

吸音壁を考慮したセルオートマトン法を用いた騒音伝搬解析

環境防災研究室 永井 大和

指導教官 宮木 康幸

1 はじめに

現在行われているセルオートマトン法（以下 CA 法）を用いた騒音伝搬解析は、完全反射壁を対象としているものである。また、近年施工されている騒音対策例として、排水性舗装や吸音材料の使用が挙げられる。しかし、完全反射壁だけでは CA 法を用いて実現象の表現を行うことは不可能であり、吸音性を考慮できる解析が必要となっている。そこで、本研究では、複雑系の解析手法として注目されている CA 法を用いて吸音性壁面のモデル化を行った。

2 研究の目的

本研究では、CA 法において遮音壁の吸音性を考慮した定式化を行うことを目的とする。まず、CA 法によって得られる完全反射面での計算解の精度を検証するために、2次元における音場にて、虚像法によって得られる値との比較を行う。その後、音響数値解析小委員会の提唱する「Benchmark Platform」モデルを用いて CA 法の計算を行い、解析解および境界要素法との比較・検討を行う。そして、吸音性壁面の定式化を行い、得られる音圧レベルについて、虚像法との比較・検討を行う。

3 CA法

CA 法は計算対象をセルと称する均一な大きさの区分領域に分割し、各セル上に定義された離散的な状態量を近傍のセル間の相互作用を表わす局所近傍則によって、離散的時間を追って状態量を推移させる現象のモデル化手法である。2次元騒音伝搬解析へ適用する場合、計算領域は伝搬方向によって伝搬速度が変わらないように正方形のセルに分割する。セルの状態は媒質セル、壁セル、音源セルを設定する。注目セルの状態量の算出に用いるセルはノイマン近傍を定義する。

4 局所近傍則

媒質セルの局所近傍則は、 P を音圧、 G を時間変化量とすると、

$$P(x, t+1) = P(x, t) + G(x, t+1) \quad (1)$$

$$G(x, t+1) = G(x, t) + N \cdot c_{CA}^2 \left\{ \sum_a \frac{P(x + dx_a, t)}{N} - P(x, t) \right\} \quad (2)$$

であり、近傍セルが壁の場合は

$$P(x + dx_a, t+1) = P_{\text{wall}} = P_{\text{notice}} \quad (3)$$

に従うものとする。

5 完全反射時における比較

完全反射壁の場合において、図1のような CA モデルを用いて CA 法の計算解と虚像法の解を比較する。図2に500Hzにおける計算結果を示す。この結果より、直接波と反射波の重ね合わせが表現されていることが確認できた。

6 Benchmark Platform による比較

音響数値解析小委員会の提唱する Benchmark モデル(図3)を用いて、各受音点において遮音壁の設置前と設置後による減衰量の比較を行った。比較対象として用いた手法は、解析解と境界要素法(以下 BEM)である。R3における計算結果を図4に示す。図からわかるように、CA 法でも周波数特性によって生ずる大きな減衰量を表現でき、さらに解析解や BEM と同様の精度が得られることがわかった。他の受音点では、減衰量に周波数特性が見られなかったが、解析解および BEM と比較した結果は、ほぼ同様の精度が得られた。

7 吸音性壁面のモデル化

吸音性を考慮する場合、音圧反射係数 r と反射時に発生する位相差 δ を考慮しなければならない。吸音率 α を既知としてノーマル音響インピーダンスを

$$Z_n = \rho c (R_n + X_n) \quad (4)$$

と決定すると、 r および δ は

$$\alpha = \sqrt{1 - r^2} \quad (5)$$

$$\delta = \tan^{-1} \left(\frac{2X_n}{R_n^2 - 1 + X_n^2} \right) \quad (6)$$

で表される。

近傍セルが吸音性材料の場合の局所近傍則は、

$$P(x, t + l) = r \{ P(x, t + G(x, t + l)) \} \cos \delta \quad (7)$$

とする。

8 吸音性壁面を考慮した解析結果

図1における完全反射壁を吸音性材料と想定したCAモデルを用いて、虚像法を用いて得られた値と比較・検討を行った。また、吸音材料の表面は垂直毛細管の集合したようなスリット構造を持つ材料を想定し、吸音率には垂直入射吸音率を用いてノーマル音響インピーダンスを決定した。1000Hzにおいて吸音率が0.5の場合の計算結果を図5に示す。結果より、CA法でうまく表現できていないことがわかる。反射波を表す理論式は、

$$r \cos(\omega t - \delta) = r \cos \omega t \cos \delta + r \sin \omega t \sin \delta$$

で表されるが、(7)式では余弦波分しか考慮されていない。そこで、(7)式で位相差を正弦波で計算した結果を考慮して図5を補正した結果を図6に示す。これにより虚像法の解とCA法の計算解がほぼ一致することが確認できた。しかし、吸音率が0.6を超えると、CA法の計算解と虚像法に大きな差がみられるようになるため、さらに検討が必要であると考えられる。

9 まとめ

CA法を用いて騒音伝搬解析を行うことによって、CA法の計算解が解析解およびBEMと同等の精度であることがわかった。また、特定周波数において、吸音率が0.6の場合においてスリット構造を想定した吸音性材料のモデル化を行うことができた。

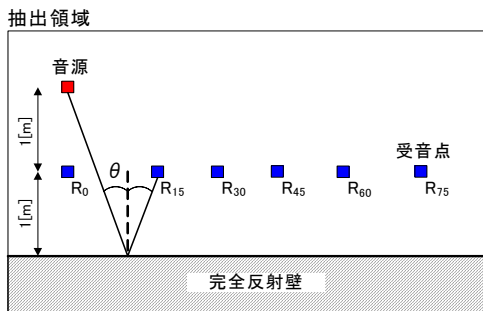


図1 完全反射を考慮したCAモデル

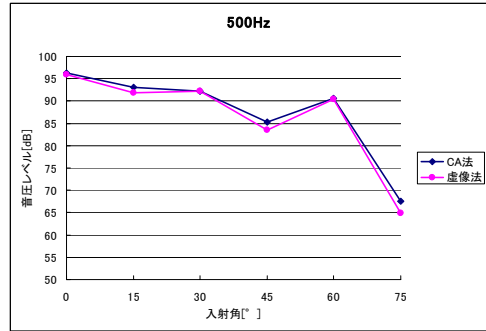


図2 完全反射による比較(500Hz)

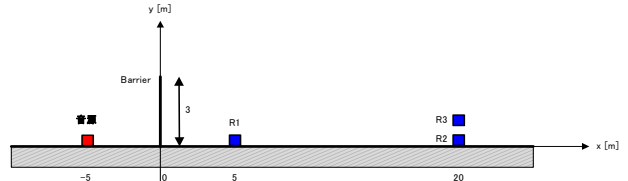


図3 Benchmarkモデル

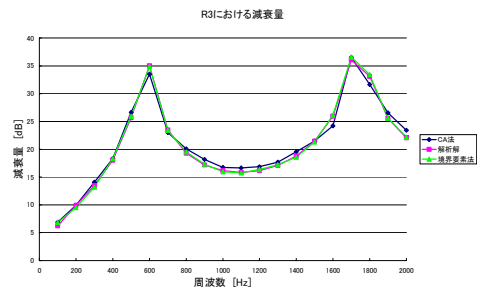


図4 解析解・BEM・CA法の比較(減衰量)

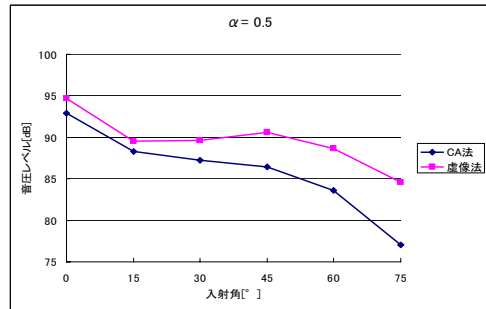


図5 虚像法とCA法の比較(吸音率: 0.5)

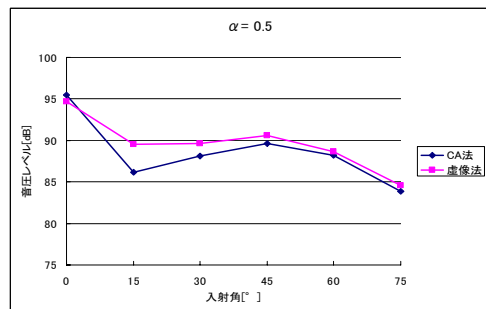


図6 補正後の虚像法とCA法の比較(吸音率: 0.5)