

## 間接データを活用した線路設備の状態推定手法の開発

The development of a method for determining the state of the track equipment using indirect data



平野 秀司\*



小木曾 清高\*



矢作 秀之\*



小野寺 孝行\*

The track inspection by monitoring machines installed under commercial cars that is developed one of inspection tools is a method of inspecting directly for track equipment. While, methods of inspecting for track equipment are determined overall soundness of the structure to be used indirect data. Because we can't directly inspect necessary parameters (such as rail internal stress and grain refining of ballast) for acceptability determining. In this paper, we introduce three developing efforts (rail axial force, sensing of the operating state of MTT and monitoring of running noise) utilizing the indirect data that has been developing in the target can be grasped check the quality trend of the line equipment condition by utilizing the indirect data in this manner.

●キーワード：間接データ、走行音、CBM、状態監視、線路設備

### 1. はじめに

「風の強さを測るには、どうすればいいのか?」と問われれば、大抵の場合、「風速計で測ればよい」と答える。「風速計がなかったら?」と更に問われれば、答えに窮する人もいれば、「三味線を習う人の数」、「猫や鼠の数」「売れた桶の数」と答える人がいるかもしれない。「風が吹けば桶屋が儲かる」という諺があるように、間接的に影響する他の現象を測定すれば、直接測定しなくても、ある程度の状態は推定できる可能性がある。

より具体的なもので例えると、体脂肪計がある。家庭で広く普及している体脂肪計は、体内に微弱な電流を流し、抵抗値を測定し体脂肪を推定している。この抵抗値の測定による体脂肪の推定こそ、間接データの測定による状態の推定であり、測定値の精度はあまり高くないものの、健康管理の面では十分に使えるデータである。

以上のことから、柔軟な発想で、「風が吹けば桶屋が儲かる」関係を導き出せれば、これまで測定が不可能とされていた事象が間接的に測定可能となり、ある程度の傾向をつかむレベルで推定可能となる可能性がある。

本稿では、間接データを使用した状態推定手法の開発を目指して、現在「局所的軸力変化からのレール張出しリスクの推定」、「マルチプル・タイタンパー (MTT) の稼働状態からの道床内部状態の推定」、「列車走行音からのレール頭頂面状態の推定」の3つの内容について、報告する。

### 2. 局所的軸力変化からのレール張出しリスクの推定

「猛暑で線路がゆがむ!」。酷暑を表現する見出しとして、しばしば登場する言葉である。保線業界では、「レール張出し」と言い、代々「レール張出しは保線の恥」と伝えられており、張出しの撲滅に取り組んでいる。

レール張出しとは、外気温や日射の熱により、レールが伸びようとする力(これを「レール軸力」という。)が、マクラギなどによる拘束力を上回った場合に、レールが横方向に変形してしまう現象(図1)である。



(a) レール張出し前



(b) レール張出し後

図1 レール張出しの例(試験装置による再現)

レール張出しは、レール軸力を管理すれば、確実に予防できる。しかし、さまざまな技術や理論により開発が試みられてきたが、正確かつ効率的にレール軸力を測る方法は現在のところ発明されていない。このため、現在は、一定の間隔

(50m~200m)ごとに、あらかじめレールに設置したポンチマークと地面に打設した杭などの引照点の距離を測定し、レール動き(ふく進量)を求め、その値を換算することによりレール軸力を求めている。(図2)しかしながら、この手法で管理していても、昨今の異常気象による高温等では、図1で示した試験装置で再現したような大規模な張出しは発生していないものの、小規模な張出しは後を絶たず、新たなレール軸力管理手法の開発が求められている。

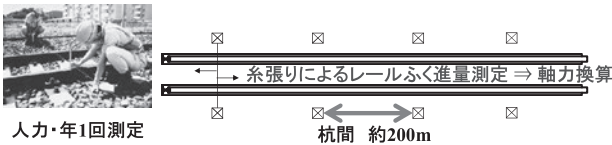


図2 現在のレール軸力推定方法

そこで、局所的なレール軸力を測定することが出来るレール軸力センサー(図3)を活用し、レール軸力の蓄積を推測し、レール張出しのリスクを推定する手法の確立に向けて取り組んでいる。



図3 軸力センサー

昨年度までの研究で、軸力センサーにより営業線の軸力変動を調査した結果、全ての軸力センサーにおいて、年間を通じレール温度変化に応じた軸力分布(引張側⇔圧縮側)の変動が、不動区間で理論値に沿った値となることを確認した。(図4)

### 3. MTTの稼働状況からの道床状態の推定

マクラギを支える道床バラストは、列車荷重を繰返し受けることにより細粒化(碎石の角がすり減ったり、粒が細かくなったりする現象)し、道床バラスト本来の機能が低下する。機能が低下すると線路の歪みが大きくなるので、道床の状態に合わせた効果的な修繕が必要である。ところが、この細粒化は、マクラギと接する面より下で発生するため、表面から確認することが困難であり、表面の道床バラストを掘り起こして確認する必要がある。(図5)

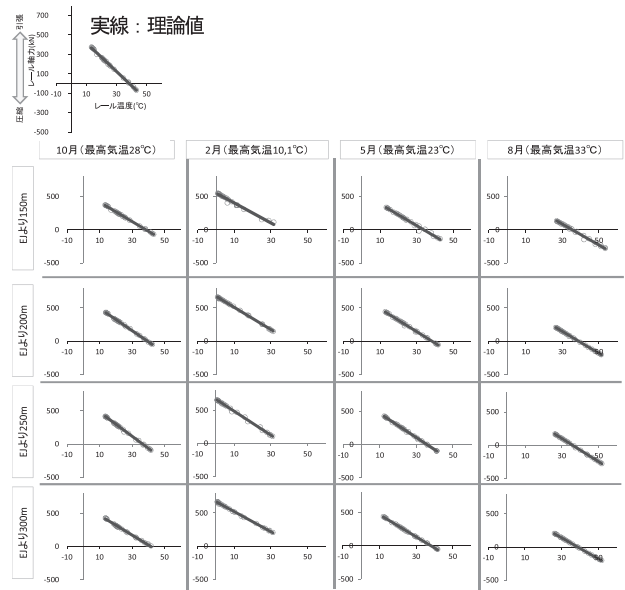


図4 軸力の変化



図5 道床バラスト掘り起こしによる確認

現在、地中レーダー波や小型FWD (Falling Weight Deflectometer) を用いた手法が研究されているが、実用レベルには達しておらず、新たな手法の開発が求められている。

一方、線路の歪みを修繕する作業機械であるMTT(図6)を操作するオペレータは、タンピングツール(図7)が入りにくい、あるいは入りやすいといった操作感の違いにより道床状態を推定し、その状態にふさわしい操作を行っている。これは、操作感をモニタリングすることができれば、道床状態を推定できる可能性があることを意味する。

また、MTTの機器類の制御は、国際的に標準化され、自動車や最近の建設機械の制御方法として広く使われているCANバス(Controller Area Network)と呼ばれる規格(シリアル通信プロトコル)で行われている。そのため、機器類の改良やセンサー類を設置することなく、データロガーをCANバスに設置することで、ほぼ全ての機器の動作状況を簡単に収録することができる。例えば航空機のフライトレコー



図6 マルチプル・タイタンパー (MTT) の外観



図7 タンピングツールの外観

ダーのようなイメージである。

現在、モニタリング項目を決定し、MTTに搭載する機器の開発に着手している。機器が完成次第、データを取得し、分析を進める計画である。

## 4. 列車走行音からのレール頭頂面状態の推定

レールの頭頂面は、車輪と接触する面であり、列車の走行により摩擦による凹凸や微細な亀裂などさまざまな現象が現れる。これらの現象が現れると特徴的な走行音が発生する。ベテラン技術者になれば、列車に添乗した際に走行音を聞分けることにより、レール頭頂面の状態をある程度把握することが可能となる。しかし、音の聞分けは感覚的な判断となるため、定量的には評価しにくく、あまり活用されていないのが現状である。

一方で、自動車部品や家電の製造現場等においても、製品の動作音を聞分け、正常音と異常音を判別する検査が行われている。従来は熟練者の感覚によって判定していたが、音響分析技術の発展により自動判定を行う手法が開発されており、一部では実用化もされている。

そこで、この技術を活用し、列車内で市販のレコーダーで収録したデータを分析したところ、走行音の音質の違いを聞

分けられる可能性が高いと評価できた。

現在、より効果的な解析が可能な走行音の収集方法と走行音の分析に適した音響分析技術の開発に取り組んでいる。

なお、表1に列車内で確認できる走行音のイメージと、発生要因となる軌道材料(レール・締結装置等)の状態例を示す。

表1 対象音と軌道材料の状態

### ①「ゴリゴリ音」

急カーブの内側のレールでは、「波状摩耗」と呼ばれる、高さ0.1mm~3mm、長さ10cm~15cm程度の波状に連続した凹凸が現れることがある。



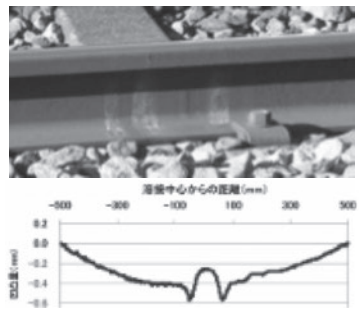
### ②「ゴォゴォゴォ音」

カーブの外側のレールでは、「きしみ割れ」と呼ばれる、微細な表面亀裂が現れ、その一部が剥離し、あばた状になることがある。



### ③「カタン音」

レールの溶接部は、溶接時の熱影響層や溶接材の硬さの違いにより摩耗速度が異なるため凹凸が発生する。



### ④「カチャッ音」

レールの近傍に弛緩したボルト類がある場合には、列車走行による振動により、高音の乾いた音を発する場合がある。



## 5. おわりに

今回紹介した3つのテーマは、非常に難易度の高いものであるが、オープンイノベーションを実践し、保線業界にとどまらず様々な産業界の技術や理論を活用し実現したいと考えている。