

## 接着強度に対するピール止め部材の剛性の影響

李 超 (神奈川大・院), 高野 敦 (神奈川大), 喜多村 竜太 (神奈川大)

### 1. はじめに

機械締結と接着接合を併用した接合は高剛性・高信頼性が求められる航空機や宇宙機でよく用いられる。また、接合形状によっては荷重偏心による曲げ、ピール応力による破壊が生じる。アルミニウム合金 A2024-T3 製の単純重ね合わせ接手にピール止めを意図した M2 の鉄製ネジを追加することで、強度が大幅に向上することが報告されている<sup>1)</sup>。

### 2. 研究目的

本研究の研究目的は単純重ね合わせ接合においてピール止め部材の材質および形状を変化させ、接着強度に対するピール止め部材の剛性の影響を解明することである。図 1 はピール止め応力による破壊形態を示しており、接着面端のピールをネジやナットで抑制している様子を示している。



図 1 ピール応力による破壊

### 3. 試験片

#### 3.1 試験片概要

アルミニウム合金 A2024-T3 (引張強さ 440MPa, 耐力 295MPa) を使用して単純重ね合わせ接合試験片を製作した。試験片幅は 25mm, 厚さは 1.6mm であり、接着剤で 2 枚のアルミ板を接着層厚さ 0.5mm で接着した後、ピール止め部材で接着部の端から 3mm の板の中心にピール止めを 2 箇所施した。ピール止め部材はネジなし, M2 鉄製ネジ, M2 ナイロンネジ, M2 鉄ピンの 4 種類とした。接着剤は AV138/HV998 と AW106/HV953U の 2 種類とした。また、ラップ長は 12.5, 100 mm の 2 種類とした。ピール止めの位置を図 2 に、試験片の種類とサンプル数を表 1 に示す。

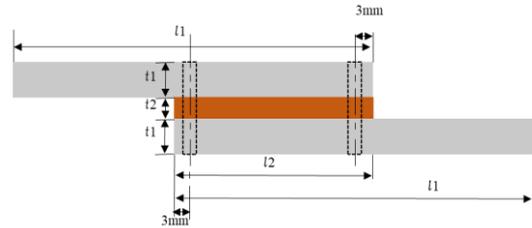


図 2 ピール止めの位置

表 1 試験片の種類とサンプル数

接着剤	AV138		AW106		
ラップ長[mm]	12.5	100	12.5	100	
ピール止め無し	2	2	2	2	
鉄ネジ	2	2	2	2	
ナイロンネジ	2	2	2	2	
鉄ピン	2	2	2	2	
合計					32

#### 3.2 ピール止め部材選定の考え方

ネジなしの試験片は比較の基準, M2 鉄ネジおよび M2 ナイロンネジは軸方向剛性の高いおよび低いピール止め部材として選定した。また,  $\Phi 2$  鉄ピンはピール止めではなく, 剪断ピンを意図し, 選定した。図 3 にネジとピンの比較を示す。

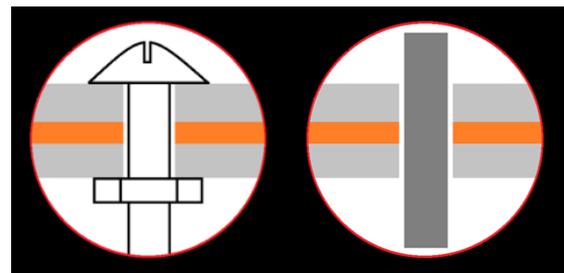


図 3 ネジとピンの比較

#### 3.3 試験片の製作

##### 3.3.1 アルミ板の製作

ケガキとハードゲージを用いて A2024 アルミニウム合金の板に線を引き、薄板切断機で寸法 102.5mm×25mm, 190mm×25mm にカットした。図 4 は薄板切断機と切断する時の様子である。



図4 薄板切断機（左）と切断する時の様子（右）

### 3.3.2 試験片の穴あけ

穴の位置は接着部の端から 3mm で板の中心とした（図 5）。端と遠い穴の位置は 2 枚のアルミ板を合わせて確定してボール盤で 2.5mm の穴をあけた。その後、バリをきれいに取り除き、接着治具に試験片を固定してネジが入るかを確認した。

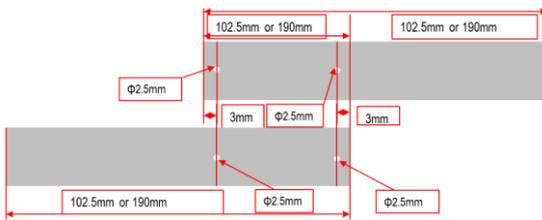


図5 穴の位置

### 3.3.3 接着の流れ

まず、アルミ板の接着面を#180 番の紙やすりで荒らした。そして IPA で一方向に拭き脱水、アセトンで一方向に拭き脱脂を行った。接着層厚さを保つためのワイヤーも IPA とアセトンで処理し、テープで留めた。その後、接着剤 AW106 と硬化剤 HV953U は重量比 5 : 4、接着剤 AV138 と硬化剤 HV998 は 5 : 2 で混ぜた。この接着剤を貼り合わせ板の両方に塗り込み、接着治具に固定し、両方とも 24 時間以上で乾燥させた。接着治具の様子を図 6 に示す。



図6 接着治具

## 4. 引張剪断試験

万能試験機（島津製作所製 AG-I シリーズ）を用いて引張剪断試験を行った。試験片を試験機に固定する際、試験片に力が水平に加わるように、片面に滑り止めの支持体を使用した（図 7）。試験の際は支持体を添えてクランプし、試験速度で 1mm/min で、試験片が完全に破断するまで引っ張った。このとき、UCAM を利用して荷重と変位を記録した。



図7 支持体の様子

試験片の破断形態は接着層からの破断（図 8 左、AW106 ラップ長 100mm のピンなど）と板のネジ穴部での破断（図 8 右、AV138 ラップ長 100mm のピンなど）の 2 種類となった。



図8 接着層からの破断（左）、板のネジ穴部の破断（右）

## 5. 試験結果

### 5.1 AV138 ラップ長 12.5mm

試験から得られたせん断応力=(最大荷重)/(接着部面積)の結果を図 9 に示す。なお、図中の値は平均値である。試験片は全て接着層で破壊した（図 10）。

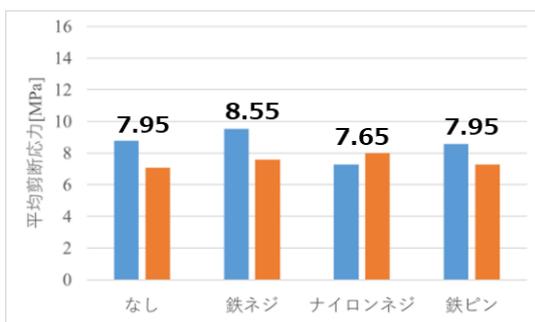


図 9 AV138, 12.5mm の試験結果

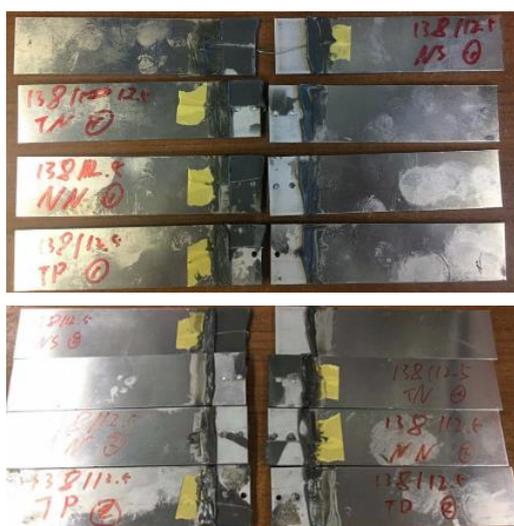


図 10 AV138, 12.5mm の破断試験片

## 5.2 AV138 ラップ長 100mm

試験結果を図 11 に示す。この結果を 2024-T3 の強度から換算して求めた平均剪断応力 7MPa (図中赤線) と比較すると、試験結果はすべて 7MPa 以下となった。ピール止めなしとナイロンネジの試験片は接着層で破壊、鉄ねじと鉄ピンの試験片は母材の引張破壊となった (図 12)。鉄ネジ、鉄ピンは板のネジ穴部で破断したため、接着層の破断応力の測定は出来なかった。また、ピール止めなしより鉄ネジ、ナイロンネジ、鉄ピンの強度は増加した。

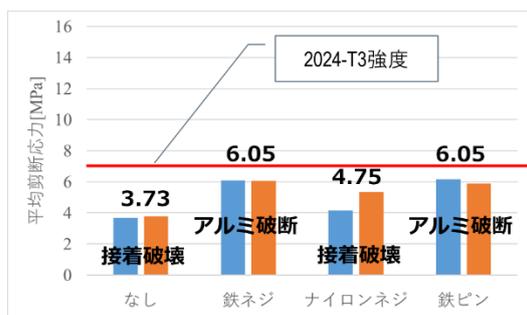


図 11 AV138, 100mm の試験結果



図 12 AV138, 100mm の破断試験片

## 5.3 AW106 ラップ長 12.5mm

試験結果を図 13 に示す。試験片は全て接着層で破壊した (図 14)。

## 5.4 AW106 ラップ長 100mm

試験結果を図 15 に示す。ピール止めなしと鉄ピンの試験片は接着層からの破断となった。鉄ネジの試験片は板のネジ穴部で破断した。ナイロンネジの試験片には一つの試験片は接着層から破断したがもう一つは板のネジ穴部で破断した (図 16)。

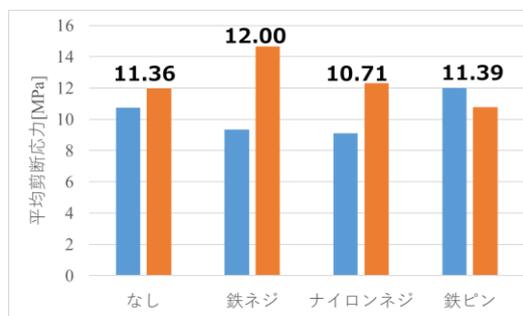


図 13 AW106, 12.5mm の試験結果



図 14 AW106, 12.5mm の破断試験片

### 5.5 評価

図 11 に示すように AV138/HV998 のラップ長が 100mm の試験にはピール止めがある試験片のせん断応力はピール止めなしの試験片より大幅に向上し、ピール止めの効果があった。このピール止めの効果があった条件の荷重変位図を図 17~20 に示す。初期勾配はさほど変わらないが最終破断に至るまでの変位量が大きくなっている。これはアルミ母材のひずみを示している。

一方、図 9, 13, 15 に示すように、AW106/HV953U のラップ長 12.5mm, 100mm および AV138/HV998 のラップ長 12.5mm の場合は、ピール止めがあるものはピール止めなしのものとは比べて、ほとんど変わらなかった。

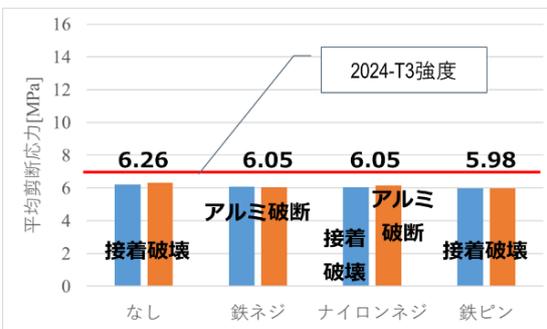


図 15 AW106, 100mm の試験結果



図 16 AW106, 100mm の破断試験片

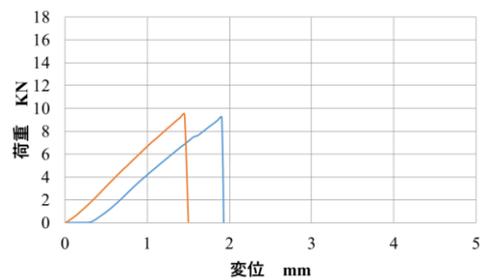


図 17 ピール止めなし

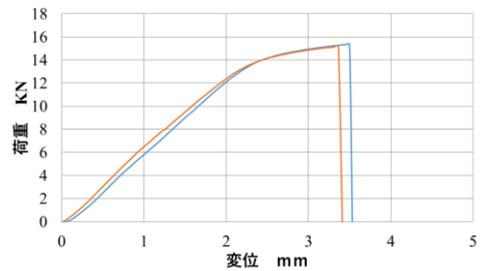


図 18 鉄ネジ

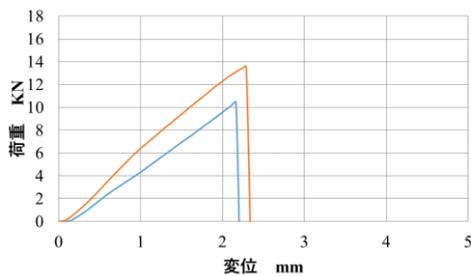


図19 ナイロンネジ

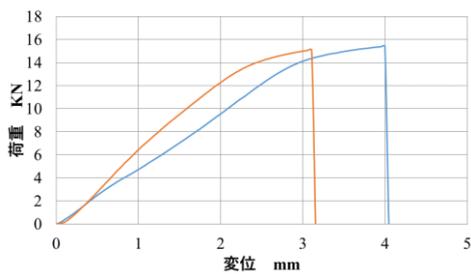


図20 鉄ピン

### 5.6 ネジのみ試験

ピール止め効果があったラップ長 100mm の試験片に対して、接着剤を用いずネジのみで引張せん断試験を行った。試験結果を表 2 に示す。鉄ネジおよびナイロンネジはラップ長 100mm のせん断応力換算で 0.32 MPa および 0.06MPa で破断したが、鉄ピンは引張りにより、試験片から飛び出したため測定不能となった。この結果より、接着剤およびピール止めがある試験片の強度（図 11）は、ピール止めなしの強度（3.73MPa、図 11）と接着剤なしでネジのみの強度（表 2）を合計したものより大幅に向上することが確認できた。

表 2 ネジのみの試験結果

	荷重 (N)	平均剪断応力 (MPa)	
		ラップ長 100mm 換算	ラップ長 12.5mm 換算
鉄ネジ	798.1	0.32	2.55
ナイロンネジ	139.4	0.06	0.44
鉄ピン	測定不能	-	-

### 6. 考察

AW106 ラップ長 100mm の場合（図 15）は、ピール止めなしの試験片においてもともと接着強度が高く、すでにアルミ母材

(2024-T3)の強度に近かったため、ピール止めの効果がなかったと考えられる。

図9および図13で見られたようにAW106においてピール止めの効果が見られなかった理由としては以下が挙げられる。AW106はAV138と比べ、ピール止めなしの接着強度が高い。つまりAW106がピール止めの影響を受けにくく、もともと接着強度が高いため、ピール止めの効果がなかったと推測される。

図 11 に示す AV138 ラップ長 100mm の場合は、ラップ長が長く、端部でのピール応力が大きいため、ピール止めが有効であり、ピール止め単体の強度を大幅に上回る効果があったと考えられる。

### 7. 結論

ピール止め 4 種類、ラップ長 2 種類、接着剤種類 2 種類の計 16 条件で引張せん断試験を行ったところ、接着剤 AV138/HV998 のラップ長が 100mm の試験片のみピール止めの効果があった。

ピール止めの効果について鉄ネジは予想通り高い強度を示した。鉄ピンはピール止め効果がないものと選定したにもかかわらず、鉄ネジと同程度の強度を示した。ナイロンネジは鉄ネジには及ばなかったものの、ピール止めなしのもの比べて高い強度を示した。

また、接着剤を用いず、ピール止め部材のみで引張せん断試験を行ったところ、せん断応力換算で鉄ネジは 0.32MPa、ナイロンネジは 0.06MPa となった。この結果より、接着剤およびピール止めがある試験片の強度は、ピール止めなしの強度（3.73MPa）と接着剤なしでネジのみの強度を合計したものより大幅に向上することが確認できた。

### 8. 参考文献

[1]高野 敦, 後藤 佑介, 山本 優太, 「接着強度に対する接着層厚およびラップ長さの影響」, 日本機械学会 2015 年度年次大会, 一般社団法人 日本機械学会, 2015.9.13-16.