

# 地表凹凸面上の騒音伝搬についての考察

70069 鹿野 洋

## 1. 背景と目的

発達を続ける現代の都市において、複雑化した交通網や開発工事から発せられる騒音は避けられない問題となっており、長年にわたって騒音の分析、制御の努力がなされてきた。その中で近年、騒音が伝搬する空間の地表面の影響が取り上げられており、これまでに緩やかにカーブした勾配面[1]、ランダムな凹凸面[2]の影響についての検討がなされている。本研究では、規則的な凹凸を配置した面上での音の伝搬の様相を探り、凹凸面を用いた騒音制御の可能性について検討する。

## 2. 模型実験による検討

規則的な凹凸面が音の伝搬に与える影響を調べるため、縮尺模型を用いた実験による検討を行った。

### 2.1 実験の概要

本検討で用いた 1/10 縮尺模型を図 1 に示す（以下括弧内に実スケールを記す）。床上に幅 18mm(18cm)、長さ 1.8m(18m)の木材を等間隔に並べたものを凹凸面とし、その上の空間における音の伝搬を平滑面上と比較した。音源にはスパーク音源を用い、立っている人間の高さ想定して地上から 15cm(1.5m)に配置したマイクロフォンでインパルス応答を測定している。本実験では受音点までの距離、凹凸高さを変化させた条件で測定を行った。

### 2.2 結果

測定されたインパルス応答を比較するため、それぞれの応答を直接音のみの音圧レベルで基準化した。凹凸高さ 36mm(36cm)、凹凸区間 3.2m(32m)での結果を平滑面での結果と併せて図 2(a)に示す。平滑面では直接音と床面での鏡面反射音の干渉によって約 1kHz に鋭いディップを生じているのに対し、凹凸面では 200Hz 前後に大きなディップを見ることができる。図 2(a)の条件を基準として距離、高さを変化させた場合（図 2(b)）ではディップを生じる周波数に前後が見られるものの、どの条件でも低音域に大きな音圧の低減が見られた。

## 3. 数値解析による検討

より詳細な検討のため、波動音響解析の手法の一つである FDTD 法を用いた数値解析を行った。FDTD 法とは、空間と時間を細かく離散化し、時間ステップごとに音圧と粒子速度を交互に求めていく手法であり、室内音響解析等にも用いられる。今回の検討では領域を 2 次元空間としてモデル化し、空間離散幅  $\Delta l=2\text{cm}$ 、時間離散幅  $\Delta t=1/50000\text{sec}$  として解析を行った。

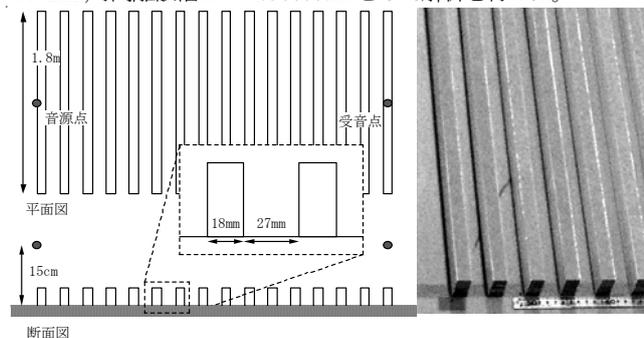


図 1. 実験のセッティング

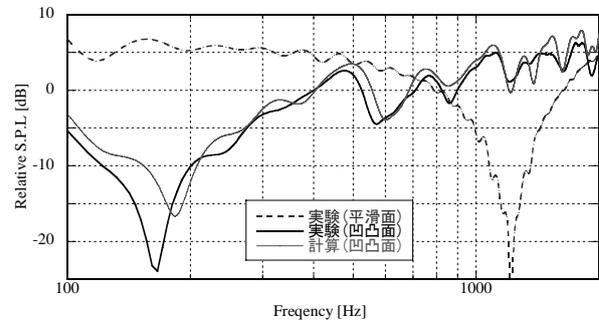


図 2(a) 周波数特性の比較

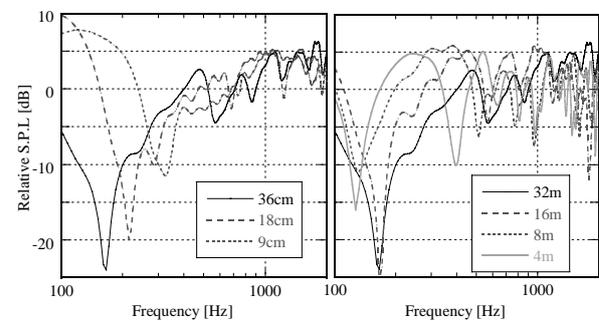


図 2(b) 条件の変化 (左: 凹凸高さ, 右: 音源からの距離)

### 3.1 実験結果との比較

実験と同条件で数値解析を行った結果、200Hz 以下の低音域において多少の差異は見られるものの、ほぼ同様の周波数特性を得ることができた（図 2(a)）。また、特定周波数を入力波として伝搬過程の音圧を可視化したものが図 3 である。色の濃淡が音圧の高低に対応しており、凹凸面上では音波の進行とともに、地表面付近に音圧の低下が見られることが確認できた。さらに 180Hz と 500Hz の結果から、周波数によって減衰の様子が異なることを見て取ることができる。

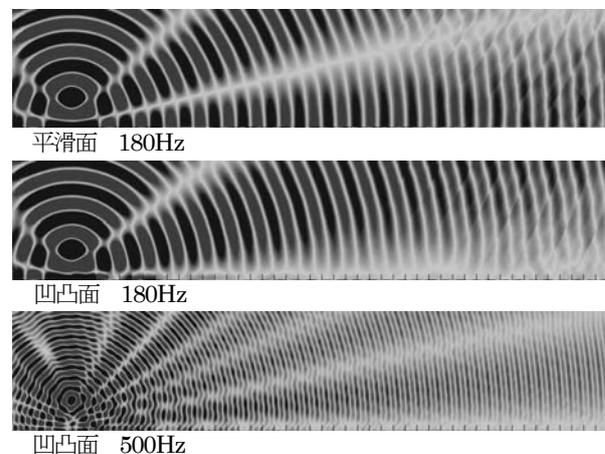


図 3. 伝搬過程の様子



図4. 数値解析の対象としたモデル

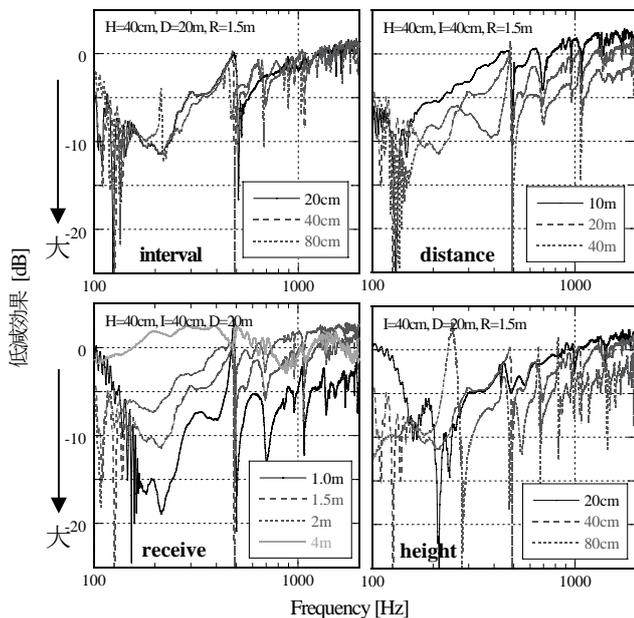


図5. 様々な条件での解析結果

### 3.2 パラメトリックスタディ

凹凸による影響を抽出するため、凹凸厚さを4cm、音源を平面波とした標準モデルを設定し、凹凸高さ、凹凸間隔、音源受音点間距離、受音点高さの4つのパラメータを変化させた解析を行った。設定したモデルを図4に示す。

### 3.3 結果

得られた結果を周波数特性としてまとめたものの一部を図5に示す。凹凸間隔が周波数特性に与える影響は小さく、音源受音点間距離を変えた条件では音圧レベル低減量にのみ変化が見られるのに対し、受音点高さ、凹凸高さを変化させた場合は低減周波数、低減量ともに大きく変動しており、この二つが過剰減衰における主要なファクターであることが分かった。

### 3.4 考察

本検討の凹凸による音圧減衰と類似した例として、ダクトの静音設計[3]や、コンサートホールでのSeat-Dip Effect[4]などが挙げられる。前者は、1/4波長音響管の効果を利用したものであり、ダクト内を伝搬する音波が回折し、管内を往復するため、管長が1/4波長のとき直接波との干渉によって音圧が大きく低下する。後者については様々な実験や解析が行われており、連続する凹凸面に、あるアドミタンスを周波数の関数として与えて解析的に音圧を求める手法などが考えられている。

本検討の条件においても、凹凸上端付近を受音点とした場合(図5, receive1.0m など)は上記の1/4波長音響管の理論から導かれる値に近い周波数にディップを生じる。しかし、凹凸高さに比べて受音点が高い場合(図5, height20cm など)では想定される周波数よりも大幅に低い周波数で最も低減効果が大きくなっており、この理論のみで凹凸と減衰周波数の関係を明確化することはできない。また、凹凸面のあるアドミタンスを持った境界面に近似させる考え方では、水平方向の平面波入射で減衰が起こっていることを上手く説明することができない。このように、現時点で凹凸と低減効果の関係を理論的に解明するには至っていないため、凹凸を騒音制御に応用するためにはその関係を直感的かいは経験的に把握できるようなデータが必要であると考えられる。

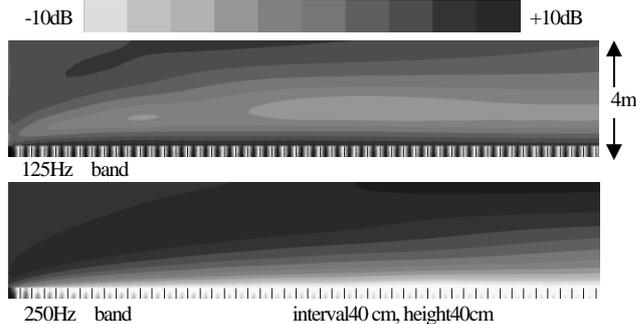


図6. 音圧分布図の例

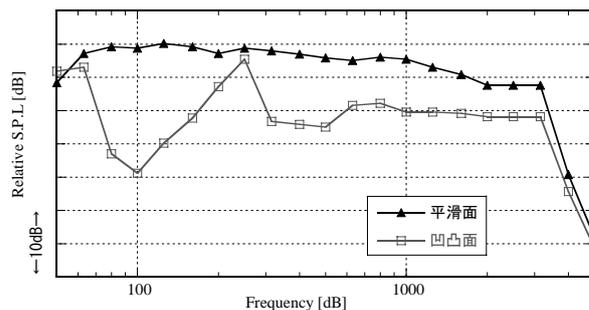


図7. 1/3 オクターブバンドの音圧比較

## 4. 騒音制御への利用

凹凸高さや騒音低減効果のある周波数、範囲の関係を調べるため、地表面上4m×20mの範囲でのオクターブバンドごとの音圧変化を分布図に表した(図6)。このような図によって、騒音源の周波数特性に合わせた効率の良い凹凸配置による騒音の制御が可能になると考えられる。

また、得られた各インパルス応答をピンクノイズに畳み込むことで、地表面の凹凸が騒音伝搬に与える影響を聴感的に評価してみた。一例として凹凸高さ80cm、区間40m、受音点1.5mの条件での1/3オクターブバンド音圧レベルを平滑面条件と比較し、図7に示す。低音域において最大20dB、オーバーオール値でも2dBの減衰効果を確認することができ、聴感的にも差異が感じられた。

## 5. まとめ

音の伝搬における凹凸地面の影響を、模型実験と数値解析によって検討し、凹凸面を用いた騒音制御の可能性について検討した。その結果、地表面付近において規則的な凹凸面が低周波音の伝搬に大きな影響を与えることが明らかとなった。遮音壁の効果が薄く、これまで制御の困難であった低周波の騒音に対して、凹凸面の配置もひとつの対応策となり得ると考えられる。

今後、この減衰効果の起こるメカニズムの解明により、凹凸のスケールと効果のある周波数域の定量的な関係を掴むと共に、凹凸に対して音源が斜入射する場合や地表面があるインピーダンスを持っている場合など、より現実に即した条件に対する検討が必要である。

## 参考文献

- [1] 坂本慎一他, 音講論集(春), 1-3-18(2008.3)
- [2] 森沢拓哉他, 音講論集(秋), 1-5-1(2008.9)
- [3] 藤原恭司他, INCEJ 講論集, 2001, pp.65-68
- [4] 日本建築学会, 室内音場予測手法4-1