

車両走行状態監視装置を用いた車両フェール検知に関する研究

(第 2 報 : 1 次ばね系のフェール検知)

○[機]下川 嘉之 水野 将明 (住友金属) [機]谷本 益久 [機]小村 吉史 (住友金属テクノロジー)

[機]須田 義大 [機]安藝 雅彦 (東京大学) [機]杉山 博之 大谷 光一 (東京理科大学)

大林 弘史 鹿田 敬司 栗原 純 岩本 厚 [機]齋藤 拓也 (東京地下鉄)

Study on the Fault Detection of Railway Vehicles Using On-Track Monitoring System
(The 1st Report: Concept of Fault Detection of primary suspension)

○Yoshiyuki Shimokawa, Masaaki Mizuno, (Sumitomo Metal Industries)

Masuhisa Tanimoto, Yoshifumi Komura, (Sumitomo Metal Technology)

Hiroshi Ohbayashi, Keiji Shikata, Jun Kurihara, Atsushi Iwamoto, Takuya Saito, (Tokyo Metro)

Yoshihiro Suda, Masahiko Aki, (The University of Tokyo)

Hiroyuki Sugiyama, Koichi Ohtani, (Tokyo University of Science)

Failure of running gear for railway vehicles causes the terrible incidents as derailment or turn over and so on. So equipments depending on car dynamic behavior have to be maintained carefully. In this study the authors are intending to develop the new system of detecting failure of primary suspension and finding the factor of it. With developing this system, field tests of non-failure at primary suspension and tests in depot with failure of it are performed. And simulation models are confirmed by these test data.

キーワード : 車両走行状態監視装置, 状態監視, フェール検知, 走り装置, 1 次ばね, コイルばね

Key Words : On-Track monitoring system, Condition monitoring, Fault detection, Running gear, Primary suspension.

1. 緒言

東京地下鉄では, より高頻度で車両の状態確認を行い, 安全性をさらに向上するため, 営業線の各路線に地上 PQ 測定装置を設置し, 輪重・横圧をモニタリングする車両走行状態監視装置 (以降, 状態監視装置) を開発した。

状態監視装置では, 測定した輪重, 横圧から脱線係数を測定し, 脱線係数が統計上逸脱していないかを常に監視しているが, 仮に正常状態でない車両が状態監視装置上を通過し, それを検知したとしても, 異常の原因は分からないという課題があった。そこで著者らは, 測定輪重・横圧から, 車両各部の部品フェールを検知するための指標を検討した。そこで本報では, 台車の 1 次ばね系のフェール検知について報告する。

1 次ばね系の部品フェールとして, コイルばね折損を対象とし, 地上 PQ 測定に直接影響を与えるモードを対象とした。車輪・車軸損傷, 台車枠折損といった即脱線に至るフェールモード, 熱でのフェール検知が有効な軸受の固渋・

ブレーキ緩解, その他部品落失, 地上設備との接触, 駆動装置固渋については, 今回の検討の対象外とした。

2. コイルばね折損フェールの検知

2.1 コイルばね折損フェール検知手順

状態監視装置の輪重測定で, コイルばね折損フェール検知を行うため, コイルばね折損時の単体特性試験, 折損コイルばねを用いた走行試験, およびシミュレーションによる検討を行った。

住友金属工業株式会社 (以降, 住友金属) 製鋼所内に設置された半径 120m の小曲線試験線で, 現車を模擬した車両を用いて, コイルばねが正常な場合と折損した場合について走行試験を行った。対象とする台車は, 東京地下鉄で一般的に使用しているモノリンク式車箱支持装置を備えたタイプとした。

シミュレーションは, SIMPACK™ を用いて行い, 住友金属小曲線試験線での走行試験と同一条件のシミュレーシ

ョンを行い、走行試験と比較し精度検証を行った。そして営業線で発生する乗車率変化による車体質量変化、速度変化に関わらず、安定してフェール検知ができる指標について検討を行った。

2.2 コイルばね折損時のばね特性

モノリンク式軸箱支持装置を図 1 に示す。モノリンク式軸箱支持装置は、上下荷重をコイルばねとロールゴムの並列ばねで支持しており、仮にコイルばねが折損しても、極端な輪重変動が生じないフェールセーフ構造になっている。逆に地上 PQ 測定からコイルばねの折損検知を行う場合、発見が困難な軸箱支持装置である。

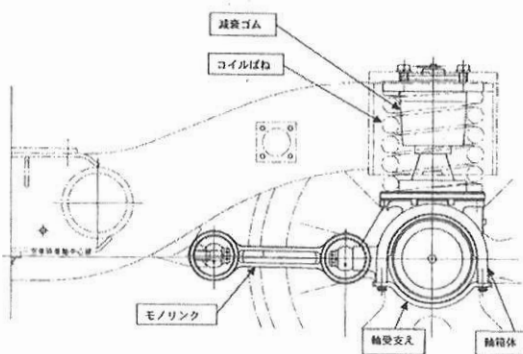


図 1 モノリンク式軸箱支持装置

コイルばね折損フェールにおける、コイルばね切断位置は、過去の疲労試験で折損が生じた、コイルばねの有効巻き部の端部とした。正常品と切断品のコイルばね特性を図 2 に示す。切断品は、コイルばね自由高さは変化せず、ばね定数が正常品 780kN/m に対して 4 割低下し、460kN/m になった。

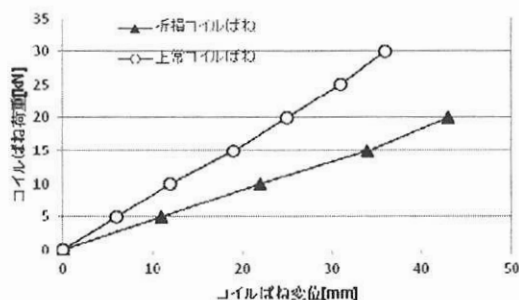
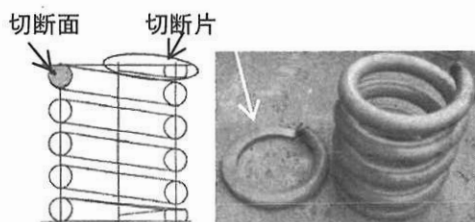


図 2 コイルばね特性

3. コイルばね折損フェール走行試験とシミュレーション

3.1 住友金属製鋼所内小曲線走行試験条件

住友金属製鋼所内小曲線試験条件を表 1、小曲線走行車両を図 3、線路形状を図 4 に示す。

コイルばね折損品は、進行方向第 1 軸の外軌側に設置した。

表 1 小曲線試験条件

車体質量	17ton	
車体重心高さ	1400mm	レール面上
台車中心間距離	13800mm	
台車質量	4.4ton	
軸距	2100mm	
軸ばね上下剛性	1320kN/m	折損時 1010 kN/m
走行速度	10km/h	円曲線区間のみ

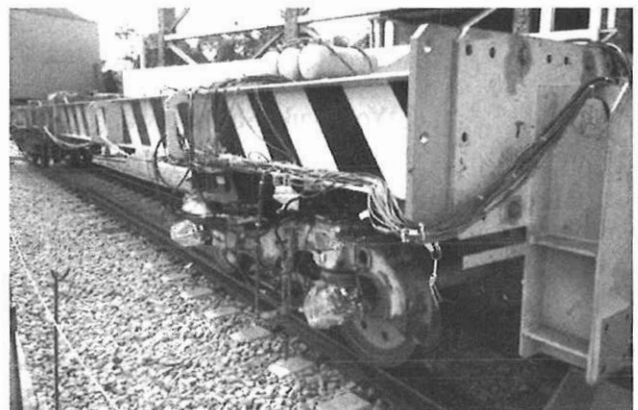


図 3 小曲線走行車両

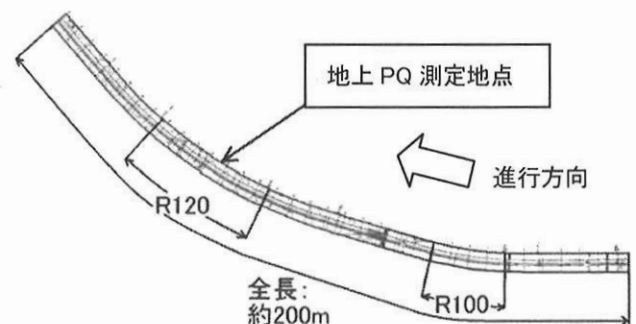


図 4 小曲線試験線

3.2 シミュレーションと走行試験結果

表 1、図 4 に示す諸元を用いて、小曲線試験線車両をモデル化しシミュレーションを行った。空気ばねは、非線形モデルを使用し、線路条件は、実軌道狂いを測定した結果を用いた。

図 5 にコイルばね正常時、図 6 にコイルばね折損時のシミュレーションと小曲線走行試験結果を示す。本図より、シミュレーションと走行試験結果は良く一致しており、適切なモデル化ができていると考える。

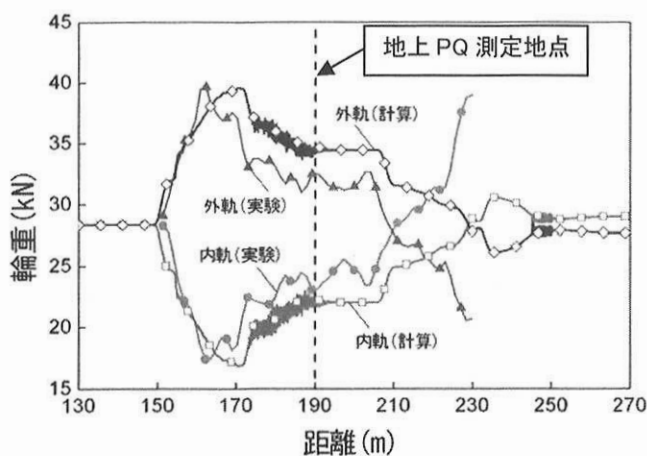


図 5 コイルばね正常時 第 1 軸輪重波形

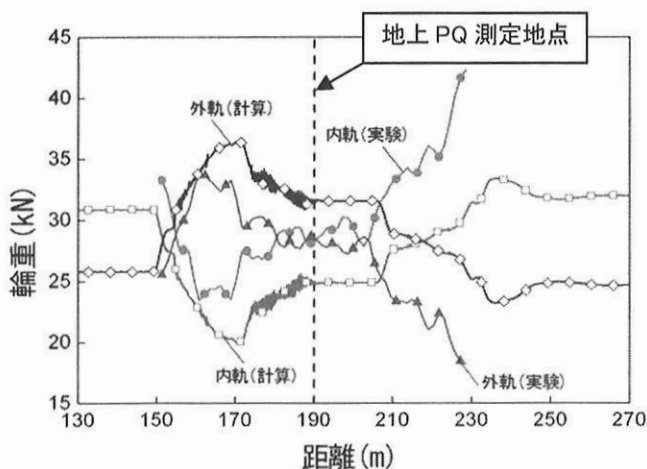


図 6 コイルばね折損時 第 1 軸輪重波形

3.3 コイルばね折損フェール検知方法

シミュレーションモデルを用いて、営業運転時に生じる乗車率変化、走行速度変化が、輪重・横圧測定に与える影響を検討した。このときの軌道条件は、状態監視装置設置曲線にあわせ、R247.1、カント 60、カントてい減倍率 1190 倍とした。

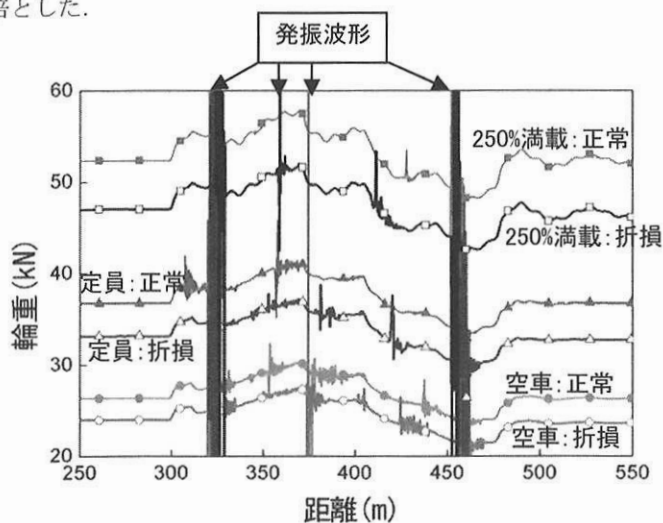


図 7 40km/h, 第 1 軸外軌, シミュレーション輪重波形

正常コイルばねと折損コイルばね条件の、速度 40km/h の、第 1 軸外軌のシミュレーション輪重波形を図 7 に示す。330m 付近および 460m 付近の発振波形は、シミュレーション上の問題である。

本図から、コイルばね折損による輪重変化よりも、乗車率変化による輪重変化の方が影響は大きく、単に輪重を監視するだけでは、コイルばね折損を発見できないことが分かる。

そこで図 8、式 1、式 2 に示すように、台車内の輪重のねじれ成分に注目することにした。

そしてコイルばね折損に対する異常指標として、式 3 に示すように、コイルばね正常時と折損時の台車ねじれ成分の差を用いることとし、基準重量で割って無次元化した。コイルばね正常時の台車ねじれ成分は、空車、速度 40km/h 時のものとし、基準重量を 1 台車当たりの空車車両質量とした。

台車ねじれ成分

$$\text{前台区車ねじれ成分} = (P_1 + P_4) - (P_2 + P_3) \cdots (\text{式 1})$$

$$\text{後台区車ねじれ成分} = (P_6 + P_7) - (P_5 + P_8) \cdots (\text{式 2})$$

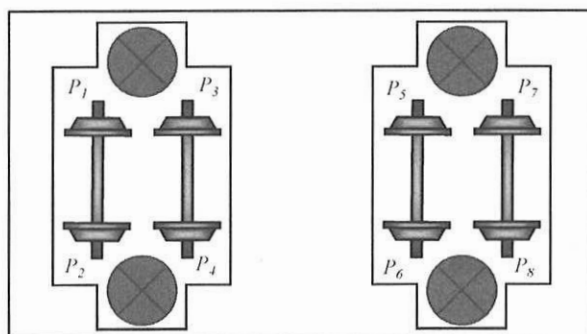


図 8 各ねじれ成分の定義

軸ばね系異常指標

$$= \frac{[\text{各状態の前台区車ねじれ成分} - \text{基準の前台区車ねじれ成分}]}{\text{基準車両重量の半分}}$$

ただし

基準の前台区車ねじれ成分

= 通常走行 (空車, 40km) の前台区車ねじれ成分

基準車両重量は、1 台車当たりの空車荷重

… (式 3)

なお状態監視装置は、PQ 測定を円曲線中の 1 断面で行うため、2 軸分の PQ 値を同時に測定できない。よって図 9 に示すように、測定値に同時性はないが、1 軸目の測定値と 2 軸目の測定値に対してねじれ成分演算を行う。

なお図 6 から円曲線内の範囲内では、軸輪重は概ね一定であり、本手法でも問題ないとする。

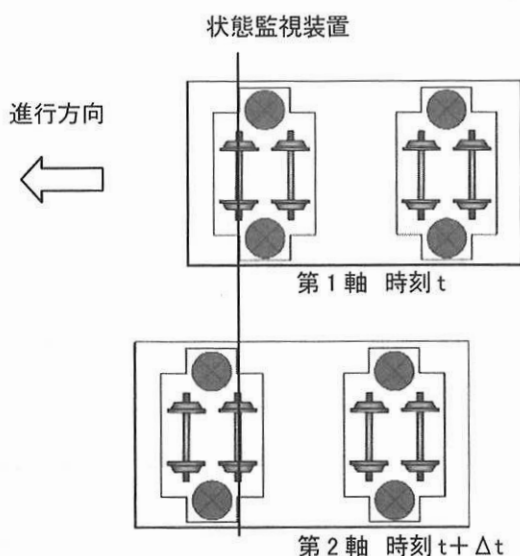


図9 状態監視装置での輪重測定

参 考 文 献

- 1) 齋藤, 中島, 中里, 清水, 鹿田, 佐藤, 下川, 谷本: 地上 PQ 測定による営業線データの解析結果報告, 第 17 回鉄道技術連合シンポジウム 講演論文集, pp. 333-336, 2010.
- 2) 清水, 中島, 齋藤: 東京メトロ営業線車両の脱線係数常時モニタリング, 鉄道車両と技術 No.167, P15-23, 2010
- 3) 大林, 鹿田, 栗原, 岩本, 齋藤, 下川, 水野, 谷本, 小村, 須田, 安藝, 杉山, 大谷: 車両走行状態監視装置を用いた車両フェール検知に関する研究, 第 18 回鉄道技術連合シンポジウム 講演論文集, 2011.

3.4 コイルばね折損フェール検知

第 1 軸外軌側のコイルばねが折損した場合, および第 1 軸内軌側のコイルばねが折損した場合について, 式 3 で示す異常指標を用いて, コイルばね折損フェールを検知した結果を図 10 に示す。

本指標により, 軸ばね折損軸位, 乗車率, 走行速度に関わりなく, コイルばね正常時と折損時の差が明瞭に現れており, コイルばね折損を検知できることが分かる。

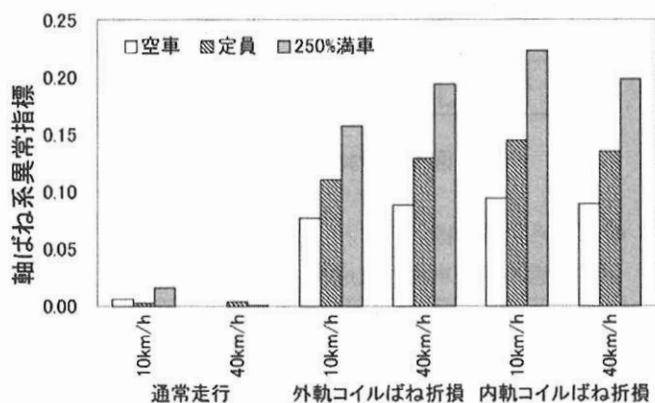


図10 軸ばね系異常指標演算結果

4. 結言

本研究では, 円曲線内に設置された車両走行状態監視装置を用いて, コイルばね折損フェールの検知法について検討した。

その結果, コイルばね折損フェールについては, 状態監視装置で測定された, 1 台車の 4 つの輪重の対角差を台車ねじれ成分に注目し, 基準条件と比較することで, 通常営業走行で発生する乗車率変化, 速度変化に関わらず, コイルばね折損を判別できることが分かった。