

特集 | カーエアコンホースの振動計算手法の開発*

Development of Computation Method of Car Airconditioning Hose Vibration

長屋重義

Sigeyosi NAGAYA

新聞 敦

Atsushi SHINMA

浅野秀夫

Hideo ASANO

Analysis of strength and vibration isolation capability is a key element in designing airconditioning hose. To estimate the vibration characteristics, hose modeling is made using beam element for rubber hose and pipings including metal fittings and then finite element analysis is applied. This simulation method is quick in calculation and easy to use for design engineers. This paper describes the features and application examples of the simulator.

Key Words : Air conditioning, Numerical analysis, Simulation, Finite Element Method, Vibration/hose, Simulator

1. まえがき

現在、各社で設計・生産準備プロセスの見直しによる開発期間の短縮やコスト削減の取り組みが進んでいる。その中でシミュレーションは、3次元CADとともに、これらを実現するために、重要な技術となっている。しかし従来、シミュレーションを設計者が自ら実施するのは、解析モデルの作成、境界条件の入力、さらに計算を行うために解析テクニックや新しいアプリケーションの操作を習得する必要があること等、多くの困難を伴っていた。

今回、Fig. 1に示すカーエアコン配管のコンプレッサ周りのアルミ配管、クーラホースを取り上げた。それらを梁要素によりモデル化して有限要素解析するシミュレータを開発することで設計者自身が短時間に振動特性を予測できるようになった。

本報では、エアコンホース各部位のモデル化計算手法と、適用事例について報告する。

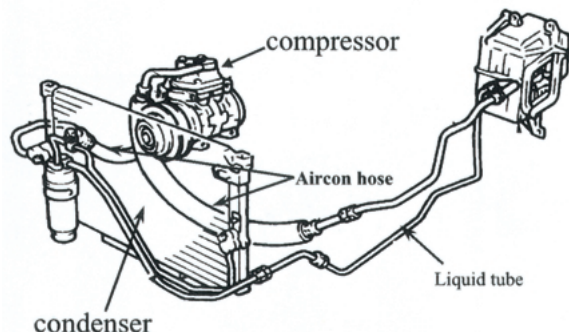


Fig. 1 Pipings layout

2. カーエアコンホースの概要

カーエアコンの配管はエアコン各機能品の冷媒回路を形成する働きをもっており、おもにアルミで作られエンジンコンパートメント内に配管されている。またコンプレッサ周りの配管には、振動吸収の目的でエアコンホースが使われている。

Fig. 2に今回対象としたコンプレッサ周りのエアコンホース構成を示す。コンプレッサ等との締結にアルミ材のブロックジョイントを使用しており、金具部と呼ばれるブロック部とホース間には、ホースを緩やかに曲がるよう適当に曲げられたアルミ管が取り付けられている。またホースは積層材(外面ゴム、補強糸、内面ゴム、内面樹脂)を用いられている。

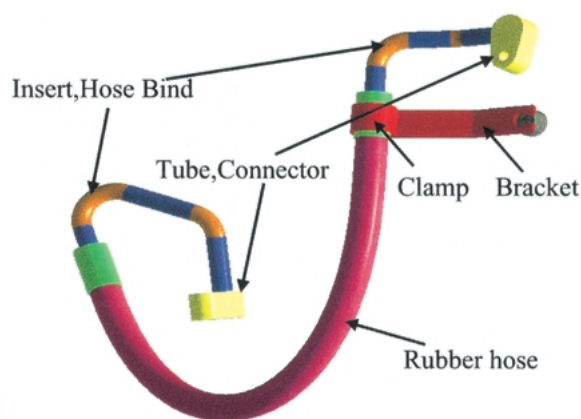


Fig. 2 Airconditioning hose

3. 計算対象

コンプレッサ周りのエアコンホース配管についてはエンジン振動の影響を大きく受けるため、試作実験時

* (社)自動車技術会の了解を得て、2000年秋季大会学術講演会前刷集・発表No.51より加筆転載

に振動耐久上問題となる事が少なくない。現状では、振動耐久特性は、振動試験により共振周波数、評価点における加速度、歪み量を求め、以下の基準により評価している。

- ・共振周波数が実用域低周波側に存在、または評価点における歪み量が規定値以上では、設計変更を行う。
- ・実用域高周波側では耐久試験を実施し、耐久確認を行う。

またエアコンホース配管のレイアウトはエンジンコンパートメント内では比較的遅く決定され、設計期間が短い。そのため、設計変更を伴う低周波側の共振点予測ができる振動特性シミュレーションに対する設計者のニーズは高い。

したがって、シミュレータの開発目標として、実用域低周波数域の共振周波数予測を精度良く求められ、かつ計算モデル作成から、結果が得られるまで簡易に短時間でできるものとした。

4. シミュレータ構築の課題

振動計算解析は、Table 1 に示すソフトウェアを使用する。計算モデルの作成については、各アプリケーションの順次実行及びアプリケーション間のデータ受け渡しを自動化することが可能である¹⁾。本計算についても自動化を行い専用シミュレータ化を行った。

ユーザーは、3次元CAD Unigraphicsを操作し、PATRAN、Nastranを意識することなく、メッシュ生成から計算結果の表示まで行うことができる。Fig. 3にシミュレータの入力例を示す。

Table 1 Analysis application

Geom. Model creation from product-mode	Unigraphics
Grid Generation, B.C. Def.	PATRAN
Solver	Nastran
Data Analysis	PATRAN

振動計算解析では、周波数に対する加速度、歪み量を求めるために、解析手法としては周波数応答解析を実施する必要がある。この解析手法は、指定された周波数範囲内の刻み幅ごとに解を求めるため計算負荷が高くそのため多くの計算時間を要する。

したがって計算モデル、計算要素の簡略化により計算負荷を下げ計算時間の短縮化を図る必要がある。

Table 2に梁要素とシェル要素による計算時間の比較を示す。

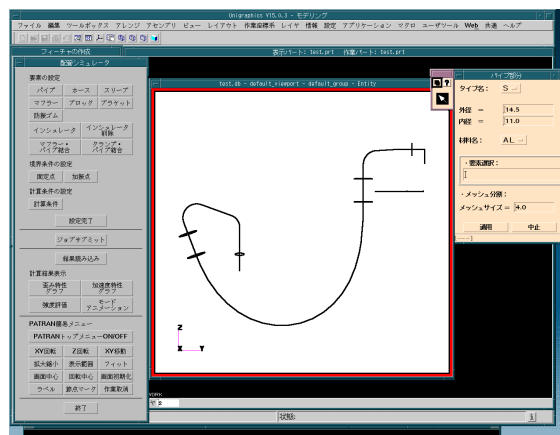


Fig. 3 Simulator Input Menu

Table 2 Comparison between beam and shell

	Beam element	Shell element
Calculation time	19s	43200s

計算範囲は、20Hz ~ 500Hz、刻み幅 2 Hzとした。本シミュレータは、計算効率を考慮し、梁要素によるモデル化を採用した。

しかしながら、梁要素による振動計算を採用したことにより、以下の課題を解決しなければならない。以後、この3点についての計算手法開発について説明する。

- (1) ホース部物性のモデル化
- (2) 金具部曲り管のモデル化
- (3) 付属品のモデル化

5. 各部位のモデル化

5.1 ホース部物性のモデル化

先に述べたように、ホースは積層材であるが、梁により積層構造の表現は困難である。したがって、均一な材料と考えて、ホース物性を、ヤング率およびポアソン比一定として与えた。

ポアソン比は、0.5非圧縮とし、ヤング率は実験で推定した。Fig. 4に示すような実験で、片持ちばりにより共振周波数を求めた。

Fig. 5に実験と、計算の比較例を示す。ヤング率 116MPaで実験との誤差10%以内で精度を確保できた。

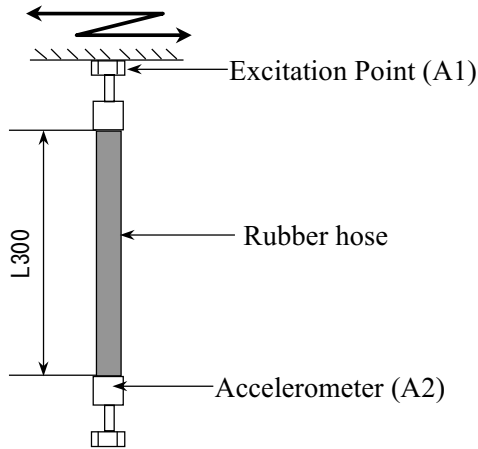


Fig. 4 Test configuration rubber hose

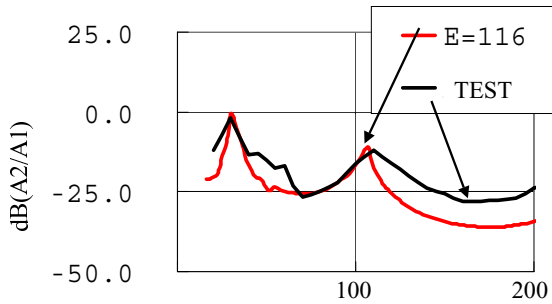


Fig. 5 Comparison between test and calculation result (young's modulus)

5.2 金具部曲り管のモデル化

一般に曲り管では、断面が潰れ剛性が低下する。その影響を考慮した上で、金具部曲りの影響を確認するため、Fig. 6示す単純片持ちはりによる実験と計算の比較を行った。その結果、Table 3で示すように曲り部が予想以上に共振周波数に影響していることがわかった。そこで、曲り部の断面形状に着目したモデル化が必要と考えた。

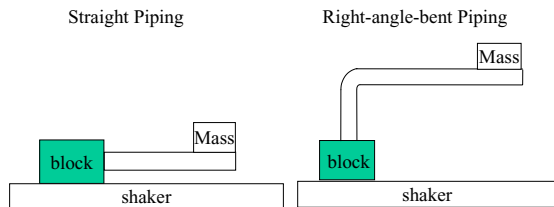


Fig. 6 Test configuration straight and right-angle-bent piping

Table 3 Comparison between Test and Calc.Result (piping)

	Calculation	Test
Straight	250.1Hz.	250Hz.
Right-angle-bent	145.3Hz.	124Hz.

円管の曲げ成形による曲げ部の断面形状の変化，すなわち断面 2 次モーメントの変化が共振周波数へ影響すると考えた。そこで，実機を計測した結果，断面形状は曲げ角に応じ整理できることが分かり，断面 2 次モーメントの補正表を作成した。

Fig. 7 に実測による断面 2 次モーメントの変化を示す。I22 は，曲げにより管が広がる方向であり，I11 はつぶれ方向である。また，Table 4 に最小 2 乗法より求めた補正表を示す。本表により，曲り部の断面変化を補正している。

断面 2 次モーメントの補正と，応力拡大係数 ASME の導入により金具曲り管のモデル化を精度 10 % 以内で行うことができた。例として，90 度曲げ時の共振周波数を Table 5 に示す。

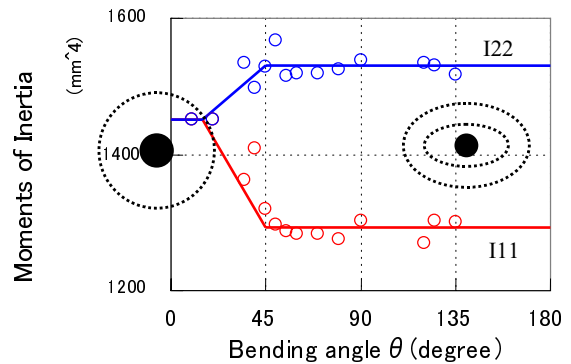


Fig. 7 Measured moments of inertia

Table 4 Correction Table

Bending angle	I11moment	I22moment
0 ~ 15	1451	1451
15 ~ 45	- 5.3 + 1530	2.6 + 1413
45 ~ 135	1292	1530

Table 5 Comparison between Test and Calc.Result (Right-angle-bent piping)

TEST	Correction	
	Correction	No Correction
124 Hz	126 Hz	145 Hz

5.3 付属品のモデル化

エアコンホースの付属部品も計算効率を上げるため

に、同様に梁要素でモデル化を図った。

Fig. 8にその1例を示す。

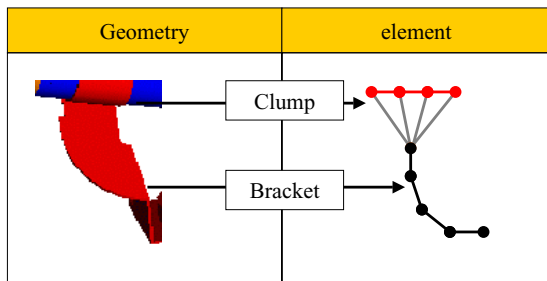


Fig. 8 Modeling of clump and bracket

6. 精度検証

本計算手法の精度を検証するため、エアコンホースアッセンブリー状態で実験との比較を行った。

Fig. 9に実験の概略図を示す。ゴムホース部の形状変化を考慮するため、ホース曲がりにより5パターン計測を行った。

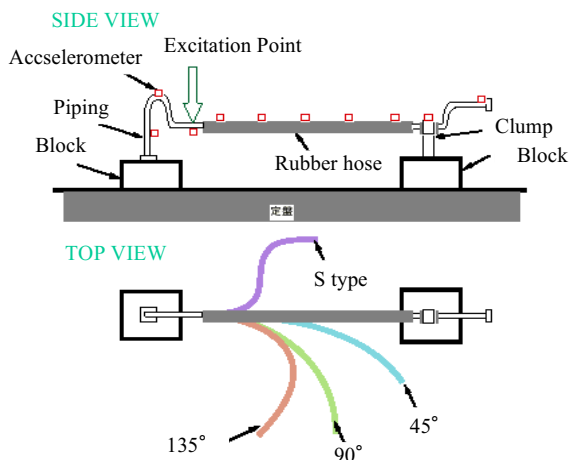


Fig. 9 Test configuration of bending hose

Fig. 10にホースストレート、90度曲がりの比較結果を示す。

ホース曲げにより形状が大きく変わっても、実用域で共振周波数を10%以内の精度で計算可能であることを確認できた。

7. 適用事例

本計算手法を取り入れ、シミュレータを開発した。

Fig. 11に開発したシミュレータの計算結果出力画面例を示す。ユーザーは、CAD上で、計算対象の指定と物性の入力するのみで簡単に計算できる。

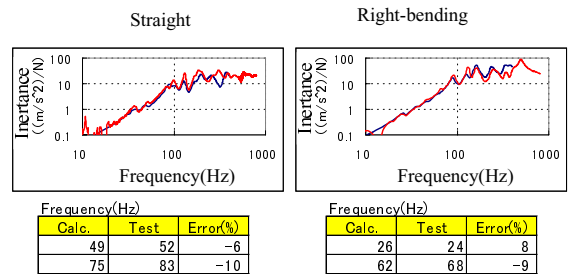


Fig. 10 Comparison between Test and Calc.Result straight and bending hose

モデル作成から、結果を得るまでに必要な時間は、約10分である。

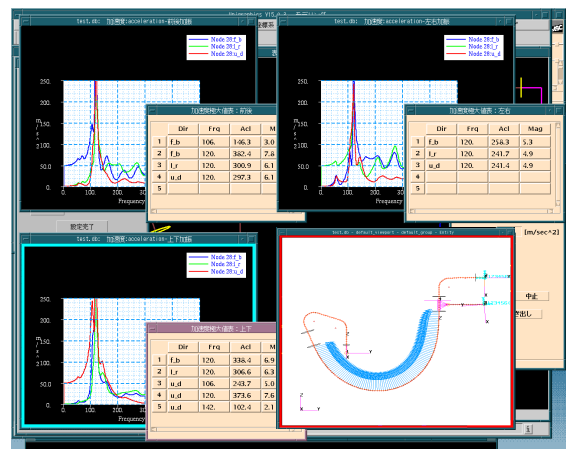


Fig. 11 Simulator Output Menu

本シミュレータの実機への適用例をFig. 12に示す。実機レイアウトで実験との比較を行った。

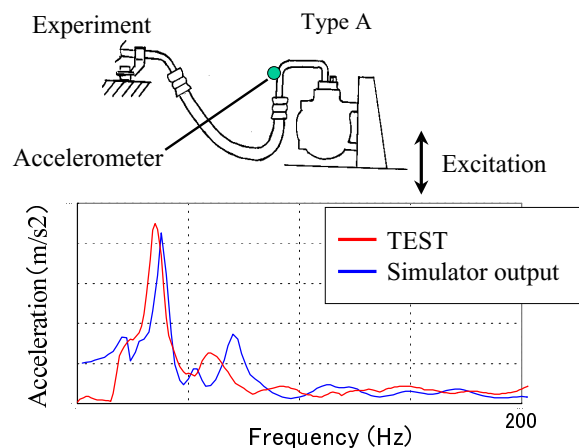


Fig. 12 Comparison between simulator output and Test

高周波側では、コンプレッサ、コンプレッサブラケットの影響を受けるものの、低周波側では、共振周波数を10%以内で求めることができた。

8. まとめ

- (1) エアコンホースの振動状態を梁要素を用いて簡易で短時間に計算可能な手法を開発した。
- (2) 実用域、低周波側の共振周波数を誤差10%以内で計算可能とした。
- (3) 以上の手法に基づき、10分程度で計算できるシミュレータを開発した。

<参考文献>

- 1) 彦坂他：自動車技術会講演会前刷集 No.92 (1998)
- 2) Unigraphics Ver.15.0 マニュアル, EDS / 富士通,
- 3) MSC / PATRAN Ver.8.5 ユーザマニュアル, 日本MSC
- 4) MSC / Nastran Ver.70.5 ユーザマニュアル, 日本MSC
- 5) 谷口他：振動工学ハンドブック 養賢堂
- 6) 玉理他：自動車のパワーステアリング配管系振動解析, 日本機学会 第74期全国大会 講演論文集(1)
- 7) 藤原他：自動車工学シリーズ カーエアコン 山海堂



<著者>



長屋 重義
(ながや しげよし)

冷暖房事業部
エアコン強度振動解析要素技術の
開発に従事.



浅野 秀夫
(あさの ひでお)

冷暖房事業部
エアコン仮想設計システムツールの
開発に従事.



新聞 敦
(しんま あつし)

デンソーアイテック
DECCS/CAEアプリケーション開
発に従事.