

令和 2 年 6 月 24 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06123

研究課題名(和文) 繊維強化複合材料と金属材料とを異材接合できるリベット締結法の開発

研究課題名(英文) Development of riveting method for dissimilar joint of fiber reinforced composite material sheet and metal sheet

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) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、研究代表者らの提案した打抜きリベット締結法を発展させることにより、CFRPと金属材料を良好に接合できるマルチ材料化に対応したリベット締結法の開発を目指した。打抜きリベット締結法では、板のリベット穴をリベット軸で打ち抜いて開ける必要があるが、打抜き時にCFRPの打抜き穴周囲に損傷が発生する。接合強度や疲労特性に及ぼすその損傷の影響を詳細に調べた結果、リベット頭部とリベットホルダーにより板へ作用する座面圧力が高ければ、CFRPの打抜き穴周辺の損傷の影響は抑えられ、打抜きリベット締結法により高強度の接合ができることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

産業界では、軽量で高い比強度を持つCFRPと加工しやすい金属材料を組み合わせることで、それらの材料を適材適所で使用するマルチ材料化が進められている。本研究では、リベットとリベットホルダーを用いた打抜きリベット締結法を用いて、CFRP板とアルミニウム合金板との接合に挑戦し、十分に強度のある接合ができることを示した。研究成果として、本研究で示したリベット締結法が産業界のマルチ材料化の流れに貢献できる異材接合技術となりえることを示すことができた。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to develop a punching rivet method capable of favorably joining between CFRP and metallic materials to make a lightweight multi-material structure. In the punching rivet method, it is necessary to punch the plate by the rivet shaft to open the rivet hole, but damage occurs around the punched hole of CFRP during punching. By examining the effect of this damage on joining strength in detail, it was clarified that if the bearing surface pressure on the plate by the rivet head and the rivet holder was high, the effect of damage around the punched hole of CFRP was suppressed and a high joining strength could be achieved by the punching rivet method.

研究分野：材料力学

キーワード：リベット締結 CFRP/A6061継手 打抜きリベット締結法 マルチ材料化

様式 C - 19, F - 19 - 1, Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

繊維強化複合材料と金属と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. そのため, 現在でも, 繊維強化複合材料と金属との接合に関して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となっている.

従来のリベットのかしめ締結の場合には, あらかじめ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リベット頭部を作製して板を締結する. 研究代表者らは分解が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. 打抜きリベット締結法は図2のように, リベット軸で板を打抜くことで穴をあけ, 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板を, 軟鋼のリベットで2枚のSPCC板(冷間圧延鋼板)を, さらに軟鋼のリベットでSPCC板とアルミニウム板を締結し, 良好な継手を作製できることを明らかにした.

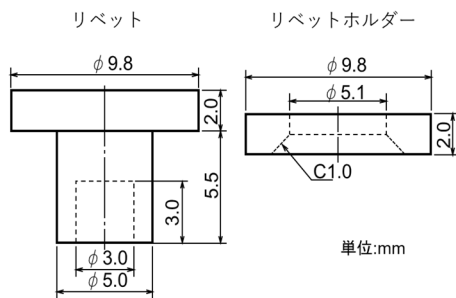


図1 リベットとリベットホルダー

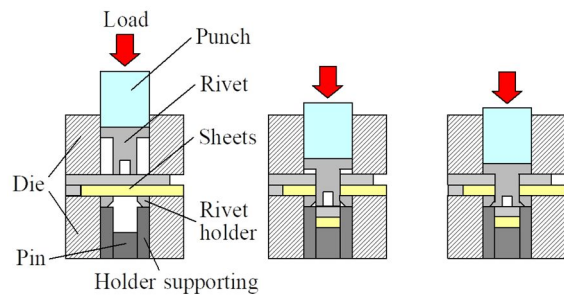


図2 打抜きリベット締結法の概略

研究代表者らは, この打抜きリベット締結法を用いて繊維強化複合材料と金属の接合に挑戦した. 予備実験として, CFRP板とA6061板の接合を試み, 外観上は良好な継手を得ることができたが, 図3の接合部の断面写真からわかるようにリベット軸の中央部分が膨らみ, さらにCFRPが板の打ち抜かれた方向に引っ張られており, 層間剥離も生じていた. これらの損傷が接合強度や疲労特性に影響を及ぼすことが考えられ, 実用化に向けて, CFRPに発生する損傷を抑制することが改善課題であることがわかった.

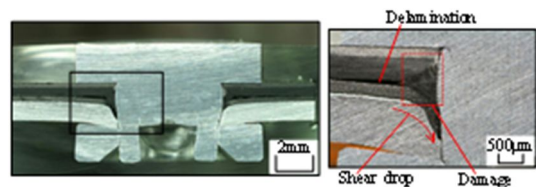


図3 接合部の断面写真

2. 研究の目的

本研究の目的は, 打抜きリベット締結法によりCFRP板とアルミニウム合金板を良好に接合するために, リベットとリベットホルダーの形状やリベットへの荷重の負荷方法などを検討することにより, 打抜き穴周辺の層間剥離などの損傷を抑制し, 打抜きリベット締結法を新たな繊維強化複合材料と金属との異材接合のためのリベット締結法として確立することである.

3. 研究の方法

本研究では, 打抜きリベット締結法をCFRP板とアルミニウム合金板の接合に適用する際に, 打抜き穴周辺でのCFRPの損傷を抑えるため, リベットとリベットホルダーの形状を検討した. また, 板の打抜き過程でCFRPの損傷を抑制するために衝撃荷重による板へのリベットの打込みを行った. そして打込み速度が継手性能に及ぼす影響を検討した.

4. 研究成果

(1) リベットとリベットホルダーの形状が継手強度に及ぼす影響

リベット軸長さについて検討するため, 外観上では良好な接合ができる5.0mmのリベット軸長さを持つリベットとリベット軸の塑性変形量を増やすことをねらった5.5mmのリベット軸長さを持つリベットの2種類のリベットを用いてCFRP板とA6061板の接合を行い, 継手を作製した. リベット軸長さとの継手強度の関係を図4に示す. 継手強度試験はインストロン万能試験機で継手の長手方向に引張速度1.0mm/minで破断するまで行い, 継手強度は最大荷重としている. 継手強度は5.5mmのリベット軸長さで作製した継手の方が約19%高く, 強度のばらつきも小さくなっている. 5.5mmのリベットはリベット軸の変形量が増加し, 接合がより強固になったと考

えられる。また、リベットホルダー内径について検討するため、5.1mm、5.2mm、5.3mm、5.4mmの4種類の内径を有するリベットホルダーを用いてCFRP板とA6061板の接合を行って継手強度の比較を行った。リベットホルダー内径と継手強度の関係を図5に示す。5.1mmの場合の強度が最も高く、ばらつきも小さかった。以上のことから、検討したリベットホルダーの内径の中では5.1mmが最良であり、リベット軸とリベットホルダーのクリアランスは小さい方が良いことが分かった。これらのことから、リベット軸長さとしリベットホルダーの内径を決定できた。

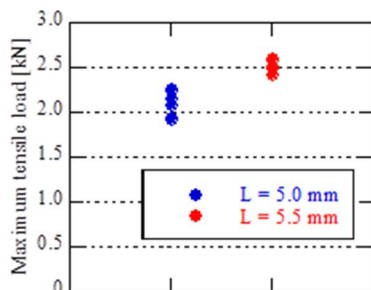


図4 リベット軸長さと継手強度

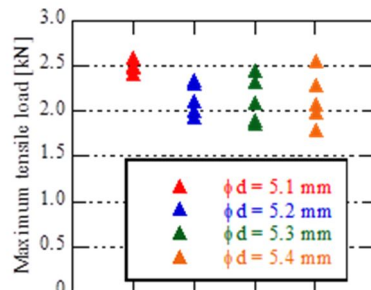


図5 リベットホルダー内径と継手強度

(2) 衝撃荷重を用いた接合方法の検討

静的荷重で板を打ち抜くと板がたわんだ状態で打抜きが行われる。そのため、CFRP板の損傷が大きくなると考え、衝撃荷重で板がたわむ前に打ち抜くことをねらって落錘式の衝撃試験機を用いてCFRP板とA6061板を接合し、継手の作製を行った。衝撃荷重と静的荷重を用いて作製した継手の継手強度を図6に示す。また衝撃荷重を用いて作製した継手の断面観察の結果を図7に示す。衝撃試験機を用いて作製した継手の継手強度は低下し、図7より、CFRP板に層間剥離が生じており、だれの程度が大きいことが確認された。継手作製時の荷重-変位曲線を検討したところ、衝撃荷重の場合、締結過程の荷重の最大値は静的荷重の場合よりも低くなっていることから、結果として、リベットとリベットホルダーによる板への座面圧力が不足したと考えられる。したがって、CFRP板の損傷が大きいことと座面圧力が不足したことにより継手強度が低くなったと考えられる。改善のためには、リベットの締結過程で十分な大きさと持続時間を有する衝撃荷重を作用させる必要があり、リベット軸に衝突させる錘の形状と衝撃荷重用のリベット形状を検討する必要があることが明らかになり、今後の研究課題が明らかになった。

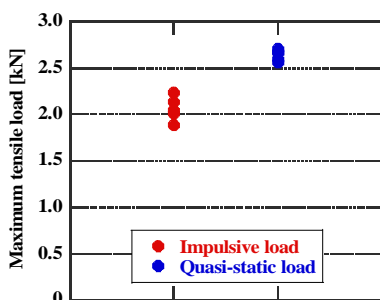


図6 衝撃荷重と静的荷重を用いて作製した継手の継手強度

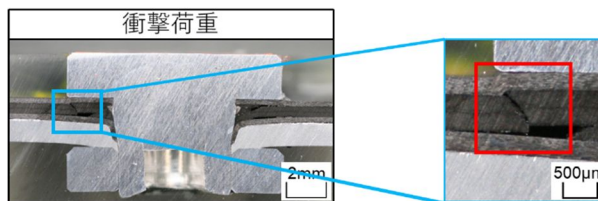


図7 衝撃荷重により作製した継手の接合部

(3) 打抜き穴周辺の損傷が継手強度と疲労特性に及ぼす影響

打抜きリベット締結法の実用化のために、打抜き穴の損傷が継手強度や疲労特性に及ぼす影響を明らかにする必要があるため、打抜きを行わないリベット継手(以後、リベット継手と呼ぶ)を作製した。あらかじめ穴あけ加工を施し、穴の損傷を押さえたCFRP板およびA6061板の穴にリベットを通し、リベット軸が塑性変形してリベットホルダーの穴を満たして締結されるように静的荷重を負荷した。リベット継手の接合部の断面観察の結果を図8に示す。リベット継手は、リベット軸が全体的に少し太くなり、打抜きリベット継手の接合部の断面と比較する

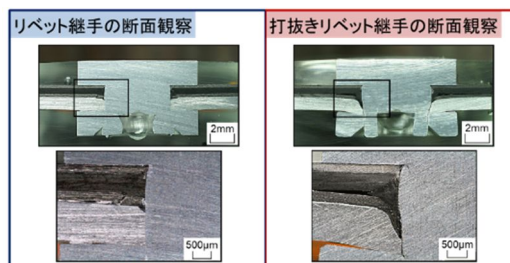


図8 リベット継手の接合部の断面写真

と、明らかに CFRP 板の損傷が小さいことが分かる。打抜きリベット継手とリベット継手の接合条件の違いは、板の打抜き過程の有無であることから、打抜きリベット締結法では、リベットによる板の打抜き過程において CFRP 板の打抜き穴の周辺に損傷が発生することが確認できた。打抜きリベット継手とリベット継手の継手強度を図 9 に示す。それぞれの継手強度に大きな差異は見られず、継手強度のばらつきも同程度であり、継手接合部の CFRP 板の打抜きによる損傷は継手強度に影響を及ぼさないことがわかった。

打抜きリベット継手およびリベット継手の疲労特性を図 10 に示す。疲労試験は油圧サーボ式疲労試験機を用いて行った。最大荷重に対する最小荷重の比は 0.1 とし、片振りの正弦波荷重を継手の長手方向に加え、試験周波数を 10Hz として行った。疲労特性は接合部の CFRP 板の損傷状態に依存すると考えていたが、それぞれの継手の疲労特性を比較すると、大きな差異は見られなかった。このことから、疲労特性についても、継手接合部の CFRP 板の打抜きによる損傷は影響を及ぼさないことがわかった。

以上のことより、打抜きリベット締結法により、リベット軸による板の打抜き時に CFRP 板の打抜き穴の周辺に損傷は発生するが、その損傷は接合強度や疲労特性にほとんど影響しないことがわかった。その要因は、リベットとリベットホルダーによる座面圧力が損傷からのき裂進展を抑制するためだと考えられる。したがって、本研究の成果として、打抜きリベット締結法は、繊維強化複合材料と金属との接合に対して有用な接合法となりえることを示すことができた。

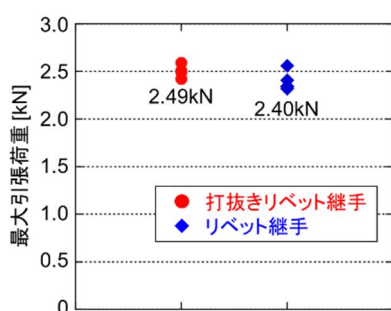


図 9 打抜きリベット継手とリベット継手の継手強度

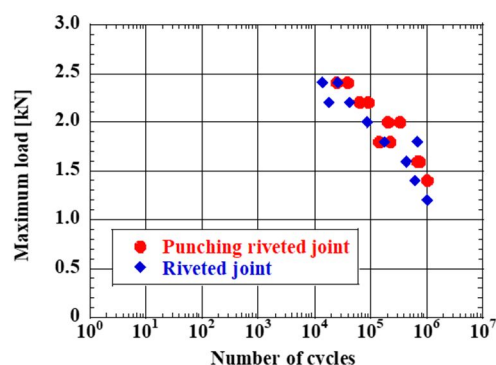


図 10 打抜きリベット継手およびリベット継手の疲労特性

< 引用文献 >

海津浩一，木之下広幸，池田清彦，特許第 4972732 号，2012

Joining of Cold-Reduced Carbon Steel Sheet and Aluminum Sheet by Impulsive Riveting Method, H. Kinoshita, K. Kaizu, et al, Steel research international, Vol.81, 2010, 1144-1147

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

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 海津浩一, 伊藤脩平, 日下正広, 木村真晃, 木之下広幸	4. 巻 84
2. 論文標題 アクリル樹脂板とアルミニウム合金板のパンチングリベット法による締結	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 17-00485
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1299/transjsme.17-00485	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 伊藤脩平, 海津浩一, 日下正広, 木村真晃
2. 発表標題 打抜きリベット締結法を用いたCFRP板とAl合金板の異種材継手の作製と継手強度の検討
3. 学会等名 日本機械学会M&M2017材料力学カンファレンス
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 本岡拓也, 海津浩一, 日下正広, 木村真晃
2. 発表標題 打抜きリベット締結法によるGFRP板とA6061板の異材継手に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会M&M2017材料力学カンファレンス
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 本岡拓也, 海津浩一, 日下正広, 木村真晃
2. 発表標題 打抜きリベット締結法によるAl合金板とGFRP板の異材継手の作製および継手強度の検討
3. 学会等名 日本機械学会M&M2018材料力学カンファレンス
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮本匡基, 海津浩一, 木村真晃, 日下正広
2. 発表標題 CFRP板とA6061板の打抜きリベット継手の継手強度の検討
3. 学会等名 日本機械学会関西支部第94期定時総会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮本匡基, 海津浩一, 日下正広, 木村真晃
2. 発表標題 打抜きリベット締結法によるCFRP / A6061継手の作製と継手強度の検討
3. 学会等名 日本機械学会M&M2019材料力学カンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西上寛人, 海津浩一, 日下正広, 木村真晃, 宮本匡基
2. 発表標題 衝撃荷重を利用した打抜きリベット締結法によるCFRP / A6061継手の性能の検討
3. 学会等名 日本機械学会関西学生会2019度学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	日下 正広 (Kusaka Masahiro)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	木村 真晃 (Kimura Masaaki)		
研究協力者	木之下 広幸 (Kinoshita Hiroyuki)		