寒冷地の気象条件が落石に及ぼす影響に関する野外計測および室内試験

東日本旅客鉄道（株） 正会員 ○佐藤大輔
北海道大学大学院 正会員 赤川 敏
函館工業高等専門学校 正会員 小玉齊明
北海道大学大学院 正会員 児玉淳一
北海道大学大学院 正会員 藤井義明

1. はじめに

落石の発生には水や気象現象等の誘因が考えられるが，寒冷地特有の現象に着目すると，水の凍結融解が落石の誘因の一つであるといわれている．また，岩の凍上も落石に影響を及ぼすものと考えられる．

本稿では，寒冷地特有の凍結融解や凍上に伴う落石のメカニズムを検証することを目的に，東北地方北部北上帯の或る岩盤斜面を対象とし，野外計測および室内試験を実施したので報告する．

2. 研究対象

本研究では凍結融解や凍上の影響が懸念される，寒冷地の落石多発地帯を対象とすることとした．過去の落石災害の位置と件数を気象庁の気象観測地点ごとに整理した結果, 剥落型落石の中で 3～4 月の融雪期の発生件数が最も多いのは岩手県の「川井」であることがわかった．そこで，川井に近いこと，野外観測の作業性等を考慮して東北地方北部北上帯の地質の異なる 3 つの斜面を選定した（**表 1**）.

表 1 研究対象とした斜面

地点	地名	地質
A	岩手県下閉伊郡川井村	チャート
B	岩手県宮古市	チャート／泥岩
C	岩手県宮古市	砂岩

3. 野外計測

野外計測は A 地点で行っており, 斜面は傾斜約 50 °, 南西向きである．この斜面において，温湿度計((株)ティーアンドエフ製，HD9009TRⅡ-5)を用い，気象データを測定している．また，岩盤表面から深さ方向 10, 30, 50, 100, 150, 180cm に温度計((有)昭和産業製，白金測温抵抗体)を計 6 個設置して岩盤内部の温度を測定している．なお，データは 30 分での平均値としてデータロガー(Campbell Scientific Inc.製， CR1000)に記録している．また，電源にはバッテリー((株) セイシング製，CYCLON-G)を用いており，概ね 3 ヶ月に 1 度のバッテリー交換と合わせてデータ回収を行っている. 2006 年 11 月～2008 年 1 月の気温および岩盤内部温度を**図 1** に示す. 最低気温は 2008 年 1 月 14 日 6:00 に－13.3℃が観測された．また，岩盤内部温度は 2007 年度冬期に岩盤表面から深さ 50cm まで 0℃を下回ることが確認された.

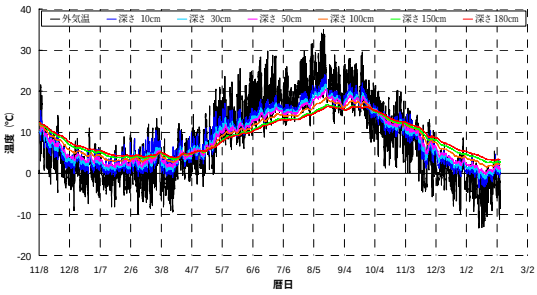

図 1 気温および岩盤内部温度の季節変化(30 分平均値)

4. 凍上性の判定試験

小玉ら [1]は，数種の岩石の凍結融解および凍上試験から，白浜砂岩および幌延珪質岩で顕著な凍上が発生することを確認している．そこで，**表 1** に示す地点の岩石を用い，凍上性の判定試験を行うこととした.

(1) 試験方法

凍上性の有無を確認するためには，凍上試験を複数回実施することが望ましいが，時間の制約上，凍結融解試験を実施した後, 凍上試験を行った. 供試体には，直径 30mm に整形した含水飽和状態の A，B および C 地点の岩を用いた.

(a) 凍結融解試験

室温 0℃の低温室内で 24 時間かけて＋5℃～－18℃の凍結融解履歴を，供試体中の温度勾配を 1℃/cm として与えた．ここでは凍結膨張による複雑な熱応力分布を防ぐため，供試体軸方向にのみ温度勾配が発生す

キーワード： 寒冷地，凍上，凍結融解，岩盤内部温度
連絡先 〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町 2 丁目 479 番地 東日本旅客鉄道（株）JR 東日本研究開発センター TEL：048-651-2389

るように豊浦標準砂を介して供試体の上下面に接する冷却盤に設定温度の不凍液を循環させた．なお，不凍液の温度制御には恒温水槽(東京理科器械(株)製，NCB-3100)を用い凍結融解を繰り返した．上部，下部冷却盤の温度を温度計((有)昭和産業製，白金測温抵抗体)，上部冷却盤の変位を変位計((株)共和電業製，DTH-A-20)で，吸排水量を下部冷却盤の間隙水供給経路に差圧計((株)共和電業製，PD100GA)を接続して測定し，データロガー(アジレント・テクノロジー(株)製，34970A)に記録した．

(b) 凍上試験

凍上試験の温度勾配も凍結融解試験と同じく，1℃/cm とした．なお，豊浦標準砂を含む供試体高さが 5.1cm のため上下冷却盤の初期温度差を 5.1℃とした．

(2) 試験結果

凍上試験を 1 回実施したが凍上は確認されなかった．その後凍結融解試験をA地点は 25 回，B，C 地点は 28 回実施した．代表して B 地点の供試体（砂泥質圧砕岩）に凍結融解を 1～3 回与えたときの冷却盤の温度，吸水量および変位量の経時変化を**図 2** に示す．変位は上部冷却盤の上昇を正としている．なお，図では測定された吸水量(cc)をアクリル容器の断面積で除して単位面積当たりの吸水量(mm)としている．図より上部，下部冷却盤の温度低下に伴い排水が発生し，下部冷却盤が 0℃以下になった頃に間隙水供給経路が凍るため排水が停止していることがわかる．また，下部冷却盤が 0℃以上になった頃から吸水が発生している．なお，変位計により排水に伴う上昇と，吸水に伴う下降が確認されたが，凍結融解試験を通して大きな変化は認められなかった．

次に，凍結融解試験後に行った B 地点の供試体による凍上試験の結果を**図 3** に示す．1 回目の凍上試験と同様に，上部，下部冷却盤の温度の低下に伴い排水が発生している．凍上が発生した場合にはアイスレンズの成長に伴い吸水が起こることから，凍上は発生していないものと判断した．なお，アイスレンズとは，土が凍上した際に観察される熱流に直交する氷脈である．以上より，今回の試験条件では B 地点の岩は凍上性を示していないことがわかった．なお，A，C 地点も B 地点と同様の結果であった．

また，凍上および凍結融解試験の繰返し回数に伴う P 波速度の変化を調べたが，3 地点の供試体で P 波速度の変化は認められなかった．なお，A，C 地点の供

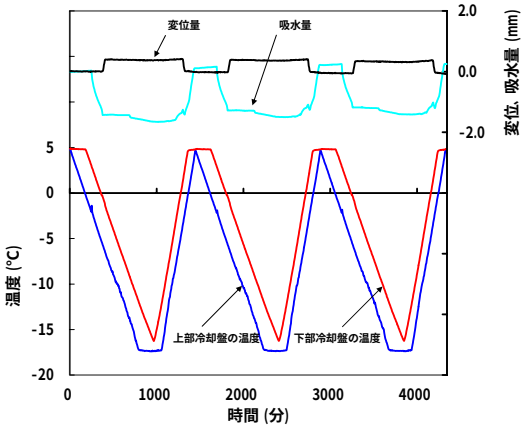

図 2 冷却盤の温度，吸水量および変位量の経時変化
（B 地点，凍結融解試験 1～3 回目）

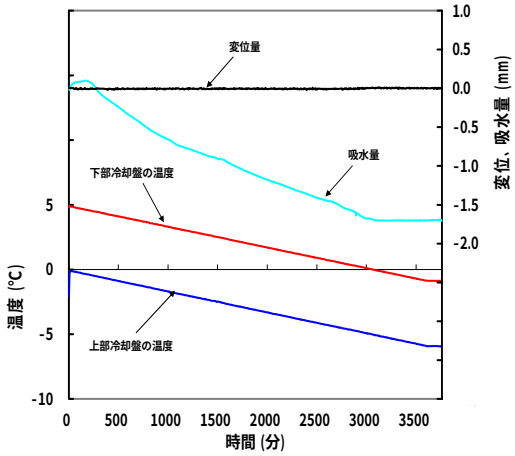

図 3 冷却盤の温度，吸水量および変位量の経時変化
（B 地点，凍上試験 2 回目）

試体の一部に欠損が認められたが，これは試験前から微細な亀裂があることが目視で確認されていた箇所であった．以上より A，C 地点の岩でわずかな劣化は確認されたが，今回の試験条件では P 波速度に変化を認めることはできなかった．

5. まとめ

寒冷地の落石多発地帯での岩盤内部温度の計測を行い，対象斜面で深さ 50cm が 0℃以下になることを確認した．一方，凍上性の判定試験より研究対象とした岩石には，今回の試験条件においては凍上性が確認されなかった．また，P 波速度の変化も認められなかったが，潜在的に弱い部分がわずかに劣化することを確認した．

参考文献

1) 小玉齊明，藤井義明，赤川敏，石島洋二：間隙水の凍結に伴う岩石の力学的特性変化と変形挙動，土木学会論文集 C，Vol.63，No.1，pp.24-33，2007.1