

V-42

圧縮力を作用させた連続繊維シートの付着力の向上に関する研究

北海道大学大学院 ○学生会員 栗田 幸治

北海道大学工学部 小島 岳生

北海道大学大学院 フェロー 佐伯 昇

北海道大学大学院 正会員 志村 和紀

1. はじめに

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、海岸沿いの塩分飛沫帯のような場所では損傷が多く発生し、適切な維持補修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認識され、更に建設当時では想定されていなかった程の交通量の増大、あるいは阪神淡路大震災に伴う設計指針の見直しにより、コンクリート構造物の補強が必要となっている。このような状況の中で様々な維持補修補強が施工されており、例えばエポキシ樹脂塗装による補修や鋼板巻き立て、連続繊維による補強¹⁾等が行われており、それらに関する研究も精力的に行われている。

種々の補強方法が施工される中、軽量かつ高強度高耐久性、施工の簡便性という特質を有する連続繊維シート（以下 FRP シートという）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、桁や床版へ適用した場合はその軽量性から死荷重の増加を軽減し、接着施工に関し特殊な技術が必要としないことから短期施工が可能となり、覆工コンクリートへの適用に際しては内空の確保が容易である。

FRP シートによる補強を行う際、コンクリートとの付着性状即ち有効付着長さが重要であることが指摘されており²⁾、例えば一軸引張試験により出雲³⁾によって研究がなされている。

通常の FRP シートによる接着補強では、剥離を起こす際にシートが分担している応力は、その高強度特性からすると十分なものではなく、もし付着力が確保されるならば、即ち有効付着長さが確保することが出来れば更に耐力の向上が期待でき、FRP シートの分担力も上昇することが予想される。そこで著者らは FRP シート面に圧縮力を与えることにより、付着力の向上を図った。以下で、FRP シート面に圧縮力を作用させた際の実験結果を報告する。

表-1. コンクリート配合

	C	W	S	G	Air
単位量(kg/m ³)	160	303	741	1161	5%

表-2. アラミド連続繊維シート諸元

目付量(g/m ²)	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

2. 実験概要

使用した FRP シートはアラミド繊維であり、エポキシ系接着剤で供試体に接着した。セメントは早強ポルトランドセメントであり、打設後 14 日目に実験を行った。表-1 に配合を、FRP シートの諸元を表-2 に示す。

図-1 に示す大きさの一軸引張試験供試体を作成した。供試体は定着側と試験側に分かれているが、製作に当たっては一本ものとして作成

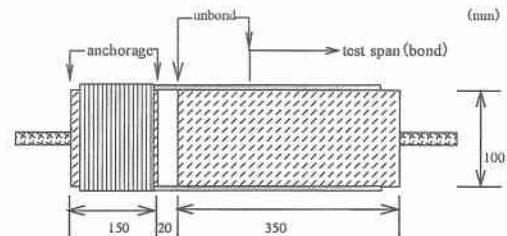


図-1. 一軸引張試験供試体

A study on bond improvement of continuous fiber sheet under compression

By Koji KURITA, Takeo KOJIMA, Noboru SAEKI and Kazunori SHIMURA

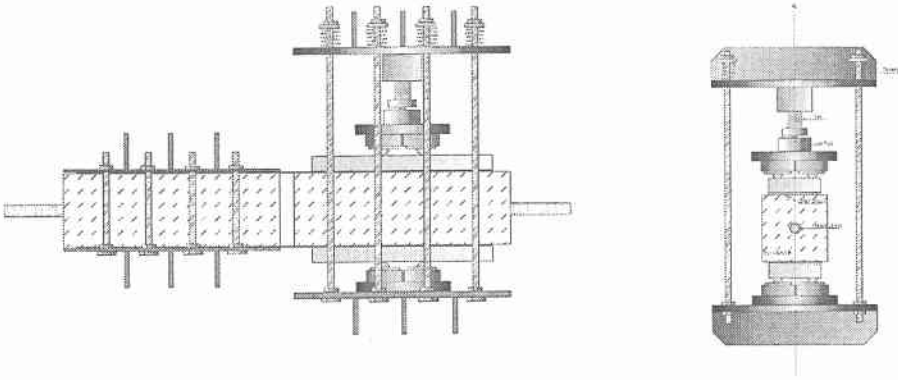


図-2. 圧縮力載荷装置

し、載荷装置に設置後、間隙部の鉄筋を切断し分離している。

供試体の作成に関しては次のような行程で行った。

①鉄筋の引き抜け等による供試体コンクリート破壊の先行又、クラックの発生を防止するために供試体中に $\phi 3$ のスパイラル筋を試験側に配筋する。

②コンクリート表面を粗骨材が現れる程度に十分ディスクサンダーによりレイタンス除去処理を行い、プライマーを塗布する。

③FRPシートを接着する。接着剤はFRPシートに十分含浸するようにする。定着側はFRPシートを巻き付け補強する。

④接着完了後1週間恒温養生(20℃)する。

角部のコンクリートの破壊²⁾が起こらないようにシートの接着に際し、接着開始点即ち test span 開始点の位置を供試体間隙部から10cm程度ずらして接着した。供試体への引張力は、埋設したD19鉄筋を介して供試体に伝達される。試験に際しては供試体の間隙部で鉄筋を切断し、変位制御(0.5mm/min)により載荷を行った。

一軸引張試験を行いながら、圧縮力をFRPシートに与えるために著者らは図-2に示す装置を考案した。この装置は上下2枚の締め付け板(鋼製)をねじで連結し、それを締めることによって板が狭まり供試体に力を与える構造のものである。締め付け板は剛性を高めるために羽を取り付けた。締め付け板の板厚は6mmである。

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め易いようにバネとワッシャーを介してナットを取り付けてある。

板と供試体の間にはロードセルを挿入し所定の荷重が載荷できるようにしてある。ロードセルの頭部には球座をもうけてある。

装置の影響が供試体に及ばないように、ロードセルと供試体の間にボールベアリング構造をしたコロを設置した。コロの下に15mm厚の鉄のプレートを入れ等分布荷重がFRPシートに作用するようにし、更にその下に供試体表面になじむよう20mmの発泡プラスチック保温材を挟んだ。これらの間(鉄プレートと発泡プラスチック保温材及びそれと供試体の間)にはそれぞれテフロンシートを

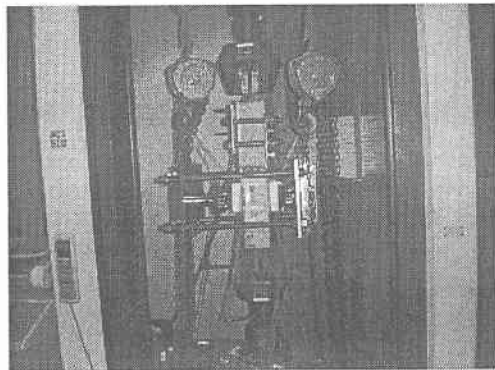


図-3. 実験状況

表－３．実験供試体一覧

供試体	圧縮力(kN/m ²)	付着長(mm)	破壊荷重(kN)	破壊形状	圧縮強度(Mpa)	引張強度(Mpa)
No.1	0	80	21.7	剥離破壊	28.2	2.6
No.2	45	80	26.2	剥離破壊	41.3	3.3
No.3	80	80	28.5	剥離破壊	41.3	3.3
No.4	0	200	21.0	剥離破壊	37.6	—
No.5	45	200	29.5	剥離破壊	41.3	3.3
No.6	80	200	37.0	剥離破壊	41.3	3.3

入れ、摩擦を取り除き影響が FRP シートにでないようにした。

実験を行った供試体の一覧を表－３に示す。圧縮強度及び引張強度は、試験に用いたコンクリートの強度である。圧縮力の大きさと FRP シートの付着長を変化させ、供試体破壊荷重とシート表面ひずみを測定した。ひずみ測定位置は、FRP シート表面の中央線上（鉄筋軸線上）に 5mm 長の薄ゲージを貼り、20mm ピッチで貼付しひずみ測定を行った。

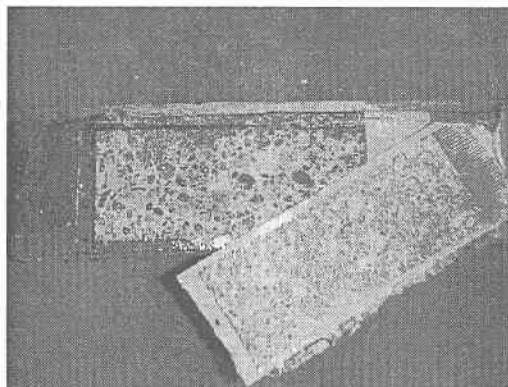
幅 80mm 以上では単位幅当たりの付着強さが一定になるという報告⁴⁾よりシートの幅は全て 80mm と一定とした。

３．実験結果と考察

３．１ 破壊形状について

本実験における破壊形状はコンクリート表面数 mm が剥離してくる剥離破壊であった。接着部分全面にわたって表面の剥離が起きており、FRP シートの方にコンクリートの表面部分及び粗骨材が付着していた。このような破壊形状は、コンクリートと FRP シートとの付着試験を行う上では最も有効に付着強度が発揮された状況であると考えられる。図－４は供試体の破壊状況である。

コンクリート表面が全面にわたり剥離しており、FRP シートの方に剥離した部分が付着している。

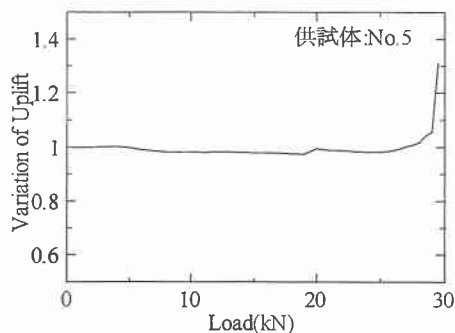


図－４．破壊状況

３．２ 圧縮力の変動について

本実験では、圧縮力をアクチュエーター等を用いて機械的に制御したしたものではないため、実験最中に圧縮力の変動が生じてしまう。本実験における圧縮力の変動を図５に示す。図は供試体圧縮力を 45kN/m²、付着長 200mm をとった供試体 No.5 のものである。縦軸に載荷荷重 0kN の時の圧縮力を 1 としてその変動をとったものである。

載荷荷重が増加していても、その変動は非常に小さいものである。ただし、破壊近傍では供試体が大きく変形するせいか、ロードセルが大きな圧縮力を感知している。しかし、FRP シート面に圧縮力を与えた場合のひずみ挙動を検討する場合、その点を考慮すれば、著者らが用いた図－２の装



図－５．圧縮力の変動

置は圧縮力を与えるものとしては、概ね妥当なものであると考えられる。

3. 3 圧縮力と破壊荷重について

コンクリートの圧縮強度のばらつきがあるが、FRP シートとコンクリートとの付着力では引張強度の方がより支配的であると考えられるので以下の検討では、コンクリートの強度による破壊荷重の相違はほとんど無いものとして取り扱う。図-6 に圧縮荷重とその時の破壊荷重の関係を示す。FRP シートの長短に関わらず圧縮力を作用させることにより破壊荷重が向上している。付着長が長い 200mm のものの方が破壊荷重の向上分が大きく、圧縮力を与えていないものに比べ圧縮力を 80kN/m^2 与えたものは、200mm のもので 1.76 倍 80mm のもので 1.31 倍であった。この理由については、次節で考察する。

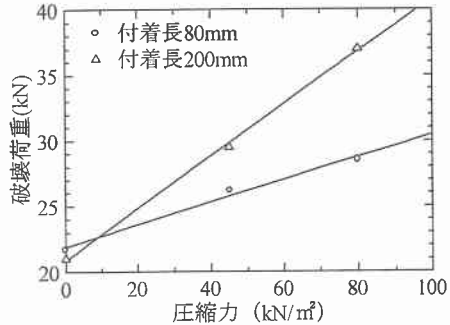


図-6. 圧縮力-破壊荷重関係

これらのことは、FRP シート面に圧縮力を与えて定着を図ることが、コンクリートと FRP シートとの付着力を向上させ補強効果が増すことを示している。つまり FRP シートを使用した効果的な補強を行うためには、付着力を向上させることが一つの重要な要件であると思われる。

実験の範囲では、圧縮力を与えれば比例的に耐力が向上する傾向が得られているが、破壊部分がコンクリート表層数mmの所で起きていることを考慮すると、限界圧縮量が存在するものと考えられるが、現実験の段階では得られておらず、今後の検討課題である。

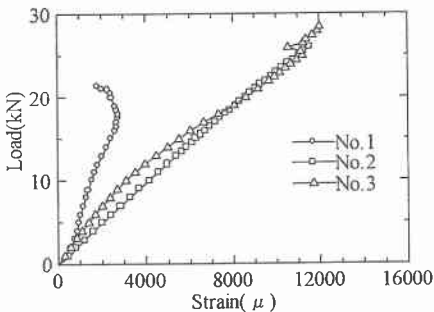


図-7. ひずみ-荷重関係 (付着長 80mm の時)

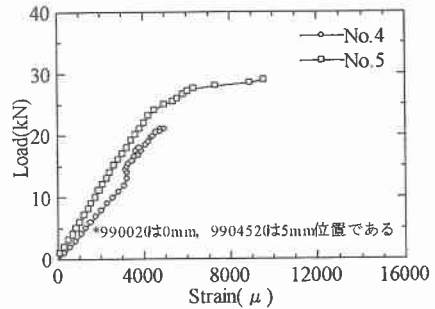


図-8. ひずみ-荷重関係 (付着長 200mm の時)

3. 4 ひずみ-荷重関係について

図-7, 8 にひずみ-荷重関係を示す。尚、図-7 に関しては、5mm 位置のひずみであり、図-8 では 0 もしくは 5mm 位置のひずみ値である。付着長が短い 80mm の図-7 の方では、圧縮力を与えることにより、ある一定荷重レベルにおけるひずみが大きいことが分かる。このことは、圧縮力を与えることにより付着力の向上がなされ、元来コンクリートが分担していた応力を FRP シートがより多く分担するようになったためと思われる。一方、付着長が 200mm である図-8 の方では、圧縮力を作用させたことによるひずみ値の変化は見られなかった。現在のところ、このことに関する理由は明らかとなっておらず、

今後詳細な検討を行わなければならない。

荷重の増加とともに、付着長が 80mm のものは直線的にひずみが増加していく。しかし付着長が 200mm であるものは、25kN 当たりで降伏的な傾向が見られる。これはこの位置で剥離が起きたためと考えられるが、一旦剥離が起きてもすぐには破壊に至っていない。これは付着長が 200mm あるため、剥離が起きても未だ十分余長があるため、即ち有効付着長以上の部分で荷重を分担することが出来るからと考えられるが、付着長が短い場合、剥離が一旦起きると脆性的に剥離が進行し破壊に至るものと考えられる。

3. 5 位置-ひずみ関係について

図-9, 10, 11に付着長 80mm の各圧縮力における、ゲージ位置とひずみ値の関係を示す。縦軸はひずみ、横軸に FRP シートに 0 点からの距離をとったものである。

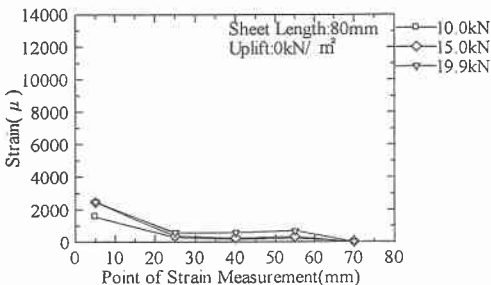


図-9. 位置-ひずみ関係 (付着長 80mm, 圧縮力 0kN/m²)

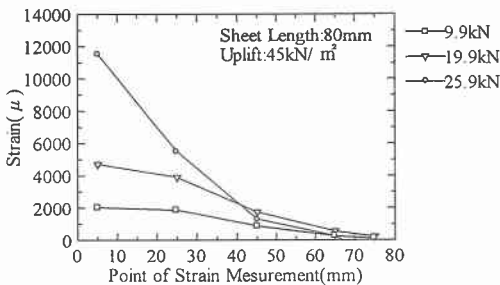


図-10. 位置-ひずみ関係 (付着長 80mm, 圧縮力 45kN/m²)

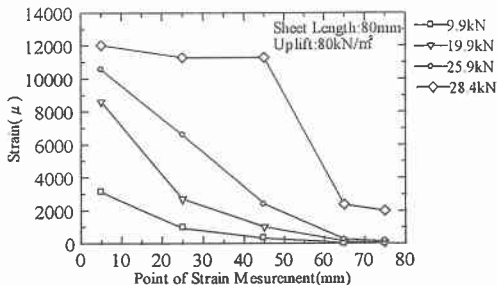


図-11. 位置-ひずみ関係 (付着長 80mm, 圧縮力 80kN/m²)

荷重が増加すれば FRP シートも引張力を受けるため荷重の増加に従いひずみが増加するものと考えられる。しかし図-9の圧縮力を与えていないものは、荷重が大きくなっていてもひずみがあまり変化しておらず、このような傾向は深尾ら⁵⁾の実験に際しても一部見られており、この理由に関しては定かではなく、再実験を含めて詳細に検討を行わなければならない。

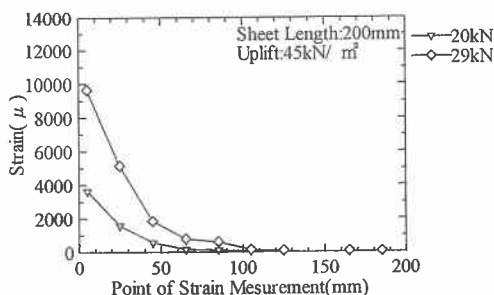
圧縮力を作用させたものも、そうでないものも距離が離れるほどひずみが小さくなる傾向があり、既往の研究^{3) 5) 6)}と同様の傾向が見られ有効付着長の存在が示唆される。

図-9, 10から圧縮力を作用させた場合、全体的にひずみ値が大きくなっている。このことは圧縮力を与えることによって、コンクリートと FRP シートとの付着力が向上し、本来コンクリートが分担しなければならなかった応力を、FRP シートがより多く分担することが出来るようになったためと考えられる。

又、図-10, 11から圧縮力を大きく作用させたものの方が全体的にひずみ値が大きいことが見て取れ、本実験の範囲ではあるが、圧縮力を大きく作用させるほど付着力が向上することが予想される。

図-11の荷重 28.4kN のひずみの棚は、FRP シートが剥離した状況を表している。

本実験ではひずみが 11000 μに達する前は、線形のひずみ分布をしているが、荷重の増加とともにひずみが増加し 11000 μに達すると顕著に非線形の形状となり、剥離が生じる。図-9



図－１２．位置－ひずみ関係（付着長 200mm，圧縮力 45kN/m²）

ひずみに変化することは無いものと考えられる。本供試体においても 11000 μ に達すると剥離破壊が生じるものと予想されるが、本供試体はこの直後破壊に至ってしまったため、その様子は観察されていない。

4. まとめ

本論文より得られた知見をまとめると以下のようになる。

- (1) FRP シート面に圧縮力を作用させると、作用させてないものに比べ、同一引張り荷重における FRP シート表面のひずみが大きくなっており、付着応力が向上している。
- (2) 圧縮力を FRP シート面に作用させることにより、有効付着長が大きくなる傾向があり、破壊荷重も向上する。
- (3) 圧縮力あるいは付着長が大きくなっても（本論文では 80mm 及び 200mm）、FRP シートの剥離が開始すると考えられるシート表面の限界ひずみに、変化は無いものと思われる。

謝辞

本研究を行う上で、資材等を提供して下さい、ショーボンド建設（株）の江口和雄氏、極東高分子（株）の前田章氏に感謝の意を表します。

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、1997.7
- 2) 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
- 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
- 4) 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
- 5) 深尾昌弘・出雲健司・佐伯昇・堀口敬：コンクリート連続繊維シートの付着強さ、土木学会北海道支部論文報告集 題 55 号(A)、pp536-541、1999
- 6) 吉澤弘之・呉智深：RC 引張部材の炭素繊維シートによる補強効果に関する実験的検討、コンクリート工学年次論文報告集、vol.20 No.1、pp467-472、1998

に比べひずみが 4 倍になっており、FRP シート面に圧縮力を作用させることにより、より大きな応力を分担することが出来るようになるというを示している。

更なる実験の追加と詳細なる検討を行う必要があるが、本実験では 11000 μ を境に剥離破壊が顕著に見られ、圧縮力の大小に関係なくこの近傍に剥離が生じる限界ひずみが存在することが考えられる。

図－１２の付着長 200mm の供試体に於いても、11000 μ に達する前の段階では、顕著な剥離破壊は観察されておらず、付着長により限界