

# 劣化した道床バラストの性能を回復する



中村 貴久  
Takahisa Nakamura  
軌道技術研究部  
軌道・路盤研究室  
主任研究員



景山 隆弘  
Takahiro Kageyama  
軌道技術研究部  
軌道・路盤研究室  
研究員

## はじめに

バラスト軌道は、バラスト、まくらぎ、レールなどから構成される軌道構造です。建設コストが安価であり、つき固め作業により容易に補修できることから、国内外の鉄道で広く使われています。しかし、長期にわたって列車の走行やつき固め作業などが繰り返されることで、徐々にバラストが砕けて劣化します<sup>1)</sup>。劣化が進行するとバラストの排水性が低下することから、雨水などが浸入してバラスト内の水分量が多くなると強度が低下します。これにより、軌道の沈下が増大するとともに、つき固め作業の

頻度が高くなり、保守コストも増大します。とくに、まくらぎ下のバラストの細粒分が泥土となって、列車通過時に吹き出す**噴泥**現象が生じると(図1)、軌道の沈下が生じやすくなるため、そのような箇所では新品のバラストに交換する必要があります。一方、バラスト交換工事は施

## 噴泥

バラストの劣化した箇所が降雨などにより滞水すると、列車通過時のまくらぎの動的変位にともない、泥土が噴出する現象が見られます。これを噴泥とよびます。なお、細粒化したバラストが噴出したものを道床噴泥、路盤土が噴出したものを路盤噴泥といいます。

図1 噴泥が生じた劣化したバラスト区間



工コストが比較的高いため、低コストで劣化したバラストの沈下を抑制する補修方法が求められていました。

そこで、つき固め作業時にセメントと高分子材料からなる補修材を劣化したバラストと混合し、バラストを安定処理<sup>㊦</sup>することで沈下を抑制する低強度安定処理工法を開発しました<sup>2)</sup>。

## これまでに開発した バラスト軌道の沈下対策と課題

鉄道総研では、これまでも劣化したバラストの補修方法を開発してきました。一つは、まくらぎ下の劣化したバラストにグラウトを充てんし(図2)、固化した後にそれらを破碎することで、バラストを塊状にして排水性および支持力を回復させて沈下を抑制する方法です<sup>3)</sup>。この工法では、まくらぎの撤去作業、グラウトの<sup>かくはん</sup>攪拌作業およびグラウトの充てん層の破碎作業が必要となり、施工性に課題がありました。も

### ㊦ 安定処理

路床や路盤などに置いて用いる土が適合しない場合に、化学的な方法(セメントや石灰などを添加)により土の性質を改善します。これを安定処理とよびます。

う一つは、生分解性ポリマー水溶液と反応促進剤の2材からなる補修材を用いて、劣化したバラストを安定処理することにより、強度を増加させて沈下を抑制する方法です<sup>4)</sup>(図3)。この工法では、施工後に1~2時間程度の養生時間が必要となり、初期沈下の抑制に課題がありました。また、粉体の反応促進剤をバラストに混合したのちに、液体の生分解性ポリマー水溶液をバラストと混合する二段階の施工手順となり、施工性に課題がありました。さらに、液体の生分解性ポリマー水溶液をバラストと混合するには**ハンドタイタンパー**<sup>㊦</sup>を使用する必要があり、**マルチプルタイタンパー**<sup>㊦</sup>や**バックホウタイタンパー**<sup>㊦</sup>による機械施工ができませんでした。

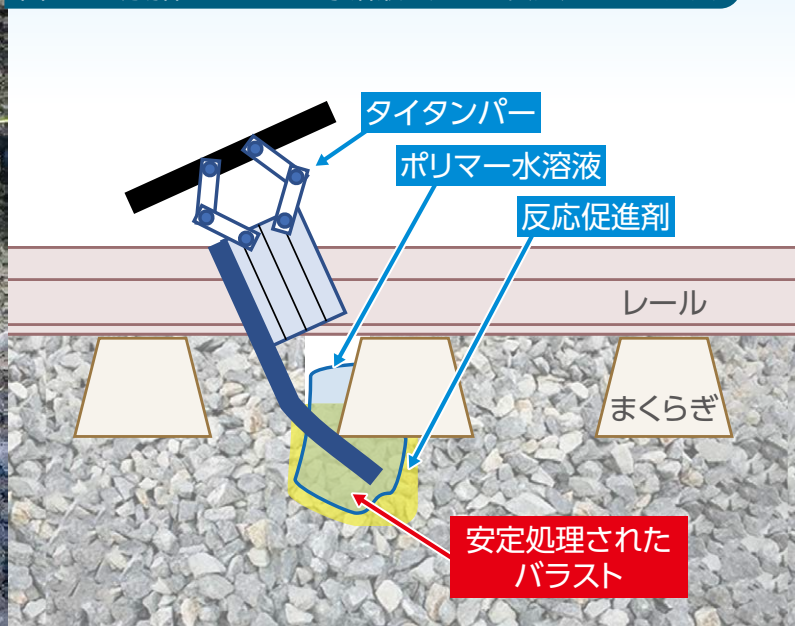
### ㊦ ハンドタイタンパー、マルチプルタイタンパー、バックホウタイタンパー

軌道の沈下を整正するためのバラストのつき固めを行う専用の機械をタイタンパーとよびます。タイタンパーの先端のタンピングツールが振動していることで、まくらぎ下にバラストを容易につき込むことができます。人力で操作するものをハンドタイタンパーとよび、自走可能なつき固め専用の鉄道車両をマルチプルタイタンパーとよびます。また、鉄道軌道と道路の双方を走行できるバックホウのバケットにタンピングツールを取り付けたものをバックホウタイタンパーとよびます。

図2 グラウトを用いてバラストの機能を回復する補修方法



図3 生分解性のポリマー水溶液を用いて安定処理する方法





つき固める位置を掘削し  
補修材を投入



つき固めを行い補修材と  
バラストを混合して安定処理

図4 低強度安定処理工法の施工方法（ハンドタイタンパー施工）

図5 安定処理した劣化バラスト



10mm

図6 補修材



(a) 超速硬セメント



(b) 高分子材料

### 低強度安定処理工法による バラストの補修方法

本施工では、はじめに通常につき固め作業時に、タンピングツールを挿入する位置において、バラストの一部をまくらぎ下まで掘削して、粉末の補修材を投入します。次に、通常と同様につき固め作業を行い、補修材と劣化したバラストをまくらぎ下で混合し（図4）、安定処理することで（図5）軌道の沈下を抑制します。補修材は超速硬セメントと高分子材料を混合したものであり、超速硬セメントはひび割れなどの補修材として、高分子材料は泥土の固化処理材としてそれぞれ使用されています（図6）。補修後の初期の段階では、高分子材料が劣化バラストの強度を増加させて軌道の沈下を抑制するため、超速硬セメントにより強度が増加するまで待つ必要はありません。2時間程度で超速硬

セメントが十分な強度を発揮し、さらに支持力が向上します。タイタンパーでつき固め作業が可能な強度の上限を検討するために、円形土槽（直径300mm）に劣化バラストを投入し、標準添加量の4倍の添加量で安定処理しました。3か月の気中養生を行った後にタイタンパーでつき固めを行ったところ、タンピングツールを安定処理後のバラストに問題なく挿入できることを確認しました。

本工法におけるつき固め作業は、ハンドタイタンパーによる人力の施工のほか、マルチプルタイタンパーおよびバックホウタイタンパーを用いた機械施工が可能です（図7）。また、機械施工の場合、補修材をバラスト内につき込むようにつき固めタンピングツールを挿入すれば、補修材を投入するためのバラストの掘削は不要です。本工法の施工後にふたたび軌道の沈下量が大きくなった場合は、再度、つき固め作業を

行うことが可能です。また、本工法は繰り返して施工することも可能であり、施工を繰り返すことで軌道の沈下抑制効果がさらに向上します。本工法の施工費はバラスト交換工事の1割程度であり、バラスト交換工事を直ちに実施できない場合でも低コストで軌道の沈下を抑制することができます。また、冠水などの災害により外部から土砂が混入したバラストの沈下対策としても活用できます。

### 低強度安定処理工法による 軌道の沈下抑制効果

劣化したバラストを再現した実物大バラスト軌道の試験体を用いて繰返し載荷試験を実施し、軌道の沈下抑制効果を検討しました（図8）。通常のつき固め作業では、劣化したバラストは新品のバラストと比較して繰返し載荷による沈下量が6倍程度に増加しました。それに対して、

図7 マルチプルタイタンパーを用いた施工方法

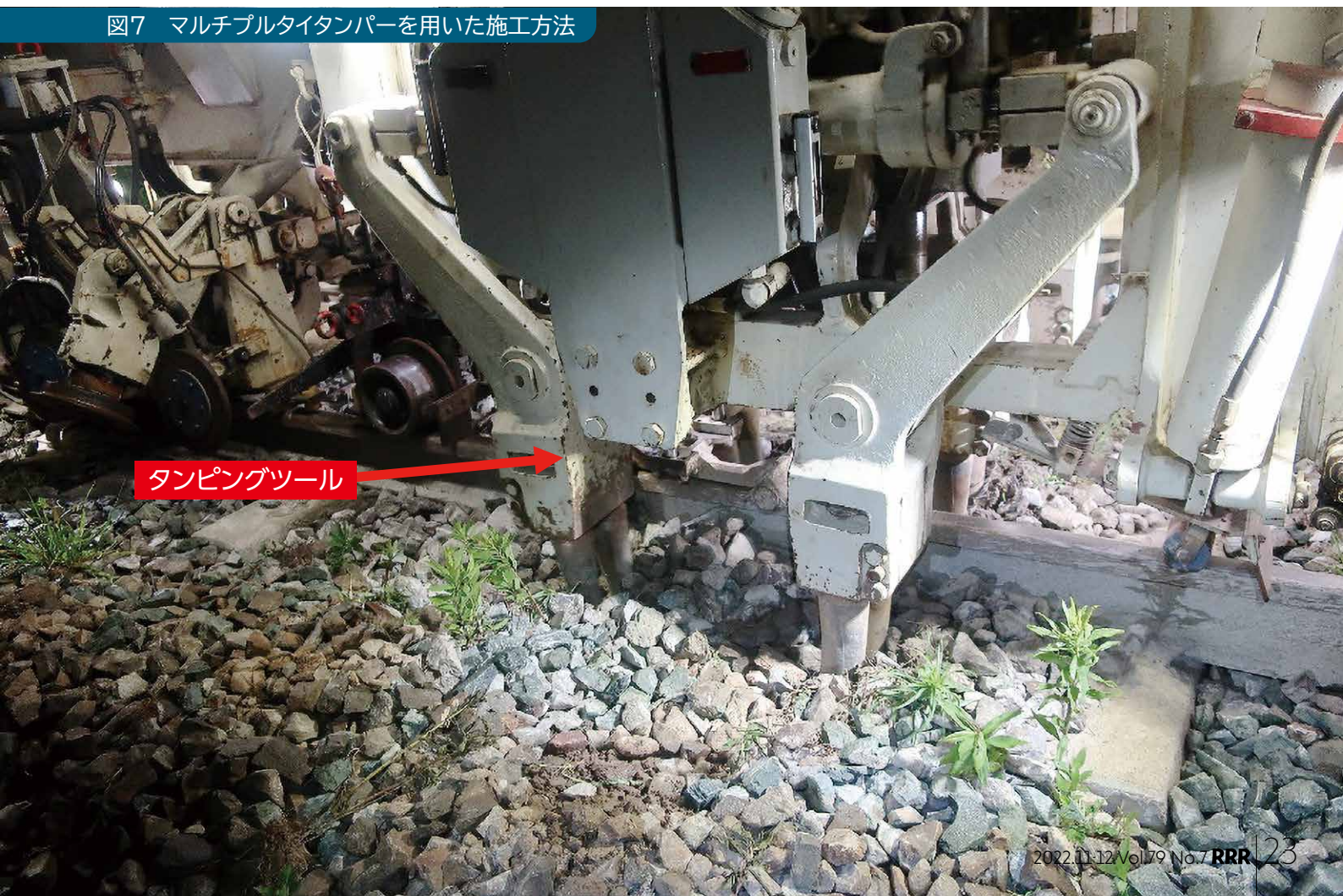




図8 実物大のバラスト軌道試験体

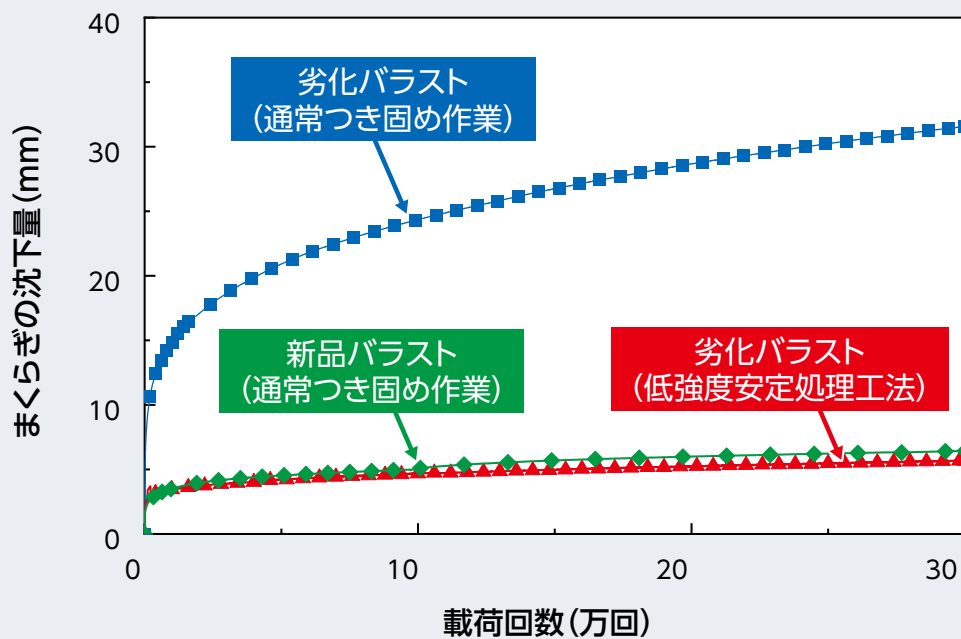
低強度安定処理工法を施工した劣化バラストは、新品バラストと同程度の沈下量になりました(図9)。

以上のように室内試験で十分な補修効果が得られたことから、噴泥が生じた現地のバラスト軌道において、ハンドタイタンパーおよびマルチプルタイタンパーを用いた試験施工を実施しました。ハンドタイタンパーを用いた施工区間の年間の**累積通過トン数**<sup>※</sup>は1700万トンであり、通常

#### ※ 累積通過トン数

レールの上を通過した車両の総重量のことで、列車の軸重×通過軸数から算出される軌道への列車荷重による負担の大きさを表す指標です。

図9 実物大のバラスト軌道試験体の沈下量



のつき固め作業から2か月後には継目部で高低変位が11mm程度に増加しました(図10(a))。ここで、同図の縦軸のレールの高低変位とは軌道の上下方向の不整のことをいいます。当該区間では大規模な降雨により線路が冠水し、土砂がバラスト内に流入した区間です。本工法を施工した結果、施工9か月後の高低変位は継目部で3mm程度となり、軌道の沈下抑制効果が十分に発揮されました。

次に、マルチプルタイタンパーを用いた施工区間は、年間の累積通過トン数が520万トンであり、経年によりバラストが劣化して継目部で噴泥が生じ、通常につき固め作業から3か月後には継目部で20mm程度の高低変位が生じていました。本工法を施工した結果、施工8か月後の高低変位は4mm程度となり、軌道の沈下抑制効果が十分に発揮されることを確認しました(図10(b))。

## おわりに

本工法を活用することにより、経年劣化が進行したバラスト軌道における保守量の低減や、降雨災害により土砂が混入したバラスト軌道の早期復旧につながると期待されます。今後は、本工法の普及に向けて技術的な支援を行います。

## RRR

## 文献

- 1) 中村貴久, 桃谷尚嗣, 木次谷一平: バラストの破碎・細粒化メカニズムの解明と余寿命予測方法の提案, 鉄道総研報告, Vol.35, No.4, pp.35-40, 2021
- 2) KAGEYAMA, T., NAKAMURA, T., KIJIIYA, I., AKAGI, H., SAITO, R.: Development on an ultra-low strength stabilization method for fouled ballasted tracks, Transportation Geotechnics, International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ELSEVIER, A-2208, 2022
- 3) 中村貴久, 桃谷尚嗣, 木次谷一平: 道床交換せずに劣化したバラストの性能を取り戻す, RRR, Vol.76, No.7, 2019
- 4) 中村貴久, 木次谷一平, 伊地知卓也: 細粒土混入率の高いバラスト軌道に対する生分解性ポリマーを用いた沈下抑制対策, 日本鉄道施設協会誌, Vol.55, No.6, pp.26-29, 2017

図10 試験施工前後のレールの高低変位

