

油を介した衝撃で生じる圧痕形状に関する研究

城門由人・今戸啓二*・宮川浩臣*
機械電子部・大分大学工学部

A Study of the Indentation Profile Due to Oiled Impact

Yukihito KIDO・Keiji IMADO*・Hiroomi MIYAGAWA*
Mechanics & Electronics Division・Oita University

要旨

潤滑油を介して外接する2物体を垂直方向に衝突させると、発生する圧力によって潤滑油粘度が著しく高くなる。その結果、接触域から潤滑油が容易に排除されなくなり、接触面間に潤滑油が閉じ込められ、それより接触体が変形する。本研究では、球と平板が油を介して衝突した際のそれぞれの圧痕形状について調査した。調査にあたり、新しく微小形状の3次元可視化法を考案し、これまで未知であった特異な変形形状を発見した。

1. はじめに

ギヤやカムなどで生じるスクイズ運動下において介在する潤滑油は接触域内に閉じ込められることが理論的⁽¹⁾⁽²⁾、実験的⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾に報告されている。理論的には静的条件下での接触時の閉じ込め油膜形状や圧力分布等の計算が行われている。実験的には、光干渉法による接触点近傍での変形状態が解析され、干渉縞をもとに閉じ込め油膜形状や圧力分布が計測されている⁽⁶⁾⁽⁷⁾。しかし、これらの解析は条件や仮定のために実際の動的環境下での解明とはやや異なる。本研究では、衝突試験後の接触体の変形形状を表面粗さ形状測定機により計測し、それをもとに3次元的に可視化することで圧痕形状を明瞭に捉え、接触時の閉じ込め油膜形状について調査した〔文献(8)参照〕。

2. 実験方法

実験は、衝撃試験を行い、後に表面粗さ形状測定機により3次元計測を行った。衝撃試験は、 $\phi 12.7\text{mm}$ の球を

固定した先端重量7.02Nのハンマーを高さ $H=1\text{mm}$ からアンビルに落下させた。ハンマーおよびアンビル材の性質をTable 1に示す。3次元計測は、ダイヤモンド製触針(55°円錐, 1 μmR)を使用し、測定力約0.2mNで行った。試料油の主要性状をTable 2に示す。

3. 実験結果

Table 3は実験条件を示す。Fig.1, 2はそれぞれCase I -TN220, Case II -DRYの場合、Fig.3はS100においてCase I, II, IIIの試験後のハンマーおよびアンビルに残る圧痕形状の3次元図である。ただし、SUJ2製のハンマーおよびアンビル面上に圧痕は検出できなかった。Fig.1, 3(a)に示すCase Iでは圧痕中央に凹み痕が認められ、S100に比べTN220が深い。ただし、これらの凹みはDRYの場合には認められない。Fig.2, 3(b)のCase IIの場合、アンビルに残る圧痕形状はDRYの場合球状であるが、油を介した場合円錐状となり中央部が深く鋭く凹む。以上のことから接触の瞬間に介在油は接触面間に閉じ込められ

Table 1 Test specimen

	$Ra, \mu\text{m}$	HV	E, GPa	σ_y, MPa
SUS304:Hammer	0.06	307	197	245
SUS304:Anvil	0.01	311	197	245
SUJ2:Hammer	0.03	710	206	-
SUJ2:Anvil	0.02	896	206	-

Table 3 Test condition

	Case I	Case II	Case III	Case IV
Hammer	SUS304	SUJ2	SUS304	SUJ2
Anvil	SUJ2	SUS304	SUS304	SUJ2

Table 2 Test oil

OIL	Viscosity, mm^2/s		Specific Gravity, 15/4°C	α, GPa^{-1} (40°C)
	40°C	100°C		
PAO32	31.3	5.7	0.828	14.3
S50	32.1	5.8	0.906	28.2
TN32	31.6	4.3	0.967	43.4
S100	99.5	7.9	0.929	40.0
BS	405.2	31.0	0.884	19.6
TN220	203.4	8.3	1.003	60.4

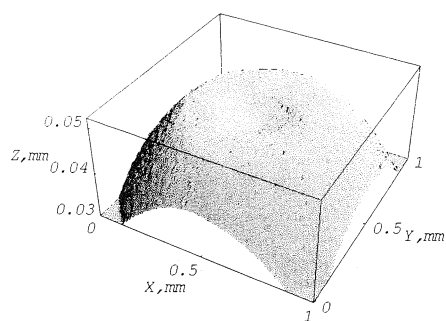
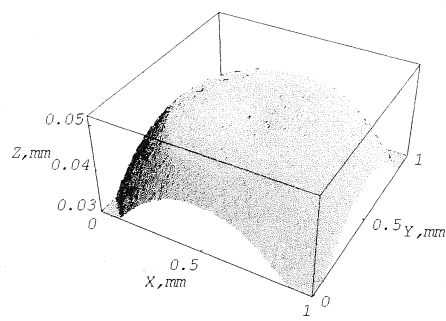


Fig.1 Surface plot, Case I, TN220



(a) Case I : Hammer

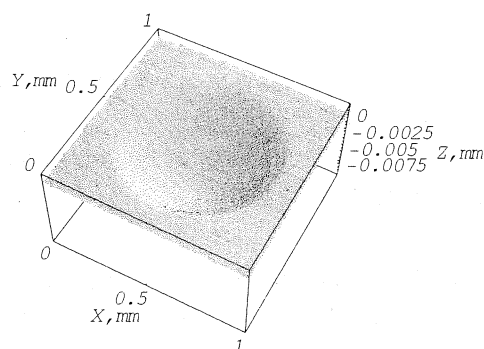
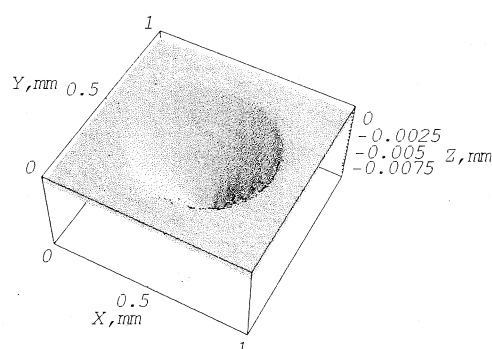


Fig.2 Surface plot, Case II, DRY



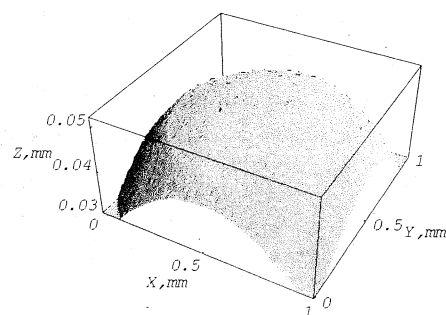
(b) Case II : Anvil

ることが明らかである。また、それにより圧力分布に変化を生じることが分かる。Fig.3(c), 3(d)の同材質同士の衝突では、1回の衝突でハンマーとアンビルの両方が変形することからいずれの変形量も小さくなる。変形形状はCase I, IIと同様の傾向が認められ、油を介した場合には特異な圧痕形状となる。

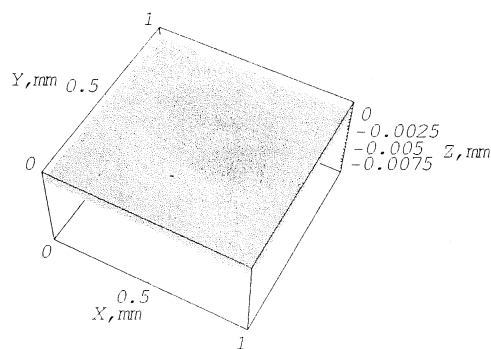
4. 考 察

実験結果から分かるように接触体の変形は、介在油膜の閉じ込め現象により DRY の場合と異なる圧力分布となるために特異な形状となる。その変形量は、介在する油の物性により変化し、高粘度かつ高い圧力-粘度係数を有する油ほど大きくなる傾向がある。このように、閉じ込め油膜により接触体の変形が集中的に生じるのは接触点圧力が非常に高くなるために油が固化したためと考えられる。

Fig.4 は実験条件 Case I でのハンマー球中央断面形状を示す。DRY と 6 種類の油を介して試験した場合のハンマー球を非変形部分で重ね合わせたものである。高粘度、高い圧力-粘度係数の油において深い閉じ込め痕が認められ、尖い閉じ込め形状になることが分かる。Fig.4 では明瞭に確認できないが、3次元図において油が介在する場合のハンマー球変形域の外周にエッジが形成される。



(c) Case III: Hammer



(d) Case III: Anvil

Fig.3 Surface plot, S100

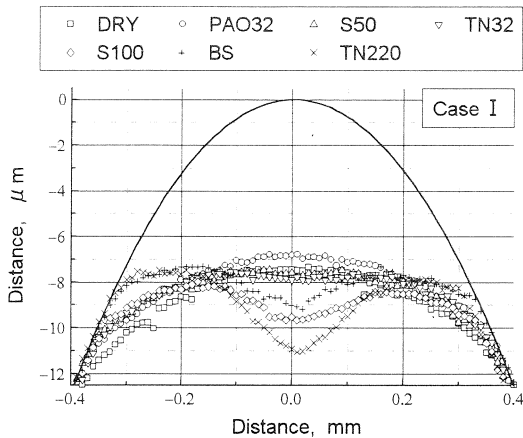


Fig.4 Profiles of ball surface

このエッジは、DRY の場合には認められない。このようなエッジが形成される要因は不明である。

CaseIVの SUJ2 同士の衝突における接触体の変形は、微小である。Case I, II, IIIで認められるような変形は、この場合確認できない。しかし、CaseIVで介在油膜がある場合、アンビルの接触域全体に不規則な凹凸が確認でき、ハンマー球には微小な凹みが数箇所認められた。これらの現象は、介在油膜の固化の開始点が数箇所ですべて同時に生じたためと推測される。

5. まとめ

球と平面の衝突後の圧痕形状を3次元的に可視化し、圧痕に及ぼす介在油膜や材質の影響を検討した。結果をまとめると以下のようになる。

- (1) 衝突後の球の変形状態は、低粘度油ではDRYと同様の形状を示すが、高粘度油では油の閉じ込め現象により接触中央部に凹みを生じる。
- (2) 平板に残る圧痕形状は、DRYの場合球状であるが、油が介在すると円錐状になる。
- (3) 油の閉じ込めによる変形は、介在油の粘度と圧力-粘度係数に依存し、これらの値が高いほど大きく変形する傾向がある。
- (4) 油を介した衝突において、球の変形の外周に接触の境界が現れる。
- (5) 硬材同士の衝突における油膜の閉じ込めによる変形は、平板面の接触域内に不規則な凹凸を生じ、球面には小さな凹みを数箇所生じる。

参考文献

- (1) K.M.Lee, H.S.Cheng: *Trans ASME, JOLT*, 95, (1973), 308-320.
- (2) 和田, 築地原: 日本機械学会論文集, 45-397, C(1979), 1018-1025.
- (3) E.F.Finkin: *Trans ASME, JOLT*, 95, (1973), 393-394.
- (4) 宮川, 平野: 潤滑, 24, 1, (1979), 54-61.
- (5) 今戸, 宮川, 三浦, 上山, 平野: *Trans STLE*, 37, (1994), 2, 378-386.
- (6) 桑野, 大野, 平野: 潤滑, 31, 7, (1986), 477-484.
- (7) 西川, 半田, 手嶋, 松田, 兼田: 日本機械学会論文集, 59-561, C(1993), 1496-1503.
- (8) 城門, 宮川, 今戸: 日本機械学会論文集, 66-645, C(2000), 1687-1693.