのまま使用できない。

(2) 梁、柱主筋の折曲げ加工

RC 計算規準²⁾による標準フックの内法直径を表 1 に示す。同表の値は、RC 配筋指針および JASS 5 の鉄筋折曲げ形状寸法と同じで、JIS G 3112(鉄筋コンクリート用棒鋼)の場合とも同じであり、いずれも主筋と横補強筋が区別されていない。

表 1 RC 計算規準による標準フックの折曲げ内法直径²⁾

折曲げ角度	鉄筋種類	鉄筋径による区分	折曲げ内法直径(D)
180° 135° 90°	SD295A, B	D16以下	3db以上
		D19~D41	4db以上
	SD390	D41以下	5db以上
90° *	SD490	D25以下	5db以上
		D29~D41	6db以上

db: 定着する鉄筋の公称直径

*: SD490を90°を超えて折り曲げる場合は、曲げ試験を行う。

表 1 によると、D29 以上の太径主筋の折曲げ内法直径は、SD390 では $5d_b$ 以上、SD490 では $6d_b$ 以上とする必要がある。 d_b は主筋直径(呼び名に用いる値)を示す。

梁、柱主筋を折曲げ定着にすると、特に D29 以上の太径主筋の場合、折曲げ内法直径に起因し、下記の問題が発生する。

(a) 梁主筋折曲げ定着の問題点

柱、梁断面の外面を一致させる外面合せの場合、図 4 に示すように、梁主筋を定着する側柱や隅柱との接合部では、直交梁幅方向の中間の主筋間に落とし込むための寸法を確保する必要がある。

図 4 は、RC 配筋指針¹⁾の付録 A2(柱梁接合部の納まり)の配筋詳細例であり、折曲げ鉄筋は D25、直交筋は D29 で、いずれも SD345 である。梁主筋を SD390 または SD490 とし、呼び名を D29 以上にすると、当然、直交梁の幅を大きくしないと納まらない。

通常、中高層 RC 建物の梁主筋は、2 段筋とすることが多く、1 段目主筋、2 段目主筋ともに、折曲げ定着にすると、隅柱梁接合部で柱、梁主筋定着部が納まらない可能性が高くなる。その場合、柱主筋は垂直(Z)方向、梁主筋は水平(X, Y)方向に連続しているため、建物全体で柱、梁主筋の配筋計画が破綻する恐れがある。

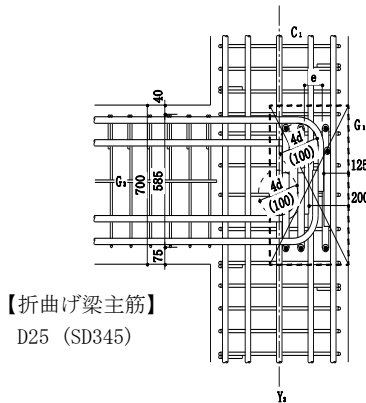


図4 RC配筋指針の柱梁接合部の配筋詳細例¹⁾
(付録A2の付図A2-5 B-B垂直断面図)

(b) 柱主筋折曲げ定着の問題点

柱主筋の定着部は、最上階T形、L形接合部、ならびに上下柱断面が絞られるト形、十字形接合部に配置される。しかし、柱主筋が定着されるT形、L形接合部については、近年、機械式定着の実験は精力的に行われているが、折曲げ定着の実験は非常に少ない。そのため、RC計算規準17条²⁾の解説1.(2)では、以下の点が指摘されている。

T形接合部内の柱主筋定着部は、ト形接合部内の梁主筋定着部を90°回転させたような形状となるが、柱頭が降伏する場合にはト形接合部よりも応力状態が厳しくなることが実験で確認されている。したがって、余裕を持った設計が望まれる。L形接合部内の柱主筋定着部も同様である。

以上より、RC配筋指針6.2定着長さ¹⁾では、大梁主筋の仕口内折曲げ定着の投影定着長さ L_a は、RC計算規準17条²⁾の式(17.2)による計算値に基づく値とし、柱主筋には適用できないとしている。

T形、L形接合部内の柱主筋定着部については、RC配筋指針9.3柱¹⁾の解説図9.2(従来の最上階柱頭の納まり)を基に、末端フックのために、梁上端筋の下で柱筋が止まり、梁上端筋と柱筋の間が無筋状態になることを指摘している。また、この対処方法として、柱頭部の上部に定着スタブを配置する方法や逆U形かご鉄筋を挿入する方法などを推奨している。しかし、これらの方法は、建築計画上あるいは施工性に難があるので、実務設計では、あまり採用されていない。

(c) 主筋折曲げ加工の問題点

梁、柱主筋の折曲げ加工の際には、図5に示すように、高強度になるほど、太径鉄筋になるほど、高い能力の折曲げ機が必要であり、折曲げ加工時間も長くなる。また、配筋不備の現場での折曲げ修正が難しい。これらの要因は、加工費用と現場施工費用のアップにもつながる。

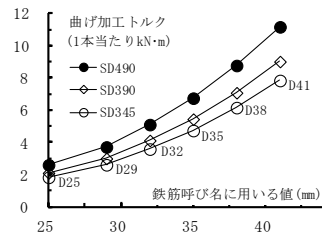


図5 鉄筋折曲げ機の能力(1本当たり曲げ加工トルク)
(本図は、東陽建設工機(株)提供資料を基に作成)

機械式定着工法の今後の課題

高強度・太径鉄筋の折曲げ定着および折曲げ加工の問題点を克服する手段としては、現在のところ、機械式定着工法のほかに見いだせない。

機械式定着工法は、国交省告示第594号第4の第四号のただし書き規定「当該構造部分の実況に応じた加力実験によって、耐力、靱性及び付着に関する性能が当該構造部分に関する規定に適合する部材と同等以上であることが確認された場合にあっては、この限りでない」に基づき、第三者機関の技術評価を取得した場合、法的に使用できる。

機械式定着工法による梁、柱主筋の定着長さは、RC計算規準17条²⁾では、信頼できる定着具を鉄筋端に設ける場合、折曲げ定着による投影定着長さと同じにできるとしている。

以上の背景より、鉄筋メーカー等が開発する機械式定着工法については、それぞれの定着金物を用いた実験によって、その妥当性を検証し、第三者機関の技術評価を取得している。

第三者機関の技術評価を取得した機械式定着工法は、現在、表2の14工法である。同表の工法名は、技術評価取得年次の古い順に記載されており、技術評価取得後、新たな技術開発が行われていない工法には、使用されていないものもある。

表2 技術評価取得の機械式定着工法

工法名	技術評価・取得者
竹中鉄筋コブ定着法	(株)竹中工務店
プレートナット工法	東京鐵鋼(株)
タフ定着工法	共英鐵鋼(株)
Tヘッド鉄筋工法	第一高周波工業(株)ほか1社
EG定着板工法	合同製鐵(株)ほか3社
MZプレート構法	前田建設工業(株)ほか1社
オニプレート定着工法	(株)伊藤製鐵所
スクリューププレート工法	朝日工業(株)
FRIP定着工法	(株)伊藤製鐵所
マイティヘッド工法	清水建設(株)
ネジコン定着工法	(株)神戸製鋼所
DBヘッド定着工法	(株)ディビーエス
DSネジプレート定着工法	ダイワスチール(株)ほか1社
Head-bar(ヘッドバー)定着工法	VSLジャパン(株)ほか1社

(注) VSLジャパン(株)は、ブイ・エス・エル・ジャパン(株)の略称

文献 6) の設計指針は、いずれの技術評価取得工法の定着金物にも適用できるようにすることを基本とし、種々の実験研究成果を基に作成されている。同設計指針では、梁、柱主筋が定着される基本的なト形、T形、L形接合部の設計法は、概ね確立されている。しかし、実務設計でしばしば遭遇する特殊形接合部(段差梁付き柱梁接合部、上下柱絞りのある柱梁接合部や最下階柱・基礎梁接合部など)の合理的な設計法の構築が今後の課題として残されている。

配筋設計施工・品質保証要件

RC 配筋指針¹⁾の昭和 54 年版のまえがき「3. 本指針案の目的」では、設計図は、単に鉄筋のサイズ・本数・配筋位置のみならず、配筋順序、組立方法などの施工手順、定着・継手の位置や方法、鉄筋の取り合い部の納まりが明示されるべきであると記載されている。

この目的は理想であり、この目的に近付けることが、配筋設計施工・品質保証の基本要件である。配筋設計施工・品質保証の信頼性を高めるためには、前述の特殊形接合部の合理的な設計法の構築も不可欠な課題である。

以上の設計法の構築と相まって、定着金物の品質保証ならびに現場施工の品質保証の体制づくりが必要不可欠である。これらの諸問題の技術的解決方法についても、本連載の第②～⑤回の中で、可能な限り言及したい。

SABTEC 機構の活動

一般社団法人建築構造支援機構(略称:SABTEC 機構)は、平成 23 年 4 月 1 日に設立され、運営は、代表理事を含めた理事 5 名と監事 1 名からなる理事会が行い、現在、会員は、正会員(一般社団法人及び一般財団法人に関する法律で言う社員) 14 名、学術会員 5 名で構成されている。

当機構では、コンクリート系構造技術、特に配筋技術の開発研究の支援業務、検証業務および技術情報サービスを中心に行い、第三者の立場から、技術評価を含めた技術検証を行うために、「建築構造技術審議委員会」を組織している。

建築構造技術審議委員会 委員 (50 音順)

委員長 窪田敏行 近畿大学 名誉教授

委員 岸本一蔵 近畿大学 教授

菅野俊介 広島大学 名誉教授

田才 晃 横浜国立大学大学院 教授

中塚 侑 大阪工業大学 特任教授

三谷 勲 神戸大学 名誉教授

技術評価を行った開発技術については、当機構のホームページ(<https://sabtec.or.jp>)の「新工法のご紹介」ページで評価技術概要を公開している。また、同ページでは、支援業務成果のうち、依頼者の了解が得られた場合、当機構が設計指針等の作成を支援した開発工法の概要も公開している。

平成 23 年度の受託件数は、技術支援受託業務 13 件、検証業務(技術評価)4 件である。

当機構では、支援業務、検証業務での高いニーズにお応えできるように、独自研究にも取り組んでいる。主な研究テーマは、コンクリート系構造技術、特に、“配筋設計施工の品質保証”に係わる諸問題である。目下、実務設計、施工への適用性が高い、機械式定着工法の設計手法の構築を目指している。これらの独自研究の成果は、今後の支援業務、検証業務に活かすことにしている。

技術評価を行った工法概要および独自研究の成果についても、本連載の中で、適宜、ご紹介したい。

謝辞

SABTEC 機構設立 1 年目にも係わらず、理事・監事、委員、会員をはじめとし、関係者の皆様方から、当機構の活動に対し、多くのご支援を頂きました。ここに記して、厚く御礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説、2010
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、2010
- 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、10 節 鉄筋工事、pp. 308-344、2009
- 4) 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
- 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接合部配筋詳細の手引き、2010. 5
- 6) 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