

接地面圧分布がタイヤのコーナリング特性に与える影響に関する研究

日大生産工(院) ○諏訪 守 日大生産工 景山 一郎

1 まえがき

自動車の基本性能を支える部品はタイヤであり、自動車に応じて異なる設計が成される。近年、タイヤの設計手法としてシミュレーションにより最適なパラメータを求めるのが主流であるが、パラメータを変更しても要求性能が満たせない等の問題が発生した場合、シミュレーションのみでの問題解決は困難である。

そのため、設計者がタイヤの運動を深く理解することが必要である。タイヤの運動を理解する手法にはタイヤの構造を模擬した力学モデルの構築がある。力学モデルに関する過去の研究ではFiala¹⁾によりトレッド表面のモデル化が行われ、その後の研究に大きな影響を与えた。しかし、これまでの研究はタイヤ試験機上でのタイヤ特性を考慮したものがほとんどであるため、必ずしも実車のタイヤ特性を表現できるとは限らない。

そこで、本研究では実車のタイヤ特性を詳細に表現できるような力学モデルの構築を目的とする。本報告ではタイヤ特性に大きな影響を与える接地面圧分布に着目する。タイヤ試験機上と実車上的場合で接地面圧分布を測定し、その結果を比較検討する。

2 タイヤモデル構築に向けた構想

過去のモデルでは幅方向の接地面圧分布は均一と仮定されている。しかし、実車のサスペンションがタイヤを支持する場合、アライメントやアームの取り付け位置によってタイヤの面圧に影響を与える。更に、過去のモデルではトレッドは幅方向に同時に変形すると仮定されている。しかし、実際のタイヤには排水用の溝が掘られているため、個々の踏面の面圧が異なると踏面ごとで発生する摩擦力も異なる。すなわち、各トレッドは独立して変形し、トレッドベースで力の伝達が発生するといえる。

このため実車のタイヤ特性を表現するモデルを構築する際には、図1のように幅方向の接地面圧分布、トレッドの独立した変形、トレッドベースの力の伝達を詳細に表現する必要がある。

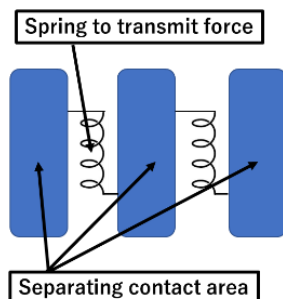


Fig.1 Conception of tire model

3 タイヤ試験機上の接地面圧分布

タイヤの接地面圧分布は図2に示す面圧センサの上でタイヤを転動させて測定した。面圧センサは厚さ約0.1[mm]のフィルム状シートである。加わる荷重に応じて電気抵抗値が変化する特殊インクで薄膜が形成されている。薄膜の上下には行電極と列電極が一定の間隔でマトリックス状に配置され、これらの交点が個別の荷重検出点となっている。タイヤが路面に接地するとトレッド面内でせん断力が発生する。電極の交点から荷重を検出するため面圧センサにはせん断力から保護する工夫が必要である。その工夫として面圧センサの上にクリアファイルを被せて路面にガムテープで固定した。これによって面圧センサの代わりにクリアファイルにタイヤのせん断力を受けさせる。ただし、実際の走行状態を考慮して、タイヤ試験機に備え付けてある暖気装置で5分間暖気した。



Fig.2 Experiment on tire testing machine

最初に、タイヤにはユニフォミティと呼ばれる円周上に部分的な寸法変化や剛性変化、非対称性などの不均一性がある。そのため、個々の踏面における接地面圧分布を測定し、半径方向のユニフォミティを検討する。実験条件を表1に示す。

Table1 Experiment condition on uniformity test

Tire size	185/60R16
Load[kN]	2.94
Air pressure[kPa]	280
Measurement position[deg]	0 60 120 180 240 300

結果の例として、測定位置0, 60[deg]における接地面圧分布を図3に示す。ただし、面圧が低い部分は青く、高い部分は赤く表示され、最小表示面圧は0[kPa]で最大表示面圧は1100[kPa]である。タイヤは画像の右から左へ転動する。試験機の片持ちアームは画像の上にある。

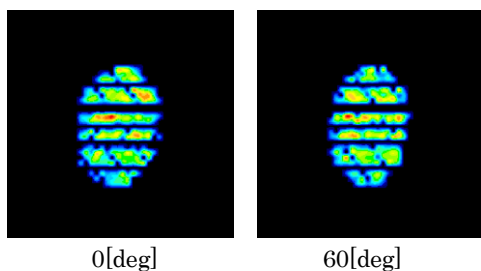


Fig.3 Result on uniformity test

荷重や空気圧が一定であるにも関わらず、各踏面の面圧分布は全て異なることがわかる。更に、トレッドゴムの剛性が高い場所で局所的に高い面圧が生じている。その場所も踏面によって異なることからユニフォミティが存在することがわかる。

各トレッドのユニフォミティについて考える。アーム側のトレッド(画像上)からOuter1, Intermediate1, Inner1, Inner2, Intermediate2, Outer2と定義する。半径方向のユニフォミティは接地面圧の変動係数で定義する。結果の例としてタイヤの中で最も外側にあるOuter1,2の平均接地面圧を図4に、最も内側にあるInner1,2の平均接地面圧を図5に示す。

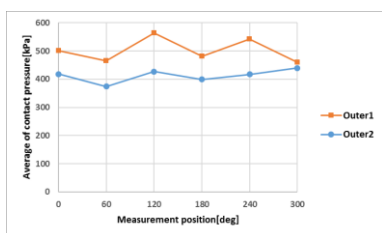


Fig.4 Average pressure on Outer1,2

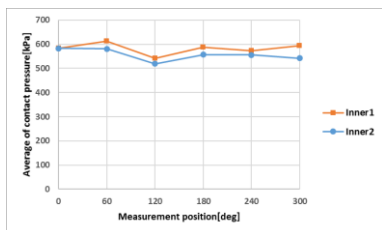


Fig.5 Average pressure on Inner1,2

図4,5を比較すると平均面圧はアーム側に偏ることがわかる。更に、タイヤの内側の方が平均面圧は高くなることも分かる。Intermediate1,2も同様の傾向である。

Outer1,2の変動係数を図6に、Inner1,2の変動係数を図7に示す。

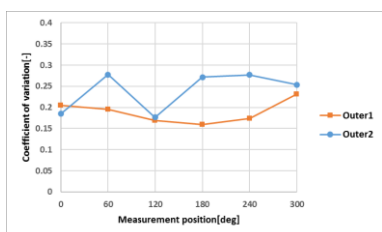


Fig.6 Coefficient of variation on Outer1,2

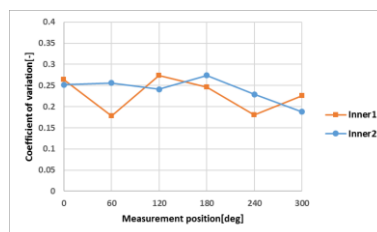


Fig.7 Coefficient of variation on Inner1,2

図6,7を比較すると面圧の変動は、Intermediate1,2も含めて、各トレッドで様々な推移を取ることがわかる。すなわち、半径方向のユニフォミティは各トレッドに負荷される接地面圧に依存しないことがわかる。

次に、接地面圧分布に対する接地荷重や空気圧の影響を見るため、接地荷重と空気圧を変化させた場合を測定した。実験条件を表2に示す。接地荷重は1000[kg]の自動車の1輪あたりにかかる荷重を想定した。空気圧は実車タイヤの指定空気圧を基準に、日常の中で自然に空気が抜けた状態と高速道路を走行するために空気を多めに充填した状態を想定した。ただし、ユニフォミティの影響を考慮して測定する踏面は0[deg]とした。

結果の例として接地荷重2.45, 2.94[kN]と空気圧200, 280[kPa]の場合を図8に示す。ただし、表示面圧、転動方向等は図3と同様である。

Table2 Measurement condition for contact pressure

Tire size	185/60R16
Load[kN]	1.96 2.45 2.94
Air pressure[kPa]	200 240 280

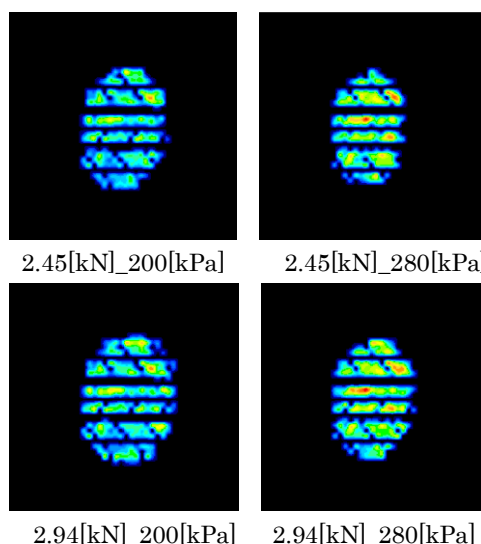


Fig.8 Result on measurement of contact pressure

図8を見ると、空気圧を増加させると面圧も増加し、荷重を増加させると接地面積も増加することがわかる。その他、荷重1.96[kN]や空気圧240[kPa]のときも同様の傾向である。

タイヤのセルフアライニングトルク(以下SAT)は横力と着力点の積で定義される。着力点は転動方向の接地面圧分布に依存するため、これについて検討を行う。最初に、結果の例として接地荷重を変化させた場合を示す。Outer1の面圧分布を図9に、Inner1の面圧分布を図10に示す。

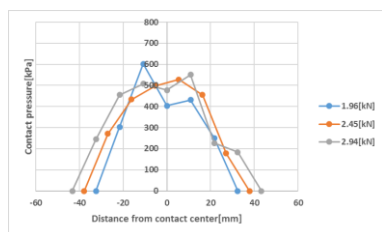


Fig.9 Distribution on Outer1 changing load

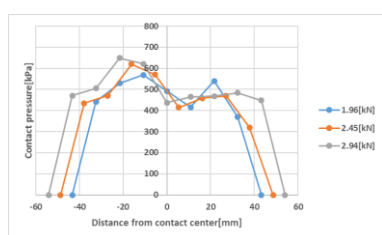


Fig.10 Distribution on Inner1 changing load

図9,10を比較すると、両者とも荷重が増加すると接地面積も増加することがわかる。Intermediate1も同様である。Outer1では荷重が増加するほど緩やかな放物線を描くように面圧分布は変化する。Inner1では荷重が増加すると台形に近い分布が徐々に矩形に近い分布に変化する。

次に、空気圧を変化させた場合を示す。Outer1の面圧分布を図11に、Inner1の面圧分布を図12に示す。

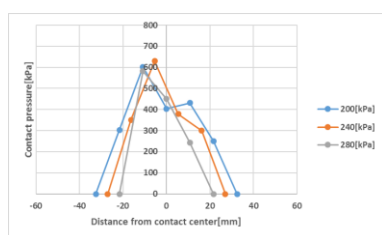


Fig.11 Distribution on Outer1 changing air pressure

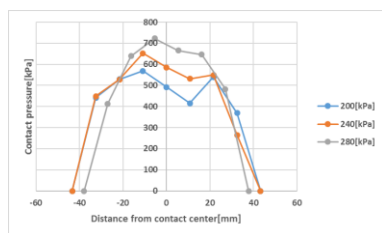


Fig.12 Distribution on Inner1 changing air pressure

図11,12を比較すると、両者とも空気圧が増加すると面積は減少傾向にあることがわかる。Intermediate1も

同様である。特に、Intermediate1やInner1は空気圧が増加すると面圧も増加する。Outer1では空気圧が増加するほど鋭い放物線を描くように面圧分布は変化する。Inner1では荷重が増加すると台形に近い分布が徐々に放物線状の分布に変化する。

接地荷重や空気圧が変化すると接地面圧分布はトレッドごとに異なる形状に変化することがわかった。

4 実車上の接地面圧分布

タイヤ試験機における接地面圧分布と比較するために図13のように実車タイヤの場合も測定した。実験に使用した車両のタイヤ諸元を表3に、4輪それぞれにかかる接地荷重を表4に示す。ただし、直接アスファルトに面圧センサを設置して測定をすると面圧センサが損傷する可能性があるため、コンパネで製作した台座の上に面圧センサを設置した。更に、サスペンション周りの影響で横方向に荷重がかかる場合があり、これを逃がすためにコンパネの下にターニングラジアスゲージを入れた。接地荷重は乗車人数で変化させた。



Fig.13 Experiment on car

Table3 Measurement of contact pressure on car

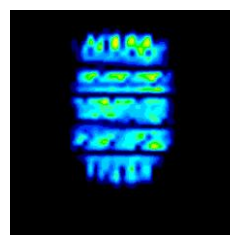
Tire size	205/55R16
Air pressure[kPa]	200 240 280

Table4 Contact load for four tires

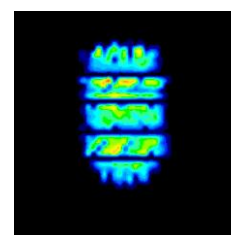
	L.F.[N]	L.R.[N]	R.F.[N]	R.R.[N]
Empty	3290	2550	3330	2480
Two persons	3570	2900	3670	2880

(L.F. = Left-Front L.R. = Left-Rear
R.F. = Right-Front R.R. = Right-Rear)

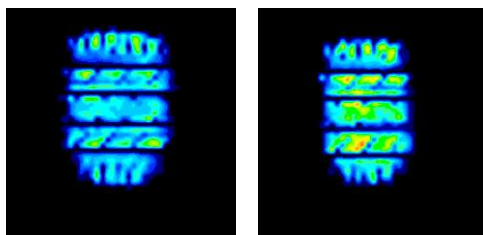
右前タイヤを結果の例として、空車と二名乗車、空気圧200, 280[kPa]の場合を図14に示す。ただし、最小表示面圧は0[kPa]で最大表示面圧は900[kPa]である。タイヤは画像の右から左へ転動する。画像の上がサスペンション側である。



Empty_200[kPa]



Empty_280[kPa]



Two persons_200[kPa] Two persons_280[kPa]
Fig.14 Distribution on Left-Front

空車の場合に着目すると、空気圧200[kPa]のときでは面圧はサスペンション側に偏るが280[kPa]のときではほぼ均一になり、前二名乗車の場合でも同様である。空車と前二名乗車を比較すると、前二名乗車の方が接地面積は大きくなることがわかる。

試験機の場合と同様に実車の場合でも転動方向の接地面圧分布を検討する。最初に、結果の例として接地荷重を変化させた場合を示す。Outer1の面圧分布を図15に、Innerの面圧分布を図16に示す。

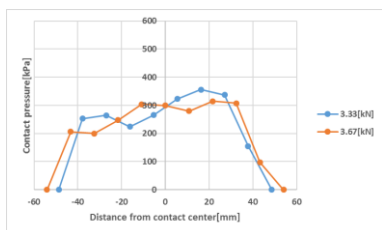


Fig.15 Distribution on Outer1 changing load

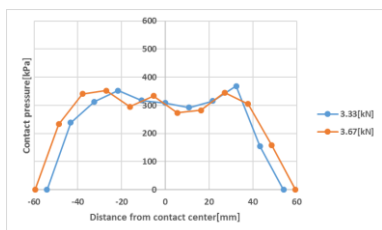


Fig.16 Distribution on Inner1 changing load

図15,16を比較すると、荷重が増加すると接地面積も増加することがわかり、試験機と同様の傾向がある。一方で、試験機とは異なりトレッドの位置に依らず荷重を変化させても面圧分布は台形に近い形状を維持する。

次に、空気圧を変化させた場合を示す。Outer1の面圧分布を図17に、Inner1の面圧分布を図18に示す。

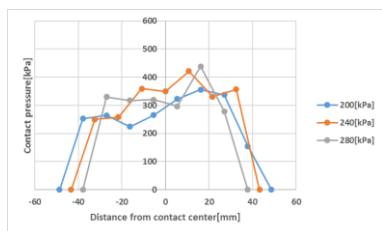


Fig.17 Distribution on Outer1 changing air pressure

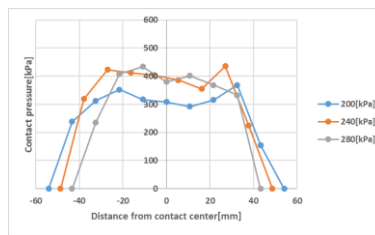


Fig.18 Distribution on Inner1 changing air pressure

図17,18を比較すると、空気圧が増加すると接地面積は減少することがわかり、試験機と同様の傾向である。一方で、試験機とは異なりトレッドの位置に依らず、空気圧を変化させても面圧分布は台形に近い形状を維持する。

接地荷重や空気圧が変化しても接地面圧分布は台形に近い形状を維持することがわかった。

5 まとめ

本研究ではタイヤ特性に大きな影響を与える接地面圧分布に着目し、タイヤ試験機上と実車上的場合で接地面圧分布を測定した。

結果として、半径方向のユニフォミティはトレッドに負荷される接地面圧に依存しないことがわかった。更に、接地荷重や空気圧を変化させた場合、タイヤ試験機ではトレッドによって接地面圧分布は異なる形状に変化した、実車ではトレッドに依らず台形に近い形状を維持することがわかった。

ただし、タイヤ試験機と実車のタイヤは諸元が異なるため、今後は同一の諸元のタイヤで測定を行い検討する必要がある。更に、タイヤモデルを構築する際にはタイヤの変形や剛性についても議論が必要となるため、接地荷重・空気圧変化によるタイヤ力や変形の違いについても今後検討する。

「参考文献」

- 1) E.Fiala:Seitenkrafte am Rollenden Luftreifen, Z.VDI, Bd.96, Nr.29, 11 Okt.1954
- 2) L.Segel:Tire Shear Force Generation During Combined Steering and Braking Maneuvers, SAE, 770852
- 3) 岡留康文, "タイヤ特性に関する研究", 日本大学大学院生産工学研究科, (1990)
- 4) 酒井秀男, タイヤ工学, グランプリ出版, (2001) p.299-309