

境界条件による車輪・レール摩耗への影響に関する実験的研究

(第1報 摩耗面状態への影響)

○ 森本 祐也 (上智大学)

[機] 曄道 佳明 (上智大学)

[土] 佐藤 安弘

[機] 森 裕貴 (交通安全環境研究所)

[機] 陸 康思

高橋 克之 (住友金属テクノロジー)

Experimental Study on Rail/Wheel wear

(1st report, The Influence of Contact Condition on Wear Surface)

○ Yuya Morimoto,

Yoshiaki Terumichi, (Sophia University)

Yasuhiro Sato,

Hiroataka Mori, (National Traffic Safety & Environment Laboratory)

Yasushi Oka,

Katsuyuki Takahashi, (Sumitomo Metal Technology)

The wear character of railway wheel and rail effected by contact conditions such as coefficient of friction or curvature of track is a very important factor theoretically or industrially. Unfortunately, this factor has not been clarified due to the difficulty of research condition. By using 1/5 scaled rolling stock test stand which composed of wheelset and roller rigs, experiments with different coefficients of friction and curve conditions are conducted. Together with contact force and wear quantity, wear surface conditions are also recorded. In this paper, the observation results of contact surface influenced by track curvature, coefficient of friction and travel distance will be reported.

キーワード：鉄道車輪，レール，摩耗，接触，境界条件，形状

Key Words : wheel, rail, wear, contact, boundary condition, surface

1. 緒言

鉄道のレールや車輪の摩耗はメンテナンスや走行安全性に関わり、特に曲線の多い都市内路線にとっては、曲線通過時における騒音や横圧の増加といった課題への効果的な対策が求められている。実際の鉄道レールの摩耗例を図1に示す。摩耗による車輪の寿命を推定する方法としては、実車両による実験、模型試験機による実験、摩耗則に基づく数値シミュレーションなどが考えられる。実車両による実験については、実験路線の環境に結果が影響されやすく、特定条件下での実験となるため、一般的な評価が得られにくい。また数値シミュレーションによる推定については、従来研究が行われているものの、車輪の摩耗に影響する因子が多岐にわたるため、推定が難しい課題である。そこで、摩耗影響因子を制御しやすく、様々なパラメータを系統的に変更できる1/5スケール実験機を用いて、車輪摩耗特性を検証するための実験を行った。

本研究では、レール/車輪境界条件が乾燥 (DRY) 条件である場合と、摩擦調整材 (Friction Modifier, 以下 FM と略記) を塗布した条件において、走行する線形の曲率半径、摩擦係数および通過トン数が表面組織に与える影響について評価を行ったので報告する。

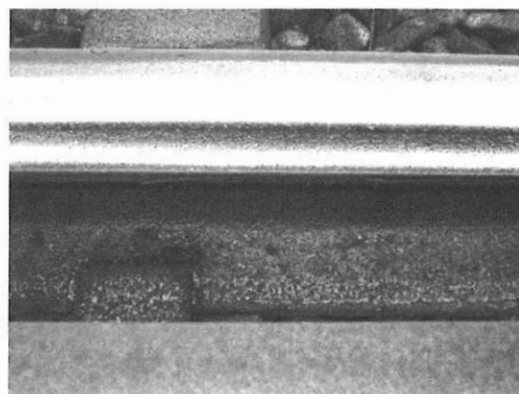


Fig.1 The example of wear on rail¹⁾

2. 実験機及び実験の概要

2.1 実験機概要

(1) 1/5 スケール回転式実験機概要

本実験は1/5スケール回転式実験機¹⁾を用いて行った(図2)。この実験機は一輪軸と軌条輪で構成されており、レールに相当する軌条輪は、モータによって左右独立に駆動でき、軌条輪に輪軸が従動する。曲線における内外軌走行経路差は左右のモータを異なる回転数で駆動することによって模擬する。また、軌条輪側ユニットを台座に対して回転させることで、アタック角を付与することができる。実験機の詳細を図3に示す。

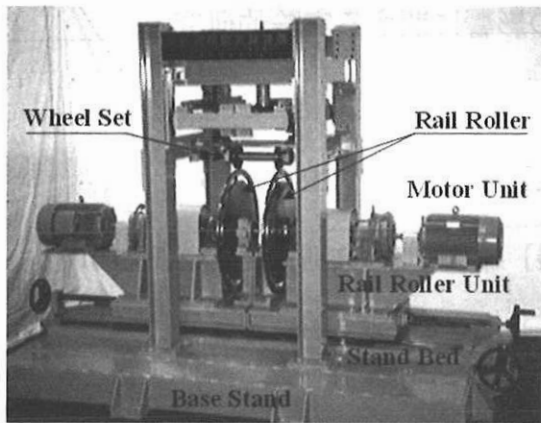
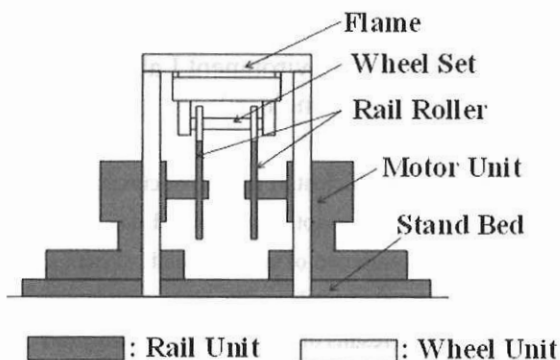
Fig. 2 Major parts of scaled roller stand¹⁾

Fig. 3 Rail unit and roller unit

(2) 1/5 スケール回転式実験機の諸元

本実験機の車輪、軌条輪、駆動系の諸元を以下に示す。

- ・車輪 踏面形状：標準円錐車輪踏面 (1/5 縮尺)
車輪直径：172mm
勾配：1/20
材質：S45C
- ・軌条輪 頭頂面形状：JIS50kgN レール (1/5 縮尺)
軌条輪直径：860mm
タイプレート：1/40 勾配付き
材質：SSW-Q1
- ・駆動系 駆動方法：ベクトル制御 AC モータによる
左右軌条輪独立駆動
形式：MVK6167C-C
最高回転数：312.5rpm
減衰機：サイクロ減衰機 1/8
回転数精度：0.03125rpm
最大トルク：700Nm

2.2 実験条件

本実験は、以下の条件で行った。

FM は LCF (Low Coefficient Friction) と HPF (High Positive Friction) の 2 種類を用いた。LCF は摩擦係数が低く、車輪フランジ接触音低減および摩耗量を低減するため車輪フランジやレール側面に使用されている。一方、HPF はトラクションがかかるように適当な摩擦係数に設定されており、きしり音、横圧の低減およびレール波状摩耗、空転、滑走を防止する目的で車輪踏面に使用されている。

線形とレール/車輪境界条件の組み合わせ、車輪表面の撮影間隔を表 1 に示す。ただし本実験の通過トン数は実車両の通過トン数で換算している。また本実験では線形や境界条件による摩耗への影響を調べるため、曲線走行時にフランジが接触する外軌の車輪のみを評価の対象とする。そのため内軌側の車輪では実験の妨げとなる摩耗が発生しないように、内軌側の軌条輪には全ての条件下において HPF を塗布する。

輪重：2800N (実輪重 70000N に相当)

軌間：287mm (標準軌 1435mm に相当)

線形：1) 直線

2) 曲線半径 300m (以下 R300 と略記)

3) 曲線半径 100m (以下 R100 と略記)

※アタック角は R300 で 1.2deg, R100 で 0.4deg

軸間距離 2.1m 相当

レール/車輪境界条件：

1) 自然乾燥条件 (以下 DRY 条件と略記)

2) FM 塗布条件 (以下 LCF 条件又は HPF 条件と略記)

Table 1 Experimental condition

Experiment name	Radius of curvature [m]	Boundary condition		Measure ment interval (mega ton)
		Outside rail	Inside rail	
Straight-HPF	Straight	HPF	HPF	2
Straight-DRY		DRY	HPF	2
R300-LCF	R300	LCF	HPF	1
R300-DRY		DRY	HPF	0.5
R100-LCF	R100	LCF	HPF	1
R100-DRY		DRY	HPF	1

2.3 実験の概要

曲率半径、摩擦係数および通過トン数が車輪接触箇所の表面組織に与える影響について評価を行うため、車輪の表面をマイクロ스코プで撮影した。撮影の様子を図 4 に示す。撮影は倍率 25 倍で行った。撮影スポットを図 5 に示し、図中の枠で囲った部分が撮影例の図 6 に対応する。図 6 中の白線は車輪の表面形状を表しており、図の右側がフランジトップであり、図の左側が車輪の踏面である。



Fig. 4 Measurement situation

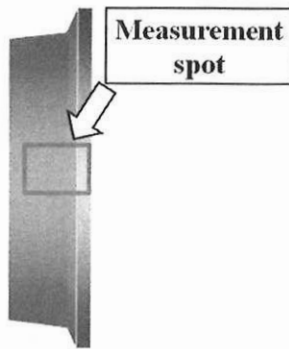


Fig. 5 Measurement spot

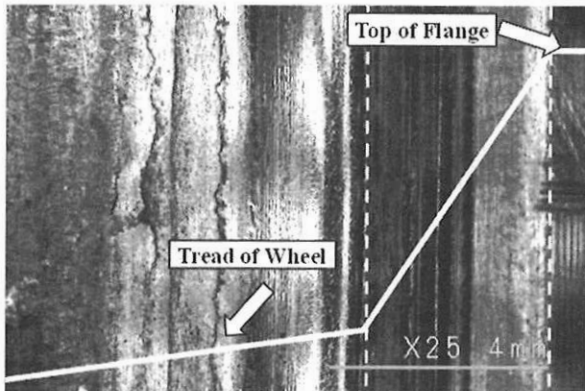


Fig. 6 Measurement example

3. 実験結果

3.1 曲率半径が与える影響

(1) 接触位置への影響

Straight-DRY を図 7 に, R300-DRY を図 8 に, R100-DRY を図 9 に示し, 接触の位置, 表面組織について評価を行う。

Straight-DRY の場合, 接触の位置が車輪踏面にあることがわかる。一方, R300-DRY, R100-DRY の曲線の場合では接触位置がフランジトップ方向に移動している。これは曲線走行を模擬し, アタック角が存在したことによって, 横クリープ力が発生したためである。

(2) 表面組織への影響

Straight-DRY では, 接触面内に摩耗粉は確認されなかった。表面の荒れは激しくなく, 凝着摩耗によって産出された摩耗粉は少なかったためマイルド摩耗であると考えられる²⁾。

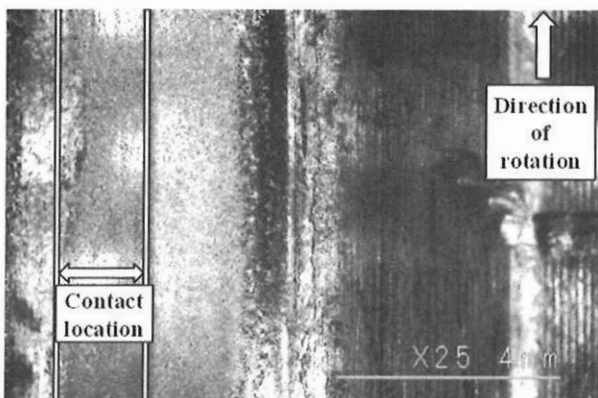


Fig. 7 Straight-DRY (5mega ton)

一方, R300-DRY, R100-DRY の曲率半径が小さい場合には摩耗粉が産出されていることが確認された。R300-DRY では, フランジ喉部付近の摩耗粉や車輪の横クリープ力によって押し出された摩耗粉が確認された。

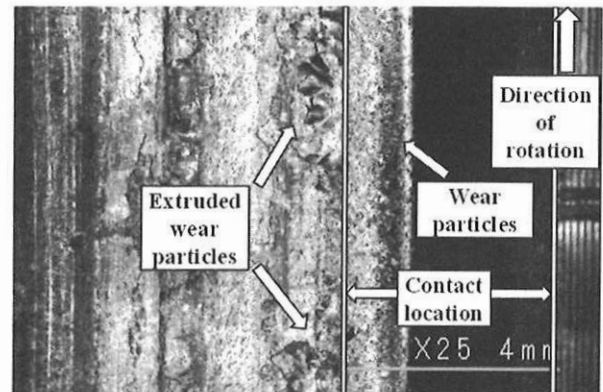


Fig. 8 R300-DRY (5mega ton)

R100-DRY では, 筋状に摩耗粉はく離し, R300 に比べて大きな摩耗粉が産出されている。また表面の荒れが激しいためシビア摩耗が発生していると考えられる。曲率半径が小さく, 円周方向の接線力が高い状態を保ったために, 摩耗粉は円周方向と平行にはく離している。R300-DRY に比べて R100-DRY では, 横クリープ力の影響より円周方向の接線力の影響が大きいこともわかる。

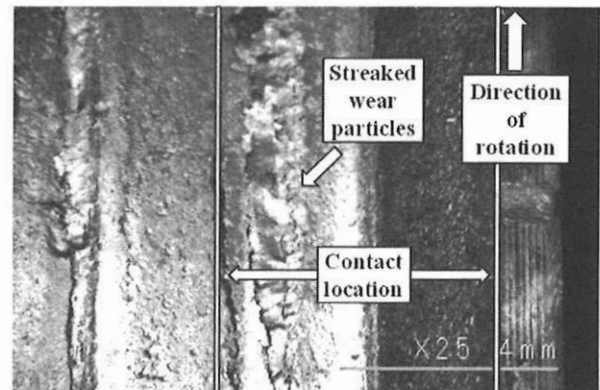


Fig. 9 R100-DRY (5mega ton)

Straight-DRY, R300-DRY, R100-DRY の境界条件は全て DRY であったが, 曲率半径が小さくなることで接触位置がフランジトップ方向に移動すること, 曲率半径が小さくなるほど表面の荒れが激しくなることを確認できた。

3.2 摩擦係数が与える影響

実験番号 R300-LCF を図 10 に, R300-DRY を図 11 に示し, 表面組織について評価を行った。

R300-LCF では, フランジ喉部付近の車輪踏面において, 小さな斑点状にはく離した跡が確認される。また反フランジ方向に車輪によって押し出された摩耗粉がわずかに確認された。しかし産出された摩耗粉が少なかったため, 車輪踏面の表面には光沢が確認された。以上より凝着摩耗によって, はく離は起こしているが, 摩耗粉は少なく, 表面の荒れは激しくないためマイルド摩耗であると考えられる。

一方 R300-DRY では, R300-LCF に比べて摩耗粉が多く,

表面の荒れは激しいことが確認された。また、図 8 の通過トン数 5mega ton と同様に、車輪の横クリープ力によって反フランジ方向に押し出された摩耗粉が確認された。押し出された摩耗粉を R300-LCF と比べても R300-DRY の方が大きい摩耗粉を産出していることがわかる。

R300-LCF, R300-DRY の曲率半径は共に R300 であったが、LCF を塗布することによって表面の荒れを抑えることができることがわかった。

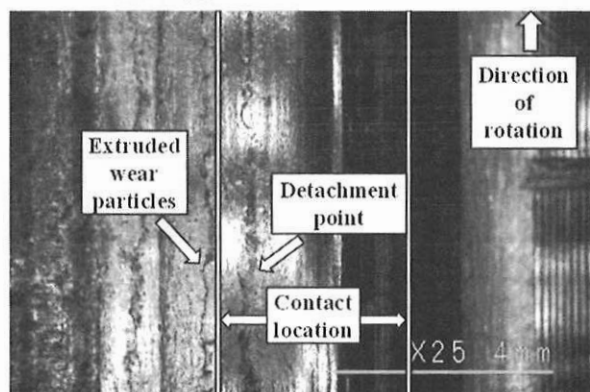


Fig. 10 R300-LCF (15mega ton)

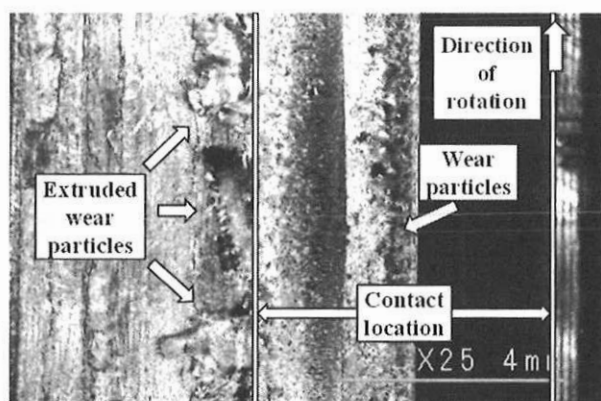


Fig. 11 R300-DRY (15mega ton)

3.3 通過トン数と摩耗形態の関係

R300-DRY の通過トン数 5.5mega ton を図 12 に、通過トン数 7mega ton を図 13 に示す。

全ての条件において、通過トン数が増えることによる摩耗形態の変化はなかった。しかし接触範囲内で摩耗粉の堆積物が産出され、車輪と軌条輪によって踏み潰される過程を確認することができた。フランジが削られることによって車輪の接触位置がフランジ方向に移動する。また接触範囲内で産出された摩耗粉が車輪の横クリープ力によって、反フランジ方向に押し出される。そのため図 12 に示した摩耗粉は図 13 においては左の摩耗粉の位置に存在することが分かる。また図 13 の右側にはまた新たな摩耗粉の堆積物が産出されたことが分かる。また図 13 の中央には車輪の接触によって摩耗粉が踏み潰された形跡がある。このように摩耗粉の堆積物が産出され、車輪と軌条輪によって踏み潰される過程を繰り返すことが確認された。また R300-DRY, R100-DRY では、産出された摩耗粉が大きかったため、本実験において、その摩耗粉により車輪が上下運動すること

も確認された。凝着摩耗によって摩耗粉が産出される限り、車輪が上下運動することは必然であることがわかった³⁾。

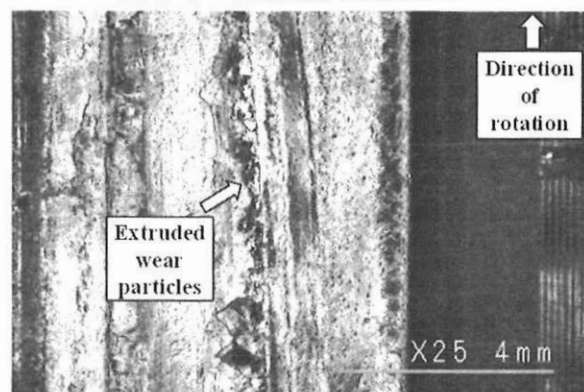


Fig. 12 R300-DRY (5.5mega ton)

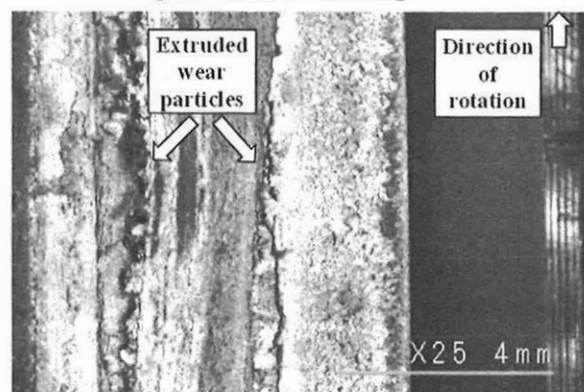


Fig. 13 R300-DRY (7mega ton)

4. 結言

本実験において曲率半径、レール／車輪境界条件が摩耗形態に与える影響について模型実験機を用いて評価を行った。

曲率半径が小さくなるほど、産出された摩耗粉は大きく、摩擦された表面の荒れは激しくなった。

境界条件が摩耗形態に与える影響として、R300-DRY, R100-DRY の表面の荒れは激しかったが、摩擦調整材 LCF を塗布することによって、両線形において表面の荒れを抑えることができた。

今後の課題として、多くの実験データを収集し、どの曲率半径からシビア摩耗が発生するかを明らかにし、縦クリープ率、横クリープ率がどのように表面状態に影響するか検討することによって、車輪寿命を適切に管理し、走行安全性に貢献できると考えられる。また車輪の接触位置や摩耗形態から最適な車輪形状を検討することも今後の課題である。

参考文献

- 1) Matsumoto A, Sato Y, Ono H, Wang Y, Yamamoto M, Tanimoto M and Oka Y : Creep Force Characteristics Between Rail and Wheel on Scaled Model, WEAR, Vol. 253, No. 1, pp199-203, 2002.
- 2) 山田雄二: トライボロジー, pp. 190-212, 中央印刷, 1998.
- 3) 笹田直: 摩耗, pp. 24, 養賢堂, 2008.