

論文 RC 部材の AFRP シート緊張接着補強時の定着法に関する実験的研究

池田 聡^{*1}・岸 徳光^{*2}・三上 浩^{*3}・張 広鋒^{*4}

要旨：本研究では、RC 部材に接着した連続繊維（FRP）シートの補強効果をより有効に発揮させることを目的に、FRP シートに緊張力を導入して接着する工法に関する実験的研究を行った。本研究では、緊張力を導入したアラミド繊維製（AFRP）シートの定着端部コンクリート表面に剥離抑制用シートを接着する方法に着目し、その効果に関する検討を行った。本研究の結果、緊張接着用シートの定着端部に無緊張の二方向 AFRP シートを接着することにより、幅 30 cm 程度のシートまでは定着治具を用いることなく定着可能であることや、緊張接着用シートによる定着用シートへの影響範囲を明らかにした。

キーワード：AFRP シート、曲げ補強、緊張接着、定着

1. はじめに

近年、連続繊維（FRP）シートを用いた既設鉄筋コンクリート/プレストレストコンクリート（RC/PC）構造物の補修・補強工事が盛んに行われている。最近では、FRP シートを用いた RC/PC 構造物の活荷重増に対する補強や、効率的な FRP シート補強を行うために、FRP シートに緊張力を導入して接着する工法（以後、緊張接着法）に関する研究が実施され、一部で実用化されている¹⁾。

緊張接着法を用いる場合、緊張力を導入した FRP シート（以後、緊張接着用シート）の定着が大きな問題となる。そのため、一般的には緊張接着用シートの接着端部に定着治具を用いてシートを定着させている。著者らは、定着治具を用いることなく緊張接着する手法に関する研究の過程で、シートの緊張力が比較的大きい場合には、緊張接着用シートが定着端部から、かぶりコンクリートと共に引き剥がされる現象を確認している（写真-1 参照）。その破壊性状から、緊張接着用シートは緊張力が定着端部に集中するため、コンクリートの引張破壊により引き剥がされたものと考えられる。

そこで、本研究では、緊張接着用シートの定着端部に集中する緊張力を分散させるため、定着端部に定着領域の拡大と応力緩和を目的としたシート（以後、定着用シート）を接着する方法に着目し、定着性状に関する検討を実施した。なお、本研究では、緊張接着用シートの定着端部に弾性係数が曲げ補強シート用接着樹脂のおよそ 1/60 程度のエポキシ樹脂（以後、応力緩和剤）を接着剤として併用した場合に関する検討もあわせて行っている。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

図-1 には、本実験に用いた RC 試験体の形状寸法および配筋状況を示している。形状寸法

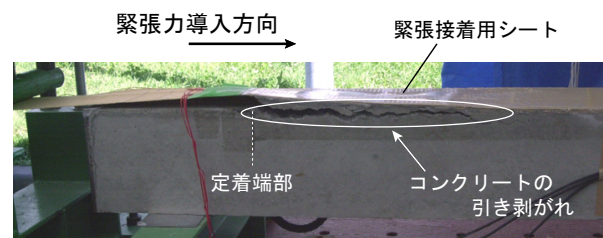


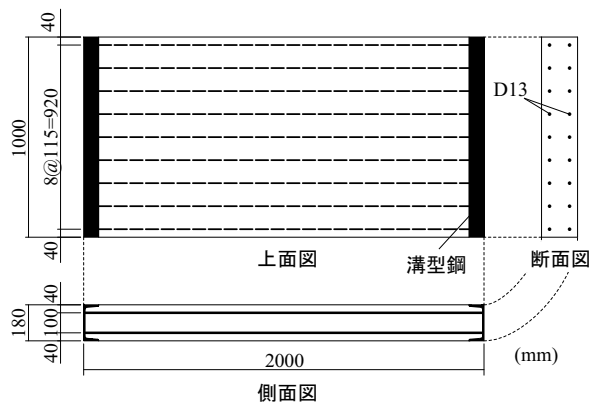
写真-1 緊張力導入時における
引き剥がれ状況

*1 ハザマ 修（工）（正会員）

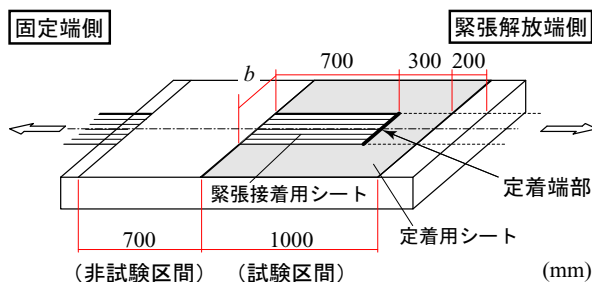
*2 室蘭工業大学 建設システム工学科 教授 工博（正会員）

*3 三井住友建設（株）技術研究所 主席研究員 博（工）（正会員）

*4 室蘭工業大学 工学部建設システム工学科 助手 博（工）（正会員）



図－１ 試験体の形状寸法および配筋状況



図－２ 試験体の補強概要図

は、1,000 × 2,000 × 180 mm で芯かぶり 40 mm の位置に鉄筋を配置した版状の RC 部材である。軸方向鉄筋には D13 を用い、RC 部材の短辺の幅方向中央部より 115 mm 間隔で配筋している。なお、鉄筋は RC 版の両端部に設置した溝型鋼に溶接している。

2.2 シート補強概要

図－2 には、試験体の補強概要図を示している。本実験では、緊張力を試験体の長手方向に導入することとし、シートの緊張力はシートの一端を固定（固定端側）し、他端側（緊張解放端側）を緊張して、接着した後解放することにより導入している。そのため、定着用シートとして 1 m 四方の二方向アラミド繊維製 FRP シート（AFRP シート）を試験体の緊張解放側端部から 200 mm の位置よりコンクリート表面に接着している。本研究では、この定着用シートの接着範囲を試験区間とし、そのシート上に緊張接着用シートを定着させている。緊張接着用シートにはシート幅 b が 20, 30 cm の AFRP シートを用いている。緊張接着用シートは、その幅方向中央点と版の幅方向中央点が一致するように

表－１ 実験ケースの一覧

試験体名	シート幅 b (cm)	緊張率*		応力 緩和剤
		緊張時	導入時	
B20-T60	20	60 % (141 kN)	70 % (164 kN)	無し
B30-T20	30	20 % (71 kN)	16 % (57 kN)	
B30-T40		40 % (141 kN)	33 % (116 kN)	
B30-T60		60 % (212 kN)	46 % (161 kN)	
B30-T60s			50 % (175 kN)	有り

* : () 内は緊張力を示している。

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			

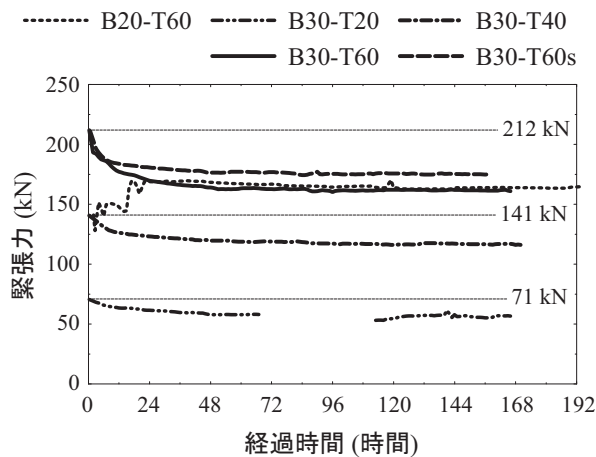
配置し、緊張接着用シートの定着端部が定着用シート端部より 30 cm 内側に配置されるように設定した。なお、試験区間内の緊張接着用シートに影響を与えないように、固定端側の非試験区間における緊張接着用シート上には剥離抑制のための二方向シートを接着している。

表－1 には、本実験の実験ケースを一覧にして示している。試験体名の第 1 項目は英文字 B に緊張接着用シート幅 b (cm) を付記している。第 2 項目は緊張接着用シートへの導入緊張率を示しており、英文字 T にシート緊張時の緊張率 (%) を付記している。また、第 2 項目に付随する s は応力緩和剤を用いたことを示している。なお、表－2 には、本実験に用いた AFRP シートの公称の力学的特性値を示している。実験時のコンクリート圧縮強度は 35.4 MPa であった。

2.3 シート緊張力の導入方法

本実験では、油圧式の緊張力導入装置を製作し、シートには以下の手順により緊張力を導入した。すなわち、

- (1) RC 版の FRP シート接着部には接着性能を



図－3 経過時間と導入緊張力との関係

- 向上させるために、1 mm 程度の深さになるようにチップング処理を施す。
- (2) あらかじめ、緊張接着用シートに含浸接着樹脂を試験体長さよりも広い領域に塗布して硬化させ FRP 化する。また、試験体に定着用シートを接着する。
- (3) 緊張接着用シートと RC 試験体のシート接着範囲に含浸接着樹脂を塗布し、シートを所定の位置にセットした後、油圧ジャッキにより緊張する。
- (4) 所定の緊張力で緊張したことを確認した後、シート引き剥がれ防止用の二方向シートを非試験区間に接着し、FRP シートと被接着部との密着度を向上させるためにエアーコンプレッサーを用いて緊張接着用シート全面に圧力を加えた状態で養生する。
- (5) 数日の養生の後、接着樹脂の硬化を確認し、緊張力を解放する。

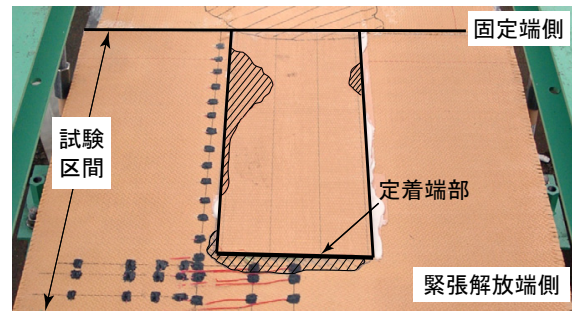
である。

本実験では、緊張接着用シートの緊張接着時から接着硬化後のコンクリート部材へのプレストレス導入時までの緊張力をロードセルにより管理している。なお、本研究では、緊張力導入直前のロードセル値を導入緊張力としている。

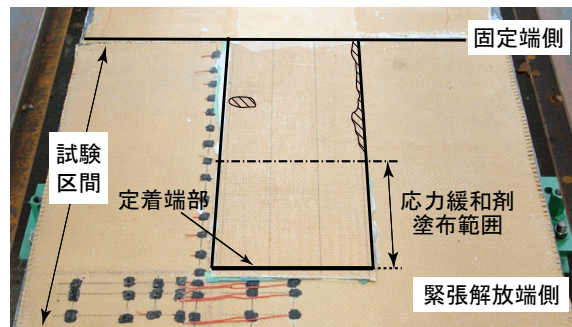
3. 実験結果および考察

3.1 養生期間における緊張力の減少量

図－3 には、緊張接着用シートの緊張接着時



(a) B30-T60 試験体

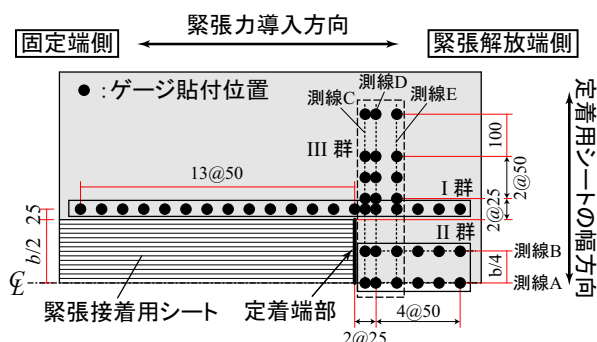


(b) B30-T60s 試験体

写真－2 緊張力導入後における剥離性状

から導入直前までの時間経過と導入緊張力の関係を示している。図中、経過時間の原点はシート緊張作業終了時点を示している。緊張力の測定は 1 時間毎に実施した。なお、B30-T20 試験体の 66 時間経過から 110 時間までは計測不良のためデータを載せていない。また、B20-T60 試験体の場合には、導入時から 20 時間程度までの波形に若干の乱れが見られる。これは、緊張用治具の不備により緊張力が除荷状態に陥ったことに対処するために再緊張したことによる。

図より、B20-T60 試験体を除き、いずれの試験体も緊張時から約 20 時間までの間で緊張力の低下が大きく、その後はほぼ一定値を示していることが分かる。この緊張力の低下は比較的短時間で発生していることより、緊張接着用シートの樹脂含浸によって FRP 化したことによる樹脂とシート間のなじみ等に起因するものと考えられる。また、表－1 より、導入時の緊張力は、緊張力の大きさにかかわらず、シート緊張時の 76 ～ 82 % 程度であることが分かる。このことから、AFRP シートを緊張接着する場合には、約 20 % の緊張力低下を考慮することで、目標の緊張力が導入可能であると考えられる。



3.2 緊張力導入後における AFRP シートの定着状況

(1) 緊張力導入後における緊張接着用シート
接着端部近傍の状況

写真-2には、緊張力を導入した後の試験区間における定着状況を示している。写真には、シート幅が広く、導入緊張力の大きい B30-T60/T60s 試験体を示している。なお、写真中の斜線部分は打音検査によりシートの浮きが確認された部分である。

写真より、B30-T60 試験体は、定着端近傍部において、緊張接着用シートと定着用シート間には浮きが認められないものの、定着用シートと試験体表面間には浮きが認められる。これは、緊張接着用シートと定着用シートの接着が良好であるため、定着端近傍部の定着用シートに応力が集中し、試験体表面との付着が切れたためと考えられる。一方、B30-T60s 試験体では、定着端近傍部の緊張接着用シートと定着用シート間および定着用シートと試験体表面間に浮きは認められない。

以上のことから、接着樹脂のみで緊張接着用シートを定着させる場合には、応力集中問題の観点から定着用シートとコンクリート表面の付着切れに留意する必要がある。また、緊張接着用シートの定着をより確実に行うためには、定着端近傍部に応力緩和剤を用いる方が良いことが考えられる。

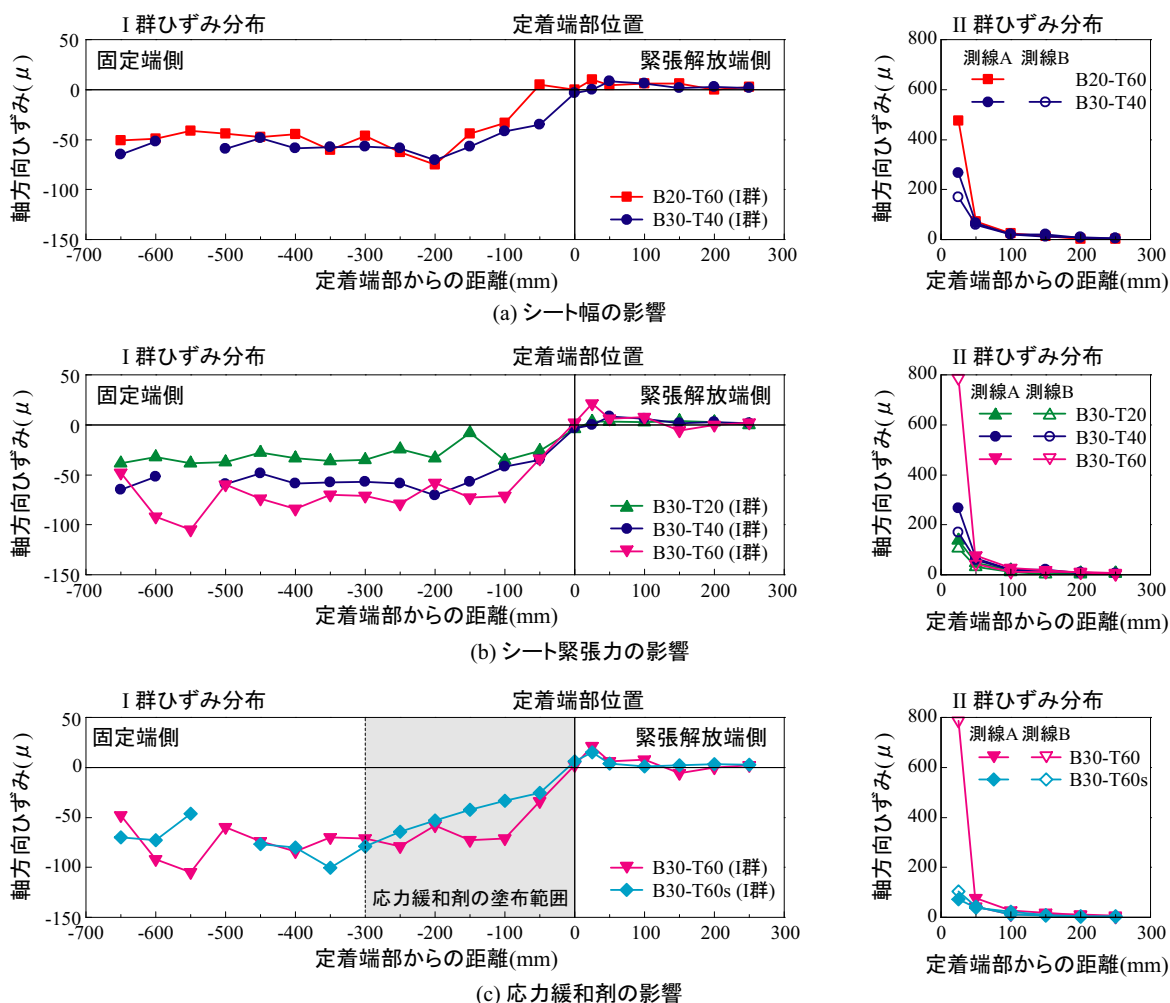
(2) 定着用シートの長さ方向ひずみ分布

図-4 には、定着用シート上のひずみ測定位置を示している。なお、測定するひずみの方向

はいずれも緊張力導入方向（軸方向）としている。図-5には、緊張力導入後における定着用シートの軸方向ひずみ成分の長さ方向分布を示している。図中、左側には緊張接着用シートの側端部より 25 mm 位置に貼付したひずみゲージ（図-4 中、Ⅰ群）のひずみ分布を、また右側には緊張接着用シートの定着端部より緊張解放端側に貼付したひずみゲージ（図-4 中、Ⅱ群）のひずみ分布を示している。なお、右図には、定着用シート幅方向中央の測線 A（図-5 中黒塗り）と $b/4$ だけ幅方向に離れた測線 B（図-5 中白抜き）の結果もあわせて示している。

図-5 (a) には、シート幅の影響を検討するため、導入緊張力が同程度でシート幅の異なる B20-T60, B30-T40 試験体の結果を比較して示している。左図より、シート幅にかかわらず定着端近傍部を除いて同様なひずみ分布を示していることが分かる。すなわち、緊張接着用シートの定着端部から固定端側に約 200 mm まではほぼ線形に圧縮ひずみが増加し、それ以降はほぼ一定のひずみを示している。また、定着端部より緊張解放端側では、いずれも発生ひずみは零レベルである。右図より、シート幅や測線にかかわらず、定着端部より 25 mm の位置でひずみが最も大きく示され、100 mm の位置でほぼ零に収束していることが分かる。

図-5 (b) には、緊張接着用シートの幅が等しく、緊張力の異なる B30-T20/T40/T60 試験体の結果を比較して示している。左図より、緊張接着用シート側方 25 mm 位置での定着用シートのひずみ分布性状は 図-5 (a) と大略同様であり、定着端部より固定端側では圧縮ひずみを示し、緊張解放端側ではほぼ零レベルとなっている。ここで、発生ひずみの大小に着目すると、導入緊張力が大きい場合ほど圧縮ひずみが大きくなる傾向にあることが分かる。このことより、 図-5 (a) の結果と併せて考えると、定着用シートの発生ひずみは、緊張接着用シートの緊張力に依存することが推察される。また、右図より緊張力の増加に伴い定着端部から 25 mm の位置



図－5 緊張力導入時における定着用シートの長さ方向ひずみ分布

に発生するひずみは大きくなる傾向にあるものの、100 mm の位置でのひずみはいずれの試験体および測線でもほぼ零レベルであることが分かる。

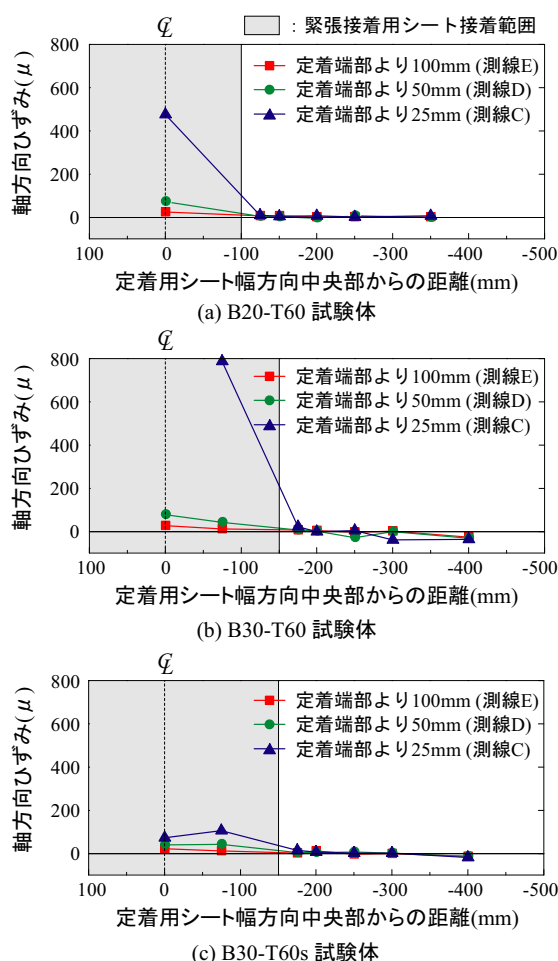
図－5 (c) には、応力緩和剤の有無の影響を検討するため、B30-T60/T60s 試験体の結果を比較して示している。左図より、緊張接着用シート側方 25 mm 位置での定着用シートに発生するひずみは、定着端部から固定端側に 300 mm 以上離れた区間では、緩和剤の有無にかかわらずほぼ同等であることが分かる。しかしながら、B30-T60s 試験体では、定着端部から応力緩和剤を塗布した 300 mm の範囲内までは、ひずみが線形状の増加傾向を示し、緩和剤を塗布しない B30-T60 試験体に比べて全般的にひずみは小さいことが分かる。また、右図より、B30-T60 試験体では定着端部より 25 mm の位置で約 800 μ

のひずみが発生しているのに対し、B30-T60s 試験体では最大でも 100 μ 程度である。このことから、応力緩和剤を用いることにより応力集中を抑制して、定着用シートに発生するひずみを均等化させることが可能であることが分かる。

(3) 定着用シートの幅方向ひずみ分布

図－6 には、定着端部より緊張解放端側に貼付したひずみゲージ（図－4 中、III 群）による定着用シート軸方向ひずみの幅方向分布性状を示している。図には、定着用シートの幅方向中央点を 0 mm とした幅方向分布を定着端部から 25, 50, 100 mm の位置にある測線 C, D, E について示している。なお、図にはシート幅が 20 cm の B20-T60 試験体、シート幅が 30 cm の B30-T60/T60s 試験体の結果を示している。

図－6 (a) より、B20-T60 試験体の発生ひずみは定着用シートの幅方向中央部で最も大きく、



図－6 緊張力導入時における定着用シートの幅方向ひずみ分布 (III 群)

また、定着端部より 25 mm の位置で最大であり、100 mm の位置では 50 μ 程度以下と小さいことが分かる。図－6 (b) より、B30-T60 試験体の定着用シートのひずみは、B20-T60 試験体と同様に緊張接着用シート接着範囲内で大きく、緊張接着用シートの定着端部から 25 mm の位置で約 800 μ のひずみが発生している。一方、定着端部より 100 mm 離れた位置では 50 μ 程度以下と小さい。これより、緊張接着用シート定着端部より緊張解放端側の幅方向の影響範囲は緊張接着用シート幅以内であり、定着端部からの長さ方向影響範囲は 50 mm 程度以下と狭いことが明らかになった。

図－6 (b), (c) より、応力緩和剤の有無に着目すると、B30-T60 試験体の発生ひずみが最大 800 μ であるのに対し、B30-T60s 試験体では最大ひずみが 100 μ 程度である。これは、緊張接

着用シート定着端における応力集中が緩和され、応力の均等化が促進されたことによるものと推察される。このことより、応力緩和剤を用いることで、定着用シートの応力集中を効率よく抑制できることが明らかになった。

4. まとめ

本研究では、AFRP シート緊張接着時におけるシート定着端部の引き剥がれを抑制するために、定着端部のコンクリート表面に二方向 AFRP シートを接着して応力を分散させる方法を提案し、その妥当性を実験的に検討した。また、応力緩和剤を併用した場合に関する検討もあわせて実施した。本研究の範囲内で得られた知見を整理すると、以下の通りである。

- 1) 本研究の範囲内では、緊張力は緊張力導入時からほぼ 20 時間の間に減少する。その減少量は導入緊張力の 20 % 程度である。
- 2) 緊張接着用シートの定着端部に無緊張の二方向 AFRP シートを接着することにより、幅 30 cm 程度のシートまでは定着治具を用いることなく定着可能である。
- 3) 定着用シートに与える緊張接着用シートの導入緊張力の影響範囲は、導入緊張力やシート幅にかかわらず、緊張接着用シート側方には 25 mm 程度以内、定着端部より緊張解放端側では長さ方向に 50 mm 程度以内、幅方向には緊張接着用シート幅以内である。
- 4) 応力緩和剤を併用することにより、定着用シートに発生する応力集中を緩和し、緊張接着用シートの定着をより確実に行うことが可能となる。

参考文献

- 1) 佐藤信也, 小橋茂和, 小金澤豊秋, 高橋輝光: 炭素繊維プレート緊張材を用いた「町浦橋」の補強, 第 15 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.355-358, 2006