

ロータス型ポーラスマグネシウムの吸音特性

大阪大学大学院工学研究科マテリアル科学専攻博士後期課程一年 謝 振凱
大阪大学産業科学研究所 奥田 良行, 玄 丞均, 池田 輝之, 村上 健児, 中嶋 英雄

1. はじめに

現在の科学技術の発達には目を見張るものがあり、身の回りのものが高性能になるにつれ、材料に求められる特性も高度になってくる。特に近年、工業の発達につれ、騒音問題が取り上げられるようになり、騒音の低減に対する一般の関心が高まりつつある。騒音を低減するためには、通常は吸音材料や遮音材が用いられる。音は痛みや熱さなどという感覚と同様われわれの感覚の一部である。その感覚は空気中に伝わる音波によって起こされる。つまり音の原因は空気中の縦波である¹⁾。空気中のある点において、縦波によって空気の疎、密が起こると、空気が疎のところでは、空気が膨張して圧力が1気圧より少し小さくなり、密のところでは空気が圧縮され、圧力が少し大きくなる。この点の空気は振動を起こす¹⁾。多孔質材料(軟質ウレタンフォーム、ガラスウールなど)に音があたるとその空気振動が直接材料内部の気泡部分の空気に伝わる。気泡の中で空気の粘性摩擦を生じ、音のエネルギーの一部が熱エネルギーに変換されることにより、吸音作用を生ずることになる。

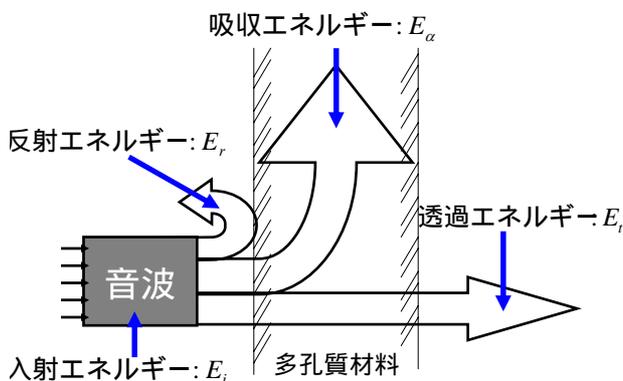


Fig.1 音波の反射と吸収

2. 吸音と吸音材料

二つの媒質の境界面に音波が到達すると、Fig.1 に示すように入射エネルギー E_i の一部 E_r は材料の中へ浸入せずに境界面で反射して再び空気中へ伝搬する。

これに対して残りのエネルギー E_α は材料の内部へ入射してその中に吸収される。この場合、音のエネルギー反射率は

$$r_p = \frac{E_r}{E_i} \quad (1)$$

これに対して材料中に浸入してゆく吸収エネルギー E_α および透過エネルギー E_t の和と入射エネルギー E_i との比を吸音率という。すなわち

$$\alpha = \frac{E_\alpha + E_t}{E_i} = \frac{E_i - E_r}{E_i} = 1 - r_p \quad (2)$$

である。吸音率は一般に音の周波数および入射角の関数である²⁾。音のエネルギーを吸収することが目的の材料を吸音材料といい、騒音防止に重要な役割を持つ。

吸音材料の開発するためには、直接に材料自身の改良、普及の歴史を追ってゆくだけではなく、その用途の変換や関連する基礎的な音響研究の発展過程などを合わせて展望することが重要である。これは材料自身の歴史が、これらの周辺条件と無関係ではないからである。

吸音材料としてこれまで使われてきたものには多くの種類があるが、音のエネルギーが熱エネルギーに変換することにより吸音作用が起こるという点は、ほとんどの材料に共通している。ただエネルギー変換の機構やこれに関係する材料の構成要素にはいくつかの種類があり、これが吸音材料の種類や吸音特性の特徴とも密接に関係している³⁾。現在吸音材料の種類を言うときには、多孔質材料、穴あき板材料、・・・というように、主として材料の外観によって分類して取り扱われること

が多い。実際に多くの場合には、外観上の特徴が吸音機構に結びついていると考えてよいので、こうした材料の区分で材料の吸音特性の特徴を理解するのに便利である。

3. ロータス型ポーラス金属の作製原理

従来の吸音材料は鉱物繊維が多く用いられてきたが、破損しやすく飛散すると人の健康に影響があるものとみなされている。このため、肌触りがよく人にやさしい吸音材料が求められている。

数年前、中嶋らは加圧ガス雰囲気での溶解凝固法によって新しいタイプのポーラス(多孔質)金属を開発した⁴⁻¹⁰⁾。このポーラス金属の孔は直線的に一方にそろっているレンコン(ロータス)型であることが特徴で、従来の非金属吸音材料、また、発泡金属や焼結金属に比べてはるかに強度に優れている。

このポーラス金属の作製原理は溶融状態からの一方凝固時における過飽和ガス原子の析出に伴って気泡を金属内に一方に生成させるものである。すなわち、溶融金属におけるガス原子の溶解度が大きく、その固体金属中での固溶解度が小さい場合、凝固時に過飽和ガス原子が析出して気泡を形成することを利用している。(Fig.2, Fig.3)

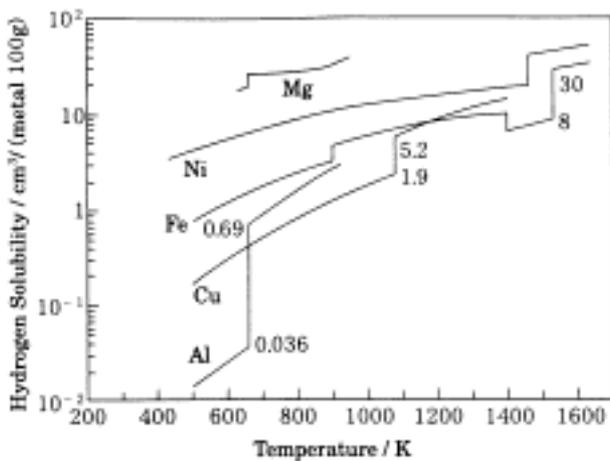


Fig.2 各種純金属の水素溶解度

これらの水素溶解度差を利用して、さらに一方凝固を行わせることで、気泡(ポア)に方向性を持たせることができる。この結果、ロータス(レンコン)形状ポーラス金属を創製することができた。Fig.3 のように、ハース

(鋳型)に水冷部を設けて流し込んだ溶融金属を下方から、一方凝固させるとポアの成長方向はそれぞれ下から上へ向かう一方方向性多芯状構造になることが実験

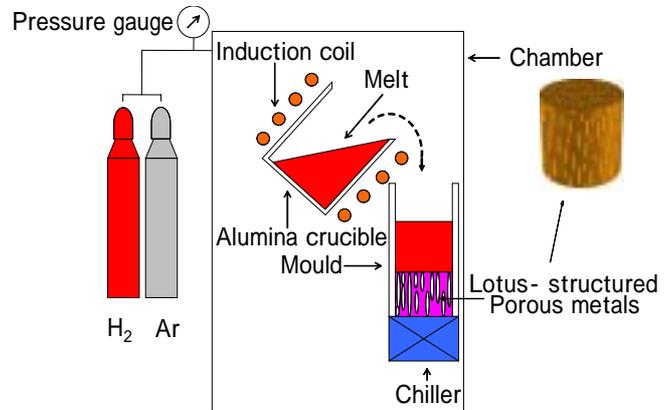


Fig.3 ロータス型ポーラス金属の作製原理

的に明らかにされた。本実験では、作製したポーラスマグネシウムは下から上に一方凝固させたものである。

4. 実験方法

マグネシウムを真空の高圧チャンバー内で高周波溶解した後、チャンバー内に水素とアルゴンの高圧混合ガスを導入した。水素分圧とアルゴン分圧の比は1:3,2:2,3:1である。1023K-1063Kの温度で保持して水素を溶け込ませた溶湯を、底部に水冷チルを設けた鋳型に鋳込んで、一方凝固させてポーラスマグネシウムを作製した。得られ鋳塊の直径は100mmである。

吸音率測定用円盤型試験片を鋳塊からワイヤーカット放電加工機で切り出し、吸音率の測定を行った。吸音率は材料の表面に入射する音波の方向によって変化するから、本実験では測定した吸音率が材料の表面に垂直に入射した場合の吸音率である。吸音率の測定はFig.4に示すように管の一端に試料を取り付け、他端のスピーカから純音を出すと、入射波と反射波の干渉により管内に定在波が生じ、波長の四分の一ごとに音圧の山谷ができる。入射波の振幅をA,反射波の振幅をBとすれば、音圧の極大値は $|p|_{\max} = |A + B|$ 、極小値は $|p|_{\min} = |A - B|$ となり、

$$\frac{|p|_{\max}}{|p|_{\min}} = \frac{|A+B|}{|A-B|} = n \quad (3)$$

とおけば、試料の音圧反射率は

$$|r_p| = \left| \frac{B}{A} \right| = \frac{n-1}{n+1} \quad (4)$$

となるから、垂直入射吸音率は

$$\alpha_0 = 1 - |r_p|^2 = \frac{4}{n + \frac{1}{n} + 2} \quad (5)$$

となる。

管内でマイクロホンを移動して n を測定することにより、垂直入射吸音率 α_0 を求めることができる。この測定方法は管内法 (tube method) のひとつで定在波法とよばれ、その詳細は JIS A 1405 に規定されている。管の断面寸法は、試料に垂直に平面波を入射させるため、波長より小さくする必要があり、管の直径を D とすると、上限周波数は $f_h < c / (1.7D)$ となる (c : 音速)。管長は少

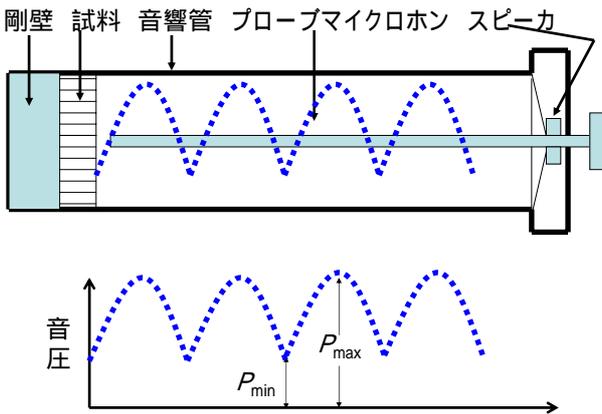


Fig.4 垂直入射吸音率の測定装置

なくとも二つの極小値を測定するため、下限周波数の $3\lambda/4$ 以上の長さが必要である¹¹⁾。普通は 1,000Hz 以下の測定に長さ 3m 程度の管、それ以上の周波数に 1m の管を使用する。

5. 実験結果

本実験では、マグネシウム試料の厚さがそれぞれ 10mm, 20mm および 30mm の吸音特性を測定した。垂直入射吸音率の周波数測定範囲は 125Hz から 4KHz である。周波数, ポロシティ, ポア径, 試料の厚さ, 垂直

入射吸音率はそれぞれ f, P, d, t, α で表される。

5.1 ポア径と垂直入射吸音率の関係

ポロシティを一定にして、ポア径を変化させたときの垂直入射吸音率を Fig.5 に示す。Fig.5 では周波数の増加とともに垂直入射吸音率は増加する傾向を見られる。垂直入射吸音率は低周波数より高周波数の方が顕著に増大する。ポア径が 340 μm から 610 μm に増加させると垂直入射吸音率は減少する。周波数 2KHz あたりに最大吸音率を見られる。

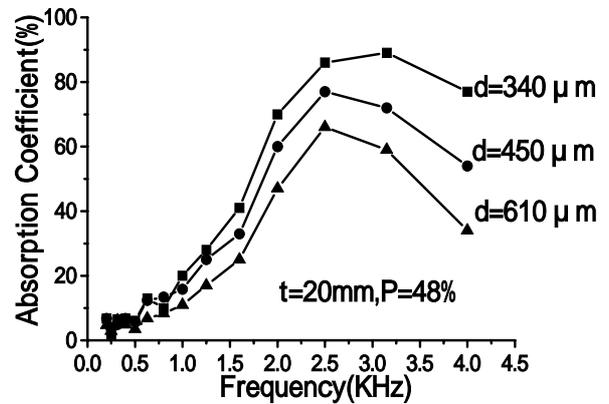


Fig.5 ポア径と垂直入射吸音率の関係

5.2 ポロシティと垂直入射吸音率の関係

ポア径を一定にして、ポロシティを変化させたときの垂直入射吸音率は Fig.6 に示す。Fig.6 では周波数が 4KHz まで増していくと垂直入射吸音率は大幅に増加する。ポロシティを 38%, 47%, 57% まで増加させると垂直入射吸音率は増加する。また、周波数は 3.5KHz あたりに最大吸音率を見られる。

5.3 厚さと垂直入射吸音率の関係

Fig.7 はポア径およびポロシティを一定にして試料の厚さと垂直入射吸音率の関係を示す。試料の厚さを 10mm, 20mm, 30mm に増加させると、吸音率は高くなった傾向を見られる。特に高周波数の方が垂直入射吸音率は大幅に上がる。厚さ 30mm および 20mm の試料は周波数それぞれ 2KHz および 3KHz あたりに最大吸音率を出てきたが、厚さ 10mm の試料は周波数 4KHz まで最大吸音率が認められない。

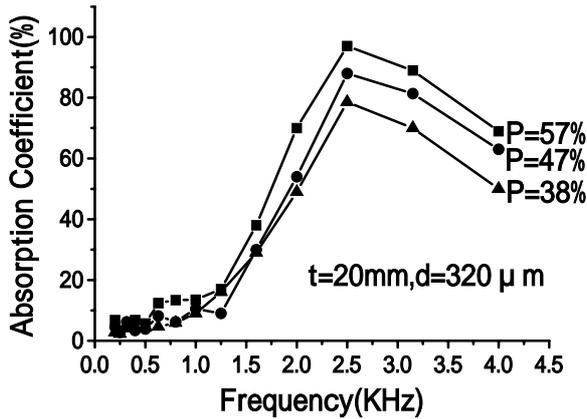


Fig.6 ポロシティと垂直入射吸音率の関係

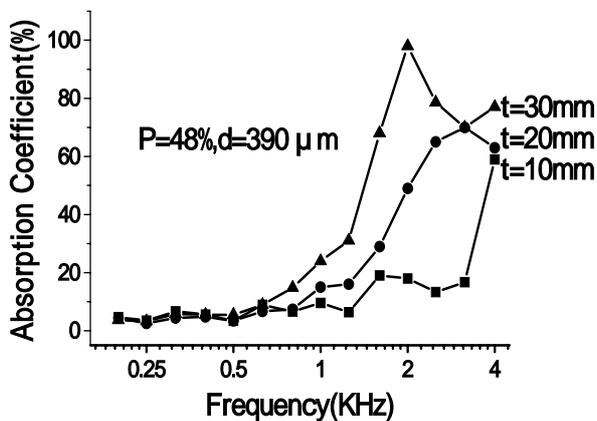


Fig.7 厚さと垂直入射吸音率の関係

6. まとめ

本実験ではロータス型ポーラスマグネシウムを作製し、定在波法を用いて、その垂直入射吸音率が測定された。以下のことがわかった。

- (1) 垂直入射吸音率は周波数の増加とともに増加する。また、低周波数より高周波数の方が高い。
- (2) ポロシティを一定にして、ポア径が $340 \mu\text{m}$ から $610 \mu\text{m}$ に増加させると垂直入射吸音率は減少する。
- (3) ポア径を一定にして、ポロシティが 38%, 47%, 57% まで増加させると垂直入射吸音率は増加する。
- (4) ポア径およびポロシティを一定にして、試料の厚さが 10mm, 20mm, 30mm に増加させると、吸音率は高

くなった傾向を見られる。

ポーラスマグネシウムに対する影響が最も大きいのは、ポア内の空気の摩擦、粘性抵抗である。垂直入射吸音率は、剛壁から $\lambda/4$ のところで最大になる。厚さ 20mm と 30mm のポーラスマグネシウムの最大吸音周波数はそれぞれ 3.5KHz, 2KHz のところに見られる。理論式から求めた値と比べるとほぼ一致することがわかった。

7. 参考文献

- 1) 中野 有朋: 低騒音化技術, 技術書院編, (1993)
- 2) 西山 静男, 山口 善司, 池谷 和夫, 奥島 基良 共著, 音響振動工学, (1979)
- 3) 奥田 良行: 日本音響学会講演論文集, p58 (1990)
- 4) H. Nakajima, Tokukaihei 10-88254.
- 5) H. Nakajima, Tokukaihei 10-227624.
- 6) S. K. Hyun, Y. Shiota, K. Murakami and H. Nakajima, proc. Int. Conf. on Solid-Solid Phase Transformations '99 (JIMIC-3), M. Koiwa, K. Otsuka and T. Miyazaki (Eds.), Japan Inst. Metals, Kyoto, 1999, pp. 341-344.
- 7) S. K. Hyun, K. Murakami and H. Nakajima, Mater. Sci. Eng., A299 (2001), 241-248
- 8) H. Nakajima, S. K. Hyun, K. Ohashi, K. Ota and K. Murakami, Colloids Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects, 179 (2001), 209-214.
- 9) S. K. Hyun, Y. Shiota, K. Murakami and H. Nakajima, Cellular Metals and Metal Foaming Technology, ed. J. Banhart, M. F. Ashby and N. A. Fleck, MIT, Verlag (2001), pp. 421-424
- 10) H. Nakajima, S. K. Hyun and K. Murakami, Advanced Tech. Mater., 13-18 (2002), 13-18.
- 11) 木村 翔: 建築音響と騒音防止計画, (1977)