

波状摩耗測定用の可搬型レール凹凸連続測定装置の開発

鉄道総合技術研究所 正会員 ○田中 博文
 鉄道総合技術研究所 正会員 清水 惇

1. はじめに

主に急曲線内軌に発生する波状摩耗は、騒音・振動の観点から大きな問題となっている。その波状摩耗の管理は、線路巡回時の目視検査や、任意の数か所におけるストレッチ式の凹凸測定器の測定値から求めた波高を用いて行われることが多い。しかしながら、我々の研究では、波状摩耗の凹凸を連続的に測定した結果、同一曲線内であっても波状摩耗の波高にばらつきが見られ、それがうなりのように周期的に変化していることが確認されている¹⁾。

ここで、波状摩耗レールの凹凸を連続測定する手法として、CAT (Corrugation Analysis Trolley)²⁾ という慣性測定の原理を用いた海外製の可搬型の装置が市販されている。しかしながら、この装置は、実用上いくつかの制約を抱えていた。そこで、本研究では、これらの制約を解消した、偏心矢測定法による可搬型のレール凹凸連続測定装置の開発を行った。

2. 既存のレール凹凸測定装置

(1) ストレッチ式測定器

ストレッチ式の凹凸測定器は、レールに測定器本体を固定して測定するため、装置の基準弦長間のレール凹凸を接触式変位計で高精度に測定できる。一方、固定式であるため、長手方向のレール凹凸の連続的な測定は困難である。そのため、測定位置によって、波状摩耗の波高を過小評価する可能性がある。

(2) CAT

トロリー式で軌道上を推進移動しながら測定可能なため、長手方向のレール凹凸の測定に適している。レール凹凸の検出には、サーボ型の加速度センサを用いており、慣性測定の原理でレール凹凸を演算している。しかしながら、その測定原理上、対側レールの凹凸の影響を受ける、継目通過時のノイズによる欠測区間が長い等の使用上の制約を有している。

3. 開発したレール凹凸連続測定装置

(1) 測定原理

本装置では、レール凹凸の検出に非接触のレーザー式変位計を3台用い、25mm-230mmの偏心矢で配置した。図-1に、この偏心矢による検出特性を示す。波長25~450mmの範囲で検出特性が高くなっており、

一般的な波長の波長摩耗の凹凸を精度良く検出することを目指した。

なお、非接触式としたことで、継目通過時に、センサを損傷する恐れが無く、また欠線部を通過した際のノイズによる欠測区間を短くすることができる。

(2) 装置の概要

図-2に、試作したレール凹凸連続測定装置の外観を示す。本装置はレール凹凸を連続測定するためにCATと同じくトロリー式としたが、波状摩耗によるレール凹凸上を人力で推進移動するために、測定部が大きな振動にさらされることとなる。そこで、図-3に示すように、変位計を取り付けた偏心矢の測定基準梁の防振を図るため、弾性車輪、車軸のサスペンション①および外フレームのサスペンション②による基準弦部材の弾性支持と、3重の防振対策を行っている。なお、本装置は偏心矢測定機構であるため、検出方向によって、偏心矢の短弦が先行する場合と、長弦が先行する場合が生じるが、いずれの向きでも検出できるようになっている。また、各部に絶縁材料を用いて装置の絶縁性能を確保するとともに、可搬性を高めるために軽量化を考慮した設計となっている。さらに、レール断面方向に測定位置を可変とする機構も設けてあり、レール中心より、±20mmの範囲を測定できる。

なお、電源はバッテリーとして、連続10時間以上の測定を可能とした。また、測定データは、汎用のデータレコーダーを介してCFカードに収録し、軌道保守管理データベースシステム(LABOCS)を用いてオフライン処理するようにした。

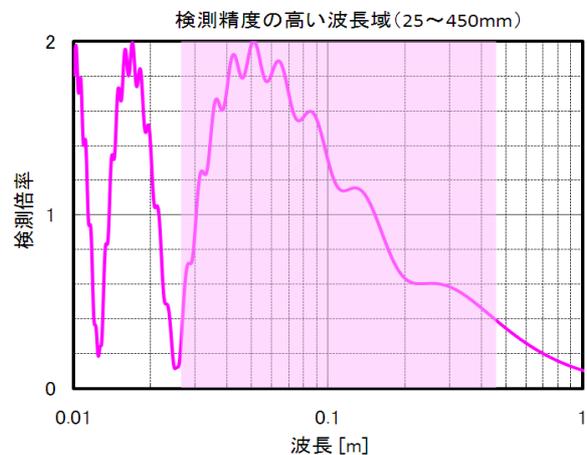


図-1 25mm-230mm 偏心矢の検出特性

キーワード：波状摩耗，レール凹凸，連続測定，可搬型，非接触，偏心矢

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所 軌道管理 TEL042-573-7278

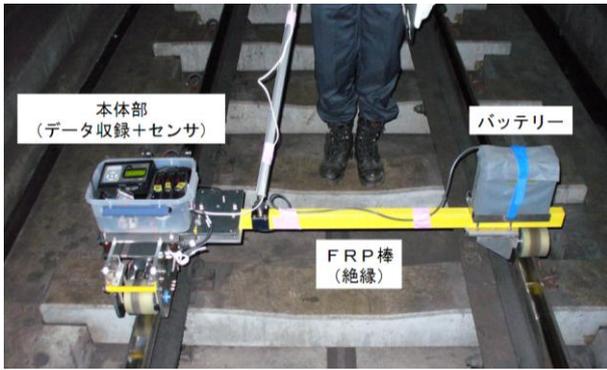


図-2 レール凹凸連続測定装置

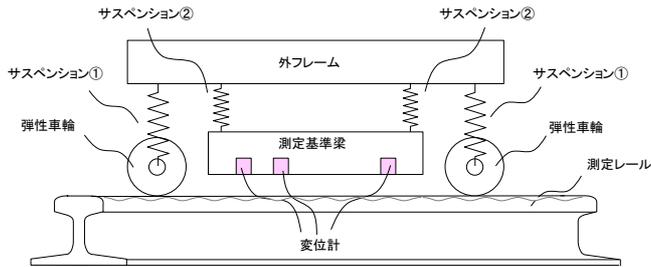


図-3 測定装置の防振機構

4. 測定データの再現性の検証

試作した装置で、急曲線の内軌波状摩耗を測定し、測定データの再現性を検証した。

図-4 に、同じ区間を短弦先行で 3 回測定した時のレール凹凸のパワースペクトル密度 (PSD) の例を、図-5 に、その際のレール凹凸の波形例を示す。図-4 より、空間周波数 12[1/m]付近に波状摩耗に起因するピークが見られることから、試験区間には、波長 8cm 程度の波状摩耗があることがわかる。図-5 は、波長 4~10cm で BPF 処理したレール凹凸の波形である。同図より、試作した装置は、波状摩耗のレール凹凸を精度よく測定できていることがわかる。

表-1 に、内軌波状摩耗の各測定条件での精度検証結果を示す。精度の検証は、各波形の差の標準偏差 (再現性誤差) によって行った。区間 A は、図-3 および図-4 に示した区間である。区間 B は、波長 6cm 程度で区間 A よりも波高が小さい内軌波状摩耗が発生している区間である。

表-1 (a) より、同一検測方向 (短弦先行) で比較した場合、誤差の最大は 0.01mm である。一方、表-1 (b) より、異なる検測方向 (短弦先行と長弦先行) で比較した場合、再現性誤差の最大は 0.025mm であり、同一検測方向で比較した場合よりも劣っていることがわかる。しかしながら、ここで、対象としている内軌波状摩耗の波高は、一般的に 0.2~0.3mm 程度、大きいものでは 0.5mm を超えることから、試作した装置は十分な測定精度を有していると考えられる。なお、この装置では、内軌波状摩耗よりも波長の長い外軌波状摩耗

および直線波状摩耗についても、高い精度で測定可能なことを確認している。

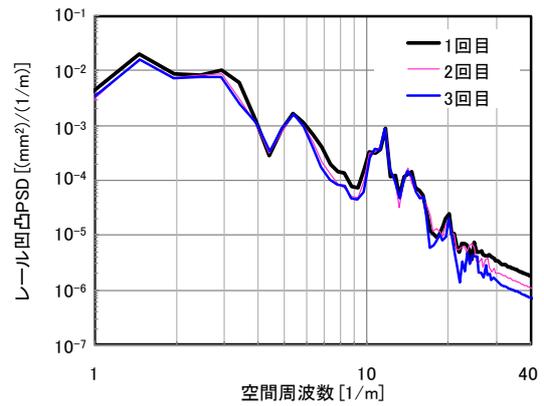


図-4 レール凹凸の PSD の例

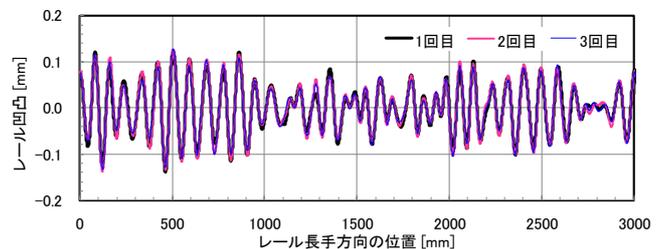


図-5 レール凹凸の測定波形の例

表-1 測定精度の検証結果 (内軌波状摩耗)

(a) 同一検測方向での比較

		再現性誤差 [mm]		
		1回目-2回目	1回目-3回目	2回目-3回目
区間A	短弦先行	0.010	0.008	0.008
	長弦先行	0.015	0.010	0.009
区間B	短弦先行	0.008	0.009	0.007
	長弦先行	0.008	0.008	0.007

(b) 異なる検測方向での比較

		再現性誤差 [mm]		
		1回目	2回目	3回目
区間A		0.013	0.009	0.007
区間B		0.012	0.025	0.022

5. おわりに

レーザー式変位計 3 台を用いた偏心矢測定方式によるトロリー式のレール凹凸連続測定装置を開発した。試作した装置の測定精度の再現性を検証したところ、波状摩耗の凹凸測定に対して、十分な精度を有していることを確認した。本装置は可搬型であり、簡易に測定できることから、これを用いることにより、従来よりも効率的な波状摩耗管理が可能になると考えられる。

参考文献

- 1) 田中博文：内軌波状摩耗の波高の周期的変化に関する検討，第 65 回土木学会年次学術講演会講演概要集，2010。
- 2) Stuart L. Grassie：Rail corrugation: advances in measurement, understanding and treatment, Wear, No.258, pp.1224-1234, 2005。