

## 曲率パイプを用いた空中超音波伝送の基礎検討 Basic study of aerial ultrasonic transmission using bending pipe

○神谷隆太郎<sup>1</sup>, 大隅歩<sup>2</sup>, 伊藤洋一<sup>2</sup>  
\* Ryutarou Kamiya<sup>1</sup>, Ayumu Osumi<sup>2</sup>, Youichi Ito<sup>2</sup>

We investigate to transmit a sound wave at an arbitrary position with a narrow pipe. In previous study, it was confirmed that sound wave can transmit while maintaining sound pressure using a strait pipe that has a length and a width of the appropriate relationship. In this report, we attempt to transmit the sound wave while maintaining sound pressure at an arbitrary position with a bending pipe.

### 1. はじめに

強力空中超音波を細いパイプを介して任意の位置に伝送させることを試みている。これまでの検討で、直線パイプにおいてパイプ径と音波長を適切な関係にすることで、音圧を維持したままパイプ外に強い音波を照射出来る条件があることが実験的に確認されている。<sup>[1-2]</sup>

本報告では、曲げ部を持つパイプによる音波伝送と、それによる対象物への音波照射特性について、有限要素法解析を用いて検討している。<sup>[3]</sup>

### 2. 解析方法, 解析結果

音響シミュレーションには有限要素法解析ソフト (COMSOL Multiphysics5.1)を用いた。Fig.1 は解析モデルであり、直径 40 mm の矩形の面音源(周波数 20.36kHz), 音波伝送用パイプ(アクリル製), および音波照射する対象物(剛平板:30×30×10 mm)を図のように配置する。なお、パイプは 90°の曲げ部があり、2 種類の内径を用いている。一つは、内径が音波長 ( $\lambda=16.8$  mm) に比べて小さいもの(内径 8 mm : 0.48 $\lambda$ ), もう一つは音波長と同程度(内径 20 mm : 1.19 $\lambda$ )である。Table.1 に解析条件を示す。

Table.1 Analysis condition

内径 [mm]	0.48 $\lambda$	1.19 $\lambda$
曲率 R [mm]	3, 15, 30	6, 15, 30
パイプ全長 [mm]	84-100	84-100
パイプ端-剛平板距離 D [mm]	0-4	0-4

#### 2.1. 内径 0.48 $\lambda$ パイプの場合

上記の条件で解析を行い、音波が良好に伝搬し、剛平面上で最も高い音圧が得られた解析結果を Fig.2 に示す(曲率 R=30 mm, パイプ長約 93 mm, D=2 mm)。音波はパイプ内を平面波伝搬し、対象面で大きな音圧が得られている。

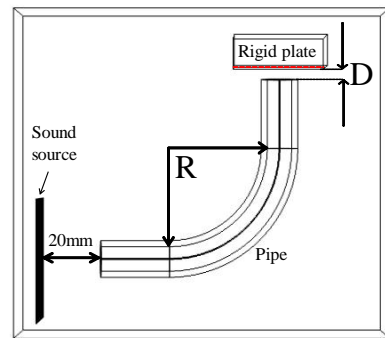


Fig.1 Schematic view of analysis model

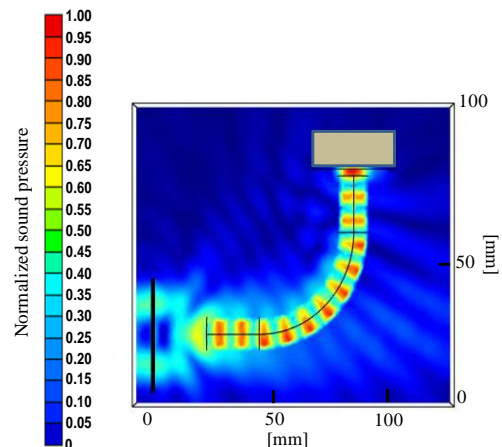


Fig.2 Analysis result

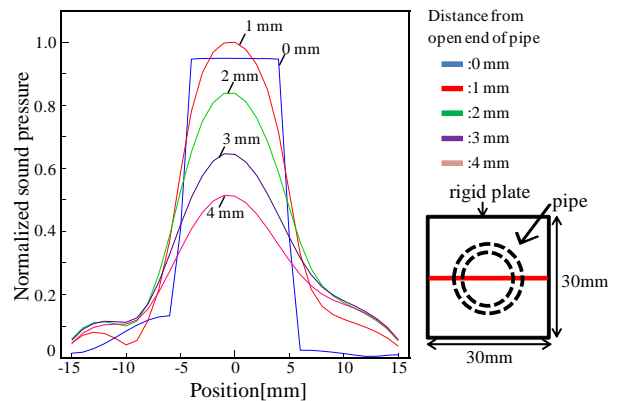


Fig.3 Sound pressure distribution along redline on the surface of rigid plate

Fig.3 は、Fig.2 の条件で D を変化させた時の剛平面上に形成される音圧分布である。いずれの場合もパイプ中心付近で極大の音圧を得ており、D が大きくなるにつれて急激に低下している。

### 2.2. 内径 1.19λパイプの場合

内径 0.48λ の場合と同様に、剛平面において最も高い音圧が得られた解析結果を Fig.4 に示す(曲率 R=30 mm, パイプ長約 97 mm, D=2 mm)。

図より、音波は、パイプ内を寸法に依存するモードで伝搬し、対象面で大きな音圧が得られている。

Fig.5 は、上記の結果の D を変化させた際の剛平面上に形成される音圧分布である。

結果より、D=2 mm 以降ではパイプ中心付近で音圧が極大を示す分布になっているのが分かる。なお、内径 0.48λ, 1.19λ の結果より、対象面で最も音圧が高くなるのは D=2 mm の時であった。

### 2.3 剛平面上の音圧

Fig.6 に、剛平面上での音圧が最も高い D=2 mm の時の音圧極大値とパイプ長の関係を示す。なお、直線パイプでは、内径が半波長程度のものよりも、波長程度の方が剛平板上で音圧が大きくなる事が先行研究にて確認されている。

結果より、内径 0.48λ では、パイプ長に対してほぼ λ/2 の周期的で大きく変化しているが、曲率 R による違いはあまりない。また、直線パイプと比較してパイプ長との関係がやや異なっているものの、大きな違いは見られない。

一方、内径 1.19λ では、音圧極大値は同様にパイプ長に対して周期的に変化しているが、曲率 R がある程度大きくなると直線パイプと同程度の音圧が得られている。したがって、曲率 R が大きいほど良好に音波は伝搬し、対象面に照射出来る事が確認できた。

### 3. まとめ

曲げ部を持つパイプによる音波伝送とそれによる剛平板への音波照射特性について、有限要素法を用いて解析を行った。

その結果、パイプ径を音波長に対して考慮する事により、パイプ端付近に設置した剛平板への音波照射が良好に行える可能性がある事が分かった。

### 4. 参考文献

- [1] 田中, 他, 音講論 (春), 1389-1390, 2013.
- [2] 田中, 他, 音講論 (春), 1241-1242, 2010.
- [3] 神谷, 他, 音講論 (秋), 1149-1150, 2015.

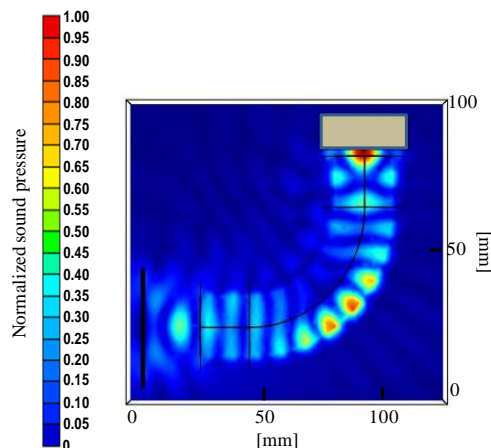


Fig. 4 Analysis result

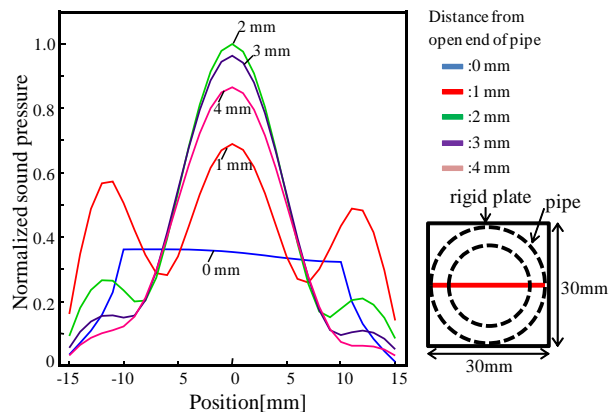


Fig.5 Sound pressure distribution along redline on the surface of rigid plate

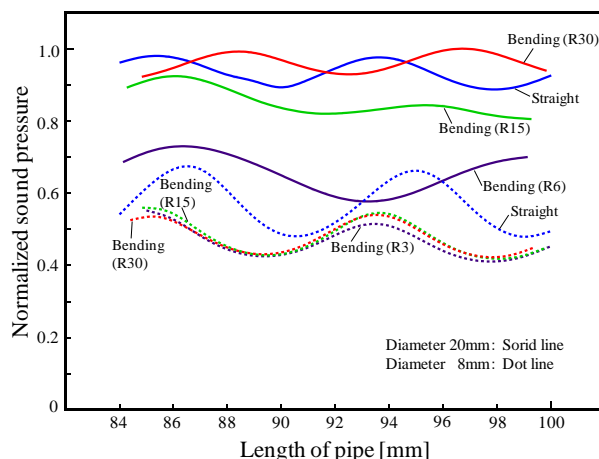


Fig.6 Maximum Sound pressure on the surface of rigid plate when length of pipe changed (D: 2mm)