

トラス橋 H 形断面斜材の CFRP シートによる補強に関する長柱座屈実験

ものづくり大学

学生会員 ○杉本 陸

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

阪神淡路大震災後の道路橋示方書の改定により、従来の修正震度法の代わりに動的応答解析による断面設計が新たな耐震設計法として基準化された。そのため、道路橋示方書改定以前に建設されたトラス橋斜材等部材の一部は、大規模地震時に全体座屈や局部座屈が発生する可能性がある。従来、これらの耐震補強には高力ボルトによる当て板補強が一般的であったが、鋼材に比べて高強度、高弾性、軽量、腐食しない等の理由から炭素繊維強化ポリマー(以下、CFRP と呼ぶ)を用いた補強工法が注目されている¹⁾。本研究では H 形断面のトラス橋斜材を想定した供試体に CFRP の貼り付けを行い、単調圧縮载荷実験により連成座屈強度等の補強効果とその耐荷力を調査することとした²⁾。

2. 実験概要

本研究では、SS400 材を使用した実橋の約 1/3 程度の H 形断面の長柱供試体を用いた軸圧縮連成座屈実験を行うこととする。実橋において耐震補強が必要な引張斜材の幅厚比パラメータと細長比パラメータを参考として、実験供試体の寸法を図-1 の通りとする。実橋の実績から長さ L を変化させ、表-1 に示すように、無補強における細長比パラメータ λ を 1.0, 1.2, 1.4 程度にしている。また、各細長比の供試体に対して、無補強と CFRP による補強ケースを比較することとする。

さらに、H 形断面長柱部材の補強方法としては、表-1 の通り鉛直方向シートに対する水平方向シートの積層数を同じもしくは 1/2 として、フランジとウェブの両面に貼り付けるものとする。そして、補強量は幅厚比パラメータが $R_f < 0.7$, $R_w < 0.7$ となるように決定している。

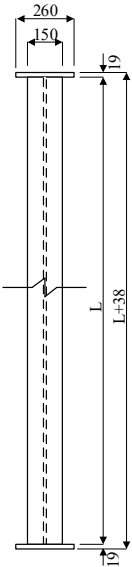


図-1 実験供試体



図-2 実験状況

表-1 供試体パラメータ

CASE	供試体長さ L (mm)	細長比 パラメータ λ_c	幅厚比パラメータ R		CFRP 補強方法 (鉛直/水平)	
			ウェブ R_w	フランジ R_f	ウェブ	フランジ
1	2800	1.0	0.81	1.04	無補強	
2			0.66	0.66	4/2	10/5
3					4/4	10/10
4	3400	1.2	0.81	1.04	無補強	
5			0.66	0.66	4/2	10/5
6					4/4	10/10
7	3900	1.4	0.81	1.04	無補強	
8			0.66	0.66	4/2	10/5
9					4/4	10/10

表-2 使用材料諸元

使用材料	鋼材 (SS400)	CFRP	エポキシ 樹脂	ポリウレア パテ
弾性係数(N/mm ²)	2.0×10 ⁵	4.27×10 ⁵	2860	74
降伏点(N/mm ²)	346	-	-	-
引張強度(N/mm ²)	347	3925	72	11
設計厚さ(mm)	4.5	0.165	-	-
伸び(%)	38	-	-	-

キーワード トラス橋, 斜材, 耐震補強, CFRP, H 形断面, 局部座屈, 全体座屈, 連成座屈

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

本実験に用いた材料特性を表-2 に示す。CFRP シートは中弾性炭素繊維シートを使用し、エポキシ樹脂にて接着を行った。

3. 実験結果

表-3 には実験結果の一覧を示す。同表から、CFRP シートを施工したケースの最大耐荷力は無補強場合と比べて1.78～2.00 倍程度に増加することが分かる。また、水平方向シートを半数とした場合および同数とした場合では、耐荷力の増加率に大きな差がなかった。

図-3 には荷重と鉛直変位の関係を示す。継軸の荷重は鋼材のみの全塑性軸力で無次元化している。同図から、補強したケースの荷重と鉛直変位グラフの初期剛性は、無補強ケースと比較すると増加することが分かる。また、水平方向シートを同数とした場合と半数とした場合の変形挙動はほぼ同じであり、すべての補強ケースで局部座屈が抑えられ、全体座屈が発生した。

図-4 には、各種耐荷力曲線に各供試体の耐荷力をプロットした。同図から、すべての供試体の耐荷力は道路橋示方書³⁾および鋼・合成構造標準示方書⁴⁾の耐荷力曲線より安全側になることが確認できる。ここで、細長比パラメータの計算では、有効長さ係数を1.0 として、部材の長さをエンドプレートの厚さを含まない有効座屈長としている。さらに補強ケースの降伏応力 σ_y 、細長比パラメータおよび幅厚比パラメータはCFRP 補強量を鋼換算して計算している。

4. まとめ

補強した各ケースは無補強に比べて、最大荷重が約1.8 倍以上になることが確認できた。また、最大荷重は耐荷力曲線の安全側になることが確認できた。

参考文献

1)(株)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)PHAM NGOC VINH, 大垣賀津雄, 服部雅史, 宮下剛, 秀熊佑哉, 櫻井俊太：トラス橋斜材のCFRP シートによる耐震補強に関する実験研究, 土木学会, 第9 回FRP 複合構造・橋梁シンポジウム論文集(21), 2022.11.
3)日本道路協会:道路橋示方書・同解説, 2002.
4)土木学会：鋼・合成構造標準示方書,設計編, 2016 年

表-3 実験結果一覧

CASE	供試体長さ L (mm)	細長比パラメータ λ_c	CFRP 補強 (鉛直/水平)		最大荷重 P_u (kN)	無補強の降伏荷重との比 P_u/P_{y0}	無補強の最大荷重との比較 P_u/P_{u0}	破壊モード
			ウェブ	フランジ				
1	2800	1.08	無補強		525	0.70	1.00	局部座屈
2		1.04	4/2	10/5	968	1.30	1.84	先行と全体座屈
3		1.04	4/4	10/10	986	1.32	1.88	
4	3400	1.31	無補強		498	0.67	1.00	局部座屈
5		1.26	4/2	10/5	934	1.25	1.88	先行と全体座屈
6		1.26	4/4	10/10	886	1.19	1.78	
7	3900	1.51	無補強		404	0.54	1.00	全体座屈
8		1.44	4/2	10/5	756	1.01	1.87	
9		1.44	4/4	10/10	824	1.10	2.04	

注)鋼材ミルシートにより $\sigma_y = 346\text{MPa}$ と $P_{y0} = 747\text{kN}$

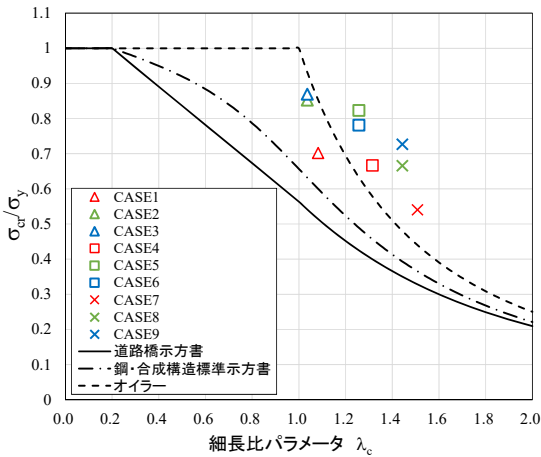


図-4 耐荷力曲線

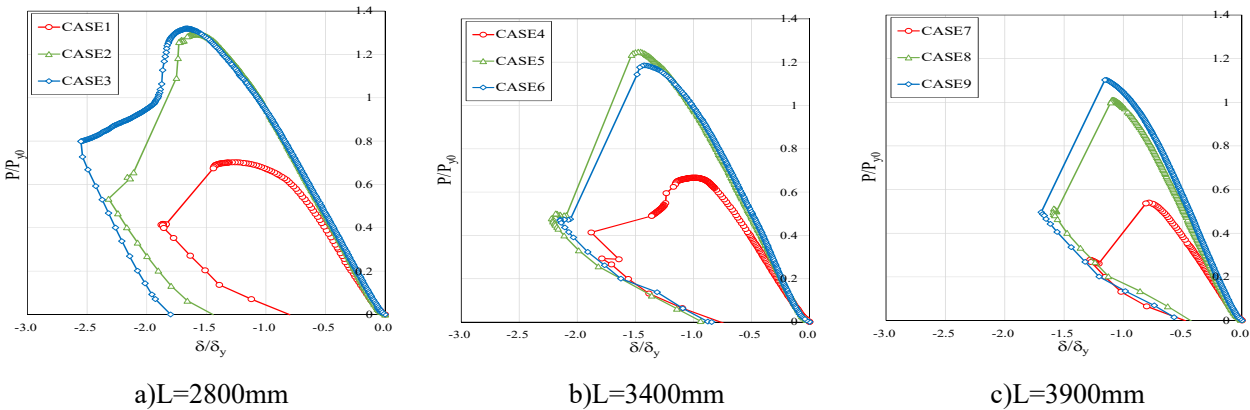


図-3 荷重-鉛直変位の関係