

レオメータを用いたグリースのせん断安定性加速評価に関する研究

Study of Accelerated Evaluation on Shear Stability of Grease by using Rheometer

三菱電機(株) (正) *井上 優, (正) 長濱 秀紀

三菱電機ビルソリューションズ(株) (非) 新倉 脩平, (正) 木村 康樹

Yu Inoue*, Hidenori Nagahama*, Shuhei Niikura**, Yasuki Kimura**

* Mitsubishi Electric Co., Ltd., ** Mitsubishi Electric Building Solutions Co., Ltd.

1. はじめに

転がり軸受の潤滑剤として広く用いられている潤滑グリースは、機械的せん断負荷を繰り返し受けると増ちょう剤の網目構造が変わり、軸受内部での流動特性に影響するため、経年的に軸受トルクや潤滑性能が変化することが知られている。そのため、機械的せん断負荷に対する潤滑グリースのちょう度と流動特性の安定性は重要な評価項目である。ちょう度のせん断安定性の評価にはロール安定度試験 (ASTM D1831) で静的なちょう度変化を評価する方法が知られている。しかしロール安定度試験はグリース全体に均一に負荷をかけることができないので試験後に採取したグリースのせん断履歴を正確に知ることができない点が課題である。せん断履歴による流動特性の変化の評価には回転型レオメータを用いてせん断応力のせん断速度依存性を評価する方法が報告されている²⁾。

そこで本報告では、せん断負荷履歴を制御可能な回転型レオメータを用いて長期間使用時の軸受内部のせん断履歴を想定したせん断負荷をグリースに印加し、潤滑グリースでちょう度と見かけ粘度の変化をロール安定度試験結果と比較し、測定結果の妥当性とせん断安定性の観点での流動特性の評価について検討した。

2. レオメータの装置諸元および試験条件

潤滑グリースのせん断試験には、任意のせん断負荷パターンをグリースに印加できる回転型レオメータを用いた。試験条件は、円すい型コーンスピンドル (コーンアングル 1° , 直径 25 mm) を用い、せん断速度制御モードで、試料グリースのせん断速度およびせん断回数を指定の値に制御した。せん断速度の運転パターンを Fig.1 に示す。①測定ステップは、せん断速度増加区間 60 s 間のレオロジー特性を連続的に測定した。②せん断負荷ステップは、加速—せん断速度 7800 s^{-1} の一定速—減速—停止を 1 cycle と定義し、軸受内部でのせん断負荷による増ちょう剤の配向もしくは破壊過程と静置による回復過程を考慮した運転パターンを設定した。この①を 1 cycle と②を 9 cycles を組み合わせた 10 cycles を 10 回繰り返し運転した。繰り返しせん断負荷によるレオロジー特性の変化は、②せん断負荷ステップを負荷する毎に再度レオロジー特性を測定し、合計 10 回のデータで経時変化を確認した。試験温度は 40°C 一定とした。

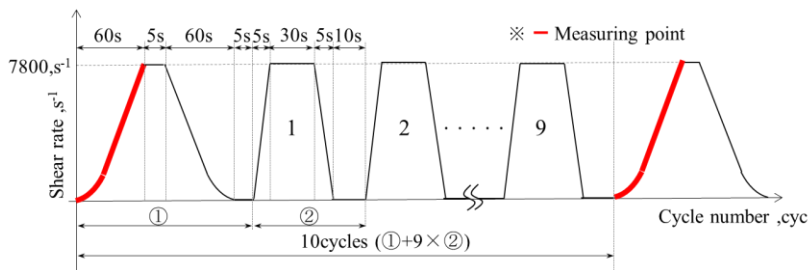


Fig. 1 Changing pattern of shear rate

3. 試料グリース

本試験に用いたグリース諸元を表 1 に示す。グリースは混和ちょう度を 280 に調整した 2 種類のグリースを用いた。グリースのレオロジー特性は基油と増ちょう剤の種類に依存するので、両グリースの流動特性に差をつけるため、Grease A の基油は PAO, 増ちょう剤はジウレアとした。Grease B の基油は鉱油, 増ちょう剤はリチウム複合石けんとした。

Table 1 Sample greases

Grease	Base oil	Thickener	Worked penetration ,-	Kinematic viscosity @ 40°C , mm^2/s
A	PAO	Di urea	280	80.8
B	Mineral oil	Lithium complex	280	101

4. グリースの降伏応力

グリースは、せん断応力を徐々に印加したときに弾性限界である降伏値 τ_0 を越え、増ちょう剤の網目構造が配向も

しくは破壊されて流動を開始する特性をもち²⁾、せん断速度の増加に伴いグリースのせん断応力がさらに増加すると、次第にせん断応力がせん断速度に比例するニュートン流体に近い挙動となる。すなわち、せん断応力が高い場合は、ちょう度と降伏応力に相関があると考え、グリースの流動モデルを表す BAUER の粘性式を用い、降伏応力 τ_y を算出した。BAUER の粘性式を式(1)(2)に示す³⁾。

$$\tau = \tau_y + k_1 \dot{\gamma} + k_2 \dot{\gamma}^n \quad (1)$$

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (2)$$

τ :せん断応力, $\dot{\gamma}$:せん断速度, η :見かけ粘度, k_1, k_2, n :レオロジー・パラメータであり、レオメータの測定結果である $\tau, \dot{\gamma}$ をもとに式(1)へフィッティングさせ降伏応力 τ_y を求めた。降伏応力 τ_y はせん断速度を制御した試験で潤滑グリースの流動が開始する応力であり、せん断応力制御下の測定から得られる降伏応力 τ_0 とは異なる値である。

5. レオメータ試験によるせん断安定性評価方法

Grease A と同じの基油と増ちょう剤を用いたちょう度の異なるサンプルのちょう度と降伏応力を測定し、関係式を求めた。ちょう度はちょう度計 (JIS K 2220) で測定し、降伏応力 τ_y はレオメータによる測定結果より算出した。ちょう度と降伏応力は式(3)に示す線形の相関を確認できた。決定係数は 0.95 である。

$$y = -0.22\tau_y + 387 \quad (3)$$

本近似式により求められるちょう度を推定ちょう度 y と定義し、グリースの硬さを表す指標として用いる。

6. 試験結果と考察

Figure 2 に本評価手法による推定ちょう度推移の結果を示す。これに対し、Fig. 3 に同グリースサンプルを用いたロール安定度試験結果を示す。せん断負荷開始直後にちょう度が急増する傾向、Grease B より Grease A が高い傾向が両試験で同様であることが確認できた。式(3)は Grease A のデータを元に算出したが、増ちょう剤・基油の種類によらず流動開始点 (降伏応力) があるため、Grease B にも適用できると考えた。

Fig. 4 にレオメータによるせん断速度 1000 s^{-1} 時の粘度推移測定結果を示す。繰り返しせん断負荷に伴う見かけ粘度推移は、推定ちょう度推移の傾向と異なり、Grease A より Grease B の方が大きいことが確認できる。繰り返しせん断負荷を受けたときの増ちょう剤構造の破壊割合が増ちょう剤・基油種によって異なることが要因と考えた。Grease A に比べて Grease B は高せん断速度域である 1000 s^{-1} 時で増ちょう剤の構造が変化しやすいと推測される。

以上より、繰り返しせん断負荷に伴うちょう度推移と見かけ粘度推移は異なる傾向になる場合があり、見かけ粘度の推移を同時に評価すると軸受内部の潤滑状態を正確に評価できる可能性がある。

7. まとめ

本報告で提案するレオメータを用いたせん断安定性の評価手法はロール安定度試験と相関があることを確認した。繰り返しせん断負荷を受けた後の見かけ粘度とちょう度の推移は異なるため、両手法でせん断安定性を評価すれば、より正確に軸受内部の潤滑状態を再現したグリース性能を評価できる可能性がある。

文献

- 1) 設楽裕治, グリースの潤滑挙動に関する研究, JXTG Technical Review, 60, 2(2018), 23-27.
- 2) 外尾道太, 園田健太郎, 杉村丈一, 潤滑グリースの増ちょう剤構造変化と流動特性の関係, トライボロジスト, 64, 1(2019), 42-54.
- 3) 河内健, 市村亮輔, 吉原径孝, 董大明, 木村好次, グリースのソフト EHL における膜厚とトラクション, トライボロジスト, 61, 12(2016), 874-881.

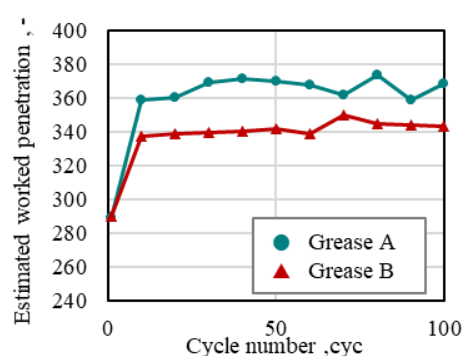


Fig. 2 Changes in estimated worked penetration by using rheometer

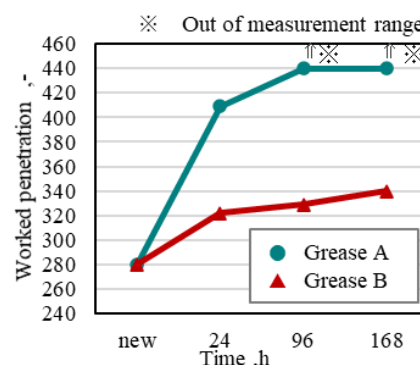


Fig. 3 Changes in worked penetration by standard test method for roll stability

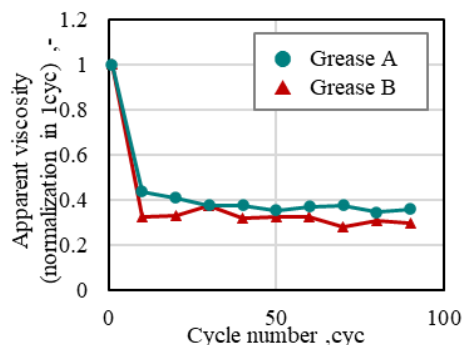


Fig. 4 Changes in apparent viscosity by using rheometer (Shear rate= 1000 s^{-1})