

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26630006

研究課題名(和文) 傾斜物性値を有する多層粘着剤を用いた接合部の耐衝撃性向上

研究課題名(英文) Improvement of impact strength of joints bonded with multi-layered property-graded pressure sensitive adhesive

研究代表者

佐藤 千明 (SATO, CHIAKI)

東京工業大学・科学技術創成研究院・准教授

研究者番号：80235366

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：粘着剤による接合部の強度および耐衝撃性を向上させるため、厚さ方向にその物性値を最適に傾斜させた多層粘着剤の特性を実験的に調べた。具体的には、中心部に強度の比較的高い高弾性率層を配置し、これを初期タック力が良好な低弾性率層で両面から挟み込み、接着力と保持力の両立を図った。この時、高弾性率層と低弾性率層の良好な相溶性が全体の強度を決定するため、厚さ方向の物性値分布が重要となる。本研究では、有限要素解析を用いて最適な物性値分布を求めると共に、これを実際に試作し、衝撃試験を行い、その効果を確認した。さらに、中心部の高弾性率層にナノバブルを封入し衝撃強度の向上が可能か実験的に確認した。

研究成果の概要(英文)：To improve the strength and impact resistance of joints, the properties of the multilayer pressure-sensitive adhesive whose physical properties were optimally graded in the thickness direction were experimentally investigated. Specifically, a high elastic modulus layer with relatively high strength was placed in the center, and this was sandwiched at both sides with low elastic modulus layers having high initial tack to achieve both adhesive strength and holding power. Since the good compatibility between the high modulus layer and the low modulus layers determines the overall strength, the distribution of characteristics in the thickness direction is important. In this study, the distribution of optimum physical property was tried to obtain by finite element analysis, and specimens were fabricated, and the impact tests was conducted to confirm the effect. It was not verified that the impact strength of the joints can be improved by encapsulating nano bubbles.

研究分野：材料力学

キーワード：多層粘着剤 破壊じん性 DCB試験 結合力モデル Traction-Separation Rule キャビテーション

1. 研究開始当初の背景

両面粘着テープは、その利便性から、多くの製品の接合部に、ネジや接着剤の代わりに使用されており、その適用箇所も徐々に増加している。例えば、スマートフォンなどのモバイル機器を例にとると、液晶パネルや光学フィルムの接合に粘着剤が使用されており、またケース自体の固定にもダイカット両面粘着テープが使用されている。両面粘着テープの中でも、ディスプレイパネル用途には透明性が要求されるが、透明で高強度かつ十分に薄い製品が存在しないため、この製品群の登場が期待されていた。

しかし、初期タック性を上げるためには粘着剤を厚くするか、もしくは柔らかくする必要があり、薄くて強度の高い両面粘着テープの実現は難しいのが現状であった。さらに近年では、モバイル機器の床面への落下衝突など、両面粘着テープの接合部にも衝撃負荷の加わるケースが増えており、その耐衝撃性が問題になっている。このように、最先端のモバイル機器を技術的にサポートしてきた粘着剤技術ではあるが、高度化する要求に応えられなくなりつつある。したがって、何らかのブレークスルーが求められている。

粘着性を確保しつつ接合強度を向上させるには、中心部に高弾性率層を、また両側面に低弾性率層を配置した、物性値傾斜を有する多層構造の両面粘着テープが適していることを、申請者らは以前からの先導的研究で確認している。これは従来の多層構造両面粘着テープが、中心層にフォーム材などの低弾性率層を配置している事実と大きく異なる。したがって、厚さ方向の物性値傾斜には、まだ知られていない局所的最適解があるものと考えられた。

申請者らは以前から粘着剤接合部の衝撃試験を多数実施し、高い強度および靱性の発現が見られる場合は必ず気泡の発生、いわゆるキャビテーションが生じることを発見している。これは即ち、中心層内に微細なボイドの核が存在することを意味しており、ナノバブルを封入により、透明性を確保しつつ耐衝撃性が向上すると考えられた。

2. 研究の目的

粘着剤による接合部の強度および耐衝撃性を向上させるため、厚さ方向にその物性値を最適に傾斜させた多層粘着剤の開発すべく、その基礎的特性を測定することを目的とした。

具体的には、中心部に強度の比較的高い高弾性率層を配置し、これを初期タック力が良好な低弾性率層で両面から挟み込み、接着力と保持力の両立が可能かを確認することを目的の一つとした。また、この時、高弾性率層と低弾性率層の良好な相溶性が全体の強度を決定するため、厚さ方向の物性値分布が重要となる。本研究では、有限要素解析を用いて最適な物性値分布を求め、その効果を確認すると共に、中心部の高弾性率層にナノバブルを

封入し、衝撃負荷時にキャビテーションを誘発することにより、衝撃強度が向上するか否かを確認することも目的とした。

3. 研究の方法

まず、多層粘着剤を構成する単層粘着剤の粘着力および弾性率等の測定を実施し、最適な物性値傾斜の逆推定に供するデータを蓄積した。

先行研究において、Double Actuator Loaded (DAC) タイプの粘着力測定装置を試作しており、本実験にはこれを用いた。本装置では、混合モード曲げ試験が実施可能であり、かつ Digital Image Correlation (DIC) 法により、結合力モデルにおける Traction-Separation (T-S) rule を直接同定可能であるが、理論的不備のため、混合モードでの T-S rule を未だ決定できない。本研究では、この点を改善し、混合モードでのパラメータ同定を試みた。また、単層粘着剤の高速試験を行い、高ひずみ域での特性を測定した。

これらの単層粘着剤の粘着力および弾性率を基に最適な物性値傾斜の逆推定を実施した。具体的には、多層粘着剤の組成傾斜を仮定しその物性値分布をモデル化し、図1に示す打ち抜き試験（小片が穴付き板に粘着剤で接合されている）を実施すると共に、その衝撃試験を動的有限要素プログラム (LS-Dyna) で解析した。また、得られた情報を基に、多層粘着剤（分子勾配膜）の最適な物性傾斜を推定すると共に、この強度試験を実施し、逆推定の妥当性を検証した。

加えて、中心層へのナノバブルの混入による耐衝撃性の向上を実験的に確認した。

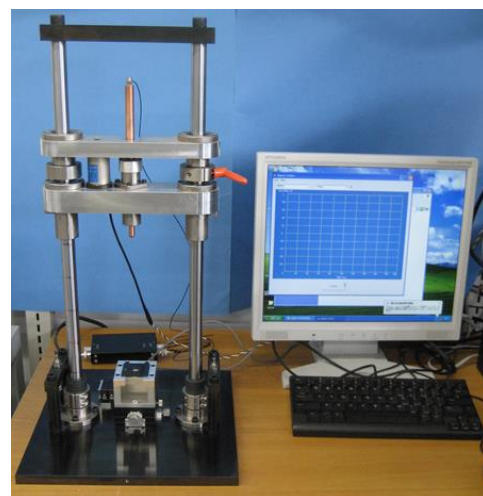
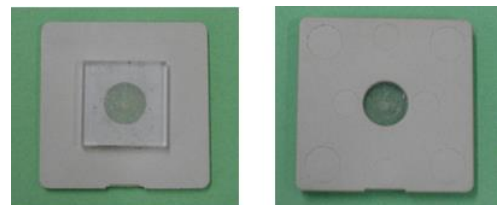


図1 打ち抜き試験片と試作した衝撃試験装置

4. 研究成果

単層膜の応力ひずみ線図は、その材質により、最大強度が約 1MPa~5MPa の範囲で、また最大伸びが約 50%~500 の範囲で大幅に変化することが分かった。また、衝撃試験の結果、ひずみ速度の増大により、軟らかい単層膜ほど、脆性化することが分かった。

一方、これらを積層したところ、中間の物性値を選択的に得られることが分かり、本研究の目的の一つである、傾斜物性多層粘着剤の実現が可能であることが証明された。

これらを斜め切削し、その物性分布を原子間力顕微鏡のタッピングモードで測定してみたが、この方法では有意な差は得られなかった。この原因は、粘着剤層が軟らかすぎる、粘着性がある、若しくは装置が古く十分な性能を持たない、等が考えられる。

DCB 試験片を用いた破壊じん性試験では、モード I の特性について調べた (図 2)。この時、き裂先端のプロセスゾーンが大きいために、通常の処理方法では破壊じん性値が決定できない。本研究では、DIC 法により、T-S rule を直接調べており、その結果も妥当であると考えられた。しかし、今回の研究で、き裂先端のプロセスゾーンの一部に圧縮応力が生じていることが確認され、従来の理論では破壊じん性を計算できないことが明らかとなった。このため、圧縮応力部を補正する新たな計算式を導いた。

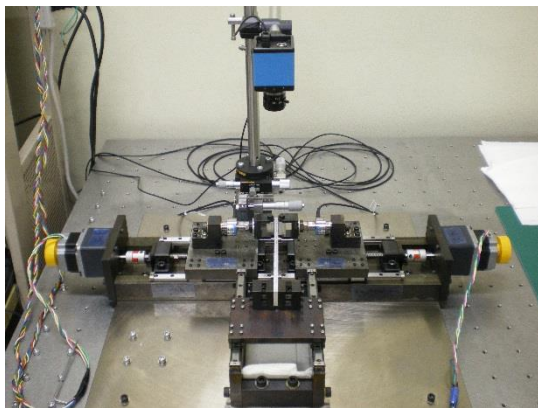


図 2 DAC 試験機による DCB 試験の様子

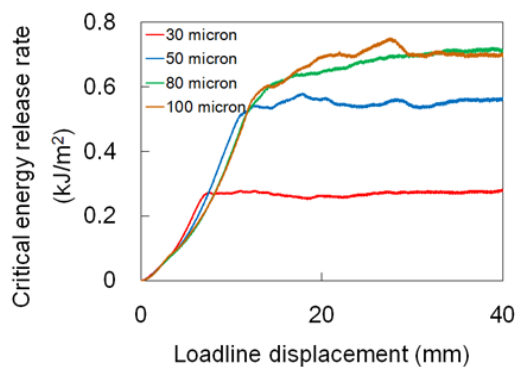


図 3 低弾性率層の厚さと破壊じん性値の関係

図 3 に示すように、両側の低弾性率層が厚くなれば、破壊じん性は向上するものの、その増加は単調ではなく、50 μ m 程度の厚さがあれば、十分な値の得られることが分かった。これは、低弾性率層をあまり厚くすると、接合剛性が低下し好ましくないため、都合の良い結果となった。

低弾性率層が 30 μ m と 100 μ m では、その T-S rule が大幅に異なることが確認された (図 4, 5)。低弾性率層が薄い場合、Traction 自体は高いものの、Separation が小さいため、破壊じん性が低くなった。一方、低弾性率層が厚い場合は、Traction が大幅に低下するものの、Separation が大きいため、破壊じん性が大きいものと考えられる。

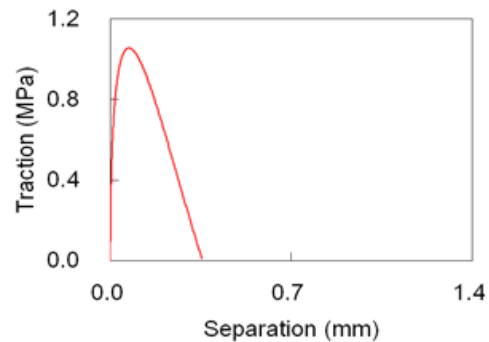


図 4 多層粘着剤(低弾性率層 30 μ m)の TS rule

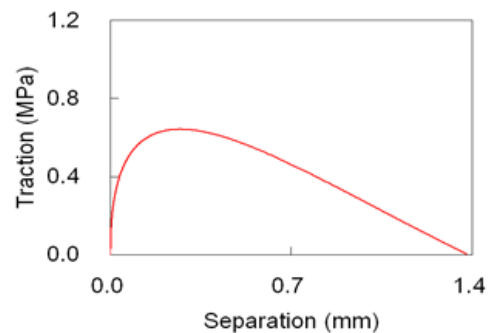


図 5 低弾性率層のみ(100 μ m)の TS rule

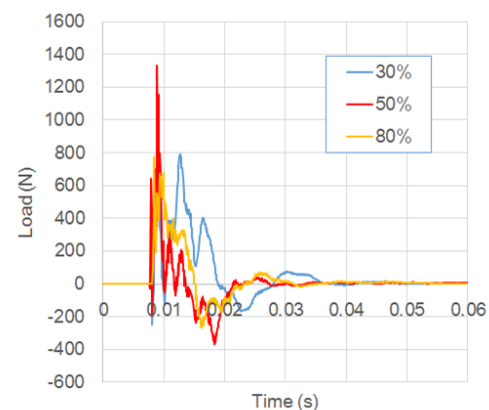


図 6 多層粘着剤の衝撃打ち抜き試験結果

これらの多層粘着剤を用いて打ち抜き試験片を作製し、この衝撃打ち抜き試験を実施した。結果の一例を図6に示す。軟粘着剤層が30 μm (図中では30%と記載) の場合は、剥離力が低く、50 μm が最も高い。このように、軟粘着剤と硬粘着剤の比率が概ね等しい領域に最適値があるものと考えられる。

ナノバブル封入の影響も実験的に調べたが、今のところ、実験結果に有意な差は得られていない。

なお、これらの研究成果は、現在論文に纏めている最中であり、早い段階での公開に順次努める予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 1 件)

- ① C Sato and Y Sekiguchi, Impact strength evaluation of joints bonded with multilayered pressure sensitive adhesives, MRS Meeting 2015, Rio De Janeiro, Brazil, September 2015. (招待講演)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 千明 (SATO, Chiaki)

東京工業大学・科学技術創成研究院・准教授
研究者番号：80235366

(2) 研究分担者 無し

(3) 連携研究者 無し

(4) 研究協力者 無し