

CFRP 板で曲げ補強された鋼材に生じる温度応力の簡易算定式

(株)レールテック 正会員 ○松本 健太郎 京橋メンテック(株) 正会員 並木 宏徳 正会員 鳥山 正吾
 京都工芸繊維大学 藤井 善通 明星大学 正会員 鈴木 博之 大鉄工業(株) 正会員 山口 善彰

1 はじめに

炭素繊維複合材料板（以下、CFRP 板と称す）を鋼橋に接着補強した箇所に大きな温度変化がある場合には、鋼材と CFRP 板との間に温度応力が生じ、接着面の剥離や補強効果の低減を惹起することが指摘されている。

そこで本研究では、CFRP 板による曲げ補強を対象として温度応力の簡易算定式の妥当性の検証を目的とする。ここでは、CFRP 板を鋼板または H 形鋼の片面に接着した複合構造試験体を用いて温度変化実験を行い、実験値と簡易式による計算値との比較を行う。

2 計算手法の提案

既報¹⁾では、著者らは鋼板の一面を CFRP 板で接着補強した場合の温度応力を簡易に評価する手法について提案した。図-1 に計算モデルを示し、以下に簡易式を示す。

$$P = -\lambda A I \alpha \Delta T E_s / \{ \lambda (I + A y_t^2) + I \} \quad \cdots \cdots \text{式 1)}$$

$$\Delta \sigma_T = -\lambda (I + A y_t^2) \alpha \Delta T E_s / \{ (\lambda + 1) I + \lambda A y_t^2 \} \quad \cdots \cdots \text{式 2)}$$

P: CFRP と鋼材下面の接触面に生じる拘束力, λ : 等価断面積比 ($A_c E_c / A_s E_s$),
 A, I: 鋼材の断面積と断面二次モーメント, α : 鋼材の線膨張係数 (≥ 0), ΔT : 相対温度,
 E_c, E_s : CFRP および鋼材の弾性係数, y_t : 鋼材中立軸から鋼材下面までの距離
 $\Delta \sigma_T$: 鋼材下面に作用する温度応力, $\varepsilon_c, \varepsilon_s$: 拘束力により CFRP と鋼材下面に生じるひずみ

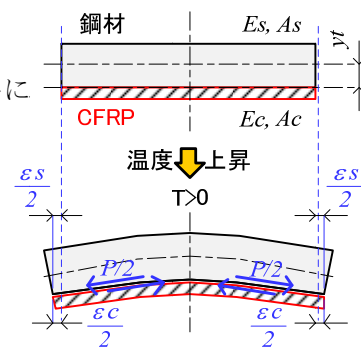


図-1 曲げ補強の計算モデル

3 実験方法

図-2 に、試験体の寸法と形状およびひずみゲージ貼付位置を示す。試験体は鋼板（50×8.45mm, L=300mm, SS400）下面に同幅同長の CFRP 板を接着した PL 試験体 2 体, H 形鋼（100×50×50×5×7mm, L=300mm, SS400）に下フランジ下面に同幅同長の CFRP 板を接着した H 試験体 2 体の計 4 体を作製した。接着にはエポキシ樹脂を用い、その塗布厚さは実測で 0.41~0.70mm である。ひずみゲージは温度補償タイプ（熱線膨張係 11.7μ/°C）のゲージ長 5mm を用い、CFRP 板表面と鋼材面表裏に軸方向に計 4 枚貼付している。表-1 に、使用した CFRP 板の弾性係数と板厚の実測値を示す。実験で用いた CFRP 板は、鋼材の弾性係数より高弾性タイプと低弾性タイプの 2 種類である。

写真-1 に、温度変化実験状況を示す。温度変化実験では、試験体を恒温槽および冷凍庫に入れ、室温～50°C（恒温槽）～室温～-20°C（冷凍庫）～室温と温度変化させてひずみを計測した。

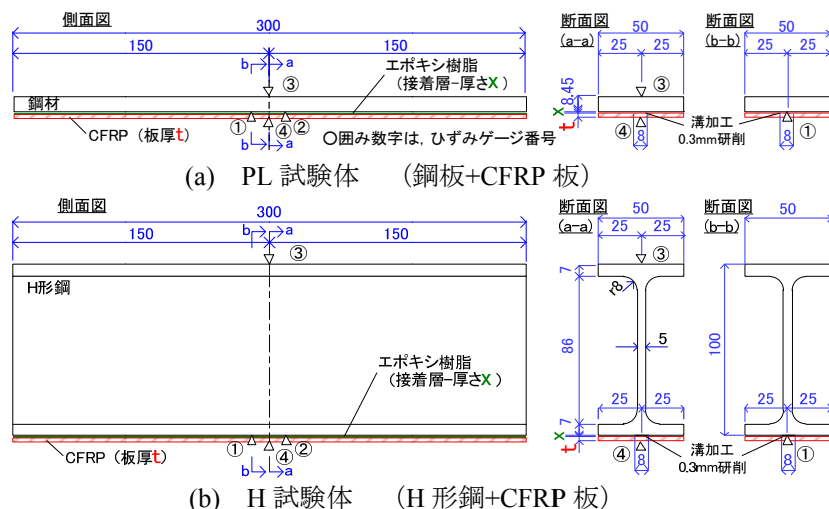


図-2 試験体の寸法と形状およびひずみゲージ貼付位置



写真-1 温度変化実験状況

表-1 CFRP 弾性係数と厚さ

CFRP 板 種類	弾性係数 E (GPa)	厚さ(mm)	
		CFRP t	接着層 x
PL-低弾性	127	2.04	0.70
PL-高弾性	281	2.87	0.51
H-低弾性	127	2.03	0.44
H-高弾性	281	2.88	0.41

キーワード CFRP 補強, 曲げ補強, 温度応力, 温度変化実験, 簡易算定式

連絡先 〒532-0011 大阪市淀川区西中島 5-4-20 中央ビル 3F (株)レールテック構造物事業部 TEL06-6889-2902

4 実験結果

4.1 温度変化によるひずみ

図-3 に、温度変化 $-20^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ のひずみ変化(PL および H-低弾性試験体)を示す。

-20°C のひずみを基準とした場合、温度が上がるにつれて、CFRP 板表面と鋼材表面(上フランジ表面)は伸びて、CFRP 板接着下の鋼材表面には縮みが生じている。ゆえに、鋼材が伸びるのを CFRP 板が抑制していることがわかる。

4.2 断面内の温度応力分布

図-4 に PL 試験体を、図-5 に H 試験体の温度応力分布を示す。図中の実験値は、室温を基準とした場合に、(a)相対温度 ΔT が約 -30°C (室温 $\sim -20^{\circ}\text{C}$)と、(b) ΔT が約 40°C (室温 $\sim 50^{\circ}\text{C}$)で生じた温度応力である。また図中には、著者らの簡易式¹⁾と、既往の研究²⁾で評価されている合成断面理論による CRRP 板接着時の温度応力の算出式(以下、合成式と称す)で求められる計算値も表記している。

図-4, 5 より、PL 試験体および H 試験体ともに CFRP 板を低弾性から高弾性にするすることで、CFRP 板接着下の鋼材に生じる温度応力($L=0.3\text{mm}$ 位置)の絶対値が大きくなる。これらから、CFRP 板の弾性係数が高くなることで、鋼材に生じる温度応力も大きくなることがわかる。

また、実験値と計算値を比較すると、両試験体ともに定性的には傾向が概ね合うと言える。厳密にみると、簡易式では CFRP

板の曲げ剛性の影響を考慮していないため、薄肉鋼板に CFRP 補強のような後者の曲げ剛性が無視できない構造では簡易式では CFRP 板に生じる温度応力はやや外れる傾向となる。部材の曲げ剛性や部材厚を考慮する合成式の方が PL 試験体では一致する傾向にある。一方、H 形鋼への CFRP 補強のような後者の曲げ剛性を無視できると考えられる構造では、実験値と簡易式の計算値は近い値となる。ゆえに、実橋の桁構造などの大断面では、CFRP 補強の曲げ剛性を無視できるため、提案する簡易式で温度応力を算出できると言える。

5 おわりに

CFRP 板で曲げ補強された鋼材(複合構造試験体)を用いて温度変化実験を実施し、以下の結論が得られた。

- (1) CFRP 板の弾性係数が高くなるにつれて、鋼材に生じる温度応力が大きくなる。
- (2) CFRP 板で曲げ補強した鋼材の温度応力は、提案した簡易式で計算した結果と実際の複合構造体に生じる温度応力の実験結果が良い一致を示したことから、提案した簡易式による算出が可能である。

【参考文献】1) 神薮他, CFRP により曲げ補強された鋼部材の温度変化の影響, 第 67 回年土木学会年次学術講演会, CS3-015, 2012.9.

2) 石川他, CFRP 板が片面に接着された鋼部材に生じる熱応力の低減, 土木学会論文集 A2, Vol.68 No.2, pp.I-703-714, 2012.

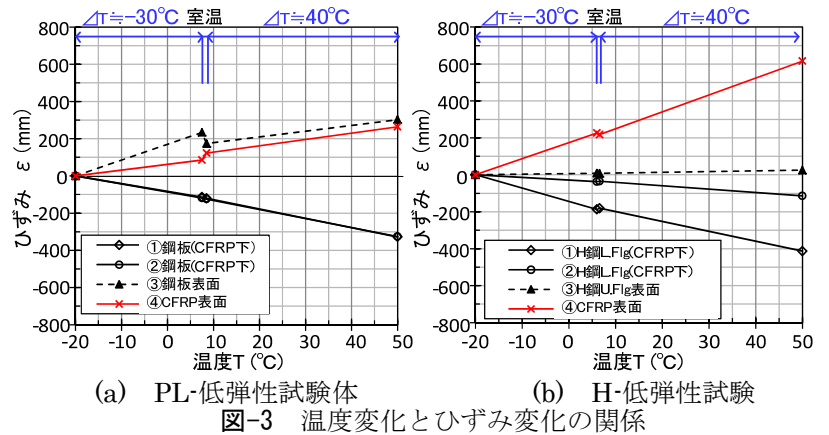


図-3 温度変化とひずみ変化の関係

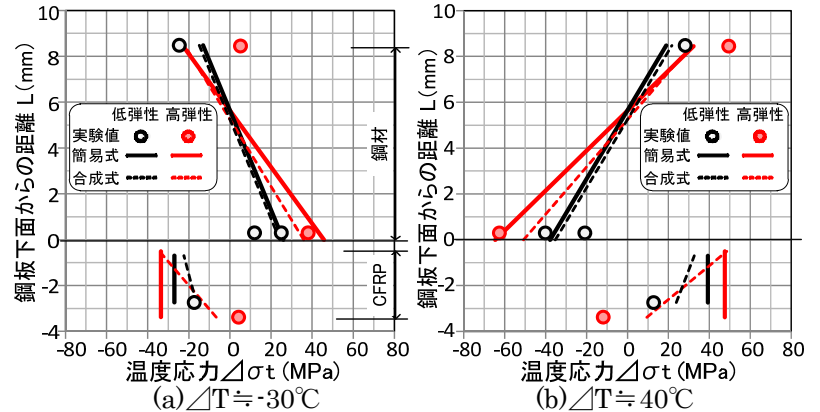


図-4 PL 試験体の温度応力と計算値

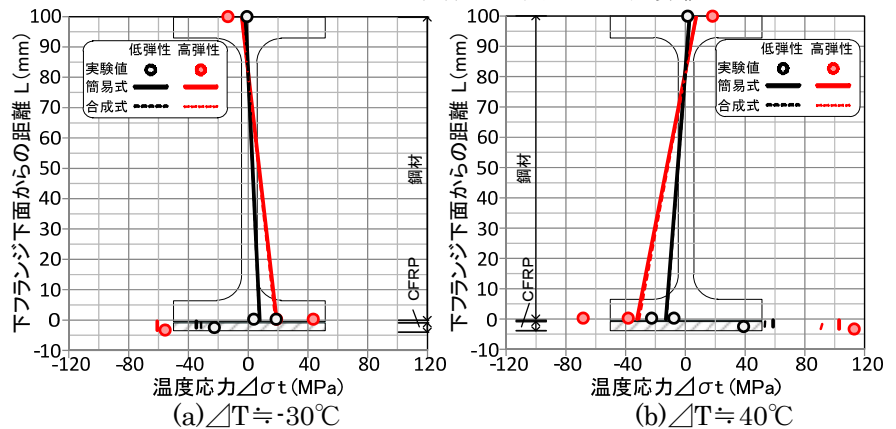


図-5 H 試験体の温度応力と計算値