

パッケージ型振動体の開発

瀧口 三千弘^{*1}, 山元 和真^{*2}, 藤原 滋泰^{*3}, 藤野 俊和^{*4}

Development of Package Type Vibration Objects

Michihiro TAKIGUCHI, Kazuma YAMAMOTO, Shigeyasu FUJIWARA and Toshikazu FUJINO

In learning the issue of vibration, it is important to know the essence of the various problems in resonance, natural frequency, natural vibration mode, and so on. However, it is really very hard to understand these phenomena. So, we started to develop the experimental equipment for the purpose of observing the vibration of mechanical systems.

In the previous study, we developed the horizontal and vertical shaking tables respectively. In this study, ten vibration objects were made for the shaking tables. By using these objects, we clearly observed the resonances and natural vibration modes respectively.

KEYWORDS : teaching material, vibration object, package type

1. まえがき

機械系の動力学問題とりわけ「振動問題」の学習において、固有振動数や固有振動モードといったこと等、問題の本質を知ることが重要であるが、実際にはなかなか理解しにくい。

こうしたことから、著者の一人は学習用教材として教育用運動シミュレーションシステム (DSS と呼称) を開発し^{1)~3)}、機械力学の授業や実験実習で活用し効果を上げている⁴⁾。本システムは運動方程式を数値計算により解き、解析結果をグラフィック出力するという一連の作業を支援するためのソフトウェアであり、比較的簡単な運動や振動問題は本システムだけで十分理解が可能であるが、少し複雑な運動問題や多自由度系の振動問題となると、実際の動きがイメージできず理解に苦しむ学生が多い。

そこで、著者らは振動現象学習用教材として3自由度直線振動系の実験装置を開発し、こうした教材が非常に有効であることを確認した⁵⁾。また、実験装置の開発にあたり振動を加える装置としての加振機が重要であることから、汎用性があり小型で低コストな水平方向用加振台 (1.2~18.5Hz の範囲で使用可能) と垂直方向用加振台 (1.5 (~3.0) ~18.5Hz の範囲で使用可能) の開発を試み⁶⁾、それぞれの加振台を用いたいくつかの教材開発を行った^{7)~9)}。

このような背景の中、本研究においては開発された二つの加振台を利用した振動現象観察用教材として、図1に示す解析モデル (水平方向及び垂直方向加振対象モデルをそれぞれ5例) に相当するパッケージ型振動体の開発を行ったので報告する。なお、図1中の水平方向加振対象モデル No.3⁸⁾及び垂直方向加振対象モデル No.4⁹⁾については報告済みである。

*1 商船学科

*2 海事システム工学専攻

*3 一般教科

*4 長岡技術科学大学 大学院技術経営研究院システム安全専攻

2. パッケージ型振動体

2. 1 概要

図2に、開発したパッケージ型振動体（水平方向用5個、垂直方向用5個）を示す。それぞれ図1の解析モデルに対応している。

2. 2 教材としての特徴

本教材の特徴は、次のような点である。

- (1) 解析モデル：1自由度から3自由度までの問題を扱った。比較的簡単な問題から、少し複雑な問題までバラエティに富んだ教材である。

- (2) 振動体の保管・運搬性：振動体をパッケージ化（薄型・軽量）したことにより、保管・持ち運びが容易である。
- (3) 振動体の加振台への取り付け性：加振台の上に置くだけの方式にしたので、取り付けは容易である。
- (4) 安全性：共振が発生する固有振動数（1～3次、振動体によって異なる）をできるだけ低く抑えるよう設計してあるので、危険性がない。
- (5) 低コスト：今回開発した振動体は、図2からもわかるように、部品点数も少なく材料費は比較的安価である。
- (6) その他：10個の振動体には、同様の教材を作成する上での多くのノウハウが含まれている。

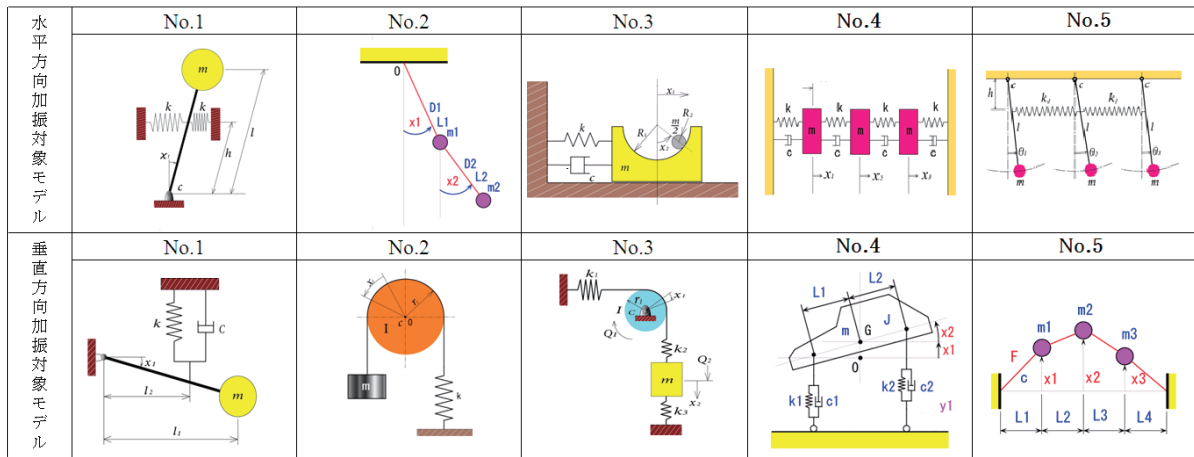
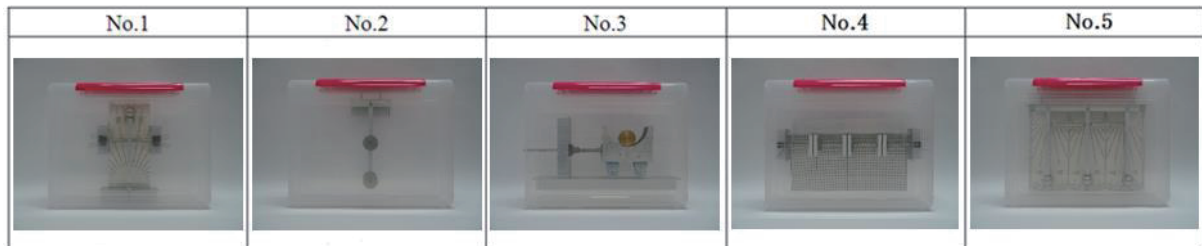
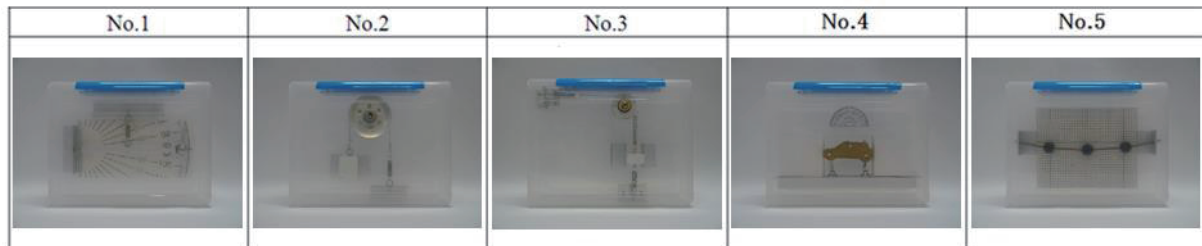


図1 解析モデル



(a) 水平方向用



(b) 垂直方向用

図2 パッケージ型振動体

3. 振動体の性能

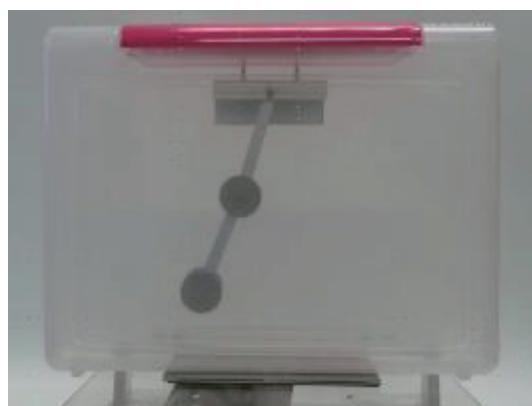
3. 1 振動の様子

図3に、水平方向用振動体の共振状態の一例（水平 No.2）を示す。1次と2次の振動モードの違いが推測できる。図4に、垂直方向用振動体の共振状態の一例（垂直 No.5）を示す。1次、2次及び3次の振動モードの違いが推測できる。

なお、各振動体の振動動画を次の URL にて公開している。

水平方向 <https://youtu.be/E6cLMnMfBw4>
 垂直方向 <https://youtu.be/Wj6lXvkIzlQ>

それぞれ、1～3次（振動体によって次数は異なる）の共振状態の動画と、停止した状態から徐々に振動数を上げて振動状態が変化していく様子を示した動画がある。

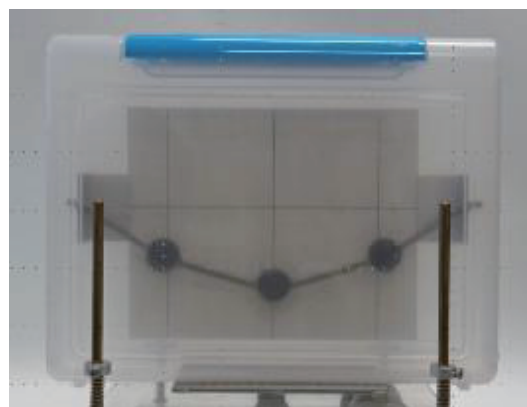


(a) 1次

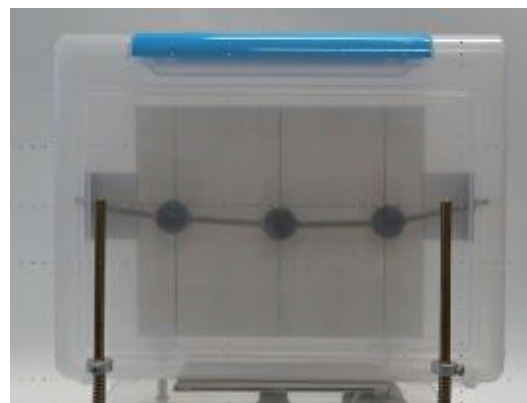


(b) 2次

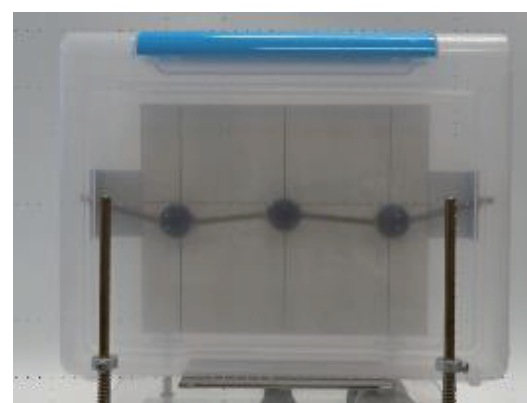
図3 水平方向用振動体の共振状態の一例
 (水平 No.2 : 2重振り)



(a) 1次



(b) 2次



(c) 3次

図4 垂直方向用振動体の共振状態の一例
 (垂直 No.5 : 質量のついた弦)

3. 2 固有振動数

表1に、水平方向用振動体の共振時の実験結果と解析結果の比較を示す。表2に、垂直方向用振動体の共振時の実験結果と解析結果の比較を示す。い

表1 水平方向用振動体の共振時の実験結果と解析結果の比較

No.	テーマ	自由度	(Hz)					
			1次		2次		3次	
			実験	解析	実験	解析	実験	解析
1	逆立ち振子	1	3.83	3.83	/	/	/	/
2	二重振子	2	1.40	1.41	3.30	3.28	/	/
3	凹形剛体+円柱の振動	2	2.35	2.25	3.80	3.71	/	/
4	3自由度のばね・質量系	3	3.75	3.75	7.16	6.95	8.93	9.06
5	並列三重振子	3	1.63	1.41	2.83	2.66	4.30	4.14

表2 垂直方向用振動体の共振時の実験結果と解析結果の比較

No.	テーマ	自由度	(Hz)					
			1次		2次		3次	
			実験	解析	実験	解析	実験	解析
1	横つり下げ振子	1	4.95	4.92	/	/	/	/
2	滑車・ばね・質量系(その1)	1	3.33	3.32	/	/	/	/
3	滑車・ばね・質量系(その2)	2	5.55	5.47	8.83	8.40	/	/
4	自動車	2	5.42	5.37	7.75	7.81	/	/
5	質量のついた弦	3	5.30	5.08	8.97	8.98	11.75	11.13

れも、実験結果と解析結果はよく一致していることがわかる。また、加振台の振動数範囲内（水平方向用：1.2～18.5Hz、垂直方向用：1.5（～3.0）～18.5Hz）で、目的とする1～3次の共振が発生していることもわかる。

4. DSS を用いた振動体開発の手順

本研究においても、DSS を用いたシミュレーションを行いながら振動体の開発を行った。

パッケージ型振動体開発の手順、ポイントを次に示す。

- ① 解析モデルを作成し、運動方程式を立てる。
 - ・加振台を用いた振動は、本来は変位加振であるが、運動方程式が複雑になる場合は、外力加振で行う。共振現象の観察に、特に大きな問題はない。
- ② DSS を用いた初期段階のシミュレーションを行う。
 - ・加振台の振動数範囲内（水平方向用：1.2～18.5Hz、垂直方向用：1.5（～3.0、振動体の重さによって異なる）～18.5Hz）で、目的とする1～3次の共振が生じるように、振動系の質量・慣性モーメント・ばね定数・ねじりばね定数等を決定する。

- ③ ②のシミュレーション結果を基に、振動体を開発する。

- ・振動体をパッケージ化するために、本研究では、ディスクジョナリーA4 ファイル（254×323×43mm、山田化学）を用いた。
- ・パッケージ空間の中に納まるように、各種部材の寸法等を決定する。
- ・大きな力が加わる場所は別として、振動体を支える床、壁、天井等は原則アルミの型材を用い、固定は両面テープで行う。
- ・できるだけ、大きな摩擦や振動減衰が生じない構造にする。必要に応じて、ベアリングやスライドブッシュ等も利用する。
- ・本研究で開発した10個の振動体には、同様の教材を作成する上での多くのノウハウが含まれている。

- ④ 振動体各部の質量・慣性モーメント・ばね定数・ねじりばね定数・寸法等を正確に測定、計算し、再度 DSS を用いてシミュレーションを行う。
 - ・振動系の固有振動数を正確に求め、1～3次の共振シミュレーションを行い、固有振動数に対応した固有振動モードの確認を行う。DSS の簡易アニメーション

機能を用いる。

- ・この時点では、系の粘性減衰は考慮しなくてよい。
- ⑤ 製作した振動体を用いて、④で求めた各固有振動数に対応した共振現象を確認する。
- ・共振挙動とりわけ、固有振動モードの観察を行う。
 - ・固有振動数及び振幅等を計測する。
 - ・必要に応じて加振力（加振台の偏心カムの偏心量）を調整する。
- ⑥ ⑤の実験結果を再現すべく、DSSを用いた最終シミュレーションを行う。
- ・系の粘性減衰を考慮したシミュレーションを行う。
 - ・場合によっては、各部の摩擦を考慮する必要がある。
 - ・DSSの簡易アニメーション機能及び必要に応じて自由出力プログラムを用い、実験結果を再現する。
- ⑦ ⑤の結果と⑥の結果を比較検討し、問題がなければ振動体の完成とする。

5. あとがき

本研究により得られた主な結論は、以下のとおりである。

- (1) 振動現象の観察（とりわけ共振と振動モードに注目）を目的としたパッケージ型振動体（水平方向用5個、垂直方向用5個）の開発を行った。
- (2) 開発された振動体の固有振動数は、いずれも解析結果とよく一致した。
- (3) 開発のポイントは、振動体をできるだけ簡単に低価格で作成したことと、水平及び垂直加振台の使用範囲の中で全ての次数の共振が発生するように設計したことである。
- (4) 振動体をパッケージ化したことにより、薄型・

軽量で、保管、持運びが便利な物になった。今後、振動問題に関する教室での授業を大きくサポートし、将来的には多くの教育機関での使用が期待できる。

謝辞

本研究の一部、日本学術振興会平成26年度及び平成27年度科学研究費補助金・基盤研究(C) (課題番号:26350217)の助成及び平成26年度高専一長岡技科大共同研究の助成を受けて行われたことを付記する。

参考文献

- 1) 瀧口三千弘：機械系の動力学問題学習用教材の開発，論文集「高専教育」，第22号，pp.97-105(1999)
- 2) 瀧口三千弘：機械系の動力学問題学習用教材（DSS）の開発—簡易アニメーション機能の追加—，平成24年度工学教育研究講演会講演論文集，pp.552-553(2012)
- 3) 瀧口三千弘：機械系の運動・振動学習用ソフトウェアの開発，日本機械学会2015年度年次大会DVD講演論文集，J2010202(5p)(2015)
- 4) 瀧口三千弘：教育用運動シミュレーションシステム（DSS）の開発とそれを用いた学習指導例，平成8年度東レ理科教育賞受賞作品集，第28回，pp.38-40(1997)
- 5) 松本幸市・瀧口三千弘：振動現象学習用教材の開発—3自由度直線振動系の場合—，広島商船高等専門学校紀要，第35号，pp.7-12(2013)
- 6) 松本幸市・瀧口三千弘：振動教育用加振台の開発，平成25年度工学教育研究講演会講演論文集，pp.352-353(2013)
- 7) 松本幸市・瀧口三千弘：振動現象学習用教材の開発—水平方向用加振台を用いた3階建て構造物の場合—，広島商船高等専門学校紀要，第36号，pp.13-18(2014)
- 8) 瀧口三千弘・藤原滋泰・藤野俊和：振動現象学習用教材の開発—凹形剛体と円柱からなる振動モデル—，広島商船高等専門学校紀要，第37号，pp.39-44(2015)
- 9) 瀧口三千弘・藤原滋泰・藤野俊和：振動現象学習用教材の開発—垂直方向用加振台を用いた自動車の振動—，広島商船高等専門学校紀要，第37号，pp.31-37(2015)