# 境界要素法を用いた騒音シミュレーションにおける遮音壁形状の影響の検討

# 1. はじめに

騒音とは人にとって不快な音のことであり,深刻化する と身体的,精神的な被害に発展する恐れがあるため,騒音 の発生を事前に予測することは重要であるといえる.近年, コンピュータ技術の向上に伴い,騒音の評価には,波動音響 理論や幾何音響理論に基づく数値シミュレーションが広く 用いられている.本研究では,高精度なシミュレーション が可能な,波動音響理論に基づく音場解析を行う.著者ら は,外部問題に適している境界要素法<sup>1)</sup>に着目して,時間域 高速多重極境界要素法を用いた音場解析手法の構築を行っ てきた<sup>2)</sup>.

そこで,本研究では,複雑な形状の遮音壁を有する3次 元非定常の音場解析を行い,遮音壁の先端形状の差異によ る影響を検討した.

### 2. 境界要素法による音場解析

本研究で取り扱う3次元非定常波動問題の外部問題の支 配方程式および,境界条件,初期条件を以下に示す.

支配方程式:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x_i \partial x_i}(\boldsymbol{x}, t) - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u}{\partial^2 t}(\boldsymbol{x}, t) = 0 ,$$
  
$$\boldsymbol{x} \text{ in } D , t > 0$$
(1)

境界条件:

$$\frac{\partial u}{\partial n}(\boldsymbol{x},t) = \overline{q}(\boldsymbol{x},t)$$
,  $\boldsymbol{x}$  on  $\partial D, t > 0$  (2)

$$u(\boldsymbol{x},t) = u_{\rm in}(\boldsymbol{x},t), \qquad |\boldsymbol{x}| \quad \infty$$
 (3)

初期条件:

 $u(x,t) = u_0(x)$ , x in D, t = 0 (4)

$$\frac{\partial u}{\partial t}(\boldsymbol{x},t) = v_0(\boldsymbol{x})$$
,  $\boldsymbol{x}$  in  $D, t = 0$  (5)

ここに,D,  $\partial D$  はそれぞれ解析領域と,その境界を表し,uは音圧,n は解析領域からの外向き法線ベクトル, $u_{in}$  は入 射波を示す.

続いて,式(1)に対応する境界積分方程式を以下に示す. 境界積分方程式:

$$\frac{1}{2}u(\boldsymbol{x},t) = \int_{0}^{t} \int_{\partial D} \Gamma(\boldsymbol{x}-\boldsymbol{y},t-s) \frac{\partial u}{\partial n}(\boldsymbol{y},s) dS ds$$
$$-\int_{0}^{t} \int_{\partial D} \frac{\partial \Gamma}{\partial n}(\boldsymbol{x}-\boldsymbol{y},t-s)u(\boldsymbol{y},s) dS ds + u_{\rm in}(\boldsymbol{x},t) ,$$
$$\boldsymbol{x} \text{ on } \partial D \qquad (6)$$

ここに, Γは3次元波動方程式の基本解であり次式で表される.

中央大学	学生員	庄子	諒
京都大学大学院	正会員	吉川	仁
中央大学大学院	学生員	今井	啓太
中央大学	正会昌	椒山	和里



図-1 直立型の解析モデル



図-2 先端改良型の解析モデル

$$\Gamma(\boldsymbol{x} - \boldsymbol{y}, t - s) = \frac{\delta\left((t - s) - \frac{|\boldsymbol{x} - \boldsymbol{y}|}{c}\right)}{4\pi |\boldsymbol{x} - \boldsymbol{y}|}$$
(7)

ここに, c は波速,  $\delta$  は Dirac のデルタ関数を表す. 式(6)を離散化し,境界上でのu, $\frac{\partial u}{\partial n}$ を時間域の高速多重 極法を用いて求め,それらを以下の式に代入することにより,領域内の任意の点での音圧uを求める.

$$u(\boldsymbol{x},t) = \int_{0}^{t} \int_{\partial D} \Gamma(\boldsymbol{x}-\boldsymbol{y},t-s) \frac{\partial u}{\partial n}(\boldsymbol{y},s) dS ds$$
$$-\int_{0}^{t} \int_{\partial D} \frac{\partial \Gamma}{\partial n}(\boldsymbol{x}-\boldsymbol{y},t-s) u(\boldsymbol{y},s) dS ds + u_{\rm in}(\boldsymbol{x},t) ,$$
$$\boldsymbol{x} \text{ in } D \qquad (8)$$

## 3. 数值解析例

(1) 解析条件

今回の解析に用いる解析モデルを図 - 1,図 - 2に示す. 図 - 1は先端のフラットな遮音壁のモデル(以下,直立型) であり,図 - 2は先端改良型の遮音壁の一つである,マッ シュルーム型のノイズリデューサーを装着した遮音壁<sup>3)</sup>の モデル(以下,先端改良型)である.両モデルとも,壁面上 の要素分割幅は0.022mとする.音速,時間増分はそれぞ れ,340m/s,0.0667msとし,壁面の境界条件は完全反射と し,斉次初期条件を課す.

キーワード: 境界要素法,音響,遮音壁





図-4 時刻 t = 0.0182091sの壁面の音圧分布



図-5 時刻 *t* = 0.02001s, *x* = 0の断面の音圧分布 (直立型)



図 - 6 時刻 t = 0.0210s, x = 0の断面の音圧分布 (先端改良型)

図-3に示すように,高さ0mから15mまで,0.2m間 隔で受音点を配置する.クロネッカーのデルタに基づく単 位インパルスを図中の点音源からの入射波とし,各受音点 での応答に対して音のデータを畳み込み,その結果を直立 型の場合と先端改良型の場合で比較する.畳み込みに使用 する音は,杭打機の音である.

### (2) 解析結果

各遮音壁に対し,インパルスを伝播させたときの壁面上 での音圧分布(時刻t = 0.0182091s)を図-4に示す.ただ し,左の図が直立型,右の図が先端改良型である.両者を比 較すると,先端改良型の遮音壁では,複雑な反射が生じて いることが確認できる.また,遮音壁の中心を通るx = 0の断面上での音圧分布(時刻t = 0.02001s)を図-5,図-6に示す.図-5,図-6を比較すると,先端改良型の遮音 壁では,その先端形状により,同心円状に音波が拡散され



図-7 受音点の高さと音圧レベルの関係



図-8 周波数分析:高さ 1.6m

ている様子が確認できる.

続いて,各受音点でのインパルスに対する応答に音源デー タを畳み込み,遮音効果の比較を行う.縦軸を受音点の高 さ,横軸を音圧レベルとし,それぞれの受音点における音圧 レベルの最大値をプロットしたグラフを図-7に示す.ま た,高さ1.6mの受音点での結果について,周波数分析を施 した結果を図-8に示す.

図-7,図-8から分かるように,今回の解析条件では, 遮音壁形状による減音効果に有意な差は確認できなかった. これは,要素分割幅が0.022mではメッシュが粗く,高周波 成分の挙動を十分に捉えることができなかったことが原因 であると考えられる.そのため,今後はさらに解像度を高 めたメッシュでの解析を行うことを予定している.

#### 4. おわりに

本研究では,複雑な形状の遮音壁を有する3次元非定常 の音場解析において,遮音壁の先端形状の差異による影響 の検討を行ったが,今回の解析条件において,遮音壁形状の 違いによる減音効果の差は確認できなかった.これはメッ シュの解像度不足が原因であると考えられる.

今後はより細かいメッシュを用いて解析を行い,先端形 状の効果の検討を行う予定である.

#### 参考文献

- 1)小林昭一: 波動解析と境界要素法,京都大学学術出版会, pp.37-38, 2000.
- 2) 岡村理一郎,吉川仁,高橋徹,高木貴弘,樫山和男:安定化手 法を用いた時間域多重極境界要素法に基づく道路交通騒音解析 とその可聴化システム,土木学会論文集A2(応用力学),土木 学会,Vol.72,2016.
- 注野豊,落合博明,高木興一:遮音壁の形状と厚さについての境界要素法による減音効果の考察,騒音制御,Vol.22, No.5(1998), pp.288-298.