

# [136] せん断破壊した RC 部材のエポキシ樹脂の補強効果を知る 実験研究

正会員 松崎 育弘 (東京理科大学工学部)  
星野 克征 (東芝原子力事業本部)  
正会員 〇坂 本浩孝 (東京理科大学大学院)  
由利 隆之 (神鋼鋼線工業建築部)

## 1. まえがき

大地震により被災した鉄筋コンクリート造建物の地震後の復旧を目的とした補強方法の1つにエポキシ樹脂及びエポキシ樹脂モルタルを被災部に充填する方法があるが、その補強効果に関するデータは少ない。本研究は、主にせん断破壊し完全に耐力を失った鉄筋コンクリート部材のエポキシ樹脂による補強後の耐力について、軸力・せん断補強筋比・せん断スパン比を要因とし、実験により明らかにすることを目的とした。

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体

本実験は、昭和58年度日本建築学会大会において既に報告されている試験体21体についてエポキシ樹脂補強を行なった。試験体一覧を表1に、材料試験結果一覧を表2に示す。試験体は、はりシリーズと柱シリーズ(Mシリーズ)に分かれており、更に、はりシリーズは断面形状・加力方法の違いにより、Rシリーズ・Tシリーズ・Sシリーズの3シリーズに分かれている。はりシリーズは補強前実験の変形を残留させたまま、柱シ

表2 材料試験結果一覧

材料名	試験項目			降伏強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	降伏ひずみ度 (×10 <sup>-6</sup> )	引張強度 (kg/cm <sup>2</sup> )
	はり	主筋	D10	3490	1953	4910
	主筋	D19	3647	2079	5401	
	あばら筋	4φ	5220	2667	5390	
	あばら筋	6φ	4321	2058	5036	
柱	主筋	D10	4319	2430	6199	
	帯筋	D6	4087	2500	5667	

表1 試験体一覧

試験体名	ℓ (cm)	a (cm)	a/D	d (cm)	N b·D·F <sub>c</sub>	P <sub>t</sub> (%)	P <sub>w</sub> (%)	F <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	エポキシ 注入率 (%)	各シリーズの断面形状及び加力図 (単位: mm)						
										Rシリーズ	Tシリーズ					
はりシリーズ																
R0.6-R-00	90	15.0	0.6	22.1	0.0	2.48	0.0	174	1.80							
R0.6-R-48																
R1.2-R-00	180	30.0	1.2							0.0	0.48	0.0	202	1.49		
R1.2-R-48																
R2.0-R-00	200	50.0	2.0							0.0	0.48	0.0	174	1.49		
R2.0-R-48																
R2.8-R-00	280	70.0	2.8							0.0	0.48	0.0	264	1.80		
R2.8-R-48																
R1.2-T20-00	180	30.0	1.2							22.0	2.01	0.43	306	1.80		
R1.2-T20-48																
R2.0-T20-00	200	50.0	2.0							0.0	0.48	0.0	306	1.80		
R2.0-T20-48																
R2.0-S-17	125	50.0	2.0	22.0	2.01	0.43	306	1.80								
R2.0-S-43																
R2.0-S-86																
R2.0-S-86																
柱シリーズ																
RA00M	146	30.0	1.5	18.0	0.71	0.57	306	2.29								
RA03M																
RA04M																
RA06M																
RB03M																
RB05M																
a : せん断スパン F <sub>c</sub> : コンクリート強度 P <sub>t</sub> : 引張鉄筋比 P <sub>w</sub> : 補強筋比 N/(b·D·F <sub>c</sub> ) : 軸力比 エポキシ注入率 = $\frac{\text{エポキシ注入量 (cm}^3\text{)}}{\text{試験体体積 (cm}^3\text{)}}$ * 両端支点間の体積(柱シリーズは試験部分のみ)																

リーズは支点間相対変位をほぼゼロに戻して補強を行なった。これら4シリーズの試験体に与えた要因は

- i) 軸力の有無 ii) せん断補強筋比(Pw) iii) せん断スパン比(a/D) である。

### 2.2 補強方法

本実験に使用した材料の物性を表3に示す。補強方法は、コンクリートの圧潰部とひび割れ部によって区別され、更にひび割れ部については、ひび割れ幅によって分けられている。コンクリートの圧潰部は、施工面の汚れや接着力を損なう物を除去し、プライマー塗布後、エポキシ樹脂モルタルを充填する。ひび割れ部は、ひび割れ幅が大きいもの(2mm以上)は、エポキシ樹脂注入パイプ取付け後、急結セメントでひび割れをシールし注入パイプより注入する。ひび割れ幅が小さいもの(2mm未満)は、マスキングテープにより注入口を確保した後、バテ状エポキシ樹脂でひび割れをシールし注入口より注入する。なお、エポキシ樹脂を注入したひび割れの最小ひび割れ幅は0.15mm程度で、エポキシ樹脂注入圧力は2~5kg/cm<sup>2</sup>であった。試験体へのエポキシ樹脂注入量については、表2中に示してある。

表3 補強材料物性

試験項目	材料名	注入エポキシ樹脂	充填樹脂モルタル	バテ状エポキシ樹脂
圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )		700	740	740
引張弾性係数 (kg/cm <sup>2</sup> )		2.93×10 <sup>4</sup>	6.0×10 <sup>4</sup>	1.01×10 <sup>4</sup>
曲げ強度 (kg/cm <sup>2</sup> )		820	400	410
引張強度 (kg/cm <sup>2</sup> )		490	-	205

### 2.3 加力方法及び測定方法

補強前の実験と同一加力装置で同一方向単調載荷とし、荷重と変形のみを測定した。なお、変形量は、Sシリーズ以外は支点間相対変位とし、Sシリーズ(単純はり加力)は中央点の変位とした。

## 3. 実験結果

### 3.1 耐力及び破壊性状

実験結果一覧を表4に、破壊に至ったひび割れ一覧を図1に示す。なお、柱シリーズのせん断力は、軸力と支点間相対変位による影響を考慮したものである(表4下欄参照)。全ての試験体は補強前の実験でせん断破壊により耐力を失っていたか、曲げ破壊していたが、補強により補強前実験の耐力に回復した。次に破壊性状についてみる。なお、ここでは、破壊型とはせん断

表4 実験結果一覧

破壊型か曲げ破壊かの2つを指し、破壊ひび割れタイプとは破壊に至ったひび割れの位置のタイプを指すこととする。一部において補強前後でせん断破壊型から曲げ破壊型、あるいは、曲げ破壊型からせん断破壊型へと移行しているものが見られたが、ほとんどの試験体は同一破壊型を示した。また、補強前後でせん断破壊型を示した試験体でも破壊ひび割れタイプが異なっているものも多く見られた。

### 3.2 変形性状

補強前後で破壊型が同一及び移行した試験体のせん断力(Q)-変形(δ)曲線の一例を図2図3に示す。初期剛性は、Mシリーズ(軸力有)に低下する傾向が見られたが、全体的にみると補強前と同等まで回復しており、補強前後で同一破壊型を示した試験体の変形能力は補強前と同程度以上であった。

## 4. 実験結果(耐力)の検討

### 4.1 耐力と破壊性状との関係

破壊性状は、図1に示す様に補強前後で、

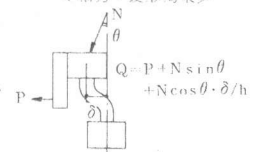
試験体名	最大荷重				τ <sub>u</sub> (後) τ <sub>u</sub> (前)	*1)	*2)
	補強前 Q <sub>u</sub> (t)	τ <sub>u</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	補強後 Q <sub>u</sub> (t)	τ <sub>u</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )			
R0.6-R-00	10.5	41.8	12.6	50.1	1.20	○	○
R0.6-R-48	15.0	59.7	19.8	78.8	1.32	○	○
R1.2-R-00	4.8	19.1	7.5	29.8	1.56	○	○
R1.2-R-48	12.0	47.7	13.1	52.1	1.09	○	○
R2.0-R-00	2.6	10.3	4.8	19.1	1.85	○	○
R2.0-R-48	9.1	36.2	10.4	41.4	1.14	○	○
R2.8-R-00	2.9	11.5	2.7	10.7	0.93	○	○
R2.8-R-48	7.1	28.2	8.6	34.2	1.21	○	○
R1.2-T20-00	4.0	10.7	6.5	17.3	1.63	○	○
R1.2-T20-48	12.5	33.3	16.3	43.4	1.30	○	○
R2.0-T20-00	3.1	8.3	4.6	12.3	1.48	○	○
R2.0-T20-48	9.4	25.1	11.3	30.1	1.20	○	○
R2.0-S-17	6.5	25.9	7.7	30.6	1.18	○	○
R2.0-S-43	7.7	30.8	8.7	34.8	1.13	○	○
R2.0-S-86	8.7	34.8	10.3	41.2	1.18	○	○
RA00M	11.6	37.2	14.0	44.9	1.21	○	○
RA03M	16.9	54.3	17.9	57.5	1.06	○	○
RA04M	16.5	53.0	16.7	53.6	1.01	○	○
RA06M	17.7	56.8	18.2	58.4	1.03	○	○
RB03M	18.2	58.4	19.3	62.0	1.06	○	○
RB05M	19.9	63.9	21.3	68.4	1.07	○	○

τ<sub>u</sub>=Q<sub>u</sub>/(h·j) b: はり幅(cm) 但し T形ばりの時は等価断面のはり幅とする。

j = 7/8 × d d: 有効せい

\*1) ○印は補強前後で同一破壊型を示した。

\*2) " " 同一ひび割れタイプを示した。



R.Sシリーズ	補強前破壊ひび割れ	補強後破壊ひび割れ	Tシリーズ	補強前破壊ひび割れ	補強後破壊ひび割れ	Mシリーズ	補強前破壊ひび割れ	補強後破壊ひび割れ
R0.6-R-00			R1.2 T20 00			RA00M		
R0.6-R-48							RA03M	
R1.2-R-00			R1.2 T20 48			RA04M		
R1.2-R-48							RA06M	
R2.0-R-00			R2.0 T20 00			RB03M		
R2.0-R-48							RB05M	
R2.8-R-00			R2.0 T20 48			RB05M		
R2.8-R-48								
R2.0-S-17			R2.0 T20 48					
R2.0-S-43								
R2.0-S-86								

図1 破壊ひび割れ一覧

様々なタイプを示している。

そこで補強前後の破壊型と破壊ひび割れタイプによりパターン分けし、これらのパターンと補強前後での耐力比との関係を図4に示す。パターン1については、補強前後の耐力比が1.1~1.2前後となり、耐力比の幅が小さかった。こ

こでは試験体が2体と少ないが、既往の実験結果においても耐力比が1.2前後と報告されている。これは補強前後で曲げ破壊型であるから補強後の耐力は、圧潰部の補強かつ、主筋のひずみ硬化という要因によるものであるからと考えられる。パターン2については、やや耐力比に幅があるが下限値は1.2となっており、補強前の耐力の20%位の上昇は確保できると考えられる。耐力上昇の理由としては破壊ひび割れが同一位置近くに発生するので、エポキシ樹脂の強度が直接補強後の耐力に寄与したためと考えられる。パターン3については、耐力比の上限はパターン2とほぼ同じと考えられるが、下限値は1.0付近となっている。これは、せん断破壊となる場合において、起こり得る破壊タイプのうち一番低い耐力の破壊

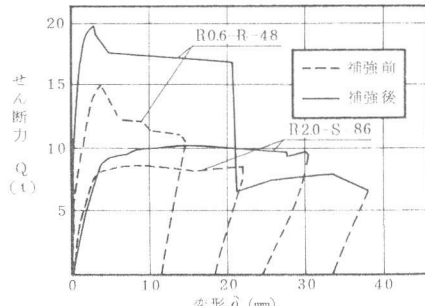


図2 せん断力(Q)-変形(delta)曲線(同一)

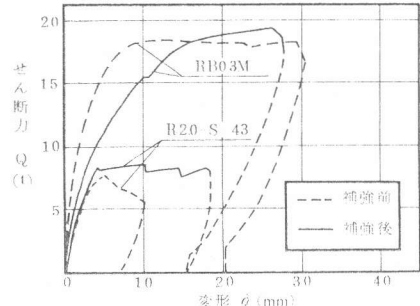


図3 せん断力(Q)-変形(delta)曲線(移行)

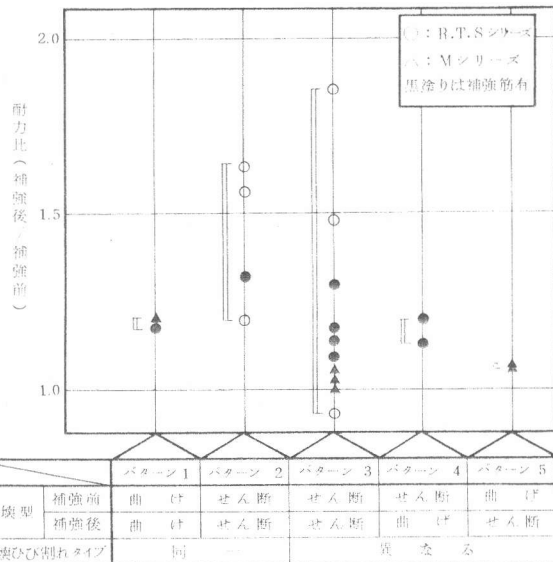


図4 耐力比-破壊性状関係

タイプで耐力が決定するため、例えば、2.8-R-00のようにほぼ同等の耐力を示すような破壊タイプが2つ以上存在するような場合、破壊部を補強しても補強前の耐力で他の弱い部分が破壊することによるものと考えられる。パターン4及びパターン5については、補強により耐力が上昇し、異なった破壊型耐力（補強前がせん断破壊型の場合は曲げ耐力を、曲げ破壊型の場合はせん断耐力を表わす）を上回ったために破壊型が変化したと考えられる。これら5つのパターンを組み合わせると、曲げ破壊したものについては補強後の曲げ耐力の上昇率は10~20%位と言えるが、せん断破壊したものについては補強後の破壊ひび割れタイプが予測できないため、補強後のせん断耐力の上昇率を述べることは危険であり、現段階では、せん断耐力は補強前に回復するとは言いえない。

#### 4.2 耐力と各要因との関係

i) 終局せん断応力度について補強前後の比較を図5に示す。(0.3~0.6)F<sub>c</sub>という高軸力を与えたMシリーズでの結果では、補強後の耐力上昇率は軸力の無い試験体より小さくなる傾向にあった。ii) 耐力比（補強後/補強前）とせん断補強筋比(P<sub>w</sub>)の関係を図6に示す。P<sub>w</sub>=0%についてみると、補強前と全く異なる位置に生じたひび割れでせん断破壊に至った試験体(\*印)を除くとコンクリートが負担するせん断耐力が上昇していることがわかった。また、補強筋量が大きくなるにつれて、コンクリートの耐力の影響が相対的に小さくなるため、部材としての耐力比は1.0付近に収束していることも明らかにされた。iii) 補強前後でせん断破壊型を示した試験体及びせん断破壊型から曲げ破壊型へと移行した試験体のコンクリートの負担するせん断耐力比（補強後/補強前）とせん断スパン比の関係を図7に示す。この結果、エポキシ樹脂補強により、コンクリートの負担するせん断耐力は、せん断スパン比に関係なく平均して約1.3倍に上昇することが明らかにされた。

#### 5. 結論

- 1) 曲げ破壊したものの補強後の曲げ耐力は10~20%上昇する。
- 2) せん断破壊したものの補強後のせん断耐力については回復はするが、補強前と異なった破壊パターンとなる場合もあるので、上昇率については考えない方が安全である。
- 3) 耐力上昇率は軸力の有るものの方が小さくなる傾向にある。
- 4) 初期剛性は補強前と同等まで回復し、変形能力も補強前後で同一破壊型を示すものにおいては同等以上である。

【謝辞】 本研究を行なうに当たり、三信建設工業株式会社矢内秀雄氏、東京工業大学 黒正清治氏、小林克巳氏にいただいたご協力に対し感謝致します。

【参考文献】 1) 松崎育弘、星野克征；S58日本建築学会学術講演梗概集[2591] 2) 黒正清治、松崎育弘他；S58日本建築学会学術講演梗概集[2759][2760] 3) 関口秀治、中田慎介他；S57日本建築学会学術講演梗概集[2556] 4) 田才見、小谷俊介；S58第5回日本コンクリート工学年次講演論文集[66] 5) 瀧文和、今井弘也；S58日本建築学会学術講演梗概集[2796]~[2798] 6) 佐藤直昭、関口秀治；S58日本建築学会学術講演梗概集[2799~2800] 7) 宗栄一、佐藤直昭他；S58日本建築学会学術講演梗概集[2801]

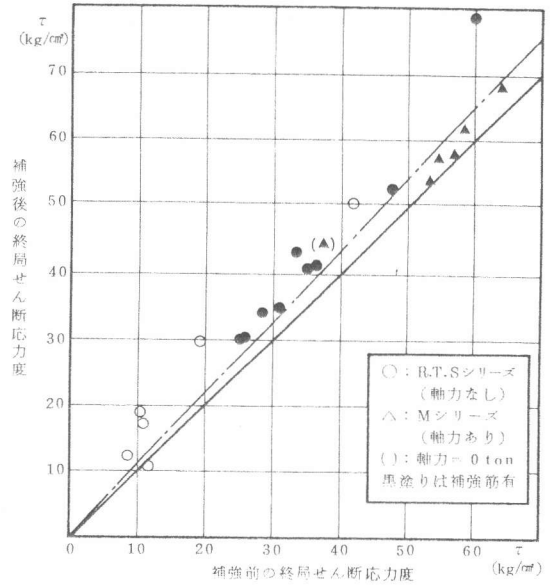


図5 終局せん断応力度における補強前後比較

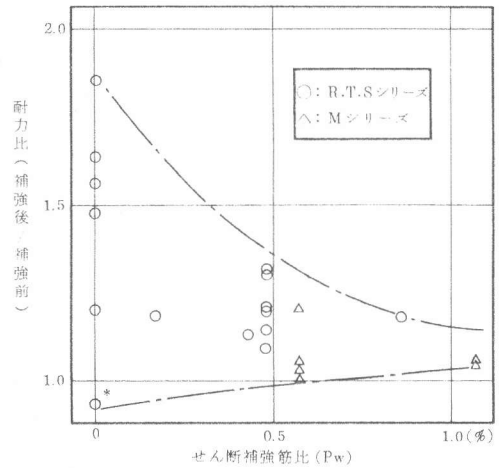


図6 耐力比—せん断補強筋比(P<sub>w</sub>)関係

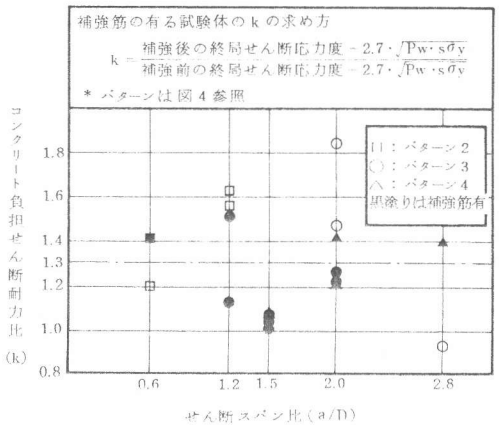


図7 コンクリート負担せん断耐力比—せん断スパン比(a/D)関係