

中空微粒子充填エポキシ接着剤を用いた接着継手の機械的特性

Mechanical properties of adhesive joints using micro-balloon filled epoxy adhesive

知能機械工学コース

材料強度学研究室 1245003 安達 秀飛

1. 緒言

継手における接合方法には、リベットあるいはねじ・ボルト等を用いる機械的接合、接合部に熱や圧力、もしくはその両者を加え連続性を持たせる溶接接合、および接着接合などがある。接着接合は、機械的接合と比較してボルトなどを使用していないので軽量化に有利とされる。また、被着体が限られる溶接と比較して異種材料の接合が可能という利点がある。これらの特徴から、接着接合は自動車や航空機など様々な分野で使用されてきている。しかしながら、接着接合では異なる材料の端部で応力集中が生じるため、そこを起点として破壊が生じやすくなり、継手強度の信頼性が低下するという問題点も存在する。これに対して、接着層の機械的特性を連続的に変化させることにより、応力集中を軽減させる傾斜機能接着継手が注目されている。

エポキシ樹脂に中空微粒子 (Micro Balloon, 以下 MB) を混合させると、エポキシ樹脂の機械的特性を変化させることが可能である。また、これを利用して材料中で MB の分布を制御した傾斜発砲エポキシ樹脂に関する報告がある。これを接着剤に応用し、重ね合わせ継手の接着層内で端部と中心部の MB の分布を変化させることで、重ね合わせ継手の応力集中を低減できるのではないのかと考えた。本研究では、傾斜継手を実現するための基礎研究として、MB を混合した接着剤のバルク材の強度特性、また、接着継手としたときの強度として突き合わせとせん断の各強度およびモード I 負荷での臨界エネルギー解放率に及ぼす MB の影響についても明らかにした。

2. 材料および試験片

2.1 バルク材

接着剤として 2 液型エポキシ接着剤の Araldite2015 を用いた。MB は松本油脂製薬株式会社の MHL-HD60CA を用いた。本接着剤は主剤と硬化剤を重量比で 1 : 1 の割合で混合して使用した。本実験では、接着剤のみ (以下、MB0) と MB を 0.25, 0.5, 0.75 および 1 wt% の割合で混合した 5 種類を用いた。(以下、それぞれ MB 0.25, MB 0.5, MB 0.75 および MB 1 とする) MB の混合を以下の手順で行った。まず、攪拌機を用いて 600 rpm で主剤と MB を 5 分間攪拌させた。混合後、主剤と硬化剤それぞれを 10 分間真空中で脱泡させた。脱泡後、主剤に硬化剤を加えて 300 rpm で 5 分間攪拌させた。混合後、シリンジを用いて型に接着剤を速やかに流し込んだ。乾燥炉を用いて 70 °C の環境を 1 時間保持することでバルク材を作製した。

2.2 突き合わせ継手試験片

図 1 に突き合わせ継手試験片の寸法を示す。接着剤の混合方法は、主剤に MB を混合する際に、手攪拌で混合したものと脱泡処理を主剤と硬化剤を混合する前ではなく混合後に行ったことを除き 2.1 節と同様である。

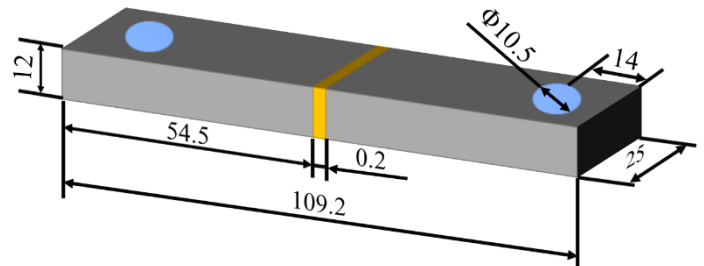


Fig.1 Dimensions of butt joint specimen (mm)

2.3 厚板せん断試験片

図 2 に厚板せん断試験片の寸法を示す。接着剤の混合方法は、主剤に MB を混合する際に、手攪拌で混合したことを除き 2.1 節と同様である。

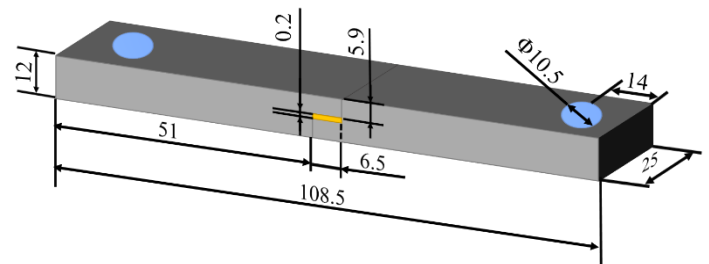


Fig.2 Dimensions of thick adherend shear test specimen (mm)

2.4 DCB 試験片

図 3 に DCB 試験片の寸法を示す。接着剤の混合方法は、主剤に MB を混合する際に、手攪拌で混合したことを除き 2.1 節と同様である。

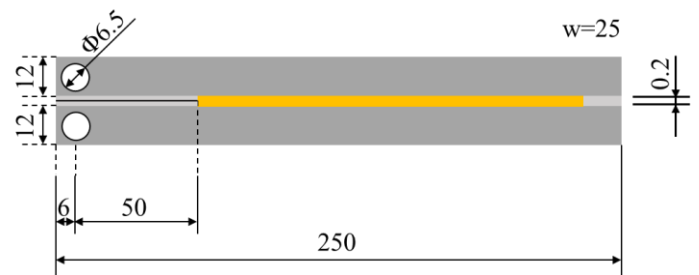


Fig.3 Dimensions of DCB specimen (mm)

3. 実験結果

3.1 バルク材の引張試験

実験により得られた各混合比の接着剤の縦弾性係数を表 1 に示す。なお、各混合比の値は 3 回ずつ試験を行った結果の平均値である。縦弾性係数は MB の混合比が増加するにつれて、減少することがわかった。また、ポアソン比は MB の混合により増加するものの、MB の混合比が大きくなるにつれ

て混合しない場合の値まで低下した。

Table.1 Properties of adhesives

	Young's modulus (GPa)	Poisson's ratio (-)
MB 0	1.70	0.29
MB 0.5	1.44	0.36
MB 0.75	1.25	0.33
MB 1	1.14	0.27

上記とは別に MB 0, MB 0.25 および MB 0.5 について引張試験を行った。バルク材の応力ひずみ曲線の代表例を図 4 に示す。バルク材の引張強さは MB 0, MB 0.25, および MB 0.5 のそれぞれにおいて 15.9, 13.8, 11.3 MPa となった。バルク材の引張強さが MB の混合比を増加させるにつれて減少し、延性が増加することがわかった。

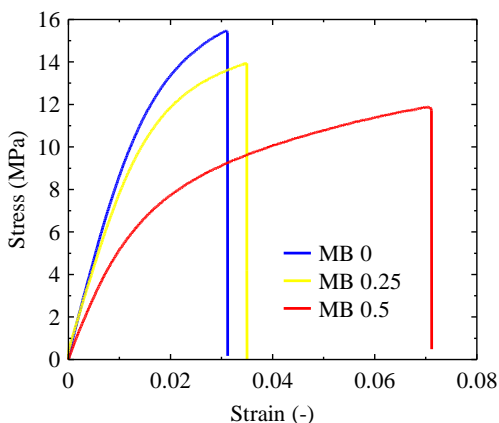


Fig.4 Stress-strain curves of bulk specimen

3.2 継手引張強度

突き合わせ継手試験片の引張試験を行い、接着剤の引張強度を調査した。実験により得られた各混合比の接着剤を用いた突き合わせ継手試験片の強度を図 5 に示す。なお、各混合比で 3~5 本ずつ試験を行った結果の平均値である。MB の混合により引張強度が低下することがわかった。また、MB の混合比が大きくなるにつれて、引張強度が増加することがわかった。

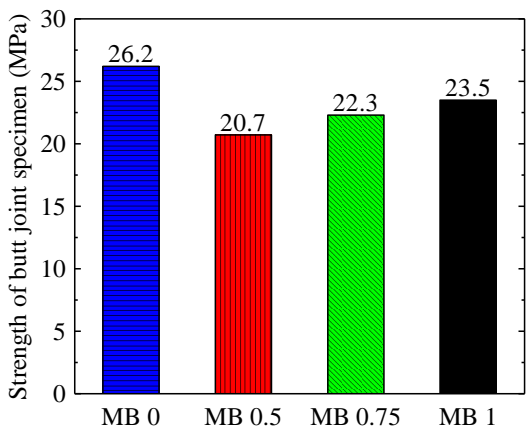


Fig.5 Strength of butt joint specimen (MPa)

3.3 継手せん断強度

厚板せん断継手の引張試験を行い、接着剤のせん断強度を調査した。実験により得られた各混合比のせん断強度を図 6 に示す。なお、各混合比で 3 本ずつ試験を行った結果の平均値である。厚板せん断継手の強度は MB の混合比が増加するにつれて、減少することがわかった。

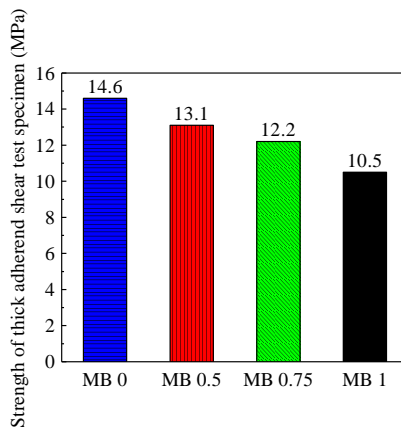


Fig.6 Strength of thick adherend shear test specimen (MPa)

3.4 モード I 負荷での臨界エネルギー解放率

DCB 試験片を用いて行った実験により得られた各混合比のモード I 負荷での臨界エネルギー解放率 (G_{Ic}) を図 7 に示す。なお、各混合比で 3~4 本ずつ試験を行った結果の平均値である。MB 0.75 では臨界エネルギー解放率が若干向上するものの MB 1 では大きく低下した。

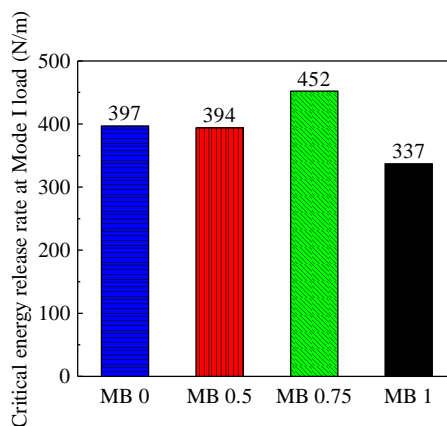


Fig.7 Critical energy release rate at Mode I load (N/m)

4. 結言

- (1) MB を混合した接着剤の縦弾性係数は MB の混合比が増加するにつれて減少した。また、ポアソン比は MB の混合により増加するものの、MB の混合比が大きくなるにつれて混合しない場合の値まで低下した。
- (2) 継手引張試験の結果、引張強度は MB の混合により低下した。また、MB の混合比が大きくなるにつれて、引張強度が増加した。
- (3) 継手せん断強度の結果、せん断強度は MB の混合比が大きくなるにつれて低下した。
- (4) モード I 負荷での臨界エネルギー解放率は MB を 0.75 wt% 混合すると向上したが、1 wt% では大きく低下した。