

VR 技術を用いた鉄道騒音評価システムにおける指向性の検討

中央大学大学院	学生員	木下 公二
JSOL	正会員	吉町 徹
中央大学	正会員	櫻山 和男
建設環境研究所	正会員	志村 正幸

1. はじめに

鉄道に対して騒音の影響を事前に予測し対処するために、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体験者に臨場感のある疑似体験ができる鉄道騒音評価のシステム¹⁾²⁾の構築が行われてきたが、指向性の検討は十分に行われていなかった。

そこで、本論文では走行速度の違い在来線及び走行速度の速い新幹線において指向性の検討を行う。具体的には、指向性係数を変化させた際の計算値の比較を、実測値との比較をもとに行った。

2. 鉄道騒音評価システム

(1) VR 環境・システム概要

本論文で用いる没入型 VR 装置 HoloStage は、前面と側面及び底面の 3 面の大型スクリーンとそれぞれに対応した高性能プロジェクター、また VR 空間内の装置の利用者の動きを捉えるためのワイヤレストラッキング装置及びそれらを制御する並列計算機から構成されている。

本システムの処理工程を図-1 に示す。その他本システムの詳細に関しては参考文献 1)2) を参照されたい。

(2) 走行音の測定

鉄道の騒音源は車輪がレール上を回転する際の転動音、高架橋の振動による構造物音、冷却ファンやモーター等の車両機器音などの騒音が複合したもの(以下走行音とする)とレール継ぎ目などの不連続面によって生じる音(以下打撃音とする)に大別される³⁾。本論文では、騒音計を用いて上

記の音を含む走行音を測定した音源データを用いて本 VR システムに実装する。また、走行音の音源データから可聴化用の音源データを生成するため、距離減衰の影響を取り除いた定常音の作成を行う⁴⁾。

(3) 幾何音響理論による音響計算

本論文では、走行音の計算に幾何音響理論に基づく計算モデル "ASJ RTN-Model 2013" を使用しており⁵⁾、作成した定常音を走行音として車両前後 2 か所に付随している各台車の中央にそれぞれ配置する。また、走行音は走行ライン上には騒音が伝搬しやすく側面方向には伝搬しやすい、双指向性を持つことが知られており⁶⁾、本論文においては指向性を有する点音源として扱う。図-2 に指向性モデルの概念図を示す。観測点における各音源からの音圧レベルは次式で表される。

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

ここで、 L_A は観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 は台車から観測点の距離、 θ は観測者から見た走行ラインへの最短地点を基点とした音源への角度である。また n は指向性係数であり、値を変化させることで指向性の強さを調節することができ、 θ の値は台車と観測点の位置座標から計算している。 ΔL_{cor} は音源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である。予測点における各音源からの伝搬音の音圧レベルの合算値は次式で表わされる。

$$L_A = 10 \log_{10} \Sigma (10^{L_{A,i}/10}) \quad (2)$$

ここで、 i は合成する音源の数 (音線の数) である。走行音と受音点の位置関係を図-3 に示す。

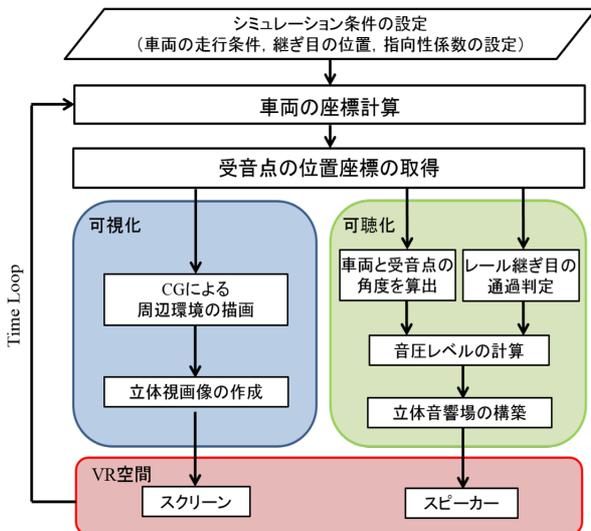


図-1 本システムの処理工程

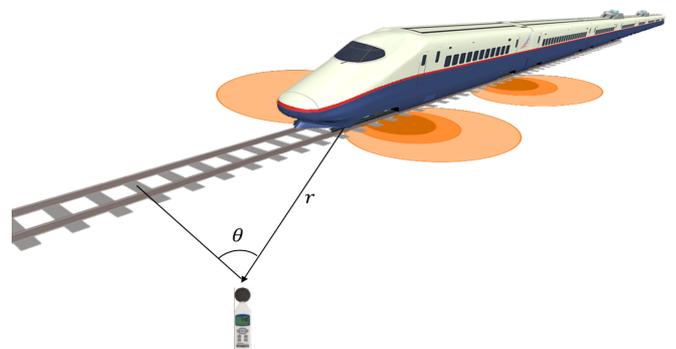


図-2 指向性モデルの概念図

KeyWords : 鉄道騒音, 幾何音響理論, VR 技術

連絡先 : 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL 03-3817-1808 E-mail a12.h7bw@g.chuo-u.ac.jp

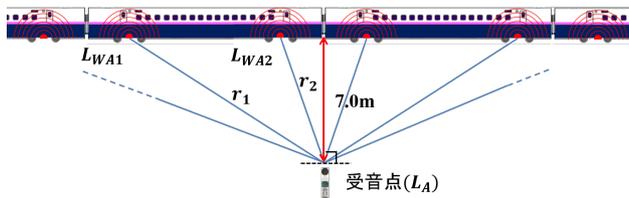


図-3 走行音と受信点の位置関係

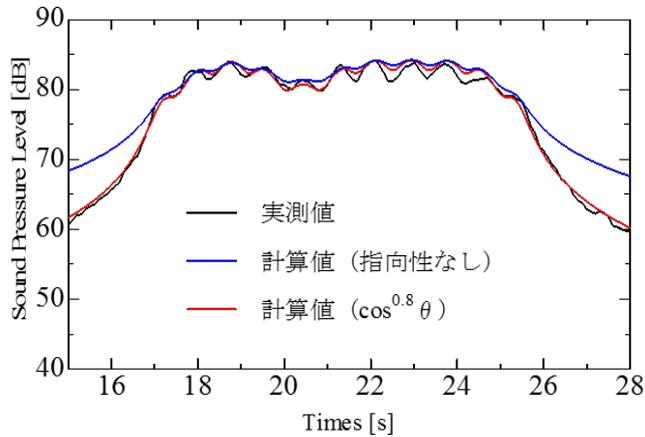


図-4 在来線における実測値と計算値の比較

3. 適用例

本システムにおける指向性の影響について検証を行うために在来線と新幹線において、指向性を变化させた計算値と実測値の比較を行った。

在来線の測定は走行ラインから9m(図-3における r_2)の箇所で行い、走行速度は83km/hであった。なお、本シミュレーションの条件を実測と同じにするため、VR空間における走行速度は83km/hとし観測点は走行ラインから9.0mの地点に設けた。在来線における実測値と指向性係数を変化させた計算値の比較を図-4に示す。図より、指向性なしの場合の計算値では車両通過前後において音圧レベルに差異が生じていたが、指向性が0.8程度の値において良い一致を示している。

新幹線の測定は走行ラインから7mの箇所で行い、走行速度は278km/hであった。なお、本シミュレーションの条件を実測と同じにするため、VR空間における走行速度は278km/hとし観測点は走行ラインから7.0mの地点に設けた。VR空間に投影している様子を図-5に示す。新幹線騒音の実測値と指向性係数を変化させた計算結果の比較を図-6に示す。図より、指向性係数は、車両接近中においては0.75-1.0程度、車両通過後においては0.25程度の値で実測値と良い一致を示すことが確認でき、通過前後で異なる指向性の特徴を示していることがわかる。新幹線において、通過前後で異なる指向性の特徴を示す原因として、在来線より速度の大きい新幹線においては車両通過後に空気の渦が発生することで音響パワーレベルが大きくなっていることが考えられる。

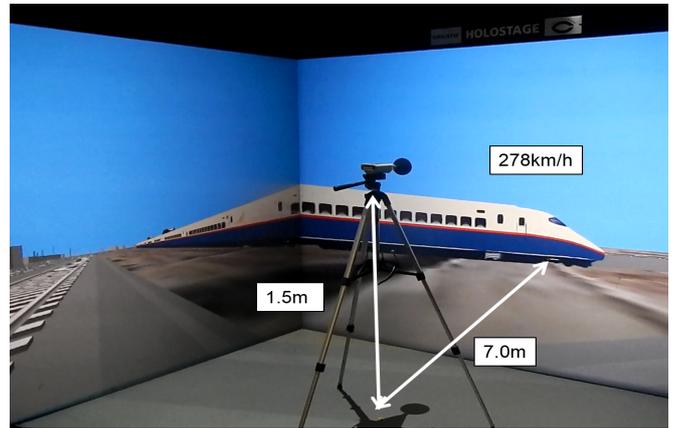


図-5 VR空間に投影している様子

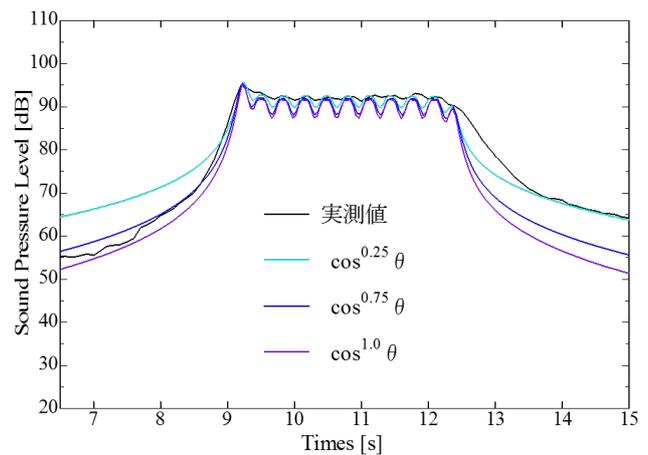


図-6 実測値と計算値の比較

4. おわりに

本論文では走行速度の遅い在来線及び走行速度の速い新幹線において指向性の検討を行うため、指向性係数を変化させた際の計算値の比較を、実測値との比較をもとに行った。その結果、走行速度の遅い新幹線においては指向性係数を調節することによって良い一致が見られた。しかし、走行速度の速い新幹線においては車両接近中及び通過後では、走行音の指向性は異なる特徴を示していることがわかった。

今後は、新幹線の高速走行時におけるさらなる指向性の検討とともに空力音の考慮について検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 吉町徹, 櫻山和男: 幾何音響理論に基づく鉄道騒音予測とVR技術を用いた可聴化, 第20回鉄道工学シンポジウム, 2016.
- 2) 木下公二, 吉町徹, 櫻山和男: VR技術を用いた鉄道騒音評価システムに関する研究, 土木情報学シンポジウム講演集, 土木学会, Vol.42, pp.77-80, 2017.
- 3) 松本嘉司, 小沢康人, 渡辺義則: 都市鉄道の騒音発生に関する研究, 土木学会論文報告集, Vol.262, pp.101-112, 1977.
- 4) 江嶋孝, 櫻山和男, 守屋陽平, 志村正孝, 谷川将規: 実車走行音を用いた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) Vol.69, No.2, pp.155-162, 2013.
- 5) 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 2013", 日本音響学会誌.
- 6) 買手正浩: 外部騒音に対する遮音設計手法, 大成建設技術センター報 第43号, 2010.