

VaRTM 成形法による CFRP で補修した腐食鋼板の耐久性評価

土木研究所 正会員 ○富山 禎仁

土木研究所 正会員 西崎 到

東レ（株） 正会員 松井 孝洋

東京都立大学 正会員 中村 一史

1. はじめに

鋼橋の桁端部などで著しく腐食し断面欠損した鋼部材を補修・補強するために、最近では、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）を用いた工法が適用され始めている¹⁾。FRPの成形方法の一種であるVaRTM成形法は、素材を積層後、上部をフィルムバッグで覆い、真空吸引して樹脂を含浸させる方法である。人手により一層ずつ積層していくハンドレイアップ成形法に比べ、効率的で安定した成形が可能であり、金型や大型の設備類が不要なため、現場における狭あいな作業空間においても迅速な施工を可能とする。また、CFRPの帯板を接着させる工法に対し、適用可能な部材形状の自由度も高い。

そこで、VaRTM成形法による補修・補強工法の普及や適用範囲の拡大を図る上で必要となる検討の一部として、本工法により補修・補強した腐食鋼板の耐久性を、施工前の下地処理（素地調整）や端部の処理、成形樹脂の種類等に着目し評価した。

2. 実験方法

2.1 試験片の基材と素地調整

試験片の基材には複合サイクル試験により腐食させた塗装鋼板（150×70×3.2 mm）を用いた。この塗装鋼板は、塗膜にキズ（幅1 mm×長さ50 mm）を入れた部分から腐食が進展した状態である（図-1）。この塗装鋼板の腐食箇所を含む50×100 mmの範囲（図-1の赤枠内）を、①縦回転式動力工具（ISO Sa 2 程度）または②ディスクサンダー（ISO St 3 程度）で素地調整した。

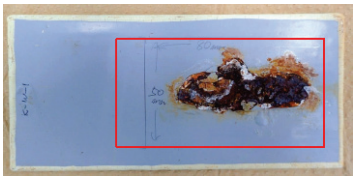


図-1 素地調整前の塗装鋼板（赤枠は補修対象範囲を示す）

2.2 CFRPの成形と補修塗装

素地調整後、直ちにVaRTM成形法によってCFRPを成形し試験片を作製した。図-2(a)に示す通り、鋼材と接する下層には樹脂の含浸を促進する目的でガラスマット（SM/CSM）を、その上層に炭素繊維（CF）シートを配置した。マトリックス樹脂には、VaRTM成形ができる低粘度のものの中からA（コンクリート用プライマー）、B（コンクリート用ひび割れ注入剤）、2種類の常温硬化型二液性エポキシ樹脂を選定して用いた（表-1）。VaRTM成形法で補修後、補修箇所の端部に、樹脂が充填されず鋼材が露出したまま残るケースが生じた。これらに対しては、補修箇所の長辺側を①超厚膜形エポキシ樹脂塗料（膜厚 300 μm）、短辺側を②有機ジンクリッチペイント（30 μm）+超厚膜形エポキシ樹脂塗料（膜厚 300 μm）で補修塗装した（図-2(b)）。

表-1 試験片の仕様		
記号	素地調整方法	マトリックス樹脂
B1	縦回転式動力工具	エポキシ樹脂A
B2	縦回転式動力工具	エポキシ樹脂B
P1	ディスクサンダー	エポキシ樹脂A

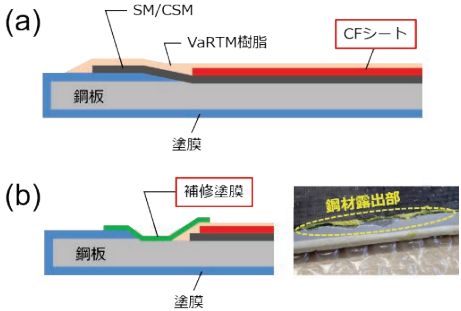


図-2 試験片断面の概略図

2.3 耐久性試験と評価

補修した試験片の耐久性評価のため、JIS K 5600-7-9: 2006 のサイクル D（図-3）による複合サイクル試験（CCT）と、沖縄県大宜味村での屋外暴露試験を実施した。一定期間経過後に、外観観察や付着性試験（プルオフ法）等を行った。

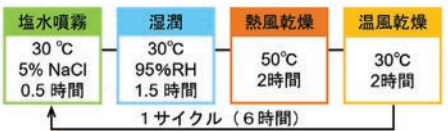


図-3 複合サイクル試験のサイクル条件

キーワード VaRTM 成形法, CFRP, 補修・補強, 鋼材, 腐食, 耐久性

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6

(国研) 土木研究所 材料資源研究グループ TEL029-879-6763

3. 実験結果

3.1 試験片外観

CCT は 4,881 サイクル、屋外暴露試験は約 6 年間まで実施した。

屋外暴露 6 年後では、全ての試験片で表面の樹脂が消失し、炭素繊維やガラスマットが露出した。B1 では試験片 3 枚のうち 1 枚で、B2 では 3 枚全てで試験片端部に腐食が見られた。一部の試験片では、補修箇所端部にも腐食を生じており、腐食により CFRP が部分的に剥離している箇所も確認された。補修箇所の長辺側と短辺側とで補修塗装の仕様を変えたが、一部の試験片で有機ジンクリッチペイントの効果がやや現れたものの（例えば図－4 (a)）、大半で明確な差異は認められなかった。B1、B2 各 3 枚のうち平均的な変状程度と思われる 1 枚の CFRP を強制的に剥離し、鋼材面の腐食状況を目視観察したところ、B1 では腐食が補修箇所端部にとどまっていたのに対し、B2 では CFRP/鋼材界面の広い範囲に進展していることがわかった（図－4）。これは、補修箇所端部に生じた腐食が、樹脂の付着性や充填状態の悪い部分を伝って補修箇所の内面に広がったものと推察される。

CCT の試験片でも類似の劣化傾向が見られ、一部の試験片では CFRP/鋼材界面の腐食が全面に広がり、試験中に CFRP が剥離・脱落したものもあった。

3.2 CFRP の付着性

付着性試験は、1 枚の試験片につき 2 箇所（補修前の試験片における「一般部」と、腐食による「減肉部」に相当する箇所）で行った。減肉部は素地調整後に不陸が残るとともに、孔食状に生じたさびも除去しきれないまま補修した。

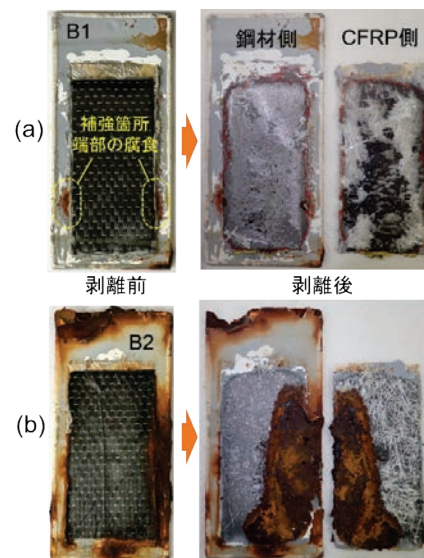
B1 の試験片では、CCT 402 サイクル時点の破壊強さに対し、CCT 4,881 サイクル後や屋外暴露 6 年後では 5 割程度まで低下した（図－5）。同様の傾向は B2 でも見られたが、強度低下の無い試験片もあった。全般的に、一般部よりも減肉部の方が付着性が低い結果となったが、2 MPa を下回るようなケースであっても鋼材面は初期の状態のまま維持されており、素地調整で除去しきれなかったさびも、進展することなく留まっていた（図－6）。B2 では屋外暴露後の試験片で破壊強さが大きく低下したが、これは補修箇所端部からの腐食が内部まで進展したためである。こうした試験片は B1 よりも B2 に多く見られたことから、エポキシ樹脂 A の方が B に比べて付着性や付着耐久性に優れており、これが界面における腐食の広がりを抑制することにつながったものと考えられる。B1、B2 と P1 との結果の対比から、素地調整方法による違いは明確ではなかった。

4. まとめ

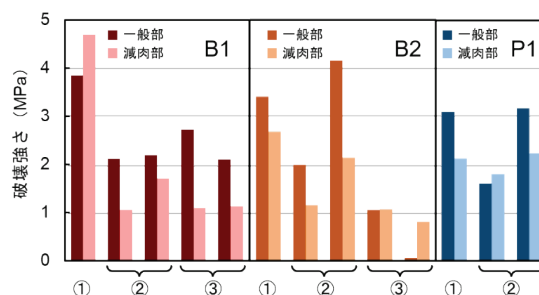
VaRTM 成形法による CFRP で補修した腐食鋼板の耐久性を評価した結果、補修箇所端部から発生した腐食が補修箇所全域に広がる恐れがあることがわかった。補修・補強効果を長期間維持するためには、VaRTM 成形法に適し、付着性や付着耐久性の高い樹脂の選定と、補修箇所端部の適切な防食処理が重要であると言える。

参考文献

- 1) 複合構造委員会編：FRP 接着による鋼構造物の補修・補強技術の最先端，複合構造レポート 05，土木学会，2012

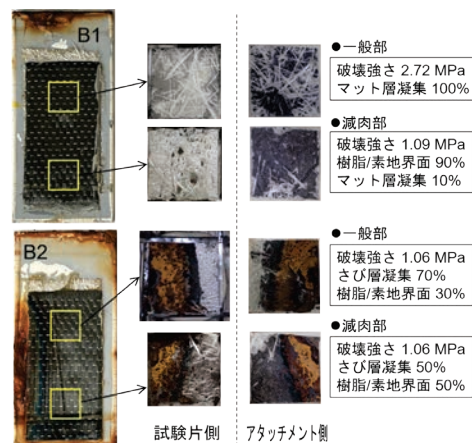


図－4 暴露試験後の試験片外観例



図－5 耐久性試験後の付着性試験結果

(①: CCT 402 サイクル後, ②: CCT 4,881 サイクル後, ③: 屋外暴露 6 年後)



図－6 付着性試験における代表的な破断形態