

構造物音を考慮した幾何音響理論に基づく鉄道騒音評価システムの構築

中央大学大学院 学生員 丸山 翼
 交通安全環境研究所 正会員 緒方 正剛
 中央大学 正会員 榎山 和男

1. はじめに

鉄道騒音の影響の予測、対策のため、著者の研究室では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評価システムの構築を行ってきた¹⁾。

このシステムでは、鉄道が高架橋等の構造物上を走行する場合において本来発生する構造物音が考慮されていなかった。そこで、本研究では構造物音の考慮を行い、既往の鉄道騒音評価システムの適用性の拡張を目指す。本論文では構造物音考慮の有無での計算結果の比較を行い、構造物音の影響の大きさを調べると共に計算結果と実測値の比較を行い、計算結果の妥当性の検証を行った。また、既往の鉄道騒音評価システムの精度の向上を目指し指向性の検討を行った。

2. VR 環境, システム概要

本論文では没入型 VR 装置 HoloStage を用いる。本システムの処理工程を図-1 に示す。VR 装置と本システムの詳細については参考文献¹⁾ 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²⁾。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¹⁾ を参考されたい。

鉄道騒音は車両の側面方向に強い指向性を持つことが知られている。本論文では指向性の影響を ΔL_{dir} として以下の式³⁾ で考慮する。

$$\Delta L_{dir} = 10 \log_{10} (\cos^n \theta \cdot (0.1 + 0.9 \cos \phi)) \quad (2)$$

ここで、 θ は観測点から走行ラインへの最短地点を起点

とした音源までの角度 ϕ は音源から観測点への仰角である。 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変化させることができる。

(2) 構造物音

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、計算の都合上構造物音を仮想音源として桁直下に設定し、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-2)

構造物音の音響パワーレベルは以下の式で求める。

$$L_{WA, str} = a + 30 \log_{10} V \quad (3)$$

ここで、 a は橋種ごとの定数、 V は鉄道車両の走行速度 [km/h] である。本論文では鋼橋を想定し、 $a=40.7$ 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。

$$L_A = L_{WA} - 8 - 20 \log_{10} r + \Delta L_{dif} \quad (4)$$

ここで、 ΔL_{dif} は構造物に関する回折補正量である。

4. シミュレーション結果

図-3 に先頭車両の音源位置での走行ラインから垂直方向の音圧分布を示す。構造物音を考慮した場合には高架橋の

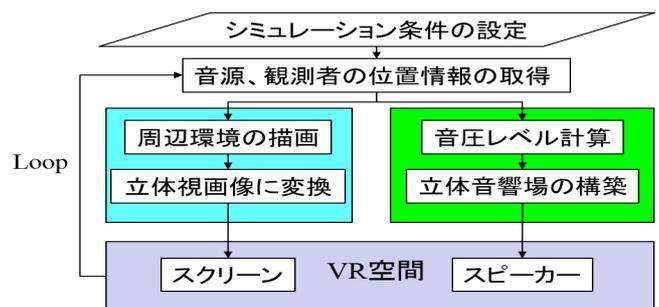


図-1 システム概要

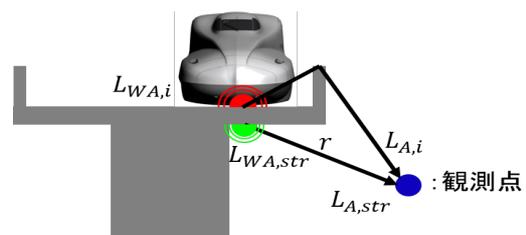


図-2 構造物音

KeyWords: 幾何音響理論, VR 技術, 鉄道騒音, 構造物音

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

桁直下に仮想音源を設定しているため、高架橋の下方での音圧レベルが大きくなっていることが確認できる。

5. 実測値との比較

計算結果の妥当性の検証のために、実測値との比較を行った。実測値と計算結果を図-4に示す。両者において車両の通過中では音圧レベルが良い一致を示している。一方で、車両の接近時と通過後においては音圧レベルに差異が生じている。計算上では構造物音を無指向性として考慮しているため、車両の接近時、通過後において音圧レベルが大きくなっていると考えられる。また、高架橋下部においては構造物音の影響が大きく、走行音の指向性係数を変化させても影響が小さいことが確認できる。

6. 指向性係数の検討

既往の研究により鉄道車両の通過前後において音圧レベルが異なる特徴を示すことが確認されており⁴⁾、通過前後において指向性の区別が必要であると考えられる。図-5に車両通過前と通過後において指向性係数を区別して計算を行った結果を示す。なお、接近時には $n=1.0$ とし、通過後の指向性係数を変化させて計算を行っている。図より、車両通過後の指向性係数は0.35程度の場合に実測値と概ね良い一致が確認できる。図-6に車両通過前後の音圧分布の鳥瞰図を示す。車両通過直後においては実測値の音圧レベルが大きくなっている。これは車両通過後に空気の渦が発生することが原因だと考えられる。

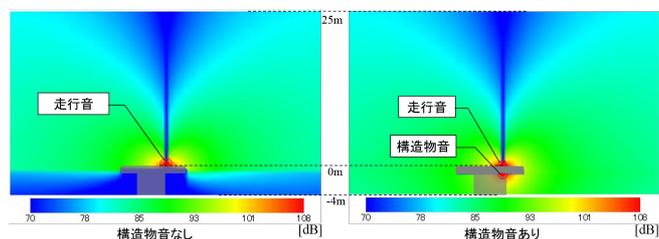


図-3 走行ラインと垂直方向の音圧分布

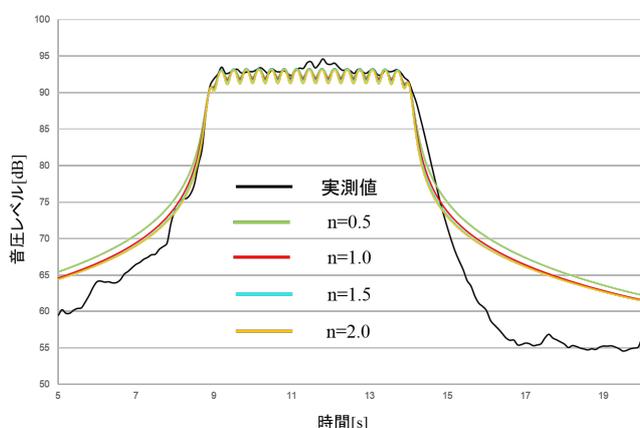


図-4 実測値と計算結果の比較

7. おわりに

本論文で既往の鉄道騒音評価システムの適用性の拡張のため構造物音の考慮、及び精度の向上のため指向性の検討を行った。構造物音考慮の有無での計算結果の比較、実測値と計算結果の比較及び指向性係数の検討を行い、以下の結論を得た。

- 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。
- 車両通過中においては計算結果の音圧レベルが実測値を良い一致を示した。一方、車両接近時と通過後においては音圧レベルに差異が見られた。
- 車両通過前には指向性係数 $n=1.0$ 程度、通過後においては $n=0.35$ 程度が実測値と良い一致を示した。

今後の課題としてさらなる指向性の検討と持ち運びが可能なヘッドマウントディスプレイへの適用を考えている。

参考文献

- 1) 木下公二, 吉町徹, 榎山和男, 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) 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
- 3) 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.
- 4) 木下公二, 吉町徹, 榎山和男, 志村正幸, VR 技術を用いた鉄道騒音評価システムにおける指向性の検討, 第 45 回土木学会関東支部講演概要集, L37, 2018

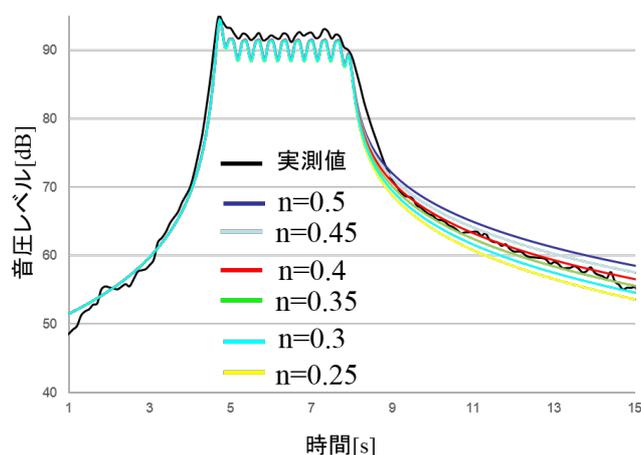


図-5 車両通過前後における指向性係数の検討

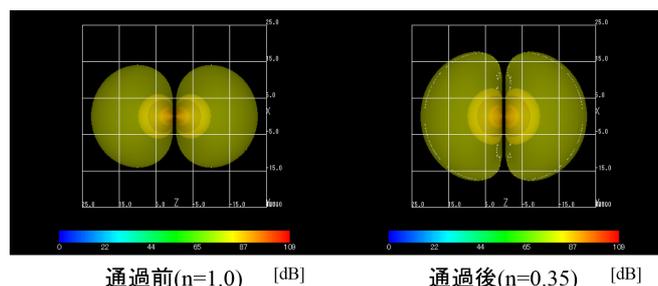


図-6 車両通過前後の音圧分布の鳥瞰図