

技術論文

フローティングシールの寿命向上

Life Improvement of Floating Seal

黒木 光博
Mitsuhiro Kuroki
三宅 正人
Masato Miyake
平間 浩之
Hiroyuki Hiramata
森田 充亮
Mitsuaki Morita
小澤 鋭治
Eiji Ozawa

フローティングシールは土砂にさらされる回転体に使用されるシールである。シールの長寿命化による部品交換間隔延長は、建設機械の稼働率向上をもたらすと同時に、ライフサイクルコストを低減させる。今回、摩耗しやすい土質の稼働地に対応したフローティングシールを新たに開発し、従来品に比べ寿命を2～3倍向上することができた。

Floating seal is a seal used in a rotating body exposed to earth and sand. A longer part replacement due to a longer seal's life results in improving construction machinery's availability and decreasing life cycle cost. Here, we have developed a new floating seal for tough wear operation sites. This new seal enables two or three times longer life as compared to conventional ones.

Key Words: フローティングシール

1. はじめに

クローラ系建設機械の足回りは常に土砂にさらされるため、足回りに搭載される部品に用いられるシールには、内部の潤滑油の漏えい防止とともに、外部から内部への土砂等の異物浸入を防止する機能も求められる。一般的なゴム製シール（リップシール）では、ゴムの摺動部が土砂によりたちまち摩耗してしまうため、このような用途には「フローティングシール（図1参照）」が使われている。

フローティングシールは、高硬度な特殊铸铁材のシールリングとゴム材のOリングから構成されている組合せシールの一種である。このシールは金属であるシールリング同士で摺動することで、土砂摩耗に対する優れた耐久性を有している。しかし、摩耗はゼロではなく、稼働時間とともに土砂摩耗が進行していく消耗部品である。したがって、フローティングシールの寿命を向上することで、建設機械の稼働率・ライフサイクルコスト改善を図ることができる。

今回、寿命向上した新たなフローティングシールを開発したので報告する。



図1 フローティングシール

2. フローティングシールの構造と機能

フローティングシールは、ブルドーザや油圧ショベルのようなクローラ系建設機械の図2破線部に示すような回転するコンポーネントにおいて、内部の潤滑油の漏えい防止とともに、土砂等の部品内部への浸入防止を目的として使用される。図1のように特殊鋳鉄材のシールリングとゴム材のOリングとで構成されており、同形状の一对のシールリング同士を向い合せて使用する。

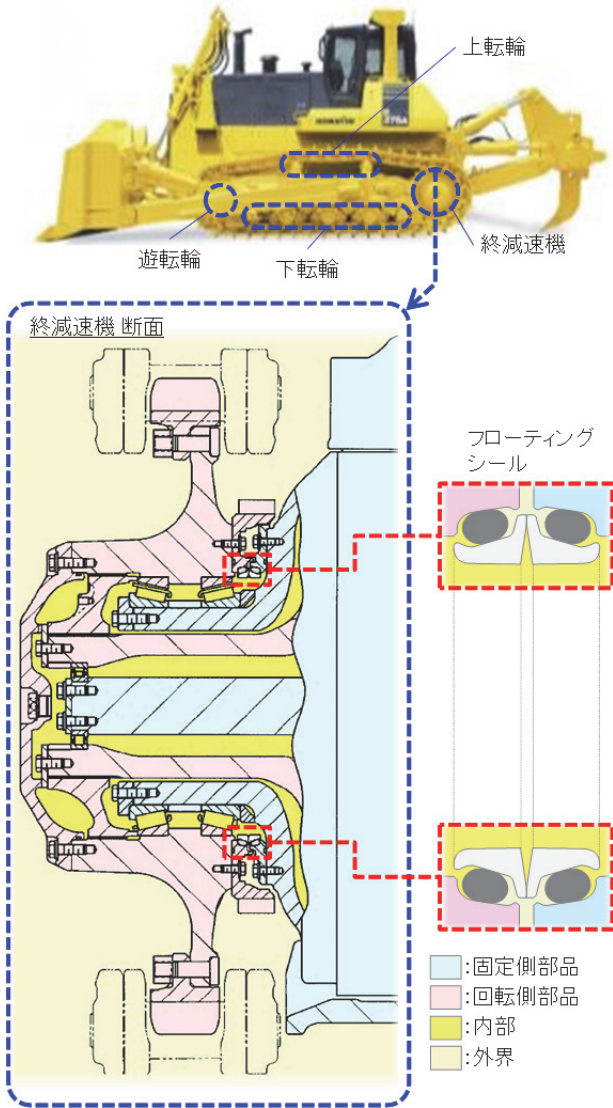


図2 フローティングシールの適用先例

図3にフローティングシールの取付部分の断面図を示す。シールリングは、Oリングを介し固定側および回転側となるそれぞれの部品に取付けられる。シールリングを取付ける部位にはあらかじめOリングをはめ込む溝が加工されている。はめ込み溝の形状はシール形状に合わせて設計される。Oリングの付いたシールリングを各部品の溝にはめ込むことで、それぞれの部品にシールリ

ングが取付いた状態となる。これらの部品を対向するように組立てることでシールリング同士が接触して、図3の状態となる。シールリング同士を接触させるための押しつけ力は、はめ込み溝とシールリングとの間の空間でOリングがつぶれることで発生している。

シールリング同士が接触する部分が固定側と回転側との境界になっており、この部分が摺動することで固定側と回転側との間のトルク伝達を遮断しつつ、内部からの潤滑油流出や外部からの土砂等の異物浸入を防いでいる。

潤滑油流出および土砂等浸入防止の機能を保つには、ある程度力でシールリング同士を押しつけ続ける必要がある。押しつけ力が大きすぎるとシール摺動面の損傷から摩耗増につながり、押しつけ力が小さすぎると摺動面の接触が不十分で潤滑油の流出や土砂等の浸入につながる。したがって、押しつける力を適切に維持することは、フローティングシールの摩耗寿命向上に寄与すると考えられる。

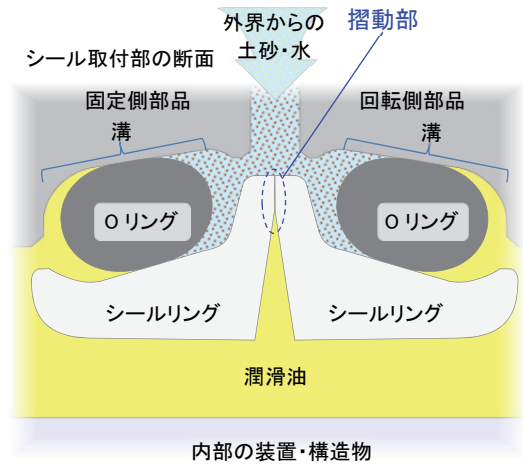


図3 フローティングシール断面図

シールリングには耐土砂摩耗性に優れた硬質な特殊鋳鉄材料が用いられているものの、時間と共に土砂摩耗は確実に進行していく(図4参照)。図4(b)に示すように、土砂摩耗の進行に伴い、シールリング摺動部は少しずつ内側へ移動して行く。その際、新たな摺動部をより内側に形成しつつ摩耗が進行し、最終的には図4(c)に示すように摺動部がシールリング内周側まで到達すると土砂摩耗による寿命を迎える。この摩耗の進行速度はシールリング材料によって異なることから、適切なシールリング材料の選定もまた、フローティングシールの摩耗寿命向上に寄与すると言える。

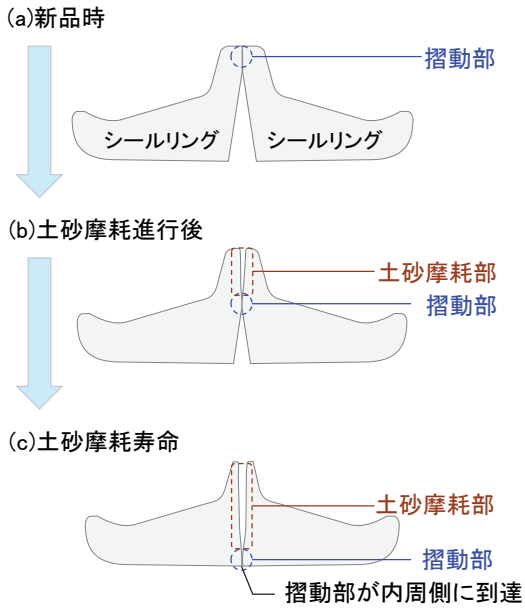


図4 土砂摩耗の進行

3. フローティングシールの課題

3.1 土砂パック

フローティングシールの実際の使われ方において、摩耗寿命低下を引き起こす原因の一つに、シールリングとOリングはめ込み溝との空隙に生じる土砂詰まり（以下、土砂パック）が挙げられる（図5参照）。土砂パックは、図6のような細かい粒径の土砂の割合が多い土質の稼働地で起こりやすいことが経験上わかっている。

図5に示すような状態においては、シールリングやOリングが空隙に生成した土砂パックから力を受けるため、摺動部に作用する押しつけ力が大きくなる。その結果、摩耗が促進され、寿命が低下すると考えられる。

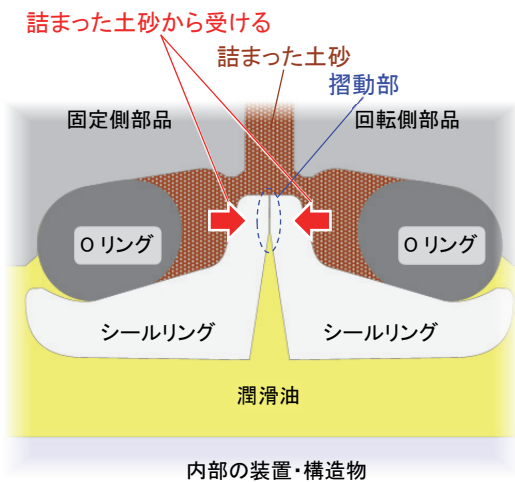


図5 土砂パックの影響

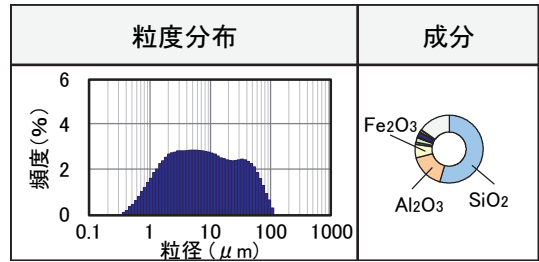
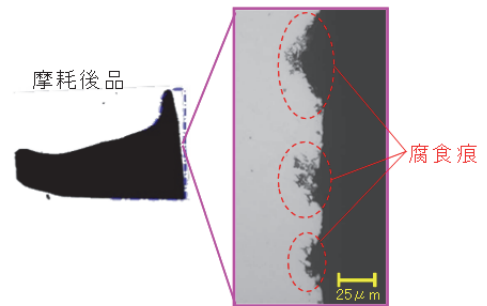


図6 土砂パックの起こりやすい稼働地の土砂分析例

3.2 腐食摩耗

フローティングシールの摩耗寿命低下を引き起こす他の原因として、酸性土壌による腐食摩耗がある。図7(a)は異常摩耗したシールリング摩耗面の観察例であり、摩耗部には腐食痕が認められた。また、このような腐食摩耗が見られたシールリング周囲に付着している土砂からは、図7(b)に示すように硫酸成分 (SO_4^{2-}) が多く検出された。以上の結果から、土砂による摩耗に加え、シールリングが土砂中の硫酸により腐食されることによって摩耗が促進されると考えられる。

(a)腐食痕観察例



(b)土砂分析例

試料No.	陰イオン測定結果(単位:ppm)		
	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-
1	53	-	2.6
2	40	1.1	2.4

図7 腐食痕の観察例 および 土砂分析例

4. 方策の検討

4.1 方策の概要

先に示した課題に対するフローティングシール改善の方策として、以下2点検討した。

- ①シールリング同士の押しつけ力を適正に維持するため、シールリング形状とはめ込み溝形状とを改善した。
- ②耐面圧および耐腐食性を向上するため、シールリング材料を新規に開発した。

以降の項では、方策②として、従来の鉄ベースの特殊鋳鉄材料に対して、新規にニッケルベースの材料を開発したので、この材料について詳細に述べる。

4.2 開発材の摺動特性

耐面圧向上を確認するため、リング状試験片を用いた摺動試験にて、開発材と従来材の摺動特性を評価した。試験方法および試験結果を図8に示す。

試験は図8(a)に示すように、リング状の試験片を2つ重ねてシールリングと同様にスラスト面を接触させ、片方を固定した状態で、もう片方を回転させた。試験片は潤滑油に浸しつつ、シールの使用状態と同じ周速で回転させながら、面圧を段階的に上げていき、摩擦係数の変化を測定した。摩擦係数が急激に増大した(図中の赤い×印)時点を凝着摩耗状態が発生したとみなし、この時の面圧を摺動限界の値(以下、限界面圧)とした。

開発材の試験結果を図8(b)に、従来の特殊鋳鉄材の試験結果を図8(c)にそれぞれ示す。開発材は従来材の2倍の限界面圧を示した。

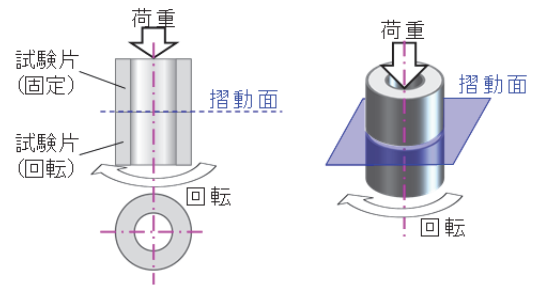
4.3 開発材の耐腐食性

腐食摩耗抑制効果を確認するため、硫酸溶液への浸漬試験にて、開発材と従来材の耐腐食性を評価した。

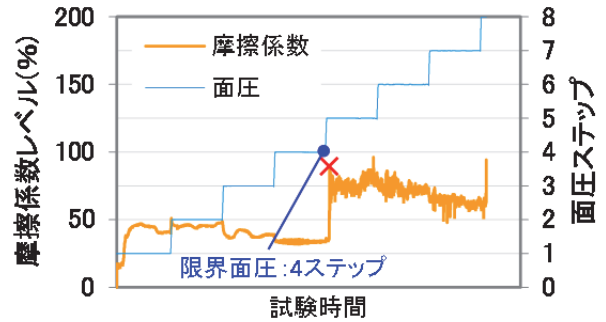
試験片は開発材品および従来材品から切り出し、エメリー紙で研磨し、研磨面以外をマスキングテープで覆ったものを用いた。この試験片を5wt%硫酸溶液が入ったビーカーに20H漬け込み、重量変化から年当りの腐食深さ(以下、腐食速度)を算出した。

図9(a)に試験結果を示す。縦軸の腐食速度は、従来材の腐食速度を100として相対評価した。開発材は硫酸に対する耐腐食性が大きく向上していることが確認できた。

(a)試験概略図



(b)開発材 試験結果



(c)従来材 試験結果

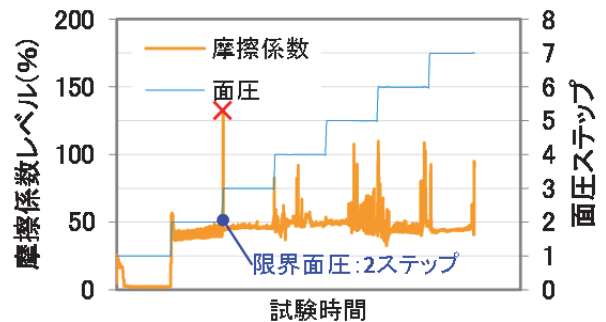


図8 摺動試験結果

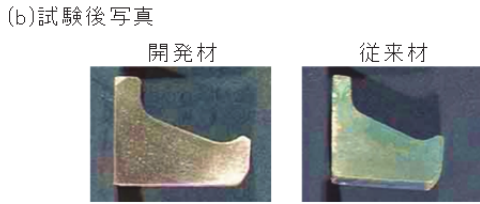
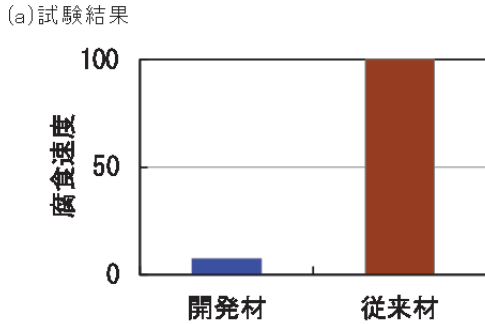


図9 浸漬試験結果

5. 稼働地における実機による調査

前述した土砂パックと腐食摩耗という 2 つの課題の発生率が高い地域において、想定通りの効果が得られるかを車載評価により検証した。それぞれの地域において、異なる機種種のブルドーザ向けに、異なる仕様のフローティングシールを試作し、同一車両の左右に従来品・開発品の両シールを各々組み込み、一定時間稼働させた後に回収、シールリングの摩耗量を測定した。

それぞれの機種種の車載評価について稼働地と開発品の特徴を以下に示す。

<機種 A>

稼働地：土砂が細かく土砂パックが起りやすい

開発品：シールリング形状改善と開発材を適用

<機種 B>

稼働地：酸性土壌で腐食摩耗しやすい

開発品：開発材を適用（形状は従来通り）

機種 A（土砂パックの起りやすい地域）の車載評価結果を、図 10 に示す。機種 A では、2 水準の稼働時間で評価した。シールリングの摩耗量は、稼働時間に対し概ね比例することが経験上わかっているため線形近似すると、開発品は従来品に対し 1/2～1/3 程度の摩耗量であった。

機種 B（酸性土壌地域）の車載評価結果を、図 11 に示す。開発品は従来品に対し 1/2 程度の摩耗量であった。

これらの結果から、いずれの機種も開発品は従来品と比べて 2～3 倍程度の土砂摩耗寿命延長効果が見込めることが確認できた。

6. まとめ

開発した新規材料を適用したフローティングシールは従来品に比べて土砂摩耗寿命を 2～3 倍延長できる見込みであることが実車稼働結果により確認できた。

いずれの開発品も現在実用化され、土砂パックが発生しやすい地域および腐食摩耗が多い地域向けとして仕様設定されている。

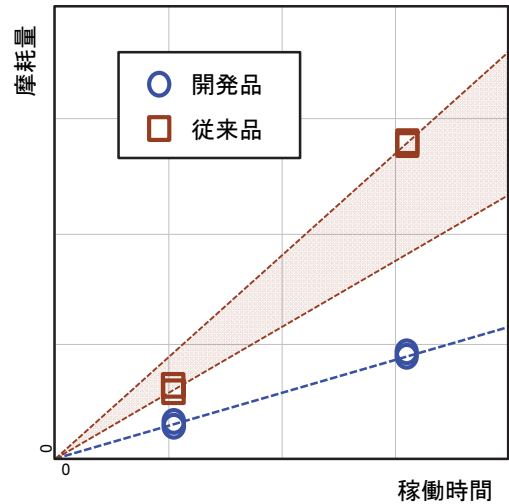


図 10 機種 A 車載評価結果

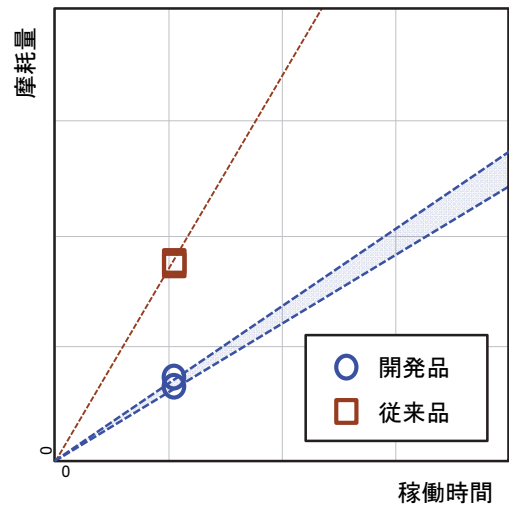


図 11 機種 B 車載評価結果

筆者紹介



Mitsuhiro Kuroki
くろ き みつ ひろ
黒木光博 2000年，コマツ入社。
 開発本部 材料技術センタ



Masato Miyake
みやけ まさと
三宅正人 1980年，コマツ入社。
 開発本部 材料技術センタ



Hiroyuki Hirama
ひら ま ひろ ゆき
平間浩之 2005年，コマツ入社。
 開発本部 材料技術センタ



Mitsuaki Morita
もり た みつ あき
森田充亮 1993年，コマツ入社。
 開発本部パワートレイン開発センタ
 ファイナル開発グループ チーム長



Eiji Ozawa
お ざわ えい じ
小澤鋭治 1970年，コマツ入社。
 コマツキャステックス
 鋳鉄生産部鋳鉄第二課

【筆者からひと言】

今回開発したフローティングシールは、地域限定仕様ですが、本件で得た知見を今後のフローティングシール開発にも活かしたいと思っております。本件で数多くの関係各位にご協力いただきましたこと、深く御礼申しあげます。