

音場情報を用いたマイクロホンアレイによる 新幹線台車部空力音の推定手法

山崎 展博* 中山 雅人** 西浦 敬信***

A Method to Evaluate Aeroacoustic Bogie Noise of Shinkansen High-speed Trains
by Considering Acoustic Field

Nobuhiro YAMAZAKI Masato NAKAYAMA Takanobu NISHIURA

Using a spatial distribution of the sound pressure level (SPL) obtained by a two-dimensional microphone array in a wind tunnel test, aeroacoustic bogie noise can be quantitatively estimated at measuring points. In such cases, it is necessary to appropriately consider noise generation and sound field with respect to various acoustic properties such as ground reflection and insertion loss of a bogie side cover. In this study, the transfer function between the integrated spatial distribution of SPL and results obtained by an omnidirectional microphone is calculated by a numerical method. The SPL of aeroacoustic bogie noise of Shinkansen trains can be estimated using this transfer function and compared with the results obtained in field tests.

キーワード：鉄道騒音，マイクロホンアレイ，伝達関数，音響数値計算，風洞試験

1. はじめに

高速で走行する新幹線車両から発生する空力音は大きな環境問題である。特に車両下部から発生する騒音（以下、車両下部音）は主たる騒音源の一つであり、長年その低減に関する研究が数多くおこなわれている¹⁾。既報²⁾では、風洞試験でマイクロホンアレイを活用した台車部空力音の定量評価を行い、300km/hを超える高速域において台車部空力音の寄与が500Hz帯以下で大きくなるとの試算を行っている。今後更なる台車部空力音の低減対策を開発する際には、側カバーや地面が存在することによる音場状況を把握する必要がある。台車装置を格納する車体下部の凹部領域（以下、台車部キャビティ）と地面が存在するような状況では、台車部と観測点周りにおいて以下のような音場が形成されているものと推定される。

- (1) 地面による反射
- (2) 台車部キャビティ内壁における反射
- (3) 側カバーによる遮へい

(1) や (2) の影響については、音波が同位相に近い状態で重ね合わされた場合、観測点における音圧レベルが増幅する要因となる。一方 (3) の側カバーによる遮へい効果は観測点での音圧レベルの低減をもたらすものであるが、その遮へいの度合いは周波数に依存し、低周

波数域では効果が小さくなる。つまり、台車部キャビティ内部からの放射音は、反射による音圧レベルの増幅効果と側カバーによる遮へい効果の両方の影響を受けている。

既報²⁾で示した台車部空力音の推定法（以下、従来の推定法）では、マイクロホンアレイによって得られた音圧レベル分布（指向性音圧レベル分布）の積分値から無指向性マイクロホンでの測定結果に相当するスペクトルを算出する際の伝達関数について、無指向性マイクロホンで信号対雑音比が確保できるよう、先頭車両での台車部流入箇所におけるまくらぎ方向流速分布を模擬し、台車部側カバーを取り外した条件での風洞試験の測定値から求めている。この場合、台車部空力音の発生状況（音源、音波の伝播経路）は本来の側カバー設置時とは異なっており、台車部まわりの音場が正確に反映されない問題がある。そこで本報告では、キャビティ内で発生した音波が観測点に伝播する際の地面やキャビティの影響について音響実験による調査を行ったうえで、音場情報が指向性音圧レベルに与える影響を反映した伝達関数を用い、台車部空力音を定量的に推定する手法を提案する（以下、提案手法）。これにより推定手法のプロセスにある伝達関数の物理的意味（ここでは地面とキャビティによる反射、側カバーによる遮へい効果）を明示できるようにすることを目的とする。この提案手法の妥当性を示すため、推定された台車部空力音をもとに新幹線の車両下部音を算出し、現地試験結果との比較を行う。

* 環境工学研究部 騒音解析研究室
** 大阪産業大学
*** 立命館大学

2. 台車部まわりの音響特性調査試験

台車部キャビティ内部から車両側方の観測点へ伝播する音波の音圧レベルを調査するため、大型低騒音風洞の無響室において1/7縮尺車両模型を用いた評価実験を行った。台車部キャビティ内部のマイクロホンとスピーカーの位置関係を図1に示す。車両模型下部に新幹線車両の台車が収納されている台車部キャビティを模擬し、台車部キャビティの側カバーならびに地面の有無を変化させた場合の影響を調べた。Setup 0は無響室内に車両模型および地面を設置しない自由空間を模擬した条件である。Setup 1は車両模型を上下反転設置して地面のない状況を模擬した設置条件である。Setup 2は長さ7000mm、幅5500mmのステージ上に車両模型を通常の状態を設置した条件である。測定対象となる台車部キャビティの模型寸法は、1/7縮尺でレール方向長さ571mm、まくらぎ方向幅476mm（台車部キャビティ上面）、400mm（車体底面）である。

台車部キャビティ内部に存在する音源位置から車体側方の観測点へ伝播する音波を実験で再現するにあたり、台車部キャビティ内の音場を極力乱さないため、また十分なS/Nを確保するため相反定理を適用することとし、台車部キャビティ内の音源位置にマイクロホン、車両模型側方の観測点位置にスピーカー音源を設置した。座標系については、レール方向を x 、地面から鉛直上方を z 、台車部から観測点に向かう方向を y とする。 x 、 y 方向の原点は台車部キャビティ中心、 z 方向の原点は地面高さとする。音源の鉛直方向位置による影響を調べるため、台車部キャビティ内にマイクロホン（B&K社製 Type 4935、1/4インチ、受圧部直径約7mm、長さ65mm）を $z=41$ 、71、101mmの位置に配置した。マイクロホンで測定した時系列波形をデータレコーダー（TEAC社製 WX-7000）で記録し、スピーカーから放射した広帯域音（ホワイトノイズ）を対象として、 m 番目のマイクロホンでの受信音圧レベル L_m に対し、式(1)により音圧レベル差 G_m [dB]を算出した。

$$G_m(f, z) = L_m(f, z) - L_{m,0}(f, z) \quad (1)$$

ここで $L_{m,0}$ は自由空間（Setup 0）での無指向性マイクロホンにより測定した音圧レベル、 f は現車換算後の1/3オクターブバンド周波数である。

台車部キャビティ内音源位置から風洞観測点までの音圧レベル変化について、地面ならびに側カバーの影響を図2に示す。地面が無い状態では、図2(a)と(b)の比較から、側カバーの遮へい効果によってほとんどの周波数帯で台車部キャビティ内から放射された音波が減衰することがわかる。一方、地面が存在し側カバーを設置

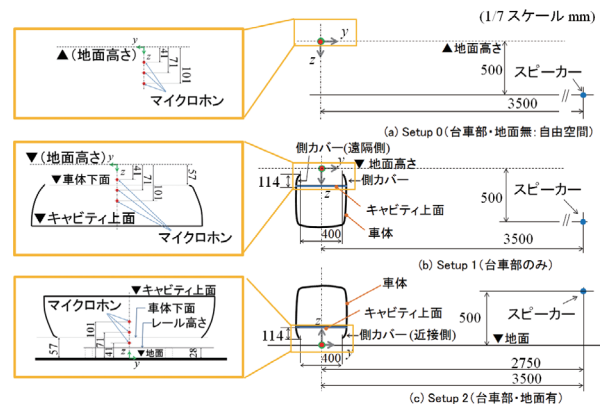


図1 台車部キャビティ内部のマイクロホンとスピーカーの位置関係

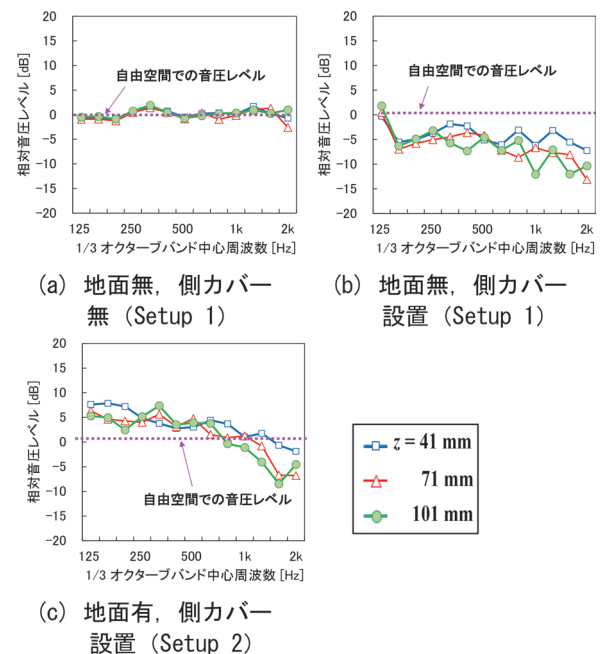


図2 台車部キャビティ内音源位置から風洞観測点までの音圧レベル変化

した場合（図2(c)）には、500Hz帯以下の低周波数域において、側カバーが無い条件よりも音圧レベルが増加する傾向がみられる。これは、側カバーの内壁を含む台車部キャビティ内壁と地面との間での多重反射が生じるためである。

3. 音場情報を反映した台車部空力音の推定法

3.1 推定手法の概要

本研究で提案する音場情報を反映した伝達関数を適用した台車部空力音の推定手法について説明する。車両模型、マイクロホンアレイ（風洞観測領域）ならびに現地観測点の位置関係を図3に示す。台車部キャビティ内に

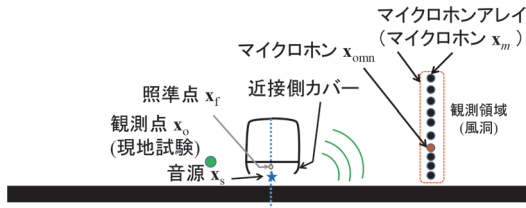


図3 車両模型、マイクロホンアレイ（風洞観測領域）ならびに現地観測点の位置関係

存在する音源、マイクロホンアレイの m 番目のマイクロホンおよびビームフォーミング解析時の照準点の位置ベクトルをそれぞれ $\mathbf{x}_s$, $\mathbf{x}_m$, $\mathbf{x}_f$ とする。

本推定手法と従来の推定手法との相違点を以下に示す。従来の推定手法では、風洞試験でビームフォーミング解析³⁾により台車部周りの二次元的な指向性音圧レベル分布を計算し（Step 1）、次に台車部周りの一定領域内で指向性音圧レベルの積分値（指向性積分音圧レベル）を算出する（Step 2）。実験的に取得した伝達関数を適用し、風洞観測領域内の位置 $\mathbf{x}_{\text{omni}}$ における無指向性マイクロホンでの音圧レベルを算出する（Step 3）。位置 $\mathbf{x}_{\text{omni}}$ については、車体のまくらぎ方向（ y 方向）中心における下面高さを音源と仮定し、この音源位置から現地観測点（レール近傍騒音測定点）を結ぶ延長線上とマイクロホンアレイ平面との交差点に近い位置とする。最後に点音源に対する距離の逆二乗則に従い現地観測点での音圧レベルを算出し（Step 4）、最終的に台車部空力音を推定する（Step 5）。

ここで Step 3 で求める伝達関数は、風洞試験において無指向性マイクロホンで S/N が十分確保できる台車部条件、具体的には新幹線の先頭車両における台車部流入箇所での流速分布を模擬し、台車の両側の側カバーを取り外した状態での実測値として求めている。このため、騒音の発生個所ならびに音響特性（地面の反射や側カバーによる遮へいによる影響等）が側カバーを設置した条件とは異なるものと想定され、求めた伝達関数は実態に即していない可能性がある。また Step 4 では、無指向性マイクロホン位置 $\mathbf{x}_{\text{omni}}$ と現地観測点間の模型縮尺比を考慮した距離の点音源に対する逆二乗特性を考慮しているのみであり、同じく地面や台車部キャビティの影響が考慮されていない。

そこで提案手法では、Step 3 で指向性積分音圧レベルに適用する伝達関数について、台車部周りの音響特性を反映した伝達関数を求め、音源の音響パワーレベルを推定する。つまり従来の推定手法では風洞観測領域上での音圧レベルを推定していたのに対し、提案手法では音源自体の音響パワーレベルを求めることとなる。さらにこの音響パワーレベルに対し同じく台車部の音場情報を反映した伝達関数を適用することで、現地観測点の音圧レ

ベルを推定する。これにより、地面反射や側カバーの遮へい効果が指向性積分音圧レベルに与える影響が明らかとなり、推定精度に対する信頼性が向上することが期待できる。

図3に示す台車部キャビティ内の音源位置 $\mathbf{x}_s$ に音響パワーレベル L_w^c の無指向性点音源（以下、仮想音源）が存在し、ここから放射される音波を車両側方の風洞観測領域に設置したマイクロホンアレイで観測する状況を考える。ここで L_w^c は台車部キャビティや地面での反射、遮へいの影響が無い空間（以下、自由空間）において仮想音源から 1m 離れの位置で 0dB となる値に設定する。仮想音源から放射された音波は、台車部キャビティの内壁や地面の反射、風洞観測領域側に設置された側カバー（以下、近接側カバー）による遮へいの影響を受けた上で各マイクロホンに到達するものとする。台車部まわりの音場情報を考慮して求めた m 番目のマイクロホンでの受信音圧の複素フーリエスペクトルを $s_m^c(f, \mathbf{x}_s, \mathbf{x}_m)$ とし、Delay and Sum 法³⁾により照準点 $\mathbf{x}_f$ における指向性音圧レベル $L_d^c(f, \mathbf{x}_s, \mathbf{x}_f)$ を算出する。

$$s_m^c(\mathbf{x}_s, \mathbf{x}_f, \mathbf{x}_m, f) = s_m^c(\mathbf{x}_s, \mathbf{x}_m, f) e^{ikr_m^f(\mathbf{x}_f, \mathbf{x}_m)} r_m^f(\mathbf{x}_f, \mathbf{x}_m) \quad (2)$$

$$L_d^c(\mathbf{x}_s, \mathbf{x}_f, f) = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{M^2 - M} \sum_{m \neq m'} s_m^c \{s_{m'}^c\}^* \right] + 94 \quad (3)$$

ここで f は周波数、 k は波数、 M はマイクロホンの総数、 r_m^f は照準点から各マイクロホン位置までの直線距離であり、地面や車両が存在しない自由空間での音波の伝播距離に相当する。また $*$ は複素共役を表す。この指向性音圧レベルは、位置 $\mathbf{x}_s$ で音響パワーレベル L_w^c を持つ仮想音源から放射された音波に対して、マイクロホンアレイの指向特性（照準点 $\mathbf{x}_f$ ）の影響を受けた状態での音圧レベルとなる。解析格子点上の一定領域 R に含まれる指向性音圧レベルのパワー和 L_f^c を算出する。風洞実験で得られた台車部空力音についても同様の考え方から指向性音圧レベルのパワー和 L_f^b を算出する。フーリエスペクトル s_m^c で想定している仮想音源の位置ならびに指向特性が風洞試験での空力音源と同一とみなせる場合、式(3)で求めた仮想音源に対する指向性音圧レベル L_d^c のパワーと風洞試験の測定結果から得られる指向性音圧レベルのパワーは各格子点で比例関係となる。よって、音圧レベル分布内の指向性音圧レベルを積分した L_f^c , L_f^b についてもそのパワーは比例関係となる。なお、実際の空力騒音は台車部キャビティ内で空間的に分布していると考えられる。そこで台車部から放射される全音響パワーが仮想音源を1個と仮定した場合と変わらないとしたうえで、音響パワーが同一で複数の無相関な仮想音源が N 個

分布している状況を考える。この場合、複数の仮想音源を対象とした指向性音圧レベルの伝達関数 $L_1^{CT_{sd}}(f_{oct})$ は式 (4) で表される。

$$L_1^{CT_{sd}}(f_{oct}) = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_1^C(f_{oct}, \mathbf{x}_s^n)}{10}} \right) \quad (4)$$

ここで $\mathbf{x}_s^n$ は、 n 番目の仮想音源の位置ベクトル、 T_{sd} は仮想音源の配列パターンを表す。同じく複数の仮想音源を対象とした現地観測点への伝達関数 $L^{\beta T_{sd}}(f_{oct}, \mathbf{x}_o)$ は式 (5) で表される。

$$L^{\beta T_{sd}}(f_{oct}, \mathbf{x}_o) = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L^{\beta}(f_{oct}, \mathbf{x}_s^n, \mathbf{x}_o)}{10}} \right) \quad (5)$$

ここで $L^{\beta}(f_{oct}, \mathbf{x}_s^n, \mathbf{x}_o)$ は $\mathbf{x}_s^n$ に仮想音源が位置する場合の観測点 $\mathbf{x}_o$ における音圧レベルを表す。最終的な現地観測点 $\mathbf{x}_o$ における音圧レベル P_{fin} は、式 (6) の通り推定できる。

$$P_{fin}(f_{oct}, \mathbf{x}_o) = L_1^B(f_{oct}) - L_1^{CT_{sd}}(f_{oct}) + L^{\beta T_{sd}}(f_{oct}, \mathbf{x}_o) + A(f_{oct}) + 10 \log_{10}(2) \quad (6)$$

ここで $A(f_{oct})$ は周波数重み付け特性 A に関する補正值、最終項は車間部通過時の騒音に 2 台車分の寄与が含まれることを考慮したものである。

3.2 数値計算による伝達関数の算出

3.1 節で述べた $s_m^C(f, \mathbf{x}_s, \mathbf{x}_m)$ または L_d^C に適用する振幅及び位相情報については、仮想音源位置ならびに構成マイクロホンの位置に依存するため、これらの条件を網羅する多数のデータを実験的に得るのは困難である。一方数値計算による音場解析では多数の音源・マイクロホ位置の条件に対応した振幅及び位相情報を得ることが可能であり、解析手法としては境界条件の離散化による境界要素法 (Boundary Element Method, BEM) が有効である。提案手法では式 (2) に適用する音場情報を反映した複素フーリエスペクトル s_m^C を算出するにあたり、汎用計算ソフト SYSNOISE を用いて BEM による三次元解析を行った。数値解析時の台車部のモデル (メッシュ) を図 4 に示す。座標系として、風洞試験での主流方向、鉛直上方およびこれらに直交し車両から風洞観測領域に向かう方向をそれぞれ x , z , y の正と定義する。風洞試験で用いた 1/7 縮尺車両模型をベースとして、台車部中心から x 方向に $\pm 500\text{mm}$ の範囲を数値計算用にモデル化した。側カバー形状は実際に使用した湾曲形状を模擬した。ただし台車装置は模擬していない。

なお、本報告で記載する周波数はいずれも現車換算後

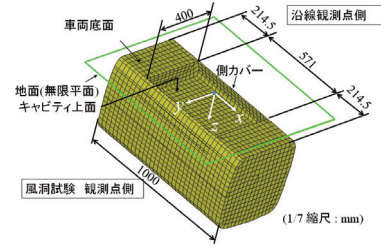


図4 台車部の計算モデル

の値で表したものである。メッシュ間隔は解析対象周波数の波長の 1/6 以下となるように設定した。音速は 340m/s に設定した。伝達関数 L_1^{CT} については、1/3 オクターブバンド周波数に対して 1 バンド内を常用対数で等間隔に分割した離散周波数での指向性積分音圧レベルのパワー平均により求めた。地面の影響については SYS-NOISE による計算の際、 $z=0\text{mm}$ に剛体平面を設定することにより考慮した。予備検討の結果を踏まえ全壁面の垂直入射反射率を 97% (音響特性インピーダンスを $27350\text{kg/m}^2\text{s}$ に設定) とする。なお、風洞試験における移流効果については、ノズル周りの自由せん断層による屈折の影響について、主流方向に平行なせん断層を仮定した補正を行っている⁴⁾。また、台車部とマイクロホンアレイの位置関係について、風洞試験では音波の移流をふまえてアレイの x 方向設置位置を台車中心から 0.5m 下流としている。よって数値計算においても風洞試験での状況に合わせてマイクロホンアレイ中心が $x=0.5\text{m}$ となる条件で計算を行った。現地測定点の位置 $\mathbf{x}_o$ は現車スケールで $y=2.716\text{m}$, $z=0.6\text{m}$ であり、数値計算モデルにおける 1/7 スケールでの位置は $x=0\text{m}$, $y=-0.388\text{m}$, $z=0.0857\text{m}$ とした。また列車が現地観測点前を移動することを考慮し、現地観測点の伝達関数 $L^{\beta T_{sd}}$ の算出時には $x_o = -0.2, -0.1, 0, 0.1, 0.2\text{m}$ の条件で算出した結果のパワー平均値を算出した。式 (4), (5) に示す仮想音源の配置パターン $\mathbf{x}_{sd}$ については、車両下面高さ付近で台車機器の位置する範囲、ならびに間隔が解析最大周波数である 400Hz の音波の波長の 1/7 の距離より小さくなることを考慮し、図 5 に示す通り $x_s = -0.25 \sim 0.25\text{m}$ (0.05m ピッチ), $y_s = -0.15 \sim 0.15\text{m}$ (0.05m ピッチ), $z_s = 0.032 \sim 0.107\text{m}$ (0.0125m ピッチ) の範囲に配置する。指向性音圧レベルの積分値を算出する際の積分領域 R については、 $x = -0.5 \sim 0.5\text{m}$, $z = -0.5 \sim 0.5\text{m}$ (0.1m ピッチ) の格子点領域とした。

3.3 伝達関数の空間分布特性

伝達関数 L_1^C 及び L^{β} の空間分布について、図 6 に示す解析領域において z 方向のパワー平均化を行った後の x - y 平面における周波数特性の比較を図 7, 図 8 に示す。図中の台車部キャビティ寸法は 1/7 スケールで表記した

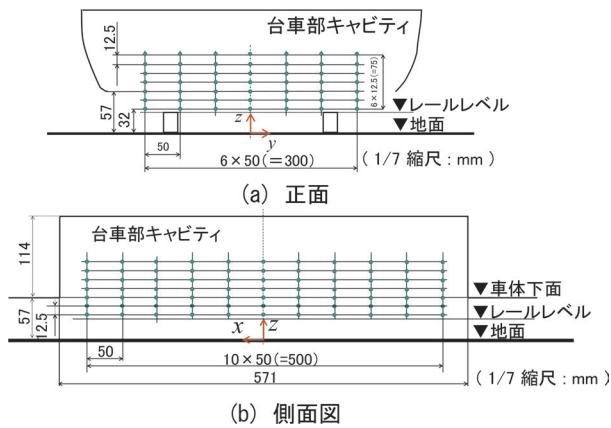


図5 台車部キャビティ内における仮想音源の配置

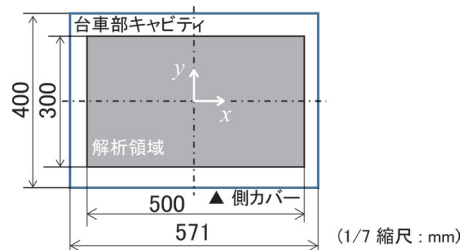


図6 伝達関数 L_1^C 及び L^β の空間分布の解析領域

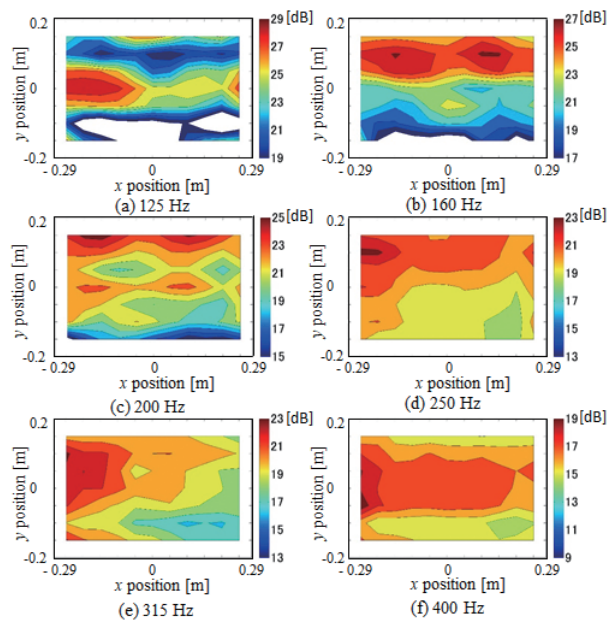


図7 伝達関数 L_1^C の空間分布（鉛直方向での平均化処理後）

ものである。白で描画されている領域は、カラーバーで示す最大音圧レベルと比べて 10dB 以上小さいことを表す。250Hz 帯～400Hz 帯では空間的な変化が最大でも 10dB 以下となる一方で、125Hz 帯～200Hz 帯では y 方向に対して伝達関数の変化が大きくなる。このうち 125Hz 帯ではいずれの伝達関数でも y 方向中心で音圧

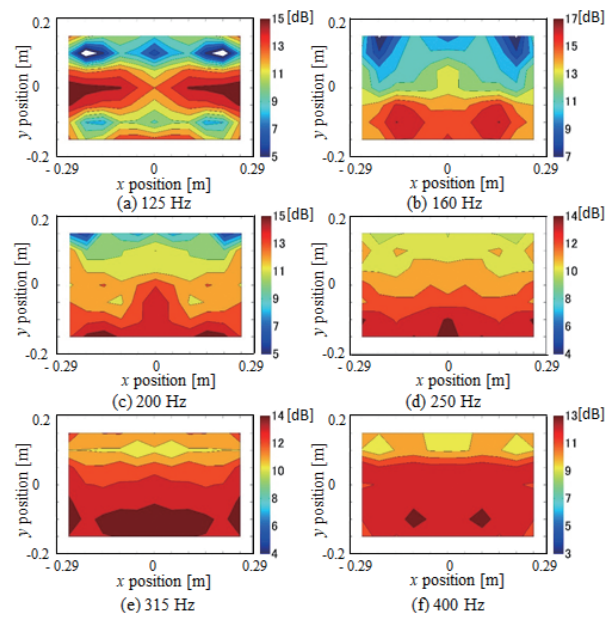


図8 伝達関数 L^β の空間分布（鉛直方向での平均化処理後）

レベルが最大となる。一方 160Hz 帯では伝達関数 L_1^C では風洞観測領域側、伝達関数 L^β では現地観測点側で音圧レベルが最大となるなど、 y 方向に対して非対称性がみられる。これは台車部キャビティ内の仮想音源から風洞観測領域までの（近接側カバー下端部を回折する）直接音と、地面あるいは台車部キャビティ内壁での反射音との音響的な干渉の影響を受けているものと考えられる。以上の結果から、伝達関数 L_1^C および L^β で低周波数域にみられる y 方向の空間分布は、地面、遠隔側カバーならびに台車部キャビティ上部壁面での反射波が影響しているといえる。

式 (4), (5) に従い空間積分を行って得られた伝達関数 $L_1^{CT_{ad}}$ および $L^{\beta T_{ad}}$ について、台車部周りの音場を考慮した場合と自由空間を想定した場合の周波数特性比較を図 9 に示す。自由空間を想定した場合の伝達関数 $L_1^{CT_{ad}}$ は周波数に対して単調減少し、 $L^{\beta T_{ad}}$ は周波数に依存せずほぼ一定となるため、伝達関数 $(-L_1^{CT_{ad}} + L^{\beta T_{ad}})$ は周波数に対して単調増加となる。なお自由空間における伝達関数 $L^{\beta T_{ad}}$ は、台車部キャビティ内における仮想音源の位置から現地観測点までの点音源に対する直線距離の逆二乗特性により約 8dB となる。これに対し台車部を考慮した場合、各伝達関数の周波数特性は台車部キャビティ周りの音場の影響を受けており、自由空間の場合とは異なり単調とはならない。また台車部まわりの音場を考慮した提案手法の伝達関数 $L_1^{CT_{ad}}$ および $L^{\beta T_{ad}}$ は自由空間の場合と比べて、いずれも 125Hz 帯～400Hz 帯の範囲で増加する。つまり、伝達関数 $L_1^{CT_{ad}}$ が示す台車部キャビティ内の音源の音響パワーに対応する指向性積分音圧レベル

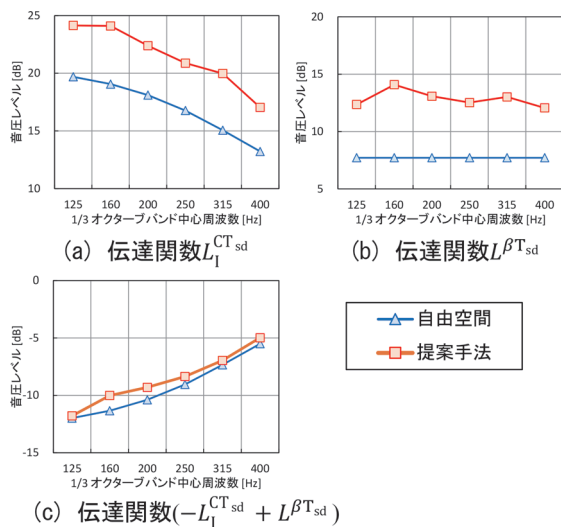


図9 各伝達関数の周波数特性

が地面や側カバーによる反射の影響により増加すること、また伝達関数 L^{BTsd} が示す台車部キャビティ内の音源の音響パワーに対応する現地観測点での音圧レベルが同じく地面や側カバーにより増加することがそれぞれ示されている。ただし、伝達関数 $(-L_I^{CTsd} + L^{BTsd})$ については両者の傾向がキャンセルされるため、沿線観測点での推定結果には大きく影響しない。

3.4 現地試験結果との比較

本推定手法により得られた台車部空力音と転動音とのパワー和により推定した推定車両下部音を、実際の軌道のレール近傍測定点で得られた新幹線の車両下部音（平均列車速度 310km/h）と比較した結果を図 10 に示す。図中 (A)、(B) はそれぞれ本提案手法で台車部の条件を考慮した伝達関数により求めた台車部空力音、ならびにレール振動等の実測結果から TWINS モデル⁵⁾ により推定した転動音と車両機器音の成分である。また (α) は従来の提案手法に基づく台車部空力音²⁾ である。解析対象とした列車は、車体長約 25m、車体幅約 3.4m の車両が 8 両編成で運行されている車両である。レール近

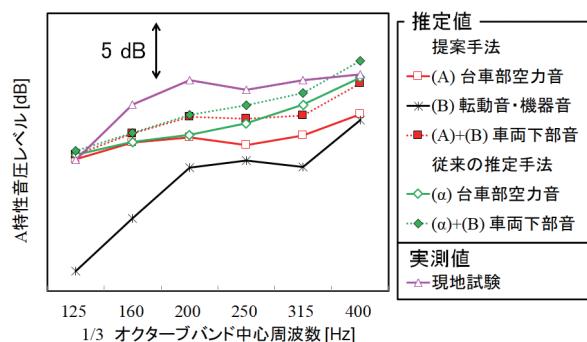


図 10 車両下部音に対する推定値と実測値との比較

傍騒音レベルの算出に際しては、レール近傍測定点（防音壁が設置されたスラブ軌道上で、観測点から車両の台車部が直接見通せる位置）において車両通過時に観測された時間重み付け特性 F での音圧レベルの時間波形に対し、先頭から 5-6 両目に位置する車両間隙部付近が通過する際の 150ms 間（列車速度 310km/h 時の走行距離約 13m）の平均音圧レベルを求めたうえで、4 列車分のパワー平均値を算出した⁶⁾。式 (6) で使用する風洞試験で得られる台車部空力音の指向性音圧レベル L_I^B については、台車の形状を精密に模擬したモデルを設置した状態で台車部の両側に側カバーを設置した条件で測定した結果を用いる。

従来手法では 160Hz 帯、200Hz 帯での実測値と推定値の差が 250Hz 帯以上での差に比べて大きく、400Hz 帯では過大評価となっているのに対し、提案手法では 160Hz 帯～400Hz 帯にかけて実測値と推定値との差がほぼ変化せず、スペクトルの形状がより実測値と一致している。なお、提案手法による推定結果が過小評価となる点については、現地測定点に設けられている防音壁による反射音の影響が風洞実験では考慮されていないことが要因の一つとして考えられる。以上のことから、提案手法による台車部空力音の推定結果は、現地試験結果と比較して妥当であると考えられる。

4. まとめ

風洞試験でマイクロホンアレイを活用して得られた新幹線台車部空力音の音圧レベル分布に対し、台車部から放射された音波の音場情報を考慮した伝達関数を適用したうえで、現地観測点における台車部空力音の音圧レベルを推定する手法を提案した。得られた知見は以下の通りである。

- (1) 500Hz 帯以下では側カバーの内壁を含む台車部キャビティ内壁と地面との間での多重反射が生じるため、台車部キャビティ内から発生する音波が車両側方に伝播する際の音圧レベルが自由空間の場合と比べて増加する。
- (2) ビームフォーミング解析に適用するための伝達関数について、250Hz 帯以上の比較的高周波の帯域ではまくらぎ方向の音源位置による影響が小さいのに対し、125Hz 帯～160Hz 帯の比較的低周波の帯域では変化が大きくなる。特に 160Hz 帯では伝達関数がまくらぎ方向に対して非対称となる傾向を示す。
- (3) 台車部キャビティや地面による反射の影響を考慮したうえで、提案手法によって得られた推定台車部空力音をもとに車両下部音を推定し、現地試験のレール近傍測定点で得られた車両下部音と比較

した。その結果、従来手法では160Hz帯、200Hz帯での実測値と推定値の差が250Hz帯以上での差に比べて大きく、400Hz帯では過大評価となっているのに対し、提案手法では160Hz帯～400Hz帯にかけて実測値と推定値との差がほぼ変化せず、スペクトルの形状がより実測値と一致することを示した。

文 献

- 1) 山田晴夫, 井門敦志, 栗田健, 堀内雅彦: 車体下部吸音対策の評価試験, JR EAST Technical Review, No.22, pp.21-26, 2008
- 2) 山崎展博, 北川敏樹, 宇田東樹, 栗田健, 若林雄介, 西浦敬信: 新幹線の台車部から発生する空力音の実験的推定法, 日本機械学会論文集, Vol.83, No.851, DOI: 10.1299/transjsme.17-00146, 2017
- 3) Flanagan, J.L., Johnston, J.D., Zahn, R. and Elko, G.W., "Computer-steered microphone arrays for sound transduction in large rooms," Journal of the Acoustical Society of America, Vol.78, No.5, pp.1508-1518, 1985.
- 4) Amiet, R.K., "Correction of open jet wind tunnel measurements for shear layer refraction," 2nd AIAA Aeroacoustics Conference, Paper No.75-532, 1975.
- 5) 北川敏樹, 長倉清, 栗田健: 高速走行時における車両下部音の音源別寄与度, 鉄道総研報告, Vol.27, No.1, pp.23-28, 2013
- 6) 山崎展博, 中山雅人, 西浦敬信: 音場情報を用いたマイクロホンアレイによる新幹線台車部空力音の推定手法, 日本機械学会論文集, Vol.85, No.869, DOI: 10.1299/transjsme.18-00316, 2019