

凍上防止対策に関する研究

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○伊東 謙悟
東日本旅客鉄道株式会社 笹出 裕之

1. 目的

JR線で最も標高が高い野辺山(標高:1375m)周辺を走行する小海線の冬は例年、凍上現象による軌道変位の対応に追われる。平成 22~24 年度は、1 月中旬には凍上の兆候が顕著に出始める凍結指数 $200^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ に達し、2 月上旬には $300^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ を超えた。この厳しい環境条件下で凍上が確認された箇所は、野辺山~信濃川上間を中心に管内のほぼ全域に及び、各箇所現場調査や経過監視、凍上作業、徐行措置の手配に追われた。本研究では、凍上発生に至った原因を箇所別に探り、現地条件に合った凍上防止・抑制対策を講じることを目的とした。

2. 凍上現象について

凍上とは、地盤中にアイスレンズ(氷晶)が発生し、それが成長することによって地盤が隆起する現象で、不均一に発生するため凍上による持ち上がり量の相違により地盤に不陸が生じ、軌道変位の原因となる。凍上現象は、土(地盤の土質が凍上しやすい性状であること)、温度(土中の温度低下と温度勾配が凍上の発達に適した範囲にあること)、水(道床下へ水の供給があること)の3つの要素が同時に満たされたときに発生することが知られている。

3. 凍上の発生状況

野辺山における年度毎の凍結指数を図-1 に示す。凍上の発生状況は、平成 17 年度が 48 地点、平成 22 年度が 39 地点、平成 23 年度が 31 地点、平成 24 年度が 18 地点と多く凍上が発生した。また、平成 20~21 年度は 6 地点未満と少なかった。凍上が多く発生した年度は、凍結指数が最終的に約 $500^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ まで達しており、小海線沿線の環境においては凍結指数が $300^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ を大きく超えるとき、凍上現象が多発しているということがグラフからわかる。

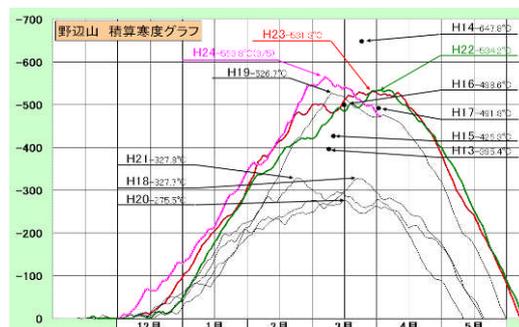


図-1 凍結指数(野辺山温度計)

4. これまでの凍上現象発生時の対応手法

小海線では凍上の把握に的を絞った週1回の列車巡視、乗務員からの情報に加え、車両動揺測定装置(レールナビ)を活用した列車動揺測定で凍上箇所を早期に把握し、必要に応じてはさみ木の挿入による高低調整を実施、やむを得ないと判断した場合は徐行措置をとるなどしている。一方で、道床交換や MTT による大量こう上、路盤への雨水や雪解け水の浸入を防ぐためのシート敷設、マクラギの重量化等を施工してきたが、効果を発揮するには至らなかった。

5. 今回実施した凍上対策

凍上は、先に示した3つの要素のうちの一つを取り除くことで抑制(緩和)が期待できる。このうち、平成 23 年度は土(凍上性の低い土)に入換る工法で、従来から凍上対策として用いられている)、温度(断熱材を地表面付近に敷設することで、寒気を土中に伝えない工法)の2つの要素について対策を実施し、効果を確認することとした。また、平成 24 年度は、平成 23 年度に実施した2つの要素についての対策に加え、水(湧水等の処理)についての対策も実施していくこととした。

(1)凍上対策(路盤土入換え)

跨線橋の新設によって常時日陰となり、かつ周辺の地山が乱された状態となったことで水が溜まりやすい路盤となった。これが原因で凍上が発生した箇所について対策を検討した。当該箇所は水の供給が極めて豊富で凍上量(軌道変位)が大きいこと、凍上の発生範囲が 20m 程度と限定的であることから、抜本的対策を施すことが望ましいと考え、路盤土の入換を選定した。入換え深さは、当該地点における凍結深度や軌道変位量等を考慮して 30cm とした。

施工後の定点観測結果では、路盤土の入換範囲では凍上は発生せず確実な効果を得ることができたが、入換範囲の前後では 10mm 程度の凍上が確認されたため、結果として高低変位は生じることとなった。しかし、はさみ木の挿入等による高低の調整もなく、徐行措置を講じるには至らなかったため一定の効果が得られた。

キーワード 凍上防止対策、凍結指数、断熱材敷設

連絡先 〒380-0927 長野県長野市栗田源田窪 992-6 東日本旅客鉄道株式会社 長野支社 設備部 保線課 TEL026-224-5318

(2)凍上対策(断熱工法)

地中からの水の供給はもとより、路盤面が適切な排水勾配となっておらず(図-2)、地表面からの水の供給がある箇所でも凍上は発生している。これにより連続的に数百 m に亘って凍上する区間がある野辺山周辺では、凍結深度が深いことから工費が高む入換工法は選択しにくい。断熱工法を選定した。この工法は、熱伝導率の低い材料を道床上に敷設することで土中の水分の凍結を防ぐもので、断熱材として気泡緩衝材を採用した(図-3)(写真-1)。当該箇所は土被りの薄いボックスカルバート上に位置し、凍上が発生しやすい環境にある。平成 22 年度までは路盤への雨水等の浸入を防ぐ目的でシートのみを敷設しており 20mm 程度の高低変位が生じていたが、新たに気泡緩衝材を加えたことで高低変位は 12mm に抑えることができた。気温等、条件の相違があるため以前との単純比較はできないが、一定の効果を得ることができた。

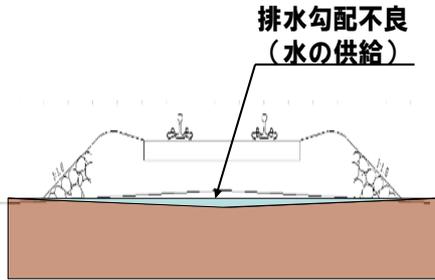


図-2 現状道床断面図

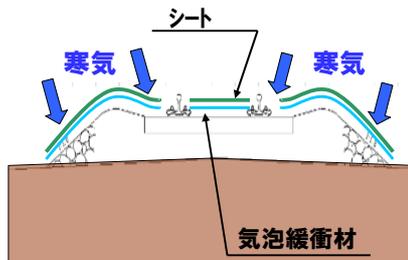


図-3 断熱工法断面図



写真-1 断熱工法

6. 遮水工法の検討

凍上対策を行うに際しては土質条件の把握が重要で、土の粒度による凍上性の高さの違いや含水比、透水係数によって対策を施す程度は変わる。そこで今後、対策を講じていくうえでの基礎資料とすることを目的に、凍上の影響を大きく受ける清里～佐久海ノ口間のうち土質が異なる 2 箇所(野辺山高原、野辺山高原北側斜面)にて土質調査を行った。土質調査より得られた粒径加積曲線(図-4)及び含水比・透水係数(表-1)を示す。23k365m付近の土は粒度から凍上の危険性が極めて高いと言える。含水比は粘性土としては標準的である。一方、30k900m付近の土は凍上するものの、その危険性は 23k365m付近と比較すると低い。また、含水比は一般的な砂質土より高い状態で、周辺からの過剰な水の供給が考えられることから、その供給を遮断するなどの対策を施す必要があると考える。

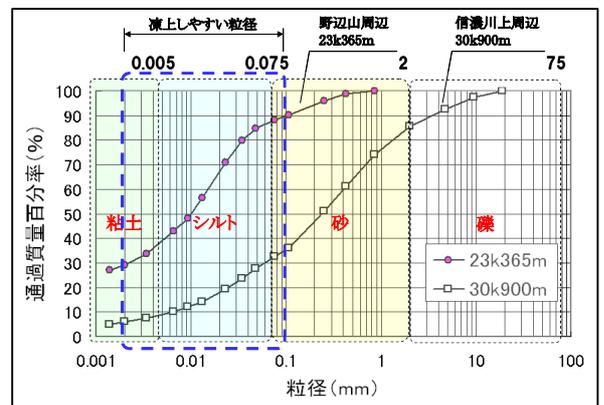


図-4 粒径加積曲線

表-1 土質試験から得られた含水比及び透水係数

地点	土質	含水比 (%) [一般的な値]	粒度	透水係数 (m/s)
23k365m	砂混じり 火山灰質粘性土	120.1 [100~120]	0.075mm以下の細粒分が88%	7.35×10^{-9}
30k900m	礫混じり 粘性土質砂	49.2 [20~30]	0.075mm以下の細粒分が33% 0.075mm以上、2mm以下の砂分が53%	8.73×10^{-8}

7. 今後の凍上対策について(工法比較)

平成 23 年度に実施した凍上対策及び土質調査の結果を踏まえ、工法毎に費用対効果を評価する(表-2)。

凍上対策においては列車の安全・安定輸送、対応に要する労力を考えると路盤土の入換等、抜本的対策により凍上を発生させないことが望ましい。しかし、野辺山周辺のように凍結深度が深く、かつ連続的に数百 m に及ぶ区間においては費用を考慮すると現実的ではないなど、条件によって適当な工法は変わるため、費用対効果を勘案しながら現地にあった対策を講じていく。

表-2 工法比較表

工法	小海線での適応	適応区間	持続性	効果	経済性 (工費)	評価
路盤土入換工法	施工性から入換え深さは30cm程度が上限。工費が高み局所的な凍上対策向き。	標高が約700mまでの臼田～小諸間が限度。	△ 抜本的恒久的	◎ 大 ◎	条件によるが650千円/約10m道床交換同時	◎ ◎
断熱工法(道床上)	小海線全線に対応可。但し、データが少ない。	○ 全線で適合。	○ 冬期の暫定的対策	- 中 ○	400千円/20m材料含まず敷設・撤去は毎年実施	○ ○
遮水工法	粒度が比較的粗い信濃川上周辺や中込の終点方では効果が望める。	△ 小淵沢～30k間の粘性土区間や田んぼ周辺には適さない。	△ 抜本的数年?	△ - ?	条件・工法による300～1000千円/箇所数年に一度	△ ?

8. まとめ

平成24年度も平成23年度並の寒さとなり、管内の各所で凍上現象が発生したが、冬期前に実施した路盤土の入換や道床上における断熱工法、適切な湧水処理等を施した箇所では凍上が抑制(緩和)され、徐行箇所は年々、減少している。

凍上の発生エリアは広範囲に及ぶため、全箇所対策を施すことは困難ではあるが、優先順位をつけながら計画的に凍上対策を進め、小海線の安全・安定輸送を確保していく。