

## 1 はじめに

道路工事において吸音材が注目され、使用のいとぐちが開かれたのは、おそく、トンネルの内装として使用されたのが最初であろう。そして、この内装材の使用は主として、利用者に対して快適なサービスを提供するのが目的であったと考えられる。沿道の第三者へのサービスとして道路騒音の防止を目的として使用されるに至ったのは、ここ数年、特に幹線道路が、あちこちで公害道路として住民の強い反対に会い、騒音の防止が急務となったこと、また昭和46年5月25日付で「騒音に係る環境基準」が制定され、新しい目標が設定されたこと等を契機として、道路騒音の防止に真剣に取り組まざるを得なくなつて以来のことと考えられる。従つて、今後の道路整備においては、吸音材料は必要不可欠な材料であり、その有効適切な使用は道路技術者に課せられた重要な責務と考えられる。

## 2. 吸音材の種類と吸音機構

吸音材には非常に多くの種類があるが、その吸音機構の根本にもとづいて考えると音波のエネルギーが他のエネルギー(普通には熱エネルギー)に変換するという点では共通している。しかし音から熱エネルギーに変換する過程が材料によって異なり、これがまた材料の吸音率、周波数特性にも関係してくる。そのために吸音材料をいくつかの種類に分類しておく、吸音特性や吸音機構の特徴を理解するのに便利である。分類方法にはいろいろな観点からの分類が考えられるが吸音機構によって分類すると次表のとおりとなる。

| 名 称                    | 吸 音 機 構                                                                                          | 製 品 例                                                                 |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 多孔質材料                  | 材料の中の不規則な小さな連続的間隙と空気が運動しようとするとき空気の粘性によって音が熱エネルギーに変わる。熱伝導による熱損失、吸音材への運動エネルギーへの変換も二次的なエネルギーの吸収となる。 | ロックウール、グラスウール、発泡樹脂指紋材、吸付石棉、煉成岩材料(パーライト、バーミライト、木屑セメント板、木片セメント板、セラミック板) |
| 孔あき板状材料<br>(スリット、リブ構造) | 孔あき板と背後空気層で構成された空気は質量とバネをもつた一つの共振系となり、共振周波数があるると孔の附近での摩擦によって音のエネルギーが吸収される。                       | 孔あき金属板、あきあき石棉セメント板、孔あき石こうボード、孔あきハードボード類、スリット金属板、リブ構造板                 |
| 柔軟材料                   | 弾性をもつた材料に音波があると材料が振動し、そのとき材料の内部摩擦によってエネルギーが吸収される。                                                | 発泡樹脂指紋材(塩ビフォーム、ウレタンフォーム)、軟質ゴム                                         |
| 板状材料                   | 背後に空気層を置いて、板状材料の周辺だけを固定すると、共振系を構成し、板は共振振動し、内部摩擦によって吸音する。                                         | 合板、ハードボード、石こうボード、石棉セメント板、その他のボード類                                     |
| 膜状材料                   | 背後空気層を置いて、膜状材料を張ると、共振系を構成し、振動による内部摩擦によって音のエネルギーが吸収される。                                           | ビニールシート、カンバス                                                          |

なお、吸音機構上からの分類としては上記の他に、吸音くさびがあるが特に低音域(50~150Hz)の吸音をはかることを目的として無響音室等特殊な用途に用いられている。また吸音材の分類には、材質による分類、吸音す

の音域による分類、使用目的による分類、外観による分類等が考えられる。

### 3. 吸音材の特性と使用条件

道路騒音防止用の吸音材として通常使用されているものは前述の分類のうち、<sup>多孔質</sup>吸音材とあなあき板材料であると考えられる。柔軟材料、板状材料、膜状材料及びくさくさ形状材料は中音域における吸音率が小さく(0.1~0.2程度)特殊な用途以外には使用できない。そこで通常使用される多孔質材料とあなあき板材料の<sup>(下欄参照)</sup>吸音特性と使用条件についておもな事項を記すと次のとおりである。

① 多孔質材料 多孔質材料の吸音特性は空気の流れ抵抗、有孔率、隙間や形、配列、その不規則性を表わす構造定数、背後空気層の厚さ、表面仕上げの影響によって左右される。

流れ抵抗……多孔質材料で一般にもっとも重要なのは空気の粘性による影響であって、これを定量的に取り扱うために単位面積あたりの流れ抵抗( $\text{dyn/cm}^2 \cdot \text{sec}$ )が用いられる。流れ抵抗( $\gamma$ )と吸音率との間には定量的な相関関係があり、多孔質材料の品質規定量として一部の材料の規格に取り入れられている。多孔質材料の $\gamma$ は通常 $10 \sim 10^4 \text{ dyn/cm}^2 \cdot \text{sec}$ であり、 $\gamma$ が大きくなるに従って吸音率が高くなり、この傾向は高音域ほど強い。

有孔率……材料の全容積と空隙の容積との比率で表される。ただし空隙の容積は open cell の状態であることが条件となる。通常、多孔質材料の有孔率は70~90%である。

構造定数……多孔質材料の吸音作用についての理論的考察の方法として、毛細管が平行な方向に存在するモデルと仮定して取り扱っている。しかし実際には隙間の形や配列は複雑で不規則なことが多い。そこで理論が実際に合うようにするための補正係数として構造定数( $S$ )が考えられている。多孔質材料の $S$ は通常2~10の範囲とされている。いまこの構造定数 $S$ と流れ抵抗 $\gamma$ との<sup>吸音特性</sup>におよぼすおもな<sup>影響</sup>を示すと次のとおりである。

材料の厚さが充分大きいとき $\gamma$ と $S$ はともに小さいほど吸音率は高くなる。厚さがあまり大きくない場合は、吸音率を大きくするための $\gamma$ の最適値が存在し、 $\gamma=10^2$ 程度が適当である。低周波では $S$ の影響がない。

$\gamma$ が比較的小さい場合、 $S$ が大きくなると中高音域で周期的変化がみられる。 $\gamma$ と $S$ が一定の場合、材料の厚さを増すと一般に吸音率が大きくなる。 $\gamma=10^4$ 程度になると厚さによる変化はみられなくなる。

背後空気層……通常背後空気層の厚さが厚くなるに従って<sup>吸音率</sup>の吸音率が大きくなる。従って剛底着の場合よりも材料を導くことができる。しかし反面設計仕様が複雑となるので両者の得失を差して施工する必要がある。また薄い材料に厚い空気層をおいて使うとき中音域で吸音率が低下する傾向があり、特定の方向からの入射音に対して特にこの傾向が強くなるので注意が必要である。

表面仕上げの影響……多孔質材料は open cell の状態が前提である従って表面仕上げによって吸音特性が変化する<sup>ので</sup>注意が必要である。

吸湿、吸水の影響……吸湿、吸水すると空隙が減少するため吸音率が低下する。一般的傾向として、吸水によってまず高音域の低下がみられ、吸水量の増加とともにその低下範囲が広がる。通常含水率が5~10% (かき容積に対する含水率)を越えるときなり吸音率が低下する。

#### (2). あなあき板材料 (スリット板 リブ構造板を含む)。

あなあき板構造の吸音特性は板の厚さ、あな径とピッチ、背後空気層の厚さと下地材料によって決まる。あなあき材料の吸音率は共鳴周波数を中心とした山形の吸音特性を示し、吸音率も共鳴周波数音域で30~40%。その他の音域では10~20%程度であるため、通常の場合には下地材料なしでの使用は特別な場合以外ないと考えられる。あなあき板は主として、多孔質材料の表面保護板としての使用が一般的である。下地に多孔質材料を組み合せると共鳴周波数を中心として、かなり広い範囲にわたって吸音率が上昇する。この場合多孔質材料の種類や厚さによる吸音率の差はそれほど大きくない。共鳴周波数よりも高い音域においては開口率が大きくなるに従ってこの領域の吸音率が上昇するが通常20~30%の開口率であれば実用上問題はないと考えられる。あなあき板の下地材料の位置としては、板の近い位置においた方が低音域での吸音率は大きくなる。またあなあき板は金属

板の方が小さな穴あけが可能で、及び強度上から穿孔率を大きくできることにより多孔質材料の吸音性能とこのこととなく高音域での吸音率の低下を防ぐことができる。スリット板及び格子構造板は下地材の吸音率がそのまま期待でき、保護板としては適切な構造であるが穿孔率が20%以下の材料においてはあなごき板と類似した吸音傾向を示す。

#### 4. 吸音材に必要な諸性能

道路の吸音材はその使用される場所によって大別すると次のとおりとなる。

- (1) トンネル、シールドの吸音内装材としての使用……雨水等が直接かからない部分の吸音。
- (2) 擁壁等の吸音処理材としての使用……コンクリート擁壁、ブロック積擁壁等の吸音。
- (3) 吸音壁としての使用……鉛直壁又は先折れ型式、中央部に設置する場合内面吸音。
- (4) その他特殊用途としての使用……床板の裏面等の吸音。

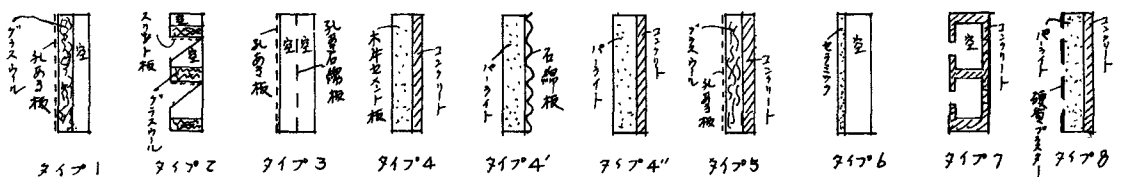
上記のように使用箇所の違いにより、必要となる吸音材の性能も異なってくるが、道路用の吸音材は降雨、排気ガス等に直接さらされるため過酷な条件に耐えることが要求される。また建築の場合よりも補修等が困難なため、耐久性が一段と要求される。いま最終的な出来形としての吸音材に必要な諸性能をまとめると次のとおりである。

|      |                                                                                                                         |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 吸音性能 | 吸音特性が所要の音域でフラットであり、かつ必要な吸音率が得られること。ほこりの吸着等により吸音率が劣化しないこと。材料の劣化により吸音率が低下しないこと。音源方向からの入射吸音率が高くかつランダム入射に対しても充分な吸音率が得られること。 |
| 耐劣性能 | 耐酸性（凍結融解、温度変化）がよいこと。化学的に安定であること。（凡化安定度、防錆性）。紫外線による劣化がないこと。排気ガスによる変質がないこと。                                               |
| 力学性能 | 圧縮強度、引張強度、耐衝撃性、曲げ強度が凡荷重等に耐える必要の強度以上であること。表面強度がある程度確保されていること。                                                            |
| 熱性能  | 難燃性で有毒ガス等の発生がないこと。熱電流抵抗が大きいこと。                                                                                          |
| 耐水性能 | 吸湿、吸水しにくいこと。（吸音率が著しく低い値まで吸水しないこと）含水量の変化によって収縮膨張しないこと。                                                                   |
| 施工性能 | 軽量で加工性がよいこと。破壊しにくいこと。                                                                                                   |
| 保潔性能 | 清浄性（洗淨性）、耐磨耗性がよいこと。破壊に対する互換性がよいこと。                                                                                      |
| 意匠性能 | 形状、外観、色彩がよいこと。光反射が著しくないこと。電波障害等の影響が少ないこと。                                                                               |

吸音材の使われる場所や使用目的はさまざまである。一方現在市場にある吸音材の品種は非常に多く、それによって吸音材料としての性能も多種多様である。したがってそれぞれの使用条件にもつとも適した材料を選ぶことが重要となってくる。そしてこの場合材料選定の中心になるのはその材料の吸音性能であって、吸音設計の中心になるのは、まず材料に必要な吸音性能を求め、これによって使用材料を選択することになる。吸音材料の特性は種類によって異なり、さらに同一材料によっても使い方によって変化することが多い。従って吸音材料を効果的に使うには、使用部位に応じた吸音性能と使用条件に合致した材料を選定することが大切となる。

#### 5. 吸音壁の種類と使用条件

道路用の吸音材としての量的に需要が多いのは吸音壁と考えられるが、現在吸音板を一応製品化して供給できる会社は30社を越えるものと推定される。そのおもな型式を求めると次のとおりである。



タイプ1 シスロン、クリモトパネル、インクラパネル、日本碍子グラスインパネル、日軽アルミ、SPパネル  
レルムS ホーンライト、ダーンホーン、デホンド、ダーンパネル

タイプ2 アサヒダンパー、サンデンメル、

タイプ3、 アウトホーン

タイプ6 セラミック吸音パネル

タイプ4、 ドリゾール吸音板、フボタパーライト吸音板、

タイプ7 吸音ブロック(ニテアス)

タイプ5 デーソン(ブロック)支柱不要、(土工区画に設置)

タイプ8 吸音ブロック(バスコン)

なお、吸音板の構成素材のおもなものは次のとおりである。

材 質……金属材 アルミ、SS4/Znメッキ、カー鋼板、ボンデ鋼板

前面保護板……孔あきアルミ板(1/4寸孔、平孔)、パシテングメタルSS4/Znメッキ、スリット板(リブ成形) エキスパンメタル

吸 音 材……グラスウール、ロックウール、パーライト、セラミック、木片セメント板

裏 板……アルミ板、SS4/Znメッキ、カー鋼板、ボンデ鋼板、ダンパー鋼板、スレート、コンクリート。

#### 6. 道路用吸音板に対する開発方向

防音壁以外の既存の吸音板は主として建築用の吸音内装用として開発されてきたものが多く、外装用の吸音板として直ちに使用に耐えるものは非常に少ない。今後この方面で新しい製品の開発あるいは従来製品の改良が日を追って出現するものと期待されるが、製品の改良開発の視察がどこにおかれるべきかについて若干の私見を以下に述べる。吸音板の理想的型式としては4節において述べた諸性能の必要な条件を単一化して満たすような材料がもっとも望ましいが、現状のところ、このような材料は見当たらない。従って複合材料によって必要な諸性能を満たすこととなる。この場合においてもできるだけシンプルな形態の複合材料が望ましいと考えられる。

なお実際の材料選定に当たっては、吸音性能、耐久性能と並に高い水準で要求すると、材料の選択範囲が極端に狭まり、また経済的にも適切を欠くこととなるので、使用箇所、必要な吸音率の程度に応じて、適当な範囲で材料を選択することが大切となる。また外装吸音板は雨水の問題は避けられぬが、吸湿吸水による吸音率の低下を防ぐための表面破水処理に関して、今後の開発が強く望まれる。

(1) 防音壁について。前述に示したように吸音板のタイプについては、ほぼ形が定まろうた感はあるが、現在もっとも多いタイプ1は単価が割高であらうと、耐久性に関して、必ずしも充分な製品とは認められな。今後の改良開発方向としてはタイプ3、タイプ4の型式について充分な検討を加えて行く必要があると考えられる。特に几荷量に対して、所要の強度を得るための補強方法についてタイプ4の改良が望まれる。またタイプ4では雨水の浸透、洗淨性を考慮した表面処理の検討が必要である。タイプ3については吸音率が一定の水準に達しており材料構成がシンプルな利点があるため外装用吸音板としてのメリットは大きい。今後音響学的な説明が行われ吸音特性が明らかになるものと期待される。なお、パーライト、バーミキュライト、セラミック吸音体については量産化によるコストダウンが期待されるものと思われる。

(2) 擁壁等の吸音板に関して。今後市街地等において建設される道路においては地域適合性の観点から半地下型式の道路構造が採用されるケースが多くなるものと考えられるが、これの多重反射による騒音のレベルアップの防止をはかるためには壁面の吸音処理が必要となる。擁壁の吸音処理に関しては透過損失の問題がないため吸音の仕について考慮すれば足りることとなる。従って吸音板を前面板で保護し、背面空気を囲った状態で施工する方法も考えられるが、前述の4に準じた形態が望ましいと考えられる。この場合、先付施工とすると、後付け施工とすると両案考えられ、それぞれ一長一短あり、今後充分な検討が必要と思われる。なお吸音対策に因しては、また考え、方法等と確立する段階に至っては、現場においては現実に施工せざるを得ない状態にあるため、一日も早く設計施工指針等が制定されることと望ましいと考えられる。

参考文献、騒音対策ハンドブック 日本音響材料協会 技報堂 S41.12

建築用吸音材料、子安勝 技術書院 S47.12 音メカ-のカタログ及び試験データ