

ギヤ油の油量が電車用歯車装置のエネルギー損失に及ぼす影響

Influence of Gear Oil Levels on Energy Loss for Gear Unit of 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

歯車装置は、電車の走り装置において、駆動用電動機である主電動機の駆動力を輪軸に伝える。この歯車装置の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いる（Fig. 1）。また、回転する大歯車によるギヤ油のはねかけにより、それぞれの歯車軸に取り付けられている軸受の潤滑にも寄与している。この歯車装置で生じるエネルギー損失には、油だまりの中を大歯車が回転することで生じるかくはん抵抗など、ギヤ油に起因するものがあり、ギヤ油の性状や使用状況がエネルギー損失に与える影響は大きいと考えられる。本講演では、使用されるギヤ油の油量が歯車装置のエネルギー損失に与える影響について検討した結果を発表する。

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. 2¹⁾に示すように、実物の歯車装置の小歯車軸を軸継手（法兰ジ型たわみ軸継手）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、その車軸軸受部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在来線電車用で、歯車は小歯車が左ねじれ、大歯車が右ねじれのそれぞれはすば歯車、歯数は小歯車 20、大歯車 79（歯車比 3.95）である。小歯車軸受は小歯車軸の軸端側（PW 側）、モータ側（PM 側）に単列円すいころ軸受がそれぞれ 1 個、大歯車軸受は大歯車のモータ側（GM 側）に複列円すいころ軸受が取り付けられている。モータは定格出力 22kW（定格回転数：6000min⁻¹）の同期電動機を用いている。

試験中は小歯車軸受外輪、ギヤ油（排油栓部で測定）、歯車箱（PW 側軸受ふた近傍で測定）、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 PW 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により検出し、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。また、PM 側、PW 側それぞれの軸受ふたに圧電式加速度計を取り付けてそれぞれの振動加速度を測定する。

2.2 試験条件

主な試験条件を Table 1 に示す。油量は歯車装置油面計上の油量上限である 3.6L、下限である 2.8L およびその中間の 3.2L の 3 条件とした。ギヤ油は供試歯車装置を搭載する車両で使用されている SAE 粘度#90 のギヤ油を使用した。

回転パターンは Fig. 3 に示すように、停止から最高回転数（3322min⁻¹、供試歯車装置を使用する車両で 130km/h 走行に相当）まで 90 秒で加速し、その後最高回転数にて 7200 秒連続で運転することとした。各条件とも正転（Fig. 1 の回転方向）と逆転（Fig. 1 の回転と逆方向）で試験を実施した。

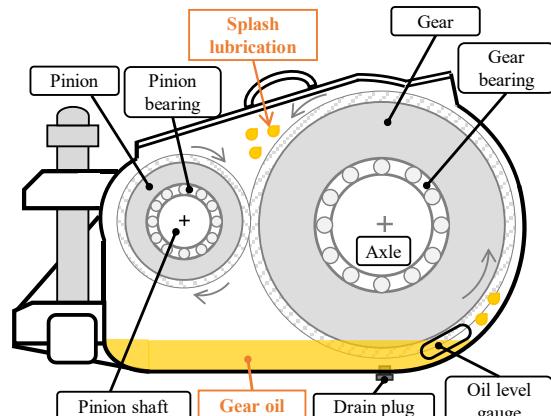


Fig. 1 Schematic view of gear unit for electric trains

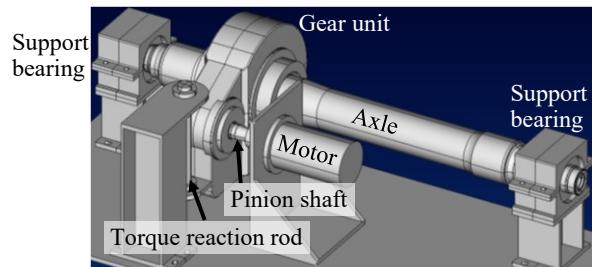


Fig. 2 Test rig of a gear unit¹⁾

Table 1 Test conditions

Oil level, L	Upper:3.6 Medium:3.2 Lower:2.8
Viscosity of gear oil, mm ² /s	182.6 (100°C) 16.98 (40°C)
Viscosity index of gear oil	99
Environment temperature, °C	20
End play of pinion bearing, mm	0.12

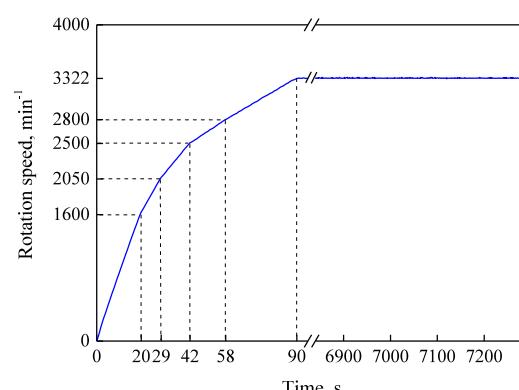


Fig. 3 Rotational pattern

3. 試験結果

3.1 温度上昇の比較

Figure 4 に、試験中の小歯車軸端温度および油温の経過を、実温度から雰囲気温度を差し引いた温度上昇値として、(a) 正転と (b) 逆転に分けて示す。いずれの条件においても正転に比べて逆転の温度上昇が大きい傾向が認められる。また、油量による温度上昇の差は開始直後には見られず、600 秒以降からその差が広がる傾向が見られる。

小歯車軸端の温度上昇は、油量が多いほど大きくなる傾向にある。ただし、その差は正転では小さい。また、油量下限と油量中間の温度上昇の差と比較して、油量中間と油量上限の温度上昇の差が大きい。なお、これらの傾向は PW 側、PM 側軸受外輪の温度上昇においても同様であった。

ギヤ油の温度上昇も油量が多いほど大きくなる傾向にあるが、ギヤ油では油量上限での温度上昇と油量下限、油量中間の温度上昇との差が、小歯車軸端や軸受外輪と比較して、特に正転の場合に置いて大きくなっている。また、温度上昇の立ち上がりが小歯車軸端と比較してやや遅い。

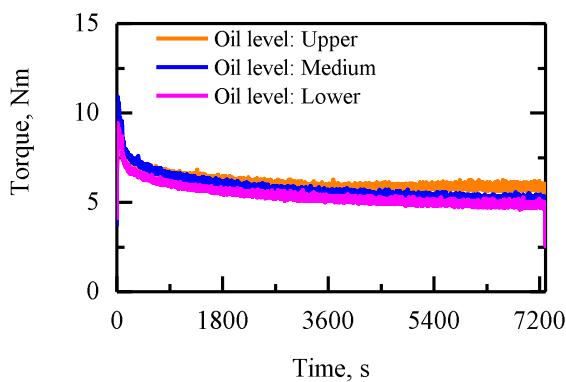
3.2 試験中の回転トルクの比較

試験中の回転トルクの推移を Fig. 5 に示す。トルクは加速段階で増加したのち定速回転になると低下し、(a) に示す正転では 900~1800 秒、(b) に示す逆転では 300~600 秒で低下の度合いが緩やかになる。また、全体を通して正転より逆転のトルクが大きい。

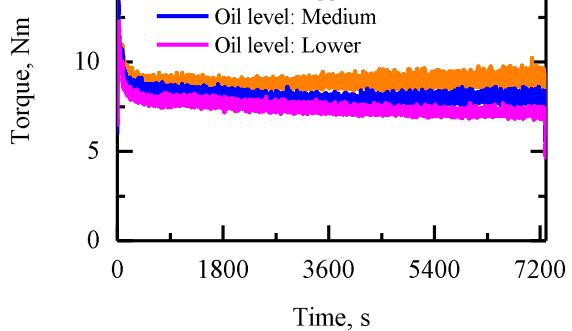
油量によるトルクの変化に注目すると、正転、逆転とも油量が多いほどトルクが増加する傾向にある。また、温度上昇ほど顕著ではないが、油量下限と中間の差と比較して、油量中間と上限の差が大きい。さらに、運転開始から時間が経過し、各部の温度および油温が上がっても、油量毎のトルクの大小が逆転することではなく、その差にも顕著な変化は見られない。

4. 考察

3 章に示した回転試験の結果から、油量が多いほど運転中のトルク、温度上昇が大きく、歯車装置に置いて回転抵抗が増大していると推定される。その要因としては、大歯車が油中で回転する際に生じるかくはん抵抗が大きくなること、軸受部に供給されるギヤ油が増加して軸受部の回転抵抗が大きくなること等が考えられる。



(a) Normal rotation

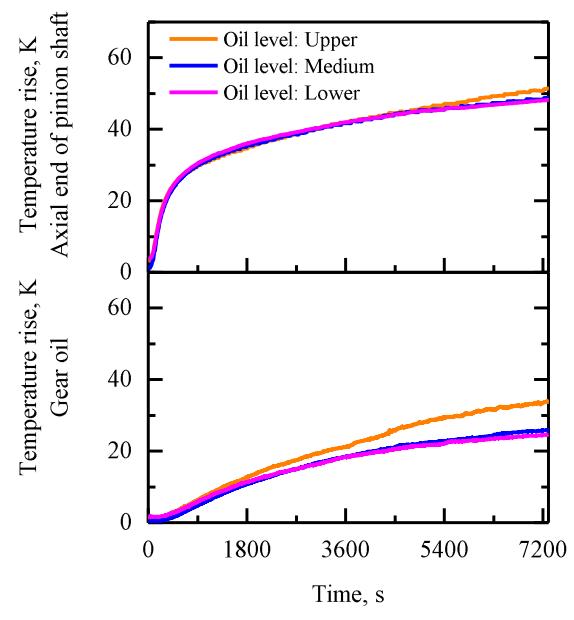


(b) Reverse rotation

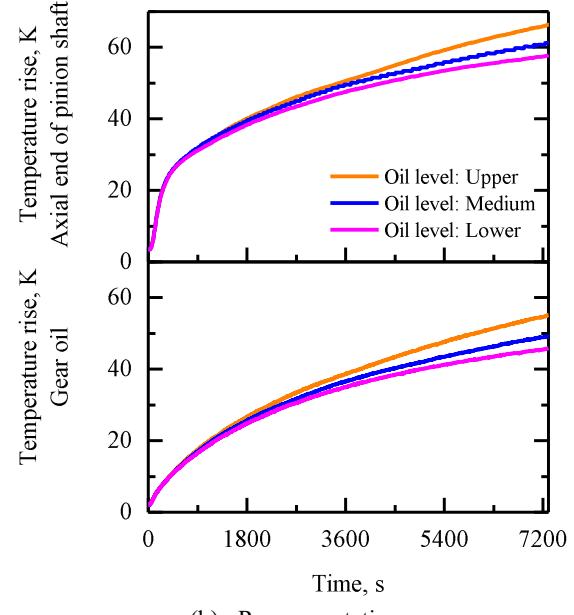
Fig. 5 Dependence of running torque on oil level

文献

- 1) 高橋・鈴木・永友：軸受形式の違いが鉄道車両歯車装置用軸受の性能に与える影響、日本機械学会論文集、88, 911 (2022).



(a) Normal rotation



(b) Reverse rotation

Fig. 4 Dependence of temperature rise on oil level