

## 第1章 路面すべり測定車合同比較試験

### 1. 概要

#### 1. 1 試験目的

自動車交通が主体となっている今日、走行の安全性を確保することは道路の維持管理における重要な課題の一つである。なかでも、路面とタイヤ間に生じるすべり摩擦抵抗力は、走行の安全性を左右する大きな要因である。すべり摩擦抵抗力が小さい場合、自動車の制動停止距離が長くなるばかりでなく、操縦の安定性も低下し事故の原因につながる可能性もある。

このようなことから道路維持管理者としては、路面の状態を常に把握するよう路面すべり測定車を各地に整備し、路面の維持管理に利用している。各地に整備されている路面すべり測定車は、構造的に異なる装置を搭載している測定車もあるが、各測定車とも十分な精度で測定できるものでなければならない。しかし、測定車の管理状態や測定方法が不適当だと良好な値を得ることができない。そこで、測定車の管理や測定方法を統一し、測定車の性能と測定されるすべり摩擦抵抗力の信頼性を確保していかなければならない。

本試験は、各地に整備されている路面すべり測定車計11台を財団法人日本自動車研究所に集め、同一条件の下ですべり摩擦抵抗力を測定し、各測定車が妥当な値を示しているか確認し、また補正方法を定めるために行ったものである。路面すべり測定車の合同比較試験については、昭和46年度より、過去6回実施しており、今回は7回目である。なお、合同比較試験の実施年月及び実施場所、今回の参加機関を表-1.1及び表-1.2に示す。

表-1.1 合同比較試験の実施年月及び実施場所

実施年月	実施場所
第1回 昭和46年11月	日本自動車研究所周回路
第2回 昭和51年6月	〃
第3回 昭和55年9月	土木研究所試験走路
第4回 昭和58年9月	〃
第5回 昭和61年9月	〃
第6回 平成3年9月	〃
第7回 平成12年9月	日本自動車研究所周回路

表-1.2 今回の参加機関

国土交通省土木研究所道路研究室
〃 新潟試験所
東北地方整備局東北技術事務所
中部地方整備局中部技術事務所
近畿地方整備局近畿技術事務所
四国地方整備局四国技術事務所
北海道開発局開発土木研究所
日本道路公団試験研究所
北海道大学
日本自動車研究所

### 1. 2 試験概要

#### 1. 2. 1 試験期間及び試験場所

##### 1) 試験期間

平成12年9月26日～同年9月29日

##### 2) 試験場所

茨城県つくば市荻間2530

財団法人日本自動車研究所 総合試験路及びすべりやすい試験路

### 1. 2. 2 試験方法

財団法人日本自動車研究所の総合試験路及びすべりやすい試験路を用い、図-1.1に示す試験区間（総合試験路：加速区間、すべりやすい試験路：測定区間）を設定した。

路面状態は、試験走路の路肩に設置している散水装置（スプリンクラー）によって散水を行い、水膜の厚さが0.5mm以上（ASTMに準ずる水膜厚）となるようにして実験を行った。

試験方法としては、各測定車が写真-1.1、と写真-1.2に示すように測定車は安全な車間距離（測定区間を一台の測定車が通過するのを確認したうえで、次の測定車を出発させた）を確保しながら、所定の速度で図-1.1に示す区間を走行し、測定車本体とは関係ない試験輪（タイヤ）にのみ制動（ブレーキ）または舵角（ステア角）をつける。

そのとき、路面とタイヤ間に生ずるすべり摩擦抵抗力をロードセル等の検出器によって検出し、ストレインメーター（増巾器）を介して各種記録装置に記録させた。

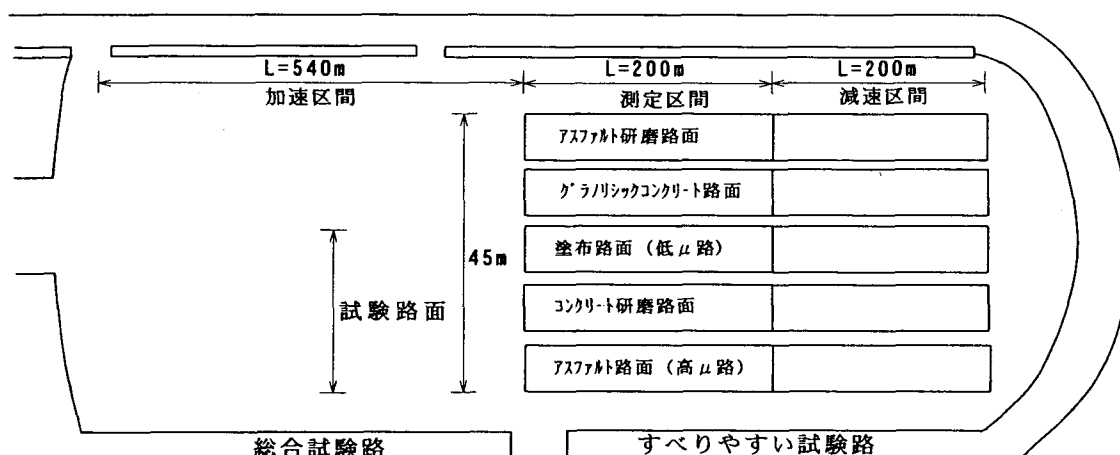


図-1.1 総合試験路とすべりやすい試験路



写真-1.1 試験実施状況



写真-1.2 測定時の試験輪の様子  
(試験輪完全ロック時)

### 1. 2. 3 試験条件

各測定車間の補正式を作成するための実験条件を表-1.3.1～表-1.3.4に示す。

(1)と(2)は、湿潤路面の縦すべりにおいて、すべり摩擦係数が概ね0.1～0.8程度の範囲に適用可能なリブタイヤの補正式を作成することを目的としている。

(3)は、雪氷路面の縦すべりにおいて、スタッドレスタイヤの補正式を作成することを目的としている。

(4)は、湿潤路面の横すべりにおいて、リブタイヤの補正式を作成することを目的としている。



写真-1. 3 路面すべり測定用標準タイヤ  
(リブタイヤ) (スタッドレスタイヤ)

#### (1) 試験条件1 (縦すべり試験1)

表-1. 3. 1 縦すべり試験1の試験条件

測定種類	100%制動時の縦すべり
測定速度	20、40、60、80km/h
測定路面	標準路 (コンクリート研磨路面)
測定タイヤ	すべり測定用標準タイヤ (165-SR13:リブタイヤ)
輪荷重	395±10kg
測定データ数	1条件3回走行

#### (2) 試験条件2 (縦すべり試験2)

表-1. 3. 2 縦すべり試験2の試験条件

測定種類	100%制動時の縦すべり
測定速度	40km/h (高μ路のみ20、40、60km/h)
測定路面	標準路 (コンクリート研磨路面)、低μ路 (塗布路面)、高μ路 (アスファルト路面)
測定タイヤ	すべり測定用標準タイヤ (165-SR13:リブタイヤ)
輪荷重	395±10kg
測定データ数	1条件3回走行

(3) 試験条件3 (縦すべり試験3)

表-1. 3. 3 縦すべり試験3の試験条件

測定種類	100%制動時の縦すべり
測定速度	30、40、50km/h
測定路面	低 $\mu$ 路(塗布路面)
測定タイヤ	すべり測定用標準タイヤ(165-SR13:スタッドレスタイヤ)
輪荷重	395 $\pm$ 10kg
測定データ数	1条件3回走行

(4) 試験条件4

表-1. 3. 4 横すべり試験の試験条件

測定種類	すべり角15°時の横すべり
測定速度	40km/h
測定路面	標準路(コンクリート研磨路面)、低 $\mu$ 路(塗布路面)、 高 $\mu$ 路(アスファルト路面)
測定タイヤ	すべり測定用標準タイヤ(165-SR13:リブタイヤ)
輪荷重	395 $\pm$ 10kg
測定データ数	1条件3回走行

1. 2. 4 各測定車の班編成と走行順位

試験を効率的に行うために2班に分けて測定を行った(表-1.4)。

表-1. 4 各測定車の班編成及び走行順位

班名	走行順位	ゼッケン番号	機関名	測定装置の種類
A	1	1	国土交通省土木研究所道路研究室	垂直昇降式縦横両用型
	2	2	新潟試験所	"
	3	3	東北地方整備局東北技術事務所	"
	4	4	中部地方整備局中部技術事務所	"
	5	5	日本道路公団(4号車)	"
	6	6	日本道路公団(5号車)	"
B	7	7	北海道大学工学部土木工学科	垂直昇降式
	8	8	北海道開発局開発土木研究所	垂直昇降式縦横両用型
	9	9	近畿地方整備局近畿技術事務所	"
	10	10	四国地方整備局四国技術事務所	"
	11	11	日本自動車研究所(バス型)	垂直昇降式縦横独立型

### 1. 3 路面すべり測定車

路面すべり測定車は、昭和40年より各地方建設局に整備され、約25年経過しているため、ほとんどの測定車が更新されている。また、すべり測定装置もけん引式から垂直昇降式縦横両用型に変わってきている。以下に各測定車の構造及び諸元等について示す。

#### 1. 3. 1 すべり測定装置の構造

##### 1) 垂直昇降式縦横両用型すべり測定装置

この装置は、図-1.2に示すような構造になっており、走行中に試験輪のみブレーキをかけたとき(100%制動)、また舵角(ステア角)を付けたときに発生する路面とタイヤ間の摩擦抵抗を検出することが出来る。ここで前者を縦すべり摩擦抵抗、後者を横すべり摩擦抵抗と呼んでいる。図-1.3は両者の試験輪状態を示したものである。

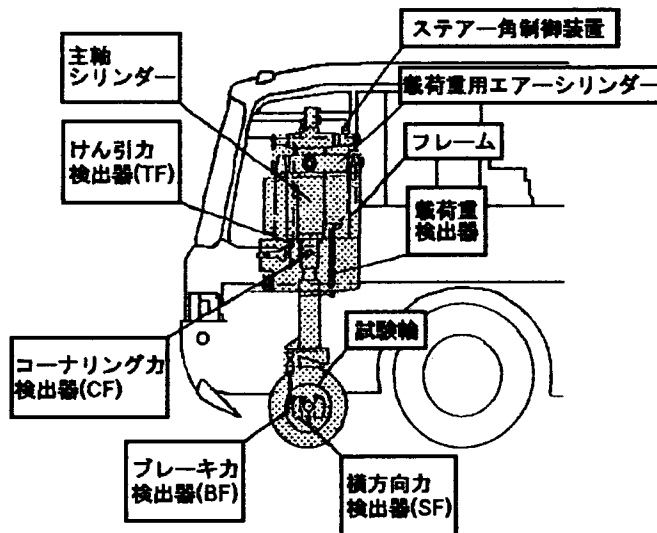


図-1.2 垂直昇降式縦横両用型すべり測定装置(土木研究所測定車)

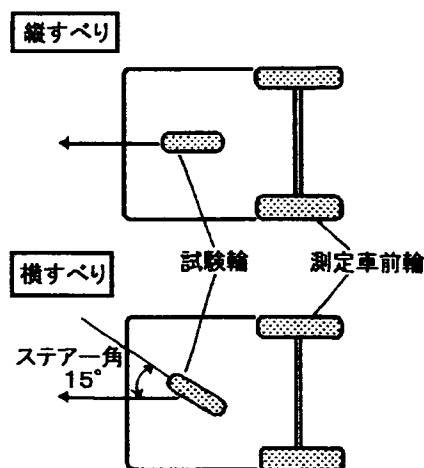


図-1.3 測定時の試験輪状態

### 1. 3. 2 測定車の仕様諸元とすべり測定装置の諸元

#### 1) 土木研究所測定車 (写真-1.3)

##### 測定車仕様諸元

全 長	1 1 9 4 0 mm
全 幅	2 4 9 0 mm
全 高	3 2 6 0 mm
最高速度	1 4 0 km/h
出 力	3 2 0 hp
重 量	1 4 1. 1 2 KN

##### すべり測定装置の諸元

形 式	垂直昇降式縦横両用型
測定種類	1 0 0%制動時の縦すべり 0~4 5度の横すべり
検出方法	ロードセル
最大輪荷重	5. 8 8 KN



写真-1. 3 土木研究所測定車

#### 2) 新潟試験所測定車 (写真-1.4)

##### 測定車仕様諸元

全 長	8 9 0 0 mm
全 幅	2 3 0 0 mm
全 高	3 1 0 0 mm 以下
最高速度	1 0 0 km/h 以上
出 力	1 6 5 KN
重 量	8 8. 2 5 KN 未満

##### すべり測定装置の諸元

形 式	垂直昇降式縦横両用型
測定種類	1 0 0%制動時の縦すべり 0~3 0度の横すべり
検出方法	水晶圧接式3成分力センサ
最大輪荷重	5 KN



写真-1. 4 新潟試験所測定車

3) 北海道大学測定車 (写真-1.5)

測定車仕様諸元

全 長	8 1 4 0 mm
全 幅	2 2 9 0 mm
全 高	2 9 8 0 mm
最高速度	1 1 0 km/h
出 力	1 7 5 hp
重 量	8 4 . 2 8 KN

すべり測定装置の諸元

形 式	垂直昇降式
測定種類	100%制動時の縦すべり 0~90度の横すべり 0~100%すべり率の縦すべり
検出方法	トルク式(縦) <sup>※1</sup> ロードセル(横)
最大輪荷重	4.9KN



写真-1.5 北海道大学測定車

※1: 試験タイヤ回転軸に直接トルク計を取り付けている。よって縦すべり時において、タイヤに作用する力を直接検出できる構造になっている。(図-1.4)

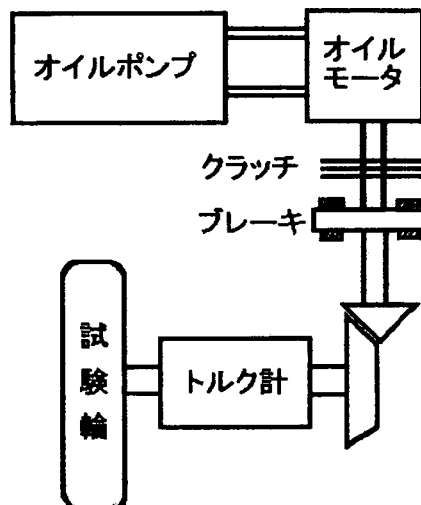


図-1.4 トルク計による検出装置

4) 北海道開発局測定車 (写真-1.6)

測定車仕様諸元

全 長	8 9 9 0mm
全 幅	2 3 0 0mm
全 高	3 0 5 0mm
最高速度	1 0 0km/h 以上
出 力	2 1 0Ps
重 量	9 3 . 1 KN

すべり測定装置の諸元

形 式	垂直昇降式縦横両用型
測定種類	1 0 0%制動時の縦すべり 0 ~ 3 0 度の横すべり
検出方法	ロードセル
最大輪荷重	3 . 9 2 KN

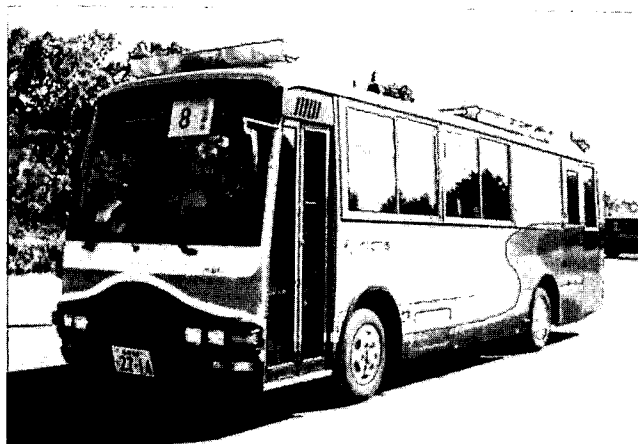


写真-1.6 北海道開発局測定車

5) 日本道路公団4号測定車 (写真-1.7)

測定車仕様諸元

全 長	9 0 0 0mm
全 幅	2 4 8 0mm
全 高	3 2 5 0mm
最高速度	1 4 0km/h
出 力	3 2 0hp
重 量	1 1 4 . 6 6 KN

すべり測定装置の諸元

形 式	垂直昇降式縦横両用型
測定種類	1 0 0%制動時の縦すべり 0 ~ 4 5 度の横すべり
検出方法	ロードセル
最大輪荷重	4 . 9 KN



写真-1.7 日本道路公団4号測定車



6) 日本道路公団5号測定車 (写真-1.8)

測定車仕様諸元

全長	8870mm
全幅	2490mm
全高	3150mm
最高速度	140km/h
出力	420hp
重量	109.76KN

すべり測定装置の諸元

形式	垂直昇降式縦横両用型
測定種類	100%制動時の縦すべり 0~20度の横すべり
検出方法	ロードセル
最大輪荷重	4.9KN



写真-1.8 日本道路公団5号測定車

7) 日本自動車研究所バス型測定車 (写真-1.9)

測定車仕様諸元

全長	11350mm
全幅	2485mm
全高	3220mm
最高速度	120km/h
出力	380hp
重量	178.36KN

すべり測定装置の諸元

形式	垂直昇降式縦横独立型
測定種類	駆動、0~100%制動時の 縦すべり -15~30度の横すべり
検出方法	ロードセル及びトルク計
最大輪荷重	9.8KN

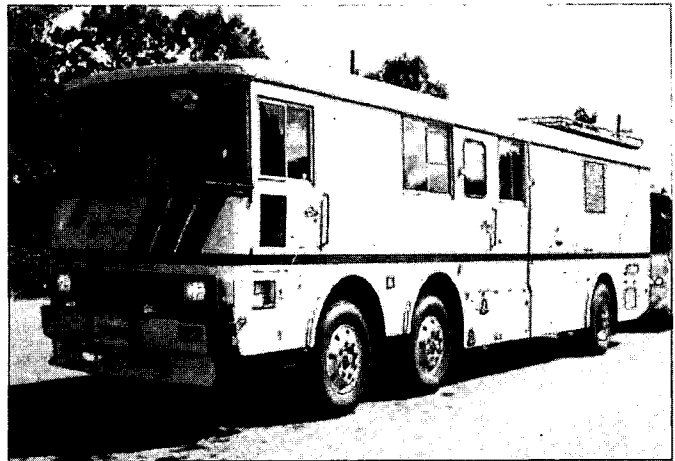


写真-1.9 日本自動車研究所バス型測定車

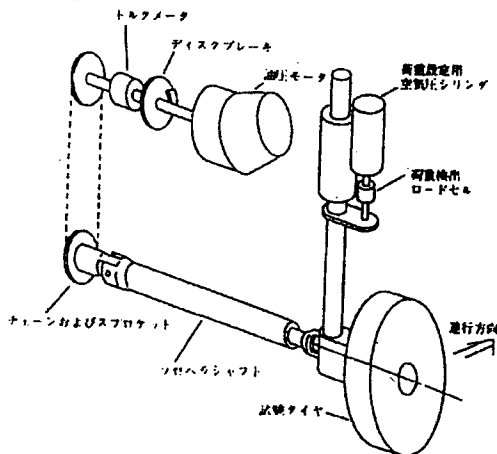


図-1.5 駆動・制動特性測定装置の測定機構

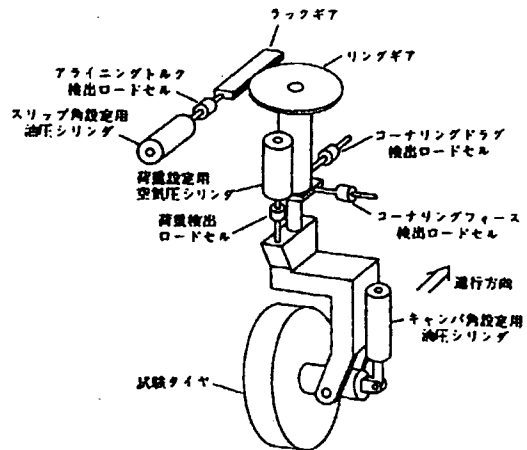


図-1.6 コーナリング特性測定装置の測定機構

8) 東北技術事務所測定車 (写真-1.10)

測定車仕様諸元

全長	8650mm
全幅	2250mm
全高	2910mm
最高速度	115km/h
出力	160hp
重量	81.34KN

すべり測定装置の諸元

形式	垂直昇降式縦横両用型
測定種類	100%制動時の縦すべり 0~30度の横すべり
検出方法	ロードセル
最大輪荷重	4.9KN

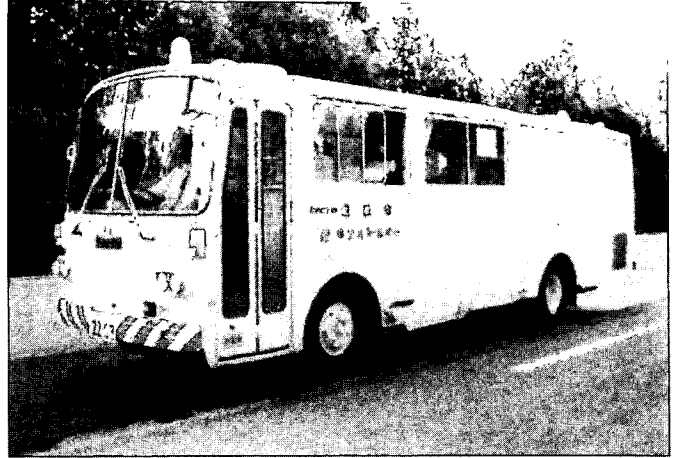


写真-1.10 東北技術事務所測定車

9) 中部技術事務所測定車 (写真-1.11)

測定車仕様諸元

全長	8650mm
全幅	2250mm
全高	2910mm
最高速度	115km/h
出力	160hp
重量	81.34KN

すべり測定装置の諸元

形式	垂直昇降式縦横両用型
測定種類	100%制動時の縦すべり 0~30度の横すべり
検出方法	ロードセル
最大輪荷重	4.9KN



写真-1.11 中部技術事務所測定車

10) 近畿技術事務所測定車 (写真-1.12)

測定車仕様諸元

全長	8990mm
全幅	2290mm
全高	2960mm
最高速度	120km/h
出力	175hp
重量	88.2KN

すべり測定装置の諸元

形式	垂直昇降式縦横両用型
測定種類	100%制動時の縦すべり 0~30度の横すべり
検出方法	ロードセル
最大輪荷重	4.9KN



写真-1.12 近畿技術事務所測定車

11) 四国技術事務所測定車 (写真-1.13)

測定車仕様諸元

全長	8140mm
全幅	2295mm
全高	2995mm
最高速度	120km/h
出力	185hp
重量	83.3KN

すべり測定装置の諸元

形式	垂直昇降式縦横両用型
測定種類	100%制動時の縦すべり 0~30度の横すべり
検出方法	ロードセル
最大輪荷重	4.9KN



写真-1.13 四国技術事務所測定車

### 1. 3. 3 各測定車のすべり測定装置の性能

各測定車すべり測定装置に取り付けられている、すべり計検出機器の名称及び取り付け位置を図-1.7に示す。また検出機器の感度（ロードセル感度）及び取り付け位置の寸法（レバー寸法）を表-1.5に示す。なお、図-1.7は図-1.2を簡略化したものである。

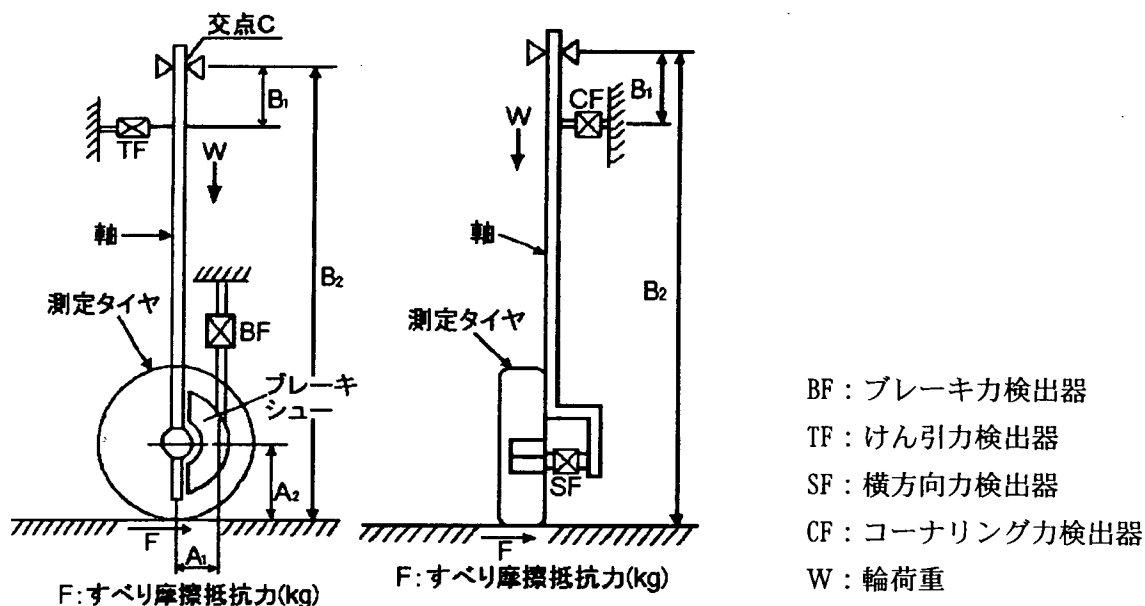


図-1.7 垂直昇降式縦横両用型すべり測定装置

表-1.5 垂直昇降式すべり計のロードセル感度及びレバー寸法

機関名	検定時のロードセル感度 (kg/10 <sup>-6</sup> )					リフタイヤ装着時のレバー寸法(mm)				スタッドレスタイヤ装着時のレバー寸法(mm)			
	BF	TF	SF	CF	W	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>
土木研究所	0.660	1.689	0.343	1.667	0.497	150	700	267	1867	150	700	268	1876
新潟試験所	0.994	—	1.001	—	0.993	—	—	—	—	—	—	—	—
北海道開発局	0.526	1.259	0.253	1.256	0.483	150	600	267	1800	150	600	266	1800
東北技術	0.664	0.661	0.337	0.667	0.664	150	450	268	1760	150	450	273	1760
中部技術	0.663	0.663	0.338	0.693	0.654	150	450	271	1755	150	450	272	1755
近畿技術	0.666	0.671	0.332	0.661	0.621	150	580	267	1701	150	580	267	1701
四国技術	0.667	0.667	0.336	0.676	0.655	150	580	267	1717	150	580	268	1717
道路公団4号車	0.494	0.683	—	0.507	0.679	150	580	—	1715	150	580	—	1715
道路公団5号車(右)	0.333	1.297	0.250	1.280	0.510	155	600	—	1797	155	600	—	1797
道路公団5号車(左)	0.312	1.321	0.248	1.284	0.498	155	600	—	1790	155	600	—	1790
自動車研バス型	0.167	—	—	1.669	1.666	—	660	275	—	—	660	271	—

### 1. 3. 4 すべり測定用標準タイヤの諸元

#### (1) 路面すべり測定用標準タイヤ諸元

(平成6年3月 路面すべり測定標準タイヤ研究委員会制定)

[リブタイヤ]

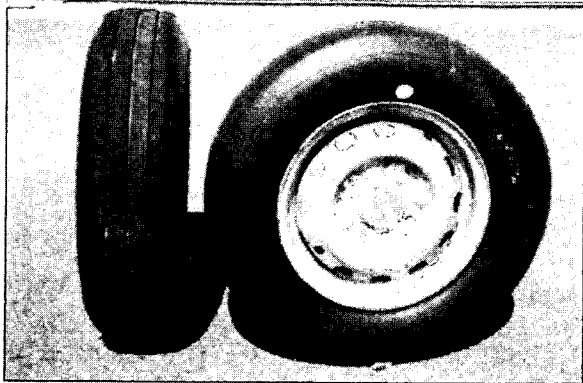
項目	仕様	備考
タイヤ種類	165/SR-13	
タイヤ幅 (mm)	165	
扁平率 (%)	82	
ホイール径 (in)	13	
タイヤ構造	ラジアル	
ゴム配合	ASTM (E-501)	

写真-1.14 リブタイヤ

#### (2) 冬期路面調査用標準タイヤ諸元

(平成6年3月 路面すべり測定標準タイヤ研究委員会で制定し、平成12年度改訂予定、平成13年度より写真に示すスタッドレスタイヤを使用する予定)

[スタッドレスタイヤ]

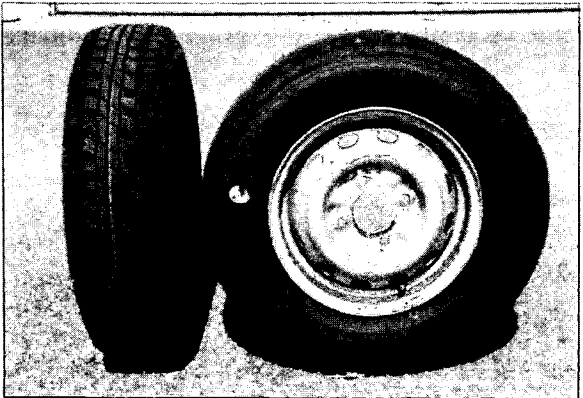
項目	仕様	備考
タイヤ種類	165/80R-13	
タイヤ幅 (mm)	165	
扁平率 (%)	82	
ホイール径 (in)	13	
タイヤ構造	ラジアル	
ゴム配合及びトレッドパターン	スタッドレスタイヤ	

写真-1.15 スタッドレスタイヤ  
(平成13年度から使用)委員会制定(一定コンパウンド、スタッドタイヤ)

## 2. 摩擦抵抗力の測定及びデータ整理方法

### 2. 1 摩擦抵抗力の測定

#### 1) 縦すべり摩擦抵抗力の測定

試験車に図-2.1に示すすべり計（垂直昇降式すべり計）が取り付けられている。この試験車を進行方向に一定速度、一定の上載荷重で走行させているとき、試験輪（タイヤ部分）にブレーキをかけると図に示すシャフトが進行方向とは逆方向に引かれる。そのときブレーキをかけたアームの中間に取り付けてある検出器（BF）及びそれを止めているシャフトと車両の中間に取り付けてある検出器（TF）より制動時の路面とタイヤ間に働く力（F）を検出する。

ここで、BF：ブレーキ力検出器

TF：けん引力検出器

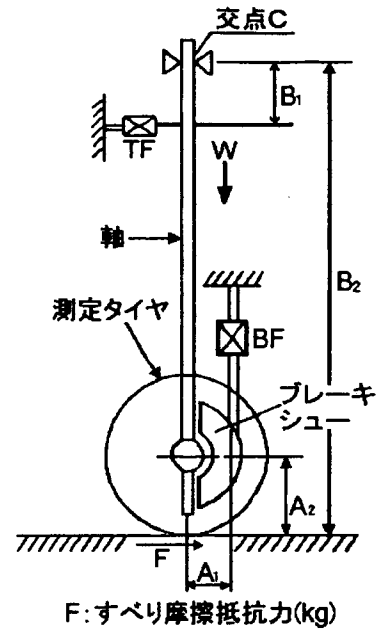


図-2.1 垂直昇降式すべり計（縦すべり）

#### 2) 横すべり摩擦抵抗力の測定

1)と同じ試験車を用い、試験車を一定速度一定の上載荷重で走行させているとき測定輪にステア角を付ける。そのとき、図-2.2に示すタイヤ中心部に取り付けてある検出器（SF）及び、そのときのシャフトが横方向に移動しないように止めているシャフト中心部に取り付けている検出器（CF）より路面とタイヤ間に働く力（F）を検出する。また、ステア角を付けたときの試験車の進行方向と測定輪の向きを図-2.3に示す。

ここで、SF：横方向力検出器

CF：コーナリング力検出器

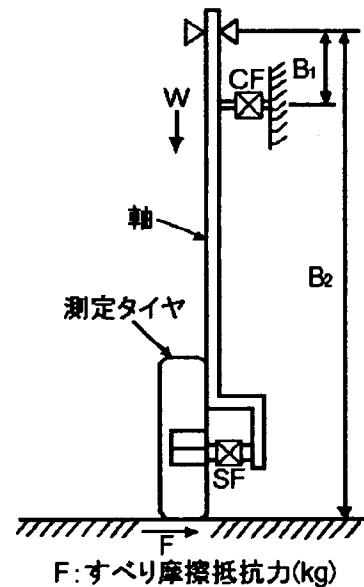


図-2.2 垂直昇降式すべり計（横すべり）

#### 3) 走行速度及び上載荷重の測定

1)あるいは2)の摩擦抵抗力を測定する際には、試験車の走行速度（V）をスピードメータ等により測定するとともに、タイヤに載荷させている上載荷重（W）を測定する。

ここで、V：走行速度

W：上載荷重

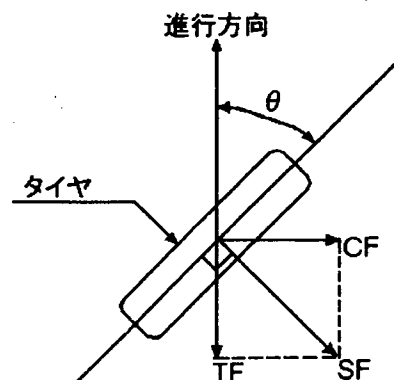


図-2.3 SF, CF, TF の関係

## 2. 2 データの読み取り方法

2. 1で測定されたアナログデータを図-2.4に示すように読み取り、計算によつてすべり摩擦係数に変換する。縦すべり摩擦抵抗力、横すべり摩擦抵抗力とも同じような波形が検出されるので、読み取り方法の一例を示す。

読み取り方法は、特異な区間を除いて抽出し、安定した区間において3ヶ所読み取り平均する。ここで特異な区間とは、制動開始時や制動終了時など、試験輪の回転の変化によって摩擦抵抗力が大きく変化するところをさすものとする。

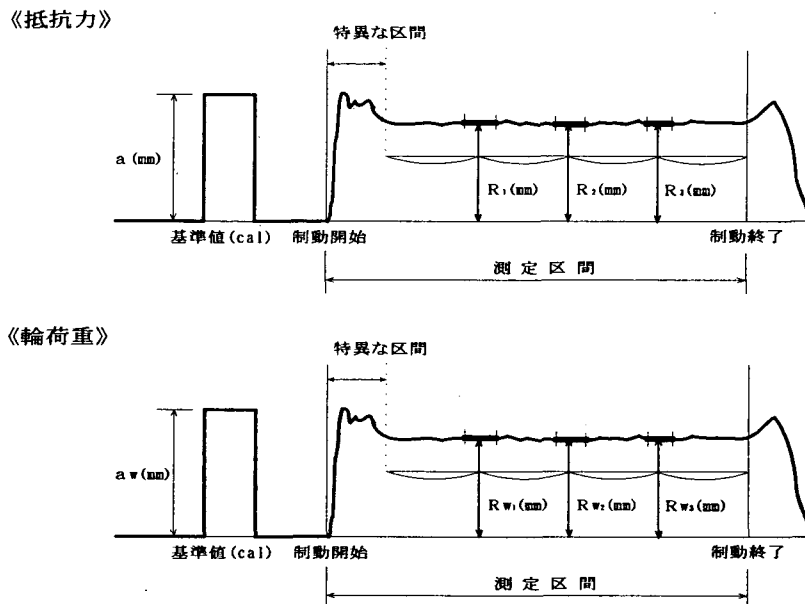


図-2.4 測定データのアナログ波形

読み取り値 (mm)

«摩擦抵抗力» 
$$R = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{3} \quad (\text{mm})$$

«上載荷重» 
$$R_w = \frac{R_{w1} + R_{w2} + R_{w3}}{3} \quad (\text{mm})$$

基準値 (cal) : ストレインメータ (増幅器) の電氣的な抵抗

R<sub>1</sub> ~ R<sub>3</sub> : 測定値 (ブレーキ時またはステア時の摩擦抵抗力)

R<sub>w1</sub> ~ R<sub>w3</sub> : 測定値 (測定時タイヤにかかる上載荷重)

## 2. 3 縦すべり摩擦係数の計算方法

### 1) 垂直昇降式すべり計の縦すべり摩擦係数の計算方法

縦すべり摩擦係数 ( $\mu$ ) は、

$$\mu(BF) = \frac{BF}{W} \quad \mu(TF) = \frac{TF}{W}$$

$\mu(BF)$  : ブレーキ力から算出される縦すべり摩擦係数

$\mu(TF)$  : けん引力から算出される縦すべり摩擦係数

BF : タイヤに作用するブレーキ力 (kg)

TF : タイヤに作用するけん引力 (kg)

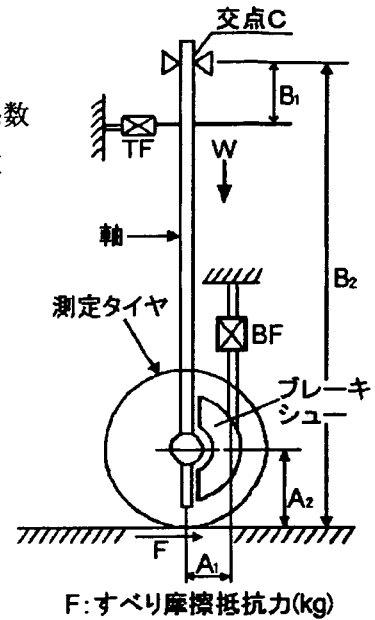
W : タイヤにかかる上載荷重 (kg)

ここで、BF、TF、Wはそれぞれ次式で算出される。

$$BF = E_{BF} \cdot M_{BF} \cdot \frac{A_1}{A_2} \cdot \frac{R_{BF}}{a_{BF}}$$

$$TF = E_{TF} \cdot M_{TF} \cdot \frac{B_1}{B_2} \cdot \frac{R_{TF}}{a_{TF}}$$

$$W = E_W \cdot M_W \cdot \frac{R_W}{a_W}$$



F: すべり摩擦抵抗抗力(kg)

図-2. 5 垂直昇降式すべり計 (縦すべり)

$R_{BF}$ ,  $R_{TF}$ ,  $R_W$  : BF, TF, Wの読み取り値 (mm)

$a_{BF}$ ,  $a_{TF}$ ,  $a_W$  : BF, TF, Wの cal の読み取り値 (mm)

$M_{BF}$ ,  $M_{TF}$ ,  $M_W$  : BF, TF, Wの cal 設定マイクロ数 (マイクロ)

$E_{BF}$ ,  $E_{TF}$ ,  $E_W$  : BF, TF, Wのロードセル感度 (kg/マイクロ)

$A_1$  : タイヤ中心から BF 検出器までの水平距離 (mm)

$A_2$  : 路面からタイヤ中心までの高さ (mm)

$B_1$  : TF 検出器から支点までの高さ (mm)

$B_2$  : 路面から支点までの高さ (mm)



2) 垂直昇降式すべり計の横すべり摩擦係数の計算方法

横すべり摩擦係数 ( $\mu$ ) は、

$$\mu(SF) = \frac{SF}{W} \qquad \mu(CF) = \frac{CF}{W}$$

$\mu$  (SF) : 横方向力から算出される横すべり摩擦係数

$\mu$  (CF) : コーナリング力から算出される横すべり摩擦係数

SF : タイヤに作用する横方向力 (kg)

CF : タイヤに作用するコーナリング力 (kg)

W : タイヤにかかる上載荷重 (kg)

ここで、SF、CF、Wはそれぞれ次式で計算される。

$$SF = E_{SF} \cdot M_{SF} \cdot \frac{R_{SF}}{a_{SF}}$$

$$CF = E_{CF} \cdot M_{CF} \cdot \frac{B_1}{B_2} \cdot \frac{R_{CF}}{a_{CF}}$$

$$W = E_W \cdot M_W \cdot \frac{R_W}{a_W}$$

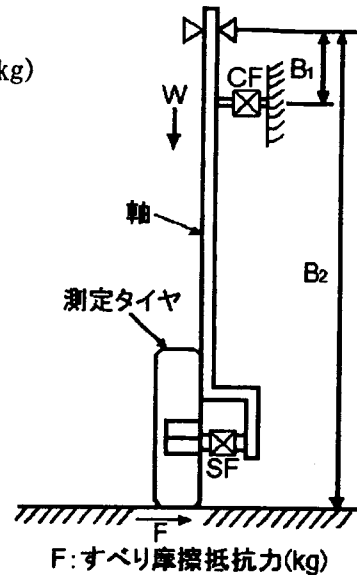


図-2. 6 垂直昇降式すべり計(横すべり)

$R_{SF}$ ,  $R_{CF}$ ,  $R_W$  : SF、CF、Wの読みとり値 (mm)

$a_{SF}$ ,  $a_{CF}$ ,  $a_W$  : SF、CF、Wの cal の読みとり値 (mm)

$M_{SF}$ ,  $M_{CF}$ ,  $M_W$  : SF、CF、Wの cal 設定マイクロ数 (マイクロ)

$E_{SF}$ ,  $E_{CF}$ ,  $E_W$  : SF、CF、Wのロードセル感度 (kg/マイクロ)

$B_1$  : CF 検出器から支点までの高さ (mm)

$B_2$  : 路面から支点までの高さ (mm)

垂直昇降式すべり計では、摩擦抵抗力の信頼性を確認しようとした場合、縦すべり、横すべりともそれぞれ2つの検出器による測定値を比較すればよいのだが、横すべり時におけるCF(コーナリング力)は、車両の進行方向直角に働く力であり、一方SF(横方向力)は、タイヤの回転方向直角に働く力である(両者の関係図は図-2.3)に示す。よって両者は直接比較出来ないため摩擦抵抗力の信頼性を確認する場合は、CFをステア角で補正した値(SF')とSFを比較することにより行っている。

$$SF' = CF / \cos \theta \qquad \theta : \text{ステア角}$$

### 3. 測定結果

測定結果は、総括（全車両 11 台）結果と、当機関測定車の結果に分けて整理した。

#### 3. 1 すべり摩擦係数総括（全車両 11 台）

表-3.1～表-3.4、図-3.1～図-3.5は全車両（11台）の測定結果を各条件毎にまとめ、すべり摩擦係数の最大値、最小値、平均値、標準偏差を示した。

表-3.1 縦すべり摩擦係数総括表  
[コンクリート研磨路面（標準路）] リブタイヤ

タイヤ	路面	測定速度 (km/h)	すべり摩擦係数(BF)				すべり摩擦係数(TF)			
			最大値	最小値	平均値	標準偏差	最大値	最小値	平均値	標準偏差
リブタイヤ	コンクリート研磨路面 (標準路)	20	0.66	0.45	0.54	0.049	0.59	0.42	0.50	0.047
		40	0.57	0.40	0.49	0.040	0.52	0.38	0.45	0.037
		60	0.54	0.36	0.42	0.044	0.51	0.32	0.39	0.048
		80	0.48	0.21	0.33	0.055	0.46	0.21	0.31	0.056

表-3.2 縦すべり摩擦係数総括表  
[塗布路面（低 $\mu$ 路）、アスファルト路面（高 $\mu$ 路）] リブタイヤ

タイヤ	路面	測定速度 (km/h)	すべり摩擦係数(BF)				すべり摩擦係数(TF)			
			最大値	最小値	平均値	標準偏差	最大値	最小値	平均値	標準偏差
リブタイヤ	塗布路面(低 $\mu$ 路)	40	0.18	0.06	0.13	0.032	0.17	0.04	0.11	0.039
		アスファルト路面 (高 $\mu$ 路)	20	0.75	0.52	0.66	0.057	0.71	0.49	0.62
	アスファルト路面 (高 $\mu$ 路)	40	0.69	0.45	0.59	0.051	0.63	0.41	0.55	0.053
		60	0.64	0.42	0.51	0.059	0.60	0.36	0.47	0.067

表-3.3 縦すべり摩擦係数総括表  
[塗布路面（低 $\mu$ 路）] スタッドレスタイヤ

タイヤ	路面	測定速度 (km/h)	すべり摩擦係数(BF)				すべり摩擦係数(TF)			
			最大値	最小値	平均値	標準偏差	最大値	最小値	平均値	標準偏差
スタッドレス タイヤ	塗布路面(低 $\mu$ 路)	30	0.29	0.19	0.24	0.022	0.27	0.13	0.21	0.040
		40	0.27	0.17	0.23	0.022	0.25	0.12	0.20	0.039
		50	0.25	0.17	0.21	0.022	0.24	0.11	0.19	0.041

表-3.4 横すべり摩擦係数総括表 リブタイヤ

タイヤ	路面	測定速度 (km/h)	すべり摩擦係数(SF)				すべり摩擦係数(CF)			
			最大値	最小値	平均値	標準偏差	最大値	最小値	平均値	標準偏差
リブタイヤ	コンクリート研磨路面	40	0.74	0.52	0.65	0.068	0.71	0.49	0.63	0.065
	塗布路面(低 $\mu$ 路)	40	0.34	0.11	0.19	0.064	0.23	0.12	0.17	0.029
	アスファルト路面 (高 $\mu$ 路)	40	0.97	0.71	0.82	0.066	0.92	0.69	0.79	0.063

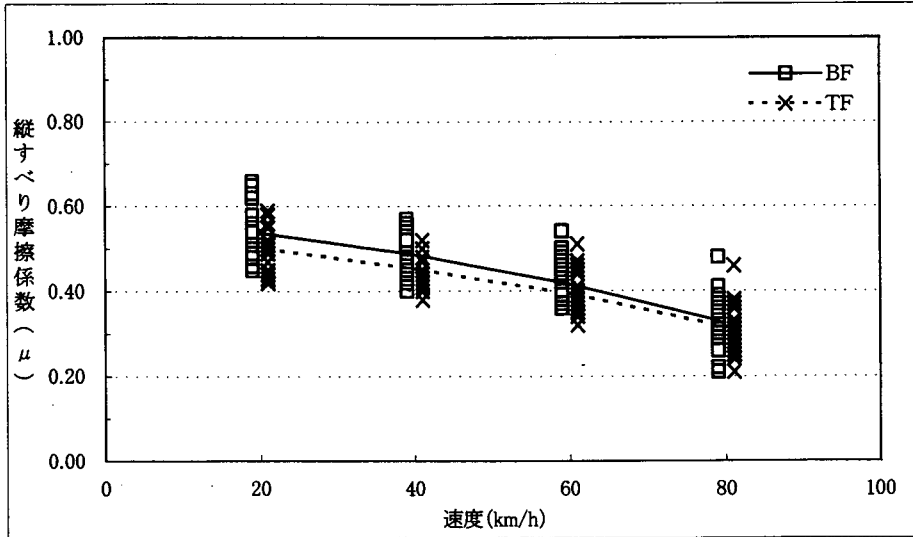


図-3.1 速度と縦すべり摩擦係数の関係  
[コンクリート研磨路面 (標準路)・リブタイヤ]

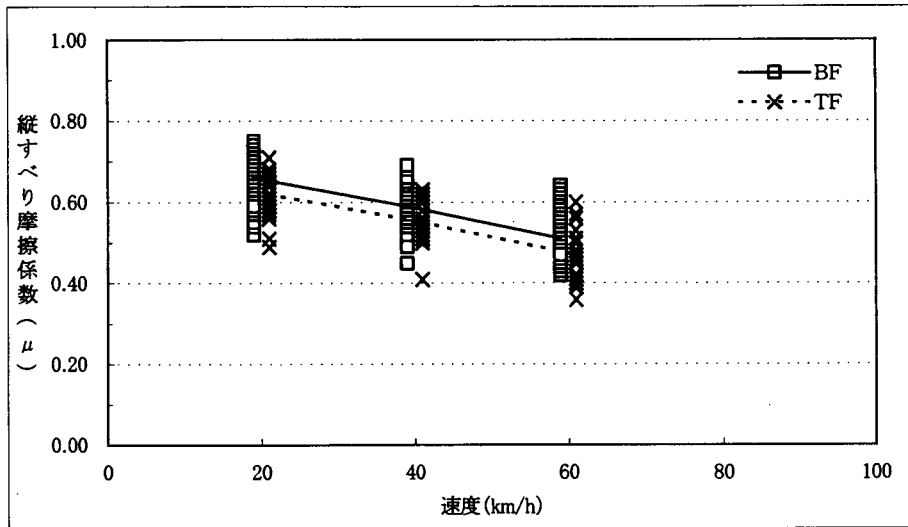


図-3.2 速度と縦すべり摩擦係数の関係  
[アスファルト路面 (高μ路)・リブタイヤ]

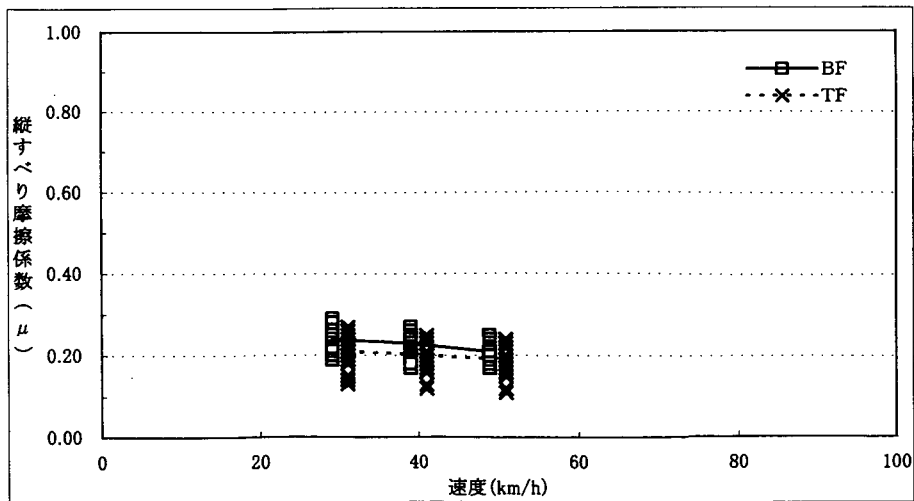


図-3.3 速度と縦すべり摩擦係数の関係  
[塗布路面 (低μ路)・スタッドレスタイヤ]

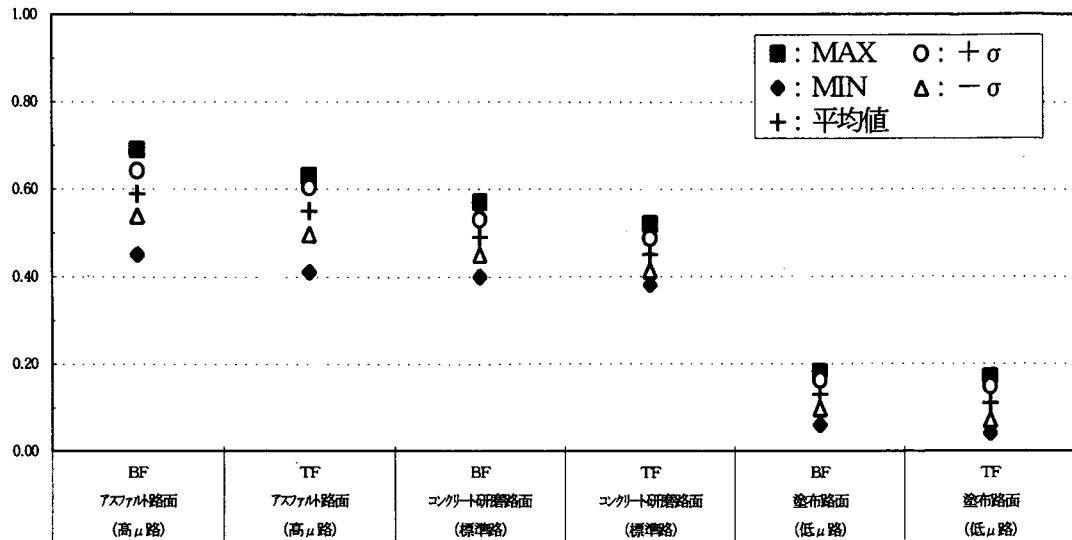


図-3.4 路面種類と縦すべり摩擦係数の関係  
[速度 40km/h・リブタイヤ]

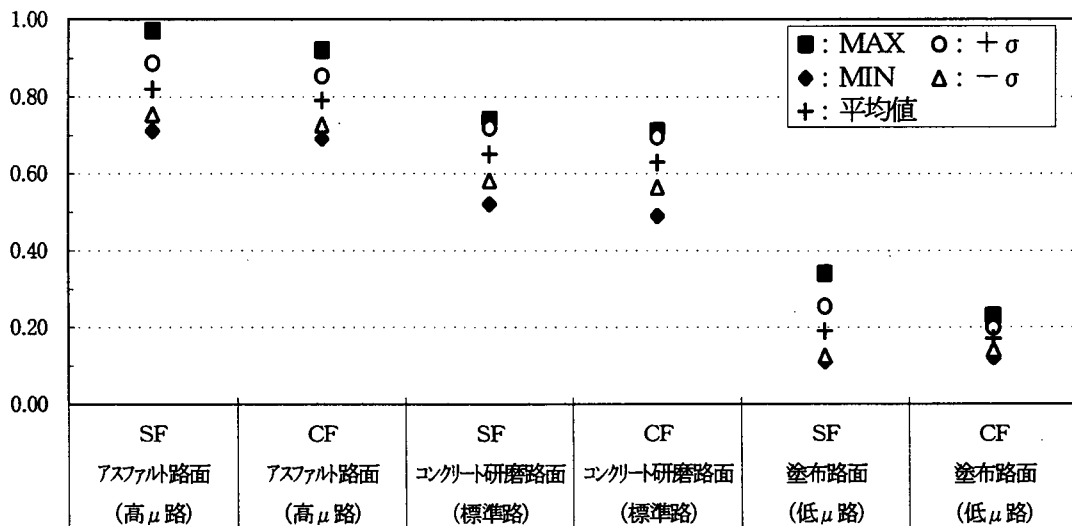


図-3.5 路面種類と横すべり摩擦係数の関係  
[速度 40km/h・ステア角 15度・リブタイヤ]

### 3. 2 測定車（装置）間の比較

各測定車に搭載されている測定装置は、形状や構造が異なるものもあるが、測定される値そのものは十分な精度で一致しなければならない。

図-3.6.1～図-3.10.2は、各測定車によるすべり摩擦係数を速度別に示したものである。これらの図から見ても分かるように、測定車によっては多少平均値との差が大きいものも認められるが、おおよそ±0.1の範囲内にある。

ただし、スタッドレスタイヤの場合は、BFの値は安定しているものの、TFの値にバラツキが多く見られた。これは、タイヤ表面形状（トレッドパターン）、タイヤゴム配合、硬度等により路面への接触状態がリブタイヤと異なるためと考えられる。

なお、垂直昇降式すべり測定装置（国土交通省標準型）を搭載している機関については、2系統の検出部（縦すべり摩擦測定時には、BF:Braking Force, TF:Traction Force、横すべり摩擦測定時にはSF:Sideway Force, CF:Cornering Force）を有している。これらの比較により正しい値が測定されているかチェックする事が可能である。

また、片方の検出器（ロードセル）が損傷しても片方の検出器の使用によって測定は継続する事が可能であるといった利点がこの装置にはある。

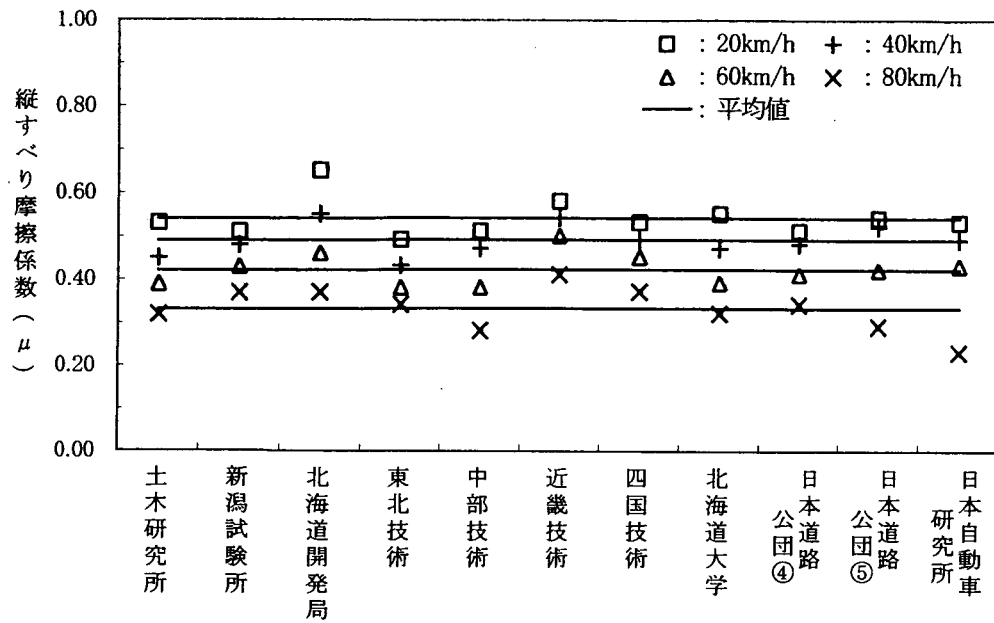


図-3. 6. 1 測定車別縦すべり摩擦係数 (BF)  
[コンクリート研磨路面 (標準路)・リブタイヤ]

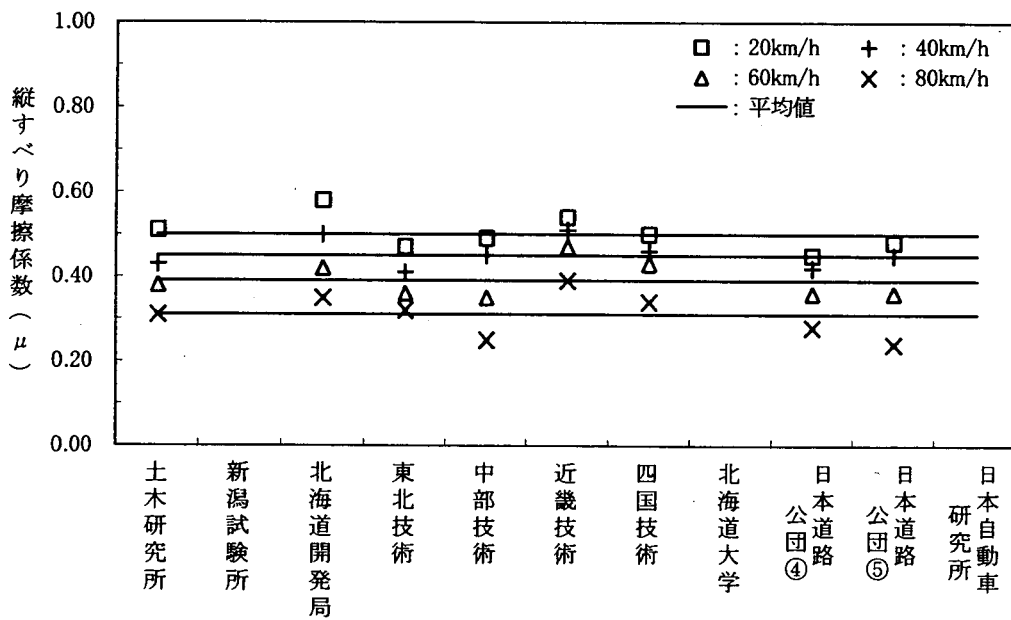


図-3. 6. 2 測定車別縦すべり摩擦係数 (TF)  
[コンクリート研磨路面 (標準路)・リブタイヤ]

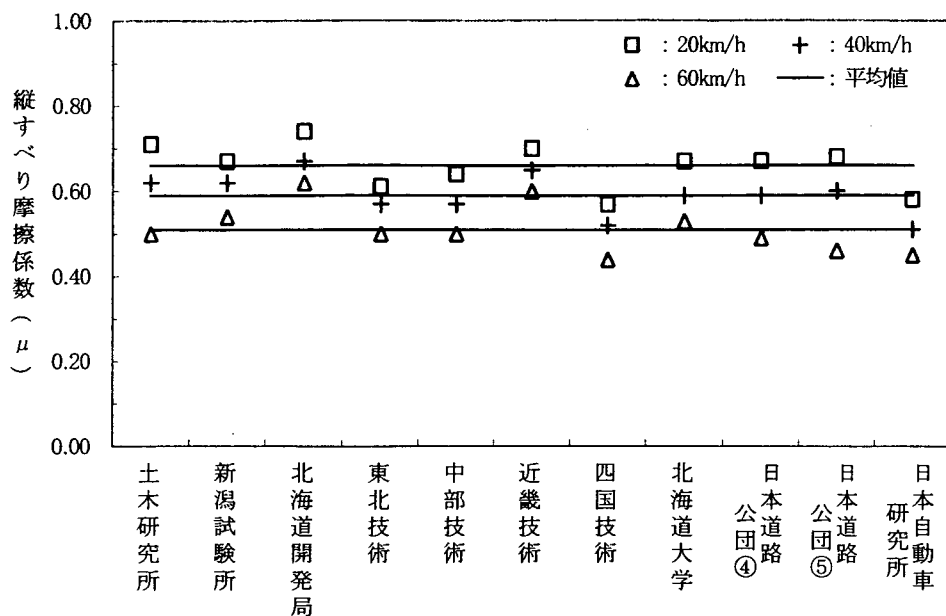


図-3.7.1 測定車別縦すべり摩擦係数 (BF)  
[アスファルト路面 (高μ路)・リブタイヤ]

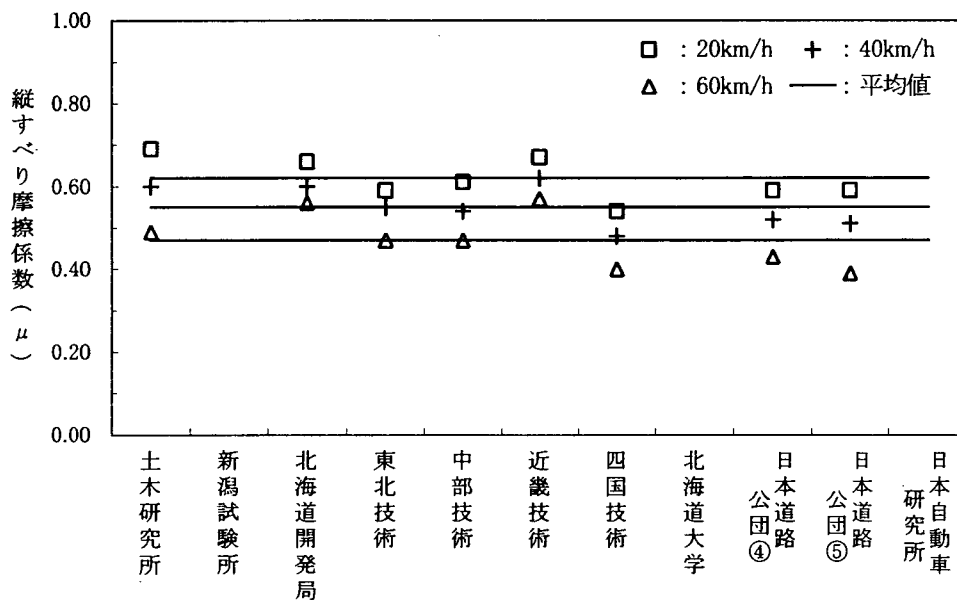


図-3.7.2 測定車別縦すべり摩擦係数 (TF)  
[アスファルト路面 (高μ路)・リブタイヤ]

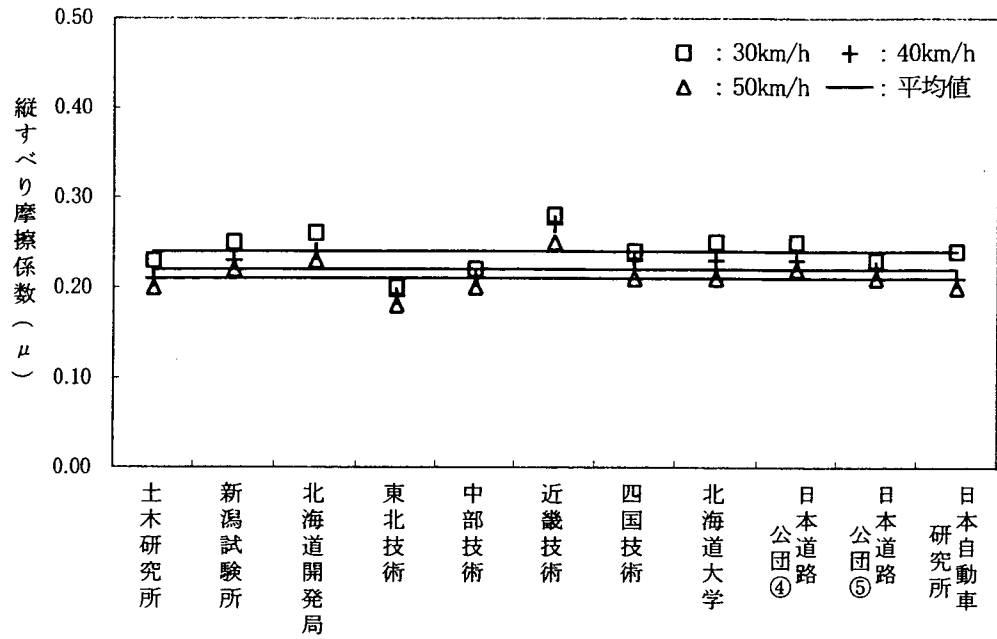


図-3.8.1 測定車別縦すべり摩擦係数 (BF)  
[塗布路面 (低 $\mu$ 路)・スタッドレスタイヤ]

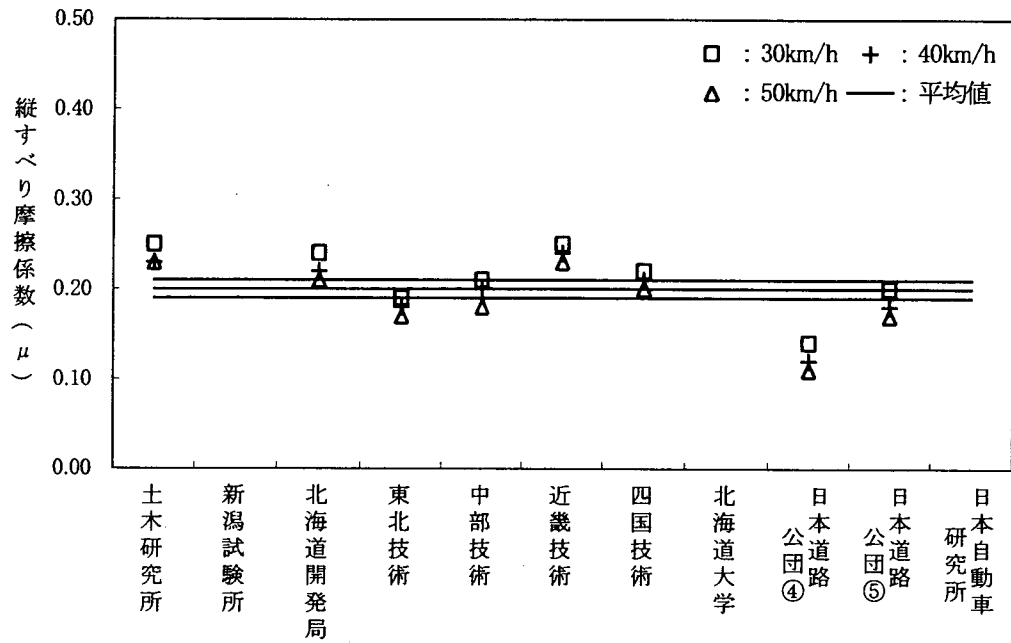


図-3.8.2 測定車別縦すべり摩擦係数 (TF)  
[塗布路面 (低 $\mu$ 路)・スタッドレスタイヤ]



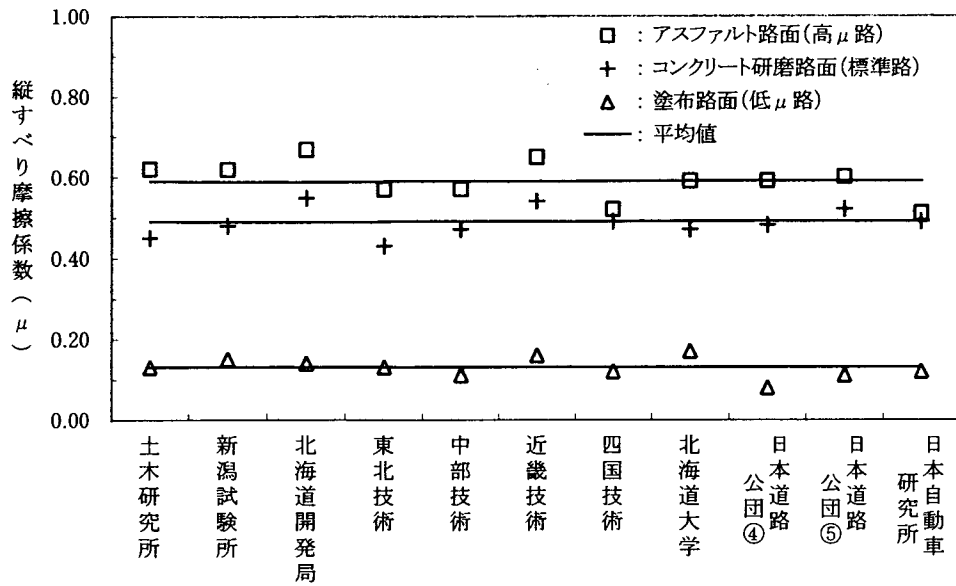


図-3.9.1 測定車別縦すべり摩擦係数 (BF)  
[40km/h・リブタイヤ]

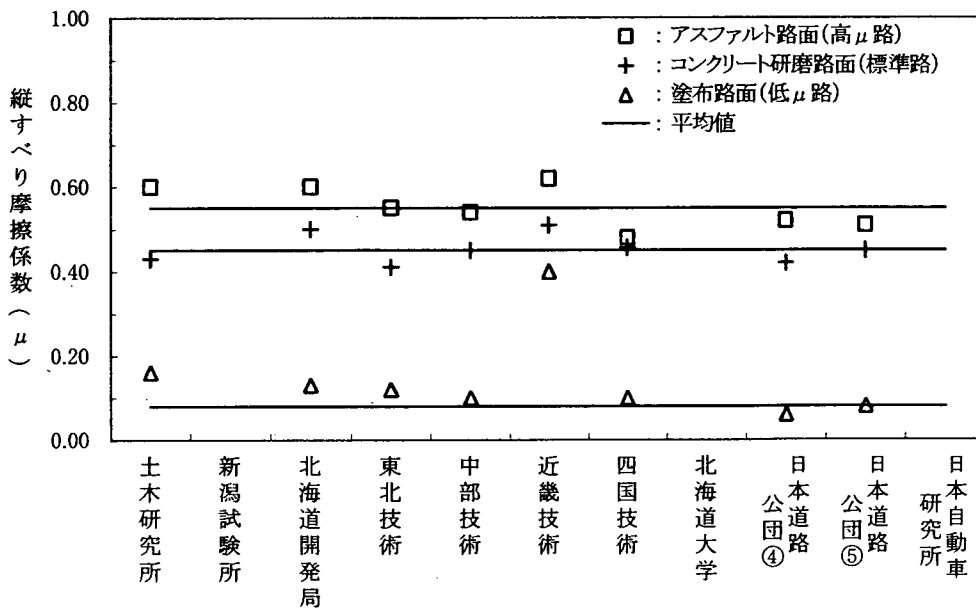


図-3.9.2 測定車別縦すべり摩擦係数 (TF)  
[40km/h・リブタイヤ]

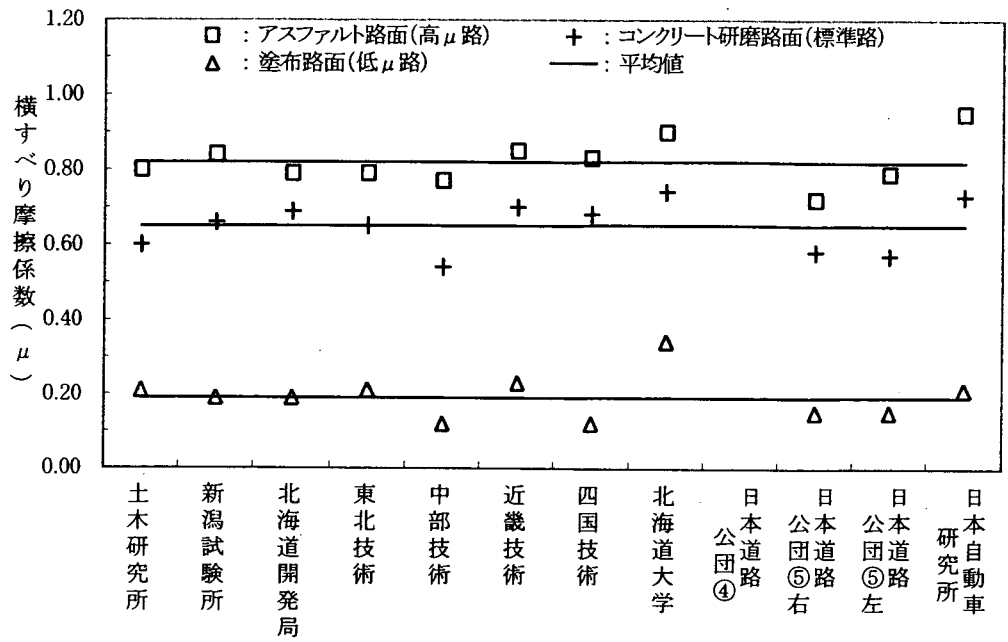


図-3. 10. 1 測定車別横すべり摩擦係数 (SF)  
[40km/h・ステア角 15度・リブタイヤ]

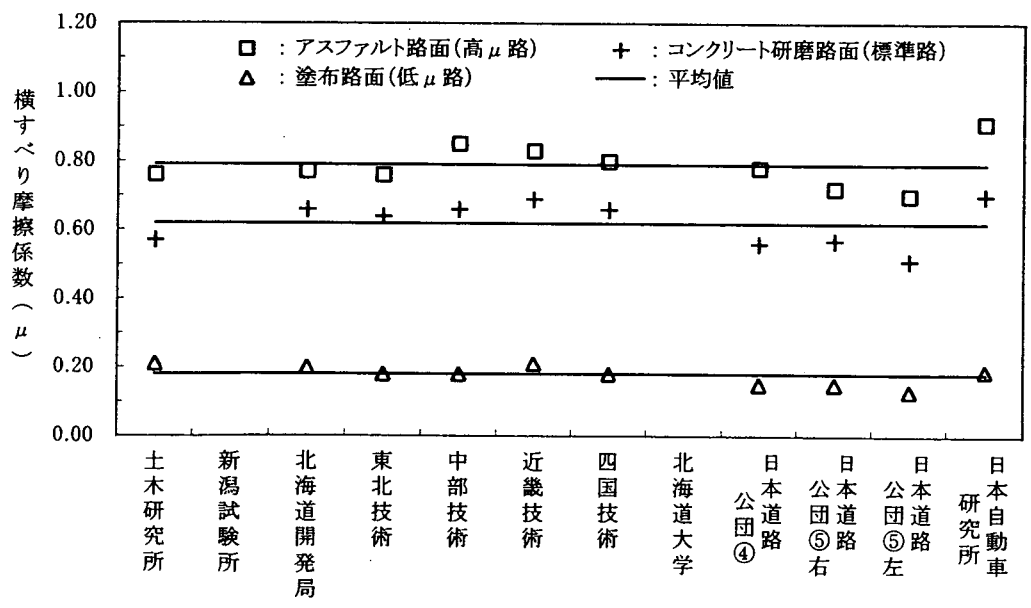


図-3. 10. 2 測定車別横すべり摩擦係数 (CF)  
[40km/h・ステア角 15度・リブタイヤ]

### 3. 3 当機関測定車の結果

表-3.5~表-3.7、図-3.11~図-3.18は当機関測定車の結果を示したものである。

表-3.5 縦すべり摩擦係数(リブタイヤ)

タイヤ	路面	測定速度 (km/h)	すべり摩擦係数(BF)				すべり摩擦係数(TF)				備考	
			1	2	3	平均値	1	2	3	平均値		
リブタイヤ	コンクリート研磨路面 (標準路)	20	0.55	0.52	0.51	0.53	0.52	0.50	0.50	0.51		
		40	0.45	0.46	0.45	0.45	0.42	0.44	0.43	0.43		
		60	0.40	0.38	0.40	0.39	0.38	0.37	0.40	0.38		
		80	0.29	0.34	0.34	0.32	0.28	0.33	0.33	0.31		
	塗布路面(低 $\mu$ 路)	40	0.14	0.12	0.13	0.13	0.17	0.15	0.15	0.16		
		アスファルト路面(高 $\mu$ 路)	20	0.73	0.67	0.74	0.71	0.71	0.65	0.71		0.69
			40	0.60	0.62	0.63	0.62	0.60	0.60	0.61		0.60
	60	0.52	0.52	0.47	0.50	0.50	0.51	0.47	0.49			

表-3.6 横すべり摩擦係数(リブタイヤ)

タイヤ	路面	測定速度 (km/h)	すべり摩擦係数(SF)				すべり摩擦係数(CF)				備考
			1	2	3	平均値	1	2	3	平均値	
リブタイヤ	コンクリート研磨路面(標準路)	40	0.54	0.62	0.63	0.60	0.51	0.60	0.60	0.57	
	塗布路面(低 $\mu$ 路)	40	0.23	0.21	0.19	0.21	0.23	0.22	0.19	0.21	
	アスファルト路面(高 $\mu$ 路)	40	0.78	0.83	0.80	0.80	0.74	0.80	0.75	0.76	

表-3.7 縦すべり摩擦係数(スタッドレスタイヤ)

タイヤ	路面	測定速度 (km/h)	すべり摩擦係数(BF)				すべり摩擦係数(TF)				備考
			1	2	3	平均値	1	2	3	平均値	
スタッドレスタイヤ	塗布路面(低 $\mu$ 路)	30	0.23	0.24	0.22	0.23	0.25	0.27	0.24	0.25	
		40	0.21	0.21	0.21	0.21	0.23	0.23	0.23	0.23	
		50	0.19	0.21	0.20	0.20	0.23	0.23	0.23	0.23	

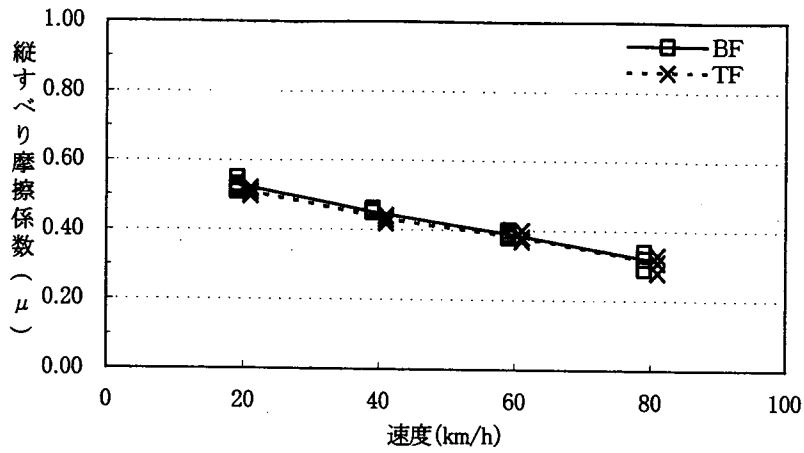


図-3. 1.1 速度とすべり摩擦係数の関係 [土木研究所]  
[コンクリート研磨路面 (標準路)・リブタイヤ]

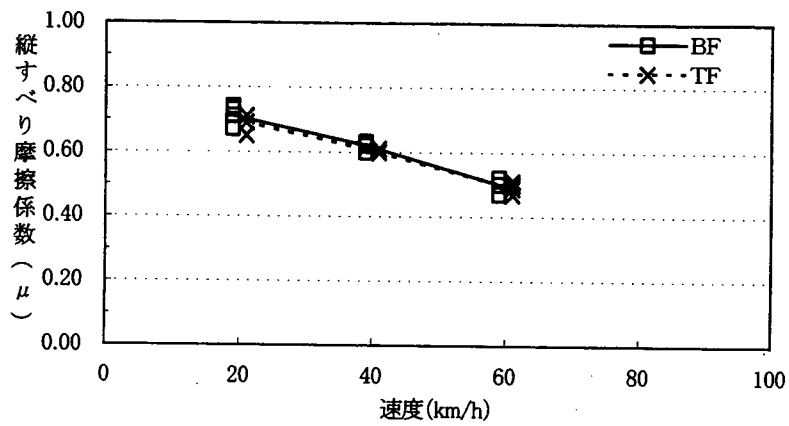


図-3. 1.2 速度と縦すべり摩擦係数の関係 [土木研究所]  
[アスファルト路面 (高μ路)・リブタイヤ]

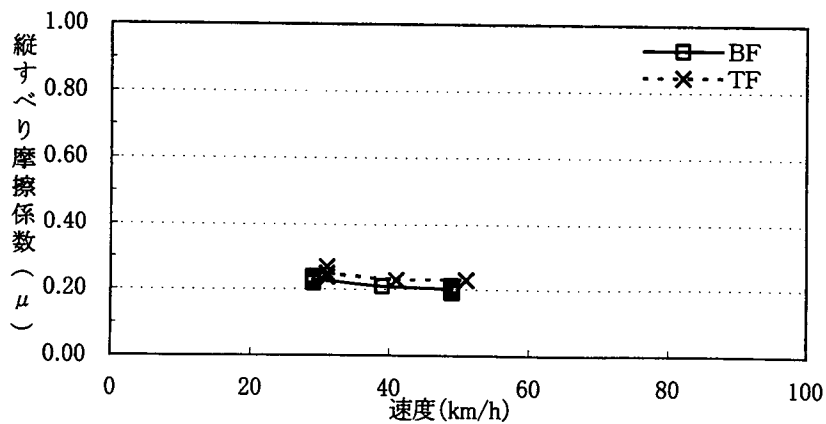


図-3. 1.3 速度と縦すべり摩擦係数の関係 [土木研究所]  
[塗布路面 (低μ路)・スタッドレスタイヤ]

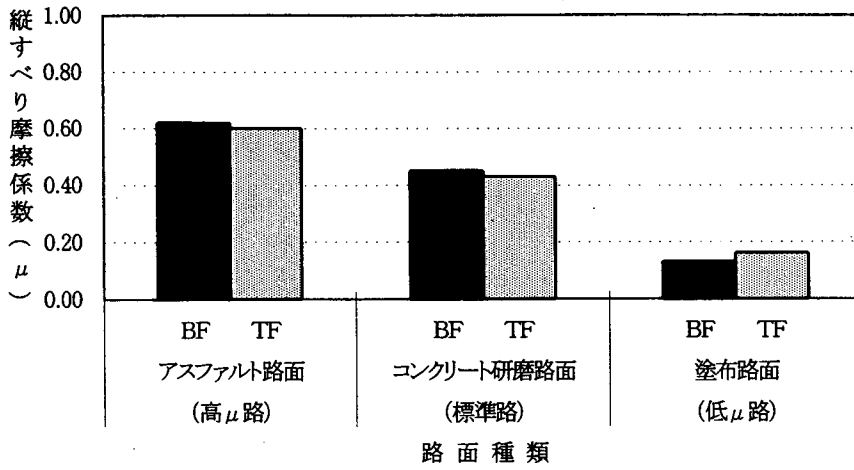


図-3. 14 路面種類と縦すべり摩擦係数の関係 [土木研究所]  
[速度 40km/h・リブタイヤ]

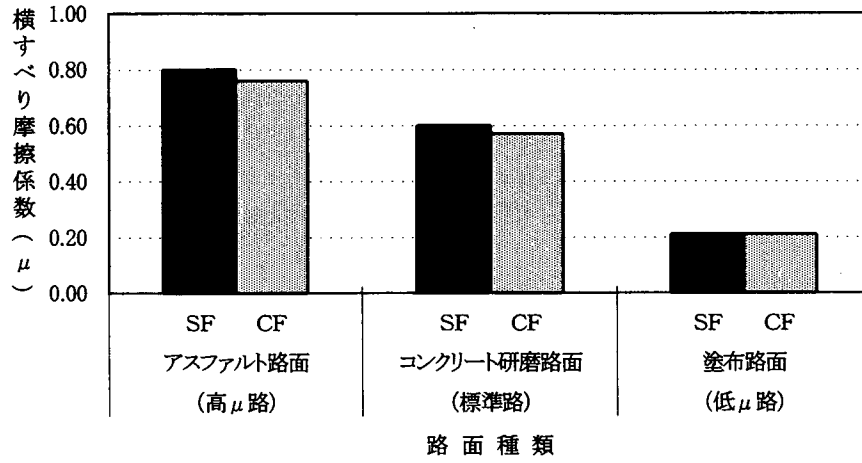


図-3. 15 路面種類と横すべり摩擦係数の関係 [土木研究所]  
[速度 40km/h・ステア角 15度・リブタイヤ]

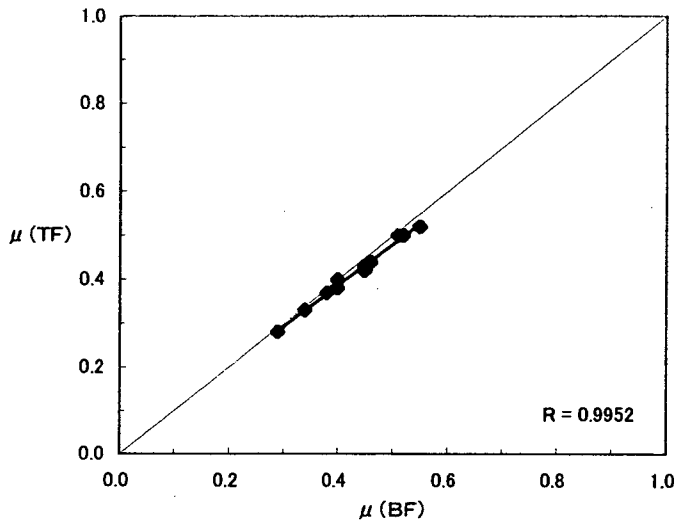


図-3.16  $\mu$  (BF) と  $\mu$  (TF) の関係 [土木研究所]  
[コンクリート研磨路面 (標準路)・リブタイヤ]

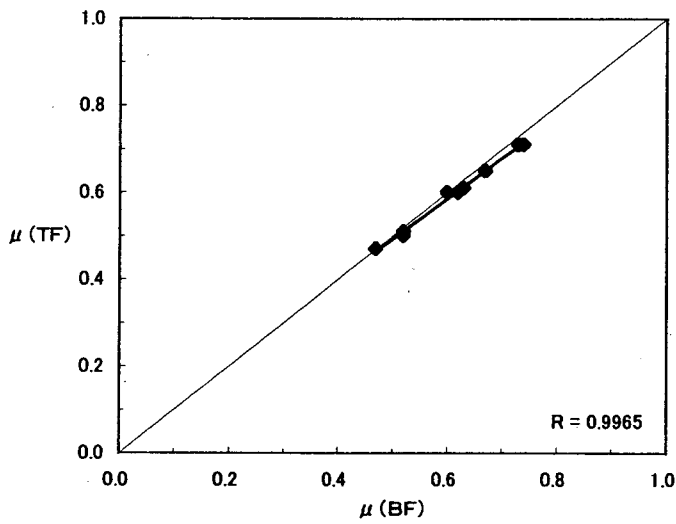


図-3.17  $\mu$  (BF) と  $\mu$  (TF) の関係 [土木研究所]  
[アスファルト路面 (高 $\mu$ 路)・リブタイヤ]

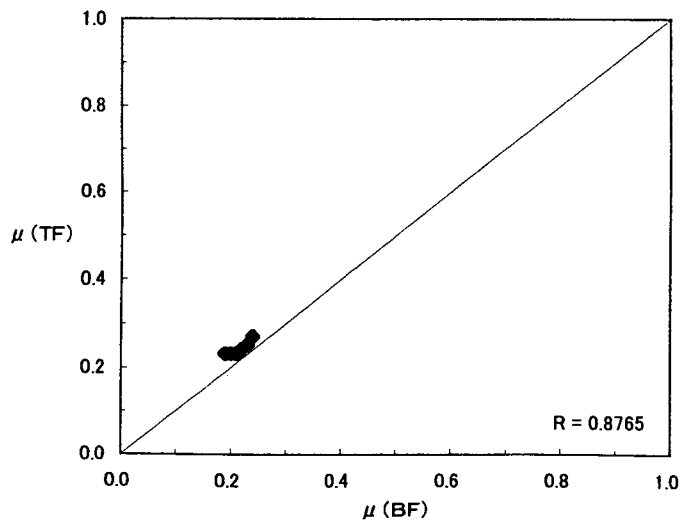


図-3.18  $\mu$  (BF) と  $\mu$  (TF) の関係 [土木研究所]  
[塗布路面 (低 $\mu$ 路)・スタッドレスタイヤ]

### 3. 3. 1 まとめ

当機関の測定車によるすべり摩擦係数は、全体の平均値とほぼ同じ結果となっている。また当機関の測定車は各種実験及び比較試験等にも多く使用され、その実績は高く評価されている事から当測定車によるすべり摩擦係数を標準値としている。よって、他機関の測定車によるすべり摩擦係数を標準値に補正する重要な測定車とされているので、今後その性能を低下させないよう常に良好な値を測定できるための維持管理が必要とされる。

なお、他機関のすべり摩擦係数の信頼性を高めるためには、標準値への補正が有効であり、多く補正式が利用されるよう指導していく必要がある。また、すべり摩擦係数の重要性についても指導し、走行性を向上させるとともに事故防止等に役立たせていく必要があると考えられる。

#### 4. 測定結果の考察

##### 4. 1 分散分析

すべり摩擦係数に影響を与える要因3種（速度、路面、測定車）について、分散分析を行った結果を表-4.1.1に示した。なお、分析には表-4.1.2の縦すべり摩擦係数（BF）及び表-4.1.3の横すべり摩擦係数（SF）を用いた。

表-4.1.1 縦すべり摩擦係数(BF)リブタイヤ 分散分析表

条件(速度:20,40,60km/h)(路面:標準路、高 $\mu$ 路)(測定車:11台)

要因	偏差平方和	自由度	不偏分散	F値	P値	判定
A:速度	0.19191	2	0.09596	284.89	0.00	1%有意
B:路面	0.17930	1	0.17930	532.33	0.00	1%有意
C:測定車	0.08842	10	0.00884	26.25	0.00	1%有意
A×B	0.00233	2	0.00117	3.46	0.05	
B×C	0.01002	20	0.00050	1.49	0.19	
A×C	0.02714	10	0.00271	8.06	0.00	1%有意
誤差	0.00674	20	0.00034			
全体変動	0.50585	65				

表-4.1.2 縦すべり摩擦係数(BF)スタッドレスタイヤ 分散分析表

条件(速度:30,40,50km/h)(路面:低 $\mu$ 路)(測定車:11台)

要因	偏差平方和	自由度	不偏分散	F値	P値	判定
A:速度	0.00468	2	0.00234	120.62	0.00	1%有意
B:測定車	0.01174	10	0.00117	60.53	0.00	1%有意
誤差	0.00039	20	0.00002			
全体変動	0.01681	32				

表-4.1.3 横すべり摩擦係数(SF)リブタイヤ 分散分析表

条件(速度:40km/h)(ステア角:15度)(路面:低 $\mu$ 路、標準路、高 $\mu$ 路)(測定車:11台)

要因	偏差平方和	自由度	不偏分散	F値	P値	判定
A:路面	2.31843	2	1.15921	892.53	0.00	1%有意
B:測定車	0.09786	10	0.00979	7.54	0.00	1%有意
誤差	0.02598	20	0.00130			
全体変動	2.44227	32				



分散分析の結果、これまでの一連のすべり実験からも明らかにされてきた速度と路面が重要な因子として、すべり摩擦係数に影響している事が分かる。

また、本実験の目的因子である測定車についてみると、速度と路面の因子よりは小さいが、測定車間に有意なすべり摩擦係数の差がある事が分かった。

今回の結果（表-4.1.2～表-4.1.3）を見ると、速度、路面、測定車が重要な因子としてすべり摩擦係数に影響を与えている事が分かる。

## 4. 2 相関関係

### 4. 2. 1 検出機器と各すべり摩擦係数の関係

垂直昇降式縦横両用型すべり計における縦すべり時のすべり摩擦係数 $\mu$  (BF)、 $\mu$  (TF)の関係を図-4.1～図-4.3に示す。

また、横すべり時のすべり摩擦係数 $\mu$  (SF)、 $\mu$  (CF)の関係を図-4.4に示す。

$\mu$  (BF) と $\mu$  (TF)については、値の差はほとんどなく、相関係数も0.9以上と高いため両者は同一と考えて問題ないと思われる。

一方、スタッドレスタイヤによる塗布路面（雪氷を想定した路面）のすべり摩擦係数は速度による減少は見られず、相関係数も0.45となっている。

これは、速度変化に伴うすべり摩擦係数の変化量が非常に小さいため、広範にわたるデータが得られないことが影響していると考えられる。

また、横すべり時のすべり摩擦係数 $\mu$  (SF)、 $\mu$  (CF)の関係、を図-4.4に示す。一般的には、路面を固定して速度の変化で $\mu$  (SF)と $\mu$  (CF)の相関関係を評価してきているが、今回は速度とステア角を固定し、路面の違いによって $\mu$  (SF)と $\mu$  (CF)の相関関係を評価した。結果は、測定車や路面の違い等によって、値に多少バラツキは見られるものの相関係数は0.9以上と高くなった。

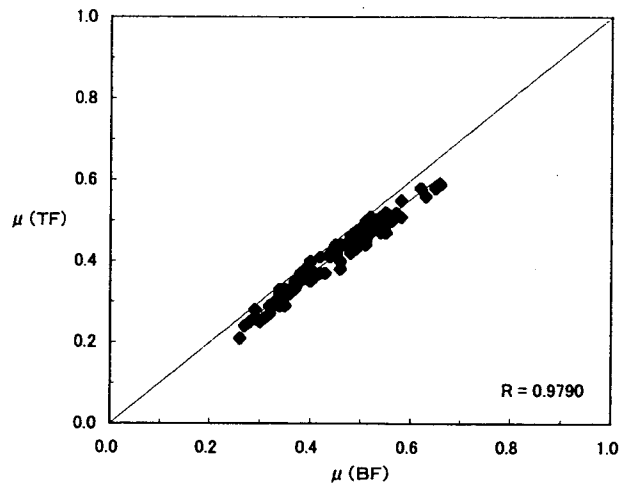


図-4. 1  $\mu(BF)$ と $\mu(TF)$ の関係  
[コンクリート研磨路面(標準路)・リブタイヤ]

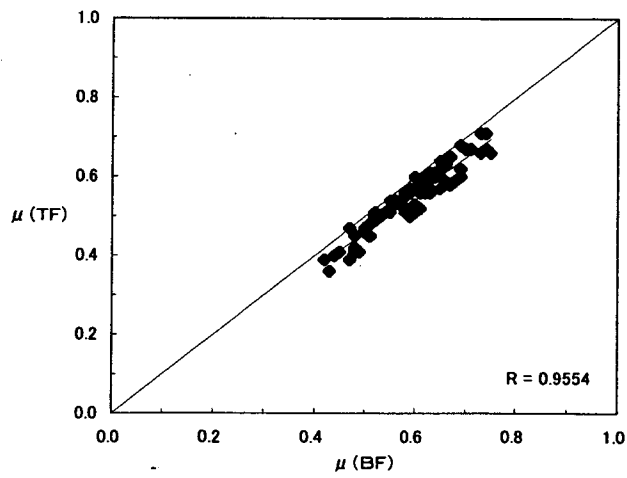


図-4. 2  $\mu(BF)$ と $\mu(TF)$ の関係  
[アスファルト路面(高 $\mu$ 路)・リブタイヤ]

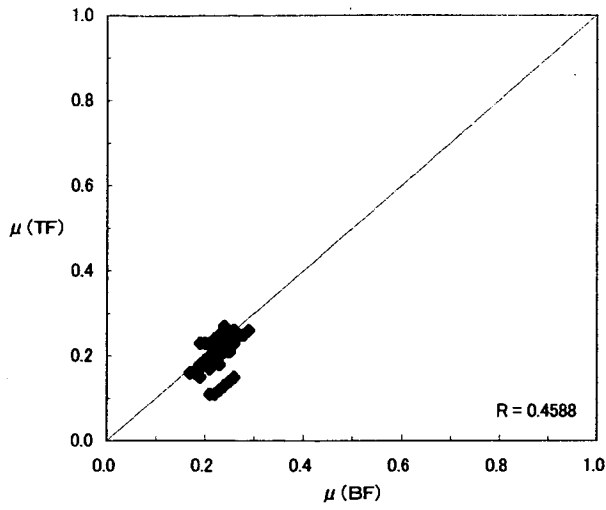


図-4.3  $\mu(BF)$ と $\mu(TF)$ の関係  
[塗布路面(低 $\mu$ 路)・スタッドレスタイヤ]

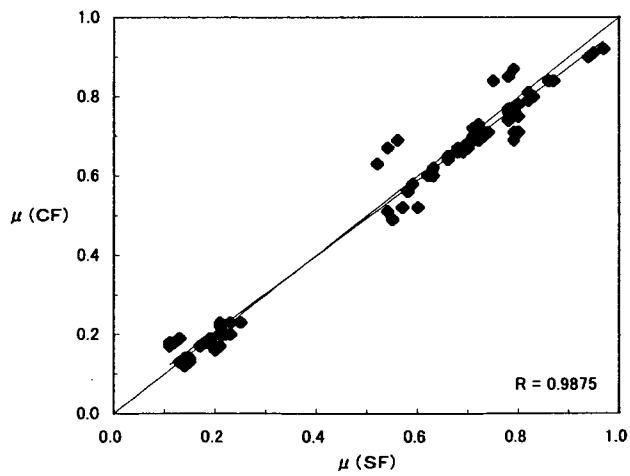


図-4.4  $\mu(SF)$ と $\mu(CF)$ の関係  
[コンクリート研磨、アスファルト、塗布路面、リブタイヤ]

#### 4. 2. 2 測定車間の関係

各測定車間の対応状況をみるため、表-4.2.1～表-4.2.3にそれぞれの相関係数を示す。

今回の試験結果では、相関関数がほとんどの機関において0.9以上となりほぼ良好な結果が得られた。

表-4. 2. 1 各測定車間の相関係数（縦すべり）リブタイヤ

機 関 名	土 研	新 潟	北 開	東 北	中 部	近 畿	四 国	北 大	公団4	公団5	自研バス
土 研		0.9884	0.9794	0.9890	0.9881	0.9723	0.9235	0.9924	0.9859	0.9782	0.9310
新 潟	0.9884		0.9821	0.9974	0.9878	0.9924	0.9400	0.9825	0.9939	0.9709	0.9275
北 開	0.9794	0.9821		0.9889	0.9939	0.9877	0.9516	0.9926	0.9836	0.9750	0.9608
東 北	0.9890	0.9974	0.9889		0.9880	0.9914	0.9405	0.9874	0.9912	0.9671	0.9262
中 部	0.9881	0.9878	0.9939	0.9880		0.9857	0.9439	0.9951	0.9886	0.9880	0.9661
近 畿	0.9723	0.9924	0.9877	0.9914	0.9857		0.9648	0.9747	0.9923	0.9698	0.9481
四 国	0.9235	0.9400	0.9516	0.9405	0.9439	0.9648		0.9230	0.9675	0.9604	0.9514
北 大	0.9924	0.9825	0.9926	0.9874	0.9951	0.9747	0.9230		0.9797	0.9764	0.9485
公団4	0.9859	0.9939	0.9836	0.9912	0.9886	0.9923	0.9675	0.9797		0.9852	0.9466
公団5	0.9782	0.9709	0.9750	0.9671	0.9880	0.9698	0.9604	0.9764	0.9852		0.9759
自研バス	0.9310	0.9275	0.9608	0.9262	0.9661	0.9481	0.9514	0.9485	0.9466	0.9759	

表-4. 2. 2 各測定車間の相関係数（縦すべり）スタッドレスタイヤ

機 関 名	土 研	新 潟	北 開	東 北	中 部	近 畿	四 国	北 大	公団4	公団5	自研バス
土 研		1.0000	1.0000	0.9820	0.9820	0.9286	0.9286	0.9820	1.0000	0.9820	0.9959
新 潟	1.0000		1.0000	0.9820	0.9820	0.9286	0.9286	0.9820	1.0000	0.9820	0.9959
北 開	1.0000	1.0000		0.9820	0.9820	0.9286	0.9286	0.9820	1.0000	0.9820	0.9959
東 北	0.9820	0.9820	0.9820		1.0000	0.9820	0.9820	1.0000	0.9820	1.0000	0.9608
中 部	0.9820	0.9820	0.9820	1.0000		0.9820	0.9820	1.0000	0.9820	1.0000	0.9608
近 畿	0.9286	0.9286	0.9286	0.9820	0.9820		1.0000	0.9820	0.9286	0.9820	0.8910
四 国	0.9286	0.9286	0.9286	0.9820	0.9820	1.0000		0.9820	0.9286	0.9820	0.8910
北 大	0.9820	0.9820	0.9820	1.0000	1.0000	0.9820	0.9820		0.9820	1.0000	0.9608
公団4	1.0000	1.0000	1.0000	0.9820	0.9820	0.9286	0.9286	0.9820		0.9820	0.9959
公団5	0.9820	0.9820	0.9820	1.0000	1.0000	0.9820	0.9820	1.0000	0.9820		0.9608
自研バス	0.9959	0.9959	0.9959	0.9608	0.9608	0.8910	0.8910	0.9608	0.9959	0.9608	

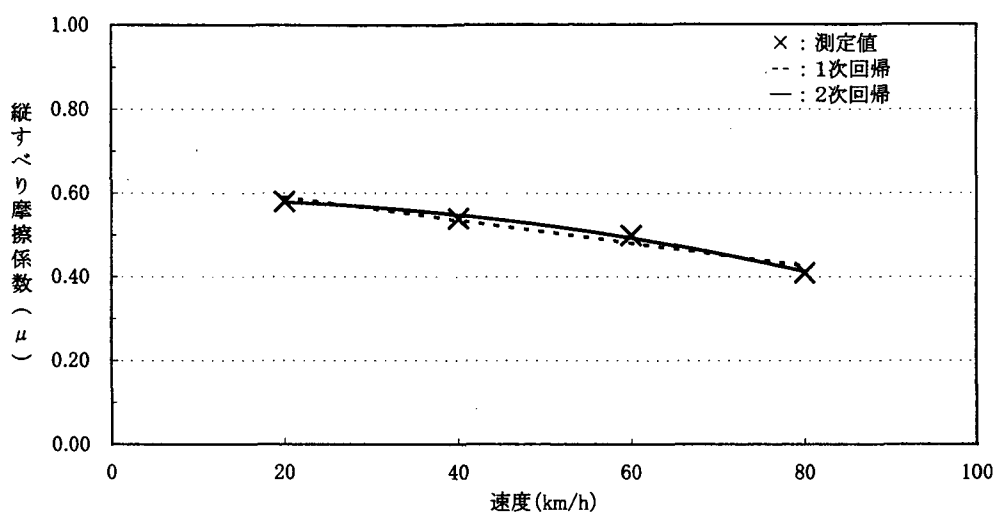
表-4. 2. 3 各測定車間の相関係数(横すべり)リブタイヤ

機関名	土研	新潟	北開	東北	中部	近畿	四国	北大	公団5(右)	公団5(左)	自研バス
土研		0.9977	0.9838	0.9943	0.9999	0.9944	0.9905	0.9983	0.9948	1.0000	0.9989
新潟	0.9977		0.9937	0.9993	0.9964	0.9993	0.9976	0.9999	0.9994	0.9973	0.9998
北開	0.9838	0.9937		0.9973	0.9807	0.9972	0.9991	0.9926	0.9969	0.9828	0.9910
東北	0.9943	0.9993	0.9973		0.9924	1.0000	0.9995	0.9989	1.0000	0.9938	0.9982
中部	0.9999	0.9964	0.9807	0.9924		0.9925	0.9881	0.9972	0.9930	0.9999	0.9980
近畿	0.9944	0.9993	0.9972	1.0000	0.9925		0.9995	0.9989	1.0000	0.9938	0.9982
四国	0.9905	0.9976	0.9991	0.9995	0.9881	0.9995		0.9969	0.9993	0.9897	0.9958
北大	0.9983	0.9999	0.9926	0.9986	0.9972	0.9989	0.9969		0.9991	0.9979	0.9999
公団5(右)	0.9948	0.9994	0.9969	1.0000	0.9930	1.0000	0.9993	0.9991		0.9943	0.9984
公団5(左)	1.0000	0.9973	0.9828	0.9938	0.9999	0.9938	0.9897	0.9979	0.9943		0.9987
自研バス	0.9989	0.9998	0.9910	0.9982	0.9980	0.9982	0.9958	0.9999	0.9984	0.9987	

#### 4. 2. 3 走行速度とすべり摩擦係数の関係

走行速度とすべり摩擦係数の関係は、各測定車によって多少異なる傾向を示しているが、全体的にはそれほど大きな差は見られなかった。(参考資料—5)。

表—4. 3. 1～表—4. 3. 3は、各測定車の速度とすべり摩擦係数の関係を1次と2次回帰式によって求めたものである。図—4. 5は、その一例 (BF の例) を図化したものである。



図—4. 5 速度とすべり摩擦係数の関係 [縦すべり摩擦係数(BF)]  
[近畿技術事務所測定車、コンクリート研磨路面(標準路)、リブタイヤ]



表-4.3.1 速度とすべり摩擦係数 (BF) の関係 (リブタイヤ)  
[コンクリート研磨路面 (標準路)]

機関名	測定タイヤ	上段: 1次回帰式 $Y: \mu(BF)$ 下段: 相関係数 ( $r^2$ ) $X$ : 速度 km/h	上段: 2次回帰式 $Y: \mu(BF)$ 下段: 相関係数 ( $r^2$ ) $X$ : 速度 km/h
土木研究所	リブタイヤ	$Y = -0.0035X + 0.595$ $r^2 = 0.9971$	$Y = 0.000006X^2 - 0.0041X + 0.6075$ $r^2 = 0.9981$
新潟試験所	リブタイヤ	$Y = -0.0023X + 0.565$ $r^2 = 0.9796$	$Y = -0.00002X^2 - 0.0005X + 0.5275$ $r^2 = 0.9996$
北海道開発局	リブタイヤ	$Y = -0.0047X + 0.74$ $r^2 = 0.9993$	$Y = 0.000006X^2 - 0.0053X + 0.7525$ $r^2 = 0.9999$
東北技術	リブタイヤ	$Y = -0.0025X + 0.535$ $r^2 = 0.9921$	$Y = 0.00001X^2 - 0.0038X + 0.56$ $r^2 = 1.000$
中部技術	リブタイヤ	$Y = -0.0039X + 0.605$ $r^2 = 0.9688$	$Y = -0.00004X^2 - 0.0002X + 0.53$ $r^2 = 0.9975$
近畿技術	リブタイヤ	$Y = -0.0028X + 0.645$ $r^2 = 0.9528$	$Y = -0.00003X^2 + 0.0004X + 0.5825$ $r^2 = 0.9921$
四国技術	リブタイヤ	$Y = -0.0026X + 0.59$ $r^2 = 0.9657$	$Y = -0.00003X^2 - 0.0001X + 0.54$ $r^2 = 0.9943$
北海道大学	リブタイヤ	$Y = -0.0039X + 0.625$ $r^2 = 0.9990$	$Y = 0.000006X^2 - 0.0045X + 0.6375$ $r^2 = 0.9998$
日本道路公団 4号車	リブタイヤ	$Y = -0.0029X + 0.58$ $r^2 = 0.9723$	$Y = -0.00003X^2 - 0.0004X + 0.53$ $r^2 = 0.9954$
日本道路公団 5号車	リブタイヤ	$Y = -0.0043X + 0.655$ $r^2 = 0.9198$	$Y = -0.00007X^2 + 0.0026X + 0.5175$ $r^2 = 0.9968$
日本自動車 研究所 (バス型)	リブタイヤ	$Y = -0.0048X + 0.66$ $r^2 = 0.8662$	$Y = 0.0001X^2 + 0.0052X + 0.46$ $r^2 = 0.9865$

表-4. 3. 2 速度とすべり摩擦係数 (BF) の関係 (リブタイヤ)  
 [アスファルト路面 (高μ路)]

機関名	測定タイヤ	上段：1次回帰式 Y: μ (BF) 下段：相関係数 (r <sup>2</sup> ) X: 速度 km/h	上段：2次回帰式 Y: μ (BF) 下段：相関係数 (r <sup>2</sup> ) X: 速度 km/h
土木研究所	リブタイヤ	Y = -0.0053X + 0.82 r <sup>2</sup> = 0.9932	Y = -0.00004X <sup>2</sup> - 0.0023X + 0.77 r <sup>2</sup> = 1.000
新潟試験所	リブタイヤ	Y = -0.0033X + 0.74 r <sup>2</sup> = 0.9826	Y = -0.00004X <sup>2</sup> - 0.0002X + 0.69 r <sup>2</sup> = 1.000
北海道開発局	リブタイヤ	Y = -0.003X + 0.7967 r <sup>2</sup> = 0.9908	Y = 0.00002X <sup>2</sup> - 0.005X + 0.83 r <sup>2</sup> = 1.000
東北技術	リブタイヤ	Y = -0.0028X + 0.67 r <sup>2</sup> = 0.9758	Y = -0.00004X <sup>2</sup> - 0.0002X + 0.62 r <sup>2</sup> = 1.000
中部技術	リブタイヤ	Y = -0.0035X + 0.71 r <sup>2</sup> = 1.000	Y = -0.0035X + 0.71 r <sup>2</sup> = 1.000
近畿技術	リブタイヤ	Y = -0.0025X + 0.75 r <sup>2</sup> = 1.000	Y = 2E-18X <sup>2</sup> - 0.0025X + 0.75 r <sup>2</sup> = 1.000
四国技術	リブタイヤ	Y = -0.0032X + 0.64 r <sup>2</sup> = 0.9826	Y = -0.00004X <sup>2</sup> + 0.0003X + 0.59 r <sup>2</sup> = 1.000
北海道大学	リブタイヤ	Y = -0.0035X + 0.7367 r <sup>2</sup> = 0.9932	Y = 0.00003X <sup>2</sup> - 0.0055X + 0.77 r <sup>2</sup> = 1.000
日本道路公団 4号車	リブタイヤ	Y = -0.0045X + 0.7633 r <sup>2</sup> = 0.9959	Y = -0.00002X <sup>2</sup> - 0.0025X + 0.73 r <sup>2</sup> = 1.000
日本道路公団 5号車	リブタイヤ	Y = -0.0055X + 0.8 r <sup>2</sup> = 0.9758	Y = -0.00008X <sup>2</sup> + 0.0005X + 0.7 r <sup>2</sup> = 1.000
日本自動車 研究所 (バス型)	リブタイヤ	Y = -0.0032X + 0.6433 r <sup>2</sup> = 0.998	Y = 0.00001X <sup>2</sup> - 0.0043X + 0.66 r <sup>2</sup> = 1.000

表-4. 3. 3 速度とすべり摩擦係数 (BF) の関係 (スタッドレスタイヤ)  
[塗布路面 (低 $\mu$ 路)]

機関名	測定タイヤ	上段: 1次回帰式 Y: $\mu$ (BF) 下段: 相関係数 ( $r^2$ ) X: 速度 km/h	上段: 2次回帰式 Y: $\mu$ (BF) 下段: 相関係数 ( $r^2$ ) X: 速度 km/h
土木研究所	スタッドレスタイヤ	$Y = -0.0015X + 0.2733$ $r^2 = 0.9643$	$Y = 0.00005X^2 - 0.0055X + 0.35$ $r^2 = 1.000$
新潟試験所	スタッドレスタイヤ	$Y = -0.0015X + 0.2933$ $r^2 = 0.9643$	$Y = 0.00005X^2 - 0.0055X + 0.37$ $r^2 = 1.000$
北海道開発局	スタッドレスタイヤ	$Y = -0.0015X + 0.3033$ $r^2 = 0.9643$	$Y = 0.00005X^2 - 0.0055X + 0.38$ $r^2 = 1.000$
東北技術	スタッドレスタイヤ	$Y = -0.001X + 0.23$ $r^2 = 1.000$	$Y = 2E-18X^2 - 0.001X + 0.23$ $r^2 = 1.000$
中部技術	スタッドレスタイヤ	$Y = -0.001X + 0.25$ $r^2 = 1.000$	$Y = 2E-18X^2 - 0.001X + 0.25$ $r^2 = 1.000$
近畿技術	スタッドレスタイヤ	$Y = -0.0015X + 0.3267$ $r^2 = 0.9643$	$Y = -0.00005X^2 + 0.0025X + 0.25$ $r^2 = 1.000$
四国技術	スタッドレスタイヤ	$Y = -0.0015X + 0.2867$ $r^2 = 0.9643$	$Y = -0.00005X^2 + 0.0025X + 0.21$ $r^2 = 1.000$
北海道大学	スタッドレスタイヤ	$Y = -0.002X + 0.31$ $r^2 = 1.000$	$Y = -0.002X + 0.31$ $r^2 = 1.000$
日本道路公団 4号車	スタッドレスタイヤ	$Y = -0.0015X + 0.2933$ $r^2 = 0.9643$	$Y = 0.00005X^2 - 0.0055X + 0.37$ $r^2 = 1.000$
日本道路公団 5号車	スタッドレスタイヤ	$Y = -0.001X + 0.26$ $r^2 = 1.000$	$Y = -0.001X + 0.26$ $r^2 = 1.000$
日本自動車 研究所 (バス型)	スタッドレスタイヤ	$Y = -0.002X + 0.2967$ $r^2 = 0.9231$	$Y = 0.0001X^2 - 0.01X + 0.45$ $r^2 = 1.000$

#### 4. 3 考察

今回の合同比較試験では、走行速度と路面及びタイヤの違いによるすべり摩擦係数を調べたところ、リブタイヤの縦すべり時においては、ほぼ従来通りの結果が得られていると考えられる。

一方、雪氷を想定した塗布路面におけるスタッドレスタイヤの縦すべり時においては、過去の雪氷路面のデータとほぼ同じ傾向を示しているように思われる。

横すべりについては、速度 40km/h、ステア角 15° 一定条件で 3 種類の路面を測定した結果、路面の違いは縦すべり時と同様にそれぞれ路面の特性が顕著にすべり摩擦係数に現れていた。

次に各測定車によるすべり摩擦係数には、高い値を示す測定車やこれとは逆に低い値を示す測定車がある。これら測定車による値を直接使用する場合、低い値を示す測定車で得られる値は安全側の評価となるが、高い値を示す測定車で得られる値は、危険側の評価となる可能性があるので注意する必要がある。

今回の合同比較試験では、このような事を明らかにすることが出来たことと、各測定車間の補正式を作ることが出来た。これにより各測定車によって測定されるすべり摩擦係数を全測定車同一指標で評価が可能である。

## 5. 比較試験結果の利用と今後の測定

### 5. 1 測定値の評価

すべり摩擦係数によって路面の総合的な評価を行っていく場合には、従来からの合同比較試験とほぼ同一の条件で検定を実施している土木研究所の測定車の値に補正して評価する事が望ましい。その際、各測定車で測定された値を土木研究所の測定車と各測定車間の補正式によって値を補正して使用する事が望ましい。(表-5.1.1~表-5.1.3)。さらに、表-5.1.1の縦すべりにおけるリブタイヤの補正式については、5.2に示す温度及び速度補正式をあわせて利用することが望ましい。図-5.1に一連の補正フローを示す。

表-5.1.1 土木研究所測定車と各測定車の補正式(縦すべり:BF)リブタイヤ

機関名	i : 各測定車の測定値 土研車への補正式		相関係数
	j : 土研車への補正值		
新潟試験所	$X_j = 1.1030 X_i - 0.0635$		0.9884
北海道開発局	$X_j = 0.9017 X_i - 0.0171$		0.9794
東北地建	$X_j = 1.1766 X_i - 0.0512$		0.9890
中部地建	$X_j = 1.0447 X_i + 0.0044$		0.9881
近畿地建	$X_j = 1.0336 X_i - 0.0786$		0.9723
四国地建	$X_j = 1.1735 X_i - 0.0557$		0.9235
北海道大学	$X_j = 1.1087 X_i - 0.0551$		0.9924
道路公団4号車	$X_j = 0.9933 X_i + 0.0130$		0.9859
道路公団5号車	$X_j = 0.9728 X_i + 0.0161$		0.9782
自動車研究所バス型	$X_j = 1.0544 X_i + 0.0160$		0.9310

※ 各測定車間の補正式(1次回帰式)を巻末の資料-6.1.1~6.1.2に示す。

また、参考までに各測定車間の補正式(2次回帰式)を巻末の資料-6.2.1~6.2.2に示す。

なお、上記「縦すべり(BF)・リブタイヤ」における各測定車間の補正式は、表-1.3.1及び表-1.3.2の試験条件により作成した。

表-5.1.2 土木研究所測定車と各測定車の補正式(縦すべり:BF)スタッドレスタイヤ

機関名	i : 各測定車の測定値 土研車への補正式		相関係数
	j : 土研車への補正值		
新潟試験所	$X_j = X_i - 0.0200$		1.0000
北海道開発局	$X_j = X_i - 0.0300$		1.0000
東北地建	$X_j = 1.5000 X_i - 0.0717$		0.9820
中部地建	$X_j = 1.5000 X_i - 0.1017$		0.9820
近畿地建	$X_j = 0.9286 X_i - 0.0343$		0.9286
四国地建	$X_j = 0.9286 X_i + 0.0029$		0.9286
北海道大学	$X_j = 0.7500 X_i + 0.0408$		0.9820
道路公団4号車	$X_j = X_i - 0.0200$		1.0000
道路公団5号車	$X_j = 1.5000 X_i - 0.1167$		0.9820
自動車研究所バス型	$X_j = 0.7308 X_i + 0.0550$		0.9959

※ 各測定車間の補正式(1次回帰式)を巻末の資料-6.3.1~6.3.2に示す。

なお、上記「縦すべり(BF)・スタッドレスタイヤ」における各測定車間の補正式は、表-1.3.3の試験条件により作成した。

表-5. 1. 3 土木研究所測定車と各測定車の補正式（横すべり：SF）リブタイヤ

機関名	i : 各測定車の測定値 土研車への補正式	相関係数
	j : 土研車への補正值	
新潟試験所	$X_j = 0.8920 X_i + 0.0342$	0.9977
北海道開発局	$X_j = 0.9195 X_i + 0.0254$	0.9838
東北地建	$X_j = 0.9858 X_i - 0.0055$	0.9943
中部地建	$X_j = 0.9102 X_i + 0.1028$	0.9999
近畿地建	$X_j = 0.9224 X_i - 0.0106$	0.9944
四国地建	$X_j = 0.7942 X_i + 0.1051$	0.9905
北海道大学	$X_j = 1.0385 X_i - 0.1487$	0.9983
道路公団5号車(右)	$X_j = 1.0049 X_i + 0.0510$	0.9948
道路公団5号車(左)	$X_j = 0.9228 X_i + 0.0722$	1.0000
自動車研究所バス型	$X_j = 0.7888 X_i + 0.0397$	0.9989

※ 各測定車間の補正式（1次回帰式）を巻末の資料-6. 4. 1～6. 4. 2に示す。

なお、上記「横すべり(SF)・リブタイヤ」における各測定車間の補正式は、表-1. 3. 4の条件により作成した。

## 5. 2 温度補正と速度補正

すべり摩擦係数は、温度・速度によって変化するためデータを評価する場合、表-5.1.1の補正とともに温度・速度補正を行う必要がある。

ここで、温度・速度補正式は、以前用いていた標準タイヤ“5.60-13-4PR”に対応しているため、まず以下に示すように、現在用いている標準タイヤ“165-SR13”でのすべり摩擦係数を“6.45-13-4PR”さらに“5.60-13-4PR”へ補正しなければならない。

### ① 165-SR13 (リブタイヤ) から 6.45-13-4PR (リブタイヤ) への補正

両者によって測定されるすべり摩擦係数に、差はほとんどないため補正の必要はない。

### ② 6.45-13-4PR (リブタイヤ) から 5.60-13-4PR (リブタイヤ) への補正

$$Y = -0.036 + 0.9155X$$

X : 前標準タイヤ“6.45-13 リブタイヤ”のすべり摩擦係数  
Y : 旧標準タイヤ“5.60-13 リブタイヤ”のすべり摩擦係数

なお、上式は縦すべりについてのものであり、横すべりについては妥当な補正式が求められていない。

次にリブタイヤの温度(35℃)・速度補正(60km/h)については旧標準タイヤの値に換算の後に、以下の式(土木研究所資料1109号)により補正値を求める。

すべり摩擦係数の補正値 $\Delta f$ は

コンクリート路面の場合

$$\Delta f = (-0.0000228(V+60)/2 - 0.0000418(T+35)/2 - 0.00343)(60-V) \\ + (-0.0005330(T+35)/2 - 0.0000418(V+60)/2 + 0.01421)(35-T)$$

アスファルト路面の場合

$$\Delta f = (-0.0000265(V+60)/2 - 0.0000175(T+35)/2 - 0.00378)(60-V) \\ + (-0.0000111(T+35)/2 - 0.0000175(V+60)/2 + 0.00056)(35-T)$$

V : 測定速度 (km/h)

T : 測定路面温度 (℃)

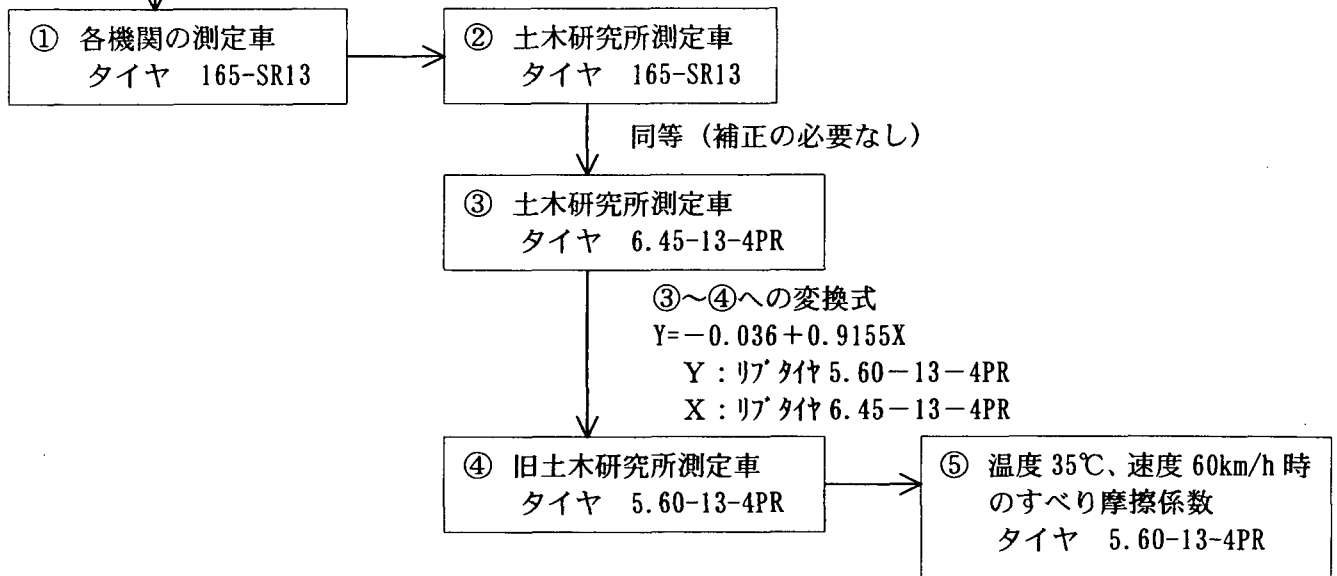
となり、旧標準タイヤ換算値(Y)に上記式で得られた値( $\Delta f$ )を加え、補正を行う。

上記補正式は、新しい標準タイヤの補正式ができるまでの暫定として使用する。また雪氷路面など特殊な路面には適用しないものとする。

測定値を土木研究所測定車の値に補正するための条件

- ・ 測定種類：縦すべり（100%制動時）
- ・ タイヤ：すべり測定用標準タイヤ 165SR-13  
 タイヤ種類 リブタイヤ  
 タイヤ内圧 1.7kg/cm<sup>2</sup>
- ・ 路面工種：アスファルト路面、コンクリート路面
- ・ 路面状態：湿潤状態 水膜厚 0.5~1.0mm

①~②への補正式（表-5.1.1）



④~⑤への補正式

コンクリート路面

$$\mu(F) = (-0.0000228(V+60)/2 - 0.0000418(T+35)/2 - 0.00343)(60-V) + (-0.0005330(T+35)/2 - 0.0000418(V+60)/2 + 0.01421)(35-T) + Y$$

アスファルト路面

$$\mu(F) = (-0.0000265(V+60)/2 - 0.0000175(T+35)/2 - 0.00378)(60-V) + (-0.0000111(T+35)/2 - 0.0000175(V+60)/2 + 0.00056)(35-T) + Y$$

$\mu(F)$  : 補正後のすべり摩擦係数

V : 測定速度 (km/h)

T : 路面温度 (°C)

Y : リブタイヤ 5.60-13-4PRによるすべり摩擦係数

図-5.1 各機関のすべり摩擦係数補正フロー



### 5.3 今後の測定

すべり摩擦抵抗力は、各種要因の状態によって大きく変化すると同時に同一条件でもバラツキが生ずる。

そのようなことからバラツキが小さく信頼性の高いデータを得るためには、各種条件を出来るだけ同一条件（タイヤの場合同一ロード、トレッドパターン等）を保つようにしていく必要があると考えられる。

一方、参考資料－8に示されている測定車の使用方法、管理方法、測定方法、データ整理方法及び解析方法を順守するとともに他機関のデータと比較検討を行う場合には前述した補正（図－5.1）を行う必要がある。また、測定された値を外部に出す場合、国土交通省土木研究所の試験車の値に補正して出すと良いと思われる。

## あしがき

今回の合同比較試験では、道路の維持管理及び試験研究に使用しているすべり測定車を自動車研究所に集め、同一の条件下で試験を行ったことにより各測定車の性能の確認、及び各測定車間の相関をとることが出来た。

よって、今回の合同比較試験は今後の路面の維持管理等を行っていく上に役立つものと思われる。