

小型四輪競技車両の左右交互旋回における性能評価

位田 晴良^{*1}, 猪又 亮翼^{*2}, 中村 允也^{*2}, 仲山 祐亮^{*2}

Performance Evaluation in Right and Left Alternation Turning of Small Race Cars

Haruyoshi IDA^{*1}, Ryosuke INOMATA^{*2}, Masaya NAKAMURA^{*2} and Yusuke NAKAYAMA^{*2}

^{*1} Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering

The basic motions of a car are "run", "turn", and "stop". Among these performances, turning performance affects the running speed and the competition results of the race car. In previous research, driving tests were conducted by a circumference road turning using the small race car to confirm the influence on the turning performance caused by the change in the tire inflation pressure and the damping force of its shock absorber mounted on the suspension. And appropriate tire inflation pressure for running the race cars with a little load movement was clarified. However, the turning speed influenced by the change in the damping force of the shock absorber was little. In this research, the turning performance by a slalom run of the small race car with the load movement for right and left alternation was evaluated, and the influence of the damping force was confirmed.

Key Words : Small Race Car, Turning Performance, Slalom Run

1. 緒 言

自動車の旋回性能を向上させるためには、車両の旋回特性を把握し、改善を行う必要がある。旋回性能は、自動車の操舵装置のみならず緩衝装置、駆動装置など多くの部品の動作特性とそれらの車両における構成方法により変化することに加え、車両の走行条件に影響される。これらのうち自動車のタイヤおよびサスペンションに設けられたショックアブソーバの特性は、路面の凹凸に対する衝撃吸収性や車輪の路面追従性に大きく影響するため旋回性能を左右する。

これまでの研究では⁽¹⁾、競技車両において最適なタイヤ空気圧およびショックアブソーバの減衰力設定を選定する指針を得るために、学生フォーミュラ大会⁽²⁾出場車両を用いた定常円旋回による走行実験を行った。その結果、実験車両に対する最適なタイヤ空気圧を明らかにしたが、減衰力設定の変更に対する旋回性能への影響を把握することはできなかった。これは、定常円旋回において、サスペンションにかかる荷重はほぼ一定であるため、ショックアブソーバの減衰作用が僅少であったことが考えられる。

そこで、本研究では、走行中の車両においてサスペンションにかかる荷重を変動させるため、学生フォーミュラ大会出場車両を用いた左右交互に旋回を行うスラローム走行により旋回性能を評価し、タイヤ空気圧およびショックアブソーバの減衰力設定が旋回性能に及ぼす影響を明らかにする。

2. コーナリングフォースの発生機構

2.1 タイヤ接地面の摩擦⁽³⁾

コーナリングフォースの発生は、タイヤ接地面のゴムの摩擦機構が大きく影響する。金属のように接触面において主に塑性変形が起こる物質と、ゴムのように主に弾性変形が起こる物質とでは、摩擦の発生機構が大きく異

* 原稿受付 2016年2月29日

^{*1} 工学部 機械工学科

^{*2} 工学部 機械工学科4年

E-mail: h-ida@fukui-ut.ac.jp

なる。一般に金属のような剛体については、摩擦係数（摩擦力/荷重）は垂直荷重や見かけの接触面積、滑り速度などに関係なく一定である一方、ゴムの場合は接触面で弾性変形が起こるため摩擦現象は複雑となり、荷重や接触面積、滑り速度といった要因によってゴムの摩擦特性は大きく影響を受ける。

路面には大小の凹凸があり、実際にタイヤが路面に接触している部分（真実接触部）は、ゴムが凹凸に沿うように変形している。駆動力や遠心力により路面と平行な力がタイヤに働く場合、凹凸形状となっているゴムの分子結合をせん断破壊する力を加えないとタイヤは平行移動しない。これは粘着摩擦と呼ばれており、ゴムの摩擦は主に粘着摩擦から成り立っていると考えられている。この摩擦力は分子の結合数に比例するため、金属のような剛体の場合、荷重を増やすと真実接触面積の増加に比例して摩擦力も大きくなり摩擦係数はほぼ一定であるが、弾性変形を生じるゴムの場合、真実接触面積は比較的大きいため、荷重が増加すると見かけの接触面積に近付くが、それ以上は荷重に比例して増加しなくなり、摩擦係数は減少することになる。したがってゴムの場合、荷重（接地面圧）が増加すると摩擦係数は減少する特性になる。

2.2 車両の荷重移動

旋回中の車両は、ばね上質量による遠心力の影響を受けて荷重移動（内輪の荷重は減少、外輪の荷重は増加）を生じるが、コーナリングフォースは減少する。すなわち、遠心力による荷重移動は、内輪の減少分と外輪の増加分は等しい（荷重の総和は変化しない）ことに対し、2.1節に述べるように摩擦係数およびコーナリングフォースは荷重に正比例しない非線形特性であり、外輪の増加分が内輪の減少分より小さいため、全体としてのコーナリングフォースは減少することになる。

前輪と後輪との荷重移動量のバランスは、操舵特性に影響する。すなわち、前輪の荷重移動量が後輪のそれより大きいとアンダステア、逆の場合はオーバステアの傾向を示す。

したがって、荷重移動量は、旋回速度および操舵特性を左右することになるが、これは旋回半径、車速、車両ばね上重量、重心高さ、ロールセンタ高さ、ロール剛性およびトレッドなどの要因に支配される。

3. 実験方法

3.1 走行試験の概要

走行試験は全日本学生フォーミュラ大会出場車両を使用し、十分な面積が確保できる平坦な舗装路面においてタイヤ空気圧およびサスペンションのショックアブソーバ減衰力を変更して実施する。本研究では、旋回による車両の荷重移動が発生した場合、タイヤ空気圧およびショックアブソーバ減衰力の変更による旋回性能の変化を確認することを目的としており、ドライバの運転技量による影響を極力なくすことをねらい、他の旋回パターンはない左右交互旋回（スラローム）のみの走行試験とする。一般にスラローム走行は、操縦安定性の試験方法として広く利用され、通過最高車速で限界走行のレベルの高さや制御性を評価し、規定車速で操舵力、横加速度、ヨーレート、ロールなどのレベルや遅れなどが評価される。パイロン間隔によって車速、操舵量を調整でき、操縦性、応答性、安定性の評価目的に応じて調整される。

スラローム走行において複数名のドライバにより実施した予備実験より、タイヤ空気圧およびショックアブソーバ減衰力の変更による旋回性能への影響と比較すると、ドライバの運転技量による影響は十分小さいことを確認している。また、タイヤの摩耗量をはじめ路面温度などが常に変化するため走行試験の条件を一定に保つことは困難である。したがって、本研究では、タイヤ空気圧およびショックアブソーバ減衰力の設定が同じであっても異なる日、異なる時間帯における複数回の走行試験を実施することにより、旋回性能の変化の把握を図る。

3.2 スラローム走行における走行時間の計測

走行試験は、乾燥路面および湿潤路面において実施し、走行時間の変化から旋回性能を検討するためスラロームコースを用いる。スラロームコースにおいては、旋回中心の目安としてパイロンを設置し、パイロン間隔は7.62m（全日本学生フォーミュラ大会の競技要件に規定されているパイロン間隔の最小値）とする。このスラロームコースにおいて左右の旋回を交互に各4回行った場合の走行時間を計測する。走行試験に使用するスラロー

ムコースを Fig. 1 に示す. なお, 検討の煩雑化をさけるため, 走行試験は最初に左旋回を行う旋回パターンのみで行う.

また, 実験車両の条件変更によりドライバーが順応するまで操作ミスが発生する可能性があるため, 予めスラロームコースにおける十分な慣熟走行を実施する. さらに, スタート時の加速による計測値の変動を無くすため, 左右の旋回を各 1 回通過した走行状態から計測を開始する.

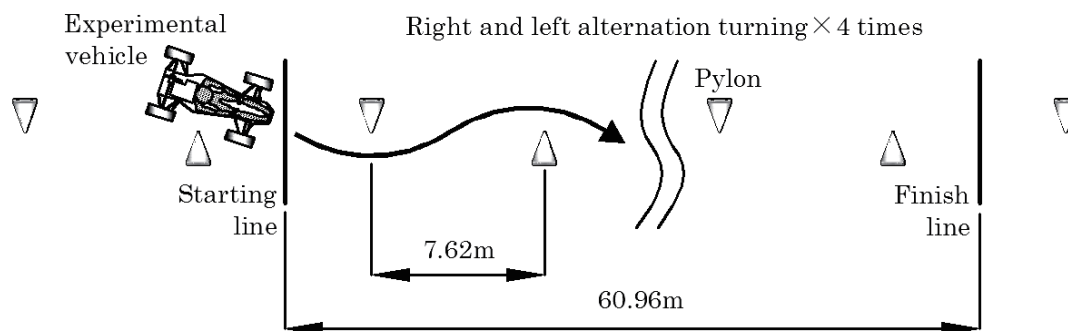


Fig. 1 Schematic of slalom course used in this examination

3.3 実験車両

本研究の走行試験は, 平成 23 年度に FUT フォーミュラプロジェクトにより製作された全日本学生フォーミュラ大会出場車両を使用する. 実験車両の諸元を Table 1 に示す. Table 1 に示すように実験車両は, 全長 2570mm, ホールベース 1720mm, 前後のトレッドはそれぞれ 1440mm, 1320mm, 車重 322kg であり, 総排気量 599cm³ のオートバイ用 4 サイクル 4 気筒エンジンをミッドシップしたフォーミュラスタイルの小型四輪競技車両である. 車体はフォーミュラスタイルの競技車両に多く用いられる鋼管スペースフレームである. モノコック構造の車両に比べて軽量で剛性が高いため旋回中の車体の変形が少なく, タイヤ空気圧およびショックアブソーバ減衰力の変更による旋回性能の変化を確認する走行試験に適しているといえる. サスペンション形式はダブルウィッシュボーン形であり, 比較的容易にショックアブソーバ減衰力の変更が可能である.

また, 使用するタイヤ (YOKOHAMA ADVAN A048) は, 公道で使用することが可能であるが, 競技走行に最適な性能を有する. 一般に普及している乗用車のタイヤと比較すると, 接地面の溝が少なく湿潤路面における排水性は劣るものの, 乾燥路面において発生する摩擦力およびコーナリングフォースは大きい.

Table 1 Specification of experimental vehicle

Overall length / Overall width / Overall height [mm]	2570 / 1440 / 1100
Wheel base [mm]	1720
Front track width / Rear track width [mm]	1440 / 1320
Front axle weight / Rear axle weight [kg]	144 / 178
Engine type	HONDA CBR600RR PC37E 4 cylinders
Suspension type	Double unequal length A-Arm with spring and damper
Frame construction	Tubular steel space frame
Body work	Glass fiber reinforced plastics
Differential type	Clutch pack limited slip
Brake system	Floating, cast Iron, hub mounted, 140mm dia. vented
Wheel type	RAYS ENGINEERING TE37 13 inch, 1 pc. Al Rim, 45mm neg. offset
Tire type (for race cars)	YOKOHAMA ADVAN A048 175 / 50R13 72V

3.4 タイヤ空気圧の変更

タイヤ空気圧が旋回性能に及ぼす影響を確認するためタイヤ空気圧の変更を行う。

一般に公道で使用される乗用車用タイヤは旋回における動的性能の他に、耐摩耗性、燃費、騒音、コストなど多くの要件をバランス良く満たすように設計されている。これに対し競技用タイヤは、動的性能の向上が優先されており、コーナリングフォースおよび路面に伝達する最大駆動力を増大させるため、乗用車用タイヤよりもタイヤの剛性が高い、したがって、一般に乗用車用タイヤの空気圧は、200kPa程度であることが多いが、競技用タイヤはそれよりも低い空気圧で使用される場合が多い。また、全日本学生フォーミュラ大会に出場する各チームの車両は、それぞれの設計方針に基づいて製作されているため、車両の質量や寸法、使用するタイヤなどその他の条件が異なることに加え、最適なタイヤ空気圧を選定できていない例も多いが、競技用タイヤを用いる場合が多いため、概ね乗用車用タイヤよりも低いタイヤ空気圧を適用することが多い。

本研究の走行試験では、タイヤ空気圧を50kPa~250kPaとして50kPa毎に4輪とも等しく変更し、走行時間を計測する。

3.5 サスペンションのショックアブソーバ減衰力の変更

サスペンションの緩衝特性を調整するために変更する要因はいくつかあるが、本研究においてはショックアブソーバの減衰力を変更する。実験車両に搭載されるショックアブソーバは車体を支え、路面からの衝撃を吸収するコイルスプリングおよびコイルスプリングの振動を収束させるための減衰力を発生するダンパから構成される。競技車両のショックアブソーバ減衰力の調整は、乗員の乗り心地を快適にすることを目的として振動の収束が図られることはほとんどなく、減衰力の大小によって走行中のサスペンションの作動特性が変化するため、タイヤの路面追従性や車体の安定性、各車輪の荷重変化特性が走行条件に対して最適となるように調整し、走行時間を短縮することが目的とされる。

本研究に用いるショックアブソーバは減衰力の絶対値が不明であるが、圧縮用および伸張用の減衰力調整が可能である。本研究では、これらの減衰力を同時に最大または最小とし、前輪側および後輪側のショックアブソーバに適用する。本稿における減衰力設定の表記法をFig. 2に示す。Fig. 2は前輪側の減衰力を最大、後輪側の減衰力を最小に設定した例である。したがって、これらを組み合わせることにより減衰力設定はTable 2に示す4パターンとなる。



Fig. 2 Notation of damping force set in this work

Table 2 Settings of damping force applied in this examination

	Notation	
	Minimum	Maximum
Rear side damping force		
Front side damping force		
Minimum	S-S	S-H
Maximum	H-S	H-H

3.6 加速度の計測

自動車における旋回性能は、コーナリングフォースを増大させることにより向上する。車両が旋回をする場合、車両に働く遠心力とコーナリングフォースが釣り合っているため、遠心力を発生させている半径方向の加速度を

計測することにより、コーナリングフォースの変化が確認できるものと考えられる。したがって、コーナリングフォースの把握を目的として、実験車両に加速度センサを搭載する。また、車両のその他の挙動変化も把握するために3次元の加速度計測を行う。

なお、簡易的な加速度計測を試みるため、スマートフォン (Apple iPhone5s) およびスマートフォン用アプリケーションソフトウェア (REGREX 加速度センサーロガー v1.2) を使用し、車両に発生する加速度を計測し、車両の挙動を把握する。スマートフォンを車両に水平に搭載することにより、車両左右方向の加速度はX軸の値、前後方向の加速度はY軸の値、上下方向の加速度はZ軸の値として出力される。すなわち、X軸の値は旋回時の遠心力、Y軸の値は車両の加減速、Z軸の値は路面の凹凸等による車両の上下振動を意味する。

4. 実験結果および考察

4.1 タイヤ空気圧と走行時間の関係

乾燥路面および湿潤路面においてタイヤ空気圧を変更した場合の走行時間の変化をそれぞれ Fig. 3 に示す。走行時間の変化は、乾燥路面または湿潤路面それぞれにおいて得られた全ての走行時間の平均値に対する各走行時間の増減率により示される。走行時間増減率が小さくなる場合、走行時間は短縮し、走行速度が上昇したことを表す。また、乾燥路面のそれぞれの減衰力設定において、最も走行時間を短縮した結果を○印で囲んで示す。

Fig. 3 (left) より、乾燥路面においては、タイヤ空気圧を一般的な乗用車のタイヤ空気圧よりも低下させると走行時間は減少し、タイヤ空気圧 150kPa (減衰力設定 H-H, S-S) の場合に最短となることがわかる。とくに減衰力設定 H-H の走行時間は、全てのタイヤ空気圧設定において他の減衰力設定の場合よりも短縮することから、タイヤ空気設定よりも減衰力設定を H-H とした影響が大きいといえる。タイヤ空気圧 150kPa 以外では 100kPa (減衰力設定 H-S, S-H) の場合に走行時間が短縮している。

2.1 節に述べるように、粘着摩擦に依存するゴムの摩擦係数は荷重に比例して増加しなくなり、荷重が増加するほど摩擦係数は減少することになる。すなわち、接地面圧の減少または接地面積の増加によりタイヤの摩擦係数は上昇する。したがって、タイヤ空気圧を上昇させると、接地面積の減少および接地面圧の増加により摩擦係数が低下するためコーナリングフォースは減少する。一方、タイヤ空気圧を低下させると、タイヤのたわみ量が増加し接地面積は増加するものの、タイヤ剛性の低下とともにコーナリングフォース発生に必要なタイヤの復元力は減少する。このことから、タイヤの接地面積と剛性はトレードオフの関係にあると考えられる。本研究の実験車両においては、これらが最適なバランスとなり、最大のコーナリングフォースを発生させるタイヤ空気圧は、それぞれの減衰力設定において走行時間が最短となる 100kPa または 150kPa であるといえる。

Fig. 3 (right) より、湿潤路面においては、タイヤ空気圧を増加させると若干ながら走行時間は短縮する傾向にあることがわかる。乾燥路面の場合、タイヤ空気圧の増加とともに接地面圧が増加すると走行時間は短縮しないが、湿潤路面の場合、タイヤ空気圧の増加に伴い接地面積が減少 (接地面圧が増加) し、トレッド面と路面との間にある水膜の排水性が向上する。そのため旋回速度が上昇して走行時間が短縮するものと考えられる。

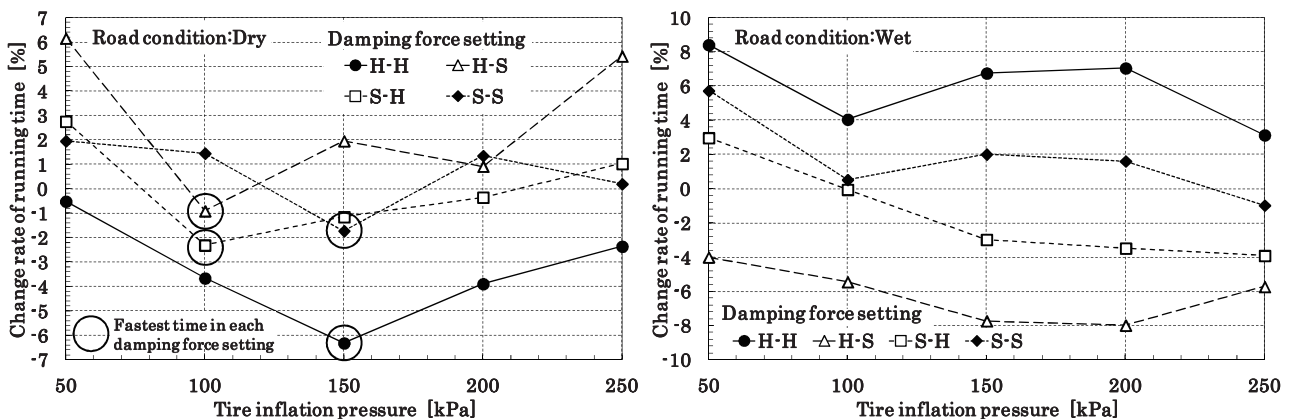


Fig. 3 Variations of change rate of running time with tire inflation pressure measured by application of four damping force settings on dry road (left) and wet road (right)

4.2 ショックアブソーバ減衰力と走行時間の関係

Fig. 3 より、タイヤ空気圧設定が同じであっても、ショックアブソーバの減衰力設定によって走行時間は変化することがわかる。

Fig. 3 (left) より、乾燥路面においては、全箇所のショックアブソーバの減衰力を最大とした減衰力設定 H-H の場合、全てのタイヤ空気圧設定において走行時間が最短となることがわかる。すなわち、4.1 節に述べるように、タイヤ空気設定よりも減衰力設定を H-H とした影響が大きいといえる。これは、減衰力が増加すると車体ロールが減少し、各タイヤにかかる荷重の均等化に伴い外側タイヤの面圧上昇が抑制されるため、タイヤの摩擦係数およびコーナリングフォースが上昇したものと考えられる。

減衰力設定 H-H から、減衰力設定 S-H (前輪側のみ変更) に変更した場合と減衰力設定 H-S (後輪側のみ変更) に変更した場合を比較すると、走行時間が大きく延長するのは、減衰力設定 H-S の場合であることがわかる。この場合、重心に近い後輪側の減衰力設定が最小であるため車体ロールが増加し、外側タイヤに荷重が偏ることになる。2.1 節および 2.2 節に述べるように、粘着摩擦による摩擦力は荷重と比例して増加しなくなるため、車体ロールにより外側タイヤの接地面圧が上昇すると摩擦係数が小さくなる。したがって、荷重変動の大きい後輪側の減衰力減少に伴い、摩擦係数およびコーナリングフォースが減少し、走行時間が延長したものと考えられる。

Fig. 3 (right) より、湿潤路面においては、乾燥路面において走行時間を最も短縮した減衰力設定 H-H の場合に走行時間は最も延長し、減衰力設定 H-S の場合に走行時間が最も短縮していることがわかる。減衰力が減少した場合、車体ロールは増加し、旋回時に荷重は外側タイヤに偏ることになる。最も車体ロールが大きくなることが予想される減衰力設定 S-S の場合に走行時間が最短とならない理由は不明であるが、湿潤路面を走行する場合は接地面圧により水膜を排除するため、減衰力設定 H-S の場合にタイヤの接地面圧が上昇し走行時間が短縮したものと考えられる。また、減衰力設定 H-H から減衰力設定 H-S に変化させた場合と減衰力設定 S-H に変化させた場合を比較すると、走行時間への影響が大きいのは、減衰力設定 H-S の場合であることがわかる。すなわち、湿潤路面においても、重心に近い後輪側の減衰力を変化させた場合に走行時間は大きく変化するといえる。

4.3 タイヤ空気圧およびショックアブソーバ減衰力による影響の比較

タイヤ空気圧の変更およびショックアブソーバ減衰力の変更が走行時間に及ぼす影響を比較する。乾燥路面および湿潤路面において最小走行時間となるタイヤ空気圧および減衰力とし、相互の条件を変更した場合の走行時間増減率の比較をそれぞれ Table 3, Table 4 に示す。

Table 3, Table 4 より、乾燥路面および湿潤路面ともに、タイヤ空気圧の変更と比較すると減衰力設定の変更が走行時間に及ぼす影響は大きいことがわかる。すなわち、この結果はサスペンションにかかる荷重の変動とともにショックアブソーバの減衰作用の変化を示しているといえる。したがって、定常円旋回による走行実験⁽¹⁾からは、明らかにならなかった減衰力の影響が、本研究のスラローム走行により確認することができたといえる。

Table 3 Comparison of change rate of running time by changing tire inflation pressure and damping force on dry road

Road condition: Dry			
Damping force setting: H-H		Tire inflation pressure: 150kPa	
Tire inflation pressure	Change rate of running time	Damping force setting	Change rate of running time
250kPa	-0.52%	H-H	-1.72%
200kPa	-3.66%	S-S	-6.32%
150kPa	-6.32%	S-H	1.96%
100kPa	-3.89%	H-S	-1.15%
50kPa	-2.36%		
Maximum difference	5.80%	Maximum difference	8.28%

Table 4 Comparison of change rate of running time by changing tire inflation pressure and damping force on wet road

Road condition: Wet			
Damping force setting: H-S		Tire inflation pressure: 200kPa	
Tire inflation pressure	Change rate of running time	Damping force setting	Change rate of running time
250kPa	-5.73%	H-H	7.05%
200kPa	-7.98%	S-S	1.61%
150kPa	-7.73%	S-H	-7.98%
100kPa	-5.44%	H-S	-3.48%
50kPa	-4.00%		
Maximum difference	3.98%	Maximum difference	15.03%

4.4 ショックアブソーバ減衰力と上下振動の関係

ショックアブソーバの減衰力設定変更に伴う路面追従性の変化について、その把握の可否を判断するために車体に発生する上下振動を計測した。乾燥路面および湿潤路面において、ショックアブソーバの減衰力設定を変更した場合の車体に発生する上下方向の加速度の変化をそれぞれ Fig. 4 に示す。なお、車体に発生する上下方向の加速度は路面の凹凸などにより頻繁に変動するが、この変動の程度を表すため、本研究では計測値の標準偏差を用いる。

Fig. 4 より、タイヤ空気圧の上昇に対して上下振動が増大する変化は確認できるものの、減衰力設定の変更による変化は小さく、その影響が明確ではないことがわかる。これは、路面の凹凸により発生する振動は極めて小さく、サスペンションよりもタイヤによる振動の吸収効果が顕著であることが考えられる。さらに、旋回において車体ロールによる上下振動は必ず発生するといえるが、路面の凹凸による振動と比較すると車体ロールによる振動は微小であるため、減衰力設定の変更による上下振動として確認できないことが考えられる。

したがって、加速度計測機器の設置方法の改善、あるいは得られた上下振動の測定値から車体ロールによる振動成分を抽出することにより、路面追従性の変化を上下振動の変化から把握できる可能性がある。

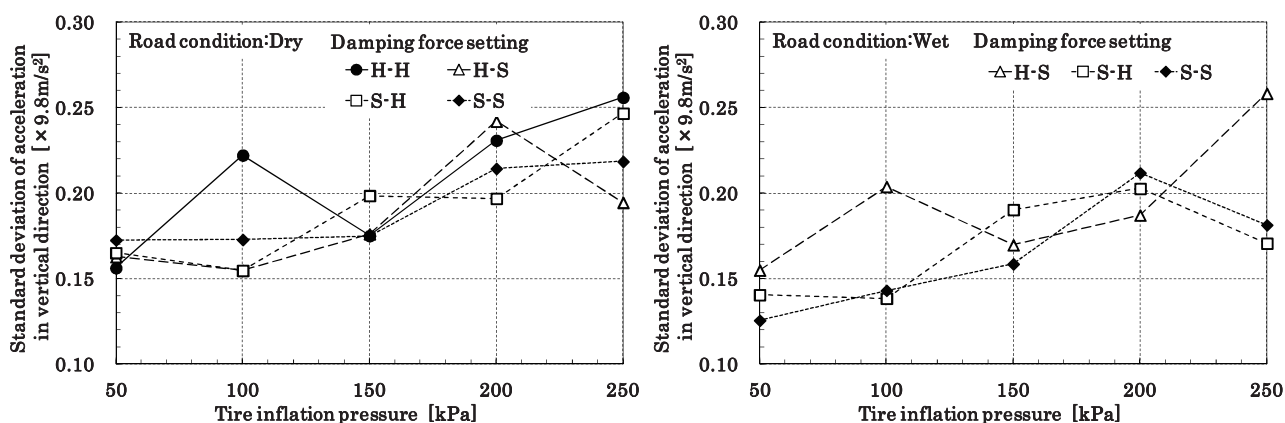


Fig. 4 Variations of change rate of standard deviation of acceleration in vertical direction with tire inflation pressure measured by application of four damping force settings on dry road (left) and wet road (right)

4.5 走行時間とコーナリングフォースの関係

走行時間すなわち走行速度が変化に伴うコーナリングフォースの変化を把握するため、旋回時の車体に働く遠心力の変化を加速度計測により確認した。乾燥路面および湿潤路面における走行時間に対する旋回の半径方向加速度の変化をそれぞれ Fig. 5 に示す。

乾燥路面においては、走行時間が短縮すると遠心力が増大する傾向にあることがわかる。これは、旋回速度が上昇して走行時間が短縮することを示すが、定常円旋回による実験結果⁽¹⁾と比較すると、走行時間とコーナリングフォースの関係は明確ではない。また、湿潤路面においては、旋回速度が低下するためか、さらにこれらの相関は不明確になる。4.2節で述べるように、とくに乾燥路面走行時は、ショックアブソーバの減衰力が大きく車体ロールが抑制される場合に走行時間は短縮する。すなわち、車体ロールが小さい場合、車体ロールによって発生する遠心力は減少するものの、旋回速度は上昇するため、旋回による遠心力は増大することが考えられる。したがって、各々の遠心力の増減が相殺し合うことにより、減衰力設定の変更に対する走行時間の変化を不明確にしているものと考えられる。

これより、純粋に旋回におけるコーナリングフォースの大きさを確認する場合は、車体ロールによる遠心力の影響を除外する必要があるといえ、加速度計測機器を極力、ロールセンタ近傍に設置することが有効であると考えられる。

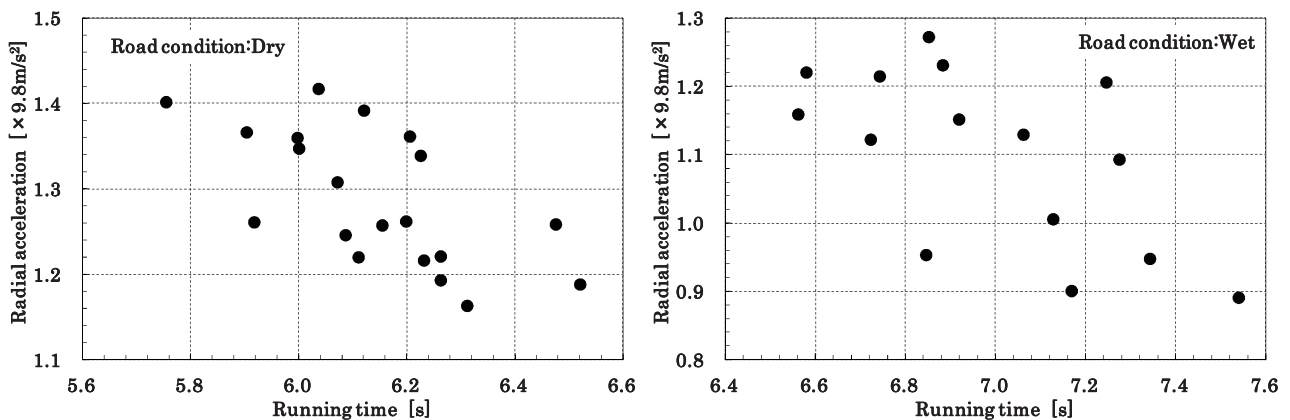


Fig. 5 Variations of radial acceleration with running time on dry road (left) and wet road (right)

5. 結 言

本研究では、タイヤ空気圧およびショックアブソーバの減衰力設定が旋回性能に及ぼす影響を明らかにするため、学生フォーミュラ大会出場車両を用いて、荷重移動を伴うスラローム走行による性能評価を実施した。

その結果、乾燥路面においてスラローム走行を行う場合、比較的軽量な車重 300kg 程度の競技車両に適しているタイヤ空気圧を明らかにした。また、タイヤ特有の摩擦力発生機構により、タイヤ空気圧の変更が及ぼす旋回性能への影響は、乾燥路面と湿潤路面では異なることが考えられる。

さらに、乾燥路面においては、車体ロールを発生させないように、ショックアブソーバの減衰力を大きくする設定が適していることが分かった。なお、これはサスペンションに著しい衝撃吸収性が求められない学生フォーミュラ大会出場車両に限定されるものと考えられる。

このように、本研究のスラローム走行による走行実験より、旋回性能に対するタイヤ空気圧変更の影響およびこれまで不明であったショックアブソーバの減衰力変更による影響を確認することができた。

文 献

- (1) 位田晴良, 西端将人, 三好清隆, “フォーミュラスタイルの小型四輪競技車両におけるタイヤ空気圧と旋回性能の関係”, 福井工業大学研究紀要, 第 45 号 (2015), pp.55-62.
- (2) 自動車技術会, “全日本 学生フォーミュラ公式サイト”, <http://www.jsae.or.jp/formula/jp2/index.html> (参照日 2015 年 1 月 31 日).
- (3) 松田勇治, “タイヤの変形と“グリップ力””, モータファン・イラストレーテッド, Vol.34(2009), pp.28-29, 三栄書房.

(平成 28 年 3 月 31 日受理)