

固有振動数によるレール軸力推定法の精度検証

(公財) 鉄道総合技術研究所

正会員 ○浦川 文寛

1. はじめに

ロングレールの軸力を定量的かつ簡易に測定する手法として、固有振動を利用した測定法が検討されている^{1),2)}。これは、レールの固有振動数が軸力に比例して変化する性質を利用し、現場で測定した固有振動数を、計算モデルで求めた固有振動数と軸力の関係に代入して軸力を推定するものである。本稿では、固有振動による軸力推定法の精度検証のため、実軌道にて軸力を測定し、推定値と比較した。

2. 軸力の推定法

(1) 概要

レールの振動モードのうち、水平方向の pinned-pinned モード (図1) がまくらぎ、道床の物性値の影響が小さく、かつ軸力に対する固有振動数の感度も高いため¹⁾、軸力の推定にはこのモードの固有振動数を用いる。軸力の測定方法は図1に示す通りで、現場にてレール頭部のインパルス加振を行い、その加速度応答の周波数分析より固有振動数を測定し、解析で得られる固有振動数と軸力の関係より軸力を推定する。

(2) 固有振動数と軸力の関係の算出

固有振動数と軸力の関係は、図2に示す解析モデルから算出する。本モデルでは、振動解析の対象とする片側レール (以降「解析レール」) のみを詳細なソリッド要素でモデル化し、反対側のレールとまくらぎはビーム要素でモデル化し、軌道パッドは7×11個の3方向のばね要素でモデル化した。その他モデルの詳細および解析パラメータは文献[1]を参照されたい。本モデルを用いた解析の結果、固有振動数に対する軸力の勾配は90.6kN/Hzであった。

(3) 軌道条件のばらつきに関する補正

これまでの検討²⁾より、固有振動数は軸力だけでなく、①締結間隔のばらつき、②レール頭部の摩耗、③軌道パッドのばね定数の温度依存性により変化することが分かっている。①については、現場の測定箇所にて50締結分の締結間隔を測定し、これを基に軌道モデルの50台の締結位置を定める、②については、レール頭部の断面形状を測定し、解析レール頭部のソリッド要素の形状を測定断面形状に合わせて修正することで、これらの影響を補正する。③については、固有振動数を測定する際に、同時に締結部近傍のレール底部の温度を測定し、室内試験で測定した軌道パッドのばね定数の温度依存性 (図3) より、解析モデルの軌道パッドのばね定数 k_p をレール底部の温度に応じた値に設定する。以上の操作を行った解析モデルにて軸力ゼロでの

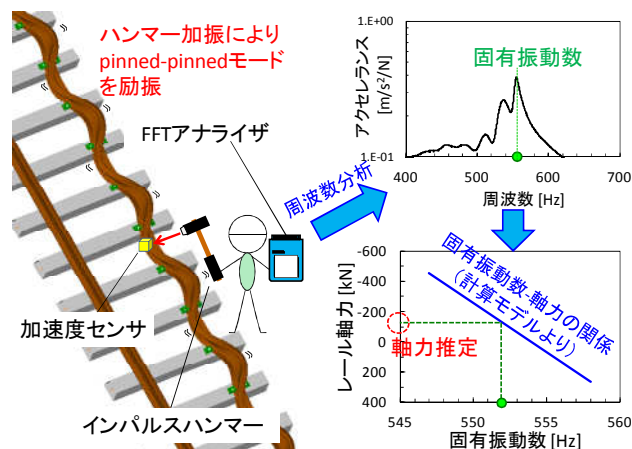


図1 固有振動によるレール軸力推定法

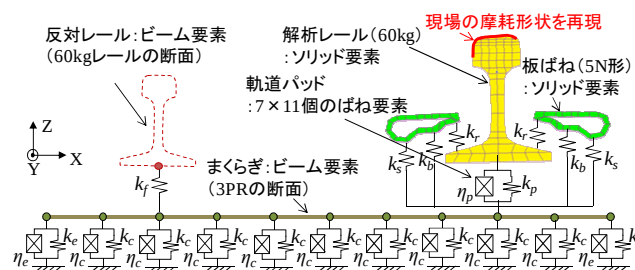


図2 解析モデル (1締結分)

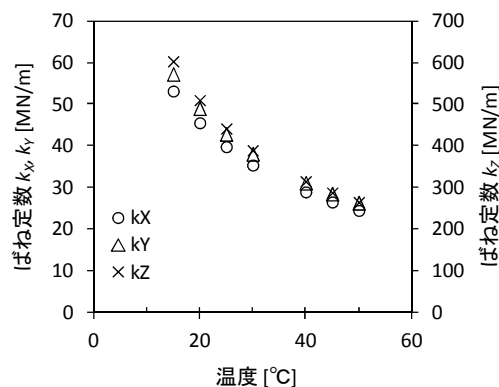


図3 軌道パッドのばね定数と温度の関係

キーワード ロングレール, 軸力測定, 固有振動数, pinned-pinned モード, 有限要素解析, 現地試験

連絡先: 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 軌道力学研究室 TEL 042-573-7291

pinned-pinnedモードの固有振動数を測定箇所毎に算出し、これと固有振動数測定値の差に、固有振動数に対する軸力の勾配 (90.6kN/Hz) を乗じた値を軸力の推定値とする。

3. 実軌道での軸力推定試験

(1) 試験内容

営業線バラスト軌道のロングレール交換箇所(延長約60m)を含む約100mの区間にて、レール軸力と固有振動数を測定した。当該個所の軌道の線形はR2000mの円曲線で、レールは60kg、まくらぎは3号PC、締結装置は5N形である。レール軸力は、ロングレール交換作業前にレール腹部にひずみゲージを貼り付け、交換前からのレール軸ひずみの変化から測定した。固有振動数は10締結毎に18箇所で測定した。これらの測定試験を早朝から昼間にかけてのレール温度 t の変化時に6回(Test1~Test6)実施した。なお、レール温度 t は早朝で23℃、昼間に最大43℃まで上昇した。さらに、前章(3)項で述べた補正のため、締結間隔、レール頭部摩耗、締結箇所のレール底部温度を測定した。

(2) 結果

締結間隔の測定結果は図4の通りで、締結間隔の平均値は583mmで、概ね500~650mmの間で値がばらついているが、締結間番号73では715mmと、周囲と比較して締結間隔が極端に広い。

前述の方法により、軸力ゼロにおける固有振動数を図5の通り算出し、図6の通り軸力の推定値を求めた。図5より、締結間隔のばらつき等により、固有振動数は測定箇所毎に最大30Hz程度異なるが、解析でもこれを概ね再現する事ができた。しかし、軸力(引張)の推定値は測定値と比較して大きく、かつ場所毎のばらつきも大きい。特に、締結間番号70での推定値は、他と大きく異なっている。これは、締結間番号70の付近で締結間隔が急激に変化する箇所(締結間番号73)があり、解析モデルでこの周囲の振動特性を十分に再現できなかったためと思われる。図7に軸力の推定値と測定の比較を示すが、締結間番号70を除くと、軸力の推定値は測定値+200kN±200kNの範囲に分布する結果となった。

4. まとめ

提案した手法により推定した軸力は、実軌道での測定値と比較して概ね 200kN 程度大きくかつ、値も±200kNの範囲でばらつきが生じた。また、締結間隔が急変する箇所では、推定精度が大きく低下する事が分かった。

参考文献

- 1) 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方法の基礎検討, 鉄道総研報告, Vol.26, No.8, pp.35-40, 2012
- 2) Urakawa, F., Abe, K. and Takahashi, H. Takahashi, "Influence of track conditions on the axial force measuring method of continuous welded rail based on the natural frequency", STECH2015, Chiba, Japan, 10-12 November, 2015.

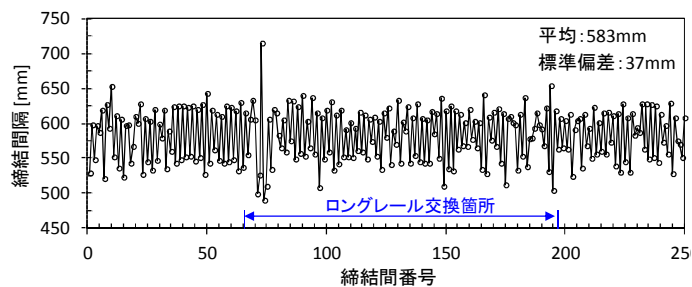


図4 締結間隔の測定結果

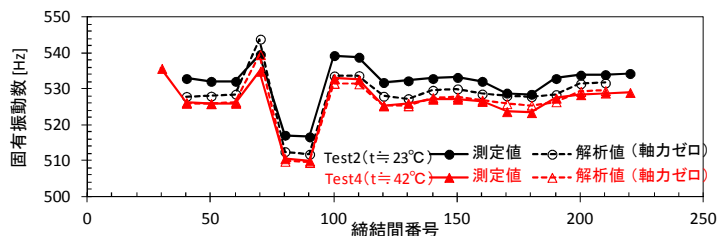


図5 固有振動数の測定値と解析値の比較

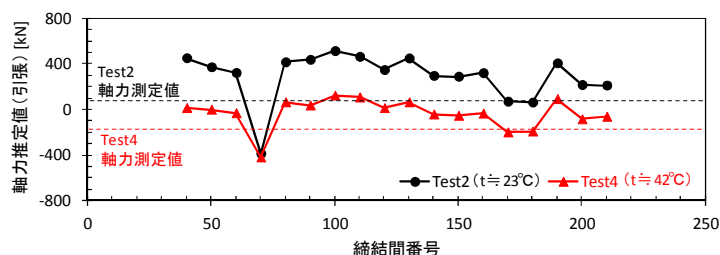


図6 軸力の推定結果

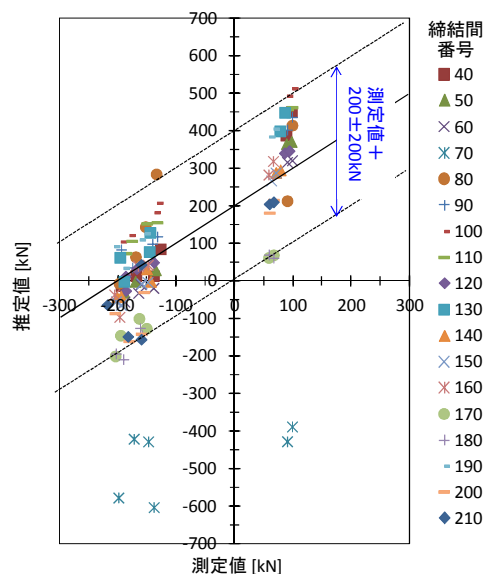


図7 軸力の推定値と測定値の比較