

在来型鉄道の騒音予測における防音壁の多重反射に関する高架構造模型による実験的検討 (第3報)

- 吸音材の貼付面積や位置及び吸音率の関係について -

環境エネルギー部
九州芸術工科大
(財)鉄道総研

緒方 正剛
藤原 恭司
北川 敏樹 長倉 清

1. まえがき

在来鉄道沿線の環境保全のために騒音対策が求められる機会が増大しており、在来鉄道騒音の予測手法に対する重要性が増している。

在来鉄道騒音の予測手法¹⁾では、鉄道車両から発生する主な騒音源である転動音やモータファン音などの車体下部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は、半無限障壁の場合の近似式を適用している。しかし、実際には予測値と実測値が合致しない場合があり、この理由の一つとして、筆者らは騒音の伝搬過程で車体側面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予測精度低下の主因であることを報告した。

2)

車体と障壁の距離による多重反射の違いや防音壁面の吸音材が騒音放射特性に及ぼす影響について定量的に体系化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。前報³⁾⁴⁾では防音壁と車体との距離を変えた場合や防音壁面に吸音率が高い吸音材を全面に貼付した場合と吸音材が無い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することにより、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。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つ傾向がある。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、などについて報告した。

本報では、防音壁面に貼付する吸音材の貼付面積や貼付位置、また吸音材の吸音率など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により、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

模型実験の検討に際しては、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の関係が成り立つと仮定した。

1/20の縮尺の高架構造及び車両の模型を全無響内(5.4m×4.95m×2.7m)に設置した。騒音の測定は近接側の軌道中心からの距離が6.25m, 12.5m, 18.75m, 25m, 37.5m, 50mに相当する測定点上でのレール高さ(以下、「R.L.」という)からの高さ+1.0mから-1.0mの2m間隔で各距離11点の合計66点のメッシュ上において行った。騒音レベルは、1.6~10.0kHzの1/3オクターブ中心周波数について計測した

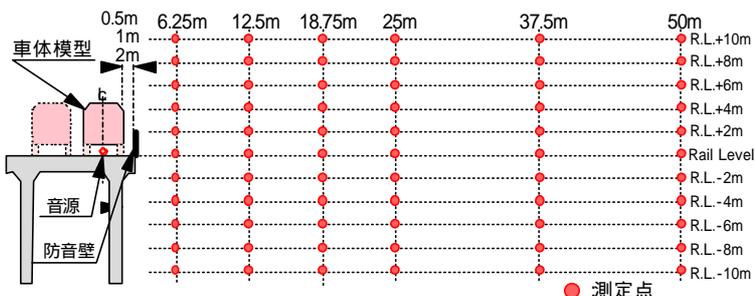


図1 車両模型、音源及びマイクロホンの配置図(数字は実寸法)(模型縮尺:1/20)

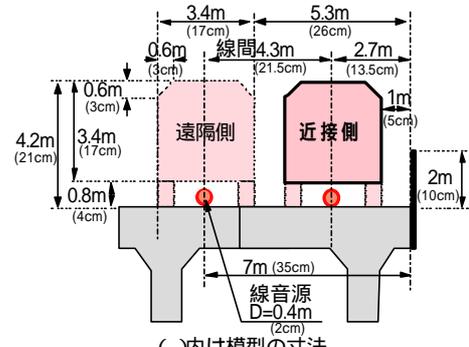


図2 鉄道車両模型実験寸法図(縮尺:1/20)

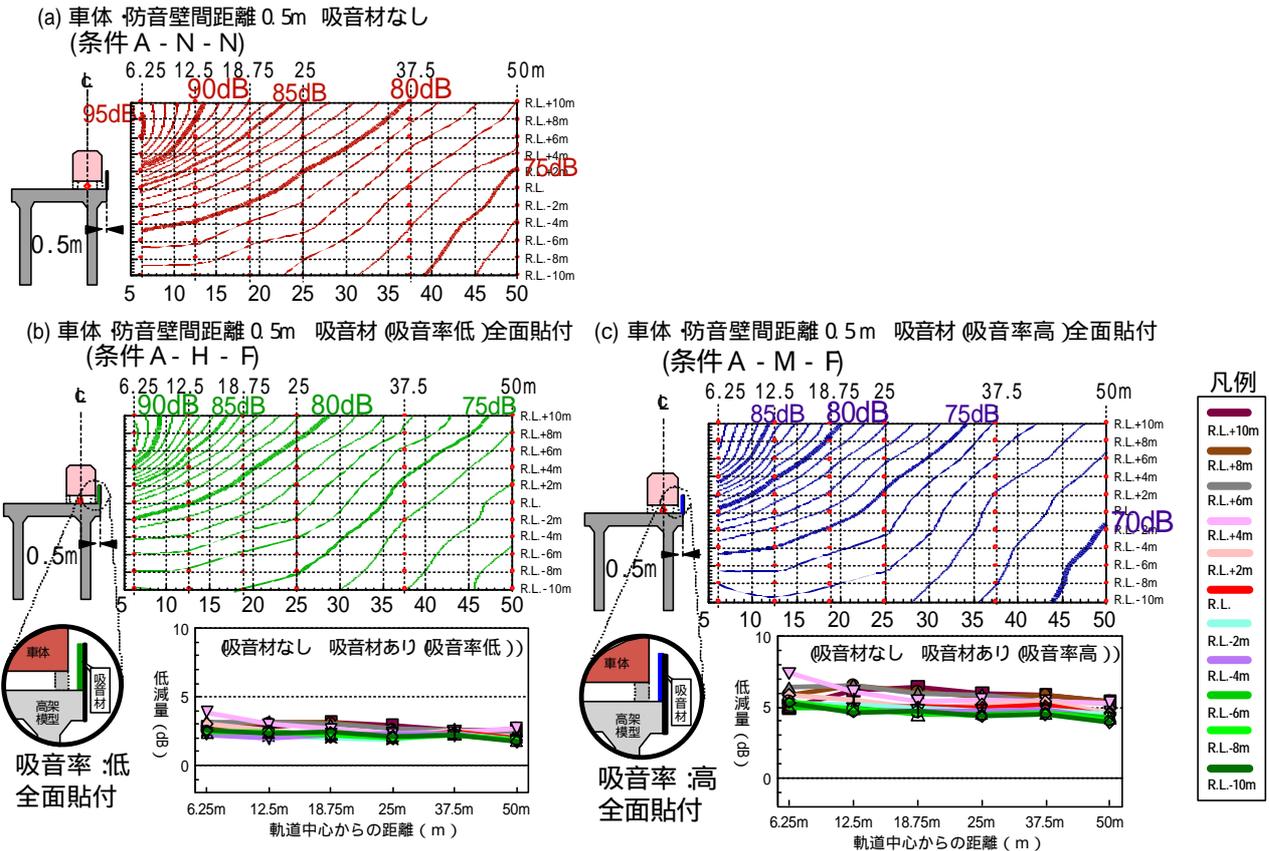


図5 吸音材の吸音率の影響 (車体・防音壁間距離 0.5 m-条件 A)

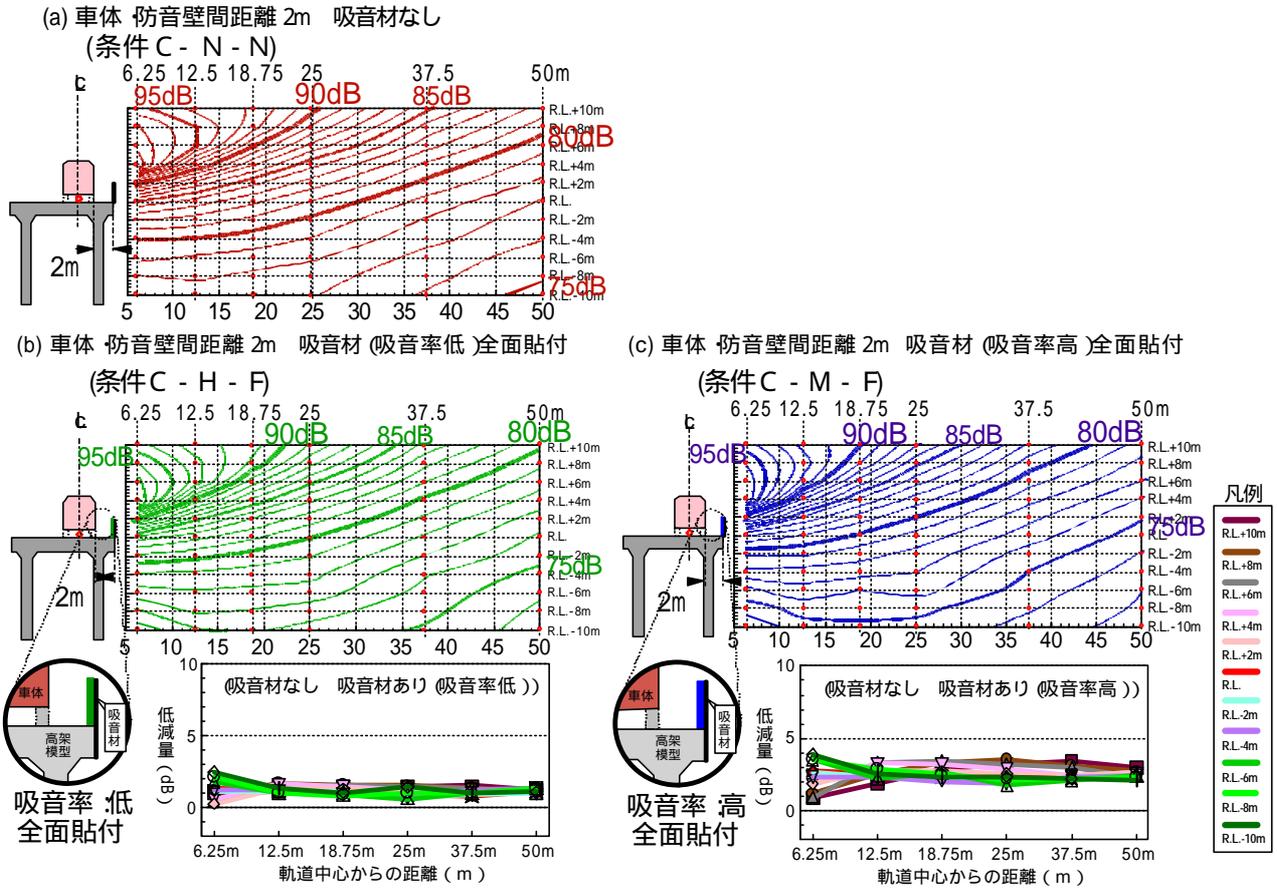


図6 吸音材の吸音率の影響 (車体・防音壁間距離 2 m-条件 C)

(a) 車体 防音壁間距離 1m 吸音材なし
(条件 B - N - N)

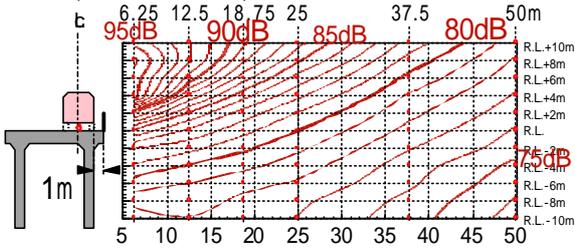
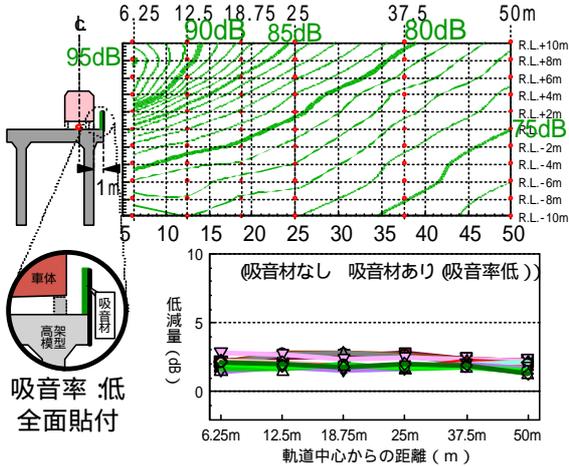


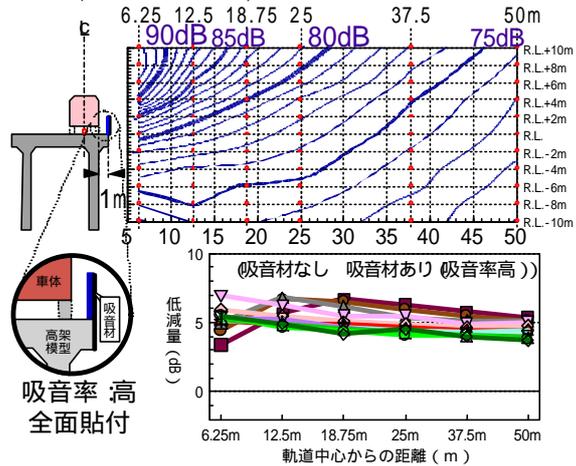
表 1 吸音材の貼付面積及び貼付位置による低減量の違い 単位 dB

	吸音率低 (ハンブ)		吸音率高 (モルトプレーン)	
	RLより高い位置の受音点	RLより低い位置の受音点	RLより高い位置の受音点	RLより低い位置の受音点
全面貼付	2 ~ 3	1 ~ 2	5 ~ 7	4 ~ 5
上半分貼付	1 ~ 2	1 ~ 2	4 ~ 5	3 ~ 4
下半分貼付	1	1	2 ~ 3	1 ~ 2

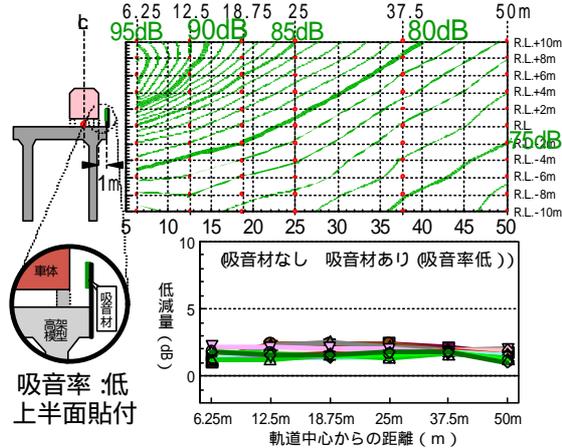
(b) 車体 防音壁間距離 1m 吸音材 (吸音率低) 全面貼付
(条件 B - H - F)



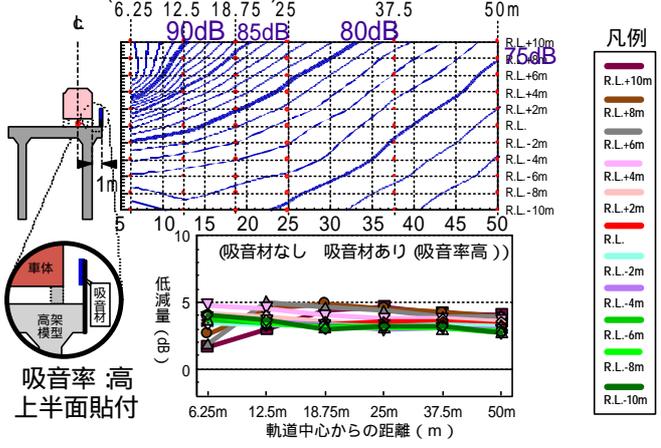
(c) 車体 防音壁間距離 1m 吸音材 (吸音率高) 全面貼付
(条件 B - M - F)



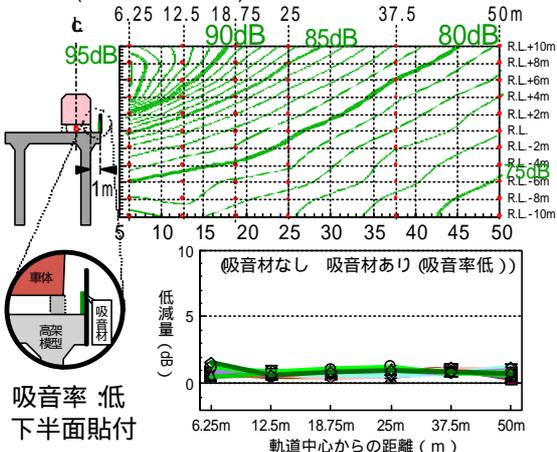
(d) 車体 防音壁間距離 1m 吸音材 (吸音率低) 上半面貼付
(条件 B - H - U)



(e) 車体 防音壁間距離 1m 吸音材 (吸音率高) 上半面貼付
(条件 B - M - U)



(f) 車体 防音壁間距離 1m 吸音材 (吸音率低) 下半面貼付
(条件 B - H - L)



(g) 車体 防音壁間距離 1m 吸音材 (吸音率高) 下半面貼付
(条件 B - M - L)

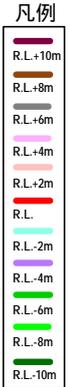
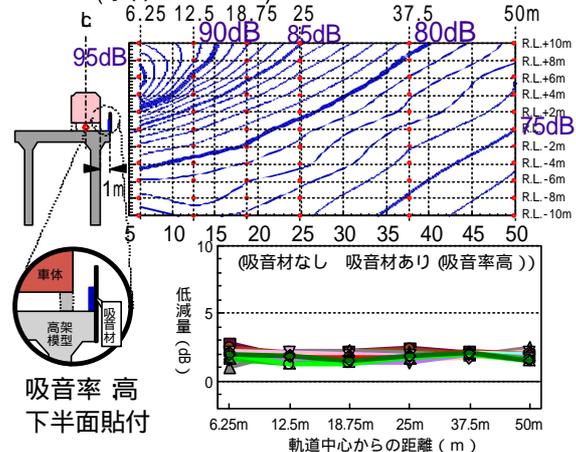


図 7 吸音材の貼付面積及び位置の違いによる影響

。車両模型の車両長は4 m（実物80 m相当）で連結部がない均一断面である。車両模型と騒音の測定点との関係を図1に示す。また、高架構造模型と車両模型の配置を図2に示す。

2.1. 実験条件

防音壁高さ 2 m

車体防音壁間隔 0.5 m（条件A）, 1 m（条件B）

2 m（条件C）

防音壁面の吸音材 モルトプレーン（条件M）,

ハンブ（条件H）, 吸音材なし（条件N）

吸音材の吸音率⁵⁾（音源重み付け平均斜入射吸音

率⁶⁾）モルトプレーン（条件M）0.77, ハンブ（

条件

H）0.40

防音壁面の吸音材貼付面積

全面貼付（条件F）, 上半分貼付（条件U）, 下半分

貼付（条件L）, 吸音材なし（条件N）

軌道条件 スラブ軌道（吸音材なし）

2.2. 音源

音源は、円筒形の和紙に均等な分布にピンホールを開け筒中に圧縮空気を送ることで発生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図3に示す。

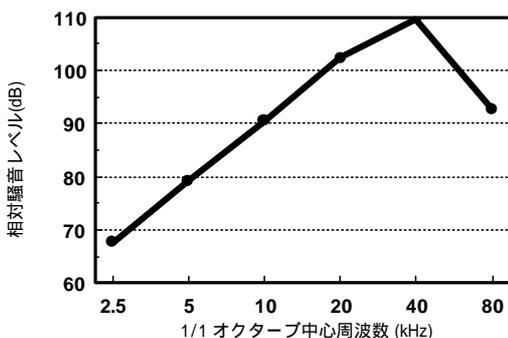


図3 線音源の周波数特性

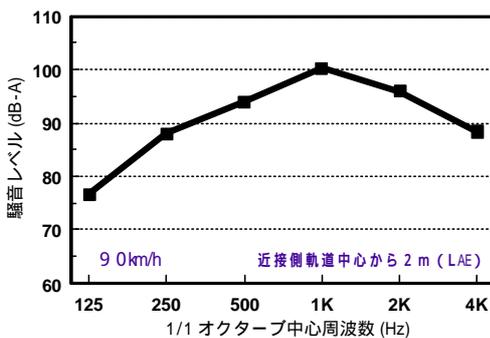


図4 在来鉄道騒音の測定例

2.3. 実音源に対する補正

在来鉄道の軌道近傍点（2 m）での1/1オクターブ中心周波数の騒音レベルの測定例を図4に示す。これは一般的な都市近郊型車両が90 km/hで走行した場合の単発騒音暴露レベル（ L_{AE} ）のスペクトルである。今回の騒音放射特性や吸音材の減音効果などの検討では、模型実験に用い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以下の方法で整理を行った。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。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、得られた関係を図4に示す在来鉄道の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. 各条件のコンターマップ及び吸音材による低減量

3.1. 吸音材の吸音率の違いによる影響

標準高さ（2 m）の防音壁を有する高架構造模型上に防音壁から0.5 mの距離に車体を設置した条件（条件A）において、防音壁面に吸音材がない場合（条件N-N）と吸音率が低い吸音材を全面に貼付（条件H-F）した場合及び吸音率が高い吸音材を全面に貼付（条件M-F）した場合の3条件のコンターマップ及び各測定点において吸音材が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）を図5(a)~(c)に示す。

また、防音壁から2 mに車体を設置した条件（条件C）における条件N-N、条件H-F、条件M-Fの3条件のコンターマップ及び各測定点における吸音材による低減量を図6(a)~(c)に示す。

図5(a)~(c)の各コンターを比較すると、コンターの傾きは防音壁面の吸音材の吸音率が高くなるに従い、垂直方向に向く傾向がある。吸音材による低減量は、吸音率が高い吸音材を貼付した場合は、4~7 dBの低減量があるが、吸音率が低い場合の低減量は、約半分の2~3 dBになる。また吸音率が高い場合には、受音点の高さが高くなると低減量が2 dB程度大きくなる傾向が見られるが、吸音率が低い場合には測定点による変動の傾向は見られず、ほぼ一定値である。

図6(a)~(c)から、防音壁と車体との距離が2 mの条件では、吸音材による低減量は、吸音率が高い吸音材を貼付した場合は2~4 dBである。吸音率が低い吸音材の

場合の低減量は、吸音率が高い場合に比べて約半分の1～2dBであり、吸音材による騒音の低減効果は期待できない。これらから、図5(b)の条件A-H-Fように防音壁と車体との間隔が狭い条件では、吸音材の吸音率が低くてもある程度の低減量が得られるが、図6(b)の条件C-H-Fように、防音壁と車体との間隔が広い条件では、吸音材による低減量が得られないことが分かる。これは車体と防音壁の間隔が狭い場合は、壁への反射回数が多いために吸音率が低い場合でも多少の低減量が得られるものと考えられ、低減量は防音壁の反射回数に依存することが分かる。

3.2. 吸音材の面積と貼付位置の影響

防音壁から1mの距離に車体を設置した条件(条件B)において、防音壁面に吸音材がない場合(条件N-N)吸音率が低い吸音材を全面に貼付(条件H-F)した場合、吸音率が高い吸音材を全面に貼付(条件M-F)した場合、吸音率が低い吸音材を上半面に貼付(条件H-U)した場合、吸音率が高い吸音材を上半面に貼付(条件M-U)した場合、吸音率が低い吸音材を下半面に貼付(条件H-L)した場合、吸音率が高い吸音材を下半面に貼付(条件M-L)した場合の7条件のコンターマップと吸音材による低減量を図7(a)～(g)に示す。

図7(a)～(c)の各コンターを比較すると、条件Aと同様にコンター全体の傾向は、防音壁面の吸音材の吸音率が高くなるに従い垂直側に向く傾向がある。また吸音率の高い吸音材で面積を半分にした場合の上半面に貼付した場合(条件M-U)のコンターの傾向は全面貼付の場合に比べて水平側に向く傾向がある。下半分の場合(条件M-L)では、さらに水平側に向く傾向がある。この傾向は、吸音率の低い条件についても同様の傾向が認められる。

条件Bにおける吸音材の吸音率を変えた場合や貼付面積及び貼付位置による低減量の違いを表1に示す。吸音

率が高い吸音材を上半分に貼付した場合(条件B-M-U)と下半分の場合(条件B-M-L)を比較すると、上半分の方が低減量は大きい。特に、R.L.より高い位置での受音点については、上半分の面積だけでも4～5dBの低減量が得られる。この上半分の方が低減量が多い傾向は、吸音率が低い吸音材の場合でも同様である。

この理由を前報³⁾⁴⁾で示した音線法を用いて考察することにする。音線法による音の振る舞いのイメージ図を図8に示す。

音源から出た音を車体と軌道面で反射した音が防音壁と車体との間を抜け防音壁の頂部に達する経路、音源から出た音が防音壁で反射した後に車体と防音壁の間を反射を繰り返して頂部に達する経路、のうち防音壁の頂部で回折する経路、のうち防音壁の頂部で回折する経路の4経路に分類して、この何れかの経路を伝搬すると仮定する。ここで防音壁の全面に吸音材を貼付した場合は、のうち防音壁に触れずに頂部に達する音を除けば、どのルートも伝搬しても吸音材の影響を受ける。これに対して上半分の場合は、の経路途上の防音壁の下半分に吸音材がないために音源から直接に防音壁に当たる音は、ここで完全反射するものの、その後車体に反射した後に防音壁上部の吸音材に入射して減音される。の経路を伝搬する音は、全面貼付の場合の振る舞いとほぼ同様であると考えられる。従って、上半分に貼付した場合は全面に貼付した場合とほぼ同程度の低減量が得られるものと考えられる。また、下半分に貼付した場合は、の経路は音源からの音が防音壁の吸音材により減音されるものの、のルートを伝搬する音は吸音材が全く関与せずに吸音材なしの条件とほぼ同様に車体と防音壁の間を反射を繰り返して頂部より放射される。よって、下半分に貼付した場合の減音量は、全面または上半分に貼付した場合より小さいものと考えられる。

4. 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、防音壁面に貼付する吸音材の面積や位置及び吸音材の吸音率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は以下にまとめられる。

- 1) 防音壁の全面に吸音材を貼付した場合、コンターの傾き傾向は、吸音材の吸音率が高いと垂直側に向く傾向がある。
- 2) 防音壁と車体の距離が狭い場合には、吸音材によ

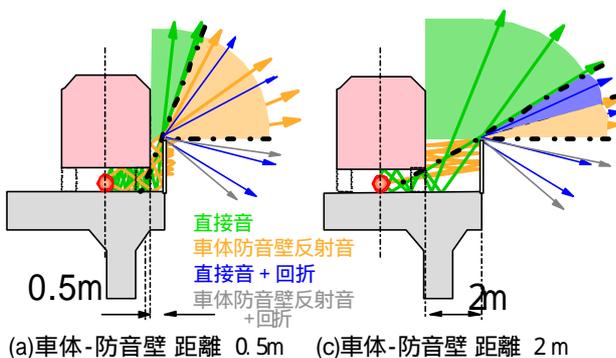


図8 音線法による音の放射イメージ図

る低減量は、吸音率が高い場合は4～7dBであるが、吸音率が低い場合は、低減量は約半分の2～3dBになる。防音壁と車体との距離が広い場合は、吸音材による低減量は、吸音率が高い場合は2～4dBであるが、吸音率が低い場合には、低減量は約半分の1～2dBになり、吸音材による騒音の低減は期待できない。

3) コンタ全体傾向は、面積が半分で上半分に貼付した場合は全面貼付の場合に比べて水平側に向く傾向があり、下半分の場合は、さらに水平側に向く傾向がある。

4) 防音壁面の吸音材の低減量は、貼付位置を上半分の場合と下半分の場合を比較すると、上半分の方が大きい。

今回は、模型実験結果から防音壁に貼付する吸音材の面積や貼付位置及び吸音率の違いが騒音放射特性に与える影響について報告した。車体と防音壁間で発生する多重反射は、現象そのものが複雑であり、今回は定量化には至らなかった。今後は、3次元の境界要素法など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。

<参考文献>

- 1) 森藤他：騒音制御 Vol.20 No.3 1996.6
- 2) 緒方他：鉄道技術連合シンポジウム1997 1997.7
- 3) 緒方他：第30回交通安全公害研究所研究発表会 講演概要 2000.11 p.21～
- 4) 緒方他：振動・音響新技術シンポジウム 2001.6 p.171～
- 5) 緒方他：日本音響学会2000年春季発表会, 2000.3 p.715～
- 6) 国土交通省 国土技術政策総合研究所「道路用吸音板斜入射吸音率試験方法」