

## 避難所における効果的な防音壁の研究

石川県立金沢泉丘高等学校理数科

中村 知未 宮野 夢子 木下 貴裕 小関 万喜 廣瀬 海凪

### 要旨・概要

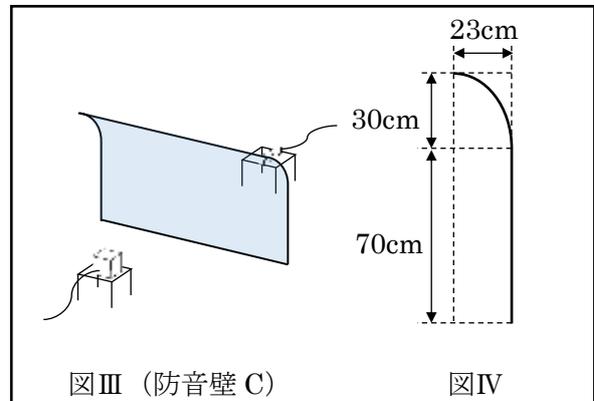
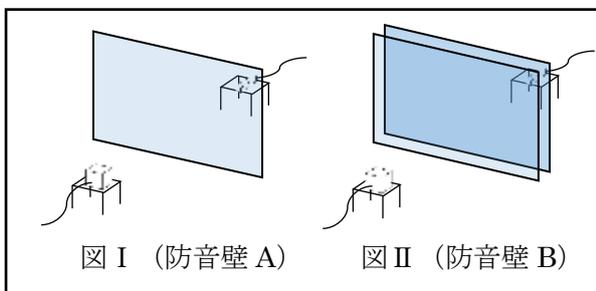
我々は、避難所における防音壁の素材として段ボールに着目し、防音効果が大きく、簡単に設置できる防音壁を理想として、段ボールの最適な形状や組み合わせを研究した。この研究により、避難所での騒音問題を軽減することを目的としたその結果、段ボールの枚数は防音効果にあまり差を生み出さないことがわかった。今後は、音源から出す音の振幅や周波数を変えて研究を進めていきたいと思う。

### 1. 問題提起・研究目的

日本では、地震やそれに伴う津波、火山の噴火などの災害が多いため、避難所の需要が高い。その避難所では、人の話し声や夜間の足音などによる騒音が大きな問題となっている。そこで、避難所において、高い防音効果を発揮する防音壁を作成しようと考えた。防音壁の素材を検討していく中で、避難所におけるコストパフォーマンスや汎用性を考慮した結果、段ボールが最も適していると考えた。この研究では、段ボールで作られた防音壁が、その枚数や構造によってスピーカーからセンサーへ向かって伝わる音をどの程度遮断することができるのかを調べた。なお、本研究では、音の大きさを音圧の大きさを評価することにする。

### 2. 研究概要

まず、下記のような3種類の防音壁A～Cを作成した。(図Ⅰ～Ⅲ) これらの防音壁を用いて、次のような実験1を行った。

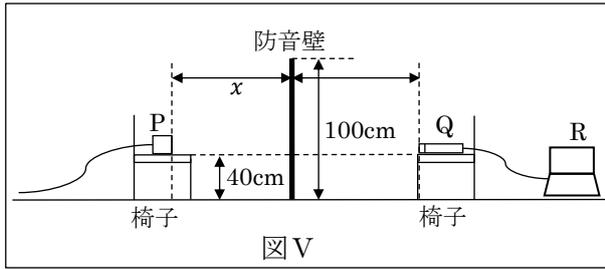


- 図Ⅰ：1枚の防音壁 (カーブ無)
  - 図Ⅱ：2枚の防音壁 (カーブ無)
  - 図Ⅲ：1枚の防音壁 (カーブ有)
  - 図Ⅳ：カーブ構造を横から見たもの
- \*材料はすべて段ボール

### 3. 実験1

図Ⅴのように実験装置を配置した。まず、図Ⅴの太線の位置に防音壁Aを設置し、図Ⅴの $x$ の値を37.5cmに設定して、イーージーセンサーを用いて防音壁Aを通り抜けてくる音の大きさを10回ずつ測定した。(単位はdB) これを、 $x$ の値が75.0cm, 150cm, 300cmの場合においても同様に計測を行った。この作業を5回繰り返して、合計で50回ずつ測定した。この50回の測定値の平均値を $avg(A)$ とした。

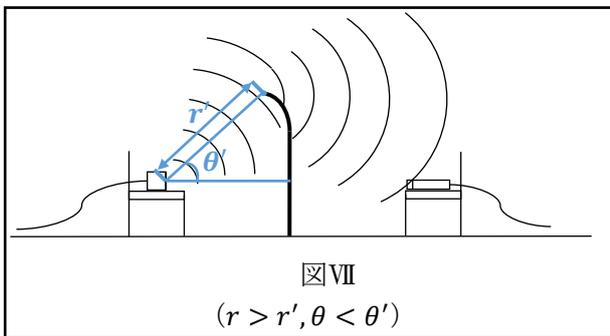
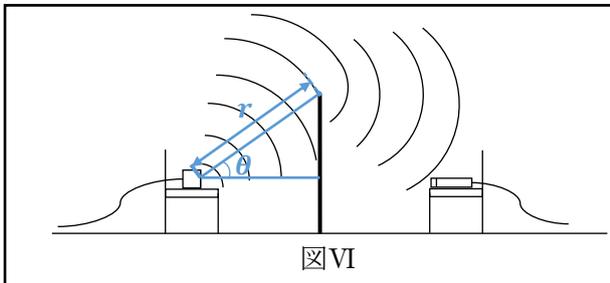
これを、防音壁B、Cについても同様に計測を行い $avg(B)$ ,  $avg(C)$ を導出した。なお、今回の実験で得られた平均値の値が小さいほど、その防音壁の防音効果が高いと見なすことにする。



太線：防音壁  
 P：音波実験用発振・増幅器  
 (ウチダ社製) 以後スピーカーと呼ぶ。  
 誤差範囲：±1dgt  
 Q：イージーセンサー (ナリカ社製)  
 分解能：0.1dB  
 R：Easy Sense Software  
 以後センサーと呼ぶ

### 3-1. 仮説

- ①  $avg(A) > avg(B)$   
 遮る防音壁の枚数が多いほど防音効果が高いと予想したため。
- ②  $avg(A) > avg(C)$   
 音波は波であるので回折する。(図VI、VII) 防音壁 C のようにカーブ構造を持つことで、回折して伝わってくる音を減らすことができると考えたため。



カーブ構造を伴うことによって、図の半径  $r$  が小さくなる。これによって、より音源に近い距離で音を遮ることができる。また、図の角度  $\theta$  が大きくなるので、遮ることができる音の大きさの割合が大きくなる。

### 3-2. 結果

下記のような結果になった。(表 I)

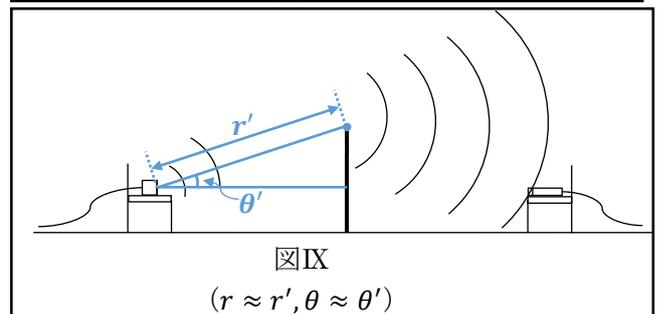
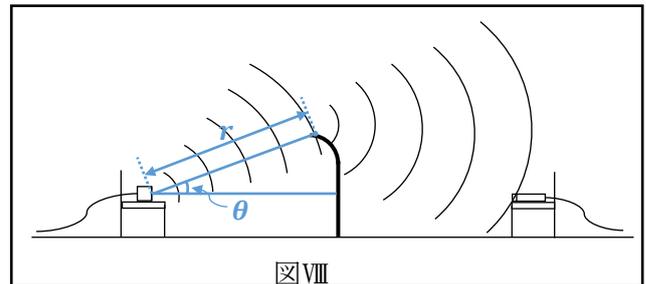
表 I ※単位は dB

x	37.5cm	75.0cm	150cm	300cm
avg(A)	73.0	71.2	64.3	63.0
avg(B)	68.1	72.5	62.3	66.5
avg(C)	71.8	67.3	64.6	63.5

- ①  $avg(A)$  と  $avg(B)$  を比較すると、 $x$  が 37.5cm, 150cm のときは仮説通りに  $avg(A) > avg(B)$  となったが、 $x$  が 75cm, 300cm のときは仮説に反して  $avg(A) < avg(B)$  となった。
- ②  $avg(A)$  と  $avg(C)$  を比較すると、 $x$  が 37.5cm, 75cm のときは仮説通りに  $avg(A) > avg(C)$  となったが、 $x$  が 150cm, 300cm のときは仮説に反して  $avg(A) \approx avg(C)$  となった。

### 3-3. 考察

- ① 何らかの法則性を見出そうとしたが、 $x$  の値が 4 つしかなかったためできなかった。
- ②  $x = 37.5cm, 75.0cm$  のときのように、 $x$  の値がある程度小さいときは、仮説通りに防音壁 C のカーブ構造が期待通り働き、防音効果を発揮して、 $avg(A) > avg(C)$  となった。(図VII) しかし、 $x = 150cm, 300cm$  のときのように、 $x$  の値が十分大きいときは、図VIIIにおける  $r$  の値が図VIIのものに比べて大きくなり、 $\theta$  の値が図VIIのものに比べて小さくなったため、カーブ構造の有無による遮る音の大きさにほとんど差が生じなくなったと考えられる。よって、 $avg(A) \approx avg(C)$  となったと考察した。



この実験1では、スピーカーと防音壁の距離がある程度短いときは、カーブ構造を持つ防音壁はカーブ構造なしの防音壁より高い防音効果を持つことがわかった。避難所では、騒音の問題となるような声を発する人と、それを聞く人の間には300cmほどの大きな距離があるとは考えにくいので、避難所においては、カーブ構造を持つ防音壁はより高い防音効果を持つと言えるだろう。

我々は、1枚の防音壁と2枚の防音壁の防音効果についてさらに研究を進めるため、新たに実験を行った。実験1では、講堂の天井や壁、椅子などからの音の反射を考慮していなかった。また、 $x$ の値が4つしかなかったので、法則性を見出すには不十分であった。この反省点を踏まえ、次の実験2を行うことにした。

#### 4. 実験2

実験1の装置は変えずに、 $x$ の値を30cmから300cmまで30cmごとに設定した。太線の部分に防音壁Aを設置し、それぞれの $x$ について同様に10回ずつの測定を3回繰り返した。この測定10回ごとの平均値を $\text{avg}(A1) \sim \text{avg}(A3)$ とした。防音壁Bについても同様に測定を行い、測定10回ごとの平均値を $\text{avg}(B1) \sim \text{avg}(B3)$ とした。

また、先述した講堂そのものによる音の反射の影響を考慮するため、防音壁を設置しない場合も同様に計30回測定し、こちらも10回ごとの平均値を $\text{avg}(E1) \sim \text{avg}(E3)$ とした。

そして、次のような方法を用いて測定結果を評価することにした。

##### \*測定結果の評価方法について

実験1では、防音壁A,B,Cにおけるデシベル量そのものの大きさを比較し、防音効果に優劣をつけていた。これでは講堂そのものの音の反射の影響を考えていなかった。これを解消するために、防音壁無の場合の測定値から防音壁有の場合の測定値を引いた値、つまり

$$\text{avg}(En) - \text{avg}(An), \text{avg}(En) - \text{avg}(Bn) \\ (n = 1, 2, 3)$$

というような値を用いて評価することにした。防音壁がある場合でもない場合でも、同じ $x$ の値の場合であればスピーカーとセンサー、講堂の天井や壁、椅子の位置関係は変わらない。そこで、2数の差をとることによって反射して伝わってくる音を相殺し、スピーカーからセンサーへ直接的に伝わる音が防音壁によってどれだけ遮られたかを表す値を導出す

ることにした。これにより、防音壁AとBで、どれだけ音を遮ることができたかを比較することができる。

したがって、測定値の差をとることになるのだが、このままでは正しい音圧の差を表す値を得ることができない。なぜなら、デシベル量は測定した音圧を基準音圧（ここでは $2.0 \times 10^{-5} \text{Pa}$ ）で割った値の常用対数をとって得られたものだからである。（式I）そのため、同じ10dBの差でも、40dBと50dBの差と、50dBと60dBの差では、その値が示す音圧の差がかなり異なるということが起こるのである。

$$L = 20 \times \log_{10} \frac{P}{P_0} \quad \text{(式I)}$$

$L$ : デシベル[dB] $P$ : 測定された音圧[Pa] $P_0$ : 基準音圧( $2.0 \times 10^{-5} \text{Pa}$ )
---

そこで、式Iを $P$ について解き直し、測定結果の単位をすべてPaに変換した。（式II）

$$P = P_0 \times 10^{\frac{L}{20}} \quad \text{(式II)}$$

こうして得られたデータの10回ごとの平均値を、それぞれ

$\text{avg}(A'1) \sim \text{avg}(A'3), \text{avg}(B'1) \sim \text{avg}(B'3),$   
 $\text{avg}(E'1) \sim \text{avg}(E'3)$ とした。そして、前頁のように差をとり、その値を

$\text{dif}(A1) \sim \text{dif}(A3), \text{dif}(B1) \sim \text{dif}(B3)$

とした。そして、それら3つの平均を

$\text{dif}(A), \text{dif}(B)$ とした。なお、10回ごとの平均で差をとり、さらにその平均をとるというやや遠回りな過程を通して $\text{dif}(A), \text{dif}(B)$ を導出したが、これは、この実験2は3日に分けてそれぞれで10回ずつ測定したので、雨などの周囲の環境音が日によって変化しており、それをその日ごとに相殺するためである。

##### 4-1. 仮説

- ①  $\text{dif}(A), \text{dif}(B)$ の値は、 $x$ の値が大きくなるにつれて単調に減少する。
- ② どの $x$ の値に対しても、 $\text{dif}(A) < \text{dif}(B)$ が成り立つ。

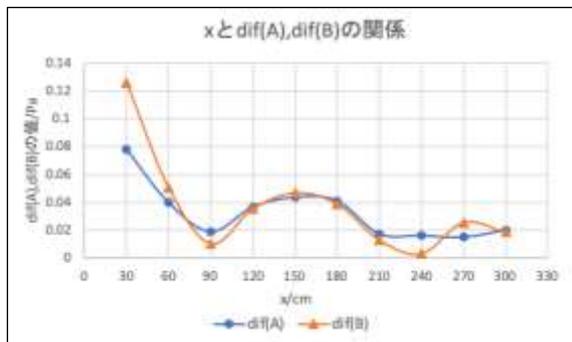
##### 4-2. 結果

下記のような結果になった。  
(表Ⅱ、グラフⅠ)

表Ⅱ

x/cm	dif(A)/Pa	dif(B)/Pa
30	0.078	0.13
60	0.040	0.051
90	0.019	0.011
120	0.037	0.035
150	0.044	0.047
180	0.041	0.039
210	0.017	0.013
240	0.016	0.003
270	0.015	0.026
300	0.02	0.019

グラフⅠ



- ① dif(A), dif(B)の値は、 $x$ の値が大きくなるにつれて単調に減少するわけではなく、極大値と極小値を伴いながら減少している。特にdif(B)ではそれが顕著に見られる。
- ②  $x$ の値が60cmより小さいときは dif(A) < dif(B)が成り立っているが、 $x$ の値が60cmより大きいときは dif(A)  $\approx$  dif(B)となっている。

#### 4-3. 考察

- ①  $x = 90\text{cm}$ ,  $240\text{cm}$  のとき、dif(A), dif(B)の値が極小となったことから、スピーカーと防音壁の間に、スピーカーの位置を腹、防音壁の位置を節とする定常波ができ、音の大きさが大きくなっているのではないかと考えた。実験で用いた音の波長を $\lambda$ とすると、 $\frac{\lambda}{2} = 240 - 90$  という関係式が成り立ち、 $\lambda = 300\text{cm}$ が得られる。しかし、波の基本公式 $v = f\lambda$ に、 $v = 340\text{m/s}$ ,  $f = 440\text{Hz}$ を代入すると、 $\lambda \approx 77\text{cm}$ となり、 $\lambda$ の値が先ほどの値と大きく異なった。これより、定常波が発生しているとは言う

ことができない。そもそも、この実験は講堂という開かれた空間で行っており、定常波は発生しないと考えられる。

- ② dif(A)とdif(B)の値は、 $x$ の値が大きくなるにつれて、およそ $x = 60\text{cm}$ を境目にほぼ等しくなっている。この60cmという値が何を意味しているのかを考えたところ、防音壁の高さとスピーカーの高さの差を表す値ではないかという推測に至った。(図Ⅴより、防音壁の高さは100cmで、スピーカーを置いている椅子の床からの高さが40cmであることから、高さの差は60cmと導出することができる。)  $x$ の値が60cmを超えると、スピーカーと防音壁の距離がしだいに防音壁の実質的な高さ(=60cm)より大きくなり、防音壁の高さが相対的に小さくなるから、音が防音壁の上から容易に回折してセンサーまで伝わる。これより、 $x$ の値が60cmより大きいときは、回折する音の影響が大きいため、防音壁が1枚であろうが2枚であろうが、防音効果は大して変わらないということができる。

しかし、防音効果にほとんど差が生まれない $x$ の境目の値が防音壁の実質的な高さと一致する、というのはあくまで推測である。これを確かめるためには、防音壁の高さを変えて、実験2と同様な測定を行う必要がある。

#### 5. 結論

実験2より、段ボール製の防音壁は、1枚でも2枚でも防音効果にさほど差を生み出さないことがわかった。災害時に避難所で起こりうる騒音問題を対処する際には、壁を何枚も重ねるよりも、壁で仕切っている1つずつのスペースを大きくして、会話する人とその声を聞く人の距離を大きくしたほうが効果的であると言えるだろう。

#### 6. 今後の課題

実験2の考察①では、十分な考察を行うことができなかった。今後は、このような結果になったことを科学的に説明できるように我々の班で議論を進めていこうと思う。そして、考察②で生まれた新たな推測が正しいかを確かめるために、さらに実験を行う必要がある。

また、我々は実験1と実験2を通して、ス

ピーカーと防音壁の距離を変えると、防音壁を通して測定される音の大きさがどのように変化するのかに着目して研究を行ってきた。これとは別の観点で、距離を固定して、スピーカーから出す音の大きさや振動数を変えると、測定される音の大きさがどのように変化するのかに着目するのも非常に興味深い研究だと思った。実際、避難所では、一定の大きさや振動数で人の声などの騒音が発されることはないので、この研究をすることで避難所における効果的な防音壁をより実生活に基づいて考察することができると思う。

## 7. 謝辞

今回の研究を進めていくにあたり、ご指導いただいた北陸先端科学技術大学院大学の小田和司先生をはじめとする方々や、石川県立金沢泉丘高等学校の先生方に、心より感謝いたします。ご協力ありがとうございました。

## 8. 参考文献

- ・ 阪上公博 (2018), 「音質材料と背後構造—壁などの背後構造が吸音・遮音におよぼす影響—」, 日本音響学会誌 74(8), 448-455
- ・ 松本源生 藤原恭司 尾本章 (2001), 「防音壁の遮音性能に及ぼす音源指向性の影響」, 日本音響学会誌 57(4), 272-281