

ノート

炭素繊維強化プラスチックに対する熱弾性応力解析の検討

西川 康博*¹⁾ 櫻庭 健一郎*²⁾ 松原 独歩*²⁾ 安田 健*³⁾

Thermo-elastic stress analysis for carbon fiber reinforced plastics

Yasuhiro Nishikawa*¹⁾, Kenichiro Sakuraba*²⁾, Doppo Matsubara*²⁾, Takeshi Yasuda*³⁾

キーワード: 炭素繊維強化プラスチック, 熱弾性応力解析

Keywords: Carbon fiber reinforced plastic, Thermo-elastic stress analysis

1. はじめに

軽量化が要求される航空宇宙分野に用いられてきた炭素繊維強化プラスチックは, 自動車への適用をはじめ, 一般産業分野においても幅広く用いられている。特に近年では環境問題を考慮し, リサイクル可能な熱可塑性樹脂を母材とした炭素繊維強化熱可塑性プラスチックが注目されている。このような観点において, 実使用時におけるこれら材料あるいはその構造物の信頼性・安全性評価を行うことが重要な課題となっている。

信頼性・安全性評価手法の一つとして, 赤外線温度計測をベースとした熱弾性応力解析⁽¹⁾が知られている。熱弾性応力解析は材料や構造物を低レベルの負荷で加振することにより測定対象物に熱弾性効果(温度変化)を発現させ, 外力に同期した温度変化のみを赤外線検出器を用いて精度良く測定し, 応力情報を得る非破壊検査手法である。このため, 金属やプラスチックを素材とした製品の信頼性・安全性評価の有力な手法となっている。しかし, 炭素繊維強化熱可塑性プラスチックおよびその製品に対しては, 上述の解析法が適用された例はまだ少ない。

そこで本研究では, あらゆる材料・製品に対して適応できる信頼性・安全性評価手法の確立を目指して, 炭素繊維強化熱可塑性プラスチックに対して熱弾性応力解析を行い, 評価手法・計測条件等について検討を行った。

2. 実験方法

2.1 熱弾性効果 気体と同様に固体においても圧縮・引張の荷重を急激に加えると, 変形が断熱的に行われ, 発熱・吸熱が生じる。この現象は熱弾性効果と呼ばれる。等方性材料であれば, 弾性限界内では温度振幅 ΔT と主応力 σ の変化(応力振幅) $\Delta\sigma$ の間に比例関係が成立し,

$$\Delta T = -T \alpha \Delta\sigma / \rho C_\sigma = -T K \Delta\sigma \quad K = \alpha / \rho C_\sigma \quad (1)$$

で表される。ここで, T は測定環境温度(絶対温度), α は

線膨張係数, ρ は密度, C_σ は応力一定のもとでの比熱, K は熱弾性定数と呼ばれる材料固有の値である。

2.2 材料 本研究では, 材料に繊維長 3mm の炭素繊維(GRANOC: 日本グラファイトファイバー)と熱可塑性樹脂のポリプロピレン(MA1B: 日本ポリプロ製)を用いた。これらの材料からなるペレットを原料として, 射出成形機(住友ネスタール: 住友重機械工業製)を用いて多目的試験片(JIS K7139)を作製した。

試験片の炭素繊維重量含有率は 10% (以後, 10%-CFRP) および 30% (以後, 30%-CFRP) とした。比較のために同形状・同寸法のアルミニウム(材質: A1100)試験片を用いた。各試験片の表面には黒体塗料を薄く塗布し, 熱弾性信号に重畳するノイズをできるだけ押さえた。

2.3 計測条件 疲労試験機(サーボパルサー: 島津製作所製)を用いて最大応力が 7.6MPa, 応力比が 0.1 (応力振幅 $\Delta\sigma = 6.8$ MPa), 波形がサイン波, 周波数が 5~15Hz とした負荷条件で試験片を加振した。赤外線応力画像装置(JTG-8010: 日本電子製)を用いて熱弾性効果による温度変化を計測した。

3. 結果および考察

図 1 に加振周波数を 10Hz とした場合における温度振幅の分布(熱弾性イメージ)を示す。図に示すように, 30%-CFRP, 10%-CFRP および A1100 とともにマイナスの温度振幅が計測された。本試験では試験片に引張荷重を加振($\Delta\sigma > 0$)したため, 熱弾性効果によりマイナスの温度振幅($\Delta T < 0$)が生じるためである。図 2 に温度振幅のヒストグラムを示す。ヒストグラムの横軸は温度振幅の範囲, 縦軸は全ピクセル数に対する温度振幅の範囲に対応したピクセル数の割合である。図より各試験片ともに温度振幅の分布幅が狭いことから, 熱弾性効果の発現がほぼ同様であることがわかる。短繊維を用いた射出成形品の場合, 材料内において繊維が均一に分散するために, 均質材料であるアルミニウム試験片と同様に, 均一な熱弾性効果が発現したと考えられる。

図 3 に加振周波数を変化させた場合における 30%-CFRP の熱弾性イメージを示す。図に示すように, 加振周波数に

*¹⁾ 電子・機械グループ*²⁾ 技術経営支援室*³⁾ 繊維・化学グループ

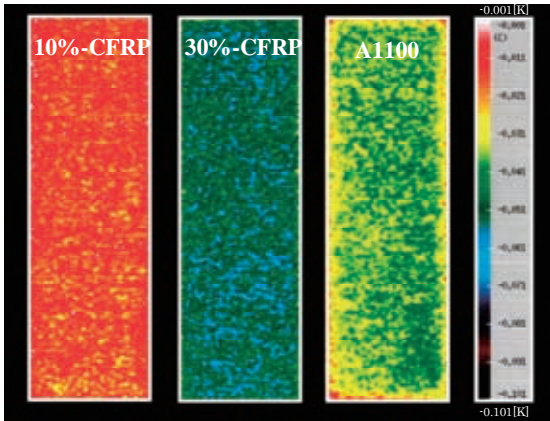


図 1. 温度振幅の分布 (熱弾性イメージ)

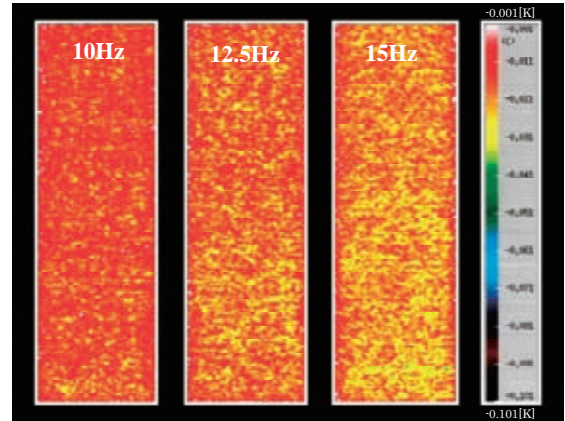


図 3. 加振周波数を変化させた 30%-CFRP の熱弾性イメージ

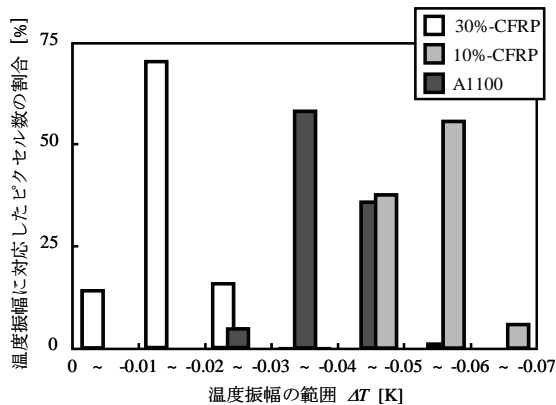


図 2. 温度振幅のヒストグラム

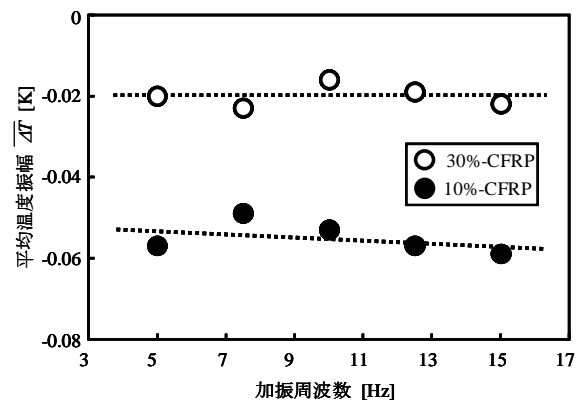


図 4. 平均温度振幅と加振周波数の関係

よらず全体的に均一な熱弾性イメージが表れる。10%-CFRP についても同様の傾向がみられた。図 4 に平均温度振幅 $\overline{\Delta T}$ と加振周波数の関係を示す。図に示すように、炭素繊維重量含有率によらず 5Hz 以上の加振周波数では平均温度振幅はほぼ一定となった。安定した熱弾性効果を得るためには、ある一定以上の周波数で材料あるいは構造物を加振する必要がある。本研究で用いた炭素繊維強化熱可塑性プラスチックでは、比較的低い加振周波数 (5Hz) においても、安定した熱弾性効果が発現することが見出された。

図 5 に 10%-CFRP の平均温度振幅 $\overline{\Delta T}_{10\%-CFRP}$ を、同じ加振周波数条件で得られた 30%-CFRP の平均温度振幅 $\overline{\Delta T}_{30\%-CFRP}$ で除して得られた無次元量である標準化平均温度振幅 ($\overline{\Delta T}_{10\%-CFRP} / \overline{\Delta T}_{30\%-CFRP}$) と加振周波数の関係を示す。図に示すように、加振周波数に依存せず 10%-CFRP の熱弾性効果は 30%-CFRP のその約 3 倍となる。これは、炭素繊維重量含有率の違いに伴う熱弾性定数の違いに対応するためと考えられる。

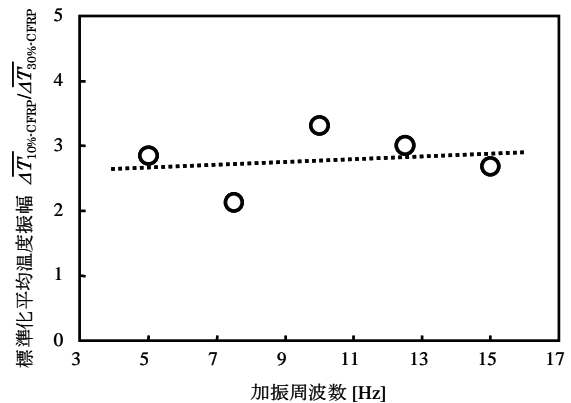


図 5. 標準化平均温度振幅と加振周波数の関係

4. まとめ

短繊維を用いた炭素繊維強化熱可塑性プラスチックでは、ほぼ均一な熱弾性効果が発現した。また、比較的低い周波数 (5Hz) においても、安定した熱弾性効果が発現した。熱弾性効果は炭素繊維の重量含有率に依存することがわか

った。以上から、熱弾性応力解析は炭素繊維強化熱可塑性プラスチックの検査に有効であることが示された。今後、さらに詳しい評価手法・計測条件等について検討し、本手法を実際の信頼性・安全性評価に活用する予定である。

(平成 22 年 7 月 1 日受付, 平成 22 年 8 月 16 日再受付)

文 献

- (1) 上野谷敏之, 水谷義弘: 「実用化期の複合材料技術と課題: 3. 損傷・破壊モニタリングと評価」, 材料, Vol. 55, No. 3, pp. 341-347 (2006)