

セルオートマトン法による 3 次元騒音伝搬解析

ジェイアール東日本ビルテック (株) 正会員 山崎 翔太

1.はじめに

1-1.研究背景

騒音対策における遮音壁設計を効率的に進めるためには、精度の高いシミュレーション技術が必要不可欠である。そこで、複雑系の解析手法として有力視されているセルオートマトン法(以下 CA 法)を用いて騒音伝搬解析を行い、その精度について検証を行ってきた。しかし、解析領域が 2 次元であったため、実用上の騒音伝搬解析には適用できない点がいくつか挙げられる。

①遮音壁の効果を予測する際に、遮音壁は有限長であり、壁の長さを考慮することは重要となる。2 次元空間では壁が奥行き方向に無限に伸びたモデルの計算を行っていることになるため、音の回り込みを表現できず、遮音効果を過大評価することになってしまう。

②交通騒音の主な騒音源である自動車や新幹線は有限長遮音壁に対して平行に移動しており、移動速度に伴いドップラー効果によって騒音源の周波数が伝播中に変化してしまう。これらの効果を考慮しないと遮音壁の効果が正確なものとならず、2 次元領域ではそれらが表現できなかった。

③回折による遮音効果の低下や騒音の増大に対し、遮音壁を高くすることで対処してきた。しかし、遮音壁を高くすることで、壁面の面積が増大し、風圧荷重の影響が大きくなってしまふ。そこで、遮音壁にスリットを入れて、風を逸らす工夫などが考えられる。しかし、このような特殊な遮音壁に対しても奥行きを考慮した 3 次元領域での解析が必要となる。

1-2.研究目的

本研究では、前述した問題に対し、CA 法を用いた騒音伝搬解析において実用上使用可能なモデルに近づけるために、3 次元音場での解析手法を構築し、妥当性の検証を行った。また、3 次元領域での解析を可能としたところで、遮音壁の配置や音源の移動速度等の各種条件を変化させ、効果的な遮音壁の提案を行った。

2.セルオートマトン法(CA 法)

2-1.概念

CA 法は、図 - 1 に示すように計算対象となる領域をセルと呼ばれる要素に分割する。真ん中の注目セルとその周りの近傍セル間に局所的な関係式を定義し、領域全体へ適用すると共に時間を追って計算を行い、状態量を求めていく手法である。3 次元 CA 法においては、立方体のセルを積み上げることで領域を形成していき、前後上下左右の 6 セルを近傍セルとする。

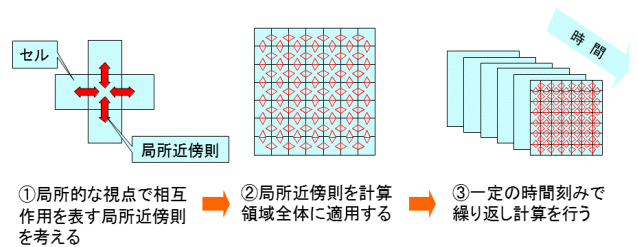


図 - 1 セルオートマトン法

2-2.音圧値 P, 時間変化量 G の求め方

音圧値 $P[\text{Pa}]$ と時間変化量 $G[\text{Pa}]$ は式(1), (2)より求める。各パラメータとして N は近傍セル数(3 次元ノイマン近傍においては $N=6$)、 C_{ca} は伝搬速度(3 次元では $C_{ca} \leq 1/\sqrt{3}$)、 x は近傍セルの位置、 t は時間ステップ、添字 a は近傍セルを表している。 m は差分法における差分スキームを表したパラメータであり、次元に関わらず 2 であるとする。

・ 時間変化量 G

$$G(x, t+1) = G(x, t) + m \left\{ \frac{\sum_{a=1}^N P(x + dx_a, t)}{N} - P(x, t) \right\} \quad \text{式(1)}$$

・ 音圧 P

$$P(x, t+1) = P(x, t) + G(x, t+1) \quad \text{式(2)}$$

近傍セルが壁の場合は式(3)に従う。

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

ここで、添字 wall は壁の近傍セル、添字 notice は注目セルを表す。

3.3 次元 CA モデルの妥当性の検証

3-1.解析方法

3次元CAモデルの妥当性を検証するために、木戸(2008, 長岡技大)が行った屋外実験に対応した3次元CAモデルを作成し、実環境での騒音伝搬解析が表現できているかを調べることにした。セル幅を0.04[m]として、図-2に示すような解析領域を作成し、音源と受音点の間に壁を設置して回折減衰量を算出した。さらに、3次元CAモデルの有用性の比較を目的として、2次元CAモデルでの解析も行うことにした。

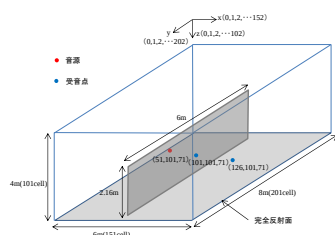


図-2 解析対象

3-2.計算結果と考察

測定値とCA法による計算値はケースによって精度に差異が見られることが分かった。図-3に示すように高周波数(2000Hz)においては、減衰量自体の誤差は見られるものの、受音点における音圧値の大きさの傾向は反映できていると言える。これらの誤差は、セル幅が粗かったことが原因の一つと考えられる。また、図-4に示すように低周波数(500Hz)では概ね測定値に近い結果を得ていることが分かる。計算値のほとんどのケースにおいて、2次元CAモデルよりも3次元CAモデルの値のほうが低く、測定値に近づいている。これらは、2次元CAモデルでは表現できなかった壁の横からの音の回り込みが反映できた結果と言える。

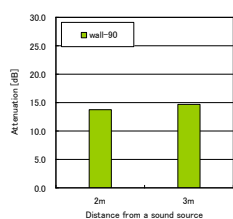


図-3(a) 測定値

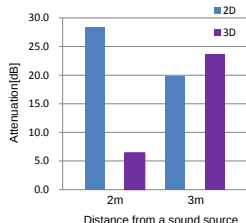


図-3(b) CA法

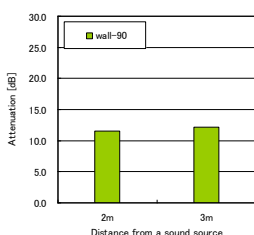


図-4(a) 測定値

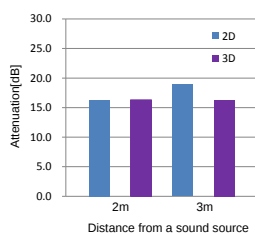


図-4(b) CA法

4.効果的なスリット型遮音壁の提案

4-1.解析方法

3次元半自由音場を想定し、図-5に示す解析領域を対象に、スリット型の遮音壁を配置させた場合や音源が移動する場合など様々な条件を変化させた際の回折減衰量の比較を行った。その中で、設定した受音点が音の回折や干渉の影響により大きく影響してくることが予想される。それらの諸現象による差異を除くために受音点は1点ではなく、複数の点の実効値を採って評価した。そこで、図-5の青色で示す箱形の領域内のセル全てを受音点とし、回折減衰量を算出した。

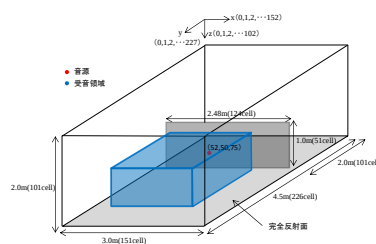


図-5 解析対象

4-2.計算結果と考察

本解析方法(セル幅 0.02m, 受音点として複数の点を採って受音領域を形成)においては、遮音壁として同一の面積であるという条件のもとで、高さ方向にスリットを導入した遮音壁に対し、横方向にスリットを設置した遮音壁の方が遮音効果が見られた。また、横方向のスリット面積を固定してスリット間隔を狭くし、複数設置することで一層高い効果が得られることが分かった。このことから、一般的に遮音性が劣ると言われる横方向スリットに関しても設置方法を考慮することで遮音壁として効果が期待できることが分かった。

5.おわりに

本研究では、3次元CAモデルを構築し、計算値と実測値との比較により妥当性を示した。また、スリット型遮音壁の遮音効果を確認し、本解析方法では、横方向スリットを設置した遮音壁が風圧荷重と遮音の面でも設置方法によって有効であることが分かった。今後の課題として解析領域の拡大により更なる実用性の向上が期待できる。

参考文献

富樫孝介：セルオートマトン法による騒音伝搬解析手法の開発とその検証，長岡技術科学大学大学院工学研究科博士論文，2010