室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

# 直線溝・円周溝付きホーンの曲げ振動効果の比較検討
# ―電動アクチュエータを用いた超音波圧入加工(4)―



| メタデータ | 言語: Japanese<br>出版者: 日本音響学会<br>公開日: 2012-10-02<br>キーワード (Ja):<br>キーワード (En):<br>作成者: 小野, 聡, 青柳, 学, 田村, 英樹, 高野, 剛浩<br>メールアドレス:<br>所属: |
|---|---|
| URL | http://hdl.handle.net/10258/1699 |

室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

# 直線溝・円周溝付きホーンの曲げ振動効果の比較検討 ―電動アクチュエータを用いた超音波圧入加工(4)―

| | |
|---|---|
| その他（別言語等）のタイトル | The comparision of effect of bending vibration of straight-grooved horn and a circle one -Ultrasonically forced insertion device with an electric actuator (4) - |
| 著者 | 小野　聡, 青柳　学, 田村　英樹, 高野　剛浩 |
| 雑誌名 | 日本音響学会研究発表会講演論文集 |
| 巻 | 2010年秋季 |
| ページ | 1161-1164 |
| 発行年 | 2010-09 |
| URL | http://hdl.handle.net/10258/1699 |

# 直線溝・円周溝付きホーンの曲げ振動効果の比較検討
## —電動アクチュエータを用いた超音波圧入加工(4)—*

☆小野聡，青柳学（室蘭工大），田村英樹，高野剛浩（東北工大）

## 1　はじめに

超音波圧入加工は摩擦力低減の効果があり，少ない押し込み力によって可能である。しかし,既知の技術であるが現場の仕様に合わせて開発されているため,報告例はあまり多くない[1~3].

本研究の目的は,超音波圧入装置を試作し,超音波振動の効果を定量的に評価することである[4]．前報ではホーンに直線溝を設け,圧入時に発生する曲げ振動による「こじれ」発生の抑制を行った[5] [6]．本報告ではホーンに円周溝を設け,溝の違いによる曲げ振動と圧入への効果の比較検討結果を述べる.

## 2　振動系とアクチュエータ

本研究で使用する振動系と電動アクチュエータを Fig.1 に示す.

① アクチュエータ:パルスモータおよびボールねじ駆動，最大押し付け荷重 800N を用いた圧入荷重の付加.

② ロードセル(定格容量 2kN)：押し付け力の測定.

③ ボルト締めランジュバン型振動子(BLT)(共振周波数 28kHz，最大許容電力 450W)を使用して超音波振動を励振する．また，ホーンによって速度変成を行っている.

④ 外径 12mm＋公差の金属棒を穴径 12.000~12.011mm の金属プレートに圧入する.

Fig.1 Forced insertion system.

## 3　試験材料

JIS で規定されているはめ合い等級である『強圧入』の等級について外径 12mm の金属棒と穴径 12mm の金属プレートを用いて圧入試験を行った．BLT への印加電圧を 180Vrms として超音波振動を発生させる．Fig.2 に実験で用いる圧入サンプルを示す.

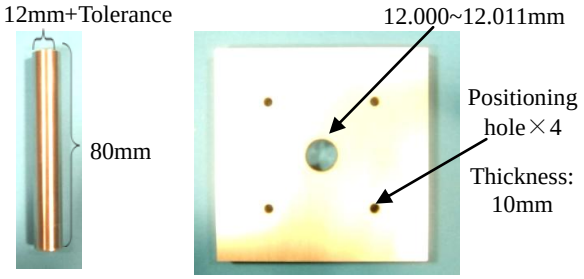



Fig.2 The appearance of processing materials. (Left:Metal rod, Right:Metal plate)

## 4　ホーンの特性

### 4.1 直線溝付ホーン

「こじれ」を修正するためにホーンの先端に回転振動変位を発生させることを試みた．Fig.4 に直線溝付ホーンの先端部を示す．ホーン先端部に傾いた負荷が加わると,先端が溝のある曲がりやすい方向に曲がる．直線の溝が直交しているので,それによりホーンの先端部に回転振動変位が発生する.

Fig.3 に直線溝付きホーンの ANSYS を用いた有限要素法解析の Z 軸方向の縦振動の解析結果を示す. また,Fig.4 にホーン先端部が X 軸方向,Y 軸方向に曲げ振動する解析結果を示す．要素分割の対称性とフランジのボルト締めを考慮し,支持条件を実物に近いモデルで解析を行った．解析結果より Z,X,Y 軸方向振動の共振周波数はそれぞれ 26.697kHz，32.941kHz，32.576kHz が得られた．したがって，縦振動モードと 2 つの曲げ振動モードの共振周波数は約 6kHz 離れていたため,縦振動および曲げ振動が BLT の共振周波数付近で発生するホーンの設計を行った.

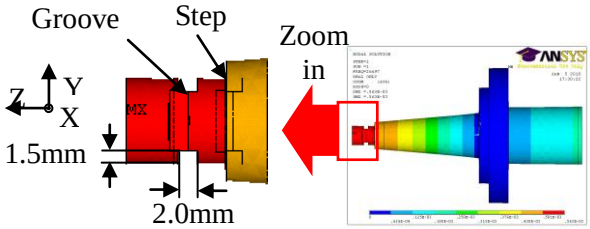
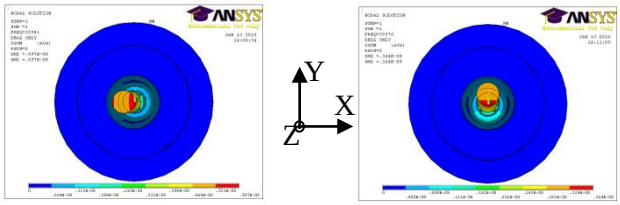



Fig.3 Modal analysis result of longitudinal vibration.

* The comparision of effect of bending vibration of straight-grooved horn and a circle one -Ultrasonically forced insertion device with an electric actuator (4) - by ONO,Satoshi, AOYAGI,Manabu (Muroran Institute of Technology), TAMURA,Hideki,TAKANO,Takehiro (Tohoku Institute of Technology)




(a) X-axis. (b) Y-axis.

Fig.4 Modal analysis results of bending vibrations.

### 4.2 円周溝付ホーン

縦方向および曲げ方向の振動の共振周波数を BLT の共振周波数に近づけるために円周溝付ホーンの設計を行った.

回転変位を伴わない,単純な曲げ振動の効果の確認のためにホーン先端部の外周に溝を入れる構造とした. ANYSYS を用いて円周溝付ホーンの有限要素法解析の縦振動を Fig.5 に示す. ホーンの端部が X 軸方向,Y 軸方向に曲げ振動する解析結果を Fig.6 に示す. 解析結果より Z 軸方向の縦振動の共振周波数は 27.7kHz,X,Y 軸方向の曲げ振動 28.0kHz が得られた. 縦および曲げ振動の共振周波数と BLT の共振周波数が一致するホーンを設計した.

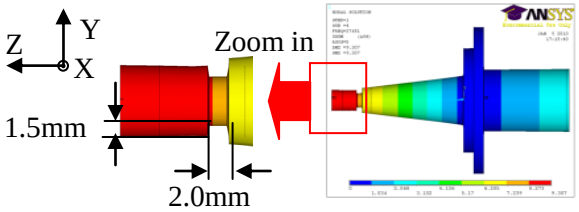
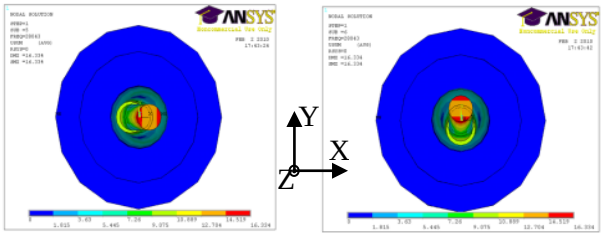



Fig.5 Modal analysis result of longitudinal vibrations.




(a) X-axis. (b) Y-axis.

Fig.6 Modal analysis results of bending vibration.

## 5 曲げ方向の振動特性

### 5.1 ホーン先端の振動速度の測定

Fig.7 のように 2 台のレーザドップラー振動計(LDV)を用いて,ホーンの先端の,共振時での曲げ方向の振動速度の測定を 90°異なる位置で行った. ただし,LDV1 を X 軸方向, LDV2 を Y 軸方向とし,押し付け力 800N で測定した.

直線溝付ホーンのおよび円周溝付ホーンの測定結果をリサジュース図形として,それぞれ Fig.8 および Fig.9 に示す. 測定時のホーンの BLT への印加電圧,入力電流,入力電力を Table1 に示す.

Fig.8 および Fig.9 より,両ホーンともに回転振動変位が発生していることがわかる. 振動速度に大きな差が生じていなかった. 円周溝付の方が位相差が小さいときの楕円振動に近い形状になった.

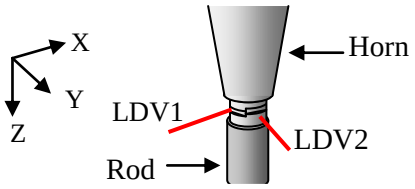
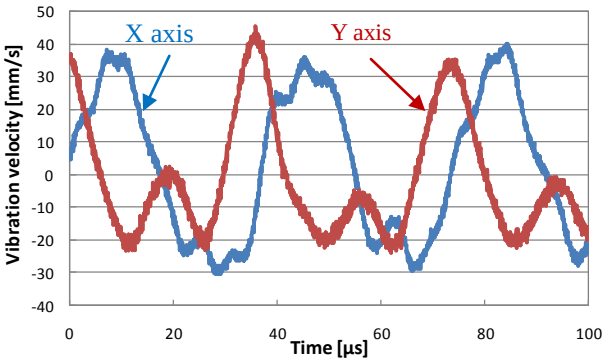
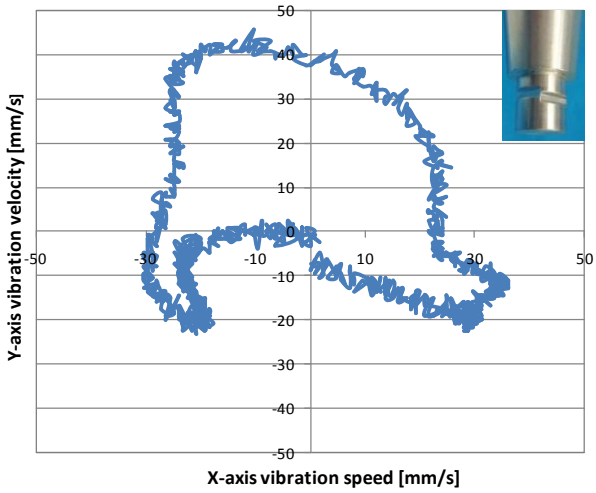



Fig.7 Vibration velocity method in bending direction.

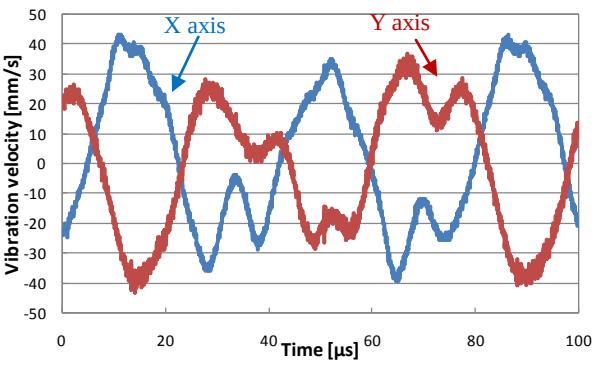



(a) Measured vibration velocities at 26.9kHz.

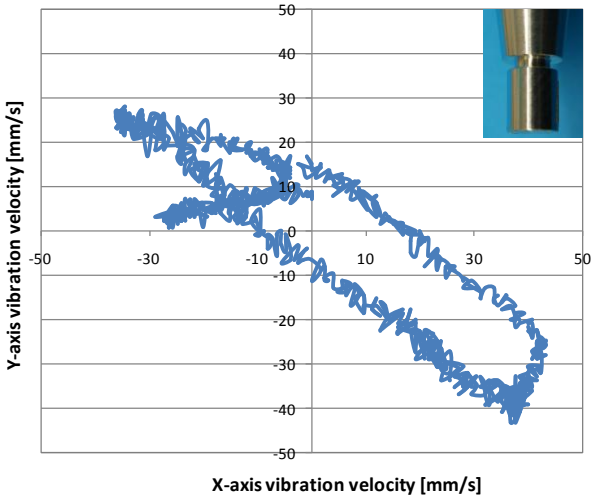



(b) Lissajous figure at 26.9kHz.

Fig.8 Vibration velocity of bending direction using straight-grooved horn.(Top of horn)




(a) Measured vibration velocities at 26.9kHz.




(b) Lissajous figure at 26.9kHz.

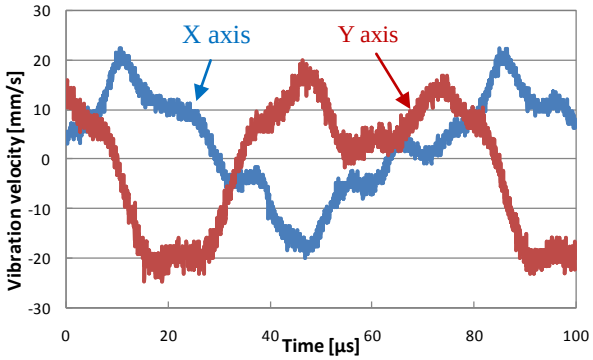
Fig.9 Vibration velocity in bending direction using circle-grooved horn.(Top of horn)

Table1 Result of measurement of vibration velocity of longitudinal mode.

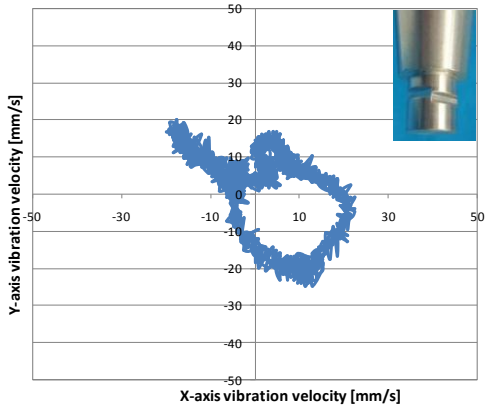
| Horn type | Straight-grooved | Circle-grooved |
|---|---|---|
| BLT Voltage [Vrms] | 180 | 182 |
| BLT current [Arms] | 0.28 | 0.29 |
| BLT power [W] | 4.0 | 4.1 |

### 5.2 金属棒先端の振動速度の測定

ホーン先端の振動速度測定と同条件で,Fig.7 に示すように金属棒先端での曲げ方向の振動速度の測定を行った．直線溝付ホーンのおよび円周溝付ホーンの測定結果をリサジュース図形として,それぞれ Fig.10 および Fig.11 に示す．Fig.10 および Fig.11 より,両ホーンともに,ホーンの振動が金属棒に伝達し,金属棒の先端において回転振動変位が発生していることわかった．両ホーンに振動速度に大きな差が生じていなかった．

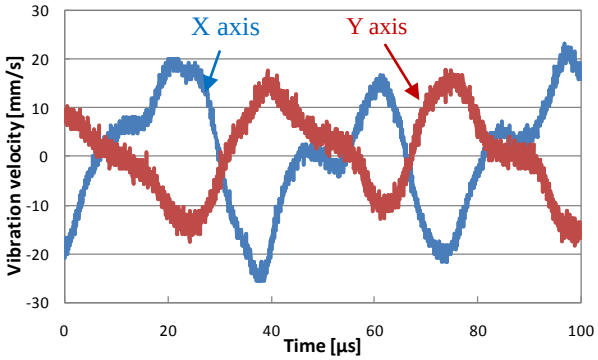



(a) Measured vibration velocities at 26.9kHz.

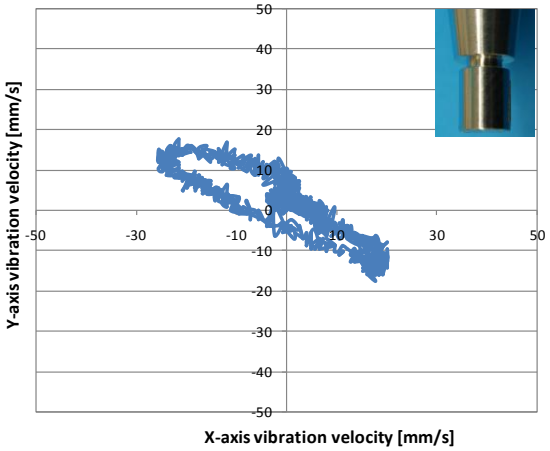



(b) Lissajous figure at 26.9kHz.

Fig.10 Vibration velocity in bending direction using straight-grooved horn.(Top of rod)




(a) Measured vibration velocities at 26.9kHz.




(b) Lissajous figure in 26.9kHz.

Fig.11 Vibration velocity in bending direction using Circle-grooved horn.(Top of rod)

## 6　金属棒の傾きの修正

こじれの生じやすいクリアランスに対して,円錐ホーン,直線溝付ホーン,円周溝付ホーンの順番に同一圧入サンプルを用いて共振周波数で超音波圧入を行った. なお,各測定において完全に押し込みできなくなるまで圧入を行った.

測定結果を Table2 に示す. 直線溝付ホーンによって金属棒の傾きが修正され,円周溝付ホーンで圧入することにより金属棒の傾きがさらに修正されたことがわかる.

したがって, 直線溝付ホーンよりも設計・加工が容易な円周溝付ホーンを用いることで,十分に圧入に効果が期待できると考えられる. つまり,積極的に回転変位を生じさせなくても,曲げ変位の発生により同等の効果が得られることがわかった.

Table 2 Result of forced insertion test.

| Horn type | Conical | Straight-grooved | Circle-grooved |
|---|---|---|---|
| Rod diameter [mm] | 12.025 | 12.025 | 12.025 |
| Hole diameter [mm] | 12.000 | 12.000 | 12.000 |
| Pressing force [N] | 800 | 800 | 800 |
| Depth [mm] | 2.91 | 3.56 | 3.74 |
| Inclination [deg] | 1.05 | 0.40 | 0.20 |

## 7　まとめ

本報告では,ホーンに円周溝を設け,圧入時に曲げ振動を励振し,溝の違いによる曲げ振動と圧入への効果の比較検討を行った. 以下に結果をまとめる。

・X,Y,Z 軸方向の振動モードが BLT 単体時の共振周波数が近接した円周溝ホーン付の設計を行った.
・LDV をもちいてホーン先端での曲げ方向の振動速度の測定を行った結果,溝の形状による振動速度に大きな差がないことがわかった.
・直線溝付ホーンおよび円周溝付ホーンを用いたときの金属棒の傾きの修正の比較を行った. 両ホーンともに金属棒の傾きが修正されることがわかった. さらに円周溝付ホーンの方が効果が大きいことがわかった. このことから, 設計・加工が容易な円周溝ホーン付を用いることで,十分に圧入に効果が期待できると考えられる.

## 参考文献


[1] 深津英治, ”超音波振動を応用した圧入機の開発”, YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW, Chapter4, 2002.

[2] 辻野, 原口, 櫻井, 上岡, 杉本, ”超音波振動を用いた金属棒の押し込み加工について”, 音講論(秋), pp.1199-1200 , 2007.

[3] 辻野, 上岡, 原口, 櫻井, 杉本, ”超音波振動を用いた金属棒の押し込み加工について－超音波振動を用いた金属棒の押し込み固定加工について－”, 音講論(春), pp.1271-1272 , 2008.

[4] 菅原, 青柳, 高野, 田村, ”圧入加工における超音波振動による押し込み力軽減効果の実験的検討―電動アクチュエータを用いた圧入加工(1)―”, 音講論(秋), pp.1185-1186 , 2009.

[5] 菅原, 田中, 青柳, 高野, 田村, ”圧入加工における回転振動の効果の検討―電動アクチュエータを用いた圧入加工(2)―”, 音講論(秋), pp.1187-1189 , 2009.

[6] 菅原, 田中, 青柳, 高野, 田村, ”圧入時の振動速度の測定―電動アクチュエータを用いた圧入加工(3)―”, 音講論(春), pp.1371-11374 , 2010.