

(9) VR 技術を利用した道路交通騒音評価システムの構築

Development of a Road Traffic Noise Evaluation System
Using Virtual Reality Technology柴田啓輔¹・檜山和男²・志村正幸³・谷川 将規⁴

Keisuke SHIBATA, Kazuo KASHIYAMA, Masayuki SHIMURA, Masaki TANIGAWA

抄録：本論文は、VR技術を利用した幾何音響理論に基づく道路交通騒音のリアルタイムシミュレーションシステムの提案を行うものである。本システムの特徴は、没入型VR装置内において騒音のシミュレーション結果を、等値面による視覚情報として提示するとともに道路周辺のCG映像とともに聴覚情報として提示する点にある。本論文では、システムの適用性の向上を目的として、適用可能な車種および道路周辺環境の追加を行った。

キーワード：道路交通騒音、幾何音響理論、バーチャルリアリティ

Keywords : road traffic noise, geometric acoustic theory, virtual reality

1. はじめに

道路交通騒音はストレス、不眠症などの影響を人体に与える恐れを多分にはらんでおり、その影響について評価・検討することは非常に重要である。そのため、幾何音響理論や波動音響理論に基づいた数値シミュレーションが行われている。しかし、得られたシミュレーション結果はCGを用いて可視化されるのが一般的であり、騒音の大きさを直観的に把握・理解することは困難であった。そこで著者らは既往の研究において、VR空間内で道路交通騒音のシミュレーションを実行し、その結果をリアルタイムで可聴化を行い、道路周辺のCG映像とともに聴覚情報を用いて騒音のシミュレーション結果を提示するシステムの構築¹⁾を行った。

しかし既往のシステムでは、考慮できる車種が普通乗用車と二輪車のみであり、また考慮できる道路環境も平面道路のみと、適用性が限定的であった。

そこで本研究では、システムの適用性の向上を目的として、より複雑かつ多様な環境に適用可能とした。具体的には、車種として、従来の普通乗用車、二輪車に加え、小型貨物車、中型車、大型車を、道路周辺環境として切土、盛土環境における騒音の評価・検討を可能とさせた。また、道路周辺環境構造として、高架橋構造に関しては、従来のシステムでは高架橋の下を

自動車が走行した場合のシミュレーションのみが可能であったが、高架橋上を自動車が走行した際のシミュレーションも可能とした。上記の条件は全て、VR空間内にいながらコントローラを用いて選択可能である。システムの開発に利用しているVR装置の詳細については参考文献1)、2)を参照されたい。

2. VR技術を用いた道路交通騒音評価システム

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視化および可聴化を行い、視覚情報と聴覚情報の二種類の情報を提示するものである。図-1に示すように、移動する自動車のCG映像と観察者の位置関係に対応した音圧レベルを音として可聴化する機能((a)可聴化機能)と、時間を固定して、その時点での音圧レベルの空間的広がりを等値面として可視化する機能((b)等値面可視化機能)の2つを有している。また、本システムは図-2に示すように、3つの特徴を有している。1)観察者はVR空間内の任意の場所に移動することが可能である(図-2(A))。2)観察者はVR空間内で遮音壁の高さ、構造物の有無など周辺環境を変更することが可能である(図-2(B))。3)観察者はVR空間内で自動車

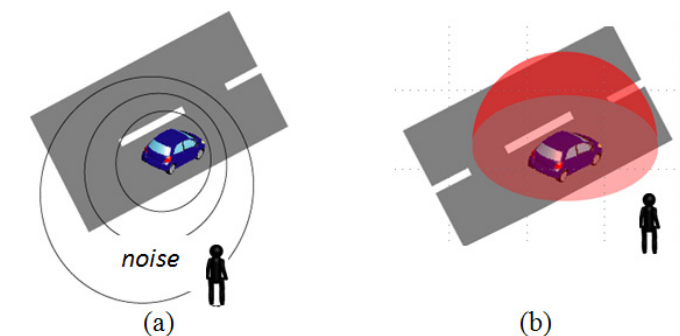
1：学生会員 中央大学大学院 理工学研究科 土木工学専攻

(〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27, Tel : 03-3817-1815, E-mail : shibata_k@civil.chuo-u.ac.jp)

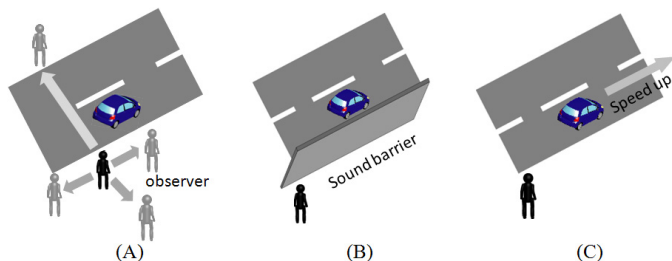
2：正会員 工博 中央大学 教授 理工学部 都市環境学科

3：正会員 工博 (株)建設環境研究所 技術本部

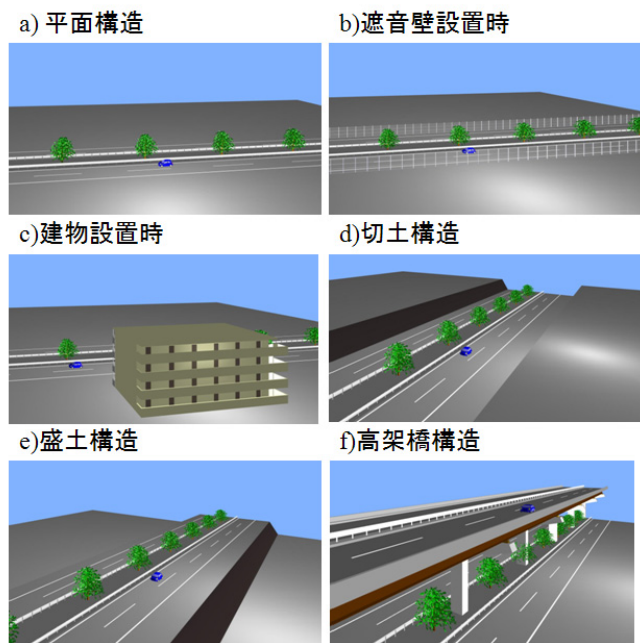
4：清水建設(株) 技術研究所



図－１ 本システムの概要図



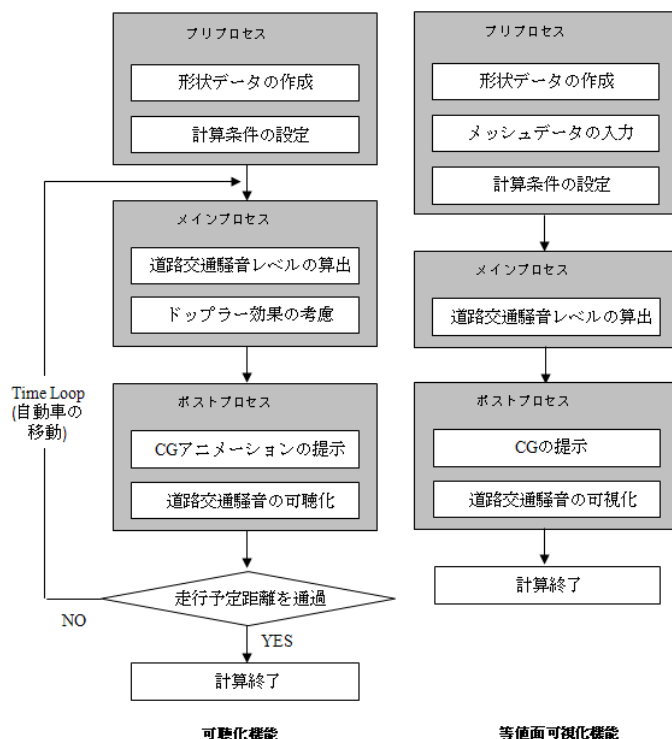
図－２ 本システムの特徴



図－３ 本システムの周辺環境構造物

の種類，速度など走行条件を変更することが可能である（図－２（C））。

図－３は本システムで選択可能な周辺環境構造物である。既往のシステムで選択可能であったa)平面，b)遮音壁，c)建物に加え，d)切土，e)盛土環境での騒音の大きさを評価・検討することを可能とした。また，道路周辺環境構造として，f)高架橋に関しては，従来



図－４ 本システムの概要図

のシステムでも選択可能であったが，高架橋上を走行した際のシミュレーションは可能ではなかったため，本システムでは可能とした。

図－４に，(a)可聴化機能，(b)等値面可視化機能それぞれの方法のフローチャートを示す。以下，図－４に示すフローチャートに沿って本システムの処理工程の詳細について記す。

(１) プリプロセス

a) 形状データの作成

道路周辺に建設する遮音壁，高架橋，建物および自動車（小型貨物車，中型車，大型車など）の形状データを作成する。なお本システムでは，三次元CADソフト (AutoCAD:Autodesk および 3dsMax: Auto desk) を用いてこれらの形状データの作成を行った。

b) メッシュデータの入力

騒音レベルの等値面の三次元表示を行うため，必要となる道路周辺に生成したメッシュデータの入力を行う。節点数 67, 626, 要素数 375, 000 の四面体のメッシュデータ（道路横断面の水平方向 2m, 鉛直方向 1.2m, 奥行き方向 2m）を入力した。

c) 計算条件の設定

道路交通騒音レベルの算出を行う際に必要な入力データは，自動車の位置情報，走行条件，道路の周辺環境である。受音点の位置情報は VR 装置に備わっているトラッキング装置により逐次計算されている。

(２) メインプロセス

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の ASJ RTN-Model2008³⁾ を用いて道路交通

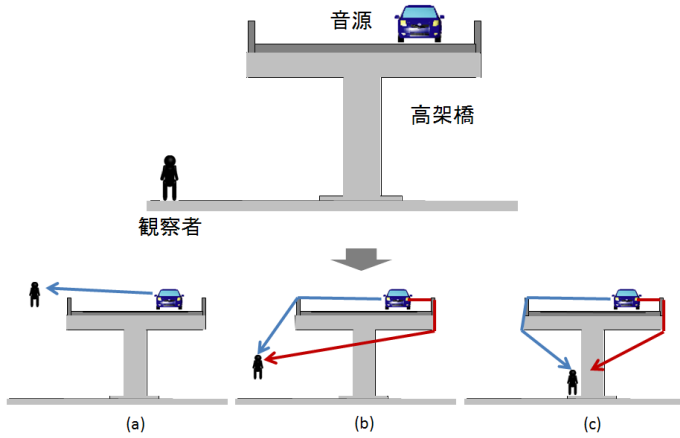


図-5 高架橋上を走行する場合の計算手法図

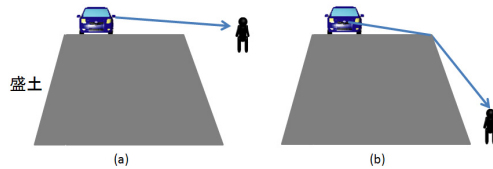


図-6 盛土が存在する場合の計算手法図

騒音レベルを算出している。以下本研究での計算手法について詳細を記す。音源の A 特性パワーレベル L_{WA} は次式で与えられる。

$$L_{WA} = a + b \log_{10} V + C \quad (1)$$

ここで係数 a は車種別に与えられる係数であり、それぞれ、普通乗用車 46.4、二輪車 49.6、小型貨物車 47.6、中型車 51.5、大型車 54.4 である。 b は速度依存性を表す係数、 V は走行速度 $[Km/h]$ 、 C は各種要因による補正項である。なお複数の伝播計算を考慮する必要がある場合、減衰計算後の音圧レベル L_A は次式で計算する。

$$L_A = 10 \log \left(\sum_{i=0}^{i_{\max}} 10^{\frac{L_{A,i}}{10}} \right) \quad (2)$$

ここで $i_{\max}$ は行った伝播計算の数、 $L_{A,i}$ は伝播計算後の各音圧レベルの値である。

各係数、減衰を考慮した伝播計算後の音圧レベル L_A 、既往の研究で成された環境下での計算手法、およびドップラー効果の考慮の詳細については参考文献 1) を参照されたい。本項では新たに計算可能とした環境に関して詳細を述べる。

a) 高架橋上を走行する場合

図-5 は高架橋上を自動車が行く場合の伝播計算手法を示したものである。観察者から音源が直視可能な場合(図-5 (a))は直接音のみを計算する。一方、観察者から音源が直視できない場合(図-5 (b), 図-5 (c))は回折音を計算し、式(2)を用いて合成する。

b) 盛土が存在する場合

図-6 は、盛土が存在する場合の、伝播計算手法を示したものである。図-6 (a)のように直接音源が直視

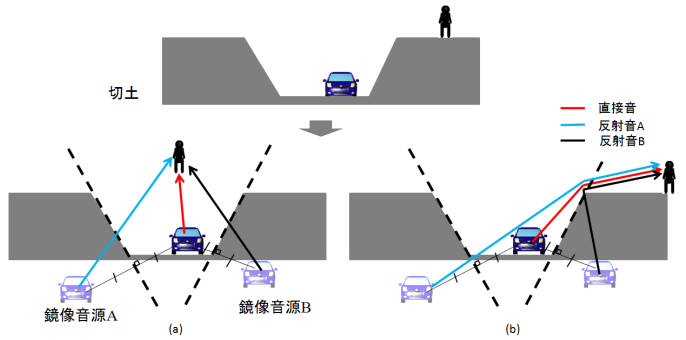


図-7 切土が存在する場合の計算手法図



図-8 昼夜環境

できる場合は直接音を、図-6 (b)のように直視できない場合は回折音を計算する。

c) 切土が存在する場合

図-7 は切土が存在する場合の、伝播計算手法を示したものである。観察者が、音源を直視することができる場合(図-7 (a))、音源からの直接音に加え、壁からの反射を考慮するべく鏡像音源からの伝播計算も行っている。また、観察者から音源が直視できない場合(図-7 (b))に関しても、音源からの伝播計算に加え、反射の計算を同様に行っており、さらに回折に関しても考慮している。それぞれの伝播計算を行った後、式(2)を用いて合成する。

(3) ポストプロセス

a) CG の提示

自動車および道路周辺の CG 映像を VR 空間に提示する。なお提示する CG 映像は、コントローラを用いて入力した計算条件に応じて対話的に変化する。また、可聴化機能を選択した場合には、自動車位置は音による聴覚情報と共にアニメーションとして提示される。

b) 道路交通騒音レベルの可聴化

本システムでは可聴化機能を選択した場合、音響プログラミングソフト MAX/MSP⁴⁾を用いて予測結果の可聴化を行っている。詳細は参考文献 1)、2) を参照されたい。

c) 道路交通騒音レベルの可視化

等値面可視化機能では、計算条件の設定で指定した等値音圧レベルの等値面を描画することにより、道路交通騒音の可視化を行う。詳細は参考文献 1)、2) を参照されたい。

なお、既往のシステムでは、道路交通騒音のシミュレーション結果の提示方法として、昼環境下にのみ対応さ

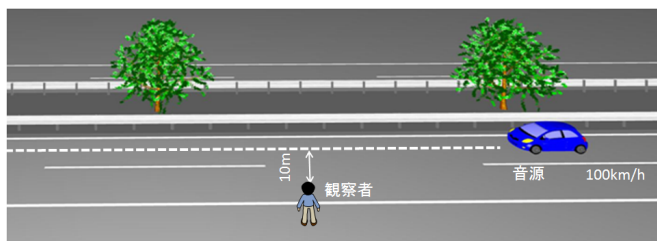


図-9 適用例 A (観察者～音源位置関係図)

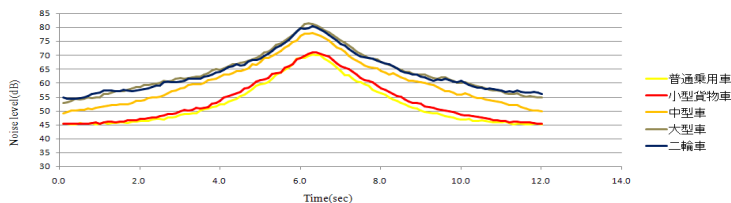


図-10 適用例 A 騒音計測値

せていたが、夜環境CGの提示もコントローラによって切り替えることを可能とした(図-8)。本機能は可聴化機能、等値面可視化機能の両機能において利用可能である。

3. 適用例

道路交通騒音の計算結果とVR空間において出力される音の大きさを一致させるためにキャリブレーションを行った。キャリブレーションの詳細は参考文献を参照されたい。キャリブレーションを行った後、車種ごとに出力される音の大きさの違いを、騒音計を用い、図-9の位置関係で計測した。図-10はその結果である。なお、計測時の暗騒音の大きさは45dB前後である。車種により、音の大きさが異なることを確認できた。

また本システムで適用可能とした、道路周辺環境に關しての適用例に關して示す。条件は図-11に示すとおり、平面部(Case1)、高架橋設置時(Case2)、盛土設置時(Case3)、切土設置時(Case4)である。同様に、出力される音の大きさの違いを、騒音計を用いて計測したものを図-12に示す。計測時の暗騒音の大きさは、同様に45dB前後である。道路周辺環境が異なることにより、伝播してきた音の大きさの違いが確認できた。また、高架橋設置時(Case2)、盛土設置時(Case3)、切土設置時(Case4)における、等値面可視化機能選択時の適用例を図-13に示す。なお描いた等値面の道路交通騒音レベルは50、55、60dBの3つである。構造物を回折することにより、騒音の伝播する範囲が変化している様子が確認できる。

4. おわりに

本論文では、既往のシステムの適用性に関する問題を解決するべく、車種(小型貨物車、中型車、大型車)、周辺構造物(切土、盛土)を適用可能とさせた。その結果、以下の結論を得た。

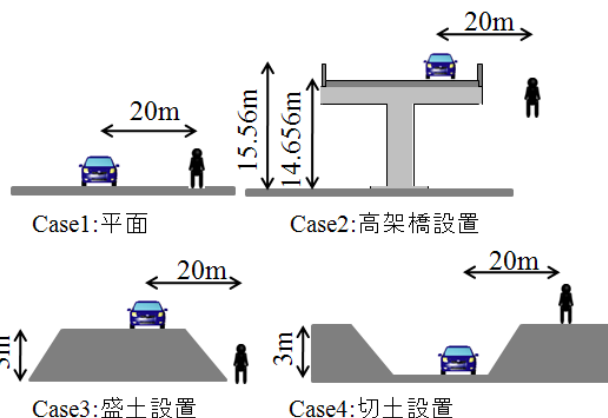


図-11 適用例 B (観察者～音源位置関係図)

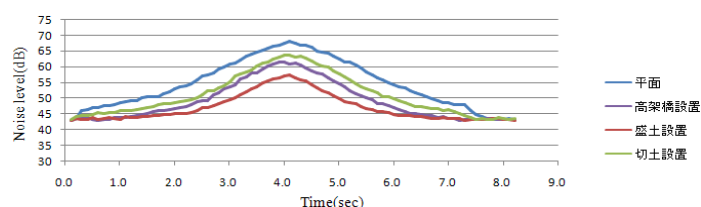


図-12 適用例 B 騒音計測値

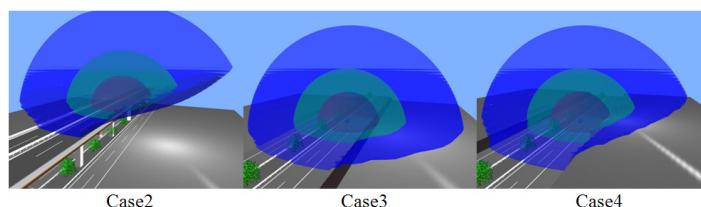


図-13 適用例 B (等値面可視化機能選択時)

1. シミュレーション可能な車種を増やすことで、多様な条件下での騒音の予測・検討を行うことが可能になった。
2. 周辺構造物を増やすことで、より複雑な道路環境下でのシミュレーションが可能となった。

今後は、本システムをより大規模で複雑な道路構造や道路周辺環境に適用可能とする予定である。また、本システムを用いて脳波などを測定することにより、システムから提示される自動車騒音と人間のストレスとの関係性を検討する予定である。

参考文献

- 1) 柴田啓輔, 田近伸二, 樫山和男, 志村正幸: 可視化・可聴化技術を用いた道路交通騒音評価システムの構築, 土木情報利用技術講演集, Vol.35, pp.25-28, 2010年10月
- 2) 田近伸二, 樫山和男, 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, Vol.13, pp.231-240, 2010年8月
- 3) 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年
- 4) ノイマンピアノ(赤松正行, 左近田展康): Maxオデッセイ, リットーミュージック, 2006年