

CAEを用いたプリント基板上的のはんだクラックの解析

Analysis of solder crack on printed circuit board using CAE

技術開発部 工業材料科 工藤弘行 矢内誠人
 応募企業 日本ケミコン (株)

CAEを用いることで実験に比べて短時間で効率的に、はんだ接合部の耐久性評価や基板設計上の指針を得る手法を検討した。実製品のはんだ接合部の断面写真の代表寸法を測定した上で統計的な整理を行い、設計パラメータの水準を決定することで、整合性のあるCAEモデルを作成し、各種要因の影響を評価する手法を見出すことができた

Key words: はんだ接合部、耐久性評価、CAE、Coffin-Manson 則

1. 緒言

温度サイクルに晒される電子基板で最も典型的な不良現象は、熱膨張・熱収縮によって生じる熱応力をきっかけとした、はんだ接合部の熱疲労破壊である。はんだ形状は個体差が大きく、形状が寿命に与える影響も大きいため、はんだ形状の影響も含めて電子基板の耐久性を実験的に評価するには、多くのサンプルと長い時間を要し、非効率である。

そこで、本研究では、CAEを活用して、はんだクラックの発生に関する解析を行い、実験に比べ短時間で効率的に設計変更の指針を得ることを目的とした。具体的には、はんだ部のCAE解析で課題となるCADモデリング、要素分割、解析条件設定、結果評価手法について検討した。また、当所が過去に実施した電子デバイスの信頼性評価の研究¹⁾の成果を活用し、Coffin-Manson 則による寿命予測を試みた。

2. 実験

2. 1. はんだ部の断面写真計測

はんだ形状の影響を調べるための基本情報として、画像処理ソフト WinR00F2015 を使用して、提案企業が撮影した16サンプルのはんだ断面写真から、はんだ形状や配置に関する代表寸法を計測した。図1に測定した代表寸法の模式図を示す。

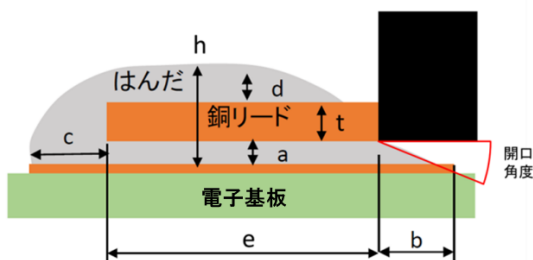


図1 はんだ形状の代表寸法模式図

2. 2. CAE解析モデル作成

有限要素解析で高精度の計算を行うためには十分細かい要素分割をするのが理想であるが、計算時間が長くなる。そこで、本研究では破断に関わる部分の要素のみ統一的な条件で細かく分割し、それ以外は粗く分割する方針とした。この前提として、はんだ形状を単純形状でモデリングすることとした。

図2に標準形状モデルを示す。図中、橙色の部分のはんだである。このモデルでは、円柱形状を基本に、端部にフィレット形成した後に、基板や銅板などと重複する部分を削除し、残った部分をはんだとした。

図3に疑似断面モデルを示す。このモデルは断面観察で得られた寸法により忠実にモデル作成することを意図したもので、観察面を奥行き方向に押出した構造とした。

図4に標準形状モデルの要素分割図を、図5に疑似断面モデルの要素分割拡大図を示す。今回ののはんだ部では、銅リードの下で破断することが分かっており、この部分を最低でも2分割するため、要素サイズを20[μm]に設定した。

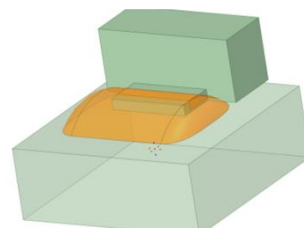


図2 標準形状モデル

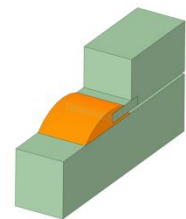


図3 疑似断面モデル

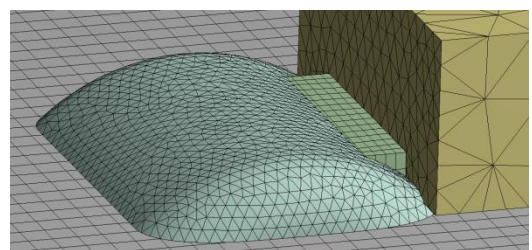


図4 標準形状モデルの要素分割図

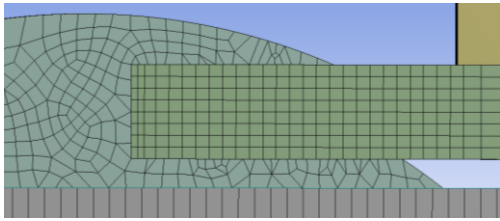


図5 疑似断面モデルの要素分割拡大図

2. 3. CAE解析条件設定

はんだ部に生じる熱応力は、その周辺の実装部品や電子基板の熱膨張をきっかけとするため、精度の高い計算を行うには周辺の構造も含めた計算が必要であるが、計算コストが高い。

そこで、本研究ではマルチスケールCAE手法を用いた。この手法は、はじめにマクロスケールCAEで大まかな計算を行い、その結果を詳細なモデリングを行ったミクロスケールCAEに受け渡して計算するものである。図6はその概念図を示したものであるが、本研究で使用するCAEソフトANSYS Mechanicalでは、図示するように、2つの解析を2つの表として表現し、各行を線でつなぐだけで容易にデータの共有や結果の転送が可能である。

本研究では、マクロスケール解析で低温側 30[°C]、高温側 130[°C]の温度サイクルの計算を行い、ミクロスケール解析は 30[°C]から 130[°C]への昇温過程の計算を行った。本報告ではミクロスケール解析の単一はんだモデルの結果のみ記載する。

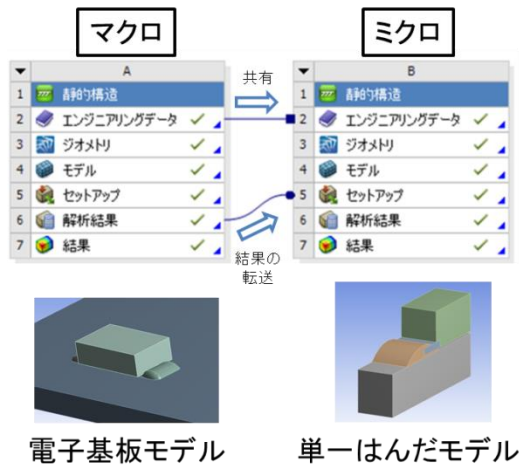


図6 マルチスケール解析の概念図

3. 結果及び考察

3. 1. 断面写真測定結果

断面写真測定の代表的な結果として、図7、図8にサンプル番号「No. 10」、「No. 12」の測定結果画面を示す。このうち、「No. 12」は、ポイドが存在する上、研磨による影響か、はんだ形状が大きく乱れており、異

常値として除外すべきと思われる。

異常値の判断の参考とするため、計測した16サンプルの代表寸法の測定値の平均値、標準偏差 σ 、変動率(標準偏差/平均値)を求めた。平均値 $\pm 2\sigma$ の範囲外にあるデータを異常値として除外した後に平均値、標準偏差を再計算した。計測結果を表1に示す。

CAEでは要因の影響を検証する場合に、ある程度、変化幅が大きいほど明確な差が得られやすい。一方、実形状のばらつき具合を反映した現実的な評価という観点も重要である。本研究では、両者のバランスをとり、変化幅を 2σ とし、平均値 -2σ 、平均値、平均値 $+2\sigma$ を3水準として、要因の影響度を調査する際の基準として選定した。

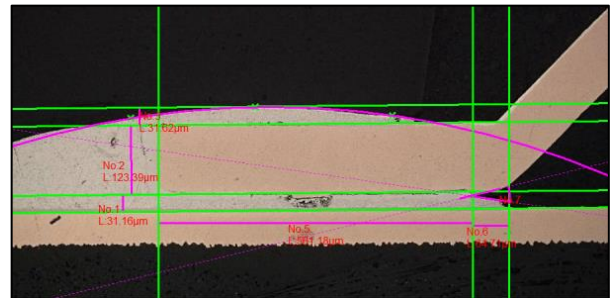


図7 サンプル「No. 10」の測定結果

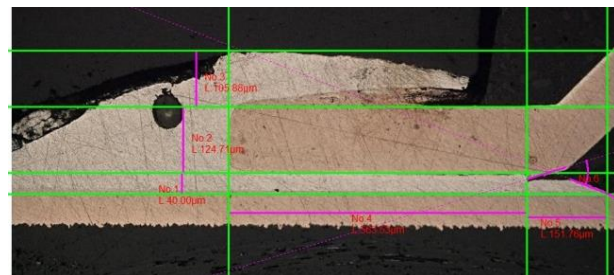


図8 サンプル「No. 12」の測定結果

表1 はんだ代表寸法測定結果

| 長さ測定箇所 | 水準2 | 標準偏差 σ | 変動率 | 水準1 | 水準3 |
|---------------|---------------|---------------|-------|---------------|---------------|
| | 平均値 | | | 平均 -2σ | 平均 $+2\sigma$ |
| | μm | μm | | μm | μm |
| n)全高さ | 184.4 | 18.6 | 10.1% | 147.3 | 221.5 |
| a)リード下 | 32.7 | 4.0 | 12.3% | 24.7 | 40.8 |
| b)リード板厚 | 121.6 | 2.6 | 2.2% | 116.4 | 126.8 |
| d)リード上部 | 38.4 | 5.1 | 13.4% | 28.2 | 48.7 |
| e)リード長さ | 567.0 | 8.1 | 1.4% | 550.7 | 583.2 |
| b)切欠き部長さ | 105.2 | 24.1 | 22.9% | 57.0 | 153.4 |
| c)リード左側長(予測値) | 521.0 | 18.7 | 3.6% | 483.6 | 558.3 |
| R1)曲率1 | 1.101 | 117 | 10.6% | 867 | 1336 |
| 角度測定箇所 | 平均値 | 標準偏差 σ | 変動率 | 平均 -2σ | 平均 $+2\sigma$ |
| | 度 | 度 | | 度 | 度 |
| 開口部 | 29.9 | 3.9 | 13.2% | 22.0 | 37.7 |

3. 2. CAE解析結果

図9に標準形状モデルの塑性ひずみ分布結果を示す。外周部角でひずみ最大となったが、本製品については、すでに破断位置が明確であることを踏まえ、実破断部を評価対象とした。3次元CAE解析では特定の断面を規定し2次元分布とした方が比較評価しやすいため、断面観察との照合のしやすさを考え、図10に示すよ

うにリードの側面近傍を仮想的に切断し、評価断面とした。この図から、ひずみ最大値は約 5200[$\mu \epsilon$] (0.0052) と読み取ることができる。

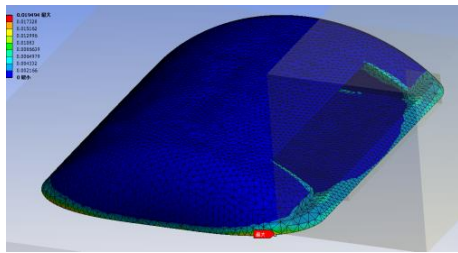


図9 塑性ひずみ分布図

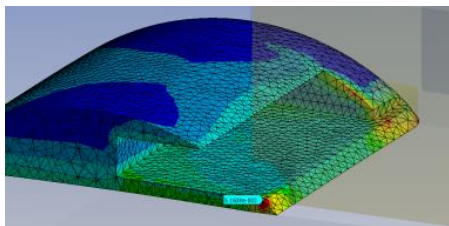


図10 評価断面の仮想切断図

次に、代表寸法の影響の調査例として、疑似断面モデルを用いて、図1中のa寸法（リード下のはんだ厚み）を、選定した3水準である 24.7[μm]、32.7[μm]、40.8[μm]と変化させた場合の解析例を示す。図11は、水準2にあたるa寸法32.7[μm]の場合の塑性ひずみ分布である。開口部や角部など複数の部位で高いひずみが発生した。

本研究では、寿命則として Coffin-Manson 則を用いるが、有限要素解析に応用する場合は、要素単位で評価するのが適切である。そこで、要素単位で最大となる部位を探索した。

図12はひずみ最大となった開口部の拡大図であるが、要素の4点の平均値でひずみを評価した。他の2水準でも同様に同じ位置が最大であった。

3水準のCAE結果から、最大点のひずみを算出し、Coffin-Manson 則により寿命予測を行った結果を表2に示した。本研究では、2 σ 区間を基準とした水準を定めたことから、約95%のはんだ部の寿命は予想された寿命の範囲に存在すると判断できる。

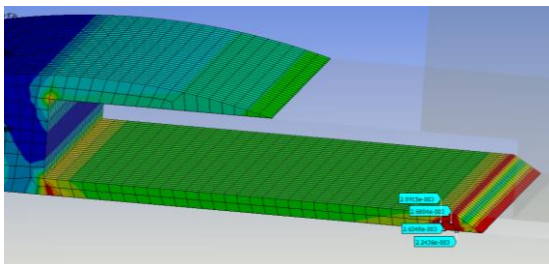


図11 水準2の場合の塑性ひずみ分布図

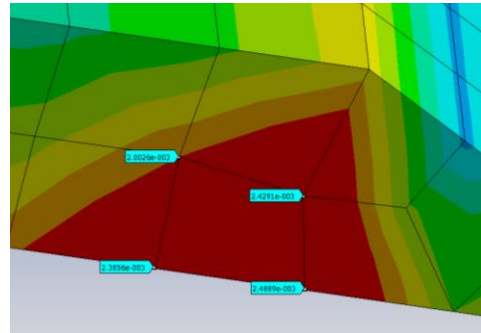


図12 開口部のひずみ分布拡大図

表2 a寸法の影響度の検証

| | a寸法 (μm) | 最大ひずみ | 寿命予測 サイクル数 |
|-----|--------------------|---------|---------------|
| 水準1 | 24.7 | 0.00241 | 5831 |
| 水準2 | 32.7 | 0.00233 | 6099 |
| 水準3 | 40.8 | 0.00212 | 6841 |

4. 結言

本研究では、CAE を用いることで実験に比べて短時間ではんだ接合部の耐久性評価や基板設計上の指針を得ることを目的に、断面観察、CAE 解析を行い、以下の結果が得られた。

- ① 多数のはんだ部断面写真から、はんだ寸法及び位置などの特徴寸法を測定し、統計的な扱いをすることで特徴寸法に関して、3水準の設計値を求めた。
- ② ミクロスケールモデルとして、単一はんだモデルのCAE解析を行い、断面観察と同一視野の評価断面を用いることにより、実際の破断状況と同一ポイントのひずみで負荷レベルを定量評価することが可能となった。
- ③ 3水準の設計値を用いた解析から、Coffin-Manson 則による寿命予測を行い、特徴寸法が寿命に及ぼす影響を定量的に評価できることを確認した。

参考文献

- 1) 矢内誠人, 鈴木雅千, 工藤弘行. CAE による電子デバイスの信頼性評価手法の確立. 平成27年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告, (2016), p. 55-58.