

溝形状の表面テクスチャリングを有する平行平面間の潤滑特性

Lubrication Characteristics of Parallel Surfaces with Groove Shaped Surface Texturing

鳥羽商船高専（正）*小田 真輝 海洋大（正）藤野 俊和 海洋大（正）岩本 勝美

海洋大（正）地引 達弘 大島商船高専（正）松村 哲太

Masaki Oda*, Toshikazu Fujino**, Katsumi Iwamoto**, Tatsuhiro Jibiki**, Tetsuta Matsumura***

*National Institute of Technology, Toba College, **Tokyo University of Marine Science and Technology,

***National Institute of Technology, Oshima College

1. はじめに

近年のエッチングやレーザ加工などの加工技術の向上に伴い、材料表面に微細かつ周期的な凹凸を比較的容易に付与できるようになった。この微細かつ周期的な凹凸は、表面テクスチャリングと呼ばれ、近年では、表面改質および高付加価値を付与する技術の一つとして注目されている^{1, 2)}。

機械システムにおいて、流体潤滑下で相対運動するしゅう動部に凹凸を有する表面テクスチャリングを施した場合、この凹凸により生じる流体のくさび作用による動圧効果、潤滑油を保持する効果、しゅう動により生じる摩耗粉を捕集する効果およびなじみを促進する効果などが得られるといわれている。よって表面テクスチャリングは、機械システムの高効率化および長寿命化に大きく寄与すると考える。

本研究では、相対運動するしゅう動部に施した表面テクスチャリングの形状、寸法および配置が潤滑特性に及ぼす影響を解析評価し、得られた結果をもとに潤滑特性を向上させる表面テクスチャリングの設計指針を得ることを目的とする。

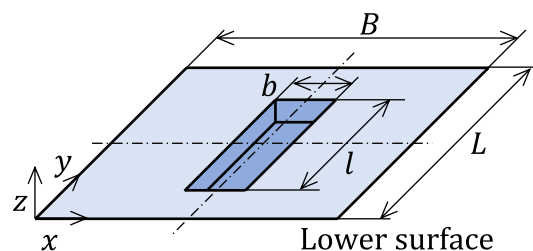
本報では、流体潤滑下でしゅう動する平行な二つの平面の片側に溝形状の表面テクスチャリングを施した場合の潤滑特性を解析し、主に表面テクスチャリングの寸法が潤滑特性に及ぼす影響について考察したので報告する。

2. 数値解析

2.1 解析モデル

Figure 1 は、表面テクスチャリングを有するしゅう動部の解析モデルを示す。同図(a)は、表面テクスチャリングを有する下側しゅう動面を上から見た様子、同図(b)は、解析モデルの y 方向中央における断面すなわち表面テクスチャリングの断面形状を示したものである。Figure 1(b)に示すように、平行な二つのしゅう動面の間は、潤滑油で満たされ、その上側にあるしゅう動面には z 負方向に荷重 W [N] が負荷され、 x 方向に速度 U [m/sec] ですべり運動しているものとする。その際、下側のしゅう動面には、 x 方向の長さ b [mm]（これを長さと呼ぶ。）、 y 方向の長さ l [mm]（これを幅と呼ぶ。）、 z 負方向の長さ d [mm]（これを深さと呼ぶ。）を有する溝形状の表面テクスチャリングを施す。Figure 1(b)に示すように表面テクスチャリング周囲の角部は、エッチングなどによる実際の加工形状を考慮して深さ d の $1/100$ の曲率半径を有する円弧とする³⁾。

解析では、潤滑油の温度は一定とし、粘性係数 η [Pa・s] は変化しないものとする。上側および下側のしゅう動面の弾性変形は考慮しないものとする。



(a) Overview of lower surface

2.2 解析方法および解析条件

油膜特性解析は、式(1)に示す無次元レイノルズ方程式を有限要素法にて解くことにより行う⁴⁾。

$$\frac{\partial}{\partial X} \left(H^3 \frac{\partial P}{\partial X} \right) + \left(\frac{L}{B} \right)^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left(H^3 \frac{\partial P}{\partial Y} \right) = \frac{\partial H}{\partial X} \quad (1)$$

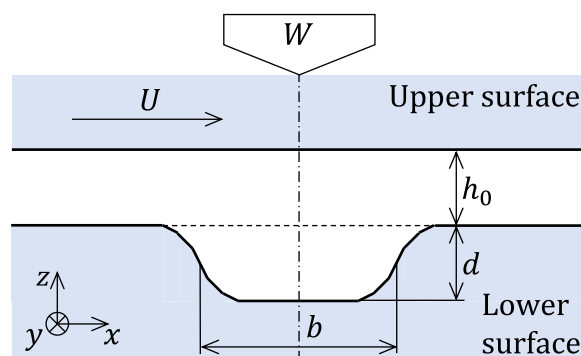
ここで、 X および Y は無次元座標、 H は無次元油膜厚さ[-]、 P は無次元油膜圧力[-]であり、それぞれ次式で示される。

$$X = \frac{x}{B}, \quad Y = \frac{y}{L}, \quad H = \frac{h}{h_0}, \quad P = \frac{h_0^2 p}{6\eta UL} \quad (2)$$

ここで、 p は油膜圧力 [Pa]、 h は油膜厚さ [m]、 h_0 は表面テクスチャリング非加工部の油膜厚さ [m] (Fig. 1(b) 参照) である。

発生する無次元負荷容量 K_W [-] は次式で表される。

$$K_W = \iint P dX dY = \frac{h_0^2}{\eta U B^2 L} W_F \quad (3)$$

(b) Cross section of analysis model
Fig. 1 Analysis model

ここで、 W_F は負荷容量[N]を示す。

解析では、Fig. 1(a)に示すように x 方向に長さ B 、 y 方向に長さ L ($=B$) を有する領域を 201×201 個の正方形領域に分割し、 h_0 が $10\mu\text{m}$ のもとで有限要素法にて油膜圧力と負荷容量を得た。この際の境界条件として解析領域端部では油膜圧力を 0 、すなわち大気圧とする。加えて、負圧が生じた場合には、周囲の空気や潤滑油を巻き込んで大気圧になると考えられるため油膜圧力は 0 とする。

Table 1 は、解析条件を示す。表面テクスチャリングは解析領域の中央を原点とし、 X および Y 方向にそれぞれ対称に施す。表面テクスチャリングの長さ b および幅 l は、それぞれ解析領域の x 方向長さ B および y 方向幅と L との相対比、深さは h_0 との相対比で示す。

3. 解析結果および考察

Figure 2(a)は、解析結果の一例として、長さ比 b/B が 0.4 、幅比 l/L が 0.8 、深さ比 d/h_0 が 1.0 の表面テクスチャリングを施した場合の下側しゅう動面の形状を示す。Figure 2(b)は、Fig. 2(a)に示す表面テクスチャリングを施した際に生じる無次元油膜圧力の分布を示す。Figure 2(b)において、 X が負の領域、すなわち解析領域の入口側では油膜が先広がり形状となるため負圧が生じるが 2.2 節で述べたように周囲の空気や潤滑油を巻き込んで大気圧になると考えられ油膜圧力は 0 となっている。一方、 X が正の領域、すなわち解析領域の出口側では溝の出口部において油膜が先狭まり形状になり、くさび作用による圧力が発生する。この油膜圧力は、溝の X 方向出口にある円弧部かつ Y 方向中央 ($Y=0$) において最も大きくなる。このように、溝の寸法により油膜圧力の分布が変化するの、負荷容量も変化すると考える。

Figure 3 は、溝の深さ比 d/h_0 を 1.0 一定とし、溝の長さ比 b/B および幅比 l/L を変化させた場合の油膜圧力を解析し、これらから得られた無次元負荷容量 K_W の一覧を示す。同図では、溝の幅比 l/L を縦軸に、溝の長さ比 b/B を横軸にとり、各幅比と長さ比の組み合わせにて解析し、得られた無次元負荷容量の大きさを色分けして示す。ここで、長さ比または幅比のいずれかが 0 の場合には、溝は存在しないことを示し、このため負荷容量は発生しない。長さ比および幅比がともに 1 の場合には、解析領域全体が深さ比の下分がった平面を示し、このため負荷容量は発生しない。同図より、長さ比および幅比が大きくなると負荷容量は大きくなる傾向を示し、長さ比が 0.7 かつ幅比が 0.9 において負荷容量は最大を示した。

4. おわりに

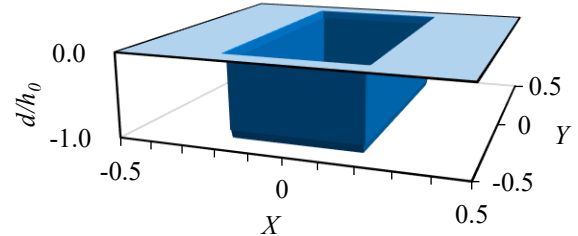
本報では、溝形状の表面テクスチャリングを有する平行平面が流体潤滑下でしゅう動する場合を対象に、潤滑油膜内に生じる油膜圧力の分布と負荷容量を解析した。そして得られた結果をもとに、溝の長さおよび幅が負荷容量の大きさに及ぼす影響について評価した。この結果、負荷容量をできる限り大きくするための最適な長さおよび幅が存在し、本報で解析した範囲においては、しゅう動部の解析領域の大きさにに対して長さが 0.7 倍程度、幅が 0.9 倍程度の溝を解析領域の中央に施すと良いと思われる。

文献

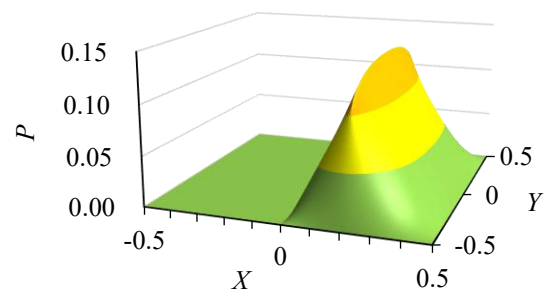
- 1) 佐々木信也, 志摩政幸, 野口昭治, 平山朋子, 地引達弘, 足立幸志, 三宅晃司: はじめてのトライボロジー, 株式会社講談社(2013), 75-96, 152-155
- 2) 下田昌利: パラメトリック形状最適化手法を用いた表面テクスチャリング, トライボロジスト, Vol.67, No.5(2022), 317-322
- 3) 是永敦: サーフェステクスチャの形状寸法とトライボロジー特性, トライボロジスト, Vol.55, No.2(2020), 101-106
- 4) 山本雄二, 兼田禎宏: トライボロジー (第2版), 株式会社オーム社(2010), 63-112

Table 1 Calculation conditions

| | |
|-------------------------------|---------|
| Sliding velocity; U , [m/s] | 5.0 |
| Viscosity; η [Pa · s] | 0.01 |
| Ratio of length; b/B , [-] | 0 ~ 1.0 |
| Ratio of width; l/L , [-] | 0 ~ 1.0 |
| Ratio of depth; d/h_0 , [-] | 1.0 |



(a) Shape of surface texturing processed on lower surface



(b) Distribution of dimensionless oil film pressure

Fig. 2 Shape of surface texturing and dimensionless oil film pressure occurred

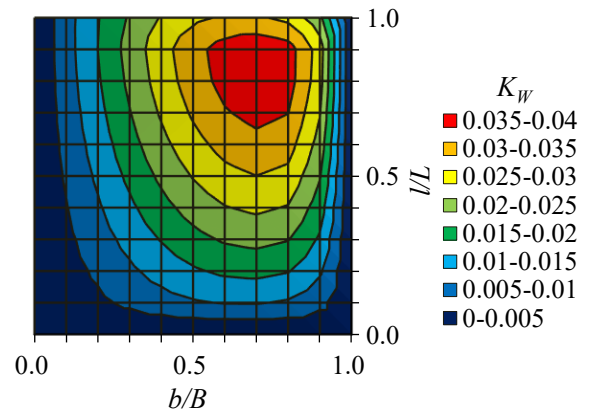


Fig. 3 Distribution map of dimensionless load capacity