

S8-3-4. 修正円弧踏面とレールの相互摩耗による車輪半径差特性調査

○角井 真哉 五十川 敬司 真野 辰哉 (西日本旅客鉄道株式会社)

Investigation in characteristics of the difference in radius between two wheels in one axle by mutual wear of "Modified arc wheel profile" and a rail  
Shinya KAKUI, Keiji ISOGAWA, Tatsuya MANO (West Japan Railway Company)

From the viewpoint of vehicle dynamics, it is important to grasp the change of curving performance and running stability resulting from the wear of wheel tread and rail. This time, for the purpose of developing a new wheel tread shape further optimized based on "Modified arc wheel profile", it investigated the change of the characteristics of difference in radius between two wheels in one axle with mutual wear of wheel tread and rail. This paper shows the outline of our investigations.

キーワード：修正円弧踏面、車輪半径差、車輪／レール摩耗、曲線通過性能、走行安定性

Keywords: Modified arc wheel profile, Difference in radius between two wheels, Wheel/rail wear  
Curving performance, Running stability

1. はじめに

車輪／レールの境界に関する諸問題には摩耗をはじめとし様々なものがあるが、これらの改善については、「形状」「材質（熱処理含む）」「摩擦」「質量」「構造」等、これらの見直しや新設計によるアプローチも多種多様である。

この中から、境界問題に対する取り組みとして平成 14 年頃より幾何形状面からみた改善に取り組んでおり、過去 1 年半にわたり、在来線の修正円弧踏面についてその摩耗傾向を調査してきた。また、あわせて相互に摩耗する関係にあるレールに対してもその摩耗傾向調査をおこない、これらと実測した摩耗踏面形状を組み合わせるによりその接触状態を調査してきた。

しかし、車両運動の観点から摩耗した車輪やレールでの「曲線通過性能」や「走行安定性」を評価するためには、レールに対して車輪が連続的に移動した場合の特性曲線（車輪半径差や接触勾配）等を把握し、初期形状に対してこれらがどう変化したかを把握することも重要である。

今回、修正円弧踏面をベースとして更に最適化された踏面形状の開発を行うことを目標に、摩耗を加味した踏面形状とレール断面の幾何学的な接触シミュレーション評価を行い、相互の摩耗により走行性能がどう変化しているのかを調査した。その結果の概要について報告する。

なお、JR 西日本の在来線車両については、平成 5 年頃より旅客車全般（電車、気動車、客車）に対し修正円弧踏面の採用を開始し、現在では機関車を除き全てこの踏面形状を採用している。

2. これまでの取り組みの流れ

車輪踏面に関するこれまで取り組みの流れを図 1 に示す。概要としてはまず「修正円弧踏面」および「50kgN、60kg レール」それぞれの摩耗傾向を把握し、その後、それらを組み合わせることによりその接触位置や、急曲線での地上 PQ 測定による車輪転削後の走行距離と横圧の関係等について調査を行ってきた。(1)(2)

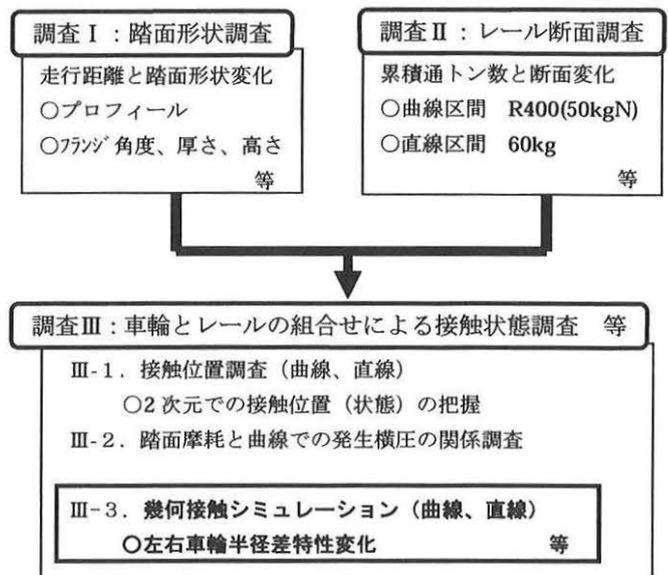


図 1 これまでの調査の流れ

今回は、調査フローの最後にあたる調査Ⅲ-3の幾何接触シミュレーション結果について以下に報告する。

### 3. 幾何接触シミュレーションについて

冒頭で述べたように、「曲線通過性能」や「走行安定性」といった車両運動の観点から摩耗した車輪やレールの形状を評価するためには、これまでの調査で行ってきた静的な接触状態の確認だけでは不十分であり、輪軸の連続的な動きに対する特性評価が必要になる。

これらの評価を行うために従来から用いられている手法の一つとして、輪軸がレールに対して連続的に左右変位した時の左右車輪の半径差特性により評価する方法がある。このグラフにより以下の点について、その走行特性を概ね把握することができる。

- ①曲線通過性能：フランジ接触までに得られる車輪半径差
- ②走行安定性：中立位置近傍での半径差グラフの勾配  
(等価勾配の定義はその 1/2)

この車輪半径差特性グラフの例として、新品の 60kg レールに対して、これまで在来線旅客車で使用してきた「基本踏面」「円弧踏面」「修正円弧踏面」の特性を図 2 に示す。

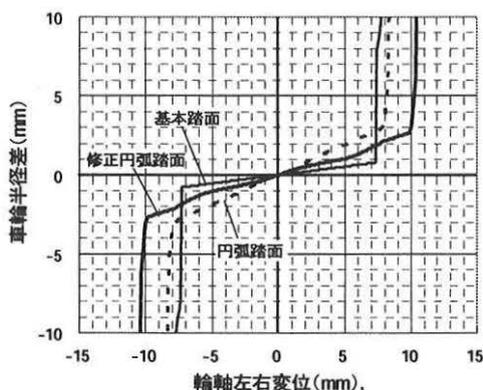


図 2 在来線踏面形状の車輪半径差特性 (対 60kg レール)

グラフの x 軸の原点はレールに対する輪軸の中立位置を示し、いずれの踏面形状も踏面勾配を有するため輪軸が左右に移動することにより左右半径差が次第に大きくなる。また左右変位の途中で急激に半径差が大きくなる折れ曲がりがあるが、これはフランジのど元での接触が始まったことを意味する。

このグラフより、フランジ接触までに得られる車輪半径差は円弧踏面が最も大きく、続いて修正円弧、基本踏面の順になっている。また、中立位置近傍でのグラフの傾きも同様である。このことより、新品の 60kg レールに対する曲線通過性能は円弧踏面が、逆に走行安定性は基本踏面が最も優れており、現在ベースとしている修正円弧踏面はいずれに対してもその間の特性を有していることがわかる。

### <3.1>シミュレーションのモデルについて

今回のシミュレーションの主たる目的は、修正円弧踏面が摩耗することにより、新品または摩耗レールに対してどのように輪軸の走行性能が変化しているかを調査することである。シミュレーションで採用した車輪踏面およびレール断面の実測摩耗モデルを以下に示す。

#### (1)車輪踏面の摩耗モデル

シミュレーションモデルとして採用した実測の摩耗踏面については、走行線区の異なる 3 形式の車両から採取した多数の摩耗踏面の中から以下の点を考慮して選定した。

- ①60kg レール、50kgN レールの双方の区間を走行していること。
- ②R300～R400 クラスの急曲線のある程度の割合で含む線区を走行していること。
- ③操舵等の特殊な台車構造を有していないこと。
- ④踏面ブレーキによる形状変化の影響が小さいこと。

以上のことを考慮して車両形式を決定し、「初期踏面」および「12 万<sup>\*</sup>走行」「24 万<sup>\*</sup>走行」相当の実測摩耗踏面の 3 種類の踏面形状を選定した。形状を図 3 に示す。

シミュレーション時には、この摩耗形状の 1 位と 2 位の車輪を左右の車輪に割り当て、計算を行っている。

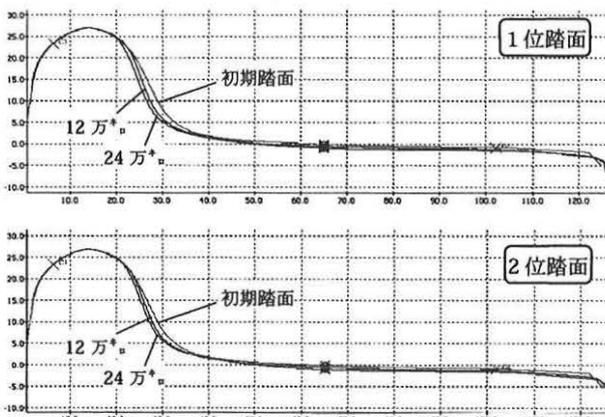


図 3 シミュレーションで使用した摩耗踏面形状

#### (2)レール断面の摩耗モデル

シミュレーションのモデルとして採用した実測のレール摩耗形状については、曲線検討用と直線検討用にわけ、以下のとおりとした。

##### ①曲線部

R400、50kgN レール区間でレール研削実績のない実測摩耗形状をモデルとし、「初期形状」および累積通トン数が「約 3300 万 ton」「約 6800 万 ton」相当の 3 種類とした。使用した摩耗形状を図 4 に示す。

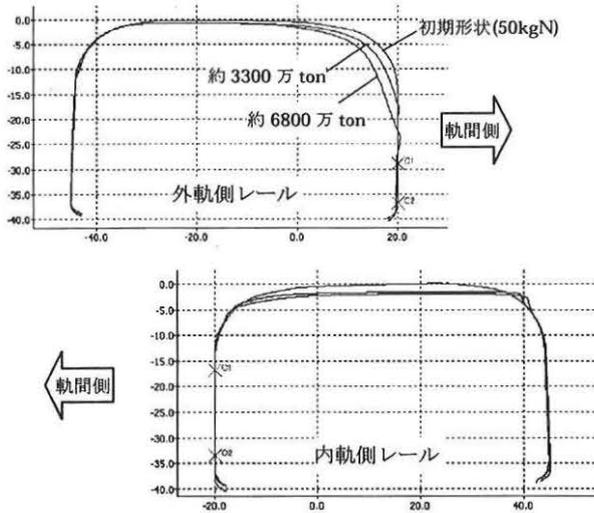


図4 シミュレーションで使した曲線摩耗レール(50kgN)

②直線部

新品のレールでは、一般的に 50kgN よりも 60kg レールの方が蛇行動安定性に対しては不利となることから、直線区間の検討対象としては 60kg レールを選定した。直線区間でレール研削実績のない実測摩耗形状をモデルとし、「初期形状」および累積通トン数が「約 7000 万 ton」「約 6 億 ton」相当の 3 種類とした。使用した摩耗形状を図 5 に示す。

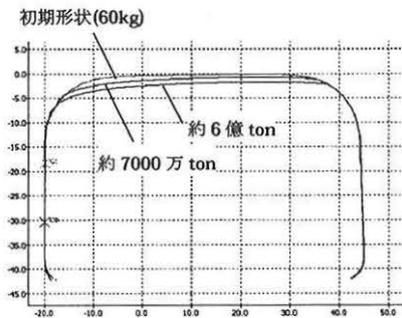


図5 シミュレーションで使した直線摩耗レール(60kg)

以上の車輪とレールの組合せでシミュレーションを実施した。組合せは以下の表 1 のとおりとなる。

表 1 組み合わせパターン(全 18 とおり (6×3))

| 検討内容                           | レール<br>(累積通トン数) | 車輪踏面<br>(走行距離)                |
|--------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| 曲線部での曲線旋回性<br>(R400、50kgN レール) | ①初期形状           | ①初期形状<br>②約 12 万*<br>③約 24 万* |
|                                | ②約 3300 万 ton   |                               |
|                                | ③約 6800 万 ton   |                               |
| 直線部での直進安定性<br>(60kg レール)       | ④初期形状           | ①初期形状<br>②約 12 万*<br>③約 24 万* |
|                                | ⑤約 7000 万 ton   |                               |
|                                | ⑥約 6 億 ton      |                               |

<3.2>シミュレーション結果

(1)踏面の摩耗と曲線通過性能

表 1 の組合せの中から、曲線部での接触検討結果の一例として、50kgN レールの 2 つの摩耗状態 (初期形状および累積通トン 6800 万 ton の摩耗レール) のそれぞれに対して、修正円弧踏面の転削後からの走行距離と車輪半径差特性の変化を調査した結果を図 6.1 と図 6.2 に示す。x 軸の輪軸の左右変位量は、+側が曲線外軌側への変位を示す。

なお、このグラフは曲線部レールでの接触検討のため、車両の走行条件から考えても中立位置 (左右変位が 0 近傍) での等価勾配の検討はあまり意味がなく、外軌側変位でのフランジ接触にいたるまでの車輪半径差がどの程度大きくとれるかが主な着目点である。

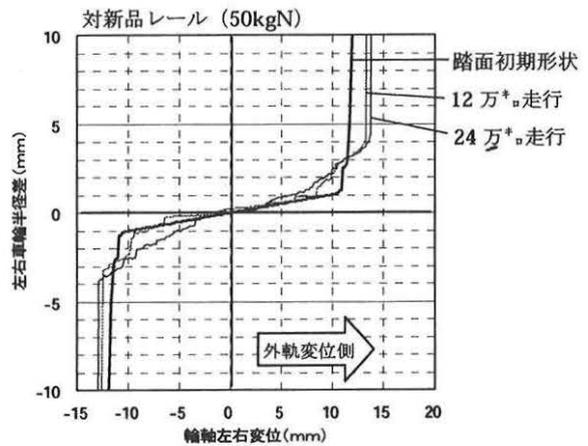


図 6.1 新品レールに対する車輪半径差の変化

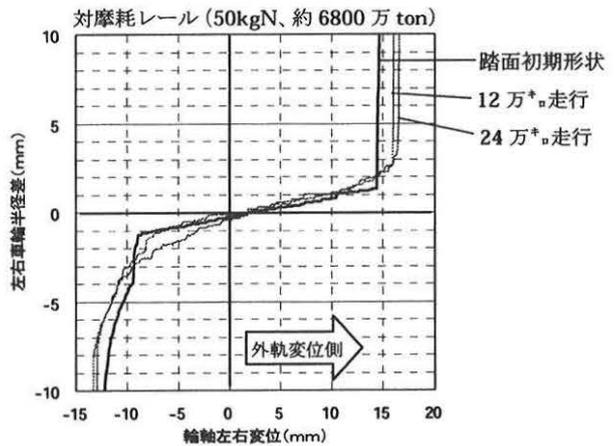


図 6.2 摩耗レールに対する車輪半径差の変化

図 6.1 の新品レールに対しては、踏面の走行距離が増加すると外軌側での半径差が明らかに大きくなる傾向がみられ、曲線通過性能については摩耗踏面の方が有利な特性を有していることがわかる。なおフランジ接触開始によるグラフの折れ曲がり点は、初期踏面に対して摩耗した踏面ほど外

軌側 (x 軸の+側) に移動しているが、これはフランジ摩擦によりレールに対するフランジ接触までの左右移動量が増えたためと推定される。

摩耗レールに対する図 6.2 では、新品レールの図 6.1 ほど踏面の摩耗による差が明確ではなくなっていることがわかる。いずれにしても踏面が摩耗することにより、曲線通過性能が低下することはない結果となった。

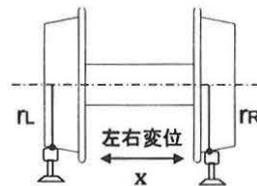
ただし、図 6.1 と図 6.2 の同じ走行距離の摩耗踏面同士で比較すると、新品レールよりも摩耗レールの方が得られる半径差が小さくなる傾向がみられることがわかる。

## ②踏面の摩耗と直進安定性

60kg レールの 3 種類の摩耗状態 (初期形状および累積通トン数約 7000 万 ton と約 6 億 ton の直線部摩耗レール) に対して、修正円弧踏面の転削後からの走行距離と車輪半径差特性の変化を調査した。結果の特性グラフは省略するが、そのグラフの中立位置近傍での傾きから等価勾配を算出した。

等価勾配の算出の考え方は以下の定義式によったが、左右変位の振幅については±3mm と±5mm の 2 種類とし、その範囲に含まれるデータから直線回帰によりグラフの傾きを求め、その 1/2 を等価勾配としてその増減傾向を把握した。

$$\text{等価勾配} = \frac{r_R - r_L}{2 \times x}$$



求めた等価勾配を振幅により 2 つにわけ、グラフ化した結果を図 7 に示す。これらのグラフから次のことがわかる。

- ①レールの摩耗状態にかかわらず、踏面の摩耗が進むと等価勾配は増加していく傾向がある。
- ②初期踏面の場合、レールの摩耗が小さいほど等価勾配が大きい傾向があるが、踏面が摩耗するとレールの摩耗状態による差の割合は小さくなる傾向がある。

今回の車輪踏面のシミュレーション摩耗モデルは、実測した踏面形状の中から踏面ブレーキによる摩耗の影響が小さかったものを使用している。このため、踏面ブレーキの使用強度 (頻度、押付力、制輪子種別 等) によっては踏面の凹摩傾向が強くなり、等価勾配の数値そのものについては大きく変動することが推定される。

## 4. まとめ

修正円弧踏面の摩耗により、左右車輪半径差特性を用いた輪軸の走行性能の変化について調査した結果の概要は以下のとおりであった。

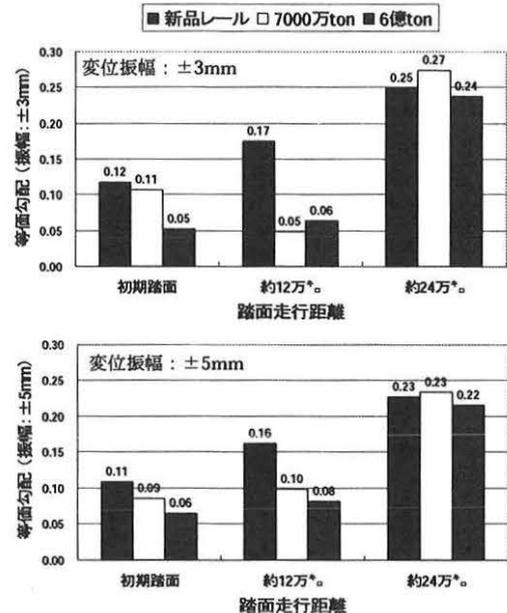


図 7 車輪踏面とレールの摩耗と等価勾配

### (1)踏面の摩耗と曲線通過性能

- ①50kgN 新品レールに対しては、摩耗踏面の方が曲線通過に有利な特性を有している。
- ②摩耗レールに対しては、踏面の摩耗による差が小さくなる傾向にある。
- ③また、同じ走行距離の摩耗踏面同士で比較すると、新品レールよりも摩耗レールの方が得られる半径差が小さくなる傾向がみられる。

### (2)踏面の摩耗と直進安定性

- ①レールの摩耗状態にかかわらず、踏面の摩耗により等価勾配は増加する傾向がある。
- ②初期踏面の場合、レールの摩耗が小さいほど等価勾配が大きい傾向にある。ただし、これらの傾向は踏面が摩耗すると、その差の割合が小さくなる傾向がある。

今後、これらの調査結果を踏面形状の最適化設計に向けて参考にしていく予定である。最後に、今回のシミュレーションを行うにあたり、住友金属工業(株)殿より多大なご協力を頂いたことに謝意を表します。

### 参考文献

- (1)営業車の地上輪重・横圧測定による曲線通過特性の考察  
J-Rail2002 (11.27~11.29) 483-486
- (2)在来線車輪踏面の摩耗傾向とレールとの接触状態調査  
J-Rail2003 (12.9~12.11) 575-578
- (3)山田他：在来線用新円弧踏面形状の開発 (第 1 報)  
J-RAIL1996 (12.17~19) 311-314
- (4)林他：在来線用新円弧踏面形状の開発 (第 2 報)  
J-RAIL1997 (7.28~30) 79-82
- (5)佐々木他：通勤線区に適した車輪踏面形状の開発  
J-RAIL2000 (12.13~15) 31-34