

段ボールの形状の違いによる避難所での防音効果

愛媛県立宇和島東高等学校 3年

代表者：高田剣志

大加田 元輝 中西 玲雄 吉岡 大我

段ボールの形状の違いによる避難所での防音効果

2年4組 高田 剣志 2年3組 中西 玲雄

2年3組 吉岡 大我 2年4組 大加田元輝

指導者 松岡 拓哉

1 課題設定の理由

近年、地震や大雨などの自然災害が多くなっており、被害が深刻な場合は避難所生活が余儀なくされる。この際、パーソナルスペースの確保のために、段ボールなどで作成したパーテーションが使われているが、隣の区画の赤ちゃんの泣き声や人の話し声が聞こえてくるなどの騒音問題が発生している。防音が十分にできない原因は、段ボールを透過してくる音の影響と同時に、パーテーションには屋根がないため、上部を回折して伝わってくる音の影響も大きいと考えられる。そこで我々は、段ボール上部の形状に変化をつけることで、音の回折を低減し、防音性を高められるのではないかと考えた。

2 仮説

濱田ら(2022)^[1]の研究では、段ボール内部の構造を変えることで防音性を高めようと試みていた。結果として、中周波域・高周波域の音に対しては防音効果がみられたものの、低周波域の音に対する成果はあげることができなかった。我々はこの原因が段ボールの上から回り込んでくる回折音の影響が大きいために、内部構造の変化だけでは低周波域の音を軽減できなかったのだと考えた。そこで、高速道路の防音壁の形状(図1)を参考に、段ボールの上部の形を変えることで、回折音を防ぎ、防音性を高めることができるのではないかと考える。



図1 高速道路の防音壁

3 研究内容

回折音の低減に適した段ボールの形状を効率的に見つけるため、まずは、シミュレーションソフトを用いて回折を防ぐことができるとともに、簡易性にも優れたパーテーションの形状について検討する。その結果をもとに、実際に段ボールでパーテーションを再現し、測定実験を行う。

4 シミュレーション実験

(1) シミュレーションの概要

従来の段ボールのまっすぐな形状(ストレート)と、段ボール上部の形状を高速道路の防音壁のように曲げたかもめ型、ストレートの上部に小さな屋根をつけたT字型について、それぞれ3分の1のスケールでモデル化したものを作成し、壁の上部を回折して伝わる音の音圧をそれぞれ測定・比較する。今回は、愛媛大学の中畑教授にご協力いただき、「SWAN21」というシミュレーションソフトを用いて、男性の話し声と女性の話し声の2つの周波数に分けてシミュレーションを行う。

(2) シミュレーション条件

避難所を宇和島東高校体育館と想定し、宇和島市のホームページ^[2]の情報をもとに以下の条件を設定した。ただし、後に3分の1スケールで実験を行うため、全ての条件を3分の1でシミュレーションを行う。用いる周波数は、男性の話し声が約500Hz、女性の話し声が約1000Hzであるが、波長も3分の1にする必要があるため、周波数を3倍にし、男性の話し声を500Hzか

ら 1500Hz に、女性の話し声を 1000Hz から 3000Hz に変更した。一世帯に与えられる床面積は、宇和島東高校体育館の収容面積と収容人数から算出したところ、8 m²であった。よって、声を発する人と声を受け取る人の双方が一边 2.8mの正方形の中心にいてと考えて、壁からの距離は $2.8\text{m} \div 2 = 1.4\text{m}$ とした (図 2)。

また、避難所のパーテーションの高さは 1.4m～ 2.0m とばらつきがあるようだが、3分の1スケールで実験を行うことから、3で割り切れる 1.8m に設定した。発音点、測音点の高さは、国土交通省^[3]が発表している男子、女子の平均座高のデータより、男子の平均座高と女子の平均座高を平均して 87cm とし、壁の材質は、段ボールと似た素材であるセルロースと設定した (図 3)。

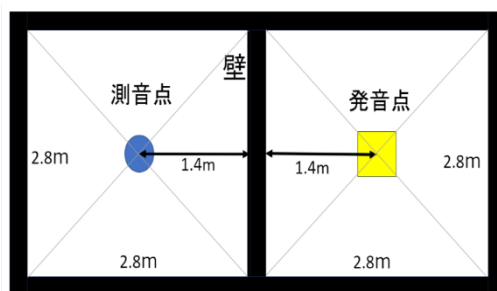


図 2 条件を上から見た図

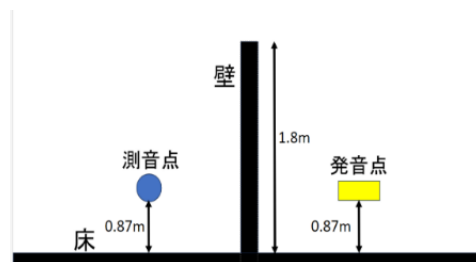


図 3 条件を横から見た図

(3) シミュレーション結果と考察

シミュレーションの様子を以下に画像で示す。画像を見ると、回折音を低減する効果は T 字型 (図 6)、かもめ型 (図 5)、ストレート (図 4) の順に高いことが分かる。

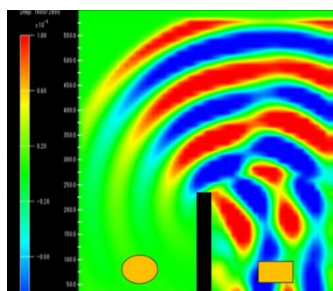


図 4 ストレート

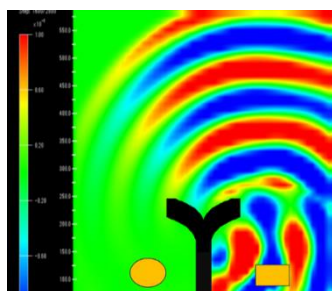


図 5 かもめ

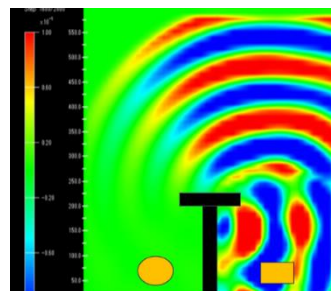


図 6 T字

また、シミュレーション結果をグラフにまとめたものを以下に示す。1500Hz (図 7)、3000Hz (図 8) とともに上部に変化を施したかもめ型・T 字型がストレートに比べ、回折音を防ぐ効果が高いことが分かり、音が回り込みにくい構造だと言える。また、グラフの最大音圧に着目してみると、特に T 字型が最も効果が高いことが分かった。ストレートに比べ 1500Hz では 2 倍程度、3000Hz で 3 倍程度回折音を軽減する効果が期待できることが分かった。

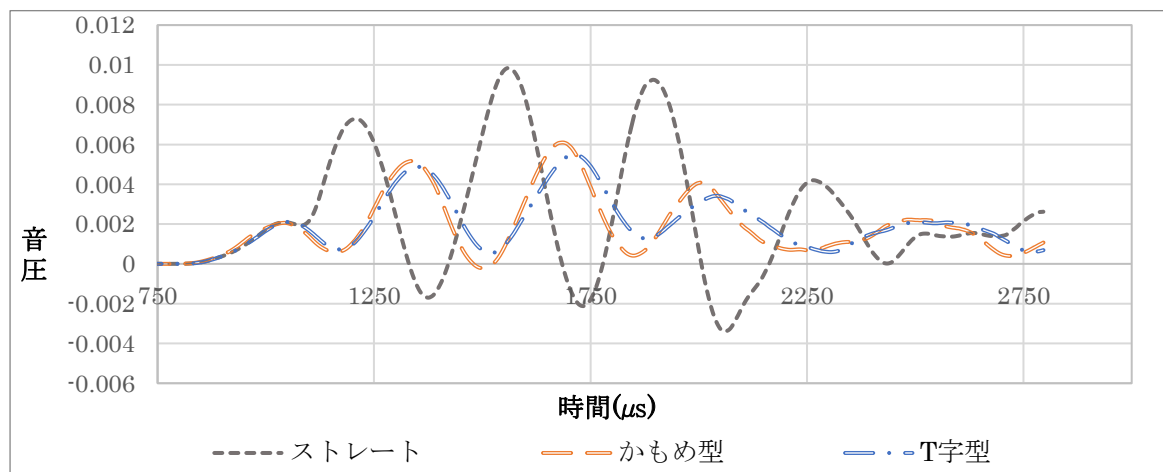


図 7 1500Hz

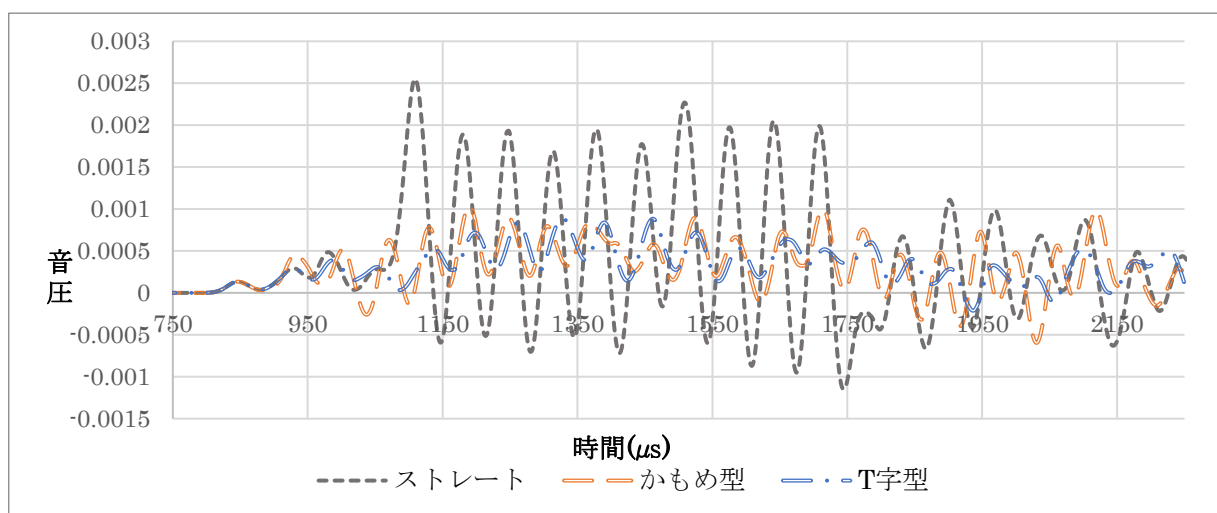


図 8 3000Hz

5 測定実験

(1) 測定実験の概要

シミュレーションを行った結果から、回折音の低減効果および簡易性に優れた T 字型に焦点を当て、実験を行う。T 字型の壁と屋根との接合にはアルミ線を用いる。なお、屋根の長さの違いによる回折音の低減効果についても調べるため、上部の板の長さを 0 cm (ストレート)、20cm (片側 10cm)、30cm (片側 15cm)、40cm (片側 20cm) と変化させる。周波数をそれぞれ 1500Hz、3000Hz とし、実際の音圧レベル [dB] についてそれぞれ 3 回ずつ測定を行い、比較する。



図 9 測定実験の様子

(2) 測定実験の条件

シミュレーション条件で示した設定の 3 分の 1 のスケールで測定実験を行う。発音点と測音点の高さを 29cm、壁の高さを 60cm、壁と発音点・測音点の距離を 47cm とする。実験は、宇和島東高校放送室で行い、発音器には PC 用音波発生ソフト「発音」、測定器にはスマートフォン用アプリケーション「sonic tools」を使用する (図 9)。

(3) 測定実験の結果と考察

測定値を平均した結果を表 1 に示す。結果から、1500Hz では 60dB 台から 50dB 台まで音圧レベルが下がり、これは普通の会話程度から静かな事務所程度まで騒音レベルを軽減することができたと言える。また、3000Hz では 50dB 台から 40dB 台まで音圧レベルが下がり、これは静かな事務所程度から図書館程度まで騒音レベルを軽減することができたと言える。

表 1 音圧レベルの測定結果

屋根の長さ	1500Hz	3000Hz
0cm	65. 1dB	58. 8dB
20cm	64. 9dB	55. 8dB
30cm	60. 1dB	48. 1dB
40cm	57. 2dB	48. 2dB

次に、より正確な考察を行うため、音圧レベルを音圧に変換する。音圧レベルと音圧の間には次の関係式が成り立つ。

$$D=20\log_{10}\frac{P_1}{P_0} \quad (\text{音圧レベル } D \text{ [dB], 音圧 } P_1 \text{ [Pa], 基準音圧 } P_0 \text{ [Pa]})$$

屋根の長さと音圧の関係を表したグラフを以下に示す。

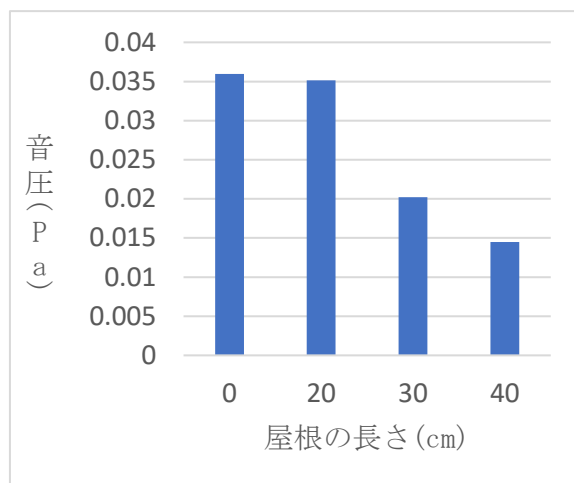


図 10 1500Hz

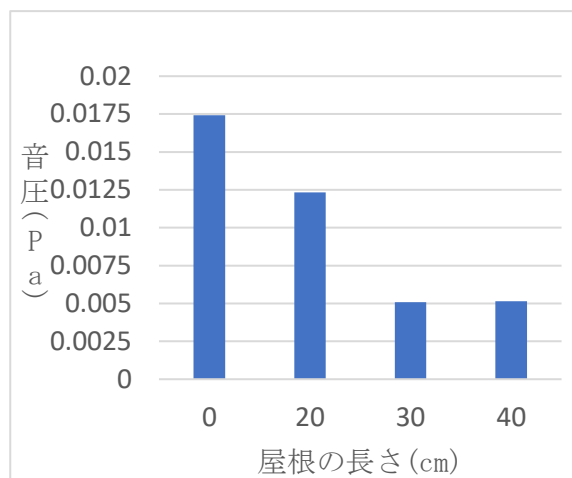


図 11 3000Hz

1500Hz (図 10)、3000Hz (図 11) とともに、屋根の長さが 30cm を超えると回折音を低減する効果が顕著に表れるといえる。一方、1500Hz については、屋根の長さ 20cm～40cm で大きな差が出たのに対し、3000Hz については、0 cm～30cm で差が見られた。この結果から、低周波域の音は波長が長いため、回折を防ぐために長い屋根が必要であるが、高周波域の音は波長が短いため、短い屋根でも回折を防ぐ効果を発揮できるのではないかと考えられる。防音効果について、1500Hz では最大で約 2.5 倍、3000Hz では最大で約 3.3 倍程度向上させられることが分かり、T 字型パーテーションの有用性が実証できた。また、屋根の長さ 0 cm (ストレート) において、3000Hz の方が音圧が小さいのは、そもそも高周波域の音は回折しにくい性質をもつためだと考えられる。

6 まとめと今後の課題

本研究から、避難所で発生する騒音問題を解決するために最適なパーテーションの形状は T 字型だと分かった。また、騒音の周波数に応じて、適切な屋根の長さが増えるため、実際に避難所への導入を考える際には、こういった騒音軽減を目的としたパーテーションなのかを事前に吟味する必要がある。今後は、T 字型のパーテーションを簡易的に組み立てられる方法を検討し、製品化を目指していきたい。

謝辞

本研究を進めるにあたりご協力いただいた愛媛大学の中畑和之教授にこの場を借りて感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 濱田妃夏ら「段ボールによる防音効果」 令和 3 年度 SSH 生徒課題研究論文集
- [2] 宇和島市 HP
https://www.city.uwajima.ehime.jp/uploaded/life/64223_172823_misc.pdf
- [3] 国土交通省 <https://www.mlit.go.jp/common/001225746.pdf>