

KRL せん断試験装置を用いた鉄道車両用ギヤ油の損失評価 Evaluation of Energy Loss caused by Gear Oil for Electric Trains

鉄道総研（正）*木川 定之 （正）高橋 研

Sadayuki Kikawa, Ken Takahashi

Railway Technical Research Institute

1. はじめに

電車用歯車装置は、走り装置において主電動機の駆動力を輪軸に伝える装置である。この歯車装置で潤滑剤として用いられるギヤ油は、小歯車（主電動機軸側の歯車）と大歯車（車軸側の歯車）のかみ合い部の潤滑を担っており、さらに回転する大歯車からはねかけにより、それぞれの歯車軸に取り付けられた軸受の潤滑にも寄与している（Fig. 1¹⁾）。このことから、ギヤ油の性状は歯車装置の潤滑状態、さらには歯車装置の駆動により消費されるエネルギーに影響を与えると考えられる。これまで筆者らは、ギヤ油の性状が歯車装置で生じるエネルギー損失に与える影響を検討するため、歯車装置実機の無負荷回転試験により、性状が異なる2種類のギヤ油を用いて、油量および回転速度によるトルクの変化について評価を行った¹⁾。

この取り組みに関連して筆者らは、エネルギー損失を要素試験により評価する手法の検討として、KRL せん断試験装置を用いた円すいころ軸受の回転試験による回転損失の評価を実施した。

2. 試験条件

2.1 試験装置

KRL せん断試験は、DIN 51350-6²⁾において規定される潤滑油のせん断安定性試験である。試験油中で小型の円すいころ軸受(32008)を回転させてせん断荷重を与えたのち、動粘度の変化を測定することで、潤滑油のせん断安定性を評価する試験である。

本検討では、摩擦摩耗試験機（神鋼造機）にKRL せん断試験用アタッチメントを取り付けて試験を行った（Fig. 2）。試験時には試験容器が油圧により上昇し、回転軸と嵌合することで、軸受にアキシャル荷重が負荷される。また、試験中の油温の制御は、試験容器底面を流れる冷却水と、試験容器に巻いたバンドヒータによって行う。

DIN51350-6 では試験条件をアキシャル荷重 5000 N、油量 40 ml、回転数 1450 min⁻¹、油温 60 °C と定めているが、回転損失の評価方法の検討のため、ここでは回転数と油温を変化させて試験を実施した。

2.2 試験方法

本稿では「定速試験」と「定温試験」を実施した。「定速試験」では、油温を 20 °C に調整したのち、温度調整をせずに回転数 1450 min⁻¹ で 900 秒間の回転試験を行い、試験中のトルクおよび油温の変化を観察した。「定温試験」では、設定した油温、および回転数を保った状態で 15 分間の回転試験を行い、試験開始後 10~15 分のトルクの平均値を比較した。回転数は 500, 750, 1000, 1450 min⁻¹ とした。油温は回転数 500 min⁻¹ では 40~80 °C、回転数 750 min⁻¹ 以上ではかいはん熱等により 60 °C 以下で運転することが困難であったため 60~80 °C とした。

本検討では Table 1 に示す Oil A, B および C を試験に供した。いずれも鉄道車両向けに作られたギヤ油であり、Oil A と Oil B は鉄道車両で使用されている現行品であり、類似した組成であるが動粘度が異なる。Oil C は寒冷地対応品として開発されたギヤ油であり、Group III の鉱油系基油や粘度指数向上剤により、同じく 80W の Oil B と比較して低温流動性が大幅に向上している。

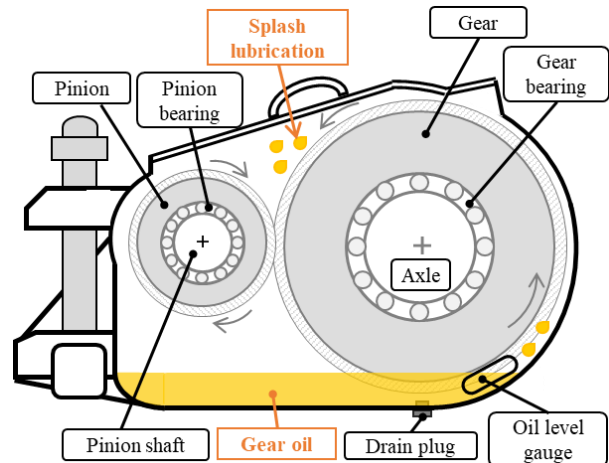


Fig. 1 Schematic view of gear unit for electric trains

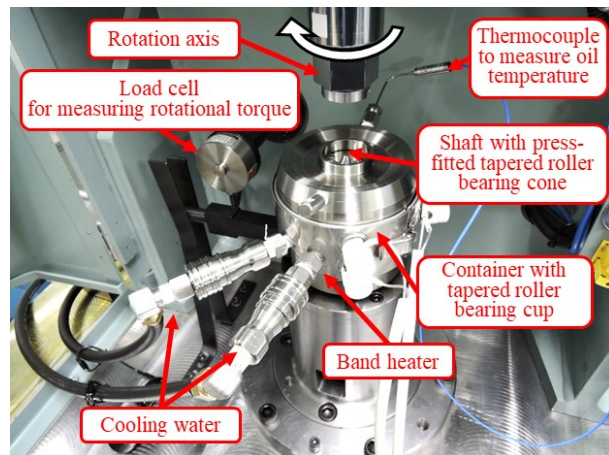


Fig. 2 Test equipment

Table 1 Properties of test oil

	Oil A	Oil B	Oil C
SAE viscosity grade	90	80W	80W
Base Oil	Mineral oil (Group I)	Mineral oil (Group I)	Mineral oil (Group III)
Extra additives	—	—	VII, FM
Kinematic viscosity at 40 °C, mm ² s ⁻¹	182.6	77.70	53.32
Kinematic viscosity at 100 °C, mm ² s ⁻¹	16.98	9.704	9.201
Viscosity index	99	107	156

3. 試験結果および考察

3.1 定速試験

定速試験における試験時間に対するトルクの推移を Fig.3 に示す。試験開始直後から概ね 400 秒まではトルクの差が見られ、A, B, C の順に大きい。これは試験開始温度である 20 °C における動粘度の順であり、油に由来する転がり粘性抵抗やかくはん抵抗の差がトルクに表れていることが示唆される。

一方、400 秒以降では油種によるトルクの有意な差は見られない。これは温度上昇により試験油間の粘度の差が小さくなったことが影響していると推定される。また、400 秒以降ではいずれの油でも発生するトルクが 0.5 Nm 以下となることから、油種によるトルクの差を見出すことは難しいと考えられる。

3.2 定温試験

定温試験のうち、回転数 500 min⁻¹ および 1450 min⁻¹ で実施したときの回転トルクを Fig. 4 に示す。同程度の油温であれば回転数が高いほどトルクが大きい。また、同一の回転数であればトルクは概ね A, B, C の順に大きく、また温度が上がるほど小さくなる傾向にある。ここで、Fig. 5 のように、横軸を動粘度の計算値 (JIS K 2283 に従って油温と 40°C, 100°C の動粘度から計算した値) として整理すると、それぞれの回転数において、動粘度が同程度であればトルクも同程度であることがわかる。すなわち、定温試験においても発生するトルクの差異は主に油の動粘度によって生じており、転がり粘性抵抗やかくはん抵抗の違いが表れていると推定される。

ただし、定速試験と同様に発生するトルクは小さい傾向にあり、油温が高く、回転数が低い条件では、トルクの比較を行うことは困難であると推定される。

以上から、油の粘度が低い、油温が高いなど、発生トルクが小さい条件での比較に課題はあるものの、KRL せん断試験装置を用いることにより、潤滑油の動粘度に対するエネルギー損失の変化を簡易的に評価できる可能性が認められる。今後、これらの結果が歯車装置用軸受での転がり粘性抵抗、大歯車によるかくはん損失など、歯車装置で発生するエネルギー損失と相関を持つか等について、検討を進める。

文献

- 1) 木川・高橋：ギヤ油の油量と性状が電車用歯車装置のエネルギー損失に及ぼす影響，日本機械学会 第 32 回 交通・物流部門大会 (TRANSLOG2023), U00040 (2023).
- 2) Deutsches Institut für Normung (DIN) : DIN 51350-6 “Testing of lubricants - Testing in the Shell four-ball tester - Part 6: Determination of shear stability of lubricating oils containing polymers” , 1996

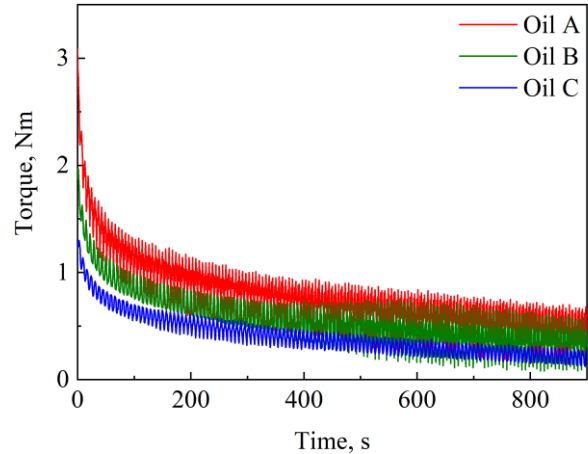


Fig. 3 Trend of the rotating torque during constant speed driving at 1450min⁻¹

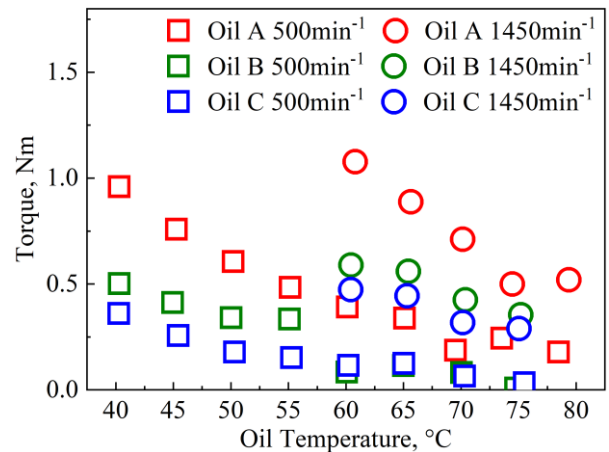


Fig. 4 Trend of the rotation torque vs. oil temperature under constant temperature driving at 500min⁻¹ and 1450min⁻¹

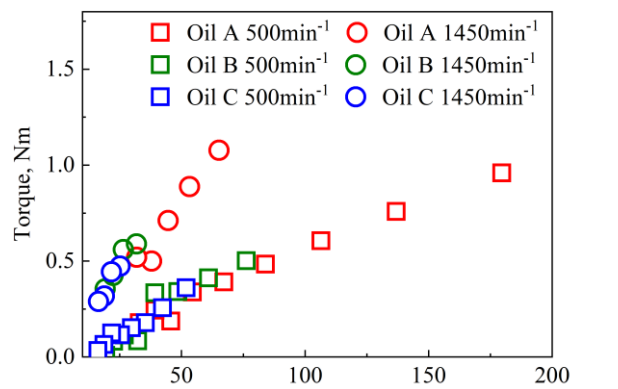


Fig. 5 Trend of the rotation torque vs. kinematic viscosity (calculated from oil temperature) under constant temperature driving