

緊張力を導入した AFRP シート曲げ補強 PC 梁の耐荷性状に与える定着面の影響

Effect of bonding surface on load-carrying capacity of flexural reinforced PC beams with pre-tensioned AFRP sheet

室蘭工業大学 ○正会員 澤田 純之 (Sumiyuki Sawada)
 室蘭工業大学 フェロー 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)
 三井住友建設 (株) フェロー 三上 浩 (Hiroshi Mikami)
 三井住友建設 (株) 正会員 藤田 学 (Manabu Fujita)

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、連続繊維シート (FRP シート) を用いた接着工法が盛んに採用されている。本工法は、他の補強工法に比較して補強後の死荷重の増加が少なく、橋梁上部工の補強工法として有効な工法である。

著者らは、アラミド繊維製の FRP シート (以後、AFRP シート) を用いた RC/PC 構造物のより効率的な補強工法の確立を目的として、シートに緊張力を導入した状態で接着する工法 (緊張接着工法) に着目して検討を実施してきた^{1),2)}。その結果、1) 緊張力を導入して接着する曲げ補強シート (以後、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 (以後、定着用シート) を接着することにより、定着治具を用いることなく定着可能であること、2) 緊張接着用シートの緊張率が大きくなると初期導入

ひずみが大きくなり、小さな変位でシート破断しやすくなること、等を明らかにしている。

実構造物に緊張接着工法を採用する場合、RC 構造物への補強後に更に再補強することも考えられる。このような場合には、先に接着したシートを定着用シートとして活用することも考えられる。そのため、緊張接着用シートの定着面の違いが AFRP シート緊張接着 PC 梁の耐荷性状に与える影響の検討が必要であると考えられる。

このような観点より、本研究では、AFRP シート緊張接着 PC 梁の耐荷性状に与えるシート定着面の影響に関する検討を目的に、緊張接着用シート接着面の定着用シートの接着範囲を変化させた PC 梁を対象に、緊張接着用シートの幅を 3 種類に変化させた PC 梁を用いて静的 4 点曲げ載荷実験を実施した。

2. 実験概要

2.1 試験体の概要

表-1には、本実験に用いた試験体の一覧を示している。試験体数は、定着用シートの定着方法を 2 種類とし、シート幅をそれぞれ 3 種類に変化させた全 6 体である。緊張接着用シートには保証耐力が 1,176 kN/m (目付量: 830 g/m²) の AFRP シートを用い、目標導入緊張率を 40% として緊張力を導入している。表中、試験体名は定着用シートの接着範囲 (A: 全面接着, P: 端部のみ接着) を示し、それに付随する数値はシート幅 (cm) を示している。

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。試験体の寸法は、いずれ

表-1 試験体一覧

試験体名	定着用シート接着範囲	シート幅 b (mm)	目標導入緊張率*	実測導入緊張率*	実測初期導入ひずみ
A20	全面接着	200	40% (94.1)	37.0% (87.3)	6,459
A25		250	40% (117.6)	39.0% (114.7)	6,808
A30		300	40% (141.1)	38.4% (135.3)	6,704
P20	端部のみ接着	200	40% (94.1)	38.1% (89.2)	6,651
P25		250	40% (117.6)	40.7% (119.6)	7,105
P30		300	40% (141.1)	31.4% (110.8)	5,482

* () 内は導入緊張力 (kN)

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*	588*	0.286*			

* 1 方向当りの値

表-3 鋼材の力学的特性値

鋼材名称	材質	降伏強度 f_y (MPa)	引張強度 f_u (MPa)	弾性係数 (GPa)
D22	SD345	393	548	200
ϕ 12.7	SWPR7BL	1,722*	1,955	193

* 0.2% 永久伸びに対する応力

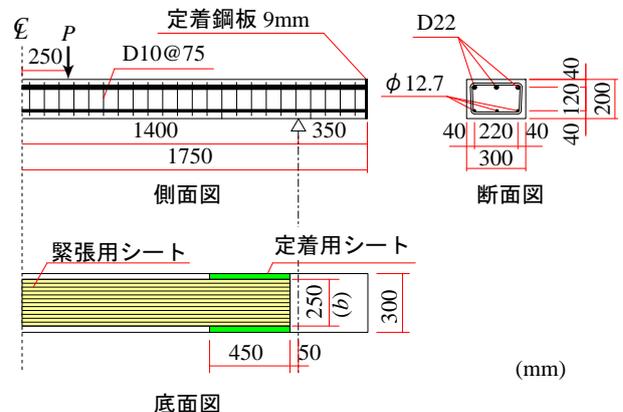


図-1 試験体の概要 (P25 試験体)

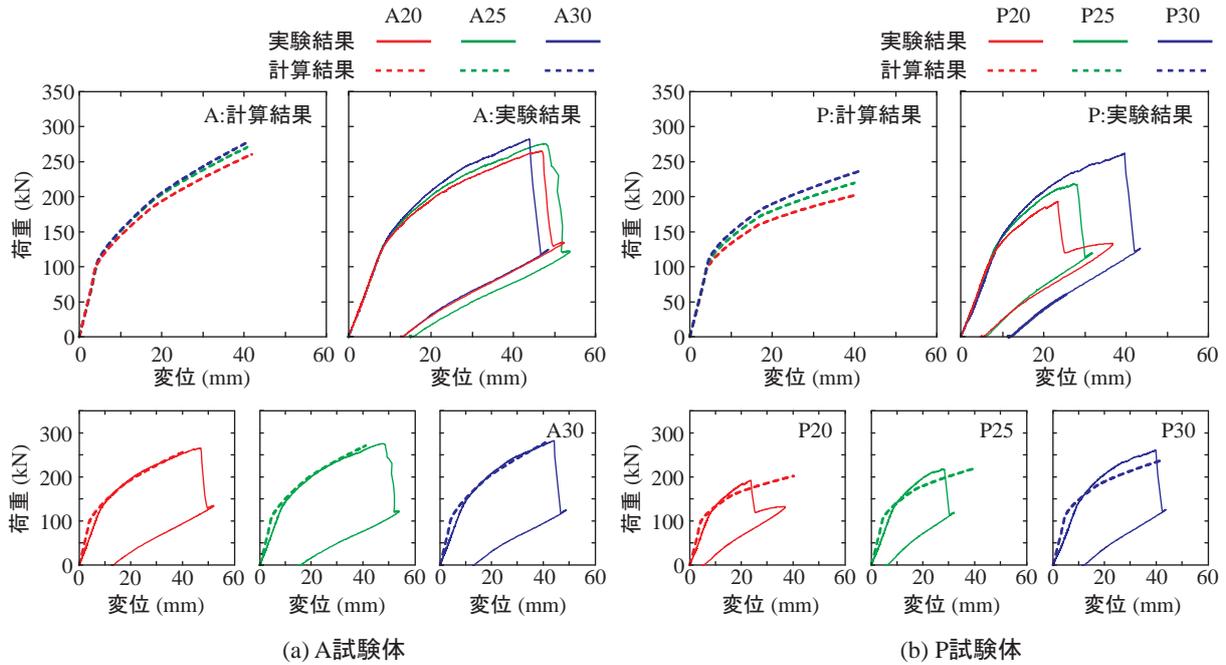


図-3 荷重-変位関係

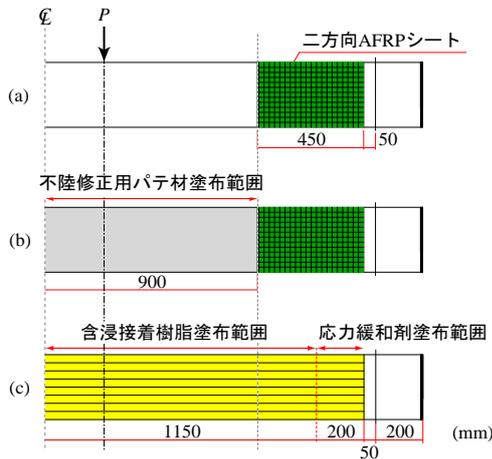


図-2 シート接着時における底面の状況モデル

の試験体も同一であり、梁幅×梁高が300×200、純スパン長が2,800 mmである。また、荷重幅は500 mmであり、せん断スパン比は7.2となっている。下端鋼材には、いずれの試験体もφ12.7のPC鋼より線を3本配置しており、主鋼材比は0.62%となっている。試験体には、PC鋼より線の有効緊張力が引張強度 f_u の60%となるようにプレテンション方式で緊張力を導入している。なお、せん断ひび割れが発生しないように、帯鉄筋としてD10を75 mm間隔で配置している。

緊張接着用シートは、梁中央部から両支点の50 mm手前までの範囲に接着している。なお、本研究では、道路橋示方書³⁾に準拠したPC鋼より線の定着長を考慮し、支点外側の張出し長さを拡張している。なお、表-2、3にはAFRPシートおよび鋼材の力学的特性値を示している。なお、実験時のコンクリートの平均圧縮強度は63.0 MPaであった。

2.2 緊張接着用シートの接着方法

本実験に用いた試験体の緊張接着用シートは以下の手

順により製作している。既往の研究を参考に、緊張接着用シートにより確実な定着を行うために、二方向AFRPシートや応力緩和材も使用している。なお、図-2には、シート接着工程途中における底面の状況をモデル化したものである。

- (1) PC梁底面のシート接着範囲にショットブラスト処理を施し、プライマーを塗布する、
- (2) プレストレスによるPC梁の反り部分を不陸修正用パテ材を用いて平滑化する、
- (3) 緊張接着用シートの応力を緩和するため、A試験体では接着面の全面、P試験体では両支点より50～500 mmの範囲に二方向AFRPシートを接着する、
- (4) 二方向AFRPシート間に形成された段差をパテ材を用いて埋め、平滑化する、
- (5) 緊張接着用シートを含浸接着樹脂(以後、単に樹脂)を用いてプレキャスト化し、樹脂の硬化後に約1日所定の緊張力を導入してなじませる、
- (6) シート接着範囲に、樹脂を塗布し、緊張接着用シートに所定の緊張力を導入後、上面より圧着させる。なお、定着範囲の両端部200 mmには応力緩和材を用いる、
- (7) 樹脂の硬化後、緊張力を解放することにより試験体に緊張力を導入する、

である。

3. 実験結果

3.1 荷重-変位関係

図-3には、各試験体の荷重-変位関係を示している。図には、各試験体ごとに計算結果および実験結果同士の比較図、個々の試験体に関する計算結果と実験結果の比較図、を示している。なお、図中の計算結果はコンクリート標準示方書³⁾に準拠し、平面保持を仮定した断面分割法に

表-4 実験結果および計算結果の一覧

試験体名	計算結果					実験結果					
	ひび割れ発生時		最大荷重時		破壊性状	ひび割れ発生時		最大荷重時		最大発生ひずみ (μ)	破壊性状
	荷重 P_{cc} (kN)	変位 δ_{cc} (mm)	荷重 P_{uc} (kN)	変位 δ_{uc} (mm)		荷重 P_{ce} (kN)	変位 δ_{ce} (mm)	荷重 P_{ue} (kN)	変位 δ_{ue} (mm)		
A20	97.9	3.9	260.6	41.9		圧壊	122.0	8.0	265.3		
A25	105.0	4.3	270.7	40.8	圧壊	127.4	8.1	275.6	47.7	11,692	圧壊後シート破断
A30	103.3	4.2	277.5	40.7	圧壊	131.0	8.4	282.3	44.0	10,041	圧壊後シート破断
P20	96.7	4.0	202.1	40.1	シート破断	104.2	7.0	192.6	23.5	5,362	シート破断
P25	103.0	4.3	219.5	40.0	シート破断	121.9	8.1	217.2	28.2	9,894	シート破断
P30	108.9	4.5	237.0	41.4	圧壊	133.3	9.1	260.8	39.6	10,763	シート破断

圧壊：上縁コンクリートの圧壊

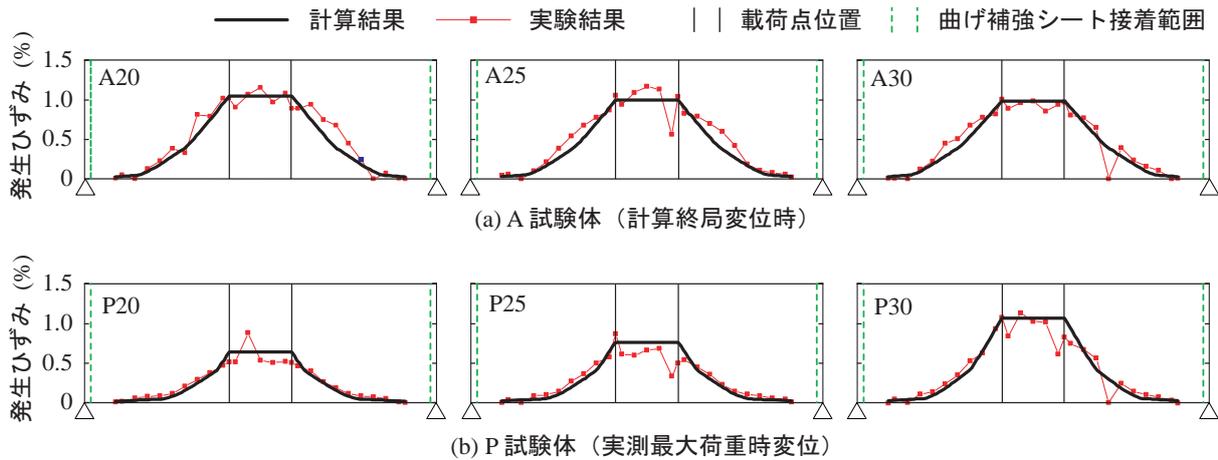


図-4 各変位時におけるAFRPシートの軸方向ひずみ分布

より算出している。なお、計算の終局は、上縁のひずみがコンクリートの圧壊ひずみ (3.500μ) もしくは、下縁ひずみがシートの破断ひずみ (17500μ) に達した時点とした。

図-3(a)より、全面に定着用シートを接着したA試験体では、計算結果の比較図を見ると、荷重初期よりひび割れ発生に伴う勾配変化点までは良く一致している。ひび割れ発生後には、シート幅が大きいほど剛性勾配が大きく示される。また、実験結果の比較図より計算結果と同様、ひび割れ発生時までは非常に良く一致しており、ひび割れ発生後に剛性勾配の違いが見られる。また、実験結果もシート幅が大きい程勾配が大きく、計算結果の傾向と一致している。個々の試験体に関する比較図より、荷重初期の勾配は計算結果で大きく示されているものの、ひび割れ発生後の勾配は良く一致している事が分かる。

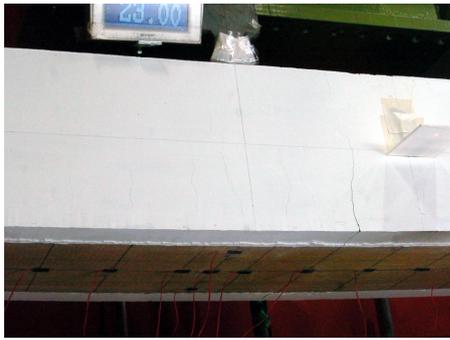
図-3(b)より、緊張接着用シート接着面の両端部のみに定着用シートを用いたP試験体の場合には、計算結果の比較図より計算結果はA試験体と同様の傾向が見られる。しかしながら、実験結果の比較図を見ると、A20, A25試験体で計算結果よりも小さい変形状況でシート破断により終局に至っている。また、個々の試験体の比較図より、初期剛性は計算結果の剛性が高く示され、ひび割れ発生後においては実験結果の剛性勾配が大きく示されており、最終的にはいずれもシート破断により終局に至っている。

表-4には、図-3より得られる実験および計算結果の一覧を示している。表には、計算および実験結果のひび割れ発生時、最大荷重時の荷重値、変位値、終局時の破壊性状および実験時における最大発生ひずみを示している。なお、計算におけるひび割れ発生時は荷重初期の勾配変化点で示されることより、実験結果も同様の傾向が見られるとして初期勾配からの勾配変化点をひび割れ発生時と評価した。

表より、A試験体はいずれも計算結果を満足した後にシート破断していることより、断面分割法で十分評価可能であることが分かる。一方、P試験体は、実測最大荷重と計算最大荷重はほぼ同程度であるものの、変位が小さい状態でシート破断に至っている。ここで、P20試験体の最大発生ひずみは $5,400\mu$ である。実測の初期導入ひずみが $6,600\mu$ であることを考慮しても、 $12,000\mu$ 程度で破断している事となる。これは、緊張接着用シート定着時における要因が起因している可能性が考えられる。

3.2 AFRPシートの軸方向ひずみ分布性状

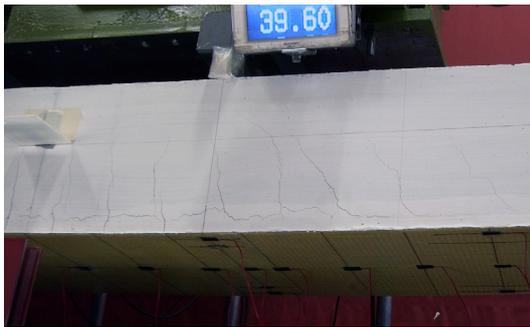
図-4には、各変位時におけるAFRPシートの軸方向ひずみ分布性状を示している。図には、計算結果を満足したA試験体は計算終局変位時、計算結果を満足せずに終局に至ったP試験体は実測最大荷重時変位の分布を比較して示している。



(a) P20 試験体(シート破断直前)



(b) P20 試験体(シート破断後)



(c) P30 試験体 (シート破断直前)

写真-1 シート破断近傍における梁下縁部におけるひび割れ性状

A 試験体のひずみ分布より、いずれの試験体においても発生ひずみは計算結果と概ね対応している。このことより、緊張接着用シートの接着面全面に定着用シートを接着した場合には、シート幅にかかわらず断面分割法で評価可能である。一方、計算終局変位到達前にシート破断により終局に至った P 試験体においても、同一変位時には計算結果と同様の値を示しており、破断する傾向にはないことが分かる。

3.3 破壊性状

写真-1 には、シート破断近傍における梁下縁部におけるひび割れ性状を示している。写真には、計算終局変位より小さい変位でシート破断に至った P20 試験体のシート破

断前後、および計算終局変位と同程度まで変形した P30 試験体の状況を示している。写真-1(a)より、シート破断直前の A20 試験体の下縁かぶり部には、下縁まで進展する一本の曲げひび割れが確認できる。写真-1(b)では、そのひび割れの直下のシートが破断していることが分かる。また、写真-1(a)の破断に進展した曲げひび割れ以外の曲げひび割れは確認できない。これらのことから、このシート破断は、ひび割れの開口に伴う応力集中、や初期導入ひずみ等の要因が重なった事によるものと考えられる。

写真-1(c)より、終局時におけるシート破断直前の状況を見ると、載荷点近傍の下縁かぶり部に斜めひび割れの発生が見られるものの、パテ材付近で梁軸方向に進展するひび割れが確認できる。パテ材部分には曲げひび割れが若干見られるものの、斜めひび割れの進展は見られない。このことから、パテ材を用いてシート補強を行う際には、シートとパテ材が一体となり補強効果を発揮することに留意する必要がある。

4. まとめ

本研究では、AFRP シート緊張接着 PC 梁の耐荷性状に与える緊張接着用シート接着面の影響に関する検討を実施するため、定着用シートの接着範囲を緊張接着用シートの全面あるいは端部のみ、とした AFRP シート緊張接着 PC 梁に関する静載荷実験を実施した。本研究で得られた知見をまとめると以下の通りである。

- (1) 緊張接着用シートを PC 梁に接着する場合には、定着用シートおよび応力緩和剤を併用することにより、十分な定着を確保出来る。
- (2) 緊張接着用シートの定着用シートを梁全面に接着する場合には、十分な定着を確保可能である。また、その耐荷性状は断面分割法を用いて大略評価が可能である。
- (3) 緊張接着用シートの接着にパテ材を用いる場合には、AFRP シートと一体となって効果を発揮することに留意する必要がある。

参考文献

- 1) 岸徳光, 三上浩, 藤田学, 澤田純之: AFRP シートを緊張接着して曲げ補強した PC 梁の静載荷実験, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.3, pp.1507-1512, 2007.7
- 2) 池田聡, 岸徳光, 三上浩, 張広鋒: 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, Vol.29, No.3, pp.1501-1506, 2007.7
- 3) 土木学会: コンクリート標準示方書 (2002 年制定) 構造性能照査編, 2002.