

複素反射率を考慮した CA 法による 3 次元騒音伝搬解析

長岡技術科学大学 修士 2 年 岩成 貴志
指導教員 宮木 康幸

1.はじめに

1-1.研究背景

騒音対策における遮音壁設計を効率的に進めるためには、精度の高いシミュレーション技術が必要不可欠である。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い、その精度について検証を行ってきた。

その結果、一般的な 3 次元 CA モデルでは妥当な結果が得られているが、現段階では完全反射しか考慮できず、多孔質素材を含んだ遮音壁などの解析値と実測値が異なる可能性がある。

CA 法とは、計算対象となる領域をセルと呼ばれる要素に分割し、真ん中の注目セルとその周りの近傍セル間に局所的な関係式を定義し、領域全体へ適用すると共に時間を追って計算を行い、状態量を求めていく手法である。

1-2.研究目的

本研究では、CA 法を用いた騒音伝搬解析をより実用的な解析に近づけるために、3 次元音場において複素反射率を考慮可能にすることを目的とし、定在波比法を用いた境界条件を再構築する。

2.定在波比法

定在波比法は、材料又は物体の吸音率、音圧反射率及び表面の垂直入射比音響インピーダンス又を算出する方法である。これらの値は、入射正弦平面波と試験体から反射する平面波との合成波によって生じる管内平面波の定在波パターンの測定によって、垂直入射音に対して算出される。

複素圧反射率の位相角 ϕ は、定在波における音圧極小に対する位相条件から基準面の前方の第一極小に対して、複素反射率は次の式となる。

$$\phi = 2kx_{\min,1} - \pi \quad (1)$$

$$r = r' + jr'' \quad (2)$$

$$r' = r \cdot \cos \phi \quad (3)$$

$$r'' = r \cdot \sin \phi \quad (4)$$

比音響インピーダンス比 $z = Z / \rho c$ は、次の式になる。

$$z = z' + jz'' \quad (5)$$

$$z' = \frac{1 - r'^2 - r''^2}{(1 - r')^2 + r''^2} \quad (6)$$

$$z'' = \frac{2r''}{(1 - r')^2 + r''^2} \quad (7)$$

3. 定在波 3CA モデル

まず、定在波比法を利用するため、平面波を表現可能な CA モデルを構築し、複素反射面を考慮した境界条件を作成する。定在波 3CA モデルの解析モデルを図-1、パラメータを表-1 に示す。以後数値解析を行い、音圧時間変動理論値と比較を行った。

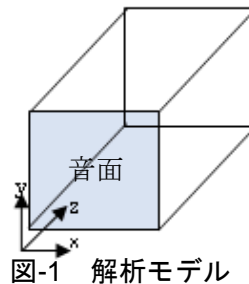


表-1 パラメータ

解析領域x[m]	0.2(10cell)
解析領域y[m]	0.2(10cell)
解析領域z[m]	10.0(500cell)
音速c[m/sec]	340
メッシュdx,dy,dz	0.02
時間ステップdt[s]	3.40×10^{-5}
計算ステップt[step]	2000
音面[cell]	z=1全域
入力音圧p[Pa]	1
音源周波数f[Hz]	250

管面が既往の完全反射面境界条件とした場合の解析値と理論値の比較結果(図-2)より、平面波の伝搬を表現するには新たな境界条件の構築が必要であると分かった。そこで、近傍セルに管面がある際は、近傍セルに含めないという条件で解析を行った(図-3)。その結果、受音点{(5,5,2), (1,5,2), (1,1,2)}の3ヶ所とも解析値と理論値がほぼ一致し、平面波の伝搬を表現可能とした。

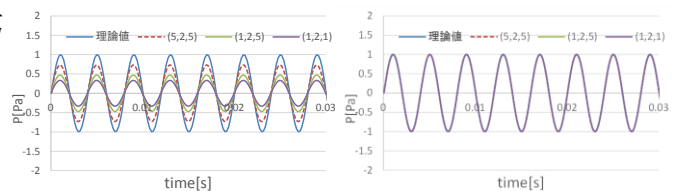


図-2 完全反射面

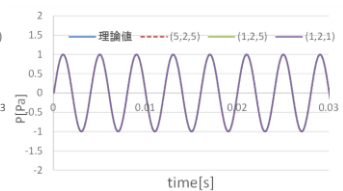


図-3 構築した管壁

次に、定在波 3CA 法に反射波を考慮する。CA モデル座標軸上の(z)=500全域に既往の完全反射面を設置した解析結果と理論値の比較結果(図-4)より、数値・傾向共に異なる結果となった。そこで次のような境界条件をあらたに構築した。

$$P_{wall} = \sin(\sin^{-1}(P_{notice}) + \phi) \quad (8)$$

$$G_{wall} = (P_{wall} - P(x,t))(1-r) \quad (9)$$

なお r:反射率, ϕ :位相角を示す。この境界条件による完全反射面($r=1.0, \phi=0$)の解析値と理論値の比較(図-5)、複素反射面($r=0.5, \phi=0.5$)の解析値と理論値の比較(図-6)に示されるように、受音点(5,5,300)においてほぼ一致する結果となった。

4.複素反射率を考慮した 3CA モデル構築

本節では、式(8)を応用し自由音場で複素反射面を考慮可能な境界条件を構築する。解析は表-2に示すパラメータ、図-7に示す反射面の数が異なる領域での解析を行った。なお複素反射面を考慮した境界条件を式(10),(11)に示す。なお、SPLP とは複素反射面における入射最大音圧値の理論値である。受音点は $z=10$ のセル上に設置した。

$$P_{wall} = \sin\left(\sin^{-1}\left(\frac{P_{notice}}{SPLP}\right) + \phi\right) \quad (10)$$

$$G_{wall} = (P_{wall} - P(x,t))(1-r) \quad (11)$$

$$SPL = PWL - 20\log_{10} x - 10\log_{10} 4\pi \quad (12)$$

$$SPLP = P_0 \times 10^{\frac{SPL}{20}} \quad (13)$$

解析値と理論値の音圧レベル比較結果(図-8~15)より、位相差及び反射率が大きくなるにつれ解析値は誤差が大きくなる傾向が見られたが、数値の変動傾向及び値が概ね一致していることが分かる。

5 結論と今後の課題

構築した境界条件により、3次元自由音場においても複素反射率の音圧レベルの数値変動傾向を表現できたと考える。しかしながら位相角が大きくなるにつれ誤差が大きくなる点から他の理論を応用した境界条件の構築などを行い、より精度向上に努めるべきだと考えられる。

参考文献

- 山崎 翔太：セルオートマトン法による3次元騒音伝搬解析，長岡技術科学大学大学院工学研究科修士論文 2012
 日本工業規格：音響管による吸音率及びインピーダンスの測定第一部：定在波比法，JIS A 1405-1:2007

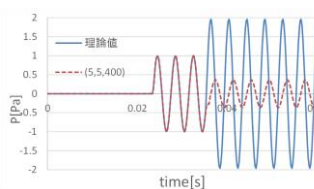


図-4 完全反射面

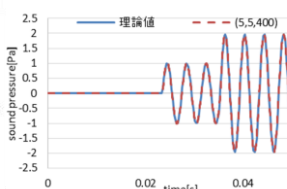


図-5 構築した反射面

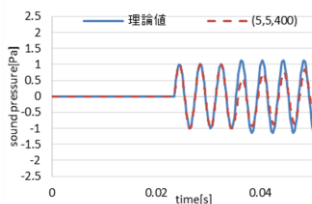


図-6 構築した複素反射面

表-2 パラメータ

解析領域x[m]	2.0(100cell)
解析領域y[m]	2.0(100cell)
解析領域z[m]	2.0(100cell)
音速c[m/sec]	340
メッシュdx,dy,dz[m]	0.02
時間ステップdt[s]	3.40×10^{-5}
計算ステップt[step]	200
入力音圧レベル[dB]	81
音源周波数f[Hz]	2,000
反射率r	0.2,0.5,0.8
位相角 ϕ [rad]	0.5,1.0,2.0

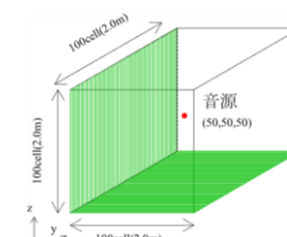
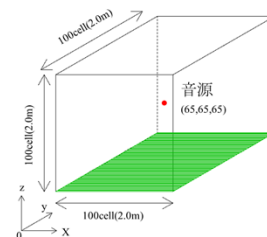


図-7 解析モデル(左 1wall, 右 2wall)

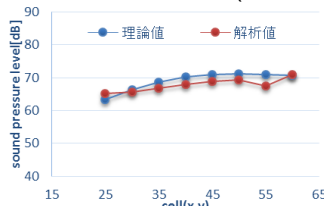


図-8 1wall, $\phi=1.0, r=0.5$

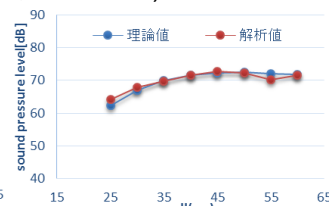


図-9 1wall, $\phi=1.0, r=0.8$

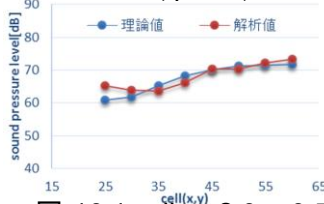


図-10 1wall, $\phi=2.0, r=0.5$

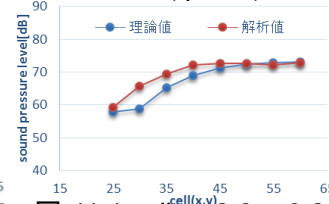


図-11 1wall, $\phi=2.0, r=0.8$

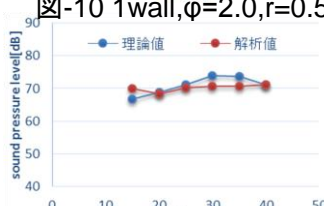


図-12 2wall, $\phi=1.0, r=0.5$

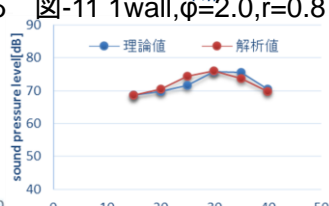


図-13 2wall, $\phi=1.0, r=0.8$



図-14 2wall, $\phi=2.0, r=0.5$



図-15 2wall, $\phi=2.0, r=0.8$