

論文 アラミド繊維シートの端部定着に関する研究

堀越 貴子^{*1}・金久保 利之^{*2}・佐野 正^{*3}・谷垣 正治^{*4}

要旨：本研究では、床付梁や壁付柱等における入隅部での連続繊維シートの定着に着目し、アラミド繊維を鋼製アングルとアンカーボルトにより定着した場合の定着強度、変形能を把握することを目的とした要素実験を行った。その結果、アングルのリブ補強、シート貼付面でのアンカーボルト定着は定着強度増加に有効であり、本工法によるシート定着能力は50kN/80mm程度であることが分かった。また、炭素繊維シートについて提案されている定着強度推定方法による計算値を介して定着強度の比較を行った結果、炭素繊維シートの場合と同等の定着強度を有していることが確認された。

キーワード：アラミド、定着、アングル、アンカーボルト、リブ、剛性

1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート構造物を連続繊維シートにより補強する耐震補強工法が注目されており、床付き梁や壁付き柱等、入隅部の定着に工夫を凝らした工法も開発、研究されている。炭素繊維シート（以下、CFRPシート）については、入隅部におけるシート端部定着については種々の方法が提案され、数多くの成果が報告されているが^{1)~5)}、アラミド繊維シート（以下、AFRPシート）については未だ限られている。本研究ではAFRPシート、アンカーボルト、アングル材を使用した、汎用性のある定着方法に着目し、アングル材の剛性、アンカーボルトの径、アラミド繊維の種類、目付量等を変動要因として定着実験を行い、その基礎性状を得ることを目的としている。特にアラミド繊維はコーナー部（曲がり部）の破断強度低下割合が炭素繊維の場合に比較して小さいので、シートをアングル材のシート軸直交方向まで巻き込んだ定着方法をベースとし、終局時の強度、変形能力の向上を期待した。また、CFRPシートの定着実験をもとに提案されている、アングルおよびアンカーボルトを線材にモデル化した定着強度

推定方法⁴⁾による強度計算値と本実験結果の対応を検討し、同様な定着方法によるAFRPシートの定着強度とCFRPシートの定着強度を比較する。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体は図-1に示すようなL字型の形状のもの⁴⁾で、壁付柱またはスラブ付梁にAFRPシートを巻き付け、その端部をアングルとアンカ

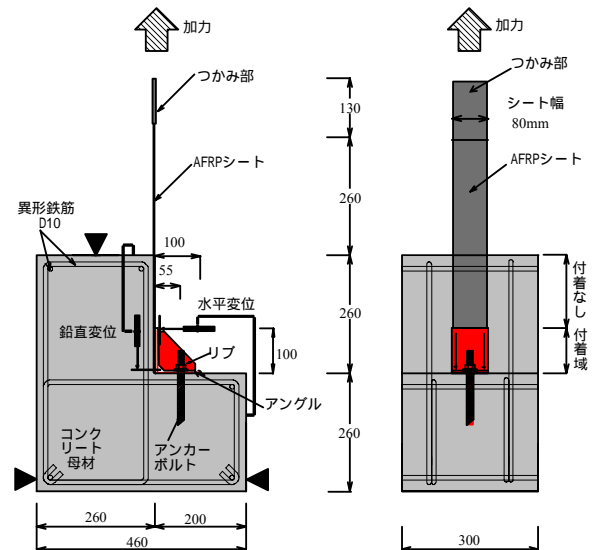


図-1 試験体概要

*1 筑波大学工学システム学類（正会員）
 *2 筑波大学機能工学系講師 博士（工学）（正会員）
 *3 ショーボンド建設（株）補修工学研究所（正会員）
 *4 三井建設（株）技術研究所（正会員）

ーボルトを用いて定着したものを想定している。部材にせん断力が加わったときにシートが引張力を受け、定着部を介して部材躯体に力が伝達される状態を仮定し、この場合の定着部強度を確認することを目的とした試験体である。なお、シートおよび定着部の幅は 80mm である。

シートとコンクリートとの付着域はアングルの寸法と同一の 100mm で、コンクリート表面

をケレンプライマー処理した後、エポキシ系樹脂でシートを貼り付けた。その後、アングル底部および側面にパテを塗布してアンカーボルトを用いて定着した。また、本実験で採用したあと施工アンカーは、接着系アンカーで、アンカーボルトには F10T の全ネジボルトを用いてナットにより締め付けた。

表-1 に試験体変動要因一覧を示す。変動要

表-1 試験体一覧

試験体名 ^注		共通事項	AFRPシート	アンカーボルト		定着部詳細		
				径	埋め込み 深さ	アングル 形状	シートの 巻き込み	アングル 面取り
No.1	-1 -2	<ul style="list-style-type: none"> シート幅 80mm 定着部幅 80mm コンクリート設計強度 21MPa アンカーボルト種類 F10T 接着系アンカー 	600kN/m タイプ	M16	径の 10 倍	A1	あり	なし
No.2	-1 -2					AR		
No.3	-1 -2						あり	
No.4	-1 -2					M22		
No.5	-1 -2		1,200kN/m タイプ	M16	径の 10 倍	A2	-	-
No.6	-1 -2		600kN/m タイプ			P		
No.7	-1 -2							
No.8	-1 -2							

注：試験体名末尾の数字は、アラミド繊維の種類を示す

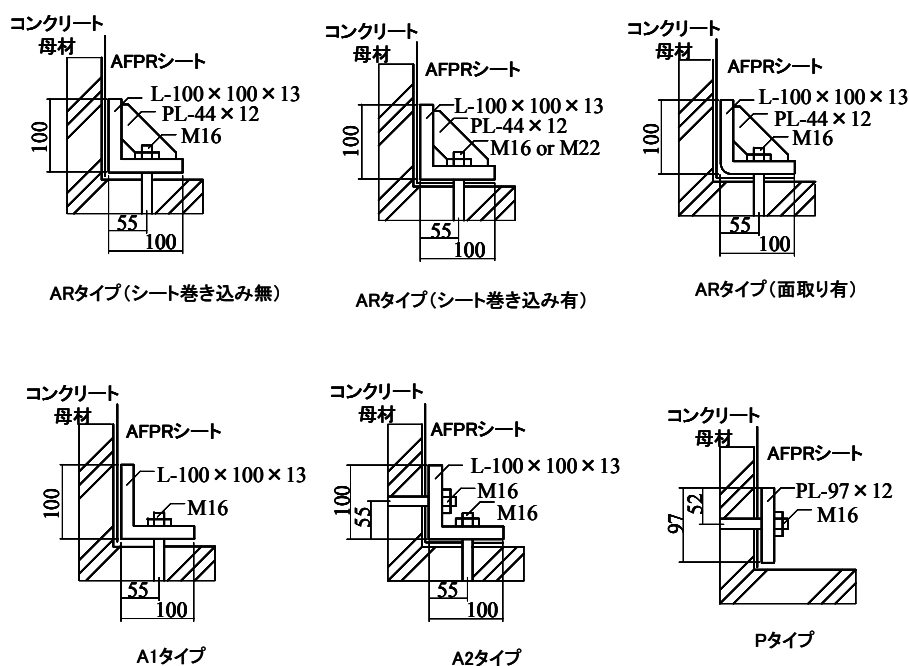


図-2 定着部詳細

因は、図-2 に示すように定着部詳細が主たる因子で、定着部鋼材形状およびアンカーボルト位置 (A1, A2, AR, P)、アングルへのシート巻き込みの有無、アングル面取りの有無、ボルト径 (M16, M22)、シート目付量 (600kN/m タイプ, 1,200kN/m タイプ)、シートの種類 (アラミド繊維 1, アラミド繊維 2) で、試験体総数は合計 16 体である。試験体名末尾の数字「1」、「2」が、それぞれアラミド 1, アラミド 2 を使用した試験体を表している。

コンクリート、アンカーボルト、AFRP シートの力学的特性をそれぞれ表-2, 表-3, 表-4 に示す。なお、アンカーボルトには幅、深さとも 3mm の縦溝をボルト全長に渡って表裏 2 本加工し、溝内に歪ゲージを添付した。また、シートの力学的特性はカタログ値である。

表-2 コンクリートの力学的性質

種類	圧縮強度 (MPa)	割裂強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	備考
普通 21MPa	26.8	2.29	22.4	除く No.5
	27.2	2.23	24.5	No.5

表-3 アンカーボルトの力学的性質

種類	引張強度 (MPa)	降伏強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	伸び (%)
M16	1014	828*	178	5.5
M22	979	770*	193	6.1

* : 0.2%オフセット耐力

表-4 AFRP シートの力学的性質(カタログ値)

種類		設計厚 (mm)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
アラミド 1	600kN/m	415	2060	118
	1,200kN/m	830		
アラミド 2	600kN/m	350	2350	78
	1,200kN/m	700		

2.2 加力・計測方法

図-3 に加力装置を示す。加力方法、計測方法は文献 4) と同様である。変位制御の 2MN 万能試験機を用い、コンクリート母材を台座に固定し、シート上部を試験機のチャックでつかみ、台座を下方方向に静的に加力することにより、シ

ート上向きの引張力を与えた。計測項目は、引張荷重、シートの抜き出し量 (上下ヘッド間の変位)、アングルの鉛直 (アングル下部位置) および水平方向変位 (アングル上部位置)、アンカーボルト、リブの歪である。

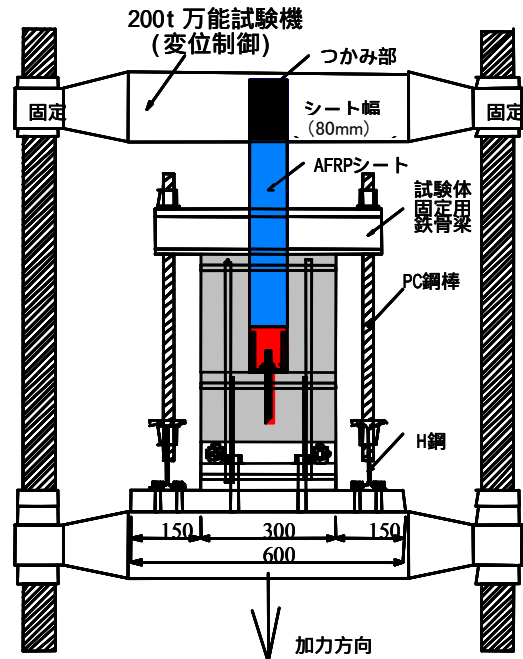


図-3 加力方法

3. 実験結果および検討

3.1 破壊性状

試験体 No.1-1, No.5-2, No.7-2 の最終破壊状況を図-4 に示す。主要な最終破壊形式は、シート母材部 (定着領域部外) 破断、シートのアングルコーナー部破断、アンカーボルト周辺コンクリートのコーン破壊、および付着破壊 (シートの定着部からの抜き出し) であった。



No.1-1 アングル降伏
No.5-2 シート破断
No.7-2 シート破断

図-4 最終破壊状況

表－ 5 実験結果一覧

試験体名	破壊形式 ^{注1)}	第一折点 ^{注2)}			第二折点 ^{注2)}			最大荷重時		
		荷重 (kN)	アングル変形量 (mm)		荷重 (kN)	アングル変形量 (mm)		荷重 (kN)	アンカーボルト歪 (μ)	
			鉛直方向	水平方向		鉛直方向	水平方向		鉛直方向	水平方向
No.1-1	AGY	21.1	0.01	0.72	17.6	3.24	16.08	21.3	630	-
No.1-2	AGY	18.0	-0.01	0.71	15.3	5.28	20.70	18.0	603	-
No.2-1	ACY→CF	34.6	0.08	0.28	38.2	2.29	4.07	38.2	6891	-
No.2-2	ACY→CR	32.6	0.03	0.28	36.3	2.06	3.72	36.5	6461	-
No.3-1	BF	37.5	0.07	0.29	34.7	1.44	2.57	37.5	703	-
No.3-2	BF	33.4	0.04	0.25	31.1	0.93	1.76	33.4	741	-
No.4-1	CR	33.8	0.10	0.23	36.7	1.50	2.44	36.7	3302	-
No.4-2	ACY→CR	33.7	0.08	0.31	33.2	1.48	2.91	33.7	6271	-
No.5-1	SR	34.2	0.12	0.43	39.1	1.45	3.00	39.1	ゲージ不良	-
No.5-2	CR	28.3	0.28	0.36	32.0	1.31	2.88	32.0	790	-
No.6-1	ACY→CF	35.8	0.07	0.26	50.7	5.77	9.39	50.7	5108	-
No.6-2	ACY→CF	28.6	0.07	0.22	42.7	2.32	3.79	42.7	8771	-
No.7-1	SR	-	-	-	-	-	-	39.5	587	1282
No.7-2	SR	-	-	-	-	-	-	43.1	851	1365
No.8-1	SR	-	-	-	-	-	-	49.6	921	-
No.8-2	GR	-	-	-	-	-	-	28.6	1082	-

注 1) ACY:アンカーボルト降伏

AGY:アングル降伏

CF:コーン破壊

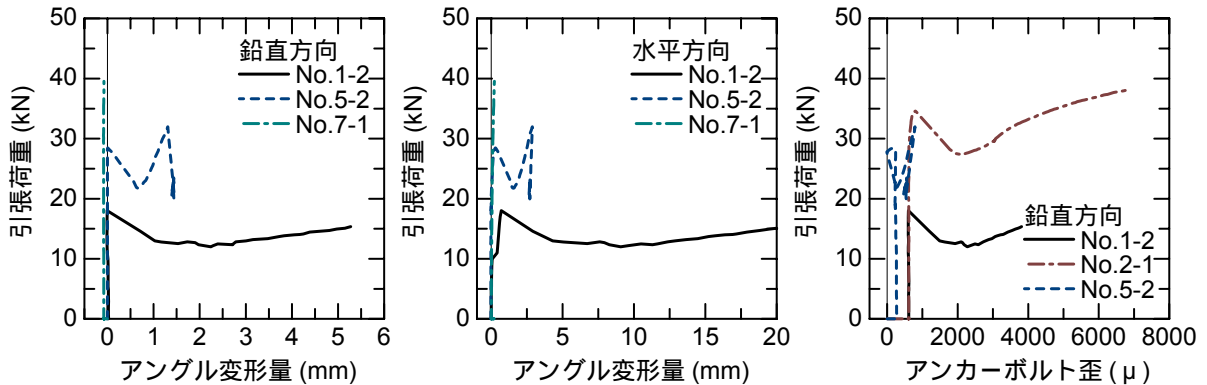
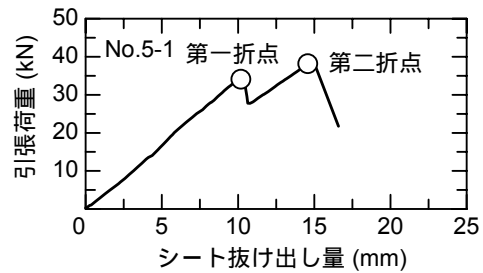
BF:付着破壊(シート抜け出し)

SR:シート破断

CR:コーナー部破断

GR:つかみ部破断

注 2)



図－ 5 引張荷重－アングル変形量・アンカーボルト歪関係

実験結果の一覧を表－5 に示す。表中、第一折点および第二折点とは、荷重 - シート抜き出し量 (ヘッド間変位) 関係において、勾配が負になる直前のピーク点と定義し (表－5 下図参照)、第一折点はアングル上部荷重端におけるコンクリートとシートの剥離、第二折点はアングル底部におけるコンクリートとの剥離にほぼ対応し

ている。また、主な試験体の荷重とアングル変形量およびアンカーボルトの歪関係を図－5 に示す。

リブ補強無しの試験体 No.1 は、アングルがアンカーボルトを支点とするように変形していき、最終的にアングルが降伏してシートとアングル間の付着がなくなりシートが抜け出した。リブ補

強のある試験体 No.2 ではアンカーボルトが降伏し、最終的にはアンカーボルト周辺コンクリートのコーン破壊またはアングルコーナー部でのシート破断であった。またアングルに面取りを施した試験体 No.4 においてもアングルコーナー部のシート破断であった。シートをアングル底部まで巻き込むことによってシートの抜出しは防止できるが、最終的にシート破断によって破壊している。アンカーボルトに M22 を用いた試験体 No.5 では、ボルトの降伏は見られずシート破断した。破断時のシート応力は、シート破断強度カタログ値の 7~8 割程度である。1200kN/m タイプのシートを使用した試験体 No.6 ではアンカーボルト降伏後、周辺コンクリートのコーン破壊であった。したがって、試験体 No.6 は、本実験での AR アングル形状および M16 アンカーボルトの組合せ下で、シートが破断しない場合の最大の定着強度を示していると考えられる。加力面に直交してシート側にアンカーボルトで定着した試験体 No.7, 8 では、鉛直・垂直方向とも変形は見られず、荷重が上昇し、シート破断強度カタログ値の 8~9 割程度で、定着部領域外でシート破断した。

3.2 各変動因子による影響

(1) 最大荷重について

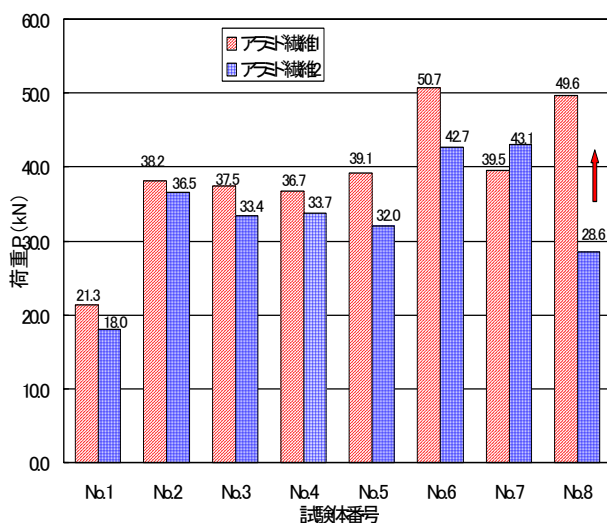


図-6 各試験体の最大荷重

図-6 に各試験体の最大荷重値を示す。なお、試験体 No.8-2 はシートの加力装置チャックつかみ部破断であり、同図中の上矢印は実際の定着部強度は実験値より大きい可能性があることを示している。

リブ補強していない No.1 の試験体以外はほぼ同じ荷重を示している。これは、本実験のパラメーター内では、シート抜出し荷重、シート母材部およびコーナー部破断荷重値が均衡しているためと思われる。アングルの面取りに関しては、本実験では施工時にアングルをシートに貼付ける前にコンクリートにシートを貼付けているため、アングルの面取り効果が少ないと思われる。また、すべての試験体を通してアラミド 2 試験体よりアラミド 1 試験体の方が最大荷重が大きい。繊維の弾性係数の影響と思われる。

(2) 破壊時のアングル水平方向変形量について

図-7 に破壊時の水平方向のアングル変形量を示す。リブ補強の無い No.1 では大きく水平方向に変形しているのに対して、リブ補強のある No.2~No.6 では、ほぼ 3~4mm 程度に抑えられていることが分かる。シート面にアンカーボルトを設けた試験体 No.7, 8 では変形量はほとんど見られない。M16 を使用した No.2 と M22 を使用した No.5 を比較すると、アングルの水平方

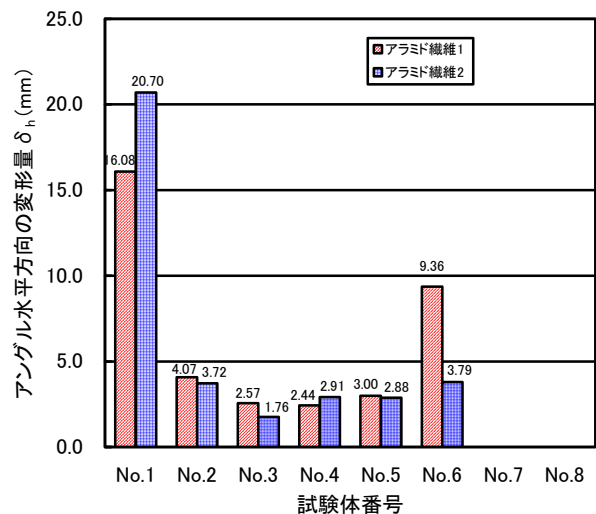


図-7 各試験体のアングル水平方向変形量

向変形量はほとんど変わらないことが分かる。シートが破断するときやコーン破壊するときの変形量が、アンカーボルト径に依存していないことがいえる。

4. 定着強度の評価

破壊時のアングル水平方向変形量が破壊形式にかかわらずリップあり試験体で 3～4mm であったことから、アングルの水平変形量から破壊時荷重を求める定着強度評価方法⁴⁾により、本実験結果を検討する。図-8 に試験体 No.2 から No.6 の最大荷重値の実験値と計算値の比較を示す。同図より、実験値と計算値を比較すると、おおむね一致しているおり、本実験の試験体では、同様な定着方法による CFRP シートの場合と同程度の定着強度を有していることが分かる。

5. まとめ

本実験の範囲内により得られた結果を示す。

- (1) 本定着方法 (AR タイプ) の定着能力はシートが破断しない場合 50kN/80mm 程度である。
- (2) シートをアングル下部に巻き込むことによってシートの抜出しを防止できるが、本施工方法ではアングルの面取りに関係なく、アングルコーナー部でシート破断した。
- (3) アラミド繊維 1 とアラミド繊維 2 では、弾性係数の大きいアラミド繊維 1 の方が全般的に定着強度が大きい。
- (4) リップ有り、シート貼付面でのアンカーボルト定着は、定着強度増加に効果的である。
- (5) 炭素繊維シートについて提案されている定着強度推定方法による計算値を介して定着強度の比較を行った結果、アラミド繊維シートにおいても炭素繊維シートの場合と同等の定着強度を有している

謝辞

本研究は、アラミド補強研究会建築委員会で

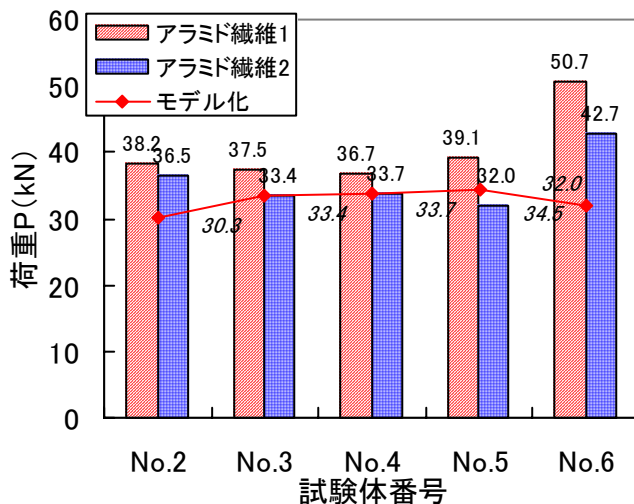


図-8 実験値と計算値の比較

の研究活動の一環として実施されたものである。関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 塚越英夫, 神野靖夫, 池谷純一, 矢部喜堂: 炭素繊維シートと CF アンカーにより補強された RC 梁の構造性能, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.65 ~ 66, 1999.9
- 2) 渡辺 聡, 柳沢 学: 炭素繊維シート端部定着に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.665 ~ 666, 1997.9
- 3) 梅村昇司, 跡部義久, 井上公太郎, 林田則光, 角 一行: 炭素繊維シートによる既存 RC 部材の耐震補強に関する研究 (その 3) 端部定着試験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.605 ~ 606, 1997.9
- 4) 有留義朗, 金久保利之, 松井雅明, 藤田直人: 繊維シートによる RC 構造物の耐震補強におけるシート端部定着に関する研究, コンクリート工学論文集, Vol.10, No.2, pp.119 ~ 130, 1999.5
- 5) 石渡康弘, 市川昌和, 古川 淳, 中澤敏樹, 福本 昇, 萩原幸男: 炭素繊維シート端部の定着に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.41 ~ 44, 1999