

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

摩耗を減らす

— C/C複合材製すり板・焼結合金すり板の開発 —

パンタグラフのすり板は電車が走るのに不可欠な部材であるとともに、車両・集電系設備の保守コストに大きく影響する消耗部材でもあります。すり板とトロリー線の摩耗を減らし、車両・集電系設備の保守コストを下げるために、すり板の材料開発が今日まで長きに渡り続けられてきました。その結果、さまざまなすり板材料がこれまでに開発されており、実用化に至っています。ここでは、これまでに行われてきたすり板の材料開発のうち、近年開発されたC/C複合材製すり板と焼結合金すり板に絞って開発の背景と今後の取り組みを紹介します。



久保田 喜雄
Yoshitaka Kubota
材料技術研究部
摩擦材料研究室
副主任研究員
[専門分野] トライボロジー、電気接点



久保 俊一
Shunichi Kubo
研究開発推進部
部長
[専門分野] トライボロジー

はじめに

電車は必要なエネルギーをトロリー線からパンタグラフを介して受け取っています。パンタグラフの一番上にはパンタグラフすり板(以下、すり板)と呼ばれる摩擦部材が取り付けられています(図1, 図2)。このすり板は、時には300km/hを超える速度でトロリー線と摩擦しながら、最大で数百Aもの大

電流を受け取る過酷な役目を担っています。しかも、1万km程度の走行距離を交換することなく使えることが求められています。すり板は車両の消耗部材の中でも交換頻度が高く、すり板の交換コストは車両の保守コストにおいて比較的大きな割合を占めます。さらに、すり板は相手材のトロリー線の摩耗にも大きな影響を及ぼすので、集電系設備の保守コストにも深く関わってきます。これまで鉄道総研では、すり板とトロリー線の摩耗を減らすために、さまざまなすり板材料を開発し、それらの摩耗特性を評価してきました。すり板の材質の変遷やその時々での材料開発に関する解説^{1)~4)}はこれまでも数件ありますので、ここでは近年開発されたC/C複合材製すり板と焼結合金すり板に絞って開発の背景と今後の取り

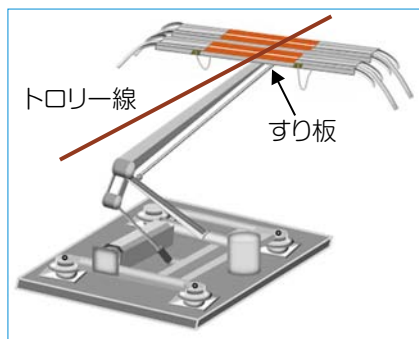


図1 パンタグラフとすり板

すり板に必要とされる特性

すり板には①構造部材としての強度(使用中に壊れないこと)、②電気接点部材としての導電性(電気を良く通すこと)、③摩擦材としての耐摩耗性、潤滑性(自身が摩耗しにくく、かつ相手材も摩耗させないこと)、④消耗部材としての経済性(低価格で、交換しやすいこと)が求められます。新しいすり板を開発する場合、上記の特性が全て従来品と比べて同等かそれ以上であることが求められます。耐摩耗性と潤滑性などはトレードオフの関係にあることが多く、両立に四苦八苦することもあります。

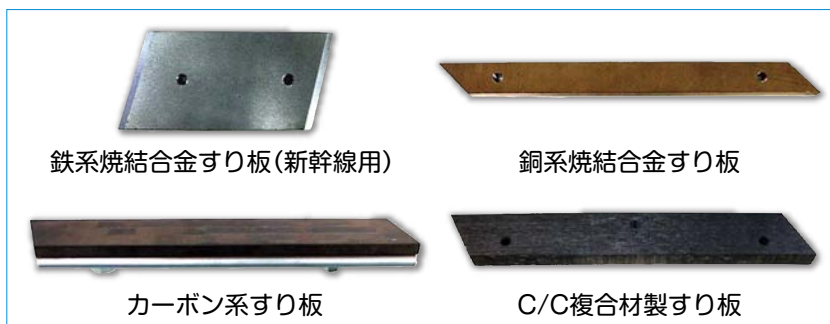


図2 各種すり板

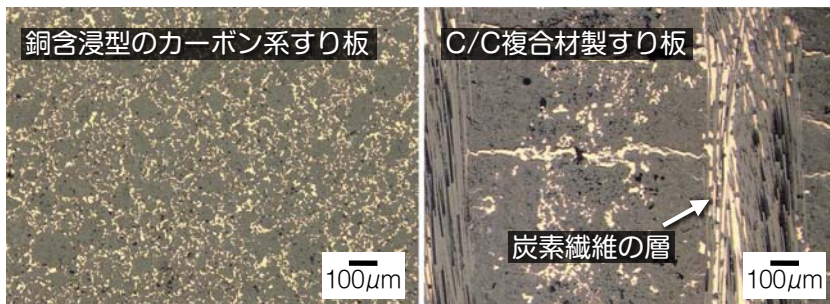


図4 従来のカーボン系すり板とC/C複合材製すり板の断面組織

組みを紹介します(☞参照)。

C/C複合材製すり板の開発

C/C複合材(☞参照)製すり板の開発について述べる前に、まずカーボン系すり板についてお話しします。カーボン系すり板とは炭素を母材として金属を複合させたすり板のことで、金属系のすり板に比べて潤滑性が高く、トロリー線の摩擦を減らすことができることからJR各社の在来線で広く使われています。一方、カーボン系すり板は、強度(正確には破壊じん性)が金属系すり板に比べると低く、欠けたり割れたりしやすい特性も持っています。そのため、通常はすり板を鋼鉄製のさやに

収め、さやをパンタグラフに締結する方法が採られています。

在来線でカーボン系すり板が普及した後、新幹線への適用も検討されました。その際の課題がすり板の装着方法です。新幹線の舟体は高速走行時の揚力・騒音特性を考慮して設計されていますが、さやがあり、金属系すり板より厚いカーボン系すり板を装着すると舟体の形状が変わり、揚力・騒音特性も変わってしまいます。さやの部分を薄くするなどの工夫もしましたが、揚力・騒音特性と摩擦しらの両立は大変に困難なものでした。そこでカーボン系すり板でありながら、金属系すり板と同じようにボルト穴の加工が可能で

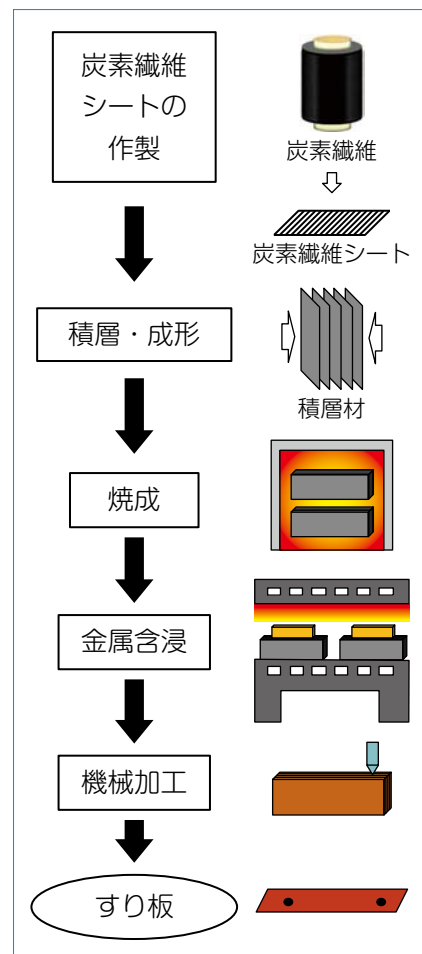


図3 C/C複合材製すり板の製造法

ボルト留めできるC/C複合材製すり板の適用が検討されました。

C/C複合材すり板はC/C複合材に銅合金を浸して製造したもの(☞図3、☞図4)で、従来のカーボン系すり板よりも強く、壊れにくいのが特徴です。C/C複合材は普通に作ったのでは高価で、とてもすり板のような交換頻度の高い部材には使えません。開発においてはコストを下げるため、通常、樹脂含浸と焼成を繰り返して作る場所、炭素繊維と樹脂などの原料をプリフォームドヤーンという束にし、その束を編んで作ったシートを焼成するという特殊な製法を採用しました。また、従来の銅含浸型のカーボン系すり板は純銅を加圧含浸して作っていましたが、加圧含浸にはコストがかかるため炭素

☞ C/C複合材

2種類以上の材料を組み合わせることで元の単一材料にない特性を引き出した材料を複合材料と言い、母材を繊維で強化したものが一般的です。C/C複合材は炭素(Carbon)の母材を炭素繊維(Carbon Fiber)で補強した材料です。C/C複合材は軽くて耐熱性に優れ、なおかつ通常の炭素材料よりも強度が高いことが特徴で、航空機のブレーキディスクやシリコン単結晶を作るためのるつぼなどに使われています。すり板として使用する場合、通常のC/C複合材では導電性が十分ではありません。そのため、C/C複合材に銅合金を浸して必要な導電性を確保しています。

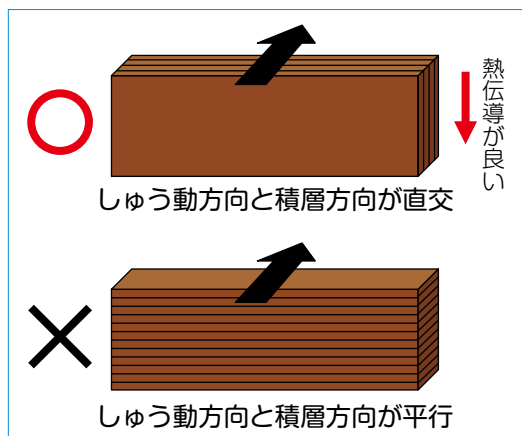


図5 C/C複合材製すり板のしゅう動方向と積層方向

と濡れ性のよい銅チタン合金を含浸金属とすることで、金属含浸のコストを大幅に下げることができ、炭素基材と含浸金属の親和性も向上しました。

そのほか、繊維強化材は繊維の方向によって強度などの性質が異なる異方向性を有することから、どの方向ですり板を使うかについても検討しました。具体的にはトロリー線とのしゅう動方向を炭素繊維シートの積層方向に対して平行にするべきか垂直にするべきかについて検討を行いました。実験の結果、しゅう動方向と積層方向を直交させた方が熱伝導が良く、通電時の摩擦が少ないことが明らかとなり、この方向で使用することにしました。ただし、この場合は積層できる厚さに限りがあるため、すり板のレール方向の幅に製造上の限界があります。図2に示すように、新幹線用の焼結合金すり板などには幅広のものも一部あります。しかし、そうした幅広形状のC/C複合材製すり板を作ることは、今のところ困

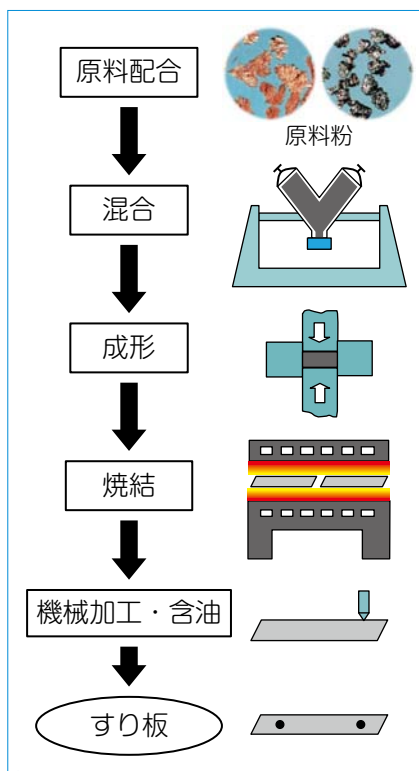


図6 焼結合金すり板の製造法

難しさを増やしてより長く使えるようにすることも有効です。①の低廉化に関しては、より安価で汎用の炭素繊維の適用や、炭素繊維含有量低減の検討を、②の摩擦特性改善については、高強度炭素繊維の適用や含浸金属組成変更による高硬化化などを、また③の摩擦しるについては、すり板厚さの増加や摩擦限度に関する検討を行っています。これらの改良により、C/C複合材製すり板のさらなる普及を目指しています。また、新幹線への適用に関しても引き続き検討を進めています。

難なので、今後の開発課題の一つと考えています。

C/C複合材製すり板の改良

新幹線への適用も視野に入るC/C複合材製すり板ですが、現在は民鉄を中心に使われています。これは、C/C複合材製すり板は金属系すり板と同様にボルトで締結することができるため、金属系からカーボン系すり板への変更が容易だからです。コストに留意して開発したC/C複合材製すり板ですが、高価な炭素繊維を多く使っているため、金属系すり板や従来のカーボン系すり板に比べて価格が高いのが難点です。コストを下げるには①すり板自体を安くすること以外に②すり板の摩擦特性を改善して摩擦を減らすこと、③

焼結合金すり板の開発

現在、新幹線や電気機関車では焼結合金製(☞参照)のすり板が使われています。焼結合金すり板は図6のように金属や固体潤滑剤の粉体から作られます。原料粉の材質、形状、配合比率など非常に多くの組み合わせがあり、これらを変えることでさまざまな特性を引き出すことができます。すり板材料の開発では、これまでの経験に基づいて基本となる組成を決め、そこから決め手となる成分を増減し、求める特性が得られるかを確認しながら試作を繰り返します。

潤滑性を向上させた銅系焼結合金すり板の開発

電気機関車や一部の在来線では硬質成分を多く含む銅系焼結合金すり板が使われています。これはもともと冬季にトロリー線に霜が付いた区間を走行するときにアーク放電が発生し、すり板の摩擦が多いことへの対策として国鉄時代に作られたすり板で、耐アーク性が高く、すり板の摩擦は少ないので

☞ 焼結合金

金属粉などを融点以下の温度で焼き固めて作る合金のこと。溶け合わない金属同士でも焼結することで合金化できます。すり板には潤滑性や耐アーク性などさまざまな特性が必要とされますが、熔融金属では配合に制限があるため、こうした要求に応えるのが難しく、金属系すり板では焼結合金製のものが主流です。在来線や電気機関車では導電性が重視され銅系の焼結合金すり板が、新幹線では強度と摩擦が少ないことが重視され鉄系の焼結合金すり板が使われています。

すがトロリー線の摩耗が多いことが難点です。そこでこのすり板の耐アーキ性はそのまま、潤滑性をさらに向上させたすり板の開発を行いました。

銅系焼結合金すり板は、母材の銅スズ合金に硬質成分としてクロム、鉄、潤滑成分として硫化銅、黒鉛などを配合したものです。改良にあたっては、スズ、クロムの増量、二硫化モリブデンやビスマスなど新たな潤滑成分の採用などに加え、焼結温度を上げることで高強度化を図ることも試しました。その結果、すり板の摩耗はほぼ同程度のまま、潤滑性が向上したすり板を開発できました。

基材に潤滑性を持たせた鉄系焼結合金すり板の開発

新幹線の鉄系焼結合金すり板の材料は、新幹線開業後から今日に至るまで改良が続けられてきました。近年では高速化に加え、低騒音化のためのパンタグラフ数削減が行われてきたことから、すり板にかかる負荷は開業当初と比べて増大しており、それに対応できるすり板材料の開発が求められていました。そこで、潤滑成分および耐アーキ性向上・摩耗低減のために硬質成分の見直しが行われました。新幹線用の鉄系焼結合金すり板は純鉄粉を主成分として、二硫化モリブデンなどの潤滑成分や、クロムやモリブデンなどの硬質金属成分を添加しています。すり板の摩耗を減らすには硬質成分をできるだけ多く添加したいのですが、添加しすぎるとトロリー線の摩耗が増えてしまいます。一方、トロリー線の摩耗を減らすために潤滑成分を増量すると、うまく焼き固めることができなくなります。硬質成分と潤滑成分のバランスを取りながら、全体の性能向上を目指すのが開発の難しいところです。

近年、主成分の鉄粉自体に潤滑性を

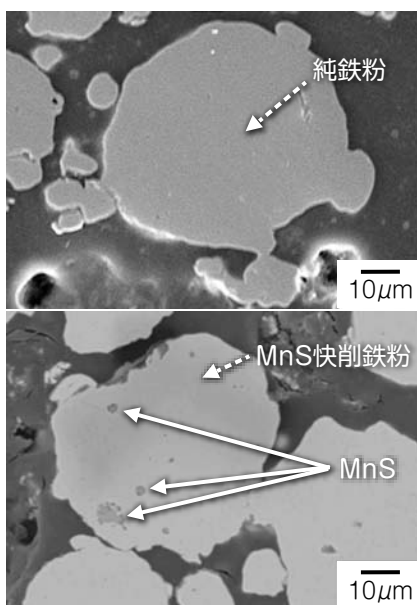


図7 純鉄粉と硫化マンガン快削鉄粉

持たせることが考案され、鉄粉に硫化マンガン (MnS) という一種の固体潤滑剤を分散させた MnS 快削鉄粉 (図7) を用いたすり板を開発しました。純鉄粉と MnS 快削鉄粉のそれぞれの基材に対して摩耗試験を行った結果、MnS 快削鉄粉から作った基材はこれまでの純鉄からなる基材よりもトロリー線の摩耗が少ないことがわかり、新たに基材として採用しました。基材の変更に加え、そのほかの成分の見直しも行い、硬質成分としてフェロ窒化チタン (Fe-TiN) やフェロモリブデン (Fe-Mo)、潤滑成分として耐熱性の高い二硫化タングステンなどを配合しました (図8)。開発したすり板は定置試験により良好な摩耗特性が確認できたため、現車による試験を行い、一部の新幹線では摩耗特性の向上が認められ、実用化されました。今後もすり板とトロリー線の摩耗低減に対する要望に応えるため、成分や配合の見直しを含めた材料開発を行います。

おわりに

すり板とトロリー線の摩耗をさらに

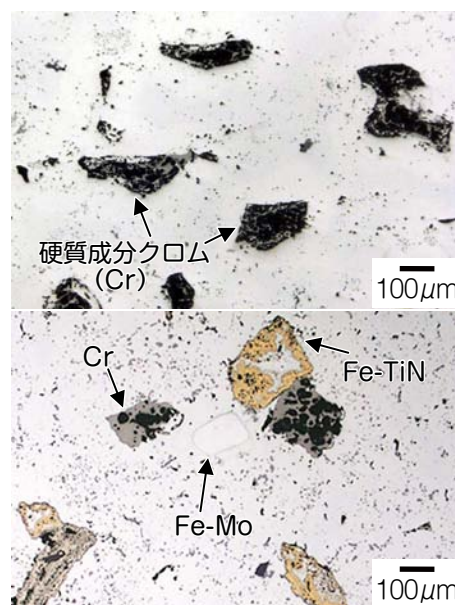


図8 鉄系焼結合金すり板の断面組織 (新幹線用) (上：従来品, 下：硫化マンガン快削鉄粉適用の開発品)

減らすため、C/C複合材製すり板および焼結合金すり板について改良を進めています。新たな成分や製造法にもトライしていますが、抜本的な改良や、新素材の開発を行うためにはすり板とトロリー線の摩耗現象をより深く理解する必要があります。材料開発に加え、摩耗試験装置での実験で現象解明を進めること、摩耗特性の評価精度をより高めることが次の段階へ到達するために必要です。鉄道事業者、学協会の皆様とともに今後とも研究開発を進めていきたいと考えています。 [RRR]

文献

- 1) 久保俊一, 土屋広志: カーボン系パンタグラフすり板の開発, RRR, Vol.56, No.8, pp.10-13, 1999
- 2) 久保俊一, 土屋広志: 新幹線用カーボン系すり板, RRR, Vol.57, No.7, pp.16-21, 2000
- 3) 土屋広志, 久保俊一: C/C複合材のパンタグラフすり板への適用, RRR, Vol.66, No.4, pp.10-13, 2009
- 4) 宮平裕生, 土屋広志: パンタグラフすり板の摩耗を低減する, RRR, Vol.71, No.2, pp.8-11, 2014