

合成ブレーキ材の試作について

湯 本 誠 治*

A Trial Manufacture of the Composition Brake Shoe

Seiji Yumoto

1. はじめに

石綿を基材としたブレーキライニングについては、かなり以前から研究され、今日では各方面に用いられて、その規格も定められている (JIS D4411自動車用ブレーキライニング・JIS R3455産業機械用石綿ブレーキライニング)。その反面、主として鉄道車両に用いられている brake shoe については、古い歴史を持つ鑄鉄製のもの (JIS E7501) が今日もなお大多数を占めている。最近になり外国文献で、粉末金属・石綿などの充てん剤をプラスチックで固めた新しいブレーキ材の摩擦特性が、鑄鉄に比べ多くの長所を有する事が報ぜられて来た。以来わが国でもその研究が始められ、現在では少くとも3社が製作を開始し、なお数社が開発に着手しつつあるもようである。国産 brake shoe の試用結果の報告によれば、多くの利点を持つ反面、欠点もまた少なくなく、改善を望まれている現状にある。⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾

これらの諸報告は、何れも製品を車両にとりつけての、いわゆる実車試験の成績報告で、製造方法については触れていない。成分配合割合については、内外のメーカーとも秘密を保ち、発表資料も少しはあるが、これも特許申請中の関係上、詳細については明らかにされていない。⁽⁷⁾

本研究は摩耗量を少なくし、耐熱性を高めて fade 現象を起さず、希望する摩擦係数が得られ、機械的強度が充分で成形方法が容易であり、かつ、安価なブレーキ材を合成するための成分配合割合・成形条件などについて実験し、多少の考察を加えたものである。

2. 合成ブレーキ材の特徴

2-1 成 分

国外における合成ブレーキ材としては、Ferode 社 (イギリス) と Cobra (アメリカのウェスチングハウス社とジョンズ・マンビル社の共同研究) が著名であるが、成分は前述のとおり公表されていない。輸入品の検査結果をみると表1のとおりである。

表1 フェロード社試料の材質⁽⁸⁾

試料	分類	比重	外 観	結着剤 (推定)	その他の配合剤 (推定)
VG 2	合成ブレーキ材	1.763	黒 色	フェノール系樹脂	短繊維アスベスト+少量の鑄鉄粉+カーボン
VG 4	合成ブレーキ材	2.006	褐 色	尿素系樹脂+粒子状フェノール系樹脂	アスベスト+鉄粉(粒子状)
VG 6	合成ブレーキ材	2.161	黒 色	フェノール系樹脂+粒子状カシュー樹脂	アスベスト+鉄粉+軟質金属

E 428	合成ブレーキ材	1.865	黒色	フェノール系樹脂+ゴム	アスベスト+鉄粉
DS 7	合成ブレーキ材	2.181	黒色	ゴム+フェノール系樹脂	アスベスト+鑄鉄粉+黄銅粉(粒度大)+カーボン
DS-11	合成ブレーキ材	3.138	黒色	フェノール系樹脂	アスベスト+鑄鉄チップ+銅粉
E 234/2	黄銅系セミメタリック材	3.323	茶褐色	フェノール系樹脂	アスベスト+黄銅チップ+銅粉
E3103	銅系焼結合金材	4.887	銅色	—	アスベスト
SM12	青銅系焼結合金材	3.164	黒色	—	不明

表2 特殊ブレーキ材の成分規格⁹⁾

成分名	割合(%)
非鉄金属, 黒鉛を乾性油およびゴムで固め粉碎したもの	15 ~ 20
鑄鉄粉末	50 ~ 60
石綿	10 ~ 15
乾性油	10 ~ 15
レジンまたはゴム	5 ~ 10

表3 合成ブレーキ材分析表(%)

成分	メーカー	
	A社	B社
F _o	43.56	32.92
レジン+ゴム+黒鉛+油脂	43.78	64.85
石綿+Si	12.21	1.17
Mn+P+その他	0.45	1.06

Si・Mn・Pは特に添加したものではなく、原材料の鑄鉄粉中のものとおもわれる。またB社のものは石綿をほとんど含んでいない。なおバインダはA社のものはレジンを中心とし、B社のものはゴムが主体と推定される。

表4 乾式法(粉末レジン使用)によるブレーキライニングの製法¹⁰⁾

成分	割合(%)
フェノールレジン	16
カードライト	8
重晶石	8
アスベスト・ファイバ	68

表5 型ごめブレーキライニングの製法¹¹⁾

成分	割合(%)
石綿繊維	30 ~ 60
無機物充てん剤(金属粉を含む)	15 ~ 40
有機物充てん剤	5 ~ 15
結合剤	20 ~ 30

(ロ) 摩擦係数の制御が容易である。

成分配合割合を変えることにより低 μ ・高 μ が自由に得られ、目的に適したものが作られる。

(ハ) 耐摩耗性が大きい。

鑄鉄製の3~5倍の寿命がある。

また国鉄への納入規格は表2のように定められている。

こゝろみに国産品2種を入手し分析してみたところ、表3のとおり両社独自の配合割合を持ち、かなりの差がみうけられる。

なお同種のブレーキ材として、自動車などに用いられているブレーキライニングについて二・三の例を示すと、表4・表5のとおりであり、これも標準割合と称すべきものはないものである。

2-2 長所と短所

文献(1)~(6)により知られた鑄鉄製との比較を要約すると、つぎのとおりである。

(1) 長所

(イ) 摩擦係数の変動が少ない。

鑄鉄製の場合の摩擦係数は、摩擦速度が高い時には低くなり、低速時にはいちじるしく高くなるが、合成ブレーキ材ではこの変化が少なく、図1のような傾向を示す。

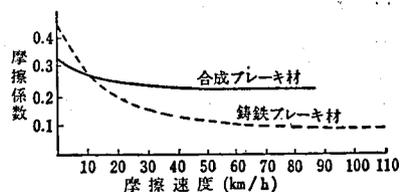


図1 摩擦係数—摩擦速度線図
(ブレーキドラム: STY80)

その他重量が約 $\frac{1}{3}$ で取扱いが容易になる。また摩擦粉は、鑄鉄粉ほど電気絶縁の劣化をおこさない。

(2) 短所

(イ) 熱伝導率が低い。

このため摩擦熱はブレーキドラムに吸収され、ドラムに thermal cracking や grooving を発生しやすい。

(ロ) 耐熱性が低い。

摩擦温度が高くなると、バインダとして有機物が用いられているため、炭化物を生成し、これがあたかも潤滑剤のごとくに作用して、急激にブレーキ力を低下せしめる、いわゆる fade 現象が起きやすい。

(ハ) 価額が高い。

鑄鉄製に比べ約5倍である。

3. 各成分の配合計画

合成ブレーキ材の優劣は、どの成分をどんな割合で配合するかによって大部分は決定され、それに成形条件（圧力と温度）の適否が、多少その性能を左右するものと考えてよい。

プラスチックをバインダとした合成材の摩擦特性に関する基礎研究は、現在までのところでは非常に少いようであるが、発表された二・三の資料によれば、いずれも充てん剤の種類と添加量による⁽²⁾³¹⁴⁰⁹ことが指摘されている。

前掲の各資料を参考にしてその特性を考え、選択した市販品を以下にのべる。

(1) バインダ

結合剤としては、熱硬化性樹脂のうちフェノールレジンをを用いる事にし、耐熱性がすぐれていると思われるところのブレーキライニング用・レジノイド砥石用・シェルモールド用を用いることにした。なおエポキシレジンは耐熱性・機械的強さ・金属との接着性がすぐれていることは周知のとおりであり、かつ実験¹⁰済みなので、エポキシ変性フェノールレジンを試用することにした。

なおフェノール樹脂には、粉末状のノボラック（酸性触媒使用）と液状のレゾール（アルカリ性触媒使用）があるが、成形が容易で他の成分との混合も便利なノボラックタイプの下記のものを使うことにした。

社名および記号	適した用途	融点 (毛管法°C)	流動度 (125°C) mm	ゲル時間 (150°C) sec
日本ライヒ J 375	ブレーキライニング用	85~100	20~50	60~110
住友ベーク PR 311	〃	78~92	42~82	40~80
〃 PR 312	〃			
〃 PR-6-2-20	〃			
日本ライヒ 7500	シェルモールド用			
〃 J 363	レジノイド砥石用	85~100	15~40	40~80
〃 1930	エポキシ変性フェノール			

(注：数値は会社カタログによる)

(2) 黒鉛類

黒鉛は耐熱性・耐摩耗性にすぐれ、また摩擦係数を下げる作用をもつ。なおカーボンや二硫化モリブデンも試用してみることにし、下記のをそろえた。

天然産結晶黒鉛	日本ルツボ CC-1
人造黒鉛粉末	日本カーボン EG-IC, NK-4
人造無定形炭素	〃 GPW
二硫化モリブデン	(化学用 純度99%)

(3) 珪酸類

これは前記諸文献中にはなかったものであるが、超微粒子の珪酸質のもので、成形性を良くし、耐摩耗性を増す見込みのもとに用いることにした。なお増量剤としての役目も果す。

日本シリカ	VN3 (商品名 ホワイトカーボン)
沢村亜鉛	20-A (〃 ミクロパックス)

(4) ゴム

フェノールレジジンとの親和性良好なハイカー1411 (輸入品の商品名) を用いることにした。ゴムの作用は、レジジンと同様にバインダの役目を果す。

(5) 石綿

耐熱・耐摩耗性を増す。石綿 ($3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) の結晶水が、熱で追い出されると繊維としての特性を失って粉末になり、ブレーキ片表面から飛び去つて、常に新しい石綿が連続的にブレーキドラムに接触するのが、石綿の特性といわれている。

(6) 鑄鉄粉

多く入れれば鑄鉄ブレーキ片に近づいて、合成ブレーキ材の長所を減じ、少なすぎると熱伝導率が低下し、また機械的強さが小になる。

適正粒度は不明なので、100メッシュと50メッシュで試みることにした。

(7) 非鉄金属粉

黄銅粉および青銅粉のいずれも100メッシュのものを試用した。熱伝導率を高めるほかに、摩擦安定剤としての作用を持つものようである。

4. 合成ブレーキ材の試験方法

4-1 成形方法

熱硬化性樹脂の圧縮成形方法には、一般に冷間成形法 (レジノイド砥石の製作に用いられる方法で、混合→加圧成形→金型より取り出し→加熱) と熱間成形法 (図2参照) があるが、製作時間の短い後者を採用した。フェノール樹脂成形品を得るためには、ゲル化→成形→硬化の3工程が必要であるが、そのためには高温と高圧を要し、金型内の材料に温度と圧力を加え、上記の3工程を金型内で行なう方法をとった。

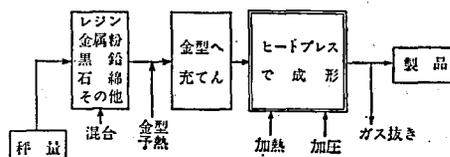


図2 試験片の製作方法

heat press の上下の熱板は電熱式で、サーモスタットにより所定温度に保たれる。成形条件はASTM: D796-51 (試験片標準成形条件) を参考にし、加熱は170°C、6分とした。加圧力の規格は175kg/cm² であるが、充てん剤を含む場合は、一般に160~500 kg/cm² といわれているので、やゝ高くして200kg/cm² にした。

このようにして加熱・加圧されたフェノール樹脂は、まず粉末状態のものがゲル化し、流動性を増して他の充てん剤を包み、時間の経過につれて curing を完了することになる。

4-2 試験片の種類

衝撃試験片と耐圧試験片は JIS K6911(熱硬化性樹脂一般試験方法) に定められたとおり、図3の(a)および(b)とし摩擦試験片は JIS R3455 (産業機械用石綿ブレーキライニング) に定めたものよりも、保持の容易さを考慮して厚くし、同図(c)の寸法にした。

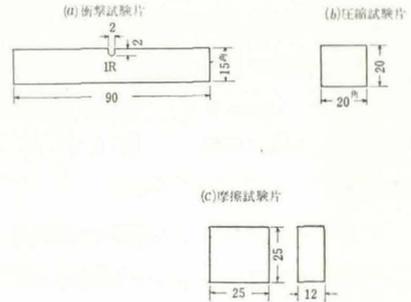


図 3 試験片の形状

4-3 試験装置

- (イ) 熱プレス……容量37ton 定温装置付き
- (ロ) 衝撃試験機……プラスチック用 (シャルピー式)
- (ハ) 圧縮強さ試験機……容量10ton アムスラー型
- (ニ) 試験片製作用金型……図3の形を得るに適したもの
- (ホ) 摩擦試験機……回転ドラム型連続定速摩擦式 (図4-1)

本機の概要を図4-2)に示す。試験片をコイルバネによりドラム面に押しつけると、摩擦力でてこが時計方向に回転しようとするが、てこが水平になるようにその左端におもりのをのせて摩擦力と平衡させ、おもりの重量から μ を算出する。ドラムカバーの内面にはヒーターを備え、電圧を調整してドラム表面温度が加減できる。ドラムの回転数はギヤー装置で4段に変速できる。

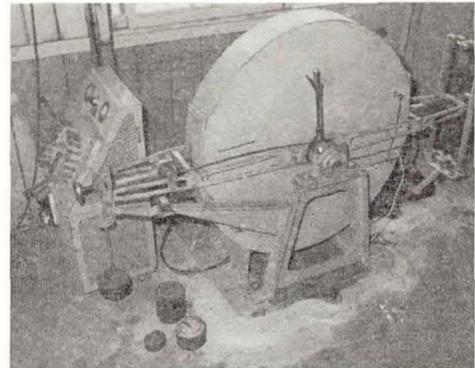


図 4-1) ブレーキテスタ(鉄研式)

μ はつぎにより算出する。

$$F_1 = \mu_1 P_1 \quad F_2 = \mu_2 P_2$$

$$WL = v/2(F_1 + F_2) = v/2(\mu_1 P_1 + \mu_2 P_2)$$

バネ圧を調整して $P_1 = P_2 = P$ とし、2個の試験片材質が同じならば $\mu_1 = \mu_2$ であるからこれを μ とすれば

$$WL = v/2 \{ P (\mu_1 + \mu_2) \} = D\mu P$$

こゝで $L = D$ であるから

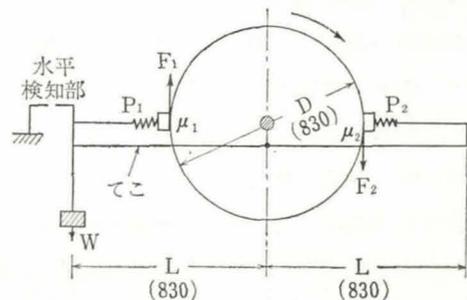


図 4-2) ブレーキテスタの構造

$$W = \mu P \quad \therefore \mu = \frac{W}{P}$$

4-4 試験条件

摩擦速度 20m/sec
 ブレーキドラムの温度 150°C
 試験片押圧力 5kg/cm²

5. 実験の経過

5-1 成分割合推定試験

前掲の表2~表5をみても、その範囲があまりにも広く、機械的強さや摩擦係数に対し、どの成分が影響しているかが明らかでない。そこでこれらのデータを参考にし、強度については耐圧力と衝撃値を調べ、摩擦係数は0.2に近くするための要因を早急に求めるため、直交配列表による、ごく簡単なL₈(2⁷)のわりつけの実験を行なった。なお要因間の交互作用はないものと仮定した。表6は成分配合割合と測定値を示す。比較のため、市販のA社製品の測定値も付記した。

表6 配合割合及び試験結果

試験片番号	配合割合(%)						特性値		
	人造鉛	ゴム	黄銅粉 (100メッシュ)	石綿	レジン (J 375)	鑄鉄粉 (100メッシュ)	耐圧力 (kg)	衝撃値 (kg·cm/cm ²)	摩擦係数
1	10	2	2	10	10	66	1,580	6.4	0.46
2	10	2	2	15	15	47	3,120	10.2	0.30
3	10	4	4	10	10	47	1,680	5.0	0.54
4	10	4	4	15	15	66	2,830	10.6	0.46
5	15	2	4	10	15	66	2,900	8.3	0.44
6	15	2	4	15	10	47	2,720	7.8	0.48
7	15	4	2	10	15	47	1,920	10.9	0.34
8	15	4	2	15	10	66	2,120	7.2	0.54
市販在来品 (配合割合不明)							6,300	4.8	0.31

表7 圧縮強さの分散分析表

項目	平方和	自由度	不偏分散	F ₀	判定
黒鉛	0.03	1	0.03		
ゴム	0.30	1	0.30	3.16	
黄銅粉	0.22	1	0.22		
石綿	0.92	1	0.92	9.69	※
レジン	0.85	1	0.85	8.95	※
鑄鉄粉	0.01	1	0.01		
誤差 e	0.12	1	0.12		
計	2.45	7			

(注1) 要因効果の小さい黒鉛・黄銅粉・鑄鉄粉は誤差項に含めて誤差をe' とすると、e' = 0.38, 自由度は4, V_{e'} = 0.095となる。F₀はV_{e'}で算出した。

(注2) ※F₁²(0.05) = 7.71

(1) 耐圧力について

測定値から圧縮強さの分散分析表を作成すると表7のとおりで、レジンと石綿の含有量で有意差があるものと思われる。この関係を図示すると

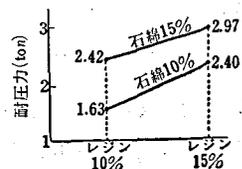


図5 レジンと石綿が耐圧力に及ぼす影響

図5のように

なる。以上を考察するとつぎの事がいえる。

(i) レジンと石綿は、ともに多い方が圧縮強さは大きくなる。

(ロ) この成分割合では、A社製品に比し、強度は $1/2$ 以下である。

(2) 衝撃値について

衝撃値の分散分析表は表8のとおりで、レジンが「高度に有意」となり、図6にその状態を示す。

表8 衝撃値の分散分析表

項目	平方和	自由度	不偏分散	F ₀	判定
黒鉛	0.45	1	0.45		
ゴム	0.16	1	0.16		
黄銅粉	1.20	1	1.20	1.53	
石綿	3.51	1	3.51	4.48	
レジン	22.78	1	22.78	29.0	※※
鋳鉄粉	0.28	1	0.28		
誤差 e	2.25	1	2.25		
計	30.63	7			

(注1) $e' = 3.14$ $V_{e'} = 3.14/4 = 0.785$

(注2) ※※ $F_1^*(0.05) = 7.71$ $F_1^*(0.01) = 21.2$

表9 摩擦係数の分散分析表

項目	平方和	自由度	不偏分散	F ₀	判定
黒鉛	0.0002	1	0.0002		
ゴム	0.0047	1	0.0047		
黄銅粉	0.0115	1	0.0115	4.26	
石綿	0.0001	1	0.0001		
レジン	0.0268	1	0.0268	9.93	※
鋳鉄粉	0.0080	1	0.0080		
誤差 e	0.0005	1	0.0005		
計	0.0518	7			

(注1) $e' = 0.0135$ $V_{e'} = 0.0135/5 = 0.0027$

(注2) ※ $F_1^*(0.05) = 6.67$

以上のことから、つぎのことがいえる。

(イ) レジンが多いと衝撃値は高くなる。

(ロ) 石綿やゴムは、
衝撃値を高めるものと予想していたが、この実験の配合差では影響はない。

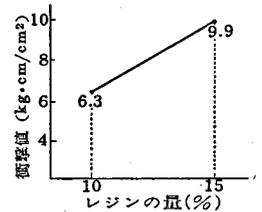


図6 レジン量と衝撃値

(ハ) A社品に比し約2倍の強さがある。

(3) 摩擦係数について

μ については表9および図7のとおり、レジンのみが有意となつて現われたが、文献などから判断してつぎのように考えられる。

(イ) 有意水準(危険率)5%で、レジンのみが μ に影響ありといえる。しかし黒鉛は μ を下げ、石綿は上げるものと考えられるので、本実験のみで断ずることは危険がある。

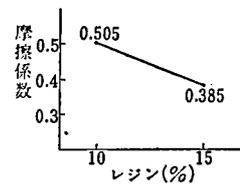


図7 レジン量と摩擦係数

(ロ) A社品に比し μ が大きすぎる。

(4) 総合考察

(イ) 在来市販品に比し、耐圧力は低く衝撃値は高い。

(ロ) レジンが多いほど、機械的強さは大になり、 μ は小さくなる。

(ハ) 石綿が多いと、耐圧力が増したのは予想どおりであったが、衝撃値は予期に反して増加しなかった。

(ニ) μ を左右する因子については判然としなかつた。

(ホ) $L_8(2^7)$ で6列に要因をわりつけたため、誤差列は1列だけとなり、この実験の精度は劣っている。

(ヘ) 材料混合度の不均一は、当然のことながら、測定値に大きく影響する。

(ト) 成分配合割合は、一応表10が適当と考えられる。

表10 暫定成分配合割合 (%)

黒鉛	ゴム	黄銅粉	石綿	レジン	鋳鉄粉
12	3	3	15	20	47

5-2 レジンと黒鉛の適種選択試験

入手した材料のうち、レジン3種と黒鉛類3種について、どの品種が良いかを試験した。衝撃値については、前回の試験で十分な値が得られたので、耐圧力を高め μ を低くする因子を探すことにした。

実験計画は表11のようにわりつけ、その成績を表12と図8に示す。

表11 試験材料および実験結果

試験片	材料の組合せ		特性値	
	フェノールレジン	黒鉛類	耐圧力 (kg)	摩擦係数
1	エポキシ変性(1930)	天然黒鉛	3,330	0.33
2	エポキシ変性(1930)	人造黒鉛	4,430	0.38
3	エポキシ変性(1930)	無定形炭素	5,830	0.36
4	ブレーキライニング用 (J375)	天然黒鉛	2,780	0.44
5	ブレーキライニング用 (J375)	人造黒鉛	3,870	0.36
6	ブレーキライニング用 (J375)	無定形炭素	4,580	0.35
7	レジノイド砥石用 (J363)	天然黒鉛	3,340	(欠測)
8	レジノイド砥石用 (J363)	人造黒鉛	4,440	0.35
9	レジノイド砥石用 (J363)	無定形炭素	5,320	0.30

(注1) 直交配列表 $L_9(3^4)$ の第1列にはレジンを、第2列には黒鉛をわりつけた。

(注2) 黒鉛類は何れも純度60%のものを用いた。

表12 耐圧力の分散分析表

項目	2乗和	自由度	不偏分散	F_0	判定
レジン	0.70	2	0.35	2.80	
黒鉛	6.50	2	3.25	26.0	※※
誤差	0.50	4	0.125		
計	7.70	8			

(注) ※※ $F_{0.01}^2(0.01)=18.0$

$F_{0.05}^2(0.05)=6.94$

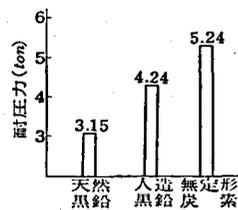


図8 黒鉛種別と耐圧力

以上に対する考察はつぎのとおりである。

- (イ) F検定を行なうまでもなく、 μ に対してはレジンの種別・黒鉛種別は影響がないものと、表11からうかがわれる。
- (ロ) 耐圧力に対しては、黒鉛種別による差が大きい。天然産の鑄物用黒鉛によるものは特に低い、これは粒度があらいいとも関係があるものと思われる。
- (ハ) レジン種別による耐圧力の差はないようなので、約6割も高価なエポキシ変性レジンを用いる必要はない。

5-3 成形剤の影響

黒鉛のかわりにホワイトカーボン(商品名)を用い、これが耐圧力と摩擦係数に及ぼす影響をみるための実験を行ない、その結果を図9に示す。

(イ) 成形剤を増すと μ が下るのは好ましいが、耐圧力は減少する。成形剤の量は、結合剤であるレジンの $\frac{1}{2}$ 以下が望ましい。

(ロ) 成形性はいちじるしく向上した。すなわちガス抜きのため、金型のポンチを持ち上げねばならぬ回数は1~2回でよく、従来の $\frac{1}{2}$ 程度に減少した。また型ばなれがよく、金型面に離型剤を塗布する必要を認めない程であった。黒鉛を増すと、型付着が大になると対照的である。

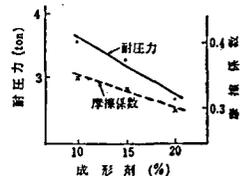


図9 成形剤の影響

(v) 本剤のような超微粉子基剤は、成形品の収縮に基づく変形を少なくする利点も持つと考えられる。

6. 摩擦係数に対する総合調査

6-1 実験の概要

これまでの実験では、摩擦係数を0.3以下にすることはできなかったが、たまたまバインダとしてカシュー変性のフェノール樹脂を試用したところ、かなり μ が低下することがたしかめられた。

また5-1の(3)において、黒鉛は μ に対して影響がないもののように現われたが、低い精度の実験であったので、おそらくは実験誤差によるものであろう。また成分中にかんがりの割合を占める鑄鉄粉の影響の再確認の必要がある。

表13 要因の内容 {L₂₇(3¹³)}

要因	記号	列番号	水準	自由度	水準の内容 (配合割合%)		
					第1	第2	第3
黒鉛(天然産)	A	1	3	2	20	10	5
鑄鉄粉 (50メッシュ)	B	2	3	2	25	30	35
カシュー樹脂	C	5	3	2	9	6	3

今回の実験では、黒鉛・鑄鉄粉・カシュー樹脂の含有量と μ の関係を、総合的に調べることにした。したがってレジン・石綿・黄銅粉・ゴム・成形剤を一定にし、前記3種の成分を3水準に変え、実験の精度を

表14 わりつけ表とデータ

因子 列番 試験片番号	A	B	C	測定値 (摩擦係数)
	1	2	5	
1	1	1	1	0.10
2	1	1	2	0.14
3	1	1	3	0.22
4	1	2	1	0.10
5	1	2	2	0.13
6	1	2	3	0.20
7	1	3	1	0.10
8	1	3	2	0.14
9	1	3	3	0.22
10	2	1	1	0.15
11	2	1	2	0.18
12	2	1	3	0.22
13	2	2	1	0.10
14	2	2	2	0.18
15	2	2	3	0.20
16	2	3	1	0.14
17	2	3	2	0.17
18	2	3	3	0.22
19	3	1	1	0.18
20	3	1	2	0.20
21	3	1	3	0.22
22	3	2	1	0.18
23	3	2	2	0.25
24	3	2	3	0.27
25	3	3	1	0.16
26	3	3	2	0.20
27	3	3	3	0.25

高めるため試験片数を多くして、表13のようにわりつけを行ない、その結果を表14に示す。なお交互作用はないものとみなした。

6-2 結果の考察

表14から分散分析表を求めると表15のようになり、つぎのことがいえる。

表15 分散分析表

要因	S.S	d.f	V	F ₀	判定
黒鉛	1.51	2	0.755	15.4	※※
鑄鉄粉	0.02	2	0.010	0.2	
カシュー樹脂	4.13	2	2.065	42.2	※※
誤差 e	0.97	20	0.049		
T	6.63	26			

(注) ※※F₀²(0.01)=5.85

(i) 黒鉛とカシュー樹脂の多少が、摩擦係数の大小に関係することは確実とみてよい。

(ii) 鑄鉄粉が増すと、摩擦係数は増す傾向にあるが、含有量が10%程度の差(25%~35%)では影響がない。

6-3 黒鉛とカシュー樹脂の影響割合

分散分析表から寄与率を求めると表16のようになり、カシュー樹脂の影響割合は、黒鉛の約3

倍に達していることがわかる。

表16 寄 与 率 表

要 因	S.S	d.f	V	純効果	寄与率 (%)
黒 鉛	1.51	2	0.755	1.42	21.4
カシュー樹脂	4.13	2	2.065	4.04	60.8
誤 差 e'	0.99	22	0.045	1.17	17.7
T	6.63	26		6.63	100

黒 鉛が20%の場合
 黒 鉛が10%の場合
 黒 鉛が5%の場合
 カシュー樹脂が9%の場合
 カシュー樹脂が6%の場合
 カシュー樹脂が3%の場合

$\mu=0.16\pm\beta_1=0.14\sim0.18$
 $\mu=0.18\pm\beta_1=0.16\sim0.20$
 $\mu=0.21\pm\beta_1=0.19\sim0.23$
 $\mu=0.14\pm\beta_1=0.12\sim0.16$
 $\mu=0.18\pm\beta_1=0.16\sim0.20$
 $\mu=0.23\pm\beta_1=0.21\sim0.25$

ここに $\beta_1=t(\phi_e, \alpha)\sqrt{V_e/m}=t(20, 0.01)\sqrt{0.00049/9}=2.845\times 0.007=0.02$

mは同一水準内でのくり返し回数

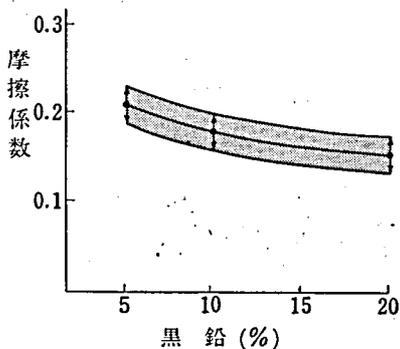


図 10 黒鉛量と摩擦係数

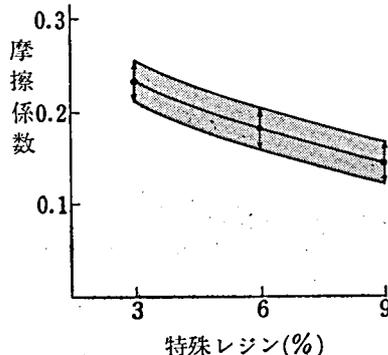


図 11 特殊レジン量と摩擦係数

6-5 各水準間の区間推定

黒鉛・カシュー樹脂の各々につき、どの配合割合差がμの差となって現われるかを調べてみる

と $\beta_2=t(\phi_e, \alpha)\sqrt{2/m}\sqrt{V_e}=t(20, 0.01)\sqrt{2/9}\sqrt{0.00049}=0.03$

から、各配合割合における試料平均の差が、β₂ 以上の場合は摩擦係数に差を生ずるものと考え、見やすくすると下表のようになる。

黒鉛の場合			カシュー樹脂の場合		
含有量 (%)	試料平均	差	含有量 (%)	試料平均	差
20	0.156	0.020	9	0.135	0.042
10	0.176		6	0.177	
5	0.212	0.036	3	0.230	0.053

以上から、黒鉛の場合は5%から10%に増えるとμは低下するが、それ以上増えても影響はないようである。またカシュー樹脂は、各配合割合ごとにμは低下する。

6-6 黒鉛とカシュー樹脂の組合わせによる摩擦係数の変化

黒鉛の配合比3水準と、カシュー樹脂の配合比3水準の組合わせによるμの平均値を、信頼限界99%でその巾を推定すると、つぎのようになり、図示すれば図12のようになる。

黒鉛20%	カシユ-樹脂 9%	$\mu = 0.100 \pm \gamma = 0.064 \sim 0.136$
	カシユ-樹脂 6%	$\mu = 0.137 \pm \gamma = 0.101 \sim 0.173$
	カシユ-樹脂 3%	$\mu = 0.213 \pm \gamma = 0.177 \sim 0.249$
黒鉛10%	カシユ-樹脂 9%	$\mu = 0.130 \pm \gamma = 0.094 \sim 0.166$
	カシユ-樹脂 6%	$\mu = 0.177 \pm \gamma = 0.141 \sim 0.213$
	カシユ-樹脂 3%	$\mu = 0.213 \pm \gamma = 0.177 \sim 0.249$
黒鉛 5%	カシユ-樹脂 9%	$\mu = 0.173 \pm \gamma = 0.137 \sim 0.204$
	カシユ-樹脂 6%	$\mu = 0.217 \pm \gamma = 0.181 \sim 0.253$
	カシユ-樹脂 3%	$\mu = 0.247 \pm \gamma = 0.211 \sim 0.283$

$$\text{ここに } \gamma = t(\phi_e, \alpha) \sqrt{v_e / m_1} = t(20, 0.01) \sqrt{0.00049 / 3} = 0.036$$

これらの組み合わせの中から、摩擦係数を約0.1から約0.25のものまで、自由に選ぶことが可能である。

$\mu = 0.2$ のものを作りたいときは、黒鉛10%カシユ-樹脂3%のものと、黒鉛5%カシユ-樹脂6%のものいづれでもよいが、どの組み合わせを採用すべきかは、摩耗試験やフェード試験によって決定すべきであろう。

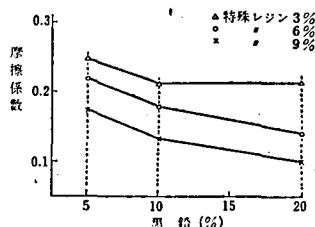


図 12 黒鉛・特殊レジソと摩擦係数の関係

7. 合成ブレーキ材の温度特性および速度特性

7-1 目的

前章までの試験は定速・定温・定圧で行なったが、実際のブレーキ状態では、これら3条件が変化するので、これに対する検討が必要である。また前章では摩擦係数についてのみ調査したのであるが、今回は摩耗量についても調べてみることにした。

7-2 試験条件および実験計画

(1) 試験片の成分割合

前掲の表13と同じくした。

(2) 試験片押圧力

5 7.5 10kg/cm²の3種類としたかったが、5 kg/cm²では摩耗量が少なくて、短時間で試験が困難であり、10kg/cm²では試験機の振動が大きくて、ブレーキ力の測定が不正確になるので、一定圧の7.5kg/cm²とした。したがって全圧力は、左右の試験片各々につき、30kg づつとなる。

(3) ブレーキドラムの加熱温度

100・200・300°Cの3種類とした。350°C以上での状態をみたかったが、軸受からグリースが流出し、無理が伴うので、上記の範囲にとどめた。

(4) 摩擦速度および摩擦距離

ドラム回転数は4段に変速可能な試験機であるが、最高速度の時にはモータ出力がやや不足気味なので、右表の3段階にした。なお摩擦距離を一定にするため、

ドラム回転数 (rpm)	摩擦速度 (km/h) (約)	摩擦距離 (km)	摩擦時間 (min) (約)
94	15	16	65
228	36	16	27
402	67	16	15

摩擦時間を調整した。

(5) 摩耗量の測定方法

摩耗量の単位としては一般に

$$\frac{\text{摩耗厚さ (mm)}}{\mu \times \text{押圧力 (kg)} \times \text{摩擦距離 (m)}} = \frac{\text{摩耗厚さ (mm)}}{\text{仕事量 (kg} \cdot \text{m)}}$$

$$\frac{\text{摩耗厚さ (cm)} \times \text{接触面積 (cm}^2\text{)}}{\mu \times \text{押圧力 (kg)} \times \text{摩擦距離 (m)}} = \frac{\text{摩耗体積 (cm}^3\text{)}}{\text{仕事量 (kg} \cdot \text{m)}}$$

$$\frac{\text{摩耗厚さ (mm)}}{\text{摩擦距離 (km)}}$$

の3つの表わし方がとられているようであるが、短時間での試験では、摩耗厚さは微量で測定が困難なので

$$\frac{\text{摩耗重量 (g)}}{\text{摩擦距離 (km)}}$$

で簡単に比較することにした。ただしこの方法では、試験片の角がほんのわずか欠けても、測定値に重大な影響を及ぼすので、取扱いは十分注意して行なった。なお試験片表面は、ドラムの円弧に全面接触させるため、初期ナジミ運転を行ってから試験に移った。

7-3 測定結果

表17は測定結果を示す。

表17 測定結果

試験片 No.	成分割合 (%)			試験条件		摩耗量 ($\times 10^{-2}g$)			摩擦係数
	黒鉛	鑄鉄粉 (50メッシュ)	カンシュー レジジン	温度 ($^{\circ}C$)	速度 (km/h)	右側 試験片	左側 試験片	平均	
1	20	25	9	100(94~96)	15	5.47	4.99	5.23	0.296
2	20	25	6	200(200~236)	36	19.91	20.78	20.35	0.227
3	20	25	3	300(295~304)	63	24.67	22.44	23.56	0.293
4	20	30	9	200(198~208)	63	—	14.81	14.81	0.187
5	20	30	6	300(298~300)	15	13.65	14.64	14.15	0.140
6	20	30	3	100(95~98)	36	5.02	5.06	5.04	0.163
7	20	35	9	300(295~304)	36	13.39	12.34	12.87	0.163
8	20	35	6	100(93~95)	63	8.62	4.85	6.72	0.103
9	20	35	3	200(197~204)	15	9.97	—	9.97	0.180
10	10	25	9	200(195~200)	36	—	21.14	21.14	0.247
11	10	25	6	300(297~305)	63	27.04	25.50	26.27	0.300
12	10	25	3	100(100~114)	15	12.70	—	12.70	0.360
13	10	30	9	300(298~304)	15	—	11.17	11.17	0.106
14	10	30	6	100(115~130)	36	—	15.51	15.51	0.173
15	10	30	3	200(200~201)	63	28.16	—	28.16	0.240
16	10	35	9	100(90~97)	63	10.01	—	10.01	0.140
17	10	35	6	200(198~200)	15	11.81	11.71	11.76	0.157
18	10	35	3	300(296~307)	36	—	15.10	15.10	0.196
19	5	25	9	300(296~301)	63	23.84	23.50	23.67	0.253
20	5	25	6	100(103~140)	15	12.43	10.47	11.45	0.330
21	5	25	3	200(203~216)	36	21.35	21.10	21.23	0.270

22	5	30	9	100(118~132)	36	6.09	—	6.09	0.093
23	5	30	6	200(203~204)	63	22.86	31.85	27.36	0.230
24	5	30	3	300(290~297)	15	—	17.56	17.56	0.167
25	5	35	9	200(199~200)	15	12.22	10.52	11.37	0.150
26	5	35	6	300(292~302)	36	21.80	21.21	21.51	0.333
27	5	35	3	100(117~120)	63	—	25.00	25.00	0.213

- (注) 1 温度欄の()内は、試験前後の実際温度を示す。
 2 レジン・石棉・特殊成形剤・黄銅粉・ゴムの配合割合は一定とした。
 3 摩耗量の記入のない箇所は、かど欠損による測定不能を示す。

7-4 速度特性

(1) 摩擦係数に対する影響

図13に示すとおり、 μ はほぼ一定しており、鑄鉄製ブレーキ片のごとく、30km/h以下から急に大きくなるような不都合はない。

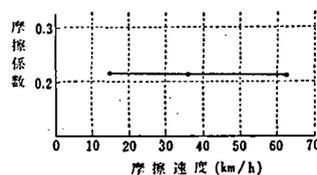


図 13 摩擦速度と摩擦係数の関係
($P=7.5\text{kg/cm}^2$)

(2) 摩耗量に対する影響

図14のとおり、摩擦速度の増加にともなって、摩耗量はほぼ直線的に増加した。図中の×印は、ブレーキドラム温度が 146°C におけるA社製品の摩耗量で、これに比べると試作品の性能は、わずかに劣っている。

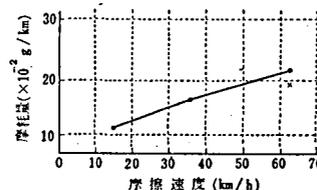


図 14 摩擦速度と摩耗量の関係
($P=7.5\text{kg/cm}^2$)

7-5 温度特性

(1) 摩擦係数に対する影響

図15のとおり、温度による μ の変化はないものとみてよい。一般に合成ブレーキ材料の欠点は、ある温度以上になると μ が急激に低下して、ブレーキの利きが悪くなる、いわゆる fade 現象を起こすことにある。市販品の中には、 200°C 程度でこの現象が現われるものもあるといわれているが、図のとおり、少なくとも 300°C までは安定している。

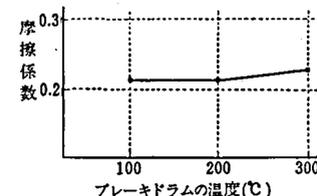


図 15 温度と摩擦係数の関係
($P=7.5\text{kg/cm}^2$)

(2) 摩耗量に対する影響

図16のとおり、 200°C からはあまり増えないが、 300°C を越えるとまた増加することが予想される。しかしながら、少なくとも 300°C までは異状摩耗を示さないで、耐熱性は良好なものといえよう。図中の×印はA社製品の実測値で、これに比べても、わずかながら勝っている。

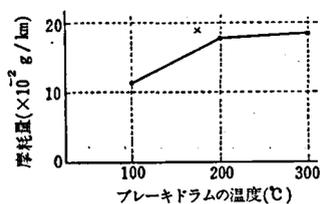


図 16 温度と摩耗量の関係
($P=7.5\text{kg/cm}^2$)

7-6 黒鉛およびカシュー樹脂の影響

両者とも摩擦係数を下げる作用があることは前章で述べたが、図17と図18のおとり、ともに摩耗量も減少させる効果がある。

7-7 摩耗量連続測定試験の一例

(1) 試験条件

前記の摩耗試験機で、ブレーキドラムを除々に昇温させながら、一つの試験片を、連続して約100kmの間ブレーキをかけた場合の摩耗量を測定してみた。

- (イ) 試験片寸法 20×20mm
- (ロ) 試験片押圧力 7.5kg/cm²
- (ハ) 摩擦速度 63km/h
- (ニ) 温度上昇 約3°C/km
- (ホ) 試験片成分割合 前掲表17のNo.7
- (ヘ) 摩耗量の測定 ダイアルゲージで厚さの変化を測定

(2) 試験結果

図19は、試作品とA社製品との比較を示す。上の2つの曲線は、ドラムの実測温度で、両者にはかなりの差が出てしまった。したがって、ドラム温度の低かった試作品の方が条件は有利であったが、その点を考慮に入れても、試作品の摩耗は少なく、ブレーキ材としての性能は勝っている。

7-8 温度特性連続測定試験の一例

試験条件は前項と同じくし、仕事量当りの摩耗厚さを調べた結果を図20に示す。摩耗量は、(摩耗厚さ)/(μ×押圧力×摩擦距離)で表わしてある。したがって摩耗厚さは同じでも、μの小さい方が摩耗量は大になる。図において、試作品の摩耗量が大きくなっているのはそのためである。

A社製品の摩擦係数は、約270°Cより急激に低下し、fade現象を起こしている。試作品は約180°Cからはほとんど変

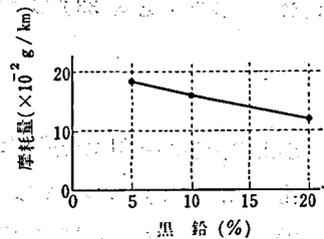


図 17 黒鉛量と摩耗量の関係

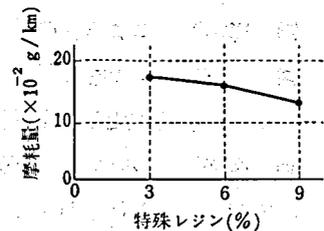


図 18 特殊レジン量と摩耗量の関係

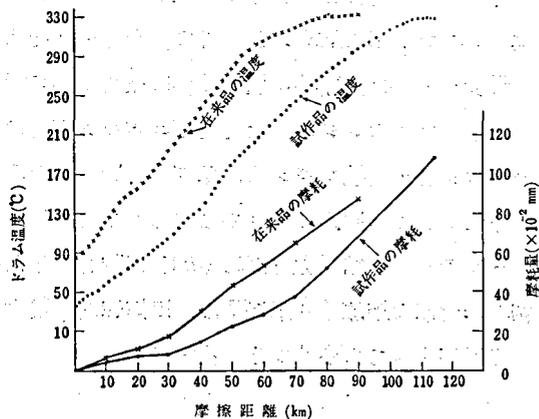


図 19 摩擦距離に対する摩耗量 (P=7.5kg/cm², V=63km/h)

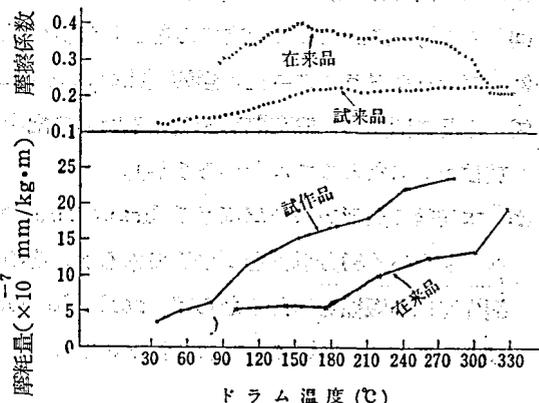


図 20 温度と摩擦係数・摩耗量の関係 (P=7.5kg/cm², V=63km/h)

化なく、少なくとも 330°C までは fade を発生しなかった。

8. む す び

以上の実験から得た合成ブレーキ材の試作品の性能は

- (イ) 機械的強度については、衝撃値は十分であるが、圧縮強さはやゝ劣っている。
- (ロ) 黒鉛とカシュー樹脂の配合を調整すれば、摩擦係数を 0.1 から 0.25 の範囲において、自由にコントロールすることが可能である。
- (ハ) 摩擦速度による μ の変動の少ないことが確認された。
- (ニ) 合成ブレーキ材の最大の欠点である fade 現象は、少なくとも 330°C までは発生しなかった。市販品に比し、耐熱性はかなりすぐれたものといえよう。
- (ホ) 摩擦量については、150°C において $16 \times 10^{-7} \text{mm/kg} \cdot \text{m}$ 程度で、在来品に比し同程度の成績しか得られなかった。

なお実験過程で明らかになったことは

- (イ) 成形条件は、170°C、180~200kg/cm² が適当である。特に温度については、after cure を行なっても耐圧力は増加しなかったので、curing は十分なものと判断された。
- (ロ) レジンは単に結合剤としての使命を果たせばよいので、機械的強さが十分な範囲において最少にとどめ、摩擦特性の改善は充てん剤で行なうべきである。
また特別のレジンを、たとえばエポキシ変性のものなどは用いる必要がない。
- (ハ) カシュー変性レジンは、摩擦量を減ずるのみならず、耐熱性をも向上させる作用がみうけられる。この原因については明らかでないが、cashew nut shell liquid 重合体が、フェノールの分子間結合力を高める網目構造を作るためではなからうか。
- (ニ) 単位摩擦距離当り摩擦量は、摩擦速度の増大につれて多くなる(速度特性)。また摩擦面温度が高まっても多くなる(温度特性)。

今後研究すべき問題として考えられることは

- (イ) 本実験では試験機の関係で行ない得なかった圧力特性に関する調査。
- (ロ) A1 粉・P。粉などを充てん剤とした場合の変化。
- (ハ) ブレーキドラムに与える影響 (thermal cracking, grooving など)。
- (ニ) 上記に関連し、熱伝導率を高めるための配合成分 (きわめて細い金属線を混入すると、熱放散が大になるのではなからうか)。
- (ホ) 本実験の成形方法で車両用の brake shoe を作るとすれば、curing のための set time は、おそらく 30 分以上を要するであろう。その間 heat press を占有することになるので、製作時間の短縮を考えるならば、resinoid bonded wheel の製法のごとく、冷間成形を行ない、curing は炉で行なうべきである。

本実験における不備と目された主な点は

- (イ) 実験終了後判明したことであるが、購入鑄鉄粉の中に、1割以上も非金属粉が混入していた。
- (ロ) 石綿は繊維状のため、小さな試験片中に均一に分布させることはできなかった。したがってこれがデータに影響し、部分的には誤まった考察のおそれがないとはいえない。

この研究は国鉄の多数の方々から御指導と御協力をいただいたものである。また実験設備の一部は、長野県工業試験場の御好意により借用した。記して謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) C. Pritchard: Friction Materials for Railway Braking ; The Railway Gazette 1958-2
- (2) The Composition Brake Shoe and its Contribution to Economy in Railroading ; Railway Age 1959-5
- (3) 井上雅晴: プラスチック制輪子について ; 「電気車の科学」37年1月 (電気車研究会)
- (4) 阪神電鉄: 合成制輪子に関する一考察 ; 「電気車の科学」38年5月 (")
- (5) 京阪神急行電鉄: 低 μ 合成制輪子について ; 「電気車の科学」38年9月 (")
- (6) 成田文孝: 電車におけるレジン制輪子の使用成績 ; 「鉄道工場」38年2月 (交通資料社)
- (7) 大垣敏: レジン プレーキ シュー ; 「工業材料」36年5月
- (8) 中村・福岡: 新しい鉄道車両用ブレーキ材 ; 「鉄道技術研究資料」38年5月 (研友社)
- (9) 曙ブレーキ工業会社カタログ
- (10) 住友ベークライト(株): 技術ハンドブック P. 268
- (11) W. G. Carol: Brake Lining ; British Plastics 1962-8
- (12) 河本, 広恵, 伊吹: 石炭酸樹脂の耐摩耗性の研究 (第一報) ; 機械学会論文集 (18-71) 昭27
- (13) 河本, 広恵, 渡辺: " " (第二報) ; " (") "
- (14) 山口章三郎: 合成樹脂の摩耗特性 ; 日本工業新聞 1962-4-6
- (15) 小林昭: プラスチック工学 ; オーム社
- (16) 湯本: プラスチック鋼の性能と使用法 ; 「機械技術」36年12月
- (17) 文献(1)と同じ