

卒業論文要旨

中空微粒子を添加したエポキシ接着剤による接着継手の強度特性

Strength of adhesive joints using epoxy adhesives mixing micro-balloons

システム工学群

材料強度学研究室 1220076 澤地 真魁

1. 緒言

自動車や航空機など輸送機器の分野では、材料を適材適所で使用する考え方に基づきマルチマテリアル化が進んでいる。その際の接合には軽量化が期待できる接着接合が使用されることが多い。加えて接着接合では機械的接合に比べ、応力集中が低減されるなどのメリットがある。しかしながら、重ね合わせ継手などにおいては接着端部において依然として応力集中が不可避となる。

上述の応力集中を低減させる方法の一つに傾斜機能接合があり、これは接着剤の性質を接合領域で連続的に変化させ応力集中を低減する手法である。この傾斜機能化接着継手の方法として中空微粒子(=Micro-balloons : MB)を接着剤に添加し実現化することを考えた。

本研究ではその基礎となる接着剤の強度特性を明らかにする目的で、一般的に使用されるエポキシ系接着剤に MB を添加し、その添加割合と接着継手の強度特性の関係を、継手強度試験、モード I 破壊靱性試験を行い調査した。

2. 材料および実験方法

2.1. 材料および試験片

試験片には、被着体としてアルミニウム合金 A2017、接着剤として 2 液型エポキシ系接着剤の Alardite2015 を用いた。また MB は松本油脂製薬株式会社の MHL-HD60CA を用いた。MB の公称寸法は、平均粒子径 $60\mu\text{m}$ である。接着剤および被着体材料の機械的特性を表 1 に示す。

全ての継手試験片に共通し、接着剤は真空脱泡を行ったのちに 1:1 の割合で 2 液を混合した。接着面をアセトンで脱脂し、接着剤を塗布した。硬化条件は 70°C で 1 時間保持とした。

本研究ではエポキシ系接着剤に MB を 0.5, 0.75 および 1.0 wt% 添加した接着剤により継手試験片を作製した。(以下 MB0.5, MB0.75, MB1.0 と記述)

Table.1 Properties of materials.

	Young's modulus (GPa)	Poisson's ratio	Tensile strength (MPa)
A2017	68.9	0.35	396
Alardite2015	1.64	0.25	15.8

2.2. 突き合わせ強度試験

突き合わせ強度試験については、JIS K 6849-1976 に準じて試験片を作製した。継手試験片の形状および寸法を図 1 に示す。

万能試験機 AG-100kNG (株式会社 島津製作所) (容量 100kN) を用いて、引張速度 0.1mm/min の条件で静的引張試験を行った。

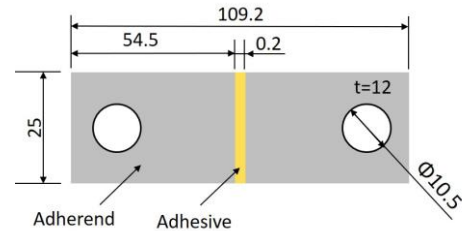


Fig.1 Configuration of Butt joint [mm]

2.3. せん断強度試験

せん断強度試験では、図 2 に示す厚板せん断試験片 (TAST ISO 11003-2:1993) を使用した。接着層にかかる荷重がせん断力のみとなるよう 0.1mm のテフロンシートを被着体の軸に垂直な面間に挿入した。静的引張試験を、万能試験機を用いて、引張速度 0.1mm/min の条件で行った。

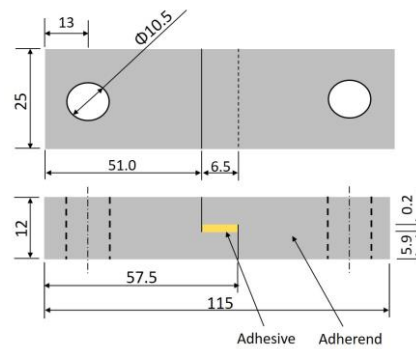


Fig.2 Configuration of Thick Adherend Shear Test specimen [mm]

2.4. モード I 破壊靱性試験

モード I 破壊靱性試験には、ISO 25217 に準じて Double Cantilever Beam(=DCB)試験片を用いた。作製した試験片の形状および寸法を図 3 に示す。接着剤の塗布時に、図 3 に示すように、厚さ 0.05mm のテフロンシートの間に 0.1mm のシム板を挿入し、長さ 50mm の予き裂を導入した。なおシム板の先端はナイフエッジ状に仕上げた。シムプレートとテフロンシートの寸法は幅 25mm で長さはそれぞれ 56mm , 55mm とした。

万能試験機により、静的引張り負荷を 0.2mm/min の条件で行った。試験では、接着層の予き裂からき裂が進展し始める臨界荷重に達した時、試験機を一時停止し、き裂の進展を測定した。その後 100N 程度除荷を行い、再びき裂を進展させることを繰り返し、R 特性についても調査した。

得られた臨界荷重 P_c 、およびき裂長さ a から、式(1)を用いて、臨界エネルギー解放率(= G_{Ic})を求めた。ここで E , b , h はそれぞれ被着体の縦弾性係数、幅、および高さである。

$$G_{Ic} = \frac{12P_c^2 a^2}{E b^2 h^3}$$

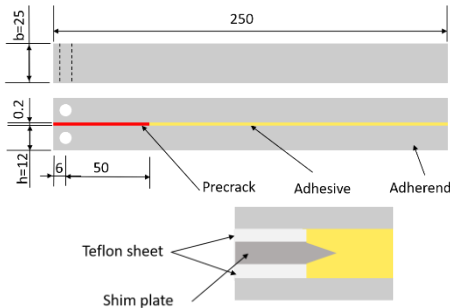


Fig.3 Configurations of Double Cantilever Beam specimen

3. 結果および考察

3.1 突き合わせ強度

各接着剤ごとに4から6本の試験片について試験で得られた破断応力の平均値を図4に示す。MBを添加した接着剤による継手では、非添加材と比べ引張強度が低下した。MB0.5の強度が最も低く、非添加材に対し、21%低下した。

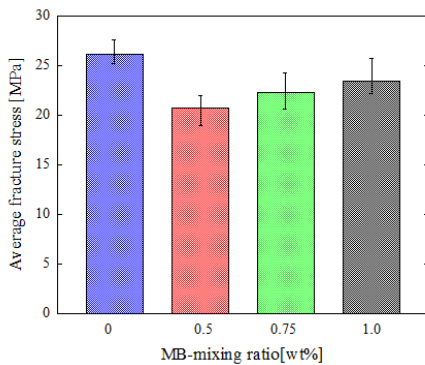


Fig.4 Average fracture stress of butt joint [MPa]

3.2 せん断強度

せん断強度試験で得られた破壊せん断応力の平均値を図5に示す。せん断強度についても突き合わせ強度同様にMBを添加することで継手強度は低下した。せん断強度はMBの添加割合が増加するに従って低下する傾向を示した。最も強度が低下したMB1.0では非添加材から34%低い強度となった。

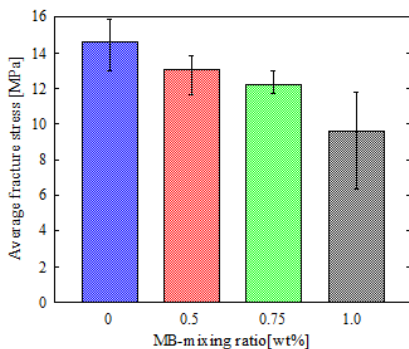


Fig.5 Average fracture stress of TAST [MPa]

3.3 モードI破壊靱性試験

モードI破壊靱性試験で得られた荷重変位線図の一例としてMB1.0の結果を図6に示す。荷重変位線図が直線関係から逸脱した後にき裂が進展する挙動を示した。(1)

各材料で得られた荷重変位曲線から求めた G_{Ic} の平均値は、非添加材、MB0.5、MB0.75 および MB1.0 についてそれぞれ 397、394、424 および 337 J/m² であった。0.75 wt% MB を添加することで G_{Ic} は若干増加したが MB1.0 では低下する結果となった。

繰り返し負荷、除荷を行い、き裂を Δa 進展させた時の G_{Ic} の値を R 曲線として図7に示す。 G_{Ic} の値は Δa の増加とともにき裂進展抵抗が増加する傾向を示した。MB を添加すると Δa が増加しても G_{Ic} の変化はあまり見られなかった。

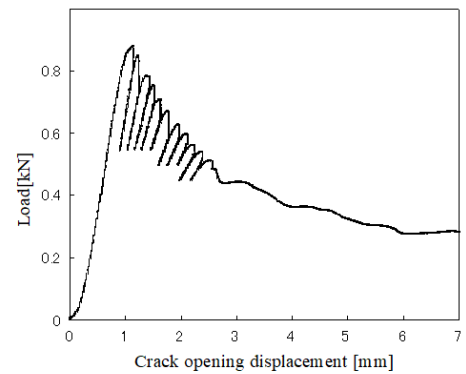


Fig.6 Load-COD diagram

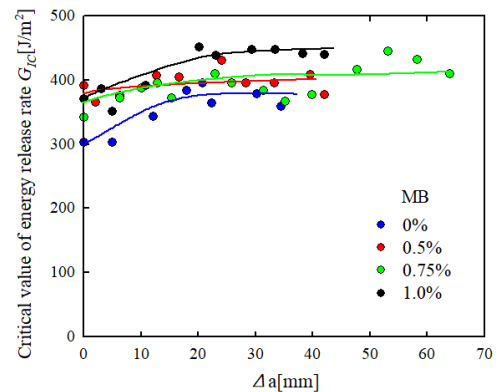


Fig.7 R-curve

4. 結言

A2017 を被着体、MB を添加した Araldite2015 を接着剤として継手を作製し強度試験及び破壊靱性試験を行った。MB の添加割合を変化させ、接着継手の機械的特性の変化を調査した。本研究で得られた結果を以下に示す。

(1) 突き合わせ強度は、MB の添加により低下し、最も低強度となった 0.5% 添加材では 21% の強度低下となった。

(2) せん断強度は、MB の添加割合の値が増加するに従って強度が低下する傾向を示した。強度低下は最大で 34% であった。

(3) モード I 破壊靱性試験より荷重変位曲線から求めた G_{Ic} 平均値は非添加材、MB0.5、MB0.75 および MB1.0 についてそれぞれ 397、394、424 および 337 J/m² であった。0.75 wt% MB を添加することで G_{Ic} は若干増加したが MB1.0 では低下する結果となった。

[参考文献省略]