CFRP 板が片面に接着された鋼板に生じる熱応力の低減効果

京都大学 正会員 〇石川 敏之,服部 篤史,河野 広隆,学生会員 冨田 貴大 日本軽金属 正会員 長尾 隆史,新日鉄マテリアルズ 正会員 小林 朗

1. はじめに

鋼部材への炭素繊維強化樹脂成型板(以下, CFRP 板と呼ぶ)接着補修・補強では, CFRP 板の線膨張係数 がほぼ 0µ/℃であるため、温度変化を受けると鋼部材には内部応力(以下,熱応力と呼ぶ)が生じることが問 題として挙げられる.著者らは、これまでに CFRP 板が上下面に接着された鋼板の熱応力を低減させるために、 CFRP 板と共にアルミニウム合金板(AL 板)を接着する方法を提案している¹⁾. この方法では、CFRP 板と AL 板からなる積層板の線膨張係数を鋼板の線膨張係数と一致させることにより、温度変化を受けても鋼板に 熱応力を生じさせなくしている.しかし、剛性が小さい鋼板の片面に積層板を接着した場合のように、合成部 材の図心から CFRP 板あるいは AL 板までの図心までの距離が短くなると、鋼板に対する CFRP 板と AL 板の 熱による相対伸びの差と図心間の距離の差によって合成部材に付加曲げモーメントが生じ、熱応力の低減効果 が小さくなる.そこで本研究では、CFRP 板とアルミニウム合金板から構成される積層板を片面に接着した鋼 板の温度上昇試験を行い、熱応力の低減効果を明らかにする.

2. 試験体

図-1 に示すように、鋼板の下面に長さ 200mm の補強板を 2 枚接着した試験体を用いた.従来工法の試験 体 CC として、ヤング率 140GPa、厚さ 1mm,幅 50mm の CFRP 板 2 枚を接着した.試験体 CA は、文献 1)と 同様に AL 板を設計し、試験体 CC の下側の CFRP 板をヤング率

 E_a =70GPa, 厚さ 2mm,幅 50mmのAL板で置き換えた.試験体 ACAには、各 1mmのAL板の間にCFRP板が接着された3層の積層板としている.試験体一覧を表-1に示す.図-2には、試験体に貼付けたひずみゲージの位置も示している.鋼板、CFRP板およびAL板に生じるひずみの計測には、鋼材用のひずみゲージを利用している.

3. 温度変化試験

20℃の恒温室に設置した乾燥炉に試験体を鉛直に吊るし,2 時間程度放置した後,ひずみを計測し,炉内の設定温度を40℃ 程度まで上昇させて,各ひずみの変動がなくなるまで温度を保 持(2時間程度)し,ひずみを計測した.熱応力を算出するために, 各試験体に加え,無拘束の鋼板,CFRP板,AL板も同様に温度 変化を与えてひずみを計測した.熱伝対を用いて計測した温度 変化量 ΔT も表-1に示している.

計測された鋼板に生じるひずみ ε_{sm} と無拘束の鋼板に生じる ひずみ ε_{sn} および鋼のヤング率 E_s を用いて,鋼板上面に 生じる熱応力 σ_s (= $E_s(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{sn})$)を算出した.同様にして, 試験体の CFRP 板あるいは AL 板に生じるひずみおよび 無拘束の CFRP 板あるいは AL 板に生じるひずみを用い て,最外の CFRP 板あるいは AL 板の下面の熱応力 σ_f , σ_a を算出した.温度変化を与えて生じた熱応力を図-3, 4 にそれぞれ示す.図の横軸は、CFRP 板と AL 板の接 着長さの中央からの距離 x(図-2)を示している.図に は,鋼板と CFRP 板あるいは AL 板が完全に合成されて



図-2 ひずみゲージの貼付け位置

表-1 試験体の補強板構成と温度上昇範囲

| 試験体 | | 補強板 | 温度上昇量 Δ <i>T</i> [℃] |
|-------|-----|-----------------|-------------------------|
| PL4.5 | CC | $CFRP \times 2$ | |
| | CA | CFRP+AL | 23.4 |
| | ACA | AL+CFRP+AL | |
| PL12 | CC | $CFRP \times 2$ | |
| | CA | CFRP+AL | 22.3 |
| | ACA | AL+CFRP+AL | |





図-4 試験体 PL12 に生じる応力分布

いると仮定して導出された次式の理論値も示している.

 $\sigma_{s} = \frac{M_{v}}{I_{v}} y_{vs} + \frac{P_{v}}{A_{v}}$ (1), $\sigma_{i} = \frac{1}{n_{i}} \left(\frac{M_{v}}{I_{v}} y_{vs} + \frac{P_{v}}{A_{v}} \right) - \frac{P_{i}'}{A_{i}}$ (2)

ここに、 $P_v = \sum P_i'$, $M_v = \sum (P_i' d_{vi})$, $P_i' = E_i A_i (\alpha_i - \alpha_s) \Delta T$, $n_i = E_s / E_i$, I_v , A_v , y_{vs} はそれぞれ鋼部材 と補強板からなる合成断面の鋼換算した断面 2 次モーメント、断面積および図心からの距離, d_{vi} は合成断面 の図心から補強板 *i* の図心までの距離, E_i , A_i , α_i はそれぞれ、補強板 *i* のヤング率、断面積および線膨張係 数 (μf C), *i* は鋼部材に近い側からの補強板の番号である.

図-3, 4 からわかるように、CFRP 板のみが接着された試験体 CC では、試験体 PL4.5、PL12 ともに鋼板に 熱応力が生じている. 一方、試験体 CA においても、PL4.5、PL12 共に鋼板に生じる熱応力が完全に除去され ていない. ただし、PL4.5 よりも PL12 の方が低減効果は高い. これは、式(1)に用いる M_v の算出において、 PL4.5 よりも PL12 の方が、 $d_{v1} \ge d_{v2}$ の差が小さいからである. これらに対して、試験体 ACA では、試験体 PL4.5、PL12 ともに鋼板に生じる熱応力をほぼ 0 にできていることがわかる. これは、AL 板が CFRP 板の 上下にあるため、合成断面の図心から 2 枚の AL 板の平均の図心までの距離と CFRP 板の図心までの距離が 等しくなり、 M_v が 0 になったためである.

4. まとめ

本研究では、CFRP 板が鋼板の片面に接着された場合に対して、CFRP 板をアルミニウム合金板で挟み込ん だ積層板を接着することで、鋼板の熱応力が低減できることを示した.

謝辞:本研究は、社団法人 近畿建設協会の2011 年度研究補助を受けたものである. ここに記して謝意を示し ます.

参考文献

1)石川敏之,服部篤史,河野広隆,長尾隆史,小林 朗:CFRP 板が接着された鋼板に生じる熱応力の低減工 法の開発,土木学会論文集 A2(応用力学) Vol.67, No.2(応用力学論文集 Vol.14), pp.I_767-776, 2011.

CS3-014