ワッシャーを用いた異種材のリベット締結*

木之下 広幸^{*1}, 海 津 浩 一^{*2}
河 村 隆 介^{*1}, 池 田 清 彦^{*1}

Riveting Process with Washer for Dissimilar Sheet Metals

Hiroyuki KINOSHITA^{*3}, Koichi KAIZU,
Ryusuke KAWAMURA and Kiyohiko IKEDA^{*3} Mechanical Systems Engineering, University of Miyazaki,
1-1 Gakuenkibanadai-nishi, Miyazaki-shi, Miyazaki, 889-2192 Japan

In this study, to obtain the high joint strength in riveting of dissimilar sheet metals, the riveting process with a washer was applied to joining. First, both the rivet joints between aluminum and steel with a washer and without it were produced. Next, tensile tests of the joints were carried out and fracture aspects of the joints were investigated in detail, and their joint strength was examined. From the obtained results, it was clarified that fracture aspects of the joints were influenced by the existence of a washer and the joint strength with a washer is higher. It is also confirmed that the riveting process with the washer was effective for joining of dissimilar sheet metals.

Key Words: Machine Element, Fixing Element, Riveting, Joint Strength, Washer, Dissimilar Sheet Metal

1. 緒 言

著者らはこれまでに、リベット締結において板の変形を抑制しつつ高い締結強度を得ることを目的に、ねじ締結と同様にワッシャーを用いてリベット締結する方法を提案し、アルミニウム合金板同士の締結に同手法を適用した⁽¹⁾。その結果から、単せん断重ね継手において、板材よりも変形抵抗の高いリベット材が用いられる場合に、ワッシャーにより締結部の変形が小さく抑えられるとともに締結強度が増加することを明らかにした。

異種材をリベット締結する場合には、強度の低い方の板の締結部周辺の変形が大きくなり、継手の破壊も強度の低い方の板の穴周囲で生じやすい。そのようなことから、異種材のリベット継手の特性は強度の低い板材の機械的性質に影響されてしまうが、可能な限り締結強度を高めたいという要求は非常に多い。

本研究では、異種材のリベット継手に対してワッシャーを用いたリベット締結法を適用することにより継手の変形を抑えつつ締結強度の向上が可能かどうかを検討した。それらの結果について報告する。

2. 実験方法

2-1 リベット継手の作製方法 図1はワッシャーを用いて作製したリベット継手の寸法・形状を示している。本研究では、板材の変形量と強度が顕著に異なる異種材のリベット継手におけるワッシャーの効果を確かめるために、厚さ3mmの一般構造用圧延鋼材SS400(降伏応力:約280MPa)の帯板と厚さ1mmのアルミニウム合金A1050P-H24材(0.2%耐力:約70MPa)の帯板を締結し、単せん断重ね継手を作製した。リベット材にはアルミニウム合金A1070Bd材(0.2%耐力:約70MPa)を用い、リベットの呼び径(軸直径)は構造用継手のリベット軸直径と板厚の関係式⁽²⁾から8mmとした。ワッシャーには、市販の呼び径8mmのステンレス鋼製のみがき丸(面取り形)を用いた。ワッシャーの硬さは185HV、寸法は厚さ1.6mm、外径17mm、穴直径8.4mmである。板穴の直径は8.5mmとし、板にはドリルで穴あけを施した。リベットは予め、フラットパンチを用いて直径8mm、長さ29mmの棒材から据込み加工により作製した。なお、リベット頭部の直径 D は、リベット軸の直径 d_0 (8mm)の約1.7倍に成形した。継手は図1に示すように、強度が低く変形量の大きいA1050P-H24の板材の上面のみにワッシャーを設けた継手と、ワッシャー無しの継手を作製した。リベット締結は図2に示すように、SS400の帯板の上に

* 原稿受付 2010年2月5日。

^{*1} 正員, 宮崎大学工学部(☎889-2192 宮崎市学園木花台西1-1)。^{*2} 正員, 兵庫県立大学大学院(☎671-2280 姫路市書写2167)。
E-mail: t0d165u@cc.miyazaki-u.ac.jp

A1050P-H24 の帯板を重ね、ワッシャーを用いる場合にはその上にワッシャーを置いて、下側から穴にリベット軸を挿入した後に、リベット軸をフラットパンチにより圧縮することにより行った。なお、本研究で用いたリベット材 (A1070Bd) と板材 (A1050P-H24) の 0.2% 耐力はほぼ同じであるが、リベット軸はかしめ加工により穴内に押し広げられ、塑性ひずみを生じて加工硬化する。そのため、締結後のリベット軸の変形抵抗は、板材よりも大きくなる。

2.2 継手の強度試験の方法 図 3 は、継手の強度試験の方法を示している。強度試験はオートグラフ (島津製 AG-X50kN) を用いて、上下のチャックの余裕を利用して 2 枚の板が負荷方向に平行になるように継手の両端をつかみ、10mm/min の一定速度で引張ることにより行った。

3. 実験結果および考察

3.1 締結部の様相 図 4 は、ワッシャー無しの場合とワッシャー有りの継手の締結部断面の様相を示している。ワッシャー無しの継手は、アルミニウム合金板の穴縁がリベットの軸と頭部により圧縮されて塑性変形し、穴に近いほど板厚が減少している。一方、ワッシャー有りの継手にはこのような現象は生じていない。これらの締結部断面の状況から、ワッシャー無しの継手の場合では、板の穴縁に近い部分はリベット頭部により強く締めつけられているが、リベット頭部の外周部付近ではあまり締めつけられていないと推測される。それに対して、ワッシャー有りの継手の場合では、板はワッシャーにより広い領域で一様に締めつけられていると推測される。

3.2 締結部の破壊の様相 図 5 は、継手の引張試験後の破壊の様相と引張試験時の荷重-変位曲線の一例を示している。図 5(a) に示すワッシャー無しの継手の場合には、アルミニウム合金の板穴周囲がリベットの圧縮力に耐えかねて拡大するとともに、板の端部が大きく開く特徴がある。これらの様相からこの場合の破壊の形態は、板穴周囲が圧縮破壊される形態⁽²⁾、⁽³⁾と考えられる。一方、図 5(b) に示すワッシャー有りの継手の場合には、アルミニウム合金の板穴は継手の長手方向にのみ拡大し、リベット軸によって圧縮された板の穴周辺が板の端部まで押出されている現象が観察される。そして、その板の端部に押出された部分にはすべり線が観察される。また、この場合は板の端部には開きは生じていない。さらに図 5(c) に示すように、ワッシャー無しの継手の場合には、小さなストロークで最大荷重に達し、継手はすぐに破壊してしまうが、

Fig. 1 Dimension of joint

Fig. 2 Method of joining

Fig. 3 Tension test of joint

Fig. 4 Section of joints

Fig. 5 Fracture aspects and tensile load-displacement curves

ワッシャー有りの継手の場合には、破壊に至るまでのストロークが非常に長く、しばらくの間、ほぼ一定の荷重で推移する特徴がある。これらの様相からこの場合の破壊の形態は、板穴周囲が圧縮破壊される形態とリベットと板の端部の間の部分がせん断されて破壊する形態⁽²⁾、⁽³⁾の複合型と考えられる。但し、リベット頭部の直径 D とリベット軸の直径 d_0 の比 (D/d_0) が約 1.85 以上になると板穴周囲は圧縮破壊され、破壊形態に差異はなくなる。以上から、ワッシャーには継手が引張力を受けた際に、板穴の拡大ならびに板と板との間の開きを抑制する両方の作用があると考えられる。なお、継手が引張力を受けた際に板と板との間に開きが生じる原因は、継手の両端の引張力にともないリベットおよび板に曲げモーメントが作用するためである。

(1). また, ワッシャーが板と板との間の開きを抑制する理由は, これまでの有限要素法による継手の引張試験の解析結果⁽¹⁾ から, ワッシャーと板との接触部付近一帯に圧縮応力が作用するためと考えられ, 板の開きが抑制されると板と板との間の摩擦力の減少を防ぐ効果をもたらす.

3.3 継手の強度 図6は, 継手の最大引張荷重を表している. 図中の●および■の印が引張試験で得られた最大引張荷重を表し, 一点鎖線は, 板穴周囲がリベット軸により圧縮破壊される場合の圧縮力 F_A (支圧力: Bearing) を次式⁽³⁾により計算した結果を表している.

$$F_A = \sigma \cdot d \cdot t \quad (1)$$

ここで, σ はアルミニウム合金板の圧縮の変形抵抗, d は締結後のリベット軸の直径(8.5mm), t はアルミニウム合金の板厚(1mm)を表す. また実線は, リベットとアルミニウム合金板の端部の間の部分がせん断されて破壊する場合のせん断力 F_B (Shearing)を次式⁽³⁾により計算した結果を表している.

$$F_B = 2 \cdot e \cdot t \cdot \tau \quad (2)$$

ここで, τ はアルミニウム合金板のせん断変形抵抗, e はリベット穴の中心から板の端までの長さ(20mm)を表す. 計算では, σ には A1050P-H24 材の 0.2%耐力(70MPa)を用い, τ にはミーゼスの降伏条件から σ の値を $\sqrt{3}$ で除した値(40.4MPa)を用いた. 図6から, ワッシャー無しの場合とワッシャー有りの場合の最大引張荷重は, (D/d_0) が1.8以上ではあまり変わらないが, (D/d_0) が1.6から1.8未満の範囲では明らかにワッシャー有りの場合の方が大きい. このように, (D/d_0) が小さい場合に継手の最大引張荷重の差が大きいのは, ワッシャー無しの場合には, (D/d_0) の増加とともに最大引張荷重が増加する特徴があるが, これに対してワッシャー有りの場合場合には, 最大引張荷重は (D/d_0) の大きさによらずほぼ一定でかつ大きいことによる. ワッシャー無しの場合の最大引張荷重が (D/d_0) の増加とともに増加する理由は, 図5の締結部断面の様相から, リベット頭部の直径が大きいほど大きな面積で板を締め付けているためと考えられる. また, ワッシャー有りの場合の最大引張荷重が, (D/d_0) の大きさによらずほぼ一定となる理由は, リベット頭部の直径によらず, ワッシャーの座面で板を締め付けているためと考えられる.

次に, ワッシャー有りの場合の最大引張荷重が相対的に大きい理由について以下のように考察する. 3.2節で述べたように, ワッシャー無しの場合には板穴周囲

Fig.6 Maximum tensile force of joints

の圧縮破壊であり, ワッシャー有りの場合の場合, 板穴周囲の圧縮破壊とリベットと板の端部の間の部分のせん断破壊の複合型と考えられる. また, 図6中の実線と一点鎖線の比較から, せん断力は支圧力よりも2倍以上も大きく, 部分的にでも板のせん断破壊をともしなうワッシャー有りの継手は高い強度を持つものと考えられる. なお, 図6において, 破壊の形態が異なるのにワッシャー無しの継手とワッシャー有りの継手の最大引張荷重があまり変わらない原因の一つは, 締結後のリベット頭部の締め付け力によって生じる板と板との間の摩擦力が継手の強度に大きく影響を及ぼしているためと考えている. したがって, 単純に式(1)と式(2)のみから継手の強度を推定することはできないが, 式(1)および式(2)は継手の強度を検討する上での重要な要因であると考えられる.

ワッシャーを用いた場合の特徴は, 図6に示したようにリベット頭部が小さい場合にも比較的高い締結強度が得られることである. この特性は, リベット締め荷重を小さくして板の変形を小さく抑えたい場合に有用であると考えられる.

4. 結 言

本研究では, SS400の帯板とA1050P-H24の帯板に対してワッシャーを用いたリベット締結法を適用し, 異種材継手の変形の抑制と締結強度の向上に対するワッシャーの効果について検討した. その結果, ワッシャーを用いることで継手の破壊の様相に明確な違いが見られ継手の強度も向上することを明らかにした.

文 献

- (1) Kinoshita, H., et al., Proposal and effect of riveting process using the washer, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol.74, No.745 (2008), pp.2281-2288.
- (2) Masuko, M., *Machine Design*, (1985), pp.71-92, Yokendo Co. Ltd.
- (3) Oonishi, K., *Hand book of Design and Drawing based on JIS*, (1987), p.(13-11), Rikogakusha Publishing Co. Ltd.