

浮きまくらぎに着目した軌道狂い(変位)進みメカニズム

日本工営(株) 正会員 石田 誠

浮きまくらぎはバラスト軌道の長手方向の不同沈下や横移動等による軌道狂い(変位)進みメカニズムにおいて、極めて重要な現象の一つであり、特に普通継目や溶接継目において顕著であることは周知の事実である。その対策についても古くから取り組まれ、多くの知見が得られているが、さらなる効果的な対策を得べく現在も鋭意取り組まれている。ここでは、実軌道で測定された軌道の動的応答のデータと動的応答予測モデルによる解析値を用いて、浮きまくらぎ現象を確認するとともに、数年にわたって測定された軌道沈下測定データと軌道沈下予測モデルによる解析値により、浮きまくらぎに着目した軌道狂い(変位)進みメカニズムについて考察する。

1. 軌道動的応答モデルによる浮きまくらぎ現象の予測

1. 1 軌道動的応答モデル

浮きまくらぎ現象を捉えるために用いるモデルを図1に示す。このモデルは広く軌道の上下系の動的応答を解析するために開発されたものであり、レールをティモシェンコ梁、まくらぎと3層に分けたバラストを質点とする軌道モデルと、半車体に台車で構成する車両モデル(輪軸のみ:ばね下質量のみの場合もある)を接ばねを介して相互作用するモデルである。ここでは、まくらぎと上層バラストとの間にある隙間を設け浮きまくらぎ状態を再現している。

1. 2 動的応答測定試験

溶接部のレールの曲げ応力の実態を把握する目的でJR東日本・東北本線 蒲須坂・片岡間の左レールにおいて実施された現地測定試験とその測定結果について紹介する。図2に人工的に研削により設定した溶接部(エンクローズアーク)の形状を示す。ここでは、溶接部短波長のVは0~1.2mm、溶接部1m間のWは0~2.2mm、溶接部短波長凹凸の波長λは0~200mmの値が取られた。

電車特急(平均速度 97.1km/h)と電気機関車(平均速度 68.9km/h)の測定値の重回帰式を式(1)と(2)に示す。

$$Y=0.242U+49.6V+18.2W+22.3 \text{ ----- (1)}$$

$$Y=0.292U+44.0V+21.0W+39.0 \text{ ----- (2)}$$

ただし、Y:レール底部曲げ応力(MPa)、U:走行速度(km/h)、V,W:図2参照(mm)

1. 3 モデルによる浮きまくらぎの予測

図1の軌道/車両動的応答モデルに図2の凹凸モデルの設定条件と測定試験の対象とした電車特急(走行速度100km/h)と電気機関車(走行速度70km/h)の車両諸元に、浮きまくらぎとしてまくらぎと上層バラストの間の隙間を2mmまで想定してシミュレーションを行った。シミュレーション結果の重回帰式を式(3)と(4)に示す。

$$Y=39.7V+9.84W+13.5L+44.0 \text{ ----- (3)}$$

$$Y=39.0V+7.63W+14.0L+53.7 \text{ ----- (4)}$$

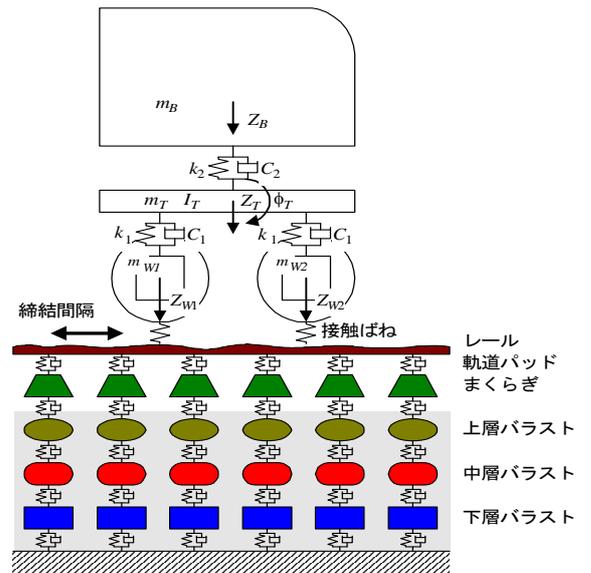
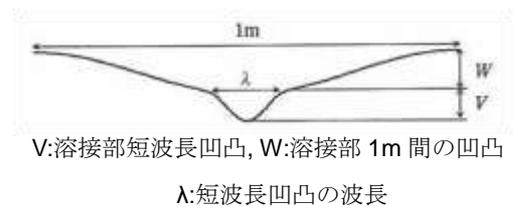


図1 軌道/車両動的応答モデル



V:溶接部短波長凹凸, W:溶接部1m間の凹凸
λ:短波長凹凸の波長

図2 設定した溶接継目部凹凸モデル

キーワード 浮きまくらぎ, 軌道沈下, 軌道変位, 軌道動的応答モデル, 軌道沈下則, 凍上

連絡先 〒102-8539 東京都千代田区麹町5-4 日本工営(株)鉄道事業部 鉄道技術部 TEL03-5276-2561

ただし、Y: レール底部曲げ応力(MPa)、V, W: 図2参照(mm)、L: 浮きまくらぎ隙間(mm)

ここで、式(1)~(4)を用いて、1m凹凸と溶接部凹凸の0.3mmと0.2mm、0.5mmと0.5mmさらに0.8mmと0.7mmの組み合わせの3条件で、浮きまくらぎの隙間を予測したところ、電車特急で0.5mm、0.8mmおよび1.2mm、電気機関車で0.7mm、1.1mmおよび1.4mmになった。浮きまくらぎの隙間は本来同じであるため、隙間予測値が電車特急より電気機関車が大きくなるのは、シミュレーションにおける電気機関車の重量の入力データが実際の電気機関車より小さく、レール曲げ応力を等しくするために隙間が大きくなったことが考えられるが、それ以外のパラメータで実際と入力データの違い、さらにモデルそのものの精度とも考えられるが、十分に分かっていない。しかしながら、現地測定試験において、凹凸を3週間に渡って徐々に大きく設定したことにより、隙間も徐々に大きくなったことが予想されたため、ここで得られた浮きまくらぎの隙間の予測値は全体の傾向とともに妥当であろうと考えられる。

2. 軌道沈下長期測定試験

JR 北海道・室蘭本線 伊達紋別・北舟岡間の溶接部で軌道沈下とバラスト振動加速度等の測定試験が長期に実施された。一方、図1に示す軌道/車両動的応答モデルと軌道沈下則を組み合わせた軌道沈下予測モデルを用いて、上記の測定試験のシミュレーションが実施された。図3に軌道沈下測定結果と軌道沈下予測モデルによるシミュレーション結果を示す。2月の測定時のみに凍上と考えられる一時的な興味深い隆起が測定されたものの、貨物列車、通勤列車、特急列車が走行する現地において、特急車両で代表させたシミュレーション結果が実測値とほぼ一致した。これは現地が単線でほぼ完全に回復する凍上が生じるものの良好な軌道状態が維持されたため、軌道沈下則を求めた実験条件に近く、最も軌道沈下則を適用しやすい条件であったと考えられる。以上、軌道沈下予測モデルがある程度の精度で軌道沈下を予測可能であると考えられる。

3. 浮きまくらぎと軌道狂い(変位)進み

普通継目や溶接継目部の欠線部や凹凸により列車から大きな動的輪重が作用し、バラストが沈下してまくらぎとバラストの間に隙間(浮きまくらぎ)が生じると、さらに大きな衝撃荷重が作用するが、沈下が進むとやがてその隣のまくらぎに大きな荷重が作用し、局所的なバラスト沈下が広がっていくことが想定される。図4に示すように、まくらぎ動的変位が一時的に減少し、また増加するなど周りとのバランスで沈下が進むことが考えられる。以上より、ここで用いた予測モデルで局所的なバラスト沈下のバラツキである軌道狂い(変位)をある程度予測が可能であるとの見通しが得られた。

4. 謝辞

本文は、約26年前にJR東日本・東北本線で実施したレール曲げ応力測定試験と約17年前から10年前の7年間に渡りJR北海道・室蘭本線で実施した軌道沈下長期測定試験の結果を用いて、浮きまくらぎとバラスト沈下に着目してまとめたものである。現地試験におけるJR東日本、JR北海道および鉄道総研の多くの関係者に改めて謝意を表する次第である。

参考文献

Ishida, M: The progress mechanism of track geometrical irregularity focusing on hanging sleepers, Proc. of International Congress on Advanced Railway Engineering 2015, Istanbul, March 2015, pp.115-121.

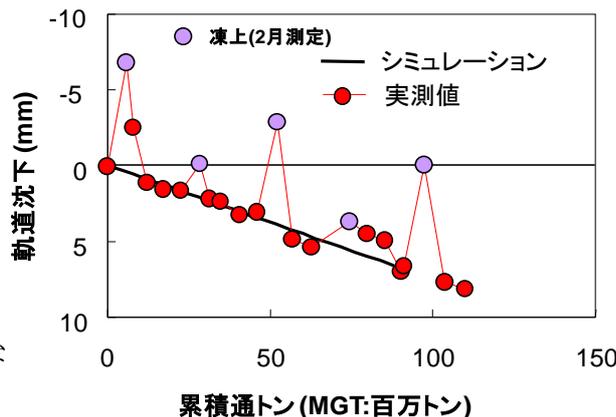


図3 軌道沈下長期測定試験箇所

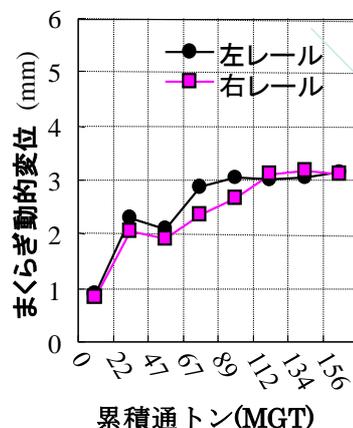


図4 通勤列車通過時のまくらぎ変位