室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

FRPシートを下面接着したRC版の押し抜きせん断性状

メタデータ	言語: jpn 出版者: 日本コンクリート工学会 公開日: 2012-07-18 キーワード (Ja): RC版, AFRP2方向シート, 引張剛性, 押し抜きせん断耐力 キーワード (En): 作成者: 三上, 浩, 岸, 徳光, 栗橋, 祐介, 松岡, 健一 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/1429

室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

FRPシートを下面接着したRC版の押し抜きせん断性状

著者	三上　浩，岸　徳光，栗橋　祐介，松岡　健一
雑誌名	コンクリート工学年次論文集
巻	23
号	1
ページ	847-852
発行年	2001-06
URL	http://hdl.handle.net/10258/1429

論文　FRP シートを下面接着した RC 版の押し抜きせん断性状

三上　浩[*1]・岸　徳光[*2]・栗橋祐介[*3]・松岡健一[*2]

要旨：面部材を対象とした FRP シートの効率的な補強方法を検討するため，RC 版の下面に種々の FRP シートを接着した試験体を製作し，シートの材料特性，補強方法（1 方向シート直交接着，2 方向シート接着）および補強量が RC 版の押し抜きせん断性状に与える影響について実験的に検討を行った。その結果，1) シートの引張剛性が同等の場合には，材料特性，補強方法に拘わらず同程度の押し抜きせん断耐力の向上を期待できる，2) かぶりコンクリートがシート補強によって押し抜きせん断に抵抗すると仮定した場合の計算押し抜きせん断耐力と実測耐力は比較的良好に対応すること，などが明らかとなった。

キーワード：RC 版，AFRP 2 方向シート，引張剛性，押し抜きせん断耐力

1．はじめに

各種連続繊維シート (以後，FRP シートまたは単にシート) を用いて既存鉄筋コンクリート (RC) 構造物を補強する方法は施工の簡便性，工期短縮，高耐久性などの観点から今後も様々な構造物に適用されるものと考えられる。著者らは，RC 梁下面に FRP シートを接着した際の曲げ補強効果やシートの剥離性状を詳細に検討するなど，合理的な曲げ補強設計手法確立のための研究[1),2)] を行ってきた。しかしながら，面部材に FRP シートを接着した際の押し抜きせん断性状に関する研究例[3),4)] は極めて少なく，その耐荷性状は未だ十分には明らかになっていない。また，従来の FRP シートは 1 方向強化材料であり，壁や版などの面部材を補強するためには直交して最低 2 回の接着を行う必要があるため，さらなる工費縮減，工期短縮が望まれていた。

このような観点から，本研究ではアラミド繊維を直交 2 方向に織り上げた 2 方向シートの補強効果を比較検討するため，各種 FRP シートを RC 版下面に接着した試験体の押し抜きせん断実験を行った。用いた FRP シートは，アラミド繊維 (AFRP) および炭素繊維 (CFRP) 製の 1 方向シートと AFRP 製の 2 方向シートである。本研究では，ほぼ同等な引張剛性 (弾性係数 × 厚さ) のもとでのシートの材料特性や補強方法が RC 版の押し抜きせん断性状に与える影響の他，AFRP 2 方向シート層数の影響についても実験的に検討を行っている。

表－1　試験体の一覧と実験結果

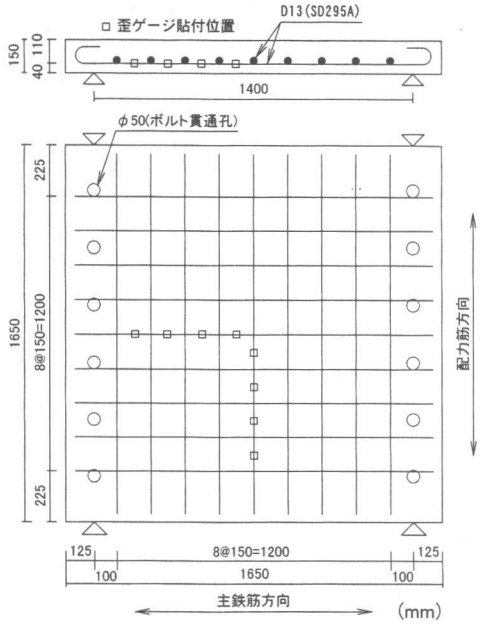
試験体名	補強方法	最大荷重 (kN)	N 試験体に対する荷重の増分 (kN)	N 試験体に対する荷重比率
N	無補強	141.5	—	1.00
A1	AFRP 1 方向シート直交	186.4	44.9	1.32
C1	CFRP 1 方向シート直交	183.4	41.9	1.30
A2-1	AFRP 2 方向シート 1 層	187.8	46.3	1.33
A2-2	AFRP 2 方向シート 2 層	206.4	64.9	1.46

*1 三井建設（株）技術研究所　主席研究員　工博（正会員）
*2 室蘭工業大学　教授　工学部建設システム工学科　工博（正会員）
*3 室蘭工業大学大学院　工学研究科　建設工学専攻　工修（正会員）

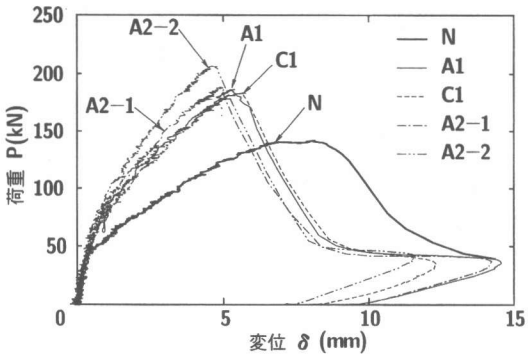
表－２　FRP シートの力学的特性

名称	繊維目付け量 (g/m^2)	厚さ t (mm)	引張強度 (GPa)	弾性係数 E (GPa)	引張剛性 $E \cdot t$ (kN/mm)
AFRP 1 方向シート	415	0.286	2.48	126.5	36.2
CFRP 1 方向シート	300	0.167	4.07	230.4	38.5
AFRP 2 方向シート	435/435	0.3/0.3	2.48	126.5	38.0/38.0

＊ シートの力学的特性はカタログ値である



図－１　試験体の形状寸法とひずみゲージ位置



図－２　荷重－版中央部変位関係

２．実験の概要

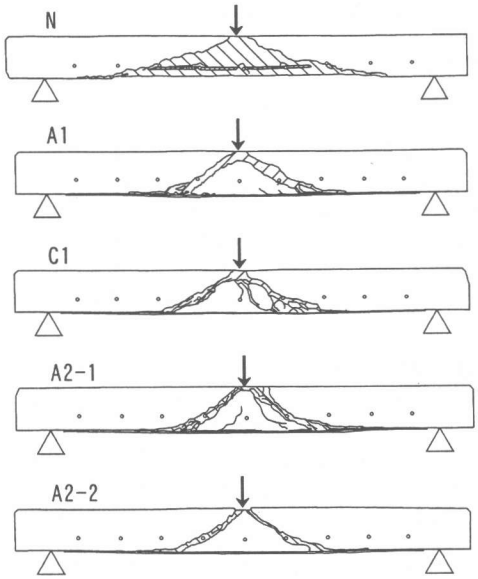
表－１に試験体の一覧と実験結果を示す。試験体は無補強 RC 版 (N) と，その下面に表－２に示す各種 FRP シートを接着した合計５体である。A1, C1 試験体は各々 AFRP または CFRP 1 方向シートを直交して１層ずつ接着したもので，A2-1, A2-2 試験体は AFRP ２方向シートを各々１層，２層接着した試験体である。なお，シートの接着範囲は配力筋方向に全域，主鉄筋方向には両側支点の 50 mm 手前までとした。各試験体のシートの引張剛性 ($E \cdot t$) は A1, C1, A2-1 試験体でほぼ同等であり，A2-2 試験体は他の約２倍である。

図－１に RC 版の形状寸法と配筋状況および鉄筋に貼り付けたひずみゲージの位置を示す。 RC 版の寸法は 1,650 × 1,650 × 150 mm であり，下端主鉄筋および配力筋には D13 (SD295A) を 150 mm ピッチで配置している。なお，一対辺は支持間隔が 1,400 mm で支点部は回転を許容し浮き上がりを拘束するピン支持に近い構造とし，他対辺は自由とした。また，載荷治具には直径 60 mm，高さ 100 mm の鋼製円柱を用い，載荷点は版中央点とした。用いたコンクリートの実験時における圧縮強度は 16.7 MPa，弾性係数 13.9 GPa，ポアソン比 0.23 である。また，鉄筋の降伏強度は 354.5 MPa であった。シートの接着は，RC 版下面にショットブラスト処理を施し，かつプライマーを２度塗りして実施した。なお，シート上にはひずみゲージを版の中央点から主鉄筋方向および配力筋方向に 7.5 cm 離れた位置，およびこの位置から 15 cm ピッチに貼り付けている。本実験では，載荷荷重，RC 版中央部の変位，鉄筋および FRP シート各点のひずみを連続的に計測し，実験終了後には主鉄筋方向に版中央部を切断して破壊面の観察を行った。

３．実験結果および考察

３.１　荷重－版中央部変位関係

図－２に荷重と版中央部変位 (以後，単に変位)



図－３　切断面のひびわれ図

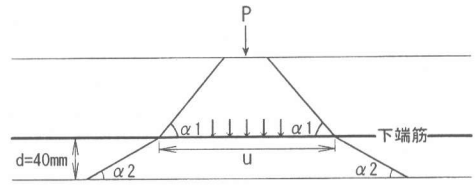
の関係を示す。無補強の N 試験体は 40 kN 程度で配力筋方向に曲げひびわれが発生し，版の曲げ剛性が大きく低下して変位が急増した。その後，荷重は変位 7 mm 程度までほぼ線形に増加し，最大荷重時近傍で変位が 1 mm 程度増加した後，押し抜きせん断破壊に至った。一方，FRP シート補強試験体は，N 試験体のような急激な剛性低下が見られず，荷重増加と共に徐々に変位が増加し，変位が 5 mm 程度に達した時点で押し抜きせん断破壊に至った。なお，いずれの補強試験体においてもシート破断が発生していないことを確認している．最大荷重時変位が最も小さい試験体は A2-2 であり，剛性低下の最も小さい試験体も A2-2 であった。このようにシート補強試験体で剛性低下が抑制されるのは，シート補強することによってかぶりコンクリート部におけるひびわれの発生やひびわれ幅の拡大が抑制されるためであると推察される。

表－１に示すように，シートの引張剛性 ($E{\cdot}t$) がほぼ同等の A1，C1，A2-1 試験体の最大荷重は，シートの種類，補強方法に拘わらず N 試験体の 1.3 倍程度である。一方，シートの $E{\cdot}t$ が他の約 2 倍である A2-2 試験体の最大荷重は N 試

表－３　ひびわれ角度の一覧

試験体名	$\alpha 1$ (度)	$\alpha 2$ (度)
N	23.0	11.5
A1	34.5	25.3
C1	34.3	24.5
A2-1	41.3	21.8
A2-2	37.0	22.3

＊ $\alpha 1$，$\alpha 2$ は左右の平均値



図－４　押し抜きせん断性状のモデル化

験体の 1.46 倍であり，$E{\cdot}t$ の増加によって最大荷重が増加していることが分かる。ただし，A2-2 試験体の補強による荷重増加量は 64.9 kN であり，他が 42 ～ 46 kN 程度であることから，$E{\cdot}t$ の増加と荷重増加は線形比例関係にないことが分かる。

3.2　押し抜きせん断性状

図－３に版中央部の切断面における押し抜きせん断破壊性状を示す。図から明らかなように，版上縁から下端筋までのひびわれ角度 ($\alpha 1$) と下縁かぶりコンクリート部のひびわれ角度 ($\alpha 2$) が異なり，さらにこれらは試験体によっても変化している。各ひびわれ角度を整理すると，表－３のように示される。表より，$\alpha 1$，$\alpha 2$ はともに無補強の N 試験体で最も小さいことが分かる。これは，ひびわれによる剛性低下が N 試験体で最も顕著であり，版中央部の曲率が大きくなる(版底面の長さが伸びる)ことに関連するものと考えられる。N 試験体の $\alpha 1$ は 45° の 1/2 程度であり，補強試験体の $\alpha 1$ は N 試験体の 1.5 ～ 1.8 倍となっている。また，N 試験体の $\alpha 2$ は $\alpha 1$ の 50 %，シート補強試験体の $\alpha 2$ は $\alpha 1$ の 50 ～ 70 % で，N 試験体の $\alpha 2$ の 2 倍程度である。

このように，シート補強することによって剛性低下が抑制されるため，押し抜きせん断面の角度が N 試験体に比べて大きくなるものと推察され

表－４　かぶり部の耐力負担と押し抜きせん断耐力

試験体名	耐力増分 実験値 ① (kN)	耐力増分 計算値 ② (kN)	①/②	押し抜きせん断耐力(実験値) ③ (kN)	押し抜きせん断耐力(計算値) ④ (kN)	③/④
N	—	—	—	141.5	(109.4)	1.29
A1	44.9	45.9	0.98	186.4	187.4	0.99
C1	41.9	47.2	0.89	183.4	188.7	0.97
A2-1	46.3	48.6	0.95	187.8	190.1	0.99
A2-2	64.9	60.8	1.07	206.4	202.3	1.02

( ) は示方書に基づいて算定した値

表－５　上部，かぶり部の耐力負担と押し抜きせん断耐力

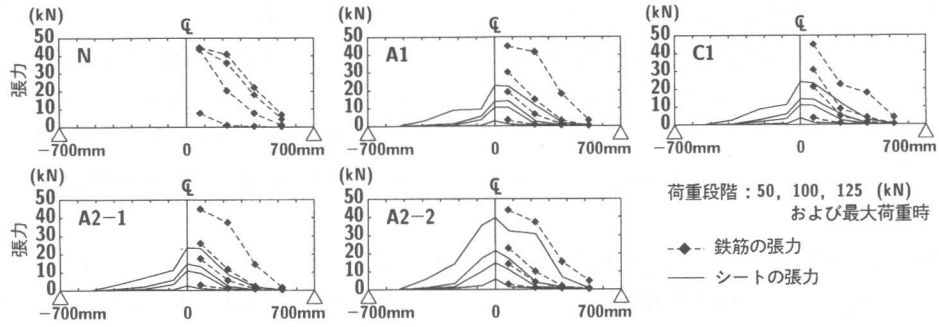
試験体名	上部 ① (kN)	かぶり部 ② (kN)	計算耐力 ③ (kN)	実測耐力 ④ (kN)	④/③
N	175.3	0	175.3	141.5	0.81
A1	114.1	49.2	163.3	186.4	1.14
C1	115.0	53.4	168.3	183.4	1.09
A2-1	113.0	53.2	166.2	187.8	1.13
A2-2	114.6	65.6	180.2	206.4	1.15

る。また，シート補強試験体の押し抜きせん断耐力が大きいことから，シート補強試験体ではかぶりコンクリートが耐力増加に寄与しているものと推察される。

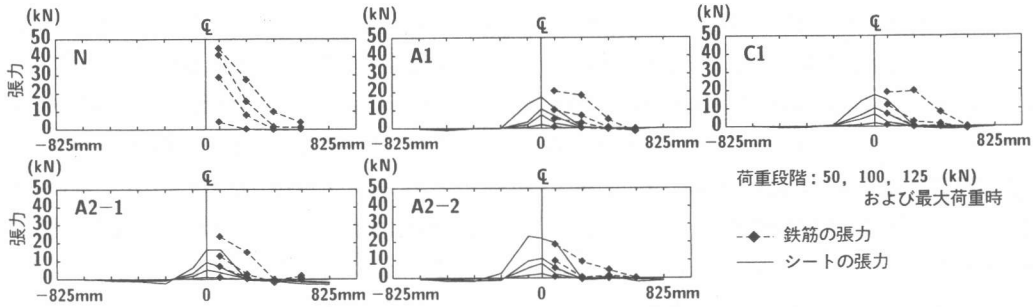
3.3　押し抜きせん断耐力

ここでは，前述したように，かぶりコンクリートがシート補強によってより健全となり押し抜きせん断耐力の向上に寄与するものと仮定して，土木学会コンクリート標準示方書[5] (以後，示方書) に基づいてかぶり部の押し抜きせん断耐力の算定を試みた。すなわち，図－４に示す押し抜きせん断性状のモデル図を参考に，ひびわれが $\alpha 1 = 45°$ で下端筋位置まで進展した際の下端筋位置での押し抜きせん断面の周長を載荷面の周長 (u) とし，前述した $\alpha 2$ の角度でかぶり部に押し抜きせん断面が形成されるものと仮定して，設計断面の周長を求め評価することとした。また，版下面の FRP シートはその厚さ及び鉄筋との弾性係数比を用いて補強筋比として考慮した。表－４に，上記に基づいて算出したかぶり部の耐力寄与分 (増分) ②と，N 試験体の実測耐力にこれを加算した押し抜きせん断耐力の計算値④を実測耐力③と比較して示している。ここで，耐力増分の実験値①は補強試験体の押し抜きせん断耐力から N 試験体の耐力を差し引いた耐力である。なお，N 試験体の計算値④は示方書に基づいて，下端筋より上側の断面を対象に押し抜きせん断面の角度を 45° と仮定して算定した値である。表より，かぶり部の耐力負担として算出した計算値②は実験値①とほぼ対応していることが分かる。また，計算押し抜きせん断耐力④は実験値③と精度良く対応している。なお，N 試験体の計算耐力は，示方書に準拠して算出していることより実験値に対して十分に安全側であった。

一方，表－３に示されているように，版上縁から下端筋まで進展する押し抜きせん断面の角度 $\alpha 1$ は，補強の有無で大きく異なっている。そこで，表－３の $\alpha 1$，$\alpha 2$ の値を基に，載荷面の周長や設計断面の周長を再評価し，示方書式に準拠して押し抜きせん断耐力を評価することとした。結果を表－５に示す。ここで，計算押し抜きせん断耐力③は下端筋までの版上部の耐力①にかぶり部の耐力②を加算したものとした。表より，N試験体では計算耐力が実測耐力を大幅に上回るものの，



(a) 主鉄筋方向



(b) 配力筋方向

図－５　鉄筋および FRP シートの分担張力の比較図

シート補強試験体の計算耐力は実測耐力を安全側に評価していることが分かる。なお，N 試験体の計算耐力が実測耐力を大幅に上回ったのは，N 試験体の押し抜きせん断面の実測角度が示方書式で仮定する角度(45°)の半分程度と小さく，示方書式の適用範囲を超えているためと推察される。

今後，設計式を提案するためには，版の剛性や支持条件などを変化させた実験を多数行いデータを集積する必要があるものと判断される。

3.4　鉄筋および FRP シートの分担張力

図－５に鉄筋およびシートの分担張力の比較図を主鉄筋方向，配力筋方向について示す。張力は，鉄筋およびシートに貼り付けたひずみゲージの値を用いて算出した。鉄筋の張力は１本あたり，シートの張力は鉄筋の配置間隔に対応させて幅 15 cm 分の張力とした。

(a) 図 より，主鉄筋方向の鉄筋張力は全試験体とも最大荷重時に中央部近傍で最大 44 kN 程度を示していることが分かる。この値は鉄筋の降伏時張力にほぼ対応している。すなわち，本実験の試験体は，補強の有無に拘わらず全て最大荷重時に版中央部付近の主鉄筋が降伏点に達して押し抜きせん断破壊に至っていることがわかる。N 試験体では，荷重が 100 kN で既に中央部主鉄筋が降伏し，荷重の増加とともに大きな張力を分担する範囲が中央から支点方向に拡大していることが分かる。一方，A1 試験体の中央およびその近傍部の主鉄筋は最大荷重時にほぼ降伏時張力を分担している。シートの張力分布は載荷点を中心とする台形状を示し，最大荷重時の中央部シートの分担張力は主鉄筋の半分程度である。C1 試験体では，A1試験体と異なり主鉄筋の張力が載荷点直下に集中する傾向にあるが，シートの張力分担性状は A1 試験体とほぼ同様である。

2方向シートを1層補強した A2-1 試験体の鉄筋およびシートの張力分担性状は A1 試験体とほぼ同様であるが，鉄筋の分担張力は若干小さい。一方，2方向シートを2層補強した A2-2 試験体の同一荷重でのシートの張力レベルは他の試験体よりも大きく，主鉄筋の分担張力を軽減していることが分かる。

(b) 図より，N試験体の配力筋の張力は主鉄筋に比べてより版中央部に集中する傾向がみられ，この場合も最大荷重時の版中央部配力筋の最大張力はほぼ降伏時張力となっていることが分かる。一方，A1 試験体の配力筋の張力分布は台形状を呈し，最大荷重時でも 20 kN 程度である。また，シートの張力分布は載荷点を中心とする三角形状を示し，張力分担範囲が配力筋よりも載荷点近傍部に集中していることが分かる。C1 試験体の張力分担性状は概ね A1 試験体と同様であり，最大荷重時の版中央部配力筋の張力とシートのそれはほぼ同程度である。

A2-1 試験体の場合には A1,C1 試験体と大略同様な張力分担性状を示しているが，他に比べて配力筋の張力が版中央部に多少集中している。なお，シートの張力分布は台形状を示し，配力筋よりもシート張力の方が若干小さい。A2-2 試験体の場合には，他と比べて同一荷重時での配力筋の張力レベルが小さく，一方でシートの張力レベルが大きい。このように，A2-2 試験体の場合には他に比べてシートの分担張力が大きく，主鉄筋および配力筋の分担張力を軽減するため，より大きな押し抜きせん断耐力を示したものと考えられる。

4．まとめ

RC 版下面に各種 FRP シートを接着した試験体を用いて，シートの材質や補強方法および補強量が押し抜きせん断性状に与える影響を実験的に検討した。本実験の範囲内で得られた知見を要約すると，下記の通りである。

1) 下面補強材の引張剛性を同等とすると，シートの材質 (AFRP と CFRP) や補強方法 (1方向シート直交接着と2方向シート接着) に拘わらず，同程度の押し抜きせん断耐力の増加が期待できる。
2) 押し抜きせん断面の角度はシート補強することで大きくなる。これは，シート補強によって剛性低下が抑制され，従って版中央の曲率増加も抑制されることに関連するものと考えられる。
3) かぶりコンクリートがシート補強によって押し抜きせん断に抵抗すると仮定し，かぶりコンクリート部の耐力を加算して求めた計算押し抜きせん断耐力は実測値と比較的良好に対応する。
4) シート補強量が増加すると押し抜きせん断耐力は増大するが，耐力の増加割合は補強シートの引張剛性 $E \cdot t$ の増加割合に線形に比例するほど大きくならない。補強量が増加するとシートの分担張力が大きくなり，鉄筋の張力増加を抑制する。これは，補強量が増加することによって押し抜きせん断耐力が向上する一因であると考えられる。

参考文献

1) 岸　徳光，三上　浩，佐藤昌志，栗橋祐介：FRP シートで曲げ補強した RC 梁の曲げ付着特性に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.45A, pp. 1399-1410, 1999.
2) 岸　徳光，三上　浩，池田憲二，栗橋祐介：FRP シート曲げ補強 RC 梁のスパン方向偏心載荷時における耐荷性状，構造工学論文集，Vol.46A, pp.1175-1182, 2000.
3) 中島規道，三上　浩，角田　敦，鍋島益弘：二方向アラミド繊維シートによる RC スラブの押し抜きせん断性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21,No.3,pp.1465-1470, 1999.
4) 森　成道，若下藤紀，松井繁之，西川和廣：炭素繊維シートによる床版下面補強効果に関する研究，橋梁と基礎，1995.
5) 土木学会：コンクリート標準示方書 (平成8年制定) 設計編，1996.