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１０報）

－　異種金属接合技術の開発　－

加賀忠士*、小川大介*、塚原誠也*

Development of joining dissimilar materials for production of next generation vehicle parts and aircraft parts　(X)

– Development of joining technology dissimilar metal materials –

KAGA Tadashi*, OGAWA Daisuke* 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、アプリケーションの開発を目指している。今年度は、板厚 1mm のハット部材への接合、接合面性状を変化させた六角ナットによる板材への六角ナット接合を検討した。その結果、ハット部材の曲げ試験に要したエネルギー値において超音波接合は接着剤接合の約 95%、ハット部材の圧縮試験最大荷重において超音波接合は接着剤接合の約 90%であり、超音波接合は接着剤接合に比べ若干低かった。また、板材への六角ナット接合体の接合強度について、メッキ除去や耐水研磨紙で接合面の粗さを変化させたナットは接合強度が著しく低かった。それらに比べ、追加工を何も行わない市販品ナットの接合強度が高かったが、この値は、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。この接合面の断面 EDX 分析を行い、ナットの接合には亜鉛メッキの拡散が寄与していることがわかった。

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、必要となる性能を有する部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、異種材料の接合技術が重要となっている。一般に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ることや、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。

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のひとつである超音波接合法に着目し、異種金属材料接合の技術開発に取り組んでいる。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 [1)]。

これまでに当センターでは超音波接合法による基礎的な実験とアプリケーションの開発を目指した実験を実施してきた。基礎的な実験として、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も行った。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。一方、アプリケーションの開発として、ハット部材への接合の検討、板材への六角ナット接合の検討を行ったが、板厚を増加させた場合や接合面性状が変化した場合など、これらに対応した新たな接合条件のノウハウの蓄積が必要であることがわかった [2-5)]。

今年度は、板厚を 1mm に増加させたハット部材への接合及び接合面性状を変化させた六角ナットによる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有 1mm ピッチホーン(加圧面 10mm 角)を用いた。なお、アンビルについてはローレット加工有 1mm ピッチを使用した。

２．２　接合実験方法

２．２．１　ハット部材への接合実験

ハット部材は、厚さ 1.0mm アルミニウム合金 A5052 板を所定の寸法に切断し、プレス加工によってハット形状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１、作製したハット部材を図２に示す。接合条件としては、ホーンの全振幅 64μm（100%）に対し振幅 70%、加振時間 1.2sec、ホーンの加圧力 1500N とし、50mm の間隔のスポット接合（接合数 10 点）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、EPX 接着剤（二液混合型）DP-460）を

*機械部

用いて接着したハット部材を作製した。

２．２．２　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 板を用いた。接合条件を検討するにあたり、過去の報告において接合面の表面粗さが大きくなるとアンカー効果により接合強度を向上させるとの結果を得ている [4]。このことから、六角ナット接合面を、追加工を何も行わない市販品のままのもの（以降市販品ナット）、市販品からメッキを酸により除去したもの（以降メッキ除去ナット）、接合面を SiC 耐水研磨紙により#80、#320、#1500 までそれぞれ研磨したもの（以降#80 研磨ナット、#320 研磨ナット、#1500 研磨ナット）を準備した。ナット接合面及び A5052 板の接合面についてはレーザー顕微鏡（（株）キーエンス、VK9700/9710）を用い、視野範囲 270×202μm における表面粗さ測定を行った。図３に測定結果を示す。

次に、六角ナット接合体の様子を図４に示す。接合条件は、ホーン側を六角ナット、アンビル側を A5052 板として各試料を設置し、振幅 90%、加振時間 0.7sec、ホーンの加圧力 1500N で接合実験を行った。

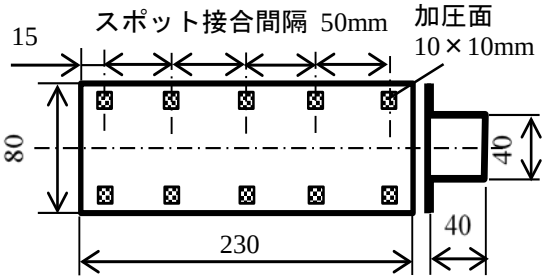


図１　ハット部材形状の詳細

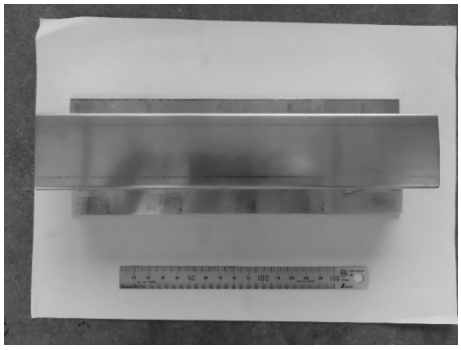


図２　ハット部材

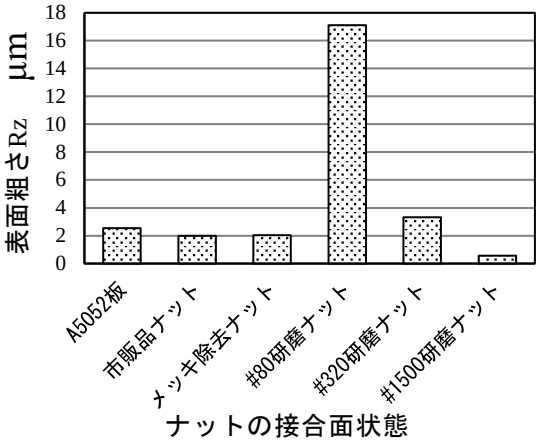


図３　ナット接合部の表面粗さ測定結果

３．結果及び考察

３．１　ハット部材への接合性能評価

３．１．１　曲げ試験結果

昨年度と同様に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）を行った。

一例としてこの時に得られた、超音波接合（接合数 10 点）における曲げ変位と荷重の関係を図５に示す。3 点曲げ試験の評価は、昨年度と同様に、この図に示すように曲げ変形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。なお、評価範囲は昨年度の 0

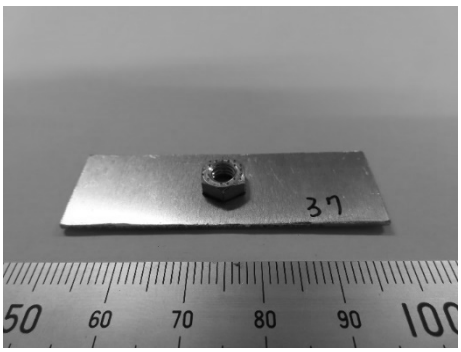


図４　六角ナット接合体

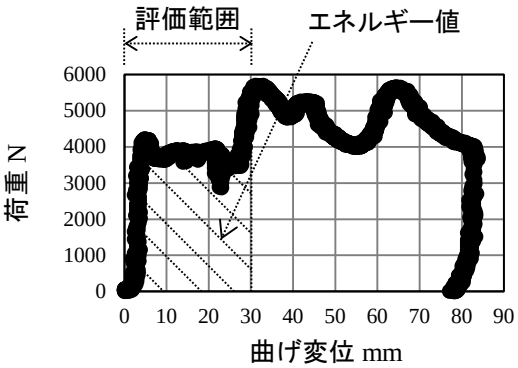


図５　曲げ変位と荷重の関係（超音波接合）

～50mm から 0～30mm に変更している。その理由は、変位が 30mm を超えた時点で超音波接合及び接着剤接合の両方ともにすべての接合箇所において剥離が確認され、それ以降の変形に要したエネルギー値は接合の影響が含まれないためである。図６に超音波接合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に要したエネルギー値の結果を示す。この結果から、超音波接合は接着剤接合の約 95%であり、超音波接合は接着剤接合に比べ若干低いことがわかった。

３．１．２　圧縮試験結果

ハット部材の接合評価に万能材料試験機（島津製作所 AG-100kNIS）を用いた圧縮試験（試験速度 10mm/min））を行った。

圧縮試験の様子を図７に示す。このとき、超音波接合及び接着剤接合の両方ともに試験開始後、圧縮した数 mm 時点で、接合部のすべてが剥がれた。そのため、圧縮初期に出現する最大荷重で評価した。図８に超音波接合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最大荷重の結果を示す。この結果から、超音波接合は接着剤接合の約 90%であり、超音波接合は接着剤接合に比べ若干低いことがわかった。

３．２　板材への六角ナット接合性能評価

３．２．１　剥離試験結果

六角ナットの接合評価は、万能材料試験機（インストロン 5985 型）を用いて、試験速度 1mm/min にて接合面に対し垂直方向に引張試験を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。

六角ナット接合面の表面状態を変化させた各 3 サンプルの中で最も高い接合強度を得た結果を図９に示す。この図から、市販品ナットの接合強度が一番高く、メッキ除去ナットや耐水研磨紙で接合面の粗さ変化させた#80 研磨ナット、#320 研磨ナット、#1500 研磨ナットは接合強度が著しく低いことがわかった。なお、市販品ナットの接合強度は、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ため、今回の取組みにおいては、接合強度の向上は達成できなかった。

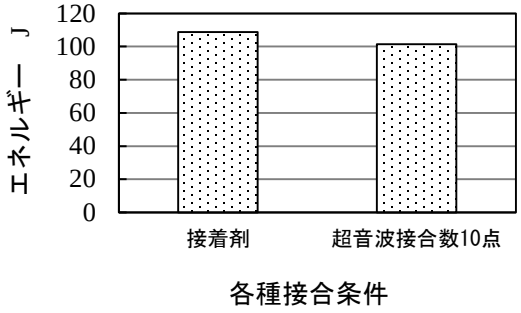


図６　曲げ変形に要したエネルギー値

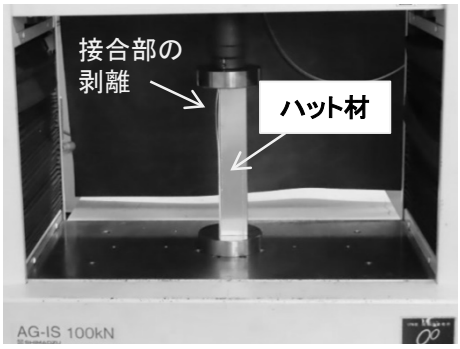


図７　圧縮試験の様子

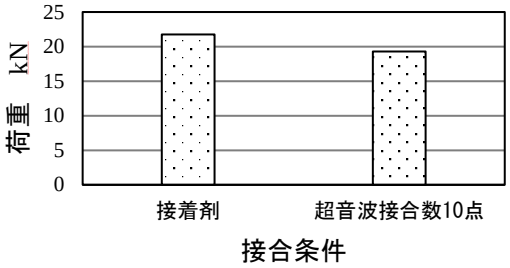


図８　圧縮試験による最大荷重測定結果

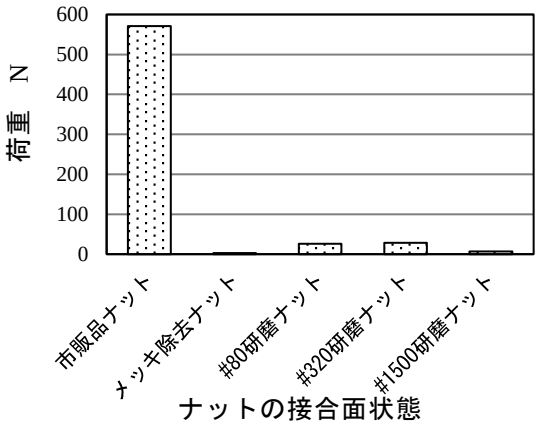


図９　表面状態を変化させた六角ナットの接合強度

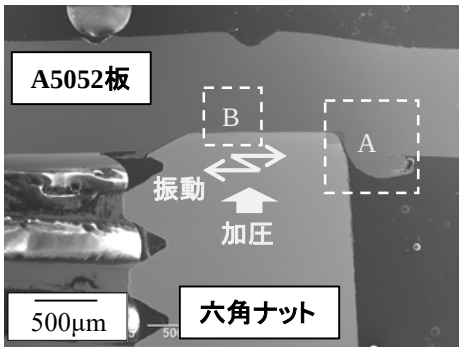
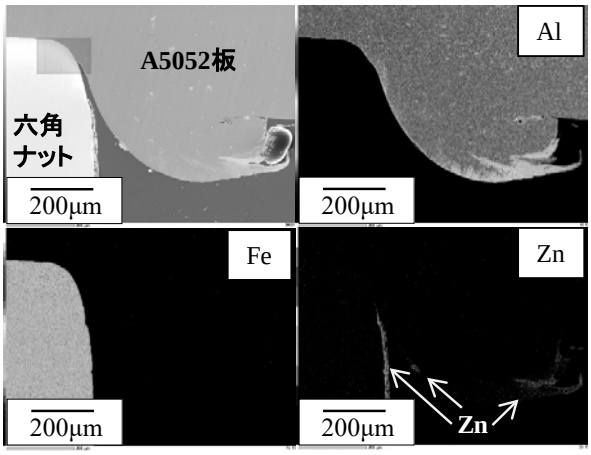
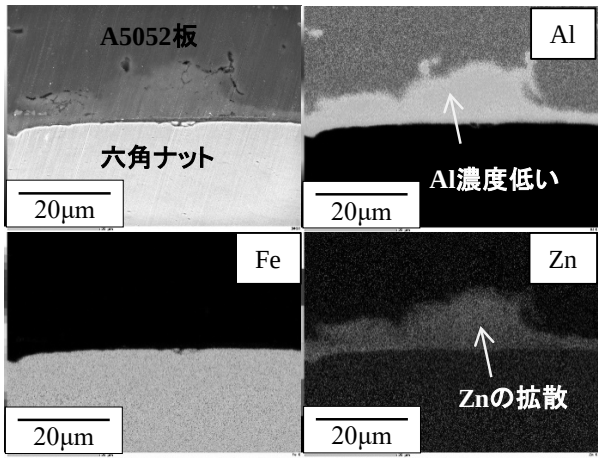


図１０　六角ナット接合体断面の SEM 像



（ａ）ナット外周部Ａ



（ｂ）接合部Ｂ

図１１　六角ナット接合体断面のＥＤＸ元素マッピング

３．２．２　接合界面の EDX 分析結果

今回の実験で接合強度が一番高かった市販品ナットの接合体の断面観察を行った。六角ナット接合体断面の SEM 像を図１０に示す。この図におけるナット外周部 A 及び接合部 B について、集束イオンビームー高分解能走査電子顕微鏡複合装置（日本電子製 JIB-4600F）を用いた断面観察を行った。EDX 元素マッピング結果を図１１に示す。

ナット外周部 A について、A5052 板に接触していないナット部表面には亜鉛メッキの Zn が検出されていることがわかる。また、ナットの亜鉛メッキは加圧と超音波振動により A5052 板側に取り込まれながら、ナット外周部へ押し流されていることがわかる。一方接合部 B については、ナットの亜鉛メッキは A5052 板側へ拡散していることがわかる。以上から、ナットの接合には亜鉛メッキの拡散が寄与していることがわかった。

４．まとめ

超音波金属接合について、板厚 1mm のハット部材への接合、接合面性状を変化させた六角ナットによる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）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 95%であった。

２）ハット部材において、超音波接合部材の圧縮試験の最大荷重は、接着剤接合部材の約 90%であった。

３）板材への六角ナット接合において、メッキ除去や #80 研磨ナット、#320 研磨ナット、#1500 研磨ナットは接合強度が著しく低い。それらに対し、市販品ナットの接合強度が高かった。ただし、この市販品ナットの接合強度は、IS 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。

４）ナットの接合には亜鉛メッキの A5052 板側への拡散が寄与している。

【謝　　辞】

本研究の遂行にあたり、共同研究先の国立大学法人東海国立大学機構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
5) 加賀ら,岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.1, pp5-8,2020