

実施課題番号：2006B0109

実施課題名：突起上を滑るゴムの変形挙動に関する研究

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：網野 直也

使用ビームライン：BL20XU

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かった。そこで2005B期には、BL19B2にて球状突起上を滑るゴムの接触状態をX線イメージングによって観測し、摩擦力と接触状態との関係を調べる実験を行った³⁾。この結果、突起が進行方向前方のゴムを押し退ける力が、ゴムの摩擦力と相関が高いことが明らかとなったが、この実験ではゴム内部に加わるひずみの大きさを知ることができなかった。ゴムの弾性率はひずみ依存性を示す⁴⁾ことが知られているため、ゴムの物性値と摩擦力を対比させるためには、摩擦時にゴムが受けるひずみ量を知る必要がある。

本研究では、粒子径10 μm のアルミナ粒子を配したゴム試料と球状突起を摩擦させ、X線イメージング法を用いてアルミナ粒子の動きを追跡することによって、ゴム内部の摩擦時の変形挙動を詳細に解析することを目的とした。挿入光源であるBL20XUのX線イメージングでは1 μm 程度の分解能で1秒間に数コマのX線イメージング画像を取得することが可能であるから、粒子径10 μm のアルミナ粒子を追跡することは可能である。この結果を用いればゴムの物性値と摩擦力の関係が明らかとなるため、タイヤ用ゴム配合開発に役立てることができる。

2. 実験方法

SPring-8のBL20XU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15KeVとし、カメラはC4742-98-24Aのf=50mmを用いた。BL20XUの第1ハッチ、第2ハッチ双方で実験を行い、第1ハッチではビームモニターとしてBM3に5倍のレンズを装着したものを、第2ハッチではBM2のf=24mmのものをそれぞれ用いた。視野とピクセルサイズは、第1ハッチで1mm角、1 μm 、第2ハッチで3mm角、3 μm である。第1ハッチでは、接地部近傍のゴムの変形挙動を高い空間分解能で詳細に解析し、第2ハッチ

では、ゴム-路面接地部の全体および接地部から離れたゴム内部の変形挙動を観察した。BL20XUの長いパスを有効に利用することによって、摩擦時のゴムの変形挙動を詳細に且つ広

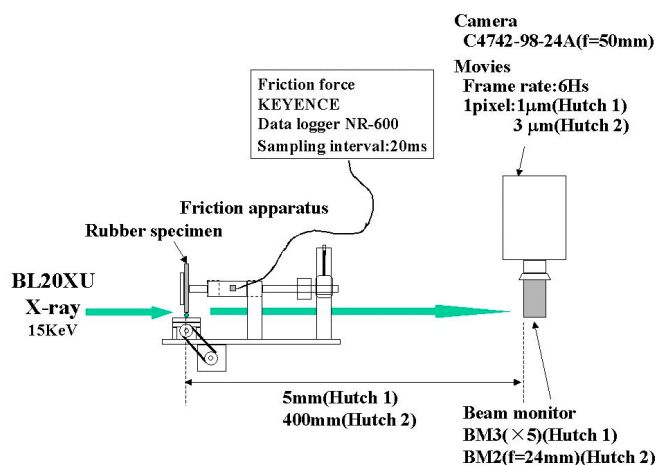


Fig.1 Measuring system of X-ray imaging.

範囲に観測することができた。露光時間は 10ms, frame rate は 6Hz とした。試料-カメラ間距離は, 第 1 ハッチで 5mm, 第 2 ハッチでは 400mm とした。

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。各試料には粒子径 $10\mu\text{m}$ のアルミナ粉末 1 重量部をあらかじめゴムに混合した。試料の形状は, 厚みが 2mm で直径が 5cm の円筒状とした。

相手路面には, 直径が 1mm のガラス球を直線上に並べたものを用いた。

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相手路面を貼り付け, 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。滑り速度は 0.3mm/s とし, 荷重は 0.6N とした。摩擦力と X 線動画とは, 反転位置によって同期することができた。

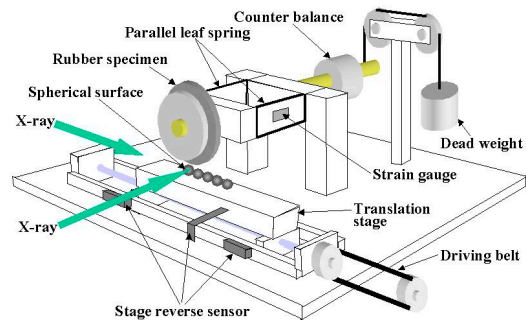


Fig.2 Friction apparatus.

3. 結果と考察

BL20XU の第 1 ハッチで観測した 1mm ガラス球とゴムを摩擦させた時のイメージング画像の 1 例を Fig.3 に示した。Fig.3 では, ゴム中に配合したアルミナ粒子が明瞭に観測され, これらの動きを追跡することができた。突起が通過する際の Fig.3 の A~D 点の空間座標の変化を Fig.4 に示した。これによれば, 最表面の x 軸方向の変位は約 $100\mu\text{m}$ である。また, 第 2 ハッチで観測した 1mm ガラス球とゴムを摩擦させた時のイメージング画像の 1 例を Fig.5 に示した。Fig.5 は, 試料を除いた状態で測定した静止画をバックグラウンドとして差し引いて補正した画像である。バックグラウンド補正によってアルミナ粒子をより明確に観測可能となった。第 2 ハッチで観測された画像では, 突起が通過する際のゴム試料全体の変形を観測することが可能となった。これによれば, 表面からの距離が $600\mu\text{m}$ 以上のゴムはほとんど動かず, せん断層の厚みは約 $600\mu\text{m}$ と推定された。従って, Fig.4 の結果と合わせると, この時のせん断ひずみの量は 15% と見積もることができた。この結果から, この時の摩擦力はゴムに 15% のせん断ひずみを与えた時の応力に等しいものと考えられる。このように, 摩擦時にゴムが受けるひずみ量を実際に観測することによって, ゴムの物性値と摩擦力を直接対比することが可能となる。これによって, ゴムの摩擦メカニズムを明確にすることができ, タイヤ用ゴムの摩擦力を高めることも可能になると考えられる。

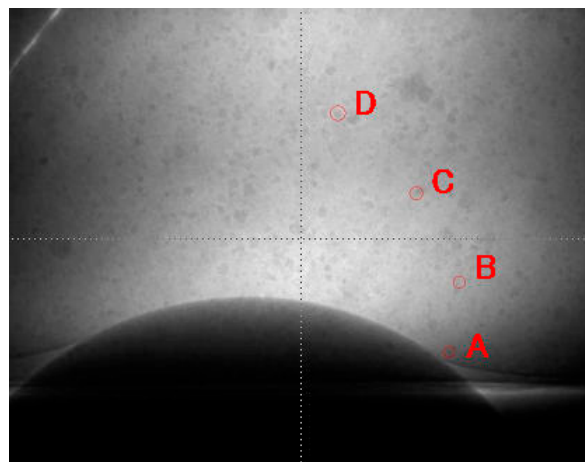


Fig.3 An X-ray image of rubber specimen including aluminumoxide particle sliding on the glass sphere with diameter in 1mm observed at hutch 1.

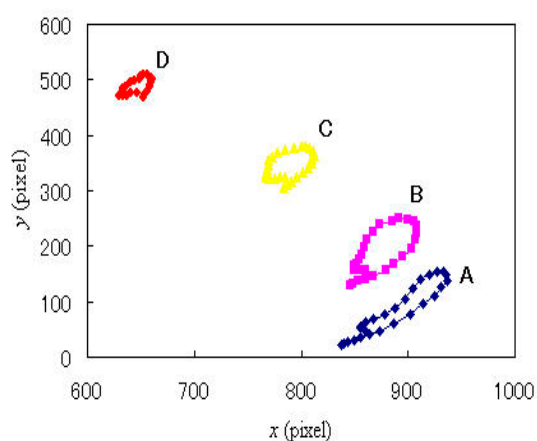


Fig.4 Variation in the coordinate of point A-D.

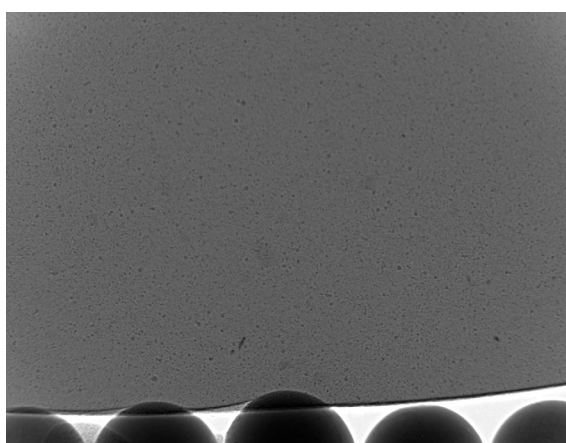


Fig.5 An X-ray image of rubber specimen including aluminumoxide particle sliding on the glass sphere with diameter in 1mm observed at hutch 2.

4. まとめ

BL20XUの高輝度なX線を用いて、ゴム内部に配置された粒子径 $10\mu\text{m}$ のアルミナ粒子の動きを追跡する手法を開発した。これによって摩擦時のゴム内部のひずみ量を測定することができた。BL20XUの第1ハッチ、第2ハッチの両方を用いることによって、空間分解能 $1\mu\text{m}$ の詳細解析から視野 3mm 角の広範囲な観測を行うことができた。この結果、直径 1mm のガラス球状を滑るゴム表面のひずみ量はおよそ 15% であることがわかった。この手法を用いれば、ゴムの物性値と摩擦力の関係を明らかにすることが可能となり、摩擦力の高いタイヤ用ゴム開発に役立てることができる。

このような手法によりゴム内部のひずみ量を動的に計測できるのはSPring-8の高輝度X線によるものであり、今後のゴムの変形メカニズムの解明やゴム製品の高機能化への応用が期待される。

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)
- 3)N. Amino, M. Mori, Y. Ishikawa, K. Kajiwara: Proceedings of the third Asia international conference on tribology, Oct 16-19, 2006 Kanazawa, Japan, Vol.2, p789(2006)
- 4)Payne, A. R.:*Rubber Chem. Technol.*, **39**, 365(1966)