

ひずみと時間がグリースのレオロジー特性に及ぼす影響
Effect of strain and duration on the rheological properties of greases

ソミック石川（正）*鈴木 学 ソミック石川（非）飛田 真利 ソミック石川（非）江塚 晃葉
ソミック石川（非）中村 慶 豊橋技科大（学）伊野波 盛隆 豊橋技科大（学）千葉 瑞生
豊橋技科大（正）竹市 嘉紀
Manabu Suzuki*, Masatoshi Hida*, Akiha Ezuka*, Kei Nakamura*,
Moritaka Inoha**, Mizuki Chiba**, Yoshinori Takeichi**
*SOMIC ISHIKAWA Inc., ** Toyohashi University of Technology

1. はじめに

自動車の走行時に関節の役割をするボールジョイントは長期間に渡って安定した性能を求められる。金属と樹脂のグリース潤滑下のすべり摩擦で使用され耐久性やトルク特性などの製品性能を改良するために潤滑メカニズムを理解する必要があるが複雑で難しい。例えばグリースの違いにより接触部あるいはその周辺でのグリース挙動は様々な様相を示す。グリース塗布した板に樹脂ピンを押付け、接触部から排除される挙動を確認したところ、グリース種類によって接触部周辺に残存するグリースの形状は異なっていた¹⁾。これらのグリースによる往復すべり試験の摩擦係数挙動は異なっていた²⁾。接触部あるいは摩擦部の周辺グリースの挙動を粘度特性により解釈を試みようとした場合に非ニュートン流体であるグリースはひずみ、ひずみ速度および経過時間などのせん断条件により非線形的な特性変化を考慮する必要がある。そこでグリースのレオロジー特性がせん断条件によりどのように変化するか調べた。

2. 実験

実験はレオメータ(Anton Paar 社 MCR302e)にて直径 8 mmの平行円盤の振動モードで動的粘弾性を調べる。往復動すべり試験における接触部周辺に付きまわるグリースの膜厚は 0.1mm 以下の領域であり、可能なることから隙間設定は 0.1mm した。流動点ひずみ γ_f 、チキソトロピー性といった非ニュートン流体の特長を取得することを目的として 2 種類の条件設定する。ボールジョイントを想定した往復すべり摩擦試験での振幅、周波数を参考として決定した偏向角、周波数を Table 1 に示す。チキソトロピー実験においては 3 ステップに分けて偏向角を変化させ、Step 2 でシアニング特性を調べ、Step 3 で回復性を調査した。

実験には Table 2 に示す基油の異なる 3 種類のグリースを用いた。

Table1 Rheology test conditions

	Flow point test	Thixotropic test
Deflection angle, mrad	Increased with logarithmic time increase from 0.1 to 1000	Step 1: 0.1 (60s)→ Step 2: 750 (3129s)→ Step 3: 0.1 (3129s)
Frequency, Hz	1.5	3.0
Temperature, °C	25	30

Table 2 Specification of test grease

Grease	Gr_PAO	Gr_Si	Gr_Mi
Penetration	280	290	280
Thickener type	Lithium soap		
Base oil type	PAO (Poly- α -olefin)	Silicone oil	Mineral oil
Kinematic viscosity of base oil at 25°C, mm ² /s	2847	8000	223

3. 結果と考察

流動点調査の結果を Fig.1 に示す。緑色の実線は貯蔵弾性率 G' 、橙色の実線は損失弾性率 G'' を左側縦軸で示し、青色の破線は損失正接を右側縦軸で示す。横軸はせん断ひずみである。貯蔵弾性率を比較すると、Gr_PAO と Gr_Mi は単調的な減少を示すが、せん断ひずみが 1 を超える辺りから急減少する。これに対し Gr_Si はせん断ひずみが 1 付近で弾性率が変化しない領域が存在する。損失弾性率を比較すると基油動粘度の高い Gr_Si は緩やかな減少を示す。損失正接が 1 を超えるせん断ひずみを流動点ひずみ γ_f として調べると Gr_PAO および Gr_Mi は同程度の値を示し、Gr_Si

はより小さなせん断ひずみで流動した。流動点を超える領域が液体的な挙動を示すとすると摩擦部においても Gr_Si は他の2種類のグリースと異なると可能性がある。

チキソトロピー試験の結果を Fig.2 に示す。横軸は各ステップでの経過時間、上段の縦軸は複素粘度、下段の縦軸は弾性率を示す。緑色は貯蔵弾性率 G' 、橙色は損失弾性率 G'' を示し、Step 1 が1点鎖線、Step 2 が実線、Step 3 は破線で示す。複素粘度 η^* を比較した場合、Step 1 では Gr_PAO と Gr_Mi が同程度で Gr_Si がやや小さい値を示す。静置状態を模擬しているため、ちょう度と関係した値を示したと考える。大きなせん断ひずみを加えた Step 2 では動作開始直後から η^* は低い値となる。基油粘度の序列となった。弾性率を見ると貯蔵弾性率 G' は直ぐに G'' よりも低い値となっており、流体的な挙動が支配的となり基油の特性が強く影響したと考えられる。試験の経過とともにそれぞれの η^* は減少するが Gr_Si の減少勾配は比較的小さくなった。Step 3 で再び微小振動を与えて回復を調べた。いずれのグリースも動作開始直後は Step 1 の η^* よりも小さな値であるが、時間経過とともに上昇する。弾性率を確認すると G' の増加が大きく増ちょう剤構造が回復、成長していることが伺える。3129s 経過後の Gr_PAO の G' は約 20%、Gr_Mi は約 9% の回復に留まったのに対し Gr_Si は約 100s の Step 1 の値に達し更に上昇した。阿久津らの試験³⁾では粘度が低いほど回復速度が速いとしているが、今回の試験したボールジョイント用グリースは高粘度の基油のため回復が遅かったと考えられる。しかし Gr_Si の回復速度は速く、粘度だけでは無く、基油種類により増ちょう剤の分散状態などが変わった可能性があるが不明である。また、Gr_Mi の η^* および弾性率は増加途中で降下する挙動が確認されている。静置を模擬した微小振幅条件であったが、増ちょう剤構造の成長が促され、壊れた可能性がある。微粒子凝集はせん断速度により促進するが、せん断速度が大きい場合に破壊する⁴⁾。チキソトロピー試験での粘度変化と整合する。破壊、凝集の速度は粒子サイズに影響されるため、グリース中に存在する増ちょう剤の微粒子径が基油によって異なった可能性がある。

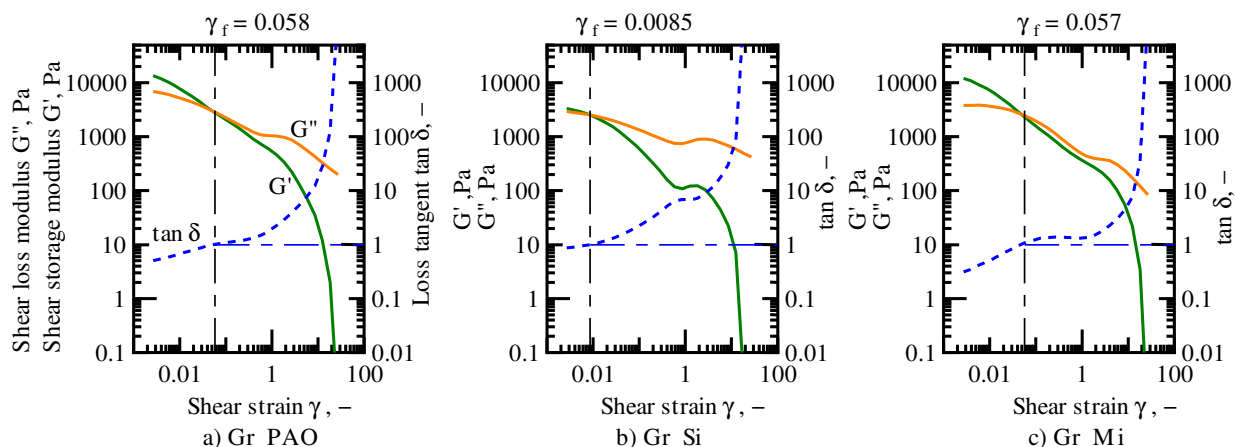


Fig.1 Results of flow point test of each grease

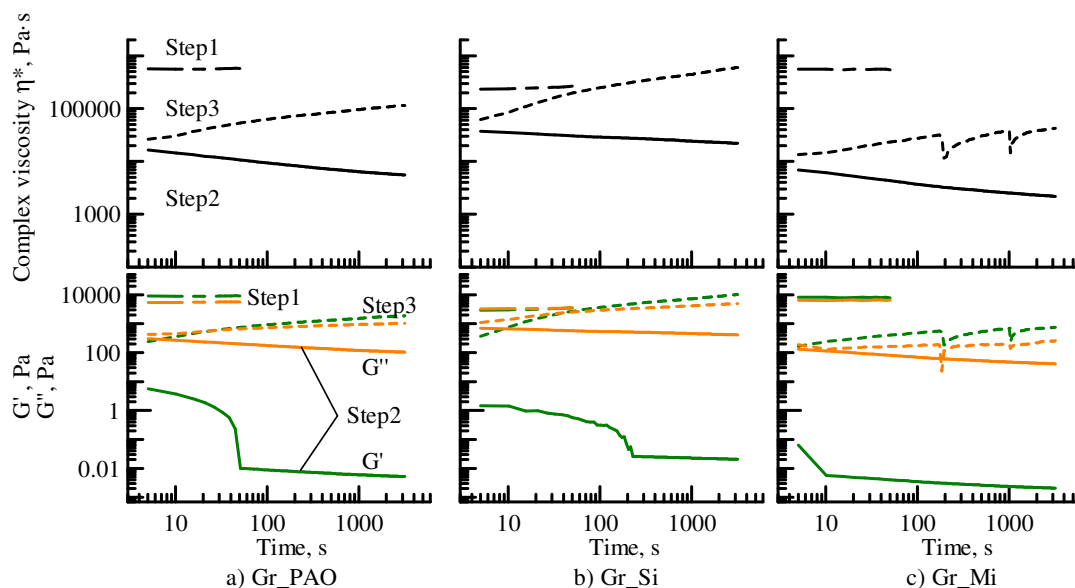


Fig.2 Results of Thixotropic test of each grease

4. まとめ

往復すべり摩擦で発生するグリースの潤滑挙動を理解するために基油の異なる3種類のグリースについて動的粘弾性を流動点ひずみ、チキソトロピー性の観点で調べた。摩擦試験において油膜切れ発生の条件や摩擦係数推移が異な

る Gr_Si は粘弾性計測において異なる傾向を示した。以下の知見を得られた。

- 1) ちょう度の高い Gr_Si の流動点ひずみは他のグリースよりも低く、弾性率変化の傾向も他と異なる。損失弾性率の変化は基油動粘度との関係が示唆される。
- 2) 大きなひずみを与えた場合、グリースの複素粘度は基油の動粘度が高いほど高い値を示した。複素粘度は時間経過とともに緩やかに低下する。貯蔵弾性率が低下しており、増ちょう剤構造の破壊が示唆される。
- 3) 粘度低下したグリース時間経過とともに複素粘度が回復する。貯蔵弾性率の増加が顕著で破壊された増ちょう剤構造の回復、凝集が示唆される。Gr_Si は初期の複素粘度より大きな値になった。基油の違いにより微粒子径が異なり凝集・破壊の速度が変化すると考えるモデルと整合する。

今後はせん断ひずみ、せん断速度から複素粘度、弾性率を求めグリース挙動の解析を進める

文献

- 1) 鈴木・江塚・飛田・竹市：球状 POM ピンの押付けにより接触部とその周辺に残存するグリース分布，トライボロジー会議予稿集（2024-11） C45
- 2) 伊野波・竹市・鈴木・荒川：金属と樹脂との摩擦に及ぼすリチウム石けんグリースの基油の影響，トライボロジー会議予稿集（2022-11） B31
- 3) 阿久津・益子・鈴木：回転式レオメータを用いたリチウムセッケングリースの粘性回復の研究，トライボロジスト, 52, 2 (2007) 156
- 4) 鈴木：粘弾性流体のレオロジー，J.Jpn.Soc.Colour Mater.,84,2(2011) 47