

S8-4-7.

制輪子—車輪間のかじり現象の解明と対策

真野 辰哉、松岡 成康、飯島 宏康、長澤 新、宗重 倫典、洞田 貫 紀子、○森川 真人 (西日本旅客鉄道 (株))

小原 孝則、中澤 伸一、森 智彦、半田 和行 ((財) 鉄道総合技術研究所)

The elucidation and countermeasures of scuffing phenomenon which is occurred
between brake shoes and wheel treads

Tatsuya Mano, Masayasu Matsuoka, Hiroyasu Iijima, Arata Nagasawa (West Japan Railway Company)
Michinori Muneshige, Noriko Dodanuki, Masato Morikawa
Takanori Obara, Shinichi Nakazawa, Tomohiko Mori, Kazuyuki Handa (Railway Technical Research Institute)

In order to study the cause of the rapid concave wear of wheel treads generated on power cars of 223-2000 EMUS which are operated on conventional lines up to maximum's speed 130 km/h, we tried to elucidate the generating mechanism of "metallic inclusion" which is occurred between brake shoes and wheel treads.

In this report, we showed that "metallic inclusion" between brake shoes and wheel treads was caused by the overlap of following conditions : mixing of ceramic grains, wet condition and low pressing force of brake shoe.

キーワード：かじり、合成制輪子、踏面凹摩耗、凝着摩耗、硬質物質

Keywords: Scuffing, Composition brake shoe, Concave wear, Adhesive wear, Ceramic grains

1. はじめに

弊社の最新近郊形電車である 223 系 2000 代では、Mc 車を中心に、突発的に発生する車輪踏面凹摩耗が問題となっており、それにより走行中の異常振動も発生している。当初は、耐雪ブレーキ使用時期（冬季）に急激な車輪踏面凹摩耗が発生していたことから、耐雪ブレーキの過大な押付力が車輪踏面凹摩耗の主原因であろうという考えに至り、対策として耐雪ブレーキ圧を規定下限値に変更した。しかし、その後も耐雪ブレーキだけでは説明できない急激な車輪踏面凹摩耗が発生し、その原因究明の取り組みから、急激な車輪踏面凹摩耗の原因は、制輪子/車輪間に金属の塊が生成される“かじり”現象であることが明らかとなった。

そこで本取り組みでは、かじり現象そのものに着目し、鉄道総研の協力のもと、223 系 2000 代 Mc 車を想定したブレーキベンチ試験及び現車におけるかじり再現試験を実施し、その結果、かじりの発生条件及び車輪踏面凹摩耗に至るメカニズムを解明した。

2. ブレーキ試験機によるベンチ試験

<2.1>試験機の概要

本試験は、(財) 鉄道総合技術研究所のブレーキ性能試験機を用いて実施した。当試験機は、ディスクブレーキ試験ユニット、踏面ブレーキ試験ユニット及び粘着試験ユニットから構成される。ブレーキ押付力は耐雪ブレーキ相当か

ら非常ブレーキ相当以上までの間で設定可能で、空気圧力を利用した。今回の試験は踏面ブレーキ試験ユニットを使用した。

<2.2>供試制輪子

制輪子は 223 系 M 車に使用されている増粘着タイプの 1 種合成制輪子を使用した。

<2.3>供試車輪

車輪は 223 系 M 車で使用済みの B 型波打ち車輪を使用した（車輪径 790mm、転削済み）。

<2.4>測定項目

車輪周速度、ブレーキ押付力、ブレーキトルク、車輪温度及び制輪子温度を測定した。

<2.5>実験条件

<2.5.1>ブレーキ種別

本試験では営業車でのブレーキ条件を再現した。主に下記の(1)~(3)に示すブレーキ種別について、図 1 のブレーキパターンを使用し、散水や異物介入などの外部要因を付加して試験を行った。

(1) 耐雪ブレーキ

試験では、一定速度で回転させた車輪に実車における耐雪ブレーキ相当である 2.4kN 前後の力で制輪子を一定時間押し付けた。押付力範囲は 0.5~7.0kN とした。

(2) 空制単独での停止、減速ブレーキ

非常ブレーキ及び回生失効等による電制無効時の空制単

独でのブレーキを模擬している。試験では、10kN、15kN、34kN で制輪子を押付け、任意の速度から停止または減速させた。

(3) 電制有効時を模擬した停止、減速ブレーキ

電気ブレーキを併用した通常状態のブレーキである。電気ブレーキ有効時、制輪子は空制への切換わりをすばやく行うために、常時低押付力で車輪踏面を押し付けている(初込め状態)。試験においては、この初込め状態の押付力を実車で発生する 3.0kN 前後に設定した。

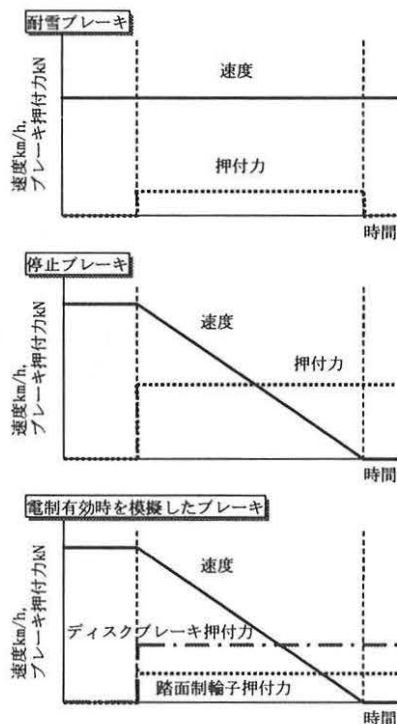


図1 ブレーキパターン

<2.5.2> 散水

散水は毎分 400ml を制輪子と車輪の接触部垂直上部約 100mm の箇所から行った。水温は常温とした。

<2.5.3> 異物の混入

試験に際して摩擦面に強制的に介入させた硬質物質粒子はアルミナ、珪砂、稲城砂、川砂などのセラミックス系粒子である。

3. 試験結果

<3.1> かじり発生条件

表 1 に試験条件を大別し、それぞれの条件におけるかじりの発生の有無を示す。かじりは、セラミックス系の硬質物質である珪砂、アルミナおよび稲城砂がブレーキ中に摩擦面に外部から侵入し、さらに低押付力、湿潤等の条件が重なった場合において発生することがわかった。ブレーキ種別については、耐雪ブレーキの他、電制有効時を模擬した初速度 130km/h の停止ブレーキでもかじりの発生が認められた。後者は耐雪ブレーキ使用時期以外、つまり通常の

ブレーキ状態でもかじりが発生することを裏付ける結果となった。

表 1 試験条件ごとのかじり発生有無

ブレーキ種別	硬質物質	散水	かじり
耐雪ブレーキ	有	有	有
	無	有/無	無
空制非常、2~4 ノッチ 停止、減速ブレーキ	有/無	有/無	無
電制有効時を 模擬したブレーキ	有	有	有

また、かじりを発生させた押付力は 1.5~3kN (表 2) で、223 系 2000 代 M 車の耐雪ブレーキ及び電制有効時の初込め状態時の押付力と一致した。一方、押付力が高い場合や、乾燥状態ではかじりの発生が認められなかった。これは、それらの条件下では制輪子の摩耗粉や炭化膜が多く発生していることから、その摩耗粉や炭化膜が制輪子と車輪踏面間の潤滑材として機能し、車輪の摩耗粉や硬質物質を飛散させる働きをしたためであると考えられる。

表 2 耐雪ブレーキにおけるかじり発生度合い

		速度 [km/h]					
押付力 [kN]	0.5	—	—	—	—	×	—
	1.0	—	—	—	—	×	—
	1.3	—	—	—	—	○	×
	1.5	△	○	◎	◎	○	○
	2.0	—	—	◎	—	○	—
	2.5	—	—	◎	—	—	—
	3.0	—	×	○	—	×	—
	5.0	—	—	—	—	×	—
	7.0	—	—	—	—	×	—

(条件: 耐雪 散水有 アルミナ混入)

◎80%以上 ○50%以上 △50%未満 ×発生せず

<3.2> かじりの成長

かじりは外部から供給される硬質物質の研削効果により発生することが明らかとなった。しかし、実際に発生している長さ 50mm を超えるような大きなかじり片の体積から推測すると、その全てが硬質物質に車輪が研削された摩耗粉が堆積したものであるとは考えにくく、かじり片そのものと車輪との摩擦の関係も影響していると考えられる。

そこで、試験では硬質物質を使用せず営業車で発生したかじり片を新しい制輪子摩擦面に埋め込み、表 3 の条件で耐雪ブレーキ試験を数回行った。図 2 は埋め込み当初 10mm 四方の大きさであったかじり片の試験後の写真である。図からわかるようにかじり片は数十倍の大きさに成長した。

図 2 のようにかじり片が大きく成長した試験後の車輪表面を観察すると、成長したかじり片と摺動していた部分は白濁していた。図 3 はかじり片成長後の車輪踏面の形状と白濁した領域の位置関係を示すものである。図中写真は白濁した部分と、制輪子状の研削砥石で研磨した直後の車輪表面それぞれの 150 倍の拡大写真である。両者を比較すると、研磨後の車輪表面は単に線キズが残されているだけで

あるが、かじり片成長後の白濁した部分は表面の凹凸が不連続で膜状に金属が付着しているのが分かる。この部分はミクロ的には付着した金属により無数の凸部が存在するが、マクロ的に見ると図のように白濁した領域は車輪踏面の他の部分と比較するとわずかに窪んでいる。これは、互いに摩擦する車輪表面とかじり片が凝着と凝着部分のせん断破壊を繰り返し、破壊された凝着部分の多くはかじり片側に移着しもう一方の摩擦面である車輪は凝着部分を失い摩耗した結果であり、かじり片成長後の車輪白濁部分は凝着部分の残骸であると推定される。



図2 かじり片成長状況

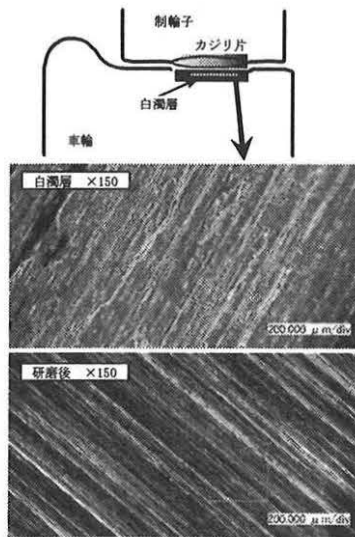


図3 踏面摩耗部の拡大図

<3.3>かじり片の成長に伴う車輪踏面摩耗

表3から、車輪踏面は直径に換算すると合計約0.8mm摩耗したが、その間の総ブレーキ距離はわずかに300km程度である。223系車両は、日車キロが平均800~900kmであり、この試験結果は、かじり片が摩擦面に介在した状態で耐雪ブレーキなどを使用して走行した場合に、車輪踏面の異常な摩耗が起こり得ることを示している。

4. かじり発生メカニズムに関する考察

以下にかじりの発生メカニズムについて説明する(図4)。

(1) ブレーキ中に砂やアルミナなどの硬質物質が摩擦面に介在し、さらに低押付力、湿潤等の条件が重なった場合

表3 耐雪ブレーキによるかじり片成長と踏面摩耗

No	速度 (km/h)	押付力 (kN)	散水	n数	成長	踏面 摩耗量	ブレーキ 距離 (km)
1	100	1.5	有	2	小	測定無	66.7
2	100	1.5	有	1	大	0.2mm	23.3
3	100	1.5	有	1	大	0.2mm	66.7
4	100	1.5	有	1	大	0.1mm	66.7
5	100	1.5	有	1	大	0.3mm	108

において、硬質物質が車輪を研削することによって生成された車輪の摩耗粉が塊状に堆積し発生する。

(2) 塊状になった車輪摩耗粉(かじり片)は以降のブレーキにおいて車輪との摩擦により凝着を起こし、肥大化するとともにその過程において車輪踏面は急激に摩耗する。

(3) かじり片が塊状に堆積し成長する過程においてかじり片が滞在するための空隙が必要となるが、高温のかじり片が耐熱温度の低い合成制輪子に圧着されることで、合成制輪子表面を焼損しその空隙を確保している。

このかじり発生メカニズムにおいて、外部からの硬質物質の供給がかじり発生前提である。また、合成制輪子は焼結合金制輪子及び铸铁制輪子より耐熱温度が低いため、かじり片滞在のための空隙を与えやすく、かじりが発生しやすいといえる。

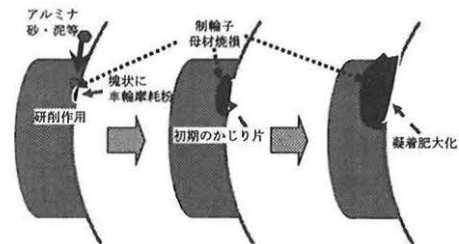


図4 かじり発生メカニズム

5. 現車におけるかじり再現試験

ベンチ試験の結果より、かじりはM車電制有効時の初込め状態時にも、硬質物質の介在、湿潤状態の下では発生することが明らかとなった。そこで、構内線での現車走行において、これらの条件を設定し、電制有効時の初込め状態時にかじりが再現するか調査した。また、初込めをカットしたかじり対策用のブレーキ制御(以降、「対策制御」と呼ぶ)においても試験を行い、その有効性について検証した。

<5.1>供試車両

試験には223系2000代4両編成を使用し、上り方Mc車1位、3位制輪子を観察対象とした(図5)。

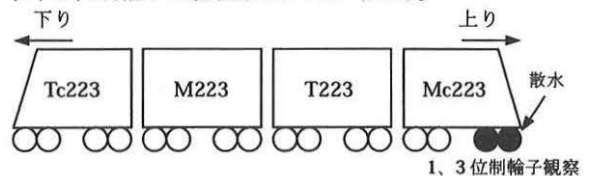


図5 供試車両

<5.2>実施要領および試験条件

試験においては、図 6 に示すように構内線 4 往復を 1 セットとし、現行制御及び対策制御それぞれ 1 セットずつ試験を実施した。同一摺動方向にかじりの成長を促すため、上り方向でのみかじり再現試験を実施し、初速 50km/h からブレーキ 5N (電制有り)、散水有り (10 /min) で試験区間を通過した。各セットの最初の上り方向への運転時のみ、進行方向右側レール上に珪砂を散布し、初込め状態時に試験車両がその上を通過するようにブレーキポイントを設定した。下り方向では、ブレーキ時に制輪子摺動面に与える影響を少なくするため、低速 (約 15km/h) で下り方定点まで移動した。なお、各セット終了後、Mc 車の 1、3 位制輪子を取り外し、制輪子表面を存姿、マイクロスコープで観察した。



図 6 実施要領 (1 セット)

表 4 試験順序および試験条件

セット	ブレーキ 制御	初込め	珪砂	散水	制輪子観察
1	対策制御	無し	散布	有り	1、3 位
2	現行制御	有り	散布	有り	1、3 位

<5.3>試験結果

現行制御 (初込め有り) による試験終了後の Mc 車第 3 位制輪子表面の外観を図 7 に示す。制輪子表面には小さなかじり痕が見られた。また、摺動方向に白い線状痕が見られ、これは硬質物質が摺動面上を圧力を受けながら移動したためであると考えられる。マイクロスコープによる観察でも制輪子表面に珪砂が多く確認され、鋳鉄ブロックとの境界にはかじり片と思われる金属片も認められた (図 8)。一方、対策制御 (初込め無し) による試験後には、第 1、3 位制輪子ともに、かじりの発生は認められず、マイクロスコープによる観察でも、制輪子表面に珪砂はほとんど見られず、金属片についても確認されなかった。

以上の結果より、かじりについては耐雪ブレーキ使用時期以外でも、硬質物質の介在、湿潤状態という条件の下では、M 車電制有効時の初込め状態により発生する可能性があることが実証された。また、初込めをカットした対策制御は、かじり発生条件の 1 つである低押付力を解消できるだけでなく、レール面上にある硬質物質の制輪子/車輪間への介入に対しても現行制御に比べ有利であり、かじり対策という観点から見ると、有効的であるといえる。

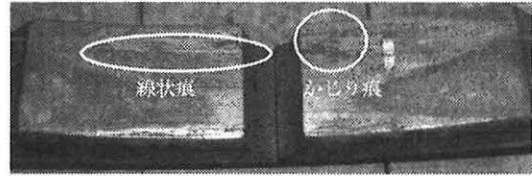


図 7 第 3 位制輪子外観



図 8 制輪子上の金属片

6. 対策の検討と今後の課題

ベンチ試験の結果より、かじりは①1.5kN~3kN の押付力、②硬質物質の介在、③湿潤状態、の 3 条件が揃った時に発生することが明らかとなった。かじり発生を防ぐには、これら 3 条件の内いずれか 1 つを取り除く必要があるが、②、③については現実的には不可能である。従って、かじり対策を検討する上で、耐雪ブレーキ及び M 車電制有効時の初込め状態時の押付力を、現状よりいかに低く抑えるかということが課題となる。今後は、ユニットブレーキ装置そのものの改良及びブレーキ制御の見直しによるハード、ソフトの両面から、かじり対策を進めて行く。

7. まとめ

弊社の最新近郊形電車である 223 系 2000 代 Mc 車を中心に発生している車輪/制輪子間のかじり現象を解明するため、ブレーキベンチ試験及びかじり再現試験を実施し、以下の事柄が明らかとなった。

- (1) かじりは、①1.5kN~3kN の押付力、②硬質物質の介在、③湿潤状態、の 3 条件が揃った時に発生する。また 1.5~3kN の押付力は、223 系 2000 代 M 車の耐雪ブレーキ及び電制有効時の初込め状態時の押付力と一致する。
- (2) かじり片は車輪と凝着を起こして大きく成長する。これが営業車両における突発的な車輪凹摩耗の一因である。
- (3) かじりについては耐雪ブレーキ使用時期以外でも、硬質物質の介在、湿潤状態という条件の下では、M 車電制有効時の初込め状態により発生することが実証された。
- (4) M 車電制有効時の初込めをカットすることは、かじり発生条件の 1 つである低押付力を解消できるだけでなく、レール面上にある硬質物質の制輪子/車輪間への介入に対しても有効的である。

参考文献

- 1) 飯島宏康、他 2 名：第 10 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集、No.2610、pp571~574、2003.12
- 2) 長澤 新、他 2 名：鉄道総研報告第 18 巻第 5 号、pp47~52、2004.5