

# 騒音伝播を考慮した SEA 法の実橋への適用に関する研究

建設設計工学研究室 北城 正樹  
指導教官 宮木 康幸

## 1.はじめに

近年、人口の都市への集中が増加し、都市部においては鉄道や地下鉄網の整備による輸送力の強化が図られてきた。鉄道橋を列車が走行する際に発生する騒音は、大別すると“走行音”と“固体音”(構造物音)に分けることができる。前者は電車の機器音や車輪とレール間の音などを指し、後者はレールで発生した振動が軌道を介して床版等に伝わり、その振動が原因で生じる音を指す。鉄道橋の騒音において、特に鋼製の場合は、固体音が卓越する。よって、本研究では橋梁近傍の固体音に着目し、研究対象としている。

本研究は、騒音として重要な中高周波数域の計算を得意とする、統計的エネルギー解析法(以下 SEA 法)を用いている。SEA 法では橋梁への入力データとして、鉄道橋で測定された振動加速度を用いる必要がある。このデータは、軌道や音源として寄与度の高い床版・桁などが考えられる。床版や桁は、橋梁のスパン長、構造形式など個々の橋梁で大きく異なるのに対し、軌道はこれらによらず類型化が可能である。したがって、本研究では、現在長野新幹線で供用中の橋梁で測定された、軌道での振動加速度を用い解析を行っている。

## 2.本研究の目的

昨年度は、実橋で SEA 法の適用が十分可能であることが確認された。しかし、昨年度の軌道の振動加速度から予測される橋梁近傍の受音点(測定点)での音圧レベル(以下 SPL)の計算では、直接距離による減衰しか考慮されていない。本来は横桁、縦桁があり、音源から発した音は、回折や反射をして受音点に到達する。したがって、これらの騒音伝播を考慮する必要がある。よって、本研究では騒音伝播を考慮した SEA 法を確立する

ことと、固体音の予測精度の向上を目的としている。

## 3.SEA法の概要<sup>1)2)</sup>

SEA 法は、中高周波数域の振動騒音解析において注目されており、車・船舶・航空・宇宙などあらゆる分野で適用検討がなされている。

SEA 法では振動、音響をエネルギーという統一量で表す。解析対象である構造物は多数のサブシステムと呼ばれる要素に分割される。図1に2サブシステム系のパワーフローを示す。

SEA法は、サブシステム内の損失パワー $P_{1d}$ 、 $P_{2d}$ 、サブシステム間の伝達パワー $P_{12}$ 、サブシステム外からの入力パワー $P_1$ 、 $P_2$ の平衡関係からエネルギーを計算する。

多サブシステム系は基本的に2サブシステム系の応用で表すことができる。

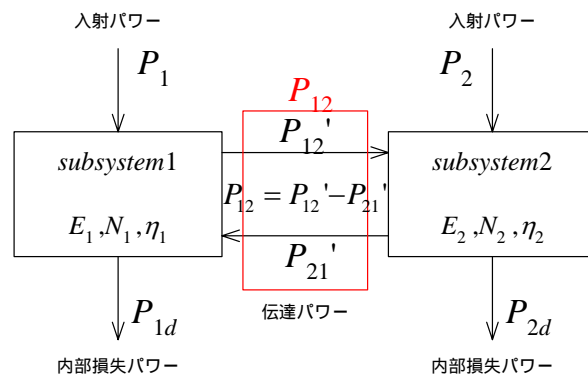


図1 サブシステム間のパワーフロー

## 4.SEA法による騒音予測

SEA法による騒音予測は、図2のフローチャートに従って行う。

図2に示したようにSEA法によるエネルギー解析後、受音点での音圧を算出する。音圧の計算は、各サブシステムの振動加速度からパワーレベル(以下 PWL)を算出し、計算する必要がある。

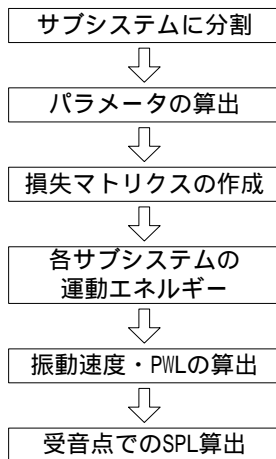


図2 SEA法による騒音予測フローチャート

図2におけるパラメータ算出とは、モード数、群速度、結合損失、内部損失、入射透過率、入力パワーのことである。昨年のプログラムより、このパラメータの算出に問題が見つかった。本研究では問題のあった、モード数、群速度、結合損失のプログラムの修正を行い、騒音伝播を考慮したプログラムを新たに作成した。

### 5.騒音伝播の概要<sup>1)</sup>

本研究で言う騒音伝播とは、回折や反射のことである。回折とは、音源と受信点の間に壁等の障害物がある場合でも、音が回り込んで伝播する現象である。

本研究の対象である床版、横桁、縦桁を有するモデルでは、横・縦桁は騒音源であると同時に、受信点での音圧算出の際は、伝播を妨害する遮音壁の性状を有する。昨年度の計算では、これを全く無視しており、受信点での音圧算出が正しくできていなかった。よって、騒音伝播を考慮した解析が必要である。

回折減衰を考えた場合、減衰量  $Att$  は、フレネル数  $N$  と行程差  $\delta$  を求める必要がある。

音源が受信点近傍であれば、遮音壁は1枚であり、音源から受信点までの直線距離  $d$ 、音源から遮音壁までの距離  $a$ 、遮音壁から受信点までの距離  $b$  より、行程差は次式で求めることができる。

$$\delta = a + b - d \quad (1)$$

この  $\delta$  よりフレネル数を求めるが、音源から受信点を直接見通せる場合、 $N$  は”負”、見通せない場合”正”となる。

次に、フレネル数は次式で計算される。

$$N = \frac{\delta}{\lambda/2} = \frac{2\delta}{\lambda} \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3)$$

ここで、 $c$  は音速、 $f$  は周波数である。

しかし、ほとんどの場合、遮音壁は2枚以上になるため、図3のように、音源  $O$  から横桁1の延長線  $f1$  と受信点  $R$  から横桁2の延長線  $f2$  の交わる位置に仮定の遮音壁を想定し行程差を求める必要がある。

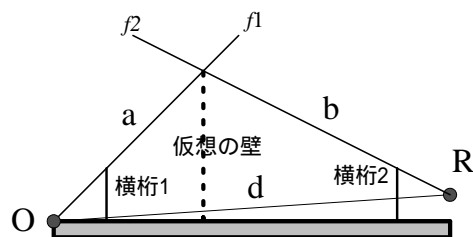


図3 見通しと伝播経路

これらを考慮すると、回折減衰量  $Att$  は次式で求めることができる。

前川の実験近似式

$$[Att] = -10 \log_{10} \left( \frac{N}{5} \right) - 20.0 \quad (1.0 < N)$$

$$[Att] = -4.97 \log_{10}(N) - 13.01 \quad (0.1 < N < 1.0)$$

$$[Att] = -2.09 \log_{10}(N) - 10.12 \quad (0.01 < N < 0.1)$$

$$[Att] = -77 \cdot N - 5.17 \quad (|N| < 0.01)$$

$$[Att] = 10 \log_{10} \left( \frac{0.33}{\sqrt[3]{N} + 1.0} \right) \quad (-0.3 < N < -0.01)$$

$$[Att] = 0.0 \quad (N < -0.3)$$

(4)

## 6. サブシステムの分割

SEA法では、サブシステムの分割により解析が異なってくることが考えられるので、次のような分割を考えた。

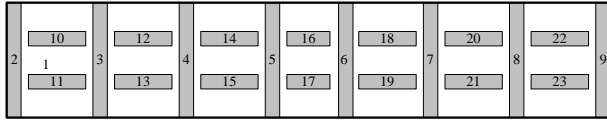


図4 23分割

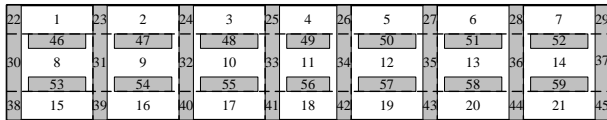


図5 59分割

図は橋梁部無対策区間のサブシステムの分割で、図4が23分割、図5が59分割モデルである。ここで着目すべきところは図4の床版の分割は1個で、図5は21個であることである。

本研究では、昨年度の研究結果と比較するために、このモデルを用いた。

## 7. 解析結果

### 7.1 入力位置によるPWLの変化

昨年度は、床版から発生するPWLについては触れられていなかった。そこで、59分割において、列車が走行した際に床版から発生するPWLの推移を確かめた。床版における入力位置は列車の走行時を考慮し、図6のように入力位置1~4の順に変化させ解析を行った。受音点は図6に示したとおりで、橋梁の対称性を考慮し、橋梁の半分までを対象とした。なお、この後行っている解析の受音点位置は同一である。

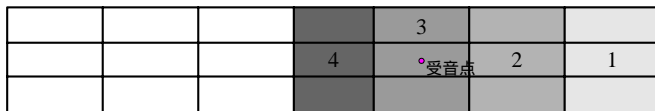


図6 エネルギーの入力位置

次に解析結果を図7~10に示す。

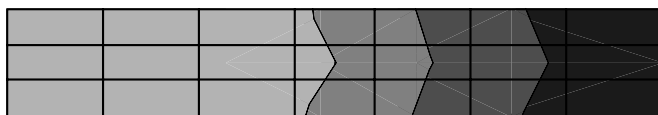


図7 入力位置1

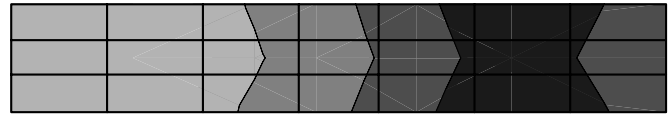


図8 入力位置2

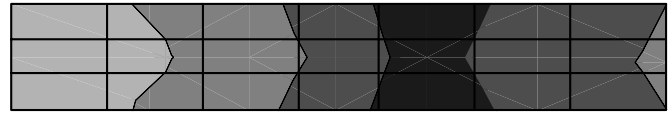


図9 入力位置3

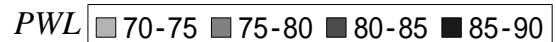
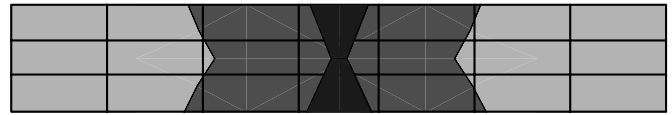


図10 入力位置4

この解析結果は1/3オクターブバンド中心周波数100Hzのものである。周波数で見ると、低、高周波共に、列車の移動に伴うPWLの変化が見られる。音源のPWLが入力位置によって変化するという事は、受音点での音圧レベル算出において、これら音源からの伝播性状を考慮する必要があることを示している。

### 7.2 解析条件による解析結果の比較

各モデルの音源は、計算の容易な点音源とした。また、入力エネルギーを与える床版は、図4のモデルの場合、床版が1枚なので、点音源も1個となる。しかし、これでは騒音伝播の計算ができないため、床版の音源数を図5のモデルと同様の21個とした。PWLは、図4の床版のPWLを21分割して与えた。図5のモデルでは入力位置を床版全体として与えた。解析結果を図11に示す。

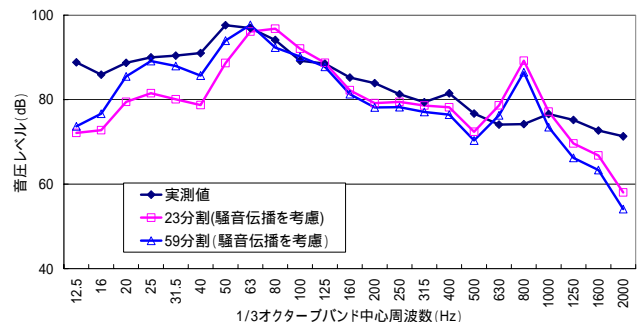


図11 騒音伝播を考慮した解析

これらの解析結果より、床版を分割しない場合

は音源を 21 分割とした方が良いことがわかる。また、床版をサブシステム分割した場合は入力位置を床版全体とした方が良いことがわかる。この解析手法により昨年度より予測精度が向上した。

### 7.3 騒音伝播を考慮した解析

距離減衰のみと、騒音伝播を考慮した場合の比較を行った。図 12 がその解析結果である。

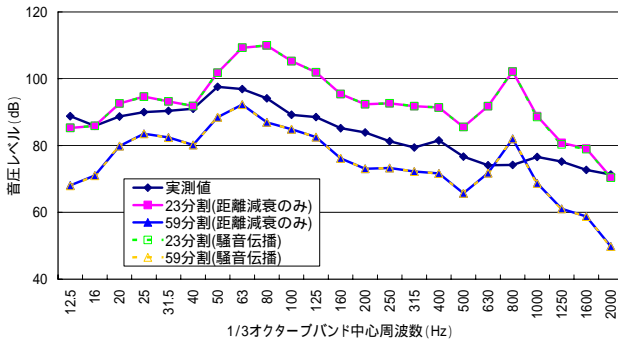


図 12 距離減衰のみと騒音伝播の比較

解析結果より、騒音伝播を考慮しても 23 分割、59 分割共に回折減衰による効果はほとんど見られなかった。

図 12 で示した解析結果は、サブシステムからの音を総和したものである。したがって、各サブシステムからの音の寄与度を見なければ、騒音伝播を考慮した効果を知ることができない。よって、各サブシステムで見ることにした。

初めに、床版からの回折の効果を知るため、受音点における各音源からの寄与度に着目した。図 13、14 がその図である。

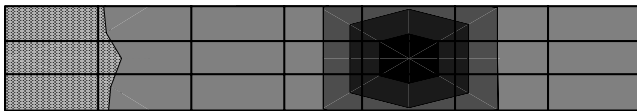


図 13 1000Hz の SPL (距離減衰のみ)

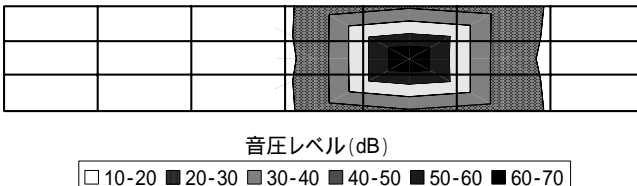


図 14 1000Hz の SPL (騒音伝播を考慮)

この図を見ると、受音点により遠いサブシステムほど寄与度が低くなり、回折減衰による効果が

あることがわかる。

次に、全サブシステムにおける受音点での SPL を図 15 に示す。

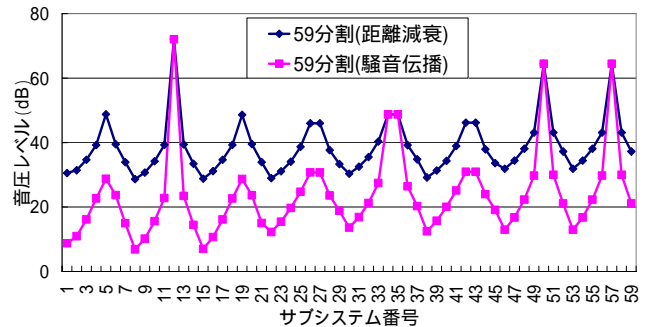


図 15 1000Hz の各サブシステムの SPL

この解析結果より、各サブシステムで見ると、回折効果が得られていることがわかる。しかし、図中におけるサブシステム 12、34、35、50、57 では回折による効果が得られていない。考察すると、これらサブシステムは受音点に近く、回折する壁がないため、距離減衰のみで決まってしまうためである。よって、各周波数の総和された SPL は、これら受音点近傍のサブシステムの PWL に強く依存していることがわかる。

### 8.まとめ

昨年度の SEA プログラムを修正し正確な計算ができるようになった。SEA 法による固体音予測手法に回折の効果を取り入れた騒音伝播プログラムを導入できた。その効果を音源の寄与度の観点から確認できた。ただし、受音点での音圧レベルとしては現れなかった。分割数、入力位置、大きさについても、よりよい方法を確立した。

課題として、入力位置をより類型化可能なレベルとする。他橋梁での解析が挙げられる。

### 参考文献

- 1) 飯田 一嘉, 大橋 心耳, 岡田 健, 麦倉 喬次: 現場実務者と設計者のための実用騒音・振動制御ハンドブック, pp178-182(2000)
- 2) 入江良彦: SEA 法による固体伝搬音解析, 日本音響学会誌, 48 巻 6 号, pp433-444(1992)