

## 自動車走行騒音の放射指向特性に関する研究

交通環境室環境技術課 中村 一平  
交通環境室環境技術課 塚本 学  
交通環境室環境技術課 玉川 大

### 要 旨

現在における道路交通騒音予測手法としては、ASJ Model-1998（（社）日本音響学会）が広く用いられている。同モデルでは、自動車を無指向性点音源として仮定しているため、上方向にも側方と同じ大きさの騒音が放射されていることになるが、近年の研究において自動車から発生する騒音に指向性があることが指摘されている。

阪神高速道路公団においても、北神戸線における門構並びに鉄塔を利用した騒音測定を行い、自動車の近傍さらには距離が離れた場合における、側方に放射される騒音と上方向に放射される騒音との差異について検証した。

これらの調査結果をもとに、今回、実測値と予測値が整合するように指向性を考慮した簡便な道路交通騒音予測モデルを作成し、道路に近接した高層階位置の $L_{Aeq}$ を試算したところ、無指向性を仮定した場合と比較して1~2dB程度小さくなることが確認され、指向性を考慮した場合の方が実測値との整合性が良いことが確認された。

キーワード：道路交通騒音予測，放射指向特性，ユニットパターン

### はじめに

道路交通騒音の予測では一般に音源を無指向性点音源と仮定し、音が音源から半球面波状に放射するものとして推定されている<sup>1)</sup>。しかし、高架裏面反射音対策や高層階の建物に対する道路交通騒音対策を精度よく予測するためには、自動車の上方向に放射される騒音を把握する必要がある。

筑井ら<sup>2)</sup>はテストコースにおいて走行車線を囲むように側方および上方に測定点を配置した後、試験車を走行させて騒音分布を測定し、騒音は側方に比べて上方向の方が小さいことを報告している。また、その結果から指向特性の計算モデルを提案している。

森ら<sup>3)</sup>は阪神高速7号北神戸線を定常走行する実走行車両を対象に、筑井らと同様の方法で指向

特性の調査及び指向特性の関数近似を行い、実走行車両についても試験車と同様に側方に比べて上方向の騒音が小さいことを報告している。

これらがいずれも自動車近傍での調査によるものであることを踏まえ、福島ら<sup>4)</sup>は、前述の計算モデルが高層位置に適用可能か否かを検証するため、阪神高速7号北神戸線沿道に建設された鉄塔を利用して高層位置における高速道路単独走行時のユニットパターン（道路上を自動車が走行したときの、一つの観測点（予測地点）における音圧（又は音圧レベル）の時間変化のパターン）を測定し、森らの検討結果との比較を行っている。その結果、側方に比べ上方向の騒音が小さい傾向は確認されたが、筑井らや森らの報告ほどの極端な違いは見られないことが確認されている。

本稿では、まず最初に筑井ら、森らの自動車近

傍での調査および福島らの鉄塔での調査の概要を紹介する。次に二次元の境界要素法により近似的に車体周辺の騒音分布を求め、その結果より上方向については車体による遮蔽の影響により幾何拡散的な減衰にはならないことを報告する。更に、鉄塔で測定された騒音のユニットパターンを近似するような簡便な指向特性の計算モデルを検討する。最後に、その計算モデルを用いて高層階位置での等価騒音レベル（以下、 $L_{Aeq}$ という）を予測し、実測値と比較することにより計算モデルの妥当性を報告する。

## 1. 既往の研究

### 1-1 自動車近傍での調査

筑井らや森らは、図-1に示すように走行車線を囲む形で測定点を設置し、測定結果より得られたユニットパターンと無指向性点音源を仮定して計算したユニットパターンとの差を重回帰分析し、指向性を考慮した以下のような計算モデルを提案している。筑井らや森らの提案している計算モデル式は同じであるが、それぞれの測定データから重回帰分析により算出した係数の値が異なる。

$$L = L_{WA} - 8 - 20 \log_{10} l + \Delta L(\theta, \psi) \quad (1)$$

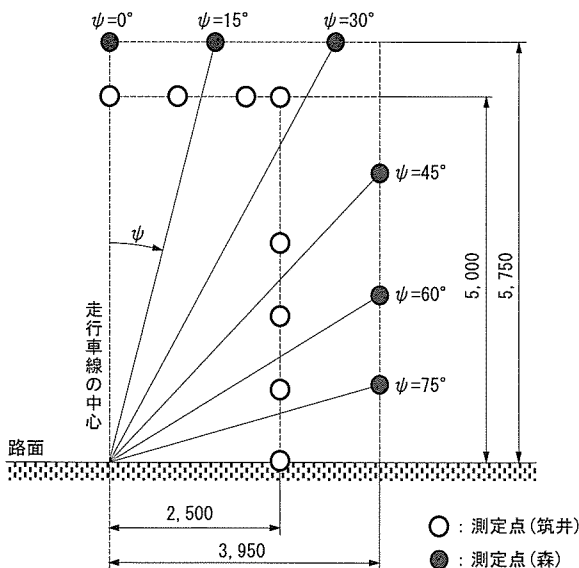


図-1 測定点の断面配置（単位：mm）

ここで、

$L$  : 測定点での音圧レベル[dB]

$L_{WA}$  : 自動車のパワーレベル[dB]

$l$  : 音源から測定点までの距離[m]

$\Delta L(\theta, \psi)$  : 指向特性の補正值[dB]

$$\Delta L(\theta, \psi) = \sum_{i=0}^4 a_i \theta^i + \psi \sum_{i=0}^4 a_{i+5} \theta^i \quad (2)$$

$\theta, \psi$  : 図-2参照[rad.]

$a_i$  : 重回帰分析により算出した係数

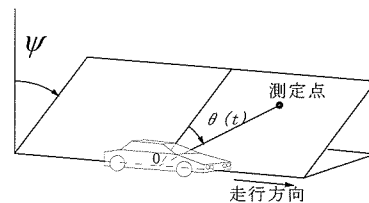
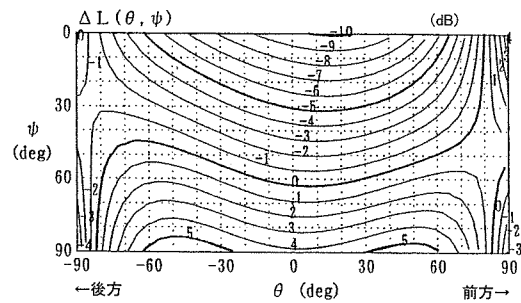
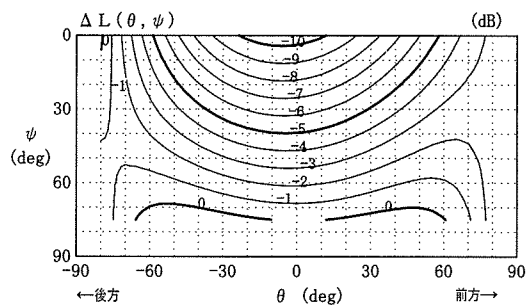


図-2 計算モデル中の $\theta, \psi$

筑井らや森らの報告に基づき、式(2)で求めた大型車についての $\Delta L(\theta, \psi)$ を図-3に示す。



(a) 筑井らの計算モデル



(b) 森らの計算モデル

図-3 自動車近傍での調査による $\Delta L(\theta, \psi)$ の分布

図より、筑井らの計算モデルでは車体の真横方向（ $(\theta, \psi) = (0^\circ, 75^\circ)$ ）に比べ、車体の真上方向（ $(\theta, \psi) = (0^\circ, 0^\circ)$ ）の音圧レベルが約12dB小さく、森らの計算モデルでも同様に約10dB小さいこ

とが確認でき、いずれも真上に放射される騒音が小さいことが分かる。

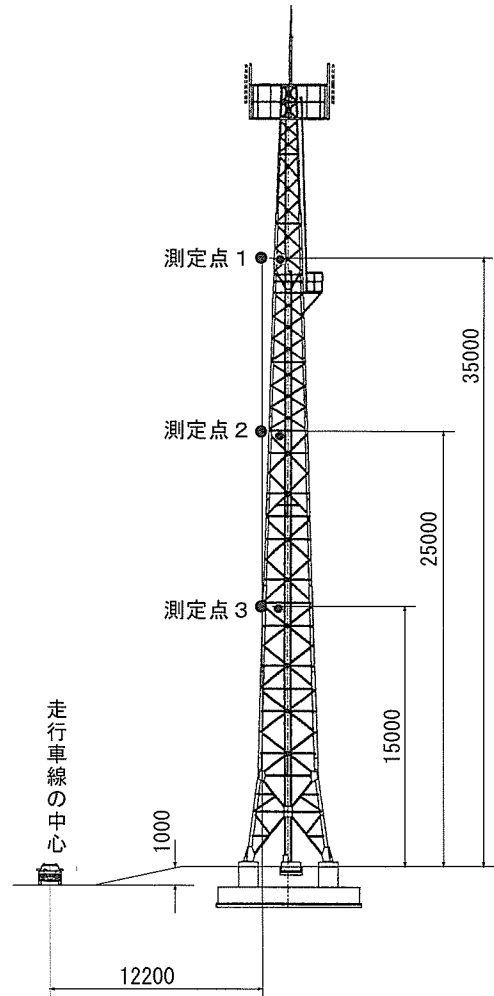
### 1-2 高層位置での調査

福島らは、図-4に示すように高速道路沿道の鉄塔等に測定点を配置すると共に、通常の自動車のパワーレベル測定点位置(走行車線中心から7.5m側方で、地上から1.2mの地点)にも測定点を配置して調査を行っている。走行車線の中心を基準とした図-4に示す各測定点の位置関係を表-1に示す。

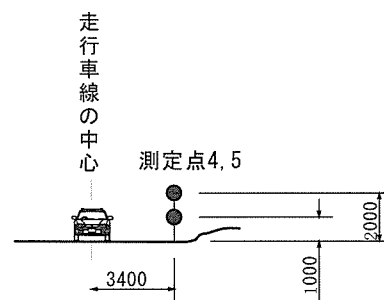
パワーレベル測定点でのユニットパターンから二乗積分法により求めた音響パワーレベルを基準として、各測定点の相対音圧レベル(伝搬量)を整理し、測定点1~3について伝搬量のユニットパターンの算術平均値と計算値(無指向性を仮定した場合及び指向性を考慮した場合)とを比較している。その結果を図-5に示す。なお、指向特性の計算は森らの実走行車両による計算モデルを用いている。

大型車については、無指向性を仮定した計算値は最大で約5dB程度過大評価となっており、騒音に指向性があることが伺えるが、自動車近傍での調査ほど極端ではない。指向性を考慮した場合には、特に測定位置付近で、上方向に距離が離れる程過小評価する傾向が見られる。高速道路における主な騒音はタイヤ/路面騒音であると考えられるが<sup>5)</sup>、自動車近傍での調査における $\psi=0^\circ$ の測定点について考えると、このタイヤ/路面騒音が車体により遮蔽されることが考えられる。森らによる計算モデルは、半自由空間での伝搬(逆自乗則)を仮定した上で実測値と整合するように算出されているが、車体近傍ではこの仮定が成り立たないため、このように過小評価する結果になったものと考えられる。

小型車については、指向性を考慮することにより測定値との整合がよくなっている。また、大型車のように指向性を考慮した場合に測定位置付近で過小評価するという傾向は見られないが、車体が小さいため、遮蔽の程度に違いがあるものと



(a) 鉄塔の測定点

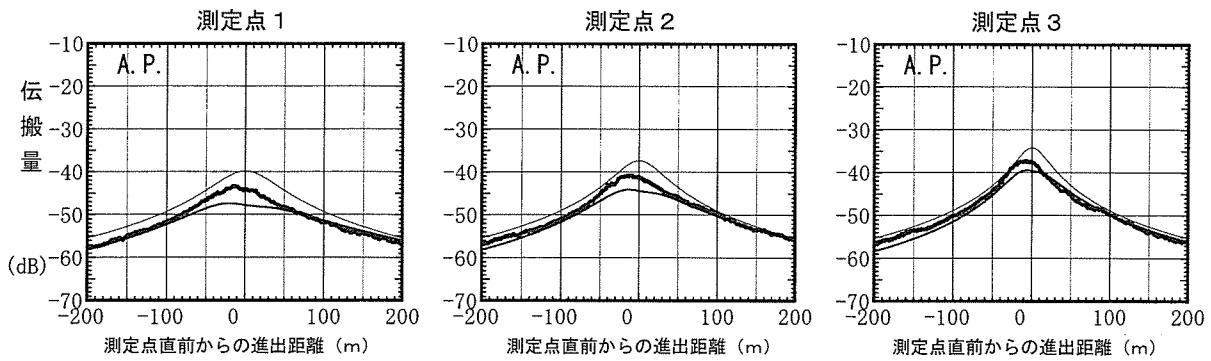


(b) 側方の測定点

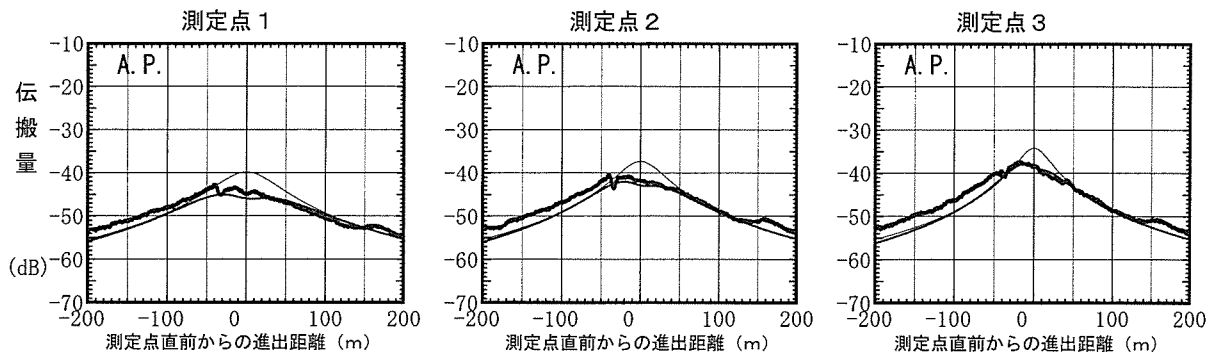
図-4 測定点の配置

表-1 各測定点の座標値

測定点	水平距離(m)	高さ(m)	角度 $\psi$ ( $^\circ$ )	
鉄塔	1	12.2	36.0	19
	2	12.2	26.0	25
	3	12.2	16.0	37
側方	4	3.4	2.0	60
	5	3.4	1.0	74



(a)大型車類



(b)小型車類

※伝搬量：音源の音圧レベルに対する各測定点での音圧レベルの相対値  
 ※進出距離：道路延長方向の距離

図一五 伝搬量のユニットパターン(——:測定値, ———:計算値(指向性), - - -:計算値(無指向性))

考えられる。なお、 $-40\text{m}$ 付近で実測値が不連続となっており、 $-40\text{m}$ 以遠では指向性を考慮した計算値においても差が顕著に見られるようになるが、この部分は橋梁となっており、原因の詳細は不明であるが、発生騒音が異なったものと考えられる。但し、当該区間は測定位置からかなり遠方であり、このような遠方の地点では、指向性を考慮する必要はないと思われる。

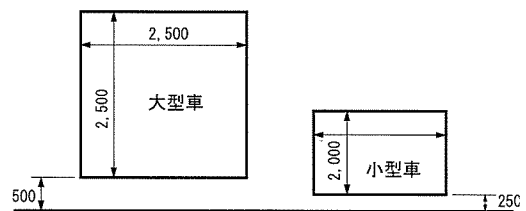
## 2. 二次元の境界要素法による車体の影響の検討

二次元の境界要素法<sup>6)</sup>を用いて車体による遮蔽の影響を定性的に検討した。

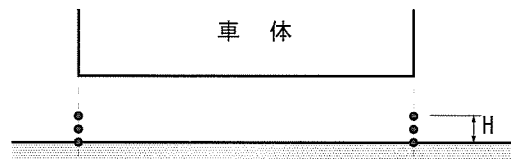
検討するにあたって、車体を表面が剛な長方形断面の筒と考え、路面は剛な無限大平面と仮定した。想定した車体の諸元を図一六に示す。大型車を想定した遮蔽物は大きさを $2,500\text{mm} \times 2,500\text{mm}$ として路面から $500\text{mm}$ の位置に、小型車を想定した遮蔽物は大きさを $2,000\text{mm} \times 1,500\text{mm}$ として路

面から $250\text{mm}$ の位置にそれぞれ配置した。また、図一七に示すように、線音源は車体の両側面の直下にそれぞれ3点、計6点配置した。路面からの音源高さ $H$ は、大型車が $0, 100, 200\text{mm}$ 、小型車が $0, 50, 100\text{mm}$ である。

図一八に示すように、車体Bとその路面に対



図一六 想定した車体の諸元



図一七 音源の配置

する像B'を考え、音源Qとその虚像位置に想定した同位相の音源Q'からの音場を二次元の境界要素法により求めた。分割要素の大きさは2cm、計算周波数は1/9オクターブバンド中心周波数で183.7~2721.6Hzの36周波数であり、最高計算周波数の波長は分割要素の大きさの約6倍である。

図-7に示した6つの音源についてそれぞれ、各計算周波数での音圧を算出した。また、各音源は無相関と仮定した上で音圧の二乗値を合成し、6つの音源からの合成音圧レベルを算出した。更に、ASJ Model-1998の道路交通騒音の周波数スペクトルとA特性補正值(人間の感度に合わせて周波数毎に音圧レベルを補正するその補正值)を重み付けし、道路交通騒音のA特性補正音圧レベルを算出した。

車体周辺のA特性補正音圧レベルの分布を図-9に示す。図の値は、自動車のパワーレベルの測定点(図中のP)における計算値を基準とした相対値である。図で、距離は1m間隔、角度は2°間隔である。

大型車については、 $\phi=15\sim 80^\circ$ の範囲では角度による差は小さい。また $\phi \leq 15^\circ$ では $\phi$ が小さくなるにつれて急激に音圧レベルが減少している。また、路面付近で音圧レベルが大きくなっているが、これは観測点とは反対側の車体下に配置した音源の影響である。小型車については、 $\phi=20\sim 60^\circ$ の範囲では角度による差は小さい。また $\phi \leq 20^\circ$ では $\phi$ が小さくなるにつれて急激に音圧レベルが減少している。また、大型車同様、路面付近で音圧レベルが大きくなっている。

角度別に距離減衰性状を整理したものを図-10に示す。例として取り上げたのは、従来のパワーレベルの測定点Pに相当する $\phi=81^\circ$ 、鉄塔での測定点1に相当する $\phi=20^\circ$ 、測定点2と3のほぼ中間に相当する $\phi=30^\circ$ および真上( $\phi=0^\circ$ )の4方向である。また図には線音源の幾何減衰線(-3dB/D.D., D.D. = Double Distance, すなわち距離が2倍になると3dB下がる。)も併せて示す。

大型車については $\phi=30^\circ$ あるいは $81^\circ$ では幾何減衰線とほぼ平行となっており、自由空間での

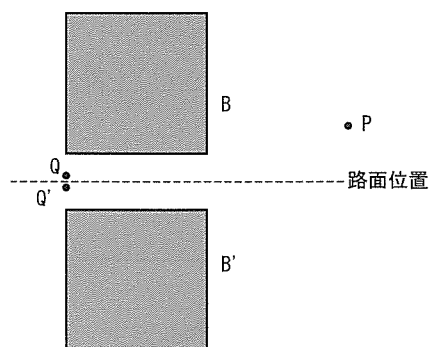
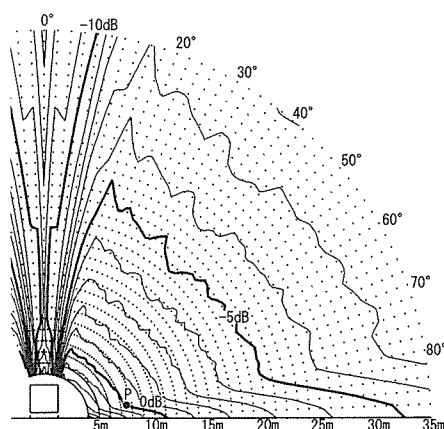
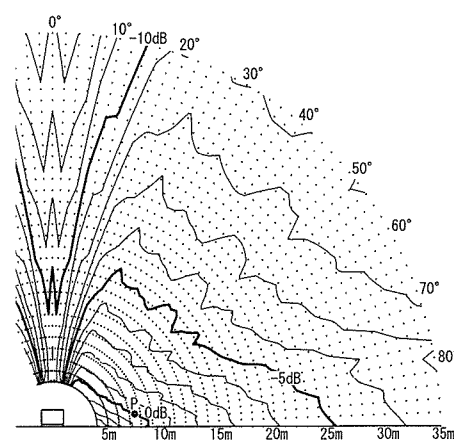


図-8 音源、境界要素等の配置



(a) 大型車類

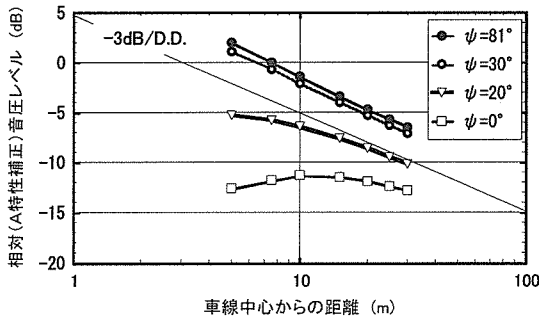


(b) 小型車類

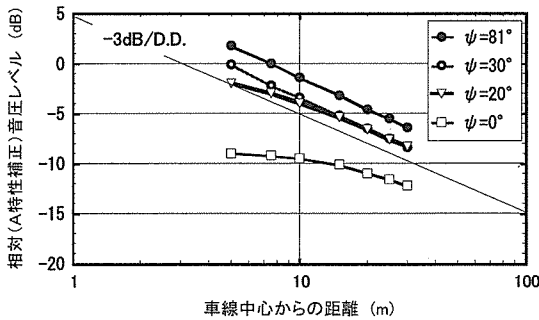
図-9 車体周辺のA特性補正音圧レベルの分布

線音源の幾何拡散に相当する減衰となっている。 $\phi=20^\circ$ では20m以上離れると幾何減衰に漸近する。また、 $\phi=0^\circ$ では車体による遮蔽の影響がよく見られ、10m以下の範囲では距離が離れるにつれて増加する傾向にあり、幾何拡散的な減衰になっていない。

小型車も  $\phi=30^\circ$  や  $81^\circ$  では  $3\text{dB/D.D.}$  で減衰している。また、 $\phi=20^\circ$  でも  $10\text{m}$  以上離れると幾何減衰に漸近している。 $\phi=0^\circ$  では大型車ほど顕著ではないものの車体での遮蔽の影響が見られる。



(a) 大型車類



(b) 小型車類

図-10 方向別の距離減衰性状

#### 4. 簡易予測モデルの検討

鉄塔での調査結果あるいは二次元の境界要素法での計算結果によると、高層階での騒音を予測する場合に自動車近傍で求めた指向特性の計算モデルを用いると、特に音源の真上付近で過小評価となる。

ここでは、自動車近傍で求めた指向特性  $\Delta L(\theta, \psi)$  の傾向を踏まえ、鉄塔での測定値を関数近似する。

森らが報告している  $\Delta L(\theta, \psi)$  の計算式を用い、 $\psi=0^\circ, 45^\circ, 75^\circ$  の位置で計算した結果を図-11に示す。図より  $\phi=75^\circ$  の地点では指向特性の影響が小さいことが分かる。

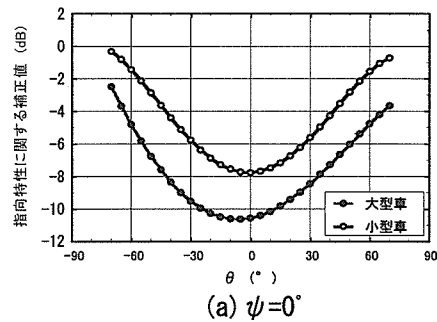
図-11および鉄塔での調査を踏まえ、 $\Delta L(\theta, \psi)$  のモデル化にあたり以下のような仮定をした。

①  $\theta$  は車体の前後で対称。 $\phi$  は左右対称。

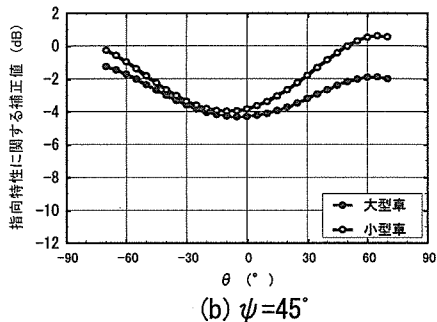
②  $\phi=75^\circ$  の地点では指向特性の影響が小さいため、 $\phi \geq 75^\circ$  では無指向性とする。

③ 簡便化のために車種による違いを考慮しない。以上を仮定した上で、以下のような近似式を考えた。

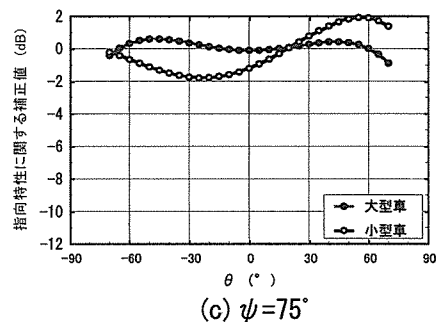
$$\Delta L(\theta, \psi) = \begin{cases} \cos(\theta) \cdot \sum_{j=0}^2 b_j \cos(j\psi) & , \psi < 75^\circ \\ 0 & , \psi \geq 75^\circ \end{cases} \quad (3)$$



(a)  $\psi=0^\circ$



(b)  $\psi=45^\circ$



(c)  $\psi=75^\circ$

図-11  $\Delta L(\theta, \psi)$  の計算例(森らの計算モデル)

図-5におけるユニットパターンの測定値と、 $L_{WA}=0$  とし  $\Delta L(\theta, \psi)$  に式(3)を代入して式(1)を計算した値との差の2乗和が最小になるように  $b_j$  を求めた。検討に用いたのは  $-80^\circ \leq \theta \leq 80^\circ$  の範囲のデータで、かつ車両が橋梁区間を走行してい

ときのデータは除いた。求めた $b_f$ の値は、

$$b_{0f} = -0.8, \quad b_{1f} = -2.0, \quad b_{2f} = -1.5 \text{ である。}$$

式(3)により計算したユニットパターンと測定値とを比較したものを図-12に示す。

大型車については、計算値と測定値はほぼ一致しており、小型車についても橋梁区間を除けばほぼ整合がとれている。以上のことから、今回提案したモデルが十分な精度を持ったものであることが確認でき、従来のモデルと比較してもより簡便なものとなっている。

## 5. $L_{Aeq}$ の測定値と計算値の比較

測定点1～3における $L_{Aeq}$ の測定値と、前章における計算モデル及び無指向性を仮定した時それぞれでの計算値を比較したものを図-13に示す。

指向性を考慮することにより、無指向性を仮定した場合よりも測定点1で約2 dB、測定点3で約1 dB小さくなり、指向性を考慮した場合の方が測定値との整合性がとれていることが分かる。

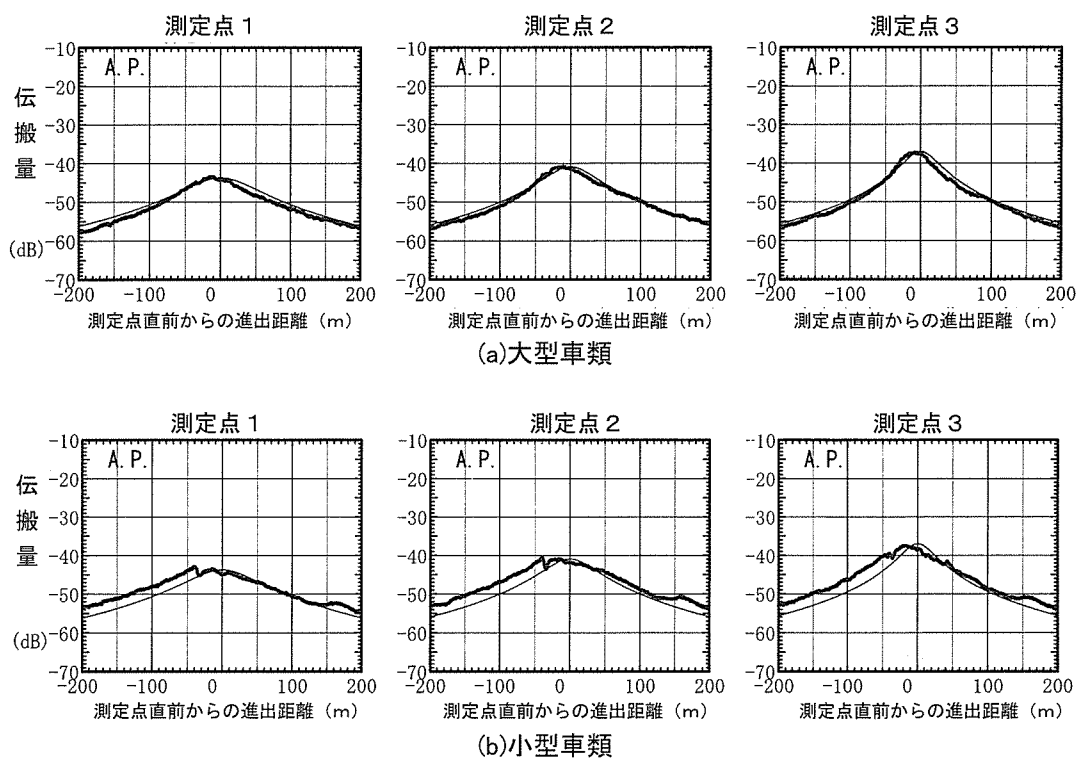


図-12 ユニットの測定値と計算値の比較 (—: 測定値, - - : 計算値)

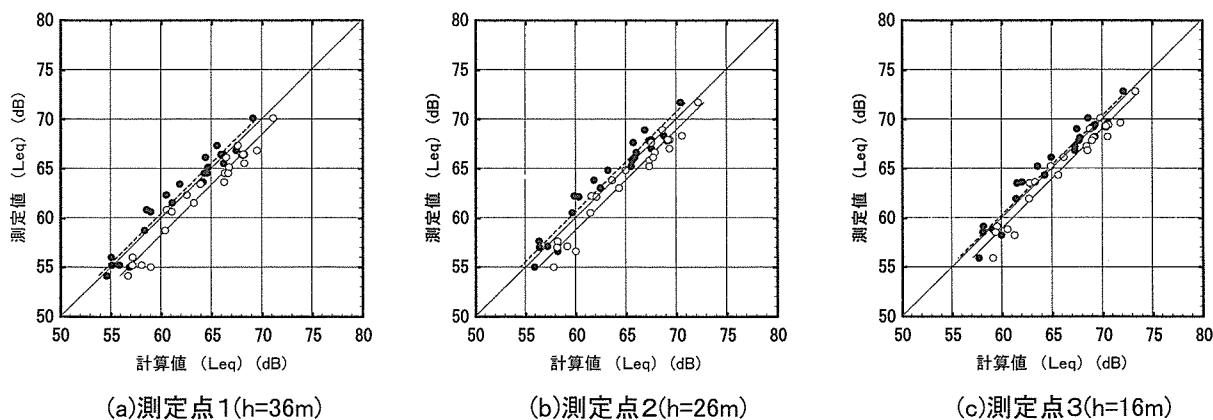


図-13  $L_{Aeq}$ の測定値と計算値の比較 (●: 指向性, ○: 無指向性)

## まとめ

本稿のまとめを以下に示す。

- ①既存調査の結果によると、側方に放射される騒音と比較すると上方向に放射される騒音は小さいが、距離が離れることによりその差が小さくなることが確認されている。
- ②二次元の境界要素法により車体による遮蔽の影響を検討した結果、上方向では車体による遮蔽により幾何拡散的な減衰をしていないことが確認された。
- ③鉄塔での調査結果をもとに、指向性を考慮した簡便な計算モデルを作成した。
- ④③で作成したモデルにより鉄塔での調査における $L_{Aeq}$ を試算したところ、無指向性を仮定した場合よりも1~2dB小さくなり、従来のモデルより実測値との整合性も良いことが確認された。

ただし、今回は、鉄塔での調査結果に基づき作成した計算モデルについて、同じ鉄塔での調査結果との整合性を確認したにすぎないため、今後、様々な測定結果との整合性について検討する必要がある。

本研究は、日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会において実施中である、道路交通騒音予測手法ASJ Model-1998の精緻化の一端を担っているものであり、次期改訂モデルに反映させるべく、今後同委員会と調整を行っていく予定である。

## 参考文献

- 1) 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会：道路交通騒音の予測モデル“ASJ Model 1998”，日本音響学会誌 55 巻 4 号，1998，pp281-324.
- 2) 筑井，押野，橘：自動車走行騒音の指向性を考慮した道路交通騒音予測手法に関する研究，騒音制御，vol.22(2),1998,pp108-116.
- 3) Y.Mori, A.Fukushima, K.Uesaka, H . Ohnishi : Noise Directivity of Vehicles on Actual Road, Inter-noise '99, 1999.
- 4) 福島，西林，森，上坂，前川：実走行車両から発生する騒音の指向特性に関する研究，日本音響学会騒音・振動研究会資料,2000.6.
- 5) 清水 博，足立 義雄，辻 靖三，根本 守著：道路環境,山海堂,1987.
- 6) 田村：境界要素法による屋外騒音伝搬の予測，日本音響学会誌 48 巻 6 号，1992，pp451-454.

## RESEARCH INTO NOISE DIRECTIVITY OF VEHICLES

Ippeï NAKAMURA, Manabu TSUKAMOTO and Dai TAMAGAWA

The ASJ Model-1998 (created by the Acoustical Society of Japan) is used widely as the current technique of road traffic noise prediction. In this model, as a car is assumed to be a non-directional point sound source, the same amount of noise is emitted sideward as upward. It has however been suggested recently that the noise generated from a car does have directivity.

In a noise measurement performed by the Hanshin Expressway Public Corporation on the Kita-Kobe branch of its network using a roadside gate and steel tower as measuring points, the difference between noise emitted upward and noise emitted sideward was measured at a point near to a car and also at a distant point.

Based on the results of these investigations, a simple road traffic noise prediction model was created which takes account of directivity so as to provide consistency between actual measurements and calculation values. A trial calculation of  $L_{Aeq}$  at an upper-story position close to the road was made. It was found that the value is about 1-2dB smaller than in cases where directivity is not assumed, and that correspondence with actual measurements is better when directivity is taken into consideration.