

# 下敷きの変形時における音の変化の研究

愛媛県立松山南高等学校 下敷き班 大野好翔 橋拓海 細田豊晴 堀川睦 水本知希 指導教諭 秋長由香

## 研究の目的

### 研究の動機

下敷きを湾曲させた際に聞こえる「ポワツ」という音が発生する理由と発生音の高さが時間とともに変化する理由について疑問を持った。

### 研究の目的

下敷きを湾曲させた際に聞こえる音のメカニズムを解明する。

## 下敷きの変形の様子と発生音について

### 【実験1】

**目的** 音が発生した時の下敷きの形状と発生音の関係について調べる。

**方法** 片側固定端と両側固定端の2通りについて、下敷きを手で持って揺らした際の下敷きの変形の様子と発生音の振動数を測定し、それぞれ解析した。また、Fusion360を用い、このときの運動状態に応じて有限要素法によるモード周波数解析を行った。

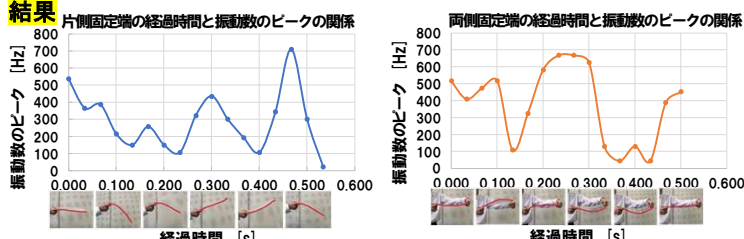


図1 片側固定端の結果

図2 両側固定端の結果

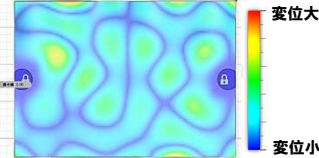
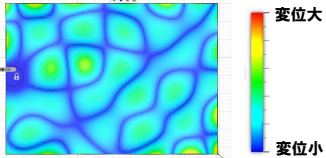


図3 モード周波数解析結果(片側固定端, 683.914Hz) 図4 モード周波数解析結果(両側固定端, 689.338Hz)

### 考察

- 変形の様子が大きく変化するとき発生音の振動数は高くなった。
- 手で持つ程度の固定の場合、片側固定端でも、両側固定端でも、振動の様子に大きな差異はなかった。
- ねじれが発生している場合と発生していない場合での違いを見たとき様々な振動モードが観測されるが、600Hz付近ではいずれの振動モードでもねじれ運動が生じていた。

### 仮説

音声の分析から、「ポワツ」という音は「ポ」と「ワツ」という2つの音から成っていた。(下敷きが中央を通過するとき「ポ」という音が、比較的右側で「ワツ」という音が聞こえた。)「ポ」という音と「ワツ」という音は異なる運動によって生じ、それらが合わさって「ポワツ」という音になるのではないかと考えた。

## 下敷きの状態と音の変化の違い

### 【実験2】

**目的** 下敷きの振動数と応力との関係を調べる。

**方法** 下敷きの片側を固定し、図5の装置を用いて、下敷きを曲げた時の高さを変化させ、音の変化をWave Spectraを用いて測定した。

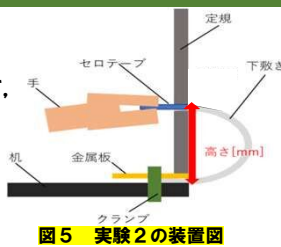
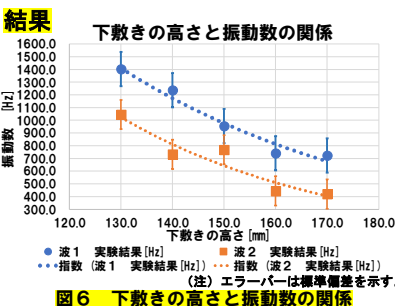


図5 実験2の装置図

### 考察

- 下敷きに生じている応力が大きいほど、発生音の振動数は上昇していることが分かった。

### 仮説

「ワツ」の音は応力が大きくなるため振動数が高い音ではないかと考えた。

## 発生音の要因となる下敷きの運動について

### 【実験3】

**目的** 両端を固定する条件を変更し、ねじれ運動の有無による音の違いを調べる。

**方法** 図7の装置で図8のように固定することで、ねじれ運動の有無による音の違いを調べた。

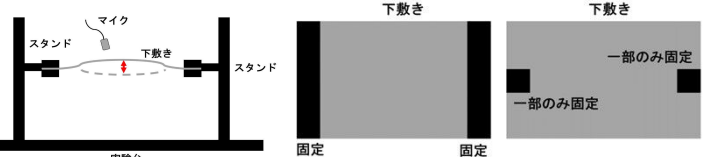


図7 実験3装置図

図8 実験3固定方法 (左:ねじれなし 右:ねじれあり)

## 結果

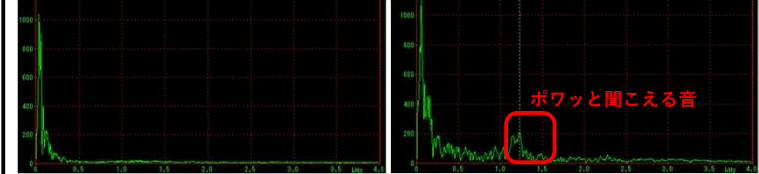


図9 実験3の結果 (左側:ねじれなし 右側:ねじれあり)

### 考察

図9のように、ねじれ運動を起こさないように固定したときに音波が発生しなかったのに対し、ねじれ運動を起こせるように固定したときは音波が発生した。

下敷きの変形時にポワツと聞こえる音の発生要因は、下敷きが変形するときに発生するねじれ運動によって生じる微細振動である。

## 板の厚さによる音の違いと片持ち梁との比較

### 【実験4・5】

**目的** 厚さによる音の違いを調べる。また、下敷きが中央を通るときにおいて、片持ち梁との比較をする。

**方法** 図10の装置で異なる厚さの下敷きを空中で運動させ、映像と音声を収録した(実験4)。また、図11のように真鍮板と異なる厚さの下敷きにマレットを落として映像と音声を収録し(実験5)、それぞれを解析した。



図10 実験4の様子

図11 実験5装置図

(左:真鍮板 右:下敷き)

### 結果

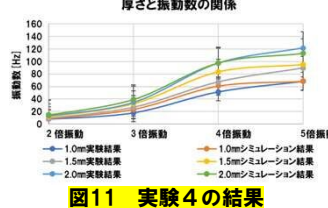


図11 実験4の結果

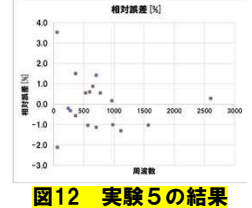


図12 実験5の結果

### 考察

- 真鍮板と下敷き、両方の場合で、実測値とシミュレーション値、理論値をそれぞれ比較したとき、若干の誤差は見られるが、ほぼ合致していた。
- 厚さの違いによって、振動の様子に大きな差異はなかった。
- 下敷きが中央を通過するとき「ポ」という音が聞こえた。
- シミュレーションにおいて、実験4の条件では下敷きの長辺が、実験5の条件では下敷きの自由端が、それぞれ2倍振動していた。

下敷き変形時の「ポ」と聞こえる音には、下敷き変形時に発生するねじれ運動によって生じる微細振動と下敷きの任意の1辺での2倍振動が密接に関係している。

## まとめ

- 発生音は、下敷きの湾曲する向きが変わるときに発生する。
- 手で持つ程度の固定の場合、片手で持った場合でも両手で持った場合でも振動の様子に大きな差異はない。
- 発生音の振動数は、下敷きに生じている応力が大きいほど上昇する。
- 下敷き変形時にポワツと聞こえる音の発生要因は、下敷き変形時に発生するねじれ運動によって生じる微細振動である。
- 下敷き変形時の「ポ」と聞こえる音には、下敷き変形時に発生するねじれ運動によって生じる微細振動と下敷きの任意の1辺での2倍振動が密接に関係している。

## 今後の展望

- 下敷きが湾曲しているときの振動数を分析する。
- 下敷きの変形時の振動の様子を詳細に分析する。
- 下敷き変形時の固有振動数を定式化する。

【参考文献】 1) 豊岡大輝・渡邊鉄也 (2017), 「リブを有する湾曲平板の振動特性」, 『日本機械学会年次大会講演論文集2017』  
2) 大井俊輝・大西悠月・高石叶唯 (2021), 「スリットドラムの音響原理～FEMを用いた音響的考察と和声ドラムの開発～」, 新居浜南高等学校スリットドラム研究班  
3) ムラタソフトウェア株式会社 (2019), 「片持ち梁の共振周波数解析」, [https://www.murasoftware.com/fwp/wp-content/uploads/2019/05/190507\\_5E77899787E678C8B19E3818A11E62A26819E3818A1E5E585B19E6834FC4F5E919A8B6E6B3324E6959B0.pdf](https://www.murasoftware.com/fwp/wp-content/uploads/2019/05/190507_5E77899787E678C8B19E3818A11E62A26819E3818A1E5E585B19E6834FC4F5E919A8B6E6B3324E6959B0.pdf), 2024年4月30日確認