

# ハイドロプレーニングに関する一実験

リー キム リョン\*・浦  
川 添 強\*\*

晟\*\*

## An Experimental Study on Hydroplaning

by

Kim Leong LEE\*, Akira URA\*\*  
and Tsuyoshi KAWAZOE\*\*

The experiments through model are necessary for analyzing hydroplaning phenomena theoretically, but have rarely been conducted.

Therefore, as the first step of our study, some experiments using two cylinders test machine were conducted to investigate the deformation behavior of rubber roller.

The couples of rubber rollers used in this experiment are five combinations such as rollers with groove and without groove. Water has been injected into the contact region between upper roller and lower roller. The cause of the follower's rolling speed to have been slowed down and the deformation behavior of rubber roller have been explained.

### 1. まえがき

ハイドロプレーニング現象とは比較的厚い水膜がある路面上を空気入りタイヤを装着した自動車が走行した時、路面上に形成された水膜上にタイヤが浮上してしまう現象である。ハイドロプレーニングが発生すると、車は水面上を滑走し、走行安定性が悪くなり、ハンドルでの進路修正は利かない。アクセルやブレーキによる回転の制動も不可能になる。

ハイドロプレーニング現象に関する研究として、実車を用いた研究が多く見られるが<sup>1~9)</sup>、モデルタイヤを用いた研究は少ない。しかし、ハイドロプレーニング現象を理論的に解析するには、モデル試験は不可欠なものであると思われる。

ここでは、中実ゴムを用いて、二円筒ころがり試験を実施し、ハイドロプレーニング現象発生時の諸条件を明らかにする目的で、まず回転に伴うゴムタイヤの変形を実験解析の第一段階として検討した。

### 2. 実験条件及び実験方法

本実験では上部ローラと下部ローラとに分かれている。ここで、上部と下部ローラの性質について表1に示す。なお、溝を入れたゴムローラの溝の形と寸法は図1に示す。

表1 上部と下部ローラの種類と寸法

Material	Modulus of Elasticity $E$ (MPa)	Diameter (mm)	Width (mm)
Elastomer(NBR)	1.6487	120	30
Stainless(SUS)	205800	120	30

ハイドロプレーニング実験は以下の手順で行った。

(1) 図2の(a)に示すように、荷重台に荷重を乗せ、上部ローラを下部ローラに静かに接触させて上部ローラを駆動し、接触面の摩擦によって下部ローラを回転させる。この時の変形量を0回転(0 rpm)時の変形量とし、変形量の0レベル(0点)とする。

平成11年4月23日受理

\*海洋生産科学研究科博士課程 (Graduate School of Marine Science and Engineering)

\*\*機械システム工学科 (Department of Mechanical Systems Engineering)

(2) 図2の(b)に示すように、上部ローラを一定の回転数で回転させると、両ローラとも遠心力によって半径方向に変形が生じる(ゴムの場合には特に大きく現れる)。その時の変形量はギャップセンサーによって測定する。この時の変形量を Dry 状態の変形量とする。

(3) 次にノズルから両ローラの上に水を60秒間注入し、水を注入してから10秒ごとに変形量をギャップセンサーより測定する(ただし、上部と下部ローラの組合せや荷重条件によって若干変えて測定している。)この時の変形量を Wet 状態の変形量とする。

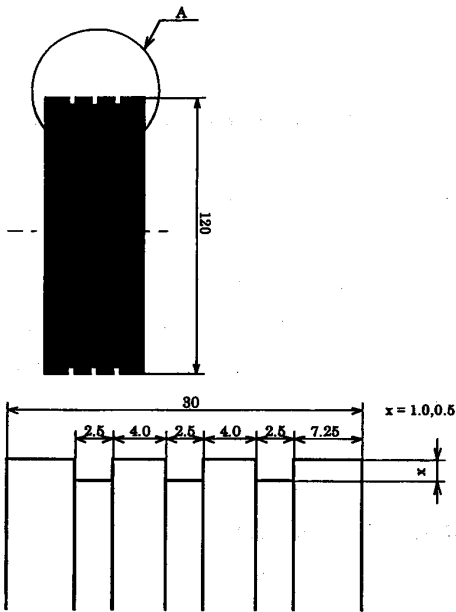


図1 溝付きゴムローラの溝の形と寸法

3. 実験結果および考察

図3は上部と下部ローラがともに溝のついていないフラット NBR ゴムについて、荷重条件が29N,49N,69N,89Nの時の回転数とローラの変形量の関係を示す。Dry 状態においては半径方向の変形は回転するローラの発生する遠心力から生み出されるため、どの荷重条件においても、変形量は回転数の増加に従って、右上がりの傾向を現していることが分かる。これは回転するローラの発生する遠心力から生み出された半径方向の変形によるものである。図4に荷重0の時のゴムローラが回転し、遠心力によって生じた半径方向の理論的変形量と実験的変形量の違いを示す。実験的変形量は理論的変形量よりも小さいことが分かる。これはゴムローラを回転させるために取り付けられた金具などのため、変形が十分に出来なかったからと思われる。次に、回転している両ローラの接触部に水を注入した Wet 状態における変形量に注目すると、回転数が1667rpm と1875rpm の時、Dry 状態の同回転時よりわずかではあるが、大きくなっている。しかし、回転数が2143rpm~3750rpmの間では、変形量が大きくなり、大きく減少していることが分かる。さらに、1667rpm と1875rpm の時に見られなかった下部ローラの回転減速現象が2143rpm~3750rpmの時に確認された。

下部ローラの回転減速現象は水によって引き起こした現象であることは明らかである。以下のような原因が考えられる。

2143rpm~3750rpmの場合における下部ローラ回転の減速は上部ローラと下部ローラの上に水膜が形成されたことにより、両ローラの上に十分に厚い水膜が形成され、上部ローラによるトルクの伝達ができなくなり、下部ローラは徐々に減速していく現象が生じる。トルクの伝達を十分に妨げる水膜が保たれると、上部ローラが回転しているにも関わらず、下部ローラの回転は完全に停止する現象も生まれる。

1667rpm と1875rpm の場合のような比較的低速では、下部ローラの回転減速が見られなかったのはトルクの伝達を妨げるほどの水膜の形成がなかったと考えられる。上述したように、水膜の厚さは理論的には、回転速度の増加によって厚くなるからである。図5は理論計算による各荷重条件下の膜厚と回転数の関係を示す。

以上述べたように下部ローラ回転数の減速の有無が形成した水膜の厚さが十分であるかどうかによって決まることが明らかになった。次に下部ローラの回転減速と変形量の減少現象について考察する。

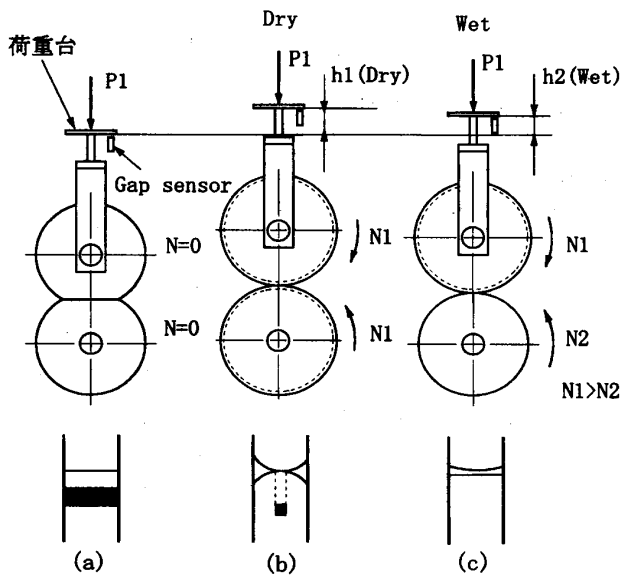


図2 ハイドロプレーニング試験の流れ図

下部ローラの回転減速が生じると、回転時の遠心力による半径方向の変形量もそれとともに減少する。

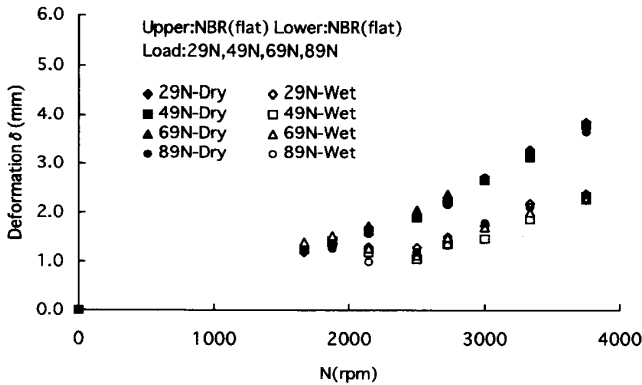


図3 NBR (flat)-NBR (flat) の変形量と回転数の関係

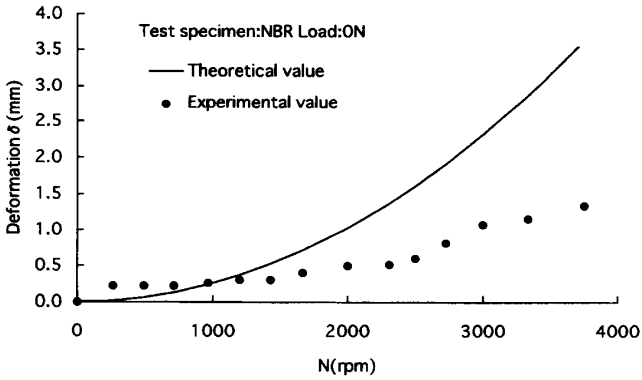


図4 回転ローラの変形量の理論値と実験値の比較

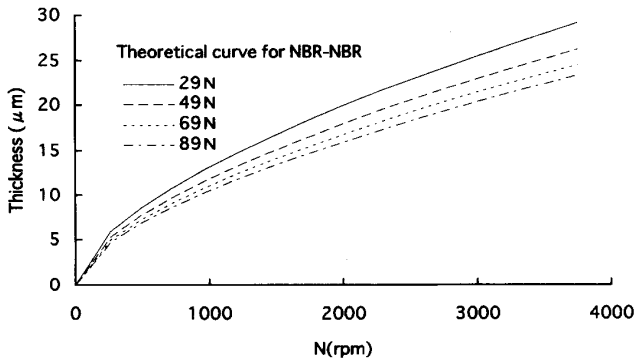
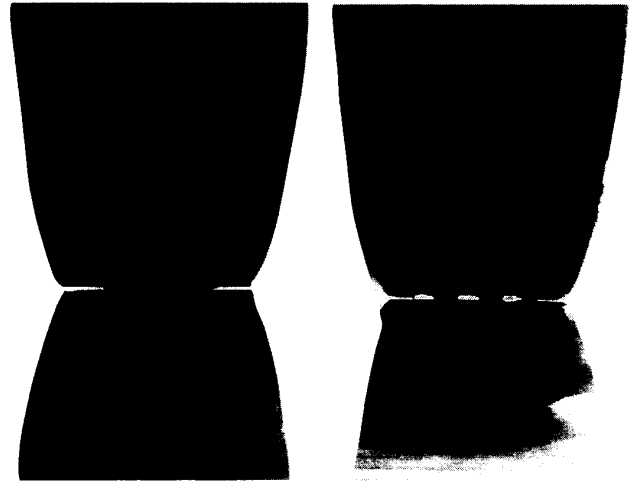


図5 NBR (flat)-NBR (flat) の膜厚と回転数の関係 (理論値)

Wet 状態における変形量はすべて下部ローラの遠心力による変形の回復にあるということができよう。そして、上部ローラに関しても多少変形が起きていることが考えられる。両ローラが回転すると、図2の(b)の下部の断面図および図6に示すような接触をもつ。この接触状態のときに水を注入すると、接触部分が水のスクイズ効果によって平均化されフラットに



(a) flat (b) 0.5mm groove

図6 NBR (flat)-NBR (flat) と NBR (0.5mm groove)-SUS (flat) の接触状態

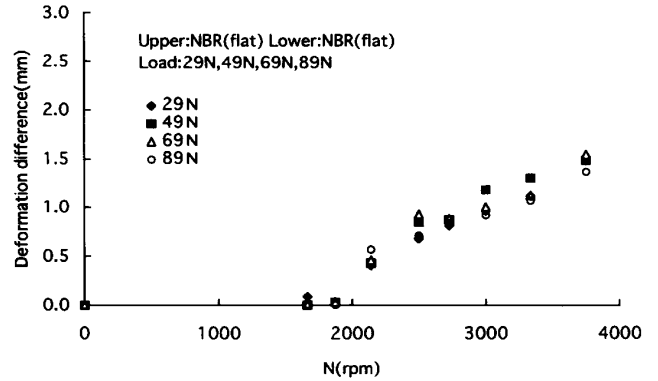


図7 Dry 状態の変形量と Wet 状態の変形量の差

なると考えられる。このフラットになって変形した部分も全変形量の一部だと考えられる。この現象は路面とタイヤの間に生じるハイドロプレーニング現象と同じと考える。

Dry 状態の各荷重条件における変形量と回転数の関係を見ると、変形量に及ぼす荷重の影響が小さいことがわかる。Wet の時も同様である。

図7は Dry 状態のタイヤの変形量と Wet 状態のタイヤの変形量の差を示す。これを見ると、回転速度が速くなると、変形量の差も大きくなるのが分かる。またタイヤの変形量は荷重よりも回転速度に大きく依存することが言える。1667rpm と1875rpm の場合においては、下部ローラの回転減速が見られなかったため、両状態下の変形量の差はない。しかし、それに対して、2143rpm~3750rpm の場合においては、変形量の差が明らかに回転速度の増加につれ、右上がり傾向を示した。この右上がり傾向は、遠心力によるタイヤの半径方向の変形量は前述したように回転速度に依

存することを示している。下部ローラの減速とともに、遠心力も小さくなり、下部ローラの膨張も減少するため、Dry 状態と Wet 状態の間に変形量の差が増えていく。また、高回転の時の下部ローラの膨張変形が大きい分、回転が減速する時の膨張の減少も大きいため、変形量の右上がり傾向が大きくなったと考えられる。

上部ローラも下部ローラも溝なしのフラットの NBR の組合せで Wet 状態で実験した結果、高回転になるにつれ、変形量が大きく減少した現象が見られた。これは水の介入によって水膜の形成によるものであると先に述べたが、次に水膜が出来ない状態の場合の変形量について調べた。

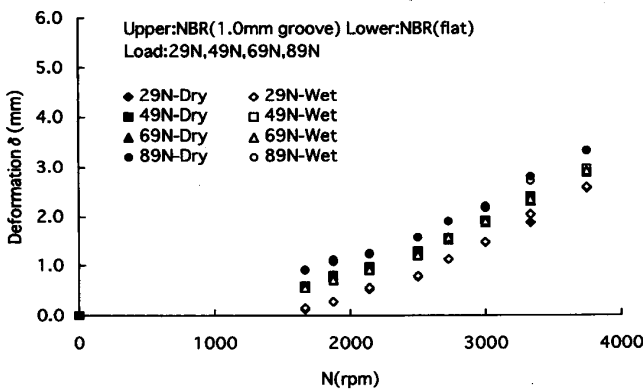


図8 NBR(1.0mm groove)-NBR(flat) の変形量と回転数の関係

図8は上部ローラに深さ1.0mmの溝を3本持つNBRと下部フラットNBRローラと組み合わせて、Dry 状態と Wet 状態で、29N, 49N, 69N, 89N の荷重条件下で実験を行った結果を示す。これを見ると、Dry 状態の変形量と Wet 状態の変形量との差はほとんど見られない。また、下部ローラの減速も見られなかった。これは上部ローラにある深さ1.0mmの溝3本が注入された水をうまく排除してしまったからと考えられる。それで、水を注入したものも、両ローラは Dry 状態とほぼ同じ状態で回転した。

次に荷重条件に注目すると、荷重が大きいほど、圧縮による変形も大きくなり、それに回転が加わると、膨張変形を伴い、その変形も荷重の大きさによって大きくなる。また図3と図8を比較してみると、3本溝のある上部NBRローラと下部フラットNBRローラの組合せ(図8)の方が変形量が小さいことが分かる。これは、溝が存在することによって、ローラの遠心力による半径方向の変形の仕方が違うことによるものだと考えられる。

上部に深さ1.0mmの溝を3本つけたNBRローラは

入ってきた水をほぼ完全に排除できたので、次に、溝深さを1.0mmから0.5mmに変更して同じように実験を行った。

その結果を図9に示す。溝深さ1.0mmと0.5mmの実験結果を比べてみたが、ほとんど差がでない。しかし、高回転領域を注目してみると、溝深さ0.5mmの場合、水膜による影響がわずかではあるが、確認できた。図9を図8と比較してみると、溝深さ1.0mm(図8)の方が変形量が小さいことが分かる。これは、溝が深いほど、リブ(Rib)丈が高くなるので、従って、リブの圧縮変形が生じやすくなるからと考えられる。

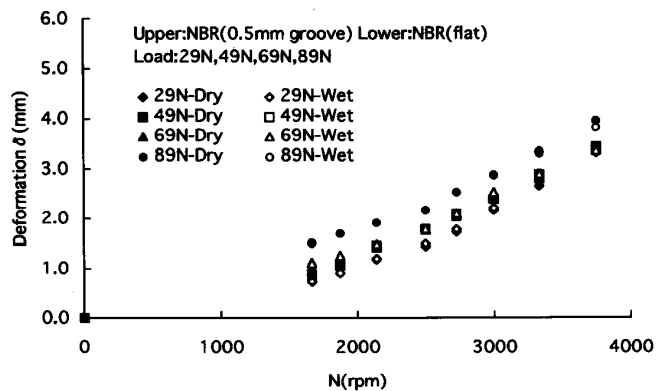


図9 NBR(0.5mm groove)-NBR(flat) の変形量と回転数の関係

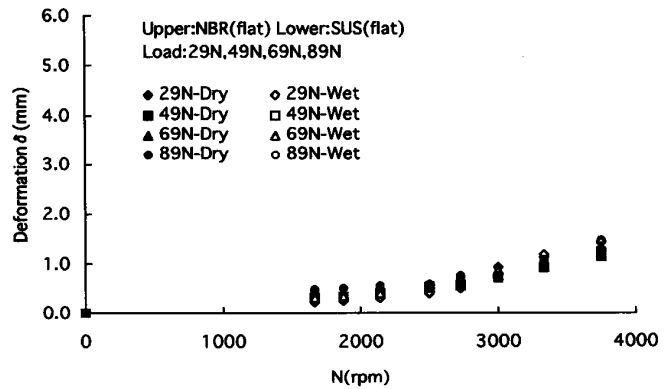


図10 NBR(flat)-SUS(flat) の変形量と回転数の関係

これまでの場合は、上部、下部ローラともNBRを用いたが、次に、下部を金属ローラを用いた場合、変形量にどんな影響を及ぼすのかを実験してみた。

図10は上部ローラにフラットのNBR、下部ローラにフラットのSUS(金属ローラ)の組合せで、29N, 49N, 69N, 89N の荷重条件下で得られた回転数とローラの変形量の関係を示す。この場合においては、下部ローラが剛体であるため、遠心力による半径方向の変

形がないと考える。従って、図10に示す変形量はすべて上部フラット NBR ローラによるものと考えられる。図10を見ると、回転数の増加につれて、水による影響が少しずつ現れてきたことがわかる。荷重条件ごとに注目してみると、高荷重ほど水による影響が顕著になってくることがわかる。また、荷重は変形量の傾きに影響しないことがわかる。

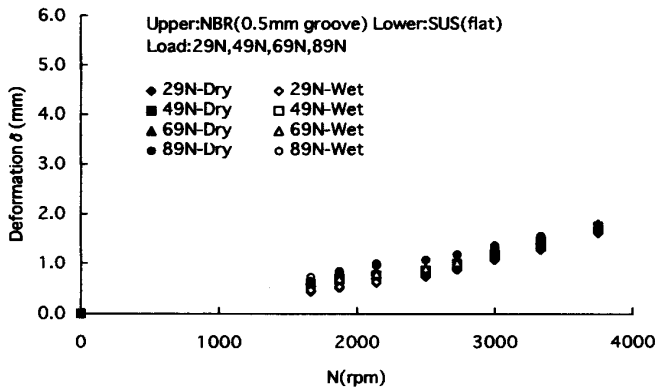


図11 NBR(0.5mm groove)-SUS(flat) の変形量と回転数の関係

図11は上部ローラに深さ0.5mmの溝を3本つけたNBR,下部ローラにフラットのSUS(金属ローラ)の組合せで、29N,49N,69N,89Nの荷重条件下で得られた回転数とローラの変形量の関係を示す。Wet状態における変形量に注目すると、上部ローラがフラットNBRの場合と比べると、上部が深さ0.5mm溝を3本つけたNBRローラの方がわずかに小さいことがわかる。また荷重は変形量の傾きに影響していない。

#### 4. 結論

ハイドロプレーニング現象発生時のゴムタイヤの挙動に関する実験を行い、次のような結果を得た。

(1) 上部ローラと下部ローラがともに溝の設けられていないフラットのゴムの場合、高回転領域(2143rpm)になると両ローラの間十分に厚い水膜ができる。この水膜は上部ローラのトルクが下部ローラに伝達できなくなるように働き、下部ローラの回転減速が生じ、ついには停止する。

(2) 上部ローラと下部ローラがともにフラットのゴムの場合における変形は荷重に無関係で一定の傾向を持つ、すなわち荷重の影響は比較的小さい。しかし、この場合、回転数の増加によって大きな変形を生じている。

(3) 上部ローラに溝を付けた場合、下部ローラの回転が減速しなくなり、変形も減少しなくなるが、これ

は水が溝によって回転中に排除されるからである。

(4) 上部ローラがフラットのゴム、下部ローラがフラットの金属の場合においては、下部ローラがフラットのゴムの場合にしたときのような、下部ローラの回転減速がなく、変形の減少も見られなかった。これはゴムと金属の接触条件によって、十分に厚い水膜を形成することが出来なかったからと考えられる。

#### 参考文献

- 1) Horne, Walter B., and Dreber, Robert C. : Phenomena Of Pneumatic Tire Hydroplaning. NASA TN D-2056, 1963
- 2) Horne, Walter B., and Joyner, Upshur T. : Pneumatic Tire Hydroplaning and Some Effects on Vehicle Performance, Society of Automotive Engineers Inc., SAE970C, 1965
- 3) Allbert, B. J., : Tire and Hydroplaning, Society of Automotive Engineers Inc., SAE680140, 1968
- 4) Horne, Walter B., Yager Thomas J., and Taylor Glenn R., : Review of Causes and Alleviation of Low Tire Traction on Wet Runways, NASA TN D-4406, 1968
- 5) Yeager, Robert W., and Tuttle, Jack L. : Testing and Analysis of Tire Hydroplaning, Society of Automotive Engineers Inc., SAE720471, 1972
- 6) Yeager, Robert W. : Tire Hydroplaning : Testing, Analysis, and Design, Symp Phys Tire Traction, 1974, pp. 25-63
- 7) Browne, A. L. : Tire Deformation During Dynamic Hydroplaning, Tire Science and Technology, TSTCA, Vol. 3, No. 1, Feb. 1975, pp.16-28
- 8) Horne, Walter B., Yager, Thomas J., and Ivey, Don L. : Recent Studies to Investigate Effect of Tire Footprint Aspect Ratio on Dynamic Hydroplaning Speed. The Tire Pavement Interface, ASTM STP 929, M. G. Pottinger and T. J. Yager, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1986, pp. 26-46
- 9) Navin, F. : Hydroplaning and Accident Reconstruction, Society of Automotive Engineers Inc., Warrendale, Penn., SAE950138, 1995
- 10) J. ホーリング編, 松永正久監訳 : トライボロジ, 近代科学社, pp.168-173, 1984
- 11) J. ホーリング編, 松永正久監訳 : トライボロジ, 近代科学社, pp.276-284, 1984
- 12) 山本雄二, 兼田禎宏 : トライボロジー, 理工学社, pp.27-32, 1998