

◆ 道路環境特集 ◆

道路交通振動の予測式に関する検討

佐藤弘史* 井上純三** 二川英夫*** 間瀬利明****

1. はじめに

平成9年6月に「環境影響評価法(平成九年法律第八十一号)」が成立・公布されたのを受け、平成10年6月に「道路事業に係る環境影響評価の項目並びに当該項目に係る調査、予測及び評価を合理的に行うための手法を選定するための指針、環境の保全のための措置に関する指針等を定める省令(建設省令第10号、平成十年六月十二日)」が制定され、平成11年6月より新たな法に基づく環境影響評価が行われることになっている。道路交通振動についても、新しく定められた省令との整合を図り、最新の知見にもとづき「調査」、「予測」、「評価」、「保全措置」等の環境影響評価の具体的な手法を整理する必要がある。

土木研究所では、道路事業の環境影響評価の予測に用いる道路交通振動予測式(以下、「予測式」と略す。)について、最近の実測データを追加して比較検討を行っているところである。本報文ではその検討状況の概要を報告するものである。

2. 検討の概要

2.1 現行の道路交通振動予測式

現行の道路交通振動予測式は、昭和60年9月に建設事務次官から通知された建設省所管道路事業環境影響評価技術指針に定められた以下の式である。

$$L_{10} = a \log_{10}(\log_{10} Q^*) + b \log_{10} V + c \log_{10} M + d + \alpha_{\sigma} + \alpha_f + \alpha_s - \alpha_l \quad (1)$$

L_{10} : 振動レベルの80%レンジの上端値の予測値 (dB)

Q^* : 500秒間の1車線当り等価交通量(台/500秒/車線)

$$= 500/3,600 \times 1/M \times (Q_1 + 12Q_2)$$

(注)平成6年2月の建設省所管道路事業環境影響評価技術指針の改正に伴い、次式の

ように Q_2 の係数は13に見直しされている。

$$= 500/3,600 \times 1/M \times (Q_1 + 13Q_2)$$

また、平成6年2月の第二東名・名神に関する通達では、 $100 < V \leq 140$ km/h の場合の係数は14となっている。

$$= 500/3,600 \times 1/M \times (Q_1 + 14Q_2)$$

M : 上下車線合計の車線数

Q_1 : 小型車時間交通量(台/h)

Q_2 : 大型車時間交通量(台/h)

α_{σ} : 路面の平坦性等による補正值 (dB)

α_f : 地盤卓越振動数による補正值 (dB)

α_s : 道路構造による補正值 (dB)

V : 平均走行速度 (km/h)

α_l : 距離減衰値 (dB)

a, b, c, d : 定数

具体的な係数の値、補正值等については、表-1¹⁾に示す。

2.2 道路交通振動予測式の比較検討

今回の省令の第八条別表第二において、自動車の走行による振動の予測の標準手法は「振動レベルの八十パーセントレンジの上端値を予測するための式を用いた計算」とされており、予測対象とする指標や基本的な手法は現行予測式と同じである。そこで比較のための予測式は図-1に示すように現行予測式の組み立てと同様とした。

すなわち道路交通振動に影響を及ぼす主な因子としては交通量、走行速度、車線数、路面平坦性、地盤条件、道路構造、及び道路からの距離を考える。予測式の検討にあたってはまず、平面道路の予測基準点における振動レベルをとりあげ、交通量、走行速度、車線数、路面平坦性、及び地盤条件データをもとに振動レベルを予測する式を作成した。この予測式を基本として、補正項の形で道路構造の影響及び道路からの距離の影響を予測式に反映させた。

比較のために作成した予測式は以下の式で、主な相異は、交通量の関数形 $\log_{10}(\log_{10} Q^*)$ を $\log_{10} Q^*$ へ変更し、それに合った係数を求めた点

Study on the Prediction Formula of Traffic-induced Ground Vibration

である。

$$L_{10} = L_{10}^* - \alpha_l \quad (2a)$$

$$L_{10}^* = a \log_{10} Q^* + b \log_{10} V + c \log_{10} M + d + \alpha_\sigma + \alpha_f + \alpha_s \quad (2b)$$

L_{10}^* : 基準点における振動レベルの 80% レンジの上端値の予測値 (dB)

Q^* : 500 秒間の 1 車線当り等価交通量 (台/500 秒/車線)
 $= 500/3, 600 \times 1/M \times (Q_1 + KQ_2)$

K : 大型車の小型車への換算係数

2.3 検討の概要

今回の予測式検討では、予測変数の振動レベルへの影響に関する個別の知見が明らかになっているものについては出来るだけその結果を予測式に反映させるのがよいと考え、交通量や走行速度に関する式の設定を行うこととした。

現行の予測式では交通量の関数形は $\log_{10}(\log_{10} Q^*)$ である。これは交通振動のシミュレーション結果により L_{10} との適合性が $\log_{10}(\log_{10} Q^*)$ の方が $\log_{10} Q^*$ よりもよいと考えられたためであった²⁾。一方、交通量の関数形を $\log_{10} Q^*$ とする予測式も提案されている^{3),4)}。今回の検討では交通量の関数形と係数について実測値との適合性の観点から比較検討した。

走行速度の影響については、土木研究所において大型車の走行試験が行われており⁵⁾、その結果に基づき検討を行った。

地盤条件の影響は現行予測式と同様に地盤卓越振動数の関数として表わすものとするが、その関数形状は、多くの実測データに適合するよう回帰分析により設定することとした。

車線数、路面平坦性、定数項は、多くの実測データに適合するよう回帰分析により設定する。

距離減衰の補正は現行予測式と同様に、距離の対数に比例して減衰するものとし、その係数は多くの実測データに適合するよう回帰分析により設定した。

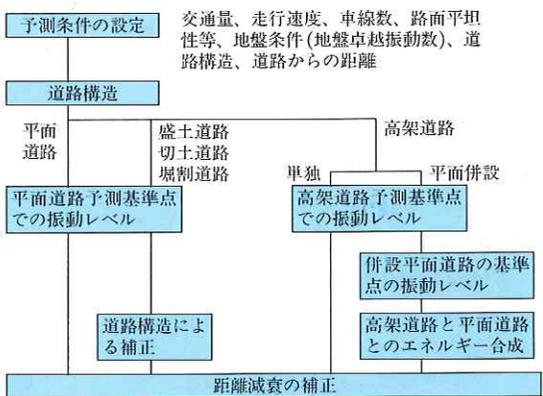


図-1 道路交通振動の予測式の組立て

表-1 現行の道路交通振動予測式の定数及び補正值等¹⁾

道路構造	a	b	c	d	α_σ	α_f	α_s	$\alpha_l = \sigma \log_{10}((l/5 + 1) / \log_{10} 2)$ l: 予測基準点から予測地点までの距離 (m)
平面道路 (高架道路に併設された場合を除く)	65	6	4	35	$\sigma \geq 1.0(\text{mm})$ のとき アスファルト舗装では $14 \log_{10} \sigma$ コンクリート舗装では $18 \log_{10} \sigma$	$f \geq 8\text{Hz}$ のとき $-20 \log_{10} f$ $8\text{Hz} > f \geq 4\text{Hz}$ のとき -18	0	β : 粘土地盤では $0.060 L'_{10} - 1.6$ β : 砂地盤では $0.119 L'_{10} - 3.2$ L'_{10} : 平面道路予測基準点での振動レベル (dB)
盛土道路					$\sigma < 1.0(\text{mm})$ のとき	$4\text{Hz} > f$ のとき $10 \log_{10} f - 24$	-1.4H - 1.3 H : 盛土高さ (m)	β : $0.077(L'_{10} + \alpha_s) - 1.8$ L'_{10} : 平面道路予測基準点での振動レベル (dB)
切土道路						f : 地盤卓越振動数 (Hz)	-0.87H - 1.7 H : 切土高さ (m)	β : $0.134(L'_{10} + \alpha_s) - 3.2$ L'_{10} : 平面道路予測基準点での振動レベル (dB)
堀割道路							-4.7H + 5.9 H : 堀割深さ (m)	β : $0.058(L'_{10} + \alpha_s) - 1.6$ L'_{10} : 平面道路予測基準点での振動レベル (dB)
高架道路	54	6	2	一本橋脚のとき 18 二本以上の橋脚のとき 20	$0.4 \log_{10} H_p$ H_p : 伸縮継手部より $\pm 5\text{m}$ 範囲内の路面の 最大高低差 (mm)	$f \geq 8\text{Hz}$ のとき $-5 \log_{10} f$ $8\text{Hz} > f \geq 4\text{Hz}$ のとき -4.5 $4\text{Hz} > f$ のとき $2.5 \log_{10} f - 6$	0	β : $0.072 L'_{10} - 2.2$ L'_{10} : 高架道路予測基準点での振動レベル (dB)
高架道路に併設された平面道路	65	6	4	29	$\sigma \geq 1.0(\text{mm})$ のとき アスファルト舗装では $14 \log_{10} \sigma$ コンクリート舗装では $18 \log_{10} \sigma$ $\sigma < 1.0(\text{mm})$ のとき	$f \geq 8\text{Hz}$ のとき $-20 \log_{10} f$ $8\text{Hz} > f \geq 4\text{Hz}$ のとき -18 $4\text{Hz} > f$ のとき $10 \log_{10} f - 24$		

検討に使用したデータは、直轄国道及び高速道路の実測データで、現行予測式の作成に使用したデータに最近の数年間で取得されたデータを追加したものである。

3. 平面道路の予測式の検討

3.1 交通量の影響

(1) 箇所別分析

交通量以外の条件を同一にするため、平面道路で1箇所当たりの測定回数が多い箇所(2,4,6,8車線、計52箇所)の振動レベルと等価交通量との関係を表式(3)に示すように $\log_{10} Q^*$ と $\log_{10}(\log_{10} Q^*)$ の2種類の式で近似した。

$$\begin{aligned} L_{10} &= a \log_{10}(\log_{10} Q^*) + b \\ L_{10} &= a' \log_{10} Q^* + b' \end{aligned} \quad (3)$$

その際、車速がほぼ一定の値となるよう、平均走行速度の $\pm 5\text{km/h}$ 以内のデータを取り出した。

結果の一例を図-2に示す。

(2) 車線数別の統合

等価交通量の係数を車線数別の平均値で統合し、この平均値を用いて b の値を計算し直した。

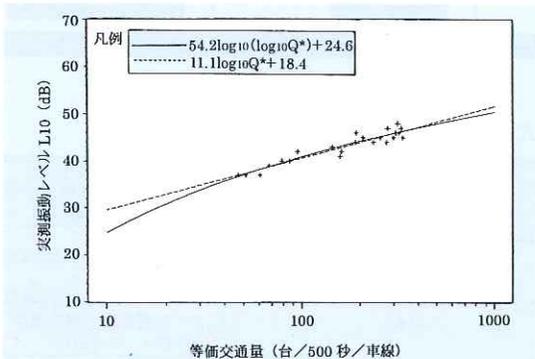


図-2 等価交通量による振動レベルの近似例

(3) 全車線数の統合

等価交通量の係数を全車線で統合するため、車線数別に統合した2~8車線の等価交通量の係数の平均値を計算し、 $\log_{10}(\log_{10} Q^*)$ については46.9、 $\log_{10} Q^*$ については9.5とした場合の b の値を計算し直した。

(4) 交通量の関数形、係数

図-3に等価交通量の係数を(1)箇所別、(2)車線数別、(3)全車線統合して設定した場合のそれぞれについて、 $\log_{10}(\log_{10} Q^*)$ と $\log_{10} Q^*$ で近似した場合の誤差の標準偏差を比較した。また表-2に全箇所の誤差の標準偏差を平均した結果を示した。これらの結果より、 $\log_{10}(\log_{10} Q^*)$ と $\log_{10} Q^*$ で近似精度はほぼ同等であること、等価交通量の係数を全車線数で統合しても、箇所別や車線数別に設定した場合と比べて近似精度の違いは小さいことがわかった。そこで交通量の関数形は他の変数と同様に $\log_{10} Q^*$ とし、係数 a は全車線数を統合した場合の9.5を丸めて10とした。

3.2 走行速度の係数

大型車単独走行のピーク振動レベルの走行速度に対する実測結果⁵⁾より回帰式を求めると、図-4に示すように、走行速度40~95km/hの範囲で次式が得られた。

$$L = 12.2 \log_{10} V - 19.5 \quad (4)$$

また、土木研究所試験走路における実験結果によると、大型車単独走行のピーク振動レベルの走表-2 平面道路の等価交通量による近似式の誤差の標準偏差

	$a \log_{10}(\log_{10} Q^*) + b$	$a' \log_{10} Q^* + b'$
①箇所別 (dB)	1.56	1.54
②車線数別 (dB)	1.73	1.68
③全車線数統合 (dB)	1.78	1.77

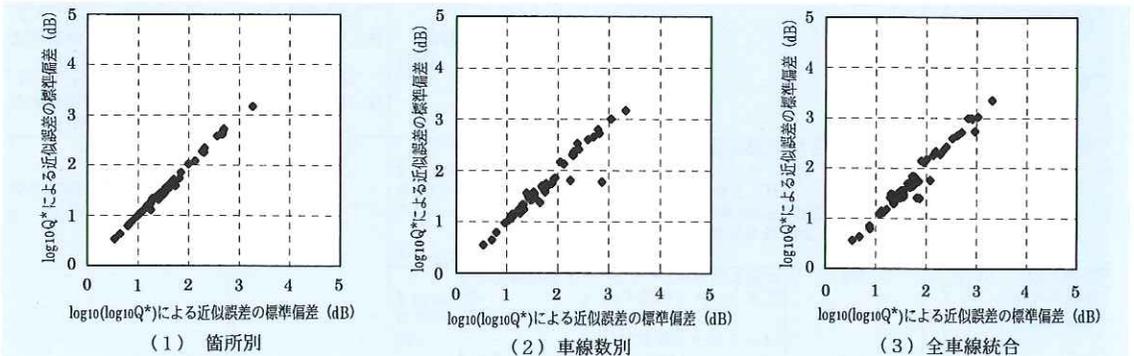


図-3 交通量の関数形による近似誤差の比較 (平面道路)

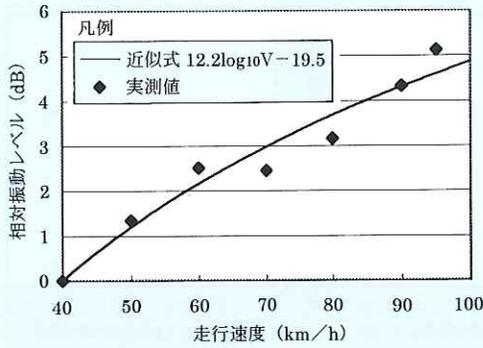


図-4 振動レベルと走行速度

走行速度に対する回帰式は、図-5に示すように走行速度 40~140km/hの範囲で次式であった

$$L = 11.17 \log_{10} V + 21.9 \quad (5)$$

走行速度の係数 b は式 (4) と式 (5) の $\log_{10} V$ の係数の平均値 11.7 を丸めて 12 とした。

3.3 車線数、路面平坦性、地盤卓越振動数の係数、定数項

3.1の結果より等価交通量の係数 a を 10、3.2の結果より走行速度の係数 b を 12 に固定し、全データを使用した重回帰分析結果より $\log_{10} M$ 、 $\log_{10} \sigma$ 、 $\log_{10} f$ の係数 c、 α_σ 、 α_f 、および定数項を d を定めた。

$$c = 3 \quad (6)$$

$$\alpha_\sigma \begin{cases} 8 \log_{10} \sigma & (\text{アスファルト舗装}) \\ 19 \log_{10} \sigma & (\text{アスファルト舗装}) \end{cases} \quad (7)$$

$$\alpha_f \begin{cases} -17 \log_{10} f & (f \geq 8\text{Hz}) \\ -9 \log_{10} f - 7.2 & (f < 8\text{Hz}) \end{cases} \quad (8)$$

$$d = 21 \quad (9)$$

σ : 路面平坦性の標準偏差 (mm)

f : 地盤卓越振動数 (Hz)

$\log_{10} f$ の係数 α_f 、については 8Hz 以上と 8Hz 未満で変化させた。また、 $\log_{10} \sigma$ の係数 α_σ はアスファルト舗装とコンクリート舗装で変化させた。

3.4 距離減衰

現行予測式と同様に距離減衰は以下の式で近似するものとした。

$$\alpha_l = \beta \log_{10}(r/5 + 1) / \log_{10} 2 \quad (10)$$

r : 基準点から予測地点までの距離 (m)

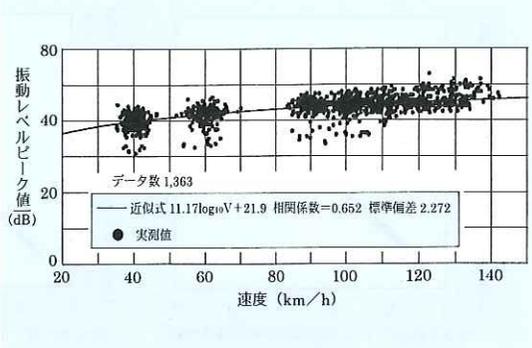


図-5 振動レベルと走行速度の関係

β : 倍距離当たりの減衰量 (dB)

地盤振動の減衰は、理論的には幾何減衰と内部減衰とから成るが、実用上は 3.3 で近似した結果と有意な差はないこと、 β は地盤種別や基準点の振動レベルの影響を受けることもわかっており^{6),7)}、砂地盤、粘土地盤別に、基準点の振動レベル L_{10}^* の 1 次関数として分析を行い次式のように設定した。

$$\beta \begin{cases} 0.13L_{10}^* - 3.9 & (\text{砂地盤}) \\ 0.07L_{10}^* - 2.0 & (\text{粘土地盤}) \end{cases} \quad (11)$$

4. 盛土、切土、掘割道路の予測式の検討

盛土道路、切土道路、掘割道路では予測は、現行予測式と同様に平面道路の予測値に各道路による補正を施せば良いものと考えた。補正值 α_s は盛土高さ H(m)、切土高さ H(m)、掘割深さ H(m) で表現される 1 次関数で近似し以下の式とした。

$$\alpha_s \begin{cases} -1.4H - 0.9 & (\text{盛土道路}) \\ -0.7H - 3.6 & (\text{切土道路}) \\ -3.9H + 5.8 & (\text{掘割道路}) \end{cases} \quad (12)$$

距離減衰はデータ数が少ないことから、砂地盤、粘土地盤をまとめて、次式とした。

$$\beta \begin{cases} 0.08L_{10}^* - 2.2 & (\text{盛土道路}) \\ 0.19L_{10}^* - 5.8 & (\text{切土道路}) \\ 0.04L_{10}^* - 0.5 & (\text{掘割道路}) \end{cases} \quad (13)$$

5. 高架道路の予測式の検討

5.1 単独高架道路

(1) 交通量の影響

平面道路と同様の解析 (4,5,6 車線、計 14 箇所)

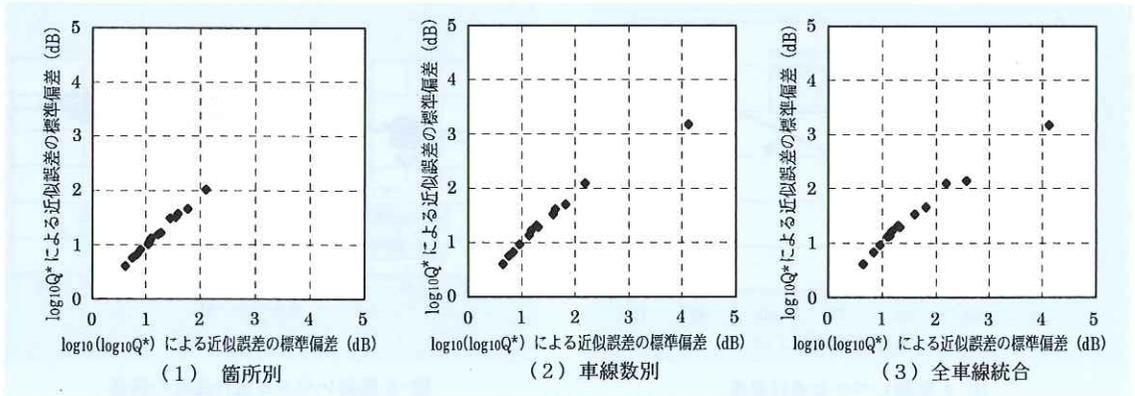


図-6 交通量の関数形による近似誤差の比較 (高架道路)

を行った。平面道路と同様に交通量の関数形による近似精度の差、全車線数で等価交通量の係数を統合することによる誤差の違いは小さかった(図-6, 表-3)。

箇所数が多い4車線の $\log_{10} Q^*$ の係数が9.6と平面道路の9.5とほぼ同一であることから、等価交通量の係数は平面道路と同じ10とした。

(2) 走行速度の係数

平面道路と同様と仮定し、12とした。

(3) 伸縮装置部の段差量、地盤卓越振動数、定数項
等価交通量の係数 a を10、走行速度の係数 b を12で固定し、全データを使用した重回帰分析により $\log_{10} M$ 、 $\log_{10} \sigma$ 、 $\log_{10} f$ の係数 c 、 α_σ 、 α_f および定数項 d を定めた。

$$c = 8 \tag{14}$$

$$\alpha_\sigma = 1.6 \log_{10} H_p \tag{15}$$

$$\alpha_f \begin{cases} -6 \log_{10} f & (f \geq 8\text{Hz}) \\ -5.4 & (f < 8\text{Hz}) \end{cases} \tag{16}$$

$$d = 1 \tag{17}$$

高架道路では路面平坦性の指標として、伸縮装置部の段差量 $H_p(\text{mm})$ を用いていることに注意が必要である。 $\log_{10} f$ の係数については平面道路と同様に8Hz以上と8Hz未満で変化させた。

5.2 平面併設高架道路

平面道路が併設された高架道路では高架道路と併設平面道路両者の振動レベルをエネルギー的に合成する必要がある。併設平面道路の予測式の定数 d は、合成した際の予測精度が最も良くなるように、平面道路の d とは異なる値を設定した。

表-3 高架道路の等価交通量による近似誤差の標準偏差

	$a \log_{10}(\log_{10} Q^*) + b$	$a' \log_{10} Q^* + b'$
①箇所別 (dB)	1.24	1.21
②車線数別 (dB)	1.49	1.39
③全車線数統合 (dB)	1.58	1.45

$$d = 16 \tag{18}$$

5.3 距離減衰

距離減衰はデータ数が少ないことから、単独高架道路、平面併設高架道路、砂地盤、粘土地盤をまとめて、次式とした。

$$\beta : 0.07 L_{10}^* - 2.3 \tag{19}$$

6. 比較のため作成した予測式のまとめ

6.1 係数および補正係数

比較のため作成した予測式の係数及び補正係数を表-4にまとめて示す。

6.2 予測精度

比較のため作成した予測式の精度を、現行予測式と対比して表-5に整理した。予測式の精度は道路構造によりやや異なるが、概ね現行予測式と同程度であった。

7. まとめ

本研究により以下のことが明らかとなった。

(1) 交通量が振動レベルに及ぼす影響について、実測データにもとづく検討を行った。このとき等価交通量 Q^* の影響は関数形を $\log_{10}(\log_{10} Q^*)$ とした場合と $\log_{10} Q^*$ とした場合とほぼ同じ精度で近似できる。また等価交通量の係数を

表-4 比較のため作成した道路交通振動予測式の定数及び補正値等

道路構造	K	a	b	c	d	α_σ	α_f	α_s	$\alpha_l = \beta \log_{10}(r/5 + 1) / \log_{10} 2$ r:基準点から予測地点までの距離(m)
平面道路 (高架道路に併設された場合を除く)	$V \leq 100$ km/hのとき	10	12	3	21	アスファルト舗装では $8 \log_{10} \sigma$ コンクリート舗装では $19 \log_{10} \sigma$ σ :3mプロファイルメータによる路面凸凹の標準偏差(mm)	$f \geq 8\text{Hz}$ のとき $-17 \log_{10} f$ $f < 8\text{Hz}$ のとき $-9 \log_{10} f - 7.2$ f :地盤卓越振動数(Hz)	0	β :粘土地盤では $0.07 L_{10}^* - 2.0$ β :砂地盤では $0.13 L_{10}^* - 3.9$
	$100 < V \leq 140$ km/hのとき								13
盛土道路									
切土道路									
堀割道路									
高架道路				8	1	$1.6 \log_{10} H_p$ H_p :伸縮継手部より±5m範囲内の最大高低差(mm)	$f \geq 8\text{Hz}$ のとき $-6 \log_{10} f$ $f < 8\text{Hz}$ のとき-5.4	0	β : 0.07 $L_{10}^* - 2.3$
高架道路に併設された平面道路				3	16	アスファルト舗装では $8 \log_{10} \sigma$ コンクリート舗装では $19 \log_{10} \sigma$	$f \geq 8\text{Hz}$ のとき $-17 \log_{10} f$ $f < 8\text{Hz}$ のとき $-9 \log_{10} f - 7.2$		

表-5 予測精度

道路構造	予測式	データ個数(個)	誤差の平均値(dB)	誤差の標準偏差(dB)
平面道路	現行式	9,861	0.8	5.1
	比較式		-0.3	4.9
盛土道路	現行式	4,725	0.6	4.9
	比較式		-0.3	4.8
切土道路	現行式	1,207	1.4	4.8
	比較式		-0.5	4.2
堀割道路	現行式	679	-0.5	4.5
	比較式		-0.8	4.5
高架道路	現行式	2,656	0.8	4.3
	比較式		0.9	4.3
平面併設高架道路	現行式	876	0.6	3.5
	比較式		0.2	3.5

(注) 誤差=予測値-実測地

全車線数でまとめても誤差に及ぼす影響は小さい。
(2) 大型車走行時のピーク振動レベルと走行速度の関係から得られた予測式の速度項の係数は12程度であった。

(3) 比較検討した予測式の精度は、道路構造によりやや異なるが、概ね現行予測式と同程度であった。

参考文献

- 1) 道路環境整備マニュアル：日本道路協会,1989.1
- 2) 成田信之、桂樹正隆：道路交通振動予測式，土木技術資料，Vol.20-6,pp.46-51,1978.
- 3) 荒牧克治、高橋将徳、古池正宏：道路交通振動の予測式(高架橋)，第32回建設省技術研究会報告，pp.96-100,1978.11
- 4) 横田明則：道路交通振動の予測，騒音制御，Vol.18, No16, pp.18-21,1994.
- 5) 山本邦夫、桂樹正隆、藤城 隆：交通振動に関する試験調査報告書(IV-1980)、土木研究所資料第1650号,1981.2
- 6) 沢田健吉、谷口栄一：道路交通振動の距離減衰(第1報)，土木技術資料，Vol.20-3,pp.33-37,1978.3
- 7) 谷口栄一、小笠原久：道路交通振動の距離減衰(第2報)，土木技術資料，Vol.21-3,pp.11-16,1979.3

佐藤弘史*



建設省土木研究所
構造橋梁部
構造研究室長、工博
Dr.Hiroshi SATO

井上純三**



建設省建築研究所
国際地震工学部
第二耐震工学室長
(前 構造研究室主任研究員)
Junzo INOUE

二川英夫***



建設省四国地方建設局
松山工事事務所
松山第一国道出張所
(前 構造研究室)
Hideo FUTAGAWA

間瀬利明****



建設省土木研究所
構造橋梁部
構造研究室研究員
Toshiaki MABUCHI