

シート目付量および導入緊張率が異なる AFRP シート緊張接着曲げ補強 RC 梁の静載荷実験

室蘭工業大学大学院	非会員	工博	岸 徳光
室蘭工業大学大学院	非会員	博(工)	栗橋 祐介
三井住友建設(株)	正会員	博(工)	三上 浩
室蘭工業大学大学院	非会員		A. M. Ali

1. はじめに

連続繊維 (FRP) シートは、耐食性に優れ軽量かつ高い引張性能を有する補強材料である。近年では既設鉄筋コンクリート (RC) 構造物の補強工法として、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、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。

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、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機械式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いる^{2),3)}。

既往の研究では、緊張接着曲げ補強 RC 梁の破壊形式は、上縁コンクリートの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により終局に至る「剥離破壊型」に分類され、これらの破壊形式は既往の無緊張 AFRP シート曲げ補強 RC 梁に関する破壊形式予測式を用いて安全側に評価可能であることを明らかにしている³⁾。しかしながら、緊張接着曲げ補強 RC 梁の適切な破壊形式予測式を提案するためには、さらにシート目付量や断面諸元等が異なる場合に関する実験を行い、提案工法による曲げ補強効果やシートの剥離性状に関する実験結果を蓄積する必要があるものと考えられる。

このような背景より、本研究では、AFRP シート緊張接着曲げ補強 RC 梁のシート剥離を含めた曲げ耐荷性状やその破壊形式予測法の妥当性を検討することを目的に、シートの目付量や導入緊張率 (導入緊張力 / 保証耐力) を変化させた AFRP シート緊張接着曲げ補強 RC 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と AFRP シートへの導入緊張率及び導入ひずみの一覧を示している。なお、表中の計算終局時ひずみは、計算曲げ耐力算定時において、コンクリートが計算終局ひずみに達したときの AFRP シートに発生するひずみ ε_u に実測初期導入ひずみ ε_i を加算したものである。試験体

表 - 1 試験体名と AFRP シートへの導入緊張率及び導入ひずみ一覧

試験体名	シート目付量 (g/m ²)	目標導入緊張率 * (%)	実測導入緊張率 * (%)	計算終局時ひずみ (μ)
N	-	無補強	-	-
A1-T0	830	0 %	0 %	11,589
A1-T20		20 % (71)	20.8 % (73)	14,293
A1-T40		40 % (141)	40.2 % (142)	16,853
A2-T0	1,245	0 %	0 %	10,264
A2-T27		27 % (141)	27.3 % (145)	13,539

* () 内は導入緊張力 (kN)

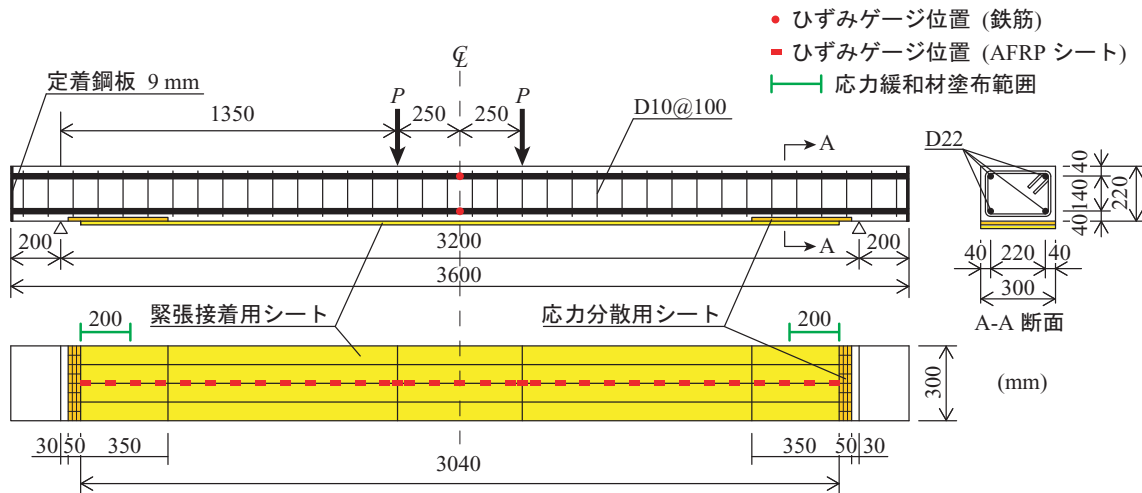


図 - 1 試験体の形状寸法，配筋状況および補強概要

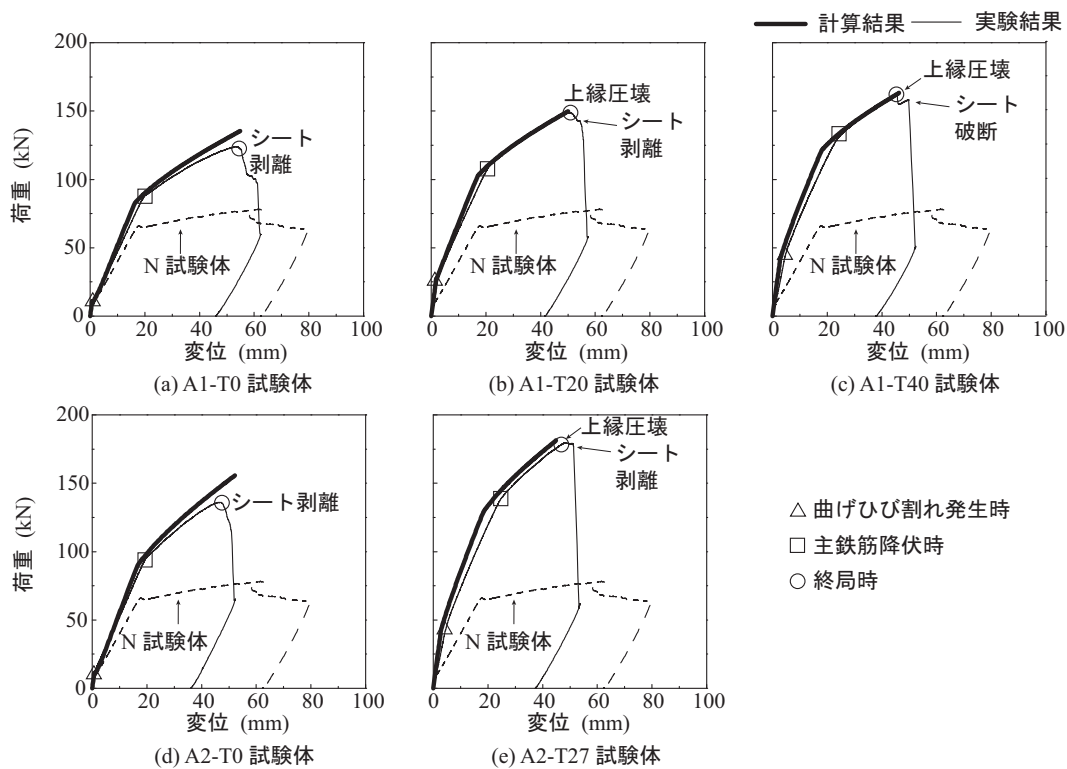


図 - 2 荷重 - 変位関係に関する比較図

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。実験時におけるコンクリートの圧縮強度は 39.2 MPa, 主鉄筋の降伏強度は 382 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 22 × 30 cm, 純スパン長 3.2 m の矩形 RC 梁である。上下端鉄筋には D22 を 2 本ずつ配置した。なお, シートの定着を確保するために, 接着両端部には応力分散用の 2 方向 AFRP シートを予め接着し, その上に緊張力を導入したシートを接着することとした。また, 応力分散用シート部への接着には応力緩和材を用いている。AFRP シートの弾性係数および引張強度はそれぞれ 118 GPa, 2.06 GPa である。

なお, 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および破断状況を記録している。

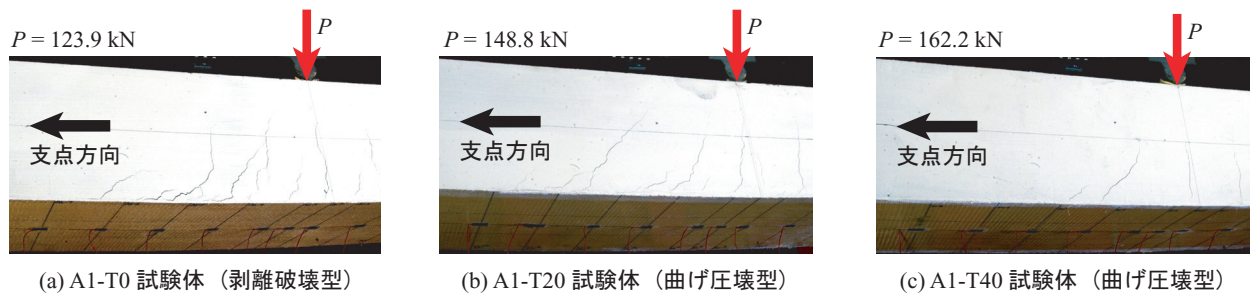


写真 - 1 A1 梁の終局時近傍におけるひび割れ分布

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計算結果と比較して示している。実験結果より、AFRP シート曲げ補強によって各 RC 梁の曲げ耐荷性能が向上していることが分かる。また、導入緊張率が大きい場合ほど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増加している。

各試験体の破壊性状に着目すると、AFRP シートを無緊張の状態では接着した A1/2-T0 試験体は、いずれもシート剥離により終局に至っている。また、緊張接着した試験体のうち A1-T20 試験体は、上縁コンクリートの圧壊とほぼ同時にシート剥離が生じている。導入緊張力が最も大きい A1-T40 試験体は、上縁コンクリート圧壊後、シート破断に至っている。これに対して、導入緊張力一定の下、シート目付量を大きくして導入緊張率を低減させた A2-T27 試験体では、上縁コンクリート圧壊後にシート剥離に至っている。両試験体の結果より、導入緊張力一定の条件下では、シート目付量を増加させることにより終局時におけるシート破断を抑制できることが明らかになった。

実験結果と計算結果を比較すると、A1/2-T0 試験体は、計算耐力よりも小さな荷重レベルで上縁コンクリートの圧壊に先行してシート剥離を生じて終局に至っていることより「剥離破壊型」に分類される。一方、A1/2-T20/40 および A2-T27 試験体は、計算耐力と同等以上の荷重レベルで上縁コンクリートの圧壊により終局に至っていることより「曲げ圧壊型」に分類されることが分かる。

3.2 ひび割れ性状

写真 - 1 には、A1 梁の終局時近傍における梁側面のひび割れ性状を示している。写真より、無緊張接着した A1-T0 試験体では、下縁かぶりコンクリートに斜めひび割れが発生し、そ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が顕在化していることが分かる。緊張接着した A1-T20/40 試験体においてもピーリング作用の傾向が認められるものの、A1-T0 試験体よりもひび割れ開口幅や剥離範囲は小さい。特に、A1-T40 試験体の場合には載荷荷重が最も大きいにもかかわらず、シート剥離の兆候は見られない。これは、シートに緊張力を導入することによって斜めひび割れの開口が抑制され、同時にひび割れ先端部のピーリング作用も抑制されることによるものと考えられる。

以上のことより、AFRP シートを緊張接着することによってピーリング作用によるシート剥離が抑制され、その効果は導入緊張率が大きい場合ほど大きいことが明らかとなった。

3.3 FRP シート曲げ補強 RC 梁の破壊形式予測式の適用性

著者らの既往の研究⁵⁾では、無緊張の FRP シート曲げ補強 RC 梁の破壊形式は、計算主鉄筋降伏曲げモーメント M_y と計算終局曲げモーメント M_u を用いて、 $M_y/M_u \geq 0.70$ の場合は曲げ圧壊型、 $M_y/M_u < 0.70$ の場合は剥離破壊型と予測可能であることを明らかにしている。ここでは、この破壊形式予測式の AFRP シート緊張接着曲げ補強 RC 梁への適用性について、本実験および既往の実験結果^{2),3)}を用いて検証する。

図 - 3 には、各試験体の M_y/M_u 値と実測単位緊張力との関係をプロットし、実験結果の破壊形式が曲

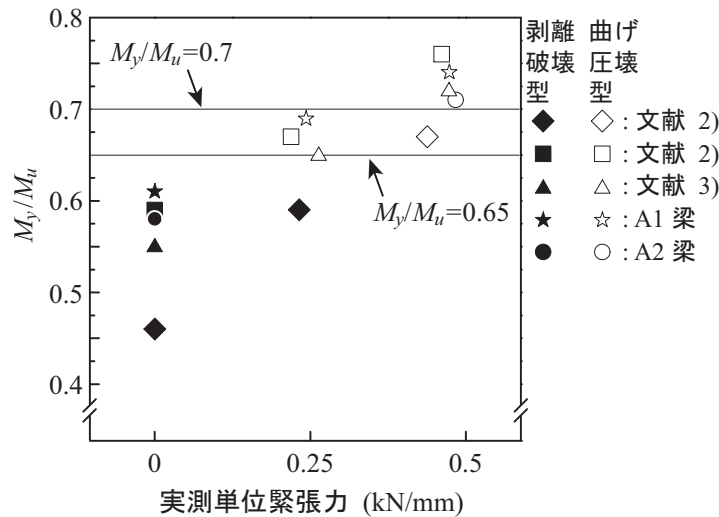


図 - 3 M_y/M_u 値と実測単位緊張力との関係

げ圧壊型の場合には白抜き印，剝離破壊型の場合には黒塗り印で示している。ここで，実測単位緊張力は，実測導入緊張力をシート幅で除して算出している。図より， M_y/M_u 値は実測単位緊張率の増加に伴って大きくなる傾向にあることが分かる。また，緊張接着曲げ補強 RC 梁に関する実験結果の破壊形式に着目すると， $M_y/M_u \geq 0.65$ の場合にはいずれの試験体も曲げ圧壊型に分類されていることが分かる。従って，本論文の範囲内においては，緊張接着曲げ補強 RC 梁の破壊形式は， $M_y/M_u \geq 0.65$ の場合には曲げ圧壊型， $M_y/M_u < 0.65$ の場合には剝離破壊型と予測できるものと考えられる。

4. まとめ

- 1) 導入緊張力一定の条件下の場合には，シートの目付量を増加させることにより導入緊張率を低減可能なため，AFRP シートの破断破壊を抑制可能である。
- 2) AFRP シート緊張接着により，ピーリング作用によるシート剝離が抑制される。また，この効果は導入緊張力が大きいほど大きい。
- 3) 緊張接着曲げ補強 RC 梁の破壊形式は，計算主鉄筋降伏曲げモーメント M_y と計算終局曲げモーメント M_u を用いることにより， $M_y/M_u \geq 0.65$ の場合には曲げ圧壊型， $M_y/M_u < 0.65$ の場合には剝離破壊型として予測可能である。

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実証研究，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) 栗橋祐介，A. M. Ali，岸 徳光，三上 浩：AFRP シート緊張接着 RC 梁のシート剝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.
- 4) 土木学会：コンクリート標準示方書（設計編），2007.
- 5) 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.