

フローティングシールにおけるシール面うねりがシールの接触状態に及ぼす影響

Effect of Seal Surface Undulation on Seal Contact Condition in Floating Seals

東工大・院（学）*鈴木 楓人 コマツ（非）堀野 祐司 コマツ（正）嶋田 大

東工大（非）住谷 明 東工大（正）京極 啓史 東工大（正）田中 真二

Futo Suzuki*, Yuji Horino**, Masaru Shimada**, Akira Sumitani*, Keiji Kyogoku*, Shinji Tanaka*

*Tokyo Institute of Technology, **Komatsu Ltd.

1. 緒言

フローティングシールは建設機械の履帯などの回転軸に使用され、潤滑油の封止と外部からの土砂侵入を防ぐ役割を持つ機械要素である¹⁾。フローティングシールは、Fig. 1 に示すように固定側と回転側のハウジング間隙間を狭めることで O リングを圧縮し、その圧縮反力によってシールリング同士を押付けてシールしている。しかし、様々な要因によって O リングの圧縮反力に分布が生じ、シールリング同士が偏心する。また、Fig. 2 に示すように、シールリングのシール面の断面にはフラット面と、内径側にはテーパ面が設けられおり、その境界には稜線が存在する。そのため、これまでの研究²⁾から、シールリング同士の偏心量が小さいとフラット面同士が全周で接触するが、偏心量が大きいとシールリングの稜線での接触が起きることが明らかになった。また、フラット面同士の接触と稜線での接触との境界部付近で油が漏れやすくなることも明らかになった。これは、境界部では粗さの大きいテーパ面での接触が起きているが、接触面圧が高くないためにリークチャンネルが形成されることが原因だと考えられている³⁾。このようにシールリング同士の偏心によって、シール面の接触の仕方が変化し、油封止性に影響を与えと考えられる。しかし、実際のシールリングはシール面円周方向のうねりを有し、それによってもシール面の接触状態が変化すると考えられるが、これまで検討されていない。そこで本研究では、シール面のうねりがシール面の接触状態に与える影響について報告する。

2. 解析

2.1 解析手法

本研究では接触解析を行い、シールリング同士の静止状態における接触面圧分布を算出した。解析には有限要素解析ソフト ABAQUS を用いた。解析開始時のモデルの断面を Fig. 3 に示す。モデルはすべて弾性体と仮定し、材料定数はシールリングおよびハウジングには SS400 の定数（ヤング率 $E = 210\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu = 0.3$ ）を、O リングには H-NBR の定数（ヤング率 $E = 4.2\text{MPa}$ 、ポアソン比 $\nu = 0.49$ ）を用いた。シールリング同士の押付け荷重は 1840N とした。

2.2 シールリングのモデリング

シールリングの直径は 408mm であり、その断面形状は Fig. 2 のようになっている。1. で述べたように、シールリング同士の偏心量が小さいとシールリングのフラット面同士が接触する。その際、ヘルツの接触理論に基づいて算出される径方向接触幅は $74\mu\text{m}$ であるため、それをおおよそ 10 分割されるようメッシュ幅を $8\mu\text{m}$ とした。また、シール面のうねりの影響を見るために、シール面の円周方向に振幅 0mm （平面）と 0.05mm の正弦曲線のうねりを付与したモデルを作成した。また、うねりとシールリング同士の偏心の位置関係は Fig. 3 のように設定した。凸同士が接触する上下方向に偏心を与えた場合を凸部分同士の接触、凹同士が接触する、紙面に対し垂直方向に偏心を与えた場合を凹部分同士の接触と定義する。ハウジング中心に対して、シールリング中心が各々反対側にずれるように任意の偏心量を与えた。解析後は、荷重分布をバランスするために偏心量がわずかにずれる。従って、解析後の偏心量と接触状態の関係を比較した。

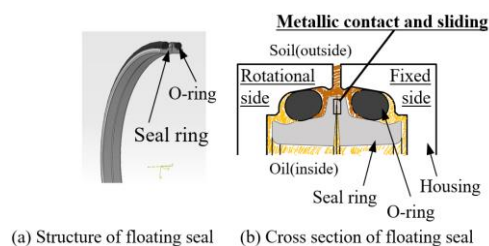


Fig.1 Schematic diagram of floating seal

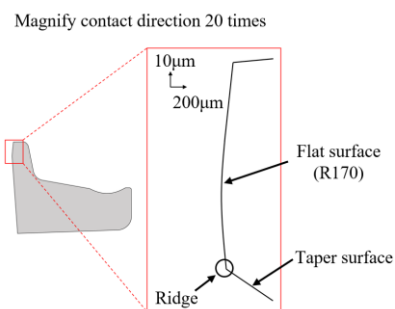


Fig.2 Cross section of seal ring

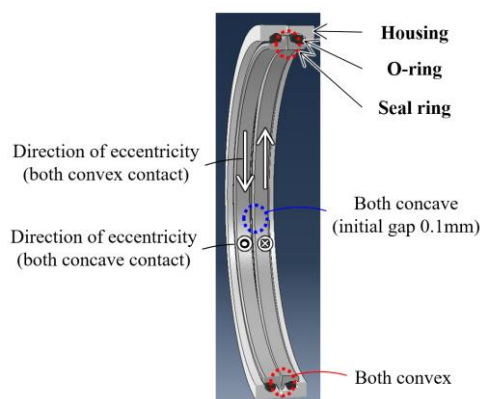


Fig.3 Cross Section of FEA model

3. 解析結果及び考察

3.1 円周方向位置と断面における最大面圧の関係

うねりの無いシールリング同士の場合における、シールリング同士の偏心率による接触面圧分布の変化を Fig. 4 に示す。偏心を付与した方向は、Fig. 4 の左右方向である。偏心率が 0mm, 0.37mm の時は全周でフラット面同士が接触するため、比較的均一な接触面圧及び接触幅が形成されている。一方、偏心率が 0.59mm, 0.86mm の時はシールリングのズレが大きい所で稜線での接触が発生するため、その部位ではフラット面同士の接触よりも接触面圧が高く、接触幅が狭くなる。さらに、Fig. 4 の黒点線円で示すように、接触状態が変わる境界部も周方向 4 か所に現れる。この境界部は油漏れが発生しやすい部位である^{2,3)}。次に、シールリング同士の偏心率と、偏心を付与した方向の断面における接触位置（シールリング外径側からの距離）の関係を Fig. 5 に示す。うねりの有無に関わらず、シールリング同士の偏心率が大きくなるにつれて接触位置は内径側に移動し、稜線まで到達するとその後は偏心率が増えても稜線での接触が起きる。また、うねりの凸部分同士の接触はより内径側で起こっているため、少ない偏心率で稜線での接触が起き、境界部が発生してしまう。

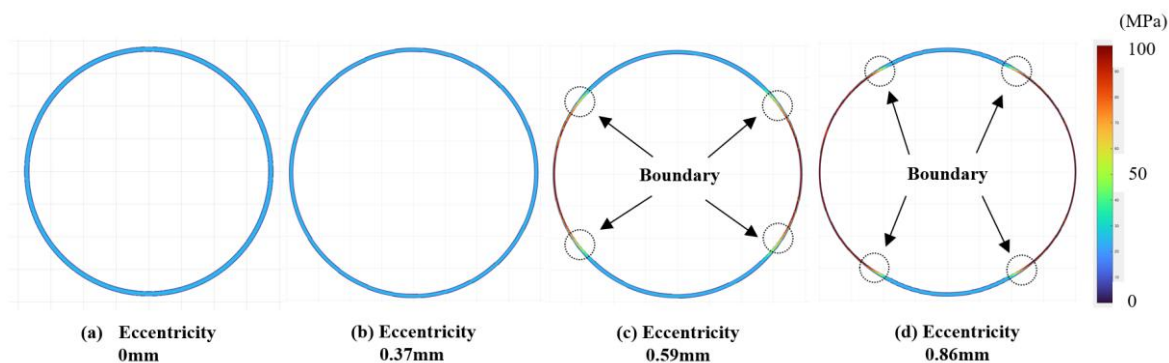


Fig. 4 Variation of contact surface pressure distribution on sealing surface due to eccentricity between seal rings

3.2 考察

うねりの凸部分同士の接触がより内径側で起きる原因について考察する。シールリングは押付けられた時に、外径側が開くように弾性変形する。その弾性変形による接触位置の変化を Fig. 6 に示す。Fig. 6(a)に示すように、うねりの凸部分同士の接触では相対的に押付け力が大きくなり、シールリング外径側が大きく開いて、より内径側での接触が起きる。このように、シール面のうねりの違いによって、シールリングの外径側が開く弾性変形量が異なるため、境界部が発生する偏心率に違いが生じたと考えられる。そのため、うねりを有するシールリングは少ない偏心率でも油漏れが発生しやすくなると考えられる。

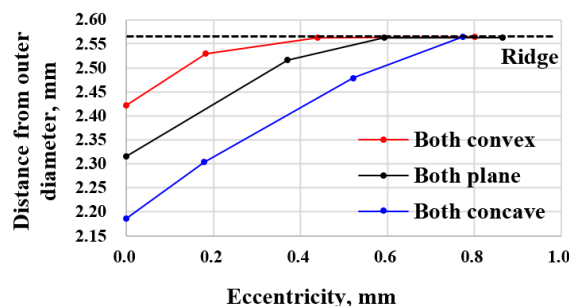


Fig.5 Relation between eccentricity between seal rings and change in contact position

4. 結言

本研究ではシール面うねりを考慮した有限要素解析を行った。まず、うねりの有無に関わらずシールリング同士の偏心率が大きくなると稜線での接触が発生し、フラット面同士の接触との境界部が生じる。さらに、シール面にうねりがあると、より少ない偏心率で境界部が発生してしまう。この原因は、接触によるシールリングの外径側が開く弾性変形量の違いによるものと考えられる。

文献

- 1) 黒木ら, フローティングシールの寿命向上, KOMATSU TECHNICAL REPORT, VOL.61, NO.168 (2015), p.7-12.
- 2) 寒川ら, 日本機械学会関東支部 第 30 期総会・講演会 予稿集 (2024) 14F04.
- 3) 嶋田ら, Proceedings of The 12th JFPS International Symposium on Fluid Power (2024) (講演予定) .

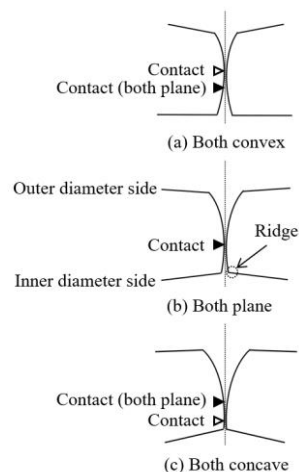


Fig.6 Change in contact position due to elastic deformation of seal rings