

ギヤ油の性状と油量が電車用歯車装置のエネルギー損失に及ぼす影響 —高速域における損失の評価—

Effects of Gear Oil Properties and Quantity on Energy Loss in Train Gear Units under High-speed Conditions

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のはねかけにより、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。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。

これまでに筆者らは、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回転トルクの変化について評価を行った。その結果、油量が多いほど回転トルクが増大すること、油を低粘度化することにより特に運転開始直後で回転トルクが低下すること、一方で油量や回転方向により低粘度油で回転トルクが増大する場合があることなどを示した¹⁾。本発表では、新幹線電車用の歯車装置を用いて、既報¹⁾と比較してより高速の条件で同様の試験を行い、油の性状や油量が回転トルクに与える影響について評価した結果を報告する。

2. 試験方法

2.1 試験装置

試験に用いた歯車装置回転試験機は Fig. 1¹⁾に示すように、実物の歯車装置の小歯車軸を、フランジ型たわみ軸継手を介してモータで回転させる構造である。歯車装置は実車両と同様に車軸に取り付けられ、車軸軸受に相当する軸受と歯車箱吊り装置によって支持される。本試験で使用した歯車装置は新幹線電車で、歯車は小歯車が左ねじれ、大歯車が右ねじれのはずば歯車で、歯車比は 3.04 である。小歯車軸受、大歯車軸受は、単列円すいころ軸受が、それぞれの歯車の両側に対向で各 1 個取り付けられている。モータは定格出力 22 kW（定格回転数：6000 min⁻¹）の同期電動機を用いている。

試験中は小歯車軸受外輪、大歯車軸受外輪、ギヤ油（排油栓部で測定）、歯車箱表面（小歯車軸 反モータ側軸受ふたの近傍で測定）、支持軸受の温度および雰囲気温度をそれぞれ熱電対で、小歯車軸 反モータ側軸端の温度を小型温度ロガーで測定する。小歯車軸の回転数は光電式回転検出器で検出し、回転トルクはインバータ電流値から演算された値をアナログ信号で取得する。

2.2 試験条件

ギヤ油の性状を Table 1 に示す。Oil A は供試歯車装置で実際に用いられている SAE#80W のギヤ油である。Oil B は同じく SAE#80W であるが、Group III 鉱油を主とした基油の使用、粘度指数向上剤の配合などにより低温流動性を向上したギヤ油である。

試験条件を Table 2 に示す。油量は当該歯車装置の規定量である 4.1 L のほか、油面計に刻まれた目盛りを基準に 4.5 L（規定量+1 目盛り）、3.7 L（規定量-1 目盛り）の 3 条件とした。回転パターンは Fig. 2 に示すように、停止状態から実車両の加速パターンを基に設定した条件で加速したのち、最高回転

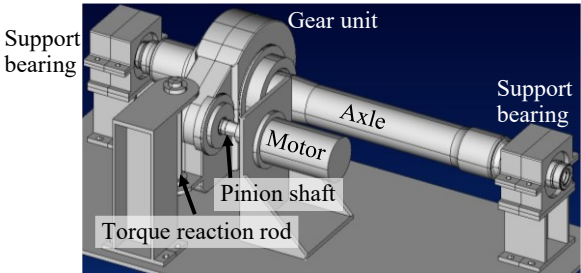


Fig. 1 Test rig of a gear unit

Table 1 Gear oil properties

Base oil type	Oil A		Oil B	
	Mineral Group I		Mineral Group III	
SAE viscosity grade	#80W		#80W	
Kinematic viscosity, mm ² s ⁻¹	100 °C		9.639	
	40 °C		76.11	
Viscosity index	105		157	
Viscosity index improver	-		✓	
Mo-type friction modifier	-		✓	

Table 2 Test Conditions

Oil quantity, L	Upper:4.5 Medium:4.1 Lower:3.7
Environment temperature, °C	10~15
End play of pinion bearing, mm (Converted to the equivalent at 20 °C)	0.11

数 (5606 min^{-1} , 275 km/h 走行相当) にて連続で運転するよう設定した。試験時間は最高回転数に到達後から 7200 s としたが、試験装置保護のため軸受外輪温度 120°C または油温 100°C で試験を停止する設定としたところ、いずれの試番も油温が 100°C に到達して試験は途中で停止した。試験はすべての試番で正転 (かみあい面が下向きに回る回転方向) と逆転 (かみあい面が上向きに回る回転方向) の両方向で実施した。

3. 試験結果

油量を規定量 (4.1L) の条件で実施した試験について、正転時および逆転時におけるモータの回転トルクの推移を Fig. 3 に示す。

回転トルクは、正転および逆転とも試験開始直後に加速に従って増大したのち、加速度が変化する 100 s 付近で一度低下、その後再び増大して 2 回目の加速度変化から定速運転へ移行する近辺で最大となる。定速運転に移行すると徐々に低下するが、正転では 900 s 、逆転では 1500 s で増大し、以降はほぼ一定で推移する。

正転と逆転の加速運転時の回転トルクを比較すると、正転では Oil A が大きく、逆転では Oil B が大きい。一方、定速運転時のトルクを正転と逆転で比較すると、前述した回転トルクの増大が正転で生じた後は正転が大きくなるが、逆転でも回転トルクの増大が発生した後は両者で同程度となる。ただし、油温が 100°C に到達して試験が停止するまでの時間は正転の方が短いことから、温度上昇は正転の方が大きいと認められる。また、定速運転領域で発生する回転トルクの増大は、正転でより早く発生し、その増加量も大きい。

Oil A と Oil B を比較すると、試験開始直後から 600 s 程度までは Oil B 使用時の回転トルクが明らかに低い。その後差は小さくなるが、正転で 1500 s 、逆転で 900 s までは Oil B 使用時の回転トルクがやや低く、以降は同程度で推移する。このように、油種が異なることによる回転トルクの差について、試験開始後早い段階で現れ、その後その差が小さくなるという推移は、既報⁷⁾で見られた傾向と一致している。

また、油量による影響の評価例として、Oil A の油量を Upper (4.5 L)、Medium (4.1 L)、Lower (3.7 L) の 3 水準としたときの正転時のトルクを Fig. 4 に示す。回転トルクは、試験開始直後の差は小さいが、 $600 \sim 900 \text{ s}$ では油が多いほど早く上昇し、また回転トルクの増大が発生した後は油が多いほど高い傾向にある。

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, 第 32 回 交通・物流部門大会 (TRANSLOG2023), TL7-2 (2023)。

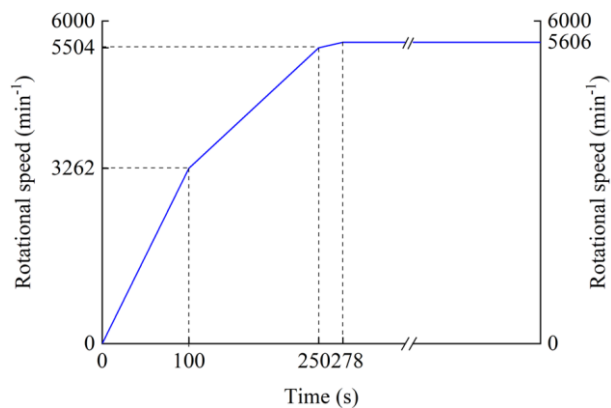
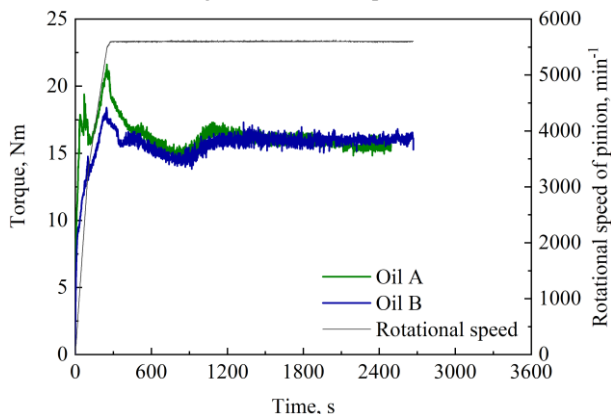
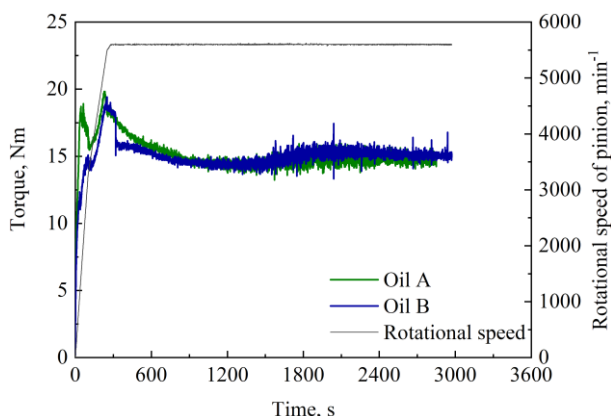


Fig. 2 Rotational pattern



(a) Forward rotation



(b) Reverse rotation

Fig. 3 Rotational torque and speed during the test (oil quantity: medium)

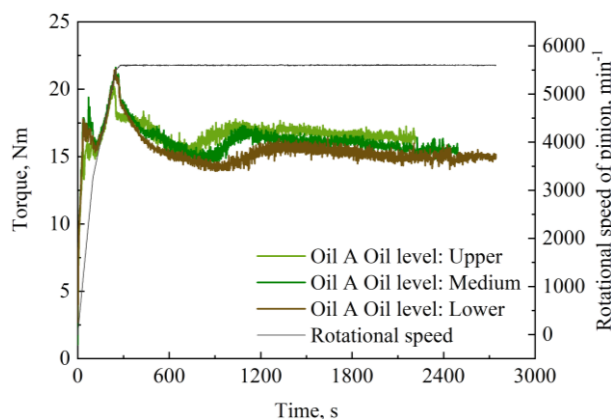


Fig. 4 Effects of oil quantity to rotational torque (Oil A, Forward rotation)