

ABS信号を用いたFF車両の路面摩擦係数計測 Road Friction Measurement System Using ABS Signals

高知工科大学 岡 宏一 熊谷 靖彦 児玉 迪弘

K. Oka, Y. Kumagai, and M. Kodama

Kochi University of Technology

Abstract This paper describes an improvement for the measurement system of the road friction between a tire and road. The principle of the measurement system is detecting the difference of the gradient of the relationship between the slip ratio of the tire and the acceleration of the car. When the road friction becomes low, the slip ratio changes larger about same deviation of acceleration. In this paper, we propose that the information of a GPS is used for the improvement for the measurement system. Sometime road has a slope and when the angle of the slope changes, the measurement system output has an error. The information of GPS may reduce this error. The experimental examination is verified this proposal.

1 はじめに

高知県などの温暖な地方でも、冬季の降雪や路面凍結、また中山間地域では橋上などの凍結がおこる。その場合には、このような路面に日頃慣れていないための事故が発生することがある。この対策として、路面の状況をリアルタイムで検知し、路面摩擦が低下している場合には注意を喚起するようなシステムがあると有効である。

凍結を検知することを目的として、赤外線カメラによる路面温度からの凍結検知、路面モデルと気象状況による凍結予想、滑り測定車を用いた路面摩擦測定、加速度計などによる車両の運動からの凍結検出などの方法が開発されている。しかし、これらの検出システムは、赤外線カメラを道路に施設する工事が必要、路面モデルのための気温や風速を計測する装置が必要、滑り測定のための別の車輪を持った車両が必要、など高価で大がかりなシステムとなる。また、加速度計を用いるシステムは、ブレーキをかけた場所だけの局所的な測定しかできない。このような、高価で大がかりなシステムを温暖な地方での凍結の対策として利用することは難しいと考えられる。

より簡便にリアルタイムで路面の摩擦状況を検出するシステムとして、ABS信号を用いた路面摩擦検出システムが開発されている[1]。この装置は、車の加速度とタイヤのスリップ率の関係から、路面摩擦を推定するシステムである。しかし、検出のために車の加速度変化を駆動力と考えて用いている装置であるため、勾配などがあると誤差を生じる要因となる。本研究では、この路面摩擦検出システムを用いた車両が、勾配の変化する道路を通過する場合の路面摩擦検出の誤差を低減するための方法を提案する。まず、本システムの原理を述べ、誤差が

発生する要因を説明する。つぎに、誤差を低減するためにGPSの情報をを用いることを提案する。実際の車両を用いて実験を行い、提案した方法の有用性を実証する。

2 路面摩擦測定システム

2.1 測定原理

車両が走行する場合、走行抵抗に相当する駆動力が必要である。タイヤを弾性体と考えると、駆動力はタイヤの軸とタイヤの接地部分との相対速度によって発生する。この相対速度をタイヤの軸速度で割った値をスリップ率といいタイヤの縦すべりを表している。一方駆動力を荷重で割った値を駆動力係数という。スリップ率と駆動力係数は、図1のようになる。この関係はタイヤと路面の $\mu-s$ 特性と呼ばれている。

今、路面の摩擦係数が小さくなると考える。するとタイヤの接地面内に存在するすべり面の面積が増加し、かつすべり域の剪断応力は小さくなると考えられる。結果的に、図に示すように同じスリップ率で得られる駆動力は小さくなる。このことは、図のような $\mu-s$ 特性をリアルタイムに推定することができれば路面の摩擦係数(滑りやすさ)を推定することが可能である。しかし、実際には駆動力係数を正確に求めることは困難である。なぜなら、駆動力はその時点での速度、路面状況、道路勾配などに影響され、これらの値をリアルタイムで同定することは難しいためである。

ここでの路面摩擦の検出の原理は、スリップ率が通常走行範囲のときのグラフの傾きの変化に着目するものである。通常走行領域では駆動力係数とスリップ率の関係はほぼ線形で、かつ路面の摩擦係数によって傾きが異なる。駆動力係数がある平衡点にあるとすると、その点が

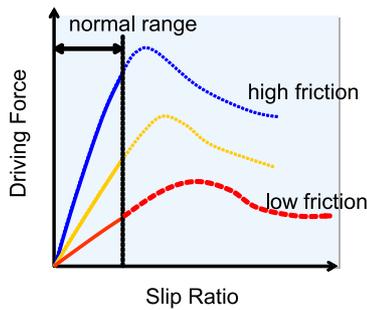


図 1: Characteristics between road friction and slip ratio

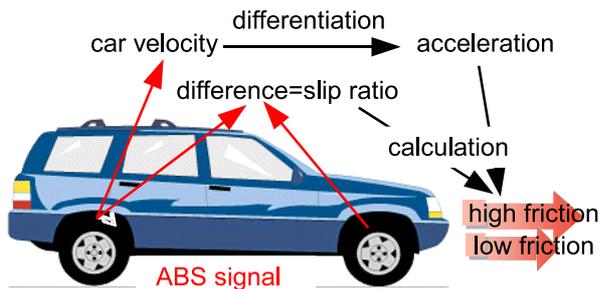


図 2: Signal flow for road friction measurement system

らの駆動力係数の変化は主に車体の加速度の変化と比例関係にあると考えられる。よって、車の加速度の変化率とスリップ率の変化率からその傾きを求めることによって摩擦係数を推定することが可能である。

2.2 測定方法

本システムを実際車で利用する場合の模式図を図2に示す。今回の報告では、温暖な地方での一般的な車両としてFF車を対象とする。4つの車輪の回転速度は、ABS信号を検出することによって得られる。図に示すように、FF車の場合には、従動輪である後輪の速度を車両の速度と考えることができ、その信号を微分すること

によって車両の加速度を得ることができる。また、駆動輪である前輪との速度差を求めることによって、スリップ率を求めることができる。車両の加速度とスリップ率が求まるので、その2つの傾きを計算し、路面摩擦を推定する。

しかし、スリップ率と加速度から傾きを計算する場合に、加速度以外の駆動力の影響を無視して傾きを求めている。無視したものの一つに道路の勾配がある。道路勾配は、図3に示すように車の駆動力に影響を及ぼすため、道路勾配の変化は加速度に影響を与え、傾きの計算の誤差要因となる。

2.3 GPS信号の利用による精度向上

道路勾配の変化が、誤差を生む要因となるため、車両に搭載されているGPSを利用することを提案する。GPSは現在の水平位置を知るとともに、南北方向、東西方向、上下方向の変位も情報として出力される。これらのデータから水平方向変位と上下方向変位から路面の勾配を検出することが可能である。求められた勾配に基づいて、図3より、 $g \sin \theta$ を加速度データに加えた加速度を、図1の傾きを求めるデータとして用いることによって誤差を抑制する。

現在、GPS装置はカーナビなどの普及とともに、通常の車両にも標準で取り付けられていることが多い。このことは、今回の提案の路面摩擦検出システムは、スリップ率や加速度を求めるためのABS信号とともに、車両に新たな装置の追加が不要となると考えられる。簡便な検出システムを構築するために、検出プログラムの追加のみで行える可能性がある。

3 路面摩擦測定実験

次にGPSを併用した場合の効果を示すため、跨線橋を走行する実験を行った。この跨線橋は線路の上を通るもので、最初に上り勾配後に下り勾配がある。この道路を、ドライ路面で走行速度をできるだけ60km/hとなるようにした場合、雨天の時に60km/hとなるように走行した場合、およびドライ路面で60km/h程度で車両速度に変動を与えるように走行した場合の3つの実験走行を行った。

このときの登り勾配前約5秒から30秒のデータを出力した結果を記録した。どの走行も勾配がある路面を走行する時間は20秒程度である。

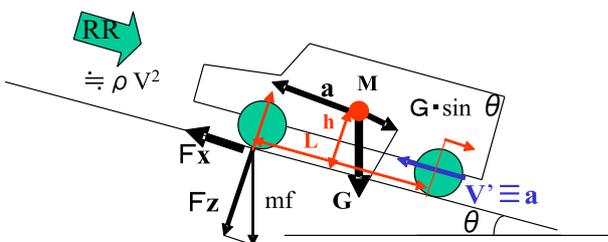


図 3: Illustration when a car is running at a slop

3.1 ドライ路面での通常走行結果

ドライ路面で車両速を 60km/h になるように走行した結果を、図 4 に示す。図の上から GPS の上下方向速度、車速、スリップ率、加速度、およびスリップ率を縦軸とし加速度を横軸として求めた傾きをハザード指標として記録した。

図 4 の一番上の図に示されている GPS 信号の上下方向の速度に注目すると、まず山がありその後谷がある。このことにより GPS 信号により路面勾配が検出できることがわかる。15 秒付近に速度の急激な変動があるが、これは観測誤差であると思われる。

また、2 番目の車両速度のグラフは約 16m/s を示しており、ほぼ 60km/h で走行していることがわかる。登り勾配では速度が遅くなり、下り勾配では速度が速くなっていることが確認できる。

3 番目の図はタイヤのスリップ率を表したグラフである。図からわかるように、登り勾配では値が高くなっており、下り勾配では値が負になっている。登り勾配では登坂力が必要なため、タイヤの駆動力を大きくする必要があるので大きくなり、下りではエンジンブレーキの効果で値が負になっていると考えられる。このように路面の勾配がスリップ率に影響を与えていることが確認された。

4 番目の図は車両の加速度のグラフである。赤い線は後輪の ABS 信号から求めた速度を微分して求めた加速度であり、青い線はその値に GPS 信号から求めた路面勾配を補正した加速度である。図からわかるように、GPS 信号による補正を行った加速度は登り勾配では正の値を下り勾配では負の値を安定して示している。これはスリップ率のグラフとよく似た結果になっており、補正によって両者の関係が精度よく求まることが期待できる。

最後の図は加速度を横軸にスリップ率を縦軸にとったグラフの傾きを示している。つまりこの値が大きくなると、路面の摩擦係数が低い状態であると判断できる。また、値が 0 となっているのは、傾きの出力値が負であるため、またはその他の理由で傾きを求められなかったためである。この結果が、最終的な路面摩擦係数の判断基準になるものであるが、GPS による補正を行った場合には 10 秒過ぎから 25 秒過ぎまで有効な値を出力していない。スリップ率と加速度のデータから GPS を使う効果は確認できているため、今回の結果より、傾きを求めるためのアルゴリズムの改善が必要であることが確認できた。

次にスリップ率と加速度の相関を確認するため、スリップ率を横軸、加速度を縦軸とし、走行の軌跡をプロット

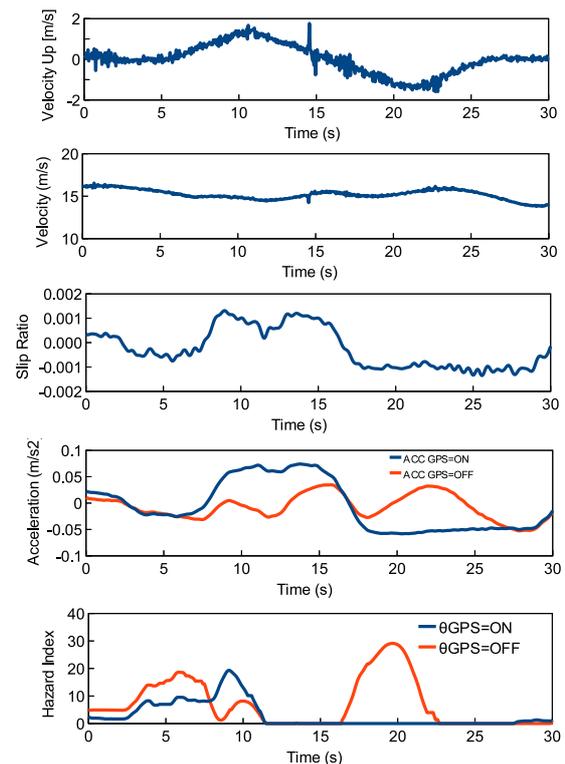


図 4: Experimental results when car runs at a slope

したグラフを図 5 に示す。図からわかるように補正前の赤い線より、補正後の青い線においてより強い相関関係があることが確認される。このことから今回の補正の有効性が確認される。

3.2 雨天時の走行データ結果

次に同じ道路を雨天に走行した結果を図 6 に示す。今回の結果は、図 5 と同様に走行の軌跡だけを示す。雨天での走行もドライ路面での走行と同様に、GPS 信号補正を行うことによってグラフの相関がより強くなることがわかる。また、ドライ路面での傾きと雨天での傾きにはほとんど差がなく、雨天とドライ路面での摩擦係数はほぼ同じであるという結果が得られた。

3.3 走行速度を変化させたときの結果

図 4 の最後の結果では、求めた傾きの値が有効でない期間があった。これに対処するため、車両の速度を変化させ（アクセルを踏む、離すを交互に行う）スリップ率と加速度に常に変化を与えるようにして測定を行った。結果を図 7 に示す。図からわかるように、今までの結果に比較して軌跡の変化が大きいがわかる。また、GPS 信号による補正を行った場合には、前述の結

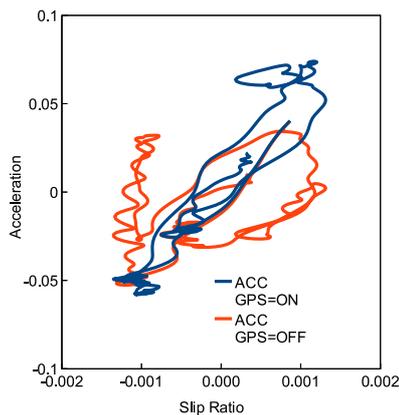


図 5: Locus of acceleration and slip ratio (dry road)

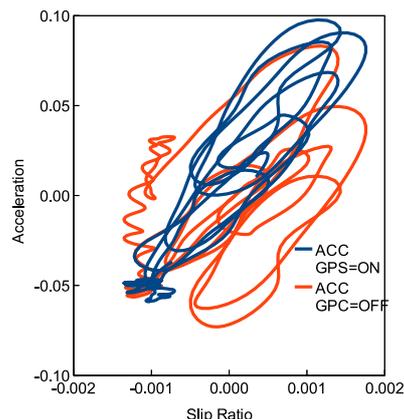


図 7: Locus of acceleration and slip ratio when speed changes

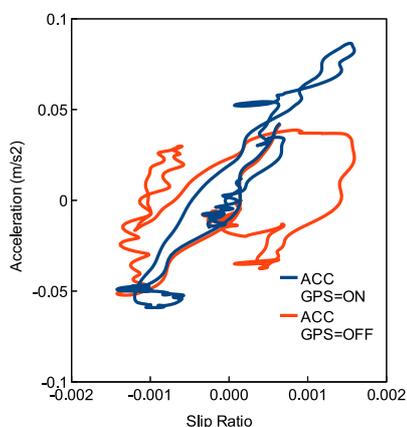


図 6: Locus of acceleration and slip ratio (wet road)

果と同様にスリップ率と加速度の相関は高い。しかし、実際に傾きを求めた結果によると、有効なデータ範囲が広がったとは言いがたい結果となった。この結果についての検討を現在行っている。

4 おわりに

ABS 信号を用いた路面摩擦検出装置を用いて、GPS 信号利用の有効性を検証した。結果は、摩擦推定のために用いる値の相関は高くなり、その意味では、有効性を確認できた。しかし、最終出力値を求めることについては、有効なデータとなっていないことが確認できた。このことについて、今後傾きを求めるためのアルゴリズムの検討などを行っていく予定である。

最後に、本実験装置を搭載した車両を提供していただき、またソフトの変更などにも協力いただいた住友ゴム工業株式会社情報研究部のみなさんに謝意を表す。

参考文献

- [1] 川崎裕章, 走行中のタイヤと路面間の滑りやすさ測定, 自動車技術会, 2001 年秋季大会, 2002