

視覚・聴覚情報を用いた対話型道路交通騒音評価 VR システムの構築

中央大学大学院 学生員 ○ 柴田 啓輔
中央大学 正会員 榎山 和男
建設環境研究所 正会員 志村 正幸
清水建設株式会社 谷川 将規

1. はじめに

著者らは既往の研究において、幾何音響理論に基づく道路交通騒音シミュレーションを行い、その結果を立体視に基づく道路周辺の CG 映像とともに可聴化して音として、利用者に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、対象車種は普通乗用車に限られ、また道路環境も平面道路のみに適用可能となっていたため、適応性に課題があった。そこで本研究ではシミュレーション可能な車種数を増やし、混合交通騒音のシミュレーションを可能とした。また、昼夜別の CG 映像の切り替え、平面道路以外（切土、盛土等）についても適用可能とした。

2. VR 装置¹⁾

本研究で用いる没入型 VR 装置は、三面の大型平面スクリーンと、それぞれに対応する高性能プロジェクターで構成されている。観察者は、液晶シャッターメガネと呼ばれる特殊なメガネをかけることで立体映像を見ることが可能になり、コントローラーを操作することにより VR 空間内を自由に移動することが可能となっている。また、本システムは 7.1ch の音響装置を有しており、映像とともに音を出力することが可能である。

3. 本システムの処理工程

本システムの処理工程について、図-1 のフローチャートに沿って順に説明する。

(1) Pre-process

Pre-process ではまず、映像データとして提示する自動車、道路周辺構造物の形状データを作成する。なお、本研究では、三次元 CAD ソフト（AutoCAD：Autodesk および 3dsMax：Autodesk）を用いて、これらの形状データの作成を行った。そしてシミュレーションを行う際の条件となるデータの入力を行う。入力するデータは車種情報、走行速度、舗装路面の種類、路面施工後の経過年数、周辺構造物の有無である。

(2) Main-process

Pre-Process で決定した計算条件をもとに受音点における道路交通騒音レベルの算出を行う。算出に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-Model2008²⁾を用いる。このモデルは、幾何音響理論に基づいているためリアルタイムに計算を行うことが可能である。計算手順を、図-2 に示す。まず自動車の A 特性音響パワーレベルを算出し、次に伝搬計算を行う。伝搬計算例で

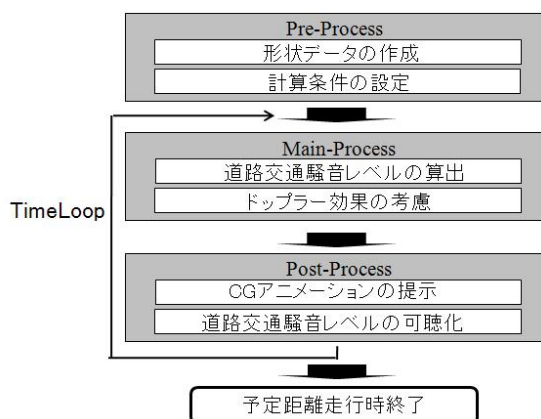


図-1 本システムの処理工程

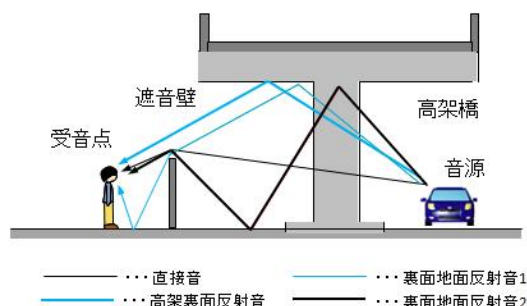


図-2 計算手順

は、自動車から直接伝搬する直接音と高架橋に反射して伝搬してくる反射音三種の、四種類の音を計算している。そして最後に直接音と反射音を合成することによって、観察者の位置における道路交通騒音の A 特性音圧レベルを求めている。

a) 混合交通騒音計算手法

自動車走行騒音の 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、 a は車種別に与えられる係数、 b は速度依存性を表わす係数、 V は車の走行速度、 C は道路条件によって変化する補正項である。車種別に与えられる係数 a は、普通自動車（46.4）、小型貨物車（47.6）、中型車（51.5）、大型自動車（54.4）、二輪車（49.6）である。また、速度依存性を表わす係数 b は、本研究下では定常走行区間（車走行速度 40km/h ~ 140km/h）で用いられる 30 を値とし、シミュレーション可能な走行速度 V についても 40km/h ~ 140km/h の範囲

KeyWords： VR, 道路騒音, 音響, 可聴化

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

とした．なお，基準値に対する補正には，排水性舗装等による騒音低減に関する補正，道路の縦断勾配による走行騒音の変化に関する補正，自動車走行騒音の指向性に関する補正，その他の要因に関する補正がある．各補正量の詳細については参考文献 2) を参照されたい．受音点における各走行車の A 特性音圧レベル $L_{A,i}$ は以下のように示すことができる．

$$L_{A,i} = L_{WA} - 8 - 20 \log_{10} r + \Delta L_{cor} \quad (2)$$

ここで， r は自動車から受音点までの直線距離， ΔL_{cor} は自動車から受音点に至る音の伝播に影響を与える各種の減衰要素に関する補正量を示す．なお補正には，回折に伴う減衰に関する補正，地表面効果による減衰に関する補正，空気の音響吸収による減衰に関する補正がある．各補正量の詳細については参考文献 2) を参照されたい．また混合交通の場合，受音点における音圧レベル L_A は次の式で求められる．

$$L_A = 10 \log_{10} \Sigma (10^{L_{A,i}/10}) \quad (3)$$

ここで， $L_{A,i}$ は個々の走行車における伝搬音である．

なお，より臨場感のある道路交通騒音の聴覚情報を提示するべく，ドップラー効果による周波数の変化についても考慮している．また，本システムは周辺構造物として遮音壁，高架橋の他，住宅などの設置も可能である．なお，切土，盛土部を有する場合の計算例に関しては，発表の際に報告する．

(3) Post-Process

自動車および道路周辺の CG 映像を VR 空間内に提示する．なお提示する CG 映像は，入力した計算条件に応じて対話的に変化する．自動車位置はアニメーションとして，Main-process で計算した自動車走行音に対応した音源データとともに提示される．なお，走行予定距離を通過するまで Main-Process ~ Post-Process の処理を繰り返すことで自動車の移動アニメーションおよび対応した音の増減現象の提示が可能となっている．また，図-3 に示すよう，昼夜環境の切り替えも行えるようにした．

4. 適用例

本システムでは可聴化に際して，計算結果と提示する音の音圧レベルが一致している必要がある．そこで計算結果と計測結果を一致させるべくキャリブレーションを行った．キャリブレーション際には騒音計を用いた．次に，キャリブレーション後の適用例を示す．走行条件は図-4 に示す通りであり（普通乗用車 3 台，二輪車 1 台が走行），路面条件は，舗装後経過年数 1 年の排水性舗装とした．計算結果と，騒音計を用いて測った音圧レベルの計測結果をグラフ化したユニットパターンを図-5 に示す．図-5 から，計算結果と計測結果が良い一致を示すことが確認できた．

図-6 は，利用者が本システムを利用している様子である．複数の車種のシミュレーション，およびその可視化と可聴化を行うことで，混合交通の道路交通騒音を視覚情報と聴覚情報により体感することが可能となっている．



図-3 昼夜環境

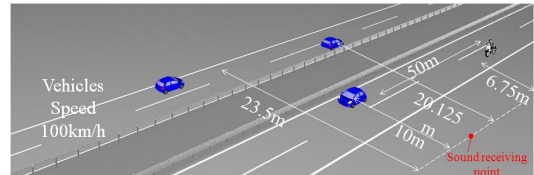


図-4 混合交通適用例

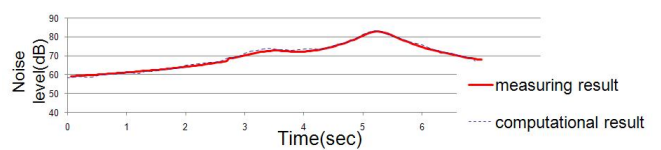


図-5 適用例ユニットパターン

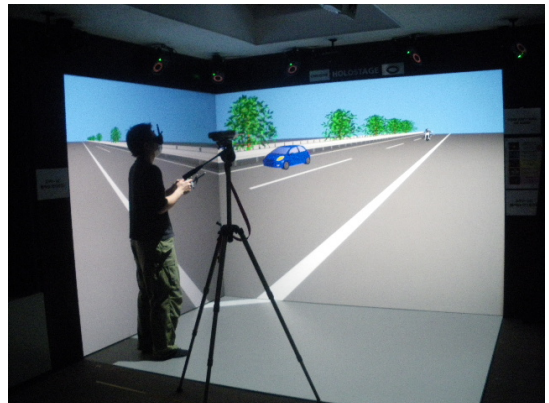


図-6 本システム利用例

5. おわりに

本論文では，既往の道路交通騒音シミュレーションシステムの適用性の向上について検討を行い，以下の結論を得た．

- 複数の車種の形状データと音源データを作成することで，混合交通における道路交通騒音の可聴化が可能になった．
- 昼夜別の CG 映像を作成することで，昼夜別の映像変更を可能とした．

今後は本システムをより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．

参考文献

- 1) 田近伸二，櫻山和男，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
- 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 年