

## SABTEC機械式定着工法 RC構造設計指針(2022年)

- ・ 本設計指針は、SABTEC技術評価取得の機械式定着工法の共通設計指針であり、2021年公開のSABTEC指針検証報告では、アスペクト比 $\xi$ (梁せい $D_g$ /柱せい $D_c$ )が大きい場合を除き、SABTEC指針の規定を満足すれば、設計で保証すべき終局耐力と変形性能が確保されることを明らかにしている。
- ・ 一方、田才らの実験では、アスペクト比が大きいT形接合部の場合、終局耐力実験値が梁曲げ終局耐力に達しないことがあることを明らかにしている。
- ・ これらより、SABTEC指針(2022年)では、技術基準解説書による保有水平耐力計算の原則に従うことを基本とし、5.2節では、田才らの実験によるT形接合部のアスペクト比 $\xi$ に関する知見を基に、 $\xi \geq 1.3$ のT形接合部のせん断設計条件を規定し、7.1節の接合部横補強筋および14.1節の最下階柱基礎梁接合部のせん断設計を改定している。

(一社)建築構造技術支援機構  
—SABTEC機構—

1

## SABTEC技術評価取得定着金物



オニプレート  
(株)伊藤製鐵所



タフネジナット  
共英製鋼(株)



タフナット  
共英製鋼(株)



ネジプレート  
JFE条鋼(株)

### 【ネジ節鉄筋型】



FRIP定着板  
(株)伊藤製鐵所



タフヘッド  
共英製鋼(株)

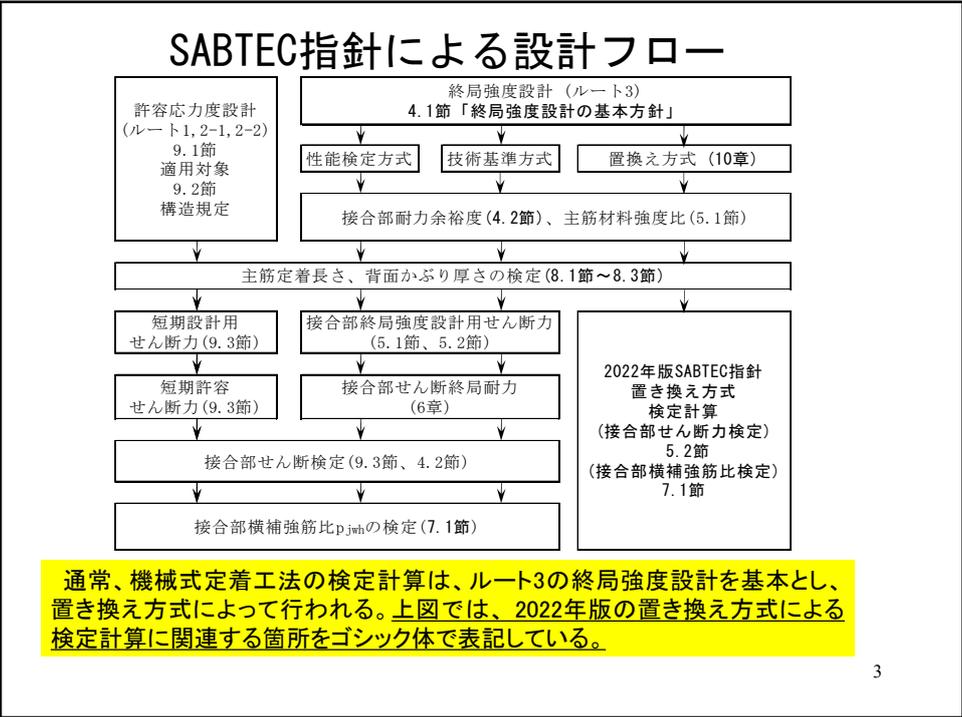


EG定着板  
合同製鐵(株)



DBヘッド  
(株)ディビーエス

### 【円形定着板型】



## SABTEC指針(2022年)の改定概要

### 4.1 終局強度設計の基本方針

【ト形、T形、L形、十字形接合部】

- ・ 目標性能①： 接合部に接続する柱または梁の曲げ降伏を保證する終局耐力を有すること。
- ・ 目標性能②： 接合部に接続する柱または梁の曲げ降伏後の変形性能を保證する終局耐力を有すること。

- ・ SABTEC指針では、梁または柱曲げ降伏後、早期の接合部せん断破壊防止の観点より、柱梁接合部の保證限界層間変形角 $R_{80min}$ は、保證メカニズム時層間変形角 $R_{uD}$ 以上としている。

- ・ 接合部実験では、右図のように、柱または梁曲げ降伏後の柱梁接合部のせん断破壊は、接合部横補強筋に依存するので、7.1節で接合部横補強筋について保證限界層間変形角 $R_{80min}$ を規定し、保證メカニズム時層間変形角 $R_{uD}$ を定義している。

【保證限界層間変形角 $R_{80min}$ 】

4

## 4.2 接合部せん断力の設計条件

ト形、十字形接合部のせん断設計条件は、指針式(4.1)を満足し、引張柱軸力Nを受けるト形接合部の場合、上下柱ともに、 $|N|$  は  $0.75ag \cdot \sigma_{yo}$  を超えないこととしている。

$$V_{puh} > \lambda_p \cdot V_{muh} \quad (4.1)$$

$\lambda_p$ : 接合部耐力余裕度で、 $\lambda_p \geq 1$  とする。

$V_{muh}$ : 水平方向の接合部終局強度設計用せん断力

$V_{puh}$ : 水平方向の接合部せん断終局耐力

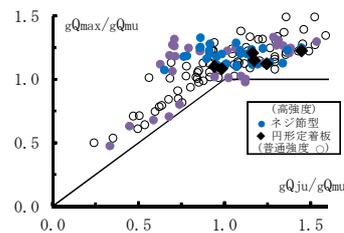
$ag$ : 柱主筋の全断面積、 $\sigma_{yo}$ : 柱主筋の規格降伏点

5

## SABTEC指針5章の改定概要

### 【アスペクト比 $\xi = 1$ 程度のト形接合部の終局耐力】

・アスペクト比  $\xi = 1 \sim 1.3$  の高強度主筋と高強度コンクリートを含めたト形接合部実験では、右図のように、接合部耐力余裕度  $g_{Qju}/g_{Qmu} \geq 1$  を満足し、かつ、SABTEC指針8.1節(1)の梁主筋定着長さ  $l_{ag}$  および7.1節(1)の接合部横補強筋比  $p_{jwh}$  の規定を満足する場合、耐力安全率  $g_{Qmax}/g_{Qmu}$  は概ね1を上回る。



$g_{Qju}$ : 式(解5.15)のト形接合部終局耐力  
 $g_{Qju} = \min(g_{Qpu}, g_{Qau}, g_{Qcu})$  (解5.15)

$g_{Qpu}$ : 接合部せん断終局耐力時梁せん断力  
 $g_{Qau}$ : 梁主筋側面剥離定着耐力時梁せん断力  
 $g_{Qcu}$ : 梁主筋揺き出し定着耐力時梁せん断力

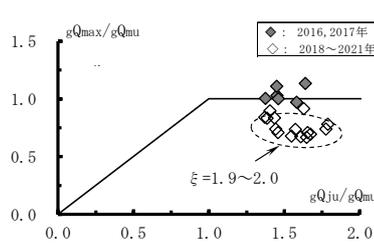
スペクト比  $\xi = 1$  程度のト形接合部の  
 $g_{Qmax}/g_{Qmu} - g_{Qju}/g_{Qmu}$  関係  
 $g_{Qmax}$ : 最大耐力実験値  
 $g_{Qmu}$ : 梁曲げ終局耐力時梁せん断力

6

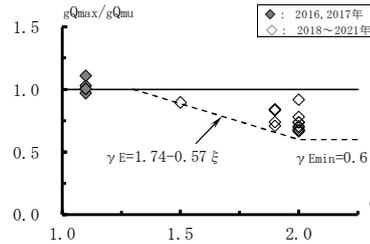
## 田村らによるアスペクト比ξが大きい形接合部の実験

- 田村らの実験では、図1に示すように、アスペクト比 $\xi = D_g/D_c$ が2程度の場合、耐力安全率 $g_{Qmax}/g_{Qmu}$ が0.6程度になることがある。
- 耐力安全率 $g_{Qmax}/g_{Qmu}$ —アスペクト比 $\xi$ 関係(図2)によると、 $\xi = 1.1$ の実験では、耐力安全率 $g_{Qmax}/g_{Qmu} = 0.97 \sim 1.1$ となり、 $\xi = 1.5 \sim 2.0$ の実験では、耐力安全率 $g_{Qmax}/g_{Qmu}$ の最小値は0.67となる。これらより、 $\xi = 2$ の時、最小値 $\gamma_{Emin} = 0.6$ として、アスペクト比による曲げ耐力低減係数 $\gamma_E$ を指針式(5.21)で評価している。

$$\gamma_E = 1.74 - 0.57\xi \quad (5.21)$$



アスペクト比ξの影響を調べた  
田村らの実験の場合  
図1  $g_{Qmax}/g_{Qmu} - g_{Qju}/g_{Qmu}$ 関係



アスペクト比ξの影響を調べた  
田村らの実験の場合  
図2  $g_{Qmax}/g_{Qmu} - \xi$ 関係

7

## 曲げ耐力低減係数 $\gamma_E$ を考慮した梁曲げ耐力時梁せん断力 $g_{QmuA}$

- $g_{Qmax}/g_{QmuA} - g_{Qju}/g_{QmuA}$ 関係(下図)によると、曲げ耐力低減係数 $\gamma_E$ を考慮した梁曲げ耐力時梁せん断力 $g_{QmuA}$ は、指針式(解5.16)で評価できる。

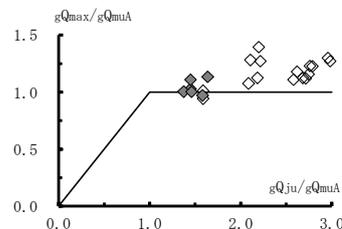
$$g_{QmuA} = \gamma_E \cdot M_{guo} / l_o \quad (解5.16)$$

$M_{guo}$ はSABTEC指針5.1.1項の指針式(5.11)による梁基準曲げ終局耐力であり、 $l_o$ は梁内法スパン長を示す。曲げ耐力低減係数 $\gamma_E$ の減少傾向は、 $\xi \geq 1.3$ の場合、 $\xi$ の増加に伴い、接合部横補強筋比 $p_{iwh}$ が小さい接合部横補強筋での横拘束効果の低下に起因すると考えられる(SABTEC指針5.2節の解説(2)(b)の解図5.12 参照)。

- これらより、SABTEC指針5.2節(2)では、 $\xi \geq 1.3$ の場合、アスペクト比による曲げ耐力低減係数 $\gamma_E$ を考慮した終局強度設計用せん断力 $V_{muhA}$ を指針式(5.22)で算定し、接合部耐力余裕度 $\lambda_{pA} = V_{puh}/V_{muhA} \geq 1.5$ を規定している。

$$V_{muhA} = \gamma_E \cdot \xi \cdot h \cdot (M_{guo}/l_o) \cdot (l/h) \quad (5.22)$$

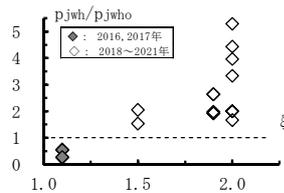
$\xi$  h: 指針式(5.8)の架構形状による補正係数  
 $l$ : スパン長、 $h$ : 階高



アスペクト比ξの影響を調べた  
田村らの実験の場合  
 $g_{Qmax}/g_{QmuA} - g_{Qju}/g_{QmuA}$ 関係

## 接合部横補強筋比に対する接合部必要横補強筋比倍率 $p_{jwh}/p_{jwho}$

- ・  $\xi=1.5\sim 2.0$ の実験の場合、下図に示すように、接合部横補強筋比に対する接合部必要横補強筋比倍率 $p_{jwh}/p_{jwho} \geq 1$ とすると、梁曲げ降伏後の変形性能が確保される。
- ・  $p_{jwho}$ は接合部必要横補強筋比であり、SABTEC指針(2019年)の指針式(7.1)と同じ指針式(解7.2)で求められる。



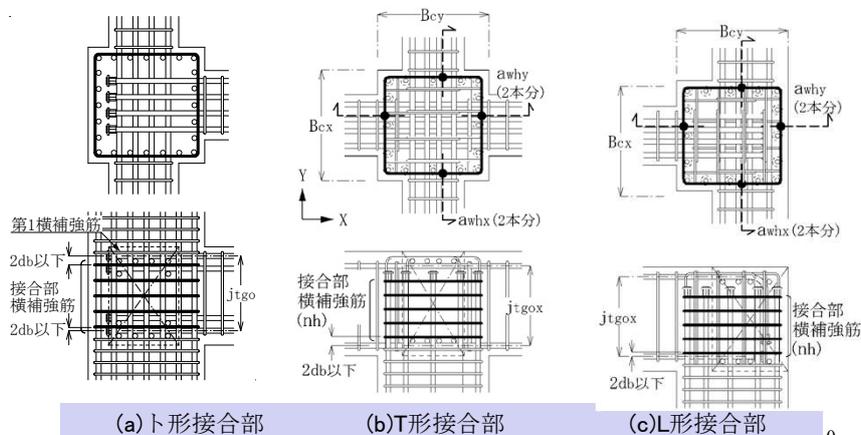
アスペクト比 $\xi$ の影響を調べた  
田村らの実験の場合  
 $p_{jwh}/p_{jwho} - \xi$  関係

9

## SABTEC指針7.1節の改定概要

### 【接合部横補強筋比の規定】

- ・ SABTEC7.1節(1)では、4.1節で定義した目標性能①と②に対して、梁または柱の曲げ降伏後、早期の接合部せん断破壊防止のために、ト形、T形、L形、十字形接合部ともに、接合部横補強筋比 $p_{jwh}$ は接合部必要横補強筋比 $p_{jwho}$ 以上とし、接合部横補強筋の配置(下図)を規定している。



(a) ト形接合部

(b) T形接合部

(c) L形接合部

【接合部横補強筋の配筋詳細】

0

### 【保証限界層間変形角R80min】

・ SABTEC指針7.1節(3)では、梁または柱の曲げ降伏後、早期の接合部せん断破壊防止のために、式(7.2)の保証限界層間変形角R80minを規定している。同式中のR80aは接合部耐力余裕度 $\lambda_p$ で決まる限界層間変形角、 $\alpha_w$ は接合部横補強筋量 $p_{jwh} \cdot \sigma_{wy}/F_c$ による補正係数としている。

$$R80min = R80a \cdot \alpha_w \quad (7.2)$$

$$\alpha_w = \alpha_{wo} + \beta_w \cdot (p_{jwh} \cdot \sigma_{wy}/F_c) \quad (7.3)$$

R80a: 接合部耐力余裕度 $\lambda_p$ で決まる限界層間変形角

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

$\alpha_{wo}, \beta_w$ : 表7.1の補正係数

$\sigma_{wy}$ : 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

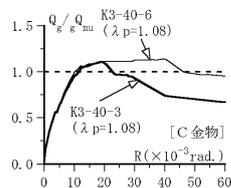
表7.1 R80aの算定式および補正係数 $\alpha_{wo}, \beta_w$

	R80aの算定式	$\alpha_{wo}$			$\beta_w$
		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	$R80a=0.03 \lambda_p$	0.4	0.6	1.0	19
T形接合部	$R80a=0.024 \lambda_p$	0.6	0.7	1.2	4.8
L形接合部	$R80a=0.03 \lambda_p$	0.6	0.8	1.2	8.9

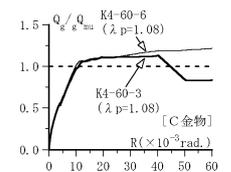
11

### 限界層間変形角R80に及ぼす接合部横補強筋と直交梁の効果

- ・ 図1では、SD295および785N/mm<sup>2</sup>級接合部横補強筋を用いた中子筋あり試験体(K3-40-6, K4-60-6)の梁曲げ降伏後の変形性能は、接合部横補強筋の拘束効果により、中子筋なし試験体(K3-40-3, K4-60-3)よりも改善され、図2では、片側直交梁付き、両側直交梁付きT形接合部の梁曲げ降伏後の変形性能は、直交梁なしに比べて改善される。
- ・ 図1,2の実験的知見を基に、保証限界層間変形角R80minの指針式(7.2)を定式化している。

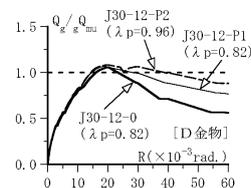


(a) 2-D10と4-D10 (3組)

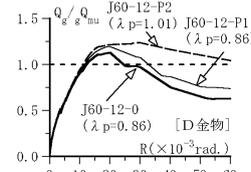


(b) 2-S8と4-S8 (4組)

図1 接合部横補強筋の効果



(a)  $\sigma_B=30.9\text{N/mm}^2$



(b)  $\sigma_B=63.1\text{N/mm}^2$

図2 直交梁の効果

12

### 【接合部必要横補強筋比 $p_{jwho}$ の算定式】

- SABTEC指針4.1節で定義する目標性能①、②に基づき、SABTEC指針7.1節では、保証限界層間変形角 $R_{80min}$ は保証メカニズム時層間変形角 $R_{uD}$ 以上とし、保証メカニズム時層間変形角 $R_{uD}$ と指針式(7.2)の保証限界層間変形角 $R_{80min}$ を等値することで、接合部必要横補強筋比 $p_{jwho}$ の指針式(解7.2)が導出される。

$$p_{jwho} = \{(R_{uD}/R_{80a}) - \alpha w_o\} \cdot F_c / (\beta w \cdot \sigma_{wy}) \quad (\text{解7.2})$$

- 解表7.1の保証メカニズム時層間変形角 $R_{uD}$ は、靱性保証型指針に示された梁、柱の終局部材角の目安値(梁: 1/50, 柱: 1/67)に、目標性能②について安全率2を乗じた値を基本とし、SABTEC指針(2019年)による表4.1の設計区分 I、II の設計限界層間変形角 $R_{uD}$ に安全率2を乗じて丸めた値としている。

解表7.1 保証メカニズム時層間変形角 $R_{uD}$

接合部に接続する部材の破壊形式	目標性能	
	①	②
梁曲げ降伏型	30	40
柱曲げ降伏型	20	30

(単位:  $\times 10^{-3}$ )

13

### 【接合部必要横補強筋比 $p_{jwho}$ の算定結果】

- 通常、層間変形角 $1/150 \sim 1/100$ では、柱または梁が材端部に降伏ヒンジが形成されるので、図1に示すように、 $D_s$ 算定時層間変形角が $1/100$ 以上の場合を目標性能②、 $1/100$ 未満の場合を目標性能①とする。実用上、最上階のT形およびL形接合部は目標性能①、それ以外の柱梁接合部は目標性能②としてもよい。

- 図2では、梁曲げ降伏先行型の直交梁なしT形接合部について、接合部耐力余裕度 $\lambda_p = 1.0$ 、接合部横補強筋鋼種をSD295および685 $N/mm^2$ 級、コンクリートの設計基準強度 $F_c$ を30  $N/mm^2$ と60  $N/mm^2$ とし、指針式(解7.2)の接合部必要横補強筋比 $p_{jwho}$ を示している。同図によると、 $R_{uD} = 40 \times 10^{-3}$ 時には、SD295の場合、 $F_c 30$ では $p_{jwho} = 0.45\%$ 、 $F_c 60$ では、 $p_{jwho} = 0.90\%$ となり、685  $N/mm^2$ 級接合部横補強筋の場合、 $F_c 30$ では $p_{jwho} = 0.22\%$ 、 $F_c 60$ では $p_{jwho} = 0.44\%$ となる。

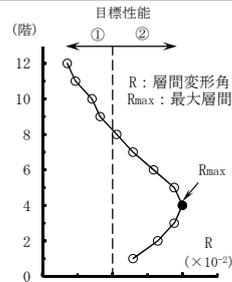


図1  $D_s$ 算定時層間変形角分布

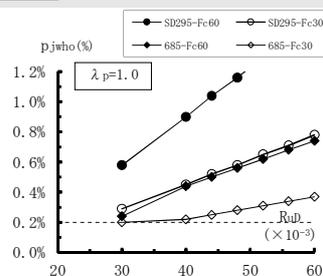


図2 接合部必要横補強筋比 $p_{jwho}$ —保証メカニズム時層間変形角 $R_{uD}$ 関係

## SABTEC指針の検定値と AIJ保有水平耐力規準の強度低下率 $\beta_j$ の比較検討

- ここでは、解表7.2に示すように、(CASE1) Fc30とSD390梁主筋、(CASE2)Fc40とSD490梁主筋としたト形接合部について、①接合部横補強筋比倍率 $p_{jwh}/p_{jwho} \geq 1.0$ 、②接合部耐力余裕度 $\lambda_p \geq 1.0$ とした検定条件に対して、AIJ保有水平耐力規準の強度低下率 $\beta_j$ を算定する。
- 本検定では、685N/mm<sup>2</sup>級接合部横補強筋とし、梁主筋引張鉄筋比 $p_t=2.06\%$ 、梁主筋定着長さ $l_{ag}/D_c=0.75$ 、長期相当柱軸力 $0.15F_c B_c D_c$ とした。

解表7.2 検討対象ト形接合部の梁、柱諸元

	Fc N/mm <sup>2</sup>	梁断面 (mm)		梁配筋 (定着長さ)					柱断面 (mm)		柱軸力比 Nc/ (FcBcDc)	柱配筋			
		Bg	Dg	主筋			lag (mm)	lag /Dc	lag /db	主筋					
				鋼種	配筋	pt				Bc	Dc	鋼種	配筋	pg	
CASE1	30	600	850	SD390	6+5-D32	2.06%	750	0.75	23.4	1,000	1,000	0.15	SD390	12-D38	1.37%
CASE2	40			SD490	6+5-D32	2.06%	750	0.75	23.4				SD490	12-D38	1.37%

(記号) h=2,800mm: 階高、l=8,000mm: スパン長

Fc: コンクリート設計基準強度、pt: 梁引張鉄筋比、lag: 梁主筋定着長さ、Dc: 柱せい、db: 梁主筋呼び名の値

Nc: 柱軸力、pg: 全柱主筋(注)接合部横補強筋鋼種: 685N/mm<sup>2</sup>級

15

## SABTEC指針の検定値に対する AIJ保有水平耐力規準の強度低下率 $\beta_j$ の算定結果

- 解表7.3に示すように、SABTEC指針による接合部横補強筋比倍率 $p_{jwh}/p_{jwho}=1.14 \sim 1.15$ 、接合部耐力余裕度 $\lambda_p=1.04 \sim 1.07$ は、それぞれ最小検定値に近く、AIJ保有水平耐力計算規準の強度低下率 $\beta_j=1.34 \sim 1.38$ は、AIJ保有水平耐力規準20条の解説4.1に示された強度低下率 $\beta_j$ の限界値1.0を上回る。
- すなわち、SABTEC指針の検定条件を満足するト形接合部の検定値は、AIJ保有水平耐力規準の強度低下率 $\beta_j$ の限界値を上回ると言える。

解表7.3 強度低下率  $\beta_j$  の検討結果

	接合部				接合部余裕度				AIJ保有耐力規準	
	横補強筋			p <sub>jwh</sub> /p <sub>jwho</sub>	gQ <sub>pu</sub> /gQ <sub>mu</sub>	gQ <sub>au</sub> /gQ <sub>mu</sub>	gQ <sub>cu</sub> /gQ <sub>mu</sub>	$\lambda_p$	$\Sigma M_{cu}$ /M <sub>gu</sub>	$\beta_j$
	配筋	p <sub>jwh</sub>	p <sub>jwho</sub>							
CASE1	6組-2D13	0.23%	0.20%	1.15	1.07	1.67	2.21	1.07	4.16	1.34
CASE2	8組-2D13	0.31%	0.27%	1.14	1.04	1.63	2.07	1.04	4.27	1.38

(記号)

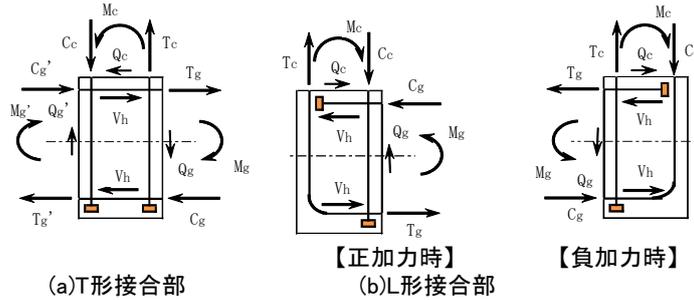
p<sub>jwh</sub>: 接合部横補強筋比、p<sub>jwho</sub>: 式(解7.2)の接合部必要横補強筋比

保証メカニズム時層間変形角 $R_{uD}$ : 4/100 (目標性能②の安全率2)

16

## SABTEC指針14.1節の改定概要

- 一貫構造計算プログラムでは、分離モデルによる弾塑性解析より、下図に示すように、最下階柱基礎梁接合部の終局強度設計用せん断力 $V_{muh}$ は、 $D_s$ 算定時基礎梁応力を用いて算定している。
- 最下階柱基礎梁接合部は、分離モデルのL形とT形接合部となるが、SABTEC指針14.1節では、建築基準法施行令第93条(地盤及び基礎杭)に基づき、杭基礎と接続するT形接合部として検討対象外としている。



【最下階T形接合部およびL形接合部の $D_s$ 算定時応力】

17

## SABTEC機械式定着工法 RC構造設計指針(2022年)の改定骨子

- SABTEC指針4章では、終局強度設計の基本方針を示し、SABTEC5章では、アスペクト比 $\xi \geq 1.3$ のT形接合部のせん断設計条件を定めている。
- SABTEC指針7.1節では、梁または柱の曲げ降伏後、早期の接合部せん断破壊防止のために、指針式(7.2)の保証限界層間変形角 $R_{80min}$ を規定し、接合部必要横補強筋比倍率 $p_{jwh}/p_{jwo} \geq 1$ を定めている。
- また、SABTEC指針の検定条件を満足するT形接合部は、AIJ保有水平耐力規準による強度低下率 $\beta_j$ の限界値を上回ることを明らかにしている。
- SABTEC指針14.1節では、建築基準法施行令第93条(地盤及び基礎杭)に基づき、杭基礎と接続するT形接合部は検討対象外としている。

18