

論文 連続繊維シートの付着力向上に関する研究

栗田幸治^{*1}・志村和紀^{*2}・堀口敬^{*3}・佐伯昇^{*4}

要旨:連続繊維シート(以下FRPシートという)をコンクリート表面に接着補強する際, FRPシートの高強度特性をより活かすためには, FRPシートとコンクリートとの付着力の向上が重要であると考える。本研究では, 付着力向上の一手法としてFRPシート表面に圧縮力を作用(FRPシート表面に等分布荷重を与える)させることにより, コンクリートとFRPシートとの付着力が向上することを調べたものである。付着力の試験として一軸引張試験を行い, FRPシート表面に圧縮力を作用させることにより付着耐力が圧縮力に比例して増大することを実証するとともに, 有効付着長さが長くなることを示している。

キーワード:連続繊維シート, 圧縮力, 有効付着長さ

1. はじめに

阪神淡路大震災に伴う設計指針の見直し等により, コンクリート構造物の補修補強が必要とされ, 日本各地で報告されているコンクリート片の崩落現象により, メンテナンスフリーと言われていたコンクリート構造物も, 適切な維持管理を行わなければ, 構造物としての役割と機能を大きく失ってしまうことが社会的にも認識され, 耐久性の面からも補修補強が要請される状況となってきた。

このような状況にあって, 軽量かつ高強度高耐久性, 現場加工の容易性そして施工の簡便性という優れた特質を有するFRPシートのコンクリートへの接着による補強は, 今後ますます多用されることが予想される。

現在一般に施工されているFRPシートによる接着補強は, FRPシートがコンクリートから剥離を起こす限界状態においてシートが分担している応力は, FRPシートの高強度特性からすると必ずしも十分活かされておらず, もし付着力が確保され続けるものならば, 構造物の更な

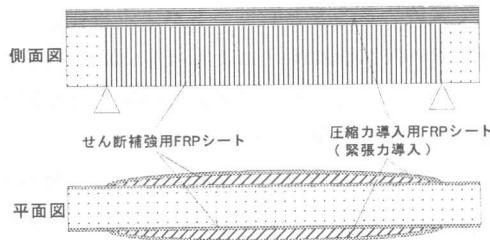


図-1 せん断補強概要図

る耐力の向上が期待できる状況にある。そこで付着力向上の一手法として, コンクリート面に接着したFRPシートの表面に, 等分布荷重となる圧縮力(以下圧縮力という)を与えることにより付着力の向上を試みた。

図-1にそのせん断補強概要図を示す。ウエブにせん断補強用FRPシートを接着し, 上端に放物線の治具(図中の斜線部)を取り付け, 治具を巻くように配置した緊張力を与えた圧縮力導入用FRPシートにより発生するウエブ方向への力により, 補強用FRPシートに圧縮力を与えるものである。

*1 北海道大学大学院

工学研究科社会基盤工学専攻 工修(正会員)

*2 北海道大学大学院助手

工学研究科社会基盤工学専攻 工博(正会員)

*3 北海道大学大学院助教授

工学研究科社会基盤工学専攻 工博(正会員)

*4 北海道大学大学院教授

工学研究科社会基盤工学専攻 工博(正会員)

2. 実験概要

2.1 試験供試体

付着力試験として一軸引張試験を行う。供試体は図-2に示す様な一軸引張試験供試体を作成した。コンクリートの配合を表-1に示す。

供試体は定着側と試験側とに分かれており、供試体中央に配置したD19鉄筋を引っ張ることによりコンクリート供試体を引っ張り、それを介してFRPシートに引張力を与え、コンクリートとFRPシートとの付着力を試験する構造のものである。なお鉄筋は、定着側と試験側との間で切断されている。

付着力試験を行うFRPシートの幅は80mmである。既往の報告書¹⁾に於いては、50mm幅にて試験することとしているが、本研究室において行った試験結果²⁾によれば幅80mm以上であれば単位幅当たりの付着力が一定となる研究があり、その結果に基づき幅80mmとした。1軸引張試験に使用したFRPシートは一方向アラミド連続繊維シートであり、その諸元を表-2に示す。

供試体の製作に関して、試験側にコンクリートの破壊防止を目的としてφ3のスパイラル鉄筋を軸方向に配筋した。又、適宜定着側にも配筋した。

FRPシートの接着に際しては、コンクリート表面をディスクサンダーにより十分にレイターンス処理を行い、プライマーを塗布した。プライマー乾燥後、FRPシートにエポキシ系接着剤をFRPシートに十分含浸させることにより供試体に接着を行った。

試験側には、非接着区間を10cm程度設けた。これは試験側コンクリートの縁までFRPシートを接着すると、コンクリート隅角部が破壊するため、それを防止するためである。このようなひび割れ現象は、報告書¹⁾にても指摘されている。

定着側は2方向FRPシートを巻き付けることにより、剥離破壊が試験側に生じるよう補強を行うと同時に、定着側鉄筋の引き抜け防止を

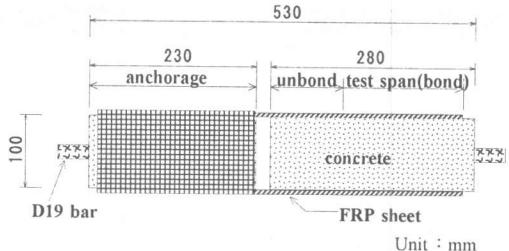


図-2 一軸引張試験供試体図

表-1 コンクリート配合表

水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位量(kg/m ³)		
		水	セメント	細骨材
53	39	160	303	741
				1161

表-2 アラミド連続繊維シート諸元

目付量(g/m ³)	248
比重	1.39
厚さ(mm)	0.178
引張強度(N/mm ²)	2865
引張弾性率(kN/mm ²)	75
破断伸度(%)	3.5

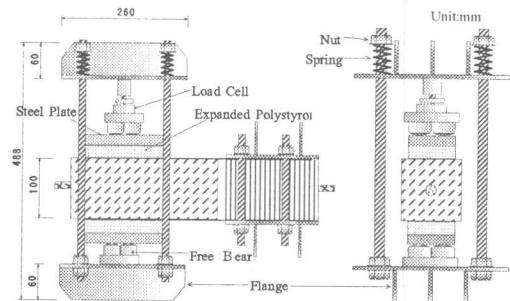


図-3 FRPシート接着部に圧縮力を与える装置

図っている。

試験は、FRPシート接着後、1週間養生を行い十分接着力が発揮された後試験を行った。

2.2 圧縮力載荷装置

本試験に際し、FRPシート接着部に圧縮力を与える装置を作製した。装置図を図-3に示す。

この装置は上下2枚の締め付け板（鋼製、板厚6mm）にねじを通して、ナットで片側は完全固定（図に於ける下側の締め付け板）する。上側の締め付け板に通したねじにバネとワッシャ

一、ナットを取り付け、ナットを締めることによって試験側供試体に力を与える構造のものである。

締め付け板は曲げ剛性を高めるためにフランジを取り付けた。バネは、ねじを締める際過剰な力が加わらないよう又、それぞれが均等に締まり易いように入れてある。

上側締め付け板と供試体の間にはロードセルを挿入し、その頭部には球座を設けてある。

ロードセルと供試体の間にポールベアリング構造をしたフリーべアを四基設置した。フリーべアの下に 15mm 厚の鋼製のプレートを入れ、更にその下に 20mm 厚の発泡プラスチック板（幅 80mm × シートの接着長さ 80 ~ 200mm）を挟み等分布荷重が FRP シートに作用するようにした。

圧力が FRP シート表面上に均等に作用することは、圧力フィルムを使用して確認を行った。

鋼製プレートと発泡プラスチック板およびそれと供試体の間にはそれぞれテフロンシートを入れ、摩擦を取り除いた。

定着側にも、締め付け板で供試体を挟み込み定着側の破壊防止を図った。

2.3 試験方法

試験は図-3 の装置を供試体に取り付け、圧縮力を FRP シート表面に与えつつ、変位制御方式にて引張載荷を行った。変位速度は 0.5mm/min であり、供試体が破壊するまで載荷を行った。試験状況を写真-1 に示す。

圧縮力載荷装置は自重で落ちないようにチェーンロックでつり下げ保持している。

FRP シートの接着長さ (80,100,150,200mm) と、FRP シート表面に作用させる圧縮力 (0.45,80,120kN/m²) をそれぞれパラメータに取った。圧縮力の上限は、図-1 に示す補強法でその程度と計算されるためである。FRP シート表面中央軸線上（鉄筋軸上）に、5mm 長の箔ゲージを、FRP シート貼り始め位置から 5mm の位置より 20mm ピッチで貼り付け、FRP シー

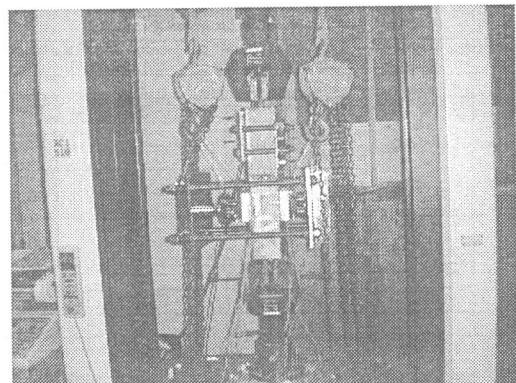


写真-1 実験状況

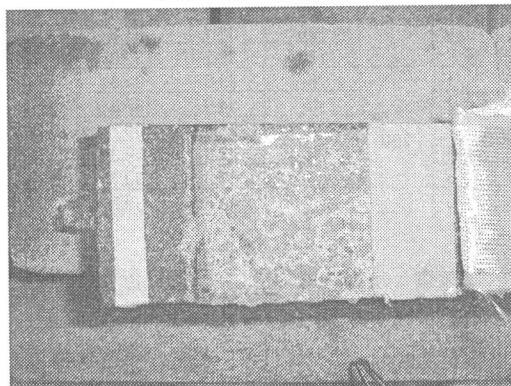


写真-2 供試体破壊面

ト表面のひずみ分布の測定を行った。

3. 試験結果と考察

3.1 圧縮力と破壊荷重

破壊形態は全てコンクリート表面から数ミリが剥がれてくる剥離破壊であり、圧縮力の大きさに関係なく同様の形態であった。写真-2 に供試体 A シリーズの剥離破壊面を示す。モルタル層が引き剥がれ、粗骨材表面が露出している。

表-3 に試験結果一覧を示す。試験供試体コンクリートの圧縮強度のばらつきを補正するために、圧縮強度がその平均 35N/mm² であるものとし補正を行った。補正に際し、付着強度はコンクリートの圧縮強度の 2/3 乗に比例することが報告³⁾ されていることから、この研究に基づき破壊荷重の補正を行った。

表中の破壊荷重比は、圧縮力を与えたものの

表-3 一軸引張試験結果

供試体No.	付着長 (mm)	載荷圧縮力 (kN/m ²)	破壊荷重 (kN)	コンクリート強度 (N/mm ²)	破壊荷重比
A	80	0	21.7	28.3	1.00
		0	27.3	39.3	
		45	26.2	39.7	0.96
		80	28.5	39.7	1.04
		120	36.8	31.8	
		120	25.2	28.2	1.36
B	100	0	23.0	28.2	1.00
		0	27.6	39.3	
		45	34.1	31.8	
		45	21.5	28.2	1.17
		80	37.3	39.7	1.32
C	150	0	28.2	28.3	
		0	32.0	33.4	1.00
		0	25.7	37.6	
		45	33.2	39.7	1.02
		80	36.5	39.3	1.13
		120	37.7	31.8	
		120	30.2	37.6	1.34
D	200	0	29.0	31.8	1.00
		45	34.0	39.3	
		45	29.5	39.7	1.01
		45	27.0	28.3	
		80	37.0	39.7	
		80	49.6	39.3	1.35

破壊荷重と圧縮力を与えていない 0 kN/m^2 の時の破壊荷重との比をとったものである。但し、破壊荷重比はコンクリート強度の補正を行ったものを用いて計算を行っている。

図-4には、供試体Aシリーズ（接着長80mm）およびDシリーズ（接着長200mm）の圧縮力とコンクリート強度を補正した時の破壊荷重の関係を示し、併せて最小2乗法により直線回帰したものと示す。

表-3の破壊荷重比の値から、圧縮力が比較的小さい 45 kN/m^2 の時はその効果が顕著には現れなかった。この理由に関しては今のところ明確な答えは得られておらず、引き続き十分な実験を行い、データの拡充により検討を重ねなければならない。

しかし一方、圧縮力を十分与えた供試体においては、いずれの接着長についても破壊荷重比が大きくなってしまい、FRPシートに圧縮力を与えることが付着力を向上させる傾向にあることを示している。

さらに図-4から回帰直線の傾きは供試体A、Dともほぼ等しいことから、本試験範囲においては、FRPシートの接着長によらず圧縮力

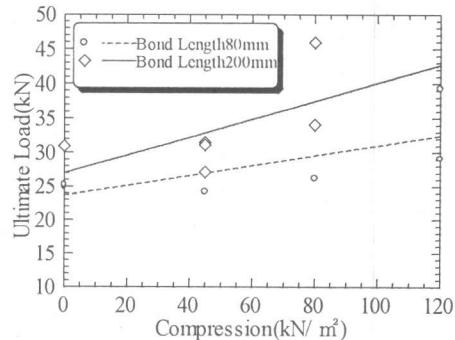


図-4 破壊荷重-圧縮力関係

に比例してほぼ一定割合で付着力が向上するものと思われる。

3.2 ひずみ挙動

図-5に供試体D即ち接着長200mmのFRPシートの荷重とひずみの関係を示す。なお、ひずみの値はFRPシート貼り始め位置から25mm位置のものである。

図-5において、圧縮力を与えたものの方が荷重レベルで見た場合、例えば荷重25kNの時ひずみが小さくなっている。このことに関してさらに実験を行いデータの収集を図らなければならぬが、現段階において次のように考える。

FRPシート表面に圧縮力を与えると、付着力が改善向上し後述する有効付着長さが長くなることが予想される。

圧縮力を与えたことによる有効付着長さの増分部分は、圧縮力を与えていない時には荷重を

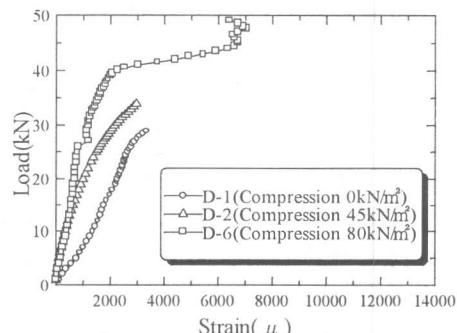


図-5 荷重-ひずみ関係（付着長 200mm）

分担することが出来なかつた領域であるが、荷重を分担することの出来る領域となる。

FRP シートが受けている荷重を、有効付着長さ全体で荷重を分担することから 25mm 位置に於けるひずみの値は、圧縮力を与えたものの方が与えていないものに比して、有効付着長さの増加分小さくなるものと考えられる。

以上のこととは、必ずしも十分解明できておらず、今後詳細な検討を重ねる必要がある。

荷重一ひずみ関係の形状は、圧縮力が 0 および 45 kN/m² の場合はほぼ線形にひずみが増加していく、破壊荷重近傍で傾きが緩くなる。この屈曲点で剥離が生じ始めていると考えられる。

80 kN/m² の場合は、剥離が生じていると考えられる屈曲点後も降伏棚の様なひずみ挙動となっており、FRP シートの接着長 200mm に於いて表-3 に示す破壊荷重比は 45kN/m² の場合 1.01 であり、80kN/m² の場合は 1.35 であることから、破壊荷重比が大きくなっているものは、このような降伏棚のひずみ形状をとるものと考えられる。

この理由に関しては、剥離後は FRP シートが荷重を分担し得ないことから、コンクリートと FRP シートとの付着力ではなく、試験最中に於ける一軸引張力が FRP シートに作用してひずみが生じているものと考えられる。

また付着力が向上し破壊荷重が大きくなっていくことは、圧縮力を与えるに従って破壊時に FRP シートに生じている最大ひずみが大きくなっていくことであると考えられる。

3.3 有効付着長さ

FRP シートを貼り付けた場合、貼り付け長さが長いものほど最大荷重が大きくなると考えられるが、実際は貼り付け長さがある一定の長さ以上では最大荷重があまり増加せず、単位面積当たりの付着応力が FRP シートが長くなるほど小さくなってしまう。このことは、ある長さ以上では FRP シートが荷重を分担していないということになり、荷重を分担しているところ

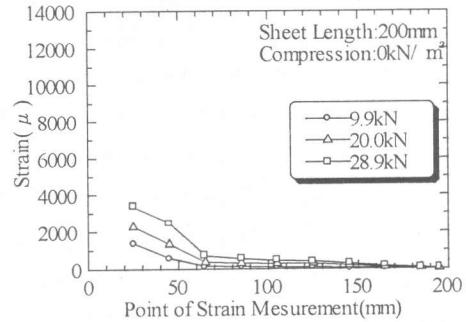


図-6 ひずみ分布図（圧縮力 0kN/m²）

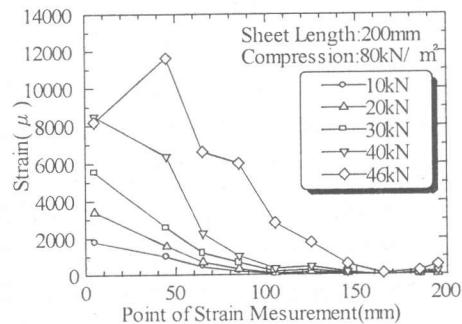


図-7 ひずみ分布図（圧縮力 80kN/m²）

までの FRP シートの長さを有効付着長さと呼んでいる。^{1) 2)}

よって、FRP シートをコンクリートに接着し最大荷重を向上させるためには、この有効付着長さを増大させることが一つの方法であると言える。

図-6、図-7 に接着長 200mm の各荷重状態に於ける FRP シート表面の測定位置のひずみ分布を示す。

図-6 には圧縮力が 0 kN/m² の場合を、図-7 は 80 kN/m² の時のものである。

FRP シートに圧縮力を与えていない場合、即ち図-6 では荷重が大きくなるに従い、ひずみも大きくなっていくが、いずれの荷重状態にあっても、およそ 80mm 程度でほぼひずみが 0 になっている。このことからこの供試体の場合、荷重を分担する範囲が 80mm 程度であり、それ以上の部分は、荷重分担にあっては必ずしも有效地に作用していない。

一方圧縮力を作用させた図-7の場合、110mm程度までの区間でひずみが生じている。即ち、この供試体の場合、110mm程度の区間でFRPシートが荷重を分担しているものと考えられる。接着長はどちらも200mmと同じであることから、圧縮力をFRPシート表面に作用させることにより、荷重を分担する区間が80mmから110mmへと長くなったことがわかる。

更に圧縮力を作用させた図-7の供試体においては、荷重40kNから46kNの時、ひずみの線形性が崩れてきており、45mm区間までのFRPシートが剥離したものと考えられる。剥離したことにより、ひずみの生じている位置が110mmから160mm程度へシフトし、45mmから160mm区間が荷重を分担することとなる。その長さは約110mmであり、有効付着長さ分だけが荷重を分担することとなる。このような剥離挙動は、既往の研究^{1) 2)}でも述べられており、圧縮力を作用させても同様の形態となることがわかる。

4.まとめ

本研究から得られた知見をまとめると下記の通りとなる。

①コンクリート表面に接着したFRPシート表面に、等分布荷重となる圧縮力を作用させると、与えない場合に比べ付着が大きくなっており、付着耐力が向上している。

②コンクリートとFRPシートの付着力は、圧縮力とひずみの関係図(図-4)の回帰直線の傾きが接着長80mmと200mmともほぼ同じであることからFRPシートの接着長に関わらず、圧縮力に応じて増加し、その増加割合はほぼ一定である。

③圧縮力を0kN/m²と80kN/m²えた接着長200mmのひずみ分布図から有効付着長さは1.4倍程大きくなっている、有効付着長さは、圧縮応力を与えることにより長くなることが確認された。

謝辞：本学学生の小島岳生、深尾昌弘両君、本研究を行う上で、資材等を提供して下さった、ショーボンド建設(株)の江口和雄氏、極東高分子(株)の前田章氏に謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：連続繊維補強コンクリート委員会報告書(II)、1998.5
- 2) 出雲健司：連続繊維シートによる鉄筋コンクリート部材の補強に関する研究、北海道大学大学院学位論文、1999.3
- 3) 出雲健司・浅水俊博・佐伯昇・志村和紀：アラミド及び炭素連続繊維シートの付着特性、コンクリート工学論文集、vol.9、No.2, pp1-7, 1998.7