

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420082

研究課題名(和文)プラスチック材料と金属材料との異材接合を可能にするリベット締結法の開発

研究課題名(英文) Development of riveting method for joint between plastic material and metallic material

研究代表者

海津 浩一 (Kaizu, Koichi)

兵庫県立大学・工学研究科・教授

研究者番号：50177317

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：金属は強度やねばり強さに優れ、プラスチックは軽量で成形性に優れており、両者を接合して軽量化と高機能化が図られ、幅広い産業分野で利用されている。従来の接合法のいくつかの問題点を解決するため、本研究では、打抜きリベット締結法を用いて、脆性プラスチックのアクリル薄板と軽量のアルミニウム合金薄板をアルミニウム合金のリベットで締結することを試みた。その結果、アクリル板が破壊されずに十分な強度を持つ良好な締結ができ、打抜きリベット締結法がプラスチック材料と金属材料の新たな接合法となりえることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Metallic materials have excellent strength and toughness, and plastic materials have lightweight and excellent formability. Joining of both materials is carried out to achieve the reduction of the weight and high functionality. The products which are composed of both materials are used in a wide range of industrial fields. In this study, to solve several problems of the conventional joining method, joining of an acrylic sheet which was a kind of brittle plastic material and a lightweight aluminum alloy sheet by using an aluminum alloy rivet was attempted by the punching rivet method. As a result, the acrylic sheet and aluminum alloy sheet were joined without fracture of the acrylic sheet, and the dissimilar joint had high joint strength. There is a possibility that the punching rivet method becomes a new joining method for plastic materials and metallic materials.

研究分野：材料力学、衝撃工学

キーワード：機械要素 リベット 異材継手 プラスチック 軽金属 打抜き加工 継手強度 軽量化

1. 研究開始当初の背景

金属とプラスチックの接合は接着剤による接着、ボルト・ナットによる機械的締結、レーザを使った直接接合などが行われているが、それらの接合はそれぞれに一長一短がある。接着剤は被接着材の大きさや厚みなどに左右されないこと、気密性や水密性を持つことなどの優れた長所があるが、その一方で、被接着材の材質に合わせて接着剤を選ばなければならないこと、接着時間が長い場合があること、可燃性のものが多いこと、接着剤の品質管理が必要なことなどの短所がある。ボルト・ナットの場合は、容易に接合部をはずすことができるという極めて優れた長所を持つが、あらかじめ穴あけなどの機械加工が必要なことから作業工程が多くなってしまい、振動を受けてゆるみが発生する場合があることなどが短所となる。さらに、近年では軽量化と生産性の向上のためにレーザによる金属とプラスチックによる直接接合①が試みられている。レーザは瞬間的な接合が可能であるが、接合強度がレーザの接合条件や材料の組み合わせに大きく影響されることが明らかになっており、さらに研究を進めていかなければならない。このように、現在でも金属とプラスチックの接合は新たな接合法が提案され続けており、「ものづくり」にとって非常に重要な分野である。

研究代表者はこれまでに、分解可能なリベット締結法として、図1に示すリベットとリベットホルダーを用い、図2のようにリベットを薄板に打込むことで穴あけ加工を必要とせず瞬時に締結できる打抜きリベット締結法を開発した②、③。従来のリベットのかしめ締結の場合には、あらかじめ薄板に穴あけ加工を施した後にリベット軸をその穴に通し、軸の先端を押しつぶすことで板を締結してきた。打抜きリベット締結法は図2のように、リベット軸で薄板を打抜くこと

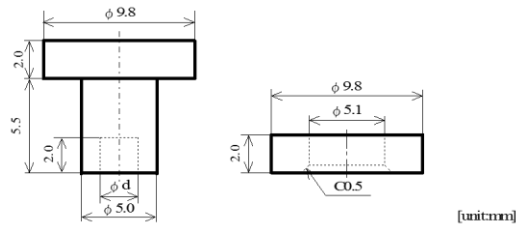


図1 リベットとリベットホルダー

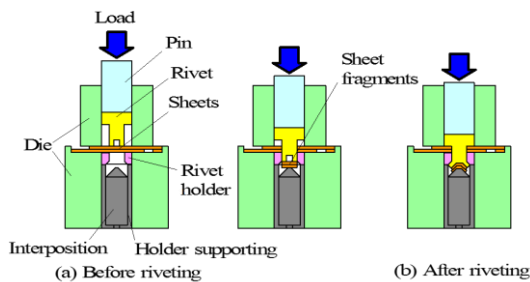


図2 打抜きリベット締結法の概略図

で穴をあけ、その後、リベットホルダーに設けられた穴に入ったリベット軸の先端を押しつぶして太らせることによってリベットホルダーの穴に軸先端部を充満させて締結する。この方法により、アルミニウム合金のリベットで2枚のアルミニウム合金薄板を、軟鋼のリベットで2枚のSPCC薄板（冷間圧延鋼板薄板）を、軟鋼のリベットでSPCC薄板とアルミニウム薄板を締結でき、かつこの方法で作製した継手を分解することができることを示した④。本研究では、この打抜きリベット締結法を金属とプラスチックの締結に適用することを試みた。これまでの研究では、厚さ1mmのアルミニウム合金薄板とアクリル薄板の締結を試み、図3のように、外見上、良好な継手を得ることができた。図中の1枚目とはリベットを打ち込む側の上側の薄板を表し、2枚目は下側の薄板を表し、1枚目の次に2枚目の薄板が打抜かれることになる。そして、作製した継手を引っ張って継手強度を調べた結果が図4であり、1枚目がアルミニウム合金で打抜き速度が500mm/minの場合を除き、ほぼ同程度の強度が得られている。しかしながら、データはばらつきがあり、実用化に向けてデータの信頼性を向上させ、さらに継手強度も高める必要がある。

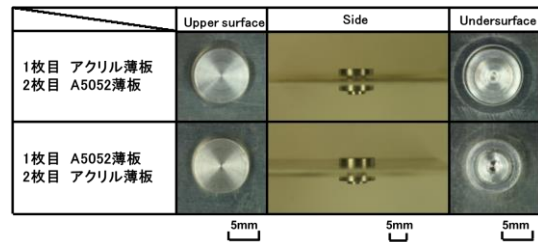


図3 継手の締結状態

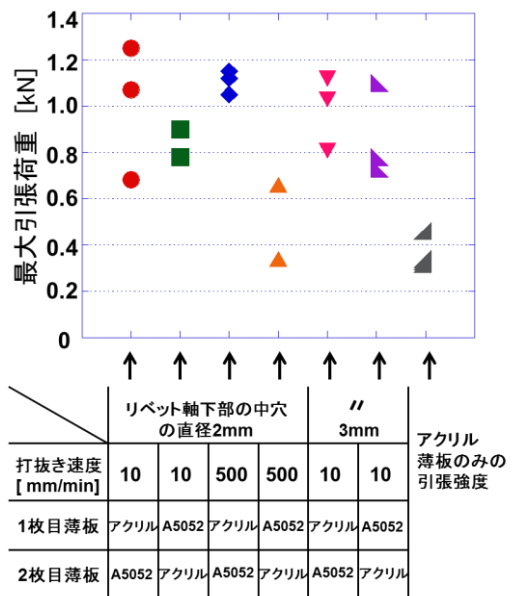


図4 継手強度

2. 研究の目的

金属は強度やねばり強さに優れ、プラスチックは軽量で成形性に優れていることから、両者とも自動車などの輸送機器やエレクトロニクスなどの幅広い産業分野で利用されている。そのため、両者を接合して軽量化と高強度化を図ることが従来から行われてきた。それらを接合することはものづくりに必要不可欠な基盤技術であるが、現状で用いられている接合法は作業工程の多さやコスト面での負担が大きいなどの問題点を抱えている。本研究の目的は、特殊なリベットを用いることにより、従来の接合法のいくつかの問題点を解決できる新たな金属とプラスチックの接合法を開発することである。

3. 研究の方法

打抜きリベット締結法では、リベット軸による薄板の打抜き工程での穴の加工精度が継手の性能に大きく影響する。本研究では、打抜きによる穴の加工精度を向上させることで継手強度のデータのばらつきを抑え、また疲労強度を高めることを目指す。穴の加工精度を向上させるため、リベットとリベットホルダーの位置決め精度向上と薄板の固定法の改良を行った。また、リベット形状を検討し、継手強度の向上を試みた。さらに、繊維強化プラスチックに対しても打抜きリベット締結法が適用できるのかについての検討を行った。

4. 研究成果

(1) アクリルと A5052 の継手強度のばらつきの改善と継手強度の向上

リベット材には A6061BE-T6、板材には厚さ 1.0mm のアクリルおよび A5052P-H34 をそれぞれ用いた。板材の寸法はともに 50 mm×100mm である。継手の締結実験の概略図は図 5 に示している。図 5 (a) で下部のダイスにホルダー支え、挿入材 (interposition)、リベットホルダーを入れ、2 枚の薄板を重ねて置き、上下のダイスをボルトで固定する。このようにボルトで固定することで、打抜き過程と締結過程の両方の過程で板をしっかり固定し、継手強度のばらつきを抑えようとした。上部のダイスからリベット、押し込みピンを入れ、ピンに荷重をかけてリベットで薄板を打抜く。打抜き後は、挿入材によってリベット先端が変形し、2 枚の薄板はリベット頭部とリ

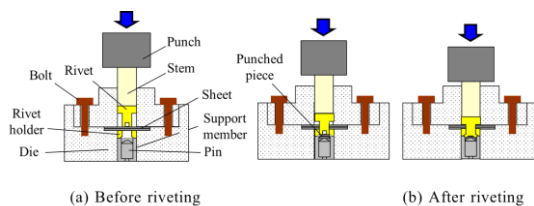


図 5 板の固定法を改良した打抜きリベット締結法の概略図

ベットホルダーによって押さえつけられて締結が完了する。ピンの押し込み速度は 10mm/min とした。また、押し込み荷重 20kN に設定した。

リベットおよびリベットホルダーの寸法を図 6 に示す。図 6 (a) は従来の形状、図 6 (b) は改良した形状である。打抜き後にリベット軸をより変形させるため、軸内径を 1.0mm 広げ、リベットホルダーの面取りを大きくした。またリベット軸先端の穴の深さを L とし、 $L=3.0, 5.0, 7.0$ mm の 3 種類のリベットを用意した。さらに、リベット軸先端を大きく開くように変形させるため、図 7 に示すように挿入材を先端が円錐台状のものから平らな形とし、板と挿入材との距離を 1.0mm 大きくした。継手を作製する際は板の積層順も考慮した。

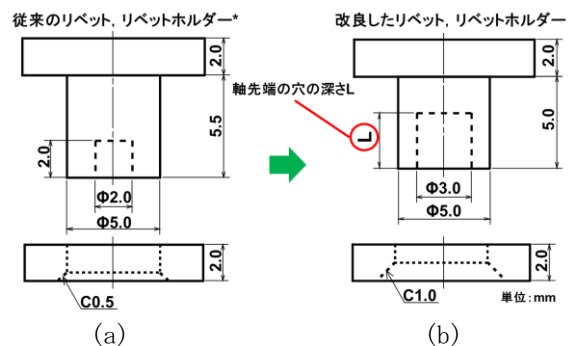


図 6 改良したリベットとリベットホルダー

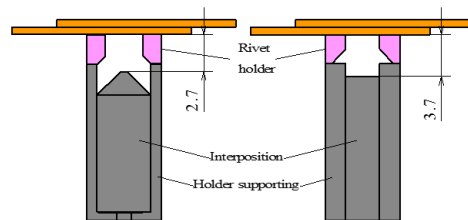


図 7 改良した挿入材

継手の締結部の断面観察の例を図 8 に示す。上図は従来のリベットを用いた継手の断面である。下図は本研究で改良したリベットを用いた継手の断面であり、 $L=3.0$ mm の場合を示す。なお上側がアクリル板、下側が A5052 板の場合を Positive、逆の場合を Reverse としている。さらに、継手の引張試験 (引張速度 1.0mm/min) により得られた最大引張荷重を図 9 に示す。図 8 より、従来のリベットの積層順が Positive の場合ではリベット軸はほとんど変形していないが、Reverse の場合ではリベットは軸先端が少し押し広げられる変形が起きていることが分かる。 $L=3.0$ mm のリベットでは、どちらの場合も従来のリベットよりも軸先端が押し広げられる変形が起っており、またリベット軸も太くなっている。これは、軸の先端の穴の内径

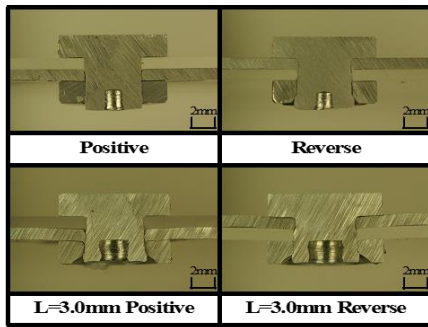


図8 締結部の断面写真

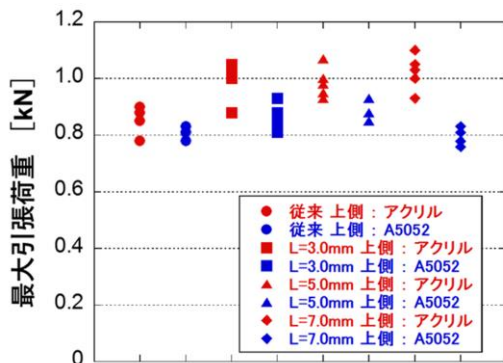


図9 アクリル板と A5053 継手の継手強度

を大きくし、挿入材の先端を円錐台状から平らにすることで、リベット軸先端の変形がやや大きくなったためである。

図9より、継手強度は全ての継手において、使用したアクリルの母材強度である 0.76kNを上回っている。これはリベット頭部とリベットホルダーによる座面圧力の影響によるものであると考えられる。積層順で継手強度を比較すると、アクリルが上側の継手の方が下側の継手より高くなっており、これは打抜き際に剛性の高い A5052 板が下にあることでアクリル板のたわみを抑制できるからであると思われる。従来のリベットを用いた継手と比較すると、継手強度はアクリルが下側の継手ではあまり向上していないが、アクリルが上側の継手では 20%ほど向上している。挿入材に先端の平らなものを使用したことで、リベット軸先端の変形が大きくなり、その結果、座面圧力が高くなって継手強度が向上したと考えられる。最大引張荷重のばらつきに関しては、従来のリベットを用いた場合でも、やや小さくなっており、板の固定とリベット形状の変更が有効であったと考えられる。

本方法の実用化を目指して、電気油圧サーボ式疲労試験機 (10kN) を使用した疲労試験も行った。疲労試験は板にドリル穴をあけてその穴にピンを通して継手と同様な状態にした試験片 (座面圧力がない場合に相当する)、従来のリベットを用いた継手及び改良

したリベットを用いた継手に対して行い、継手の板の積層順は上側アクリル、下側 A5052 の場合のみとした。試験機のつかみ部の都合上、板の寸法は 25mm×70mm とした。また試験条件は部分片振りの繰返し引張荷重を加え、繰返し速度を 10Hz、応力比を 0.1 と設定した。その結果を図 10 に示す。データ数が少ないため、完全に断定はできないが、得られた結果から、リベットの座面圧力により打抜きリベット締結法で作製した継手の疲労寿命は向上すること、また座面圧力が高いと考えられる改良したリベットの疲労寿命が長いことが分かる。

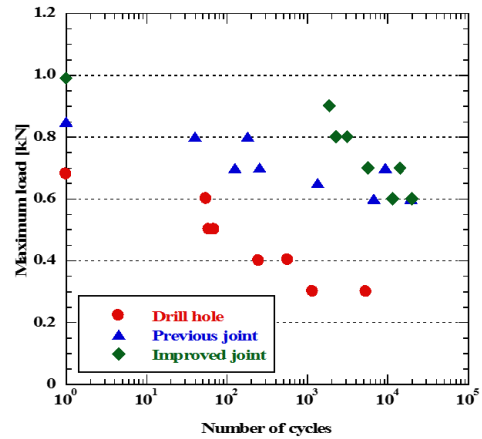


図10 疲労試験結果

以上の結果から、打抜きリベット締結法により脆性なアクリル薄板とアルミニウム合金薄板を締結でき、その継手は高い継手強度を持つことを示した。今後は、実用化を目指して、多くの疲労試験を行ってデータを蓄積し、本方法により作製した継手の信頼性を確認する必要がある。

(2) GFRP 板および CFRP 板への打抜きリベット締結法の適用

①GFRP 板と A6061 板への適用

リベット材には A7075BE-T6 を用い、板材には厚さ 2.0mm の GFRP および A6061P-T6 をそれぞれ用いた。板材の寸法はともに 50mm×100mm である。GFRP 板は樹脂が東レ製の ABS 樹脂トヨラック 100G-30 を射出成形後に機械加工したもので、ガラス繊維の短繊維が 30% 混合させている。ピンの押し込み速度は 10mm/min として締結を行った。板の積層順は上側を GFRP 板、下側を A6061 板としたが、リベット軸先端に GFRP が詰まり、締結が良好ではなかったため、板の積層順は上側を A6061 板、下側を GFRP 板とした。リベットおよびリベットホルダーの形状と寸法を図 11 に示す。軸先端の穴の直径が $d=2.0\text{mm}$ 、穴の深さが $D=2.0\text{mm}$ のリベットと、 $d=2.5\text{mm}$ 、 $D=3.0\text{mm}$ のリベットの 2 種類を用意した。リベットを区別するため、前者をリベット A、後者をリベット B とする。リベットの押し込み荷重の上限値を 30kN として締結した。

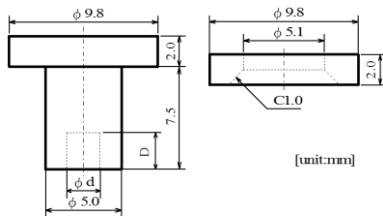


図 1 1 GFRP 用のリベットとリベットホルダー

継手の締結部の断面を図 1 2 に示す。また、ドリル穴をあけてその穴にピンを通して継手と同様な状態にした場合の GFRP 板の強度と継手強度（引張速度 1.0mm/min）の結果を図 1 3 に示す。図 1 2 より、GFRP 板と A6061 板は良好に締結されており、GFRP 板に対しても打抜きリベット締結法が適用できることが分かる。リベット A とリベット B はほとんど同じ変形をしていることが分かった。また図 1 3 より、最大引張荷重の平均値は GFRP 板では約 1.48kN、リベット A では約 2.07kN、リベット B では約 2.04kN で、GFRP 板の強度よりもリベット継手の強度のほうが上回っていることが分かる。これはリベットの座面圧力によるものと考えられる。しかし、リベット A とリベット B の継手強度はほとんど変わらなかった。その原因として、リベットの締結後の変形がリベット A とリベット B でほとんど同じであったためであると考えられる。

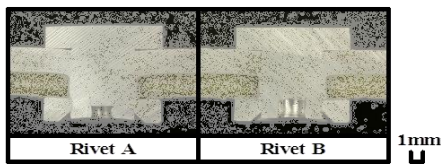


図 1 2 GFRP 板と A6061 継手の締結部

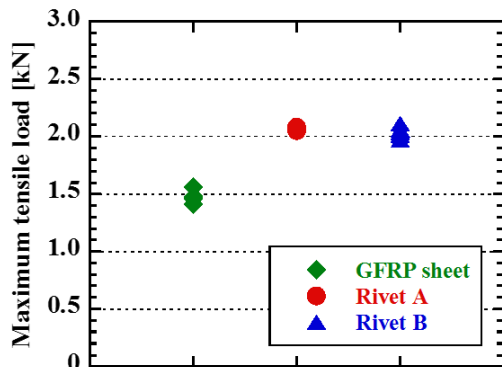


図 1 3 GFRP 板と A6061 継手の継手強度

②CFRP 板と A6061 板への適用

リベット材には A7075BE-T6 を用い、板材には厚さ 1.0mm の CFRP および A6061P-T6 をそれぞれ用いた。板材の寸法はともに 25mm × 70mm である。CFRP は $[0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ]$ の

4 層構造で、炭素繊維は三菱レイヨン製の TR50、樹脂はエポキシ樹脂である。

板の積層順は上側を CFRP 板、下側を A6061 板とした。リベットおよびリベットホルダーの形状と寸法を図 1 4 に示す。アクリル樹脂とアルミニウム合金板の継手で用いられたリベットと同じ形状のリベット（リベット軸が $L=5.0\text{mm}$ ）と、リベットの軸長を 0.5mm 長くしたリベット ($L=5.5\text{mm}$) の 2 種類を用意した。このときのリベットの押し込み荷重の上限値を 25kN とした。

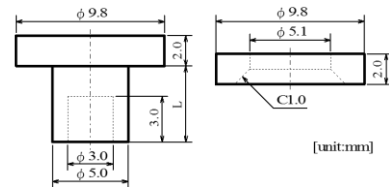


図 1 4 CFRP 用のリベットとリベットホルダー

継手の締結部の断面を図 1 5 に示す。継手強度に加え、ドリル穴をあけてその穴にピンを通して継手と同様な状態にした場合の CFRP 板の強度を図 1 6 に示す。このとき引張速度 1.0mm/min であり、荷重は最初に CFRP 板にき裂が生じた時の破断荷重（初期破断荷重）である。図 1 5 より、CFRP 板と A6061 板に関して、締結はできているが、 $L=5.0\text{mm}$ 、 $L=5.5\text{mm}$ とともに図中の楕円のところで CFRP 板の層が打抜き過程で A6061 板のだれ部に引き込まれていることがわかる。これは締結強度や疲労強度に影響すると考えられ、この引き込みを抑制するためのリベット形状について検討する必要がある。また $L=5.0\text{mm}$ より

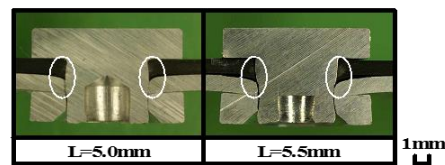


図 1 5 CFRP 板と A6061 継手の締結部

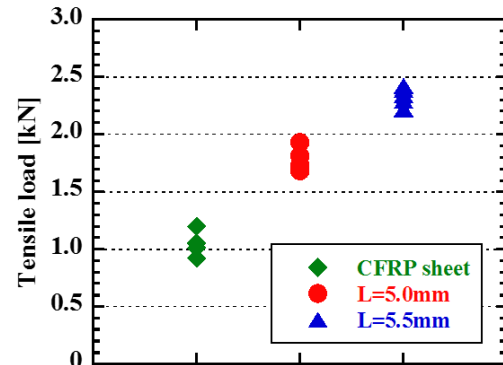


図 1 6 CFRP 板と A6061 継手の締結強度

L=5.5mmの方がリベット軸先端部は少し広がり、リベット軸径もやや太くなっていることがわかる。図16より、初期破断荷重の平均値はCFRP板のみの場合には約1.08kN、L=5.0mmのリベットは約1.82kN、L=5.5mmのリベットは約2.33kNであった。CFRP板のみの強度よりもリベット継手の強度のほうが上回っており、リベット軸を長くすることで継手強度を高くすることができた。これもリベットの座面圧力が高くなったためと考えられる。

以上のように、改善すべき点はあるが、打抜きリベット締結法でGFRP板やCFRP板とアルミニウム合金板を締結することができた。これらの締結にはピアシングリベットを用いた研究(⑤, ⑥)が活発に行われているが、リベットを打ち込んで締結する形式では、ピアシングリベット以外のリベットで初めて締結できることを示したと考えている。今後は、打抜き穴の状態を改善し、継手強度や疲労強度の向上を図る必要があるが、その点が改善されれば、幅広い工業製品への適用が可能となると考えている。

<参考文献>

- ①片山 聖二, 川人 洋介, 丹羽 悠介, 丹下 章男, 久保田 修司, ステンレス鋼と非結晶ポリアミド樹脂とのレーザ直接接合—金属とプラスチックのレーザ(LAMP)接合—, 溶接学会論文集, 第25巻, 第2号, 2007, 316-322
- ②木之下 広幸, 海津 浩一, 吉原 智啓, 河村 隆介, 池田 清彦, 衝撃リベット締結法による冷間圧延鋼板の接合, 自動車技術会論文集, 40巻, No. 5, 2009, 1309-1314
- ③木之下 広幸, 池田 清彦, 海津 浩一, 小林 太一, パンチングリベット法による冷間圧延鋼板の締結, 日本機械学会論文集 C 編, 77巻 No. 780, 2011, 3184-3192
- ④H. Kinoshita, K. Kaizu, T. Yoshihara, R. Kawamura, K. Ikeda, Joining of Cold-Reduced Carbon Steel Sheet and Aluminum Sheet by Impulsive Riveting Method, Steel research international, Vol. 81, 2010 1144-1147
- ⑤A. Gay, F. Lefebvre, S. Bergamo, F. Valiorgue, P. Chalandon, P. Michel, P. Bertrand, Fatigue of aluminum/glass fiber reinforced polymer composite assembly joined by self-piercing riveting, Procedia Engineering, 133, 2015, 501-507
- ⑥J. Zhang, S. Yang, Self-piercing riveting of aluminum alloy and thermoplastic composites, Journal of COMPOSITE MATERIALS, Vol. 49, 2015, 1493-1502

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計6件)

- ①本岡 拓也, 海津 浩一, 日下 正広, 木村 真晃, 打抜きリベット締結法を用いたFRP薄板とA6061薄板による異材継手の作製, 日本機械学会関西学生会学生員卒業研究発表講演会, 2017年3月11日, 大阪大学(大阪府・吹田市)
- ②伊藤 脩平, 海津 浩一, 日下 正広, 木村 真晃, アクリル板とA5052板の打抜きリベット締結継手の継手強度の検討, 日本機械学会M&M2016材料力学カンファレンス, 2016年10月8日-10日, 神戸大学(兵庫県・神戸市)
- ③伊藤 脩平, 海津 浩一, 日下 正広, 木村 真晃, 打抜きリベット締結法を用いたアクリルとA5052との異材継手に対する強度評価, 日本機械学会関西学生会学生員卒業研究発表講演会, 2016年3月10日, 大阪電気通信大学(大阪府・寝屋川市)
- ④海津 浩一, 日下 正広, 木村 真晃, 木之下 広之, 打抜きリベット締結法によるアクリル薄板とアルミニウム薄板からなる継手の強度, 日本機械学会2015年次大会, 2015年9月13日-16日, 北海道大学(北海道・札幌市)
- ⑤稲田 翔太, 海津 浩一, 日下 正広, 木村 真晃, 打抜きリベット締結法を用いたアクリルとA5052との異材継手の強度改善の検討, 日本機械学会関西学生会学生員卒業研究発表講演会, 2015年3月14日, 京都大学(京都府・京都市)
- ⑥海津 浩一, 日下 正広, 木村 真晃, 木之下 広之, アクリル薄板とアルミニウム薄板への打抜きリベット締結法の適用, 第65回塑性加工連合講演会, 2014年10月11日-13日, 岡山大学(岡山県・岡山市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

海津 浩一 (KAIZU Koichi)

兵庫県立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 50177317