

課題情報シート

テーマ名 :	トライアングルを使った音階楽器の製作				
担当指導員名 :	高橋 史明	実施年度 :	27 年度		
施設名 :	北陸職業能力開発大学校 附属 新潟職業能力開発短期大学校				
課程名 :	専門課程	訓練科名 :	生産技術科		
課題の区分 :	総合制作実習課題	学生数 :	2人	時間 :	16 単位 (288h)

課題制作・開発のポイント

【開発（制作）のポイント】

理科の知識と機械設計・機械加工の技術を融合させてものづくりを理解するということを目的としました。また、楽しい遊びの要素として楽器を取り上げました。

【訓練（指導）のポイント】

- ①振動数の測定ができるようにします。
- ②音階の周波数の計算ができるようになります。
- ③強度計算に基づく機械の設計ができるようになります。
- ④一人で安全に加工作業ができるようにします。

課題に関する問い合わせ先

施設名 : 北陸職業能力開発大学校附属新潟職業能力開発短期大学校
住所 : 〒957-0017 新潟県新発田市新富町 1-7-21
電話番号 : 0254-23-2168 (代表)
施設 Web アドレス : <http://www3.jeed.or.jp/niigata/college/index.html>

課題制作・開発の「予稿」および「テーマ設定シート」

次のページ以降に、本課題の「予稿」および「テーマ設定シート」を掲載しています。

トライアングルを使った音階楽器の製作

生産技術科 2年

担当教員 高橋 史明

1 はじめに

本テーマは機械設計と機械加工の技術を習得し、併せてアミューズメントの要素をとり入れた。トライアングルを使った音階楽器を製作するものである。

製作にあたって次の手順ですすめていく。はじめにトライアングルを製作加工するための折り曲げ機を製作する。

次にそれを使って様々なサイズのトライアングルを作りそれらの大きさと音の周波数の関係を調べる。そしてその関係に基づいて音階に見合った大きさのトライアングルを作って楽器を完成させる。

2 折り曲げ機について

折り曲げ機としてパンチ、ダイからなり手でダイを動かすものを設計した。正三角形のパンチと切り欠き 60 度のダイの間に丸棒の鋼材を挟みこみ、正三角形のトライアングルに成型する。

製作する装置は、卓上で使用出来るよう設計する。テーブルのダイはねじ送りにより往復運動する。ねじの締め付けにはトルクレンチを用いることにより、締め付けトルクを知ることが出来るものとした。構造はベース板を長方形に切り出し、そこに部品をねじ止めで取り付けていくこととした。

3 設計

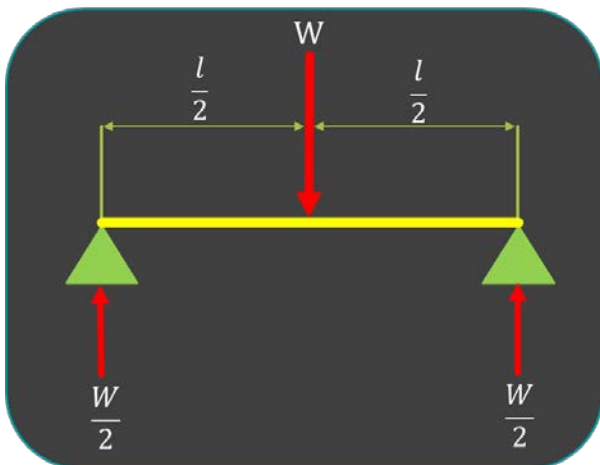


図1 鋼棒の曲げ状態

3・1 プレス荷重の算出

トライアングルの素材となる鋼棒を折り曲げるために必要なプレス荷重を算出する。

鋼棒は図1のような曲げ状態になる。

このときの加重点の曲げ応力は

$$\sigma_{max} = \frac{M}{Z} \quad (1)$$

ここに

$$M = \frac{Wl}{4} \quad Z = \frac{\pi d^3}{32}$$

曲げ応力が素材の限界強さを超えると棒は曲がることから実際に使用する材料を想定して

最大応力： 400MPa (SS400 相当)

棒の直径： $d=12\text{mm}$ (実際の製品)

一辺の長さ： $l=80\text{mm}$

として

として式 (1) について W について解いて

$$W = \frac{\pi d^3 \sigma_{max}}{8l}$$

$$W = \frac{3.14 \times 12^3 \times 400}{8 \times 80}$$

$$= 3391 \text{ N}$$

$$= 346 \text{ kgf}$$

3・2 ポンチの強度計算

ポンチ先端に生ずる圧縮応力は

$$\sigma = \frac{W}{A}$$

で表され、ポンチ先端の面積を $A=12\text{mm}^2$ とすると

$$\sigma = \frac{W}{A}$$

$$\sigma = 282.6 \text{ MPa}$$

が得られる。 $\sigma < 400$ なので問題なし

3・3 ダイの強度計算

ダイは2つのパーツをボルトで固定したものである。プレスの際ダイが破損しないようなボルトを選出しなければならない。そこでプレスの際にダイを押し開こうとする力

を算出するとくさびの理論から次式となる。

ダイを開こうとする力Pは

$$P = \frac{W}{2 \tan \theta}$$

θ : ダイの開き角の半分

ボルトに引張加重Pが作用し、 $\theta = 30^\circ$ としてボルトに必要な太さは次式となる

$$d_1 > \sqrt{\frac{P}{100\pi}}$$

該当する数値を代入すると

$$d_1 > \sqrt{\frac{2938}{100 \times 3.14}}$$

$$d_1 > 3.059\text{mm}$$

M8ネジ($d_1=6.647\text{mm}$)を使用するので問題なし

3・4 ねじを回す力

手動でねじを回す際に必要な力を算出する。

プレス加重のする仕事と手がする仕事は等しいことから、Lを腕の長さとして、

$$W \times P = 2\pi FL$$

これより手にかかる力は

$$F = \frac{WP}{2\pi L}$$

一般的なスパナからL=240mmとして該当する数値を代入すると

$$= \frac{3391 \times 2.5}{2 \times 3.14 \times 240}$$

$$= 5.6\text{N}$$

$$= 0.571\text{kgf}$$

手で十分に回すことができる

4 折り曲げ機の製作

材料の加工にはフライス盤とボール盤を使用した。まずポンチとダイを製作し、次にねじの固定やダイ、ポンチとなる部品の加工を行い、固定穴を開けた。ダイは切り欠き先端に逃げ溝を設けた。(図2参照)

ポンチ 一辺 80 × 厚さ t 20

ダイ 126 × 80 × t 20

ガイド 115 × 25 × t 25

ベース 310 × 180 × t 20

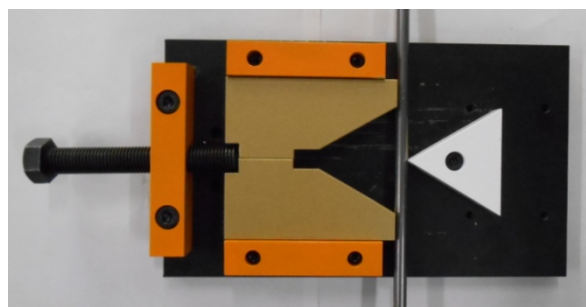


図2 完成した折り曲げ機

4 トライアングルの振動

$\phi 8$ 、 $\phi 10$ で各5個ずつのテストピースを製作し、トライアングルの大きさと固有振動数の関係を調べた。打撃音をFFTアナライザーによって解析した。また、トライアングルの振動モードは文献によれば、図3のようになることが知られている。

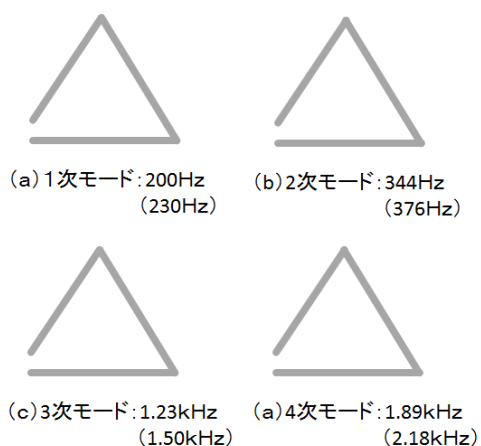


図3 トライアングルの振動モード

5 サンプルの測定結果

鋼棒のそれぞれの太さについて測定結果を表1、表2に示す。また、それらをグラフ化したものがそれぞれ図4、図5である。

表1 トライアングルの固有振動数 (φ8の場合)

1辺の長さ	1次振動	2次振動
100 mm	2067 Hz	3814 Hz
125 mm	1374 Hz	2431 Hz
150 mm	989 Hz	1671 Hz
175 mm	727 Hz	1236 Hz
200 mm	564 Hz	945 Hz

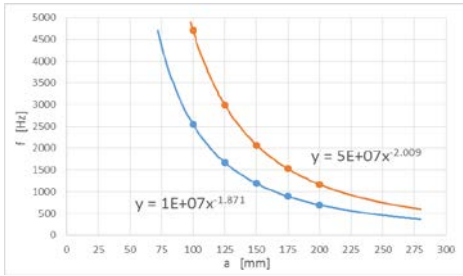


図4 辺の長さと言固有振動数 (φ8の場合)

表2 トライアングルの固有振動数 (φ10の場合)

1辺の長さ	1次振動	2次振動
100 mm	2545 Hz	4713 Hz
125 mm	1670 Hz	2991 Hz
150 mm	1193 Hz	2071 Hz
175 mm	896 Hz	1538 Hz
200 mm	693 Hz	1165 Hz

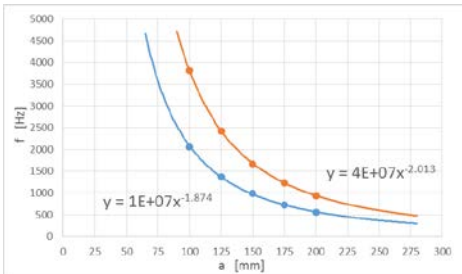


図5 辺の長さと言固有振動数 (φ10の場合)

なお、 の部分が生産したトライアングルを打撃した際に最後まで減衰せずに残った音である。

6 トライアングルの設計

6・1 周波数の理論値

大6オクターブのハ長調音階の理論周波数は表3となる(十二平均律)。

表3 十二平均律による第6オクターブの音階

ド	1046.5 Hz	ソ	1568.0 Hz
ド#	1108.7 Hz	ソ#	1661.2 Hz
レ	1174.7 Hz	ラ	1760.0 Hz
レ#	1244.5 Hz	ラ#	1864.7 Hz
ミ	1318.5 Hz	シ	1975.5 Hz
ファ	1396.9 Hz	ド	2093.0 Hz
ファ#	1480.0 Hz		

6・2 一辺の長さ

前章で求められた一辺の長さと言固有振動数の関係から、表3の音の周波数になるようにトライアングルの一辺の長さを決定する。φ8の鉄棒を用いてトライアングルを製作するのでその場合の一辺の長さと言周波数の近似式は前章の実験から次式で求められる。

$$f = 4 \times 10^7 \times a^{-2.013}$$

これをaについて解いて

$$a = \left(\frac{40000000}{f} \right)^{\frac{1}{2.013}}$$

fに表3の周波数の理論値を代入すると各音階の一辺の長さが算出される。計算結果は表4のようになった。

表4 計算結果

一辺の長さ			
ド	189.0 mm	ソ	154.6 mm
ド#	183.6 mm	ソ#	150.2 mm
レ	178.4 mm	ラ	146.0 mm
レ#	173.4 mm	ラ#	141.8 mm
ミ	168.5 mm	シ	137.8 mm
ファ	163.7 mm	ド	133.9 mm
ファ#	159.1 mm		

求めた数値を3倍し、補正長さ(曲げ代)を足した数値が鋼棒の全長Lとなる。

全長Lを求める公式は

$$L = a + b + \frac{2\pi\alpha}{360}(r + \lambda \times t)$$

λはr/tの値によって定まる定数である。

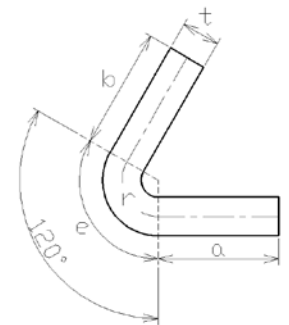


図4 曲げの展開図

今回の曲げの半径r=7.5mm、鋼棒の半径t=8mmの場合、

$$\frac{r}{t} = \frac{7.5}{8} = 0.94$$

よって

$$\lambda = 0.33$$

公式に数値を代入すると

$$L = 3a + 2 \left\{ \frac{2\pi \times 120}{360} (7.5 + 0.33 \times 8) \right\}$$

a : 一辺の長さ

各音階に必要な鋼棒の全長を算出することができる。

7 折り曲げと調律

製作した折り曲げ機を使用して鋼棒を折り曲げる。その後FFTアナライザーで周波数を測定した結果、各音階で±20 Hz程度の誤差が生じていることが分かった。誤差が生じた要因としては、曲げ位置精度が不安定であり曲げソリの発生が考えられる。

誤差を修正するために調律を行った。グラインダーを使用して周波数を高くする場合はトライアングルの開口を削り(図5 左)、逆に低くする場合は角部の両側を削る(図5 右)。

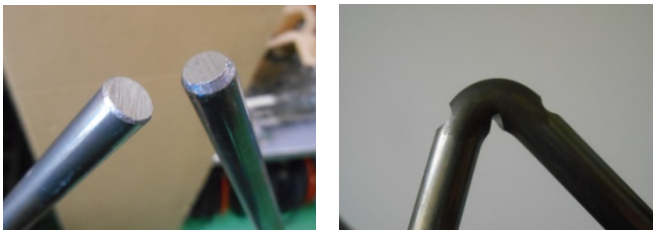


図5 調律の際の研削部位

8 架台の製作と塗装

最終目標であった音階楽器の製作を行った。まず、鋼棒をガスバーナーで熱し、軟らかくしてから折り曲げ機を使用して折り曲げた。架台組み立てた後に錆びの対策として塗装を行った。



図6 鋼棒を熱しているときの写真



図7 完成した音階楽器

9 今後の課題

本研究によりトライアングルの製作法を確立することができた。ただ、音色の点で満足できないことから、今後はいかに美しい音色を追求することが課題である。

参考文献

- 1、トライアングルの振動と発音についての研究、
D & D Conference 2000 講演論文集、日本機械学会
- 2、はじめて学ぶ機械現場の作業計算、技術
技術評論社、2000、P137

課題実習「テーマ設定シート」

作成日： 9月15日

科名： 生産技術科

教科の科目	実習テーマ名	
総合制作実習	トライアングルを使った音階楽器の製作	
担当教員	担当学生	
○生産技術科 高橋史明		
課題実習の技能・技術習得目標		
<p>トライアングルを製作する折り曲げ機の製作を行い、次のそれを使って音階を持ったトライアングルを製作する。そのために、機械設計法、振動理論、FFTアナライザの取り扱い、実験式の求め方を一通り理解することを能力の目標としています。また、人の力を借りず一人で安全かつ正確に作業が行えることが技能面の目標です。</p>		
実習テーマの設定背景		
<p>この課題を通じて、理論に基づく設計から製図、部品製造、組み立て、検査といった一連のものづくりにかかわる技術の習得を目的としています。多くの企業から要望されるものづくりの全体の流れを理解し基本知識や技能のしっかりした技術者の育成を見据えて本テーマを設定しました。さらに、当校における振動に関するものづくり体験教室向けの課題を開発することも目標の一つで、次年度の題材に使用するというものとして学生のモチベーションを上げています。</p>		
実習テーマの特徴・概要		
<p>楽しめるものを科学的に製作することをコンセプトに、トライアングル折り曲げ機の製作を通して強度計算力を養成する内容になっています。1 オクターブ分の音階からなる 13 個のトライアングルを作り、3 次元的に折り曲げた支柱に透明な釣り糸でつるしていきます。音板となるトライアングルは、予備実験で周波数と辺の長さの関係を求めた実験式に基づいて設計し、自作した折り曲げ機で製作します。折り曲げ機の製作もきちんと強度計算をして安全で作業しやすいものになりました。さらに微少な音程を調整をする調律の追加加工の方法も考えました。これらにより、トライアングルを使った教材を開発する際の製作手段が完備されたと考えます。</p>		
No	取組目標	
①	5S（整理、整頓、清掃、清潔、躰）の実行と、適切な安全衛生活動を行います。	
②	グループディスカッションによりアイデアを出し合い、実現に向けた検討を行い構想をまとめます。	
③	材料力学、振動の理論、はりの振動理論、音階の理論などを習得し、振動数や強度計算ができるようにします。	
④	FFTアナライザの使い方を習得し振動数の測定ができるようにします。	
⑤	エクセルを使って実験データの分析法を学び、実験式を求められるようにします。	
⑥	CAD図面の製作によるCAD技術に習熟していきます。	
⑦	加工手順を確認し部品製作を通して機械加工技術に習熟していきます。	
⑧	手順や力の加減を理解し組み立て・調整技術を習得します。	
⑨	節目で説明を求め、説明力の向上を促進します。	
⑩	報告書の作成法やプレゼンテーション技法を習得します。	