

曲げ破壊履歴 RC 梁の繰り返し アラミド繊維シートによる補強効果に関する研究

日大生産工 (院) ○新井 学 日大生産工 木田 哲量
日大生産工 澤野 利章 日大生産工 阿部 忠

1. はじめに

既存 RC 構造物の耐震補強工法の一つに連続繊維シート接着工法があり、兵庫県南部地震を契機に本工法による耐震補強が急速に増加しつつある。しかし、現在、施工されている耐震補強は、基本的に補強部材の損傷が軽微なものが前提とされ、一度補修・補強したものが損傷を被った場合、再度の補修・補強を行った実績は少ないと考えられる。地震多発国である我が国においては、今後は一度補修・補強した RC 構造物が再度損傷を受ける可能性があると考えられる。また、各研究機関における連続繊維シート接着工法による補強効果の研究は、応力未履歴に対する場合が多いが、応力履歴した場合の研究はあまり行われていない。

そこで本研究では、三度の曲げ破壊を履歴した同一の RC 梁に、補修・アラミド繊維補強を行い、繰り返し補修・補強を施した場合の耐力を非破壊検査法の一つである共振法を用いた共振振動数の変移により検証し、その補強効果および繰り返し補修・補強の可能性について検討を行うこととする。

2. 供試体の作製

2-1. 供試体寸法および形状

1) 供試体寸法

供試体は、曲げ破壊を履歴した RC 梁（全長 2800mm、幅 300mm、高さ 250mm：No. 1、No. 2、No. 3）を用いる。また、鉄筋には SD295A、D16 を圧縮側に 2 本、引張側に 3 本配置する。なお、供試体支間を 2000mm とする。

2) 供試体形状

各供試体は、曲げ破壊を履歴したことによりその破壊形状が異なる。各供試体は支間中央部

表-1 コンクリート配合

最大 粗骨材寸法 (mm)	水セメント比 W/C (%)	単位重量(kg/m ³)			
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
20	45	206	458	658	1004

表-2 アラミド繊維の力学特性

品番	目付	引張強度	ヤング係数	保証耐力	設計厚
	g/m ²	N/mm ²	kN/mm ²	kN/m	mm
AK-60	415	2060	118	588	0.286

において断面欠落およびクラックが生じているため、損傷部における遊離コンクリート等を除去した後、断面補修およびクラック補修を行う必要がある。また、残留たわみの大きい供試体については、その除去が必要である。

2-2. 補修・補強方法

各供試体は、破壊形状が異なることから破壊状況に対処した補修を施し、アラミド繊維シートによる補強を行うものとする。

1) 断面補修

曲げ破壊履歴による残留たわみを有している RC 梁は、これを復元する。次に、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、内部補修のために鉄筋を露出させてから、型枠を設置して、補修用のコンクリートをパイプレータをかけながら打設する。4 週間の養生後脱型し、ディスクサンダーにより表面の研磨を行う。ここで、補修に用いたコンクリートの配合を表-1 に示す。

2) クラック補修

クラックのみが生じている供試体および断面補修後に未だ微細なクラックが残る供試体は、クラックの状態に応じた補修を行う。クラックが表面のみで幅が 0.2mm 以下の微細な場合は、クラック部分をセメント樹脂 [ショーボンド

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

(株) 101S] により被覆する。また、クラックが内部まで達していると思われるクラック幅が 0.2mm 以上の場合は、セメント樹脂により目地留めを行うと同時に、クラックを補修するための注入剤注入用パイプを取り付け、エポキシ系の注入剤 [ショーボンド (株) BL グラウト S] を注入パイプから充填し、クラック補修を行い、7日間養生する。その後、注入パイプの撤去及び表面の研磨をディスクサンダーにより行う。

3) アラミド繊維シート補強

断面補修およびクラック補修が終わった供試体はアラミド繊維シートにより補強する。まず、下地処理を行う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 [住友ゴム工業 (株) グリップボンド GB-30] を塗布し、24 時間硬化養生してアラミド繊維シート [ファイベックス (株) フィブラシート AK60] を含浸接着樹脂 [住友ゴム工業 (株) グリップボンド GB-35] 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、表-2 にアラミド繊維シートの材料特性を示す。

3. 実験概要

3-1. 実験方法

本実験では、非破壊試験である共振実験と破壊実験である載荷実験を併せて行い、アラミド繊維シート補強した 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 (写真-1) による強制振動から共振振動数の測定を行い、載荷実験で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、載荷実験では最大荷重を 9.8kN ずつ増加ごとに共振実験を行い、供試体が破壊に至るまで両実験を繰り返しながら行うものとする。

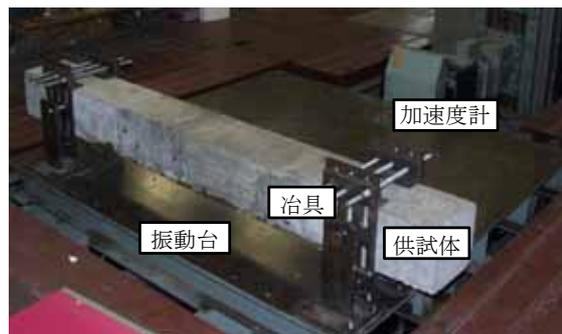


写真-1 油圧式二軸振動台

1) 共振実験

供試体の左右両支点に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、振動台に固定し、支間中央部に小型ひずみゲージ式加速度計を取り付ける。次に、供試体を木製ハンマーで打撃し、その時の減衰自由振動より固有振動数を推測する。その後、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。

2) 載荷実験

供試体支間を 2000mm とし、支間中央に集中荷重を載荷させ、同点のたわみ量を測定する。なお、荷重は 9.8kN ずつ増減させ、共振振動数を測定後、第1回目は最大荷重 9.8kN、第2回目は 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す。

4. 実験結果および考察

4-1. 共振実験結果

図-1 は、無補強 RC 梁の破壊時と補強後 RC 梁の共振振動数の変移および補強1回目から補強3回目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、図中の a を無補強時、b を断面補修後、c をクラック補修後、d を補強後として表した。また、表-3 は、図-1 における無補強 RC 梁の破壊時共振振動数および各補強回数における補強後無載荷時の共振振動数を示したものである。

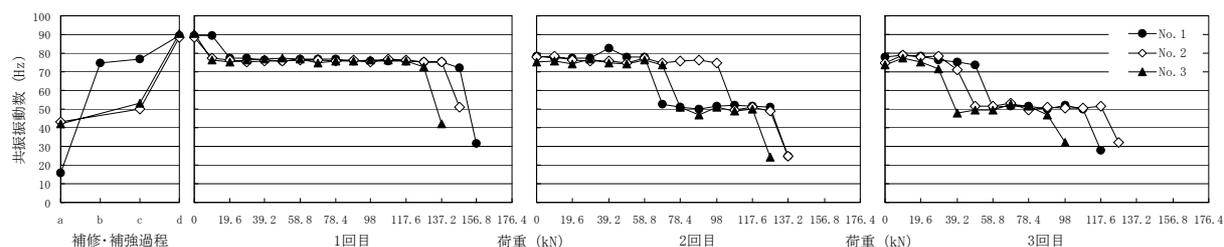


図-1 共振振動数の変移

表－3 無補強破壊時および各補強回数における補強後・破壊時の共振振動数

供試体	共振振動数 (Hz)						
	無補強破壊時	補強 1 回目		補強 2 回目		補強 3 回目	
		補強後	破壊時	補強後	破壊時	補強後	破壊時
No. 1	16.0	89.4	31.6	78.6	24.6	77.8	27.8
No. 2	43.0	88.6	51.0	78.0	25.0	74.8	32.2
No. 3	42.0	90.4	42.0	75.2	24.2	73.6	32.0

同図表より、無補強破壊時の共振振動数の平均値と各回数における補強後の平均値とを比較すると、補強 1 回目で約 2.7 倍の共振振動数の増加が確認され、2 回目で約 2.3 倍の増加、3 回目で約 2.2 倍の増加が確認された。このことから、補強 1 回目と比較して補強 2 回目、3 回目では、増加率が減少したものの、無補強破壊時と比して各回数とも共振振動数の増加が確認されたことから、顕著に補修・補強効果が現れる結果となった。

次に、図－1 より各回数における共振振動数の変移を見る。補強 1 回目では、No. 1 が 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見られ、No. 2、No. 3 が 9.8kN 載荷後に同様の減少が確認された。それ以降は、各供試体ともほぼ一定を保ち、最終的に No. 1 が 147.0kN 載荷後、No. 2 が 137.2kN 載荷後、No. 3 が 137.2kN 載荷中に破壊に至り、急激な共振振動数の減少が確認された。

一方、補強 2 回目では 1 回目と相異して、初期ひび割れによると思われる共振振動数の減少は確認されず、No. 1 が 68.6kN 載荷後、No. 2 が 78.4kN 載荷後、No. 3 が 107.8kN 載荷後に補強 1 回目破壊時の共振振動数と同程度までの減少が確認されるが、ここではアラミド繊維シートの延性によると思われる補強効果により破壊には至らず、最終的に No. 1 が 127.4kN 載荷後、No. 2 が 137.2kN 載荷中、No. 3 が 127.4kN 載荷中に破壊に至り、急激な減少が見られた。

また、補強 3 回目では、2 回目と同様に初期ひび割れによる共振振動数の減少が確認されず、No. 1 が 58.8kN 載荷後、No. 2 が 49.0kN 載荷後、No. 3 が 39.2kN 載荷後に急激な減少が確認され、その後は 2 回目と同様な変移をなし、最終的に No. 1 が 117.6kN 載荷中、No. 2 が 127.4kN 載荷中、No. 3 が 88.2kN 載荷中に破壊に至り、共振振動数の減少が確認された。

以上のことより、補強 2 回目、3 回目の共振

振動数の変移が酷似し、補強 1 回目とは異なっていることが確認されるが、これは各補強回数における補修前の損傷に差異が生じていたためと思われる。補強 1 回目の補修前の損傷がクラックまたは微小な断面欠落であるのに対して、2 回目、3 回目では補修前の損傷が破壊の回数を重ねたことで拡大し、断面欠落幅が増加していたためと思われる。したがって、同じ曲げ破壊にも程度の差が顕在し、それが共振振動数の変移に現れたと考えられる。

4－2. 載荷実験結果

図－2～4 は、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、同図中における応力無履歴は、同一寸法 RC 梁の静的載荷実験¹⁾ 結果によるものである。ここで、たわみが急増し始めた 10mm における最大荷重を応力無履歴のものと比較すると、No. 1、No. 2 の供試体においては、各補強回数ともほぼ最大荷重が増加していることが確認できる。また、No. 3 の供試体では、補強 2 回目で減少が確認され、補強 3 回目においては、載荷初期の段階で破壊していることが確認できる。このことから、図－1 における補強 3 回目の共振振動数の変移において、No. 3 の共振振動数が No. 1、No. 2 と比較して早期に減少している状態から見ても合致する結果であることが確認できる。また、これは、コンクリートとアラミド繊維の接着性に起因し、アラミド繊維の効果が十分に発揮されなかったためと思われる。

4－3. 破壊形状

写真－2～4 は、各供試体の破壊形状である。同写真より、各供試体のひび割れは、支間中央において曲げひび割れが集中していることが確認できる。また No. 1 では、曲げひび割れ段差部で、せん断破壊のような斜めひび割れとアラミド繊維シートのピーリングが確認できる。これは、ひび割れ発生後、荷重の増加に伴い、そのひび割れが進展していき、最終的にコンクリ

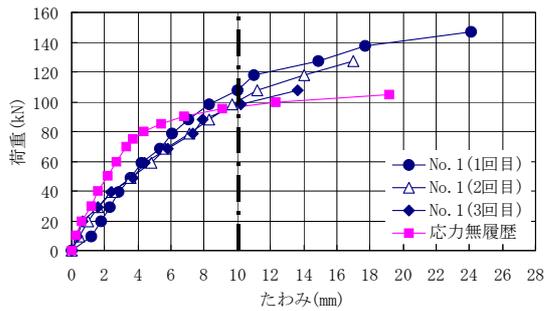


図-2 最大荷重時のたわみ (No. 1)

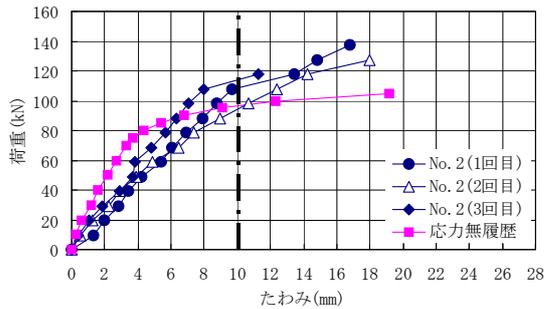


図-3 最大荷重時のたわみ (No. 2)

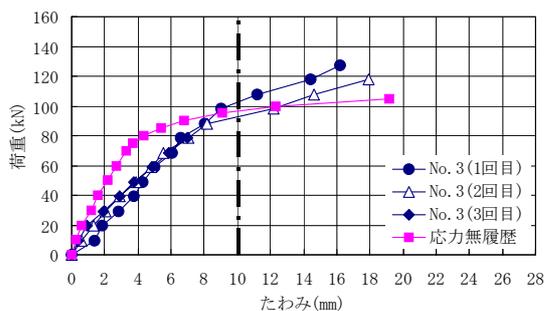


図-4 最大荷重時のたわみ (No. 3)

ートに段差が生じ、その段差によりピーリングが生じたためと思われる。

5. まとめ

- ①無補強時と各補強回数後の共振振動数を比較すると、各補強回数とも共振振動数の増加が確認された。
- ②共振実験時の共振振動数の変移より、補強 2 回目、3 回目では、補強 1 回目の破壊時と同程度までの急激な共振振動数の減少が見られたが、その時点では破壊に至らなかったことから、補強回数を重ねることで、よりアラミド繊維シートの延性が発揮されたと思われる。
- ③最大荷重時の荷重とたわみの関係より、各供試体とも応力無履歴と比較すると、たわみの増加に伴って最大荷重の増加が確認されたことから、アラミド繊維シートによる補強効果が顕著に現れる結果となった。
- ④同一の供試体に、繰り返し補修・補強を行っ



写真-2 破壊発生時 (No. 1)



写真-3 破壊発生時 (No. 2)



写真-4 破壊発生時 (No. 3)

た場合には、その都度、補修・補強効果が得られ、アラミド繊維シートの補強効果がより発揮されることが確認された。

6. 謝辞

本研究を行うにあたり、試料のご提供とご指導を頂きましたショーボンド建設(株)補修工学研究所材料試験室及び三井住友建設(株)技術研究所に厚く御礼申し上げ、ここに付記し、謝意を表します。

「参考文献」

- 1) 児玉正人, 走行荷重を受ける RC はりの曲げ挙動に関する研究, 日本大学大学院生産工学研究科修士論文, (2002), pp.104-109
- 2) 坂井廣道, 友澤史紀, 榊田佳寛, 阿部道彦, 野口貴文, 鹿毛忠継, 李翰承, 久部修弘, 鉄筋が腐食した RC 構造部材の炭素繊維シートによる補強, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (1996), pp.345-346
- 3) 高橋義裕, 初期荷重を受けた RC はりに対する CFRP シートの曲げ補強効果について, 土木学会第 58 回年次学術講演会, (2003), pp.1137-1138
- 4) 高橋 司, 曲げ破壊を履歴した RC 梁のアラミド繊維シートによる補強効果に関する実験研究, 第 35 回日本大学生産工学部学術講演会, 土木部会, (2003), pp.55-58