

主桁ウェブ変形に対する CFRP 補強の効果検証

首都高速道路 (株) 正会員 ○石橋 正博
 首都高速道路 (株) 正会員 中村 充
 (一財) 首都高速道路技術センター 正会員 仲野 孝洋
 (一財) 首都高速道路技術センター 正会員 大住 圭太

1. はじめに

近年、高架橋における火災事例が多く報告されている。落橋につながる事故事例としては、2007年にアメリカのオークランドベイブリッジ付近の高架橋の事例、2008年に発生した首都高速5号池袋線において熱影響を受けた主桁ウェブの大変形によって架け替えが行われた事例等がある。これらの事例はタンクローリー車の事故に起因し、部材が大きく座屈する等矯正困難な変形が生じたものであり、大規模な修繕が必要であった。首都高速5号線の事例では約2か月間の通行止めを要し、交通や物流に対する社会的影響が大きかった。一方、2014年の首都高速3号渋谷線の火災事例では、主桁ウェブに変形は見られないものの道路橋示方書の部材精度に基づく板平面度 $h/250$ (h :ウェブ高) を超過していたため、鋼材の機械的性質が変化していないことを確認したうえで、ウェブを形鋼で挟み込むことで変形矯正を兼ねた補強を行った。

本検討は、せん断座屈強度の増加に効果がある CFRP シートを火災等により面外変形した主桁ウェブに補強した場合の効果を明らかにすることを目的として、既設橋梁から撤去した桁試験体を用いてせん断座屈試験を行った。

2. 試験概要

試験は、首都高速道路で撤去された既設桁を用いて、実物大試験として実施した。図-1 に試験体形状寸法、写真を示す。図-1 の着色部分が試験対象の主桁ウェブパネルであり、当該パネルに予め火災時に生じる面外変形を発生させたうえで CFRP 補強を行い、せん断座屈試験を行った。

主桁ウェブの面外変形は、ガスバーナーにより加熱することで模擬した。すなわち、ウェブパネルを加熱

し、常温に戻った際にウェブに面外変形が残存するため、これを複数回繰り返すことで変形量を調整した。なお、加熱温度は鋼材の機械的性質に影響を及ぼさないために A1 変態点 727°C まで達しないことを考慮して 600°C 程度とした。これにより、主桁ウェブの面外変形量は図-2 に示すように 26.4mm ($h/45$ 程度) となった。

CFRP 補強では、変形した主桁ウェブに耐力を期待しないものとして、対象ウェブの板厚 9mm 相当の CFRP シートを貼り付けた。一方向 CFRP シートは、繊維方向に働く力に対して抵抗するため、せん断によりウェブパネルの対角方向に生じる引張と圧縮に抵抗させるよう、繊維方向を 90 度ずらした 2 枚を 1 組とし、ウェブ両面にそれぞれ 10 組 20 枚 (NEXCO 総研「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」に準拠) の CFRP シートを貼り付けた。図-3 に貼付け方向を示す。なお、載荷位置は図-1 に示す対象パネルの支間側近傍の上フランジとした。

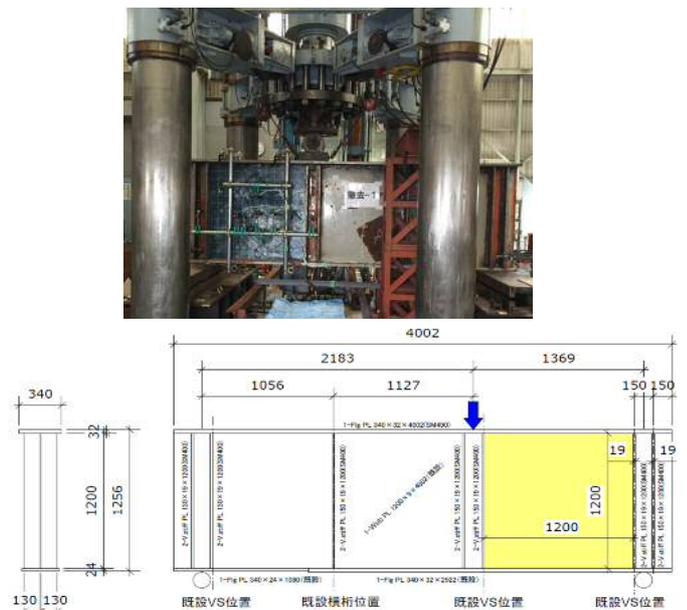


図-1 試験体形状寸法、試験体写真

キーワード 鋼部材,補修,接着接合,CFRP

連絡先 〒102-0093 東京都千代田区平河町 2-16-3 首都高速道路 (株) TEL 03-3264-8527

3. 試験結果

(1) 無補強試験体

本検討は、CFRP 補強と比較する無補強試験体のせん断座屈試験を実施していないため、無補強試験体モデルを用いた FEM 解析を実施した。なお、解析モデルはシェル要素でモデル化し、要素寸法は 50mm とした。モデルケースはウェブの面外変形がない健全モデルに加え、予め対象のウェブパネルに鉛直および長手方向に正弦半波で $h/250$ 、 $h/50$ の面外変形を与えたモデルとした。また、本解析は材料比線形と幾何学的非線形を考慮して行っており、鋼材の弾性係数を $2 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ 、ポアソン比を 0.3、降伏後のひずみ硬化係数は $1/100$ とした。なお、ウェブの降伏応力は鋼材の引張試験結果から 285N/mm^2 とした。

(2) 試験結果

図-4 に CFRP 補強試験体のせん断座屈試験における荷重と載荷点直下位置下フランジの鉛直変位の関係を示す。CFRP 補強試験体の耐力は、無補強試験体 ($h/50$) の解析値と比較して約 1.5 倍 (約 2,300kN→約 3,500kN) まで向上していることが確認された。図-5 には試験終了後の CFRP の浮き状況を示す。浮きは斜め張力場を中心に生じており、面外変形による曲率が小さい個所では、CFRP の割れも生じていた。CFRP 補強試験体の耐力は鉛直変位が約 5mm に達した時点から低下しているが、これはウェブの面外変形が大きくなり CFRP とウェブが剥離したことによるものと考えられる。その後は、鉛直変位が 17mm になるまで荷重を続けたが、CFRP 補強試験体の耐力は無補強試験体の解析値よりも 15%程度高い約 2800kN までしか低下しなかった。

4. まとめ

本検討では、面外変形した主桁ウェブに対する CFRP 補強の効果を明らかにすることを目的に、実物大試験体にて $h/50$ 程度の面外変形を生じさせ、ウェブの板厚相当の CFRP 補強を行い、せん断座屈試験を行った。その結果、CFRP 補強試験体の耐力は無補強試験体モデルを用いた解析値と比較して約 1.5 倍に向上することが確認された。しかしながら、CFRP 補強は形鋼による補強に比べてコストが高額となるため、貼付け量、貼付け範囲を見直すことで最適な設計手法を整理すると共に、耐久性の確認も今後の課題である。

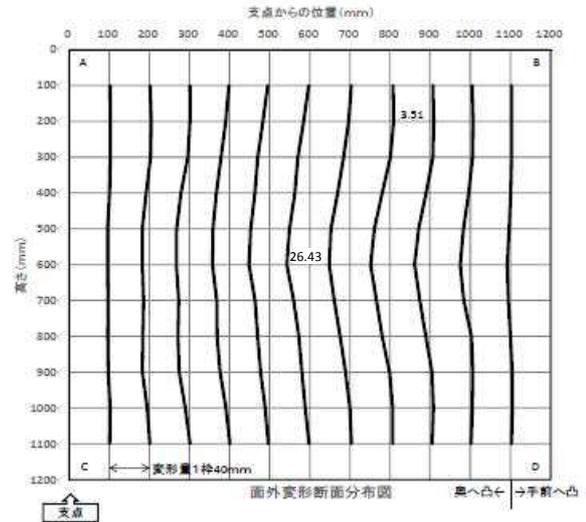


図-2 主桁ウェブ面外変形量

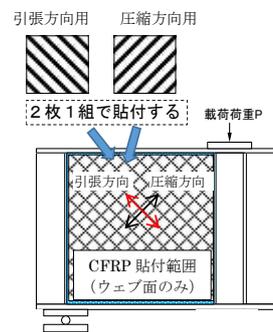


図-3 シート貼付け方向

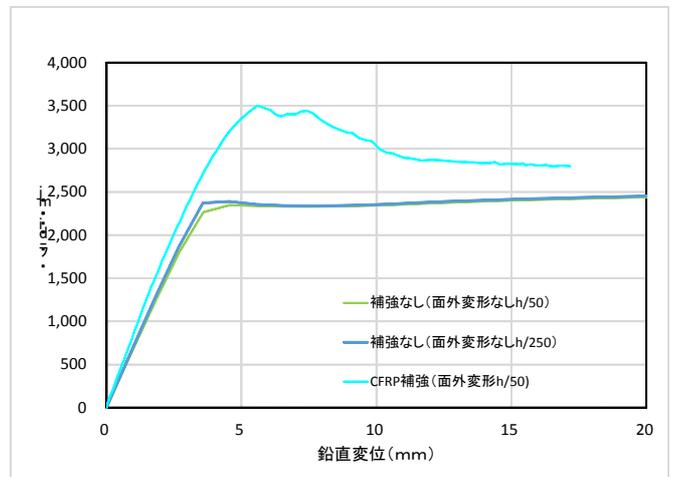


図-4 CFRP 補強試験体の荷重-鉛直変位関係

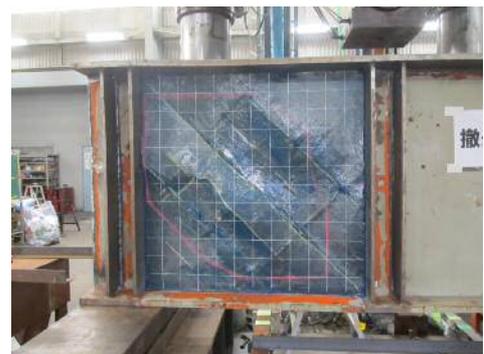


図-5 試験終了後の CFRP 浮き状況