

道床バラスト部の凍上に影響を及ぼす細粒分含有量

The effect of fines content in the ballast frost heave

東日本旅客鉄道株式会社 ○正 員 相原宏任 (Hiroataka Aihara)
 北海道旅客鉄道株式会社 正 員 網嶋和彦 (Kazuhiko Tsunashima)
 北海道大学大学院工学研究科 正 員 原口征人 (Masato Haraguchi)
 北海道大学大学院工学研究科 正 員 赤川 敏 (Satoshi Akagawa)

1. はじめに

鉄道線の凍上現象は、路盤が凍結し路盤表面が隆起することにより、レール、マクラギおよび道床バラストで構成された「バラスト軌道」を持ち上げることと考えられている。凍上による鉄道線の被害は、ほとんどが北海道で発生し、本州ではまれに青森県・岩手県・長野県などで認められている。補修方法は、レールとマクラギの間に「はさみ木」と呼ばれる薄い木板を挿入することで軌道面を修正し列車走行の安全性を確保している¹⁾。

しかし、これは暫定的な対策に過ぎず、日々の軌道状態の変化を把握し対応する必要があるため、冬期間の線路の保守管理に多大な労力と時間を費やしている。

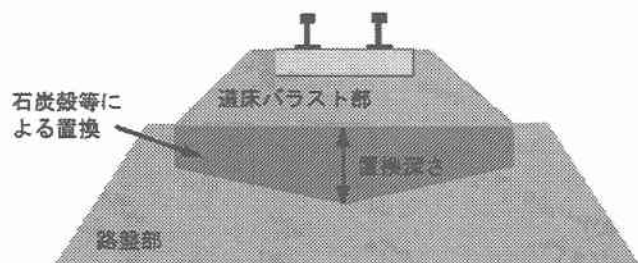
2. 研究の背景と目的

2.1 従来の対策

昭和14年に設置された凍上対策研究委員会の成果に基づき、恒久的な対策として、旧国鉄札幌鉄道管理局が昭和26年7月に凍上防止工法標準、路盤入替作業標準を制定している²⁾。主な対策工法を下記に示す。

- ①路盤置換工法：路盤内の凍上性を持つ路盤材料を非凍上性の材料で置換える工法（図1）
- ②断熱工法：路盤内に断熱材を埋設し、外気が路盤内に侵入することを防ぎ、保温する工法
- ③排水工法：路盤内の水を排水し、凍上を助長する水分を除く工法

北海道内の線路にはこれらの対策が路盤部へ実施され、昭和35年には主要線区に対し、「路盤入替第一次計画」が策定され、強力に推進された⁴⁾。しかし、いまだに毎年、凍上害が発生しているのが現状であり、道床バラスト部で凍上が発生している可能性が危惧される。

図1 路盤入替工法施工標準断面図³⁾

2.2 細粒分を含む道床バラスト部の凍上性

宗谷本線および旧室蘭本線で我々が実施した軌道断面の層別変位に関する現地計測や細粒分のみで作成された

供試体による凍上試験から、「道床バラスト部が数%の細粒分を持つ場合、有害な凍上を起こす可能性がある」ことを定性的に把握している。

そこで本研究では、細粒分を含む道床バラスト部の凍上発生の境界条件を定量的に把握する。これにより、線路の凍上対策を冬期の暫定的な管理から、凍上発生箇所を事前に予測し凍上害を減少させる予防的な対策に転換する、管理指標を提言することを目的とする。

実際に使用されている営業線において、道床バラスト部の経年劣化が著しく、細粒分が多く混在しているバラスト軌道(主に在来線)における凍上現象を対象とする。

3. 細粒分含有量調査

路盤部への対策は既に行われており、凍上しないと考えられている。そこで、道床バラスト部のどの深度において凍上が発生しているのかを把握するために、深度10cmごとに採取した試料の粒度試験を実施した。

図2に示すように層別深度が深いほど、粒径0.075mm以下の細粒分の割合が高くなっている。特に路盤部と道床バラスト部の境界付近となるマクラギ下面20~30cmで採取した試料では、細粒分が通過質量百分率で7%という値を示した。また、バラスト表層部では、細粒分がほとんど見られない。

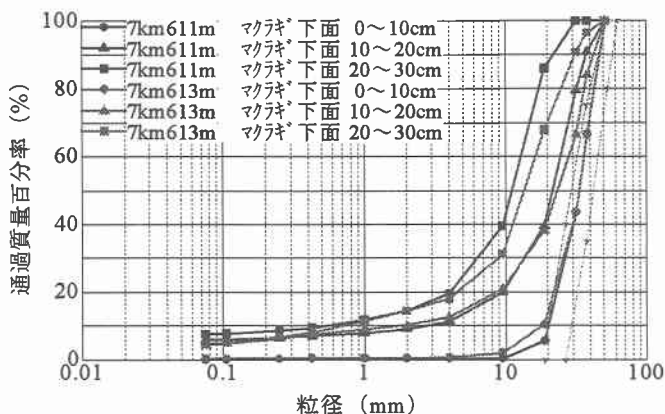


図2 深度別粒径加積曲線

4. 細粒分を含む道床バラスト部の凍上性評価

深度別粒度試験の結果に基づき、細粒分が最も多く凍上発生の危険性が高いと考えられる路盤部と道床バラスト部の境界付近で発生する凍上を想定した。

4.1 実験概要

実験条件は表1のように設定した。

(1) 上載圧

路盤部と道床部の境界面よりも上部に位置し、軌道を構成する材料である a) レール、b) マクラギ、c) 砕石による土被り荷重（死荷重）とした。また経年による列車繰返荷重を考慮し、荷重として付加することとした。

(2) 凍結面進行速度

平成 12 年度冬期に岩手県内の田沢湖線で発生した凍上害における積算寒度に基づき、進行速度を 0.04cm/hr と算定した。しかし、凍上実験を行う低温室の温度変化の影響を避けるために 2.5 倍の 0.10cm/hr と設定した。

表 1 実験条件

上載圧	12.5kPa
供試体寸法	h = 60.0mm φ = 60.0mm
初期温度（上端）：Tw	0℃
初期温度（下端）：Tc	+3℃
温度勾配	0.5℃/cm
凍結面進行速度	0.1cm/hr
実験継続時間	80hr

4.2 供試体の細粒分混合割合と作成方法

供試体に用いる細粒分と砂分の重量比による混合割合を表 2 に示すように変化させ、細粒分を含む道床バラスト部の凍上発生境界条件を確認する。

一般には、0.05～0.1mm の粒径を含む土から凍上が起り始め、以下粒径が小さくなるにつれ凍上性が高くなるといわれていることから、「0.250mm ふり通過－0.105mm ふり残留」の試料に対して凍上性の検証（Case－5）を行った。今回の実験条件においては、砂分のみの供試体に凍上性がないことを確認した。

その後、粒径 0.075mm 以下の細粒分と粒径 1.0～2.0mm の凍上性のない砂分を用い、重量比による混合割合を変化させた実験（Case－0～4）を行った。また、ここで粒径 1.0～2.0mm の砂を使用することにより、バラスト間の空隙を再現させた。

細粒分と砂分が均質な分布となるよう事前に攪拌させ、アクリルセル内に入れた試料を木づちでアクリルセルを打撃することにより、砂の最大密度を確保した。その後、下部ペデスタルから吸水させることとした。

表 2 供試体の細粒分混合割合（重量比）

No	細粒分 (≤0.075mm)	砂分 (1.0～2.0mm)
Case-0	100%	0%
Case-1	50%	50%
Case-2	20%	80%
Case-3	10%	90%
Case-4	5%	95%
Case-5	0%	100%

5. 凍上実験の結果

Case－2（図 3 参照）では、供試体高さ 58.0mm、凍上量が 8.33mm となり、凍上率 15.22% となった。下ペデスタル温度（Tw）が、0℃近傍で 2 段階の凍上となった。こ

のため、凍結している供試体を高さ 12mm ごとに切断し、粒度試験を実施した結果、供試体下部に細粒分が約 3%程、多く混在していることを確認できた。従って、実験終了直前に細粒分を多く含む砂部分での凍上が顕著に現われたといえる。

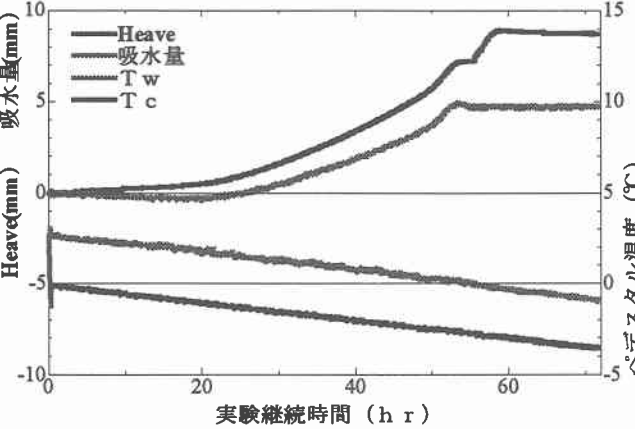


図 3 Case-2 実験結果

6. 試験結果の考察

細粒分混合割合と凍上率の関係を図 4 に示す。細粒分混合率を 10%以下に抑えた場合、凍上率も 10%に満たないことを確認した。さらに細粒分混合率 5%では、凍上率約 4%となった。従って、道床バラスト厚さが 200mm の軌道構造の場合、凍上量と軌道面上昇量がほぼ同等となる局所的な凍上であっても、軌道施設実施基準の整備基準値（高低変位 15mm）内となり、列車走行に問題が生じないと考えられる。

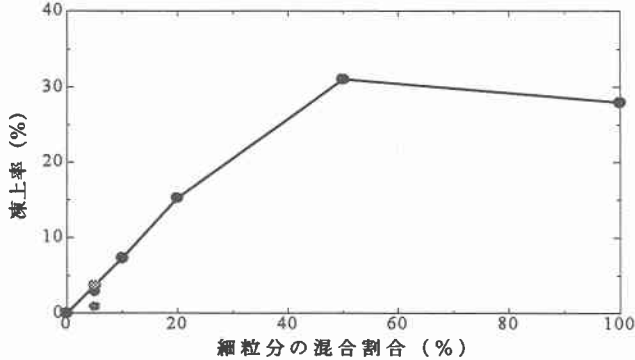


図 4 細粒分混合割合と凍上率の関係

7. おわりに

本研究では、使用されている営業線の凍上発生予測を細粒分混在割合に基づき、定量評価を行った。道床バラスト部の細粒分混合率を 5%以下とすることで列車走行に影響を及ぼす凍上害を抑制できると考える。

参考文献

- 1) 土質工学会編：土の凍結－その理論と実際－、pp. 4－11、203－216、1994.
- 2) 北海道保線史編集委員会：北海道保線のあゆみ、pp. 362－375、1972.
- 3) 旭川鉄道管理局：鉄道の研究の結果得られた事項、業務資料（凍上）、pp. 3－21、452－478、1951.
- 4) 黒羽仁：路盤入替工事の促進、新線路 第 14 巻 2 号、pp. 4－7、1960.