特集・騒音と振動の予測

交通振動の予測

早 川 清*

はじめに

近年、沿道住民の生活環境を保全し、良好なアメニティを創造するために、様々な環境対策が展開されてきている。しかしながら、特に都市部における自動車や鉄道の走行形態は極めて複雑になってきており、騒音・振動に関する環境問題の発生頻度の増加を招いている。

道路交通振動に関しても、その発生・伝播のメカニズムがかなり複雑であり、アセスメントに係る交通振動的確な予測が困難な現状にあるが、現在は建設省土木研究所の提案による予測式（以下「土研式」という。）が適用されている。

本報告では、土研式の予測方法について述べるとともに、主要幹線道路での道路交通振動の予測事例を紹介した。

1. 道路交通振動の予測方法^{1)~2)}

道路交通振動の発生及び伝播については、車種、車重、走行速度、道路構造、路面状況、地盤の弾性的諸要素等の数多くの要因が絡みあっているので、その的確な予測は極めて複雑である。現状での予測方法としては、回帰分析方法に基づくものとシミュレーション方法に基づくもの及び両者の方法を複合したものに分類される。

道路交通振動の予測は、道路建設事業の環境影響評価等において実施されるが、ここでは予測式として一般的に使用されている建設省土木研究所の予測方法について紹介する。なお、他の予測方法については文献²⁾を参照されたい。

(a) 建設省土木研究所の予測方法

道路交通振動の予測手順は、以下に示すとおりである。

平面道路、盛土道路、切土道路、掘割道路及び高架道路の道路構造別に予測基準点を定め、それ以降における振動レベルを予測するもので、予測式は以下のように示されている³⁾。

$$L_{10} = a \log_{10} (\log_{10} Q^*) + b \log_{10} V + c \log_{10} M + d + \alpha_{\sigma} + \alpha_{Hp} + \alpha_f + \alpha_s - \alpha_1 \quad \text{式(1)}$$

ここで、

L_{10} : 道路交通振動の振動レベルの80%レンジ上端値 (dB)

Q^* : 500秒間の1車線当たり等価交通量(台/500秒/車線)

$$Q^* = (500/3600) \times (Q_1 + 13Q_2) / M$$

Q_1 : 小型車時間交通量 (台/時)

Q_2 : 大型車時間交通量 (台/時)

V : 平均走行速度 (km/h)

M : 上下車線合計の車線数

α_{σ} : 路面の平坦性による補正值(dB)〔高架道路以外〕

α_{Hp} : 路面の最大段差による補正值(dB)〔高架道路〕

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)

α_1 : 距離減衰値 (dB)

a, b, c, d : 定数

予測式中の係数値及び補正項は、その道路構造別に応じ、表1のように定められている。

平面道路の併設された高架道路の振動レベルを予測する場合には、高架道路による振動レベルと併設平面道路による振動レベルを予測基準点でパワー合成して L_{10} (高架+平面) を求め、この値に対し距離減衰の補正を施すことになっている。

路面の平坦性による補正值 α_{σ} は、3 mプロフィールメータによる路面凹凸の標準偏差値、高架道路では伸縮継手部より ± 5 m 範囲内の路面の最大段差量

* 立命館大学理工学部土木工学科
Kiyoshi HAYAKAWA

表 1 予測式中の係数値及び補正項

道 路 構 造	a	b	c	d	α_σ	α_f	α_s	$\alpha_l = \beta \frac{\log_{10}(l/5+1)}{\log_{10}2}$ 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	$\bigcirc \sigma \geq 1.0(\text{mm})$ 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 $18\log_{10}\sigma$ $\bigcirc \sigma < 1.0(\text{mm})$ では 0	$\bigcirc f \geq 8\text{Hz}$ のとき $-20\log_{10}f$ $\bigcirc 8\text{Hz} > f \geq 4\text{Hz}$ のとき -18 $\bigcirc 4\text{Hz} > f$ のとき $10\log_{10}f - 24$	0	β : 粘土地盤では $0.060L_{10} - 1.6$ 砂地盤では $0.119L_{10} - 3.2$
盛土道路							$-1.4H - 1.3$ H : 盛土高さ (m)	$\beta : 0.077(L_{10} + \alpha_s)$ -1.8
切土道路							$-1.87H - 1.7$ H : 切土高さ (m)	$\beta : 0.134(L_{10} + \alpha_s)$ -3.2
堀割道路							$-4.7H + 5.9$ H : 堀割深さ (m)	$\beta : 0.058(L_{10} + \alpha_s)$ -1.6
高架道路	54	6	2	1 本橋脚のとき 18 2 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)	$\bigcirc f \geq 8\text{Hz}$ のとき $-5\log_{10}f$ $\bigcirc 0.8\text{Hz} > f \geq 4\text{Hz}$ のとき -4.5 $\bigcirc 4\text{Hz} > f$ のとき $2.5\log_{10}f - 6$	0	$\beta : 0.072L_{10} - 2.2$
高架道路に併設された平面道路	65	6	4	29	$\bigcirc \sigma \geq 1.0(\text{mm})$ 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 $18\log_{10}\sigma$ $\bigcirc \sigma < 1.0(\text{mm})$ では 0	$\bigcirc f \geq 8\text{Hz}$ のとき $-20\log_{10}f$ $\bigcirc 8\text{Hz} > f \geq 4\text{Hz}$ のとき -18 $\bigcirc 4\text{Hz} > f$ のとき $10\log_{10}f - 24$		

H_p の関数としている。

道路構造による補正値 α_s は盛土高さ、切土深さ、掘削深さにより与えられる。距離減衰値 α_l は、予測基準点から予測地点までの距離 l と倍距離当たりの減衰量 β とにより与えられる。このうち β は、主として予測基準点における振動レベルの関数であり、特に平面道路に対しては、地盤の種類に応じ 2 つの式を与えている。

2. 道路交通振動の予測値と実測値の比較

環境影響評価において、道路交通振動の予測を行う場合、建設省土木研究所の予測方法を用いることが多い。式(1)に示した予測式は、交通条件に係る振動レベルの予測について、数値シミュレーションを基本とし、それ以外の条件に関しては、多量の実測データをもとに係数値を定めた回帰式である。予測式の適用範囲は、予測式作成に用いたデータ範囲を勘案して表 2 に示すとおり設定されている。

2.1 大阪府下の幹線道路における予測事例

—その1

大阪府下の幹線道路（平面道路）の官民境界での

道路交通振動の実測値と建設省土木研究所の予測方法による予測値を比較すると図—1 及び表 3 に示すとおりである。

ここで、予測値を実測値と比較するに当たっては、路面の平坦性による補正値が適切に把握できなかったため、道路維持修繕要綱に記載されている補修基準値（交通量の多い一般道路： $\sigma=4.0\text{mm}$ ）を用いる場合と補修完成后（ $\sigma=1.0\text{mm}$ と想定）の値を用いる 2 ケースで検討することとした。

$\sigma=4.0\text{mm}$ と想定した場合、C 幹線道路以外の道路では、全時間帯において予測値が実測値を上回っているが、C 幹線道路については、一部の時間帯で予測値が実測値を下回っている。これは、予測値が実測値を上回っている時間帯の等価交通量が 432～1,488 台/時と多いのに対し、予測値が実測値を下回っている時間帯の等価交通量は 276～282 台/時と少ないことが原因の一つであると考えられる。なお、他の幹線道路における最も少ない等価交通量は 300 台/時となっている。

また、 $\sigma=1.0\text{mm}$ と想定した場合には、 $\sigma=4.0\text{mm}$ の場合に比べ 8～10dB 程度予測値が小さくなること

表 2 予測式の適用範囲

		等価交通量 (台/500秒/車線)	走行速度 (km/h)	車線数	路面平坦性 標準偏差(mm)	最大段差量 (mm)	その他
平面道路		600以下	20～100	2～8	1～7	—	—
高架道路		50～850	40～100	2～6	—	5～30	—
高架道路に平面 道路が併設され ている場合	高架部	50～850	40～100	2～6	—	5～30	—
	平面部	50～300	35～60	2～8	1.5～7	—	—
盛土道路		600以下	20～100	2～8	1～7	—	盛土高さ 2～8.5m
切土道路		600以下	20～100	2～8	1～7	—	切土深さ 2.5～10m
掘割道路		600以下	20～100	2～8	1～7	—	掘割深さ 2～6m

表 3 予測値と実測値の比較

対象道路	道路 構造	時間交通量 (台/時)	走行速度 (km/h)	地盤卓越 振動数(Hz)	振動レベルの80%レンジ上端値(L ₁₀)(dB)		
					①実測値	②予測値	②-①
A (4車線)	平面	90～1,776	43～56	16	31～44	40～55 32～47	1～15 -7～6
B (2車線)	平面	102～ 870	66～93	22	36～46	40～52 32～44	1～13 -7～5
C (4車線)	平面	366～ 600	31～46	17	33～40	31～45 33～37	-1～7 -7～-1
D (2車線)	平面	186～1,296	35～59	23	31～36	46～53 37～45	15～19 6～10
E (2車線)	平面	120～1,698	34～59	15	32～44	45～62 35～52	7～24 -2～14
F (2車線)	平面	102～1,944	31～83	16	31～49	41～61 32～51	9～21 0～11

- (注) 1. 予測値の上段は $\sigma=4.0\text{mm}$ 、下段は $\sigma=1.0\text{mm}$ と想定した場合
2. 予測値は、式(1)を用いて求めているが、大型車の換算台数は12台とし、 $Q^*=(500/3,600) \times (Q_1+12Q_2)/M$ としている。
3. 時間交通量は、振動測定時の10分間交通量を6倍した値である。

から、予測値が実測値を下回ることもある。

2.2 大阪府下の幹線道路における予測事例 —その2⁴⁾

測定場所には、高槻市国道171号五領小学校付近の1地点(高槻とする)、美原町国道309号沿いの2地点(菅生交差点付近を菅生、今井交差点付近を今井とする)を選定した。対象道路構造等と測定時の交通状況および、各測定場所付近の地質状況は文献5)を参照されたい。

各測定点で10分間の全交通量から求めたV LのL₁₀での距離減衰の代表例を図-2に示す。高槻では17m地点まで-0.8dB/DDの減衰傾向を示す。菅生では20m地点までの-0.4dB/DDの減衰、20mから40m地点にかけての-8dB/DDの減衰に分

けることができる。今井では、10m地点までは微増し、10m地点以上では55m地点まで-3dB/DDの減衰傾向と見なすと、30mと45m地点においては一旦増加する特異な減衰傾向が見られる。

土質を砂地盤と粘土地盤とした時の土研式の計算結果を図-2に破線で示す。但し、従来から土研式の計算値は実測値よりも大きくなる報告例があるので、路面平坦性の標準偏差については適用範囲の最小値 $\sigma=1.0\text{mm}$ を用いた。

これを見ると、高槻では、基準点でのレベルと減衰パターンはほぼ土研式(粘土地盤)による計算値に近い値を示しているが、菅生及び今井では、基準点のレベルは実測値に比べ最大10dBほど大きな差があり、しかも減衰パターンも粘土・砂いずれとも

図一 予測値と実測値の比較

異なることがわかる。なお、今井においては、実測の σ は 4.1mm (大阪府土木技術事務所測定) であり、これを土研式に代入すると当然その差はさらに大きくなる。高槻・菅生についても実測の σ があれば、

ほぼ同様のものと推察される。

菅生・今井については、土研式との適合を考えたとき、今回の測定結果では σ をたとえ 1mm と仮定した場合でも 5~10dB 程度、計算値が実測値よりも

図－2 L_{10} での距離減衰

大きな値となる。

2.3 京都市内の平面道路における予測事例⁵⁾

京都市内の40地点の実測結果について、上述と同様の検討を行ったものが図－3である。この事例においても路面の平坦性は実測されていないので、 $\sigma=1.0\text{mm}$ と $\sigma=4.0\text{mm}$ の場合を想定して予測値と実測値の対応関係を考察した。ここで、予測条件としての地盤卓越振動数は、既往の調査結果を参考にして10Hzと20Hzの2ケースを、また、平均走行速度は35km/hと40km/hの2ケースをそれぞれ設定した。

$\sigma=4.0\text{mm}$ と想定した場合、予測値は実測値より平均的に15dB程度大きくなっている。 $\sigma=1.0\text{mm}$ に設定しても予測値は実測値より平均的に10dB大きい。したがって、この限りにおいては建設省土木研究所の予測式の適合性は低いと考えられる。

2.4 高速道路ランプ周辺部における予測事例

都市内の高速道路ランプの出路付近における道路交通振動の予測事例を以下に示す。当該地区は、対象高速道路の上下線、高速道路の出路、並設平面道路の上下線の計5つの路線が複合した構造になっている。この場合の予測値は、計5つの振源からの振動レベルを算出し、予測地点で合成したものである。ここで、振動レベルの合成は式(2)によっている。

$$L_{10} = 10 \log_{10} \left(\sum_{i=1}^n 10^{\frac{(L_{10})_i}{10}} \right) \quad \text{式(2)}$$

路面の平坦性による補正値 α_σ は、振源となる道路全てを高架道路とし、

$\alpha_\sigma = 0.4 \log_{10} H_p$ (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))により求めることとした。 H_p は、(財)日本道路協会が提案した路面平坦性の目標値(表4)及び路面平坦性測定結果(図－4)を参考として最大段差量10mmとした。

なお、地盤卓越振動数は、高速道路3.0Hz、平面道路4.0Hzとし、平均走行速度は、高速道路の本線60km/h(設計速度)、ランプ35km/h(設計速度)、平面道路50km/h(法定速度)としている。

また、式(1)のa, b, c, dの定数は、高架道路の場合には以下のとおりとなっている。

a=54, b=6, c=2, d=18(1本橋脚のとき), 20(2本以上の橋脚のとき)

予測の検討は、官民境界、官民境界から10m、官民境界から20mの地盤上を対象として実施されているが、ここでは官民境界における結果のみについて示した。

予測結果は表5に示すとおりであり、参考として

表4 維持修繕要否判断の目標

道路の種類 項目	自動車専用 道路	交通量の多い 一般道路	交通量の少ない 一般道路
縦断方向の 凹凸(mm)	8 mプロフィル 90(Prl) 3 mプロフィル 3.5(σ)	3 mプロフィル 4.0~5.0 (σ)	—
段差(mm)*	10	15~20	20~30

図一 3 予測値と実測値の比較

図一 4 路面平坦性測定結果

表 5 ランプ付近の振動予測結果
(単位: dB)

対 象	年 次	昼間	夜間
実測値	昭和58年	52	50
	昭和61年	51	51
	昭和63年	51	51
	平成5年	51	48
予測値	平成2年	54	53
	出路供用時	52	52

(注) 表中の数値は、官民境界における
各時間区分の最大値である。

以前に行われている実測値及び予測値についても記載している。

予測結果は、昼間、夜間とも52dBで現状における実測値よりやや大きくなる結果となったが、要請限度値(昼間65dB、夜間60dB)は十分に下回る結果である。今回行った予測結果が以前行われた予測結果より小さくなっているのは、以前の予測条件等が不明なので詳細は分からないが、おそらく予測条件(交通量、補正值等)が異なっているためと思われる。

まとめ

本論では、新設道路の道路交通振動予測によく用いられている建設省土木研究所の予測式を中心として論述した。この予測式は、全国の地盤を対象としていること、道路構造別の補正值があること等、非常に汎用性があるものの、上述したように予測値が実測値に比較してかなり大きくなる場合も多い。こ

のため、上記の予測値とともに、予測対象地域での現地調査結果から求めた回帰式による予測を行う等、予測モデルについても検討することが望ましい。

参 考 文 献

- (財)土木学会関西支部共同研究グループ「道路交通騒音振動予測評価研究会」：道路交通騒音振動の予測及び評価をめぐる諸課題，平成6年6月
- 早川清・藤森茂之：道路交通振動の予測・評価の現状と課題，土木学会関西支部共同研究グループ「道路交通騒音振動研究会」報告書，平成7年7月，p.33～46
- (財)土木学会関西支部：騒音環境システム研究委員会(昭和62，63年度研究報告)，平成元年7月
- (財)日本道路協会：道路環境整備マニュアル，平成元年1月
- 今立高廉，乾頼夫，厚井弘志，笠輪晃男，杉谷和弘，早川清：道路交通振動の距離減衰パターンに関する一考察，平成8年度日本騒音制御工学会研究発表会(投稿中)，平成8年10月
- 京都市衛生局環境保全室：平成6年度騒音規制法第17条に係る自動車騒音及び振動規制法第16条に係る道路交通振動の調査報告書，平成7年3月