

緊張力を導入した AFRP シートの RC 部材への定着法に関する一検討

A consideration for anchoring system of pre-tensioned AFRP sheet bonded with RC members

室蘭工業大学

室蘭工業大学

三井住友建設(株)

室蘭工業大学

(株) ケイジーエンジニアリング

○正会員 澤田 純之 (Sumiyuki Sawada)

フェロー 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

フェロー 三上 浩 (Hiroshi Mikami)

正会員 張 広鋒 (Guangfeng Zhang)

正会員 巽 治 (Osamu Tatsumi)

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 (RC) / プレストレストコンクリート (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、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) に関する研究が行われ、一部で実用化されている。

FRP シート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、緊張シートの接着端部に定着具を用いてシートを定着させている。著者らも、定着具を用いない緊張接着法に関する研究の過程で、緊張力が大きい場合に緊張シートが定着端部より、かぶりコンクリートごと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、緊張シートの緊張力が定着端部に集中し、コンクリートが引き剥がされたものと考えられる。

そこで本研究では、緊張シートの定着端部に集中する緊張力を分散させるため、緊張シートの定着端部に定着領域の拡大を目的としたシート (以後、定着シート) を接着し、緊張力導入時における定着性状を検討した。なお、本研究では、緊張シートの定着端部に弾性係数の小さい応力緩和剤を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、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。形状寸法は、 $1,000 \times 2,000 \times 180$ mm で芯かぶり 40 mm の位置に鉄筋を配置した RC 部材である。鉄筋には D13 を用い、RC 版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、もう一端 (解放端側) を引張り・解放することにより導入している。そのため、定着シートとして 1 m 四方の二方向アラミド繊維製 FRP (AFRP) シートを試験体の解放端側端部から 200 mm の位置より接着している。本研究では、この定着シートの接着範囲を試験区間とし、そのシート上に緊張シートを定着させている。緊張シートにはシート幅が 20, 30 cm の AFRP シートを用いている。緊張シートは、緊張シートの幅方向中央と RC 版の幅方向中央が一致するように設置し、緊張シートの定着端部が定着シートの端部より 30 cm の位置となるようにした。なお、試験区間内の緊張シートに影響を与えないように、固定端側の非試験区間の緊張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 に緊張シート幅 b (cm) を付記している。第 2 項目は緊張シート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

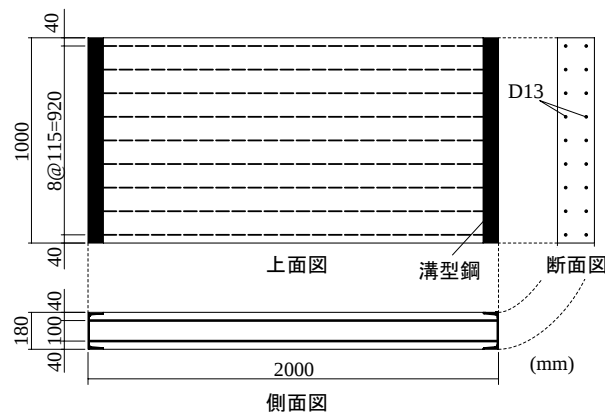


図-1 試験体の形状寸法および配筋状況

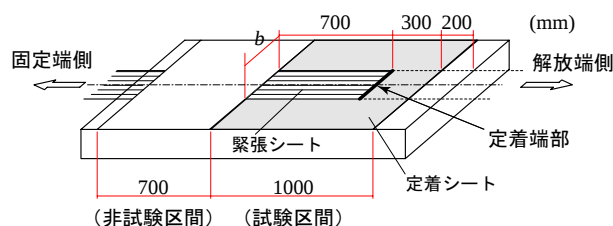


図-2 試験体の補強概要図

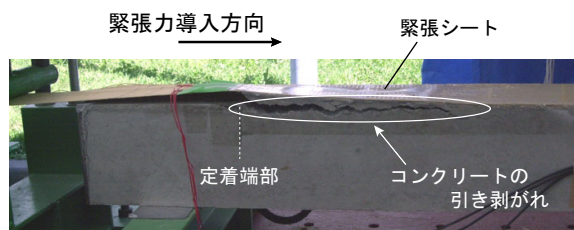


写真-1 緊張力導入時における引き剥がれ状況

表-1 実験ケースの一覧

試験体名	シート幅 b (cm)	緊張力*		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			

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、シートに緊張力を以下の手順により導入した。すなわち、

- (1) あらかじめ、緊張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、試験体に定着シートを接着する、
- (2) 緊張シートと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、装置により緊張力を導入する、
- (3) 緊張力導入確認後、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、その後、エアーコンプレッサーにより緊張シート全面に圧力を加えた状態で養生する、
- (4) 数日の養生の後、接着樹脂の硬化を確認後、解放・緊張力を導入する、

である。

本実験では、緊張シートの緊張時から導入時までの緊張力をセンターホール型のロードセルにより測定し、緊張力導入時には定着シートに貼付したひずみゲージのひずみを計測した。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、緊張シートの緊張時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0がシートの緊張時を示し、その後1時間ごとに緊張力

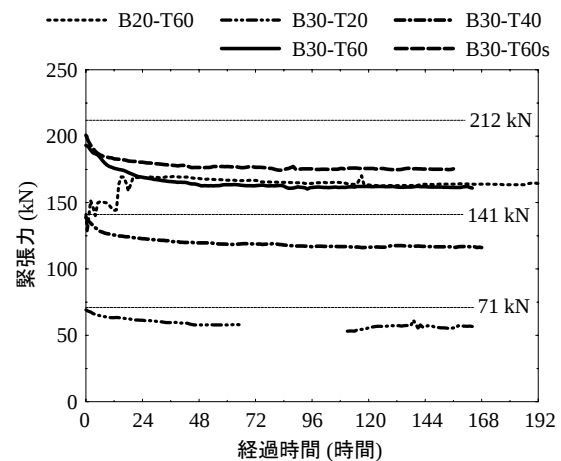
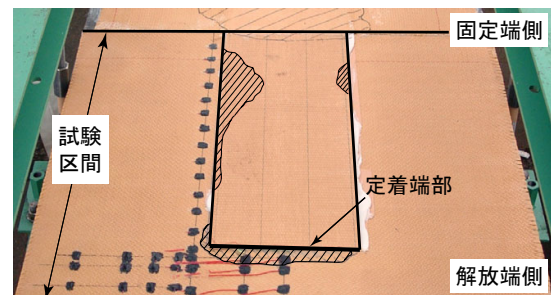
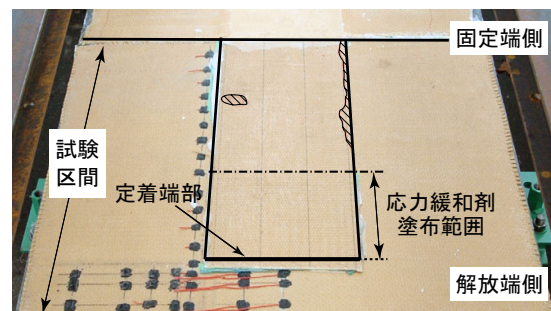


図-3 経過時間と導入緊張力との関係



(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

を測定している。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試験体では、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が、これは、緊張力が低下したつど、所定の緊張力まで再緊張したためである。

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。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。このことから、AFRPシートを緊張接着する場合、約20%の緊張力減少を考慮することで、目標の緊張力を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の状況を示している。写真には、シート幅が広く、緊張力の大きい

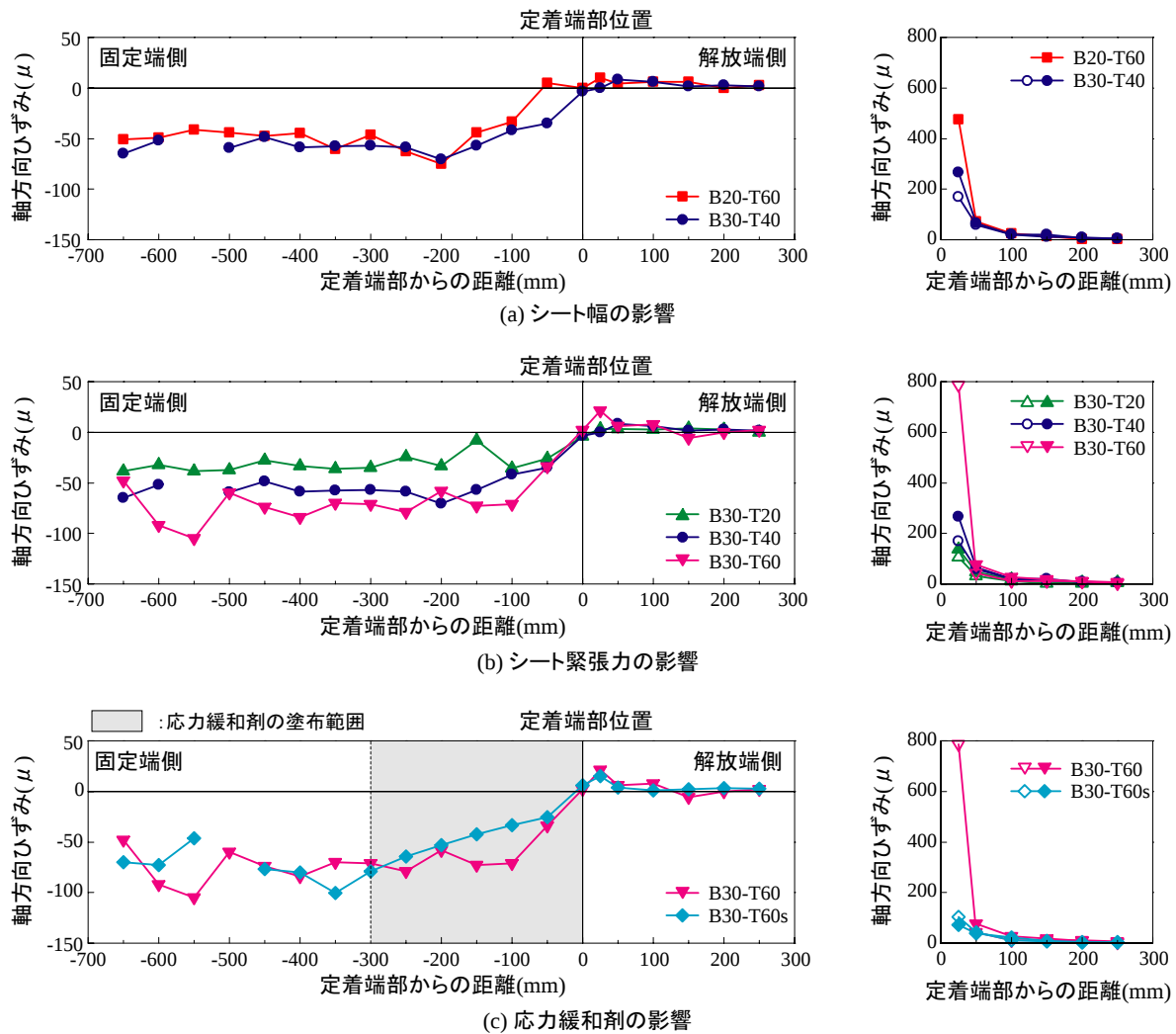


図-5 緊張力導入時における定着シートの長さ方向ひずみ分布

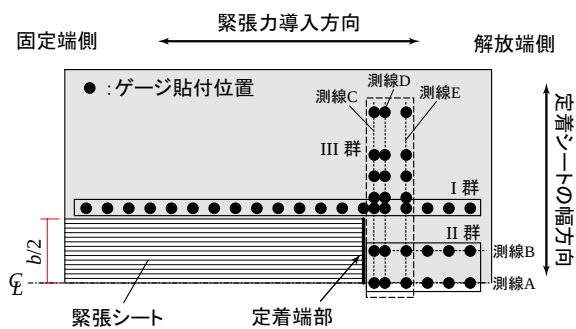


図-4 定着シートのひずみ測定位置

B30-T60/T60s 試験体の状況を示している。なお、写真中のシート上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、定着端部近傍において、緊張シートと定着シート間に浮きは認められないものの、定着シートと試験体表面との間に浮きが認められる。これは、緊張シートと定着シートの接着が良好であるため、定着端部近傍の定着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、定着端部近傍の緊張シートと定着シート間および定着シートと試験体表面の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シートを定着させる場合には、定着シートとコンクリート表面の付着に留意する必要がある。また、緊張シートの定着をより確実にを行うためには、定着端部近傍に応力緩和剤を用いる方が良い、と考えられる。

(2) 定着シートの長さ方向ひずみ分布

図-4 には、定着シート上のひずみ測定位置を示している。なお、ひずみの測定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シート軸方向ひずみの長さ方向分布を示している。図中、左側には緊張シートの側部より 25 mm 位置に貼付したひずみゲージのひずみ分布(図-4 中、I 群)を、また右側には緊張シートの定着端部より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、定着シート幅方向中央の測線 A(図中黒塗り)と $b/4$ だけ幅方向に離れた測線 B(図中白抜き)を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部近傍を除いて同様なひずみ分布性状を示していることが分かる。すなわち、緊張シートの定着端部

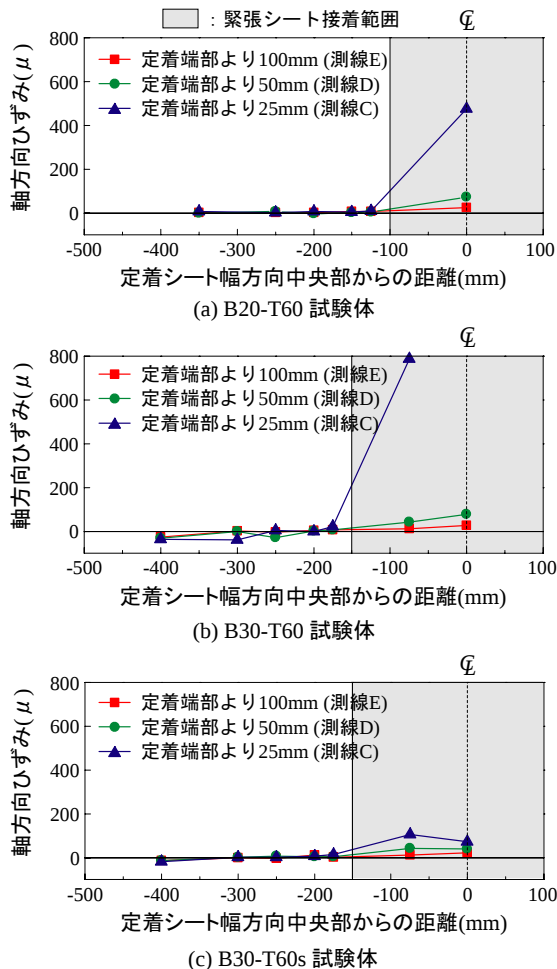


図-6 緊張力導入時における定着シートの幅方向ひずみ分布

から約 200 mm まではほぼ線形に圧縮ひずみが増大し、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、緊張シート側方 25 mm 位置での定着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、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)の結果と併せると定着シートの発生ひずみは、緊張シートの緊張力に依存することが明らかになった。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とんど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、緊張シート側方 25 mm 位置での定着シートに発生す

るひずみは定着端部から 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 の範囲内までひずみが線形的に大きくなり、緩和剤の無い 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、定着シートに発生するひずみを小さくすることが可能であることが分かる。

(3) 定着シートの幅方向ひずみ分布

図-6 には、定着端部より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、定着シート幅方向中央を 0 mm とした幅方向分布を定着端部から 25, 50, 100 mm の測線 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シートの幅方向中央部で最も大きく、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 試験体の定着シートのひずみは、B20-T60 試験体と同様に緊張シート接着範囲内で大きく、緊張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、緊張シート定着端部より解放端側の幅方向の影響範囲は緊張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。このことより、応力緩和剤を用いることで、定着シートの応力集中を抑制できると考えられる。

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、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工法の実験的に検討した。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行った。本研究で得られた知見は以下の通りである。

- 1) 本研究の範囲内では、緊張力は緊張時からほぼ 20 時間の間に減少し、その減少量は導入した緊張力の 20 % 程度である。
- 2) 定着シートに与える緊張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、緊張シート側方には 25 mm 程度以内、定着端部より解放端側では長さ方向に 50 mm 程度以内、幅方向には緊張シート幅以内である。
- 3) 応力緩和剤を併用することにより、定着シートに発生する応力を緩和し、緊張シートの定着をより確実に行うことが可能となる。