

曲線軌道のバラスト道床繰り返し変形解析におけるまくらぎ支持モデルの影響

新潟大学大学院自然科学研究科 学生会員 佐藤匠馬
新潟大学工学部 正会員 紅露一寛

1. 研究背景・目的

鉄道の大半は、曲線軌道となっている。曲線軌道では、定尺レールをレール継目で継目板により連結した構造となっており、車輪がレール継目を乗り越す度に衝撃輪重が発生する。そのため、レール継目部は主要な破壊箇所となっており、軌道の保守管理の効率化のためにその発生・進展抑制および定量予測が望まれる。

本研究では、文献1)の曲線軌道の道床沈下予測手法を対象に、沈下予測で作用外力として用いるレール・まくらぎ間作用力の最大値の評価に及ぼすカント部バラスト道床厚の横断方向分布の影響について検討する。

2. 軌道曲線部の軌道振動解析

本研究は、文献1)の軌道振動解析法を対象とする。図-1に示すように、軌道振動解析では、レール、軌道パッド、まくらぎからなる軌道構造を考え、レールに大きさ一定の輪重および横圧が一定速度で曲線部を通過したときの軌道の振動応答を評価する。輪重と横圧の大きさは、文献1)より、簡易推定式から与える。

本研究ではまくらぎは弾性床支持されているものとする。先行研究ではカントがあっても弾性床支持ばね定数を一定として与えていたが、本研究ではバラスト道床厚の軌道横断方向の変化を考慮してばね定数を与える。軌道パッドは、集中力3成分とモーメント3成分の計6成分の作用力を考慮したVoigtユニットでモデル化する。軌道振動解析は、レール・まくらぎ間作用力の評価を目的として実施する。

3. カントによる弾性床ばね定数の評価

まくらぎの弾性床支持ばねのばね定数は、軌道横断方向の変化を考慮してばね定数を関数化して与える。なお、図-2のようにまくらぎの中心を原点として、カント接線方向をx軸、カント法線方向をz軸

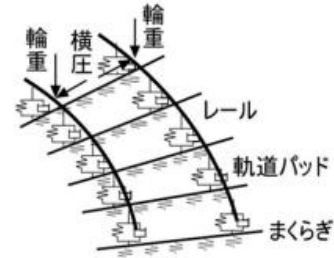


図-1 軌道振動解析モデル

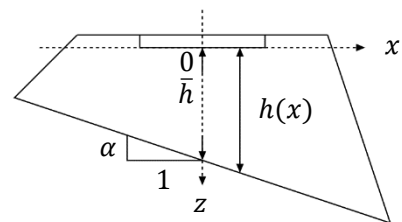


図-2 バラスト道床断面

として与える。

ここで、 h はz軸方向の深さであり、 α はカント勾配として $h(x) = \bar{h} + \alpha x$ で与える。 E_s はヤング率、 b_s は弾性床領域の幅とすると、z軸方向におけるばね定数 k_s は次式で与えられる。

$$k_s(x) = \frac{E_s b_s}{\bar{h} + \alpha x} \quad (1)$$

x軸、y軸方向のばね定数は、純せん断変形を仮定してz軸方向のばね定数と同様に与える。

4. 解析条件および解析結果

軌道振動解析にあたって、各種構成要素の物性値は、表-1に示す。曲線軌道は $R=700$ (m)、カントは 0.120 (m)とし、 27.8 (m/s)で走行するものとした。この条件はカント不足・超過が生じないものである。軌道振動解析によって得られたレール・まくらぎ間作用力のカント法線方向成分、接線方向成分と観測対象とするまくらぎの通過時刻との関係を図-3、図-4に示す。また、内外軌におけるレール・まくらぎ間作用力の最大値およびそのモデル間低減率を、カント 0.120 (m)、カント 0.105 (m)におけるカント不足状態・超過状態の3

表-1 軌道振動解析における物性値の設定

レール	
ヤング率(GPa)	206
質量密度(kg/m ³)	7880
断面(m ²)	6.40 × 10 ⁻⁴
断面二次モーメント(水平軸)(m ⁴)	1960 × 10 ⁻⁸
断面二次モーメント(垂直軸)(m ⁴)	322 × 10 ⁻⁸
ポアソン比	0.3
まくらぎ	
ヤング率(GPa)	78
質量密度(kg/m ³)	2677
断面積(m ²)	408 × 10 ⁻⁴
断面二次モーメント(水平軸)(m ⁴)	9.83 × 10 ⁻⁵
断面二次モーメント(垂直軸)(m ⁴)	19.58 × 10 ⁻⁵
ポアソン比	0.17
各種ばね定数	
レール方向ばね定数(MN/m)	40
まくらぎ軸方向ばね定数(MN/m)	98
軌道パッドばね定数(MN/m)	110
レール方向回転ばね定数(MN・m/rad)	500
まくらぎ軸方向回転ばね定数(MN・m/rad)	200
鉛直軸方向回転ばね定数(MN・m/rad)	200

表-2 カント諸条件と最大値(kN)

		法線方向成分		接線方向成分	
		Inner	Outer	Inner	Outer
C=0.120(m)	$h = 0.25$	24.41	24.35	-28.04	30.82
	$h = 0.25 + \alpha x$	23.64	21.28	-28.18	30.71
	低減率	0.97	0.87	1.01	0.99
C=0.105(m)	$h = 0.25$	25.86	27.73	-16.97	17.83
	$h = 0.25 + \alpha x$	25.03	24.72	-17.01	17.8
	低減率	0.97	0.89	1.01	0.99
カント不足					
C=0.105(m)	$h = 0.25$	30.67	23.27	-21.07	17.31
	$h = 0.25 + \alpha x$	29.69	20.71	-20.92	17.46
	低減率	0.97	0.89	0.99	1.01
カント超過					

パターンで解析した結果を表-2に示す。なお、不足状態と超過状態はカント0.105(m)において、それぞれ27.8(m/s)、16.7(m/s)で走行するものとして状態を表現した。図-3、図-4および表-2より、カント0.120(m)、不足・超過状態のいずれも似た低減率の結果が得られ、観測対象であるまくらぎ直上付近でレール・まくらぎ間作用力の最大値が観測された。表-2の法線方向成分の結果に注目すると、外軌側の低減率の方が内軌側より大きく低減していることがわかる。これの原因として、式(1)で示したばね定数が外軌側に近づくにつればね定数が減少し、弾性ばねの支持反力の発現が低下したため、外軌側の法線方向作用力の低減が大きくなったと考えられる。

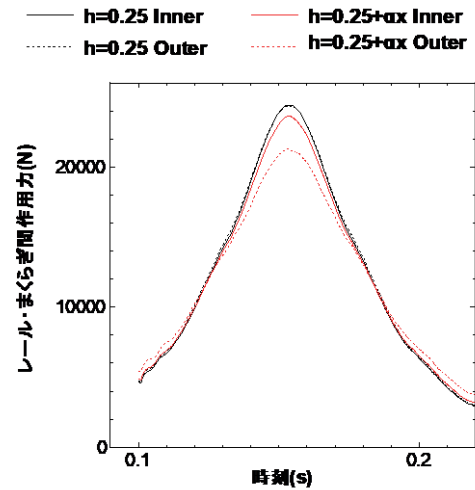


図-3 レール・まくらぎ間作用力(カント法線成分)の時刻歴

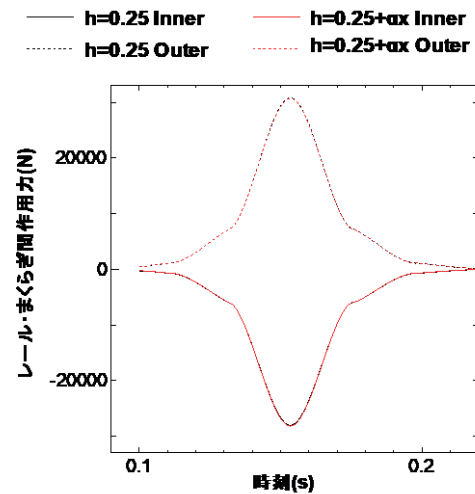


図-4 レール・まくらぎ間作用力(カント接線成分)の時刻歴

5. おわりに

本研究の解析手法により軌道振動解析において、カント不足・超過状態はレール・まくらぎ間作用力の最大値の評価に及ぼす影響は大きくないこと、バラスト層厚の変化を考慮したまくらぎ支持ばね係数とすることで、レール・まくらぎ間作用力におけるカント法線成分最大値の評価結果に影響することがわかった。

参考文献

- 1) 井上翔陽, 紅露一寛: 軌道振動を考慮した軌道曲線部バラスト道床沈下解析法, 土木学会鉄道工学シンポジウム論文集, Vol. 26, pp. 145-152, 2022.