

セルオートマトン法による騒音伝搬解析モデルの計算精度向上に関する検討

長岡技術科学大学大学院 学生会員 ○富樫 孝介
株式会社植木組 永井 大和
長岡技術科学大学 正会員 宮木 康幸

1. はじめに

筆者らはこれまでセルオートマトン(CA)法を用いた騒音伝搬解析について研究を行っており、音の諸現象との比較¹⁾や高架橋モデルへ適用²⁾し、実現象への適用が可能であることを明らかにしてきた。しかし、これまでのCA法による騒音伝搬モデル(CAモデル)は回折減衰量などの定性的な評価は可能であるが、実際の音圧値に関してはある程度の誤差があった。そこで、筆者らは計算精度の向上を目的とし、音源の入力方法について検討を行う。そして、計算結果を2次元自由音場における線音源の幾何減衰との比較を行う。

2. セルオートマトン法

2.1 基本条件

本研究においてはセルの形状を正方形とし、その単位セル幅を dx と定義する。セルは3つの状態量(種類, 音圧, 音圧の時間変化量)を持つ。セルの種類 S は整数型で-1,0,1の値を持ち、それぞれ、音源, 媒質(空気), 完全反射壁のセルであることを表す。音圧 P は、局所近傍則により計算される音圧値そのものを表す。音圧の時間変化量 G は、局所近傍則の計算に用いる音圧の時間変化量である。局所近傍則の適用範囲は注目したセルの上下左右の4セルを近傍とするノイマン近傍および斜め4方向を加えて8セルを近傍とするノイマン近傍を用いる。局所近傍則はセルの種類 S によって、それぞれ違う規則を適用する。

2.2 媒質セルおよび壁の局所近傍則

$S = 0$ のセルにおいては、以下の局所近傍則を用い、音圧 P および音圧の時間変化量 G を求める。

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

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

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

ここで、 P は音圧、 G は音圧の時間変化量、 N は近傍数($N = 4$)を表している。添字 x はセルの座標、添字 t は時間ステップ、添字 a は近傍セルを表している。 c_{CA} はCAにおける伝搬速度を表したものであり、 $c_{CA} \leq 1/\sqrt{2}$ である。

$S=1$ のセルは壁と判定し、壁表面で音波が完全反射するという前提から、壁内部の音圧値は変化しないものとみなして、音圧値の更新を行わない。

2.3 従来用いていた音源セルの局所近傍則

$S=0$ における音源セルの近傍則は、図1(a)のように音源のパワーレベル(L_w [dB])を定義し、それを直接音圧値に変換して余弦波の振幅として時間ステップごとに計算を行い直接代入する。式に表すと以下ようになる。

$$P(x, t+1) = (P_0 \times 10^{L_w/20}) \times \cos \omega(t+1) \cdots (4)$$

ここで、 P は音源セルの音圧値、 x はセルの位置、 t は時間ステップ、 P_0 は基準音圧 ($P_0 = 2.0 \times 10^{-5}$ [Pa])、 ω は角周波数である。

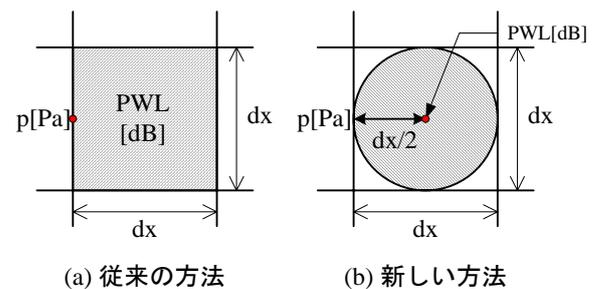


図 1: 音源の取り扱いの違い

2.4 新しい音源セルの局所近傍則

新しい音源セルの近傍則は、図1(b)のように音源がセルの中心にあると仮定し、音源から音源セル外周までの最短距離($d=dx/2$)における音圧レベルを距離減衰の式(式(5))から求め、それを音圧値に変換して余弦波の振幅として用い、時間ステップごとに計算を行い、直接代入することとした(式(6))。

キーワード 騒音, セルオートマトン法, 数値解析, 音源, 局所近傍則

連絡先 〒940-2135 新潟県長岡市上富岡町 1603-1, Phone: 0258-47-9609

$$L = L_w - 8 - 10 \log_{10} d \cdot \cdot \cdot (5)$$

$$P(x, t+1) = (P_0 \times 10^L) \times \cos \omega(t+1) \cdot \cdot \cdot (6)$$

ここで、L は音源セルの外側における音圧レベル[dB]である。

3. 数値計算および考察

2次元自由音場に点音源があるものと想定し、2. で示した CA モデルを用いて計算を行った。計算解は受音点における各時間ステップの音圧値に対して実効値をとり音圧レベルへと変換して求めた。解析解は式(5)で与えられる線音源による幾何減衰の式より求めた。

計算モデルは 4[m]×4[m]の計算領域を考え、計算の中央に音源を配置し、セル中央点間の距離で水平方向・鉛直方向に 0.2[m]ごと、斜め 45° 方向に約 0.282[m]ごとに受音点を配置した。計算条件は表 5-1 に示す。

表 1: 計算条件

抽出領域	x, y[m]	4.0(200[cell])
分割幅	dx[m]	0.02
時間ステップ	dt[sec]	4.15×10^{-5}
計算ステップ数		1000(0.0415[sec])
音速	c[m/s]	340
音源のパワーレベル L_w [dB]		112
音源周波数	f[Hz]	100~2000(100[Hz]刻み)

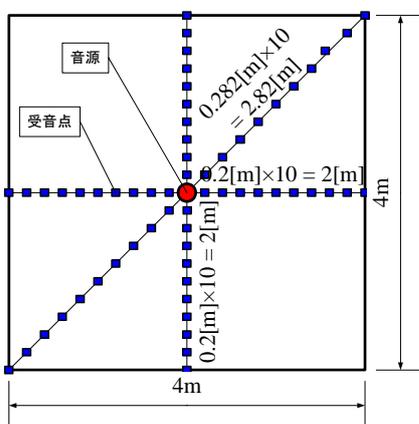


図 2: 計算モデル (音源, 受音点の配置図)

図 3,4 に音源周波数 1000[Hz]としたときの計算解と解析解を示す。これらの結果から、音源セルの取り扱いを変えたことでノイマン、ムーア両近傍を用いた計算解が解析解と同様の結果が得られたことがわかる。紙面の関係で示していないが、音源周波数 500~1200[Hz]においては同様に良好な結果が得られた。

音源周波数 400[Hz]以下の場合、計算解は解析解より大きくなる傾向が見られた。この結果は計算ステップ

内で得られた波数が少なく、正確な実効値が得られないことが原因だと考えられる。よって、騒音源の卓越周波数が 400[Hz]以下の計算を行う際には、計算ステップ数を増やす必要があることがわかった。逆に音源周波数 1300[Hz]以上の場合、セル幅をより小さくして計算を行う必要があることがわかった。

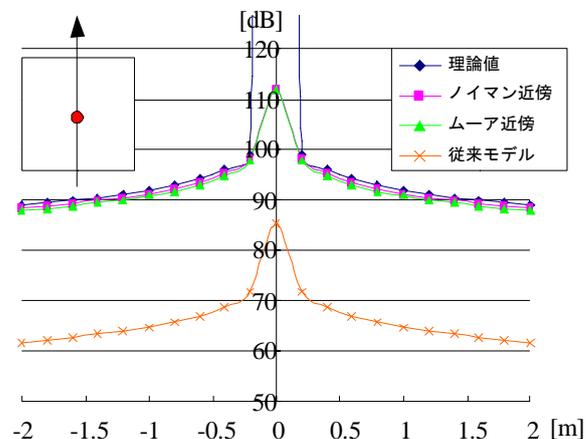


図 3: 鉛直方向の計算解と解析解との比較 (1000Hz)

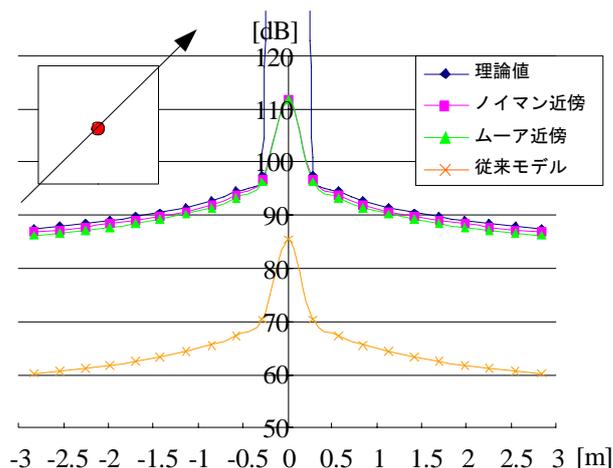


図 4: 斜め方向の計算解と解析解との比較 (1000Hz)

4. まとめ

新しい音源セルの近傍則を用いることで、CA 法による騒音伝搬解析の精度を高めることができた。

参考文献

- 1) 富樫孝介, 宮木康幸: セルオートマトン法を用いた 2次元騒音伝搬モデルの開発, 応用力学論文集 vol.9, pp305-314, 2006.
- 2) セルオートマトン法を用いた高架橋に設置された遮音壁の性能評価法に関する一考察: 永井大和, 富樫孝介, 木戸正太, 宮木康幸, 土木学会年次学術講演会講演概要集(CD-ROM), Vol.62, Disk 2, NO.7-179, 2007.