

橋台裏区間における編成車両走行時の軌道の動的応答解析

東海旅客鉄道株式会社 正会員 ○川崎 祐征
 同 上 正会員 本道 諒太
 JIP テクノサイエンス(株) 正会員 戸田 圭彦

1. はじめに

バラスト軌道と無道床橋梁の境界部である橋台裏区間は高低狂いが発生・進行しやすく、高低狂いの整正作業が多頻度で行われる保守多投入箇所となりやすい傾向にある。そのため、橋台裏区間のような構造物境界付近における高低狂いの発生・進行メカニズムの解明や高低狂いの抑制対策方法の検討などを目的とした軌道の動的応答解析がこれまでに数多く行われている。しかし、既往の解析における車両モデルは、1 輪軸モデル^{1),2)} や半車体モデル³⁾ など簡略化されたモデルを用いている場合が多く、編成車両を考慮した車両モデルとはなっていない。そこで本稿では、橋台裏区間を編成車両が走行した場合の軌道の動的応答解析の結果をもとに、編成車両が橋台裏区間の軌道の動的応答に与える影響について考察する。

2. 解析モデル

解析モデルを図 1 に示す。車両モデルは複数車両が連結され、左から右へ向かって一定速度で走行するものとする。各車両の車体および台車は剛体、輪軸は質点によりモデル化し、車体一台車間、台車一輪軸間および各車両間は線形のばねおよび減衰要素により結合されている。

軌道モデルは、左から順に土路盤区間、橋台、無道床橋梁区間とし、土路盤区間および無道床

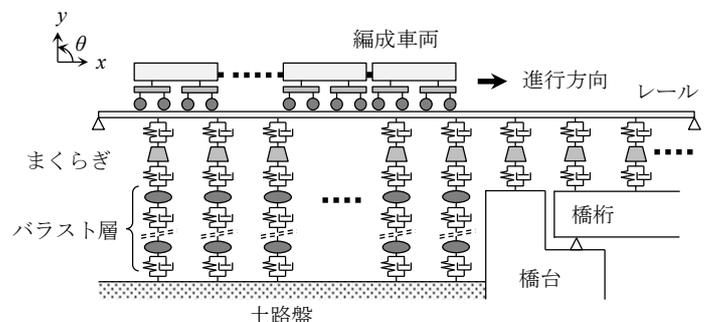


図 1 解析モデル

橋梁区間それぞれにおいてレールはまくらぎにより一定間隔で離散支持されている。レールはオイラー梁の有限要素、まくらぎは質点、バラスト層は有効質量を持った複数の層（本解析では 3 層）、橋台は剛体、橋桁はオイラー梁の有限要素としてモデル化し、レールまくらぎ間、まくらぎ橋台間、まくらぎ橋桁間およびバラストの各層間は線形のばねおよび減衰要素により結合されている。ただし、土路盤区間のまくらぎバラスト間は、アップリフトによりまくらぎバラスト間に隙間が生じる状態を考慮できるように非線形のばねおよび減衰要素によりモデル化する。なお、橋桁の減衰はレイリー減衰として考慮する。

3. 計算条件

解析に用いた軌道モデルの主な諸元を表 1 に示す。まくらぎについては、土路盤区間では東海道新幹線で用いられている 3T まくらぎを、橋台および無道床橋梁区間は合成まくらぎを想定している。また、土路盤区間の道床厚は 30cm、路盤の K_{30} 値は 110MN/m^3 を想定している。無道床橋梁区間は支間長 25m の上路プレートガーダーを想定している。車両は 5 両編成とし、車両モデルの諸元は東海道新幹線 N700 系に相当する値を用いる。車両の走行速度は 75m/s (270km/h)、車輪とレールの接触ばね係数は 1.5GN/m とする。なお、無道床橋梁の区間内ではキャンバー（主桁の製作そりから自重によるたわみ量を差し引いたもの）に相当する量を高低狂いとして設定する。解析実行時の数値積分には陰解法である HHT- α 法を、時間ステップ毎の連立一次方程式の解を求めるのには前処理付き共役勾配法を用いる。また、時間増分は $1/10,000$ 秒とする。

キーワード：バラスト軌道、橋台裏、編成車両、動的応答

連絡先：〒485-0801 愛知県小牧市大山 1545 番 33 Tel. 0568-47-5380 FAX 0568-47-5364

4. 解析結果および考察

各まくらぎ位置におけるまくらぎ下面作用力の最大値の分布を図2に示す。なお、まくらぎ下面作用力は圧縮側を正とし、軌きょうが自重によりバラストと接している状態を0 kNとする。これを見ると、橋台から土路盤区間に向かって3本目のまくらぎにおいて大きなまくらぎ下面作用力が発生していることがわかる。

橋台から土路盤区間に向かって3本目のまくらぎ位置におけるまくらぎ下面作用力の時刻歴波形を図3に示す。当該まくらぎでは、1

号車4軸通過後にまくらぎがバラストから離れて浮いた状態になり、2号車1軸が当該位置を通過する直前にまくらぎがバラスト上面に接する際に衝撃荷重が発生している。このようなまくらぎ浮きおよび衝撃的なまくらぎ下面作用力の発生は1号車1軸の通過直前(図3(a)の2.0秒付近)には生じていないため、この応答は軸配置の影響によるものと考えられる。よって、軌道の動的応答を適切に評価するためには編成車両の影響を考慮することが重要であると考えられる。

表1 軌道モデルの諸元(軌道片側)

項目	単位	区間種別			
		土路盤	橋台	無道床橋梁	
レール	質量	kg/m	60.8	←	←
	曲げ剛性	N·m ²	6.34×10 ⁶	←	←
レール-まくらぎ間	ばね定数	MN/m	100	125.1	125.1
	減衰係数	kN·s/m	98	98	0
まくらぎ	質量	kg	127.5	46.8	46.8
まくらぎ-バラスト第1層間 (まくらぎ-橋桁・橋台間)	ばね係数	MN/m	857.3	100	19.9
	減衰係数	kN·s/m	980	98	11.3
バラスト(第1層)	質量	kg	45.8	—	—
バラスト第1層-第2層間	ばね係数	MN/m	428.7	—	—
	減衰係数	kN·s/m	980	—	—
バラスト(第2層)	質量	kg	45.8	—	—
バラスト第2層-第3層間	ばね係数	MN/m	316.8	—	—
	減衰係数	kN·s/m	980	—	—
バラスト(第3層)	質量	kg	152.9	—	—
バラスト第3層-路盤間	ばね係数	MN/m	71.3	—	—
	減衰係数	kN·s/m	980	—	—
橋桁	質量	kg/m	—	—	572.7
	断面2次モーメント	cm ⁴	—	—	1,694,750
	支間長	m	—	—	25
まくらぎ間隔	m	0.6	土路盤側 : 0.6 橋桁側 : 0.5	0.5	

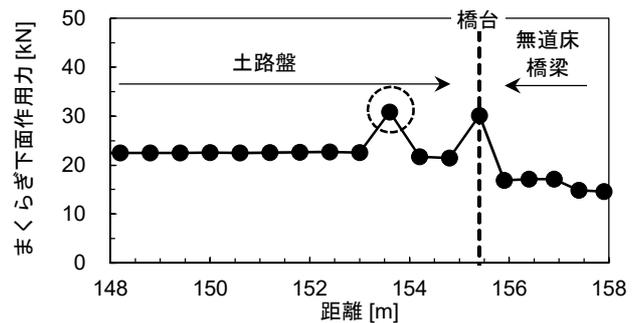
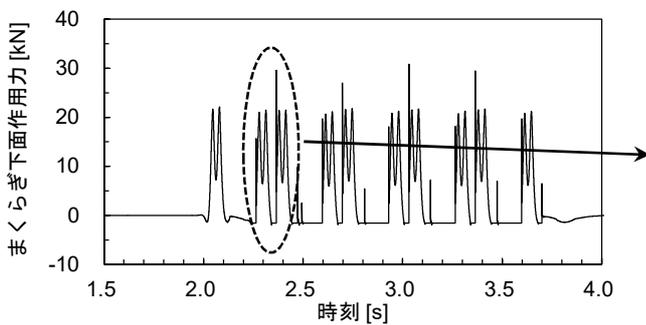
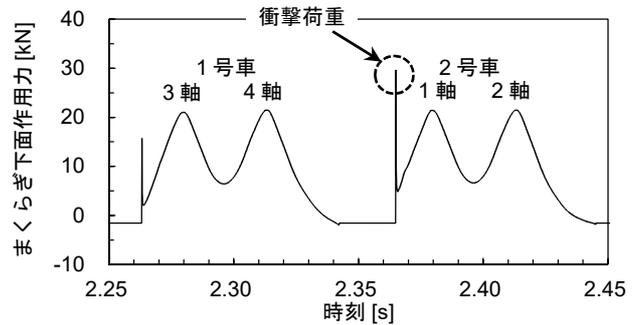


図2 まくらぎ下面作用力の最大値分布



(a) 時刻歴波形



(b) 2.25秒~2.45秒拡大

図3 橋台から土路盤区間に向かって3本目のまくらぎ下面作用力の時刻歴波形

参考文献 1) 桃谷尚嗣, 高橋貴蔵, 中村貴久, 関根悦夫: 構造物境界部の路盤強化による軌道沈下抑制効果, 日本鉄道施設協会誌, Vol.46, No.2, 2008.
 2) 相田真人, 紅露一寛, 阿部和久: まくらぎの浮きを考慮した軌道振動・道床沈下連成解析, 土木学会鉄道工学シンポジウム論文集, No.19, pp.127-134, 2015.
 3) 名村明, 松尾浩一郎, 三浦重: 支持弾性遷移区間の軌道の挙動解析, 鉄道総研報告, Vol.11, No.2, 1997.