

数理モデルを用いた 自動車用防音材の Biot パラメータの感度解析

日大生産工(学部) ○石井 仁樹
ニチアス(株) 安藤 大介

日大生産工 高橋 亜佑美
ニチアス(株) 三木 達郎

日大生産工 見坐地 一人
ニチアス(株) 藤沢 生磨

1 まえがき

近年, 自動車業界では低燃費化が重視されており, 方法として防音材削減による車体重量の軽量化が挙げられる. しかし, 防音材削減と車室内騒音の静粛化は相反する関係であり, この2つを両立させるためには開発初期段階での精度の高い解析が必要である.

今回は, 多孔質弾性材料の音響特性予測手法である Biot モデルを用いて, 材料パラメータの変更による音響特性(吸音率や透過損失)の感度解析を行い, 各材料パラメータが与える影響を解析する.

2 Biot モデル

自動車用防音材として用いられるウレタンフォームなど, 多孔質弾性材料の音響インピーダンスを予測するために適用されている Biot モデルの概要について説明する.

多孔質弾性材料の音響インピーダンス予測手法としては, 他に Equivalent fluid モデルが存在する. Equivalent fluid モデルが骨格部を伝わる固体伝播音の影響が少ないと仮定し, 空隙を伝わる空気伝播音のみを考慮した防音材モデルであるのに対して, Biot モデルは空気伝播音に加えて多孔質弾性材料の骨格部を伝わる固体伝播音や, 空隙と骨格部分で生じる抵抗やエネルギー損失などの相互作用も考慮したモデルである. Biot モデルの模式図を図 1 に示す.

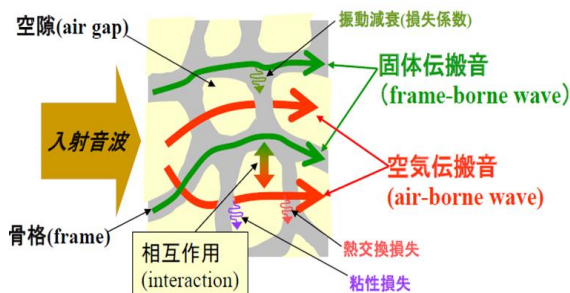


図 1 Biot モデル模式図

固体伝播音及び空気伝播音の波動方程式は固体伝播音と空気伝播音の相互作用を考慮した骨格部の変位 $\bar{u}^s$ と, 流体の変位 $\bar{u}^f$ を用いて, 式(1), 式(2)のように表される.

$$\left. \begin{aligned} ((1-\phi)\rho_s + \rho_a) \frac{\partial^2 \bar{u}^s}{\partial t^2} - \rho_a \frac{\partial^2 \bar{u}^f}{\partial t^2} \\ = (P - N) \bar{\nabla}(\bar{\nabla} \cdot \bar{u}^s) + Q \bar{\nabla}(\bar{\nabla} \cdot \bar{u}^f) \\ + N \bar{\nabla}^2 \bar{u}^s - \phi^2 G(\omega) \frac{\partial}{\partial t} (\bar{u}^s - \bar{u}^f) \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\left. \begin{aligned} (\phi \rho_f + \rho_a) \frac{\partial^2 \bar{u}^f}{\partial t^2} - \rho_a \frac{\partial^2 \bar{u}^s}{\partial t^2} \\ = R \bar{\nabla}(\bar{\nabla} \cdot \bar{u}^f) + Q \bar{\nabla}(\bar{\nabla} \cdot \bar{u}^s) \\ + \phi^2 G(\omega) \frac{\partial}{\partial t} (\bar{u}^s - \bar{u}^f) \end{aligned} \right\} (2)$$

t は時間, ρ_s は骨格部の密度, ρ_f は流体の密度である. また, ρ_a は骨格部と流体の相互作用における粘性減衰を考慮した流体の等価密度を示しており, 式(3)で表される.

$$\left. \begin{aligned} \rho_a = \alpha_\infty \rho_f \left(1 + \frac{\phi \sigma}{j \omega \rho_f \alpha_\infty} G(\omega) \right) \\ G(\omega) = \left(1 + \frac{4 j \mu \omega \alpha_\infty^2 \rho_f}{\Lambda^2 \sigma^2 \phi^2} \right)^{1/2} \end{aligned} \right\} (3)$$

μ は動粘性係数と呼ばれるパラメータである. 弾性係数 P , Q , R は式(4)に示すように表せる.

$$\left. \begin{aligned} P \approx \frac{4}{3} N + K_b + \frac{(1-\phi)^2}{\phi} K_f \\ Q \approx (1-\phi) K_f \\ R \approx \phi K_f \end{aligned} \right\} (4)$$

骨格部のせん断弾性率 N と骨格部の体積弾性率(真空時) K_b を式(5)に示す.

$$\left. \begin{aligned} N = \frac{E(1+j\eta)}{2(1+\nu)} \\ K_b = \frac{2(1+\nu)}{3(1-2\nu)} N \end{aligned} \right\} (5)$$

K_f は骨格部と流体の相互作用における熱性減衰を考慮した流体の等価体積弾性率(周波数依存)で, 式(6)で表される.

Sensitivity analysis of Biot parameters of automotive soundproofing material by using the mathematical model.

Masaki ISHII, Ayumi TAKAHASHI, Kazuhito MISAJI, Daisuke ANDO,
Tatsuro MIKI and Ikuma FUJISAWA

$$K_f = \frac{\gamma P_0}{\gamma - (\gamma - 1) \left[1 + \frac{8\zeta}{j\omega A'^2} H(\omega) \right]^{-1}} \quad (6)$$

$$H(\omega) = \left(1 + \frac{j\omega A'^2}{16\zeta} \right)^{1/2}$$

γ は比熱比, P_0 は平衡状態の圧力, ζ は温度拡散率.

3 解析モデル

今回の解析モデルとして作成した SEA モデルを図 2 に示す. モデル作成及び解析には ESI 社の VA-One を用いた. モデルは受音場, 加振音場 (それぞれ拡散音場) とプレートの 3 要素からなり, 1 辺の長さは全て 1.0[m] で作成した. そして加振音場を 1[w] で音響加振した際の受音場の吸音率と透過損失を求めた. 防音材はフォーム材 20[mm] をプレート上部に設定し, 解析周波数は 500~8000[Hz] とした.

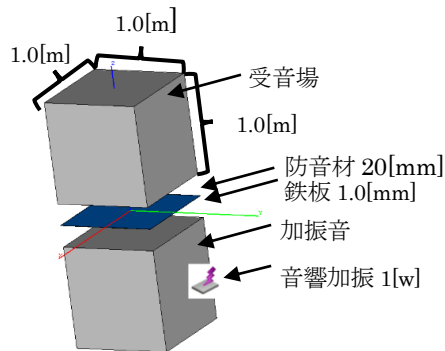


図2 解析 SEA モデル

4 解析結果

感度解析したパラメータは, 音響系・構造系パラメータから, 流れ抵抗・ヤング率を選択した. 流れ抵抗変更時の吸音率, 透過損失を図3, 4, ヤング率変更時の吸音率, 透過損失を図5, 6に示す.

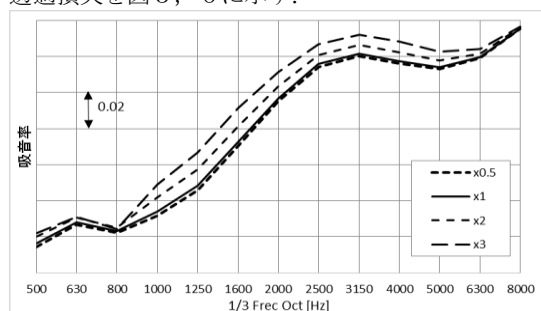


図3 流れ抵抗変更時（吸音率）

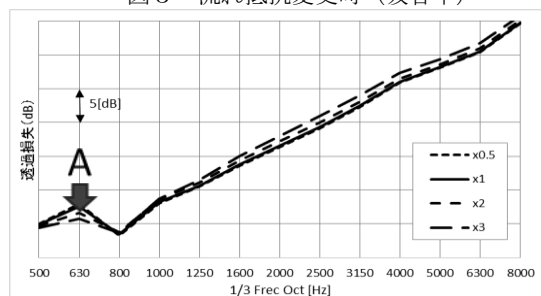


図4 流れ抵抗変更時（透過損失）

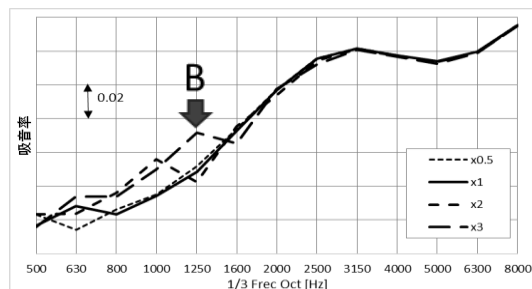


図5 ヤング率変更時（吸音率）

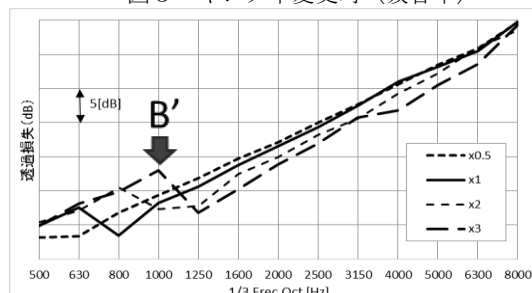


図6 ヤング率変更時（透過損失）

5 考察・まとめ

流れ抵抗変更時, パラメータを増加させることで全体的な吸音性能の向上が確認できたが, 遮音性能に関して, 高周波は向上しているものの, 中周波(図4のA部)において低下が見られた. ヤング率変更時は図5, 6にあるB, B'のようなピークが右にずれている. このピークはヤング率増加により剛性が大きくなるため高周波に移動したフォーム材料の共振ではないかと考える. 仮に共振だとすると, ヤング率増加により共振周波数が高周波にずれ, 1000[Hz]前後での吸音性能の向上が見られたと考えられる. 遮音性能について, 共振周波数より下では性能の向上, 上では性能の低下が確認できた. また, ヤング率増加に伴い共振が原因と考えられる性能の変化が大きくなることが確認できた.

流れ抵抗, ヤング率が与える影響を求められた. しかし, パラメータの変更によって吸遮音性能が一様に向上するわけでもないことも確認でき, 性能向上が容易ではないことを改めて確認することができた. 結果から, 例えばヤング率を大きくすることで吸音率や透過損失のピークが高周波に移動することを利用し, 狙った周波数領域の性能向上を狙えるのではないかと考えた.

開発時に狙ったパラメータのみを変化させるのは容易ではないが, 今後様々なパターンを詳しく解析していくことである程度の設計指針として利用できるようになると考え, これを目標とする解析を行いたい.

「参考文献」-----

- 1) 見坐地一人, 井出史彦, 多田寛子: 空気伝播音と固体伝播音低減フロアカーペットの開発, 自動車技術会シンポジウム, No.08-09, 20094780, P40-44
- 2) VA One 2011 Foam Module User's Guide, Theory & QA(released: Dec-11)
- 3) 山本崇史, 丸山新一, 泉井一浩, 西脇眞二, 寺田賢二郎: 均質化法による多孔質吸音材の等価特性の導入, 日本機械学会論文集(C編), No.10-0134, P75-88