

# 高強度・太径鉄筋関連の SABTEC技術評価工法(2)

益尾 潔 ● 一般社団法人建築構造技術支援機構 代表理事

本稿では、高強度・太径鉄筋関連のSABTEC技術評価工法(2)として、本マニュアル6.3節「IKGスキップ梁工法」について紹介する。

## IKG スキップ梁工法

### ◎ IKG スキップ梁工法開発の経緯

図1に示すように、梁主筋の設計かぶり厚さを確保しつつ、横補強筋を機械式鉄筋継手に掛けると、梁主筋に横補強筋を掛けた場合よりも、主筋位置が梁の内側に寄り、曲げ終局耐力が減少する。

伊藤製鐵所、共英製鋼、合同製鐵3社では、この問題解消のために、各社の機械式鉄筋継手を用いたIKGスキップ梁実験と既往スキップ梁実験に基づ

き、IKGスキップ梁設計指針についてSABTEC評価を取得している。

### ◎ 既往スキップ梁実験

既往スキップ梁実験は、表1に示すように、系列I～IIIについて、①コンクリート目標強度 $F_c$  (27, 60N/mm<sup>2</sup>)、②主筋本数、③継手の有無と継手位置、④横補強筋鋼種と横補強筋比を実験因子とした試験体16体について行われている。

各試験体ともに、表1、図2のように、内法スパン長 $L_o$ を梁せい $D$ の4倍とし、系列Iでは主筋継手有・継手位置を中央、系列II、系列IIIでは、主筋継手有・継手位置を $1.5D$ と $1.25D$ としている。

既往スキップ梁実験の規準化せん断力 $Q_g/Q_{ju}$ 一部材角R関係を図3に示す。 $Q_g$ ：梁せん断力、 $Q_{max}$ ：

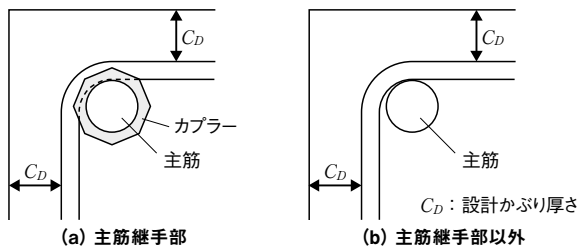


図1 主筋継手部と主筋継手部以外の横補強筋位置

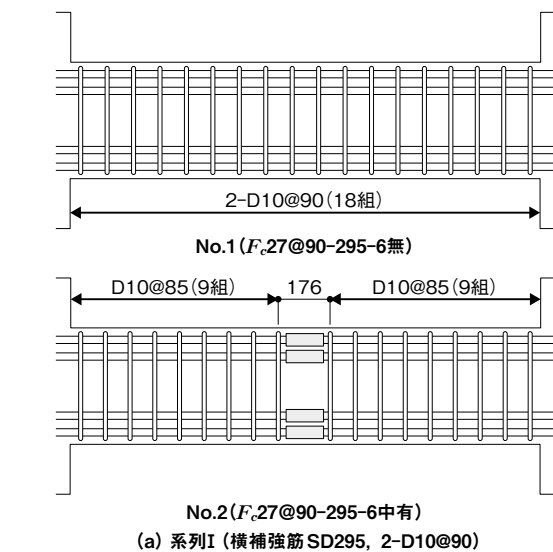
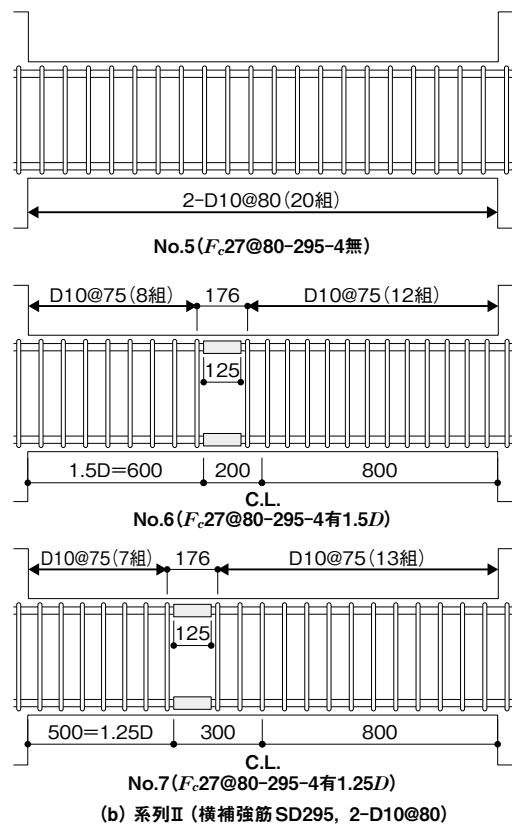


図2 既往スキップ梁実験の主要試験体配筋図



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

図(a)の系列Iは, せん断余裕度  $Q_{su}/Q_{fu} \approx 0.5$  のせん断破壊型であり, 継手の有無に係わらず, せん断耐力安全率  $Q_{max}/Q_{su}$  は1.5~1.6程度である。

これらより, 機械式鉄筋継手を設けたスキップ梁のせん断終局耐力は, 継手無と同様, 荒川mean式で算定してもよいとしている。

図(b)の場合, 系列IIの継手無および継手位置1.5Dと1.25D試験体はせん断余裕度  $Q_{su}/Q_{fu} = 0.9 \sim 1.0$  であり, 曲げ降伏後, 最大耐力に達し, 継手位置1.5Dと1.25D試験体の限界部材角  $R_{80}$  は, 継手無

試験体の  $R_{80}$  と同程度である。

$R_{80}$ : 最大耐力の80%耐力低下時部材角

### ◎IKGスキップ梁実験

IKGスキップ梁実験は, 表2のように,  $F_c 27\text{N}/\text{mm}^2$ , 主筋鋼種SD390の継手無試験体および継手位置を1.5Dと1.25Dとした各社の継手有試験体, ならびに  $F_c 60\text{N}/\text{mm}^2$ , 主筋鋼種SD490とし, 横補強筋鋼種を785N/mm<sup>2</sup>級とした継手無試験体と継手有試験体について行われている。

継手記号ONI: 伊藤製鐵所製ネジonicon鉄筋継手

TAF: 共英製鋼製タフネジバークラウト継手

EG: 合同製鐵製EGジョイント

図4に示すように, 主筋継手位置1.5D試験体

表1 既往スキップ梁実験計画

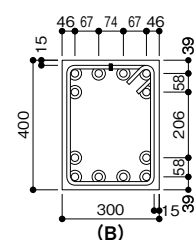
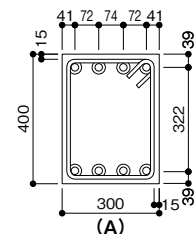
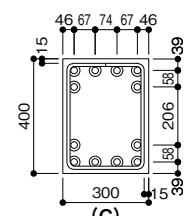
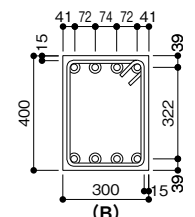
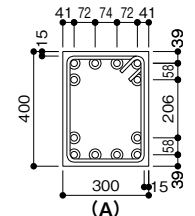
系列	試験体	$F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	梁主筋		主筋継手		横補強筋			断面			
			鋼種	配筋 ( $\rho_t$ )	有無	位置	鋼種	配筋	$\rho_w$ (%)				
I	No. 1	27	SD490	4+2-D22 (1.94%)	無	—	SD295	2-D10 @90	0.53	A			
	No. 2				(有)	中央							
	No. 3				無	—		2-D10 @60	0.79				
	No. 4				(有)	中央							
II	No. 5		SD390	4-D22 (1.29%)	無	—	SD295	2-D10 @80	0.59	B			
	No. 6				(有)	1.5D							
	No. 7				無	—		2-D10 @50	0.95				
	No. 8				(有)	1.25D							
	No. 9				無	—							
	No. 10				(有)	1.25D							
III	No. 11	60	SD490	4+2-D22 (1.94%)	無	—	SD295	2-D10 @50	0.95	A			
	No. 12				(有)	1.5D							
	No. 13				無	—		785N級	2-S10 @80		0.59		
	No. 14				(有)	1.25D							
	No. 15				無	—						2-S10 @50	0.95
	No. 16				(有)	1.25D							

【部材寸法】 内法スパン長  $L=1600\text{mm}$  ( $L/D=4.0$ ), 梁幅  $B \times$  梁せい  $D=300\text{mm} \times 400\text{mm}$   
 【記号】  $F_c$ : コンクリートの目標圧縮強度,  $\rho_t$ : 引張鉄筋比,  $\rho_w$ : 横補強筋比  
 【横補強筋加工形式】 SD295: 135°フック閉鎖型, 785N級: 溶接閉鎖型  
 (主筋継手) ネジバークラウト継手: JFE条鋼

表2 IKGスキップ梁実験計画

試験体	$F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	梁主筋		主筋継手		横補強筋			断面
		鋼種	配筋 ( $\rho_t$ )	有無	位置	鋼種	配筋	$\rho_w$ (%)	
No. 1	27	SD390	4-D22 (1.29%)	無	—	SD295	2-D10 @80	0.59	A
No. 2				ONI	1.5D				
No. 3				(有)	1.25D				
No. 4				TAF	1.5D				
No. 5				(有)	1.25D				
No. 6				EG	1.5D				
No. 7				(有)	1.25D				
No. 8	60	SD490	4+2-D22 (1.94%)	無	—	785N級	2-D10 @80	0.59	B
No. 9				ONI	1.5D				
No. 10				(有)	1.25D				

【部材寸法】 内法スパン長  $L=1,600\text{mm}$  ( $L/D=4.0$ ), 梁幅  $B \times$  梁せい  $D=300\text{mm} \times 400\text{mm}$   
 【記号】  $F_c$ : コンクリートの目標圧縮強度,  $\rho_t$ : 引張鉄筋比,  $\rho_w$ : 横補強筋比  
 ONI: ネジonicon鉄筋継手, TAF: タフネジバークラウト継手, EG: EGジョイント  
 【横補強筋加工形式】 SD295: 135°フック閉鎖型, 785N級: 溶接閉鎖型



No.2, 4, 6および1.25D試験体No.3, 5, 7の場合、主筋継手に対する横補強筋の効果を比較できるように、継手全長 $L_c$ を含めた両側横補強筋間の継手両端間寸法 $L_{co}$ をすべて200mmとしている。

IKGスキップ梁実験の規準化せん断力 $Q_g/Q_{fu}$ 一部材角 $R$ 関係を図5に示す。IKGスキップ梁実験では、既往スキップ梁実験と同様、せん断余裕度 $Q_{su}/Q_{fu} = 0.9$ 程度であり、継手無試験体と各社主筋継手を用いた継手有試験体ともに、曲げ降伏後、最大耐力に達し、継手位置1.5Dと1.25D試験体の限界部材角 $R_{80}$ は、継手無試験体の $R_{80}$ と同程度である。

### ◎ IKGスキップ梁設計指針の概要

表3に示すように、IKGスキップ梁実験に供した主筋継手カプラー中央の直径比 $D_c/d_b$ は1.6~1.8であり、カプラー中央の直径比 $D_c/d_b$ に対する支圧面積比1.4~2.3は、村上、窪田らの実験で定着筋の引張強度が確保された定着金物の支圧面積比(2~6)の最小値に近い。 $d_b$ :主筋呼び名の値

上記の実験結果を踏まえると、カプラー中央の支圧面積比に相当する支圧強度は、カプラー外周部で喪失する付着強度と相殺されると考えられる。

これらより、IKGスキップ梁設計指針では、スキ

ップ梁の基本事項を満足する場合、主筋継手無と同様、設計で保証すべき終局耐力と変形性能を確保できている。IKGスキップ梁主筋継手の外形を図6に示す。

#### ①スキップ梁の基本事項

図7に示すように、スキップ梁の内法スパン長 $L_o$ は梁せい $D$ の4倍以上とし、材端部フェイスから主筋継手端面までの主筋継手位置寸法 $L_{so}$ を梁せい $D$ の1.5倍以上とすれば、主筋継手が存在しても、終局限界変形時に、梁両端部に降伏ヒンジの形成が保証される。その際、内法スパン長 $L_o$ の中間に降伏ヒンジを発生させないとし、スキップ梁ではカットオフ主筋を用いないとしている。

#### ②継手周囲区間と同区間以外の配筋詳細

スキップ梁の横補強筋組数は、主筋継手なし梁の横補強筋比 $p_w$ で決まる組数以上とし、かつ、「 $\alpha_w \geq 1.0$ 」を満足するように、図8の継手周囲区間と同区間以外に配置するとしている。継手周囲区間は、最外縁上下主筋間距離 $j_{tgo}$ と同じとし、同区間の横補強筋組数 $n_{w1}$ は、主筋継手の左右に1組以上かつ左右同組数としている。

$\alpha_w = n_{w1}/n_{w0}$ : 継手周囲横補強筋配置率

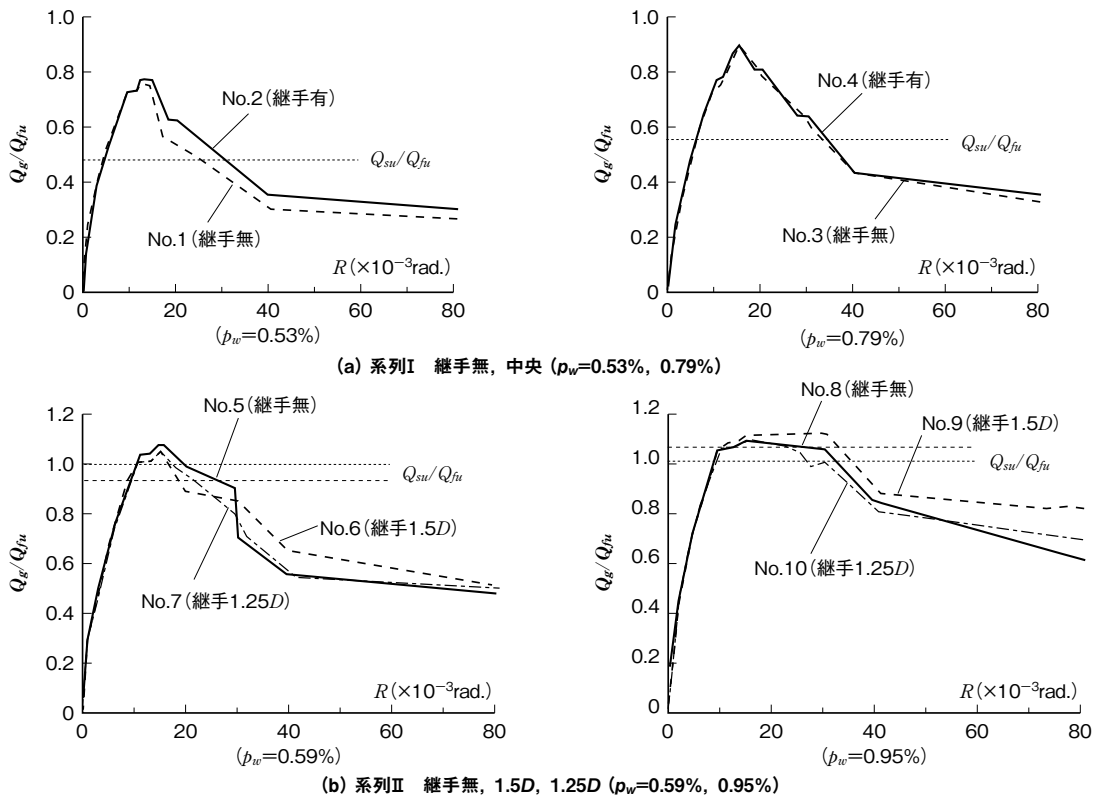


図3 既往スキップ梁実験の規準化せん断力 $Q_g/Q_{fu}$ 一部材角 $R$ 関係  
 $Q_{fu}$ : e関数法を用いた曲げ終局耐力時せん断力  $Q_{su}$ : 荒川mean式によるせん断終局耐力

$n_{wo}$  : 主筋継手なし梁継手周囲区間横補強筋組数  
 (=  $j_{ig0}/s_0$ ,  $s_0$  : 横補強筋間隔)

$n_{w1}$  : 主筋継手あり梁継手周囲区間横補強筋組数

図9のように、梁の45度トラス機構に対応する継手周囲区間内の横補強筋組数 $n_{wo}$ に対して、主筋継手有の継手周囲区間内における横補強筋の降伏耐力 $T_{wy} = n_{w1} \cdot a_w \cdot \sigma_{wy}$ を保証するために、継手周囲横補強筋配置率 $\alpha_w \geq 1.0$ としている。

$a_w$  : 横補強筋1組の断面積

$\sigma_{wy}$  : 横補強筋の降伏強度

③主筋継手部の側面かぶりでの支圧応力度

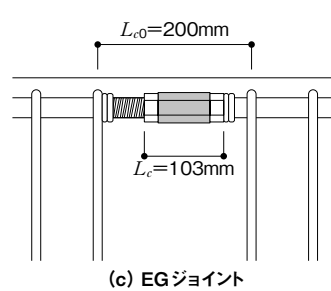
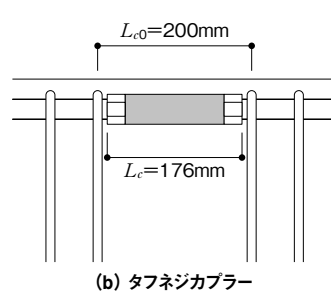
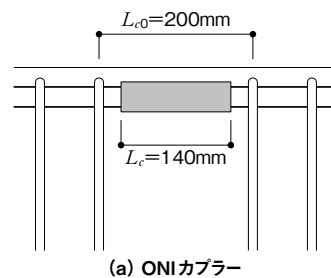
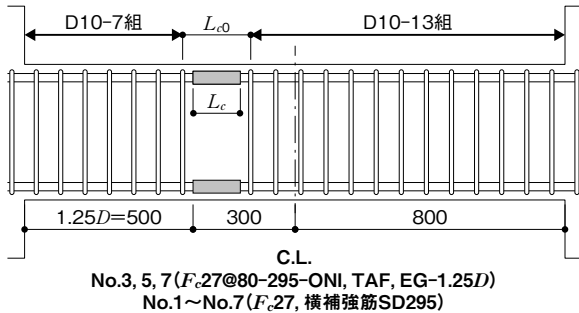
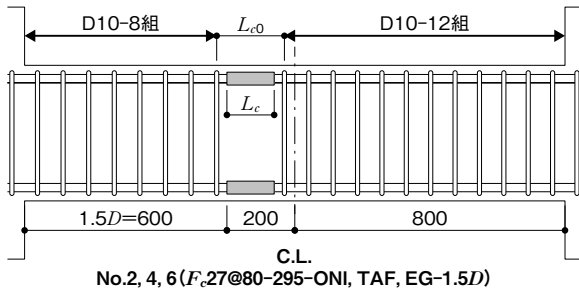
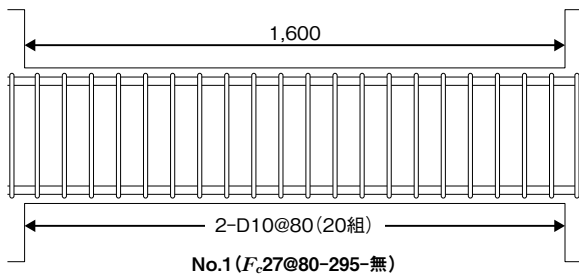
本設計指針では、図10の主筋継手部 $L_c$ における側面かぶりでの支圧面積 $A_b$ を用いて求められる下式の梁主筋継手部の支圧応力度比 $F_a/F_c$ が1を超えないこととしている。

$$F_a/F_c = (\sigma_{sy}/F_c) \cdot (L_c/2L_0) < 1$$

$\sigma_{sy}$  : 主筋の引張降伏強度

$F_c$  : コンクリートの設計基準強度

ここで、梁せい $D = 800\text{mm}$ 、内法スパン長 $L_0 = 4 \times 800 = 3,200\text{mm}$ のスキップ梁とすると、コンクリート設計基準強度 $F_c 30\text{N/mm}^2$ 、主筋鋼種SD490、呼び名D41の各社機械式主筋継手の場合、上記の



(各社主筋継手の継手 全長 $L_c$ と継手両端間寸法 $L_{c0}$ )

図4 IKGスキップ梁実験の主要試験体配筋図

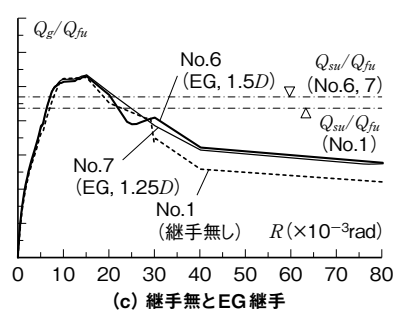
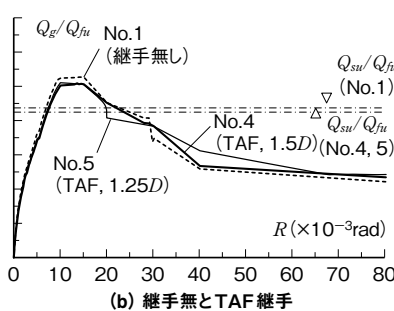
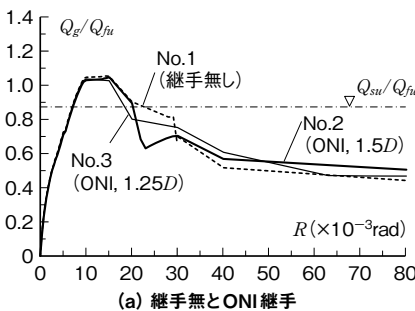


図5 IKGスキップ梁実験の規準化せん断力 $Q_g/Q_{fu}$ —部材角 $R$ 関係

支圧応力度比  $F_a/F_c$  は明らかに1を下まわる。すなわち、IKG スキップ梁の場合、通常、同式の規定に係わらず、前述の①基本事項と②配筋詳細の規定を満足すればよい。

表3 スキップ梁主筋継手諸元

主筋呼び名	ONI		TAF		EG		既往実験	
	$L_c/d_b$	$D_o/d_b$	$L_c/d_b$	$D_o/d_b$	$L_c/d_b$	$D_o/d_b$	$L_c/d_b$	$D_o/d_b$
D22	6.4	1.7	6.0	1.7	3.0	1.8	5.7	1.8
最大	6.8	1.7	7.0	1.8	3.1	1.8	5.9	1.8
最小	5.9	1.6	5.5	1.6	2.9	1.7	5.4	1.7

ONI: ネジonicon鉄筋継手, TAF: タフネジバーグラウト継手  
 EG: EGジョイント, 既往実験: 既往実験: ネジバー機械式継手  
 $L_c$ : カプラー全長,  $D_o$ : カプラー中央最大径  
 $d_b$ : 主筋呼び名の値

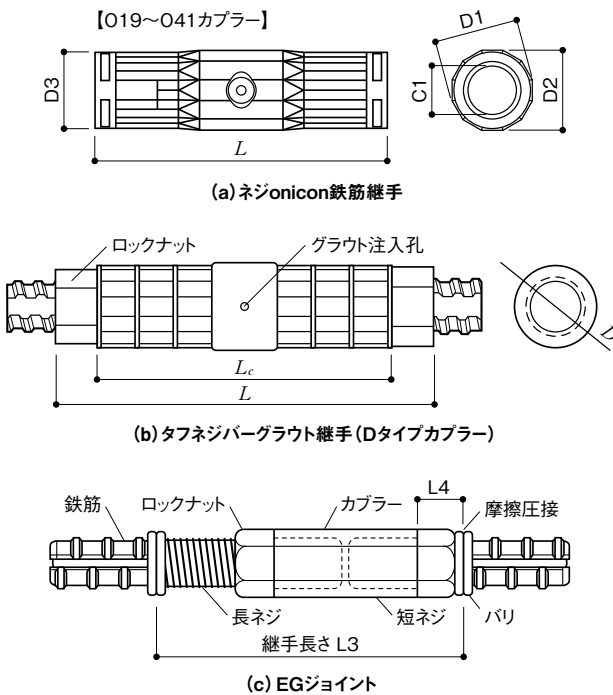


図6 IKGスキップ梁機械式主筋継手の外形

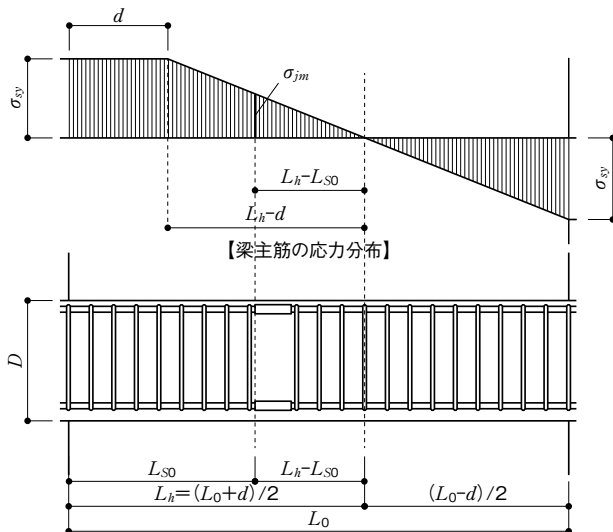


図7 梁主筋応力分布と主筋位置寸法  $L_{s0}$  の定義

④スキップ梁における貫通孔の配置

スキップ梁における貫通孔の配置可能範囲は、図11のように、柱面から梁せい  $D$  の1.0倍を除く範囲とし、開孔部補強  $C$  区間は継手周囲区間の中央または継手周囲区間以外としている。また、貫通孔は継手周囲区間と継手周囲区間以外に跨いで配置しないとしている。

⑤スキップ梁横補強筋の検定例

本検定例では、表4の検定条件「内法スパン長  $L_o = 3,200\text{mm}$  ( $L_o/D = 4.0$ ) と  $4,800\text{mm}$  ( $L_o/D = 6.0$ )、梁横補強筋  $4-D13@135\text{mm}$  ( $p_w = 0.75\%$ ) と  $4-D13@200\text{mm}$  ( $p_w = 0.51\%$ )」について検定している。

表5の検定結果では、全横補強筋組数  $\Sigma n_w$ 、左右区間の全横補強筋組数  $n_{wLR}$ 、左右区間横補強筋組

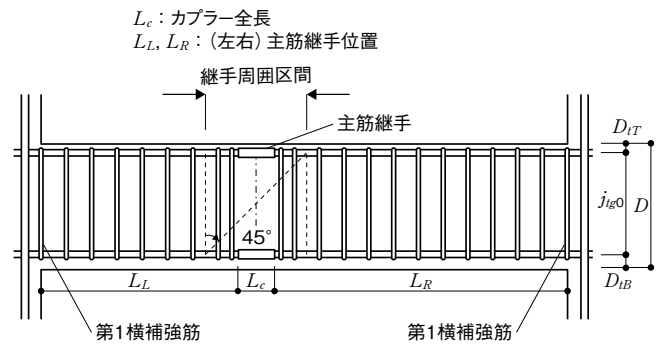
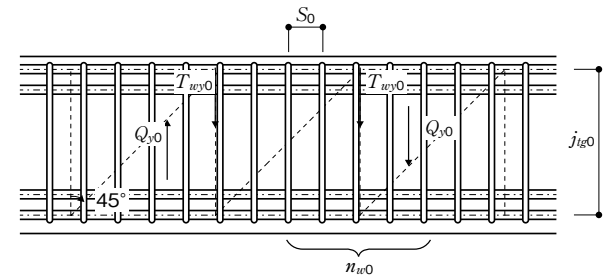
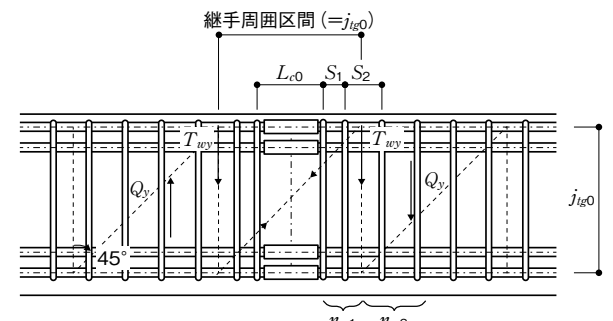


図8 継手周囲区間と同区間以外の配筋詳細



(a) 主筋継手なしの場合の横補強筋間隔  $S_0$

(ロックナットあり)  $L_{c0} = L_c + 2L_n + d_{w0}$   
 (ロックナットなし)  $L_{c0} = L_c + d_{w0}$   
 $L_c$ : カプラー全長  
 $L_n$ : ロックナット高さ  
 $d_{w0}$ : 横補強筋最外径



(b) 継手周囲区間と同区間以外の横補強筋間隔  $S_1, S_2$

図9 横補強筋間隔

数 $n_{wL}$ ,  $n_{wR}$ を示し、内法スパン長 $L_0$ に対して材端部フェイスからの主筋継手位置 $L_{s0}$ を与え、継手周囲区間の横補強筋組数 $n_{w1}$ および左区間と右区間の横補強筋組数 $n_{wL}$ ,  $n_{wR}$ を確認している。

また、表5では、推奨事項( $\alpha_w \cdot \beta_w \geq 1$ )を満足

することを確認している。

(ますお きよし)

【参考文献】

1) 益尾 潔：(連載) IKGスキップ梁工法第1回 IKGスキップ梁実験，建築技術2021年1月号，pp.38～41，第2回 IKGスキップ梁設計指針の概要，建築技術2021年2月号，pp.144～147

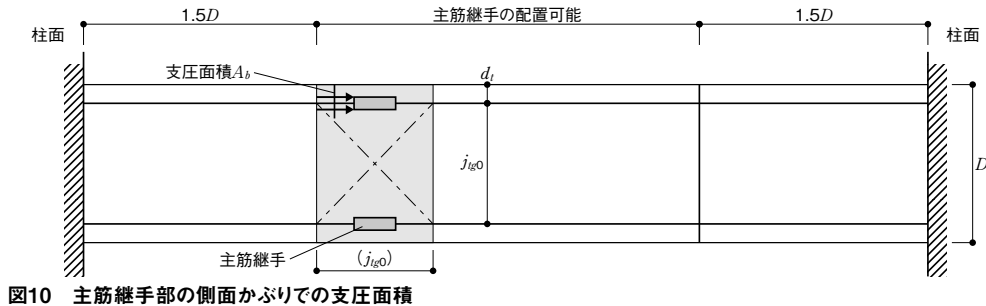
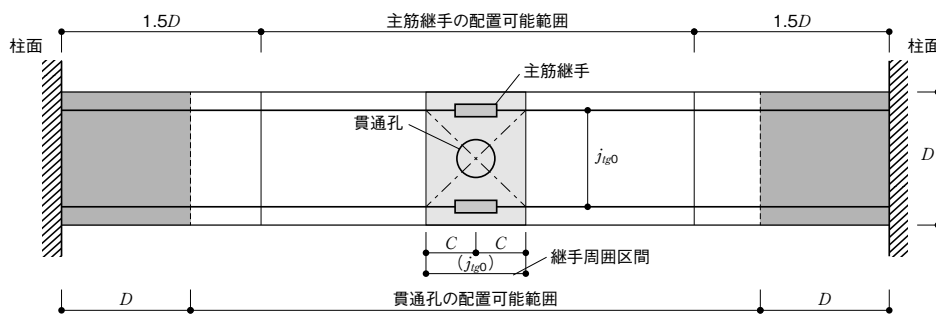
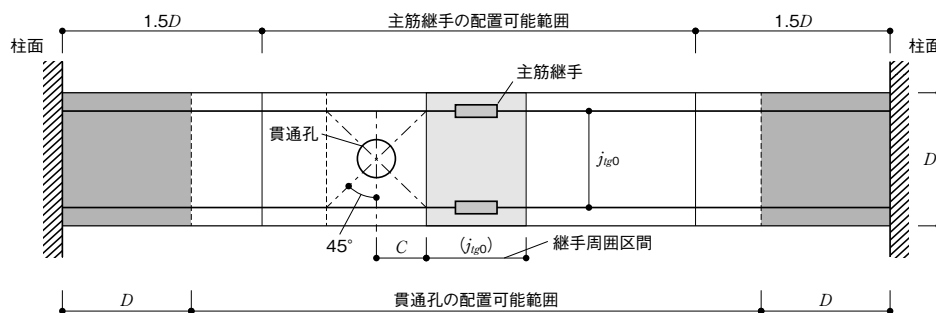


図10 主筋継手部の側面かぶりでの支圧面積



(a) 継手周囲区間に開孔部を配置した場合



(b) 継手周囲区間以外に開孔部を配置した場合

図11 スキップ梁における貫通孔の配置

表4 スキップ梁横補強筋の検定条件

梁幅 $b \times$ 梁せい $D$	$b=500\text{mm} \times D=800\text{mm}$
上下端主筋	(呼び名) D35 (本数) 1段目：5本，2段目：5本
主筋中心かぶり厚さ	$d_{IT}=130\text{mm}$ , $d_{IB}=90\text{mm}$
主筋継手なし梁の横補強筋	4-D13@135mm ( $\rho_w=0.75\%$ ) 4-D13@200mm ( $\rho_w=0.51\%$ )
内法スパン長	$L_0=3,200\text{mm}$ ( $L_0/D=4.0$ ) $L_0=4,800\text{mm}$ ( $L_0/D=6.0$ )
主筋継手位置	$L_L=1,200\text{mm}$
カブラー全長	ネジ onicon 鉄筋継手 $L_c=210\text{mm}$
	タフネジバーグラウト継手 $L_c=224\text{mm}$
	EG ジョイント $L_c=105\text{mm}$

(注)  $d_{IT}$ ,  $d_{IB}$ ：上端側および下端側主筋中心かぶり厚さ

表5 スキップ梁横補強筋の検定結果

梁記号	nG11	nG12	nG21	nG22
内法スパン長 $L_0$ (mm)	3,200	3,200	4,800	4,800
内法スパン長比 $L_0/D$	4.0	4.0	6.0	6.0
横補強筋間隔 $s_0$ (mm)	135	200	135	200
横補強筋組数	$n_{w0}$ (本)	5	3	5
	$n_{w1}$ (本)	6	4	6
継手周囲横補強筋配置率 $\alpha_w$	1.20	1.33	1.20	1.33
主筋継手長さ係数 $\beta_w$	0.92	0.92	0.95	0.95
$\alpha_w \cdot \beta_w$	1.10	1.22	1.14	1.26
側面剥離定着耐力比 $\sigma_{au0}/\sigma_{au}$	1.34	1.34	1.34	1.34
全横補強筋組数 $\Sigma n_w$ (本)	24	16	36	24
左右区間の全横補強筋組数 $n_{wLR}$ (本)	18	12	30	20
左区間横補強筋組数 $n_{wL}$ (本)	7	5	8	5
右区間横補強筋組数 $n_{wR}$ (本)	11	7	22	15

$\Sigma n_w = \text{Roundup}(L_0/s_0, 0)$ ,  $n_{wLR} = \Sigma n_w - n_{w1}$   
 $n_{wL} = \text{Roundup}(n_{wLR} \cdot (L_L/L_0), 0)$ ,  $n_{wR} = n_{wLR} - n_{wL}$