

新しい固体潤滑剤を用いた新幹線用すり板の開発

久保田 喜雄* 土屋 広志 久保 俊一 (鉄道総合技術研究所)

Development of Pantograph Contact Strips of Iron-based Sintered Alloy Employing New Kind of Solid Lubricants for The Shinkansen Electric Vehicles

Yoshitaka Kubota*, Hiroshi Tsuchiya, Shunichi Kubo (Railway Technical Research Institute)

Pantograph contact strips of iron-based sintered alloy have been widely used for the Shinkansen electric vehicles. In order to reduce the effects on environment, the authors have developed novel contact strip materials of iron-based sintered alloy employing different kinds of solid lubricants, and have investigated the wear properties of the developed materials. From the results of laboratory experiments, the wear performance of developed materials exceeds that of the existing materials. According to the results of field tests, the developed materials have been confirmed to have better wear resistance than the existing materials in the case of high-speed sliding conditions

キーワード：新幹線，パンタグラフすり板，焼結合金，摩耗，固体潤滑剤
(Shinkansen, pantograph contact strips, sintered alloy, wear, solid lubricants.)

1. はじめに

新幹線用パンタグラフすり板（以下，すり板）は，1964年の新幹線開業当初にはいくつかの材質が検討された結果，耐摩耗性などの観点から鉄系焼結合金が採用され，使用されていた^{(1), (2)}。その後，東北新幹線開業にあたって，パンタグラフ数半減によるすり板の摩耗増大に対応するため，より耐摩耗性の高い鉄系焼結合金すり板が開発され，現在でも使用されている⁽³⁾。このとき開発された鉄系焼結合金すり板には潤滑成分として低融点重金属が 3～7 mass% 程度添加されているが，こうした重金属の使用は近年，さまざまな工業分野において規格により制限されている。また，すり板は使用中に摩耗し，摩耗したすり板は摩耗粉として外部に排出される。そのため，すり板の材質としてはできる限り環境負荷の低い材質が望ましい。そこで，鉄道総研では従来の低融点重金属に代わり，より環境負荷の小

さい新たな固体潤滑剤を潤滑成分として用いた新幹線用すり板を開発し，その性能の評価を行ってきた。本稿では，現用材とは異なる種類の固体潤滑剤を用いたすり板開発の概要と，開発材の摩耗特性を調べるために行った定置試験および実車試験の結果について述べる。

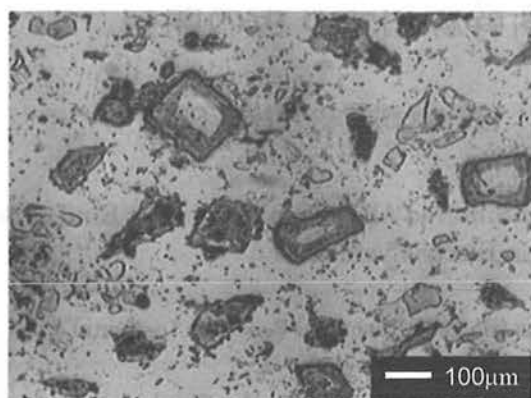
2. すり板材の開発方針と材質の概要

(2・1) 開発方針

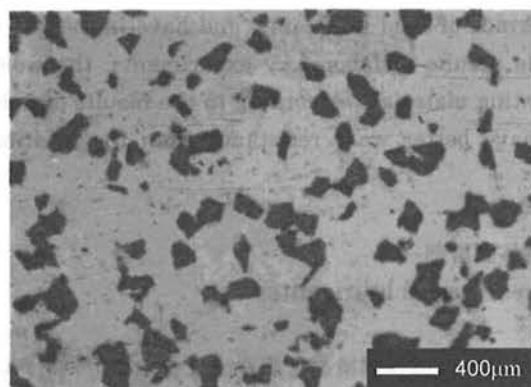
現用材ならびに開発材の物理特性と主な成分を表 1 に示す。これまでに，潤滑成分として固体潤滑剤のみを用いた場合，すり板自体の耐摩耗性は低下しないことが確認されているが，低速度域におけるトロリ線摩耗がやや増加する懸念があった。そこで本開発では，すり板の潤滑性を確保することを最優先とし，固体潤滑剤の配合比を高めることにした。開発にあたって，引張強さなどの物理特性値は旧 JRS を基準としたが，抵抗率については潤滑成分の増量に

表 1 現用材と開発材の物理特性と主な成分

	名称	密度 (g/cm ³)	硬さ (HB)	引張強さ (MPa)	シャルピー 衝撃値 (J/cm ²)	抵抗率 (μΩcm)	母材	硬質成分	潤滑成分	低融点 重金属 の添加
	(目標値)	---	70~115	176 以上	9.8 以上	80 以下				
現用材	BF31	7.4	95	220	13.0	25	Fe	Fe-Ti, Fe-Mo	---	有
	TF5A	7.1	98	282	21.7	40		Cr	MoS ₂	有
開発材	N4-2-1	6.8	95	207	10.5	59	Fe	Cr, Cr-V	MoS ₂	無
	N4-2-2	6.7	84	180	7.0	61		Cr, Cr-V	MoS ₂	無
	T3-1	6.9	105	274	14.0	55		Cr	MoS ₂ , BN	無
	T3-2	7.0	100	255	11.0	58		Cr	MoS ₂ , Bi, BN	無



(a) 開発材 N4-2-1



(b) 開発材 T3-2

図 1 開発材の金属組織

よる抵抗率の上昇をある程度許容し、目標値を $80 \mu\Omega\text{cm}$ 以下とした。

開発は 2 種類の現用材 (BF31, TF5A) をベース材とし、これらをそれぞれ改良して、2 系統 4 種類の開発材を試作した。

〈2・2〉開発材の概要

図 1 に開発材の金属組織を示す。BF31 を改良した N4-2-1, N4-2-2 では硬質成分として Cr (クロム), Cr-V (クロム・バナジウム), 潤滑成分として MoS_2 (二硫化モリブデン) を添加し、さらに潤滑性向上のために焼結後、硫化処理を施した。TF5A を改良した T3-1, T3-2 では、硬質成分として Cr, 潤滑成分として BN (窒化ホウ素), Bi (ビスマス) などを添加した。なお, Bi は固体潤滑剤として既に在来線用の銅系焼結合金すり板での使用実績がある金属である⁽⁴⁾。

3. 室内摩耗試験

〈3・1〉試験方法

室内摩耗試験は鉄道総研所有の集電材摩耗試験機を用いて行った。集電材摩耗試験機は、純銅製・5mm 厚の板材を模擬トロリ線として直径 2m の回転円板の外周に取り付け、この模擬トロリ線にすり板試験片をコイルばねにより押付け、通電しゅう動する装置である。試験は、一定速度で回

転する模擬トロリ線にすり板試験片を 2 個同時に押付け、電圧 100V の直流電流 100 A を通電することで行った。摩擦速度は 25, 50, 100, 200 および 300 km/h の 5 段階とした。この条件は実車での走行速度範囲を網羅し、各速度域での摩擦摩耗特性を評価できるものである。押付荷重は 49 N とした。

〈3・2〉測定項目

(1)すり板の摩耗率：摩耗試験前後の質量差から比摩耗量 (単位荷重, 単位摩擦距離あたりの摩耗体積) を算出した。

(2)模擬トロリ線の摩耗率：レーザー変位計で模擬トロリ線上の 2000 点で高さ測定を行い、試験前後の高さの差の平均値と標準偏差を求めた。平均値は摩擦による模擬トロリ線の平均摩耗量, 標準偏差は摩擦で生じた表面の凹凸のばらつきを表わす。すり板材が模擬トロリ線の摩耗に及ぼす影響の評価には、平均値と標準偏差を用いた。これは、焼結合金すり板材と純銅の組合せで摩耗試験を行うと、条件によってはすり板試験片が模擬トロリ線表面に移着し、平均摩耗量が負となる場合があり、平均値のみでは模擬トロリ線摩耗の比較が難しいためである。

〈3・3〉試験結果と考察

室内試験の結果を図 2, 図 3 に示す。図 2 は開発すり板試験片の摩耗率, 図 3 は模擬トロリ線の平均摩耗率と標準偏差を現用材 TF5A と比較したものである。

開発材 N4-2-1, N4-2-2 について、すり板摩耗率は現用材より若干大きい程度である。模擬トロリ線摩耗率は現用材並だが、試験後の模擬トロリ線の凹凸のばらつきを示す標準偏差は全速度域で現用材より小さく、潤滑性の向上が認められる。開発材 T3-1, T3-2 については、すり板摩耗率は、低速域において現用材よりも大きい、高速域においてはほぼ同程度である。また、模擬トロリ線摩耗率は現用材と同程度だが、標準偏差は全速度域で現用材より小さく、潤滑性の向上が認められる。以上の結果より、開発材はいずれも現用材と同等以上の潤滑特性、摩耗特性を有すると判断し、実車試験に供試することとした。

4. 実車試験による性能評価

〈4・1〉実車試験の概要

開発材の実環境における耐摩耗性を確認するために、長野新幹線において開発材を試験的に使用し、その時のすり板とトロリ線の摩耗量を調査した。実車試験への供試材には、室内摩耗試験の結果から耐摩耗性がより高いと判断された N4-2-1 と T3-2 を選定した。実車試験の諸元は以下のとおりである。

- (1) 試験車両：E2 系新幹線
- (2) 最高走行速度：260 km/h
- (3) 架線：CS シンプル架線
- (4) 供試材：開発材：N4-2-1, T3-2, 現用材：BF31, TF5A

〈4・2〉摩耗調査方法

同時期に現用材と開発材を各 1 編成ずつに搭載し、摩耗限度まで使用して、取り外し後に表面状態の観察と摩耗量の

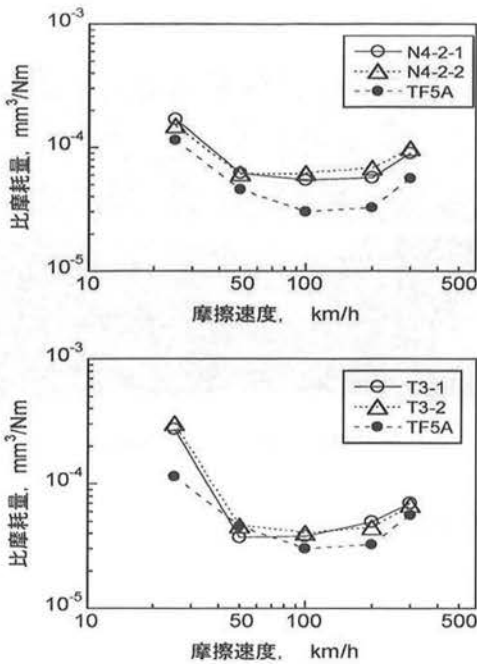


図2 室内摩耗試験結果（すり板試験片の摩耗率）

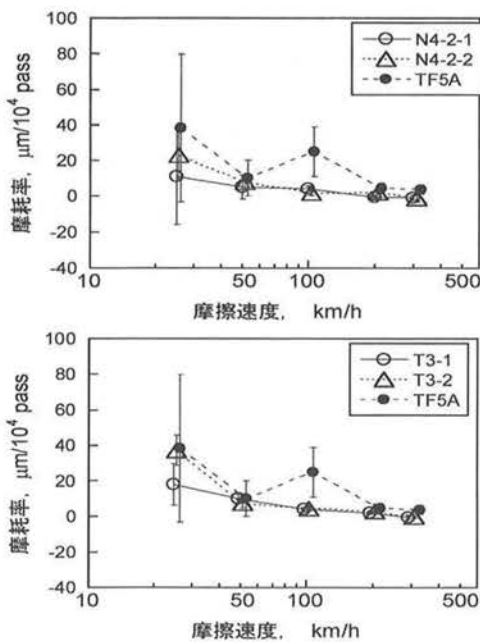


図3 室内摩耗試験結果（模擬トロリ線の摩耗率）

測定を行った。さらに、試験区間を走行する編成の約30%に開発材を搭載して性能を確認したのち、全ての編成に搭載して継続使用し、すり板とトロリ線の摩耗状況を調査した。

〈4.3〉すり板の摩耗調査結果

実車試験における開発材の最大寸法摩耗率を図4に示す。すり板の摩耗率は、2種類の開発材とも現用材と同等か若干小さい程度であった。また、表面観察結果からトロリ線からすり板への銅の移着は現用材よりも開発材において少ない傾向が認められた。

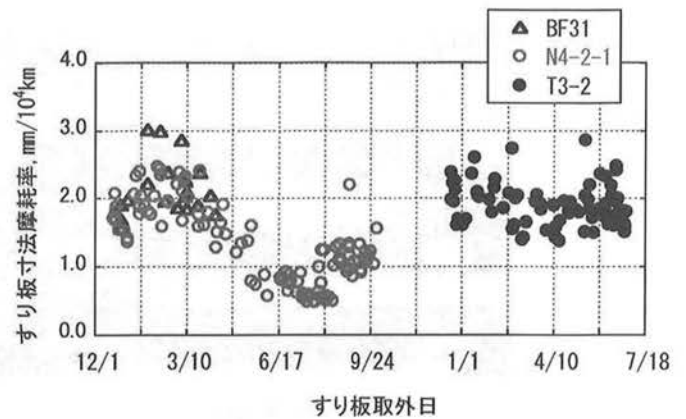


図4 実車試験結果（すり板摩耗率の変化）

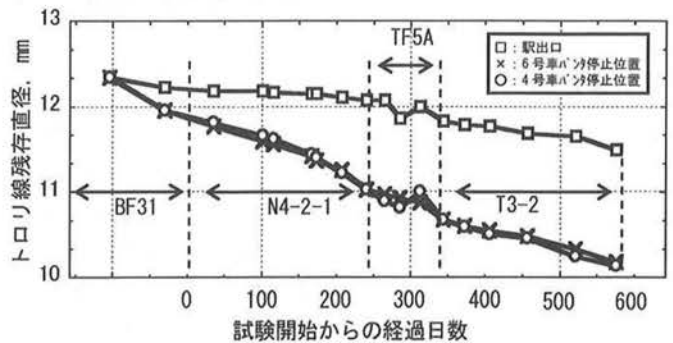


図5 開発材導入時のトロリ線摩耗推移

〈4.4〉トロリ線の摩耗調査結果

パンタグラフすり板材を実用する場合には、相手材であるトロリ線の摩耗についても調査する必要がある。トロリ線の摩耗は、駅構内の低速走行箇所において最も大きく、この箇所の摩耗がトロリ線張替の主な要因となっている。そこで、駅構内でも特にトロリ線摩耗の進行が早いパンタグラフの停止位置と駅出口においてトロリ線の摩耗推移を調査した。図5にトロリ線残存直径の摩耗推移の調査結果を示す。また、開発すり板導入前後のトロリ線しゅう動面を図6に示す。図5からわかるように、実車試験中のトロリ線残存直径の摩耗推移は顕著な減少は認められなかった。さらに、図6に示すように開発すり板を導入してもトロリ線しゅう動面に大きな変化はなく、荒損なども認められなかった。

〈4.5〉実車試験のまとめ

試験区間を走行する新幹線車両全編成の30%に開発材を導入して6ヶ月間継続使用し、続いて全編成に導入して約3ヶ月使用した時のすり板摩耗量およびトロリ線摩耗を調査した。その結果、開発すり板N4-2-1、T3-2の耐摩耗性は現用材と同程度であること、またトロリ線への影響も同程度であり、低速度域での潤滑性も低下していないことが確認できた。以上の結果から、現用材を開発材N4-2-1およびT3-2に変更しても架線・パンタグラフ系の摩耗が増加することはないと、開発材は実用可能であると判断された。

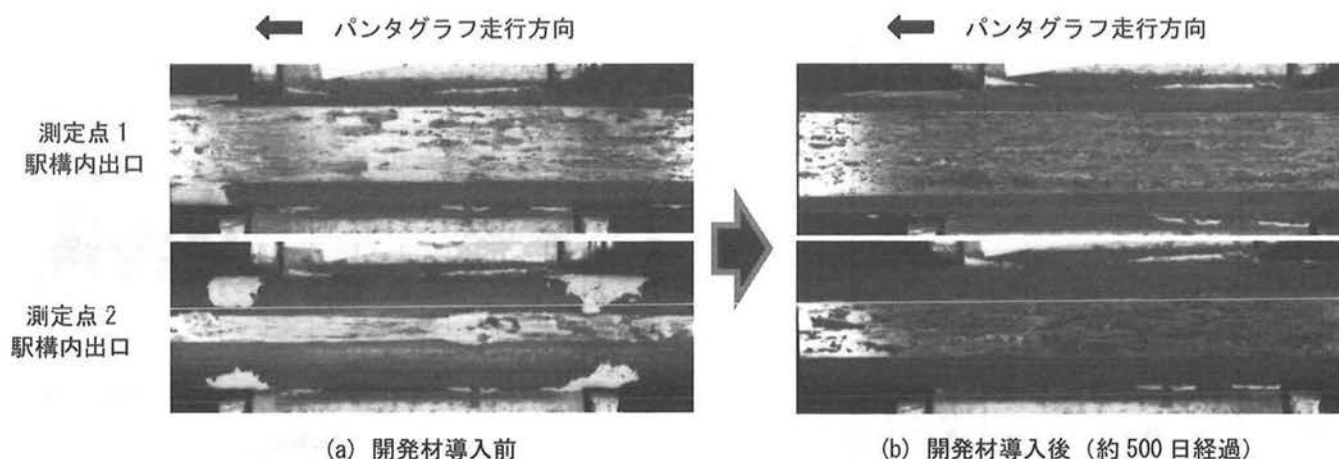


図 6 開発すり板導入前後のトロリ線しゅう動面

5. まとめ

従来から使われている低融点重金属に代わる新たな固体潤滑成分を用いた新幹線用鉄系焼結合金すり板を 2 種類開発した。定置試験により開発材の性能を評価した結果、開発材は 2 種類とも現用材と同等程度の摩耗特性・潤滑性を有すると判断された。さらに、実車試験により、すり板摩耗量および実設備のトロリ線摩耗推移の調査を各開発材についてそれぞれ約 1 年間ずつ実施した。実車試験の結果から、開発材 N4・2-1 と T3・2 のすり板耐摩耗性は現用材と同程度であり、トロリ線摩耗に及ぼす影響も現用材と同程度であることがわかった。

6. おわりに

本稿で報告した長野新幹線における実車試験の結果を受け、東北・秋田新幹線区間においても同様の試使用試験を行い、開発材が問題なく使用できることを確認した。現在では東北・上越・長野・山形・秋田新幹線全線において開発材 N4・2-1 と T3・2 が使用されている。

謝辞

実車でのすり板摩耗調査とトロリ線摩耗調査等に協力いただいた東日本旅客鉄道(株)の本社、関係支社車両・電力関係各位、および、すり板材質の試作に協力いただいた(株)ファインシンターおよび帝国カーボン工業(株)の関係各位に深く感謝の意を表する。

文 献

- (1) 岩瀬勝, 横井一雄ほか: パンタグラフすり板(1)―新幹線用すり板の問題点と室内実験―, 鉄道技術研究報告, No.399 (1964)
- (2) 岩瀬勝, 横井一雄ほか: パンタグラフすり板(2)―新幹線用すり板の開発とその改良―, 鉄道技術研究報告, No.574 (1967)
- (3) 青木純久, 福原邦夫ほか: 新幹線用パンタグラフすり板開発の現状, 鉄道総研報告, Vol.4, No.10, pp.58-65 (1990)
- (4) 半田和行, 久保俊一, 土屋広志: Bi を添加した銅系焼結合金の通電摩耗特性, トライボロジスト, Vol.51, No.6, pp.456-462 (2006)