

各種潤滑条件が車輪フランジ摩耗に与える影響に関する研究

○ [機] 齋藤 拓也 [機] 清水 忠 (東京地下鉄)

水野 将明 (住友金属)

岡野 真行 [機] 谷本 益久 (住友金属テクノロジー)

[機] 森 裕貴 [機] 大野 寛之 [土] 佐藤 安弘 (交通安全環境研究所)

Study on the influence that lubrication between wheel/rail give to wheel flange wear-out

○Takuya Saito, Makoto Shimizu, (Tokyo Metro)

Masaaki Mizuno, (Sumitomo Metal Industries)

Masayuki Okano, Masuhisa Tanimoto (Sumitomo Metal Technology)

Hiroki Mori, Hiroyuki Ohno,

Yasuhiro Sato (National Traffic Safety & Environment Laboratory)

In the Tokyo Metro line, there are a lot of sharp curves. So, it is important to decrease lateral force and to prevent wheel flange wear-out. To solve these problems, we lubricate inside-rail by the friction modifier or grease at some commercial line. But recently, we confirmed the progress of the wheel flange wear-out at that line. Then, to investigate influence that lubrication situation between wheel/rail and the curvature radius give to wheel flange wear-out, authors did the experiment with test truck on rolling test stand. In this paper, we report the result of this experiment and suggest good method of lubrication to solve these problems.

キーワード：摩耗，車輪/レール接触，走行安全性

Key Words：Wear-out, Rail/Wheel Contact, Running Safety

1. 営業線におけるフランジ摩耗の進展状況

車輪フランジは車両の安全な走行を保証する上で重要な部位であり，その形状の確保は車両のメンテナンスの中でも非常に重要なものの一つである．特に東京メトロでは，営業路線長の約半数が曲線であることから，フランジ摩耗（本論文においては厚さ方向の摩耗を示す）の進展状況について特に注意を払う必要がある．

月検査および車輪削正直前のフランジ摩耗を追跡調査したところ，フランジ摩耗の進展速度が全体傾向と比較し顕著に早い路線があることが確認された．

フランジ摩耗進展の要因としては，①車輪/レール間の潤滑状況，②車輪/レール間の接触力（横圧）の2点が推定される．フランジ摩耗が進展している路線と摩耗状況が良好な路線の潤滑状況の比較を表1に示す．

路線Aは内軌レール頭頂面に車上より摩擦調整材¹⁾を噴射する潤滑方式である．摩擦調整材を導入することで車輪/レール間の接触力（横圧）が低減されることから，フランジ摩耗抑制にも効果があると考え，レール側に設置されていた外軌塗油器を全て停止させていた．しかしながら表1

に示すように，全体と比較しフランジ摩耗量が「多」という結果となった．

路線Bは曲線入口に設置された地上塗油器より内軌レールの頭頂面へグリスで潤滑する方式であり，潤滑方法そのものは路線Aとは異なるものの，内軌レールを潤滑することで横圧を低減するというコンセプトは路線Aと同様である．摩耗に対する結果も路線Aと同様で「多」という結果となった．

その他の路線の潤滑方法を確認すると路線A・Bと異なり外軌レールに対してグリスを塗布していることが挙げられる．その結果として，摩耗量は「少」となっている．

表1 路線別摩耗状況と潤滑方法

	摩耗量	潤滑方法	
		内軌	外軌
路線A	多	摩擦調整材	なし
路線B	多	無潤滑 or グリス	なし
その他 路線	少	無潤滑 or グリス	無潤滑 or グリス

これまでの営業線のフランジ摩耗の状況から推定される事象は下記のとおりである。

- ①車輪フランジ摩耗を防止するには外軌塗油が有効
- ②内軌潤滑の結果、横圧を低減することは可能であるが、外軌塗油と同等の摩耗防止効果を得ることはできない

上記推論はあくまで営業線における結果からの推論であり、明確な根拠はない。また今後、横圧低減のため恒久的に摩擦調整材を使用して行く上で、外軌塗油器の必要性有無の判断、また必要であるならばいくつまでの曲率半径の曲線に対して必要であるかを定量的に評価する必要がある。

しかしながら、営業線においては車輪/レール間の潤滑状況を意図した通りにコントロールすることは難しく、また様々な車輪形状およびレール形状が路線に含まれることから、これも評価を難しくする。さらに上記課題がクリアできたとしても、フランジ摩耗を追跡していくためには長期の時間と労力を要する。

そこで筆者らはこれらの課題を解決するため、曲線通過を模擬することが出来る交通安全環境研究所の台上試験機を用いて試験を実施し、車輪/レール間の潤滑状況が摩耗に与える影響を評価することとした。

2. 台上試験機におけるフランジ摩耗試験

2.1 台上試験機と試験台車

台常試験機と本試験に供した台車の様子を図1に示す。本試験機は内軌および外軌の軌条輪の回転速度の速差とアタック角を付与することで曲線通過中の台車の姿勢を模擬することができる。また試験に供した台車は、路線Aを走行する車両で使用している台車と同じものである。

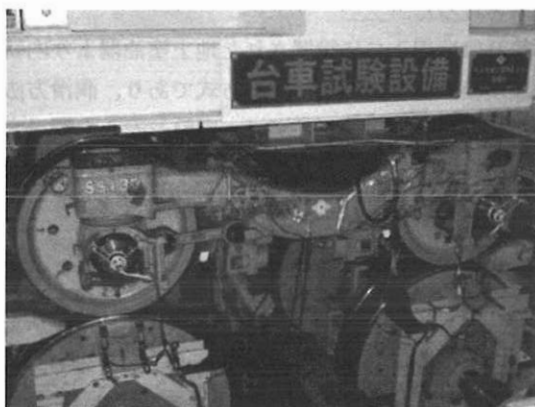


図1 台上試験機と試験台車

2.2 試験条件

本試験の主目的である潤滑条件の設定は表2の通りとした。この潤滑条件はいずれも営業線の中で存在する条件である。また曲率半径は表3の通りとした。これも実際の営業線に存在する曲率半径とすることで、営業線の状況と試

験結果を比較できるようにした。また試験時の速度は条件を揃えるため速度 20km/h 一定とした。

表2 潤滑条件

	内軌	外軌
条件1	無潤滑	無潤滑
条件2	調整材 (内軌面)	無潤滑
条件3	グリス (内軌面)	無潤滑
条件4	調整材 (内軌面)	調整材 (外軌面)
条件5	調整材 (内軌面)	グリス (フランジ部)
条件6	無潤滑	グリス (フランジ部)
条件7	グリス (内軌面)	グリス (フランジ部)

表3 曲線条件

曲率半径 (m)	速度 (km/h)
800	20
400	
350	
300	
250	
200	
180	
160	
130	

2.3 測定項目

本試験の測定項目は表4の通りである。本試験の主目的は潤滑条件、曲率とフランジ摩耗の関係を調べることにあがあるが、車輪/レール間の潤滑は車両の走行安全性へ直結するため脱線係数やモノリンク応力(接線力)等も併せて測定することとした。また曲線内軌側の輪重横圧比(内軌 Q/P)は車輪/レール間の摩擦係数と近似できることから、試験中の潤滑条件がどのような状況になっているかを定量的に把握することができる。

表4 測定項目

No.	測定項目	備考
1	フランジ摩耗量	
2	内軌横圧(前・後軸)	内軌 Q/P 算出
3	内軌輪重(前・後軸)	
4	外軌横圧(前・後軸)	外軌 Q/P 算出
5	外軌輪重(前・後軸)	
6	輪軸変位(前軸)	前軸アタック角
7	輪軸変位(後軸)	後軸アタック角
8	モノリンク応力	
9	ボギー変位	

2.4 フランジ摩耗量測定方法

長期的に営業線において車輪フランジ摩耗を追跡調査する際は直接フランジ厚さやプロフィールを測定することで評価するが、本試験においては各種潤滑条件において摩耗量を比較することが目的であり、時間的制約から別の評価方法を検討した。

今回フランジ摩耗量を評価する方法として、車輪より飛散する鉄粉を吸着し、その量を測定することとした。具体的には、曲線外軌側に相当する軌条輪と車輪の接触位置の進行方向後方側に粘着スプレーのりを付着させたケント紙を置き、各種条件において飛散する摩耗粉を付着させた(図2)。この方法は発生する全ての摩耗粉を採取するものではないため、各条件下における相対評価となる。

またケント紙に採取した摩耗粉の評価方法は、顕微鏡を用いて単位面積あたりの摩耗粉の面積占有率を評価することで各種条件下の比較を行うこととした (図 3)。

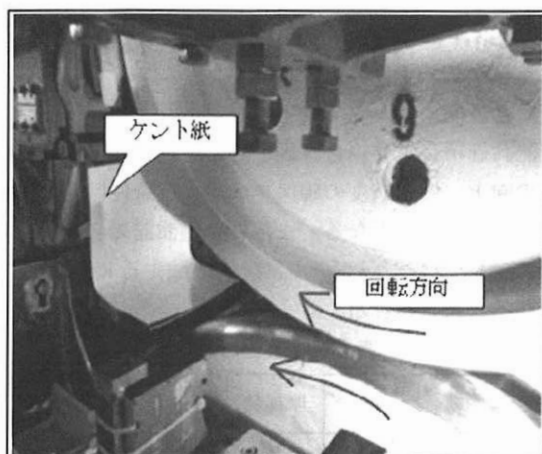


図 2 摩耗粉採取の状況

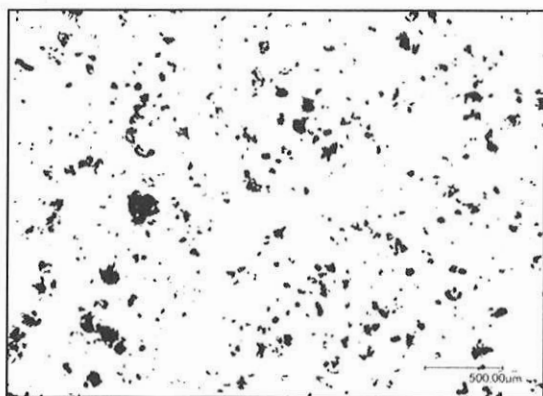


図 3 単位面積あたりの面積占有率の評価

3. 試験結果

3.1 各種潤滑条件における摩耗量

図 4 に横軸を曲率半径の逆数、縦軸に面積占有率 (摩耗量) とした各種潤滑条件における結果を示す。

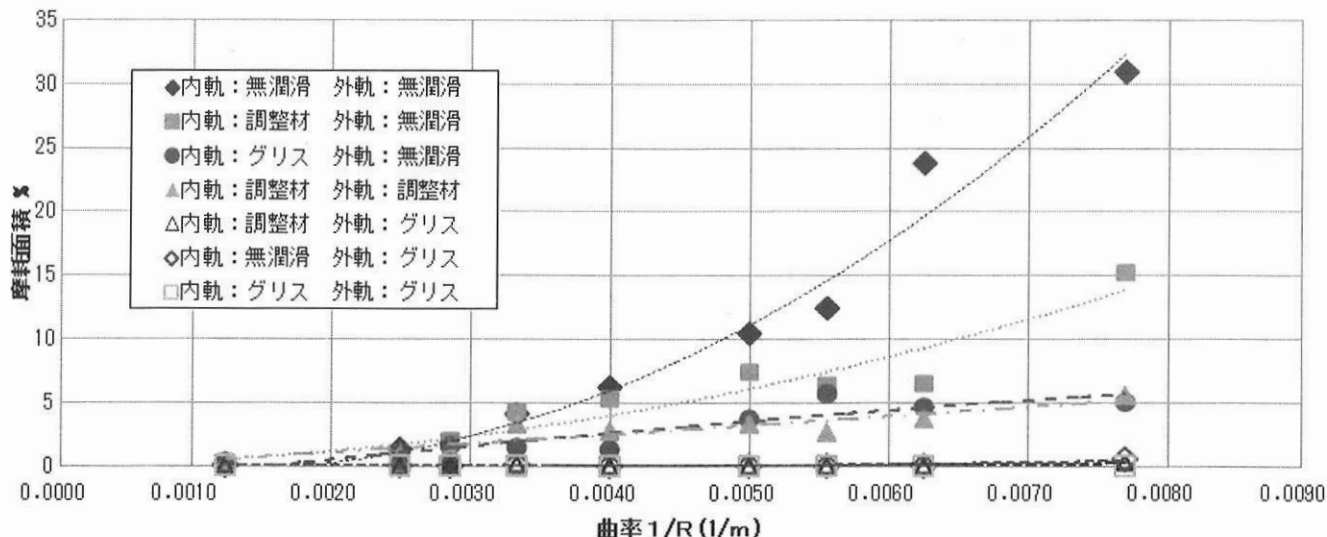


図 4 各種潤滑条件における摩耗量

(1) 無潤滑

全ての条件の中で最も摩耗量が大きく、曲率半径が小さくなるに従い、2 次関数的に摩耗量が増加して行く傾向が認められた。特に R250m 以下の摩耗量が非常に大きい。これは R250m 程度で輪径差の獲得ができなくなり、車輪フランジが軌条輪に幾何的に接触し始めるためと考えられる。

(2) 内軌: 調整材 外軌: 無潤滑

無潤滑の時と同様に曲率半径が小さくなるに従い、摩耗量が増加する傾向にあるが、R130 での摩耗量を無潤滑の条件と比較すると約半分に低減することが出来ている。しかしながら、摩擦調整材の効果が切れると無潤滑条件と同等になるため、フランジ摩耗防止のためには恒常的な摩擦調整材の噴射が必要となる。

(3) 内軌: グリス 外軌: 無潤滑

これまでと同様に曲率半径の減少に従い摩耗量が増加するが R130 での摩耗量は無潤滑と比較し 1/6 程度に低減することが出来ている。(2) の内軌調整材よりも摩耗量を低減できた理由としては内軌 Q/P を極度に下げることによって外軌横圧を下げ、接触力を低減したためであると考えられる。

(4) 内軌: 調整材 外軌: 調整材

内軌グリス、外軌無潤滑の (3) の条件とほぼ同等の結果となった。(2) の内軌のみの摩擦調整材噴射と比較し、さらに横圧を低減しているため、(3) の条件と同等の結果となったと考えられる。しかしながら同条件を作り出すためには摩擦調整材の使用量が倍になるというデメリットがある。

(5) 内軌: 無潤滑 or 調整材 or グリス 外軌: グリス

これまでの状況と異なり、曲率半径が小さくなっても摩耗量が極端に増加することはない。また内軌潤滑がどのような状況であれ、外軌にグリスが介在すると摩耗量としては同様の傾向となり、R130 での摩耗量は無潤滑と比較し 2% 以下という結果となった。

3.2 各種潤滑条件における横圧

図 5 に横軸を曲率半径の逆数、縦軸を外軌横圧としてまとめたものを示す。

グラフを確認すると、内軌に摩擦調整材かグリスが介在している条件下においては曲率半径が小さくとも横圧を 10kN 以下に維持できている。一方で内外軌ともに無潤滑の場合は線形的に横圧が上昇し、R130 においては 18kN となっている。

また特筆すべきは内軌：無潤滑、外軌：グリスの条件である。全ての条件の中で最も横圧が高く、R130 では 21.5kN まで上昇している。これはフランジのど元にグリスを塗ることにより台車の操舵力が低下したため、内外軌無潤滑条件と比較して横圧が増加したものと考えられる。

4. 各種潤滑条件の総合評価

各種潤滑条件下における摩耗量および横圧の状況を表 5 に示す。

4.1 摩耗量

R250 以下においては、どの潤滑条件であっても同様の傾向を示している。簡単のため R130 の曲率半径において比較する。条件 1 の内外軌無潤滑の時の摩耗量を「100」とすると、条件 2 の内軌調整材、外軌無潤滑の時の「49」、条件 3 の内軌グリス、外軌無潤滑の時の「16」、条件 4 の内外軌調整材が「18」となり、条件 5 以降が「2」以下となる。よって表 5 のような評価とした。

摩擦調整材を使用することで無潤滑と比較すると確かに摩耗量を低減することができるが、外軌グリス条件と比較すると、期待通りの低減効果が得られていないことがわかった。このことから摩耗量を低減するためには外軌にグリスによる潤滑が必要であると考えられる。

4.2 走行安全性

走行安全性については条件 1 の内外軌無潤滑と条件 6 の内軌無潤滑、外軌グリスの横圧が相対的に高かったことから評価を「△」とし、それ以下の条件を「○」とした。

4.3 停止精度

東京メトロでは全 9 路線中 5 路線で ATO 運転を、1 路線で TASC 運転をしているため、高い停止精度が求められる。

特に車輪路面にグリスが付着すると一時的に減速度が低下することから停止精度不良を招く。一方、摩擦調整材はすべり率が増加するに従い摩擦係数が増加するポジティブな特性を持つため停止精度不良を招くことはない。よって表 5 の通り条件 3 の内軌グリス、外軌無潤滑を「△」、条件 7 の内外軌グリスを「×」とした。

4.4 総合評価

上記評価項目より総合評価として摩耗量の低減、走行安全性の向上、停止精度の確保を満足する条件は 5 の内軌調整材、外軌グリスとなる。また外軌塗油器の必要な曲率半径は、車輪フランジがレールに幾何接触する R250 以下で必要となると考えられる。

表 5 各項目の評価

条件	内軌	外軌	摩耗量	走行安全性	停止精度	総合判定
1	無潤滑	無潤滑	×	△	○	
2	調整材	無潤滑	△	○	○	
3	グリス	無潤滑	△	○	△	
4	調整材	調整材	△	○	○	
5	調整材	グリス	○	○	○	◎
6	無潤滑	グリス	○	△	○	
7	グリス	グリス	○	○	×	

5. まとめ

本試験結果より、走行安全性の向上と車輪フランジ摩耗の低減を満足する車輪/レール間の潤滑方法は下記の通りとなった。

内軌：摩擦調整材（横圧低減および摩耗防止のため）

外軌：グリス（摩耗防止のため、R250m以下）

今後は本試験より得られた結果を営業線へフィードバックし、フランジ摩耗進展の様子を確認したい。

参 考 文 献

- 1) 留岡 他：営業線における車輪/レール間摩擦制御，鉄道技術連合シンポジウム J-Rail'01 講演論文集 pp. 535-538, 2001.

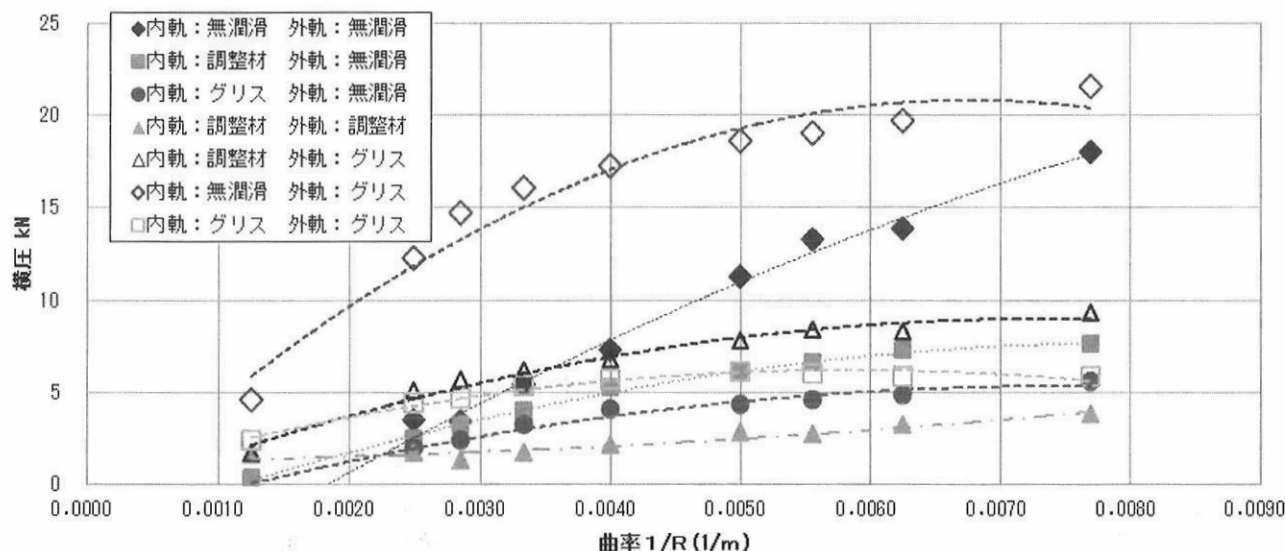


図 5 各種潤滑条件における横圧