

[97] ねじ鉄筋樹脂充填の力学的特性

山崎 章（住友金属工業第三製品技術部）
 正会員 白川 潔（住友金属工業中央技術研究所）
 正会員 ○小山清一（住友金属工業中央技術研究所）

1. まえがき

ねじ鉄筋の表面には熱間圧延によって雄ねじが形成されているため、これに適合するよう雌ねじ加工されたカプラーを用いて、信頼性の高い機械的継手を容易に設けることができる。しかし、鉄筋表面の雄ねじの寸法精度は機械加工よりやや劣るため、カプラーとのねじ山間にわずかな間隙が生じる。樹脂充填継手は、この間隙に樹脂を注入固化させ継手剛性を高めた工法で、トルク継手¹⁾に比べ施工が簡便である。その反面、充填材にエポキシ系樹脂を用いるため、建築構造物への適用に際しては耐火・耐熱性能を明確にしておく必要がある。ここでは、耐火・耐熱性能を実験的に検討するとともに、継手の応力伝達機構について若干の考察を行なったのでその結果につき述べる。

2. 実験結果

(1) 使用材料

ねじ鉄筋及び接合用カプラーの機械的性質、形状寸法を表1、2、図1、2にそれぞれ示す。カプラー長さは、カプラーと鉄筋のねじのかみ合い山数が片側で3山以上あれば母材の全強度を伝達し得ることから、安全をみてこれの2倍となるよう決定されている。充填用樹脂には2液混合型のエポキシ系樹脂を2種類用いた。成分と主な物性を表3に示す。樹脂の充填には最大吐出圧力8kg/cm²の電動コンプレッサーを用い、専用注入ガントリにてカプラー中央の孔から樹脂を注入した。注入時間は、D51の場合で約20秒であった。

(2) 耐火試験

耐火試験に用いた試験体の一例を図3に示す。加熱面からのコンクリートかぶり厚さをD19の場合は3、5、8cm D51の場合は8、15、22cmとし、JIS A 1304に規定される耐火試験方法に基づき、2時間及び3時間加熱を行なった。さらに、加熱後、コンクリートから継手試験体を取り出し、継手剛性試験を行なった。継手剛性試験は、日本建築センター提案の「鉄筋継手性能判定基準(1982)」に示される弾塑性正負繰り返し載荷方法によった。試験体数は同一条件で3体とした。

コンクリートの配合は表4に示すとおりで、28日間標準養生を行なった後室内にて乾燥し、材令3ヶ月

表1 鉄筋の機械的性質及び形状寸法

鉄筋径	材質	降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	形状寸法(mm) (記号は図1参照)				
					d _b	d _v	h _g	b _g	p _s
D19	SD40	45.1	61.0	2.6	18.7	18.7	1.5	4.9	10.0
D51	SD40	42.5	58.7	2.4	48.4	48.4	4.5	13.0	20.0

(添字sは鉄筋を示す)

表2 カプラーの機械的性質及び形状寸法

鉄筋径	材質	降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	形状寸法(mm) (記号は図2参照)					
					w	L _c	d _c	h _c	b _c	
D19	S45C	40.5	65.5	26.9	29.0	110	19.3	1.9	6.6	10.0
D51	S45C				79.0	240	49.6	5.0	13.0	20.0

(添字cはカプラーを示す)

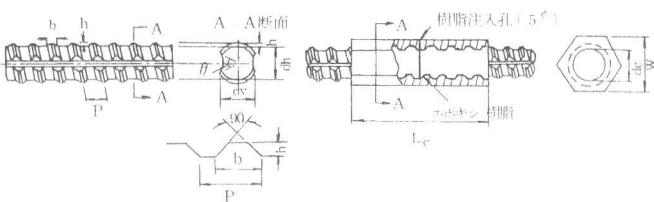


図1 鉄筋の形状

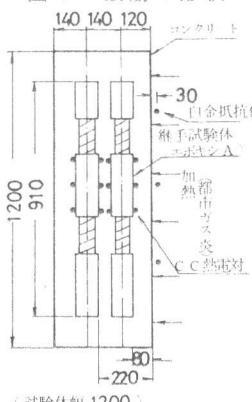


図2 カプラーの形状

表3 充填用樹脂の物性

項目	エボキシ A	エトキシ B
2液硬化剤	・エボキシ樹脂 ・シリコン樹脂	・酚酸式エボキシ樹脂 ・シリコン樹脂
比 重	1.45	1.40
粘 度	$4 \times 10^4 \sim 10 \times 10^5 \text{ cP}$ (20°C)	
圧縮強度	1031 (kg/mm ²)	1055 (kg/mm ²)
弹性係数	$3.34 \times 10^4 (\text{ } \mu)$	$3.67 \times 10^4 (\text{ } \mu)$

* 試験体の形状 $20^\circ \times 40^\circ \text{ mm}$
20°Cの気中にて1日養生

** 壓縮強度の70%における割線弾性係数

図3 耐火試験体の形状寸法
(D51の場合)

で耐火試験に供した。

(3) 耐熱試験

一般的にエポキシ系樹脂は、温度が高くなるに従って弾性係数も低下することが知られている。

そこで、熱間での樹脂充填継手の性能を調査し、適用限界を求めた。試験方法は図4に示すとおりで、継手部分のみを加熱可能な環状炉を作製し、50°C/hrで所定の温度に継手を加熱したのち、一方間に載荷した。鉄筋はD51とし、表3に示す2種類の樹脂につき、それぞれ100, 200°Cにて試験を行なった。

3. 試験結果

3.1. 耐火性能

(1) 樹脂の耐火性

継手試験に先立ち、樹脂の耐火性を加熱試験により調査した。加熱温度と加熱後の物性変化を図5に示す。エポキシ樹脂(A種)の弾性係数、圧縮強度は、加熱温度が275°C以下であれば、徐冷後常温時の性能に戻り、加熱の影響は認められない。しかし、加熱温度が300°C以上になると熱分解を生じ始め、330°C前後で炭化し、強度は期待できなくなる。以上より、樹脂の耐火上の使用限界は約275°Cと考えられる。

(2) 耐火試験時の継手温度

耐火試験時の継手部温度変化の一例を図6に示す。継手部温度は、かぶり厚が3cmと薄い場合、加熱終了とほぼ同時に最大となるものの、かぶり厚さが8cmとなると、加熱終了後もコンクリート中の熱伝導により徐々に上昇し、約1~2時間後に最大となる。そこで、継手部表面温度の最大値とかぶり厚との関係を求めた。結果は図7に示すとおりで、2時間加熱ではかぶり厚さを6cm以上、3時間加熱では8cm以上とすれば、継手部温度は樹脂の使用限界温度(275°C)以下となることが判明した。

(3) 耐火試験後の継手性能

耐火試験後の継手試験結果を表5に、継手の応力-ひずみ線図を図8に、かぶり厚と継手剛性との関係を図9に示す。これより、かぶり厚が8cm以上の場合には、2時間及び3時間加熱を受けても継手性能は殆んど変化せず、加熱の影響は認められない。この結果は、図7の継手部最高温度と図5の樹脂の耐火性と一致する。かぶり厚が5cm以下となると継手部温度は樹脂の使用限界温度を越え、継手剛性が低下するとともに、弾性域、塑性域のすべり量が増大する。

かぶり厚が8cm以上の樹脂充填継手は、母材と

表4 コンクリートの配合

設計基準強度 (kg/cm²)	スランプ (cm)	粗骨材 最大寸法 (mm)	セメント比 (%)	細骨材率 (%)
210	18	25	56	41.1

(注) 耐火試験時の含水率1.49%

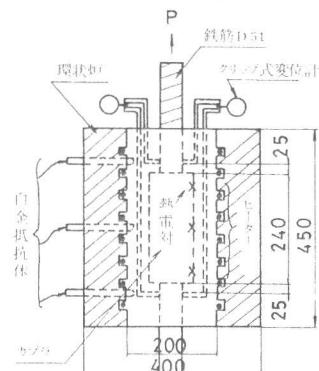


図4 耐火試験方法

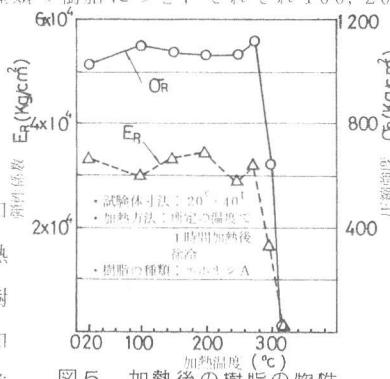


図5 加熱後の樹脂の物性

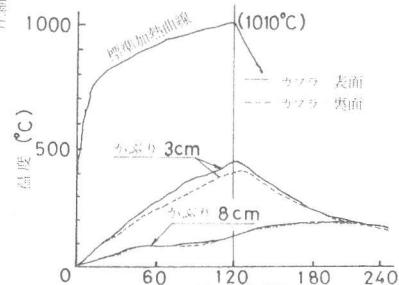


図6 耐火試験時の継手部温度変化

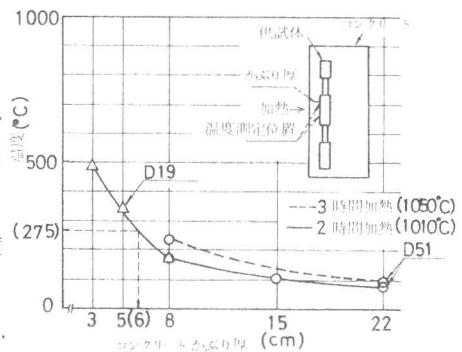


図7 継手部最高温度とコンクリート
かぶり厚との関係

表5 耐火試験後の継手性能

試験回数 (回)	加熱時間 (hr)	加熱温度 (°C)	引張強度 (kg/cm²)			塑性域強度 (kg/cm²)			初期剛性 (kg/cm²)			初期剛性 (kg/cm²)		
			N-1	N-2	N-3	E₀	E₀	E₀	ε₀	ε₀	ε₀	ε₀	ε₀	ε₀
D51	0.5	1050	11.4	10.6	9.6	0.91	0.92	0.93	0.13	0.14	0.15	0.26	0.27	0.28
	1	1050	10.5	9.8	9.5	0.90	0.90	0.90	0.10	0.10	0.10	0.22	0.22	0.22
	1.5	2050	10.7	10.0	9.5	0.93	0.93	0.93	0.13	0.14	0.14	0.27	0.27	0.27
	2.2	—	10.4	9.8	9.2	0.95	0.95	0.95	0.12	0.12	0.12	0.23	0.23	0.23
	9	—	10.9	10.4	9.5	0.95	0.97	0.97	0.18	0.18	0.18	0.28	0.28	0.28
	22	—	10.7	10.4	9.5	0.93	0.93	0.93	0.11	0.11	0.11	0.23	0.23	0.23
D19	0.5	1050	1.0	0.7	0.5	0.92	0.98	0.98	0.11	0.13	0.13	0.18	0.18	0.18
	3	—	0.64	0.63	0.53	0.56	1.17	0.34	0.31	0.31	0.31	0.19	0.18	0.18
	5	2050	0.93	0.90	0.11	0.86	0.93	0.92	0.11	0.53	0.27	0.39	0.36	0.35
	8	—	1.00	0.90	0.06	0.93	0.13	0.25	0.09	0.38	0.14	0.67	0.67	0.67
	22	—	1.00	0.90	0.03	0.85	0.13	0.25	0.09	0.38	0.14	0.67	0.67	0.67
S.A.上界率(%)			1.0	0.9	0.3	0.85	0.2	0.55	-0.3	-1.5	-0.9	-1.75	-2.0	-0.04

ここに、E₀: 接合鉄筋の初期剛性

N-1: N=1回目の接合鉄筋の初期剛性

E₀ = $1.92 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ (D51), $1.95 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ (D19)

ε₀: 接合鉄筋の降伏ひずみ εₛ, δₛ: 図8参照 梁長L = 290(D51), 150(D19)mm

同等以上の初期剛性を示し、弾性域の正負繰り返し載荷を受けても剛性低下は平均約7%と小さい。また、塑性域でのすべり現象も殆んどなく、日本建築センター提案のSA継手性能を満足する。

3.2. 耐熱性能

継手剛性と温度との関係を図10に示す。樹脂の種類に関係なく、温度が高くなるに従って継手剛性は低下するものの100°Cにおいても母材の90%以上の剛性を維持しており、使用上の問題はない。しかし、温度が200°CとなるとエボキシAを用いた継手はさらに剛性が低下し、常温時の70%程度となる。

他方エボキシBを用いた場合には、200°Cとなっても剛性は殆んど低下しない。この結果は、図11に示す樹脂単体の熱間での変形性能と傾向的に良く一致している。すなわち、エボキシBの弾性係数は100~200°Cの範囲で殆んど低下していない。これは、エボキシ樹脂にシリコン樹脂が混合されているため樹脂の熱変形性能が向上したことによると考えられる。

4. 樹脂充填継手の応力伝達機構

3.2.に示したように、樹脂充填継手の継手剛性は、樹脂の弾性係数によって影響を受けることが判かった。そこで、継手内部の樹脂に生じる応力を求め、これをもとに樹脂の弾性係数が継手部の変形挙動に及ぼす影響を検討した。

(1) 継手内部の樹脂に生じる応力

図12に示すように鉄筋による引張力が作用した場合、ねじ山を介して樹脂には F_1 なる引張力が作用する。後述するように、継手部の変形に関与するのは樹脂の軸方向変位である。 F_2 によるせん断変形の影響は微少であると考えられるためここでは F_2 の影響を無視する。カフラー内では、鉄筋の引張力 F が各ねじ山を介して均等に伝達されると仮定すると、樹脂に生じる圧縮応力 σ_R は次式で表わされる。

$$\sigma_R = F_1 / A_R$$

ここで、 $F_1 = F \cos \alpha N$, N : かみ合い山数, $L_c / 2 P_c$

$$A_R : 1 \text{ ねじ山間の樹脂の受圧面積} \cdot \frac{\pi \cdot \theta}{4 \cos \alpha} \cdot (dh - dc + 2hs - 2hc)$$

$$\cdot (dh - dc + 2hs - 2hc)$$

鉄筋に作用する力 F は $F = \sigma_s \cdot A_s$ で表わされるから、樹脂に生じる圧縮

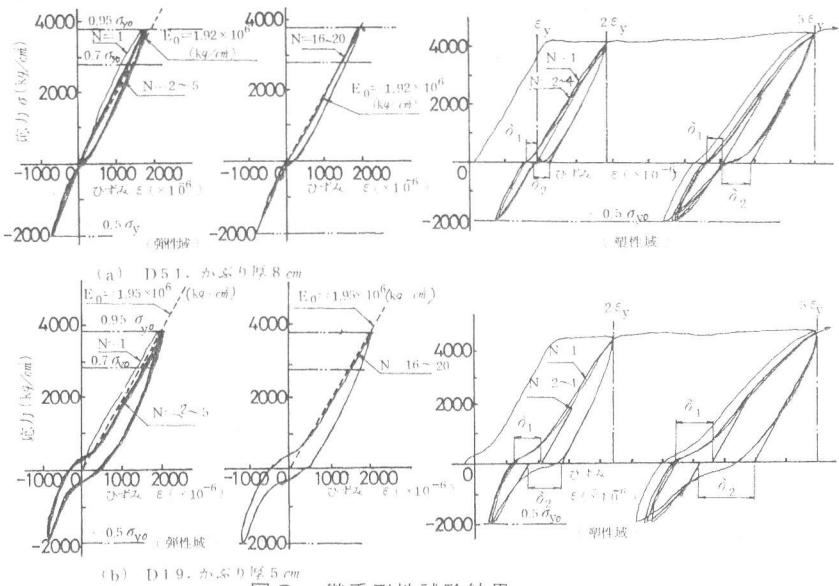


図8 継手剛性試験結果

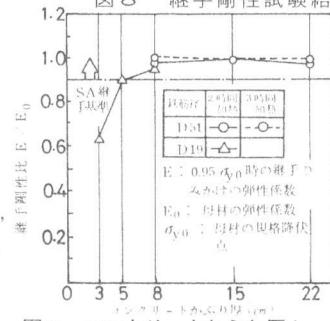


図9 コンクリートかぶり厚と初期継手剛性との関係

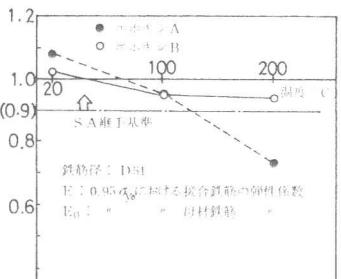


図10 継手剛性に及ぼす温度の影響

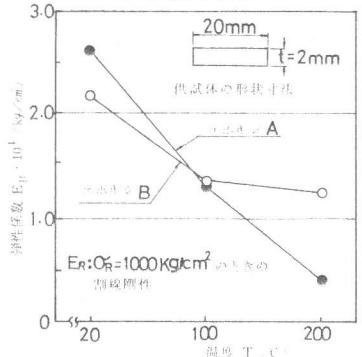


図11 樹脂の弾性係数に及ぼす温度の影響

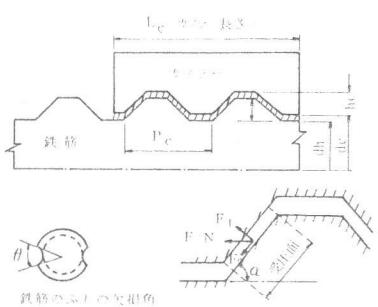


図12 樹脂に作用する力

応力 σ_u は

$$\sigma_u = A \cdot \sigma_s \quad (A: 鉄筋, カブラーの形状寸法で決定される定数) \cdots (2)$$

で求まる。ここで、D51について定数Aを計算すると $A = 0.344$ となり、鉄筋の規格降伏点(SD40の場合)では $\sigma_u = 1400 \text{ kg/cm}^2$ の圧縮応力が生じる。この値は図5で得られた樹脂のいわゆる一軸圧縮強度を上回り、樹脂が破壊していることになる。しかし、ねじ山間に充填された樹脂は厚さが極めて薄いため、加圧面の摩擦によって樹脂の変形が拘束されることにより破壊強度が高くなると考えられる。

そこで、加圧面の摩擦の影響を調査するため、厚さが 40 mm と 2 mm の供試体について圧縮試験を行なった。結果は図13に示すとおりで、厚さが 2 mm 且つ厚さ／高さ比が 1/10 と非常に偏平な供試体では、樹脂の圧縮応力は標準的な圧縮試験片(厚さ 40 mm, 厚さ／高さ比 2)における圧縮強度を越え、 $\sigma_u = 2500 \text{ kg/cm}^2$ 近くまでほぼ線型に上昇し、しかも $\sigma_u = 5000 \text{ kg/cm}^2$ においてもなお耐力を維持している。この結果は、継手剛性試験後のカブラー内の樹脂が鉄筋破断後もひび割れを殆んど生じていないことからも裏付けられる。なお、 $\sigma_u = 2000 \text{ kg/cm}^2$ で $N=20$ 回の繰り返し載荷を行なった結果、残留変形は、約 0.03 mm と小さく、継手剛性試験における弾性域繰り返し後のすべり量の増加量にはほぼ等しい値となった。

(2) 継手の変形に及ぼす樹脂の物性の影響

継手剛性試験における継手部の見掛けの変形 δ_e は、図14に示すように、鉄筋の抜け出し δ_p 、カブラーの変形 δ_c 、継手部外の鉄筋の変形 δ_s の和として求められる。鉄筋の抜け出し δ_p は樹脂の軸方向の圧縮変形 δ_p^R 、カブラー内の鉄筋引張変形 δ_p^S 及び鉄筋及びカブラーの内外圧による半径方向の変形による軸方向変形 $\delta_p^{S'}$ 、 $\delta_p^{C'}$ の和で与えられる。 δ_p^R 、 $\delta_p^{C'}$ の計算過程は省略するが、この変形が継手全体の変形に占める割合は 3 % 前後であった。

図14の計算により得られた結果をもとに、樹脂の弾性係数 E_R と継手剛性比 E/E_0 との関係を示したのが図15である。図中には、図10、11の試験結果を対比して示したが、計算値はほぼ実験値と一致している。これより、樹脂の弾性係数 $E_R > 10000 \text{ kg/cm}^2$ であれば、樹脂充填継手の剛性 E は、母材鉄筋のそれの 90 % 以上を満足することが判かる。

5.まとめ

(1) ねじ鉄筋樹脂充填継手の耐火後の継手性能は、コンクリートのかぶり厚さによって変化するものの、2時間加熱の場合かぶり厚さが 6 cm、3時間加熱の場合 8 cm 以上あれば、加熱の影響を受けない。これは継手部温度が、樹脂の耐火上の使用限界温度(275°C)以下となることと一致する。

(2) 継手剛性は樹脂の弾性係数 E_R の影響を受けるが、 $E_R = 10000 \text{ kg/cm}^2$ であれば樹脂充填継手の剛性は母材のそれの 90 % 以上を満足する。

○参考文献 (1) 山崎、他 3 名 “ねじ鉄筋スミネジバーの力学特性”, 住友金属 vol. 29, No. 4, 1977

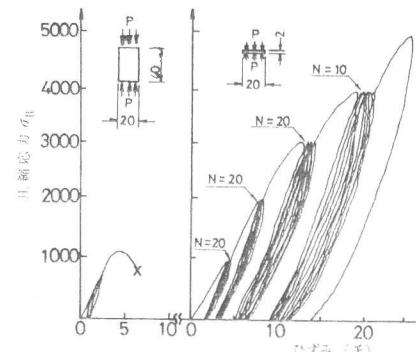


図13 樹脂の圧縮変形に及ぼす供試体厚さの影響

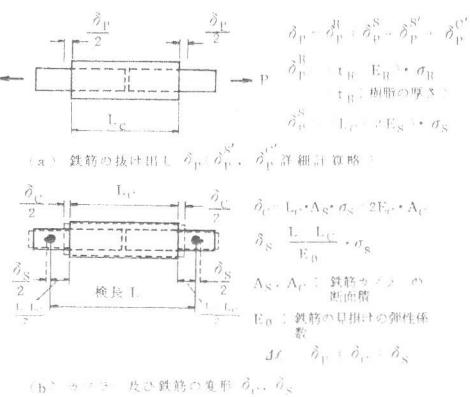


図14 継手部の見掛けの変形 δ_e に影響する因子

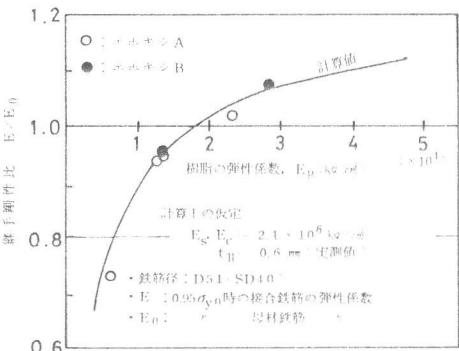


図15 樹脂充填継手の剛性と樹脂の弾性係数との関係