

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

# 路盤を強化して 省力化軌道の沈下を抑制する

バラスト軌道における保守の省力化を目的に、バラスト道床を構成する碎石の隙間にセメント系の固化材をてん充填した既設線省力化軌道が開発され、首都圏を中心に敷設されています。これにより、保守コストは大幅に削減されましたが、軟弱な路盤上に敷設された既設線省力化軌道の一部では、敷設から数年で補修が必要となる場合があります。ここでは、軟弱路盤上に敷設される省力化軌道用に開発した「あとてん充填方式」のグラウト充填路盤改良工法について、工法の概要、実物大繰返し載荷試験による路床沈下の推定方法および営業線における試験施工について紹介します。

## はじめに

バラスト軌道は、一般的な軌道形式であり、もっとも広く敷設されています。この軌道の特徴は、直径20mmから60mm程度の碎石（バラスト）で構成されるバラスト道床でまくらぎを支えていることです。バラスト道床は列車荷重が繰り返して作用することで徐々に沈下が生じるため、定期的な保守作業が必要になります。そこで、バラスト軌道の保守コストを削減する目的で、「既設線省力化軌道（以下、省力化軌道）（図1）」（参照<sup>1)</sup>）が開発され、列車本数が多い首都圏の在来線を中心に導入されており、現在も導入範囲が拡大し

ています<sup>1)</sup>。これにより、まくらぎと道床を直結化することで、バラスト軌道のつき固め補修が不要となります。

省力化軌道の導入により、軌道の保守コストは削減されたものの、首都圏域では関東ロームなどの軟らかい粘性土が広く分布しているため、一部の省力化軌道では路盤の軟弱化や雨水の排水不良などと相まって沈下が生じ、敷設後数年で補修が必要となる場合があります。省力化軌道に沈下が生じると、おもにレールとまくらぎの間に硬質ゴムの板を挿入してレール高さを整正していますが、この方法で対応できないほど沈下が生じた場合には省力化軌道



伊藤 吉記  
Kazuki Ito  
軌道技術研究部  
軌道・路盤研究室  
副主任研究員



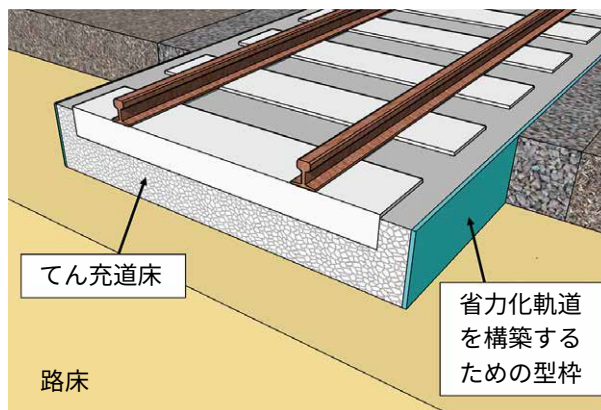
桃谷 尚嗣  
Yoshitsugu Momoya  
軌道技術研究部  
軌道・路盤研究室長



木次谷 一平  
Ippei Kijiyama  
軌道技術研究部  
軌道・路盤研究室  
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



既設線省力化軌道  
既設のバラスト軌道の補修コストを削減するため、バラスト道床にセメント系のグラウト材を充填して構築した軌道です。

図1 既設線省力化軌道

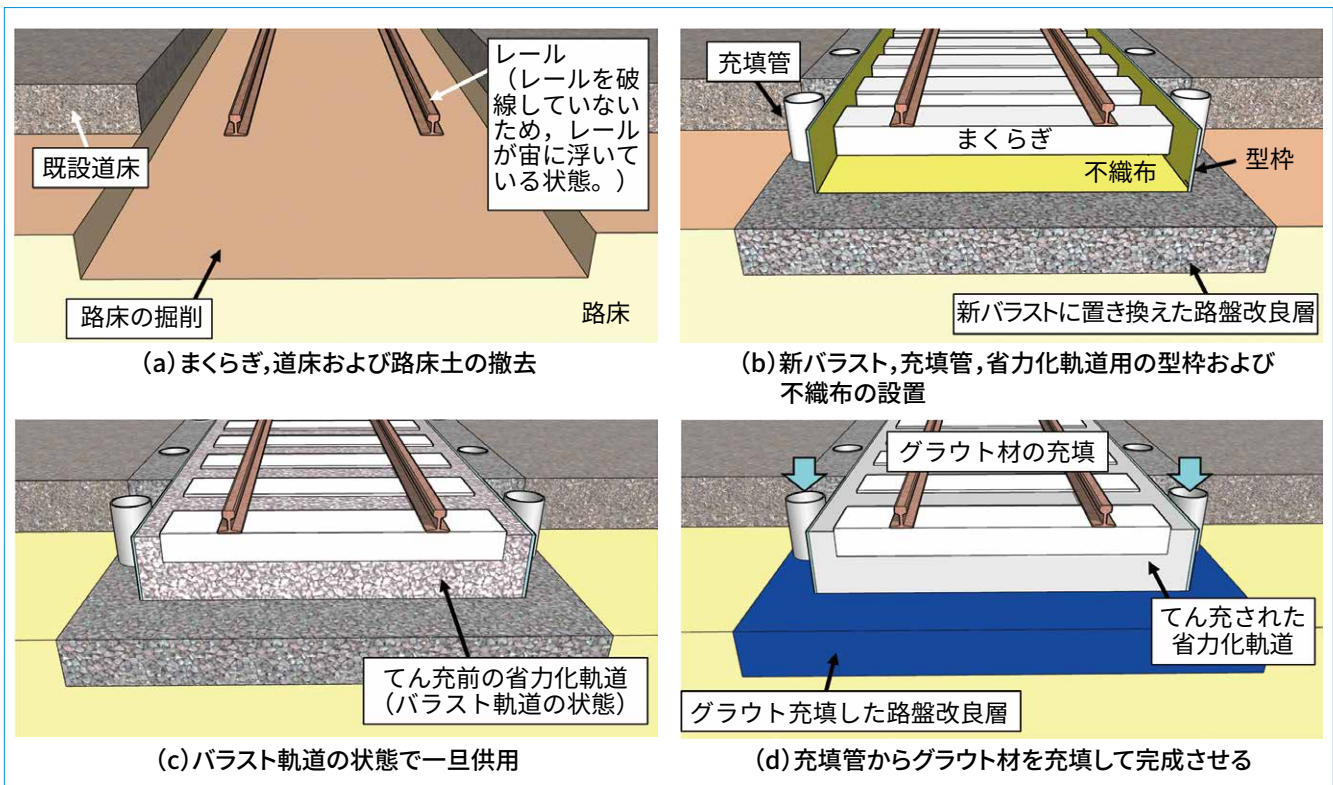


図2 グラウト充填路盤改良工法(あと充填方式)の施工イメージ

をいったん撤去して再敷設しています。

これまでの敷設や補修などの経験から省力化軌道を新たに敷設する場合には排水設備の設置に関する調査が必須とされており、排水不良による省力化軌道の損傷が少なくなったとの報告があります<sup>2)</sup>。また、既往の研究<sup>3)</sup>によると、省力化軌道の損傷は、「地盤反力係数 $K_{30}$ 値」(参照<sup>4)</sup>)が $30\text{MN}/\text{m}^3$ 程度と軟らかい路床上に敷設された箇所が多く生じているとの報告があります。本来、このような箇所では路盤改良により路盤の剛性を向上する必要がありますが、営業線では施工が困難でした。その理由の一つとして、省力化軌道の施工は、夜間の作業間合い(終電から始発の間)で行うことから、従来の締固めを必要とする路盤置換工法やセメント安定処理工法では、コストに見合った施工延長を確保することが困難であったことがあげられます。

そこで、省力化軌道を軟弱路盤上に

施工する場合を対象として、省力化軌道の施工と同時に路盤改良を行うことができる、「グラウト充填路盤改良工法(あと充填方式)」を開発しましたので、以下に紹介します。

### グラウト充填路盤改良工法(あと充填方式)の概要

グラウト充填路盤改良工法(あと充填方式)の特徴は、列車を通しながら施工を数日に分けることで短い作業間合いでも路盤改良層を敷設することができます。本工法の敷設手順を以下に示します。

**手順1**：まくらぎおよび道床を撤去し、路盤改良の範囲の路床土を掘削します(図2(a))。なお、この際、レールはそのままの状態で行います。

**手順2**：掘削した路床土の代わりに、新バラストを敷き詰め、タンピングランマとよばれる機械を用いて念入りに締固めを行います。新バラストに置き

換えた路盤改良層上に、省力化軌道用の型枠および不織布を設置してまくらぎをレールに締結します。その際に、後日、路盤部にグラウト材を充填するための充填管を型枠の外側に設置します(図2(b))。

**手順3**：道床部に新バラストを投入して、いったんバラスト軌道の状態(てん充前の省力化軌道)で列車を走行させます(図2(c))。

**手順4**：後日、充填管よりグラウト材を充填して路盤改良層を完成させます。路盤改良層の充填後に、てん充道床部の充填を行います(図2(d))。なお、充填管は路盤改良層の充填後に撤去します。

#### ④ 地盤反力係数 $K_{30}$ 値

地盤剛性を評価する指標の一つです。直径30cmの載荷板に対して荷重を与え、載荷板が1.25mm沈下した時の荷重を1.25mmで除した値です。

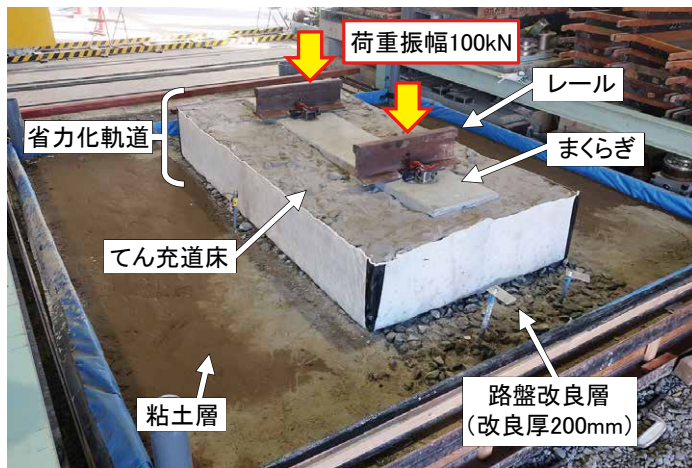


図3 実物大軌道模型



図4 载荷試験の状況 (総合路盤試験装置)

本工法に用いるグラウト材は、セメント系の2液式です。本工法では充填管からグラウト材を自然流下により路盤部に充填するため、グラウト材が十分にバラスト内に浸透するようにゲルタイム（グラウト材が固まる時間）は5分程度としました。

### 路盤改良厚さの設計方法

開発した工法を適用するにあたり路盤改良厚さを決めなければならないので、その設計方法を提案しました。提案した方法は、シミュレーションにより路床に作用する鉛直応力を推定し、現地路床土を用いた試験を実施して沈下量を推定します。推定した沈下量が所定の沈下量に収まるように路盤改良厚さを設定する方法です。

実物大軌道模型を用いた载荷試験を実施して提案した設計方法の妥当性を検証しました。

実物大軌道模型（図3）は、軟らかい路床上に、改良厚200mmのグラウト充填路盤改良工法（あと充填方式）を適用した省力化軌道のまくらぎ1本分の条件を想定しました。図4に载荷試験の状況を示します。試験で用いた载荷装置（総合路盤試験装置）は、列車相当の荷重を連続的に実物大軌道模型

に与えることができます。

一方、地中内の状態を模擬して繰返し载荷が行える装置（繰返し三軸試験装置）を用いて、実物大軌道模型の粘土層に用いた粘性土のひずみを評価しました。载荷荷重は、実物大载荷試験のシミュレーション（図5）より路盤改良層直下の粘土層表面に生じる鉛直応力を求め、その鉛直応力と同程度となるように設定しました（図6）。試験の結果から得られる载荷回数と鉛直ひずみの関係より、繰返し载荷によって生じる最大ひずみの増加傾向を算定するための推定式を求めます。この推定式に実物大軌道模型の粘土層厚を乗じて沈下量を算出します。

その結果、図7に示すように実物大载荷試験と推定式はおおむね同程度の変位となり、考案した沈下量の推定方法が妥当であることを確認しました。これにより、路盤改良層の厚さに応じたシミュレーションおよび現地路床土のひずみの推定式により、所定の沈下量に収まる路盤改良厚を決定することができます。

### 試験施工による施工性の確認

開発した本工法の効果と施工性を確認するため、営業線において試験施工

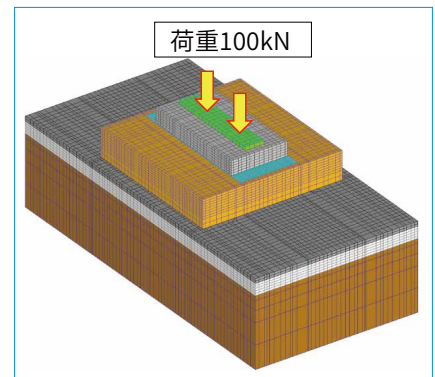


図5 実物大载荷試験のシミュレーションのモデル

を行いました。なお、本施工では、すでに敷設されている省力化軌道を撤去してから、新しく敷設する省力化軌道と同時に路盤改良層を敷設しました。

事前の路床土の調査結果を基に沈下量を算出し、省力化軌道を敷設してから20年間は補修を必要としない健全な状態を維持できるように、路盤改良の厚さを350mmに決定しました。

施工状況を図8に示します。作業間合いは0時30分～4時30分の4時間で、路盤材の置換え作業は一晩あたりの施工延長を4.65mとしました（計4日間、試験施工の総延長は18.6m）。一方、グラウト充填作業は一晩あたりの施工延長を9.3mとしました（計2日間）。路盤材の置換え作業では、バラ

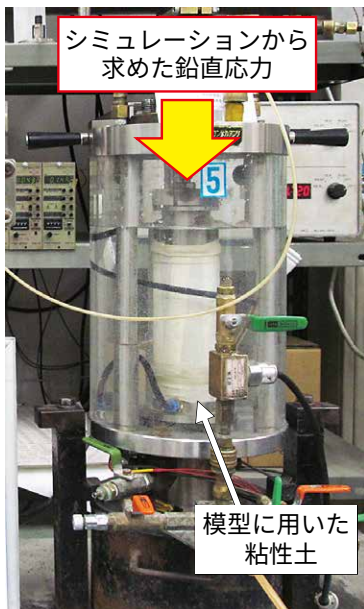


図6 粘性土の試験状況

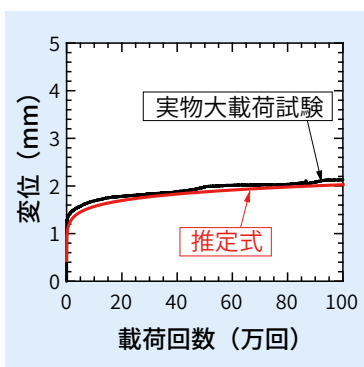


図7 実物大载荷試験と推定式の比較



図8 試験施工の状況

スト軌道の状態における路盤部の沈下を極力小さくするため、改良範囲に敷き詰めた新バラストを路盤改良厚の1/2 (175mm) ごとにタンピングランマで念入りに締め固めました。

グラウト充填作業では、施工延長9.3mに対する充填時間は、充填装置1セット(充填性能は、約400L/min)で、1時間程度でした。

本試験施工により、限られた間合いの中で段階的に列車を通過させながら省力化軌道と同時に路盤改良層を敷設できることを確認しました。

### おわりに

ここでは既設線省力化軌道用の路盤改良工法を紹介しました。路盤改良を適用することで、省力化軌道の沈下抑制に貢献できるとともに、列車荷重用時のてん充道床に生じる変形を抑制

できるため、てん充道床の疲労寿命の延伸が期待できます。また、本工法は夜間に貨物列車などの通過で十分な作業時間が確保できないバラスト軌道にも適用することができます。**RRR**

### 文献

- 1) 北条重幸：第二期TC型省力化軌道工事の取組み，新線路，Vol.57，No.7，pp.8-11，2003
- 2) 萩尾泰弘，久保村公一，関口晃弘：TC型省力化軌道における排水不良箇所対策の実施について，第63回土木学会年次学術講演会講演概要集，ROMBUNNO.4-016，pp.31-32，2008
- 3) Akitoshi OMODAKA, Takao KUMAKURA, Toshiyuki KONISHI : Influence of road condition and soil consistency on track irregularity advance, Railway Engineering, 2017