

# 論文 ガラス繊維を用いた簡易耐震補強法による RC 部材の付着割裂強度

松野 一成<sup>\*1</sup>・小宮 巖<sup>\*2</sup>

要旨:著者等が提案した紫外線硬化樹脂を使用した簡易耐震補強法には,ガラス繊維の成型の際に袖壁等が障害となる懸念があった。その影響を検証し,耐震補強法としての有用性を高めることを目的に,45体の簡易型試験体を用いた付着試験を実施した。また実部材への適応を考慮し,部材レベルで補強法の有用性を検証するために,付着割裂破壊先行型のはり型試験体を用いて付着試験を実施した。その結果,紫外線硬化樹脂の接着力のみでガラス繊維補強する場合には問題点はあるが,プライマーやガラス繊維を接着するために樹脂を使用すれば,補強法全体としての有用性は高いことが確認できた。

キーワード:簡易耐震補強法,FRP,付着割裂強度,ガラス繊維

## 1. はじめに

著者等は一貫して連続繊維シート(FRPシート)巻き付けによるRC部材の付着割裂破壊抑止効果についての検討を行っており,その成果として連続繊維シート補強による付着割裂強度増大分の算定式<sup>1)</sup>,さらには付着割裂破壊時のせん断力を算定することが重要との認識から,付着せん断耐力を算定する手法を提案した<sup>2)</sup>。その後,シート型あるいはプレート型といった各種形態の連続繊維に対応できるように付着割裂強度算定式の修正・検証を行った<sup>3),4),5)</sup>。また文献【6,7】において紫外線硬化樹脂を使用した簡易耐震補強法を提案し,耐震補強法としての有用性を検討した。著者等が提案した簡易耐震補強法では,ガラス繊維を貼付する際に袖壁等が障害になることが予想されるため,その対策を講じる必要がある。また,補強効果の検証実験に用いた試験体は試験鉄筋に直接引張力を付加する簡易型試験法であったため,部材レベルでの検証も必要である。

そこで本研究では,簡易型試験法を用いて袖壁等の影

響を検証する実験を行い,付着割裂強度の増大効果を検証するとともに,付着割裂強度算定式の有用性を検討すること,また,はり型試験体を用いて,実部材に近い形態での耐震補強法を検証することを目的とした。

## 2. 簡易型付着試験

簡易型試験は3シリーズで構成されており,シリーズ1は簡易耐震補強法が,試験鉄筋が2本以上の鉄筋群に対しての補強効果の有無を検証すること目的とし,シリーズ2は袖壁等の影響を把握することを目的とした。また,シリーズ3はせん断補強筋を有した場合の補強効果の検証を目的とした。

### 2.1 試験体

試験体一覧を実験結果の概要と併せて表-1に示す。表中の補強法Aは最も簡素化した補強法で,紫外線硬化樹脂を用いてプレートの成型と貼付を同時に行うもので,補強法BはAとほぼ同様であるが,成型前にプライマーを塗布し接着性を高めた方法である。補強法Cは紫外線硬化樹脂での成型と他の樹脂での貼付を別工程で行い,

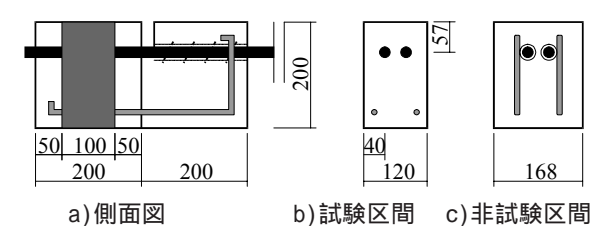


図-1 試験体図(シリーズ1 2本の場合)

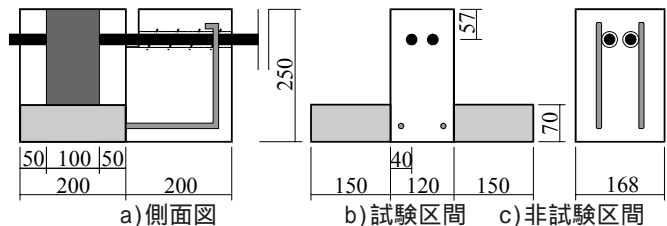


図-3 試験体図(シリーズ2)

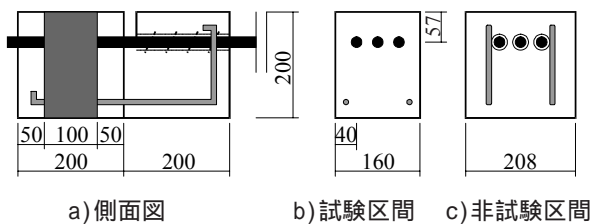


図-2 試験体図(シリーズ1 3本の場合)

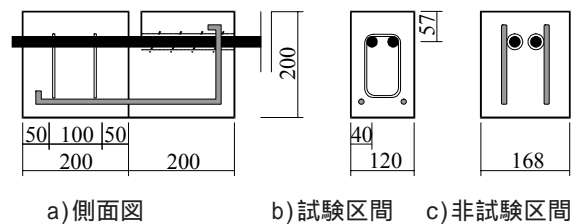


図-4 試験体図(シリーズ3)

\*1 呉工業高等専門学校 建築学科 准教授 博士(工学)(正会員)

\*2 福井ファイバテック 博士(工学)(非会員)

表 - 1 試験体一覧および実験結果の概要

シリーズ	試験体名	試験鉄筋	試験区間断面(mm)	付着長さ(mm)	断面形状	側面かぶり(mm)	鉛直かぶり(mm)	せん断補強比(%)	連続繊維プレート		コンクリート実強度(N/mm <sup>2</sup> )	最大引張力(kN)	最大引張力時のすべり(mm)	付着強度(N/mm <sup>2</sup> )																									
									補強比(%)	補強法				実験値			計算値																						
														付着強度	平均値	増分	t <sub>fm</sub>	t <sub>wf</sub>	t <sub>bu</sub>																				
1	No.1	2-D19	120 × 200	200	矩形	40	57	0	0	-	29.46	66.71	0.350	2.78	2.44	-	2.255	-	2.255																				
	No.2											51.42	0.231	2.14																									
	No.3											57.47	0.288	2.39																									
	No.4											2-D19	120 × 200	200	矩形	40	57	0	1.25	A	29.46	74.03	0.300	3.08	3.08	0.64	2.255	1.124	3.379										
	No.5																					77.85	0.335	3.24															
	No.6																					70.05	0.258	2.92															
	No.7																					2-D19	120 × 200	200	矩形	40	57	0	1.25	B	29.46	68.93	0.145	2.87	3.40	0.96	2.255	1.124	3.379
	No.8																															84.06	0.246	3.50					
	No.9																															91.70	0.501	3.82					
	No.10	3-D19	160 × 200	200	矩形	40	57	0	0	-	29.46	89.31	0.300	2.48	2.24	-	2.032	-	2.032																				
	No.11											76.89	0.164	2.14																									
	No.12											75.30	0.304	2.09																									
	No.13											3-D19	160 × 200	200	矩形	40	57	0	0.94	A	29.46	60.34	0.264	1.68	2.44	0.21	2.032	1.124	3.156										
	No.14																					82.63	0.283	2.30															
	No.15																					93.13	0.328	2.59															
	No.16																					3-D19	160 × 200	200	矩形	40	57	0	0.94	B	29.46	82.47	0.239	2.29	2.46	0.22	2.032	1.124	3.156
	No.17																															91.70	0.257	2.55					
	No.18																															91.38	0.259	2.54					
2	No.19	2-D19	120 × 250	200	矩形	40	57	0	0	-	29.46	45.69	0.147	1.90	2.15	-	2.255	-	2.255																				
	No.20											55.88	0.084	2.33																									
	No.21											53.33	0.223	2.22																									
	No.22				L形	40	57	0	1.25	C	29.46	81.67	0.511	3.40	3.18	1.03	2.255	1.124	3.379																				
	No.23											76.58	0.933	3.19																									
	No.24											70.69	0.257	2.95																									
	No.25											L形	40	57	0	1.25	D	29.46	76.73	0.29	3.20	3.09	0.94	2.255	1.124	3.379													
	No.26																		67.02	0.217	2.79																		
	No.27																		78.49	0.888	3.27																		
	No.28				T形	40	57	0	1.25	C	29.46	64.16	0.638	2.67	3.00	0.85	2.255	1.124	3.379																				
	No.29											78.80	0.639	3.28																									
	No.30											73.39	0.822	3.06																									
	No.31											T形	40	57	0	1.25	D	29.46	80.56	0.256	3.36	3.23	1.08	2.255	1.124	3.379													
	No.32																		77.53	0.345	3.23																		
	No.33																		74.82	0.705	3.12																		
3	No.34	2-D19	120 × 200	200	矩形	40	57	-	0	-	25.34	48.08	1.758	2.00	2.25	-	2.091	-	2.091																				
	No.35											52.54	0.313	2.19																									
	No.36											61.45	4.702	2.56																									
	No.37											2-D19	120 × 200	200	矩形	40	57	0.12	0	-	25.34	46.33	0.243	1.93	2.17	-	2.272	-	2.272										
	No.38																					48.72	0.321	2.03															
	No.39																					61.29	0.256	2.55															
	No.40																					2-D19	120 × 200	200	矩形	40	57	-	1.25	C	25.34	71.16	1.185	2.97	2.85	0.60	2.091	1.042	3.133
	No.41																															66.39	0.869	2.77					
	No.42																															67.98	0.724	2.83					
	No.43											2-D19	120 × 200	200	矩形	40	57	0.12	1.25	C	25.34	68.46	0.517	2.85	2.93	0.76	2.272	1.042	3.314										
	No.44																					68.62	1.319	2.86															
	No.45																					73.71	0.586	3.07															

補強法DはCと同様の方法で、L・T型部にも接着する。

図 - 1, 2 にシリーズ1の試験体図を, 図 - 3 にシリーズ2の試験体図を, 図 - 4 にシリーズ3の試験体図を示す。すべての実験の試験鉄筋には載荷の際の利便性を考慮し、D19のネジ式異形鉄筋を用いた。以下に共通項目を述べる。付着長さ200mm, 側面かぶり40mm, 鉛直かぶり57mm(かぶり厚は試験鉄筋中央からコンクリート縁までの距離で定義した。以後これに準じている), 載荷に際しての曲げ引張破壊を防ぐため、D10の普通強度異形鉄筋を配した。載荷による反力が試験区間に影響を与えないよう、試験体にはスリットにより付着領域(試験区間)と非付着領域(非試験区間)に分け、非付着領域には鋼管を配し、コンクリートと鉄筋間の付着を完全に断ち切った。すべての試験体の断面と試験鉄筋の配置決定は、以下に示す藤井・森田式<sup>8)</sup>に従いサイドスプリット型の付着割裂破壊が先行するよう留意した。連続繊維プレート補強による付着強度増分は著者等の提案式<sup>5)</sup>で算出した。

但し、 $bi=bsi=b/(N \cdot db) - 1$ ,  $pst$ : 横補強筋比,  $b$ : 部材幅(mm),  $N$ : 主筋本数,  $db$ : 主筋径(mm),  $B$ : コンクリート

$$\tau_{fm} = \tau_{co} + \tau_{st} \quad (1)$$

$$\tau_{co} = (0.117 \cdot bi + 0.163) \cdot \sqrt{\sigma_B} \quad (2)$$

$$\tau_{st} = \left( 9.51 \frac{p_{st} \cdot b}{N \cdot d_b} \right) \cdot \sqrt{\sigma_B} \quad (3)$$

$$\tau_{wf} = 3 \cdot \alpha \cdot \left( \frac{E_{wf}}{E_0} + 0.5 \right) \cdot \sqrt{p_{wf}} \cdot \sqrt{\sigma_B} \quad (4)$$

強度(N/mm<sup>2</sup>),  $p_{wf}$ : 連続繊維補強比,  $E_{wf}$ : 連続繊維の弾性率(N/mm<sup>2</sup>),  $E_0 = 2.30 \times 10^5$  N/mm<sup>2</sup>,  $\alpha$ : 繊維の連続性を考慮した低減係数。繊維が連続していれば1.0。

シリーズ1は試験鉄筋を2本あるいは3本使用し、それぞれの断面を120 × 200mm, 160 × 200mmとした。実験変数はガラス繊維(以下GFRP)プレートの有無, 貼付方法の差異を組み合わせた3種類とした。

シリーズ2は試験鉄筋は2本のみで、断面は120 × 250mmとした。試験鉄筋位置の試験区間断面は実験1と同等であるが、断面の形状をL・T型に変化させた。図 - 3 b) 中の網掛け部の有無で断面形状を変化させた。さらにGFRPプレートの有無に加え、貼付方法の変化も組み合わせを実験変数とした。

表 - 2 コンクリート調合表(シリーズ1,2, はり型)

W/C (%)	セメント (kg/m <sup>3</sup> )	水 (kg/m <sup>3</sup> )	細骨材 (kg/m <sup>3</sup> )	粗骨材 (kg/m <sup>3</sup> )	AE 減水剤 (kg/m <sup>3</sup> )
65.0	293	190	961	811	2.93

表 - 3 コンクリート材料定数(シリーズ1,2, はり型)

	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	割裂強度 (N/mm <sup>2</sup> )
1	31.80	2.41 × 10 <sup>4</sup>	2.55
2	32.13	2.35 × 10 <sup>4</sup>	2.74
3	24.45	2.55 × 10 <sup>4</sup>	2.71
Ave.	29.46	2.43 × 10 <sup>4</sup>	2.67

表 - 4 コンクリート調合表(シリーズ3)

W/C (%)	セメント (kg/m <sup>3</sup> )	水 (kg/m <sup>3</sup> )	細骨材 (kg/m <sup>3</sup> )	粗骨材 (kg/m <sup>3</sup> )	AE 減水剤 (kg/m <sup>3</sup> )
73.0	263	192	902	893	1.84

表 - 5 コンクリート材料定数(シリーズ3)

	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	割裂強度 (N/mm <sup>2</sup> )
1	24.29	2.22 × 10 <sup>4</sup>	2.30
2	25.43	2.23 × 10 <sup>4</sup>	2.40
3	26.35	2.22 × 10 <sup>4</sup>	2.34
Ave.	25.34	2.22 × 10 <sup>4</sup>	2.35

シリーズ3は試験鉄筋を2本とし、せん断補強筋の有無を実験変数とし、補強法はCを採用した。それぞれ同等の試験体を3体作製し、平均値をその試験体の付着強度とすることとした。図 - 4 に載荷装置の概略を示す。

## 2.2 使用材料の性質

シリーズ1,2のコンクリート強度は24N/mm<sup>2</sup>を目標とした。表 - 2 にコンクリートの調合を、表 - 3 にコンクリートの力学的性質を示す。またシリーズ3はコンクリート強度は18N/mm<sup>2</sup>を目標とした。表 - 4 にコンクリートの調合を、表 - 5 にコンクリートの力学的性質を示す。すべてのシリーズで骨材の最大粒径は20mmとした。

試験鉄筋として、D19の異形鉄筋(ネジ式鉄筋)を、補強用にD10の普通強度異形鉄筋を用いた。せん断補強筋として3の普通強度の丸鋼を表 - 6 に使用鉄筋の機械的性質を示す。

連続繊維にはGFRPを使用した。表 - 7 に機械的性質を示す。GFRPプレートの弾性係数以外の数値はカタログ値を記載した。GFRPは一方向に配し、試験鉄筋に直交するよう貼付した。

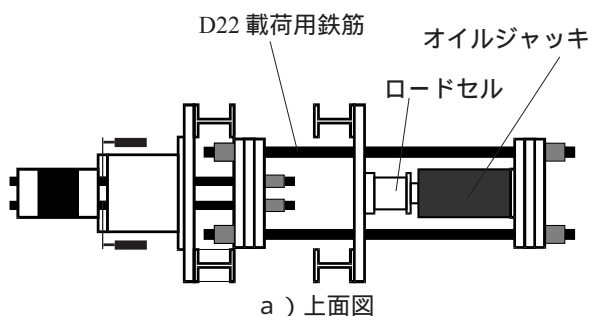


表 - 6 鉄筋の機械的性質

種類	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )
D19 (主筋)	570	370	1.76 × 10 <sup>5</sup>
3(せん断補強筋)	450	320	1.75 × 10 <sup>5</sup>
D10 (補強筋)	430	305	1.79 × 10 <sup>5</sup>

表 - 7 ガラス繊維の機械的性質

	ガラス繊維プレート	ガラス繊維シート
繊維目付量 (g/m <sup>2</sup> )	1,732	1,732
設計厚さ (mm)	1.50	0.68
引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	442	1,888
引張弾性率 (N/mm <sup>2</sup> )	0.27 × 10 <sup>5</sup>	0.96 × 10 <sup>4</sup>

## 2.3 実験結果

### 2.3.1 実験結果の概要

表 - 1 に実験結果の概要を示す。表中の付着強度は、試験区間の平均付着強度で表した。またプレート補強による付着強度の増分の実験値は、無補強試験体との差で表した。すべての試験体が想定通りのサイドスプリット型付着割裂破壊を呈した。シリーズ1の付着強度をみると、補強法A,Bとも同じく大きな増大率があった。しかし、試験鉄筋の本数が3本に変わると、両者とも増大率は減少しており、補強法Bでも若干の強度増大が確認できる程度であった。

シリーズ2では、L,T型の断面形状に合わせてGFRPをプレート状に加工、貼付することができ、断面形状の差異に係わらず高い増大率が確認できた。このことから提案した補強法に、部材に接する袖壁等の影響はないと判断できる。L,T型部にプレートを貼付することによる大幅な強度増大はみられなかったため、プレートの貼付は袖壁等にまで施す必要はないと考えられる。

シリーズ3ではせん断補強筋を配したことによる付着強度の格段の上昇はみられなかったが、その場合においてもGFRPによる付着割裂強度の増大は確認できた。このことからせん断補強筋を配した実部材においても、付着に対しての補強効果は十分に期待できる。

### 2.3.2 破壊形状

写真 - 1 ~ 6 に最終破壊形態の代表例を示す。いずれも無補強の試験体は、極めて脆性的な破壊であった。これに対しGFRPで補強されたものは、その有無により破壊

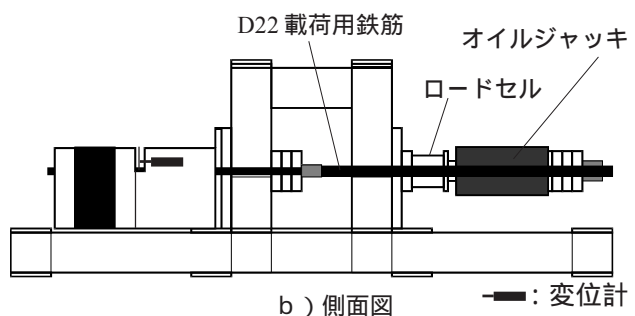


図 - 5 載荷装置

形態に大きな差異が生じた。シリーズ1では補強法による差異ではなく、主筋本数により大きな差異が生じた。主筋が2本の試験体では、脆性的な破壊を呈することなく主筋が抜け出し最終破壊に至ったが、主筋が3本になると極めて脆性的な破壊を呈し、特にプライマーを塗布していない補強法Aでは顕著であった。GFRPプレートで拘束する範囲が拡大した場合、紫外線硬化樹脂の接着力では、かぶり部コンクリートを拘束できない可能性がある判断できる。シリーズ2では補強法による破壊形態の差異は見受けられず、主筋が抜け出す形態で最終破壊に至る試験体が大半を占めた。シリーズ3ではせん断補強筋の有無により破壊形態の差異が生じた。GFRPの有無に係わらずせん断補強筋がある程度かぶり部コンクリートを拘束し、極めて脆性的な破壊を抑止できた。

### 2.3.3 付着応力度 - 主筋のすべり量関係

図 - 6 ~ 11 に付着応力度と主筋のすべり量関係を示す。縦軸の付着応力度は実験で得られた引張力を試験鉄筋の表面積で除した試験区間の平均応力度で、横軸の主筋すべり量は試験体のスリット位置で計測した試験鉄筋のすべり量を表している。また履歴曲線上の×印は、極めて脆性的な破壊を呈した箇所であり、それ以降の曲線は意味を持たないため記していない。

シリーズ1では試験鉄筋が2本の場合、プレート補強による強度面での補強効果が顕著に現れていることが付着応力度と主筋のすべり量関係からもみてとれる。また強度面のみならず、付着強度時の変形性能もあわせて向上していることもわかる。しかし試験鉄筋が3本で補強法Aを用いた試験体は、プレート補強の効果を十分に得ることができなかったと考えられる。

シリーズ2では補強したすべての試験体で強度面のみ



写真 - 1 最終破壊状況 No.3      写真 - 2 最終破壊状況 No.4      写真 - 3 最終破壊状況 No.14



写真 - 4 最終破壊状況 No.28      写真 - 5 最終破壊状況 No.34      写真 - 6 最終破壊状況 No.38

でなく、付着強度時の変形性能もあわせて向上していることがわかる。補強法等による差異は前述したことと同様に見受けられず、基本的には付着強度に達した以降もある程度の付着応力度を保持したまま、主筋が抜け出す形態で最終破壊に至った様相が確認できる。

シリーズ3においてもGFRPで補強することで脆性破壊を抑止できていることが履歴曲線からも確認できるが、GFRP無補強時にはせん断補強筋により脆性破壊を抑止できていることが確認できる。

### 2.3.4 ガラス繊維による付着強度増分

図 - 12, 13 に付着強度増分の実験値と計算値の比較を示す。GFRPによる付着強度の増分についての実験値は、プレート補強を施した試験体での付着強度と無補強の試験体の付着強度の差で表した。

実験値が計算値を下回っているものの、試験鉄筋が3

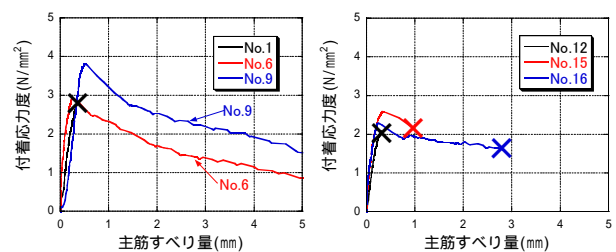


図 - 6 付着応力度 - すべり量関係(シリーズ1 2本)

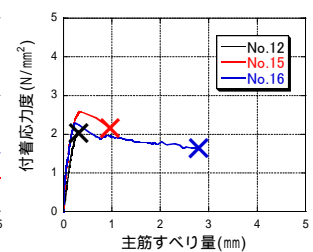


図 - 7 付着応力度 - すべり量関係(シリーズ1 3本)

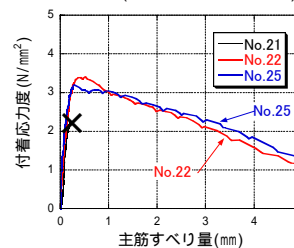


図 - 8 付着応力度 - すべり量関係(シリーズ2 L型)

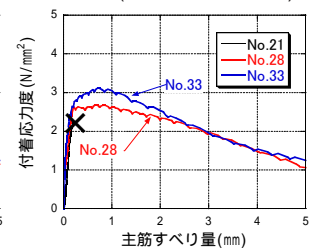


図 - 9 付着応力度 - すべり量関係(シリーズ2 T型)

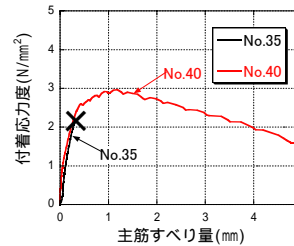


図 - 10 付着応力度 - すべり量関係(シリーズ3 せん断補強無)

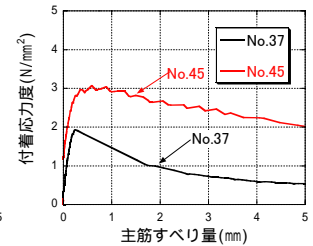


図 - 11 付着応力度 - すべり量関係(シリーズ3 せん断補強有)

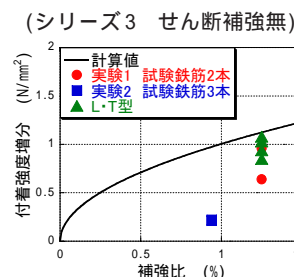


図 - 12 付着強度増分(シリーズ1,2)

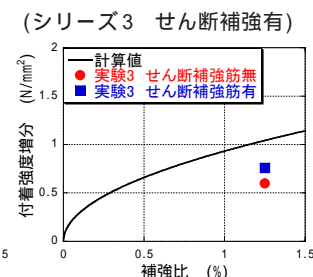


図 - 13 付着強度増分(シリーズ3)

本の場合以外は，GFRPによる付着強度増分の様相を捉えており，算定式の信頼性は高いと判断できる。

### 3. はり型付着試験

#### 3.1 試験体

はり型付着試験に使用した試験体を図 - 14 に示す。試験体全長 1300mm，試験区間を 320mm，載荷点間を 260mm とした 2 点載荷を採用した。主筋は 4-D16 ( $y=357\text{N/mm}^2$ ) とし，付着割裂破壊を誘発する配筋とした。試験区間のせん断補強筋は 2-D6@140 ( $w_y=305\text{N/mm}^2$ ,  $\text{pwf}=0.3\%$ ) とした。また付着割裂破壊を誘発するため直線定着とした。加えて支点付近の反力による影響を除外するため，支点位置から試験体中央部に 50mm の箇所から試験端部までスリーブ管を配し，コンクリートと主筋の付着を絶つ非付着区間とした。試験体一覧を表 - 8 に示す。試験体総数は 4 体とし，無補強のもの 1 体 (No.1)，前述した補強法 C を 1 体 (No.2 ( $\text{pwf}=1.0\%$ ))，補強法 B を 1 体 (No.3 ( $\text{pwf}=1.0\%$ ))，GFRP をコ型に成型せず，GFRP 自体をエポキシ樹脂で試験体に直接貼付するもの 1 体 (No.4 ( $\text{pwf}=0.5\%$ )) とした。補強方法および補強箇所を図 - 15 に示す。No.4 は GFRP を試験体に巻付ける方法で，試験体隅角部を  $D=20\text{mm}$  を目安に面取りし，試験体腹部で重ね合わせて貼付した。

#### 3.2 使用材料の性質

主筋には D16，せん断補強用に D6 普通強度異形鉄筋を使用した。表 - 9 に使用鉄筋の主な機械的性質を示す。その他の材料は前章で記述したものをを使用した。

#### 3.3 実験結果

##### 3.3.1 実験結果の概要

表 - 10 に実験結果の概要を示す。表中の付着割裂強度は前述の (1) ~ (4) 式で算出した。また表中の付着割裂破壊時のせん断力は，以下の手順で算出した。

$$T = \tau_{bu} \cdot \sum \psi \cdot lb \quad (5)$$

$$M = T \cdot j \quad (6)$$

$$Q = \frac{M}{a} \quad (7)$$

但し， $\tau_{bu}$ ：付着割裂強度 ( $\text{N/mm}^2$ )， $\psi$ ：鉄筋の周長 (mm)， $lb$ ：付着長さ (mm)， $a$ ：せん断スパン (mm)， $j$ ：主筋間距離 (mm)。なお本実験の付着長さ  $lb$  は，曲げひびわれ等の影響を考慮せず，鋼管から載荷点までの 320mm とした。また主筋間距離  $j$  には 150mm を採用した。

連続繊維で補強された場合の付着割裂破壊時のせん断

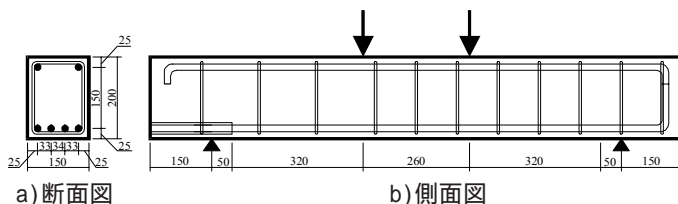


図 - 14 試験体図

表 - 8 試験体一覧

試験体名	試験区間断面 (mm)	鉄筋		連続繊維プレート		コンクリート実強度 ( $\text{N/mm}^2$ )
		主筋	せん断補強筋	補強比	補強方法	
No.1	150 × 200	4D-25	2-D6 @140	0.0	—	29.46
No.2				1.0	コ型+エポキシ	
No.3				1.0	プライマー+紫外線硬化シート+エポキシ	
No.4				0.5	—	

表 - 9 鉄筋の機械的性質

種類	引張強さ ( $\text{N/mm}^2$ )	降伏強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	弾性係数 ( $\text{N/mm}^2$ )
D16 (主筋)	550	357	$1.76 \times 10^5$
D6 (補強筋)	430	305	$1.79 \times 10^5$

表 - 10 実験結果の概要

試験体名	実験時の最大せん断力 (kN)	曲げ終局時のせん断力 (kN)	FRP無補強の状態でのせん断耐力 (kN)	付着割裂強度 ( $\text{N/mm}^2$ )			増分 ( $\text{N/mm}^2$ )	
				tfm	twf	tbu	実験値	計算値
No.1	27.72	116.66	84.82	0	2.101	55.65	—	—
No.2	47.00			1.005	3.106	82.23	19.28	26.58
No.3	41.60			0.634	2.735	72.44	13.88	—
No.4	44.15			—	—	—	16.43	16.79

耐力算定式は日本建築学会の連続繊維補強コンクリート系構造設計施工指針案<sup>9)</sup>で定義されているが，試験体の特殊性を考慮し，上述のような手順で付着割裂破壊時のせん断力を算定した。曲げ終局時のせん断力は，曲げ終局モーメントの略算式から算定した。またせん断耐力は【文献9】に従って算出した。

実験時の最大せん断力をみると，GFRPでの補強効果が顕著に現れる結果となった。補強方法で比較すると，補強法Cの試験体No.2が本実験でのせん断力の最大値を記録した。次いでNo.4となったが，実験計画の段階では試験体をコの字に拘束するプレート型より，試験体の外周を拘束するNo.4が最もせん断力が高くなるとの想定であったが，そのような結果にはならなかった。

実験値と計算値の比較ではすべての試験体において大きく計算値を下回る結果となった。その最大の要因は無補強の段階で大きく下回ったことだと考えられ，その差異が補強時にも直接影響している。補強効果のみを比較すると実験値と計算値はかけ離れてはいない。No.4では実験値と計算値がほぼ一致している。これらのことから無補強時のせん断力の算定方法が明確に定義できれば，耐力を算定することが可能であると思われる。

##### 3.3.2 破壊形態

写真 - 7 ~ 10 に最終破壊状況の代表例を示す。試験体No.1では主筋に沿った付着ひびわれとせん断ひびわれの両者が確認できるが，破壊経過を観察したところ，最

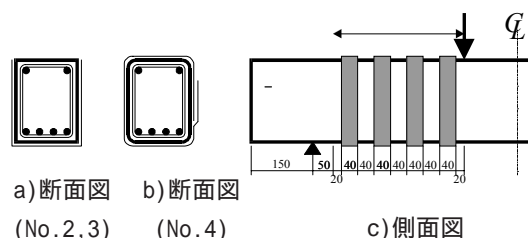


図 - 15 補強箇所および方法



写真 - 7 最終破壊  
状況 No.1



写真 - 8 最終破壊  
状況 No.1



写真 - 9 最終破壊  
状況 No.2



写真 - 10 最終破壊  
状況 No.2

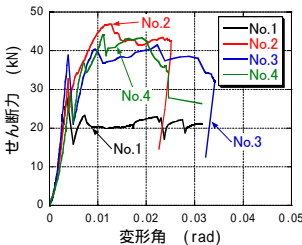


図 - 1 6 せん断力 -  
部材変形角関係

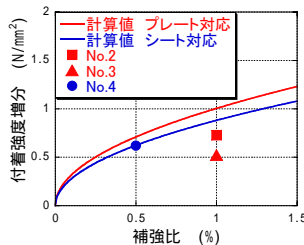


図 - 1 7 付着強度増分

大耐力を記録した時点で支配的であったひびわれは付着ひびわれであった。この点からサイドスプリット型の付着割裂破壊であると判断した。

GFRPで補強した試験体は、GFRPを貼付した箇所以外で付着ひびわれが確認できた。中でも最も明確であったのはNo.2であった。せん断ひびわれも多く確認できるが、付着ひびわれ発生後、試験体の変形し横方向に膨張する作用をGFRPが抑えることで、主筋とコンクリートの付着応力が失われず、せん断ひびわれが進行したものと考えられる。

### 3.3.3 せん断力 - 部材変形角関係

図 - 1 6 にせん断力 - 部材変形角関係の履歴曲線を示す。GFRPで補強することで補強方法個々に差異はあるが、最大せん断力も変形性能も向上していることがみとれる。すべての履歴曲線にせん断力が大きく低下する箇所があり、すべての試験体でほぼ同等のせん断力であったため、この時点で主筋がすべたと判断できる。その後は主筋が拔出して変形が進行したが、GFRP補強により変形を拘束できたためその後のせん断力が上昇した。

No.3の履歴曲線には変形角0.009rad, 0.024rad付近にせん断力が大きく低下する挙動がみられる。これはGFRPが剥離した影響による挙動で、最も支点に近いGFRPが剥離した箇所が0.009rad付近で、0.024rad付近のものは次のGFRPが剥離した際のものである。他の補強法においてGFRPの剥離は、最終破壊に至るまでみられず、コ

ンクリートと一体化しせん断力に抵抗していた。このことから紫外線硬化樹脂の接着力では、大変形時までコンクリートと繊維の密着性が担保できないと判断できる。

### 3.3.4 ガラス繊維による付着強度増分

図 - 1 7 に付着強度増分の実験値と計算値の比較を示す。付着強度の実験値は、実験で得られたせん断耐力を(7)式に代入し、(5)式の付着強度を逆算し算出した。

プレート成型したものは両者とも実験値が計算値を下回る危険側の算定となった。これに対しシート補強のものは、ほぼ一致する結果となった。これは試験体自体の設計を、付着割裂破壊を誘発させるための形状としたことも影響していることも考えられるが、簡易型付着試験の結果も鑑みると、コ型プレートの補強効果がシートほどではないと考えられるため、それに対応できるよう強度算定式自体を修正する必要も考えられる。

## 4. まとめ

本研究で実施した簡易型、はり型付着試験の結果から得られた知見を以下に示す。

- 1) GFRPを貼付する際、プライマーを塗布することで付着割裂強度が上昇し、十分な補強効果が得られる。
- 2) L・T字部コンクリートにGFRPを貼付することは、強度・靱性能の両面に効果があるとはいいがたい結果であった。
- 3) 紫外線硬化樹脂を用いた簡易耐震補強法は、補強方法個々に差異はあるが、RC部材の最大せん断力も変形性能も向上することが確認できた。
- 4) GFRP補強の付着強度算定式をプレート補強に対応できるように修正する必要がある。

### 謝辞

三菱樹脂株式会社にはGFRPを貼付する樹脂をご提供いただいた。ここに記し、深甚の謝意を表す。

### 参考文献

- 1) 松野一成・河野進・角徹三：連続繊維シートによるRC部材の付着割裂強度増大効果 - 第1報付着強度式の提案 - ,日本建築学会構造系論文集, 第548号, pp.95-100, 2001.10
- 2) 松野一成・角徹三：連続繊維シートによるRC部材の付着割裂強度増大効果 - 第2報部材実験による付着強度式の検証 - ,日本建築学会構造系論文集, 第556号, pp.117-122, 2002.8
- 3) 松野一成・角徹三：プレート型に成型したFRP連続繊維を用いたRC部材の付着割裂強度,日本コンクリート工学年次論文集, 第28巻, 第2号, pp.709-714, 2006.7
- 4) 松野一成・角徹三：FRP連続繊維で補強されたRC部材の付着割裂強度,日本コンクリート工学年次論文集, 第29巻, 第2号, pp.1135-1140, 2007.7
- 5) 松野一成・角徹三：FRP連続繊維で補強されたRC部材の付着割裂強度,日本コンクリート工学年次論文集, 第30巻, 第3号, pp.1177-1182, 2008.7
- 6) 佐古拓海・松野一成・角徹三・小宮巖：簡素化したガラス繊維プレート補強によるRC部材の付着割裂強度増大効果その1. 実験概要, 日本建築学会学術講演梗概集(関東)C-2 構造, pp.329-330, 2011.8
- 7) 松野一成・佐古拓海・角徹三・小宮巖：簡素化したガラス繊維プレート補強によるRC部材の付着割裂強度増大効果その1. 実験概要, 日本建築学会学術講演梗概集(関東)C-2 構造, pp.331-332, 2011.8
- 8) 藤井栄・森田司郎：異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究, 日本建築学会論文報告集, 第319号, pp.47-55, 1982.10
- 9) 日本建築学会：連続繊維補強コンクリート系構造設計施工指針案, 2002.3