

セラミックスと金属の締め付け部応力分布に及ぼす表面粗さの影響

学 木越 健二 (新潟大)
正 新田 勇 (新潟大)

院 椎谷 佳弘 (新潟大)
正 下田 茂 (新潟大)

1. 緒言

セラミックスは高温耐熱材料として有望視され、すでに様々な分野で実用化が進んでいる。一般にセラミックスは、硬くて脆いという性質を持っており、このことがセラミックスを機械構造物に利用する大きな障害となっている。従って、セラミックスを金属と結合させ、その欠点を補うことが必要である。著者らはセラミックスと金属の有効な結合手段の一つとして締め付けに注目した。そして、締め付け結合強度に及ぼす表面粗さの影響を実験的及び理論的に研究してきた⁽¹⁾。しかし、前に行った研究では二次元平面応力問題を基礎として解析を行ったために軸方向の締め付け圧力分布を求めることができなかった。

そこで本研究では、表面粗さを考慮した締め付け部の軸方向の締め付け圧力分布を求めるために、三次元軸対称問題を基礎として、締め付けの解析を行った。また、その解析方法としてはポイントマッチング法を利用した⁽²⁾。

2. 理論解法

シャフトとリングを図1(a)に示すように締めしろ δ で締結する場合、接触面には垂直応力 P とせん断力 τ が生じる。

これらによって生じる r 方向の変位 U は接触面で連続し、 z 方向変位 W は与えられた条件を満足しなければならない。即ちシャフトとリング両部に生じた各変位の和は、締めしろ δ などの変位規定条件を満足しなければならない。

このような問題を解くとき、接触面を m 個の領域に分割し、この各部に作用する垂直力とせん断力を未知数として、これらを接触面上の m 個の位置の変位連続条件によって求める方法がある。この方法がポイントマッチング法であり、真の解は m を増大することによ

って得られる。

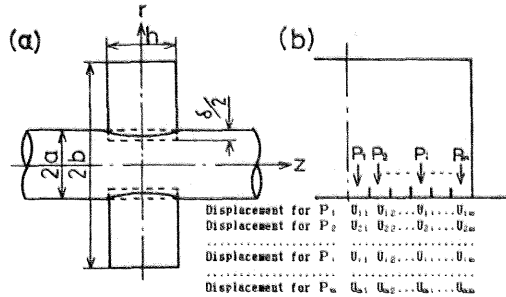


図1 シャフトとリングのはめあい

図1(b)は接触面上を m 個に分割して、垂直応力 P による r 方向の変位だけを考えたものである。第 i 番目の箇所には垂直応力 $P_i (=1)$ を受けると各部の変位 $U_N (P_i)$ は $(U_{N1}, U_{N2}, U_{N3}, \dots, U_{N1}, \dots, U_{Nm})$ であり、これを $P_1 \sim P_m$ について求める。また z 方向の変位 W_N 、せん断力 τ による変位 U_T, W_T 、も同様に求められる。シャフト及びリングについての変位はそれぞれ右に添字1, 2と記して区別する。しかし、実際は固体の表面に表面粗さがあるので、その突起が変形するという考慮に入れなければならない。表面突起の接触圧力と変形量の関係式は次式で与えられる⁽¹⁾。

$$f(P_i) = R_{max}(C_1 P^{C_2} - C_3) \quad (1)$$

ここで $f(P_i)$: 突起の変形量

R_{max} : 最大表面粗さ

SUS304では、0.35~100MPaの接触圧力の範囲において定数の値が以下の様与えられる。

$$C_1 = 0.18 \quad C_2 = 0.17 \quad C_3 = 0.12$$

$$\begin{bmatrix} U_{h11}, U_{h12}, U_{h13}, \dots, U_{h1m} \\ U_{h21}, U_{h22}, U_{h23}, \dots, U_{h2m} \\ \vdots \\ U_{hm1}, U_{hm2}, U_{hm3}, \dots, U_{hmm} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} U_{t11}, U_{t12}, U_{t13}, \dots, U_{t1m} \\ U_{t21}, U_{t22}, U_{t23}, \dots, U_{t2m} \\ \vdots \\ U_{tm1}, U_{tm2}, U_{tm3}, \dots, U_{tmm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f(P_1)/2 \\ f(P_2)/2 \\ \vdots \\ f(P_m)/2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_1/2 \\ \delta_2/2 \\ \vdots \\ \delta_m/2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

ここで、表面粗さの変形は半径方向の変位のみに影響を与え軸方向の変形には影響を与えないと仮定する。以上のことより、締め付け部が完全固着の場合に対する変位の連続条件を記述すると(2)式の様になる。また接触面の条件を考えると、シャフトとリングとの接触面が自由に滑る場合と全然滑らない場合との二つの代表的な場合が考えられる。実際はこの中間にあることとももちろんであるが、その条件を規定するのは困難なため二つの代表的な場合について考えることにする。自由に滑る場合はせん断力を零とし半径方向の変位連続条件のみを考慮すればよい。以上のことより、(2)式を解けば締め付け圧力が求まる。

3. 計算結果及び考察

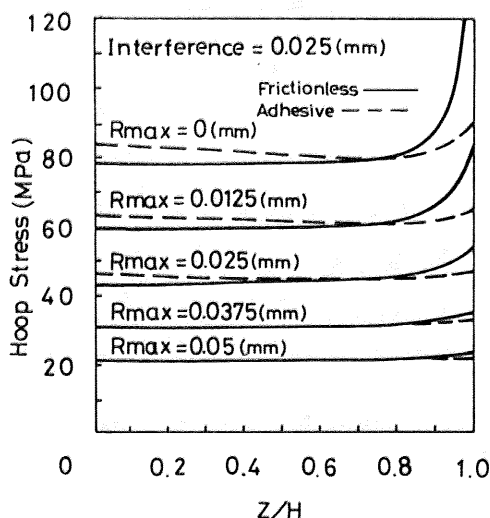


図2 接触面締め付け圧力分布 (締めしろ一定)

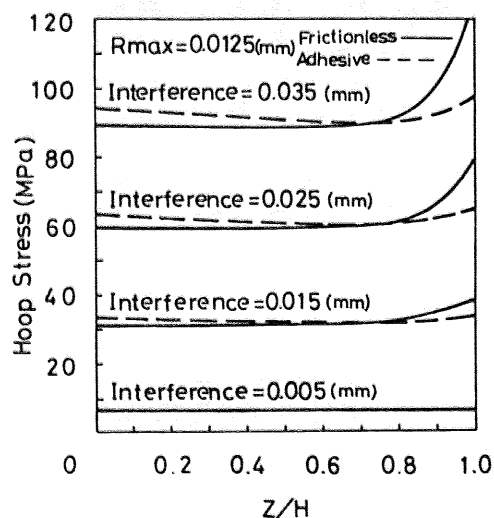


図3 接触面締め付け圧力分布 (Rmax一定)

表1 材料特性

	Young's modulus(MPa)	Poisson's ration
Si_3N_4	3.04×10^5	0.27
SUS304	1.94×10^5	0.30

接触面を20個の領域に分割し、内径25mm 外径50mm 長さ50mmのSUS304のリングと Si_3N_4 セラミックスのシャフトにおける締め付け圧力をもとめた。ここで締め付け圧力が100MPaを超えるとSUS304が塑性変形するおそれがあるので、それ以下の締め付け圧力を解析の対象とした。又、 Si_3N_4 シャフトの表面粗さはSUS304リングに比較して小さいのでその変形は無視して解析を行った。

図2は、締めしろを一定にして表面粗さを変化させたときの締め付け圧力分布を示したものである。図中実線と破線はそれぞれ締め付け部が完全滑りの場合と完全固着の場合に対する計算値である。締め付け圧力は $Z/H=1.0$ のはめあい端部近傍において増大するが、その傾向は完全滑りの場合のほうが著しい。実線、破線のどちらの場合も表面粗さ R_{\max} が増大するにつれて締め付け圧力は減少し、はめあい端部の応力集中が緩和され、その分布は一定になる傾向が認められる。

図3は、表面粗さ R_{\max} を一定にして締めしろを変化させたときの締め付け圧力分布を示したものである。締めしろが小さくなるほど締め付け圧力は減少し、また、はめあい端部での応力集中も緩和され、圧力分布が一定になる傾向が認められる。

4. 結論

セラミックスのシャフトとSUS304のリングがある締めしろをもってはめ合わせられる問題について締め付け部の表面粗さの変形を考慮して締め付け圧力を解析した結果、以下の様な結論が得られた。

- (1) 締めしろを一定とした場合、締め付け圧力は表面粗さが大きい程低下する
- (2) 表面粗さが大きくなるにつれて、はめあい端部近傍での応力集中は緩和され、圧力分布は一定になる傾向が認められた。
- (3) 表面粗さ R_{\max} を一定とした場合、締めしろが増加するにつれて表面粗さが締め付け圧力に及ぼす影響は小さくなっていく。

文献

- (1) 新田、ほか3名 横論、発表予定
- (2) 尾田、ほか2名 横論、38-306 (昭 47-2), 241