

浮きまくらぎを考慮した軌きょうの横変形に関する検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○山岡 大樹

西日本旅客鉄道(株) 正会員 楠田 将之

1. はじめに

鉄道構造物等設計標準・同解説(軌道構造)¹⁾では、バラスト軌道の走行安全性に関する照査項目のひとつとして、輪軸横圧による軌きょうの横変形に対する照査が示されている。しかし、この照査は軌道の支持状態が一様であるとして検討されたものであり、実軌道に散見される浮きまくらぎや支持剛性のばらつき等の各種不整の影響を考慮していない。そこで本研究では、輪軸横圧による軌きょうの横変形について、浮きまくらぎの存在を考慮した検討手法を構築した。また、本手法を用いて浮きまくらぎが輪軸横圧による軌きょうの横変形に与える影響を、まくらぎが滑動するときの輪軸横圧(以下、横圧限度)から換算される通り変位標準偏差を評価指標として、浮きまくらぎの有無や軌道の曲線半径の違いに着目して検証した。

2. 検討方法

本研究では、バラスト道床上の軌きょうを「弾性床上の梁」と仮定し、一定間隔に配置されたまくらぎが、道床等の支持基盤で離散的に弾性支持された梁モデルとして扱う。図1に本モデルの概略図を示す。本モデルでは浮きまくらぎの介在を考慮するため、道床上面の軌道長手方向(以下、道床面)の中央に片振幅7mm、波長およそ5.6m(まくらぎ間隔8本分)の正弦波形状の凹部を設定し、道床面凹部において浮きまくらぎが連続して発生するような状態を模擬した。

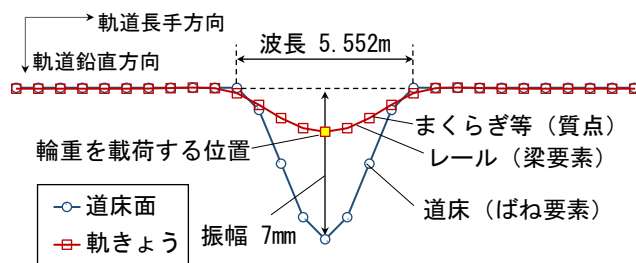


図1 解析モデルの概略図

解析モデルの初期状態として、軌きょう中央部の両レールに輪重推定式²⁾で算出した定常輪重が静的に載荷される状態を想定した。このモデルの軌道鉛直方向に対して3連モーメントの定理を応用した静的構造解析(以下、鉛直方向解析)を実施し、各まくらぎの下面で発生する支持基盤からの反力(以下、まくらぎ下面圧力)を求めた。続いて、外力が作用していないまくらぎの道床横抵抗力は、まくらぎ下面、側面、端面それぞれの面で生じる道床との摩擦力の合力で計算され、各面における摩擦力はそれぞれ同程度(1/3 ずつの割合)になると仮定し³⁾、この仮定に基づいて計算されるまくらぎ側面・端面の摩擦力の合力と、鉛直方向解析で求めたまくらぎ下面圧力を合算して各まくらぎの道床横抵抗力を設定し、これを軌道横方向のばね特性に変換した。なお、このばねは、道床横抵抗力より大きい荷重が作用すると剛性が一定となる二段線形型の弾塑性特性を有すると仮定した。そして、鉛直方向解析と同様に軌道横方向に対して3連モーメントの定理を応用した静的構造解析を実施し、横圧限度を算出した。さらに、求めた横圧限度を横圧推定式²⁾を用いて、輪軸横圧の成分のひとつである通り変位横圧に寄与する、通り変位標準偏差(限度値) σ_{lim} (以下、 σ_{lim} と略記。単位: [mm]) に換算し、 σ_{lim} を評価指標として軌きょうの横変形に対する影響を定量的に評価することとした。

3. 解析条件および解析結果

表1に解析条件を示す。軌道上を走行する車両の速度は、設定カントおよびカント不足量から決まる許容速度とした。なお、設定カントおよびカント不足量は曲線半径によらず一律とし、カント不足量は在来線(狭軌)で一般的に用いられる限度値70mmを採用した⁴⁾。

図2に曲線半径別に求めた σ_{lim} および通り変位横圧の限度値 Q_{lim} (以下、 Q_{lim} と略記。単位: [kN]) を示す。同図には、浮きまくらぎの存在しない均一支持モデル(道床面がフラットなモデル)の結果についても併せて

キーワード 浮きまくらぎ、軌きょうの横変形、輪軸横圧、横圧限度、通り変位標準偏差

連絡先 〒185-8540 東京都分寺市光町2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7275

示した。同図より、曲線半径が小さいほど Q_{lim} は小さくなることが分かる。また、浮きまくらぎが存在することで、存在しない場合に比べて σ_{lim} および Q_{lim} が低下することが分かった。これは道床面凹部の介在により軌きょうの曲げ形状が道床面形状に追従しにくくなり、凹部近傍の道床横抵抗力が低下して、横圧限度が低下し、その影響が反映されたためと推定される。

一方で、各曲線半径ケースで算出した σ_{lim} をそれぞれ比較すると、曲線半径が大きくなると σ_{lim} が低下する傾向が認められる。本検討において求まる横圧限度の値は曲線半径の大きさによらないが、曲線半径別に車両速度を設定しており、曲線半径が大きくなると車両速度が大きくなるため、車両速度に反比例する σ_{lim} にその影響が反映されたものと推定される。すなわち、曲線半径の違いによる σ_{lim} への影響を捉えるには、曲線半径ごとに設定した車両速度の影響を排除する必要がある。そこで、浮きまくらぎの介在するモデルで算出された σ_{lim} を、均一支持モデルで算出された σ_{lim} で除して、 $\sigma_{lim,norm}$ （以下、 $\sigma_{lim,norm}$ と略記、無次元量）として正規化することにより、その影響を定量化した。図3に求めた $\sigma_{lim,norm}$ を示す。同図より、曲線半径が小さくなるにつれ、 $\sigma_{lim,norm}$ が低下することが分かる。この結果から、図2の結果について述べたように浮きまくらぎが存在すると、存在しない場合に比べて σ_{lim} が低下するが、本研究で検討した条件では、その低下割合は曲線半径が小さいほど大きくなるということが分かった。

4. まとめ

本稿では、浮きまくらぎの存在を考慮した輪軸横圧による軌きょうの横変形について検討手法を構築し、本手法を用いて通り変位標準偏差限度値 σ_{lim} を評価指標として、浮きまくらぎの有無や曲線半径の違いによる影響を検証した。得られた知見は以下の通りである。

- 1) 曲線区間において浮きまくらぎが存在する場合には、存在しない場合に比べて σ_{lim} が低下する。
- 2) 本研究で検討した条件では、1)で述べた σ_{lim} の低下割合は曲線半径が小さいほど大きくなる。

以上の結果を踏まえると、曲線区間（特に曲線半径 600m 未満の急曲線区間）において顕著な浮きまくらぎが存在する場合には、当該区間の通り変位の大きさやばらつきを経時的に注視することで、著大通り変位の発生を未然に防ぐことができる可能性があると考えられる。

参考文献

1) 国土交通省鉄道局監修 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造，pp.85，丸善出版，2012

2) 保線工学編集委員会編：保線工学〈上〉，pp.162-181，鉄道現業社，2016

3) 佐藤吉彦他：各種有道床まくらぎ軌道の道床横抵抗力とその特性，鉄道技術研究所速報，No.76-150，1976

4) 保線工学編集委員会編：前掲注 2)，pp.23

表 1 解析条件

項目		曲線半径 (m)				
		400	600	800	1000	
車両諸元	静的軸重 (kN)		90			
	車両速度 (km/h)		76	93	107	120
	車両有効重心高さ (m)		1.8			
軌道諸元	軌間 (m)		1.067			
	設定カント (mm)		50			
	カント不足量 (mm)		70			
	まくらぎ間隔 (mm)		694			
	レールヤング率 (kN/mm ²)		206			
	レール断面二次 モーメント (mm ⁴)	強軸周り	1.96 × 10 ⁷			
		弱軸周り	3.22 × 10 ⁶			
	単位あたりのレール重量 (kN/m)		0.494			
	まくらぎ重量 (kN)		1.57			
	軌きょう支持剛性 (kN/mm)		30			
まくらぎ/道床間摩擦係数		0.8				

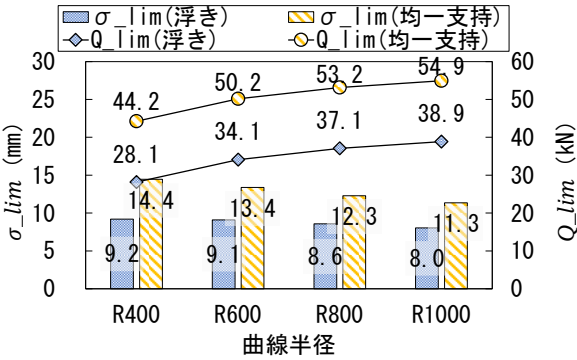


図 2 曲線半径別の σ_{lim} および Q_{lim}

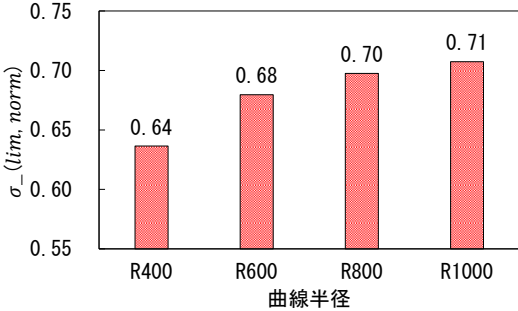


図 3 曲線半径別の $\sigma_{lim,norm}$