通電解体性接着剤接合部のはく離特性

Debonding Properties of Joints Bonded with An Electrically Dismantlable Adhesive

○ 塩手秀直 (東工大) 正 佐藤千明 (東工大) 大江 学 (太陽金網)

Hidenao SHIOTE, Graduate Student, Tokyo Institute of Technology

4259 Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama 226-8503

Chiaki SATO, Precision and Intelligence Laboratory, Tokyo Institute of Technology

Manabu OHE, Taiyo Wire Cloth Co., LTD.

Recently, an electrically dismantlable adhesive has been introduced. This adhesive can be applied to separation mechanisms. However, the fundamental properties of the adhesive essential to design the separation mechanisms have not been studied yet. In this study, the debonding properties of joints bonded with the adhesive are investigated experimentally. In addition, a prediction method of the residual strength is proposed from the experimental results.

Key Words: Dismantlable adhesive, Adhesion, Separation mechanisms

1. 緒言

必要な時に容易に剥離可能な解体性接着剤は、被着体リサイクルの観点から重要であり、既に幾つかの種類が提案されている¹⁾。特に最近、通電により強度が大幅に低下し、容易に剥離できる接着剤が開発され、注目されている。本接着剤を用いることにより、簡易な通電分離機構が実現可能であり、航空宇宙機器の分離部などに適用が検討されている²⁾。しかし、本接着剤に関する研究は未だ少なく、接着剤の静的強度則や、電圧の印加による残存強度の変化など、設計に必要な体系的データの構築が必要である。本研究では、この通電解体性接着剤を取り上げ、その接合部の強度低下に及ぼす通電処理の影響を実験的に調べた。

まず、組み合わせ負荷状態での静的強度則を調べるため ARCAN 試験片を用いて強度試験を実施した。また、電圧の印加による残存剥離強度とその時の通電条件との関係を実験により求めた。さらに、これらの実験結果から通電解体性接着剤接合部の残存強度を予測する手法を提案するとともに、スプリングを用いた簡易な分離機構を作製し、その分離特性が上記手法により予測可能か調べた。

2. 使用接着剤

本研究では接着剤として通電解体性接着剤 ElectRelease E4 (EIC Laboratories, Inc.) を用いた。本接着剤で金属などの導電性被着体を接合すると、通電時に正極側の接着界面で電気化学反応に起因する劇的な強度低下が生じ、このため小さな外力で接合部の解体が可能となる³⁾。

3. 強度試験

3.1 ARCAN 治具・試験片 接着接合部の強度試験では、Fig.1(a) に示す ARCAN 試験法を用いた。本試験法では、引張負荷、せん断負荷およびその組み合わせ負荷による強度試験が簡易に実施できる⁴⁾。本研究で用いた ARCAN 治具では五方向の組合せ応力を負荷することが可能となっている。

Fig.2(b)に、ARCAN 試験に使用した接着試験片を示す。被着体の材質は炭素鋼 (S50C) とし、これを ElectRelease E4 で接着した。接合部の寸法は 15mm×10mm であり、接着剤層厚は専用の治具を用いて 0.2mm に調整した。

3.2 強度試験方法 通電条件は、負荷方向 $\theta=0^\circ$ の試験において、印加電圧 38V で 1, 2, 5, 10, 15, 30 および 300s とし、印加電圧を 55 および 19V とした場合は、それぞれ 2, 5,

10, 30 および 300s とした。他の負荷方向の強度試験では、印加電圧 38V で通電時間を 2, 5, 30, および 300s とした。また、初期強度を確認するために、無通電の接着試験片に対しても強度試験を実施した。

本強度試験には機械式材料試験機を用いた。試験は室温で行い、試験速度は 0.5 mm/min とした。

Fig.1 Geometry of (a) ARCAN jig and (b) specimen

3.3 強度試験結果および考察 Fig.2 に、接着試験片の初期強度、および印加電圧 38V の通電後の残存強度を示す。なお、本報告中のエラーバーは全て標準偏差を現している。本接着接合部の初期強度は、引張負荷に弱く、せん断負荷に強いことがわかる。これは通常のエポキシ接着剤と同様の傾向といえる⁵⁾。通電後の残存強度は数秒の通電で大幅に低下しており、30s 以後では強度低下はあまり見られない。このことから、電圧印加による接着界面の電気的な反応は通電後極めて短時間に完了するものと考えられる。

それぞれの負荷方向に対する、通電後の残存強度の経時変化を、その初期強度で正規化したものを Fig.3 に示す。この結果より、通電時間に対する残存強度の割合の変化が、負荷方向に依存しないことがわかる。

接合界面での電気化学反応は、そこを通過した電荷の総量と関係が深いと考えられるため、接着界面を通過した電荷の総量を接着面積で除した通過電気量面密度と、残存強度との関係を求めた。これを Fig.4 に示す。残存強度の低下率は、印加電圧に関係なく、通過電気量面密度で決まることが確認できる。

このように、負荷方向や通電条件によって接合強度は大きく異なるものの、Fig.2 に示した組み合わせ負荷での初期強度と、Fig.4 に示した通電後の残存強度低下率を組み合わせ

ることにより、任意の条件に対する通電後の残存強度を予測できると考えられる。

Fig.2 Strength variation of ElectRelease adhesive under various radial loadings with respect to voltage applying time

Fig.3 Relation between normalized stress and voltage applying time

Fig.4 Relation between normalized strength and charge density

4. 分離試験

Fig.5 Separation mechanism

4.1 分離機構 Fig.5 に試作した分離機構を示す。本実験ではばね定数の異なる 3 種のバイアスばねを使用した。ばねを覆う 2 本の円筒は、接着剤層厚調整用のスペーサであり、接着剤の硬化時にこれを用いて接着剤層厚さを 0.2mm に維持した。

4.2 分離機構の強度試験および分離試験 本分離機構の通電以前の接合強度を調べるため、この強度試験を行った。本試験では、本機構からバイアスばねを取り外し、この内力を除荷し、取付治具を介して機械式材料試験機により引張負荷を加えた。試験速度は 0.5mm/min とした。

本分離機構の通電のみによる分離試験も実施した。この実験は、分離機構に一定電圧を印加し、自発的に分離するまでの経過時間（剥離時間）を測定した。

4.3 分離機構の強度試験結果および分離試験結果 本分離機構におけるバイアスばねによる剥離応力と、通過電気量面密度との関係を Fig.6 に示す。ここで剥離応力は、未通電の剥離応力で正規化し表してある。また、ARCAN 試験により得られた予測曲線を図中に示す。両者は良好な一致を示しており、本報告で提案する残存強度予測法を用いることにより、任意の分離機構においてもその残存強度が評価可能であるといえる。

Fig.6 Relation between normalized strength and charge density

5. 結言

通電解体性接着剤による接合部に通電する場合、その残存強度の低下率は、通電条件のみに影響を受け、応力成分の比率には依存しないことがわかった。

通電条件は、印加電圧や通電時間で表現するよりも、通過電気量面密度を用いた方が便利であり、残存強度の低下率はこれに一意に対応することがわかった。したがって、未通電の接合部の初期強度に及ぼす応力成分の比率の影響と、残存強度の低下率に及ぼす通過電気量面密度の影響を個別に調べることにより、任意の接合部の残存強度予測が可能となった。

バイアスばねを有する簡易な分離機構を試作し、通電による分離試験を行ったが、その挙動を上記の残存強度予測法により正確に評価できた。

<参考文献>

- 1) 佐藤千明, 機械の研究, 55, 17(2003).
- 2) J. Welsh, J. Higgins, M. Gilbert and S. Cogan, Proceedings of 44th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, 7(2003).
- 3) 大江学, "接着とはく離のための高分子 - 開発と応用 -", CMC, 223(2006).
- 4) P. Davies, "接着工学", NTS, 247(2008).
- 5) 宮入裕夫, "構造接着の基礎と応用", CMC, (1997).