

[156] 震災を受けた柱状 RC 部材の補修効果

正会員 ○森 濱 和 正 (建設省土木研究所)

正会員 小 林 茂 敏 (建設省土木研究所)

1. まえがき

公共構造物が機能を損うような震災などを受けた場合、社会的影響が著しく大きいため迅速な復旧(応急復旧)が要求される。応急復旧には、施工が簡単・迅速で強度の発現の早いことが必要であり、今後震災などの応急復旧には樹脂を利用した補修方法が望ましいと考えられる。今までも樹脂注入による補修は多用されていたにもかかわらず、充てんの信頼性が低かったため、ひびわれを充てんしひびわれからの鉄筋を防食することに主眼がおかれ、強度・変形性などの回復までは期待していなかった。しかし最近では、低粘度の樹脂を低圧で長時間にわたって注入する工法が普及し、注入に対する信頼性は高まっている¹⁾。それにもない樹脂の強度を利用し、コンクリートの引張、圧縮破壊、鉄筋の付着切れなどの破壊に対して樹脂注入を含め樹脂を利用した補修により、力学的特性の回復も期待できることが報告されている²⁾。

本報告は、橋脚など地震時に交番繰返しを受ける部材の破壊形状、破壊程度の異なるものについて、鉄筋の補修まで含め樹脂による補修を行い、補修効果を実験的に検討したものである。

2. 実験概要

(a) 供試体 実験に用いた供試体の諸元は表-1、配筋図は図-1のとおりである。供試体A, Bは正方形断面であり、Bは軸方向鉄筋のカットオフを設けたものである。カットオフ位置は、モーメントが減少して鉄筋が必要でなくなった位置でカットオフしたものである。供試体E, Fは円形断面であり、FはBと同様、鉄筋が必要でなくなった位置でカットオフしたもので、カットオフした鉄筋は1/3ずつとし、2段のカットオフ位置を有するものである。EはFのカットオフ位置を新しい規定に従い³⁾(d+定着長)だけのばしたものである。

(b) 載荷方法 載荷は、供試体をPC鋼棒で耐力床に固定し、一定軸方向圧縮力載荷のもとで水平交番繰返しをおこなった。軸方向力の載荷には、鉛直アクチュエータを用いた。軸方向力の大きさは、実橋脚における値を参考に圧縮応力度を約10kg/cm²とし、供試体A, Bには36t, E, Fには44tを載荷した。水平力は、供試体A, Bには柱下端から280cm, E, Fには302.7cmの位置に載荷した。載荷パターンは、軸方向鉄筋の降伏までは荷重制御により、降伏荷重 P_{yo} の1/10ずつ荷重を漸増させながら交番繰返しをおこなった。降伏以後は変位制御により、降伏変位 δ_{yo} の1/10の変位ずつ漸次増加させながら交番繰返し載荷をおこなった。

補修前の載荷は、供試体Aは柱下端のコンクリートの圧壊がはじまるまで、Bはカットオフからの斜ひびわれが圧縮鉄筋に達するまでとした(中, 小破壊)。E, Fはコンクリートの圧壊、はくり、鉄筋が座屈、破断するまで載荷した(大破壊)。

補修後、再度同じ載荷をおこなった。

3. 補修方法

破壊程度により、つぎのような補修をおこなった。

(a) 鉄筋の補修(座屈, 破断した鉄筋)

① 座屈した鉄筋は、曲率のもっとも小さいところで切断した。

② 破断した鉄筋および①で切断した鉄筋の曲がった部分は、強制的に一直線にもどした。

表-1 供試体諸元

供試体	柱寸法 b×h×H (直径)(cm)	主 鉄 筋			帯鉄筋		
		カットオフ位置 (柱下端から)(cm)	鉄筋量 (本数-種類)	鉄筋比 p (%)	径, 間隔 s (mm)	帯鉄筋比 Pw (%)	
A	60×60×280	—	18-D16	0.99 (0.53)	D6 c.t.c 150	0.070	
B	60×60×280	柱下端	0	18-D16	0.99 (0.53)	D6 c.t.c 150	0.070
		1 段	95	10-D16	0.55 (0.30)		
E	φ74×302.7	柱下端	0	36-D13	1.06	D6 c.t.c 220	0.039
		1 段	162.2	24-D13	0.71		
F	φ74×302.7	柱下端	0	36-D13	1.06	D6 c.t.c 220	0.039
		1 段	66.7	24-D13	0.71		
		2 段	133.3	12-D13	0.35		

* 全断面積に対する鉄筋比 $p = (A_s + A_s') / A_c$
() 内は引張鉄筋比 $p = A_s / b d$

** $P_w = A_w / b \cdot s$
ただし、供試体E, Fについては b→供試体外径

十分補修効果があると思われる。

以下に耐力，剛性，じん性などについて検討する。実験値は，正負荷荷の平均値であらわし，補修前には添字o(original)，補修後にはr(repair)で区別した。

2) 荷重および変位 せん断ひびわれ発生，降伏，最大荷重および降伏変位の実験値と計算値を比較したものが，表-4，表-5である。

斜ひびわれ発生荷重の計算は，文献5)によった。ただし，軸力の頂 $\beta_n = 2M_o/M_u$ を用い，円形断面の場合は，等値な正方形断面におきかえ，鉄筋を1/2ずつ引張，圧縮端部に集中させた断面を仮定し算出した。降伏，最大荷重の計算に用いた応力-ひずみ関係は，コンクリートでは圧縮強度まではひずみ0.2%の放物線，それ以上は0.35%までひずみのみ増加するものと仮定し，鉄筋は降伏以後ひずみのみ増加するものと仮定した。変位の計算には，フーチングからの鉄筋定着部の抜出しも考慮(文献6)の1/2を考慮)した。円形断面の降伏は，引張最端部の鉄筋が降伏したときとした。

補修後の最大荷重は，補修前より3~9%増加しており，耐力は回復している。このように耐力が回復できるのは，最弱点部が補修され破壊位置が上部に移行すること，大変形後の再載荷のため鉄筋のひずみ硬化が期待できること，などが考えられる。

3) 初期剛性 降伏変位 δ_{yo} での剛性を比較したものが表-6であり，補修後は補修前より6~29%低下している。とくに曲げ破壊したA，Eの低下が大きいことより，初期剛性が低下するのは，①大変形により

定着部の付着が低下し，鉄筋の抜出しが大きくなったこと，②除荷後ひびわれはほとんど閉じた(0.1mm以下)ため，樹脂の未充てん部分が多く残ったこと，③樹脂の弾性係数が低く変形しやすくなったことなどによるものと思われる。しかし，補修後の傾きは補修前のひびわれ発生後の傾きに近い程度の傾きの低下であり，この程度の初期剛性の低下による構造上の問題はほとんどないものと思われる(図-4)。

4) 変形性能 補修前の降伏荷重 P_{yo} を基準にじん性率を示したものが表-7である。いずれも補修

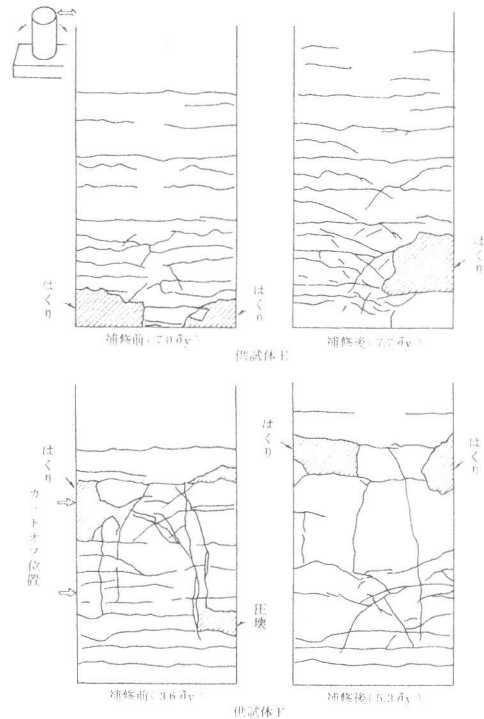
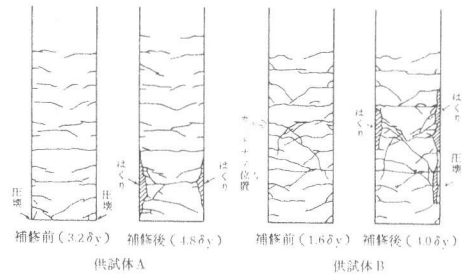


図-3 破壊状況

表-4 実験結果(荷重, t)

供試体	実験値(t)					計算値(t)						
	補修前		補修後		斜ひびわれ発生	①降伏	②最大	①/②	②/①			
	斜ひびわれ発生	①降伏	②最大	斜ひびわれ発生						③最大		
A	—	16.2	17.4	—	19.0	21.45	16.20	17.18	1.00	1.01	1.11	1.09
B	16.0	16.0	16.4	16.0	16.9	19.60	15.94	16.97	1.00	0.97	1.00	1.03
E	—	15.3	19.4	—	21.0	23.96	14.20	19.90	1.08	0.97	1.06	1.08
F	15.1	15.1	17.1	18.3	18.5	22.71	14.19	18.44	1.06	0.93	1.00	1.08

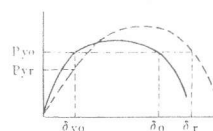
* カットオフ部を有する場合は，軸方向鉄筋の最小の断面，つまりカットオフ部の上部の断面が最もせん断の弱い断面となるため，その断面の計算値を採用した。

表-6 初期剛性(t/cm) 表-7 じん性率**

表-5 実験結果(変位, mm)

供試体	実験値		計算値	
	①降伏	②降伏	③終局	①/②
A	14.6	15.65	50.08	0.93
B	16.4	17.20	58.81	0.94
E	12.0	11.95	45.27	1.00
F	13.0	13.29	75.82	0.98

供試体	初期剛性(t/cm)		②/①	供試体	じん性率	
	①補修前	②補修後			補修前	補修後
A	11.17	9.27	0.83	A	7.32	4.6
B	9.78	9.01	0.92	B	1.1	1.6
E	13.28	9.47	0.71	E	6.5	7.6
F	12.56	11.76	0.94	F	2.7	4.7



* 補修前剛性 = P_{yo}/δ_{yo}
補修後剛性 = P_{yr}/δ_{yo}
** 補修前じん性率 = δ_o/δ_{yo}
補修後じん性率 = δ_r/δ_{yo}

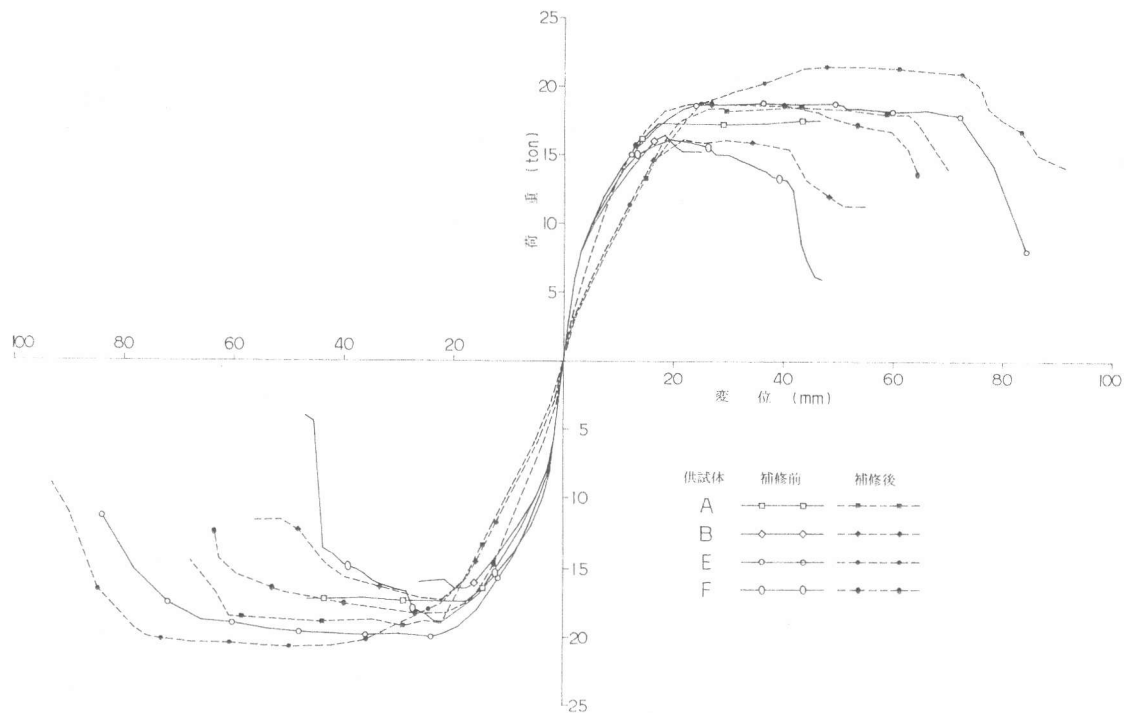


図-4 荷重-変位包絡線

後のじん性は、補修前に回復している。とくに断面修復した部分では、樹脂の強度がコンクリートに比べてきわめて高いためひびわれ発生、圧縮破壊が抑制され、カットオフを有する場合のようなもろい破壊においてもじん性を回復することができるものと思われる。

円形断面の場合、引張最端部の鉄筋が降伏したときを降伏変位にとつたため、矩形より大きなじん性率を示したものと思われる。

5) エネルギー吸収能力 エネルギー吸収能力を等価粘性減衰定数であらわしたものが図-5である。各供試体とも補修前後で大きなちがいはなく、減衰性についても補修により回復できる。

5. まとめ

以上のことにより、つぎのことがいえる。①ゴム圧注入工法による樹脂注入は充てん性が高い。そのためひびわれ強度、鉄筋の付着など回復することができる。②断面修復した部分は補修効果が高く、破壊部分が上部に移行し耐力の回復をはかることができる。③鉄筋の座屈・破断を生じた場合でも鉄筋を添接することにより、設計耐力まで回復することができる。④樹脂による補修は、未充てん部分が残ることなどにより初期剛性は低下する。⑤このような補修により、変形性能は回復する。⑥カットオフ部のようにもろい破壊を生ずるものについても耐力などの回復をはかることができるが、じん性などを向上させるためには補強する必要がある。

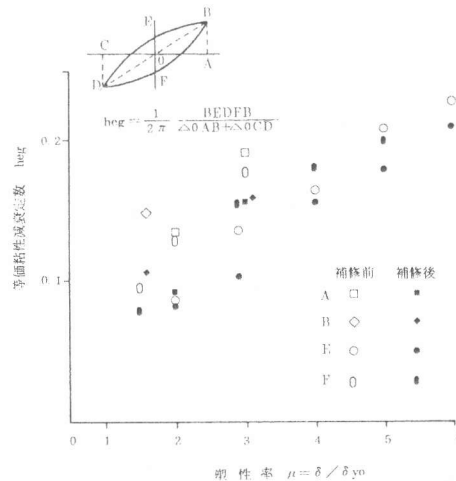


図-5 等価粘性減衰定数

<参考文献>

- 1) 九居 理, 宮川豊章, 岡田 清: RC 部材のひびわれへの樹脂注入による防食効果について, 第 37 回土木学会年次講演会講演集第 V 部, 1982
- 2) 例えば, 小林茂敏, 森濱和正, 高橋正志, 高橋弘人: 破壊形式の異なる RC 梁の樹脂注入補修効果, セメント技術年報 37, 1983
- 3) 土木学会: コンクリート標準示方書 (昭和 55 年版), 1980
- 4) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, 1980
- 5) 土木学会: コンクリート構造の限界状態設計法試案, コンクリートライブラリー 48 号, 1981
- 6) 柳田 力, 太田 実: コンクリート構造物 (橋脚・橋台) 耐震設計法 (案), 土木研究所資料第 1284 号, 1977