

「戦略活用プログラム課題利用報告書」

実施課題番号：2005B0877

実施課題名：X線イメージング法による球状突起上を滑るゴムの接触状態解析

実験責任者所属機関：横浜ゴム株式会社 タイヤ材料設計部

実験責任者氏名：石川 泰弘

使用ビームライン：BL19B2

1. 実験の目的

タイヤ用のゴムには、安全性の観点から、制動時あるいは旋回時の高い摩擦力が要求されている。タイヤは、通常、アスファルト路面などの突起を持った路面上を走行する。突起を持った路面上を滑るゴムの摩擦力には、ゴムと路面の接触界面で生じる凝着の項とゴムの変形に起因するヒステリシスの項が寄与していることが知られている¹⁾。従って、ゴムと路面の接触面積、および突起上を滑る際のゴムの変形量が、ゴムの摩擦力に大きな影響を与えていると考えられる。これまでに、ゴムをガラス板上で摩擦させ、下面から接触状態を観察することにより、ゴムとガラスの接触面積を見積もる検討が行われている²⁾。しかしながら、突起を持った路面とゴムとを摩擦させ、接触面積と変形量を同時に観測し、摩擦力と関連つけた研究はほとんど行われていない。特に、タイヤ用に用いられるゴムは、カーボンブラックを始めとする各種配合剤を配合しているために不透明である。そのために、従来の手法では、タイヤ用ゴムの接触面積と変形量を同時に観測することは困難であった。

本研究では、タイヤ用ゴムと球状突起を摩擦させ、X線イメージング法を用いてゴムと路面の接触面積およびゴムの変形量を観察し、ゴムの摩擦メカニズムを解明することを目的とした。通常のX線では1画像を得るのに数分から数十分を要するため、摩擦試験と同時に接触面積と変形量を観測することは困難であるが、SPring-8の高輝度X線を用いれば、ゴムの変形挙動をリアルタイムで観測することが可能である。ここで得られた結果を利用することによりゴムの高摩擦力化が可能となり、タイヤ用コンパウンド開発に役立てることができると期待される。

2. 実験方法

SPring-8のBL19B2を用い、X線イメージング法による動画測定を実施した(Fig.1)。X線強度は25KeVとし、カメラはC4742-95-12NRBを用い、ビームモニターはf値が50mmのものを用いた。試料-カメラ間距離は441mmとし、露出時間111msで連続撮影することにより、摩擦状態の動画を撮ることができた。この動画の空間分解能は10 μ mであった。

ゴム試料は、SBR 100重量部に対しカーボンブラックあるいはシリカを0, 25, 50, 70部配合したものを用いた。試料の形状は、厚みが3mmあるいは5mmで直径が5cmの円筒状とした。

相手路面は、直径が1, 3, 6mmの球を直線上に並べたものを用いた。球の材質は、ガラス、アルミナ、ステンレス、テフロンをそれぞれ使用した。

摩擦試験は、Fig.2に示す直進式の摩擦試験機を用いて測定した。この試験機は、左右に移動可能なステージ上に先の路面を貼り付け、その上に円筒状のゴム試験片を押付けて摩擦させる装置である。円筒型ゴム試験片を装着する回転軸はクラッチを備えており、一定方向にしか回転できないようにしてある。摩擦力は、ゴム試験片を支持する平行板ばねに取り付けたひずみ

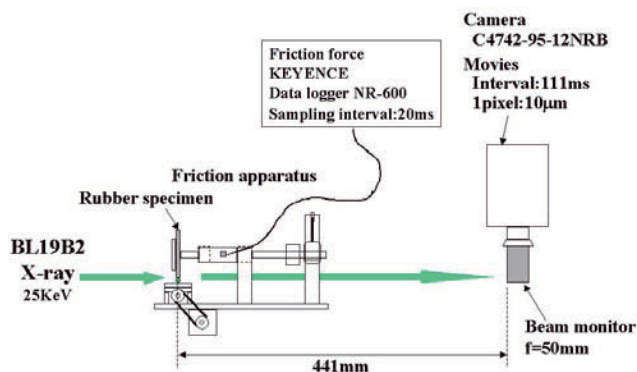


Fig.1 Measuring system of X-ray imaging.

ゲージにより検出し、KEYENCE 製 DATA LOGGER NR-600 を用いて、20ms 毎にサンプリングした。ステージはセンサーを備えており、センサー位置に到達すると進行方向が反転するようにしてある。従って、試験開始直後のゴム試料は自由転動し路面上を転がるが、路面が定位置に達すると進行方向が反転し、ゴム試料は固定されて路面上を滑るようになる。滑り速度を 0.1, 0.3, 0.6mm/s とし、荷重を 1.3N あるいは 2.5N とした。摩擦力は反転位置によって、摩擦力と X 線動画とを同期することができた。

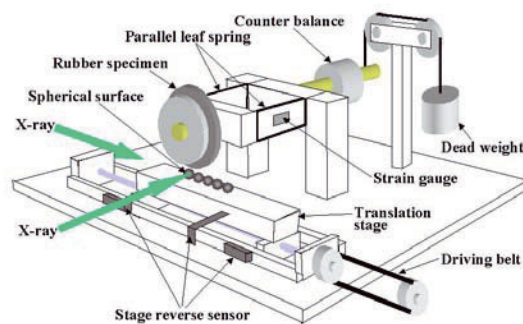


Fig.2 Friction apparatus.

3. 結果と考察

代表的な、摩擦力-摩擦時間曲線を Fig.3 に示す。Fig.3 は、ステージの進行方向が反転した位置を 0s とし、0s 以下の領域はゴム試料が自由転動している領域、0s 以上の領域はゴム片が球上を滑っている領域を示している。ゴム片が路面上を転がっている時の摩擦力は非常に小さいが、路面の進行方向が反転し、ゴムが路面上を滑るようになると、急激に摩擦力が増大した。路面反転直後のゴムの変形挙動を X 線動画によって観察すると、反転後の数秒間は、ゴムと路面の接触界面は静止状態にあり、接触面と回転軸の間のゴムに捩れが生じ、この捩れの応力が検出されていたことがわかった。すなわち、反転後の摩擦力増加勾配は、ゴムの捩り剛性に依存した。このことは、タイヤ制駆動時の挙動を考察する際に役立つものと考えられる。

また、滑り状態の摩擦力は一定の間隔で周期的に変動した。この原因を調べるために、Fig.3 のゴム片が滑っている領域について、横軸を摩擦距離に書き直して Fig.4 に示した。Fig.4 によれば、この変動間隔は、路面球の直径とほぼ等しいことがわかった。さらに、X 線動画によって、滑り時のゴムの挙動を観察したところ、ゴムと接触している球の数が変動していることがわかった。Fig.5 に、Fig.4 で摩擦力が極大となる点の接触状態および摩擦力が極小となる点の接触状態の画像をそれぞれ示した。Fig.5 によれば、3 個の球と接触している時に摩擦力は極大となり 2 個の球と接触している時に摩擦力は極小となった。すなわち、球との接触個数が変動しながら摩擦していたために、3mm 間隔で摩擦力が変動していたことが明らかとなった。これにより、ゴムと路面の接触状況が、摩擦力に極めて大きな影響を与えていることがわかった。このように、実際の接触状態と摩擦力を直接関連づけることにより、摩擦力発生要因を特定することが可能となるため、本研究で実施した高

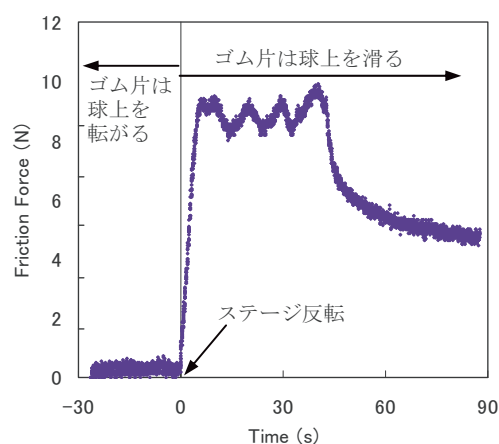


Fig.3 Variation in the friction force of the 70phr silica filled-SBR with friction time.

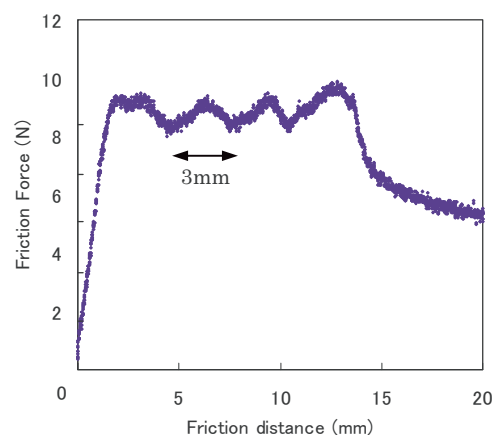


Fig.4 Variation in the friction force of the 70phr silica filled-SBR with friction distance.

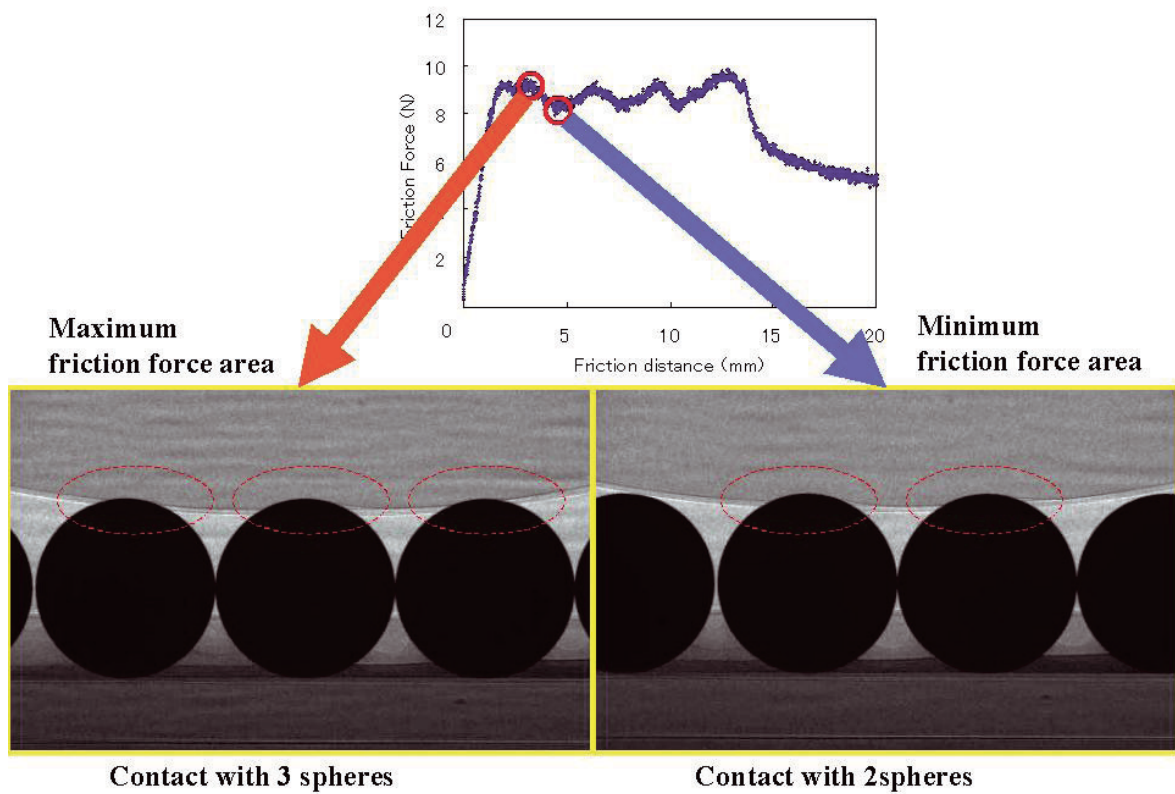


Fig.5 X-ray imaging photograph of the contact between rubber specimen and the spherical surface during friction.

輝度 X 線イメージング法による摩擦の接触状態のその場観察手法は、摩擦メカニズムの解明に対して非常に有効な手段である。そして、タイヤ用ゴムの高摩擦化に大きく貢献できるものと考えられる。全てのデータ解析には多大な時間を要するが、今後、さらに詳細な解析を実施し、論文などにて公表する予定である。

4. 引用文献

- 1) 網野直也, 内山吉隆, 岩井智昭: 日本ゴム協会誌, **74**, 110(2001)
- 2) 岩井智昭, 長谷川浩樹, 上田誠一, 内山吉隆: トライボロジスト, **50**, 620(2005)