

# 三次元異方性異種材接合角部の特異応力場解析

鹿児島大学大学院 理工学研究科 機械工学専攻 修士課程 2年 古賀裕二

## 1. 緒言

近年、携帯電話などの電子機器に組み込まれる電子デバイスなどの小型化が実現されている。これらは多種多様な性質の材料を小さな範囲に積層する技術により達成されているが、性質の異なる材料同士の接合角部には材料定数の違いにより特異的な応力集中が生じ、破壊の起点となり得る。田口らにおいて、有限要素法解析を用いて三次元接合角部の特性応力場の固有値解析を行い、*H-integral*法を用いて応力の漸近解を求める方法を提案した<sup>(1)</sup>。しかしこの手法は機械的荷重下での解析のみであり、三次元接合角部の典型的な形状に対応していない。そこで本研究では、三次元接合角部の特異応力場解析での形状の制限をなくすとともに、熱応力下での解析を行った。

## 2. 解析理論

論文に記載しているため割愛。

## 3. 解析結果

解析モデルとして図 1 に示すような接合体に一様温度 100°Cを加えた場合の接合角部(singular point)の漸近解の解析を行った。図 1 中の材料 1 として立方晶系材料である Si, 材料 2 として六方晶系材料である ZnO を考えた。固有値分解の結果として求めた特異性固有値を表 1 に、*H-integral*によって求めたスカラーパラメーターを表 2 にそれぞれ示す。  $0 < \lambda_m < 1$  の範囲で値の小さいものから順に  $m = I, II, III, \dots$  と番号付けをし、スカラーパラメーター  $C_m$  も特異性固有値に対応するように  $m = I, II, III, \dots$  と番号付けを行っている。特異性固有値には、  $-2 < \lambda_m^* < -1$  の範囲のものも示した。表 1 に示すように  $\lambda$  が固有値のとき、  $-\lambda - 1$  も固有値であることがわかる。これらの解析値は、固有値解析のための有限要素数と *H-integral* のための積分要素数が 2000 のものであり、正規化の式では  $\gamma = 0.001$  としている。また、*H-integral* の積分半径は最小メッシュサイズの 10 倍程度である  $r = 0.015$  mm とした。図 1 中の  $\theta = 3\pi/4, \phi = 5\pi/4$  の位置でのスカラーパラメーターより求められる漸近解と FEM 結果を図 2 に示す。図 2 より、特異点に非常に近いところでは FEM 結果が誤差を含むので一致しなくなるということを除けば、漸近解と FEM 結果が多少の誤差が見られるものの比較的一致しているといえる。この誤差は定常項の影響などの問題で生じているのではないかと考えられる。

## 4. 結言

本研究では Pageau らによる有限要素法解析の手法<sup>(2)</sup>を用いることで異種材接合角部の三次元角部での特異性固有値の解析を行った。さらに Williams の固有値展開法と Pageau らによる有限要素法解析の手法を組み合わせる *H-integral* を行い、スカラーパラメーターの計算を行った。

三次元熱応力問題に *H-integral* を拡張し解析を行ったが、

漸近解と FEM 結果には多少の誤差が見られた。

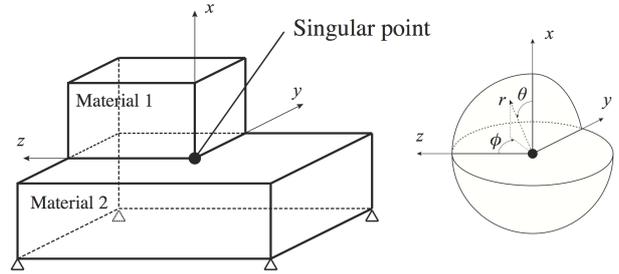


Fig.1 Schematic of an analysis model.

Table 1 Obtained singular eigenvalues (FE Elements = 2000).

	$\lambda_I$	$\lambda_{II}$	$\lambda_{III}$
Eigenvalues	0.4211	0.7311	0.8379
	$\lambda_I^*$	$\lambda_{II}^*$	$\lambda_{III}^*$
	-1.4211	-1.7311	-1.8379

Table 2 Obtained scalar parameters (*H-integral* meshes = 2000).

	$C_I$	$C_{II}$	$C_{III}$
Scalar parameter	0.0384	0.0863	-0.0567

Table 3 Integrated values (*H-integral* meshes = 2000).

	$l=I, m=II$	$l=I, m=III$	$l=II, m=I$
Meshes	$1.354 \times 10^{-8}$	$1.265 \times 10^{-6}$	$8.429 \times 10^{-9}$
2000	$2.482 \times 10^{-7}$	$1.463 \times 10^{-7}$	$1.502 \times 10^{-7}$

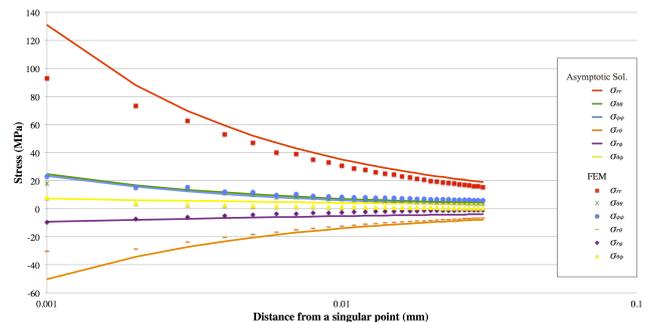


Fig.2 Distributions of stress at  $\theta = 3\pi/4, \phi = 5\pi/4$  with the distance from a singular point (*H-integral* meshes = 2000).

## 参考文献

- 1) Ikeda T., Taguchi Y., Miyazaki N., Analysis of scholar parameters at three dimensional jointed corners among anisotropic dissimilar materials using the *H-integral*, *Proceedings of JSME M&M conference 2013*, (2013), OS0101.
- 2) S.S. Pageau, S.B. Biggers Jr., Finite element evaluation of free-edge singular stress fields in anisotropic materials, *Int. J. Numer. Methods Eng.*, Vol. 38 (1995) pp. 2225-2239.