

## CFRP シートによる腹板の補強方法をパラメータとしたせん断耐荷力に関する実験的研究

ものつくり大学 学生会員 ○菊地新平, 下前照, 正会員 大垣賀津雄  
 長野工業高等専門学校 正会員 奥山雄介  
 長岡技術科学大学 正会員 宮下剛  
 日鉄ケミカル&マテリアル 正会員 秀熊佑哉, 小林剛  
 高速道路総合技術研究所 正会員 原田拓也

## 1. はじめに

近年, 高速道路会社等では大規模更新事業として床版取替えを実施している. しかし, B 活荷重への対応などで床版重量が増大傾向にあり, 鋼桁の耐荷力不足が懸念されている. 鋼桁の CFRP 補強に関して, 曲げを受ける鋼桁に対して CFRP シートを鋼桁腹板の水平方向 (以下,  $0^\circ$  と呼ぶ) と鉛直方向 (以下,  $90^\circ$  と呼ぶ) に貼付することで, 曲げ耐荷力を向上させる効果が確認されている<sup>1)2)</sup>. また, せん断を受ける場合は  $\pm 45^\circ$  方向に CFRP シートを貼付けて補強している<sup>3)</sup>. 一方, 中間支点部付近の鋼桁は, 負曲げモーメントとせん断力を同時に受ける箇所についての CFRP シートを用いた補強の検討は行われていない. 曲げとせん断を受ける場合, 曲げ補強として  $0^\circ, 90^\circ$  方向に, せん断力に対しての補強として  $\pm 45^\circ$  方向のように CFRP シート貼付補強すると, 施工時に煩雑になる恐れがある. よって本研究では, せん断耐荷力に対して,  $0^\circ, 90^\circ$  方向に CFRP シートを貼付して補強効果の検討を行った. また, 本研究では CFRP シートの貼付方向による補強効果の差異や, 高伸度弾性パテ材 (以下, パテ材と呼ぶ) の有無による補強効果の違いを検討している.

## 2. 実験方法

本せん断実験の概要を図-1 に示す. 本実験では I 形断面の鋼桁 (長さ 3,500mm, 桁高さ 960mm) のテストパネルに CFRP シート貼付による補強を施し, 文献<sup>3)</sup>と同様に 3 点載荷によるせん断実験を行った. 本実験供試体は図-1 のアスペクト比 1.0 で鋼材の板厚 6 mm, 材質 SS400 のテストパネル部に対して, CFRP シートの種類, 貼付方向, 貼付層数, パテ材の有無をパラメータとして, 表-2 に示す通り 12 ケースとした. CFRP シート種類および材料特性を表-3 に, CFRP シートの接着樹脂などの材料諸元を表-4 に示す.

## 3. 実験結果

表-2 に各ケースの最大荷重を示す. 図-2 に各ケースの荷重-鉛直変位関係を示す. 縦軸が載荷荷重を示し, 横軸は載荷点直下の下フランジの鉛直変位を示す. また, せん断耐荷力  $P_u$  を黒丸で併記している.

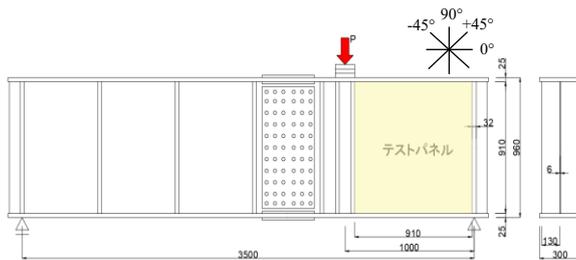


図-1 せん断実験概要

表-1 鋼桁材料特性

項目	弾性係数 GPa	降伏点 MPa	引張強度 MPa
腹板	200	306	437
フランジ		449	569
垂直補剛材		438	559

表-2 実験供試体パラメータ

ケース	貼り方	パテ材	補強シート				最大荷重 kN
			内層	外層	シート種	片面層数	
N	無	×	無				970
N-HM1-TC45	$\pm 45^\circ$ 貼り	×	+45° 引張	-45° 圧縮	HM	1	1496
P-HM1-TC45		○				1	1628
P-HSM1-TC45		○			内: HS 外: HM	1	1290
N-THM2-TC45		×				THM	2
P-HS1-C45	斜め一方 向貼り	○	-45° 圧縮	無	HS	1	1192
P-HM1-C45		○			HM	1	1233
P-HS1-T45		○			HS	1	1255
P-HM1-T45		○			HM	1	1156
P-MM1-0,90	$0^\circ, 90^\circ$ 貼り	○	$90^\circ$	$0^\circ$	MM	1	1406
P-HM1-0,90		○			HM	1	1366
P-MM2-0,90		○			MM	2	2106

キーワード CFRP シート, 補修・補強, せん断耐荷力, 鋼桁

連絡先 〒361-0038 埼玉県行田市前谷 333 番地 TEL 048-564-3851

a) パテ材有無の比較

図-2 a)から、N-HM1-TC45 と N-THM2-TC45 の鉛直変位は初期からの線形勾配を保持している。これは CFRP が最大耐力で急激に全面にわたって剥がれており、補強後のじん性を確保できているとはいえない。一方、鋼板と CFRP との間にパテ材を挿入した N-HM1-TC45 では、P-HM1-TC45 よりも 8.5%大きいせん断耐荷力が確認され、急激な耐力の低下が見られない。せん断耐荷力  $P_u$  (1628 kN) 後は CFRP スtrandシート の破断や圧壊によって耐力が低下しており、パテ材を挿入していないケースよりも緩やかに耐力が低下していることがわかる。

b) 斜め一方向貼りの比較

図-2 b)から、せん断の引張側に貼付したケース P-HS1-T45 の鉛直変位は、無補強 N の  $P_u$  (970 kN) 付近で初期剛性の低下が見られた。これは、座屈による影響と考えられる。しかし、耐力自体は上昇していき、P-HS1-T45 の  $P_u$  (1255 kN)後は載荷荷重が座屈による面外変形や繊維の破断などで小さく上下しつつも耐力を保持しながら終局を迎えている。一方で、P-HM1-T45 は  $P_u$ まで初期の剛性が低下しなかった。また、せん断の圧縮側に貼付したケース P-HS1-C45 および P-HM1-C45 の鉛直変位は、それぞれのせん断耐荷力  $P_u$ まで初期の剛性を保っていることがわかる。ただし、せん断耐荷力後は P-HM1-C45 では、せん断座屈による凹部側の炭素繊維が座屈破断を起こし、P-HS1-C45 よりも耐力の低下が大きくなった。

c) 0°, 90° 方向貼りの比較

図-2 c)から、0°, 90° 方向貼りケースは、いずれのケースも 1200~1300 kN 程度から初期剛性が低下しながらも載荷荷重が上昇した。P-MM2-0,90 では別途計測した面外変形が最大荷重 2106 kN まで非常に小さく、1層貼付した P-MM1-0,90 よりも大幅にせん断耐荷力が上昇している。これは鋼板のひずみ硬化や CFRP 自体の面内せん断剛性によるものと考えられる。

4. まとめ

- ・パテ材を挿入した場合、最大荷重後も急激な荷重降下が見られず、その有効性が示された。
- ・斜め一方向貼りはせん断圧縮側の C45 の方が効果的である。
- ・0°, 90° で補強した場合も十分なせん断補強効果がある。

【参考文献】1) 服部雅史, 広瀬剛, 大垣賀津雄, 宮下剛, 奥山雄介, 小林朗, 秀熊佑哉: 2軸対称鋼桁の CFRP による曲げ耐力補強に関する実験的研究, 日本鋼構造協会, 鋼構造論文集, 第 25 巻, 第 99 号, 2018.9  
 2) 原田拓哉, 広瀬剛, 大垣賀津雄, 宮下剛, 奥山雄介, 小林朗, 秀熊佑哉: 1軸対称鋼桁の CFRP による曲げ耐力補強に関する実験的研究, FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム, 第 7 回, pp155-162, 2018.11  
 3) 奥山雄介, 宮下剛, 若林大, 小出宣央, 小林朗, 秀熊 佑哉, 堀本歴, 長井正嗣: 腹板を CFRP 補強した鋼桁 のせん断座屈試験と強度評価法, 土木学会論文集 A1, Vol.68, No.3, 635-654, 2012.11

表-3 CFRP シートの材料特性 \*は設計値

CFRP シート種類	設計繊維目付 g/m <sup>2</sup>	設計厚さ mm	弾性係数 GPa	引張強度 MPa
高弾性ストランドシート(HM)	600	0.286	692	2,840
中弾性ストランドシート(MM)	600	0.330	417	3,950
高強度ストランドシート(HS)	600	0.333	270	4,370
高弾性シート(THM)	300	0.143	640*	1,900*

表-4 接着樹脂の材料特性

材料	弾性係数 MPa	強度 MPa
高伸度 弾性パテ	58	9 (引張)
接着樹脂	2940	109 (圧縮)
接着含浸 樹脂	3000	—

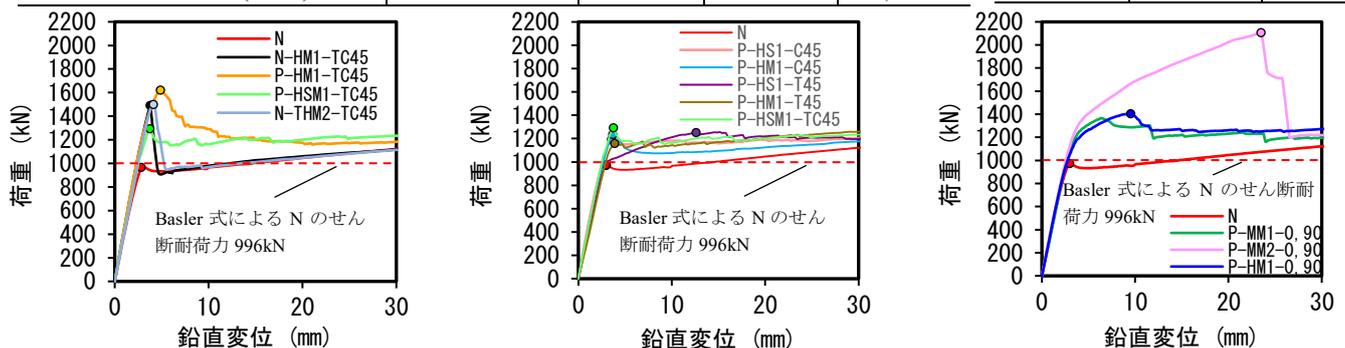


図-2 荷重-鉛直変位関係