

博士学位論文

(内容の要旨及び論文審査の結果の要旨)

Maruyama Mitsunobu

氏名 丸山 光信
学位の種類 博士 (工学)
学位記番号 博 乙 第26号
学位授与 平成25年2月28日
学位授与条件 学位規定第3条第4項該当
論文題目 動的モデルによる道路交通騒音の予測・評価手法に関する研究
(Study on the prediction and evaluation method for road traffic noise based on a dynamic model)
論文審査委員 (主査) 教授 井 研治¹
(審査委員) 教授 江口 一彦¹ 教授 飯吉 僚¹ 教授 安田 仁彦² 教授 久野 一宏¹

論文内容の要旨

動的モデルによる道路交通騒音の予測・評価手法に関する研究

(Study on the prediction and evaluation method for road traffic noise based on a dynamic model)

道路交通騒音 (RTN) は等価騒音レベル (L_{AeqT}) による評価が国内外で主流となっているが、目下のところ次のような課題が残されている。(1) 安定した L_{AeqT} を得るための実測時間長 T をどのように設定すべきか? (2) 騒音暴露の概要や騒音に対する日常的な印象は L_{AeqT} で評価できるにしても、全て L_{Aeq} で評価できる訳ではない。特に夜間の睡眠への影響を評価する場合には騒音のピークレベルの挙動や変動幅に関する情報が必要不可欠である。既存の予測モデル (静的モデル) では L_{AeqT} の算定はできても上記計測上の問題 (T の選定) や変動騒音の評価に重要なピーク値や変動幅の予測に対しては無力である。本論文は時々刻々と変動する高速道路沿道での騒音を予測・推定するための適切な動的モデルを提案し、上記課題の解決を目指すものである。道路交通騒音 (RTN) は等価騒音レベル (L_{AeqT}) による評価が国内外で主流となっているが、目下のところ次のような課題が残されている。(1) 安定した L_{AeqT} を得るための実測時間長 T をどのように設定すべきか? (2) 騒音暴露の概要や騒音に対する日常的な印象は L_{AeqT} で評価できるにしても、全て L_{Aeq} で評価できる訳ではない。特に夜間の睡眠への影響を評価する場

合には騒音のピークレベルの挙動や変動幅に関する情報が必要不可欠である。既存の予測モデル (静的モデル) では L_{AeqT} の算定はできても上記計測上の問題 (T の選定) や変動騒音の評価に重要なピーク値や変動幅の予測に対しては無力である。本論文は時々刻々と変動する高速道路沿道での騒音を予測・推定するための適切な動的モデルを提案し、上記課題の解決を目指すものである。

本論文は7章からなっている。各章の内容は次のとおりである。

1章では、RTNを予測・推定するためにこれまで国内外で開発された代表的な数学モデルを紹介するとともにその開発の経緯について述べている。更に、既存の静的モデルによる予測・推定手法の特徴を概観すると共にその問題点を要約した。即ち、

① 静的モデルでは L_{AeqT} や中央値 L_{A50} など、特定の評価量を算定することを目的とし、実用性を重要視した予測を実現している。その反面、

② 時間と共に変動する現実のRTNが有する動的な諸特性を把握することはできない。なお、後の6章でRTNの変動幅を算出する際に用いる近似法 (最近接音源モデル) についても言及している。

2章では、RTNの時間的変化の様子を表現する動的モデルを提案している。動的モデルは L_{AeqT} 、時間率騒音レベル L_{ANr} 、ピークレベル L_{AFmax} やその出現頻度、騒音レベル L_{pA} の変動幅、累積度数分布などRTNに関するあらゆる量を求めることができる。更に、モンテカルロシミュレーションにより交通流を発生させその時間的変化に伴う沿道の騒音レベルを追跡する。本モデルによって算出された5

1 愛知工業大学 工学部 電気学科 (豊田市)

2 愛知工業大学 工学部 機械学科 (豊田市)

分間の L_{pt} は実測値と比較検討され2dBの許容誤差範囲内で良く一致している。また、このモデルに基づき計算した L_{Aeq1h} は、実測値結果と国内外の各々代表的な静的モデルと比較検討した。結果として、本モデルに基づき算出した L_{Aeq1h} は、実測値と±1dBの許容誤差範囲内で極めて良く一致した。

3章では、提案する動的モデルを使って、

① 適切な実測時間 T を選定し、かつ T を含む基準時間長での信頼できる $L_{\text{Aeq}T}$ の値を推定するための方法についてシミュレーション実験から検討した。更に、 T 中の通過車両台数 n と $L_{\text{Aeq}T}$ の関係を統計的推定法から考察した。

② 騒音レベルのピーク値 L_{max} の時間間隔を表す2つの動的統計量、平均時間間隔(\bar{t})と平均再来時間($\bar{\Theta}$)を新たに導入して、安定した $L_{\text{Aeq}T}$ を得るために必要とされる最小測定時間長についてシミュレーション実験から検討した。①の結果から、Poisson交通流に対して実測時間 T 中、 $n=70$ 台の通過車両台数を計測すれば75%以上の信頼度で $L_{\text{Aeq}T}$ を精度良く(±1dB以内の誤差)測定できる。また、 $n=170$ 台とすれば90%以上の信頼度が得られることがわかった。②の結果から、騒音レベルのピーク値 L_{max} の平均再来時間 $\bar{\Theta}$ と上述の測定時間 T との間には $T \cong (1 \sim 3)\bar{\Theta}$ なる関係があることを示した。

4章では、動的モデルに基づくシミュレーションと簡易計算により昼間と夜間の $L_{\text{Aeq}T}$ のレベル差及び各時間帯でのピークレベル L_{AFmax} と $L_{\text{Aeq}T}$ のレベル差等について検討を行い、

① 昼間と夜間の $L_{\text{Aeq}T}$ 値は観測距離が一定のとき、交通量、大型車混入率及び平均車速度に大きく依存する。従って、これら相互の交通条件の補充関係によっては夜間の $L_{\text{Aeq}T}$ 値は昼間の値と比べてほとんど低下しないことがありうる。

② 交通量及び大型車混入率の増減は、直接 L_{AFmax} 値に寄与しない。 L_{AFmax} 値は平均車速度の増減に大きく依存する。

③ L_{AFmax} と $L_{\text{Aeq}T}$ のレベル差は昼間に比し夜間において大きくなる等の知見を得た。

5章では、シミュレーション(動的モデル)によりピークレベル L_{AFmax} について種々考察を行い、

① L_{AFmax} の値は交通量や大型車混入率よりも車速度への依存度が高い。

② L_{AFmax} の発生回数は交通量や大型車混入率に依存するが車速度には依存しないことなどを示した。また、大型車に着目し、 L_{AFmax} の挙動を精度良く予測し得る簡易な近似法を提案した。

6章では、最近接音源法を適用してRTNの変動幅を求

め、

(1) 結果としては2dB以内で実測値と一致する。

(2) 変動幅は主として交通量と観測距離により決定される。

(3) 交通量が少ない程、また観測距離が道路に近い程最近接音源の影響が強く、変動幅が大きくなる。

(4) 交通量が多い程、観測点が高い程、バックグラウンド音源(最近接音源以外の音源)の影響が強くなり、変動幅は小さくなることなどの知見が得られた。

7章では、変動する高速道路沿道での騒音を予測・推定するための動的モデルの提案とその有効性を示すと共に騒音の測定及び予測・評価に関する基本的な課題を取り上げ、種々の成果をまとめた。又、今後更なる研究すべき課題を挙げた。

論文審査結果の要旨

平成11年に新しい環境基準が施行され、環境省では毎年、環境基準達成状況を発表している。平成21年の発表では、一般国道に近接する住宅の25%が基準値を越え、夜間や高速道路沿いでは測定地点のそれぞれ52%、15%が基準を超えているが、このような評価は、観測した騒音レベルの変動曲線をもとに、そのエネルギー平均値(等価騒音レベル; $L_{\text{Aeq}T}$)を用いて行われている。

道路交通騒音は、交通量、平均車速、大型車混入率等が複雑に影響し合って生み出されるが、行政が騒音低減を効率的に行うには、交通量を始めとするこれら複数のパラメータが等価騒音レベル($L_{\text{Aeq}T}$)にどのように影響するか、十分把握しておく必要がある。

本研究は、内外で道路交通騒音の共通の評価値となっている等価騒音レベルを精度良く予測・推定する目的で、新しく動的モデルを提案している。さらに、安定した等価騒音レベルを得るための測定時間決定方法、および、既存の予測モデル(静的モデル)で解決不可能であったピーク値や変動幅などのパラメータが、提案モデルによって高精度で予測できることを示したものである。

本論文は合計7章から構成されている。

1章では、道路交通騒音を予測・推定するためにこれまで国内外で開発された代表的な数学モデルを紹介し、その開発経緯について述べ、既存のモデル(静的モデル)による予測・推定手法の特徴を概観するとともに、次のような問題点を指摘した。すなわち、既存のモデル(静的モデル)は、特定の評価量のみを算定することを目的としており、また実際の道路交通騒音に見られる昼夜におけるパラメータ変動などは、考慮されない。このよう

な静的モデルに付随する問題点を克服するため、本論文は次の章で新しいモデルの提案を行っている。

2章は本研究の中心的な部分であり、道路交通騒音の時間的変化までも表現可能な新しい動的モデルを提案した。これは直線状の道路を自由走行する車群の車間距離に最小値を条件付け、交通量、平均車速、大型車混入率等を考慮して騒音を計算し、音響学的な距離減衰に従うものとしてモデルを構築したものである。この動的モデルは等価騒音レベルはもちろん、従来は個別のモデルを必要とした時間率騒音レベル、ピークレベルやその出現頻度、騒音レベルの変動幅、累積度数分布など、道路交通騒音に関するあらゆるパラメータを求めることができる多機能性を有しており、この点が非常に有用であると認められる。本モデルの精度は、算出された5分間にわたる騒音レベルを実測値と比較検討した結果、2dBの範囲で良く一致している。また、このモデルに基づき計算した1時間にわたる等価騒音レベルを国内外の各々代表的な静的モデルの推定結果と比較検討した結果、誤差は±1dBで極めて良く一致しており、これらから提案モデルの有効性を確認している。

続いて3章では、提案した動的モデルを用い、まず、信頼できる等価騒音レベルの推定方法について検討している。そこでは測定時間における通過車両台数 n と等価騒音レベルの関係を考察し、例えば、信頼度を75%以上で、等価騒音レベルを誤差±1dB以内に収めるには、Poisson交通流に対して通過車両台数 n が70台に達するまで計測すればよいことを結論づけている。さらに、 $n=170$ 台まで測定を続ければ信頼度は90%以上になること、などを示し、現場での測定指針を簡便な形で示している。さらに、騒音レベルのピークをもとに、等価騒音レベルが安定するまでの測定時間の関係を導き、その平均再来時間の1~3倍に選べばよいことも示している。

4章では、動的モデルに基づく計算結果から、いくつかのレベル差について検討を行い、以下の知見を得ている。まず、道路までの観測距離が一定のとき、昼夜間の等価騒音レベルは、交通量、大型車混入率、平均車速度に大きく依存する性質を見いだしている。さらに、パラメータの条件によっては、通常低下する夜間の等価騒音レベルが、昼間に比べてほとんど低下しない場合も起こりうることも併せて示している。

また、ピークレベル(L_{AFmax})は、交通量及び大型車混入率には影響されず、平均車速度に大きく依存する傾向があることを示している。ピークレベルと等価騒音レベルのレベル差についても、昼間に比し夜間において大きくなることを述べている。

さらに、5章では、シミュレーション(動的モデル)によりピークレベルについて種々考察を行っている。特に、

ピークレベルの値は交通量や大型車混入率よりも車速度への依存度が高いこと、また、ピークレベルの発生回数は交通量や大型車混入率に依存するが、車速度には依存しないこと、などを示している。また、大型車に着目し、ピークレベルの挙動を精度良く予測し得る簡易な近似法を提案している。

6章では、多数の音源群に、近くの音源のみ重視する最近接音源法を適用して道路交通騒音の変動幅を求めた。その結果、変動幅は2dB以内で実測値と一致すること、変動幅は主として交通量と観測距離により決定されること、最近接音源の影響は、交通量が少ないとき、あるいは観測距離が道路に近いときに顕著で、等価騒音レベルの変動幅は大きくなること、反対に交通量が多く、観測点が遠ければ、バックグラウンド音源(最近接音源以外の音源)の影響が強くなり、変動幅は小さくなること、等の知見を得ている。

最後に7章では、本研究のまとめを行い、動的モデルの有効性を示している。また、騒音の測定及び予測・評価に関する基本的な課題を取り上げ、本研究で得られた種々の成果をまとめ、今後、研究すべき課題についても言及している。

以上に述べたように、本論文は等価騒音レベル(L_{Aeq})を精度良く予測・推定する目的で、従来にはない動的モデルを新しく提案し、その有効性を示すことに成功した。そして、このモデルによって安定した等価騒音レベルを得るための測定時間の決定方法を明らかにし、現場での測定に有用な指針を与えた。また、既存の予測モデル(静的モデル)で解決不可能であったピーク値や変動幅の予測が、提案モデルによって高精度で行えるようになったことは、評価に値する。従って本モデルは、今後、騒音軽減に対するきめ細かな対策を講じる際、有力なモデルとしての活用が大いに期待される。

このように本研究の成果は、学術上、工学に寄与するところが大である。よって審査委員会は本論文提出者丸山光信氏を、博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと判定した。

(受理 平成 25 年 3 月 19 日)