最終更新日: 2002-03-20

スクラッチ圧子がもたらす弾性応力場

表面物性研究室　　竹田 純

T975044　Jun TAKEDA

（目的）

基板上に形成された薄膜の付着性をスクラッチ法で評価している。従来、ダイヤモンドの球状圧子の押し込みに対して、下地基板は塑性変形すると仮定して、界面に働くせん断力を計算していた。今回、下地が弾性的に変形する場合の応力場の分布を計算してみた。

（解析・結果）

物体の空間変位 $\boldsymbol{u}=(u,v,w)$ に対し、ひずみは $\{\varepsilon\}=\nabla\boldsymbol{u}$ で与えられ、このうち独立な量は $\{\varepsilon\}={}^t(\varepsilon_{xx},\varepsilon_{yy},\varepsilon_{zz},\varepsilon_{yz},\varepsilon_{zx},\varepsilon_{xy})$ ある。ひずみは一般化されたフックの法則 $\{\sigma\}=\{c\}\{\varepsilon\}$ で応力場と結ばれ、物体の中では力の釣り合い $\nabla\cdot\{\sigma\}=0$ が成り立っている。結局、物体表面に指定される応力境界条件を満たすような調和関数をもとに、物体内の応力場 $\{\sigma\}={}^t(p_{xx},p_{yy},p_{zz},p_{yz},p_{zx},p_{xy})$ が計算される。球圧子のスクラッチにより半無限物体内に生じる応力場は、式(1)：垂直抗力の境界条件に基づく応力場と、式(2)：せん断力の境界条件から決まる応力場を合成することにより求めることができる。球圧子との接触円の半径を a 、圧子の全荷重を W、摩擦係数を f として、半無限弾性体： $z>0$ の空間の応力場を求めた。

$$p_{yz}=0 \quad ; \quad p_{xz}=0 \quad ; \quad p_{zz}=-\left(\frac{3W}{2\pi a^3}\right)(a^2-r^2)^{\frac{1}{2}} \quad , \quad r<a \qquad (1)$$

$$p_{yz}=0 \quad ; \quad p_{zz}=0 \quad ; \quad p_{xz}=-\left(\frac{3fW}{2\pi a^3}\right)(a^2-r^2)^{\frac{1}{2}} \quad , \quad r<a \qquad (2)$$

ただし, $r=\left(x^2+y^2\right)^{1/2}$ である。（1）、（2）式の境界条件を満たすような応力場の解に対して、Matlab で値を計算した。まず、圧子に荷重 W がかかったときの接触円の大きさを図 1 に示す。 接触円の半径を a=20 [μm], f=0.2 としたときの弾性応力場を図 2 に示す。

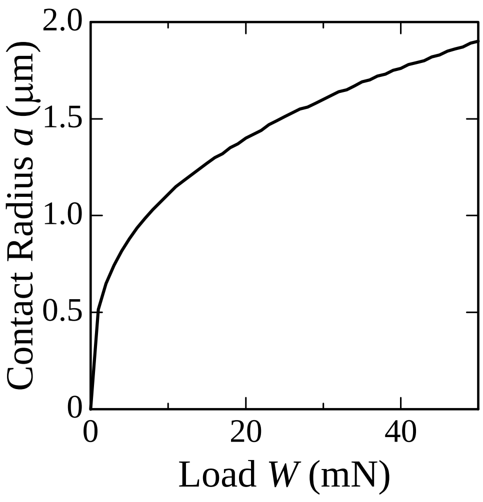

図.1　圧子荷重 W と接触円半径 a

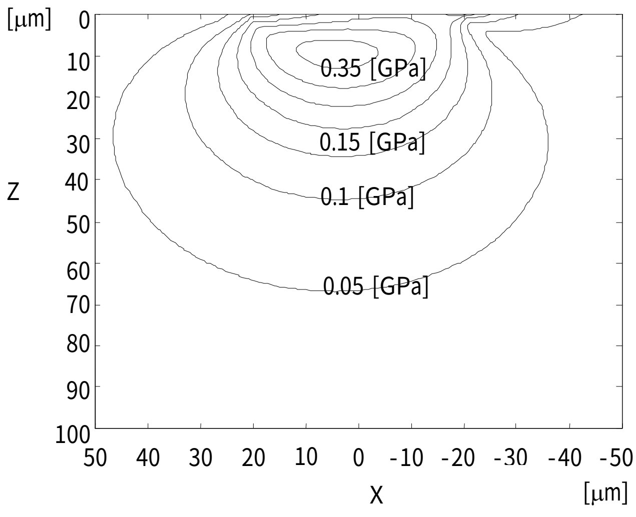

図 2　y＝0 平面での von Mises の応力場の例

（結論）

弾性的な半無限物体上で球状硬質圧子をスクラッチした場合の応力場を計算した。荷重増加とともに、せん断力が最大になる深さが, だんだんと内部に移動していくので、界面の付着強度の測定には、膜厚や基板の弾性率を考慮して、圧子針の先端径を選ぶ必要がある。