

都市部幹線道路近傍で騒音環境基準を遵守可能な環境容量の算出方法

A METHOD FOR CALCULATING AN ENVIRONMENTAL CAPACITY TO MEET THE JAPANESE ENVIRONMENTAL QUALITY STANDARD FOR NOISE ANNOYANCE NEAR TRUNK ROADS

渡辺 義則*・本田 明寛**・村岡 康広***
By Yosinori WATANABE*, Akihiro HONDA**, Yasuhiro MURAOKA***

ABSTRACT; The environmental impact of traffic flows is serious problem in urban area. Speaking of road traffic noise in Kitakyusyu, only 11 per cent of observation points near trunk roads are less than the Japanese environmental quality standard in the daytime. Therefore in this paper, a method for calculating an environmental capacity to meet the Japanese environmental quality standards for noise annoyance is proposed. It is necessary to assign the traffic to the road network to meet the standard. And the results of an application of the method are also presented using the typical section of two-lane road.

KEYWORDS; traffic noise near trunk roads, Japanese environmental quality standards, environmental capacity for noise annoyance

1. はじめに

この20年間で産業公害が顕著に改善されたのに対し、自動車騒音公害はあまり改善されていない。とりわけ都市部幹線道路近傍においては自動車の騒音に係わる環境基準の達成率が低く、例えば著者らが北九州市の状況を検討した結果¹⁾では、昼間の時間帯で自動車騒音の環境基準を満足しているのは11%である。また、そこでは主として住居の用に供される地域(A地域)では最大で15~20dB(A)、相当数の住居とあわせて商業、工業等の用に供される地域(B地域)では最大で10dB(A)の環境基準超過が生じていること、さらには、環境基準超過に最も影響する要因は交通量であることも明らかにした。他の地方都市でも似た状況にあると想像される。

このように自動車騒音公害への対応を検討することは現在でも緊急の課題である。自動車騒音公害を解決するには自動車単体、交通流、道路構造への諸対策、そして、沿道の土地利用の検討など様々なものが考えられる。そのなかで交通流対策について、強化すべき所の一つは、騒音公害を都市内の幹線道路全体の問題としてとらえる所である。道路の疎通能力を示す交通容量だけでなく、騒音の環境基準を守る自動車の数(騒音環境容量と仮称する)という制約条件も追加して都市内のネットワークを根本的に見直す必要がある。諸対策を併用することにより、できるだけ交通流の制約を軽減する(騒音環境容量を増す)工夫をした上で、場合によっては交通量の大幅削減も視野に入れた交通流の制御を試みないで問題の解決は考えられない。

この様な認識を踏まえて本研究では、以下のことについて検討した。

- 1) 自動車騒音の環境基準を遵守可能な自動車の数(乗用車換算台数で表現)の算出方法を提示する。
- 2) 自動車騒音の各周波数のレベルと交通量の関係(遮音による減音対策を検討する時に必要)を明らかにする。

2. 都市部幹線道路近傍における自動車騒音の調査

環境基準超過の主要因が交通量であることを著者らは既に報告した¹⁾。それゆえ本章では、まずは様々な

*九州工業大学 Kyusyu Institute of Technology
**オリエントコンサルタンツ Oriental Consultants CO.,LTD.
***福岡市役所 Fukuoka Municipal Government

条件下での幹線道路近傍における自動車騒音の現状を調査し、中央値や等価騒音レベルなどの騒音評価量と交通量の関係を明らかにするとともに、道路構造対策の一つである遮音による減音対策を検討する時に必要な騒音の周波数毎のバンドレベルと交通量の関係を求める。

2. 1 調査概要

調査対象は2または4車線で、道路勾配の影響が少ない直線道路区間である。また騒音計は沿道の構造物による遮音の影響が少ない所に設置した。騒音評価量と交通量は同時に測定しその計測時間は10分である。交通量と車種判定は調査員を配して行い、車の速度の測定にはビデオを用いた。表-1に調査範囲並びに調査データの数を示す。

2. 2 等価騒音レベルと中央値の予測式とその精度

音が幾何減衰すると仮定すれば、無限遠まで開放された平坦部直線道路区間での等価騒音レベル L_a は、理論上次式で表される¹⁾。

$$L_a=f_v+f_A+10\log_{10}Q-10\log_{10}D+0.112\sigma_o^2+52 \quad \cdots (1)$$

$$f_v=0.2V-10\log_{10}V$$

$$f_A=10\log_{10}\{6.3A+1.26(1-A)\}$$

D :音源と観測点間の距離(m)
 Q :時間交通量(V.P.H.)
 A :大型車混入率
 V :車両の平均速度(km/h)

式(1)より算出した等価騒音レベルと実測値を比較すると(図-1aと表-2)、両者の差は小さいことが認められた。さらに、式(1)において速度 V として実測値の代わりに、対象道路区間の法定最高速度を使用して計算しても、あまり予測精度が低下しなかった(図-2aと表-3)。本研究の様にビデオで速度の実測値を求めるのは手間がかかるし、また、町なかでは車両を撮影できる場所も限定される。従って、この様な結論が得られたことは有用である。

次に、中央値 L_{50} を予測する式は、昭和61年規制の自動車の平均パワーレベルを計算する式を用いれば、理論上次式で表される²⁾。

$$L_{50}=78+0.2V+10\log_{10}((1-A)+5A)-20\log_{10}D+10\log_{10}(\pi D/S \cdot \tanh(2\pi D/S)) \quad \cdots (2)$$

$$S=1000V/Q$$

S :平均車頭間隔(m)

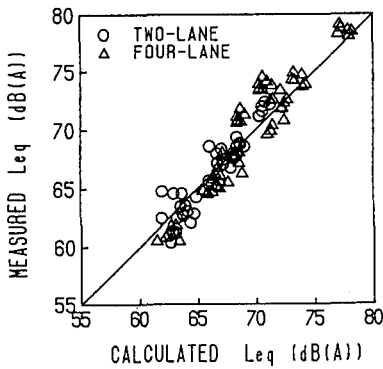
式(2)より算出した中央値と実測値を比較すると(図-1bと表-2)、両者の差は小さいことが認められた。つまり、昭和50年代初期に確立された日本音響学会式³⁾⁴⁾においては種々の原因による補正值(実測値と計算値の差) α_1 が式に加えられているが、表-1に示す様な都市部幹線道路近傍の騒音の予測においては式(2)に種々の原因による補正を施さなくともよいことが認められた。また、式(2)において速度 V として実測値の代わりに、対象道路区間の法定最高速度を使用して計算しても、あまり予測精度が低下しなかった(図-2bと表-3)。

2. 3 等価騒音レベルや中央値と乗用車換算交通量

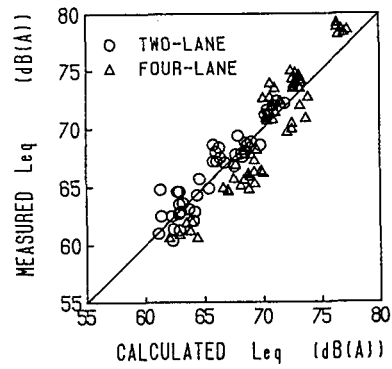
騒音評価量の補正值 L_{eq} 、 L_{50} と騒音に関する乗用車換算交通量 Q_{NE} (単位:pcu/h,pcuはPassenger Car Unitを意味する)の関係を図-3に示す。 L_{eq} 、 L_{50} 、 Q_{NE} はそれぞれ式(3),(4),(5)より求めた。つまり幹

表-1 調査範囲

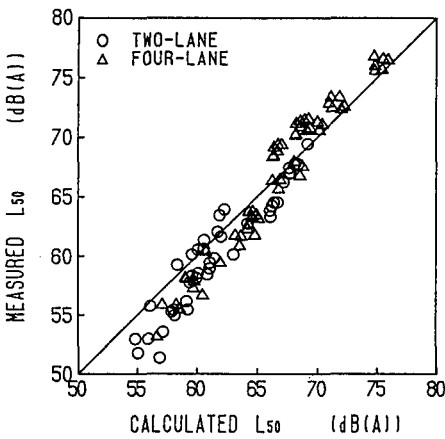
道路の種類	二車線道路			四車線道路		
	標本数	最小値 ---- 最大値	平均値 (標準偏差)	標本数	最小値 ---- 最大値	平均値 (標準偏差)
道路中心と観測点間の距離 D(m)	6	5.2 ---- 14.2	9.9 (3.3)	8	4.0 ---- 18.6	11.0 (5.4)
平均車頭間隔 S(m)	24	22.9 ---- 193.3	97.7 (49.9)	24	14.3 ---- 146.6	45.0 (39.4)
D/S	42	0.002 ---- 0.082	0.01 (0.01)	60	0.01 ---- 0.37	0.03 (0.06)
交通流量 Q(V.P.H.)	24	246 ---- 1344	592 (332)	24	306 ---- 3528	1564 (1025)
走行速度 V(k/m)	24	30.8 ---- 53.4	43.4 (5.1)	24	28.6 ---- 62.1	42.2 (10.2)



(a) 等価騒音レベル

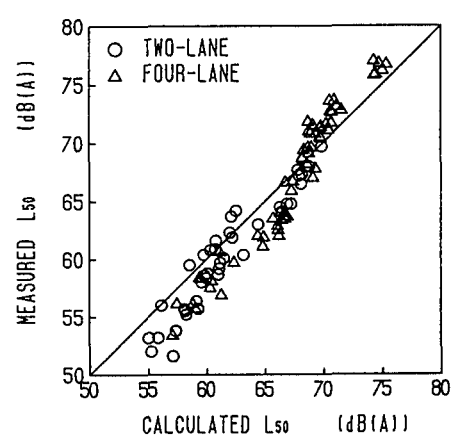


(a) 等価騒音レベル



(b) 中央値

図-1 予測値と実測値の比較



(b) 中央値

図-2 予測値と実測値の比較
(法定最高速度を使用)

表-2 実測値に対する予測値の精度

騒音 評価量	道路の 車線数	標本数	誤差 (絶対値)		誤差の 平均	標準 偏差
			最大	最小		
Leq	二車線	42	2.9	0.1	0.0	1.6
	四車線	60	3.9	0.0	-0.3	1.7
L50	二車線	42	5.5	0.1	1.4	1.9
	四車線	60	3.8	0.1	0.0	1.7

単位: dB(A)

表-3 実測値に対する予測値の精度

騒音 評価量	道路の 車線数	標本数	誤差 (絶対値)		誤差の 平均	標準 偏差
			最大	最小		
Leq	二車線	42	3.5	0.1	-0.4	1.2
	四車線	60	4.1	0.2	0.5	2.1
L50	二車線	42	6.1	0.0	1.2	1.6
	四車線	60	4.3	0.1	0.3	2.3

* 法定最高速度を使用

単位: dB(A)

線道路近傍で実測した騒音評価量を、車の走行速度を40km/hとし、観測点を道路中心から6m離れた位置に換算した。

$$L_{eq}^c = L_{eq}(\text{実測}) + \Delta f_D - \Delta f_{vs} \quad \dots (3)$$

$$\Delta f_D = 10 \log_{10} (D/6) \quad \dots (6)$$

$$L_{50}^c = L_{50}(\text{実測}) + \Delta f_D - \Delta f_{vs} \quad \dots (4)$$

$$D = \sqrt{D_N D_F} \quad \dots (7)$$

$$Q_{NR} = Q\{(1-A) + 5A\} \quad \dots (5)$$

$$\Delta f_{vs} = 0.2 (V - 40) + 10 \log_{10} (40/V) \quad \dots (8)$$

なお、図-4に示す様に D_N は最も近い車線の中心と観測点間の距離、 D_F は最も遠い車線のそれである⁵⁾。ま

た、図-3 中の実線は回帰直線であり、その式を以下に示す。

$Y^* = -20.5 + 0.731 \cdot L_{eq}^c$ 標本数102 相関係数0.949 . . . (9)

$Y^* = -2.6 + 0.505 \cdot L_{eq}^c$ 標本数102 相関係数0.968 . . . (10)

2. 4 都市部幹線道路近傍における騒音の周波数特性

道路交通騒音の伝播特性（例：塀による遮音量）を推定する時、騒音の周波数特性が必要である。そこで各周波数毎に求めた等価騒音レベルの補正值と騒音に関する乗用車換算交通量の関係を図-5 に示す。図中の実線は回帰直線であり、その式を表-4 に示す。回帰直線の傾きについて統計的検定を行えば、一部を除いて有意水準1%で有意な差が認められる。これらの図表より125Hz～4kHz のバンドレベルは騒音に関する乗用車換算交通量に対して直線的に増加することがわかる。ただ、いくつかの交通量（500,1000,2000,3000 pcu/h）について各周波数のバンドレベルの相対値を求めてみると互いに差はなく、実用的には交通量によらず各周波数のバンドレベルの相対値は同じと仮定してよい。更に、この各周波数のバンドレベルの相対値を平均したものを図-6 中の□で示す。なお、図-6 中の○と●はそれぞれ大型車類と小型車類の音響出力の相対レベル（A特性）であり⁹⁾、その値を表-5 に示す。本研究の調査においては大型車混入率は0～16%の範囲にあり、その平均値は6%である。それゆえ、周波数スペクトル（ $L_{eq,z}^c$ ）が小型車類に近くなったことが考えられるので、特に産業道路の様に大型車混入率が極端に大きい幹線道路における騒音を取り扱う場合には、更なる検討を要する。また、図-6 中の○と●は昭和60年に報告された値を引用したものであるが、本研究で得られた□は●に近く、現在でも小型車類が多い所についてはこの値が使用できることが検証された。

表-4 回帰直線の係数と相関係数

f(Hz)	a _r	b _r	標本数	相関係数
125	-7.0	0.713	102	0.893
250	-8.4	0.675	102	0.917
500	-12.9	0.705	102	0.946
1k	-18.3	0.745	102	0.945
2k	-19.8	0.794	102	0.926
4k	-6.8	0.656	102	0.786

$Y^* = a_r + b_r \cdot L_{eq,z}^c$

表-5 音響出力の相対レベル（A特性）

	U _{0A}	相対レベルU _r (dB)				
周波数Hz	0.A.	125	250	500	1k	2k
小型車類	8.0	-9.0	-3.3	1.4	4.4	1.8
大型車類	9.1	-5.4	1.4	3.5	4.5	1.7

3. 騒音環境基準を遵守可能な環境容量の算出方法

我が国においては自動車の騒音に係わる環境基準は中央値 L_{50} で与えられる。しかし、前掲の図-3 から都市部幹線道路近傍における騒音の L_{50}^c と L_{eq}^c は乗用車換算交通量 Q_{Nz} を介して容易に換算できる。これを利用すれば騒音環境基準を遵守可能な環境容量を次の手順で求めることが可能になる。なお、[]内は図-7 中の作業過程を示す。また、図-7 中の実線は式(9)(10)に示す回帰直線である。

①対象道路区間の環境基準（中央値 L_{50} で与えられる）を等価騒音レベルの補正值 L_{eq}^c に換算する[A→A'→B]。

②点Bで求めた L_{eq}^c は車の走行速度が40km/hで、観測点が道路中心から6m離れた位置にある場合の環境基準に対応した値である。しかし、対象観測点は必ずしもこれらの条件を満足するわけではない。例えば、車の走行速度が遅かったり、観測点が道路から遠方にあったり、あるいは、遮音する物があったりすれば、交通量が多々ても環境基準を遵守可能である。そこで対象観測点の実際の道路・交通・伝播条件による補正（ ΔR ）を式(6)～(8)や後述の C_0 を用いて行う（例： $\Delta R = \Delta f_0 - \Delta f_{vs} + C_0$ ）。この他にも対策によって減音量が見込まれれば、それを ΔR に加算することにより、これらのことを騒音環境容量に反映できる。 ΔR で補正後の等価騒音レベルに対応する乗用車換算交通量を騒音に関する環境容量とする。つまりこの値が騒音環境基準を遵守するために路線が許容できる乗用車換算交通量となる[B→C→D→E]。

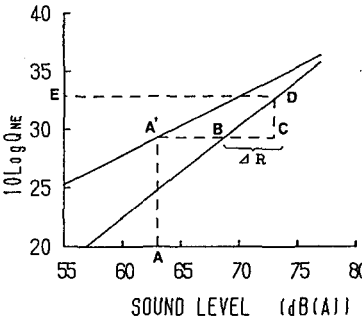
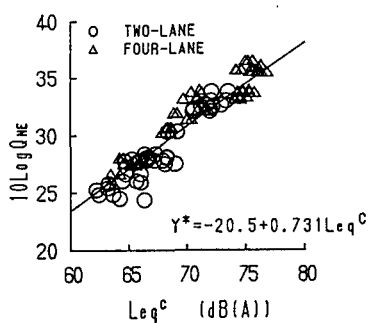
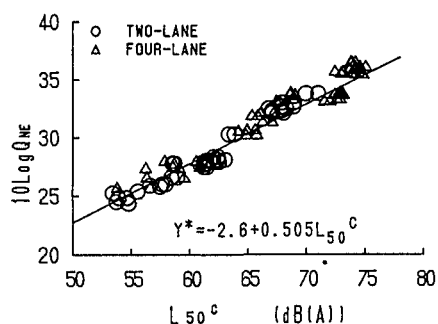


図-7 騒音環境容量の算出過程



(a) 等価騒音レベル



(b) 中央値

図-3 騒音評価量の補正値と騒音に関する乗用車換算交通量

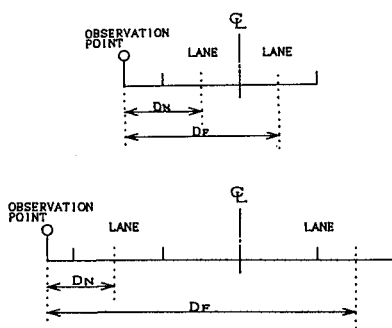


図-4 D_N と D_F の求め方

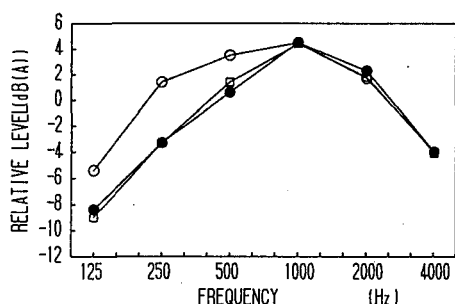


図-6 各周波数のバンドレベルの相対値

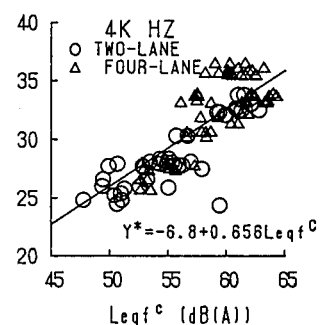
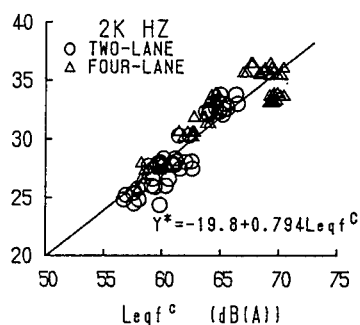
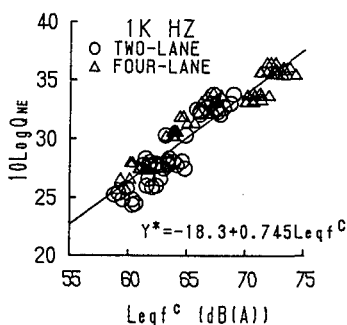
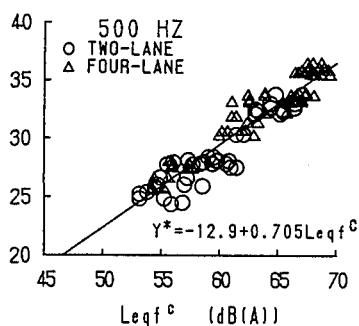
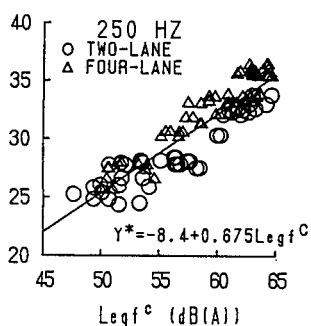
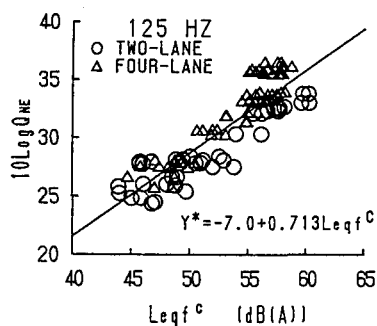


図-5 周波数毎の等価騒音レベルの補正値と騒音に関する乗用車換算交通量

③騒音環境容量が道路の疎通能力を表す交通容量を下回る場合には両者に容量差が生じ、これが騒音に関する超過量となる。その場合この容量差分の減音対策を検討することとなる。この時、容量差は乗用車換算交通量、そして減音量はdBの単位で表現されるが、両者には前掲の式(9)の関係がある。

④大型車類が混入する場合には、騒音から算出する乗用車換算当量と道路の疎通能力からのそれは異なるので、そのための補正が必要となる。

4. 適用例

前章で述べた方法を道路構造令に示されている都市部幹線道路二車線幅員20mの標準横断構成⁷⁾を持つ道路区間に適用してみた。検討の条件は、車の速度は40km/h、時間帯は昼間、地域の区分はB地域の道路に面する地域で環境基準は65dB(A)である。平坦部並びに高さ1.5m防音壁を車道端に設置した場合の結果を図-8、9に示す。図中のコンターはその乗用車換算交通量以下であれば、環境基準が達成されることを意味する。なお、歩道端は車道端から4.5mの所で、図中の破線で示してある。平坦部では ΔR として式(6)の Δf_0 を考えるだけでよいが、防音壁を設置した場合には壁を回折することによる減音を加えなければならない。その値は図-10に示す C_0 ⁶⁾から車種別に求めることができる(図-9では小型車類(CAR)の曲線を使用した)。また、 δ_0 は車(音源)が観測点の正面に到着した時の行路差である。 δ_0 が負の(車から観測点が見通せる)場合には下、正の(壁によって車から観測点が見通せない)場合には上の曲線を使用する。なお、 C_0 は次式で定義される。

$$C_0 = -U_{0A} + 10 \log_{10} \left(\sum_f 10^{(U_f + C_{Df})/10} \right) \quad \dots (12)$$

$$C_{Df} = 10 \log_{10} B_{1f}$$

$$B_{1f} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} 10^{(SPL_f(t) - \Delta L(t))/10} dt}{\int_{-\infty}^{\infty} 10^{SPL_f(t)/10} dt}$$

$$= \frac{\int_{-\infty}^{\infty} 10^{(S(t) - \Delta L(t))/10} dt}{\int_{-\infty}^{\infty} 10^{S(t)/10} dt}$$

$$= \frac{\int_{-\infty}^{\infty} 10^{S(t)/10} dt}{\int_{-\infty}^{\infty} 10^{S(t)/10} dt}$$

$$SPL_f(t) = PWL_f - 8 - 10 \log_{10} (D^2 + (Vt/3.6)^2) = PWL_f - 8 + S(t)$$

PWL_f : 周波数 f に関する音源のパワーレベル

また、

$$\begin{aligned} \Delta L &= 10 \log_{10} N + 13 & (1 \leq N) \\ &= 5 \log_{10} N + 13 & (0.1 \leq N < 1) \\ &= 30N + 5 & (-0.1 \leq N < 0.1) \end{aligned}$$

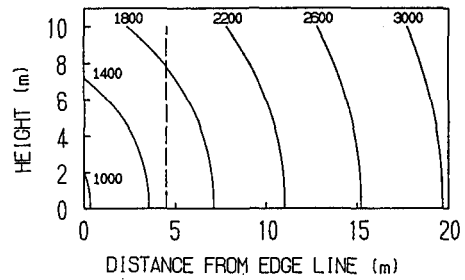


図-8 平坦部道路区間の騒音環境容量
(コンターの単位: pcu/h, 計算条件: 2車線, 40Km/h, 昼間, B地域)

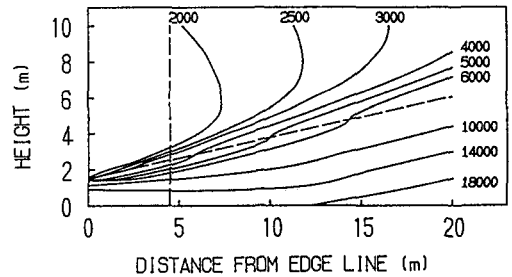


図-9 防音壁を設置した場合の騒音環境容量
(コンターの単位: pcu/h, 計算条件: 2車線, 40Km/h, 昼間, B地域, 壁の高さ1.5m)

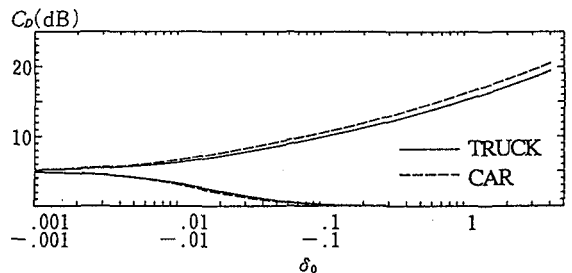


図-10 無限長の壁を設置した場合の補正值 C_0

$$\begin{aligned}
 &= -4 \log_{10} |N| - 2 \quad (-0.3 \leq N < -0.1) \\
 &= 0 \quad (N < -0.3) \quad \dots (13)
 \end{aligned}$$

なお、 $N = \delta f / 170$ で、行路差 δ は車両（音源）が道路上を走行するために刻々と変化する。

仮に対象道路に2000pcu/hの交通量が見込まれるとすれば、環境基準を達成するには、平坦部では高い所にある観測点よりも、地表上の観測点が車道端から最も遠くに離れる必要があり、その距離はコンターを補間すれば約9mである（図－8）。しかし、高さ1.5mの防音壁を設置すれば、地表からの高さが約3m以下では歩道端から環境基準を達成可能である（図－9）。

5. まとめ

本研究の結果を以下にまとめて示す。

(1) 都市部幹線道路近傍で発生する騒音の等価騒音レベルと中央値は式(1)、(2)を用い比較的精度よく予測できる。また、同式中の速度 V として対象道路区間の法定最高速度を使用して計算しても、あまり予測精度が低下しなかった。

(2) 騒音評価量の補正值 L_{eq}^c 、 L_{50}^c と騒音に関する乗用車換算交通量 Q_{ex} の関係が式(9)、(10)で比較的精度よく表現できる。

(3) 交通量によらず周波数毎のバンドレベルの相対値は同じ（図－6）と仮定してよい。

(4) 都市部幹線道路近傍において自動車騒音の環境基準を守れる乗用車の数（騒音環境容量）の算出方法を提示した。

(5) 提示した方法で対象道路（都市部幹線道路二車線幅員20mの標準横断構成、車の速度40km/h）に2000pcu/hの交通量が見込まれる場合を検討した所、時間帯が昼間で、地域の区分がB地域の道路に面する地域の環境基準は、車道端に高さ1.5mの防音壁を設置すれば、地表からの高さが約3m以下では歩道端から達成可能であるが、平坦部では車道端から約9m以上離れる必要があるという結果を得た。

最後に本研究に対してご助力いただいた九州工業大学工学部 浦 英樹氏に感謝します。

参考文献

- 1) 渡辺義則，出口忠義：地方中枢都市における自動車騒音の環境基準超過の現状分析，環境システム研究，VOL.21，pp.272-278，1992.
- 2) 清水博，足立義雄，辻靖三，根本守：道路環境，山海堂，1987.
- 3) 石井聖光：道路交通騒音予測計算方法に関する研究（その1）－実用的な計算式について－，日本音響学会誌，31-8，pp.507～517，1975.
- 4) 石井聖光：道路交通騒音予測計算方法に関する研究－高さ別補正值 α_1 について－，日本音響学会誌，33-8，pp.426～430，1977.
- 5) T.M.Barry, J.A. Reagan: FHWA Highway Traffic Noise Prediction Model, Federal Highway Administration, FHWA-RD-77-108, 1978.
- 6) 渡辺義則，喜洲淳哉：荷重関数に基づく道路交通騒音のための等価騒音レベル簡易計算方法，交通工学第25巻3号，pp.9～16，1990.
- 7) 日本道路協会：道路構造令の解説と運用，丸善，1983.