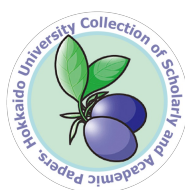




HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	寒冷地の露頭岩盤における表面亀裂の長期的な挙動
Author(s)	小玉, 齊明; 藤井, 義明; 菅原, 隆之
Description	第41回岩盤力学に関するシンポジウム(土木学会)、2012年1月12日(木) , 13日(金) 、土木会館、東京
Citation	第41回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, 41, 153-156
Issue Date	2012-01-12
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/47995
Type	conference paper
File Information	JSCE-Sympo2012, 153-156. pdf



寒冷地の露頭岩盤における表面亀裂の 長期的な挙動

小玉 齊明^{1*}・藤井 義明²・菅原 隆之²

¹函館工業高等専門学校 環境都市工学科（〒042-8501 北海道函館市戸倉町14番 1 号）

²北海道大学大学院 資源循環システム部門（〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目）

*E-mail: kodama@frontier.hokudai.ac.jp

付加体基質の砂岩・チャート・粘板岩から構成されるA地質帯の山間部には、構造運動によって生じたと考えられる節理やへき開などの弱面が高密度で存在する岩盤が多く露頭しており、長い歳月にわたって風雨にさらされているその表面近傍には風化が進行している様子がみられる。この地域における岩盤が被る風化のメカニズムを明らかにするため、南西向き斜面上部の露頭岩盤に存在する亀裂の変位を、気温・湿度・降水量・気圧の気象条件とともに1年10ヶ月にわたってモニタリングした。その結果、急崖壁面から剥離しつつある岩体では冬期における間隙水の凍結に伴って特に開口変位が生じること、樹木根の進入によって剥離しつつある岩体では樹木の成長によって夏期に開口が生じることが確認された。

Key Words : rock, cold region, weathering, freeze thaw, displacement

1. 緒言

岩盤表面近傍の風化現象として、地下水の影響による水和、溶解、酸化等の化学的風化や、応力によるシーティング、日射がもたらす鉱物粒子間の線膨張率の違いから生じる熱応力、乾燥と湿潤を繰り返して生じるスレーキング等の物理的風化が挙げられる¹⁾。寒冷地ではこれらにおける熱活性が抑えられるという側面があるものの、冬期から融雪期にかけて積雪が生じない急崖では岩盤表面近傍における間隙水の凍結－融解や凍上による風化が進行する。筆者らはこれまで、いくつかの岩種について凍上性の有無や凍結に伴う強度変化の傾向を調査し、その結果を構成鉱物、空隙の大きさ、比表面積等と関連付けてきた²⁾。本研究では、寒冷地に露頭する岩盤が、いつ、どのようなきっかけで、どのくらい劣化するかを把握するため、亀裂の変位挙動と気象条件を観察し、その原因を考察することとした。

2. 観測の概要

観測を行った地域は、付加体基質の砂岩・チャート・粘板岩から構成される地質帯に属し、構造運動に伴う節理やへき開などの弱面が発達した露頭岩盤の急崖が広く

分布する。本研究ではこの地域の山間部に位置し、河川に沿った南西向きで約 50°の傾斜をもつ斜面上に存在するチャート岩盤にみられる亀裂開口部の変位を亀裂変位計（共和電業社製、BCD-5B、定格±5 mm）で計測した。また同時に気温と湿度（T&F 社製、HD9009TRII-5、分解能 0.1℃、2.5%RH）、気圧（T&D 社製、TR-73U、定格 750～1100 hPa、分解能 0.1 hPa）をデータロガー（Campbell Scientific 社製、CR-1000）を用いて 30 分毎（3 分毎 10 データの平均値）に記録した。

なお、現地で採取した転石の物理的性質は表-1 のとおりであった。この値は基質である珧質部が緻密であることを示しているが、この斜面の露頭岩体には概ねほぼ垂直方向に 1～3cm 間隔で節理が発達しており、特にその表面近傍では、そのいくつかに厚さ数 mm 程度の薄層からなる泥質部が挟在している。露頭表面では随所に風化が進行し開口した亀裂が確認できるが、珧質部と比較して透水性の高い泥質部³⁾で剥離している場合が多い。

表-1 チャートの物理的性質

乾燥密度	有効空隙率	弾性波速度
2.56 g/cm ³	1.2 %	4.01 km/s

3. 観測結果

以下に 2009 年 7 月 28 日から 2011 年 5 月 16 日までの

観測結果をまとめる．ここでは写真-1 に示す垂直壁面からほぼ剥離しているように見える岩体（H100 cm×W80 cm×D10 cm 程度）の水平移動量（変位計 h3）と直径 3cm 程度の樹木の進入によって開口している岩体（H20 cm×W40 cm×D15 cm 程度）の水平移動量（変位計 h4）で明瞭な変化が確認された（図-1）．なお、これらは観測開始時の変位を原点とし、開口方向を正で表している．同図から、いずれの亀裂でも突発的ではなく徐々に開口していること、2 つの変位計で開口の生じる時期が異なることがわかる．1 日周期の細かい振動は気温の変化によるもので、これには岩盤変位のほかに変位計やそれを岩盤に固定するアンカーボルトなどの金属製治具の温度膨張が含まれる．また同図には季節の変化ももたらす 1 年周期の気温変化も含まれることに留意する必要がある．

次に、上記の期間中に観測された気温を図-2 に示す．この期間における最高気温は 33.08℃（2010 年 8 月 6 日）、最低気温は-13.21℃（2011 年 1 月 12 日）、年平均気温は 9.88℃（2010 年）だった．なお、観測を行った斜面は標高 450 m 程度の場所に位置し、5～10 月頃までの間は露頭の大部分で樹木の葉に直射日光を遮られる．参考までに、表-2 に冬期における気温の傾向を年度ごとにまとめる．ここで冬日は日最低気温が 0℃を下回った日、真冬日は日最高気温が 0℃に満たなかった日を指す．また「凍結融解（0℃）」は 0℃を跨いだ気温の低下－上昇が記録された回数で、「凍結融解（-4～4℃）」は福田ら⁴⁾によって風化に影響をもたらす温度範囲とされた-4℃から 4℃の範囲を超えて生じる気温の低下－上昇が記録された回数である．これより 2009 年度より 2010

年度の方が少し寒く、また寒暖の差が大きい傾向にあることがわかる．



写真-1 表面亀裂変位計の設置状況（測定間隔はともに 20 cm 程度）

表-2 冬期における気温の傾向（年度別）

年度		2009年度	2010年度
冬日	初日	2009/11/3	2010/10/27
	最終	2010/4/16	2011/4/21
期間中の最低気温		-12.84℃	-13.21℃
冬日＋真冬日の日数		120 日	131 日
真冬日の日数		23 日	31 日
凍結融解（0℃）		94 回	102 回
凍結融解（-4～4℃）		12 回	20 回

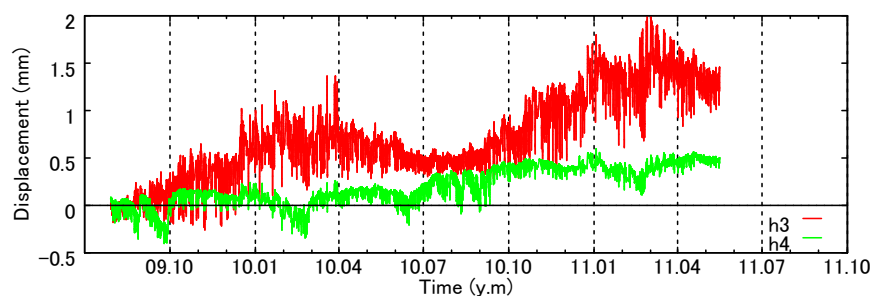


図-1 表面亀裂変位の経時変化

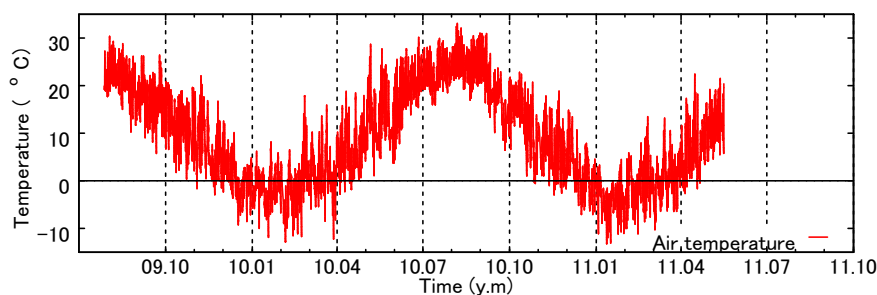


図-2 気温の経時変化

4. 変位の発生傾向とその原因

前述のように図-1 に示した計測結果には気温の変化がもたらす変位計や治具の変形も含まれる。特にアルミ製の治具を用いて岩体に固定した変位計 h3 では 1 日周期の変位が大きい。そこで、ここでは同じ気温下（許容範囲 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 以内）で計測されたデータのみを用いて、温度の影響を除去した（図-3）。なお、ここでは抽出するデータで通年の変位が描写できるよう、 20°C （計測開始時の温度）、 10°C （年平均気温）、 0°C （間隙水の凍結温度）の 3 温度で変位を抽出し、室内における検定で変位と温度の間に再現性があることを確認した後、 20°C を基準に 10°C における変位は h3 で -0.2 mm 、h4 で -0.075 mm 、 0°C における変位は h3 で -0.4 mm 、h4 で -0.013 mm を補正した。また、同図における実線は変位の傾向を平均的に表したもので、前後のデータから絶対値で 0.05 mm 以上乖離しているデータ（全 631 データ中、h3 で 53 例、h4 で 30 例）を除いた後に隣接する 3 データを用いて描いた移動平均線である。以下、同図をもとに観測された変位の傾向とその原因を考察する。

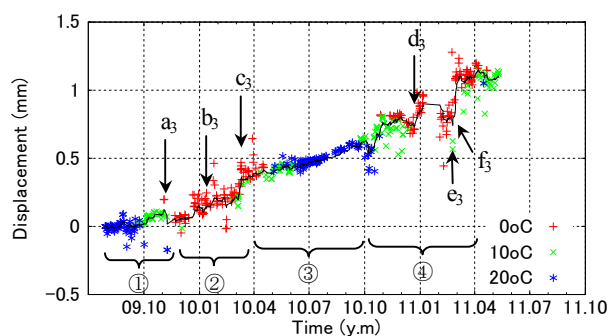
変位計 h3 では、観測開始から概ね一定の速度で開口する傾向がみられる。また図中の期間①・③で示す春～秋には比較的良い線形性が認められ、期間②・④の冬期には平均的な傾向から乖離するデータが散見され、細かく閉口－開口を繰り返す傾向がみられる。なお、月ごとに区切った開口量が 1 mm を超えた月は 2010 年 3 月（ 0.175 mm ）、同年 10 月（ 0.130 mm ）、2011 年 2 月（ 0.119 mm ）、同年 3 月（ 0.108 mm ）で、いずれも後者の期間に含まれる。

一方、変位計 h4 では、全体を通じて h3 のような単調な変化は見られず、残存する開口挙動は 6～8 月頃の限られた時期に発生しており、地上部における樹木の伸長時期⁵⁾と一致した。また、これとは別に 9～10 月頃と 2～3 月頃に $0.1\sim 0.5\text{ mm}$ 程度の幅でゆっくりとした閉口－開口挙動がみられるが、開口後の変位はいずれも閉口前の位置で概ね落ち着いている。なお、開口量が 1 mm を超えた月は 2010 年 3 月（ 0.195 mm ）、2009 年 10 月（ 0.178 mm ）、2011 年 6 月（ 0.147 mm ）、2011 年 3 月（ 0.116 mm ）、2010 年 7 月（ 0.105 mm ）だった。

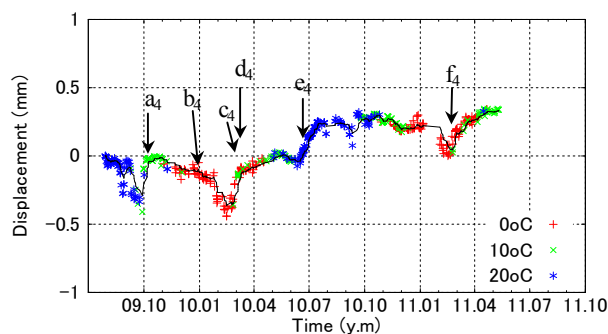
次に、図-3 から最も顕著な開口が発生した時期を特定するため、同図の実線（前述）を構成するデータの 48 時間以上の間隔で隣接する 2 データ間の傾きで亀裂開口速度を評価し（図-4）、変位計 h3 で 0.01 mm/day 、変位計 h4 で 0.005 mm/day を上回った各 6 日（各変位計 a～f、下付きの数字は変位計番号を表す）について、これらの日を最終日とする 3 日間の日照時間と降水量の合計値、最高気温と最低気温、最大風速、最大瞬間風速（いずれも最寄りの観測地点における値⁶⁾）を、加え

てこの 3 日間のいずれかで荒天の記録が残っている場合にその概況⁷⁾をまとめた（表-5、表-6）。なお、表中の $d_4 \cdot f_4$ はそれぞれ $c_3 \cdot e_3$ と日付が重複している。参考までに、これらの期間中に記録された有感地震は a_3 で 2 件、 c_4 で 1 件で、いずれも震度 1 だった。

表-5 から変位計 h3 では、いずれも冬期の気温が 0°C を跨いで変化したときに大きな開口速度が記録されていることがわかる。1 例を除き日照時間が少なく、降水量は大雪の降った 2 例が多い。同じ観測地点における気温の日較差と最大風速の年平均値は 9.6°C 、 4.2 m/s （2009 年）であるが、共に 6 例中 5 例でこの値を上回っている。



a) 変位計 h3



b) 変位計 h4

図-3 3つの温度で評価した表面亀裂変位

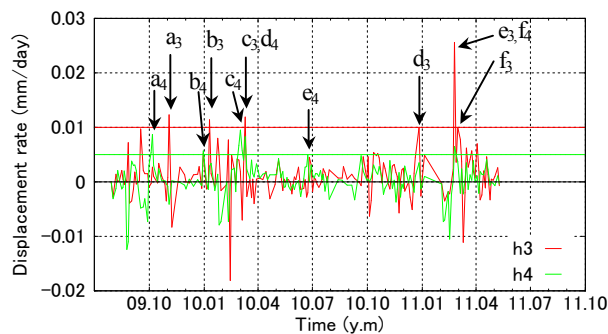


図-4 変位速度の経時変化

表-5 変位計 h3 に明瞭な変位がみられた時の気象条件

	日付	日照 (h)	降水量 (mm)	気温 max/min	風速(m/s)		備考
					最大	瞬間	
a ₃	'09.11.3	5.5	1.5	21.0/-1.4	5.5	13.9	
b ₃	'10.1.9	6.2	2.5	4.0/-6.7	3.7	7.7	
c ₃	'10.3.10	9.1	23.0	5.6/-5.0	4.8	9.9	大雪
d ₃	'10.12.26	1.4	17.0	5.0/-4.4	7.4	17.9	大雪
e ₃	'11.2.23	24.7	0	10.4/-6.0	3.3	6.4	
f ₃	'11.3.1	6.3	0	6.5/-5.2	4.6	9.3	

表-6 変位計 h4 に明瞭な変位がみられた時の気象条件

	日付	日照 (h)	降水量 (mm)	気温 max/min	風速		備考
					最大	瞬間	
a ₄	'09.10.4	2.5	25.0	22.9/8.1	5.2	12.8	雨
b ₄	'09.12.30	4.3	9.0	6.4/-4.1	9.9	23.7	大雪
c ₄	'10.3.2	1.1	5.5	6.3/-2.6	5.6	15.8	
d ₄	'10.3.10	9.1	23.0	5.6/-5.0	4.8	9.9	大雪
e ₄	'10.6.23	7.8	13.0	26.7/16.2	4.3	12.0	雷雨
f ₄	'11.2.23	24.7	0.0	10.4/-6.0	3.3	6.4	

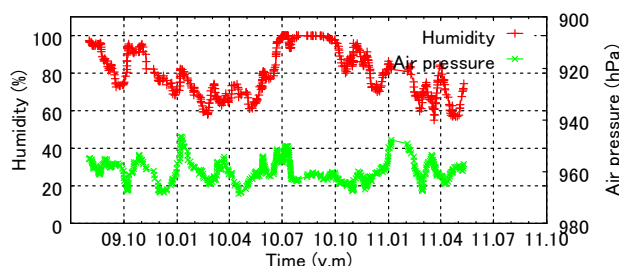


図-5 湿度と気圧の経時変化

(気温 0, 10, 20℃における値の 10 データ移動平均)

以上の結果から、自重による低い応力レベルの下での亀裂進展が比較的安定した開口変位をもたらしていることに加え、冬期には開口亀裂先端に存在する間隙水の凍結融解によって風化が進行し、やや不安定な状況になっているものと考えられる。一時的に生じた変位は従来の位置に復帰するケースが多いが、さらに風化が進行し、より大きな変位がもたらされた場合、これらと同様のタ

イミングで母岩から剥落すると考えられる。

一方、表-6 から変位計 h4 では冬期に加え 6 月と 10 月にも開口速度が大きいことがわかる。h3 と同様に 1 例を除き日照時間が少なく、降水量は f₄を除いて 5 mm 以上と比較的多い。また、ここでも 6 例中 5 例で気温の日較差と平均風速が年平均値を上回っている。

降水量が比較的多いときに変位速度が大きい点については、現地の状況から亀裂に介在する樹木の根茎やそれを包む土の影響が考えられる。そこで図-3 をプロットした時刻の湿度について、その経時変化を隣接する 10 データを使った移動平均線で表現したところ、2009 年 9 月末や 2010 年 2 月の下に凸のピークや 2010 年夏の値増加など、両者の線形が一致するケースが多くみられることがわかった(図-5)。以上より同変位計の挙動は、冬期の凍結融解に加え、降水の有無がもたらす樹木の根茎やその周囲の土の膨張・収縮に起因する変位と、春から夏にかけての地上部における樹木の成長による恒久的な変位からなるものと考えられる。なお、この変位計を設置している岩片は質量が小さいことに加えて重心が母岩上に残っているため、変位計 h3 のような自重による変位は生じていないものと考えられる。

参考文献

- 1) 千木良雅弘：災害地質学入門，pp.69-110，近未来社，1998。
- 2) 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。
- 3) 堀利栄，樋口靖，藤木徹：付加体層状チャート・化学組成からのアプローチ，地質学論集，第 55 号，pp.43-59，2000。
- 4) 福田正巳，播磨屋敏生，原田敏一郎：岩石の凍結・融解による風化が基盤崩落に与える影響について，月刊地球，Vol. 18，No. 9，1996。
- 5) 佐藤孝夫：樹木の根系の成長に関する基礎的研究，北海道林業試験場研究報告，第 32 号，pp.1-54。
- 6) 気象庁 HP：<http://www.data.jma.go.jp/cdo/sas/index.php>
- 7) 盛岡地方気象台 HP：<http://www.jma-net.go.jp/morioka/mame.htm>

LONG-TERM CRACK BEHAVIOR ON THE SURFACE OF NATURAL ROCK IN COLD REGION

Nariaki KODAMA, Yoshiaki FUJII and Takayuki SUGAWARA

There are highly fractured rock masses with joints and cleavages in an mountainous area located in an accretionary complex. Progress of weathering can be seen on the surface of the rock masses. Displacement of fractures on rock masses at the upper part of SW-dipping slope as well as air temperature, air humidity, precipitation and atmospheric pressure were monitored for 22 months in order to clarify the weathering mechanism. Fracture opening for a rock block which was about to detach from rock mass occurred due to pore water freezing in winter. A fracture which was being detached from rock mass due to intrusion of a wood root showed opening with growth of the root between June and August.