

AFRP シートに緊張力を導入して曲げ補強した RC 梁の静載荷実験

Experimental study of flexural reinforced RC beams with pre-tensioned AFRP sheet

三井住友建設 (株) フェロー 三上 浩 (Hiroshi Mikami)
室蘭工業大学 フェロー 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)
寒地土木研究所 正会員 栗橋 祐介 (Yusuke Kurihashi)
室蘭工業大学 大学院 ○ 学生会員 中村 圭介 (Keisuke Nakamura)

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ことが明らかになっている。

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。既往の研究^{1),2)}より、アラミド繊維製 FRP (AFRP) シートを緊張接着した RC 梁は、1) ひび割れ発生荷重、降伏荷重および最大荷重が増大すること、2) 断面分割法を用いることで耐荷性状や破壊形式は大略予想可能であること、等を明らかにしている。

しかしながら、AFRP シートを緊張接着して曲げ補強した RC 梁の耐荷性状や破壊形式に関する研究は未だ少ないのが現状である。

このような背景より、本研究では、AFRP シート緊張接着による RC 梁の曲げ耐荷性状や破壊形式の検討を目的に、曲げ剛性の比較的小さい 2 種類の RC 梁を AFRP シートを緊張接着して曲げ補強し、静的 4 点曲げ載荷実験を実施した。

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、下端鉄筋を 2 種類とし、それぞれ無補強、シート緊張率を 0、20、40% の 4 種類とした全 8 体である。曲げ補強シートには保証耐力 1,200 kN/m のアラミド繊維性

表-1 試験体一覧

試験体名	主鉄筋 (主鉄筋比)	目標 導入緊張率*	実測 導入緊張率*	実測初期導入 ひずみ (μ)
A-N		-	-	-
A-T0	D13	0 %	0 %	0
A-T20	(0.79 %)	20 % (70.6)	19.7 % (69.6)	3439
A-T40		40 % (141.1)	37.2 % (131.3)	6494
B-N		-	-	-
B-T0	D16	0 %	0 %	0
B-T20	(1.24 %)	20 % (70.6)	18.6 % (65.7)	3247
B-T40		40 % (141.1)	39.2 % (138.2)	6843

* () 内は導入緊張力 (kN)

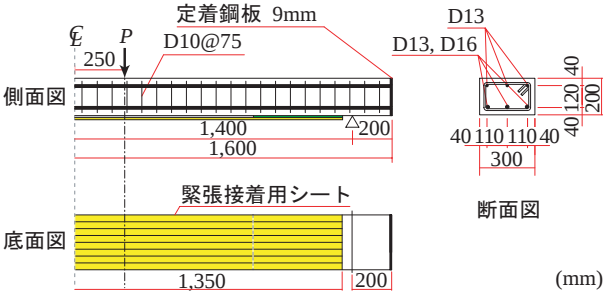


図-1 試験体の形状寸法、配筋状況および補強概要

表-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)	厚さ (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
435/435	588/588	0.286/0.286			

表-3 鉄筋の力学的特性値

鉄筋種類	線径	降伏強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
SD345	D13	377	551	206
	D16	380	553	

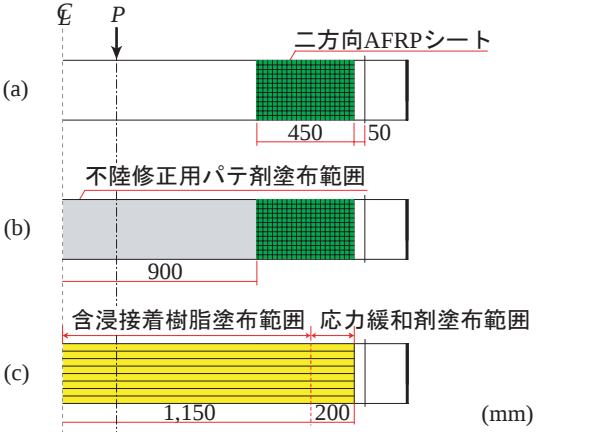


図-2 シート接着時における底面の状況モデル

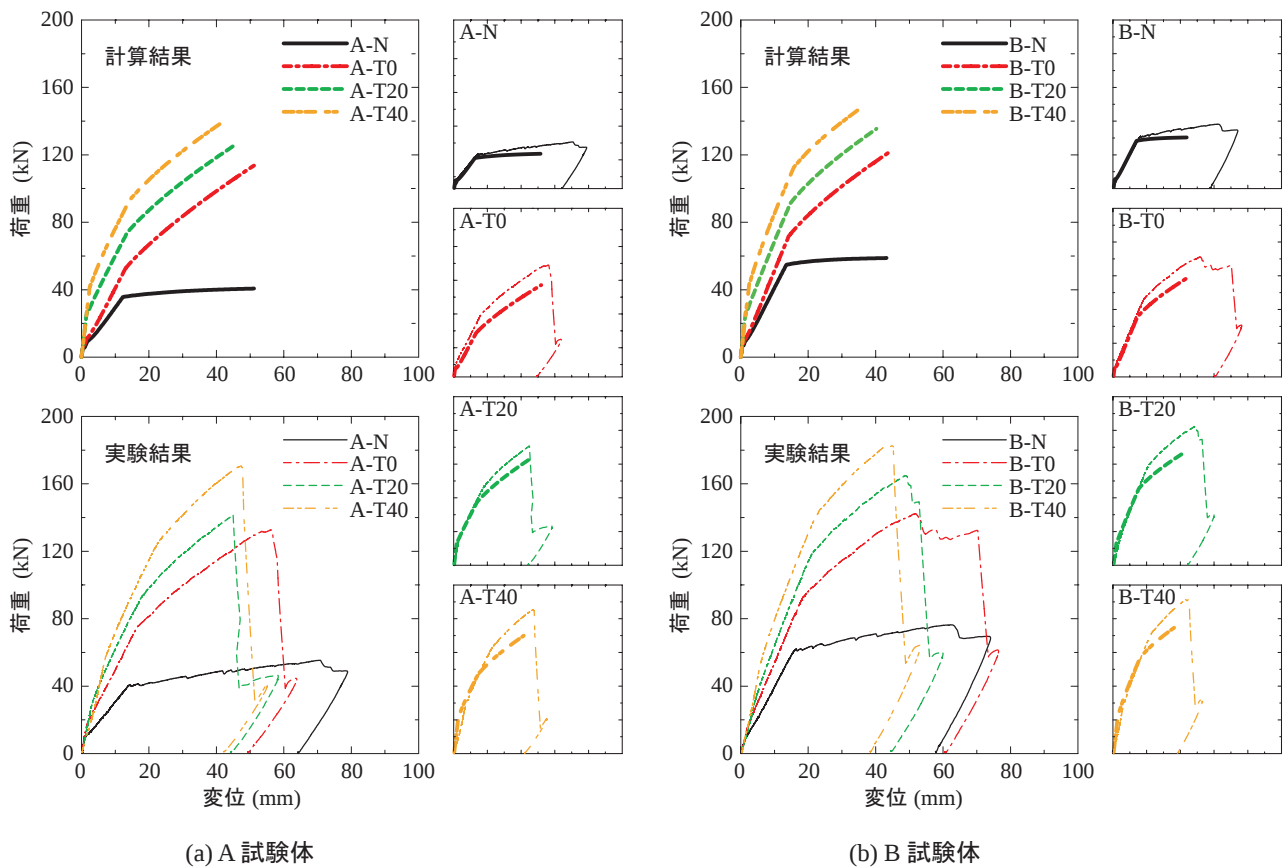


図-3 荷重-変位関係

FRP (AFRP) シートを用いた。表中、試験体名の第1項目は下端鉄筋の種類(A: D13, B: D16), 第2項目は曲げ補強の有無(N: 無補強, T: 補強)を示し, Tに付随する数値は目標導入緊張率(%)を示している。なお, 導入緊張率とはシートの保証引張耐力に対する導入緊張力の割合を示している。表には, 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も併せて示している。表-2, 表-3にはAFRPシートおよび下端鉄筋の力学的特性値を示している。

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(梁幅×梁高)が30×20 cm, 純スパン長2.8 mの複鉄筋矩形RC梁である。下端鉄筋には, D13もしくはD16を3本ずつ用い, 上端鉄筋にはいずれの梁においてもD13を3本配置した。曲げ補強シートには, 幅300 mmのシートを用い, 梁中央部から両支点の50 mm手前までの範囲に接着した。なお, シートを接着した試験体では, 後述するが, 緊張シートの定着のため, 緊張シートの接着端部に二方向AFRPシートおよび応力緩和剤を用いている。

2.2 緊張接着用シートの接着方法

本実験に用いた試験体の緊張接着用シートは, 以下の手順により接着している。既往の研究を参考に, 緊張接着用シートをRC部材に確実に定着するため, 二方向AFRPシートや応力緩和剤も使用している。なお, 図-2は, シート接着工程におけるRC梁底面の状況をモデル化した図である。

- (1) RC梁底面のシート接着範囲にショットブラスト処理を施し, プライマーを塗布する,
- (2) 緊張接着用シートの接着端部における応力を緩和するため, 両支点より50~500 mmの範囲に二方向AFRPシートを接着する(図-2(a)参照),
- (3) 二方向AFRPシート間に生じた段差を不陸修正用パテ剤を用いて埋め, 二方向AFRPシートとの平滑化を行う(図-2(b)参照),
- (4) 緊張接着用シートを含浸接着樹脂(以後, 単に樹脂)を用いてプレキャスト化し, 樹脂の硬化後に所定の緊張力を導入して約1日なじませる,
- (5) シート接着範囲に樹脂を塗布し, 緊張接着用シートに所定の緊張力を導入後, 上面より圧着させる。なお, 定着範囲の両端部200 mmには応力緩和剤を用いた(図-2(c)参照),
- (6) 樹脂の硬化後, 緊張力を解放することにより試験体に緊張力を導入する, である。

3. 実験結果および考察

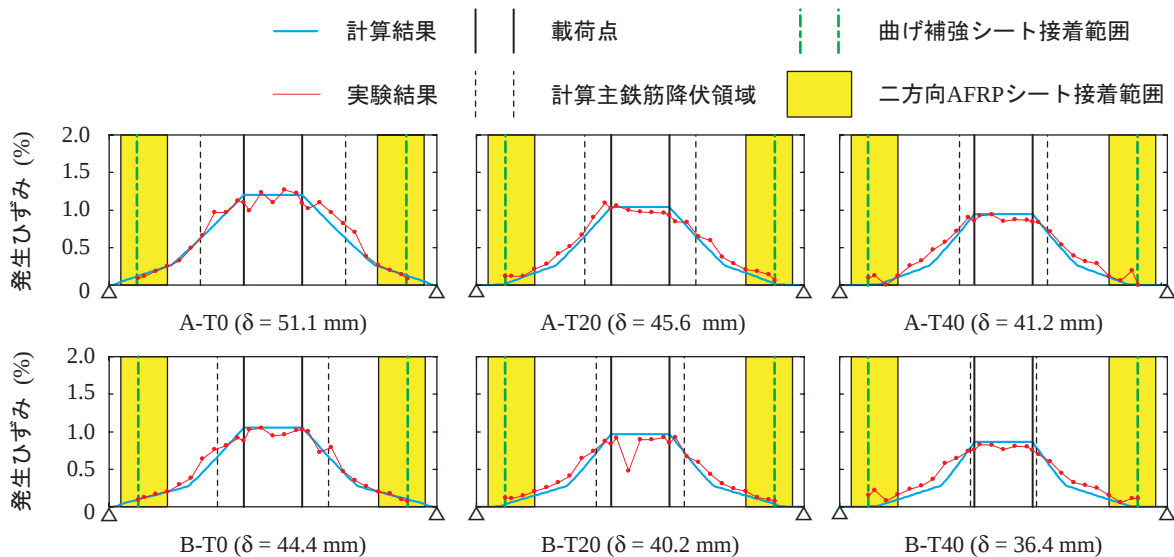
3.1 荷重-変位関係

図-3には, 各試験体の荷重-変位関係を示している。図には, 計算結果および実験結果同士の比較図, および個々の試験体ごとの実験結果と計算結果の比較図, を示している。図中の計算結果は, コンクリート標準示方書に準拠し, 断面分割法により上縁コンクリートが圧壊ひずみ(3500 μ)に達するまで行っている。なお, 表-4には,

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					実験結果の 破壊性状
	計算結果		実験結果		荷重比 P_{ce} / P_{cc}	計算結果		実験結果		荷重比 P_{ye} / P_{yc}	計算結果		実験結果		荷重比 P_{ue} / P_{uc}	
	荷重	変位	荷重	変位		荷重	変位	荷重	変位		荷重	変位	荷重	変位		
	P_{cc}	δ_{cc}	P_{ce}	δ_{ce}		P_{yc}	δ_{yc}	P_{ye}	δ_{ye}		P_{uc}	δ_{uc}	P_{ue}	δ_{ue}		
	(kN)	(mm)	(kN)	(mm)		(kN)	(mm)	(kN)	(mm)		(kN)	(mm)	(kN)	(mm)		
A-N	6.40	0.63	10.2	1.29	1.59	35.6	12.2	39.9	14.0	1.12	40.6	51.1	54.6	70.2	1.35	コンクリート圧壊
A-T0	8.13	0.59	18.4	1.87	2.26	52.5	13.0	74.7	16.6	1.42	113.5	51.1	131.8	55.6	1.16	圧壊後シート剥離
A-T20	26.9	1.60	31.0	3.26	1.15	74.0	13.6	92.4	17.9	1.25	125.9	45.6	140.5	45.1	1.12	圧壊後シート破断
A-T40	42.1	2.53	56.2	6.85	1.33	93.3	14.4	128.6	24.2	1.38	138.4	41.2	169.6	47.3	1.23	圧壊後シート破断
B-N	7.98	0.64	6.63	0.77	0.83	54.7	13.5	60.3	16.1	1.10	58.7	43.2	75.2	61.0	1.28	コンクリート圧壊
B-T0	9.38	0.61	14.2	1.56	1.51	71.7	14.2	91.9	18.2	1.28	121.9	44.4	141.6	51.4	1.16	圧壊後シート剥離
B-T20	26.4	1.47	38.8	5.16	1.47	91.3	14.7	117.9	21.0	1.29	135.3	40.2	163.6	48.2	1.21	圧壊後シート破断
B-T40	43.7	2.54	52.3	5.43	1.20	112.5	15.7	143.6	23.1	1.28	148.8	36.4	181.5	43.0	1.22	圧壊後シート破断

計算結果の破壊性状は全てコンクリート圧壊



図－４ 計算終局変位時における曲げ補強シートの軸方向ひずみ分布性状

図－３より得られる計算および実験結果を一覧にして示している。なお、実験の各時点は荷重－変位関係の勾配変化点として評価した。

図－３(a)における A 試験体の計算結果の比較図より、A-N 試験体は、載荷初期に曲げひび割れの発生に伴う剛性勾配の低下、および約 38 kN、変位 17 mm 程度での主鉄筋降伏による剛性勾配の低下が見られる。また、降伏後は若干の勾配を保ち、約 40 kN、変位 50 mm 程度で終局に至っている。A-T0 試験体は、A-N 試験体と比較してひび割れ発生荷重は同程度であるものの、その後の勾配および荷重値は大きく示されている。なお、終局変位は同程度である。また、緊張力を導入した A-T20、A-T40 試験体は、緊張力の増加とともにひび割れ発生荷重も大きくなり、全体的に荷重が大きく示されるものの、終局変位は小さくなる傾向にある。

実験結果の比較図を見ると、概ね計算結果と同様の傾向が見られる。すなわち、シートの補強効果は、曲げひび割れ発生時より発揮され、シート緊張力の増加とともにひび割れ発生後の剛性勾配や載荷荷重が大きく示される傾向にある。

次に、個々の試験体ごとの比較図より、いずれの試験体も実験結果の降伏点荷重が計算結果に比較して大きく示されており、その後の勾配も大きく示されている。またその差は、無補強試験体よりも補強試験体で大きい。補強試験体で実験結果が大きく示されているのは、緊張接着用シート接着前に試験体に塗布したパテ剤の影響があるものと考えられる。図－３(b)における B 試験体を見ると、鉄筋径が大きいので、剛性勾配が大きく示されるものの A 試験体と同様の傾向が見られる。

以上のことから、本実験結果を総合的に見ると、実験結

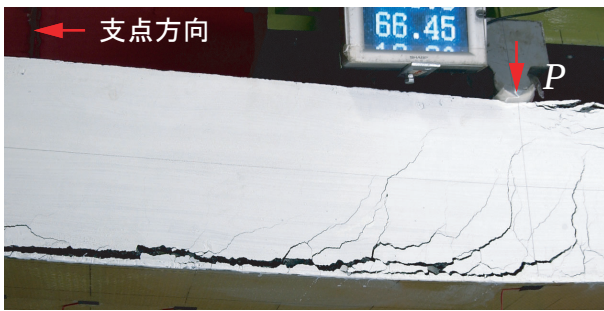


写真-1 AFRP シートの剥離状況 (B-T0 試験体)

果は計算結果を上回っており、断面分割法により安全側に評価可能であることが分かる。

表-4 には、図-3 の荷重-変位関係より得られる結果を一覧にして示している。表には、曲げひび割れ発生時、主鉄筋降伏時および終局時の荷重、変位および各時点における荷重比（実測荷重/計算荷重）、実験終局時の状況を示している。

表より、B-N 試験体のひび割れ発生荷重を除き、いずれの荷重比も 1.1 以上の値を示していることから、計算値は実測値を安全側に評価していることが分かる。このことから、試験体と曲げ補強シートとの定着は十分確保されていることが分かる。これより、パテ剤を用いた RC 梁に AFRP シートで緊張接着を施す場合にも、断面分割法を用いて評価することが可能であることが明らかになった。

3.2 シートのひずみ分布性状

図-4 には、曲げ補強試験体の計算終局変位時における軸方向ひずみ分布性状を計算結果と比較して示している。なお、A-T20 試験体は、終局変位が計算終局変位とほぼ同様であることから終局時の結果を比較して示している。

図より、等曲げ区間のひずみについては、実験値と計算値はほぼ対応していることが分かる。一方、等せん断力区間では、T0 試験体の荷重点近傍で計算値を超えるひずみが発生している。これは、既往の研究と同様、荷重点近傍の下縁かぶり部に発生した斜めひび割れの開口に伴うピーリング作用によりシートが部分剥離しているためと考えられる。また、緊張力を導入した T20/T40 試験体は、ひずみが等せん断力区間全体で計算値よりも大きく示されている。これは、斜めひび割れが開口し、シートと一体化しているパテ剤ごと下方に押し出され、ピーリングが顕在化して剥

離傾向にあるためと考えられる。なお、T20/T40 試験体の樹脂接着範囲の端部で 2000μ 程度のひずみが発生しているが、応力緩和剤を塗布した範囲のシートに発生した引張り力がその端部に影響を与えているものと考えられる。

3.3 AFRP シート緊張接着 RC 梁のシート剥離状況

写真-1 には、シート剥離直前の B-T0 試験体の荷重点近傍下縁かぶり部の状況を示している。写真より、荷重点近傍下縁かぶり部に斜めひび割れが発生し、その開口に伴ってシートの剥離が進展していることが分かる。また、シートにパテ剤が付着した状態で剥離が進展している様子がうかがえる。このことから、パテ剤を用いた場合にはシートと一体化した部分も剥離することが分かった。

4. まとめ

本研究では、AFRP シート緊張接着時における RC 梁の曲げ耐荷性状や破壊形式を検討することを目的として、AFRP シートを緊張接着した RC 梁の静荷重実験を実施した。本実験により得られた結果をまとめると以下の通りである。

- 1) AFRP シートの接着端部に、引き剥がれ防止用の二方向 AFRP シートおよび応力緩和剤を用いることにより、パテ剤を用いて段差を平滑化した際も、試験体と緊張シートの定着は十分に確保することが可能である。
- 2) AFRP シートを緊張して接着した RC 梁の耐荷性状は、曲げ剛性が小さい場合においても、断面分割法で安全側に評価可能である。

参考文献

- 1) 呉 智深, 松崎 智優, 福沢 公夫, 神口 建: CFRP シート緊張接着した鉄筋コンクリート曲げ部材の補強効果に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.641/V-46, pp.153-165, 2000.2
- 2) 中島 規道, 三上 浩, 藤田 学, 田村 富雄: アラミド繊維シートを緊張接着した RC 梁の曲げ耐荷性状, 土木学会第 59 回年次学術講演会, pp.619-620, 2004.9
- 3) 土木学会: コンクリート標準示方書 (構造性能照査編), 2002
- 4) 岸 徳光, 三上 浩, 栗橋 祐介: AFRP シートで曲げ補強 RC 梁のシートの曲げ耐荷性状に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.683/V-52, pp.47-64, 2001.8