

論文 逆対称載荷を受ける連続繊維シートで補強された RC 部材の 付着割裂強度

松野一成*1・角徹三*2・山崎敬子*3・桶谷秀人*4

要旨：連続繊維シート補強による RC 部材の付着割裂破壊抑止効果の検討を、逆対称載荷を受けるはり型試験体の結果を用いて行うとともに、付着割裂強度算定の提案式の評価を行った。その結果、連続繊維シート補強を行うことで付着割裂強度が上昇することが確認され、炭素繊維とアラミド繊維の補強効果を比較すると、強度面では炭素繊維が、靱性能の面ではアラミド繊維の方が上回ることが確認された。また、連続繊維シートによる付着割裂強度の上昇効果は提案式で評価できることが確認された。

キーワード：連続繊維シート，付着割裂強度，逆対称載荷，2 段配筋

1. はじめに

本報は、連続繊維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うのもので、2 本以上の群としての鉄筋の付着性状を解明することを目的としている。

付着性状解明のために用いる試験体には、簡易型あるいはキャンティレバー型ではなく、より実部材に近いはり型の試験体を用いることとし、計 8 体の逆対称載荷実験を行い、サイドスプリット型破壊の付着性状と連続繊維の付着強度増大効果についての検討を行った。

なお、実験結果の検討には著者等が提案した連続繊維シートによる付着割裂強度算定式¹⁾を修正したものを用いる。

シートの貼付要領と併せて図-2 に示す。なお、表中の C は炭素繊維シート、A はアラミド繊維シートを示す。これは実験結果の表-6 も同様である。

試験体は、実験変数である連続繊維シート補強量以外の断面、配筋などはすべて同一である。試験区間は 1200mm、断面は 200×300mm、試験区間の両側に補強部（スタブ）を設け載荷における支持点あるいは反力の支持点としてい

表-1 試験体一覧表

シリーズ	試験体番号	断面形状 (mm)	主筋		横補強筋			連続繊維シート		目標コンクリート 強度 (N/mm ²)
			本数・径	降伏点 (N/mm ²)	本数・径	補強比 (%)	降伏点 (N/mm ²)	種類	補強比 (%)	
1	B1	200 × 300	外側 4-D19	720	外側 2-D10	0.2	368	—	0	24.0
	B2							C	0.08	
	B3							C	0.16	
	B4							A	0.16	
2	B5		内側 2-D19		内側 2-φ9.6	0.8	1275	C	0.32	
	B6							A	0.32	
	B7							C	0.32	
	B8							—	0	

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体の一覧表を表-1 に、試験体の配筋を図-1 に、断面詳細図を連続繊維

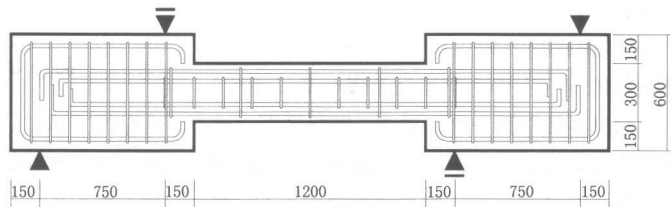


図-1 試験体図

*1 呉工業高等専門学校助手 建築学科（正会員）

*2 豊橋技術科学大学教授 工学部建設工学系 工博（正会員）

*3 豊橋技術科学大学大学院 工学研究科建設工学専攻

*4 和歌山県 西牟婁振興局建設部治水課

の算出方法であり、図-3に示すようにシート断面積を拘束するべきコンクリートの面積で除した値で定義する。

2.4 測定項目

載荷は逆対称載荷を採用し、一方向単調載荷を行った。また、実験結果の測定は以下に示す項目について行った。

- ①試験区間に加えられているせん断力
- ②試験区間の部材変形角
- ③試験区間全域の主筋のひずみ
- ④試験区間全域の横補強筋のひずみ
- ⑤連続繊維シートのひずみ

なお、試験区間の部材変形角は、試験区間の相対変位を測定し、試験区間全域の長さで除し、算出した。

3. 実験結果

3.1 概要

表-6に実験結果の概要を示す。B7試験体は試験区間外での破壊を呈したため、試験区間域での最大せん断力は、少なくともこの値以上の強度であると考えてよいと思われる。それ以外の試験体はすべて、外側主筋位置でのサイドスプリット型の付着割裂破壊を呈した。また、図-4に最大せん断力の増大率をシート補強比ごとに表したものを示す。ここでいう増大率と

は、実験で得られた最大せん断力を、シリーズごとに存在する連続繊維シート無補強の試験体の結果で除した値のことである。なお比較のため、付着割裂強度の計算値(後に示す計算式)の増大率も同図中に示す。

これらをみると連続繊維シートの補強量に応じて最大せん断力が上昇しており、連続繊維シート補強が部材のせん断耐力の増加に貢献していることが確認できる。しかし、その増分はシート補強量と直線的な関係にあるとは言い難く、シート補強による付着割裂破壊時のせん断力の上昇効果に限界があることが、キャンティレバー型試験体の付着強度の上昇効果¹⁾と同様に、部材実験においてもいえそうである。

また、せん断力と付着割裂強度の違いはあるが、実験値と計算値を比率のみで比較すると、安全側の算定となつてはいるが、大まかな傾向

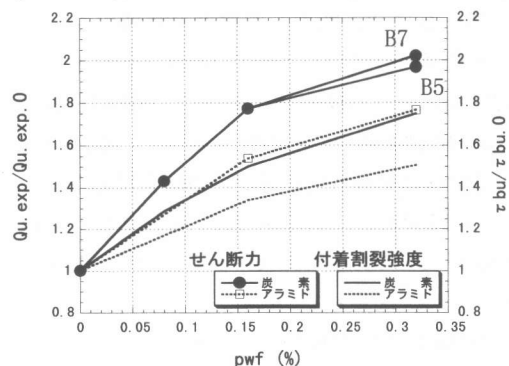
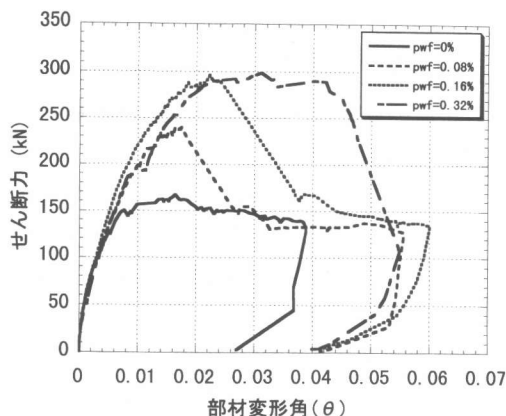


図-4 最大せん断力増大率

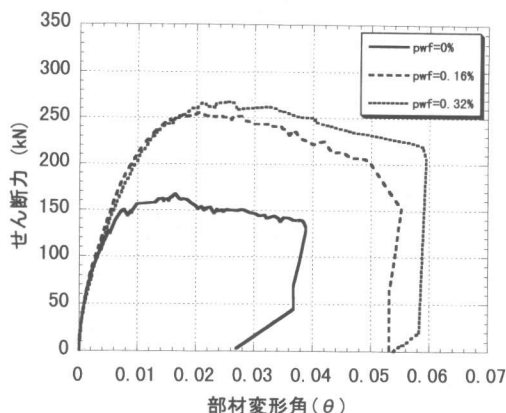
表-6 実験結果の概要

シリーズ	試験体 番号	コンクリ ート強度 (N/mm ²)	連続繊維シート		Qu.exp *1 (kN)	τ (N/mm ²)				
			種類	pwf (%)		実験値		計算値		
						τ uexp *2	シートに よる増分	τ fm*3	τ wf*4	τ bu*5
1	B1	29.8	—	0	167	1.10	-	1.92	0	1.92
	B2		C	0.08	239	1.96	0.86	1.92	0.55	2.47
	B3		C	0.16	296	2.36	1.26	1.92	0.96	2.88
	B4		A	0.16	257	2.00	0.90	1.92	0.65	2.57
2	B5	24.5	C	0.32	299	2.79	1.88	1.64	1.23	2.87
	B6		A	0.32	267	2.26	1.35	1.64	0.83	2.47
	B7		C	0.32	308	3.46	2.55	1.64	1.23	2.87
	B8		—	0	152	0.91	-	1.64	0	1.64

*1: 実験による最大せん断力, *2: 最大せん断力時の試験区間の主筋のひずみから算出された平均付着応力度, *3: 藤井・森田式による付着割裂強度³⁾, *4: 文献2)で提案した連続繊維シートが負担する付着割裂強度, *5: *3, *4の付着割裂強度の合計, *6: シート負担係数¹⁾, *7: 試験区間外で破壊



(a) 炭素繊維シート



(b) アラムド繊維シート

図-5 せん断力-部材変形角関係

は捉えているといつてよいと思われる。

3.2 せん断力-部材変形角関係

図-5にせん断力-部材変形角関係をシートの種類ごとに示す。B1とB8はどちらも連続繊維シート無補強であり、同一の曲線を描くため、B1試験体の曲線のみ表示している。また、B7試験体は試験区間以外での破壊を呈したことで、連続繊維シートの貼付け状況は異なるが補強量が同一であるB5試験体とほぼ同等の曲線を描くため、図示していない。

初期剛性は全試験体ともに同一の挙動を示しており、連続繊維シートによる影響はほとんどみられない。これに対し最大せん断力においては、40～90%の耐力上昇がみられる。炭素とアラミドを比較すると、上昇効果は炭素のほうが上回っている。これとは逆に最大耐力後の挙動を比較すると、炭素繊維シートで補強された試験体は極めて脆性的な挙動がみられるのに対し、アラミドで補強された試験体は靱性能が向上する結果がみられる。これがアラミド繊維シートの特性といえることができる。また、前節でも述べたが、シート補強量の増加が、最大せん断力を無限に増大させるものではないということが、このせん断力-部材変形角関係からもいえる。

3.3 付着応力度

表-6中の付着応力度(τ)は、最大せん断力時の試験区間での主筋応力を直線分布と仮定して求めた平均付着応力である。その時の主筋応力は、試験区間の主筋の表裏に1枚ずつ貼付したF.S.G.から得られたひずみを応力に換算した平均主筋応力である。また、表中の τ_{wf} は、文献1)の提案式の修正式((4)式)の計算値であり、 τ_{bu} は藤井・森田式で算出されたシート無補強の場合の付着割裂強度に、 τ_{wf} を加えた部材としての付着割裂強度の計算値である。以下にその計算式を示す。

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

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

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

$$\tau_{wf} = \frac{1}{6} \cdot \left(\frac{E_{wf}}{E_0} + 0.5 \right) \cdot \left\{ 1 - \left(\frac{p_{wf}}{0.0035} - 1 \right)^2 \right\} \cdot \sqrt{\sigma_b} \quad (4)$$

ここで、 τ_{co} :コンクリートが負担する付着割裂強度(N/mm²)、 τ_{st} :横補強筋が負担する付着割裂強度(N/mm²)、 τ_{wf} :連続繊維シートが負担する付着割裂強度(N/mm²)、 bi :割裂パターンを考慮した係数²⁾、 σ_b :コンクリート強度(N/mm²)、 p_{st} :横補強筋比、 b :部材幅(mm)、 N :主筋本数、 d_b :主筋径(mm)、 E_{wf} :連続繊維シート

の弾性係数 (N/mm^2), $E_0: 2.30 \times 10^5 (\text{N/mm}^2)$, p_{wf} : 連続繊維シート補強比, 但し, 本算定式の適応範囲はシート補強比 0.35% までとし, すべて下端筋の場合の算定法である. ((2), (3) 式は藤井・森田式²⁾を本実験に対応するように変形させ, 1.22 を乗じ下端筋の算定法に対応させた.)

図-6 に連続繊維シートによる付着強度増分を補強比ごとに, シートの種類ごとに示す. また, 図中には比較のために (4) 式による計算値を加えた. なお, 試験体のシリーズごとにコンクリート強度が異なるため, 付着強度をコンクリート強度の平方根で除し無次元化したものを縦軸にとり, 強度による差異をなくした状態で比較している.

図-7 は図-6 と同様の図であるが, 連続シートによる増分のみでなく, その他の負担分も加えた部材全体の付着割裂強度を比較したものである. 比較のために (1) 式の値も加えてある. 図の縦軸は図-6 と同様である.

$\tau u. \exp$ を比較すると, 部材としての付着割裂強度は計算値を下回っている. しかし, 連続繊維シートによる付着割裂強度の増分のみを比較すると, 的確にその上昇効果を捉えていると考えられる. その上昇効果は同一補強量においては, 炭素繊維シートのほうがアラミドよりも優れているという結果が得られた.

3.4 横補強筋のひずみ分布

および連続繊維シートのひずみ分布

図-8 ~ 10 に横補強筋および連続繊維シートのひずみ分布の代表例を示す. また, 試験体に加わるせん断力の増加による試験体のひびわれの進行状況を合わせて示す.

これをみると, 横補強筋のひずみが降伏ひずみに, あるいはそれに近いひずみに達しているのに対し, 連続繊維シートに貼付したひずみゲージから得られたひずみは, それぞれのシートの破断時のひずみ (表-5 中の伸度) と比較すると半分程度の値である. このことから, 前章で詳しく述べた, 試験体の付着割裂強度に生

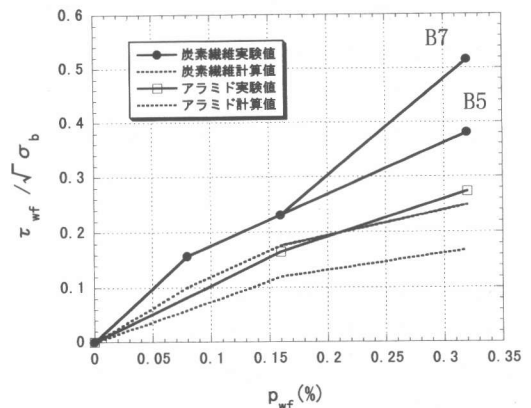


図-6 付着強度増大率
(シートによる付着強度の場合)

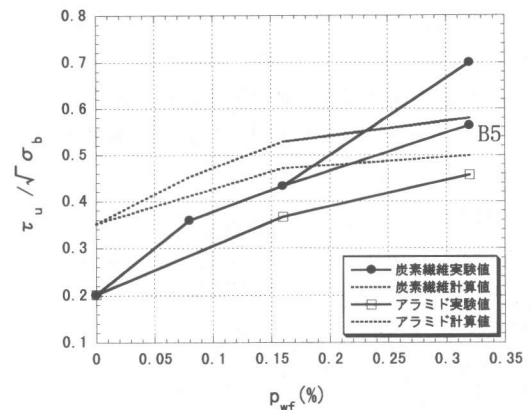


図-7 付着強度増大率
(部材の付着強度の場合)

じている炭素繊維シート補強の試験体とアラミド繊維シート補強の試験体の差異は, 表-5 に示すように連続繊維シートの弾性係数に大きな差があるため, それによるものと考えられる.

4. まとめ

逆対称載荷を受けるRCはり型試験の結果から得られた知見を以下に示す.

1. 著者等が行ったキャンティレバー型, 及び簡易型試験体と同様に, はり型試験体においても連続繊維シート補強を行うことで付着割裂強度が上昇することが確認された.
2. 同量の補強比の場合, 炭素繊維シート補強

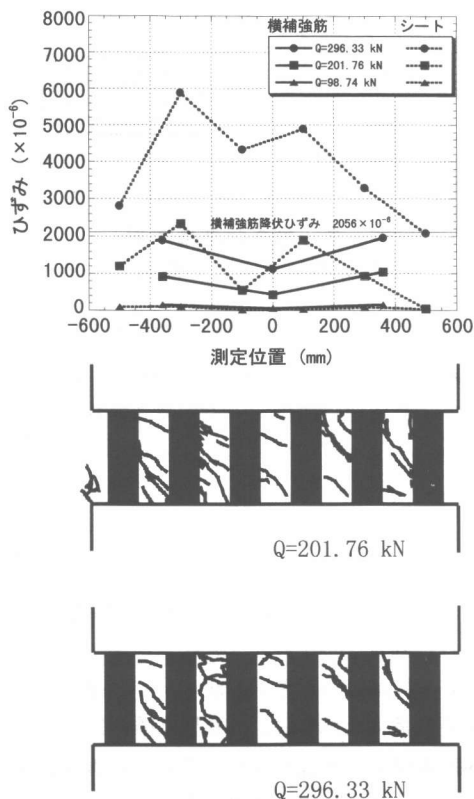
はアラミド繊維シート補強より最大耐力上昇効果は優れているが、靱性能の面においては劣ることが確認された。

3. 連続繊維シート補強による付着割裂強度の上昇効果は提案式で評価できることが確認された。

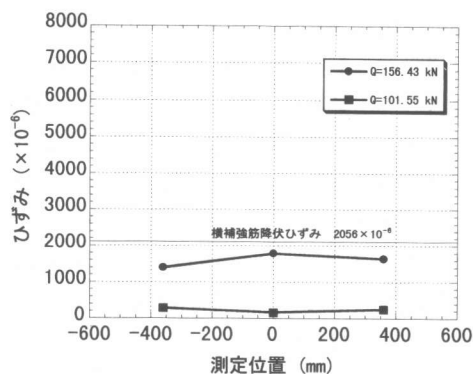
謝辞：本研究の実施にあたっては、SR-CF工法研究会より連続繊維シート材料および研究助成を賜った。ここに記し深甚の謝意を表する。

参考文献：

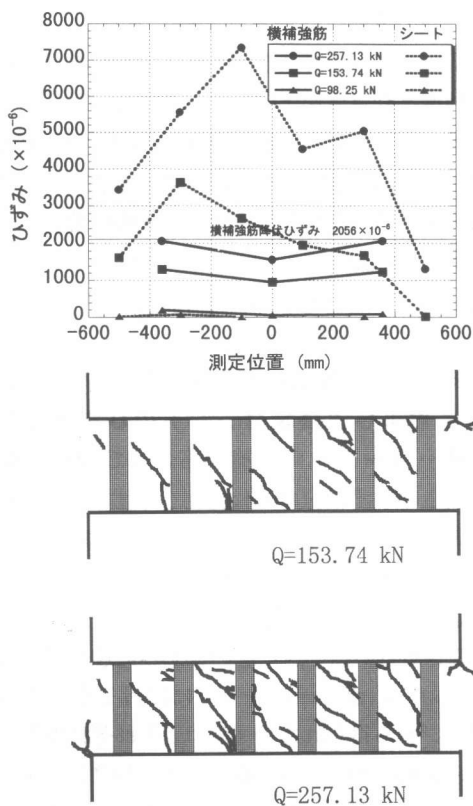
- 1) 松野一成・河野進・小幡有香・角徹三：連続繊維シートを用いたRC部材の付着割裂強度算定式の提案，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 22, No. 3, pp. 301-306, 2000
- 2) 藤井栄・森田司郎：異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究，日本建築学会論文報告集，Vol. 319, pp. 47-55, 1982. 11



図－9 横補強筋および連続繊維シートのひずみ分布 (B3 試験体 pwf=0.16% C)



図－8 横補強筋および連続繊維シートのひずみ分布 (B1 試験体)



図－10 横補強筋および連続繊維シートのひずみ分布 (B4 試験体 pwf=0.16% A)