

様々な条件下での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 Calculation Method of Environmental Capacity near Trunk Roads to Meet the
Japanese Environmental Quality Standard for Noise Annoyance under Various Conditions*

渡辺義則**・本田明寛***

By Yoshinori WATANABE** and Akihiro HONDA***

1. はじめに

都市部幹線道路近傍での自動車騒音の環境基準からの超過量は、騒音対策の減音量に比べて小さな値ではない。このような状況にあつては、沿道地域の商業的な土地利用への純化、音源や道路構造への対策などを併用することにより、できるだけ交通流に対する負担を軽減する工夫をした上で、交通量の大幅削減も視野に入れた交通流への制約を検討せざるを得ないと筆者らは考えている。そのためには、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れる自動車の数という制約条件も追加して、都市内の幹線道路のネットワークを見直せる計算手法が必要である。本研究はそのような計算手法を開発せんがための一研究である。

ところで、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の基本的な考え方についてはすでに報告した¹⁾。そこでは車線数、音源と観測点間の距離、対象道路区間の法定最高速度などの要因の変化には対処可能であるものの、乗用車だけで構成される交通流を対象にしており、その場合に環境基準を遵守可能な乗用車の数の限度（騒音環境容量）を示している。

しかし、現実には対象とする地点の条件は様々である。例えば、前述の交通条件以外にも大型車の混入率は種々異なるし、あるいはまた、道路断面は平面か、それとも壁があるのかなどといった伝播条件なども違う。更には、環境基準は地域の区分、時間区

分、車線数によって異なる。従つて、これらの種々の条件にどの様に対処するかを考えておく必要がある。

そこで本研究では、

- 1) 前述の諸要因に対して基本となる状態を定め、その条件下での騒音環境容量を示す。
- 2) 対象とする地点の諸条件への対処方法を示す。
- 3) 適用例として、大型車が混入すれば、あるいは、壁を車道端に設置すれば、自動車騒音の環境基準(B地域を対象に検討)を遵守可能な領域はどの様に変化するかについて検討する。

2. 環境基準を遵守可能な環境容量の算出方法

—交通流が乗用車だけで構成される場合—

(1) 騒音環境容量の算出方法

騒音環境容量を算出する時に使用する式を以下に示す。式(1)、(2)は北九州市内の幹線道路近傍での調査から得たものであり¹⁾、同式中の L_{50}° 、 Leq° は車両走行速度40km/h、道路中心から6m離れた位置での中央値、等価騒音レベルを示す。

$$Y^* = -2.6 + 0.505 * L_{50}^{\circ} \quad \dots (1)$$

(標本数102, 相関係数0.968)

$$Y^* = -20.5 + 0.731 * Leq^{\circ} \quad \dots (2)$$

(標本数102, 相関係数0.949)

$$Y^* = 10 \log_{10} Q_{NE} \quad \dots (3)$$

$$Leq = Leq^{\circ} + \Delta R \quad \dots (4)$$

$$\Delta R = \Delta f_D - \Delta f_{Vs} + C_P \quad \dots (5)$$

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

$$\Delta f_{Vs} = 0.2 (V - 40) + 10 \log_{10} (40/V) \quad \dots (7)$$

D: 音源と観測点間の距離(m)

V: 車両の平均速度(km/h)

C_P : 騒音対策による減音量(dB(A))

Q_{NE} : 騒音に関する乗用車換算交通量(pcu/h)

ここで Leq は、 Leq° を対象とする地点の道路・交

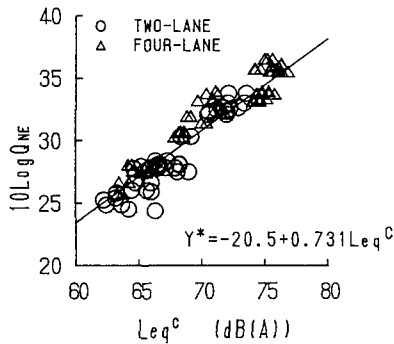
*キーワーズ: 交通公害、道路計画、環境計画、交通容量

**正員、工博、九州工業大学工学部設計生産工学科(福岡県北九州市戸畑区仙水町1番1号、TEL 093-884-3108、FAX 093-884-3100)

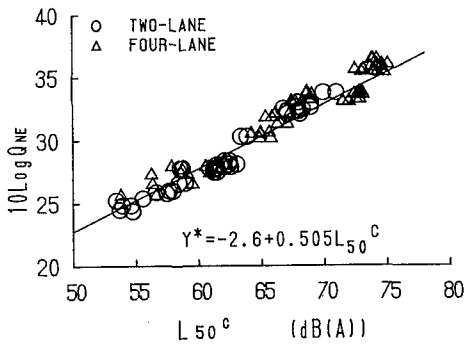
***オリエンタルコンサルタンツ(福岡県福岡市博多区博多駅前3-10-24、TEL 092-441-6209)

通・伝播条件などで補正（補正值： $\angle R$ ）した後の等価騒音レベルである。また、図一1¹⁾に L_{50}^C 、 Leq^C と騒音に関する乗用車換算交通量 Q_{NE} の関係（式(1)、(2)を求めた調査結果）を示す。図中の○△がデータで、実線は回帰直線である。なお、図中のデータは異なった条件で測定されたものを、騒音レベルについては式(5)～(7)で補正し、一方、 Q_{NE} は大型車混入率と、大型車種の騒音の大きさが乗用車（正確には、小型車種）の5台に相当する²⁾ことを利用して算出したものである。

- なお、騒音環境容量は次の手順で求める。
- 1) 式(1)の L_{50}^C に、対象とする時間区分や車線数の環境基準の値を代入し Y^* を求める。
 - 2) その Y^* に対応する等価騒音レベル(Leq^C)を式(2)より求める。



a) 等価騒音レベル



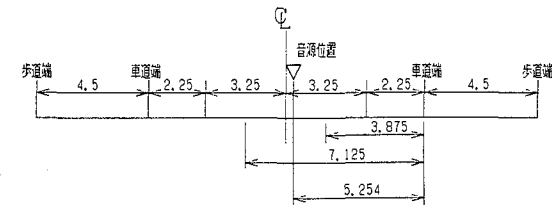
b) 中央値

図一1 騒音評価量の補正值と騒音に関する乗用車換算交通量

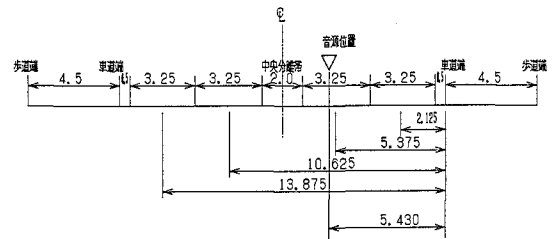
3) 対象とする地点における道路・交通・伝播条件で補正する（式(4)）。つまり、 L_{50}^C 、 Leq^C は道路中心から6m離れた位置で、車両走行速度40km/hの時の値であるので、音源から観測点までの距離の相違による補正 $\angle f_D$ を式(6)、車両走行速度の相違による補正 $\angle f_{Vs}$ を式(7)に示す要領で行う。この他にも何らかの騒音対策によって減音量 C_F が見込まれれば、それを式(5)に示すように $\angle R$ 中で加算することにより、これらのことを騒音環境容量に反映できる。例えば、壁を設置して遮音による減音量 C_D が見込まれれば、式(5)で $C_F=C_D$ となる。更に、音源対策（車両や舗装の改良など）による減音量が見込まれれば、それも C_F に加算する。

4) 式(4)に示す要領で補正した Leq を、式(2)中の Leq^C に代入して、 Leq に対応する Y^* を算出後、 Y^* に対応する乗用車換算交通量（ Q_{NE} ）を式(3)より求める。この値が自動車騒音の環境基準を遵守するために路線が許容できる乗用車の数の限度となる。

なお、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。そのような場合には、



a) 2車線



b) 4車線

図一2 幹線道路の横断構成と音源位置
(単位：m)

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で、一方、減音量はdBの単位で表現されるが、両者には前掲の式(2)の関係があるので、相互に換算できる。ただし、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算出するそれは異なるので、そのための補正が必要となる。これについては3. で述べる。

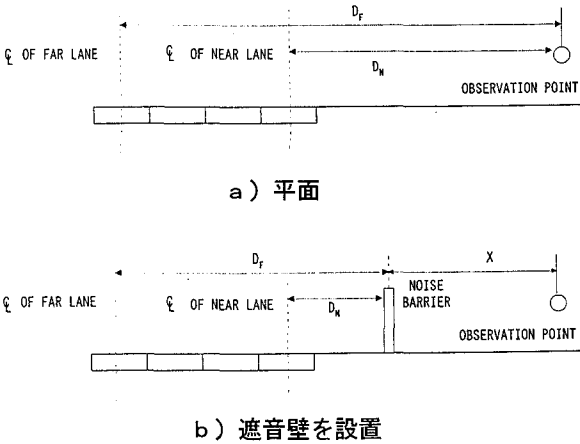
(2) 基本となる条件下での騒音環境容量

本研究でいう基本となる条件とは、直線道路区間、環境基準は65dB(A)、交通流が乗用車だけで構成され、車両走行速度は40km/h、道路が2車線の場合には、その道路区間は道路構造令に示されている都市部幹線道路2車線で幅員20mの標準横断構成（図一2(a)）であり、もしも、道路が4車線の場合には、その道路区間は道路構造令に示されている都市部幹線道路4車線で幅員25mのそれ（図一2(b)）とする。更に、道路断面は平面または無限長の壁を設置した場合を考える。通常、4車線以上の道路では方向別に1つずつの音源が仮定される²⁾。しかし、文献3ではそれを1つの音源で表す方法を提示している。具体的には図一3に示す D_N と D_F から、音源と観測点間の距離 D を次式で求めている。

$$D = \sqrt{(D_N D_F)} \quad (\text{平面})$$

$$D = \sqrt{(D_N D_F)} + X \quad (\text{遮音壁あり}) \quad \cdots (8)$$

D_N : 最も近い車線の中心と観測点間の距離(m)

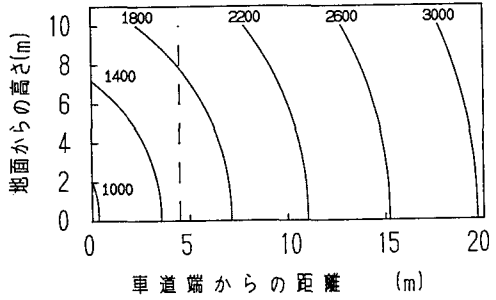


図一3 音源と観測点間の距離を求めるときの D_N 、 D_F と X

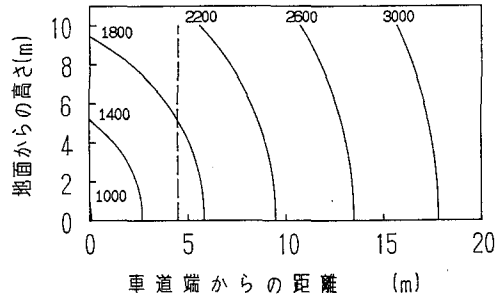
D_F : 最も遠い車線の中心と観測点間の距離(m)
 X : 遮音壁と観測点間の距離 (m)

ここでは、この方法に準拠して、車道端に遮音壁が存在する場合（図一3(b)）の要領で音源位置を決めた。つまり、図一2に示す▽の位置に1つの音源を仮定した。なお、音源の高さは0.3mとした²⁾。ただし、このような近似によって（平面、遮音壁ありの場合とともに）精度が大きく低下しないことは、各車線の中央に音源を仮定して計算した値と比較することによって確かめた。

平面、2車線、40km/hの騒音環境容量の算出結果を図一4(a)に、同じく4車線、40km/hの結果を図一4(b)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の所に位置し、図中に破線で示してある。図一4から明らかに、車道端からの距離が同じでも地表面からの高さによって環境基準を遵守可能な交通量が異なる



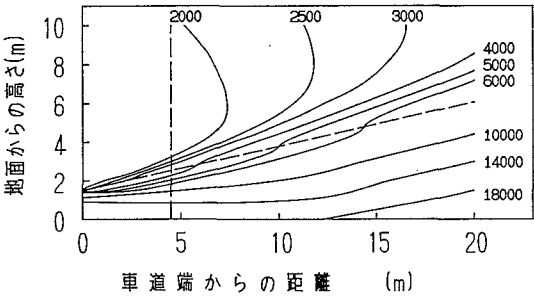
a) 2車線



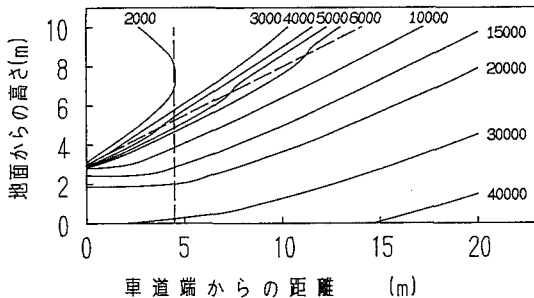
b) 4車線

図一4 平面での騒音環境容量（コンターの単位：pcu/h、計算条件：40km/h、環境基準65dB(A)）

り、地表面に近い方がその交通量が小さい。具体的には、図一4（b）より壁がない場合では歩道端位置（図中の破線）でおよそ1600(pcu/h)を下回る交通量の時に、あるいはまた、10、20mの環境施設帯を設置してもそれぞれおよそ2200、3000(pcu/h)を下回る交通量の時に環境基準が遵守可能である。4車線の道路でこの程度の交通量しか通せない状況は厳しいといわざるを得ない。

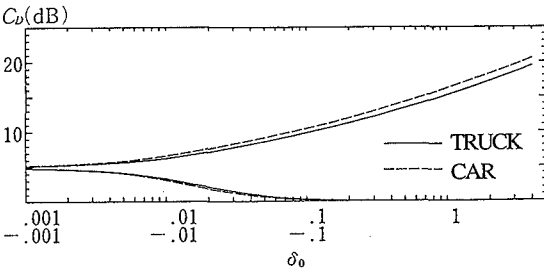


a) 2車線で壁の高さ1.5m



b) 4車線で壁の高さ3m

図一5 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：40km/h、環境基準65dB(A)）



図一6 無限長の壁を設置した場合の補正值C_D

次に、車道端に高さ1.5mの無限長の壁を設置した場合の2車線、40km/hの結果を図一5（a）に、同じく高さ3.0m、4車線、40km/hの結果を図一5（b）に示す。これらの図より、壁を設置した場合では、壁が高くなる程大幅な減音効果が得られ、騒音環境容量が大きくなる。壁を設置することにより4車線でも環境基準を満たす範囲が広がる。なお、図中の右上がりの破線は音源と遮音壁の頂点を結んだ線を示している。

平面（図一4）では $\angle R$ として式(6)の $\angle f_0$ を考えるだけでよいが、遮音壁を設置した場合（図一5）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。その値は図一6に示す C_D ⁴⁾から車種別に求めた（図一5では小型車類（CAR）の曲線を使用）。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、 δ_0 が正の（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_D は次式で定義される。ここで、 U_i は音響出力のスペクトルの重み（相対レベル）で、 U_{0A} はオーバーオールでのそれである。これらの値を表一1に示す⁴⁾。

$$C_D = -U_{0A} + 10 \log_{10} \left(\sum_f 10^{(U_f + C_{Df})/10} \right) \quad \dots (9)$$

$$C_{Df} = 10 \log_{10} B_{1f} \quad \dots (10)$$

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

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

表一1 音響出力の相対レベル（A特性）

	U_{0A}	相対レベル U_i (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

$$\begin{aligned}
 SPL_f(t) &= PWL_f - 8 - 10 \log_{10} (D^2 \\
 &\quad + (Vt/3.6)^2) \\
 &= PWL_f - 8 + S(t) \cdots (11)
 \end{aligned}$$

PWL_f : 周波数 f に関する音源のパワーレベル

ここで式中の t は時間 (s) で、車が観測点の正面に到着した時を 0 とする。なお、 D と V の意味は既に 2 (1) で述べている。また、この時の回折減音量 $\angle L(t)$ dB の算出には厚みを無視し得る鋭い端部 (ナイフエッジ) を持つ反射性障壁の結果 (前川の測定値を近似した式) ⁵⁾ を用いた。

$$\begin{aligned}
 \Delta L &= 10 \log_{10} N + 13 & (1 \leq N) \\
 &= 5 \log_{10} N + 13 & (0.1 \leq N < 1) \\
 &= 30N + 5 & (-0.1 \leq N < 0.1) \\
 &= -4 \log_{10} |N| - 2 & (-0.3 \leq N < -0.1) \\
 &= 0 & (N < -0.3)
 \end{aligned}$$

$$N = \delta f / 170 \cdots (12)$$

ただし、式 (10) 中の N はフレネル番号であり、壁を有する場合とない場合との伝播経路の差 (行路差、単位: m) δ と周波数の関数である。なお、 δ 、 N 、 $\angle L$ は、車両 (音源) が道路上を走行するために、時間 t の関数であるが、表示が繁雑になるので式 (12) 中では t を省略した。また、図-6 は車両が観測点の正面に到着したときの行路差 δ をもとに算出したフレネル番号と C_D の関係を表している。

3. 対象とする地点の諸条件への対処方法

(1) 法定最高速度や環境基準の違いによる補正

対象道路区間の法定最高速度 V_L が 40km/h ではない

表—2 B 地域での環境基準と C_2 の値

車線数		時間の区分		
		昼間	朝・夕	夜間
2 車線	環境基準	65dB(A)	60dB(A)	55dB(A)
	C_2	1	0.559	0.313
2 車線を 越える	環境基準	65dB(A)	65dB(A)	60dB(A)
	C_2	1	1	0.559

場合には、図-4、5 中の乗用車換算交通量の値に式 (13) から求めた C_1 の値を掛ければ、速度 V_L に対する騒音環境容量のコンターを算出できる。

$$\log_{10} C_1 = -0.0731 \angle f_{vs} \cdots (13)$$

また、環境基準は地域の区分、時間区分、車線数別に与えられる。いま、対象とする地点の環境基準 L_s が 65dB(A) ではない場合には、図-4、5 中の乗用車換算交通量の値に式 (14) から求めた C_2 の値を掛ければ、環境基準 L_s に対する騒音環境容量のコンターを算出できる。

$$\log_{10} C_2 = 0.0505 (L_s - 65) \cdots (14)$$

B 地域での環境基準と C_2 の値を表-2 に示す。

(2) 大型車の混入による補正

2. 及び 3. (1) では環境基準を遵守可能な乗用車の数の限度 (すなわち、騒音環境容量) を騒音に関する乗用車換算交通量 Q_{NEC} で示した。それゆえ、対象となる地点の交通流が乗用車だけで構成されている場合には、その交通量と騒音環境容量が直接比較できる。それに対して、大型車が混入した時に騒音環境容量と比較すべき乗用車換算交通量 (対象となる地点の騒音に関する) Q_{NEC} の求め方としては、次の 2 通りが想定される。

1) 対象とする地点の時間交通量 Q_C 、大型車混入率 A_c が与えられる時、

$$Q_{NEC} = Q_C (100 - A_c + E_N \times A_c) / 100 \cdots (15)$$

E_N : 騒音に関する大型車種の乗用車換算係数

2) 対象とする地点の交通流に関する乗用車換算交通量 Q_{TEC} が与えられる時、

$$\begin{aligned}
 Q_{NEC} &= C_3 \times Q_{TEC} \\
 C_3 &= (100 - A_c + E_N \times A_c) / (100 - A_c + E_T \times A_c) \cdots (16)
 \end{aligned}$$

E_T : 交通容量に関する大型車の乗用車換算係数

式 (15)、(16) の両式から対象とする地点の騒音に関する乗用車換算交通量 Q_{NEC} (pcu/h) を求めて、2. に示した図-4、5 や、3. (1) の要領で補正した騒音環境容量と比較すれば、対象とする地点では道路近傍のどの領域で環境基準が遵守できるかが判断できる。 E_N の値は自動車騒音の規制された年によって異なり、ここでは、第 2 段階規制 (61 年規制) の値 $E_N = 5$ を用いた²⁾。また、 E_T は車線数と大型車混入率の関数で、道路の縦断面勾配が 3% 以下ならば、 E_T は 1.7~2.1 の範囲にある⁶⁾。この条件で算出した C_3 の値

を図-7に示す。これらの結果から明らかなように、一般に C_3 は1以上であり、騒音から算出する乗用車換算交通量(Q_{NEC})と道路の疎通能力からのそれ(Q_{TEC})は、大型車が混入しない場合を除き等しくない。つまり前者の方が後者より大きい。それゆえに、こ

のような場合には、まず、 Q_{TEC} から Q_{NEC} を算出し、その後、 Q_{NEC} と騒音環境容量の容量差と前掲の式(2)から2.(1)で述べた要領で対策による減音量を決める。

4. 適用例

北九州市内の国道での交通センサスから、ピーク時には交通流に関する乗用車換算交通量 Q_{TEC} が2車線・40km/hで2000(pcu/h)、4車線・60km/hで4000(pcu/h)で、大型車混入率は10%と想定して、昼間の商業が混在する地域(B地域)について以下の検討を進める。まず、2000、4000(pcu/h)の乗用車換算交通量 Q_{TEC} を式(16)より騒音に関する乗用車換算交通量 Q_{NEC} へ変換すると、2車線で2523(pcu/h)、4車線で5186(pcu/h)となる。このような交通量が対象道路区間に存在しても、環境基準を遵守可能な領域を、壁の高さ0、0.9、1.5、2.4、3.0mの5つの条件について算出して図-8、9に示す。この図は各条件での結果の線より右側(車道から離れる方向)の領域では環境基準を遵守可能であることを示している。図-8より2車線では、車道端に壁はなくても約15m以上の環境施設帯(ここでは築堤や遮音壁が設置されていない空地を想定)を設置すれば、環境基準を遵守可能であること、あるいはまた、車道端に1.5mの壁を設置すれば、地表面からの高さ3m以下では歩道端から環境基準を遵守可能であることが認められる。また、図-9より4車線では高さ1.5mの壁の設置により、地表面から2m以下ではほぼ歩道端から環境基準を満たせる。

なお、本研究では商業が混在する地域(B地域)を対象として検討したが、これは次の理由による。

- 1) A地域の環境基準には50dB(A)以下のものがあり、2.(1)に示す式(1)の適用範囲を越える。
- 2) 幹線道路沿いの住居地域(A地域)は、環境基準超過量の30%タイルベル(超過量全体の70%がそれ以下の値)が全ての時間区分で10~16dB、一方、B地域では2~8dBであり、両者にはかなりの差があり⁷⁾、対応策は区別して考えた方が妥当と判断されるからである。A地域での超過量は交通流対策を検討する前に、まずは他の騒音対策で減音の目標値を落とすべきだと思う。

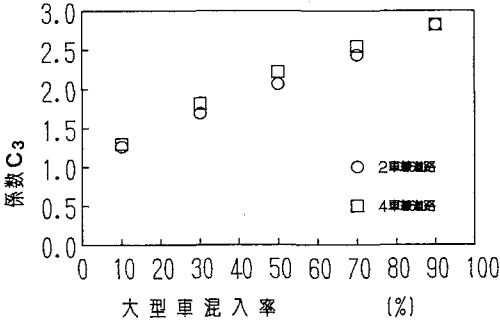


図-7 係数 C_3 と大型車混入率

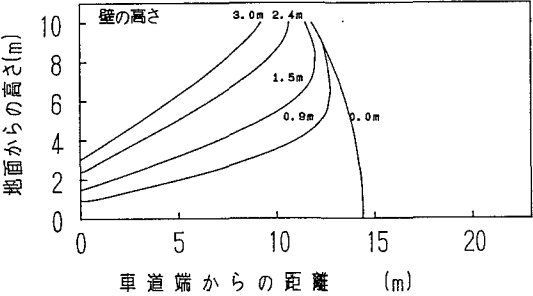


図-8 環境基準を遵守可能な領域(計算条件: 2車線, 40km/h, 2000pcu/h, 環境基準65dB(A))

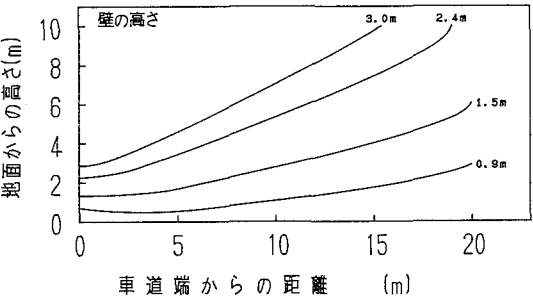


図-9 環境基準を遵守可能な領域(計算条件: 4車線, 60km/h, 4000pcu/h, 環境基準65dB(A))

5. まとめ

本研究の結果を以下にまとめて示す。

1) 道路・交通・伝播条件や環境基準などの諸要因に対して基本となる状態を定め、その条件下での騒音環境容量を求めて図-4, 5に示した。

2) 現実には、対象とする地点で必ずしも前述の基本となる条件が満たされない。それゆえ、その対処方法を式(13)~(16)で示した。

3) 適用例として、大型車が10%混入し、2車線・40km/hで2000(pcu/h), 4車線・60km/hで4000(pcu/h)の交通量が対象道路区間に存在しても、環境基準(B地域)を遵守可能な領域を、高さは0~3.0mの壁を車道端に設置した場合について算出して図-8, 9に示した。

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・本田明寛・村岡康広：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，環境システム研究，VOL. 23，pp. 92-98，1995.
- 2) 清水博・足立義雄・辻靖三・根本守：道路環境，山海堂，1987.
- 3) T. M. Barry, J. A. Reagan: FHWA Highway Traffic Noise Prediction Model, Federal Highway Administration, FHWA-RD-77-108, 1978.
- 4) 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.
- 5) 建設省土木研究所，（財）国土開発技術研究センター：沿道の騒音分布予測手法に関する研究，1993.
- 6) 越 正毅：交通工学通論，技術書院，1989.
- 7) 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.

様々な条件下での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

渡辺義則・本田明寛

乗用車で構成されているが、音源と受音点間の距離、法定最高速度などの変化には対処可能な騒音環境容量の算出方法は既に報告した。しかし、現実には対象地点の条件は様々で、大型車は混入し、車道端に壁がある場合もあるし、環境基準も地域の区分、時間区分で異なる。従って、これらの条件に対処する方法を考えておく必要がある。そこで（1）前述の諸要因に対して基本となる状態を定め、その条件下での騒音環境容量を示す。（2）対象地点の諸条件への対処方法を示す。（3）適用例として、大型車が混入すれば、あるいは、壁を車道端に設置すれば、自動車騒音の環境基準（B地域）を遵守可能な領域はどのように変化するかについて検討した。

A Calculation Method of Environmental Capacity near Trunk Roads to Meet the Japanese Environmental Quality Standard for Noise Annoyance under Various Conditions

By Yoshinori WATANABE and Akihiro HONDA

This paper proposes a calculation method of an environmental capacity near trunk roads to meet the Japanese environmental quality standards for noise annoyance under various conditions. It is necessary to assign the traffic to the road network to meet the standard. Using the proposed method, one can consider the following factors: (1) the mixture of heavy vehicles, (2) a noise barrier mounted on the edge line, (3) other noise abatements, (4) any

environmental quality standard for noise annoyance. Secondly the results of applications of the proposed method are also presented using the typical sections of two-lane road and four-lane one.