

機械振動の教材開発

Development of teaching materials on mechanical vibration

幾瀬康史 三鍋茂 飯塚真次 下笠賢二 丹羽竜介 太田和良
IKUSE Yasushi, MINABE Shigeru, IIZUKA Shinji, SHIMOKASA Kenji,
NIWA ,Ryunosuke, OHTA Kazuyoshi

1. はじめに

今日、工業製品には、軽薄短小に加え、高強度、高機能等の付加価値が要求されるため、少しでも無駄を省く緻密な最適設計技術が要求されている。そのため、機械設計には従来の設計技法に加えCAEを取り入れたより精度の高い設計が求められる。当然設計者にもその取り扱い能力が要求される。さらにCAEはモデル化した状態での解析であることから、その解析結果と実際の現象は必ずしも一致するものでなく、実際の現象を見ながら、解析条件等を検討する能力も要求されている。

しかし、一般に設計、CAEに実際の現象を有機的に結合し、製品に活かせる設計技術者は少なく、CAEの解析結果を適切に評価できていない場合が多い。特に最近電気機器や自動車等には居住環境から低振動・低騒音化が求められ、精密機械では超精密化が進み、機械振動や騒音を考慮したCAEによる設計が求められているが、技術者が十分対応できていないのが現状だと言われている。さらに振動解析関係のCAEが導入されていても、機械振動に関わる知識や実際の物理現象に対する理解が少ないため、有効に利用されていない場合が多い。そのため、今後重要な能力開発の一つとして振動関係の知識を持った設計技術者の育成が求められている。

これまでCAEと振動・応力測定と理論解析にまたがる能力開発セミナーや企業人スクールを実施してきているが、実験を取り入れた教材は少なく実践的な指導内容が求められている。特に体系的にCAEによる振動解析と実際の測定結果を比較検討できるような実験教材とテキ

ストが望まれる。

そこで、本研究は、振動関係のCAEを使いこなせる設計技術者の育成を目的とした教材の作成を試みている。今回の報告では、その教材一つとして製作した振動解析の教材について報告する。

2. 実験教材の概要

当校で実施してきた振動関係のセミナーには、多くの機械設計の技術者が受講されているが、アンケートの調査から判断すると、機械振動に関する知識を持たれた方が少なく、より深い振動関係のセミナーの要望が多くある。また計測器メーカーなどで振動解析、モード解析などのセミナーを担当している人の意見も同様な指摘をされている。また、機械設計技術者が振動関係のCAEを道具として取り扱う場合、高度な振動理論よりもまず振動現象を正しく理解することが重要と判断される。

このような観点から今回の振動実験の教材は、基本的な振動現象を観察することができ、理論解析、CAEによる解析が容易な装置を製作することにした。したがって、振動実験装置として、インパルス応答や周波数応答などの基本的な振動現象を観察し、理解しやすい実験装置であることが求められる。さらに振動現象の背景にある原理や法則の理解を深めるために、実験装置の数学モデルを作成し、理論的な解析を行い、振動現象と比較検討できることが望ましいと考えられる。したがって、実験装置の要求仕様を次のものとした。

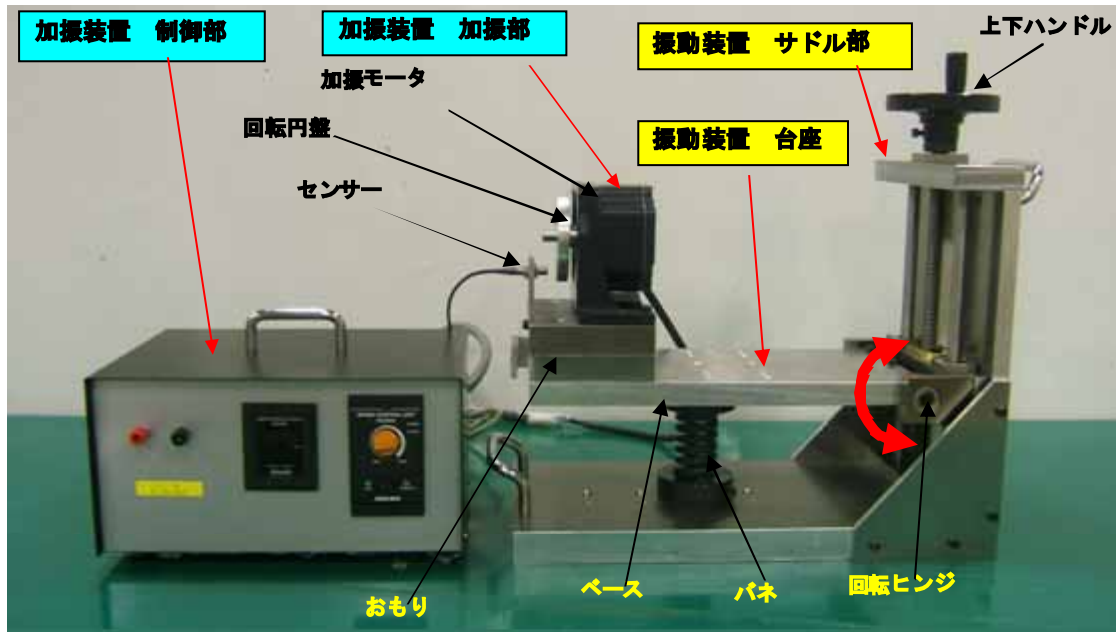


図 1 振動実験装置

[実験装置仕様]

- ①インパルス応答・周波数応答の実験ができること。
- ②振動系のモデル化が容易で、理論解析が簡単に算出できること。
- ③振動パラメータ（質量・静剛性）を変更できること。
- ④変位と力波形の位相差が測定できること。
- ⑤安価であること。

実験装置は、上記の仕様を踏まえ、組み立て・分解が容易で、かつモデル化が簡単であることを考慮し、構造が簡単な 1 自由度の回転振動系とした。また、加振装置は、できるだけ安価にするため、モータによるアンバランスの回転で加振する方法を採用した。

3. 実験装置

図 1 に実験装置を示す。実験装置は振動装置と加振装置から構成される。振動装置は、振動体となる台座とそれを支持するサドル部からなる。台座はベース、ばねの取り付け治具、回転ヒンジで構成され、回転ヒンジを中心に自由に回転でき、上下ハンドルで上下移動が可能である。振動装置のおもりとばねは簡単に置き換え

が可能で、振動パラメータを変更することができる。一方、加振装置は、加振モータの回転制御、回転数の表示、センサー出力を行う制御部と実際に加振を行う加振部とからなる。加振装置は、アンバランスな回転体をモータで回転し、振動を発生させている。そのモータの回転数は 100min^{-1} から 2000min^{-1} の範囲で可変できるので、加振周波数は約 3Hz ～ 33Hz である。また、実験装置には加振中に位相の変化を観察できるようにアンバランスの位置を接近センサーで検出できるようになっている。測定原理は、センサーの感知位置が、荷重（遠心力）の位置に一致するため、台座の振動波形（変位）との相対関係から位相が測定できる。

4. 実験の流れと指導内容

図 3 に本実験装置を用いた実験の流れを示す。はじめに加振装置を載せる台座の慣性モーメントや静剛性などの振動パラメータを測定し、台座のモデル化により振動解析を行い、台座の振動現象の測定結果と比較検討する。その後、加振装置を台座に載せ、周波数応答の測定と理論値とを比較検討する。各実験での学習内容を次に示す。

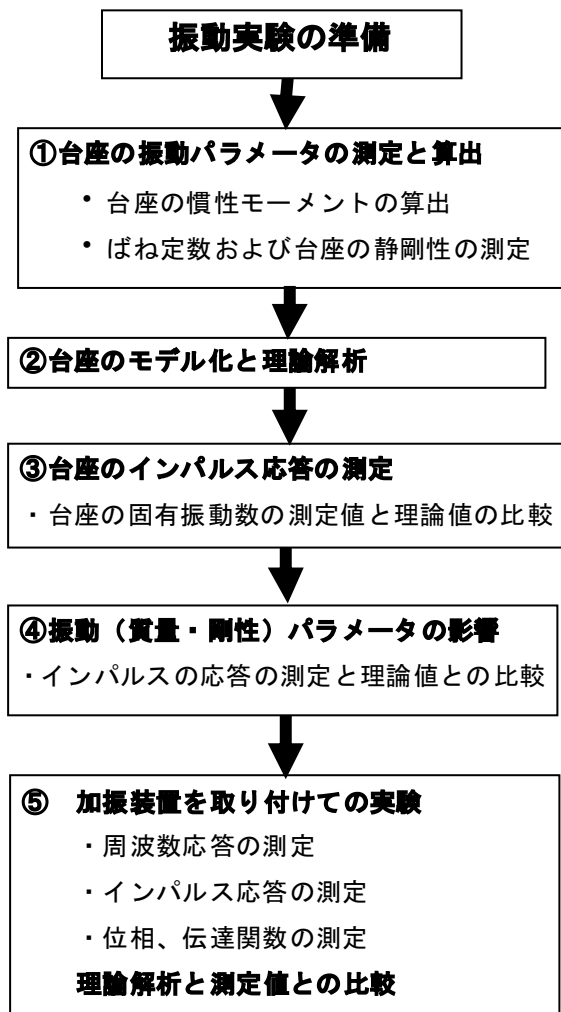


図 2 実験の流れ

①台座の振動パラメータの測定では、慣性モーメント算出方法やばね定数と静剛性の測定方法を学習する。実験装置は、分解、組み立てが容易なため、構成部材は、分解して、質量や寸法を測定し、振動解析とモデル化に必要なデータを算出する。台座の静剛性およびばね定数の測定は、図 3 に示すようにおもりを台座に載せ、ダイヤルゲージで台座の変位を測定して、算出する。

②の台座のモデル化と理論解析では、①で求めた振動パラメータを用いて台座をモデル化する方法と、その理論解析について学ぶ。図 4 に台座におもりを載せた場合の振動モデルとそのモデルを理論解析した結果の例を示す。なお、慣性モーメント算出に当たっては、便宜上、台

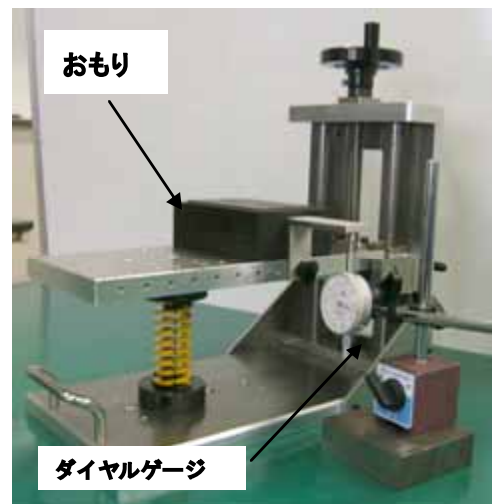
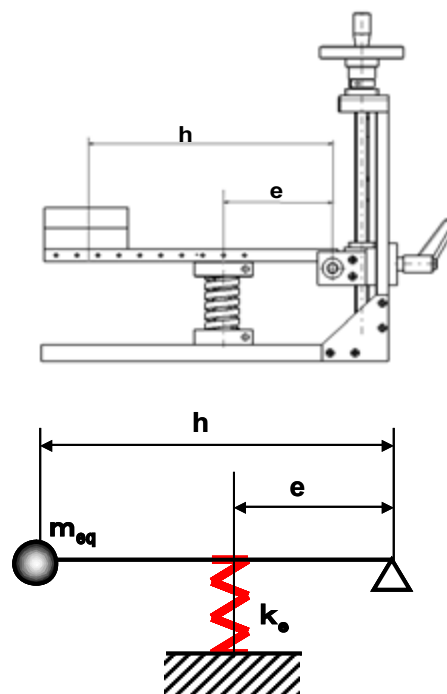


図 3 静剛性の測定



$$\text{固有振動数} \quad fn = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_e e^2}{m_{eq} h^2}}$$

$$\text{等価質量} \quad m_{eq}$$

$$m_{eq} = \frac{1}{h^2} J_D = \frac{1}{h^2} (J_1 + J_2) = \frac{1}{h^2} (J_1 + m_2 h^2)$$

J_1 : 台座の慣性モーメント

J_2 : おもりの慣性モーメント

図 4 台座のモデル化の例

座のベース以外の構成部品は、質点系として取り扱い、ばね以外の構成部品は、剛体と見なし手モデル化をいっている。

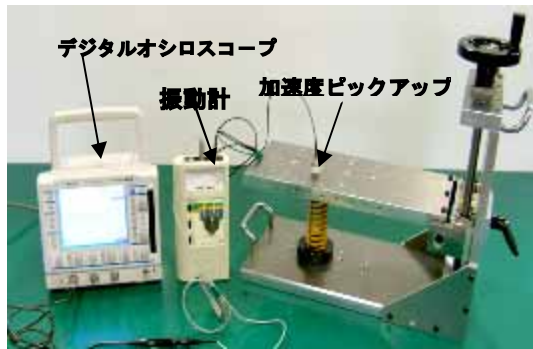


図5 台座のインパルス応答の測定

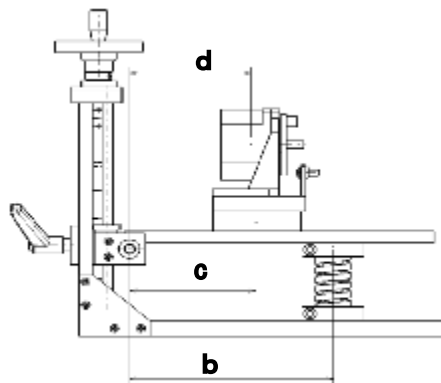


図6 周波数応答の実験装置

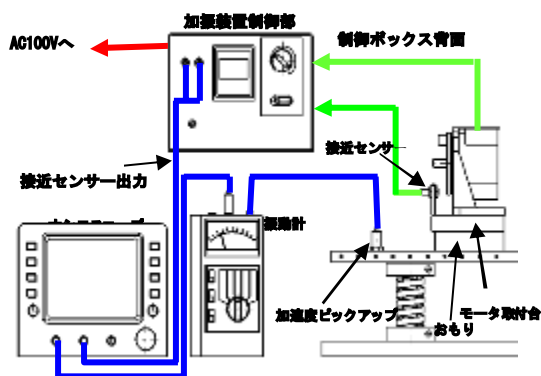
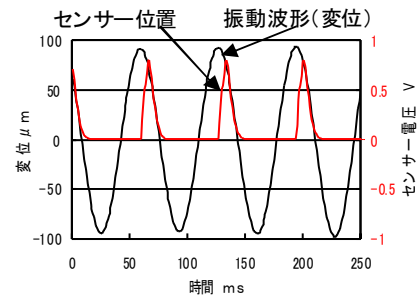


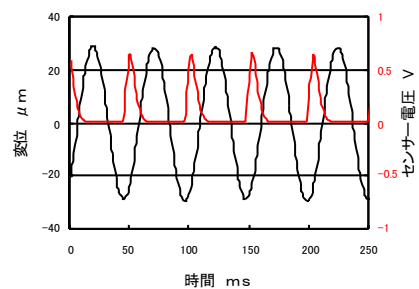
図7 周波数応答の測定系

③の台座のインパルス応答の測定では、振動計の取り扱いとインパルス応答の測定法を学ぶ。ここでは、理論値と測定値を比較検討することで、振動現象の理解を深める。図5に台座のインパルス応答測定の様子を示す。なお②のモデルからの理論固有振動数と測定から求まる固有振動数を比較すると、誤差は約10%以内である。

④の振動パラメータの影響では、おもりとば



固有振動数以下



固有振動数以上

図8 周波数応答出力

ねの大きさと位置を変化させ、インパルス応答の測定を行い、質量と静剛性の固有振動数への影響を理解する。同時に、振動系のモデル化と理論固有振動数の算出も行ないモデル化と理論解析の演習も行なう。

⑤の測定では、実験装置の周波数応答を測定し、周波数応答関数について理解を深める。また、ここでも同様に実験装置をモデル化し理論解析を行い、実験結果との比較検討を行う。図6と図7に周波数応答実験装置とその測定系を示す。図8に固有振動数前後での振動波形(変位)とセンサーの出力波形の変化の様子を示す。変位の振動波形に対してセンサー波形が180°位相が変化し、位相の変化が測定できることがわかる。さらに図9に実験装置の周波数応答の測定結果を示す。明確に共振点が現れており、共振点の前後で力の方向(アンバランス駒が最下部の位置)に対して変位の位相が逆転していることがわかる。なお、この共振点とインパルス応答で求めた固有振動数と一致することは確認している。このことから、本装置は、振動実

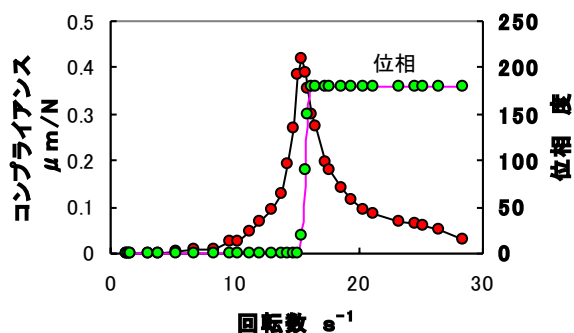


図9 周波数応答の測定

験装置として、十分活用できると判断される。

図10に図2で示した「実験の流れ」に沿った実験手引き書を試作したものを示す。自学自習できるように図や写真を入れて、実験手順や験データの処理について示している。



図10 実験手引き書

5. 実験装置のCAEによる振動解析例

今回CAEによる解析は行ったものの教材として作成を行っていない。ここでは、本実験装置をCADでモデル化し、CAEでモード解析を行った結果だけを示す。図11は、実験装置の解析用モデルを示す。(メッシュ図) 図12にモード解析の結果を示す。解析で求められた固有振動数と実験の固有振動数は、ほぼ一致した結果を得ることができた。しかし、モデリング製作時間がかかり、教材としては不十分である。今後教材に展開する場合、モデリングの簡素化が必要と思われる。

6. 振動実験装置の評価

試作した実験教材は、3つの能開セミナーと専門課程生産技術科の授業の中で使用した。そのうち1つの能開セミナーで、本実験装置の評

価を行うため、アンケート調査を行った。受講

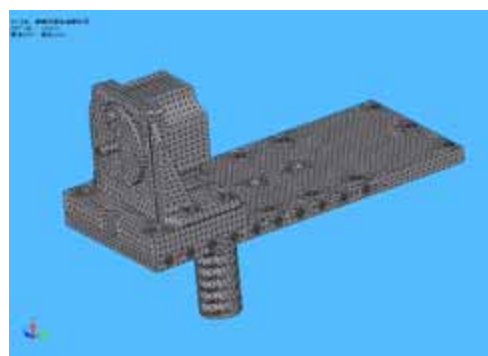


図11 実験装置のモデリング図(メッシュ図)

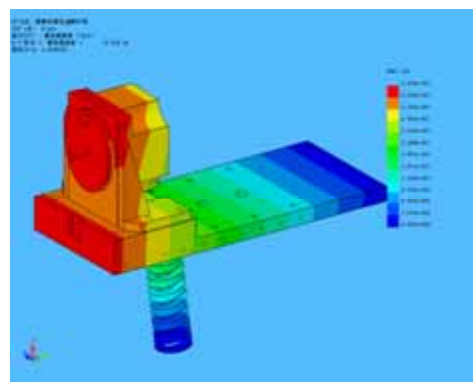


図12 モード解析の結果(固有振動数 25Hz)

生14名。受講生のプロフィールは、ほぼ8割が設計関係、経験年数は1年から5年の方が7割であった。装置の満足度として、60%から80%程度得ることができた。

7. まとめ

低費用で基礎的な振動現象および振動理論を理解するための実験装置と実験テキストを作ることができた。しかし、製作した実験装置のCAE解析の教材化には至っていないため、今後CAE教材の製作を行う必要がある。

8. 謝辞

本研究の1部は、平成18職業能力開発総合大学校東京校グループ研究費を受け行われたことを付記し、謝意を表す。また、CAEのモード解析において、(株)構造計画研究所の佐竹直樹氏にご助言とご指導を頂いたことを御礼申し上げます。