

トラス橋矩形断面下弦材の CFRP シートによる補強に関する交番載荷実験

ものづくり大学

学生会員 ○GAUCHAN RIJAN

ものづくり大学 正会員 大垣 賀津雄, PHAM NGOC VINH

日鉄ケミカル&マテリアル 正会員 秀熊 佑哉, 櫻井 俊太

高速道路総合技術研究所 正会員 服部 雅史, 後藤 源太

長岡技術科学大学 正会員 宮下 剛

1. はじめに

日本の道路橋は建設後 50 年以上経過している橋梁が供用され続けており、トラス橋の下弦材等部材の一部は、現在の耐震設計基準に従い動的応答解析を行うと局部座屈や全体座屈が生じることとなり、耐震性能不足が見受けられ、大規模地震時に崩壊の恐れもある。このため、トラス橋の下弦材に補強を行い、橋梁の延命化を行う必要がある。このような中で、高強度、軽量、腐食しないことから、CFRP（炭素繊維強化ポリマー）による補強が注目されている。本研究ではトラス橋の矩形断面下弦材を想定して、無補強と CFRP シートによる補強供試体に引張力と圧縮力の交番載荷実験を行い、耐震補強に関する基本性能を確認することとした。

2. 実験概要

本研究での実験供試体を図-1 に表す。今回の実験では、実橋の約 1/2 程度の矩形断面を有する短柱試験体を用いた交番載荷試験を行った。実験の評価対象である供試体の中央部長さは 600mm、ウェブや上フランジの幅は 200mm、下フランジの幅は 240mm とした。交番載荷実験では、全面座屈、フランジ座屈およびウェブ座屈などの 3 つのシリーズに対して、CFRP シート補強の有無の組合せを考慮した交番載荷実験を、表-1 に示す合計 7 ケースについて実施した。供試体のフランジやウェブには、局部座屈の発生を抑えるために中弾性 CFRP シートを貼付けて、鋼換算板厚で 1.5mm の増厚を目標とした。この時、補強後のフランジとウェブの幅厚比パラメータは $R = 0.68$ となる。載荷方法は図-2 に表すように、3000kN 万能試験機を用いて、供試体の両端をボルトで固定して載荷した。本載荷では、図-3 に示す通りの載荷パターン（ $\delta_y=1.9\text{mm}$ ）で、引張と圧縮の繰返し交番載荷を行った。

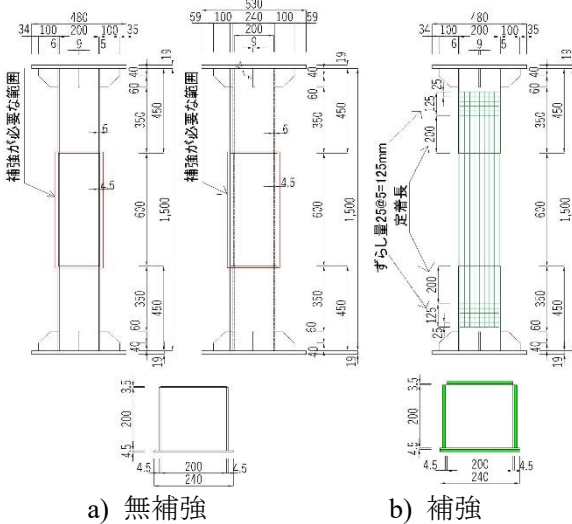


図-1 実験供試体

表-1 実験供試体パラメータ

CASE	板厚 (mm)		破壊モード	幅厚比パラメータ		CFRP 補強量 (鉛直/水平)	
	ウェブ	フランジ		ウェブ R_w	フランジ R_f	ウェブ	フランジ
1	6.0	6.0	全面降伏	0.68	0.68	無補強	
2	4.5	4.5	全面座屈	0.91	0.91	無補強	
3				0.68	0.68	6/6	6/6
4	6.0	4.5	フランジ座屈	0.68	0.91	無補強	
5					0.68	0	6/6
6	4.5	6.0	ウェブ座屈	0.91	0.68	無補強	
7				0.68		6/6	0

表-2 使用材料諸元

使用材料		弾性係数 (MPa)	降伏点 (MPa)	引張強度 (MPa)	ポアソン 比
鋼材	4.5 (mm)	2.0×10 ⁵	334	468	0.3
	6 (mm)		289	439	
使用材料		弾性係数 (MPa)	引張強度 (MPa)	設計厚さ (mm)	
中弾性 CFRP シート		4.26×10 ⁵	3925	0.165	
エポキシ樹脂		2488	73	0.5	
ポリウレアパテ		72	10	0.8	

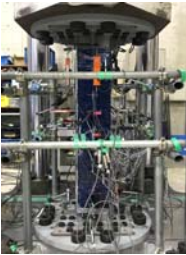


図-2 実験状況

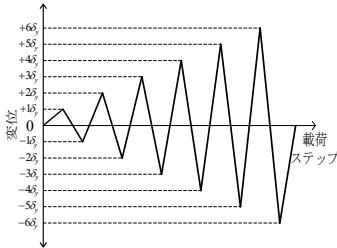


図-3 載荷パターン

キーワード トラス橋、下弦材、耐震補強、CFRP、矩形断面、局部座屈

連絡先 〒361-0038 埼玉県行田市前谷 333 番地 ものづくり大学 建設学科 TEL048-564-3907

3. 実験結果

供試体の荷重-変位曲線を図-4 に、荷重変位ピーク時包絡線を図-5 に、実験結果の一覧を表-3 に示す。図-5 から、全面降伏 CASE1 では、 $2\delta_y$ で局部座屈が発生おり、全面座屈の無補強 CASE2 では、 $1\delta_y$ の早期の段階で局部座屈が発生している。また、フランジ座屈とウェブ座屈を想定している無補強の CASE4 と CASE6 では、 $2\delta_y$ で局部座屈が発生することが確認できる。さらに、早期の段階で局部座屈が発生したことにより、すべての無補強ケースの圧縮最大耐荷力は全面降伏 CASE1 と比較すると低下している。具体的に、CASE1 に対する無補強の CASE2, CASE4, CASE6 の圧縮最大耐荷力比は、それぞれ 0.63, 0.85, 0.87 である。

しかし、すべてのシリーズでは、供試体のフランジとウェブに鉛直方向と水平方向の CFRP シートを施工したことにより、補強したケースの CASE3, CASE5, CASE7 では、座屈のタイミングが $3\delta_y$ まで伸びた。また、引張载荷側と圧縮载荷側の両方にすべての補強有りケースの最大耐荷力は、全面降伏 CASE1 より大きくなり、CASE1 に対するこれらケースの最大耐荷力比は約 1.08~1.19 程度であることが確認できる。

4. まとめ

- 本研究により得られたことは以下の通りである。
- (1)全面局部座屈の無補強ケースでは、 $1\delta_y$ の早期段階で局部座屈が発生し、フランジ座屈とウェブ座屈局部の無補強では、 $2\delta_y$ で局部座屈が発生した。
 - (2)フランジやウェブに鉛直および水平方向の CFRP シートを補強することで、座屈のタイミングが $3\delta_y$ まで伸ばせることが確認できた。
 - (3)補強ケースの最大耐荷力は引張側と圧縮側ともに全面降伏ケースより 8~19%大きくなった。

参考文献

1) ㈱高速道路総合技術研究所：炭素繊維シートによる鋼構造物の補修・補強工法 設計・施工マニュアル，2013

2) 池田一喜，宮下剛，大垣賀津雄，Pha Ngoc Vinh，秀熊祐哉，櫻井俊太，服部雅史，高原良太：CFRP 接着工法による補強を施した矩形断面短柱の圧縮試験，土木学会第 77 回年次学術講演会，2022.9

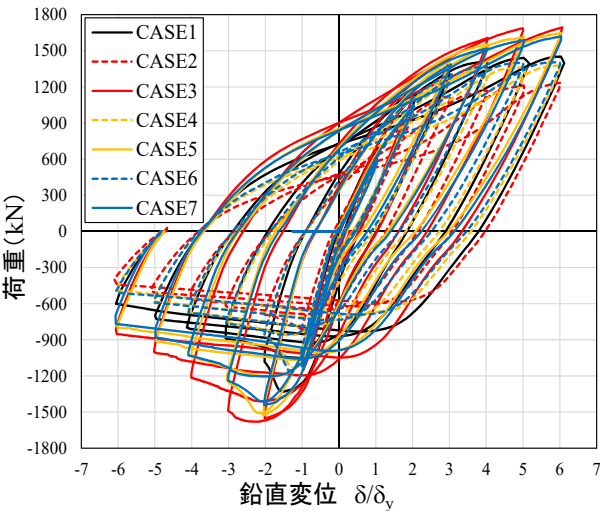


図-4 荷重-変位曲線

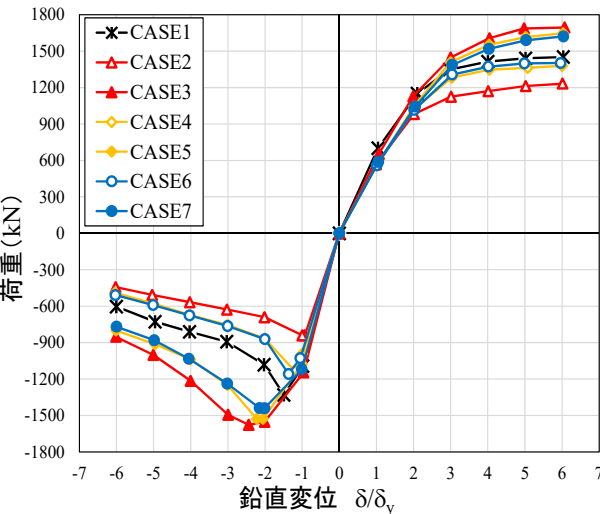


図-5 荷重変位ピーク時包絡線

表-3 交番载荷実験の結果一覧

CASE	板厚 (mm)		破壊モード	引張側		圧縮側		圧縮側での最大荷重時の変位 δ_c (mm)	座屈のタイミング
	ウェブ	フランジ		最大荷重(kN)	ケース 1 に対する最大荷重比	最大荷重(kN)	ケース 1 に対する最大荷重比		
1	6.0	6.0	全面降伏	1451	1.00	1330	1.00	2.84	$2\delta_y$
2	4.5	4.5	全面座屈	1233	0.85	839	0.63	1.77	$1\delta_y$
3				1694	1.17	1578	1.19	4.64	$3\delta_y$
4	6.0	4.5	フランジ座屈	1379	0.95	1132	0.85	2.17	$2\delta_y$
5				1647	1.14	1528	1.15	4.00	$3\delta_y$
6	4.5	6.0	ウェブ座屈	1402	0.97	1158	0.87	2.46	$2\delta_y$
7				1621	1.12	1439	1.08	3.86	$3\delta_y$