

CFRP 補強された引張り鋼部材の温度変化の影響

京橋メンテック(株) 正会員 ○神菌 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、耐用年数を迎えた橋梁の機能改善や改良、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。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できる簡単な評価方法が望まれている。ここでは、引張りを受ける鋼部材が腐食減厚して公称応力が増加した場合、腐食前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ースについてモデル化を試みた。

2. 試算条件

鋼部材の断面積が腐食等で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鋼材の応力度が腐食前の引張応力度となるように補強する。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⁾ 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、無負荷・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残留する場合について検討する。

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試算モデルを図 1 に示す。温度が ΔT だけ上昇したときの鋼板に生じる熱応力 $\sigma_{\Delta T}$ と CFRP 補強の条件は下記の式となる。

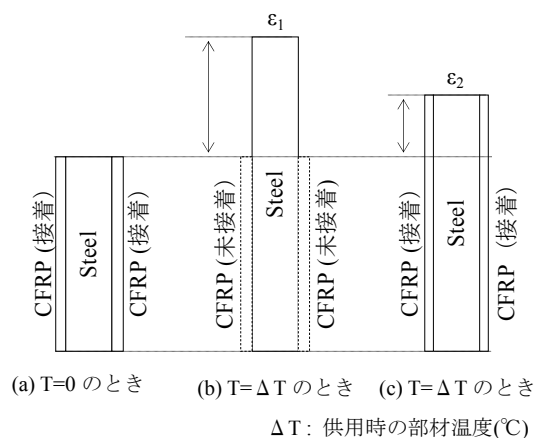


図 1 試算モデル

温度変化による熱応力度

引張部材に CFRP 板で補強したときの熱応力度
 (図 1 試算モデルの(c)の状態のとき)

$$-\sigma_{\Delta T} \cdot A_r + \varepsilon_2 \cdot E_c \cdot A_c = 0 \quad \dots (式 1)$$

$$(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \cdot E_s = \sigma_{\Delta T} \quad \dots (式 2)$$

CFRP 補強の条件式

腐食等で減少した断面積を CFRP 板により増大させて鋼材の応力度が腐食前の引張応力度となるように補強する。

$$\sigma_{Re} = \sigma_0 \cdot A_0 / (A_r + A_{ce}) + \sigma_{\Delta T} \leq \sigma_0 \quad \dots (式 3)$$

($\sigma_{\Delta T} > 0$)

$\sigma_{\Delta T}$: 温度が ΔT だけ上昇したときの鋼板の熱応力度(N/mm^2)
 σ_{Re} : 補強後の鋼板に生じる引張応力度(N/mm^2)
 σ_0 : 腐食前の引張応力度(N/mm^2)
 A_0 : 腐食前の断面積(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_{ce} : 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 ΔT だけ上昇したときの拘束のない鋼の対数ひずみ
 ($\varepsilon_1 = \ln(1 + \alpha T)$, α : 鋼の線膨張係数 1.2×10^{-5})
 ε_2 : 温度が ΔT だけ上昇したときの補強部材全体の対数ひずみ

キーワード CFRP 補強, 熱応力, 鋼構造物, 温度変化

連絡先 〒536-0014 大阪市城東区鳴野西 2-2-21 京橋メンテック(株) Tel 06-6961-6173

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。道路橋示方書では、鋼構造において基準温度を 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、基本的なケースとして、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。

3. 試算結果

鋼と CFRP のヤング係数を $E_s=E_c$ とした場合の鋼に作用する熱応力 $\sigma_{\Delta T}$ と鋼部材の断面欠損率との関係を図 2 に示す。温度変化量 ΔT が 20℃、断面欠損率 0.3 のとき、CFRP 補強された鋼材には 20N/mm² 以上の残留応力が生ずると試算される。また、表 1 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に対する CFRP の必要補強断面積を示している。 $\sigma_0=100\text{N/mm}^2$ のケースにおいて、温度変化量 ΔT 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 板のヤング係数の違いによる温度変化の影響を示す。ヤング係数が低い CFRP 板ほど補強に必要な CFRP 板の断面積は大きくなる。また、温度変化量が大きくなると鋼材に残留する熱応力の影響も大きくなるが分かる。

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るべきかについて検討した。その結果、引張応力度を腐食前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 断面が必要になることが分かり、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。

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

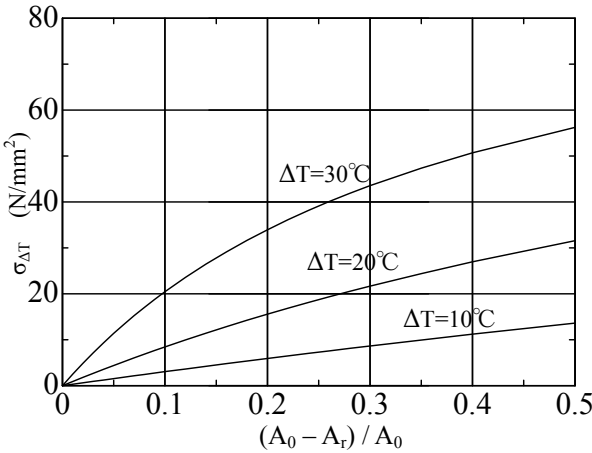


図 2 熱応力における断面欠損率の影響

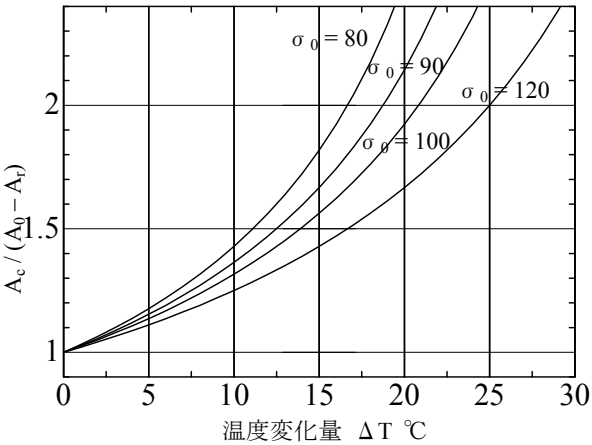


図 3 CFRP 板補強における温度変化量の影響

表 1 温度変化量と CFRP 板補強断面の関係

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

温度変化量 ($\Delta T(^{\circ}\text{C})$)	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	2.50
30	3.57
35	6.25

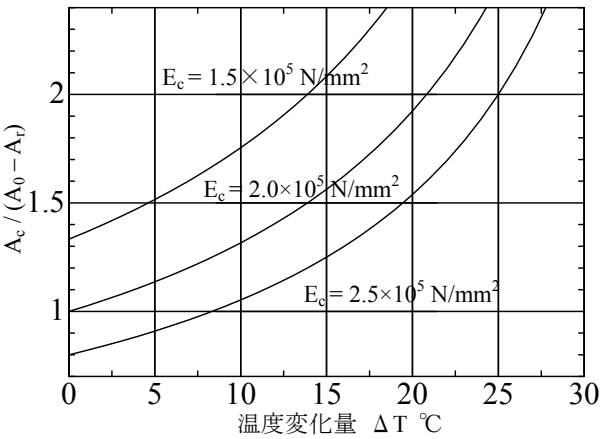


図 4 CFRP 板補強における温度変化量の影響

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