

ポータブル強制振動実験教材の開発とその評価

宮下大輔*1・小林裕介*2・高見澤正樹*3・記州智美*4

Development and Evaluation of Portable Teaching Materials
for Forced Vibration ExperimentMIYASHITA Daisuke, KOBAYASHI Yusuke, TAKAMIZAWA Masaki
and KISYU Tomomi

キーワード：強制振動，教材，実験，共振

1. はじめに

まず、共振について説明する。共振とは、物体にその固有振動数と等しい振動数の外力が加わると、外力のする仕事が有効に吸収され振動が大きくなる現象である。共振の及ぼす影響は様々であり、安全な利用法もあれば重大な事故の原因にもなり得る。

安全な利用法としては、水ヨーヨーやブランコ、振り子などの遊具や、声の振動を利用してワイングラスを砕く演技などがあり、共振現象を利用しているが何れも危険性の無いものである。

対して共振現象が悪影響を及ぼす場合の一例として、各種建造物の共振による亀裂、崩壊などがあげられる。

しかし、共振現象がどのように生じどのような影響を引き起こすのかを実際に目にする機会はあまり無い。学生実験などでも固有振動数や減衰比などのパラメータを求めたりすることはあるが、上述の共振そのものについての観察は行っていないのが現状である。

そこで、本研究では共振現象を観察できる強制振動実験装置(加振機)を開発することとした。なお、加振機そのものは市販されているが多くのものは重量が1トンを超える大型のものであり、例えば出前授業などに利用することは不可能である。よって、ここで開発する加振機は手軽に持ち運びができるポ

ータブル型のものに限定した。また、製作した加振機を用いて実際に出前授業(振動のふしぎ)を実施し、その教育効果について評価を行った。

2. 強制振動実験装置の概要

強制振動実験装置の概要を図1に示す。装置は縦250mm、横400mm、高さ165mmで、重さ18kgであり、アクリル製保護ケース(試料破断時の飛散を防止するために使用)は1辺が500mmの立方体である。

この実験装置は大きく分けて、ベース、動力部、加振機構、制御盤で構成される。

ベースは厚さ15mmの鋼板で、装置全体はこのベースに固定されている。また、裏面には厚さ10mmのゴム板が取り付けられ、設置場所のキズを防ぎ、騒音と振動の発生を防止している。上面の左右には運搬用の取手が取り付けられている。

動力部にはオリエンタルモータ社のACスピードコントロールモータMSS590-501W2Jと傘歯車が含まれる。モータの回転はカップリングを介して歯数比2:1の傘歯車に伝達され、2倍に増速され、次の加振機構に伝えられる。

加振機構の詳細を図2に示す。加振機構は、スライドレール、偏心カム、ばねで構成される。偏心カムは摩擦低減のため外輪にφ75mmのベアリングを使用している。使用しているばねのばね定数は14.7N/mmである。

偏心カムとカムフォロワは互いに接触した状態で取り付けられている。また、カムフォロワと振動体はそれぞれスライドレール上に配置され、レールに沿って移動することが可能である。また、カムフォロワ・振動体・固定部がそれぞればねで接続されて

*1 機械工学科准教授

*2 機械工学科講師

*3 豊橋技術科学大学学生(平成25年度機械工学科卒業)

*4 石川高専機械工学科講師

原稿受付 2014年5月20日

いる。

偏心カムとカムフォロワは動力部より伝達された回転を直線の往復運動に変換する。この往復運動が振動体に接続された2つのばねを断続的に圧縮するため、この力が加振力として振動体とこれに固定された実験試料に加えられる。加振力の最大値 F は次の式で表される。

$$F = kX \quad (1)$$

ただし、 k : 合成ばね定数、 X : バネの圧縮量とする。

(1)式より最大加振力は加振周波数に依存せず、偏心カムによるばねの圧縮量とばね定数のみで決定される。このため、最適な加振力を得るための調整は、偏心カムやばねの交換で安易に行うことができる。

制御盤を図3に示す。制御盤は、モータドライバ、回転数計、コンデンサで構成される。モータの回転数はモータドライバのつまみ（操作盤前面）で変化させ、現在の加振周波数（モータの回転数）は回転数計で確認する。回転の検出は、加振機にフォトインタラプタを取り付けることで行った。なお、加振周波数の範囲は10Hzから50Hz程度とした。

これらをまとめた全体図を図4に示す。

3. 加振実験

製作した実験装置を用いて、加振実験を行った。

まず、振動体に実験試料を固定し、振動を加える。その後、加振周波数を調節して、実験試料の固有振動数と同じ振動を加え共振させた際、実験試料が破壊されたか否か、また、破壊された時の状態について観察する。

実験試料が共振しているかの判断基準は、以下の(2)式による固有振動数の理論値 f_n との比較と、実験材料の見かけの揺れ幅が最大かどうかで判断する。

$$f_n = \frac{k^2}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{\rho AL^4}} \quad (2)$$

ただし、 E : 縦弾性係数、 I : 断面2次モーメント、 A : 断面積、 L : 梁の長さ、 ρ : 密度、 k : 固有値に対応した定数とする。また、一端固定・片端自由の1次モードでは $k=1.875$ である。

次に今回の実験で使用した試料の、形状・材質についてまとめる。実験試料の形状を図5に示す。

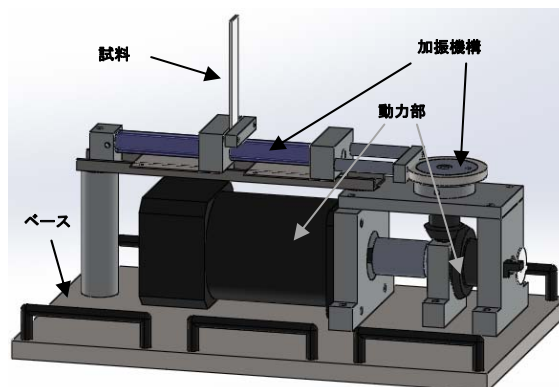


図1 強制振動実験装置の概要

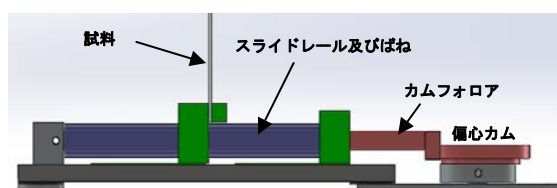


図2 加振機構



図3 制御盤（表、裏）



図4 実験装置全体図

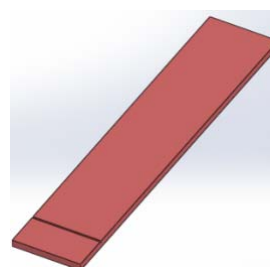


図5 実験試料

材料は(2)式によって求めた固有振動数が、実験装置の性能範囲内に収まるように選定している。以下が今回の実験に使用した材料である。

(1)アルミニウム合金(A5052)

幅 20, 長さ 220, 厚さ 2 [mm], 理論値 : 34.4[Hz]

(2)アクリル樹脂

幅 30, 長さ 125, 厚さ 2 [mm], 理論値 : 36.9[Hz]

(3)フェノール樹脂

幅 40, 長さ 150, 厚さ 1.6 [mm], 理論値 : 33.2[Hz]

(4)ベニヤ板

幅 20, 長さ 210, 厚さ 3[mm], 理論値 : 38.9[Hz]

なお、それぞれの材料には固定端から 10mm の位置に深さ 0.5mm 程度の切り欠きを付けている。これにより応力集中を発生させ、材料を破壊しやすくしている。

各実験材料を加振した場合の、実際の共振周波数と観察結果は以下の通りである。また、全ての材料にて破断を確認している。

(1)アルミニウム合金(A5052)

共振周波数 : 31.0[Hz]

共振による破断を確認したが、完全に分離せず一部が繋がったまま座屈した形となった。

(2)アクリル樹脂

共振周波数 : 38.0[Hz]

軽い破裂音とともに完全に破断し、破片が 20cm ほど飛ばされた。

(3)フェノール樹脂

共振周波数 : 32.5[Hz]

完全に破断し破片が落下したが、破断時の音はしなかった。

(4)ベニヤ板

共振周波数 : 35.5[Hz]

軽い破裂音と共に破断したが、分離しなかった。

今回の実験装置の製作目的は共振による破壊を見学者が観察できるようにする事であり、音や破片の挙動等でより派手に破壊される事が求められる。

今回の実験ではすべての材料で破断が確認された。しかし、アルミニウムの様な延性材料では、破断より座屈に近い状態となったため、今回の目的に適していない。逆に樹脂の中でも特に脆い材料は破断時の音も大きく、破片も大きく飛んだため、今回の目的に適していることが分かった。

4. 出前授業の実施

完成した強制振動実験装置を用いて出前授業を行った。出前授業の詳細は以下の通りである。

(1)日時 平成 26 年 2 月 11 日 (土) 10:00-12:00

(2)実施場所 : 善光寺大本願

(3)受講者 : 長野ガールスカウト 11 団

(小学校高学年) 14 名

(4)講師 : 高見澤正樹, 宮下大輔, 小林裕介
授業の流れを以下に示す。

(1) 身の回りにおける振動現象について意見を出してもらおう。(宮下)

(2) 共振という現象があることを説明する。(高見澤)

(3) 強制振動実験装置を用いて実際に共振現象を観察してもらおう。(高見澤)

(4) 共振現象の理解をさらに深めるために、「3 連振り子」を製作し、実験する。(宮下)

(5) 振動現象の他の例として、振動モータを用いた「歯ブラシ振動ロボット」を製作する。(小林)

(6) アンケートを実施する。

出前授業の様子を図 6, 図 7, 図 8 に示す。



図 6 共振実験



図 7 3 連振り子の実験



図 8 歯ブラシ振動ロボットの製作

5. アンケート結果と考察

授業終了後、受講者に対してアンケートを実施した。アンケート結果を表1、表2、表3に示す。

まず、共振現象の観察については、大半の生徒が現象そのものにびっくりしたとっており、実際に驚いている様子も伺えた。また、共振の仕組みについての理解度は少し低いことが分かった。この理由としては、説明時間が短かったこと、口頭での説明のみだったこと等が考えられる。タコマ橋の崩壊の動画やスライドによる説明も加えると理解度が向上すると思われる。

3連振り子については、楽しかったとコメントした生徒が多数を占めた。その一方で3つの振り子のうち1つだけを揺らすことについては、個人差が見受けられた。教材の性質上、共振させる振り子以外の振れを完全には抑えることはできないため、このような評価になったのではないかと考えられる。

振動ロボットについては、全員から「とても楽しかった」との回答が得られた。しかし、ロボットが動く仕組みについては若干名理解ができなかった生徒がいた。これについては今後の検討課題としたい。

6. おわりに

本研究では、ポータブル型の強制振動実験装置を製作し、本装置を用いた教育効果について出前授業を利用して評価を行った。実際に出前授業で本実験装置を動かして受講者の反応やアンケート結果を分析したところ、十分な教育効果が得られていることが分かった。なお、現状で改善すべき点について以下に列記する。

- ・本体重量の軽量化

ポータブル型とはいえ、18kgのものを運ぶことは困難であることが分かった。本体そのものが共振しないよう配慮しながら、軽量化を行う。

- ・保護ケースの改良

共振により破断、飛散した試料を防ぐ役割がある一方、破断時の音を遮断してしまう欠点もある。よって、開口部を作る、マイクロホンで音を拾う等して、破断音がよく聞こえるようにする。

- ・試料のアレンジ

試料を建物などの構造物に模したものを利用するなどして、より分かり易い実験を行う。

参考文献

- 1) 高見澤他：ポータブル強制振動実験装置の製作，日本機械学会北陸信越学生会第43回学生員卒業研究発表講演会論文集，(2014.3)，0311:1-2

表1 共振現象の観察

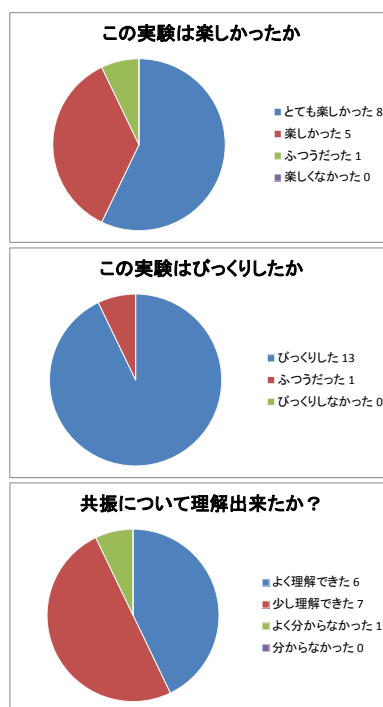


表2 3連振り子の製作

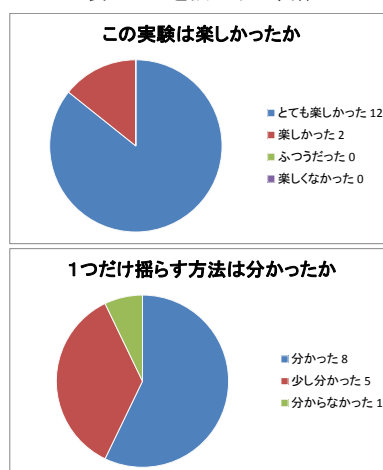


表3 歯ブラシ振動ロボットの製作

