

ものづくり教育のためのバイス転用型簡易 V 字曲げ加工機的设计・製作

Design and manufacture of a simple V-shaped bending machine using a vise for manufacturing education

大貫 貴久¹⁾

Takahisa Ohnuki¹⁾

要旨：手軽に使える加工機としてバイス（万力）を転用して冷間加工を行う V 字曲げ加工機的设计，製作を行った。製作したバイス転用型簡易 V 字曲げ加工機を用いて SS400，厚さ 0.5，1.0，1.6mm 曲げ加工を行い，その性能の確認を行った。また，曲げ回数や曲げ方向を変えることにより，U 字曲げなど様々な形状の加工することが容易にできた。

キーワード：塑性加工，冷間加工，V 字曲げ加工，バイス

1. はじめに

ものづくりに使われる加工方法は，除去加工，付加加工，成型加工に分類される[1]。除去加工は，旋盤・フライス盤に代表される切削，研削加工であり，形状の異なる製品を加工できるなど汎用性に優れている。付加加工は，溶接，メッキなどに代表される接合，表面処理などであり，異種材料同士を組み合わせることができ，高性能・高品質化することができる。成型加工は，圧延，押出しに代表される塑性加工であり，短時間に大量生産が可能で，かつ，廃棄材料も少ない。特に冷間加工では，加熱しないので非常に製造コストが低く抑えることができる。従って，工業的には大量生産が可能で，製造コストが低い成型加工，すなわち冷間加工が好まれる。

一方，高等専門学校や工業高校の実習では，旋盤・フライス盤などの除去加工や，溶接などの付加加工はよく行われている[2-3]。しかし，成型加工は少なく，行っている場合も，加熱しての鍛造などの熱間加工であり，冷間加工は稀である[4]。冷間加工が簡単で行われないわけではなく，むしろ，スプリングバックやバウシinger効果などの成形上の多くの問題があり，実践教育を目指す高等専門学校や工業高校の実習では，実地に知っておくことは必要と考えられる。

冷間加工の短所としては，金型や設備にコストがかかり，装置もかなり大きくなるため，学校の実習でそのまま行うことは難しい。工業系の学校で冷間加工を行う場合には，万能試験機に治具を取り付けて行うことが考えられるが，万能試験機を占有することになり学校で行うには実用的ではない。また，油圧ジャッキを使い専用の加工機を作ることが考えられるが，ハウジングの設計・製作は手間がかかる。馳折機（はぜおりき）と呼ばれる簡易曲げ機は安価で取り扱いも容易であるが，アルミニウム 1mm 程度までが加工限界であり，鋼や厚めの材料を加工することはできない。

そこで，手軽に使える加工機としてバイス（万力）を転用して冷間加工を行うことを思いついた。バイスは大きな締め付け力を発生でき，締め付け方向のハウジングがしっかりしていて，安価に購入することができる。そこで，バイスを用いて比較的単純な冷間加工として板曲げ加工機を設計，製作して，性能の確認を行った。なお，本研究で設計，製作したバイス転用型簡易 V 字曲げ加工機は，2015 年に設計，製作したが発表の機会がなかったため，今年度，本校紀要にまとめることにした。

2. 仕様・設計・製作

被加工材としては，工業的によく用いられる鋼を念頭に置き，板形状は最大厚さ $t=1.5\text{mm}$ ，最大幅 $W=100\text{mm}$ ，最大長さ $L=120\text{mm}$ の加工ができる加工機とした。また，バイスは作業台に固定するベンチバイスとし，口金の幅寸法でヨビ 4 サイズあるが，板形状寸法 L より大きな，ヨビ 150mm 規格を用いることにした。

板曲げ加工には，型曲げ，折曲げ，ロール曲げがあり，最もよく用いられる方法が型曲げである。型曲げは，断面形状のパンチとダイスを，被加工材に押し付けて曲げる方法であり，断面形状により V 字，U 字曲げなどがある。本研究では，曲げ加工の基本である V 字曲げができる加工機を設計・製作した。

設計のために負荷荷重を概算した。V 字曲げ加工ではパンチ変位に伴い曲げ荷重は，図 1 の模式図のように変化する。点 0 は被加工材の板にパンチが接触した位置であり，0-A 間は板の純曲げにより荷重が増加する。やがて曲がった板が V 字のダイスにすべり込み，荷重が一時的に低下する（A-B 間）。次に，点 B で板がパンチ面に当たる逆曲げとなり再び荷重が増加し，点 C でパンチとダイスで逆曲げを矯正するため急激に大きな荷重となる。本研究の V 字曲げ加工機はバイスを用いて人力で行うため極端に大きな荷重はかけられな

¹⁾ 東京都立産業技術高等専門学校 ものづくり工学科，ロボット工学コース

い。よって、純曲げ荷重による自由曲げ（エアーバンド）方式で考えた。必要となる荷重は、図1の点Aの曲げ荷重Fである。曲げ荷重Fは、次式で与えられる[5]。

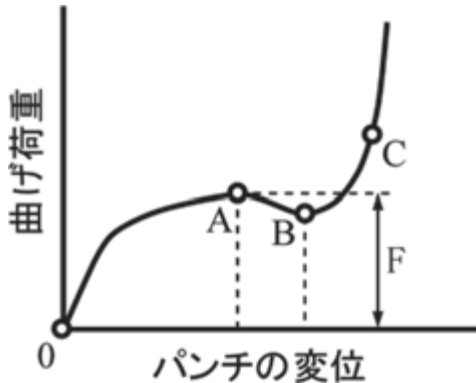


図1 V字曲げ加工時のパンチ変位と曲げ荷重の関係

$$F = \frac{C \cdot W \cdot t \cdot \sigma_B}{l} \quad (1)$$

ここで、Cは比例定数、Wは板幅、tは板厚、 σ_B は被加工材の引張強さ、lはダイスの溝幅である（図2参照）。

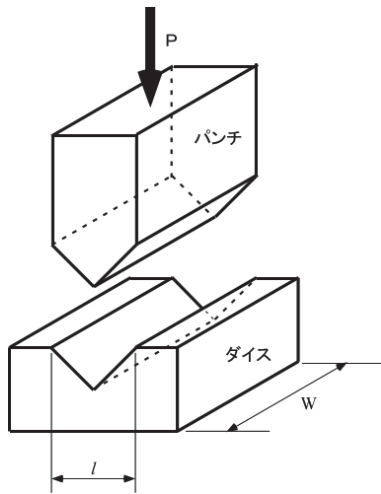


図2 パンチとダイスの概略図

被加工材に一般構造用圧延鋼材SS400を考えると、引張強さ $\sigma_B=400\text{MPa}$ となる。CはV字曲げの場合1.0~1.3より最大値 $C=1.3$ とした。板形状より $t=1.5\text{mm}$ 、 $W=100\text{mm}$ となる。また、ダイスの溝幅lは、板厚tの5~12倍であり、標準が8倍である[6]。標準の8倍で考えると、ダイスの溝幅 $l=12\text{mm}$ となる。以上より、最大負荷荷重 $F=6.5\text{kN}$ と求まった。ここで、設計の安全率 $f=3$ とすると、許容荷重 $P=19.5\text{kN}$ となり、この値を用いて強度計算を行った。

パンチ長さについて検討した。被加工材が長い時、曲げられた板がバイスと干渉する可能性がある。そこで、パンチを長くする必要があり、負荷により座屈する可能性がある。図3に示すように、パンチはバイスに固定するためのパ

ンチ土台にボルトでしっかり固定し、パンチ土台はバイスの口金を外してバイスとボルトで固定する構造を考えた。パンチの材質はSKD11（ヤング率 $E=210\text{GPa}$ 、降伏応力 $\sigma=1500\text{MPa}$ ）とし、幅 $B=156\text{mm}$ 、厚さ $H=6\text{mm}$ 、長さ $LL=65\text{mm}$ を仮寸法として計算を行った（付録参照）。パンチは一端固定他端自由となり、端子条件 $n=1/4$ とした。断面二次モーメントは、計算を簡便にするため、パンチ仮寸法の平板を仮定すると相当細長比 $\lambda_b=75$ となり、限界細長比は $\lambda_e=19$ となる。 $\lambda_b > \lambda_e$ なので、オイラーの座屈式から座屈荷重 $W_{cr}=344\text{kN}$ となり、許容荷重Pより大きいので座屈しない。

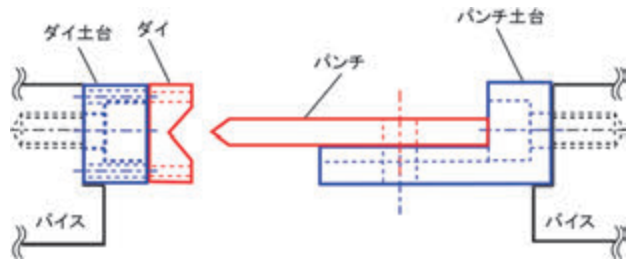


図3 パンチ、ダイスの固定概略図

次に、冷間加工ではスプリングバックが問題になるため、低減する方法を検討した。①負荷荷重を大きくする、②パンチの底打ちをして集中荷重を加える、③パンチ角度を小さくする、ことがよく用いられる[7]。製作する加工機はバイスを手動で負荷するため、①、②には限界があり、③のパンチ角度を小さくして、 90° より小さな約 74° とした。

以上を元に部品図を製作した（付録参照）。購入したSKD11からダイスとパンチを、SS400からダイス土台とパンチ土台を縦フライス盤で旋削した。加工後、ダイスとパンチ、および、硬さ計測用試料と共に、図4に示す熱処理を行った。

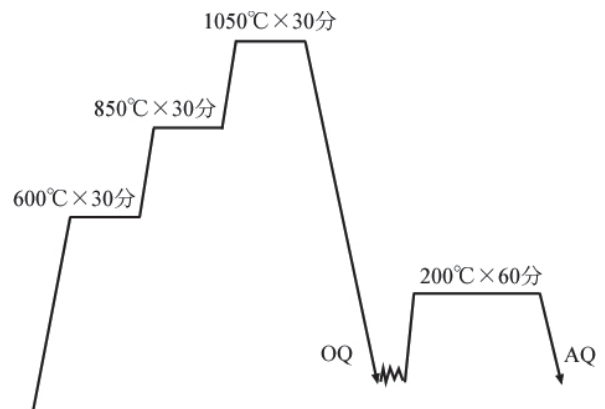


図4 SKD11の熱処理サイクル図

熱処理後の硬さ計測用試料はHRC54であった。目標にしていたHRC60には達しなかったが、焼入れは十分にできたと考えられる。以上、製作した部品をバイスに取り付けてバイス転用型のV字曲げ加工機を製作した（図5参照）。正味の製作日数は、3日程度であった。



図5 パイス転用型のV字曲げ加工機

3. 実験

曲げが正常に行えるか実験を行った。V字曲げ加工ではソリが発生するので影響の有無を調べた。試料には一般構造用圧延鋼材SS400を用いた。ソリは板厚と板幅の比に依存することが知られており、試験片寸法を、板厚 t0.5, 1.0, 1.6mm で、幅 30, 60, 120mm (長さは全て 50mm) を準備した。各試料は熱処理せず納入ままとし、長さ中央部 (25mm) にハイトゲージでケガキを入れ、ケガキ位置にパンチを当て、手でV字曲げ加工を行った。スコヤを用いて確認し、V字曲げが90deg.になるまで繰り返し曲げ力を加えた。

図6に示すようにいずれの試料も一人の力で十分に加工することができた。また、図7に示すようにいずれもV字曲げほぼ90deg.で加工ができた。図8に示すようにいずれでもソリの発生は確認できず正常に加工ができた。本実験で用いた試料寸法 (t0.5~1.6, 幅 30~120mm, 長さ 50mm) であれば、ソリは問題にならないと考えられる。

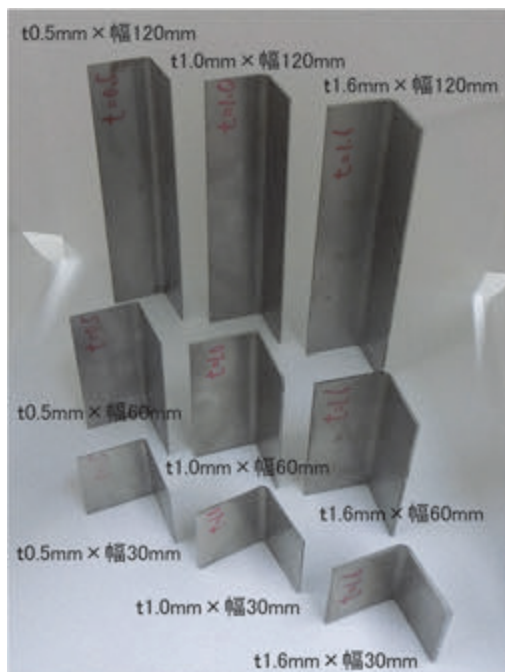


図6 V字曲げ試料 (左列: t0.5mm, 中央: t1.0mm, 右列: t1.6mm, 前: 幅 30mm, 中央: 幅 60mm, 後: 幅 120mm)

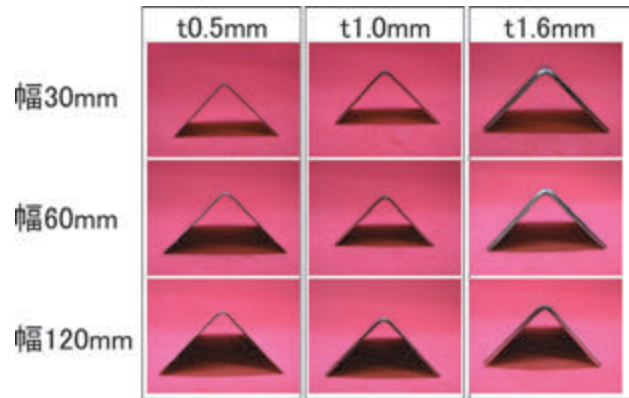


図7 V字曲げ試料断面 (左列 t0.5mm, 中央 t1.0mm, 右列 t1.6mm, 上行幅 30mm, 中行幅 60mm, 下行幅 120mm)

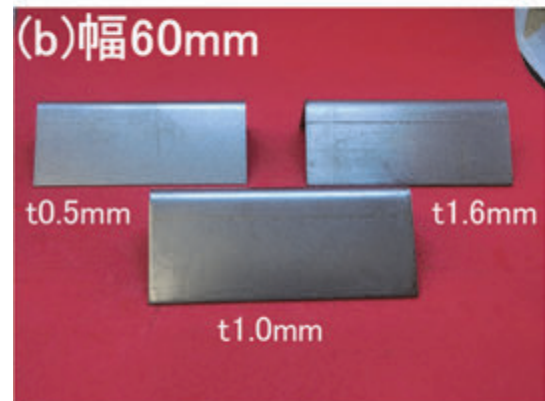
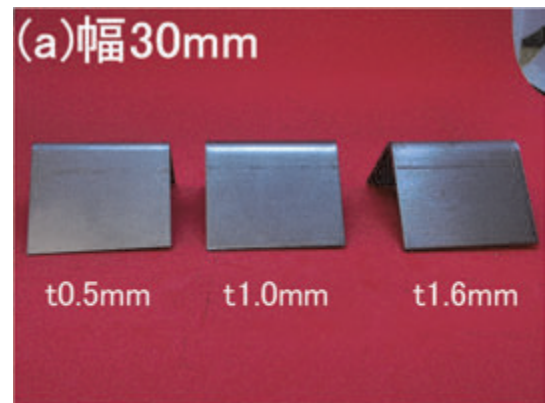


図8 V字曲げ試料側面 (a) 試料幅 30mm, 左 t0.5mm, 中央 t1.0mm, 右 t1.6mm, (b) 試料幅 60mm, 左 t0.5mm, 中央 t1.0mm, 右 t1.6mm, (c) 試料幅 120mm, 前 t0.5mm, 中央 t1.0mm, 後 t1.6mm

4. 応用

V字曲げ加工は、角度をさまざまに変えられるが、最も多いのは、角度 90deg.である。このV字曲げ加工を2回行うことにより図9に示すようにU字に曲げることができる。同様に、図10に示すように、曲げ回数や曲げ方向を変えることにより、様々な形状の加工することが容易にできる。加工時間も数分と短時間で加工ができるため、非常に便利である。ただし、被加工材が2回目以降の曲げ加工時にパンチと干渉したり、曲げ加工時にダイスの肩幅より狭いと加工できないなど制限がある。

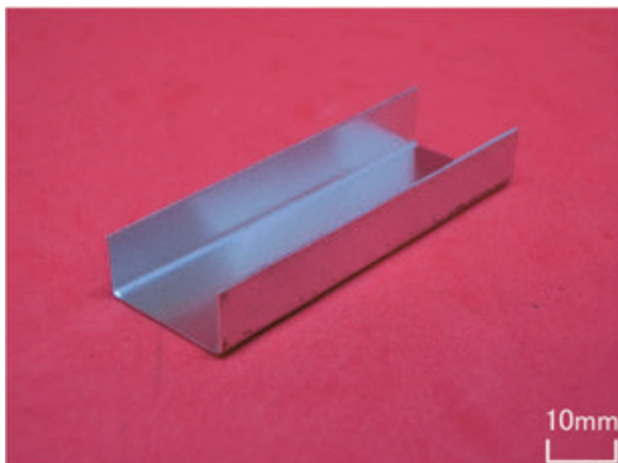


図9 バイス転用型のV字曲げ加工機を用いて作製したU字曲げ加工品

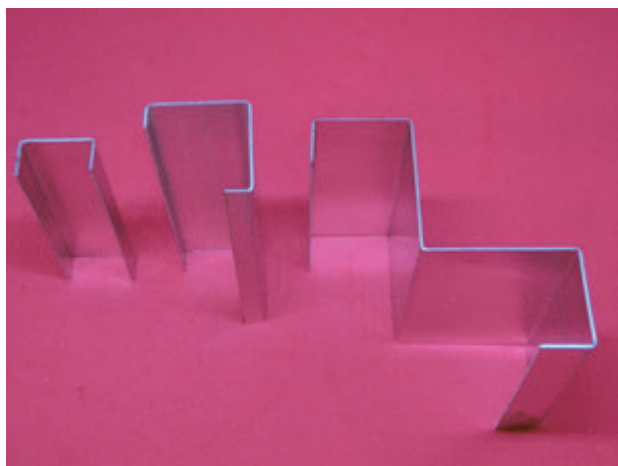


図10 バイス転用型のV字曲げ加工機を用いて作製した様々な曲げ加工品

5. まとめ

バイスを転用してV字曲げ加工機を設計、製作を行った。正味の製作日数は3日程度で加工、製作することができた。一般構造用圧延鋼材 SS400 を用いて、板厚 t0.5, t1.0, t1.6mm で、幅 30, 60, 120mm (長さは全て 50mm) の曲げ加工を行った。いずれの試料でも一人の力で十分に加工することができた。いずれの試料でもほぼ 90deg. に曲げることができ、ソリは発生せずに問題なく正常に加工できた。また、

V字曲げ加工を2回行うことによりU字曲げ加工をすることができた。同様に、曲げ回数や曲げ方向を変えることにより、様々な形状の加工することが容易にできた。以上のことから、加工、実習に適した曲げ加工機が製作することができた。

参考文献

- [1] 仁平宜弘：最新熱処理のしくみと技術，ナツメ社，p16, 2017
- [2] 細田保弘：製造学科における技能教育の実際—旋盤加工実習一，ものづくり大学紀要，3，p83～87, 2012
- [3] 市川敬夫：フライス盤実習の六面加工の際の直覚度の確認方法，長野工業高等専門学校紀要，52，p2-5, 2018
- [4] 長坂明彦・柳沢憲史・相馬顕子 ほか：機械工学科の塑性加工工作実習，長野工業高等専門学校紀要第，47，2-1, 2013
- [5] 長田 修次，柳本 潤：基礎からわかる塑性加工，コロナ社，p77, 1999
- [6] 山口文雄：プレス金型設計の基本実務，技術評論社，p143, 2010
- [7] 吉田弘美：プレス曲げ加工，日刊工業新聞社，p59, 2006

謝辞

バイス転用型簡易 V 曲げ治具図面の検図を行っていただいた本学，産業技術高等専門学校 ロボット工学コースの鈴木 拓雄 先生，ありがとうございました。心より感謝いたします。

付録：設計図

番号	部品名称	材料	個数	記事
①	ダイ土台	SS400	1	
②	ダイ	SKD11	1	
③	パンチ土台	SS400	1	
④	パンチ	SKD11	1	
—	六角穴付ボルト(M3×15)	ユニコ	4	
—	六角穴付ボルト(M8×15)	ユニコ	6	
—	ナット(M8)	ユニコ	2	

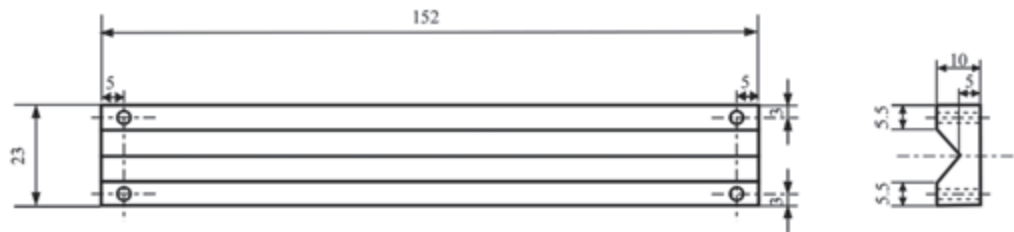
校名	都立産業技術高専(荒川) [ロボット工学コース]	設計	大頁 図 4.1	製図	大頁 図 4.1	検本	鉛本 図 4.9
図名	バイス転用型V字曲げ機 (組立図)	尺度	1:1		投影法		

①

※特記無き公差は±0.2

1	ダイ土台	SS400	1				
品番	名称	材質	個数	記事			
校名	都立産業技術高専(荒川) [ロボット工学コース]	設計	大頁 図 4.1	製図	大頁 図 4.1	検本	鉛本 図 4.9
図名	ダイ土台	尺度	1:1		投影法		

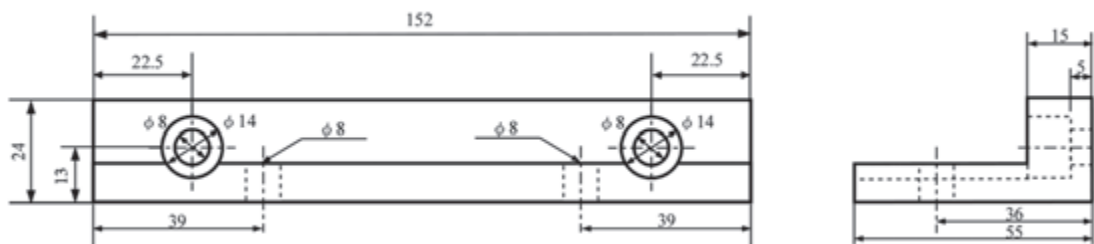
②



※特記無き公差は±0.2

2	ダイ	SKD11	1	
品番	名称	材質	個数	記事
校名	都立産業技術高専(荒川) [ロボット工学コース]	設計 大貫 R27.4.1	製図 大貫 R27.4.1	検本 鈴木 R27.4.9
図名	ダイ	尺度 1:1	投影法 第一角法	注記 ◎

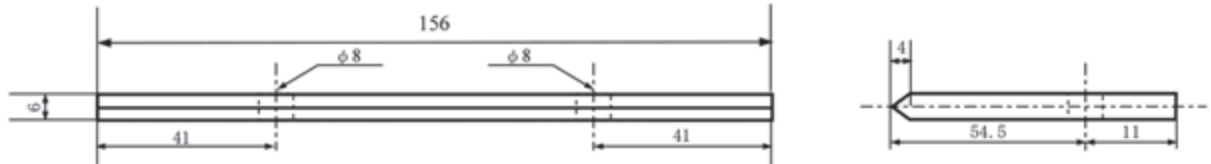
③



※特記無き公差は±0.2

3	パンチ土台	SS400	1	
品番	名称	材質	個数	記事
校名	都立産業技術高専(荒川) [ロボット工学コース]	設計 大貫 R27.4.1	製図 大貫 R27.4.1	検本 鈴木 R27.4.9
図名	パンチ土台	尺度 1:1	投影法 第一角法	注記 ◎

④



※特記無き公差は±0.2

4	パンチ	SKD11	1	
品番	名称	材質	個数	特記
校名	都立産業技術高専(荒川) [ロボット工学コース]	設計 大貫 027.4.1	製図 大貫 027.4.1	検本 鈴木 027.4.9
図名	パンチ	尺度 1:1	投影法 第一角	特記