

金属インサートを持つ樹脂複合材料部品の内部応力分布測定 Measurement of Stress Distribution 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^b, 山田 大貴^b, 小原田 和也^b
Keisuke Iwahori^a, Keisuke Tanaka^b, Takahisa Shobu^c, Kenichi Shimizu^b, Daiki Yamada^b, Kazuya Oharada^b

^a(株)デンソー, ^b名城大学, ^c日本原子力研究開発機構

^aDENSO CORPORATION, ^bMeijo University, ^cJapan Atomic Energy Agency

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]。本研究では射出成形過程に発生するウェルド部近傍の初期ひずみ/応力を測定し、破壊における内部応力の役割を検討する。放射光を用いたひずみスキヤニング法により測定した結果、ウェルド部近傍では明瞭なひずみ分布を有することが明らかになった。

キーワード： 樹脂複合材料, ひずみスキヤニング法, 内部応力, 放射光

背景と研究目的：

メタルインサートを有する樹脂材料部品のウェルド部近傍について、ひずみ/応力分布の測定を行うことから、ウェルド部の破壊における内部応力の役割を検討する。樹脂材料は40wt%ガラス短繊維で強化したPPS樹脂であり、ステンレスのインサートを有するモデル部品である。試験片は次の4種類である。

- (1) 製作のままの試験片(V材),
- (2) その後アニール処理を施した試験片(VA材),
- (3) 冷熱サイクルを77サイクル繰り返した後の試験片(MA材),
- (4) 冷熱サイクルを160サイクル繰り返した試験片(FA材)

これらの4種類の試験片について、放射光を用いたひずみスキヤニング法によりひずみ分布の測定を行う。アニール処理、冷熱サイクル繰返しによるひずみ・応力の分布の変化を検討する。

実験：

試験片には金属を埋め込み射出成形したGFRP部品を用いる。母材はPPS樹脂で、強化繊維はガラス短繊維(40wt%)である。試験片形状と繊維配向予測図を図1に示す。試験片は背景に示した4種類を用いた。

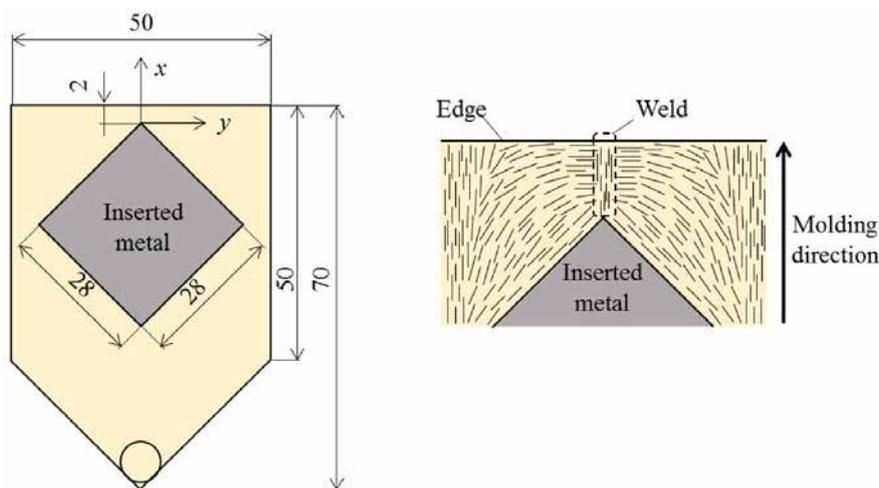


図1. 試験片形状と繊維配向

測定するための原点，座標軸の定義及び測定位置を図2 に示す．インサートメタルの頂点におけ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．試験片VAとFAのみz方向に $z=-1.5$ mm と $z=1.5$ mmでも測定を行った．以下， $z=0$ mmはcenter， $z=-1.5$ mmはfront， $z=1.5$ mmはbackと表記する．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．

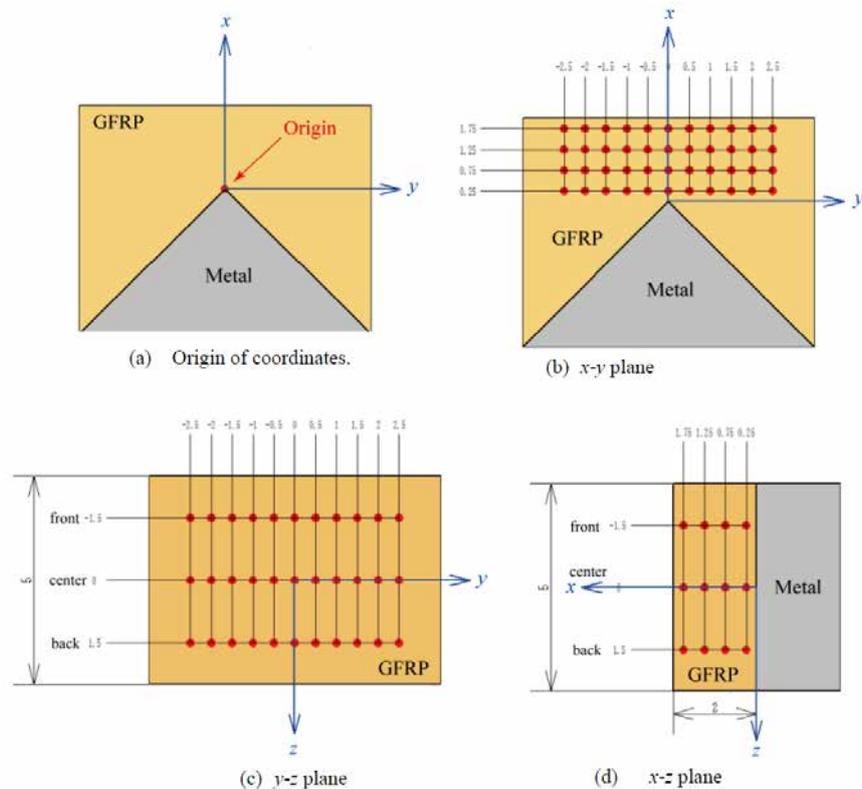


図2. 測定位置

次にX線測定条件を表1に示す．測定方向は上述の通りx方向とy方向とした．測定方法についてはウェルド部のx方向およびy方向のひずみ分布を，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

Measurement material	PPS
Energy level (keV)	20
Wave length (nm)	0.06199
Measurement method	Transmission strain scanning
DS-1 , h×w (mm)	0.1×0.5
RS-1 , h×w (mm)	0.1×2.0
RS-2 , h×w (mm)	0.1×2.0
Diffraction plane	111, 200
Diffraction angle $2\theta_0$ (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：

回折プロファイルの一例として、VAのy方向ひずみ($x=0.25\text{ mm}$, $y=0\text{ mm}$)における、200, 111を一つのピークとして、110のピークと波形分離し、Gaussフィッティングしたものを図3に示す。2θ角は8°程度の位置にありPPSの回折ピークは非常に低角であることがわかる。

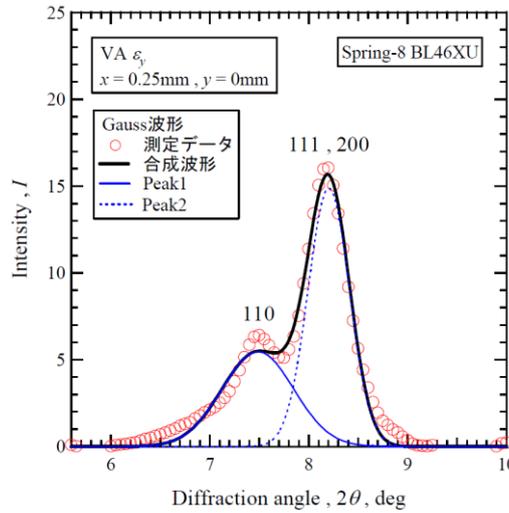


図3. 回折プロファイルの波形分離

試験片Vの厚さ中央($z=0\text{ mm}$)における格子面間隔の分布を図4に示す。(a)がy方向の格子面間隔、(b)がx方向の格子面間隔である。また、メタルインサートの先端から縦方向(x方向)の各位置 $x=0.25, 0.75, 1.25, 1.75\text{ mm}$ をパラメータとして示す。先端からウエルドラインに沿って離れるに従い極値は大きくの変化を示す。格子面間隔の横方向分布のいずれにおいてもウエルドライン($y=0\text{ mm}$)上で、 d_x は最大、 d_y は最小となっている。その極値は $x=0.25\text{ mm}$ より離れた位置の方が大きい。また、x位置による分布の変化はあまり明確ではないが、いずれも $x=0.25\text{ mm}$ の分布はなだらかである。

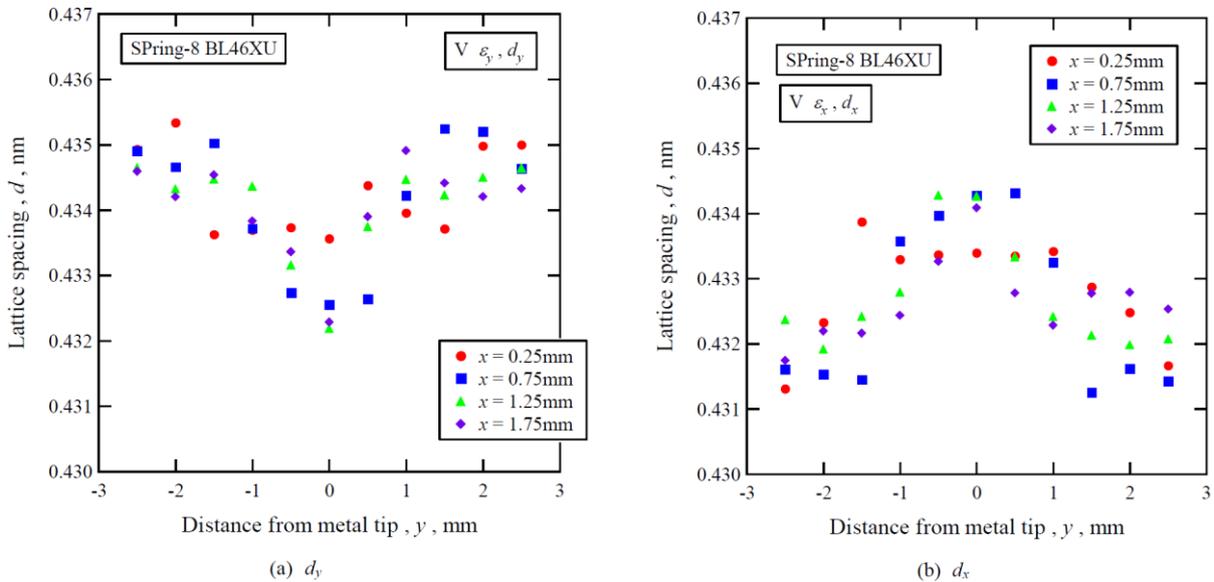


図4. 試験体Vの格子面間隔とy方向距離の関係

次に、試験片V, VA, MA, FAの板厚中央($z=0\text{ mm}$)における $x=0.25\text{ mm}$ 位置での分布の比較を図5に示す。(a)がy方向の格子面間隔、(b)がx方向の格子面間隔である。試験片による差異は明確ではないため、アニールや冷熱サイクルによるひずみの変化は少ないものと考えられる。

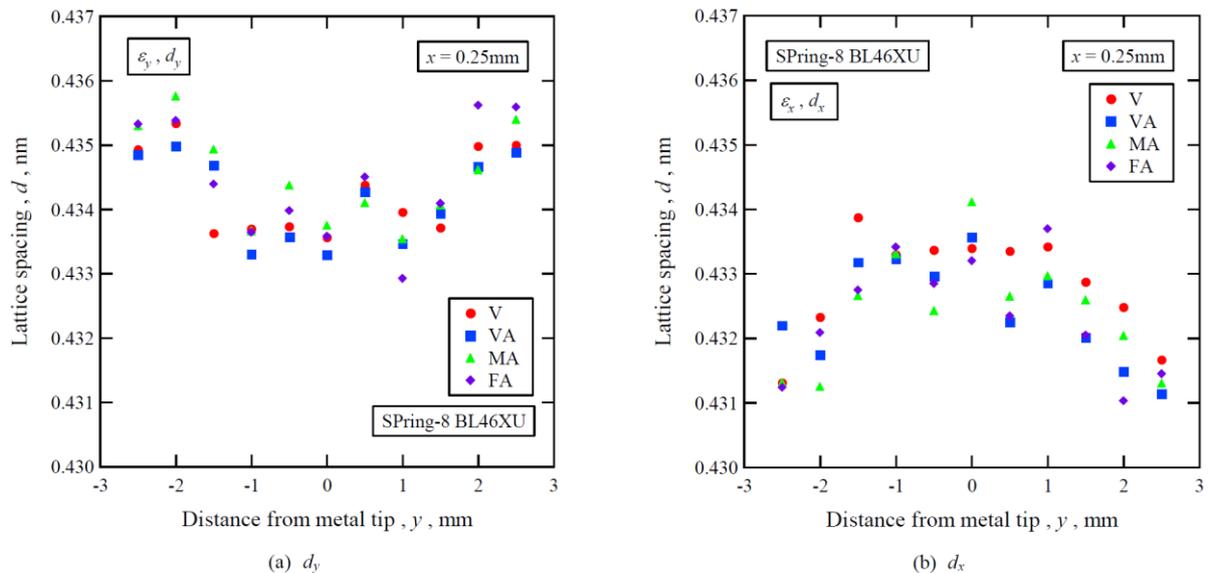


図5. インサートメタル先端から $x=0.25$ mmにおける格子面間隔と y 方向距離の関係

今後の課題：

- (1) 今回測定した試験片の表面応力分布を反射法・側傾法による $\sin 2\psi$ 法で測定する。測定値とひずみスキャンニング(透過法)による評価値と比較し、残留応力分布の3次元分布を明らかにする。
- (2) 今回測定した試験片のウェルド近傍の繊維配向分布、き裂の有無を観察し、残留応力分布との関係を検討する。残留応力評価法の高精度化をはかる。
- (3) 母相の内部応力がFRPの破壊強度を支配しているかどうかを検討する。繊維配向の明らかなFRP平板試験片に負荷応力を加えながら、放射光によるその場測定を行い、母相の内部応力とFRPの破壊との関係を検討する。
- (4) 今回測定したメタルインサート部品に冷熱サイクル中の内部応力のその場測定を行う。
- (5) CTEミスマッチに起因するマイクロ残留応力の予測法の開発を行う。繊維および母材のCTEを基に、一方向配向したFRPのマイクロメカニクス理論解析を行う。
- (6) 繊維配向の方位テンソル(orientation tensor)の分布の計測をもとに、繊維配向分布を考慮したFRPのCTEおよびマイクロ残留応力の理論解析に展開する。理論予測をFRPのCTE実測値およびX線測定値と比較する。

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).