

幾何音響理論における高速鉄道の指向性係数の検討

中央大学 学生員 ○ 及川 萌
中央大学大学院 学生員 庄子 諒
中央大学 正会員 檜山 和男

1. はじめに

世界各国において高速鉄道の計画や建設が進められている。一方で、高速鉄道は騒音問題が大きな社会的問題となっており、騒音による影響を予測し、対策を講じることが重要である。

著者らの既往の研究では、幾何音響理論を用いて数値シミュレーションを行い、VR(Virtual Reality) 技術を用いて、可視化・可聴化し、視覚情報と聴覚情報を同時に提示できる鉄道騒音評価システムの構築¹⁾を行ってきた。しかし、高速鉄道における指向性係数の検討が十分ではなかった。そこで、本論文では、より高精度なシステムの構築を目的とし、指向性係数の検討を行った。

2. 鉄道騒音評価システム

(1) 鉄道走行音の発生源

鉄道騒音の発生源は大きく以下の4つに分類される。

1. 車輪・レール間音：転動音、衝撃音、きしみ音
2. 空力音：車両と空気の相互作用により発生する音
3. 駆動系音：ファン音、ギヤ音等
4. 構造物騒音：車輪・レール間で発生した振動が高架橋等の構造物に伝搬し放射される音

本研究では、1~3とする。そして、それらをまとめて走行音としてモデル化し、移動音源として各台車に実装するものとして計算を行う。

(2) 幾何音響理論

本研究では、日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会により示されている、鉄道騒音の伝搬計算に幾何音響理論に基づく計算モデル“ASJ RTN-Model2018”²⁾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扱うモデルである。観測点における音圧レベルは次式で表される。

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

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 は音源から観測点までの距離 [m]、 L_{cor} は音源から観測点に至るまでの音の伝播に影響を与える各種補正量を示す。観測点における各音源からの伝搬音の音圧レベルの合成値は次式で表される。 i は合成する音源の個数を表す。

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

(3) 指向性の検討

指向性とは音が空気中に伝播されるとき、そのエネルギーの伝播特性が方向によって異なることを指す。



図-1 音源と観測点の位置関係

鉄道走行音の指向特性は、前後方向及び上方向には騒音が伝播しづらく、側面方向には伝播しやすい双方向性を持つ。車両が音源の上部に存在することがこのような指向特性に影響していると考えられる。本研究では鉄道の指向特性を反映した以下のモデル⁴⁾を使用した。

$$\Delta L_{dir} = 10 \log_{10} (\cos^n \theta) \cdot (0.1 + 0.9 \cos \phi) \quad (3)$$

ここで、 L_{dir} は指向性に関する補正量 [dB]、 θ は観測者から見た走行ラインへの最短距離を基点とした音源への角度、 ϕ は音源から見た観測点への仰角、 n は指向性係数を指す。

著者らの既往の研究では、在来線においては全車両の指向性係数を一定とした指向性補正量を考慮して数値シミュレーションを行った結果、実測値と近い値をとることが分かっている¹⁾。しかし、高速鉄道においては、全車両における指向性係数を一定として計算を行うと計算結果と実測値の大きな差が開いてしまい、各車両ごとに指向性の強さが異なることが分かっている。

そこで本研究では、それぞれ音源の音響パワーレベルと車両形状が異なる先頭車両・中間車両・最後尾車両における指向性補正量を区別し、指向性係数の検討を行った。

(4) 適用例

本システムの妥当性を検証するため、鉄道騒音の実測値と本手法による計算結果の比較を行った。栃木県那須塩原市で測定された、10両編成の東北新幹線 E2 系の音源を用いた。測定位置は図-1 のようになっており、台車中心位置から水平距離 7m、高さ 1.5m の位置で行われた。測定時の走行速度は時速 274km である。

数値シミュレーションにおいても同様の条件で計算を行った。測定値より、車両が通過しているときの音圧レベルは、先頭車両が 95dB、中間車両が 92dB、最後尾車両が 90dB であった。これらの値から、式 (1) と式 (2) を用いて音源の音響パワーレベルを逆算し、新幹線の先頭車両は 119.54dB、中間車両は 114.47dB、最後尾車両は 113.65dB とした。

また、指向性補正量の検討を行うため、まず、全車両における指向性係数を一定とした計算結果が図-2 である。ま

KeyWords： 鉄道騒音，新幹線，幾何音響理論

連絡先： 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL：03-3817-1815 E-mail a17.kste@g.chuo-u.ac.jp

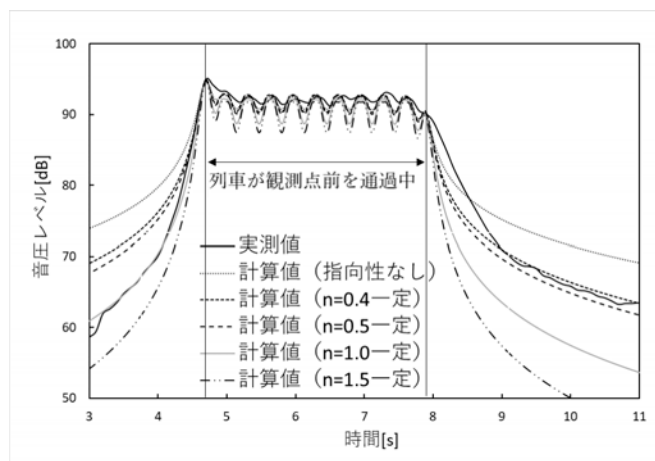


図-2 計算値と測定値の比較 1

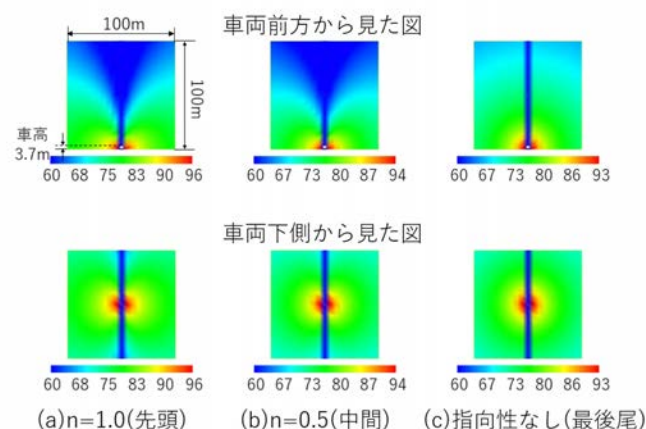


図-5 音の伝播の仕方

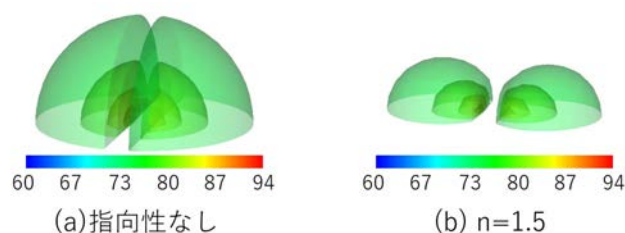


図-3 指向性係数の変化による音の伝播の仕方の違い

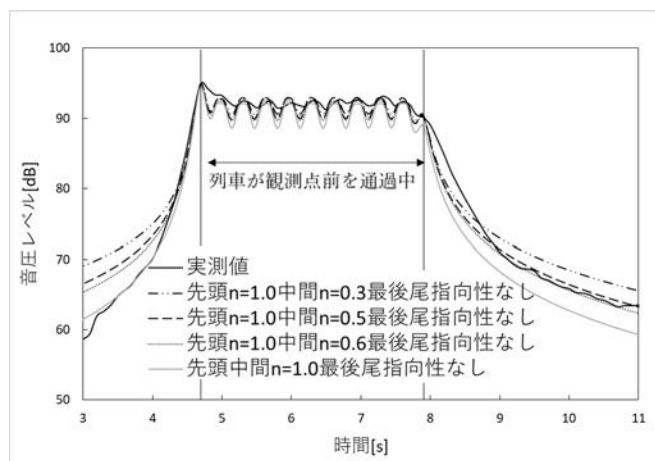


図-4 計算値と測定値の比較 2

た、指向性係数の変化による音の伝播の仕方の違いを図-3に示す。指向性係数が大きい場合に、前後方向と鉛直方向には広がりにくく、側面方向に広がりやすい双方向性の特徴が強く出ていることが分かる。

これらの結果を踏まえ、指向性補正量を車両ごとに分けて計算を行った結果が図-4である。騒音のシミュレーションにおいて、実測値より計算値が大きい値をとる場合が安全側であることを踏まえ、新幹線が観測点前を通過している最中の実測値と計算値における音圧レベルの変動の差異が少なくなるよう考慮した結果、先頭車両を $n=1.0$ 、中間車両を $n=0.5$ 、最後尾車両を指向性なしとした場合が実測値と近い値をとることが分かった。

これらの指向性を考慮した場合の各車両における音の伝播の仕方の比較を可視化した結果は図-5に示す。

この結果は、鉄道騒音の指向性が双方向性を持つ原因として考えられる車両下部騒音において、高速鉄道の車両では先頭台車の寄与度が最大であることが分かっており、先頭車両の指向特性に双方向性が強く出ていると考えられる。また、最後尾車両は後ろに車両がないため、後方にも音が広がりやすいことが影響し、最後尾車両の指向特性は双方向性が弱まっていると仮定した。

また、上図より計算結果における列車が観測点前を通過している最中の音圧レベルの変動が実測値より大きいことが分かる。これは、実際の音源は線状に分布しているが、計算を簡潔にするため、音源の位置を各台車に設定した点音源として計算を行っているためだと考えられる。今後、音源のモデル化の再検討が課題となる。

3. おわりに

本論文では、高速鉄道の鉄道騒音評価システムにおける指向性係数の検討を行い、以下の結論を得た。

- 音源の音響パワーレベルと車両形状が異なる車両ごとに騒音の指向性の強さが異なっているため、指向性係数を区別して計算を行った結果、より実測値に近い数値シミュレーションが可能となった。
- 列車が観測点前を通過している最中の実測値と計算値において、音圧レベルの変動範囲の差異が見られる。

今後は、音源のモデル化を含めたより詳細な検討を行う予定である。

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) 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, 2018.
- 3) 環境省: 新幹線鉄道騒音測定・評価マニュアル, 2015.
- 4) 買手正浩, 外部騒音に対する遮音設計手法 鉄道騒音の高層建物への伝搬特性, 大成建設技術センター報, Vol43, 2010.
- 5) 村田香, 長倉清, 北川敏樹: 新幹線車両の音源分布に基づく模型実験による沿線騒音推定法, 鉄道総研報告, Vol.21, No.3, 2007.