

# 基礎梁せん断補強筋のフック付き重ね継手

益尾 潔◎一般社団法人建築構造技術支援機構 代表理事

## 基礎梁せん断補強筋のフック付き重ね継手の背景

RC基礎梁は、通常、断面寸法が大きく、施工上、基礎梁せい中間部でコンクリートを打継ぎ、せん断補強筋をフック付き重ね継手とすることが多い。RC配筋指針<sup>1)</sup>によると、図1のように、SD490以下のせん断補強筋の場合、基礎梁せい中間部にフック付き重ね長さ $L_{1h}$ 以上の重ね継手を配置できる。

RC配筋指針によるフック付き重ね長さは、基礎梁実験によらず、施工上の必要性から工学的判断を基に規定されている。一方、SD490を超える高強度せん断補強筋は、RC配筋指針の適用範囲外であるので、通常、基礎梁せい中間部にはフック付き重ね継手を配置できない。

これらより、高強度せん断補強筋の鋼種(685N/mm<sup>2</sup>級、785N/mm<sup>2</sup>級)およびせん断補強筋比を実験因子とし、打継ぎ部を設けないフック付き重ね継手を有するRC基礎梁のせん断性状を確認した実験をもとに、SABTEC高強度せん断補強筋設計施工指針(2016年)7章<sup>2)</sup>では、685N/mm<sup>2</sup>級基礎梁せん断補強筋のフック付き重ね長さを規定している。

ただし、本指針7章の基礎梁せん断補強筋のフック付き重ね長さの規定は、スーパーフープ685およびパワーリング685を用いた実験をもとにしているため、上記の高強度せん断補強筋の場合に適用される。

本稿は、フック付き重ね継手を有する基礎梁の実験的根拠を中心に執筆する。

## 基礎梁実験

### ◎実験計画

試験体は、図2、図3のように、剛強な中央部(反

力部)の左右に2体ずつ配置し、それぞれせん断スパン比 $a/D=1.125$ 、基礎梁断面寸法250mm×1,000mm、上下主筋3+2-D25(SD390)、重ね継手位置は基礎梁せいの中央、重ね継手末端は135°フックとした。

本実験は、表1に示すように、系列1と系列2からなり、系列1では、せん断補強筋鋼種(685N/mm<sup>2</sup>級、785N/mm<sup>2</sup>級)と重ね長さ $l$ 、系列2では、せん断補強筋鋼種を685N/mm<sup>2</sup>級とし、せん断補強筋比 $p_w$ と重ね長さ $l$ を実験因子とした。いずれもコンクリートの目標圧縮強度は24N/mm<sup>2</sup>であり、試験体数は各8体、計16体である。

両系列ともに、試験体記号に $\infty$ を付した試験体は重ね継手なし試験体であり、重ね継手あり試験体の重ね長さ $l$ はRC配筋指針<sup>1)</sup>に準じて計算した必要重ね長さ比 $l/d$ の値をもとに設定した。 $d$ はせん断補強筋の呼び名の値を示す。

系列1の場合、せん断補強筋は2-D10@250mm( $p_w=0.23\%$ )であり、荒川mean式のせん断余裕度 $Q_{su}/Q_{fu}$ は0.8程度である。系列2の場合、せん断補強筋は2-D10@250mm( $p_w=0.23\%$ )および2-D10@125mm( $p_w=0.45\%$ )であり、せん断余裕度 $Q_{su}/Q_{fu}$ は0.8程度および1.0程度である。 $Q_{su}$ は荒川mean式のせん断終局耐力、 $Q_{fu}$ は平面保持仮定による曲げ終局耐力時せん断力を示す。

系列1、系列2のせん断補強筋は大臣認定の高強度せん断補強筋(KH785、KH685、SPR685)であり、それぞれJIS G 3112の規格に近い節形状寸法を有する。

### ◎実験方法

本実験では、図3のように、試験体中央の反力部左右の供試部1、2にそれぞれ油圧ジャッキを用いて加力した。載荷履歴は、上端筋引張時を正加力方向とし、目標部材角 $R=(5, 10, 20)\times 10^{-3}$ rad.で1サイクルずつの正負繰返し載荷後、正加力方向への単

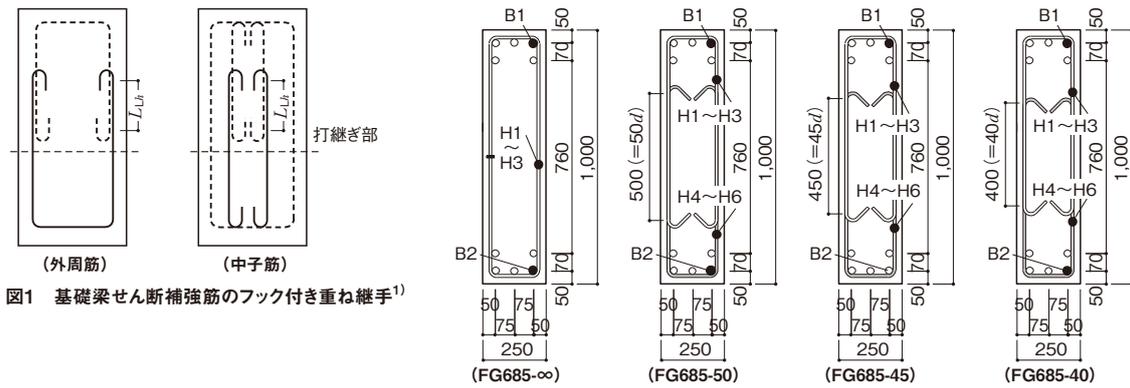


図1 基礎梁せん断補強筋のフック付き重ね継手<sup>1)</sup>

(注) 図中のBi: 基礎梁主筋, Hi: せん断補強筋のひずみ測定位置

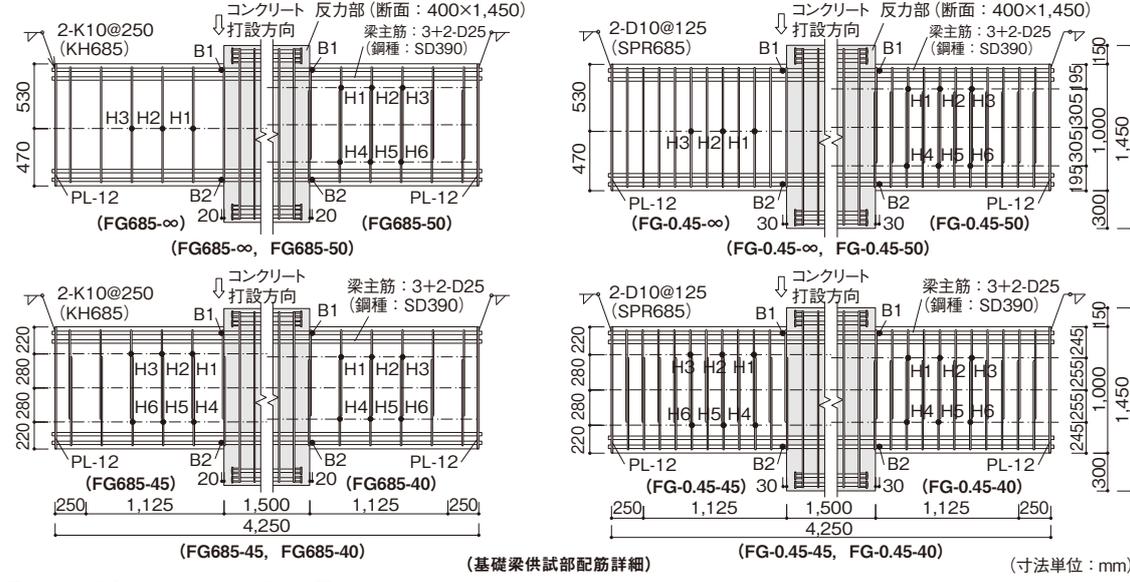


図2 代表的試験体の形状寸法および配筋

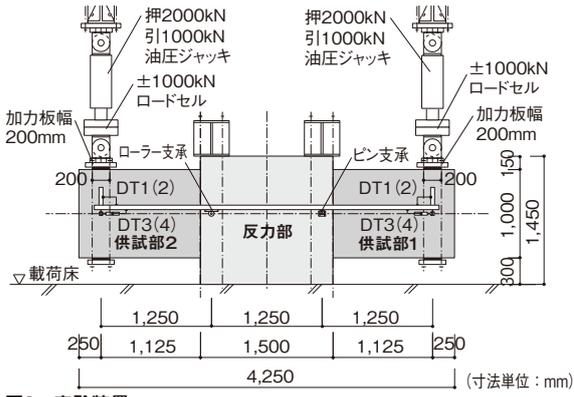


図3 実験装置

調載荷とした。部材角は、加力位置のたわみ量 $\delta$ をせん断スパン長(1,250mm)で除した値とした。

◎実験結果および考察

- 1) 荷重-変形性状および破壊性状
 

実験因子別の正加力時標準化梁せん断力 $Q_g/Q_{fu}$ -部材角 $R$ 関係を図4, 代表的試験体のひび割れ状況

表1 実験計画

試験体	系列1		系列2	
	せん断補強筋 鋼種	重ね長さ	試験体	せん断補強筋 $p_w$ (%) 重ね長さ
FG785-∞	785 N/mm <sup>2</sup> 級	—※	FG-0.23-∞	—※
FG785-55		55d	FG-0.23-50	0.23
FG785-50		50d	FG-0.23-45	
FG785-45	45d	FG-0.23-40		
FG685-∞	685 N/mm <sup>2</sup> 級	—※	FG-0.45-∞	—※
FG685-50		50d	FG-0.45-50	0.45
FG685-45		45d	FG-0.45-45	
FG685-40	40d	FG-0.45-40		

※: 重ね継ぎなし,  $d$ : せん断補強筋呼び名の値  
 $p_w = a_w / (bx)$ : せん断補強筋比,  $b$ : 梁幅,  $x$ : せん断補強筋間隔  
 【せん断補強筋鋼種】(系列1) 785N/mm<sup>2</sup>級: KH785, 685N/mm<sup>2</sup>級: KH685 (系列2) いずれも685N/mm<sup>2</sup>級: SPR685  
 系列1, 系列2ともに、コンクリートの目標圧縮強度24N/mm<sup>2</sup>

を写①に示す。 $Q_{fu}$ は平面保持仮定による曲げ終局耐力時せん断力である。同図によると、

- ①系列1の785N/mm<sup>2</sup>級せん断補強筋を用いた試験体では、いずれも主筋が引張降伏し、せん断補強筋が引張降伏するとともに、 $R = 10 \times 10^{-3}$ rad.程度

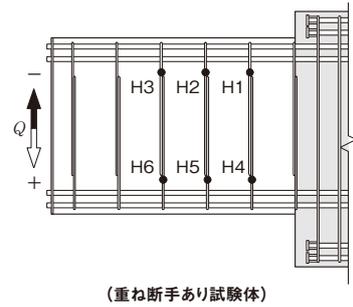
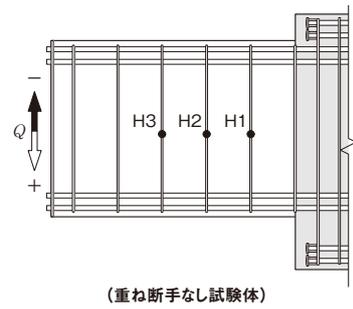
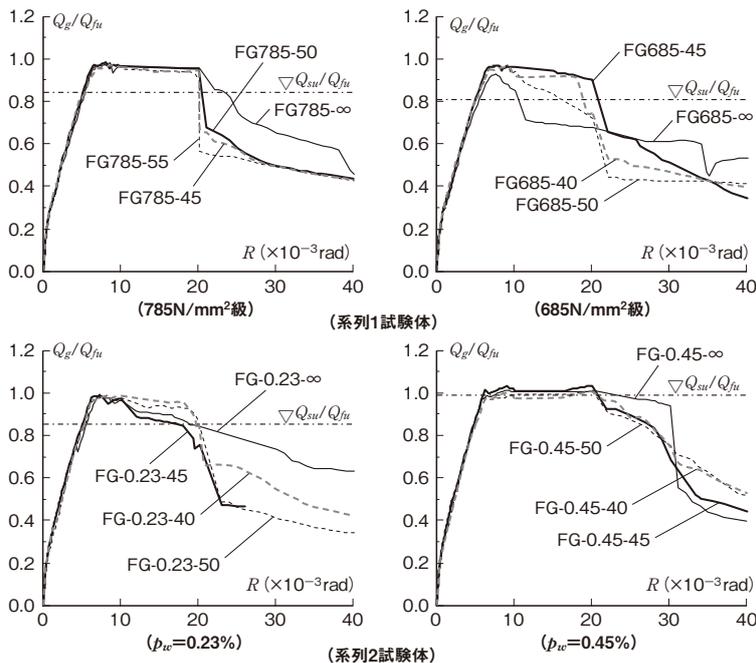
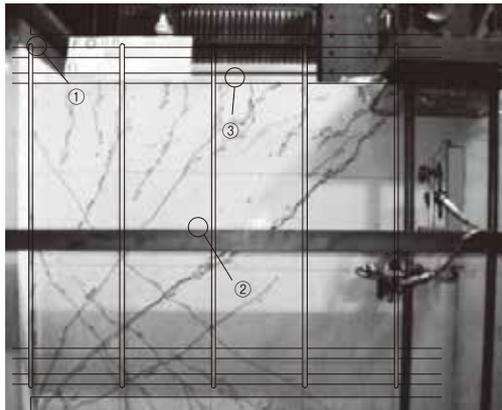


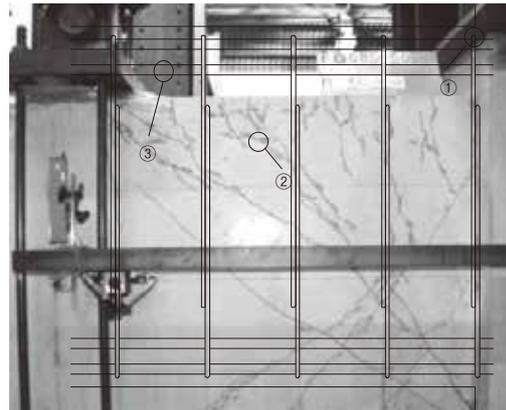
図5 セン断補強筋ひずみ測定位置

図4 実験因子別の正加力時基準化 $Q_g/Q_{fu}$ - $R$ 関係

$Q_{su}$ : 曲げ終局耐力時せん断力計算値  $Q_{fu}$ : 荒川mean式のせん断耐力計算値

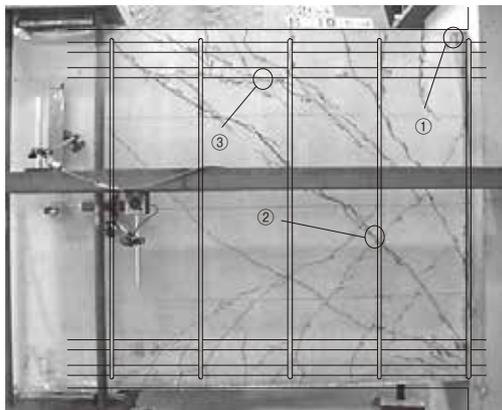


【FG-685-∞】(重ね継手なし)

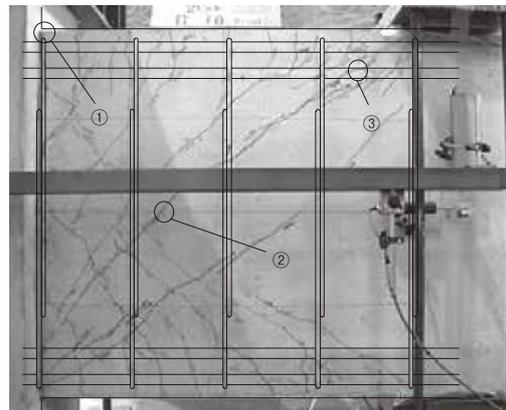


【FG-685-50】(重ね長さ50d)

685N/mm<sup>2</sup>級を用いた系列1試験体 ( $p_w=0.23\%$ )



【FG-0.23-∞】(重ね継手なし)



【FG-0.23-50】(重ね長さ50d)

685N/mm<sup>2</sup>級を用いた系列1試験体 ( $p_w=0.45\%$ )

①曲げひび割れ, ②せん断ひび割れ, ③付着割裂ひび割れ

●代表的試験体の $R=10 \times 10^{-3}$ rad.時ひび割れ状況

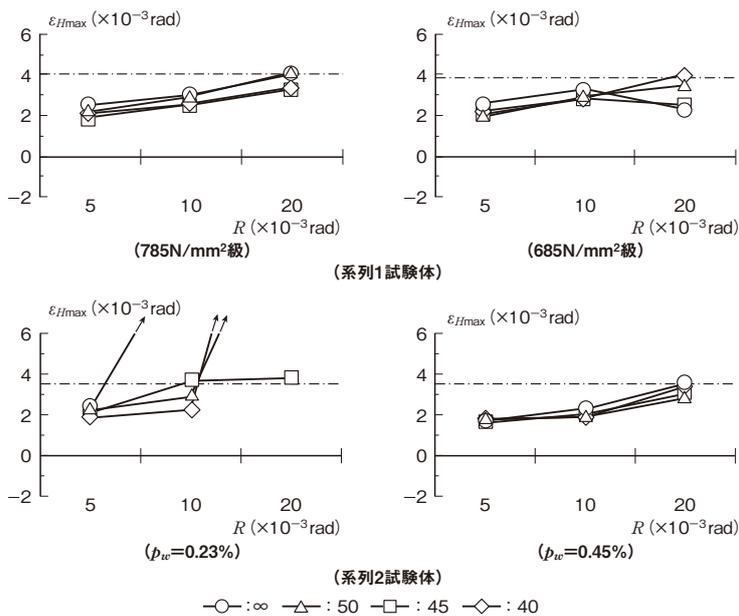


図6 セン断補強筋の最大ひずみ $\epsilon_{Hmax}$ の推移

- 以降ほぼ一定耐力を保持し、 $R=20 \times 10^{-3} \text{rad}$ 程度より耐力低下を起こした。重ね継手あり試験体の耐力低下度合いは、重ね継手なし試験体よりも大きい、重ね長さによる有意差は認められない。
- ② 系列1の  $685 \text{N/mm}^2$  級せん断補強筋を用いた試験体は  $R=10 \times 10^{-3} \text{rad}$  程度まで同様に挙動したが、それ以降、耐力低下を起こした。重ね継手あり試験体の耐力低下度合いは、重ね継手なし試験体よりも小さく、重ね長さによる有意差は認められない。重ね継手なしとありの耐力低下度合いの違いは、両者のせん断ひび割れの進展状況の差異に起因すると考えられる。
  - ③ 系列2の  $p_w=0.23\%$  の場合、系列1と同様、重ね長さによる有意差は認められない。
  - ④ 系列2の  $p_w=0.45\%$  の場合、主筋引張降伏後、いずれも  $R=10 \times 10^{-3} \text{rad}$  程度以降ほぼ一定耐力を保持し、 $R=20 \times 10^{-3} \text{rad}$  程度より耐力低下を起こした。重ね継手あり試験体の耐力低下度合いは、重ね継手なし試験体よりも大きい、重ね長さによる有意差は認められない。また、せん断補強筋の引張降伏は、FG-0.45-50では発生せず、それ以外の試験体では  $R=\pm 10$  または  $\pm 20 \times 10^{-3} \text{rad}$  の繰返し載荷時に発生した。
- 2) セン断補強筋ひずみの推移  
 セン断補強筋ひずみ測定位置を図5、せん断補強

表2 RC配筋指針によるフック付き重ね長さ比 $L_{lh}/d$

$F_c$ ( $\text{N/mm}^2$ )	鉄筋鋼種			
	SD295	SD345	SD390	SD490
21	30			—
24	25	30	35	40
27				
30				
33				
36	20	25	30	35
39				
42				
45				
48	20			
54		20	25	30
60				

$F_c$ : コンクリートの設計基準強度  
 $d$ : 鉄筋呼び名の値

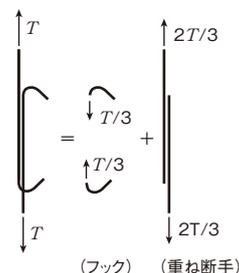


図7 フック付き重ね継手の抵抗機構

筋の最大ひずみ $\epsilon_{Hmax}$ の推移を図6に示す。

同図によると、系列1の $\epsilon_{Hmax}$ は、おおむね、 $R=20 \times 10^{-3} \text{rad}$ 時に降伏ひずみに達した。系列2の $\epsilon_{Hmax}$ は、おおむね、 $p_w=0.23\%$ の場合、重ね継手なしのFG-0.23-∞では $R=5 \times 10^{-3} \text{rad}$ 時、重ね継手あり試験体では $R=10 \times 10^{-3} \text{rad}$ 時に降伏ひずみに達した。また、 $p_w=0.45\%$ の場合、おおむね、 $R=20 \times 10^{-3} \text{rad}$ 時に降伏ひずみに達した。

以上によると、梁主筋引張降伏後に発生した耐力低下は、せん断ひび割れ幅の進展に伴い生じたせん断補強筋の引張降伏に起因すると考えられる。

## フック付き重ね長さ妥当性の確認

### ◎基礎梁せん断補強筋のフック付き重ね継手

RC計算規準16条(付着および継手)2. 継手<sup>3)</sup>では、フック付き重ね継手の場合、図7のように、フックが鉄筋引張力の1/3を負担し、重ね継手部が鉄筋引張力の2/3を負担するとしている。

これらより、RC配筋指針<sup>1)</sup>では、式(1)と式(2)の大きい方の値をもとに、フック付き重ね長さ比 $L_{lh}/d$ を表2で規定している(RC配筋指針の付録A4(定着と

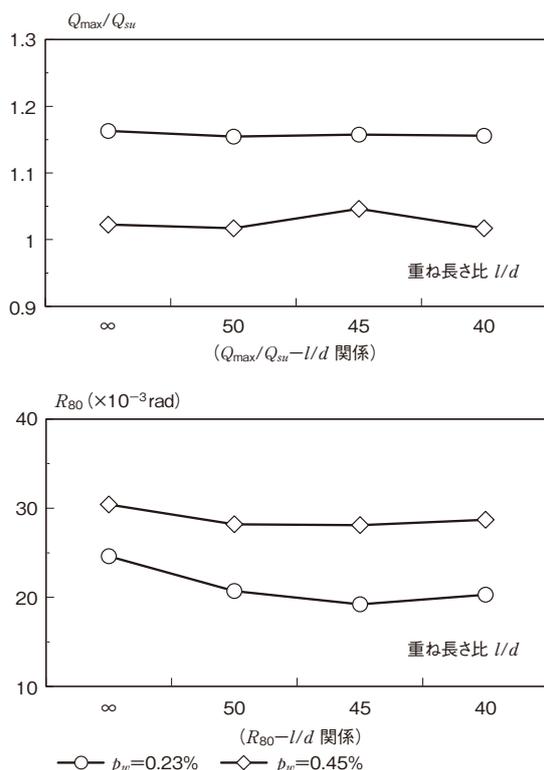


図8 耐力安全率 $Q_{max}/Q_{su}$ および限界材角実験値 $R_{80}$ に及ぼすフック付き重ね長さ $l/d$ の影響

重ね継手の長さの計算)参照)。式(1)は損傷短期荷重時、式(2)は安全短期荷重時の算定式である。

$$l \geq (2/3) \cdot \{\sigma_t \cdot d / (4f_a)\} \quad (1)$$

$$l \geq (2/3) \cdot \{\sigma_t \cdot d / (4K \cdot f_b)\} \quad (2)$$

$l$  : フック付き重ね長さ,  $d$  : 鉄筋呼び名の値

$\sigma_t$  : 短期許容引張応力度

$f_a$  : 短期許容付着応力度

$f_b$  : 付着割裂の基準となる強度

( $f_a, f_b$ ともに, 上端筋の値)

$K$  : 鉄筋配置と横補強筋による修正係数

ただし,  $K=1.9$ とする。

#### ◎基礎梁実験の耐力安全率および限界部材角実験値

基礎梁実験の耐力安全率実験値 $Q_{max}/Q_{su}$ および限界部材角実験値 $R_{80}$ に及ぼす $l/d$ の影響を図8に示す。 $Q_{max}$ は正加力最大耐力実験値,  $Q_{su}$ は荒川mean式のせん断終局耐力,  $R_{80}$ は $Q_{max}$ の80%耐力低下時の正加力部材角実験値であり, 計算耐力はコンクリートおよび鉄筋の実強度を用いて算定した。

図8によると, フック付き重ね継手あり試験体の耐力安全率 $Q_{max}/Q_{su}$ および限界部材角実験値 $R_{80}$ は, それぞれ重ね継手長さにかかわらず, 重ね継手なし試

表3 本指針による685N/mm<sup>2</sup>級の $L_{1h}/d$ の計算値と規定値

$F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断補強筋鋼種					規定値
	SD295	SD345	SD390	SD490	685N級	
21	30			—	54.4	—
24		30	35		50.1	
27				40	47.7	50
30	25				45.5	
33					43.5	
36		25	30	35	41.7	45
39					40.1	
42					38.5	
45	20				37.1	
48					35.8	40
54		20	25	30	33.4	
60					31.3	

$F_c$  : コンクリートの設計基準強度, 685N級 : 計算値  
SD295~SD490の $L_{1h}/d$  : RC配筋指針の値

験体との有意差は認められない。

これらより, 式(1)と式(2)の大きい方を685N/mm<sup>2</sup>級高強度せん断補強筋のフック付き重ね長さ $L_{1h}/d$ とした計算値を表3に示した。

本指針<sup>2)</sup>では, 表3のように,  $L_{1h}/d$ の計算値を安全側にまらめ, 685N/mm<sup>2</sup>級高強度せん断補強筋の $L_{1h}/d$ の規定値を定めている。また, 基礎梁実験では, せん断補強筋末端を135°フックとし, フック付き重ね継手の妥当性を確認したので, RC配筋指針のフック付き重ね継手をもとに135°フックまたは180°フックのいずれかを用いてもよいとしている。

#### おわりに

本稿では, SABTEC高強度せん断補強筋設計施工指針(2016年)7章<sup>2)</sup>の構造規定として定めている基礎梁せん断補強筋のフック付き重ね長さについて, フック付き重ね継手を有する基礎梁の実験的根拠を中心に詳述した。

本連載全4回は, SABTEC高強度せん断補強筋設計施工指針(2016年)の特長を中心に詳述したものであり, 同設計施工指針は, 当機構の建築構造技術審議委員会(委員長: 窪田敏行近畿大学名誉教授)委員の皆様からのご指摘を踏まえまとめられている。ここに記して, 委員の皆様へ厚く御礼申し上げます。

(ますお きよし)

#### 【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年
- 2) (一社) 建築構造技術支援機構: SABTEC高強度せん断補強筋設計施工指針(2016年), 2016年11月
- 3) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 2010年