

R7 理数探究 最終報告

テーマ：開口端補正の起こる仕組みについて

1. 概要

昨年の研究において楽器製作を行ったが、その音を生み出す過程において開口端補正を考慮する必要が生じた。しかし、教科書には数式的記述のみで原理的説明が乏しく、その物理的背景に関心を持った。実際の仕組みや現象の意味を探ることを目的として開口端補正について実験・考察を行った。

2. 研究内容

(仮説)

まず、開口端において反射が生じていること、そして空気の振動は管内において制限されているがそれが開口端に来ることで外に広がることができるようになることをもとにして、開口端で反射が生じる理由についての仮説を立てた。

①媒質は同じ空気であることから、管内と大気中で音波の進行条件が変化している

→圧力の差が原因ではないか

②進行条件が違うことで、同じ空気ではあるが実質的に“違う媒質”として働いており、影響を与えているのではないか

→管内と大気中で音波の伝わる速さが異なるのではないか

以上のこととを念頭に私たちの班は実験を行うことにした。

(実験 1)

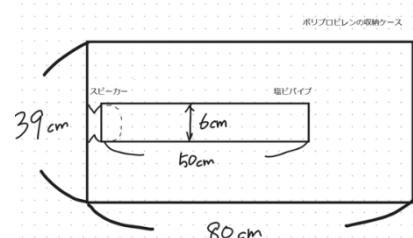
a) 実験に用いたもの

- ・ポリプロピレンの収納ケース(39cm × 80cm × 16.5cm)
- ・塩ビパイプ(長さ 50cm 幅 6cm)
- ・プラスチックのコップ、テープ、水、防水スピーカー

b) 実験計画

右の図のようにスピーカーと塩ビパイプをテープで固定し、それが完全に沈むようにポリプロピレンの収納ケースに水を注いだ。

スピーカーと接続したスマホから 1520Hz の音を流す → 筒の開口端から離れているところは音波が拡散し、ほぼ変化がないと予想を立てた



c) 実験結果

防水スピーカーを使用したが、外側のみ防滴仕様であったため中にあった本体が壊れて音が小さくなってしまった。結果、波を観測することはできなかった。また、そもそも気柱の振動すら起こすことができなかった。

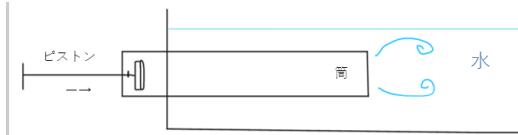
(実験 2)

a) 実験に用いたもの

- ・塩ビパイプ (実験 1 と共通)
- ・ピストン

b) 実験計画

- ・塩ビパイプ(筒)を通すための穴をプラスチックケースにあける
- ・下の図の装置を用い、ピストンを手で押して縦波を観察する



c) 実験結果

ピストンを押したとき、筒の外から内へ行くような渦が発生し押した方向へ進んでいった。また、水を押しているはずなのに水面が凹む、つまり水面が水中へ吸い込まれるような現象もみられた。

(実験 3)

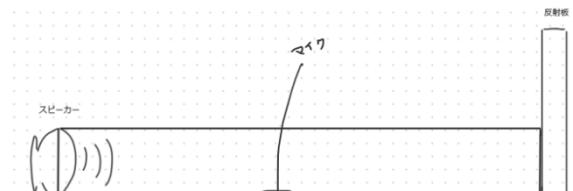
肉眼で波を観察するのは難しいと考えたので直接波を観察する実験のほかに、コンピューター上での音声解析を試みた。

a) 実験に用いたもの

- ・塩ビパイプ (実験 1 と共通)
- ・イヤホン(マイク)
- ・google colab(解析)
- ・反射板

b) 実験計画

- ・google colab にてパルス波の音源を作成する
- ・図の装置を作成した後、スピーカーからパルス波を流し反射板ありとなしでそれぞれ録音
- ・google colab にて音声解析
[音声解析プログラム]



```
import wave
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import librosa
import librosa.display
from scipy.fft import fft
from scipy.ndimage import gaussian_filter

# WAVファイルのパス (ランタイム内のファイルを使用)
wav_file_path = "/content/pulse波.wav"

# WAVファイルを読み込む
with wave.open(wav_file_path, "r") as wav_file:
    sample_rate = wav_file.getframerate()
    audio_data = wav_file.readframes(wav_file.getnframes())
    audio_array = np.frombuffer(audio_data, dtype=np.int16)
    time = np.linspace(0, len(audio_array)) / sample_rate, num=len(audio_array))

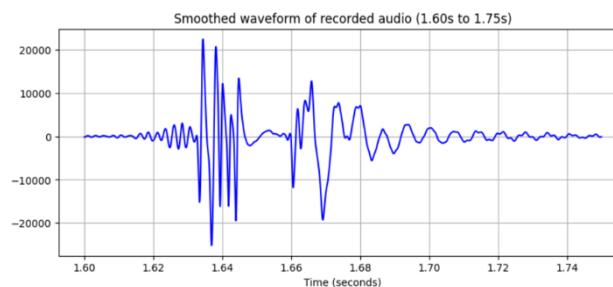
# **Set start and end time**
start_time = 1.6 # Start from 1.6 seconds
end_time = 1.75 # Extend up to 1.8 seconds
start_index = int(start_time * sample_rate)
end_index = int(end_time * sample_rate)

# **Apply Gaussian filter for smoothing**
smooth_audio_array = gaussian_filter(audio_array, sigma=10)

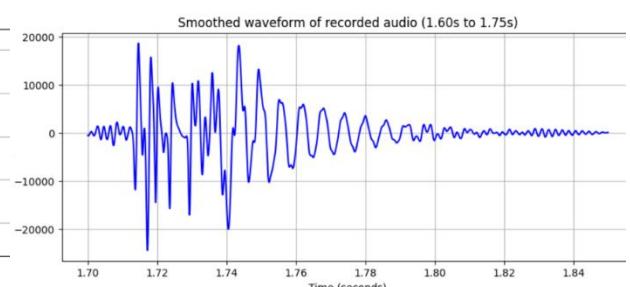
# **Plot smoothed waveform within the specified range**
plt.figure(figsize=(10, 4))
plt.plot(time[start_index:end_index], smooth_audio_array[start_index:end_index], color='blue')
plt.xlabel("Time (seconds)")
plt.ylabel("Amplitude")
plt.title("Smoothed waveform of recorded audio (1.60s to 1.8s)")
plt.grid(True)
```

c) 実験結果

(反射板あり)



(反射板あり)



グラフより反射板ありのほうがなによりも波が尾を引いていた

3. 考察

実験2より水面が凹んだ原因について以下の現象が起きていると考えた。

- ① ピストンによって押し出された水による疎密波は、気柱から出た後も直進し、水面と平行に進む。
- ② 水が押し出され、その疎密波は、気柱から出た直後の気柱内の水密度は低下する。
- ③ その密度低下を戻すように、さまざまな方向から開口端に向けて水が吸い込まれる。その吸い込みは水面に対して垂直に近方向からも存在するため、結果として水面が凹む。

実験3より気柱の端に反射板を置くと、置かない時よりも波が尾を引いた。このことから開口部で放出された音波が一部気柱内に入り込んでいると考えられる。これが、定在波の場合だと気柱内に入り込む波と定在波が干渉して弱めあっているのではないかと考える。

どちらの実験においても発生した波が気柱内に再び戻ることで干渉し、そのことが開口端補正の原因ではないかと考察する。