A - 1 3

AFRP シート緊張接着曲げ補強 PC 梁の耐荷性状に及ぼすシート厚および導入緊張率の影響

Effect of thickness and pre-tensioning ratio of AFRP sheet on load-carrying behavior of flexural reinforced RC beams with pre-tensioned AFRP sheet

室蘭工業大学大学院	\bigcirc	正会員	栗橋	祐介 (Yusuke Kurihashi)
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)
ケイジーエンジニアリング (株)		正会員	小澤	靖 (Yasushi Ozawa)

1. はじめに

近年既設鉄筋コンクリート (RC) / プレストレスト (PC) 構 造物の補強工法として,連続繊維 (FRP) シートを用いた接 着工法が数多く採用されている.一方,一般的な FRP シー トの引張強度は,異形棒鋼の降伏強度よりも5~10 倍程 度大きいものの,弾性係数は異形棒鋼と同程度かそれ以下 である.そのため,RC/PC 部材の曲げ補強に限定すると, FRP シート接着による部材の曲げ補強効果は,主として主 鉄筋降伏後に大きく発揮される傾向にある.

そのため、最近では、FRPシートの曲げ補強効果を、効率的に発揮させる方法として、FRPシートに緊張力を与えた状態で接着する方法(以後、緊張接着工法)が考案され、 国内外で研究開発が進められている¹⁾.著者らも、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²⁾.これまでの研究では、適切な施工方法を確立するとともに、提案の緊張接着工法により RC 梁の曲げ耐荷性能を大きく向上可能であることを確認している.しかしながら、これまでの研究では、PC 梁を対象とした検討は十分ではなく、特に AFRPシートの厚さを変化させた場合については未だ検討されていないのが現状である.

このような背景より,本研究では,PC 梁を対象として AFRP シート緊張接着補強による曲げ耐荷性能の向上効果 を検討することを目的に,シート厚さや導入緊張率の異 なる AFRP シート緊張接着曲げ補強 PC 梁の静載荷実験を 行った.

2. 実験概要

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、AFRPシートの目付量を2種類として、各シー トへの導入緊張率を変化させた全6体である.表中,試 験体名の第1項目はAFRPシートの種類(A1:目付量 830 (g/m²)、A2:目付量 1,245 (g/m²))、第2項目の英文字Tに 付随する数値はAFRPシートの目標導入緊張率(%)を示し ている.ここでA2試験体のAFRPシートの導入緊張率は、 A1試験体の場合と導入緊張力が同等となるように設定し ている.すなわち、A2試験体のAFRPシートの目付量は A1試験体の場合よりも1.5倍大きいことより、A2試験体 の導入緊張率はA1試験体の場合の0.67倍となっている. 表中の計算主鉄筋降伏ひずみはコンクリート標準示方書²⁾ に準拠した断面分割法により算出した計算結果に基づいた ものである.

表-2には、本実験で用いた AFRP シートの力学的特性 値を示している.実験時のコンクリートの圧縮強度は 64.3 MPa,主鉄筋の降伏強度は 380.2 MPa であった.

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25×30 cm、純スパン長 2.8 mの複鉄筋矩形 PC 梁である.上端鉄筋および下端鉄筋には D13 を 3 本ずつ用い、中央部には φ 12.7 mm の PC 鋼より線を 3 本ずつ用いている. なお、PC 鋼より線の導入緊張力率は60% としている. このとき、断面に作用する圧縮応力度は、4.3 MPa である.緊張接着用シートには、幅 300 mm のシートを用い、梁中央部から両支点の 80 mm 手前までの範囲に接着した.なお、緊張接着した補強試験体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.その他の詳細な緊張接着作業工程については文献³⁾を参照されたい.

本実験の測定項目は,載荷荷重,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,PC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 荷重-変位関係

図-2には各補強試験体の荷重-変位関係の実験結果を

 表-1 試験体一覧
目標 実測 実測 計算終局時 導入 導入 初期導入 ひずみ

⇒+ ⊭ム ジート		目標 美測		- 美測	訂昇於同時
試験	目付量	導入	導入	初期導入	ひずみ
体名	(g/m^2)	緊張率*	緊張率 *	ひずみ(μ)	(µ)
A1-T0		0 %	0 %	0	8,823
A1-T20	830	20 % (71)	21.5 % (76)	3,763	11,978
A1-T40		40 % (141)	34 % (120)	5,950	13,679
A2-T0		0 %	0 %	0	8,072
A2-T13	1,245	13 % (71)	12 % (64)	2,135	9,775
A2-T27		27 % (141)	24 % (129)	4,270	11,454

*()内は導入緊張力(kN)

表-2 AFRP シートの力学的特性値 (公称値)

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					
1,245*	1,764	0.858	2.06	118	1.75		
435/435**	588/588	0.286					
*・緊張接着用シート **・応力分散用シート							



計算結果と比較して示している.また,無補強の場合の計 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 示方書に準拠した断面分割法により,コンクリートと緊張 接着用シートの完全付着を仮定して算出している.

図より,補強試験体の計算結果は無補強の場合と異なり,曲げひび割れ発生荷重時および主鉄筋降伏荷重が増大し,かつその後の剛性勾配および終局荷重も向上していることが分かる.また,実験結果は,計算終局時まで計算結果とよく対応しており,計算終局耐力到達後も荷重が増大している.なお,最終的にはシート剥離もしくは上縁コンクリートが圧壊した後のシート剥離により荷重が急激に低下して終局に至っている.

ここで,A2試験体のうち,無緊張接着したA2-T0試験体 は,実測耐力が計算耐力を上回っているものの,上縁コン クリートの圧壊前にシート剥離により終局に至っている. 一方,緊張接着した A2-T13/27 試験体は上縁コンクリート 圧壊後にシート剥離を生じている.このことから,緊張接 着することにより AFRP シートの剥離が抑制される傾向に あることが分かる.このような傾向は,著者が過去に実験 した AFRP シート緊張接着 RC 梁の静載荷実験⁴⁾の場合と ほぼ同様である.

図-3には、AFRPシート導入緊張力の増加による各PC 梁の曲げ耐荷性能向上効果を検討するためA1およびA2 試験体毎に実験および計算結果を比較して示している。実 験結果より、AFRPシート目付量によらずAFRPシート緊 張接着によって曲げひび割れ発生荷重、主鉄筋降伏荷重お よび終局荷重が向上していることが分かる。また、これら の傾向は計算結果ともほぼ対応している。

3.2 各荷重とシート導入緊張率との関係

図-4には、図-3の実験および計算結果に基づき、曲



平成22年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第67号

図-4 各時点の荷重に関する実験および計算結果とシート導入緊張率との関係



図-5 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

げひび割れ発生時,主鉄筋降伏時および終局時の各荷重と 導入緊張率との関係を示している.

図-4(a)より,無緊張 AFRPシートを接着することにより,無補強試験体と比較してひび割れ発生荷重がほとんど向上していないことが分かる.一方で,緊張接着することにより,ひび割れ発生荷重が無補強試験体と比較して2倍

程度に向上している.特にA2試験体の場合は,A1試験体 と比較して小さな導入緊張率で向上効果が大きく示されて いる.なお,各試験体の実験結果と計算結果と比較すると 実験結果が計算結果を1割程度上回っている.

図-4(b)より,主鉄筋降伏荷重は,無緊張のAFRPシートを接着することにより25kN程度向上していることが分



(a) A2-T0 試験体

(b) A2-T13 試験体

(c) A2-27 試験体



かる.また,導入緊張率の増加に伴って主鉄筋降伏荷重も 増大している.なお,実験結果は,計算結果よりも1割程 度大きい.

図-4(c)より,終局荷重に関する実験結果および計算結 果はともに導入緊張率の増加に伴って増大していることが 分かる.また,いずれの実験結果も計算結果を上回ってい る.ただし,A2-T0試験体の場合には,実験結果が計算結 果をわずかに上回る程度である.これは,前述の荷重-変 位関係に示しているようにA2-T0試験体のみ上縁コンク リート圧壊に先行してシートが剥離していることによるも のである.

3.3 緊張接着用シートの軸方向ひずみ分布

図-5には、A2試験体に関する主鉄筋降伏時、中間変位 時および計算終局変位時における緊張接着用シート軸方向 ひずみ分布性状の実験結果を計算結果と比較して示してい る.なお、計算結果は、シートとコンクリートの完全付着 を仮定した断面分割法の結果に基づいて算出している.

図より,主鉄筋降伏時および中間変位時における各試験 体の実験結果は,計算結果とよく対応していることが分か る.従って,載荷初期から中間変位時まではシートとコン クリートの付着が確保されていることが分かる.

終局変位では、等曲げ区間において実験結果が計算結果 とよく対応していることが分かる。一方、等せん断力区間 では全般的に実験結果が計算結果を3,000 µ 程度上回る傾 向にある。これは、下縁かぶりコンクリートに発生した斜 めひび割れの先端部がシートを押し下げて引き剥がすピー リング作用によるものと考えられる。

3.4 ひび割れ性状

写真-1には、計算終局時における A2 試験体のひび割 れ性状図を示している.写真より、いずれの試験体も等せ ん断力区間の下縁かぶりコンクリートに斜めひび割れが発 生していることが分かる.前述の AFRP シートのひずみ分 布性状では、等せん断力区間において実測ひずみが計算ひ ずみを上回る傾向にあったことより、この斜めひび割れが シートを押し下げて引き剥がすピーリング作用の要因にな るものと考えられる.ただし、実験では、A2-T0 試験体は シート剥離により終局に至るものの、A2-T13/27 試験体は 上縁コンクリート圧壊までシート剥離に至っていない.こ のことから、AFRPシート緊張接着により、ピーリング作 用の原因となる斜めひび割れ発生後においても、斜めひび 割れの開口やそれに伴うシート剥離が抑制されるものと推 察される.

4. まとめ

本研究では、PC 梁を対象として AFRP シート緊張接着 補強による曲げ耐荷性能の向上効果を検討することを目的 に、シート厚さや導入緊張率の異なる AFRP シート緊張接 着曲げ補強 PC 梁の静載荷実験を行った。本研究により与 えられた知見をまとめると以下のとおりである。

- 提案のAFRPシート緊張接着工法によりPC梁の曲げ ひび割れ発生荷重,主鉄筋降伏荷重および終局荷重を 向上可能である.
- 2)同一導入緊張力の条件下、シートの引張耐力を大きくして導入緊張率を低減する場合には曲げひび割れ発生 荷重の向上効果が効率的に発揮される。
- AFRPシート緊張接着曲げ補強することによりピーリング作用によるシート剥離を高い荷重レベルまで抑制可能である。

参考文献

- 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 に関する実験的字研究,土木学会論文集,No.641/V-46, pp.153-165,2000.
- 2) 土木学会: コンクリート標準示方書(設計編), 2007.
- 澤田純之,岸 徳光,三上 浩,藤田 学:AFRPシート 緊張接着による RC 梁の曲げ補強効果に関する実験的研 究,コンクリート工学年次論文集, Vol.30, pp.1543-1548, 2008.
- (4) 栗橋祐介, A. M. Ali, 岸 徳光, 三上 浩: AFRP シート緊張接着 RC 梁のシート剥離性状に及ぼすシート導入緊張率の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp.1315-1320, 2010.