

雪氷路面における路面すべり測定車の合向比較試験

交通研究室 宮本 修司* 浅野 基樹** 及川 秀一***

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、路面とタイヤの間に生じる「すべり摩擦係数」は、自動車交通の安全性を左右する大きな要因であり、「すべり摩擦係数」を測定するため、全国にすべり試験車が配備されている。これらすべり試験車による測定結果の信頼性確保のため旧建設省土木研究所が主体となって全国合同比較試験が定期的実施されている¹⁾。しかしながらこの比較試験はすべり摩擦係数の大きな夏期路面を想定したものであり、すべり摩擦係数の非常に小さい雪氷路面上においての比較を行ったことはない。

そこですべり摩擦係数の非常に小さい雪氷路面上で

のすべり試験車の信頼性を検証することを目的に、北海道内の各機関で使用しているすべり試験車を、北海道開発土木研究所所有の苫小牧寒地試験道路に集め、各試験車によるすべり摩擦係数の測定を行い試験データの妥当性を検証した。

1.2 試験概要

1.2.1 試験参加機関と試験車両

試験参加機関は表 - 1 に示すとおりである。尚、この中で旧建設省土木研究所での全国合同比較試験に定期的に参加している車両は、北海道大学と北海道開発土木研究所所有のすべり試験車の2台のみであり、他の車両は参加していない。

参加機関	試験車両	試験車両の概要
北海道大学	すべり試験車	バス型すべり試験車
北海道自動車短期大学	非接触速度計	実車速度・制動距離測定
北海道開発土木研究所	すべり試験車	バス型すべり試験車
	サーブ(連続すべり試験車)	乗用車型すべり試験車
北海道開発局 防災・技術センター	すべり試験車(道路情報車)	トラック型すべり試験車
	加速度計	実車減速加速度測定

表 - 1 参加機関と参加車両

1.2.2 試験日時及び試験実施場所

1) 試験日時

平成13年2月16日 0時~4時

2) 試験場所

苫小牧市柏原211番地 - 1

独立行政法人北海道開発土木研究所

苫小牧寒地試験道路

1.2.3 試験方法

試験は、苫小牧寒地試験道路に氷板路面を作成して

行った。氷板路面は、圧雪路面よりも路面状態が安定しているため氷板路面とした。また氷板路面や圧雪路面などの冬期雪氷路面は、直射日光や温度条件がすべり摩擦係数に影響を与えるので、日没後から路面を作成した。そのため、合同調査の開始時間は深夜0時となった。

試験は、スターターの合図によって試験車を発進させ、順路に従って各試験車両を周回させ、図 - 1 に示した試験区間においてすべり摩擦係数を測定した。その際、実車による直前速度と制動距離からすべり摩擦

係数の計測を行う方法と、車両の減速度からすべり摩擦係数の計測を行う方法についても、北海道自動車短期大学所有の非接触速度計と北海道開発局防災・技術センター所有の加速度計を使用して行った。

すべり試験では、試験輪のロックによって発生する熱で雪氷路面性状が変化する場合があるので、速度条件別に200mの氷板路面を走行方向に図 - 3 に示すように小分割して測定地点を移動させて試験を行った。

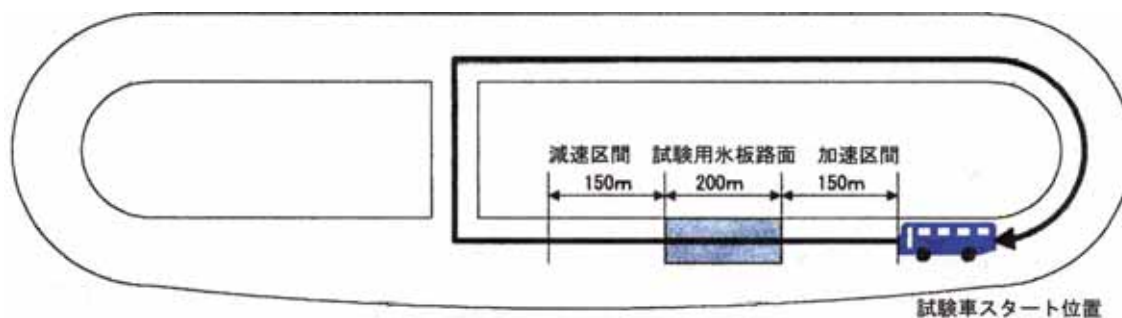


図 - 1 試験概要図



写真 - 1 試験時の路面の状態

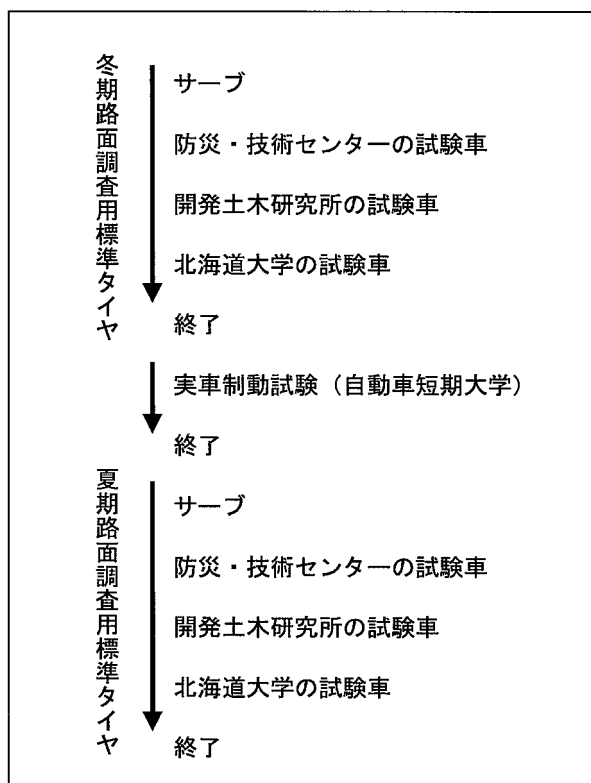


図 - 2 試験の順番



図 - 3 すべり試験区間の小分割

1.2.4 試験条件の設定

試験条件については表 - 2 のとおりに設定した。試験条件の設定について、3 台の路面すべり試験車（バス型すべり試験車とトラック型すべり試験車）については、全国合同比較試験に準拠した試験条件であるが、実車制動試験とサーブ（連続すべり試験車）については、路面すべり測定標準タイヤによる試験を行うことができないため、それぞれ独自のタイヤにて試験を

行った。

試験回数は、試験コース内に作成した氷板路面の延長と時間的な制約から 1 台・1 速度条件につき、周回及び測定は 2 回とした。

実車制動試験については、1 台の試験車両に非接触速度計と加速度計という異なった 2 種類の測定機器を北海道自動車短期大学所有車に取り付け試験を行い、これらの相関をとりそれぞれの検証を行った。

各路面すべり測定車		サーブ	
試験項目	100%制動時の縦すべり摩擦係数	試験項目	12%制動時の縦すべり摩擦係数
試験速度	30 km/h, 40 km/h, 50 km/h	試験速度	30 km/h, 40 km/h, 50 km/h
測定路面	氷板路面	測定路面	氷板路面
測定タイヤ	冬用 冬期路面調査用標準タイヤ(165 80R13) 夏用 路面すべり測定用標準タイヤ(165 SR13)	測定用タイヤ	AEROタイヤ(4.00-8 inch)
試験輪荷重	約400 kg	接地荷重	約140 kg
タイヤ空気圧	1.7kg/cm ²	タイヤ空気圧	7kg/cm ²
試験回数	2回/速度条件/タイヤ種類	試験回数	2回/速度条件
非接触速度計 及び 加速時計			
試験項目	100%制動時の縦すべり摩擦係数(ABS使用時)		
試験速度	30 km/h, 40 km/h, 50 km/h		
測定路面	氷板路面		
測定用タイヤ	通常のスタッドレスタイヤ		
接地荷重			
タイヤ空気圧	1.7kg/cm ²		
試験回数	2回/速度条件		

表 - 2 試験条件及び試験時における各試験車の設定状況

1.2.5 すべり測定用の標準タイヤ

今回の調査では平成 6 年 3 月に「路面すべり測定標準タイヤ研究委員会」にて制定されたすべり測定標準タイヤの中から、冬期路面調査用標準タイヤと用路面

すべり測定標準タイヤの縦溝があるリブタイヤを用いた。なお夏用路面すべり測定標準タイヤには、この他に溝が全くないスムースタイヤもあるが今回の調査では使用しなかった。

項目	仕様
タイヤ種類	165/80R-13
タイヤ幅 (mm)	165 mm
扁平率 (%)	82%
ホイール径	13 inch
タイヤ構造	ラジアル
ゴム配合及	スタッドレス

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



写真 - 2 冬期路面調査用標準タイヤ



写真 - 3 夏用路面すべり測定用標準タイヤ(リブタイヤ)

1.3 各測定装置の構造

1.3.1 北海道開発土木研究所所有のすべり試験車

まず北海道開発土木研究所のすべり試験車の計測機構を図-4に示す。このすべり試験車は、試験輪を垂直に上下させタイヤにかけた荷重とブレーキによる抵抗力からすべり摩擦係数を測定する機構となっている。なお、図中のけん引力による抵抗力 f_{CD} は、ブレーキによる抵抗力を測定する際の補助として計測するものであり通常の場合用いていない。

1.3.2 北海道大学所有のすべり試験車

北海道大学のすべり試験車は(図-5)試験タイヤにかかる抵抗力をトルク計で直接計測し、タイヤにかけた荷重との関係からすべり摩擦係数を測定するシステムとなっている。

1.3.2 防災技術センター所有のすべり試験車

北海道開発局防災・技術センター所有のすべり試験車(道路情報車)は牽引式となっており、すべり抵抗力の計測は、測定時に車輪にかかる牽引力から測定し、タイヤにかけた荷重との関係からすべり摩擦係数を測定するシステムとなっている(図-6)。

1.3.4 サープ(連続すべり試験車)

サープ(連続すべり試験車)は、測定輪がチェーントランスミッションによって後輪軸と連結され、チェーントランスミッションのチェーン部分に取り付けられたトルクセンサーで抵抗力を計測するシステムとなっている(図-7)。この際チェーントランスミッションは、スリップ率12%となるギア比を持っているため、スリップ率12%のすべり抵抗力を連続的に測定することができる。この連続して計測したすべり抵抗力と、試験用タイヤにかけるウエイトの重量との関係から連続してすべり摩擦係数を測定するものである。

1.3.5 非接触速度計

非接触速度計は、レンズの後方に楕円構造を持ったシリコンフォトセルを配置し、反射光により地面のパターン(“むら”)を結像させる。

車が移動すると、それに応じて像も移動する。このとき反射光が楕円のピッチに対応したときには明るく、対応していない時には暗くなるため、楕円のピッチに相当する距離を移動する毎に周期的な信号が出力される。

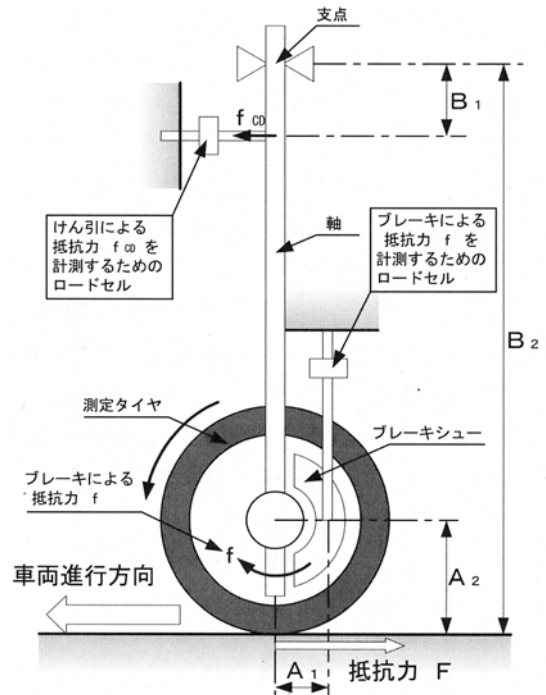


図-4 北海道開発土木研究所所有のすべり試験車の計測機構

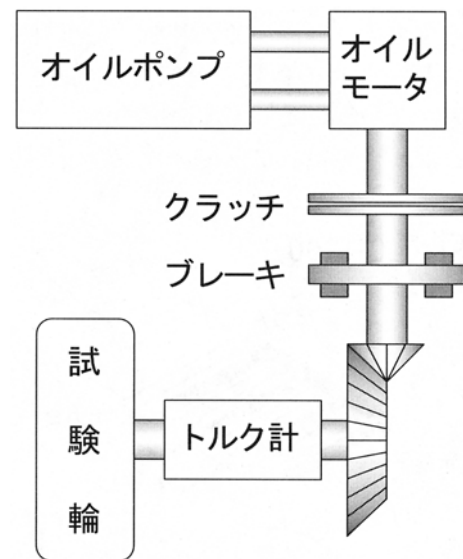


図-5 北海道大学所有のすべり試験車の計測機構

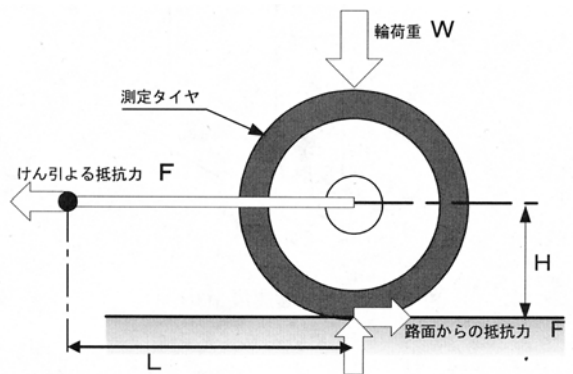


図-6 防災・技術センターのすべり試験車の計測機構

出力された信号の1周期は、車速とは無関係にレンズの倍率mと楕形のピッチP₀によってのみ決定され、そのときの移動した距離ℓは、

$$\ell = P_0 / m$$

となる。そのため車両の走行速度Vは、移動した距離ℓに信号の出力する周波数fを乗じて、

$$V = \ell \times f = (P_0 / m) \times f$$

となり速度が計測されるものである(図-8)。

これで計測された速度とブレーキをかけてから止まるまでの距離(制動停止距離)を用いて、すべり摩擦係数(f)は、速度V(km/h)、制動停止距離(ℓ)、重力加速度g(m/s²)から以下の式で表される。

$$\mu = \frac{V^2}{2g \cdot \ell \cdot (3.6)^2}$$

1.3.6 加速度計

今回使用した加速度計は、静電容量式加速度計である。基本構造は、3枚のプレートをはねでつないだ構造(スプリングマス)となっており(図-9)、加速度が発生すると中央のプレートBが移動する。計測原理はこの中央プレートBの移動を電気信号(静電容量を測定)に変換することによって加速度の値として算出される。サンプル周期は100Hzでアウトプットされる。

原理図 (LC-1100)

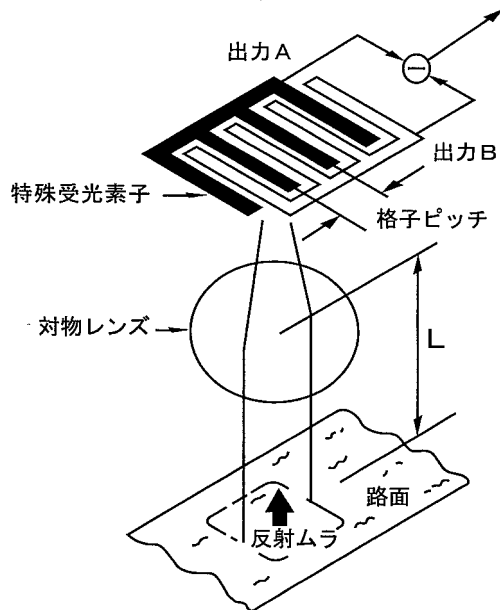


図-8 非接触速度計の原理

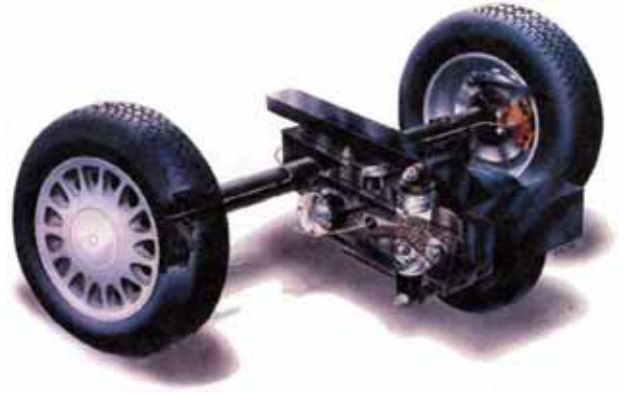


図-7 サープ(連続すべり試験車)の測定輪の概観

ここですべり摩擦係数f(m/s²)は、得られた加速度a(m/s²)と重力加速度g(m/s²)から以下の式で表される。

$$f = \frac{a}{g}$$

今回使用した加速度計は、重力加速度gの倍数として値が出力されるようになっているので、計測器の読みをそのまますべり摩擦として用いることができる。ただし、すべり抵抗値として採用できるものは、計測車両の車輪がロック状態であることが条件となる。

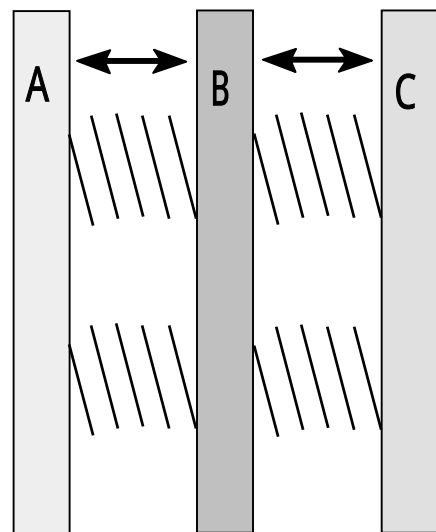


図-9 加速時計の原理図

1.3.7 各測定車の測定状況と諸元



全長	4,680 mm
全幅	1,690 mm
全高	1,640 mm
機関出力	160 PS
総重量	21.3 KN
検出形式	垂直昇降式
検出方法	縦:トルク
計測時輪荷重	1.4 KN

写真 - 4 サープ(連続すべり試験車)による測定状況



全長	8,999 mm
全幅	2,300 mm
全高	3,050 mm
機関出力	210 PS
総重量	93.1 KN
検出形式	垂直昇降式
検出方法	縦:ロードセル 横:ロードセル
計測時輪荷重	3.92 KN

写真 - 5 北海道開発土木研究所のすべり試験車による測定状況



全長	6,520 mm
全幅	2,060 mm
全高	3,080 mm
機関出力	120 PS
総重量	56.7 KN
検出形式	けん引式
検出方法	縦:ロードセル
計測時輪荷重	3.92 KN

写真 - 6 防災・技術センターのすべり試験車による測定状況



全長	8,140 mm
全幅	2,290 mm
全高	2,980 mm
機関出力	175 PS
総重量	84.3 KN
検出形式	垂直昇降式
検出方法	縦:トルク 横:ロードセル
計測時輪荷重	3.92 KN

写真 - 7 北海道大学のすべり試験車による測定状況



写真 - 8 実車制動による測定状況(非接触速度計・加速度計)

2. 測定結果

冬期路面調査用標準タイヤによる計測値を表 - 3 に、夏用路面すべり測定用標準タイヤでの計測値を表 - 4 に示す。但し、サーブ(連続すべり測定車)は冬期

用と、夏期用の区物がない専用のタイヤを使用しており、また実車制動試験(非接触速度計と加速度計)については、北海道自動車短期大学所所有の車両を用いたため、通常のスタッドレスタイヤを用いている。

表 - 3 摩擦係数データ(冬期路面調査用標準タイヤ)

no	設定速度と試験回数	すべり試験車				実車制動	
		サーブ(連続すべり試験車)	開土研試験車	防災センター情報車	北大試験車	非接触速度計表示値(V:T)	加速度計(データの平均)
1	30km/h 1回目	0.090	0.194	0.138	0.18	0.201	0.18
2	30km/h 2回目	0.090	0.191	0.173	0.19	0.187	0.22
3	40km/h 1回目	0.080	0.190	0.115	0.20	0.219	0.21
4	40km/h 2回目	0.060	0.186	0.137	0.22	0.207	0.19
5	50km/h 1回目	0.110	0.193	0.137	0.21	0.193	
6	50km/h 2回目	0.080	0.198	0.137	0.21	0.160	0.16
	スタッドレス平均		0.192	0.140	0.20	0.195	0.19

※加速度計の50km/h1回目は、計測器の不備により欠測値

表 - 4 摩擦係数データ(夏用路面すべり測定用標準タイヤ)

no	走行速度(設定値)	サーブ(連続すべり試験車)	開土研試験車	防災センター情報車	北大試験車
7	30km/h 1回目	0.080	0.108	0.080	0.12
8	30km/h 2回目	0.150	0.097	0.077	0.11
9	40km/h 1回目	0.140	0.097	0.081	0.11
10	40km/h 2回目	0.220	0.107	0.091	0.12
11	50km/h 1回目	0.160	0.103	0.078	0.11
12	50km/h 2回目	0.160	0.091	0.074	0.12
	リブタイヤ平均		0.101	0.080	0.12
	連続すべり試験車平均	0.118			

3. まとめと考察

表 - 3 と表 - 4 に示した調査結果から、以下のことが明らかとなった。

サーブを除く3台のすべり試験車間の測定データを比較すると、北海道開発土木研究所所有のすべり試験車と北海道大学所有のすべり試験車の測定データは冬用タイヤ、夏用タイヤともほぼ等しく、防災技術センター所有のすべり試験車のデータは、他のすべり試験車によるデータと比較して冬期路面調査用標準タイヤで0.05程度、夏用路面すべり測定用標準タイヤで0.02程度小さい値となっている。

実車制動による試験データ(非接触速度計、加速度計)と北海道開発土木研究所所有のすべり試験車と北海道大学所有のすべり試験のデータはほぼ等しい値となった。

サーブ(連続すべり試験車)の計測結果については、試験タイヤの形状が他のすべり試験車と異なっているため直接の比較はできないが、他の方法ではデータに変動が見られない際にも、大きくデータが変動

しているケースがあり(例えばno5とno10)、試験の際には注意が必要である。

今後の道路管理への応用が期待される加速度計については、非接触速度計での測定結果やすべり試験車による測定結果とほぼ同じデータが得られており、価格が安価であることとあわせ普及型のすべり摩擦係数測定装置として今後期待できる。

4. あとがき

すべり摩擦係数は路面のすべりやすさを表す最も端的な指標であり、特に冬期道路管理や冬期道路の各種試験には非常に重要なものである。しかしながらこれまで、各機関で所有しているすべり試験車の合同比較試験を冬期路面で行ったことがなかったため、非常に滑りやすい路面状況でのデータの信頼性については明らかではなかった。このことから今回の調査は非常に有意義のものであった。

現在の「冬期路面管理マニュアル(案)」²⁾は、目視によって路面分類することとなっているが、参考値と

してすべり摩擦係数も示されている。また諸外国にはすべり摩擦係数で路面管理を行っている例³⁾もある。これらのことから今後は実際の道路管理にもすべり摩擦係数の導入が考えられ、加速度計のような普及型のすべり摩擦係数測定装置についても開発が望まれるものである。

最後になりますが調査に当たって多大なご協力をいただきました、関係各機関の皆様には感謝いたします。

参考文献

- 1) 例えば、建設省土木研究所 道路部道路研究室：路面すべり測定車合同比較試験結果：平成4年3月
- 2) 北海道開発局：冬期路面管理マニュアル(案)：平成9年11月
- 3) 財団法人 北海道道路管理技術センター：フィンランドの冬期路面管理手法：1993年



宮本 修司^{*}
Syuji MIYAMOTO
北海道開発土木研
究所
道路部
交通研究室
研究員



浅野 基樹^{**}
Motoki ASANO
北海道開発土木研
究所
道路部
交通研究室
室長



及川 秀一^{***}
Syuichi OIKAWA
北海道開発局
旭川開発建設部
上川道路維持事業
所
(前交通研究室研
究員)