

振動試験治具設計 CAE アプリの開発

機械情報システム課 清水孝晃*1、中村陽文

1. 緒言

振動試験を行う時には、事前に試験機の能力範囲であるか、試験体と試験機中心の偏心が許容範囲であるか、試験治具が試験条件（振動の強さ、振動数範囲）に適したものかといった観点で試験実施の可否を判定する。これらの中で治具の適性の判断が難しくかつ試験を安全に正確に実施するうえで重要な観点である。この判断のツールとして CAE を用いることが有効であるが、専用ソフトが必要でありそれを動かすコンピュータも高機能のものが要求され簡単に導入し利用できるものではない。

機械電子研究所に令和 2 年度導入された複合材料デザインシステムに含まれる CAE ソフト COMSOL には、CAE の解析機能を CAE アプリに展開する機能があり作成した解析アプリはライセンス外の環境において汎用 PC 上で起動し、どこでも計算を行うことが可能になる。この CAE アプリ作成機能を、振動試験治具の共振点解析に利用できる環境を開発した。

2. 実験方法

2-1 開発した CAE アプリ

COMSOL において解析モデルを作成し計算を行い、その結果を用いて CAE アプリを作成した。Fig.1 に CAE アプリ画面を示す。プレート状の形状でありプレート上の中央と左右の 3 か所に錘を搭載した形状である。下面に直径 200 mm 高さ 1 mm の突起を設けその下面を拘束固定するモデルとした。プレートと錘は各寸法およびヤング率、密度を変更することが可能である。メッシュは 4 面体メッシュであり寸法変更時に再構築可能である。解析は固有振動数解析を行い低い振動数から 5 ケ求めた。結果は振動数とその時の変形表示が可能である。

2-2 CAE アプリの評価

プレート上の錘が無い状態を対象とした。CAE アプリでは形状を消すことはできないため、モデル上の物体が無い形状の物体を対象とする場合疑似的にモデル定義することが必要となる。COMSOL 上で固有振動数解析を行った結果と、CAE アプリで物体が無い形状を疑似的に表した結果を比較した。物体を構成する素材はアルミニウムとし、疑似的なモデルとするためヤング率、モデルの厚さ及び密度を変更した。また、実機において正弦波スイープ振動試験による共振点探査とインパルス応答を FFT 処理した共振点と比較した。

*1 現 ものづくり研究開発センター

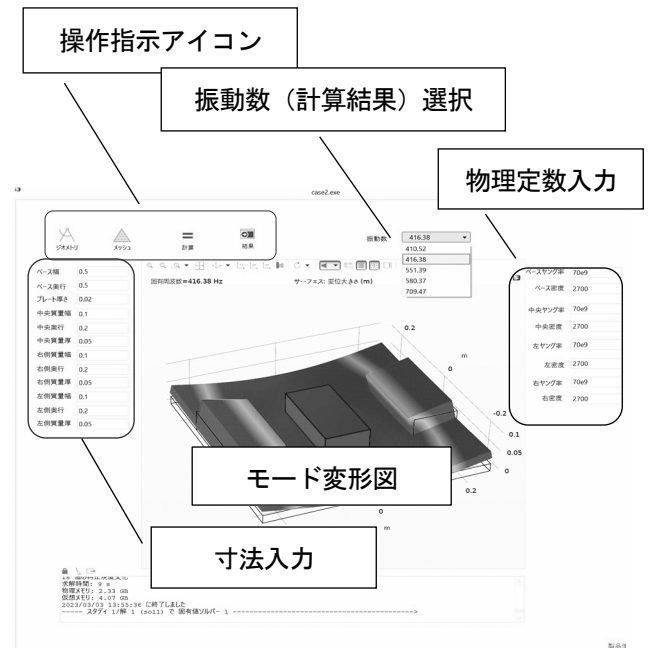


Fig. 1 Display of CAE-app at plate model

3. 実験結果

CAE アプリにおいて錘の無い状態を疑似的に作りその結果を評価した。

3.1 錘のヤング率を調整することで疑似的に表現

錘の厚さを 15 mm とし、ヤング率を 70GPa、700MPa、7MPa とした。固有振動数は 5 次まで求めた。Table 1 に結果を記す。錘の存在による固有振動数の上昇をヤング率の調整により下げることができるが、錘の質量によりそれ以上に低下した。7MPa に下げると錘自体が振動し 5 次では他と異なるモードになった。

3.2 錘の厚さを調整することで疑似的に表現

錘の厚さを 1,2,5,10 mm と変化させ、錘のヤング率を 70GPa、密度を 2700 kg/m³ として固有振動数を 5 次まで求め結果を Table 2 に示す。厚さを薄くする方が錘による剛性の影響が小さくなるため固有振動数が小さくなり通常の計算結果に近くなるが、メッシュ分割はモデルの最小寸法に影響されるため要素数が増大し計算時間が長くなる。計算時間と計算精度のバランスから最大寸法の 2% 程度まで薄くすることにどめるのが良いと言える。

3.3 錘の密度を調整することで疑似的に表現

錘の密度を 1000, 100, 10, 1 kg/m³ と変化させた。ヤング率は 70 GPa、厚さを 15 mm として固有振動数を求めた。

Table 1 Relationship between resonance frequency and Young's modulus at upper weight (Hz)

E	70GPa	700MPa	7MPa	COMSOL
time(s)	9	9	20	9
f1	602.2	483.9	460.9	498.5
f2	607.3	489.1	467.1	504.6
f3	646.4	492.4	469.7	505.6
f4	657.7	496.4	476.0	512.3
f5	904.6	770.1	504.7	915.3

Table 2 Relationship between resonance frequency and thickness of upper weight (Hz)

thickness(mm)	1	2	5	10
elements	42615	41539	32546	24562
calculation-time(s)	18	17	13	9
f1	507.0	518.3	552.2	588.1
f2	513.0	523.4	554.2	592.7
f3	514.8	526.0	554.5	605.3
f4	521.5	532.1	559.5	609.4
f5	917.6	921.6	924.8	918.2

Table 3 Relationship between resonance frequency and density of upper weight (Hz)

ρ (kg/m ³)	1000	100	10	1
f1	630.5	644.5	645.7	645.8
f2	632.8	644.9	646.2	646.3
f3	651.3	653.8	654.1	654.1
f4	664.1	667.4	667.7	667.8
f5	968.3	1011	1015	1016

Table 3 に結果を示すが、錘が軽くなることで固有振動数が上がった。本形状は錘の剛性が全体へ及ぼす影響が大きいため密度のみの調整は効果的とは言えない。

キーワード：固有振動数解析、振動試験、COMSOL、CAE アプリ、FFT

Development of CAE Application for Vibration Test Jig Design

Mechanics and Digital Engineering Section; Takaaki SHIMIZU*¹ and Takafumi NAKAMURA

We developed an analysis application for easily judging the suitability of vibration tests jigs. By specifying the dimensions and material properties of an object that combines simple shapes, the natural frequency is calculated. There is a CAE-app in COMSOL, and it is possible to calculate even in an environment outside the license. We used this CAE-app function. An application with a function to calculate the natural frequency of the vibration test jig was created and its accuracy was verified. We devised parameters such as jig dimensions, Yong's module, and density, and confirmed that they had sufficient accuracy for practical use.

3.4 最適形状での計算と実機での測定結果の比較

錘の厚さを 8 mm、ヤング率 700MPa、密度 1kg/m³としてアプリで固有振動数を 5 次まで求め結果を Table 4 に示す。CAE アプリでの計算結果と通常の計算結果とほぼ一致した。一方実測値との一致は良くない。正弦波スイープ振動において約 390Hz に共振を確認したが解析結果に比べ 100Hz 程度低く試験実施時に影響を及ぼす可能性がある。インパルス応答試験結果では 445Hz であり 50Hz 程度低い。また解析において約 915Hz の共振を算出しているがこれに相当する振動は計測されなかった。振動試験治具では 1 次の振動数が重要であるのでこれは無視できる。

Table 4 Comparison of resonance frequency for CAE-app, COMSOL, vibration-test and impulse-response (Hz)

	CAE-app	COMSOL	Vibration-test	FFT
f1	498.1	498.5	386	445
f2	505.0	504.6	393	820
f3	505.1	505.6	406	1227
f4	512.5	512.3	410	
f5	914.6	915.3	1208	

4. 結言

CAE アプリ機能を用いて振動試験治具の固有振動数計算機能を持つアプリを作成しその精度を検証したが、実用上充分であることを確認し以下の知見を得た。

- ・モデル形状により剛性と質量の影響が異なる。
- ・モデルの寸法を局所的に小さくすると計算時間が長くなる。
- ・実測による共振点とは 100Hz 程度のずれがあるため余裕を持った設計が必要である。