

SEA法を用いた高速車両の車内騒音解析

Development of the Noise Prediction in the Passenger Area of the Railway Vehicle by the SEA Method

橋本克史 Katsufumi HASHIMOTO
谷口宏次 Koji TANIGUCHI

鉄道車両にとって、車内静粛性はお客様に快適にご利用いただくための重要な要素である。特に高速走行する新幹線車両では、車内騒音を低減する構造が強く求められる。車内騒音低減策の開発に向け、車内騒音の現状分析や騒音低減策の効果の予測が重要であることから、SEA法を用いた解析手法について開発を進め、実際の測定値との比較で実用的なレベルまで精度を上げることができた。今後は、車内騒音低減策の開発に使用するとともに、さらなる精度向上もすすめていく。

Quietness of the passenger area is important, for the railway vehicle. Particularly, it is important to the high-speed vehicle. Because when a vehicle runs at high speed, the noise increases. It is important that we can analyze the noise, to develop structure to reduce the noise. So we develop a method to analyze by the SEA method. The SEA model of the vehicle which we built collated it with measurements and was able to secure analysis precision. We analyzed using this model, to develop structure to reduce the noise.

1 はじめに

鉄道車両にとって、車内静粛性はお客様に快適にご利用いただくための重要な要素である。特に新幹線車両は高速走行するため車内騒音が大きくなる傾向にあり、車内騒音を低減する構造が強く求められる。一般に、騒音低減策は質量が増加する方向になるが、高速走行のため新幹線車両には軽量化も求められている。今後の新幹線の速度向上に向け、相反するこれらの性能を満足させるため、軽量な車内騒音低減策の開発が必要である。

車内騒音低減策の開発にあたっては、車内騒音の現状分析や騒音低減策の効果の予測が重要である。そのため、車内騒音解析手法の確立が必要と考え、SEA法を用いた解析手法について開発を進めている。

2 SEA法について

SEA法はStatistical Energy Analysis Methodの略で、統計的エネルギー解析法と訳されている。SEA法では、「音響」と「音の元となる振動」を統一してエネルギーとして扱い、実測データなどを用いて統計的手法を適用してモデルを作成し解析を実施する。

従来、音響、振動の解析はFEMを用いて実施されてきたが、鉄道車両のような複雑で規模が大きい構造物の場合、計算負荷が非常に大きくなり、200Hzを超える高い周波数域での解析は難しい状況である。SEA法

では解析モデルの要素数が少なくできることから、計算負荷が小さく、比較的短時間で高い周波数域の解析ができ、これが最大の特長となっている。比較的新しい解析手法であるが、現在は解析ソフトが市販されており、建築、船舶、自動車などの分野でも利用されている。

SEA法では、解析対象物を幾つかの要素に分けて解析モデルを構築し、パワーとエネルギーを用いて解析を行う。要素数が2つの場合の概念を図1に示す。

鉄道車両に適用するには構体、内装、断熱材、車内外空間などをそれぞれ複数のサブシステムに分解し、サブシステム間の接続を設定する。各サブシステムは、構成材料の密度、ヤング率、ポアソン比、吸音率、厚さなどを特性として設定し、サブシステム間のパワー伝達係数（Coupling Loss Factor：CLF）とサブシステムの内部損失係数（Internal Loss Factor：ILF）をパラメータとして設定する。構造が複雑なサブシステムについては、特性を決定するために、FEモデルによる解析や実測によるデータの取得が必要となる。

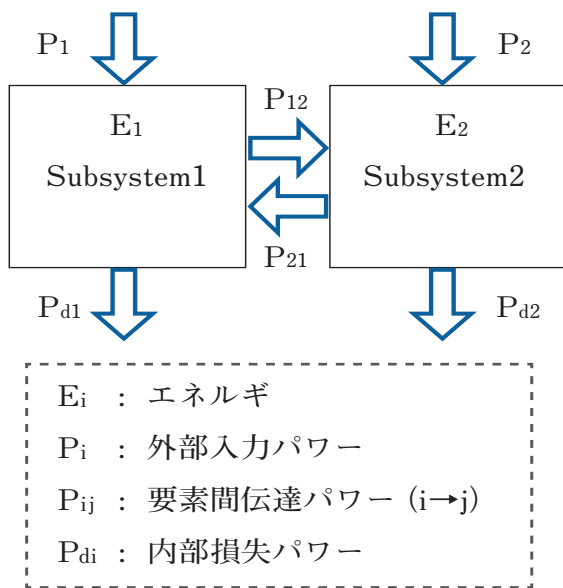


図1 SEA法の概念

3 SEAモデルの開発

3.1 開発手順

最初に車両の形状、寸法、使用材料などの特性を元にSEAモデルを作成し、仮のパラメータ（CLF、ILF）を設定する。これと並行して実際の車両での音響・振動測定を実施しデータを取得し、コリレーション分析によりパラメータの値を同定する。開発手順を図2に示す。

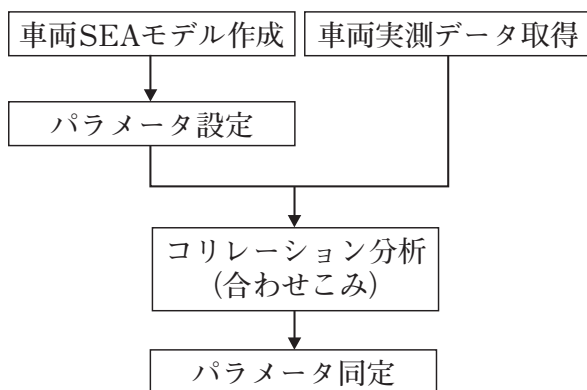


図2 SEAモデル開発手順

3.2 SEAモデルの作成

図3に新幹線車両の構造を示す。車外空間と室内空間の間には、構体と内装パネル、床があり、さらに、この間には断熱材、空調ダクト、空気層などが設置されている。また窓部は構体がなくガラスが車内外を隔てている。これらの全ての部位について、SEAパネルを作成する。それぞれの部位は解析精度を考慮して複数のSEAパネル

に分割して構成する。車両全体のSEAパネル構成を図4に示す。

これらのSEAパネル間の接合を設定して、車両のSEAモデルが完成した。車両全体で要素数は2269となった。

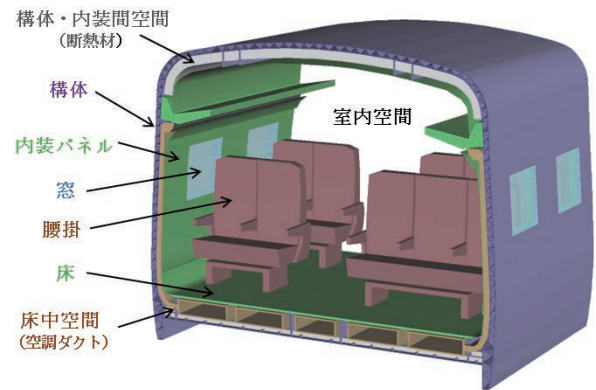


図3 新幹線車両の構造

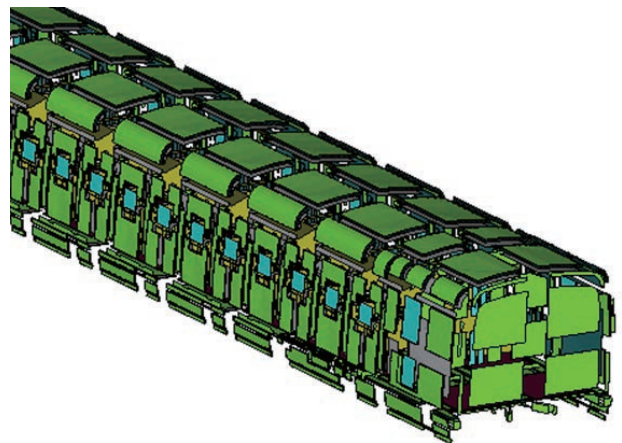


図4 車両全体のSEAパネル構成

SEAパネルに設定する特性は、対象が単純な形状をしている場合は計算が可能で、解析ソフト内に用意された計算式や数値を使用することができる。しかし、新幹線車両の構体はアルミ中空押出型材で構成されており、その形状は複雑であり、計算でパラメータを求めることができない。そこで、構体については先行してFEモデルを作成し、解析を実施し、その結果を用いてSEAパネルのパラメータを設定した。その他の部位については解析ソフトに用意されている計算式や数値を使用してパラメータを設定した。図5にその手順を示す。

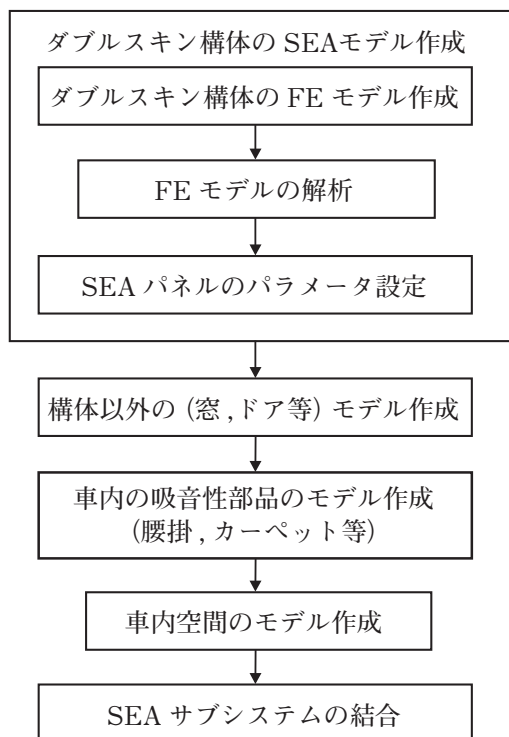


図5 車両 SEA モデル作成手順詳細

3. 3 車両実測データの取得

SEAモデルのパラメータの同定に使用するため、実際の車両での測定を実施した。加振条件はインパクト加振とスピーカ加振の2種類とし、車内中央の床面上1.2mで音圧を測定するとともに、車内の内張パネル、床、窓の振動を測定した。

(1) インパクト加振試験

インパクトハンマにより車体外面を打撃して加振。

(2) スピーカ加振試験

車体外側に設置したスピーカからの音を出し加振。

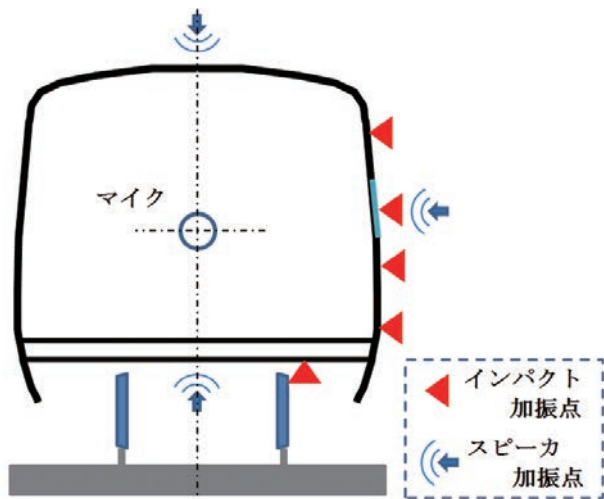


図6 実測データの測定方法

3. 4 解析結果

車両での測定データを用いて、コリレーション分析を実施し、各パラメータを同定した。その結果、実用可能な解析精度を得ることができた。解析結果と測定値の比較例を図7と図8に示す。現時点では、入力部位によっては精度が十分でない結果も出ており、今後も改良を進める必要がある。

解析結果が測定値と一致せず、検討により改善することができた例として窓ガラスについて紹介する。窓ガラスから侵入する音の車内騒音への寄与は比較的高く、車内騒音低減を検討するうえで重要な部位である。当初の解析結果と実測値の比較を図9に示す。現状の窓ガラスは特定の周波数にピークが現れる特徴があるが、解析結果ではこれが再現できていなかった。窓ガラスは車外側と車内側のガラスの間に空気層がある複層構造である。当初はこれをSEAパネルでモデル化しパラメータ設定をしたが、SEAパネルは単純な平板が基本であるため、中間の空気層の再現ができていないと考えられた。そこで、窓ガラスについては、FEモデルを作成して置き換え、解析を実施することとした。解析結果を図10に示す。特定の周波数のピークが再現され、解析精度が向上している。このようにFEモデルとSEAモデルを混合したハイブリット解析は、精度向上に有効であるが、解析時間は増加するため注意が必要である。

4 まとめ

車内騒音低減策の開発に向け、車内騒音の現状分析や騒音低減策の効果の予測が重要であることから、SEA法を用いた解析手法について開発を進め、実際の測定値との比較で実用的なレベルまで精度を上げることができた。今後は、車内騒音低減策の開発に使用するとともに、さらなる精度向上の検討を進めていく。

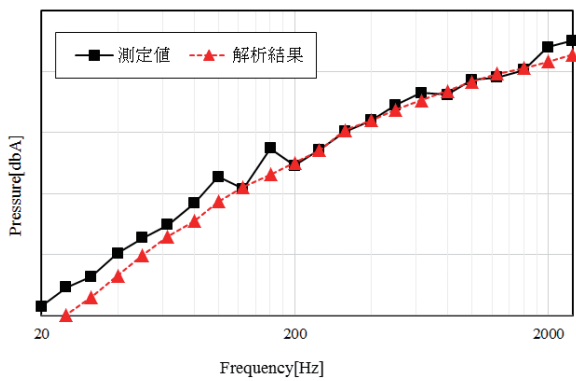
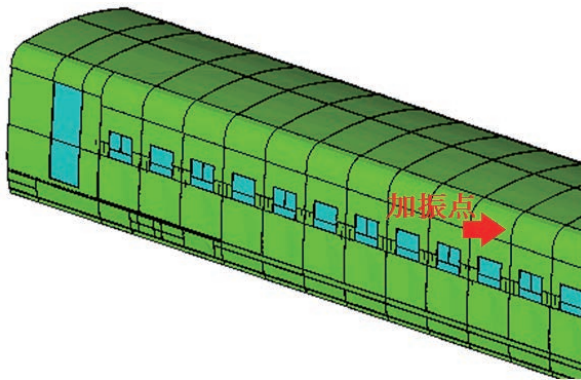


図7 解析結果と測定値（インパクト加振）

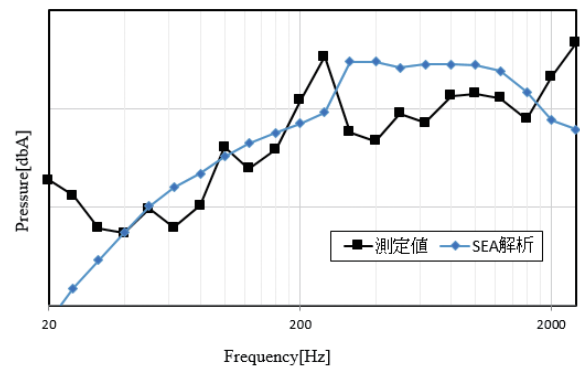


図9 当初解析結果と測定値（窓ガラス）

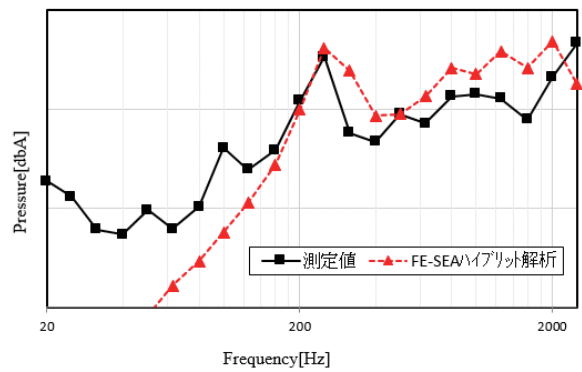


図10 改良解析結果と測定値（窓ガラス）

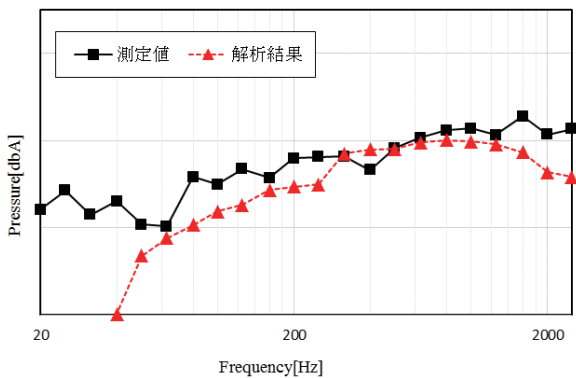
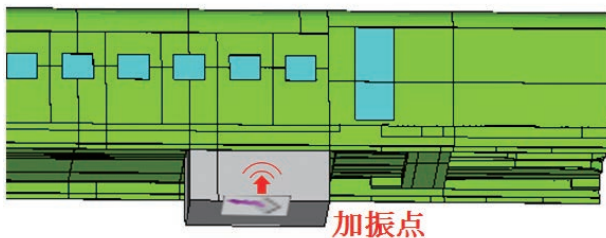


図8 解析結果と測定値（スピーカ加振）

著者紹介



橋本克史
生産本部
技術部 部長（高速車両）



谷口宏次
技術士（機械部門）
生産本部
技術部（車体設計） 主任技師