

AFRP シート緊張接着時の定着性状並びに PC 梁の補強効果に関する実験的研究

Experimental Study on Anchoring Behavior and Reinforcing Effect for PC Beams Bonding with Pre-tensioned AFRP Sheet

三上 浩 HIROSHI MIKAMI
浅井 洋 HIROSHI ASAI
中島 規道 NORIMICHI NAKAJIMA
三加 崇 TAKASHI SANGA

本研究では、アラミド繊維（AFRP）シートに緊張力を導入して接着する方法に着目して、シート端部の定着性状および PC 梁の補強効果を実験的に検討した。本研究における緊張接着工法は機械式の固定治具を用いないため、初めに緊張接着時の端部定着性状を検討した。次に、本方式で補強した PC 梁の 4 点曲げ載荷実験を実施し、補強効果を検討した。その結果、コンクリート表面を二方向アラミド繊維シートで強化することで定着が可能となること、PC 梁の曲げひび割れ発生荷重や終局耐力が大幅に向上することが明らかになった。

キーワード：アラミド繊維シート、緊張、定着システム、PC 梁、補強効果

In order to investigate anchoring behavior for concrete members and strengthened effect for flexural reinforced PC beams bonding with pre-tensioned AFRP sheet, anchoring tests and loading tests were conducted. From this study, following results are obtained; 1) proposed de-bond control method using cross-directional AFRP sheet are effective ; 2) bending crack moment and ultimate loading capacity for PC beams are considerably increased by bonding with pre-tensioned AFRP sheet.

Key Words: AFRP Sheet, Pretension, Anchoring System, PC Beam, Reinforcing Effect

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、少ないシート量で大きな補強効果を上げるために、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固定・定着させている。著者らは、このような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、シートの導入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ともに引き剥がされる現象を確認している。その破壊性状から、緊張力解放時にシートとコンクリート間の付着力が定着端部で大きくなり、コンクリートの引張破壊が生じたものと考えられる。

そこで、まず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。また、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接着用樹脂の 1/60 程度のエポキシ樹脂（以後、応力緩和剤）を接着剤として使用した場合に関する検討もあわせて行った。

次に、緊張接着法を用いて補強した PC 梁の曲げ載荷実験を行った。一般に、FRP シートを無緊張で RC 部材の引張力作用面に接着して曲げ補強を行う場合には、シートの補強効果は主として主鉄筋降伏後に発揮されることが明らかになっている。したがって、ひび割れの発生

が抑制され、かつ、高強度鋼材を用いていることにより荷重レベルが高い状態で降伏域に達する PC 部材に FRP シートを無緊張で接着する場合の補強効果の出現も、主鋼材降伏後に限定されることが推察される。

一方、緊張接着法を用いることにより、FRP シートの補強効果は初期段階より発揮されることが予想され、曲げひび割れ発生荷重の増大も期待される。しかしながら、FRP シートを緊張接着して曲げ補強した PC 梁の耐荷性状やシートの剥離性状に関する研究例は少なく²⁾、³⁾、未解明な部分も残されているのが現状である。

このような背景より、本研究では、シート緊張接着時のシート端部定着性状並びに PC 梁を緊張接着法で補強した際の補強効果を実験的に検討した。

2. 定着実験の概要

(1) 実験に用いた RC 版の概要

図-1 には、本実験に用いた RC 版の形状寸法および配筋状況を示している。形状寸法は、1,000×2,000×180mm で芯かぶり 40mm 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 115mm 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) シート補強概要

図-2 には、RC 版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的一端を固定（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 1m 四方の二方向アラミド繊維製（AFRP）シートを試験体の緊張解放側端部から 200mm の位置よりコンクリート表面に接着している。

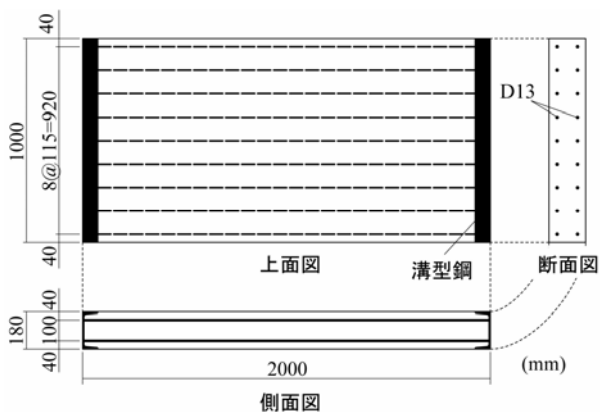


図-1 RC 版の形状寸法および配筋状況

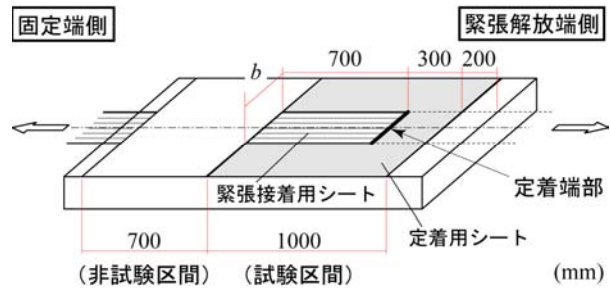


図-2 RC 版の補強概要

表-1 試験体の一覧

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

表-2 AFRP シートの力学的特性値（公称値）

シート名称 繊維目付量 (g/m^2)	保証 耐力 (kN/m)	厚さ (mm)	引張 強度 (MPa)	弾性 係数 (MPa)	破断 ひずみ (%)
緊張接着用 830	1,176	0.572	2.06	118	1.75
定着用 435/435	588/588	0.286			

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, 30cm の一方向 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 30cm 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 AFRP シートを接着している。

表-1 には、本実験の試験体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 項目は英文字 T に緊張接着用シートの導入緊張率（保証引張耐力に対する導入緊張力の割合）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 35.4MPa であった。

(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、

①RC 版の FRP シート接着部には接着性能を向上させるために、1mm 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、RC 版に定着用シートを接着する。

③緊張接着用シートと RC 版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 AFRP シートを非試験区間に接着し、緊張接着用シートと被接着部との密着度を向上させるためにエアコンプレッサを用いて試験区間内の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。

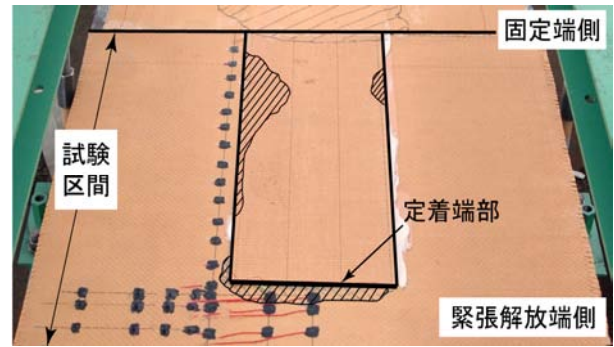
本実験では、緊張接着用シートの緊張接着時から接着硬化後のコンクリート部材へのプレストレス導入時までの緊張力をロードセルにより管理している。なお、本研究では、緊張力導入直前のロードセル値を導入緊張力としている。

3. 定着実験の結果および考察

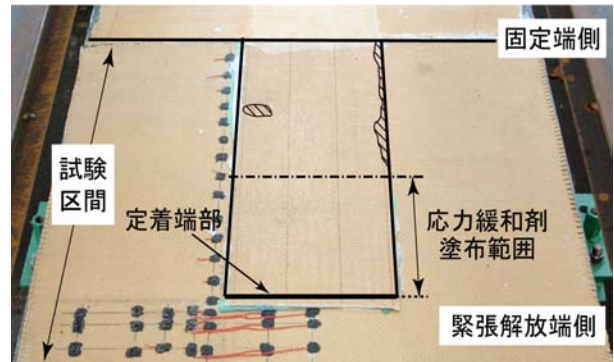
(1) 緊張力導入後における AFRP シートの定着状況

写真-1 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。ここでは、シート幅が広く、導入緊張力の大きい B30-T60/T60s 試験体の結果を示した。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。B30-T60 試験体は、定着端部近傍において、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、定着用シートとコンクリート表面間には浮きが認められる。これは、定着端部近傍の定着用シートに応力が集中し、コンクリート表面との付着が切れたためと考えられる。なお、定着端部より内側では、樹脂不足により緊張接着用シートと定着シート間で剥離がみられる。一方、B30-T60s 試験体では、定着端部近傍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コンクリート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



(a) B30-T60 試験体



(b) B30-T60s 試験体

写真-1 緊張力導入後における剥離性状

を定着させる場合には、導入緊張率が高いと応力集中が顕著となること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を行うためには、定着端部近傍に応力緩和剤を用いるほうが良いと考えられる。

(2) 定着用シートの長さ方向ひずみ分布

図-3 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-4 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 25mm 位置に貼付したひずみゲージ（図-3 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-3 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-4 中黒塗り）と $b/4$ だけ幅方向に離れた測線 B（図-4 中白抜き）の結果もあわせて示している。

図-4 (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を示していることが分かる。すなわち、緊張接着用

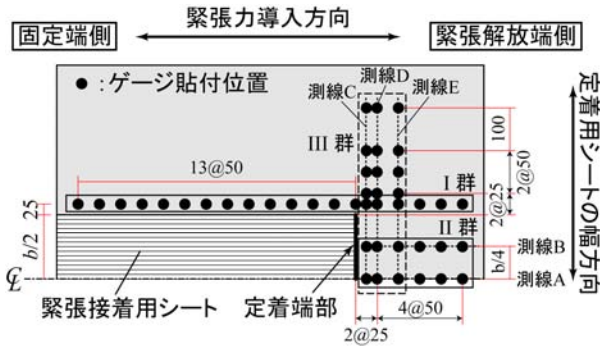


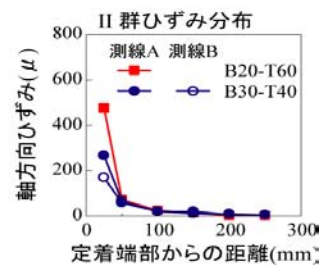
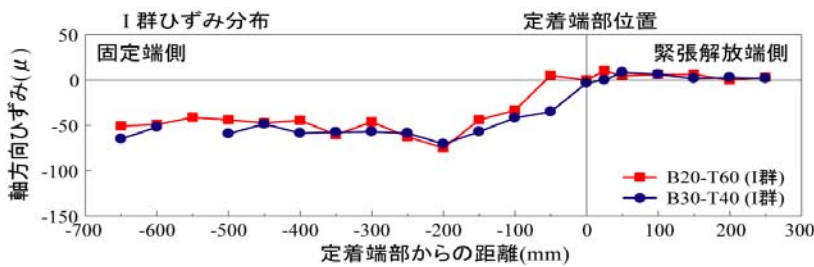
図-3 定着用シートのひずみ測定位置

シートの定着端部から固定端側に約 200mm 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 25mm の位置でひずみが最も大きく示され、100mm の位置でほぼ零に収束していることが分かる。

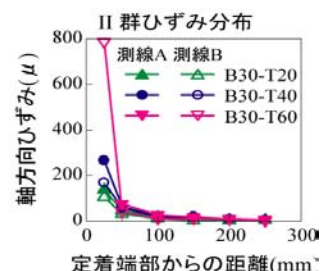
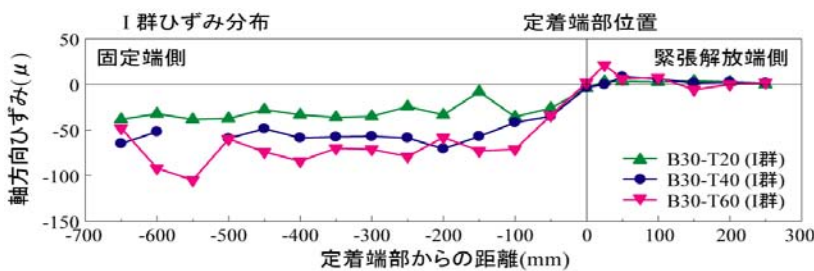
図-4 (b) には、緊張接着用シートの幅が等しく、緊張力の異なる B30-T20/T40/T60 試験体の結果を比較して示している。左図より、緊張接着用シート側方 25mm 位置での定着用シートのひずみ分布性状は図-4 (a) と大略同様であり、定着端部より固定端側では圧縮ひずみ

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-4 (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 25mm 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、100mm 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。

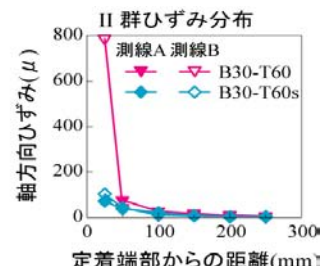
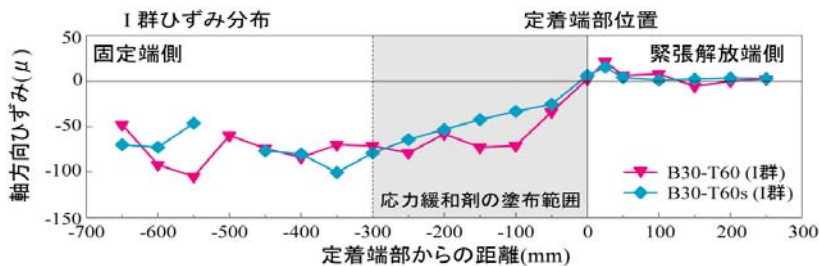
図-4 (c) には、応力緩和剤の有無の影響を検討するため、B30-T60/T60s 試験体の結果を比較して示している。左図より、緊張接着用シート側方 25mm 位置での定着用シートに発生するひずみは、定着端部から固定端側に 300mm 以上離れた区間では、緩和剤の有無にかかわらずほぼ同等であることが分かる。しかしながら、B30-T60s 試験体では、定着端部から応力緩和剤を塗布した 300mm の範囲内までは、ひずみが線形的な増加傾向を示し、緩和剤を塗布しない B30-T60 試験体に比べて全般的にひずみは小さいことが分かる。また、右図より、B30-T60 試験体では定着端部より 25mm の位置で約 800 μ のひずみが発生しているのに対して、B30-T60s 試



(a) シート幅の影響



(b) シート緊張力の影響



(c) 応力緩和剤の影響

図-4 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

験体では最大でも 100μ 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-5 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-3 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 0mm とした幅方向分布を定着端部から $25, 50, 100\text{mm}$ 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 20cm の B20-T60 試験体, シート幅が 30cm の B30-T60/T60s 試験体の結果を示している。

図-5 (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, また, 定着端部より 25mm の位置で最大であり, 100mm の位置では 50μ 程度以下と小さいことが分かる。図-5 (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 25mm の位置で約 800μ のひずみが発生している。一方, 定着端部より 100mm 離れた位置では 50μ 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 50mm 程度以下と狭いことが明らかになった。

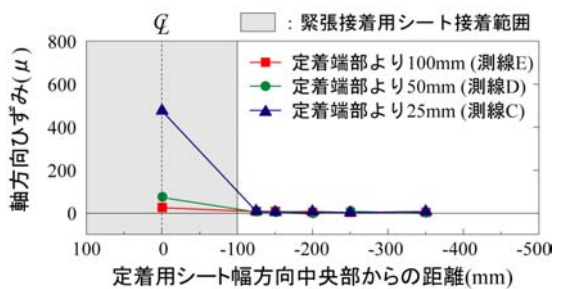
図-5 (b), (c) より, 応力緩和剤の有無に着目すると, B30-T60 試験体の発生ひずみが最大 800μ であるのに対し, B30-T60s 試験体では最大ひずみが 100μ 程度である。これは, 緊張接着用シート定着端部における応力集中が緩和され, 応力の均等化が促進されたことによるものと推察される。このことより, 応力緩和剤を用いることで, 定着用シートの応力集中を効率よく抑制できることが明らかになった。

以上, AFRP シート緊張接着時におけるシート端部の定着性状に関する実験的検討から以下のことが明らかになった。すなわち,

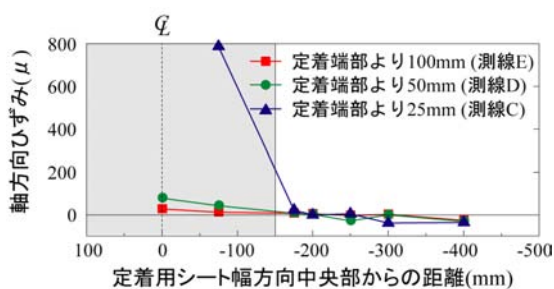
① 緊張接着用シートの定着端部に無緊張の二方向 AFRP シートを接着することにより, 幅 30cm 程度のシートまでは定着治具を用いることなく定着可能である。

② 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大略 25mm 程度以内, 定着端部より緊張解放端側では長さ方向に 50mm 程度以内, 幅方向には緊張接着用シート幅以内である。

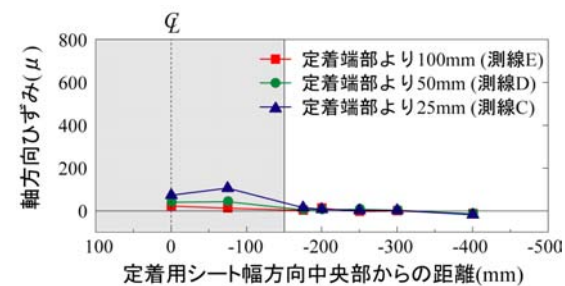
③ 応力緩和剤を使用することにより, 定着用シートに発生する応力集中を緩和し, 緊張接着用シートの定着をより確実にを行うことが可能となる。



(a) B20-T60 試験体



(b) B30-T60 試験体



(c) B30-T60s 試験体

図-5 緊張力導入時における定着用シートの軸方向ひずみ分布(III群)

4. PC 梁の曲げ載荷実験の概要

(1) 試験体の概要

表-3 には, 本実験に用いた試験体の一覧を示している。試験体数は, 無補強試験体を含めて曲げ補強シートのシート幅を 3 種類, シートの導入緊張率を 3 種類に変化させた全 9 体である。ここで, 緊張率は曲げ補強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。なお, シートの導入緊張率は道路橋示方書に示されている PC 鋼材の許容引張強度を参考に, 最大緊張率をシート引張強度の 60% とした。表中, 試験体名の第 1 項目は英文字 T とともに導入緊張率 (%) を, 第 2 項目は英文字 S とともにシート幅 (cm) を示している。なお, N は無補強試験体である。

図-6 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

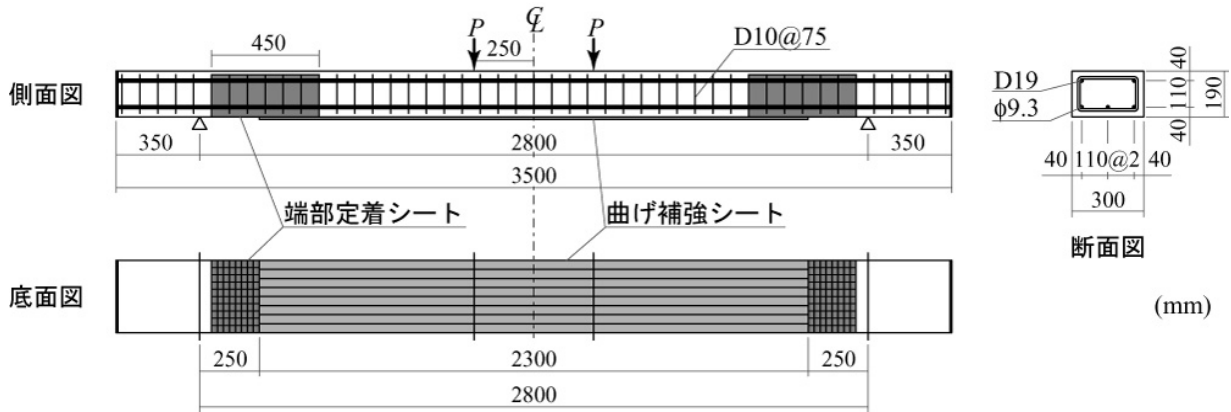


図-6 試験体の形状寸法および配筋状況(-S30 試験体)

表-3 曲げ載荷実験試験体一覧

試験体名	シートへの 導入緊張率*	実測 導入緊張率*	シート幅 (mm)
N	-	-	-
T0-S10	0%	0%	100
T0-S20	0%	0%	200
T0-S30	0%	0%	300
T30-S10	30% (35.3)	24.9% (29.3)	100
T30-S20	30% (70.6)	28.1% (66.2)	200
T30-S30	30% (105.8)	24.3% (85.7)	300
T60-S10	60% (70.6)	55.3% (65.0)	100
T60-S20	60% (141.1)	54.7% (128.7)	200

*() 内は導入緊張力(kN)

(梁幅×梁高) が 30×19 cm、純スパン長が 2.8 m の PC 梁である。下端鋼材には、PC 鋼より線φ9.3 を 3 本、上端筋には D19 を 2 本配置している。なお、PC 鋼より線の緊張力は、有効緊張力が引張強度の 60% となるようにプレテンション方式で導入した。

曲げ補強シートは、所定の幅の AFRP シート(目付量 830g/m²) を梁中央部から両支点の 250mm 手前までの範囲に接着している。なお、本実験において、緊張力を導入したシートを接着する場合には、シートがかぶりコンクリートとともに接着端部から引き剥がされる可能性があるため、あらかじめ両支点から 50~500 mm の範囲に二方向 AFRP シート (目付量 435/435g/m²) を U 字形に接着させ、曲げ補強シート端部に発生する応力集中を緩和させることとした。

表-4 には、本実験に用いた PC 鋼より線の材料特性値を示している。なお、用いたシートの力学的特性値を表-2 に示している。コンクリートの圧縮強度は T30-S10 試験体の場合が 70.1MPa、その他の試験体の場合が

表-4 鋼材の力学的特性値

鋼材種類	線径	降伏強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
SWPR7AN	φ 9.3	1,647	1,879	191.2

66.3MPa であった。

(2) シート緊張力の導入方法

シート緊張力の導入方法は、前節の定着性状の検討と同様とした。ただし、本実験では応力緩和剤は用いていない。なお、実験ではシートへの緊張力導入時から油圧ジャッキを解放して PC 梁に緊張力を導入するまでをロードセルを用いて管理し、PC 梁に緊張力を導入する直前の値を実測導入緊張力として評価している。

(3) PC 梁の曲げ載荷実験結果および考察

図-7 には、各試験体の荷重-変位関係を計算結果と比較して示している。図中の計算結果は、表-3 の実測導入緊張率を用いて、示方書⁴⁾に準拠した平面保持を仮定した断面分割法により算出している。また、計算の終局は上縁コンクリートのひずみが 3,500μ に到達するまで、もしくは下縁のひずみが曲げ補強シートの破断ひずみである 17,500μ に達するまでとしている。表-5 には、図-7 より得られる実験結果と計算結果を一覧にして示している。表中の各荷重は、荷重-変位関係の勾配(以後、剛性勾配) 変化点を示している。剛性勾配変化点は、載荷初期から順にひび割れ荷重、1 次降伏荷重、2 次降伏荷重としている。なお、2 次降伏点は実験の剛性勾配変化点の判断が難しいため記載していない。

図-7(a) より、N 試験体の計算結果を見ると、曲げひび割れ発生時点および PC 鋼より線の 1 次降伏点において、剛性勾配の変化が大きいことが分かる。しかしながら、2 次降伏点が剛性勾配の変化に与える影響は顕著で

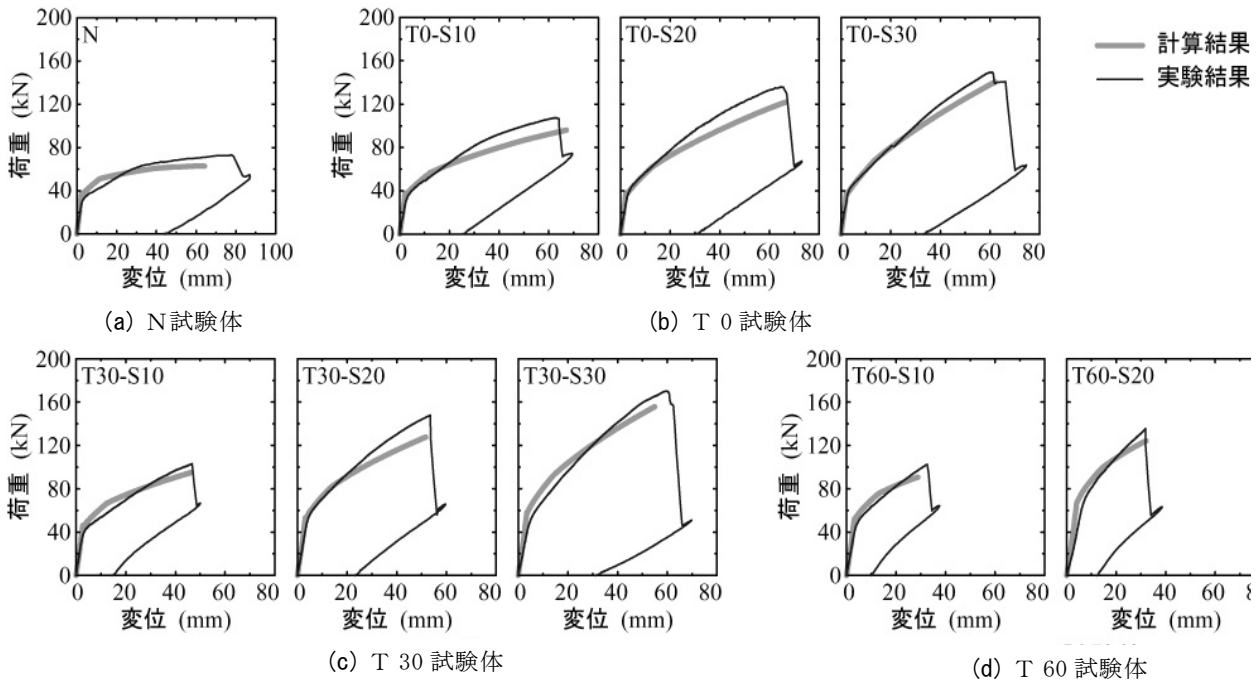


図-7 荷重-変位関係

表-5 計算結果および実験結果の一覧

試験体名	計算結果							実験結果						
	ひび割れ荷重		1次降伏荷重		最大荷重		破壊性状	ひび割れ荷重		1次降伏荷重		最大荷重		破壊性状
	荷重 P_{cc} (kN)	変位 δ_{cc} (mm)	荷重 P_{y1c} (kN)	変位 δ_{y1c} (mm)	荷重 P_{uc} (kN)	変位 δ_{uc} (mm)		荷重 P_{ce} (kN)	変位 δ_{ce} (mm)	荷重 P_{y1e} (kN)	変位 δ_{y1e} (mm)	荷重 P_{ue} (kN)	変位 δ_{ue} (mm)	
N	37.5	2.2	51.0	11.5	62.8	64.2	圧壊*	30.2	2.7	60.6	29.1	73.1	77.6	圧壊*
T0-S10	37.8	2.2	56.7	12.4	96.0	67.1	破断	31.6	2.7	61.6	17.5	107.5	63.1	剥離
T0-S20	38.0	2.2	62.9	13.3	121.7	66.2	圧壊*	36.5	2.9	72.7	17.8	135.9	64.7	剥離
T0-S30	38.2	2.2	68.4	13.7	140.4	62.0	圧壊*	36.6	2.7	77.4	18.4	149.5	60.7	剥離
T30-S10	41.7	2.4	61.8	12.4	95.8	55.9	破断	42.8	4.0	63.0	15.8	103.1	46.7	破断
T30-S20	52.5	3.2	81.6	13.7	127.7	51.6	破断	49.2	3.9	112.7	29.3	148.0	53.5	破断
T30-S30	57.7	3.4	93.0	14.4	155.7	54.9	圧壊*	50.6	4.9	121.6	30.4	170.3	59.7	圧壊**
T60-S10	52.2	3.2	75.6	13.0	90.7	28.8	破断	42.1	3.5	82.6	20.2	102.6	32.6	破断
T60-S20	66.8	4.1	99.5	14.5	124.4	32.1	破断	61.5	6.1	99.6	16.3	135.4	31.9	破断

*: 上縁コンクリートの圧縮破壊, **: 上縁コンクリート圧壊後にシート剥離

はない。一方、実験結果は曲げひび割れ発生後に剛性勾配が大きく低下し、その後1次降伏点ですらに低下している。しかしながら、計算結果と同様に実験結果においても明確な2次降伏点を確認することはできない。

図-7(b)より、緊張力を導入しない T0 試験体の計算結果から、シート幅にかかわらず、ひび割れ発生荷重は類似の値であることが分かる。ひび割れ発生荷重以降で、シート幅が広く補強量が多いほど剛性勾配、荷重が大きく示されていることから、ひび割れ発生荷重以降にシートの補強効果が出現していることが分かる。なお、計算結果は T0-S10 試験体ではシート破断、T0-S20/S30 試験

体では上縁コンクリートの圧壊により終局に至っている。また、実験結果を見ると、ひび割れ発生荷重から計算結果の1次降伏点までは計算結果と良く対応していることが分かる。しかしながら、計算結果の1次降伏点以降では、実験結果の剛性勾配の低下が小さく計算荷重を上回る状態で荷重、変位が増大している。最終的にはほぼ計算終局変位に対応した時点で等せん断区間下縁かぶり部のピーリング作用によるシート剥離で終局に至っている。

図-7(c)より、導入緊張率が約30%の T30 試験体の計算結果においては、初期勾配は同等であるものの、ひび割れ発生荷重以降にシート幅の影響が出現し、変位の

増加とともにその差異が拡大する傾向にあることが分かる。また、計算結果の終局は T30-S10/S20 試験体でシート破断、T30-S30 試験体でコンクリートの圧壊となっている。実験結果においては、ひび割れ発生荷重は計算結果と同程度を示し、その後1次降伏点までの勾配を維持した状態で荷重と変位が増大し、計算結果を上回った後に剛性勾配が低下して終局に至っている。なお、T30-S10/S20 試験体はシート破断、T30-S30 試験体は上縁コンクリートの圧壊後にシート剥離により終局に至っており、計算結果の破壊性状と良好に対応している。

図-7(d)より、導入緊張率が約60%のT60試験体の計算結果において、ひび割れ発生時点までの勾配はS10/S20試験体で類似であるものの、ひび割れ発生荷重および変位はシート幅によって大きく異なっている。また、第2勾配、第3勾配はシート幅の増加とともに増大し、両者の差が拡大する傾向にあることが分かる。なお、計算結果の終局はいずれもシート破断である。実験結果のひび割れ発生荷重および剛性勾配は計算結果よりも若干小さいものの、1次降伏点はほぼ対応している。最終的には計算終局変位と同程度の時点において第2勾配を保持した状態で計算結果と同様にシート破断により終局に至っている。

以上より、実験結果は荷重初期から1次降伏点までは計算結果とほぼ対応するものの、計算結果の1次降伏後も勾配は低下せず、荷重と変位が増大する傾向にある。しかしながら、断面分割法を用いることでAFRPシートを緊張して接着したPC梁試験体の終局状態をおおむね予測することが可能であることが明らかになった。

5. 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、応力緩和剤を使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とおりである。

- ①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30cm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。
- ②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大略25mm程度以内、定着端部より緊張解放端側では長さ方向に

50mm程度以内、幅方向には緊張接着用シート幅以内である。

- ③応力緩和剤を使用することにより、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を行うことが可能となる。

また、PC梁にAFRPシートを緊張接着した際の補強効果を検討することを目的として、緊張率やシート幅を変化させて曲げ載荷実験を実施した。本実験により得られた結果をまとめると以下のとおりである。

- ④AFRPシートを緊張して接着したPC梁の耐荷性状および破壊形式は断面分割法で大略評価可能である。
- ⑤同じ緊張率の場合、シート幅が大きいほどひび割れ発生荷重や最大荷重が増加する傾向にあるが、緊張率が大きくなると初期導入ひずみが大きくなるため、小さな変位でシート破断しやすくなる。

以上、本研究の結果から、少ないシート量でより大きな補強効果を上げる緊張接着工法が簡易な定着システムの基で施工可能であることが示唆された。今後は、実用化に向けた適用検討を進める予定である。

謝辞：本研究を遂行するに当たり、室蘭工業大学建設システム工学科の岸徳光教授並びに博士研究員の澤田純之氏と構造力学研究室の諸君に多大なるご支援を頂きました。記して謝意を表します。

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
- 2) 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
- 3) 中島規道, 三上 浩, 藤田 学, 田村富雄: アラミド繊維シートを緊張接着したRC梁の曲げ耐荷性状, 土木学会第59回年次学術講演会, pp.619-620, 2004.9
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書【構造性能照査編】, 土木学会, 2002.