

# 石垣やブロック塀で期待できる遮音能力について\*

## On Sound Insulation Ability of Stone Wall and Block Fence\*

隈清悟\*2・渡辺義則\*3・伊東啓太郎\*4・坂田洋行\*5

By Shingo KUMA\*2, Yoshinori WATANABE\*3, Keitarou ITOU\*4 and Hiroyuki SAKATA \*5

### 1. はじめに

夜間の幹線道路で、環境基準値から6dB(A)以上超過する地点が約30%存在し<sup>1)</sup>、このような地点では、減音量が大きい対策を施す必要がある。そこで著者らは、沿道でよく見かける石垣、ブロック塀、石垣とブロック塀の併用などの遮音能力の活用に着目した。しかしながら、これらの減音量の大きさは、音源、壁の頂点、観測点の相対的な位置関係による。これを実験によって検討するのでは、あまりに労力が多く、計算によって、様々な状況を想定して検討した方が得策である。

既に著者らは、a)車両は無指向性の点音源、b)透過損失が十分大きな薄い反射性の壁、c)車両と壁の間の多重反射は考慮しないという仮定の下で、自動車騒音の壁による回折減音量の計算方法、更には、これを利用した等価レベル騒音の計算方法について報告した<sup>2)</sup>。ただ、この計算の仮定は現実の条件を理想化したものである。現実の問題にこの計算方法を適用するには、あらかじめ、現場実験によって計算精度を調べておく必要がある。

それゆえ、本研究では以下のことを検討した。a)文献2で報告した自動車騒音の壁による回折減音量の計算方法が、石垣、ブロック塀などにも適用できることを、実車走行実験によって検証する。b)沿道でよく見かける程度の高さの石垣、ブロック塀などで、6dB(A)以上の減音量を期待できるか、その可能性について判断する。

### 2. インサージョンロスの理論的推定法

#### (1) 各周波数 f のインサージョンロスの推定法

半自由空間上を音が幾何減衰しながら伝播して観測点に到達した時の時間 t の音  $Z_G(t)$  と、音源と観測点 E の間に壁を挿入した場合の観測点の音  $Z_{Ef}(t)$  を用いて、イン

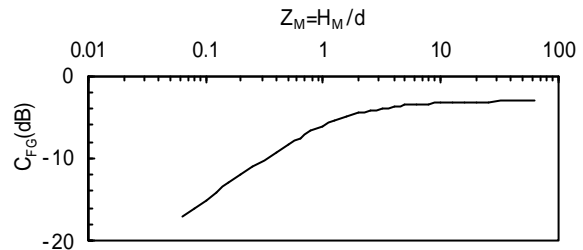


図 - 1 道路長を有限と考える時の補正量

サーションロス  $C_{Ef}$  dB は

$$C_{Ef} = 10 \text{Log} \left[ \frac{\int_{-M}^M Z_G(t) dt}{\int_{-M}^M Z_{Ef}(t) dt} \right] \quad \dots (1)$$

いま、車両が一定の速度で走行し、騒音レベル最大値の前後で波形が対称と仮定すると、

$$C_{Ef} = 10 \text{Log} \left[ \frac{\int_0^M g_G(t) dt}{\int_0^M g_{Ef}(t) dt} \right] \quad \dots (2)$$

$$= 10 \text{Log} A_{1G} - 10 \text{Log} B_{2f} - 10 \text{Log} B_1$$

$$= C_{FG} - C_{Hf} + C_D$$

なお、

$$C_{FG} = 10 \text{Log} A_{1G} \quad \dots (3)$$

$$A_{1G} = \frac{\int_0^M g_G(t) dt}{\int_{-\infty}^{\infty} g_G(t) dt} = \frac{1}{\pi} \cdot \int_0^{Z_M} \frac{1}{1+Z^2} dZ$$

$$Z_M = Mv / d \quad \dots (4)$$

$g(t)$ : 1Wの音源が一定の速度で走行した時に観測点に生じる音の強さの時間変動

$W_f$ : 車両の音響出力 (W、周波数 f)

$W_{OA}$ :  $W_f$  を全周波数にわたって合計したもの (W) とする。  $C_{FG}$  を計算した結果を図 - 1 に示す。

また、道路端に無限長の壁が設置されている場合のインサージョンロスは、

\*キーワード：交通公害、道路計画、環境計画

\*2 正員、工修、(株)千代田コンサルタント (東京都北区西ヶ原 3-57-5、TEL03-5974-5181)

\*3 正員、工博、九州工業大学工学部建設社会工学科 (福岡県北九州市戸畑区仙水町 1-1)

\*4 正員、博士 (農学)、九州工業大学工学部建設社会工学科

\*5 (株)積水樹脂 (滋賀県蒲生郡竜王町鏡 731-1)

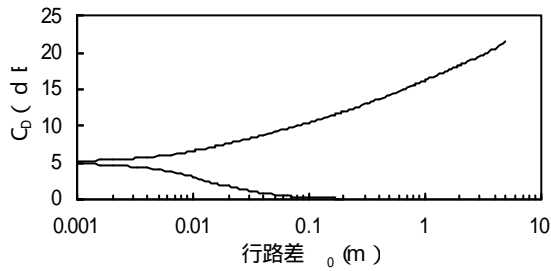


図 2 無限長の壁を設置した時の補正項

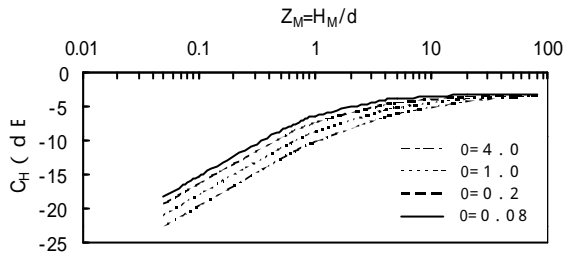


図 3 壁の長さを有限と考える時の補正項

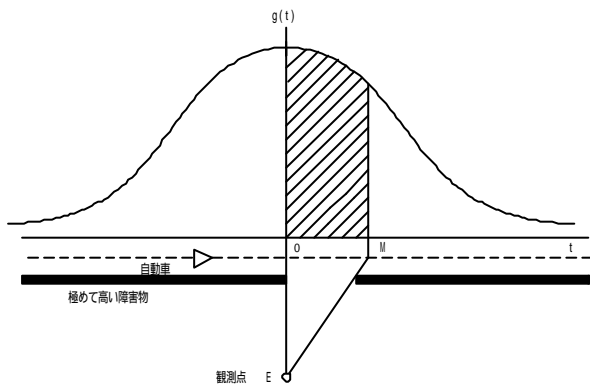


図 - 4 有限長道路の場合の観測点 E の荷重関数

$$C_D = -10\text{Log}B_1 \quad \dots (5)$$

$$B_1 = \frac{\sum \left( \frac{W_f}{W_{OA}} \int_{-\infty}^{\infty} g_{Ef}(t) dt \right)}{\int_{-\infty}^{\infty} g_G(t) dt}$$

なお、式(3)中の  $g_{Ef}(t)$  は、

$$g_{Ef}(t) = g_G(t) \times 10^{-\Delta L(t)/10} \quad \dots (6)$$

また、この時の回折減音量  $L(t)$ の算出には前川の測定値を近似した式を用いた。図 - 2 は車両が観測点の正面に到着したときの行路差  $s_0$  と  $C_D$  の関係を数値積分で求めたものである。更に、両端に音が回折できない障害物(例、高層ビル)があり、その間を有限の高さの壁で結んだ場合には、壁の長さを有限と考えた補正  $C_{Hf}$  を施す。

表 - 1 車両の音響出力の相対レベル

	$U_{OA}$	相対レベル $U_f(\text{dB})$					
周波数 Hz	O.A	125	250	500	1k	2k	4k
小型車類	8.0	-9.0	-3.3	1.4	4.4	1.8	-8.2

$$C_{Hf} = 10\text{Log}B_{2f} \quad \dots (7)$$

$$B_{2f} = \frac{\int_0^M g_{Ef}(t) dt}{\sum \left( \frac{W_f}{W_{OA}} \int_{-\infty}^{\infty} g_{Ef}(t) dt \right)}$$

(2) インサクションロスのオーバーオール値

車両自身のパワーレベルのスペクトルの違いを考慮した観測点 E に関するインサクションロスのオーバーオール値  $C_E$  は、

$$C_E = 10\text{Log} \left[ \frac{\int_0^M Z_G(t) dt}{\int_0^M Z_{EOA}(t) dt} \right]$$

$$C_E = U_{OA} - 10\text{Log} \sum_f 10^{(U_f - C_{Ef})/10} \quad \dots (8)$$

同様な考え方で  $C_{Hf}$  のオーバーオール値を

$$C_H = -U_{OA} + 10\text{Log} \sum_f 10^{(U_f + C_{Hf})/10} \quad \dots (9)$$

で求めて、図 - 3 に示す。なお、 $U_f$  は車の音響出力のスペクトルの相対レベル差、 $U_{OA}$  はそれを全周波数について合成した値である(表 - 1)。

### 3. 等価騒音レベルとの関係

自動車が定常的に走行する時の等価騒音レベル  $L$  を次の前提で導いて、式(10) ~ (14)に示す。

同一車線上の車両は、車種によらず、観測点で同一のタイムパターンをもつ。本研究ではタイムパターンとして1ワットの音響出力の仮想点音源(仮想車両)が、1つだけ車線の中央を一定の速度で移動したときに観測点に生じる音の強さの時間変動  $g(t)$  ( $\text{m}^2$ 、荷重関数)を考える。

音響出力の大きさは文献 4 に示された定常走行時(2車種分類、車両速度  $40 < V < 140 \text{ km/h}$ )のものとする。

道路や壁が有限長の場合とは、本章では観測点の正面を車両が通過する時間を原点にして、それから  $M$  の時間だけ騒音が有意なレベルを示す場合を指す(cf.図 - 4)。

a) 無限長まで解放された平坦部直線道路区間

$$L = L_B + 10\text{Log} \int_0^M g(t) dt \quad \dots (10)$$

$$L_B = 30 \log V + 11.1 + 10\text{Log} [Q\{5A + (1 - A)\}]$$

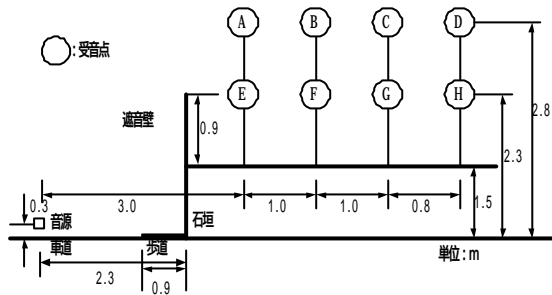


図 - 5 測定場所概要図

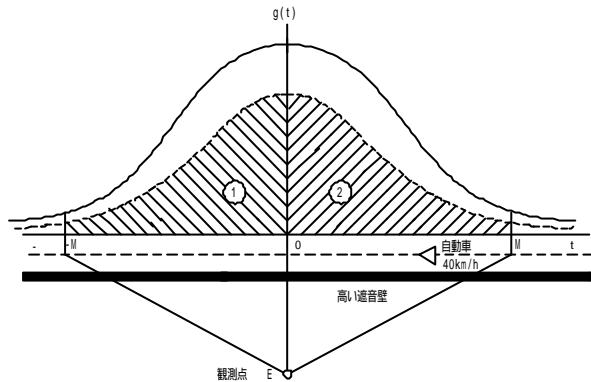


図 - 6 壁で遮音される場合の  $g(t)$

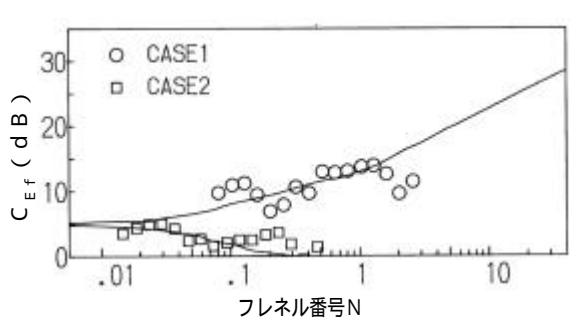


図 - 7 CASE1,2 での観測点 B でのインサージョンロス

$$L_G = L_B + 2.6 - 10 \log(Vd) \quad \dots(11)$$

b) 平坦部道路区間で道路長が有限な場合

$$L_2 = L_G + C_{FG} \quad \dots(12)$$

c) 車道部端に無限長の壁を設置した場合

$$L_3 = L_G - C_D \quad \dots(13)$$

d) 車道部端の壁が有限長の場合

$$L_4 = L_G - C_D + C_H \quad \dots(14)$$

V:車両速度 (km/h) Q:時間交通量 (V.P.H.)

A:大型車の混入率

表 - 2 実験ケース

ケース	壁の種類	規格
CASE1	合板+石垣	高さ24m
CASE2	石垣	高さ1.5m
CASE3	ブロック塀	高さ1.8m

表 - 3 観測点での行路差  $\delta$

ケース	A	B	C	D
CASE1	0.00	0.11	0.22	0.28
CASE2	-0.17	-0.02	0.00	0.01
CASE3	0.04	0.09	0.12	0.14
ケース	E	F	G	H
CASE1	0.18	0.31	0.39	0.44
CASE2	-0.05	0.00	0.03	0.05
CASE3	-	-	-	-

#### 4. 石垣やブロック塀の存在によるインサージョンロス

##### (1) 実験の概要

実験的には式(15)と式(8)を用いて、障害物のない平面上の音を基準にしたインサージョンロスを推定した。高い壁は高さ 0.9mの合板(厚さ 1cm)を高さ 1.5mの石垣の上に、16.2mに渡り設置した(CASE1)。測定場所の概要図を図 - 5 に示す。また、合板が無い場合(CASE2)についても検討を行った。さらに、高さ 1.8mのブロック塀が存在する場所(CASE3)について検討した。それぞれの条件については表 - 2 に、観測点 A~H の行路差は表 - 3 に示す。このような場所で最大積載量 2.5tf のトラックを速度 40 km/h で定常走行させ、車両の左側側方で騒音を測定した。

$$C_{Ef} = 10 \log \left[ \frac{\int_0^M Z_{Rf}(t) dt}{\int_0^M Z_{Ef}(t) dt} \right] \quad \dots(15)$$

##### (2) インサージョンロスの理論値と実測値の比較

実験データから  $Z_{Rf}(t)$  と  $Z_{Ef}(t)$  を時間  $[0, M]$  にわたって積分する必要があるが、これは次の要領で行った。

$Z_M=1$  とした。従って、図 - 5 の観測点 A~H は、積分範囲  $Z_M=1$  以内で壁の影響を受け続け、車両通行時の  $g(t)$  は、図 - 6 のようになる。また、 $M=d/V$  となり、M の値は観測点によって異なる。

騒音レベル(オーバーオールレベル)でピークを示す時点から M の積分値を求めた。なお、ピークの前後(時間  $[-M, 0]$  と  $[0, M]$ ) で積分値に有意な差が認められなかったため、この積分値を算術平均(測定回数 3 回  $\times 2$ ) した。

音源高を 0.3m とした。

結果の一例として図 - 7 に、図 - 5 の観測点 B における  $C_{Ef}$  の理論値および実測値を比較して示す。実線は  $C_{Ef}$  の理論値であり、次式から算出する。

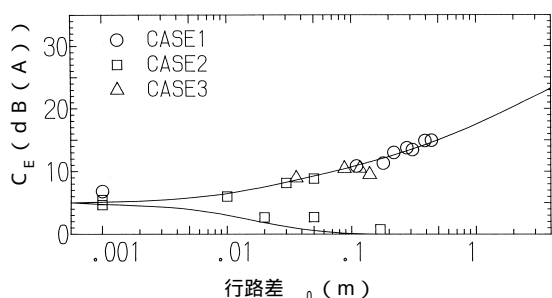


図 - 8 インサクションロスオーバーオールでの実測値と理論値の比較

$$C_{Ef} = -6.0 + C_D - C_{Hf} \quad \dots(16)$$

上式は式(2)に  $Z_M=1.0$  に対応する  $C_{FG}$  の値(-6.0dB)を代入したものである。 $C_{Ef}$  は周波数  $f$  と車両が観測点の正面に到着した時の行路差  $l_0$  の関数、つまりはフレネル番号  $N$  ( $N=f \cdot l_0/170$ ) の関数となる。また、式(15)より求めた CASE1,2 の実測値を、で、125Hz から 4k Hz までにわたり 1/3 オクターブ毎に 16 点プロットしてある。図 - 7 において、CASE1 は行路差  $l_0$  が正であり、一方、CASE2 は  $l_0$  が負である (cf 表 3) が、いづれにおいても理論値と実測値は比較的近い値を示している。

次に  $C_{Ef}$  をオーバーオールで合成した  $C_E$  について検討を行った。 $C_E$  の理論値と A~H の観測点 (cf 図 - 5) に対応する実測値を比較して図 - 8 に示す。なお、理論値は次式から算出した。

$$C_E = -6.0 + C_D - C_H \quad \dots(17)$$

上式は式(12)から式(16)を差引いた式に、 $Z_M=1.0$  に対応する  $C_{FG}$  の値(-6.0dB)を代入したものである。 $C_E$  は行路差  $l_0$  のみの関数となる。また、音源の相対レベルは大型車類と小型車類では異なるために、 $C_E$  の理論値と実測値は車種別に得られる。しかし、その結果に大きな差がなかったのでここでは小型車類の方だけを図示した。図 - 8 より理論値と実測値の差はほとんどない。

以上の結果より、インサクションロスの計算にあたって、2. で示した計算方法を用いても問題ないことが分かる。

## 5 . 石垣やブロック塀で期待できる減音量の推定

2. の計算方法を使って、石垣やブロック塀で期待できる減音量を理論的に推定する。検討の対象は CASE1 ~ 3 それぞれの観測点で、この場合、3. と異なり積分範囲は  $Z_M =$  とした。表 - 4 より、石垣やブロック塀を用いた場合、CASE1、3 については、CASE1 の観測点 A を除いて、6 dB 以上の大きな減音が期待できる。ただし、CASE2 については、道路に近い観測点 A,B,C,E,F で行路差がゼロ以下となり大きな減音量が期待できない。

表 - 4 石垣やブロック塀で期待できる減音量(dB(A))

	CASE1	CASE2	CASE3
A	5.0	0.1	8.5
B	10.1	2.2	9.8
C	11.4	5.0	10.3
D	11.9	6.6	10.6
E	11.0	1.2	-
F	12.2	5.0	-
G	12.7	8.0	-
H	12.9	8.8	-

## 6 . まとめ

(1) 自動車騒音の壁による回折減音量の計算方法を、本論文中の 2 . に示したが、壁が石垣やブロック塀であっても、この計算方法で比較的精度良く減音量を求められることを、実車走行実験により検証した。

(2) 2 . に示す方法によるとブロック塀が存在する場合は 6dB 以上の減音が期待できる。しかし、石垣のみの条件では、行路差がゼロ以下の観測点が多いためにあまり大きな減音量が期待できない。

## 参考文献

- 1) 渡辺義則・隈清悟・許斐敬史・寺町賢一・浦英樹：小型の低騒音車導入と排水性舗装の施工による道路交通騒音の環境基準達成率の改善について - 北九州市を対象として - ，環境システム研究論文集 Vol.29, pp.355 - 360, 2001.
- 2) 渡辺義則・隈清悟・寺町賢一・浦英樹・植田剛平：道路交通騒音のための等価騒音レベルの計算法について，土木計画学研究・講演集 No.24, pp.1 - 4, 2001.
- 3) 建設省土木研究所，(財)国土開発技術センター，沿道の騒音分布予測手法に関する研究，1983.
- 4) 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会：道路交通騒音予測モデル，“ASJ Model 1998”，日本音響学会誌 55 巻 4 号，PP.281-324, 1999.