

## 継ぎ目を考慮した浮きまくらぎ検知手法の数値的検討

東京大学 学生会員 ○中村 俊敬  
 東京大学 正会員 蘇 迪  
 東京大学 正会員 長山 智則

## 1. 研究背景と目的

地方の鉄道事業者を中心に軌道の維持管理が大きな課題となっている。鉄道において軌道は走行の快適性や安全性に直結するため高頻度の維持管理が求められており、早急な対策が必要である。本研究では軌道の動的変状である浮きまくらぎに着目し、計測機器の導入が容易である車体の振動からの浮きまくらぎ検知を目指す。浮きまくらぎはレール継ぎ目の直下・近傍で発生しやすいという特徴を持つことから、継ぎ目を考慮した手法の検討も行う。

## 2. 検討する浮きまくらぎ検知手法

浮きまくらぎが発生している箇所では軌道の無負荷時形状（＝静的変位）と車両通過時の形状（＝動的変位）に差異が生じることから、この差を取ることで浮きまくらぎ位置の検知を行う楠田らの手法<sup>1)</sup>をもとにする（図-1）。動的変位は車体上で観測される鉛直方向加速度を用い、2自由度クォーターカーモデル（図-2）とカルマンフィルタによって逆推定する。本研究では静的変位はすでに得られていると仮定して議論を進める。

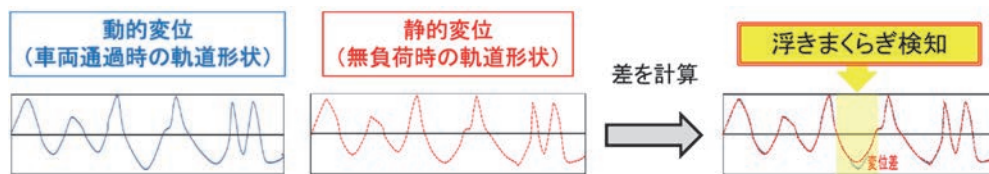


図-1 検討手法の概略

## 3. 車両走行シミュレーション

本研究ではマルチボディシミュレーション（MBS）ソフトウェア SIMPACK を用いて数値解析を行う。車両は在来線特急列車をモデル化した（表-1）。軌道は移動支持ばねモデル（図-3）を採用し、浮きまくらぎはレールを支持するばねの剛性とダンパーの減衰が局所的に低下するものとしてモデル化した（図-4）。軌道狂いはアメリカ連邦鉄道局管理基準にあるパワースペクトル密度（PSD）により生成した（図-5）。解析条件は表-2 に示した。

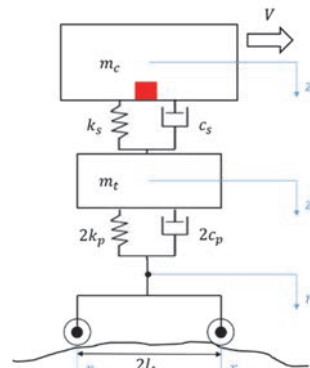


図-2 2自由度モデル

表-1 車両の解析諸元

パラメータ	値
車体質量 $m_c$	6,400 kg
台車質量 $m_t$	1,355 kg
1次剛性 $k_p$	6,540 kN/m
1次減衰 $c_p$	39.2 kNs/m
2次剛性 $k_s$	474 kN/m
2次減衰 $c_s$	2 kNs/m

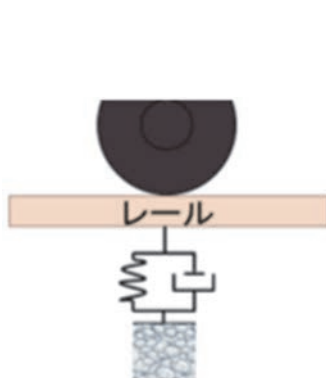


図-3 軌道モデル

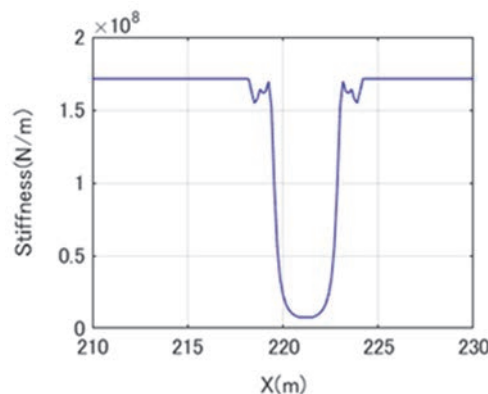


図-4 支持ばね剛性の低下

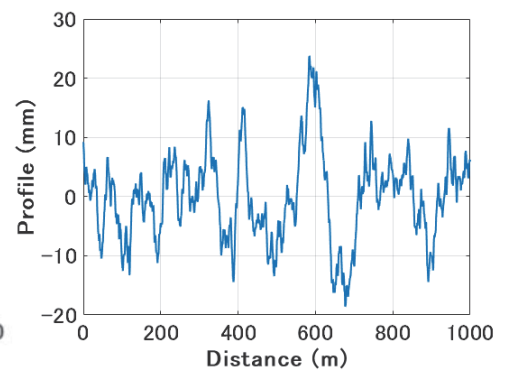


図-5 軌道狂い（高低）

キーワード 浮きまくらぎ, レール継ぎ目, 動的変位, 静的変位, カルマンフィルタ

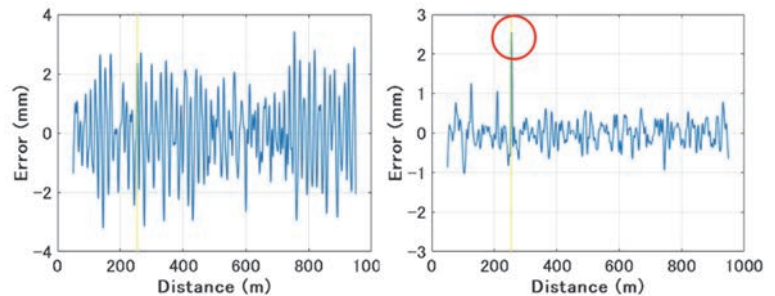
連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学工学系研究科社会基盤学専攻 TEL03-5841-4739

表-2 解析ケースと解析条件

ケース	速度	軌道状態	浮きまくらぎ間隔・本数	解析周波数	解析時間
高速	90 km/h	Poor	600 mm・5本	100 Hz	40 s
低速	18 km/h				200 s

#### 4. 解析結果（継ぎ目なし）

検知結果を図-6 に示す。高速ケースでは動の変位の推定誤差が大きく、浮きまくらぎ検知に失敗している。これは逆推定時に着目した軌道の空間周波数帯域内 (0.0166~0.166 /m) にクォーターカーモデルで評価できないピッチングの振動モード (0.0625 /m) が含まれていることが原因であると考えられる。一方低速の場合は前述の固有周波数は 0.3125 /m と帯域外となるため精度が改善され、検知に成功している。



(a) 高速ケース

(b) 低速ケース

図-6 浮きまくらぎ検知結果（継ぎ目なし）

#### 5. 継ぎ目近似形状の導入

次にモデルへ継ぎ目を導入し、手法の有効性を議論する。継ぎ目は  $\cos$  関数を用いて形状を近似し (図-7), 軌道狂いと足しわけて用いた。 $L$  は継ぎ目の影響幅,  $h$  は継ぎ目部の深さであり、既往文献<sup>2)</sup>から  $L = 1(m)$ ,  $h = 3.5(mm)$  とした。

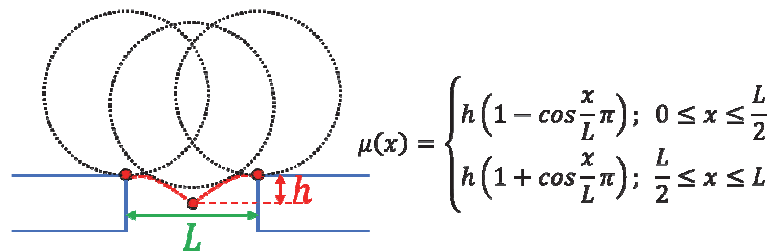
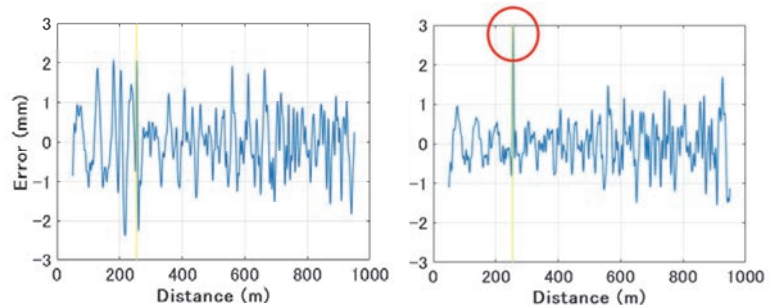


図-7 継ぎ目形状の近似

#### 6. 解析結果（継ぎ目あり）

観測された鉛直加速度をフィルタ処理等行わずに逆推定を行った場合、動の変位の逆推定精度は悪化し浮きまくらぎ存在箇所以外でも変位差が観測された (図-8(a))。一方であらかじめ加速度応答に対して継ぎ目の影響周波数を考慮した 1 Hz のローパスフィルタ (LPF) を適用してから逆推定を行った場合は、継ぎ目がない場合と同程度の精度で浮きまくらぎ検知に成功した (図-8(b))。



(a) LPF 処理なし

(b) LPF 処理あり

図-8 浮きまくらぎ検知結果（低速・継ぎ目あり）

#### 7. 結論

MBS によって浮きまくらぎを効率的に検知する手法を検討した。考慮できない車体の固有振動成分が着目する周波数帯域内に含まれないような速度帯で走行すれば浮きまくらぎを精度よく検知できる可能性を示した。継ぎ目がある場合でもあらかじめフィルタ処理を行うことで、誤検知なく浮きまくらぎを検知できた。

#### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 19K04570 と 22K04281 の助成を受けたものです。また研究にあたり公益財団法人鉄道総合技術研究所の田中博文氏に貴重な御助言を賜りました。ここに深く謝意を示します。

#### 参考文献

- 1) 楠田将之, 松本麻美, 片岡宏夫: 軌道変位データに基づく浮きまくらぎ検知手法, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol. 74, No. 2 (応用力学論文集 Vol. 21), I\_543-I\_551, 2018.
- 2) David Martyn Steffen: Identification and development of a model of railway track dynamic behavior, A Thesis Submitted for the Degree of Master of Engineering Faculty of Built Environment and Engineering, Queensland University of Technology, 2005.