

繰り返し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

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 日大生産工（院）金子 健未

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、既存 RC 構造物に対する耐震補強が進められている。RC 構造物に対する補修・補強工法は多種存在するが、その中でも連続繊維補強材による補強工法が近年、注目されている。連続繊維シート接着工法は、従来の工法と比較して設計や施工性、機能面で優れていることから、その施工実績が急速に増加している。一方で、この連続繊維シート接着工法による補強効果の研究は、応力未履歴に対して多く、応力履歴した場合の研究例は少ない。また、現在、公共工事における工費節減や環境問題を考慮して、省資源かつ省エネルギー化が図られ、新設よりも補修・補強による延命が望まれていることから、繰り返し補修・補強による補強効果の検証が必要である。

そこで本研究では、既往の研究¹⁾により二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施し、その補強効果を検証する。これにより、何度の繰り返し補修・補強に耐えられ、どの程度耐力が回復するかを考察することとする。

2. 実験概要

2-1. 供試体

供試体には、曲げ载荷により 20mm 以上のたわみを被り、引張鉄筋が降伏すると思われる断面寸法の異なる RC 梁、タイプ I（幅 300mm、高さ 250mm：No. 1、No. 2）、タイプ II（幅 300mm、高さ 210mm：No. 3、4）を用いる。鉄筋は SD295A、D16 を両タイプとも圧縮側に 2 本、引張側に 3 本配置する。なお、供試体支間を 2000mm とする。ここで、供試体寸法及び補強後の重量を表-1 に、鉄筋配置を図-1 に示す。

2-2. 補修・補強方法

各供試体は、曲げ载荷によりクラック及び断面欠落が生じて破壊形状が異なるため破壊状況に対処し

表-1 供試体寸法及び重量

供試体		幅 (mm)	高さ (mm)	長さ (mm)	質量 (kN)
タイプ I	No. 1	300	250	2800	5.1
	No. 2				5.1
タイプ II	No. 3	300	210	2800	4.4
	No. 4				4.3

表-2 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-3 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

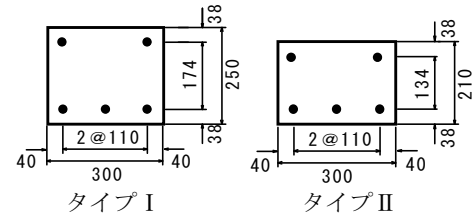


図-1 鉄筋配置図

た補修を施し、アラミド繊維シートによる補強を行う。

1) 断面補修

支間中央部で断面欠落している供試体はプレパクトコンクリートを模した方法により補修を行う。初めに、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、内部鉄筋を露出させる。次に、型枠の設置を行い、粗骨材を型枠内に投入する。投入後、モルタルコンクリートを充填し、バイブレーターで均一にする。4 週間程度養生した後に脱型し、ディスクサンダーにより表面の研磨を行う。補修に用いたコンクリートの配合を表-2 に示す。

2) クラック補修

クラックが生じている供試体は、クラック形状に応じた補修を行う。クラックが表面のみで幅が微細（0.2mm 以下）な場合は、クラック部分をセメント樹脂 [ショーボンド（株）101S] により被覆し、24 時間硬化養生を行う。その後、ディスクサンダーで

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

研磨する。また、クラックが内部まで生じ、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、注入用パイプを取り付け硬化養生を行う。養生後、注入剤〔ショーボンド（株）BL グラウト S〕を注入パイプから注入し、7 日間養生した後、注入パイプの撤去及び表面の研磨を行う。

3) アラミド繊維シート補強

断面補修、クラック補修を施した供試体の引張面となる下面にアラミド繊維シートを張り付ける。まず、下地調整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 時間硬化養生する。養生後、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、7 日以上を養生を行う。なお、シート長さは載荷実験における支点材によるシート拘束を防ぐために 1860mm とする。アラミド繊維シートの材料特性を表-3 に示す。

2-3. 実験方法

本研究では、油圧式二軸振動台により共振振動数を求める共振実験と油圧式アクチュエタによるたわみ測定する載荷実験を行う。なお、共振実験後に載荷実験を行くこととし、載荷実験において最大荷重を 9.8kN ずつ増加毎に共振実験を行い、供試体が破壊に至るまで繰り返す。

1) 共振実験

供試体の左右両支点到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て自由振動応答の測定を行い、固有振動数を推測する。その後、鉛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

供試体支間中央に集中荷重を載荷させ、同点のたわみ量を測定する。荷重は 9.8kN ずつ増減させ、共振測定後、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 の荷重載荷を供試体が破壊に至るまで繰り返すこととする。

3. 実験結果及び考察

3-1. 共振振動数

図-2、3 はタイプ別における無補強 RC 梁の破壊時と補強後 RC 梁の共振振動数の変化、及び補強 1 回目から補強 2 回目における載荷実験終了時の共振振動数の変化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。

図-2、3 より、無補強時と補強後の共振振動数を比較すると、タイプ I で約 3.8 倍、タイプ II で約 1.8 倍、共振振動数の増加が確認された。また、1 回目破壊時から補強 2 回目では、タイプ I で約 2.0 倍、タイプ II で約 1.8 倍の増加となり、供試体高さの違いによる差は生じたものの、補強回数についてはタイプ I、タイプ II ともに同程度となり、差は見られなかった。

補強 1 回目では各供試体とも、9.8kN~19.6kN 載荷時に初期ひび割れによる共振振動数の減少が見られ、それ以降は荷重の増加に伴い徐々に減少し、タ

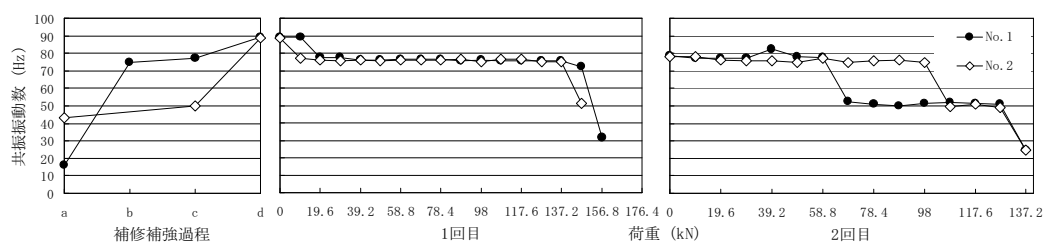


図-2 共振振動数の変化(タイプ I)

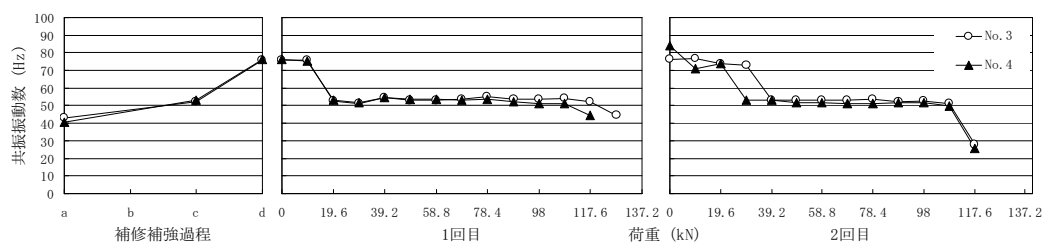


図-3 共振振動数の変化(タイプ II)

タイプⅠは 147～156.8kN 荷重時、タイプⅡは 117.6～127.4kN 荷重時に曲げ破壊に至る減少が確認された。一方、補強 2 回目では、タイプⅠは 78.4～107.8kN 荷重時に急激な減少が見られ、その後は徐々に減少し、最終的に 137.2kN 荷重時に曲げ破壊した。また、タイプⅡはタイプⅠと同様に 29.4～39.2kN 荷重時に急激な減少が見られ、117.6kN 荷重時に破壊に至った。これより、両タイプともクラックの進行に伴って補強 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は生じるが、シートの補強効果により破壊には至らず、その後、徐々に減少して最終的に曲げ破壊に至ることが確認された。

3-2. 荷重荷重時のたわみ

図-4、5は、タイプⅠ(No.2)、タイプⅡ(No.3) 供試体の補強 1 回目・2 回目における荷重実験時の荷重とたわみの関係である。図-4、5より、荷重が増加するとたわみ量も大きくなり、降伏点に近づくにつれて復元力が減少し、曲げ剛性が低下していることが確認された。これは振動周期の増大によって応答加速度が低減し、共振振動数が減少することと合致している。補強 1 回目・2 回目ともに載荷荷重が約 80kN 以上になると、全供試体のたわみ量が急激に増加しているが、これはアラミド繊維シートに剥離が生じ、一体性が損なわれたために曲げ破壊が進行したためと思われる。

図-6、7は、最大荷重時の荷重とたわみの関係である。ここで、同図中における応力無履歴は、同一寸法 RC 梁の静的荷重実験²⁾によるものである。破壊直前の荷重を最終荷重として、補強 1 回目及び補強 2 回目のものと無補強供試体の最終荷重とを比較すると、タイプⅠでは補強 1 回目で約 35%の増加が見られ、補強 2 回目で約 21%の増加が見られた。また、タイプⅡでは補強 1 回目が約 41%、補強 2 回目が約 35%の増加となり、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。

3-3. 実験値と曲げ耐力の比較

曲げ耐力は鹿毛式(1)、(2)³⁾によって提案されている耐力を算出する。なお、供試体は、鉄筋が降伏していると予想されるが、計算では複鉄筋の曲げ耐力として算出することとする。

$$M_{us} = (0.9 \cdot A_s \cdot f_{yd} \cdot d) + (0.9 \cdot A_{cs} \cdot E_f / E_s \cdot f_{yc} \cdot \alpha \cdot h) \quad (1)$$

$$P_u = 4 M_{us} / L \quad (2)$$

ここで、 A_s ：引張鉄筋量、 f_{yd} ：鉄筋の降伏強度、 d ：有効高さ、 A_{cs} ：シートの断面積、 E_f ：シートのヤン

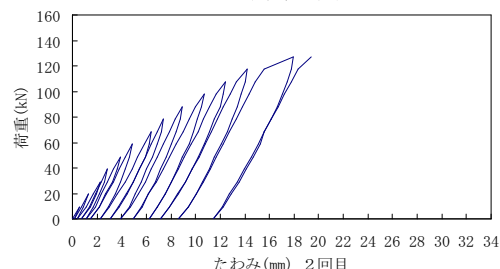
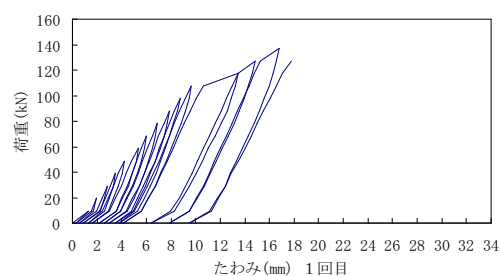


図-4 荷重とたわみ(No.2)

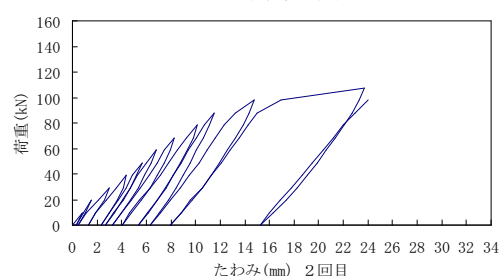
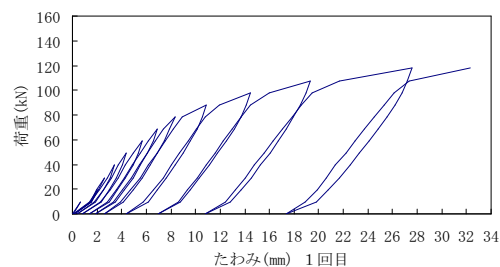


図-5 荷重とたわみ(No.3)

グ係数、 E_s ：鉄筋のヤング係数、 f_{yc} ：シートの引張強度、 α ： f_{yc} に対する低減係数(=1/2)、 h ：はりの高さ、 L ：支間

鹿毛式の耐力算出適用範囲は、比例限界内であるが、その使用範囲をたわみが 10mm 付近までと考え、たわみ 10mm における無補強供試体と補強 1 回目・2 回目の荷重を比較する。タイプⅠでは、たわみ 10mm での無補強供試体の荷重が約 98kN であるのに対して、No.1 の補強 1 回目で 107.8kN、補強 2 回目で 100.1kN となり、No.2 では補強 1 回目が 108.6kN、補強 2 回目が 94.1kN となった。一方、タイプⅡでは、たわみ 10mm での無補強供試体の荷重が約 75kN であるのに対し、No.3 の補強 1 回目で 84.7kN、補強 2 回目で 77.6kN となった。また、No.4 は補強 1 回目、2 回目ともに 73.0kN となった。このことから、補強 2 回目では補強 1 回目に比べ荷重

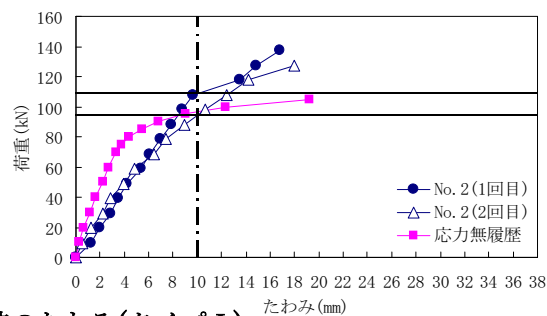
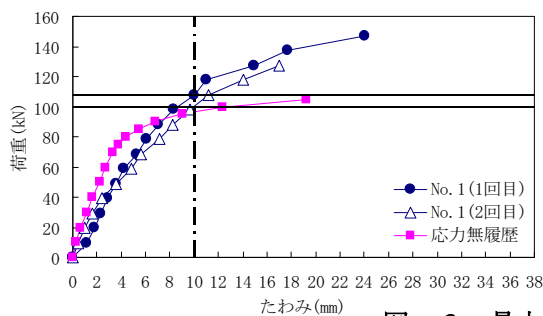


図-6 最大荷重時のたわみ(タイプⅠ)

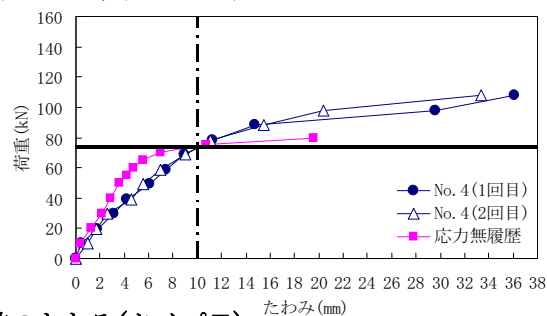
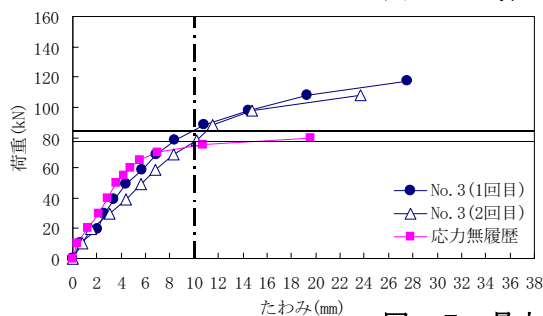


図-7 最大荷重時のたわみ(タイプⅡ)

の減少が見られるが、無補強供試体と比較した場合、ほぼ同程度となることが確認された。表-4にたわみ10mmの実験値と鹿毛式を準用した提案値の結果を示す。これより補強1回目の実験値は、No.1、No.2で1.00倍、1.01倍と提案値を上回り、安全側を示したが、No.3、No.4で0.96倍、0.83倍となり、危険側を示す結果となった。また、補強2回目においては全ての供試体において0.83~0.93倍となり、危険側を示す結果となった。このことから、繰り返し補修・補強を行う場合には、低減係数及び提案式に対する検討が必要であると考えられる。

4. まとめ

- ①無補修時に比べ補強後は、共振振動数が増加したことから補強1回目・2回目ともに補強効果が確認された。
- ②載荷時の共振振動数の変化より、補強2回目では、補強1回目の破壊時と同程度までの共振振動数の急激な減少が見られたが、その時点では破壊に至らず、補強1回目と同様にアラミド繊維シートによる補強効果が確認された。
- ③たわみ-荷重関係より、補強1回目・2回目ともに無補強供試体と比較すると、最大荷重が21~41%増加し、補強効果が確認された。
- ④同一の供試体に、繰り返し補修・補強を行った場合でも、無補強時より耐力が向上したことから、その都度、補修・補強効果が得られることが確認された。

表-4 たわみ10mmの荷重値の比較

供試体		曲げ耐力(kN)				実験値 提案値
		実験値	複鉄筋	シート	提案値	
タイプⅠ	No. 1	1回目	107.8	83.6	23.9	107.5
		2回目	100.1			
	No. 2	1回目	108.6			1.01
		2回目	94.1			
タイプⅡ	No. 3	1回目	84.7	67.8	20.1	87.9
		2回目	77.6			
	No. 4	1回目	73.0			0.83
		2回目	73.0			

⑤曲げ耐力算出を提案式で算出した値では、2回目補強の場合は全供試体で危険側を示したことから、低減係数などの検討が必要である。

5. 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ます、ここに付記し、謝意を表します。

「参考文献」

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 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