アライメント要素で分離したサイドスリップ量の計測技術について*

野 崎 博 路^{*1}

Technique for Measuring Side Slip for Individual Alignment Elements

Hiromichi NOZAKI^{*2}

^{*2} Department of Mechanical Engineering, Faculty of Science and Engineering, Kinki University,
3-4-1 Kowakae, Higashiosaka-shi, Osaka, 577-8502 Japan

The current footplate type side slip tester measures only the total side slip. Therefore, measurement techniques by which to determine the side slip for each alignment element was examined. Concretely, because the side slip related to the camber angle varies depending on the unit load per travel wheel and the side slip related to the toe angle depends only the direction of the tire and not on the unit load per travel wheel, the side slip for each alignment element can be determined separately.

Key Words: Automobile, Maneuverability, Measurement

1. まえがき

サイドスリップテストは、車両の直進性を調べるものとして考案されたものである。すなわち、車両が1 km走行して横に5 mずれないこととし、サイドスリップテストで換算すると、1 m走行して横すべり量が5 mmを超えないこととしたものである。

従来の踏板式サイドスリップテストは、図1に示すように、硬球とレールで支えられた、2枚のスライド板を有し、2枚のスライド板は、Z型のリンクで結合されている。横方向の力がスライド板に作用すると、Z型のリンクで連結されていることにより、左右のスライド板は、互いに反対方向に同じ距離だけ変位する。サイドスリップテストは、この2枚のスライド板上を自動車の左右前輪が通過する時のスライド板の横方向変位を測定するものである。

このような踏板式サイドスリップテストは、車輪のトー角の影響、及び、キャンバ角の影響、そして、タイヤ自体のブライステア、コンシティー等の影響を総合的に含んだ、トータルなサイドスリップ量を計測するものであった。ここで、車輪のトー角、キャンバ角について、図2に示す。

Fig. 1 Footplate type side slip tester

Fig. 2 Camber angle, toe angle and amount of toe-in

* 原稿受付 2005年7月14日。

*1 正員、近畿大学理工学部(〒577-8502 東大阪市小若江3-4-1)。

E-mail: nozaki@mech.kindai.ac.jp

一方、サイドスリップ量はOKであっても、トー角分のサイドスリップとキャンバ角分のサイドスリップが、互いに打ち消し合って、トータルとしては、OKゾーンに入っている場合が有り、すなわち、個々のアライメント要素分のサイドスリップとしては、NGであるケースもあり、これが、現在、サイドスリップ量計測の問題点として、市場で取り上げられている。

そこで、各アライメント要素分のサイドスリップ量を分離した、サイドスリップ量計測手法を明らかにし、実験装置を製作し、確認した。

2. 記号の説明

本文の中で使用する主な記号を示す。

W : 輪荷重

K : コーナリングパワ

γ : トー角

L_F : タイヤ横剛性

R : ローラー半径

n : 回転数 ($2\pi R \cdot n = 1m$)

K_t : キャンバスティフネス

ϕ : キャンバ角

ψ : テッドベースの見掛けの走査線の成す角度
(図4に示す)

ψ' : テッドベースの真実の走査線の成す角度
(図5, 図6に示す)

C_x : テッドゴムの単位長さ当たりのせん断剛性

b_r : テッドの有効幅

R : ローラー径

3. サイドスリップの理論式

3・1 トー角分のサイドスリップ量 一般の踏板式サイドスリップ量の場合は、山崎等^②により、タイヤの横力による変形成分を解放する量と、タイヤが1m転動時の横方向への横すべり量の和で表され、西山等^③のよりローラー式サイドスリップテスト(図7参照方)に適用され、式(1)、(2)で表されている。

(1) タイヤの初期変形成分を解放する量

タイヤの横力による変形量： S_1 は次式で表すことができる。

$$S_1 = (K \cdot \gamma / L_F) \cdot \cos \gamma \quad (1)$$

注：後述の本方式のローラー式サイドスリップテストでは、この成分はタイヤが乗り込んだ時に解放する。従って、 $S_1 = 0$ となる。

(2) タイヤが1m転動時の横方向への横すべり量

タイヤが1m転動時の横方向への横すべり量：

S_2 は次式で表すことができる。

$$S_2 = 2\pi R \cdot n \cdot \tan \gamma \quad (2)$$

本方式のローラー式サイドスリップテストでは、幾何学的成分である、(2)成分のみ、トー角成分として検出する。

3・2 キャンバ角分のサイドスリップ量 一般の踏板式サイドスリップ量の場合は、山崎等^②により表された。タイヤにキャンバ角が付与されると、タイヤと路面間で横力が発生し、タイヤ接地部は変形する。サイドスリップ量は、タイヤの変形成分を解放する量と、タイヤが1m転動時、横方向への横すべり量の和として表され、西山等^③によりローラー式サイドスリップテスト(図7参照方)に適用され、式(3)～(11)で表されている。

(1) キャンバ角： ϕ 時にタイヤの変形成分を解放する量

タイヤの横力による変形量： S_3 は、次式で表すことができる。

$$S_3 = K_t \cdot \phi / L_F \quad (3)$$

注：本方式のローラー式サイドスリップテストでは、この成分は、タイヤが乗り込んだ時に解放する。

従って、 $S_3 = 0$ となる。

(2) キャンバ角が付与されたタイヤが、1m転動時に、横方向への横すべり量

図3に示すように、キャンバ角が付与された時、テッドベースの接地長： ℓ_r の接地始めの点Aは、円弧ACBを走査しようとする。しかしながらテッドベースは、面内の曲げ剛性を持っている為ACBよりも直線に近い円弧AC'Bを走査し、テッドゴムは、直進するため、線分ABを通る。円弧を走査するテッドベースと直進するテッドゴムとの間に、せん断力が生じ、これが、キャンバラストであると考えられている。

図4に示すように、テッドベースが半径 r' の円弧AC'Bを走査すると考えられる。円弧AC'BDの面積を A_1 とすれば、キャンバラスト C_r は次式で表される。

$$C_r = A_1 C_x \cdot b_r = K_t \phi \quad (4)$$

扇形O'ABの面積 A_2 は、

$$A_2 = \frac{\ell_r \cdot r'}{2} \quad (5)$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{上式は, } A_2 = \psi' r'^2, \psi' = \frac{\ell_r}{2r'} \text{ より} \\ \text{三角形 } O'AB \text{ の面積 } A_3 \text{ は,} \end{array} \right]$$

$$A_3 = \frac{\ell_r r'}{2} \left(1 - \frac{\ell_r^2}{8r'^2} \right) \quad (6)$$

従って, 面積 A_1 は,

$$A_1 = A_2 - A_3 = \frac{\ell_r^3}{16r'} \quad (7)$$

式 (4), (7) より, トレッドベース接地変形時の曲率半径 r' は,

$$r' = \frac{\ell_r^3 b_r C_x}{16K_i \phi} \quad (8)$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{上式は, } \frac{\ell_r^3}{16r'} C_x b_r = K_i \phi \text{ より,} \end{array} \right]$$

Fig.3 Intuitive path of tread base (having camber)

Fig.4 True pass of tread base (having camber angle)

西山等³⁾のサイドスリップ測定ローラーが1ローラータイプのローラー式サイドスリップテスト(4章の図7参照方)において, タイヤが, ローラー面上を転動する時, 図4において, タイヤの接地始めの点Aが, 半径 r' の円上を走査しようとする時, ローラーは, 半径 r' のA点の接線方向に移動する。

よって, サイドスリップ量 S_4 は, 次式で表すことができる。

$$S_4 = 2\pi R \cdot n \cdot \tan \psi' \quad (9)$$

また, ψ' と r' の間には,

$$r' \sin \psi' = \ell_r / 2 \quad (10)$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{ここで,} \\ \sin \psi' = \frac{\ell_r}{2r'} = \frac{\ell_r}{2} \cdot \frac{16K_i \phi}{\ell_r^3 b_r C_x} = \frac{8K_i \phi}{\ell_r^2 b_r C_x} \end{array} \right]$$

の関係式が成立する。

式 (8), (10) を用いて, 式 (9) を導くと, 下式となる。

$$S_4 = K_i \phi \cdot \left(2\pi R \cdot n \cdot \frac{8}{\ell_r^2 b_r C_x} \right) \quad (11)$$

式 (9) は, トレッドベース接地時の曲率半径 r' を求めれば, 図4の様に, 幾何学的にサイドスリップ量 S_4 が求めることができることを示している。

3・3 アライメント分離のメカニズムについて

西山等³⁾のローラー式サイドスリップテストによるキャンパ角分のサイドスリップ量 S_4 の対輪荷重の実測データより, キャンパ角分のサイドスリップ量 S_4 は, 輪荷重の増加に伴って, 大きくなることが報告されている。

次に, これについて, 式(11)に基く, 理論的考察を行なってみた。

前述における, キャンバスティフネスについては, 酒井¹⁾により, 輪荷重に依存し, 輪荷重が大きくなると増加する傾向であることが示されている。

また, 式(11)の括弧内の分母にタイヤ接地長さと接地幅の項があり, 接地幅は荷重に依存しないと仮定すると, サイドスリップ量 S_4 は接地長の2乗に反比例するということになる。ここで, 酒井¹⁾により, 接地長の2乗は, コーナリングスチフネスと同様に, 高荷重域になるにつれて, 荷重に対する増加割合は低下する傾向にあることが示されている。一方, キャンバスティフネスの方は, 高荷重域になるにつれて, 荷重に対する増加割合は若干低下するが, 荷重に対しほぼ比

例的傾向に増加する傾向にあることも、データの的に示されている。

従って、輪荷重増加に対する値の増加割合は、分子のキャンパスチフネスの場合方が、分母のタイヤの接地幅の場合に比べ大きくなるので、結果的には、サイドスリップ量 S_4 は、輪荷重増加に対し、やや増加傾向になっていると判断できる。そこで、式(11)において、輪荷重に対する非線形性を考慮した式に書き直すと、キャンバ角分のサイドスリップ量の式(11)は、次式となる。

$$S_4(W) = \frac{K_t(W)}{l_r^2(W)} \cdot \phi \cdot \left(2\pi R \cdot n \cdot \frac{8}{b_r C_x} \right) \quad (12)$$

ここで、 $K_t(W)$ は、前述のように、輪荷重 W に対し、ほぼ比例的に変化すると考えられ、 $l_r^2(W)$ は、輪荷重 W に対し、比例では無く、輪荷重の増加に対し、接地長 $l_r(W)$ の変化は、徐々に少なくなる方向に漸近すると考えられる。従って、 $K_t(W)$ の輪荷重依存度が、 $l_r^2(W)$ の輪荷重依存度に比べて強いことにより、結果的にキャンバ角分のサイドスリップ量 $S_4(W)$ は、輪荷重の増加に伴って大きくなると考えられる。

すなわち、以上の理論式等から、明らかなように、①トー角分のサイドスリップ量は、輪荷重に依存せず、タイヤの向きによって決まる、いわゆる幾何学的諸量である。一方、②キャンバ角分のサイドスリップ量は、輪荷重に依存して変化する。(タイヤのプライステア、ユニシティー分のサイドスリップ量も、輪荷重に依存して変化する。)

略図で示すと、図5のようになる。

従って、この性質を利用すれば、容易に、アライメント要素で分離したサイドスリップ量を計測できることがわかった。

Fig. 5 Change in side slip with unit load per travel wheel

3・4 2ローラータイプのローラー式サイドスリップテスタへの適用

次に、前述の山崎等(2) 西山等(3) の理論式を、本論文の方式のサイドスリップ計測ローラーが2ローラータイプのローラー式サイドスリップテスタ(4章の 図8参照方)に適用した。

2ローラーの場合における、キャンバ角が付与された場合のトレッドベースの走査線(サイドスリップ計測ローラーが1ローラーの場合は図4に対応する)は図6の上側の図のようになる。一方タイヤに接地している部分についてのトレッドベースの走査線は、近似的に、図6の下側の図のようになり、図4のサイドスリップ計測ローラーが1ローラーの場合と同様にして、 S_4 を近似的に求めることができる。

すなわち、サイドスリップ計測ローラーが1ローラーの場合と比較すると、 l_r が $l_1 + l_2$ に、置き換えられたものと近似的に等価と考えられる。

Fig.6 Intuitive path of the tread base (having camber) for the roller tester of the present study

従って、タイヤ接地点の始めの点 A が、半径 r' の円上を走査しようとするとき、ローラーは、半径 r' の A 点の接線方向に移動する。(近似的に) によって、サイドスリップ量 S_4 は次式で、表すことができる。

$$S_4 = 2\pi R \cdot n \cdot \tan \psi' \quad (9')$$

また、 ψ' と r' の間には、下式の関係が成立する。

$$r' \sin \psi' = (l_1 + l_2) / 2 \quad (10')$$

従って、前述の(11)式の導き方と同様にして、

$$S_4 = K_t \phi \cdot \left(2\pi R \cdot n \cdot \frac{8}{(\ell_1 + \ell_2)^2 b_r C_x} \right) \quad (11)'$$

が成り立つと考えられる。

すなわち、式(11)'は、前述の式(11)において、 $\ell_r \Rightarrow (\ell_1 + \ell_2)$ と置き換えたものと、ほぼ等価となる。

式(11)'において、前項同様に、輪荷重に依存する項を、関数で表して、式を書き換えると次式となる。

$$S_4(W) = \frac{K_t(W)}{(\ell_1 + \ell_2)^2(W)} \cdot \phi \cdot \left(2\pi R \cdot n \cdot \frac{8}{b_r C_x} \right) \quad (12)'$$

4. 実験装置について

以前の、ローラー式サイドスリップテストは、西山等^③によって、開発されたものがある。図7は、そのローラー式サイドスリップテストにおける、タイヤと各ローラーの位置関係を示す。

Fig.7 Roller-type sideslip tester by Nishiyama etc.⁽³⁾

サイドスリップテストを行わない時は図7 (a)の状態となり、車速、あるいは、ブレーキの計測が行えるようになっている。一方、サイドスリップ量を測定する際は、図7 (b)の状態のように、サイドスリップ計測ローラーが押し上げた状態でセットされ、ブレーキ計測ローラーにより、タイヤを回転させて、サイドスリップ計測ローラーにより、ローラーの横へのスライド量よりサイドスリップ量を測定する。ここで、サイドスリップ計測ローラーは、軸に対し、横方向へスライドできるような、スライダ機構部を有している。

一方、本論文における実験装置は、2章の図3の様なアライメント分離を行うため、図8の様な、2本ローラーで、サイドスリップ量を計測する方式とした。

タイヤは、車速計測ローラー（トータルのサイドスリップ量計測ローラーを兼ねる）と、ブレーキ計測ローラー上の位置となるように、セットする。そこで、中央のトリー角分のサイドスリップ計測ローラー部は、上下に移動できる機能を有しており、そのトリー角分のサイドスリップ計測ローラーが下がっている状態では、車速、あるいは、ブレーキの計測が行える。

次に、サイドスリップ量の計測の場合について示す。その状態からトリー角分のサイドスリップ計測ローラーを上げてタイヤにソフトタッチさせた状態にて計測する。ブレーキ計測ローラーにより、タイヤを回転させて、トリー角分のサイドスリップ計測ローラーとトータルのサイドスリップ量計測ローラーの2本のサイドスリップ計測ローラーにより、ローラーの横へのスライド量よりサイドスリップ量を測定する。ここで、2本のサイドスリップ計測ローラーは、軸に対し、横方向へスライドできるような、スライダ機構部を有している。これにより、トリー角分のサイドスリップ計測ローラーは荷重に依存しない幾何学的に発生するトリー角分みのサイドスリップ量が計測できるようにした。一方、トータルのサイドスリップ量計測ローラーを兼ねている車速計測ローラーは、輪荷重を加えた状態にセットされるので、キャンバ角分を含めたトータルのサイドスリップ量が計測できるようにした。

トータルのサイドスリップ量から、トリー角分のサイドスリップ量を差し引くことにより、キャンバ角相当分のサイドスリップ量を検出することが可能であると考えた。（但しこの差し引きしたキャンバ角相当分のサイドスリップ量には、微小のタイヤのプライステア、コンシティー分のサイドスリップ量は含まれている。）

このように、2本のローラーでサイドスリップ量を測定することにより、アライメント要素で分離した

サイドスリップ量の計測が可能と考えた。

そこで、実験装置を製作し、確認を行った。

ローラーの横方向へのスライダ機構は、図9のような形式とした。

実験においては、トー角、キャンバ角、輪荷重等のパラメータを単独で変化させることができるように、可変アライメント型タイヤ支持装置を製作し、台上試験を行った(図10)。

更に、実車試験により、確認を行った。

Fig.10 The variable-alignment tire suspension system

Fig.8 Rough sketch of the experimental device

5. 実験結果

5・1 可変アライメント型タイヤ支持装置による、台上試験結果 キャンバ角を0として、トー角を変化させた時のサイドスリップ量の変化は、トー角分のサイドスリップ量検出ローラー、トータルサイドスリップ量検出ローラー、共に、同様であった(図11)。

一方、トー角を0として、キャンバ角を変化させた時のサイドスリップ量の変化は、トータルサイドスリップ量検出ローラーの出力値は、キャンバ角が大きくなるにつれて、サイドスリップ量は大きくなり、高荷重ほど、その傾向が大きくなる傾向にあるが、トー角分のサイドスリップ量検出ローラーの方は、キャンバ角が大きくなっても、輪荷重が0に近い為、サイドスリップ量の変化は、ほとんど発生しないことが確認できた(図12)。

従って、この2本のサイドスリップ量検出ローラーにより、アライメント要素で分離した、サイドスリップ量の検出が可能となることがわかった。

Fig.9 Roller tester of the present study (slide mechanism)

Fig.11 Effect of toe angle on side slip (6.40 R14 Tire)

Fig.12 Effect of camber angle on side slip (ex. 6.40 R14 Tire))

Fig.13 Placement of the roller tester of the present study

Fig.14 Side slip as obtained by the flat belt tester and the roller tester of the present study

5・2 実車を用いた実験結果

図13は、実車を用いた、実験状態を示す。供試車両6台の実験結果を、図14に示す。実験は、踏板式サイドスリップテストで計測を行った場合と、本方式のローラー式サイドスリップテストで計測を行った場合の比較で示す。

どちらで計測を行っても、値に大きな差は見られず、本方式のローラー式サイドスリップテストは、実車でも問題無く、計測可であると判断した。

また、サイドスリップ量が5mmを超えるケースにおいては、次章のような、フローチャートにより、例えば、この場合では、トー角が問題で有ったことがわかった。

5・3 本装置を用いた良否判定手法について

基本的には、下記フローチャートの様になると、アライメントで分離した、サイドスリップの良否判定が可能となる。

トータルのサイドスリップ量が OK で、かつ、トー角分のサイドスリップ量が OK となった場合、アライメントで分離したサイドスリップ量、すなわちトー角分のサイドスリップ量とキャンバ角分のサイドスリップ量が共に OK であることを示す。

また、トータルのサイドスリップ量が NG であり、かつ、トー角分のサイドスリップ量が NG となった場合、トー調整が必要となることを示す。

また、トー角分のサイドスリップ量が OK であってもトータルのサイドスリップ量が NG となった場合、キャンバ調整が必要となることを示す。

そして、これらのトー調整、キャンバ調整によって、トー角分のサイドスリップ量とトータルのサイドスリップ量が共に OK となった場合、アライメントで分離したサイドスリップ量、すなわちトー角分のサイドスリップ量とキャンバ角分のサイドスリップ量が共に OK であることを示す。

図 15 において、関係式は次のようになる。

$$\begin{aligned} & (\text{トー角分のサイドスリップ量}) \\ & = 1000 \times \tan(\text{片輪トー角}) \end{aligned} \quad (13)$$

従って、トー角分のアライメント管理値を、トー角分のサイドスリップ量に変換し、求めることができる。

Fig.15 Flow chart of side slip judgment related to individual elements

6. 結 論

アライメント要素で分離した、サイドスリップ量を計測する技術について、考察した。

その結果、下記結論が得られた。

- ①. トー角分のサイドスリップ量は、輪荷重に依存せず、タイヤの向きによって決まるが、キャンバ角分のサイドスリップ量は、輪荷重に依存して変化するので、この違いをもとに、アライメント要素で分離した、サイドスリップ量の計測が可能であることがわかった。
- ②. ①のような分離計測が可能となると、更に、トー角とトー角分のサイドスリップ量との関係式等より、アライメント諸量とリンクして、良否判定が可能となることがわかった。

従って、サイドスリップ量はOKでも、アライメントはNGのケースがある等の市場において取り上げられている問題点は、改善できることがわかった。

また、前述の様に、本方式を用いると、アライメント要素で分離した、サイドスリップ量の計測が可能となることがわかった。

但し、ローラーの曲率等による、タイヤ接地面形状の実路との違いの影響は有るので、今後の技術的課題として、フラットベルト構造のローラーとして、実路と接地面形状を合わせ、測定精度を高めることがあげられ、更に、フラットベルト式にて、輪荷重0状態等への輪荷重可変構造も課題となる。

本論文では、アライメント要素で分離した、サイドスリップ量を計測する技術について、考察した。サイドスリップ量は、車両のトータルの特性を知ることができる有効な装置であると考えられるが、今後は、アライメント計測と共に複合的な測定形式に発展が見込めるのではないかと考えられる。

文 献

- (1) Sakai, H., Tire Engineering, (1987), pp.168, 404-407, Grand Prix Publication, (in Japanese).
- (2) Yamazaki, T., Fujikawa, T., Yamaguchi, I., An Analytical Study on Measurement Principle of a Side Slip Tester, *Transaction of the Society of Automotive Engineers of Japan*, Vol.24, No.4, (1993), pp.70-75, (in Japanese).
- (3) Nishiyama, S., Harada, S., Harada, K., Development of a Roller-type Sideslip Tester, *Transaction of the Society of Automotive Engineers of Japan*, Vol.30, No.1, (1999), pp.109-114, (in Japanese).