

矩形断面鋼部材の CFRP 補強に関する研究

鋼構造研究室 池田 一喜

1. 背景

鋼トラス橋の引張部材は、通常時の作用に対しては最小断面での設計が多く、偶発作用である地震の圧縮力によって局部座屈の発生が懸念される。そこで、死荷重の増加が少なく、塩害等に対して強い耐久性を有する炭素繊維シート（以下、CFRP シート）による耐震補強が期待されている。

2. 目的

本研究では、鋼トラス橋における下弦材の耐震補強を想定し、矩形断面長柱を対象に CFRP 接着工法の検討を行う。具体的には、圧縮荷重試験ならびに交番荷重試験を通じて、連成座屈に対する CFRP による補強効果について検討する。

3. 実験概要

1) 供試体概要

供試体は SS400 材を用いた矩形断面であり、図 1 に供試体の断面および支持条件の概要を示す。支持条件は一方方向の回転を許す両端ピン支持とし、細長比パラメータ λ が 0.9 付近の値になるようにした。荷重軸は図 1 の Y 軸回りとした。また、供試体の終局状態をフランジとウェブにおける降伏 (N01, N02)、局部座屈の発生 (A11, A12) とし、A12 のウェブとフランジに CFRP 補強を施した (A41, A42)。表 1 に実験ケースを示す。

2) 補強枚数の決定

図 2 に CFRP シートの貼付方向を示す。繊維方向が荷重軸方向のものを鉛直シート、繊維方向が荷重軸に垂直方向のものを水平シートと呼ぶ。CFRP シートの積層数は、道路橋示方書¹⁾ (以下、道示) の両縁支持板の耐力曲線を用いて、CFRP シートを鋼換算した幅厚比パラメータ R が 0.7 以下となるように、鉛直方向の積層数を決定した。水平方向については、過年度の結果より鉛直シートと同数とした。

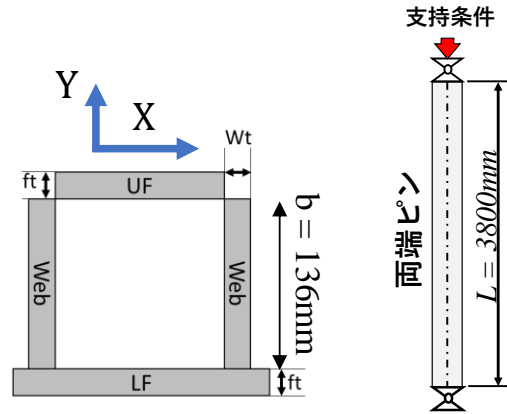


図 1 供試体概要

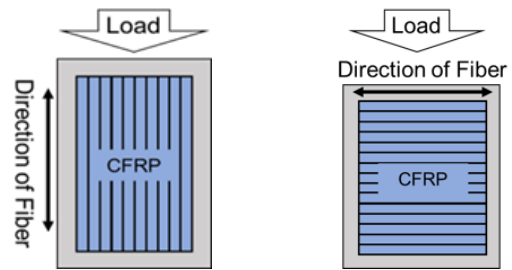


図 2 CFRP の鉛直シートと水平シート

表 1 試験ケース (長柱)

CASE	実施実験	断面性能	CFRP補強枚数 (鉛直/水平)		細長比パラメータ λ	幅厚比パラメータ R	
			ウェブ	フランジ		ウェブ	フランジ
N01	圧縮	フランジ ウェブ降伏	補強なし : 4.5mm		0.85	0.61	0.61
N02	交番				0.85	0.61	0.61
A11	圧縮	フランジ ウェブ座屈	補強なし : 3.0mm		0.87	0.91	0.91
A12	交番				0.87	0.91	0.91
A41	圧縮	フランジ ウェブ補強	5/5	5/5	0.86	0.63	0.63
A42	交番		5/5	5/5	0.86	0.63	0.63

3) 荷重方法

圧縮荷重試験は単調荷重とし、交番荷重試験は供試体の降伏変位 δ_y を基に荷重ステップを設定し、引張荷重を先に荷重した後に圧縮荷重を荷重した。荷重試験には、ものづくり大学が所有するアムスラー型万能試験機を用いた。

4. 実験結果

1) 荷重-鉛直変位関係 (圧縮載荷試験)

図 4 に、圧縮載荷試験より得られた荷重-鉛直変位関係を示す。図中の黒実線は N01 の初期剛性、赤点線は A11 の初期剛性を示す。フランジ・ウェブ補強を施した A41 の最大荷重は、A11 と比較すると 114%の増加となった。また、A41 の初期剛性は、N01 と同程度となった。これより、CFRP 補強によって、局部座屈の発生が抑えられ、耐力が向上することが確認された。

2) 荷重-鉛直変位関係 (交番載荷試験)

図 5 に、交番載荷試験より得られた荷重-鉛直変位関係を示す。荷重の正負は、引張が正、圧縮が負である。フランジ・ウェブ補強を施した A42 の最大引張荷重は A12 と比較すると 94%の増加となった。また、A42 では、 $-2\delta_y$ で局部座屈が発生したものの、それ以降の引張荷重に対しても補強効果を示している。

3) 累積エネルギー吸収量

図 6 に、各荷重ステップと累積エネルギー吸収量の関係を示す。エネルギー吸収量は、荷重-鉛直変位関係において、各荷重ステップのループの面積を算出することで求めた。A42 は $3\delta_y$ で N02 と同程度の値を示した。これは、局部座屈が発生後も引張荷重に対する補強効果を喪失しなかったことによるものと推察される。

4) 耐力力曲線

図 7 に、最大荷重を耐力力曲線で整理した結果を示す。横軸は細長比パラメータ λ であり、縦軸は最大荷重を鋼部材の降伏荷重あるいは鋼部材に鋼換算した CFRP シートを加えた断面から算出した降伏荷重 P_y で正規化した荷重である。本研究では、各試験ケースの試験体数が限られ、統計的な評価はできないものの、CFRP 補強により、道示の耐力力曲線に対して、大きな安全余裕を示すと考えられる。これは、A41, A42 では局部座屈の発生が抑えられたためと推察される。ここから、CFRP 補強した鋼部材の耐力力評価に、既往の耐力力曲線が活用できる可能性がある。

5. まとめ

本研究では、矩形断面長柱を対象とした載荷試験を行い、CFRP 接着工法によって、耐力力、初期剛性、累積エネルギー吸収量の増加を確認した。ここから、鋼トラス橋における下弦材の耐震補強に向けて、CFRP 接着工法の適用可能性が示された。

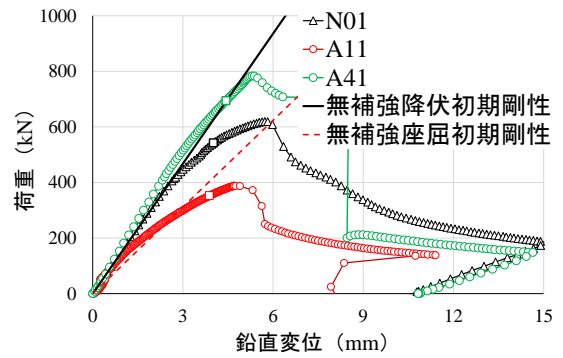


図 4 荷重-鉛直変位関係 (圧縮 : Y 軸回り)

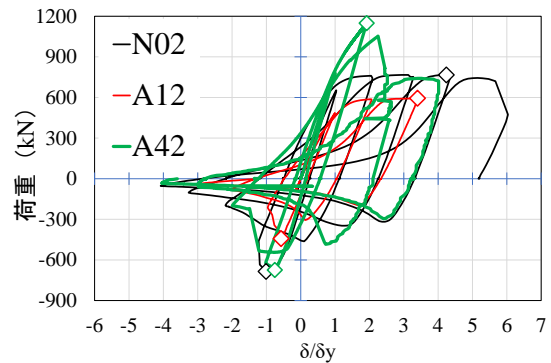


図 5 荷重-鉛直変位関係 (交番 : Y 軸回り)

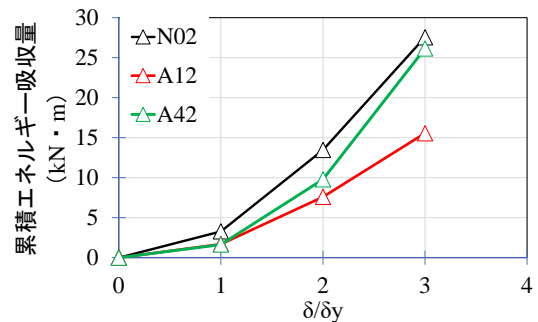


図 6 累積エネルギー吸収量 (Y 軸回り)

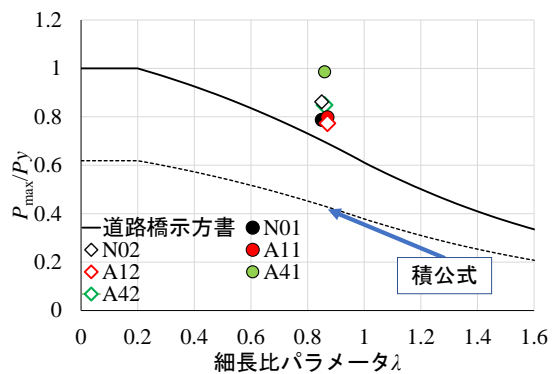


図 7 耐力力曲線

参考文献

- 1) 日本道路橋協会: 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋・鋼部材編 2017
- 2) 土木学会 鋼構造委員会: 鋼・合成構造標準示方書 総則編・構造計画編・設計編 2005