## 鉄道騒音に対する遮音壁の低減効果に関する研究

Study on noise reduction effect of sound barriers for railways

学籍番号	47-127653
氏 名	石川 聡史(Ishikawa, Satoshi)
指導教員	佐久間 哲哉 准教授

#### 1.はじめに

## 1.1 研究の背景

近年,都市部においては在来鉄道沿線に 近接して建築物が建てられている場合が多 く,これらの建築物の高層階に対する騒音 予測・騒音対策が課題となっている。これま でに公表されている鉄道騒音の予測手法と して、在来鉄道については森藤らが提案し た予測手法が広く用いられているが、この 手法は主に地上高さ付近で測定された騒音 データをもとに構築されており、沿線建物 の高層階等の高所空間における精度は十分 に検証されているとはいえない。また,列車 に近接して設置された遮音壁の場合,列車 と遮音壁の間で多重反射が生じるため、車 両下部音に対する遮音壁の遮蔽効果を正確 に予測できていない。さらに, 遮音壁の騒音 低減効果は無限長の場合に前川チャートを 用いて算出することができるものの、有限 長遮音壁の設置区間の算定方法は必ずしも 明確ではない。

建物の高層階に対する騒音対策として, 従来のように遮音壁を設置して対策する場 合,音源から受音点までを遮蔽しなければ 効果が得られないため,遮音壁が高大とな る。高大な遮音壁は風荷重を強く受け,遮音 壁本体や遮音壁が設置された構造物への負 荷が増大することから,強風時にも耐えう る強度を確保すべく補強が必要となり,工 事費や施工時間の増加を招く。これに対し, 風荷重の低減を考慮した遮音壁,車両下部 音が沿線の高所空間に伝搬することを防ぐ レール近傍遮音壁に関する研究開発が行わ れているが,実用にまで至っていないのが 現状である。

#### 1.2 研究の目的

# 1) 鉄道騒音に対する予測手法の適用範囲の 拡大

転動音および車両機器音を主音源とする 在来鉄道の走行音に対する鉛直方向の指向 特性,車体・遮音壁間の多重反射による高所 空間への影響を明らかにして,騒音予測手 法の適用範囲を沿線の高所空間まで拡張す る。また,有限長遮音壁の挿入損失について 検討を行い,近似式を導出する。

# 2)風荷重軽減型遮音壁に対する騒音低減量 の検討

在来鉄道沿線の高所空間における騒音低 減と風荷重軽減の両立を目指した新たな遮 音壁について,風洞実験・数値解析・現場測 定を通して騒音低減と風荷重軽減の効果を 定量的に検証する。具体的には,図1のよ うな複数の傾斜した遮音板で構成される風 荷重軽減型遮音壁を想定し,騒音低減と風 荷重軽減の効果を定量的に検証する。



図1 風荷重軽減型遮音壁の期待される効果

2. 在来鉄道騒音に対する予測手法の適用 に関する検討

#### 2.1 高所空間を含めた騒音伝搬特性の把握

図2に示すとおり,平地・盛土(壁無し), 高架橋区間(直壁)の3箇所において,高 所空間を含めた騒音測定を実施した。図3 に,軌道近傍の単発騒音暴露レベルを基準 とした相対レベルの空間分布を示す。列車 の走行音は,走行車線の軌道中心付近から 斜め上30~40°に向かって強く伝搬してい て,この向きに強い指向性が見られる。通常 の騒音評価点である地上からの高さ1.2 m 地点よりも上方の地点の方が,騒音が大き



図2 測定点および計算断面

くなることが明らかになった。高さ方向の 騒音を評価するにあたっては、これらの騒 音伝搬特性を考慮していくことが必要であ る。



図3 軌道近傍を基準とした騒音レベルの空間 分布(平地区間,近接車両)

2.2 既往の騒音予測式の適用に関する検討

単発騒音暴露レベルの実測値と予測値の 空間分布特性の比較を行い,既往の騒音予 測式<sup>11</sup>の高所空間への適用について検討を 行った。壁なし条件の平地区間および盛土 区間のいずれにおいても,仰角が20~50°の 領域では予測値が実測値より小さくなるも のの,実測値と予測値の差は最大2dB程度 であることが分かった。

#### 2.3 波動音響解析の適用に関する検討

在来鉄道沿線の騒音分布をもとに,鉄道 騒音の伝搬予測に対する2次元時間領域有 限差分法<sup>[2]</sup>の適用に関して妥当性を検証す る。仮想音源および音源スペクトル補正用 の参照点に関して,各々の個数と位置を変 化させた場合の計算値と実測値の差を比較 し,2次元解析による在来鉄道沿線の騒音予 測における両者の設定について検討した。

参照点を図2の①F点, ②A1点, ③A1点, B1点, C1点, ④A1点, A2点, A3点に設 定した場合の4ケースについて計算値と実 測値の差を比較した。参照点を④A1, A2, A3 点としたときの計算誤差が最も小さい。地 上高さ25m程度まで騒音レベルを精度よ く予測するには,音源はレール頭頂面高さ で車両下部の車両端2点に設置し,高さ1.2 m~10 m 範囲の複数点を参照点に設定する べきであることが分かった。

3.鉄道車体と遮音壁間の多重反射が遮音 性能に与える影響

#### 3.1 数値解析による騒音低減効果の検討

遮音壁の高さ,車体と遮音壁の距離など をパラメータとして,多重反射が騒音低減 効果に及ぼす影響について数値解析により 検討した。遮音壁の騒音低減効果として,遮 音壁が無い条件を基準とした騒音低減量を 算出する。さらに,車体なしの騒音低減量か ら車体ありの騒音低減量を差し引いた値を 車体・遮音壁間の多重反射に伴う騒音レベ ルの増加量として評価した。

図 4 に車体なしに対する車体ありの場合 の騒音レベル増加量のコンター図を示す。 増加量が最大で 11dB 程度で,特に遮音壁先 端から斜め上方の空間において大きくなっ ている。



### 3.2 補正量の算出結果

数値解析から求めた多重反射の影響を補 正量として在来鉄道騒音の予測手法に加え る手順で,騒音予測を改善することを前提 に,多重反射に対応した補正量を定量的に 検討した。図4より,多重反射による騒音 レベル増加量は近接車両側の遮音壁先端を 中心とした放射状の分布におおよそなって いることから,遮音壁先端からの仰角をパ ラメータとして整理する。前川チャートに よる回折減衰量と数値解析による回折減衰 量の差を多重反射による補正量とする。多 重反射補正量の平均値と仰角の関係を図 5 に示す。直壁の高さを上げると補正量は大 きくなり,直壁 3 m で 4~12dB,仰角 20°付 近で最大となる。



(近接車両、片側直壁高さの変化)

#### 4. 有限長遮音壁の挿入損失の検討

# 4.1 在来鉄道騒音に対する有限長遮音壁 の挿入損失の検討

有限長遮音壁の挿入損失を評価するため, 指向性点音源の配列を想定した既往の鉄道 騒音予測手法において,道路交通騒音予測 等で用いられる遮音壁上方の回折経路のみ を考慮する1パスの方法<sup>[3]</sup>を適用し,有限 長遮音壁の挿入損失を計算する。

#### 4.1.1 計算対象

受音点は図 6 に示すように配置し,遮音 壁の長さは中心線を対称に 0~1,000 m まで 10 m ごとに変化させ,各受音点の騒音レベ ルを算出する。最終的に,遮音壁の挿入損失 は,遮音壁の無い条件(長さ0m)の騒音レ ベルとの差として算出する。音源の指向性 については,既往の在来鉄道騒音の予測手 法に倣って,  $\cos^2 \phi$ の指向性 (n=2)を設定 し,比較のために無指向性 (n=0)の場合 についても計算を行うこととした。



図6 計算モデル

#### 4.1.2 挿入損失の算出結果

近接車両を音源とし,遮音壁の高さ3m, 近接軌道からの距離 r = 12.5,50 m, 基準線 からの距離 x = 0,100,300 m の各受音点にお ける遮音壁の見通し角 θ と挿入損失の関係 を図7に示す。無指向性音源の場合,図中で 遮音壁の中心線からの距離が異なる3条件 の挿入損失がほぼ一致しており,従来の有限 長線音源の理論通り,見通し角のみで定まる ことを示している。これに対して,指向性音 源の場合は受音点が中心線から離れるほど 挿入損失が小さくなる傾向にあり,その低下



の割合は軌道からの距離によっても若干異 なっている。以上の結果より,指向性音源に 対する遮音壁の挿入損失は見通し角のみで は定まらないことが確認された。

# 4.2 有限長遮音壁の挿入損失の近似式に 関する検討

図 8 に示すように、受音点正面方向から 両側に角度  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  まで設置された有限長遮 音壁を想定する。なお、この場合の遮音壁の 見通し角は  $\theta = \theta_1 + \theta_2$ となる。無限長線音源 を受音点から音源が見通せる可視区間と見 通せない遮蔽区間に区分し、各々の区間か らの寄与を合成する。その際、可視区間に対 しては挿入損失を 0 とし、遮蔽区間に対し ては無限長遮音壁の挿入損失  $\Delta L_{\infty}$ を近似的 に与えるものとすると、有限長遮音壁の挿 入損失  $\Delta L_f$ は次式で表される。

$$\Delta L_{\mathrm{f},n} = -10 \log_{10} \left[ \alpha_n 10^{\frac{-\Delta L_{\infty,n}}{10}} + (1 - \alpha_n) \right] (1)$$
  

$$\Xi \subset \mathcal{T},$$

$$\alpha_n = \int_{-\theta_1}^{\theta_2} \cos^n \phi d\phi / \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \cos^n \phi d\phi \qquad (2)$$

従って,無指向性音源の場合,

$$\alpha_0 = \theta / \pi \tag{3}$$

となり,遮音壁の見通し角で定まるのに対 して,指向性音源の場合,次式のように両端 の角度にも依存する。

$$\alpha_2 = [\theta + \sin\theta\cos(\theta_1 - \theta_2)]/\pi \qquad (4)$$

有限長遮音壁の挿入損失の近似式に関し て,1パスの方法による計算結果との対応を 確認し,近似精度を検証した結果,指向性音



源では近似式の精度は1パスの方法とほぼ 同等であることが確認された。

5.風荷重軽減型遮音壁に対する騒音低減量の評価
 5.1風洞実験による風荷重軽減効果の検討
 5.1.1風荷重の測定方法

模型は 1/5 縮尺とし,図9に示すとおり 遮音壁の開口率と遮音板の角度を変えた 10 試験体について,風洞風速を 10,20,30, 40 m/s の4条件に設定して実施した。風荷 重は,試験体四隅に設置した力センサーに より水平力を計測し,その合計値として算 出するものとした。



図9 遮音壁の模型概略図

#### 5.1.2 測定結果

改良型遮音壁の風荷重軽減効果を評価す るにあたり,直壁に対する改良型遮音壁の 風荷重比を算出した。図10に改良型遮音壁 の風荷重比の測定結果を示す。改良型遮音 壁の風荷重比は,遮音板の角度が等しい場 合,開口率が大きいほど小さくなり,また, 開口率が等しい場合,遮音板角度が小さい ほど風荷重は小さくなることが確認できる。 なお,風圧力が遮音壁の見付面積に比例し, 遮音板の法線方向に作用するものと単純に 仮定すると,開口率をα%,遮音板の角度を θ°として,改良型遮音壁の風荷重比は次式 で表される。

 $F(a, \theta) = (1 - a / 100) \sin \theta \qquad (5)$ 

図中の実線は上式の理論値を示しており,開 ロ率0%の場合,実験値は理論値をかなり下 回るものの,開口率30%および50%の場合 は理論値と概ね良く対応することがわかる。



# 5.2 数値解析による騒音低減効果の検討5.2.1 数値解析の方法

改良型遮音壁の騒音低減効果に関して, 遮音板の傾斜角度・幅・間隔(枚数)・吸音 性の影響を検討するため,鉄道沿線の騒音 伝搬を模擬した数値解析によるケーススタ ディを行う。図11に示すとおり,軌道中心 から水平距離10~15 mの範囲で R.L から の高さを5mごとに評価域I~Vに区分し, 各評価域の受音点における騒音低減量の平 均値により騒音低減効果を評価した。



#### 5.2.2 解析結果

#### (1) 遮音板の傾斜角度を変化させた場合

図 12 に示すように,幅 500 mm と 1,000 mm の遮音板を等面積で設置し,角度を 0~ 90°まで 15°ごとに変化させる。図 13 に各条 件の評価域ごとの騒音低減量および直壁に 対する風荷重比の理論値を示す。遮音板角 度が大きくなると低減量は増加し,幅 500 mm では角度 45°または 60°,幅 1,000 mm で は角度 45°で最大となっている。



図 13 騒音低減量の解析結果(遮音板角度の変化)

#### (2) 風荷重を一定とした場合

開口率が0%,30%,50%の遮音壁に対し て,風荷重が同程度となるように,図10の 結果から遮音板角度を設定した。遮音板幅 を1,000 mmとして,遮音壁が受ける風荷重 比が30%,50%となる遮音壁形状を図14に 示す。図15に各条件の評価域ごとの騒音低 減量を示す。図13の結果と合わせると,遮 音壁の開口率を下げるよりも,ある程度の 傾斜角度の確保が効果的といえる。その理 由として,走行音は軌道中心から斜め上40° に強い指向性を有するため,遮音板をその 方向に向けた場合,反射音が効果的にバラ ストに吸音されるものと考えられる。

風荷重に関する風洞実験と騒音低減に関 する数値解析の結果,遮音板の傾斜角度と 間隔の組合せによっては,風荷重を半分以 下に軽減しつつ,高所空間の騒音低減量を 直壁と同程度まで確保できることが確認さ れた。



## 6. おわりに

本論文では,在来鉄道騒音の主要な騒音 源である車両下部音源を対象として鉄道騒 音に対する予測手法の適用範囲の拡大と精 度向上に関する知見の取得を行った。今後 の課題として,新幹線鉄道のさらなる高速 化に向けて,新幹線騒音に対する予測手法 への適用について検討する必要がある。

#### 参考文献

[1] 安部由布子,長倉清,北川敏樹:在来鉄道騒音 の予測手法に関する検討,日本音響学会騒音・振動 研究会資料, N-2005-1, 2005.

[2] 廣江正明,加来治郎,森圭太郎,高桑靖匡,野 澤伸一郎:差分法を用いた台車騒音に対する逆L 型防音壁の遮蔽効果の解析,騒音制御 Vol.31, No.4, pp.322-332, 2007.

[3] 道路交通騒音の予測モデル "ASJ RTN-Model 2013",日本音響学会誌,日本音響学会誌,70巻4 号,pp.172-230,2014.