

乗り上がり脱線の予兆検知に関する研究

○森川 真人 山下 高賢 (西日本旅客鉄道(株)) [機] 川鍋 哲也 国見 敬 (曙ブレーキ工業(株))

フェロー [機] 須田 義大 [機] 洪 介仁 [機] 王 文軍 (東京大学)

Study on Detection of Signs of Wheelclimb Derailment

○Masato Morikawa, Takayoshi Yamashita, (West Japan Railway Company)

Yoshihiro Suda, Chiehjen Hung, Wenjun Wang, (University of Tokyo)

Tetsuya Kawanabe, Takashi Kunimi, (Akebono Brake Industry Co., Ltd.)

For the purpose of earlier detecting wheelclimb derailment, a 1/10-scale model of railway vehicle including one car body and two bogies and a device that can simulate various wheelclimb derailment for chosen wheel are designed and invented. Depending on twenty-four kinds of the derailment experiment, an algorithm for detection of signs of wheelclimb derailment can be proposed, and it is verified that abnormality can be detected before the wheel climbs upon the rail.

キーワード：鉄道車両，乗り上がり，脱線検知，安全性，スケールモデル

Key Words：Railway Vehicle, Wheelclimb, Derailment Detection, Safety, Scale Model

1. はじめに

鉄道車両の走行安全性を向上させるため、車両の異常挙動（予兆及び事故）を検知することで、事故の未然防止及び万一事故が発生した場合の二次被害防止を図るシステムの構築が望まれる。既に、鉄道車両の二次被害拡大を防ぐ脱線検知に関する研究が行われているが⁽¹⁾、異常挙動の中でも「鉄道固有の乗り上がり脱線」については、車両の挙動がいまだ未解明であり、実車での再現も容易ではないため、脱線に至るまでの判定技術が確立されていない。

そこで、本研究では 1/10 スケールでの脱線再現装置の開発及び模型実験により、開発した可動機構による乗り上がり脱線時の車両挙動を把握することで、実車両における脱線予兆を検知するための判定アルゴリズムを構築した。

2. 1/10 スケール模型車両の設計・製作

東京大学生産技術研究所千葉実験所における鉄道の 1/10 スケール試験線を用いた模型実験を行うため、実車両の寸法の 1/10 スケールにあわせて模型車両を設計した。JR 西日本において近郊型電車の標準仕様に位置付けられる 223 系 2000 代車両を想定車両とし、車体支持方式はボルスタレス式、牽引装置は 1 本リンク方式、軸箱支持装置は軸ハリ式の 2 軸ボギー台車を製作した。図 1 に設計した模型車両及びセンサー設置状況を示す。また、表 1 にセンサーの設置箇所・部位と測定物理量を示す。

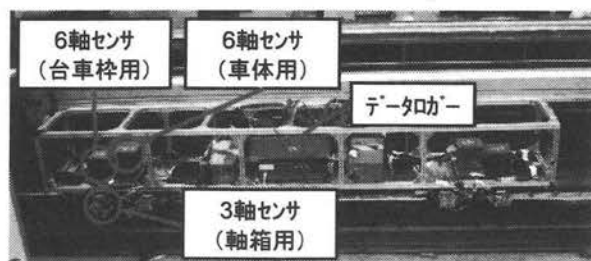


図 1 1/10 スケール模型車両及びセンサー設置状況

表 1 センサ設置箇所・部位と測定物理量

設置箇所・部位		測定物理量
軸箱	全軸箱	3 軸加速度 (前後・左右・上下)
台車枠	前・後	3 軸加速度 (前後・左右・上下)
		3 軸角速度 (ロール・ピッチ・ヨー)
車体	前・後	3 軸加速度 (前後・左右・上下)
		3 軸角速度 (ロール・ピッチ・ヨー)
軸受	第 4 軸	上下変位
		車輪速度

3. 乗り上がり再現装置

車輪の乗り上がりを再現させるため、任意の車輪にフランジトップ走行させることが可能な可動機構 (図 2～図 4) をレール間に設置した。



図 2 可動機構

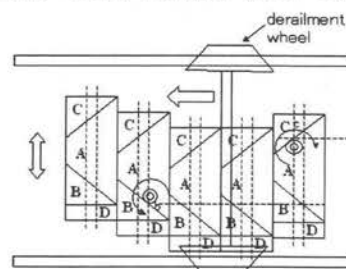


図 3 可動機構の動作原理 (top view)

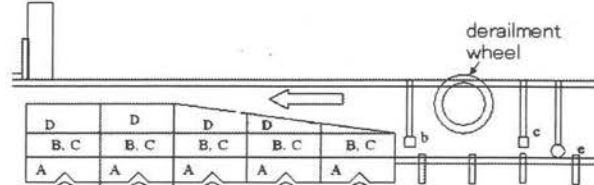


図 4 可動機構の動作原理 (side view)

図 3、4 に示すブロック A がリニアスライドであり、ブロック D は車輪がフランジトップ走行するためのスロープである。脱線させる車輪の前後に設置した小ローラ b と c が模型車両の挙動に影響を与えないように、別途車両牽引装置と結ぶ細長い板を取り付け、小ローラ b がスロープ

Bを移動させることで、車輪をブロックDの上でフランジトップ走行させた。そして、小ローラcは、次の車輪が接近する前に、スロープCを移動させることで、ブロックDを元の位置に戻した。

4. 模型車両における脱線実験

図5に、脱線再現実験の走行コースを示す。模型車両を車両牽引装置により牽引し、4軸目が継目通過後、可動機構区間に進入させることで、車輪乗り上がりを再現させた。表2に実験条件を示す。この実験条件は、過去の乗り上がり脱線事故の状況を踏まえた上で決定した。走行速度0.9m/s、1.3m/sは、実車の10km/h、15km/hに相当し、模型と実車の相似則を考慮して算出した。



図5 脱線再現試験の走行コース

表2 実験条件

走行速度	0.9m/s、1.3m/s
乗り上がり車輪	1軸左、3軸左
車輪上昇量	3mm、10mm
乗り上がるまでの車輪回転数	0.5回転、1回転、3回転

各センサーから得られた加速度及び角速度データに10Hzのローパスフィルターをかけ、車輪乗り上がり時の挙動を把握した。図6に一例として、実験条件が走行速度：0.9m/s、乗り上がり車輪：1軸目、車輪上昇量：3mm、車輪回転数：3回転時の測定結果を示す。走行開始から6.9秒～7.9秒間は、可動機構のスロープDによるフランジトップ走行区間である。フランジトップ走行開始地点において、車輪とブロックが接触する際、一軸目の左側車輪及び前方台車のロール角速度が著しく変化しており、衝撃力が与えられていることがわかる。さらに、各車輪が継ぎ目を通過する際、台車のロール角速度も変化したため、アルゴリズム構築の際、乗り上がりの入力以外の外乱影響を検討する必要があることがわかった。

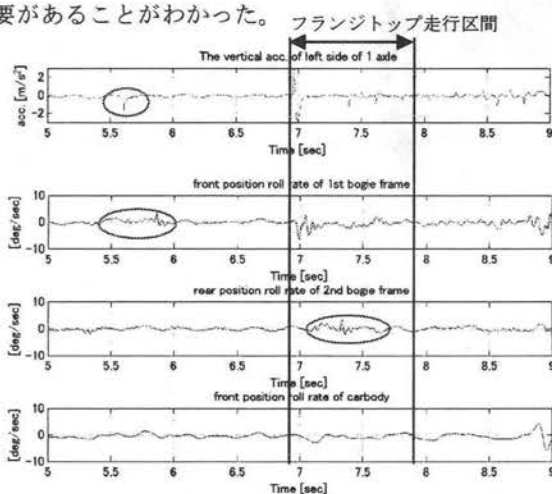


図6 実験結果例 (0.9m/s、1軸目、3mm、3回転)

5. 脱線判定アルゴリズムの構築

全24条件の実験データを用いて、可動機構による車輪乗り上がりに対する判定アルゴリズムを構築した。まず、可動機構のスロープDに乗り上がる前後の区間に分け、ピ

ーク値、ピーク値の差、平均値などでデータ整理を行った。その結果、車輪上昇量3mmや3回転といった実験条件では、乗り上がり入力が比較的弱く、車輪乗り上がりを判別しにくいことがわかった。そこで、物理量の絶対値を積算した値（以下、積算値）を導入し、積算時間や積算しきい値について検討を行った。その結果、図7に示すように、台車ピッチ角速度及び設定した時間での台車ロール角速度積算値を常にリアルタイムで計算し、その値と、走行速度に応じて設定した閾値とを比較することで、全ての実験条件で誤検知なく車輪乗り上がり判定が可能となった。

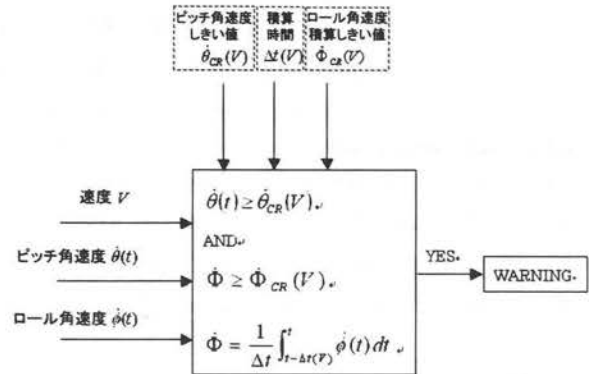


図7 車輪乗り上がり判定のアルゴリズム

図8に、一例として、実験条件が走行速度：0.9m/s、乗り上がり車輪：1軸目、車輪上昇量：10mm、車輪回転数：1回転時の検証結果を示す。積算時間を0.2秒に設定すると、早期に車輪乗り上がりを検知できることを検証した。

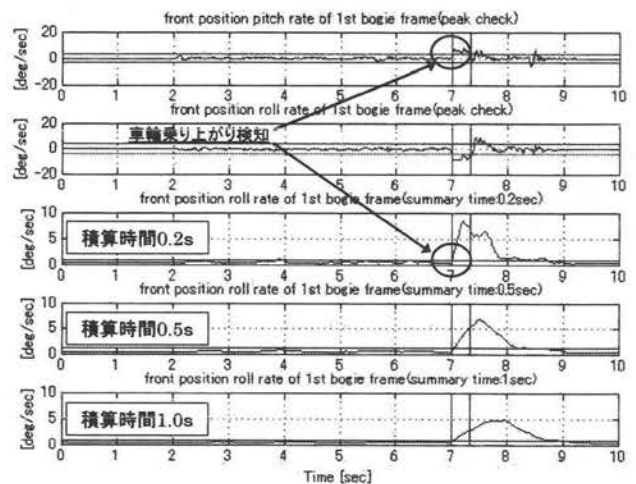


図8 アルゴリズムの検証 (0.9m/s、1軸目、10mm、1回転)

6. まとめ

1/10スケール模型実験における任意の車輪軸のみを脱線させる装置を開発した。更に、模型を用いた脱線実験により、台車ピッチの角速度のピーク値及び設定した時間での台車ロール角速度の積算値を常にリアルタイムで計算し、その値と、走行速度に応じて設定した閾値とを比較することで、脱線予兆を検知するという判定アルゴリズムを構築し、更に早期に脱線予兆を検知できることを確認した。

参考文献

- 金子、三須、斉藤、平林、河田：J-Rail2002 論文集、pp. 131-134、2002。