

浮きまくらぎ区間の道床横抵抗力に関する検討

西日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○吉川 秀平 原田 祐樹 楠田 将之

1. はじめに

バラスト軌道において、まくらぎがバラスト上面に接触せず、レールにぶら下がっている状態である浮きまくらぎが発生することは広く知られている。浮きまくらぎは路盤噴泥誘発による軌道状態の急速な悪化¹⁾、道床横抵抗力の約1/3を占めるまくらぎ底面負担分喪失により、レール高温時における軌道座屈安定性低下を惹き起こす²⁾。浮きまくらぎは、ロングレールの設計に用いる道床横抵抗力において軌道材料係数1.43を除いた値を用いることでその影響を考慮している³⁾。このように、浮きまくらぎは維持管理面や設計への影響が大きいので、浮きまくらぎを発生させないことが重要である。今回、軌道検測車の高低狂いデータから浮きまくらぎを精度よく推定する手法⁴⁾により営業線の浮きまくらぎを検出し、浮きまくらぎ区間の道床横抵抗力を測定し、考察を行ったので報告する。

2. 検証概要

営業線において直線、3号PCまくらぎのロングレール区間で検証した。道床バラストは噴泥が発生していない箇所を選定した。検証は浮きまくらぎ箇所と比較用に浮いていないまくらぎ（以下、支持まくらぎという）で行うこととし、予め直近の軌道検測車により測定した高低狂いを3～50mの帯域で復元した復元原波形からLABOCSを用いて各まくらぎの浮き量⁴⁾を算出し、浮き量3mm以上のものと支持まくらぎを各10本抽出した。

2. 1. 浮き量の実測

浮きまくらぎのレール締結装置を取外し後、まくらぎをレールと分離させ、レール下面 - 軌道パッド上面間に生じた隙間をテーパーゲージにより測定した（図1）。測定は片側レールあたり軌道パッドの4隅とし、それら値の平均値を浮き量の実測値とした。支持まくらぎは、レール締結装置を取外し後、レール下面 - 軌道パッド上面間に隙間がないことを確認した。



図1 浮き量の実測状況

2. 2. 道床横抵抗力測定

上述の浮きまくらぎと支持まくらぎの各10本に対し、デジタル式簡易まくらぎ抵抗測定器（以下、測定器という）を用いて道床横抵抗力を測定した。手順は左右の軌道パッドを抜き、測定器を設置し、まくらぎ1本分のレール重量をまくらぎに付加させるために測定者1名がまくらぎ上に載った状態で測定した。そのため、本測定では浮きまくらぎ状態での測定ではないが、浮きまくらぎによる側面、端面の負担分の影響については評価できると考える。測定器で収録できる最大荷重は20kNであり、まくらぎ横変位0.5mm毎の抵抗力をまくらぎ横変位10mmまで自動収録した（図2）。



図2 道床横抵抗測定状況

3. 検証結果

浮きまくらぎ区間の道床横抵抗力測定結果を表1、まくらぎ横変位2mm時および10mm時の道床横抵抗力と浮き量の実測値の関係を図3に示す。同図より、浮き量と道床横抵抗力には関係性が確認されなかった。道床横抵抗力測定値の差異は、道床余盛や道床肩幅の大きさの影響を受けていると考えられる。つぎに、式(1)⁵⁾より浮きまくらぎ、支持まくらぎ区間の平均道床横抵抗力を用いて算出した道床横抵抗力 g の回帰式の比較を図4に示す。

キーワード 浮きまくらぎ、浮きまくらぎ検出手法、道床横抵抗力、バラスト軌道、ロングレール
連絡先 〒530-8341 大阪府大阪市北区柴田2-4-24 鉄道本部 施設部施設技術室

表1 浮きまくらぎ区間の道床横抵抗力測定結果

No	道床余座 (mm)	道床肩幅 (mm)	浮き量実測平均		道床横抵抗力 (kN/本)																			
			左レール (mm)	右レール (mm)	まくらぎ横変位 (mm)																			
					0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
1	150	550	4.5	6.6	8.3	10.7	11.3	11.5	11.6	12.1	12.1	11.9	12.4	12.0	12.1	12.1	11.5	12.0	11.1	12.0	11.9	12.1	11.8	11.7
2	150	550	5.6	6.8	7.5	9.6	10.9	11.8	12.5	13.0	13.6	14.3	14.8	15.2	15.1	15.2	15.3	15.7	16.0	15.3	15.8	16.4	16.0	16.4
3	90	500	6.5	8.7	7.3	10.6	12.4	13.7	14.7	15.8	16.0	16.8	17.3	14.5	16.0	16.9	17.3	18.0	18.4	18.4	18.9	18.4	18.8	18.1
4	130	500	3.5	5.4	11.6	14.3	15.7	17.2	18.5	19.1	20.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	160	540	3.6	4.4	11.1	14.0	15.6	17.5	19.4	20.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	160	540	2.7	2.5	14.8	16.2	17.1	18.3	19.1	20.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	130	570	6.1	4.7	9.1	11.0	12.5	13.5	14.7	15.2	15.8	16.9	17.5	17.8	18.7	18.9	19.8	20.0	-	-	-	-	-	-
8	120	520	2.9	3.5	4.3	7.3	9.3	10.9	11.7	12.6	13.6	14.4	14.9	16.1	16.6	17.2	17.9	18.4	18.5	19.3	19.6	19.6	20.0	-
9	120	430	3.0	3.2	5.0	8.3	9.8	10.8	11.4	11.8	12.5	13.0	13.2	13.6	14.3	14.9	15.3	14.5	14.5	14.3	14.6	14.9	15.0	15.2
10	50	480	5.9	5.7	5.2	7.5	8.4	9.0	9.5	9.8	10.1	10.5	10.7	11.0	11.3	11.6	11.8	12.0	12.3	12.6	12.5	12.8	13.2	12.7

$$g = g_0 \times y / (y + a) \quad (1)$$

ここで、 g_0 は最終道床横抵抗力、 y はまくらぎ横変位、 a は g_0 の1/2となる時の変位量である。図4にはバラストが十分締め固まった条件で測定されたもの⁵⁾を参考値として示した。この参考値と支持まくらぎの回帰式を比較すると、今回測定した支持まくらぎの測定データは過去の知見と概ね一致することを確認した。浮きまくらぎの回帰式より、 g_0 の1/2となる時の変位量 a が他のものと比べて小さかった。また、浮きまくらぎの最終道床横抵抗力 g_0 は支持まくらぎの84%、参考値の75.3%であった。本結果より、浮きまくらぎ箇所は列車通過時にまくらぎの動的変位が生じることでまくらぎ側面や端面の周辺バラストも動的に挙動し、まくらぎ周辺のバラスト密度が支持まくらぎと比較して相対的に低下した可能性が考えられる。

ここで、実際の浮きまくらぎの道床横抵抗力を推定する。道床横抵抗力は一般にまくらぎの端面、側面、底面で1/3ずつ負担³⁾しているため、参考値の最終道床横抵抗力22.3kNの1/3に相当する7.4kNを底面の抵抗力と仮定し、これを差し引くと実際の浮きまくらぎの最終道床横抵抗力は9.4kNと推定される。これは支持まくらぎの最終道床横抵抗力の47%となる。一方、支持まくらぎでは逆に、前後のまくらぎの支持状態に応じて底面の負担分が増加することにより、実際の道床横抵抗力は図4で示したものより大きくなると考えられる。今回は推定値であり、浮きまくらぎの道床横抵抗力特性を正しく把握するには、まくらぎとバラスト上面が接触しない状態で道床横抵抗力を測定する必要がある、今後の課題である。

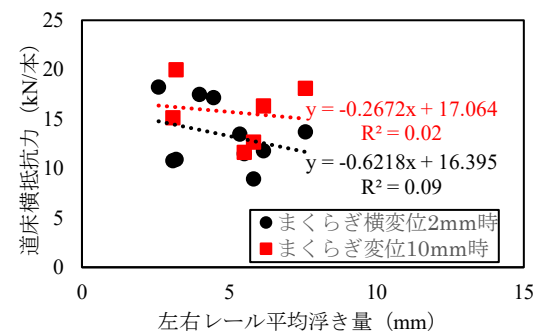


図3 道床横抵抗力と浮き量の関係

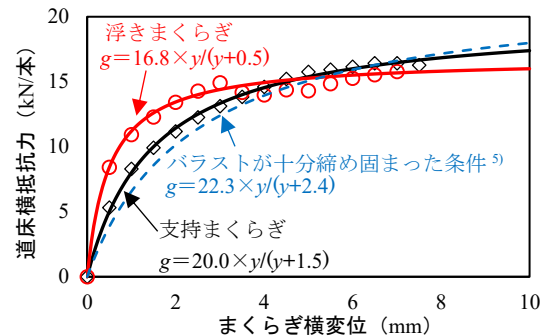


図4 各種条件の道床横抵抗力回帰式の比較

4. まとめ

営業線の浮きまくらぎを検出し、浮きまくらぎ区間の道床横抵抗力を実測した。今後は、バラストにまくらぎが接触していない状態で道床横抵抗力を測定する方法を検討し、浮きまくらぎ状態の道床横抵抗力を把握したい。本検討にあたり、ご協力頂いた(株)レールテックの関係各位にこの場を借りて感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 村本勝己他：自動沈下補正まくらぎを用いたレール継目部の浮きまくらぎ対策，鉄道総研報告，2013
- 2) 保線工学編集委員会編：保線工学<上>，pp.295-297，鉄道現業社，2016
- 3) 鉄道総合技術研究所：軌道構造等設計標準・同解説 軌道構造，丸善，2012
- 4) 山岡大樹他：浮きまくらぎ検出手法の提案と維持管理への活用，鉄道総研報告，2021
- 5) 宮井徹他：営業線における道床横抵抗力試験，鉄道技術研究所速報，1982