

機械式鉄筋定着工法設計指針の概要

Summary of Design Guideline of R/C Beam-Column Joint Using Mechanical Anchorages

益尾 潔^{*1}、窪田 敏行^{*2}

■ はじめに

近年、第三者機関による技術評価を取得した機械式定着工法が定着金物の製造者等の工法開発者によって提案されている。工法開発者が提案する設計指針には、自社の定着金物を用いた開発実験の範囲に基づいていることなどに起因し、細部に異なる規定が存在する。鉄筋端定着部を含む柱梁接合部のように、複合的な応力が狭い領域で急激に変化する構造では、影響要因を変化させた多くの実験結果に依存しなければ統一的な設計法が構築できないので、このような開発期における事態はやむを得ない。

(財)日本建築総合試験所が組織した機械式鉄筋定着工法研究委員会では、コンクリート系構造物の設計、施工に寄与することを意図し、これまでに第三者機関の技術評価を取得した定着金物を用いた実験結果を整理分析した研究成果を2003年度報告¹⁾として公表した。これらの研究成果を基に、第三者機関の技術評価を取得した定着金物であれば、いずれの定着金物にも適用可能な機械式定着工法設計指針²⁾を2006年1月に発行した。本稿では、同設計指針の概要を紹介する。

1. 機械式定着工法の概要

1.1 工法の特徴

鉄筋の高強度化や太径化に伴い、折曲げ定着工法では、曲げ加工が困難であったり、定着長さが長くなるなど、配筋施工上の問題が生じる。

折曲げ定着工法におけるこのような施工上の課題に対し、機械式定着工法は、1970年代前半に、RC造超高層建物の実現に向けて本格的な開発が開始された^{3), 4)}。機械式定着工法によると、鉄筋の折曲げ加工が不要であるため、配筋施工や寸法精度の確保が容易になり、折曲げ定着における施工上の問題が解消される。

プレキャスト鉄筋コンクリート造建物における機械式定着工法による配筋施工例を写真-1に示す。

1.2 定着金物の分類

初期の機械式定着工法では、異形鉄筋の先端に定着板を溶接したり、ねじ節鉄筋に定着板を両側からナットではさみ込んで固定していた^{3), 4)}。これらは施工に手間がかかり過ぎるため、異形鉄筋の先端を圧接こぶとした定着具⁵⁾やねじ節鉄筋に装着するナットと定着板を一体に鋳造した定着金物^{6), 7)}が考案され、配筋施工が飛躍的に合理



写真-1 機械式定着工法による配筋施工例

^{*1} MASUO Kiyoshi：(財)日本建築総合試験所 試験研究センター 構造部長 工博

^{*2} KUBOTA Toshiyuki：近畿大学理工学部建築学科 教授 工博

化された。その後、類似の定着金物が多数考案され、実験研究が精力的に行われるとともに、各メーカーの機械式定着工法による設計指針が発行され、機械式定着工法は、RC造超高層建物における柱梁接合部での主筋定着を中心に普及しつつある。

現在、第三者機関の技術評価を取得した定着金物は、表-1に示すように、鉄筋節形状および定着具形状によって分類される。定着筋がねじ節鉄筋の場合は、いずれも定着板とナットを一体に鋳造した定着板・ナット一体型としている。通常の異形鉄筋の場合は、鉄筋先端に定着板を接合した定着板単体型と鉄筋先端を拡径した鉄筋先端拡径型があり、前者は鉄筋と定着板の接合方法により、後者は鉄筋先端の拡径の方法によって細分類される。

1.3 機械式定着の基本事項

本設計指針は、鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造およびそれらのプレキャスト造において、2.1節で定める定着金物を用いる端部定着と柱梁接合部の設計に適用する。以下に、機械式定着の基本事項を示す。

(1) 柱梁接合部の分類

柱梁接合部は、図-1に示すように、接続する柱および梁の位置によって、十字形、ト形、T形およびL形接合部に分類され、機械式定着工法は、主としてト形、T形、L形接合部に適用される。ただし、十字形接合部でも、左右梁のせいが異なるか幅が異なり、左右の梁主筋が柱梁接合部に定着される場合には、機械式定着工法を適用できる。

(2) 機械式定着部の抵抗機構

機械式定着工法による定着耐力には、図-2に示すように、付着力と支圧力が寄与する。付着力は、仕口面から定着金物内面までの距離（付着長さ）に支配され、支圧力は、支圧面積および仕口面から定着板内面までの距離（定着長さ）にそれぞれ支配される。

特に、正負交番繰り返し加力を受ける部材では、仕口面で定着筋が引張降伏した後、塑性域が接合部内へ進入し、定着筋に沿う付着力がほぼ定着板内面まで喪失するので、終局状態での定着耐力は、主として定着板内面での支圧力によって支配される⁸⁾。

なお、付着長さは、定着板単体型の場合、図-2に示す

表-1 第三者機関の技術評価を取得した定着金物の分類

分類項目		定着金物記号
鉄筋節形状	定着具形状	
ねじ節鉄筋	定着板・ナット一体型	閉鎖型 PN, SC 貫通型 PN, TN, KN, ON
	定着板単体型	ねじ部結合同型 EG
異形鉄筋	定着筋先端拡径型	摩擦接合同型 FR, MH 圧接こぶ型 TK 高周波拡径型 TH

(注)※：定着板・ナット一体型は、定着板底面の形式によって細分類され、いずれも定着筋と定着金物とは、無機グラウト材または有機グラウト材を充填して接合される。

【定着金物記号の凡例】

EG：EG定着板工法、FR：FRIP定着工法、KN：ネジコン定着工法

MH：マイティヘッド工法、ON：オニプレート定着板工法

PN：プレートナット工法、SC：スクリュープレート工法

TH：Tヘッド鉄筋工法、TK：竹中鉄筋コブ定着工法、TN：タブネジナット工法

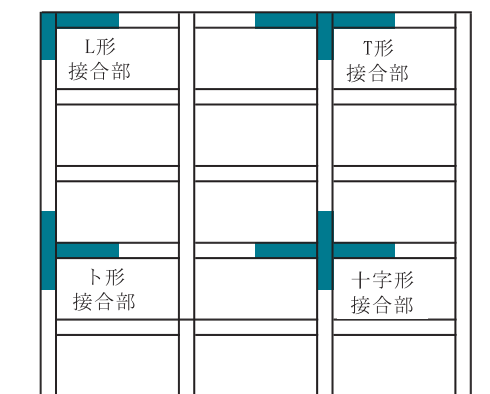
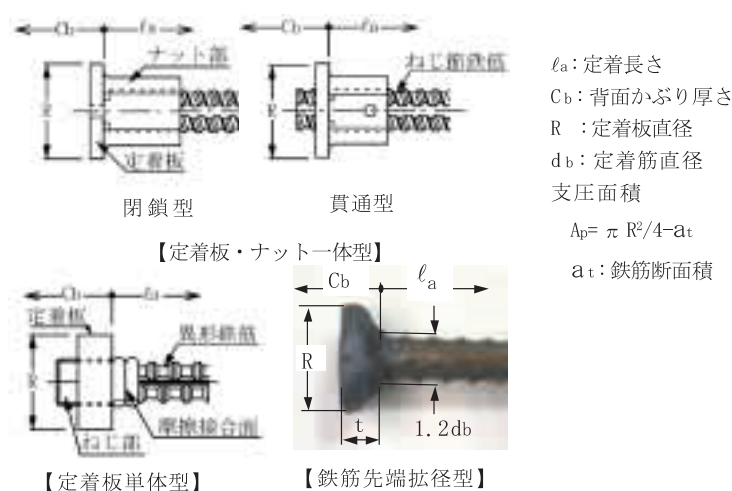


図-1 柱梁接合部の分類

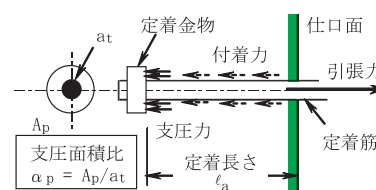


図-2 機械式定着部の抵抗機構

ように、定着長さと同じと定義され、定着板・ナット一体型の場合、図-3に示すように、定着長さよりも短く定

義される（表-1中の添図 参照）。

(3) 機械式定着工法による設計上の留意点

(a) ト形接合部内の梁主筋定着部

機械式定着工法によるト形接合部内の梁主筋定着部は適切に設計されると、図-4に示すように、梁主筋が梁端柱面で引張降伏し、塑性域が接合部内に進入しても、梁主筋自体の引張強度に相当する引張力が定着金物内面に生じる支圧力を介して定着金物周囲のコンクリートに伝達される。これに伴い、設計で要求される梁の曲げ終局耐力と塑性変形能力が確保される⁹⁾。この場合、梁主筋の定着長さをできるだけ長くするとともに、適切な接合部横補強筋を配置し、柱梁接合部内の圧縮ストラットおよび定着金物周囲のコンクリートを拘束することが重要になる。

(b) T形接合部内の柱主筋定着部

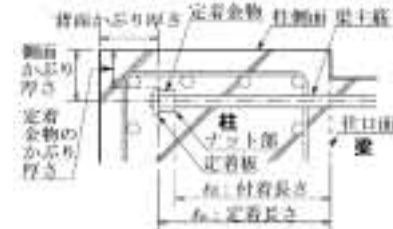
ト形接合部に対し、最上階T形接合部内の柱主筋定着部は、通常、図-5に示すように、柱断面（接合部水平断面）の外周部に配置され、梁幅は柱幅よりも小さいため、最上階柱主筋定着部の応力状態は、ト形接合部内の梁主筋定着部の場合よりも厳しい。これらに起因し、柱主筋を梁下面で引張降伏させるためには、T形接合部横補強筋による拘束は、ト形接合部の場合よりも重要になる^{11), 12)}。

ト形接合部横補強筋は、梁主筋軸と平行に配置されるので、接合部コンクリートの横拘束効果に加え、梁主筋の引張力を直接分担する効果も有するのに対し、T形接合部横補強筋は、柱主筋軸に直交する面に配置されるの

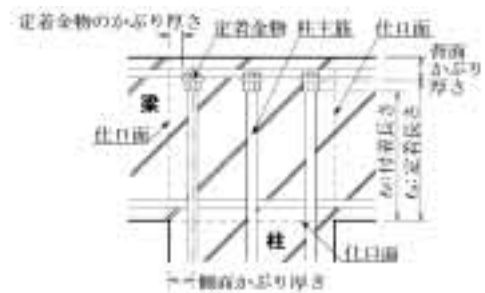
で、専ら柱梁接合部の横拘束に寄与する。

(c) L形接合部の応力状態および破壊形態

最上階のL形接合部については、図-6に示すように、L

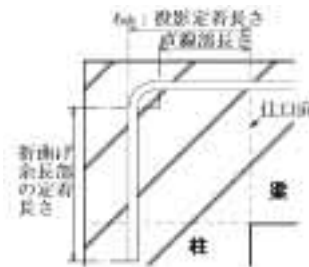


(梁主筋の場合：切断平面図)



(柱主筋の場合：切断立面図)

(a) 定着長さ、付着長さおよびかぶり厚さ



(b) 投影定着長さと折曲げ余長部の定着長さ
(最上階梁上端筋の場合：切断立面図)

図-3 定着部における各部寸法の定義

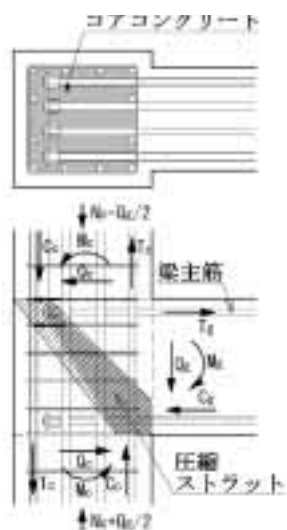


図-4 ト形接合部における
梁主筋定着部の応力状態

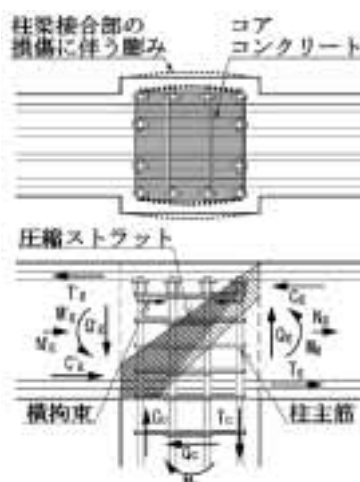


図-5 T形接合部における
柱主筋定着部の応力状態

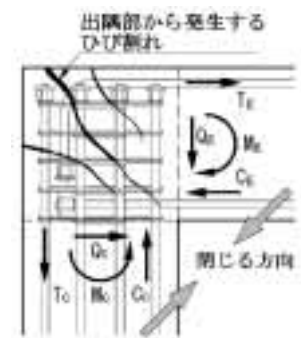


図-6 L形接合部が閉じる力を受
けた時のひび割れ発生状態

形が閉じる方向の力を受けた時、接合部配筋詳細が適切でなければ、出隅部から入隅部にかけて著しいひび割れが発生する¹⁰⁾。このようなひび割れの進展防止のために、最上階外端梁の上端主筋と出隅側の柱主筋との相互間で引張力が確実に伝達されるように、適切な配筋詳細を定める必要がある^{11), 12)}。

2. 本設計指針を適用できる使用材料

2.1 定着金物

定着金物は、下記の品質①、②を満足する第三者機関の技術評価を取得したものとした。

- ①柱梁接合部などの仕口に配置する定着金物は、定着筋母材の規格引張強さに相当する引張力を受けても損傷しないこと。
- ②定着筋が仕口面で長期許容引張応力度および短期許容引張応力度に達しても、それぞれ定着金物と定着筋との嵌合部に有害なすべりが発生しないこと。

品質①は、定着筋母材の引張強度の発現に必要な定着金物自体の強度に関する品質である。品質②は、3章に示す長期荷重時および短期荷重時の目標性能達成を保証するための品質である。本設計指針では、上記の目標性能達成を確認することを意図し、BCJ鉄筋継手性能判定基準¹⁴⁾のA級継手に準じ、定着金物および定着筋との結合部の強度と剛性を規定し、それらの規定を満足することを施工前の検査によって確認することとした。

既製定着金物の定着板直径は、主筋間のあき寸法を考慮し、適合する定着筋直径の2.5倍程度に設定されているので、支圧面積比は5前後になる。支圧面積比 α_p は、支圧面積 A_p を鉄筋断面積 a_r で除した値として定義される(表-1、図-2 参照)。

2.2 その他の使用材料

(1) 鉄筋

本設計指針を適用できる主筋(定着筋)は、SD295A、B～SD490のD41以下の鉄筋とした。表-2に、主筋の上限強度算定用材料強度¹⁵⁾を示す。SD295A、B～SD390についてはAIJ靱性保証型指針¹⁵⁾による値と同じとし、SD490については主なメーカーの製造実績を考慮して $1.15 \sigma_{yo}$ とすることを原則とした。

(2) コンクリート

本設計指針を適用できるコンクリートは、設計基準強度(F_c)が 21N/mm^2 以上かつ 60N/mm^2 以下の普通コンクリートとした。

表-2 主筋の上限強度算定用材料強度

SD295A, B	$1.30 \sigma_{yo}$
SD345, SD390	$1.25 \sigma_{yo}$
SD490	$1.15 \sigma_{yo}$

(注) σ_{yo} : 鉄筋の規格降伏点

(3) 鋼材

本設計指針を適用できるSRC部材用の鋼材は、SN400、SN490、SS400、SM490、SM520とした。

3. 設計の原則

本設計指針で提案する設計法は、機械式定着工法によるト形、T形、L形接合部の実験に基づいて、柱梁接合部および主筋定着に関する終局強度設計を中心に構築されている。4.2節で定める設計条件を満足する柱梁接合部および主筋定着部については、長期荷重時および短期荷重時における下記の目標性能①、②の達成が既往実験によって確認されている¹³⁾。したがって、本設計指針では、終局強度設計を行った柱梁接合部および主筋定着部は、許容応力度設計を省略できるものとした。

- ①仕口面での梁主筋または柱主筋の引張応力が長期許容応力度に達しても、柱梁接合部ならびに仕口面近傍に使用上支障となるひび割れ等の損傷が生じないこと。
- ②仕口面での梁主筋または柱主筋の引張応力が短期許容応力度に達する力を繰り返し経験しても、柱梁接合部ならびに仕口面近傍に過大なひび割れを残留させる等の修復性を阻害する損傷が生じないこと。

本設計指針では、許容応力度設計に関する規定も示しているが、本稿では、紙面の都合上、それらについては言及しない。

4. 終局強度設計の基本原則

4.1 終局強度設計の基本方針

(1) 目標性能と設計区分の設定

ト形、T形およびL形接合部は、それぞれ下記①、②のいずれかの目標性能を定めた上で、4.2節に示す設計条件に応じた設計区分を定めて設計する。

(目標性能)

- ①柱梁接合部は、接続する柱または梁の曲げ降伏を保証する終局耐力を有すること。
- ②柱梁接合部は、接続する柱または梁の曲げ降伏後の十分な変形性能を保証する終局耐力を有すること。

(設計区分)

設計区分Ⅰは、目標性能①の確保を設計目標とする場合である。すなわち、設計区分Ⅰでの設計では、柱または梁の曲げ降伏後における早期の脆性破壊を防止することを意図し、柱梁接合部のせん断終局耐力が柱または梁の曲げ終局耐力によって決定する柱梁接合部の終局強度設計用せん断力を上回ることを保証する。ただし、この場合、柱梁接合部に接続する柱または梁の十分な変形性能は保証されない。

設計区分ⅡおよびⅢは、ともに目標性能②の確保を設計目標とする場合であり、4.2節で定める接合部耐力余裕度 λ_p の値によって、Ⅱは6.2節に示す配筋詳細の緩和規定を適用できない設計区分、Ⅲは同緩和規定を適用してもよい設計区分とした。

柱梁接合部は、靱性保証型指針¹⁵⁾と同様、骨組が降伏機構（メカニズム）を形成して終局限界変形に至るまで破壊しないように設計することを基本とし、設計区分Ⅰ～Ⅲのいずれかを設定する。目標性能①、②と設計区分Ⅰ～Ⅲの関係を図-7に示す。

骨組が終局限界変形に達しても、柱および梁の材端部に過大な塑性変形が生じなければ、設計区分Ⅰを適用し、それ以外の場合には設計区分ⅡまたはⅢを適用する。

骨組の終局限界変形時に、柱および梁の材端部に過大な塑性変形が生じない最上階のT形およびL形接合部には、設計区分Ⅰを適用できる。ただし、セットバック階の屋上に配置されるT形およびL形接合部については、設計区分ⅡまたはⅢの適用が必要になる場合がある。また、骨組の終局限界変形時に梁端部に大きな塑性変形が生じる恐れがあるト形接合部については、設計区分ⅡまたはⅢが適用される。

以上の設計区分の設定は、設計建物の地震応答性状ならびに目標とする耐震性能を考慮し、設計者が判断すべき事項である。

(2) 設計区分Ⅱ、Ⅲでの目標性能達成の確認

設計区分ⅡまたはⅢの設計条件および構造規定を満足する場合、梁曲げ降伏型のト形、L形部分架構の限界層間変形角実験値 R_{80} は(1/25)以上となり、柱曲げ降伏型のT形部分架構の R_{80} は(1/33)以上となることがそれぞれ実験によって確認されている^{9), 11), 12)}。

上記の R_{80} は、耐力が最大耐力の80%に低下した時の層間変形角実験値であり、それぞれ靱性保証型指針¹⁵⁾に示された梁および柱の終局限界状態での部材変形角の目安

λ_p ：式(1.1)～式(1.3)中の接合部耐力余裕度

λ_{p2} ：設計区分Ⅱにおける接合部耐力余裕度の下限値

λ_{p3} ：設計区分Ⅲにおける接合部耐力余裕度の下限値

λ_{p2} および λ_{p3} の値は、表-3による。

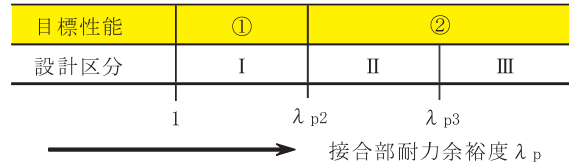


図-7 目標性能と設計区分の関係

値(1/50および1/67)の2倍となる。

以上より、設計区分ⅡまたはⅢの設計条件および構造規定を満足する梁曲げ降伏型のト形、L形部分架構ならびに柱曲げ降伏型のT形部分架構は、設計上、十分な変形能力を有すると判断される。

(3) 柱、梁の降伏型の設定

柱または梁の曲げ降伏後の十分な変形性能が実験で確認された破壊形式は、ト形接合部では梁曲げ降伏型、T形接合部では柱曲げ降伏型、L形接合部では梁曲げ降伏型であるので、これらの降伏型をそれぞれ設計目標とすることを原則とした。

ただし、L形接合部については、梁曲げ降伏型であっても、十分な変形性能が実験で確認された試験体の正加力時の柱梁耐力比 cQ_{cu}/cQ_{gu} は概ね1.5程度以上であるので、十分な変形性能確保のためには、正加力時に $cQ_{cu}/cQ_{gu} \geq 1.5$ とし、梁曲げ降伏を確実に実現させることが望ましい。 cQ_{cu} および cQ_{gu} は、それぞれ式(2.6)および式(2.7)で求められる柱曲げ降伏時および梁曲げ降伏時の柱せん断力である。

柱曲げ降伏型L形接合部については、既往実験によると、柱端梁下面での柱主筋の引張降伏後、柱梁接合部への柱主筋の塑性域の進入に伴い、接合部コア内の柱主筋定着部が顕著な支圧破壊を起こす恐れがある。すなわち、柱曲げ降伏型L形接合部における終局時の応力状態は、変形性能確保の点で、梁曲げ降伏型の場合よりも厳しい。これらのことから、図-8に示すように、定着スタブを配置した場合に限って、柱曲げ降伏型のL形接合部としてもよいとした。

4.2 柱梁接合部の設計条件

(1) ト形接合部

ト形接合部は、梁曲げ降伏先行型とすることを原則としているので、水平方向の接合部せん断力について検定を行うこととした。また、梁主筋の定着長さ ℓ_a は、柱せ

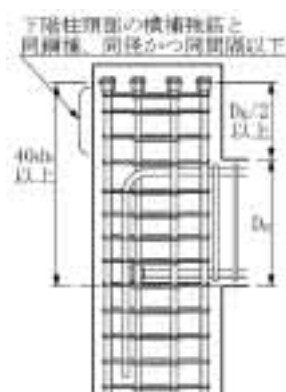


図-8 定着スタブを設けたL形接合部の配筋詳細

い D_c の(3/4)倍以上とすることを基本とし、7.1節(1)で定める梁主筋側面剥離定着耐力によって決まる必要定着長さ ℓ_{ao} 以上とすることを前提とした。この前提条件を満足する場合、式(1.1)の条件を満足するように設計する。

$$V_{puh} > \lambda_p \cdot V_{muh} \quad (1.1)$$

これに対し、定着長さ ℓ_a が柱せい D_c の(3/4)倍未満の場合には、梁主筋掻き出し定着耐力時の接合部せん断力 V_{cu} を考慮した式(1.2)の条件を満足するように設計する。掻き出し定着破壊は、主として梁主筋の定着長さが短い場合に起こる破壊形式であり、機械式定着工法による掻き出し定着耐力は、折曲げ定着を対象にした靱性保証型指針に示された算定式を準用して安全側に評価されることが確認されている⁹⁾。

また、 D_c の(3/4)倍以上の場合でも引張柱軸力を受ける場合、梁主筋掻き出し定着耐力は、圧縮柱軸力を受ける場合よりも低下する恐れがあるので、この点を考慮し、式(1.2)の条件を満足しなければならないとした。

$$\min(V_{puh}, V_{cu}) > \lambda_p \cdot V_{muh} \quad (1.2)$$

V_{muh} ：式(2.1)によるト形接合部の水平方向の終局強度設計用せん断力

V_{puh} ：式(3.1)によるト形接合部の水平方向のせん断終局耐力

V_{cu} ：式(4.5)による梁主筋掻き出し定着耐力時の接合部せん断力

λ_p ：接合部耐力余裕度

(2) T形およびL形接合部

T形およびL形接合部については、既往実験に基づいて6.2節、7.2節および7.3節の構造規定を定め、柱梁接合部のせん断終局耐力 V_{puh} 、 V_{puv} がそれぞれ柱または梁の曲げ終局耐力によって決まる柱梁接合部の終局強度設計用

表-3 接合部耐力余裕度 λ_p の下限値

	設計区分		
	I	II	III
ト形接合部	1.0	1.1	1.4
T形接合部	1.0	1.3	1.9
L形接合部	1.0	1.2	1.5

せん断力 V_{muh} 、 V_{muv} を上回るように、式(1.3)に従い設計することとした¹¹⁾。

$$V_{puh} > \lambda_p \cdot V_{muh}, \text{ かつ } V_{puv} > \lambda_p \cdot V_{muv} \quad (1.3)$$

V_{muh} 、 V_{muv} ：式(2.3)によるT形、L形接合部の水平方向と鉛直方向の終局強度設計用せん断力

V_{puh} 、 V_{puv} ：式(3.1)によるT形、L形接合部の水平方向と鉛直方向のせん断終局耐力

λ_p ：接合部耐力余裕度

(3) 接合部耐力余裕度の設定

設計区分ごとの接合部耐力余裕度 λ_p は、表-3に示した下限値以上の値とした。これらの下限値は、既往実験の検証結果^{9), 11), 12)}に基づいて、それぞれ目標性能が達成されるように定めた。

5. 柱梁接合部の終局強度設計用せん断力

(1) ト形接合部

ト形接合部の場合、図-9(a)に示す応力状態を考慮すると、終局強度設計用せん断力 V_{muh} は式(2.1)で求められる。

$$V_{muh} = \xi_h \cdot Q_{cu} \quad (2.1)$$

$$Q_{cu} = cQ_{gu} = (M_{guo}/\ell_o) \cdot (\ell/h) \quad (2.2)$$

(2) T形およびL形接合部

T形およびL形接合部の場合、水平方向と鉛直方向の終局強度設計用せん断力 V_{muh} 、 V_{muv} は、図-9(b),(c)に示す応力状態を考慮すると、それぞれ式(2.3)で求められる¹¹⁾。式(2.6)、式(2.7)中の符号は、L形が閉じる正加力時には－、L形が開く負加力時には＋とする。

$$V_{muh} = \xi_h \cdot Q_{cu}/2, \quad V_{muv} = \xi_v \cdot Q_{cu}/2 \quad (2.3)$$

$$Q_{cu} = \min(cQ_{cu}, cQ_{gu}) \quad (2.4)$$

【T形接合部】

$$cQ_{cu} = 2M_{cuo}/h_o,$$

$$cQ_{gu} = 2\{(M_{guo} + M_{guo}')/\ell_o\} \cdot (\ell/h) \quad (2.5)$$

【L形接合部】

$$cQ_{cu} = 2M_{cuo}/(\eta_c \cdot h_o),$$

$$\eta_c = 1 \mp (j_{tco}/h_o) \cdot (h/\ell) \quad (2.6)$$

$$cQ_{gu} = \{2M_{guo}/(\eta_g \cdot \ell_o)\} \cdot (\ell/h),$$

$$\eta_g = 1 \mp (j_{tg}/\ell_o) \cdot (\ell/h) \quad (2.7)$$

$$\xi_h = (h/\ell) \cdot (\ell_o/j_{tg}) - 1,$$

$$\xi_v = (h_o/j_{tco}) - h/\ell \quad (2.8)$$

Q_{cu} ：柱梁接合部に接続する柱または梁の曲げ終局耐力時柱せん断力

h ：階高、 $h_o = h - D_g$ ：柱内法高さ、 D_g ：梁せい

ℓ ：スパン長（柱心間距離）、 $\ell_o = \ell - D_c$ ：梁内法スパン長、 D_c ：柱せい

j_{tg} ：梁上下主筋の重心間距離、 j_{tco} ：柱両側最外縁主筋の中心間距離

M_{cuo} ：柱の基準曲げ終局耐力

M_{guo} , M_{guo}' ：左右梁の基準曲げ終局耐力

ト形、T形、L形接合部ともに、柱または梁の曲げ終局耐力時柱せん断力 Q_{cu} は、柱の反曲点位置を階高中央、梁の反曲点位置をスパン中央と仮定し、式(2.2)または式(2.4)で求めることにした。

ただし、L形接合部の Q_{cu} は、式(2.6)、式(2.7)中の

η_c と η_g を用いることで、水平加力時に柱、梁に生じる変動軸力を考慮して算定される。すなわち、L形接合部の場合、柱および梁には、L形が閉じる正加力時に圧縮軸力、L形が開く負加力時に引張軸力がそれぞれ生じるので、これらの点を考慮することとした。なお、L形が閉じる正加力時の M_{guo} は上端引張時の梁の基準曲げ終局耐力とする。

(3) 柱、梁の基準曲げ強度

柱および梁の基準曲げ終局耐力 M_{cuo} , M_{guo} は、図-10に示す応力状態を仮定すると、式(2.9)および式(2.10)より求められる。なお、 M_{guo}' は、式(2.10)に準じて求める。

$$M_{cuo} = (T_{cy} + N_{cL}/2) \cdot j_{tco},$$

$$T_{cy} = T_{cy} + T_{cny}/2 \quad (2.9)$$

$$M_{guo} = T_{gy} \cdot j_{tg} \quad (2.10)$$

T_{cy} ：柱主筋の等価上限引張力

T_{cy} ：柱引張鉄筋の上限引張力

T_{cny} ：柱中段主筋の上限引張力

T_{gy} ：梁引張鉄筋の上限引張力

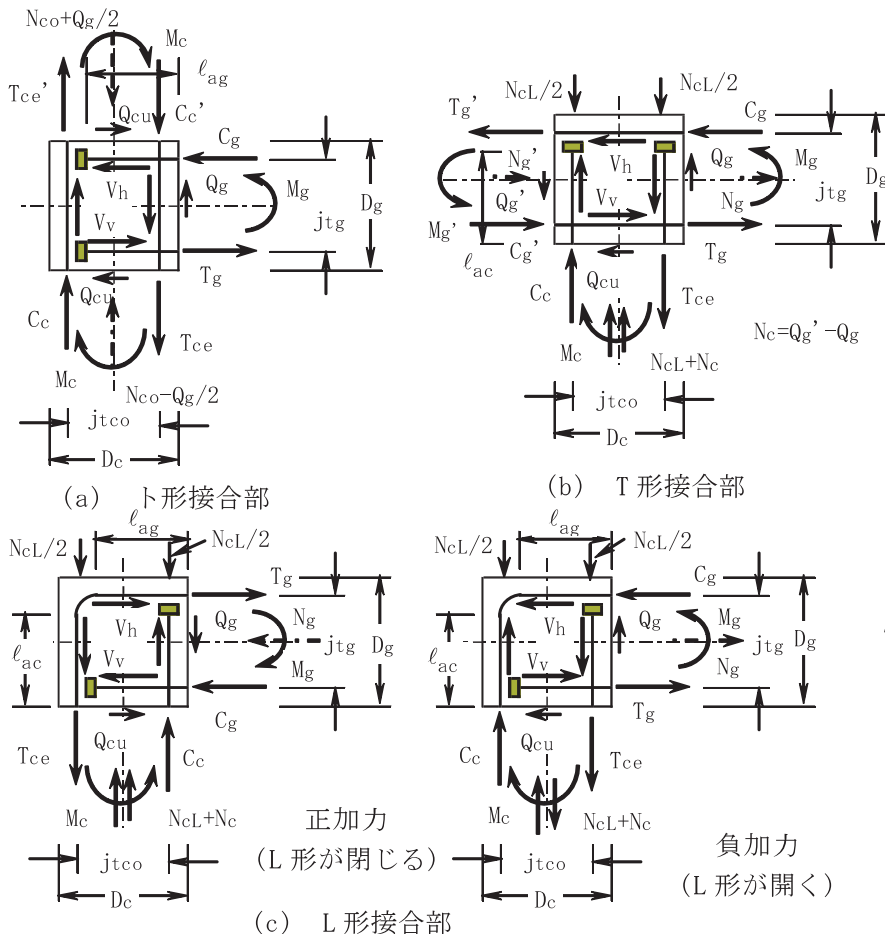


図-9 柱梁接合部の応力状態

(注) 図9(a)中の N_{co} は地震時柱軸力、同図(b), (c)中の N_{cL} は長期柱軸力、 N_c は水平力に伴う変動柱軸力を示す。

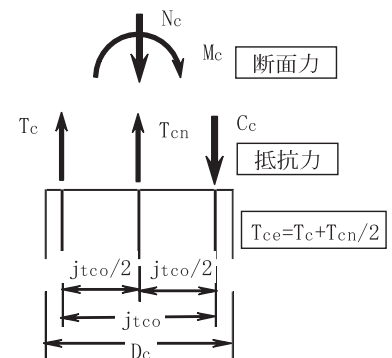


図-10 柱断面での終局時の応力状態

N_{cL} ：長期柱軸力

柱中段主筋は、柱断面最外縁の引張鉄筋と圧縮主筋を除く中央部に配置される全鉄筋を指す。

6. 柱梁接合部のせん断終局耐力および関連規定

6.1 柱梁接合部のせん断終局耐力

柱梁接合部の水平方向および鉛直方向のせん断終局耐力 V_{puh} 、 V_{puv} は、靱性保証型指針¹⁵⁾による算定式に準じ、式(3.1)によって算定する。ただし、ト形接合部の場合、 V_{puv} は算定しなくてもよいとした。

$$V_{puh} = \kappa_u \cdot \phi \cdot F_j \cdot b_j \cdot D_{jh},$$

$$V_{puv} = \kappa_u \cdot \phi \cdot F_j \cdot b_j \cdot D_{jv} \quad (3.1)$$

κ_u ：柱梁接合部の形状係数

(ト形およびT形接合部) $\kappa_u = 0.7$

(L形接合部) 正加力時： $\kappa_u = 0.6$

負加力時： $\kappa_u = 0.4$ (3.2)

正加力時はL形が閉じる方向、負加力時はL形が開く方向にそれぞれ水平力を受ける加力時とする。

ϕ ：直交梁の有無による補正係数

F_j ：コンクリートの基準せん断強度

b_j ：柱梁接合部の有効幅

D_{jh} 、 D_{jv} ：柱梁接合部の水平方向および鉛直方向の有効せい

T形およびL形接合部の水平方向と鉛直方向の有効せい D_{jh} 、 D_{jv} は、図-11に示すように、それぞれ梁および柱主筋の定着長さ ℓ_{ag} 、 ℓ_{ac} を考慮して定めた。

また、ト形およびT形接合部の接合部形状係数 κ_u は、靱性保証型指針と同様、式(3.2)によっている。これに対し、L形接合部の場合、梁曲げ降伏先行型、接合部せん断破壊型ともに、配筋詳細が適切であれば、柱、梁に発生する変動軸力に起因し、L形が閉じる正加力時の終局耐力はL形が開く負加力時の終局耐力よりも大きくなることを考慮し、式(3.2)では、正加力時の κ_u は0.6、負加力時の κ_u は0.4とした⁹⁾¹⁰⁾。

6.2 接合部配筋詳細に関する構造規定

(1) 接合部横補強筋

ト形、T形、L形接合部における接合部横補強筋は、検討する地震力の作用方向に対し、それぞれ表-4に示す構

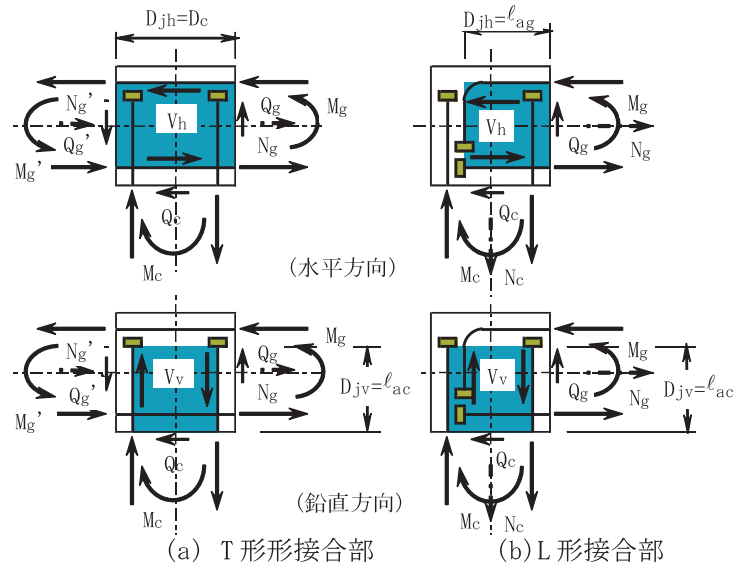


図-11 T形およびL形接合部の有効せい

表-4 接合部横補強筋に関する構造規定

設計区分		I	II		III	
鋼種		SD295以上	SD295以上	785以上	SD295以上	785以上
ト形 接合部	p _{jwh}	0.3%以上	0.3%以上		0.2%以上	
	p _{jwh}	0.6%以上	0.9%以上	0.6%以上	0.6%以上	0.4%以上
T形 接合部	中子筋規定	あり	あり		なし	
	p _{jwh}	0.4%以上	0.6%以上	0.4%以上	0.6%以上	0.3%以上
L形 接合部	中子筋規定	あり	あり		なし	
	p _{jwh}	0.4%以上	0.6%以上	0.4%以上	0.6%以上	0.3%以上

(注) 鋼種欄の785以上は、規格降伏点が785N/mm²以上の高強度鉄筋を示す。

造規定ならびに図-12に示す配筋詳細を満足するものとした。接合部横補強筋比 p_{jwh} は下式による。

$$p_{jwh} = n_h \cdot a_{wh} / (B_c \cdot j_{tgo}) \quad (3.3)$$

B_c ：柱幅、 j_{tgo} ：梁の上下最外縁主筋間距離

n_h ： j_{tgo} 区間内の接合部横補強筋の組数

a_{wh} ：接合部横補強筋1組の断面積

(2) 柱頭補強筋

【設計区分Ⅰの柱頭補強筋】

設計区分Ⅰの場合、T形およびL形接合部には、検討する地震力の作用方向に係わらず、それぞれX、Y両方向ともに、図-13に示す柱頭補強筋比 p_{jwv} が0.3%以上のかんざし筋または p_{jwv} が0.2%以上の鉛直横補強筋を配置する。柱頭補強筋比 p_{jwv} は、式(3.4)による。

$$p_{jwv} = n_v \cdot a_{wv} / (B_c \cdot j_{tco}) \quad (3.4)$$

B_c ：柱幅、 j_{tco} ：柱の両側最外縁主筋間距離

n_v ： B_c 区間内の柱頭補強筋の組数

a_{wv} ：柱頭補強筋1組の断面積

【設計区分Ⅱ、Ⅲの柱頭補強筋】

設計区分Ⅱ、Ⅲの場合、T形およびL形接合部には、検

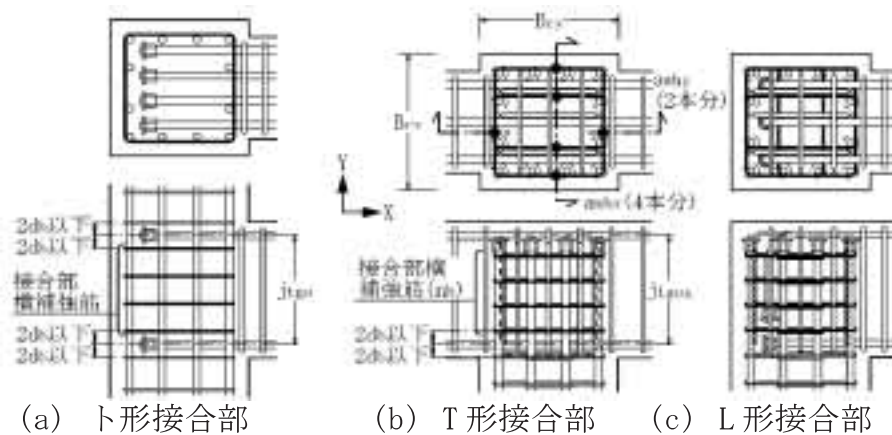


図-12 接合部横補強筋に関する構造規定

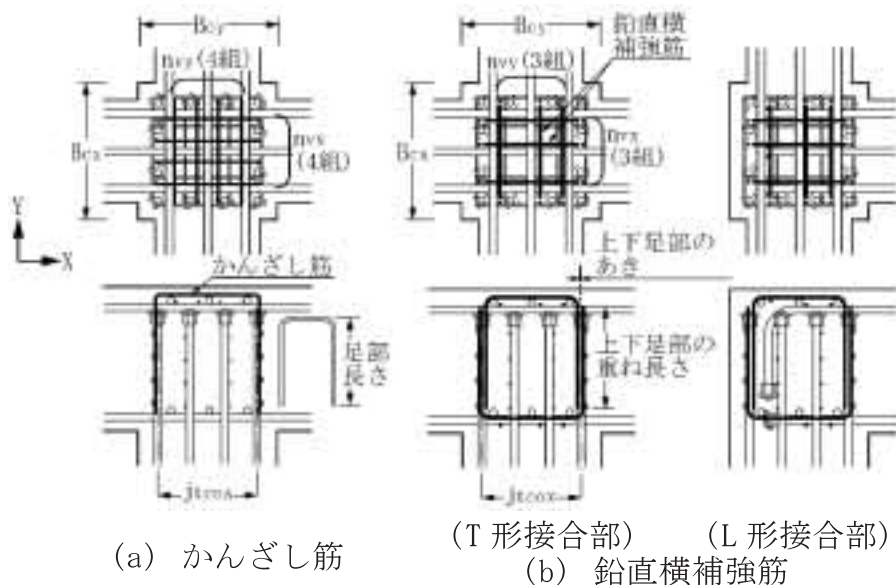


図-13 柱頭補強筋の配筋詳細

討する地震力の作用方向に係わらず、それぞれX、Y両方向ともに、図-13に示す柱頭補強筋比 p_{jwv} が0.6%以上のかんざし筋または p_{jwv} が0.3%以上の鉛直横補強筋を配置する。

ただし、地震力の作用方向に対して、一方が設計区分Ⅰ、他方が設計区分ⅡまたはⅢとなる場合、両方向ともに、設計区分ⅡおよびⅢに対する柱頭補強筋を配置する。

また、かんざし筋および鉛直横補強筋は、D10以上かつSD295A、B、SD345、SD390のいずれかの異形棒鋼とする。

7. 定着設計

7.1 ト形接合部における梁主筋定着部

(1) 梁主筋の側面剥離定着耐力確保のための定着長さ

4.2節では、梁主筋定着部は側面剥離定着破壊を起こさないことを前提とし、ト形接合部の設計条件を定めた。

本項では、上記の前提が成立するように、梁主筋の定着長さ l_a は必要定着長さ l_{ao} 以上かつ $12d_b$ 以上とすることとした。ただし、 l_a は $(3/4)D_c$ 以上を基本とした。 d_b は主筋の呼び名に用いる値、 D_c は柱せいを示す。

また、ト形接合部内の梁主筋定着部について、梁主筋中心からの側面かぶり厚さ C_s は $3d_b$ 以上、定着板内面からの背面かぶり厚さ C_b は $4d_b$ 以上と規定した。

梁主筋の必要定着長さ l_{ao} は、式(4.1)より算定する。同式は、梁主筋の定着長さや鉄筋径の影響を考慮し、いずれの既製定着金物を用いた場合にも側面剥離定着耐力を精度よく評価できる益尾・窪田式⁹⁾を基に導出される。

$$l_{ao}/d_b = \sqrt{\{D_{jg}^2 - 2(j_{tg}/d_b) \cdot S_a\}} - D_{jg} \quad (4.1)$$

$$S_a = 56 - 18.6 \sigma_{sy} / (k_5 \cdot k_6 \cdot \sigma_{auo}) \quad (4.2)$$

$$\sigma_{auo} = (31.2 F_c^{-0.5} - 1.26) \cdot F_c \quad (4.3)$$

$$D_{jg} = 1.17 (j_{tg}/d_b) + 24 \quad (4.4)$$

l_{ao}/d_b : 必要定着長さ比

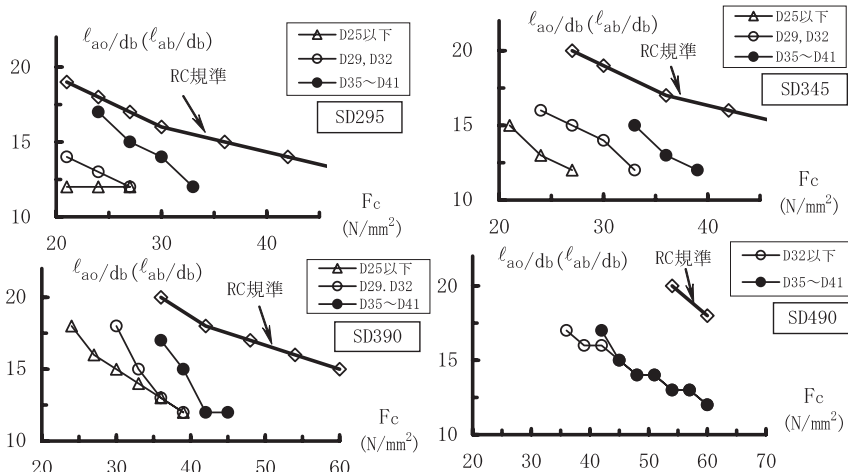


図-14 本指針による必要定着長さ比とRC規準による必要投影定着長さ比の比較

表-5 梁主筋の必要定着長さ比 l_{ao}/db の常用値

鋼種	呼び名	F_c (N/mm ²)															
		21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60		
SD295	D25以下	12															
	D29, D32	14	13														
	D35~D41	—	17	15	14												
SD345	D25以下	12															
	D29, D32	15	13														
	D35~D41	—	18	15	13												
SD390	D25以下	—	18	16	15	14	13										
	D29, D32	—	18	15	13												
	D35~D41	—	—	—	—	17	15										
SD490	D25以下	—	—	18	17	16	15	14	13	12							
	D29, D32	—	—	—	17	16	15	14	13	12							
	D35~D41	—	—	—	—	17	15	14	13	12							

(注) 上表中の l_{ao}/db の常用値は、 $p_{jwh}=0.3\%$ として求めた値である。

σ_{sy} ：梁主筋の上限強度算定用材料強度

σ_{auo} ：基本支圧強度 (N/mm²)

F_c ：コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)

k_s ：接合部横補強筋比 (p_{jwh}) による補正係数

k_6 ：定着筋直径 (db) による補正係数

db ：主筋の呼び名に用いる値 (db ：mm)

D_c ：柱せい、 j_{ig} ：梁上下主筋の重心間距離

表-5に、関連諸元の値を安全側に定め、梁主筋の鋼種と呼び名 (D25~D41) およびコンクリートの設計基準強度 F_c を変化させて求めた梁主筋の必要定着長さ比 l_{ao}/db を呼び名に応じた3グループにまとめた中で、大きい方の呼び名に対する l_{ao}/db の値を常用値として示した。

図-14に、RC規準¹⁰⁾による必要投影定着長さ比 l_{ab}/db との比較を示す。RC規準による場合には $\sigma_t = f_{ta}$ (短期許容引張応力度) とし、RC規準の適用対象外のSD490の場合も $\sigma_t = 490\text{N/mm}^2$ とした。また、本設計指針およびRC規準による場合ともに、梁主筋中心からの側面かぶり厚

さは $3db$ とした。

同図において、 l_{ao}/db または l_{ab}/db のプロット値を結ぶ同一線上での F_c の最小値は、該当する鉄筋鋼種に対して利用できる最小値を表す。RC規準の場合、17条の解説に従い、投影定着長さの増大による定着耐力の上昇効果の上限を $l_{ab}/db = 20$ とし表示している。

同図によると、いずれの鋼種も、本指針による必要定着長さ比 l_{ao}/db は、同一 F_c に対するRC規準による必要投影定着長さ比 l_{ab}/db よりも小さ

く、細径鉄筋の場合、両者の差は大きい。また、SD295 およびSD345の場合、呼び名がD35~D41の太径鉄筋に対して利用できる本設計指針による F_c の最小値は、RC規準による場合よりも大きい。この点は、定着筋直径による補正係数 k_6 の算定式より、低強度コンクリートに対しては、太径鉄筋の側面剥離定着耐力時の支圧強度が細径鉄筋の場合よりも小さく評価されることに起因する。

(2) 梁主筋掻き出し定着耐力時接合部せん断力

梁主筋掻き出し定着耐力時の接合部せん断力 V_{cu} は、式 (4.5) に示すように、掻き出し定着耐力 T_{cu} に換算係数 ζ_h を乗じて求められる。また、掻き出し定着耐力 T_{cu} は、定着長さが短い梁主筋を対象とした靱性保証型指針¹⁵⁾ に示された算定式によって求められる。

$$V_{cu} = \zeta_h \cdot T_{cu} \quad (4.5)$$

$$\zeta_h = 1 - (\ell/h) \cdot (j_{ig}/\ell_o) \quad (4.6)$$

既往の実験値と照らし合せて上式の妥当性を検討した結果⁷⁾、柱軸圧縮応力度 σ_o の効果を柱軸力比 $\sigma_o/F_c = 0.2$ で頭打ちして評価することにした。また、実験値との整合性を考慮し、コンクリートの設計基準強度 F_c に応じて横補強筋の降伏強度 σ_{wy} の値を制限した。

7.2 T形、L形接合部における柱主筋定着部

T形およびL形接合部における柱主筋は、**表-6**に示す必要定着長さ以上かつ $(3/4) D_g$ 以上の定着長さを確保するものとした。また、コンクリートの設計基準強度 F_c の適用範囲を鉄筋鋼種に応じて制限するとともに、柱主筋中心からの側面かぶり厚 C_s は $3db$ 以上、定着板内面からの背面かぶり厚 C_b は $4db$ 以上と規定した。 db は柱主筋の呼び名に用いる値、 D_g は梁せいを示す。

表-6 柱主筋の必要定着長さ

設計区分		
I	II	III
16db	18db	

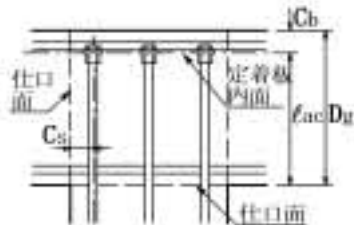
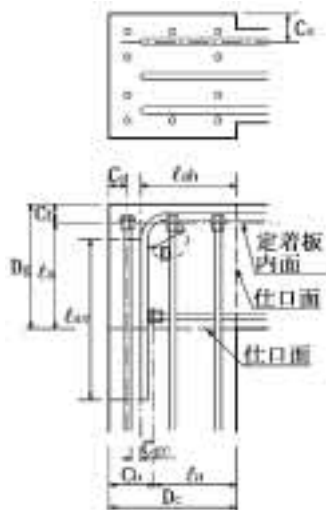
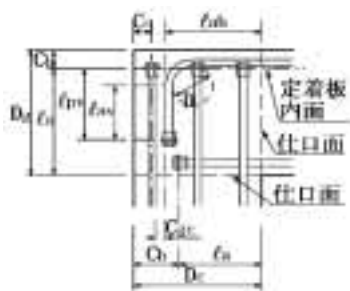


図-15 柱主筋の定着長さ



(a) 余長部タイプ A



(b) 余長部タイプ B

図-16 L形接合部における梁主筋定着

7.3 L形接合部における梁主筋定着部

(1) 梁上端筋

- ① 投影定着長さ ℓ_{ah} は、 $16d_b$ 以上かつ $(3/4) D_c$ 以上とする。
- ② 梁上端筋余長部と柱主筋との側面投影あき C_{gc} は、 $0.2 \ell_{av}$ 以下とする。
- ③ 梁上端筋の折曲げ内法直径 D は、JASS 5 による。
(余長部タイプA)

余長部折曲げ終点からの定着長さ l_{av} は、式 (4.7) による必要定着長さ以上とする。ただし、30dB 未満としてはならない。

$$\ell_{\text{avo}} = \sigma_{\text{yo}} \cdot \mathbf{d_b} / (4f_a) \quad (4.7)$$

 σ_{y0} : 梁上端筋の規格降伏点

f_a :鉄筋のコンクリートに対する短期許容付着応力度
(余長部タイプB)

余長部折曲げ終点からの定着長さ ℓ_{av} は 10db 以上とし、
梁上端筋余長部と柱主筋との重ね長さ ℓ_{pv} は 12db 以上と
する。

(2) 梁下端筋

- ①定着長さ l_a は、16db以上かつ $(3/4) D_c$ 以上を基本とし、式(4.1)による必要定着長さ以上とする。ただし、 $l_a < (3/4) D_c$ の場合、下式の条件を満足するものとする。

$$T_{cu} > \sigma_{sy} \cdot \Sigma at \quad (4.8)$$

T_{cu} : 梁下端筋の掻き出し定着耐力

σ_{sy} , Σat : 梁下端筋の上限強度算定用材料強度および断面積の総和

- ②定着板内面からの背面かぶり厚さ C_b は $4d_b$ 以上とする。

また、梁上端筋および梁下端筋ともに、7.2項と同様、コンクリートの設計基準強度 F_c の適用範囲を鉄筋鋼種に
応じて制限するとともに、梁主筋中心からの側面かぶり
厚さ C_s は $4d_b$ 以上と規定した。

dbは梁主筋の呼び名に用いる値、Dcは柱せいを示す。

■ おわりに

本設計指針²⁾は、実験的知見に基づくことを基本とし、従来の折曲げ定着では未解明な事項が多い最上階のT形およびL形接合部についても、実験的知見に基づく信頼性の高い設計法を提示している。実務設計での活用を期待するものである。

本設計指針に規定する柱頭補強筋等の適用対象は、第三者機関の技術評価を取得した定着金物としていたともに、適用に際してのルールを定めているので注意されたい。

〔謝辭〕

本設計指針は、(財)日本建築総合試験所が組織した機械式鉄筋定着工法研究委員会の成果として取りまとめたものである。ここに記して、委員各位に感謝の意を表します。

機械式鉄筋定着工法研究委員会

委員長：窪田敏行、幹事：益尾潔
 委員：菅野俊介、今井弘、中塚信、田才晃
 白沢吉衛、小林勝一、角彰、珍坂茂規、辻幸二
 西村勝尚、山本憲一郎、渡辺勲
 メーカー側委員：宇都宮武也、大橋茂信、小方智寿、塩川英世
 高岸正章、中村一彦、松崎寿、三谷芳弘

【参考文献】

- 1) 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研究委員会2003年度報告（研究資料編），2004.3.
- 2) 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，2006.1.
- 3) 別所，岡本，吉田：はり定着法に関する実験的研究－20階建鉄筋コンクリート造ビルの開発－，鹿島建設技術研究所報，第21号，pp.529-544，1973.6.
- 4) 山口，菅野，東端，長嶋，岸田：RC柱・はり接合部におけるはり主筋の定着法に関する研究－ト型接合部での確認実験－，竹中技術研究報告，第20号，pp.18-44，1978.10.
- 5) 村井，岡本，菅野，堀川，宮本，上村：端部にコブを設けた梁主筋の柱・梁接合部内における定着性能に関する実験的研究（その1），（その2），日本建築学会大会梗概集，構造Ⅱ，pp.259-262，1993.9.
- 6) 小西，加藤，別所：特殊定着金物を用いたRC造梁主筋定着法に関する実験的研究，JCI年次論文報告集，Vol.17，No.2，pp.1195-1200，1995.6.
- 7) 太田，窪田，福田，村上，池山：機械式定着の引抜試験による耐力（その1）～（その2），日本建築学会大会梗概集，構造Ⅳ，pp.527-530，1999.9.
- 8) 村上，藤，窪田：引き抜き試験によるはり主筋の機械式定着耐力の評価，コンクリート工学論文集，第8巻，第2号，pp.1-10，1997.7.
- 9) 益尾，窪田：機械式定着工法によるRC造ト形接合部の終局耐力に関する設計条件，日本建築学会構造系論文集，第590号，pp.87-94，2005.4.
- 10) 下中，崔，内田，藤井：鉄筋コンクリートT字型，L字型柱・梁接合部のせん断耐力，JCI年次論文報告集，Vol.19，No.2，pp.1023-1028，1997.
- 11) 益尾，井上，岡村：機械式定着工法によるRC造T形およびL形柱梁接合部の終局耐力に関する設計条件，日本建築学会構造系論文集，第590号，pp.95-102，2005.4.
- 12) 井上，足立，益尾，松崎：スクリーブプレート工法によるRC造T形およびL形部分架構に関する実験，GBRC No.121，pp.14-23，2005.7.
- 13) 井上，足立，益尾：機械式定着工法によるト形，T形，L形接合部のひび割れ損傷の評価（その1）～（その3），日本建築学会大会梗概集，構造Ⅳ，pp.269-274，2005.9.
- 14) 日本建築センター：2001年版建築物の構造関係技術基準解説書「鉄筋継手性能判定基準」，pp.128-134.
- 15) 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 8章 柱梁接合部の設計，pp.241-277，1999.
- 16) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，一 許容応力度設計法－，15条梁・柱および柱梁接合部のせん断補強，pp.133-169，17条定着，pp.189-202，1999.