

# 都市鉄道の騒音伝播モデル

A NOISE PROPAGATION MODEL OF URBAN RAILWAY

渡辺義則\*・角知憲\*\*・宮木康幸\*\*\*  
*By Yoshinori WATANABE, Tomonori SUMI and Yasuyuki MIYAKI*

## 1. はじめに

多くの場合、騒音の発生状況は単純でなく、音源付近の音場は著しく乱れているが、鉄道騒音も例外ではない。このような場合、音場をきわめて乱された領域と、ある程度以上の距離をもつて比較的単純な音源モデルが適用できる領域とに分けて取り扱うことが考えられる。前者の領域を near field、後者を far field とよぶ。

前報では、軌道用地内の騒音測定結果に基づき、用地外数 m～数十 m の範囲の騒音を far field での伝播として予測計算できることを示した<sup>1)</sup>。

その結果では、高架橋からの距離 17 m 以下で軌道レベルより高いところに比較的騒音レベルの高い領域が存在するが、先に報告したモデルは、列車自体の遮音効果を含まない点で、この領域に対する予測精度を改善する余地がある。

一方、最大の騒音レベルを与えるものに鋼橋がある。都市鉄道では、架道橋として鋼橋が多用されており、その騒音伝播現象を理解することが必要である。

以上のような観点から、本ノートでは、軌道レベル以上の場所の予測精度を向上させるために、先に提案した騒音伝播モデルを改善する方法、および、鋼架橋から騒音伝播を予測する方法を提案するものである。

## 2. 軌道レベル以上の騒音伝播と車体の遮音効果

### (1) 二重回折の計算

高架橋上を電車列車が走行する場合は、4種類の点音

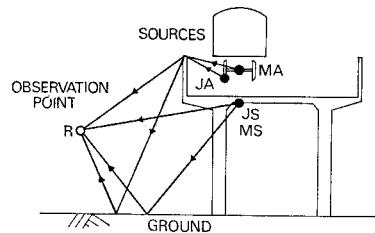


図-1 都市鉄道の騒音伝播モデル  
(コンクリート高架橋)

源 (JA, MA, JS, MS とする) を考慮することはすでに述べた<sup>1)</sup>。ここに、JA：レール継目位置に固定され、車輪通過と同時に音を発する車両床下の音源、JS：同じく高架橋の固体音を代表する音源、MA：台車とともに移動しながら連続的に音を発生する床下音源、MS：同じく移動する高架橋固体音の音源、である。

計算方法の概略は次のとおりである。

(1) 図-1 に示すように、4つの音源についておのれの2つの伝播経路を考える。

(2) 受音点  $R$  におけるバンドレベル  $L_{if}$  は、経路ごとに、

$$L_{if} = PWL_f - 8 - 10 \log D_i^2 - 4L_{if} \quad \dots\dots(1)$$

から求める。ここに、 $PWL_f$ : 音響出力の バンドレベル、 $D_i$ : 伝播距離（音源と受音点を結ぶ直線距離）、 $4L_{if}$ : 回折による減衰量、である。 $PWL_f$  は音源に近いところに基準点を置き、その点の実測データから逆算して求める。また、 $4L_{if}$  はフレンネル番号  $N_{if}$  を、

として求めたうえ、前川の実験図表<sup>2)</sup>から求める。

ここに,  $f$ : バンドの中心周波数,  $4D_i$ : 音源・遮音壁 (JA, MA に対しては側壁, JS, MS に対しては高架橋スラブが遮音壁となる) の先端と受音点を結ぶ経路の長さと伝播距離の差, である.  $N_{if}$  の符号は, 受音点から音源が見通せる場合には負, そうでなければ正とする.

\* 正会員 工博 九州工業大学助教授 土木工学科

\* 正会員 工博 東京大学講師 工学部土木工学科

\*\*\* 学生会員 工修 東京大学大学院工学系専門課程

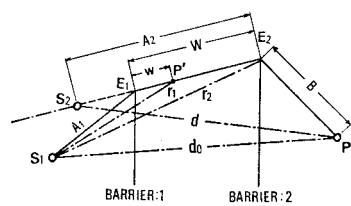


図-2 等価音源法による二重回折の計算

(3) バンドごとに、列車全長にわたって分布するすべての音源について式(1)を計算し、音源から受音点への伝播時間の差を考慮しつつ加算する。

(4) 列車の進行とともに音源の位置を移動させながら、上記の手続きを繰り返し、所定の場所における音圧の時間的変化を計算する。

以上のような計算方法に、車体の遮音効果を導入する。

多重回折による減音効果の計算法はいくつか提案されているが、そのうち比較的容易に使用できるものに等価音源法がある<sup>3)</sup>。等価音源法の概略は次のようである。

(1) 図-2に示すような場合、経路  $E_1E_2$  上に仮定した点  $P'$  および  $E_2$  に対し、障壁1の減音効果を含む音源  $S_1$  と等価な音源  $S_2$  を次式に従って  $E_1E_2$  の延長線上に想定する。

$E_1E_2$  間の距離を  $W$  として、 $P'E_1$  間の距離  $w$  は、 $w > W/10$  の範囲で任意である。

$$A_2 = (W-w) \cdot 10^4 / (10^4 - 1) \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$PWL' = SPL_{(E_2)} + 20 \log A_2 + 11 \quad \dots \dots \dots (4)$$

ここに、 $A_2 : S_2$  と  $E_2$  の距離、 $A = 4SPL/20$ ,  $4SPL$ :  $P'$  と  $E_2$  の音圧レベルの差、 $PWL' : S_2$  のパワーレベル、 $SPL_{(E_2)} : E_2$  の音圧レベル、である。

$P'$ ,  $E_2$  の音圧レベルは、式(1)によって計算する。

(2)  $S_2$  に対する障壁2の効果を、同様に式(1)から求める。

(3) 障壁1に入射する音波が  $S_2$  からの球面波とは異なることの影響を、次の実験的補正値により導入する。

$$SPL_{(P)} = SPL'_{(P)} + D_n \quad \dots \dots \dots (5)$$

$$D_n = (5.0 n_k + 3.0 n_r) \quad \dots \dots \dots$$

$$- \frac{1}{\sum n_i} (5.0 n_k + 3.0 n_r + n_k \cdot 13 \log \sum n_i + n_r \cdot 9 \log \sum n_i) \quad \dots \dots \dots (6)$$

ここに、 $SPL_{(P)}$ :  $P$  点の音圧、 $SPL'_{(P)}$ : 上記(2)によって求めた  $P$  点の音圧、 $D_n$ : 多重回折による補正値、 $n_k$ : ナイフエッジ障壁の数、 $n_r$ : 直角エッジ障壁の数、である。

(4)  $N_{if} < 0$  の減衰に対しては、おののの障壁の独立した効果を重ね合わせる。

等価音源法では、第1の障壁に入射する球面波が1つ

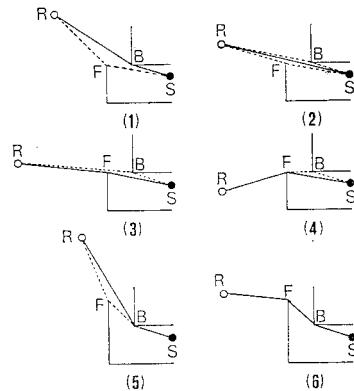


図-3 車体と側壁による二重回折

の障壁を越えて次の障壁に入射する際、理想的な球面波でなくなることに対して補正を行っている。床下騒音が第1の障壁である車体を回折する場合にも、音波は理想的な球面波ではないので、等価音源法を適用して誤差が大きければ、同様の補正を考える必要がある。

受音点の位置と障壁の高さにより、起りこり得る二重回折を分類すると図-3に示すように6つのタイプとなる。

図中、 $S$  は音源、 $R$  は受音点、 $F$  は側壁天端、また  $B$  は車体外形の縁辺であり、実線は幾何音響学的な音の伝播経路、破線は  $N_{if} < 0$  の減音効果を生じる仮想的経路を意味する。 $N_{if} < 0$  の減衰を含むタイプ(1)～(5)の場合は、前記の計算法中、(4)に従って2つの減音効果を重ね合わせればよい。タイプ(5)の場合は(1)～(3)の手法に従う。

## (2) 数値計算と考察

図-4に、前報とまったく同じ条件で都営地下鉄三田線の高架区間(泉岳寺起点 21 km 745, 下り線)のレール継目位置の騒音レベルを計算し比較したものを示す。図中、破線が前報で示した騒音マップ、実線が今回の計算結果である。車体の遮音効果を導入すると、軌道レベル以上の軌道に近いところで音圧レベルが多少低下する

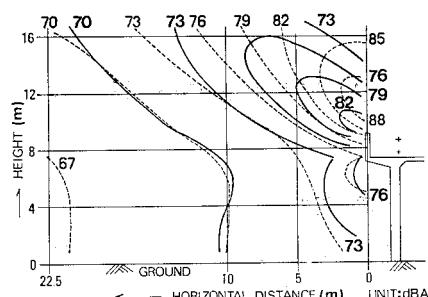
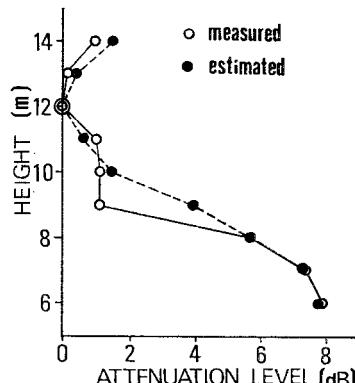


図-4 騒音レベルマップ(コンクリート高架橋、継目部)

図-5 地上からの高さと騒音レベル変化  
(側壁より距離 5 m)

とともにかなりの音の指向性が現われることがわかる。図-5は、このような指向性の存在を実測によって裏づけようとしたもので、高架橋から水平距離 5 m、地表から高さ 12 m の点を基準とし、騒音レベルの変化を高さの関数としてプロットしたものである。高さの比較的小な変化で音圧レベルは有意に変化し、計算値の変化ともほぼ一致している。このような傾向は総目部分以外でも存在するほか、側壁高さが高くなるほど顕著に現われることが計算で得られている。

なお、JA の音源位置は前報と異なり、車輪とレールの接触点においている。この位置は、前節で検討したような車体端を回折する床下騒音の音場の複雑性を含めて決定された仮想の点音源の位置であって、結果的に、いろいろな音源から発生し、車体端を回折する音の乱れた音場を、単純化して取り扱うための補正を、音源の位置に集約したものであるといふことができる。

### 3. 有道床下路プレートガーダー橋の騒音伝播モデル

#### (1) 音源と伝播モデル

都市鉄道では鋼架道橋として、比較的騒音レベルの低い有道床タイプが多用される。

図-6は、このタイプの架道橋の代表的なものの 1 つである。その主要な構造メンバーは、主桁、横リブ、床板であるが、この架道橋から発生する騒音について、最も支配的な音源は床版であり、これに次ぐものは主桁であって、横リブの寄与は小さいとされている<sup>6)</sup>。

そこで、基本的には高架区間の伝播モデルに従い、JS, MS を次のような 2 種類の音源に置き換えたものを、鋼橋部分の騒音伝播モデルとして提案する(図-7)。

(1) 音源は、① 鋼橋下面に一様な音響出力分布をもつ有限面音源 FS (3 主桁の場合) は、主桁にはさまれ

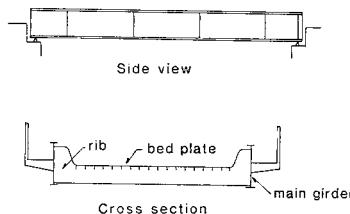
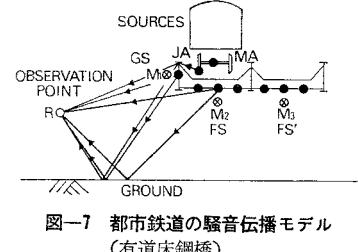


図-6 有道床下路鋼橋の一形式

図-7 都市鉄道の騒音伝播モデル  
(有道床鋼橋)

た 2 つの区間おののについて一様な面音源 FS, FS' とする), ② 主桁中心に桁長さに一致する有限線音源 GS, の 2 つを考える。

(2) ①, ②とも、台車が橋上に進入してから通過し終わるまで、一齊に騒音を発生し続ける。

(3) ①, ②とも、橋の長さで決まる次のような補正值を音響出力レベルに加える。

$$\Delta PWL = 10 \log \left( \frac{x_0}{l_0} \right) \quad (x_0 \leq l_0) \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

$$\Delta PWL = 0 \quad (x_0 > l_0) \quad \dots \dots \dots \quad (8)$$

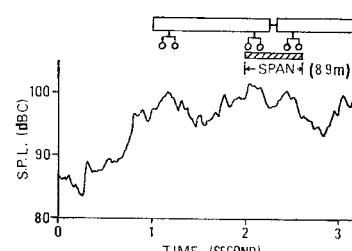
ここに、 $\Delta PWL$ : レベル補正値,  $l_0$ : 橋長であり、 $x_0$ は長さの次元を有する定数である。

(3) に述べた補正是(2)の仮定に基づく。図-8は、橋下面の全音圧レベル(O.A.)の時間的変化の一例であるが、これに橋長を重ねると橋軸方向の音響出力分布を推定できる。これを、等価な矩形分布で置き換えるための操作が(3)の補正であって、当然、軌道・橋梁の構造様式により異なるが、本論文で取り扱う形式の橋では $l_0$ の異なる 2 橋について、共通して  $x_0=4 \text{ m}$  が得られている。また、主桁と横リブで囲まれた領域内で、橋の横断方向については音響出力一様の仮定が適用可能である<sup>4)</sup>。

なお、①の面音源の大きさが騒音の伝播距離に比べて無視できないので、主桁を回折して上方へ伝播する音の回折減衰の計算を容易に行うため、①の音源は一定の小面積ごとに 1 つの点音源で置き換えることとする。

#### (2) 数値計算と考察

以下に示す例は、東京都営地下鉄三田線高架区間の志村第 10 架道橋(泉岳寺起点 19 km 716, 下り線)を対

図-8 鋼橋下面の騒音レベルの一例  
(志村第 10 架道橋)

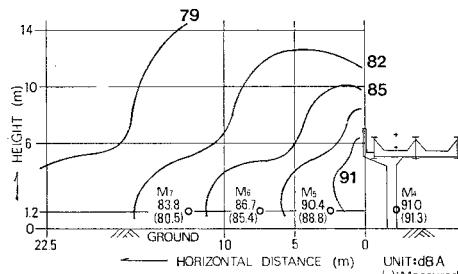


図-9 騒音レベルマップ（鋼橋中央断面）

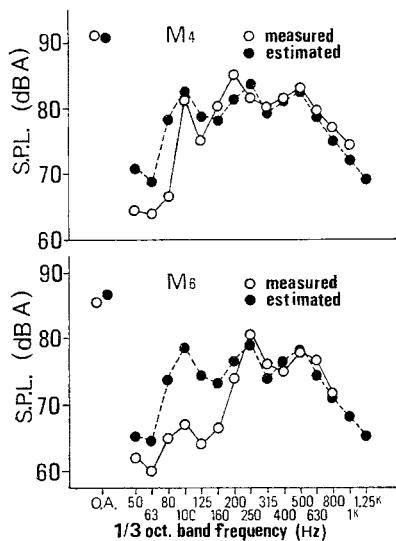


図-10 鋼橋騒音のスペクトル

象としたものである。

図-7 中に示したマイク  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  の実測データから、おのこの音源のパワーレベルを推定し、騒音レベルマップを計算して図-9 に示す。計算結果は、地上 1.2 m、橋梁直下および距離 5~15 m の点の測定値と比較してみたが、O.A. 音圧（図-9）、スペクトル（図-10）とも、大略一致する。図-10 に示したスペクトルは、図-7 中の  $M_4$ ,  $M_5$  の位置における予測値を実測値と比較したものであるが、特に  $M_4$  で 1/3 OCT. バンド 100 Hz を中心に計算結果が過大に出ている。この傾向は、 $M_5$ ,  $M_7$  とも共通し、橋梁下空間に非伝播的な音場が形成されている可能性もあるが、明確でない。床板の振動に比べて発生する騒音が過大であるという現象<sup>5), 6)</sup> も含め、騒音の発生機構という観点からの研究が必要である。

図-11 は、鋼橋を含むコンクリート高架橋上の軌道を走行する列車から伝播する騒音のマップを地上高さ 1.2 m で描いた。鋼橋に続くコンクリート高架部分に比

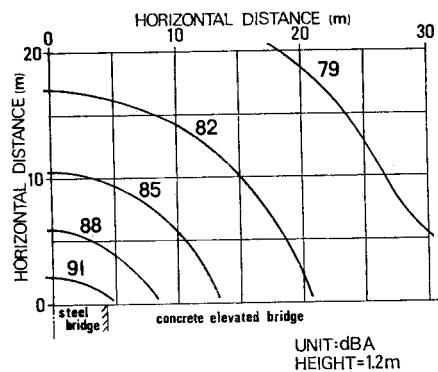


図-11 騒音レベルマップ（鋼橋を含む高架区間、水平面内）

べ、鋼橋の影響範囲がいかに大きいかを示すことができる。

#### 4. 結 言

前報で提案した都市鉄道の騒音伝播モデルは、軌道用地内の少數点の騒音データから沿線の軌道用地外数十 m までの位置の騒音レベルを予測することによって、騒音公害の評価と騒音対策に資することを目的としたものであった。本ノートでは、これに対して多少の改良を試み、音源として有道床下路式の鋼橋を追加し、モデルの適用範囲を拡張した。このモデルの適用可能な範囲は、いまだ限られたものでしかないが、さまざまな条件下において床下騒音や高架橋の発生する騒音が鉄道騒音全体に対してどの程度の寄与をするかを判断するための手段となり得る。さらに、本ノートで示したような拡張を逐次積み重ねることにより、モデルの適用性を向上させることが可能である。

#### 参 考 文 献

- 1) 渡辺義則：都市鉄道沿線近傍への騒音伝播に関する研究、土木学会論文報告集, No. 302, pp. 103~112, 1980 年 10 月。
- 2) 日本音響材料協会：騒音対策ハンドブック, p. 267, 技報堂, 1961.
- 3) 湯沢睦茂・曾根敏夫・二村忠元：多重障壁の減音効果、日本音響学会誌 31 卷 9 号, pp. 538~547, 1975.
- 4) 松本嘉司・小沢康人・渡辺義則：都市鉄道の騒音発生に関する研究、土木学会論文報告集, No. 262, pp. 101~112, 1977 年 6 月。
- 5) 松本嘉司・渡辺義則・角 知憲：鉄道騒音、土木学会第 4 回環境問題シンポジウム講演集, pp. 19~24, 1976.
- 6) 角 知憲・松本嘉司・宮木康幸：鋼橋の騒音発生に関する一考察、土木学会第 33 回年次講演会概要集 IV, pp. 215~216.

(1981.12.19・受付)