

鋼桁添接板近傍の腐食損傷に対する CFRP シートを用いた補修

長岡技術科学大学 学生会員 ○高森敦也
長岡技術科学大学 正会員 宮下 剛
ものづくり大学 正会員 大垣賀津雄, Pham Ngoc Vinh

1. はじめに

近年, 定期点検により鋼橋連結部近傍には腐食損傷が多数発見されている. 炭素繊維シート (以下, CFRP シート) 補修に関する設計・施工マニュアル¹⁾には, 連結部の腐食損傷に対する補修方法が規定されているものの, この損傷に対する適用事例は少ない. そこで, 著者らの研究グループではこれまでに鋼橋の添接板周辺に生じた腐食損傷を対象とした CFRP シート補修工法の基礎データの取得を目的とした検討を進めてきた²⁾.

2. 研究目的

これまでの検討により図 1 に示すように補修部に設けるテーパ長を従来の 1:10 から 1:5 とし, ポリウレアパテ材の位置を従来の不陸修正材の上から鋼材表面とするマニュアル変更が提案できた. これを実構造物へと適用するためには実橋部材に近いケースを用いてバックデータを取得する必要がある. そこで, 本研究では図 2 に示す鋼桁を対象とした 4 点曲げ試験を行い, 鋼橋の添接板周辺に生じた腐食損傷に対する CFRP 接着工法の補修効果を検討した.

3. 実験概要

(1) 試験体概要

図 2 に CFRP で補修したケースの試験体を示す. 用いた鋼桁は, H 形鋼 (H 350×350×12×19×3100) を突き合わせ, 上下フランジを添接板で連結している. 本研究では, ウェブとフランジとの協働作用による影響を除きフランジに作用する軸力の影響のみを評価するため, 上下フランジのみに連結部を設けた. 鋼桁の鋼種は SS400 で, 降伏点は 245 MPa である. 添接板の設計は道路橋示方書にもとづき, F10T トルシア形高力ボルト (M22×80) を使用した.

試験ケースを表 1 に示す. 実験パラメータは, 実橋の腐食損傷を模擬したザグリ加工の有無, CFRP 補修の有無とした.

(2) 荷重方法と補修効果の評価

荷重に用いる載荷梁の制約より荷重方法は試験体

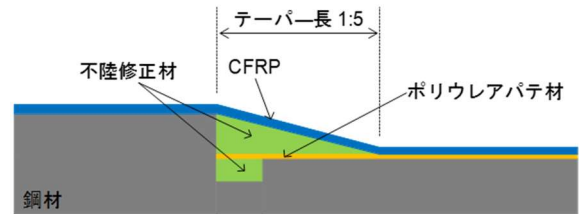


図 1 補修部詳細

表 1 試験ケース

実験ケース	腐食損傷	ザグリ部寸法		CFRP 補修	CFRP 積層数
		t_g (mm)	b_g (mm)		
N	無	—	—	無	—
S	有	6	20	無	—
S_CF	有			有	9

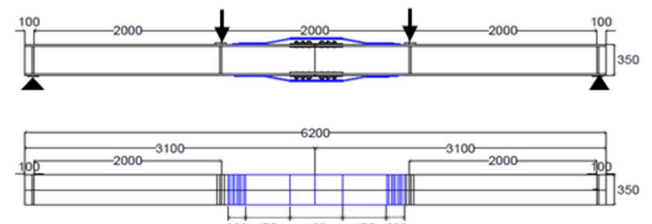


図 2 試験ケース S_CF

中央の 2000mm 区間を等曲げ区間とする 4 点曲げ荷重とした. 本研究において補修設計で算出される上下フランジに本来積層すべき CFRP シートは 18 層である. しかし, 補修ケース S_CF では, は 9 層としている. これは, 定着長 200 mm と各層の端部ずらし量 25 mm を確保した上で, 1 層目の CFRP シートを着目する等曲げ区間内に収めるためである. よって, 本研究では FEA を援用し補修効果を評価した.

4. 実験結果

(1) 荷重-鉛直変位関係

図 3 に各試験体の荷重-支間中央鉛直変位関係を示す. 同図の点線は試験体 N に相当する初期剛性の理論値, 1 点鎖線は試験体 N の降伏荷重である.

この曲線を見ると, 添接板の滑りにより所々で荷重が減少しながら最大荷重に達し, 試験体 N が 667 kN, 試験体 S が 630 kN, 試験体 S_CF が 674 kN となった. 試験体 S_CF において最大荷重は試験体 N を上回っており, 初期剛性が試験体 N と同程度まで回復している. これより, CFRP シートの積層数が十分で

キーワード 鋼桁, 添接板, 腐食損傷, CFRP, 補修, 荷重試験

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 TEL: 0258-47-9641

はないにも関わらず、耐荷力が回復した。

(2) ザグリ部コバ面の荷重-ひずみ関係

図 4 に各試験ケースの上フランジザグリ部コバ面における荷重-ひずみ関係を示す。図内の点線は、試験体 N の初期剛性の理論値であり表示範囲は各ケースの最大荷重までとしている。

試験体 S では、試験体 N と比べ同一荷重におけるひずみが大きく、断面減少の影響が確認される。また、試験体 S_CF では試験体 N と同等までには回復していない。これは、本来必要とされる積層数に比べ CFRP シートの積層数が少ないことが原因といえる。

5. 解析的検討

(1) 解析モデル

FEA モデルは DIANA10.3 を用いて作成した。鋼材はバイリニアモデルとし、CFRP シートは直交異方弾性体とした。エポキシ系接着剤は弾性体とした。使用した要素は、ウェブと CFRP シートに 8 節点曲面シェル要素、上下フランジとポリウレアパテ材、接着剤に 20 節点ソリッド要素である。試験体の製作状況にあわせて、支間中央でウェブを接続せず、上下フランジで接続している。ただし、添接板のボルト等はモデル化していない。

(2) 解析結果

図 5 に載荷荷重と試験体中央の鉛直変位の関係を示す。同図の点線は初期剛性の理論値である。N に比べ S の方が初期剛性の低下開始が早く、その傾向は実験結果とも一致している。さらに、最大荷重についても、実験結果と解析結果は概ね一致している。以上より、本研究で実施する FEA の妥当性は検証されたものと考えられる。

図 6 にザグリ部の断面幅方向について、上フランジの応力分布を示す。ここでの応力は、ザグリ部の曲げモーメントが 200 kNm となる時のひずみを応力に変換したものである。図中の△は各色に応じた各ケースの実験値であり、実線が FEA の結果である。凡例に S_CF とあるのが CFRP シートの積層数を 9 層としたケース（試験体 S_CF）、S_CF18 とあるのが CFRP シートの積層数を 18 層としたケースである。同図から、実験におけるひずみの計測点で、実験と FEA の応力はおおむね一致していることが分かる。また、S_CF18 の結果より断面内の応力の平均値は N の平均値と比較して、10% 程度の差となっている。

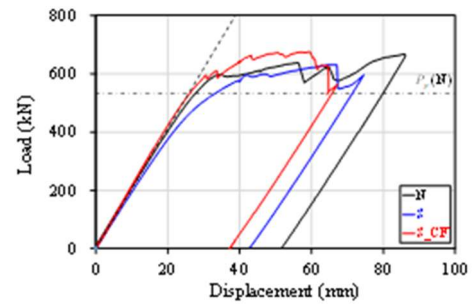


図 3 荷重-変位関係

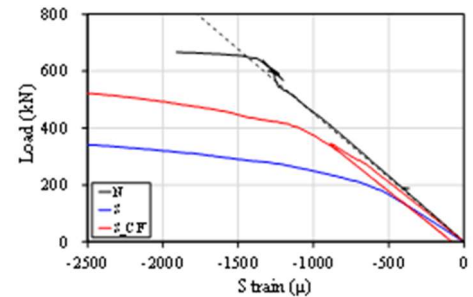


図 4 荷重-ひずみ関係（上フランジザグリ部コバ面）

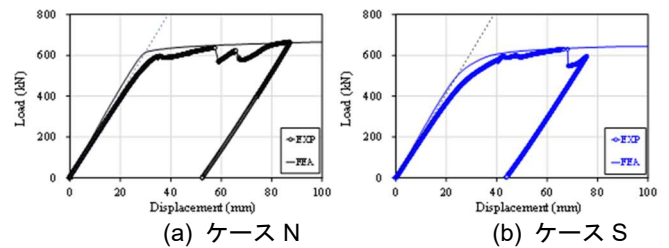


図 5 実験結果と FEA の比較

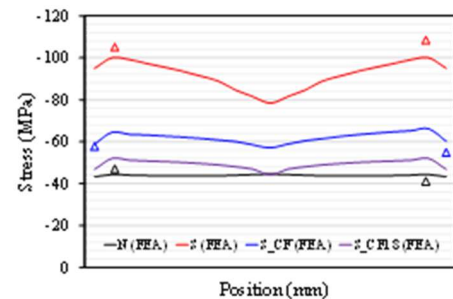


図 6 応力分布（上フランジザグリ部断面幅方向）

ここから、本研究で提案した補修方法によって、十分な補修効果が得られるといえる。

6. まとめ

鋼橋連結部の腐食損傷を想定し、実橋部材に近い試験体に対し 4 点曲げ試験ならびに FEA による解析的検討を行い、本研究で提案する CFRP シート接着工法が十分な補修効果を有することが確認できた。

参考文献

- 1) 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) Daniel Medina Contreras ら：腐食損傷した鋼構造物連結部の炭素繊維シートによる補修 -不陸修正材のテーパ長の影響-，第 73 回土木学会年次学術講演会，2018.8.