1206 三次元三層異材接合体の界面角部における特異応力場の評価

Evaluation of The Singular Stress Field at The Vertex in Three-Dimensional Three-Layered Bonded Joints

○ 中島 正人 (長岡技科大院)

正 古口 日出男 (長岡技科大)

Masato NAKAJIMA, Graduate School of Nagaoka University of Technology, 1603-1 Kamitomiokamachi, Nagaoka, Niigata

Hideo KOGUCHI, Nagaoka University of Technology, 1603-1 Kamitomiokamachi, Nagaoka, Niigata

Key Words : Stress Singularity, Interface, Bonding Strength, Boundary Element Method, Interlayer, External Load

1. 緒 言

電子デバイスの高性能化が進み, CSP (Chip Size Package) や, これを積層化した Stacked-CSP 等の高密度パッケージが現在よく用いられている. CSP などの接着接合体では, 接着層と被着材の材料物性の違いから接合界面角部において特異応力場が生じる. この特異応力場がパッケージを破損させる原因として問題視されており, 関連する研究はますます重要となってきた. 近年は携帯電子機器の小型化も進み, パッケージの接着層厚みも薄くなる傾向にあるが, 接着層の厚みが特異応力場に与える影響についてはまだあまり知られていない.

そこで本研究では, CSP を想定したシリコン (Si) と基板 (FR-4.5) を封止樹脂 (Resin) で接着したモデルに対し外力を与え, 界面角部での特異応力場の挙動を明らかにするために境界要素法を用いた応力解析を行う. そして接着層の厚みが特異応力場に与える影響を明らかにするために, 接着層厚みの異なる接合体モデルにおける特異応力場の強さを調べる.

2. 三次元境界要素法

三次元異材接合体内における任意の点の変位は, 次の境界積分方程式より求めることができる.

$$u_i(p) = \int_{\Gamma} \{U_{ij}(p, Q)t_j(Q) - T_{ij}(p, Q)u_j(Q)\} dS(Q) \quad (1)$$

ここで, p は領域の内点, Q は境界上のソース点, U_{ij} と T_{ij} は変位と作用力の基本解, t_j と u_j は作用力ベクトルと変位ベクトルである. 内点の応力は, 内点のひずみを次式で求め, Hooke 則に式を代入することにより求める.

$$u_{i,k}(P) = \int_{\Gamma} \{U_{ij,k}(P, Q)t_j(Q) - T_{ij,k}(P, Q)u_j(Q)\} dS(Q) \quad (2)$$

ここで, $U_{ij,k}$ と $T_{ij,k}$ は着点 P における変位と表面力の基本解の微分である. 本研究では, 基本解に Rongved の二相体の解^[1]を使用し, 領域解法を用いて三層体の解析を行った.

3. 三次元異材接合体の特異場解析

3.1 解析モデルおよび解析条件

本研究では, 厚さ

10mm の Si と FR-4.5 を Resin により接合した三層弾性体のモデルを想定した (図 1). 解析は接合体形状の対称性を考慮し 4 分の 1 モデルで行った. 解析では, Resin の厚み t を 0.002 ~ 100mm まで, 14 種類 ($t=0.002, 0.004, 0.01, 0.025, 0.1, 0.2, 0.4, 1, 2, 4, 10, 20, 40, 100$ mm) 変えた. そして, Si の上底面に外力として $\sigma_0=1$ MPa を与えた際の, Si-Resin, Resin-FR-4.5 の各界面における特異応力場の応力分布を境界要素法により求めた. 解析には, 各界面角部を原点 (O_1, O_2) とする球座標系を用いている. また, 解析に用いた物性値は表 1 に示す通りである.

3.2 解析結果及び考察 特異応力場の応力分布を前述した境界要素法により求めた. まず初めに, Resin 厚みが $t=0.1$ mm のモデルで, Si-Resin 界面上での $r=0.001$ mm における, θ 方向で連続な応力成分 $\sigma_{\theta\theta}$, $\sigma_{r\theta}$, $\sigma_{\phi\theta}$ の, 角度 ϕ に対する分布を Fig.2 に示す. 次に, この三つの応力成分の r

Fig.1 A model of bonded structures and spherical coordinate system used in the analysis

Table 1 Material properties

Material	Silicon	Resin	FR-4.5
Young's modulus, GPa	166	2.74	15.34
Poisson's ratio	0.26	0.38	0.15

方向に対する分布を調べる. $\sigma_{\theta\theta}$, $\sigma_{r\theta}$ は $\phi=45^\circ$, $\sigma_{\phi\theta}$ は図2よりわかる様に $\phi=45^\circ$ で値は0となるため, $\phi=30^\circ$ の分布を調べた. 一例として, 各 Resin 厚みにおける Si-Resin 界面での $\sigma_{\theta\theta}$ の無次元距離 r/t に対する分布を図3に示す. これより, 界面に垂直な応力 $\sigma_{\theta\theta}$ は, Resin 厚みが厚くなるに伴い小さくなるのがわかる.

三次元異材接合体の特異応力場は, 特異点からの距離を無次元距離 r/t とすると, 次式で表されることがこれまでの研究により明らかにされている^[2].

$$\sigma_{ij}\left(\frac{r}{t}, \theta, \phi\right) = K'_{ij} f_{ij}(\theta, \phi) \left(\frac{r}{t}\right)^{-\lambda_{vertex}} + K'_{2ij} f_{2ij}(\theta, \phi) + \sum_{k=3}^N K'_{kij} f_{kij}(\theta, \phi) \left\{ \ln\left(\frac{r}{t}\right) \right\}^{k-2} \quad (3)$$

さらに, 式の係数を r 方向の特異性のみの関数にするため, 次式の様に Resin 厚み t の項を係数に含ませる.

$$\sigma_{ij}\left(\frac{r}{t}, \theta, \phi\right) = K_{ij} f_{ij}(\theta, \phi) r^{-\lambda_{vertex}} + K_{2ij} f_{2ij}(\theta, \phi) + \sum_{k=3}^N K_{kij} f_{kij}(\theta, \phi) (\ln r)^{k-2} \quad (4)$$

ここで, K_{ij} は r 方向の特異応力場の強さを示す係数, f_{ij} は角度依存関数, λ_{vertex} は角部での特異性オーダーを表している. N は特異性オーダーの数である. 特異性オーダーは, Si-Resin 接合体で 0.395, Resin-FR-4.5 接合体で 0.219 である. この(4)式の第一項の係数により, 特異応力場を評価する.

境界要素法により得られた各界面上の r 方向の各応力成分の分布(図3)を, (4)式を用いて最小二乗法近似し, 式中の係数 K_{ij} を求めた. 図4に各界面の特異応力場の強さ K_{ij} の Resin 厚み t に対する分布を示す.

図4より, K_{ij} は各応力成分ではほぼ同様の傾向を示し, Resin 厚みが厚い程その値は大きく, $K_{1\theta\theta}$, $K_{1r\theta}$, $K_{1\phi\theta}$ の順に値は小さくなるのがわかる. また, およそ $t=20\text{mm}$ のと

ころから各値は一定となっている. これは, Resin の厚みがモデルの横幅以上になると, Resin 厚みが特異応力場に影響を及ぼさなくなるということを示している.

4. 結 論

Si, Resin, FR-4.5 からなる三次元三層接合体の Resin 厚を変えて, 界面角部の応力分布を境界要素法により詳細に調べた. 特異応力場の強さは接着層厚みが厚い程大きくなる傾向を示し, 厚みがモデルの横幅以上になると, 特異応力場に影響を及ぼさなくなるということがわかった.

文 献

- [1] Rongved, 1995, "Force Interior to One of Two Jointed Semi-Infinite Solid", L., Proceedings Second Midwestern Conference on Solid Mechanics, pp.1-13.
- [2] 古口日出男, 山口昌朗, 皆木健一, P. Monchai, "二相横等方性弾性体の基本解を用いた三次元境界要素法による三次元接合体角部の特異応力場の解析", 2003, 機論, 69-679A, pp.585-593.

Fig.3 Distributions of stress $\sigma_{\theta\theta}$ for each thickness of resin t against r/t at $\phi=45^\circ$ on Si-Resin interface

Fig.2 Distributions of stress σ_{ij} for thickness of resin $t=0.1\text{mm}$ against angle ϕ at $r=0.001\text{mm}$ on Si-Resin interface

Fig.4 Intensity of singularity K_{ij} against thickness of resin t for each bonded interface