

吸音材料の歴史と展望

Short History of Sound Absorbing materials

子安 勝 (Masaru Koyasu)
Kobayashi Institute of Physical Research

筆者が吸音材料に関係した仕事を始めてから、今年で25年あまりを経過した。長い吸音材料の歴史からみれば、この期間はそれ程大きなものではない。ただこの時期には、実用面で吸音材料の使われる分野が大幅に広がるにともなって、その性能、品質は飛躍的に向上し、また吸音材料としての種類、生産量ともに目ざましい増加をしている。さらに一方では、吸音材料の性能についての基礎的な研究、吸音性能計測方法の改良なども着実に進められてきた。

こうした意味から、この25年間は吸音材料の歴史の中でも特に重要であると考えられる。本文ではこの期間を中心に吸音材料の歴史をふりかえるとともに、今後の方向についても目を向けることにしたい。

1. 吸音材料の誕生

吸音材料の歴史を語ろうとするとき、いつも冒頭に取り上げられるのは中世ヨーロッパで建設された教会の壁に埋め込まれている「つば」であることが多い。こうしたつばは、いわゆるヘルムホルツ共鳴器として古代ギリシャ・ローマの野外劇場における人工的な残響付加や、日本の能舞台で足音の調整など、むしろ残響時間を長くする方向で使われたものもあるが、教会の例は明らかに低周波数域を対象にした吸音材料として考えられたものである。ただこうした時代には、吸音材料が一般に使われるような形で生産されるまでには至っておらず、特に吸音性能の評価方法が与えられていないことは、吸音材料の本格的な誕生には程遠いものといつてよいであろう。そしてこれは、今世紀初頭におけるW.C.Sabineの登場、建築音響学の創設を待たねばならなかった。

1900年のThe American Architect and The Engineering Record誌に、W.C.SabineはReverberation(残響)と題する論文を発表した。これはSabineがハーバード大学に新設されたFogg Art Museumの講堂

の音響特性の改修から出発して、現在に至るまで実用されている残響理論を発表した歴史的な論文である。この中でSabineはまず各種材料の吸音性能の決定を取り上げている。そして512Hzの周波数だけについてではあるが、Fogg Art Museum講堂をつくる時の手本にしたSanders劇場に使われている椅子のコレクションを始めとして各種材料の吸音性能を、開放した窓の面積に換算して求めている。ここに取り上げられた材料は、獣毛フェルトを始めとして現在多孔質吸音材料と呼ばれているものであって、ここで本格的な吸音材料の概念が確立したとみてよいであろう。

2. 吸音材料の用途の変換

吸音材料の発展のあとをたどるためには、直接に材料自身の開発、普及の歴史を追ってゆくだけでなく、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ありえないからである。

普通に吸音材料の用途というときには、例えば建築用などというように適用分野に応じて区分されることが多いが、ここでの目的に対しては、むしろその機能面に重点をおいて、(1)室内音響調整、(2)騒音制御の2つの用途区分で取り扱うのが適当であると考えられる。

2.1 室内の音響調整

吸音材料の歴史の第一頁を、Sabineによる講堂の残響調整においたように、吸音材料が系統的に使われるようになった初期の用途は、建築内装が中心であった。ただそのころには、吸音材料は主として音楽堂や劇場、あるいは放送スタジオ、録音スタジオなどで、音の聴衆条件やマイクロホンによる收音条件を改善することを目的として使われてきた。

その当時、吸音材料の性能表示には吸音率が、そして

室の音響特性の表示には残響時間が使われた。この吸音率と残響時間とを結びつけたのがセーピンの残響式である。1910年～1920年代にかけて、欧米のいくつかの機関に残響室が設置され、吸音材料の吸音率測定が始められている。ところが1920年代の後半になると、こうした材料の吸音率を使ってセーピンの残響式で計算された室の残響時間が、実際の室の音響特性と一致しない場合の少なくないことが指摘されるようになり、残響理論や吸音率についての研究が活発に進められた。1929年に米国の音響学会が設立されたのも、このテーマによる学者、研究者などの会合が一つの契機になったということである。

1930年にC.F.Eyringが新しい残響式を発表した。これはさきのセーピンの式を極限条件として含んだより一般的な残響式であり、アイリングの式と呼ばれて現在でも建築音響設計に広く実用されている。ただこの段階ではまだ室内の音場を十分に説明することはできず、更に基礎的な研究が続けられた。その中心になったのはノーマルモード理論であって、1940年代から50年代にかけて非常に多くの研究が行われた。この場合に室の壁や天井面に使われる吸音材料は、波動理論の中で境界条件を規定する要因として取り扱われる。このために、吸音材料の性能表示量としてノーマル音響インピーダンスが導入された。

このノーマル音響インピーダンスは、その後各種吸音材料の吸音機構の解析や特殊な吸音構造の設計などに利用されたが、実際に室の音響設計の面では取り扱いが複雑すぎるため、一部の特殊な場合を除いては十分に利用されるまでには至らなかった。こうして実用的な面では、吸音設計のための材料の性能表示には、現在でも主として吸音率が使われており、吸音率特に残響室法吸音率の精度向上のために、その測定方法についての研究が続けられ、規格化が進められている。

2.2 騒音制御

前項にのべた室内の音響調整は、これら音の聴取や吸音を目的とした室では基本的に重要な条件であるが、この種の建築は、建築全体からみればむしろ特殊建築物といってよいものであって、この限りでは吸音材料は各種建築材料のなかで特殊な材料としての位置を占めているにすぎなかった。

こうした状態にあった吸音材料が、一般の建築のなかでも広く使用され、それに伴って生産量も飛躍的に増加してきたのは、建築機能の一つとして居住環境の調整が重要視され、建築物の内外における騒音の制御が広く取上げられるようになってからである。そして現在ではほとんどすべての建築物のなかで吸音材料が使われるようになっており、特に室の内装だけでなく、各種設備関係

の騒音制御や遮音構造の構成要素などに使われる比量が増加している。

さらに建築以外の用途に吸音材料が使われるときの目的は、ほとんど騒音の制御にあるといってよい。現在公害問題を始めとして騒音対策を必要とする事例が多くなっているが、そのなかで吸音材料を使用する方法は、もっとも普遍性のある方法の一つになっている。この場合の吸音材料の役割は、騒音エネルギーを吸収低減させることであって、吸音材料の性能評価はほとんどの場合その吸音率によって行われてきた。

このような騒音対策を目的として、各種の機械、航空機、船舶、車輛などのなかで、各所に吸音材料が使われている。これらの場合には、吸音性能そのものは別として、それ以外の性能や寸法、外観などについて、室の内装など建築的用途とはちがった条件を要求されることが多い。こうして建築用とは別に、騒音防止用としての吸音材料の歴史をつくりながら現在に至っている。

3. 吸音材料の歴史

3.1 吸音材料の種類

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されることによって吸音作用がおこるという点は、ほとんどすべて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。

現在吸音材料の種類をいうときには、多孔質材料、あなあき板材料、……というように、主として材料の外観によって分類して取扱われることが多い。実際に大部分の場合には、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が各材料の吸音特性の特徴を理解するのに便利である。

表1 主要吸音材料の変遷

材料区分	年 代					
	1930	1940	1950	1960	1970	1980
多孔質材料	フェルト、パルセ、麻績					
	ロックウール、グラスウール					
	発泡樹脂材料 羊毛、木片セメント板					
成形吸音板	騒音テックス					
	ロックウール吸音板					
あなあき板	---					

こうした考え方によって各種吸音材料を分類し、それぞれの中での時代を追っての主要な製品の変遷を概観できるようにまとめたのが表1である。以下これに従って各材料の歴史を眺めてゆくことにしたい。

3.2 多孔質材料 フェルトからグラスウールまで

多孔質材料は吸音材料の歴史のなかで最も古くから登場してきている。これは図1に示されるように、吸音率周波数特性が平滑で一般的な用途に使いやすく、特に材料の厚さによって中低音域の吸音率を調整できることが大きな利点になっているためと考えられる。

実際に初期の頃に使われたのは、フェルト、パンヤ、麻綿など有機質繊維が中心であった。ただこの段階では、これらの材料は始めから吸音材料として製造されたものではないので、パンヤ、麻綿などはマット状に成形したり、枠づめをするなどの方法をとることが必要であり、適用にも制限を受けることが避けられなかった。さらにこれとは別に、これらの材料には有機質材料の本質として、耐腐食性、防火性などに難点があった。

こうして、1940～1950年代にかけて、多孔質材料の中心はロックウールやグラスウールなど無機質繊維に移っていった。ただ初期の頃には、繊維の径にむらが大きく、また粒子の混入率の大きい状態が普通であったので、性能面だけでなく特に施工上に問題が多く、実用的にみて必ずしも満足できるものではなかった。その後主として製造技術の進歩、改善によって製品の品質は目ざましい向上をとげた。グラスウール、ロックウールのいずれについても、樹脂系バインダーによってボード状に成形した製品は、材料の軽量化や品質の安定化という面で大きな寄与をしてきた。そして現在、ロックウール吸音材 (JIS/A 6303)、グラスウール吸音材 (JIS/A 6306) として、標準品が提供されるようになっている。

文字通りの多孔質材料としては、古くはスポンジゴム

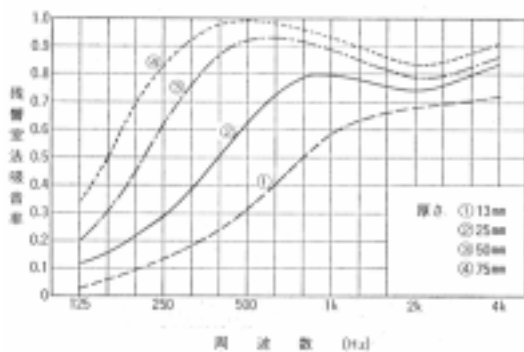


図1 多孔質吸音材料の吸音特性

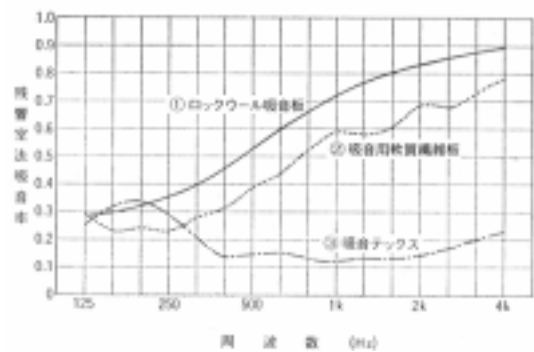
から最近の軟質ウレタンフォームで代表される連続気泡をもった発泡材料までである。発泡樹脂材料は石油化学の産物として市場にあらわれたが、比較的初期のころからその用途の一つとして吸音材料が考えられてきた。そしてロックウール、グラスウールなど繊維材料とはちがった構造上の特徴すなわち成形性や気流（風）に対する適性などを活用する方向で考えられてきた。

3.3 成形吸音板 吸音テックスからロックウール吸音板まで

吸音テックスの名称は、古くからの吸音材料関係者にとってはなつかしい響きをもった名前である。パルプを板状に成形した表面に白色塗装を施し、半貫通の丸あなを数多くあけた吸音テックスは、始めから吸音材料として開発された製品の第1号といってよいであろう。建築内装材として目にふれやすいこともあって、吸音テックスは吸音材料の代名詞とまで考えられていた時期もあった。

こうした輝かしい歴史をもった吸音テックスではあったが、その普及とともにいくつかの問題が指摘されるようになった。まず当時わが国で生産されていた吸音テックスは、ごく一部の製品を除いて吸音率からみて吸音材料とはいえないものが多く、極端な場合には普通の板と変わらないものまであった。1950年代の終りにインシュレーションボードを素材にした吸音板が市場にあらわれたとき、意識的に吸音テックスという名称を使うことがさけられたのも、外見は似ていても品質はちがうという主張によるところが大きかった (図2)。

更にこれと並んで重要視されたのは、有機繊維にとって本質的な火に弱い点であって、建築内装の防火規程が



ロックウール吸音板
吸音用軟質繊維板
吸音テックス
図2 成形吸音板吸音特性の傾向

強化されるのに伴って吸音テックスの適用範囲は限定されていった。こうして1960年代に入ってロックウール吸音板が市場にあらわれると、吸音テックスに代って急速に需要を伸ばしていった。この時期でのロックウール吸音板の出現は、全くタイムリーなものであったが、これがユーザに歓迎されたのは、吸音、防火などの性能面のほかに、表面のトラパーチン（灰華石）模様などの意匠上の特徴によるところが大きい。吸音テックスの丸あなは、始めの頃はいかにも吸音という機能をあらわすものと受取られていたが、次第にその単調さがあきらまれてきて、大小の丸あなをランダムにあけるなどの方法が考えられてきた。ここで全く新しいトラパーチン模様が、ロックウール吸音板の市場を拓げるのに大きな寄与をしたことは間違いないことである。

3.4 あなあき板とコペンハーゲンリブ

あなあき板の背後に空気層をおいた構造は、原理的には昔からよく知られているヘルムホルツ共鳴器の応用であるが、その吸音機構や設計方法については、1940年代に多くの研究が集中的に行われており、実用的にみてこの時期をあなあき板吸音材料の誕生と考えてよいであろう。

あなあき板の吸音特性は、図3に示すように特定の周波数域を中心にした吸音領域をもっており、用途に応じてこの吸音領域を選ぶのが使い方の要点になる。このとき吸音周波数域を規定するのは、あなあき板の厚さ、あな径、ピッチと背後空気層の厚さである。さらにこの周波数域での吸音率の大きさは、あなあき板の背後におかれる多孔質吸音材料などによって規定される。このように吸音特性についてみれば、あなあき板自体の材質は本質的な意味はないので、あなあき板の吸音材料としての歴史は、ほとんどその使い方の歴史であるといつてよいであろう。以前にはあなあき板というだけで、吸音領域

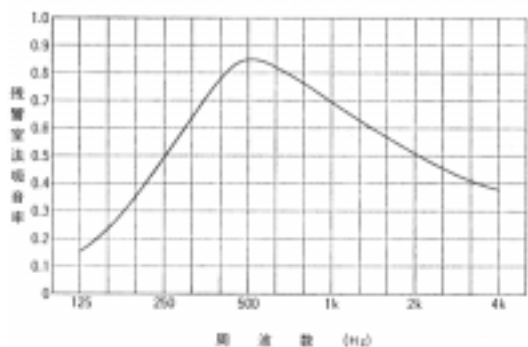


図3 あなあき板吸音特性の例

を無視して使われることも少なくなかった。極端な例としては、設計図のなかにあなあき板とあるだけで、あな寸法などの規定がないことも珍らしくなかったが、次第に適確な使い方の方向に向かっているとみてよい。

あなあき板は、その材料の選定によっては耐熱、耐水あるいは耐気流などの特性をもった吸音材料として適用することができる。航空機用ファンジェットエンジンのナセル内側の吸音処理は、その適例といつてよいであろう。

図4に示した一種のリブ構造が、コペンハーゲンリブの名称で吸音材料として登場したのは1940年代である。吸音の機構、特性からいえば、コペンハーゲンリブはあなあき板と類似のものであるが、意匠的な変化特に背後の多孔質吸音材料が直接に見えないこととともに、その名前の目新らしさも手伝って、一時期主として壁面の吸音構造として大々的に使われたものである。ただ構造的に多少複雑なことなどから、その後は単純なリブ構造に移ってゆき、コペンハーゲンリブの原形は現在ほとんどみられなくなっている。

4. むすび 吸音材料の展望

以上主要な吸音材料を中心にして、その歴史の概要を振り返ってきた。ここで目を将来に移して、吸音材料の今後を展望することによって、この小文を締めくくることにしたい。

はじめにのべたような室内の音響調整や騒音制御に吸音材料を使用するのに対して、吸音性能の面からいえば、既存の製品に比較して飛躍的に優れた材料の出現する可能性は小さい。しかし既存製品の範囲では、吸音性能以外の面でいくつかの問題点が残されている。

まず室内の音響調整用の吸音材料においては、建築の防火規程による内装制限の強化によって、材料の選択範囲が非常に狭くなっている。これは吸音性能とともに意匠面でも設計の自由度を著しく小さくする結果となっている。一方騒音防止用吸音材料の開発のポイントは、耐熱、耐水、耐油、耐風圧、清浄性などの諸性能になってくる。

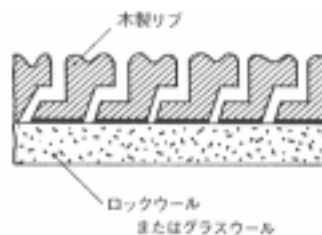


図4 コペンハーゲンリブの断面

これらの場合に吸音特性が従来の製品の範囲にあれば申し分ないが、たとえ吸音率が多少低下しても上記諸性能のうち、いくつかについて優れた材料であれば、実用的に役に立つ材料になると考えられる。従来吸音材料というと、吸音率の大きいことが優れた材料の条件であるとみられる傾向があるが、実際には適用場所に応じて必要な諸性能を満足するとともに、広い範囲の吸音特性を選択できる材料の系列が整備されることが望ましい。長い歴史をもった吸音材料であるが、こうした意味では新しい材料の出現が期待される。今後の吸音材料の開発、適用の中で、こうした観点に注目されることを望みたい。

〔追記〕

本文で吸音特性を示す図は、横軸が通常の直線目盛で、吸音率0～0.1と周波数5オクターブの長さの比が2:3になっている。従来わが国で吸音特性を図示するときには、片対数方眼紙が使われてきた。これはJIS/A 1409（残響室法吸音率の測定方法）に規定されている。これに対して国際規格（ISO）では、ここで使った直線目盛を周波数軸とすることが規定されており、非公式であるがわが国でもこれに従うよう要請されている。そのため将来この表示方法に移行する必要があると考えられるので、試用したものである。