

VaRTM を用いた CFRP 成形接着補強法に関する基礎検討

豊橋技術科学大学 正会員 ○三枝 玄希
 首都大学東京 正会員 中村 一史
 東レ 正会員 松井 孝洋
 東レ 越智 寛
 豊橋技術科学大学 正会員 松本 幸大

1. はじめに

近年の社会基盤構造物の経年劣化に対して、軽量で高強度、高耐食性を有する Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP)を用いた既存構造物への補修・補強法の研究・開発が進んでいる¹⁾。社会基盤構造物の CFRP による補修・補強には速やかで現場でのハンドリング性に優れた施工が大きく望まれる。そこで、筆者らは Vacuum assisted Resin Transfer Molding (VaRTM)を鋼構造物材への補修・補強へ応用する研究を進めている²⁾。本研究では、鋼材に対して事前成形が可能な炭素繊維シートを用い、少ない使用量でより効率的な曲げ剛性の向上を目的に VaRTM による接着成形を行い、3点曲げ試験による実験結果の分析を行った。

2. 補強モデルおよび試験体概要

本試験に用いた炭素繊維シートは一方向炭素繊維シート(目付量 190gsm, 厚さ 0.105mm)表面に熱可塑性樹脂の粒子を塗布したもので、所定温度に加温することで熱可塑性樹脂が溶融し冷却すると凝固し形状が保持されることで事前成形が可能となる。この炭素繊維シートを用いた CFRP について JISK7146 を参考に引張試験および非破壊 3点曲げ試験を行い、得られた結果を補強設計に用いた。補強設計は厚さ 19mm, 幅 150mm, 長さ 1100mm の SS400 材を曲げスパン 900mm, CFRP による補強長さ 800mm で単純支持の 3点曲げ試験を対象とし、曲げ剛性が無補強時(NS)の 1.5 倍となるように有限要素解析(FEM)によって決定し、試験を行う。その際の設計断面は図 1 に、設計モデルは図 2 に、物性値は表 1 に示している。FEM による解析条件は 2 次元対称モデルとし、要素は平面応力仮定の 2 次シェル要素で行った。実試験を模擬するため、鋼材と CFRP 間に厚さ 0.36mm の弾性係数 8GPa と仮定したチョップドストランドガラスマット層を考慮した。CFRP は異方性材料とし表 1 を用いて複合則によって算出した。図 2 に示すように設計したモデルは FB 型 3 体, CT 型 1 体の全 4 モデルとし、FB 型については端部の応力集中を避けるため、FB-1 では 10mm/4 層, FB-2, 3 は 10mm/2 層のテーパー状積層とした。この形状設計に際し、FB-2 については文献 3)より得られている曲げ力を受けた CFRP の剥離時の接着面垂直方向の応力であるピール応力 20MPa を考慮し、FB-1 よりも剥離を抑制させることを目的としたモデルである。FB-3 は接着区間中央の曲げ剛性を下げることで、降伏後の鋼材の変形により追随させることを目的としたモデルである。CT 型は立体成形によって FB-1 に対し、同程度の曲げ剛性が得られ、かつ使用炭素繊維シート量の低減を目的としたモデルとなっている。

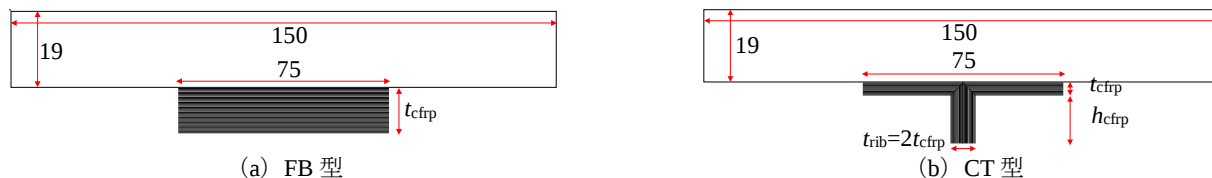


図 1 補強設計に用いる CFRP 断面形状 [mm]

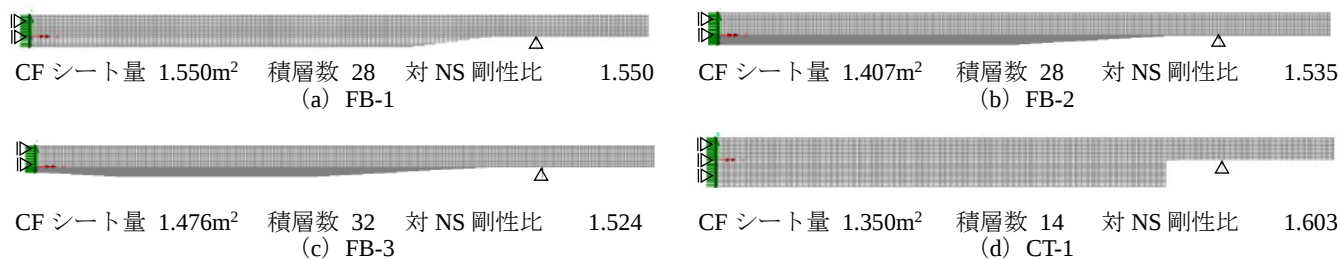


図 2 FEM による設計モデル

表 1 使用材料の物性値

(a) 鋼材	
弾性係数 [GPa]	200
ポアソン比	0.3
降伏点 [MPa]	289 ^{※1}
	304 ^{※2}

(b) CFRP	
引張強度 [GPa]	2.12
ポアソン比	0.33
破断歪 [μ]	17232
繊維軸方向曲げ弾性係数 [GPa]	94.00

※1 FB-1, CT-1 ※2 FB-2, FB-3 にそれぞれ使用

キーワード CFRP VaRTM 接着接合 曲げ試験

連絡先 〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1 (Tel)0532-44-5612

3. VaRTM による試験体成形接着

図3に2章で示した設計モデル(CT-1)の成形接着手順を示す。VaRTMは航空機分野に利用されている低コスト化を目指した脱オートクレーブ成形方法であり、真空減圧により樹脂を含浸させる。通常、VaRTMは高剛性の下型を用いて硬化後に脱型を行うが、本研究では成形と接着を同時に行うため被補強材である鋼材を下型として用いている。表2に設計時の寸法と成形接着後の実測寸法を示す。表から概ね設計寸法通りの成形接着が行えた。

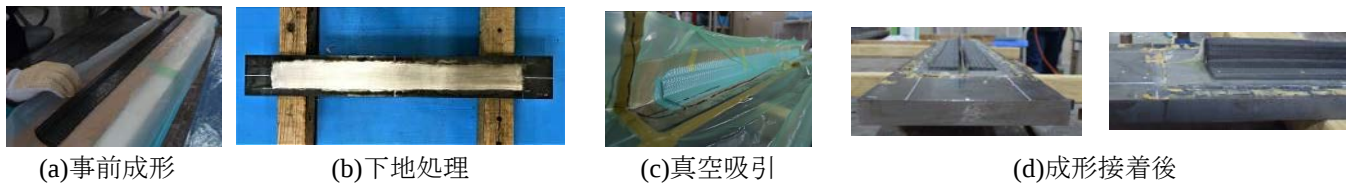


図3 VaRTMによる成形接着手順

表2 設計寸法および成形接着後の寸法(下線付きが設計寸法)

	FB-1		FB-2		FB-3		CT-1	
t_{cfRP}	<u>7.59</u>	8.90	<u>7.59</u>	7.09	<u>8.67</u>	8.49	<u>3.79</u>	3.92
h_{cfRP}							<u>18.80</u>	19.20
t_{rib}							<u>7.59</u>	8.52

4. 試験結果

図4に3点曲げ試験による荷重-変位関係および破壊モードを示す。グラフに示しているFEMの結果は成形後の寸法を用いたものである。NSは表1(a)中の物性値を用いている。実験による変位はFB-1, CT-1は補強部中央点における変位, FB-2, 3は試験機のカロスヘッド変位としている。各試験体の鋼材に対する剛性比は各試験体の合成断面における降伏モーメント時の荷重 P_y までの線形近似により算出しFB-1は1.58, FB-2は1.42, FB-3は1.41, CT-1は1.56という結果を得た。FB-2, 3にてFEMによる設計時よりも曲げ剛性が低下した要因は表2に示したように設計寸法よりも成形後の寸法がやや小さいことから, CFRP厚が薄くなり弾性係数は増加したものの断面二次モーメントへの影響が大きいため曲げ剛性が低下したことが要因であると考えられる。各試験体の破壊モードは図4に示しているようにFB-1およびCT-1ではCFRP端部の剥離, FB-2はCFRP端部の剥離も目視によるCFRP中央部の破断も確認されなかったため, 除荷を行った。FB-3は中央部の18層と19層間で徐々に層間剥離が生じたが, 18層以下の積層部分は剥離せず, その後も剛性は低下したものの耐力を保持し変形に追従した。

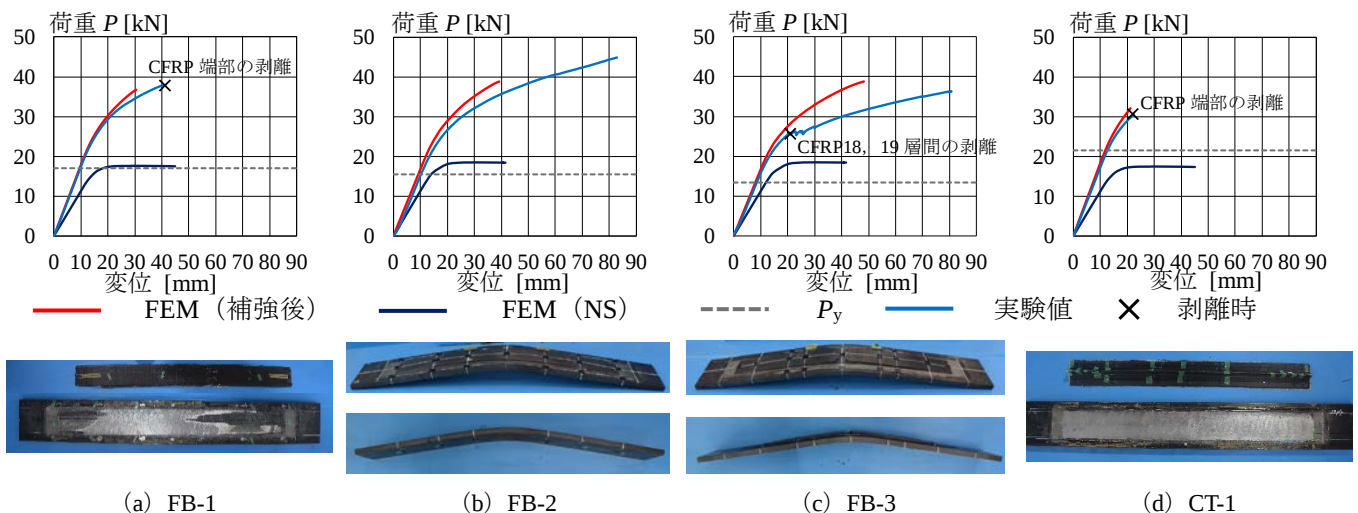


図4 荷重-変位関係および破壊モード

5. おわりに

本研究では, 事前成形が可能な炭素繊維シートをVaRTMによって鋼材へ成形・接着し, 3点曲げ試験を行った。所定の曲げ剛性を得るための必要な炭素繊維シート量を低減することを目標としたリブ付立体成形を実証し, 全試験体を通して補強設計に概ね対応したVaRTM施工が行えた。また, 剥離が鋼材降伏後も抑えられる補強設計も実証した。

謝辞

本研究は国土交通省建設技術研究開発助成制度(平成27, 28年度)の一部として行われました。ここに記して謝意を表します。また, 元豊橋技術科学大学 竹本耀君, 西田未有さん両名には実験に際し多大なご協力を頂きました。心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会: 複合構造レポート05 FRP接着による鋼構造物補修・補強技術の最先端, 2012
- 2) 小林 洗貴, 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, 複合構造論文集第4巻, 2017
- 3) Genki Mieda, Hitoshi Nakamura, Takahiro Matsui, Yutaka Ochi, Yosuke Mizuno, Kentaro Nakamura, Yukihiro Matsumoto: Bond Strength of CFRP Molded on Steel Surface by VaRTM Technology and Its Optic Sensing, 6th APFIS, 2017