

鋼鈑桁橋桁端部への炭素繊維シート補修工法の適用について

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 正会員 ○小森 徹 加賀谷 悦子  
中日本高速道路 金沢支社 黒木 孝司  
長岡技術科学大学 正会員 宮下 剛

1. はじめに

寒冷地域では、凍結防止剤や局所的な漏水の影響により鋼構造物の部分的な腐食事例が増加している。特に伸縮装置からの漏水に起因する局所的な腐食が顕著であり、鋼桁端部の断面欠損に至るまで腐食が進行している事例（写真-1）が報告されており、断面性能を回復するための補修が必要となっている。

従来の補修方法は、鋼材を用いた部材取替えやボルト接合による当板補強が一般的に用いられてきた。しかし、鋼材を用いた対策は、大掛かりな仮設機材が必要となり、補修費が割高となるのに加え、溶接に適さない鋼材や、ボルト接合のための孔明等の問題が伴う。このような背景から、小規模な対策で補修費の低減に繋げられる簡易な工法として、鋼鈑桁橋桁端部の炭素繊維シート（CFRP：Carbon Fiber Reinforced Polymer）補修工法（以下 CFRP 補修）が開発された。本稿は、実橋を対象にジャッキアップ補助工法を併用し、CFRP 補修を採用した設計検討結果を報告する。



写真-1 補修前の桁端腐食の状況例<sup>2)</sup>

|      | 項目      | 記号  | 単位                 | 数値                    |
|------|---------|-----|--------------------|-----------------------|
| 鋼材   | 鋼種      | -   | -                  | SS400                 |
|      | ヤング係数   | Es  | kN/mm <sup>2</sup> | 200                   |
| 炭素繊維 | 許容応力度   | σsa | N/mm <sup>2</sup>  | 140                   |
|      | 繊維目付量   | w   | g/m <sup>2</sup>   | 300                   |
|      | 炭素繊維の密度 | ρ   | kg/m <sup>3</sup>  | 2.1 x 10 <sup>3</sup> |
|      | シート設計厚  | tcf | mm                 | 0.143                 |
|      | ヤング係数   | Ecf | kN/mm <sup>2</sup> | 640                   |
|      | 引張強度    | σcf | N/mm <sup>2</sup>  | 1900                  |

表-1 材料諸元

2. 設計概要

設計は「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」<sup>1)</sup>に基づき行う。鋼鈑桁橋の CFRP 補修設計を行う場合、①曲げによる引張応力を受ける下フランジ、②支点反力を受ける支点上補剛材及び腹板、③せん断力を受ける桁端部腹板の 3 部材について設計計算を行う。今回はこの中でシート積層数が最大となる②支点反力を受ける部材について載荷試験による効果検証を行う補修設計について報告する。設計対象部材位置を図-1、材料諸元を表-1、断面欠損の計算モデルを図-2 に示す。また、設計断面力は、当初設計計算書の値を使用する。

3. 設計結果

1) 照査

支点反力を受ける部材の補修設計では、板厚の 12 倍の範囲で計測し、この断面について軸圧縮応力度の照査を行った。その結果、G1 桁と G2 桁について補修が必要となった。表-2 に補修前の有効断面積と補修後の必要断面積を示し、表-3 にシート積層数と補修後の応力度照査結果を示す。

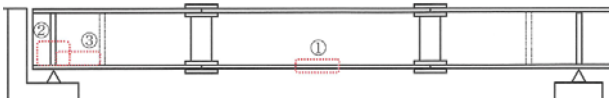


図-1 計算対象部材位置図

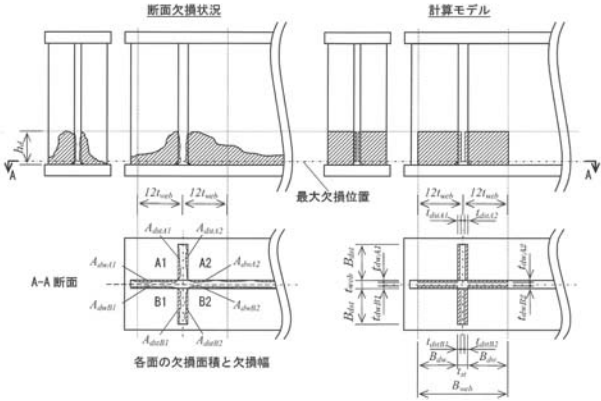


図-2 断面欠損の計算モデルと寸法<sup>1)</sup>

キーワード 鋼橋、桁端腐食、炭素繊維シート補修、載荷試験

連絡先 〒920-0025 石川県金沢市駅西本町 3-7-1 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 076-264-7872

2) G2 桁の設計

通常設計に用いる荷重は、既設鋼断面に対して CFRP 接着前の死荷重, 鋼と CFRP との合成断面に対して活荷重を考慮することを基本としている. しかし, G2 桁は損傷が大きく, 表-3 に示すように死荷重時応力度が  $120\text{N/mm}^2$  発生しており活荷重応力度を  $20\text{N/mm}^2$  以内に抑えるには, 最大積層数 20 層を大きく超える 48 層の CFRP 接着が腹板と補剛材の 8 面に必要となる. そのため G2 桁の補修は設計フロー図-3 に示すように, 死荷重反力相当をジャッキアップして, 死荷重により発生した鋼材応力度を一時的にジャッキ側で負担し, ジャッキダウン後は死荷重に対しても CFRP 合成断面が有効となるジャッキアップ補助工法を併用する. ジャッキアップ補助工法を併用した結果, シート積層数は腹板 12 層 4 面と補剛材 2~4 層 4 面へと大きく軽減することができた.

4. 載荷試験による CFRP 補修の効果検証

G2 桁を対象に図-4 に示す位置にひずみゲージを貼り付けて, CFRP 補修の前後に載荷試験によるひずみ計測を行い, 補修効果を確認した. なお, 死荷重分のひずみは, ジャッキアップ時とジャッキダウン時のひずみを計測値し, 補修前と補修後の死荷重分の発生ひずみとした.

CFRP 補修の前後の計測結果を図-5 に示す. 活荷重(試験車両)と死荷重(ジャッキアップ・ダウン)の計測結果は, 平均発生ひずみが  $42\mu$  から  $23\mu$ ,  $112\mu$  から  $53\mu$  と半減していることから CFRP 補修効果を確認した. なお, 載荷試験と FEA との比較については参考文献 3) で報告している.

5. まとめ

桁端部の CFRP 補修は, 支点反力を受ける部材の設計において腐食欠損量が大きいと最大積層数が 20 層を超えるため, ジャッキアップによる補助工法を併用することで, CFRP 補修断面が死荷重に対しても有効となり補修層数が低減できることを確認した.

参考文献

1) 株式会社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) 橋吉宏ら: 性能照査型維持管理法の既設構造物への信頼性指標  $\beta$  算定の試み, 土木学会第 69 回年次学術講演会 (2014. 9)  
3) Galicia Garcia David et al.: EFFECT EVALUATION OF REPAIRING METHOD USING CFRP SHEET FOR STEEL GIRDER END, 土木学会第 71 回年次学術講演会 (2016. 9)

表-2 支点反力を受ける部材の断面積

|     | 項目      | 記号  | 単位              | G1桁  | G2桁   | G2桁<br>ジャッキ<br>アップ |
|-----|---------|-----|-----------------|------|-------|--------------------|
| 補強前 | 欠損断面積   | Ad  | mm <sup>2</sup> | 1074 | 4242  | 4242               |
|     | 健全断面積   | As  | mm <sup>2</sup> | 7644 | 7644  | 7644               |
|     | 有効断面積   | A   | mm <sup>2</sup> | 6570 | 3402  | 3402               |
| 補修後 | 必要補修断面積 | Asr | mm <sup>2</sup> | 650  | 20560 | 2954               |
|     | 必要断面積   | Ar  | mm <sup>2</sup> | 7220 | 23962 | 6356               |

$A=As-Ad$        $Ar=Asr+A$

表-3 シート積層数と補修後の応力度照査結果

| 項目                               | 記号         | 単位                | G1桁 | G2桁    | G2桁<br>ジャッキ<br>アップ<br>工法 |
|----------------------------------|------------|-------------------|-----|--------|--------------------------|
| シート積層数<br>(腹板)<br>最大積層数<br>≤20層  | (1)        | 層                 | 1   | 48     | 12                       |
|                                  | (2)        | 層                 | 1   | 48     | 12                       |
|                                  | (3)        | 層                 | 1   | 48     | 12                       |
|                                  | (4)        | 層                 | 1   | 48     | 12                       |
| シート積層数<br>(補剛材)<br>最大積層数<br>≤20層 | (5)        | 層                 | 2   | 48     | 4                        |
|                                  | (6)        | 層                 | 2   | 48     | 3                        |
|                                  | (7)        | 層                 | 2   | 48     | 2                        |
|                                  | (8)        | 層                 | 2   | 48     | 4                        |
| 鋼換算面積                            | Acfs       | mm <sup>2</sup>   | 685 | 20,823 | 3,011                    |
| 死荷重時の応力度                         | $\sigma_d$ | N/mm <sup>2</sup> | 80  | 120    | 75                       |
| 補修後の応力度                          | $\sigma_l$ | N/mm <sup>2</sup> | 140 | 140    | 139                      |

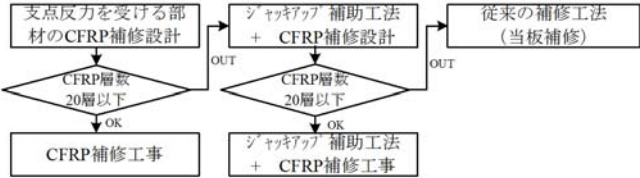


図-3 支点反力を受ける部材の設計フロー

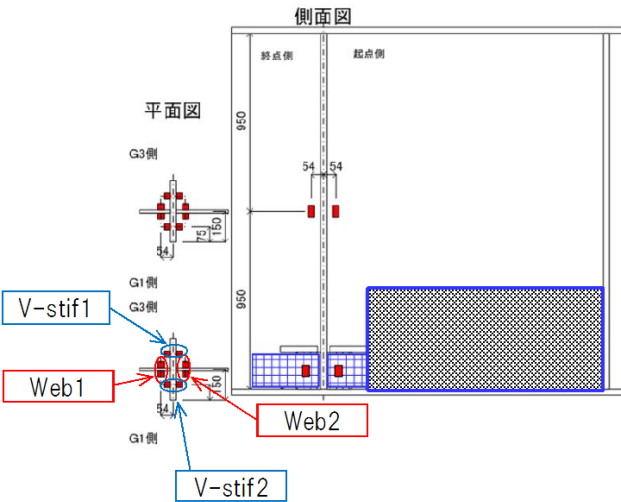


図-4 G2 桁ひずみゲージ貼付位置図

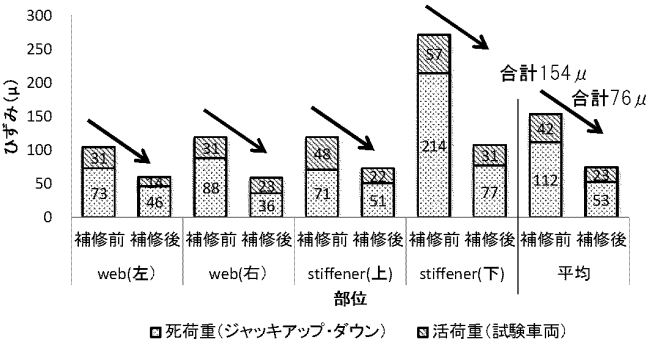


図-5 補修前後のひずみ計測値比較