

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 (Hirotaka Aihara)
 北海道旅客鉄道株式会社 正 員 綱嶋和彦 (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

平成 12 年度冬期、盛岡－秋田間を結ぶ重要線区である岩手県内の田沢湖線において、有害な凍上害が発生し列車徐行を強いられた。鉄道線路の凍上現象は、路盤が凍結し隆起することによってバラスト軌道が持ち上がることを考えられている。

2. 研究の背景と目的

細粒分のみで作成された供試体による我々の予備実験から「道床バラストが数%の細粒分を持つ場合、有害な凍上を起こす可能性がある」と推測されている。

本報文では細粒分を含む道床バラストが凍上発生する細粒分含有条件を明らかにし道床バラスト部の凍上性を評価することを目的とした。実際に使用されている営業線で、道床バラスト部の経年劣化が進み細粒分が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

道床バラスト部のどの深度において凍上する可能性が高いかを実態把握するため、深度 10cm ごとに採取した現地試料の粒度試験を実施した。

図 1 に示すように深度の深い層（■印）ほど、粒径 0.075mm 以下の細粒分の割合が高くなっている。例えば路盤部と道床バラスト部の境界面付近となるマクラギ下面 20～30cm で採取した試料では、細粒分の通過質量百分率が 7 % と多い。ただし、バラスト表層部（●印）では細粒分がほとんど見られない。

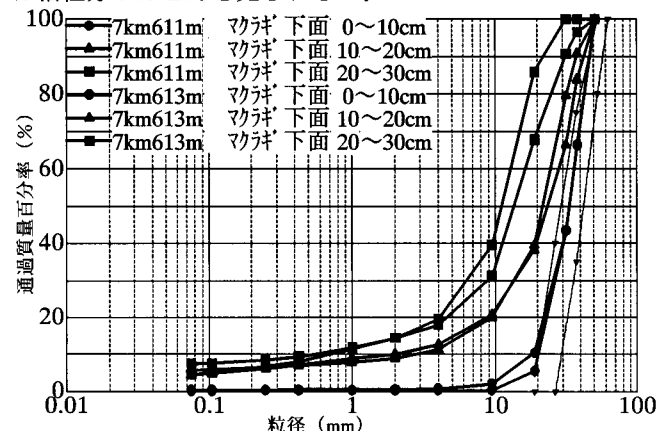


図 1 深度別粒径加積曲線

キーワード：凍上、道床バラスト、細粒分

連絡先：〒331-8513 さいたま市日進町 2 丁目 0 番地

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、実験条件の設定を行った。

4.1 実験概要

(1) 上載圧

上載圧は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) 砕石の荷重から算出した。また、経年による列車繰返荷重を踏まえ、上載圧として付加することとした。凍上による危険度の高い検討を行うため、最も凍上しやすい水飽和試料を用いている。

(2) 凍結面進行速度

平成 12 年度冬期の岩手県雫石で観測された積算寒度に基づき、凍結面進行速度を 0.04cm/hr と算定した。しかし低温実験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

拘束条件	
上載圧： σ_1	12.5kPa
間隙水圧： P_w	0kPa（大気圧）
供試体寸法	$h = 60.0\text{mm}$ $\phi = 60.0\text{mm}$
温度条件	
初期温度（上端）： T_c	0℃
初期温度（下端）： T_w	+3℃
温度勾配	0.5℃/cm
凍結面進行速度	0.10cm/hr
実験継続時間	80hr

4.2 供試体の細粒分混合割合

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の細粒分含有条件を確認する。

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¹⁾ことから、粒径 0.105mm～0.250mm 試料に対して凍上性の検証（Case-6）を行った。今回の実験条件においては、砂分のみ供試体に凍上性がないことを確認した。

TEL 048-651-2389

FAX 048-651-2289

本実験では粒径 0.075mm 以下の細粒分と粒径 1.0～2.0mm の凍上性のない集中粒径の砂を用い、重量比による混合割合を変化させた実験（Case-0～5）を行った。ここで粒径 1.0～2.0mm の砂を使用することにより、バラスト粒子自体が構成する空隙を再現させることとした。

表2 供試体の細粒分混合割合（重量比）

No	細粒分 ($\leq 0.075\text{mm}$)	砂分 (1.0～2.0mm)
Case-0	100%	0%
Case-1	50%	50%
Case-2	20%	80%
Case-3	10%	90%
Case-4	7%	93%
Case-5	5%	95%
Case-6	0%	100%

4.3 $\phi 6\text{cm}$ セル凍上実験の結果

Case-2（図2参照）では供試体高さ 58.0mm、実験後の凍上量が 8.33mm となり、凍上率は 15.2% となった。下部ペDESTAL温度 (T_w) が 0℃ 付近では2段階の凍上曲線を示した。そこで凍結している供試体を高さ 12mm ごとに岩石カッターで切断し粒度試験を実施した。供試体下部に細粒分が約 3%ほど多く混在していることを確認できた。実験終了直前に、細粒分を多く含む供試体下部の砂部分で凍上が顕著に現われたといえる。

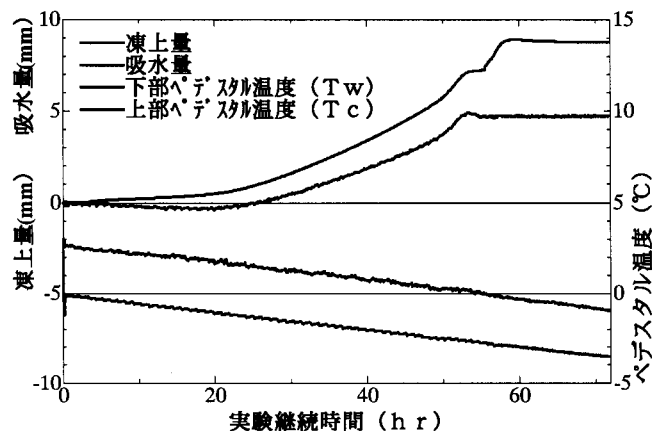


図2 Case-2 実験結果

4.4 実験結果

表2の実験結果を図3に示す。細粒分混合割合が50%と高いときは、凍上率31%となり、細粒分混合割合を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。このことから細粒分混合割合と凍上率に相関があることがわかる。

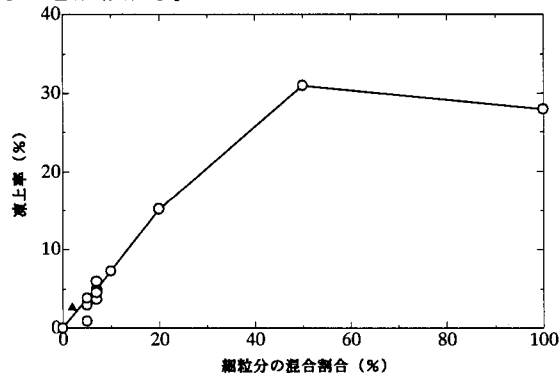


図3 細粒分混合割合と凍上率の関係

5. $\phi 20\text{cm}$ セルによる実物大凍上試験

実軌道マクラギ直下における現象を再現するため、実寸法のバラストを用いた。供試体高さは3級線軌道構造の道床厚さを準用し 200mm とした。

5.1 実験概要

実験条件を表3に示す。

表3 実験条件

拘束条件	
上載圧: σ_1	8.0kPa
間隙水圧: P_w	0kPa (大気圧)
供試体寸法	$h = 220.0\text{mm}$ $\phi = 200.0\text{mm}$
温度条件	
初期温度 (上端): T_c	0℃
初期温度 (下端): T_w	+11℃
温度勾配	0.5℃/cm
凍結面進行速度	0.10cm/hr
実験継続時間	260hr

(1) 実験装置

$\phi 6\text{cm}$ 試験装置と同様に上下ペDESTALで温度制御が可能である。下部ペDESTALはアクリルセル内の圧縮空気によって中空で保持している。

(2) 上載圧

下部ペDESTALを中空で保持するため、空気圧をペDESTAL下部から上部方向へかけた。空気圧は供試体作成に用いた試料と吸水した水の全重量をアクリルセルの断面積で除し、4.86kPa と算出した。また、実験中に下部ペDESTALが落下しないよう安全率を踏まえ 8.0kPa と設定した。

(3) 凍結面進行速度

凍結面進行速度は $\phi 6\text{cm}$ と同様に 0.10cm/hr と設定し、 $\phi 6\text{cm}$ と $\phi 20\text{cm}$ セルで凍上率が合致するかを検証した。

5.2 実験結果

凍上量は 2.6mm となり、凍上率は 1.2% であった。現地採取試料の細粒分通過質量百分率は 2% であるので、実寸碎石による $\phi 20\text{cm}$ 試験結果も図3の関係 (▲印) が成り立つ。このことから直径 6cm セルを用いた凍上試験を行うことで現地の凍上性を予測できると考えられる。

6. おわりに

今回は営業線の凍上発生予測を行うため、集中粒径の砂に混合させる細粒分量を重量比で変化させた供試体による実験から確認を行った。

細粒分混合割合と凍上率の関係から細粒分混合割合を 5% にすると凍上率は 4% になることが確認できた。

道床バラストにおける凍上発生箇所の予測を行うには現地採取試料に対して粒度試験を行い、得られた細粒分含有割合から予測凍上量を算出し危険度を評価できる。

しかしながら細粒分の種類によっては凍上性が異なる場合があるので厳密には細粒分の凍上性評価を行うことが推奨される。

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, 1994.