

都市部幹線道路近傍の騒音を音源対策から改善できる可能性の定量的検討

A CONSIDERATION ON REDUCING ROAD TRAFFIC NOISE NEAR TRUNK ROAD
BY TAKING COUNTERMEASURES AGAINST NOISE SOURCE

渡辺義則*・出口忠義**

By Yoshinori WATANABE* and Tadayoshi DEGUCHI**

ABSTRACT; In this paper, reduction of road traffic noise near trunk road was investigated quantitatively, when the following countermeasures were accepted against noise sources. First of all, when low-noise vehicles such as electric ones were used widely, reduction of road traffic noise was calculated. Now vehicles travel with an equal and constant speed on a road. Because we can guess not only low-noise vehicles but also diesel trucks will be driven on a road even in the future, reduction of road traffic noise was quantitatively determined according to several scenarios, for example, a scenario that all vehicles were replaced to low-noise ones, a scenario that both passenger cars and light trucks were replaced to them, and so on. Furthermore, when roads were paved with drainage asphalt in addition to low-noise vehicles widespreading as a countermeasure, reduction of road traffic noise was calculated.

KEYWORDS; noise reduction, road traffic noise, electric vehicles, drainage asphalt pavement, countermeasures against noise sources

1. まえがき

著者等の調査によれば¹⁾、北九州市内の幹線道路近傍において、自動車の騒音に係わる環境基準に全ての時間帯で適合しているのは10%以下である。つまり北九州市においてはここ20年間で産業公害が顕著に改善されたのに対して、自動車騒音公害はあまり改善されていない。それゆえ今日でも、“自動車騒音公害撲滅に対する明確な方針”を求めて、種々検討する必要性は少しも減っていない。このような検討をするには、まず最初にどの程度の減音で環境基準に適合するかを知る必要がある。これについては著者等の調査により¹⁾、北九州市内における環境基準の超過量は、主として住居に供される地域(A地域)では最大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10dB(A)であり、この値が減音の最終的な目標であることが示されている。

ところで減音対策は自動車単体対策、交通流対策、道路構造対策、沿道対策などいろいろな段階で考えられるが、本研究では自動車単体、つまり、音源の段階での対策に着目した。既に電気自動車(あるいは、エンジン系の音を削減して電気自動車と同等の音の大きさを持つ車)等の低騒音の車の導入状況(シナリオ)とその減音効果については、文献2で報告しているので、2、3章において簡単にその結果を紹介するととどめ、ここでは低騒音の車両導入に加えて、排水性舗装を施工した時の減音効果を見込むことによって、都市部幹線道路近傍の道路交通騒音をどの程度改善できるかを中心に述べる。

2. ガソリン車とディーゼル車の音響パワーレベル

2. 1 定常走行時の音響パワーレベル

ガソリン車とディーゼル車の定常走行時の音響パワーレベルを予測計算する式として、本研究では第2段階規制(昭和61年規制)適合の車を対象とした式(1)³⁾を用いた。

* 九州工業大学

Kyushu Institute of Technology

**パシフィックコンサルタンツ

Pacific Consultants CO., LTD.

$PWL=0.2V+86+10\log_{10}((1-A)+5A) \cdots (1)$

A：大型車混入率

V：車両の平均速度(km/h)

また、車両総重量別自動車保有車両数⁴⁾から大型車種の台数比率 P_1 、 P_2 、 P_3 並びに車両総重量別の台数比率 Q_{ij} を、文献5と同じ要領で求めて表-1に示す。この表の区分に従って、昭和61年規制における大型車種の大、中、小型車の音響パワーレベル及び小型車種のそれを算出すると²⁾、

大型車種：(大型車) $U_1=0.2V+94 \cdots (2)$

(中型車) $U_2=0.2V+93 \cdots (3)$

(小型車) $U_3=0.2V+92 \cdots (4)$

小型車種： $U_4=0.2V+86 \cdots (5)$

2. 2 惰行走行時の音響パワーレベル

エンジン系の音を削減したものとして、ガソリン車とディーゼル車(リブタイヤを装着)の惰行走行時の車両総重量別の音響パワーレベル N_{ij} 並びに車種(大、中、小型車)別の音響パワーレベル M_i を考えると、これを予測計算する式は²⁾、

$N_{ij}=30\log_{10}V+0.76X_{ij}+41.4$
($0.1 \leq X_{ij} < 8$) $\cdots (6)$

$N_{ij}=30\log_{10}V+47.4$ ($8 \leq X_{ij}$) $\cdots (7)$

$M_i=10\log \sum_{j=1}^{k_i} (10^{N_{ij}/10} \times Q_{ij}) \cdots (8)$

但し、 X_{ij} は最大積載量(tf)、そして、大型車： $K_1=1$ 、中型車： $K_2=9$ 、小型車： $K_3=4$ である。

次に惰行走行時の音響パワーレベルを車種毎に算出すると²⁾、

大型車種：

(大型車) $M_1=30\log_{10}V+47.4 \cdots (9)$

(中型車) $M_2=30\log_{10}V+44.5 \cdots (10)$

(小型車) $M_3=30\log_{10}V+42.1 \cdots (11)$

小型車種： $M_4=30\log_{10}V+42.8 \cdots (12)$

3. 電気自動車等の低騒音の車の導入状況とその減音効果

現場実験から電気自動車、天然ガス車(バンクラス)の定常走行音はガソリン車(乗用車)の惰行走行音に近いことが確認された²⁾。大型車種については実験が行えないが、本研究では大型車種についても電気自動車等の低騒音の車の音響パワーレベルはディーゼル車の惰行走行時のそれと同じと仮定して検討を進める。低騒音の車を導入すると言っても、すべての車両を低騒音の車に換えることができるとは、現時点では考え難い。大きな積載量のディーゼルトラックも混在して走行

表-1 大型車種並びに車両総重量別の台数比率

	j	車両総重量	最大積載量の平均 kgf	台数比率 %	
				Q_{ij}	P_i
小型車 ($i=3$)	1	1000kgf以下	204	0.7	18.1
	2	1001- 2000	402	19.7	
	3	2001- 3000	851	58.9	
	4	3001- 4000	1444	20.7	
中型車 ($i=2$)	1	4001- 5000	1989	25.1	62.7
	2	5001- 6000	2656	14.2	
	3	6001- 7000	3523	7.7	
	4	7001- 8000	4052	36.5	
	5	8001- 9000	4833	1.1	
	6	9001-10000	5600	2.3	
	7	10001-11tf	—	0.8	
	8	11001-12tf	7000	0.9	
	9	12001-13tf	7600	11.4	
大型車 ($i=1$)	1	13tf超	7464~11338	100	19.2

表-2 電気自動車等の低騒音の車の導入状況

導入状況	ケース
すべて低騒音の車に換える	2
小・中型車・乗用車を低騒音の車に換える	3
小型車・乗用車を低騒音の車に換える	4
中型車のうち車両総重量8tf(最大積載量4tf)以下の車・小型車・乗用車を低騒音の車に換える	5
中型車のうち車両総重量6tf(最大積載量2.5tf)以下の車・小型車・乗用車を低騒音の車に換える	6
中型車のうち車両総重量5tf(最大積載量2tf)以下の車・小型車・乗用車を低騒音の車に換える	7

表-3 各導入状況に対応する減音量
(密粒アスファルト舗装)

大型車 混入率	導入状況(ケース)					
	2	3	4	5	6	7
10%	3.1	2.7	1.2	2.4	2.0	1.7
80%	5.7	4.1	0.1	3.0	2.0	1.3

単位: dB(A)

すると考える
 ほうが現実的
 である。従っ
 て、電気自動
 車等の低騒音
 の車の導入状
 況（シナリオ）
 を表-2²⁾に
 示すようにい
 くつか想定し
 てその減音効
 果を推定した。

現状からの減
 音量は大型車
 混入率の関数
 であるので、
 大型車混入率
 10%（例えば昼

間の都市部幹線道路）と80%（例えば夜間に大型車が通過す
 る産業道路）の場合について、現状からの減音量を求めて表
 -3²⁾に示す。

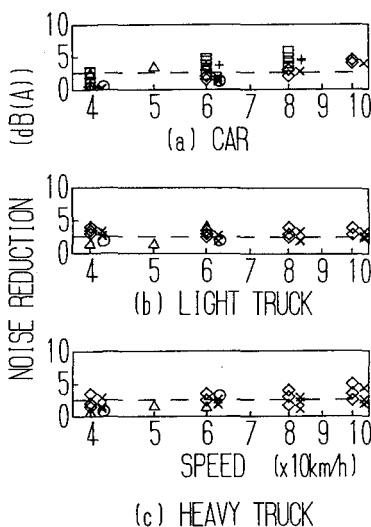


図-1 排水性舗装の施工による減音量
 （定常走行，○，△，×，◇，+，
 □はそれぞれ文献6,7,8,9,10と
 11,12から求めた値）

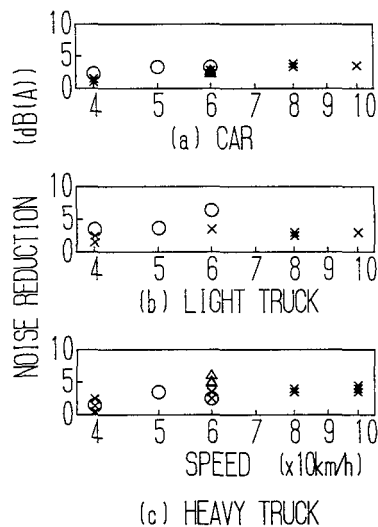


図-2 排水性舗装の施工による減音量
 （惰行走行，○，×，△はそれぞ
 れ文献7,9,13から求めた値）

4. 排水性舗装の施工による減音量の推定

4. 1 排水性舗装の施工による減音量

排水性舗装は目づまりをおこすなど耐久性の面で問題点も
 残っているが、現時点で最も期待される対策の一つである。
 エンジン系の音が削減されると、タイヤ音が優勢になる。し
 かし、排水性舗装はタイヤ音を減少するのに有効である。そ
 こで既往の研究^{6)~13)}の図から、密粒アスファルト舗装
 （通常はこれが使用される）と排水性舗装の音響パワーレベ
 ルの差を読み取り、排水性舗装の施工による減音量として車
 種別に算出する。なお、排水性舗装は耐久性に問題があり長
 期間その効果を維持することは難しいとされている。本研究
 で引用した文献では、文献10、11を除き、排水
 性舗装施工後の日数など詳しいことは書かれて
 いないが、排水性舗装の施工後短時日内の測定
 結果であると思われる。また、本研究では複数の
 の文献を引用しているので、通過した単独車両の
 騒音レベルのピーク値から音響パワーレベル

を求める方法と二乗積分法によるものが混在する。これは好ましいことではないが、この種の測定自体が少
 ないので、ここではこれらを区別せずまとめて検討を進めた。ただ、他と比べて値が極端に異なるデータが
 ごく一部認められたが、それは除いた。また、排水性舗装の空隙率は20~25%、舗装の厚さは4cm~10cmであ

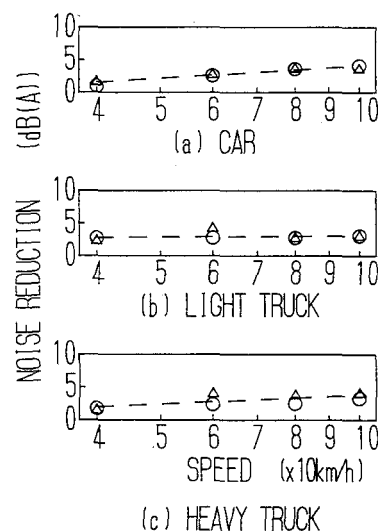


図-3 排水性舗装の施工による減音量
 の平均値

表-4 排水性舗装の施工による減音量の回帰式

車 種	回 帰 式	相 関 係 数	デー タ 数
HEAVY TRUCK	$R_1=0.030V+0.84$	0.715	8
LIGHT TRUCK	$R_2=2.96$	—	8
CAR	$R_3=0.042V-0.12$	0.934	8

る。

乗用車、大型車類の小型車と大型車の3車種について、定常走行、惰行走行という車両の走行状態別に、密粒アスファルト舗装と排水性舗装の音響パワーレベルの差を、つまり排水性舗装の施工による減音量を求めて図-1、2に示す。車種や速度が同一でも、文献により減音量は異なるが、そのばらつきは比較的小さいことが認められる。また、図-3はその算術平均値を示したものであり、図中の○が定常走行、△が惰行走行である。走行状態（定常走行、惰行走行）で差はないので、これを回帰分析した。図-3中の破線がその結果であり、回帰式などは表-4に示す。なお、データ数の少ない速度50km/hの値は除いている。以上のことをまとめれば、排水性舗装の施工による減音は定常走行、惰行走行という車両の走行状態によらず認められる。また、細かく言えばその減音量は車両の速度に比例して増加するが、平均的には乗用車でも、大型車類の小型車と大型車でも排水性舗装では3dB(A)程度の減音が見込まれる。

4. 2 走行状況による音響パワーレベルの差

乗用車、大型車類の小型車と大型車などの各種車両が同一舗装上（密粒アスファルト舗装上または排水性舗装上）の走行状態（定常走行、惰行走行）によりどの程度音響パワーレベルに差が生じるかを調べた。これに関する既往の研究は少ないが、ここでは文献7、9から調べた結果を図-4に示す。一般に定常走行のほうが惰行走行より騒音は大きい。図-4中の○は密粒アスファルト舗装、△は排水性舗装上を各種車両が惰行走行した時の、定常走行からの騒音低減量である。

また、図中の点線は速度及び走行状態には関係なく車種毎に平均した値に相当する。車種毎の平均値、標準偏差、データ数を表-5に示す。これらの結果から、密粒アスファルト舗装、排水性舗装などの舗装の種類によらず、定常走行のほうが惰行走行より乗用車で0.8dB(A)、大型車類の小型車と大型車で5.7dB(A)大きいことが認められる。乗用車については定常走行と惰行走行ではほとんど差はなく、タイヤ音とエンジン系の音がかなり拮抗していると考えられる。一方、大型車類の小型車と大型車については約6dB(A)定常走行が大きくなっており、エンジン系の音がかなり優勢であり、これへの対策をなお一層推進する必要性を窺わせる。なお、このことは密粒アスファルト舗装、排水性舗装などの舗装の種類によらず認められる。

5. 排水性舗装と低騒音の車の導入状況とその減音効果

ここでは排水性舗装は既に施工したという前提で、更に電気自動車等の低騒音の車を導入する場合のシナリオをいくつか想定して減音効果を推定する。4章で述べた様に排水性舗装の施工による減音は、車両の惰行走行でも認められるのであるから、それに近い電気自動車等の低騒音の車の走行でも期待できると考える。

5. 1 平均パワーレベルの算出方法

本研究では音源対策による騒音の低減量を平均パワーレベル（単独の車種の音響パワーレベルと区別してこのように呼ぶ）から算出する。平均パワーレベルは小型車類と大型車類の音響パワーレベル L_1 、 L_2 を、その混合割合でパワー平均して求める。具体的には、大型車混入率Aを用いて次式で求める。

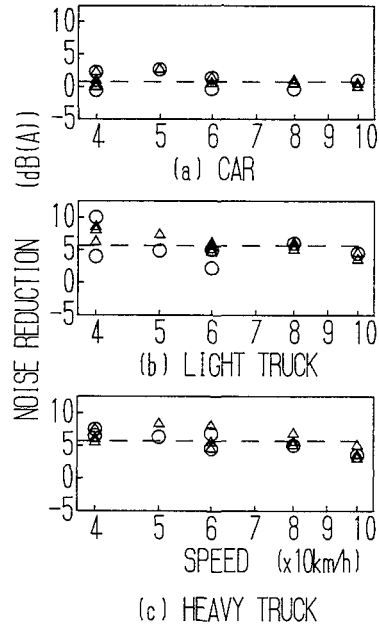


図-4 定常走行と惰行走行の音響パワーレベルの差

表-5 定常走行と惰行走行の音響パワーレベルの差の平均値

	平均値	標準偏差	個数
Car	0.8	0.96	22
Light Truck	5.7	1.83	22
Heavy Truck	5.7	1.51	22

単位：dB(A)

$$PWL=10\log_{10}\{(1-A)\times 10^{L_1/10}+A\times 10^{L_2/10}\}\cdots (13)$$

なお、2.1で述べた様に大型車類は大、中、小型車で構成されているので、 L_2 は車種（大、中、小型車）別の音響パワーレベル Y_i を、その台数比率 P_i ($i=1\sim 3$)でパワー平均して求める。

$$L_2=10\log_{10}\sum_{i=1}^3(10^{Y_i/10}\times P_i)\cdots (14)$$

例えば前述の式(1)は、現状（何の音源対策も施さない場合）の平均パワーレベルを表すが、これは L_2 として式(14)の Y_i に式(2)～(4)の U_i を、また、 P_i に表－1に示す値を代入して求めたものを、更に、 L_1 として式(5)の U_4 をそれぞれ式(13)に代入することで得られる。

5. 2 導入状況とその減音効果

次に、表－2のケース2～7に排水性舗装を施工した場合をケース2'～7'として、その平均パワーレベルを算出する要領を説明する。

4.1で述べた様に排水性舗装ではガソリン車とディーゼル車の走行状態（定常走行、惰行走行）によらず表－4に示す様な減音が見込められる。それゆえに排水性舗装を施工した場合には、式(2)～(12)は表－4に示す R_i ($i=1\sim 3$)を用いて次のようになると考えてよい。

大型車類：

(大型車) $U_1'=U_1-R_1\cdots (15)$

(中型車) $U_2'=U_2-R_1\cdots (16)$

(小型車) $U_3'=U_3-R_2\cdots (17)$

小型車類： $U_4'=U_4-R_3\cdots (18)$

(大、中型車) $N_{ij}'=N_{ij}-R_1\cdots (19)$

(小型車) $N_{ij}'=N_{ij}-R_2\cdots (20)$

大型車類：

(大型車) $M_1'=M_1-R_1\cdots (21)$

(中型車) $M_2'=M_2-R_1\cdots (22)$

(小型車) $M_3'=M_3-R_2\cdots (23)$

小型車類： $M_4'=M_4-R_3\cdots (24)$

表－2の低騒音の車の導入状況の条件に合致する大、中、小型車と小型車類の各音響パワーレベルを、式(15)～(18)と式(21)～(24)から選択した後に、それらを式(14)更には式(13)に代入すれば、各導入状況（各ケース）に対する平均パワーレベルを算出できる。特に、中型車については低騒音の車に換えるのを最大積載量で細分しているので、この場合には、式(16)、(19)から求めた最大積載量別の音響パワーレベルを Q_{ij} でパワー平均する。但し、中型車（ディーゼル）の定常走行時の音響パワーレベルを示す式(16)は最大積載量別に求められたものではないが、他に方法がないのでここでは最大積載量に関係なく使用した。

次に、速度30～100km/hの範囲では

$$30\log(V/60)\doteq 0.2(V-60)\cdots (25)$$

であることを利用して、式(13)の考え方で導いた式を式(1)と比較しやすい形で表現する。つまり、4. 1で

表－6 大型車混入による影響項（排水性舗装）

ケース	速度40km/h	速度60km/h	速度80km/h
1	$3.5+10\log(a+5A)$	$4.3+10\log(a+5A)$	$5.2+10\log(a+5A)$
2'	$10\log(a+1.4A)$	$10\log(a+1.6A)$	$10\log(a+1.7A)$
3'	$10\log(a+2.6A)$	$10\log(a+2.8A)$	$10\log(a+3.0A)$
4'	$10\log(a+6.2A)$	$10\log(a+6.5A)$	$10\log(a+7.0A)$
5'	$10\log(a+3.1A)$	$10\log(a+3.3A)$	$10\log(a+3.6A)$
6'	$10\log(a+4.7A)$	$10\log(a+5.0A)$	$10\log(a+5.4A)$
7'	$10\log(a+5.2A)$	$10\log(a+5.5A)$	$10\log(a+6.0A)$

注) Aは大型車混入率で $a=1-A$ 、単位：dB(A)

表－7 各導入状況に対応する減音量（排水性舗装）

大型車 混入率	速度 km/h	導入状況（ケース）					
		2'	3'	4'	5'	6'	7'
10%	40	4.7	4.3	3.1	4.1	3.5	3.4
	60	5.5	5.1	3.9	4.9	4.3	4.2
	80	6.4	5.9	4.7	5.7	5.1	4.9
80%	40	8.5	6.1	2.6	5.4	3.7	3.3
	60	8.8	6.6	3.2	6.0	4.3	3.9
	80	9.6	7.4	3.9	6.6	4.9	4.5

単位：dB(A)

述べた様に排水性舗装施工による減音量は車両速度の関数であるので、ここでは一定の速度について、導入状況別に

速度40km/h: $PWL=0.2V+86-3.5+FA_I \cdots (26)$

60km/h: $PWL=0.2V+86-4.3+FA_I \cdots (27)$

80km/h: $PWL=0.2V+86-5.2+FA_I \cdots (28)$

の形で平均パワーレベルを表現すると、大型車混入による影響項 FA_I は表-6のようになる。なお、式(26)~(28)中の-3.5、-4.3、-5.2の値は大型車混入率による影響を比較しやすくするために、表-6中の a の係数を1にしたので現れたものである。一例として速度60km/hの場合の計算値を図-5、6に示す。現状からの減音量は大型車混入率の関数であるので、大型車混入率10%と80%の場合について、現状からの減音量を速度40、60、80km/hについて求めて表-7に示す。これより、排水性舗装と低騒音の車の導入状況とその減音効果を速度60km/hについて見てみると

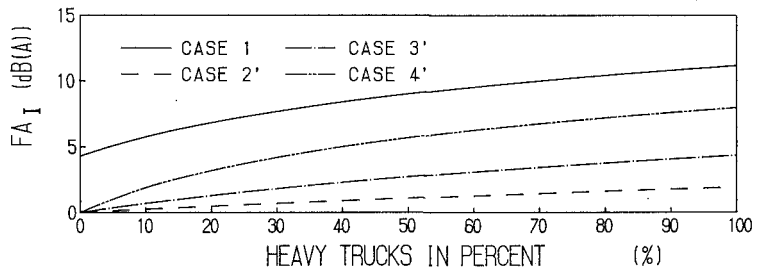


図-5 低騒音の車の導入状況と大型車混入による影響項
(排水性舗装、速度60km/h)

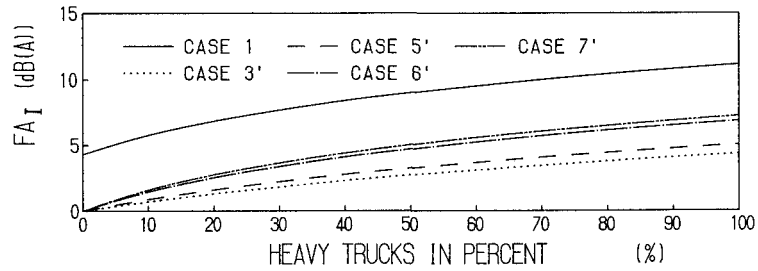


図-6 低騒音の車の導入状況と大型車混入による影響項
(中型車を細分、排水性舗装、速度60km/h)

- (1) 大型車混入率10%の場合
- a) 全て、もしくは、小・中型車と小型車類を電気自動車等の低騒音の車に換えた場合(ケース2', 3')にはそれぞれ5.5、5.1dB(A)、そして、大型車類の中の小型車と小型車類を低騒音の車に換えた場合(ケース4')には3.9dB(A)の低減が見込まれる。
- b) 車両総重量8tf(最大積載量約4tf)以下を低騒音の車に換えた場合(ケース5')、車両総重量6tf(最大積載量約2.5tf)以下の場合(ケース6')、そして車両総重量5tf(最大積載量約2tf)以下の場合(ケース7')にはそれぞれ4.9、4.3、4.2dB(A)の低減が見込まれる。しかし、大型車類の中の小型車と小型車類を低騒音の車に換えた場合(ケース4')と他のケースの間の差は小さく1.6dB(A)以下である。
- (2) 大型車混入率80%の場合
- a) 全て電気自動車等の低騒音の車に換えた場合(ケース2')には8.8dB(A)、小・中型車と小型車類を低騒音の車に換えた場合(ケース3')には6.6dB(A)、そして、大型車類の中の小型車と小型車類を低騒音の車に換えた場合(ケース4')には3.2dB(A)の低減が見込まれる。
- b) 車両総重量8tf(最大積載量約4tf)以下を低騒音の車に換えた場合(ケース5')、車両総重量6tf(最大積載量約2.5tf)以下の場合(ケース6')、そして車両総重量5tf(最大積載量約2tf)以下の場合(ケース7')にはそれぞれ6.0、4.3、3.9dB(A)の騒音の低減が見込まれ、最大積載量約4tf以下の中型車を低騒音の車に換えると減音効果は大きくなる。
- (3) 大型車混入率が80%の方が減音効果は大きい傾向が認められる。

本研究で得られた結果を以下にまとめて示す。

(1) 排水性舗装の施工による減音量を乗用車、大型車種の小型車と大型車の3車種について、定常走行、惰行走行という車両の走行状態別に求めた所、図-3、表-4に示すように、減音量は車両の走行状態によらず速度に比例して増加する傾向が認められた。

(2) 乗用車、大型車種の小型車と大型車などの各種車両が同一舗装上(密粒アスファルト舗装上または排水性舗装上)を走行する時、その走行状態によりどの程度音響パワーレベルに差が生じるかを調べた所、図-4、表-5に示すように、舗装の種類によらず、定常走行のほうが惰行走行より乗用車で0.8dB(A)、大型車種の小型車と大型車で5.7dB(A)大きいことが認められた。

(3) 排水性舗装は既に施工したという前提で、更に電気自動車等の低騒音の車を導入する場合のシナリオをいくつか想定して減音量を推定した。現状からの減音量は大型車混入率と速度の関数である。そこで、大型車混入率10%と80%で60km/hの場合について、排水性舗装と低騒音の車の導入状況とその減音効果を見ると
a) 大型車混入率10%の場合では、大型車種の中の小型車と小型車種を低騒音の車に換えた場合(ケース4')には3.9dB(A)の低減が見込まれる。そして、このケースと他のケースの間の差は小さく1.6dB(A)以下である。

b) 大型車混入率80%の場合では、全て電気自動車等の低騒音の車に換えた場合(ケース2')には8.8dB(A)、小・中型車と小型車種を低騒音の車に換えた場合(ケース3')には6.6dB(A)、そして、大型車種の中の小型車と小型車種を低騒音の車に換えた場合(ケース4')には3.2dB(A)の低減が見込まれる。この場合には、中型車を(最大積載量約4tf以下のものだけでも)低騒音の車に換えると減音効果が大きい。

c) 大型車混入率が80%の方が減音効果は大きい傾向が認められる。

d) 表-3と表-7の速度60km/hを比較すれば、排水性舗装の施工による減音量は大型車混入率が10%、80%ともに3dB(A)弱と同程度である。一方、低騒音の車の導入による減音量は大型車混入率によってかなり異なる。なお、大型車混入率が80%の場合については中型車のうちで少なくとも最大積載量4tf以下の車を低騒音の車に換えることが更に約3dB(A)(排水性舗装の施工による減音を合計して約6dB(A))の低減を期待するうえで必要な条件となる。

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, 1993.
- 2) 渡辺義則、出口忠義：電気自動車の導入による自動車騒音の低減量の推定、土木計画学研究・講演集、No.18(2), 1995.
- 3) 清水博、足立義雄、辻靖三、根本守：道路環境、山海堂、1987.
- 4) 自動車検査登録協会：諸分類別自動車保有台数(N0.7), 1995.
- 5) 日本道路協会：道路環境整備マニュアル、1989.
- 6) 明嵐政司、久保和幸：多孔質弾性舗装の耐久性と騒音低減量、土木学会第49会年次学術講演会、PP.140~141、1994.
- 7) 明嵐政司、石田稔、加来照俊：排水性舗装の騒音低減要因に関する考察、日本音響学会誌49巻10号、PP.691~698、1993.
- 8) 明嵐政司、石田稔、吉田幸信、新美秀哉：排水性舗装の騒音低減要因について、土木学会第49会年次学術講演会、PP.826~827、1993.
- 9) 明嵐政司、仲柴二三夫、長谷部正基：排水性舗装の騒音低減要因に関する考察、交通工学 Vol.29、PP.31~40、1994.
- 10) ハーデン ノール、丸山暉彦、帆刈浩三：排水性舗装の残存水分が吸音特性に与える影響、土木学会第47回年次学術講演会、PP.132~133、1992.
- 11) 鏡原孝博、丸山暉彦、水野卓哉：排水性舗装の騒音低減効果の追跡調査報告、土木学会第48回年次学術講演会、PP.824~825、1993.
- 12) 島広志、富田尚隆、佐藤憲一、池田哲矢：ポータブルアスファルト舗装の騒音低減効果 -大分空港道路での騒音測定結果-、土木学会第47回年次学術講演会、PP.140~141、1992.
- 13) 内田喜太郎：開粒アスファルトの目つぶれによる低騒音・排水機能の減少、土木学会第47回年次学術講演会、PP.136~137、1992.