

高潤滑性アルミ複層すり板材の試作と特性評価

材料技術研究部 摩擦材料研究室

副主任研究員 久保田 喜雄

1. はじめに

電車はパンタグラフの最上部に取り付けられたパンタグラフすり板（以下、すり板）を介してトロリ線から電気を受け取っている。すり板には舟体中央に取り付けられた主すり板と、舟体端部に取り付けられた補助すり板がある。主すり板には自身が摩耗しにくいことやトロリ線を摩耗させにくいこと（潤滑性）が求められるが、補助すり板は基本的にトロリ線と接触しないことから軽量性が重視され、アルミニウム合金が使われている。しかし、分岐箇所通過時にはトロリ線の構成上、補助すり板とトロリ線が接触することが多いものの、補助すり板は潤滑性を有さないため、分岐箇所のトロリ線摩耗が多いことや、補助すり板自身が局部摩耗することが問題となっている。これらを防ぐためには、主すり板を延長することや、主すり板と同じ材質の補助すり板を使うことが有効だが、いずれも舟体質量の増加やすり板コストの増大につながる。

そこで、本研究ではアルミ補助すり板自体に潤滑性を付与し、トロリ線や補助すり板の摩耗を低減することを目的として、アルミニウム合金に炭素繊維やアルミナ繊維などを添加した複層複合材料を試作した。本報告では、試作材の摩擦・摩耗特性および曲げ強さや電気抵抗率などの物理特性を室内試験機により評価した結果と、試作材のすり板への適用可能性について述べる。

2. 供試材

アルミ合金に潤滑性と耐摩耗性を付与するため、図1に示す複層複合材を高圧鋳造法により試作した。図1上側の第1層は耐摩耗性向上を目的としたアルミナ繊維とアルミ合金（JIS：AC8A-T5）の複合材層であり、第2層は潤滑性付与を目的とした炭素繊維等とアルミ合金の複合材層、第3層は導電性確保を目的としたアルミ合金単体層である。表1に複層複合材の組成を示す。



図1 アルミ複層複合材（摩耗試験片）の外観

表1 アルミ複層複合材の構造と組成

名称	第1層	第2層	第3層
3層材 A	アルミ合金 + アルミナ繊維 (AF)	アルミ合金+炭素繊維 (CF) ※1 (複合材 A)	アルミ合金
3層材 B		アルミ合金+CF +カーボンナチューブ (CNT) ※2 (複合材 B)	
3層材 C		アルミ合金+CF+AF+CNT※3 (複合材 C)	

※1：CF 35～40%，※2：CF 30～35%，CNT 3～6%

※3：CF+AFで35～40%，CNT 3～6%（すべて体積率）

3. 試験方法

3.1 物理特性試験

試作材のすり板への適用可能性を評価するため、表1の3層材A～Cのうち、第2層のアルミ-炭素繊維複合材（以下、3層材と区別するためにアルミ複合材と記す）について、密度、抵抗率、ショア硬さ、曲げ強さ、シャルピー衝撃値を測定した。

3.2 摩耗試験

(1) 試験装置

試作材の摩耗特性を把握するため、鉄道総研所有の高速用集電材摩耗試験機を用いて摩耗試験を行った。本装置は回転円板の側面にトロリ線を模擬した純銅製リング（幅 5 mm）を取り付け、そこにすり板試験片を押し付け、しゅう動・通電する装置である。

(2) 試験条件

摩耗試験 1（アルミ材との比較）

従来の補助すり板材であるアルミ合金（JIS：AC4A-F、Al-Si-Mg 系）と 3 層材 B の摩耗特性を比較した。試験速度は 50, 100 km/h、試験時間は 1 分、押付力は 59 N とした。通電条件は無通電と直流 50 A（電流極性は模擬トロリ線側が正）とした。

摩耗試験 2（通電電流、離線アークの影響とカーボン系すり板材との比較）

主すり板として広く使用されているカーボン系すり板材（東洋炭素製、PC78A）と 3 層材 A~C の摩耗特性を比較した。試験速度は 100 km/h、試験時間は 15 分、押付力は 59 N とした。通電条件は、無通電および直流 100~300 A（電流極性は模擬トロリ線側が正）とした。

(3) 評価・測定項目

①すり板とトロリ線の摩耗

試験前後にすり板の質量を電子天秤で測定し、試験前後の質量差からすり板の比摩耗量 SWR を次式により算出した。

$$SWR = \Delta W / \rho L F \quad (1)$$

ここで、 ΔW は試験前後のすり板質量差、 ρ はすり板の密度、 L はしゅう動距離、 F は試験中の平均押付力である。模擬トロリ線の摩耗量は、試験前後に模擬トロリ線の高さをレーザー変位計により測定することで算出した。

②アーク電気量

すり板とトロリ線の間で生じるアーク放電は、すり板の摩耗に大きな影響を及ぼす。そこで、試験中にすり板と模擬トロリ線間の電位差と通電電流を測定し、試験後にそれらの測定結果から、次式で定義されるアーク電気量 Q を算出し、試作材の摩耗と離線アーク電気量との関係を調べた。

$$Q = \sum_i^N I_i \Delta t_i \quad (2)$$

ここで I_i はアーク放電時（すり板と模擬トロリ線間の電位差が 10~90V である時）の通電電流、 Δt_i はアーク放電時間、 N はアーク放電回数である。

③摩擦係数

すり板と模擬トロリ線間の垂直抗力（押付力）と摩擦力をロードセルにより測定し、摩擦係数を算出した。

4. 試験結果と考察

4.1 アルミ複合材の物理特性

物理特性試験の結果を図 2 に示す。アルミ複合材の密度は 2.5 g/cm³ 程度であり、従来のカーボン系すり板よりも軽量である。電気抵抗率は 0.08~0.14 $\mu\Omega\text{m}$ であり、基準値（3.0 $\mu\Omega\text{m}$ ）と比べて十分に小さい。アルミ複合材の硬さは 25~34 HS の範囲で、従来のカーボン系すり板（80~95 HS）と比較すると低い。曲げ強さおよびシャルピー衝撃値はいずれの複合材も基準値を超えていた。

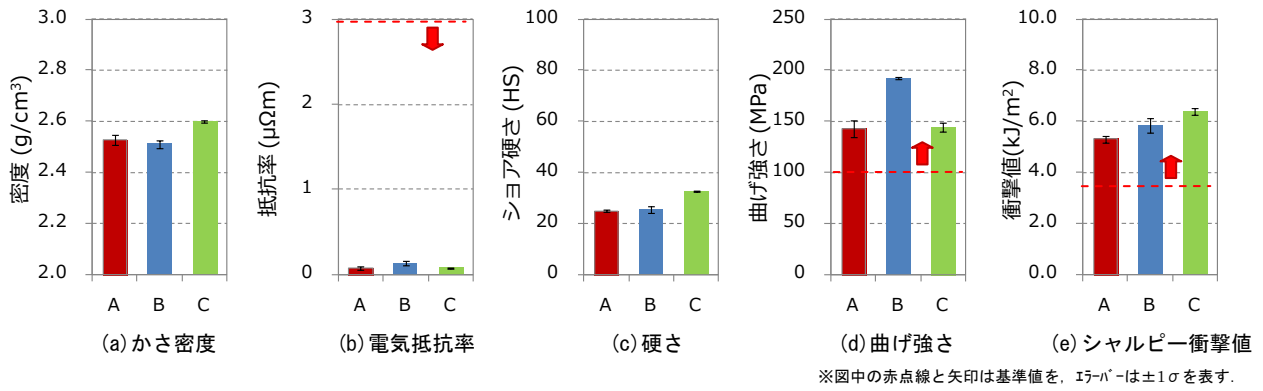


図2 アルミ複合材の物理特性

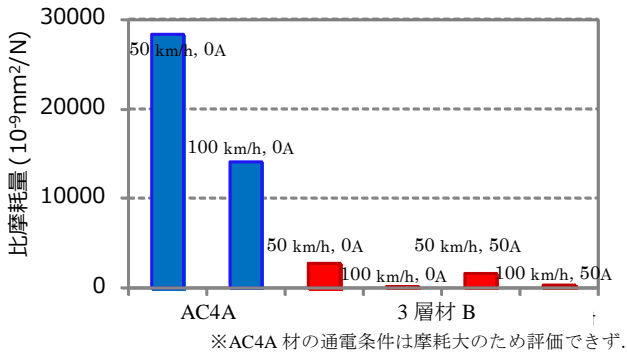


図3 従来のアルミ材と3層材の摩耗比較

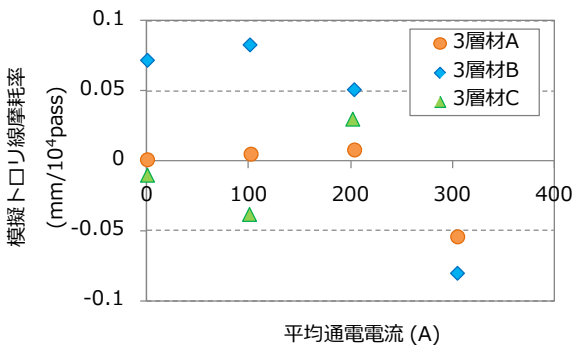


図5 通電電流と模擬トルクリ線摩耗率の関係

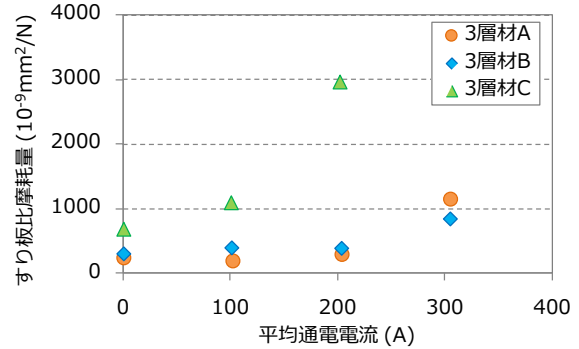


図4 通電電流とすり板摩耗量の関係

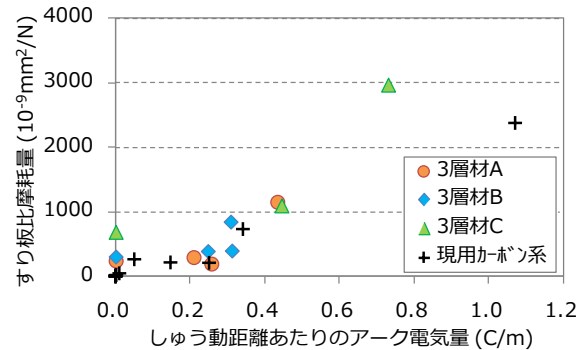


図6 アーク電気量とすり板摩耗量の関係

4.2 摩耗特性

(1) 従来のアルミ材と3層材Bの比較

摩耗試験1の結果を図3に示す。無通電条件下において、3層材Bの摩耗はAC4A材の10分の1以下であった。摩擦係数はAC4A材で0.5~1.0であったのに対し、3層材Bでは0.2~0.4と低く、潤滑性の向上が認められた。さらに、通電条件下ではAC4A材は摩耗が著しく増加し、試験が継続できなかったが、3層材Bは通電条件下であっても摩耗は無通電時と同程度であった。

(2) 3層材A~Cの摩耗特性

摩耗試験2の結果について、通電電流とすり板比摩耗量の間を関係を図4に示す。3層材AとBでは、100, 200A通電した場合でも摩耗量は無通電時とほぼ同程度であった。通電電流が300Aの場合、3層材A, Bともに摩耗量が約2倍に増加した。これは通電に伴うジュール熱により、アルミ母材が軟化したためと考えられる。3層材AとBの結果を比較すると、摩耗特性に大きな差はなく、CNT添

加による摩耗特性向上効果は認められなかった。第2層にアルミナ繊維を添加した3層材Cは、無通電時・通電時ともに3層材A、Bよりも摩耗が多く、アルミナ繊維の添加による摩耗低減効果は認められなかった。なお、3層材Cは通電電流200Aの試験で摩耗が著しく、試験を中断せざるを得なかったため300Aの試験は行わなかった。

図5に通電電流と模擬トロリ線摩耗率の関係を示す。3層材Aは無通電・通電条件ともに模擬トロリ線の摩耗は少なく、十分な潤滑性を有していることが確認できた。一方、CNTを添加した3層材BはCNT無添加の3層材Aと比べて模擬トロリ線の摩耗が多い傾向にあり、CNT添加による潤滑性の向上は認められなかった。なお、300Aの通電条件では3層材A、Bともに模擬トロリ線の摩耗率が負の値になっているが、これはすり板の摩耗が多く、すり板材が相手材である模擬トロリ線表面へ移着したためと考えられる。3層材Cの無通電および100Aの通電条件の結果で模擬トロリ線の摩耗率が負の値となっているが、いずれもすり板の移着によるものと考えられる。電流が200Aの場合に摩耗率が正となった理由は、アーク発生率が高くなり、アークによる模擬トロリ線の摩耗量がすり板の移着量を超えたためと推察される。

(3) アーク放電の影響およびカーボン系すり板材との比較

図6にアーク電気量とすり板比摩耗率の関係を示す。アルミ3層材の摩耗は現用カーボン系すり板と同様、アーク電気量に比例して増加することがわかった。

しゅう動距離あたりのアーク電気量が0.1~0.5 C/mの間でアルミ3層材と現用カーボン系すり板の比摩耗率を比較すると、同程度または若干3層材の方が大きい。アーク電気量が0の場合、すなわちアークの影響がなく機械的な摩耗が主である場合、カーボン系すり板と比べてアルミ3層材の比摩耗率は大きい。このように機械的摩耗が多いのは4.1で述べたようにアルミ3層材の硬さがカーボン系すり板材よりも低いためだと考えられる。

5. まとめ

アルミ補助すり板自体に潤滑性を付与し、トロリ線や補助すり板の摩耗を低減することを目的に、アルミニウム合金・炭素繊維・アルミナ繊維およびカーボンナノチューブの複層複合材料を試作し、物理特性および摩耗特性の評価を行った。その結果、次のことがわかった。

- (1) 試作したアルミ複合材は全てすり板としての物理特性基準を満たしていた。
- (2) アルミ3層複合材は従来のアルミ合金よりもトロリ線へ凝着しにくく、トロリ線の摩耗を減少できる可能性がある。
- (3) アルミ3層複合材にカーボンナノチューブを添加してもすり板の摩耗は減少せず、トロリ線の摩耗は増加する傾向にあった。
- (4) アルミ3層複合材は、機械的摩耗は現用カーボン系すり板PC78Aよりも多いものの、アークの発生を伴う通電条件下ではしゅう動距離あたりのアーク電気量が0.1~0.5 C/mの間である場合、カーボン系すり板と同程度の摩耗量となる。

以上のことから、試作したアルミ3層複合材のうち、アルミ合金に炭素繊維とアルミナ繊維を複合させた層を有する試作材(3層材A)は、潤滑性・耐アーク性に優れた補助すり板として適用できると考えられる。実用化にあたっては、長尺化に関する製造法の検討と、層間強度の確認が必要である。また、本試作材は条件によっては現用カーボン系すり板材と同程度の耐摩耗性を示すことから、主すり板としての適用も考えられるが、許容電流が小さいこと、トロリ線しゅう動面に電気抵抗率の高いアルミナ皮膜を形成することなどが課題である。