

地域鉄道の維持管理コスト低減に向けた最近の技術開発

村本 勝己*

Recent R&D for Maintenance Cost Reduction in Local Railways

Katsumi MURAMOTO

Approximately half of the running costs of local railway companies are for the maintenance of ground facilities. Moreover, this ratio tends to rise more due to cutback of labor cost of their operation crew. Therefore, there is no disagreement on this point that the cost of the ground facility maintenance is the main factor of business difficulties of the local railway companies. So as we can contribute to reduction of the maintenance cost of the local railway companies, this paper presents the recent RTRI's R&D for the maintenance cost reduction of the local railway track.

キーワード：地域鉄道，コスト低減，維持管理，メンテナンス

1. はじめに

地域鉄道とは、一般に、新幹線、在来幹線、都市鉄道に該当する路線以外の鉄道路線のことをいう。なお、地域鉄道の運営主体のうち、中小民鉄及び第三セクターを合わせて地域鉄道事業者といい、平成27年4月1日現在で95社となっている¹⁾。また、地域鉄道は、施設保守に関する経費が半分近くを占めるが、列車運行のワンマン化や駅の無人化などの合理化施策によって、この比率はさらに上がる傾向にあり、施設保守に関する経費がコスト上の経営圧迫の主要因であるとされている（交通政策審議会陸上交通分科会鉄道部会緊急提言¹⁾）。

図1は、平成23年度の鉄道統計年報²⁾のデータを使用して、全鉄道事業者のPCまくらぎ化率を営業キロあたりの営業損益および営業キロあたりの保守費用で整理したものである。横軸は営業損益を対数軸で便宜的に表示したもので、右側が黒字事業者、左側が赤字事業者である。ここで、PCまくらぎ化率は、公表データの中で事業者の軌道への設備投資の状況を代表する指標と考える。この図から、鉄道事業者を設備投資状況と営業損益・保守費用でグループ分けすると、概ね以下の様なグルーピングができる。

- ① 営業黒字で軌道への設備投資および保守費用も十分な事業者：主に大手および大都市圏の鉄道事業者
- ② 営業黒字だが軌道への設備投資が少ない事業者：主に路面電車や貨物専業鉄道事業者
- ③ 営業赤字だが軌道への設備投資は十分な事業者：主に地方都市の鉄道事業者

- ④ 営業赤字で軌道への設備投資が中程度の事業者：主に地方の鉄道事業者（本州3社以外のJRも含まれる）
- ⑤ 営業赤字で軌道への設備投資も保守費用も充分でない事業者：主に旧国鉄由来の第三セクターと地方の鉄道事業者

個別の事情は様々ではあるが、赤字の③～⑤のグループについて、軌道の観点からは営業収益の改善に向けて、以下の様な方策が考えられる。

③のグループは、軌道状態は比較的良いと考えられるが、それでも保守費用が高い事業者においては、軌道管理業務を効率化するソフトウェアなどを活用して維持管理コストを低減するのが有効と考えられる。④のグループは様々な規模や属性の鉄道事業者が混在しているが、列車密度や線区の特性に応じて、維持管理コスト低減効果の高い設備投資を計画的に導入していくことが望まし

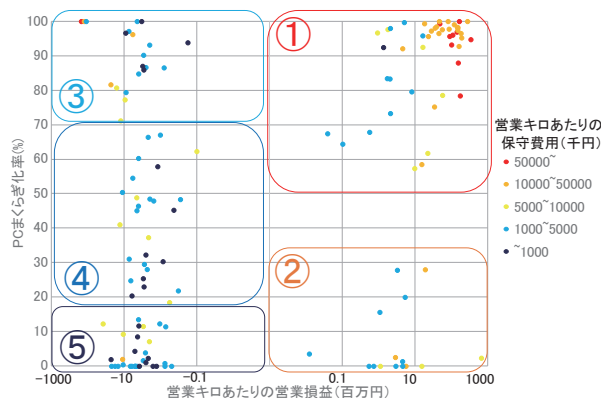


図1 全鉄道事業者のPCまくらぎ化率と営業損益 - 保守費用（平成23年度統計による）

* 軌道技術研究部 部長

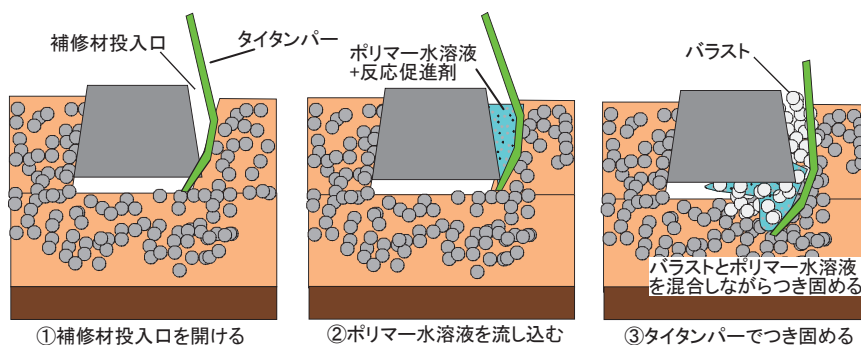


図2 ポリマー安定処理工法の概要

い。⑤のグループは、維持管理コストの低減と安全性の向上を安価に実現する技術の導入はもちろんであるが、それらを実現するための財政支援も必要であると考え。

そこで、本稿では、鉄道総研が最近研究開発を進めている軌道技術のうち、地域鉄道の維持管理コスト低減や安全性向上に貢献できると考えられるものについて紹介する。

2. 生分解性ポリマーを用いた細粒土混入バラスト補修

一般に、道床バラストは、列車荷重によって粒子が破碎したり、外部から細粒土が混入したりして経年に応じて細粒土混入率が高くなり、タイタンパー等によるバラスト補修の効果が低下する。これをバラストの劣化といい、特にレール継ぎ目部においては、衝撃荷重によって浮きまくらぎや噴泥が発生しやすいため劣化が促進される。

一方で、バラスト軌道保守作業の多くが、レール継ぎ目部のバラスト補修であり、補修効果を向上させるには一般部よりも劣化が進行しているレール継ぎ目部のバラストを交換することが望ましい。しかし、バラスト交換には、

- (1) 作業が煩雑で特に小規模の交換作業は単価が高い
 - (2) 発生バラストは廃棄物処理が必要
 - (3) 良質の碎石が入手可能な採石場が減少している
- 等の課題があり、収益性の厳しい地域鉄道のみならず、大手の鉄道事業者においても営業利益率の低い線区での実施は困難になりつつある。

そこで、鉄道総研では、劣化したバラストでもタイタンパーによる補修効果を向上させる方法として、ポリマー安定処理工法³⁾を開発した。本工法は地盤改良材として使用されている、生分解性を持つPVA（ポリビニールアルコール）水溶液（以下、ポリマー水溶液という）によって、細粒土が混入したバラストの、特に耐水時における強度低下を低減して補修効果を高めるものである。施工の手順は図2に示す通りであるが、基本的に通常のタイタンパーを使用したバラスト補修の際にポリマー水溶液を流し込むものである。



図3 反応促進剤の投入



図4 ポリマー水溶液の投入

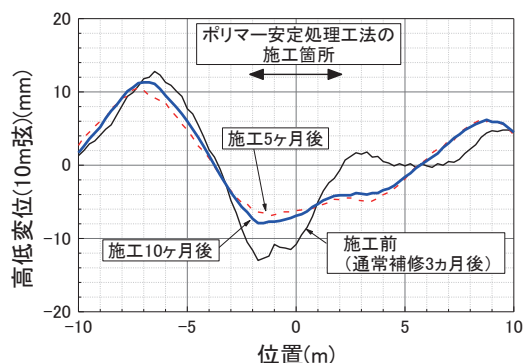


図5 補修後の軌道変位の推移³⁾

具体的には、図3の様に珪酸ソーダを主成分とする顆粒状の反応促進剤をタイタンパーでバラストにつき込んだ後、図4に示すようにポリマー水溶液を散布してタイタンパーでつき固め作業を行う。ポリマー水溶液と反応促進剤が混ざるとポリマーのゲル化が進行し、細粒土と共にバラストがゆるやかに固められる。

図5に現地試験施工の結果の一例を示すが、通常のバラスト補修では3ヶ月程度で継目落ちが再発する道床不良個所においても10ヶ月以上継目落ちを防止できることを確認した。なお、本材料はバラストを過度に固めないで、特別な処置をすることなく再施工も可能である。本工法は、2016年度中に実用化できる見込みである。

3. トンネル区間における低廉な既設線省力化軌道

鉄道建設の初期に作られた古い山岳トンネルには、路盤となるトンネル底部岩盤表層の仕上がりが悪いために道床厚さが不均一となり、恒常的に軌道変位が発生している箇所がある。また、長年の軌道保守によって軌道が扛上されてきた結果、車両限界がトンネル天端に近接し、MTTによる軌道保守が困難となっているトンネルも少なくない。こういったトンネルでは、バラストをてん充填材で固化してバラストレス化する、既設線省力化軌道にするのが効果的である。しかし、一般の既設線省力化軌道は、バラストにてん充填材を確実に充てんするためにバラストを新品に交換すると共に、バラストレス化後の軌道整正が可能な締結装置に対応したまくらぎに交換する必要があるために材料コストが高い。さらに、トンネル区間では資材や廃棄物の搬入出作業の効率が悪いので、新規の資材を使用することは1回の作業間合いで可能な施工延長をさらに短くすることになり、コスト増加要因となる。

そこで、鉄道総研では、既設のバラストやまくらぎを交換することなく施工可能な、超微粒子セメントグラウトを用いた低廉な既設線省力化軌道を開発した⁴⁾。本工法は、砂質地盤の液状化対策等で地盤注入材として一般的に使用される超微粒子セメントグラウトをてん充填材に応用したものであり、新品に比べて細粒土混入率の高い既設バラスト(図6)にも施工が可能である。また、本工法では、既設のまくらぎをそのまま使用するために、図7に示すようにグラウト充てん層の天端をまくらぎ下面とした。したがって、必要に応じて軌道の通り整正が可能であり、さらに支持地盤の沈下によって高低調整が必要となった場合は軌きょうを扛上してグラウトを追加充てんすることで調整が可能である。

図8に、現地と同様の細粒土混入率のバラストを用いた実物大軌道模型へのグラウトの充てん状況を、図9に載荷試験後のグラウト充てん層の断面状況を示す。現地と同等の細粒土混入率のバラストにおいても100～150mm程度のグラウト充てん層の厚さが確保され、載荷試験の結果も良好であったことから、既設線省力化軌道として成立可能であることが確認された。この結果を受けて、営業線の長大トンネルにおいて試験施工を行い、現在経過観察中であるが、施工後の軌道変位進みはほとんどなく、良好に推移している。



図6 トンネル区間の道床状態

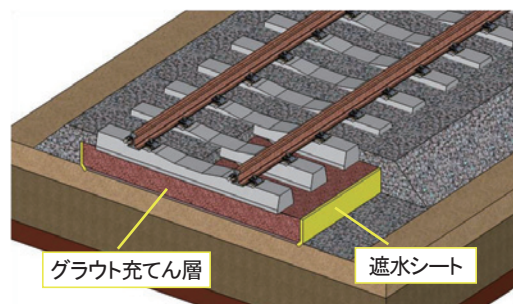


図7 低廉な既設線省力化軌道の概念図



図8 超微粒子セメントグラウトの充てん状況

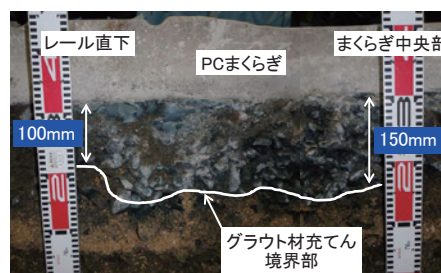


図9 グラウト充てん層の断面状況

4. 木まくらぎ交換・PCまくらぎ化計画支援システム

地域鉄道においては、現在でも木まくらぎの比率が高い線区が少なくない。木まくらぎ軌道は、まくらぎの腐食や犬くぎの不良等によってレールの締結状態が悪化しやすく、特に急曲線部において軌間拡大等の脱線リスクが高いことから、PCまくらぎへの交換が推奨されている。しかし、前述したバラスト交換と同様に、営業利益率の低い線区においてPCまくらぎ化を一気に進めるのはコスト的に困難であることから、次善の策として2～4本程度に1本ずつ間欠的にPCまくらぎに交換する部分PCま

特集：軌道技術



図 10 木まくらぎ軌道の部分 PC まくらぎ化

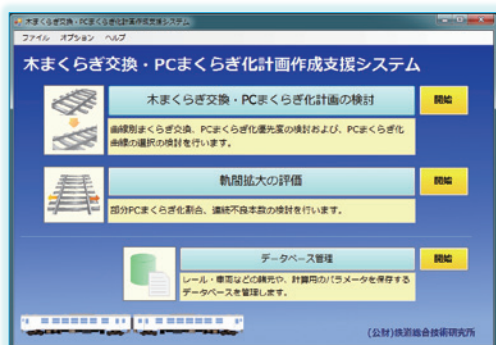


図 11 PC まくらぎ化計画作成支援システム

くらぎ化（図 10）が多くの鉄道事業者で進められている。しかし、部分 PC まくらぎ化は現状非悪化を基本的根拠としており、導入の基準が明確化されていないわけではない。

そこで、鉄道総研では、安全性の向上効果を定量的に予測して、効率的な部分 PC まくらぎ化の計画を支援する、PC まくらぎ化計画作成支援システム⁵⁾（図 11）を開発した。本システムは、バラスト軌道の性能照査型設計法⁶⁾に基づいて、線形諸元、軌道構造条件、車両・運転条件、軌道変位等の軌道状態を入力データとして輪重、横圧を算定し、これを基に安全性能を曲線別に評価して PC まくらぎ化の優先度を算定するものである（図 12）。PC まくらぎ化計画の策定に本システムを使用すると、単純に曲線半径の小さい順に PC まくらぎ化するよりも、10～20% 低いコストで同等の安全率を確保することができる。

5. その他、進行中の地域鉄道向けの研究開発

その他、地域鉄道の維持管理コスト低減に寄与すると考えられる進行中の主な研究開発を以下に示す。

- 1) 地域鉄道向け低規格ロングレール軌道：ロングレール軌道の成立条件を抜本的に見直して、地域鉄道でも導入可能な低規格ロングレール軌道（図 13）を実現するための研究開発。
- 2) 簡易な軌間・平面性モニタリング装置：軌道検測車を保有していない鉄道事業者や、軌道検測車が走行しない副本線や側線等の安全性を向上するため、脱線事故の要因として特に重用な軌間と平面性に

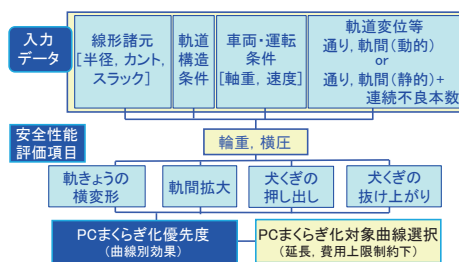


図 12 PC まくらぎ化優先度算定のフロー

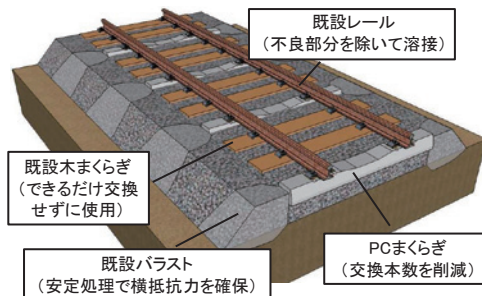


図 13 低規格ロングレール軌道の概念図

特化した動的検測（列車荷重が作用した状態の軌道検測）が可能で、簡易な軌道検測装置の研究開発。

6. おわりに

軌道の維持管理コスト削減だけで、地域鉄道の施設保守に関する経費が劇的に改善するわけではないが、コスト削減と安全性の向上を両立した軌道技術の実用化を着実に進め、地域鉄道の持続可能性の向上に貢献できれば幸いである。

本稿の研究開発の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

文 献

- 1) 国土交通省ホームページ、「鉄道ネットワークの維持・強化、地域鉄道対策」：http://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk5_000002.html（参照日：2016年9月8日）
- 2) 国土交通省鉄道局監修：「平成 23 年度 鉄道統計年報」
- 3) 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），2014.12
- 4) 淵上，高橋，中村，桃谷：「超微粒子セメントを用いた既設線バラスト軌道の改良工法に関する研究」，コンクリート工学年次論文集，Vol.38，No.1，pp.1935-1940，2016.7
- 5) 金丸，三和，片山：「PC まくらぎ化計画作成支援システムの開発」，土木学会第 71 回年次学術講演会（投稿中），2016.9
- 6) 国土交通省鉄道局監修，鉄道総合技術研究所編：「鉄道構造物等設計標準・同解説－軌道構造」，丸善出版，2012