

セルオートマトン法による3次元騒音伝搬解析の道路騒音への適用性に関する研究

環境防災研究室 佐々木 啓貴

指導教官 宮木 康幸

1.はじめに

1-1.研究背景

騒音伝搬に関する予測技術は実験に基づく手法が主に研究されており、数値解析による騒音伝搬解析はあまり行われていない。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ってきた。これまでは3次元 CA モデルへの投入音源として、1つの単純な正弦波(純音)のみを対象としてきた。複合音は複数の純音に分解することができる。これまでの騒音伝搬解析手法では、複合音を純音に分解し、各純音について CA 解析を行い、解析音圧を足し合わせた合成波を求めていた。そのため、解析音圧の算出に多くの時間と手間を要していた。

1-2.研究目的

本研究では、前述した問題に対して、時間的変動に対応した複合音を音源として直接投入し、解析音圧が算出可能である新たな音源入力条件を適用した3次元 CA モデルの有用性を照査した。また、屋外実験により自動車騒音を測定し、自動車音源を算出した。有用性を照査した3次元 CA モデルへ自動車音源を投入し解析音圧を算出した。最終的に、自動車騒音の実測音圧と解析音圧との比較を行うことで、CA 法による3次元騒音伝搬解析の道路騒音への適用性を検証した。

2.複合音音源による3次元 CA 解析

2-1.複合音音源の作成

3次元 CA モデルへ投入する音源は、実際の道路騒音のように複雑な周波数を有する複合音でなければならない。そこで、振幅、周波数、位相の異なる3つの波を足し合わせた複合音を作成した(図 2-1)。各パラメータを表 2-1 に示す。

表 2-1 純音パラメータ

	振幅	角速度 ω	位相角 ϕ	周波数 f
波①	1.000	3769.911	6	600
波②	2.000	5026.548	15	800
波③	3.000	6283.185	26	1000

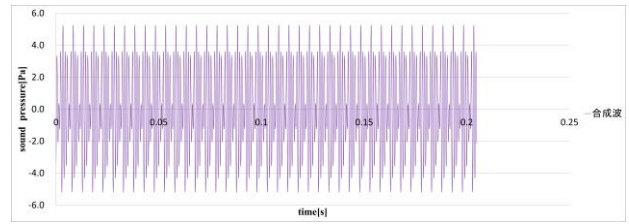


図 2-1 複合音音源

2-2.解析モデル

複合音音源を投入する障害物の無い3次元 CA モデルを図 2-2 に示す。解析領域は 16.8[m]×3.6[m]×3.6[m]をとり、端部に 1[cell]の境界セルを配置した。複合音音源は時間的変動に対応させるため、モデル座標軸上 $(x,y,z)=(168,30,30) \sim (253,30,30)$ を一定速度で移動するものとし、受音点は $(x,y,z)=(198,68,30), (223,68,30)$ の2箇所に配置した。その他、計算条件は表 2-2 に示す。境界条件は、すべての面を無限境界としたものと、モデル底面のみを完全反射とした2パターンでの解析を行い、反射面の有無による音圧伝搬への影響を確認した。

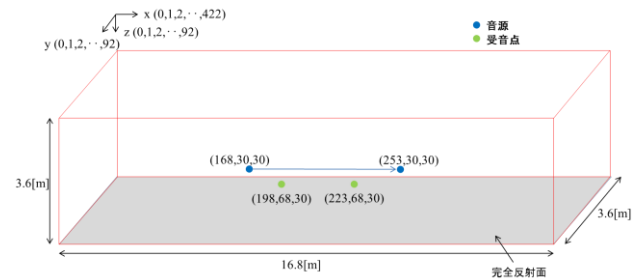


図 2-2 解析モデル

表 2-2 計算条件

計算領域 x [m]	16.84 (423[cell])
計算領域 y [m]	3.64 (93[cell])
計算領域 z [m]	3.64 (93[cell])
音速 c [m/sec]	340
分割幅 dx, dy, dz [m]	0.04
時間ステップ dt [s]	6.79×10^{-5}
計算ステップ数 j [step]	6040
音源周波数 f [Hz]	1000

2-3.結果

モデル底面の反射を考慮しない場合と、考慮する場合の CA 解析音圧の算出結果を示す。それぞれについて理論式から得た理論音圧との比較を行い、CA 解析モデルの有用性を照査した。なお、受音点の位置による解析結果の差異は小さかったので、受音点 $(x,y,z)=(223,68,30)$ での音圧結果を示す。

(1) 反射面を考慮しない場合

解析結果を図 2-3 に示す。波形形状は解析値と理論値ではほぼ同じ結果となった。最大音圧は解析値、理論値ともに約 0.04[Pa]であった。音源と受音点間の距離が近い領域(0.25~0.3[s]付近)では特に整合性は高くなり、距離が大きくなっても両者の音圧差は 0.005[Pa]以下であった。

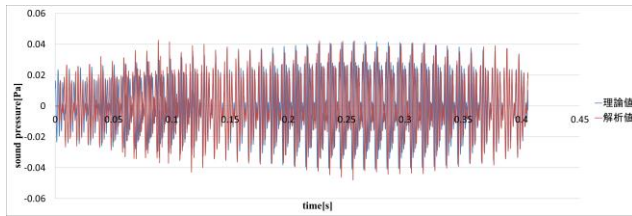


図 2-3 音圧比較 (反射なし)

(2) 反射面を考慮する場合

解析結果を図 2-4 に示す。波形形状は概ね同様の傾向を示した。解析最大音圧 0.055[Pa]に対して理論最大音圧 0.05[Pa]であり音圧差は約 0.005[Pa]となった。音源と受音点間の距離が近い領域では高い整合性を示したが、距離が大きくなると両者の音圧差は約 0.02[Pa]となり、反射面を考慮しない場合に比べて差異は大きくなった。

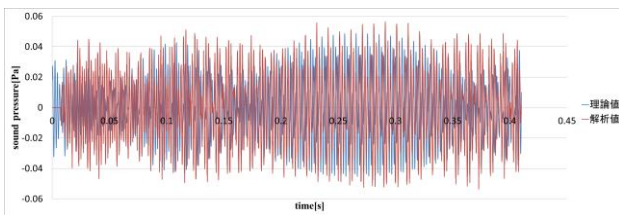


図 2-4 音圧比較 (反射あり)

どちらの境界条件においても波形形状の傾向は概ね同等の結果が得られた。ただし、反射面を考慮する場合のほうが、考慮しない場合に比べ明らかに解析音圧と理論音圧に差異が見られた。反射面を考慮する場合では音源移動領域 3.40[m](6040[step])、反射面を考慮しない場合では音源移動領域 1.50[m](2660[step])程度までは、CA 解析音圧値は十分に有用性を持つ結果となった。よって、時間的変動を有する複合音を直接入力音源とした場合、受音点の音圧を直接予測することが可能であることが分かった。

3.3 次元 CA 解析の道路騒音への適用性の検証

3-1.解析モデル

屋外実験から得た道路騒音の測定音圧を用いて自動車音源(エンジン音+タイヤ音)を作成した。自動車音源を図 3-1 に示す有用性を照査した解析モデルへ投入した。音源

は自動車の走行を表現するため、x 座標軸上を一定速度で移動させた。なお、計算条件は 2-2 項に示したモデルと同条件とした。時間ステップ数は 24000[step]である。

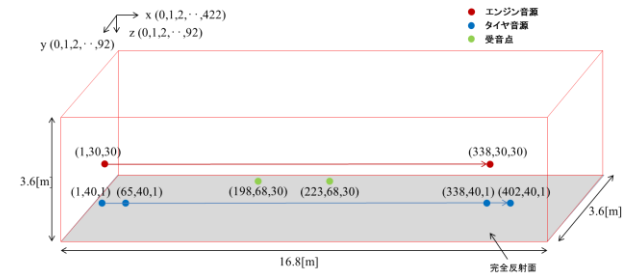


図 3-1 解析モデル

3-2.結果と考察

自動車音源を投入した CA 解析音圧と、屋外実験より得られる実測音圧との比較結果を図 3-2 に示す。

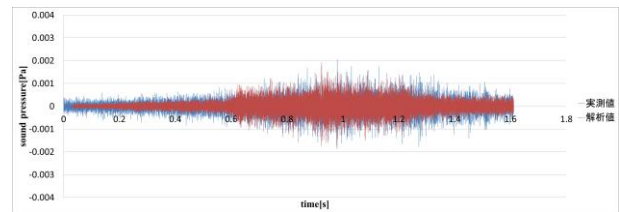


図 3-2 音圧比較

実測音圧と解析音圧は細かな位相の差は見られたものの、測定距離 13.5[m](測定時間 1.6[s])において両者の最大音圧は約 0.002[Pa]であり、同等の波形形状となった。また、RMS(2乗平均の平方根)を用いた比較により、実測音圧と解析音圧は高い相関を有することが分かった。FFT(高速フーリエ変換)を用いた比較では、2000[Hz]~高周波域では高い整合性を示したが、0~2000[Hz]付近の周波数域ではピーク音圧形状は同様であったが、実測値が解析値よりも若干高い振幅を示した。以上の比較結果より、実測音圧と解析音圧は整合性を有しており、CA 法による 3 次元騒音伝搬解析の道路騒音への適用性があることが分かった。

4.おわりに

本研究では、時間的変動に対応した複合音音源による 3 次元 CA モデルの有用性を照査し、自動車音源を投入することで得た CA 解析音圧と、屋外実験から得た実測音圧とを比較することで、CA 法による 3 次元騒音伝搬解析の道路騒音への適用性を示した。今後の課題としては、時間的変動音源の直接算出、反射条件の改善により更なる汎用性・実用性の向上が期待できる。