シェービングねじ成形接合法による 薄板重ね継手の形成

町田 輝史* 佐々木武三** 坂本 望***

Applicability of Shave Joining with Screw for Formation of Lap Joint between Sheets

Terufumi MACHIDA, Takezo SASAKI

and Nozomi SAKAMOTO

(Received on June 10, 2005)

Shave joining with a screw was experimentally confirmed as very promising for forming a single lap joint between sheets such as mild steel, aluminum, plastics, and fiber-reinforced plastics. Here, an external screw of hard steel serves as a rivet, but its threads shave a machined bore of lapped sheets into an internal screw. The press insertion force is much smaller than that of riveting, resulting in a decrease in working noise. The joint surface can be flat when using a flat-headed screw. Although the engagement between screw and bore is tight through lapped sheets, its joint can essentially be disassembled, when required. The strength of the lap joint under tensile stress is markedly improved as the screw pitch decreases or screw number increases. Furthermore, the value becomes maximum using a headed screw, thereby upsetting the stem bottom. Such effects are successfully caused by control of specimen curling or screw pullout in testing. The screw should be harder than sheets to be joined. Softening of plastics and its composites by a heated screw is utilized to fasten the screw and bore wall closely.

Key words: shave joining, screw thread fastening, tapered square screw threads, steel threads, lap joint, riveting, lap joint strength, mild steel sheet, aluminum sheet, plastic sheet

1. 結 言

筆者らは前報で、シェービング接合法を応用し、角ねじを基材の下穴に押し込むことで、めねじを成形しつつ両部材を接合する、シェービングねじ成形接合法を提案した¹⁾。この方式を応用すれば、リベット代わりにシェービングねじを用いて、薄板を重ね合わせて締結することも可能になると考えられる。

そこで本報では、様々の薄板を重ね継手締結（以下、ねじ成形接合継手と記す）することを試み、接合強度ならびに実用可能性を検討した。

2. 実験方法

2. 1 供試材

シェービングねじ成形接合は、段差のついたおねじを下穴に押し込むことによって、生成するシェービング屑をおねじの溝に蓄えて、めねじの山を成形するものである。そこ

で前報¹⁾で述べたように、シェービングおねじは、ねじ山によるシェービング量がねじ溝の容量、または形成されるめねじ山の体積に一致するように設計した。ここでは、シェービングおねじは、通常重ね継手締結のリベットに相当する。

おねじ製作には、構造用鋼（SS400, 210 HV）、機械構造用炭素鋼（S45C, 278 HV）、機械構造用炭素鋼（S45C 焼入れ材, 419 HV）ならびに炭素工具鋼（SK3, 239 HV）を用いた。ねじ切りバイト等を用いて Fig. 1 に示すような形状に機械加工（旋盤）した。図 (a) と (b) のおねじは、通常

(a) Headless stepped screw (b) Headed stepped screw (c) Headless tapered screw

Fig. 1 Geometry of shaving screws

* 玉川大学工学部 〒194-8610 東京都町田市玉川学園 6-1-1

** 江戸川区中小企業相談室 〒132-8501 東京都江戸川区中央 1-4-1

*** 玉川大学大学院、現：大豊工業㈱ 〒471-8502 愛知県豊田市緑ヶ丘 3-65

シェービング用の段付ねじである。前者 (止めねじ形状) は、継手の表面が平坦になるものであるが、後者は後述の薄板の反りによるねじ抜けを防止するために頭を付けたもので、ねじ山は垂直である。図 (c) のおねじは、ねじ溝の深さを一定にしたねじ山が 7.5° 傾斜したおねじである。これは、下穴を垂直とした通常段付きおねじシェービングの場合、同じピッチならば先端に近いほど深くせざるを得ないねじ溝を、加工の難しさを避けようとして工夫したものである。これを用いる場合、各おねじ山の切削量を一定にするために、重ね板の下穴も傾斜させることになる。

供試薄板には、アルミニウムおよび低炭素熱延鋼板の金属系 2 種にプラスチック系 7 種も加えた。それらの板厚および引張強さを Table 1 に示す。長さ $l=50.0$ mm, 幅 $w=16.0$ mm の矩形に機械加工 (フライス) をして試験片とした。所定のオーバーラップ ($l_L=24.0$ mm) で重ね、所定の位置でドリルにより垂直穴、またはテーパードミルで傾斜穴を加工した。

Table 1 Sheets for joint strength test

Material	Thickness t /mm	Tensile strength σ_B /MPa	Vickers hardness (HV20)
Aluminum (A1050-O)	3.0	110.0	34
Mild steel (SPHC)	3.0	393.0	146
GFRPP* (9vol%)	2.2	44.0	-
GFRPP* (18vol%)	2.2	78.0	-
Polypropylene (PP)	3.0	27.0	-
Polyethylene (PE)	3.0	27.0	-
Phenol-formaldehyde (PF)	3.2	115.0	-
Polycarbonates (PC)	3.2	65.6	-
Polyacetal (POM)	3.0	66.7	-

* Glass fiber reinforced polypropylene.

2. 2 ねじ成形接合継手の形成方法

ねじ成形接合継手形成実験装置の模式を Fig. 2 に示す。あらかじめ接合穴を明けた 2 枚の試験片をダイ上に置き、自動油圧プレス (容量 200 kN) を用いて穴にシェービングおねじを押し込んだ。ダイ形状は後述の理由で、Fig. 3 に示すように、表面が平坦 (a)、穴付き (b) ならびに浅溝付 (c) のものを用意した。

ねじ成形接合継手形成の条件を Table 2 に示す。一列重ね継手すなわち薄板試験片の中心線に沿って、直列に 2 箇所の穴でシェービング成形接合することを基準とした。おねじ押し込みは、模式図 Fig. 4 に示すように、シェービングおねじ 2 本を同一方向から押し込む場合 (直接押し込み) と 2 本を表裏逆方向から押し込む場合 (間接押し込み) がある。

2. 3 継手強度試験

継手形成後の試験片にタブを付けて引っ張り、継手のせん断接合強度試験 (JIS G0202) を行った。継手が解除されるとき引張荷重から、以下の式で計算した値を継手強度 σ_B とした。

$$\sigma_B = P / wt \quad (1)$$

ここで、 P は最大引張荷重、 w と t はそれぞれ板幅と板厚である。継手効率 (継手強度対原板強度比) η を次式で求めた。

$$\eta = \sigma_B / \sigma_o \quad (2)$$

Fig. 2 Scheme of experimental apparatus used for shave joining

Fig. 3 Various dies used for lap shave joining

Table 2 Conditions for formation of lap joint with shaving screw

Specimen size	$l \times w \times t$ /mm	$50 \times 16.0 \times t$
Joint hole diameters	$d_{\max} - d_{\min}$ /mm	4.8-4.8 (Stepped), 5.4/5.2-5.0 (Tapered)
Over lap	l_L /mm	24.0
Screw		
Material		Mild steel (SS400), Tool steel (SK3) Steel (S45C), Quenched steel (S45C)
Shave depth s /mm		0.04 (Stepped), 0.13 (Tapered)
Diameters $d_u - d_c$ /mm		5.4-5.0 (for stepped screw), 6.5/6.6-5.0 (for tapered screw)
Taper degree $\theta /^\circ$		0 (Stepped), 7.5 (Tapered)
Length L /mm		6, 6.4
Pitch p /mm		1.0, 1.5, 2.0
Threads		6, 4, 3

Fig. 4 Mode of shave screw insertion

ここで、 σ_o は原板の引張強さである。

3. 実験結果

3. 1 接合加工力

金属薄板に対する 1 本のねじ成形接合継手形成に必要なプレス加工力 (パンチ力) を求めた。ピッチ 1.0 - ねじ山数 6 の段付きおねじと平坦ダイを用いた表裏方向 (R II)

シェービング接合の場合の結果を Fig. 5 に示す。継手形成法で幾分差異はあるものの、プレス加工力はアルミニウム薄板に対して 4, 5kN 程度、軟鋼板に対してはその 2, 3 倍程度であることが分る。傾斜おねじを用いたときのプレス加工力は、シェービング力に側圧力が加わることで大きくなっている。

Fig. 5 Variations in working force under various screw-shave joining conditions

仮にそれぞれを打抜いた場合のパンチ力（プレス打抜き力）は、種々の実測データでせん断抵抗が引張強さの 0.8 倍である²⁾から、次式で計算される値をとる。ここで、 d は穴径 (4.8 mm), t は重ね板厚 (6 mm), σ_o は薄板の引張強さ (Al: 110 MPa, Steel: 393 MPa) である。

$$P_p = 0.8 \pi d t \sigma_o \quad (3)$$

計算値は、アルミニウム薄板 8kN, 軟鋼薄板 28kN 程度である。これに比較すると、段付きねじ成形接合継手の形成に必要なプレス力は、かなり低い値をとることが分る。また、リベッティング（鋲接）に必要なプレス力は、中実棒の据え込みと見なすと、近似的に次式で与えられる値になる³⁾。

$$P_R = C(\pi/4) d_R^2 \sigma_{oR} \quad (4)$$

ここで、 C は拘束係数、 d_R はリベット径、 σ_{oR} はリベットの圧縮強さ（平均変形抵抗の代用値）である。いま $C = 4$ （閉塞鍛造相当）、 $d_R = d$ （穴径 4.8mm）、リベットが軟鋼棒であるとして $\sigma_{oR} = 400$ MPa で計算すると、およそ 29 kN になる。

シェービング力は一般に、薄板の材質、シェービング数やシェービングしろの影響を受ける⁴⁾が、それを考慮しても、これらの計算値に比較して、ねじ成形接合継手の形成に必要とするプレス加工力が、かなり小さな値をとることが分る。なお、図には参考として傾斜ねじを用いた場合のデータも示している。シェービングされにくくなるため、加工力が Al 薄板で 80%, 薄鋼板で 40%ほど高目になることが分る。

3. 2 継手強度に及ぼすおねじ形状の影響

強度試験後の継手の外観を Fig. 6 に示す。図 (a) は、薄板の反りによって接合が緩んで、ねじが抜ける状況を示している。これは、止めねじを用いる場合に共通する現象であった。頭部付ねじの採用により反りを抑制すると、図 (b), (d) のような穴縁破断（ねじの強度に比して薄板が弱い場合）や図 (c) のようなねじ破断（ねじの強度に比して薄板が強い場合）が見られた。

平坦ダイを用いて、段付き角ねじ (S45C 止めねじ、ピッ

Fig. 6 Examples of tensile failure of various screw-shave joint formed with a flat die

Fig. 7 Relation between lap joint strength and screw-shave joining mode

チ 1.0) および傾斜した角ねじ (S45C 止めねじ、ピッチ 2.0) でねじ成形接合継手を形成した後、試験片を引張試験した。継手の接合強度と接合様式の影響を Fig. 7 に示す。図から、薄鋼板の接合強度が、Al 薄板よりもおよそ 3 倍程度の値 180 ~ 190 MPa を持つことが分る。この傾向は、薄鋼板が Al 薄板よりも強度が大きいことで、強い噛み合いが形成され、おねじが抜けにくいことに起因すると思われる。また図から、2 本のおねじを一方からシェービングした直接継手よりも、表裏からシェービングした間接継手の方が大きい継手強度を示すこと、同じ間接継手でも薄板端部にねじの小径側を配置する方 (R II) が高めの値をとることが分る。この傾向は、薄板の反り防止の結果であり、おねじ抜け現象を抑制する効果がある。

また試みに試験片の幅を 25.0 mm にし、二列重ね間接継手、すなわち 4 本のシェービングねじを 2 本ずつ並列に配置した継手では、継手強度がわずかに向上することが分った。継手効率率は、Table 3 に示すように、傾斜ねじで 0.35 ~ 0.54 の値、段付きねじで 0.48 ~ 0.51 の値であった。値が高いものは、上述の引張強度が大きいものである。この表からも一般に、薄板端部にねじの小径側を配置した間接継手の方が、強度があるということが分る。例えば、段付きねじで継手を形成した Al 薄板が 0.510, 薄鋼板が 0.480, 傾斜ねじで継手を形成した Al 薄板が 0.511, 薄鋼板が 0.540 で

Table 3 Strength ratio of lap joint to sheets in combination of headless screw and flat die

Screw material	Steel			
Screw type	Stepped (p1.0)	Tapered (p2.0)		
Insert mode	Indirect (R II)	Indirect (R II)	Direct (D)	Indirect (RI)
Aluminum	0.510	0.511	0.381	0.353
Mild steel	0.480	0.540	0.389	0.385

Fig. 8 Influence of screw pitches on lap joint strength**Table 4** Relation between strength ratio and screw pitch of joint formed with tapered screw, indirect mode (R II), and flat die

Screw pitch p/mm	1.0	1.5	2
Number of threads	6	4	3
Aluminum	0.547	0.489	0.511
Mild steel	0.541	0.557	0.540

あった。

傾斜おねじ (止めねじ) および傾斜下穴と平坦ダイを用いた間接継手において、シェービング段数 (おねじピッチ 1.0, 1.5, 2.0 および総板厚にかかるねじ山数 6, 4, 3) が継手強度に及ぼす影響を調べた。その継手強度を Fig. 8 に、継手効率を Table 4 に示す。なお軟質おねじ (SS400) を軟鋼板に適用した場合、ピッチを小さくした時などシェービング成形でおねじ山の折損や曲がりが生じやすい。そのためデータは、硬質おねじ (S45C 焼入れ) による結果のみ示してある。図から、Al 薄板で 50~60 MPa、薄鋼板で 210~220 MPa の値をとること、またシェービング段数 (おねじ山数) 3~6 の範囲では大きな差異を生じないことが分る。一般にシェービング段数が増すにつれて抜けにくくなる⁹⁾が、この試験では反りによるねじ抜けの影響が大きいために、その効果が明瞭に現れなかったものと思われる。表から、例えばピッチが 1.0 (山数 6) の場合、継手効率は Al 薄板で 0.547、薄鋼板で 0.541 であることが分る。

3. 3 ダイ形状とおねじ頭付けの効果

前述のように、薄板の反りに伴うねじ抜けを抑制することで、重ね継手の強度を改善できると推測された。シェービング成形継手は、ねじ噛み合いが形成されるものの、反りによるねじ抜け抑制の効果は小さい。そこで、通常リベッティングのように、上下に頭を付けるように継手形状を設定してみることにした。この場合、重ね継手表面の平坦

性は犠牲になる。

まず、シェービングおねじに Fig. 1 (b) に示したような頭を付け、圧縮部分 0.4 mm を増し軸長 6.4 mm とした。次いで Fig. 3 (c) に示したように、これまで述べた表面が平坦なダイに代えて、窪み付きダイを工夫した。これは締結後のねじ下端にも頭を形成するために、ねじ先端部分 (重ね板厚を超えるように設定した 0.4 mm 長) とシェービング屑を窪みで圧縮する密閉ダイである。比較のために、シェービング屑を落とし込む開放ダイ (Fig. 3 (b)) も用意した。これらの採用により、継手強度試験時のねじ抜け現象が著しく抑制される効果が認められた。

頭付き軟鋼おねじの継手を形成した、薄板の継手強度を Fig. 9 に示す。図から、止めねじ - 平坦ダイ継手に比較すると、頭付きおねじを用いると Al 薄板で継手強度が 60~70%改善され、その改善の程度は平坦ダイ、開放ダイ、窪みダイの順にわずかに大きくなる傾向が認められる。開放

Fig. 9 Improvements of lap joint strength by using shaped dies and headed screw

ダイで見られる若干の強度改善は、後述の穴下端にシェービング屑がわずかに堆積するために生じる効果である。強度は、Fig. 6 (b) のような穴縁破断で決定された。

頭付きおねじを用いた薄鋼板の継手強度は同様に、平坦ダイ、開放ダイ、窪みダイの順に 50~60%の範囲で改善されている。しかし改善の程度は、おねじの材質に大きく依存した。ねじ破断 (Fig. 6 (c)) で強度が決まるねじのうち、軟鋼おねじではわずかにしか改善されないのに対し、やや硬質の工具鋼おねじではかなり改善され、一層強度の大きな焼入れ中炭素鋼おねじを用いると、穴縁破断 (Fig. 6 (d)) するようになり、さらに改善が認められた。

これらの継手効率は Table 5 に示すように、窪みダイを用いることにより、Al 薄板が 0.77 程度、軟鋼板が 0.87 を達成している。

Table 5 Strength ratio of lap shave-joint formed with headed screw, indirect mode (R II), and screw pitch 1mm

Sheet	Aluminum	Mild steel		
Screw	Mild steel (SS400)	Mild steel (SS400)	Tool steel (SK3)	Quenched steel (S45C)
Flat die	0.745	0.603	0.689	0.833
Open die	0.750	0.606	0.707	0.870
Close die	0.767	0.615	0.755	0.872

3. 4 各種鋼板の継手強度

シェービング成形接合による継手は、金属薄板のほかにも変形可能な薄板材料であれば形成できると思われたので実際に確かめた。軟鋼段付き止めねじ・平坦ダイの組合せで形成した重ね継手の強度を Fig. 10 に示す。図には、一部の材料で熱効果を利用して、強度を改善したデータも含んでいる。図から、金属薄板のみならずプラスチックや GFRPP（ガラス繊維強化ポリプロピレン）のような材料も接合可能であることが分る。なお接合強度は、一般には

Fig. 10 Lap shave-joint strength for various plastics and its improvements by using 300°C-furnace-heated screw

Table 6 Strength ratio of lap shave-joint for various plastics when joining with headless mild steel screw of 1mm-pitch, indirect mode (R II), and flat die

Plastics	Strength ratio
GFRPP* (9vol%)	0.411
GFRPP* (18vol%)	0.187
Polypropylene (PP)	0.431
Polyethylene (PE)	0.359
Phenol-formaldehyde (PF)	0.271
Polycarbonates (PC)	0.393
Polyacetal (POM)	0.429

* Glass fiber reinforced polypropylene

薄板の反り・ねじ抜けで与えられたが、GFRPPやPFでは穴縁の応力集中による破断も見られた。この種の材料の継手強度が小さいのは、金属に比べて強度がかなり低いため、当然の結果といえる。継手効率は Table 6 に示すように、GFRPP 薄板（繊維含有率 18%）が最も小さく 0.2 程度、ポリアセタール薄板（POM）が最も大きく 0.4 程度であった。この差は、材料の強度水準と変形能に係る噛み合いの差異によって生じるものと推察される。

4. 考 察

4. 1 継手の噛み合い状況

中炭素鋼止めねじ・平坦ダイで形成した Al 薄板継手の縦切断面を Fig. 11 に示す。段付きねじ、傾斜ねじとも、どのピッチでもシェービングされた薄板材料が流動して、ねじ溝に充満してめねじを形成し、ねじと薄板がよく噛み合っていることが分る。充満材料のせん断抵抗が反り・ねじ抜けを抑制するので、前述したように、小さいピッチが継手強度を高める効果を生むことが容易に汲み取れる。

(a) Stepped screw

(b) Tapered screw

Fig. 11 Sectional appearances of lap shave joint formed with flat die in combination of variously pitched mild steel screw to aluminum sheets

(a) Flat die

(b) Open die

(c) Closed die

Fig. 12 Sectional appearances of lap shave joint formed with shaped dies in combination of headed mild steel screw to aluminum sheets

頭付き軟鋼おねじを用いて、各種のダイで形成した Al 薄板継手の縦切断面を Fig. 12 に示す。図から、開放型および平坦型の場合、裏側は平滑になる。これに対し密閉型の場合切削屑が堆積し張出していることが分る。この張出しは、頭部付きと同様に薄板の反りを抑制する効果を持つので、実験結果に示した継手強度の向上をもたらす。

4. 2 継手強度の構成要因

重ね継手強度は、既に述べたように、一般に薄板の反り・ねじ抜けで与えられること、ねじのピッチを小さくして噛み合い数を増やすことが有利に作用すること、ねじを頭付きにすると反り・ねじ抜けが抑制され強度が向上すること、最終的にはねじ破断や穴縁破断を起こすようにすると、薄板やねじ強度本来の値になることが分った。この対策は、重ね継手に曲げモーメントが作用する場合にも、有利に働くことになると思われる。

穴縁の応力集中によって破断する場合の継手強度は、薄板の強度によって与えられる。ねじが破断する場合の継手強度は、ねじの強度によって与えられる。おねじが軟質の場合には、ねじ抜け現象と同時にねじ破断が生じるが、高強度のおねじを用いると、ねじ抜け現象はほとんど見られず、ねじが完全にせん断破壊するようになる。すなわち、止めねじを用いる重ね継手強度は主に、シェービングねじの噛み合いと接合界面の側圧力（締付け力による摩擦力⁶⁾）による反り・ねじ抜け抵抗、ならびにシェービングねじの強度、あるいは薄板の強度によって与えられる。頭付きねじと下端据え込みを併用する場合は、反り・ねじ抜け抵抗を増加する効果である。止めねじでも上下端に接着剤を塗布するボンド併用方式も効果がある。

4. 3 実用可能性

重ね継手を形成するために多用される鉚接（リベット法）

は、下穴を通した頭付きリベット軸の下端部をプレスで据え込み、上部と同じような頭部を形成して抜けないようにする。この継手と比べシェービング成形ねじ継手には次のような特徴があり、軽構造物や機器の組み立てに応用の可能性があるように思われる。

- 1) 1 ストロークで穴内壁にめねじを成形し、同時にねじ締結する。
- 2) 重ね薄板の組合せは自由であるが、温度効果などによってもシェービングおよびその屑堆積ができないセラミックなどのいわゆる硬脆性材料には適用できない。
- 3) 低い荷重で容易に締結できる。かしめ作業の必要がない。そのため騒音発生がきわめて小さい。
- 4) 薄板の穴縁とシェービングおねじが塑性変形によって噛み合うので、気密性を持つ。
- 5) 止めねじ形状を採用すれば、継手表面を平坦にできる。必要に応じてねじ締結を解除できる。
- 6) 頭付きおねじと下端据え込みによる頭部形成を併用すれば、リベット継手以上の継手強度が得られる。

上記 2) に関して、前述のプラスチック系薄板に対する継手の場合、温間ではシェービングねじ成形が容易になり継手強度が改善されるように考えられた。そこで、あらかじめ 300℃ に電気炉加熱したおねじを用いて、穴縁を軟化溶融しつつ重ね継手を形成することを試みた。その結果、既に Fig.10 に示したように、おねじの温度が穴縁を軟化することにより、切削屑によるめねじ山成形が良好になり、継手強度が向上することを確かめた。

また、下穴を省略したプラスチック薄板 (PP, POM, PE) と下穴付き金属薄板に対する組合せも試みた。段付きおねじ-開放ダイを用いて、Fig. 13 (a) に示すように、上に重ねたプラスチックをおねじがあたかもパンチのように打抜き、同時にシェービングねじ成形も行えることを確かめた。

上記 6) に関して、窪みダイで窪みの中央部を盛り上げ、据え込み時におねじ下端を周囲に分流してかしめると、ダイ製作の煩雑さはあるものの、Fig. 13 (b), (c) に示すように、容易に頭部形成効果 (反り・ねじ抜けの抑制) が現れることも確かめた。

5. 結 論

シェービングねじ成形接合の原理を用いて、各種の薄板で重ね継手の形成を試みた。得られた主な結果を次に挙げる。

- 1) おねじで重ね板の下穴内壁にめねじをシェービング成形することにより、金属およびプラスチックなどの薄板を重ね合わせ接合できる。
- 2) 低荷重で締結できる。傾斜ねじ山よりも平坦ねじ山の角ねじの方が加工力は低い。騒音発生がきわめて小さく、かしめ作業が必要ない。
- 3) 止めねじ形状を採用すれば、継手表面を平坦にできる。必要に応じてねじ締結を解除できる。
- 4) 接合界面は全内壁でおねじとめねじが噛み合い、完全に密着する。
- 5) 比較的高い継手強度を得ることができる。おねじのピッチを小さくねじ山数を増して、噛み合い数を増すと

(a) Combination of non bored plastics and bored metal sheet

(b) Swaging with profiled- and-closed die

(c) Swaged nose of steel screw in lap joint for steel sheet

Fig. 13 Possible screw-shave joining methods

値は向上する。

- 6) 頭付きおねじの利用と下端への据え込み頭部形成を併用すれば、引張応力下での反りとねじ抜け現象が抑制され、継手強度が著しく改善される。
- 7) おねじが薄板に比べて必要な硬度差を持たない場合には、シェービング成形時に損傷しやすい。
- 8) プラスチックなど塑性変形能が十分でない薄板にはおねじ加熱が適用できる。

終わりに、本研究を遂行するにあたり、有益な示唆を賜った玉川大学工学部・岡井紀彦教授ならびに倉持茂教授、また実験を遂行するにあたり協力くださった玉川大学工学部機械工学科卒業研究生 (当時)・松井俊郎、柴田健司、坂本恒平、松井徹の諸氏に感謝します。なお、本研究は平成 11-12 年度高橋産業経済研究財団の研究助成によってなされたものであることを記し、謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 町田輝史・佐々木武三・石原勝志：塑性と加工，46-537(2005)，1004-1008。
- 2) プレス加工データブック編集委員会：プレス加工データブック，日刊工業，(1980)，5。
- 3) 日本塑性加工学会：プレス加工便覧，丸善，(1975)，547-554。
- 4) 日本塑性加工学会：塑性加工技術シリーズ 19「接合—技術の全容と可能性」，コロナ社，(1990)，67-72。
- 5) 町田輝史・岡井紀彦・佐野村幸夫・菅野恵介：塑性と加工，34-391(1993)，938-945。
- 6) 町田輝史：塑性と加工，28-322(1987)，1158-1165。