

数量化理論Ⅰ類による吸音板構造と吸音性能に関する分析*

Analysis on Performance of Sound Absorption Panels by Multi-Dimensional Quantification Theory (I)*

上坂克巳**, 大西博文***, 鉢嶺清範****, 小寺隆司*****

Katumi UESAKA**, Hirofumi OHNISHI***, Kiyonori HACHIMINE****, Takashi KODERA*****

1. はじめに

高架併設道路および掘割道路等においては、自動車騒音の反射が沿道の騒音レベルの上昇を招き、遮音壁等による騒音対策だけでは十分な効果が得られないことがある。これらの場合、高架道路の裏面や掘割壁面等に吸音板を設置し反射音を低減することが有効であり、そのため、より高性能な吸音板の開発が求められている。

これまでの吸音板の吸音性能に関する研究事例は、吸音材の厚さ、密度、背後空気層等と吸音性能の関係の分析^{1), 2)}や、有孔板・フィルムが多孔質材料の吸音特性に与える影響の分析^{3), 4)}等、吸音板を構成する材料を個別に取り上げ、それらが吸音性能に与える影響を検討したものがほとんどである。しかし、製品としての吸音板（以下、「吸音板」とは製品化された吸音板を言う。）の構成要素が吸音性能に与える寄与の度合いを総合的に比較分析した事例はほとんど見あたらない。

本報告は、平成7年度の建設省建設技術評価制度公募課題「騒音低減効果の大きい吸音板の開発」に対して開発申請を行い、1年余の開発・評価期間を経て、平成9年6月に建設大臣から評価書が交付された高性能の吸音板59製品のうち26製品に関して、吸音板の構造と吸音性能の関係を数量化理論Ⅰ類を用いて分析し、高い吸音性能を目指した吸音板の設計方法について若干の考察を行うものである。

2. 数量化理論Ⅰ類適用のためのモデル化

(1) 対象とした吸音板

建設省技術評価制度「騒音低減効果の大きい吸音板の開発」において評価書を交付された59製品は、吸音材料からみるとファイバー系多孔質材料と吸音性コンクリート系材料に大別され、吸音板の形状については、平板、波型、平板に円筒形の吸音体を取りつけたもの等、種々のタイプがみられた。ここでは、ファイバー系多孔質材料のうち、特にグラスウールを用い、吸音板がほぼ平板とみなせる26製品を分析対象とした。

(2) 吸音板の構成要素の抽出

対象とした吸音板の構造と吸音性能の関係を数量化理論Ⅰ類を用いて分析するにあたり、まず、吸音板の構成要素のうち、吸音性能に影響を及ぼすものを以下のように抽出・整理した。

①吸音材（グラスウール）

②背後空気層

③吸音材保護材料

④正面板

②背後空気層は、吸音材の背後にある空気層であり、部分的に空気層を有するものも背後空気層ありと考えた。また、正面板と吸音材の間の空気層については、正面板の開口率が50%程度以上のものがほとんどであることから、吸音率に与える影響は小さいと判断した⁵⁾。

③吸音材保護材料は、吸音材の劣化防止のため用いられるもので、正面板等の表面材に密着させたガラスクロス系（サランロックを含む）のものと、吸音材を覆うフィルムとに分類した。

④正面板とは、吸音板を設置した際に、音源側を向いた表面材をいい、有孔板（パンチングメタル）、エキスパンドメタル、アルミ繊維等のアルミ系吸音材料、半円筒状の有孔板を部分的に吸音材の支持材

*キーワード：開発技術論，交通公害

**正員，工修，建設省土木研究所環境部交通環境研究室（茨城県つくば市大字旭1番地，TEL0298-64-2606，FAX0298-64-7183）

***正員，工修，同上

****正員，同上

*****工修，(株)ケー・シー・エス（東京都千代田区五番町6番地，TEL03-3263-9711，FAX03-3263-9334）

表－1 各吸音板のアイテム・カテゴリー反応

アイテム		カテゴリー	吸 音 板 番 号																									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
吸音板厚さ (mm)		101 未満				○		○				○	○	○				○	○				○	○		○	○	○
		101 以上 200 未満			○				○						○	○							○	○		○	○	○
		200 以上 400 未満	○	○			○			○	○								○		○	○						
吸音材	平均密度 (kg / m ³)	30 未満							○	○	○	○	○															
		30 以上 40 未満	○	○	○		○									○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		40 以上				○		○							○	○										○	○	○
	構造	単層 (単一密度)	○	○	○	○	○	○								○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		複層 (複数密度)							○	○	○	○	○	○	○												○	
	形状	平板		○		○			○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		凹凸型	○		○		○	○			○																	
背後空気層		なし	○	○	○		○					○		○	○	○	○			○			○	○		○	○	
		あり				○		○	○	○		○							○		○	○		○			○	
吸音材保護材料		なし																						○				
		ガラスクロスのみ * 1	○	○	○											○			○		○	○	○			○	○	
		フィルム (厚さ 12 μ) * 2							○	○	○	○	○												○			
		フィルム (厚さ 21 μ) * 3				○	○	○						○		○	○	○	○				○					○
正面板形状		有孔板					○	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○				○				○	
		エキスパンドメタル	○	○	○											○		○	○									
		アルミ系吸音材料 * 4				○								○										○	○	○		
		半円筒有孔板 * 5																			○	○						
		ルーバ																									○	
平均斜入射吸音率 (%)			96	92	95	89	95	85	95	95	91	88	84	90	95	91	90	92	90	93	96	96	84	84	96	89	93	77

* 1 ガラスクロスのみで覆われているもの。

* 2、* 3 保護フィルムのみで覆われているものまたはガラスクロス系 (サランロック含む) と保護フィルム両方で覆われているもの。

* 4 アルミ繊維または発砲アルミニウムを用いた吸音材。

* 5 半円筒状の有孔板を部分的に設置することにより吸音材を支持するもの。

として使用したもの及びルーバに分類した。

(3) アイテムとカテゴリーの設定

(2) での検討をもとに、吸音率を決定すると考えられる要因 (アイテム) を選定し、さらにカテゴリーに分類したものを表－1 に示す。

「吸音板厚さ」とは、空気層や表面材の凹凸を含めた吸音板の厚さことであるが、吸音材の厚さとの関連が大きい。上記評価制度においては、高架裏面以外に設置する吸音板の厚さの基準は 100mm 以下であった。また、「吸音材料」の特性にかかるアイテムとして、平均密度、構造、形状を取り上げた。構造が複層とは密度の異なる 2 種類以上の吸音材を組み合わせたものである。

さらに、表－1 には分析に用いた各吸音板のアイテム・カテゴリー反応を示した。

(4) 外的基準

吸音性能を表す外的基準としては、「平均斜入射吸音率」⁶⁾を用いた。これは、吸音板に対する試験音の入射角度を 0 度 (垂直入射)、15 度、30 度、45 度とした場合の斜入射吸音率の算術平均である。

(5) アイテム間の独立性の確認

アイテム間の独立性を確認するため χ^2 検定を行った。⁷⁾ その結果、表－2 に示すように、「吸音材平均密度」と「吸音材構造」及び「吸音材平均密度」と「吸音材保護材料」が、危険率 5% でアイテムが独立でないと判断された。その結果、表－3 に示すモデルⅠ及びモデルⅡの 2 ケースについて数量化理論Ⅰ類により分析を行うこととした。

3. 分析結果

2 つのモデルの分析結果を表－4、表－5 に示す。重相関係数は、モデルⅠが 0.92、モデルⅡが 0.86 と高い相関を示した。

吸音板厚さの偏相関係数はモデルⅠが 0.81、モデルⅡが 0.72 であった。レンジはモデルⅠが 6.1、モデルⅡが 6.6% であり、101mm 未満よりも 101mm 以上の方が 6% 程度吸音率が高い結果となったが、101mm 以上については 200mm 未満と 200mm 以上との差はほとんどなかった。

吸音材平均密度の偏相関係数は 0.23 であった。

表－２ アイテム間の独立性の判定

吸音材平均密度	5.54 (4)					
吸音材構造	0.33 (2)	17.95 (2)				
吸音材形状	2.84 (2)	0.16 (2)	0.34 (1)			
背後空気層	2.06 (2)	3.99 (2)	1.93 (1)	0.01 (1)		
吸音材保護材料	3.47 (6)	22.04 (6)	10.56 (3)	0.32 (3)	6.93 (3)	
正面板形状	10.95 (8)	13.90 (8)	4.64 (4)	2.93 (4)	5.72 (4)	18.21 (12)
	吸音板厚さ	吸音材平均密度	吸音材構造	吸音材形状	背後空気層	吸音材保護材料

※ 表中の数字はアイテム間の χ^2 ，()内は自由度。

※ は，危険率５％でアイテムが独立でないと判断された組み合わせ。

表－３ 互いに独立であるアイテムの組み合わせ

アイテム	モデルⅠ	モデルⅡ
吸音板厚さ	○	○
吸音材		
平均密度	—	○
構造	○	—
形状	○	○
背後空気層	○	○
吸音材保護材料	○	—
正面板形状	○	○

レンジは 1.6%であり，40kg/m³ 未満よりも 40kg/m³ 以上の方が吸音率が 1%強高い結果となったが，40kg/m³ 未満については 30kg/m³ 未満と 30kg/m³ 以上との差はほとんどなかった。

吸音材構造と吸音材形状の偏相関係数は共に 0.04 であり相関はほとんど見られず，レンジも非常に小さかった。

背後空気層の偏相関係数はモデルⅠが 0.24，モデルⅡが 0.34 であった。レンジはモデルⅠが 1.0%，モデルⅡが 1.9%であり，背後空気層がない方が 1～2%程度吸音率が高い傾向が見られた。

吸音材保護材料の偏相関係数は 0.72 と高く，レンジも 8.8%と大きかった。ガラスクロス系の場合のみフィルムを使用した時に比べ吸音率が 3～4%程度大きかった。また，フィルムを使用した場合では，薄い 12 μ を使用した方が吸音率が 1%程度大きかった。なお，保護材料なしの場合が吸音率が 1 番小さい結果となっているが，個体数が 1 のため，データの信頼性は乏しい。

正面板形状の偏相関係数はモデルⅠが 0.72，モデルⅡが 0.66 で高かった。レンジもモデルⅠが 10.6%，モデルⅡが 14.7%と大きいが，これは表面での反射音が多いルーバの吸音率が他に比べ際だって低いことも一因である。他のカテゴリーについてはモデルⅠとモデルⅡで結果が異なった。これは，

吸音材保護材料と正面板形状とのアイテム間の独立性が，危険率 5%の検定では完全には確保されていないことによると考えられる。

4. まとめ

高い吸音性能を有する吸音板を数量化理論Ⅰ類により分析した結果，吸音板の厚さ，吸音材保護材料及び正面板形状というアイテムが，偏相関係数及びカテゴリーのレンジとも大きく，他のアイテムは両方とも小さかった。すなわち，高性能の吸音板の設計にあたっては，吸音材の密度，構造，形状等の工夫の余地は少なく，特に吸音板の厚さに一定の制約がある場合は，吸音材保護材料及び正面板の設計が大きな鍵となることが分かった。しかし，データ不足等により，全てのカテゴリー数量について，合理的な結果を得ることはできなかった。

今後は，分析対象の個体数を増やすことにより，アイテムの独立性を確保するとともに，フィルムに加わる圧力等の吸音性能に関係する他の要因^{3), 4)}も含めた分析と考察が必要と考える。

参考文献

- 1) 日本音響材料協会編，子安勝：吸音材料，技法堂出版，1976
- 2) 日本音響材料協会編：騒音・振動対策ハンドブック第 4 章，技法堂出版，1982
- 3) 杉江，吉村，小川：表面保護をした多孔質繊維材料の吸音特性，日本騒音制御工学会講演論文集，pp.317-320，1995
- 4) 杉江，吉村，小川：多孔質材料の吸音特性に与える表面保護の影響，日本音響学会講演論文集，pp.811-812，1996
- 5) 子安，楯，萩田，吉牟田：穴あき板構造体の吸音特性に関する二，三の問題，日本音響学会誌，Vol.17，No.1，pp.31-37
- 6) 鉢嶺，大西，上坂，小寺：斜入射吸音率による吸音板の評価～建設技術評価制度から～，日本音響学会講演論文集，平成 9 年 9 月，1997
- 7) 林知己夫監修，駒澤努著：数量化理論とデータ処理，朝倉書店，pp.32-35，1982

表－４ モデルⅠにおける数量化理論Ⅰ類の分析結果

アイテム		カテゴリー	個体数	スコア (%)	レンジ (%)	偏相関係数
吸音板厚さ (mm)		101 未満	13	-3.0	6.1	0.81
		101 以上 200 未満	5	3.1		
		200 以上 400 未満	8	2.9		
吸 音 材	構造	単層 (単一密度)	18	0.1	0.2	0.04
		複層 (複数密度)	8	-0.1		
	形状	平板	21	0.0	0.2	0.04
		凹凸型	5	-0.2		
背後空気層		なし	15	0.4	1.0	0.24
		あり	11	-0.6		
吸音材保護材料		なし	1	-6.4	8.8	0.72
		ガラスクロス系のみ	10	2.4		
		フィルム (厚さ 12 μ)	6	-0.6		
		フィルム (厚さ 21 μ)	9	-1.5		
正面板形状		有孔板	12	0.5	10.6	0.72
		エキスパンドメタル	6	-1.4		
		アルミ系吸音材料	5	2.0		
		有孔ルーバ	2	0.5		
		ルーバ	1	-8.6		

外的基準は平均斜入射吸音率 定数項＝90.8(%) 重相関係数＝0.92

表－５ モデルⅡにおける数量化理論Ⅰ類の分析結果

アイテム		カテゴリー	個体数	スコア(%)	レンジ(%)	偏相関係数
吸音板厚さ (mm)		101 未満	13	-3.1	6.6	0.72
		101 以上 200 未満	5	3.5		
		200 以上 400 未満	8	2.8		
吸 音 材	平均密度 (kg / m ³)	30 未満	5	-0.2	1.6	0.23
		30 以上 40 未満	14	-0.5		
		40 以上	7	1.1		
	形状	平板	21	0.1	0.4	0.06
		凹凸型	5	-0.3		
背後空気層		なし	15	0.8	1.9	0.34
		あり	11	-1.1		
正面板形状		有孔板	12	0.2	14.7	0.66
		エキスパンドメタル	6	0.2		
		アルミ系吸音材料	5	-0.0		
		有孔ルーバ	2	3.9		
		ルーバ	1	-10.8		

外的基準は平均斜入射吸音率 定数項＝90.8(%) 重相関係数＝0.86