

すべり抵抗試験車用のすべり率可変装置の試作および各種測定方法で得られた氷面上のすべり抵抗係数の要因分析

正員 加 来 照 俊*

正員 小野寺 雄 輝**

学生員 ○田 中 良 弘***

正員 板 倉 忠 三****

1. はじめに

先に、横すべり抵抗試験車およびトレーラー式縦すべり抵抗試験車を製作し、すべり抵抗に影響すると考えられる各種要因について測定を行い、それらの結果をその都度報告してきた。

上記トレーラー式縦すべり抵抗試験車はロック状態だけで測定可能であったが、今回さらにすべり率を可変とする測定装置を試作し、これを上記試験車にとりつけ結氷面上で若干の測定を行ったので、そのすべり率可変機構の概要と、この試験車によりすべり率を変えて得られた縦すべりの摩擦抵抗係数（以下 Braking Force Coefficient を略して B.F.C. と呼ぶ）を求め、100%ロックの B.F.C. の値との比較を行った。併せて B.F.C. および横すべり摩擦抵抗係数（以下 Sideway Force Coefficient を略して S.F.C. と呼ぶ）の測定値について要因分析を行った。本稿は、その報告である。

2. 試験車の概要

(1) トレーラー本体

トレーラーの本体は58年型ダットサン乗用車3台を分解し、これから取り外したフレーム、スプリング、ブレーキドラム、バックプレートを使用し（車軸はコロナ1500のものを使用）、部分的に補強して組み立てたものである。総重量は約1200kgであり、けん引装置はボールジョイント式の装置と、補助ワイヤーを使用している。また、測定中は試験車輪への垂直荷重の変動を少なくするため、スプリングが働かないようにしてある。トレーラーの制動装置は、けん引の主制動装置と連動している電磁スイッチにより圧縮空気を利用して液圧ブレーキを

作動させるものである。

(2) 試験車輪の駆動装置

試験車輪に回転を与えるための駆動源としては、独立したパブリカの空冷エンジン（排気量800cc）を一部改良して使用した。それは、空冷エンジンなので取り扱いが容易で、かつ軽量のため手軽に設置でき、又エンジンの負担が割合小さいので、小型のものでよい等の理由によるためである。

エンジンはトレーラーの上層部に設置され、その始動はクラッチを切った状態でセルモーターにより行われ、出力回転軸には上下左右の振れを吸収するユニバーサルジョイントを使用した。エンジンの回転は、オーバーランしない程度に2000~3000R.P.M. に保つように設定しておく。なお、燃料タンクやバッテリーはトレーラー下層部に装備し、排気管には消音装置を付けた。

(3) 駆動力の伝導装置

伝導装置の主なものは、ユニバーサルジョイント⑥のついたプロペラシャフト⑦、静油圧トランスミッション（オイルポンプ②、オイルモーター③、オイルタンク④、高油圧ホース⑨から成る）、回転比率を適当に変える減速部、等から成り立っている。

駆動力の伝導は図-1に示すように、エンジン①の回転はプロペラシャフト⑦によりオイルポンプ②に伝わり、オイルポンプはオイルを吐き出すことによりオイルモーター③を回転させる。この回転はプロペラシャフトを通じてピニオンギヤ⑩を回転させ、リングギヤ⑪に伝えられる。この際、回転数は約1/7に減速されてシャフトを回し、この回転はトルクメーターを介して試験車輪に伝導される。

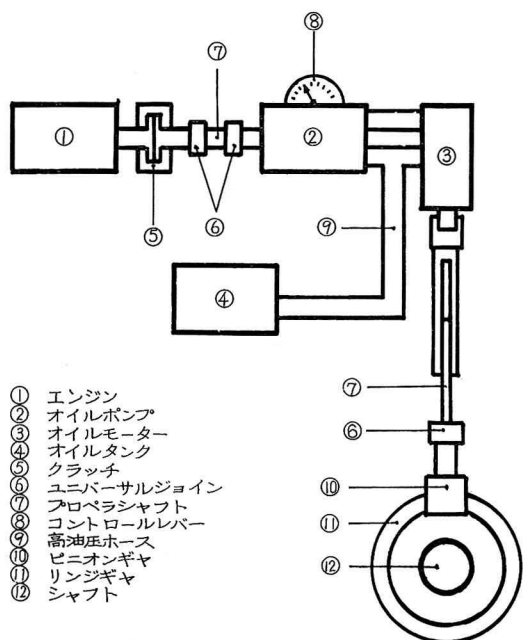
ここで、静油圧トランスミッションを使用したのは、

* 北海道大学工学部 助教授

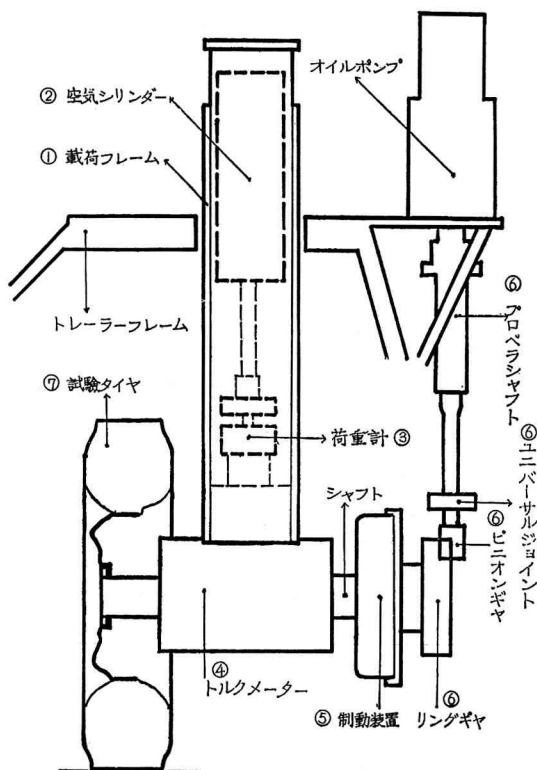
** 北海道大学工学部

*** 北海道大学大学院工学研究科

**** 北海道大学工学部 教授



図一 駆動力伝導の説明図



図二 試験車輪部の説明図

1) オイルモーターを分離型とすることができ、従ってこれらを最適の位置に設置できる。

2) 速度制御が容易で、コントロールレバーで簡単に無段変速ができる。

3) 負荷変動に対して、出力回転数を一定にできる。等の理由によるためである。

また減速部をオイルポンプと試験車輪との間に介したの、

1) オイルポンプを適当な位置に設置するために、回転方向を変換する必要がある。

2) 試験車輪が必要とする最大時のすべり抵抗トルクは、オイルポンプからの出力トルクでは不足であり、回転数を約 1/7 にすることによりトルクを約 7 倍にする必要がある。

等の理由によるためである。

(4) 試験車輪部

試験車輪部は図一 2 に示すように、載荷フレーム①、空気シリンダー②、荷重計③、トルク計④、制動装置⑤、駆動力伝導装置⑥、試験タイヤ⑦、などから成り立っている。

写真—1にトレーラーを、写真—2に測定時のけん引車とトレーラーを示す。

3. すべり摩擦抵抗係数の測定法

すべり率可変の場合、すべり率 S およびその時の B. F. C. が測定されなければならない。すべり率 S と B. F. C. をそれぞれ次式のごとく定義する。

$$S = \left(1 - \frac{v}{V}\right) \times 100\% \quad (1)$$

但し、 v ：試験車輪の周速度 (km/h)

V ：走行速度 (km/h)

$$\text{B.E.C.} = \frac{T}{WR} \quad (2)$$

但し、 T ：トルク計からのトルク (kg・m)

W ：試験車輪にかかる垂直荷重 (kg)

R ：試験車輪の半径 (m)

そこで、実際の測定の場合すべり率 S と B. F. C. は、かなりの速さで変化するので、一走行ごとに走行速度 V と試験車輪の周速度 v を、所要のすべり率が得られるように適当にセットしておく。そして走行速度 V は、けん引車のタコジェネレーターより記録させるのと、一定区間の所要時間より速度を求める2方法をとった。試験車輪の周速度 v は、減速部のリングギヤより1秒ごとに回転数をピックアップすることにより求めた。

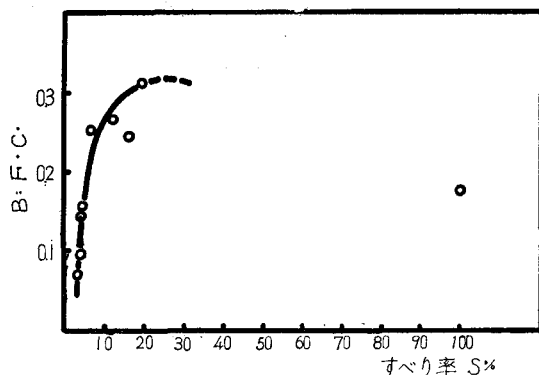
4. すべり摩擦抵抗係数の測定結果

測定は昭和45年1月に苫小牧市ウトナイ湖の結氷面上に幅20m、延長500mの測定走路を設定し、測定速度は20, 30, 40km/h、試験タイヤはスムースタイヤ、夏タイヤ、夏ラジアルタイヤ、および冬用タイヤについては、スノータイヤ、非対称スノータイヤ、非対称スノーラジアルタイヤのスパイクのついたものとつかないもの、以上9種類について行ない、又タイヤ空気圧は1kg/cm²から3kg/cm²までの4段階について、垂直荷重は130kgから300kgまで4段階について行った。また、これと同時に横すべり摩擦抵抗係数 S. F. C. もすべり角度20°とし、垂直荷重は185kgとして測定した。測定時の氷面温度は0～8.5℃で、外気温度は-4～-9℃の範囲であった。

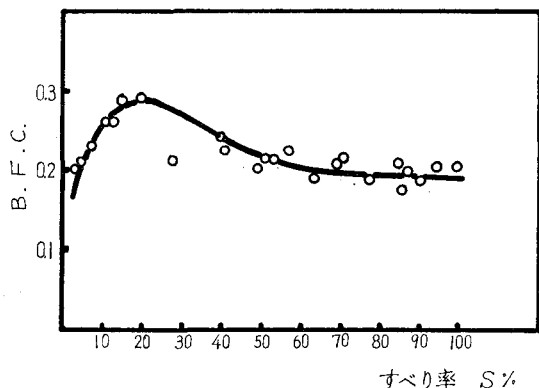
(1) すべり率と B. F. C. との関係

前述の式(1)の示すとおり、タイヤが路面上を自由にころがっている場合はすべり率0%であり、制動装置によりタイヤが完全にロックされた場合はすべり率100%となる。そして、普通の制動状態では、すべり率は0%と100%の間にあるのがほとんどである。

前述の方法ですべり率 S と B. F. C. を氷面上で測定した結果、図—3、図—4のような関係が得られた。これ



図—3 すべり率と B. F. C.
(走行速度40km/h、スノースパイク)



図—4 すべり率と B. F. C.
(走行速度20km/h、スノースパイク)

からわかるように、摩擦係数 B. F. C. はすべり率により変化し、氷面上においてはすべり率20%前後で最大となる。つまり、制動の仕方により摩擦係数は高くも低くもなり得るのである。従って、車輪を完全にロックしたままの状態では制動するより、ポンピングブレーキ（ブレーキペダルを断続的に何回も踏んでロックしたりゆるめたりすることをくり返す）により、ブレーキの利きはじめのときの高いすべり抵抗を利用すると、平均摩擦係数は大きくなる。またこれらの機能を自動的に制動装置に応用できれば（例えばアンチロック装置など）、制動効果を十分発揮できるであろう。

(2) B. F. C. (完全ロック状態) および S. F. C. の測定結果

氷面上においてすべり摩擦抵抗係数 B. F. C. および S. F. C. に影響する要因は、タイヤ、路面、タイヤと路面の相対運動およびこれらの組み合わせ等非常に多く、どの一つをとりあげてもとても重要な問題であり、これ

表—1 分散分析表 その1

要 因	偏差二乗和	自由度	不 偏 分 散	F 表 検 定	判 定	寄 与 率 (%)
A	70,785	2	35393	3051	* *	46.1
B	117	2	59	5.09	* *	0.1
C	3,760	2	1880	162.07	* *	2.4
A × B	151	4	38	3.28		0.1
A × C	584	4	146	12.84	* *	0.7
B × C	1,244	4	311	26.81	* *	1.6
誤差 e	93	8	12			49.0
計 T	76,734	26		** : 有意 1 %		100

らが複雑に組み合せて路面とタイヤ間のすべり抵抗を一層複雑なものにしている。そこで、直交表 (L_{27} を使用) を用いて適当な要因のわりつけをして、これらについての分散分析を行ない、とりあげた要因がどのようにすべり抵抗に影響を与えているかを調べた。

(i) B.F.C. についての要因分析

影響する要因および水準は次のように決め、表—1 のような分散分析表を得た。なお、実際の計算にあたってはデータを1000倍して仮平均を使用した。

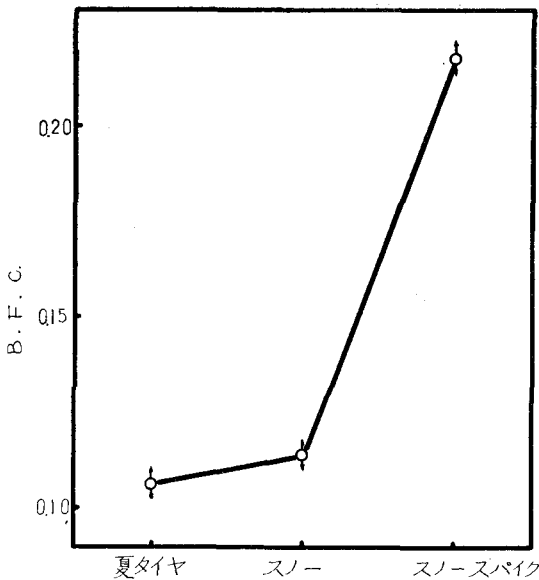
A—タイヤ: A_1 = 夏タイヤ, A_2 = スノー, A_3 = スノースパイク

B—走行速度: B_1 = 20km/h, B_2 = 30km/h, B_3 = 40km/h

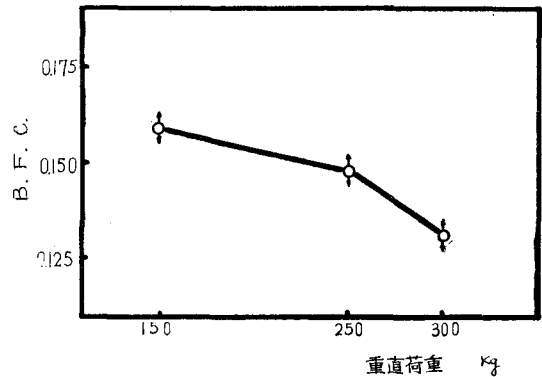
C—垂直荷重: C_1 = 150kg, C_2 = 250kg, C_3 = 300kg

交互作用は, $A \times B$, $A \times C$, $B \times C$ が得られるようにわりつけた。

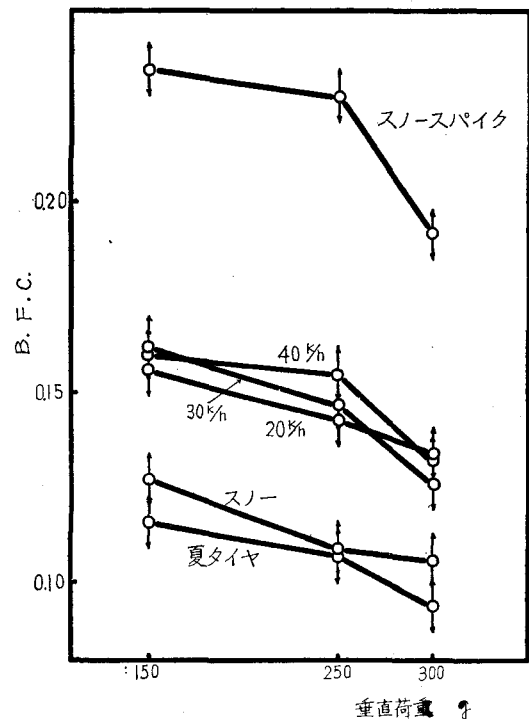
その結果、タイヤの項が B.F.C. に大きな影響を与え



図—5—1 タイヤと B.F.C.



図—5—2 垂直荷重と B.F.C.



図—5—3 垂直荷重と B.F.C.

ることがわかった。誤差項の寄与率が大きいのは、上述した要因による影響以外にもまだ他に別の要因による影響があるということである。有意な要因に関しては、各々についてその平均値と信頼度99%での信頼区間を求めて、図—5—1、図—5—2、図—5—3に示した。

図—5—1からわかるように、氷面上での B.F.C. は、スノータイヤは夏タイヤに比べてわずかに大きい程度であるが、スノースパイクはこれらの値の大体2倍にも達

し、アイスバーンでの走行に有効であるといえる。また、図—5—2、図—5—3からは、垂直荷重が増加すると B.F.C. は減少する傾向がみられ、アイスバーン走行でのオーバーロードは危険であるということがわかる。

(ii) S.F.C. についての要因分析

B.F.C. の場合と同様に、因子と水準を次のように決めて表—2の分散分析表を得た。

A—タイヤ：A₁=非対称スノー、A₂=非対称スノー

表—2 分散分析表 その2

要 因	偏差二乗和	自由度	不偏分散	プール	F表検定	判 定	寄与率 (%)
A	62,114	2	31,057		1294.04	* *	75.5
B	391	2	196		8.17	* *	0.4
C	3,400	2	1,700		70.83	* *	4.1
A×B	79	4	20		—	—	—
A×C	7,302	4	1,826		76.08	* *	8.8
B×C	32	4	8		—	—	—
誤差 e ₁	216	8	27		—	—	—
小計 T'	73,534	26					
I	3,868	1	3,868	Ve =24	161.17	* *	4.7
A×I	2,810	2	1,405		58.54	* *	3.4
B×I	15	2	8		—	—	—
C×I	812	2	406	df =30	16.92	* *	0.9
A×B×I	384	4	96		4.00	*	0.4
A×C×I	394	4	99		4.13	* *	0.4
B×C×I	40	4	10		—	—	—
誤差 e ₂	330	8	41				ρ _e =1.8
計 T	82,187	53			** : 有意 1 % * : 有意 5 %		100

ラジアル、A₃=非対称スノースパイク

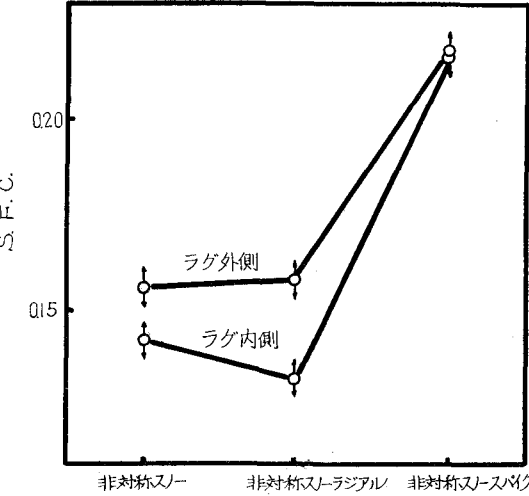
B—走行速度：B₁=20km/h、B₂=30km/h、B₃=40km/h

C—タイヤ空気圧：C = 1.0 kg/cm²、C₂ = 2.5 kg/cm²、C₃=3.0kg/cm²

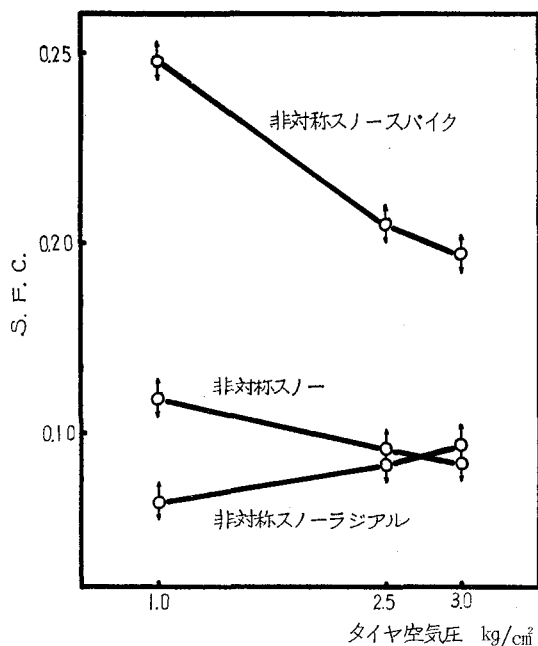
I—タイヤの向き：I₁=ラグ内側、I₂=ラグ外側

B.F.C. の場合と同じようにタイヤについての要因が S.F.C. の値に大きく寄与している。また、タイヤのラグが内側と外側のちがひによる影響も割合大きいことが注目される。そこで有意な要因について、各々の平均値と信頼度の99%での信頼区間を図—6—1、図—6—2に示した。

図—6—1からは、ラグが外側つまり非対称トレッドパターンのうちブロックパターンが外側にある状態のときに、S.F.C. の値が大きくなることがわかる。従って、直線走行している自動車は普通、タイヤの内側で接地圧が高くなるので、ブロックパターン（ラグ）を内側につけた方がよいことになる。タイヤの要因については、



図—6—1 タイヤと S.F.C.



図—6—2 タイヤ空気圧と S. F. C.

B.F.C. のときと同様にスパイクのあるものが大きな S.F.C. を示している。図—6—2からは、タイヤ空気圧 1～3 kg/cm^2 の範囲ではスノー、スノースパイクは空気圧が増加すると S.F.C. が減少する傾向がみられるが、スノーラジアルは逆の傾向がみられる。

5. む す び

以上、すべり率可変装置の機構と、氷面上におけるすべり摩擦抵抗係数の測定について述べた。すべり率可変の装置については、測定する段階にまでこぎつけ一応試作の目的を遂げたと思われるが、今後すべり率の測定方法など多くの問題を残した。

今回の氷面上における測定から、次のようなことが判明した。

1) 氷面上におけるすべり摩擦抵抗係数は、湿潤舗装路面におけるそれと比べ非常に小さく、要因による影響

の傾向が異なる。

2) 氷面上では、スパイクタイヤが非常に有効である。

3) 縦すべり摩擦抵抗係数 B.F.C. は、すべり率により変化し、すべり率 20% 前後で最大となる。

4) B.F.C. は輪荷重が増大すると減少し、S.F.C. はトレッドパターンに左右されやすい。

又、今後の課題としては、

1) すべり率の測定において、走行速度や試験車輪の周速度をもっと精度よく測定できるように改良する。

2) トレーラーの荷重配分のアンバランスによる、走行時の不安定をなくするようにする。

3) 氷面上における測定の場合、氷の状態を定量的、定性的に把握する必要がある。等である。

最後に、本試験車の製作にあたり御協力を頂いた北海道自動車短期大学の堀内、今田、西内の諸先生、並びに試験用タイヤの御便宜を頂いた横浜ゴム株式会社タイヤ試験部に厚く感謝致します。なお、本研究は昭和44年度文部省科学研究費補助金によるものであることを付記する。

参 考 文 献

- 1) 加来照俊・板倉忠三・小野寺雄輝：「トルフ計を使用した滑り抵抗試験車の試作と測定例」昭和44年度研究発表会論文集26号，土木学会北海道支部
- 2) 市原 薫：「路面のすべり抵抗に関する研究」土木研究報告135号，44年2月，建設省土木研究所
- 3) 高橋・佐々木・佐藤・他：「アスファルト路面のすべりまさつ係数の測定結果について」昭和44年度研究発表会論文集26号，土木学会北海道支部
- 4) 金泉・平野・三鬼：「半制動すべり摩擦測定機の試作」土木技術試料，Vol. 10, No. 9，土木研究会
- 5) 田中良弘：「トレーラー式滑り抵抗試験車による滑り抵抗測定に関する研究」北大土木卒業論文，昭和44年度