

舗装の簡易すべり抵抗試験方法

阿部 篤* 小笠原 章** 蛸子 恭好***

1. はじめに

スタッドレス化に伴う、非常に滑りやすい路面の出現によって、冬季路面管理に対するより一層の充実が望まれている。これらに対する冬季路面管理の高度化のために、様々な方策が検討されているが、路面情報の正確な把握と評価、そして路面状態に適した路面管理手法の選定を行うことが重要である。

冬季路面において運転者、道路管理者ともに、最も重要な情報のひとつとして考えられるものに、路面のすべり易さの情報がある。運転者はそれによって運転の目安を、道路管理者は路面管理の目標を設けることができる。このため、現場の日常の管理レベルでの比較的簡易で、実用的なすべり抵抗の測定法の導入が望まれている。

そこで本文ではこれまで調査等で用いられた実績のある簡易な機械を取り上げ、そのすべり抵抗の測定方法と、主に冬季路面での測定結果について紹介する。

2. すべり抵抗の測定原理と手法

現在、路面のすべり抵抗を測定する方法として以下に挙げるような方法が採られている。^{1)~2)}

2. 1. すべり抵抗試験車による方法

この測定試験車は、すべり抵抗試験車（以下、すべり試験車とする）と呼ばれるマイクロバスを基本にして、後部床下に装着された試験用の第5輪によって、縦及び横滑り摩擦係数を測定する装置を備え付けたものである。

測定方法は、

- 1) 測定車を目的の速度で走らせる。
- 2) 測定個所にきたら、測定車輪（第5輪）を接地し、そのときの抵抗から摩擦係数を測定する。

測定結果は、パソコンにより直ちに平均の摩擦係数として表示される。この測定方法は、他の交通の妨げになることが少なく、安全に連続して試験を行うことができる。また、測定輪は市販のタイヤを使用しており、タイヤを替えた（例えばスタッドレスタイヤ、スパイクタイヤ等）試験も可能である。普通乗用車を利

用したタイプのすべり試験車もある。

すべり試験車によるすべり摩擦係数の測定には、特別に改造した専用車が必要であり、通常の路面管理に使用するには適さないものと思われる。

2. 2. 振子式スキッドレジスタンステスターによる方法

この測定方法は、英国で開発された振子式スキッドレジスタンステスター（以下、PSTとする。写真-1）と呼ばれ、最初に設定された位置エネルギーが路面との摩擦によって減少する割合からすべり抵抗を推定するという原理に基づいたもので、試験室でも道路でも手軽に路面の相対的なすべり抵抗を測る方法である。ゴム製のスライダーを持つ振子を所定の高さから振り下ろし、振子が測定面をこすって振り上がる高さを読みとるという簡便な測定方式である。

測定方法は、

- 1) 測定面をブラシと水を用いて十分に洗い流す。
- 2) 試験機を水平にセットする。
- 3) 振子が測定面にふれないようにして、ゼロ点調整をする。
- 4) スライダーの設置長が124mm~127mmになるように高さを調節する。
- 5) 測定面に十分に散水する。
- 6) リリースボタンを押し、振子をはなす。

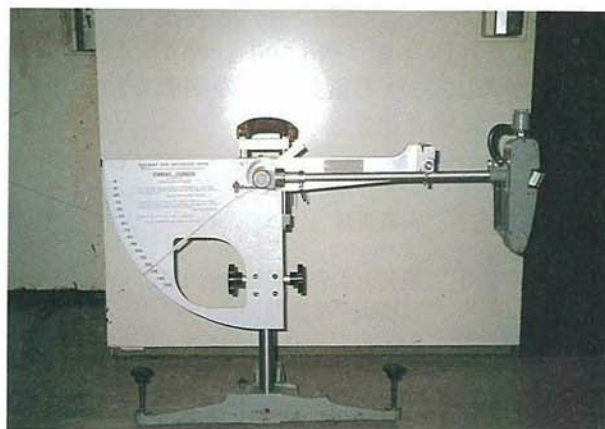


写真-1 振子式スキッドレジスタンステスター

- 7) 振子が測定面を通過した後に、目盛を1 BPN単位で読む。
- 8) 5)～7)を繰り返し、測定値がほぼ一定になってから、5回の測定値を記録する。
- 9) 路面温度を測定する。
- 10) 5回の平均値を測定値とする。

測定結果はBPN (British Pendulum Number) という単位で表される。この機械の測定値は約30km/hの時のすべり摩擦係数の100倍の数字とほぼ一致すると言われているが、一般的に他の測定方法との相関は良くない。この機械は英国の道路研究所で開発されたものであり、試験装置、試験方法ともに安価で、簡便な方法である。この機械で測定したときの路面のすべりに対する評価の目安を表-1に示す。一般的に北海道のアスファルト舗装では、65以上の値の場合が多い。

2. 3. DFテスターによる方法

これは、日本で開発されたDFテスター（ダイナミックフリクションテスター、以下DFTとする。写真-2）と呼ばれる装置を使用した測定方法で、専用のゴム片の付いた円盤をある速度まで回転させて、それを測定面に一定の荷重で押しつけ、そのときの抵抗からすべり摩擦係数を測定するものである。機械は本体とコントロール部に分かれており、測定方法は、

- 1) コントロール部を電源につなぐ。(AC100Vまた

表-1 PSTの基準値 (英国R. R. L)

BPN値	すべり抵抗基準
65以上	良好
55～64	一般的に申し分ない
45～54	順調な状態の場合だけ申し分ない
45以下	すべる可能性もある



写真-2 DFテスター

はDC12V)

- 2) コントロール部と本体を接続する。
- 3) 本体を測定面にセットする。
- 4) レコーダーに記録紙をセットする。
- 5) コントローラー部、レコーダー、本体の順にスイッチをオンにする。
- 6) レコーダーのゼロ点を調節する。
- 7) 給水器より水を流す。
- 8) 円盤の速度が目的の速度に達したら、本体のスイッチをオフにする。
- 9) 円盤が停止したら給水器の水を止める。
- 10) 5)～8)の操作を3回繰り返す。

測定結果は、速度とすべり摩擦係数 (μ) のグラフで表され、記録紙から目的の速度でのすべり摩擦係数を読みとり、3回の平均値を測定値とする。

この機械による測定は、簡便で個人差が少なく、測定時間も極めて短時間で、連続する速度におけるすべり摩擦係数の測定が可能であり、すべり試験車との相関も比較的高い。また、機械の価格も比較的安価で、小型であり、ライトバンで持ち運びが可能である。

しかし、円盤は回転しているので、実際の車の進行方向のすべり摩擦係数とは測定方向が異なることに注意が必要であり、また測定面にわだち等があつて平らでない場合、圧雪等の測定面が比較的柔らかい場合などには測定ができない場合がある。

2. 4. 加速度計による方法

これは、ある物体に摩擦力以外の外力が作用しない場合、その物体の速度の変化により観測される加速度は作用している摩擦力に比例するという原理を用いて、加速度（減速度）を測定することにより間接的にすべり摩擦係数を測定する方法である。

測定方法は、



写真-3 加速度計

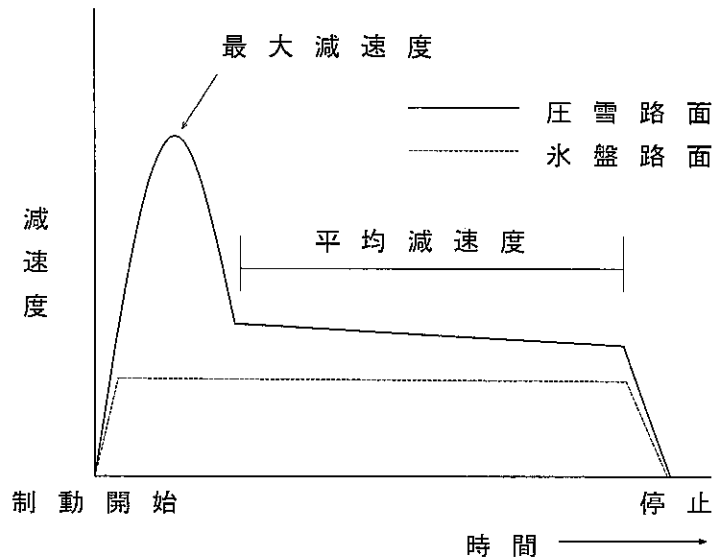


図-1 加速度計による測定結果

- 1) 任意の自動車に加速度計（写真-3）を水平にセットする。
- 2) 自動車を走らせて、目的の速度になったら、加速度計のスイッチをオンにし、ブレーキをかけて自動車のタイヤをロックさせる。
- 3) 加速度計より加速度を読みとる。

測定結果は、図-1のように表される。ここで最大減速度と平均減速度の二つの値が得られるが、すべり摩擦係数の算出には平均減速度を用いる。減速度からすべり摩擦係数を求めるためには、ニュートンの運動方程式

$$ma = (F - mg\mu) \quad \begin{array}{l} m: \text{質量} \\ a: \text{加速度} \\ F: \text{摩擦係数以外の力} \\ g: \text{重力加速度} \\ \mu: \text{摩擦係数} \end{array}$$

より、車には摩擦係数のみが作用すると仮定すれば、

$$a = -g\mu$$

マイナスは運動方向を表すものなのでこの場合は絶対値を取って、摩擦係数は、

$$\mu = a/g = a/9.8 \approx a/10$$

となる。要するに加速度計で得られた値の1/10がすべり摩擦係数ということになる。

厳密には減速度を生じさせる力として空気抵抗があるが、これは小さいものとして無視している。

この測定方法の利点としては、測定装置が安価であ

り、どんな車にも搭載可能で、車が走行可能であればあらゆる条件においても測定可能である。

問題点としては、測定時にタイヤを一時ロックさせるために、①混雑しているときなどには危険なため測定ができない。②横滑り等を起こした場合は正確な測定ができないことが挙げられる。また、縦断勾配がある場合には重力の影響を受けるために、補正が必要である。

2. 5. 制動停止距離法

この方法は、ある速度で走行している自動車に制動をかけて、停止するまでの距離を測定することにより、すべり摩擦係数を算出する方法である。

測定方法は、

- 1) 自動車を走らせ、目的の速度に達したらタイヤをロックさせる。
- 2) 自動車が完全に停止したら、制動をかけてから停止するまでの距離を測定する。

測定結果は、移動距離から次式によって求める。

$$\mu = V^2 / (254 \times S) \quad \begin{array}{l} V: \text{速度} \\ S: \text{移動距離} \end{array}$$

この測定方法は、特別な機械を必要とせず、簡易な測定方法ではあるが、①制動をかけた地点の特定が困難なことから、移動距離の正確な測定が難しい。②速度を2乗しているため、制動をかけた時点の速度を正確に測定しないと誤差が大きくなる。③制動をかけてから停止するまでの摩擦係数は常に一定であると仮定している等の理由により、一般に精度が低い。また、

完全に停止するまで制動をかけ続けなければならないので、すべりやすい路面の場合には危険が大きい等の欠点がある。

3. 測定結果

3. 1. 各試験の比較

路面のすべり抵抗について路面管理の面から議論する場合に問題となるのは、冬季のすべりやすい路面に集約される。

このことから、冬季の路面状態における各測定方法のすべり抵抗の比較をテストコースにおいて行った結果を表－2に示す。なお、速度可変測定タイプについては時速30kmの時の値を用いている。

これをみると、限られた試験条件ではあるが、どの測定方法においても大差はなく、現場条件等を考慮して簡易な試験方法を用いても実用上問題がないと思われる。PSTによる測定結果が他の測定結果とは多少傾向の違う結果になった。これは単位も違うので簡単には比較できないが、今後データを増やして換算式を作ることが可能であると考えられる。

3. 2. 実際の路面上での比較

テストコースで比較した結果では各試験法から求めたすべり抵抗はそれぞれ良い一致を示したが、これは

路面状態が均一で測定条件の良い場合であり、実際の路面上ではどのような相関を示すのか、比較を行った。

3. 2. 1. すべり試験車と加速度計の比較

一般国道230号においてすべり試験車（サーブ型）と加速度計の比較を行った。その結果を図－2に示す。

これをみるとすべり試験車の測定値と加速度計による測定値は、全体的に同じ傾向ではあるが、加速度計による測定の方が平均の摩擦係数で0.04程度低い値となった。これは測定方法による違いであると思われ、試験に使用したすべり試験車は専用の測定輪を用いて後輪の間を測定しているのに対して、加速度計は走行車輪全輪でタイヤ通行量の多い、比較的すべりやすい箇所を測定しているためと思われる。

3. 2. 2. 加速度計とDFTとPSTの比較

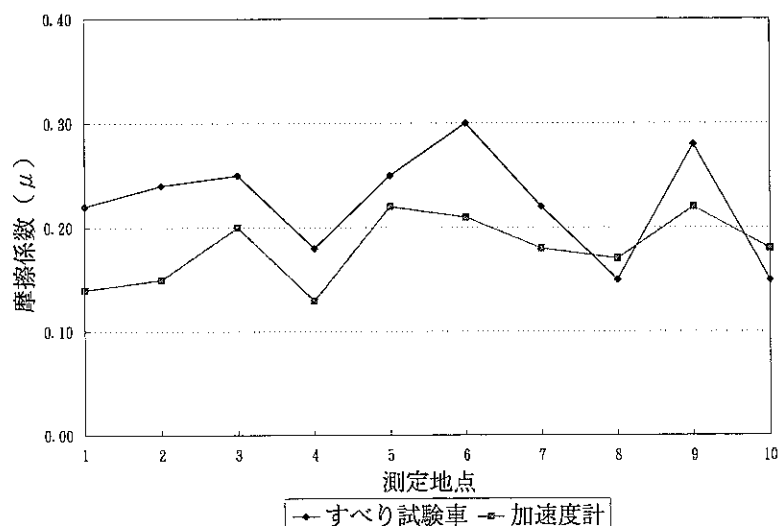
札幌市内の11カ所で加速度計とDFTとPSTを比較した結果を表－3に示す。

これは、各測定地点で測定した結果を平均したものである。

これをみると、加速度計とDFTは同じ傾向を示すが、前述の加速度計とすべり試験車の関係と同じように加速度計で測定した結果の方が低い結果となった。

表－2 測定法の違いによるすべり抵抗の比較
(テストコース、気温：－4～－2℃)

路面状況	すべり試験車(μ)	PST(BPN)	DFT(μ)	加速度計(μ)	停止距離法(μ)
圧雪	0.20	57	—	0.26	0.24
氷盤	0.06	34	0.06	0.07	0.08



図－2 すべり抵抗測定結果

表-3 測定法の違いによるすべり抵抗の比較
(札幌市内、気温：-9～1℃)

路面状況	加速度計(μ)	DFT(μ)	PST(BPN)
圧雪	0.07	0.11	38.5
アイスバーン	0.11	0.18	36.2
乾燥	0.62	0.75	86.0

また、PSTは圧雪とアイスバーンで数値が逆転している。このことからPSTには、摩擦係数にして0.1以下のすべりやすい路面での違いを検出するほどの測定精度はないものと思われる。

4. まとめ

- 1) 調査等に用いられた実績のある冬季路面におけるすべり抵抗を簡単に測定する方法として、PST、DFT、加速度計による方法、制動停止距離法などがある。
- 2) 各試験間のすべり摩擦係数の相関は高いが、加速度計による方法は、現道ではやや低い値となることが多い。
- 3) PSTによる測定は簡便ではあるが、他の試験とは単位も違っており、相関は比較的低い。また低いすべり抵抗の路面の場合には誤差が大きくなるようである。
- 4) 路面のすべり摩擦係数を冬季路面管理に使用するとすれば、日常的に簡易に測定できる加速度計を用

いる方法が適していると思われる。しかし、あらゆる条件下で用いるとすれば、一時タイヤをロックさせて測定する現在の試験方法の改良が必要と思われる。

5. おわりに

冬季路面において路面管理をする場合にすべり抵抗は重要な指標になると思われるが、冬季の路面状況は気象条件、交通条件等によって非常に変わりやすく複雑であり、すべり抵抗により冬季路面を管理するには、まだ、かなりの調査、研究を要するものと考えられる。

ここで紹介した方法は、現在、現場において実施されている様々な冬季路面对策の効果を定量的、かつ適切に評価するために必要不可欠なものであり、当面は実際の冬季路面管理に使用するよりも、対策の効果の評価のために活用されていくものと考えられる。

今後は、路面管理の高度化に向け、これらの簡易な測定方法を用いた基礎資料の蓄積を図っていきたい。

参考文献

- 1) 市原薫：路面のすべり抵抗に関する研究(1)、土木研究所報告、1969年2月。
- 2) 武田祐輔他：加速度計を用いたすべり摩擦係数の推定、土木学会第49回年次学術講演会、1994年9月。



阿部 篤*

開発土木研究所
維持管理研究室
研究員



小笠原 章**

開発土木研究所
維持管理研究室長



蛸子 恭好***

開発土木研究所
維持管理研究室
室員