

中段筋梁の設計および基礎梁横補強筋のフック付き重ね継手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

はじめに

本連載第2回では、第1回に引き続き、SABTEC指針（2023年）の特筆すべき規定として、中段筋梁の設計および基礎梁横補強筋のフック付き重ね継手について紹介する。

中段筋梁の設計

◎基本事項

中段筋梁の設計では、SABTEC指針（2023年）¹⁾²⁾に従い、図1のように、全主筋本数を変えずに、梁上下面から梁せいD/3とした中段筋範囲の上側と下側に中段筋を配置し、構造規定①～④を満足する場合、荒川mean式または修正塑性式によるせん断終局耐力を用いてせん断設計を行うことができる。

【構造規定】

- ①中段筋梁内法スパン長比L/Dは、3.0以上とする。
- ②中段筋比 $p_m \leq 2.0\%$ 、かつ、中段筋鋼種SD390の場合 $F_c 30\text{N}/\text{mm}^2$ 以上とし、SD490の場合 $F_c 60\text{N}/\text{mm}^2$ とする。
- ③中段筋梁の引張鉄筋比 p_t は、曲げ終局強度時釣合い鉄筋比 p_{tb} 以下とする。
- ④中段筋は、中段筋範囲の上側と下側ともに1段筋とし、鋼種、呼び名、本数を同じとする。

$p_m = a_n / bD$ ：中段筋梁の中段筋比

$a_n = a_g - (a_{tT} + a_{tB})$ ：上側と下側中段筋の全断面積 (mm^2)

a_g ：全主筋断面積 (mm^2)

a_{tT} , a_{tB} ：上端側と下端側の引張鉄筋断面積 (mm^2)

$p_t = a_t / bD$ ：中段筋梁の引張鉄筋比

a_t ：引張鉄筋断面積 a_{tT} または a_{tB} (mm^2)

b , D ：中段筋梁の幅とせい (mm)

F_c ：コンクリートの設計基準強度 (N/mm^2)

一方、中段筋梁の曲げ終局耐力時中立軸位置比 $X_n/D \leq 0.25$ の場合、構造規定②に係わらず、 $F_c 60\text{N}/\text{mm}^2$ 未満でも、中段筋梁としてもよいとしている。

中段筋梁の剛性低下率、降伏曲げモーメント、曲げ終局耐力

中段筋梁の剛性低下率 α_y は式 (1)、降伏曲げモーメント M_y は式 (2)、曲げ終局耐力 M_u は式 (3) で算定する。

$a/D \geq 2$ の場合：

$$\alpha_y = (0.043 + 1.64n \cdot p_t + 0.043a/D + 0.33\eta_o) \cdot (d/D)^2 \quad (1)$$

$a/D < 2$ の場合：

$$\alpha_y = (-0.0836 + 0.159a/D + 0.169\eta_o) \cdot (d/D)^2$$

$$M_y = 0.9a_t \cdot f_{ia} \cdot d \quad (2)$$

$$M_u = 0.9(a_t + a_n/2) \cdot \sigma_{sy} \cdot d \quad (3)$$

a/D ：シアスパン比、 n ：ヤング係数比

η_o ：柱軸力比、ただし、梁の場合 $\eta_o = 0$ とする。

d ：多段筋梁の有効せい (図1) (mm)

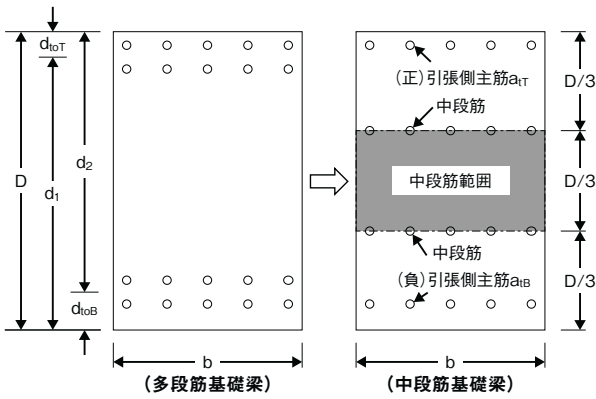
(多段筋梁の圧縮コンクリート縁から上端側または下端側主筋群の重心までの距離 d_1 , d_2)

f_{ia} ：梁主筋の短期許容引張応力度

σ_{sy} ：梁主筋の降伏強度

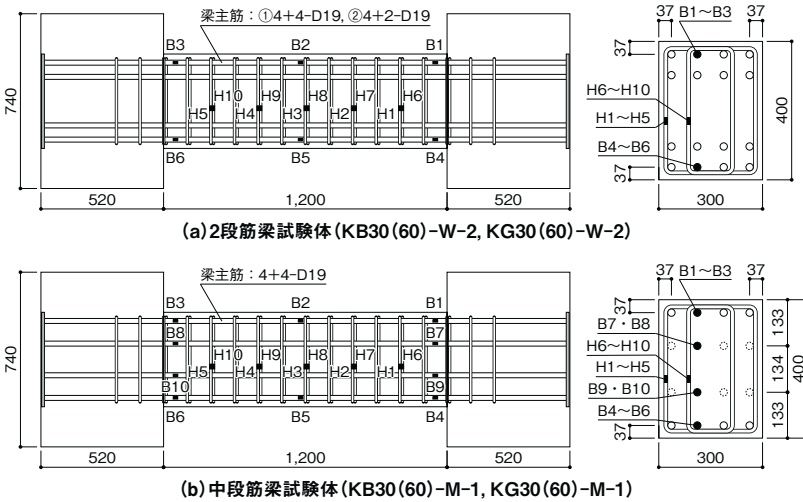
ただし、SD345., SD390の場合 $\sigma_{sy} = 1.1 \times \sigma_{syo}$, SD490の場合 $\sigma_{sy} = \sigma_{syo}$ とする。

σ_{syo} ：規格引張降伏点



(注)
 a_{1T} , a_{1B} : 上端側, 下端側引張鉄筋断面積
 d_{10T} , d_{10B} : 上端側, 下端側引張主筋群の重心位置
 $d_1 = D - d_{10T}$: 上端引張時の有効せい $d_2 = D - d_{10B}$: 下端引張時の有効せい

図1 多段筋基礎梁と中段筋基礎梁



Bi: 主筋ひずみ測定位置, Hi: 横補強筋ひずみ測定位置 (寸法単位: mm)

図2 中段筋梁と2段筋梁試験体の配筋詳細

表2 中段筋梁と2段筋梁試験体の終局耐力一覧

試験体	配筋方式	Q_{fu} (kN)	Q_{su} (kN)	Q_{su}/Q_{fu}	Q_{fuo} (kN)	Q_{fuo}/Q_{fu}	Q_{suo} (kN)	Q_{suo}/Q_{fuo}	Q_{max} (kN)	Q_{max}/Q_{fu}	Q_{max}/Q_{fuo}
2020年 (USD685)	KB30-W-2 2段筋	527	380	0.72	518	0.98	0.73	545	1.04	1.05	
	KB30-M-1 中段筋	513	346	0.68	518	1.01	0.67	534	1.04	1.03	
	KB60-W-2 2段筋	661	484	0.73	630	0.95	0.77	708	1.07	1.13	
	KB60-M-1 中段筋	653	432	0.66	630	0.96	0.69	713	1.09	1.13	
2023年 (USD785)	KG30-W-2 2段筋	529	386	0.73	523	0.99	0.74	565	1.07	1.08	
	KG30-M-1 中段筋	514	386	0.75	523	1.02	0.74	557	1.08	1.07	
	KG60-W-2 2段筋	679	522	0.77	640	0.94	0.82	726	1.07	1.13	
	KG60-M-1 中段筋	676	523	0.77	640	0.95	0.82	716	1.06	1.12	

Q_{fu} : 平面保持仮定による曲げ耐力時せん断力, Q_{fuo} : 略算式による曲げ耐力時せん断力
 Q_{su} : 荒川mean式によるせん断終局耐力, Q_{max} : 最大耐力実験値

中段筋梁と2段筋梁の実験

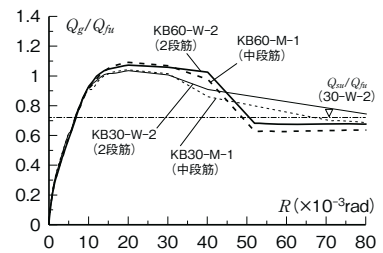
中段筋梁の妥当性は、表1、図2に示したSD390およびSD490とした中段筋梁と2段筋梁試験体の正負繰返し加力実験で確認している。中段筋梁試験体では、上下引張側主筋を各4-D19、上下中段筋を各4-D19、中段筋比 $p_m = 1.91\%$ としている。

中段筋梁と2段筋梁試験体の正加力時包絡線を

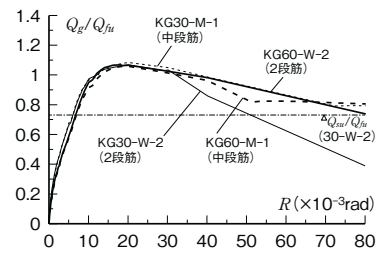
表1 中段筋梁実験計画

試験体	配筋種別	F_c (N/mm ²)	梁主筋		横補強筋	
			鋼種	主筋 (p_t)	鋼種	配筋 (p_w)
2020年	KB30-W-2 2段筋	30	SD 390	4+4-D19 (1.91%)	USD 685	4-D10@100 (0.95%)
	KB30-M-1 中段筋					
	KB60-W-2 2段筋	60	SD 490			
	KB60-M-1 中段筋					
2023年	KG30-W-2 2段筋	30	SD 390	4+4-D19 (1.91%)	USD 785	4-D10@100 (0.95%)
	KG30-M-1 中段筋					
	KG60-W-2 2段筋	60	SD 490			
	KG60-M-1 中段筋					

【部材寸法】 $L=1200\text{mm}$ ($L/D=3.0$), $b \times D=300\text{mm} \times 400\text{mm}$
【記号】 F_c : コンクリートの目標圧縮強度, p_t : 引張鉄筋比, p_w : 横補強筋比



(a) 685N/mm²級高強度せん断補強筋の場合



(b) 785N/mm²級高強度せん断補強筋の場合

Q_{fu} : 曲げ終局耐力計算値
 Q_{su} : 荒川mean式によるせん断耐力計算値
図3 中段筋梁と2段筋梁試験体の正加力時包絡線

図3に示す。同図中には、2段筋梁試験体の荒川mean式によるせん断余裕度 $\lambda_p = Q_{su}/Q_{fu} = 0.72$ と0.73を破線で示している(表2)。

図3によると、SD390, $F_c 30$ およびSD490, $F_c 60$ の中段筋梁と2段筋梁試験体の性状は、梁曲げ降伏後、せん断ひび割れの進展に伴う横拘束効果によって、限界部材角 R_{80} を超える大変形域までほぼ一致している。また、同図(b)の785N/mm²級の場合、横補強筋の降伏強度の増加に伴い、部材角 $R =$

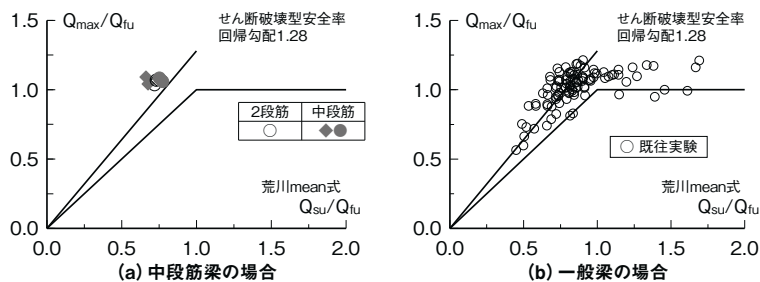


図4 中段筋梁と一般梁の耐力安全率 Q_{max}/Q_{fu} —せん断余裕度 Q_{su}/Q_{fu} 関係

表3 RC配筋指針によるフック付き重ね長さ比 L_{1h}/d

F_c (N/mm ²)	鉄筋鋼種			
	SD295	SD345	SD390	SD490
21	30			
24		30	35	
27	25			40
30				
33				
36	20	25	30	35
39				
42				
45				
48				
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

40×10^{-3} rad.以降の変形性能が改善される。 R_{80} は最大耐力の80%低下時限界部材角実験値を示す。

中段筋梁と2段筋梁試験体の終局耐力

中段筋梁と2段筋梁試験体の終局耐力一覧を表2、中段筋梁と一般梁の耐力安全率 Q_{max}/Q_{fu} —せん断余裕度 Q_{su}/Q_{fu} 関係を図4に示す。 Q_{max} は最大耐力実験値、 Q_{fu} は平面保持仮定に基づく精算式であり、 Q_{fuo} は略算式による曲げ終局耐力時せん断力、 Q_{su} は荒川mean式によるせん断終局耐力を示す。

中段筋梁の略算式は式(3)であり、2段筋梁の略算式は慣用式($M_u = 0.9a_t \cdot \sigma_{sy} \cdot d$)としている。

図4(a)では2段筋梁と中段筋梁実験値(◆●)、同図(b)では1段筋梁と2段筋梁(以下、一般梁)実験値(○)を示し、 $Q_{su}/Q_{fu} \leq 1.0$ (せん断破壊型)の回帰勾配(1.28)を示している。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ている。

表2に示すように、中段筋梁試験体の式(3)による曲げ終局耐力時せん断力 Q_{fuo} は Q_{fu} の0.94~1.02倍、 Q_{max} の1.03~1.13倍であり、2段筋梁試験体と同様、 Q_{max} に対して安全側に評価されている。

これらより、せん断余裕度 $Q_{su}/Q_{fuo} \geq 1.1$ の場合、最大耐力実験値 Q_{max} は式(3)の曲げ終局耐力時せん断力 Q_{fuo} を上回るため、SABTEC指針(2023年)¹⁾²⁾では、中段筋梁についても基本事項を満足

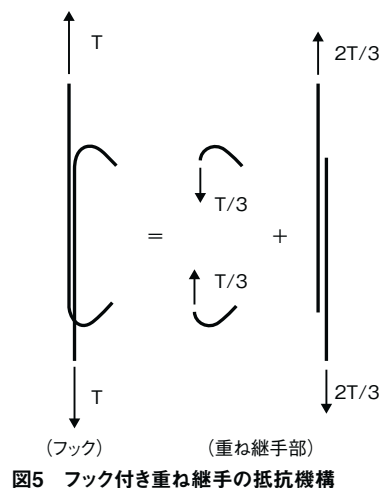


図5 フック付き重ね継手の抵抗機構

する場合、一般梁と同様、せん断設計を行うことができるとしている。

基礎梁横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の継手³⁾では、図5のフック付き重ね継手の場合、フックが鉄筋引張力の1/3、重ね継手部が鉄筋引張力の2/3を負担することとしていることより、RC配筋指針⁴⁾では、SD295~SD490の場合、損傷短期荷重時の式(4)と安全短期荷重時の式(5)のフック付き重ね長さ比 l/d の大きい方を L_{1h}/d として、表3で規定している。

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

$$l \geq (2/3) \cdot \{ \sigma_t \cdot d / (4K \cdot f_b) \} \quad (5)$$

l : フック付き重ね長さ、 d : 鉄筋呼び名の値

σ_t : 短期許容引張応力度

f_a : 短期許容付着応力度

f_b : 付着割裂基準強度(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。

SABTEC評価を取得した685N/mm²級と785N/mm²級高強度せん断補強筋の場合、図6のせん断スパン比 $a/D = 1.125$ 、断面寸法250×1,000mmとした基礎梁実験を基に、RC配筋指針に準じ、式(4)、式(5)より、表4の重ね長さ比 L_{1h}/d を規定している。

そこで、基礎梁実験による重ね継手なしと重ね継手あり試験体について、重ね長さ比 l/d が耐力安全率 Q_{max}/Q_{su} および限界部材角実験値 R_{80} に及ぼ

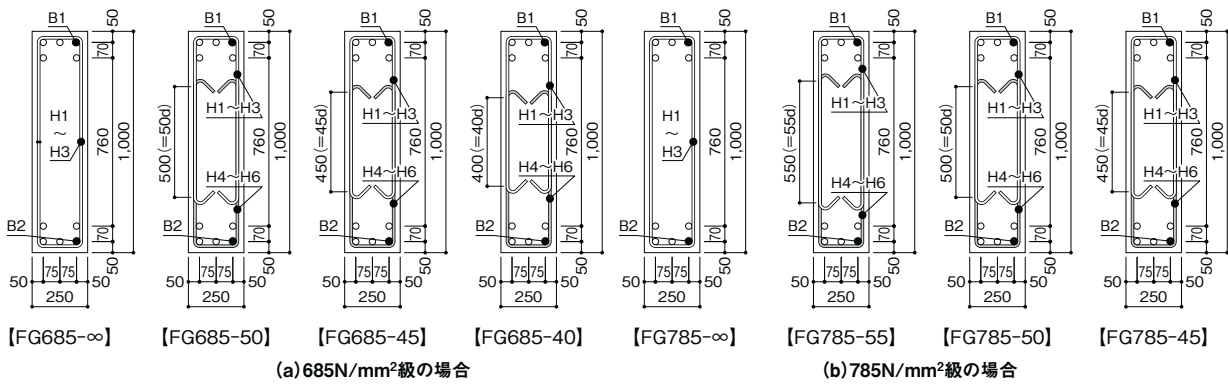
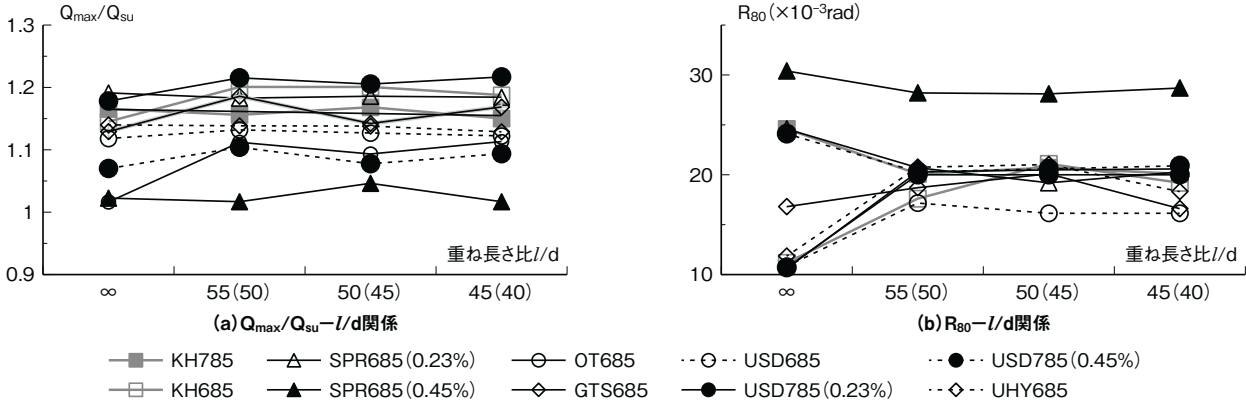


図6 中段筋梁と一般梁実験の耐力安全率 Q_{max}/Q_{su} —せん断余裕度 Q_{su}/Q_{fu} 関係



(注) KH685, KH785: スーパーフープ685, 785, SPR685: パワーリング685, OT685: OT685フープ, GTS685: GTSフープ685, UHY685: UHY685フープ
USD685, USD785: キョウエイリング685, 785

図7 フック付き重ね長さ l/d が耐力安全率 Q_{max}/Q_{su} および限界材角実験値 R_{80} に及ぼす影響

表4 本指針によるフック付き重ね長さ L_{1h}/d の計算値と規定値

F_c (N/mm ²)	RC 配筋指針の L_{1h}/d				685N/mm ² 級		785N/mm ² 級	
	SD295	SD345	SD390	SD490	計算値	規定値	計算値	規定値
21	30				54.4		62.3	
24		30	35		50.1		57.4	
27				40	47.7	50	54.7	55
30	25				45.5		52.2	
33					43.5		49.9	
36					41.7	45	47.8	50
39		25	30	35	40.1		45.9	
42					38.5		44.1	
45					37.1		42.5	
48	20				35.8	40	41.0	45
54		20	25	30	33.4		38.3	
60					31.3		35.9	

F_c : コンクリートの設計基準強度
計算値: 式(4), 式(5)の計算値の大きい方の値

す影響を図7に示す。同図中、横軸 ∞ は重ね継手なし試験体を示し、 Q_{max} は最大耐力実験値、 Q_{su} は荒川mean式によるせん断終局耐力、 Q_{max} と R_{80} の実験値は正加力時の値であり、計算耐力はコンクリート実圧縮強度 σ_B を用いて算定している。

同図によると、685N/mm²級、785N/mm²級ともに、荒川mean式のせん断余裕度 $Q_{su}/Q_{fu}=0.8\sim 0.9$ とした基礎梁横補強筋比 $p_w=0.23\%$ と 0.45% の重ね継手あり試験体では、耐力安全率 Q_{max}/Q_{su} は $1.1\sim 1.2$ であり、 $p_w=0.23\%$ の試験体では、限界材角実験値 R_{80} は 20×10^{-3} rad.程度となった。

一方、荒川mean式のせん断余裕度 $Q_{su}/Q_{fu}=0.99$ とした685N/mm²級SPR685の $p_w=0.47\%$ 試験体では、耐力安全率 Q_{max}/Q_{su} は $1.0\sim 1.05$ 、限界材角実験値 R_{80} は $28\sim 30\times 10^{-3}$ rad.となった。

これらより、基礎梁実験では、横補強筋末端を135°フックとし、フック付き重ね継手の妥当性を確認しているため、RC配筋指針のフック付き重ね継手を基に、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、連載第2回として、中段筋梁の設計および基礎梁横補強筋フック重ね継手の規定とそれらの実験的ならびに理論的根拠について紹介した。

(ますお きよし)

【参考文献】

- (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(2023年), 2023年8月
- 益尾潔: (連載) SABTEC高強度せん断補強筋設計施工指針(203年)第1回 SABTEC指針(2023年)の概要, pp.48~49, 建築技術2024年1月号
- 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 2018年
- 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説, 2021年