

## FEM を用いた鉄道橋騒音予測における SEA パラメータ推定

長岡技術科学大学 大学院

学生会員 ○鈴木 幸治

富士フイルムソフトウェア(株)

筒井 貴史

長岡技術科学大学 環境・建設系

正会員 宮木 康幸

## 1. はじめに

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)に分けられる。鉄道橋騒音においては特に鋼橋の場合、この固体音が卓越する。この固体音の騒音予測の手法として、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)を用いて解析を行ってきた。

軌道部における振動加速度は橋梁のスパン長や形式による影響が少ないことが調査により明らかになっている。筒井らは、軌道部分における実測の振動加速度値を用いて振動の透過損失率を算出し、その損失率からSEA法における支配的なパラメータの一つ、結合損失率を求め防振材の評価を行った<sup>1)</sup>。しかし実用化に向け、実測値に依存しない騒音解析の開発が求められる。

そこで本研究は、SEAによる鉄道橋梁固体音予測の精度および汎用性の向上を目的とし、FEMを用いて軌道構造の振動モード解析を行い、SEAパラメータの推定(以下、FEM-SEA)を行う。

## 2. SEA法の概要

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有限要素法に比べて比較的少数な要素(SEA法ではサブシステム)に分割され、そのサブシステム内の損失パワー、サブシステム間の伝達パワー、サブシステム外からの入力パワーの平衡関係から伝達を計算する。結果として、ある周波数帯域の振動速度、音圧が求まるものである。

SEA法の計算式に含まれる支配的なパラメータの算出には、複雑な解析が必要であり、現在でも新しいモデルによる解析がなされている。本研究では以下の理論式<sup>2)</sup>により表される要素間の結合損失率に着目した。

$$\eta = \frac{C_{gi} L_c \tau}{\pi \omega S} \quad (1)$$

$C_{gi}$ : 曲げ波の群速度  $L_c$ : 結合長さ  $\tau$ : エネルギー透過率  
 $\omega$ : 角周波数  $S$ : 表面積

この結合損失率 $\eta$ は、パワーがサブシステム間を伝達するときの損失を表す係数であり、結合部のエネルギー透過率 $\tau$ の関数となっている。また $\tau$ の推定はSEA法の計算精度に大きな影響を与える。

## 3. SEAパラメータ推定法

前節で述べたとおりパラメータの算出には複雑な解析が必要とされている。しかしB. Cimernanらはサブシステムij間の結合損失係数 $\eta_{ij}$ を、サブシステムの二乗空間平均速度と等価質量とで表される時間平均総エネルギー $E_{ij}$ により、非常に単純化された式で表せるとしている<sup>3)</sup>。しかし、この方法では全サブシステムの平均速度と等価質量を測定しなければならない。そのため、実橋への適用を考えると、防振ゴムなどの防振材の減衰効果を予測することは難しい。そこで防振材の防振効果を、FEMにより求めた振動伝達率で推定する。

軌道部FEMモデルにより得られたレールと床版の加速度を $\alpha_{rail}$ 、 $\alpha_{slab}$ とすると、軌道部全体の振動伝達率 $\tau$ は

$$\tau = \frac{\alpha_{slab}}{\alpha_{rail}} \quad (2)$$

となる。この振動伝達率は振動エネルギーの透過損失を表すので、エネルギー透過率としてSEA法に用いた。

## 4. 軌道部FEMモデル

軌道部分の振動特性を把握するため、軌道部のFEMモデルを作成した。モデルは長手方向を考慮しない(以下、2DFEM-SEA)方法と、3次元の長手方向を考慮する(以下、3DFEM-SEA)の2種類とした。2

次元軌道モデル図を図1に示す。要素タイプは、奥行き方向に同じ形状になっているとして8節点平面ひずみ要素を用いた。3次元軌道モデル図を図2に示す。要素タイプは、レールをビーム要素、レールパット・スラブパットをスプリング要素、コンクリートスラブをプレート要素とした。

5. 計算結果

第4節で求めたSEAパラメータを用いて、筒井らによる研究データと同様に固体音伝播予測を行った。長手方向を考慮しない2DFEM-SEAの結果を図3に示す。これより低～中域の周波数帯で昨年度の結果よりも騒音予測の精度が向上していることがわかる。特に40~500Hz辺りの周波数帯において非常によい結果が得られている。

長手方向を考慮した3DFEM-SEAによる計算結果を図4に示す。この図から、低～中周波数域の計算結果は2DFEM-SEAとほぼ変わらない結果を示している。しかし、中～高周波数域において音圧レベルの低下が見られ、より精度が向上していることが分かる。これは長手方向を考慮したことによるモードの影響が要因であると考えられる。

防振ゴムバネ定数を変更したときの比較結果を図5に示す。この結果から、主に高周波数域でバネを硬くしたことによる音圧レベルの上昇が見られる。これは、バネを硬くしたことにより振動減衰率が高周波数域で減少したためによるものであると考えられる。

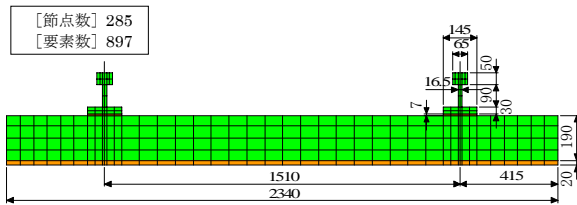


図1 2次元FEMモデル(単位mm)

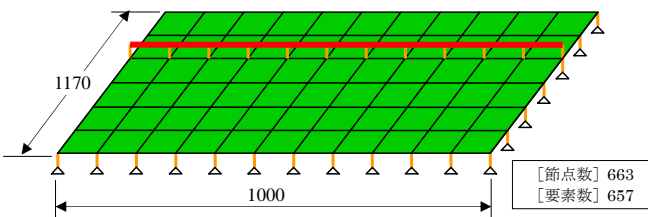


図2 3次元FEMモデル(単位mm)

【参考文献】

- 1) 筒井ら：鉄道軌道を考慮したSEA法の適用に関する研究，土木学会年次学術講演会講演集，vol.61，Disk2，論文番号7-197，2006
- 2) 入江良彦：SEA法による固体伝播音解析，日本音響学会誌48巻6号，pp433-444，1992
- 3) B.Ciurmanら：Overview of the Experimental Approach to Statistical Energy Analysis，Society of Automotive Engineers，(1997)

6. まとめ

本研究の結果から以下のことがわかった。昨年度までのSEA法から、実測値を用いない軌道用防振ゴムの評価が可能なFEM-SEA法を開発することが出来た。また、昨年度の計算結果と比較して、広帯域で騒音予測精度を向上させることが出来た。

今後の課題として、SEAの汎用性を向上させるために、コンクリート橋などを含めた他橋梁を対象とした騒音予測が挙げられる。

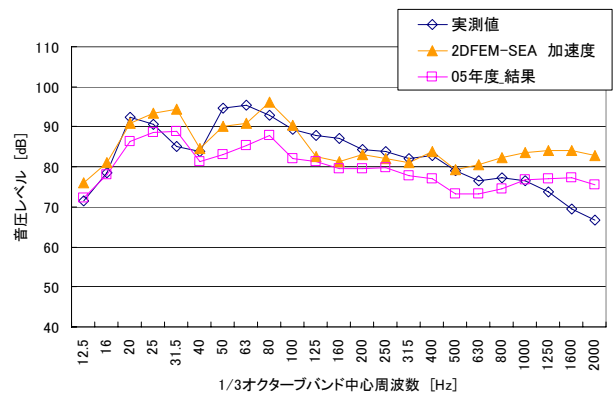


図3 SEA計算結果 長手方向考慮無し

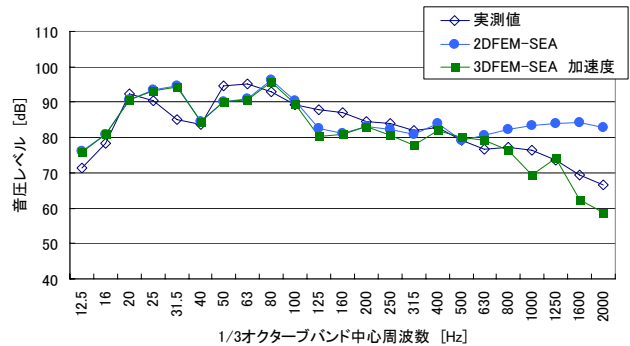


図4 SEA計算結果 長手方向考慮有り

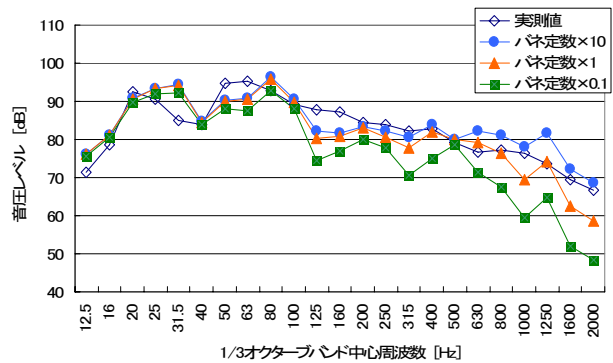


図5 SEA計算結果 防振ゴムバネ定数変更