

## 側辺固定の波動ブラックホールを含む制振構造の FEM 援用 SEA 応答解析

山口 誉夫  
(群馬大)

○XU JIYANG  
(群馬大院)

永治 光  
(群馬大)

竹林 健一  
(鹿島技術研究所)

### Vibration Analysis of FEM and SEA of Damped Structures Including Acoustic Black Hole Having Fixed Sides

Yamaguchi Takao  
(Gunma univ.)

○XU JIYANG  
(Gunma univ.)

Nagaya Hikaru  
(Gunma univ.)

Takebayashi Kenichi  
(Kajima Research Institute)

減衰の連成を考慮した FEM と SEA のハイブリッド振動解析を用いて、L 字構造の側面を固定し、他の境界は自由とした波動ブラックホールを含む制振パネルと平板を L 字結合した構造の振動特性を調べた。そこで得られた内部損失率、結合損失率より、波動ブラックホールは、高周波数域で境界条件の違い(側辺固定、全辺自由、一端固定)によらず、少ない制振材で高い減衰効果が得られることが分かった。

Key Words: 波動ブラックホール, SEA, FEM, 内部損失率, 結合損失率

#### 1. 緒言

環境問題により、自動車などの輸送機械の分野において、省エネルギーが求められている。省エネルギーのために車両の軽量化が強く求められ、構造の軽量化を行うと剛性が低下し、共振現象が発生しやすくなる。

効率的な振動や波動減衰方法として Mironov<sup>[1]</sup>により、波動ブラックホールが提案されている。この構造は、パネルの一端において、板厚を高次のべき級数で急激に減少させる。板厚の減少に応じて、伝搬する曲げ波の波長が急激に短くなる。これより短い距離で、長い距離を曲げ波が伝播したような効果となる。べき級数が 2 次以上だと理論上は無反射となることが示されている。さらに Krylov<sup>[2]</sup>は、波動ブラックホールの表面に制振材を使用することで、僅かな量で非常に高い減衰が得られることを明らかにしている。また、Oberst<sup>[3]</sup>により、制振材の効果は、制振材層の板厚と鋼板の板厚の比の二乗に比例することが理論的に示されている。波動ブラックホールでは、先端の鋼板の板厚が極めて薄く、制振材層の効果が非常に高い。これから、波動ブラックホールの先端の長さが短距離にできている。Krylov<sup>[2]</sup>らの板厚減少関数  $h(x) = \epsilon x^m$  ( $m = 2.2$ )の実験結果<sup>[2]</sup>を、山口らは減衰の連成を考慮した FEM を用いて数値解析で再現した。さらに SEA パラメータを同定する方法を使用し<sup>[4]</sup>、波動ブラックホールを有する L 字パネル構造の SEA パラメータを明らかにした<sup>[5][6]</sup>。

本論では、その L 字パネル構造の側部のエッジを固定境界にすることが波動ブラックホールの伝達特性や減衰効果に与える影響に着目する。

#### 2. 計算モデルと計算方法

有限要素法(Finite Element Method: FEM)と統計的エネルギー解析法(Statistical Energy Analysis: SEA)のハイブリッド数値解析をする。部品単位などのマクロ要素(SEA 要素)を用い、部品間(要素間)の波動エネルギーの伝達や散逸を SEA で解析する。

波動ブラックホールを含むパネルと平板を結合したモデルを用いる。平板の先端に Krylov<sup>[2]</sup>の実験と同様な板厚減少関数(2.2 次関数)を有する波動ブラックホールを付与し、そのブラックホール上に厚さ 1[mm]の制振材層を積層した構造の SEA 要素を要素 1 とする。厚さ 5.04 [mm]の鋼製パネル上面に厚さ 1.0 [mm]の制振材層を積層した構造の SEA 要素を要素 2 とする。検証には SEA 要素 1 (black hole, 195×325[mm]), SEA 要素 2 (flat, 195×266[mm]) が L 字結合した SEA モデル(Model A)を用いる。図 1 に Model A を示す。境界条件は L 字パネルの側辺(図 1 の斜線部)を固定する。ただし、SEA 要素 1 の波動ブラックホール部と SEA 要素 2 の制振材層は除いて固定した。また、Model A の比較として、境界条件を全辺自由端<sup>[7]</sup>としたものを Model B、平板・パネルの一端(図 1 の下端)を固定<sup>[6]</sup>したものを Model C とする。