

球状黒鉛鑄鐵の車輛用制輪子への應用

(昭和 27 年 4 月, 28 年 4 月 本会講演大会にて発表)

高瀬孝夫*・岡本五郎**・中村 弘**・寺田敏行***・橋口貞保***

APPLICATION OF SPHEROIDAL GRAPHITE CAST IRON TO
BRAKE SHOES OF THE RAIL ROAD TRAM CAR*Takao Takase, Dr. Eng., Goro Okamoto, Hiroshi Nakamura,
Toshiyuki Terada and Sadayasu Hashiguchi*

Synopsis:

Spheroidal graphite cast iron has many good properties as an industrial material, because of its special type of graphite. Wear resisting properties of this material has been expected to be excellent since advent of spheroidal graphite cast iron. Especially, in a dry wear condition spheroidal iron is said to be superior to other types of cast iron. Much research on the wear properties this material has been made by many investigators in Japan but their opinions about wear properties of spheroidal iron differed from each other and various experimental results were obtained. Naturally, complexity of substantial wearing mechanism and diversity of experimental conditions of wearing tests caused these discrepancies. Accordingly, to permit the wearing properties of the spheroidal graphite iron to be clear, experiments should be made in practical conditions. In this report the authors compared the life of spheroidal iron brake shoes with grey iron brake shoes which had been attached to electric tram cars. The results were obtained in which the wear loss by grey iron brake shoe was about three times as spheroidal iron. The authors also made brake tests with the same tram car using two types of cast iron brake shoes which were used in the wearing tests. In brake tests retardation curves were recorded by using a self-recording acceleration meter. From these retardation curves the friction coefficients between brake shoes and tires were calculated in various experimental conditions. Thus the brake-effects of these two types of cast iron brake shoes could be compared. The results were such that the friction coefficient of spheroidal iron brake shoe was larger than that of the grey iron shoes when car velocity was raised up to more than 43 kilometers per hour.

I. 緒 言

球状黒鉛鑄鐵は主としてその黒鉛の特異な形状から新しい工業用材料として各種の特性を有することが考えられ応用範囲の広いことが期待されている。その出現以来物理的、化学的性質を調査する為の致多くの研究が発表されて来たので、その応用に関しては可成明らかとなつて来たようである。併しながらこの材料の耐磨耗性に関しては我が国に於いても諸家によつて研究が行われたが各研究者によつて、その意見なり、その得た実験結果が異り未だに本材料が磨耗に対して如何なる挙動を示すかは明らかになつていない。本質的な磨耗の機構が複雑な

こと、実験条件の種類が多岐に亘ることなどの為にそれらの不一致は当然と思われる。従つて一般的に耐磨耗性の問題を捉えんとすることは当を得ないことであり、それ故個々の使用条件について調査することが適當と考えられる。

さて進行中の列車を有効確実に減速停車せしめるには空気制動装置を用い制輪子を外輪に押圧しその摩擦によつて列車の有つ運動エネルギーを熱エネルギー等に変換放散せしめて行ふのである。この制輪子は制動毎に高速

* 大阪府立工業奨励館工博,

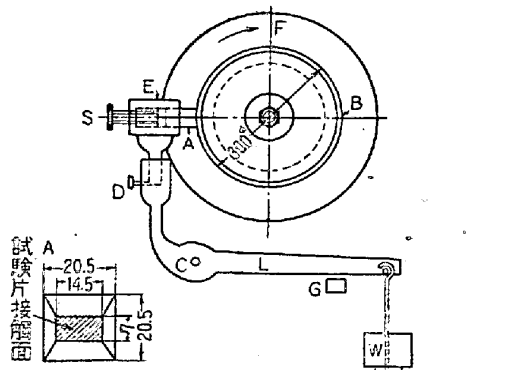
** 同館所員, *** 阪神電氣鐵道 K.K. 車輛部

高圧の摩擦作用をうけるからその磨耗は著しい。従つて経済的理由並びに電氣的故障防止等の見地から制輪子の磨耗対策は電鉄会社にとって最も重要な課題の一つである。制輪子として具備すべき条件としては

- (1) 耐磨耗性大なること。
- (2) 制動効果即ち摩擦係数大なること。
- (3) 外輪に対する削磨性なきこと。
- (4) 熱伝導性良好にして、外輪焼付の惧れなき事。
- (5) 鑄造性良好にして価格低廉なること。

などが挙げられる。

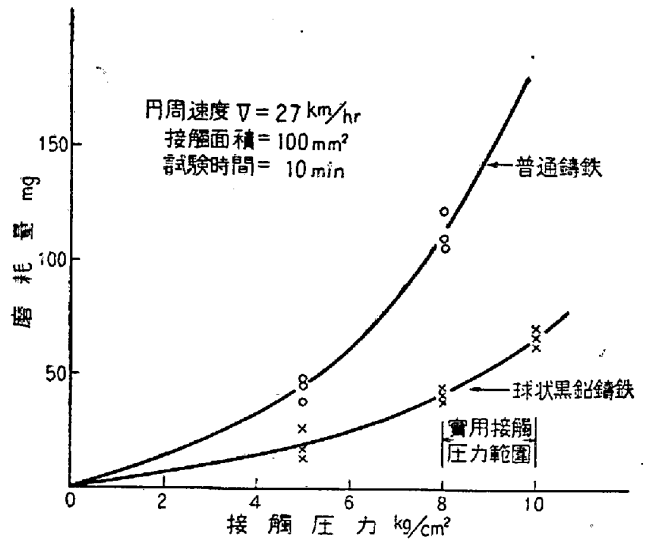
偶々この球状黒鉛鑄鉄が乾性摩擦に対して耐磨耗性が大きいと云われているところから、以前より制輪子の研究を続けている阪神電鉄車輛部に於いて制輪子用磨耗試験機で普通鑄鉄と球状黒鉛鑄鉄の比較磨耗試験を行った。この耐磨耗試験機は神戸製鋼所試作の神鋼型磨耗試験機で第1図はその構造の概要を示している。図に於て



A: 試験片, B: 試験外輪
 C: ボールベアリング, D: 試験片保持器
 E: 試験片保持器, F: フライホイール
 G: レバーガイド, L: レバー
 S: 調整ネジ, W: 錘

第1図 神鋼型磨耗試験機の構造

Bは外輪に相当する輪状廻轉試験片で現車外輪より造り之に対応するAは固定試験片で制輪子の一部より作ったものである。接触圧力を5~10kg/cm²の範囲内とし滑り速度7.5m/sec(車輻速度27km/hrに相当する。)の定速で摩擦時間10分間に於ける固定試験片の磨耗量を測定した。第2図はその結果夫々の材料についての接触圧力と磨耗量との関係曲線である。兩者共接触圧力に比例して磨耗量が増大しているが実用接触圧力範囲即ち8~10kg/cm²に於いて球状黒鉛鑄鉄は普通鑄鉄の約1/2~1/3の磨耗量とないつている。この試験により球状黒鉛鑄鉄の優秀性が認められたので以下述べる現車試験即ち実際に球状黒鉛鑄鉄制輪子を作製しそれを現車に取りつけて制輪子としての特性を調査する試験に着手した。



第2図 磨耗量と接觸圧力との關係 (磨耗試験機による)

II. 現車試験に於ける供試材

球状黒鉛鑄鉄制輪子との比較の為に使用した普通鑄鉄制輪子の化学成分は第1表の通りである。成分表より知られる通りPを可成多く含む為に組織中に燐化物が相当認められた。その硬度は170~200 B.H.N.の範囲内であつた。

球状黒鉛鑄鉄制輪子のうち大阪府立工業奨励館に於いて作製したものをA、大阪市内某鑄物工場に於けるものをBとした。制輪子Aは400kg/hrの小型キューボラにより原料銑としては有佐銑、印度銑或いは本溪湖銑を用い、コークス比は15%とし、出湯温度は1350°~1400°C程度でMg処理用の熔湯としては可成低い方であつた。従つてMg処理後鑄込温度低下の為に鑄造に少々困難を感じた場合もあつた。Mg合金としては50/50 Mg-Cu合金、60/40 Mg-Cu合金、純Mg及びFe-SiをbaseとするMg合金を用いた。一回の処理熔湯量は50kgを基準としたがそれよりも可成少い場合もあつた。Mg合金の添加方法はすべて破碎せる合金を緊束せるものを条鋼の先端に取付けて取鍋中の熔湯面下に沈める方法で、同時に鑄鉄製の蓋を取鍋に施して熔湯の飛散するのを防いだ。このように制輪子Aは装入材、Mg合金の種々なるものを用いて製作したので、成分、組織等の異つたものが出来、中には第2表の制輪子番号1, 2の如く極く僅かの球状黒鉛しか現れないものもあつた。第2表は球状黒鉛鑄鉄制輪子A各個の製作要領を示す。

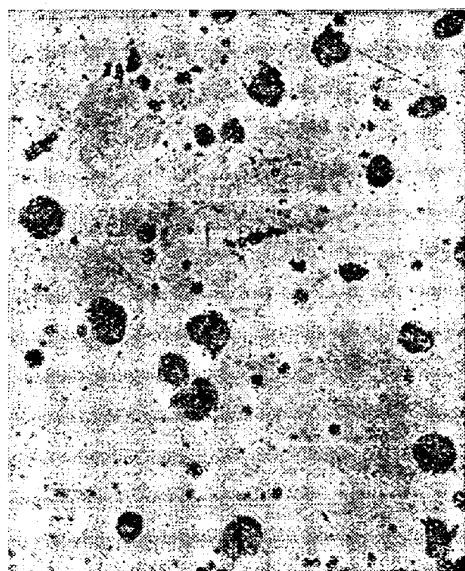
制輪子BはAと異りすべて同一方法で製作されたものでそれには500kg/hrのキューボラを用い原料銑としては八幡低燐銑、コークス比16%、出湯温度約1500°Cで

第1表 制輪子の化學成分

制輪の種類	T.C	Si	Mn	P	S	Mg
球状黒鉛鑄鐵制輪子 A No.8	3.74	1.71	0.72	0.221	0.012	0.050
球状黒鉛鑄鐵制輪子 A No.17	3.82	1.91	0.62	0.089	0.014	0.170
球状黒鉛鑄鐵制輪子 B	3.43	2.08	0.46	0.093	0.020	0.08
普通鑄鐵制輪子	3.36	1.22	0.30	0.289	0.124	—

第2表 球状黒鉛鑄鐵制輪子の製作要領

制輪子 番 號	原 料 銑	處理熔湯量 kg	Mg 處 理	Mg 添加量 %	接 種	硬 度 B.H.N.	組 織
1	印度銑	25	Mg 15% Fe-Si-Mg-Cu-Al 1,000gr	0.6	—	137	殆んど球状化 せず
2	有佐銑	25	Mg 15% Fe-Si-Mg-Cu-Al 1,000gr	0.6	—	140	〃
3 4	印度銑	40	30/70 Cu-Mg 1,200gr	2.1	40/60 Fe-Si 350gr	201 195	球状化不完全
5 6	印度銑	50	50/50 Cu-Mg 1,100gr	2.1	50/50 Fe-Si 500gr	242 240	完全に球状化
8	印度銑	50	40/60 Cu-Mg 1,000gr	1.2	50/50 Fe-Si 500gr	245	〃
17	本溪湖銑	40	純 Mg 230gr	0.7	40/60 Fe-Si 300gr	252	〃



a. 100× 腐蝕せず



b. 400× ピクラル腐蝕

第3圖 球状黒鉛鑄鐵制輪子の顯微鏡組織

あつた。Mg 合金には Mg 20% の Fe-Si-Mg 合金を用い、1回の處理熔湯量は 130kg、Mg 合金の添加には破砕せる合金を取鍋の底に置き、取鍋に施した鑄鐵製の

蓋にあけた孔より熔湯を注入する方法をとつた。

尙供試各種鑄鐵の制輪子より切り出した試験片について機械試験を行つて見たがその結果は第3表の通りであ

る。第1表は供試材の化学分析結果、第3圖の写真は球状黒鉛鑄鉄制輪子Bの組織である。

第3表 供試材の機械的性質

制輪子の種類	抗張力 kg/mm ²	伸び %	硬度 B.H.N.
球状黒鉛鑄鉄制輪子A	45.5	—	第2表の通り
球状黒鉛鑄鉄制輪子B	63.8	2	246~285
普通鑄鉄制輪子	26.9	—	170~200

第4表 試験車の制動諸元

空車重量	24.71 ton
制輪子1個に加わる力	2064.9~2655.0kg
制輪子接觸面積	254.9 cm ²
制輪子 1cm ² に作用する力 (接觸壓力)	8.10~10.41 kg/cm ²
制 動 率	66.85~85.96%

第5表 現車試験結果(普通鑄鉄制輪子)

制輪子 取付番號	取付重量 kg	取外重量 kg	磨耗量 kg	1,000km 當りの平均 磨耗量 kg/1000km	備 考
1 S	12.80	—	10.20	4.10	取換え
1 N	13.10	—	9.10	3.70	
2 S	12.80	7.5	5.30	2.15	取換え
2 N	12.45	5.9	6.55	2.65	
3 S	12.45	6.4	6.05	2.45	取換え
3 N	12.70	6.5	6.20	2.50	
4 S	12.65	—	9.95	4.05	取換え
4 N	13.40	7.6	5.80	2.35	

III. 現車試験

このようにして製作した球状黒鉛鑄鉄制輪子及び普通鑄鉄制輪子を実際に現車に取りつけ両者の比較を磨耗量制動試験について調査した。球状黒鉛鑄鉄制輪子の磨耗試験は2回に亘つて行つたが第1回には制輪子A、第2回には制輪子Bを用い、特に第2回は走行距離を長くし

第6表 現車試験結果(球状黒鉛鑄鉄制輪子A)

制輪子 取付番號	取付重量 kg	取外重量 kg	磨耗量 kg	1,000km當り の平均磨耗量 kg/1,000km	硬 度 B.H.N.	組 織	備 考
1 S 1	12.1	8.00	(4.10)	(2.35)	137	殆んど球状化せず	偏磨耗
1 N 2	12.5	8.70	(3.80)	(2.20)	140	〃	〃
2 S 3	12.0	9.50	2.50	1.45	201	稍球状化する	正常磨耗
2 N 4	12.8	10.30	2.50	1.45	195	〃	〃
3 S 5	12.0	10.45	1.55	0.90	242	球状化完全	〃
3 N 6	12.1	10.60	1.50	0.85	240	〃	〃
4 S 8	12.2	10.40	1.80	1.05	245	〃	〃
4 N 17	10.6	8.80	1.80	1.05	252	〃	〃

第7表 現車試験結果(球状黒鉛鑄鉄制輪子B)

制輪子 取付番號	取付重量 kg	取外重量 kg	磨耗量 kg	1,000km當り の平均磨耗量 kg/1,000km
1 S	12.30	9.90	2.40	0.67
1 N	12.65	9.00	3.65	1.03
2 S	12.55	9.30	3.25	0.92
2 N	12.90	8.20	4.70	1.33
3 S	12.70	9.10	3.60	1.02
3 N	12.45	8.50	3.95	1.12
4 S	12.65	8.90	3.75	1.06
4 N	13.35	9.40	2.95	0.83

第8表 各種制輪子による現車試験結果

制輪子の 種 類	制輪子1個當り の平均磨耗量 kg	走行距離 km	走行距離1,000km 當りの平均磨耗量 kg
普通鑄鉄 制輪子	7.39	2472.2	3.00
球状黒鉛鑄 鉄制輪子(A)	1.94	1745.6	1.08
〃(B)	3.52	3531.0	0.99

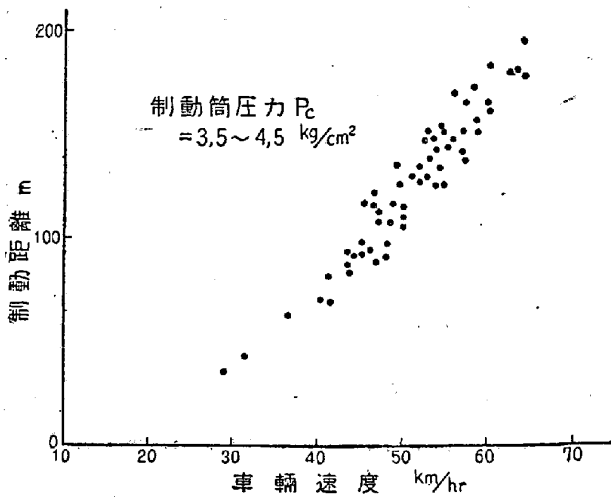
た。試験車には片押式基礎制動装置のものを使用したのがその制動諸元は第4表の通りである。制動開始速度は約40km/hrとし制輪子取付前後に於ける重量差を以て磨耗量とした。

次に磨耗試験を行つた同一試験車及び球状黒鉛鑄鉄制輪子Bを用いて任意の制動開始速度及び3.5~4.5kg/cm²の制動筒圧力に於ける制動試験を行い、制動開始速度と制動距離の関係を求めた。尙同時に車輛用加速度計電接時計を用いて制動時に於ける車輛減速度を自記せしめた。これによつて得られた減速度—時間曲線より摩擦係数μを求めた。

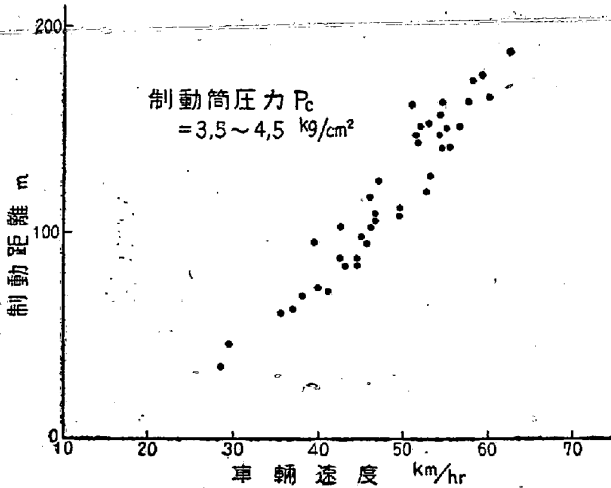
IV. 試験結果及び考察

現車による磨耗試験の結果を第5表~第8表に示す。第5表は普通鑄鉄制輪子、第6表は球状黒鉛鑄鉄制輪子A、第7表は球状黒鉛鑄鉄制輪子Bによるものである。これらの表より、各種制輪子1個についての走行距離1,000

km 当りの平均磨耗量を示すのが第8表である。それを見るに普通鑄鐵制輪子の 3.00kg なるに対し球状黒鉛鑄鐵 A では 1.08kg, B では 0.996kg となつており, A B 何れも普通鑄鐵の略々 1/3 の磨耗量である。球状黒鉛鑄鐵 A に於ける制輪子 1 及び 2 (制輪子取付番号 1S, 1N) は特に球状化が不完全であつたので第6表の如く磨耗量も他の制輪子に比し著しく大きく, 従つてそれらは第8表の 1,000km 当りの平均磨耗量 1.08kg の算出には加えなかつた。

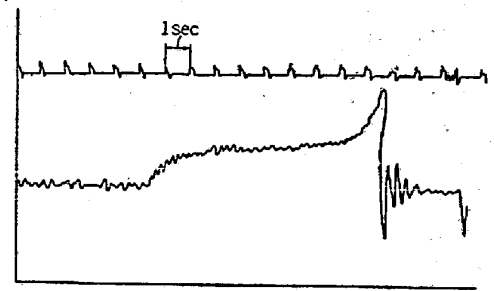


第4圖 普通鑄鐵制輪子に於ける車輛速度と制動距離との關係

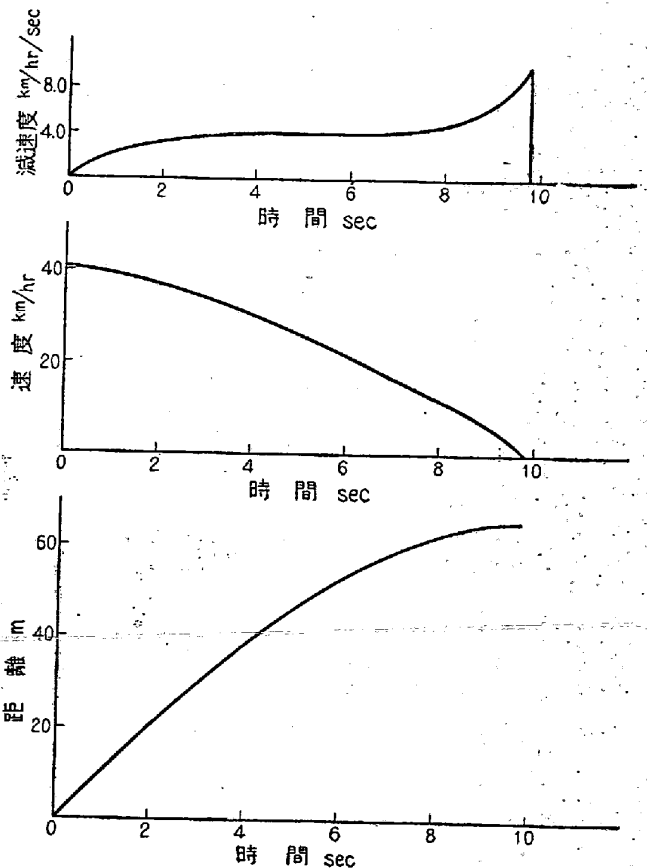


第5圖 球状黒鉛鑄鐵制輪子に於ける車輛速度と制動距離との關係

第4圖及び第5圖は夫々普通鑄鐵制輪子及び球状黒鉛鑄鐵制輪子を用いた場合の制動開始速度と制動距離との關係である。之では制動筒圧力が 3.5~4.5kg/cm² の範圍に分布しており, 又制動機の操作或いは制動距離の測定に誤差のあることが考えられる為、兩者の比較は困難である。従つて感度の高い加速度計を用いて直接自記



第6圖 加速度計による減速度記録の一例



第7圖 減速度記録の圖式積分

した減速度より制輪子外輪間の摩擦係数を求めそれによつて兩者を比較したのである。

即ち種々の制動筒圧力で前記の制動試験を行つた際に車輛の減速度を梅北式大型加速度計により記録した。第6圖は加速度計による減速度記録の一例である。この時間—減速度曲線を基礎にして図式積分により第7圖の如く時間—速度曲線及び時間—距離曲線を作成した。図式積分による速度, 距離の値は実測によるそれらの値と5%以内の誤差でよく一致するので本試験に於いてはこの減速度曲線を元とすることにした。従つて減速度曲線より $\frac{dv}{dt}$ を求め次式よりその速度に於ける摩擦係数を算出した。

$$M \cdot dv = F \cdot \mu \cdot dt$$

$$\frac{dv}{dt} \frac{F}{M} \cdot \mu = \frac{F}{W} g \cdot \mu$$

茲に M = 車輛の質量 = W/g

$dv = dt$ 時間に於ける速度の変化量

F = 制動力

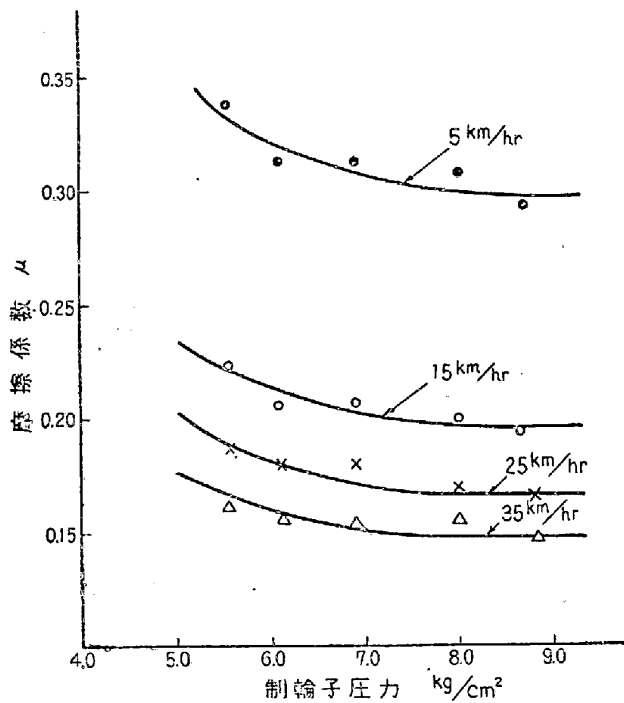
g = 重力の加速度

μ = 或る速度に於ける摩擦係数

実際は廻転部分の割増重量を考慮しなければならない

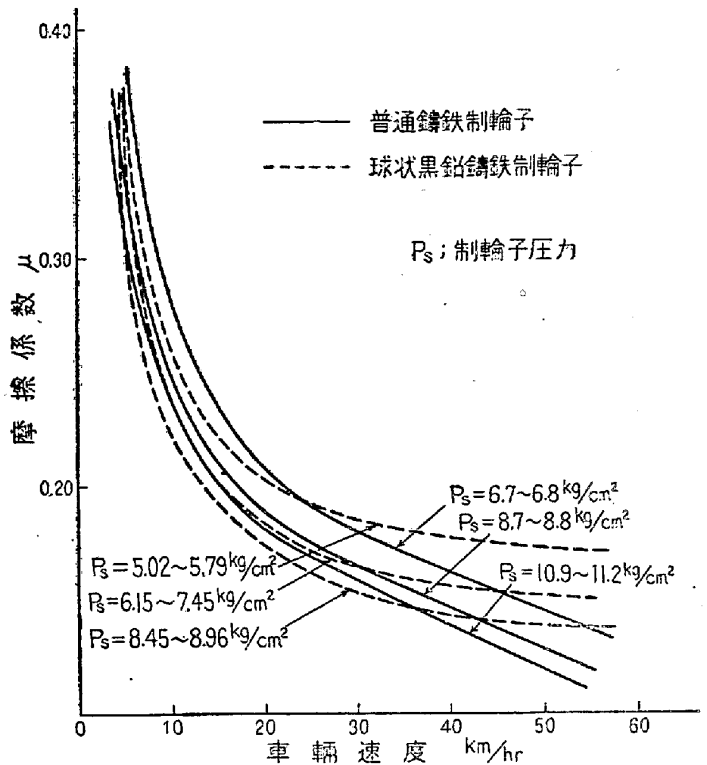
から

$$\frac{dv}{dt} = \frac{F}{We} \cdot g \cdot \mu$$

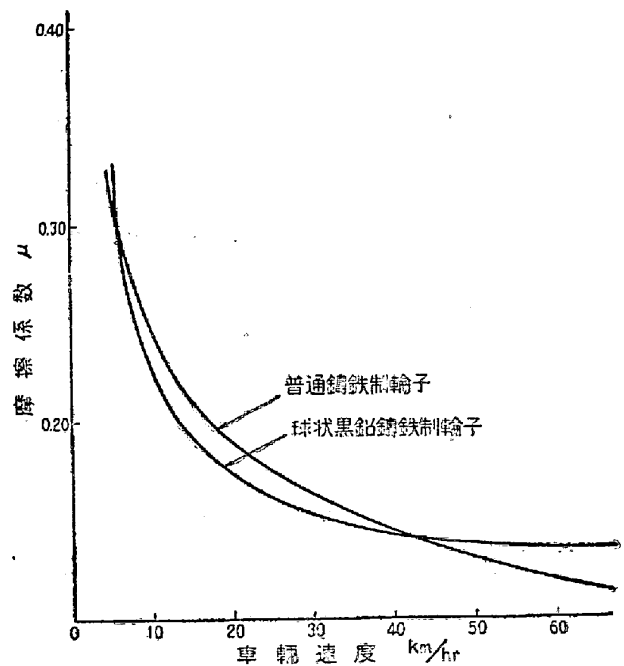


第8圖 制輪子圧力と摩擦係数との關係

上式より求めた摩擦係数 μ を用いて第8圖~第10圖を作製した。即ち第8圖は同一速度に於て制輪子圧力を变化させた場合の摩擦係数を示す。第9圖は種々の制輪子圧力に於ける速度と摩擦係数との關係である。更に第10圖は兩種鑄鉄の比較を容易ならしめる為に制輪子圧力 P_s を $8.5 \text{kg}/\text{cm}^2$ とした時の速度と摩擦係数の關係である。之によれば速度 $43 \text{km}/\text{hr}$ 附近で両曲線が交錯している。之は即ち球状黒鉛鑄鉄制輪子の場合高速度程摩擦係数の低下が少いことを示している。このように高速度に於いて摩擦係数の比較的大きいことは今後車輛速度が益々高速化して行く傾向を考えれば制動効果を本来の目的とする制輪子にとつては非常に優れた性質ということが出来る。



第9圖 車輛速度と摩擦係数との關係



第10圖 車輛速度と摩擦係数との關係 (制輪子圧力 $P_s = 8.5 \text{kg}/\text{cm}^2$)

V: 結 言

本実験より知り得た事柄を要約すれば

- (1) 本実験では球状黒鉛鑄鉄制輪子について2回の実験を行つたが、何れも普通鑄鉄制輪子に比し約3倍の

耐磨耗性を有つており、又阪神電鉄では実用に供して優秀な成績をあげている。

(2) 制動試験によつて制動開始速度と制動距離との関係を求めたが之では両鑄鐵の制動効果の相違を知ることは出来なかつた。

(3) 更に感度の高い加速度計等から制輪子外輪間の摩擦係数を求めたが球状黒鉛鑄鐵制輪子では高速に於いて

比較的摩擦係数の大きいことが認められた。之は今後車輛が高速化して行くことを考えればすぐれた性質を有しているものと言える。

終りに球状黒鉛鑄鐵制輪子作製に協力された大阪府立工業奨励館金屬第一課の徳橋、喜多の両兄に深謝し、又本研究の費用の一部は文部省科学試験研究費によるものであることを附記する。(昭和 28 年 10 月寄稿)

耐熱鋼の高温酸化に関する研究 (I)

(バナジウム腐蝕に関する研究)

(昭和 27 年 11 月本会講演大会にて講演)

芥 川 武*・藤 田 利 夫*

STUDY ON HIGH TEMPERATURE OXIDATION OF HEAT RESISTING STEELS (I)

Takeshi Akutagawa, Dr. Eng. and Toshio Fujita

Synopsis:

Burning of heavy oil in gas turbines raises some special problems. Especially, "vanadium attack" is a problem of importance. This report discussed the fundamental experiment concerning vanadium attack and some methods which were being considered for preventing them.

The presence of a small quantity of the vanadium pentoxide or artificial ash, 2mg (5mg) on specimens (15×20×1mm), was sufficient to increase the loss of metal from tenfold to fiftyfold in 100 hours.

It was found that this attack was accelerated with increasing quantity of vanadium pentoxide or artificial ash. Especially, Timken 16-25-6 alloy was attacked at 800~850°C very severely.

It was presumed that when this alloy with 6 pct. molybdenum content was oxidized, molybdenum trioxide appeared on its surface, and because molybdenum trioxide as well as vanadium pentoxide which had the very low melting point, fused together with the oxide film, the protecting action of the film was destroyed. In addition, molybdenum trioxide and vanadium pentoxide were the catalyser of oxidizing reactions, and thus the oxidation of the alloy was remarkably promoted.

The protection of vanadium attack would be needed either to render V_2O_5 inert (CaO, MgO etc.) or to provide some new kind of protective layer (ceramic coating etc.) over the materials.

It was found that when vanadium pentoxide was mixed with MgO or CaO, the oxidizing reaction of materials was impeded at about 700°C~800°C, and the materials which had been given ceramic coating showed very excellent results for vanadium attack at 800°C~900°C.

I. 緒 言

最近耐熱鋼が急速に発達した為ガスタービンが使用される様になつて来た。此のガスタービンの燃料として、

重油を使用する場合、この重油中に存在する灰分中の V_2O_5 に依つて、タービン翼、その他が急速に腐蝕する

* 東京大學工學部教授工博、同冶金學教室