

〈一般研究課題〉 中高層ビルが連担する市街地沿道における道路交通騒音の予測手法及び環境保全対策方法に関する研究
助成研究者 名城大学 岡田 恭明



中高層ビルが連担する市街地沿道における道路交通騒音の 予測手法及び環境保全対策方法に関する研究

岡田 恭明
(名城大学)

Study on the prediction method and improvement plan of road traffic noise in a street canyon

Yasuaki Okada
(Meijo University)

Abstract

In urban areas, buildings are usually constructed on both sides of a road and an overhead road is often constructed above the level road. This place results in complex reflection by the building facades and the underside of an overhead road leading to increased sound levels in the city street. We have proposed the calculation methods estimating noise level increase by complex reflection in a city street, in order to predict road traffic noise propagation more accurately. Those models were based on the diffusion method.

In this paper, we have investigated the property of sound propagation in a city street by using a 1:40 scale modeling of the city road. As a result of this study, it has been found that noise level increase is between 2dB and 3dB due to reflection by the building facades in a typical city street, and the comparison between results of experiments and calculations shows good agreement. Also, the noise reductions due to absorptive treatment on the building facades have been estimated in the city street canyon.

1. はじめに

市街地における幹線道路周辺には、中高層ビルが建ち並び、さらにその平面道路の上に高架道路が併設されている場合もある。このような市街地沿道での騒音は、自動車からの直達音の他に建物前面や高架裏面からの反射音の影響により増大する。したがって、沿道建物や高架道路の配置条件とそれらからの反射音による騒音レベルの増加量との関係を明らかにすることは、沿道の音環境を

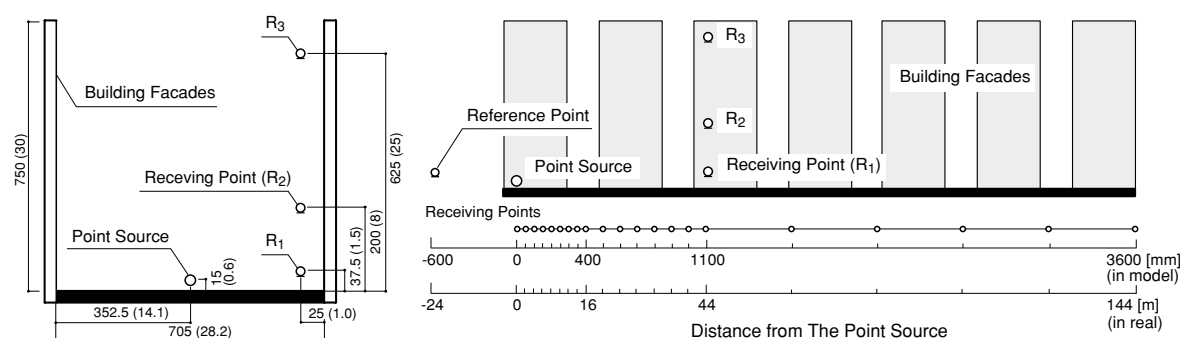
把握し保全対策を考える上で重要である。市街地沿道での騒音伝搬に関する研究としては、沿道建物を障壁とみなし音線理論を適用した方法や2次元差分法による検討などが行われている¹³⁾。これらの手法は、道路および沿道建物等の配置条件を個々に設定して計算する場合には適しているが、このような場所での騒音伝搬に関する系統的な傾向を抽出することは難しい。そこで筆者らは、市街地沿道における道路交通騒音の予測モデルの一つとして、道路寸法や沿道建物および高架道路の平均的な配置条件から、建物などからの反射による騒音レベルの増加量を算定する実用的な計算方法を提案している⁴⁾。

本研究では、市街地道路を想定した縮尺音響模型実験を行い、道路両側に建物が連担する空間での音の伝搬特性について検討すると共に、実験で得られた結果から提案している理論計算モデルの妥当性について検証を行った。さらに、建物壁面を吸音処理した場合の騒音低減効果についても考察した。

2. 音響模型実験の概要

2-1 実験方法

都市部を通過する幹線道路を想定した模型実験の概要を図1に、実験の測定系統図を図2に示す。模型は片側2車線の標準的な道路（道路幅28.2m）⁵⁾の両側に高さ30mの建物が連担しているものとし、縮尺は1/40とした。建物前面および路面に相当する模型表面は、音響的にほぼ完全反射面とするためアクリル塗装仕上げとした。音源にはスパーク放電パルスを用いて、道路中央の高さ0.15cm（実物換算0.6m）の点に設置した。測定用のマイクロホンの高さは、建物の低層、中層および高層階を想定して、それぞれ3.75cm、20cmおよび62.5cm（実物換算1.5m、8m、25m）とし、建物前面から2.5cm（実物換算1m）離れた直線上に計21点配置した。測定点の間隔は、音源から40cmまでの範囲では5cm、110cmまでは10cm、360cmまでは50cmである。



(a) 縦断面（単位[mm], ()内は実物寸法[m]） (b)横断面
 図1 建物が連担する市街地道路を対象とした縮尺音響模型実験の概要

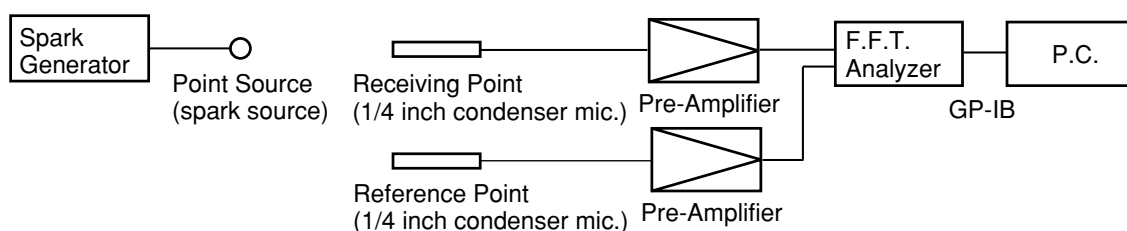
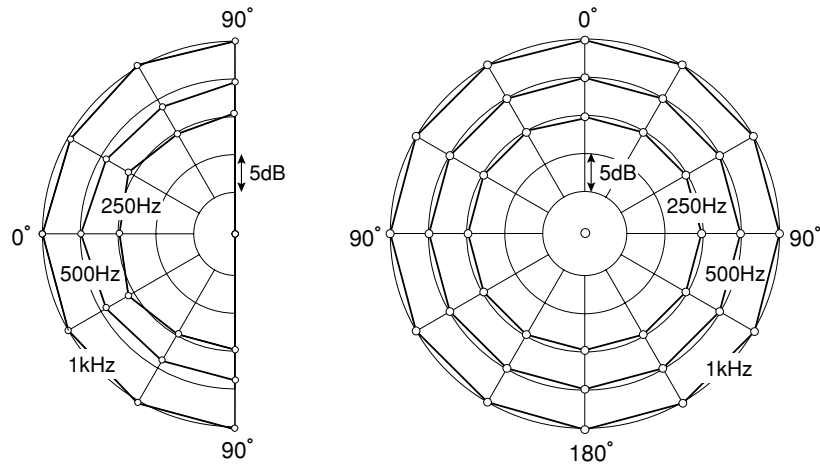


図2 測定系統図



(a) スパーク音源 (b) 1/4インチ・コンデンサーマイクロホン
 図3 水平方向に対する指向特性 (1oct.Band: 250Hz, 500Hz, 1kHz)

実験は、音源後方60cmの点に設置した基準音圧用のマイクロホンと各測定点のマイクロホンの出力を、FFT（サンプリング周波数256kHz, 平均化回数64回、解析点数4,096点）により、1/3オクターブバンド相対音圧レベルを求めるものである。さらに、線音源からの音圧レベルを求めるため、全測定点でのデータをエネルギー合成し、周波数10kHzから40kHz（実物換算250Hzから1kHz）までの1オクターブバンドごとの音圧暴露レベルを算出した。

スパーク音源および1/4インチ・コンデンサーマイクロホンの伝搬方向に対する指向特性は図3に示すとおりであるが、両者の指向特性は、測定対象方向の範囲ではほぼ無指向性とみなせることがわかる。

2.2 沿道建物の配置条件

建物の配置方法としては種々の条件が考えられるが、ここでは1つの建物の幅を36cm（実物換算14.4m）とし、図4に示すように音源に最も近い測定点の背後に建物壁面が常にあると想定した場合（CASE1）とそうでない場合（CASE2）の2つのケースについて実験を行った。また、実際の市街地沿道には、それと交差する道路や空閑地などが存在する。そこで、沿道の建物群の間隙の割合を、ここでは

$$\sigma = \left(\sum_{i=1}^n g_i \right) / W \quad (1)$$

のように定義し、間隙率 σ と称して用いることにする。ただし、 W は評価区間の長さ、 g_i は i 番目（ $i=1 \sim n$ ）の沿道建物の隙間である。本実験ではこの間隙率 σ が0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5および0.6の6つの条件となるように建物壁面の模型を均等に配置した。

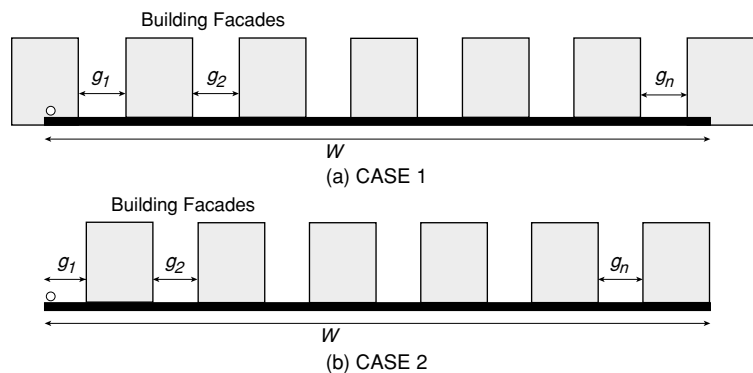


図4 沿道建物の配置条件 (間隙率 $\sigma=0.4$ の場合, ○: 音源位置)

3. 予備的検討

本実験に先立ち、予備的な検討として建物の有無による各周波数の伝搬音の距離減衰特性の違いについて検討した。この予備実験では、測定点を道路中央に設置した音源から実物換算で12m, 24m, 48mおよび96mの点に配置して、各点における相対音圧レベルを求めた。図5は、対象周波数250Hz, 500Hzおよび1kHzについて、間隙率 σ が0.1および0.3の場合の距離減衰をそれぞれ整理したもので、建物が無い場合($\sigma=1.0$)の結果も併せて示す。また、表1は建物前面からの反射によるレベルの増加量(建物の有無による相対音圧レベルの差)を間隙率 σ ごとに求めた結果である。建物が無い場合の伝搬音の距離減衰は、ほぼ逆自乗則に従っている。一方、建物が存在する場合には、直達音と壁面などからの反射音との干渉によって、その減衰特性は単調ではないが、各周波数の音圧レベルは建物が無い場合に比べて、距離と共に増加するおおよその傾向は認められる。また、その程度は間隙率 σ が小さいほど顕著であり、音源からの距離が48mの点におけるレベルの増加量は、間隙率 σ が0.3の場合には1.4dB~2.7dBであるのに対して、 σ が0.1の場合では4.0dB~8.9dBであった。

以上のように、道路両側に連担する建物前面からの反射によるレベルの増加傾向は、各周波数とも概ね同様であること、また、本研究では広いスペクトル成分を持つ道路交通を対象としていることなどから、以下の実験では250Hz, 500Hzおよび1kHzをエネルギー合成した3オクターブで整理することとした。

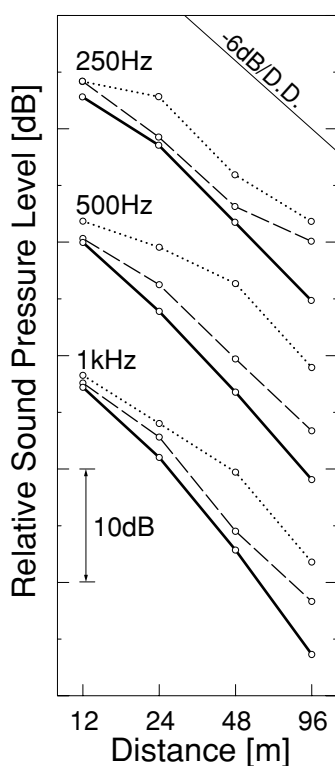


図5 建物の有無による伝搬音の距離減衰特性の比較 (CASE2, …… : $\sigma=0.1$, ---- : $\sigma=0.3$, — : $\sigma=1.0$)

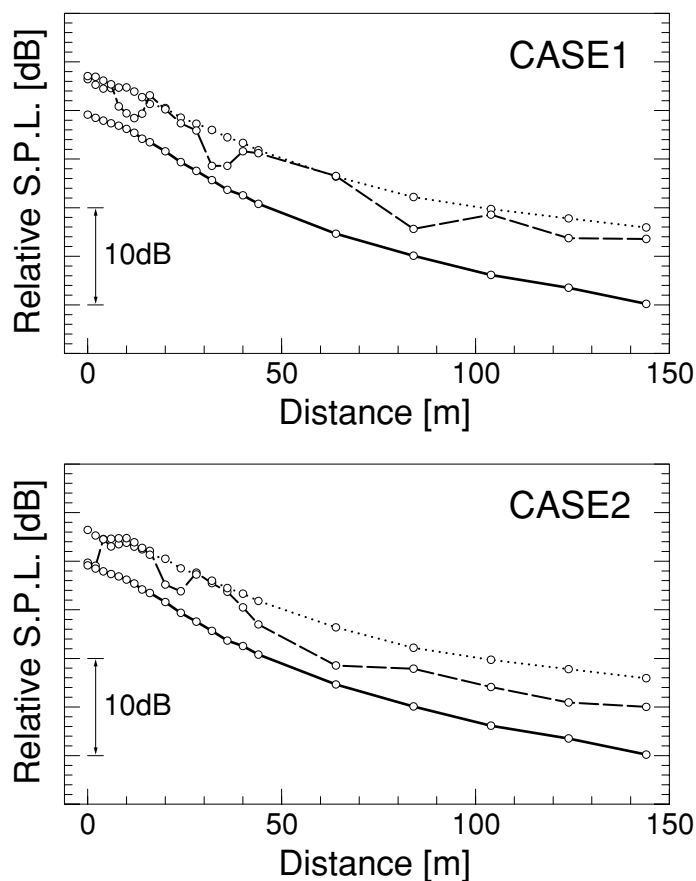


図6 建物の有無によるユニットパターンの比較 (…… : $\sigma=0.0$, ---- : $\sigma=0.3$, — : $\sigma=1.0$)

Frequency [Hz]	-	Distance [m]			
		12.0	24.0	48.0	96.0
250	0.1	1.4	4.0	4.0	6.5
	0.3	1.4	0.8	1.4	4.9
500	0.1	1.9	5.3	8.9	9.2
	0.3	0.3	2.2	2.7	4.0
1k	0.1	1.1	2.8	6.4	7.6
	0.3	0.4	1.7	1.5	4.3

(単位：dB)

表1 建物からの反射による音圧レベルの増加量

4. 実験結果

地上付近の受音点における音圧レベルが、建物前面からの反射の影響によってどの程度増加するのかを検討するために、まず、建物の2つの配置条件CASE1およびCASE2について行った測定点R1（実物換算1.5m）での結果を、一台の自動車が通過した時の音圧レベル波形に相当するユニットパターンで整理してみた。図6はその結果の例で、間隙率 σ を0.3とした場合である。また、参考として建物が無い場合（ $\sigma=1.0$ ）と逆に建物が間隙無く連担している場合（ $\sigma=0.0$ ）の結果も併せて示す。これらの結果から、建物前面からの反射の影響は、前節で述べたように全体的に音源から遠ざかるにつれて大きくなることがわかる。また、間隙率 σ が0.0の場合の音圧レベルは、当然ながら受音点の位置によらず反射の影響により上昇している。一方、 σ が0.3の場合には、測定点背後の建物の有無によって音圧レベルは変化するものの、建物が無い場合に比べて音源近傍では1dB～3dB、遠方では3dB～6dB程度増加することがわかった。

次に、ユニットパターンの積分値に相当する音圧暴露レベルを求め、道路交通（線音源）に対する音圧レベルの増加量を算出した。その結果を図7に示す。音圧レベルの増加量は、建物の配置条件によって1dB程度の違いがみられるものの、両条件とも間隙率 σ が小さいほど大きくなることわかる。例えば、反射によるレベルの増加量は、沿道建物が連担するような場合（ $\sigma=0.2$ ）には約4.5dB、交差する道路や空閑地などがあるような通常の立地条件の場合（ $\sigma=0.4$ ）では3dB程度であった^{6,7)}。また、評価区間長に対して建物が占める割合が半分以下（ $\sigma=0.6$ ）の場合においても、そのレベル上昇は2.5dB程度にもなることが示唆された。

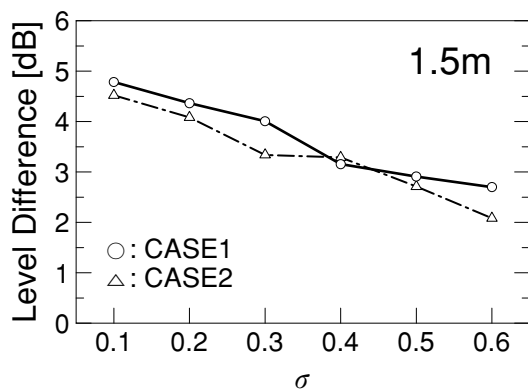


図7 建物からの反射による音圧レベルの増加量

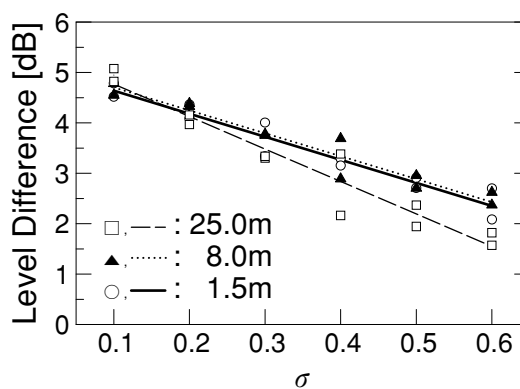


図8 建物の高さ方向に対する反射の影響

4.1 高さ方向に対する反射の影響

上述の沿道建物群からの反射が、建物高層階の受音点における音圧レベルに与える影響を検討するため、測定点高さ1.5m, 8mおよび25mでの音圧レベルの増加量を比較した。図8はその結果で図中の直線は、各点のレベルの増加量を間隙率 σ で1次回帰したものである。高層階におけるレベル上昇(□)は、建物が連担している場合には地上付近と同程度かもしくは僅かに高くなる傾向がみられる。すなわち、沿道建物の高層階では、直達音の寄与が減少する分だけ相対的に反射音の寄与が増大し、音圧レベル自体は地表付近に比べてそれほど低下しないと推測される。また、間隙率 σ が大きい場合には、反射音の影響は低中層階(○, ▲)に比べて全体的に小さくなるが、その差は1dB以下であった。

5. 理論計算モデルの妥当性に関する検討

市街地道路に対する理論計算モデル⁴⁾では、図9に示すような x 軸上に沿った幅 $2w$ [m]の平面道路を考える。両側の建物の高さを h [m]、間隙率を σ 、建物表面の吸音率を a とし、これらは共に平均値を表すものとする。音源は x 軸上にあり、その音響出力を P [W]とおく。また、建物前面での反射は拡散反射に従うものと想定し、単位長さ区間(鏡像空間を考慮した断面積 $4wh$ [m²]、長さ1mの区間)に対して音のエネルギーバランスの関係を用いれば、受音点での反射音の強さ I_r は

$$I_r = \frac{8\theta}{\pi} \frac{1}{\bar{a}\ell_\phi} 2\mu P (1-\sigma)(1-a) \quad (2)$$

$$\ell_\phi = 4(w+h) \quad (3)$$

$$\bar{a} = 1 - \frac{\hat{h}}{1+\hat{h}} (1-\sigma)(1-a) \quad (\hat{h} = h/w) \quad (4)$$

のように導かれる。なお ℓ_ϕ , \bar{a} は断面周長および内表面の平均吸音率、 μ は x 軸上の単位長さ当たりの音源数である。また、 \hat{h} は片側道路幅 w に対する沿道建物の高さ h の比である。一方、直達音による音の強さは道路端($y = \pm w$)では

$$I_d(\hat{z}) = \frac{\mu P}{2w\sqrt{1+\hat{z}^2}} \quad (\hat{z} = z/w) \quad (5)$$

であり、これに反射音の寄与を加えることにより、全体としての音の強さを求めることができる。したがって建物からの反射による沿道騒音のレベル増加 $\Delta L(\hat{z})$ は

$$\Delta L(\hat{z}) = 10 \log \left\{ \frac{I_d(\hat{z}) + I_r}{I_d(\hat{z})} \right\}$$

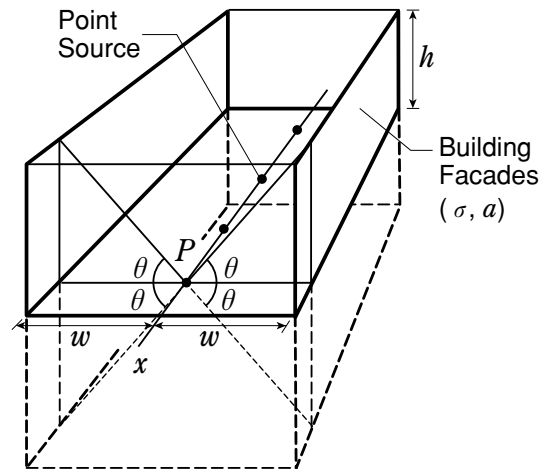


図9 市街地道路のモデル化 (h , σ , a : 沿道建物の高さ, 間隙率および吸音率, w : 片側道路幅, P : 点音源の音響出力, θ : 音源位置における建物の仰角)

$$=10\log\left\{1+\frac{8\theta}{\pi}\frac{1-\bar{a}}{a}\frac{\sqrt{1+\hat{z}^2}}{\hat{h}}\right\}[\text{dB}] \quad (6)$$

のように導出される。すなわち、道路幅 w 、沿道建物の平均的な配置条件（高さ h 、壁面の吸音率 a 、間隙率 σ ）が与えられれば、市街地沿道での受音点 z における音圧レベルの増加量が容易に算出することができる。

この理論計算モデルによる計算結果の例を図10に示す。これは地上付近の受音点（ $z=0$ ）における音圧レベルの上昇を、建物高さ \hat{h} を関数として示した結果である。建物表面はコンクリート壁面等の反射性（ $a=0.02$ ）と仮定し⁸⁾、間隙率 σ は0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8とした。反射による音圧レベルの増加量は、建物高さ \hat{h} と共に急激に上昇し、 \hat{h} が1以上ではほぼ飽和傾向にある。また、沿道に片側道路幅を上回る高さの建物が連担するような場合（ $\hat{h}>1$, $\sigma<0.2$ ）には4dBを超えることもあり得るが、建物の通常の立地状況（交差する道路や空地などがある場合： $\sigma>0.4$ ）からすると2~3dB程度と考えられる。一方、沿道建物が疎らな場合（ $\sigma>0.8$ ）には、1dB以下であり反射の影響はほとんど無視できる。

5.1 実験結果との対応

建物前面からの反射の影響による音圧レベルの増加量は、式(6)から求めることができる。この理論式を用いて模型実験で想定した道路幅および建物の配置条件でのレベルの増加量を予測し、実験結果との対応について検討を行った。図11は、建物の配置条件CASE1およびCASE2で得られたすべての実験値と予測値とを比較した結果である。この結果から、高さ25mにおける実験値（□）と予測値には1.5dB程度の違いがみられるものの、全体的には予測値と実験値の対応は良好であると言える。特に、高さ1.5mおよび8mの測定点（○, ▲）ではよく一致している。高さ25mの点で予測値と実測値に乖離がみられた理由としては、理論モデルは反射場が拡散的であると仮定した基で導出されたものであり、反射音の寄与が徐々に小さくなると考えられる高層階ではやや過大に見積っていると推測される。ただし、それ以外の地点（1.5m, 8m）では十分適

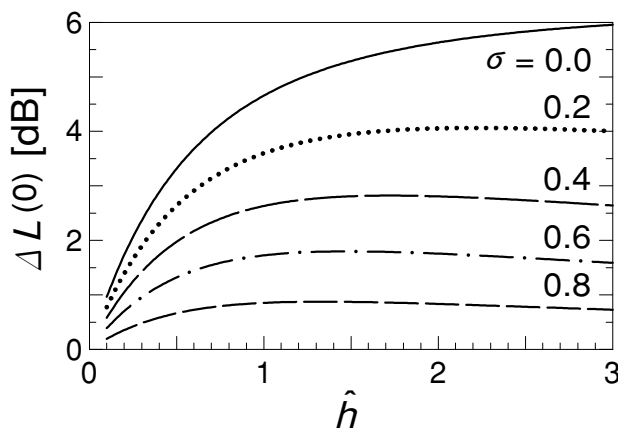


図10 建物の反射による音圧レベルの増加量
(受音点高さ $\hat{z}=0$, 建物表面の吸音率 $a=0.02$)

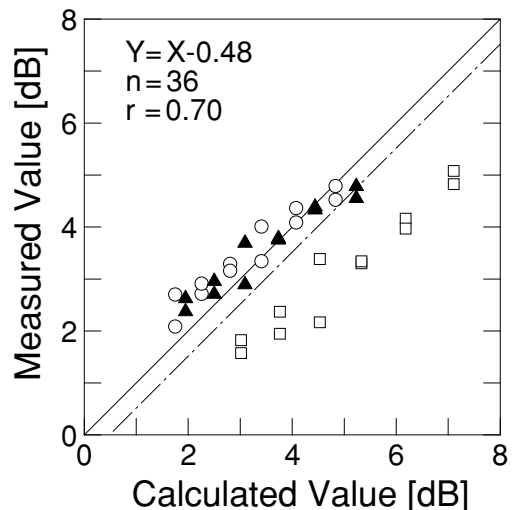


図11 理論計算値と実験値との比較
(受音点高さ ○：1.5m, ▲：8m, □：25m)

用可能であることが明らかとなった。今後は、高さ方向に対する理論計算モデルの適用範囲に着目した検討を進める必要がある。

6. 建物壁面の吸音処理による騒音低減効果

前節の結果から、理論計算モデルの妥当性が確認できた。そこで、このモデルを用いた騒音対策に関する検討の一例として、建物前面を吸音処理した場合の騒音低減効果について考察する。ここでは、騒音低減効果を沿道建物表面の吸音率 a を0.1, 0.2, 0.4および0.6と仮定した場合の $\Delta L(0)$ と、無対策時（コンクリート等の反射性壁面： $a=0.02$ ）のそれとの差で算定した。図12は、間隙率 σ に対する騒音低減効果を計算した結果の例で、沿道建物の高さ \hat{h} を2とした場合である。例えば、建物表面の吸音率 a を0.4程度にすると反射によるレベル上昇は、無対策時に比べて間隙率 σ が0.2の場合には約1.8dB、 σ が0.4では約1.2dB低下することがわかる。すなわち、このような建物前面への吸音処理は、建物が連担している場所での騒音問題に対して有効な対策方法の一つであると考えられる。

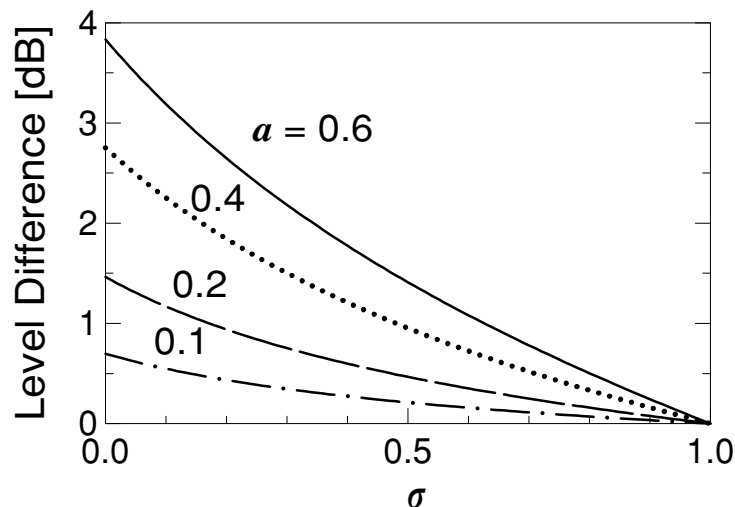


図12 建物壁面の吸音処理による騒音低減効果
(受音点高さ $\hat{z}=0$, 建物高さ $\hat{h}=2$)

7. まとめ

市街地における沿道騒音は、両側に建ち並ぶ建物前面からの反射の影響を受ける。本研究では、中高層ビルが連担する市街地道路を想定した1/40縮尺音響模型実験を行い、沿道建物の配置条件と反射の影響による音圧レベルの増加量との関係について検討を行った。その結果、道路端におけるレベル増加は、高層の建物が連担しているような場合（建物の間隙率 $\sigma < 0.2$ ）には4dBを超える場合もあり得るが、建物の通常の配置状況（ $0.4 < \sigma < 0.6$ ）では2～3dB程度であることが推測された。さらに、既に提案している理論計算モデルによる予測値と実験値とを種々の条件で比較検討した結果、両者は概ね一致しており、本モデルの妥当性が確認された。

今後の検討課題としては、1)建物壁面を吸音した場合の騒音低減効果に関する実験、2)平面道路の上部に高架道路が併設された場合の実験などを行うと共に、このような場合の理論計算モデルの妥当性について検討を進める予定である。また、理論計算モデルの適用範囲についても模型実験や実測調査により検証する必要がある。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、名城大学理工学部の吉久光一教授のご指導並びに名城大学大学院理工学研究科建築学専攻 京極之孝君の協力があった。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) H.G. Jonasson and S. Storeheier : Nord 2000. New Nordic Prediction Method for Road Traffic Noise, (SP Swedish National Testing and Research Institute, Sweden, 2001), pp.28-32.
- 2) K.M. Li, W.K. Lui, K.K. Lau and K.S. Chan : A simple formula for evaluating the acoustic effect of balconies in protecting dwellings against road traffic noise, *Applied Acoustics* **64**, 633-653 (2003).
- 3) 田辺輝俊, 坂本慎一, 橘秀樹 : 建物連担場所における道路交通騒音の伝搬・対策に関する検討, 騒音制御工学会講論集, pp.337-340 (2001.9).
- 4) 岡田恭明, 吉久光一, 久野和宏 : 建物が連担する市街地沿道における騒音伝搬 (沿道建物前面及び高架裏面による反射の影響) , 日本音響学会誌 **61**, pp.328-333 (2005).
- 5) 日本道路協会 : 道路構造令の解説と運用 (丸善, 東京, 2004), pp.171-281.
- 6) 藤本一寿, 安永和憲, 江崎克浩, 大森寛樹 : 戸建て住宅群による道路交通騒音の減衰, 日本音響学会誌 **56**, pp.815-824 (2000).
- 7) 上坂克巳, 大西博文, 千葉隆, 高木興一 : 道路に面した市街地における区間平均等価騒音レベルの計算方法, 騒音制御 **23**, pp.441-451 (1999).
- 8) 日本音響材料協会 : 建築音響工学ハンドブック (技報堂, 東京, 1963), p.363.
- 9) 久野和宏, 野呂雄一, 井研治 : イメージ拡散法による閉空間内の音場解析—音源分布の平滑化法と近距離場に対する補正—, 日本音響学会誌 **44**, pp.893-899 (1988).
- 10) E. Walerian, R. Janczur and M. Czechowicz: Sound level forecasting for city-centers. Part1: sound level due to a road within an urban canyon, *Applied Acoustics* **62**, pp.359-380 (2001).
- 11) 京極之孝, 伊藤由浩, 岡田恭明, 吉久光一 : 建物が連担する市街地道路における騒音伝搬について (その2 : 沿道建物による反射の影響に着目した縮尺模型実験) , 日本建築学会東海支部研究報告集, pp.377-380 (2006.2).