

ひび割れ補修した載荷履歴を有する RC 梁の AFRP シート緊張接着補強効果

Reinforcing effect of pre-tensioned AFRP sheet on crack repaired RC beams

室蘭工業大学大学院 ○ 学生会員 青坂 真也 (Shin-ya Aosaka)
 室蘭工業大学大学院 フェロー 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)
 三井住友建設 (株) フェロー 三上 浩 (Hiroshi Mikami)
 室蘭工業大学大学院 正会員 栗橋 祐介 (Yusuke Kurihashi)

1. はじめに

近年、既設鉄筋コンクリート (RC) 構造物の補修・補強工法として連続繊維 (FRP) シートを接着する方法が数多く採用されている。しかしながら、FRP シートを RC 部材の引張力作用面に接着して曲げ補強を行う場合、シートの補強効果は主として主鉄筋降伏後に発揮される。最近では、FRP シートの補強効果をより効率的に発揮させる方法として、シートに緊張力を導入して接着 (以後、緊張接着) する工法が提案されている。著者らは、これまで、緊張接着用シート端部にアンカー等の定着治具を用いずに施工可能なアラミド繊維製 FRP (AFRP) シート緊張接着工法を開発し、その補強効果を確認している¹⁾。

一方、既設 RC 構造物には、ひび割れや残留変位を生じている場合も多くあることから、既設構造物の損傷を模擬した検討も重要であるものと判断される。特に、緊張接着工法の場合には、曲げ剛性および曲げ耐力の向上のみならずひび割れ幅の低減およびひび割れ抵抗性の向上効果も期待できることから、既設構造物の耐久性向上にも寄与する工法であると考えられる。

著者らはこれまで載荷履歴を有する RC 梁の緊張接着工法による曲げ耐力向上効果について実験的な検討を行ってきた²⁾。その結果、提案の緊張接着工法により載荷履歴を有する RC 梁の曲げ剛性を大きく改善可能で有ることを明らかにしている。しかしながら、載荷履歴によるひび割れ発生箇所においては、緊張接着用シートの発生ひずみが大きくなり、計算終局変位に到達する前にシート破断するケースが確認された。このような早期に発生するシート破断は、緊張接着を施す前にひび割れ部を確実に補修することにより、回避できるものと考えられる。

このような背景より、本研究では、載荷履歴を有する RC 梁の AFRP シート緊張接着補強効果に及ぼすひび割れ補修

の影響を検討することを目的に、載荷履歴、ひび割れ補修の有無を変化させた RC 梁の AFRP シート緊張接着補強効果を実験的に検討した。また、無緊張の AFRP シートを用いる場合についても同様の検討を行った。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

表-1には、本実験に用いた試験体の一覧を示している。試験体数は、無補強試験体の他、載荷履歴の有無およびひび割れ補修の有無を変化させた RC 梁に対し、AFRP シートを無緊張および緊張接着した全7体である。AFRP シートには、保証耐力が1,176 kN/m のものを用いた。なお、本論文では、緊張力導入の有無によらず各補強試験体に用いた AFRP シートを緊張接着用シートと呼ぶこととする。

表中の試験体名において、補強試験体の第1項目は載荷履歴の有無およびひび割れ補修の有無を示しており、Nは無損傷、Dは載荷履歴有り、DRは載荷履歴有り、ひび割れ補修したことを示している。第2項目は AFRP シートの緊張力導入の有無を示しており、Nは無緊張、Pは緊張力を導入したことを示している。ここで、本研究では、載荷履歴を与えるための事前載荷として、計算主鉄筋降伏変位と計算終局変位の中間時点まで載荷することとした。

また、表-1には、目標導入緊張率の他、ロードセルより得られた緊張力を基にした各試験体の実測導入緊張率お

表-2 AFRP シートの力学的特性値 (公称値)

繊維目付量 (g/m ²)	保証耐力 (kN/m)	設計厚 (mm)	引張強度 (GPa)	弾性係数 (GPa)	破断ひずみ (%)
830	1,176	0.572	2.06	118	1.75
890	588/588	0.286			

表-1 試験体一覧

試験体名	載荷履歴の有無	ひび割れ補修の有無	目標導入緊張率* (%)	実測導入緊張率* (%)	実測初期導入ひずみ (μ)
無補強	-	-	-	-	-
N-N	無	-	40% (104)	40.1% (104)	7,008
D-N	有	無			
DR-N		有			
N-P	無	-	40% (104)	30.5% (78.9)	5,337
D-P	有	無			
DR-P		有			

* () 内は導入緊張力 (kN)

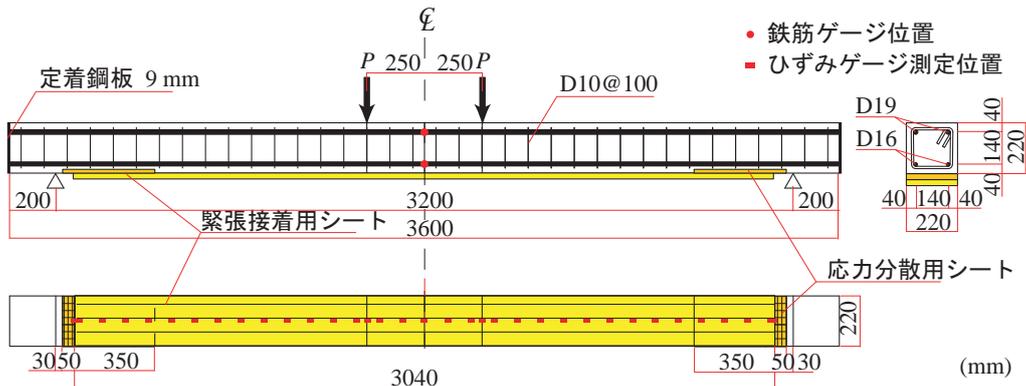


図-1 試験体の形状寸法，配筋状況および補強概要

表-3 事前荷重およびシート補強後の結果一覧

試験体名	最大変位時				除荷後			シート補強後
	荷重 (kN)	変位 (mm)	コンクリートひずみ (μ)	主鉄筋ひずみ (μ)	変位 (mm)	コンクリートひずみ (μ)	主鉄筋ひずみ (μ)	変位 (mm)
D-N	37.8	31.6	-2,014	5,066	17.1	-950	3,846	17.1
DR-N	35.8	31.4	-2,038	2,272	16.9	-995	383	16.9
D-P	37.6	31.6	-2,359	2,645	17.2	-1,274	1,737	5.2 (12.0)
DR-P	37.0	31.3	-1,725	3,113	16.5	-796	1,924	10.5 (6.0)

* () 内の数値は緊張接着による変位の復元量

よびシートの実測初期導入ひずみを併せて示している。なお、表中の導入緊張率は、シートの保証引張耐力に対する導入緊張力の割合である。表-2にはAFRPシートの力学的特性値を示している。実験時におけるコンクリートの圧縮強度は30.2 MPa、主鉄筋の降伏強度は383 MPaであった。

2.2 補強概要

図-1には、本実験に用いた試験体の形状寸法、配筋状況および補強概要を示している。試験体は、断面寸法が22×22 cm、純スパン長3.2 mの矩形RC梁である。上端鉄筋にはD19を2本用い、下端鉄筋にはD16を2本配置した。緊張接着用シートには、幅220 mmのシートを用い、梁中央部から両支点の80 mm手前までの範囲に接着した。なお、緊張接着する場合には、緊張接着用シートの定着を確保するため、同シートの両端部に応力分散用の2方向AFRPシートおよび応力緩和材を使用している。その他、緊張接着工法の詳細については文献²⁾を参照されたい。

2.3 接着面の処理およびひび割れ補修

事前荷重した場合には、スパン中央部において17 mm程度の残留変位を生じているため、緊張接着する場合にはパテ材を用いて接着面が水平になるように調整している。従って、パテ材の厚さは梁中央部が最も薄く、端部ほど厚くなっている。なお、シートの接着作業は、RC梁を反転させた後、シート接着面のブラスト処理およびプライマー塗布を行った後に行っている。

ひび割れ補修は、プライマー塗布前に、低圧のひび割れ注入工法により実施した。また、ひび割れ補修しない場合には、プライマー塗布時においてひび割れ部にプライマーが多少流入している。

2.4 実験方法

本実験において、荷重履歴を与える場合には補強前に前述の事前荷重レベルまで荷重し、梁に損傷を与えてい

る。事前荷重終了後、RC梁に所定の方法でひび割れ補修やシート補強を施し、接着樹脂が十分に硬化した後、再度RC梁を実験装置に設置し終局に至るまで荷重している。なお、これらの荷重実験は、容量500 kNの油圧ジャッキを用いて行った。

本実験の測定項目は、荷重荷重、スパン中央点変位(以後、変位)および緊張接着用シート各点の軸方向ひずみである。また、実験時には、RC梁のひび割れやシートの剥離および破断状況を撮影している。

3. 実験結果および考察

3.1 事前荷重およびシート補強後の状況

表-3には、事前荷重時における最大変位時、除荷後および緊張接着後の実験結果を一覧にして示している。事前荷重は、前述の荷重方法に準拠し無補強時のRC梁の変位が31.5 mm程度となるまで行った。表より、いずれの試験体も残留変位は17 mm程度となっており、上縁コンクリートには1000 μ 程度の残留ひずみが生じていることが分かる。

また、表より緊張接着試験体の場合はシート補強後、変位が復元していることが分かる。ただし、その復元量は、D/DR-P試験体でそれぞれ12.0および6.0 mmであり、ひび割れ補修した場合のほうが小さい。

3.2 荷重-変位関係

図-2には、事前荷重時および補強後の荷重時における荷重-変位関係を補強後の残留変位を考慮する形で、無補強試験体の結果と比較して示している。また、補強試験体に関する計算結果も併せて示している。計算結果は、コンクリート標準示方書³⁾に準拠して断面分割法により算出したものである。なお、計算には事前荷重の影響および前述のパテ材を考慮していない。また、表-4には、参考のため、曲げひび割れ発生時、降伏および終局時における実

表-4 計算結果および実験結果の一覧

試験体名	曲げひび割れ発生時					降伏時					終局時					実験時の破壊性状
	計算結果		実験結果		荷重比	計算結果		実験結果		荷重比	計算結果		実験結果		荷重比	
	荷重 P_{cc} (kN)	変位 δ_{cc} (mm)	荷重 P_{ce} (kN)	変位 δ_{ce} (mm)		荷重 P_{yc} (kN)	変位 δ_{yc} (mm)	荷重 P_{ye} (kN)	変位 δ_{ye} (mm)		荷重 P_{uc} (kN)	変位 δ_{uc} (mm)	荷重 P_{ue} (kN)	変位 δ_{ue} (mm)		
N	6.63	0.71	5.98	0.80	0.90	34.8	15.2	32.8	16.0	0.94	37.7	47.9	43.2	64.8	1.15	上縁コンクリート圧壊
N-N	6.63	0.71	8.25	1.24	1.24	45.8	16.1	50.6	20.9	1.10	83.2	56.6	76.8	55.0	0.92	シート剥離
D-N	6.63	0.71	6.85	1.32	1.03	45.8	16.1	51.9	18.8	1.13	83.2	56.6	81.0	68.0	0.97	圧壊後、シート剥離
DR-N	6.63	0.71	6.85	1.32	1.03	45.8	16.1	51.1	18.3	1.12	83.2	56.6	85.5	72.2	1.03	圧壊後シート剥離
N-P	30.1	3.19	25.6	4.11	0.85	74.0	17.8	81.1	23.1	1.10	103	46.7	107	46.8	1.04	圧壊後、シート剥離
D-P	24.8	2.71	32.9	6.57	1.33	71.9	17.8	85.5	23.7	1.19	109	47.9	116	53.1	1.06	圧壊後、シート破断
DR-P	26.9	2.94	32.3	7.07	1.20	73.2	17.9	86.9	25.8	1.19	107	47.5	113	60.1	1.06	圧壊後、シート剥離

計算結果の破壊性状は全て上縁コンクリート圧壊

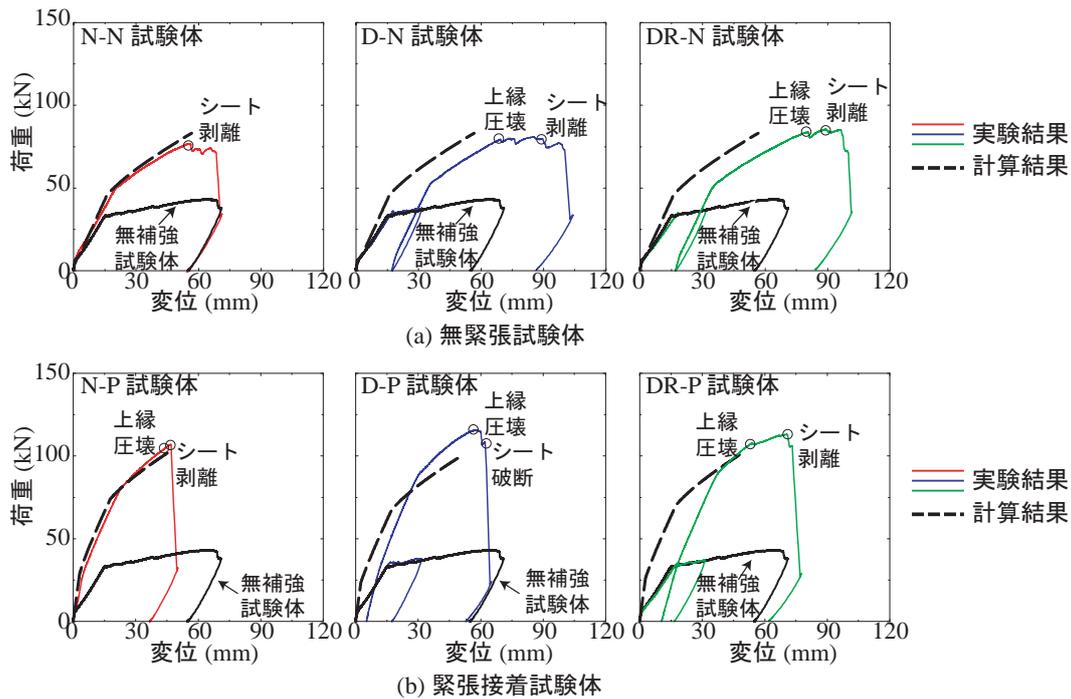


図-2 各試験体の荷重-変位関係

験および計算結果と破壊性状を示している。

図より、シート補強によってRC梁の曲げ剛性、降伏および最大荷重が向上していることが分かる。また、これらの効果は、緊張接着した試験体においてより顕著に示されている。また、载荷履歴なしで無緊張接着したN-N試験体は、上縁コンクリート圧壊後にシートが剥離して終局に至っているのに対し、その他の補強試験体は、いずれも上縁コンクリート圧壊後に終局に至っている。これは、無緊張試験体の場合には、事前载荷による残留圧縮ひずみの影響で、上縁コンクリートの圧壊が先行する性状に移行したことによるものと考えられる。一方、緊張接着試験体の場合には、既往の文献²⁾と同様、緊張接着による降伏荷重の増大やデコンプレッションモーメントの発生に伴うせん断耐力の増大により、ピーリング作用によるシートの剥離が抑制されたことによるものと推察される。

また、緊張接着試験体のうち载荷履歴を有しないN-P試験体はシート剥離、载荷履歴を有するD-P試験体はシート破断により終局に至っている。このような傾向は、著者らによる既往の研究結果と対応している。また、ひび割れ補

修したDR-P試験体は、シート剥離により終局に至っていることより、ひび割れ補修によりシート破断が抑制されたものと考えられる。

3.3 緊張接着用シートの軸方向ひずみ分布

図-3には、計算終局変位時における緊張接着用シートの軸方向ひずみ分布の実験結果を計算結果と比較して示している。ここでは、緊張接着試験体の結果について示している。計算結果は、緊張接着用シートとコンクリートの完全付着を仮定して算出した断面分割法の結果に基づいて求めている。なお、D/DR-P試験体に関しては、終局時の実測ひずみ分布も併せて示している。

図より、いずれの緊張接着試験体も計算終局変位時における実験結果は計算結果と良く対応しており、緊張接着用シートの付着は計算終局変位時まで十分に確保されていることが分かる。

また、D/DR-P試験体の終局時における実測ひずみ分布を見ると、D-P試験体の場合には等曲げ区間において15,000 μ を超えるひずみが局所的に発生していることが分かる。ここで、D-P試験体は緊張接着時における実測導入ひずみ

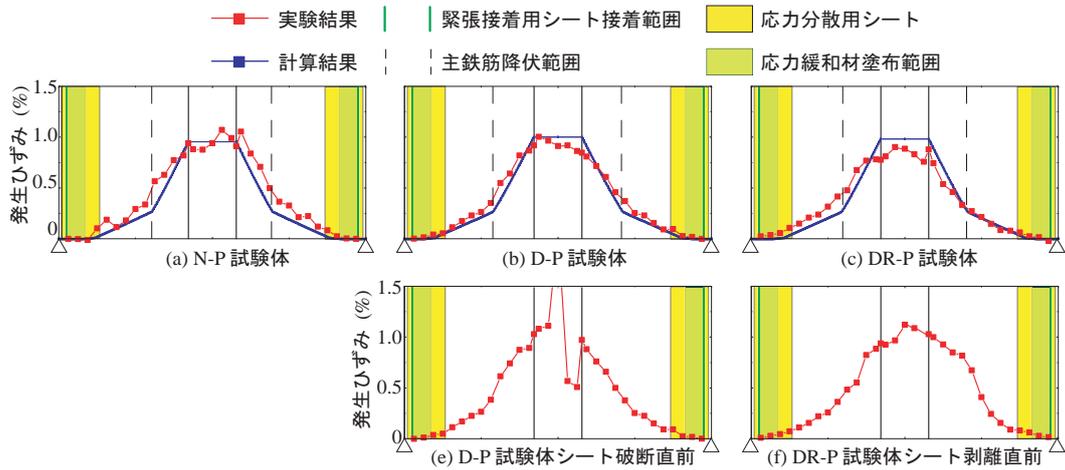


図-3 終局変位時における緊張接着用シートの軸方向ひずみ分布性状

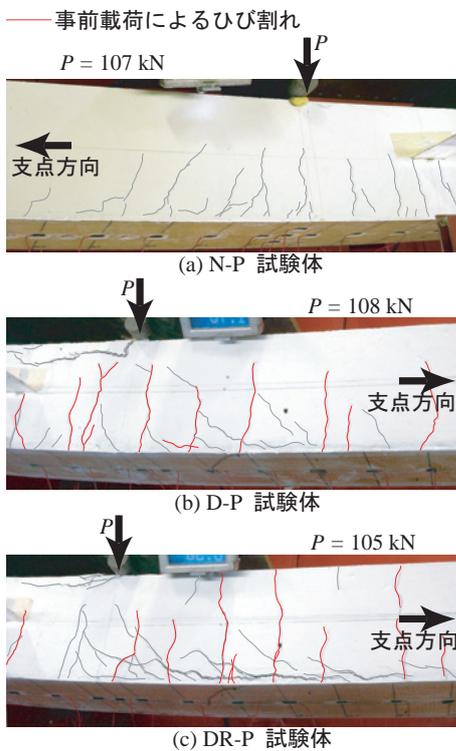


写真-1 各試験体の終局時近傍におけるひび割れ性状

が $5,337 \mu$ であることより、実験時においては等曲げ区間のシートが破断ひずみに至っているものと判断される。

一方、DR-P 試験体の場合には、等曲げ区間において $10,000 \mu$ 程度のひずみが分布している。このことより、DR-P 試験体の場合には、ひび割れ補修により緊張接着用シートの局所的な大きなひずみの発生が抑制され、結果的にシート破断を回避できたものと考えられる。

3.4 ひび割れ性状

写真-1には、緊張接着試験体に関する終局時近傍のひび割れ性状を示している。写真より、荷履歴を有しないN-P 試験体の場合には、等曲げ区間では曲げひび割れ、等せん断力区間では下縁かぶりコンクリート部においてピーリング作用によるシートの部分剥離の兆候が見られる。一方、荷履歴を有するD/DR-P 試験体の場合には、N-P 試験

体の場合よりもひび割れの本数が多く、等曲げ区間においては上縁コンクリートが圧壊に至っていることが分かる。

実験時においては、D-P 試験体の場合には、事前荷時に発生した既存のひび割れが開口する傾向を示し、終局時にはそのひび割れが大きく開口してシートが破断した。これに対し、ひび割れ補修したDR-P 試験体の場合には、事前荷時に発生したひび割れは開口せず、異なる部分で新しいひび割れが発生していることを確認している。

4. まとめ

本研究では、荷履歴を有するRC梁のAFRPシート緊張接着による曲げ補強効果に及ぼすひび割れ補修の影響を検討するため、荷履歴、ひび割れ補修の有無を変化させた無緊張および緊張接着RC梁の荷実験を行った。本研究により得られた知見をまとめると以下の通りである。

- 1) AFRPシート緊張接着により荷履歴を有するRC梁の曲げ耐力を飛躍的に向上可能である。
- 2) 荷履歴およびひび割れ補修の有無によらず、緊張接着用シートとコンクリートの付着は、計算終局変位時まで十分に確保されている。
- 3) 事前荷時に発生したひび割れを補修することにより、既存のひび割れの開口およびそれに伴うシートの局所的な大ひずみの発生が抑制され、シート破断が抑制される。

参考文献

- 1) 栗橋 祐介, 岸 徳光, 三上 浩, 澤田 純之: AFRPシートを緊張接着したPC梁の曲げ耐荷性状に関する実験的研究, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告書, vol.8, pp.257-264, 2008.10.
- 2) 岸 徳光, 三上 浩, 栗橋 祐介, 青坂 真也: 荷履歴を有するRC梁のAFRPシート緊張接着による曲げ補強効果, 土木学会北海道支部論文報告集, 第65号, 部門A, 2009.1.
- 3) 土木学会: コンクリート標準示方書(設計編), 2007.