

スリップ情報提供システムにもとづく特性解析*

Characteristics based on the slippery road information system*

浜岡秀勝**・佐々木正大***

By Hidekatsu HAMAOKA**・Masahiro SASAKI***

1. はじめに

積雪寒冷地においては、冬期に路面状況が凍結・圧雪等変化することから、車両のスリップ事故の危険性が高まる。運転者は常に路面状況に注意を払いながら、精神的に負荷の高い状態での走行を強いられる。道路管理者によって、路面凍結防止剤の散布等、路面凍結を防ぐ策はとられているものの、全ての道路区間を非凍結状態にするには限界がある。

そのようななか、凍結地点を検知し、運転者に路面状況を知らせることにより、車両のスリップ事故の危険性を軽減しようとする対策がある。そのひとつとして、路面センサ等を用いて、路面状況を把握し、スリップの危険性を運転者に伝えるものがあるが、対象地域を面的に把握するには限界がある。そこで本研究では、車両挙動データから凍結地点の検知に着目する。車両挙動データを用いることでスリップ地点を空間的に把握することが可能になる。その車両データから得られるスリップ地点の情報を提供することによって、既存の道路整備等、走行支援策に役立つと考えられる。

これまでに車両挙動データを用いた凍結地点の検知の有効性は明らかにされている。しかし、その有効性は実験車において確認されたものであり、なにも制約のない通常走行時におけるものではない。そのため、車両挙動データを用いた凍結地点の検知が確かであるか検証する必要がある。

そこで本研究では、車両挙動データを用いた凍結路面の推定が実際の路面状況と適合しているかを検証する。検証には、何も制約のない通常走行時の車両走行データを用い、凍結検知と気温・積雪量等の気象状況との関連性を分析する。そのうえで、これまでの凍結地点検知の問題点を明らかにし、改善策の考案を目的とする。

2. 既往研究と本研究の位置づけ

冬季の積雪寒冷地においては、スリップによる事故の危険性が増加することにより、走行に伴う運転者の精神的負荷は非常に高い状態にある。こうした状況のもと、運転者の精神的負担軽減を目的としたプローブカーによる路面凍結情報の提供に関して、これまでいくつかの研究が実施されてきた。中辻ら¹⁾の研究では、路面状況が管理された試験道路での走行試験と札幌市街地道路での実走行試験を行い、車両運動データから判別分析を用いて、凍結か圧雪か判断するモデル構築を行っている。

一方で、浜口ら²⁾の研究では、圧雪路面時の市街地で定速・加速走行実験を行い、四輪速度差の分布からABS信号だけでは凍結路面検知は不十分であることを示した。そこで、タイヤの回転速度と車両の移動速度の相対的な動きを示すスリップ率を用い、凍結路面検知方法を提案している。スリップ率による路面凍結検知は可能であることを明らかにしたが、使用したデータの時間的精度の低さを課題としている。藤原ら³⁾は、浜口らの課題であった時間的精度の低さを克服し、スリップ率に加え、前後車輪の速度差を用い、路面凍結の検知を行っている。

これらのプローブカーによる路面凍結情報の提供に関する研究についてみると、中辻ら、浜口らは使用データの精度の低さという問題を解決している。藤原らは、データの精度を向上させたものの、なおデータの精度を課題としている。

このようにプローブカーによる路面凍結情報の提供には、課題が残りながらも可能であることが明らかにされている。今後は路面凍結の検知地点が実際の路面状況と適合しているかについて検証していく必要がある。

3. スリップ地点の検知

路面凍結時に車両がスリップすると車両の各車輪速度に差が生じ、車体を維持するためにABSが作動する。そのためABSの作動は凍結地点の検知に有効であるといえる。しかし、ABSはブレーキの踏み具合によって凍結地点以外においても作動する可能性がある。またブレーキの踏み具合の個人差や、車両の違い、タイヤの性

* キーワーズ：交通安全、路面凍結、スリップ

** 正会員 博(工) 秋田大学土木環境工学科
(秋田市手形学園町1-1、Tel:018-889-2974
e-mail: hamaoka@ce.akiita-u.ac.jp)

*** 修(工) 建設技術研究所

能の違いにより、ABS発生地点は異なる。そのために、ABS発生地点よりも、基準を落としたスリップ地点の検知が必要といえる。

これまで筆者らはスリップ率と前後車輪速度差という指標を用いてスリップ地点の検知を行った。スリップ率とは、タイヤの回転速度と車両の移動速度の相対的な動きを示すもので、車両の移動速度（車体速度）とタイヤの回転速度（車輪速度）を用いて、以下の式で表現される。

$$\text{スリップ率} = \begin{cases} \frac{\text{車体速度} - \text{車輪速度}}{\text{車体速度}} & (\text{車体速度} > \text{車輪速度} \text{かつ} \text{車体速度} \neq 0 \text{のとき}) \\ \frac{\text{車体速度} - \text{車輪速度}}{\text{車輪速度}} & (\text{車体速度} < \text{車輪速度} \text{かつ} \text{車輪速度} \neq 0 \text{のとき}) \end{cases}$$

この式において車体速度が車輪速度より大きい場合は、式より、車輪がブレーキによりロックし、惰性で車体だけが滑る現象に近いものを示している。一方で、車体速度が車輪速度より小さい場合は、式より、車輪は空転するが、車体は進まない現象に近いものを示している。

前後車輪速度差とは前輪の車輪速度の平均と後輪の車輪速度の平均の差を示すものである。車両がスリップする際には、四輪全てがスリップする可能性は低く、どれか1つもしくは2つの車輪がスリップすると考えられる。そのため、車輪速度の差を求めることでスリップ地点を把握できる。しかし、カーブ区間において左右の車輪速度に差が生じてしまうため、前後車輪速度の平均を指標に用いる。

本研究では、このスリップ率と前後車輪速度差という指標が基準値を上回った地点をスリップ地点としている。このスリップ地点が実際の路面状況と適合しているかを検証する。

4. ABS作動地点と路面凍結検知地点

本研究において使用するデータについて表-1に概要を示す。使用した車両は1台であり、走行区間は特に設けずに秋田市周辺を自由に走行したデータを取得した。そのため、データ取得期間には走行していない日も存在する。データ取得期間中は暖冬で、例年に比べ積雪量が少なかった。

表-1 データ概要

データ取得期間	2007年1月25日～3月28日
走行箇所	秋田市周辺部
取得データ	GPS速度、車輪速度、ABS等

このデータを使用して、ABS作動地点とスリップ率、前後車輪速度差による凍結検知地点を示した。表-2にABS作動回数とスリップ率、前後車輪速度差による凍結検知回数を、図-1にABS作動地点と凍結検知地点の一部を示す。

図-1をみると、スリップ率、前後車輪速度、ABS作動の地点が重なり合っていることがわかる。特にABS作動地点と前後車輪速度は多くの地点で作動地点が一致しており、前後車輪速度を用いた凍結地点検知が有効であることがわかる。しかし、スリップ率における検知地点は、前後車輪速度、ABS作動の地点と一致する箇所も存在するが、多くは一致していない。スリップ率を算出する際に用いるGPS速度の精度の問題とも考えられるが、凍結地点を検知する際のスリップ率の基準値を再考する必要があると考えられる。

表-2 凍結検知回数

	スリップ率	前後車輪速度	ABS作動
回数	47	34	24



図-1 凍結検知地点

図-2に凍結検知地点が重なった回数を示す。この図より、ABS作動地点と前後車輪速度による凍結検知地点が多く一致することがわかる。

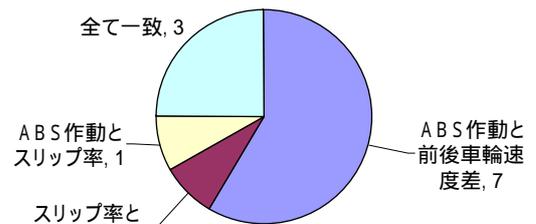


図-2 凍結検知地点の重なり

5. 凍結地点の検知と時間帯、気象状況

ここではどのような条件下で凍結地点の検知を行っているかについて分析する。

(1) 凍結地点検知と時間帯について

凍結地点の検知はどのような時間帯に多く行われているかについて分析する。図-3は凍結を検知した回数と時間帯を表している。凍結検知回数は朝から昼にかけて多くなった。走行回数の異なる影響が大きいと考えられるが、気温が高くなる12時から18時にかけての時間帯において、18時から24時までの凍結検知回数よりも多く検知した。

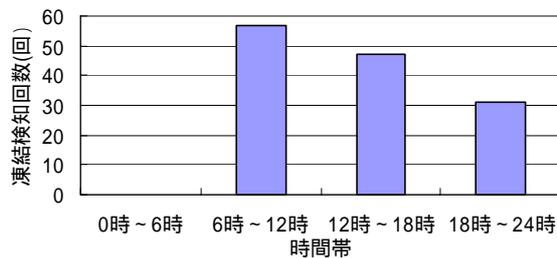


図-3 凍結検知時間帯

(2) ABSの作動と気象状況について

ABSの作動がどのような気象状況のもとで発生しているかを分析した。図-4にABS作動回数と最低気温の関係を、図-5にABS作動回数と積雪量との関係を示す。

図-4より最低気温が0度以下の日にABS作動がわかる。しかし、最低気温が0度以上でもABSが作動しており、特に3月6日では最低気温が4度と高いにも関わらずABSは5回作動している。図-5のABS作動回数と積雪量との関係のグラフをみると、積雪量の多い3月8日にABSの作動が多く検知されたが、積雪量とABS作動にはあまり相関がないといえるのではないかと。積雪量が多いほど、スリップ多発するという因果関係にはないといえる。

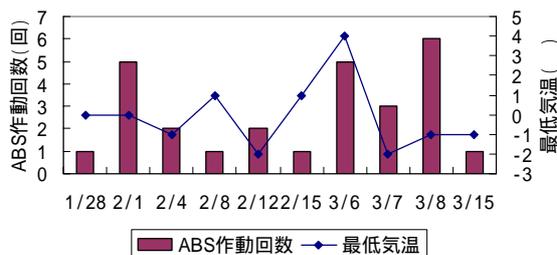


図-4 ABS作動回数と最低気温

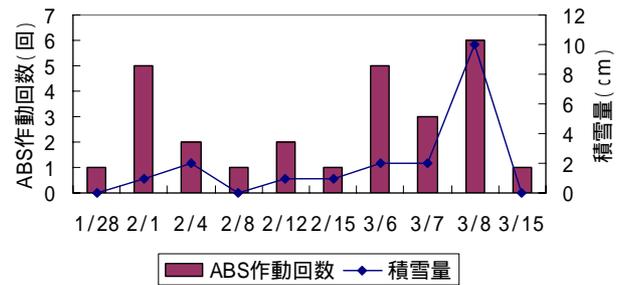


図-5 ABS作動回数と積雪量

6. ABSの作動と車両挙動について

ABSの作動は凍結地点検知に効果があることが明らかにされている。しかし、図-4に示したように最低気温が高く、凍結していると考えにくい気象の際にもABSが作動している。そのため、ABS作動時の車両挙動について分析する必要がある。

(1) 非凍結時のABS作動と車両挙動の関連性

ここで図-6に2007年3月6日の22時ごろに発生したABSの作動前後のGPS速度とスリップ率の時間変化を示す。ABS作動時のGPS速度とスリップ率の値も示している。また、図-7に同じ時間におけるGPS速度と四輪平均速度の時間変化を示す。2007年3月6日の最低気温は4度であり、凍結していない道路路面であると考えられる。

図-6をみると、ABSが作動し、GPS速度が低下するにつれてスリップ率の値が大きく上昇していることがわかる。スリップ率は速度が低下している間上昇し、速度変化がなくなると、一定値になった。また、図-7をみるとABSが作動した7秒周辺からGPS速度、四輪平均速度が大きく低下していることがわかる。また、GPS速度と四輪平均速度の間に、最大5km/h以上の速度差が発生していることがわかる。速度変化は四輪平均速度で最大15km/h低下している。

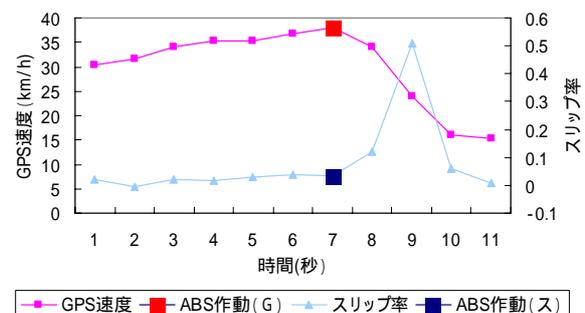


図-6 非凍結時車両挙動変化

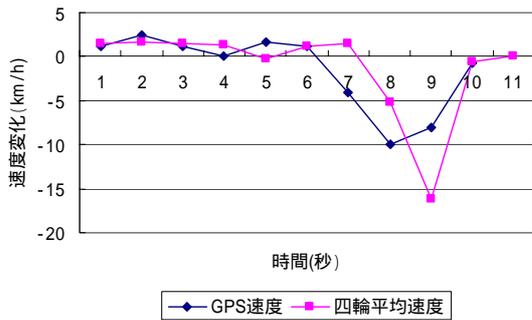


図-7 非凍結時速度変化

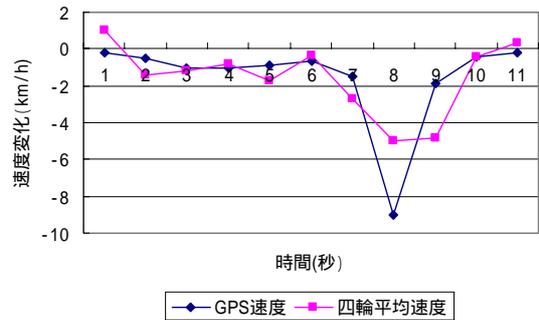


図-9 凍結時速度変化

(2) 凍結時のABS作動と車両挙動の関連性

ここでは凍結路面でのABS作動時における車両挙動の変化について分析する。図-8に凍結路面でABSが作動した際の車両挙動の変化について示す。また、図-9に同時刻におけるGPS速度、四輪平均速度の時間変化について示す。分析には、凍結路面において、乾燥路面ではABSがかからない程度のブレーキをかけた実験データを使用した。

図-8をみると非凍結時と同様にABSが作動して、速度が低下するにつれてスリップ率も増加しているが、非凍結時に比べ、値が上昇していない。非凍結時にはABS作動後、スリップ率が約0.4上昇したが、凍結時には0.15程度しか増加していない。

また、図-9のGPS、四輪平均速度の時間変化をみると、ABSが作動した7秒から8秒にかけて、非凍結時と同様に速度が大きく低下していることがわかる。

凍結時のGPSと四輪平均速度の差の最大値は約4km/hであった。非凍結時の速度変化と比べると、GPS速度の速度変化は同等の値を示しているが、四輪速度差において、非凍結時に大きな変化がみられる。これにより非凍結時にABSが作動した理由として四輪平均速度の低下量が多かった、つまり、ブレーキを強くかけすぎたためと考えられる。

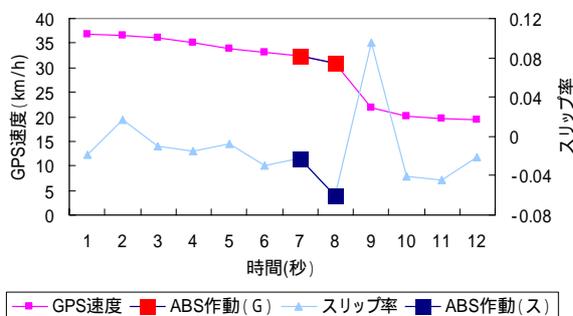


図-8 凍結時車両挙動変化

7. まとめ

本研究では、車両挙動データを用いた凍結路面の推定が実際の路面状況と適合しているかを検証するために冬期間、秋田市内周辺を自由走行したデータを用いて分析を行った。

ABS作動地点とスリップ率、前後車輪速度差を用いた凍結検知地点とは数箇所一致した。しかし、スリップ率による凍結検知地点は前後車輪速度差に比べ、一致する箇所が少なかった。GPSの精度の問題とも考えられるが、凍結地点を検知するスリップ率の基準値を新たに設定すべきであるかもしれない。

また、ABS作動回数と最低気温、積雪量の関係について分析を行った。最低気温が0度以下の日にABSが作動していることが明らかになったが、最低気温が0度以上の日にもABSが作動していた。積雪量とABS作動には相関関係はみられなかった。

非凍結時のABS作動データと凍結時のABS作動データを比較すると、ABS作動前後の四輪平均速度の低下量が多いことが明らかになった。今後サンプル数を増やし、検証していく必要がある。

参考文献

- 1) 中辻隆ら：Probe車の車両運転データによる冬期路面状態の分類について，第23回交通工学研究発表会論文報告集，pp. 145-148，2003年10月
- 2) 浜口慎平ら：車両運動データを用いた路面凍結感知に関する研究，平成17年度東北支部技術研究発表会講演概要，pp. 626-627，2006年
- 3) 藤原健太郎ら：車両走行データを用いた路面凍結検知の基準値設定に関する研究，平成18年度東北支部技術研究発表会講演概要，2007.