

# 次世代自動車・航空機部品の製造に必要な異種材料接合技術の開発（第8報）

— 異種金属接合技術の開発 —  
加賀忠士\*、丹羽孝晴\*、塚原誠也\*

## Development of joining dissimilar materials for production of next generation vehicle parts and aircraft parts (VIII) - Development of joining technology dissimilar metal materials - KAGA Tadashi\*, NIWA Takaharu\* and TSUKAHARA Seiya\*

本研究では、同種金属材料及び異種金属材料における超音波接合について、接合強度の向上、及び本接合方法を用いたアプリケーションの開発を目指している。今年度は、ローレット加工の無いホーンでの接合性能の評価、アプリケーションとして、ハット部材への接合、板材への六角ナット接合を検討した。その結果、接合強度を上げるにはローレット加工の無い2山形状の2-R25ホーンが有効であった。超音波接合したハット部材の曲げ試験評価を行った結果、超音波接合部材の曲げ変形に要するエネルギーは、接着剤接合部材の70%程度であった。また、板材と六角ナットの超音波接合強度は、JIS B 1196のM4溶接ナットの押込みはく離強さ参考値の15%程度であった。

### 1. はじめに

次世代自動車、航空機等の輸送機器の燃費向上に向けた軽量化への取組みとして、各部に様々な素材を適材適所に使うマルチマテリアル化の検討が行われている。このマルチマテリアル化を実現させるためには、異種材料接合技術が重要となり、金属材料の接合においては、リベット等による機械的接合、溶接、圧接等による冶金的接合が一般的に用いられている。しかし、リベット接合ではリベット自身が重量増加の要因となり、溶接では異種材料の組合せによって脆弱な金属間化合物が形成され必要な強度が得られないといった課題が残されている。

そこで、岐阜県産業技術総合センターでは、溶融を伴わない固相接合法に着目し、超音波接合法を用いた異種金属材料接合の技術開発に平成28年度から取り組んでいる。この接合法は、超音波接合用工具（ホーン）による接合面への加圧と、振動の印加により界面での摩擦、塑性流動を発生させ、金属表面の吸着分子や酸化層を破壊することで新生面同士の原子間結合により接合が実現できている。現在は、自動車内部の電気配線の端子やLSI内部配線の端子の接合（ワイヤーボンディング）など、各種電気端子の接合に多く用いられている<sup>1)</sup>。

これまでに当センターでは基礎的な調査を中心に実施してきた。具体的には、異種金属材料の組合せにおける加振時間と接合強度の関係、加振振幅と接合強度の関係、ホーン加圧力と接合強度の関係を把握した。また、ホーン及びアンビルのローレット目ピッチの違いによる接合性能評価、更には、ローレット加工の無いホーンによる接合性能評価を行った。これら以外にも、接合面の粗さが接合強度へ及ぼす影響調査、接合面の温度調査等を行ってきた<sup>2,4)</sup>。

今年度は、ローレット加工の無いホーンでの接合性能の評価、超音波接合を使ったアプリケーションの提案として、ハット部材への接合、板材への六角ナット接合を実施し、これらの性能評価を行ったので報告する。

### 2. 実験

#### 2.1 実験装置

接合には超音波金属接合機（日本アビオニクス（株）、SW-3500-20/SH-H3K7）を用い、ホーンはローレット加工無しの曲率半径R25を2山連結した形状のホーン（加圧面10mm角）、ローレット加工有り1mmピッチホーン（加圧面10mm角）の2種類を準備した。なお、アンビルについてはローレット加工有1mmピッチの1種類を使用した。

#### 2.2 接合実験方法

##### 2.2.1 ローレット加工無しホーンの接合実験

昨年度に引き続き、ローレット加工の無いホーンの接合性能評価を行った。昨年度は、R200の曲率半径を有したかまぼこ型形状のホーン（以下、R200ホーン）を使用した。今年度は図1に示すように、曲率半径R25を2山連結した形状のホーン（以下、2-R25ホーン）を準備した。接合試料には板厚1mmの純銅C1100及びアルミニウム合金A5052を長さ100mm、幅15mmに切断した試料を用い、ホーン側をC1100、アンビル側をA5052とし2枚の試料を15mm重ね合わせるシングルラップ接合を行った。接合後の試料を図2に示す。接合条件は2-R25ホーンを使用する以外は昨年度と同様の条件で、ホーンの全振幅64 $\mu$ m（100%）に対し50%、70%、90%の振幅、加振時間0.3sec、0.5sec、0.7secとし、ホーンの加圧力1500Nの条件で接合実験を行った。

##### 2.2.2 ハット部材への接合実験

ハット部材は、厚さ0.5mmアルミニウム合金A5052を所定の寸法に切断し、プレス加工によってハット形状

\*機械部

に成形した部材と平板を重ね合わせ、超音波接合機を用いて作製した。ハット部材の形状及び超音波接合位置を図3、作製したハット部材を図4に示す。接合条件としては、ローレット加工有り 1mm ピッチホーン(加圧面 10mm 角)を用い、振幅 70%、加振時間 0.7sec、ホーンの加圧力 1500N とし、25mm (接合数 18 点)、50mm (接合数 10 点)、66mm (接合数 8 点) の 3 種類の間隔のスポット接合によりハット部材の接合を行った。また、比較として、接着剤(スリーエム社製、EPX 接着剤(二液混合型) DP-460)を用いて作製したハット部材も準備した。

2. 2. 3 板材への六角ナット接合実験

六角ナットはスチール製三価クロメート仕上げ M4 を使用した。また、その接合相手となる板材は板厚 1mm、長さ 50mm、幅 15mm に切断した A5052 を用いた。六角ナット接合体の様子を図5に示す。接合条件として、

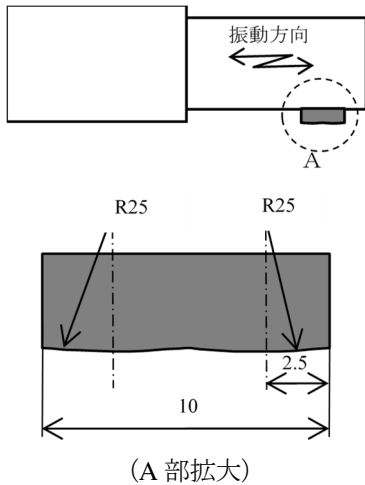


図1 ローレット無し 2-R25 ホーン形状

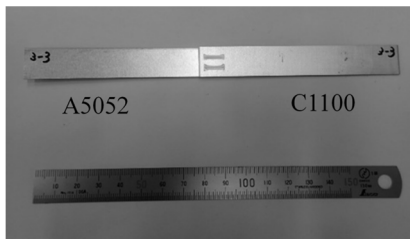


図2 2-R25 ホーンによる接合体

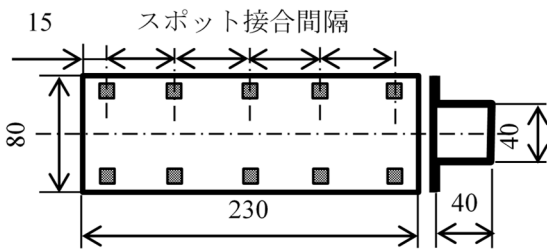


図3 ハット部材形状の詳細

ローレット加工有り 1mm ピッチホーン(加圧面 10mm 角)を用い、50%、70%、90%の振幅、加振時間 0.5sec、0.7sec、1.0sec と変え、ホーンの加圧力 1500N で接合実験を行った。

3. 結果及び考察

3. 1 ローレット加工無しホーンの接合性能

接合状態の評価は、万能材料試験機(インストロン 5985 型)を用いて、試験速度 2mm/min にて引張せん断試験を行い、最大引張せん断荷重を測定し、この値を接合試料の接合強度とした。加振時間 0.5sec における振幅変化による接合強度の関係を図6に示す。試験結果には昨年度までに実施したローレット加工有り 1mm ピッチホーン(加圧面 10mm 角)、ローレット加工無し R200 ホーン(加圧面 10mm 角)も含めて示す。この図から、振幅の増加に伴い、接合強度が増加していることがわかる。また、振幅 90%の条件における接合強度平均値は、1mm ピッチホーンは 2.12kN、R200 ホーンは 1.83kN、2-R25 ホーンは 2.44kN となった。このことからホーン形状に関係なく振幅が大きくなるほど接合強度は高くなる傾向にあるが、2-R25 ホーンが最も接合強度が高くなることがわかった。続いて振幅 70%における加振時間変化における接合強度の関係を図7に示す。この図から、加振時間の増加に伴い、接合強度が増加していることがわかる。また、加振時間 0.7s の条件における接合強度平均値は、1mm ピッチホーンは 1.85kN、R200 ホーンは 2.09kN、2-R25 ホーンは 2.11kN となった。このことから接合時間を長くすることで接合強度を上げるには、2-R25 ホーンが一番有効であることがわかった。

3. 2 ハット材への接合性能

ハット部材の接合評価は、万能材料試験機(東京衝機製)を用い 3 点曲げ試験(3 点曲げ圧子径 25mm、スパン 150mm、試験速度約 100mm/min)による曲げ変形に要したエネルギー値を採用した。

3 点曲げ試験の様子を図8に示す。また、一例としてこの時に得られた、接合数 18 点における曲げ変位と荷

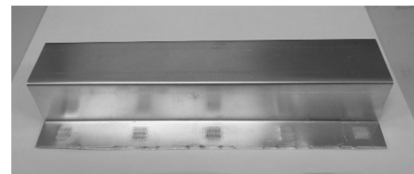


図4 ハット部材



図5 六角ナット接合体

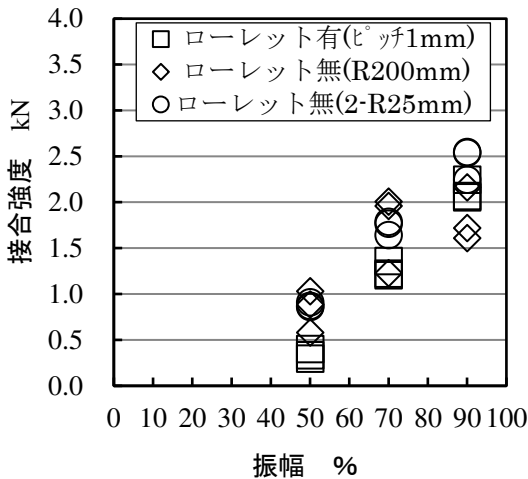


図6 振幅と接合強度の関係 (加振時間 0.5sec)

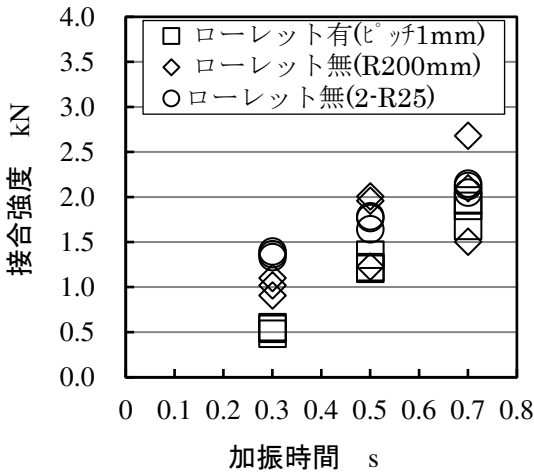


図7 加振時間と接合強度の関係 (振幅 70%)

重の関係を図9に示す。3点曲げ試験の評価は、この図の曲げ変形(変位 0~50mm)に要したエネルギー値(変位と荷重曲線に囲まれた面積)で行った。超音波接合の各接合間隔で作製したハット部材及び接着剤で作製したハット部材の曲げ変形(変位 0~50mm)に要したエネルギー値を図10に示す。この結果から、超音波接合において接合間隔の違いによるエネルギー値の違いは見られなかった。また、超音波接合と接着剤接合を比較すると超音波接合は接着剤接合の約70%程度になっていることがわかった。超音波接合において、接合箇所を決められた間隔で順番に行っていく際、既に接合された接合部が次の接合における材料同士の振動を阻害し、これによって接合強度が弱くなり、接合間隔の違いによるエネルギー値の違いが現れなかったと考えられる。

### 3.3 板材への六角ナット接合性能評価

ナットの接合評価は、万能材料試験機(インストロン

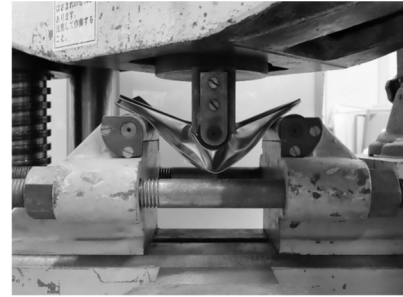


図8 ハット材3点曲げ試験の様子

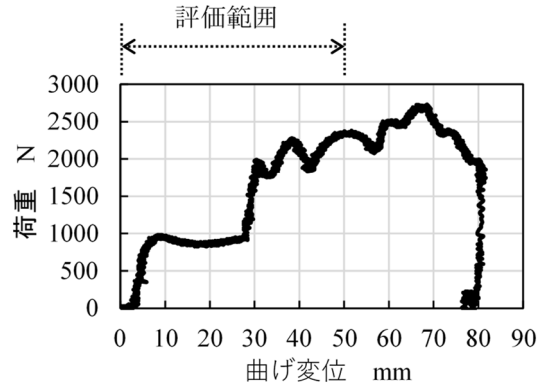


図9 曲げ変位と荷重の関係 (接合数 18点)

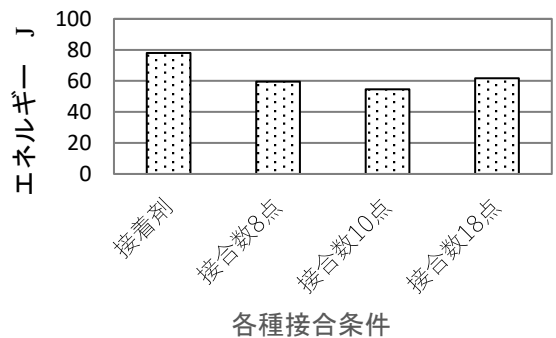


図10 曲げ変形に要したエネルギー値

5985型)を用いて、試験速度 1mm/minにて接合面に対し垂直方向に引張したときの最大荷重を測定し、この値を接合試料の接合強度とした。

加振時間 0.7secにおける振幅変化による接合強度の関係を図11に示す。この図から、振幅の増加に伴い、接合強度が増加していることがわかる。続いて振幅70%における加振時間変化における接合強度の関係を図12に示す。この図から、加振時間 0.7secのとき最も接合強度が高く、その後加振時間を延ばすと逆に接合強度が下がることがわかった。なお、本接合実験で最も接合強度の高い条件の振幅90%、接合時間 0.7secでは平均で約480Nであったが、この値をJIS B 1196のM4溶接ナットの押込みはく離強さの参考値3240Nと比較すると15%程度にとどまっていることもわかった。今後接合強度向上を課題として検討をしていく。

#### 4. まとめ

超音波金属接合について、ローレット加工の無いホーンでの接合性能評価、ハット部材への接合、板材への六角ナット接合を行いこれらの性能評価を行った結果、以下の結果を得た。

- 1) ローレット加工有り 1mm ピッチホーン、ローレット加工無し R200 ホーン、ローレット加工無し 2-R25 ホーンの 3 種類を比較した場合、接合強度を上げるには、2-R25 ホーンが最も有効である。
- 2) ハット部材において、超音波接合部材の曲げ変形に要したエネルギー値は、接着剤接合部材の約 70%程度になっている。
- 3) 板材への六角ナット接合において、強度は JIS B 1196 の M4 溶接ナットの押込みはく離強さ参考値の 15%程度である。

#### 【謝 辞】

本研究の遂行にあたり、共同研究先の岐阜大学工学部山下実教授に、ご指導・ご助言をいただきましたことに深く感謝いたします。

#### 【参考文献】

- 1) 神,精密工学会誌 Vol.82,No.5, pp403-406,2016
- 2) 加賀ら,岐阜県工業技術研究所研究報告 No.5, pp48-51,2017
- 3) 柘植ら,岐阜県工業技術研究所研究報告 No.6, pp49-52,2018
- 4) 柘植ら,岐阜県工業技術研究所研究報告 No.7, pp47-50,2019

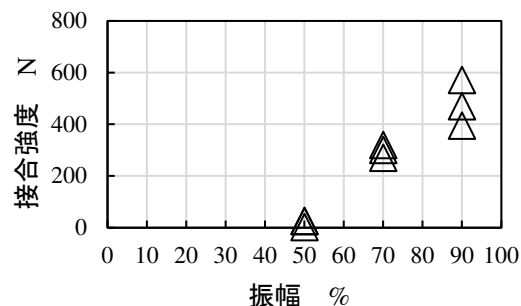


図 1.1 振幅と接合強度の関係  
(加振時間 0.7sec)

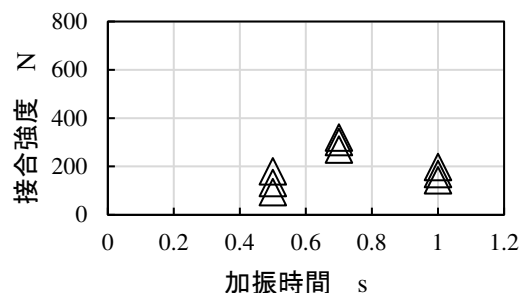


図 1.2 加振時間と接合強度の関係  
(振幅 70%)