

○ [機] 道辻 洋平 (茨城大学) [機, 電] 松本 陽 (元交通安全環境研究所)
 [土] 佐藤 安弘 [機] 大野 寛之 [機] 森 裕貴 (交通安全環境研究所)
 清水 忠, 栗原 純 (東京地下鉄)
 [機] 谷本 益久 長澤 研介 (住友金属テクノロジー) 水野 将明 (新日鐵住金)

Data analysis for derailment coefficient utilizing collected data with new monitoring bogie

○ Yohei MICHITSUJI (Ibaraki University), Akira MATSUMOTO (National Traffic Safety & Environment Laboratory)
 Yasuhiro SATO, Hiroyuki OHNO, Yoshitaka Mori (National Traffic Safety & Environment Laboratory)
 Makoto SHIMIZU, Jun KURIHARA (Tokyo Metro Co., Ltd)
 Masuhisa TANIMOTO, Kensuke Nagasawa (Sumitomo Metal Technology, Inc)
 Masaaki MIZUNO (Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation)

The new monitoring system is possible to measure time series data of derailment coefficient on every curve during commercial operation. Therefore, statistic tendency for the variation of derailment coefficients could be observed. In general, the wave shape of derailment coefficient even in a certain curve is difficult to fully understand because the shape is affected by many factors. In this paper, a method to decompose the measured data by a few signals is proposed. The effectiveness of the proposed method is also examined by numerous data samples.

Key words : Rolling stock, Condition monitoring, Derailment coefficient, Signal processing, Curving

1. 緒 言

大都市地下鉄のような急曲線の多数ある路線において、走行安全性を確保するためには脱線係数の常時モニタリングが望まれていた。そのような背景の中、近年開発された PQ モニタリング台車によって、世界に先駆け営業線 PQ データを効率よく収集する技術が開発された^{[1][2]}。今後は、得られた膨大なデータを効率よく処理し、軌道メンテナンスへフィードバックする具体的手法が望まれている。これまで、データ処理の一例として脱線係数が卓越する箇所について、複数の信号に分解し、視覚化する手法を提案してきた^[3]。

本報告では、提案した手法を活用し、特定の急曲線区間に着目した多数データの分析を試みる。軌道塗油の効果によって脱線係数が変動する現象について、実験データに基づく近似モデル化手法を検討したのでその内容を報告する。

2. モニタリングデータの概要

営業線における走行安全性を評価するために、PQ モニタリング台車 (図 1) が開発された。この台車は走行区間における輪重、横圧を連続測定できる。実際に収集される連続データの一例を図 2 に示す。ここは曲線半径 160m の曲線であり、入口緩和曲線手前の内・外軌にレール塗油器が設置され稼働している。なお、当該曲線では脱線防止ガードが敷設され十分な安全対策が行われている。図示されるように、曲線形状は単純であっても、実測される脱線係数の波形は複雑であり、塗油の効果により時々刻々と変化している様子 (図中の番号順①→②→③→④→①) が確認できる。このように走行位置、時間によって実測波形は複雑に形状を変えている。

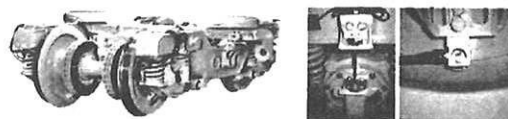


Fig.1. Outline of developed monitoring bogie and sensors

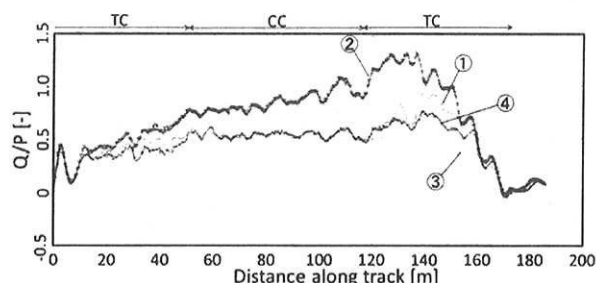


Fig.2. Example of measured data in a lubrication cycle

3. 回帰分析にもとづくデータ分析

3.1 回帰分析の基本式 脱線係数は同一車両で同一曲線を走行しても複雑に変動する。この変動を決定づける要因は無数にあるが、特徴が既知の信号成分により、観測される脱線係数を精度よく分解できれば、脱線係数の変動をより深く理解し、成分 (要因) に応じた適切な対策をたてられる。この考えにもとづいて、脱線係数を以下の信号成分の和

$$Q_{P_{max}}(d) = k_1 \cdot \rho(d) + k_2 \cdot \rho(d) \cdot \Delta P(d) + I(d) \quad (1)$$

と考える。ここで d は軌道上の走行位置を示している。 ρ は軌道の曲率、 ΔP は先頭軸内外軌の輪重変動率を示している。

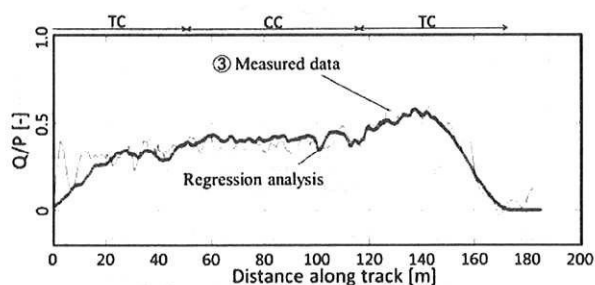
$I(d)$ は摂動（回帰式の誤差）を表す項である。係数 k_1 、 k_2 は摂動の二乗和を最小化する解として一意に求める。

3.2 分析の一例 前節の回帰式によって、実際に脱線係数を分析した例を図3に示す。ここで図示した回帰式は式(1)の右边で $I(d)$ を取り除いたものである。図3(a)は塗油によって摩擦係数が下がった例、図3(b)は油が枯渇した例と考えられる。油が枯渇したときは、輪重変動によって緩和曲線出口部分で特に脱線係数への影響が大きくなる傾向が観察される。これらの例が示す通り、本来複雑な変化をみせる脱線係数のデータに対し、二つの係数 k_1 、 k_2 を定めることで、複雑な現象を単純化したモデルで再現できる。

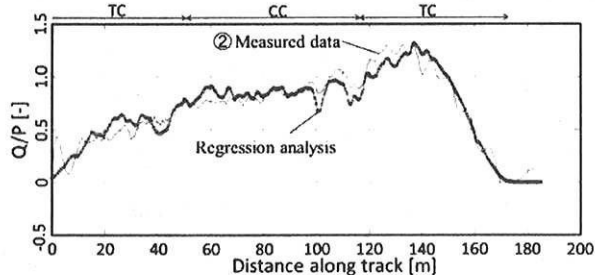
3.3 回帰式を用いた塗油効果を含むモデル化 図4は、当該曲線における多数の走行データ($N=58$)について回帰式の係数 k_1 、 k_2 の分布を示したものである。横軸は定常曲線中の内軌輪重・横圧比 κ の平均値(≒摩擦係数)を示している。図示されるように、係数 k_1 、 k_2 はそれぞれ、内軌摩擦係数と正の相関が確認される。特に塗油サイクル(①→②→③→④)と合わせてみると、近似直線上のある区間の両端をたどるようにして変化を繰り返しているプロセスを表現できる。

図5は係数 k_1 、 k_2 の平面上に多数のデータをプロットしたものを示している。図示されるように近似直線と標準偏差を合わせて示しているが正の相関が確認される。塗油のサイクルにおいては、図4と同様に近似直線上の2点を行き来している様子が確認される。

図6は観測データ中最も大きな脱線係数、小さな脱線係数を示した実測データ、さらにそれら近傍の近似直線上の2点の係数を抽出し、回帰式によって再現した波形を表している。図示されるように再現した回帰式は実測データと似た波形となっており、脱線係数の最大箇所ならびに値も概ね一致していることがわかる。以上のように、多量の実験データから曲線区間固有の係数を抽出し、近似的にモデル化できる。



(a) After lubrication (Case of ③ in fig.2)



(b) Before lubrication (Case of ② in fig.2)

Fig.3. Example of regression analysis

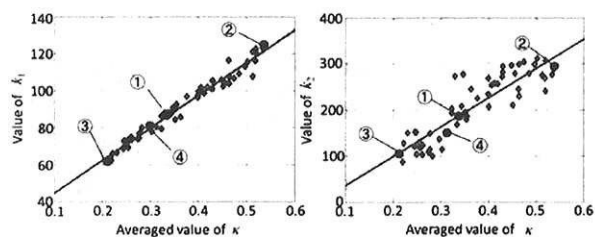


Fig.4. Plot of identified parameters k_1 and k_2

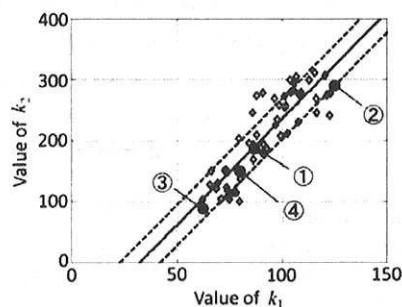


Fig.5. Approximated line on $k_1 - k_2$ plane

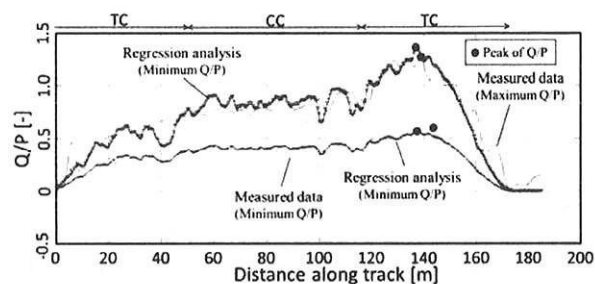


Fig.6. Comparison between measured data and analysis

この近似式は、曲線区間の保線作業開始タイミングの見定めや、塗油タイミングの最適化といった活用が考えられる。

4. 結論

本報告では、モニタリング台車で観測可能な信号から、塗油等の効果によって複雑に変化する脱線係数を、より詳細に把握するデータ分析例について述べた。提案する回帰式を活用することで、出口緩和曲線の局所的な脱線係数の増大原因の特定や、塗油の枯渇による要因ごとの増幅度合いを定量的に議論できる。今後は、データ数を増やした解析を行いつつ、複数の曲線区間での比較をおこなう。同時に、より実際的な軌道保守支援につながるデータ分析手法を検討していく。

文 献

- [1] 松本, 急曲線における諸問題とその解決技術, 鉄道車両と技術, No.173, 2011.
- [2] 大野ほか, PQ 輪軸を用いない車輪/レール接触力の測定方法, 機論 (C) 77 巻 774 号, 2011.
- [3] 道辻ほか, PQ モニタリング台車の連続記録データを活用した脱線係数データ分析手法, 鉄道技術連合シンポジウム (JRail) 講演論文集, pp389-390, 2011.