セルオートマトン法を用いた2次元騒音伝播モデルの開発

長岡技術科学大学 大学院 学生会員 ○ 富樫 孝介
長岡技術科学大学 大学院 学生会員 小野 泰和
長岡技術科学大学 環境・建設系 正会員 宮木 康幸

1. はじめに

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．現在，特定の騒音に対する騒音伝播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播予測技術の開発はあまり進められていない．そこで，本研究は汎用性をもった2次元騒音伝播予測モデルの開発を目的とする．本モデルの妥当性の検討に際しては，自由音場における距離減衰について理論値と比較を行い，また，半無限障壁の回折減衰について Fresnel–Kirchhoff の光の回折理論と前川の実験式の2つと比較を行う．

2. セルオートマトン法

CA 法は解析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ごく近傍のセル間に設けた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．

3. 理論

(1) 点音源からの距離減衰

3次元の自由空間中において，距離 d_1 の点で音圧レベル L_1[dB] であれば，距離 $d_2 = nd_1$ の点では

$$L_2 = L_1 - 20\log_{10}\frac{{d_2}^2}{{d_1}^2} = L_1 - 20\log_{10} n \quad [\mathrm{dB}] \quad (1)$$

となり，d が2倍になるごとに 6dB 減衰する．

(2) 線音源からの距離減衰

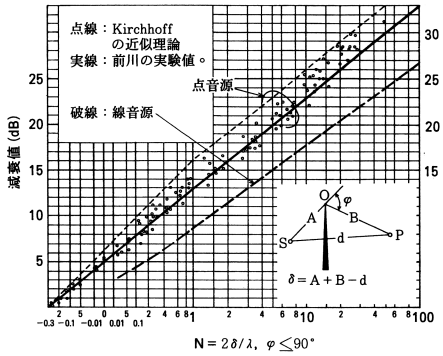
距離 d の点における音の強さのレベルは，単位長さ当たりの音源出力をパワーレベル L_w として，

$$L = L_w - 8 - 10\log_{10} d \quad [\mathrm{dB}] \qquad (2)$$

と表す，距離が2倍になるごとに 3dB の減衰をする

(3) 半無限障壁による回折減衰

野外において音源と受音点の間に十分大きい塀を立てると，音源側は壁による反射で音圧が上がるが，受音点側では影となって遮音効果が期待できる．この影の中の音圧レベルは，光の回折に関する Fresnel–Kirchhoff の近似理論やそれをもとに前川が実験的に修正した図（通称前川チャート，図–1）によって求めることができる．



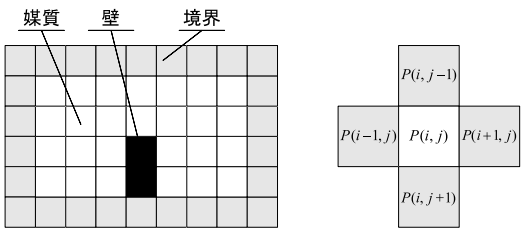
図–1 自由空間の薄い半無限障壁による減衰値

4. CA による音場のモデル化

2次元 CA を用いて音場のモデル化を試みる．

(1) 解析空間の設定

図–2(a) に示すように領域を正方形のセルで分割した．各セル上に状態量として，セルの状態を壁・媒質(空気)・解析境界の3種に区別する整数値 S を定義した．さらに壁でないセルに対して音圧 P およびその時間変化量 G を実数値で定義した．考慮すべき近傍セルは，図–2(b) のように近傍セルを上下左右にとるノイマン近傍を採用した．CA の計算においては空間および時間は離散的な整数値として扱うが，波動方程式との対応づけを行う必要がある．ここでは，単位セル幅を $dx = 0.01m$ と決め，波動の媒体を空気として音速を $c = 344m/s$ と定義した．時間ステップ $\mathrm{d}t$ は $\mathrm{d}x$ を用いて，$\mathrm{d}t = c_a \cdot \mathrm{d}x/c$ で求めることが出来る．



(a) 2次元自由音場の要素分割　(b) 近傍セルの定義

図–2 2次元自由音場の要素分割と近傍セル

キーワード: 騒音，数値解析，セルオートマトン法
連絡先: 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1, Phone: 0258-47-9609

(2) 局所近傍則

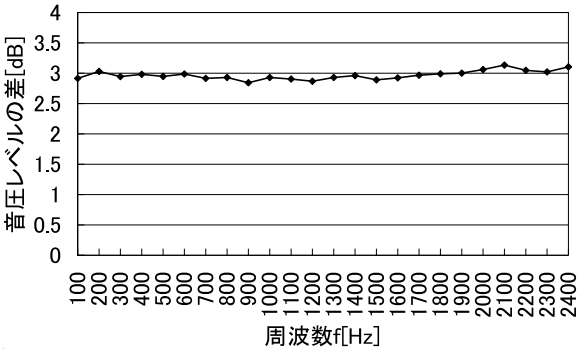
各セルに与える状態量としては前節に示すように，音圧 P と時間変化量 G を定義した．これらの状態量を計算ステップを追うごとに更新するための局所近傍則は，以下の法則に基づいて計算される．

1. 音圧 P の次の時間ステップにおける時間変化量 G は，注目セルと近傍セルとの音圧値の差から直接決定される．
2. 次の時間ステップにおける音圧値 P は，そのセルの現在の音圧値に上記の手順で求めた時間変化量 G を加算することで決定される．

5. 解析結果および考察

2 次元の自由音場に点音源が 1 つ存在する状態を想定して音場をモデル化し，解析を行った．

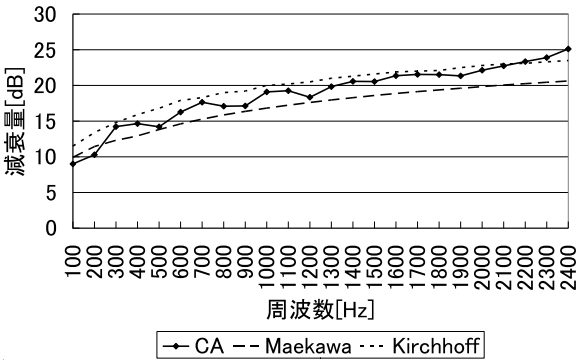
まず距離減衰の検討を行った．解析領域を縦・横 1000 セル，分割幅 $\mathrm{d}x, \mathrm{d}y = 0.02\mathrm{m}$ とし，音源をその中央に配置した．受音点は l=120[cell],$2l$=240[cell] と設定して解析を行った．音源の周波数を 100Hz から 2400Hz まで 100Hz 刻みで，l 地点と $2l$ 地点の距離減衰による音圧レベル差をプロットしたものが図–3 である．検討



図–3 距離 l と $2l$ の間の距離減衰量の比較

を行った 24 種の周波数において，平均で 2.97dB の減衰が見られた．これより本モデルは，3 次元自由音場における線音源の距離減衰を表現できたといえる．

次に半無限障壁の回折減衰の検討を行った．前川チャートによる回折減衰量は，壁の有無によって変化する受音点の音圧レベルの差を表している．これと同じ状況で CA を用いて解析を行った．解析領域は縦・横 100 セルとし，分割幅 $\mathrm{d}x, \mathrm{d}y = 0.02\mathrm{m}$ としてモデルを作成した．解析領域の右下部（(x,y)=(25,75)[cell]）に音源セルを配置し，受音点は壁セルを軸に音源と線対称（(x,y)=(75,75)[cell]）に配置した．近傍セルに壁セルが存在する場合，完全反射をするという仮定の下，その壁セルは注目セルと同じ音圧値をとるという形で壁セルに関する境界条件を決定した．解析は，はじめに壁セルを配置しないパターン（自由音場）で行った．次に解析領域の中央部（(x,y)=(50,50)[cell]）から下方（(x,y)=(50,100)[cell]）に壁セルを配置したパターン（半無限障壁）で解析を行った．そして 2 つの解析より得られた受音点の音圧レベルの差をとって得られた減衰量と前川の実験式および Fresnel–Kirchhoff の近似理論より算出した音圧レベルの差を音源の周波数を 100Hz から 2400Hz まで 100Hz 刻みで比較したのが図–4 である．CA による計算解はおおむね Fresnel–Kirchhoff の近似理論に近い値をとっていることがわかった．これは前川の実験は，本解析における下面の解析境界が地面となるため，そこで起こる反射が結果に含まれており，解析境界を半無限とした Fresnel–Kirchhoff の近似理論のほうが，本研究の解析モデルに近いためであると考えられる．



図–4 回折減衰量の比較

6. 結論

CA を用いることで 2 次元空間における騒音レベルの伝播予測ができるということがわかった．

参考文献

1) 小松崎 俊彦ら:セルラオートマトンによる波動伝播解析, Transactions of JSCES, No.19990017, 1999.
2) 加藤 恭義ら:セルオートマトン法 —複雑系の自己組織化と超並列処理—, 森北出版, 1998.
3) 佐藤 清雄:振動と波動, 初等物理シリーズ 2, 培風館, pp114–149, 1993.
4) 高見 穎郎, 河村 哲也:偏微分方程式の差分解法, 東京大学基礎工学双書, 東京大学出版会, pp1–74, 1994.
5) 前川 純一, 森本 政之, 阪上 公博:建築 · 環境音響学 第 2 版, 共立出版, 2000.
6) 前川 純一:障壁 (塀) の遮音設計に関する実験的研究, 日本音響学会誌, Vol.18 No.4 pp.187–196, 1962.
7) 前川 純一:有限障壁 (衝立) による騒音の回折—障壁 (塀) の遮音設計に関する実験的研究 第 2 報, 日本音響学会誌, Vol.21 No.1 pp.1–7, 1965.