

AFRP シート緊張接着曲げ補強 RC 梁のシートの剥離性状に及ぼす 導入緊張率の影響

Effects of pretensioning force ratio of AFRP sheet on debonding behavior of the sheet for flexural reinforced RC beams with
pretensioned AFRP sheet bonding method

室蘭工業大学大学院 ○ 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)

1. はじめに

近年、既設鉄筋コンクリート (RC) 構造物の補修・補強工法の一つとして連続繊維 (FRP) シートをを用いた補強工法が数多く採用されている。また、最近では、FRP シートの曲げ補強効果をより低い荷重レベルから発揮させる方法として、シートに緊張力を与えた状態で接着する工法 (以後、緊張接着工法) が提案され、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、緊張接着用シートをアンカー等の機械式定着治具を用いずに定着可能な、アラミド繊維製 FRP (AFRP) シートをを用いた緊張接着工法を開発し、その補強効果を確認してきた²⁾。

既往の研究より、1) AFRP シート緊張接着曲げ補強により RC 部材の曲げ耐荷性能を向上可能であること、2) ピーリング作用に伴うシート剥離の抑制効果があること、3) 緊張接着曲げ補強 RC 梁の破壊形式は、上縁圧壊により終局に至る「曲げ圧壊型」と、圧壊に先行してシート剥離し終局に至る「剥離破壊型」に分類されること、4) AFRP シート緊張接着曲げ補強 RC 梁の破壊形式の予測には、既往の無緊張 FRP シート曲げ補強 RC 梁に関する破壊形式予測式を適用可能であること、などを明らかにしている。

しかしながら、これまでの研究では、破壊形式が曲げ圧壊型となる場合の実験データは十分に蓄積されているものの、剥離破壊型となる場合の実験データが少ないため、剥離破壊型の緊張接着曲げ補強 RC 梁に関する破壊形式予測式の適用性や緊張力導入によるシート剥離の抑制効果については十分に検討されていないのが現状である。提案の緊張接着工法による既設 RC 部材の曲げ補強設計手法を提案するためには、剥離破壊型となる場合における緊張接着 RC 梁の曲げ耐荷性能やシートの剥離性状について検討する必要があるものと考えられる。

このような観点より、本研究では、これまでの研究成果

に基づき、剥離破壊型の傾向が強く現れる AFRP シート緊張接着 RC 梁を設計し、その曲げ耐荷性状やシートの剥離性状に及ぼす導入緊張率の影響について検討を行った。なお、本実験では、RC 梁の断面形状および AFRP シートの導入緊張率を変化させて検討を行った。

2. 実験概要

表-1 には、本実験で用いた試験体一覧を示している。表中、試験体名の第 1 項目 S に付随する数字は試験体の断面の種類 (S1: 250 × 140 (mm), S2: 250 × 220 (mm), S3: 250 × 300 (mm))、第 2 項目 T に付随する数字は目標導入緊張率 (シート導入緊張力の引張耐力に対する割合) を示している。表より、実測導入緊張率は各試験体共に目標値とよく対応していることがわかる。また、表には計算せん断耐力、計算曲げ耐力およびせん断余裕度も併せて示している。計算せん断耐力は土木学会コンクリート標準示方書³⁾ (以後、示方書) に準拠し、デコンプレッションモーメントによるせん断耐力向上効果を考慮して算出している。計算曲げ耐力は示方書に準拠してシートとコンクリートの完全付着を仮定して断面分割法により算出した。いずれの試験体においてもせん断余裕度が 1 を十分大きく上回るように設計している。

図-1 には、本実験で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、断面寸法を 3 種類 (表-1 参照) に変化させた純スパン長 3.2 m の複鉄筋矩形 RC 梁である。

緊張接着用シートには、目付量 1,245 g/m² の AFRP シートをを用い、梁中央部から両支点 80 mm 手前までの範囲に接着した。なお、緊張接着用シート端部に発生する応力集中を緩和させるために、応力分散用の 2 方向 AFRP シートを予め U 字型に接着し、その上に緊張力を導入したシー

表-1 試験体一覧

試験体名	断面寸法 (mm)	シート 目付量 (g/m ²)	目標 導入 緊張率 *	実測 導入 緊張率 *	実測 初期導入 ひずみ (μ)	計算 せん断耐力 (kN)	計算 曲げ耐力 (kN)	せん断 余裕度
S1-T13	250 × 140	1,245	13 % (33)	13.2 % (32.6)	2,310	264.4	90.1	2.93
S1-T27			27 % (66)	26.5 % (65.5)	4,638	273.1	96.7	2.82
S2-T13	250 × 220		13 % (52)	12.8 % (49.5)	2,240	431.9	144.2	3.00
S2-T27			27 % (104)	25.7 % (99.6)	4,498	445.6	154.7	2.88
S3-T13	250 × 300		13 % (71)	14.4 % (76.3)	2,520	472.8	190.9	2.48
S3-T27			27 % (141)	26.4 % (139.5)	4,620	489.5	203.3	2.41

* () 内は導入緊張力 (kN)

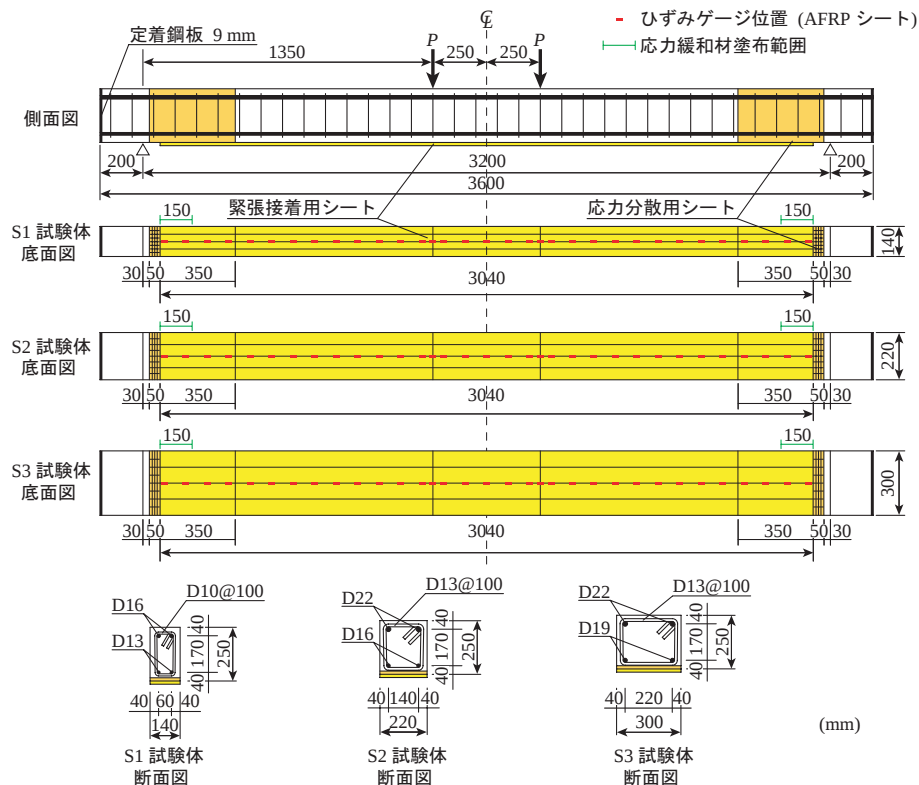


図-1 試験体の形状寸法、配筋状況および補強概要

表-2 AFRP シートの力学的特性値 (公称値)

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 (%)
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

トを接着することとした。

AFRP シートの緊張接着は、プレテンション方式によるプレストレストコンクリート (PC) 梁の製作と同様に、梁とは独立したシート緊張用架台を設置し、油圧ジャッキによりシートに緊張力を導入した状態で RC 梁に接着している。接着樹脂の硬化に必要な一週間程度の養生期間が経過した後、油圧ジャッキを解放し、RC 梁にプレストレスを導入している。その他の詳細な緊張接着作業工程については文献 2) を参照されたい。

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 35.9 MPa、主鉄筋の降伏強度は S1/S2/S3 試験体でそれぞれ 396.5 MPa、389.4 MPa、355.8 MPa であった。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、RC 梁のひび割れやシートの剥離状況を連続的に撮影している。

3. 実験結果および考察

3.1 荷重-変位関係

図-2 には各試験体に関する荷重-変位関係の実験結果を計算結果と比較して示している。なお、計算結果は示方書に準拠して、コンクリートと緊張接着用シートの

完全付着を仮定し、断面分割法により算出した。また、N 試験体 (無補強試験体) の計算結果も併せて示している。

図より、各試験体の実験結果より、導入緊張率の増加に伴って RC 梁の曲げ耐力性能が向上していることが分かる。また、実験結果を計算結果と比較すると、実験結果は計算終局時近傍まで計算結果と良く対応しているものの、最終的には計算耐力を下回る荷重レベルでシート剥離により終局に至っていることが分かる。このことより、本実験に用いた AFRP シート緊張接着 RC 梁の破壊形式はいずれも剥離破壊型であるものと判断される。なお、梁の断面形状によらず、導入緊張率が大きい場合ほど、実測耐力は計算耐力に近くなる傾向を示している。これは、後述するように、導入緊張率の増加により RC 梁に作用するデコンプレッションモーメントが大きくなるため、ピーリング作用によるシート剥離が抑制されることによるものと考えられる。

図-3 には、図-2 の実験結果および計算結果に基づき、曲げひび割れ発生時、主鉄筋降伏時および終局時の荷重と、単位幅当たりの実測導入緊張力 (kN/mm) (以後、実測単位緊張力) との関係を整理して示している。

図より、曲げひび割れ発生時、主鉄筋降伏時ではいずれの試験体においても、実験結果が計算結果を上回る傾向にあり、曲げひび割れ発生時では最大で 10 kN 程度、主鉄筋降伏時では最大で 30 kN 程度実験結果が大きい。一方、終局時ではいずれの試験体においても実験結果が計算結果を下回る傾向にあり、その差は最大で 20 kN 程度である。これは、前述したように本実験に用いた緊張接着 RC 梁の破壊形式が剥離破壊型であるためである。

これらの結果より、緊張接着曲げ補強した RC 梁の曲げひび割れ発生荷重や主鉄筋降伏荷重は、その破壊形式が

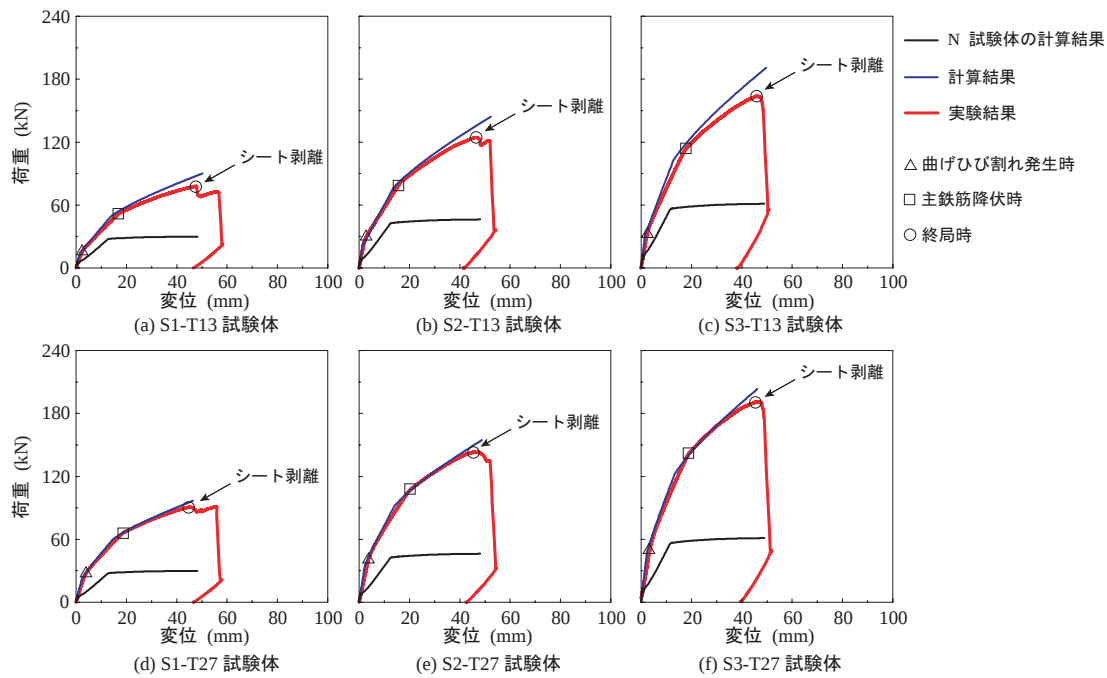


図-2 各試験体の荷重-変位関係

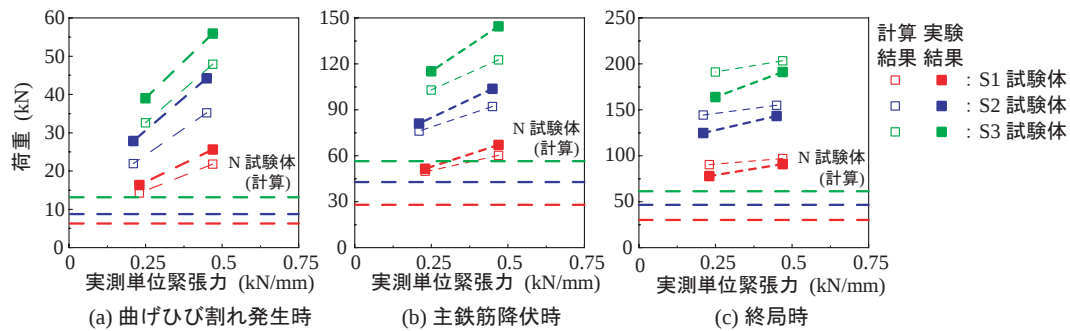


図-3 各時点の荷重とシート導入緊張力との比較

表-3 計算曲げモーメント比

試験体名	M_y (kN)	M_u (kN)	M_y / M_u
S1-T13	33.6	60.8	0.55
S1-T27	40.6	65.3	0.62
S2-T13	51.3	97.4	0.53
S2-T27	62.1	104	0.59
S3-T13	69.4	129	0.54
S3-T27	82.7	137	0.60

$$\text{曲げ圧壊型} \quad M_y / M_u \geq 0.70 \quad (1)$$

$$\text{剥離破壊型} \quad M_y / M_u < 0.70 \quad (2)$$

表-3 より、いずれの試験体も M_y / M_u が 0.7 よりも小さいことから、その破壊形式は剥離破壊型と予測される。一方、実験結果においても、これらの試験体の破壊形式は剥離破壊型であることより、上記の破壊形式予測式は緊張接着曲げ補強 RC 梁に対しても適用可能であることが分かる。

3.3 緊張接着用シートの軸方向ひずみ分布

図-4 には、緊張接着用シートの軸方向ひずみ分布とひび割れ性状を S1 および S3 梁について示している。なお、ここでは、各梁について S1/S3-T13 試験体の最大荷重時および S1/S3-T27 試験体の最大荷重時の結果に着目して示している。

S1 梁の結果より、S1-T13 試験体の最大荷重時における軸方向ひずみ分布を見ると、S1-T13/T27 試験体ともに等曲げ区間においては実測ひずみと計算ひずみが良く対応していることが分かる。しかしながら、S1-T13 試験体の等せん断力区間においては、実測ひずみが計算ひずみを大きく上回っている。これは、下縁かぶりコンクリート部に発生した斜めひび割れがシートを下方に押し出して引き

剥離破壊型である場合においても、断面分割法により安全側に評価可能であることが明らかになった。

3.2 計算曲げモーメント比と破壊形式との関係

表-3 には、各試験体の計算降伏曲げモーメント M_y 、計算終局曲げモーメント M_u およびこれらの比である計算曲げモーメント比 M_y / M_u の一覧を示している。これらの計算値は、いずれも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により算出したものである。また、計算曲げモーメント比 M_y / M_u は、破壊形式予測の指標となる値である。著者らは既往の研究において、無緊張接着 FRP シート曲げ補強 RC 梁に関する破壊形式予測式を下式のように提案している。

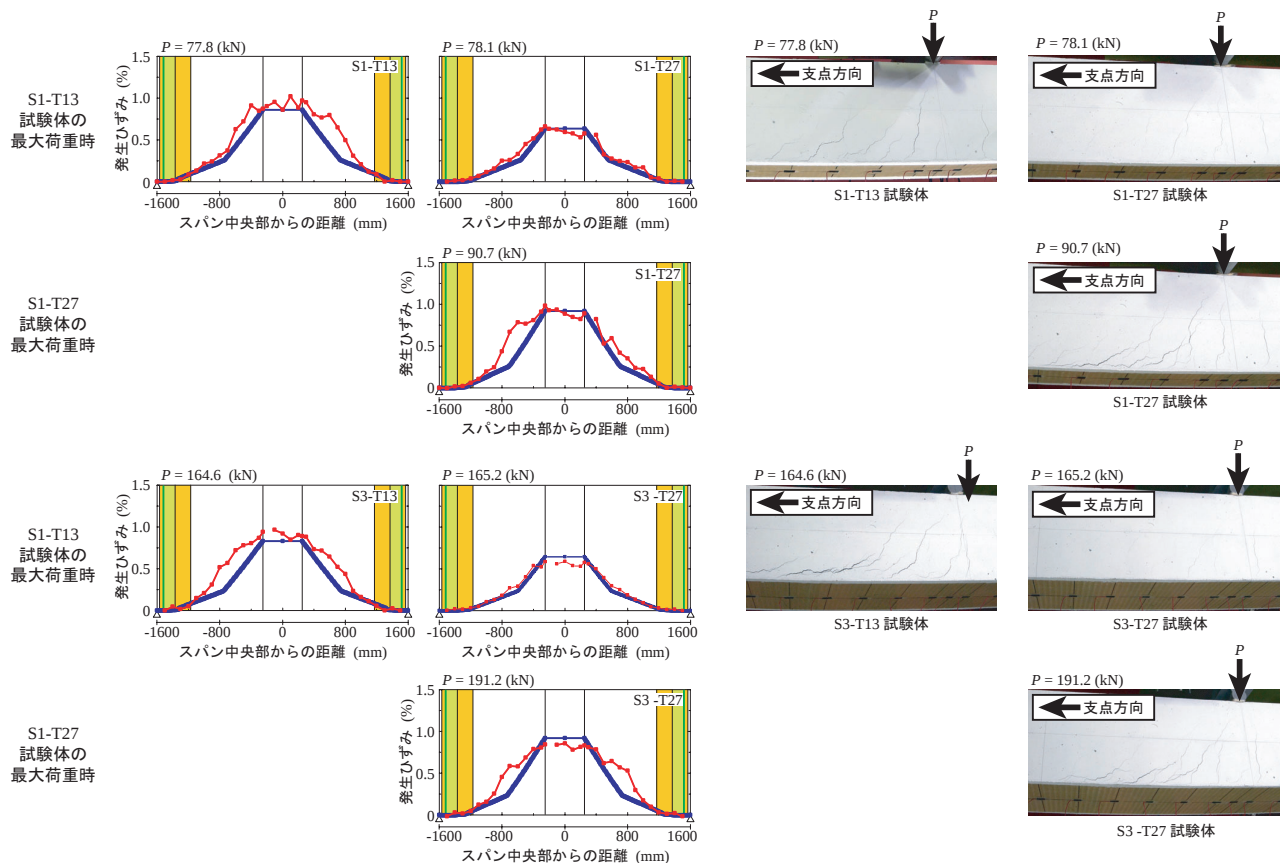


図-4 終局荷重時近傍における緊張接着用シートの軸方向ひずみ分布性状

剥がすピーリング作用によりシートが剥離していることによるものである。これに対し、S1-T27 試験体の場合には、実測ひずみと計算ひずみが良く対応しており、シートの付着が確保されていることが分かる。ただし、最大荷重時には、S1-T13 試験体の場合と同様に実測ひずみが計算ひずみを上回っていることから、ピーリング作用によるシートの剥離が発生しているものと考えられる。

また、ひび割れ性状を見ると、S1-T13 試験体の最大荷重時には、下縁かぶりコンクリート部に斜めひび割れが発生するとともに鉛直方向に開口しており、シートが部分的に剥離していることが分かる。これに対し、同一荷重時における S1-T27 試験体のひび割れ性状を見ると、斜めひび割れの発生は見受けられるものの、シートの部分剥離には至っていないことが分かる。これは、S1-T27 試験体は導入緊張力が S1-T13 試験体の場合よりも大きいため、デコンプレッションモーメントの増大により RC 梁のせん断耐力が向上し、斜めひび割れの発生が抑制され、結果的にピーリング作用による部分剥離が抑制されたことによるものと考えられる。

これらの性状は S3 梁の場合においても同様に認められる。従って、断面形状によらず、緊張接着用シートの導入緊張率の増大により、ピーリング作用によるシート剥離を抑制可能であることが明らかになった。

4. まとめ

本研究では、これまでの研究成果に基づき、剥離破壊型の傾向が強く現れる AFRP シート緊張接着 RC 梁を設計し、その曲げ耐荷性状やシートの剥離性状に及ぼす導入

緊張率の影響について検討を行った。本実験で得られた知見をまとめると以下の通りである。

- 1) 断面形状寸法が異なり、かつ AFRP シート目付量が大きい場合においても提案の緊張接着工法により RC 梁の曲げ耐荷性能を向上可能である。
- 2) 緊張接着曲げ補強 RC 梁の曲げひび割れ発生荷重、降伏荷重は断面分割法により安全側に評価可能である。
- 3) 導入緊張力を大きく設定することでピーリング作用によるシート剥離が抑制可能である。
- 4) 緊張接着曲げ補強 RC 梁のシート剥離を伴う破壊形式は、無緊張接着曲げ補強 RC 梁の実験的研究で提案された破壊形式予測式により予測可能である。

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) 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.
- 3) 土木学会: コンクリート標準示方書 (設計編), 2007.
- 4) 岸 徳光, 三上 浩, 栗橋祐介: AFRP シートで曲げ補強した RC 梁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.