

セルオートマトン法による騒音伝搬解析手法への無限境界の導入

環境防災研究室 中田 和良

指導教官 宮木 康幸

1. はじめに

1.1 これまでの研究

騒音は日常生活に密接な関係があり、関心の高い環境問題の一つである。この問題を解決するため、騒音の発生源に対する個別の騒音伝搬解析や騒音制御技術の開発が盛んに行われている。しかし汎用性を持った騒音伝搬予測技術はあまり開発されていない。そこで、これまで、セルオートマトン(CA)法による騒音伝搬解析手法の研究が行われ、2次元音場において十分な解析精度を有していることがわかった。しかし、2次元音場に対して無限境界の定式化が手付かずとなっていた。このため解析では計算領域を広くとり、反射の影響を受けない範囲を抽出することにより、この抽出領域内で解析を行っていた。境界部で反射波が発生する様子を図1に示す。(a)は解析領域境界部で反射が起きない場合、(b)は反射が発生した場合の様子である。

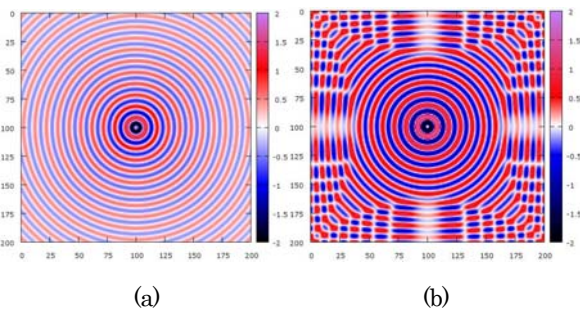


図1 反射の影響

1.2 本研究の目的

本研究では、これまで手が付けられてこなかった2次元CAモデルへの無限境界の導入を目的とする。研究の手順としてCA法の計算規則に境界に関する定義を追加し、その定義に対応する境界条件を作成する。そして、境界条件として無限境界を導入した2次元CAモデルを作成し、既存の手法と比較することによりその妥当性の検証する。

2. CA法

2.1 局所近傍則

本研究では、CA法の計算規則である局所近傍則に新たな定義として、境界セルを追加した。境界セルは、境界条件を付加す

るために境界部に配置するセルである。局所近傍則として定義するセルは、このほかに媒質セル、壁セル、音源セルがある。この中の媒質セルを音波の伝搬計算に用いる。媒質セルの局所近傍則を定式化したものを式(1)、(2)に示す。

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

$$P(x,t) = P(x,t-1) + G(x,t) \quad (2)$$

ここで、Pは音圧、Gは音圧の時間変化量、Nは近傍数(2次元ノイマン近傍においてはN=4である。)、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。

2.2 距離減衰式法

本手法では次のことに注目した。

境界セルに境界部における正確な音圧値を代入することが出来れば、反射波を発生させず無限境界とすることが可能なはずである。そこで、境界セルの音圧を音源からの距離と伝搬時間から理論的に求め代入する距離減衰式法を考案した。この手法は、反射や回折の影響を受けない自由音場なら、理論的に音圧値の計算が可能であり無限境界にできると考えられる。

距離減衰式法では、式(3)に示すように音源と境界セルの間の距離dから距離減衰式を用いて境界部音圧レベル $L_{inf}[dB]$ を求める。

$$L_{inf} = L_w - 8 - 10 \log_{10} d \quad (3)$$

ここで、 $L_w[dB]$ は音源音圧レベルである。

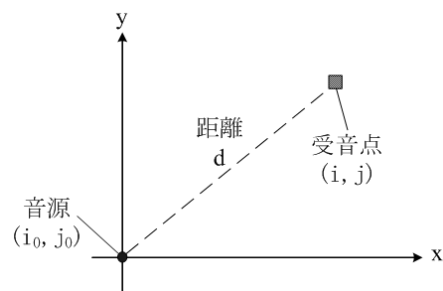


図2 距離減衰式法

2.3 近似値代入法

距離減衰式法は、自由音場以外では適用できない。

このことから、複雑な音場にも対応可能かつ、CAモデルの解析精度を維持できる境界条件として考えたのが近似値代入法である。

近似値代入法は1次元音響管解析の開管の境界条件の理論を時間ステップによる伝搬を考慮するように改良し、2次元音場に適用する手法である。1次元音響管のように音波が減衰しない場合、CA法において境界に時間ステップ $t-1$ の音圧値を時間ステップ t の音圧値として代入すると、無限境界が実現できる。そこで、2次元音場においても同様な考え方を取ることが可能ではないかと考えた。音波が1セル伝搬するとき、セル幅分の減衰をするが、音源からの距離が確保されていれば、その減衰量は微小であると考えられる。このため、1つ前の時間ステップにおいて境界セルの1つ前に存在するセルの音圧値を次の時間ステップで境界セルに近似値として代入しても影響は少ないと考えた。

近似値代入法では、ある時間ステップ $t-1$ における媒質セルの音圧値を、次の時間ステップ t において境界セルの音圧値として代入する。

近似値代入法での境界セルにおける音圧値 P^t は、式(4)となる。

$$P^t = P^{t-1} \quad (4)$$

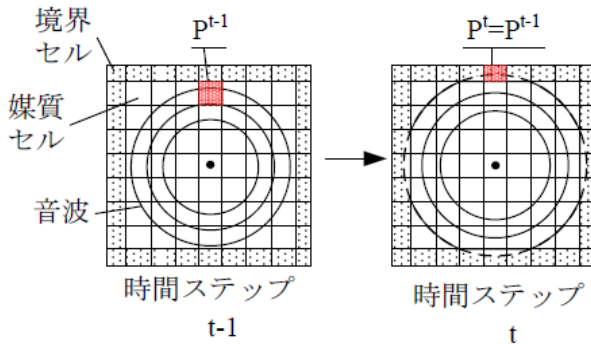


図3 近似値代入法

3. CA法への無限境界の導入

CA法への無限境界の導入の検証のために、無限境界モデルを用いて2次元自由音場および、壁を考慮した音場における解析を行った。これまでの研究成果より、既往のCAモデルの解析精度は、抽出領域に計算領域端からの反射波の影響が及ばないという条件であれば十分に信頼できる。よって、無限境界モデルの解析結果を比較する対象として、計算領域を十分広く取ったモデルを使用し、その抽出領域は無限境界モデルの解析領域と等しくする。(基準モデル)

3.1 自由音場における無限境界の導入

自由音場を想定した解析の結果を図4に示す。(a)は基準モデル、(b)は距離減衰式法、(c)は近似値代入法を適用した無限境界モデルである。解析にあたり、音源は領域中央に配置した。また、このとき基準モデルの計算領域は抽出領域の25倍である。また、図5および図6に音源から水平方向に1m離れた受音点における基準モデルと距離減衰式法の音圧値の比較を示す。図7および図8に同じ受音点における基準モデルと近似値代入法の音圧値の比較を示す。

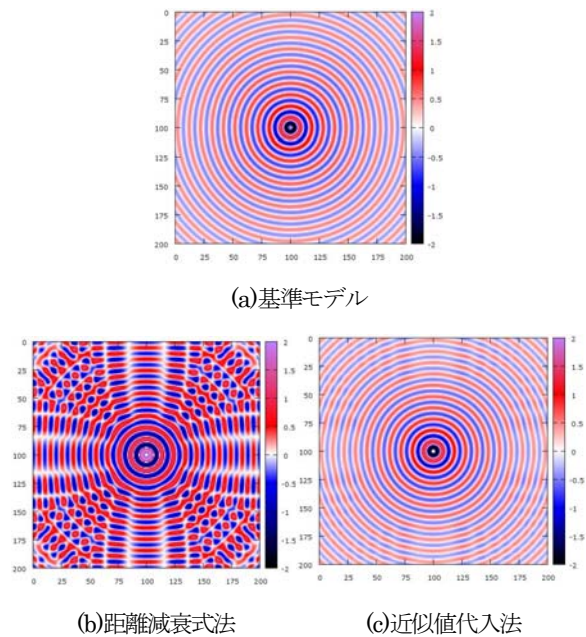


図4 自由音場における無限境界

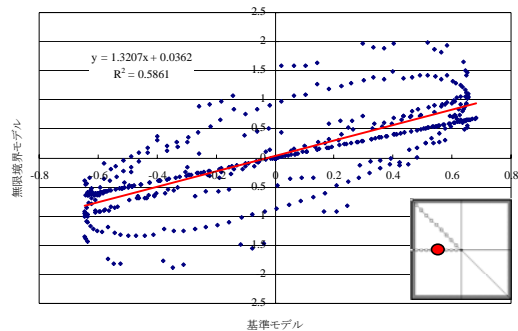


図5 基準モデルと距離減衰式法

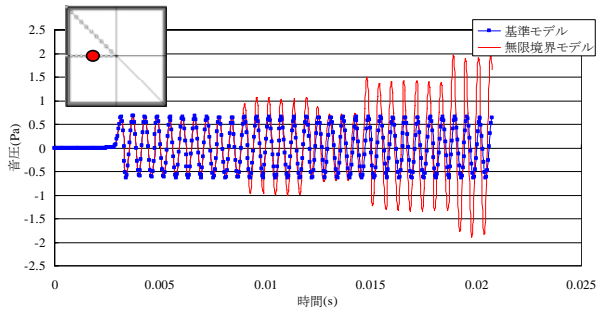


図6 音圧値の経時変化

図3より、距離減衰式法では反射波が発生してしまうことが分かった。一方近似値代入法では音圧分布にわずかに乱れが見られるものの、分布の形状は基準モデルとほぼ一致していることがわかる。図6より、反射波の影響が見られ反射波の発生が確認できる。

以上より、境界条件として距離減衰式法を適用した場合、無限境界とならないことがわかった。

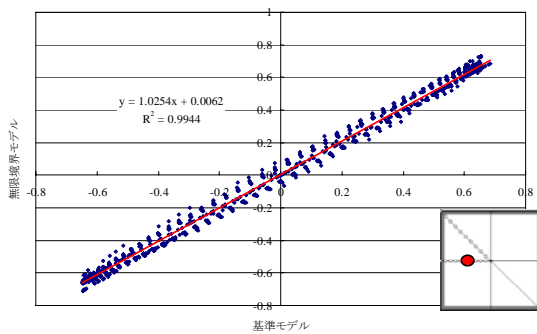


図7 基準モデルと近似値代入法

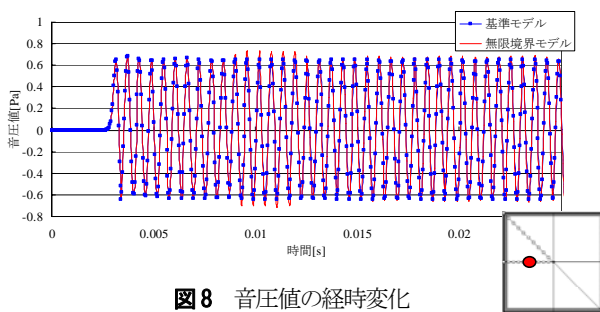


図8 音圧値の経時変化

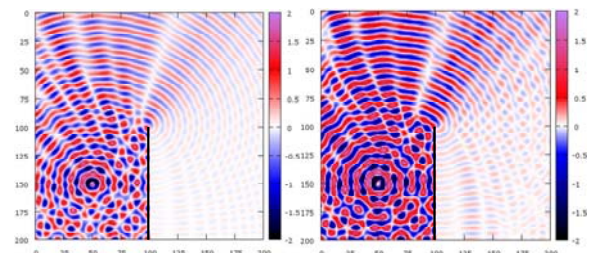
また、図7および図8より、近似値代入法を適用した無限境界モデルは、基準モデルと非常によく一致していることがわかる。

以上より、境界条件として近似値代入法を用いれば無限境界として有効であることがわかる。

3.2 壁を考慮した音場における無限境界の導入

無限境界モデルが壁のような障害物がある空間においても有効かを検討した。これは、防音壁の効果を予測するような場合に利用でき、実用的なものである。本解析では領域の中央から下方向と底面に完全反射面の壁と床を配置し、壁の左側、床から1mの位置に音源を配置した。

解析結果より音圧値の分布を図9に示す。また、図10および図11に、壁の右側境界付近の受信点における基準モデルと無限境界モデルの音圧値の比較を示す。



(a)基準モデル (b)無限境界モデル

図9 壁を考慮した音場における無限境界

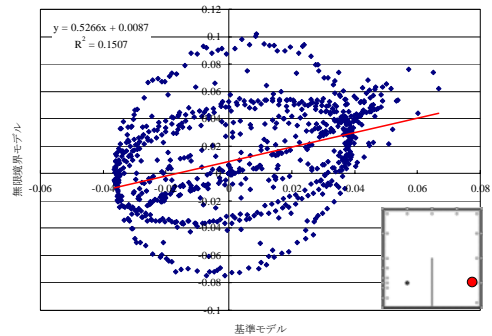


図10 基準モデルと無限境界モデル

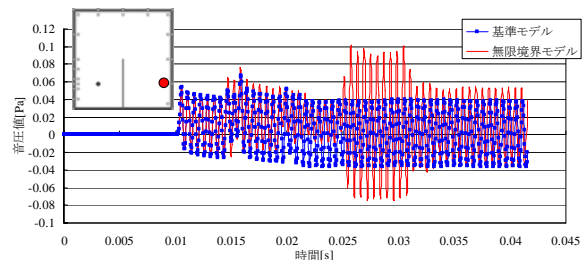


図11 音圧値の経時変化

図9より、無限境界モデルと基準モデルはほぼ一致している。また、図10では、基準モデルと無限境界モデルの音圧値にかなりばらつきが見られる。しかし、図11より境界部音圧値に近似値を使うことによる影響で波形が乱れているものの、時間ステッ

プを長くすると次第に基準モデルの音圧値とほぼ一致するようになることがわかる。

このことから無限境界モデルは壁を考慮した音場においても基準モデルと同等の精度の解析が有効であることがわかった。

4. 結論

自由音場において、距離減衰式法を適用した場合、反射の影響を消すことができず、有効ではないことがわかった。一方、近似値代入法を適用した場合、境界部における正確な音圧値ではないためわずかな反射波が見られるが、境界セルとその近傍セルの間のやり取りによって音圧値を代入するので、距離減衰式法のように伝搬速度の相違などを考慮する必要が無く容易に適用でき、基準モデルとほぼ同等の解析精度であり、実用上十分な精度で解析が可能である。

また、壁を考慮した音場においても基準モデルと同等の解析精度であることから、実用上有効である。

なお、本研究で行った解析において、無限境界の導入により記憶容量ではおよそ1/25、解析の所要時間ではおよそ1/10、に削減でき、記憶容量と計算時間の両面で有効であることがわかった。

5 今後の課題

今後の課題として、3次元化の検討、ムーア近傍の検討、そして吸音率・反射率の導入が挙げられる。以上の課題を達成することにより、本手法の汎用性・実用性の向上が期待できる。