126 在来鉄道騒音予測手法における防音壁の多重音響反射の 影響に関する研究

Examination Concerning Influence of Multiple Reflection of Noise Barrier in the Ordinary Railway Noise Prediction Method

〇音正 緒方 正剛 (独立行政法人 交通安全環境研究所) 音正 藤原 恭司 (九州芸術工科大) 音正 北川 敏樹 音正 長倉 清 (財団法人 鉄道総合技術研究所)

Seigo OGATA,

National Traffic Safety and Environment Laboratory, 7-42-27 Jindaiji-higasi-machi Chofu Tokyo

Kyoji FUJIWARA, Graduate School of Kyushu Institute of Design

Toshiki KITAGAWA, Kiyoshi NAGAKURA, Railway Technical Research Institute

Noise barriers have been constructed to reduce the railway noise. However, as multiple reflections between noise barrier and car body occurs, we can't accurately estimate the effects of the multiple reflections reflection in predicting method of ordinary railway noise.

In this paper we investigate the effects of multiple reflections using a technique of scale model experiment. The experimental results show that noise level varies due to multiple reflections in accordance with the difference of the distance between noise barrier and car body. Then we think out that the railway noise prediction method in due consideration of the difference of the multiple reflections.

Key Words : Railway Noise Prediction Method, Noise Barrier, Multiple Reflection, Model Experiment

1. まえがき

鉄道沿線の環境保全の目的から、在来線において騒音対策の 施工の機会が増大しており、在来鉄道騒音の予測手法の精度向 上に対する重要性が高まっている。

在来鉄道騒音の予測手法¹⁰²において、鉄道車両から発生する 転動音やモータファン音の音源から受音点までの伝搬経路に高 架高欄などの障壁が存在する条件での減衰量については、半無 限障壁のナイフエッジの場合の近似式を適用しているが、実際に は予測値と実測値が合致しない場合があり、筆者らはこの理由の 一つとして、模型実験などの検討結果から、車両と障壁間に多重 反射が発生しており、騒音予測手法ではその影響を一定値として いることが主因であることを報告した。³⁴⁰⁵⁾そこで、多重反射に関 して、車体と障壁の距離の違いや防音壁面の吸音材の有無が騒 音放射特性に及ぼす影響を定量的に把握することを目的として、 更に詳細な模型実験(縮尺:1/20)を行った。

本報では、模型実験の結果について、防音壁と車体との距離や 防音壁面に貼付する吸音材の有無をパラメータにした場合の騒 音放射特性を比較することで、多重反射の影響について検討し た結果を報告する。

2. 高架構造模型実験の概要

模型実験に際しては、模型の縮尺比に対して全ての物理量が実物と模型とで相似則が成り立つと仮定した。

模型は、1/20の縮尺の高架構造及び車両の模型を全無響室内 (5.4m×4.95m×2.7m)に設置した。以下、実物換算をした値で検 討することにする。測定点は、近接側の軌道中心からの実物距離 が6.25m, 12.5m, 18.75m, 25m, 37.5m, 50mに相当する測定点上 でのレールレベル(以下、「R.L.」という)からの高さR.L.+10mから R.L.-10mの2m間隔で各距離11点の合計66点のメッシュ上で行 った。騒音レベルは、2.5~80kHz(実物換算125Hz~4kHz相当) の1/1オクターブ中心周波数について計測した。車両模型の車両 長は4mで連結部がない均一断面である。車両模型、音源及びマ イクロホンの配置をFig.1に示す。

2.1. 実験条件

①防音壁高さ 2m(防音壁標準高さ)

②車体と防音壁の間隔 条件A:0.5m (近接側)、条件B:1m (近 接側)、条件C: 2m (近接側)、条件D:5.3m (遠隔側:近接側1m 相当)

③防音壁面の吸音材 モルトプレーン、吸音材なし



日本機械学会 [No. 01-7] 合同シンポジウム VSTech2001 振動・音響新技術シンポジウム - 音響に関する研究のさらなる発展を目指して -日本機械学会・日本音響学会共催シンポジウム講演論文集 (2001-6.6~8, 広島) ④吸音材平均吸音率 0.6 (実物換算125Hz~2kHz相当)⁶⁾ ⑤防音壁面の吸音材貼付面積 全面貼付、吸音材なし ⑥軌道条件 スラブ軌道(吸音材なし)

2.2.音源

音源は、高周波帯域まで安定した均一の線音源であることが必要であることから、円筒形の和紙の表面に均等な分布にピンホールを空けて筒中に圧縮空気を送り、空気が吐出する際に発生する音を音源とするジェットノイズ線音源を用いた。音源の1/1オクターブ中心周波数特性をFig.2に示す。

2.3. 実音源に対する補正

模型実験結果から実際の鉄道騒音に関する検討を行う場合は、 模型実験に使用した線音源と実路線の車両から発生している音の 周波数構成の違いを考慮して、各周波数での補正を行う必要があ る。在来鉄道における軌道近傍点(2m)での騒音測定例について 1/1オクターブ中心周波数の各帯域ごとの騒音レベルをFig.3に示 す。この車両は、一般的な都市近郊型車両であり、この車両が90 km/hで走行した場合の単発騒音暴露レベル(LAE)のスペクトル を示している。今回の騒音放射特性や吸音材の減音効果などの 検討にあたっては、以下の方法で整理を行った。①模型実験にお いて、各測定点における騒音の周波数スペクトルを求め、各バンド ごとに線音源近傍での結果とのレベル差を求める。②模型と実物 との相似則に基づいて周波数をn倍(1/20縮尺の場合、n=1/20) し、①で得られた関係をFig.3に示す在来鉄道のレール近傍(2m) で測定した騒音の周波数スペクトルに対して適用し、各測定点に おける音圧レベルを算出する。

3. 各距離条件のコンターマップ

3.1.防音壁に吸音材なしの条件

標準高さ(2m)の防音壁を有する高架構造模型上に防音壁から 車体を0.5m、1m、2m、5.3m(遠隔側)の距離に設置した条件に おいて、防音壁内側に吸音材を貼付しない場合のコンターマップ をFig.4(a)~(d)に示す。

Fig.4(a)~(d)から、防音壁に近接した6.25m上の騒音レベルが 最大となる点は、防音壁と車体の距離が狭いほど上にあり、広くな るに従い下方になる。また防音壁と車体の距離が広くなるに従い、 コンターの傾きが水平方向に向くことから、この距離に応じて騒音 放射特性が水平方向の成分が増加することを示している。

3.2.防音壁に吸音材(モルトプレーン)を貼付した条件

標準高さ(2m)の防音壁の内側全面に吸音率の高いモルトプレ ーンを全面に貼付した場合のコンターマップをFig.5(a)~(d)に示 す。また、Fig.4(a)~(d)の各測定点において、吸音材を貼付して いない条件に対して吸音材を貼付した条件を差し引いた音圧レベ ル差(以下、「低減量」という)をFig.6(a)~(d)に示す。

Fig.5(a)~(d)により、防音壁に近接した6.25m上の騒音レベル が最大となる点は、吸音材が有る場合は吸音材がない場合に比 べて2~3m上方に移行し、コンター全体の傾き傾向は、垂直側に 向く傾向がある。

Fig.6(a)~(d)より、条件Aや条件Bの低減量は約4~7dBである。 条件Cの低減量は1~4dBであり、条件Dでは0~3dBであることか ら、低減量は防音壁と車体の離れが狭い条件の方が離れが広い 条件に比べて大きく、壁面の反射回数に応じて低減量が多くなる ことを示している。 距離が6.25mや12.5m上のR.L.+10mやR.L.+8mの高い位 置では低減量がなくなる傾向があり、この傾向は防音壁と車体との 距離に応じて顕著になる。

同じ距離上での低減量はR.L.+2m以下では概ね同じ低減量で あるのに対して、この高さより高い範囲では高さに応じて低減量は 大きく、その差は1~2dBである。また、条件Aや条件Bのように防 音壁と車体の離れが狭い場合には、距離が6.25mから離れるに 従い低減量が減少する傾きを持ち、その差は約1~2dBである。

この模型実験結果を実路線の高架構造における高欄や遮音壁 に対する吸音材による追加騒音対策の検討に利用することは充 分に有用であると考えられる。これらの結果は、全無響室内の自 由空間における騒音放射特性についての検討であるため、地表 面による反射及び超過減衰を考慮していない点を注意する必要 がある。例えばFig.4(b)とFig.5(b)における離れ12.5m点上(在来 鉄道の新線・大規模改良の際の評価距離)のR.L.-4mにおいて 両者を比較すると、吸音材施工前には80dBであるが、施工後に76 dBになる。この測定点での遠隔側の騒音は、Fig.4(d)とFig.5(d)の



Fig.4 Contour Maps (Without Material)

-172 -



同測定点では施工前は79dBであるが、施工後には77dBとなる。 つまり、この測定点では施工前は近接側の影響が大きいが、騒音 対策を施すことにより遠隔側の影響の方が大きくなる場合があるこ とを示している。

4.考察

4.1. 吸音材を貼付た場合に垂直方向の指向性になる理由について

防音壁面に吸音材を吸音材を貼付した場合のコンター全体の傾 きの傾向が吸音材がない時に比べて垂直側に向く現象について は、音線法によるナイフエッジでの音の振る舞いに関する検討結 果ⁿに基づいて考察することにした。音線法による音の振る舞いに 関するイメージ図をFig.7に示す。

Fig.7より、音源から受音点へ至る音の経路について、以下の4 通りの経路を仮定した。

①車体下部の音源から車体下面と軌道面の反射の後に車体と防 音壁の間を直接抜けて放射される場合(直接音(車体下面・軌道 面反射))

②防音壁に反射した後に車体側面と防音壁の反射を繰返し、天

Fig.6 Noise Reduction Level (Without Material – With Material)

端から直接受音点に到達する場合(車体防音壁反射) ③①のうち防音壁の天端に到達した音が天端を回折して受音点 に到達する場合(直接音+回折)

④②のうち防音壁の天端で回折をして受音点に到達する場合(車 体防音壁反射音+回折)

①と③については、車体下部と軌道面で反射した後に、車体と 防音壁の空間を通り抜けて防音壁の天端に達する経路であり、③ は①のうち天端で回折して受音点に達する成分を表している。② は、車体下の音源から防音壁に直接当たり、その後車体側面と防 音壁面との反射を繰り返したあと、天端より放射する経路であり④ は②のうち天端で回折して受音点に達する成分を表している。

ここで、防音壁に吸音材を貼付した場合に吸音材が無い場合と 比べて騒音放射特性が垂直方向になる理由について考察する。 上記の①と③の経路の場合は、防音壁面に反射せず天端に到達 し、壁面の吸音材の影響が少なく受音点に達するため、垂直方向 の成分が多いものと考えられ、一方②と④の経路を伝搬する音は、 水平方向の成分が主であると考えられ、吸音材がある条件では防 音壁の反射回数に応じて吸音材の影響を受けると考えられる。車



Fig.7 Imaginative Figure of Noise Radiation by the Line Noise Method

体と防音壁の距離が比較的狭い条件Aや条件Bは、壁面の反射 回数が多いため吸音材の影響により②と④の経路で伝搬する音 の寄与が低減し①と③の寄与割合が高まることで、騒音放射特性 が垂直方向に向くものと考えられる。

4.2. 多重反射に関する考察

車体と防音壁の間に発生する多重反射について上記の考え方 を用いると、この多重反射の現象は、上記の経路の②と④の場合 に影響していることになる。騒音予測手法における高欄などの防 音壁(吸音材なし)がある場合の多重反射の影響のよる補正は、一 般在来鉄道の高架構造では車体と防音壁の間隔がほぼ一定であ るとして、その予測点の位置に依らず一律に+2dBとしている。し かしFig.6(a)~(d)で示す通り、吸音材が有る場合、すなわち防音 壁面での多重反射の影響が少ない場合には、吸音材の有無によ る低減量は距離に応じた傾きを持ち、その傾向はFig.6(a)(b)のよう に車体と防音壁の距離が狭いほど顕著である。これは上記で述べ たように、騒音放射特性の変化に起因し、この差は最も大きい場 合では2dBを越える場合もあり、その傾きについても高さによる違 いが認められる。従って、今回の模型実験結果から、現行の騒音 予測手法では多重反射による補正は一律に+2dBとしているが、 車体と防音壁の距離や予測点の位置に応じて現行の補正値に対 して0~2dBの範囲で変わり得ることが分かった。

4.3. 軌道近傍の測定点で低減量が小さい理由について

Fig.6(a)~(d)の軌道に近接した6.25m上における高さの高い測 定点での低減量が小さく、その傾向は車体と防音壁との距離に応 じて範囲が広がる。この理由は、防音壁と車体の距離が0.5m、

1m、2m、5.3mと広がるに従い、6.25m上のR.L.+8m及び R.L.+10mは、直接に車体下部が見通せる測定点となる。この直接 に車体下部が見通せる場合は前述の経路①で示すように音が伝 搬する経路において防音壁自体が関与していないため吸音材の 貼付による低減量が小さくなるものと考えられる。

4.4.防音壁天端高さより低い測定点では吸音材による低減量 が小さくほぼ一定である理由

防音壁天端高さ(R.L.+2m)より低い測定点での低減量は高さ による変化が小さいのに対して、この高さより上では、高さに応じて 低減量が大きくなる傾向がある。この傾向は、車体と防音壁の距離 に依らず、どの条件にも見られる。この理由として、防音壁天端高 さより下の測定点に対して到達する音の経路は、前述の経路③と ④のみであり、両者とも防音壁の天端部分での回折による挿入損 失を伴っており、吸音材が無い条件においてもその挿入損失によ り、音のエネルギーが低い測定点である。この挿入損失は、回折 の角度により決まる量であり、これらの範囲における経路③と④と の寄与割合は、その位置に依存せずにほぼ一定であると考えられる。低減量は、④の寄与割合に応じて決まるものであり、もともと両者を加えたエネルギーが低い状態では、吸音材により④からのエネルギーを減じても、低減量に対する影響は少ないためにこの範囲での低減量が少ないものと考えられる。

5.まとめ

在来鉄道の騒音予測における多重反射の検討のための模型 実験を行い、防音壁と車体との距離や防音壁面に貼付する吸音 材の有無をパラメータにした場合の騒音放射特性を比較し、音線 法を用いて音の振る舞いについて考察した結果は以下にまとめら れる。

1.防音壁と車体の距離が広がるに従い騒音放射特性が水平 方向の指向性を持ち、防音壁面に吸音材を貼付した場合のコ ンターの傾きは、吸音材がない時に比べて垂直側に向く傾向が ある。

2. 車体と防音壁との間で発生する多重反射の影響は、車体 と防音壁の距離や予測点の位置に応じて0~2dBの範囲で 変わり得る。

3. 車体下部が直接に見通せる測定点では、吸音材による低減量が小さくなり、車体下部が見通せない測定点では、車体から同じ距離上での高さに応じて低減量が大きくなる。また回折の角度が大きく、回折減衰により減音された測定点の場合、吸音材による低減量が減少する傾向がある。

4. 模型実験の吸音材の有無によるコンター図の比較から、実 路線での高架高欄や遮音壁への吸音材による追加騒音対策を 実施する場合、評価地点によっては施工前は近接側の影響が 大く遠隔側が低い場合でも騒音対策を施すことにより遠隔側の 影響の方が大きくなる場合が生じる可能性がある。

今回は、模型実験結果から車体と防音壁間で発生する多重反 射の影響について定量化を試みたが、車体と防音壁の距離や予 測点の位置に応じて変わるものであることは確認できたものの定 量化には至らなかった。今後は、境界要素法を用いたシミュレー ションなどで更に検討を行う予定にしている。

く参考文献>

- 1) 森藤良夫他:騒音制御 Vol.20 No.3 1996.6, p.32
- 2) 北川敏樹他: 鉄道総研報告, 第12巻, 第12号, 1998.12, p.41
- 3) 北川保他:日本音響学会1999年秋季研究発表会, 1999.9, p.719
- 4) 北川敏樹他:鉄道総研報告, 第14巻, 第9号, 2000.9, p.11
- 5) 緒方正剛他:鉄道技術連合シンポジウム'97 1997.7, p.361
- 6) 緒方正剛他:日本音響学会2000年春季研究発表会, 2000.3, p.619
- 7) 北川敏樹他:日本音響学会1998年秋季研究発表会, 1998.9, p.719