

論文 アラミド繊維シートによる既存 RC 柱の補強効果に対する仕上げモルタルおよび高軸力の影響

谷垣 正治^{*1}・益尾 潔^{*2}・杉本 敏和^{*3}・庄司 智光^{*4}

要旨：仕上げモルタル付きおよび高軸力を受ける RC 柱に対するアラミド繊維シートのせん断補強効果を把握するために、仕上げモルタルの有無および強度、軸力比、アラミド繊維の種類をパラメータとした曲げせん断実験を実施した。本実験結果と既往の炭素繊維シートに関する研究結果を比較することにより、仕上げモルタルの影響および軸力を考慮したせん断耐力・靱性評価方法等について検討した。

キーワード：アラミド繊維, 炭素繊維, 仕上げモルタル, 高軸力, せん断耐力

1. はじめに

連続繊維シートを用いた補強工法は、既存構造物の耐震補強を簡便かつ効果的に行う方法として注目されている。今後、この工法のより一層の普及を図るためには、仕上げモルタルを残したままの補強や高軸力を受ける部材に対する補強効果を明らかにし、その適用範囲を広げておくことは有用である。すでに、鋼板や炭素繊維シート（以下 CFRP と呼ぶ）を用いた補強効果については実験的研究^{1), 2)}がなされているが、本研究では、アラミド繊維シート（以下 AFRP と呼ぶ）を用いた場合について、その補強効果を実験的に明らかにしようとするものである。

2. 試験方法

2.1 試験体

本研究で用いた試験体の一覧を表-1に示す。試験体は、「仕上げシリーズ」と「軸力シリーズ」からなり、試験体数は合計7体である。仕上げシリーズではアラミド繊維の種類と仕上げモルタルの強度、軸力シリーズではアラミド繊維の種類と補強繊維シートの層数を実験パラメータとした。AF1-M0 は仕上げシリーズと軸力シリーズに共通

表-1 実験計画の一覧

実験シリーズ	試験体	シートの種類	巻き数	pwσ _{fd} (MPa)	仕上げモルタル	軸力比 N/FcbD	隅角部半径 r (mm)		
仕上げシリーズ	1 AF1-M0	73ミ ³ -1	1	2.81	なし	0.2	10		
	2 AF1-ML				低強度				
	3 AF1-MM				普通強度				
	4 AF2-MM				普通強度				
軸力シリーズ	5 AF1-6-1	73ミ ³ -1	1	2.81	なし	0.6	10		
	6 AF1-6-3							3	8.43
	7 AF2-6-3								
仕上げシリーズ	*1 CF-M-C	CFRP	1	2.16	普通強度	0.2	10		
	*2 CF-6-1	CFRP	1	2.16	なし	0.6	30		
								*2 CF-6-1	
								*2 CF-6-3	3

(注) 1. pw = 2tf/b tf: シートの設計厚さ
 2. 試験体CF-M-C: 隅角部1層増し貼り
 3. *1: 文献1)によるCFRP補強試験体 *2: 文献2)によるCFRP補強試験体

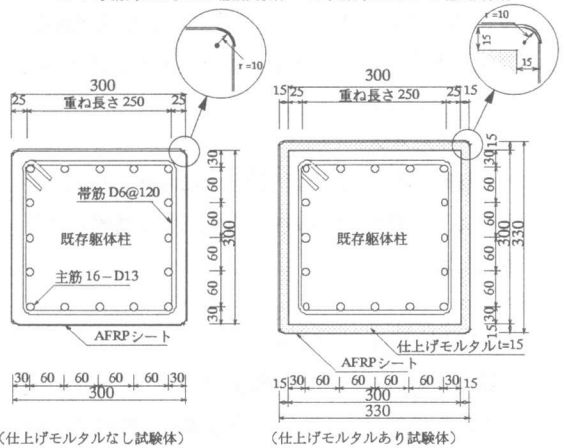


図-1 AFRP 補強のディテール (寸法単位: mm)

*1 三井建設(株) 技術研究所 工博(正会員)
 *2 (財)日本建築総合試験所 構造部長 工博(正会員)
 *3 (財)日本建築総合試験所 構造物試験室 工修(正会員)
 *4 日本アラミド(有) 営業部

1に示す。

試験体AF1-MMおよびAF2-MMでは、AF1-M0と同様、 $R = 9 \sim 10 \times 10^{-3} \text{rad}$.時に最大耐力に達し、 $R = 12 \sim 14 \times 10^{-3} \text{rad}$.時に柱中央部シートのひず

み度が急増した。ただし、両試験体ともに、それ以降、耐力が著しく低下するとともに、柱中央部シート内部の仕上げモルタルの浮きの発生が打診により確認された。

表-5 初期剛性、最大耐力、最大耐力時部材角および限界部材角

実験シリーズ	試験体名	軸力比 N/(FcbD)	Kc ($\times 10^3 \text{kN/rad}$)	Qmax (kN)	Rm ($\times 10^{-3} \text{rad}$)	Ru ($\times 10^{-3} \text{rad}$)
仕上げシリーズ	AF1-M0	0.2	126	325	10.2	33.4
	AF1-ML		157	345	16.5	23.7
	AF1-MM		165	333	9.0	15.8
	AF2-MM		153	343	10.1	18.8
軸力シリーズ	AF1-6-1	0.6	124	389	5.1	10.3
	AF1-6-3		125	384	5.0	14.6
	AF2-6-3		128	406	5.0	14.5
仕上げシリーズ	CF-M-C	0.2	140	360	10.4	27.8
	CF-M0	0.2	121	330	19.0	47.4
軸力シリーズ	CF-6-1	0.6	136	388	5.1	7.1
	CF-6-3		135	388	9.0	15.0

Kc: 初期剛性, Qmax: 最大耐力, Rm: 最大耐力時部材角, Ru: 限界部材角

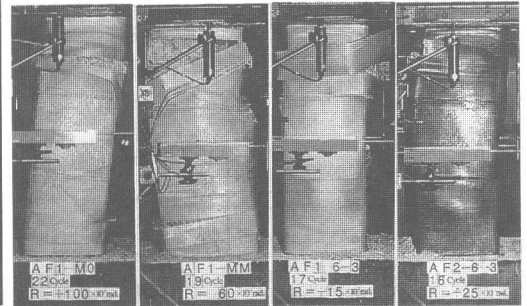


写真-1 破壊状況

Qmax: 最大耐力 ARP: シートの著しい剥がれ AS_: 加力面シートの膨らみ (E: 材端部, C: 中央部)
 EFC: 材端部付根曲げひび割れ AFR: シートの破断 (E: 材端部, C: 中央部)
 SC: せん断ひび割れ MTY: 主筋の引張降伏 APE: 加力直交面シートの膨らみ (材端部曲げ圧縮割)
 AFF: 仕上げモルタルの浮き MCY: 主筋の圧縮降伏
 AFP: シートの剥がれ開始

(注) せん断ひび割れ(SC)の発生は、加力面シート表面に貼付したひずみゲージのひずみ度の進展から推測した。

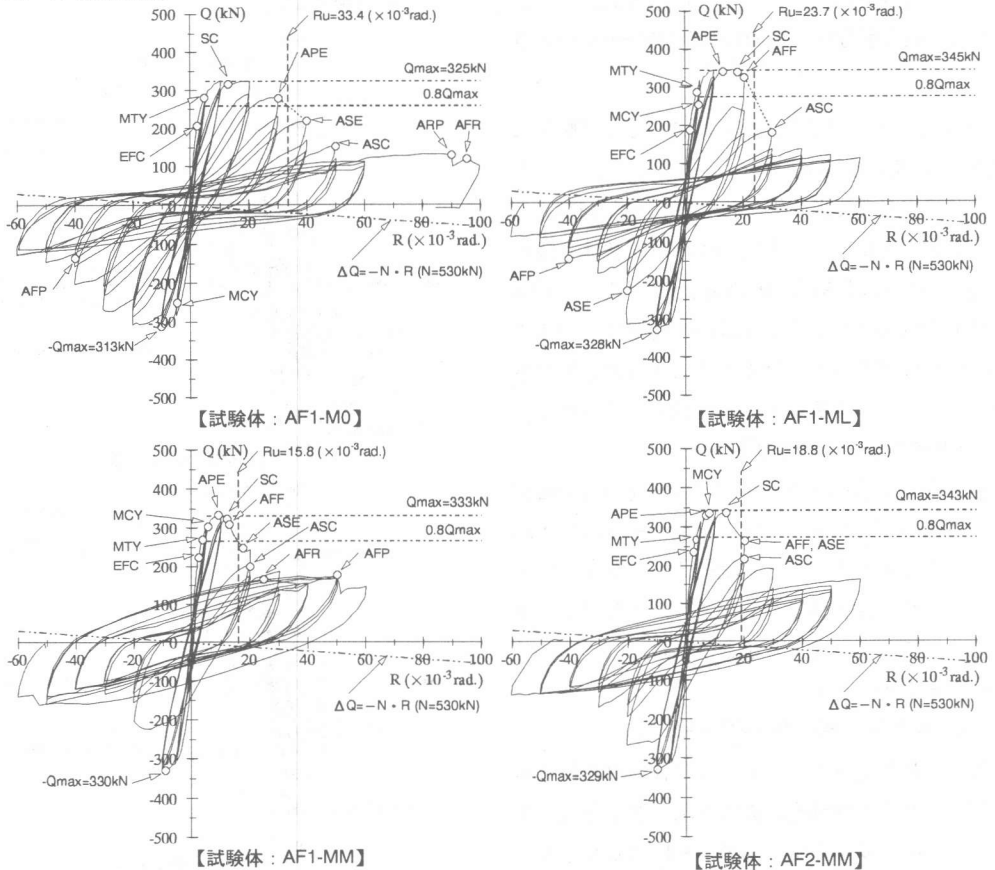


図-4 Q-R関係(仕上げシリーズ)

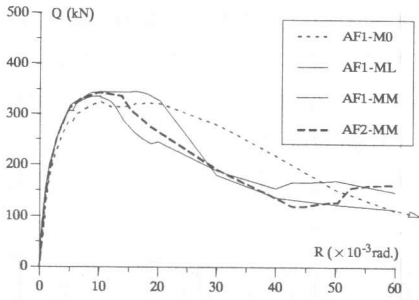


図-5 Q-R関係の包絡線
(仕上げシリーズ)

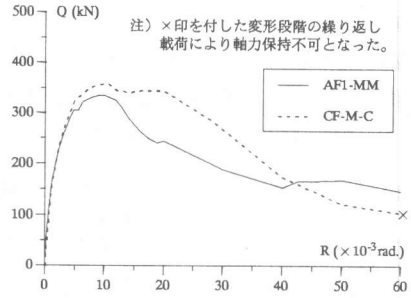


図-6 Q-R関係の包絡線 (AFRPとCFRP
の比較: 面取り半径10mm)

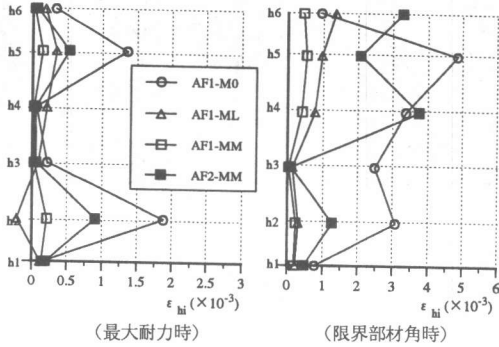


図-7 最大耐力時および限界部材角時のシートの
ひずみ分布

ルタルに浮きが生じたためモルタルなし試験体に比べて早期に耐力低下が起こった。また、アラミド1と2で荷重変形関係に大きな差は見られない。また、図-6に示すようにAF1-MM試験体と炭素繊維を用いたCF-M-C試験体を比較すると、AF1-MM試験体の方が最大耐力以後の荷重低下が大きい。ただし、CF-M-Cでは隅角部に1層増し貼りされており、これが影響した可能性も考えられる。

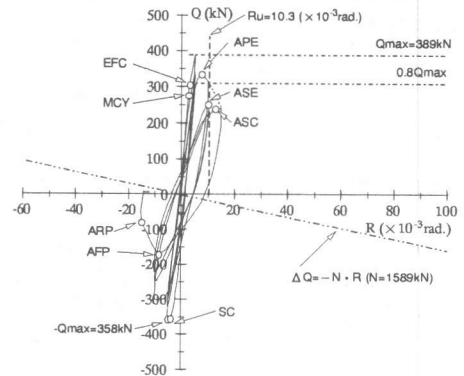
3.1.2 繊維シートのひずみ

図-7に最大耐力時および限界部材角時の繊維シートのひずみ分布を示す。繊維シートのひずみは、仕上げモルタルのある試験体の方が仕上げモルタルのない試験体よりも小さく、またアラミド1の方がアラミド2より小さかった。

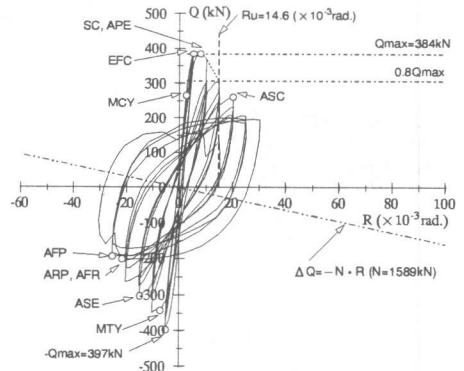
3.2 軸力シリーズ

3.2.1 荷重変形関係および破壊性状

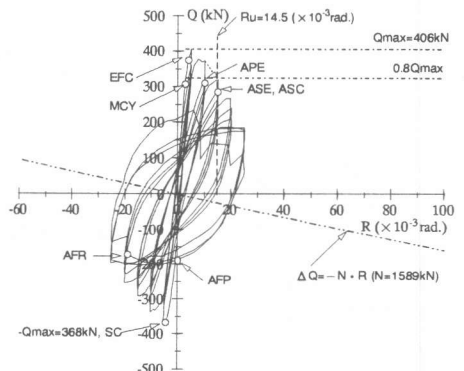
図-8に軸力シリーズの各試験体のせん断力Qと部材角Rとの関係を、破壊状況の例を写真-1に示す。図-8中の記号は図-4に示したものと同様である。



【試験体: AF1-6-1】



【試験体: AF1-6-3】



【試験体: AF2-6-3】

図-8 Q-R関係(軸力シリーズ)

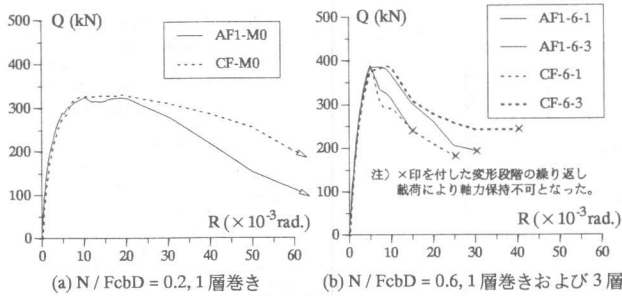


図-9 Q-R関係の包絡線(軸力シリーズ)

軸力比0.6の試験体では、シートの巻き数に係わらず、 $R = 2.4 \sim 2.7 \times 10^3 \text{rad.}$ 時に主筋が圧縮降伏し、 $R = 5 \times 10^3 \text{rad.}$ 時に最大耐力に達した後、耐力が低下した。ただし、巻き数が少ないと、耐力低下の度合いが大きくなった。柱中央部シートのひずみ度が急増する部材角は、AF1-6-1では $R = -4 \times 10^3 \text{rad.}$ 、AF1-6-3では $R = 8 \times 10^3 \text{rad.}$ 、AF2-6-3では $R = -4 \times 10^3 \text{rad.}$ であった。その後、 $R = 7 \sim 10 \times 10^3 \text{rad.}$ 付近で、各試験体ともに、加力直交方向の面の繊維シートが膨らむとともに、柱頭部でシート重ね部の始端部よりシートが剥がれ、一部シートが隅角部近傍で破断し、軸力を保持できなくなった。また、AF1-6-3とAF2-6-3とを比較すると、荷重変形関係には差異は見られなかったが、AF1-6-3ではシートの剥がれが生じたのに対し、AF2-6-3ではシートの剥がれはほとんど生じず破断した。

図-9に各試験体の荷重変形関係の包絡線を比較して示す。軸力比0.2の場合(図-9(a))を見ると $R = 20 \times 10^3 \text{rad.}$ 以上の変形域ではAF1-M0試験体の方が耐力の低下傾向が大きい。これは、隅角部の面取り半径がAF1-M0では10mm、CF-M0で30mmであり、隅角部形状による拘束効果の差が現れたものと考えられる。また、図-9(b)に示すように、最大耐力の50%程度に耐力低下するまでは、AFRPとCFRPで変形性能に差は見られないが、軸力保持ができなくなった部材角はAFRPの方が小さくなった。

3.2.2 繊維シートのひずみ

図-10に、軸力比0.6の場合の最大耐力時および限界部材角時の繊維シートのひずみ分布を示す。

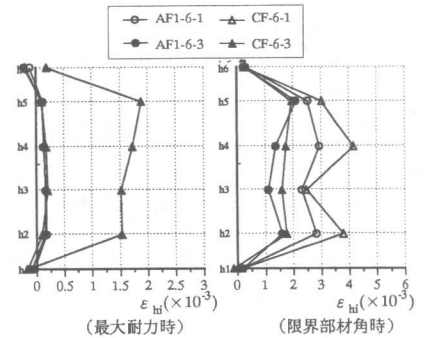


図-10 最大耐力時および限界部材角時のシートのひずみ分布

最大耐力時にはCFRPのシートのひずみが大きな値を示した。また、限界部材角時のひずみはCFRPに比べてAFRPの方が小さかった。これは、隅角部の面取り半径の差の影響が大きいものと考えられる。

3.2.3 終局耐力および限界部材角の検討

図-11(a)は、せん断耐力の実験値と計算値を比較したものである。終局曲げ耐力 Q_{mu} および終局せん断耐力 Q_{su} は、耐震診断基準式によって算定し、釣合い軸力を超える場合は Q_{mu} を釣合い軸力時曲げ耐力とした。シートの計算用引張強度はAFRPで1000MPa、CFRPで2000MPaとした。図-11(a)より、本計算方法は実験耐力を安全側に評価することがわかる。ただし、破壊モードの判別はできていない。

限界部材角実験値($R_{u\text{test}}$)とせん断余裕度計算値 Q_{su}/Q_{mu} の関係を図-11(b)に示す。図中の線は、下式によって求めた。

$$R_{u-o} = \mu s \cdot R_y \quad (1)$$

$$\mu s = 10 \{ Q_{su} / Q_{mu} - q_{so} \} \geq 1 \quad (2)$$

ここに、 μs : 終局塑性率

R_y : 降伏部材角(=1/150rad.とする。)

q_{so} : 補強方法によって決まる係数

同図に示すように、軸力比の増大に伴い、($R_{u\text{test}}$)は減少する。軸力比0.6の場合にも安全側に評価しようとする、AFRP補強の場合 q_{so} を0.8程度とする必要がある。ただし、 q_{so} は隅角部面取り半径やシートの計算用引張強度によるところが大きい。

図-11(c)に、(3)式による(α_n) $_{\text{test}}$ と軸力比との関係を示す。この図より(α_n) $_{\text{test}}$ を(4)式と評価し、

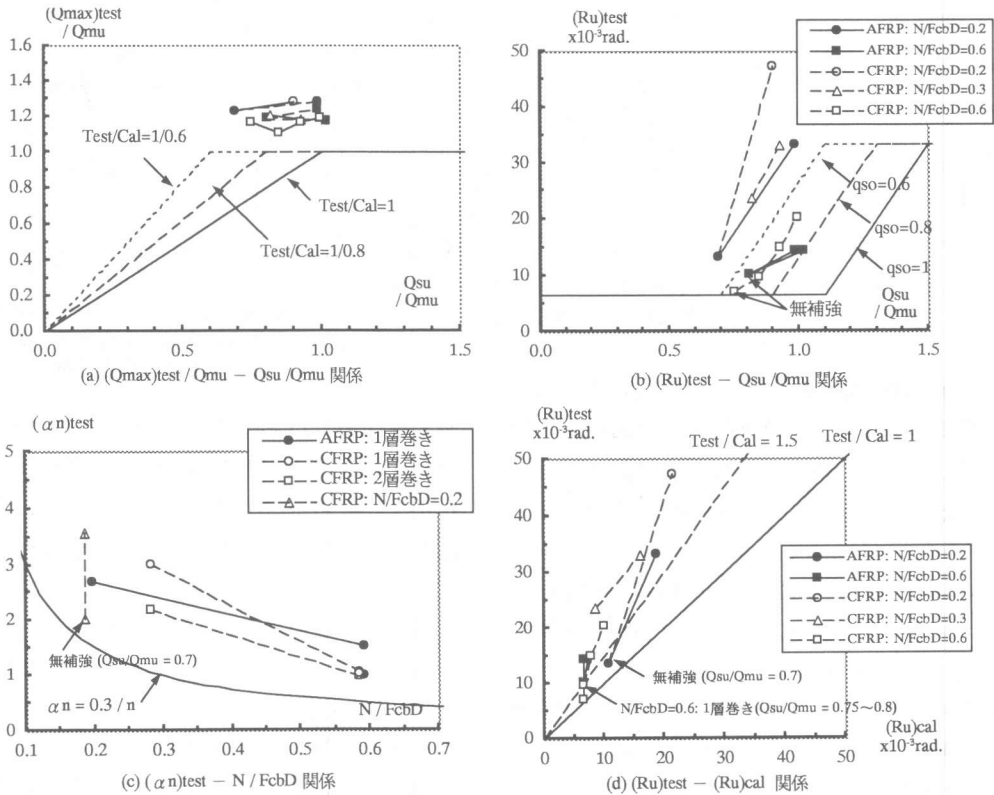


図-11 終局耐力および限界部材角の検討結果

(5), (6)式より $(R_u)_{cal}$ を算定した。

$$(\alpha n)_{test} = (R_u)_{test} / R_u \quad (3)$$

$$(\alpha n)_{test} = 0.3 / n \quad (n = N / F_{cbD}) \quad (4)$$

$$\mu = \alpha n \cdot \mu_s \geq 1 \quad (5)$$

$$(R_u)_{cal} = \mu \cdot R_y \quad (6)$$

$(R_u)_{cal}$ と $(R_u)_{test}$ の関係を図-11(d)に示す。同図より、 $(R_u)_{cal}$ は $(R_u)_{test}$ に対して1.5程度の安全率を有しているが、高軸力で巻き数が少ない試験体では最大耐力以後の耐力低下が急激であるため安全率が低下する結果となっている。

4. まとめ

- 1) AFRP 補強の場合、仕上がりがある場合の変形性能は無い場合に比べて低下した。これは隅角部形状に起因するシートの仕上げモルタルに対する拘束不足によると考えられる。
- 2) 軸力比が0.2の場合、 $R = 20 \times 10^3 \text{rad}$. 以上の変形域では、面取り半径10mmのAFRPは30mm

のCFRPより耐力低下が大きかった。

- 3) 軸力比が0.6の場合、最大耐力の50%程度に低下する段階までは、AFRPとCFRPで変形性能に差はなかったが、軸力保持ができなくなった部材角はAFRPの方が小さくなった。
- 4) アラミド1と2で補強効果に及ぼす仕上げモルタルおよび高軸力の影響は同程度であった。
- 5) 限界部材角は、文献の方法によって安全側に評価できるが、係数 q_{so} はCFRPに比べてAFRPの方をやや大きくする必要がある。

[参考文献]

- 1) 益尾 潔ほか：既存RC柱の鋼板補強およびCFRP補強に及ぼす仕上げモルタルの影響に関する実験，GBRC, No.92, pp.13-24, 1998.10
- 2) 益尾 潔ほか：高軸力下の鉄筋コンクリート柱における鋼板補強およびカーボン繊維による補強効果に関する実験，GBRC, No.88, pp.22-44, 1997.10
- 3) 日本建築防災協会：既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説，平成2年