

JSCM-2-2. レールと車輪踏面状態が粘着に及ぼす影響

(第 1 報 車輪ロール効果が μ に及ぼす影響に関する基礎実験の結果)

○笠原 純 (金沢工業大学 院) [機・電] 永瀬 和彦 (金沢工業大学)

Effects of rail and wheel tread conditions on adhesion

(1st Report - Results of preliminary experiments on the influence of wheel rolling effect on adhesion coefficient)

Jun Kasahara (Kanazawa Institute of Technology)

Kazuhiko Nagase (Kanazawa Institute of Technology)

It has been generally accepted that the increase in flats corresponds with the running distance after wheel reprofiling. The major cause of the increase in flats has been attributed to the wheel tread surface rolling although the exact cause has not been determined yet. Using the model slipping adhesion test truck and model rails, the authors conducted the experiment to demonstrate the existence of the relation between the adhesion coefficient on wet rails and the changing condition of treads in correspondence with wheel running distance. The results, however, did not confirm the existence of the relation. It is presumed that some unidentified materials originating from the wet rail tread prevented the decrease in adhesion coefficient.

キーワード：鉄道、レール、粘着係数、ロール効果

Keywords: Railway, Rail, Adhesion Coefficient, Surface Rolling

1. はじめに

フラットに関して過去に行われた研究¹⁾によれば、フラットは車輪転削後の走行距離に応じて増加する傾向にあり、その原因は車輪踏面のロール効果が一因であると推定されている。しかし、踏面状態が粘着係数（以下、 μ とする）にどれだけ影響しているかは明らかになっていない。

過去の J-RAIL において、筆者らの研究室では

- ・車輪、レール踏面粗さ
- ・(磨耗粉などの) 介在物
- ・レール温度、相対湿度
- ・散水（と、共に生じる錆）
- ・速度

などの因子が μ に与える影響について報告した。その中で、J-RAIL' 95²⁾では車輪踏面粗さ及び磨耗粉が μ に与える影響について報告した。しかし、この時は乾燥状態の実験であり、「すべり粘着台車」（以下、粘着台車とする）を連続走行させた結果であった。粘着台車は常に滑り走行をするので、車輪やレール踏面が通常の台車と違っていると予想される。

μ の低下が特に問題になるのは降雨初期³⁾に汚れたレール踏面上に水が介在する場合である。これを踏まえ、多様な散水条件の下での実験結果について過去の J-RAIL^{4) 5)}で発表してきたが、散水と共に生じる錆が μ に与える影響が大きく、散水状態での車輪・レール踏面粗さの変化は μ に

どのような影響を与えているかの評価は困難であった。

本件では実験方法を再検討し、レール散水時に列車走行回数の増加に応じて変化するレール踏面が μ に与える影響について報告する。なお、レール踏面に変化を与えるための手法として、普通台車(T 車)を走行させる方法をとった。

2. 実験装置

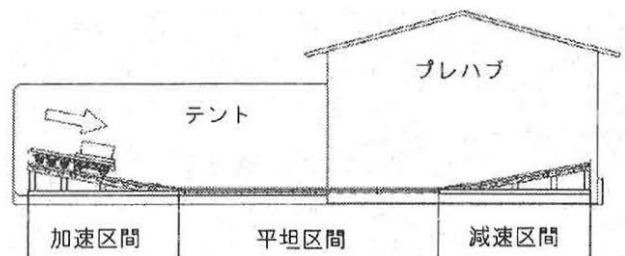


図 1 実験設備

実験には図 1 に示すように、過去と同様の 6kg レール (JIS E1103) による実車の 1/5 スケールである軌道（全長 22.75m）を用いる。軌道の両端には加速・減速を行う角度 10° の勾配区間があり、間にある平坦区間との接続部分には縦緩和レールを設置している。平坦区間の一部区間には、レール踏面より 1.9m の高さから 1 時間あたり 60mm の降水量に相当する水を噴霧できる散水設備を設置した。

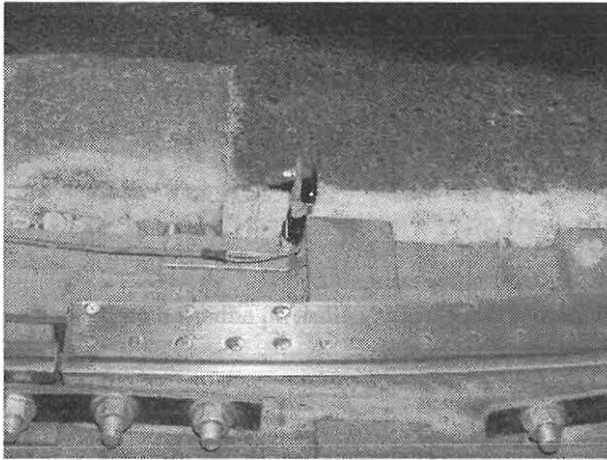


図2 位置検知器 (フォトインタラプタ)

実験車両も過去と同様のボギー構造である。進行方向に対しての先頭台車に粘着台車を用いているが、今回の実験では、先頭台車用に実車のトレーラー車と同じ構造である台車（以下、T車とする）も用意した。

なお、過去の実験において、距離情報は車軸に取り付けられたロータリーエンコーダの回転数情報を無線伝送して得ていた。無線伝送の送受信状態より、得られる距離情報には若干の誤差が発生する事があった。今回の実験では、 μ を知りたい特定地点のレール脇にはフォトインタラプタ（図2）を設置した。このセンサが反応した時の μ を記録し、走行回数を重ねる事によって移り変わる μ を確実に把握できるようになった。

3. 実験方法

実験方法を表1に示す

表1 実験方法（共通）

実験 順序	実験内容	走行させる 車両とレール の状態	計測 内容	走行回数
①	実験準備 #60→#180のサンドペーパーで研磨した後、 アサヒクリンを用いて脱脂洗浄する			
②	μ 変化計測	粘着台車走行 (乾燥)	μ 測定	1～15 往復
③	レール路面 ロール効果 の創造	普通台車走行 (乾燥)	なし	指定回数 (0,50,100, 200 往復)
④	ロール効果 確認	粘着台車走行 (一部区間散水)	μ 測定	1 往復

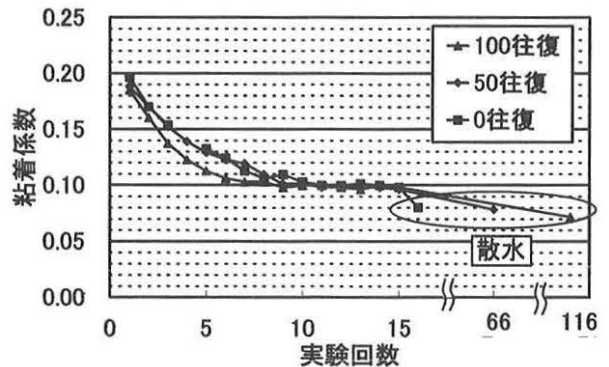


図3 各実験条件における粘着係数の変化
(散水地点、T車走行回数 0・50・100 往復)

- ① レール路面の粗さが μ に及ぼす影響を定量評価するために、路面粗さ以外の実験条件は極力揃える事とした。実験の下準備として、まず#60のサンドペーパーで車輪・レール路面を下磨きする。次に#180のサンドペーパーで仕上げ磨きした後、アサヒクリン（アセトン代替品）を用いて念入りに脱脂洗浄した。
 - ② 乾燥状態で粘着台車を15往復させ、 μ を測定する。この15往復によって車輪とレール路面がなじみ、 μ が安定する。ここまでする実験の基本条件とする。
 - ③ 粘着台車をT車に組み替え、レール路面にロール効果を生じさせるため、指定した回数を往復させる。
 - ④ 再びT車を粘着台車に切り替え、車輪・レール路面をアサヒクリンで清掃する。その後、レールに4秒間散水した後に粘着台車を走行させて μ を測定する。散水前に路面を清掃する事により、磨耗粉などの介在物による影響を排除した。また、散水直後に粘着台車を走行させて μ を測定することにより、散水時に発生する錆の影響を出来る限り排除した。
- ②の15回目と④の μ を比較する事により、指定回数だけT車が走行したことによるロール効果が μ にどのような影響を与えているか評価する。

4. 実験結果と考察

【その1 レール路面のロール効果が μ に及ぼす影響】

図3は同じ日にT車の走行回数を0、50、100往復と計3セット変化させて行った実験結果である。同一条件である最初の15往復では、3セットともほぼ同じ μ の変移を示し、結果からもほぼ同じ条件で実験が行われている事を示している。

次に、散水有無による変化を見てみると、3セットとも散水後に μ が低下している事がわかる。しかし、その μ の減少量は0、50往復でも変わらず、100往復ではより μ が低下していた。この結果は、 μ 測定のための粘着台車走行す

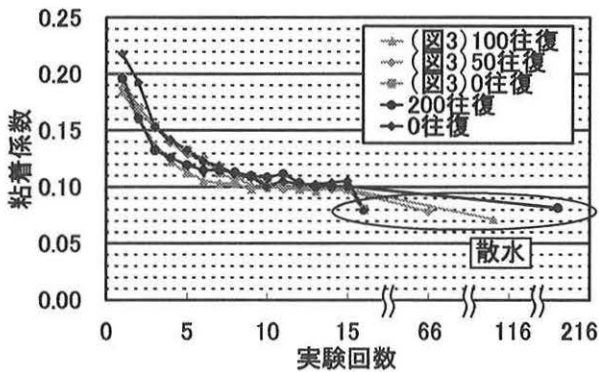


図 4 各実験条件における粘着係数の変化
(散水地点、図 3 に T 車走行回数 0・200 往復を追加)

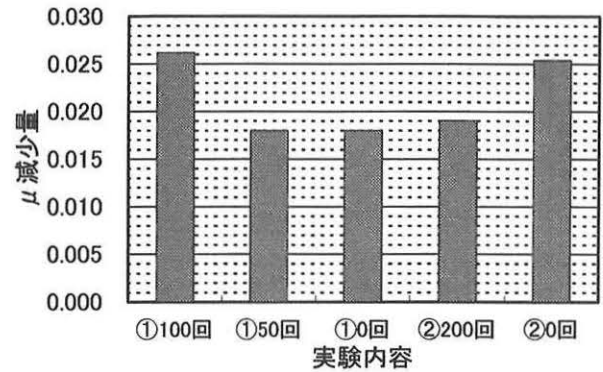


図 5 各実験条件での散水による μ 減少量
(散水地点、散水前は介在物あり)

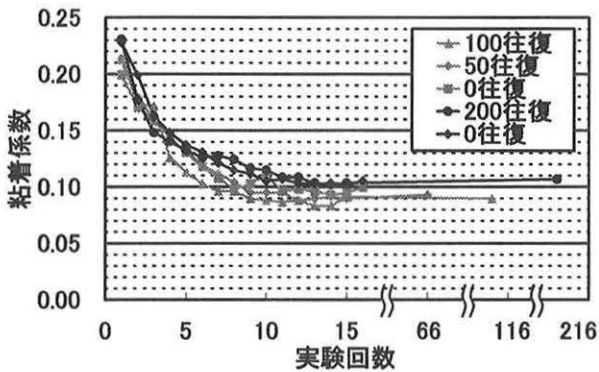


図 6 各実験条件における粘着係数の変化
(乾燥区間、T 車走行回数 0・50・100・200 往復)

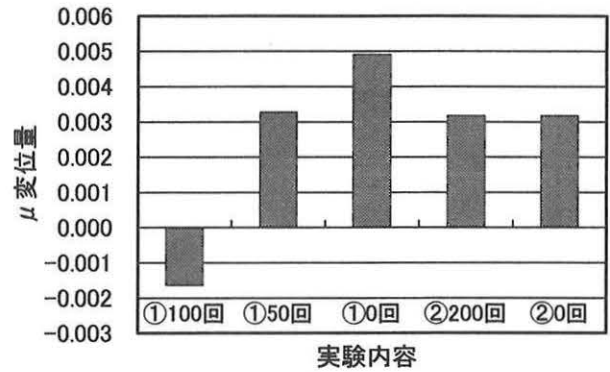


図 7 各実験条件での介在物排除による μ 変位量
(乾燥地点)

る間に数多くの T 車が走行し、レール踏面のロール効果が進む事によって μ が低下したとも考えられる。

この傾向を更に確認する為、別の日に T 車の走行回数を 200、0 往復させた後に μ を測定する実験を行った。先ほどの図 3 と合わせた結果を図 4 に示す。最初の乾燥状態における粘着台車 15 往復は、前の実験と同じ μ の変移を示した。しかし、散水後の μ の減少量は先の結果とは異なり、T 車をあまり走らせない状態より T 車を多く走らせた状態の μ が高かった。

図 5 に粘着台車の走行回数と μ との関係を示す。同一条件でも散水時の μ の減少量には差があり、その差は T 車の走行回数に応じたものとはなっていない。これは実験で排除しきれなかった何らかの外乱因子による影響が、レール踏面のロール効果よりも大きかった事を意味している。

【その 2 磨耗粉 (他、介在物) が μ に及ぼす影響】

この実験では、ある特定地点において散水を行う前後 μ を計測した。散水後の μ 測定は車輪・レール踏面を清拭し、磨耗粉などの介在物の影響を排除した下で行っている。一方、散水前の μ 測定では最初の乾燥状態における粘着台車 15 往復分の磨耗粉が車輪・レール間に付着していると考えられる。前項の散水によって変化した μ の減少量のうち、

粘着台車のすべり走行によって発生した磨耗粉などの介在物が μ に及ぼす影響を検証する。

図 6 は先ほどと同じ実験データから、散水を行わない区間における μ の変化である。図 4 の散水を行う区間と同様に、最初の 15 往復では μ はほぼ同じ変移を示している。

図 7 は磨耗粉を拭く前後における同一地点での μ の変化量である。どの実験も変位量が 0.01 以下であり、最初の粘着台車による 15 往復で生じた磨耗粉は μ の変移にほとんど影響を与えなかった事がわかる。この磨耗粉による μ 変化が散水地点でも同じように発生していると仮定し、先ほどの散水前後における μ の減少量に磨耗粉による影響を補正する事にした。その結果を図 8 に示す。この結果からもレール側のロール効果と μ 減少量の関係を見いだす事はできなかった。

ただ、冒頭に述べた実車では走行距離に応じて μ が低下し、フラット発生率が増加するとの研究結果は車輪踏面のロール効果が μ に及ぼす影響を論じたものである。ところが、今回の実験ではレール側のロール効果が μ に及ぼす影響を見ている点で相違がある。また、実車で車輪削正後に踏面にロール効果が発生し、 μ 低下が起きるまでの走行距離は鉄道によって見解は多様に異なるものの、おおむね 10 万 km 前後と言われている。¹⁾ この走行距離は、車輪が約

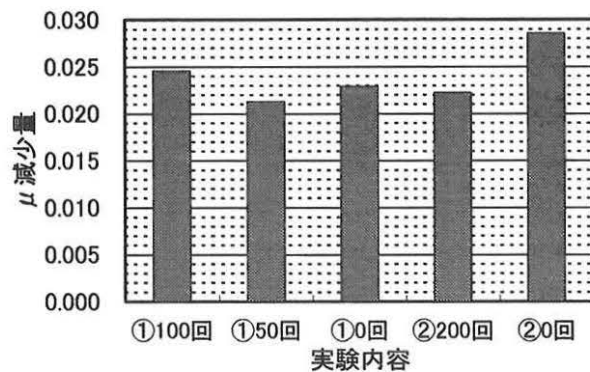


図 8 散水による μ の減少量 (介在物なし)

3000 万回程度レールと接触した状態を論じていることになる。一方、今回の実験では普通台車が 100 往復した場合、レール踏面は 800 回のロール掛けを、車輪は約 4700 回転のロール掛けを行つたに過ぎず、実車の状況に遠く及ばない。この桁違いな走行距離差も、踏面が μ に及ぼす影響を評価できない要因の 1 つであった可能性がある。

5. 結論

レール踏面のロール効果による平滑化が μ に及ぼす影響を定量評価するため、乾燥レールの下で粘着台車を連続走行させてレール及び車輪踏面が安定した状態に達した後、走行回数を変えながらトレーラー台車を通過させた後の湿潤レールの μ を計測した結果、以下のような事がわかった。

- ・ レールと車輪踏面に介在する錆及び介在物などを可能な限り排除した状態の下では、湿潤レールの μ は乾燥レールよりも低い値をとる。
- ・ 800 回程度輪軸を通過させる事によって生ずるロール効果と、これに伴う μ の低下現象は、今回の実験では確認できなかった。
- ・ 前記の結果を踏まえれば、些少なレール踏面の平滑化によって生ずる μ の低下を阻止する因子がレール踏面に存在する可能性がある。

6. 今後の課題

今回報告した実験では、踏面のロール効果を見るには走行距離が不足している可能性が考えられた。現在の実験設備ではレール・車輪とも数万 km を走行するような試験は考慮されていない。踏面が μ に与える影響を評価するには、長距離走行を再現できる設備を整える必要がある。

ただ、長距離の走行では JIS に基づく平均踏面粗さ Ra が一定の低さに落ち着くが、 μ は変動を続ける事が過去の報告等⁶⁾で明らかになっている。また、見た目と違う表面状態でも Ra はほぼ同じ値となる¹⁾事象も確認されており、Ra で表面粗さを評価する事は適当でない、との意見もある。よ

って、長距離走行時の踏面状態を評価するには、Ra 以外の評価方法を確立する必要がある。

今回報告した実験結果は、乾燥時で安定した μ が 0.1 であり、本線に比べても低い値であった。このような全体的に μ の絶対値が低い傾向を示し始めたのは最近であり、現在その原因を追究中である。同じ実験条件で生じた μ の差異についても、影響している外乱因子を解明し、排除あるいは定量化評価をしなければいけない。以上が今後の課題である。

【参考文献】

- 1) 車輪フラット対策委員会：平成 2 年度 車輪とレール間の滑りによる車輪踏面の損傷防止に関する研究委員会 (1990)
- 2) 林攻、野村俊明、永瀬和彦：鉄道車両のレール・車輪間の粘着に関する研究、平成 7 年鉄道技術連合シンポジウム(J-RAIL'95)、pp165-168
- 3) 永瀬和彦：本線上におけるレール・車輪間の粘着の実態、日本機械学会論文集、第 504 号 C 編、抜刷、pp1852-1860
- 4) 東真一、若林雄介、平間淳司、永瀬和彦：降雨量が粘着係数に及ぼす影響—模型のすべり粘着台車による常温・低速時の実験結果—、第 8 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集(J-RAIL'01)、pp545-548
- 5) 東真一、若林雄介、平間淳司、永瀬和彦：降雨量が粘着係数に及ぼす影響 (第 2 報)、第 9 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集(J-RAIL'02)、pp491-494
- 6) 若林雄介、東真一、平間淳司、永瀬和彦：レール上の介在物が粘着係数の速度依存性に及ぼす影響、第 7 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集(J-RAIL2000)、pp79-82