

CFRP 接着により補強された鋼トラス部材の座屈耐荷力に関する実験的検討

日本橋梁（株） 正会員 ○川村 弘昌
立命館大学大学院 学生会員 山口 佑佳
立命館大学 正会員 野阪 克義 伊津野 和行

1. 背景と目的

鋼トラス部材の補強方法は、部材の取替えや、当て板補強が一般的であるが、ボルト孔による母材の断面欠損や溶接による熱影響部の脆化が懸念される。そこで近年、軽量で施工が簡単という点から鋼構造物の補修・補強工法のひとつとして炭素繊維シート接着工法（以下、CFRP 接着工法）が注目されている。しかし、炭素繊維シート（以下 CFRP シート）を用いた腐食部に対する補修検討や、圧縮を受ける板部材への補強効果の検証は行われているが、トラス部材などへの適用を検討した例は少ない。

そこで本研究では、鋼トラス橋の部材に対して CFRP 接着工法を用いた耐震補強設計手法を確立することを目的とした基礎的な検討として、トラス部材に多く使用されている H 形部材を CFRP シートで補強した場合の全体座屈の挙動と座屈後の補強効果を明らかにするための圧縮載荷試験を実施した。

2. 実験概要

圧縮載荷試験の試験体は図 1 に示す通り鋼製 H 形断面部材とした。フランジおよび腹板の寸法は弱軸方向に対する全体座屈のみに着目するため、局部座屈しない断面となるように幅厚比パラメータを 0.7 以下とした。フランジおよび腹板の断面寸法は、幅 100mm×厚さ 9mm、幅 140mm×厚さ 19mm とし、幅厚比パラメータはそれぞれ 0.286、0.152 となった。試験体の部材長は写真 1 の試験状況写真に示す通り、試験体の両端に配置したピン位置の間隔が有効座屈長になるように配置した。また、試験体の部材長は全体座屈が発生する幅厚比パラメータが 1.0 以上となる長さとした。ヒンジ間の距離である有効座屈長は $l=2,424\text{mm}$ となり、細長比パラメータは 1.624 である。試験体の弱軸方向の初期たわみは、許容値を部材中央付近で $L/1000=1.7\text{mm}$ （部材長 $L=1,700\text{mm}$ ）として製作した結果 1.5mm であった。

圧縮載荷試験のパラメータは表 1 に示す CFRP シートの種類および積層数の組み合わせであり計 5 ケースについて検討した。CFRP シートの貼付け位置および範囲はフランジ両面の全長とした（図 1）。端部は剥離対策で 25mm のずらしを設けた。

荷重は、変位制御による単調載荷とした。変位を増加させることで座屈変形により荷重が大きく低下した後、CFRP シートの剥離や破断などの変状が発生し、鉛直方向の変位が概ね 6mm になるまで変位を増加させた。

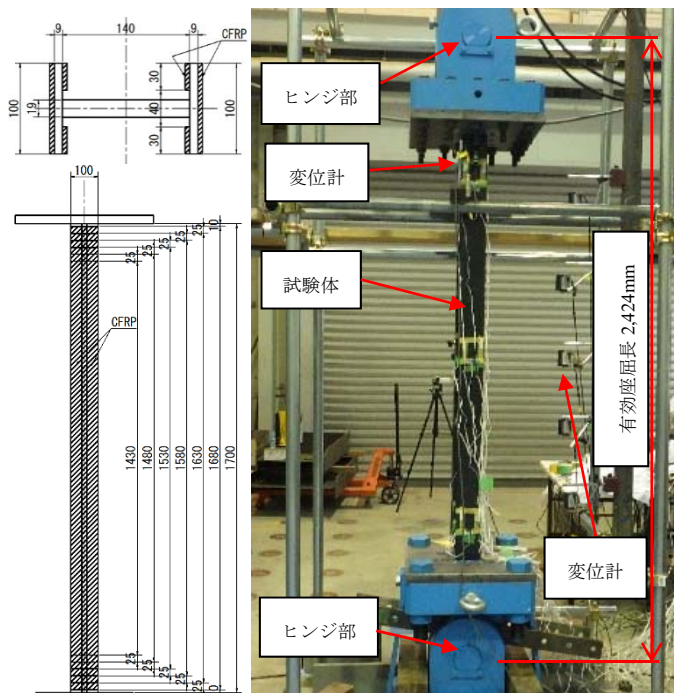


図 1 試験体形状(単位:mm) 写真 1 圧縮試験状況

表 1 実験パラメータ (E_{cf} :弾性係数, σ_{cf} :引張強度)

試験ケース	実験パラメータ	
	CFRP シートの種類	CFRP シートの積層数
A	なし	なし
B	中弾性シート $E_{cf}=4.12 \times 10^5 \text{N/mm}^2$	3層
C	$\sigma_{cf}=3502 \text{N/mm}^2$	6層
D	高弾性シート $E_{cf}=6.79 \times 10^5 \text{N/mm}^2$	3層
E	$\sigma_{cf}=2616 \text{N/mm}^2$	6層

キーワード トラス部材, 座屈荷重, 圧縮載荷試験, 炭素繊維強化樹脂 (CFRP), 耐震補強
連絡先 〒650-0023 兵庫県神戸市中央区栄町通 1-2-7 大同生命神戸ビル 5 階 日本橋梁株式会社 TEL 078-771-5265

表2 圧縮荷重試験の結果一覧

試験 ケース	細長比パ ラメータ	全体座屈発生時の荷重値 P_{cr} (kN)			補強による 増加率 (%)	理論値との比較		CFRP の破壊状態	
		オイラー 式①	道示式②	実験値 ③		③/①	③/②	剥離	破断
A	1.624	530.8	410.5	396.9	—	0.748	0.967	—	—
B	1.567	612.3	465.7	521.4	31	0.852	1.120	○	
C	1.521	693.9	520.1	621.2	57	0.895	1.194	○	
D	1.563	635.5	481.2	503.5	27	0.795	1.046	○	○
E	1.516	736.3	551.0	610.0	54	0.828	1.107	○	○

3. 実験結果と考察

圧縮荷重試験で得られた全体座屈発生時の荷重値とCFRP補強による荷重の増加率、理論値との比較、およびCFRPの破壊状態を表2に示す。実験値は、実験により得られた荷重値による推定値である。図2および図3に示す通り、荷重と鉛直方向変位の関係を座屈前と座屈後で直線近似し、その交点を全体座屈発生時の荷重とした。

まず、CFRPの補強層数による影響は、中弾性シートおよび高弾性シートともに補強層数を増やすことで座屈荷重が増加した。増加率としては、ケースAに対して3層のケースB、Dが27～31%の増加、6層のケースC、Eが54～57%の増加であった。次にCFRPの種類による影響は、3層のB、Dと6層のC、EのいずれのケースにおいてもケースAに対する増加率は差がない結果であった。このことより座屈荷重の増加はCFRPの種類に影響しないことが推定できる。

また、中弾性シートのケースではCFRPの繊維破断が発生しなかったが、高弾性シートのケースではCFRPの繊維破断と破断に伴う剥離が発生した。この破壊現象は、図3より鉛直方向変位が4mm程度になったときに荷重が低下していることから判断できる。繊維破断が発生した場合は、いずれのケースもケースAに近づくように荷重が低下することが確認できた。これは、繊維破断により、CFRPの補強効果が失われたことを示している。このことより、高弾性シートによる補強では全体座屈発生後の大きな変形に対して追従できずCFRPシートの破断が発生するが、中弾性シートによる補強では全体座屈発生後においても補強された剛性を維持しつつ大きな変形に対しても追従できていることを示している。この特徴は、座屈変形によるエネルギー吸収が期待できる

ことを示している。

4. まとめ

本研究における実験で得られた知見は以下の通りである。

- (1) 座屈荷重に対するCFRPの補強効果はいずれの補強ケースにおいても座屈荷重および座屈後の荷重の増加を確認することができた。
- (2) 座屈後の変形性能については、中弾性シートによる補強の方が補強された剛性を維持しつつ大きな変形に対して追従できることが確認できた。

今後の課題として、今回の実験結果を踏まえて、耐震補強への適用性という観点から、部材への交番載荷における耐荷性状や、橋梁全体の耐震補強効果を検証する必要がある。

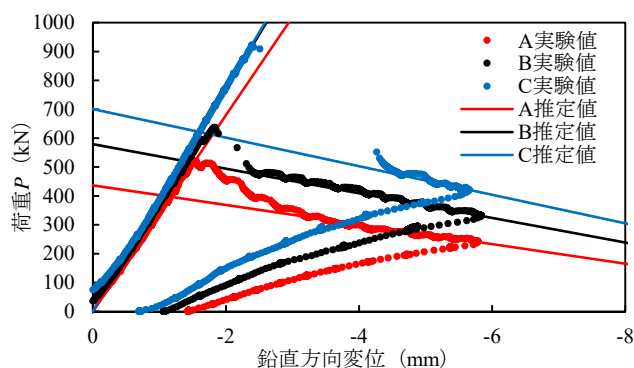


図2 荷重と鉛直方向変位の関係（中弾性シート）

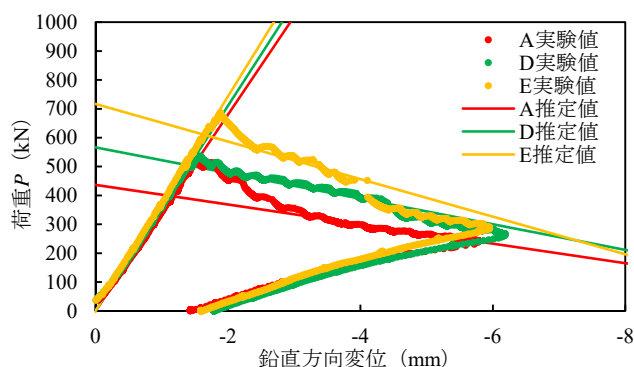


図3 荷重と鉛直方向変位の関係（高弾性シート）