

Sliding Friction Coefficient on Winter Road Measured by Multi-Axial Sensing System (MASS) Vehicle

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2010-10-19 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 福原, 輝幸, 渡邊, 洋, 荒川, 智之, 玉置, 肇, FUKUHARA, Teruyuki, WATANABE, Hiroshi, ARAKAWA, Tomoyuki, TAMAKI, Hajime メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10098/2533

MASS 車による冬期路面のすべり摩擦計測

Sliding Friction Coefficient on Winter Road Measured by Multi-Axial Sensing System (MASS) Vehicle

福原 輝幸
 (福井大学工学部建築建設工学科)
 渡邊 洋
 (株式会社水工工学研究所)
 荒川 智之
 (国土交通省近畿地方整備局)
 玉置 肇
 (日本電子工業株式会社)

はじめに

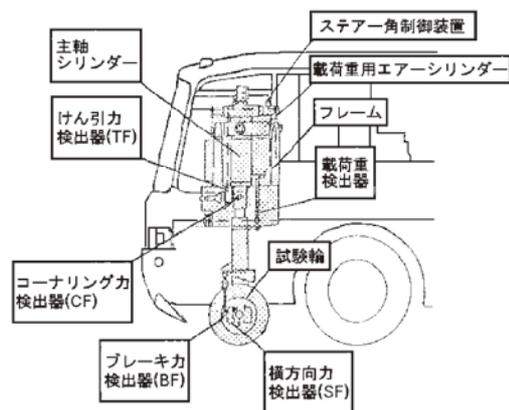
近年、道路利用者のニーズは多様性を増し、安全で円滑な道路サービスを提供するために、高い路面管理水準が要求されている。しかしながら、今後の冬期道路利用は道路管理者側の維持管理水準の向上のみならず、ITSなどを積極的に活用した道路利用者の利用水準の向上を併せて推し進めることも重要である。これまで、筆者らは冬期路面の危険性をすべり摩擦係数を用いて評価してきた^{1),2)}。しかしながら、すべり摩擦係数をフィールドで検知する計測手法は、十分に満足されていない現状にある。よって、取り扱いが容易なセンシングデバイスを開発し、危険な路面を定量的に評価する手法の確立が急務となっている。

表一 新潟試験所すべり抵抗測定車両に関する諸元⁴⁾

測定車仕様諸元		すべり抵抗測定装置の諸元	
全長 (mm)	8900	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	水晶圧接式3成分力センサー
重量 (ton)	9.0未満	最大輪荷重 (kN)	5



写真一 新潟試験所すべり抵抗測定車両の概観



図一 垂直昇降式縦横両用型すべり測定方式の概要⁴⁾

(キーワード: sliding friction coefficient, winter road maintenance, snowy and icy road surface)

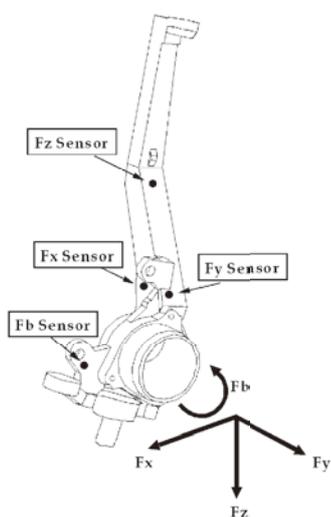
Teruyuki FUKUHARA (Faculty of Engineering Fukui University)
 Hiroshi WATANABE (Suiko Engineering L.T.D.)
 Tomoyuki ARAKAWA (Ministry of Land, Infrastructure and Transport)
 Hajime TAMAKI (Japan Electronics Industry L.T.D.)

表－2 MASS 型測定車両に関する諸元

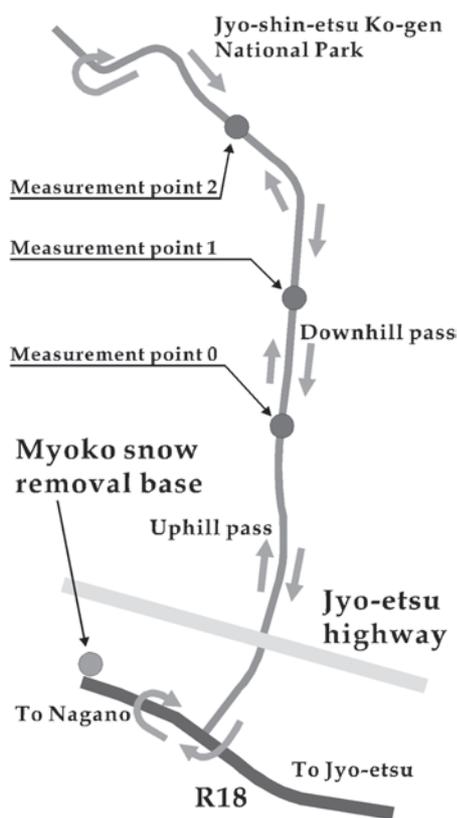
測定車仕様諸元		すべり測定装置の諸元	
全長 (mm)	4735	形式	MASS※ (懸架装置埋め込み型)
全幅 (mm)	1760	測定種類	任意制動時の縦すべりおよび横すべり
全高 (mm)	1475以下	検出方法	高精度 4 軸方向 μ センサー
重量 (ton)	1.66		※Multi-Axial Sensing System



写真－2 MASS 型測定車両の概観



図－2 MASS による μ センサー設置の概要



図－3 すべり摩擦合同調査試験地の概要

そこで、本研究では新しく開発されたアンチロック・ブレーキング・システム・センサー（日本電子工業製、ここでは MASS³⁾と呼称）を搭載した走行中の車両から、無制動で瞬時に路面のすべり摩擦係数を計測する技術の検討を目的として、今冬の新潟県新井市の国道で実施したすべり抵抗測定車両（土木研究所新潟試験所所有）との合同試験結果を基に、冬期雪氷路面上におけるすべり摩擦係数の実証試験について報告する。

1 計測車両の概要

1.1 新潟試験所すべり抵抗測定車両

写真－1 に新潟試験所すべり抵抗測定車両の概観を、表－1 に同車両に関する諸元を示す。また、図－1 には測定車両に搭載された垂直昇降式縦横両用型すべり測定装置（同図は土木研究所所有車を参照⁴⁾）の概要を示す。同図より、本装置では走行中に試験輪（走行輪とは別の第5番目の車輪）のみ制動を加えたとき（100%制動）、また舵角（ステア角）を生じたとき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。ここで、前者は縦すべり摩擦抵抗力、後者は横すべり摩擦抵抗力である。この縦すべり摩擦抵抗力を輪荷重で除したものを縦すべり摩擦係数（以下、すべり摩擦係数 μ と呼称）として算出する。なお、同試験車両は2000年9月末に（財）日本自動車研究所にて実施されたす

べり摩擦試験車両合同試験（国土交通省、大学などの研究機関が所有する車両との測定精度の同時試験）により、十分な精度検証がなされた⁴⁾。

1.2 MASS 型測定車両

写真-2 に MASS 型測定車両の概観を、表-2 に同車両に関する諸元を、それぞれ示す。また、図-2 に測定車両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 センサーの設置概要を示す。同図より、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⁵⁾により、走行および制動中に生じる懸架装置（ステアリングナックル、ロアアーム等）の内部応力を 0.1msec サンプルングで抽出する。同図に示すように、計測される負荷加重は車両進行方向 (F_x)、車両水平方向 (F_y)、車両垂直方向 (F_z)、車両軸回転方向 (F_b : 制動力) の 4 種類である。これらの計測値を利用すれば、路面の摩擦係数計測のみならず、ABS 装置の電子制御等にも応用が可能となる。

2 冬期道路における比較実験

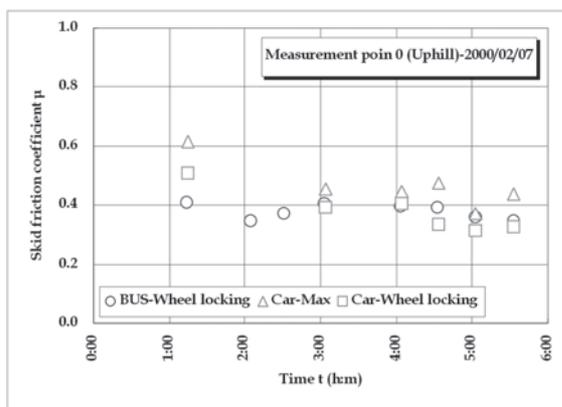
2.1 実験概要

図-3 に 2001 年 2 月 7 日～8 日の 2 日間（いずれも午前 2 時～6 時の間で実験）に亘って実施した実験走行路の概要を示す。実験路線は、一般国道 18 号沿いの県道（杉野沢～二俣線）であり、夜間の交通量は極めて少ない。また、本路線は概ね坂路であるが、計測箇所は其中でも比較的平坦な直線区間を選択した。同図に示すように計測箇所は、往路および復路ともに 3 箇所（計測地点 0～2 で合計 6 箇所を測定）であり、往路は上り勾配、復路は下り勾配となる。実験方法は、新潟試験所すべり抵抗測定車両（以下、バス車と呼称）を先導に、MASS 型測定車両（以下、MASS 車と呼称）、新潟試験所指令車（安全確保車両）の順で走行し、すべり摩擦の計測を実施した。いずれの計測も安全確保車両により、十分な安全が確保される。また、指令車乗務員は路面状況の写真撮影も併せて実施した。

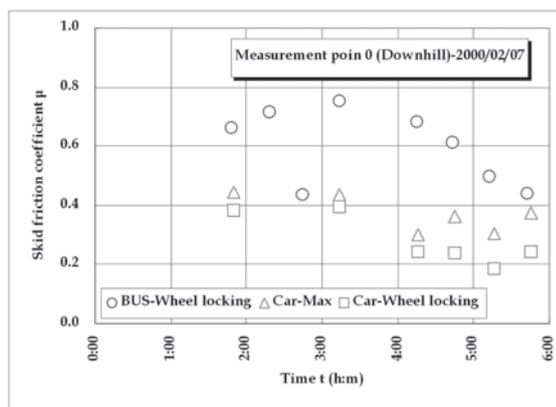
2.2 実験結果

図-4 (a)～(f) に 2001 年 2 月 7 日における当該路線（計 6 カ所）のすべり摩擦係数の経時変化を、それぞれ示す。同図にはバス車によるロック μ (○)、MASS 車による μ 最大値 (Δ) およびロック μ (\square) を併示した。同日の気象状況は概ね曇天で、路面には残雪があり、午前 4 時以降は路面凍結により滑り易い状態となった。なお、午前 5 時 30 分頃には凍結防止剤の散布（塩化ナトリウム）が行われた。まず、同図 (a) および (b) の結果（計測箇所 0）に注目すると、往路における測定結果は概ね 0.4 程度を示す。しかしながら、復路にあってはバス車 (○) の方で 0.3～0.4 程度値が大きくなっている。往路および復路での計測時間差は僅か 20 分程度であり、計測箇所における路面状態は、ほぼ同等であると判断できることから、登坂降坂勾配の相違が両者の計測値に影響を及ぼしたように思われる。次に、同図 (c) および (d) の結果（計測箇所 1）では、先出の結果と同様に往路者で計測した μ は良好な一致が見受けられる。しかしながら、復路ではバス車の方で高い値を示す。さらに、同図 (e) および (f) の結果（計測箇所 2）では、往復路ともにバス車で計測したロック μ (○) は、MASS 車のロック μ (\square) よりはむしろ μ の最大値 (Δ) と同様な値を示すことが判る。

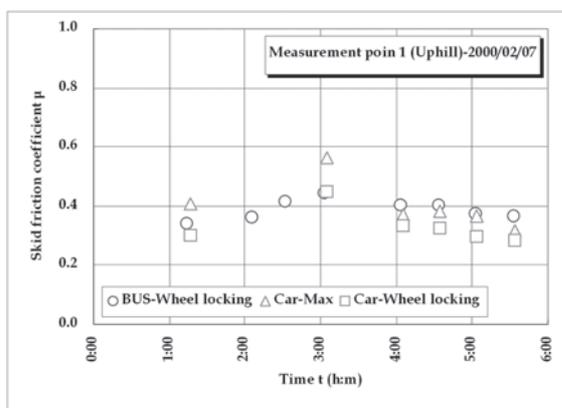
図-5 (a)～(f) に 2001 年 2 月 8 日における当該路線（計 6 カ所）のすべり摩擦係数の経時変化を、それぞれ示す。同日は実験開始から午前 3 時までは曇天、午前 3 時以降は降雪状態にあり、午前 4 時 40 分以降は激しい降雪が降り続いた（写真-3～写真-5 を参照）。また、路面状態は路面の圧雪に起因して、計測箇所 0 および 1 にて非常に滑りやすい路面が確認された。まず、計測箇所 0 の結果（同図 (a) および (b)）より、往路の計測値はバス車および MASS 車ともに良好な一致 (μ 値 0.35～0.45 の範囲) を示す。しかしながら、前日の結果と同様に復路において両者の計測値の著しい差が見受けられる。さらに、計測箇所 1 の結果（同図 (c) および (d)）においても、その定性的および定量的な傾向が同様に観察された。次に、測定箇所 2 の結果ではバス車および MASS 車ともに良好な一致が見受けられる。測定のばらつきは概ね 0.1 の範囲内である。なお、測定箇所 0 および 1 における MASS



(a) 計測ポイント0 (往路、上り勾配)



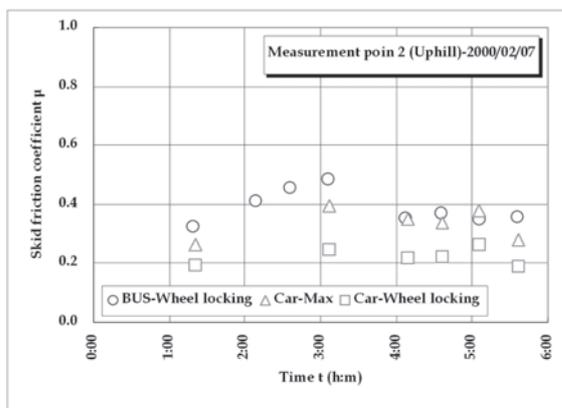
(b) 計測ポイント0 (復路、下り勾配)



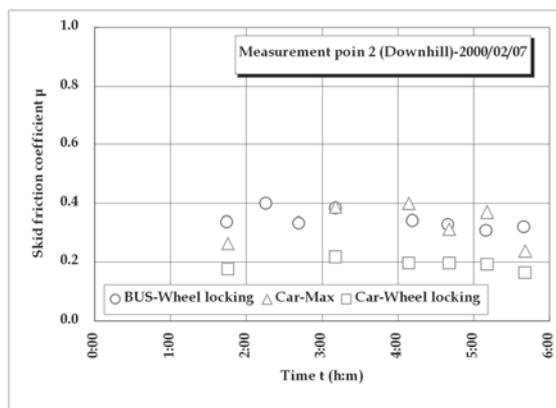
(c) 計測ポイント1 (往路、上り勾配)



(d) 計測ポイント1 (復路、下り勾配)



(e) 計測ポイント2 (往路、上り勾配)



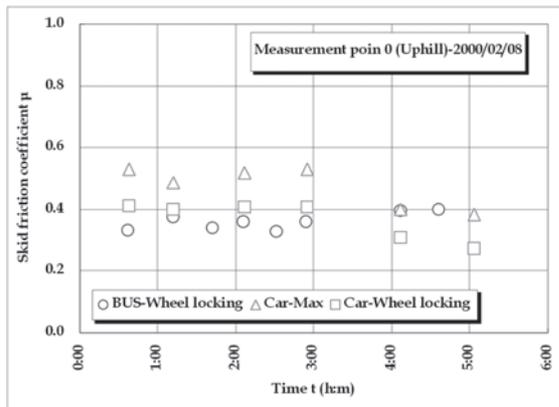
(f) 計測ポイント2 (復路、下り勾配)

図-4 2000年2月7日におけるすべり摩擦係数の経時変化

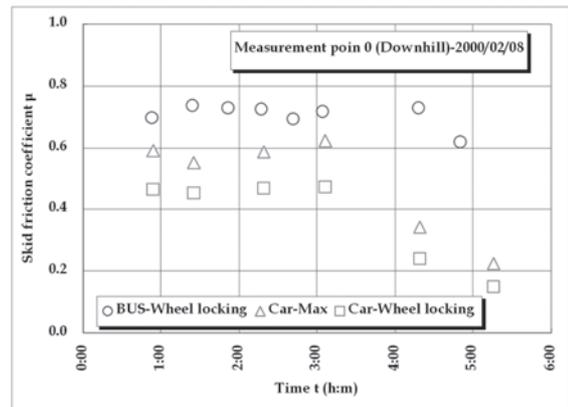
車の計測結果では、午前4時以降で降雪に伴う路面のすべり摩擦低下が明瞭に見受けられ、目視観測および走行中の制動安定性からもその妥当性を示唆していると思われる。

以上より、MASS車による計測(△および□)に比較して、バス車のそれ(○)は上り勾配(往路)と下り勾配(復路)との間に大きな相違が認められた。すなわち、道路勾配に依存するような計測特性が、MASS車では認め難いものの、バス車による計測では下り勾配の道路でより大きなすべり摩擦係数を観測する傾向にあることが判った。

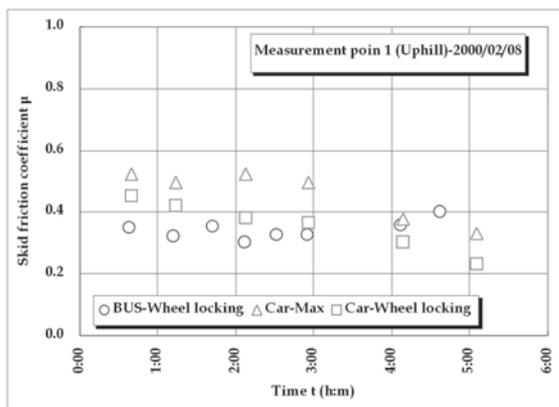
図-6および図-7に2月7日および8日におけるバス車とMASS車のすべり摩擦係数の関係を



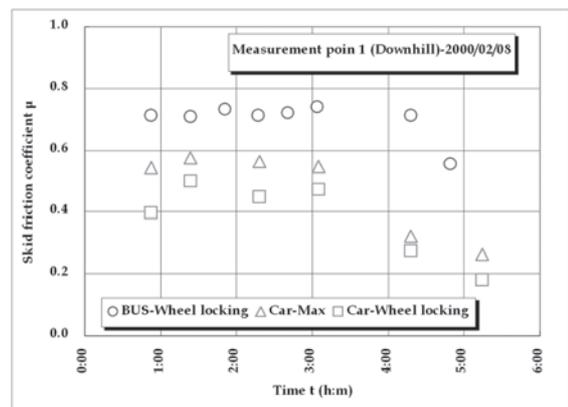
(a) 計測ポイント0 (往路、上り勾配)



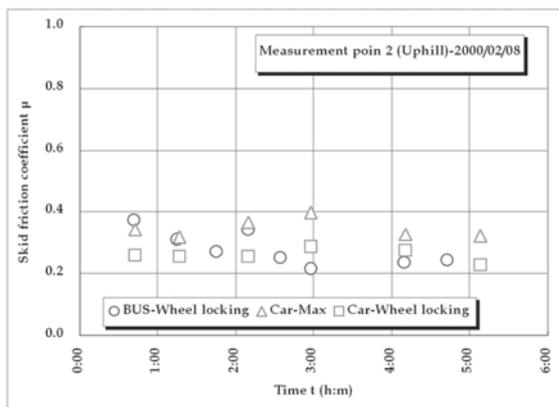
(b) 計測ポイント0 (復路、下り勾配)



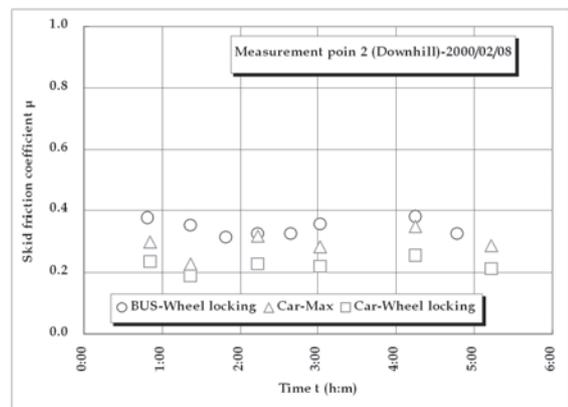
(c) 計測ポイント1 (往路、上り勾配)



(d) 計測ポイント1 (復路、下り勾配)



(e) 計測ポイント2 (往路、上り勾配)



(f) 計測ポイント2 (復路、下り勾配)

図－5 2000年2月8日におけるすべり摩擦係数の経時変化

示す。2月7日の計測結果より、バス車 (ロック μ) および MASS 車 (ロック μ および μ 最大値) における両者の相関は、バス車のロック μ に対する相関係数は MASS 車のロック μ で0.83、 μ 最大値で0.62の値を得た。また、これらの相関は低 μ 域で高く、高 μ 域で低くなる傾向にある。次に、2月8日の計測結果では、バス車のロック μ に対する相関係数は MASS 車のロック μ で0.87、 μ 最大値で0.68となった。また、前日の結果と同様に両者の相関は低 μ 域で高く、高 μ 域で低くなる。



写真-3 2月8日1時47分の路面状況



写真-4 2月8日4時17分の路面状況



写真-5 2月8日5時31分の路面状況

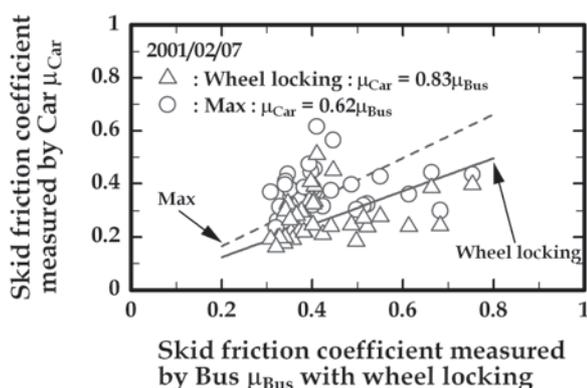


図-6 すべり摩擦係数の関係 (2月7日)

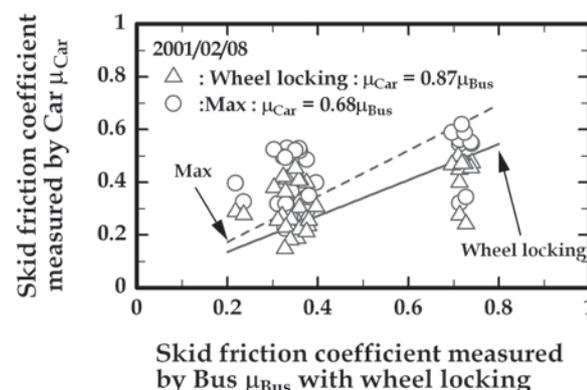


図-7 すべり摩擦係数の関係 (2月8日)

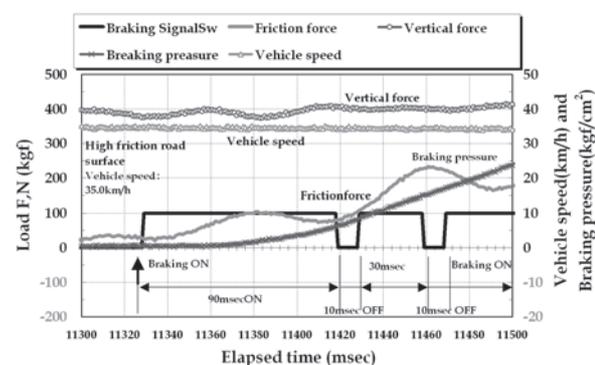


図-8 高 μ 路面制動時における制動制御信号、制動油圧、路面抵抗力、車両速度および垂直荷重の経時変化

3 無制動計測手法に関する検討

一般的に路面のすべり易さは、縦および横すべり摩擦係数 (ロック μ)、もしくは最大制動力係数 (μ_{max})を用いて、定量的に評価される。しかしながら、実際の一般公道ですべり摩擦係数を直接計測するためには、車輪ロック (あるいは、完全な停車状態) に至るまでの車両制動が必要となり、安全な計測手法とは言い難い。よって、本論ではこれらの問題点に留意し、制動を開始してから車輪ロックに至るまでの極めて短時間に、すべり摩擦係数を計測する手法の開発を試みた。ここではその検証結果を報告する。

3.1 実験概要

図-8 に高 μ 路面制動時における制動制御信号、制動油圧、路面抵抗力、車両速度および垂直荷

重の一般的な経時変化を示す。筆者らのこれまでの実験から、制動直後から車輪ロックに至るまで（約150msec以下）の路面抵抗力（太実線）は、同図に示すように高 μ 路面で僅かな増減を繰り返しながら非線形的に増大することが既知である。しかしながら、ここでは示していないが、低 μ および中 μ 路面においては、高 μ 路面時のような増減は見受けられず、緩やかな増加を示す。よって、路面抵抗力のリアルタイム解析により、走行中に極僅かな制動力を与えることで、路面抵抗力と路面のすべり易さの特性から、すべり摩擦係数の判別が可能となるのではないかと考えた。なお、ここで与える制動制御信号（90msec制動→10msec解放（1st-Judge）→30msec制動→10msec解放（2nd-Judge））は経験的に設定した閾値であり、2つの解放区間で路面のすべり摩擦係数の判定を試みる。また、総制動時間は120msec程度であり、同図の車両速度からも判るように、乗員が一連の制動制御に伴う変化を体感することはない。よって、安全性を損なわずにすべり摩擦係数を計測できる可能性が極めて高い。

本実験は2001年4月4日～5日に亘り、大阪産業大学生駒第8テストコースにて実施した。同コースには、高 μ 路面（乾燥アスファルト路面で μ 値0.6～0.7）、中 μ 路面（流水湿潤アスファルト路面で μ 値0.5～0.65）および低 μ 路面（流水湿潤リノリウムシート路面で μ 値0.1～0.25）の試験路面が、それぞれ準備されている。ここでは、前述した MASS 型車両の試験路面進入時の初期速度（制動時速度）を35および50km/hと変化させ、路面抵抗力の検証を行った。

3.2 実験結果

図-9に1回目の制動開放区間（10msec）における路面抵抗力の変化量を車両速度毎に示す。同図より、いずれの車両走行速度においても、路面抵抗力の変化量は高 μ および中 μ 路面で60kgfより小さく、低 μ 路面で90kgfより大きい。よって、低 μ 路面と高 μ および中 μ 路面を判別するための閾値は、80kgf付近が妥当と考えられる。しかしながら、高速走行時には両者の差異が小さくなることから、判定には注意を要する。

図-10に2回目の制動開放区間（10msec）における路面抵抗力の変化量を車両速度毎に示す。同図より、いずれの車両走行速度においても、路面抵抗力の変化量は低 μ および中 μ 路面で正値を、高 μ 路面で負値となる。よって、低 μ および中 μ 路面と高 μ 路面を判別するための閾値は、0kgf付近が妥当と考えられる。しかしながら、2回目の判定時では、高速走行時で閾値付近に値が集中することから、今後も実験データの蓄積および分析が必要である。

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すべり摩擦計測車両の有効性を調べるために、新潟試験所所有のすべり摩擦計測車両との比較検証を行った。また、車両の走行輪をロックさ

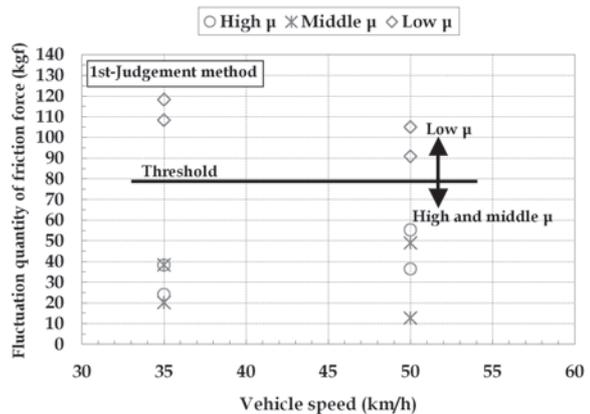


図-9 1回目の制動開放区間における車両速度毎の路面抵抗力の変化量

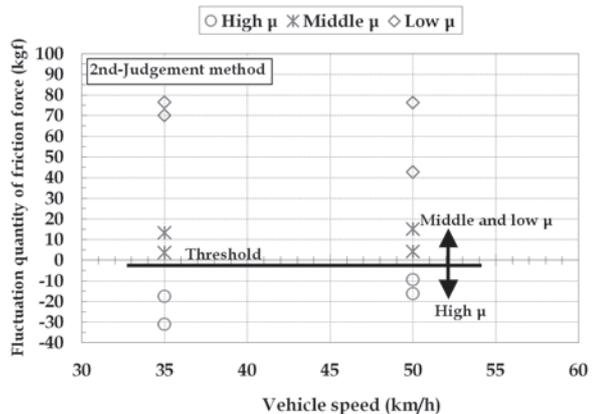


図-10 2回目の制動開放区間における車両速度毎の路面抵抗力の変化量

せることなく、走行中に路面のすべり摩擦係数を判別する手法についても実験的に検討を行った。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、バス車および MASS 車により計測したすべり摩擦係数の経時変化は、概ね良好な一致を見ることが出来た。しかしながら、降坂道路における計測結果では、バス車のすべり摩擦係数は MASS 車のそれを大きく上回ったことから、両者の計測条件の特性をさらに詳しく調べる必要がある。
- 2) バス車および MASS 車でそれぞれ計測したすべり摩擦係数の相関係数は、バス車のロック μ に対して、MASS 車のロック μ で相関係数 0.62 程度、 μ 最大値で相関係数 0.83~0.87 となった。
- 3) MASS 車における路面抵抗力のリアルタイム解析により、走行中であっても、すべり摩擦係数の計測が可能であることが示唆された。今後は、3 段階の路面状況の判定（高 μ 、中 μ および低 μ 路面）のみならず、さらに高精度なすべり摩擦係数の計測が可能となるようにデータ収集に努めたい。

本研究では MASS 型試験車両を用いた合同試験において日本電子工業(株)より、多大なる協力を受けた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 渡邊洋・木曾忠幸・福原輝幸：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、2000.4.
- 2) 荒川智之・渡邊洋・福原輝幸・林健一・市ノ瀬榮彦：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—、寒地技術論文・報告集、Vol.16、pp.389-395、2000.11.
- 3) 宮崎ら：リアルタイムで直接的に路面摩擦係数を測定できる新規センサーの開発とこれを用いた高性能なタイヤ・路面評価試験装置の製作に関する研究（NEDO 提案公募事業研究）、2001.
- 4) 土木研究所新潟試験所：路面すべり測定車の性能評価に関する試験及びデータ整理・分析業務報告書、土木研究所新潟試験所、2001.3.
- 5) Nagao Miyazaki, Shu Ueno, Hajime Tamaki, Ryoji Hironaka, Tomohiro Yamaguchi and Chunliang Li : 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、Detroit、Michigan、2001.3.