

簡潔なシステムによる鉄道車両の状態監視の可能性について (上下系部品の異常検知)

A Possibility of Sound Monitoring for Railway Vehicle with Simplified System

(A sound monitoring method for parts concerning vertical motion)

正 機械 城取 岳夫* (鉄道総研) 安永 年広 (鉄道総研)

Takeo SHIROTORI, Railway Technical Research Inst. 2-8-34, Hikari-cho, Kokubunji-shi

Toshihiro YASUNAGA, Railway Technical Research Inst. 2-8-34, Hikari-cho, Kokubunji-shi

A sound monitoring of railway vehicles is essential for securing ride comfort and safety. However, the sound monitoring system equipped with many sensors may not only be expensive, but also require much expense for maintenances of the sensors. Therefore, we have developed a system to evaluate the sound conditions of railway vehicles with fewer sensors. In the previous paper, we have explained a sound monitoring system detected a derailment and other malfunctions that caused singular vertical acceleration with only one accelerometer on a bogie. In this paper, we demonstrated the system under development detected flat air springs usage changes of peak frequency of vertical acceleration over railway vehicles.

Keywords: sound monitoring, flat air springs, dumping performance, axle dumper, air spring

1. はじめに

鉄道車両は、安全性や乗心地を維持するため定期的に工場で分解検査が行われる。これらの検査に加え、走り装置の状態監視を運用時に常時行えば安全性や乗心地が向上できる可能性がある。鉄道車両の常時状態監視(以下、状態監視)は、日本では 1980 年代から始まり¹⁾、最近でも盛んに行われている。しかしながら、営業車の走り装置に状態監視装置が付いた例は少ない。これは、多くのセンサや複雑な機構を使うシステムでは、初期費用がかかるばかりでなく、将来にわたりメンテナンスコストがかかるためであると考えられる。そこで本報では、例えば 1 台車に 1 個程度の少ないセンサで車両状態を監視するシステムの構築を検討している。本報では、例として 1 台車に 1 個の上下方向の加速度センサを取り付け、空気ばねパンクおよび軸ダンパ、空気ばねの減衰異常を検知する方法について検討した結果を報告する。

2. 状態監視システムの構成

本報で検討する状態監視システムを図 1 に示す。前述のように本システムは、各台車枠に加速度センサを備える。さらに、診断の確実性向上と監視項目の増加のため、特定の軸に、軸箱加速度センサを備えることもできる。なお、本報告では主に軸箱加速度を利用しない方法を中心に説明している。

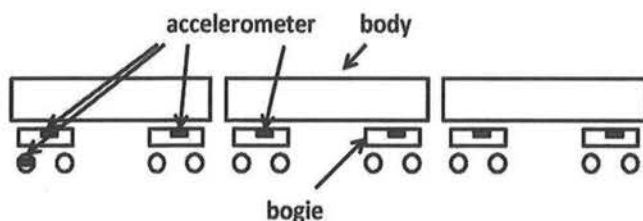


Fig. 1 Sound monitoring system

3. 状態監視

上記のセンサ群による空気ばねパンクと、軸ダンパや空気ばねの減衰異常の検知方法を検討した結果を以下に示す。

3.1 空気ばねパンク検知

空気ばねがベローズ部の破損や配管の漏気によりパンク

すると、乗心地が損ねられるだけでなく、出口緩和曲線部での軌道のカント低減に対し車輪の追従性が悪くなり脱線のリスクが増すため、安全性も損ねられる。空気ばねのパンクが起きた事例は少ないが、安全に関する事なので検知方法を検討しておくことが必要である。

(1) 試験台における空気ばねパンク走行試験

空気ばねが健全な条件と、空気ばねがパンクした条件の振動加速度の差異を調べるために、在来線試験車両を使用し試験台試験を行った。パンクした条件では、1 両に 2 台ある台車のうちの 1 台車の空気ばね 2 個をパンクさせた。走行速度は 100km/h で、実軌道波により加振した。

両条件での台車の上下振動加速度をパワースペクトル密度(PSD)により比較したものを図 2 に示す。空気ばねが健全な条件では、台車の上下振動加速度 PSD のピーク周波数が 14Hz 付近であるのに対し、空気ばねがパンクした条件では、4.4Hz に変化している。この変化が顕著であるため、状態監視装置の加速度センサを台車枠に取り付けければ、空気ばねパンクが走行中に検知できることが分かった。

軸箱上下支持剛性の設計値と台車、車体の質量を用いて固有振動数を計算すると、4.2Hz 程度になる。空気ばねがパンクした条件で観察された 4.4Hz のピークはこれにほぼ一致することがわかった。

さらに、両条件における台車直上の車体上下振動加速度 PSD を比較したものを図 3 に示す。空気ばねが健全な条件では、車体の上下振動加速度 PSD のピーク周波数が 2Hz 付近であるのに対し、空気ばねがパンクした条件では、4.4Hz に変化している。この変化も顕著であり、図 1 に示した構成と異なるが状態監視装置の加速度センサを車体の台車上に取り付けても、空気ばねパンクが走行中に検知できることが分かった。

(2) 構内における空気ばねパンク走行試験

試験台試験では、走行速度 100km/h で走行した際の加速度の違いを調べたが、低速走行時においても検知ができると検知装置の適用範囲が広がるので好ましい。そこで、鉄道総研の構内試験線を低速で走行し、空気ばねが健全な条件と空気ばねがパンクした条件の振動加速度の差異を調べた。試験は、140m 程の直線区間で最高速度 25km/h で行った。車両は試験台試験に用いた車両で、パンクした条件では試験台試験と同様に、1 台車の空気ばね 2 個をパンクさせた。

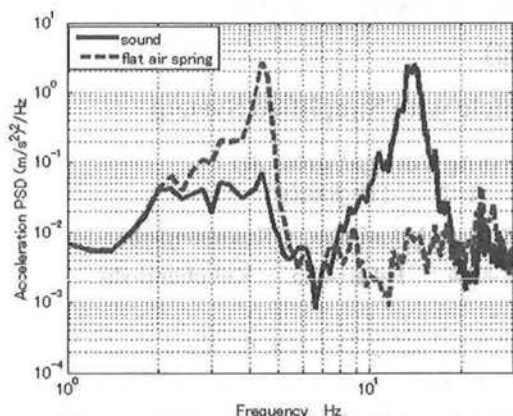


Fig.2 Vertical truck acceleration PSD on test stand

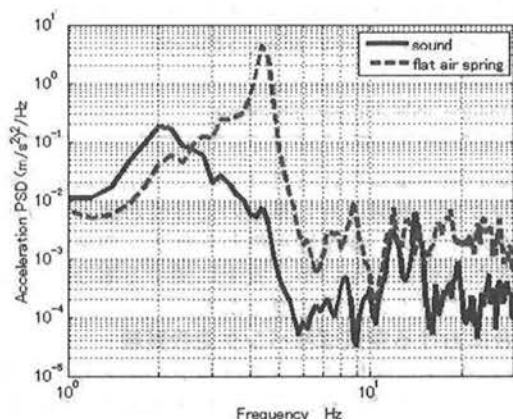


Fig.3 Vertical body acceleration PSD on test stand

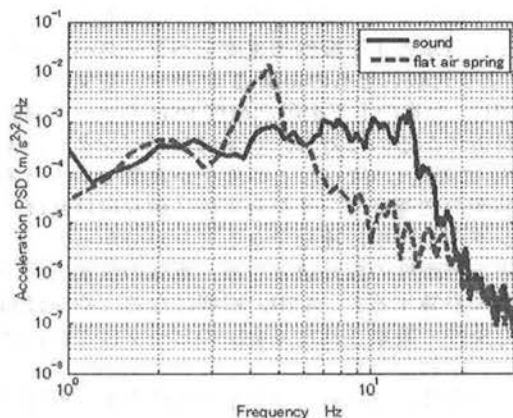


Fig.4 Vertical truck acceleration PSD on rail

両条件での台車の上下振動加速度 PSD を比較したものを図 4 に示す。走行速度が低いので軌道の不整よりレールの継ぎ目によるインパルス加振の影響が大きいと思われるが、試験台試験と同様に空気ばねが健全な条件では、台車の上下振動加速度 PSD のピーク周波数が 13.4Hz であるのに対し、空気ばねがパンクした条件では、4.6Hz に変化している。

さらに図は省略するが、両条件での車体の上下振動加速度 PSD においても試験台試験と同様に、空気ばねが健全な条件では車体の台車上で上下振動加速度 PSD のピーク周波数が 2Hz 付近であるのに対し、空気ばねがパンクした条件では、4.6Hz に変化した。

以上のことから、台車や車体の上下振動加速度のピーク周波数が、空気ばねを含まない台車・車体の質量と軸ばね

で構成されるばねマス系の固有振動数（例えば 4.6Hz）に遷移したか否かを監視すれば、走行速度によらず空気ばねがパンクを検知できることがわかった。

3. 2 軸ダンパ、空気ばねの減衰異常検知²⁾

以下では、軸ダンパや空気ばねの減衰機能の不具合を考える。軸ダンパのオイル漏れ、オリフィス詰まりあるいは、オイルダンパに比べ頻度が低い空気ばねのオリフィス欠損、組み付け忘れ、異物による詰まりが生じれば、乗心地、安全性に影響を与える。

本報では、数値シミュレーションにより検知方法を検討した。モデルは、車体を剛体と仮定した 17 自由度の 1 車両モデルを使用し、走行速度 275km/h とした。

図 5 に軸ダンパに異常がない場合の台車枠加速度を基準に、軸ダンパのオイルが不足した場合とオリフィスが詰まった場合の台車枠の加速度の振幅比を示す。7.5Hz 付近の両者の線が交差している周波数より高い周波数で差が顕著になる。よって特にこの周波数帯域を比較することが軸ダンパ不具合の原因を判定し易くなると言える。

さらに、図 5 に示す空気ばねの減衰異常についても同様に振幅比において 1Hz から 10Hz 付近の広い周波数帯で差がある。特に軸ダンパの減衰異常と空気ばねの減衰異常では、車体と台車の連成に起因する 2Hz 付近が大きく異なるので、台車枠に 1 つのセンサでも軸ダンパの不具合と空気ばねの不具合を区別することができることが分かった。

なお図 5 では、軸ダンパに関する不具合を AD、空気ばねに関する不具合を AS で示している。

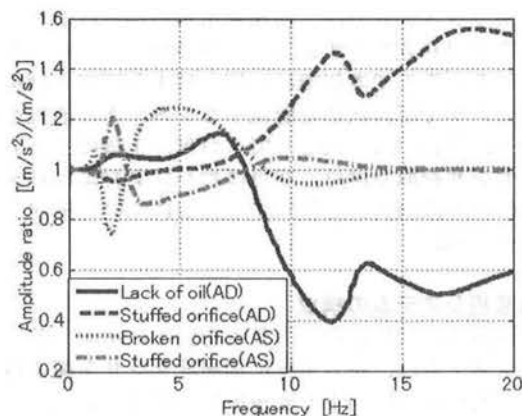


Fig. 5 Amplitude ratio of axis-damper malfunction bogie acceleration to sound bogie acceleration

4. まとめ

1 台車に 1 個程度の少ないセンサで車両状態を監視するシステムの構築のために、検知できる事象を検討した。その結果、空気ばねのパンク、軸ダンパや空気ばねの減衰特性異常について 1 台車枠に 1 個の上下加速度センサで検知できうことがわかった。

今後、さらに実験を行い検討の信頼性を上げてゆくと共に、検知できる事象を広げてゆきたい。

参考文献

- (1) 中栄周三, 伏屋一雄, 石原知明, 脱線検知装置の試験, 鉄道技術研究所速報, No. 82-1002, (1982).
- (2) 城取岳夫, 安永年広, 簡潔なシステムによる鉄道車両の状態監視の可能性について(脱線検知の基礎検討), Dynamics & Design Conf. 2010, (2010), p. 245.