

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 PC 梁の静載荷実験

室蘭工業大学大学院 非会員 博(工) 栗橋 祐介
 室蘭工業大学大学院 非会員 工博 岸 徳光
 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

近年、既設鉄筋コンクリート(RC)/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、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、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、そ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、一般的なFRPシートを用いた接着工法によるRC/PC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。このことから、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するとともに、その補強効果を確認している²⁾。しかしながら、PC部材に提案工法を適用する場合の曲げ耐力向上効果については未だ十分に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、シート目付量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。ここで、表中のシートの導入緊張率は、シートの保証引張耐力に対する導入緊張力の割合である。また、実測初期導入ひずみは、実測導入緊張力に基づきAFRPシートの材料特性値を用いて算出したものである。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。なお、A2梁のAFRPシートの導入緊張率は、導入緊張力がA1梁と同等となるように設定している。実験時のコンクリートの圧縮強度は64.3MPa、主鉄筋の降伏強

表-1 試験体一覧

| 試験体名 | AFRPシート | | シートの 目標導入 緊張率*(%) | シートの 実測導入 緊張率*(%) | 実測 初期導入 ひずみ(μ) |
|--------|----------------------------|------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| | 目付量 (g/m ²) | 保証引張耐力 (kN/m) | | | |
| A1-T0 | 830 | 1,176 | 0 | 0 | 0 |
| A1-T20 | | | 20(70) | 21.5(71) | 3,763 |
| A1-T40 | | | 40(140) | 34(120) | 5,950 |
| A2-T0 | 1,245 | 1,764 | 0 | 0 | 0 |
| A2-T13 | | | 13.3(70) | 12(64) | 2,135 |
| A2-T27 | | | 26.7(140) | 24(129) | 4,270 |

* () 内は導入緊張力(kN)

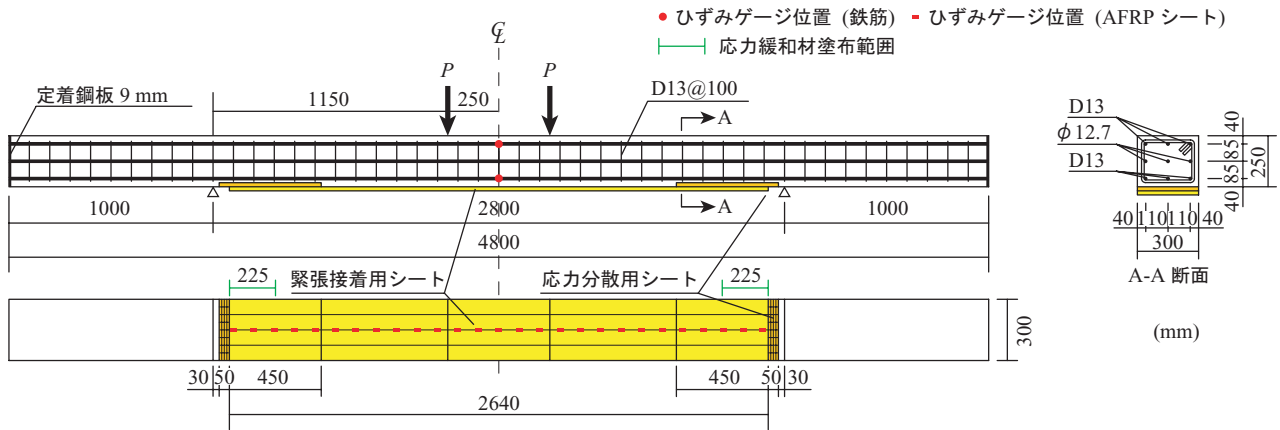


図 - 1 試験体の形状寸法，配筋状況および補強概要

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。上下端鉄筋には D13 を 3 本ずつ用い，中央部には 12.7 mm の PC 鋼より線を 3 本配置している。なお，PC 鋼より線の導入緊張率 (導入緊張力 / 引張耐力) は 60 % としている。このときの PC 梁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。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予め応力分散用の 2 方向 AFRP シートを接着し，その上に応力緩和材を用いて接着している。AFRP シートの弾性係数および引張強度はそれぞれ 2.06 GPa，118 GPa である。なお，含浸接着樹脂には，汎用の 2 液混合型エポキシ樹脂を用いている。また，応力緩和材は弾性係数が上述の含浸接着樹脂の 1/60 程度のエポキシ系接着樹脂であり，緊張接着用シート端部における応力集中を緩和するために用いている。その他，詳細については文献²⁾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) および鉄筋と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。図より，補強試験体の計算結果は無補強の場合と比較して，曲げひび割れ発生荷重および主鉄筋降伏荷重が大きく，かつその後の剛性勾配および終局荷重も増大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加している。なお，最終的にはシート剥離もしくは上縁コンクリート圧壊後にシート剥離に伴って荷重が急激に低下し，終局に至っている。

ここで，各試験体の終局時の性状に着目すると，A2-T0 試験体は上縁コンクリート圧壊前にシート剥離を生じていることが分かる。これは，A2-T0 試験体の場合には，シート目付量が大いため曲げ補強効果が大きいものの，無緊張接着であるため斜めひび割れの開口が大きく，緊張接着の場合よりもピーリング作用に起因するシート剥離の抑制効果が期待できないことによるものと考えられる。

3.2 各荷重とシート導入緊張率との関係

図 - 3 には，図 - 2 の実験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

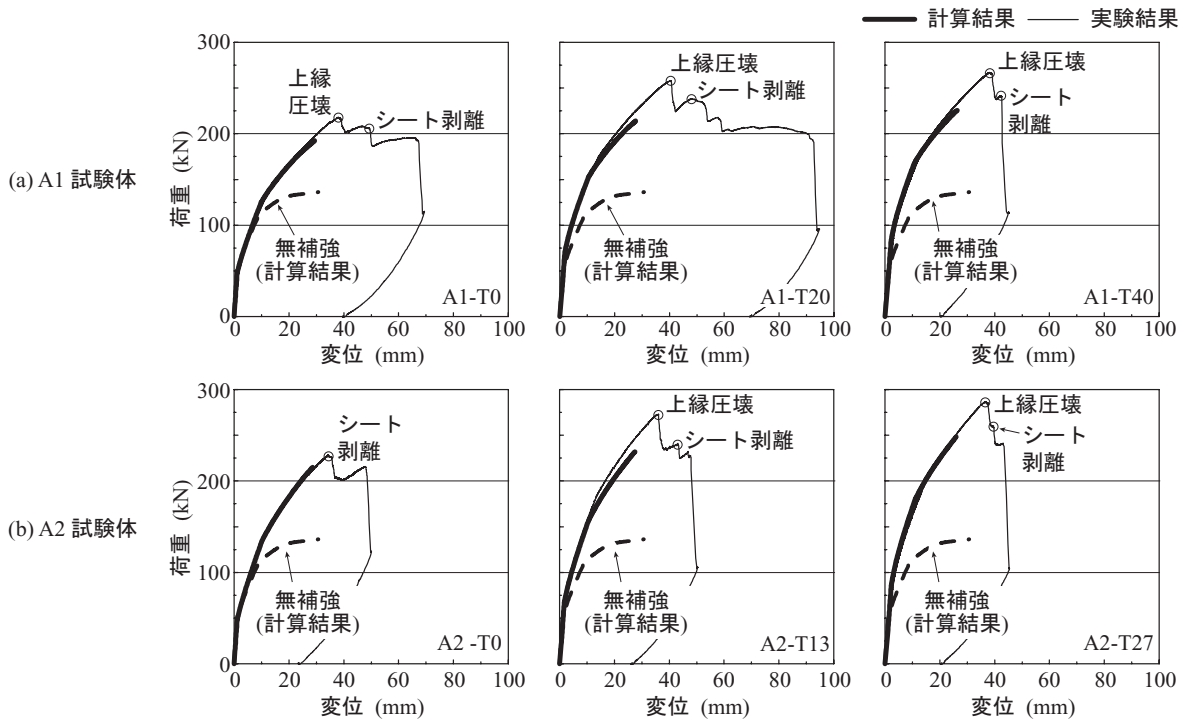


図 - 2 各試験体の荷重 - 変位関係

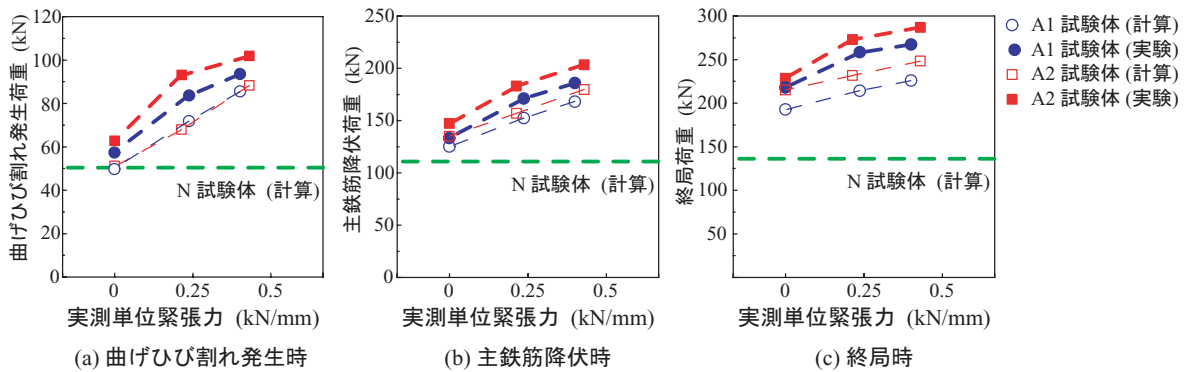


図 - 3 各時点の荷重に関する実験および計算結果とシート導入緊張率との関係

の各荷重と単位幅当たりの実測導入緊張力 (以後、実測単位緊張力) (kN/mm) との関係を示している。なお、実測の曲げひび割れ発生荷重は、荷重 - 変位関係の剛性勾配変化点の荷重として評価した。実測単位緊張力は AFRP シートの実測導入緊張力をシート幅で除した値である。図より、実測単位緊張力が同等の場合には、A2 梁の各実測耐力が A1 梁よりも大きい。これは、シート目付量が多い場合には、シートの曲げ補強効果も大きくなることによるものと考えられる。

(a) 図より、無緊張 AFRP シート接着した A1/A2-T0 試験体では、無補強試験体と比較してひび割れ発生荷重がほとんど増加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、ひび割れ発生荷重は無補強試験体と比較して最大で 2 倍程度に増大している。また、各試験体の実験結果と計算結果を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。

(b) 図より、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 25 kN 程度向上していることが分かる。また、実測単位緊張力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。

(c) 図より、終局荷重に関する実験結果および計算結果は共に導入緊張率の増加に伴って増大している

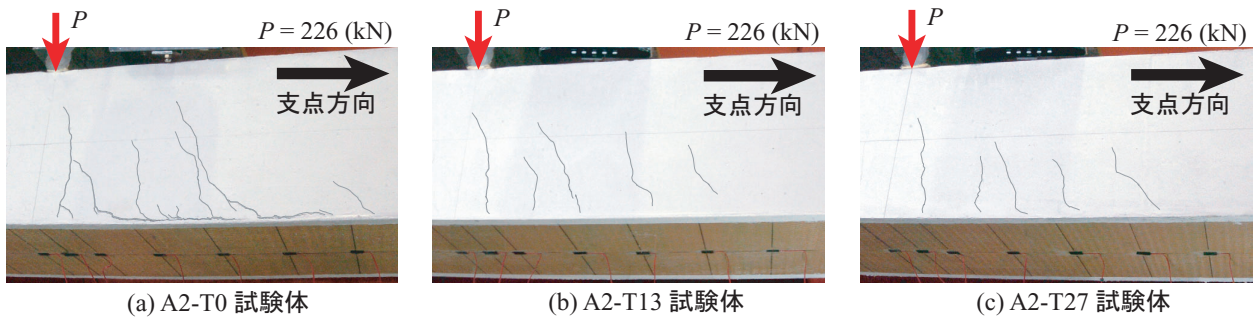


写真 - 1 A2 梁のひび割れ性状

ことが分かる。実験結果と計算結果を比較すると、A-T0 試験体の場合に両者の差異が小さいものの、全ての試験体において実験結果が計算結果を上回っている。

以上のことより、PC 梁の曲げ耐荷性能が向上可能であり、その効果は前述の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。

3.3 ひび割れ性状

写真 - 1 には、A2-T0 試験体の最大荷重時 ($P = 226 \text{ kN}$) における A2-T0/13/27 試験体の載荷点近傍のひび割れ性状を示している。写真より、A2-T0 試験体の場合には、下縁かぶりコンクリート部において斜めひび割れが発生・開口し、その先端部のピーリング作用によってシートが部分的に剥離していることが分かる。一方、A2-T13/27 試験体の場合には、シートの剥離はほとんど見られない。これは、シートに緊張力を導入することにより、斜めひび割れの開口が抑制され、従って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。

4. まとめ

本研究では、AFRP シート緊張接着曲げ補強工法の PC 梁への適用性を検討することを目的に、シート目付量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。本実験により得られた知見は以下の通りである。

- 1) 提案の AFRP シート緊張接着工法は PC 梁の曲げ耐荷性能を向上可能であり、その効果は断面分割法により安全側に評価可能である。
- 2) シートの実測単位緊張力が大きい場合ほど、緊張接着曲げ補強 PC 梁の耐荷性能は向上する。また、シートの導入緊張率が同一の場合における梁の曲げ耐荷性能は、シート目付量が大きいほど向上する傾向にある。
- 3) 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抑制する効果も期待できる。

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.