

23. 交通振動に配慮した道路計画のための手法検討

Method Study for the Road-building Plans which considered Traffic Vibration

徳永 法夫^{*}, 日野 泰雄^{**}, 西村 昂^{***}

Norio TOKUNAGA^{*}, Yasuo HINO^{**}, Takashi NISHIMURA^{***}

ABSTRACT ; Along urban expressways where elevated road architecture is frequently adopted, large-scale surface streets are often constructed from viewpoint of accessibility. Therefore, a traffic vibration problem is often caused in such a place. Although the sources of vibration must first be identified for each administrative district, applicable methods are yet to be introduced. This study focuses on the correlation between time-based variance of mean vibration energy levels and time-based variance of traffic conditions on each road, and - using multiple regression analysis - based statistical processes - proposes an objective method for identifying roads that are the source of problems. This method enables macroscopic identification of sources of traffic vibration problems in a specific region. This method also enables speedy, relevant countermeasures against vibration, in that it prioritizes such measures through calculation for the sources proportion to overall vibration.

KEY WORDS ; Composite Structure Road, Road-building Plan, Traffic Vibration

1 まえがき

都市における交通機関には、そこに住み・働く人々の生活環境・労働環境に配慮した適切な対応が求められている。特に、道路は人々の生活を守る上での基盤的なインフラストラクチャとして重要な役割を果たしているが、車両走行により騒音・振動の発生、排気ガスの発生など様々な環境負荷を発生させる要因のひとつともなっている。したがって、社会経済の発展と周辺環境の保全といったコンフリクトする問題を解決しながら道路整備を適切に進めていくことが求められている。

本研究では、地球・地域環境問題のひとつとして、道路周辺における振動の発生問題について取り上げた。交通による振動の発生は、車両の走行によるものである。また、都市内の道路は高架道路である場合が多く、その周辺に大規模な平面道路を併設して計画することが多い。このような高架道路と平面道路の複合道路構造の場合、交通振動の発生源が高架道路であるのか、平面道路であるのかを判別することが困難となる^{1~3)}ため、振動に関する苦情が発生しても、迅速かつ適切な対応が図りにくいという現状がある。

本研究では、このような複合道路構造における交通振動の発生源や沿道の家屋に対する寄与率を明らかにする上での手始めとして、現状における交通振動の状況と交通条件の調査を行い、振動の発生源となる道路を客観的に特定する手法について検討を行っている。

^{*} 大阪メディアポート株式会社 Osaka Media Port Corporation, ^{**} 大阪市立大学大学院工学研究科 Graduate school of engineering, Osaka City University , ^{***} 大阪市立大学 Osaka City University

検討を行った手法は、振動レベルのエネルギー平均値と各道路別交通条件との時刻変動の関連性に着目し、重回帰分析を用いた統計処理を行うことで、振動の発生源となる道路を客観的に特定したものである。この手法では、各々の道路における交通条件（車種別交通量、平均走行速度）の時刻変動に着目し、その総運動エネルギーを説明変数とし、振動測定地点におけるエネルギー平均値を目的変数とする重回帰分析を利用している。

本手法の応用によって、道路計画を行う上での対象とする道路別の振動エネルギー寄与率を推計することが可能であり、交通振動の発生を考慮した道路計画を検討する上で重要な役割を果たすものと考えられる。

2 振動発生源の特定方法

(1) 重回帰モデル

複合道路における各道路別の寄与率の推計に用いる重回帰モデルを検討する。ただし、このモデルでは、各道路の振動源のエネルギーが測定点に与える寄与率を推定することを目的とすることから、振動レベルの予測に用いられている地盤性状などのパラメータ⁴⁾は無視するものとした。

各道路で発生する振動源のエネルギーを算出するパラメータとしては、振動レベルの予測式⁴⁾の中で大きな影響を与える交通量・速度を対象とした。振動エネルギーの算出式を式 (1) に示す。

$$E = \sum_{i=1}^P E_i = \sum_{i=1}^P a_i (N_{i_1} + 13N_{i_2}) V_i^2 \quad (1)$$

E : 測定点位置での振動エネルギー
 E_i : i 番目の道路からの振動エネルギー
 a_i : i 番目の道路の偏回帰係数
 V_i : i 番目の道路における平均走行速度
 P : 分析対象とする道路数
 N_{i_1} : i 番目の道路における小型車種の交通量
 N_{i_2} : i 番目の道路における大型車種の交通量

式 (1) における右辺は、各道路で発生する運動エネルギーを表している。ただし、質量は車両台数に比例するものとし、大型車種 1 台は小型車種 13 台の台数に換算している⁴⁾。

(2) 振動の大きさの評価指標について

現行の振動規制法における規制値は、鉛直方向の時間率振動レベル L_{10} (80%レンジの上端値) である。しかし、複数の振動源から発生した振動の合成値として測定点の振動の大きさを評価する場合、各道路の振動の大きさを「ある一定時間内における時間率レベル（大きなものから何番目といった順位）の大きさ」で評価するよりは、振動レベルのエネルギー平均値 (L_{eq}) を指標として採用するほうが妥当であると考えられる。

$$E = 10^{L_{eq}/10} \quad (2)$$

L_{eq} : 振動レベルのエネルギー平均値(dB)

そこで、式 (1) の振動エネルギーは、振動測定において求められるエネルギー平均値から算出するものとする。ただし、振動においてはエネルギー平均値を表す用語はないが、騒音における等価騒音レベルと同じ記号をここでは便宜的に用いるものとした。

(3) 道路別の振動エネルギー寄与率の算出方法

上述した回帰モデルの偏回帰係数を求めることによって、各道路からの振動エネルギーを個別に算出することができる。この道路別の振動エネルギーの寄与率は、24 時間分のデータを加算して (3) 式で与えられる。

$$I_i = \sum_{j=1}^{24} E_{ij} / \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^{24} E_{ij} \quad (3)$$

I_i : i 番目の道路からの振動エネルギー寄与率
 j : j 番目の測定データ

3 分析方法

本手法の有効性を検討する目的から、高架道路と平面街路が併設された、同一路線沿道地域の計5箇所（調査箇所：①～⑤）を対象として検討を行った。

（1）調査箇所の概要

調査箇所の道路構造を表－1に、代表的な調査箇所の断面図を図－1に示す。

（2）交通条件、振動レベル及び交通条件の時刻変動

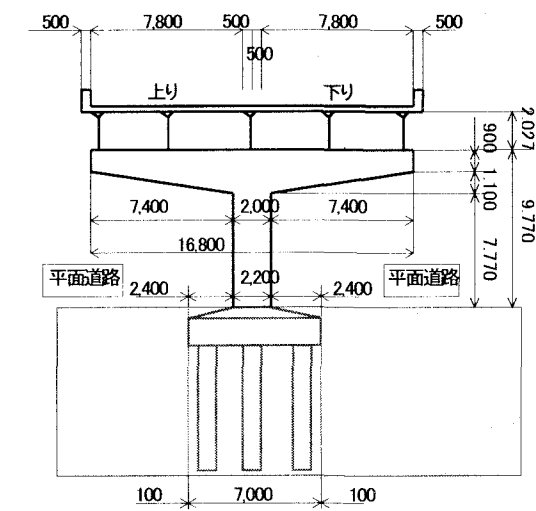
表－2、図－2～図－3は、この調査箇所の交通条件の一例である。高架道路の下り方向の総交通量は上り方向の総交通量に比べて約2割程度多く、平均走行速度には大きな差がある。

また、振動レベル（鉛直方向）の時刻変動パターン（調査箇所④）を図－4に示す。このように、高架道路と平面街路では、交通量の時刻変動パターンは類似しているが、走行速度の時刻変動パターンには相違が認められる。また、振動レベルの時刻変動パターンと交通量単独、走行速度単独の時刻変動パターンの関係は明確ではない。

このように複合道路沿道における道路交通振動は、高架道路および平面街路の両者の影響を受けていることがわかる。

表－1 調査箇所の道路構造

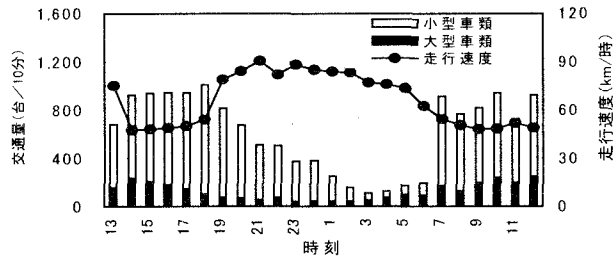
調査箇所	高架道路	一般道路	備考
①	上下線分離の単柱形式	平面構造	高架道路の下り側は、測定点よりかなり遠方
②	T型単柱形式	平面構造	特になし
③	T型単柱形式	高架一体型の上下線分離高架構造	一般道路の高架高さは約5m程度
④	T型単柱形式	平面構造	平面道路にマンホールがある
⑤	門柱形式	平面構造	特になし



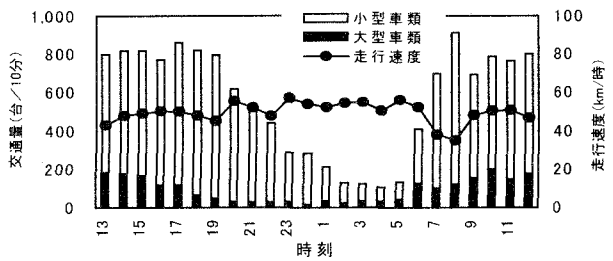
図－1 調査箇所の横断面図（調査箇所④）

表－2 道路別交通条件（調査箇所④）

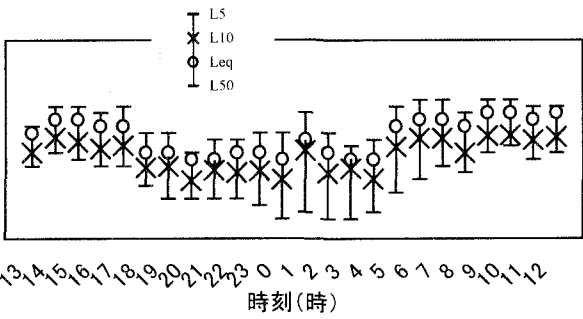
道路区分	方向	日交通量 (台/日)	大型車類 混入率 (%)	平均 走行速度 (km/h)
高架道路	上り	40,000	20	48
	下り	49,000	20	80
平面道路	上り	43,000	17	47
	下り	39,000	15	53



図－2 交通条件の時刻変動（高架道路）（調査箇所④）



図－3 交通条件の時刻変動（平面道路）（調査箇所④）



図－4 振動レベルの時刻変動（調査箇所④）

4 分析結果

(1) 振動エネルギーの重回帰分析結果

このような高架道路，平面街路沿道における5箇所の振動レベル（鉛直方向）のエネルギー平均値と交通条件の調査結果の重回帰分析⁵⁾を行った。なお，重回帰分析にあたっては，上記の4種類の変数をすべて用いる強制投入法ではなく，投入基準 $F=0.05$ ，除去基準 $F=0.10$ に設定した変数増減法（stepwise method）^{6,7)}を用いた。分析結果のモデル集計結果を表-3に示す。

(2) 非標準化偏回帰係数

前述の重回帰分析による，各説明変数の非標準化偏回帰係数を表-4に示す。表-4中の空欄は，前述した変数増減法により選定されなかった説明変数であることを示している。調査箇所①～⑤のうち，高架道路のみの変数が選定された箇所，および平面道路のみの変数が選定された箇所が各々1箇所であり，その他の3箇所は，高架道路と平面道路の複合的な影響を受けていると考えられる。

このようにすべての調査箇所で，使用した4種類の説明変数すべてがモデルに選定されていない

が，これは前述したように複合道路における交通条件の時刻変動パターンの類似性によるものと考えられる。

(3) 推計モデルの評価分析

求められた非標準化偏回帰係数を用いて，各道路の寄与率算出の基準となる振動レベルのエネルギー平均値を算出できる。

振動レベルのエネルギー平均値は，各説明変数（交通量，走行速度）に表-4の偏回帰係数を乗算し，次式により各道路および全体の振動レベルのエネルギー平均値を算出したものである（式(4)，(5)参照）。

(4) 道路構造別の振動エネルギー寄与率

式(4)，(5)から求めた道路構造別の振動レベルのエネルギー平均値を式(3)に代入して，各道路別に振動エネルギーの寄与率を算出した。その算出結果を図-5に示す。

図-5から，調査箇所①，②，⑤では高架道路の寄与率が高く，調査箇所③，④では平面道路の寄与率が高いことがわかる。ここで，たとえば調査箇所④では，測定点側の平面道路の影響が卓越しているが，この平面道路の下り側にマンホールが存在するため，マンホール上を車両が走行する際の振動の影響が顕著に現れているものと考えられる。

このようにほぼ同一形式構造の都市内高架道路の同一路線内においても，一般道路の併設形態や路面状況により，その振動エネルギーの寄与率に相違があることがわかる。したがって，的確・迅速な振動対策を行うには，このような道路維持管轄別の振動エネルギー寄与率の考え方が必要になるものと考えられる。

表-3 モデル集計結果

調査箇所	調整済み重相関係数の自乗値	F値変化量の有意確率	ダービン・ワトソン比	分散分析の有意確率
①	0.965	0.006	0.594	0.000
②	0.959	0.030	1.250	0.000
③	0.943	0.009	1.447	0.000
④	0.903	0.000	0.986	0.000
⑤	0.838	0.019	0.941	0.000

表-4 非標準化偏回帰係数

調査箇所	高架道路		平面道路		測定点の位置
	上り線	下り線	上り線	下り線	
①	2.58E-03			1.64E-02	上り
②		6.81E-03		7.88E-03	下り
③	2.98E-03		2.01E-02		上り
④				9.13E-03	下り
⑤	1.37E-03	1.70E-03			上り

$$L_{eq_i} = 10 \log_{10} E_i \quad (4)$$

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \sum_{i=1}^n E_i \quad (5)$$

L_{eq_i} ：各道路の振動レベルのエネルギー平均値

L_{eq} ：全体の振動レベルのエネルギー平均値

(5) 実測値と推計値の分布と推計精度

振動レベルのエネルギー平均値の実測値と推計モデルによる推計値との分布を検討した。図-6は、全調査箇所の実測値と推計値の分布を表したものである。これによると、振動エネルギーが大きいほど実測値と推計値の乖離は小さくなることから、振動レベルは、大きな振動レベルの領域が苦情の対象となることから、このエネルギー平均値の小さな領域における実測値と推計値の乖離は問題とならないと考える。

5 まとめ

地球・地域環境問題の解決は、複雑に絡み合った要因により生じている事象に対し、その発生源となる現象を明らかにし、対策を講じることが重要である。

本論文では、道路周辺における交通振動の発生に関する一課題として、高架道路と平面街路が複合する複合道路構造における各々の振動エネルギーの寄与を分離し、発生源を特定する手法の提案を試みた。

本手法の実用性を検討するために行った道路構造の異なる5箇所における実測データを用いた結果によると、振動のエネルギー平均値のモデル化による推計値の時刻変動パターンは、実測値の時刻変動パターンとはほぼ整合がとれていることがわかった。また、算出された振動エネルギーの寄与率を用いて、各道路の振動エネルギーの寄与率と交通条件に整合性のあることを確認した。このように、ここで提案した手法は、一般的に行われる振動測定によって得られるデータを利用することにより、大まかではあるが複合道路における振動源を特定できるため、振動対策の実務において的確・迅速な対処方法の一助となるものと考えられる。

参考文献

- 1) 徳永法夫, 西村昂, 日野泰雄, 大竹由紀夫: 連続高架道路と平面道路の道路交通振動特性に関する一考察, 交通科学, Vol.27, No.1/2 (合併号), pp.25-32, 1998
- 2) 山本豊, 徳永法夫, 西村昂, 日野泰雄: 都市内交通振動の主たる振動源に関する一考察, 土木学会第52回年次学術講演会講演概要集, 第7部, VII-70
- 3) 徳永法夫, 西村昂, 日野泰雄, 山本豊: 都市内交通振動の振動源に関する一考察, 第17回交通工学研究発表会論文報告集, 1997
- 4) 財団法人道路環境研究所編: 道路環境影響評価の技術手法, 第2巻, pp.293~317, 2000.11
- 5) 社団法人 交通工学研究会編: 交通工学ハンドブック, 技報堂出版, 第1版3刷, 1991
- 6) 武藤眞介著: 統計解析ハンドブック, 朝倉書店, p.218, 初版第二刷, 1996
- 7) 田中豊, 垂水共之, 脇本和昌編: パソコン統計解析ハンドブック II 多変量解析編, 共立出版株式会社, 初版15刷, 1989

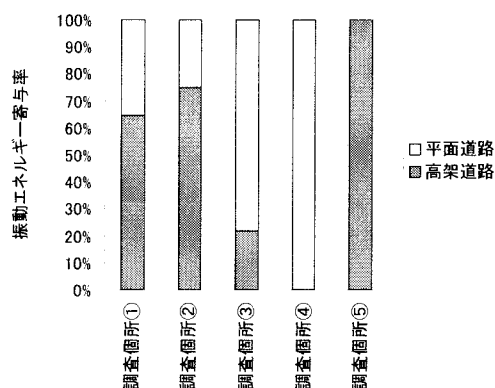


図-5 高架道路、平面道路別の振動エネルギー寄与率

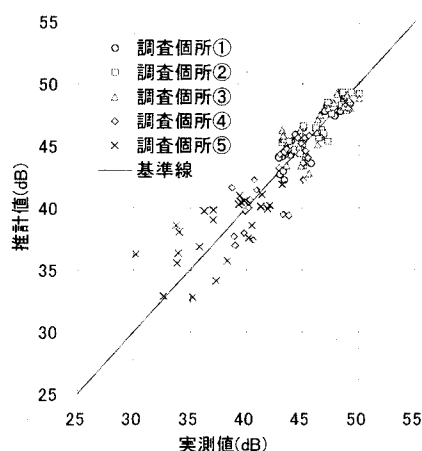


図-6 実測値と推計値の分布 (全調査箇所)