

RC構造設計指針(2017年)の改定内容

益尾 潔◎一般社団法人建築構造技術支援機構 代表理事

2014年版発刊後に明らかになった課題とその対策

2014年版発刊後、機械式定着工法の適用事例から明らかになった課題の一つは、接合部横補強筋比 p_{jwh} に対する直交梁効果の評価によって検定結果に差異が生じる点である。

その対策として、RC構造設計指針(2017年)¹⁾では、10章(1)2)の置換え方式の場合、ト形、T形、L形、十字形接合部ともに、地震力方向ごとの p_{jwh} は、0.3%以上とするか、7.1節(1)1)と同様、4.1節(1)による設計区分IまたはIIに応じ、指針式(7.1)の必要横補強筋比 p_{jwh0} 以上かつ0.2%以上としてもよいとし、接合部横補強筋比 p_{jwh} の選択肢を増やした。

本稿では、2017年版の改定根拠の実験について概説し、2014年版からの2017年版の改定内容について紹介する。

2017年版の改定根拠とした実験

(接合部横補強筋量に関する実験)

◎ト形接合部実験

普通強度材料と高強度材料を用いたト形接合部¹⁾の耐力安全率 gQ_{max}/gQ_{mu} - 接合部耐力余裕度 gQ_{ju}/gQ_{mu} 関係を図1に示す。 gQ_{max} は最大耐力実験値、 gQ_{ju} は接合部終局耐力時梁せん断力、 gQ_{mu} は梁曲げ終局耐力時せん断力である。図1中、○は高強度材料を用いたねじ鉄筋型定着金物(67体)、◆は円形定着板型定着金物(6体)、○は普通強度材料を用いた直交梁なし(92体)の実験結果を示す。

図1によると、普通強度材料、高強度材料にかかわらず、 gQ_{max} は、 $gQ_{ju}/gQ_{mu} \geq 1$ では梁曲げ終局耐力時せん断力 gQ_{mu} をおおむね上まわり、 $gQ_{ju}/gQ_{mu} < 1$ では接合部終局耐力時梁せん断力 gQ_{ju} を上まわる。

これらより、ト形接合部の場合、普通強度材料では $\lambda_p \geq 1.0$ 、高強度材料では $\lambda_p \geq 1.1$ の場合、所定の梁主筋定着長さ l_{ag} とすれば、本指針で定めるせん断終局耐力が確保される。ここで、 $\lambda_p = gQ_{ju}/gQ_{mu}$ とする。

図1と同一試験体の $R_{80} - gQ_{ju}/gQ_{mu}$ 関係を図2に示す。 R_{80} は最大耐力 gQ_{max} の80%耐力低下時の限界層間変形角実験値であり、図2中には、普通強度の R_{80} の実験値を基に、接合部耐力余裕度($\lambda_p = gQ_{ju}/gQ_{mu}$)で決定する限界層間変形角 R_{80a} を示した。図2によると、 gQ_{ju}/gQ_{mu} にかかわらず、 R_{80} は R_{80a} 前後の値である。ただし、ばらつきが大きい。

そこで、梁曲げ降伏後の接合部せん断破壊型となる機械式定着による普通強度材料(21体)および高強度材料(24体)を用いたト形接合部の $R_{80}/R_{80a} - p_{jwh} \cdot \sigma_{wy}/\sigma_B$ 関係を図3、 $R_{80} - R_{80min}$ 関係を図4に示す。

$p_{jwh} \cdot \sigma_{wy}/\sigma_B$ は接合部横補強筋量、 σ_{wy} は接合部横補強筋の実降伏強度、 σ_B はコンクリート実圧縮強度、 R_{80min} は式(指針4.2)で定義した保証限界層間変形角である。

図3には、直交梁なしと片側、両側直交梁付きの実験値を示す。図3を基に、本指針では、式(指針4.2)で用いる R_{80a} の算定式および補正係数 α_{u0} 、 β_w を指針表2で定めている。

図4によると、普通強度、高強度材料にかかわらず、 R_{80} は R_{80min} の0.8倍程度以上となる。指針表1より、設計限界層間変形角 R_{ud} (設計区分II)を1/50、安全率 $\phi_s = 2$ とし、式(指針4.2)で保証限界層間変形角 R_{umin} が求められる。すなわち、 $\phi_s = 2 \times 0.8 = 1.6$ とすると、 $R_{umin} = 1.6 \times 1/50 = 3.2/100$ となり、設計で保証すべき変形性能が確保される。

これらより、普通強度、高強度材料にかかわらず、本指針7.1節で接合部必要横補強筋比を定めることとした。

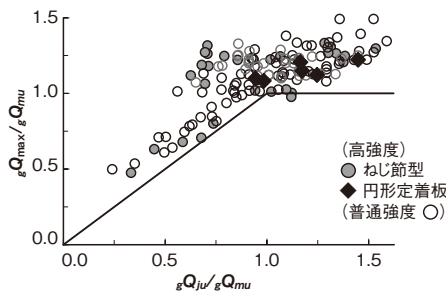


図1 ト形接合部の $gQ_{max}/gQ_{\mu} - gQ_{ju}/gQ_{\mu}$ 関係

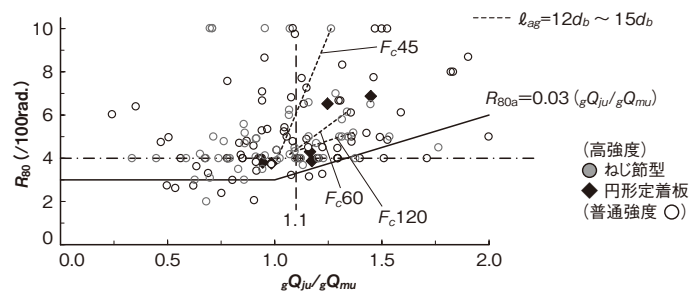


図2 ト形接合部の $R_{80} - gQ_{ju}/gQ_{\mu}$ 関係

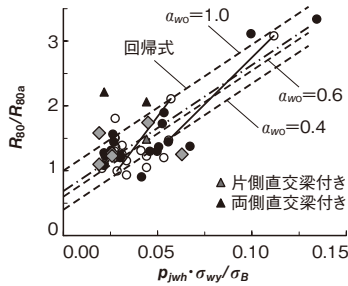


図3 ト形接合部の $R_{80}/R_{80a} - p_{jwh} \cdot \sigma_{wy} / \sigma_B$ 関係

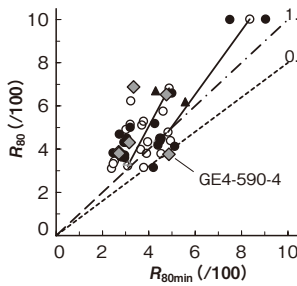


図4 ト形接合部の $R_{80} - R_{80min}$ 関係

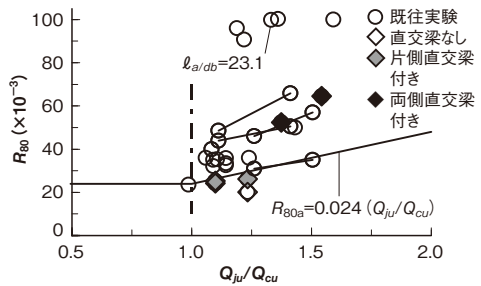


図6 T形接合部の $R_{80} - Q_{ju}/Q_{cu}$ 関係

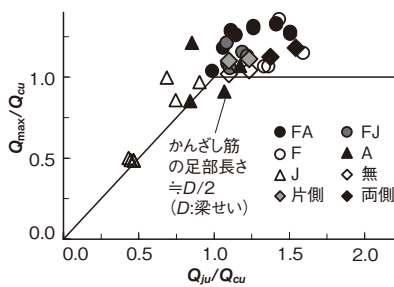


図5 T形接合部の $Q_{max}/Q_{cu} - Q_{ju}/Q_{cu}$ 関係

◎ T形接合部実験

かんざし筋または鉛直横補強筋を用いた直交梁なし実験と、直交梁の有無を調べた実験からなるT形接合部¹⁾の耐力安全率 Q_{max}/Q_{cu} - 接合部耐力余裕度 Q_{ju}/Q_{cu} 関係を図5に示す。 Q_{max} は最大耐力実験値、 Q_{cu} は柱曲げ終局耐力時、 Q_{ju} は接合部終局耐力時柱せん断力である。図5には、破壊形式と直交梁の有無を併記した。

図5によると、 $Q_{ju}/Q_{cu} \geq 1$ のとき、かんざし筋足部長さ不足の柱主筋定着破壊型の1体を除き、 Q_{max} は Q_{cu} を上まわり、 $Q_{ju}/Q_{cu} < 1$ のとき、 Q_{max} は Q_{ju} を上まわる。すなわち、T形接合部の場合、 $\lambda_p (= Q_{ju}/Q_{cu}) \geq 1.0$ とし、所定の柱主筋定着長さ l_{ac} とすれば、柱梁接合部のせん断破壊を防止できる。

上記実験のうち柱曲げ降伏が確認された実験の $R_{80} - Q_{ju}/Q_{cu}$ 関係を図6に示す。 R_{80} は最大耐力の80%耐力低下時の限界層間変形角実験値であり、図

【破壊形式】
 FA：柱曲げ降伏後柱主筋定着破壊型
 FJ：柱曲げ降伏後接合部せん断破壊
 F：柱曲げ破壊
 A：柱主筋定着破壊
 J：接合部せん断破壊
 無：直交梁なし
 片側：片側直交梁付き
 両側：両側直交梁付き

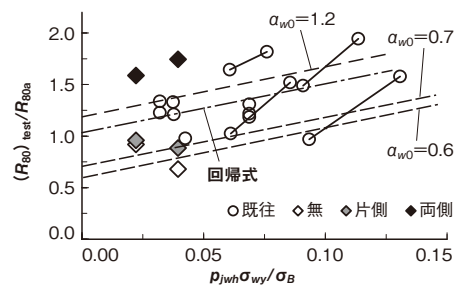


図7 T形接合部の $R_{80}/R_{80a} - p_{jwh} \cdot \sigma_{wy} / \sigma_B$ 関係

6中には、直交梁なしの既往実験値を○で示し、直交梁の有無を併示した。

これらより、図6中には、直交梁なしT形接合部の R_{80} の下限をT形接合部の0.8倍とした接合部耐力余裕度で決まる限界層間変形角 R_{80a} を併記した。

また、T形接合部と同様、T形接合部の $R_{80}/R_{80a} - p_{jwh} \cdot \sigma_{wy} / \sigma_B$ 関係を図7、 $R_{80} - R_{80min}$ 関係を図8に示す。図7中には実験値の回帰式を一点鎖線で示し、直交梁の有無を併示した。これらによると、T形接合部の R_{80min} は式(指針4.2)で評価でき、接合部横補強筋量 $p_{jwh} \cdot \sigma_{wy} / \sigma_B$ の補正係数 a_w が式(指針4.3)で定められる。

◎ L形接合部実験

普通強度材料と高強度材料を用いた実験と、定着方式の違いを調べた実験からなるL形接合部¹⁾の正加力時耐力安全率 Q_{max}/Q_{cu} - 接合部耐力余裕度 Q_{ju}/Q_{cu} 関係を図9に示す。同図によると、T形接合

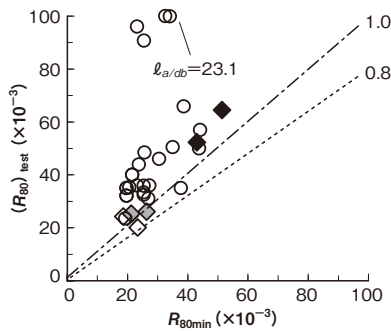


図8 T形接合部の $R_{80} - R_{80min}$ 関係

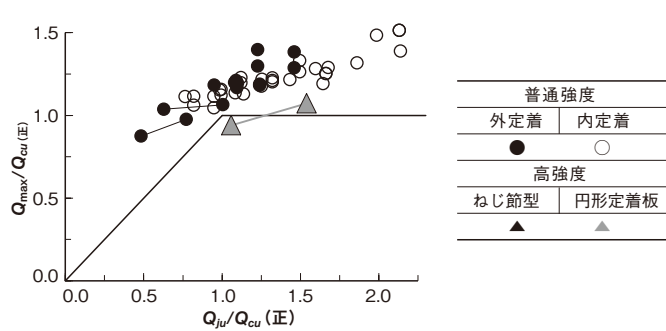


図9 L形接合部の正加力時 $Q_{max}/Q_{cu} - Q_{ju}/Q_{cu}$ 関係

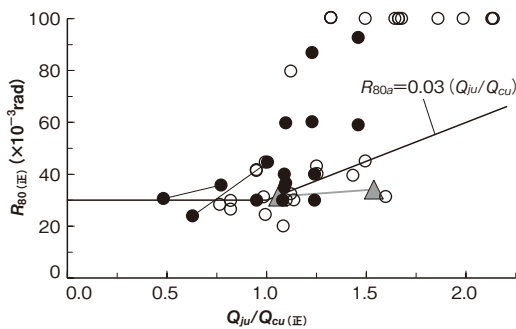


図10 L形接合部の正加力時 $R_{80} - Q_{ju}/Q_{cu}$ 関係

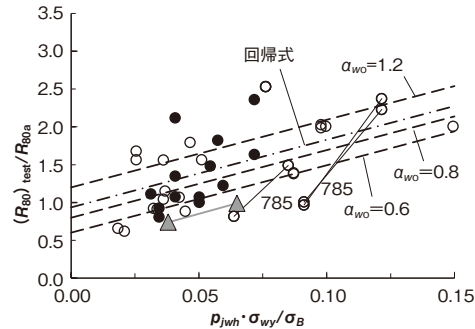


図11 L形接合部の正加力時 $R_{80}/R_{80a} - p_{jwh} \cdot \sigma_{wy}/\sigma_B$ 関係

部と同様、 $Q_{ju}/Q_{cu} \geq 1$ の時、 Q_{max} は Q_{cu} を上まわり、 $Q_{ju}/Q_{cu} < 1$ のとき、 Q_{max} は Q_{ju} を上まわる。すなわち、L形接合部の場合も、 $\lambda_p (= Q_{ju}/Q_{cu}) \geq 1.0$ とし、所定の梁主筋定着長さ l_{ag} とすれば、柱梁接合部のせん断破壊を防止できる。

また、L形接合部の $R_{80} - Q_{ju}/Q_{cu}$ 関係を図10、 $R_{80}/R_{80a} - p_{jwh} \cdot \sigma_{wy}/\sigma_B$ 関係を図11、 $R_{80} - R_{80min}$ 関係を図12に示す。これらによると、L形接合部の R_{80min} は式(指針4.2)で評価でき、接合部横補強筋量 $p_{jwh} \cdot \sigma_{wy}/\sigma_B$ による補正係数 α_w が式(指針4.3)で定められる。

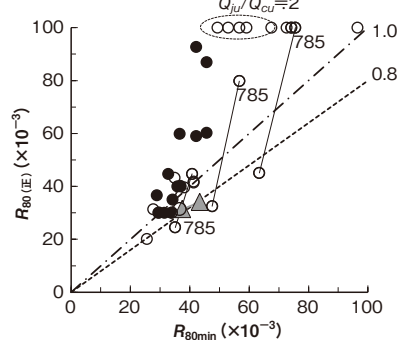


図12 L形接合部の正加力時 $R_{80} - R_{80min}$ 関係

想定する破壊形式

- 3) 7.1節(1) 接合部横補強筋比
- 4) 7.2節T形、L形接合部におけるかんざし筋
- 5) 10章(1) 基本事項2), 3)

【応用設計編】

- 1) 11.1節(3) 非貫通定着の接合部有効せい
- 2) 1.1節の解説(7)(d)左右重なり長さに関する11.1節(2)(c)2)の解説文章
- 3) 13.2節(3)4)の接合部横補強筋比 p_{jwh}
- 4) 13.2節(4)ピロティ柱梁接合部の特別規定

【高強度RC柱梁接合部編】

- 1) 3.1節(a)ト形、T形、L形、十字形接合部内の梁、柱主筋定着部
- 2) 3.1節(b)最下階柱・基礎梁接合部内の梁、柱主

2017年版の2014年版からの改定内容

◎ 2017年版の改定概要

RC構造設計指針(2017年)は、2014年版と同様、総則・材料編、基本設計編、応用設計編、高強度RC柱梁接合部編、柱主筋外定着方式編からなり、総則・材料編を除く各編は適用可能工法の共通指針である。それらの各編の改定箇所を以下に示す。

【基本設計編】

- 1) 4.1節(2)の指針表1設計限界層間変形角 R_{ud} の下限値
- 2) 4.1節(3)柱梁接合部のせん断設計および設計で

筋定着部

【柱主筋外定着方式編】

- 1) 2章(2) 2) の接合部横補強筋比 p_{jwh}
- 2) 4.1節2) のL形接合部の定着拘束筋量
- 3) 4.2節かんざし筋
- 4) 5章(3) 定着部拘束筋
- 5) 6.3免震基礎における基礎梁主筋定着部(上部構造側)2)

基本設計編と応用設計編の改定箇所は、基本改定箇所、軽微改定箇所と付随改定箇所に大別される。

基本改定箇所：【基本設計編】1)～3), 5)

【応用設計編】4)

軽微改定箇所：【基本設計編】4)

【応用設計編】1)

付随改定箇所：【応用設計編】2), 3)

高強度RC柱梁接合部編と柱主筋外定着方式編の改定箇所は、上記の基本改定と軽微改定に伴う付随改定箇所、およびその他の補足文章の追記箇所である。

◎基本設計編と応用設計編の基本改定内容

(1) 接合部に接続する部材の破壊形式

指針4.1節(2)では、設計限界層間変形角 R_{uD} は、設計区分にかかわらず、式(指針4.1)を満足しなければならぬとしている。

$$R_{80\min} \geq \phi_s \cdot R_{uD} \quad (\text{指針4.1})$$

$$R_{80\min} = R_{80a} \cdot \alpha_w \quad (\text{指針4.2})$$

$$\alpha_w = \alpha_{w0} + \beta_w \cdot (p_{jwh} \cdot \sigma_{wy} / F_c) \quad (\text{指針4.3})$$

α_w ：接合部横補強筋量 $p_{jwh} \cdot \sigma_{wy} / F_c$ による補正係数

α_{w0} , β_w ：指針表2の補正係数

p_{jwh} ：式(指針7.2)接合部横補強筋比

σ_{wy} ：接合部横補強筋の降伏強度

F_c ：コンクリートの設計基準強度

$R_{80\min}$ は保証限界層間変形角であり、設計限界層間変形角 R_{uD} は設計区分IまたはIIに応じ、指針表1の値以上とし、安全率 $\phi_s=2.0$ としている。すなわち、2017年版では、設計限界層間変形角 R_{uD} は接合部に接続する部材の破壊形式で決定することを考慮し、ト形、T形、L形、十字形接合部にかかわらず、指針表4.1中の破壊形式を接合部に接続する部材の破壊形式(梁曲げ降伏型、柱曲げ降伏型)とした。

また、指針4.1節(3)では、ト形、L形接合部で下記1), 2)の場合、柱曲げ降伏型としてもよいとした。

指針表1 設計限界層間変形角 R_{uD} の下限值

接合部に接続する部材の破壊形式	設計区分	
	I	II
梁曲げ降伏型	1/75	1/50
柱曲げ降伏型	1/100	1/67

(潜在ヒンジ) (降伏ヒンジ)

指針表2 R80aの算定式および補正係数 α_{w0} , β_w

接合部	R_{80a} の算定式	α_{w0}			β_w
		直交梁なし	片側直交梁付き	両側直交梁付き	
ト形、十字形接合部	$R_{80a} = 0.03 \lambda_p$	0.4	0.6	1.0	19
T形接合部	$R_{80a} = 0.024 \lambda_p$	0.6	0.7	1.2	4.8
L形接合部	$R_{80a} = 0.03 \lambda_p$	0.6	0.8	1.2	8.9

1) 崩壊メカニズム時軸力制限値以下($N \geq -0.75A_g \cdot \sigma_y$)の引張軸力を受ける柱が接続するト形接合部、 N ：崩壊メカニズム時柱軸力、 A_g ：柱主筋断面積、 σ_y ：柱主筋降伏強度

2) 指針12章による定着スタブを設けて柱主筋定着破壊を防止するか、または式(指針4.1)を満足する接合部横補強筋を配置したL形接合部

すなわち、式(指針4.1)を満足する場合、指針表4.1の値以上の設計限界層間変形角 R_{uD} が確保されるので、2017年版では、式(指針4.1)を満足する接合部横補強筋を配置すれば、柱曲げ降伏型ト形、L形接合部としてもよいとした。

(2) 指針7.1節(1) 接合部横補強筋比

接合部横補強筋量に関する実験の増加に伴い、指針7.1節の接合部必要横補強筋比の信頼度が向上した。これらより、指針7.1節(1) 1)は、ト形、T形、L形、十字形接合部ともに、4.1節(1)の設計区分IまたはIIに応じ、地震力方向ごとの接合部横補強筋比 p_{jwh} は式(指針7.1)の必要横補強筋比 p_{jwh0} 以上かつ0.2%以上とした。

$$p_{jwh0} = \{(\phi_s \cdot R_{uD} / R_{80a}) - \alpha_{w0}\} \cdot F_c / (\beta_w \cdot \sigma_{wy}) \quad (\text{指針7.1})$$

$$p_{jwh} = n_h \cdot a_{wh} / (B_c \cdot j_{lg0}) \quad (\text{指針7.2})$$

R_{80a} ：接合部耐力余裕度 λ_p で決まる限界層間変形角、 α_{w0} , β_w ：指針表2の補正係数、 σ_{wy} ：接合部横補強筋の降伏強度、 F_c ：コンクリートの設計基準強度、 B_c ：柱幅、 j_{lg0} ：梁上下最外縁主筋の中心間距離、 n_h ： j_{lg0} 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

(3) 指針10章(1) 基本事項2), 3)

指針10章(1) 基本事項2)では、機械式定着による

ト形、T形、L形、十字形接合部に接続する柱、梁主筋定着部は、技術基準解説書の接合部せん断検定条件を一貫構造計算プログラムで確認すれば、(2)項の構造規定を満足すればよいとし、上記の検定方式を置換え方式と呼んでいる。

2017年版では、式(指針7.1)の接合部必要横補強筋比の信頼度が向上したことより、下記のただし書き文章を追記することで、接合部横補強筋 p_{jwh} の選択肢を増やし、機械式定着工法の検定計算の的確化と効率化を図った。

「ただし、置換え方式の場合、ト形、T形、L形、十字形接合部ともに、地震力方向ごとの接合部横補強筋比 p_{jwh} は、0.3%以上とするか、指針7.1節(1)1)と同様、設計区分IまたはIIに応じ、式(指針7.1)の必要横補強筋比 p_{jwh0} 以上かつ0.2%以上とする。」

また、指針10章(1)基本事項3)では、指針13.2節(4)ピロティ柱梁接合部の特別規定より、技術基準方式、置換え方式にかかわらず、ピロティ柱が接続するピロティ柱梁接合部の場合、13.2節(4)1)の検定を行い、13.2節(4)2)の配筋規定を満足しなければならないとした。

◎基本設計編および応用設計編の軽微改定内容

指針7.2節(1)では、かんざし筋比 $p_{jwv} \geq 0.25\%$ の規定に、下記のただし書き文章を追記した。

「ただし、上部(2次筋)側の梁上端筋で拘束される範囲では、下部(1次筋)側の梁上端筋に、かんざし筋を配置しなくてもよい。」これは、図13に示すように、下部(1次筋)側の梁上端筋は、上部(2次筋)側の梁上端筋で拘束されるため、かんざし筋を配置しなくてもよいとし、施工性を改善した。

指針11.1節(3)は、2014年版では特殊形状の接合部有効せいとしていたが、特殊形状の定義が不明確であるので、図11.2の非貫通定着と対応するように、「非貫通定着の接合部有効せい」とした。

◎応用設計編の付随改定内容

指針11.1節の解説(7)(d)は、7.1節(1)と10章(1)2)の改定に伴い、「鉛直段差梁付きT形、十字形接合部の場合、指針10章(1)2)の規定と同様、接合部横補強筋比を0.3%以上とするか、式(指針7.1)の必要横補強筋比 p_{jwh0} 以上かつ0.2%以上とすれば、鉛直段差の大きさにかわらず、鉛直段差梁

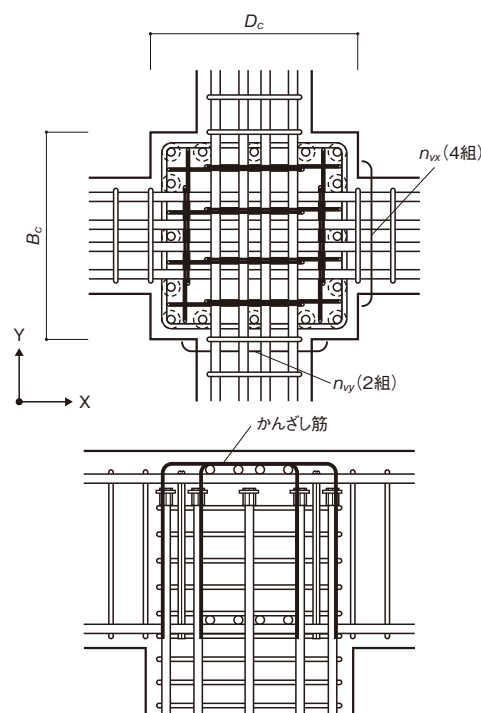


図13 かんざし筋の配筋詳細(T形接合部)

付き柱梁接合部全体を接合部コアとみなすことができる」とした。これによると、鉛直段差梁付きT形、十字形接合部も段差なし接合部として扱うことができる。

これらより、鉛直段差梁付き柱梁接合部では、指針11.1節(2)(c)2)の規定にかかわらず、接合部全体を接合部コアとみなせる場合、接合部有効せい D_{jh} は下階柱せい D_{c1} としてもよいとした。接合部全体とは重なり部と包絡部の全体を指す。

おわりに

本稿では、2017年版の改定根拠の実験について概説したうえで、2017年版の2014年版からの改定内容について詳述した。これらの改定内容は、実物件での検討結果を踏まえて定められている。

実物件では、設計条件より種々の柱梁接合部配筋詳細が存在するので、それぞれの配筋詳細を吟味したうえで、検定計算を行うことが重要である。

(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RC構造設計指針(2017年)、2017年10月
- 2) 益尾潔：本連載第1回 本連載の概要、建築技術2018年5月号、pp.62-63