

金属インサートを持つ樹脂複合材料部品の 熱サイクルにおける in-situ 内部応力計測 In-Situ Measurement of Internal Stress During Thermal Cycling in Short -Fiber Reinforced Plastic Parts with Metal Insert

岩堀 恵介^a, 田中 啓介^b, 菖蒲 敬久^c, 清水 憲一^d, 小林 大純^d, 長谷 光司^d
 Keisuke Iwahori^a, Keisuke Tanaka^b, Takahisa Shobu^c, Kenichi Shimizu^d,
 Hirozumi Kobayashi^d, Koji Nagaya^d

^a(株)デンソー, ^b名古屋産業科学研究所, ^c日本原子力研究開発機構, ^d名城大学
^aDENSO CORPORATION, ^bNagoya Industrial Science Research Institute, ^cJapan Atomic Energy Agency,
^dMeijo University

熱可塑性樹脂複合材料の射出成形品は、樹脂流れの合流部分にウェルド部が形成される。ウェルド部は強度低下部位であるとともに、繊維配向や樹脂の凝固過程により内部応力が負荷する^[1]。これまでに課題番号 2015B1895 において、金属インサートを持つ樹脂複合材料部品における射出成形過程に発生するウェルド部近傍のひずみ分布を測定した^[2]。本測定では実使用環境の冷熱負荷に近い状態である高温中の内部応力分布を測定した。その結果、常温において存在するひずみ分布が高温になるとほぼなくなることが明らかになった。

キーワード： 樹脂複合材料, ひずみスキャンニング法, 内部応力, 放射光

背景と研究目的：

金属インサートを有する樹脂部品は線膨張係数差や繊維配向分布を起因とした内部ひずみ分布を有する。上記部品のひずみ分布は冷熱サイクル負荷過程の温度変化により変動すると考えられる。課題番号2015B1895において上記部品の室温における内部ひずみ分布を測定した^[2]。本測定では温度変化の影響を検討するため昇温過程のひずみ分布を測定・検討する。

実験：

樹脂材料は40wt%ガラス短繊維で強化したPPS樹脂であり、ステンレス鋼インサートを有する部品である。試験片は次の2種類である。

- (1) 射出成形品に対しアニール処理を施した試験片(VA材),
- (2) VA材に対し冷熱サイクルを160サイクル繰り返し与えた試験片(FA材)

これらの試験片について、放射光を用いたひずみスキャンニング法によりひずみ分布の測定を行う。試験片の原点、座標軸の定義及び測定位置を図1に示す。インサートメタルの頂点にお

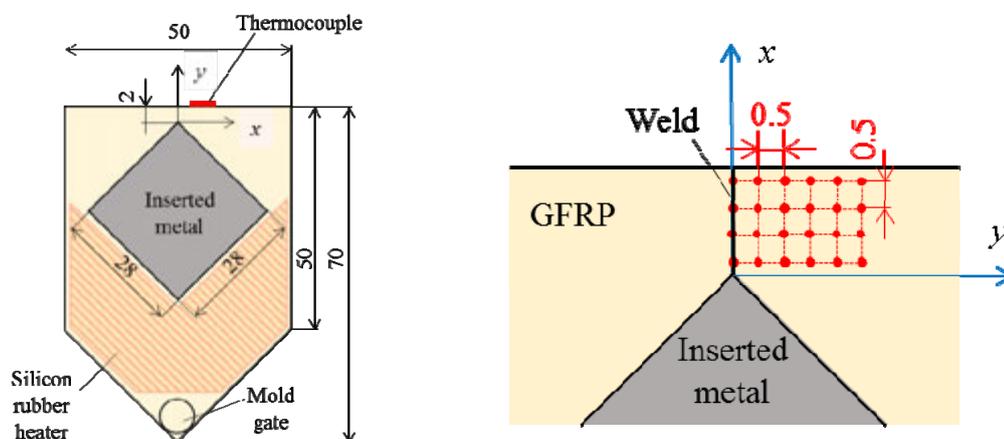


図1. 測定位置

る試験片厚の中心を原点(0,0,0)とし、射出方向をx方向、それに垂直方向をy方向、試験片の厚さ方向をz方向とした。z方向についてはz=0 mm (板厚中心)のみの測定を行った。上記の測定点に対し2方向の格子面間隔、つまりひずみ(x方向、y方向)測定を行った。

次にX線測定条件を表1に示す。測定にはSPring-8 BL46XUを用いた。X線透過ひずみスキャンニング法により計測する。回折角およびスリット形から求められるゲージ体積は、1.40 mmと0.10 mmの菱形で、厚さは0.5 mmである。

表1. X線測定条件 (BL46XU)

| | |
|------------------------------|------------------------------|
| Measurement material | PPS |
| Energy level (keV) | 20 |
| Wave length (nm) | 0.0622 |
| Measurement method | Transmission strain scanning |
| IS-1, h×w (mm) | 0.1×0.25 |
| RS-1, h×w (mm) | 0.1×2.0 |
| RS-2, h×w (mm) | 0.1×2.0 |
| Masurement diffraction plane | 111, 200 |
| Diffraction angle 2θ (deg) | 8.20 |
| Scanning range 2θ (deg) | 5.6-10.0 |
| Preset time (s) | 1 |
| Number of partition | 88 |
| Step width (deg) | 0.05 |

結果および考察：

まず、無ひずみ状態の格子面間隔 d_0 の温度依存性を調査した。金属インサートを持たない PPS 単体の射出成形板に対し、負荷を与えない状態で温度と 2θ 角の変化を測定した結果を図2に示す。図中には、 2θ 角 (deg) と温度 T (°C) の関係を直線近似した結果を示している。得られた式より、後述するメタルインサート材の実験温度 (27°C, 80°C, 120°C) における回折角度を求め、ブラッグの法則により、それぞれの温度条件下における、無ひずみ時の格子面間隔 d_0 を算出した。これらの値を表2にまとめる。

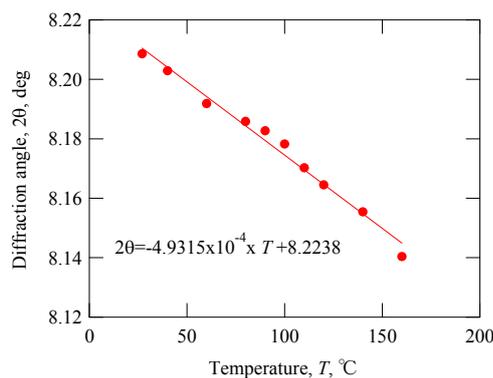


図2. 回折角度と温度の関係

表2. 各温度条件下における無ひずみ時の格子面間隔 d_0

| Temperature T (°C) | Diffraction angle 2θ (deg) | Lattice spacing d_0 (nm) |
|----------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| 27 | 8.2105 | 0.43442 |
| 80 | 8.1843 | 0.43581 |
| 120 | 8.1645 | 0.43686 |

次に金属インサート材のひずみ計測結果を示す。VA 試験片における 27°C, 80°C, 120°C における x 方向および y 方向の格子面間隔 d_x , d_y に対し、表2に示した各温度条件下における d_0 を用い、x 方向ひずみ ε_x と y 方向ひずみ ε_y を算出した。得られた結果をそれぞれ図3, 4, 5に示す。

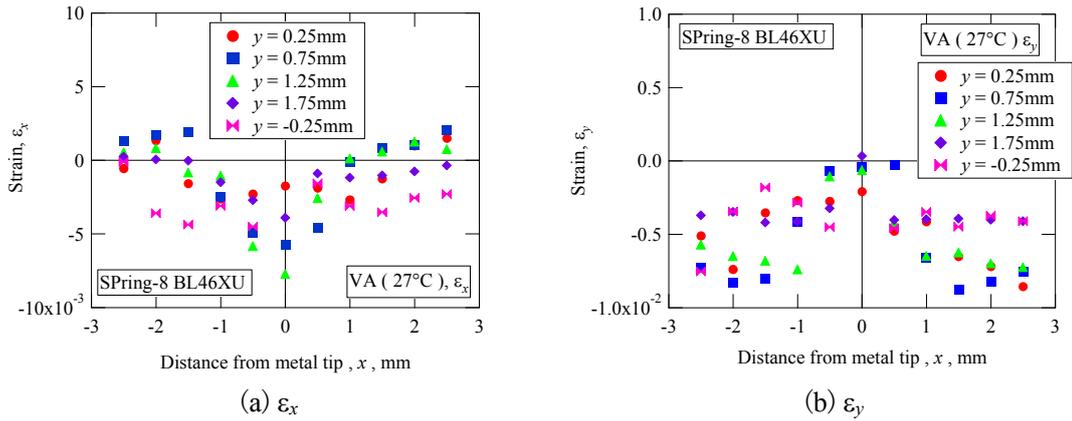


図 3. 27°C における VA 材のひずみ

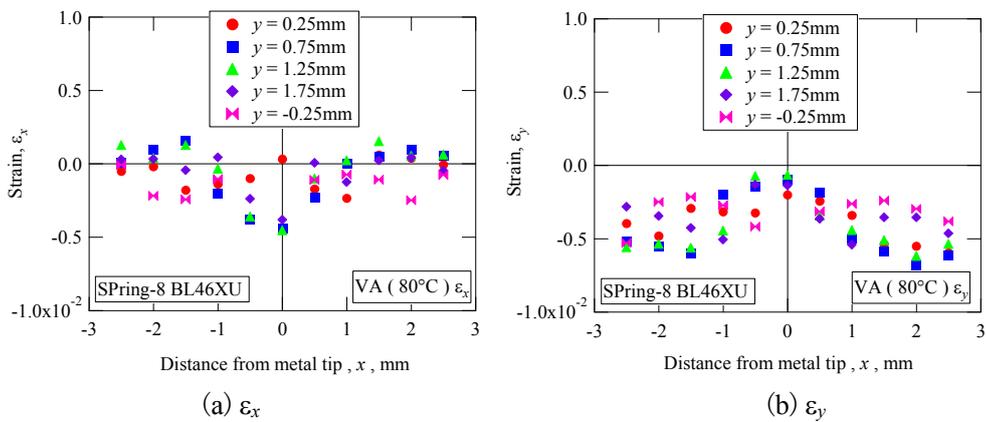


図 4. 80°C における VA 材のひずみ

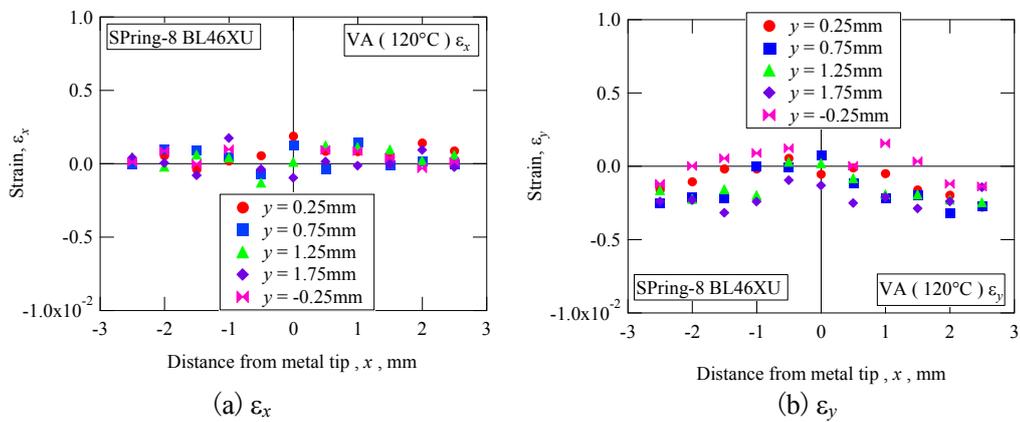


図 5. 120°C における VA 材のひずみ

ウェルド上 ($x=0\text{mm}$) の x 方向ひずみ ϵ_x が、昇温とともに圧縮状態からひずみ 0 に近付いている。また、ウェルドから x 方向に離れた箇所では、昇温によるひずみ変化は小さい。

次に FA 試験片の結果を示す。27°C, 80°C, 120°C における x 方向および y 方向の格子面間隔 d_x , d_y に対し、表 2 に示した各温度条件下における d_0 を用い、 x 方向ひずみ ϵ_x と y 方向ひずみ ϵ_y を算出した。得られた結果をそれぞれ図 6, 7 に示す。

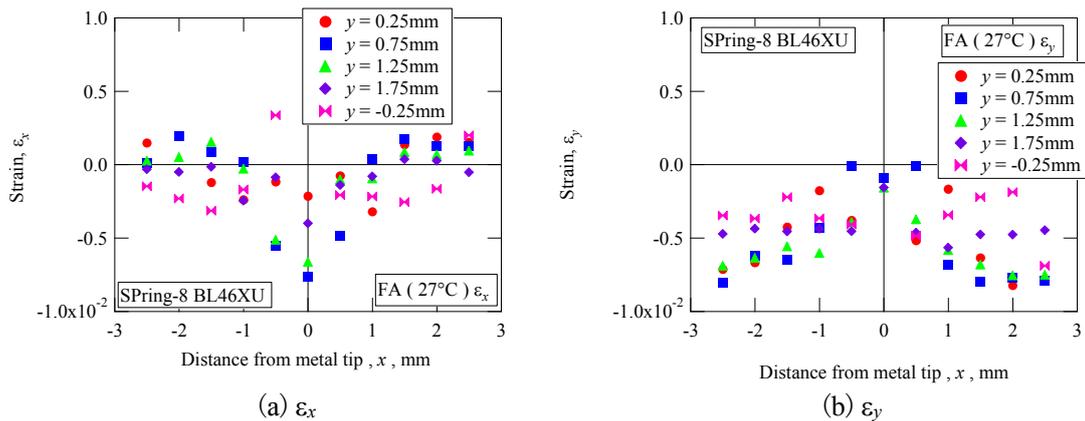


図 6. 27°C における FA 材のひずみ

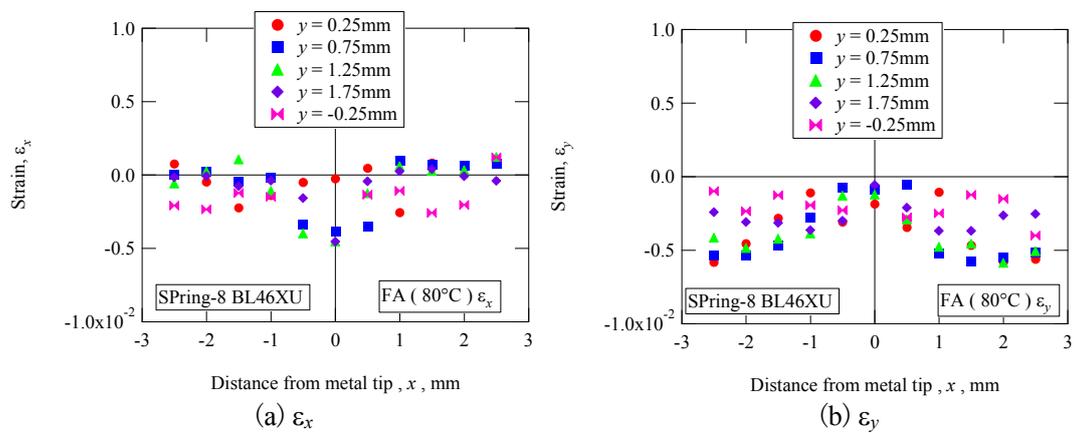


図 7. 80°C における FA 材のひずみ

VA 材と FA 材のひずみを同一温度条件下で比較すると、ほぼ同じ値を示しており、疲労前と疲労最終期でひずみの分布に明瞭な差は見られない。

今後の課題：

金属インサート部品における熱ひずみは樹脂と金属の線膨張係数差を起因とし、高温で 0 に近づき、低温で絶対値は高くなると予測される。今回の測定で高温時にひずみが 0 に近づくことが実証されたため、今後は低温で測定することが課題である。そのためには、低温状態で X 線回折を行う実験系・設備が必要と考える。

参考文献：

- [1] K. Tanaka et al., *Journal of the Society of Materials Science, Japan*, Vol.63, No.7, pp.514-520 (2014).
- [2] 岩堀恵介 他, 平成 27 年度 SPring-8 産業新分野支援課題・一般課題(産業分野)実施報告書 (2015B), 2015B1898.