

ゴムのマイクロ領域における歪みの集中とその時間変化に関する研究 Study of Strain Concentration and Time-dependence of Strain Distribution of Rubbers in Microscopic Scale

馬淵 貴裕

Takahiro Mabuchi

住友ゴム工業株式会社 研究開発本部 材料プロセス研究部

SUMITOMO RUBBER INDUSTRIES, LTD.

Research & Development HQ

Material & Process Technology Research Dept.

タイヤの摩耗は、タイヤ表面に形成された微細な亀裂にかかる局所的な歪み分布とそれに関わる緩和機構が密接に関係していると考えられている。

そこで、タイヤの摩耗時に生じる局所的な亀裂部への歪み挙動を SPring-8 の特徴である高輝度・高平行 X 線を利用した屈折コントラストイメージングで直接観察した。亀裂時の歪み挙動を様々な材料で比較した結果、材料物性の違いが亀裂近傍の歪み分布に影響を及ぼすことが推察された。

キーワード： 摩耗、亀裂、緩和、歪み分布、屈折コントラスト

【背景と研究目的】

昨今のタイヤに対する低燃費化（転がり抵抗低減）の要求は目覚ましいものがあるが、背反性能として耐摩耗性の低下が挙げられる。タイヤは、路面と接するトレッド部分の摩耗や他部材の破損等により寿命を迎える。寿命を迎えたタイヤは石油代替燃料としてサーマルリサイクルされるが（サーマルリサイクル率：54%、2006年社団法人 日本自動車タイヤ協会調べ）、地球温暖化ガスを減少させる抜本的な解決策にはなっていない。そこで、タイヤの長寿命化、すなわちタイヤの耐摩耗性向上技術の確立が必要となってくる。加えて、タイヤの長寿命化は地球温暖化ガスの低減だけでなく、原材料の省資源化や摩耗粉などの環境問題にも寄与することができる。

タイヤの摩耗は、タイヤ表面に形成された微細な亀裂にかかる局所的な歪み集中とその緩和機構が密接に関係していると考えられているが、ナノ/マイクロレベルでの挙動であり直接調べる事ができなかった。

そこで、本研究の目的はタイヤの摩耗時に生じる局所的な亀裂部への歪み集中（分布）およびその緩和過程を SPring-8 の特徴である高輝度・高平行 X 線を利用した屈折コントラストイメージングで直接観察し、亀裂現象をミクロンレベルの観点から考察し、長寿命タイヤを開発することにある。

【実験】

摩耗現象を単純な亀裂試験（図 1）に落とし込み亀裂先端部分で生じる亀裂及び緩和現象を屈折コントラストイメージングで観察した。測定サンプルには、内部歪みを解析できるように標識粒子を内部に混在

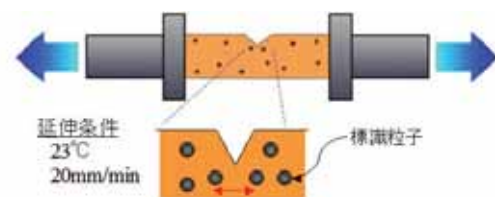


図 1 亀裂試験

させた。試験片の形状は、長さ 40mm、幅 15mm、厚さ約 2mm のゴムシートであり、初期亀裂を 3mm 与えている。亀裂延伸条件は、室温、20mm/min（掴み部）とした。屈折コントラストイメージング条件は以下のように調整した。

- ・ X線エネルギー：15keV
- ・ 検出器：ビームモニター2 (f=24mm) + C4880-41S カメラ（浜松ホトニクス製）
- ・ 空間分解能：約 3 μ m (2 x 2 binning)
- ・ 検出器-サンプル間距離：約 10cm

【結果および考察】

X線屈折コントラストイメージングの結果、今回作製したサンプルにおいて内部に配置された標識粒子が明確に確認でき（図 2）、従来の実験からはできなかったミクロンオーダーでの歪み解析が可能となった。

図 3 及び図 4 に、種類の異なるサンプル A、B においてサンプル全体での歪みが 20%のときのイメージング画像を示した。亀裂先端部から亀裂方向に 1mm 及び 5mm の箇所での局所歪みを測定した結果、サンプル A では、50%@1mm 及び 27%@5mm であった。一方、サンプル B では、30%@1mm 及び 23%@5mm であった。このことから、サンプル間において歪み分布が異なることが確認でき、事前に調査した各サンプルの材料物性を考慮すると亀裂近傍の歪み分布はその材料物性によって変化することが推察された。

今回、SPring-8 の高輝度・高平行 X線屈折コントラストイメージング実験から以下に挙げた内容が確認でき、ゴムの内部挙動解析が大きく進展した。

- ① 亀裂時のミクロンオーダーでの歪み解析が行えるようになった。
- ② 亀裂にかかる局所的な歪みは材料物性によって変化することが分かった。

【今後の課題】

今後は以下に挙げた項目に注力し、亀裂メカニズムをより詳細に解明していくことが課題である。

- ① 亀裂先端部における局所歪み存在下での歪み分散過程の直接観察。
- ② 亀裂形状が複雑な場合や亀裂部に加わる負荷が多軸の場合における亀裂メカニズム解析。

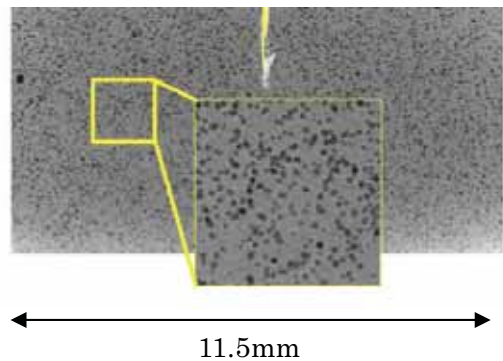


図 2 屈折コントラストイメージング画像

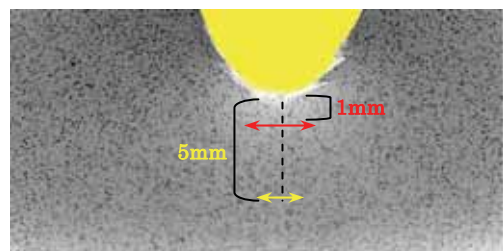


図 3 サンプル A における 20%延伸時のイメージング画像

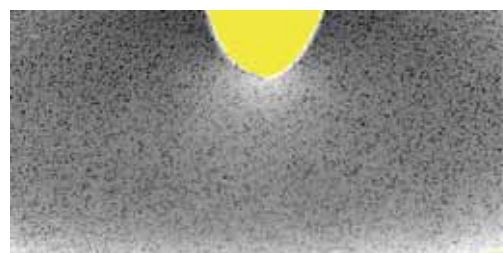


図 4 サンプル B における 20%延伸時のイメージング画像