

## 有限要素法を用いたフレットング摩耗解析

岐阜大学 ○西村尚哉 岐阜大学 服部敏雄 岐阜大学 山下実  
 岐阜大学[院] 長谷川敦英 岐阜大学 藤本喜信

## Evaluation of Fretting Wear with Finite Element Method

Naoya NISHIMURA, Toshio HATTORI, Minoru YAMASHITA,  
 Atsuhide HASEGAWA and Yoshinobu HUIJIMOTO

## 1 緒 言

フレットングは二つの相対する部材が互いに面圧を受けながら繰返し荷重を受け、接触面に繰返し微小すべりが生ずる場合に起こる。特に、き裂の発生起点となる接触端部では応力集中を生ずるため、疲労強度がフレットング条件でない場合の1/3以下にまで低下する。このため機械・構造設計上重要ポイントとして注意が払われてきた。フレットング疲労の評価が難しいのは、この微小すべりにより接触面端部では摩耗が発生し、接触条件が変化しながら疲労が進行していくことである<sup>1), 2)</sup>。フレットング疲労強度を正確に予測するためには、フレットング疲労過程の接触端部の摩耗進行の定量的把握がまず不可欠である。

本報告では、そのための第1ステップとして有限要素法による接触面端部での相対すべり量および接触面圧分布を用いたArchardの摩耗予測結果とフレットング疲労試験中の摩耗の進行状態の観察結果との比較から、摩耗係数を求めた。

## 2 摩耗を考慮したフレットング疲労寿命解析

Fig.1を用いてフレットング疲労のプロセスを概説する。そもそも接触端は、応力特異場状態となっており著しい応力集中から容易に微小き裂が発生する。この微小き裂発生条件は応力特異場パラメータで評価できることが報告されている<sup>3)</sup>。しかしこの微小き裂はき裂近傍に作用する接触面圧により閉口傾向にあり進展性は低いが、接触端部が摩耗し面圧が低下すると微小き裂は開口傾向となり進展し易くなる<sup>4)</sup>。従ってフレットング疲労寿命の多くはこの接触端に発生した微小き裂の進展が支配することとなる。

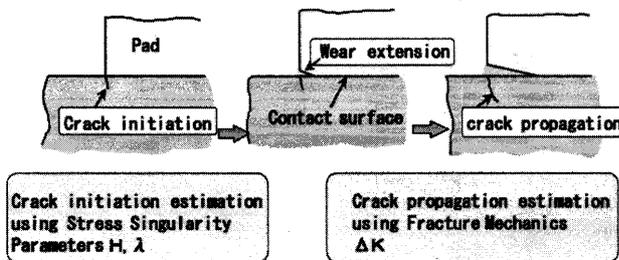


Fig. 1 Schematic view of fretting fatigue processes.

そこでこのフレットング疲労寿命を予測するためにはこの摩耗挙動の正確な評価が不可欠となる。Fig.2にこ

の摩耗のプロセスを組み込んだフレットング疲労寿命解析フローを示す。ある負荷条件でのFEM応力解析に基づく面圧と相対すべり量から摩耗を予測する。その摩耗に準じて接触端部の形状を修正し、応力解析、破壊力学解析からき裂の停留・進展性を評価する。稼働負荷中の応力拡大係数範囲  $\Delta K$  が素材のき裂進展限界応力拡大係数範囲  $\Delta K_{th}$  より小さく、進展しないようなら再度面圧、相対すべり量を解析し摩耗を予測する。これを順次繰返し、稼働負荷中の応力拡大係数範囲  $\Delta K$  が素材のき裂進展限界応力拡大係数範囲  $\Delta K_{th}$  より大きくなり、き裂の進展する条件に陥った時これをその負荷条件でのフレットング寿命とする。

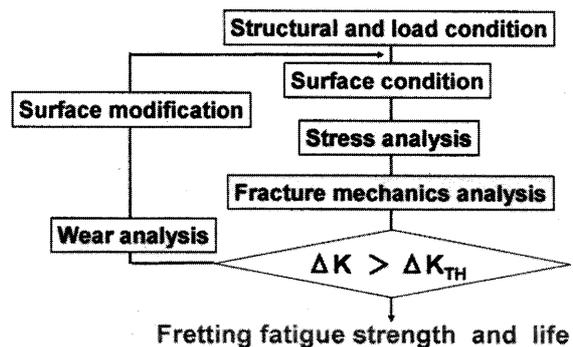


Fig. 2 Flow chart of fretting fatigue life analysis.

## 3 フレットング摩耗解析

3.1 基本式 古典的な Archard の式によれば、接触面の摩耗は次式で示される。

$$W = K \times P \times S \quad (1)$$

ここで  $W$  は摩耗量、 $P$  は面圧、 $S$  は相対すべり量、 $K$  は摩耗係数である。

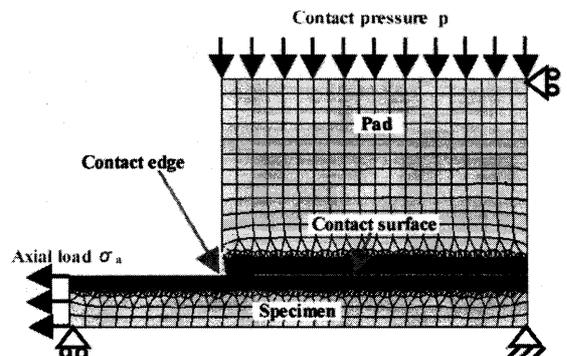
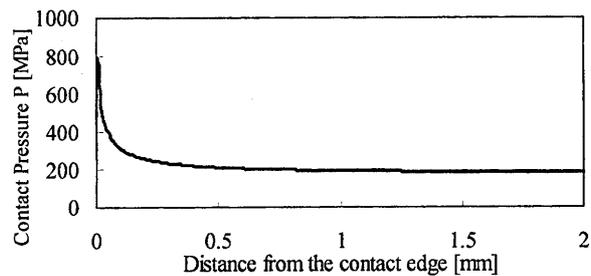


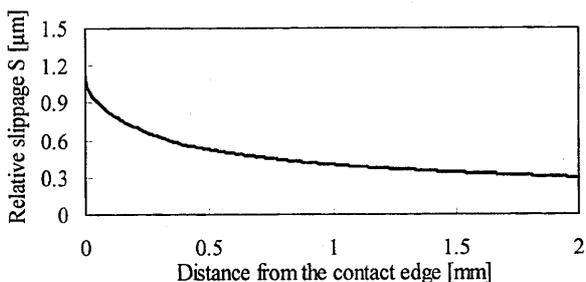
Fig. 3 Fretting model for stress and deformation analyses.

**3.2 応力および変形解析** Fig.3 に示すフレットイングモデルを用いて FEM 応力解析, 変形解析を行う. 解析には汎用有限要素法ソフト ANSYS9.0 を使用した. この解析結果より得られた接触面での面圧および相対すべり量と式 (1) を用いて摩耗の進行を予測する. このように計算される摩耗進行の予測値と, フレットイング疲労試験中のフレットイング摩耗進行量の実測値との比較から, 摩耗係数  $K$  を求める.

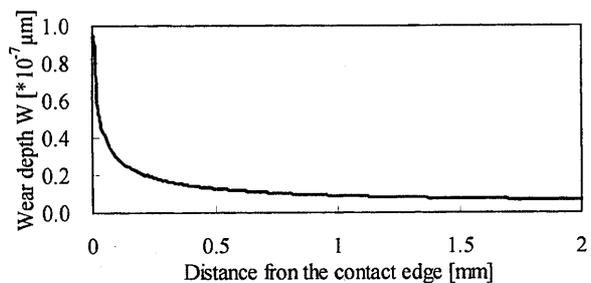
**3.3 面圧, 相対すべり量および摩耗量の計算例** 例えば初期 (摩耗無し) 状態での試験片およびパッドの応力, 変形解析結果から得られた面圧, 相対すべり量および摩耗量の計算結果を Fig.4 に示す. 試験片およびパッドの半負荷サイクル (+200MPa $\rightarrow$ -200MPa) での相対すべり量  $S$  を求め, これとこのときの面圧分布  $P$  の積と摩耗係数より, 半負荷サイクルでの摩耗量  $W$  が求まる. この場合のパッドによって試験片に与えられる平均面圧は 200MPa, 解析開始時に用いた摩耗係数は  $1.15 \times 10^{-10} \text{ mm}^2/\text{N}^3$  である. 計算の簡略化のため繰返し数  $10^5$  回まで摩耗は線形に進行すると仮定し,  $10^5$  回毎に得られた摩耗量を用いて接触面の形状修正を行い, 繰返し摩耗解析を実施した.



(a) Distribution of contact pressure near contact edge



(b) Slippage in half loading cycle (+200MPa  $\rightarrow$  -200MPa)



(c) Wear in half loading cycle (+200MPa  $\rightarrow$  -200MPa)

Fig. 4 Calculated results of pressure distribution, slippage and wear in initial conditions (no wear).

(Mean pressure : 200MPa, Axial stress :  $\pm 200$ MPa)

フレットイング疲労試験において, 平均面圧 200MPa の条件下で, 繰返し負荷 200MPa と 150MPa の場合で試験を行なった. 繰返し負荷 200MPa の試験片では, 繰返し数  $4.5 \times 10^5$  で破断に至り, そのときの接触面端部での最大摩耗深さは  $2.94 \mu\text{m}$  であった. 同条件下で繰返し数  $2.7 \times 10^5$  で試験を停止した試験片では, 最大摩耗深さは  $2.45 \mu\text{m}$  であった. また繰返し負荷 150MPa の場合, 繰返し数  $1.4 \times 10^6$  で破断し最大摩耗深さは  $2.52 \mu\text{m}$  であった. に至った.

疲労試験での平均面圧, 繰返し負荷および繰返し数を条件とした摩耗解析を繰返し行い, 摩耗深さの計算値と実測値を比較した結果, 繰返し負荷 200MPa では摩耗係数  $K=6.75 \times 10^{-9} \text{ mm}^2/\text{N}$ , 150MPa では  $K=3.61 \times 10^{-9} \text{ mm}^2/\text{N}$  となった. 本研究ではこれらの値を平均し, 摩耗係数  $K=5.18 \times 10^{-9} \text{ mm}^2/\text{N}$  と求めた.

Fig.5 に平均面圧 200MPa, 繰返し負荷 200MPa の場合で上記摩耗係数を用いた各繰返し数での摩耗の進行状況を示す. Archard の式を用いた摩耗解析により摩耗進行の予測が可能である. 今後は実験値との比較を増やすとともに計算精度の向上により, 摩耗係数の最適化を図っていく.

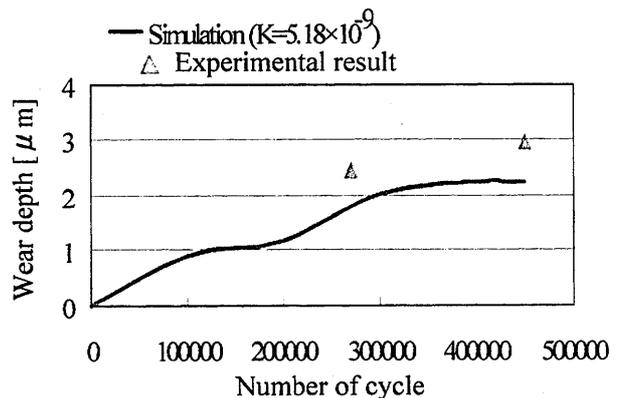


Fig. 5 Dependence of wear depth on number of cycle.

## 5 結 言

- (1) 摩耗を考慮したフレットイング疲労強度, 疲労寿命の評価法を提案した.
- (2) 古典的な Archard の式をフレットイング疲労破壊したいくつかの試験片の摩耗実測深さに適用し, 摩耗係数  $K=5.18 \times 10^{-9} [\text{mm}^2/\text{N}]$  を得た.
- (3) 摩耗係数  $K$  の算出により, 摩耗の進行状況が予測可能になった.

## 参考文献

- 1) 服部他 3 名, 日本機械学会論文集 (A 編), 53-492, pp.1500-1507 (1987).
- 2) 中村他 3 名, 材料, 40-458, pp.1453-1458 (1991).
- 3) T.Hattori et al, Tribology Int., 36-, pp 87-97 (2003).
- 4) 服部, 渡辺, 日本機械学会論文集 (A 編), 67-661, pp.1486-1492 (2001).
- 5) T.Hattori et al, JSME Int., Series A, 48-4, pp 81-90 (2005).