

CFRP 補剛材を用いた鋼桁端部の補強効果に関する基礎的検討

東レ (株) 正会員 ○松井孝洋, エム・エム ブリッジ (株) 正会員 古田大介
東京都立大学 正会員 タイウィサル, 中村一史

1. はじめに

近年, 旅客機の構造部材や風力発電用ブレード等の大型 FRP 構造物の製造で用いられる VaRTM (Vacuum assisted Resin Transfer Molding) 技術を用いて, FRP と既設鋼構造物を一体化させる工法の開発が行われている¹⁾. この技術は, 現場で立体の FRP 構造物を増設できることが特長である. これを用いて, 橋梁鋼桁支承取替時のウェブ座屈防止策に CFRP 補剛材を適用する技術開発を進めている²⁾. 本検討では, 鋼桁に対する CFRP 補剛材の仕様を決定するために, CFRP 補剛材の形状や, ウェブへの設置方法をパラメータとして, 鋼桁端部を模擬した試験体の圧縮試験を行ない, 補強効果を確認した.

2. 試験の概要

鋼桁は 424mm 高, フランジ幅 315mm で, ウェブ厚 9mm, フランジ厚 12mm である. 鋼補剛材は, 400mm 高, 140mm 幅, 9mm 厚である. 鋼桁ウェブには 1/1000 程度の初期たわみを許容しているが, さらに, 溶接によるウェブの軸ズレが最大 4.5mm 確認された. 鋼材は SM400A を用い, 降伏強度は, フランジ部で 285N/mm², ウェブ部で 327N/mm² である. なお, 鋼桁のフランジ頂部と底部は, 載荷部と支持部に 290mm×220mm×22mm 厚の鋼板が溶接されている.

表 1 試験体一覧

名称	補剛材材質	形状	表面処理	設置長さ	備考
Ctrl	Steel	平板	—	ウェブ全高	コントロール
NS	—	—	—	—	補剛材なし
CS-P	CFRP	平板	無	ウェブ全高	
CS-T1a		T1	有	ウェブ全高	
CS-T1b			有	ウェブ1/2高	
CS-T1c			無	ウェブ全高	
CS-T2		T2	有	ウェブ全高	
CS-B1		Box1	有	ウェブ全高	
CS-B2a		Box2	有	ウェブ全高	
CS-B2b			有	ウェブ1/2高	
CS-B2c			無	ウェブ全高	

表 1 に試験体一覧を示す. 鋼補剛材付きを Ctrl, 補剛材無しを NS として比較用試験体とした. CFRP 補剛材付き試験体は, CFRP 補剛材の形状 (平板, T 型, ボックス型), ウェブとの接着, ウェブ接着面の表面処理, CFRP 補剛材の設置長さをパラメータとするケースとした. CFRP 補剛材の積層構成は, 桁鉛直方向にかかる荷重に抵抗できるように鋼補剛材と同等の軸剛性となるよう, 炭素繊維シート (CF シート) (UM46-40P, 弾性率 440kN/mm², 引張強度 2400N/mm² 以上) を鉛直方向に配置した構成である.

CFRP で補剛した試験体の詳細を以下に示す.

CS-P: 鋼補剛材と同じ平板であるが, 支えのために上下のフランジとの取付部では, 補剛材両端の CF シートをフランジ方向両側に広げた.

CS-T シリーズ: CS-T1 は CS-P の CFRP 補剛材を平板から T 型断面に置き換えたもの. T 型断面の頂部がウェブと接着するため, CS-P よりも CFRP 補剛材とウェブとの接着がより強固になる. CS-T2 は, ウェブ側に接着する CF シートの端部を上下方向にも延ばして, 補剛材フランジ側の折り曲げ部にも重ねたもの.

CS-B シリーズ: CS-B1 は角柱コアの面に CF シートを巻き付けたボックス型の CFRP 補剛材. CS-B2 シリーズは, CS-B1 の上下端面に CF シートを折り込んだ.

CS-T1 と CS-B2 は, さらに, 補剛高を 1/2 高としたもの, ウェブとの接着に際して, 目粗し (表面処理) の有無をパラメータとした. 試験は, 図 1 に示すように, 万能試験機を使って試験体頂部から鉛直方向に荷重を作用させる圧縮試験とした. 試験時には荷重, 変位ならびに鋼材と CFRP のひずみを計測した.



図 1 圧縮試験

3. 試験結果

表 2 に圧縮試験結果を, 図 2 に荷重と変位の関係を示す. 破壊状態を説明する. Ctrl は補剛材およびウェブの中央が面外方向に変形しながら塑性座屈した. NS はウェブの中央が面外方向に変形し始め塑性座屈した. CS-P は CFRP 補剛材中央が面外方向へ変形しながらもウェブの塑性座屈となったが, CFRP 補剛材は破壊しなかった. CS-T1a 及び CS-T2 はウェブ塑性後も CFRP 補剛材で圧縮荷重を負担し, CFRP 補剛材の上部で圧縮破壊をした. CS-T1b 及び CS-B2b は, 補剛されていないウェブ 1/2 上部が塑性座屈し, CFRP 補剛材はウェブの面外変形で剥離した. CS-T1c は, CFRP 補剛

KeyWords; 炭素繊維強化プラスチック, VaRTM, 補剛材, 鋼桁, 圧縮特性
連絡先 〒103-8666 東京都中央区日本橋室町 2-1-1 東レ株式会社 ACM 技術部 E-mail: takahiro.mastui.f3@mail.toray

材が剥離後、ウェブの塑性化と CFRP 補剛材の面外変形が急激に増加し、CFRP 中央部で座屈破壊をした。CS-B1 及び CS-B2a は、CFRP 補剛材の上部で圧縮破壊をした。CS-B2c は、CFRP 補剛材とウェブが剥離後、CFRP 補剛材への負担が急激に増加し、CFRP の圧縮破壊とせん断破壊を生じた。なお、CS-P を除く CFRP 補剛材試験体は、脆性的に破壊した。

4. 補強効果に与える要因の評価

CFRP 補剛材とウェブとの一体化について、CS-P と CS-T1a を比較する。CS-P は、ウェブと CFRP 補剛材が独立的に挙動し、結果的にウェブの塑性座屈を抑制できなかった。しかしながら、ウェブにも定着した CS-T1a は一体化できたため、ウェブが塑性しても、CFRP 補剛材と一体となって圧縮力に抵抗し、CFRP の圧縮破壊となった。なお、ウェブ側の CF シート端部を補剛材の端部折り曲げ部へ折り込み一体化しても、耐力に差異は見られなかった。したがって、CFRP 補剛材とウェブは一体化する必要があるが、ウェブと補剛材の端部を一体化する必要はない。

ウェブ接着面の目粗しについて、CS-T1a と CS-T1c、及び CS-B2a と CS-B2c を比較する。目粗しをして鋼材表面に接着させると最大荷重まで剥離することはなく、CFRP 補剛材とウェブが一体化できた。しかし、目粗しをしない、つまり鋼材黒皮上に接着した試験体は、1400kN 付近で剥離し、後はウェブと CFRP 補剛材が独立的に挙動したため、一体化した試験体の耐力には及ばなかった。以上より、CFRP 補剛材とウェブを一体化するためには、ウェブ接着面の目粗しが重要である。

CFRP 補剛材の設置長さについて、ウェブ全高の設置はいずれも補強効果を示した。しかしながら、1/2 高の設置では NS (補剛材無し) に比べ耐力は若干上がるものの、変形を含め補強効果の改善は見られなかった。したがって、CFRP 補剛材の設置長さをウェブ全高とするのが適する。ただし、ウェブ座屈を抑制できる設置長さが明確になれば、ウェブ全高である必要性はないと考える。

最後に、本研究に関する試験体の作製を通じて CFRP 補剛材の 3 形状 (平板、T 型及びボックス型) の施工性を比較すると、補剛材の施工精度 (直進性)、据え付け手間や施工中の形状の保持性から、ボックス型が適していることを確認できた。

5. まとめ

本研究の結果、以下のことがわかった。

- (1) CFRP 補剛材は、ウェブと一体化する必要がある。また、接着で一体化をするためには、鋼材表面の目粗しを行い、鋼材黒皮を除去する必要がある。
- (2) CFRP 補剛材の設置長さは、ウェブ全高とすることが適する。
- (3) CFRP 補剛材は、施工性や施工精度の観点からボックス型が適している。

参考文献

- 1) 小林洸貴, 近藤諒翼, 中村一史, 松本幸大, 松井孝洋, 越智寛: 真空含浸工法を応用した CFRP 接着による鋼桁端腐食部の補修に関する実験的検討, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.73, No.5, pp.II_20-II_31, 2017.5
- 2) 松井孝洋, 古田大介, タイウィサル, 中村一史: CFRP 補剛材を用いた鋼桁端部の補強効果に関する実験的検討, 令和元年度土木学会全国大会, 第 74 回年次学術講演会, I-146, 2019.9

表 2 圧縮試験結果

名称	最大荷重 (kN)	最大荷重変位 (mm)	補強効果	破壊状況
Ctrl	1,656	1.49	1.00	ウェブ/補剛材の座屈
NS	792	1.00	0.48	ウェブ座屈
CS-P	1,359	1.33	0.82	ウェブ座屈
CS-T1a	1,738	0.72	1.05	CFRP圧縮破壊 (上部)
CS-T1b	930	1.63	0.56	ウェブ座屈 → CFRPのウェブ部剥離
CS-T1c	1,486	0.60	0.90	ウェブ座屈 → CFRP座屈破壊
CS-T2	1,723	0.72	1.04	CFRP圧縮破壊 (上部)
CS-B1	1,860	0.55	1.12	CFRP圧縮破壊 (上部)
CS-B2a	1,646	0.49	0.99	CFRP圧縮破壊 (上部)
CS-B2b	922	1.79	0.56	ウェブ座屈 → CFRPのウェブ部剥離
CS-B2c	1,411	0.59	0.85	CFRP圧縮破壊/せん断破壊

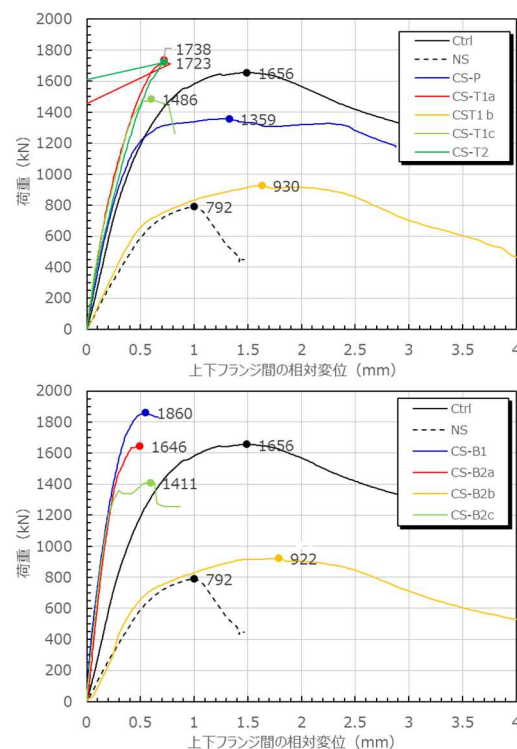


図 2 荷重－鋼桁鉛直変位



図 3 CFRP 補剛材の破壊状況