

円筒型裏面吸音材の設計

神戸管理部	調査設計課	米倉	徹
同 部	同 課	若林	充
同 部	同 課	丸山	悟

要 約

都市内道路の交通騒音対策設備としては、現在道路の側面に取り付ける遮音壁が多く使用されており、自動車からの直接音の遮蔽に効果をあげている。しかし、音波特性や複雑な道路形状、沿道の状態が反射騒音に影響を与えるため、遮音壁のみの騒音対策では不十分な場合もある。当公団では、昭和59年に二層構造道路の上路裏面に吸音パネルを設置し、騒音軽減効果を得ている。更に、「阪神高速道路騒音対策検討委員会」の中で、阪神高速道路神戸線のような、路下を平面道路が走っている構造について模型実験を行い、検討した結果、二層構造道路に似た構造区間において、高架道路裏面に吸音材を設置すれば、騒音軽減効果が得られることが分かった。そこで、二層構造道路に似た構造区間の高架道路裏面に吸音材を設置することとなった。

本論文は、今回施工の裏面吸音材の維持管理を考慮した取付方法や、景観を考慮した吸音材の形状や色・ピッチ割り、材料等設計に当たり考慮した内容について、その他、吸音率測定実験や振動実験の結果について述べる。

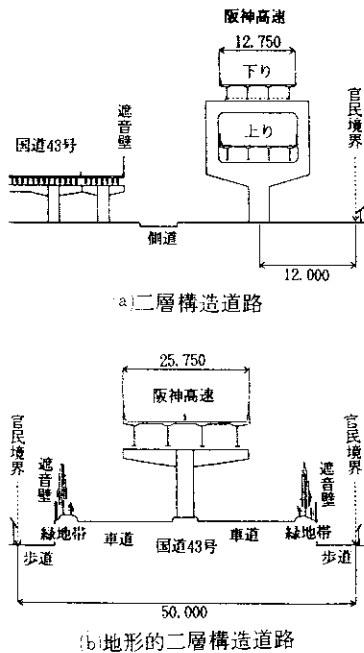
キーワード：音響模型実験、騒音対策、裏面吸音板、反射騒音、二重構造道路、吸音材、景観

まえがき

都市内道路の交通騒音対策設備として、現在道路の側面に取り付ける遮音壁が多く使用されており、自動車からの直接音の遮蔽に効果をあげている。しかし、遮音壁のみの騒音対策では不十分な場合もある。高架道路裏面に交通騒音が反射するいわゆる反射音については、音波特性（反射・回折等）や複雑な道路形状、沿道の状態（中高層住宅等）が反射騒音等に影響を与えており、対策法の検討を困難にしている。このような状況に対して、当公団では昭和59年に裏面吸音板による反射騒音対策を試験的に施している¹⁾。

阪神高速道路神戸線は、昭和41年10月の京橋～

柳原間の開通に始まり、昭和56年6月の西宮～大阪間の開通で神戸と大阪が結ばれた。この内、尼崎市武庫川町付近は図-1(a)のような二層構造道路となっており、下路を走行する車輛の騒音が上路裏面に反射するいわゆる反射音が生じていた。これに対し、縮尺1/20の模型実験を行ったところ、二層構造道路の上路裏面に平板型吸音材（吸音パネル）を設置すれば、騒音レベルが軽減できる結果が得られた。この実験結果をふまえ、昭和59年に二層構造道路の上路裏面に吸音パネルを設置した。実測の結果、騒音レベルは2～5ホーン軽減された。



図一 1 道路構造図

その後昭和62年から「阪神高速道路騒音対策検討委員会」を設置し、検討を重ねてきたところ、図一1(b)のような、立地条件から二層構造道路（以後地形的二層構造道路と呼ぶ）となっている高架道路の裏面に吸音材を設置すれば、交通騒音を軽減できる結果が得られた²⁾。この検討結果をふまえ、更に、沿道環境の改善を期待して、地形的二層構造道路の高架道路裏面に吸音材を設置することとなった。今回施工の吸音材は、最近の土木構造物に対する景観対策への要望を考慮して円筒型吸音材（吸音パイプ）とした。

1. 高架裏面反射音対策

1-1 概要

阪神高速道路における高架裏面反射音対策としては、昭和59年に武庫川地区の二層構造道路区間で上路裏面に吸音パネルを設置し、約5ホーン減（L50値）の吸音対策効果を得ている。その後、阪神高速道路沿線の交通騒音対策を目的として、

昭和62年に「阪神高速道路騒音対策検討委員会」が設置され、昭和62年度から平成元年度の3年間にわたり委員会が開かれた。その活動内容は、騒音の現況整理・騒音対策の検討・模型実験等である。

1-2 高架裏面反射音対策

「阪神高速道路騒音対策検討委員会」の活動の中で、阪神高速道路沿線の騒音レベル・苦情発生状況・沿道の土地利用等を整理し、道路管理者にアンケート調査を行った結果、平面道路との併設区間において沿道の騒音レベルが特に高い場所があることから、このような構造区間について重点的に検討が行われた。更に、平面道路との併設区間モデルとして阪神高速道路神戸線を選び、1/20模型を使用して実験を行った。

高架道路裏面に吸音材を設置した時の吸音対策効果について、平面道路端の段差や沿道に設置された遮音壁の高さに着目して模型実験を行った。実験モデルは沿道に建物が無く、平面道路端の段差や遮音壁の高さが変えられるようになっている。実験の結果、平面道路端に段差が2m有り、かつ3mの高さの遮音壁が設置されている（受音点から音源が見通せない）場合には、吸音対策効果は4～5ホーン減であった。一方平面道路端に段差も遮音壁も無い（受音点から音源が見通せる）場合には、吸音対策効果は約1ホーン減であった。

上記の実験結果より、平面道路端に段差が有り（地形的二層構造道路）、かつ沿道に遮音壁が設置されている区間の高架道路裏面に吸音材を取り付ければ吸音対策効果が得られると考えられる。そこで、上記のような場所として、尼崎市道意町（蓬川地区）と西宮市市庭町（夙川地区）を取り上げ、更に模型実験を重ねた。実験において3種類の吸音材（吸音パイプ・吸音パネル・吸音スリット）の吸音効果を測定したところ、吸音パネルが5ホーン減で、他の材料よりも若干大きい結果となった。

2. 設計

2-1 概要

模型実験より、地形的二層構造道路の高架道路裏面に吸音材を設置する場合、吸音パイプを設置すると吸音効果が一番大きいという結果が得られた。また、高架下の景観を考慮すれば、円筒形が現地にふさわしいと判断された。そこで、今回の施工では、吸音材を円筒形とした。吸音パイプの材質は、軽くて耐候性に優れ、曲げ加工の容易なアルミニウム材を採用し、アルミニウム発泡材製とアルミニウム繊維材製の2種類を製作した。2種類の吸音パイプは、同等の色合いとなるよう着色を施した。吸音パイプの配置ピッチは、実橋試験から吸音パイプ直径と吸音パイプ間の間隔の比率を3:2とした。吸音材の取付用金具は、維持点検等での使用や工事での足場としての使用に耐えるような耐荷力を確保した。

2-2 吸音パイプ

吸音パイプの材質は、軽くて耐候性に優れ、曲げ加工の容易なアルミニウム材を採用し、アルミニウム発泡材製とアルミニウム繊維材製の2種類を製作した。両材料共、材料自体に無数の間隙を持つ多孔体である。その吸音機構は、音エネルギーがアルミニウム材を通過する際に膜面との摩擦に

よって熱エネルギーに変換され減音する。メーカー資料によるそれぞれの材料特性は表-1のとおりであるが、吸音特性は空気層によって異なるので、メーカー資料だけでは実際の減音効果を判断できない。また、2種類のアルミニウム材は、それ自体だけでも十分な吸音効果を有するが、更に広い周波数帯域において吸音効果を得るためにグラスウールとの複合体とした。

2-2-1 アルミニウム発泡材製吸音パイプ

アルミニウム発泡材は無数の独立気泡を持った材料で、溶解したアルミニウムを発泡させて製造する。その製造工程を図-2に示す。特性としては、アルミニウム軽金属の特性と多孔質の特性を併せ持っており、非常に軽く、耐候性・耐火性・断熱性・加工性の他、吸音・遮音特性にも優れている。

アルミニウム発泡材製吸音パイプの製作過程とその構造を図-2に示す。アルミニウム発泡材を曲げ加工して円筒形にし、その中に円筒形のグラスウールを組み込む。円筒形グラスウールの断面は外径120mm、厚さ40mmである。アルミニウム発泡材やグラスウール自体は強度を持たないので、中心に補強材を入れ、両端をアルミ板で押さえている。アルミニウム発泡材製吸音パイプの寸法は180φ×1990mmである。

表-1 アルミニウム材の特性 (メーカー資料)

種類	アルミニウム発泡材	アルミニウム繊維材	グラスウール
吸音特性 (残響室法吸音率)	材料厚 10mm 空気層 30mm 0.7 (500Hz) 0.9 (1kHz) 0.8 (2kHz)	材料厚 1.6mm 空気層 100mm 0.9 (500Hz) 0.9 (1kHz) 0.6 (2kHz)	単体では500Hz～2kHzにおいて、0.8～1.0の吸音率を有する。
物理特性	比重 0.35 (g/cm) 引張り強さ 8.90 (kgf/cm) 気孔率 熱伝導率 2.2 (kcal/mh℃) 熱膨張係数 14.4～20.6×10 ⁻⁶ /℃	1.62 (g/cm) 40% (空隙率) 99% (空隙率)
耐候性	ウェザー試験 2000時間 異常無し 塩水噴霧試験 240時間 異常無し 凍結融解試験 繰返し80回で異常無し	2000時間 異常無し 異常無し
耐火性	不燃材料 (個) 第1963号	不燃材料	有毒ガスや煙が発生する
乾燥性	5分間で90%乾燥	8時間後で40%の水が残存
着色	可能	可能
加工性	切断・穿孔・曲げ加工が容易	切断・穿孔・曲げ加工が容易

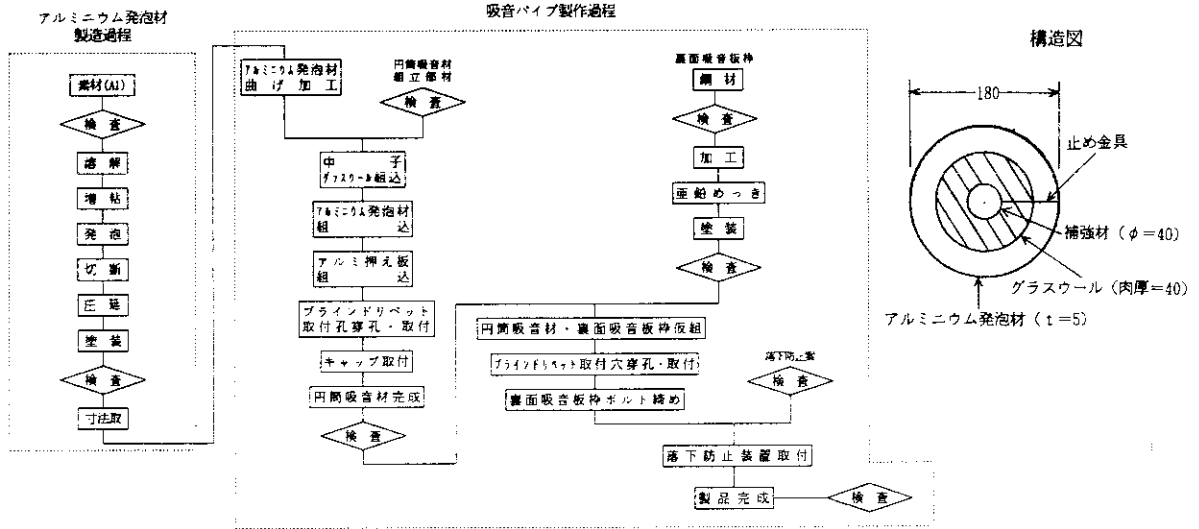


図-2 アルミニウム発泡材製吸音パイプ製作過程

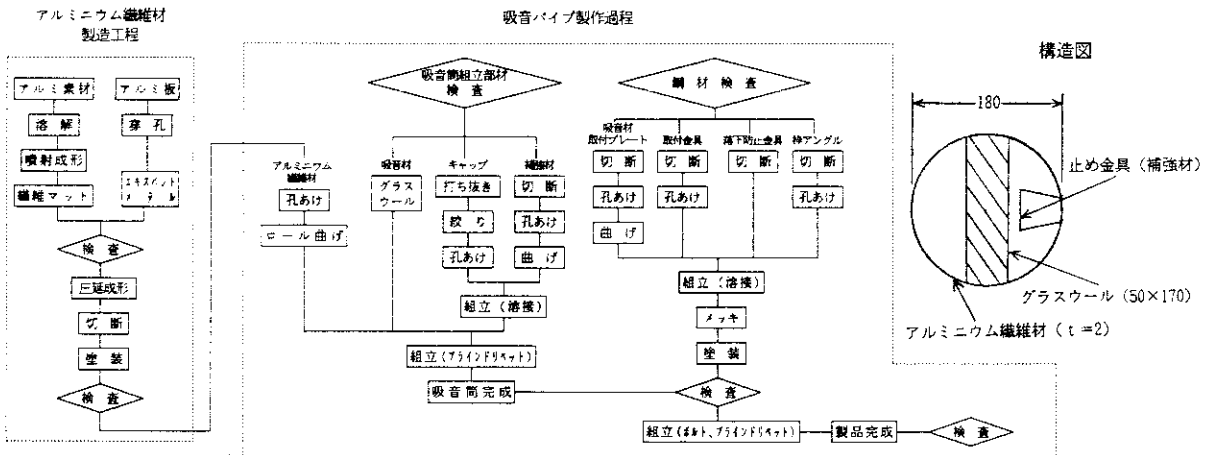


図-3 アルミニウム繊維材製吸音パイプ製作過程

2-2-2 アルミニウム繊維材製吸音パイプ
 アルミニウム繊維材は、アルミニウムの不織布とエキスパンドメタル（表面材）を機械的に圧着加工した多孔質材料で、厚さ2mm程度のシート状材料である。その製造工程を図-3に示す。その特性は、軽量であり、耐水性・耐候性・加工性に優れている。また、繊維間に無数の細隙を有するため、多孔体としての吸音特性にも優れている。
 アルミニウム繊維材製吸音パイプの製作過程とその構造を図-3に示す。アルミニウム繊維材を

曲げ加工して円筒形とし、その中に板状のグラスウールを組み込む。板状グラスウールの断面は幅170mm、厚さ50mmである。アルミニウム繊維材製吸音パイプは、止め金具部分が切欠いてあり、その部分に落下防止装置がはまるようになっている（後述）。アルミニウム繊維材製吸音パイプの寸法は180φ×1990mmである。

2-3 高架裏面の景観対策

今回の設計では景観対策についても考慮した。吸音材の形や色彩、直径や配置ピッチについて、実物大の供試体を製作して高架橋裏面に取付ける実橋試験を行い、路下から景観専門家を交えた関係者が観察し、評価して決定した。更に、桁側面についても、取付金具が見えないように化粧板で覆った。

2-3-1 吸音パイプの色彩

今回製作した2種類の吸音パイプは、アルミニウム発泡材製が灰色、アルミニウム繊維材製が白色と、その素地色が異なる。また、桁下に並べて取付けた状態にしても、見た目に全く違った色となる。しかし、今後両吸音パイプが隣り合わせで設置される可能性があることから、互いの色に差が生じることは問題がある。そこで、両吸音パイプを桁下に並べて取付けた状態で、まず暗い色に見えるアルミニウム発泡材製吸音パイプを白色塗装（マンセル値N-9.5）し、その色に合わせてアルミニウム繊維材製吸音パイプを塗装（N-7.0）し

た。その他、吸音パイプを取付ける枠材は目立たないようにスミ色（N-2.0）とし、吸音パイプに接続する端部化粧板は吸音パイプと同色に見えるように1ランク暗い白色（N-6.5）とした。

2-3-2 吸音パイプの直径と配置ピッチ

吸音パイプの直径（ ϕ ）と配置ピッチ（ d ）について、 $d=30\text{cm}$ に対して $\phi=15, 18, 20\text{cm}$ の3種類の実物大供試体を用いた実橋試験で比較した結果、図-4のような $\phi=18\text{cm}$ 、 $d=30\text{cm}$ （吸音パイプ間の間隔は12cm）の状態が景観上優れていると判断された。

2-3-3 桁側面部の景観検討

桁側面部の景観について、蓬川地区では図-5のように取付金具部分の側面に化粧板を施して取付金具部分を隠した程度である。

一方、夙川地区（I桁部）では浴道が住居の連なる地域であることから、遮音壁や高欄側面、桁側面にまで化粧板を施して景観上注意を払った。その構造を図-6に示す。

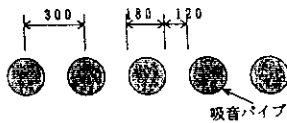


図-4 吸音パイプの直径と配置ピッチ

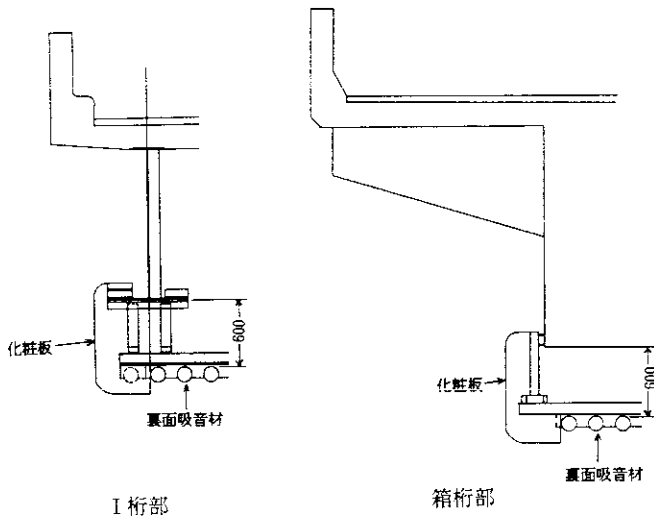


図-5 吸音パイプ取付構造一般図（蓬川地区）

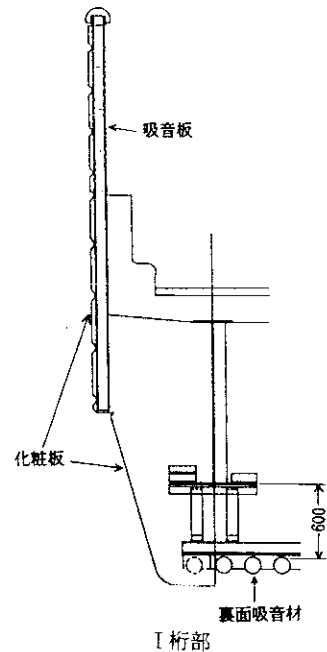


図-6 吸音パイプ取付構造一般図（夙川地区）

表一 2 荷重条件

	吸音材及び吸音材取付枠	受梁及び主桁取付金具
設計方針	○補修作業時に足場から足を踏み外して吸音材に乗っても壊れないものとする。(今回の吸音材は、脆く変形し易い材料を使用しているため、上面を補強する)	○補修工事での足場の土台(チェーンに変わるもの)の機能を持たす。 ○吸音材の取付に十分安全であること。
設計荷重	○足を踏み外した時の載荷荷重 $W_1 = 100\text{kg}$ ○風荷重、地震荷重(自重 $\times 0.3$)の2種類の水平力	○補修工事での荷重は「土木補修工事仮設構造物参考図集」(阪神高速道路公団)により計算する。 ○水平力は同左
許容応力度の割増し	○踏み外し荷重 — 1.5 ○風荷重 — 風のみは1.2、死+風は1.25 ○地震荷重 — 1.5	○補修工事での割増しは15%(安全率1.5)
備考	部材の使用に当たっては、部材自身の振動を防ぐための細長比を240以下にしている。 (道路橋示方書 2次引張材)	I桁の場合 — 伸縮継手と桁落下防止装置は荷重が大きく、受梁には載荷させない。 箱桁の場合 — 塗装工の荷重のみを考えている。桁高が大きいので、他の補修工事には別の足場が必要。

2-4 吸音パイプの取付方法

吸音パイプの取付方法は、維持点検等での使用や、補修工事の作業時の足場としての使用を考慮した。桁下空間は、設計基準に従って60cmを確保した。取付方向は橋軸方向に合わせた。

2-4-1 取付枠による吸音パイプの

ブロック化

吸音パイプの取付構造設計時の荷重条件を表一2に示す。吸音パイプの取付方法は、維持点検や補修工事での使用を考え、I桁では床版補修工事の作業時の荷重を、箱桁では塗装工事の作業時の荷重を考慮した設計となっている(ただし、箱桁の場合は桁高が高く、他の補修工事の作業には別の足場が必要となる)。また、次に述べるような施工性を考慮して、吸音パイプ5本を1セットとして取付枠によるブロック化を行った。

- 1スパンで取付本数が1000~2000本におよぶ吸音パイプを、1本づつ現場で取付けるのは施工能率の低下となる。
- 後の補修工事の際、部材搬入等の為の開口部を設ける場合にも、吸音パイプがセットで取り外せる方が良い。
- 吸音パイプ自体に強度はなく、運搬や取付の際に変形や損傷等を伴う可能性がある。

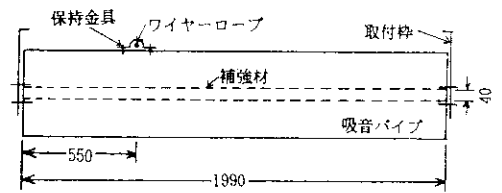
また、付加荷重(吸音パイプや取付金具)に伴う上部工・下部工の応力照査を行ったが、構造物の安全性に問題はなかった。

2-4-2 落下防止装置

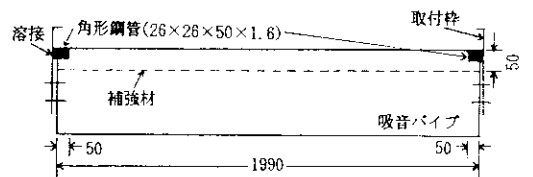
落下防止装置とは、裏面吸音板を構成する取付枠から吸音パイプが脱落した時、平面道路上に吸

音パイプ等が落下するのを防止するためのものである。設計上次の点を考慮した。

- 吸音パイプを構成する各部材が、落下防止装置と連結している。
 - 軽量である。
 - 道路の振動による落下防止装置の振動、発音がない。
 - 吸音パイプを取り替える必要が生じた時、必要な吸音パイプのみの交換が簡単に出来る。
- 検討の結果、アルミニウム発泡材製吸音パイプの場合は、ワイヤーロープで吸音材と取付枠を連結した(図-7(a))。一方、アルミニウム繊維材製吸音パイプの場合は、取付枠にあらかじめ角形鋼管を溶接しており、これに吸音材の切欠き部をはめ込んで連結した(図-7(b))。



(a)蓮川地区



(b)夙川地区

図一 7 落下防止装置

3. 吸音パイプの吸音率測定及び振動実験

3-1 概要

この章では、実物の吸音パイプを用いての吸音率測定と振動実験について述べる。吸音率の測定は、JIS A 1409（残響室法吸音率の測定方法）に準じた。JIS A 1409吸音率測定法によれば、測定装置は残響室・音源装置・受音及び記録装置で構成される（図-8）。測定試料の規格は、面積が8.5~12.0㎡、長さ/幅比が1.3~1.5で残響室

中央部に集中配置する。残響室の大きさは、容積150㎡以上を原則とし、周囲の壁面と測定試料は1m以上離れていなければならない。また、残響室内の受音点は3点以上とし、試料面・壁面・拡散板及び音源に近接しないようにする。振動実験は、道路の振動により裏面吸音板を構成する吸音パイプ取付枠及び、取付枠と吸音パイプを連結しているブラインドリベットなどに、異常が生じないことを確認するために行う。

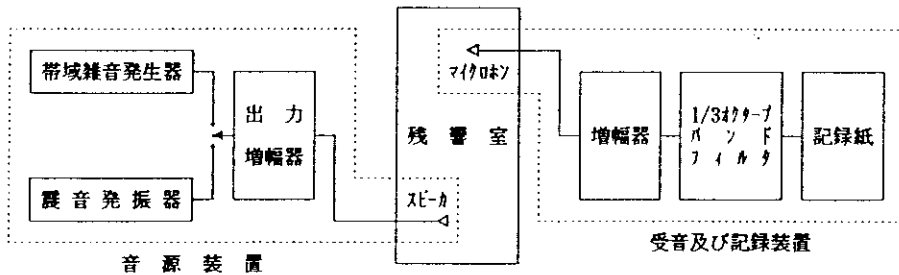


図-8 測定装置

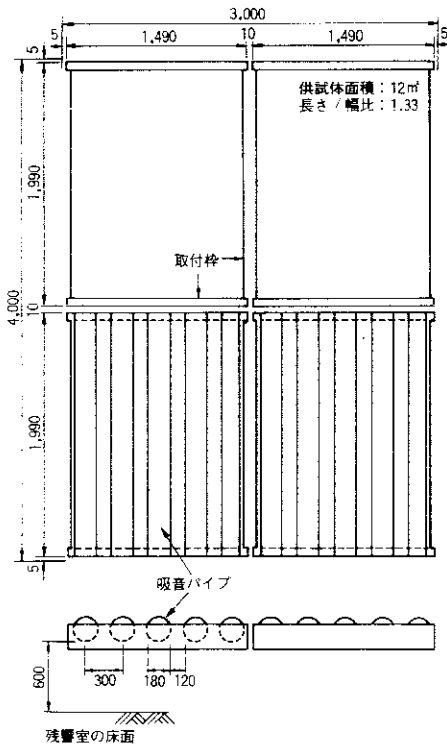


図-9 測定資料配置図

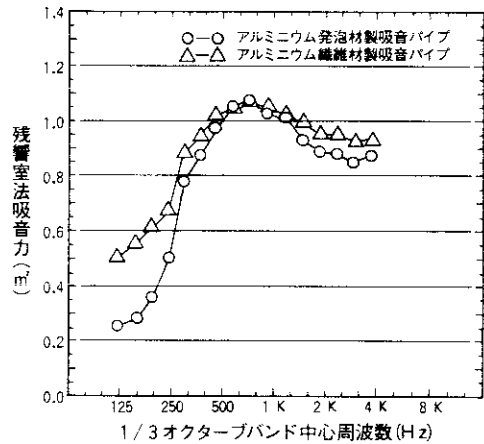


図-10 対策橋面積1㎡当たりの吸音体の残響室法吸音力

表-3 当団の規格吸音率との比較

中心周波数	規格吸音率	アルミニウム発泡材製吸音パイプ	アルミニウム繊維材製吸音パイプ
500Hz	0.80以上	0.97	1.02
1000Hz	0.90以上	1.13	1.05
2000Hz	0.80以上	0.91	0.95

3-2 吸音パイプの吸音率測定

測定試料は、ブロック化した吸音パイプ4体を一組とした(図-9)。供試体面積は12.0㎡、長さ/幅比は1.33で、残響室の床面より60cmの高さに設置した。これは実際の施工時の桁下空間に当たる空気層に等しい。測定結果を図-10に、測定結果と当公団の規格吸音率との比較を表-3に示す。測定の結果、吸音率はアルミニウム発泡材製パイプ、アルミニウム繊維材製吸音パイプ共に当公団規格値を満足している。

3-3 吸音パイプの振動実験

高架道路の振動は、加速度が0.1G、周波数が3~5Hzとされている。この振動によって吸音材や取付枠本体に異常が生じたり、吸音材や取付枠を接合しているボルトやブラインドリベットに緩みが生じたり、あるいは異常音が生じたりしないかを確認するために振動実験を行った。実験装置と実験条件を図-11に示す。実験は、ブロック化した吸音パイプ1体を支持具にとりつけ、加振器にセットして行った。

実験結果は、アルミニウム発泡材製パイプ・アルミニウム繊維材製パイプ共に、ボルトやブラインドリベットの緩みや溶接部の亀裂等も無く、その他の異常も見られなかった。

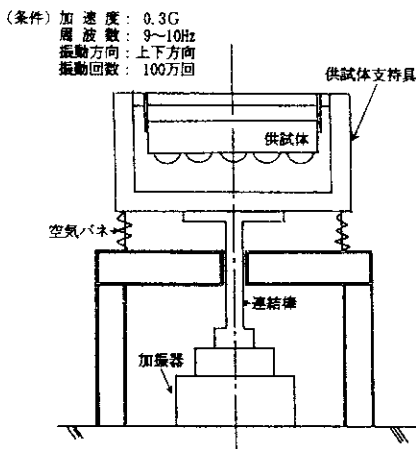


図-11 振動実験装置と実験条件

4. あとがき

交通騒音が問題視されて久しいが、現在のところ交通騒音対策法としては、自動車の直接音の遮蔽に効果をあげている遮音壁以外は手探りの状態である。これに対し、今回蓬川地区と夙川地区で高架道路裏面に吸音材を設置することになった。設計に際し、吸音性能の検討や応力照査は勿論のこと、景観対策の検討も併せて行い、本文で述べてきた。今後同様の騒音対策・施工を行う際に、本論文が役立てば幸いである。

最後に、実橋試験にあたりご指導・御協力いただいた先生方をはじめ、関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 高橋文治: 高架裏面反射音対策, 阪神高速道路公団技報, 第五号, 1985
- 2) 「阪神高速道路における騒音対策」検討報告書, 阪神高速道路公団・(財)阪神高速道路管理技術センター, 平成2年3月