

路面のすべり摩擦と路面管理水準及びすべり事故

安藤和彦* 倉持智明**

1. はじめに

路面のすべりにくさの程度（路面とタイヤ間の摩擦の程度、以下“すべり摩擦”という。）は、すべり抵抗力（すべり摩擦力）をタイヤにかかる荷重で割って得られるすべり摩擦係数等の指標で表される。すべり摩擦係数は、すべり摩擦に関わる道路の線形設計において根幹になる値であり、交通安全上も重要な因子となっている。しかしながら、我が国のすべり摩擦およびすべり摩擦係数に関する調査、研究は、欧米諸外国ほど盛んではないように思われる。これは、道路構造令に道路設計に用いるすべり摩擦係数値が明示され、これを変えるような調査研究を行う必要性がなかったためであろう。

しかし昨今、諸基準類の性能規定化が進みつつあり、路面性能の重要な指標であるすべり摩擦（すべりにくさ）についても、道路交通に必要な性能水準を把握しておくことは、今後路面の適切な維持管理を行っていく上で重要であると考えられる。このような中、米国では、最近TRB(Transportation Research Board)より、National Cooperative Highway Research Program Web-Only Document 108として、

Guide for Pavement Friction¹⁾（以下、NCHRP Doc. 108と略する）が公開された。この文書は、将来的にAASHTOで基準化することを目指してとりまとめられたものであると同時に、すべり摩擦とすべりに関わる事故との関係などについても、欧米を中心とした調査研究事例を紹介している。

以下では、我が国や諸外国の基準およびNCHRP Doc.108等のすべりに関する資料をもとに、欧米および我が国の路面管理のためのすべり摩擦について、すべり事故との関係を踏まえながら必要性能について整理した。

2. すべり摩擦に関わる指標の種類

道路の設計や路面管理に用いられるすべり摩擦に関わる指標には表-1のようなものがある。これらは、測定する車両や器具、機関、国によって異なっている^{1),2)}。

最も基本的な指標としては、計測車に取り付けられた計測輪にブレーキをかけてそのときのすべり抵抗力を測定し、摩擦係数として求める縦すべり摩擦係数や、縦すべり摩擦係数を100倍したSN(スキッドナンバー)がある。また、道路管理のためには、簡易な装置であるポータブルスキッ

表-1 すべり摩擦に関わる指標の種類とその特徴等

種類	記号	測定装置	内容	計算式	特徴	主な適用国・機関等	利用目的
縦すべり摩擦係数	μ	測定車両	完全制動時のすべり抵抗力を車輪に掛かる荷重で除して算出	$\mu = F/W$ ここで F: 縦すべり抵抗力 (N) W: 輪荷重 (N)	車両制動時のすべり抵抗力を直接測定、タイヤの回転を止めるため長距離の連続測定は困難	日本 欧米の道路機関	道路設計 路面管理
スキッドナンバー	FN, SN	測定車両		$FN \text{ or } SN = \mu \times 100$	縦すべり摩擦係数の100倍の値、整数表示	欧米の道路機関	道路設計 路面管理
横すべり摩擦係数	SFC	測定車両	タイヤを車両進行方向に対して斜めにした場合に生じるすべり抵抗力を車輪に掛かる荷重で除して算出	$SFC = 100 \times F_s/W$ ここで F_s : 横すべり抵抗力 (N) W: 輪荷重 (N)	路面のすべりやすさを相対的に把握 タイヤへの負荷が小さく長区間の連続測定が可能	航空会社 欧米の道路機関	滑走路管理 道路管理
すべり率のある摩擦係数	FR	測定車両	車両の速度よりタイヤの回転数を遅らせた場合(すべり率のある状態)に生じるすべり抵抗力を車輪に掛かる荷重で除して算出	$FR = 100 \times FR/W$ ここで FR: すべり率がある場合のすべり抵抗力 (N) W: 輪荷重 (N)	車両の制動開始時に完全にタイヤ回転が停止するまでの区間が該当、車両の速度変化やタイヤ回転数の変化が値に影響するので、すべり率の計測を同時に行うことが必要	自動車メーカー	ABS装置
BPN	BPN	ポータブルスキッドテストター	振り子の先端にゴムパッドを取り付け、所定高さから振り降ろした後、路面に接触後に振り上がる高さを指標とした数値		振り子式測定器であり測定が容易 上記の測定車両による測定値との相関性が明確でない 路面の大凡の状況把握に利用	道路機関	路面管理
動的すべり摩擦係数	DFT number	DFテストター	小型車輪を取り付けた円盤を回転させた状態で路面に設置させ、円盤が停止するまでに得られる抵抗力を小型車輪に掛かる荷重で除して算出		小型計測器で動的なすべり抵抗力が把握できる 速度変化にともなう摩擦係数の変化は把握しにくい 路面状況の把握に利用	道路機関	路面管理

ドテスターを使って得られるBPN値やDFテスターの動的すべり摩擦係数等がある。

3. 一般的なすべり摩擦の値

一般的な路面のすべり摩擦係数として、以下のような値が示されている²⁾。

表-2 路面種類とすべり摩擦係数

路面種類	乾燥時	湿潤時
舗装路面	1.0~0.5	0.9~0.3
砂利道	0.6~0.4	
積雪路面		0.5~0.2
氷路面		0.2~0.1

すべり摩擦に関わる道路走行上の問題点は、路面が濡れるとすべり摩擦が低下すること、特に速度が高くなるとかなり小さくなることである^{2),3)}。高速走行時にハンドル操作を誤ったりすると、制御が難しくなるばかりでなく、すべり摩擦が小さくなるので非常に止まりにくくなり、かつ障害物などに衝突した場合の被害も大きくなりやすい。このように速度が高い場合の危険度は二重、三重に増す。

4. すべり摩擦とすべり関連事故

4.1 制動停止視距

車両が傷害物を発見してからブレーキをかけて止まるまでの距離を、道路構造令⁴⁾では制動停止視距Sとして次の式で示している。

$$S = V \cdot t / 3.6 + V^2 / (2 \cdot 3.6^2 \cdot f \cdot g)$$

- ここで V ; ブレーキ開始時の車両速度(km/h)
- t ; 運転者の反応時間(s)
- f ; すべり摩擦係数
- g ; 重力の加速度 (m/s²)

車が安全に停止できるかどうかは、車両速度、運転者の反応時間、すべり摩擦係数の3要素ではぼ決まることがわかる。速度が高い、運転者が注意散漫の状態では咄嗟の反応ができない、すべり摩擦が小さい(路面がすべりやすい)と制動停止視距が長くなる。

4.2 すべり摩擦と事故

NCHRP Doc.108では、上記3要素の中ですべり摩擦とすべりに関わる事故との関係をいくつか紹介している。

・ Rizenbergs et al., 1972—速度64km/h(40mile/h)で0.4(SN40)以下になると湿潤時事故率が増加す

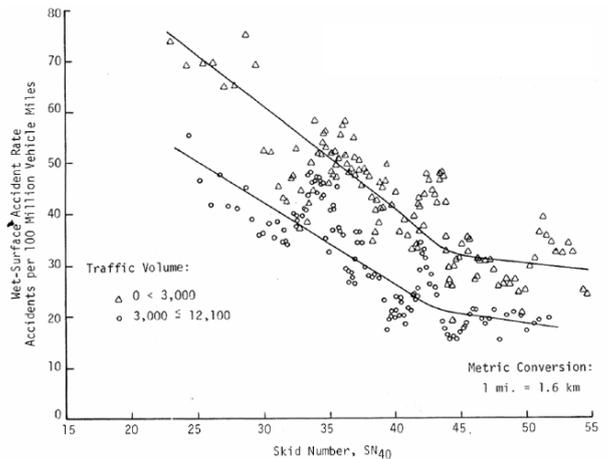


図-1 SNと湿潤事故率との関係

る(図-1)。

・ Giles et al., 1962; Cairney, 1997—摩擦係数が0.6(SN60)以上ですべりが関連する事故は少なく、0.5(SN50)を下回ると急激に増加する。

・ McCullough and Hankins, 1966—すべり摩擦が小さい路面で事故が多く、すべり摩擦が大きい路面で事故が少ない。すべり摩擦係数は速度48km/h(30mile/h)で0.4以上確保することを推奨する。

・ Miller and Johnson, 1973; Cairney 1997—速度80km/h(50mile/h)ですべり摩擦係数を0.40から0.50に引き上げると、乾燥時事故は28%、湿潤時事故は63%減少し、全体として45%減少した。

・ Gothie, 1996—SFC(表-1参照)が0.6の区間から0.5の区間に移動するとき少なくとも50%の湿潤事故率の増加がある。0.05のSFC減少が、約50%の事故危険性の増加を招く。

・ Wallman and Astrom, 2001—すべり摩擦の範囲と事故率には以下の関係がある。

摩擦係数	事故率(負傷者/百万台km)
< 0.15	0.80
0.15—0.24	0.55
0.25—0.34	0.25
0.35—0.44	0.20

・ Schulze et al., 1976—速度80km/hの縦すべり摩擦係数が0.5~0.3程度から減少すると湿潤時事故率は急激に増大する(図-2)。

・ Viner et al. 2004—すべり摩擦が2倍になると事故率は半分になる(図-3)。

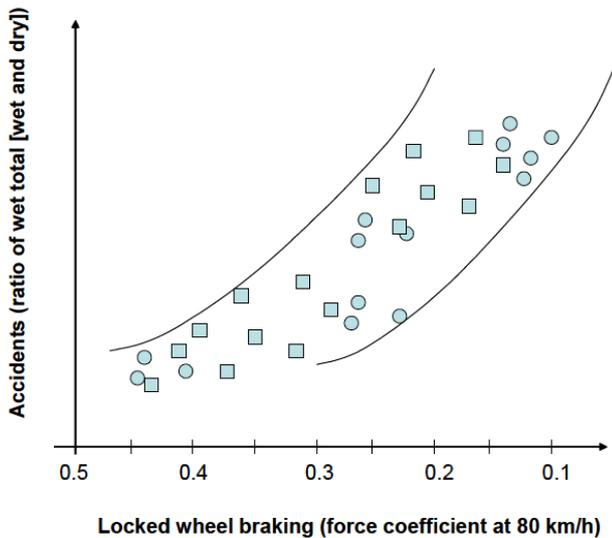


図-2 縦すべり摩擦係数と事故率との関係

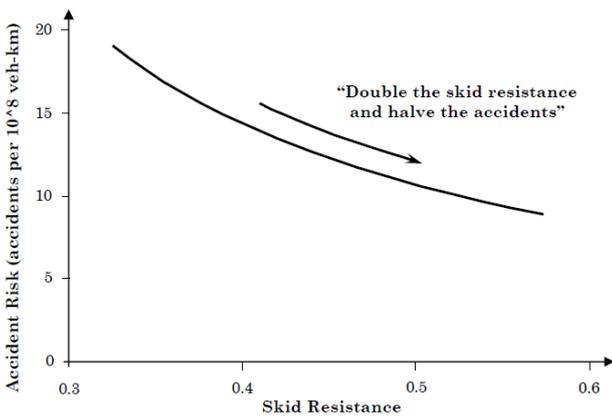


図-3 すべり摩擦と事故率との関係

5. 路面管理水準等としてのすべり摩擦係数

5.1 道路構造令におけるすべり摩擦係数

我が国の道路構造令では、曲線設計等に用いる制動停止視距算出のためのすべり摩擦係数を示している。なおこの数値は、実車測定装置による縦すべり摩擦係数の値である。

表-2 道路構造令におけるすべり摩擦係数

設計速度 km/h	走行速度 km/h	すべり摩擦係数 μ
120	102	0.29
100	85	0.3
80	68	0.31
60	54	0.33
50	45	0.35
40	36	0.38
30	30	0.44
20	20	0.44

路面のすべり摩擦係数としては、かなり小さい値が用いられている。余裕を持った道路設計がなされているといえる。しかしこれも速度との関係によるものであり、路面が濡れたり凍ったりした場合に、設計速度を超過した車両が安全に停止できることを保証するものではない。

5.2 道路維持修繕要綱

我が国の道路を維持補修する場合の基準書となる道路維持修繕要綱⁵⁾では、自動車専用道路では80km/h、一般道路では60km/hで湿潤時の縦すべり摩擦係数0.25を修繕判断の目安としている。

5.3 各国のすべり摩擦係数の管理水準

これまでの各国のすべり摩擦係数の管理水準を表-3に示す²⁾。

表-3 各国のすべり摩擦係数の管理水準²⁾

国名	適用	測定速度 (km/h)	摩擦係数	備考
イギリス	A1	50	0.55	横すべり
	A2	50	0.45	
	B	50	0.31	
	C	50	0.30	
オーストラリア	都市道路	50	0.45	
	地方道路	80	0.35	
ベルギー	ベルギー	60	0.40	
デンマーク	デンマーク	60	0.41	
西ドイツ		40	0.42	
		60	0.33	
		80	0.26	
イタリア	直線部	60	0.28	
	曲線部	60	0.31	
カナダ	最低値	65	0.30	縦すべり
	推奨値	65	0.40	
スペイン	良	60	0.50	
	最低値	60	0.40	
スイス		40	0.48	
		60	0.39	
		80	0.32	
アメリカ	30mile道路	64	0.31	
	40mile道路	64	0.33	
	50mile道路	64	0.37	
	60mile道路	64	0.41	
	70mile道路	64	0.46	
	80mile道路	64	0.51	

5.4 NCHRP Doc.108での管理水準

NCHRP Doc.108では、すべり摩擦係数の管理水準として、危険かどうかを調査する段階と、改善措置をとるべき段階のすべり摩擦係数を決め、これに基づいてすべり摩擦を確保する対策を行うように求めている。

またNCHRP Doc.108では、事例ではあるが調査する段階のすべり摩擦係数として、表-4の値を示している。表-3の各国基準とほぼ同じ水準の数値が示されてものと考えられる。

なお、表-4の数値を下回った場合は、すべり警告標識の設置や暫定補修の必要性を検討するとともに、すべり摩擦データや交通事故データの分析

を行うことが求められている。

6. 全体のまとめと比較

上述の事故実態、基準類の関係を図にまとめたものが図-4である。

図内では、上述の事故調査から0.30~0.50の範囲をすべりに関わる事故の過渡的領域と判断し、0.50以上のすべり摩擦係数が得られれば、湿潤時のすべり事故が発生する危険性が低く、0.30を下回れば危険性が高いとした。道路構造令の値は、速度が高い場合は低めに設定されており、曲線設計としては余裕があるものと思われる。事故調査結果では、速度が低い場合の事例が少なく判断が難しいが、速度が低くなると事故危険性も少なくなるので、道路構造令の値が確保されれば、低い速度に対しても余裕のあるものになっているものと思われる。

一方、事故調査結果と各国の管理水準をみると、すべる危険性が高い領域に設定されている場合もみられる。各国の路面管理水準は、道路構造、道路状況、経済状況、交通状況等を勘案して設定されているものと予想されるが、路面がアスファルトやコンクリート舗装であること、車両がゴムタイヤであること等は、ほぼ共通の条件であると考えられる。湿潤時におけるすべり事故を減らすためには、図内の過渡的領域を一つの判断の目安と考えることができるものと思われる。

表-4 すべり摩擦係数の調査段階水準 (NCHRP Doc.108)

カテゴリー	適用	測定速度 (km/h)	すべり摩擦係数	備考
1	照明付き交差点、児童横断歩道、鉄道平面交差、ランドアバウト流入口	64	0.50~0.55	VicRoads/RTA,1996 SFC50
2	R250m以下曲線部、5%以上勾配で50m以上自動車専用道路のランプ (on,off)	64	0.45~0.50	
3	交差点	64	0.40~0.45	
4	非分離道路	64	0.35~0.40	
5	分離道路	64	0.30~0.35	
6	R100m以下曲線部	26	0.55~0.60	
7	ランドアバウト	26	0.50~0.55	
1	鉄道平面交差、照明区間、歩行者横断、ランドアバウト、一旦停止交差点(幹線)、1車線橋梁		0.55	Transit New Zealand, 2002 (SFC)
2	250m未満曲線部、10%以上を超える		0.50	
3	ジャンクション流入口、5%~10%勾配、自動車専用道路ジャンクション・on/offランプ		0.45	Maryland SHA(Chelliah et al., 2003) (FN)
4	非分離道路		0.40	
5	分離道路		0.35	

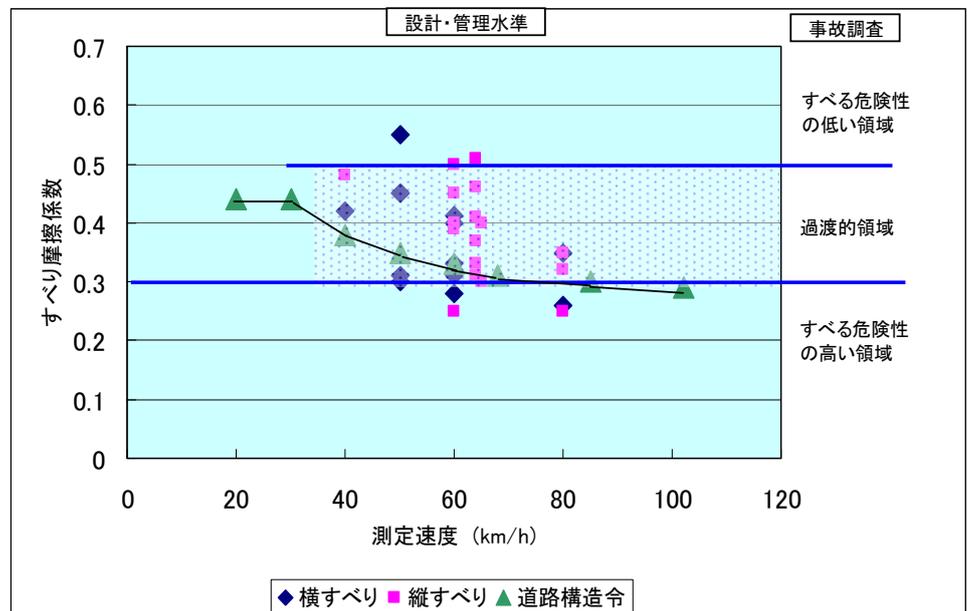


図-4 すべり摩擦係数の管理水準と事故調査結果の比較

- 3) 建設省土木研究所：各種舗装のすべり摩擦係数と温度、土木研究所資料第1099号、昭和51年2月
- 4) (社)日本道路協会：道路構造令の解説と運用、平成16年2月
- 5) (社)日本道路協会：道路維持修繕要綱、昭和53年7月

参考文献

- 1) J.W.Hall 他 :Guide for Pavement Friction, NCHRP Web-Only Document 108, Transportation Research Board, February 2009
- 2) 市原・小野田:路面のすべりとその対策、技術書院、平成9年3月

安藤和彦*



財団法人土木研究センター技術研究所道路研究部長
Kazuhiko ANDO

倉持智明**



財団法人土木研究センター技術研究所道路研究部 主任研究員
Tomoaki KURAMOCHI