

## 鋼桁腹板の CFRP シートによる補強に関する解析的研究

ものつくり大学

学生会員 ○下前照

ものつくり大学

正会員 大垣賀津雄, PHAM NGOC VINH

日鉄ケミカル&amp;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 手塚渉太, 服部雅史, 長谷俊彦

長岡技術科学大学

正会員 宮下剛

## 1. はじめに

近年、高速道路における大規模な床版の取り替え工事が行われているが、合成桁橋の床版取替え時において、鋼桁の耐力不足が生じる場合がある。そこで鋼構造物の新たな補強材料として、炭素繊維強化プラスチック（以下、CFRP と記す）が注目されている。CFRP は軽量、高強度、高耐久性といった特徴を有しており、施工も容易で狭隘な場所にも対応できる。さらに断面欠損や熱影響もなく、従来の当て板工法に比べ様々な点で優れている。そのため、橋梁の耐荷力保持などの課題に対し、CFRP を用いた補強工法が有効であると考えられる。本研究は合理的な設計・施工法確立に有用な資料を提示することを目的に、過去に実施した鋼桁腹板の CFRP シート補強に関する実験<sup>2)~5)</sup>で得られた結果を用いて、CFRP シートを用いた補強工法の有限要素解析におけるモデル化の検討を行った。

## 2. 解析方法

解析ソフトウェアは DIANA10.4 である。解析に使用した材料諸元を表-1 に、鋼部材と CFRP の接着部における解析モデル詳細図を図-1 に示す。鋼部材とエポキシ樹脂は 20 節点ソリッド要素、CFRP シートは 8 節点シェル要素で構成されている。CFRP シートの 1 層目と鋼材の間に挿入されたポリウレアパテは、高伸度低弾性でシートのはく離を防ぐ効果があり、応力と相対変位を材料モデル化したインターフェイス要素によって構成した<sup>6)</sup>。解析対象は文献 2)~5) で行った実験における、代表的なケースとした。これらの実験では図-2 に示す通り、実橋の 1/2 程度の寸法である鋼桁供試体に対し、CFRP シートによる補強を行い、曲げ、せん断、曲げせん断のそれぞれを受けるように载荷実験を行っている。解析モデルの荷重は载荷点の位置に強制変位を設定した。要素メッシュは、試験パネルと添接部を 50mm、実験用载荷桁の軸方向端側のパネルを 100 mm として、材料非線形と幾何学的非線形を考慮した解析を実施した。

表-1 材料特性

材料	項目	値
鋼材(SS400)	弾性係数 (MPa)	$2.0 \times 10^5$
	降伏点 (MPa)	310
炭素繊維	弾性係数 (MPa)	$6.4 \times 10^5$
	引張強度 (MPa)	2430
エポキシ樹脂	弾性係数 (MPa)	2500
	厚さ (mm)	0.6
ポリウレアパテ (FU-Z)	厚さ (mm)	0.8
	せん断強度 $\tau_y$ (MPa)	6.13
	せん断強度における相対変位 $\delta_y$ (mm)	0.81
	はく離段階における相対変位 $\delta_u$ (mm)	2.1

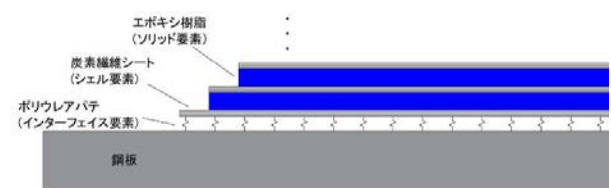


図-1 各材料の構成モデル

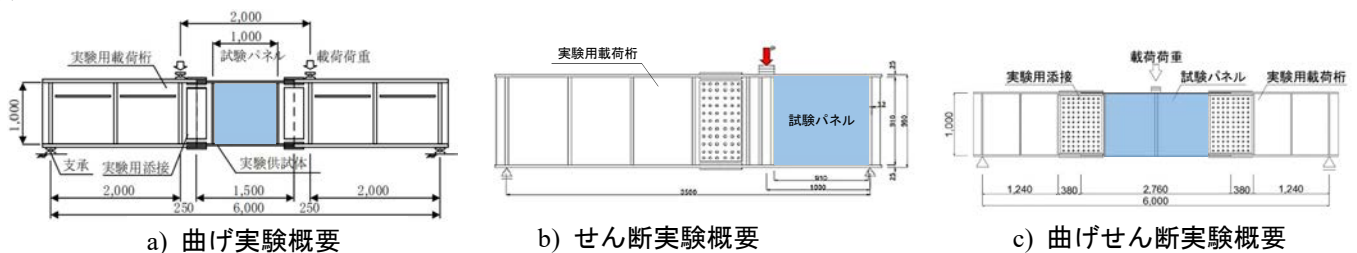


図-2 鋼桁腹板の CFRP シートによる補強実験概要

キーワード CFRP シート, 補強, プレートガーダー, FEM 解析

連絡先 〒361-0038 埼玉県行田市前谷 333 ものつくり大学建設学科 TEL 048-564-3907

### 3. 解析結果

曲げ実験の荷重-鉛直変位関係について、解析結果と実験結果を比較したグラフを図-3に示す。弾性域の剛性は一致しており、最大荷重は解析値の方がやや低くなっている。また、実験値は降伏し、徐々にグラフが横ばいになっているのに対し、解析ではほぼ弾性域の剛性のまま、途中で計算が停止している。実験値の方が早く降伏し始める原因として、溶接入熱による残留応力の影響が考えられる。

せん断実験では、初期たわみの有無で2パターンの解析を行った。荷重-鉛直変位関係について、解析結果と実験結果を比較したグラフを図-4に示す。弾性域の剛性は一致しているが、初期たわみ有りの解析では、実験値の最大荷重に至る前に鋼桁のせん断座屈が発生しており、早い段階で変位が大きく伸び始めている。一方、初期たわみを無しにした解析では、弾性域および降伏後、また座屈発生等の挙動がよく一致していることがわかる。しかし、それぞれの荷重は実験値に対し大きく、危険側での評価となってしまいうため、設計上好ましくない結果となっている。

曲げせん断実験についても初期たわみの有無で2パターンの解析を行い、さらに残留応力も設定した。荷重-鉛直変位関係について、解析結果と実験結果を比較したグラフを図-5に示す。残留応力を設定したことによって、実験結果にみられるような、徐々に降伏する挙動が確認できた。しかし、初期たわみ有りの解析結果の最大荷重が実験結果を下回っている。一方、初期たわみ無しの解析結果では、最大荷重がかなり近い値になり、さらに設計において安全側での評価が可能であることが分かった。

### 4. まとめ

本研究で得られた知見は、ポリウレアパテをインターフェイス要素で、CFRPシートをシェル要素で、エポキシ樹脂や鋼板をソリッド要素でモデル化を行ったところ<sup>6)</sup>、実験値とFEM解析がほぼ一致することである。今後の課題として、より正確な解析結果を得るために、初期不整や材料の非線形性など、解析上の設定を検討することが挙げられる。また、各解析で初期たわみによる影響があった場合の検討を行ったが、CFRPシートの物性値による検討は行っていない。特に積層したCFRPのせん断面外剛性が大きく影響すると考えているが、この検討を行うためには、積層したCFRPの物性値に関する実験データを蓄積する必要がある。

### 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，2013.10
- 2) 服部雅史，広瀬剛，大垣賀津雄，宮下剛，奥山雄介，小林朗，秀熊佑哉：2軸対称鉄桁のCFRPによる曲げ耐荷力補強に関する実験的研究，日本鋼構造協会，鋼構造論文集，第25巻，第99号，2018.9
- 3) 奥山雄介，宮下剛，若林大，小出宣央，小林朗，秀熊佑哉，堀本歴，長井正嗣：腹板をCFRP補強した鋼桁のせん断座屈試験と強度評価法，土木学会論文集A1，Vol.68，No.3，635-654，2012.11
- 4) 菊地新平，大垣賀津雄，宮下剛，奥山雄介，小林朗，秀熊佑哉，原田拓也，下前照：CFRPシートによる腹板の補強方法をパラメータとしたせん断耐荷力に関する実験的研究，土木学会年次学術講演会，I-173，2020.9
- 5) 下前照，大垣賀津雄，菊地新平，原田拓也，長谷俊彦，宮下剛，奥山雄介，秀熊佑哉，西野晶弘：曲げとせん断を受けるプレートガーダーのCFRPシートによる補強効果に関する実験研究，土木学会年次学術講演会，I-172，2020.9
- 6) Ngoc Vinh PHAM, Takeshi MIYASHITA: NONLINEAR STRESS ANALYSIS FOR CFRP-SHEET-BONDED STEEL PLATES UNDER UNIAXIAL TENSILE LOADING, Journal of JSCE, Vol. 8, pp.127-143, 2020

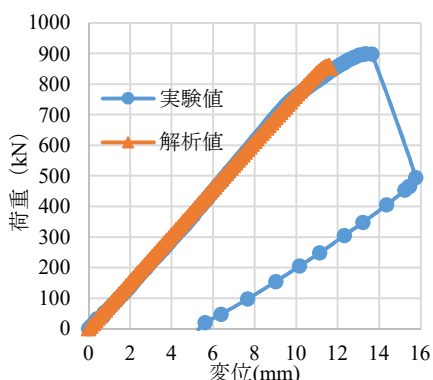


図-3 曲げ 荷重-鉛直変位

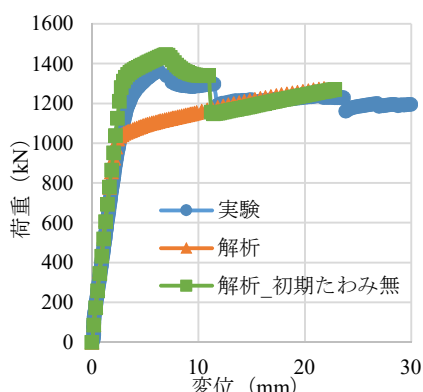


図-4 せん断 荷重-鉛直変位

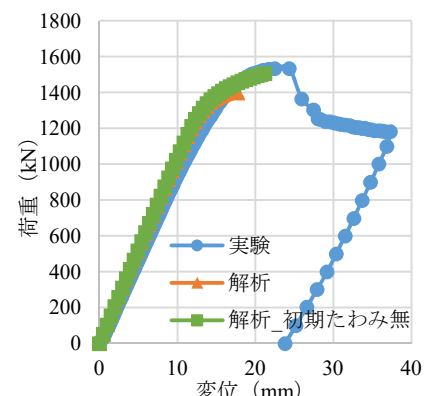


図-5 曲げせん断 荷重-鉛直変位