

第 部門 引張り部材の CFRP 補強における熱応力の影響

京橋メンテック(株) 正会員 神園 卓海
 京橋メンテック(株) 正会員 岡本 陽介
 京橋メンテック(株) 正会員 並木 宏徳
 明星大学 正会員 鈴木 博之

1. はじめに

現在、高度成長期に作られた多くの橋梁がその耐用年数を迎えようとしており、その機能の改善や改良、また現存する橋梁の延命化が重要な課題となっている。このような橋梁の補強に近年 CFRP 板を用いた鋼構造物補強の研究が進められている¹⁾が、実際の補強設計に際して、熱応力をどのように評価すれば良いかについて明確な指針は示されていない。熱応力に関しては、鋼材の線膨張係数が 12×10^{-6} であるのに対し、CFRP 板は温度伸縮量が少ないため、気温の変化により大きな熱応力が発生することが知られている。気温の変化により発生する熱応力は、温度変化量を設定し鋼構造物の形状寸法および補強する CFRP 板などの形状寸法を決定した上で構造計算しなければならない。さらに、構造物に作用する活荷重等との重畳状態を評価しなければならないので簡単な評価方法が望まれている。ここでは引張りを受ける部材が腐食減厚して公称応力が増加した場合、元の公称応力にまで低下させることを目的として、鋼板を CFRP 板により補強するケ - スについてモデル化を試みた。

2. 試算モデル

引張りを受ける鋼部材を両側から CFRP 板で補強する場合の模式図を図 1 に示す。腐食等で断面積が減少した場合を想定して、断面積を CFRP 板により増大させて当初の引張応力度となるように補強する。ここでは腐食の影響は残存断面積を用いて計算した公称応力度で評価できるモデルを取り扱う。²⁾

温度が T だけ上昇したときの鋼板に生じる熱応力 σ_T と CFRP 補強の条件は下記の式となり、これを用いて、熱応力と補強に必要な CFRP 断面積の関係を試算する。なお、構造部材の温度と気温とは一致しないので、構造部材に直射日光が当たるかどうかを考慮して温度変化量が決定される。

道路橋示方書では、鋼構造の場合基準温度を 20 として、全体の温度変化を考慮する場合は -10 から 50 を標準としている。以下の議論では、基本的なケ - スとして、施工時の構造物の温度と供用時の温度との温度変化量を仮定して試算する。

温度変化による熱応力度

$$-\sigma_T \cdot A_r + \sigma_0 \cdot E_c \cdot A_c = 0 \quad (\sigma_T > 0)$$

$$(\sigma_1 - \sigma_0) \cdot E_s = \sigma_T \quad (\sigma_T > 0)$$

CFRP 補強の条件式

$$R_e = \sigma_0 \cdot A_0 / (A_r + A_{cc}) + \sigma_T \cdot 0$$

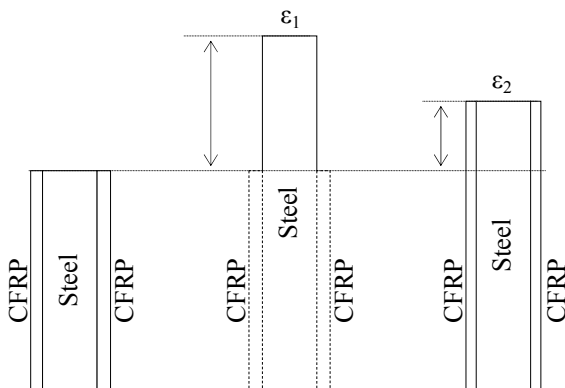


図 1 試算モデル

- σ_T : 温度が T だけ上昇したときの鋼板の熱応力度 (N/mm^2)
- R_e : 補強後の鋼板に生じる引張応力度 (N/mm^2)
- σ_0 : 当初の引張応力度 (N/mm^2)
- A_0 : 当初断面積 (mm^2), A_r : 鋼板の残存断面積 (mm^2)
- A_c : CFRP 板の断面積 (mm^2)
- A_{cc} : CFRP 板の鋼に換算した断面積 (mm^2) ($=A_c E_c / E_s$)
- E_s : 鋼の弾性係数 (N/mm^2), E_c : CFRP の弾性係数 (N/mm^2)
- ϵ_1 : 温度が T だけ上昇したときの拘束のない鋼の対数ひずみ ($\epsilon_1 = \ln(1 + \alpha T)$, α : 鋼の線膨張係数 1.2×10^{-5})
- ϵ_2 : 温度が T だけ上昇したときの補強部材全体の対数ひずみ

3. 試算結果

引張部材では引張り熱応力が作用する場合に外力と重畳すると危険となるので、高温時に CFRP で補強し、気温が低下して鋼部材に引張りの熱応力が作用する場合について検討する。鋼と CFRP の弾性係数を $E_s=E_c$ とした場合の鋼に作用する熱応力 T と鋼部材の断面欠損率との関係を図 2 に示す。また、表 2 および図 3 は温度変化と鋼の欠損断面積に対する CFRP の補強断面積の比($A_c / (A_0-A_r)$)の関係である。この比は鋼の欠損断面積の何倍の CFRP の補強断面積が必要となるかを示している。表 2 および図 3 から分かるように、 $\sigma_0=100\text{N/mm}^2$ のケースにおいて、施工時と供用時との温度変化量 T が 20 のとき、鋼の欠損断面積の約 2 倍の補強 CFRP 断面積が必要となり、温度変化量が大きくなるにつれて補強に必要な CFRP 板の断面積は増大する。

また、図 4 に CFRP 板のヤング係数を変化させた場合の温度変化の影響を示す。ヤング係数が低い CFRP 板ほど補強に必要となる CFRP 板の断面積は小さくなる事が分かる。

4. まとめ

断面欠損を生じた鋼部材を CFRP 板により補強する場合、熱応力をどのように考慮すべきかについて検討した。その結果、引張応力度を当初の引張応力度と同値になるように補強すると、鋼の欠損断面以上の CFRP 断面が必要ということが分かり、その CFRP 板の必要等価断面積は残存断面積に比例し、想定される気温変化の大きさの関数となる。

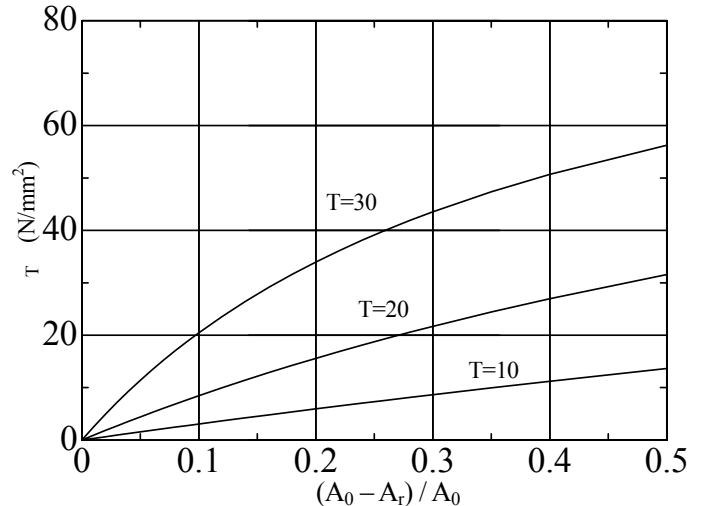


図 2 熱応力における断面欠損率の影響

表 1 温度変化量と CFRP 板補強断面の関係

温度変化量 (T)	鋼の欠損断面積に対する補強 CFRP 板の断面積比 $A_{ce}/(A_0-A_r)$
1	1.02
5	1.14
10	1.32
15	1.56
20	1.92
25	2.5
30	3.57
35	6.25

($\sigma_0=100\text{ N/mm}^2$)

$$A_{ce} = A_c \cdot E_c / E_s$$

$$= (A_0 - A_s) \cdot \sigma_0 / (\sigma_0 - E_s \cdot \epsilon)$$

参考文献

- 1) 杉浦 江他：炭素繊維シートを用いた腐食による鋼部材断面欠損部の補修効果に関する実験的研究，構造工学論文集 Vol. 54A，2008 年 3 月
- 2) 森 猛他：腐食鋼板の引張・降伏耐力評価法の検討，土木学会論文 集 A Vol. 64 No. 1, 38-47, 2008.1

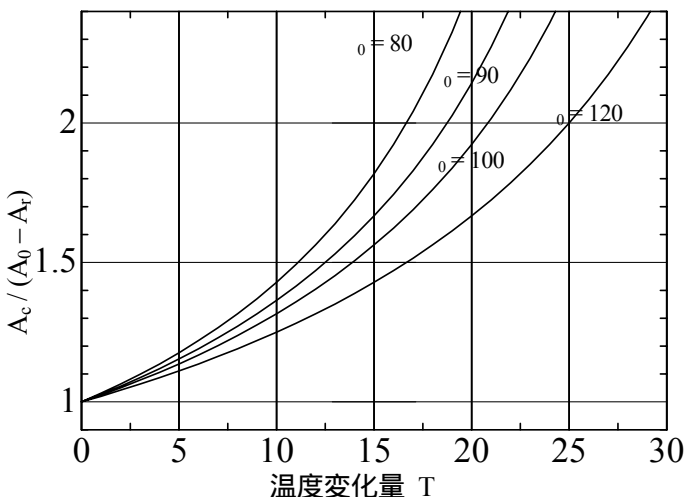


図 3 CFRP 板補強における温度変化量の影響

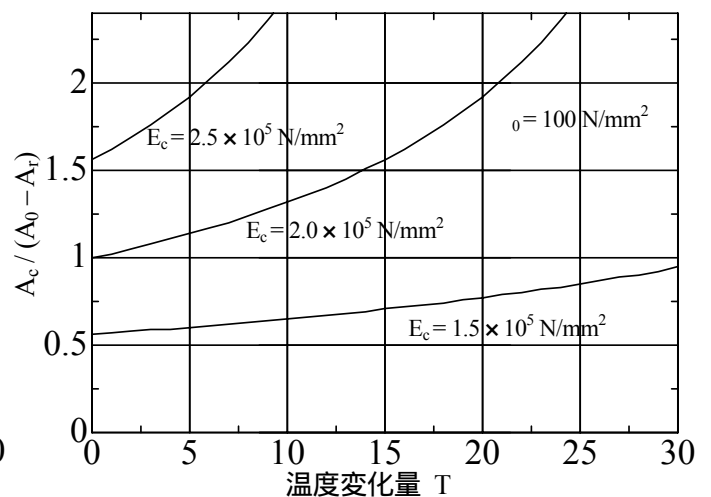


図 4 CFRP 板補強における温度変化量の影響