

風速分布を有する大気中の音の伝播に関する有限要素解析

鹿島建設株式会社 正会員 ○石川 潤
 日本大学理工学部 正会員 野村 卓史

1. はじめに

大気の大気温度や密度が均一でなかったり、風が吹いていたりするときに、音波の屈折により音が遠方まで伝播するという報告がある¹⁾。

このような現象を調べることを目的として、本研究では、風が音の伝播に与える影響を検討した。媒質である空気が風速分布を有する時の波動方程式とヘルムホルツ方程式を導き、有限要素法による解析を行ったので報告する。

2. 解析方法

媒質である空気の流速ベクトルが空間的に分布し、その分布が時間変化しないときの波動方程式は、式(1)のように表される。また式(1)より導かれるヘルムホルツ方程式は式(2)である。

$$\frac{1}{c^2 \rho} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} + 2 \frac{1}{c^2 \rho} \mathbf{v} \cdot \nabla \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{1}{c^2 \rho} \mathbf{v} \cdot \nabla (\mathbf{v} \cdot \nabla p) = \nabla \cdot \left[\frac{1}{\rho} \nabla p \right] \quad \dots (1)$$

$$-\frac{\omega^2}{c^2 \rho} p - i \left(2 \frac{\omega}{c^2 \rho} \mathbf{v} \cdot \nabla p \right) + \frac{1}{c^2 \rho} \mathbf{v} \cdot \nabla (\mathbf{v} \cdot \nabla p) - \nabla \cdot \left(\frac{1}{\rho} \nabla p \right) = 0 \quad \dots (2)$$

ここで c は音速、 p は音圧、 t は時間、 ρ は媒質密度、 $\nabla^T = \{\partial/\partial x, \partial/\partial y\}$ 、 \mathbf{v} は媒質の流速（すなわち風速）のベクトル、 ω は音波の角周波数である。

有限要素解析を行うため、解析領域を線形三角形要素で分割する。このときの流速ベクトル \mathbf{v} は要素ごとに与え、要素内では一定とした。

3. 風速が一定分布のときの解析

a) 解析モデル

解析に用いた有限要素メッシュの分割パターンおよび、解析領域の寸法を図1に示す。境界条件は4辺とも音が無限遠方に放射する放射境界とし、無限要素²⁾を接続した。

b) 音圧分布

風速を 0.0m/s～3.0m/s に変えたときの音圧分布の解析結果を図2～図5に示す。風速を与えたときの影響が出ている結果を得ることができた。

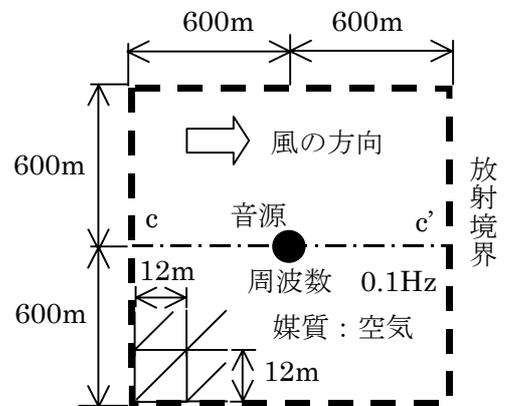


図1 解析モデル

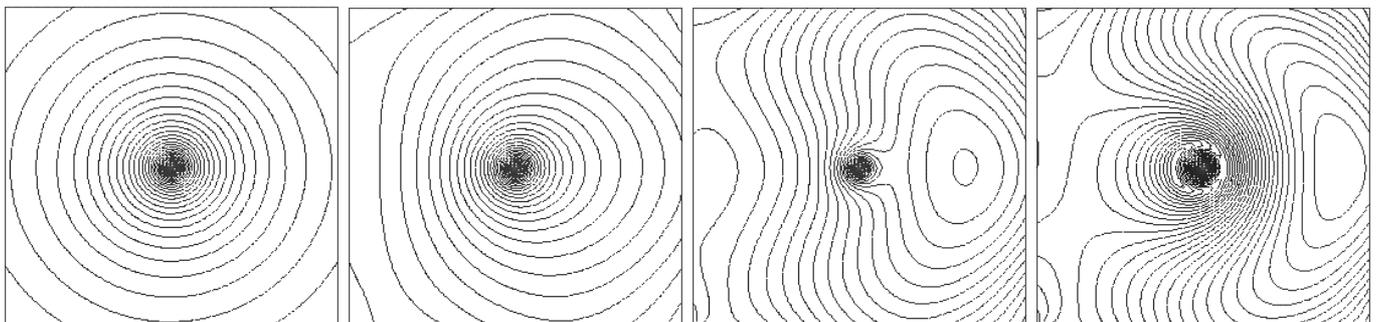


図2 無風時

図3 風速 1.0m/s

図4 風速 2.0m/s

図5 風速 3.0m/s

キーワード：音の伝播，有限要素法，ヘルムホルツ方程式，音圧，風速分布

連絡先：東京都千代田区神田駿河台 1-8-14, Tel/Fax 3259-0411

c) 音圧値の比較

風上側と風下側の音圧の比較を行うため、音源を通る風速方向断面内 (c-c') の音圧分布を図6に示す。これより、無風の場合では、風上側と風下側で、音圧分布が対称であるのに対し、風速を与えた場合の音圧は風上側に比べ、風下側の方が高い結果が得られた。ただし、風速 3.0m/s では、音源付近の音圧が低下している。これは放射境界の透過機能が十分でないためではないかと考えている。

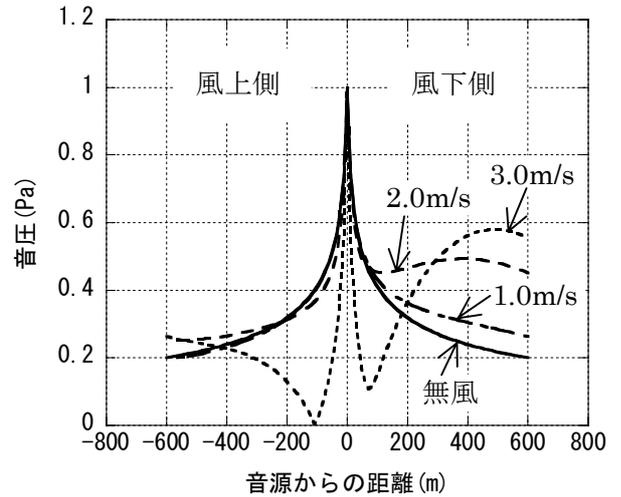


図6 音圧値の比較

4. 風速が指数分布するときの解析

a) 解析モデル

解析領域の寸法および解析条件を図7に示す。境界条件は、下辺に音が完全反射する固体壁とし、他の3辺は放射境界とした。風速分布は指数分布とし、図8のように2通り与えた。

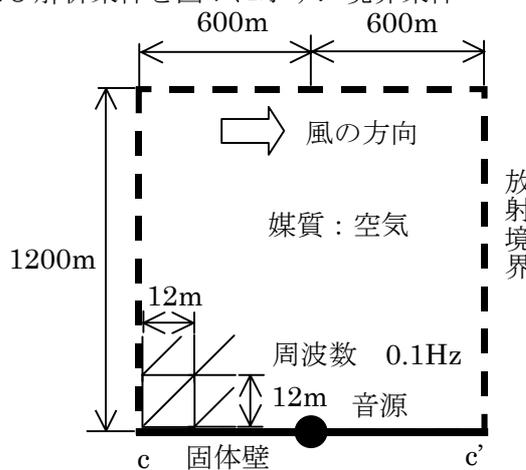


図7 解析モデル

b) 音圧分布

無風の状態とモデル1、モデル2の状態での音圧分布を図9～図11に示す。無風

時に比べ風速分布の影響が現れる結果を得た。

c) 音圧値の比較

音源を通る風速方向断面内 (c-c') の音圧分布を図12に示す。これより、無風

の場合では、風上側と風下側で、音圧分布が対称であるのに対し、風速を与えた場合の固体壁上の音圧は風上側に比べ、風下側の方が高い結果が得られた。

5. まとめ

風速分布を有した風速を与えたときの音場の解析を行った。いずれも風の影響が解析結果に現れる結果を得ることができた。

参考文献

- 1) 社団法人日本騒音制御工学会編：地域の音環境計画，技報堂出版，pp194-195，1997.
- 2) 加川幸雄著：開領域問題のための有限境界要素法，サイエンス社，pp114-126，1985

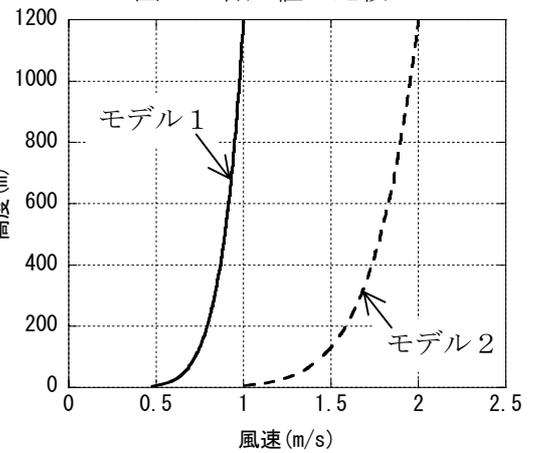


図8 風速分布

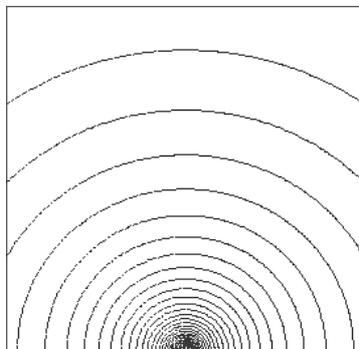


図9 無風時

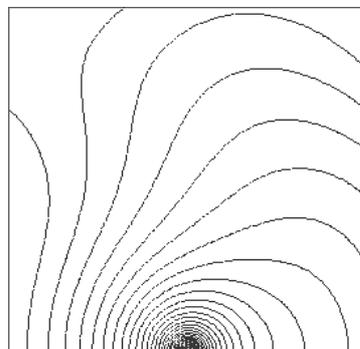


図10 モデル1

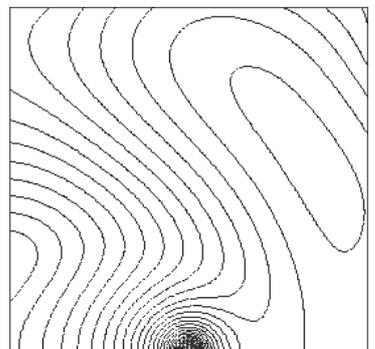


図11 モデル2

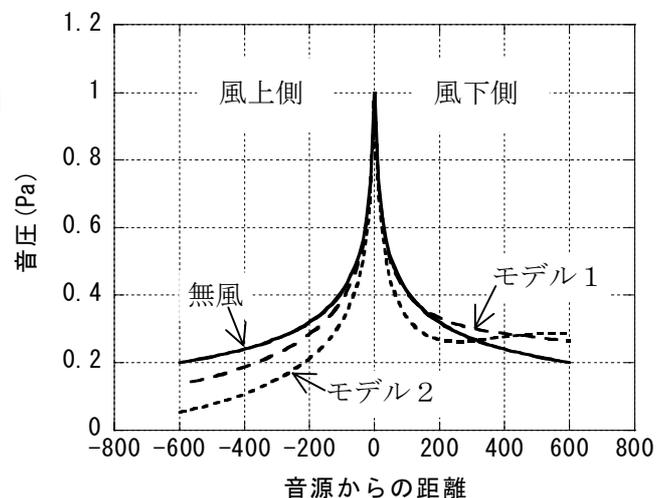


図12 音圧値の比較