

セルオートマトン法を用いた遮音壁近傍の騒音伝搬解析

環境防災研究室 木戸 正太

指導教官 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1つである。遮音壁は騒音を低下させるための対策としてよく用いられており、設置前に遮音効果の予測が必要となる。そこで、簡易的で汎用性を持った騒音伝搬予測ツールの開発を目的とし、複雑系の解析手法として注目されているセルオートマトン法（以下 CA 法）に着目した。その結果、2次元空間における騒音の伝搬予測が可能であることがわかった。

2 研究の目的

本研究では、CA 法を高架橋モデルへ適用し、高架橋に配置した遮音壁による宅地区域への効果の予測を行なうことを目的とする。まず、CA 法による2次元騒音伝搬予測の信頼性の確認および向上を図るために、CA 法を適用した計算モデル（以下 CA モデル）において音源と壁、複数の受音点を配置し、前川の実験曲線との比較を行なう。得られた結果より、音源・受音点・壁の位置関係および周波数の違いから得られる傾向についてまとめる。また、実験による実測値および簡易計算（前川の実験式）と CA 法による計算結果との比較を行なう。そして、高架橋を想定した計算モデルにおいて壁の頂点の高さを一定とし、宅地区域での回折減衰効果の違いについて検討する。

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（単位幅 dx ）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（近傍セル）はノイマン近傍（注目セルの上下左右4セル）を定義し、局所近傍則は以下の形で定義する。媒質セルの局所近傍則は、

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

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

であり、近傍セルが壁の場合は次式に従う。

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

音源セルにも局所近傍則を適用する。局所近傍則によって求められた音圧値に余弦波による音源音圧の変化量を強制的に加算することで音源の入力を行なった。

$$P_{max} = P_0 \times 10^{\frac{L_{max}}{20}} \quad (4)$$

$$P_s(t) = P_{max} \times \cos \omega t \quad (5)$$

$$P(x, t+1) = P(x, t) + G(x, t+1) + P_s(x, t) \quad (6)$$

P	: 音圧	N	: 近傍数
P_0	: 最小可聴音圧	wall	: 壁セル
G	: 音圧の時間変化量	notice	: 注目セル
L	: 音圧レベル	max	: 最大値
t	: 時間		
c_{CA}	: CA モデルにおける伝搬速度 ($c_{CA} \leq 1/\sqrt{2}$)		

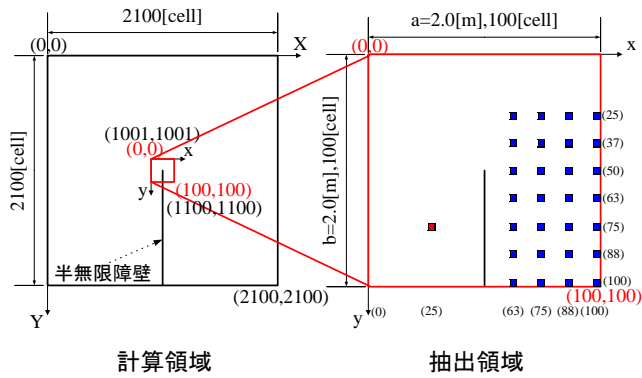


図1 CAモデル(前川チャートとの比較)

4 前川チャートとの比較

音源と受信点の間に壁を設けることによって、受信点側では回折減衰による遮音効果が期待できる。この回折減衰量は光の回折に関する Fresnel-Kirchhoff の光の近似理論（以下、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）によって求めることができる。

前川らの研究を参考に図1に示すようなCAモデルを作成し、前川の実験曲線との比較を行なった。CA法においては自由境界の定式化がなされていないため、求めたい領域（抽出領域）に計算境界からの反射波の影響が及ばないように抽出領域周囲にさらに計算領域を設定した。図1に示すように音源・受信点を配置し、抽出領域中心から下方に向けて半無限障壁を配置した。計算領域の分割幅は0.02[m]とした。また、計算値の許容範囲は上限を Kirchhoff の近似理論、下限を前川の実験曲線より1[dB]低い値とする。

CA法による計算の結果、図2に示す結果が得られた。ここで、 N はフレネル数を表し $N=2\delta/\lambda$ によって求める。また、 λ は波長、 δ は経路差であり、 $\delta=A+B-d$ （図2、右下図参照）で表される。CA法による計算結果は Kirchhoff の近似理論を上限として、前川の実験曲線の周囲に回折減衰量を得ることができた。しかし、図3に示すように周波数が低い場合（100~500[Hz]）に回折減衰量が小さくなる傾向が見られる。周波数が低くなる

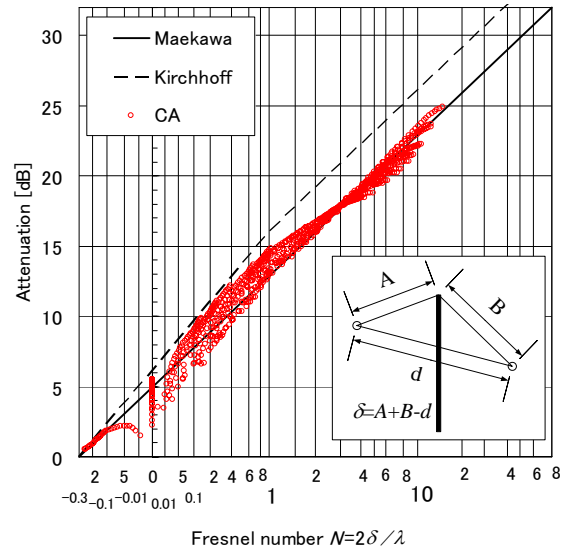


図2 計算値(CA)と前川の実験式の比較

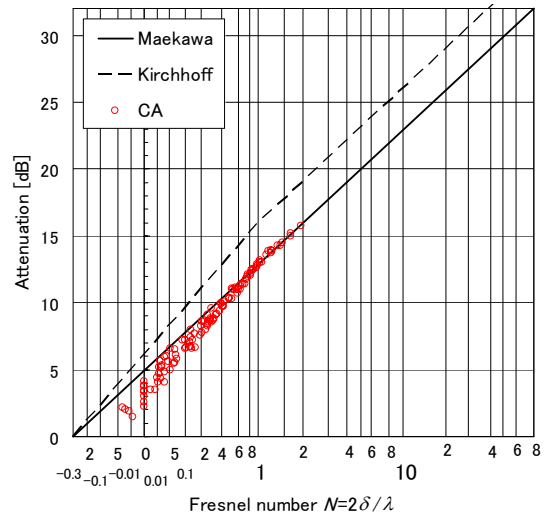


図3 低周波数での計算値(CA) (100-500[Hz])

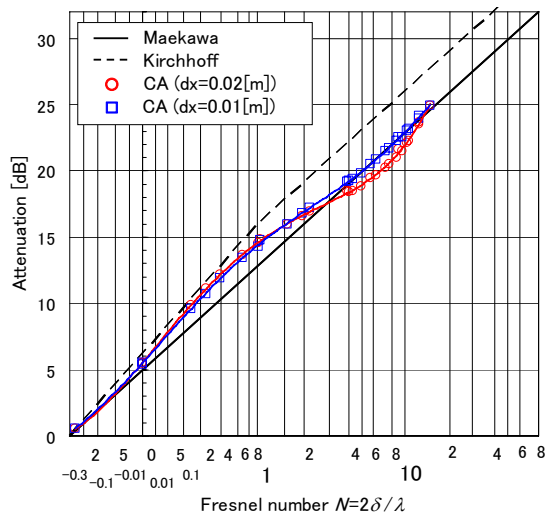


図4 分割幅による比較(3000[Hz])

と波長が長くなり、正確な評価を行なうために必要な波数を計算時間内で十分に得られなかったためと考えられる。これは計算ステップ数の増加によって解消されると考えられる。また、図4の○印で示すように周波数が高くなると計算値に揺れが見られるようになる。これは周波数が高い場合、音圧波形の1周期を表わす間に含まれるセル数が減少してしまい、音圧波形の表現精度が落ちてしまうためと考えられる。分割幅を0.01[m]とした場合の計算結果を図4に□印で示す。セル分割幅を縮小することによって揺れが抑えられているのがわかる。

5 実測値との比較

屋外にて音源と受信点の間に壁を配置し、回折減衰量の測定を行なった。測定現場は3面を森に、1面を壁で囲まれ風の影響が少ない場所を選択した。壁はおよそ2.0[m]の垂直壁の上に羽部材を設置し、羽部材の設置角度によって形状を変化させた。測定対象とした壁形状は音源側水平面を基準とし、羽部材の角度を90° (wall-90), 45° (wall-45), 135° (wall-135)とした3形状である。図5のように測定状況を考慮したCAモデルを作成し、計算を行なった。測定で用いたスピーカーの指向性を考慮し、音源の上下と後方の計5セルに壁セルを配置した。

実測値と計算結果の比較を図6に示す。図6は音源周波数500[Hz]に対する回折減衰量を示している。実測値には壁の横からの回り込みによる音圧値の増加量を簡易計算によって求め、加算している。簡易計算値は反射のない経路のみを比較対象とした。CAモデル、簡易計算による結果は実測値に比べ大きな値を示している。これは計算においては壁が奥行き方向に無限に続いていると仮定されることや実測値においては壁からの反射などが含まれるためと考えられる。これらを考慮すると、どの壁形状においても計算値は概ね実測値を予測できていると言える。

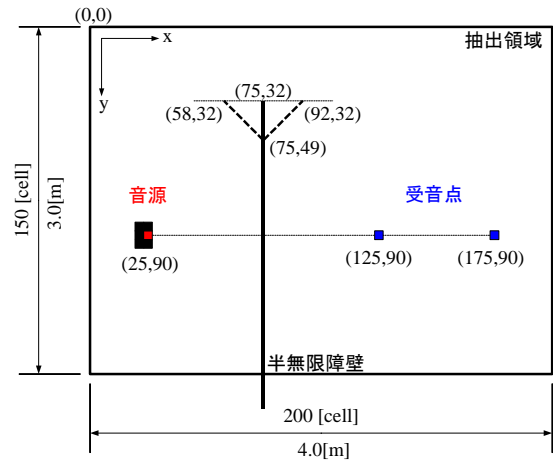
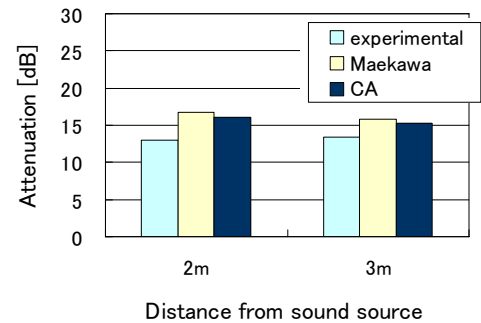
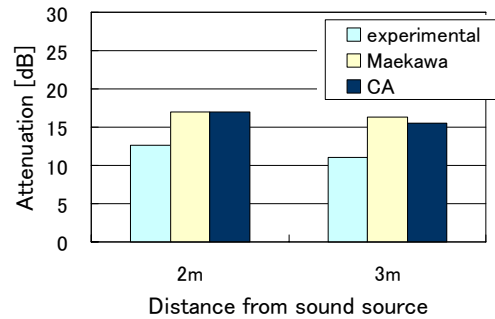


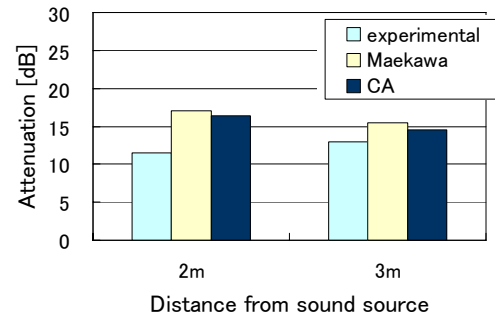
図5 CAモデル（実測値との比較）



(a) wall-90



(b) wall-45



(c) wall-135

図6 実測値との比較 (500[Hz])

6 高架橋モデルへの適用

4, 5 節より, CA モデルによって回折減衰量を予測できることがわかった. そこで, 図 7 に示すように高架橋を想定したモデルを作成し, 高さを一定とした様々な形状の壁を配置する. 壁を配置することによって得られる回折減衰の効果について比較・検討を行なう. 壁形状は wall-90, wall-45, wall-135 に加え, T 字型 (wall-T), Y 字型 (wall-Y) を配置した. 周波数は 250[Hz], 500[Hz], 1000[Hz], 2000[Hz] について計算を行なった.

計算によって得られた回折減衰量から分布図を作成し, 壁形状による評価を行なう. ここでの回折減衰量は床版部分のみを配置した場合と床版および壁を配置した場合との差である. 図 8 に wall-90 における分布図を示す. 周波数が高くなるほど回折減衰量が大きくなることを表現できている. また, その効果は高架橋配置位置から斜め下へ向かって減衰効果が特に大きく現れている. この他の形状においても同様の傾向を示した. 効果の現れにくい 250[Hz] での wall-T と wall-Y による分布図を図 9 に示す. wall-T, wall-Y のように音源側受音点側の両側に羽部材を配置することで回折減衰の効果が現れる範囲が広くなり, 低い周波数に対しても効果があることがわかった. また, wall-T と wall-Y では壁の頂点位置が同位置となり, 伝搬経路は似たものになるが, 周波数によって得られる回折減衰効果には違いがあることがわかる.

7 まとめ

CA 法を用いた遮音壁近傍の騒音伝搬解析によって前川チャートを表現可能であることがわかった. また, 高架橋モデルにおいて, T 字型, Y 字型のように両側に羽部材を配置することで広い周波数帯に対して回折減衰効果を得られることがわかった.

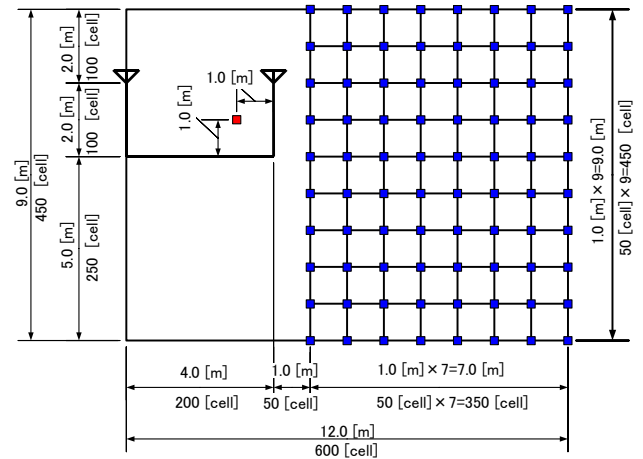


図 7 CA モデル (高架橋モデルへの適用)

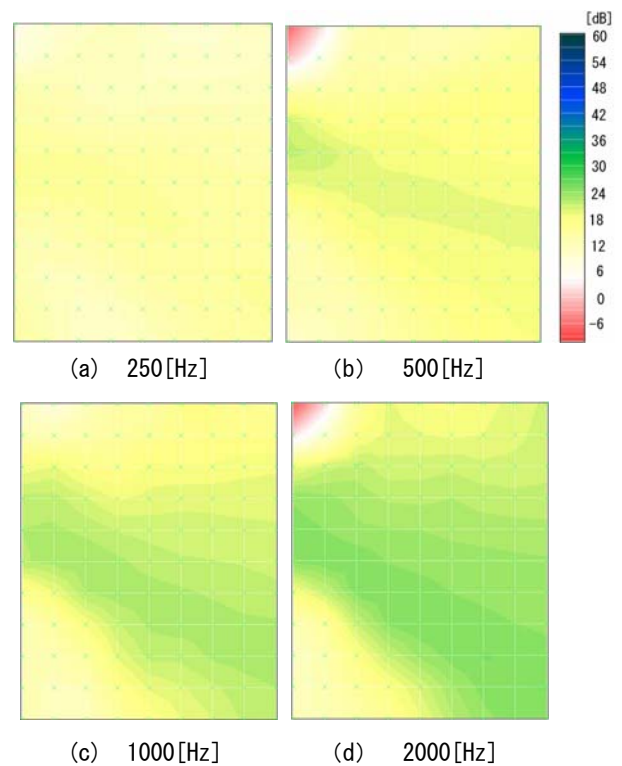


図 8 回折減衰量分布 (wall-90)

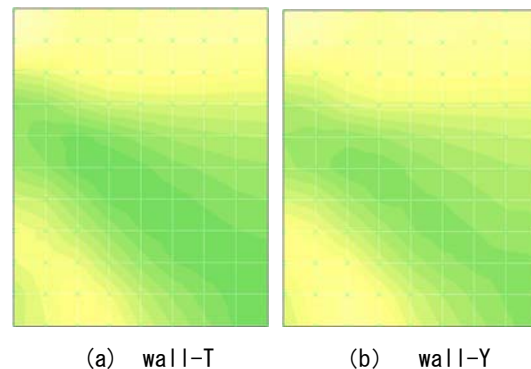


図 9 回折減衰量分布 (250[Hz])