

タイヤのビードアンシーティングに関する研究 (静的特性の試験について)

井上 吉昭[†]

Bead Unseating of Automobile Tires
(A Study of Static Conditions Testing)

INOUE Yoshiaki[†]

Abstract

The bead unseating phenomenon, in which the tire comes off the rim, causes sudden decrease in tire pressure, making the vehicle inoperable and dangerous. Few studies have been done on the mechanism of bead unseating. For a static bead unseating test in which the tire is not rotated, a JIS-based test apparatus was made to investigate in detail how the tire came off the rim. From the experiment, it was found that increasing the tire width is effective in suppressing the occurrence of bead unseating. There are two test methods, JIS based test and ASTM based test. Since the tires used in this experiment were for small size cars, not much difference was found between the two methods. But it is expected that with a larger outer diameter of the tire the aspect ratio of the tire will become lower, so we proposed to unify to ASTM that can be widely applied.

Key Words: Bead unseating of tire, Tire, Automobile, Automobile safety

キーワード：ビードアンシーティング、タイヤ、自動車、自動車の安全性

[†] 大阪産業大学 工学部 機械工学科 非常勤講師

草稿提出日 10月30日

最終原稿提出日 12月29日

1 はじめに

タイヤがリムから外れるビードアンシーティング現象は自動車が急旋回時に大きな横力を受けた場合や歩道の縁石などにタイヤのサイドウォールが接触して大きな横力を受けた場合などに発生し、タイヤ空気圧の急激な低下を起し自動車が走行不能になることが多い。しかし、ビードアンシーティング発生メカニズムについての研究はほとんど見られない。なお、ビードアンシーティングの試験方法に関しては、回転しているタイヤがリムから外れる条件を求める動的な試験および静止しているタイヤが横力を受けてリムから外れる条件を求める静的な試験がある。酒井は静的試験および動的試験を行い、動的試験では、静的試験より小さい力でリムが外れること、さらに両者の相関関係は良いと述べているが、細かい内容には言及していない。⁽¹⁾

著者もビードアンシーティングの発生条件については、静的および動的な場合について実験装置を試作し検討を行ってきた。^{(2)、(3)} 動的な場合の試験方法についての規格はまだ制定されていないが、静的な場合については、アメリカの米国連邦自動車安全基準 (FMVSS) の No.109に規定されている静的なビードアンシーティング試験および試験装置 ASTM (America Society for Testing and Materials) F2663-15がある。⁽⁴⁾ 日本では、これを参考にした JIS (Japanese Industrial Standard) (JIS D4230) が制定されている。⁽⁵⁾

本研究では図1に示すようなJISに基づく試験機を製作し、タイヤ空気圧、タイヤ断面幅など種々の要素が発生条件に及ぼす影響について試験を行った。なお試験では小型車を中心に広く使用されているタイヤを使用した。これらのタイヤはタイヤ外径が小さく、偏平率も55~70%であった。なお、ASTM F2663-15とJIS D4230の違いは図1示すタイヤ試験機において、タイヤ中心点から荷重点までの長さLの違いである。ASTM F2663-15では、 $L = 0.75 \times \{0.5 (OD - RD) + 0.5RD\}$ [インチ]、JISでは、 $L = (3.5 + 0.5RD) \times 25.45$ [mm] である。ここにOD：タイヤ外径 [インチ]、RD：リム径 [インチ] である。なお、ASTM F2663-15は一般には“75%ルール”と呼ばれている。ASTM F2663-15による試験は、リム径が大きく、超低偏平率のタイヤにも適用できるが、JIS D4230では未対応である。例えばJISでは、Lとしてリム径が19インチでは330mmと設定されているが、リム径19インチで偏平率30%のタイヤ“255/30R19”のLの値とタイヤ外径の値を比較してみる。タイヤ外半径は317.8mmであるが、 $L_{ASTM} = 288.7\text{mm}$ 、 $L_{JIS} = 330.2\text{mm}$ となり、JISによる方法では、Lの値はタイヤ外側にはみ出してしまう。

このようにタイヤサイズが大きく、偏平率も非常に小さい場合、JISでは荷重点がタイヤ外径の外側になってしまうので、ASTMによる方式を使用することが必要と思われる。なお、試験ではJISの他にASTMによる試験も行い比較検討したが、本研究に用いたリムサイズや偏平率では、ビードアンシーティング発生の目安となるビードアンシーティング抵抗力の値にあ

まり差異は見られなかった。これらの試験結果を基に、ビードアンシーティング特性を支配するタイヤのパラメータを決定することができ、正確な理論解析モデルを作成する上で非常に有用であった。なお、タイヤの名称やタイヤサイズおよびリムサイズの表記方法などの詳細は付録に示す。

2 試験装置および試験方法

2.1 試験装置

図1はJIS D4230に規定されている試験装置およびタイヤに力を加える荷重ブロックを示す。この装置はリム径の異なる数種類のタイヤについて試験ができるように、タイヤからブロックの固定位置までの長さLが変更されるように設計されている。図中の表には各種のリム径の呼びによる長さLを示している。

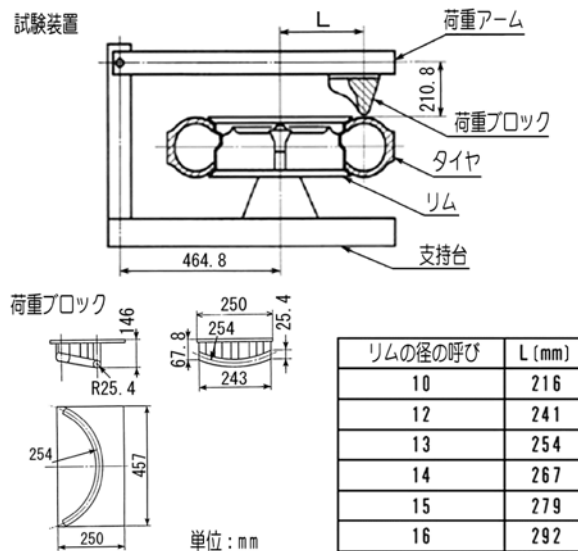


図1 製作した試験装置と荷重ブロック

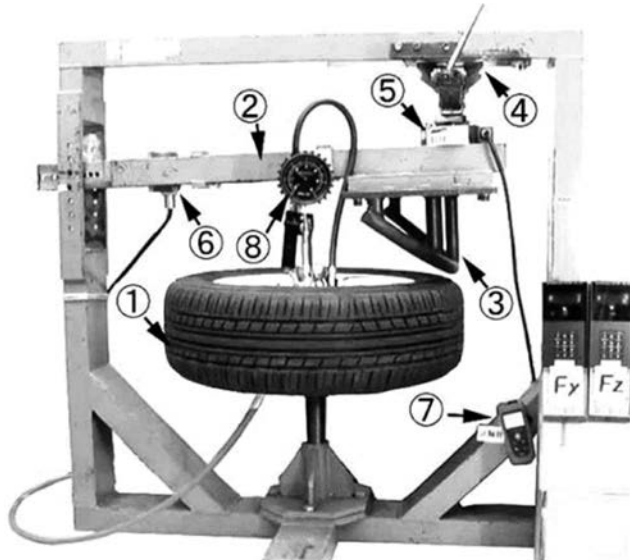
表1 試験装置の仕様

測定可能なリム径 [インチ]	10~16
最大荷重 [kN]	垂直荷重 19.6 スラスト荷重 9.8
ビード加圧方法	パンタリフト拡張方法
大きさ [mm]	横幅 1000 高さ 950 奥行 600

表1は製作した試験装置の仕様を示す。測定可能な最大のタイヤサイズは16インチである。

図2は図1の仕様に基づいて製作した装置の写真である。なお、荷重ブロック③はJISではアルミニウムの鋳物であるが、本試験装置では、鉄パイプを組み合わせて同じ寸法になるように製作した。荷重ブロックにかかる荷重（拡張力）は、図の右上のパンタグラフジャッキ④の上下移動により加えられる。JISでは荷重をかける速度を毎分約50mmとしているが、本装置では手動で毎分約50mmとなるように行った。この装置では、タイヤにかかる垂直荷重、スラスト荷重、タイヤ空気圧およびタイヤたわみを計測した。垂直荷重およびスラスト荷重はロードセル⑤、⑥により測定、タイヤ空気圧はタイヤゲージ⑧の指示値を読み取った。タイヤたわみ量はレーザ距離計⑦で下部から荷重アーム部分に照射して測定した。なお、JISでは試験におけるタイヤ空気圧は180kPaとしているので、本試験でもタイヤ空気圧を変化させる時の試験には180kPaも含めた。

タイヤに作用する垂直荷重（タイヤの横力）に対して、ビードアンシーティング抵抗（ F_y ）とスラスト力（タイヤの垂直反力： F_z ）の関係を図3に示す。タイヤがリムから外れる時のビードアンシーティング抵抗の値を F_{ym} とする。（JISでは最小抵抗値と呼んでいる）。この値が大きいほど、タイヤはリムから外れにくいことを示す。



①：試験用タイヤ ②：荷重アーム、③：荷重ブロック、④：パンタグラフジャッキ、⑤：垂直荷重計測用ロードセル、⑥：スラスト荷重計測用ロードセル、⑦：タイヤたわみ量計測用レーザ距離計、⑧：タイヤ空気圧計測用ゲージ

図2 製作した試験装置

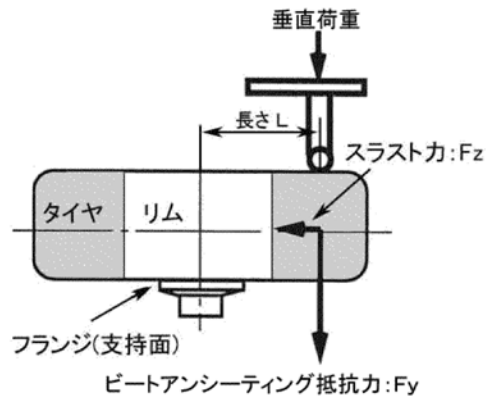


図3 タイヤに作用する力

2.2 試験方法

試験はJISを参考にして、以下の方法により行った。

- (1) 試験用タイヤを図2のように試験装置に取り付け、タイヤのサイドウォールに対しパンタグラフジャッキの拡張力で所定の位置に荷重ブロックを押し付ける。パンタグラフジャッキを押し付ける速度はほぼ一定（手動で毎分50mm）になるようにした。
- (2) 垂直荷重（ビードアンシーティング抵抗 F_y ）に対して、スラスト力 F_z 、タイヤたわみ量 δ およびタイヤ空気圧 p を求める。
- (3) タイヤのビード部がリムから外れるまで荷重を加える。リムから外れる時の荷重をビードアンシーティング力 F_{ym} およびスラスト力 F_{zm} とする。

2.3 試験条件

試験は表2に記載したサイズのタイヤやリムを用いて行った。タイヤ空気圧は0～300kPaまで行ったが、指定がない場合はJIS指定の180kPaで行った。

表2 試験で用いたサイズのタイヤ、リムおよびタイヤ空気圧の範囲

タイヤサイズ	(14インチ) 155/65R14、175/60R14、175/65R14、175/70R14、 215/65R14 (15インチ) 175/55R15、175/60R15、175/65R15
リムサイズ	(14インチ) 14×4.5J、14×5J、14×5.5J、14×6J、14×6.5J (15インチ) 15×5J
タイヤ空気圧 [kPa]	0～300

2.4 タイヤがリムから外れる経過の様子

図4 (a) から図4 (c) はサイズ175/65 R14のタイヤを用いたビードアンシーティングの試験において、タイヤがリムから外れる経過を示している。使用したリム幅は5インチである。図4 (a) は荷重ブロックを所定の位置にセットした状態。図4 (b) は垂直荷重をかけ、荷重ブロックがタイヤに食い込んでいる状態。図4 (c) はさらに垂直荷重を加えて、タイヤのビード部がリムから外れ、ビードアンシーティングが発生する瞬間である。図4 (d) はタイヤがリムから完全に外れた状態である。

図5はタイヤたわみ量に対するビードアンシーティング抵抗 F_y 、スラスト力 F_z およびタイヤ空気圧 p の変化の様子を示す。図中の記号a～cは図4 (a)～(c)に対応している。すなわち、図5のa点は図4 (a)の所定位置にセットした状態を示す、b点は図4 (b)の荷重をかけている状態を示す、c点は図4 (c)に示されているタイヤがリムから外れる時の状態をそれぞれ表している。図4および図5から荷重をかけてビードアンシーティング抵抗 F_y を増加させると荷重ブロックがタイヤに食い込みはじめる。これにより、タイヤ空気圧もわずかであるが増加する。これは荷重増加によりタイヤが変形し、体積が減少するために、空気圧が増加すると思われる。空気圧はタイヤたわみ量が100mmを超えると急激に増加する。図はタイヤがリムから外れる直前のc点における F_y の値が試験に用いたタイヤのビードアンシーティング抵抗 F_{ym} となる。タイヤ空気圧の値は215kPaと試験開始時の180kPaの約1.2倍に増加している。また、 F_z の値はほぼたわみ量に比例して増大するが、その値は F_y の1/2～1/3である。

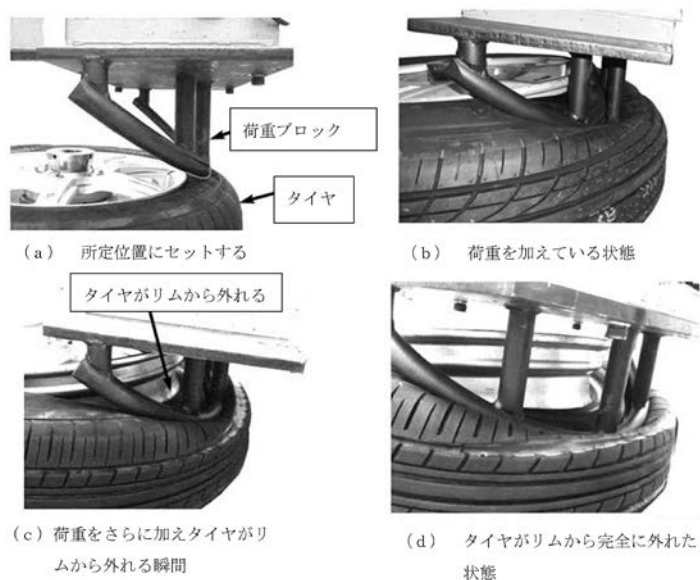


図4 静的なビードアンシーティング試験においてタイヤがリムから外れる経過の様子

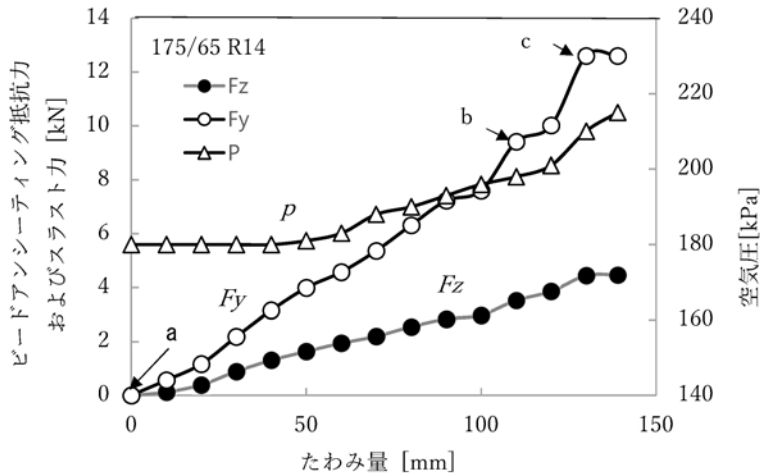


図5 タイヤたわみ量に対するビードアンシーティング抵抗 F_y 、スラスト力 F_z およびタイヤ空気圧 p の変化（使用リムは14×5J）

3 試験結果

3.1 試験方法の違い（JISとASTM）によるビードアンシーティング抵抗力の比較

JISとASTMの試験によるビードアンシーティング抵抗 F_{ym} の比較を行うために、215/65R14のタイヤをリム（径14インチ、幅5.5インチの標準タイプ）に装着して、タイヤ空気圧を変化させた場合のビードアンシーティング抵抗 F_{ym} およびスラスト力 F_{zm} の関係を図6に示す。荷重を加える位置までの距離 L はJISでは266mm、ASTMでは282mmであったが、抵抗はあまり差がなかった。本論文に掲載してある試験はすべて両方の規格によって行った

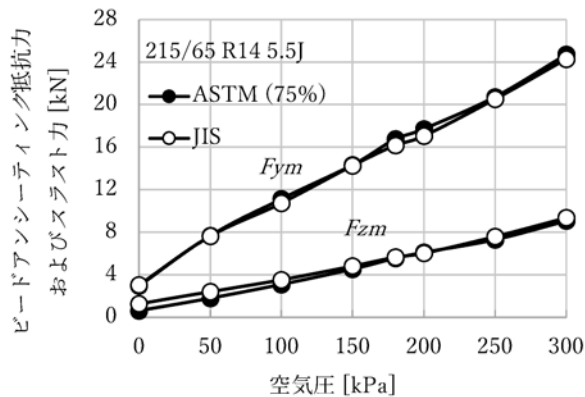


図6 試験方法の違いによるビードアンシーティング抵抗 F_{zm} およびスラスト力 F_{zm} の変化（使用リムは14×5.5J）

が、ビードアンシーティング抵抗力にはあまり差がなかったので、以後の試験結果ではJISによる値のみを表示した。なお、JISとASTMの比較については、まとめの5項で述べる。

3.2 タイヤ空気圧による抵抗力の変化

図7は175/65R14および175/65R15の2種類のタイヤをリム径14インチおよび15インチ、それぞれ幅5インチのリムに装着して、タイヤ空気圧を0kPaから300kPaまで50kPaごとに変化させた時のビードアンシーティング抵抗力 F_{ym} およびスラスト力 F_{zm} の関係を示している。いずれのタイヤにおいてもタイヤ空気圧の増加に伴い、ビードアンシーティング抵抗力も増加することがわかる。これはタイヤ空気圧の増加によりタイヤとリムが接触する圧力が大きくなるためにタイヤがリムから外れにくくなり、ビードアンシーティング抵抗力も増加するためと思われる。この傾向はタイヤサイズに関係なく生ずる。したがって、タイヤ空気圧が低くなるとビードアンシーティング抵抗力が小さくなり、タイヤがリムから外れやすくなるので、タイヤ空気圧の適切な管理が重要である。

3.3 使用リム幅による抵抗力の変化

一般に使用可能なリム幅は標準リム幅のほかに2～3種類設定されている。たとえば、175/60R14のタイヤでは、標準リム幅は5インチであるが、適用できるリム幅は5～6インチになっている。標準リム幅は適用幅のうち、やや小さめに設定されていることが多い。

図8は幅175mmのタイヤに直径14インチのリムを使用し、偏平率が60、65および70%の3種類のタイヤをそれぞれ幅5、5.5および6インチの3種類のリムに装着した場合のリム幅とビー

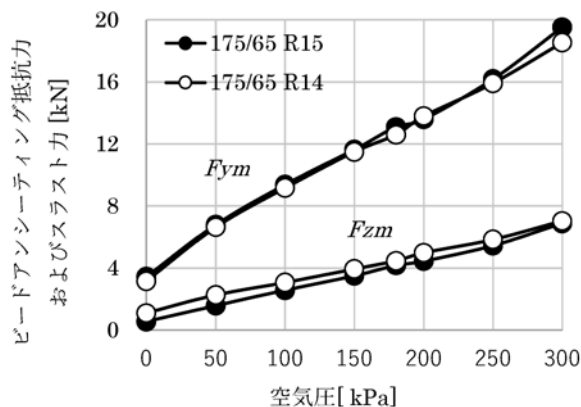


図7 タイヤ空気圧によるビードアンシーティング抵抗力 F_{ym} およびスラスト力 F_{zm} の変化 (使用リムは14×5および15×5)

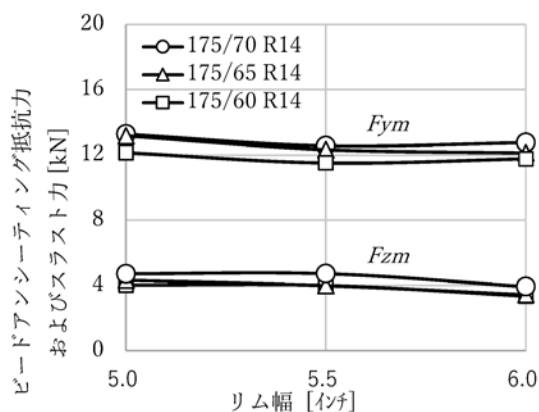


図8 リム幅によるビードアンシーティング抵抗力 F_{ym} およびスラスト力 F_{zm} の変化 (使用リムは14×5、14×5.5および14×6)

ドアンシーティング抵抗力 F_{ym} およびスラスト力 F_{zm} の変化を示す。

いずれの扁平率のタイヤにおいても、リム幅に対するビードアンシーティング抵抗力の大きな変化はみられない。この傾向は他のタイヤにおいても同様であった。

3.4 タイヤ断面幅による抵抗力の変化

JIS D4230では、ビードアンシーティングの最小抵抗値（本実験における F_{ym} の値）は表3に示すようにタイヤ幅により3種類に分類され、タイヤ断面幅が広いほど抵抗値も大きくなることが示されている。本試験では、これらの断面幅に該当するタイヤとして、155/65R14（断面幅155mm、リム幅4.5インチ）、175/65R14（断面幅175mm、リム幅5インチ）および215/65R14（断面幅215mm、リム幅6.5インチ）の3種類のタイヤを用いた。いずれのタイヤもリム径は14インチで扁平率は65%であり、タイヤ空気圧は180kPaに設定した。使用したリム幅は標準リム幅を使用した。表3の最下段の欄には、試験により得られたビードアンシーティング抵抗力の値を示す。いずれのタイヤについても、JISの設定する最小抵抗値を超えていることがわかる。

図9は上記のタイヤ断面幅の異なる3種類のタイヤについて、タイヤのたわみ量とビードアンシーティング抵抗力 F_{ym} およびスラスト力 F_{zm} の変化を表したものである。いずれのタイヤでもたわみ量の増加に伴い F_{ym} および F_{zm} も増加する。断面幅155mmのタイヤがリムから外れる時のビードアンシーティング抵抗力は12.1kNである。ついで断面幅175mmのタイヤが12.6kN、断面幅215mmのタイヤが14.5kNの順に、 F_{ym} が大きくなる。すなわち、タイヤ断面

表3 ビードアンシーティング抵抗力

[JIS規格 (JIS D4230) による乗用車用タイヤ表示]

	断面幅の呼び 160未満	断面幅の呼び 160以上 205未満	断面幅の呼び 205以上
JISによる最小抵抗力の値 [kN]	6.67	8.89	11.12
測定した タイヤサイズ	155/65	175/65	215/65
タイヤ断面幅 [mm]	155	175	215
使用したリムの幅 [インチ]	4.5	5	6.5
タイヤ直径 [mm]	557.1	583.1	635.1
試験結果の抵抗力 [kN]	12.1	12.6	14.5

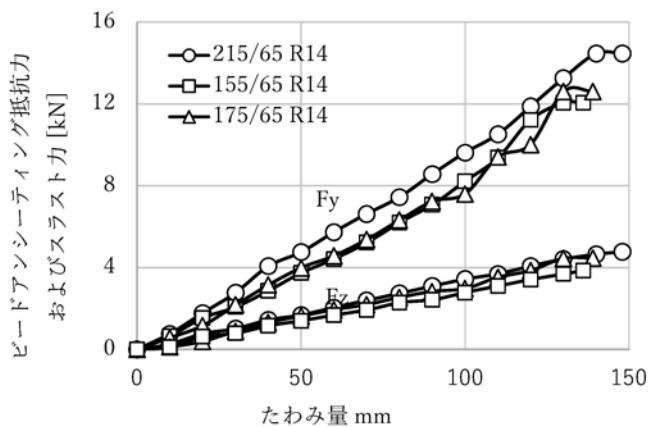


図9 タイヤ断面幅によるビードアンシーティング抵抗力 F_{ym} およびスラスト力 F_{zm} の変化 (使用タイヤ・リムは215/65R14、14×6.5J、175/65R14、14×5J および155/65R14、14×4.5J)

幅が広いことはビードアンシーティング抵抗力 F_{ym} の増大につながる事がわかる。

なお、図9ではタイヤ断面幅が60mmの差があるために適用リム幅を変えたが、リム幅の影響を除くために、同一幅のリムを使用してタイヤ断面幅によるビードアンシーティング抵抗力 F_{ym} の関係を求める試験を行った。表4に試験結果を示す。使用リムは直径14インチ、幅5.5インチであり、タイヤ空気圧は180kPaに設定した。このリム幅も適用内のリムを使用した。図8より分かるようにリム幅は適用リム内であれば、ビードアンシーティング抵抗力に大きな影響を及ぼさないことが分かる。この表4からも図9と同様にタイヤ断面幅が大きくなると、ビードアンシーティング抵抗力が増大することがわかる。

表4 タイヤ断面幅とビードアンシーティング抵抗力の関係

タイヤサイズ	155/65	175/65	215/65
ビードアンシーティング抵抗力 F_{ym} [kN]	12.0	12.3	16.1

図10は直径14インチ、幅5インチのリムに断面幅175mm、偏平率が60、65および70%の3種類のタイヤを装着し、空気圧を180kPaとした時の偏平率によるビードアンシーティング抵抗力 F_{ym} およびスラスト力 F_{zm} の変化の違いを示している。なお、図10には参考として、直径15インチ、幅5インチのリムに幅175mm、偏平率55%、60%および65%のタイヤを装着した結果も合わせて示す。(断面幅175mmリム径15インチでは、偏平率70%のタイヤは設定されていない)。いずれのタイヤに対しても、偏平率が小さいほどビードアンシーティング抵抗力 F_{ym} が小さいためにタイヤからリムが外れやすい傾向がみられる。

一般にタイヤ偏平率を小さくすると、タイヤ高さが小さくなるために、使用リムを大きくする(インチアップ)とともに幅が広いタイヤを使用する傾向が多い。タイヤ断面幅が広くなるとビードアンシーティング抵抗力も大きくなり、走行時の安定化が図れる。しかしタイヤ偏平率が小さくなるとビードアンシーティング抵抗力はやや低下傾向にある。したがって、タイヤの低偏平率化による抵抗力の減少はタイヤ断面幅の増加により防いでいると考えられる。これは、タイヤ直径をあまり変化させない、タイヤ空洞容積をあまり変えないなどのためであり、結果としてタイヤがリムから外れにくくなる。

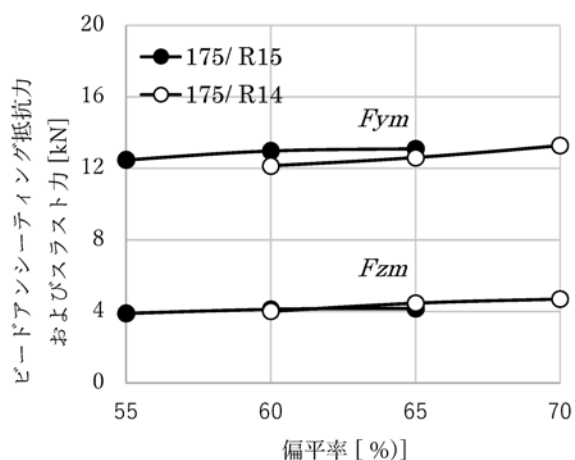


図10 偏平率によるビードアンシーティング抵抗力 F_{ym} およびスラスト力 F_{zm} の変化 (使用リムは14×5Jおよび15×5J)

4 まとめ

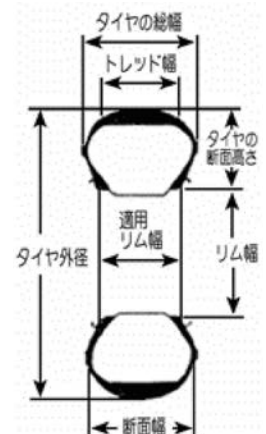
JISに基づく静的なビードアンシーティング試験について、試験装置を製作し、タイヤの様々な要素を考慮した試験を行った。その結果以下のことがわかった。

1. タイヤがリムから外れる経過を詳しく観察することができた。また、タイヤのたわみに対するビードアンシーティング抵抗力、スラスト力およびタイヤ空気圧の変化の様子がわかった。これらのデータを基に詳しい数値モデルの作成が可能である。
2. ビードアンシーティング抵抗力に影響を及ぼす要素として、タイヤ空気圧、リム幅、タイヤ偏平率、タイヤ断面幅などを検討した結果、タイヤ幅の影響が大きいことがわかった。すなわち、タイヤ断面幅が大きくなるとビードアンシーティング抵抗力が増加する
3. タイヤ偏平率が小さくなるとビードアンシーティング抵抗力がやや減少する。また、タイヤ高さが小さくなり外見からタイヤ空気圧の低下がわかりにくいので、空気圧の管理も十分に注意することが必要である。
4. 実際に低偏平率のタイヤを用いる時には、リムのインチアップやタイヤ断面幅の広いタイヤを使用して、ビードアンシーティング抵抗力が大きくなるようにセッティングしている。
5. 試験方法については、現在JISとASTMによる2つの方法がある。外径が小さく、偏平率が50%以上のタイヤでは、本実験で示すようにJISとASTMの差はあまり見られなかった。しかし、JISでは外径が大きく、偏平率が小さいタイヤは荷重点がタイヤ外形より大きくなり測定ができない。我が国でも、タイヤ外径が19~20インチと大きく、30~40%の低偏平率のタイヤが市販されており、JISによる方法では、試験に限界がある。早急に、荷重点はASTMと同様なタイヤ外径の75%に改正する必要があると思われる。

付録1 タイヤの諸元について

タイヤの緒元(各部の名称)を付図1に示す。タイヤの寸法は“タイヤを正規の標準リムに組み、正規の空気圧を充填した時に測定した数値”である。

- (1) タイヤの総幅：規定の空気圧を入れて、荷重をかけない状態で模様、文字を含めたサイドウォール間の寸法。
- (2) 断面幅：総幅からタイヤの模様や文字を除いた幅。
- (3) タイヤ外径：規定の空気圧をいれて、荷重をかけない状態での外径。
- (4) 断面高さ(高さ)： $(\text{タイヤ外径} - \text{リム径}) / 2$ 。
- (5) 偏平比：断面高さ/タイヤの断面幅。
- (6) 偏平率：偏平比を100倍して%表示したもの。



付図1 タイヤの各部の名称

(7) ロードインデックス：規定された条件のもとで、そのタイヤに加えることのできる最大の質量を指数で表示したもの。

(8) 速度記号：そのタイヤに許容される最高速度を示す。

また、タイヤサイズの表記方法の例

175/65 R14 85H

- (1) 175：タイヤの断面幅 [mm]。
- (2) 65：扁平率 [%]。
- (3) R：ラジアルタイヤの略。
- (4) 14：リム直径（リム径）[インチ]。
- (5) 85：ロードインデックス。
- (6) H：速度記号。

付録2 リムサイズの表記方法の例

14×5J

- (1) 14：リム直径（リム径）[インチ]。
- (2) 5：リム幅 [インチ]。
- (3) J：フランジの形状。

参考文献

- (1) 酒井秀男：タイヤ工学，グランプリ出版，2001.3，pp.423-426.
- (2) 井上吉昭：タイヤのビードアンシーティング（試験結果の評価に関する一考察），全国自動車短期大学協会研究発表会誌，No.28（1999），pp.4-27.
- (3) 井上吉昭，清野達夫，横井雅之：タイヤのビードアンシーティング（試験結果の評価に関する一考察 第2報），全国自動車短期大学協会研究発表会誌，No.5（2006），pp.20-24.
- (4) ASTM F2663-15, Standard Test Method for Bead Unseating of Tubeless Passenger and Light Truck Tires, ASTM International.
- (5) JIS D4230：1998 自動車用タイヤ，日本規格協会.