

### 3.3 軌道に関する調査結果

脱線が発生した箇所付近の軌道について、乗り上がり脱線の発生要因との関連の観点から、軌道狂いの状況等について調査を行うとともに、レールの断面形状、表面粗さ及び摩擦の状況等について調査を行った。また、車輪が落輪に至る状況を確認するため、レール上に残された乗り上がりの痕跡についても調査を行った。

#### 3.3.1 脱線箇所付近の軌道の概要

##### (1) 軌道の概要

脱線箇所における軌道は、左円曲線(設計値:半径 160.1m、カント 61mm、スラック 13mm)に続く緩和曲線(設計値:延長約 29.8m、カント逡減倍率 488 倍)であり、脱線箇所は 35%で一定の上りこう配中である。

レールは 50kgN の熱処理レール(硬頭レール)を使用しており、コンクリートまくら木を 25m 当たり 40 本の割合で設置している。締結装置は二重弾性締結装置を採用しており、道床はバラスト道床(道床厚 250mm)である。

当該箇所のレールについては、平成 6 年 4 月に曲線内軌側のレールの交換(通過トン数が所定の規定値に達したことによる)、平成 11 年 10 月に外軌側のレールの交換(摩耗が進んだことによる)を行っている。

##### (2) レールの研削の経緯

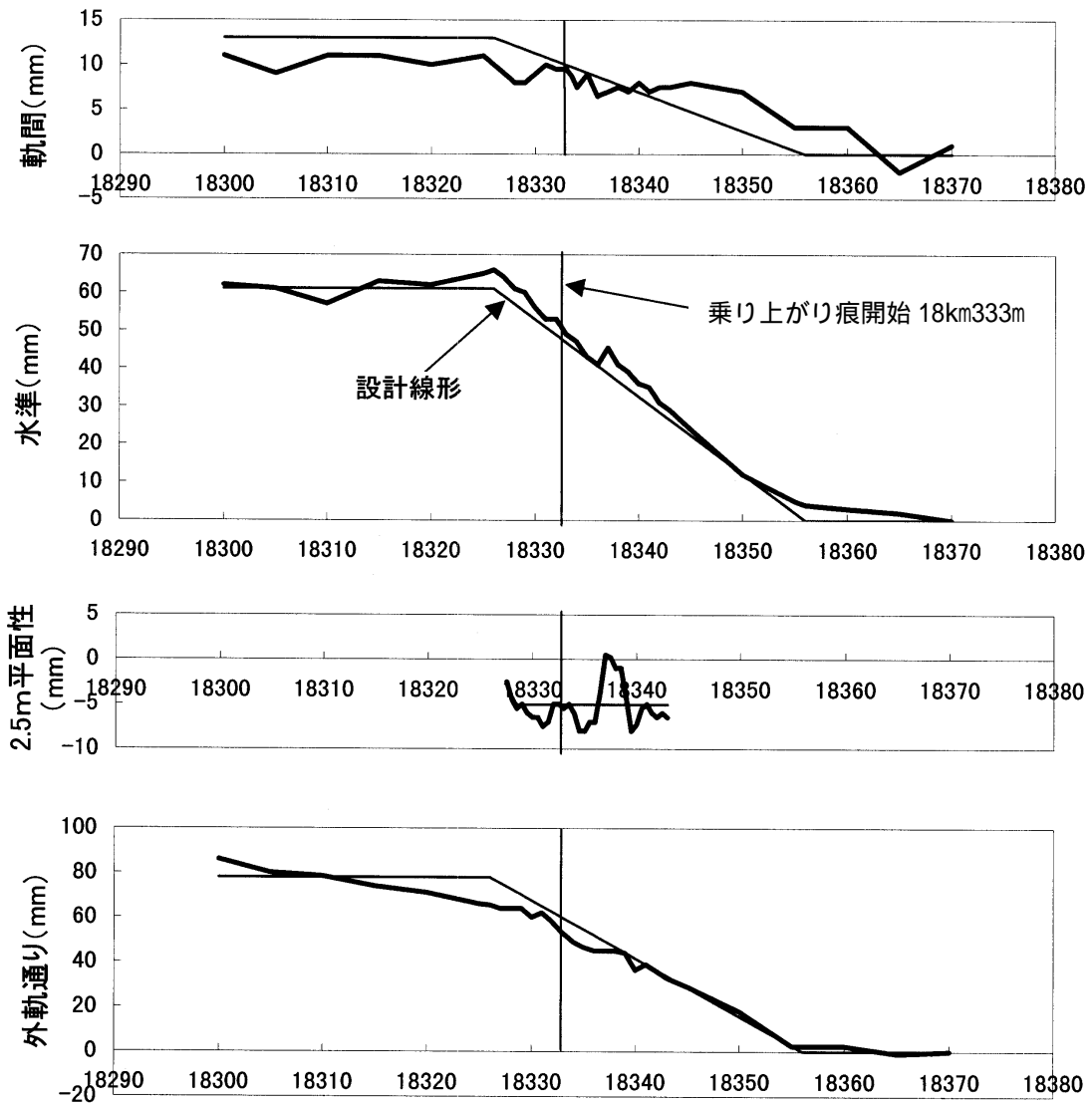
脱線箇所付近のレールは、平成 11 年 12 月に曲線の内軌、外軌とも研削が行われており、研削後の断面形状は、曲線の内外軌とも軌間内側の肩部(ゲージコーナー)の上側を斜めに研削したものであった。これは特に外軌側において、レールの肩部と車輪との接触によるレールの摩耗や損傷を軽減することを考慮したものであり、この断面形状では、外軌側車輪はレールの側面と頭頂面中央部との 2 箇所接触する。

#### 3.3.2 軌道の保守上の狂いの状況

今回の脱線箇所のように、レール、まくら木、道床碎石等によって構成される軌道は、列車が繰り返し通過すること等により、設計上の線形、カント量等に対して狂いが生じる。この狂いは、軌道の保守の一環として定期的に測定され、必要に応じ修正されることとなっているが、この狂いが大きくなると、場合によっては列車の走行安全性に影響を与えるため、事故直後に乗り上がり箇所付近において、軌道の狂いを測定した。

この結果、ほとんどすべての測定値が、営団が保守基準において定めている基準値内に収まっていた。ただし、「通り」の狂いについては、当該箇所では曲線半径を緩くする方向の安全側の狂いではあるが、一部基準値を超えるものがあった。

なお、基準値内ではあったが、平面性狂いの最大値は 2.5m 当たり - 3mm、緩和曲線部の構造的な軌道面のねじれは 2.5m 当たり - 5mm であるため、両者を加えた絶対的な平面性のずれは 2.5m 当たり最大 - 8mm となっていた。



・脱線箇所付近（18km330m～335m）の静的軌道狂いの最大値は次のとおりであり、いずれも通常の軌道狂い整備の範囲内である。

軌間狂い = - 2 mm (実測値 9mm、設計値 11mm)

水準狂い = + 4 mm (実測値 53mm、設計値 49mm)

2.5m平面性狂い = - 3 mm (カント適減による構造的な軌道面のねじれによるものを含めて - 8 mm)

通り狂い = - 8 mm (実測値 49mm、設計値 57mm) ※移動平均方式によれば - 5 mm程度

図 3.3-1 脱線直後（3月8日）の軌道狂い検測結果

### 3.3.3 レールの断面形状及び表面粗さ

#### (1) レールの断面形状

脱線箇所付近のレールの断面形状の計測結果は、図 3.3-2 のとおりである。ここで測定されたレールは、平成 11 年 12 月に行われた研削により、軌間内側の肩部（ゲージコーナー）の上側が斜めに削られているため、その影響を残した断面形状となっていた。

この断面形状が車両の走行に及ぼす影響については、現地走行試験及びシミュレーションにおいて調査を行った。

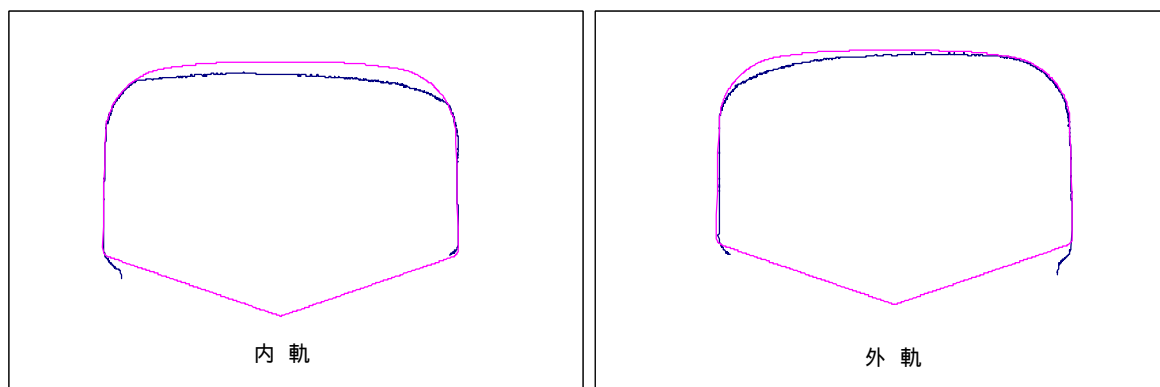


図 3.3-2 脱線箇所付近のレールと新品レールの断面形状の比較

#### (2) レールの表面粗さ

脱線箇所付近の外軌及び内軌の表面粗さを測定したところ、レール頭頂面において車輪と接触している箇所（走行面）については、平滑な状況となっており、脱線箇所付近と他の箇所との間で大きな差異は見られなかった。

一方、外軌のゲージコーナーの上側には、研削の際に砥石と接触したことにより表面に生じた粗さがそのまま残った状態となっている箇所があった。これは、この箇所が車輪と接触していなかった（研削後の形状においては、車輪はレールの側面と頭頂面中央部の 2 箇所で接触する状態になっていた）ことによるものと考えられる。

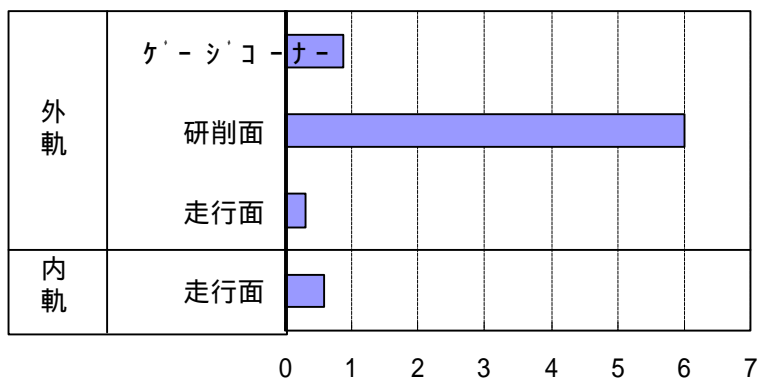


図 3.3-3 脱線箇所のレールの平均粗さ（単位：μm）

### 3.3.4 摩擦係数と塗油の状況

#### (1) 摩擦係数の測定結果

脱線が発生したときのレールと車輪の摩擦係数を確認することはできないが、脱線時の状況を推定するために、脱線箇所付近のレールにおける摩擦の傾向を把握することは有効であるとの考えから、事故後に取り外された脱線箇所のレールにおいて、その頭頂面の動摩擦係数を軸受鋼球の接触子によるレールトリボメータを用いて測定するとともに、塗油器の設置箇所（脱線箇所の手前約 200m の位置）から脱線箇所付近にかけての動摩擦係数についても併せて測定を行った。

その結果、全体的には、外軌の走行面における動摩擦係数は、他の測定部位に比較すると若干大きい値を示した。また、脱線箇所付近のレールの動摩擦係数は、他の箇所に比較して低い傾向を示した。なお、脱線箇所のレールは、撤去作業に伴って人手が触れているため、レール表面の条件が脱線発生時から変化している可能性も否定できない。

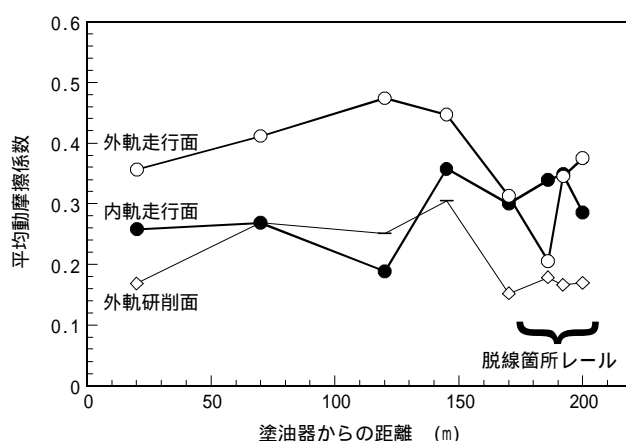


図 3.3-4 塗油器からの距離に応じた動摩擦係数測定結果

また、日比谷線の脱線箇所付近において実施した現地走行試験（「3.6 現地走行試験の結果」参照）の際にも、試験を実施した4日間にわたり動摩擦係数の測定を実施した。この際、第1日目は通常の塗油の状態を保ったまま試験を行い、2日目以降は、高い摩擦係数の状態を作り出すため、レールの油分を、洗剤による洗浄及びサンドペーパーによる研磨によって除去する作業を行ったが、結果的には、油分の除去作業を行わなかった第1日目が最も動摩擦係数が高かった。

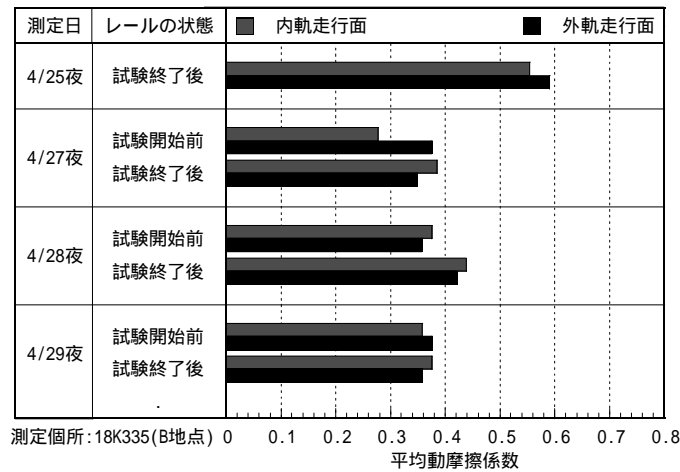


図 3.3 - 5 現地走行試験時の動摩擦係数測定結果

### (2) レールの研削と摩擦係数との関係

レールの研削と動摩擦係数の関係を確認するため、他の路線において、研削前後の動摩擦係数の測定試験を行った。その結果、レールの研削により表面粗さは大きくなるが、動摩擦係数は低下する傾向を示した。

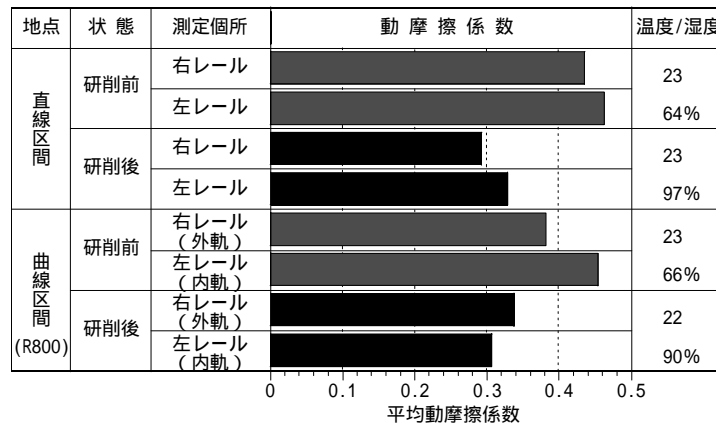


図 3.3 - 6 研削の動摩擦係数に与える影響

### (3) レールの残存油量の測定結果

脱線箇所の手前に設置された塗油器は、タイマーにより一定の時間間隔で、潤滑油を自動的に吐出する機構となっている。脱線時には、外軌側は1時間30分間隔、内軌側は2時間間隔に設定されていた。

塗油器から吐出される油の量を測定したところ、以下のとおりであった。塗油器から送られる油は、輸送管を通じてノズルに達し、レール上に吐出される機構となっているが、一部

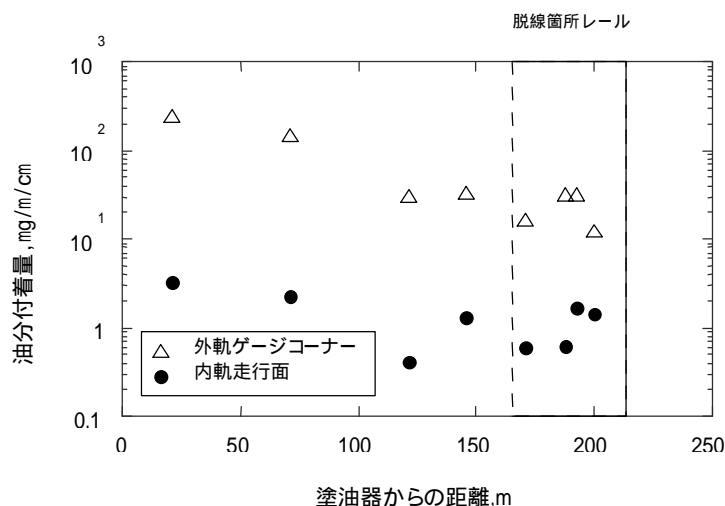
はレール下部へ排出される。この測定結果は、塗油器が1回動作するごとに、レール上に吐出される油の量を実測したものである。

表 3.3-1 塗油器からレール上への油の吐出量(1回分)

	内軌 中目黒側	内軌 恵比寿側	外 軌
レール上への吐出量(g)	3.11	1.51	5.25

注) 内軌側は、塗油器からの輸送管が二手に分かれ、二箇所ノズルから吐出される。

塗油器より吐出された油が、脱線箇所付近に向けて運ばれていく状況を調査するため、塗油器からの距離に応じたレール表面の残存油量の測定を行った。その結果、塗油器からの距離に応じて徐々に残存油量が減少する様子が観測され、また、走行面と比較して、外軌のゲージコーナー部には、多くの油分が残存していることが観測された。



単位長さ(m)、単位幅(cm)あたりの付着量を測定。

図 3.3-7 レールの残存油量の測定結果

#### (4) 残存油分の成分分析

脱線した箇所のレールの表面に残存していた油分の組成等を調査するため、残存油分と塗油器で用いられる新品の油について、それぞれ赤外線吸収スペクトルによる成分分析を実施した。

これにより、レール上に残存している油分は、計測されたスペクトルの特徴に照らし、新品の油と同一の組成であったことから、他に由来するものではないとの推定結果が得られた。

油の酸化劣化を示すスペクトル解析結果によると、外軌のゲージコーナーより採取した油については、若干酸化している傾向が見られるものの、劣化の程度は小さいことから、油の

持つ潤滑性能に影響を与えるものではないと考えられる。また、外軌のゲージコーナーのややレール中央よりの箇所（レールの研削により削られた面の一部）から採取した油の試料の中には、酸化劣化がある程度進んでいるものも観測されたが、これは、車輪が接触しない状態で油がレール上に残存し、一定期間屋外でさらされていたためと考えられる。

これらの測定結果から、レール上に残存していた油の組成については、脱線の発生に影響を与えるような特異なものは見受けられなかった。

### 3.3.5 レールに残された乗り上がりの痕跡

車輪がレール上に乗り上がり、落輪に至る状況を確認するため、脱線箇所付近のレールに残された痕跡を調査した。痕跡の状況は、図 1.3-1 に示したとおりである。

- 脱線箇所付近の外軌の上面には、18km333m 付近から約 7m にわたって、8 両目車両第 1 軸の右側車輪のフランジによる走行痕が認められた。このため、第 1 軸の車輪は、18k340m 付近にて落輪したものと考えられる。
- 第 1 軸車輪の落輪位置より約 1m 手前の外軌に、第 2 軸の車輪によるものと考えられる痕跡が認められた。このため、第 2 軸の車輪は、18km339m 付近にて落輪したものと考えられる。
- 第 1 軸車輪の落輪位置と考えられる 18km340m 付近の内軌にも、左側車輪の端面により生じたと考えられる痕跡が認められた。