

幾何音響理論を用いた鉄道騒音評価システムの拡張

中央大学 学生員 ○丸山 翼
中央大学 正会員 櫻山 和男

1. はじめに

騒音とは人が騒がしく不快に感じる音のことであり、人体に対して悪影響を及ぼすことが知られている。そのため、事前に騒音による影響を予測し、対策を講じることが必要である。

鉄道騒音の影響の予測、対策のため、著者らの既往の研究ではVR (Virtual Reality) 技術を用いて視覚情報と聴覚情報を同時に提示し、被体験者に臨場感のある疑似体験ができる鉄道騒音騒音評価システムの構築が行われてきた¹⁾。

このシステムでは、鉄道のCGモデルが高架橋上を走行しているが、鉄道が高架橋上を走行する際に発生する高架構造物音が考慮されていなかった。そこで、本論文では既往の鉄道騒音評価システムの拡張のため、高架構造物音を実装し、既往のシステムとの比較を行った。

2. VR環境、システム概要

本論文では、図-1に示す没入型VR装置HoloStageを用いる。本装置は3面の大型スクリーンとそれぞれに対応したプロジェクター、システム利用者の動きを検知するためのワイヤレストラッキング装置、それらを制御する並列計算機から構成されている。天井にはスクリーンを囲むように7つのスピーカーが設置されており、立体音響の提示が可能となっている¹⁾。

本システムのフローチャートを図-2に示す。本システムはトラッキング装置によって得られた利用者の位置情報を受音点として音圧レベルの計算をリアルタイムに行い、計算結果を元にスピーカーより鉄道の走行音を出力する。それと同時に鉄道車両や周辺環境等の描画を行い、スクリーンへ投影する。VR装置と本システムの詳細については参考文献^{1) 2)}を参照されたい。

3. 幾何音響理論を用いた騒音伝搬計算

鉄道騒音の伝搬計算には幾何音響理論に基づく“ASJ RTN-Model 2018”を用いる。これは音源を半自由空間における点音源として取り扱う予測モデルである。

(1) 計算手法

本論文では鉄道車両が走行する際に発生する車輪の転動音、モーターの駆動音などをまとめて走行音として取り扱い、各車両の台車の位置に指向性を持つ点音源として設定し、計算を行う。予測点での音圧レベルは以下の式を用いて求める。

$$L_A = L_{WA} - 8 - 20 \log_{10} r + \Delta L_{dir} + \Delta L_{cor} \quad (1)$$

ここで、 L_A は予測点での音圧レベル [dB]、 L_{WA} は音源の音響パワーレベル [dB]、 r は音源から予測点までの距離 [m]、 ΔL_{dir} は音源の指向性に関する補正項、 ΔL_{cor} は音が音源から予測点に到達するまでに発生する各種減衰に関する補正項である。本研究では ΔL_{cor} は回折減衰のみ考慮を行う。詳細については参考文献³⁾を参考されたい。

(2) 高架構造物音

高架構造物音とは鉄道が走行する際に発生する振動が構造物に伝搬し、構造物が振動することで発生する音である。本来は構造物全体から音が発生するが、計算の都合上高架構造物音を仮想音源として高架橋の桁直下し設定し、鉄道の走行に連動して移動する無指向性の点音源として計算を行う。(図-3)



図-1 没入型VR装置HoloStage

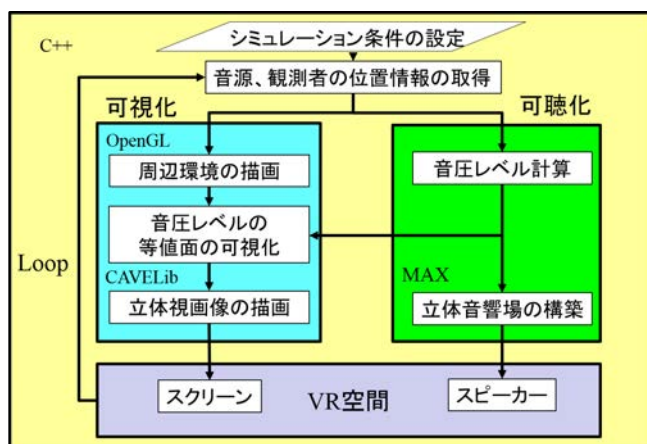


図-2 フローチャート

KeyWords: 鉄道騒音, 幾何音響理論, VR 技術, 高架構造物音

連絡先: 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL 03-3817-1808 E-mail a16.876c@g.chuo-u.ac.jp

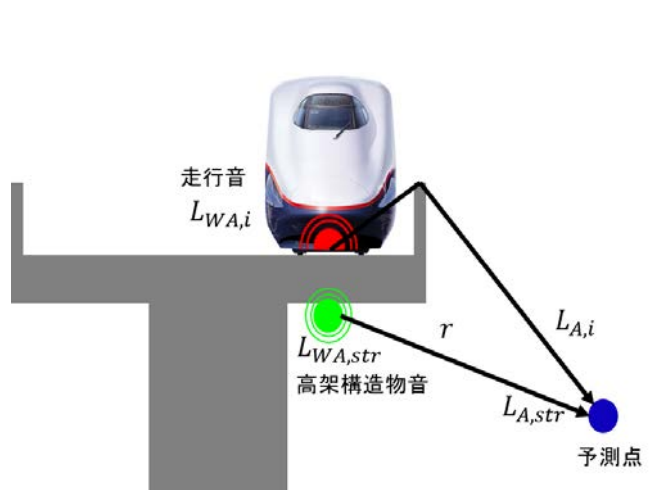


図-3 高架構造物音

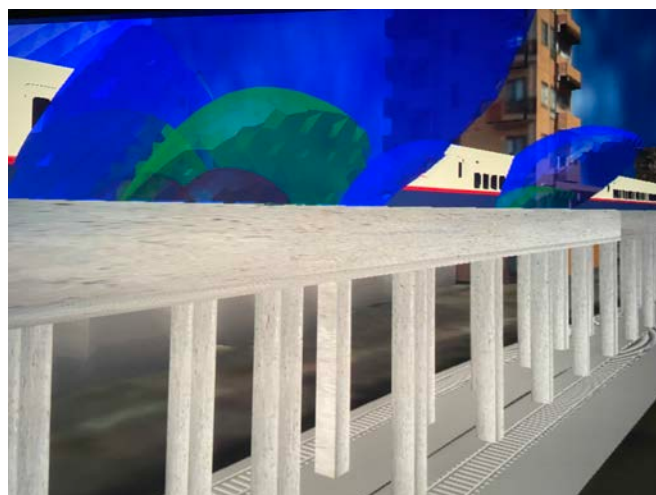


図-4 高架構造物音を考慮しない場合

表-1 橋種ごとの定数 a

	橋種	a	
鋼橋	鋼床版鋼箱桁橋	40.7	38.9
	コンクリート床版鋼箱桁橋	35.5	
	コンクリート床版鋼鈑桁橋	40.4	
コンクリート橋	I 桁	31.8	34.8
	I 桁以外	35.8	

構造物音の音響パワーレベルは以下の式で求める。

$$L_{WA, str} = a + 30 \log_{10} V \quad (2)$$

ここで、 a は橋種ごとの定数、 V は鉄道車両の走行速度 [m/s] である。表-1 に橋種ごとの定数 a を示す。本論文では $a = 31.8$ として計算を行う。

仮想音源から予測点へ伝搬する騒音の音圧レベルは以下の式で計算する。

$$L_A = L_{WA} - 8 - 20 \log_{10} r + \Delta L_{dif} \quad (3)$$

ここで、 ΔL_{dif} は高架構造物に関する回折補正量である。

4. 可視化結果

図-4、図-5 に本システムにより求めた音圧レベルの等値面の可視化結果を示す。図-4 が高架構造物音を考慮していない場合、図-5 が高架構造物音を考慮した場合であり、描画した等値面の音圧レベルは 90dB (青)、95dB (緑)、100dB (赤) である。なおシミュレーションの対象は東北新幹線 E2 系を対象とし、先頭車両、中間車両、最後尾車両の音響パワーレベルをそれぞれ 119dB、114dB、113dB、高架構造物音の音響パワーレベルは式 (2) より 105dB と設定している。

高架構造物音を考慮した場合には高架橋底面に音源を設定しているため高架橋下部での音圧レベルが大きくなっていることが確認できる。定量的な比較については講演時に示す。



図-5 高架構造物音を考慮した場合

5. おわりに

本論文では既往の鉄道騒音評価システムの拡張として高架構造物音を実装し、既往のシステムとの比較を行った。音圧レベルの等値面の可視化を行うことで高架構造物音を考慮した場合には高架橋下部での音圧レベルが大きくなることが確認できた。

今後は高架構造物音を含む可聴化用音源の作成、実測値との比較による妥当性の検証を行う予定である。

参考文献

- 1) 木下公二, 吉町徹, 檜山和男, 志村正幸, VR 技術を用いた鉄道騒音評価システムに関する研究, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), ppL372-L379, Vol.73, No.2, 2017
- 2) 谷川将規, 江嶋考, 檜山和男, 志村正幸, 混合交通を考慮した VR 技術に基づく道路交通騒音評価システムの構築, 土木学会論文集 A2 (応用力学), ppL195-L202, Vol.70, No.2, 2014
- 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 2018", 日本音響学会誌, Vol.75, No.4, pp.188-250, 2019