

車輪踏面熱き裂および踏面凹摩耗発生メカニズム

材料技術研究部 摩擦材料
研究室長 岩渕研吾

1. はじめに

踏面ブレーキ装置を搭載する車両の車輪踏面に発生する熱き裂は、車輪の強度低下を招くだけでなく、転動音の増加や乗り心地の悪化といった問題も引き起こしている。また、熱き裂は踏面から車輪の半径方向内部に進展しているため、その修正には転削を要し、車輪の寿命を著しく縮減する要因ともなっている。このような車輪踏面熱き裂は多くの車種で発生が報告されているが、その生成過程やメカニズムは明らかになっておらず、従って根本的な解決策は見いだされていない。また、これまでに実車と同等の熱き裂を試験機で再現した例はなく、試験手法も確立していない。

今回、鉄道総研のブレーキ性能試験機(図1)に組み込まれている粘着測定ユニット(図2)を用いて実車の走行に近い負荷条件を与えた熱き裂生成試験を実施し、車輪踏面熱き裂の再現に成功したので報告する。



図1 ブレーキ性能試験機

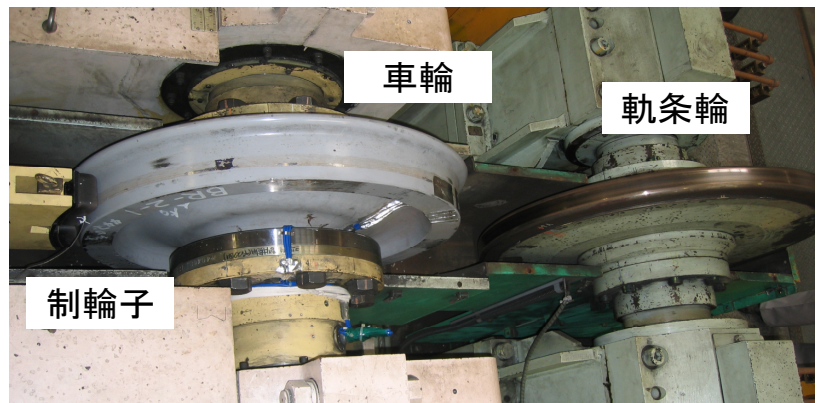


図2 粘着測定ユニット

2. 試験方法

本研究では実車の走行と制動の物理的条件を可能な限り再現するため、ブレーキ性能試験機の粘着測定ユニットで軌条輪と車輪が転動する状況を設定し、そこに踏面制輪子を押し付けることにより車輪踏面熱き裂生成再現試験を行った(図2)。

今回は熱き裂の生成自体を第一の目標とし、車輪踏面温度の昇降サイクルと軌条輪との接触部におけるヘルツ圧の点で比較的高負荷の試験条件を設定した。試験条件を表1に示す。車輪を輪重60kNで軌条輪と転動させるとともに、車軸方向に振幅8mm、周波数0.25Hzの三角波状揺動変位を与えることにより、実車走行時の接触状況を模擬した。試験は初速度130km/hから非常ブレーキ相当の押し付け力で踏面制輪子（焼結合金MS504）による制動を行い、約30km/hまで減速した時点で再度130km/hに加速し、自然冷却により車輪温度が60℃に低下するまでを1回とした。以下同じ要領で130回行ったが、規定の回数ごとに試験機を停止させ、き裂の発生状況について目視観察及び染色浸透探傷を行うとともに、踏面形状の測定も行った。試験は乾燥条件で行い軌条輪／車輪間で巨視すべりは生じなかった。

表1 試験条件

| | |
|----------|--|
| 車輪種別 | φ810mm B型 一体（新品） |
| 車輪材質 | SSW-Q3S |
| 踏面形状 | 修正円弧踏面 |
| 慣性モーメント | 1067 kgm ² （軌条輪軸） 60 kgm ² （車輪軸） |
| 垂直荷重（輪重） | 60kN |
| 相対変位 | 三角波、揺動振幅8mm 揺動周波数0.25Hz |
| 制輪子 | 焼結合金制輪子 MS504 |
| 制輪子押付力 | 30kN |
| ブレーキ種別 | 減速 |
| ブレーキ速度 | 130km/h→30km/h |
| 運転パターン | 回転（130km/h） →ブレーキ・減速～30km/h →増速～130km/h →車輪冷却待ち（130km/h） →ブレーキ・減速 →（以下繰り返し） |
| ブレーキ開始温度 | 60℃（車輪踏面下10mm） |

3. 実験結果

3.1 ブレーキ動作時の挙動

ブレーキ動作時の時刻歴チャート例を図3に示す。軌条輪は車輪踏面上で、後述する図4(a)の部位から上（リム側）に6mm、下（フランジ側）に2mm三角波で変位させた。輪重はほぼ60kNで安定していた。車輪温度は最大で200℃（温度上昇140℃）程度であった。初回のブレーキ動作から最終回のブレーキ動作まで計測データ上顕著な変化はなかった。踏面観察を実施した各時点までの試験実施回数と累積負荷を表2に示す。ブレーキ回数0回時点で転動距離が生じているのは試験準備中に回転させたものである。

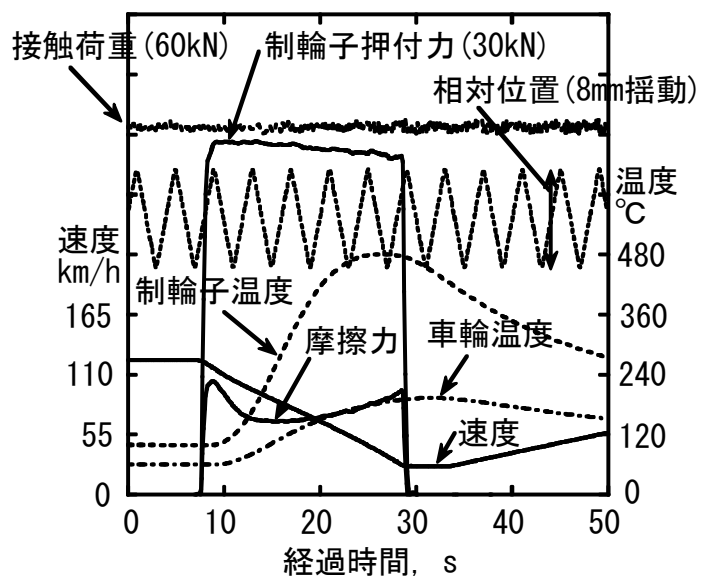


図3 試験機でのブレーキ時のチャート例

3.2 熱き裂の発生と進展

試験開始から、ブレーキ回数で、5、20、40、60、90、110 及び 130 回終了後にそれぞれ試験機を停止させ、踏面状態の観察と染色浸透探傷等を行った(図4)。60 回目で初めて微小な踏面熱き裂が軌条輪接触範囲の中央付近に認められ、回を重ねるごとに軌条輪揺動範囲へ進展したが、110 回時点で軌条輪接触範囲全体に達し、130 回目を終えたところではそれ以上の進展が見られなかった。また、制輪子との摩擦のみが発生する部分では、き裂の発生は認められなかった。試験回数(ブレーキ動作回数)を横軸として、車輪踏面軸方向座標に対する熱き裂の進展範囲を制輪子摩擦範囲および軌条輪転動範囲と合わせて、図5に示す。

表2 ブレーキ動作回数と累積負荷

| ブレーキ回数 | 速度 | ブレーキエネルギー(/回) | 累積ブレーキエネルギー | 累積転動距離 | 車輪転動回数 |
|--------|----------------|---------------|-------------|--------|-------------------|
| (単位) | km/h | MJ | MJ | km | |
| 0 | — | — | — | 400 | 2.0×10^5 |
| 5 | 130 ↓ 30 | 4.2 | 21 | 510 | 2.5×10^5 |
| 20 | | | 84 | 800 | 4.0×10^5 |
| 40 | | | 168 | 1130 | 5.6×10^5 |
| 60 | | | 252 | 1440 | 7.2×10^5 |
| 90 | | | 378 | 1800 | 9.0×10^5 |
| 130 | | | 546 | 2400 | 1.2×10^6 |

図5に示す。

3.3 車輪踏面形状の推移

車輪踏面中立点における初期の高さを 0 とした車輪踏面形状の推移を図6に示す。車輪踏面上では図の横軸全域で制輪子との摩擦が生じているが、試験回数を重ねるにつれ車輪踏面上の軌条輪と接触する範囲では摩耗が進んだ一方、軌条輪と接触しない部分には摩耗がほとんど見られなかった。

4. 考察

4.1 踏面熱き裂の要因

図4および図5に示した結果より、車輪踏面熱き裂は、制輪子との摩擦による繰り返し入熱と、レールとの接触転動の両方が負荷されることにより発生するものと推定される。また、き裂は軌条輪との接触頻度が高い軌条輪接触範囲の中央付近から発生し、接触頻度の低い部分へと徐々に進展していったことから、熱き裂の進展にはレールとの接

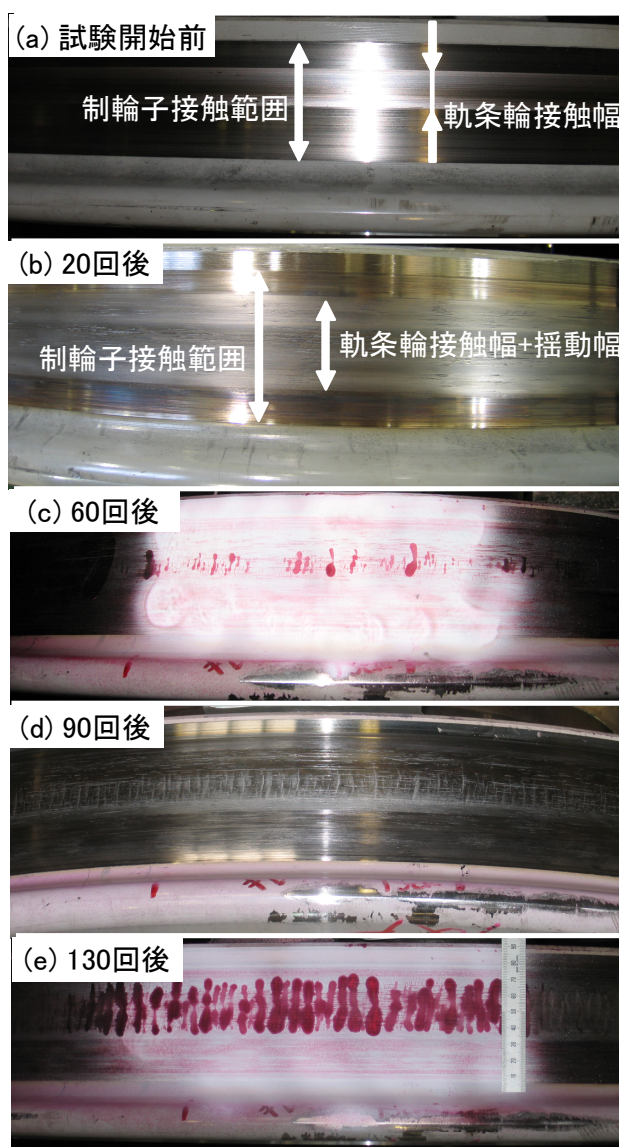


図4 熱き裂の進展状況

触転動による荷重サイクルが大きく影響するものと推定される。この試験中、車輪温度は 200℃程度までしか上昇しなかったことから、車輪の使用目安温度(350℃)より低い温度であっても車輪踏面熱き裂は発生するものと推定される。

4.2 踏面凹摩耗の要因

図 6 に示した結果より、いわゆる踏面凹摩耗の発生・進展にも、制輪子による摩擦およびレールとの接触転動の両方が関与するものと推定される。また、このことと、ブレーキ試験機による通常の制動試験（車輪踏面と制輪子の摩擦のみ）では踏面凹摩耗が発生しないこと、及び実車で凹摩耗が発生した車輪の踏面には擦過痕や凝着痕等が見られず鏡面化している場合が多いことから、凹摩耗は摩擦による踏面の摺り減りではなく、塑性変形による形状変化の性質が強い可能性が考えられる。

5. まとめ

今回の試験では、ベンチ試験による車輪踏面熱き裂の再現生成に初めて成功した。その結果から、車輪踏面熱き裂の生成および車輪踏面凹摩耗の発生において、制輪子の摩擦による昇降温サイクルと、レールとの接触転動による荷重負荷が現象発現の因子であることを明らかにした。今後は実車で熱き裂が発生している条件との比較を通して、現象の解明を目指したい。

参考文献

- (1) 吉本英三郎 他, 車両技術, 226, pp.27, 2003 など
- (2) J. L. Van Swaay, Proc. 3rd Int. Wheelset Conference, pp.8-1, 1969
- (3) J. L. Van Swaay, Proc. Int. Conf. on Railway Braking, I mech E Conf. Pub. 1979-11, pp.95, 1979
- (4) 木川武彦, 鉄道車輪のフラットの生成ならびに剥離に関する研究, 鉄道総研報告特別号, 1995

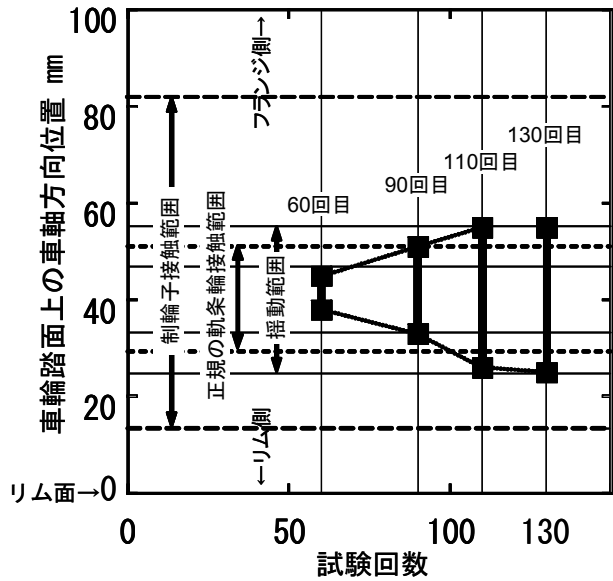


図 5 熱き裂の進展範囲

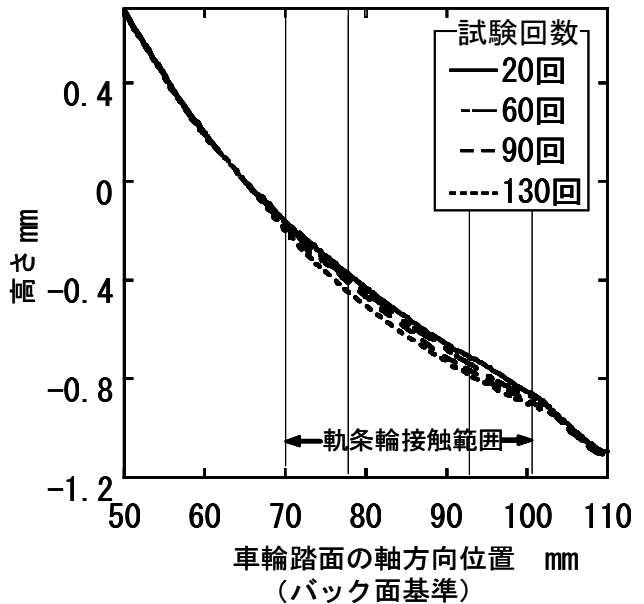


図 6 車輪踏面形状の推移