リサイクル設計を考慮した衝撃リベット締結法*

木之下 広幸^{*1}, 海 津 浩 一^{*2}, 吉 原 智 啓^{*3}
河 村 隆 介^{*1}, 池 田 清 彦^{*1}

Impact Riveting Considering Design for Disassembly

Hiroyuki KINOSHITA^{*4}, Koichi KAIZU, Tomohiro YOSHIHARA,
Ryuusuke KAWAMURA and Kiyohiko IKEDA^{*4} Mechanical Systems Engineering, University of Miyazaki,
Gakuenkibanadai-nishi Miyazaki-shi, Miyazaki, 889-2192 Japan

In this paper, a new riveting method considering design for disassembly is attempted. The method can join the sheets by the high-speed blanking without drilling of the sheets as well as disjoin easily the jointed sheets. The joining is carried out by the following procedures: ① A pair of a rivet with a rivet head and a rivet holder which has been already drilled in the center as the other rivet head is set on condition that their center axes may agree and two pieces of sheets are interposed between them. ② The rivet axis set on the upper sheet is struck into sheets by the collision of the weight with high speed and the rivet axis penetrates the sheets. ③ The rivet axis which penetrated the sheets is inserted into the hole of the rivet holder and then the tip of the rivet axis which projects from the hole collides with a die. Then the axis and the rivet holder are joined because the plastic deformation of the axis generated by the collision fills up the hole of the rivet holder and the sheets are fastened tightly by both the rivet with the rivet head and the rivet holder. The experimental results showed that the joint strength by impact riveting was higher than that of caulking, and the deformation of sheets was small. In addition, the jointed sheets could be disjoined easily.

Key Words: Machine Element, Fixing Element, Impact Riveting, Disassembly, Caulking, Joint Strength

1. 緒 言

近年,自動車業界において,セルフピアシングリベットが急速に用いられるようになっている^{(1), (2)}. セルフピアシングリベットは,板の穴あけ加工が不要,接合速度が速い,溶接が難しい材料や異種材料の締結が可能などの優れた特徴を持っている⁽³⁾. 一方,リベット締結後の状況から,あまり高い締結強度が得られないこと,締結部周辺の板の面外変形が大きいことが欠点として挙げられる⁽⁴⁾.

著者らはこれまでに,高速打抜き加工の研究⁽⁵⁾を行い,高速打抜き加工は,(1)打抜いた板の穴周囲の変形が小さいこと,(2)打抜き速度が速いほど平滑なせん断面の割合が大きいことを明らかにした.そして,高速打抜き加工の特徴をリベット締結に活かすことを考

え,①板の穴あけ加工を必要としない,②締結強度が高い,③締結後の板の面外変形が小さい,以上のことを満足するリベット締結法の開発を目指し,通常のかしめ加工に用いられている形状に近いリベットを高速で板へ打ち込み,穴あけと板の締結を同時に行う単発衝撃リベット締結法を提案した⁽⁶⁾.

この単発衝撃リベット締結法は他のリベット締結と同様に永久締結を前提としており,組立部品(継手)を簡単には分解できない.そのため,部品交換が容易ではない.また,近年の省資源化の要望とともに廃棄組立部品をリサイクルできることが強く求められているが,同締結法は,廃棄組立部品のリサイクル性は悪い.そこで本研究では,単発衝撃リベット締結法において,後述するように新たにリベットホルダーを用いることにより,組立部品の分解が容易な締結法(以後,このリベット締結法を衝撃リベット締結法⁽⁷⁾と呼ぶ)を開発し,アルミニウム合金板の締結に適用した.

本論文では,まず衝撃リベット締結法の概要と必要な条件について述べる.次に衝撃リベット締結法を適用して作製した継手の変形状態ならびに締結強度をか

* 原稿受付 2009年9月18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工学研究科(☎671-2280 姫路市書写2167).^{*3} 宮崎大学大学院工学研究科(☎889-2192 宮崎市学園木花台西1-1).

E-mail: t0d165u@cc.miyazaki-u.ac.jp

しめ加工により作製した継手のそれらと比較して検討した。また、リサイクルを考慮して継手の分解試験を行い、その分解性について検討した。それらの結果から、開発した衝撃リベット締結法の有効性を示した。

2. 実験方法

2.1 衝撃リベット締結法の概要 図1は衝撃リベット締結に用いた実験装置全体の概略図を示している。また、図2は衝撃リベット締結法に用いるリベット、リベットホルダー、重り、およびダイスの各寸法・形状を示している。本研究では図1に示す実験装置と図2に示す各部品およびダイスを用いて、2枚重ねの帯板を衝撃リベット締結法により締結した。図3は作製した継手の寸法・形状を示している。なお、図2に示す各部品の寸法・形状は、衝撃リベット締結の予備実験を行うことにより最終的に決定したものである。各寸法を決定した経緯については、2.2節の試験片およびダイスの設計において詳しく述べる。以下に、図4の衝撃リベット締結の概要図も参照して、衝撃リベット締結法の手順を記述する。

(1) 図1のコンプレッサー（東芝製 SP14-22T7:L2-2kW）

で蓄圧タンクに1MPaの圧縮空気を蓄圧する。また、重りをシリンダー上部に挿入し、支持ピンで落下しないように支えておく。

(2) 図2に示すダイス内部に片方のリベット頭部となるリベットホルダーを設置する。そして、図4(a)に示すように、シリンダー出口の直下にダイスと締結対象の2枚の板を設置する。さらに、板の上面にリベットを軸の先端が接する状態で設置する。シリンダー出口と板の間には、重りが発射された際の空気を逃すために約9mmの隙間を設けている。

(3) 図4(b)に示すように、圧縮空気のパルプを開放して重りをリベットに衝突させ、重りの衝撃力によりリベット軸が板を打抜くとともにダイス内部に設置したリベットホルダーの穴に入る。さらに、リベット軸先端部がダイスと衝突して塑性変形することにより、リベット軸がリベットホルダーの穴内に充満してリベットホルダーと結合し板を締結する。なお、リベット軸により打抜かれた板の切断片は、ダイス底部に排出される。

2.2 試験片およびダイスの設計 衝撃リベット

締結法により板を締結するためには、板材とリベット

Fig.1 Experimental equipment

Fig.3 Dimension of joint

Fig.2 Shape and dimensions of rivets, rivet holder, die and weight

Fig.4 Joining methods

材の材質、リベット、リベットホルダー、ダイスの各寸法、および重りの質量と衝突速度を適切に選定する必要がある。これらは相互に関連して衝撃リベット締結法の可否を左右するため、本研究では予備実験を行うことにより、2枚の板が強固に接合されていることを確認して、各部品の最終寸法を決定した。

(1) 板材とリベット材の材質 本研究では、まず厚さ1mmのアルミニウム合金A1050P-H24(0.2%耐力: 約70MPa)の板を締結対象とした。次に、リベット軸が板を打抜くためには、リベット材の変形抵抗が板材の変形抵抗よりもある程度高いことが必要であるので、リベット材とリベットホルダーの材質にアルミニウム合金A5052Bd(0.2%耐力: 約170MPa)材を選定した。

(2) リベットおよびリベットホルダーの寸法・形状

リベット(図2(a))は、かしめ加工に用いられている平リベットと類似した形状とし、頭部高さを5mm、頭部直径を7.6mmとした。リベットの軸直径と長さは次のように決定した。通常のかしめ加工による締結では、リベット軸の直径と板厚の関係式⁽⁸⁾に基づいて、厚さ1mmの板に対して、呼び径3mmから5mmのリベットが用いられる。そこで、リベット軸の直径とリベットホルダーの穴直径を4mm程度とし、まずリベットホルダーの最小の穴直径を4.0mmに固定した。そして、リベット軸の直径を3.6mmから4.0mmまで0.1mm刻みで、リベットの軸長を9.0mmから12.0mmまで1.0mm刻みで変化させて衝撃リベット締結の予備実験を行った。その結果から、リベット軸の直径を3.8mm、その軸長を10.0mmと決定した。

リベットホルダー(図2(b))は、リベットの頭部と同じ外径とし、内部にはリベット軸とリベットホルダーの結合力を高めるために、直径4.0mmと4.5mmの2種類の穴を設けた。リベットホルダーの高さ(5.2mm)は、ダイスの穴深さ(5mm)よりも0.2mmだけ高くした。これは、リベットホルダーの高さとダイスの穴深さを同一にして、リベットホルダーの表面とダイスの表面が同じ高さになるようにリベットホルダーをダイス内部に設置した場合には、下側の板の締結部周辺にくぼみが生じる傾向があった。このくぼみを生じさせないためにリベットホルダーの高さをダイスの穴深さよりも僅かに高くした。以上のように寸法を決定したリベットとリベットホルダーは、直径8mmの棒材から切削加工により所定の寸法に加工した。

(3) ダイスの寸法・形状 ダイス(図2(c))は、ダイス中心部にリベットホルダーを配置するための直径8mm、深さ5mmの穴を設け、さらに穴の底部に、リベット軸により打抜かれた板の切断片が排出されて回

収できるように直径6mm、深さ1mmの穴を設けた。また、その穴の下部には、打抜かれた板の切断片を取り出しやすくするためにピンを挿入した。ダイスおよびピンの材質は、冷間金型用鋼SKD11である。なお、図4に示すように、ダイスはダイスの中心軸とシリンダーの中心軸が常に一致するように治具を用いてダイスホルダーに設置される。

(4) 重り 重り(図2(d))は、リベット軸が板を打抜くことができる十分な打撃力があること、およびリベットを打撃する際に大きな塑性変形や割れが生じないことの条件を満たす必要がある。本研究では、重りの材質を冷間金型用鋼SKD11とし、寸法を直径7.5mm、長さ21mm、重りの質量を7.2gとした。締結実験は、重りに約48Jの運動エネルギー(重りとリベットとの衝突速度: 平均約115m/s)を与えて、重りをリベットに衝突させることにより行った。なお、本実験装置の圧縮空気の圧力は一定(1MPa)であるが、重りの速度は圧縮空気の開放と重りを放すタイミングをずらすことにより変えることができる。

(5) かしめ加工によるリベット継手の作製 衝撃リベット締結法により作製した継手の変形状態ならびに締結強度を、かしめ加工により作製したリベット継手のそれらと比較するために、かしめ加工によるリベット継手も作製した。衝撃リベット締結法により作製した継手とかしめ加工により作製した継手を比較する理由は、かしめ加工は最も汎用的な締結法であるとともに、この方法で作製した継手は一般に締結強度が高い⁽⁹⁾こと、かしめ加工による締結法および衝撃リベット締結法ともに、リベット軸の太りとリベット頭部同士(リベット頭部とリベットホルダー)で板を締め付けるので、基本的な締結のメカニズムが同じであること、による。かしめ加工には、図2(a)に示す衝撃リベット締結法に用いたリベットの軸長を1mm増したリベットと、ドリルでφ4.0の穴あけをした板を用いた。板の締結は、リベット頭部を下向きに、リベット軸を上向きに置き、リベット軸をフラットパンチにより9800Nの荷重で圧縮することにより行った。締結後のリベット頭部の直径は、リベット軸の約1.7倍の6.4mmである。このリベット頭部の直径は、衝撃リベット締結法に用いたリベットの頭部直径(7.6mm)よりもやや小さいが、リベット頭を軸の約1.6倍から1.7倍の大きさに成形するというリベット締結の条件⁽⁸⁾を満足している。また、通常のリベット締結では、リベットの軸直径がφ3.8程度の場合、板の穴の直径はφ4.0程度とされているが、板にφ4.5の穴あけをした継手も作製し、強度試験に用いた。この継手は、板にφ4.5の

Fig.5 Hardness measurement

Fig.6 Tensile test of joint

Fig.7 Disjoining method

穴あけをすることで、締結後のリベット軸の直径をより大きくしたものである。継手に用いたリベットの寸法・形状は同じであるが、この場合の締結後のリベット頭部の直径は 6.1mm である。板に $\phi 4.5$ の穴あけをして継手を作製した目的は、衝撃リベット締結法により作製した継手の強度とかしめ加工により作製した継手の強度を締結後のリベット軸の直径がほぼ等しい状態で比較するためである。特に、両者のリベット軸と板穴の接触面における圧縮強さ（支圧強さ）をリベット軸の直径がほぼ等しい状態で検討するためである。

2.3 重りの衝突速度の測定方法 重りの衝突速度を求めるために、図 1 に示すように、シリンダーの出口近くに二対の光源と光センサーを配置し、重りが通過する時の光量の変化を光センサーで測定し、フォトランジスタを介してデジタルオシロスコープに記録した。そして、重りが 90.0mm の光センサー間を通過するのに要した時間から重りの衝突速度を求めた。

2.4 帯板の締結部周辺の変位測定 衝撃リベット締結法およびかしめ加工により作製した継手の変形状態を比較するために、継手の締結部付近の形状測定（面外変位測定）を行った。測定には CCD レーザ変位計（キーエンス製 LK-G85: 精度 0.2 μ m, 基準距離 80.0mm, 測定範囲 ± 15.0 mm) を用い、図 3 に示す継手の長手方向中心線上の表面形状をリベットの中心から約 25mm の範囲内で測定した。

2.5 硬さ測定の方法 衝撃リベット締結法およびかしめ加工における板に及ぼす加工硬化の影響について検討するために、板の締結部付近の硬さ測定を行った。硬さ測定には、マイクロビッカース硬度計（アカシ製 MKV-H3) を用いた。図 5 に硬さ測定位置を示す。板の硬さ測定は、継手を A-A 線に沿って切断し、切断した上側の板の断面上を測定することにより行った。硬さ測定は、穴縁から 0.2mm 離れた位置より開始し、穴縁からそれぞれ、0.2mm 以上 2.5mm 以下では 0.2mm

間隔、2.5mm 以上 5.0mm 以下では 0.5mm 間隔、5.0mm 以上 10.0mm 以下では 1.0mm 間隔で行った。

2.6 リベット継手の引張試験 作製した継手の静的強度を検討するために、オートグラフ（島津製作所製 AG-500A) を用いて引張試験を行った。図 6 は継手の引張試験の概略図を示している。継手の引張試験は、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つかみ、1mm/min の速度で行った。

2.7 リベット継手の疲労試験 引張試験と同様に、作製した継手の疲労強度を検討するために、油圧サーボ式試験機（島津製作所製 EHF-ED10-20L) を用いて継手の繰返し引張試験を行った。試験片のつかみ方は、引張試験と同じである。疲労試験は、最大引張荷重を継手の引張試験によって得られた最大引張荷重の平均値よりも低い値に設定し、最小荷重をゼロに設定して周波数 20Hz で行った。また、最大引張荷重の設定値を徐々に下げて、継手が破断するまでの繰返し数が 10^6 程度に達するまで試験を行った。

2.8 継手の分解試験の方法 図 7 は衝撃リベット締結法により作製した継手の分解方法の概要を示している。継手の分解は、板の面をダイスに固定し、直径約 3mm のピンを用いてリベットホルダーと結合しているリベット軸を押抜くことにより行った。分解試験は、オートグラフを用いて 1mm/min の速度で行い、最大押抜き力を継手の分解力として求めた。

3. 実験結果および考察

3.1 衝撃リベット締結法によるリベットの締結状態 図 8 は衝撃リベット締結法によって作製した継手の一例を示している。図は左から、締結状態を打ち込んだ方向から見た場合、締結状態を側面から見た場合、締結状態を裏面から見た場合を示している。また、図 8(a) は重りの衝突速度が約 115m/s の場合で、リベ

ット軸が板を打抜くとともにリベットホルダーと結合することにより、板を良好に締結している状態を示している。図8(b)は重りの衝突速度が約96m/sの場合で、リベット軸は板を打抜いてはいるが、重りの衝突速度が遅いため、リベット頭部と板との間に隙間が生じている状態を示している。このように、衝撃リベット締結法は、重りの打撃力を利用して板の締結を行う方法であるため、板の締結状態は、重りの運動エネルギーによって変わる特性を持つ。本研究では7.2gの重りを用いているので、重りの運動エネルギーが約48Jの場合に、2枚の板をかしめ加工と同じように衝撃リベット締結法により締結できることがわかる。

3.2 締結部周辺の面外変形測定結果および硬さ測定結果 図9は衝撃リベット締結法およびかしめ加工により作製した継手の断面形状を示している。また、図10は継手の面外変形について検討するために、締結部付近の表面形状をレーザ変位計により測定した結果を示している。図9および図10の(a)と(b)の比較から、衝撃リベット締結法により作製した継手の面外変形は、本研究の条件で作製したかしめ加工による継手の面外変形よりも明らかに小さいことがわかる。なお、かしめ加工により作製した継手は、締結時のかしめ力(Riveting force)を減じることによって締結部付近の変形を小さくすることができるが、かしめ力を減じると締結強度が減少することになる⁽¹⁰⁾。一般に、かしめ加工においては、板材よりも高い変形抵抗を持つリベット材を用いた場合、リベット頭部を大きく成形すると、締結部付近の変形が大きくなりやすいということが課題である⁽¹⁰⁾。

図11は板の締結部付近の硬さ分布を示している。かしめ加工により締結した板の硬さは、穴に近くなるとつれて徐々に高くなっており、板の加工硬化は、リベット頭外周部の直下付近(リベット軸の中心から約4mm程度)では小さく、穴のごく近傍では大きい特徴がある。このことは、図9の締結部の様相から、穴に近いほど板の塑性変形が大きいことと対応している。一方、衝撃リベット締結法による締結部では、硬さの最大値はかしめ加工の場合とほとんど変わらないが、硬さの分布はかしめ加工の場合と異なり、リベット頭部直下のほぼ全域で板の加工硬化が認められる。

3.3 引張試験による継手の強度 図12は衝撃リベット締結法およびかしめ加工により作製した継手の引張試験による静的強度の比較を示している。継手の引張試験は各10本ずつ行っている。棒グラフの高さは最大引張荷重の平均値を表し、エラーバーが示す範囲は標準偏差を表している。また、かしめ加工により作

Fig.8 Aspects of riveting

Fig.9 Section of joint

Fig.10 Configuration of the fastening part of joint

Fig.11 Hardness around the fastening part of plates

製した継手に関しては、板にφ4.5の穴あけをして作製した継手の引張試験の結果も示している。この図から、衝撃リベット締結法は、かしめ加工よりも締結強度が高く、締結強度のばらつきも小さいことがわかる。

3.4 疲労試験による継手の強度 図13は継手の疲労試験によって得られた負荷（最大引張荷重）と破断に至るまでの繰返し数との関係を示している。なお、かしめ加工により作製した継手の疲労試験は、3.3節の引張試験による継手の強度評価の結果から、締結強度が高い方の継手（板にφ4.5の穴あけをして作製した継手）についてのみ行った。

継手は図14に示すように、どちらの締結法も板の穴周囲がリベット軸によって圧縮されることにより徐々に拡大して破壊している。図13から、衝撃リベット締結法により作製した継手の疲労強度は、引張試験による静的強度と同様に、かしめ加工により作製した継手の疲労強度よりも明らかに高くなっている。この理由については、次のように考えられる。

一般に、リベット継手の破壊は、リベットがせん断されて破壊する場合と板の穴周囲がリベット軸によって圧縮破壊される場合に分けられる⁽¹¹⁾、⁽¹²⁾。本研究のように板の穴周囲がリベット軸によって圧縮破壊される場合は、継手の強度は式(1)で表されるリベット軸と板穴の接触面における圧縮強さ（支圧強さ） F と締結後のリベット頭部の締めつけ力によって生じる板と板との間の摩擦力の和になる⁽¹⁰⁾、⁽¹²⁾。

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

ここで、 σ はリベット軸と穴の接触面における圧力で板の変形抵抗に依存して決まる。 d はリベット軸の直径、 t は板厚を表す。

まず、それぞれの継手の支圧強さについて検討すると、図11の硬さ測定の結果から、板の穴周辺の硬さは、穴の近傍を除いて衝撃リベット締結法の方が相対的に高い。このことから、板の穴周辺の変形抵抗は衝撃リベット締結法の方が相対的に大きいと考えられる。従って、リベット軸と板穴の接触面における圧縮強さが衝撃リベット締結法の方が大きいことが強度の高い原因と考えられる。なお、図9に示すように、かしめ加工により作製した2種類の継手においては、板にφ4.5の穴あけをして作製した継手の方が強度は高い。この理由は、締結後のリベット軸の直径が大きく、支圧強さが大きいと考えられる。

次に、板と板との間の摩擦力について検討する。図9(b)の締結部断面の状況から、かしめ加工ではリベット頭を成形することにより、板の穴縁から外側に徐々に板を締めつけていくため、板の穴縁に近い部分はリ

Fig.12 Tensile strength of joint by impact riveting and joint by caulking

Fig.13 Fatigue strength of joint by impact riveting and joint by caulking

Fig.14 Aspects of fractured joint

Fig.15 Aspects of disjoined rivet, rivet holder and plate

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。このことは、図 11 に示すかしめ加工における締結部周辺の硬さ分布からも推察できる。一方、衝撃リベット締結法では、図 9(a) の状況から、板はリベット頭部とリベットホルダーにより、かしめ加工の場合よりも広い領域で一様に締めつけられているように観察される。この結果から、衝撃リベット締結法により作製した継手の方が、かしめ加工により作製した継手よりも締結後の板の締めつけ力が大きく、継手が引っ張られた際に板と板との間の摩擦力が大きくなったことも考えられる。

3.5 締結後の継手の分解試験の結果 図 15 は衝撃リベット締結法により作製した継手に対してピンを用いてリベット軸を押抜くことにより分解した後のリベット、リベットホルダー、および板の様相を示している。5 本の継手を分解するのに必要な押抜き力の平均値は、約 1500 N であった。これらの図から、本研究で用いた単純な手法により、板を大きく変形させることなく継手を分解できることがわかる。また、分解後の板の変形が小さいことから、板を再利用しやすいものと考えられる。

最後に、本研究では高速の重りをリベットに衝突させ、その衝撃荷重により板に穴をあけ、かつ締結する方法を用いた。その理由は、緒言でも述べた通り、板の打抜き加工速度が締結部周辺の変形状態や板の機械的性質に大きく影響を及ぼすと考えたからである。リベットに静的な圧縮荷重を作用させて板に穴をあけ、締結する方法も可能と考えられるが、その場合の締結部周辺の変形状態や継手の強度は条件が異なるため不明である。この方法については、本研究の次のステップとして取り組んでいく所存である。

4. 結 言

本研究では、継手の分解が容易な衝撃リベット締結法を開発し、アルミニウム合金リベットを用いてアルミニウム合金板材を締結した。そして継手の変形状態、強度、および分解性について検討した。得られた結果は次の通りである。

- (1) 衝撃リベット締結法によりアルミニウム合金板材の締結が可能であるとともに、締結した継手に対して、リベット軸を押抜くことにより、板を大きく変形させずに分解が可能である。
- (2) かしめ加工により作製した継手と衝撃リベット締結法により作製した継手の比較から、衝撃リベット締結法は締結部付近の面外変形が小さい加工法である。
- (3) 衝撃リベット締結法により作製した継手の強度は、本研究の締結条件において、かしめ加工により作製した継手の強度よりも高い。

参 考 文 献

- (1) Takaki, Y. and Masuda, T. and Yasunaga, S., State of the Art : Application Technologies for Aluminum Alloys Sheet used in Auto Body Panels, *KOBE STEEL ENGINEERING REPORTS*, Vol. 54, No.3(2004), pp. 42-46
- (2) Inaba, T., Yamashita, H., Takebayashi, Y., Minoura, T. and Sasabe, S., Aluminum Product Application Technologies for Automobiles, *KOBE STEEL ENGINEERING REPORTS*, Vol. 55, No.2 (2005), pp. 66-74
- (3) Kato, T. Abe, Y., Mori, K. and Xaun, W., Joining of Aluminum Alloy and Mild Steel Sheets by Self-Piercing Rivet, *Journal of the JSTP*, Vol.47, No.541 (2006), pp. 119-123
- (4) Lorenzo, G. Di and Landolfo, R., Shear experimental response of new connecting systems for cold-formed structures, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol.60 (2004), pp. 561-579
- (5) Kaizu, K., Blanking Method by Critical impact velocity, *FORM TECH REVIEW*, Vol.11, No.1, (2002), pp.63-67
- (6) Kaizu, K., Kinoshita, H., K. Tsutsui, K. and IKEDA: K., Development of a Single Impact Riveting Method, *Journal of Materials Science*, Vol.57, No.7(2008), pp. 712-717
- (7) Kaizu, K., Kinoshita, H. and Ikeda, K., Impact rivet, Japanese Patent Pending: 2007-151711
- (8) Masuko, M., *Machine Design*, (1985), pp.71-92, Yokendo Co. Ltd.
- (9) Nagai, Y., Riveting for chassis frame of automobile, *Journal of the JSTP*, Vol.38, No.441(1997), p.932-934
- (10) Kinoshita, H., Kaizu, K., Toyama, M., Sato, M., Tokunaga, H. and Ikeda, K., 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
- (11) Watanabe, N., *Bridge Engineering*, (1974), p.260-261, Asakura Publishing Co. Ltd.
- (12) Simada, S., Design of steel structure (Rivet joint), <http://www.nakanihon.co.jp/gijyutsu/Shimada/shimadatop.html>