

単純重ね合わせ継手における応力集中低減化効果を目的とした接着剤特性の検討

Study on adhesive properties for the purpose of reducing stress concentration in single lap adhesive joints

知能機械システム工学コース

材料強度学研究室 1225026 澤田 健太

1. 緒言

近年、接着剤を用いた接着継手は軽量化を要する自動車や航空機を始めとして、一般的な産業用機械の分野においても使用されてきている⁽¹⁾。また、溶接継手やボルトによる継手のような他の継手に比べ、軽量であることに加え、異なる材料同士を接合可能であるという特長を有している。

しかし、接着継手は接着端部において応力集中が生じるため、そこを起点として破壊しやすくなり、継手の信頼性を低下させるという問題がある⁽²⁾。そこで、この問題を解決するため、接着層の機械的特性を徐々に変化させることで、接着層端部の応力集中を軽減することが可能な傾斜機能接着継手(Functionally Graded Adhesive Joint, 以下ではFGAJ)に注目した。このFGAJを実現するために、硬化後における接着剤の特性を不均一にする必要がある。

本研究では、中空高分子であるマイクロバルーン (Micro Balloon, 以下ではMB) を混合することにより、接着剤の機械的特性を変化させた。それら接着剤のバルク材を引張試験することによりその機械的特性を調査するとともに、単純重ね合わせ継手 (Single Lap Joints, 以下ではSLJ) の静的強度との関係について検討を行った。

2. 材料の作製

本研究では、接着剤として2液型のエポキシ系接着剤Araldite® 2015を用いた。MBには松本油脂製薬株式会社製MFL-HD60CA (比重0.13)を用いた。MBを含まない材料(0w%)とMBの重量比を0.25w%および0.5w%とした材料を準備した。MBを混合する場合、攪拌機を用いて主剤とMBを600rpmで5分間混合した後、硬化剤を加えて300rpmで5分間混合した。塗布前に、接着剤を10分間真空脱泡した。塗布後は70℃環境下で1時間硬化させた。

3. 結果

3.1 接着剤の機械的性質

接着剤の機械的性質に及ぼすMBの混合による影響を調べるため、図1に示す試験片を作製した。引張試験は精密万能試験機 (AG100kNG, 島津製作所) を用いて、変位速度0.5 mm/minで行った。

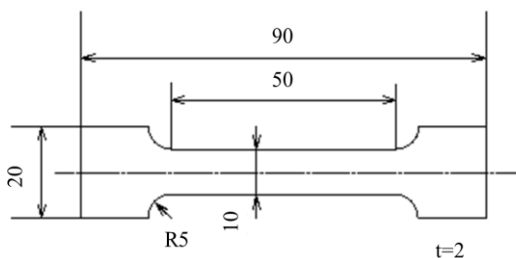


Fig. 1 Dimensions of a bulk specimen

各接着剤において3本ずつ試験した結果を荷重変位曲線として、図2に示す。3本の平均引張強度を求めると、MB 0w%、MB 0.25w%およびMB 0.5w%はそれぞれ15.9MPa、13.8MPaおよび11.3MPaとなり、MBの重量比が増加するにつれて引張強度が低下することが分かった。一方、破断時における変位の平均は2.31mm、2.34mmおよび3.65mmとなり、MBの重量比が増加するにつれて増加することが分かった。

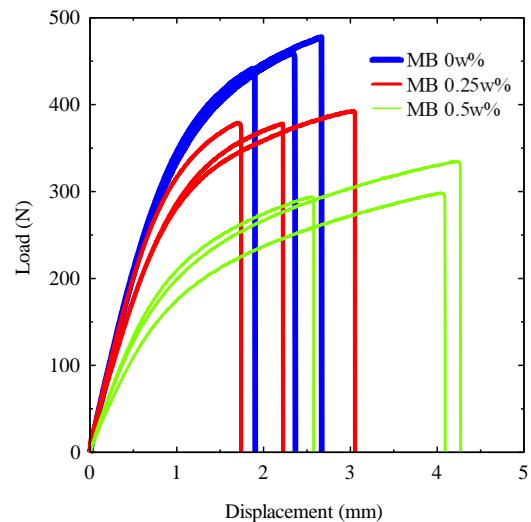


Fig. 2 Load-displacement diagrams of adhesives

引張試験片とは別の試験片を用いて、ひずみを測定するためにゲージ長5mmのひずみゲージを試験片の両面に長手方向とそれに対して直角方向に貼付した。変位速度0.5mm/minで100Nまで荷重を加え、縦ひずみと横ひずみを測定した。各接着剤において3本ずつ行った。以上の実験により得られた各接着剤の機械的性質をまとめて表1に示した。ポアソン比はMBの重量比による影響は見られないものの、ヤング率はMBの重量比が増加するにつれて、1.71GPaから1.46GPaへ低下することが分かった。表1にある赤い数字は他の試験片に比べて、100MPa以上小さいまたは大きい値であったため、平均値と偏差の計算時に省いた。

3.2 継手応力解析

得られた各接着剤の機械的特性を用いて、SLJの接着厚さ中心における応力分布を有限要素解析により求めた。使用した解析モデルの寸法および拘束条件を図3に示す。図3に示す緑のラインはつかみ部として、Y方向に固定した。メッシュ寸法は接着層では0.05mm、被着体は0.5mmとした。被着体にはアルミニウム合金A2017を使用し、機械的特性は表2で示したものを使用した。各接着剤の機械的特性は上記の実験で得られたものを使用し、降伏強度は図2に示す結果から、MB 0w%、MB 0.25w%およびMB 0.5w%はそれぞれ9.85MPa、8.51MPaおよび6.15MPaとした。

Table. 1 Young's modulus and Poisson's ratios of adhesives

Number of specimens	MB 0w%		MB 0.25w%		MB 0.5w%	
	E (MPa)	ν	E (MPa)	ν	E (MPa)	ν
1	1555	0.346	1718	0.374	1479	0.357
2	1736	0.323	1590	0.363	1639	0.349
3	1688	0.376	1593	0.395	1446	0.339
Average	1712	0.35	1592	0.38	1463	0.35
Deviation	24	0.022	2	0.013	17	0.0064

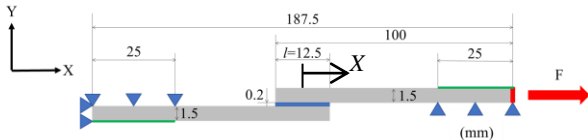


Fig. 3 Dimensions and constraint conditions of a SLJ for ANSYS

Table. 2 Properties of A2017

	A2017
Young's modulus (GPa)	68.9
Poisson's ration	0.33
Yield stress (MPa)	300
Tensile strength (MPa)	378
Breaking strain (%)	19.5

荷重 F は SLJ が破断しない 0.5kN と 1.5kN とした. 図 4 は $F=0.5\text{kN}$ とした SLJ の接着部における応力分布を示している. 横軸は接着長さの中心を 0 とし, 接着部長さ $l=12.5\text{mm}$ で標準化して, 示している. 縦軸はせん断応力の解析値を負荷した平均せん断応力で除した応力集中係数である. MB の重量比が $0\text{w}\%$ と $0.25\text{w}\%$ を比較した時, 接着層端部の応力集中係数はそれぞれ 2.76 と 2.57 であり, MB の重量比を増加させると応力集中が緩和させていることが分かった. MB の重量比が $0.5\text{w}\%$ の時, 接着層端部において接着剤の降伏が起きている.

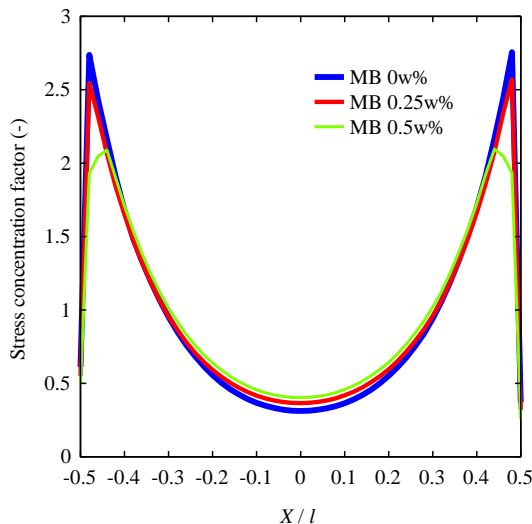


Fig. 4 Stress concentration factors in the adhesive layer of SLJs

接着部を図 5 のように 3 等分に傾斜させた SLJ (以降は傾斜数 3) と MB $0\text{w}\%$, MB $0.5\text{w}\%$ の継手に $F=1.5\text{kN}$ を負荷した時の応力分布を図 6 に示す. 傾斜数 3 と MB $0\text{w}\%$, MB $0.5\text{w}\%$ を比較すると, 接着端部の応力集中係数はそれぞれ 1.03 , 1.47 , 1.17 となり, 傾斜数 3 では 1 種類の接着剤を使用した場合よりも接着端部における応力集中が低下したことが分かった. しかし, 傾斜数 3 は接着剤の特性が変わる境界 ($X/l = \pm 0.167$)

において, 応力集中係数が 0.794 から 1.22 へ増加し, 異種材料による応力集中が生じることが分かった.

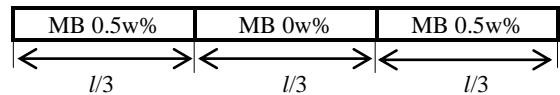


Fig. 5 A graded adhesive layer with two kinds of adhesives

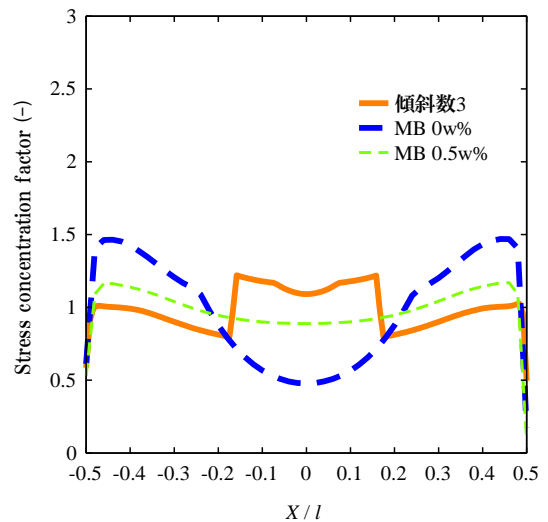


Fig. 6 Stress concentration factors in the adhesive layer of SLJs under $F=1.5\text{kN}$

4. 結言

本研究では, 2 液型エポキシ系接着剤に異なる重量比で高分子 MB を混合した接着剤について, 以下のことが分かった.

1. MB の重量比が増加すると破断荷重が低下し, 破断変位は増加する傾向が見られた. また, ヤング率は低下したが, ポアソン比は変化が見られなかった.
2. SLJ の接着層端部における応力集中は MB の重量比が増加すると低減した.
3. 傾斜数 3 は 1 種類の接着剤を使用した場合より, 接着端部における応力集中は低減したが, 接着層の特性が変わる境界において応力集中が生じた.

文献

- (1) Adams, R. D., Comyn, J., and Wake, W. C., Structural Adhesive Joints in Engineering, (Chapman & Hall, London, 1997), 2nd ed., pp. 1-11.
- (2) Jae-Hyun Park., Jin-Ho Choi., Jin-Hwe Kweon., Composite Structures, 92, 2226-2235, (2010)