

メニスカスの振動伝達に関する研究 (振動応答の液量依存性)

鳥取大・工(正) *松岡 広成
機械技研(正) 加藤 孝久

鳥取大・工(正) 福井 茂寿
鳥取大・学(非) 田辺 英俊

1. はじめに

近年の機械技術の発展により、機械要素、特に情報機器の小型化は著しい。このような小型機械システムにおいては、従来無視されていたファンデルワールス力やメニスカス力などのいわゆる表面力が、その動的特性に大きな影響を与えるようになる。例えば、ハードディスクのヘッド・媒体インターフェース(HDI)では、さらなる高記録密度化のために、従来の空気膜浮上方式HDIに代えてコンタクト方式HDIが提案されている¹⁾。この新方式HDIでは、ディスクのうねりや粗さによるコンタクトヘッドの跳躍運動が1つの大きな問題となっている²⁾。これに対し、佐藤らはディスクとヘッドスライダ間に形成されたメニスカスの吸引力によってヘッドの跳躍が抑制されることを実験的に示した³⁾。また、加藤らは、準静的なメニスカス力を考慮してコンタクト方式HDIのシミュレーションを行い、ヘッドの跳躍現象に及ぼすメニスカス力の影響を明らかにしている⁴⁾。

ここでは、表面力の中の1つ、メニスカス力に着目する。静的なメニスカス力については、これまで実験的、理論的にかかなりの研究が行われてきたが^{5,6)}、動的なメニスカス力の特性に関する研究はほとんど無い。Friedenbergらは、メニスカスをVoigtモデルでモデル化しているが、そのばね定数は静的な実験から得られたものであり、2面間距離によらないものとしている⁷⁾。Bhushanらは、メニスカス形成における時間依存性について報告している⁸⁾。これに対し著者らは、既報において動的なメニスカス力を測定する実験装置を開発し、メニスカスを介した振動伝達実験を行った。メニスカスの動的ばね定数および減衰係数の評価手法を確立した⁹⁾。本報では、特に液量による振動伝達特性の変化、およびメニスカスのばね定数の変化に着目し、実験を行ったので報告する。

2. 実験装置

実験装置の概略をFig. 1に示す。光学用の平面ガラス基板と球面ガラスレンズの間に、実験液体のメニスカスが形成される。平面ガラス基板は微動用ピエゾステージ上にあり、このピエゾステージによって上下に振動を加えることができる。一方の球面ガラスレンズは平行板ばねに取り付けられている。平面ガラス基板の振動がメニスカスを介してガラスレンズに伝わり、平行板ばねの変位を静電容量型変位計で測定する。ピエゾステージの入力と変位計の出力との比較によってメニスカスの振動応答を求める。本研究では、強制振動として正弦波を入力する。この際のパラメータとしては、入力強制振動(加振)振幅 A_m 、入力振動(加振)周波数 f 、固体表面間平均距離 D_0 、およびメニスカス中の液体量 V が挙げられる。また、 $D_0 = 50, 100 \mu\text{m}$ 、 $A_m = 5 \mu\text{m}$ とし、 f および V を変化させて実験を行った。液量 V は、マイクロメータ付き精密シリンジを用いて、 $0.072 - 2.52 \text{ mm}^3$ で変化させた。

平行板ばねは、りん青銅をワイヤークットで一体加工したものをを用いる。この板ばねのばね係数は $k_{dcs} = 197 \text{ N/m}$ 、減衰係数は $c_{dcs} = 0.01 \text{ kg/s}$ である。球面レンズを含む板ばね先端の質量は $m = 7.25 \times 10^{-4} \text{ kg}$ であり、このばね・質点系の固有振動数は、 83.0 Hz である。

メニスカス形成に用いた液体は、ノルマルドデカンである。その分子式は $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$ 、表面張力は 24.9 mN/m 、粘度は $1.47 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ である。

また、形成したメニスカスの拡大写真をFig. 2に示す。球面ガラスレンズと平面ガラス基板の間にメニスカスが形成されている様子が見える。

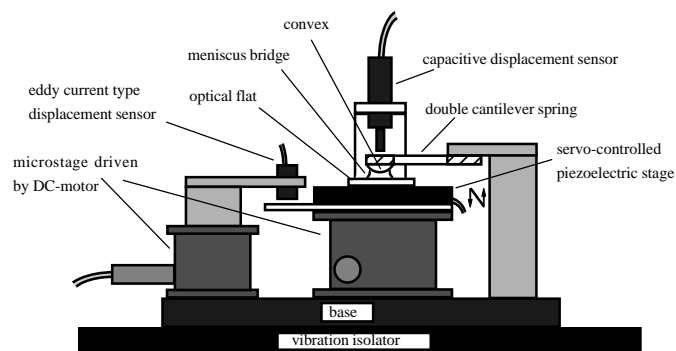


Fig. 1 Experimental set up

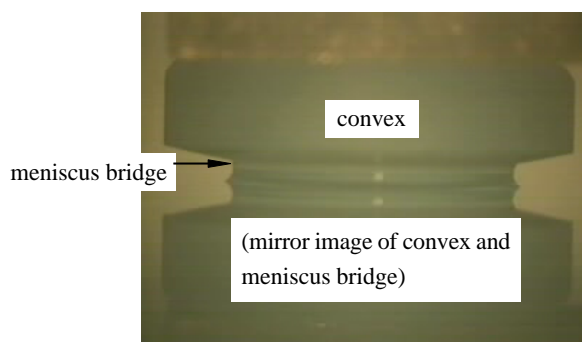


Fig. 2 Photograph of meniscus bridge

3. 理論

3.1 実験系のモデル化

本研究では、メニスカスが並列のばねとダンパをもつ、つまり、Voigtモデルでレオロジー的にモデル化できると仮定した⁷⁾。本実験系のモデル図を、Fig. 3に示す。

メニスカス力は、本来2面間距離に関する非線形な関数であるが⁴⁾、微小振動を仮定すると、運動方程式は線形化され、次式となる。

$$m\ddot{z} + c_{dcs}\dot{z} + k_{dcs}z = -k_m\Delta D - c_m \frac{d\Delta D}{dt} \quad (1)$$

ここで、 z : 釣合位置からの質点の変位、 k_m : メニスカスのばね係数、 c_m : メニスカスの減衰係数、 $\Delta D = z - A_m \sin\omega t$ 、 $d\Delta D/dt = dz/dt - A_m\omega \cos\omega t$ 、 A_m : 加振振幅、 $\omega = 2\pi f$: 加振角

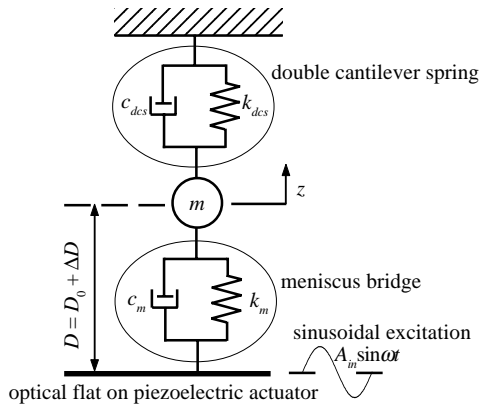


Fig. 3 Model of experimental system

周波数である。式(1)の定常解は応答振幅を A_{out} 、位相を φ として、

$$z = A_{out} \sin(\omega t - \varphi) \quad (2)$$

と表せる。式(1)、(2)より、振幅比 A_{out}/A_{in} および位相 φ が以下のように求まる。

$$\frac{A_{out}}{A_{in}} = \sqrt{\frac{k_m^2 + c_m^2 \omega^2}{(-m\omega^2 + k_{dcs} + k_m)^2 + (c_{dcs} + c_m)^2 \omega^2}} \quad (3)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{k_m(c_{dcs} + c_m)\omega - c_m(-m\omega^2 + k_{dcs} + k_m)\omega}{k_m(-m\omega^2 + k_{dcs} + k_m) + (c_{dcs} + c_m)c_m\omega^2} \quad (4)$$

ここで、メニスカスのばね係数 k_m は負の値をとることに注意する。

4. 実験結果

4.1 振幅比の液量依存性

メニスカスの液量 V を変化させた時の振幅曲線を Fig. 4 に示す。液量 V の増加により振幅比のピーク値をとる加振周波数が増加していることがわかる。式(3)より、メニスカスを形成した時の固有振動数 f_n は、

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_{dcs} + k_m}{m}} \quad (5)$$

である。メニスカスのばね定数 k_m は負であるため、液量 V が小さくなるほど、 k_m の絶対値は大きくなることが予想される。

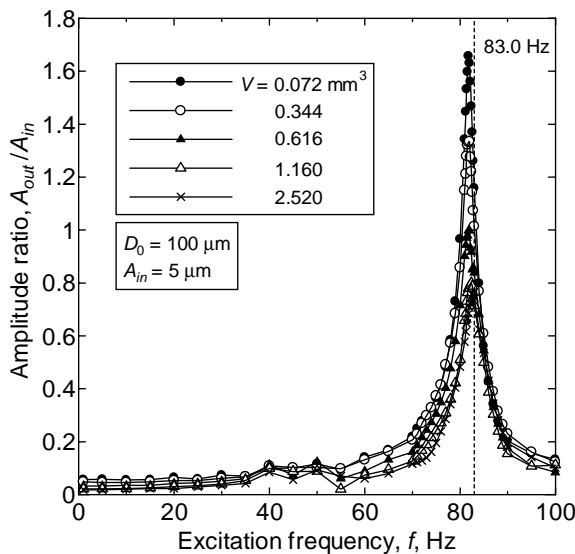


Fig. 4 Frequency dependence of amplitude ratio A_{out}/A_{in} , varying volume of liquid of meniscus V

4.2 メニスカスのばね定数の液量依存性

式(3)で $\omega \rightarrow 0$ を考えれば、メニスカスのばね定数 k_m を見積もることができる。式(3)において $\omega = 0$ とすれば、

$$\frac{A_{out}}{A_{in}} = \left| \frac{k_m}{k_{dcs} + k_m} \right| \quad (6)$$

となる。本実験では、最低の加振周波数を $f = 1$ Hz としているので、このときの振幅比の値を式(6)に代入し、 $k_m < 0$ に注意してメニスカスのばね定数を求めた結果が Fig. 5 である。これより、ばね定数 k_m はメニスカス中の液量 V に依存し、上述の予想通り液量が小さいほどばね定数の絶対値は大きくなることわかる。ばね定数の絶対値が大きければ、式(5)の分子が小さくなり、固有振動数が小さくなる。また、ピーク値そのものは大きくなること、式(3)をグラフ化することで示される。したがって、Fig. 4 のピークの変化は、液量によるばね定数の変化により説明できる。また、既報⁹⁾で述べた通り、2面間距離 D_0 が小さくなると、ばね定数の絶対値が大きくなっていることが Fig. 5 よりわかる。

5. おわりに

動的メニスカス力を測定する実験装置を用いて、メニスカスによる振動伝達実験を行った。特に、振動応答の液量依存性について実験を行った結果、メニスカスのばね定数の絶対値は液量が小さいほど大きいこと、それに伴ってピーク値および系の固有振動数が変化することがわかった。なお、本研究の一部は、文部省科学研究費補助金 No.12750117 により行われたので、ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) Hamilton, H. et al., 1991, *IEEE Trans. Mag.*, **27**, 4921-4926.
- 2) Ono, K. and Takahashi, K., 1999, *ASME JOT*, **121**, 939-947.
- 3) Sato, A. et al., 1997, *J. Mag. Soc. of Japan*, **21**, 277-280.
- 4) Kato, T. et al., 2000, *ASME JOT*, **122**, 633-638; 2001, **123**, 168-174.
- 5) Fisher, L. R. and Israelachvili, J. N., 1980, *Chem. Phys. Lett.*, **76**, 325-328.
- 6) Orr, F. M. et al., 1975, *J. Fluid Mech.*, **67**, 723-742.
- 7) Friedenberg, M. C. and Mate, C. M., 1996, *Langmuir*, **12**, 6138-6142.
- 8) Bhushan, B. et al., 1998, *ASME JOT*, **120**, 42-53.
- 9) 松岡広成・福井茂寿・加藤孝久, 2000, *トライボロジスト*, **45**, 757-768.

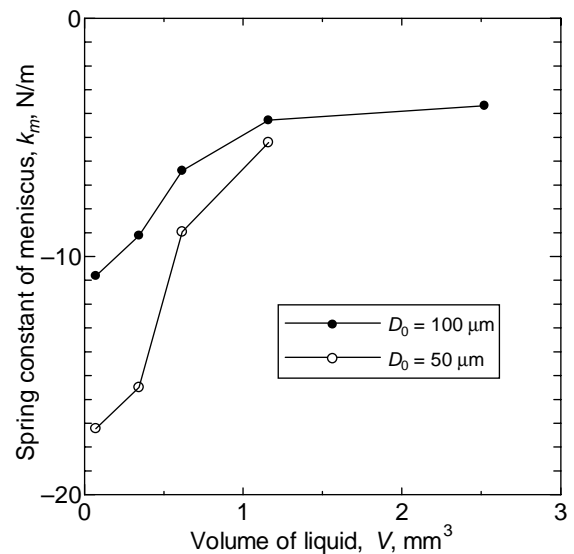


Fig. 5 Dependence of spring constant of meniscus k_m on volume of liquid of meniscus V