

立命館大学大学院 学生員 ○濱田 謙
 阪神高速道路公団 正員 水元 義久
 立命館大学 正員 児島 孝二

1 はじめに 近年、道路橋コンクリート床版では車両重量の疲労現象など種々の原因によるひびわれや、剝離などの損傷が観察される。これらの損傷に水の影響が指摘されているが、損傷をそのまま放置すると重大な変形や破壊に至ることも考えられ、補修の必要が生じる。現在種々の方法で補修が行われているが、補修された構造物の残存耐力に関する研究は十分であるとは言えない。そこで本研究はコンクリートの上部圧潰やかぶりの剝離などの損傷を有する長方形断面の鉄筋コンクリートはりをエポキシ樹脂注入工法で補修し、水中で繰返し荷重を作用させ補修後の変形状、破壊形式、疲労余命等の疲労性状を検討したものである。

2 実験概要 本研究では鉄筋コンクリートはりの疲労性状に及ぼす水の影響を調査する目的で行われた実験(以下モデル実験と称す)において静的載荷で鉄筋が降伏し曲げ破壊したはり12本と水中疲労試験で鉄筋が破断せずコンクリートで破壊したはり16本、計28本をエポキシ樹脂注入工法で補修し、供試はりとした。各シリーズに使用したはりの本数を表-1に示す。はり主鉄筋(D19, D16)及びコンクリート強度(330kg/cm^2 , 450kg/cm^2)を実験要因とした3種類である。寸法及び配筋は図

表-1 鉄筋はりの本数

	D19	D16
●330	450	330
A	3	3
B	2	2
C	3	3
D	2	2

●単位: kg/cm^2

1に示すように $15 \times 24 \times 200\text{cm}$ の複鉄筋で鉄筋比がD19, D16で各々1.9%, 1.3%, 腹鉄筋比0.85%である。はりモデル実験終了後最大10ヶ月間屋外で放置した後補修した。補修はまずコンクリートの欠落箇所にはり断面が長方形になるようにシール材を補填した後にひびわれもシール材でシールし、ゴムチューブの圧力に

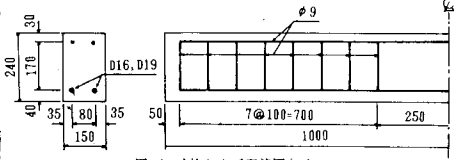


図-1 寸法および配筋図(mm)

表-2 補修材の品質規格

	シール材	クラック材
圧縮強度	600以上	500以上
弾性係数	(4.0~8.0)	1.0
せん断強度	110以上	100以上

単位: kg/cm^2 * ($\times 10000$)

表-3 上り限荷重比

	I	II	III
75%	8.18	7.69	6.18
70%	7.63	7.18	5.77
65%	7.09	6.69	5.36

(単位: ton)

表-4 鉄筋降伏荷重

	実験値(1)	計算値(2)	(1)/(2)
D-I	10.40	10.00	1.04
D-II	10.23	10.00	1.02
D-III	10.20	10.13	1.01
D-IV	9.75	9.60	1.02

* (1) 実験値 (2) 計算値 (単位: ton)

表-5 疲労試験結果

より低圧、低速でグラウトを注入して行った。補修材の品質規格を表-2に示す。はりモデル実験と同じ条件で実験を行うために実験前10日前後水浸状態にした。Aシリーズはモデル実験で疲労載荷されたはりに同じ上り限荷重比(75%, 70%, 65%各々1本)を載荷し、Bシリーズは75%と70%で載荷されて破壊したはりに、各々70%と65%に上り限荷重比を5%下げて載荷した。またCシリーズはモデル実験で静的破壊されたはり(I, II, III各々3本)に上り限荷重比75%, 70%, 65%で載荷した。繰返し載荷速度は、3.75Hzである。DシリーズはBで使用されなかった上り限荷重比65%のはり2本(I, II)とモデル実験で静的破壊されたI, II, III各々1本のはりで静的載荷試験を行った。ここで上り限荷重比とはモデル実験における静的試験で鉄筋が降伏した荷重に対する比で、表-3に各々上り限荷重を示す。また下り限荷重は試験機の性能上全て1.0tとした。測定項目は中央たわみ、コンクリート上下縁ひずみ、曲げ・せん断スパン各々の回転角、ひびわれ幅であり、1万回、5万回、10万回、20万回、以後20万回毎に実験を中止して測定を行った。

3 実験結果及び考察 表-4に鉄筋降伏荷重を示す。モデル実験で静的載荷されたはり3種類ともモデル実験より大きな値で降伏した。これは補修効果と鉄筋のひずみ硬化によるものと考えられる。また疲労載荷されていたはりの降伏荷重はほとんど変化せず、鉄筋の受けていた疲労損傷の影響は認められなかった。表-5に疲労試験結果を示す。A, Bシリーズのはりはモデル実験では全てコン

		上り限荷重比	破壊回数	破壊形式	破壊位置
A	I	75%	43300		
		70%	368200	R	S
		65%	17200	C	S
	II	75%	385600	R	B
		70%	617700	R	B
		65%	743100	R, ST	S
	III	75%	266700	R	B
		70%	470700	R	B
		65%	591900	R	B
B	I	75%→70%	158400	R	B
		70%→65%	154700	C	S
		75%→70%	1252000	R	B
	II	70%→65%	1120400	R	B
		75%→70%	181500	R	B
		75%	53700	C	S
C	I	70%	100400	R	S
		65%	146000	CS	P
		75%	152400	R	B
	II	70%	395300	R	S
		65%	1053100	R	S
		75%	153300	C	S
	III	70%	283900	C, RT	S
		65%	452600	C	S

C: コンクリートの圧潰
 ST: スパン方向の破断
 CS: 支点部コンクリートの欠落
 B: 曲げスパンからの破断
 R: 主鉄筋の疲労破断
 RT: 圧縮側鉄筋の破断
 P: 支点
 S: せん断スパン

クリート部で破壊したのに対し、鉄筋比に対し比較的コンクリート強度が高いⅡ、Ⅲでは全て鉄筋で破壊した。しかしⅠではA-70%, B-75→70%を除いて従来のようにコンクリート部で破壊した。これは鉄筋比とコンクリート強度の関係で、コンクリートは補修されると母材コンクリートと同程度以上に強度が回復するが、Ⅰのように比較的コンクリート強度が低いものは水の影響を大きく受けるためコンクリートを補修しても破壊形式を鉄筋破断型に全て変化させる程の補修効果を得られなかった。また今回の実験では荷重比を5%減少させても破壊形式に著しい変化や特性を示さなかった。次にA、BシリーズとCシリーズと比較すると、Ⅱは全て鉄筋の破断ではりが破壊しているのに対し、C-I-70%を除いたⅠ、Ⅲは従来通りのコンクリートの圧潰で破壊した。これはA、BシリーズはCシリーズに比べモデル実験で大きなせん断ひびわれや変形を伴って破壊したため、樹脂で補強されている割合が高いからであると考えられる。図-2にたわみと繰返し回数比の関係を示す。たわみ曲線の形状はモデル実験のコンクリート破壊型に類似しているが、たわみ量は鉄筋破断型よりも小さく、補修されたはりの剛性は少なくとも補修前と同程度まで回復したと考えられる。図-3にひびわれ幅と繰返し回数比の関係を示す。曲げスパンのひびわれ幅の性状はモデル実験と同じ傾向を示した。しかしせん断スパンにおいてモデル実験のひびわれ幅は破壊前に増大したのに対し、本実験の値はほとんど変化せず一定であった。これはモデル実験のせん断スパン内のひびわれが水の影響を大きく受けてスリット状の幅の広いひびわれに成長したのに対し、本実験ではそのような現象が生じなかったため、水の影響をあまり受けなかったものと思われる。またひびわれ本数がモデル実験より減少し、補修したひびわれが再度開くことはなかった。表-6に累計回数比を示す。本実験に用いたはりはモデル実験で既にコンクリートが破壊するまで疲労しており、本実験で更に疲労が蓄積されたと考えられる。そこで鉄筋が破断したはりの累計回数比を検討すると、B-1を除いて1.4~2.51となりマイナー則を用いると鉄筋の疲労損傷の程度を安全に推定できるとと思われる。なお累計回数比の計算にはモデル実験で鉄筋の疲労破断によるはりより求めた回帰直線式で各荷重比の破壊回数と求めて算出した。図-4にS-N線図、表-7に回帰直線式及び200万回疲労強度を示す。破壊形式を考慮して200万回疲労強度をモデル実験と比較すると、コンクリートで破壊したものはA-Iで最大6.7%低下し、鉄筋破断型ではA-IIで最大3%低下した。またC-IIは鉄筋が降伏した後に疲労載荷され、鉄筋の破断ではりは破壊したが、本実験では鉄筋の加工硬化の疲労寿命に与える影響は認められなかった。以上より鉄筋に対する疲労余命が十分あると考えられる場合、コンクリート部の損傷と確実に補修すれば鉄筋の破断が起こるまで、補修された構造物は十分安全であると考えられる。最後に本研究に於いて昭和58年度文部省科学研究費の交付を、また樹脂補修にショーボンド建設(株)の助を受けた。ここに謝意を表わします。

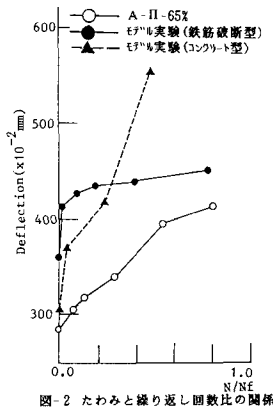


図-2 たわみと繰返し回数比の関係

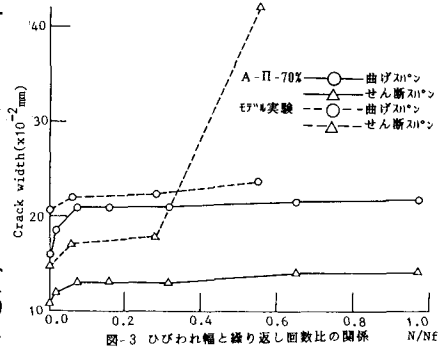


図-3 ひびわれ幅と繰返し回数比の関係

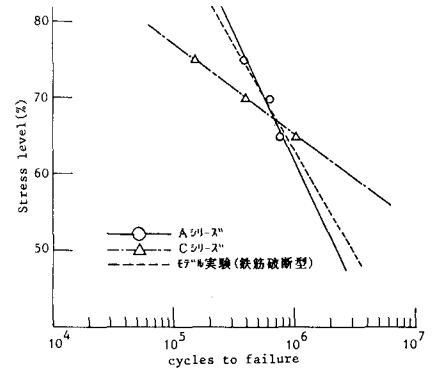


図-4 S-N線図 (Πシリーズ)

	試験条件	N1	N2	M
A	I	70%	0.13	1.02
	II	75%	0.21	1.07
		70%	0.33	1.12
		65%	0.25	0.89
III	75%	0.30	1.06	
	70%	0.72	1.32	
	65%	0.70	1.17	
B	I	75%→70%	0.02	0.44
	II	75%→70%	0.23	2.28
	70%→65%	0.24	1.34	
	III	75%→70%	0.73	0.51

N1: E2*実験の累計回数比
N2: 補修後の累計回数比
M: N1:N2

表-7 回帰直線式および200万回疲労強度

シリーズ名	回帰直線式	実験値 E2*実験値
A-I	S=-6.728LogN+104.631	62.2%
A-II	S=-16.610LogN+152.012	47.4%
A-III	S=-33.578LogN+263.948	51.5%
A-IV	S=-27.503LogN+224.669	51.5%
C-I	S=-22.260LogN+180.528	40.3%
C-II	S=-11.697LogN+135.569	61.8%
C-III	S=-20.034LogN+178.810	52.6%

*コンクリートで破壊したもの

参考文献 1) 前岡・今井・児島: 昭和58年度土木学会年次学術講演会第5部講演概要集V-155