

実車走行音を用いた道路交通騒音評価システムの構築

中央大学大学院	学生員	○ 江嶋 孝
中央大学大学院	学生員	守屋 陽平
中央大学	正会員	檜山 和男
建設環境研究所	正会員	志村 正幸
清水建設	正会員	谷川 将規

1. はじめに

著者らは既往の研究において、VR(Virtual Reality) 技術に基づいた道路交通騒音評価システム¹⁾の構築を行った。このシステムは、幾何音響理論を用いて道路交通騒音のシミュレーションを行い、その結果を CG 映像と共に可聴化して利用者に提示するものである。しかし、可聴化の際に使用した自動車走行音は、車種が特定されていないものを用いており、それを全ての車種に対して用いていたため、混合交通の道路騒音シミュレーションの可聴化を行うことが困難であった。

そこで本研究では、車種および走行速度の違いを明確に表現するために大型トラックおよび普通車の実車走行試験による走行音採取して、それらを定常音に変換した上でシステムに実装した。

2. 道路交通騒音評価システム

(1) システム概要

本システムは、没入型投影技術に基づき構築した VR 空間内で道路交通騒音の予測結果の可聴化を行い、聴覚情報を計算条件に対応した道路環境 CG と共に提示するものであり、図-1 に示す 4 つの機能を有している。(a) 観測者はコントローラーを用いて VR 空間内を自由に移動することができる。(b) 自動車の走行速度、走行距離などの自動車の走行条件を自由に変更できる。(c) 建物、高架橋、盛土、切土、遮音壁の高さ、道路の舗装(排水性舗装、密粒性舗装)の種類など道路周辺環境を自由に変更できる。(d) 車種(普通車、小型貨物車、中型車、大型車、バイク)を自由に変更できる。次に結果表示には、(A) 可聴化機能と (B) 可視化機能の 2 つの方法がある。可聴化機能は、計算された音圧レベルを CG 映像に合わせて、聴覚情報として観測者に提示する方法である。可視化機能は、計算された音圧レベルを等値面として提示する方法である。

(2) 音圧レベルの算出

本システムでは、日本音響学会が作成した道路交通騒音予測モデル ASJ RTN-Model2008²⁾に基づいており、高速に計算を行うことができる。A 特性音響パワーレベルを算出し、次に直接音、反射音それぞれの伝播計算を行う。そして最後に、直接音、反射音それぞれの音を合成する。

(3) 道路交通騒音の可聴化

本システムでは、計算結果の可聴化として音響プログラミングソフトである MAX (Cycling '74 社)を用いている。詳細については参考文献 1) を参照されたい。また複数の自動車を走行させる場合には、独立した自動車音源でそれぞれの A 特性音響パワーレベルの算出および受音点までの伝

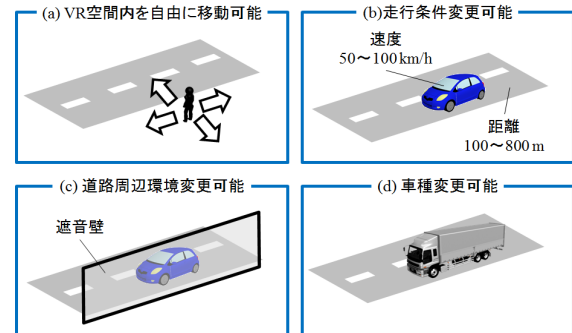


図-1 本システムの概要図



図-2 試験を行っているときの様子

播計算を行い、同時にそれぞれの音を観測者に提示する。

3. 車種、速度別車両音源データの適用

(1) 走行音データの採取試験

普通車および大型車(10t トラック)での 50~100km/h の合計 12 種類の走行音データを採取した。図-2 に試験を行っているときの写真を示す。試験は、国土技術政策総合研究所試験走路で行われ、走行音の収録には騒音計およびデータレコーダを用いた。

(2) 定常音の作成

図-3 に逆解析の模式図を示す。測定するデータは、自動車が騒音計の前を通過するときの音であり、その結果を図-4 に示す。音圧レベルのピーク時は、図-3 に示す騒音計の直前を通過した瞬間、時刻 0 の時である。車両音源データの定常音を作成するために、音圧レベルの逆解析を行う。時刻 T_1 において車両が発する音圧レベル $S(T_1)$ を、騒音計から得られた測定音圧レベル $S'(T'_1)$ と直達距離 $R(T_1)$ を用いて算出を行う。測定音圧レベル $S'(T'_1)$ は、車両が発する音圧レベル $S(T_1)$ に距離減衰やノイズ α を足し合わせたものから構成されるとすると次式で表される。

$$S'(T'_1) = \frac{1}{R(T_1)} \cdot S(T_1) + \alpha \quad (1)$$

KeyWords: Virtual Reality, 道路交通騒音評価システム, 実車走行音

連絡先: 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 E-mail: ejima@civil.chuo-u.ac.jp

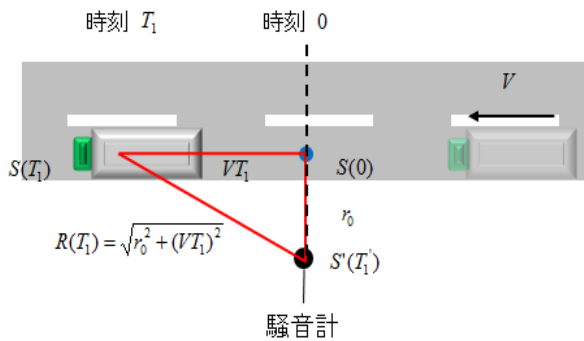


図-3 騒音測定および逆解析の模式図

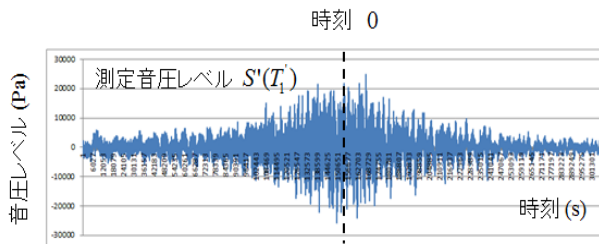


図-4 測定した走行音データ

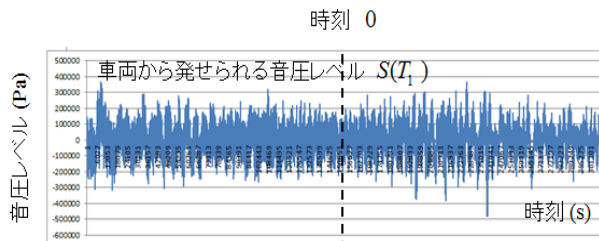


図-5 逆解析により平滑化を行った結果

ここで、距離減衰やノイズは無視できるほど影響が小さいとすると、車両が発する音圧レベル $S(T_1)$ の騒音計への到来時刻 T'_1 は次式のように表される。

$$T'_1 = T_1 + \frac{R(T_1)}{c_0} = T_1 + \frac{\sqrt{r_0^2 + (VT_a)^2}}{c_0} \quad (2)$$

式 (1) において T_1 を T'_1 の関数として表すことができれば車両が発する音圧レベル $S(T_1)$ を算出することが可能である。

そのため、式 (2) を整理し解の公式を用いると次式のように表される。

$$T_1 = \frac{2T'_1 + \sqrt{4T'^2_1 - 4(1 - M_0^2)(T'^2_1 - Q_0^2)}}{2(1 - M_0^2)} = F(T'_1) \quad (3)$$

式中の変数は $M_0 = \frac{V}{c_0}$ 、 $Q_0 = \frac{r_0}{c_0}$ を表しており、 $T_1 < T'_1$ であるため 1 つの解が求まる。最終的に車両が発する音圧レベル $S(T_1)$ は以下の式で表される。

$$S(F(T'_1)) = S'(T'_1) \cdot R(F(T'_1)) \quad (4)$$

図-5 に逆解析により平滑化を行った結果を示す。なお、使用した音源データは大型車の 90km/h のデータである。しかし逆解析により平滑化を行い音圧レベルを均一にしても、車両の指向性とドップラー効果の影響によるピークの前

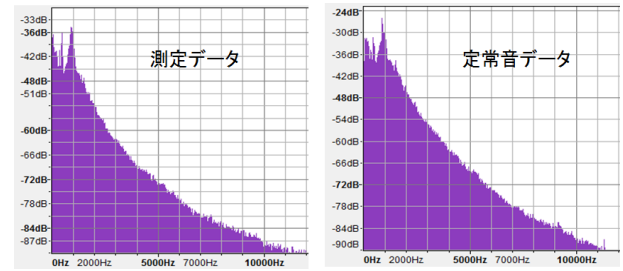


図-6 スペクトルによる比較

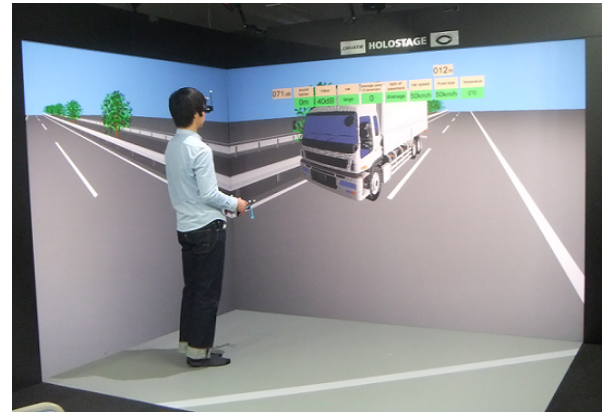


図-7 観測者がシステムを利用している様子

での音色の違いを完全に消し去ることはできない。そこで、デジタル・オーディオ・エディタ Audacity の機能を用い、前後反転データを重ね合わせることで音色の違いを消し去ることを行った。また、本論文では、作成した定常音が自動車の周波数成分を持つことを確認するために、スペクトルにおける比較を行った。図-6 に示す左のグラフが元データ、右のグラフが作成した定常音のデータであり、それぞれ同様のスペクトル特性を示している。図-7 には、大型車の車両音源を本システムに実装し、観測者が利用している様子を示す。

4. おわりに

本論文では、既往の道路交通騒音評価システムに実車の車両音源データを実装し、以下の結論を得た。

- 車種および走行速度別の車両音源データをシステムに実装することで、システムのリアリティが向上した。
- 作成した定常音と元の音源データのスペクトルによる比較を行い、ほぼ同様の傾向であることが確認できた。

今後はシステムの適用性の更なる向上として、複数の建物が配置された複雑な音場でのシミュレーションを可能にすることを目的としている。

参考文献

- 1) 田近伸二, 檜山和男, 志村幸行: VR 技術を用いた対話型道路交通騒音評価システムの構築, 応用力学論文集, 土木学会, Vol.13, pp.231-240, 2010.
- 2) 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会: 道路交通騒音の予測モデル"ASJ RTN-Model 2008", 日本音響学会誌, Vol.65, pp.179-232, 2009.