

# 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（日大生産工・教授），木田哲量（日大生産工・教授）  
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構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の削減、さらに新設構造物の再検討・再計画、既存構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。

その中でも既設構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。そのため既設構造物の維持、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、RC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アラミド繊維シートを接着した補強を行い、本来の機能の復元を試み、どの程度までそれを回復させることができるか、また再度の曲げ破壊をした場合、同様の補修・補強を何回まで繰り返して機能を回復させられるかをRCはりの共振振動数から回復状況の判定と外力による破壊進行状況について考察したものである。

## 2. 実験概要

### 2. 1 供試体

供試体には、集中荷重載荷により曲げ破壊を履歴したRC梁（全長 2800mm、幅 300mm、高さ 210mm：No. 1、No. 2、No. 3）および同一寸法の曲げ破壊無履歴 RC 梁（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。また、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、損傷状況が重度である。

### 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を上にし、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

---

*Experiment Study on Repeating Reinforcement Effect of Aramid Fiber Sheet  
Applied to the RC Beam having Bending Failure  
Toshiaki SAWANO, Tetsukazu KIDA and Tadashi ABE*

Table 1 Mix proportions of concrete

Maximum size of coarse aggregate (mm)	W/C (%)	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )			
		Water (W)	Cement (C)	Fine Aggregate (S)	Coarse Aggregate (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>	mm
AK-60	415	2060	118	0.286

を行う。ひび割れが表面のみで幅が 0.2mm 以下と微細であり、樹脂の注入による補修が困難と思われる場合は、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と思われるひび割れ幅が 0.2mm 以上の場合には、エポキシ系の注入剤を注入充填し、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シート貼り付け面をジェットタガネではつり、表面の骨材を露出させる。その後、プライマーを塗布し、24時間硬化養生して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併せて行うことにより、アラミド繊維補強した RC 梁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測定を行い、載荷実験は油圧式アクチュエタによる載荷を行い、供試体支間中央のたわみを測定する。また、共振実験後に載荷実験を行うこととし、供試体が破壊に至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。

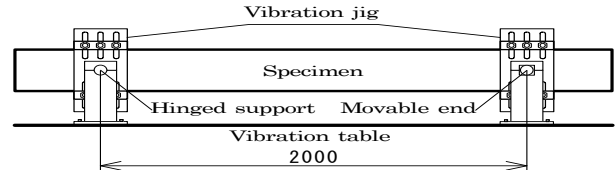


Fig. 1 Fixing device of supports

##### 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

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

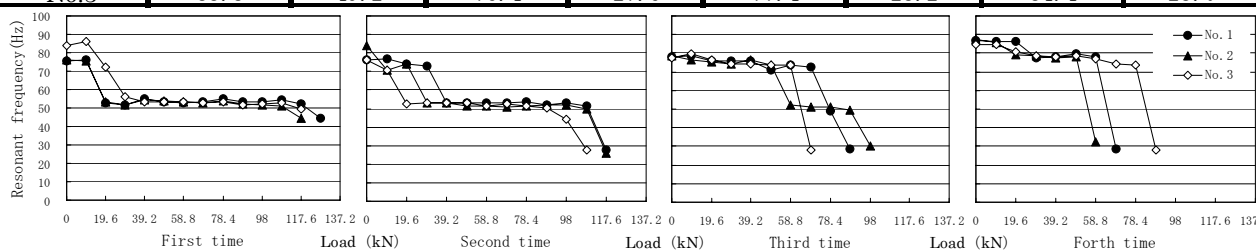


Fig. 2 Variation diagram of resonant frequency

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

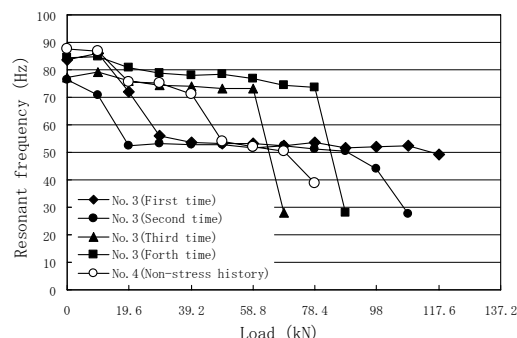


Fig. 3 Variation diagram of resonant frequency

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、比較のために 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、本実験におけるたわみが急増し始めたのが 8 mm 以降であることから、この実験の比例限界付近を 8 mm と仮定する。さらに 8 mm 以降は、各曲げ破壊履歴供試体のたわみを曲げ破壊無履歴供試体 No. 4 のものと比して、ほぼ最大荷重付近であることが確認されたので、16mm のたわみまで達する以前を図に示している。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

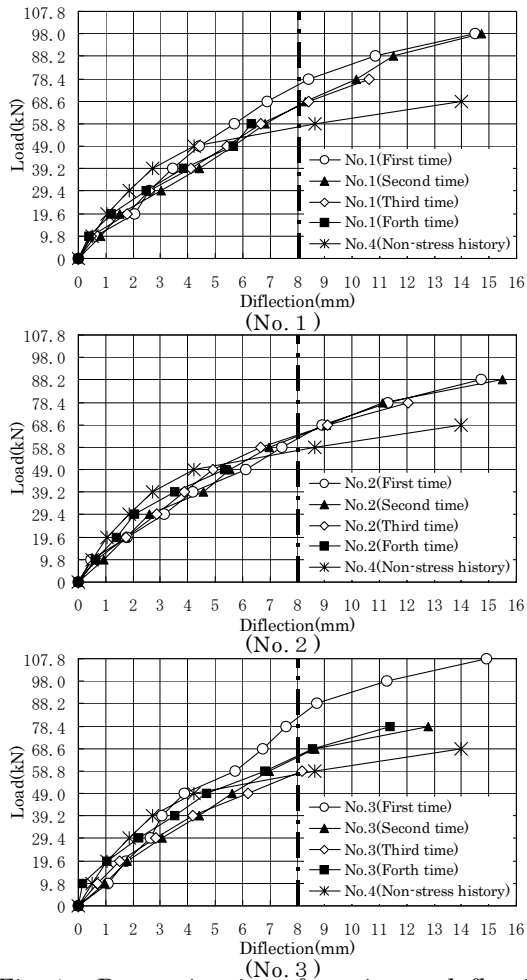


Fig. 4 Determination of maximum deflection

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荷重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 の荷重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

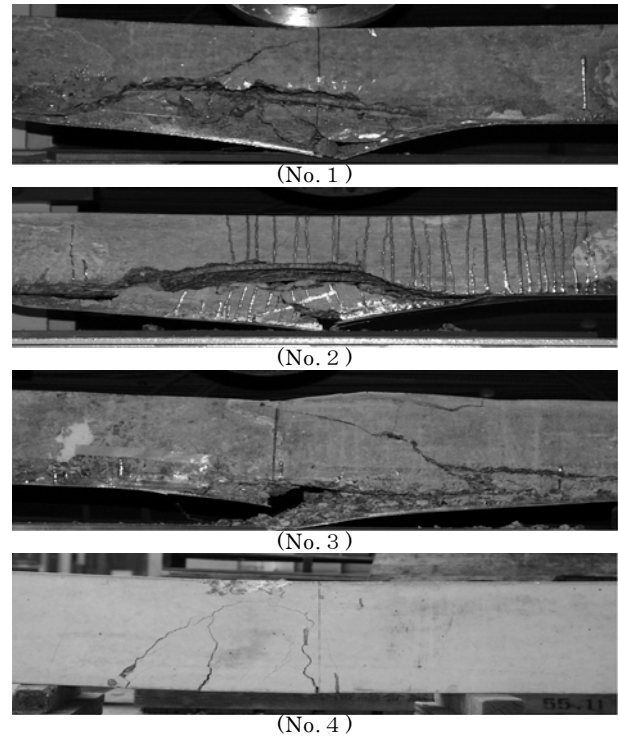


Fig. 5 Damaged state

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。