

フローティング・ラダー軌道の高速鉄道への適用性に関する検討

鉄道総研 正会員 ○渡辺 勉 鉄道総研 正会員 曾我部 正道
 鉄道総研 正会員 奥田 広之 鉄道総研 正会員 浅沼 潔

1.はじめに フローティング・ラダー軌道は線路方向に高い剛性を有するコンクリート製の縦梁を低支持バネ定数の防振装置または防振材でコンクリート路盤より浮かせた構造であり、振動・騒音低減や保守省力化を図るために在来線に導入されている。本検討では新幹線への同軌道の導入を目標とし、フローティング・ラダー軌道における高速列車の走行安全性に関する検討を行った。また、ラダー軌道と他軌道との境界は支持剛性が異なるため大きな輪重変動が発生し、走行安全性が問題となることが予想されるためラダー軌道と他軌道との境界部における輪重変動にも着目し検討を行った。

2.フローティング・ラダー軌道の概要 本検討ではL形台座防振材式フローティング・ラダー軌道(ユニット長 6.25m)を対象とした(図1)。防振材式では、マクラギに作用する鉛直力はマクラギ底面の防振材(配置間隔 1.25m)を介して、線路方向力は縦梁側面左右一対のマクラギ突起部で緩衝材を介して、線路直角方向力は縦梁側面の緩衝材(配置間隔 2.5m, 継材と同位置)を介して、それぞれ支持されている。防振材および緩衝材にはポリウレタンまたはゴムを用いる。

3.解析手法 フローティング・ラダー軌道における走行安全性の数値解析には、車両と鉄道構造物の動的相互作用解析プログラム DIASTARS を用いて車両と軌道構造をモデル化した。車両は車体・台車・輪軸を剛体質点と仮定し、それらの各要素をバネ・ダンパで結合した 31 自由度を持つ 3 次元モデルで編成両数は 6 両である。図2に軌道構造モデルの概念図を示す。レールおよびラダーマクラギははり要素でモデル化し、軌道パッド、防振材および緩衝材は 3 次元バネでモデル化した。ラダー軌道の全長は 100m で軌道狂いは考慮していない。また、ラダー軌道区間の前後にはレールを剛なはりでモデル化したプレ・ポストラン区間を設け、列車はプレラン区間からポストラン区間まで走行するものとした。この区間は、輪重変動を生じず走行安全性が問題になることはない理想化された軌道を想定した。本検討では直線走行としたため線路直角方向への自由度は拘束し、輪重変動に着目して走行安全性の検討を行った。軌道構造モデルに用いた材料定数を表1に示す。

4. 解析結果

フローティング・ラダー軌道標準部での輪重変動 フローティング・ラダー軌道標準部での輪重変動の時刻歴波形(先頭車両の1軸目)を図3に、輪重減少率の最大値(1車両の4輪軸で最も大きい値)を表2に示す。波形が周期的であるのはラダーマクラギの継ぎ目に起因するものと考えられる。図4に平均速度 252km/h と 254km/h でスラブ軌道を走行する新幹線の輪重変動の時刻歴データの実測値を示す。同図に示した輪重変動は開業前のレールが平滑な状態で測定されたもの

である。同図に示すように新幹線の輪重変動は、レールが平滑な状態でも $\pm 10 \sim 20\text{kN}$ 程度常に生じることが知られている。これに対して、ラダーマクラギの解析結果では継ぎ目に起因する 5kN 程度の輪重変動はあるものの、フローティング・ラダー軌道標準部において走行安全性上問題となるような大きな輪重変動は生じてお

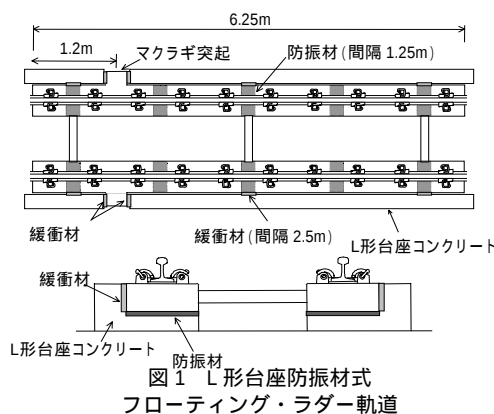


図1 L形台座防振材式
フローティング・ラダー軌道

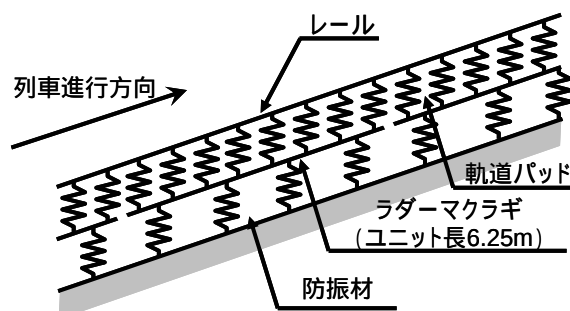


図2 軌道構造の概念図

表1 解析に用いた材料定数

	弾性係数 (kN/m^2)	断面積 (m^2)	単位重量 (kN/m^3)	ポアソン比	断面2次 モーメント (m^4)
レール (60kg)	2.1×10^7	7.75×10^{-3}	7.85	0.3	3.090×10^{-5}
軌道パッド	鉛直バネ定数: 60MN/m (1箇所あたり)				
ラダーマクラギ	3.3×10^7	8.51×10^{-3}	2.50	0.2	2.427×10^{-4}
防振材	鉛直バネ定数: 30MN/m (1箇所あたり)				

キーワード ラダー軌道, 走行安全性, 輪重変動, 動的相互作用解析, 高速走行

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財)鉄道総研 鉄道力学研究部(構造力学) TEL042-573-7290

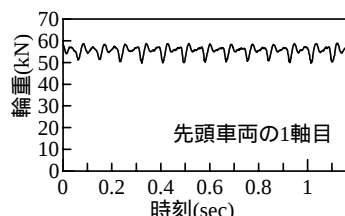
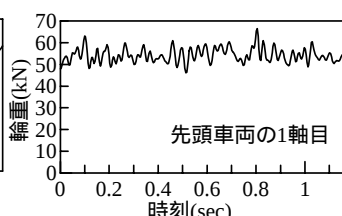
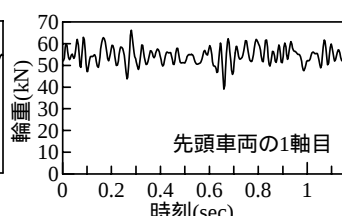


図3 輪重変動の時刻歴波形
(解析, 速度 260km/h)



(a) 平均速度 252km/h



(b) 平均速度 254km/h

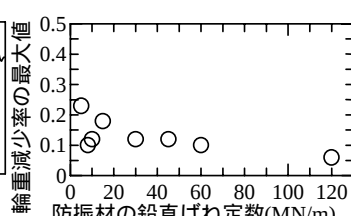


図5 防振材の鉛直ばね定数による
輪重減少率への影響

表2 輪重減少率の最大値(解析, 軌道標準部)

列車速度 (km/h)	輪重減少率の最大値					
	1号車	2号車	3号車	4号車	5号車	6号車
200	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07
260	0.10	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10
300	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.19

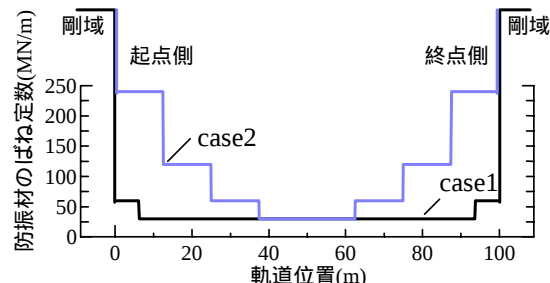
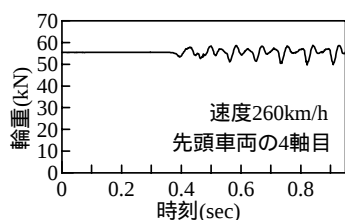
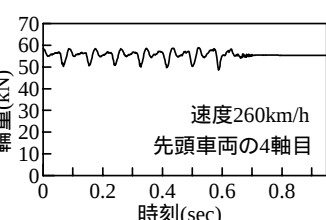


図6 防振材の鉛直ばね定数

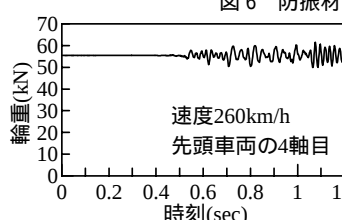


(a) 軌道境界: 入口

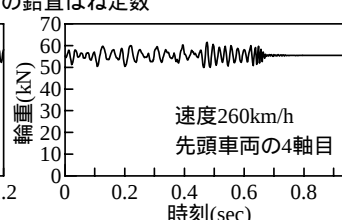


(b) 軌道境界: 出口

図7 軌道境界での輪重変動の時刻歴(case1)



(a) 軌道境界: 入口



(b) 軌道境界: 出口

図8 軌道境界での輪重変動の時刻歴(case2)

表3 輪重減少率の最大値(case1)

列車速度 (km/h)	輪重減少率の最大値					
	1号車	2号車	3号車	4号車	5号車	6号車
200	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08
260	0.12	0.12	0.12	0.13	0.12	0.12
300	0.21	0.23	0.23	0.22	0.23	0.23

表4 輪重減少率の最大値(case2)

列車速度 (km/h)	輪重減少率の最大値					
	1号車	2号車	3号車	4号車	5号車	6号車
200	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	0.09
260	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10
300	0.18	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20

らず, 高速鉄道への適用の可能性が十分にあると考えられる. 図5に防振材の鉛直ばね定数が輪重減少率に及ぼす影響を示す. 防振材のばね定数が20MN/m以上であれば, 輪重変動は5kN程度と良好であるが, 具体的なバネ定数の選定については, 今後, 防振効果も踏まえ構造全体として最適化していく予定である. なお, これらの輪重変動は主としてばね下(主として輪軸)質量の振動により生じており, 車体振動加速度は0.01g未満と, 乗り心地に関しては全く問題のない値であった.

他軌道との境界での輪重変動 一般にフローティング軌道は軌道の支持剛性がスラブ軌道や有道床軌道等にくらべて小さいため, 他軌道との境界部において支持剛性が大きく変化する場合があります. これにより輪重変動を生じさせ走行安全性上問題となることがある. そのためそのような区間では, 支持剛性を段階的に変化した緩衝区間を設けることにより走行安全性の改善を図ることが一般的である²⁾. そこで本検討でも図5のように緩衝区間を2ケース設定し走行安全性の検討を行った. case1は支持剛性を2段階に, case2は支持剛性を4段階にしたものである. 図6, 図7にそれぞれの輪重変動の時刻歴波形を, 表3, 表4にそれぞれの輪重減少率の最大値を示す. それぞれを比べることにより, 支持剛性を段階的に変化させることにより輪重減少を小さくできることがわかった.

5. まとめ フローティング・ラダー軌道を高速走行する際に生じる車両の輪重変動は, 平滑なレール状態における実測データよりも小さい5kN程度の値であり, 同軌道形式は高速鉄道への適用が可能であると考えられる.

軌道支持剛性が変化するところでは大きな輪重減少が生じる可能性があるため, フローティング・ラダー軌道の支持剛性を段階的に変化した緩衝区間を設けることによって走行安全性を改善できることがわかった.

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説(変位制限)平成18年2月 pp55-70
- 2) 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, No2, '97.2