

I 型部材への統計的エネルギー解析法の適用性に関する研究

第一建設工業株式会社 正会員 ○田中 良哉

長岡技術科学大学 環境・建設系 正会員 宮木 康幸

長岡技術科学大学 環境・建設系 正会員 鳥居 邦夫

1. はじめに

河川橋梁を電車が走行するときには騒音が発生するように、構造物ではその振動が原因で固体伝播音となりやすい。橋梁が振動によって発生する環境騒音の問題を、解析的に取り扱い予測する方法はいくつかあるが、統計的エネルギー解析法（SEA）については、まだまだ一般的ではない。そこで本研究は主に、SEA の有効性あるいは実橋への適用性の検討を目的とし、I 型モデルでの実験・解析を行う。

一般的に橋梁の振動解析は有限要素法（FEM）によって計算されるが、可聴周波数域の特に高周波域になると計算が困難になる。そこで、中・高周波数を得意とする SEA の適用を考えてみる。過去の研究では、FEM、SEA、実験を行いある境界を決め、それ以上なら SEA、それ以下なら FEM が適しているという結果が得られている。しかしながら、モデルの形状により SEA パラメータ（損失係数、モード数等）が変わってくることが予想される。また、要素分割の仕方についても検討する必要がある。そこで本研究は、より実構造物に近い I 型モデルを用いて FEM・SEA さらには音響実験を行い、結果の比較・検討を行うとともに、SEA パラメータや要素分割の検討および SEA の適用性を考慮した。

2. SEA について

SEA は、対象部をマクロな要素（サブシステム）の集合体と考え、振動・音圧をエネルギーという統一量で計算する。各要素間のエネルギーネットワークを作り、要素別のパワーバランスに関する連立方程式を周波数バンド毎に解いて、各部の平均的なエネルギー量を求め、その結果から各部の振動・音圧レベルを求める手法である。例えば、図 1 のように 2 つのサブシステムから成る構造物を考えると、

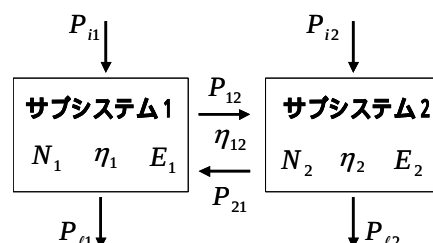


図 1. サブシステム間のパワーフロー

ここで 2 つのサブシステムのパワーフローを考える。それぞれのサブシステムのパワーバランスは、入力パワー P_{i1}, P_{i2} 、伝達パワー P_{12}, P_{21} 、内部損失パワー P_{e1}, P_{e2} を用いて次のように表せる。

$$\begin{aligned} P_{i1} &= P_{e1} + P_{12} \\ P_{i2} &= P_{e2} + P_{21} \end{aligned} \quad \cdots (1)$$

(1) 式はサブシステムのモード数 N_1, N_2 、結合損失率 η_{12}, η_{21} 、内部損失率 η_1, η_2 、サブシステムのエネルギー E_1, E_2 を用いて以下のように整理できる。

$$\begin{aligned} P_{i1} &= \omega \eta_1 E_1 + \omega \eta_{12} N_1 \left(\frac{E_1}{N_1} - \frac{E_2}{N_2} \right) \\ P_{i2} &= \omega \eta_2 E_2 + \omega \eta_{21} N_2 \left(\frac{E_2}{N_2} - \frac{E_1}{N_1} \right) \end{aligned} \quad \cdots (2)$$

(2) 式より未知数である E_1, E_2 を求めることで、各サブシステムの音圧レベルは求められる。

3. 実験

モデルには加振器、普通騒音計、速度・加速度ピックアップを取り付けた。加振器は上フランジ部に、普通騒音計、ピックアップはそれぞれ上フランジ部、ウェブ部、下フランジ部に取り付けている。また加振器には与える速度を計測するため、上部にピックアップも一緒に取り付けた。普通騒音計はプレートから 5cm 離れた所に設置した。支持条件はモデルの下部をローラー 2 つで支える不安定構造である。

キーワード：統計的エネルギー解析法（SEA）、パワーバランス、内部損失率、結合損失率

連絡先：〒950-8582 新潟県新潟市八千代 1-4-34 TEL:025-241-8111 FAX: 025-241-8111

実験は加振器で周波数をコントロールしながら，22Hz～340Hz までの音圧レベルを計測した．図2は実験概略図である．

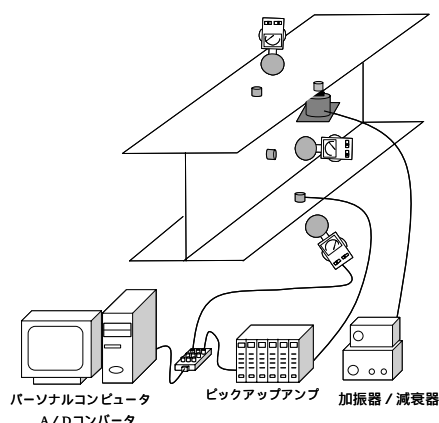


図2．実験概略図

4. 有限要素解析 (FEM)

図3はFEMの解析モデルである．メッシュを上フランジ部，ウェブ部，下フランジ部をそれぞれ100要素ずつの計300要素に切り，周波数は1Hz～177Hzまで変えながら解析を行った．それによって得られた節点変位から節点速度→4節点の平均速度（要素の速度）→要素のエネルギー→サブシステムのエネルギーという流れで最終的に音圧レベルを算出した．

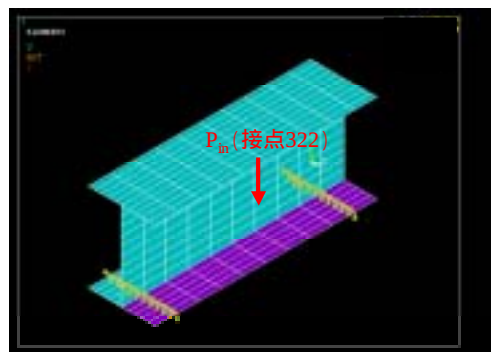


図3．FEM 解析モデル

5. 統計的エネルギー解析法 (SEA)

このモデルは簡単なI型構造なので，エネルギーの伝達も容易に推測できる利点がある．また，はっきりした境界がわかるのでSEA法のための要素分割もやりやすい．本研究では図5に示すように3分割と5分割に要素分割を行い解析した．

次に結合損失率 (CLF) は，結合部分のタイプによって異なってくる．解析では，3分割のときはT字型結合とみなし，そのときのエネルギー透過率を用

いた．また5分割のときはT字型結合とL字型結合が考えられるので，その両方の場合を考えて解析した．また，内部損失率はサブシステムの材料によって決まり，モデルはSS400材であるので，鋼板の内部損失率の近似式を使用した．

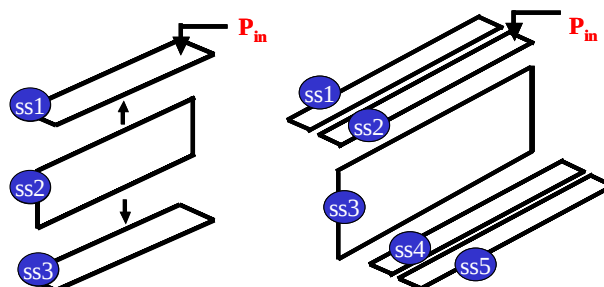


図4．サブシステム分割図

6. 結果比較検討・考察

図5はSEA, FEMの解析結果と実験値の差分を表したものである．差分をみると，31.5HzではFEMの精度が良く，SEAは誤差が大きい．一方63Hz以上は差分が3dB以内であることから，SEAは十分な精度であると言える．

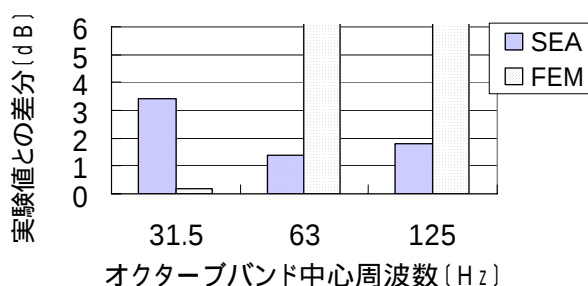


図5．実験値と解析結果の差分（下フランジ）

7. 結論

結合損失率はT字型のエネルギー透過率を用いて算出すると良いことがわかった．また，要素分割方法は上フランジおよび下フランジを2分割ずつの計5分割にすると良いことがわかった．そして，上記の設定を施し解析をした結果，63Hz以上からは許容誤差 ± 3 dBであり十分な精度が得られた．したがって，I型部材への統計的エネルギー解析法 (SEA) の適用は十分可能であるといえる．