

レールの振動軸力測定法に関する基礎的研究

新潟大学大学院自然科学研究科
新潟大学工学部建設学科
(公財) 鉄道総合技術研究所鉄道力学研究部
新潟大学大学院自然科学研究科

学生員 高橋 寛
正会員 阿部 和久
正会員 浦川 文寛
正会員 紅露 一寛

1. はじめに

鉄道軌道のロングレール化は、乗り心地向上や騒音・振動低減に有効である。しかし、ロングレール軌道では、伸縮がほぼ完全に抑制されており、レールには大きな軸力が作用し、座屈に至る危険性を有している。したがって、ロングレールの軸力管理は軌道保守上非常に重要となる。そのため、これまでに様々な軸力測定法が検討されて来た。その中で、図1の様にレールを加振し、振動加速度から共振周波数を求め、図2の様に軸力と共振周波数の関係から軸力に換算する振動軸力測定法がある。当研究室では、この振動軸力測定法の適用可能性について検討してきた¹⁾。しかし、実軌道での実測²⁾においては、共振周波数の軸力に対する感度が理論値に比べ大きくなる結果が得られている。その原因として理論モデルが実現象を十分再現できていない可能性が考えられる。

そこで本研究では軌道の各種モデル化の違いが当該関係に及ぼす影響について調べ、上述の原因について考察する。

2. 軸力測定に有効な振動モード

まくらぎ支持点を節として振動する共振モードは通常 pinned-pinned resonance と呼ばれる。当該モードはまくらぎを節として振動するため、軌道パッドやまくらぎ下パッドなどレール支持部の物性値の影響を受けにくく、最も軸力測定に適していると考えられている。そのため本研究では当該モードを対象とする。

3. 軌道のモデル化

図1の様にレールがまくらぎにより離散支持された構造により軌道をモデル化する。レール支持構造は、軌道パッド、まくらぎ、まくらぎ下パッドで構成されるものとし、まくらぎ間隔 L の下で50区間配置されたモデルを対象に振動応答解析を行う。なお、pinned-pinned resonance では、レールがたわむ際に各まくらぎ位置における締結部にはモーメントが作用し得る。そこで、まくらぎ位置に回転ばねを設定している。

4. 解析結果

本研究では、共振周波数-軸力関係に影響を及ぼす可能性があるものとして、以下に示す3ケースについて検討した。

1. レール中立軸と締結位置との間隔の存在

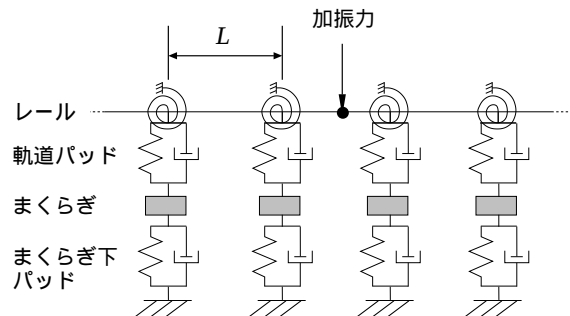


図1 軌道モデル

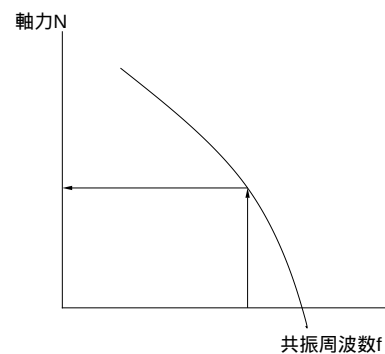


図2 共振周波数に基づく軸力の評価

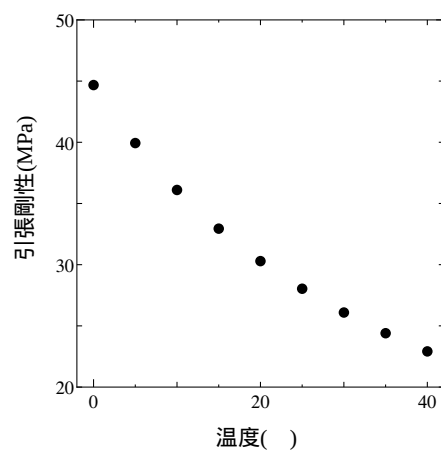


図3 軌道パッドの温度依存性³⁾

2. 初期たわみに起因するレールの浮きあがり

3. 軌道パッドの温度依存性

解析の結果、3つ目のケースが軌道モデルの共振周波数-軸力関係に明確な影響を及ぼすことが分かった。そこで、以下に当該ケースについて詳細に述べる。

Key Words: ロングレール、軸力測定法、共振周波数

連絡先：950-2181 新潟市西区五十嵐二の町 8050 番地 TEL 025 (262) 7028 FAX 025 (262) 7021

表 1 各種物性値 (軌道片側分)

まくらぎ質量 (kg)	80
まくらぎ間隔 (m)	0.7374
軌道パッド減衰定数 (kN・s/m)	100
まくらぎ下パッドばね定数 (MN/m)	30
まくらぎ下パッド減衰定数 (kN・s/m)	50

軌道パッドの剛性は温度上昇と共に減少する. 文献 3) の測定結果より, $0 \rightarrow 40$ で剛性が 1/2 程度にまで減少することが分かる (図 3). レール締結部の回転ばね定数はパッドのばね定数に比例する. また回転ばね定数は, 共振周波数に影響する. よって, 温度変化による軸力とパッド剛性の変化は, 共振周波数-軸力関係に影響を及ぼし得る.

軸力ゼロのときの温度 T_0 でのパッドのばね定数を k_0 とし, 図 3 の軌道パッドの温度依存性を適用すると温度 T でのばね定数 k は概ね次式で与えられる.

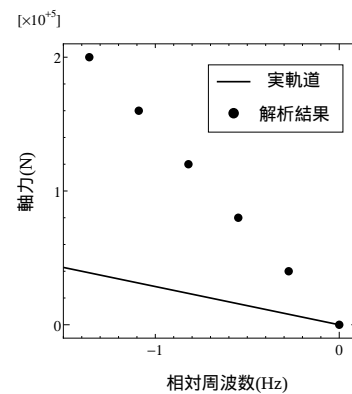
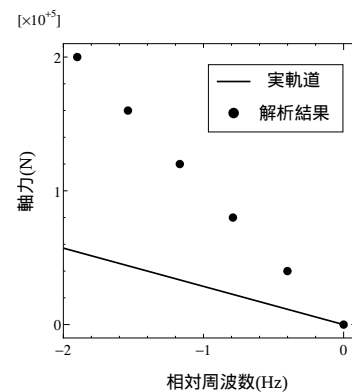
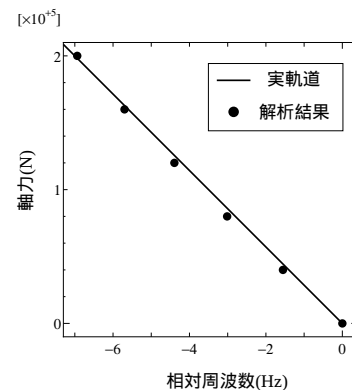
$$k = \frac{k_0(T_0 + 42.12)}{T + 42.12} \quad (1)$$

通常軌道パッドに用いられるばね定数は概ね 20(MN/m) ~ 120(MN/m) の範囲の値をとり得るため, まず $k_0=20$ (MN/m), 120(MN/m) の 2 ケースを対象に, 式 (1) と同様に回転ばね定数を設定し解析を行った. 文献 2) の軌道条件に合わせ, レールは JIS 50N レールとし, その他の解析条件を表 1 の様に設定した. $k_0=20$ (MN/m) の場合, 周波数-軸力関係の傾きの実測との差は約 5.2 倍 (図 4), 120(MN/m) の場合は約 3.7 倍 (図 5) となった.

軌道パッドのばね定数の増加により, 周波数の軸力に対する感度が高くなっていることが確認できたため, 更に軌道パッドのばね定数の値を大きくし, 実軌道の周波数の軸力に対する感度と一致する値を探索した. 結果的に, 文献 3) の温度依存性に設定した場合, 軸力ゼロのときの温度におけるばね定数を $k_0=1182$ (MN/m) と設定すると, 軌道モデルの共振周波数の軸力に対する感度が実軌道のものと一致する結果となった (図 6). また, このとき共振周波数の相対量に加え, その値そのものに関しても実軌道の測定結果²⁾と概ね一致した.

5. おわりに

軌道パッドの剛性が $0 \rightarrow 40$ で 1/2 程度まで減少するという温度特性を再現したモデルで, 軌道パッドのばね定数を $k_0=1182$ (MN/m) とした場合, 軌道モデルの周波数の軸力に対する感度が実軌道のものと一致するというを確認した. なお, 通常軌道パッドに用いられるばね定数は 20(MN/m) ~ 120(MN/m) 程度となっており, 1182(MN/m) という値は剛性が高すぎると考えられる. ただし, 文献 2) の軌

図 4 相対周波数-軸力関係 ($k_0=20$ MN/m)図 5 相対周波数-軸力関係 ($k_0=120$ MN/m)図 6 共振周波数-軸力関係 ($k_0=1182$ MN/m)

道パッドの温度依存性は未知なままであり, 文献 3) のものとは異なる可能性が高い. また, 軌道パッドはゴム材料でできており, 一般に荷重・変形の増加とともにばね定数が増加する. さらに, ばね定数は変形速度や加振周波数に依存すると考えられ, 1000Hz 前後の振動下での挙動については, 今後の検討課題である.

参考文献

- 1) Abe, K., Shimizu, S., Aikawa, A. and Koro, K.: Theoretical study on a measuring method of rail axial stress via vibration modes of periodic track, Proc. of WCR, 2011.
- 2) 相川明, 阿部和久, 清水紗希, 坂井宏隆: 固有振動数変化を利用したレール軸力測定法の基礎検討, RTRI REPORT Vol. 26, No. 8, 35-40, 2012.
- 3) 玉川新悟, 鈴木実, 弟子丸将: 寒冷地向け低ばね定数軌道パッドの特性, 日本鉄道施設協会誌, 51(10), 43-46, 2013.