

## アラミド繊維シート補修・補強を繰り返した曲げ破壊RCはりの力学特性に関する研究

澤野利章・木田哲量・阿部 忠（日大生産工・教授）

### 1. はじめに

現代社会において、地球環境への配慮、バブル経済崩壊後の景気の低迷等が土木建造物に対する考え方に大きな影響を及ぼし始めている。たとえば、地球環境への配慮による新設時あるいは取り壊し時の建設廃材やCO<sub>2</sub>の削減、さらに新設建造物の再検討・再計画、既存建造物の保護並びに補修・補強といった新たな試みが挙げられる。

その中でも既設土木建造物を永く使用し続けることは、安全性が十分に確保され、本来の機能を損なうことがなければ、経済性の面において最も有効であると考えられる。そのため既設建造物の維持、補修、補強方法の研究・開発が近年盛んに行われている。

そこで本研究は、鉄筋コンクリート（以下RCと称する）はり部材が外力により曲げ作用を受けて、部分的な破壊状態となった場合にひび割れの補修と連続繊維シートの接着補強を行い、本来の機能の復元を試みる。この補修・補強により、機能の回復がどの程度まで可能か、また再度の曲げ作用を受けて破壊をした場合、同様の補修・補強を何回まで繰り返して機能回復を図ることができるかについて、RCはりの共振振動数と外力による破壊進行状況および破壊メカニズムより明らかにしようとするものである。

### 2. 実験概要

#### 2.1 供試体

本研究では補修・補強の効果について検討を行うために供試体には、集中荷重載荷により曲げ破壊を履歴したRCはり（全長2800mm、幅300mm、高さ210mm：No.1

～3）および同一寸法の曲げ破壊無履歴RCはり（No.4）を用いる。また、鉄筋は各供試体ともSD295A、D16を圧縮側に2本、引張側に3本配置する。

#### 2.2 供試体損傷状況

供試体No.1～No.3は、4回の曲げ破壊を履歴しており、その回数ごとに損傷状況が異なる。曲げ破壊1回目では、支間中央部において曲げひび割れが集中しているが断面欠落などは生じておらず損傷が軽微である。さらに、同一の供試体を補修・補強後に破壊すると、2回目以降では曲げ破壊を履歴したことにより鉄筋の降伏および変形が生じ、断面欠落や残留たわみが大きく、損傷状況が重度となる。

#### 2.3 補修・補強方法

曲げ破壊を履歴した供試体は、破壊形状がその都度異なることから、破壊状況に対処した補修を施して補強を行うこととする。

##### 1) 残留たわみの除去

曲げ破壊による残留たわみが生じた供試体は、それを除去するために供試体引張面上にし、油圧式アクチュエタにより強制的に変位を与えることで復元することとする。

##### 2) 断面補修

曲げひび割れが進行し、遊離コンクリートが生じている供試体は、コンクリート断面欠損部の浮きコンクリートの除去を行い、内部の鉄筋を露出させる。その後、型枠を組みTable 1に示す配合の補修用コンクリートを打設して4週間養生する。

##### 3) ひび割れ補修

曲げ破壊1回目でひび割れのみが生じた

Table 1 Mix proportions of concrete

Maximum size of coarse aggregate (mm)	W/C (%)	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )			
		Water	Cement	Fine Aggregate	Coarse Aggregate
		W	C	S	G
20	45	206	458	658	1004

Table 2 Mechanical properties of AFRP

AFRP	Weight	Tensile strength	Elastic modulus	Thickness
	g/m <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	
AK-60	415	2060	118	0.286

供試体、および曲げ破壊 2 回目以降で断面補修後に未だ微細なひび割れが残存する供試体は、ひび割れの状態に応じたひび割れ補修を行う。ひび割れが表面のみでその幅 0.2mm 以下の場合、ひび割れ部分をセメント樹脂により被覆し補修する。また、ひび割れが内部まで進行している幅 0.2mm 以上の場合には、エポキシ系注入剤を充填し、7 日間養生する。

#### 4) アラミド繊維補強

断面補修およびひび割れ補修を施した供試体は、アラミド繊維シートにより補強する。下地処理としてシートの接着性を向上させるために、表面の骨材を露出させる。その後、プライマーを塗布、アラミド繊維シートを含浸接着樹脂により貼り付け、さらに 7 日間の養生を行う。なお、シート長さは、載荷実験の支点材によるシート拘束を防ぐために 1860mm とする。ここで、Table 2 にアラミド繊維シートの材料特性を示す。

#### 2. 4 実験方法

本研究では、非破壊試験である共振実験と破壊試験である載荷実験を繰り返して行うことにより、アラミド繊維補強した RC はりの補強効果を評価することとする。なお、共振実験では、油圧式二軸振動台による強制振動から共振振動数の特定を行い、載荷実験は油圧式アクチュエタにより載荷して、供試体支間中央のたわみを測定する。共振実験後に載荷実験を行うこととし、供試体が破壊するまで両実験を繰り返して行うものとする。

##### 1) 共振実験

供試体の左右両支間に油圧式二軸振動台と供試体を固定するための振動用治具を取り付け、振動台に固定する (Fig 1)。次に、供試体支間中央部および振動台に小型ひず

みゲージ式加速度計を取り付け、垂直方向の強制振動を与え、入力加速度を約 10gal に保ちながら入力振動数を 0.2Hz 刻みで増加させ、入力振動数と応答加速度の測定を行い、共振振動数を求める。

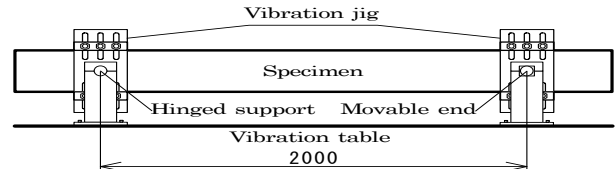


Fig. 1 Fixing device of supports

##### 2) 載荷実験

供試体支間中央に集中荷重を載荷させ、同点直下のたわみ量を測定する。なお、荷重は 9.8kN ずつ増減させることとする。また、共振振動数の測定後、第 1 回目は最大荷重 9.8kN の載荷を行い、その後共振振動数の測定をし、第 2 回目は最大荷重 19.6kN のように  $9.8 \times n$  (回) kN の載荷を供試体が破壊に至るまで繰り返し行う。

#### 3. 実験結果および考察

##### 3. 1 共振実験結果

Fig. 2 は、供試体 No. 1 ~ No. 3 における補強 1 回目から補強 4 回目の共振実験時の共振振動数の変移を示したものである。また、Fig. 3 は、曲げ破壊無履歴供試体 No. 4 における共振実験時の共振振動数の変移を示したものである。なお、No. 3 の補強 1 回目 ~ 4 回目補強後の共振振動数の変移を同図中に示す。さらに Table 3 は、Fig. 2 における各補強回数時の補強後無載荷時および破壊後の共振振動数である。

Fig. 2、3 および Table 3 より、曲げ破壊無履歴供試体の破壊時共振振動数と補強後の共振振動数とを比較すると、約 2.0 ~ 2.2 倍となり、補強回数に関係なく曲げ破壊無履歴供試体 No. 4 の初期共振振動数 87.6Hz に近づいており、顕著に補修・補強効果が現れている。次に、各補強回数における破壊時の平均値を比較すると、補強 1 回目で約 46Hz であるのに対して、補強 2 回目で約 27Hz、3 回目で約 28Hz、4 回目で約 29Hz となっており、補強 1 回目と比して補強 2 回目 ~ 4 回目では、共振振動数が低下していることが確

Table 3 Frequency of reinforced and failure

Specimen	Resonant frequency(Hz)							
	First time		Second time		Third time		Forth time	
	Reinforced	Failure	Reinforced	Failure	Reinforced	Failure	Reinforced	Failure
No.1	75.8	44.4	76.2	27.8	77.8	28.6	86.8	28.4
No.2	76.2	44.4	84.2	25.8	78.8	30.0	87.6	32.6
No.3	83.8	49.2	76.4	27.6	77.4	28.2	84.4	28.0

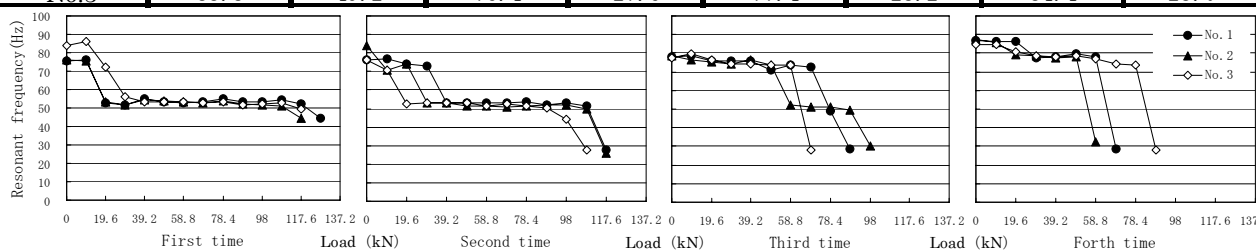


Fig. 2 Variation diagram of resonant frequency

認できる。補強 1 回目の補修前の損傷がひび割れ程度であったのに対して、補強 2 回目以降では内部鉄筋にまで損傷が生じ、各補修時において降伏した鉄筋を完全に復元することができず、さらに補強回数を重ねたことで鉄筋に歪みが大きくなったためと思われる。

次に、Fig. 3 より曲げ破壊無履歴供試体 No. 4 と曲げ破壊履歴供試体 No. 3 を比較すると、No. 4 は 19.6kN 載荷後に初期ひび割れによると思われる共振振動数の減少が確認され、さらに 49.0kN 載荷後にひび割れの進行を示す急激な減少が見られ、その後は徐々に減少していき、最終的に 78.4kN 載荷後に曲げ破壊に至り、共振振動数の大きな減少が確認された。また、No. 3 補強 1 回目においては、No. 4 と同様に初期ひび割れおよびそのひび割れが進行したためによると思われる急激な共振振動数の減少が初期の段階で見られ、その後は徐々に減少していき、最終的に曲げ破壊による減少が確認された。また、補強 2 回目でも No.4 および補強 1 回目と同様に載荷初期の段階で急激に共振振動数が減少し、その後は徐々に減少し、曲げ破壊による急激な減少が見られた。一方、補強 3 回目では、No. 4 および補強 1 回目、2 回目とは相異して載荷初期の段階での急激な減少は確認されず、徐々に減少して最終的に曲げ破壊による減少が確認された。また、補強 4 回目においても、3 回目と同様な変移をなし、No. 4 および補強 1 回目、2 回目と比して急激な変移をなしていることが確認できる。これも、補

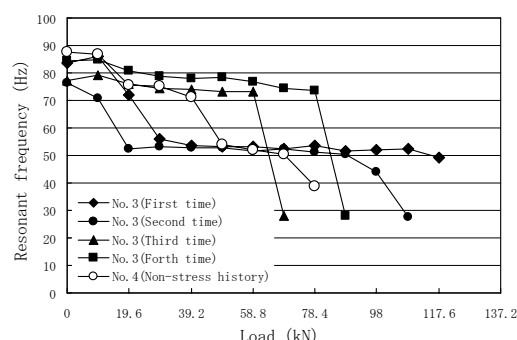


Fig. 3 Variation diagram of resonant frequency

修・補強前の損傷状況に関係していると思われる、補強回数を重ねたことで鉄筋が降伏または変形しており、その機能を十分に発揮することができず、アラミド繊維が主体となって載荷荷重に抵抗していたためと思われる。

### 3. 2 載荷実験結果

Fig. 4 は、各供試体の載荷実験における最大荷重時の荷重とたわみの関係を示したものである。なお、No. 4 の曲げ破壊無履歴供試体の同実験結果を示した。また、本実験においてはたわみが急増し始めたのが 8 mm 以降であることから、たわみの比例限界を 8 mm と仮定する。8 mm 以降は、各曲げ破壊履歴供試体のたわみと No. 4 とを比較して、ほぼ最大荷重付近である 16mm のたわみまでを図示している。ここで、たわみ 8 mm における荷重を各供試体、補強回数ごとに曲げ破壊無履歴 No. 4 と比較すると、No. 1、No. 2 においては補強 3 回目までは最大荷重の増加が確認できる。また、補強 4 回目では両供試体とも載荷初期の段階で破壊している。同様に No. 3 において比較すると、補強 1 回

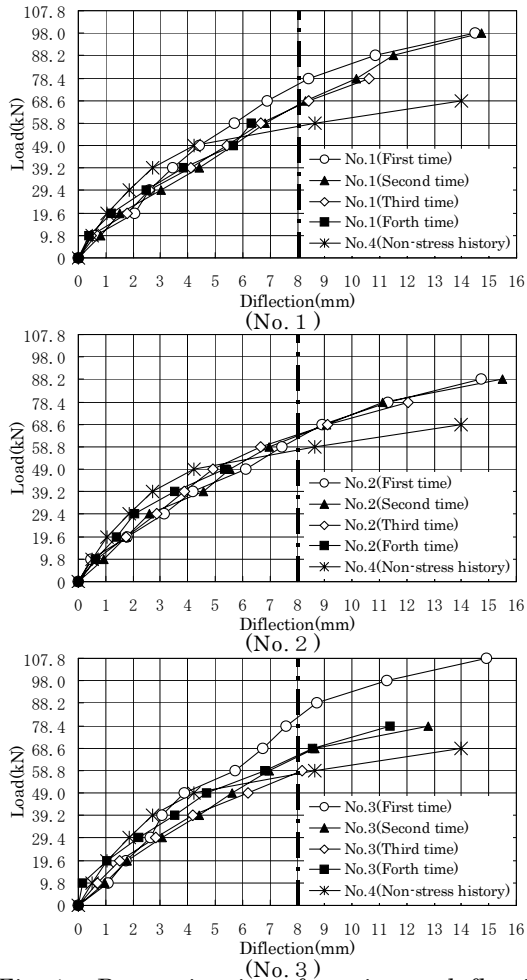


Fig. 4 Determination of maximum deflection

目、2回目で増加が確認され、3回目ではほぼ同程度となっていることが確認できる。また補強4回目においては No. 1、No. 2 とは異なり増加が確認される。これは No. 3 においては、アラミド繊維シートの延性がより発揮されたため、もしくは補修前の損傷状況に差が生じており No. 1、No. 2 と比しては、内部鉄筋の損傷が軽度であったためと推測できる。なお、たわみ 8 mm 以降の破壊荷重は、いずれも補強供試体の方が大きくなった。

### 3. 3 破壊形状

Fig. 5 は、補強4回目における曲げ破壊履歴供試体 No. 1～No. 3 および曲げ破壊無履歴供試体 No. 4 の載荷実験終了後の破壊形状である。Fig. 5 より、No.1～No. 3 では供試体引張側に断面の欠落が確認できる。また、各供試体とも斜めひび割れとアラミド繊維シートとのピーリングが生じている。これは、ひび割れが発生した後、最大荷重の増加に伴

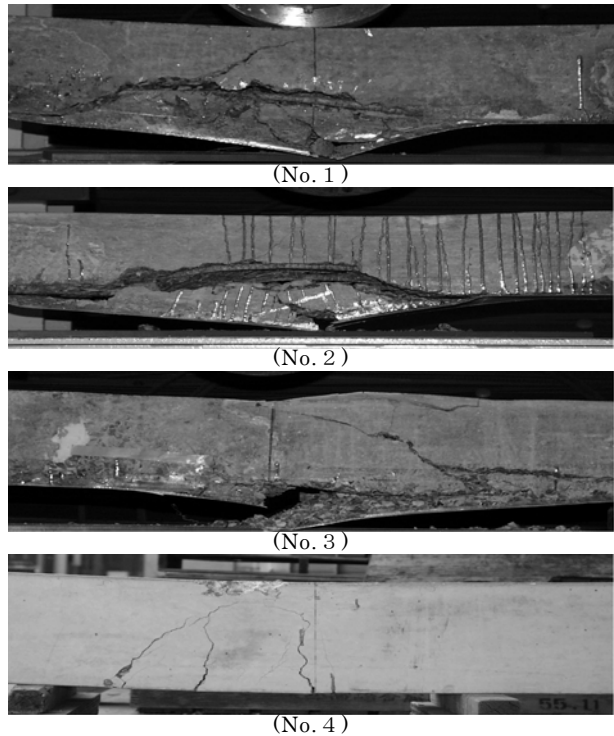


Fig. 5 Damaged state

い、シートの伸びと共にひび割れが進展したためと思われる。

また、No. 4 は No. 1～No. 3 とは異なり、断面の欠落は生じておらず、支間中央部において曲げひび割れが集中している。これはシートによる応力伝達がないためと思われる。

### 4. まとめ

①各供試体の補強後の共振振動数は、曲げ破壊無履歴供試体の初期共振振動数に近づいていることから十分な補修・補強効果が得られていることが確認された。

②共振振動数の変移および荷重とたわみの関係より、曲げ破壊履歴供試体は、共振振動数の変移において補強1、2回目および補強3、4回目が類似した結果となった。両者は異なる振動数およびたわみ量の変移となったが、破壊荷重は両者とも曲げ破壊無履歴供試体と比して向上させることができる。一方、荷重ごとのたわみ量は曲げ破壊無履歴供試体より大きくなる。

今後は、曲げ破壊無履歴供試体に対して補強を行った場合の比較、せん断破壊履歴 RC はりの補修・補強効果についての実験を行いながらアラミド繊維シートの補強効果について研究を進める予定である。