

# 有限要素法を用いた遮音壁周辺の音場解析とその可聴化

M2 深澤 一志  
(a17.kfgc@g.chuo-u.ac.jp)

## はじめに

### 研究背景

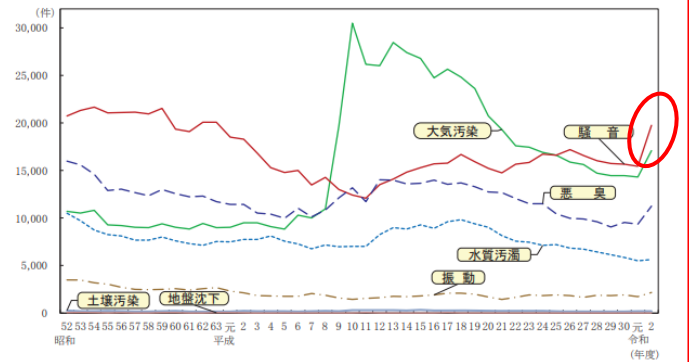
・典型7公害の一つである騒音問題は苦情件数が最多であり、正確な騒音評価や予測が必要でありシミュレーションによる現象説明が課題とされる

### 既往の研究

・高速多重極境界要素法を用いた、大規模音場解析手法の構築  
→ 吸音効果を境界条件で処理するため、遮音壁内部構造や材質の考慮が難しい

### 本発表

・陽解法に基づく有限要素法を用いた遮音壁周辺の音場解析、既往の手法との比較



典型7公害の種類別苦情受付件数の推移  
総務省:令和3年度12月公害苦情調査より

## 解析手法

### 支配方程式

→3次元波動方程式

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}(\mathbf{x}, t) = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}(\mathbf{x}, t) \text{ in } D$$

$c$ :波速,  $u$ :未知量(音圧),  $D$ :解析領域

### 空間方向の離散化

→Galerkin有限要素法

$$\mathbf{M} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \mathbf{K}u = \mathbf{F}$$

$\mathbf{M}$ :質量行列,  $\mathbf{K}$ :拡散行列,  $\mathbf{F}$ :境界積分項

### 時間方向の離散化

→差分法

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{u^{n+1} - 2u^n + u^{n-1}}{\Delta t^2}, \quad u^{n+\theta} = (1-\theta)u^n + \theta u^{n+1}$$

前進差分( $\theta=0$ )

### 離散化方程式

→陽解法

$$u^{n+1} = \frac{\bar{\mathbf{M}}(2u^n - u^{n-1}) - \mathbf{K}\Delta t^2 u^n + \mathbf{F}\Delta t^2}{\bar{\mathbf{M}}}$$

$\bar{\mathbf{M}}$ :集中質量行列

### 境界条件

$$u(\mathbf{x}, t) = \hat{u}(\mathbf{x}, t) \text{ on } \partial D_u$$

$$\frac{\partial u}{\partial n}(\mathbf{x}, t) = -\frac{\cos\theta}{c} \frac{1-\gamma}{1+\gamma} \frac{\partial u}{\partial t}(\mathbf{x}, t) \text{ on } \partial D_q$$

$\cos\theta$ :波の入射角度,  $\gamma$ :反射率

$\partial D_u$ : Dirichlet境界条件,  $\partial D_q$ : Neumann境界条件

### 初期条件

$$u(\mathbf{x}, 0) = 0 \text{ in } D$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}(\mathbf{x}, 0) = 0 \text{ in } D$$

## 数値解析と可聴化

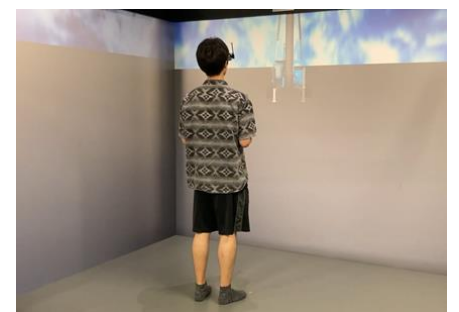
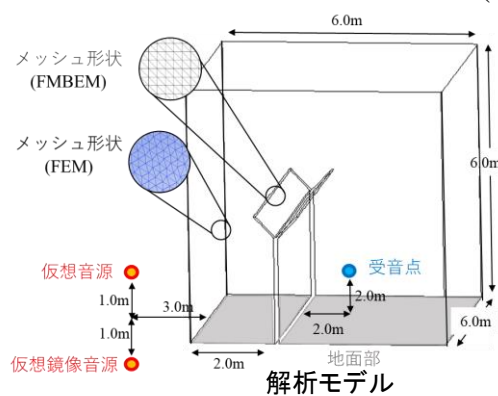
インパルス応答解析に基づく遮音壁周辺の解析を行った。また、受信点における解析結果に実音源(杭打機音)を畳み込み、可聴化した結果とVR装置から得られる測定値との比較を行った。

### <解析結果>

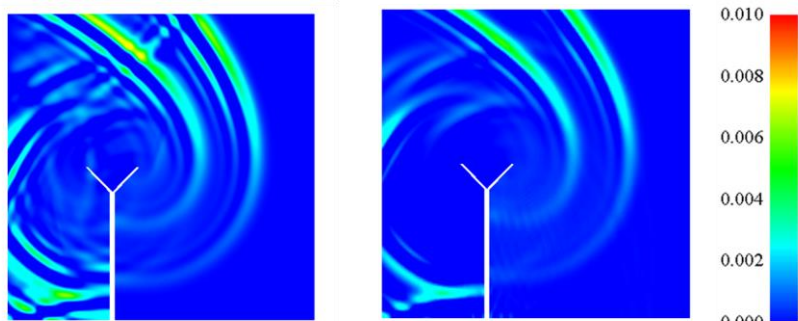
- ・FEMは数値振動が多い
- ・FEMは計算コストの点でFMBEMより優れる

### <可聴化結果>

- ・可聴化結果とVR空間内での測定値は良い一致を示す
- ・手法の違いによる可聴化結果の差はほぼ見られない



没入型VR装置(Holostage)



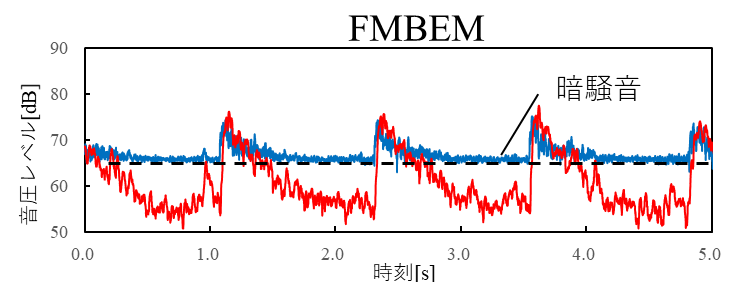
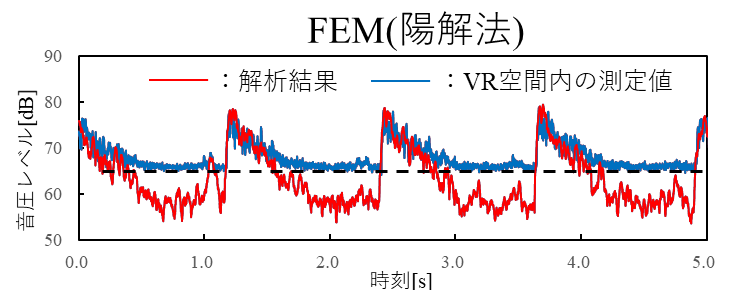
FEM(陽解法)

FMBEM

インパルス波の音圧分布

		計算時間	解析モデル 使用メモリ[GB]	計算使用メモリ[GB]
完全反射	FEM	8.5分	7.55	39.0
	FMBEM[境界値計算]	1時間28分	0.07	73.4
任意反射	FEM	13.9分	7.55	48.6
	FMBEM[境界値計算]	20時間56分	0.07	77.9

計算時間・使用メモリ



解析結果とVR空間内の測定値との比較

## おわりに

### ○結論

- ・FMBEMと比較して計算時間と使用メモリ点で優れる
- ・可聴化結果と測定値は良い一致を示した
- ・可聴化結果において、FMBEMとほぼ同様な結果が得られた

### ○今後の課題

- ・陰解法を使用した解析, 開空間処理方法の変更
- ・移動音源の考慮