

水中硬化型エポキシ樹脂と FRP スtrandシートを用いた補修工法の付着特性の検討

日鉄コンポジット株式会社 正会員 ○立石 晶洋, 小林 朗
 独立行政法人港湾空港技術研究所 正会員 横田 弘, 戴 建国

1. 目的

海洋環境下の鋼構造物は、飛来塩分、乾湿繰返し作用などの厳しい腐食環境にさらされる。そのため、長期間供用されている港湾鋼構造物では、腐食による穴あきにより性能が低下し、補修補強が必要である事例が散見される。そこで、乾湿繰返しを受ける干満部周辺において腐食劣化が顕著である鋼構造物部材を対象に、連続繊維補強材（以下、FRP）を用いた補修の適用可能性を検討することとした。

FRP は高強度、高弾性、高耐久性、軽量などの利点からコンクリート構造物の疲労対策、耐震補強工法として適用されている。中でも軽量であることから、重機による施工制限のある箇所において人力のみで施工することが可能であり、施工条件の厳しい港湾鋼構造物に有効であると考えられる。腐食劣化の著しい港湾鋼構造物では、これまで鉄筋コンクリート被覆や鋼板溶接等の方法で補修補強が行われており、FRP 等は構造部材として適用されていない。その理由のひとつとしては、水中と気中の両方において、鋼材に FRP を確実に付着させることができる工法が無かったことが考えられる。そのため、本検討では水中硬化型エポキシ樹脂と FRP の組合せによる補修工法の、海洋環境下での適用性を付着特性の観点から検討した。

2. 工法の概要

水中で接着樹脂を躯体に押付けて塗布することで接着強度を確保できるパテ状の水中硬化型エポキシ樹脂ライニング材を採用した。その際、水中で FRP と一体性を確保することを意図して、ウェットハンド工法などで施工する非常に粘度の高いものに比べ、ヘラで施工できる程度の高い粘度を持った樹脂を選定した。一方、FRP の繊維の種類は鋼材の腐食減肉を補い、鋼材応力度を改善させるため、高強度で高弾性の炭素繊維を用いることとした。また、鋼杭などの管状の構造物にも接着できる必要があることを考慮して、水中での含浸作業の必要の無い、近年開発された FRP スtrandシートを採用した。FRP スtrandシートは、工場で約 $10\mu\text{m}$ の炭素繊維の約 12,000 本の束（Strand）の 1 本ずつに樹脂を含浸して棒状に硬化させ、すだれ状に保形したものである。施工は、ブラスト処理により劣化部を除去、表面を研磨した後、水中硬化型エポキシ樹脂ライニング材を塗布し、FRP スtrandシートをヘラ等で押え付け、樹脂内に埋め込む方法で行った（図 1）。断面修復は、ライニング材で行えるため、工費、工期の削減に非常に有効な工法である。

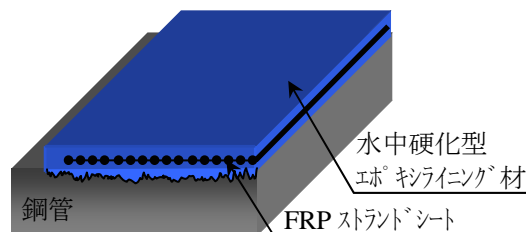
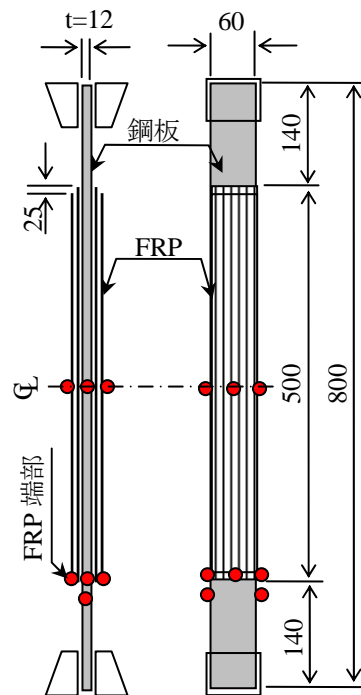


図 1 工法概略図



●：ひずみ測定点〔単位：mm〕

図 2 試験体図(B1)

表 1 FRP の物性値および補強量

No.	シートの種類	施工条件	引張強度 N/mm ²	弾性係数 E N/mm ²	設計厚さ mm	層数	断面積 A mm ²	補強量 EA N
N1	炭素繊維シート	乾燥	2,526	667,000	0.143	6	51.48	34.3×10 ⁶
B1	CFRP スtrandシート	水中	2,760	728,000	0.406	2	48.72	35.5×10 ⁶

キーワード FRP, 水中施工, FRP スtrandシート, 水中硬化型エポキシ樹脂, 補修

連絡先 〒103-0024 東京都中央区日本橋小舟町 3-8 日鉄コンポジット(株) TEL03-5623-5558

物性値および補強量を表1に示す。繊維の種類は高弾性型の炭素繊維とした。FRP スtrandシートと炭素繊維シートの補強量は引張剛性EAが同等となるように決定した。

FRPの端部ははく離を遅らせるために各層ごとに25mmずらし、段差をつけて貼付けた

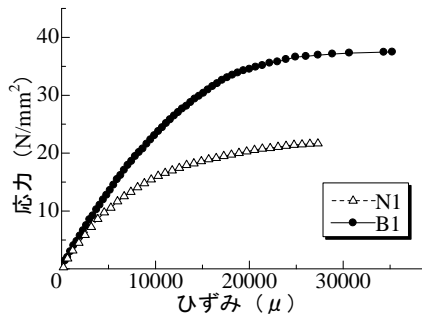


図3 樹脂の応力-ひずみ関係

1). 荷重は5kNごとのステップ荷重とし、荷重と図2に示す測定点の鋼板側面のひずみ、FRP表面のひずみを測定した。FRP端部のひずみは端部から10mmの位置で測定した。N1, B1試験体でそれぞれ3体ずつ試験した。

事前の引張試験から得られた樹脂の応力-ひずみ関係を図3に示す。水中硬化型エポキシ樹脂ライニング材(B1)は、炭素繊維シートのエポキシ樹脂プライマー(N1)より引張強度が高く、変形性能も高かった。

4. 試験結果

荷重はFRP端部の外側の鋼板が降伏し、その後FRP接着部まで降伏が進展するのを確認して終了した。図4にFRPの端部における荷重-ひずみ関係の代表的な結果を示す。FRP スtrandシートのB1試験体は、鋼板の降伏前にひずみが緩やかな低下を示し(これを「すべり」と呼ぶ)、鋼板の降伏がFRP接着部に進展した後、はく離に至ることが観察された。一方で炭素繊維シートのN1試験体はFRPの端部からはく離もしくはすべりが生じた後、鋼板の降伏前にはく離し、急激に炭素繊維シートのひずみが低下した。

表2に各試験体のはく離荷重およびすべりが生じた荷重を示す。破壊の進展は異なるもののN1, B1試験体もほぼ同等のはく離荷重であった。

図5に、試験後にFRPと鋼板を剥がした後の状況を示す。N1試験体では、鋼板面に樹脂は残らず、プライマーの層の界面で完全にはく離した。一方、B1は水中硬化型エポキシ樹脂ライニング材の一部が鋼板に残った。鋼板とFRPの接着では接着樹脂の種類や強度、変形性能が破壊の性状や進展に大きく影響するものと考えられる。

図6に引張荷重と試験体中央での鋼板側面のひずみの平均値の関係を示す。はく離に至るまで鋼板のひずみがFRPとの複合則により計算した値と一致していることから、N1, B1の両試験体とも接着が確保され、複合則が成り立っているといえる。

5. まとめ

本検討では、FRP スtrandシートと水中硬化型エポキシ樹脂を用いた補修工法の付着特性について検討を行った。FRP スtrandシートと鋼板の接着を水中で施工しても、乾燥条件下で施工した炭素繊維シートとほぼ同等の接着強度が得られた。また、付着長250mmを確保することによって複合則が成立することもわかった。

FRP スtrandシートは現場含浸の必要がないため、躯体に押付けて塗布することで接着強度を確保できる水中硬化型エポキシ樹脂ライニング材を使用することが可能である。そのため、短期間で水中接着施工が行える港湾鋼構造物の補修工法として適用できる可能性が高いと考えられる。

参考文献

1) 杉浦江ら：炭素繊維シートによる鋼部材腐食損傷部の補修効果に関する実験的研究，土木学会第62回年次学術講演会（平成19年9月）

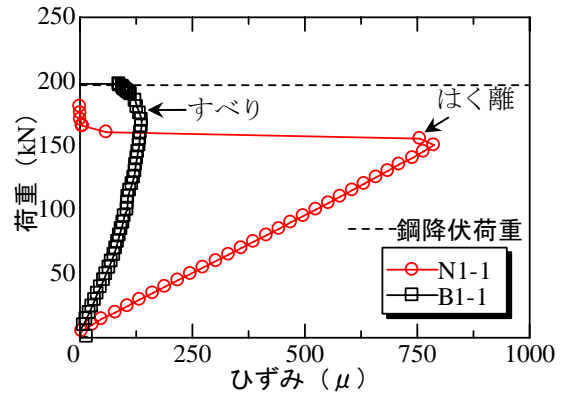


図4 端部におけるFRPのひずみ

表2 はく離荷重 (kN)

No.	はく離荷重	破壊状況
N1-1	155	端部はく離
N1-2	165	端部すべり
N1-3	185	端部はく離
平均	168	
B1-1	170	端部すべり
B1-2	160	端部すべり
B1-3	193	端部すべり
平均	174	

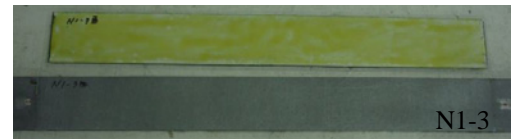


図5 破壊状況

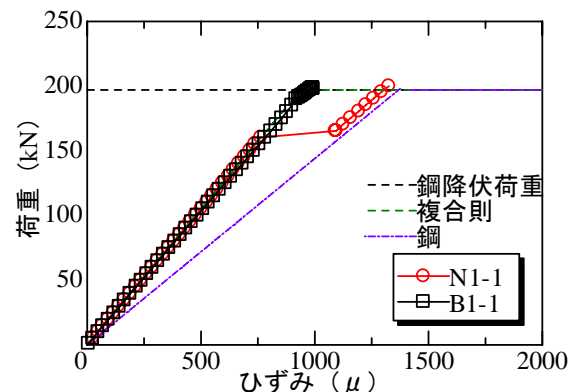


図6 中央における鋼板のひずみ