

膜材料の波動伝搬と振動に関する実験的検討

愛媛大学 学生会員 ○中村蒼嗣 正会員 丸山泰蔵
非会員 牧田陽行 正会員 中畑和之

1. はじめに

膜材料は、ドームの屋根材や人工衛星の断熱材など、さまざまな分野で使用されている。使用環境や経年劣化に応じて、破れ、裂け、ピンホールのような空隙等の欠陥が生じる。このような欠陥は膜材料の強度や耐久性能に大きく影響するため、早期に発見する必要がある。製造段階では、カメラによる映像探査やレーザー変位計による厚さ検査等による品質管理が行われている。しかし、供用後の検査は、触診を行ったり拡大鏡を用いた膜表面の検査など、大がかりな検査が実施されているのが現状である¹⁾。

本研究では、広範囲の膜材料を効率的に検査するために、振動と波動の適用を検討する。小林ら²⁾の研究では、ポリイミドフィルム(25 μ m)にガラス微粒子を衝突させたときに、応力波(弾性波)がポリイミド面内を伝搬することが報告されている。小林らの実験は、膜のたわみが無い状態で計測したものであるが、振動理論によれば、膜に作用する張力によって固有振動数や伝搬速度が変化することが知られている。そこで、本研究では、基礎的検討として、膜の張力を調整できる治具を作製し、張力による振動および波動の変化について調べた。

2. 加速度計測実験

膜材料として図-1(a)に示すポリイミドフィルムを用いた。フィルムは厚さ25 μ m、幅508mmである。図-1(b)のような治具を用いてフィルムの一边を固定し、反対側の一边におもりを載荷することで、フィルムの引張応力を調整した。フィルムの長さ L は1000mmとし、長手方向に加速度センサを200mmの間隔で設置した。ここでは、4つの加速度センサ(1~4)を用いた。センサ1から100mm離れた場所で、シャープペンの芯を圧折して加振した。また、フィルムに作用させる引張応力を8パターン変化させ、それぞれの応力状態で加速度波形の収録を行った。収録した加速度波形をフーリエ変換で周波数域に変換し、フーリエスペクトルについて調べた。

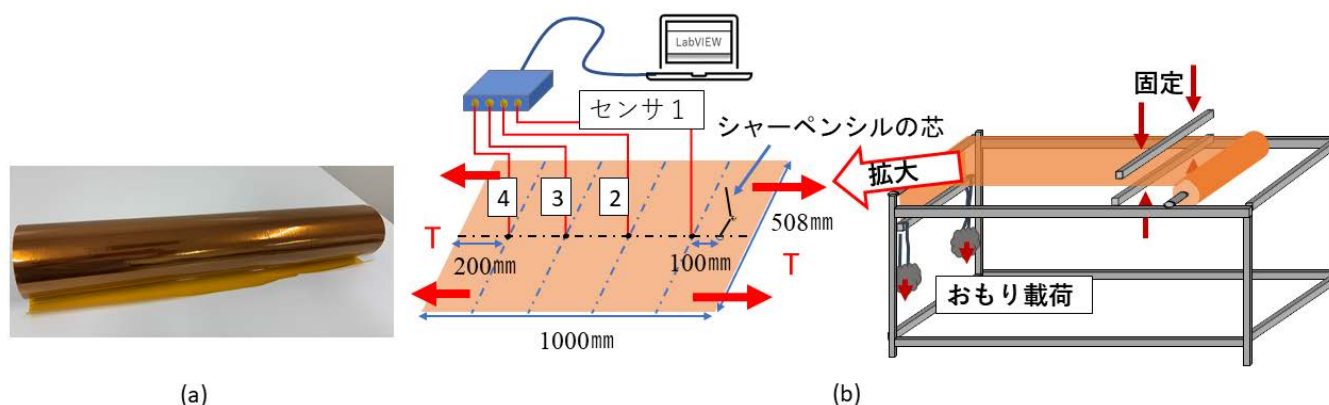


図-1 (a) ポリイミドフィルム, (b) 加速度計測実験

3. 実験結果と数値計算と理論値の比較

膜の振動と波動をモデル化する際に、両端は一樣引張状態にあるため、ここでは1次元の弦モデルを適用した。両端が固定されている場合、弦の振動伝搬速度 v は次式となる。

$$v = \sqrt{\frac{T}{\sigma}} \quad (1)$$

ここで、 T は引張応力で、 σ は線密度である。また、弦の固有振動数 ω_n は、

$$\omega_n = \frac{\pi v}{L} n = \frac{\pi}{L} \sqrt{\frac{T}{\sigma}} n \quad (2)$$

と求めることができる。ここで、 n は振動モードの次数である。

図-2(a)に、式(1)から求められた理論に基づく速度と実験で得られた伝搬速度を示す。振動の伝搬速度は、第一波目の正の振幅が最初に極大になる時刻を到達時間とした。この結果から、理論式と実験値は良好に近似する結果となった。また、図-2(b)は、加速度波形をフーリエ変換して得られたピーク値が示す振動数をプロットしたものである。このグラフより、膜の実験値は式(2)に示す1次固有振動数の理論値とよく一致することがわかった。以上より、応力状態によって固有振動数と波動伝搬速度は変化し、それは理論とよく整合することが示された。

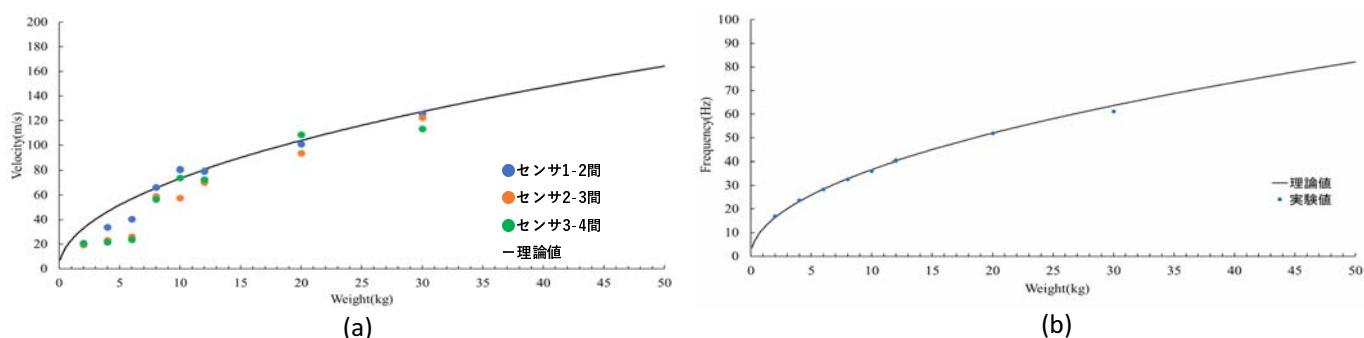


図-2 (a) 振動伝搬速度の実験値と理論値の比較, (b) 加速度波形をフーリエ変換したときのピーク値の振動数の変化比較

図-3(a)に示すように、振動が伝搬するよりも早い時間において、微小な振幅を観測することができた。センサごとの微小振幅の第1波目の立ち上がり時間から、波の波速を計算した。結果を図-3(b)に示す。引張力を変化した場合に微小振幅の到達時間から速度を計算した結果、作用する引張力が変化しても伝搬速度は1500m/s程度と一定であることが分かる。ポリイミド樹脂固体中を伝搬する縦波音速は2450m/s、横波音速は1060m/s程度であるので、本研究で得られた音速は、バルク波の横波よりも速く、縦波よりも遅い。このことより、バルク波ではなく、ガイド波としてフィルム内を伝搬している波の可能性があると考えられる。

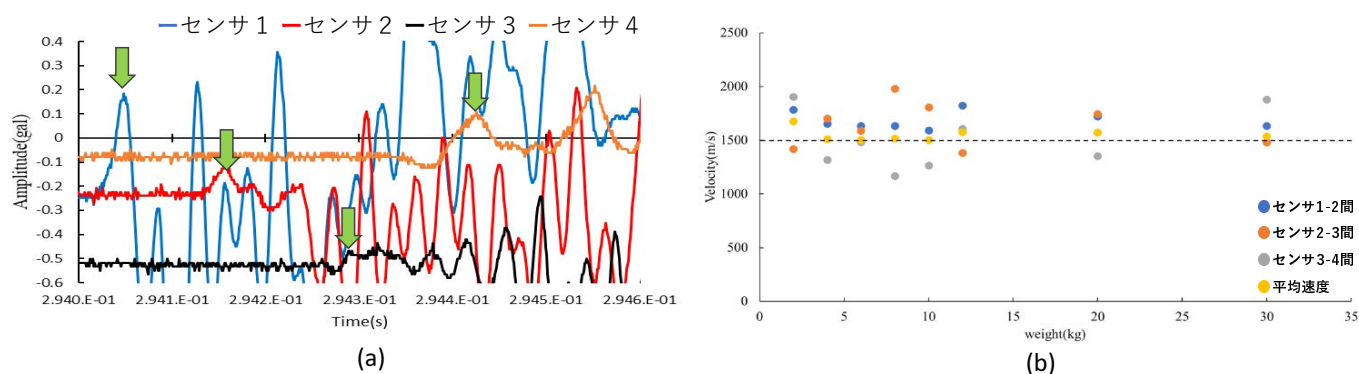


図-3 (a) センサごとの第1波目の到達, (b) 引張応力を変化させたときの微小振幅成分の伝搬速度の変化

4. おわりに

本研究では、膜の応力状態を変化させた場合の振動及び波動について調査した。膜材料は、作用する引張応力によって、振動の伝搬速度や固有振動数が変化することを確認し、計測値と理論値は良好に一致することを示した。また、振動伝搬よりも早い時間において、微小振幅の波動を観測することができた。この波動の音速は、引張応力を変化させても一定の速度であることが分かった。この速度はポリイミド固体中のバルク波の縦波音速よりも小さいため、ガイド波として分散しながら、膜の内部を伝搬している可能性があるため、今後はこの波動成分についても詳細に調べて行きたい。

参考文献

- 1) 膜構造の建築物・膜材料等の技術基準及び同解説 改訂編集委員会, 膜構造の建築物・膜材料等の技術基準及び同解説 2020年版, 日本建築センター, 2020.
- 2) 小林正規, 奥平修, 黒澤耕介, 岡本尚也, 松本晴久, 長谷川直, ポリイミド膜と圧電素子を利用した大面積センサーの開発, 平成27年度宇宙科学に関する室内実験シンポジウム 講演集, SA6000095029, 2017.