

樹脂/金属接合体における内部応力

Distributed Thermal Stresses in Vicinity of interface Edges on Resin to Metal joint

鈴木雅人¹⁾, 梶将季¹⁾
指導教員 立野昌義²⁾

1) 工学院大学大学院 工学研究科機械工学専攻
2) 工学院大学 工学部機械工学科

キーワード：異種材料接合, 接合界面, 残留応力

1. 緒言

樹脂材料は、比較的加工が容易であり、形状設定の自由度が高く、軽量であるが、その反面強度が金属材料に比較して相対的に低いため、単一材料としての使用範囲に限られる傾向にある。そのため、高機能を有しかつ機械的特性の優れた金属材料と樹脂とを接合させ、両材料の長所を活用するような異種材料接合体の開発が進められている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

冷却過程において樹脂と金属との接合体応力は樹脂の硬化過程の変形および力学的特性の変化に関係する可能性が高いことから、樹脂/金属接合材料および構造では、材料や形状が不連続のため接着界面端部において応力集中が生じ、接合部のはく離やき裂を招くことが予想される⁽²⁾⁽³⁾。このため樹脂/金属接合構造の強度の評価では接合体内部応力の分布ならびに特徴を十分把握しておく必要がある。しかしながら、接着界面端での応力集中は、微小な領域とされることから、樹脂/金属接合構造における応力状態を実際に測定することが困難であると予想される。本研究では異材接合構造として平面ひずみ状態を想定した PPS 樹脂とアルミニウム接合体モデルを対象とし樹脂の硬化過程に生ずる応力を有限要素法による熱応力解析により求め、構成材料の体積収縮と応力分布の変化の様子を明確にすることを試みる。

2. 数値解析方法（有限要素解析）

有限要素法解析を用いて樹脂/金属接合体のモデルから内部応力の把握を目的として、熱弾塑性解析を行う。

2.1 有限要素解析モデル

本解析に用いる異種材料接合体モデルを Fig. 1 に示す。本モデルは平面ひずみ状態とし、樹脂は PPS 樹脂、金属にはアルミニウムを用いた異材接合体を想定している。中心線を対称軸とした 1/2 モデルとし、界面から充分離れた領域の接合体形状の影響は無視するものとする。アルミニウムおよび PPS 樹脂

側の自由表面と界面とのなす角度をそれぞれ $\phi_1=90^\circ$, $\phi_2=90^\circ$ としたモデルの界面長さ W を基準として、異材接合体を構成する樹脂と金属側の自由表面長さを $W=W_P=W_M$ となるように設定した。

2.2 解析条件

均質等方性材料でかつ無応力・無ひずみ状態の種材料接合体が樹脂の硬化過程において接合界面で完全に結合されたモデルと想定し、高温から一様に室温まで温度変化したと仮定している。異材接合体界面端は弾性理論上からは応力の特異場⁽²⁾となるため、解析精度を確保するためには、界面端の要素分割を細かく設定し、要素数を増大させる必要がある。このため、半径方向に分割する隣り合う要素寸法値を 1:0.7 に設定し、20 分割した。その結果、最小寸法を $r/W=3.422 \times 10^{-4}$ になった。周方向の要素は 9° 毎に分割した。

今回の熱弾塑性解析ではアルミニウムと PPS 樹脂両材料を弾塑性材料と仮定し、Table.1 のような材料定数を扱った。⁽⁴⁾⁽⁵⁾

3. 解析結果と考察

樹脂金属接合体の応力分布 σ_x の代表例を Fig. 2 および Fig. 3 に示す。Fig. 2 は解析モデルにおける応力 σ_x 分布を示し、アルミニウムの自由表面側には全体的に引張り、樹脂側の自由表面側には広範囲に圧縮の残留応力が発生している。界面端で応力集中が生じていることから、Fig. 3 に樹脂と金属の界面端自由表面上の節点から出力される熱応力 σ_x の分布を示した。界面端部近傍における PPS 樹脂とアルミニウムの熱応力はどちらも引張り応力となり、界面に近づくにつれ応力は上昇する傾向がある。

この結果解析結果から、樹脂/アルミニウム接合材料を引張り試験にて強度の評価を行う場合、金属

側からの破壊することは考え難く，破壊は樹脂または樹脂と界面からの剥離が進展するものと考えられる。

4. 結言

熱弾塑性解析から樹脂/金属接合体モデルでは接合処理時の温度変化から界面に残留応力が発生し，樹脂と金属で応力差が発生する．界面での両材の変形量を把握し，応力分布との対応関係を明確にした．界面端における両材料の自由表面上の熱応力分布は不連続となり，この場合の破壊様式の予測について考察を行った．

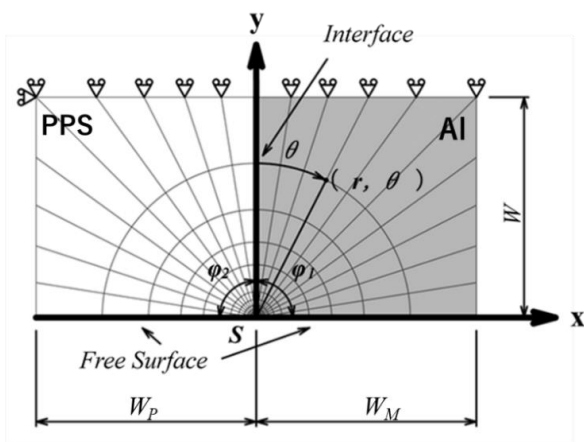


Fig. 1 熱弾塑性解析モデル

Table. 1 熱弾塑性解析での材料定数

温度[°C]	アルミニウム			PPS樹脂		
	ヤング率 E [GPa]	熱膨張係数 α [$\times 10^{-6}/K$]	降伏応力 [MPa]	ヤング率 E [GPa]	熱膨張係数 α [$\times 10^{-6}/K$]	降伏応力 [MPa]
20	68.6	24.0	143.0	2.1	58	59
50	67.5			2.0		49
100	67.0	23.6	151.0	1.0		13
150	62.5		167.5	0.2	12	1.5
200	60.0	24.7	158.0	0.1		

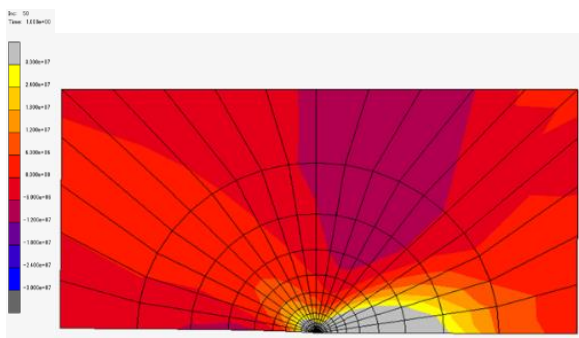


Fig. 2 応力の分布
(PPS樹脂90°，アルミニウム90°)

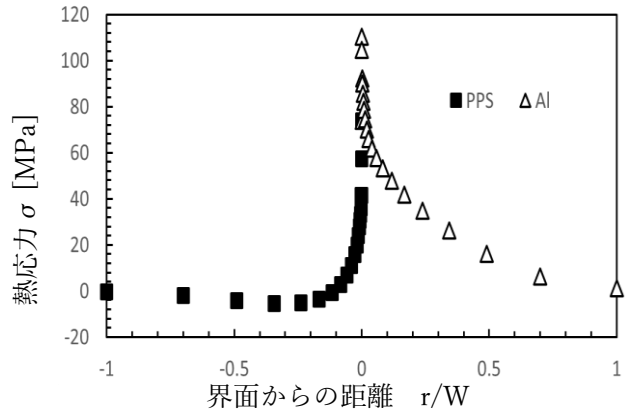


Fig. 3 熱弾塑性解析結果
(PPS樹脂90°，アルミニウム90°)

5. 参考文献

- (1)板橋雅巳, "金属と樹脂の直接接合を可能にしたナノモルディングテクノロジー(NMT)", 表面技術, Vol. 66, No. 8, pp. 23-26(2015)
- (2)井上忠信, 久保司朗, "異材界面端の熱応力場材料" vol. 48 No. 4, pp. 365-375(1999)
- (3)土田紀之, 井上忠信, "様々な金属材料を用いた断続引張試験と Bridgman の式による破断直前までの真の応力-ひずみ関係の推算" vol. 76, No. 10, pp. 579-586(2012)
- (4)J. Gilbert Kaufman, "PROPERTIES OF ALUMINUM ALLOYS" PP. 8-10(1999)
- (5) Bourgogne, Q. C. P., Bouchart, V., Chevrier, P. et al. "Influence of temperature and cooling liquid immersion on the mechanical behavior of a PPS composite: experimental study and constitutive equations" SN Appl. Sci. Vol. 2, No. 368, pp. 1-7 (2020). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2160-2>