

[58] 鉄筋コンクリート部材のエポキシ樹脂厚さ変化による 鋼板接着補強効果

高 橋 久 衛 (ショーボンド建設 中央技術研究所)
正会員○佐 藤 直 昭 (ショーボンド建設 中央技術研究所)
吉 永 達 郎 (ショーボンド建設 中央技術研究所)
佐々木 一 人 (ショーボンド建設 中央技術研究所)

1. ま え が き

地震対策の一環として鉄筋コンクリートのはり及び柱の補強が土木・建築分野で脚光を浴びてきた。補強の方法としてはコンクリート部材を鋼板で巻き立て、その間隙を樹脂で充てんする鋼板接着工法は広く用いられ、補強工法として有効であることは知られている。また、樹脂で鋼板を接着して一体化する場合には接着層が薄いほど効果があるといわれている。しかしながら、現場の施工を考えると1～3mmで接着厚さを管理するのは難しい。実験には1/5モデルを考え、鋼板を周囲に回して間隙を設け、その間に樹脂を注入して供試体を作り、樹脂厚さの変化による補強効果を明らかにしたい。そして、曲げと軸方向に対する補強とに検討を加え、これらの結果を報告する。

2. 試験概要

2.1 使用材料

- a. セメント：普通ポルトランド・セメント
- b. 骨 材：細骨材は鬼怒川産，比重2.61，F.M=2.90，粗骨材は鬼石産，比重2.62，F.M=6.33である。
- c. 鉄筋・鋼板：主鉄筋D6は熱間圧延異形棒鋼JISG3112，SD35，腹鉄筋または帯鉄筋はφ4mm，普通鉄線JISG3532，引張強さ45kgf/mm以上。補強鋼板は冷間圧延鋼板JISG3141とし、板厚は1.2mmとする。
- d. 接着材料：エポキシ樹脂，機械的性質を示すと表-1となる。

2.2 供試体

- a. 種類及び数量：表-2に示す。曲げ供試体を図-1に示す。軸方向加力供試体の鋼板補強したものは曲げ供試体と同じである。無補強の供試体は頂部と底部の鋼板を除いたものである。
- b. 示方配合：表-3に示す通り， $\sigma_c = 350 \text{ kgf/cm}^2$ とする。
- c. 製造・加工：主鉄筋を腹鉄筋で囲むように配置する。供試体の両端部には鋼板9mm孔明け加工し，主鉄筋を挿入して外方から溶接により固定する。コンクリート打設後，蒸気養生を行い，補強鋼板を所定の間隙に回し，片側をスポット溶接で仮り付け，樹脂を注入する。

表-3 示方配合

粗骨材 最大寸法	スランプ の 範 囲	空気量 の 範 囲	水・セメン ト 比	細骨材率	単 位 量 (kgf/m ³)			
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
10 (mm)	7 (mm)	0~2 (%)	40 (mm)	54 (%)	174	430	957	818

表-1 エポキシ樹脂の機械的性質

試験項目	単位	社内規格	試験方法	試験値	材令
比 重	—	1.13±0.05	JISK7112	—	34d
粘 度	cp	1500±500	" K6838	—	
圧縮強度	kgf/cm ²	600以上	" K7208	1,089	
圧縮弾性係数	"	15000~35000	" "	32,000	
曲げ強度	"	600以上	" K7203	893	
引張強度	"	350 "	" K7113	635	
引張せん断強度	"	100 "	" K6850	—	
硬 度	HDD	80	" K7215	—	

表-2 供試体の種類

	符 号	樹 脂		鉄 筋 断面積	鋼 板 断面積	供試 体数
		厚さ	断面積			
曲 げ	SB0	—	—	1.90 (cm ²)	—	2 (本)
	SB3	0.3	11.30	"	8.25	"
	SB5	0.5	19.24	"	8.35	"
	SB10	1.0	40.48	"	8.57	"
軸 方 向	SB0	—	—	"	—	3
	SB3	0.3	11.30	"	8.25	"
	SB5	0.5	19.24	"	8.35	"
	SB10	1.0	40.48	"	8.57	"

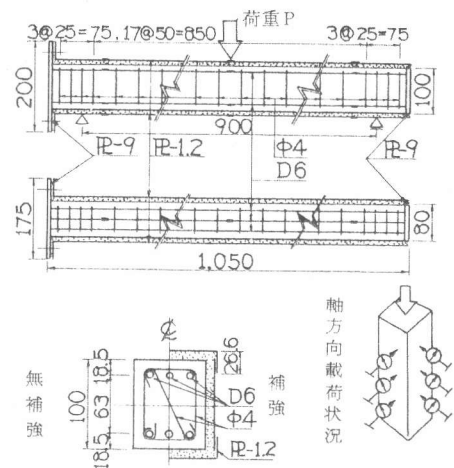


図-1 供試体

2.3 曲げ試験

曲げ試験は図-1のようにスパン中央1点荷重とする。たわみは、はりの下面の中央部を測定する。ひずみは中央の圧縮と引張側の鉄筋中心と補強鋼板の圧縮と引張側の外面にゲージを取り付けて測定する。荷重方法は、鋼板補強したものは最大荷重1, 2, 3 tと3回繰り返しを行い、その後に破壊まで荷重をかける。無補強では0.2, 0.4, 0.6, 0.8 tと4回繰り返して荷重をかけて破壊まで行う。

2.4 軸方向加力試験

試験は供試体を立てた状態で、上下面から軸力を加えて荷重する。補強鋼板のあるものは、鉄筋部と鋼板部のひずみを各6カ所とX-Y方向の変形量を各3カ所測定する。無補強の供試体は鉄筋部のひずみ6カ所とX-Y方向の変形量を6カ所とを測定する。荷重方法は荷重6 tと12 tで繰り返して、3回目に破壊まで行うものとする。

3. 実験結果

3.1 コンクリート供試体

φ10×20 cmの供試体を現場条件に合せて製作し、圧縮強度、引張強度（割裂）、ポアソン比の材令別による結果を示すと図-2となった。平均値として圧縮強度 $\sigma_c = 37.0 \text{ kgf/cm}^2$ 、引張強度 $\sigma_t = 35.7 \text{ kgf/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu = 0.19$ であった。現場養生によるコンクリートは材令のあるほど強度が大きくなり、若干下がる傾向がある。

3.2 鉄筋及び鋼板

各鋼材の引張試験結果は3本の供試体の平均として、次の値を得た。D6は降伏点応力度 $\sigma_y = 3.947 \text{ kgf/cm}^2$ 、最大耐力 $\sigma_t = 5.715 \text{ kgf/cm}^2$ 、弾性係数 $E_s = 1.88 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ 、応力ひずみ曲線は明瞭な降伏点を示さないため、0.2%のひずみを降伏点とした。φ4の降伏点応力度は $\sigma_y = 5.400 \text{ kgf/cm}^2$ 、最大耐力 $\sigma_t = 5.620 \text{ kgf/cm}^2$ 、弾性係数 $E_s = 1.87 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ となった。補強鋼板1.2 mmの降伏点応力度は $\sigma_y = 1.910 \text{ kgf/cm}^2$ 、最大耐力 $\sigma_t = 3.160 \text{ kgf/cm}^2$ 、弾性係数 $E_s = 1.74 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ となった。

3.3 エポキシ樹脂

注入材料に用いたエポキシ樹脂の供試体の現場養生による試験結果は表-1の右側に示した。

3.4 曲げ試験

結果を示すと表-4の通り。最大耐力でみる限り、無補強1.0とすると樹脂厚さ0.3 cmでは3.3倍、樹脂厚さ0.5 cmでは3.6倍、樹脂厚さが1.0 cmとなると5.1倍となった。いずれも曲げ破壊である。

3.5 軸方向加力試験

結果は表-5となった。無補強の最大耐力を1.0とすると、樹脂厚さ0.3 cmでは1.9倍、樹脂厚さ0.5 cmは1.8倍、樹脂厚さ1.0 cmでは2.2倍となった。

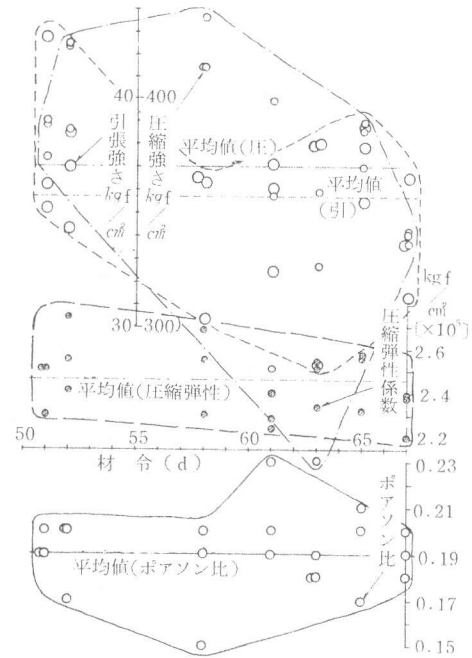


図-2 コンクリート供試体試験結果

表-4 曲げ試験結果

符 号	樹脂厚さ (cm)	コンクリート材令 (d)	樹脂材令 (d)	最大耐力 (t)	摘 要
SB0	1	69	—	1.85	0.48 tで初ひびわれ 0.50 tで初ひびわれ 1.00
	2	71	—	1.77	
SB3	1	0.3	67	3.8	5.77
	2	—	68	3.8	6.27
SB5	1	0.5	65	3.8	6.58
	2	—	68	3.8	6.61
SB10	1	1.0	65	3.8	9.80
	2	—	—	3.8	8.51

表-5 軸方向加力試験結果

符 号	樹脂厚さ (cm)	コンクリート材令 (d)	樹脂材令 (d)	最大耐力 (t)	摘 要
SB0	1	49	—	1.46	柱頭割裂
	2	49	—	3.49	柱頭座屈
	3	55	—	2.90	1.00
SB3	1	0.3	43	2.6	4.89
	2	—	46	2.9	5.30
	3	—	49	3.1	4.56
SB5	1	0.5	50	3.3	5.13
	2	—	—	—	4.39
	3	—	—	—	4.80
SB10	1	1.0	42	2.5	6.00
	2	—	55	3.1	5.50
	3	—	57	3.3	5.37

4. 考 察

4.1 曲げ試験

試験結果を荷重と中央たわみの関係で示すと、図-3となる。無補強と補強したものとの差は明らかである。しかし、樹脂厚さ0.3cmと0.5cmとでは交差している。

図-4、5に鉄筋及び鋼板に生じたひずみを示す。引張鉄筋ひずみでは 3.000×10^{-6} 程度で降伏に入っている。鋼板ひずみでは 1.300×10^{-6} で鋼板の変形による影響が現われている。

はりのたわみは次式で示せる。

$$\delta = -\int \int \frac{M}{EI} dx \cdot dx \quad (1)$$

曲げモーメントは荷重Pで表されるから式(1)は荷重とたわみの関係となる。荷重とたわみが連続的に求められないのは曲げモーメントが弾性から塑性モーメントに変化すること、それ以上にEIのIの変化を連続的に定められないからである。それでは荷重たわみ線のどの点を問題とするか。

樹脂厚さによる効果をみるのに図-6のようにはりの引張側コンクリートの縁にひびわれが入る状態を考え、鋼板や樹脂は弾性挙動するものとして試験で得られた弾性係数を用いて中立軸xを求め、断面に生じる偶力モーメントを分割して、各材料により負担するモーメントを求める。

$$\text{コンクリート； } M_c = \frac{\sigma_c}{3} bx^2 + \frac{\sigma_{bt}}{3} b(t-x)^2 \quad (2)$$

$$\text{鉄筋； } M_s = \sigma_s A_s (x-d') + \sigma_{sA} (t-x-d) \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{鋼板； } M_p = & \frac{2}{3} \sigma_{cp} h x^2 + \sigma_{cp} A_p (x+g+\frac{h}{2}) + \sigma_{uA} \\ & \times (x+g-\frac{c}{2}) + \frac{2}{3} \sigma_{bp} h (t-x)^2 + \sigma_{pA} (t-x+g+\frac{h}{2}) \\ & + \sigma_{uA} (t-x+g-\frac{c}{2}) \quad (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{樹脂； } M_r = & \frac{2}{3} \sigma_{cr} g x^2 + \sigma_{rA} (x+\frac{g}{2}) + \frac{2}{3} \sigma_{br} g \\ & \times (t-x)^2 + \sigma_{rA} (t-x+\frac{g}{2}) \quad (5) \end{aligned}$$

上式に数値を入れ、計算結果は表-6となる。

無補強に対し、補強供試体は2.12～2.62倍となり、その内の樹脂による効果は3.5～14.7倍となった。これは樹脂断面積の0.33%に合う。

一方、曲げ引張応力度を47.6kgf/cm²にして鉄筋に生じるひずみを求め、測定値からひずみに合う荷重を逆算した結果を求め、補強供試体の無補強に対する比を算定した。また、はりが降伏に入るときの荷重を求め、同様に比率を求めた。計算値と鉄筋ひずみから求めた比が合う。

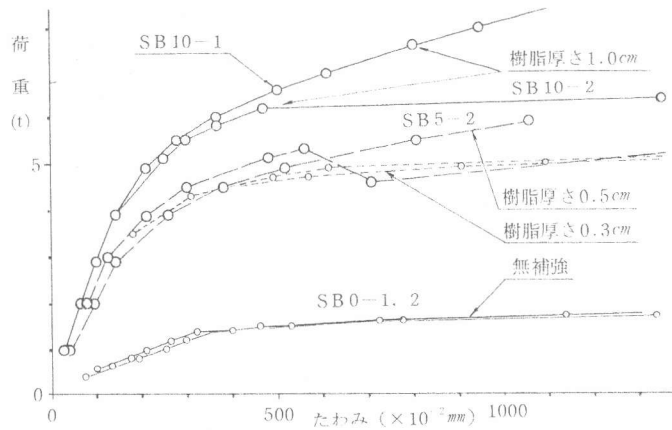


図-3 荷重と中央部たわみ

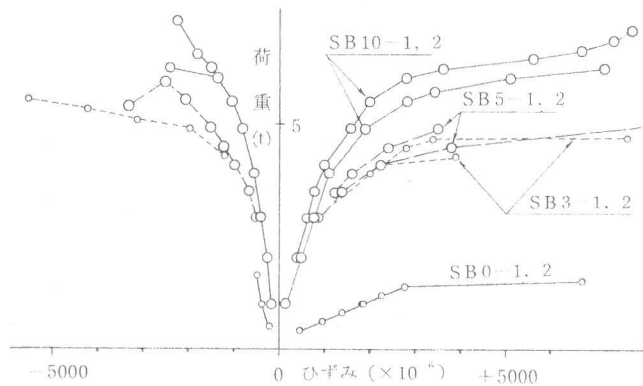


図-4 荷重と鉄筋ひずみ

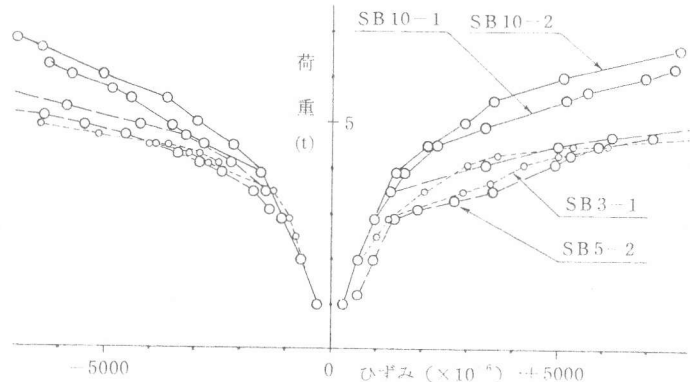


図-5 荷重と鋼板ひずみ

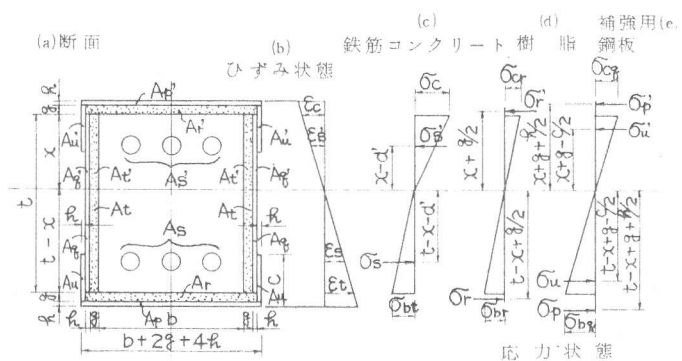


図-6 はりの断面とひずみ及び応力状態

4.2 軸方向加力試験

荷重と鉄筋に発生したひずみの試験結果を示すと図-7となる。短柱に圧縮力が働くときのひずみと荷重との関係を求める。応力とひずみは、初期の荷重を問題とし、一次式と仮定する。荷重をP、鉄筋に生じる圧縮ひずみを ϵ_s とし、補強した場合の荷重とひずみの関係は式(6)となる。

$$P = \{ E_c A_c + 2 E_s A_s + 2 (E_q A_q + E_p A_p + E_u A_u) + 2 (E_r A_r + E_t A_t) \} \epsilon_s \quad \dots\dots (6)$$

なお、無補強の場合には式(6)の右辺の第一項と第二項のみとなる。式(6)に係数を入れて整理すると表-7となる。図-7に表-7の算定値を入れて直線を描く。初期のひずみ 400×10^{-6} まではよく合うことが分る。無補強を1.00として補強の率を表-7に示す。樹脂厚さによる補強は樹脂厚さ0.3cmでは1.6%、0.5cmでは2.7%、1.0cmでは5.6%の上昇であると分る。補強後の状態を100%とすると、樹脂は1~3.3%の補強で、鋼板が3.8%を占め、補強の主体となっているのは曲げ試験でも同じである。樹脂による補強は樹脂断面積に 1.39×10^{-3} を掛けることで求められる。

4.3 供用鉄筋コンクリート部材の補強の意味

実際に供用している構造物に補強鋼板を接着させた場合に、自重等については既につり合っている。そのため通常の応力状態と異なり、接着前の状態で補強材の発生応力を零にして供用される。

5. まとめ

鋼板接着補強の樹脂の厚さ変化の効果として、(1)曲げ部材の強度の分担は、初期ひびわれの段階でみたときに、樹脂の断面積に対し0.33%を掛けた値が無補強に比した補強の割合となる。(2)軸方向加力の圧縮の場合には初期ひずみの段階で、(1)と同様に樹脂断面積に対し0.139%倍すると補強の割合となる。

6. あとがき

接着材料は薄く使うほど強度がでるというのが常識である。本文では厚く付けても、この範囲なら不都合は生じない。接着材料は応力伝達はするけれども、応力分担は数%にすぎない。したがって、補強材料によって補強効果は定まるといえる。実験に際して、ご助力を得た小俣富士夫氏に感謝する。

表-6 モーメント算定値及び測定値 [単位: kgf]

		無補強		補強・樹脂厚さ (cm)					
				0.3		0.5		1.0	
計	コンクリート	6.882	0.80	7.061	0.82	7.061	0.82	7.097	0.82
	鉄筋	1.748	0.20	1.778	0.21	1.778	0.21	1.784	0.21
	鋼板	—	—	9.156	(0.50) 1.06	10.026	(0.52) 1.16	12.464	(0.55) 1.44
	樹脂	—	—	3.06	(0.017) 0.035	5.42	(0.028) 0.063	12.67	(0.056) 0.147
	計	8.630	1.00	18.301	(1.00) 2.12	19.407	(1.00) 2.24	22.612	(1.00) 2.62
樹脂断面積 (Ar+At) (cm ²)		—		11.304		19.240		40.480	
(Ar+At) $\times 3.30 \times 10^{-3}$		—		—		0.037		—	
鉄筋ひずみ測定値	圧縮	139	331	149	884	149	881	149	1,104
	平均	$\times 10^{-6}$	809	$\times 10^{-6}$	841	$\times 10^{-6}$	974	$\times 10^{-6}$	1,062
	引張	169	259	166	938	166	942	166	1,058
	平均	$\times 10^{-6}$	179	$\times 10^{-6}$	826	$\times 10^{-6}$	928	$\times 10^{-6}$	1,017
	4データ平均	395	1.00	872	2.21	931	2.36	1,060	2.68
たわみ	3.5mm	1.416	4.383	4.718	5.853				
	たわみ	1.293	4.378	4.327	5.713				
	み値	平均	1.355	1.00	4.381	3.23	4.523	3.34	5.783

表-7 軸方向荷重算定式 [単位: $\times 10^6 \epsilon_s$]

		無補強		補強・樹脂厚さ (cm)					
				0.3		0.5		1.0	
計	コンクリート	19.367	0.84	19.367	0.84	19.367	0.84	19.367	0.84
	鉄筋	3.572	0.16	3.572	0.16	3.572	0.16	3.572	0.16
	鋼板	—	—	14.605	(0.39) 0.64	14.775	(0.38) 0.64	15.165	(0.38) 0.66
	樹脂	—	—	0.362	(0.010) 0.016	0.616	(0.016) 0.027	1.295	(0.033) 0.056
	計	22.939	1.00	37.906	(1.00) 1.65	38.330	(1.00) 1.67	39.399	(1.00) 1.72
(Ar+At) $\times 1.39 \times 10^{-3}$		—		—		0.016		—	

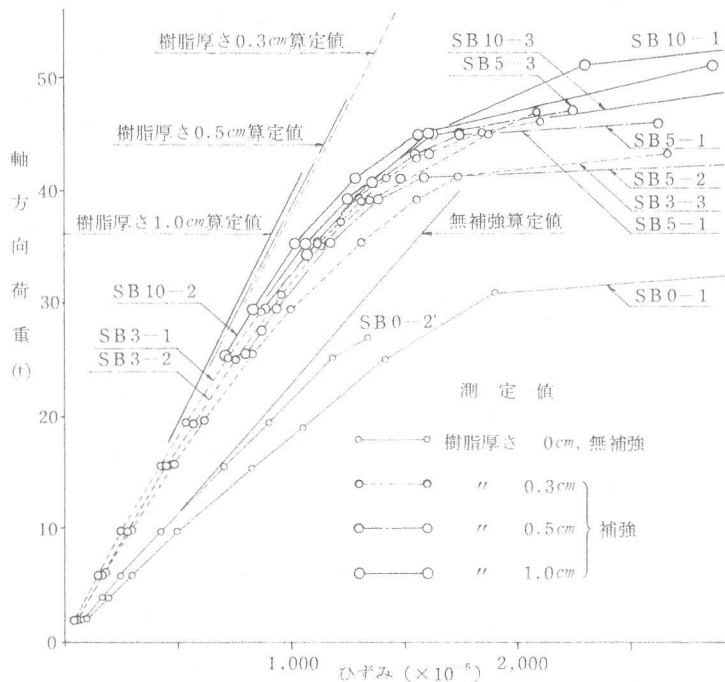


図-7 軸方向加力試験結果