

Study on the energetic prediction model of sound propagation

福島, 昭則

<https://doi.org/10.15017/458552>

出版情報 : Kyushu Institute of Design, 2002, 博士 (工学) , 課程博士
バージョン :
権利関係 :

付録C

地表面の

音響インピーダンスモデル

C. 1 インピーダンスモデル

多孔質材の表面音響インピーダンスは、多孔質内部の波動方程式から伝搬定数と特性インピーダンスから算出するが、地表面上の騒音伝搬式に用いられる地表面の音響インピーダンスは、通常は地盤を有限なインピーダンスを有する *locally reacting* な面と見なしてモデル化され、*Delany & Bazley* の実験式〔C-1〕の形式で表すことが多い。

Delany & Bazley の実験式は以下のとおりである。

$$\frac{Z_c}{\rho_0 c_0} = 1 + 9.08 \left(\frac{\sigma}{f} \right)^{0.75} + i \cdot 11.9 \left(\frac{\sigma}{f} \right)^{0.73} \quad (\text{C-1})$$

ここで、 Z_c は多孔質材の特性インピーダンス、 $\rho_0 c_0$ は空気の特徴インピーダンス、 σ は地表面の流れ抵抗推定値 ($\text{kPa} \cdot \text{s}/\text{m}^2$)、 f は周波数 (Hz) である。単純なモデル式であるが、実測データとの対応も比較的よい。

また多孔質材表面のインピーダンスを Z_s とすると、 Z_s と Z_c は以下の関係にある。

$$Z_s = Z_c \coth(\gamma d) \quad (\text{C-2})$$

ここで、 γ は多孔質材の伝搬定数、 d は多孔質材の厚さ (m) である。多孔質材が十分に厚いときは、 $\coth(\gamma d) \rightarrow 1$ より、 $Z_s = Z_c$ となる。地表面を多孔質材と考え、地表面は十分厚いと考え、5.1 節での地表面上の波動解のパラメータの一つである比音響アドミッタンス β とは $Z_c / \rho_0 c_0 = 1/\beta$ の関係にある。

Miki〔C-2〕は *Delany & Bazley* の実験式が正実性を満足していないことを指摘し、正実性を満足した修正式を提案している。すなわち比音響インピーダンス $Z_c / \rho_0 c_0$ は入力と出力を関係付ける因果性システム関数と考えられ、 $\frac{Z_c}{\rho_0 c_0} = R + i \cdot X$ とすれば、 R と X は以下

の関係を満たす必要がある。

$$X = H[R] \quad (\text{C-3})$$

ここで、 $H[*]$ は *Hilbert* 変換を表す。*Delany & Bazley* の実験式の形式で、 $\rho_0 c_0$ で規準化した特性インピーダンス $\frac{Z_c}{\rho_0 c_0}$ を

$$\frac{Z_c}{\rho_0 c_0} = 1 + af^b + i \cdot cf^d \quad (\text{C-4})$$

と表すと、式(C-3)より以下の関係が成り立つ必要がある。

$$b = d \quad (\text{C-5})$$

$$c = -a \cot \frac{(b+1)\pi}{2}, \quad -1 < b < 0 \quad (\text{C-6})$$

この関係を満足するように *Miki* が *Delany & Bazley* の実験式を修正し以下のモデル式を報告している。

$$\frac{Z_c}{\rho_0 c_0} = 1 + 5.50 \left(\frac{\sigma}{f} \right)^{0.632} + i \cdot 8.43 \left(\frac{\sigma}{f} \right)^{0.632} \quad (\text{C-7})$$

なお、*Miki* のモデルは道路交通騒音の予測モデルである ASJ RTN-Model 1998 A 法にも用いられている。本研究でも地表面効果のエネルギーモデルを検討する際に *Miki* のインピーダンスモデルを用いた。

C. 2 地表面の流れ抵抗推定値

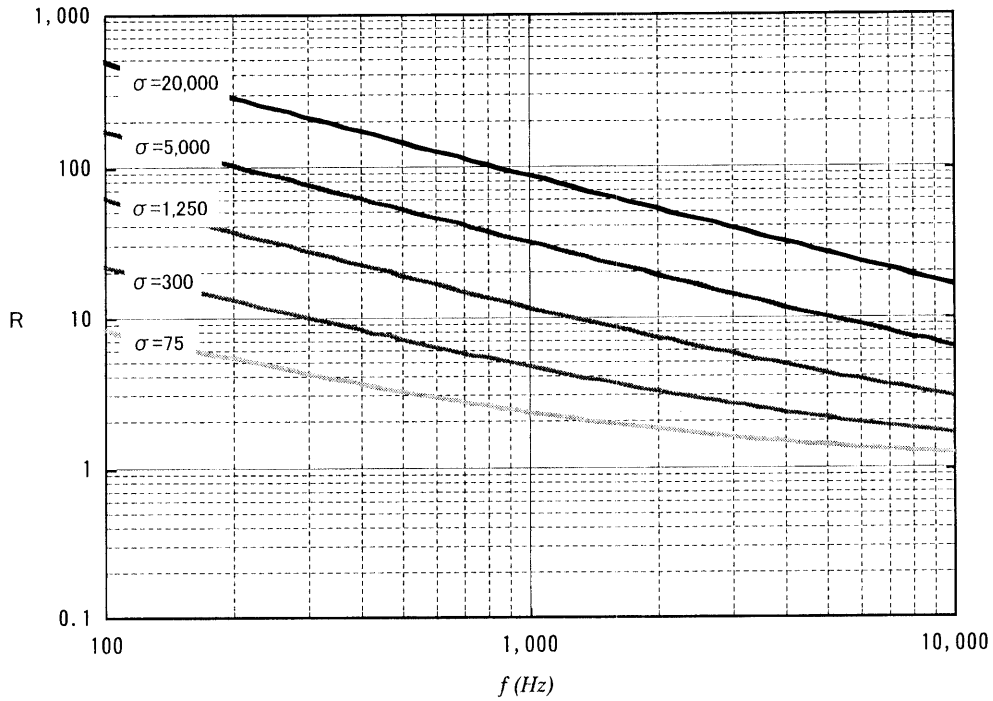
インピーダンスモデル式中の地表面の流れ抵抗推定値 σ として表 C-1 の値が報告されている。

表 C-1. 地表面の流れ抵抗推定値

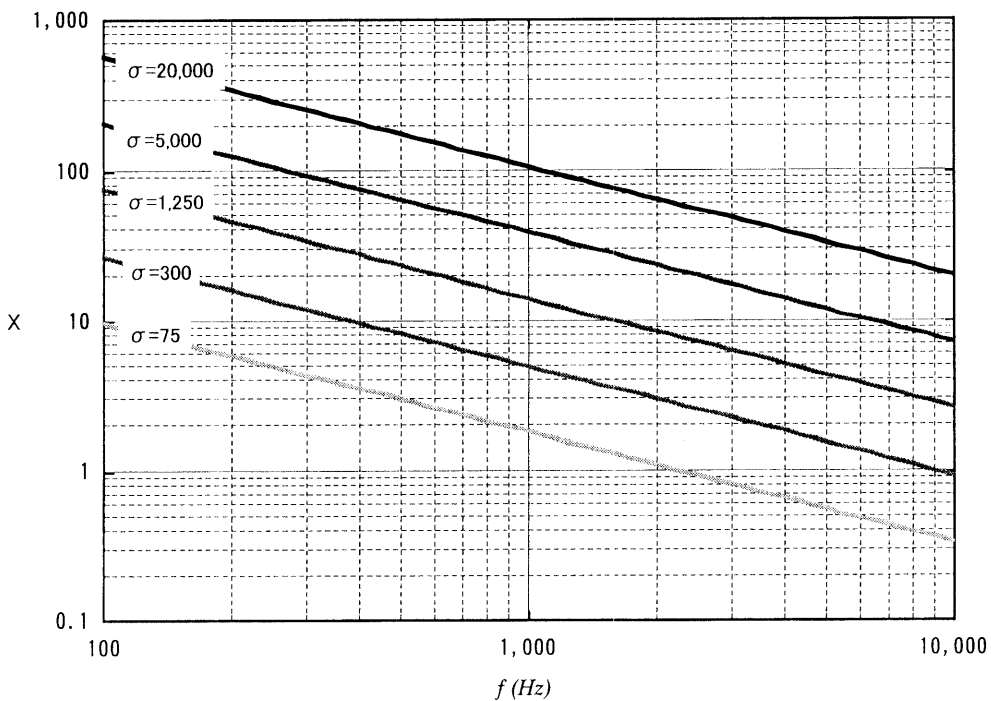
地表面の種類		流れ抵抗推定値 σ (kPa·s/m ²)	
アスファルト面, コンクリート面		20,000	～
硬い土壌地盤(グラウンド等)		5,000	～ 20,000
自然に締め固まった地盤		4,000	～ 8,000
細粉の砂利等を敷いた地盤		1,500	～ 4,000
砂の多い地盤		800	～ 2,500
砂利の敷かれた地盤		300	～ 800
芝生, 草地		150	～ 300
落ち葉のある地盤		20	～ 100
雪 (湿った状態)		20	～ 50
雪 (乾燥, 新雪)		10	～ 30
ASJ Model 1998	アスファルト面, コンクリート面	20,000	
	スル・ツァグラント等表面の固い地面	1,250	
	芝地, 田圃, 草地	300	
	表面の柔らかい畑地, 耕田	75	

C. 3 地表面の比音響インピーダンスの計算例

Delany & Bazley のモデル式に $\rho_0 c_0$ で規準化した特性インピーダンス $Z_c/\rho_0 c_0 (=R+iX)$ の計算例を図 C-1 に示す。



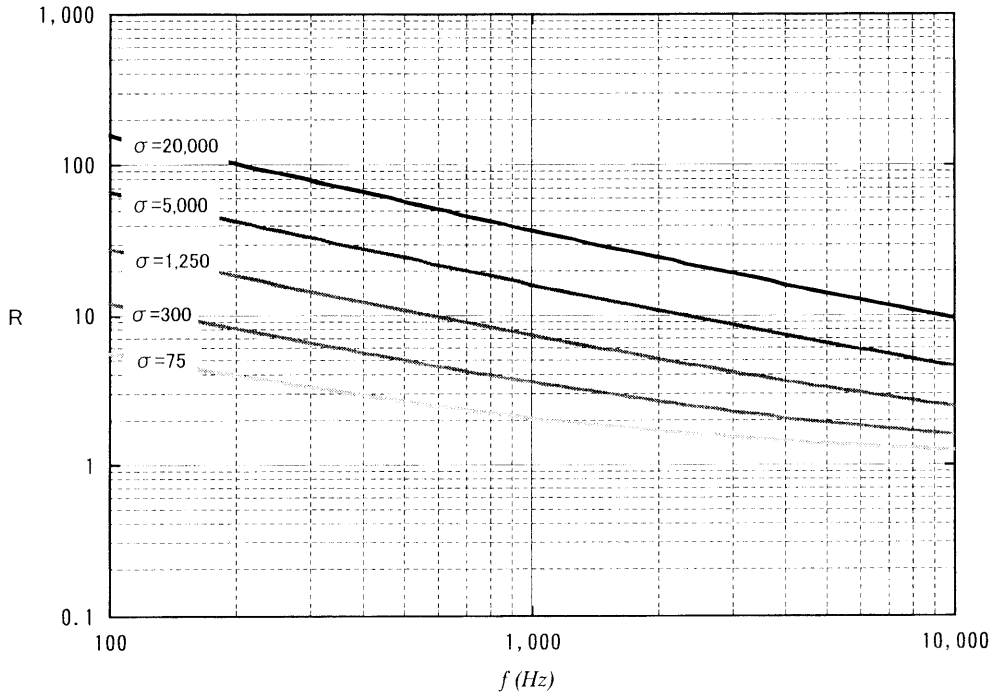
(a). 実数部 R



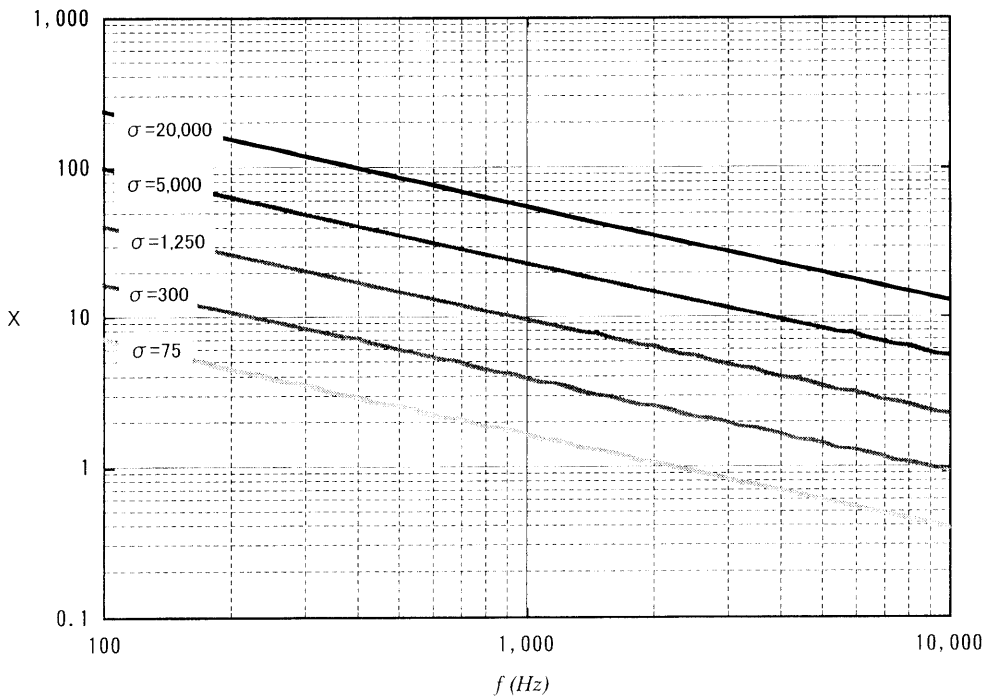
(b). 虚数部 X

図 C-1. $\rho_0 c_0$ で規準化した *Delany & Bazley* のモデル式による特性インピーダンスの計算例

同様に $\rho_0 c_0$ で規準化した *Miki* のモデル式による特性インピーダンスの計算例を図 C-2 に示す。



(a). 実数部 R



(b). 虚数部 X

図 C-2. $\rho_0 c_0$ で規準化した *Miki* のモデル式による特性インピーダンスの計算例