福井大学リポジトリ
UNIVERSITY OF FUKUI
REPOSITORY

Measurements of sliding friction coefficient on winter roads surfaces using MASS (Multi-Axial Sensing System) vehicle

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2011-08-23 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 福原, 輝幸, 藤本, 明宏, 渡邊, 洋, 小林, 一治, 宮崎, 長生 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10098/3771

福井大学地域環境研究教育センター研究紀要
「日本海地域の自然と環境」
No. 12, 11-17, 2005

MASS 車を用いた雪氷路面でのすべり摩擦計測

Measurements of sliding friction coefficient on winter roads surfaces using MASS (Multi-Axial Sensing System) vehicle

福原　輝幸[*1]
（福井大学工学部建築建設工学科）
藤本　明宏[*1]
（福井大学大学院工学研究科）
渡邊　　洋[*2]
（株式会社　水工工学研究所）
小林　一治[*3]
（国土交通省北陸地方整備局）
宮崎　長生[*4]
（日本電子工業株式会社）

1. はじめに

今冬の日本道路公団における日交通量調査より、全国の高速道路の総日交通量に占める積雪寒冷地域の日交通量の割合（H14 および H15 の年平均値は 34%）は、平成 16 年冬期（2 月～4 月）において、33%を占めた [1]。これは近年の降積雪量の減少に伴い、冬期に積雪寒冷地を往来する交通量が、非冬期のそれと遜色ないことを示している。このような背景から、積雪地と非積雪地を結ぶ主要道路の雪寒対策は、冬支度を施さずに流入する車両への対応に苦慮している。例えば、近畿では福井県敦賀地域や兵庫県豊岡地域が、北陸では新潟県湯沢地域が、東北では福島県郡山地域が、それらに該当すると言えよう。

冬期道路の路面状況は時間的かつ空間的に変化し易いことから、その危険性をドライバーへ的確に知らせ、その地域の状況に見合った路面管理を施すことが重要となる。しかしながら、現状では路面の危険性をフィールドで容易に計測し、道路管理に活かす技術およびその危険性を的確に予測する技術は充分ではない。そこで、筆者らは新たに開発した MASS（Multi-Axial Sensing System）車 [2]を用いて、これまで冬期路面のすべり摩擦係数 μ（以下、μ と呼称）を計測し、本システムの有効性および道路雪氷性状と μ の関係を検証してきた [3),4)]。また、この成果を熱収支解析を基にした道路雪氷性状予測モデルの計算スキームに取り込み、最終的には気象予測と組合わせて、数時間から十数時間後の路面 μ の予測を目指している [5)~7)]。

本論では 2003 年冬期に福井県大野市で実施した MASS 車と路面すべり測定車（土木研究所新潟試験所所有）との μ 比較試験結果を基に、MASS 車における μ 計測の信頼性を検証するとともに、道路雪氷の物理的特性と μ との関係について報告する。

キーワード：すべり摩擦係数、圧雪路面、凍結防止剤、MASS 車

*1 Teruyuki Fukuhara, Akihiro Fujimoto
(Department of Architecture and Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Fukui, Fukui, 910-8507)
*2 Hiroshi Watanabe
(Suiko Engineering Co., Tokyo, 105-0003)
*3 Kazuharu Kobayashi
(Ministry of Land, Infrastructure and Transport Hokuriku Regional Development Bureau., Niigata, 951-8505)
*4 Nagao Miyazaki
(Japan Electronics Industry, Osaka 544-8691)

表－1　路面すべり測定車に関する諸元

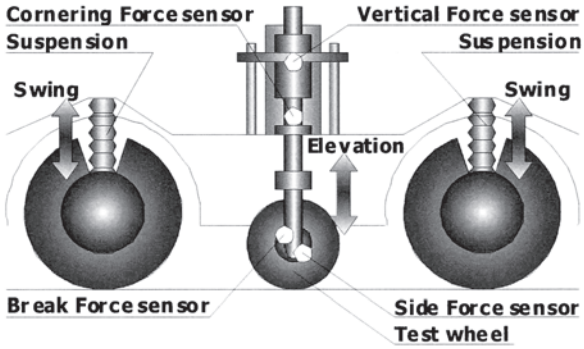
測定車仕様諸元		すべり抵抗測定装置の諸元	
全長(mm)	8990	形式	垂直昇降式縦横両用型
全幅(mm)	2300	測定種類	100%制動時の縦すべり0～30度の横すべり
全高(mm)	3100以下	検出方法	水晶圧電式3成分力センサー
重量(ton)	9.0未満	最大輪荷重(kN)	5

表－2　MASS車に関する諸元

測定車仕様諸元		すべり測定装置の諸元	
全長(mm)	4735	形式	MASS※(懸架装置埋め込み型)
全幅(mm)	1760	測定種類	任意制動時の縦すべりおよび横すべり
全高(mm)	1475以下	検出方法	高精度4軸方向μセンサー
重量(ton)	1.66		※Multi-Axial Sensing System



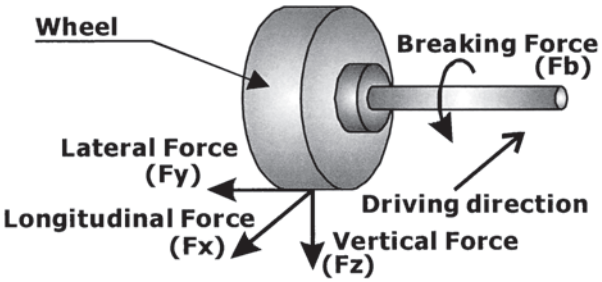
写真－1　路面すべり測定車の外観



図－1　　垂直昇降式縦横両用型すべり測定装置の概要



写真－2　MASS車の外観

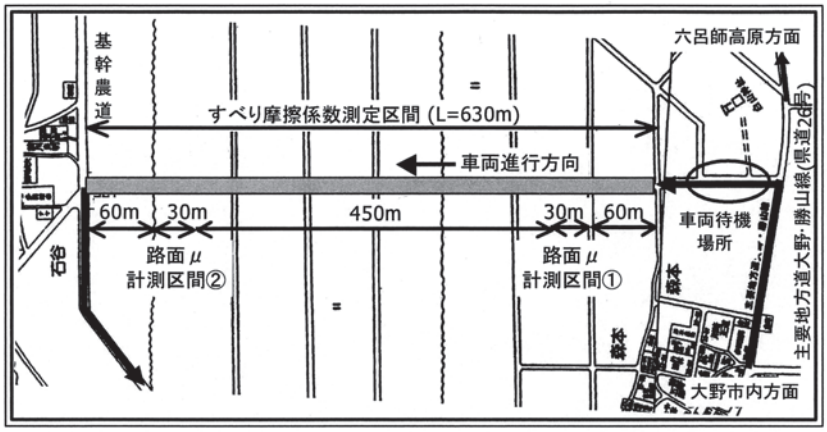


図－2　　μセンサーの概要

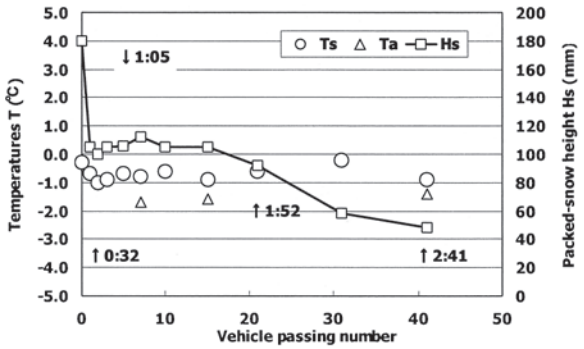
2.　計測車両の概要

2.1　路面すべり測定車

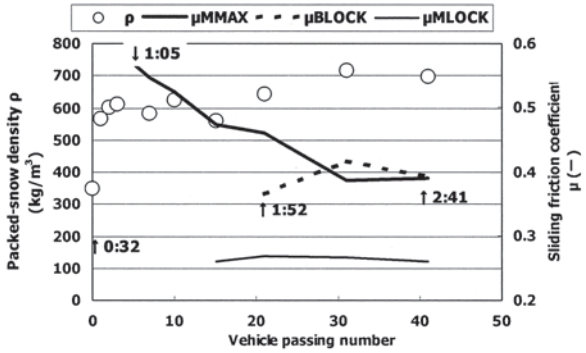
写真－1に路面すべり測定車(以下、BUS車と呼称)の概観を、図－1にはBUS車に搭載された垂直昇降式縦横両用型すべり測定装置の概要を、それぞれ示す。また、表－1 には BUS 車に関する諸元を示した。図－1より、本装置では走行中に試験輪(走行輪とは別の計測用標準冬タイヤを装着した第5番目の車輪)の



図－3　水平試験路と計測区間の概要（凍結防止剤の散布なし）



図－4　車両の通過に伴う圧雪高さ Hs、気温 Ta および雪温 Ts の変化

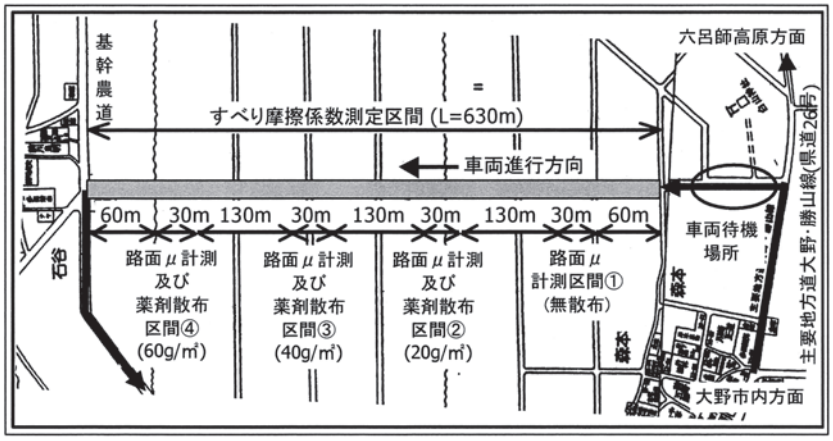


図－5　車両の通過に伴う圧雪密度 ρ およびすべり摩擦係数 μ の変化

みに制動を加えたとき（100%制動）に発生する路面とタイヤとの間の摩擦抵抗力を検出する。なお、BUS 車は国内の道路研究機関では最も普及した試験車両である。一方、空港施設などでは国土交通省の規定により SAAB Friction Tester（通称、SFT）車が多く採用されている。

2.2　MASS 車

写真－2 に MASS 車の概観を、図－2 に MASS 車に搭載されたサスペンション埋め込み型の高精度 4 軸方向 μ センサーの概要を、それぞれ示す。また、表－2 には MASS 車に関する諸元を示した。図－2 より、本装置では独自に開発したニュートラルスポット・センシング技術 [2]により、走行および制動中に生じる懸架装置の内部応力を 0.1msec のサンプリング間隔で抽出する。また、計測される負荷加重は車両進行方向摩擦力（Fx）、車両水平方向摩擦力（Fy）、車両垂直方向力（Fz）、車両軸回転方向の力（Fb：制動力）の 4 種類であり、これらの値から路面の μ を計測する。なお、前報 [6]のとおり、MASS 車は約 0.1msec（本試験で用いた BUS 車のサンプリング間隔は 10msec）の極めて短いサンプリング能力によって、これまで不感域とされていた路面 μ の最大値 μ_{MAX} の検知も可能であり、この高精度特性を活かしたブレーキ・アクチュエーター制御によって、実際に道路走行しながら μ 計測ができる。よって、加速度計を用いた μ 計測に要求されるような、交通規制や危険を伴う急制動が不要である。さらに、4 輪の各輪に μ センサーが内蔵されており、それぞれ独立して、μ を計測する。なお、MASS 車ではブリヂストン社製のスタッドレスタイヤを用いた。

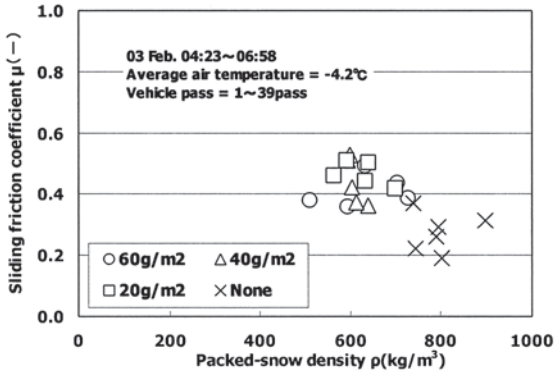


図－6　　水平試験路と計測区間の概要（凍結防止剤の散布あり）

3.　冬期道路におけるすべり摩擦特性試験

3.1　車両の通過に伴う雪氷性状とすべり摩擦係数μの特性（水平路における野外実験）

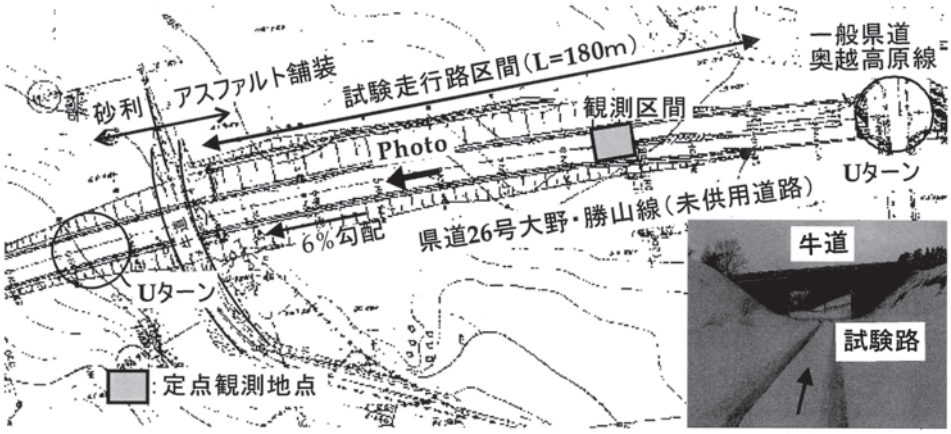
図－3 に 2003 年 2 月 3 日の未明に実施した水平路における野外実験の走行路の概要を示す。この実験では、車両の通過に伴う圧雪密度 ρ および μ の関係を明らかにすることを目的とした。同図より、実験路線は福井県大野市郊外の縦断勾配のない平坦な農道であり、通常冬期は閉鎖される。よって、あらかじめ実験開始前に 15cm の積雪を残して、ロータリー除雪車で除雪を行った。また、路線内には縦断勾配のある箇所（図中では車両待機場所が該当）もあったが、測定のための 2 箇所は水平路部分（図中の計測区間①および②）とした。実験方法は、BUS 車および MASS 車を含む 4 台の車両で同試験路を繰返し走行し、圧雪密度、気温、圧雪硬度および圧雪厚さの変化およびそれに伴う μ の変化を、それぞれ観測した。なお、BUS 車の試験輪は車体の左側に設置されており、大型バスと普通車ではトレッド幅（左右輪間の距離）に相違があることから、この繰り返し走行では各車両の左輪が毎回同じ走行軌跡を辿るように配慮した。また、後述する MASS 車による μ（最大値の μ_{MMax} および 100%制動時の μ_{MLock}）はすべて左前輪の計測値を採用した。



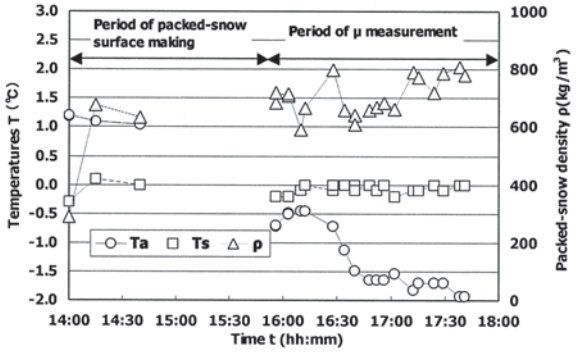
図－7　　凍結防止剤散布時における圧雪密度 ρ とすべり摩擦係数 μ の関係（散布無しおよび 20、40、60g/m² 散布時の比較）

図－4 に車両の通過台数の増加に伴う圧雪高さ Hs、気温 Ta および雪温 Ts の変化を示した。同図より、車両の通過に伴って、圧雪高さ（□）は 180mm から 100mm 前後に急激に減少し、その後緩やかに 50mm まで低下した。また、雪温（○）は試験期間中は-1～0℃の範囲で氷点下を推移し、平均気温（△）は-1.5℃程度であった。

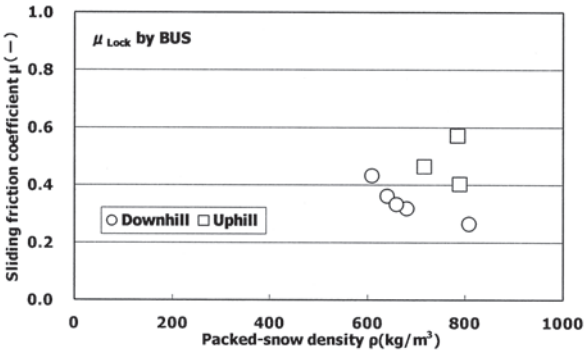
図－5 に計測区間①で得た圧雪密度 ρ、MASS 車による μ_{MMax} および μ_{MLock}、ならびに BUS 車による 100%制動時の μ_{BLock} の経時変化を示す。同図より、ρ（○）は開始から数台の通過で 300kg/m³ から 600kg/m³ 程度に倍増する。その後、ρ は実験終了まで徐々に増加し、40 台通過後には 700kg/m³ に達した。一方、MASS 車の μ_{MMax}（太実線）は車両の通過とともに低下し、0.4 程度となる。また、MASS 車の μ_{MLock}（細



図－8　水平試験路と計測区間の概要（凍結防止剤の散布あり）



図－9　試験期間中における気温 Ta、雪温 Ts および圧雪密度 ρ の経時変化

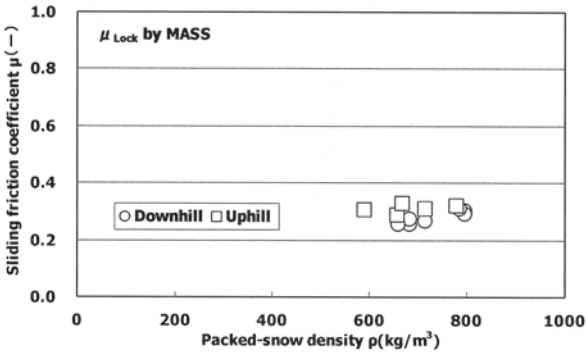


図－10　縦断勾配の違いによる BUS 車における μ_{Lock} の比較

実線）は 0.26 を、BUS 車の μ_{BLock}（太点線）は 0.35～0.42 程度をそれぞれ推移し、BUS 車の μ_{BLock} が、MASS 車のそれよりも相対的に大きな値を示した。

3.2　凍結防止剤の散布および車両の通過に伴う雪氷性状とすべり摩擦係数 μ の特性（水平路における野外実験）

図－6 に 2003 年 2 月 4 日未明における凍結防止剤を散布した水平路野外実験の走行路の概要を示す。ここでは、凍結防止剤の散布および車両の通過に伴う圧雪密度 ρ および μ の関係を評価した。同図より、計測区間は 4 箇所設定され、走行開始地点から順に、計測区間①で凍結防止剤の散布を無しとし、計測区間②で 20g/m² を、計測区間③で 40g/m² を、計測区間④で 60g/m² を、それぞれ均一に圧雪面に散布した。これは、いわゆる事後散布に該当する。また、圧雪密度等の雪氷観測および μ 計測は先述の試験手法に従った。なお、散布量の多い区間でタイヤや車両ボディーに付着した凍結防止剤が、他の測定区間の測定値に影響を及ぼさないように、車両の走行方向は①、②、③および④の順に走行する一方通行とした。



図－11　縦断勾配の違いによる MASS 車における μ_{Lock} の比較

図－7 に凍結防止剤散布時における圧雪密度 ρ と μ（MASS 車および BUS 車で計測した μ_{Lock}）の関係を、散布無し（×）、20g/m^2（□）、40g/m^2（△）および 60g/m^2（○）の 4 ケースについて、それぞれ示した。同図より、ρ は車両の通過に伴って、500～900kg/m^3 の範囲で推移したことが判る。また、ρ は凍結防止剤を散布した 3 ケース（○、△、□）に比べて、散布無し（×）のケースで高いことから、凍結防止剤の散布により、圧雪の硬化が抑制される傾向にあった。一方、μ は凍結防止剤の散布により、0.36 以上の値を示し、散布無し（×）よりも μ は大きかったが、散布量の違い（○、△および□）によるすべり防止効果については、明瞭な違いを得ることができなかった。なお、同試験中の平均気温は-4.2℃で、雪温も氷点下を推移しており、目視観測からも気象の影響による雪面融解は観察できなかった。

3.3　縦断勾配の違いに伴う雪氷性状とすべり摩擦係数 μ の特性（勾配路における野外実験）

図－8 に 2003 年 2 月 3 日に実施した BUS 車および MASS 車における縦断勾配の違いに伴う μ 計測特性実験の走行路の概要を示す。本路線は供用前の市道で縦断勾配は約 6%であり、あらかじめ実験開始前に 15cm の積雪を残して、ロータリー除雪車両で除雪を行った。なお、ここでは路線内に 1 箇所の計測区間を設け、BUS 車および MASS 車を含む 4 台の車両で試験路を繰返し走行し、規定の車両台数通過時に BUS 車および MASS 車で μ を、観測員によって雪氷物性を、それぞれ観測した。

図－9 に試験期間中における気温 Ta、雪温 Ts および圧雪密度 ρ の経時変化を示す。同図より、14 時から 16 時までは圧雪路面の作成期間であり、これによって ρ は初期の 280kg/m^3 からおよそ 700kg/m^3（試験開始時）にまで増加した。また、試験終了時の 17 時 30 分頃にはおよそ 800kg/m^3 となった。一方、気温の経時変化は 16 時ですでに氷点以下にあり、その後時間経過とともに低下し、実験終了時には約-2℃となった。また、雪温は試験期間中を通して氷点付近を推移した。

図－10 に縦断勾配の違いによる BUS 車の μ_{Lock} と ρ の関係を示す。同図より、BUS 車で計測した μ_{Lock} は ρ が概ね 600～800kg/m^3 の範囲で変化し、下り勾配では ρ の増加に伴って、μ の低下が観察される。しかしながら、登り勾配においては計測値にばらつきが見られることに加えて、相対的に下り勾配のそれよりも大きな値を示す。しかしながら、前報 [3]の試験結果では、これと逆の現象（BUS 車は下り勾配で登り勾配よりも大きな μ_{Lock} 値を示す）が生じており、これら 2 回における試験結果の違いについては、今後検証を進める必要がある。

図－11 に縦断勾配の違いによる MASS 車の μ_{Lock} と圧雪密度 ρ の関係を示す。同図より、MASS 車で計測した μ_{Lock} は登り勾配および下り勾配ともに 0.3 付近の値を示していたことが判る。よって、MASS 車においては縦断勾配の違いが μ 計測へ及ぼす影響は見受けられなかった。これは、図－1 および図－2 で示した通り、BUS 車では μ 計測のための感知センサーが、車体を懸架するサスペンションの上側に設置されているのに対して、MASS 車ではサスペンションの下側（サスペンションと車輪との間に介在する剛性の高い構成部材の内部）に設置されていることに起因すると考えられる。

4.　おわりに

冬期路面における高精度 4 軸方向 μ センサーを採用した MASS（Multi-Axial Sensing System）車の有効性を調べるために、新潟試験所所有の路面すべり測定車との比較検証を行った。

以下に、本研究より得られた知見を列挙する。

1) 冬期道路において、5 台以上の車両が通過した後の圧雪密度 ρ は 600～700kg/m^3 程度の値となる。また、MASS 車における μ の最大値 μ_{MMAX} の結果から、車両の通過、すなわち ρ の増加に伴う雪氷路面 μ の低下を把握することができた。
2) BUS 車の 100%制動時の μ_{BLock} に比較して、MASS 車の μ_{MLock} は小さい値を示し、両者の相違が水平路でも確認された。
3) 凍結防止剤の散布により、圧雪密度 ρ の上昇が抑制され、散布しない場合に比べて ρ は低い値となる傾向がある。一方、μ_{Lock} は凍結防止剤の散布により、高い値を示す。
4) BUS 車で計測した μ_{Lock} と MASS 車のそれは、縦断勾配によって相違があり、今回の試験に限っては登り勾配で BUS 車の μ_{Lock} が大きくなる傾向にあった。
5) MASS 車の μ_{Lock} は縦断勾配に依存せず、登り勾配および下り勾配ともに圧雪密度 600～800kg/m^3 の雪氷路面上で、概ね 0.3 の値を示した。

以上の結果より、MASS 車による μ 計測の有効性が示唆され、道路雪氷性状と μ の関係を明らかにすることができた。今後は、暖地積雪地域で出現頻度の高いシャーベット路面などのすべり摩擦特性の解明に着手するとともに、縦断勾配の違いに依存する BUS 車の μ 計測特性を検証すること、換言すれば、MASS 車との比較計測による相関から補正式を算出する手法の開発などにも着眼点を移す必要があると考えている。また、その際には MASS 車へ装着する試験用タイヤの標準化も検討を進めることが望ましい。

5. 参考文献

1) 例えば、JH 日本道路公団、2004、年報－平成 15 年事業の概要と道路統計－、日本道路公団年報.
2) Nagao Miyazaki, Shu Ueno, Hajime Tamaki, Ryoji Hironaka, Tomohiro Yamaguchi and Chunliang Li, 2001, Development of High-Quality Multi-Axial Sensing System (MASS) for Direct Measurement of 4 Directional Forces and Coefficient of Friction in Real Time、SAE 2001 World Congress.
3) 安藤達弥・福原輝幸・横山孝男・渡邊洋・井良沢道也・林健一・荒川智之、2001、冬期道路の路面凍結予測に関する研究－MASS センサーを用いたすべり摩擦計測に関する検討－、第 17 回寒地技術シンポジウム寒地技術論文・報告集, Vol. 17, pp. 191-196.
4) Akihiro Fujimoto, Teruyuki Fukuhara, Hiroshi Watanabe, Toshiya Takeshi and Nagao Miyazaki, 2004, Friction coefficients on winter road surfaces using Multi-Axial Sensing System vehicle, Proceedings of the Fifth International Conference on Snow Engineering, pp.5-8.
5) 渡邊洋・木曽忠幸・福原輝幸、2000、橋梁道路における霜の発生に及ぼす橋梁微気象の影響とすべり抵抗、日本雪工学会誌、Vol. 16、No. 2、pp. 3-14.
6) 荒川智之・渡邊洋・福原輝幸・林健一・市ノ瀬榮彦、2000、熱収支法による路面凍結解析—乾燥、湿潤および積雪路面における熱的挙動—、第 16 回寒地技術シンポジウム寒地技術論文・報告集、Vol.16、pp.389-395.
7) 武士俊也・福原輝幸・横山孝男・渡邊洋・林健一・藤本明宏、2002、熱収支法による路面凍結解析—車両タイヤ-圧雪層-路面間の熱移動—、第 18 回寒地技術シンポジウム、Vol. 17、pp.71–76、2002.