

浮きまくらぎ介在時の軌道の横方向安定性及び座屈安定性の検証

西日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○原田 祐樹
西日本旅客鉄道株式会社 正会員 楠田 将之

1. はじめに

著大通り狂いの発生防止には道床状態を適正に管理することが重要である。道床状態のうち、浮きまくらぎ状態の把握についてはこれまで困難であったが、鉄道総研により軌道検測車による動的な高低狂いデータを用いて、ロングレール区間に存在する浮きまくらぎを検出可能な手法が提案された¹⁾。そこで、本稿ではこの手法を活用することにより、過去ロングレール区間で発生した著大通り狂い事象を分析し、浮きまくらぎ介在による車両走行時の横方向安定性および座屈安定性について検証を行う。

2. 著大通り狂い発生箇所の浮きまくらぎ状況

(1) 検討箇所の概要

表-1 に検討に用いた著大通り狂い発生箇所（以下、「検討箇所」という。）の概要を示す。道床の肩幅、余盛は規定どおり確保され、ふく進検査による安全度も所定通り確保されていた区間である。事象発生 152 日前にマルチプルタイタンパ、49 日前に人力による軌道整備が実施されている。

(2) 軌道状態の分析

軌道検測車（以下、「キヤ車」という。）で測定された10 m弦通り狂い、および高低狂いを3～50mの帯域で復元した復元原波形から、LABOCSコマンド²⁾を用いて算出した浮きまくらぎの大きさ（以下、「浮き量」という。）の推移を整理した。

図-1 に右レールの整理結果を示す。事象発生位置付近で通り狂いの進行が大きい。浮き量は 169 日前から 113 日前の間で進行しているが、113 日前から 44 日前までの間では軌道整備による改善が見られる。なお、キヤ車測定時点では表-1 に示したような著大通り狂いは見られず、キヤ車走行後の車両の繰り返し走行とレール温度上昇に伴って、徐々に通り狂いが大きくなり著大通り狂いに至

表-1 検討箇所の概況

項目	諸元	項目	諸元
発生位置	20k990 付近	カント	61 mm
発見時通り狂い量	53 mm	まくらぎ種別	6 号 PC
レール温度	48.0 °C	路盤構造	素地
曲線半径	400 m		

ったものと推定される。

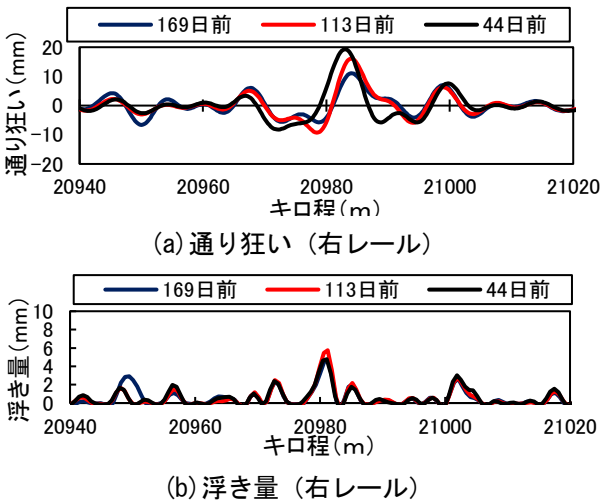


図-1 通り狂いと浮き量の推移

3. 浮きまくらぎが車両走行安全性に与える影響

(1) 検討の概要

軌きょうに作用する車両から輪軸横圧が、道床横抵抗力から定まる軌きょうの滑動限界を超えると、軌きょうに横方向の大変形が生じる。浮きまくらぎ箇所では、通常の区間より道床横抵抗力が低下するため、輪軸横圧による軌きょうの横変形が生じやすくなる恐れがある。そこで、検討箇所を対象に、車両走行時の滑動限界について調査を行う。

(2) 検討方法

車両走行時に車輪を通じて作用する上下方向荷重である輪重載荷時の滑動限界は最終道床横抵抗力 g_1 と一致し、式(1)で表されるものとする。

$$g_1 = 2/3 g_0 + \mu P_t \tag{1}$$

ここで、 g_0 は所定支持の場合の最終道床横抵抗力である。これを 2/3 倍しているのは、浮きまくらぎの最終道床横抵抗力を算出するためである。 P_t は、左右のレール各々からまくらぎ 1 本に作用するレール圧力およびまくらぎから道床面に作用する自重の和、 μ はまくらぎと道床間の摩擦係数である。

レール圧力は、浮きまくらぎ検出に用いる二次元有限要素モデル³⁾に、軌きょうの自重に加え、輪重に相当する鉛直下向きの集中荷重を作用させることにより算出する。

(3) 検討結果

著大通り狂い発生箇所付近の滑動限界に達する横圧を算出した。計算に用いたデータは事象発生44日前のものである。図-2に浮き量と滑動限界の関係を示す。同図より、浮き量が大きいまくらぎ箇所において滑動限界が低下する傾向が見られる。これは、浮き量に応じて、道床横抵抗抗力に影響するレール圧力が小さくなるためである。最小値は23kNであり、所定支持状態の29%へ低下している。

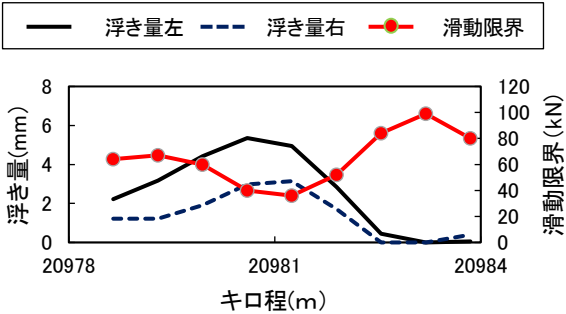


図-2 浮き量と滑動限界の関係

4. 浮きまくらぎが座屈安定性に与える影響

(1) 検討の概要

道床横抵抗抗力特性による影響について比較的簡易に算出可能なエネルギー法³⁾を用いて、浮きまくらぎや通り狂いの影響を考慮したパラメータスタディを行う。

(2) 検討方法

検討は文献³⁾と同様に行う。表-2に設定した条件を示す。 a は g_0 および最終道床縦抵抗抗力 r_0 の1/2となる時の変位量となるものである。浮きまくらぎ時の道床横抵抗抗力については、第3章で示したとおり、所定支持状態の2/3とする場合と、浮き量に依存するものとして提案されているものを考慮する。後者は、 g_0 を不変とし、 a (mm) を次式で与えている。

$$a = 1.7 \times u_z + a^* \tag{2}$$

ここで、 u_z は浮き量 (mm)、 a^* は無載荷時の係数 (mm) である。

所定とは浮きのない所定の条件、浮きⅠとは第3章で示したように、 g_0 は所定の値に2/3を乗じたものとし、 a は浮きによる道床の緩みを考慮した条件、浮きⅡとは、 a は浮き量を5mmとして式(2)で算出したものとし、 a^* は浮きⅠと同様浮きによる道床の緩みを考慮した条件とした。初期変位量については、ケース1では事象発生直前に測定された通り狂いの値、ケース2ではケース1から通り狂いが進行した条件とした。

(3) 検討結果および考察

図-3に座屈生時までのレール温度上昇量と横変位の計

表-2 設定した条件

項 目	設定条件		
	所定	浮きⅠ	浮きⅡ
g_0	3.5kN	2.3kN	3.5kN
a	1mm	3mm	11.5mm
初期変位量	ケースⅠ	19mm	
	ケースⅡ	25mm	

算結果を示す。所定の道床横抵抗抗力の場合は温度上昇に伴う横変位量が小さいことがわかる。浮きを考慮した場合の横変位量は、初期変位量が大きいケースⅡがケースⅠを上回った。

このように、通り狂いに相当する初期変位が大きい場合は、温度上昇時にさらに通り狂いが大きくなる可能性があることがわかった。第3章の検討結果より、浮きまくらぎ箇所では滑動限界が低下しており、通り狂いが大きいと輪軸横圧による軌道の横変位が生じやすくなることから、これにより道床が緩み a が大きくなって、さらに温度上昇時の通り狂いが大きくなる、というメカニズムで、検討区間において著大通り狂いが発生したものと推定できる。

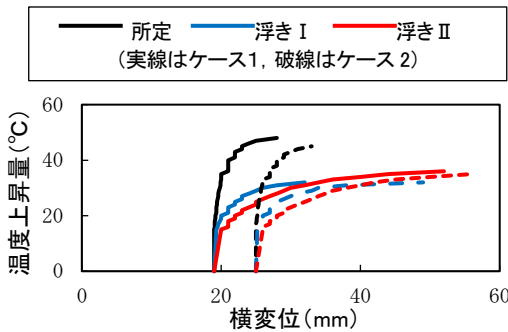


図-3 レール温度上昇量と横変位の計算結果

5. まとめ

浮きまくらぎの存在により、車両走行時の横方向安定性および座屈安定性が低下することが確認できた。また初期通り狂いの存在が両安定性を低下させることもあわせて確認した。今後はこの知見を踏まえ、座屈発生軸力と最低座屈強さの差が小さく、管理上の安全余裕が小さい急曲線ロングレール区間を対象として、これらの指標をパラメータとする管理手法を導入することを予定している。

参考文献

1) 楠田将之 他:軌道変位データに基づく浮きまくらぎ検出手法, 土木学会論文集 A2 (応用 力学), Vol.74, No.2, I_543-I_551, 2018.
2) 楠田将之 他:軌道検測車データから浮きまくらぎを検出する, RRR, 公益財団法人鉄道総合技術研究所, Vol.78, No.2, pp.16-19, 2021.
3) 宮井徹:エネルギー法による軌道座屈の数値解析, 鉄道技術研究報告 No.1271, 1984