論 説

UDC 624.023.88:621.88

SJ工法による継手性能の最適化について

服 部 清 治

On Optimization of Joint Efficiency by Squeeze Joint (SJ) Method

Seiji Hattori

Synopsis

Recently, in the building business circle, with the progress of reinforced structure of getting bigger and higher the strength and diameter are changing and furthermore, the prefabricating method is being adopted for energy saving of reinforced work.

Accordingly, mechanical joints of high reliability are required.

The writer et al developed squeeze joint method which is a mechanical jointing method of deformed bars.

The squeeze joint is carried out with a thickwalled steel tube sleeve which is squeezed onto the deformed bar by a die.

In this paper, it has been clarified that optimum values of 3 elements (reduction ratio, section ratio and sleeve length) in SJ function are 0.85, 1.25 and 5 knots of deformed bar respectively.

From results written here under it was confirmed that this SJ joint fully satisfied joint judgement standard "A" by RPCJ committee.

The test results of squeeze joint performance are as follows :

- 1) Tensile strength is higher than JIS standard strength of reinforced deformed bar
- 2) At $0.95 \sigma_{yB}$: Joint $E' > 0.7E$
- 3) At $0.70 \sigma_{yB}$: Joint $E' > E$
- 4) Residual elongation at $(0.95 \sigma_{yB} \rightarrow "0")$: $< 0.3\text{mm}$
- 5) At max. load : Elongation $> 3\%$
- 6) After 20 times load reversals of $95\% \sigma_{yB}$ tension and $0.5 \sigma_{yB}$ compression : Joint $E' > 0.5E$

1. ま え が き

鉄筋コンクリート部材の耐力の信頼性については、鉄筋コンクリート構造物の大型化、高層化に

ともない近年とみに重要視されている。一般に鉄筋コンクリート部材の耐力の信頼性は鉄筋とコンクリート相互の品質特性ならびに鉄筋の継手耐力の均等性に依存するところが多い。また、鉄筋の継手耐力の均等性は継手工法によるところが多く、最近では継手耐力の信頼性の向上のために種々の工法が提案されている。

昭和55年10月1日 受付

大同特殊鋼(株)研究開発本部 商品開発室

従来工法の主力であるガス圧接継手工法は圧接工という特殊技能者を必要とし、また、鉄筋コンクリート構造物の大型化にともなう高強度太径鉄筋の場合には継手性能の信頼性に難点があり、そのうえ躯体鉄筋工事の省力化、平均化を計るための組立鉄筋工法（プレハブ工法）には圧接により継手部が縮むため不適當であった。

このため高強度太径鉄筋および組立鉄筋の接合が容易で確実に施工できかつ伸び縮みの発生しない信頼性の高い機械的継手工法が強く要望されるようになった。

この社会的要請に応じて筆者らは、大手建設会社スタッフの協力のもとにスクイズ式鉄筋継手工法（Squeeze Joint 工法—以下 S J 工法という）を開発した。

S J 工法は日本建築センターの評定（BC J-C 641号）と建設大臣認定（東住指発第1261号、阪住指発1262号）を取得してこれまでに数多くの施工実績をあげている。

本稿は主として S J 工法の継手性能の最適化について論説するものである。

2. S J 工法の概要

2.1 S J 継手の圧着機構

S J 継手の圧着機構の概要は Fig. 1 に示すように、所定の肉厚と長さの厚肉鋼管（スリーブ）内に被接合異形鉄筋相互を挿入し、特殊油圧ジャッキ（締付機）を用いてダイスをスリーブの軸線に沿って一方向に進め、スリーブを絞り加工して

Fig. 1. Jointing mechanism.

異形鉄筋のフシ間に食い込ませ一体化させるものである。鉄筋間の荷重伝達は3.1に詳述するが主として鉄筋のフシ間に食い込んだスリーブの剪断抵抗とスリーブ自身の引張強さによって行われる。

2.2 S J 工法の適用範囲と継手使用材料

本工法の適用範囲は異形棒鋼ならばすべて接合可能であるが建設省および建築センターより施工許可を得ている使用鉄筋の種類はつぎの通りである。すなわち JIS G 3112「鉄筋コンクリート用棒鋼」の規定のうち熱間圧延異形棒鋼 2 種（S D 30）、3 種（S D 35）、4 種（S D 40）であり、鉄筋径は鉄筋フシ模様に関係なく D 19 から D 51 まで 9 サイズである。異形鉄筋の化学成分と機械的性質を Table 1 におもな異形鉄筋の JIS 寸法とフシ模様 3 種類を Table 2 に示す。

継手材として使用するスリーブは、JIS G 3445「機械構造用炭素鋼鋼管」13 種 A（STKM13A）もしくはこれに相当するもので、上記 3 種類 S D 30、S D 35、S D 40 の鉄筋の同一呼び径に対して、同一のものを使用する。スリーブの化学成分と機械的性質を Table 1 に、スリーブの標準寸法と標

Table 1. Chemical composition and mechanical properties of deformed bar and sleeve.

	Symbol JIS	Chemical composition (%)						Mechanical properties				
		C	Si	Mn	P	S	C+Mn/6	Y.P. (kgf/mm ²)	T.S. (kgf/mm ²)	El. (%)		Note
Deformed bar	SD30	—	—	—	≦ 0.050	≦ 0.050	—	≧ 30	49~63	No.2 ≧ 14	No.3 ≧ 18	No.2≦D22 No.3≧D25
	SD35	≦ 0.27	—	≦ 1.60	≦ 0.050	≦ 0.050	≦ 0.50	≧ 35	≧ 50	≧ 18	≧ 20	
	SD40	≦ 0.29	—	≦ 1.80	≦ 0.050	≦ 0.050	≦ 0.55	≧ 40	≧ 57	≧ 16	≧ 18	
Sleeve	STKM13A	≦ 0.25	≦ 0.35	0.30~0.90	≦ 0.040	≦ 0.040	—	≧ 22	≧ 38	*No.11・No.12 ≧ 30		

* Refer to JIS Z2201

Table 2. 3 selected JIS dimension and 3 kinds of knot pattern of deformed bar.

Designation	Nominal size			Tolerance of knot			Typical knot pattern		
	Perimeter l (cm)	Diameter d (mm)	Cross section area S (cm ²)	Max. of average knot interval	Height of knot		Circumferential type	Wave type	Slanting type
					min. (mm)	max. (mm)			
D25	8	25.4	5,067	17.8	1.3	min × 2
D32	10	31.8	7,942	22.3	1.6
D51	16	50.8	2,027	35.6	2.5		"How to count"		

(Note) Deformed bars which are generally used in SJ have 9 sizes of D19, 22, 25, 29, 32, 35, 38, 41, 51.

Table 3. Standard dimension of sleeve and die.

Designation of bar	Kind of sleeve	Outer dia. a(mm)	Inner dia. b(mm)	Length L ₀ (mm)	Weight W(kg)	Die dia. c(mm)
D19	I	34.0	25.0	160	0.52	28.7
	II	38.0	30.2	"	"	
D25	I	45.0	33.0	200	0.80	38.2
	II	48.3	37.2	"	"	
D32	I	54.0	37.9	240	2.19	47.8
	II	57.0	42.0	"	2.20	
D38	I	65.0	45.7	270	3.56	57.3
	II	70.0	52.6	"	3.55	
D51	I	88.9	64.1	350	8.19	76.4
	II	89.1	64.4	"	8.18	

準ダイス径の代表例を Table 3 に示す。

2.3 締付機と圧着作業

D51大径鉄筋用締付機の一例を Fig. 2 と Photo. 1 に示す。

締付機は、それぞれ狭い配筋間隔や作業スペースで圧着作業が可能であるように工夫されている。

配筋間隔については一般に建築工事では鉄筋公称直径のほぼ3倍(細目; JASS 5.9.5)¹⁾、土木工事では2.5倍がそれぞれ大半を占めるといわれる。また作業スペースも主筋を補強するスターラップ筋の引上げ移動量を少なくするためにより狭いことが要求される。(これらは締付機的设计上かなり過酷な条件である) 圧着加工は締付機の手元スイ

ッチの操作のみでスピーディに行われ簡単に信頼性の高い均一な継手が得られる。なお、施工後の継手検査も簡単で所定の検査ゲージにより圧着後のスリーブ外径や圧着長さをチェックするだけでよい。

2.4 SJ工法の特徴

- (1) 一般作業でも手軽に操作できる。
- (2) 機械的継手のため継手強度の信頼性が高い。
- (3) 火を使わないので火災の心配がない
- (4) 配筋作業に引き続き圧着作業を鉄筋工が行えるから作業管理が容易となる
- (5) 強風中や雨中でも施工が可能である
- (6) 鉄筋間にほとんど伸縮が発生しないので組

Unit : mm

Type	Power (t·f)	Stroke	Bar pitch		Axis length S_1	Working space S_2	Total length (L)	Weight (kg)
			P_1	P_2				
D51-Hook	100	265	130 (2.6d)	175 (3.4d)	775	950	1,180	250

Fig. 2. Hook type squeezing machine for D51 bar.

Photo. 1. Hook type squeezing machine for D51 bar.

立鉄筋工法に最適である。

- (7) 施工後の継手検査が簡単である
- (8) 経済的には1ヶ所当りの継手費用は割高となる。

3. S J 継手性能の最適化について

S J 継手とはスリーブをダイスにより異形鉄筋（以下単に鉄筋という）に圧着させて一体化させる機械的継手の一種であり、一般にこの種の継手の場合最もよい継手機能を得るにはスリーブと鉄筋との圧着度、圧着後のスリーブと鉄筋との強度比、ならびにスリーブと鉄筋との圧着長さの三要素の大きさおよび長さ（以下 dimension という）がどの範囲にあれば最適であるかを定めることにある。

本章では、この三要素の dimension の最適値を定めるための手法について主として詳述し、その後最適化した三要素の dimension を用いた S J

継手性能が実用上非常に優れていることを実験に基づいて明らかにした。

なお S J 継手の圧着時における軸方向の伸び変化に関してはつぎの機会にゆずりたい。

3.1 三要素の定義

ダイスによるスリーブの絞り加工（圧着加工）をスムーズに行い、かつ、鉄筋母材と同等の継手強度、継手剛性ならびに破壊時の伸び性状を得るために、S J 継手の三要素としてスリーブと鉄筋との圧着度を示す減面比を α とし、圧着加工後のスリーブの鉄筋に対する強度比に相当する断面比を β としかつ、スリーブと鉄筋との圧着長さを L_a とすると、三要素は下式によってそれぞれ表わされる。

減面比 α とは、圧着後のスリーブ断面積を圧着前のスリーブ断面積で除したものをいい、これを (1) 式に示す。

断面比 β とは、圧着後のスリーブ断面積を鉄筋

の公称断面積で除したものをいい、これを(2)式に示す。

圧着長さ L_a とは、鉄筋の最大フシ間隔に片側の鉄筋圧着フシ数を乗じたものをいい、これを(3)式に示す。

また圧着フシ数 N とは、スリーブが片側の鉄筋のフシに圧着されるフシ数をいい、鉄筋母材の最大引張荷重に釣合う圧着フシ数 N は、軸方向荷重が鉄筋の各フシに均等に作用するものとして、鉄筋母材の最大引張荷重を鉄筋1フシの剪断荷重で除したもので示される。これを(4)式に示す。(Fig. 3 参照)

$$\text{減面比 } \alpha = \frac{\text{圧着後のスリーブ断面積}}{\text{圧着前のスリーブ断面積}} \\ = \frac{\left(\frac{c}{2}\right)^2 \pi - \left(\frac{d}{2}\right)^2 \pi}{\left(\frac{a}{2}\right)^2 \pi - \left(\frac{b}{2}\right)^2 \pi} = \frac{c^2 - d^2}{a^2 - b^2} \quad \dots(1)$$

$$\text{断面比 } \beta = \frac{\text{圧着後のスリーブ断面積}}{\text{鉄筋の公称断面積}} \\ = \frac{\left(\frac{c}{2}\right)^2 \pi - \left(\frac{d}{2}\right)^2 \pi}{\left(\frac{d}{2}\right)^2 \pi} = \frac{c^2 - d^2}{d^2} \quad \dots(2)$$

$$\text{圧着長さ } L_a = \text{最大フシ間隔} \cdot \text{圧着鉄筋フシ数} \\ = H \cdot N = 0.7d \cdot N \quad \dots(3)$$

$$\text{圧着フシ数 } N = \frac{\text{鉄筋最大引張荷重}}{\text{鉄筋1フシ 剪断荷重}} \\ = \frac{\text{鉄筋強度} \cdot \text{鉄筋公称断面積}}{\text{鉄筋剪断強度} \cdot 1 \text{フシ剪断面積}} \\ = \frac{\sigma_{bB} \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \pi}{\tau_B (\pi d - 2e)f} \quad \dots(4)$$

(注) 1. 圧着後のスリーブ断面積とは、ダイス内径と鉄筋公称直径からなる管断面積をいう。

2. 減面率(%) = 100 (1 - α)

3. 最大フシ間隔 $H = 0.7d$ ……JIS

a : スリーブ外径

b : スリーブ内径

c : ダイス内径

d : 異形鉄筋の公称直径(表面の凹凸を丸棒にならした仮想円断面の直径)……JIS

e : 異形鉄筋のリブ厚さ

f : " 剪断径におけるフシ厚さ

H : " 最大フシ間隔……JIS

N : 圧着フシ数(片側)

σ_{bB} : 鉄筋強度

τ_B : 鉄筋剪断面強度

L_a : 圧着長さ(片側)

3.2 三要素の適正值

3.2.1 スリーブ引張強度 (σ_{bS}) と断面比 (β)

スリーブに使用する JIS G 3445 機械構造用炭素鋼鋼管 STKM13A は降伏点 $\sigma_{yS} \geq 22\text{kgf/mm}^2$ 、引張強さ $\sigma_{bS} \geq 38\text{kgf/mm}^2$ (添字 S はスリーブを表わす) であるが、ダイスによりほぼ15%の減面率(減面比 $\alpha = 0.85$)を与えた場合、加工硬化により Fig. 3 および Fig. 4²⁾に示すように鉄筋母材上のスリーブ L_a は圧着前引張強さ $\sigma_{bS} = 39\text{kgf/mm}^2$ のものが圧着後引張強さ $\sigma_{bS} \approx 57\text{kgf/mm}^2$ ('は加工後を表わす)程度に、また鉄筋突合せ間のスリーブ空引部 L_b は $\sigma_{bS} \approx 55\text{kgf/mm}^2$ 程度に上昇する。市販鋼管 STKM13A 相当管 (0.12~0.20% C) について、その機械的性質を Fig. 5 に示すが、これより得られるスリーブはほとんどが引張強さ $\sigma_{bS} \approx 43 \sim 48\text{kgf/mm}^2$ にあり、これに対する減面率15%の強度は $\sigma_{bS} \approx 60 \sim 64\text{kgf/mm}^2$ であることがわかる。

ここで Fig. 3 A 部拡大図に示すように上記スリーブ空引部 L_b の任意の位置 (x_1 - x_1 切断線)におけるスリーブ断面積は鉄筋母材フシ径上 (x_2 - x_2 切断線)のスリーブ断面積よりもほぼ10%程度大きく、かつそこにおける破断力も上まわることがすでに筆者らによって確認されている。このため以下に述べるスリーブ引張強度については、この空引部 L_b よりも破断力の劣る鉄筋母材上のスリーブ L_a を対象とする。継手材としてのスリーブは、施工管理面と経済的見地から、鉄筋母材3種類 S D 30, S D 35, S D 40 に対し同一の鋼種と寸法のものを使用するためつぎの検討を進める。上記加工硬化したスリーブの引張強さ $\sigma_{bS} \approx 57\text{kgf/mm}^2$ および $\sigma_{bS} \approx 60 \sim 64\text{kgf/mm}^2$ の数値は Table 4 に示すように鉄筋母材3種類 S D 30, S D 35, S D 40 における RPCJ 基準継手強度³⁾ K_s ($K_s = 1.35 \sigma_{yB}$) をいずれも上まわっており、また鉄筋母材の引張強さ JIS 規格値 (S D 30 : $\sigma_{bB} = 49 \sim 63\text{kgf/mm}^2$, S D 35 : $\sigma_{bB} \geq 50\text{kgf/mm}^2$, S D 40 : $\sigma_{bB} \geq 57\text{kgf/mm}^2$) とほぼ等しくなっている。(添字 B は鉄筋を表わす)

W: Root thickness of protruded part observed in a sleeve's inner dia. in squeezing

Fig. 3. Detailed part in jointing

	Before squeezing	After squeezing	
		Without bar inside	With bar inside
Sleeve			
	Average hardness (HnB) 60.5	83.4 (38)※	86.6 (43)
	σ_{bs} (kgf/mm ²) 39.2	55.4 (41)	57.2 (46)
Deformed bar			
	Average hardness (HnB) 90.3	92.5 (2)	

※(): Increasing rates (%)

Fig. 4. Hardness of sleeve and deformed bar before and after squeezing.

これらのことから、スリーブ材 STKM13A は減面率15%程度を与えると加工硬化によりほぼ40%の強度上昇がありスリーブ引張強度 σ_{bs} としては RPCJ 基準継手強度 K_s を満足しかつ、鉄筋母材の引張強度 JIS 規格値とほぼ同等になると単純に考えてよい。したがって継手部の断面比は $\beta = 1$ すなわち圧着後のスリーブ断面積は鉄筋母材とほぼ同面積でよいことになる。

しかしながら鉄筋の種類 S D 35, S D 40 の引張強度上限値は JIS で示されていないため市販品の実績によると、それぞれ 63, 72 kgf/mm² に達するものがあり継手部が断面比 $\beta = 1$ である継手スリーブ引張強度 ($\sigma_{bs} \cdot \beta$) は RPCJ 基準強度 K_s を満足するけれども継手としての引張試験を行った場合、とくに鉄筋 S D 40 において破断位置が鉄

筋母材ではなくスリーブ部分に現われることがある。

このスリーブでの破断をさけるために、圧着後のスリーブ断面積を若干鉄筋母材より大きくする必要があり本工法ではこの点を以下のように考慮している。

すなわち適正断面比 β の値を求めるため $\beta = 1, 1.2, 1.25, 1.3$ とした折の継手スリーブ引張強度 ($\sigma_{bs} \cdot \beta$) を RPCJ 基準継手強度 K_s および鉄筋強度 (JIS 規格と実績値 σ_{bB}) と比較したものを Table 4 に示す。

これによると鉄筋母材 3 種類においてそれぞれ継手スリーブ引張強度 ($\sigma_{bs} \cdot \beta$) が RPCJ 基準継手強度 K_s を上まわりかつ、鉄筋母材の引張強度実績値を満足するのは断面比 β の値が 1.25~1.3 の範囲であればよいことが判る。このため本工法では $\beta \geq 1.25$ を適正值としてスリーブでの破断を解消している。

なお、鉄筋の圧着前後の加工硬化は Fig. 4 に示すように硬度上昇率が $92.5/90.3=1.02$ と小さいため、鉄筋母材の強度上昇は引張強度のばらつき範囲とみなしこれを無視する。

3.2.2 減面比 (α) と継手強度 (K)

ダイスによるスリーブの絞り加工をスムーズに行い、継手強度 K が RPCJ 基準継手強度 K_s を上まわりかつ、鉄筋母材の引張強度実績値を満足する減面比 α の適正值を決めるため、下記のように引張試験を行って検討する。

減面比 α について $\alpha = 0.79, 0.82, 0.85, 0.88, 0.91$ の 5 条件としてスリーブの片側の圧着長さ L_a (フン数 $N = 4$ に相当) の継手を最小適正断面

Fig. 5. Characteristic curve of work hardening of 0.12 and 0.20% carbon steel.

Table 4. Joint strength according to RPCJ standard and sleeve strength of SJ joint.

Bar	RPCJ joint strength (kgf/mm ²) $K_s \geq 1.35\sigma_{yB}$	Sleeve strength of SJ joint (kgf/mm ²)				(REFERENCE) Bar strength (kgf/mm ²)		
		$\sigma_{bs} \cdot \beta$				JIS		Actual value
		$\beta = 1.0$	$\beta = 1.2$	$\beta = 1.25$	$\beta = 1.3$	σ_{yB}	σ_{bB}	
SD30	≥ 40.5	57~64	68.4~76.8	71.25~80.0	74.1~83.2	≥ 30	49~63	49~60
SD35	≥ 47.25	"	"	"	"	≥ 35	≥ 50	50~63
SD40	≥ 54.0	"	"	"	"	≥ 40	≥ 57	57~72

σ_{yB} : Yield point of bar

σ_{bB} : Tensile strength of bar

$\sigma_{b's}$: Tensile strength of sleeve after squeezing (actual value)

Table 5. Extruding force P and joint strength K.

Bar	Reducing ratio α	Circumferential type		Wave type		Slanting type	
		P (t·f)	K (kgf/mm ²)	P (t·f)	K (kgf/mm ²)	P (t·f)	K (kgf/mm ²)
S D35 -D25	0.79	28.7	55.9	27.4	58.9	27.3	60.4
	0.8	23.1	55.9	24.3	58.9	23.7	60.4
	0.85	21.4	55.9	21.4	58.3	21.4	59.8
	0.88	21.3	54.2	20.2	53.0	20.4	56.5
	0.91	19.1	46.3*	19.1	42.0*	18.7	51.3
S D35 -D32	0.82	42.4	60.3	41.1	59.3	42.6	57.5
	0.82	42.3	60.4	40.4	59.3	42.4	57.5
	0.85	36.5	60.3	37.5	58.9	37.8	57.5
	0.88	36.6	54.3	36.5	53.2	36.6	52.0
	0.91	32.0	43.5*	34.2	45.6*	32.6	42.3*

* Lower value than RPCJ standard ($\geq 47.25\text{kgf/mm}^2$)

比 $\beta=1.25$ のもとに製作する。使用鉄筋は代表として鉄筋の種類 S D35の呼び径 D25, D32の2サイズ, フシ模様は竹フシ, 波フシ, 斜めフシの3種類による継手の引張試験を行い継手強度 K を求める。

減面比 α とダイス推力 P, および減面比 α と継手強度 K との相関関係を Table 5 と Fig. 6, 7 に示す。

圧着加工と引張試験結果から以下のことが判明している。

- (1) 圧着に要するダイス推力 P と減面比 α の関係はほぼ線形関係にあり, α が小さくなるにしたがって P はほぼ直線的に増加する。また鉄筋 D25, D32の減面比 $\alpha=0.85$ のダイス推力はそれぞれほぼ $21\text{ t}\cdot\text{f}$ と $37\text{ t}\cdot\text{f}$ であり, これはともにスリーブの降伏荷重のほぼ90%に当る。
- (2) 減面比 α と継手強度 K との相関関係は鉄筋 D25, D32ともいずれのフシ模様でも α の値が $0.79\sim 0.85$ の間ではすべて母材破断であり, α が 0.85 を超えると継手強度は低下するが 0.88 までは RPCJ 基準や鉄筋 JIS 引張強さ規格を上まわっている。
- (3) 継手強度とフシ模様との関係について, D25

Fig. 6. Reduction ratio of area α and extruding force.

の継手強度は減面比 $\alpha=0.79\sim 0.85$ において斜めフシ>波フシ>竹フシであり $\alpha=0.88$ に至ると斜めフシ>竹フシ>波フシと波フシの強度低下が著しい。また D32の継手強度は $\alpha=0.80\sim 0.85$ で竹フシ>波フシ>斜めフシであり $\alpha=0.88$ に至ってもほぼ平行移動で低下しているなどの傾向を示す。これらのことはフシ模様やフシ寸法が多様多様であるから一事例を示すもの

Fig. 7. Reduction ratio of area α and joint length K.

と考えたい。

なお、減面比 α とダイス推力 P、継手強度 K の相関関係は鉄筋のリブ、フィン径の影響もあり、上記の試験結果のみでは十分とはいえないが、当面締付機の小型化およびスリーブの座屈防止などのためダイス推力が過大とならぬよう考慮し本工法では減面比 α の値は 0.85 を最適値と定めた。

3.2.3 圧着長さ (L_a) とスリーブ標準長さ (L_o)

被接合鉄筋間における軸方向の荷重伝達は異形鉄筋のフィンとフィン間に圧着したスリーブとの剪断抵抗および圧着面間の摩擦抵抗とによって行われるため、継手強度 K は減面比 α および断面比 β の適正値をそれぞれ 0.85、1.25 と固定すれば、圧着長さ L_a によって決定されと考えられる。(ただし摩擦抵抗は小さいため無視する)

圧着長さ L_a は(3)式に示す通り、フィン数 N の関数となる。さらにフィン数 N は(4)式に示すように、一フィン剪断強度 τ_B の関数となる。したがって継手強度 K の検討は鉄筋のフィンの強度についてのみ行えばよいことがわかる。

この点について考察すると鉄筋の軸線に沿ったフィン断面形状は鉄筋フィン模様 3 種類(竹、波、斜めフィン)とも一般に台形の連続であるが、このうち最もシンプルで強度的に弱い竹フィンについて述べると、これは Fig. 3 A 部のような形状であり、底辺が大きく角度も 80° と大きいから、フィンに起こる破損としては剪断破壊と考えてよい。また、フィン底辺の厚さとフィン間に食いこんだスリーブの根元の厚さとの比は全サイズの鉄筋においてほぼ

1:3 であり、かつ鉄筋強度とスリーブ強度とは前述の 3.2.1 項のようにほぼ同一とみなすことができるから、剪断に対する抵抗力はフィンの方がはるかに弱いことがわかる。

以上のことから、フィンの強度をベースにして、これが幾フィンあれば鉄筋母材の最大引張荷重に対抗できるかを(4)式により求める。代表として SD 35-D32 の竹フィン鉄筋について、圧着フィン数 N を計算すると(4)式より

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{\sigma_{bB} \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \pi}{\tau_B (\pi d - 2e)f} \\
 &= \frac{60 \times 794.2}{30 \times (3.14 \times 31.8 - 2 \times 7) 5.5} \\
 &\approx 3.4 \text{ (フィン)}
 \end{aligned}$$

但し $\tau_B = \frac{\sigma_{bB}}{2}$ とする。

一方、この点を試験で確認するため、鉄筋種類 SD 35 の呼び径 D25、D32 の 2 サイズ、フィン模様は、竹フィンの他に、波フィン、斜めフィンを加えた 3 種類の試験体 ($\alpha=0.85$, $\beta=1.25$) 各 3 体について引張試験を行い圧着フィン数 N が継手強度 K に及ぼす影響を検討する。

継手強度 K と鉄筋母材強度 σ_{bB} との比を継手効率 η ($\eta = K / \sigma_{bB}$) として引張試験結果を Table 6 に示し、圧着フィン数 N と継手効率 η との関係を Fig. 8 に示す。なお上記(4)式による圧着フィン数 N の計算は各フィン山に均等荷重がかかると仮定したものであるから、実際の荷重伝達時における継手スリーブの応力分布³⁾を求めるため、スリーブ上の鉄筋フィン間に相当する位置にストレインゲージ

を接着してこれを調査する。

試験体はSD35-D32, スリーブ長さ(圧着フシ数 $N=5$ と7に相当)の継手であり, 降伏時と破断時における応力分布をFig. 9に示す。その結果圧着長さ L_a とスリーブ標準長さ L_o について定量的に検討するとつぎのようになる。

(1) 圧着長さ L_a について

フシ模様による影響としては, Fig. 8に見るように鉄筋D25とD32の波フシが圧着フシ数 $N < 4$ で若干低い継手効率を示したが, 圧着フシ数 $N \geq 4$ では殆んど差が認められない。また, 鉄筋径による差も認められない。したがって, 鉄筋母材強度と同等の継手強度を得るための最小圧着フシ

数 N は $N=4$ である。これは上記圧着フシ数 N の計算結果と一致している。

(2) スリーブの応力分布について

Fig. 9に示すように圧着フシ数 $N=5$, $N=7$ のスリーブの応力分布⁴⁾は, 両者とも良く似た傾向を示しておりスリーブ端から中央に向って, 応力が増加し圧着フシ数 $N=4$ の点ではほぼ一定値となって, スリーブと鉄筋の応力が等しい状態になる。このことは3.2.3-(1)項で示した圧着フシ数 $N=4$ で鉄筋母材強度が得られるという結果を裏付けるものである。

以上から圧着長さ L_a は, フシ模様と鉄筋径に関係なく, 圧着フシ数 $N \geq 4$ で, 鉄筋母材強度を

Table 6. Tensile strength and joint efficiency η .

Bar	N	Circumferential type				Wave type				Slanting type			
		T	K	σ_{bB}	η	T	K	σ_{bB}	η	T	K	σ_{bB}	η
SD35 -D25	3	23.6	46.6	56.0	83.2	23.4	46.2	58.8	78.5	26.9	53.1	60.2	88.2
	4	28.3	55.9	55.9	100	29.5	58.3	58.3	100	30.3	59.8	59.8	100
	5	28.4	56.0	56.0	100	29.8	58.8	58.8	100	30.6	60.3	60.3	100
SD35 -D32	3	34.6	43.6	60.1	72.5	32.0	40.3	59.0	68.3	35.4	44.6	57.3	77.8
	4	47.4	60.3	60.3	100	46.8	58.9	58.9	100	45.7	57.5	57.5	100
	5	47.9	59.8	59.8	100	47.1	59.3	59.3	100	45.7	57.5	57.5	100

N : Number of knots pressed with squeezed sleeve

T : Max. tensile load of joint (t·f)

K : Joint strength (kgf/mm²)

σ_{bB} : Bar strength (kgf/mm²)

η : Joint efficiency (%)

Fig. 8. Number of knot squeezed N and joint efficiency η .

Fig. 9. Stress distribution in sleeve.

得ることが可能である。しかし、圧着フシ数 $N=4$ という結果は実験室における最良の条件から得られたものであり、実際に使用する鉄筋端の切断面 (Fig. 3 参照) は軸線に直角ではないことや、組立鉄筋工法を採用する際に生ずる施工誤差などを考慮して、本工法における適正圧着フシ数は $N \geq 5$ とする。

上記により加工前のスリーブ標準長さ L_0 は下式によって求められる。(Fig. 3, Table 3 参照) ただし、組立鉄筋施工時に必要な鉄筋突合せ間の隙間 L_b を約30mm、ダイスアプローチによる圧着残し L_c を約20mmとし、また、スリーブは継手の圧着加工(減面率15%)により約15%伸びるものとする。

$$L_0 = \frac{H \cdot 2N + L_b + L_c}{1.15} = \frac{0.7d \cdot 2 \cdot 5 + 30 + 20}{1.15} \\ = \frac{7d + 50}{1.15} = 6.09d + 43.5 \approx 6.1d + 43.5$$

3.2.4 標準スリーブの内外径の決定

本工法に使用する鉄筋はJIS G 3112 鉄筋コンクリート用棒鋼に規定するものを対象としているが、鉄筋のフシ模様やフシ高さ (Table 2, Fig. 3 参照) は、本来コンクリートとの付着性を重点に開拓されたものであるから、JISによる規定もフシ高さの最小値は、鉄筋公称直径の5%かつ、その最大値は最小値の2倍とあるのみであり、リブについてはJIS規定もないからともにフシの高さとリブ間隔の変動は大きく、とくに細径鉄筋にお

いて著しい。

これに対するスリーブは、3.2.2項のようにダイス推力が過大とならぬためにスリーブ内径と鉄筋リブ間隔あるいはフシ径とのクリアランス (clearance) が適度に小さいことが好ましい。

したがって、このような鉄筋を接合するスリーブの内径を決めるために市販の代表的な3種類のフシ模様の対象鉄筋9サイズについて各々数ロットを形状調査した結果、鉄筋の予想最大径 (リブ間隔またはフシ径の 3σ 外の最大寸法) としては、ほぼ鉄筋の公称直径 (JIS) にフシ高さの最大値 (JIS) $\times 2$ 倍を加えた数値とみなしてよいことがわかった。

このため、スリーブの内径としては、この予想最大径を上まわっていればよいが、実際面では継手の施工に際して鉄筋端部の切断によるだれ、あるいは組立鉄筋の加工誤差や架構時のねじれによる鉄筋間の芯ずれなどが存在するため、さらに上記予想鉄筋最大径に2mm程度のクリアランスを加えたもの (かりに ϕ とする) が必要となる。

かくして前式(1), (2)より $\alpha=0.85$, $\beta=1.25$ とおき、スリーブ内径を ϕ としてスリーブ外径 a を一たん求める。つぎにこの得られた a の数値に最も近い市販鋼管サイズ (外径寸法) を基準にして計算し、スリーブ内径 b を定める。

このため内径 b は上記2mm程度のクリアランスが確保できない場合が生ずるから対策として、断面積のほぼ等しい内外径の相接近して異なる2

サイズの市販鋼管製スリーブを指定することによって、いずれかのスリーブを上記クリアランスに接近させることが可能となる。以上により求めた標準スリーブを Table 3 に示す。

なお、本スリーブは本工法の施工にあたり、あらかじめ現場の鉄筋状況や組立鉄筋の加工誤差をチェックのうえ選択して使用することにより、実用面では支障のないことが多数の施工物件により立証されている。

3.2.5 機械的継手用鉄筋とそのスリーブ長さ

一般鉄筋を対象とする機械的継手圧着工法に使用するスリーブの長さは鉄筋のフィン間隔・所要フィン数で求まるが、前項のように鉄筋フィン間に圧着したスリーブ剪断強度は鉄筋フィンのほぼ3倍と余裕があるため、スリーブ長さの短縮化を計るためには、これがほぼ同等になるように鉄筋フィン間隔を短縮すればよいことになる。

したがって、最大径の鉄筋D51のフィンの底辺とフィン間に圧着したスリーブ根元の厚さをほぼ等しくして得られるフィン間隔 H_s (D51で従来品の45%) をベースにして以下細い径に向って、一様にフィン間隔 H_s とした特殊鉄筋が考えられる。これに伴ってスリーブ長さ ($H_s \cdot$ 圧着フィン数 $\cdot 2$) も短縮され経済的となる。

一般にこの機械的継手用鉄筋はまた、鉄筋のリップ径をフィン径以下に抑えることにより圧着加工条件を容易とすることができる。このため加工推力は一般鉄筋に比べ30%ほど少なくて済むことから、締付機がよりコンパクトになり、施工性も向上するメリットがある。

この思想で近年機械的継手用に開発されたもの

の一つにニューリバコン竹フィン (K社製) があり、これは鉄筋D51からD25まで一様に16mmのフィン間隔であり、リップ、フィン径の精度がよく、リップ径はフィン径とはほぼ同径に圧延されている。この鉄筋用のスリーブ長さは鉄筋径に関係なくすべて170mmと一定である。

3.3 最適化した継手の性能試験

「RPCJ 鉄筋継手性能判定基準のA継手」に基づき、以下の試験を行い本工法による最適化したSJ継手性能について検討した。

3.3.1 試験の概要

SJ継手は3.2項に示した最適条件の減面比 α 、断面比 β 、圧着長さ L_a において、標準スリーブと標準ダイスを用いれば鉄筋母材と同等以上の継手性能が得られるものと考えられる。このため継手が実際にどのような力学特性を持つものかを確認する目的で、継手各種類について単純引張試験と正負繰返し試験を行っているが、その一部を下記に示す。

(1) 試験体

使用鉄筋は、SD35-D32の竹フィン模様、フィン間隔実測値19.5mm、スリーブはSTKM13Aの標準スリーブであり、SJ専用締付機により前項で定義した最適標準圧着 (減面比 $\alpha=0.85$ 、断面比 $\beta=1.25$ 、圧着長さ $L_a=5$ フィンに相当) のもとで、単純引張試験、正負繰返し試験用に各3体の試験体を製作した。形状寸法は Fig. 10, 11 に示す。

ただし、試験体のスリーブ長さ L_1 は正負繰返し試験装置の関係上鉄筋突合せ間の隙間 $L_b=10$ 、ダイスパスによる圧着残し $L_c=0$ により205mmと短かくした。なお、正負繰返し用試験体には、加力のため軸直角にフランジを溶接した。

Fig. 10. Stress-strain curve of SD35-D32.

Fig. 11. Stress-strain curve of SD35-D32 after 20 times load reversals.

(2) 試験方法

引張試験：100 t 万能試験機で行い母材と継手部の強度（降伏点，引張強さ）および伸び変形状況について測定した。伸び測定は特定検長 $\ell = 245\text{mm}$ （スリーブ端より 20mm の位置）間に伸び検出計を取り付け X-Y レコーダにより記録した。

正負繰返し試験：50 t 疲労試験機改造の試験装置により正負繰返し載荷し，ロードセルにより荷重を検出するとともに，上記同様の特定検長 $\ell = 245\text{mm}$ について伸び検出を 2 個の電気式ダイヤルゲージで行い，X-Y レコーダにより記録した。

荷重振幅は引張側に $0.95\sigma_{yB}$ ，圧縮側に $0.5\sigma_{yB}$ （ $\sigma_{yB} = 35\text{kgf/mm}^2$ ：規格降伏点）を上下限值として正負 20 サイクルの繰返し荷重を加え，その後引張側に降伏点を越えて検長間の歪が 3% 以上に

達するまで加力した後除荷して試験を終了した。この試験体はその後破断するまで引張試験を行った。

3.3.2 試験結果と考察

(1) 単純引張試験

継手強度について：引張試験結果を Table 7 に，応力-歪曲線を Fig. 10 に示す⁵⁾。継手強度は RPCJ 基準強度 ($1.35\sigma_{yB} = 47.25\text{kgf/mm}^2$) を十分満足し，すべて鉄筋母材での破断であった。応力-歪曲線については，特定検長間の伸びは規格降伏点（ $\sigma_{yB} \geq 35\text{kgf/mm}^2$ ）までは鉄筋母材の伸びと大差なく，良く似た伸び性状を示している。しかし，それ以後はスリーブの拘束により鉄筋母材に比べて，多少高い剛性を示している。

継手剛性について：特定検長についての $0.95\sigma_{yB}$ 荷重時のみかけのヤング係数 E' は Table 7

Table 7. Tension test results of SJ joint.

Bar	T.P. No.	Y.P		T.S.		El. (G.L.245mm)		Young's modulus in appearance $E' \times 10^4(\text{kgf/mm}^2)$		Position of breakage
		Load (t·f)	Strength (kgf/mm ²)	Load (t·f)	Strength (kgf/mm ²)	Under max. load (%)	Under 0.95 σ_{yB} load (mm)	0.95 σ_{yB}	0.7 σ_{yB}	
SD35 -D32	1	31.7	39.9	49.6	625	3.7	0.077	2.66	2.70	Deform- ed bar
	2	32.4	40.8	49.0	61.7	4.0	0.081	2.55	2.62	“
	3	32.6	41.0	48.1	60.6	4.2	0.085	2.46	2.56	“
	Average	32.2	40.6	48.9	61.6	4.0	0.081	2.56	2.63	—

E of deformed bar: $2.05 \times 10^4 \text{ kgf/mm}^2$

Table 8. Test results of 20 times load reversals for SJ joint.

Bar	T.P. No.	Y.P.		T.S.		Young's modulus in appearance $E' \times 10^4$ (kgf/mm ²)	El. (G.L.245mm)* under max. load (mm)	Position of breakage
		Load (t·f)	Strength (kgf/mm ²)	Load (t·f)	Strength (kgf/mm ²)			
SD35 -D32	1	31.7	39.9	49.6	62.51	2.51	3.6	Deformed bar
	2	33.0	41.5	49.0	61.7	2.43	4.1	"
	3	33.2	40.6	47.3	59.5	2.32	4.0	"
	Average	32.6	40.7	48.6	61.2	2.42	3.9	—

(Note) E of deformed bar : 2.05×10^4 kgf/mm²*After 20 times load reversals of 95% σ_{yB} tension and 0.5 σ_{yB} compression

に示すように母材のヤング係数Eの70%以上であり、また $0.7\sigma_{yB}$ 荷重時のみかけのヤング係数 E' は母材のヤング係数E以上である。また、 $0.95\sigma_{yB}$ 荷重を1回加えた後零荷重に減力したときの特定検長における残留歪は0.085mmであった。したがってS J継手は母材の剛性を上まわっている。

以上のことから単純引張試験におけるS J継手は、鉄筋母材に対して十分満足する力学特性をもちRPCJ継手判定基準のA継手と判断できる。

(2) 正負繰返し試験

Fig. 11はSD35-D32SJ継手を引張側に $0.95\sigma_{yB}$ (33.25kgf/mm^2)、圧縮側に $0.5\sigma_{yB}$ (17.5kgf/mm^2)に相当する荷重をとり、20回の正負繰返しを行った時の応力-歪曲線である⁹⁾。Table 8には正負繰返し試験後の試験体の引張試験結果と $0.95\sigma_{yB}$ 相当荷重の20回目載荷時のみかけのヤング係数(E')および、最大荷重時の伸びを示している。これによると、正負繰返し1~20回目の $0.95\sigma_{yB}$ 載荷時のみかけのヤング係数(E')はFig. 11に示すように繰返し回数が増すごとに、その低下が少なくなる傾向にあるが、20回目までの間ではRPCJ委員会の継手判定基準(鉄筋母材のヤング係数Eの50%以上必要)を大きく上まわっており、また、繰返し1回目と20回目での残留変形量もそれぞれ0.085mm、0.10mmと極めて小さい数値を示した。

以上により正負繰返し試験におけるS J継手は、鉄筋母材に対して十分な剛性と靱性をもちRPCJ継手判定基準のA継手と判断できる。

なお、引張試験ではいずれの試験体も母材破断であった。

4. む す び

S J継手が鉄筋母材と同等の継手強度、継手剛性ならびに破壊時の伸び性状を保有するために継手機能三要素の最適値を定めた。また、これにしたがった試験体によるS J継手の力学的特性を調査する諸試験のうち一部について紹介した。これらを下記にまとめる。

1. 最適継手機能の三要素

S J継手は鉄筋の種類および鉄筋径に関係なくつぎのとおりである。

- ・減面比 $\alpha = 0.85$ (α : 圧着前と後のスリーブ断面積の比)
- ・断面比 $\beta = 1.25$ (β : 圧着後のスリーブ断面積と鉄筋母材断面積の比)
- ・圧着長さ $La = 5$ フシ相当長さ (La : 最大フシ間隔に圧着フシ数を乗じたもの) を最適標準値とする。(ただし、この圧着長さ La は現場施工上での安全率を考慮している。)

2. 上記最適条件にしたがったS J継手の継手性能に関する単純引張試験および正負繰返し試験によるおもな結果はつぎのとおりである。

- (1) 引張強度は鉄筋母材のJIS規格強度以上である。
- (2) JIS規格最低降伏点の95%レベルの載荷における継手のヤング係数は鉄筋母材の70%以上である。
- (3) JIS規格最低降伏点の70%レベルの載荷にお

ける継手のヤング係数は鉄筋母材の値以上である。

- (4) JIS 規格最低降伏点の95%レベルの載荷後の除荷時における検長間の残留歪は0.3mm以下である。
- (5) 最大荷重時における検長間の伸びは3%以上である。
- (6) JIS 規格最低降伏点の95%レベルの引張と50%レベルの圧縮の20回の両振り繰返し載荷での継手のヤング係数は鉄筋母材の値の50%以上である。

以上のことからS J 継手はRPCJ 委員会の継手判定基準のA継手性能を十分満足することを確認した。

おわりに、本稿に対して種々ご指導いただいた武蔵工大 木村助教授、大同工大 太田講師に対して厚くお礼申しあげるとともに、実験面で精力

的に協力いただいた当社研究開発本部商品開発室 浅野幸喜氏に感謝する次第である。

（文 献）

- 1) 建築工事標準仕様書 JAS 5, 9, 5 (1979)
- 2) 岩井, 山口, 宇佐美, 鶴岡, 高橋, 服部, 浅野: 日本建築センターS J 工法申請書(1976)
- 3) 小倉弘一郎, 園部泰寿, 窪田敏行: 鉄筋継手性能判定基準, 建設省総合開発 RPCJ 委員会 (1978)
- 4) 鶴岡孝輔: 異形鉄筋のスリーブ圧着継手に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (1973) No. 2409
- 5) 服部清治: S J 工法による非磁性異形鉄筋の機械的継手に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (1978) No. 2688

GASES & USE TECHNOLOGY

機能性・経済性・安全性への あくなき挑戦を続けています

いい製品とシステムを、合理的、経済的に供給する——この、研究・製造から、ユーザーの手元に届くまでの道をできるかぎり多くの方々にご満足いただけるように整備し、合理化することが、私たちに与えられた使命だと大同酸素は考えています。そのためには、研究開発の段階から全社を挙げて技術を結集。製造はいうにおよばず供給容器、供給システムにいたるまで、ひとつのガスを市場に送り出すため、全力投球で臨んでいます。

大同酸素株式会社

【本社】〒542 大阪市南区鰻谷中之町72の1 TEL (06) 252-1381