2320 球面・平面間および矩形溝面・平面間に介在する 液体の構造力を考慮した衝突運動解析

Analysis of Impact Motion Considering Liquid Structural Force

between Sphere and Plane and between Rectangular-Grooved-Surface and Plane

正 松岡 広成(鳥取大・工) 非 土本 典彦(日立ソフトウェアエンジニアリング) 学 山根 加津子(鳥取大・院) 正 福井 茂寿(鳥取大・工)

Hiroshige MATSUOKA, Tottori University, 4-101 Minami, Koyama, Tottori

Norihiko TSUCHIMOTO, Hitachi Software Engineering Co., Ltd., 6-81 Onoe, Naka-ku, Yokohama, Kanagawa

Kaduko YAMANE, Graduate School, Tottori University, 4-101 Minami, Koyama, Tottori

Shigehisa FUKUI, Tottori University, 4-101 Minami, Koyama, Tottori

The impact motion of a spherical body or a body with rectangular-grooved-surface towards a plane was analysed considering the structural force of the intervening liquid. The groove depth, d_g , and the groove ratio, r_g , were introduced as parameters for the rectangular-grooved-surface. The effects of d_g and r_g on the structural force and the dynamic motion were investigated and it was clarified that the effects can be explained in terms of the potential energy by the structural force.

Key Words : Tribology, Thin Liquid Film, Micromachine Elements, Structural Force, Impact Motion, Dynamics Simulation

1. はじめに

2つの固体表面が,液体を介して液体分子の直径の十倍(数 ~ 数十nm)程度まで近づくと,2面間には,構造力と呼ばれる 力が働くことがわかっている⁽¹⁾.

本研究では,液体で満たされた球面・平面間および矩形溝 面・平面間に働く液体構造圧力を考慮し,平面に球体あるい は矩形溝面をもつ物体を近づけた時,これらの物体がどのよ うな運動をするかを,コンピュータシミュレーションによって 解析した.

2. 構造力のしくみ(1)

図1は,固体表面間の液体分子の状態を模式的に示したもの である.この図から,2面間距離hが液体分子直径 ののほぼ整 数倍となるところでは液体分子の密度が高くなり,その間では 密度が低くなることがわかる.このような,固体表面間の液体 分子の周期的な密度変化によって,構造力は発生する.

図2は,構造圧力を模式的に表したものであり,図中の(a) から(d)は,図1の(a)から(d)に対応している.この図は,図 1の密度変化に対応して,2面間に発生する圧力が周期的に斥 力あるいは引力となることを示している.また,構造力は,2 面間距離に対して指数関数的に減衰する振動力であり,また振 動の周期は2面間に介在する液体分子の分子直径にほぼ等し い,という性質がある.

3. 解析モデル

本研究では,従来著者らが報告している球体と平面の衝突 に加え,矩形溝面をもつ物体と平面の衝突運動について主に 報告する.球体と平面の衝突運動に関するモデルと解析の詳 細については,文献(2,3)に詳しいので,ここでは省略する.



図3のように,質量 m,初期位置 z₀,初速度 -v₀の矩形溝面 をもつ物体が,平面に向かって衝突するような運動を考える と,式(1)が成り立つ.

$$n\ddot{z} = F(z) = \iint_{S} pdS \tag{1}$$

ただし,F(z)は2面間に働く力,pは構造圧力を表している.図 3のSは矩形溝面の投影面積, h_{min} は平面と矩形溝面の山(ランド)部との距離, d_g は溝(グルーブ)深さである.また,面 積Sに対する溝面の面積の割合を表すパラメータとして, r_g (溝面の面積 = $r_s S$)を定義した.

式(1)の構造圧力pは, 図2のように,2面間距 離の関数であることに 注意する.構造圧力pは 別途計算し⁽⁴⁾,データ ベース化した.これを 用いて式(1)を数値的に 解いた. 4.解析結果

1



3.1 溝深さ d_gの影響 図4,5は,矩形溝面の

響 Fig. 3 Coordinate for impact motion 面の

溝深さ $d_g \approx 0.0, 0.5, 1.0$ nm と変化させて,2面間の最小すきま h_{min} とその間に働く力Fとの関係,時間と2面間の最小すきま h_{min} との関係を,それぞれ示したものである.

図4から,2面間のすきまが小さくなるほど力の振幅が大き くなることがわかる.溝深さ*d*。を変化させると,山部,溝部 で発生する斥力や引力が,全体にかかる構造力を弱めあった り(図中 b),強めあったり(図中 c)することがわかる.

図5を見ると,矩形溝面を持つ物体が2面間に働く構造力に よって,平面に衝突する前に跳ね返される場合があることが わかる.球面の場合にも同様の現象が報告されている^(2,3).ま た,溝深さを変化させることで矩形溝面の跳ね返る最小すき ま h_{ma}が大きく変わることがわかる.

3.2 跳ね返りすきまに対する溝深さ d_g, 溝比率 r_gの影響 矩形溝面の溝深さ d_gを変化させて, 溝深さ d_gと跳ね返りす

[No.02-1] 日本機械学会 2002 年度年次大会講演論文集 (V) [2002-9.25 ~ 27, 東京]



Fig. 4 Relations between minimum spacing and structural force



Fig. 5 Relations between time and minimum spacing

きま $h_{\min b}$ の関係, すきま h_{\min} とポテンシャルエネルギーUの 関係を調べた.なお,跳ね返りすきまh_{minb}は,構造力によっ て矩形溝面を持つ物体が跳ね返される際の,矩形溝面の最下 点と平面とのすきまであり、図5のグラフのそれぞれの最下点 が跳ね返りすきまである.溝深さと跳ね返りすきま h_,,,の関 係を図6, すきまとポテンシャルエネルギーの関係を図7(a), (b)に示す.無限遠における初期の力学的エネルギーU。は運動 エネルギー E_0 のみとなり, $E_0 = \frac{1}{2}mv_0^2 = 2$ pJ と求められる. 図 6を見ると跳ね返りすきまが離散的になっている.構造力に よって発生するポテンシャルエネルギーが矩形溝面の持つ2pJ の初期の力学的エネルギー以上となるとき,矩形溝面を跳ね 返す.図6においてグラフの山部分や谷部分から溝深さd_e= 0.0, 0.4, 0.5, 0.7, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 nm を代表点として選び, それ ぞれを点a, b, c, d, e, f, g, h とする.なお, この各点は図7(a), (b) の点a~hに対応し,各溝深さのポテンシャルエネルギーのグ ラフと2pJの直線との交点である.図7でほぼ同位置山にあ る点a, e, gをグループ1, 点b, d, f, hをグループ2, 点c をグルー プ3とする.各グループ内では,ほぼ同位置のポテンシャルエ ネルギーの山で跳ね返されるので,それぞれ跳ね返される位 置はほとんど変わらない.グループが異なると,異なる位置 のポテンシャルエネルギーの山で跳ね返されるので,各グ ループで跳ね返される位置は大きく変わることがわかる.



Fig. 6 Relations between groove ratio and minumum spacing at bouncing point



Fig. 7 Relations between minimum spacing and potential energy

なお,矩形溝面の溝比率r_gを変化させても,同様に跳ね返りすきまが離散的になることを確認した.

5. おわりに

平面・矩形溝面間が液体を介して非常に接近している場合 に働く液体の構造力を考慮して,衝突運動解析を行なった.そ の結果,溝深さや溝比率により,跳ね返りすきまが離散的な 値をとることがわかった.また,この現象がポテンシャルエ ネルギーから説明できることを示した.

参考文献

- (1) J. N. イスラエルアチヴィリ, 1996, 分子間力と表面力, 朝倉書店
- (2) 松岡広成,福井茂寿,山根加津子,日本トライボロジー学会トライ ボロジー会議予稿集,2001-5,東京,2001, pp. 65-66.
- (3) 松岡広成,福井茂寿,山根加津子,日本トライボロジー学会トライ ボロジー会議予稿集,2001-11,宇都宮,2001,pp.203-204.
- (4) H. Matsuoka and T. Kato, *Transactions of the ASME, Journal of Tribology*, Vol. 119, 1997, pp. 217-226.