

高架裏面反射音対策

計 画 部 環境対策室 高 橋 文 治
大阪第三建設部 設計課 都 良 伸
計 画 部 環境対策室 溝 渕 修 治

要 約

大阪西宮線の供用に際して行われた沿道の詳細な騒音実測調査において、尼崎市武庫川地区では、予測値より著るしく高い騒音レベルが観測された。武庫川地区の高架構造がダブルデッキという特殊な構造であることを考えれば、この騒音レベルの増加は反射音の影響と判断せざる得なかった。

そこで、20分の1の模型をもちい、具体的な対策方法の検討を行った結果、吸音材にグラスウールを用いて、アルミ枠とアルミ金網で覆った幅1 m、長さ1.5 mおよび2.6 m、厚さ10 cmの吸音パネルを開発した。

反射音対策試験工事として昭和59年度に武庫川町2～3丁目の457.7 mのダブルデッキ区間で、約1,800枚の吸音パネルを高架裏面にとりつけた。工事前の8月と、工事後の10月にそれぞれ48時間の騒音測定を行った結果、少ないところで2dB(A)、多いところで5dB(A)の騒音値が低下した。また、試験車一台走行音のピーク値でみた対策効果は、更に大きく、直前付近の車からの音に対して最も効果があることがわかった。

これらの対策効果は、ほぼ予想されたとおりの結果で満足すべきものであった。

まえがき

道路交通騒音の予測及び対策について、日本音響学会を始め道路関係各機関において、種々実施されているところである。

予測式として、日本音響学会のモデルがあるが、これは道路が理想的開放条件下の場合に適用されるものとして実用に供されている。また、道路交通騒音対策として、遮音壁が用いられ実効をあげているが、複雑な道路形状(二層構造)や沿道が中高層住宅で閉塞されている場合には、反射音等の影響があり単なる遮音壁では効果がなく、予測

も困難なことが多い。

反射音の調査・研究は、反射面の性状が複雑なことも相まって十分な解明がなされておらず、個々の問題に関してケーススタディー的な調査が行われているにすぎないのが現状である。

本文は、昭和56年6月に供用開始された阪神高速道路大阪西宮線の尼崎市武庫川地区の二層構造区間において実施された高架裏面反射音に対する調査、及び対策方法の検討、並びに対策試験工事の効果測定結果についての一連の報告である。

1. 武庫川地区の概要

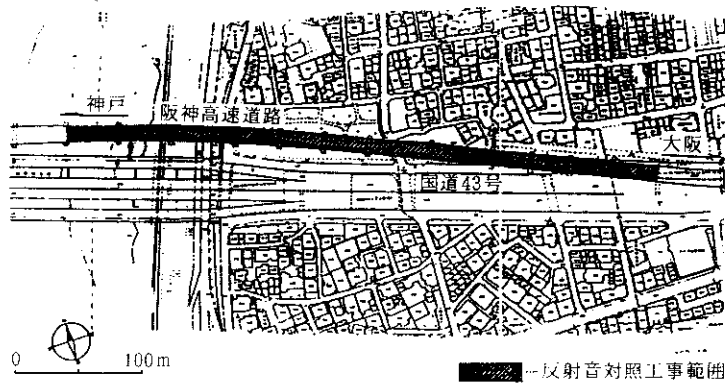


図-1 平面図

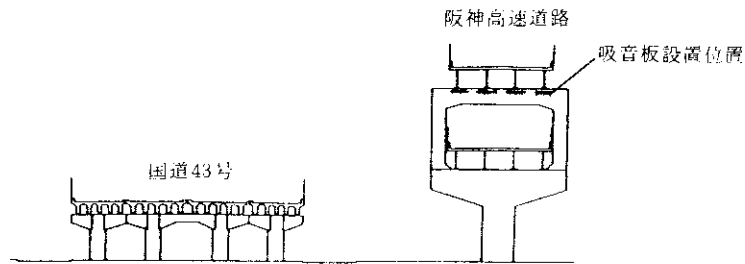


図-2 断面図



写真-1 大阪西宮線武庫地区

当地区は、国道43号線が武庫川を越えるため高架構造となっており、周囲の騒音値は小さく、比較的静穏であった。

阪神高速道路は、国道43号線の高架を避けるため、北側にずれ二層構造という特殊な断面形状で建設された(図-1、2、写真-1)。

大阪西宮線の供用(昭和56年6月27日)の前後において、武庫川地区の騒音測定を行った結果、

1.7～5.0 dB(A) (一日平均)の増加が見られた。

そこで、当地区の実態を把握する目的で、一般走行騒音や試験車一台走行騒音を実測し、解析検討を行った。その結果、武庫川地区の道路交通騒音の特徴は、直接音の影響は小さく、ダブルデッキ内で反射した音の影響が大きいことがわかった。

また、反射音対策を検討した結果、防音壁のかさ上げによる対策は、構造物の設計強度上から無理であったので、当該地区においては、特に高架裏面への吸音パネル設置が対策方法として一番有効であると考えられた。

2. 反射音の予測方法

2-1 日本音響学会式による予測

道路交通騒音の予測に関しては、様々な手法が報告されているが、その中でも、日本音響学会提案による計算式が一般的である。

予測計算の基本式を以下に述べる。

$$L_{50} = L_w - 8 - 20 \log_{10} \ell + 10 \log_{10} \left(\pi \frac{\ell}{d} \tanh 2\pi \frac{\ell}{d} \right) + \alpha$$

ここで、

- L_{50} : 自動車交通騒音の中央値 (dB(A))
- L_w : 1台の車からの発生する騒音のA特性による平均パワーレベル (dB(A))
- ℓ : 音源から受音点までの距離 (m)
- d : 平均車頭間隔 (m)、 $d = 1,000 V/Q$
- Q : 交通量 (台/時)
- V : 平均走行速度 (km/時)
- α : 補正值、 $\alpha = \alpha_d + \alpha_i$
- α_d : 回折減衰値
- α_i : 種々の原因による補正值

この音響学会式により、今回の武庫川地区試験工事前後の交通量を用いて現地の騒音レベルの中央値 (L_{50}) を推計し、実測値と比較した。

受音点は、道路端より45m、地上5mの地点とした(図-3)。

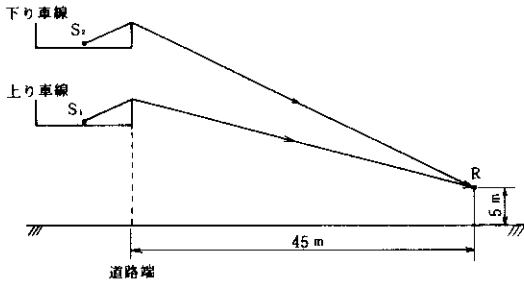


図-3 計算のモデル

予測式は以下のとおりである。

$$L_{50} = 10 \log (10^{S_1/10} + 10^{S_2/10})$$

ここで、

- S_1 : 上り車線からの騒音レベル, L'_{50} (dB(A))
- S_2 : 下り車線からの騒音レベル, L'_{50} (dB(A))

なお、 L'_{50} 、 L''_{50} とも前記の基本式を用いて算出した。

図-4に示すように、実測値は計算値より10~15 dB(A) 大きな値を示しており、阪神高速道路上り車線の音が、下り車線の裏面で反射して伝搬してきた音(以下、反射音と呼ぶ。)の影響等があることがわかる。なお、図中の丸の半径はデータ数

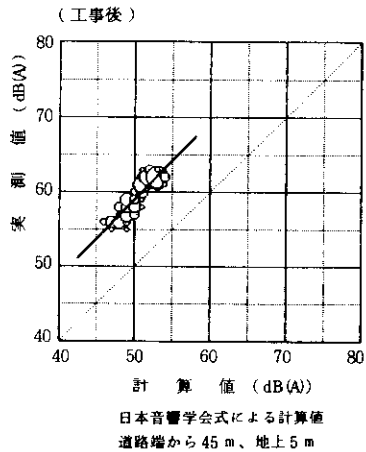
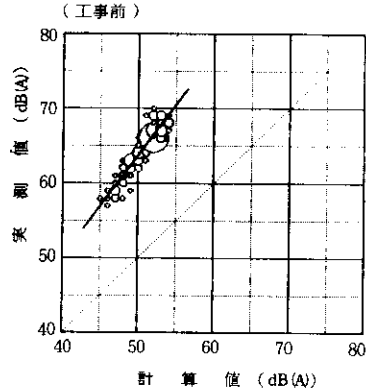


図-4 計算値と実測値の比較

に比例している。

2-2 反射音を考慮した予測

反射音を考慮するために、阪神高速道路上り車線の音源の下り車線の裏面に対する虚音源を考え、あたかも、もう一つ他の音源があり、そこか

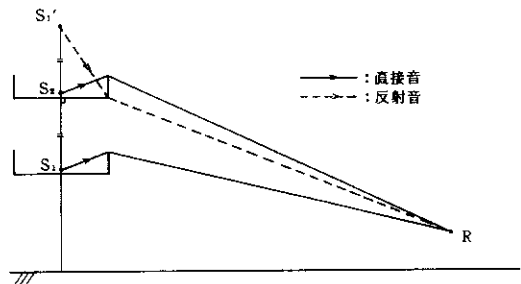


図-5 反射音を考慮した計算モデル

ら音が伝搬するものとして反射音を計算した
(図-5)。

予測式は以下のとおりである。

$$L_{50} = 10 \log (10^{S_1/10} + 10^{S_2/10} + 10^{S'_1/10})$$

ここで、

S'_1 : 反射音の騒音レベル, L'''_{50} (dB(A))

$$L'''_{50} = L_w - 8 - 20 \log_{10} \ell + 10 \log_{10} (\pi \ell/d \cdot \tanh 2\pi \ell/d) + 10 \log_{10} (1 - \beta) + \alpha'$$

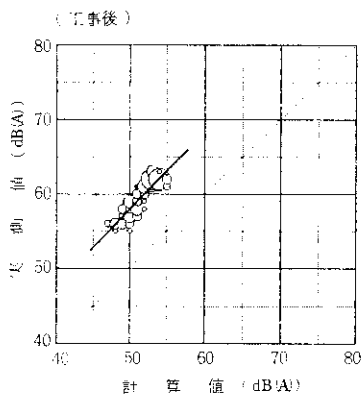
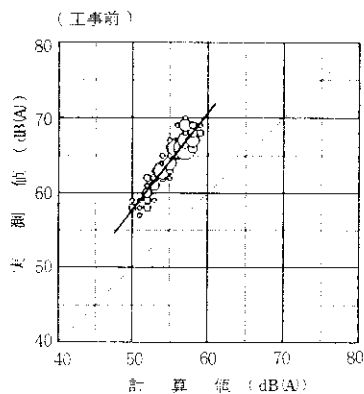
β : 高架裏面の吸音率,

吸音板取付け前、 $\beta = 0.01$

吸音板取付け後、 $\beta = 0.85$

α' : 補正值、 $\alpha' = \alpha d$

反射音の計算には、種々の原因による補正值 α_i は考慮しない。



反射音を考慮した計算値
道路表から45 m、地上5 m

図-6 計算値と実測値の比較

実測値と計算値の差は、音響学会式単独のときよりもいくらか小さくなっているが、8~10 dB(A)だけ実測値の方が大きい(図-6)。

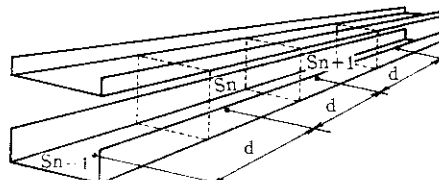
2-3 拡散音場法による予測

日本音響学会式は、開放平坦地においての予測式である。武庫川地区は、ダブルデッキ構造の高架道路であり、一種の室内と考えられ、その音場も開放平坦地とは大きく異なると考えられる。

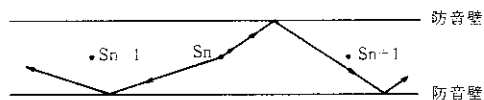
一般に、周囲を壁で囲まれた室内においては、直接音、反射音、及び拡散音が存在する。

そこで、今回のダブルデッキ構造の道路からの音についても、上記の3種類の音を考慮して、一台走行時の騒音レベルの変動パターンシミュレーションを試みた。

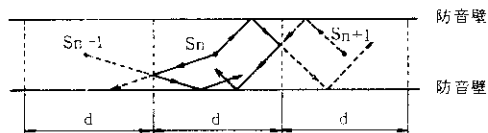
ダブルデッキ内は、細長い筒のような形である。したがってこの半閉空間を部屋として取扱えると考え、図-7(a)のように筒内に一列等間隔で点音源を配置する。いま、 S_n に着目すれば、 S_n からの音は、高架裏面、路面及び防音壁での反射を繰



(a) 点音源一列等間隔配置モデル



(b) 点音源からの音の伝搬



(c) 仮想室長の決定

図-7 仮想室の考え方

り返しながら進行方向（あるいは逆進行方向）に伝搬していく（図-7(b)）。

ところで S_{n-1} に着目すれば、 S_n と S_{n-1} はその中間の面に関して鏡像の関係にある（図-7(c)）

つまり、ダブルデッキ内は、隣り合う音源間の2等分位置を剛壁で区切った室の連続したものと考えられる。

今、この仮想室内の騒音が直接音、1回反射音、拡散音より成立っていると仮定して、以下の一台走行時騒音予測シミュレーションを行った。

$$L(t) = 10 \log (10^{L_d(t)/10} + 10^{L_r(t)/10} + 10^{L_s(t)/10})$$

$L(t)$: 時刻 t のときに受音点での騒音レベル
($t = 0$ のときに直前通過時)

$L_d(t)$: 直接音

$$L_d(t) = L_w - 8 - 20 \log (R_d(t)) + \alpha_d$$

L_w : パワーレベル (dB(A))

$R_d(t)$: 音源と受音点間の距離 (m)

α_d : 回折減衰値 (dB(A))

$L_r(t)$: 1回反射音

$$L_r(t) = L_w - 8 - 20 \log (r_r(t)) + 10 \log (1 - \beta) + \alpha_d$$

$r_r(t)$: 虚音源と受音源間の距離 (m)

β : 反射面の吸音率

α_d : 回折減衰値 (dB(A))

$L_s(t)$: 拡散音

$$L_s(t) = 10 \log \left(\sum_{i=1}^n 10^{S_i/10} \right)$$

S_i : 放射空間を n 個に分割した場合の各仮想音源より、 $\cos \theta_i$ の指向性を持ち放射される拡散音のレベル (dB(A))

上記の式を用いて、試験車一台走行時の騒音レベル変動パターンをシミュレーションした結果を図-8に示す。

工事前後もピーク値はほぼ一致しているが、試験車が遠方に位置するときには、計算値が実測値より小さくなっている。この原因としては、測定点周辺の生活音等の暗騒音や、当該地区の南側に位置する国道43号線からの道路騒音の影響が考えられる。

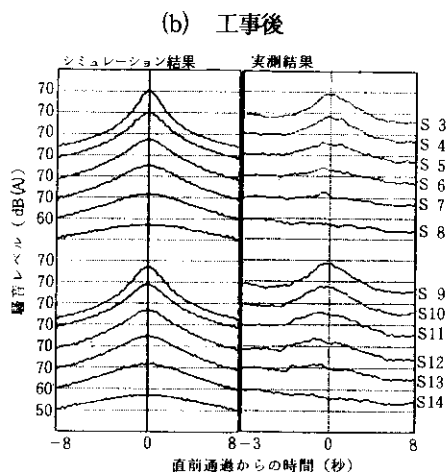
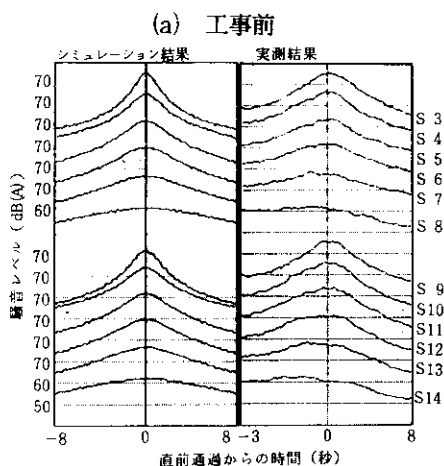


図-8 試験車一台走行騒音のシミュレーション結果と実測結果の比較

図-9に、このシミュレーション結果を用いて騒音レベル中央値を算出し、実測値と比較したものを示す。

3. 対策方法の検討

当地区の騒音調査の結果、直接音よりもダブルデッキ内で反射した音の影響が大きいと推測され、この対策方法の検討のため縮尺模型実験を行った。

実験は、予備実験及び、その結果により高架裏面の具体的な吸音方法についての詳細実験の二段階で行った。

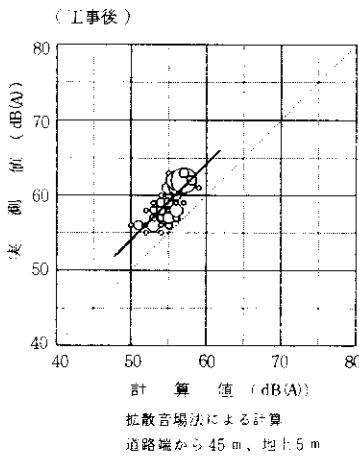
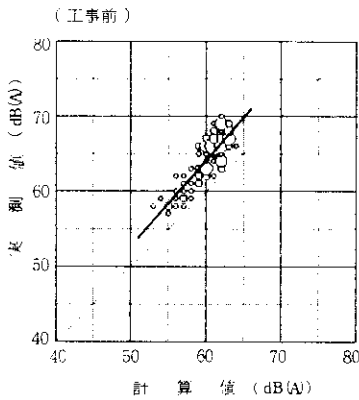


図-9 計算値と実測値の比較

3-1 予備実験

武庫川地区の縮尺模型は、実物の1/20の縮尺とした。道路面及び高欄は厚さ9mmのシナベニヤを使用し、表面はオイルペイントを2回塗って仕上げた。梁及び骨材は厚さ1.5mmのプラスチック板で製作した。防音壁は厚さ0.5mmのアルミ板で製作し、吸音材としてネルを取り付けた。

模型実験で対象とした周波数域は、4K~40KHzであり、実物に換算すると200~2KHzである。音源は、口径6.45cmのホーン型スピークユニットを用いた。受信用マイクロホンは1/4インチコンデンサマイクロホンを用い、指向性特性改善のために特製プローブを取り付けた。

模型実験に用いた吸音材料は、ウレタン、ネル、和紙の3種類である。吸音率は、ネルが最も大きく、ウレタン、和紙の順である。

対策効果は、図-10に示す範囲の騒音レベルが、高架裏面を吸音対策することにより、どの程度減少するかで評価した。なお、現地ではこの範囲に第一列目の住居が存在する。

図-11に実験ケースの一覧と吸音材料がネルのときの対策効果、および順位を示す。

この結果と施工性・保守性・価格・美観等、様々な角度から検討した結果、高架裏面に両面吸音型の吸音材を部分的に取付けるケース7が適しているとの結論に到った。

3-2 詳細実験

予備実験のケース7を中心に、縮尺模型を用いて反射音対策形態の詳細を検討した。実験に用いた吸音材料は、実際に現地において用いる吸音バ

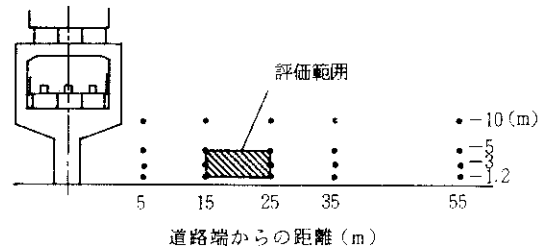


図-10 対策効果の評価範囲

ケース	設置方法略図	対策効果	
		順位	dB(A)
1	吸音材	4	4.2
	吸音材	4	4.2
2	吸音材	2	4.4
	吸音材	2	4.4
3	吸音材	3	4.1
	吸音材	3	4.1
7	吸音材	1	4.2
	吸音材内嵌スピークユニット	1	4.2

図-11 吸音材の設置方法及びその効果(ネル)

ネルを想定し、ウレタンの両側をネルではさみ、更にそれを金網で覆い周囲をアルミのアンクルで押えたものを用いた。この模型用吸音材料を、床に平行、45°、垂直に配置したときの3通りについて残響室法吸音率を測定した。測定結果を、実際の対策に用いる吸音パネル及び予備実験に用いた吸音材料（ネル、背後空気層5.5mm）の測定結果を併せて図-12に示す。

対策効果は、予備実験と同様に、道路端より15~25m、地上1.2~5mの範囲を評価範囲とし、この範囲の騒音レベルが、対策によりどの程度減少するかで評価した。

実験ケースを表-1に示す。

この結果より実際の対策形態として、表-1の形態T-4を採用した。

4. 取付方法の検討

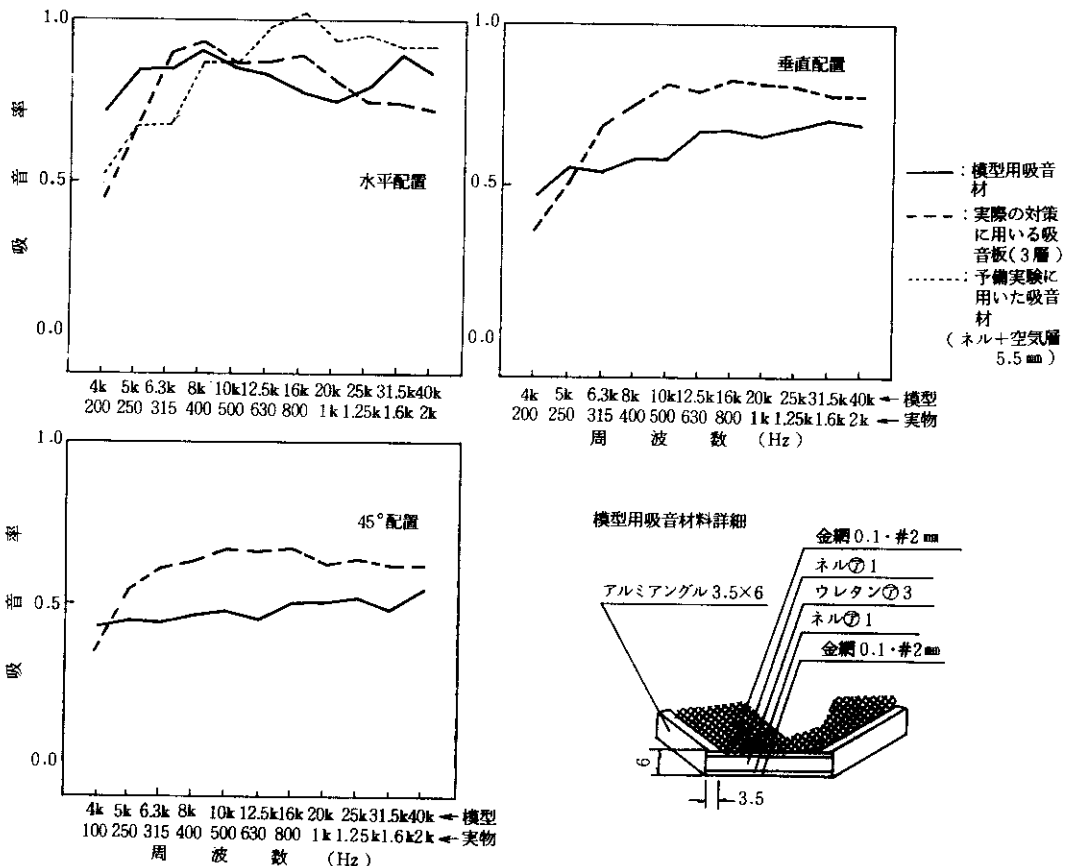
4-1 取付け方法の立案

二段階の騒音模型実験の結果、対策方法は図-13に示すとおり、高架裏面の桁下に両面型吸音パネルを部分的に取り付ける方法に決定した。

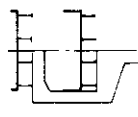
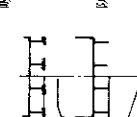
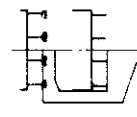
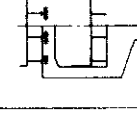
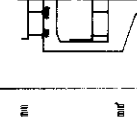
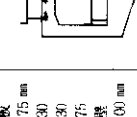
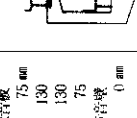
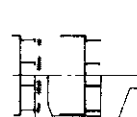
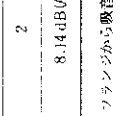
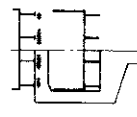
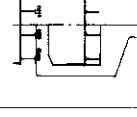

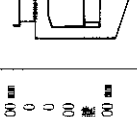
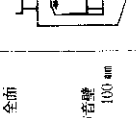
また、吸音パネルの取付けは、主桁の腹板に逆L字型の吊り金具を取付け、その先に橋軸直角方向に角材を通し、更にその先にL字型の吸音パネル受け材を取付け、その受け材に防振ゴムをはさんで吸音板をボルト締めする方法で行った（写真-2）。

4-2 吸音パネルの寸法

縮尺模型実験の結果を踏まえ、運搬、施工性から、260×100×10cm（内側主桁下）と150×



表一-1 対策ケース及び対策効果一覧表

形態名	SAI-1					
形態図	 <p>防音壁 100 mm</p>					
形態名	(1 ケース)					
形態図	T-1	T-2	T-3	T-4	T-4-0	T-4-1
形態図	 <p>間隔 0 mm 吸音板 60 mm 100 100 防音壁 100 mm</p>	 <p>間隔 32 mm 吸音板 60 mm 100 100 防音壁 100 mm</p>	 <p>間隔 32 mm 吸音板 65 mm 115 115 防音壁 100 mm</p>	 <p>間隔 32 mm 吸音板 75 mm 130 130 防音壁 100 mm</p>	 <p>間隔 32 mm 吸音板 75 mm 130 130 防音壁 0 mm</p>	 <p>間隔 32 mm 吸音板 75 mm 130 130 防音壁 50 mm</p>
順位	1	2	3	4	5	8
対策効果	4.41 dB(A)	4.49 dB(A)	6.05 dB(A)	6.61 dB(A)	4.81 dB(A)	5.73 dB(A)
形態名	SAI-12					
形態図						
形態図	T-2	T-1	T-6	T-6	T-7	T-8
形態図	 <p>間隔 32 mm 吸音板 75 mm 130 130 防音壁 150 mm</p>	 <p>間隔 32 mm 吸音板 75 mm 130 130 防音壁 200 mm</p>	 <p>間隔 32 mm 吸音板 100 mm 0 0 防音壁 100 mm</p>	 <p>間隔 32 mm 吸音板 100 mm 0 0 防音壁 100 mm</p>	 <p>間隔 0 mm 吸音板 全面 防音壁 100 mm</p>	 <p>間隔 32 mm 吸音板 全面 防音壁 100 mm</p>
順位	2	1	6	12	5	3
対策効果	8.14 dB(A)	8.61 dB(A)	6.49 dB(A)	3.42 dB(A)	6.49 dB(A)	7.67 dB(A)

(注) 間隔は、フランジから吸音板までの距離を意味する。

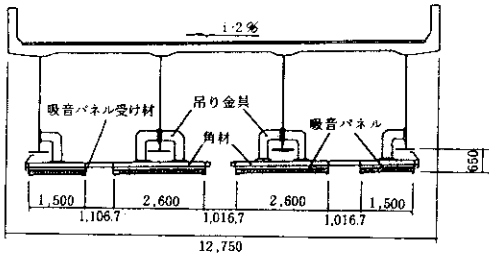


図-13 吸音パネルの取付け方法

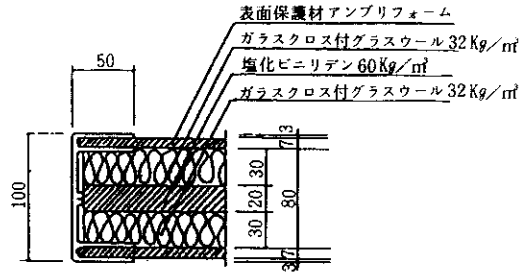


図-15 吸音パネル断面図

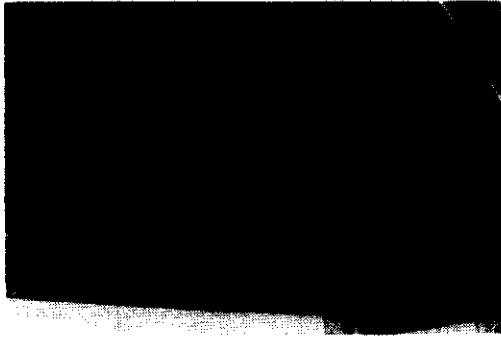


写真-2

100 × 10 cm (外側主桁下) に決定した (図-14)。パネル重量は、内側のもので約 40 kg である。

なお、パネル間のすき間は、道路本体構造物の補修点検、管理上の問題から、約 1 m とした。

4-3 吸音パネルの材料

吸音材としては図-15に示すとおり、通気性のある芯材 (塩化ビニリデン) を 32 kg/m³ のグラス

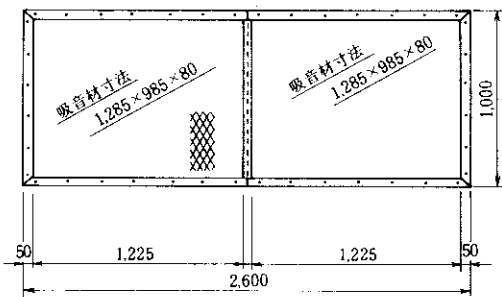


図-14 吸音パネル (内側主桁下)

ウールではさみ、表面を発水処理したグラスクロスで包み、更にアンプリフォームではさんで、アルミのアンクルで固定したものである。

なお、中心にある芯材は吸音効果よりも、作業性をよくするためのものである。

また、表面被膜材としてグラスクロスを用いたのは、吸音効果、耐久性そして景観上の色彩面で従来用いられているフッ素フィルムよりもすぐれているためである。

次に、吸音パネルの外枠及び表面保護材 (アンプリフォーム) をアルミ製としたのは、次の理由による。

- 1) 軽重量である。(主桁本体に応力的余裕がない。)
- 2) 耐久性材料である。
- 3) 所定の荷重に耐え得る。(人間が乗る可能性がある。)

4-4 その他

下フランジと吸音パネルとのクリアーを 60 cm 確保したのは、下の理由からである。

- 1) 下フランジ裏面の補修点検が必要である。
- 2) 美観上。(検査路が隠れる。)
- 3) 施工性がすぐれている。(吸音パネルの取り込みが容易である。)

両端外側に飾り板を取付けたのは、下の理由からである。

- 1) サイドからの景観を考慮した。
- 2) 雨等の吹き込みを極力押える。

5. 吸音材の検討

5-1 吸音材の構造

両面吸音型のパネルを考へて、図-16に示すとおり、中心の芯材を両端からグラスウールではさみ、そのグラスウールの密度を変化させた3つのタイプで性能試験を行った。

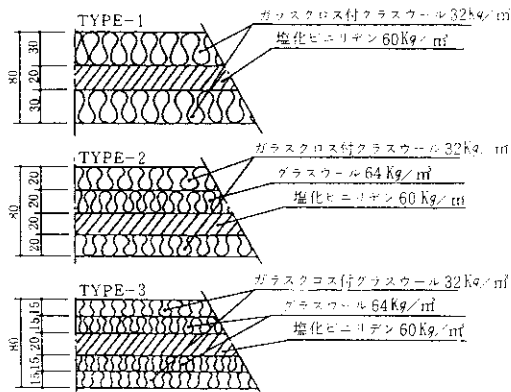


図-16 吸音材の構造

5-2 性能試験

性能試験は、垂直入射吸音率と残響室法吸音率の2種類について行った。(図-17, 18)

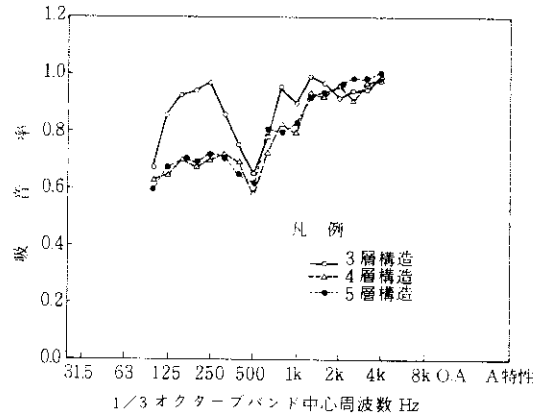
その結果、TYPE-1(3層)の性能が良かった。

6. 試験工事の概要

表-2に試験工事対象区の道路諸元および試験工事の数量を示す。

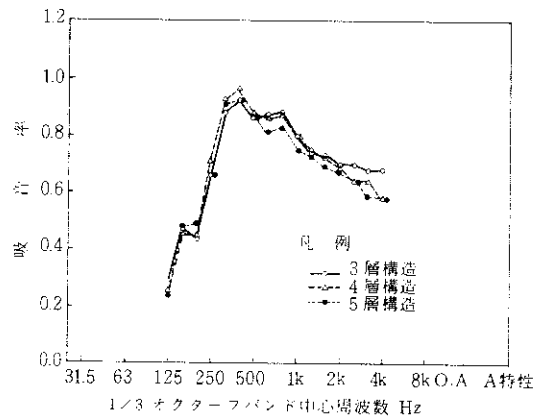
表-2 試験工事の概要

項目	数量	備考
対象道路	瀬川型合城所12連	
延長	457.7 m	橋間長30.0m～51.5m
巾	12.8 m	最小12.75m、最大13.35m
橋面積	5,870 m ²	
吸音板取付延長	421.3 m	
吸音板面積	3,362 m ²	橋面積に対する割合 = $\frac{3,362}{5,870} = 57.2\%$



周波数 Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	O.A	A特性
垂直入射吸音率 3層	0.86	0.97	0.65	0.90	0.92	0.99				
1層	0.65	0.70	0.58	0.80	0.96	0.97				
5層	0.67	0.72	0.62	0.83	0.96	1.00				

図-17 垂直入射吸音率の測定結果 (空気層 250 mm)



周波数 Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	O.A	A特性
残響室法吸音率 3層	0.29	0.66	0.86	0.80	0.70	0.63				
4層	0.26	0.71	0.89	0.80	0.69	0.68				
5層	0.24	0.66	0.86	0.78	0.67	0.58				

図-18 残響室法吸音率の測定結果 (平坦配置の場合)

7. 効果測定結果

図-19に示す地点での実測結果を用いて、工事

前と工事後の騒音レベルを比較して、効果を調べた。図-20に、30分毎に2日間測定した計96個の中央値(L₅₀)の平均値を比較して求めた対策効果を、図-21に同様に90%レンジの上端値(L₅)の対策効果を示す。

なお、工事前後の交通量の概略は表-3に示すとおりである。夜間において、大型車台数にかなりの違いが見られる。

表-3 阪神高速道路上り車線の交通量

	工 事 前		工 事 後	
	大型車	小型車	大型車	小型車
朝	2,445	6,894	2,484	6,864
昼 間	14,190	45,897	15,018	44,187
夕	2,391	15,681	2,214	12,936
夜 間	3,675	7,806	5,655	6,477
2日間	22,701	76,278	25,371	70,464

L₅₀、L₅共に、道路端より25~45mの地点が最も効果が大きく、4~6dBの対策効果があった。これは、工事後に大型車の増加していること等を考慮すると、ほぼ模型実験の結果と合致して

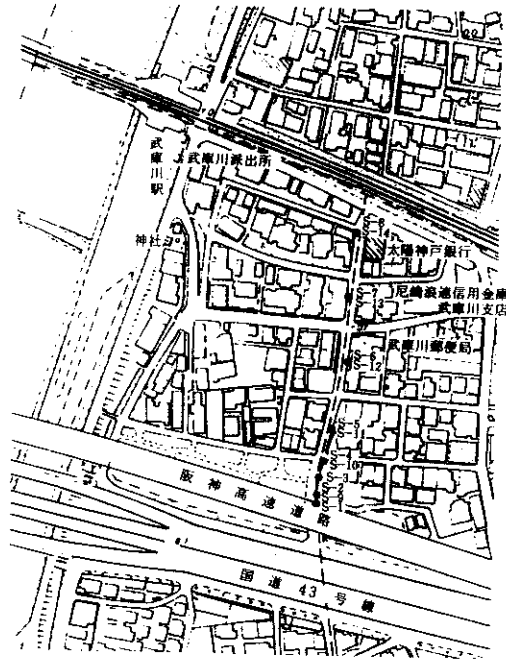


図-19 対策効果測定地点

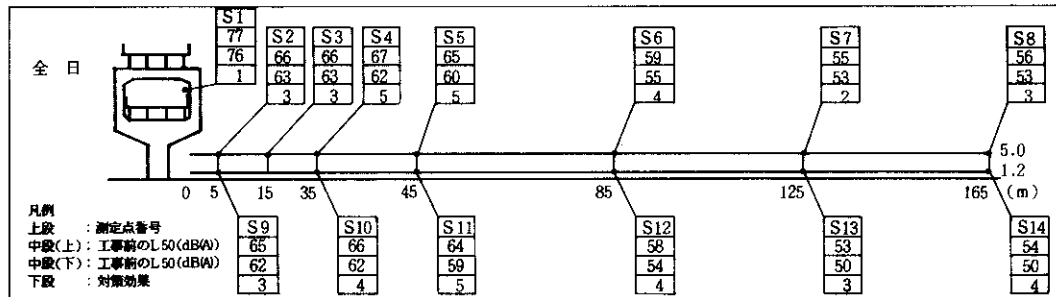


図-20 対策効果の測定結果(工事前のL₅₀と工事後のL₅₀の比較)

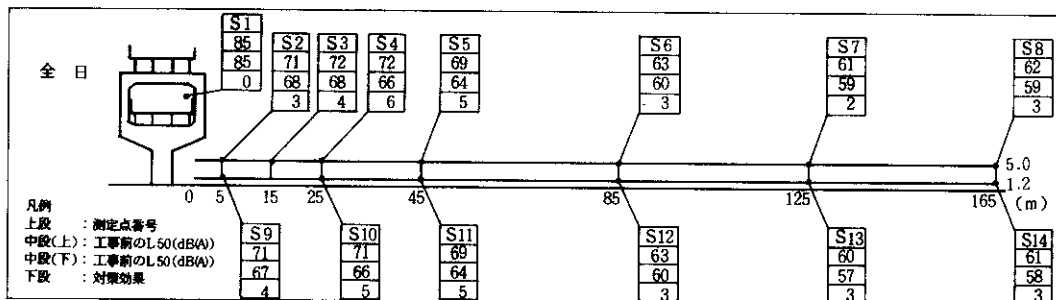


図-21 対策効果の測定結果(工事前のL₅と工事後のL₅の比較)

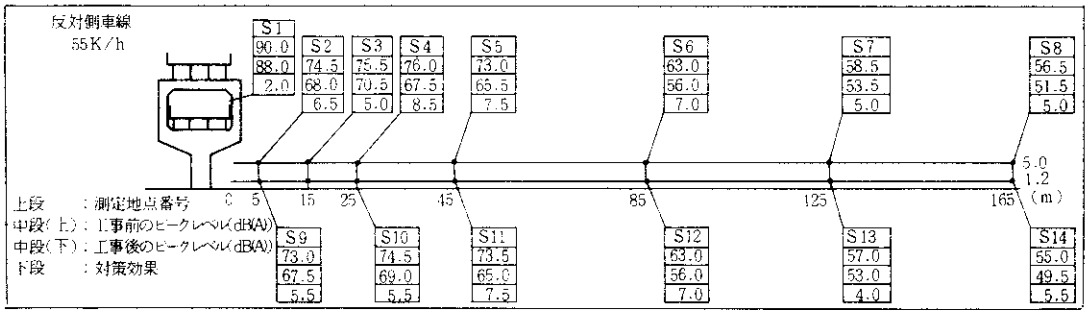


図-22 試験車走行音のピークレベルを比較した対策効果測定結果

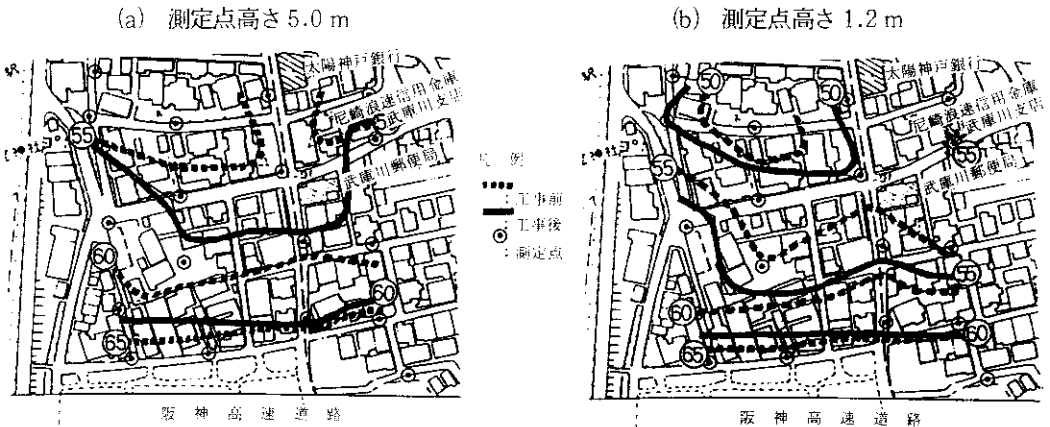


図-23 住宅地内の騒音レベルL₅₀の分布(調査期間中の平均値)

いるものと考えられる。

7-2 一台走行音のピークでみた効果

騒音レベルの統計値のときと同様に、試験車一台走行音のピークレベルについて工事前後で比較した対策効果を図-22に示す。

最も対策効果が大きかったのは、統計値のときと同様に、道路端より25～45mの地点であった。効果は、5.5～8.5dB(A)とL₅₀やL₅よりも更に大きかった。従って直前付近の車からの音に対して、より効果があると考えられる。

7-3 騒音レベルの平面分布

工事前後の住宅地内の騒音レベルの調査結果を用いて、調査期間中の騒音レベルの中央値(L₅₀)の分布を図-23に示す。

測定点高さ5m、1.2m共に、阪神高速道路に

面する第1列目の住居付近で約5dBの対策工事の効果と考えられる騒音レベルの減少が見られる。

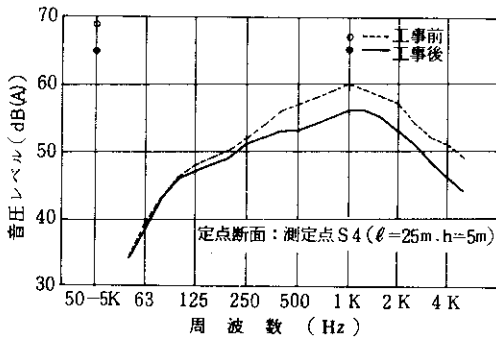
この効果は、測定点が奥に位置するほど小さい。奥の測定点の周辺には商店等があり、人通りも多いことなどから、この騒音レベルの分布の違いは、道路以外の音源より生じたと考えられる。

また、測定点の高さによっても、分布に違いがみられる。高さ5mの測点の方が騒音レベルが高いが、対策効果は奥の方までであることがわかる。これは、住宅の影響が大きいことを示すものである。

7-4 周波数特性の比較

道路交通騒音の周波数特性を工事前後で比較して図-24に示す。

これは、朝の時間帯の分析結果で、いずれの値も各バンドにおける音圧レベルの中央値である。



図一 24 一般走行騒音の周波数分析結果

測定点は、道路端から25 m、地上5 mのS₄である。効果の特徴は、200Hz以上の帯域でレベルが減少しており、特に500 Hz 以上において顕著である。

あとがき

今回、阪神高速道路大阪西宮線の二層構造区間（尼崎市武庫川地区）において、高架裏面反射音に対する調査により、反射音の影響と思われる騒音レベルの上昇が観測され、対策方法の検討及び、試験対策工事を行った結果、ほぼ予想された対策効果が得られた。

しかしながら、反射音の実態は未だ不明な点が多く、どのような場合も、今回の手法が有効であるかは疑問である。

高架裏面反射音対策に限ってみても、①対象となっている道路形態、②周辺の建物状況、③直接音の影響によってその対策効果は若しく異なるものと考えられる。

以上から、高架道路沿道での環境対策の一つの手段として、高架裏面反射音対策を考えるためには、道路の形態、対象とする範囲、構造の保守管理、美観、費用等を考慮した総合的な検討が今後ともさらに必要となろう。