

# ⑬ 営業車両における脱線係数常時観測データとその分析

交通システム研究領域 ※ 佐藤 安弘 大野 寛之

東京地下鉄 清水 忠 茨城大学 道辻 洋平

住友金属テクノロジー 谷本 益久 住友金属工業 水野 将明 元住友金属工業 佐藤 與志

## 1. はじめに

脱線係数は、脱線事故を防止するためだけでなく、レール・車輪間の状態を知る上で重要なパラメータである。特に急曲線において、脱線係数がレール・車輪間の摩擦係数に大きく依存すること、摩擦係数は状況により大きく変化することなどが指摘された<sup>1)</sup>。従来は、新線開業や新形式車両導入時等、特定の場合に脱線係数が測定されるにすぎなかった。

筆者らは、鉄道の営業車両による走行安全性のモニタリングを目的として新しい測定法の研究開発を進め、脱線係数の常時観測が実用化された<sup>2)</sup>。営業車両で取得されたデータを分析し、レール・車輪間の摩擦係数、限界脱線係数との関係等について考察したので報告する。

## 2. 従来の脱線係数測定法

脱線係数は、図1に示すとおり、レール・車輪間に働く力のうち、垂直方向の力である「輪重」 $P$ と横方向力である「横圧」 $Q$ の比である $Q/P$ により求められる。

従来の測定法では、車輪にひずみゲージを貼付し、車輪板部の垂直ひずみで輪重を、曲げひずみで横圧を測定する。ひずみゲージの信号線を通すため輪軸の穴開け加工が必要で、回転する輪軸から電気信号を取り出すために摺動部のあるスリップリングを使用する必要があり、測定システム自身の耐久性に劣るため、営業車による常時観測には適用できなかった。

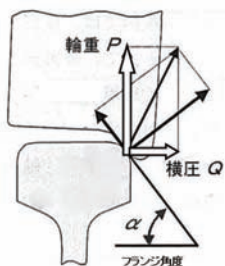


図1 レール・車輪間の力と脱線限界

## 3. 常時観測に用いる脱線係数測定法<sup>2)</sup>

本脱線係数測定法は、輪軸には直接センサを取付けず、非接触センサを用いることが特徴である。輪重は、軸ばねたわみ量を検出することで求める。横圧は、車輪の曲げ変形量を検出することで求める。しかしながら、曲げ変形量は 0.1mm 程度以下の微量であり、軸箱に取り付けた3箇所の非接触変位計により、軸受のガタによる影響を補正し、横圧による変形量のみを捉えるようにしている。さらに、軸受のガタを極力小さいものとするなど、台車全体として測定精度を高める設計となっている。

輪重測定用の磁歪式変位計および横圧測定用の渦電流式変位計の設置位置を図2に示す。



図2 脱線係数常時観測用台車及びセンサ

## 4. 営業線での運用

### 4. 1. 特定曲線における脱線係数の変化

半径 160m の曲線区間(緩和曲線を含む)において 10 日間にわたり異なる時間帯(5:58 ~ 22:56)に 26 回測定した台車前軸外軌側脱線係数の波形を図3に示す。測定波形の形状はいずれの時間帯においても同様の傾向を示し、円曲線の終端部付近で最も大きくなっている。例外はあるものの、朝の早い時間帯に低い値をとり、時間経過とともに値が大きくなる傾向が見られる。時間変化する要因としては、塗油やレール表面の乾燥状態等により、レール・車輪間の摩擦係数が変化することが挙げられる。

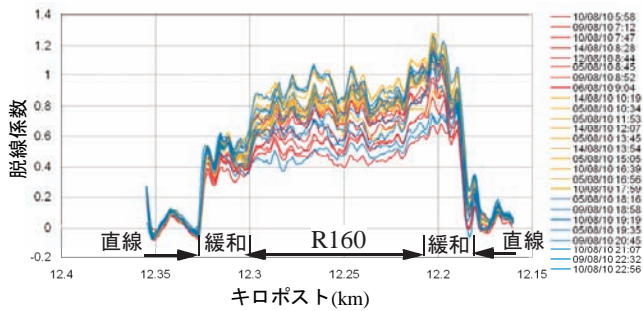


図3 特定曲線における脱線係数の時間変化

#### 4. 2. 特定曲線におけるシミュレーション

摩擦係数によって、脱線係数がどの程度変化をするかを定量的に把握するため、マルチボディ・ダイナミクス・ソフトウェア"A/GEM"によるシミュレーションを実施した。17自由度の車両モデル、レール・車輪の幾何学的パラメータ及び当該曲線諸元をもとに、車輪踏面及びフランジの摩擦係数 $\mu$ を0.2から0.7まで変化させて計算した結果を図4に示す。脱線係数は0.5から0.8程度まで大きく変化する結果となり、実測の変動幅に近いことがわかる。

図3と比較して図4は、全体的に、キロポストに沿った変動が小さく、定曲線中では脱線係数が一定となっている。これは主に、軌道狂いを考慮していないことによるものと考えられる。このほか、実際は、摩擦係数が線路長手方向に変動していること、空気ばね吸排気の影響等が考えられる。

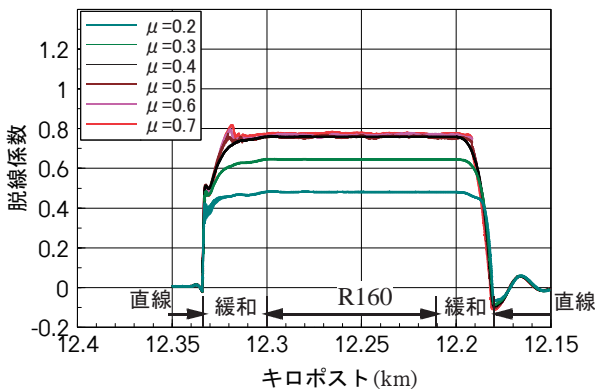


図4 特定曲線における計算結果(摩擦係数変化)

#### 4. 3. 路線全線の脱線係数

図3と同様なデータは路線全線において得られた。各曲線において発生した脱線係数をプロットしたところ図5のようになった。各曲線半径で脱線係数のばらつき様子が確認できる。また、最大値をなぞると図中の近似曲線となり、半径300mより大きな曲線では、限界脱線係数に安全率を見込んだ目安値を下回るものの、250mより急な曲線では目安値を上

回る例が増えてくることが分かる。このような曲線では、外軌レール塗油等による摩擦係数低下に伴い、限界脱線係数はより大きくなるうえ、脱線防止ガードにより安全性は担保されるが、より適切な潤滑等の保守を行いこのばらつきを低く抑えることにより、脱線係数を全体として低く抑えることができるものと考えられる。すなわち、近似曲線より下側に新たな管理指標となる線を引くことが考えられる。

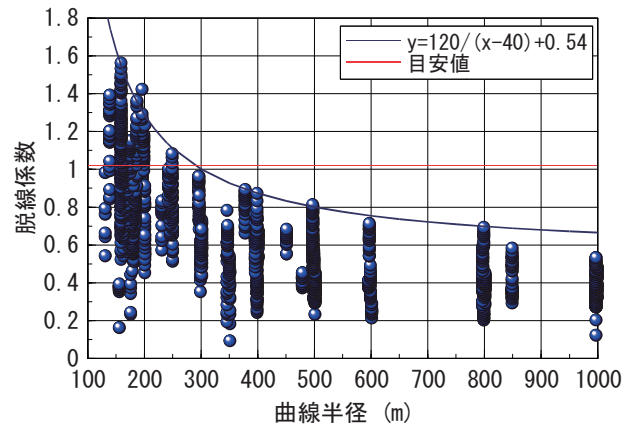


図5 路線の全曲線部における脱線係数

#### 5. まとめ

営業車両による脱線係数常時観測データを分析した結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 特定曲線における脱線係数の変化を把握した。
- (2) シミュレーションにより、摩擦係数による脱線係数の変化を定量的に示し、実測結果と比較した。
- (3) 全線の各曲線における脱線係数のばらつきを明らかにした。
- (4) 適切な保守を行いこのばらつきを低く抑えることにより、脱線係数を全体として低く抑えることができるものと考えられる。

今後の課題としては、摩擦係数以外の変動要因の同定、脱線係数常時観測を前提とする管理指標の確立等があげられる。

脱線係数という安全に直結する指標を常時観測可能なことから、安全性の一層の向上が図れるほか、レール塗油器の調整等従来一部定性的であった保守を、常時観測と組み合わせることにより、適切な管理指標のもと、定量化・高度化することができると期待される。

#### 参考文献

- 1) 運輸省事故調査検討会、「帝都高速度交通営団日比谷線中目黒駅構内列車脱線衝突事故に関する調査報告書」、平成12年10月
- 2) 佐藤ほか; 交通研フォーラム 2009 講演概要, pp85-88