

第63回(2019年度) 北海道開発技術研究発表会論文

ビッグデータからスリップを探せ！ —道路維持管理におけるETC2.0プローブデータ活用検討—

建設部 道路維持課 防災第1係

○川嶋 祥之

遠藤 徹

熊谷 卓士

北海道開発局では、冬期間において重大事故につながりやすいスリップ事故等を防止するため、凍結防止剤の重点散布等による綿密な路面管理を実施している。しかし、熟練技術者の減少が深刻化していることから、重点的に路面管理を行う必要のある箇所を、客観的なデータを用いて整理する手法の確立が求められている。本研究では、ETC2.0プローブデータを活用し、冬期通行車両のスリップ挙動を可視化する手法を検討した。

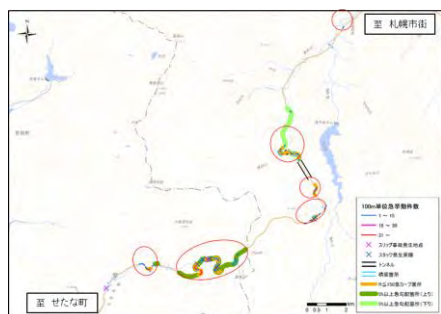
キーワード：ETC2.0プローブデータ、道路維持管理、ビッグデータ、スリップ

0. 背景・目的

冬期の路面管理は、スリップ事故等の重大事故を防止するため、凍結防止剤の重点散布等、綿密に実施されている。しかし、重点散布等は熟練技術者の経験に頼る部分も少なくなく、高齢化に伴い熟練技術者が減少している状況においては、客観的なデータを用いて整理する手法の確立が求められている。

近年、国土交通省では、ETC2.0プローブデータを収集・保有しており、交通安全対策や交通実態分析に多数活用されているが¹⁾、道路維持管理への活用事例の報告は少ない。そのため、北海道開発局建設部道路維持課ではETC2.0プローブデータを活用し、得られる挙動履歴からスリップ発生箇所を可視化する手法を過年度より検討している。

H29年度は国道230号を対象に、スリップの可視化について検討し、ETC2.0で記録された挙動履歴を、記録された位置の道路線形等から導かれる挙動理論値と比較し、異常値、すなわちスリップの発生箇所を抽出する机上検討を行った（図－1）。



図－1 国道230号平成29年1月の急挙動発生箇所及び異常値発生箇所（異常値抽出結果）²⁾

H30年度は、磁器タイルを用いて摩擦抵抗を減らし冬期路面を再現した路面（以下、「低μ路」）においてスリップ等の実証実験を行い、スリップ等の車両の挙動がどのようにETC2.0プローブデータに記録されるかを確認した。

本年度は凍結路面においてスリップ等の実証実験を行い、より実態に近いスリップ時のETC2.0プローブデータの収集を行う。さらに、収集されたプローブデータからスリップ挙動を検出するための手法を検討し、スリップの多発箇所を明らかにすることを目的とする。

1. ETC2.0プローブデータの概要

ETC2.0は平成21年度にサービスを開始した、車載器と全国的高速道路を中心に設置された路側機との双方向通信によるビッグデータ（以下、「ETC2.0プローブデータ」）の収集が可能なサービスである。ETC2.0プローブデータは、基本情報（車載器等の固有情報）、走行履歴（時刻、緯度経度）及び挙動履歴（前後加速度、左右加速度、ヨー角速度）から構成される（図－2）。



図－2 ETC2.0プローブ情報の構成イメージ

走行履歴は、200m走行毎を基本として45度方向転換時にも収集され（表－1）、挙動履歴は、それぞれ閾値（前後加速度：－0.25G、左右加速度：±0.25G、ヨー角速度：±8.5deg/sec）を超えた時の最大値（負の値は最小値）が記録される（表－2）。

表－1 走行履歴データの取得タイミング

項目	取得タイミング
移動距離	前回蓄積した地点から200m走行した時点
進行方位の変更	前回蓄積した地点から45度以上変化した時点

表－2 挙動履歴が記録される閾値

項目	閾値
前後加速度	- 0.25G
左右加速度	±0.25G
ヨー角速度	±8.5deg/sec

また、ETC2.0車載器は、車載器メーカーおよび連動するナビメーカーによって加速度の計測センサの種類および計測方法等が異なることが、各メーカーへの確認の結果分かっている（表－3）。

表－3 挙動履歴データの計測方法

相違ポイント	相違内容
加速度の計測方式	・車速パルス方式 ・加速度センサ方式
挙動履歴データのセンシング周期	・0.1秒～1秒程度 ・計測方式が車速パルス方式の場合、センシング周期の違いによる影響が大きい

2. 冬期路面における挙動実証実験

(1) 実施場所・実施日

冬期路面における挙動実証実験の実施場所は、「苫小牧寒地試験道路」（苫小牧市字柏原211番地1）とし、平成31年2月21日（木）に実施した。



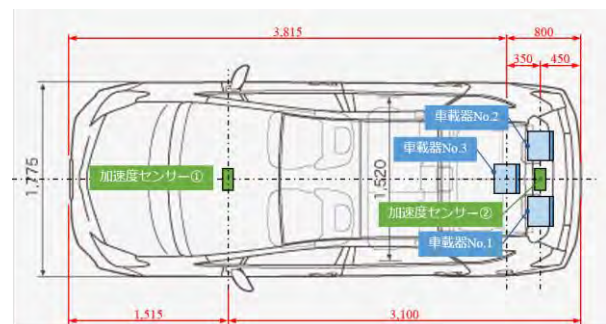
図－3 試験箇所図

(2) プローブデータ挙動履歴データの収集方法

図－4に示す通りナビ3台を車両後方に設置し、プローブデータの収集を行った。前述のメーカーによる計測方法等の違いを考慮し、異なる計測方法のナビを設置した（表－4）。また、加速度センサを車両前方・後方の2箇所に設置し、前後加速度・左右加速度・ヨー角速度について常時観測した（図－4）。加速度センサを後方だけでなく前方に設置したのは、本来ナビが設置されている箇所付近でのデータを計測し、設置位置による値の影響を確認するためである。車両は4WD車を用い、スタッドレスタイヤを装着させた。

表-4 実験に使用するナビ・車載器の計測方法

ナビNO.	前後加速度	左右加速度	ヨー角速度	センシング周期
1	車速パルス	車速パルス/ジャイロセンサ	ジャイロセンサ	0.3秒
2	車速パルス	車速パルス/ジャイロセンサ	ジャイロセンサ	0.5秒
3	加速度センサ	加速度センサ	ジャイロセンサ	0.25秒



図－4 センサー等の取付図

なお、ETC2.0プローブデータの挙動履歴データは、最大31イベントしか蓄積されないことに加え、テストコース外の最寄り路側機へ車載器記録データをアップリンクするために移動（最寄の路側機（約15km先）まで往復1時間）する必要があるため、また移動中にデータが上書きされ削除される可能性もあることから、効率的な実験実施が困難であった。そこで実験の効率的実施、及び挙動履歴データの確実な取得のため、テストコース内に試験用路側機を持ち込み、実験実施毎にデータの吸い上げ・確認を行った。

(3) 実験内容

凍結路面で、カーブ走行時、急ブレーキ時、発進時のスリップパターンを複数回実施し、ETC2.0プローブデータの挙動履歴データがどのように記録されるかの確認を行う。なお、いずれの試験においてもトラクションコントロールは作動させて走行させた。

<冬期路面走行>

- ①カーブ走行 60km/hでR=100mのカーブに進入
- ②カーブ走行 80km/hでR=100mのカーブに進入
- ③急ブレーキ 40km/hで急ブレーキ
- ④発進時 タイヤを空転させて発進

<通常路面走行>

- ⑤カーブ走行 60km/hでR=100mのカーブに進入
- ⑥カーブ走行 80km/hでR=100mのカーブに進入

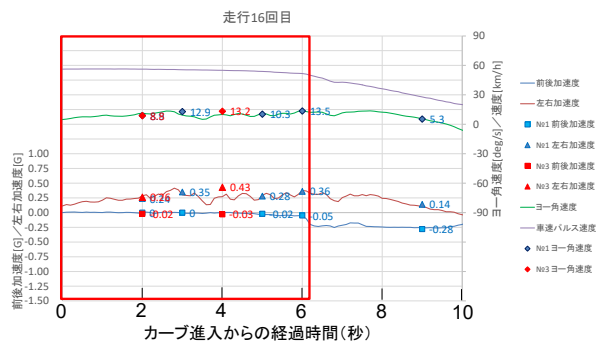
(4) 実験結果

各走行パターン複数回走行を実施しているが、結果グラフは代表走行1回のみを掲載している。No.2のナビ・車載器については、挙動履歴委データは取得できていたものの、GPS時刻情報が欠落しており、実験結果の検証ができなかったため欠測とした。

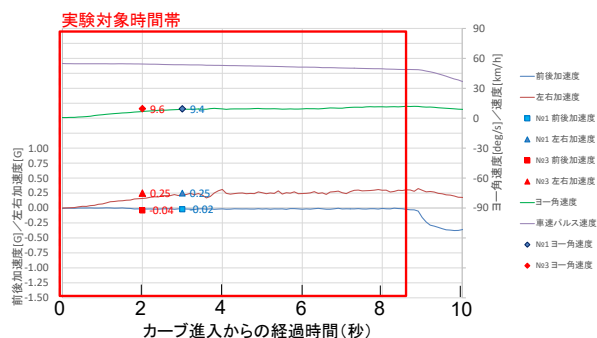
グラフ中の線で示す常時の加速度データは後部（実験用ナビと同位置）に設置した加速度センサのデータである。実験の結果、車両前部・後部の両加速度センサの値には、大きな差異が見られなかったことから、設置位置による影響は小さいと考えられる。

a) 60km/hでR=100mのカーブに進入（①、⑤）

試験①、および⑤で計測されたデータを図－5、6に示した。



図－5 カーブ走行時（60km/h、冬期路面）



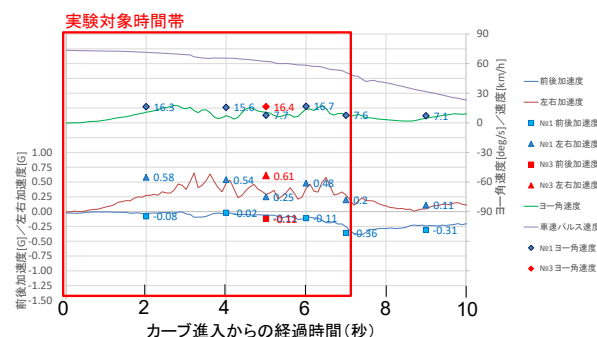
図－6 カーブ走行時（60km/h、通常路面）

冬期路面において、車載パルス式および加速度センサ式の両方で、スリップ時にドライバーがハンドル操作等にて車体の向きを修正するような挙動を取る場合、左右加速度及びヨー角速度が波打つような波形が記録され、波形がETC2.0プローブデータの記録の閾値（左右加速度： $\pm 0.25G$ 以上、ヨー角速度： $\pm 8.5\text{deg/s}$ ）を上下する場合には、連続的に急挙動の記録がされることが確認された。

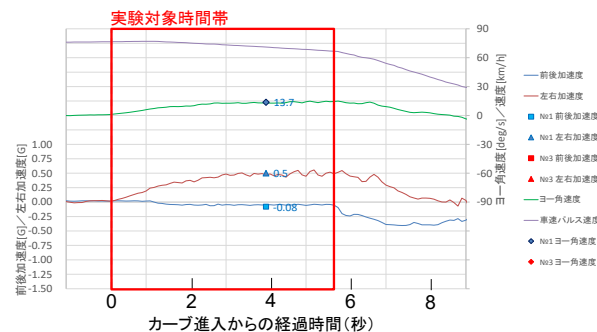
一方、通常路面においては冬期路面のスリップ時のような連続的な記録はなく、1つのカーブで記録はおおむね1～2回であった。

b) 80km/hでR=100mのカーブに進入（②、⑥）

試験②、および⑥で計測されたデータを図－7、8に示した。



図－7 カーブ走行時（80km/h、冬期路面）



図－8 カーブ走行時（80km/h、通常路面）

冬期路面において、車速パルス方式では60km/h走行時と同様に、連続的に急挙動の記録がされることがわかった。ただし、閾値を前後する波形に比べて記録点数は少なく、短時間で加速度が上下するタイミングとセンシング周期の関係で記録漏れしている挙動が存在していると推測される。一方、加速度センサ方式では、車速パルス方式のように連続的な記録は少なく、1つのカーブにおいて記録は1～2回であった。

c) 40km/hで急ブレーキしABSを作動 (③)

試験③で計測されたデータを図-9に示した。

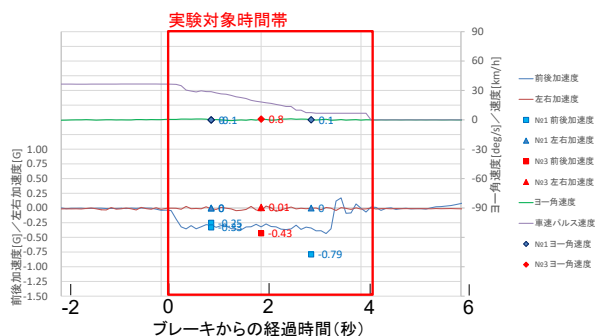


図-9 急停止時 (ABS 作動時、冬期路面)

車速パルス方式ではセンサーの値よりも大きい減速度が記録された。加速度センサ方式ではセンサー値との大きな乖離はなかった。車速パルス方式と加速度センサ方式の両方で、1つの走行で複数回記録が残される場合と記録の残らない走行があった。

d) 発進時にタイヤを空転 (④)

試験④で計測されたデータを図-10に示した。

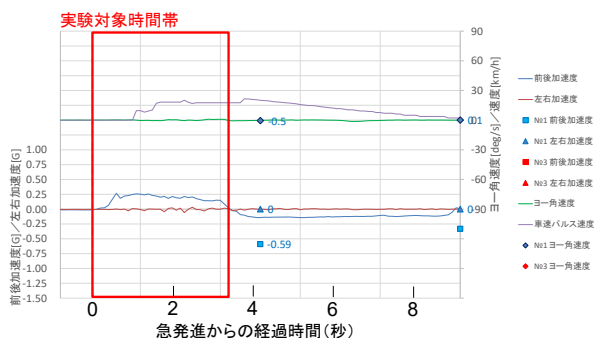


図-10 発進時 (空転)

車速パルス方式ではセンサーの値よりも大きい減速度が記録された。ただし、記録の時間的な遅れが確認され、急加速後の一旦停止時の減速度が記録されている可能性が懸念される。加速度センサ方式では加速時のプローブデータは記録されなかった。

(5) 冬期路面・通常路面における試験結果のまとめ

実験結果から得られた傾向について、以下に示す。

冬期路面でカーブでのスリップ時には、ドライバーがハンドル操作等にて車体の向きを修正するような挙動を取る場合、左右加速度及びヨー角速度が波打つような波形が記録され、波形がETC2.0プローブデータの記録の閾値 (左右加速度: $\pm 0.25G$ 以上、ヨー角速度: $\pm 8.5deg/s$) を上下する場合には、連続的に急挙動の記録がされることが確認された。

ただし、閾値を前後する波形に比べて記録点数は少なく、短時間で加速度が上下するタイミングとセ

ンシング周期の関係で記録漏れしている挙動が存在していると推測される。また、加速度センサ方式のナビでは、80km/h走行時には連続的な記録は少なく、実験区間 (1つのカーブ) で記録はおおむね1~2回であった。一方、通常路面では、冬期路面でのスリップ時のような連続的な記録はなく、実験区間で記録は1回であった。

急ブレーキ時、および空転時に、車速パルス方式ではセンサーの値よりも大きい減速度が記録され、低μ路での実験と同様の結果が得られた。車速パルス方式はタイヤの回転量の変化から加速度を算出する方法であり、タイヤがロックされることにより、実際の車両の減速度よりも大きな値が算出され、記録される結果につながったと考えられる。また、タイヤの空転時にも、空転後に路面をとらえることで、あたかも急加速後に急減速したような値として記録されることから、空転時に大きな減速度が記録される結果につながったと考えられる。

3. スリップ挙動を検出するための閾値の検討

(1) カーブ時のスリップ挙動を検出するための閾値

冬期路面における挙動実証実験から、カーブでスリップ挙動が発生した際に、プローブデータが短い間隔で検出される傾向にあることがわかった。このことから、ある閾値を設定することでプローブデータからスリップ挙動を検出することができると考えられる。通常走行時とスリップ挙動時のプローブデータの記録間隔を車載器別に示した (表-5)。

表-5 実験①、②、⑤、⑥での挙動の記録間隔

検出間隔	冬期路面		通常路面	
	No.1	No.3	No.1	No.3
t<1 秒	4	3	1	1
1 秒≤t<2 秒	19	4	0	0
2 秒≤t<3 秒	6	2	0	0
3 秒≤t<4 秒	3	2	0	0
4 秒≤t<5 秒	6	1	1	0
5 秒≤t<6 秒	2	0	1	0
6 秒≤t<7 秒	1	2	0	0
7 秒≤t<8 秒	0	1	0	0
8 秒≤t<9 秒	0	0	0	0
9 秒≤t<10 秒	0	0	0	0
10 秒≤t	0	0	14	3
計	41	15	17	4

表より、検出間隔が1秒以上4秒未満の間ではスリップ挙動のみが検出され、通常路面における挙動が検出されず、この閾値における正検出率は100%となる。また、冬期路面におけるスリップ挙動間隔56データに対して36データを検出でき、検出率は64%である。

(2) 急停止時のスリップ挙動を検出するための閾値

冬期路面における挙動実証実験から、急停止しABSが作動した際、車速パルス方式では実際の減速度よりも大きな値が検出される傾向があることがわかった。一方、加速度センサ方式では実際の車両の加速度が検出されてしまうため、タイヤにロックがかかったかどうかの判定ができない。このことから、加速度センサ方式のデータを棄却しつつ、車速パルス方式のABS作動時の減速度を取得できる閾値を設定することで、プローブデータからABS作動時の事象を検出することができると考えられる。

閾値の検討のため、40km/hで急ブレーキしABSを作動させた実験で記録された減速度を表に示す(表-6)。16回の試験を行ったが、1回の走行で複数回の挙動履歴が記録されたり、記録が無い場合があったりしたため、記録された全ての値と各走行における最大値をそれぞれ示した。

表-6 実験③における減速度

	No.1	No.1 各走行 最大値のみ	No.3	No.3 各走行 最大値のみ
0.1G未満	0	0	0	0
0.1G $\leq$ G<0.2G	0	0	0	0
0.2G $\leq$ G<0.3G	8	0	0	0
0.3G $\leq$ G<0.4G	14	3	1	0
0.4G $\leq$ G<0.5G	3	1	15	15
0.5G $\leq$ G<0.6G	4	2	0	0
0.6G $\leq$ G<0.7G	3	3	0	0
0.7G $\leq$ G<0.8G	6	6	0	0
0.8G以上	0	0	0	0
	38	15	16	15

No.3の記録はいずれも0.5G未満であったことから、0.5G以上を閾値と設定することで、プローブデータからABS作動時の挙動を検出できると考えられる。16回の走行試験回数に対する検出率は69%となった。

(3) 空転時のスリップ挙動を検出するための閾値

発進時に空転しABSが作動した際、車速パルス方

Kawashima Yoshiyuki、Endo Toru、Kumagai Takuji、

式では実際の減速度よりも大きな値が検出された一方、加速度センサ方式では記録がなされなかった(表-7)。しかし、実際のプローブデータの記録からは発進時と急停止時のどちらであるかを判断することができないため、急停止時と同じ閾値を用いることで、プローブデータから空転時と急停止時の両方のデータを検出することとする。0.5G以上の閾値を用いた場合、7回の走行試験の内、4回の記録が検出されることとなり、検出率は57%となる。

表-7 実験④における減速度

	No.1	No.3
0.3G未満	0	0
0.3G $\leq$ G<0.4G	2	0
0.4G $\leq$ G<0.5G	1	0
0.5G $\leq$ G<0.6G	2	0
0.6G $\leq$ G<0.7G	1	0
0.7G $\leq$ G<0.8G	0	0
0.8G $\leq$ G<0.9G	1	0
0.9G以上	0	0
	7	0

4. 閾値を用いたスリップ挙動の検出

(1) 検証範囲

北海道内で交通量が多く、ETC2.0搭載車の混入量が多いことから、国道5号のKP.206~219を検証範囲とした(図-11)。プローブデータはH29・30年度の12月から3月までを抽出対象とした。

(2) カーブ時のスリップ挙動の発生件数

検証区間内における横滑り挙動を3.(1)で設定した閾値を用いて検出を行い、図に示した(図-12)。

峠部のKP=206.6および206.9において、スリップ挙動が特出している。ここはトンネル区間の前後のカーブが連続する区間である。また、KP=209でもスリップ挙動が増加している。ここは道道との交差点部であり、右左折時の横滑りが検出されたと考えられる。カーブの少ない平地部においては横滑りはほとんど発生していない。

(3) スリップ挙動の発生件数

検証区間内における急停止・空転時の挙動を3.(2)および3.(3)で設定した閾値を用いて検出を行い、図に示した(図-13)。

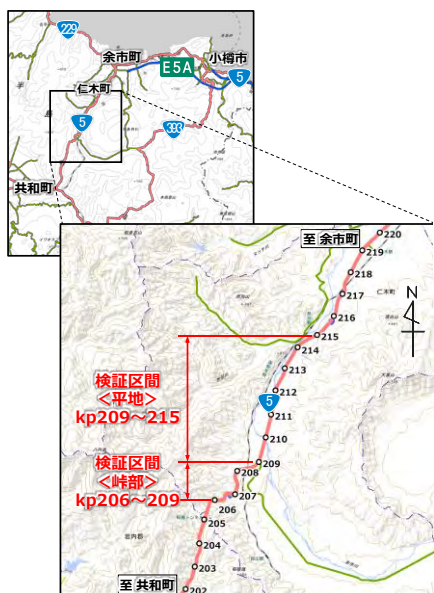


図-1 1 検証区間

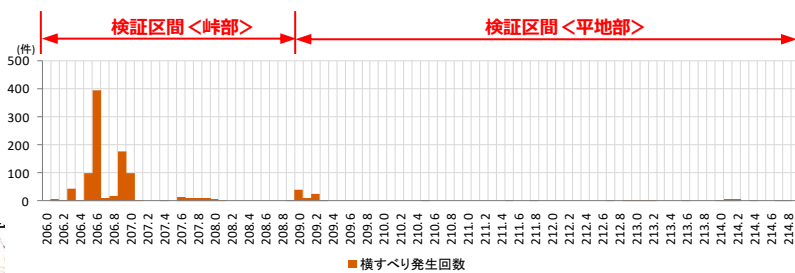


図-1 2 検証区間におけるスリップ挙動発生回数（カーブでの横すべり）

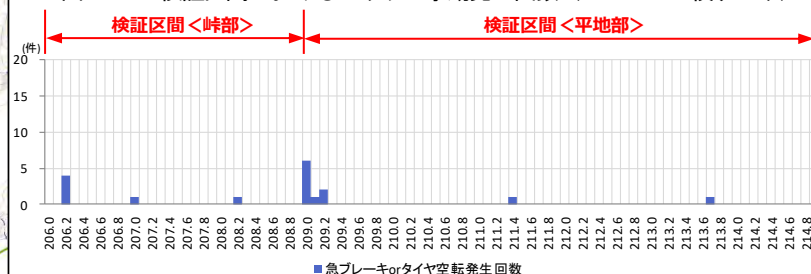


図-1 3 検証区間におけるスリップ挙動発生回数（急停止orタイヤ空転）

KP=206.2および209.0で集中して挙動が確認され、横滑りと同様にトンネルの前後の区間、および交差点部において急挙動が発生していることが読み取れる。

5. おわりに

今回の実験で下記について明らかになった。

- (1) 冬期路面でカーブでのスリップ時には、ドライバーがハンドル操作等にて車体の向きを修正するような挙動を取る場合、左右加速度及びヨー角速度が波打つような波形が記録され、波形がETC2.0プローブデータの記録の閾値（左右加速度： $\pm 0.25G$ 以上、ヨー角速度： $\pm 8.5deg/s$ ）を上下する場合には、連続的に急挙動の記録がされることが確認された。この検出間隔が1秒以上4秒未満のものを抽出することにより、実際の道路のカーブ部や交差点部でスリップの発生を検出できる可能性が示唆された。
- (2) 昨年度の低μ路での試験と同様に、急停止および空転時においてABSが発動する際、車速パルス式ではタイヤのロックを急停止と認識し、実際よりも大きな減速度が記録されることがわかった。 $-0.5G$ 以上の減速度を抽出することにより、プローブデータから急発進時の空転や急停止時のABSの作動を検出できる可能性が示唆された。

今回、ある閾値を設定することにより、プローブデータからスリップ挙動を検出できる可能性が示唆

された。今後、プローブデータから検出されたスリップ挙動と、その時のカメラ映像と照らし合わせることで、閾値の妥当性を検証することができると考えられる。

また今回の検証区間において、交差点部を除いた平地部ではほとんどスリップ挙動が検出されなかった。スリップ挙動を適切に検出できていたとすると、この区間において路面管理が十分にできていたといえる。今後、データを蓄積していくことで、凍結防止剤や防滑剤の散布量や頻度の適正化を行うことができると考えられる。

スリップの可視化手法をより精度の高いものにするすることで、一層道路維持管理の高度化・効率化されるものと考えている。道路利用者にとって、より安全でより快適な走行が可能な道路管理を行うことを目標に、検討を継続していきたい。

参考文献

- 1) 伊藤：ETC2.0データを用いた道路交通の見える化～活用の現状と今後の可能性～、平成27年度「国土技術政策総合研究所講演会」資料、2015
- 2) 富田・筒井・佐々木：ETC2.0プローブ情報を活用した道路維持管理方法高度化の検討、第61回北海道開発技術研究発表会、2018
- 3) 田伏・遠藤・佐々木：スリップは見えるのか？ー道路維持管理におけるETC2.0プローブデータ活用検討ー、第62回北海道開発技術研究発表会、2019