

繊維強化複合材料の接着継手における 熱硬化性樹脂接着剤への解体性付与と 接着強度に関する研究

ビジネスエンジニアリング専攻
テクノロジー創成連携領域 倉敷研究室 杉本 琢真

1. 研究背景と目的

近年、繊維強化複合材料や革新鋼板などの軽量・高強度材料を適材適所に組み合わせるマルチマテリアル化による、構造物の高機能化および軽量化する研究開発が活発に進められている。この際、異種材料を接合する技術として、ボルトなどの機械的締結や接着剤による接着接合があり、中でも接着接合への注目が高まっている。接着接合は、構造物の接合に求められる接着強度を担保できる接合技術である。また、機械的締結と比較して応力集中を生じにくく、被着体を損傷しにくいという特徴を有する。さらに、構造部材の削減により軽量化にも寄与する。一方、製品使用後には再資源化のために構造物を解体する必要があるが、強固に接着された被着体の分離は困難であり、リサイクルにおける大きな課題となっている。

そこで本研究では、構造用途で要求される接着強度を有しつつ、使用後には解体可能な、「高い接着強度」と「容易な解体」を両立する易解体性接着剤の開発を目的とした。

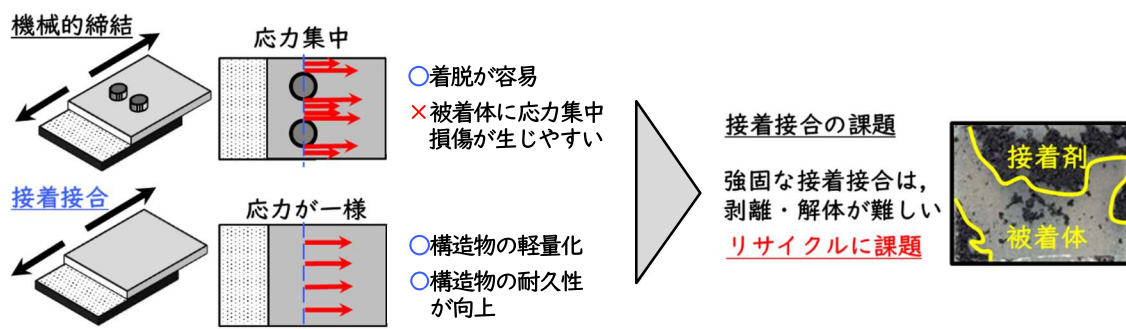


図1: 接着接合の利点とその課題

2. 実験方法

接着剤の解体は本研究室で考案された、マイクロ波照射により接着剤中に添加したフィラーを昇温させて接着層の内部から加熱することで熱分解を誘起し、解体する手法を用いた。従来の加熱炉による被着体全体を加熱する、外部からの加熱法では被着体全体が昇温して熱劣化が生じる課題があるのに対し、本手法では接着層を選択的に加熱できるため、被着体の熱劣化を最小化できる点に特徴がある（図2）。

供試材には被着体として、軽量構造部材として広く用いられ、リサイクル性向上が求められているガラス繊維強化プラスチックを用いた。解体対象とする接着剤には熱硬化性エポキシ樹脂系接着剤（2082C、株式会社スリーボンド社製）を選定した。

エポキシ樹脂は、優れた機械特性と高い接着強度を有する代表的な熱硬化性樹脂であるが、架橋による分子拘束により一度硬化すると解体が困難である。本研究では、この難解体性を前提条件とし、エポキシ樹脂を対象材料とした。また、母材であるエポキシ樹脂の熱分解温度まで昇温するためのフィラーには、

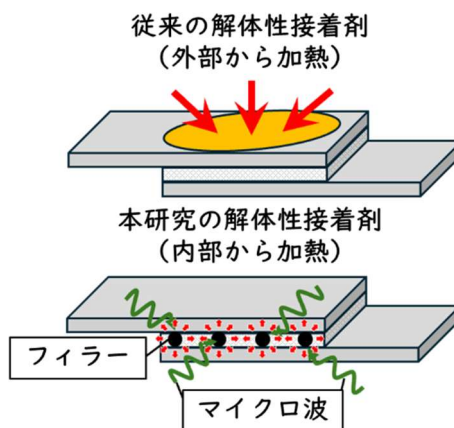


図2: 本研究の解体性接着剤の特徴

マイクロ波電磁場下での昇温に支配的な因子である高い誘電損失および導電性を示す材料として、単層カーボンナノチューブ (SWCNT) (TUBALL™, OCSiAl 社製) を選定し、接着剤中に添加した。SWCNT はナノファイバーとしてき裂進展抑制による機械特性向上をもたらすと同時に、マイクロ波照射下で優れた昇温特性を示すことが期待される。

次に実験方法について述べる。接着強度は、JIS K 6850 に準拠した引張せん断試験により評価し、最大せん断応力を接着強度と定義した。また、解体にはマイクロ波照射装置 (μReactor Ex, 株式会社四国計測社製) を用い、周波数 2.45 GHz, 出力 1000 W, 照射モードはシングルモードの条件でマイクロ波を照射した (図3)。マイクロ波照射による昇温特性の評価には高解像度サーモグラフィ (Xi-400, オプテックス・エフエー株式会社製) を用いた。

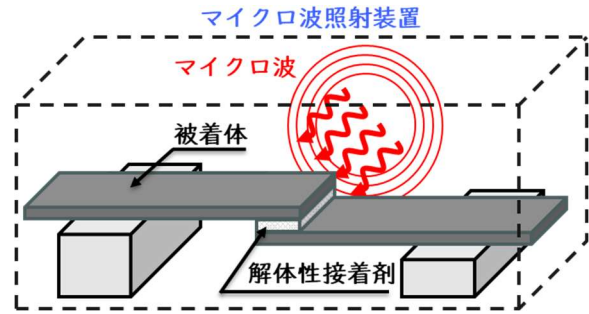


図3：マイクロ波照射による解体時の概念図

3. 実験結果

SWCNT を 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 および 1.0 wt% 添加した試料における、最大 120 秒間のマイクロ波照射による温度変化の推移を図4に示す。SWCNT の添加によりマイクロ波照射に対する昇温特性が著しく向上することが明らかとなった。特に顕著な昇温特性の向上を示した条件は、0.6 wt%, 0.8 wt% および 1.0 wt% 添加試料であり、最大到達温度はそれぞれ 349°C, 373°C および 364°C であった。以上より、SWCNT を 0.6 wt% 以上添加することで、本エポキシ樹脂の熱分解温度である 260°C 以上に昇温可能であることが確認された。

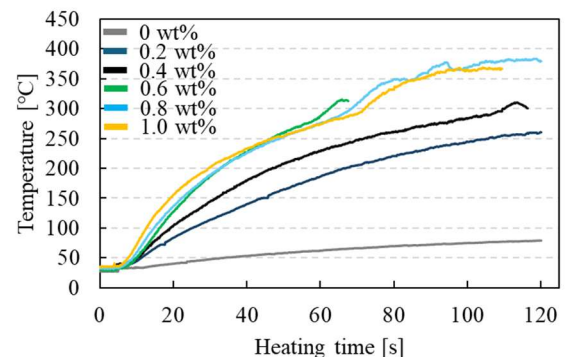


図4：マイクロ波照射時の昇温特性

次に、マイクロ波照射前後での接着強度を図5に示す。マイクロ波未照射においては、SWCNT を添加することで接着強度の向上が確認された。特に 0.2~0.6 wt% の添加において、未添加試料と比較して最大 57% の顕著な接着強度向上が認められた。一方、0.8 wt% および 1.0 wt% 添加試料では、未添加試料と比較して高い接着強度を維持しているものの、0.2~0.6 wt% 添加試料と比べて低下した。

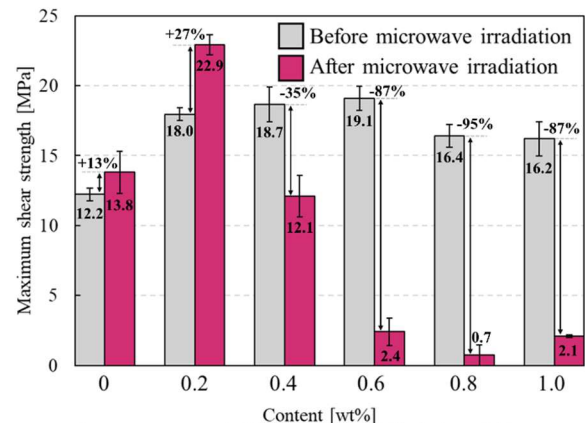


図5：マイクロ波照射前後での接着強度の比較

マイクロ波照射後においては、SWCNT の添加により昇温特性が向上した 0.4 wt%~1.0 wt% 添加試料で接着強度の低下、「解体性」が確認された。

4. まとめ

本研究では、「高い接着強度」と「容易な解体」を両立する易解体性接着剤の開発を目的とした。SWCNT を 0.6 wt% 添加した試料において未照射時に 19.1 MPa の接着強度を有しつつ、マイクロ波照射により 87% の接着強度の低下が確認された。本研究により、マイクロ波照射と SWCNT の組み合わせが接着強度と解体性の両立に寄与することが示され、構造用途の接合における易解体性接着剤の適用に向けて着実な進展が得られたといえる。今後は、易解体性接着剤の特性向上を目指すだけでなく、マイクロ波照射による解体に適した接着剤の塗布方法やマイクロ波照射装置などの周辺技術についても研究を進める。なお、本研究の遂行に際し、指導教員である倉敷哲生教授（阪大）、また、村山達哉氏（元阪大）、西村壮真氏（阪大）、向山和孝助教（阪大）に深く感謝申し上げます。生活を支えてくださった家族にも深く感謝申し上げます。