1201 車体構造を構成するアルミ中空押出型材の音響透過損失特性

Acoustic Transmission Loss Property of Aluminum Hollow Structure for Railway Carbody

○谷井 茂紀 (日本車両) 丹羽 英樹 (日本車両) 正 佐々 孝光 (日本車両)

Shigeki YATSUI, Nippon Sharyo, 2-20, Honohara, Toyokawa, Aichi

Hideki NIWA, Nippon Sharyo, 2-20, Honohara, Toyokawa, Aichi

Takamitsu SASSA, Nippon Sharyo, 2-20, Honohara, Toyokawa, Aichi

Aluminum hollow structure is adopted to railway carbodies to improve specific stiffness, but the acoustic transmission loss property of the hollow structure has not been examined in detail. We study the transmission loss with numerical analysis technique, and find out that the transmission loss is worse than the single plate with equivalent mass at the frequency, at which the 1st vibration mode of each plate element separated by rib is excited. This phenomenon occurs to arbitrary cross section structure with rib, therefore it is not easy to simultaneously improve the specific stiffness and the acoustic transmission loss property. We find that the numerical analysis result coincides with experiment data very well.

Key Words: Acoustic Transmission Loss, Hollow Structure, Boundary Element Method, Vibro-Acoustic Coupled Analysis

1.はじめに

鉄道車両の構体には効率的な軽量化・比剛性向上をはかるためにアルミ中空押出型材（以下、ホロー材）が使用されている。しかしながら、ホロー材の音響透過損失特性については一般的に良いとされているが詳しく調べられていない。そこで固有振動モード解析(FEM)と振動音響連成解析(BEM)を用いてホロー材の透過損失を数値計算により求め、特性を把握した。また、実測値による数値解析の検証も行った。

2.振動音響連成解析

a.解析モデル

鉄道車両に使用されている代表的なホロー材(Fig.1)について透過損失を計算する。透過損失解析は以下の2段階の解析から構成される⁽¹⁾。

1.固有振動モード解析(FEM)

2.振動音響連成解析(BEM, Fig.2)

モデルサイズは $0.99\text{m} \times 2\text{m}$ 、拘束条件は全周単純支持と完全 Free の2種類を考え、音源はいずれのケースも垂直入射と拡散音場の2種類とした。拘束条件を2種類考えたのは、実測試験が試験片全周を粘土で固定するという全周単純支持に比べて遥かに弱い拘束条件で行われたため、実測条件はこの2種類の拘束条件の間であると考えられる。なお、ホロー材中の空気層の透過損失への影響は無視できることを別計算にて確認したため、本計算では空気層をモデル化していない。

Fig.1: Test Piece of Hollow Structure

Fig.2: Vibro-Acoustic Coupled Analysis Model (BEM)

b.解析結果

透過損失解析結果を Fig.3-1,3-2 に示す。

低周波域の透過損失特性は拘束条件の影響を強く受ける。全周単純支持の場合は全体構造の一次モード周波数の 300Hz 付近を極小に、それ以下の周波数では剛性則による透過損失向上が見られるが、完全 Free の場合は振動モードによる大きな落ち込みも剛性則も見られない。一方実測値は 100Hz 付近以下で剛性則が見られ、2 拘束条件の中間的振舞いとなっていることが分かる。

次に高周波域では、拘束条件によらず 1kHz 付近に透過損失の大きな落ち込みが見られる。実測値においても解析よりやや高い周波数に透過損失の落ち込みが確認できる。これらの透過損失の落ち込みは、ホロー材の部分構造モード励起によるものである。つまり、リブで仕切られた多数の面板要素の一次モードが 1kHz 付近に集中して存在しており、それらのモード励起によって透過損失が悪化していると考えられる。

Fig.3-1: Transmission Loss of Hollow Structure (Fixed Boundary)

Fig.3-2: Transmission Loss of Hollow Structure (Free Boundary)

このことをより詳しく調べるために、2 構造単位のコロー材について解析を行った。主な振動モードのモードシェイプを Fig.4 に、透過損失を Fig.5 に示す（拘束条件は全周単純支持）。隣り合う 2 面板要素が逆位相となるモードが存在し、やや高周波に同位相となるモードが存在する。その同位相モードに対応した周波数で透過損失が大幅に悪化していることが分かる。これは同位相モードが（特に垂直入射により）共鳴励起されやすく、かつ放射効率の高いモードシェイプのためである。

Fig.4: Modeshapes of 2-unit Hollow Structure

Fig.5: Transmission Loss of 2-unit Hollow Structure

また、逆位相モードと同位相モードがほぼ縮退して存在するということは、リブで仕切られた各面板要素がお互い

にはほぼ独立な振舞いをすることを示している。従ってホロー材の断面形状によらず、リブによる仕切りがある限り部分構造のモード励起による透過損失悪化は必ず起きるものと考えられる。

Fig.3 において解析結果の方が実測よりやや低周波に部分構造モード励起による透過損失悪化が見られたのは、シェル要素によるモデル化(Fig.6)により各面板要素のスパンが実際より長く表現されているためである。正しいスパンを表現するため hex 要素を用いて解析を行った結果、モード周波数は約 1.4 倍になることを確認した。そこでシェル要素による解析結果に対して部分構造モードが現れる周波数域について周波数を 1.4 倍にシフトさせて表示した透過損失のグラフ(1/3 octave band)を Fig.7 に示す。部分構造モード励起による透過損失悪化の周波数は解析と実測の間で非常に良く一致していることがわかる。

Fig.6: Span Difference between Shell and Hex Models

Fig.7: Verification of Numerical Analysis
(Transmission Loss of Hollow Structure)

3.まとめ

数値解析の結果、ホロー材の透過損失は部分構造の各面板要素の一次モード周波数で等価質量単板より悪化することが分かった。これは押出型材の断面形状によらずリブが存在する限り必ず起きる現象であり、軽量化・比剛性向上と音響透過損失特性向上の両立は難しい問題であるといえる。但し鉄道車両に用いられている代表的なホロー材の場合、部分構造のモード周波数は 1kHz 以上の高周波域となるため制振材や吸音材により効率的に音響特性を改善することが可能である。また、実測値と解析結果との間で透過損失特性がよく一致し、数値解析の妥当性を検証することができた。

参考文献

- (1) J. Ben Mariem and M. A. Hamdi, "A New Boundary Finite Element Method For Fluid-Structure Interaction Problems", International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 24, 1251-1267(1987)