

新幹線道床交換時の施工方法の改良と徐行速度向上に向けた研究

東日本旅客鉄道株式会社 JR 東日本研究開発センター 正会員 ○石見 涼
 東日本旅客鉄道株式会社 JR 東日本研究開発センター 小松 伸也
 東日本旅客鉄道株式会社 JR 東日本研究開発センター 正会員 稲本 耕介

1. 目的

JR 東日本では、新幹線軌道の道床交換作業後は、初期沈下による列車動揺の発生防止を目的に、翌日の営業車の運転速度を徐行し、徐行速度を 160km/h 以下に設定している。

JR 東日本の新幹線軌道のほとんどは、スラブ軌道や直結軌道であり、道床区間は駅構内や断層横断箇所など限定的で本線延長の約 7%程度ではあるものの、更なる高速化や大規模補修などのニーズの高まりから、徐行速度向上による総遅延時分の削減や作業箇所制限の緩和の検討が求められている。そこで、道床交換時に施工後の道床安定化を行うことで、翌日の徐行速度向上を目的に取り組むこととした¹⁾。

2. 研究内容

施工後の道床安定化を行うために、沈下量という定量的評価に基づいて、従来施工方法をより沈下しにくい施工方法へと改良する。その上で、加振機能付き小型 MTT（以下、UNIMA）による加振の効果を検証した。また、速度向上の可否を検討するため、道床交換直後のマクラギ直下の道床密度をモデル化し列車通過による沈下量の推移を推定した。

2-1. 道床安定化に向けた改良施工方法の検討

現在、道床掘削機やバックホーによる道床交換作業時には、4 頭タイタンパー(以下、4 頭 TT)によるつき固め作業を行った後に、ランマーによる締め固めを行って沈下を促進させることで道床安定化を行っている。施工方法の改良を検討するため、現行工程の中で改善効果が期待できる手順について、改良施工方法を検討した。

改良検討Ⅰ：砕石取卸しの積層化(図-1 手順②)

従来、1 層で砕石取卸しを実施していたものを 2 回に分けて投入し、1 層目で十分に転圧することで下層の締め固め度を向上する。

改良検討Ⅱ：道床深層領域へのつき固め強化(図-1 手順③)

ツール長を 100mm だけ伸ばし、下層の締め固め度を向上する。

改良検討Ⅲ：道床締め固め範囲の変更(図-1 手順④)

左右レールの内側(以下、軌間内)の締め固めを追加することで、道床全面の安定化を促進する。

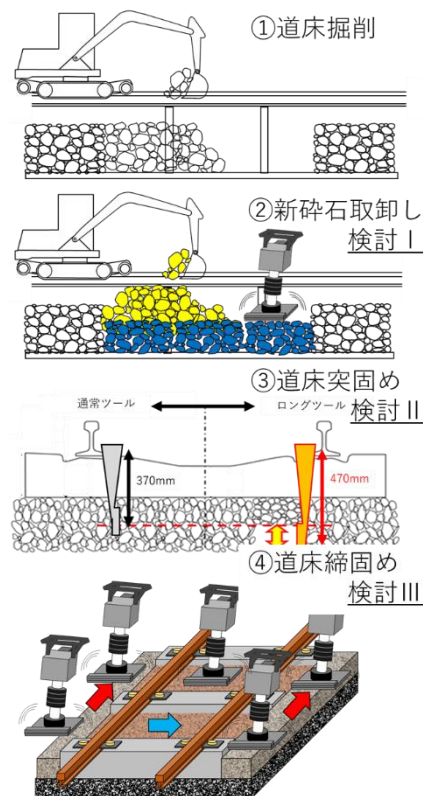


図-1 施工手順と改良検討

2-2. シミュレーションによる沈下進み解析

本研究では公益財団法人鉄道総合技術研究所が保有する個別要素法による離散体シミュレーション「DEMCS-track」²⁾を用いて、速度向上の可否を検討した。締め固め度に応じた道床密度と列車荷重の時間変化の実測値を変数として、列車通過によって変化していく軌道沈下量を推定した。締め固めにおける密度は、十分締め固められた状態における道床バラスト層の道床密度は 1.67g/cm³とされており、モデル A（道床密度 1.67 g/cm³）を基本モデルとし、改良施工方法の道床密度を再現するモデルを作成するためにモデル B（1.60 g/cm³）とモデル C（1.50 g/cm³）の 2 パターンを追加し、計 3 パターンで列車走行時の沈下量推移を算出した。

キーワード 道床交換, 道床安定化, 加振, DEMCS-track, UNIMA

連絡先 〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町 2-479 JR 東日本(株) JR 東日本研究開発センター TEL048-651-2389

3. 研究結果

3-1. 改良施工方法の沈下量改善率

上記3工法の効果を定量的に評価するため、マクラギ端部に沈下量を0.1mm精度で測定できる、接触式の変位計をまくらぎ8本毎に7箇所設置した。施工後終日の最終沈下量の平均値を改善率として評価する。

表-1は各検討項目別に現行施工方法と改良施工方法の沈下量の差を改善率として示している。現行工程の中で3つの手順に対して改良を検討したが、施工性と改善率の結果を踏まえ、2つの改良手順の組合せである「ロングツール使用、かつ、道床全面の締め固め」を改良施工方法として提案する。この方法により施工翌日沈下量は従来施工方法に比べ、施工後終日の最終沈下量は約49%も改善する。その上で、UNIMAによる加振を実施すると約70%まで改善することが分かった。

3-2. 走行速度に応じた沈下量の推定(シミュレーション)

道床密度の各モデルと実測値の沈下量比較することで、改良施工方法に相当するモデルがいずれに該当するのか確認を行った(図-2)。「改良施工方法+UNIMA加振」は、シミュレーション上の十分に締め固まった状態(モデルA)と同等の沈下量であり、「改良施工方法」ではモデルBとの相関がみられた。

次に、各モデル上で速度向上した徐行速度(210km/h)相当の列車荷重を入力し、施工後終日の最終沈下量を所定の徐行速度(160km/h)と比較した(図-3)。「改良施工方法」相当のモデルBであっても40本の列車通過があっても最終沈下量は0.2mm程であり、速度の影響があまりないことがわかった。

3-3. 徐行速度210km/h時の試験施工

シミュレーション結果を踏まえ、所定の徐行速度(160km/h)と速度向上した徐行速度(210km/h)の2つの速度設定において試験施工を実施した。結果、徐行速度向上前後の比較で沈下量の差は0.3mm程度であり(図-4)、施工品質に大きな影響を与えるような値ではないことを確認した。

4. まとめ

本研究では、施工方法の現改比較において、2つの改良手順の組合せである「ロングツール使用、かつ、道床全面の締め固め」を改良施工方法として提案することで、沈下量を約49%も抑制することができた。その上で、加振を実施することで約70%も改善することができていることが分かった(表-1)。また、道床バラスト層の密度を条件にした解析モデルを作成し、シミュレーション上で各モデルの沈下量の徐行速度依存性を確認した。徐行速度を速くしても、改良施工方法においては沈下量の影響が0.2mm程度であることがわかった(図-3)。最後に、徐行速度210km/h徐行速度を早めた試験施工においても問題が無いことを確認した(図-4)。

表-1 改良検討項目別の沈下量改善率

	現行	改良	改善率
検討Ⅰ	1層施工	2層施工	5.4%
検討Ⅱ	軌間外のみ	全面締め固め	24.8%
検討Ⅲ	通常ツール	ロングツール	41.5%
	通常ツール 軌間外締め固め	ロングツール 全面締め固め	49.1%
		+UNIMA加振	70.0%

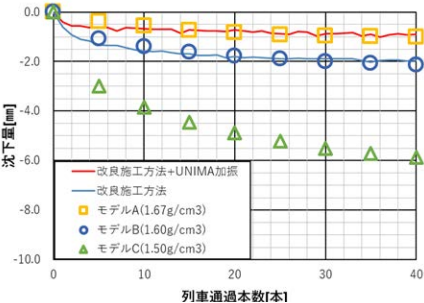


図-2 沈下量比較によるモデル選定

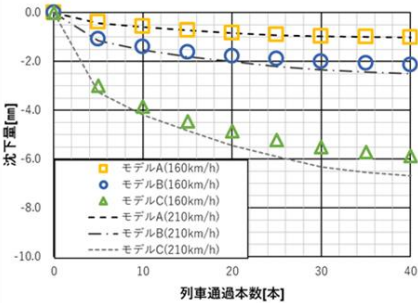


図-3 モデルの速度依存性

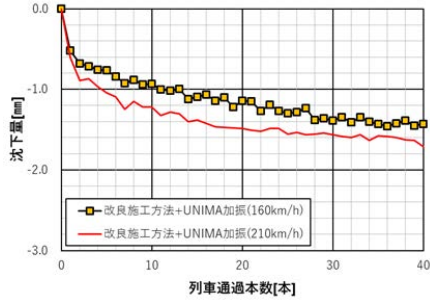


図-4 速度向上前後の沈下量推移

参考文献

1) 石見涼, 小松伸也, 稲本耕介: 新幹線軌道における道床交換作業の改良と徐行速度の考察, インフラメンテナンス実践研究論文 第2巻, 第1号, pp31-35, 2023
2) 河野昭子, 松島亘志: 離散体モデルを用いた道床バラスト層の変形挙動解析, 鉄道総研報告, 第28巻, 第12号, pp.41-46, 2014