

AFRP シート 緊張接着による PC 梁の曲げ補強効果に関する実験的研究

Experimental study on load-carrying capacity of flexural reinforced PC beams with pre-tensioned AFRP sheet

室蘭工業大学
三井住友建設 (株)
室蘭工業大学
室蘭工業大学 大学院

○ フェロー 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)
フェロー 三上 浩 (Hiroshi Mikami)
正会員 栗橋 祐介 (Yusuke Kurihashi)
AbdelAziz Mohamed Ali

1. はじめに

連続繊維 (FRP) シート接着工法は、既設鉄筋コンクリート (RC) およびプレストレストコンクリート (PC) 構造物の補強工法として広く採用されている。一方、FRP シートの曲げ補強効果は、主に部材の主鉄筋降伏後に発揮されることが知られている。そのため、FRP シートの曲げ補強効果をより効率的に発揮させる方法として、FRP シートを緊張して接着する方法が提案され、国内外の諸研究機関においてその設計および施工方法の確立に向けた検討が行われている¹⁾。

著者らはこれまで、アラミド繊維製 FRP (AFRP) シートを用い、かつシート端部に定着具を用いない新しい緊張接着工法を開発し、その補強効果に関する研究を行ってきた。

表-1 試験体一覧

試験体名	断面タイプ	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	無補強		-
A-T0		-	-	-
A-T20		20 (70.6)	20.9 (73.6)	3,553
A-T40		40 (141)	41.3 (146)	7,021
B-N	B	無補強		-
B-T0		-	-	-
B-T20		20 (37.6)	22.0 (41.3)	3,740
B-T40		40 (75.3)	39.6 (74.5)	6,732

* () 内は導入緊張力 (kN)

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 鋼材の力学的特性値

鉄筋種類	線径	降伏強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
SD345	D22	378	561	206
	D19	397	575	
SWPR7BL	φ12.7	1,742	1,945	194
SWPR7AL	φ9.3	1,724	1,957	191

た。その結果、AFRP シート緊張接着により RC および PC 梁の曲げ剛性や曲げ耐力を向上可能であることや、緊張接着した RC/PC 梁の曲げ耐荷性状は断面分割法により大略推定可能であることなどを明らかにしている。

しかしながら、これまでの研究は、限定的な条件下における検討に留まっており、PC 梁の断面形状やシートの導入緊張率などを变化させた検討例は未だ少ない。提案の緊張接着工法をより汎用性の高い工法として確立するためには、種々のパラメータを变化させた検討をより幅広く実施することが肝要である。

このような背景より、本研究では、PC 梁に対する AFRP シート緊張接着工法の確立を目的として、梁の断面寸法および AFRP シートの導入緊張率を变化させた AFRP シート緊張接着 PC 梁の静載荷実験を実施した。

2. 実験概要

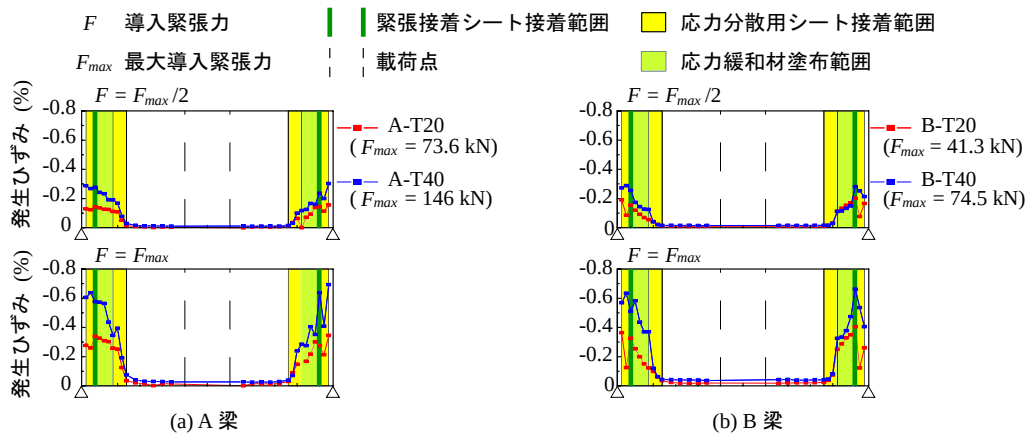
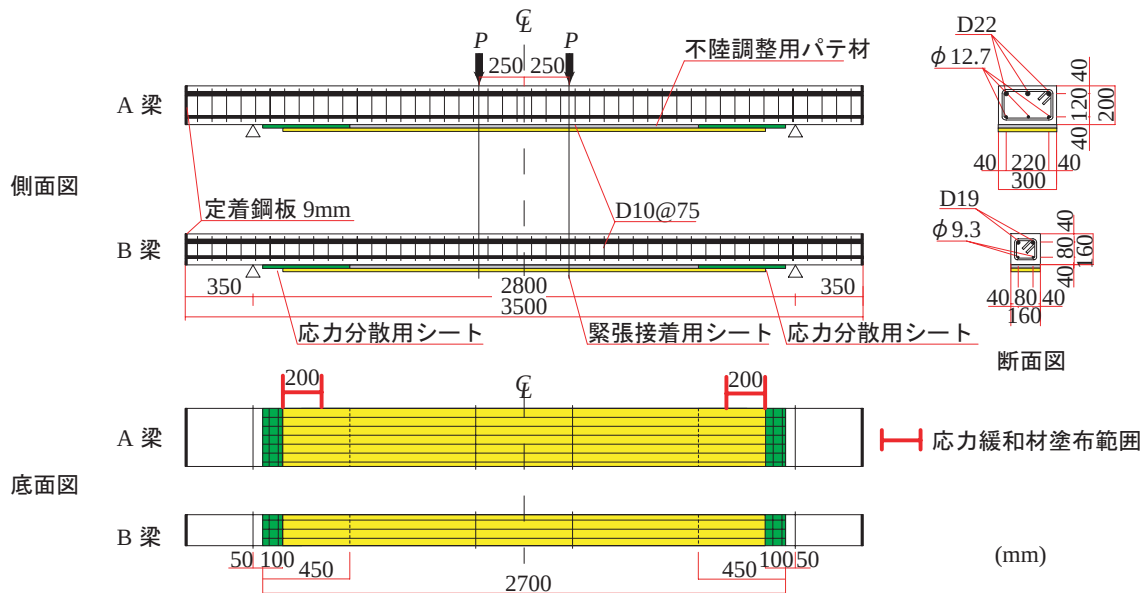
2.1 試験体概要

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、PC 梁の形状寸法を 2 種類、無補強および曲げ補強用 AFRP シートの導入緊張率を 3 種類に変化させた全 8 体である。試験体名の第 1 項目は後述する PC 梁の断面タイプ (A, B)、第 2 項目の英文字 T に付随する数値は目標導入緊張率を示している。ここで、導入緊張率は、AFRP シートの保証引張耐力に対する導入緊張力の比として算出したものである。なお、本実験に用いた AFRP シートの保証耐力は 1,176 kN である。また、本論文では、緊張の有無によらず曲げ補強用 AFRP シートを緊張接着用シートと呼ぶこととする。

図-1 には、本実験に用いた試験体の概要を示している。A, B 梁は、それぞれ断面寸法 (幅×高さ) が 300×200, 160×160 mm、下端鋼材にそれぞれ φ12.7, 9.3 mm の PC 鋼より線を 3 本用いたプレテンション式矩形 PC 梁である。また、純スパン長は、両梁ともに 2.8 m である。なお、A, B 梁の PC 鋼より線の有効緊張率は、それぞれ引張強度の 35, 55 % となるように緊張力を導入しており、上反りは、A, B 梁の中央部においてそれぞれ 6, 11 mm 程度であった。

2.2 補強方法

緊張接着用シートの接着は、1) PC 梁を反転させ接着面を上側に向けた状態で緊張接着用治具に設置し接着面の下地処理を行い、2) プレキャスト化した AFRP シートに油圧ジャッキを用いて緊張力を導入した後、3) 接着樹脂を用いて PC 梁に接着している。この場合、PC 梁は PC 鋼より線の緊張力によって凹状に変形した状態 (上反り) となる。そ



のため、シート接着面は、緊張接着用シートを均等に密着させるため、パテ材(厚さ2~11mm程度)を用いて水平になるように調整している。

なお、緊張力導入時には緊張接着用シート両端部の接着界面に、面内せん断応力が発生するため、シートもしくはかぶりコンクリートの剥離が予想される。そのため、面内せん断応力を梁軸方向のみならず梁幅方向にも分散させ、かつこれらの応力勾配を緩和するために、緊張接着用シート両端部では2方向AFRPシート(応力分散用シート)および応力緩和材を介して接着している。緊張接着工程の詳細については文献²⁾を参照されたい。

2.3 実験方法および材料特性値

実験は、容量500kNの油圧ジャッキを用いて4点曲げ载荷により行った。測定項目は、载荷荷重、スパン中央部変位(以後、変位)、緊張接着用シートの軸方向ひずみ分布である。また、実験時にはPC梁のひび割れおよびシートの剥離・破断状況をデジタルカメラにより逐次撮影している。表-2,3には、それぞれAFRPシートおよび鋼材の力学的特性値を一覧にして示している。また、実験時におけるコンクリートの圧縮強度はA梁で72.2MPa、B梁で77.7

MPaであった。

3. 実験結果

3.1 緊張力解放時における緊張接着用シートの軸方向ひずみ分布

図-2には、緊張力解放時における緊張接着用シートの軸方向ひずみ分布をAおよびB梁について示している。なお、図中の最大導入緊張力 F_{max} とは、表-1に示した実測導入緊張力である。

図より、導入緊張力 F の増加に伴ってひずみが増加し、ひずみ値は導入緊張率が高いほど大きいことが分かる。また、これらのひずみは、緊張接着用シートの端部において最も大きな値を示し、応力分散用シート接着範囲内においては、スパン中央部に近いほど小さくなり徐々にスパン中央部の一定値にすり付いている。また、ひずみ勾配は応力緩和材の塗布範囲において低減される傾向にある。これらのことより、前述の面内せん断応力は、主として応力分散用シート接着範囲内に発生し、応力緩和材塗布範囲において低減されていることが分かる。

3.2 荷重-変位関係

図-3には、各試験体の荷重-変位関係に関する実験結

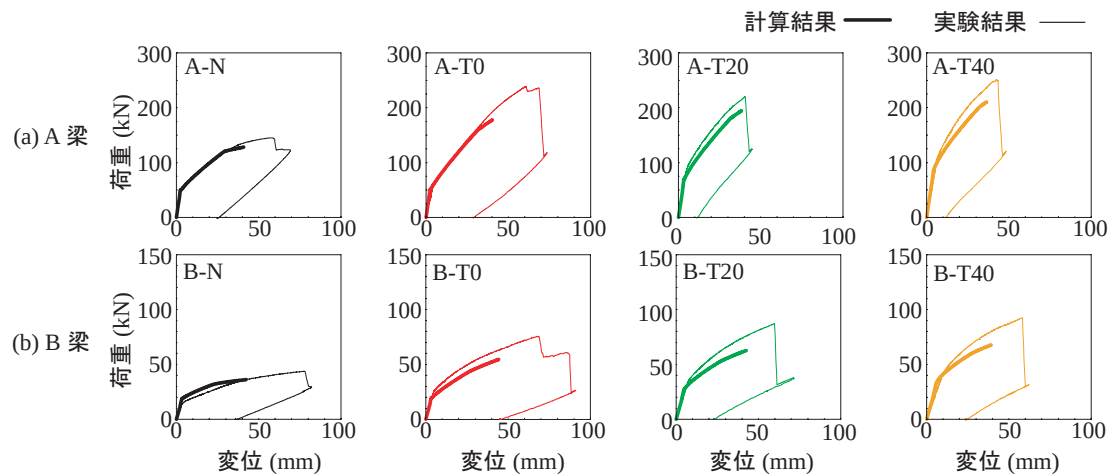


図-3 各試験体ごとの荷重-変位関係

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					最大荷重時					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_{ue} / P_{uc}	
	荷重	変位	荷重	変位		荷重	変位	荷重	変位		
	P_{cc} (kN)	δ_{cc} (mm)	P_{ce} (kN)	δ_{ce} (mm)		P_{uc} (kN)	δ_{uc} (mm)	P_{ue} (kN)	δ_{ue} (mm)		
A-N	50.3	2.30	53.6	3.12	1.07	128	40.8	145	56.4	1.13	上縁コンクリート圧壊
A-T0	51.0	2.30	61.9	4.50	1.21	178	40.3	239	60.7	1.34	上縁コンクリート圧壊後, シート破断
A-T20	69.0	3.25	87.9	5.05	1.27	194	38.3	220	40.5	1.13	上縁コンクリート圧壊後, シート破断
A-T40	85.8	4.03	103	6.01	1.20	211	36.5	251	42.6	1.19	上縁コンクリート圧壊後, シート剥離
B-N	19.1	3.50	13.9	2.65	0.73	36.1	42.3	43.8	77.9	1.21	上縁コンクリート圧壊
B-T0	19.1	3.50	24.4	3.89	1.25	54.5	44.2	75.6	68.2	1.39	上縁コンクリート圧壊後, シート剥離
B-T20	27.9	5.03	33.6	5.65	1.20	62.7	42.6	87.3	59.8	1.39	上縁コンクリート圧壊後, シート破断
B-T40	2.39	5.98	40.8	7.11	1.21	67.8	39.3	92.5	58.2	1.36	上縁コンクリート圧壊後, シート破断

計算結果の破壊性状は全て上縁コンクリート圧壊

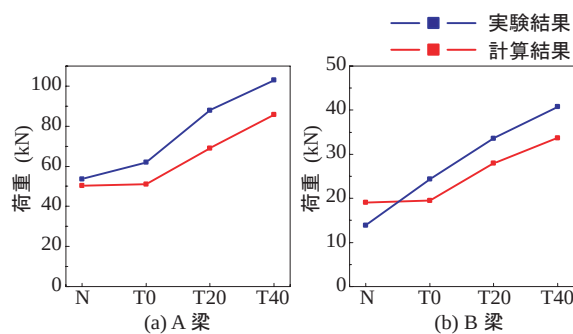


図-4 曲げひび割れ発生荷重

果を計算結果と比較して示している。計算結果は、土木学会コンクリート標準示方書³⁾に基づいて断面分割法により算出したものである。ただし、前述のパテ材の厚さは考慮していない。なお、表-4には、参考のため、曲げひび割れ発生時および最大荷重時における実験および計算結果と破壊性状を一覧にして示している。

図-3より、いずれの試験体においても、曲げ耐力に関する実験結果は計算結果と概ね対応しており、実測耐力は計算耐力を上回っていることが分かる。このことより、AFRPシート緊張接着PC梁の曲げ耐力性能は、断面分割法により安全側に評価可能であると考えられる。

なお、曲げひび割れ発生時以降において、実験結果の剛性勾配が計算結果のそれよりも大きくなる傾向が見受けられる。これは、PC鋼材および緊張接着用シートの緊張力による梁の上反りやシート接着面を水平にするために用いたパテ材の影響等により、梁の剛性が大きくなったことによるものと考えられる。また、このような傾向は、B梁でA梁よりも顕著に現れている。これは、1) B梁はA梁よりも曲げ剛性が小さいため梁の上反りが大きいことや、2) 断面高さに対するパテ材の厚さが大きいことによるものと考えられる。

図-4には、曲げひび割れ発生荷重に関する実験結果を計算結果と比較して示している。図より、A, B梁ともに、AFRPシート補強により曲げひび割れ発生荷重が向上し、その効果は導入緊張率が高いほど大きいことが分かる。実測のひび割れ発生荷重は、A, B梁ともに導入緊張率を20, 40%とすることにより、曲げひび割れ発生荷重が無緊張と比較して40および65%程度向上している。なお、B-N試験体を除き、いずれの試験体においても実験結果は計算結果を上回っている。

図-5には、各試験体の実験結果の比較図をAおよびB梁について示している。図より、両梁ともにAFRPシート緊張接着により、ひび割れ発生荷重やその後の剛性勾配が

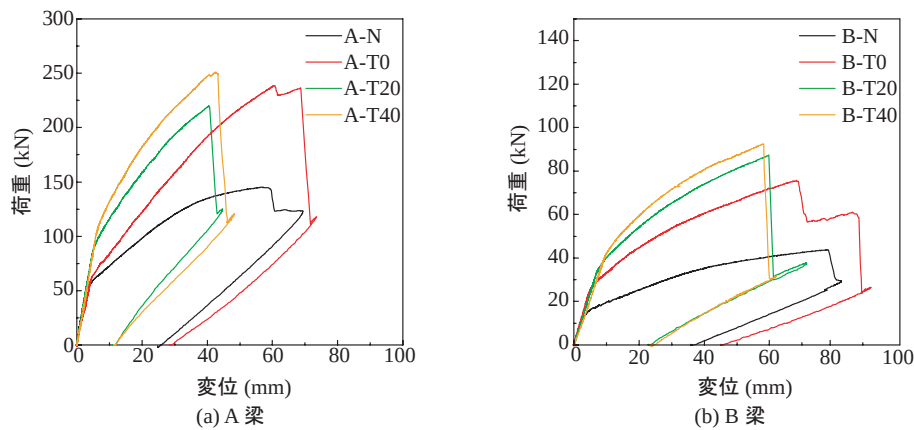


図-5 実験結果の荷重-変位関係

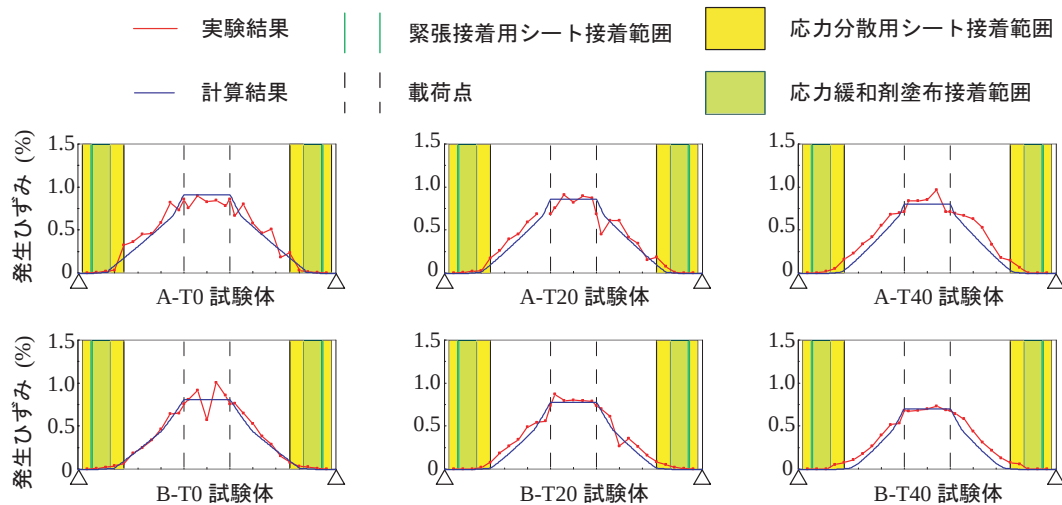


図-6 計算終局変位時における緊張接着用シートの軸方向ひずみ分布性状

増加しており、同一変位時における荷重は導入緊張率が高いほど大きくなる傾向にあることが分かる。このことより、断面形状寸法やシートの導入緊張率が異なる場合においても提案のAFRPシート緊張接着工法によりPC梁の耐荷性能を大きく改善可能であることが明らかになった。

なお、A-T20試験体では、他の試験体よりも小さな変位でシート破断を生じ終局に至っている。これは、パテ材とシート接着に用いた接着樹脂が強固に付着しているため、パテ材に発生したひび割れが集中し大きく開口することでシート破断をを助長したことによるものと推察される。

3.3 ひずみ分布性状

図-6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。計算結果は、シートとコンクリートとの完全付着を仮定した断面分割法結果に基づいて算出したものである。

図より、いずれの試験体においても、実験結果は計算結果とほぼ対応していることから、緊張接着用シートとコンクリートとの付着はPC梁の断面寸法やAFRPシートの導入緊張率によらず計算終局変位時まで十分に確保されているものと判断される。

4. まとめ

本研究では、PC梁に対するAFRPシート緊張接着工法

の確立を目的として、形状寸法およびAFRPシートの導入緊張率を変化させたAFRPシート緊張接着PC梁の静荷重実験を実施した。本実験の範囲内で得られた結果をまとめると以下の通りである。

- 1) AFRPシートの導入緊張率を20, 40%とすることにより、無緊張と比較して曲げひび割れ発生荷重は40および65%程度向上する。
- 2) AFRPシート緊張接着したPC梁の曲げ耐荷性能は、断面分割法により安全側に評価可能である。
- 3) 緊張接着用シートとコンクリートとの付着は、断面分割法による計算終局変位時まで十分に確保されている。

参考文献

- 1) Kim, Y. J., Shi, C., and Green, M. F.: Ductility and cracking behavior of prestressed concrete beams strengthening with prestressed CFRP sheets, Journal of Composites for Construction, Vol.12, No.1, 2008.
- 2) 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
- 3) 土木学会: コンクリート標準示方書(設計編), 2007