

Probe車の車両運動データによる冬期路面状態の分類に関する研究*

Classification of Winter Road Surface Conditions by Vehicular Movements of Probe Cars*

宮坂純平**・中辻隆***・川村彰****・前田近邦*****

By Junpei MIYASAKA・Takashi NAKATSUJI・Akira KAWAMURA・Chikakuni MAEDA

1. はじめに

冬期において、現下の路面状態に関する情報は、道路利用者にとって最も関心の高い情報の一つである。道路利用者にとっては、路面のすべり易さの度合いが、摩擦係数値そのもので提供されるよりも、すべるかすべらないかの2分類、あるいはすべりの程度に応じていくつかに分類されて提供される方が望ましい¹⁾。

本研究においては、「GPSを登載したProbe車の車両運動データを用いた冬期路面状態推定に関わる研究」の一環として、車両運動データから判別関数を用いて路面状態をいくつかに分類する検討を行った。はじめに、路面状態が管理された試験路において計測されたデータを用いて、発進時、制動時、および定常走行時に分けて、凍結か圧雪かの分類を行った。次に、市内幹線道路での試験車データを用いて摩擦係数がある閾値以下の路面をすべる路面、それ以上をすべらない路面として判別式の作成を行うとともに実測の摩擦係数値との比較からの中率の検証を行った。さらにタクシーの集計データを用いた路面判別の説明変数と的中率についての検証も行った。

2. 走行試験データ

(1) 試験車

北大試験車(日産Safari)と北見工大試験車(いすゞBig Horn)を模擬Probe車として用いた。両試験車にGPS

データに加え、前後、横、および上下3方向の加速度成分、ヨー角速度、ピッチ角速度の角速度2方向成分、さらにパルスデータについても前後後輪でのパルス成分を計測すべきSRセンサーの設置を行った。表1に計測データの一覧を示す。車両速度としては、センサーから出力される速GPS速度を用いた。走行試験は後輪駆動状態で実施した。サンプリングレートは10Hzとした。

表1 試験車による計測データ

センサー	測定項目
加速度	進行方向、横方向方向、上下方向
角速度	ヨーレート、ピッチング
車速パルス	前輪パルス、後輪パルス
GPS	時刻、緯度、経度、GPS速度

(2) 走行試験

(a) 寒地試験路走行試験

路面状態が均質に管理された状態で広範な走行条件でのデータを得るために、北海道開発局苫小牧寒地試験道路での試験を実施した(平成13年12月17~19日)。凍結路面と圧雪路面を人工的に作成した。直線路では、車両速度の変動幅を変化させ定速走行も含め6パターン、交差点路では、速度と制動距離の組み合わせを6パターン想定して走行試験を実施した。なお、走行試験の合間に北大滑り抵抗測定車を用いて、ほぼ2時間に1度の割合で路面摩擦係数の測定を行った。ほぼ100mごとに計測しその平均を摩擦係数とした。凍結路面では平均0.15程度の極めてすべりやすい路面が、圧雪路面では平均0.4前後となり通常よりやや高めの値となっていた。

(b) 市内幹線道路走行試験

路面状態不均質である一般道路での車両運動のデータを得るため、札幌近郊の市街地道路において平成14年12月25日から28日に走行試験を行った。車群の

*キーワード: 交通管理、ITS、冬期路面管理

**学生員, 北海道大学大学院工学研究科都市環境工学専攻
札幌市北区北13条西8丁目, TEL(011)706-6217 FAX(011)706-6216

***正員, 博(工), 北海道大学大学院工学研究科都市環境工学専攻
札幌市北区北13条西8丁目, TEL(011)706-6215 FAX(011)706-6215

****正員, 北見工業大学土木開発工学科
北見市公園町165番地, TEL(0157)26-9510 FAX(0157)26-9510

*****学生員, 北見工業大学 博士課程
北見市公園町165番地, TEL(0157)26-9510 FAX(0157)26-9510

流れに乗りながらの通常走行や、交差点における加減速走行を行った。試験車両は、北見工大試験車であるBig Hornと、乗用車Blue Birdの2台を用いた。また、すべり抵抗測定車を用いて路線に沿ったすべり摩擦係数の計測を行った。解析にはBig Hornのデータを使用した。

(c) タクシー走行試験

タクシー10台にSRセンサーを装着し、平成13年12月17日から翌年2月5日まで車両運動データの計測が行われた。タクシーにはABSが装着されていないため車速パルスの計測は行われていない。また、市販品のSRセンサーを用いたため、試験車用のセンサーと比べて計測成分が少なくなっており、上下方向加速度とピッチングも測定されていない。なお計測データは、集計データでは1秒ごと、イベントデータでは0.1秒ごとに記録される。

(3) データ処理

計測されたデータは、欠損データの補正、GPSによる緯度・経度データの平面座標変換、あるいはデータの車速パルスの速度データへの変換などの処理がなされた後に解析に使用された²⁾³⁾。交差点における発進・制動試験においては、図1の速度図に示すように、加速度(勾配)がほぼ一定と考えられる区間を目視によって1ないし3カ所を抽出し、1秒ごとに運動変量の平均値を求め、それを1つのサンプルデータとした。横加速度は絶対値を使用した。試験は、2台の試験車で行われているが、走行モード(発進時、制動時)ごとに2台の試験車データを併せて用いた。

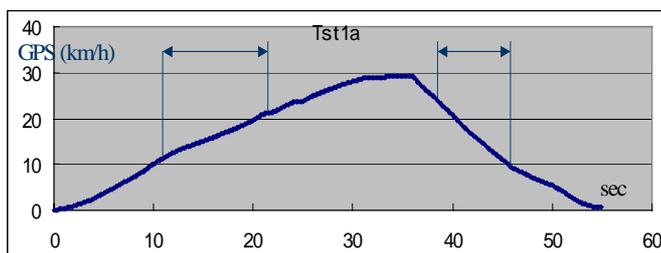


図1 発進・制動試験から試験データ抽出(寒地試験路)

3. 車両運動と判別分析

(1) 判別関数

判別関数としては、以下の線形式を用いた。

$$Z = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_mx_m \quad (1)$$

x_i は説明変数であり、速度や加速度、あるいは角速度などの計測された運動変量データであり、変量の組み合わせを試行錯誤的に変えて的中率の良い説明変数を決定した。係数 a_i は各グループの分布の重心距離が大きくなるよう決定される。特に、2分類ではスコア値 $Z > 0$ あるいは $Z < 0$ と対応するよう係数が決定される。

(2) スリップ比

タイヤの回転運動は路面のすべりと密接な関係を有している。タイヤの回転と車両走行速度の相対的な動きを表現するのがスリップ比である。すなわち、車両速度とタイヤの回転速度の差を速度で無次元化したものがスリップ比である。制動時には

$$S_b = \frac{V - v}{v} \quad (2)$$

発進時には

$$S_a = \frac{V - v}{v} \quad (3)$$

と定義されている。ここで V は車両速度であり、 v はタイヤ回転速度である。タイヤの回転半径が r で角加速度が α である時には、 $v = r\alpha$ の関係がある。

4. 判別分析結果

(1) 寒地試験路走行試験

(a) 交差点発進時

説明変数として、スリップ比、前後加速度、横加速度、パルス速度差を用いた場合に的中率が最も改善された。表2にその際の判別係数と評価指標値を示す。説明変数としてスリップ比、前後加速度が重要であるのは容易に予想される。横加速度は、スタッドレスタイヤの特徴である低速度域での横ぶれに関係あるかとも予想されるが、現段階ではその詳細は不明である。スリップ比だけでなくパルス速度差も選ばれているのは、前後輪の速度差の相対的な割合(スリップ比)だけでなく、絶対量が重要であることを示唆している。後に説明するように、発進時のスリップ比は路面がすべる時には負値となる。従ってスリップ比の判別係数も負値であるので、スリップ比は凍結路面への判別に貢献する。表3に判別スコアの度数分布を示している。2分類であるのでスコア値が正值であると凍結路面、負値であると圧雪路面と分類される。全体で83.5%の的中率となっている。

表2 発進時における路面判別結果(試験路)

説明変数	判別係数	評価項目	
x1:スリップ比	-1.539	F値	20.66
x2:前後加速度	-57.257	P値	0.00
x3:横加速度	-29.280	平方距	2.33
x4:パルス速度差	0.422	誤判別率	22.3
定数項	1.291	(%)	

表3 判別得点の度数分布(試験路、発進時)

階級値	頻度		的中率	
	凍結路面	圧雪路面	凍結路面	圧雪路面
-5	1	2		
-4	1	1		
-3	2	8		90.7
-2	4	15		
-1	14	23		
0	35	5		
1	19		80.0	
2	18			
3	10			
4	5			
5以上	1			
平均	1.16	-1.16		83.5
標準偏差	1.68	1.09		

(b)交差点制動時

制動時のデータでは、GPS速度、スリップ比、前後加速度、横加速度、パルス速度差の組み合わせが最も良い的中率を与えた。発進時の説明変数にGPS速度が加わっている。これは、制動を開始する時の速度が路面状態に依存していることの反映とも考えられる。横加速度値の判別係数が発進時には負値となって圧雪路面への判別に、制動時には正値となって逆に凍結路面への判別に寄与している。表4には判別係数とその指標値を、表5は判別スコアの度数分布と的中率を示しているが、発進時に比べ的中率は低下している。

表4 制動時における路面判別結果(試験路)

説明変数	判別係数	評価項目	
x1:GPS速度	-0.090	F値	5.973
x2:スリップ比	-0.254	P値	0.0
x3:前後加速度	9.024	平方距	0.845
x4:横加速度	23.468	誤判別率	32.3%
x5:パルス速度差	0.496	(%)	
定数項	1.971		

表5 判別得点の度数分布(試験路、制動時)

階級値	頻度		的中率	
	凍結路面	圧雪路面	凍結路面	圧雪路面
-3		5		
-2	6	9		66.7
-1	30	22		
0	48	14		
1	23	4	67.3	
2	2			
3	1			
平均	0.422	-0.422		67.1
標準偏差	0.864	1.008		

(2)市内幹線道路走行試験

市内幹線道路で計測された試験車データを用いて路面判別の可能性を検証した。路面滑り抵抗測定車によって路面の摩擦係数が測定されているので、摩擦係数が0.25以下の路面をすべる路面、0.25以上をすべらない路面として判別式の作成と的中率の検証を行った。前節の結果から、発進時のデータを解析の対象として主にスリップ比データの有無による影響について分析を行った。

(a)スリップ比データを用いた場合

スリップ比を考慮した場合には、前後加速度、横加速度、上下加速度、ロール角速度、GPS速度、パルス速度差、スリップ比の組み合わせが最も良い的中率を与えた。試験路でのデータと比べると、上下加速度、ロール角速度、あるいはGPS速度が加わっている。表6にその判別係数と評価指標値を示す。表7に判別スコアの度数分布と的中率を示しているが、試験路データに比べ的中率は数%程度低下しているだけである。

表6 スリップ比データを用いた場合の路面判別

説明変数	判別係数	評価項目	
X1:前後加速度	-10.182	F値	7.047
X2:横加速度	-30.028	P値	0.0
X3:上下加速度	557.732	平方距離	1.369
X4:ロール角速度	3.324	誤判別率	27.9%
X5:GPS速度	-0.050	(%)	
X6:パルス速度差	0.405		
X7:スリップ比	0.851		
定数項	0.255		

表7 判別得点の度数分布(スリップ比データ有)

階級値	頻度		的中率	
	凍結路面	圧雪路面	凍結路面	圧雪路面
-5		2		
-4		1		
-3		5		75.9
-2	3	30		
-1	11	28		
0	25	13		
1	22	6	78.8	
2	5	1		
3以上		1		
平均	0.684	-0.684		77.1
標準偏差	0.932	1.31		

(b)スリップ比データを用いない場合

車速パルスデータが計測されていないとした仮定し、前節と同じ試験車データを用いて判別分析を行った。その結果、車速パルス関連のパルス速度差、スリップ比を除いた前後加速度、横加速度、上下加速度、ロール角速度、GPS速度、パルス速度差の組み合わせが最適

であるとされた。表8にその判別係数と評価指標値を、表9に判別スコアの度数分布と的中率を示している。判別係数値はスリップ比を考慮した場合と大きな差はなく、的中率においても76%弱と大きな違いは認められない。このことは、ABSを装着していないタクシーデータによる路面判別にとって望ましい結果となっている。

表8 スリップ比データがない場合の路面判別

説明変数	判別係数	評価項目	
X1: 前後加速	-10.795	F値	9.55
X2: 横加速度	-29.989	P値	0.0
X3: 上下加速	555.621	平方距離	1.307
X4: ロール角速度	3.520	誤判別率	28.4%
X5: GPS速度	-0.037	(%)	
定数項	-0.101		

表9 判別得点の度数分布(スリップ比データなし)

階級値	頻度		的中率	
	凍結路面	圧雪路面	凍結路面	圧雪路面
-5				
-4		2		
-3		5		75.9
-2	3	31		
-1	13	28		
0	25	13		
1	20	6	75.8	
2	5	1		
3以上		1		
平均	0.653	-0.684		75.8
標準偏差	0.933	1.31		

(3) タクシー走行試験

試験車の車両運動データからの路面分類と同様に、判別分析を用いてタクシー車両運動データからの路面分類を試みた。ここでは、試験車で結果が顕著であった発進時の挙動を対象とした。1ヶ月半に渡るデータから凍結路面、圧雪路面(滑る)、圧雪路面(滑らない)、湿潤路面の4つの路面状況を別途行った特定路線での路面観察データ及び写真を参考としてデータの抽出を行った。

表10 タクシー集計データにおける説明変数

説明変数	前後加速度差(最大 - 最小)
	左右加速度差(最大 - 最小)
	方位角速度差(最大 - 最小)
	GPS速度

表10のように4つの説明変数を用いた場合について、それぞれ2分類、4分類に判別することを試みた。ここでは、総体的に的中率が良くないため、的中率の結果のみを示すこととする。

(a) 2分類の場合

凍結路面と湿潤路面、凍結路面と圧雪路面(滑る)、圧雪路面(滑る)と圧雪路面(滑らない)の3ケースについて判別を行ったが、的中率が最高でも67.6%と試験車データの場合と比べて大きく減少した。

表11 タクシー集計データによる2分類の判別的中率

ケース	真の群	判別された群	
		凍結	湿潤
ケース1	真の群	凍結	36
		湿潤	24
	判別的中率	59.8%	28
ケース2	真の群	凍結	38
		圧雪(滑る)	22
	判別の中率	61.8%	38
ケース3	真の群	圧雪(滑る)	42
		圧雪(滑らない)	21
	判別の中率	67.6%	50

(b) 4分類の場合

4分類の場合も的中率が40%弱と、無作為の場合よりは向上しているものの、実用にはほど遠い(表12)。

表12 タクシー集計データによる4分類の判別の中率

真の群	判別された群			
	凍結	圧雪(滑る)	圧雪(滑らない)	湿潤
真の群	凍結	27	9	20
	圧雪(滑る)	20	22	13
	圧雪(滑らない)	13	15	41
	湿潤	13	10	19
判別の中率		39.1%		5

5. まとめ

車両運動データから判別関数を用いて冬期路面状態をいくつかに分類する検討を行った。1)試験データでは、凍結か圧雪かの判別の中率は80%を超える。2)制動時よりも発進時の方が的中率は高い。3)市街地道路データでも、凍結か圧雪かの的中率は75%を超える。4)スリップ比を用いない時でも的中率は大きくは低下しない。5)タクシーの集計データによる判別は、データ計測時の路面状態、集計データの情報量に問題があり、的中率は未だ低い。実用化のためには判別手法の改良等による精度の向上、分類数の増加が必要である。

参考文献

- 1) Imad Al-Qadi, Feasibility of Using Friction Indicators to Improve Winter Maintenance Operations and Mobility, NCHRP Report 6-14, TRB, 2002
- 2) 中辻他:GPSを搭載したProbe車の車両運動データと冬期路面状態の相関性について、第22回交通工学研究発表会論文報告集, pp.97-100, 2002
- 3) 川村他:冬期路面状態におけるProbe車の車両運動データの周波数特性およびスリップ比特性, Proc. 第1回ITSシンポジウム2002, pp.311-317, 2002