

軌道技術に関する最近の研究開発

村本 勝己*

Recent Research and Development Activities of Track Technology

Katsumi MURAMOTO

RTRI is currently focusing to efforts on the following three R&D tasks to realize the sustainable railway lines.

- (1) Development of the track technology for the regional railway: RTRI is developing a track improvement method that requires less cost than the conventional method, in order to drastically improve the LCC of the regional railway within the allowable range of public economic support to the railway service.
- (2) R&D of the maintenance and management of the rails: Especially, with regard to rail corrugation, RTRI will propose a fundamental countermeasure method based on the generating mechanism within several years.
- (3) R&D aims at the labor-saving and the automation of the track maintenance: Because the decrease of the experienced engineers and the labor shortage has become obvious recently, RTRI will promote basic and applied R&D on the utilization of the information and communication technology for track maintenance.

キーワード：ICT，地域鉄道，レールメンテナンス

1. はじめに

鉄道総研では、持続可能な線路の実現に向けて、現在、以下の3つの研究開発を重点的に進めている。

- (1) 地域鉄道向け軌道技術の開発
 - (2) レールの維持・管理に関する技術開発
 - (3) 軌道メンテナンスの省力化・自動化に向けた技術開発
- 特に、(3)に関しては、近年すでに顕在化しつつある経験豊富な技術者の減少や労働力不足を踏まえて、ICTの活用に関するニーズが高まっており、鉄道総研でも基礎から応用まで検討を進めている。

本稿では、上記の3つの軌道技術に関する研究開発について、最近の開発動向について概説する。

2. 地域鉄道向け軌道技術の開発

2.1 地域鉄道の軌道メンテナンスの低コスト化

軌道メンテナンスの低コスト化には、大きく分けて以下の2つの考え方がある。

- (1) 構造改良によって抜本的にLCC（ライフサイクルコスト）を改善する。
- (2) 現状を維持するためのメンテナンスの要素技術を低コスト化する。

多くの地域鉄道は老朽化が深刻であり、本来は(1)によって抜本的なLCCの改善を行うべきであるが、採算性の低い路線への適用については何らかの経済的支援なしには実現が困難である。鉄道総研としては、公共サービスとして許されるレベルの経済的支援の範囲で地域鉄道のLCCを

* 軌道技術研究部長（現 事業推進部長）

抜本的に改善することが重要と考え、従来よりも大幅に低コスト化した軌道構造の改良手法を開発、提案していく。

また、地域鉄道の安全性を現状より少しでも低コストに維持できるように、(2)の低コストな軌道メンテナンスの要素技術については、より迅速な実用化を心がけて開発を進めている。すでに、図1の「生分解性ポリマーによる細粒土混入バラストの安定処理工法¹⁾」は、実用展開を2018年3月より開始し、ローカル線におけるレール継ぎ目部の保守周期延伸の効果が確認されつつある。



図1 ポリマー安定処理工法の実施状況

2.2 低コストなロングレール軌道の開発

地域鉄道向けの軌道構造改良の1つの柱として、鉄道総研では、低コストなロングレール軌道の開発を進めている。バラスト軌道の沈下や軌道変位は、その大半がレール継ぎ目部に集中している。したがって、通過トン数の少ない地域鉄道にロングレールが導入できれば軌道変位がほとんど発生しなくなり、軌道保守作業の大幅な削減が可能になると考えている。

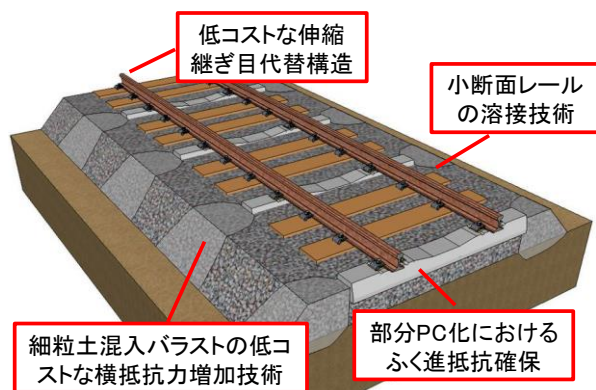


図2 低コストロングレール軌道的主要要素技術



図3 実物大軌道模型座屈試験

- 低コストロングレールに必要な主要要素技術としては、
- (1) 細粒土混入バラストの低コストな横抵抗力増加技術（道床交換が原則不要）
 - (2) 部分 PC まくらぎ化におけるふく進抵抗確保（必要 PC まくらぎ本数を低減）
 - (3) 小断面（例えば 40kgN）レールの溶接技術（レール交換を極力削減）
 - (4) 低コストな伸縮継ぎ目代替構造（伸縮継ぎ目の省略と溶接口数の低減）

の4つ（図2）について検討を進めている。特に、(1)の低コストな道床横抵抗力増加技術は、最小限の PC まくらぎ本数で安全なロングレール軌道を実現するために最も重要な技術であり、要素実験やシミュレーション等を踏まえて、最終的に実物大軌道模型座屈試験（図3）で性能の確認を行っている。2018年度末には要素技術について概ね検討が終了し、2019年度以降に実用展開できる予定である。

なお、低コストロングレールに関する研究開発の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

2.3 細粒土混入バラストの造粒化による機能回復技術

経年した道床バラストは、バラスト粒子自身の破碎・磨耗や、外部からの土砂の侵入によって細粒土の混入率が増加する。こういった細粒土混入バラストは、一般にタイタンパーによる軌道保守の効果が低いため、道床交



図4 細粒土混入バラストの造粒化

換を行うことが望ましいが、地域鉄道をはじめ、採算性の低いローカル線においてはコスト的に困難な場合が多い。鉄道総研では、前記したように「生分解性ポリマーによる細粒土混入バラストの安定処理工法」を実用展開し、すでに一定の効果が得られているが、十分な効果が得られない箇所も少なからず存在する。

そこで、より厳しい条件においても効果が期待できる低コストな工法の開発を進めている。具体的には、対象位置のバラスト内の細粒分を、セメントミルク等の硬化材によってある程度の大きさの粒子に形成（造粒化）することによって、バラストが本来持っていたせん断強度や排水性といった機能を回復することを目指すものである（図4）。本工法については、実物大軌道模型試験および現地試験施工によって改善効果が確認されているが、道床状態に応じた硬化材の添加率や、効率的な施工法等の課題を解決する必要があり、数年以内の実用化に向けて開発を進めている。

3. レールの維持・管理に関する技術開発

3.1 レールの維持・管理に関する最近の課題

レールの維持・管理に関する最近の課題には、以下のようなものがある。

- (1) レール波状摩耗のメカニズム解明と対策法
- (2) レール溶接の信頼性向上と脱技能化
- (3) レールのき裂進展予測
- (4) レールきず補修工法の適用拡大
- (5) 信号回路に代わるレール破断検知

(1)～(3)は、長年に渡って研究が行われてきたものであるが、近年は実験や解析技術の向上によって、基礎的な物理特性を踏まえた定量的な数値シミュレーションが可能となりつつある。特にレール波状摩耗（図5）対策については、数年以内に発生メカニズムに基づいた抜本的な対策法を提案できるように、集中的に検討を進めている。



図5 レール波状摩耗

3.2 レール波状摩耗のメカニズム解明

レール波状摩耗については、

- (1) 高精度な現地測定によるレール波状摩耗の実態把握とレールの車輪接触面の塑性フロー分析
- (2) 車両・軌道の振動系モデル（図6）による、レール波状摩耗の波長の決定要因の推定
- (3) マルチボディダイナミクスモデルの走行解析による、周期的輪重変動のシミュレーション
- (4) 波状摩耗発生条件を再現した試験線走行実験による検証

の4つのアプローチにより、曲線内軌、曲線外軌、直線部のそれぞれのレール波状摩耗の発生メカニズムの解明を行っている。

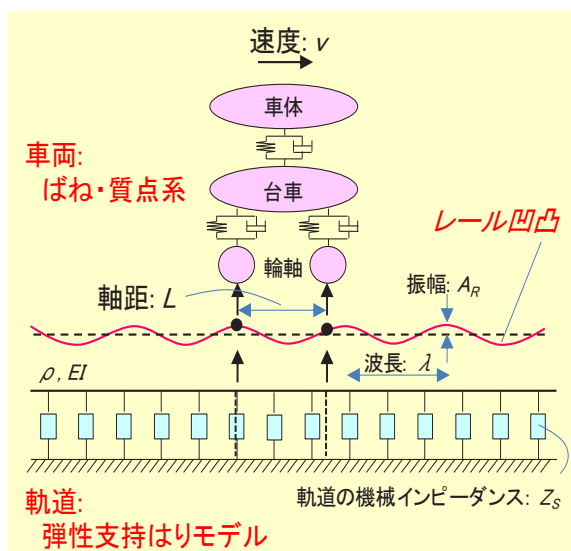


図6 車両・軌道の振動系モデル

これまでに、レール波状摩耗の波長を決定する周期的輪重変動を発生させる車両・軌道の振動系と振動モードについて検討した。その結果、曲線内軌、曲線外軌、直線部の各レール波状摩耗を発生させる振動系はそれぞれ異なり、それぞれの振動系で発生する周期的輪重変動の周期と、現地で観測されるレール波状摩耗の波長とが概ね整合していることが確認されている²⁾。今後は、マルチボディモデルによる車両走行シミュレーションを深度化すると共に、所内試験線での走行試験によって、波状摩耗発生メカニズムを検証し、抜本的な対策法の開発方針を提案する予定である。

4. 軌道メンテナンスの省力化・自動化に関する技術開発

4.1 ICTの活用による軌道の状態監視保全の高度化

軌道のメンテナンスにおいては、Micro LABOCS（軌道保守データベースシステム）が1990年に実用化されて、大規模な軌道変位データのデジタル処理が可能となり、さらに2009年に慣性正矢軌道検測装置が実用化されて営業車による高頻度な軌道検測（軌道変位測定）が可能となった。こういった背景から、鉄道における状態監視保全（Condition Based Maintenance: CBM）の実用展開は、軌道分野で先行している。図7に軌道管理における近年のCBMの一例を示すが、高頻度検測に基づく短期的な軌道変位の急進予測から、年度保守計画の策定、さらに5年間程度の中長期的な保守計画の策定までの自動化がほぼ達成されている。

鉄道総研では、軌道メンテナンスのさらなる省力化・自動化を達成するため、ICTの活用による軌道のCBMの高度化に向けた研究開発を進めている。

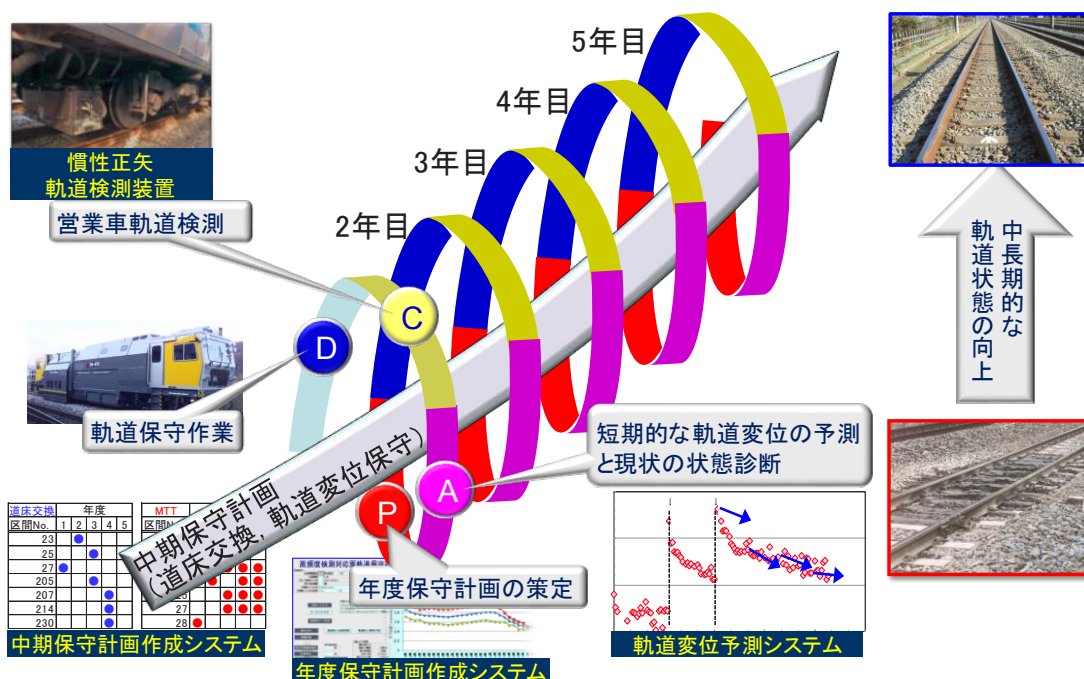


図7 CBMに基づく軌道管理の例

特集：軌道技術

4.2 画像スペクトル分析によるレールの材料劣化判定

軌道のCBMでは、軌道線形の管理の他にレールや締結装置、まくらぎ、バラスト等の軌道部材の検査も必要であり、これらについては、画像によるモニタリングが採用されている。しかし、部材の欠損やひび割れ等は形状の分析である程度自動判定が可能と考えられるが、レールの金属疲労や材料劣化を画像から定量的に判定するのは困難である。そこで、鉄道総研では、光を電磁波の一種と捉え、レールからの反射光のスペクトル（波長・周波数の分布）を詳細に分析することでレールの疲労や材料劣化を定量的に捉える手法の開発を進めている³⁾。

図8に、レールの頭頂面からの反射光を場所ごとにスペクトル解析した結果を示す。鉄道総研で定義したスペクトル強度変化率という指標を用いると、特定の波長帯域において、健全箇所と白色層（熱変性箇所）に明確な差異がみられることがわかる。この帯域の波長成分のみを強調すると、図9の様に、白色層の箇所を明確に浮かび上がらせることができる。現在、レールの疲労・劣化箇所の抽出に向けて検討を進めているが、今後は、電力や軌道部材への飛来塩分の分析への適用の検討も行う。

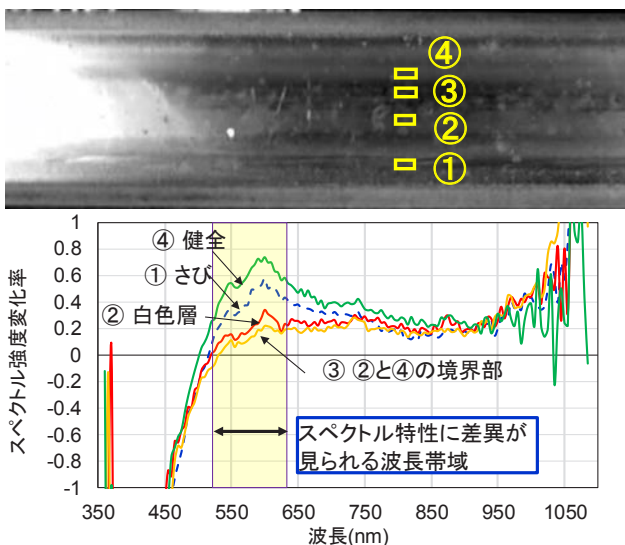


図8 レール頭頂面のスペクトル解析

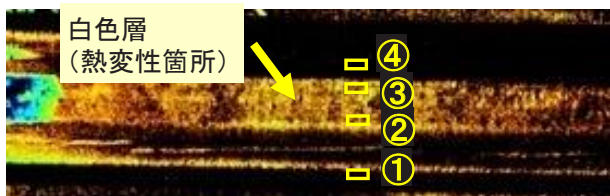


図9 画像処理による白色層の抽出例

4.3 低コストなリアルタイム軌道検測システムの開発

鉄道総研では、軌道のCBMの自動化と適用拡大に向けて、保守用車や機関車等にも搭載可能な、低コストなリアルタイム軌道検測システム（図10）の開発を進めている。本システムはIoTに対応し、GNSS（全地球航法衛星システム）とレール断面形状から自律的に自己位



図10 リアルタイム軌道検測システム（プロトタイプ）

置を認識して位置情報と軌道変位データをネットワークに自動送信するものであり、本システム搭載車両が走行すると、軌道変位の測定が自動的に完了することになる。

当面は、走行安全性への影響が大きい軌間、水準、平面性およびレール摩耗量の測定に特化して、できるだけ低コストなシステムとして実用化することを目指している。例えば、本システムを搭載した保守用車を複数導入して、側線や基地線、ローカル線でもCBMを実現すると同時に、専用軌道検測車は重要線区で優先的に運用するといった運用形態も考えられる。

5. おわりに

現在、鉄道総研では、軌道、電力・信号、構造物等のメンテナンス情報を一元的に管理するために、分野間で位置情報を共有するためのフレームワークを構築すると共に、LABOCSをベースとしたメンテナンス情報の統合管理システムの開発を進めている。

今後とも、鉄道総研の軌道技術開発に対し、ご理解・ご協力頂ければ幸いである。

文献

- 1) 中村, 村本, 藪中, 野村, 三田地:「細粒土混入率が高いバラスト軌道におけるポリマーを用いた補修方法の開発」, 第21回鉄道技術・政策連合シンポジウム (J-RAIL2014), 2014
- 2) 田中, 梶原, 網干:「レール凹凸データに基づくレール波状摩耗の発生形態の分類」, Dynamics and Design Conference 2018 講演論文集, No.18-7, 2018
- 3) 坪川, 辻江, 兼松:「ハイパースペクトルカメラを用いたレールの劣化検出に関する基礎検討」, 第22回鉄道工学シンポジウム論文集, pp.99-105, 2018
- 4) 石川, 坪川:「動的軌間・平面性測定装置の開発と性能検証試験」, 第22回鉄道工学シンポジウム論文集, pp.55-61, 2018