銅合金トロリ線と鉄系焼結合金すり板の

摩擦・摩耗に及ぼすしゅう動速度の影響(第二報)

○ 根本 公紀 [機] [電] 久保田 喜雄 [電] 山下 主税(鉄道総合技術研究所)

Effect of sliding speed on friction and wear between copper alloy contact wire and iron-based sintered alloy contact strip (Part 2)

OKoki Nemoto, Yoshitaka Kubota, Chikara Yamashita,

(Railway Technical Research Institute)

It is known that the wear rate of a contact wire in the vicinity of pantograph stopping position is about ten times higher than that in middle or high speed running areas. However, the mechanism of this increase in the contact wire wear rate has not been clarified. In order to reveal this wear mechanism, the authors conducted a wear experiment at sliding speeds in the range 30 km/h to 300 km/h using two types of contact wire. The result showed that the wear rate of both types of contact wire increased with a decrease of the sliding speed. In addition, we conducted a friction experiment with changing the sliding speed continuously. The result showed that the friction coefficient also increased with a decrease of the sliding speed.

キーワード:トロリ線,すり板,摩耗,しゅう動速度 Key Words:contact wire, contact strip, wear, sliding speed

1. はじめに

新幹線では駅構内のパンタグラフ停止位置付近(前後30 m程度)の極低速走行区間(約20km/h以下)で,その他 の区間と比べトロリ線の摩耗率が10倍程度高いが,極低 速域で摩耗率が急増するメカニズムはいまだ明らかとなっ ていない.これまで筆者らはこのメカニズム解明を最終目 標として室内実験によりしゅう動速度がトロリ線の摩耗に 及ぼす影響を調べてきた.前報¹⁾では,しゅう動速度が減 少するにつれて,PHCトロリ線の比摩耗量およびすり板と トロリ線間の摩擦係数は増大し,しゅう動速度が低い条件 では、トロリ線がすり板に移着することを報告した.

今回,しゅう動速度とトロリ線摩耗率の関係に及ぼすトロリ線の材質の影響を明らかにするため,前報とは材質が 異なるトロリ線を用いてしゅう動速度 30 km/h~300 km/h での摩耗実験を行った.また,しゅう動速度と摩擦 係数の関係を明らかにするため,速度を 0 km/h~300 km/h の間で連続的に変化させる実験を行った.本報告で は、これらの実験結果について述べる.

2. はじめに

2.1 摩耗実験装置

鉄道総研所有の高速用集電材摩耗試験機を用いて実験 を行った.実験装置の構成を図1に示す.本装置は直径2 mの円形板側面に実物のトロリ線を取り付け,そこにす り板試験片を押しつけ,しゅう動させる装置である.本 装置は通電しながらしゅう動できる装置であるが,本報 告ではアーク放電の影響などを無視し純粋なしゅう動速 度の影響を明らかにするため,主に無通電で実験を行っ ている.



2.2 供試材

本実験では、前報で用いた PHC トロリ線より硬度が 低いすず入り銅合金トロリ線 (SNN トロリ線,日立金属 製)および鉄系焼結合金すり板 (T3・2,帝国カーボン製) を用いた.供試材の諸元を表1に示す.トロリ線試験片は 公称断面積 110 mm²のものを直径 2 m の円状に曲げた ものを用いた.すり板試験片は厚さ 10 mm,幅 25 mm, 長さ 84 mm の小型試験片を用いた.

	トロリ線	すり板			
種類	GT-SNN	T3-2			
	110				
主成分	Cu	Fe			
添加元素,成分	Sn, In	Cr, MoS ₂ , Bi, BN			
密度 (kg/m ³)	8.89×10 ³	7.0×10 ³			
		(かさ密度)			
硬さ	132 HV	100 HB			
電気抵抗率	1.4×10 ⁻⁷	5.8×10 ⁻⁷			
(Ωm)					

表1 供試材の諸元

3. 定速摩耗実験

3.1 実験条件

摩擦・摩耗の速度特性を明らかにするため,前報に準 じ速度範囲を 30~300km/h とした摩耗実験を行った.摩 耗実験初期はすり板がトロリ線と全面で接触しない,い わゆる片当たりなどの影響で実験初期特有の摩耗現象が 起こる.この影響を少なくするため,実験ごとにトロリ 線のしゅう動面を切削した後,ならし運転を行った.な らし運転は高速走行時のしゅう動面を再現し,各実験条 件において初期条件を同一とする目的として,しゅう動 速度 300 km/h で行い,すり板とトロリ線が全面接触し 摩擦係数が一定となるまで行った.

定速摩耗実験の条件を表2に示す.アーク放電などの影響を排除し,純粋にしゅう動速度が摩擦・摩耗に及ぼす 影響を明らかにするため無通電条件で実験を行った.し ゅう動距離は100kmとしたが,速度30,50 km/hでは, 実験中に摩擦係数が増大し長距離にわたって安定した接 触状態を保つことができなかったため,それぞれ16,68 kmとした.

押付力	54 N				
しゅう動速度 (km/h)	30	50	100	200	300
しゅう動距離 (km)	16	68	100		
すり板左右動速度 (mm/s)	5				
诵電	なし				

表2 摩耗実験の条件

3.2 実験結果

(1) 速度とトロリ線・すり板の比摩耗量の関係

図2と図3に速度とトロリ線およびすり板の比摩耗量の

関係を示す. ここでは本報告で行った SNN トロリ線で の実験結果と前報告で行った PHC トロリ線での実験結 果を併せて示した. いずれのトロリ線でも,速度が低く なるにつれて,トロリ線の比摩耗量は増加し,すり板の 比摩耗量は減少する傾向を示した.

速度が 50 km/h 以下の条件において, PHC トロリ線 と比較して SNN トロリ線での実験では, すり板の比摩 耗量は小さかった.

速度が 100 km/h 以上の条件において, PHC トロリ線 と比較して SNN トロリ線では, トロリ線の比摩耗量は 大きかった. 一方, 速度が 50 km/h 以下の条件において, PHC トロリ線と比較して SNN トロリ線の比摩耗量は 1/10 以下であった.

(2) 速度と摩擦係数の関係

図4に速度と摩擦係数の関係を示す.速度が低下するに つれて摩擦係数は増大する傾向を示した.SNNトロリ線 とPHCトロリ線で摩擦係数は同程度であった.

(3)トロリ線およびすり板のしゅう動面観察

図5に実験後のトロリ線のしゅう動面を示す. 速度が 50 km/h 以下の条件において, トロリ線しゅう動面に長 さ mm オーダーの凹部および付着した銅が見られた. 一 方, 速度 100 km/h 以上の条件においては, トロリ線し ゅう動面に黒色の移着物が見られた.

図6に実験後のすり板のしゅう動面を示す.しゅう動速 度 50 km/h 以下の条件ではすり板のしゅう動面は銅色を 呈していた.一方,速度 100 km/h 以上の条件ではすり 板のしゅう動面は黒色を呈していた.

(4) トロリ線およびすり板のしゅう動面の元素分析

図7に実験前後のトロリ線しゅう動面の元素分析による鉄元素の割合を示す.すり板の主成分である鉄の割合は,速度50 km/h以下では実験後に減少する傾向を示したが,100 km/h以上では逆に増加する傾向を示した.

図8に実験前後のすり板しゅう動面の元素分析による 銅元素の割合を示す.速度が低い条件ほど実験後にトロ リ線の主成分である銅がすり板しゅう動面から多く検出 された.

3.3 考察

速度 50 km/h 以下の条件では,100km/h 以上と比較し てトロリ線の比摩耗量は大きく摩擦係数も高かった. 50km/h 以下ではすり板しゅう動面から検出される銅の 割合が高かったことから,すり板にトロリ線の銅が移着 し銅同士の摩擦となっていたことがトロリ線比摩耗量の 増大および高摩擦係数の一因と推察される.前報の PHC トロリ線でも同様の傾向が認められたことから,極低速 区間のトロリ線摩耗増大の要因の一つとして,すり板し ゅう動面への銅の移着が考えられる.

SNN トロリ線のしゅう動面には、PHC トロリ線での 実験では見られなかった、銅の付着物が見られた.これ は、すり板に移着した銅がトロリ線に再移着した結果生 じたものと考えられる.SNN トロリ線での実験にのみ再 移着が発生したことに対して,再現性の確認も含め今後 さらに検討する必要がある.

速度が 50 km/h 以下の条件では PHC トロリ線よりも SNN トロリ線のほうが比摩耗量は小さかった.ただし, 実験では実験前後のトロリ線の寸法変化から摩耗量を求 めており、今回のようにトロリ線の再移着が生じた場合 には、再移着物層の厚さも合わせて測定することとなり、 摩耗量が実際よりも小さく算出される.一方,速度が100 km/h 以上の条件では PHC トロリ線と比較して SNN ト ロリ線のほうが、トロリ線比摩耗量が大きかった.しか し、トロリ線のしゅう動面にすり板成分が移着しており、 速度 50 km/h 以下の条件と同様にすり板の移着物も合わ せて比摩耗量と計測しているため、このトロリ線比摩耗 量差は有意な差ではないと考えられる.よって、本実験 においてトロリ線の材質による比摩耗量の違いは相手材 の移着により議論できなかった. 今後しゅう動面の形状 も合わせて測定し、移着物の厚さも考慮してトロリ線の 比摩耗量を議論する必要がある.





4. 摩擦係数の速度変化特性

3 章では 5 条件の速度で実験を実施したが,実際には速 度は連続的に変化する.実験では速度を連続的に変化させ た場合のトロリ線摩耗量は測定できないが,摩擦係数は測 定可能である.そこで速度を 300km/h から 0km/h の間で 連続的に変化させた場合の摩擦係数を測定した.

4.1 実験条件

実験条件を表3に示す. 300 km/h ですり板を SNN ト ロリ線に押し付けたのち,0 km/h まで減速した.停止後 には続けて 300 km/h まで加速した.3章では無通電とし たが,ここでは通電の影響を確認するため,下記の4条 件で実験を実施した.なお,通電時の実験において離線 率は40%程度になる条件もあり,離線率は実条件よりも 高い実験となっている.

押付力	$54 \mathrm{N}$		
しゅう動速度	300 km/h⇒0 km/h,		
	0 km/h⇒300 km/h		
	いずれも加減速度は一定		
すり板左右動速度	0 mm/s(左右動なし)		
活電電法	無通電, AC50A,		
坦电电伽	AC100A, AC200A		

表3 速度連続変化実験の条件

4.2 実験結果

図9に速度と摩擦係数の関係を示す.通電の有無によら ず摩擦係数は速度の低下に伴い増加する傾向にあった. 無通電条件では,減速時には 60km/h 以下で速度低下に 応じて摩擦係数が増大した一方,加速時には 150km/h ま で速度増加に応じて摩擦係数が減少し,減速時と加速時 で摩擦係数の速度特性にヒステリシスが認められた.通 電条件では通電電流が大きいほど,60km/h 以下域の摩 擦係数は低下する傾向が見られ,摩擦係数が速度依存性 を示す速度域も低速側へ遷移し,上述のヒステリシスも 緩和された.

4.3 考察

摩擦係数の速度特性が無通電時にヒステリシスを示す 理由として、すり板へのトロリ線の移着が考えられる. 減速時にはすり板にトロリ線が移着し始める速度で銅同 士の摩擦状態となり、摩擦係数が増加するが、加速時に はもともとすり板に付着していた銅が脱離する速度まで 銅同士の摩擦であり摩擦係数が高い条件が続くと考えら れる.

通電の影響として、しゅう動部に電位差が発生すると、 すり板側の温度がより上昇し、すり板が溶融し、すり板 が優先的に摩耗する形態が発現する場合があることが報 告されている²⁾. これより、通電電流が増加することで、 すり板が摩耗し移着したトロリ線が脱離しやすくなり、 すり板に移着したトロリ線が脱離するしゅう動速度が低 速側へ遷移したと考えられる.



5. まとめ

しゅう動速度とトロリ線摩耗率の関係に及ぼすトロリ線 材料の影響を明らかにするため、トロリ線を用いてしゅう 動速度 30 km/h~300 km/h での摩耗実験を行った. SNN トロリ線は前報のPHCトロリ線と同様にしゅう動速度50 km/h 以下の実験条件ではトロリ線がすり板に移着する摩 耗状態となり、トロリ線の比摩耗量は増加する傾向を示し た. トロリ線材料のトロリ線摩耗率に及ぼす影響に関して は、移着物の影響により明らかとならなかったため、今後 しゅう動面の形状を測定し、移着物の厚さも考慮して摩耗 を議論する必要があると考えられる.また、摩擦係数の速 度特性を明らかにするため、しゅう動速度 0 km/h~300 km/h で連続的に速度を変化させる実験を行った. 摩擦係 数はトロリ線の比摩耗量と同様、速度の低下に応じて増加 する傾向が認められた. 通電によって摩擦係数の速度特性 は変化し、その原因として通電に伴うすり板への銅の移着 状態の変化が考えられた.

参考文献

- 1)根本公紀,久保田喜雄:銅合金トロリ線と鉄系焼結合金 すり板の摩擦・摩耗に及ぼすしゅう動速度の影響, J-RAIL 2019, pp. 570-573, 2019
- 山下主税,足立達志:集電材料の摩耗形態および繊維条件に及ぼす通電電流の影響,トライボロジスト,Vol. 58, No. 7, pp. 58-65, 2013