

# 弱溶結凝灰岩の表層崩壊と凍結膨張作用の関連性について

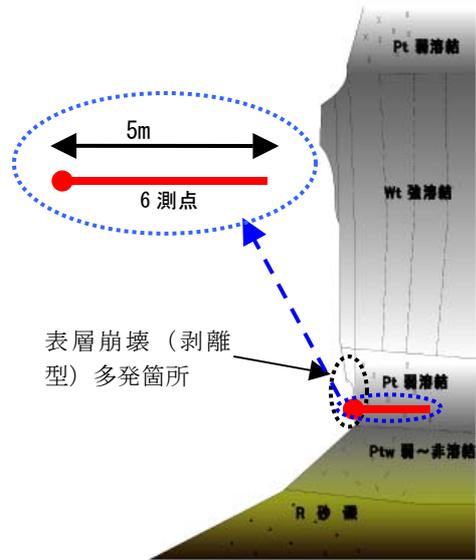
The effect of frost action to surface failure of weak welded tuff in SOUNKYOU-YONNOIWA area

株式会社ドーコン	○正員	齋藤誠治 (Seiji Saitou)
株式会社ドーコン	正員	川北 稔 (Minoru Kawakita)
(独) 北海道開発土木研究所	正員	石川博之 (Hiroyuki Ishikawa)
(独) 北海道開発土木研究所	正員	伊東佳彦 (Yoshihiko Itou)
北海道開発局上川道路維持事業所	正員	倉内 圭 (Kei Kurauchi)

## 1. はじめに

上川町層雲峡の四の岩地区では、北海道開発局が行う長期岩盤モニタリングの一環として、平成12年度より岩盤挙動の計測を行っている<sup>1) 2)</sup>。当該地区は比高約80mの凝灰岩からなる急崖斜面である。斜面は上部が強溶結の凝灰岩で、柱状節理が発達しており、下部は弱～非溶結の凝灰岩で構成されている。計測は、大規模崩壊の恐れのある柱状節理岩体の挙動に着目し開始され、CCDカメラを利用した間接計測や鉄筋ひずみ計やケーブルセンサなどの計測機器によりこれまで実施されてきた経緯がある<sup>3)</sup>。この約6年間に柱状節理岩体からの崩壊の発生はないが、弱溶結部では毎年のように小落石規模の崩壊がみられ、平成13年4月には3箇所から計150m<sup>3</sup>の表層崩壊が発生した。

本文では、まず、斜面下部の弱溶結部に設置した鉄筋ひずみ計のデータについて述べるとともに鉄筋ひずみ計の問題点を解消するために導入した光ファイバ型ひずみ計や温度計について述べ、次に新たに計測されたひずみと同凝灰岩の凍結膨張性との関連から表層崩壊について考察した結果について報告する。

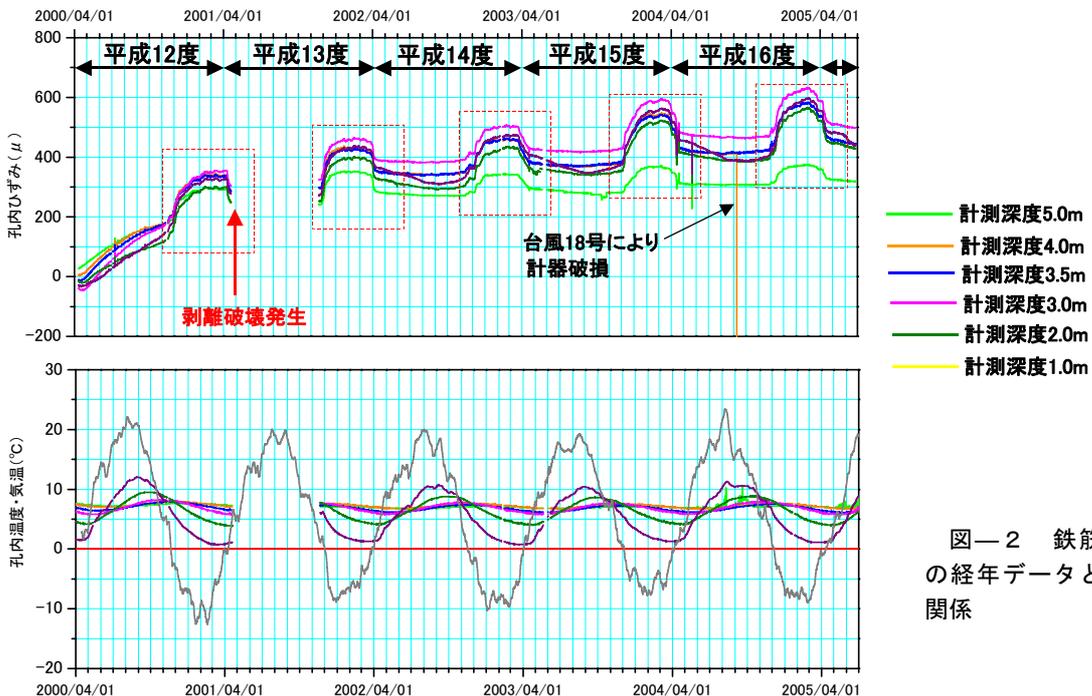


図—1 表層崩壊多発箇所と鉄筋ひずみ計設置概要図

## 2. 鉄筋ひずみ計の経年データの特徴

図—1に表層崩壊多発箇所と鉄筋ひずみ計の設置概要の断面を示す。鉄筋ひずみ計は、鋼棒にひずみゲージ

を貼付するタイプのもので、図に示すように深度5m区間に6測点設置してある。また、図—2は、平成12年4月からこれまでの鉄筋ひずみ計の経年データと外



図—2 鉄筋ひずみ計の経年データと温度との関係

気温および岩盤内温度の関係を示したものである。

設置当初のなじみ期間を除き、岩盤内ひずみは初冬期に自由面側に出っ張り、融雪期後に元に戻るという傾向を示している。冬期の引張方向のひずみは深度によって多少異なるが 200 $\mu$ 程に達している。一方、こうした現象は気温との関連性が見られ、真冬日（日最低気温0 $^{\circ}$ C以下）が数日続いた後に発生することが見て取れる。こうしたなかで、平成13年4月に当該斜面の近傍で、約150 $m^3$ の表面剥離破壊が発生している。この時期は、最低気温が0 $^{\circ}$ Cを上回る時期に相当し、こうした破壊が表面付近の凍結融解に何らかの形で関係している可能性が示唆される。

しかし、これらの傾向は鉄筋ひずみ計のすべての測定点に見られ、発生時期も同時である。このことは通常考えられる凍結深度よりもかなり深い位置で凍結膨張が発生していることとなる。しかも、深度3mの地点のひずみが最も大きいなど、温度勾配に応じた一定の傾向がなく、測定されたひずみ量には疑問が残る。

そこで、測定精度が高く、温度変動の影響が小さい区間測定型の光ファイバーひずみ計を埋設し、また白金抵抗タイプの温度計を注意深く設置することで、初冬期の引張ひずみの発生の有無や岩盤内凍結の可能性深度の確認を試みた。

### 3. 光ファイバ型ひずみ計および白金抵抗型温度計の埋設

鉄筋ひずみ計と同様に、当該斜面と同一断面内の5mのボーリング孔内に光ファイバー型ひずみ計を設置した。ただし、浅層部の計測点を増すため測定点は8点である。光ファイバー型ひずみ計を図-3に示す。設置に関しては鉄筋ひずみ計の課題を解消するため、中空の治具に光ファイバー型ひずみ計を取り付け、岩盤孔内に設置した（図-4）。これにより、設置の際にグラウト充填による岩盤との密着性が高まると同時に、光ファイバー型ひずみ計を多段式に設置でき、各深度別に計測を行うことが可能である。



図-3 光ファイバー型ひずみ計



図-4 光ファイバ型ひずみ設置状況

また、これらに加え、表面付近の岩盤内温度の変動、および凍結深度を推定するため、白金抵抗温度センサーも設置した。白金抵抗センサーを木材に埋め込み、岩盤内に設置することで、外気温による直接的な影響を極力低下させるなどの工夫をした。

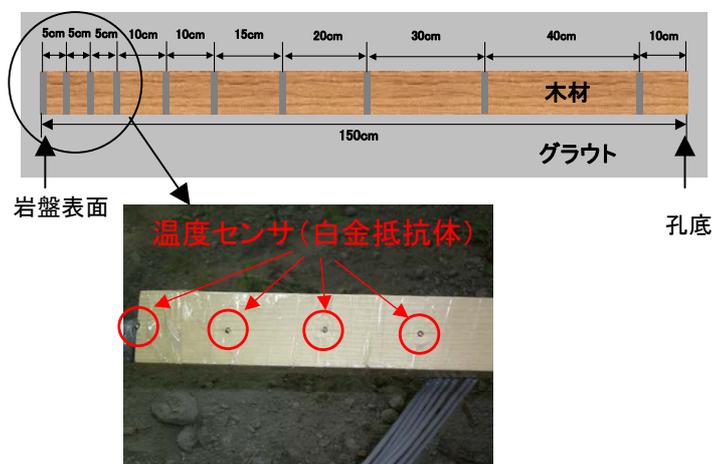


図-5 温度センサーの設置状況

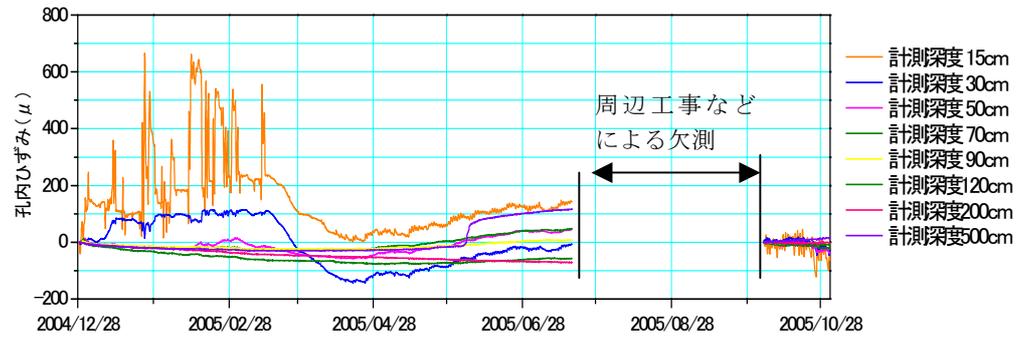
### 4. 測定結果

図-5に光ファイバー型ひずみ計の、図-6に岩盤内温度の計測結果をそれぞれ示す。図-5から以下の点が見て取れる。

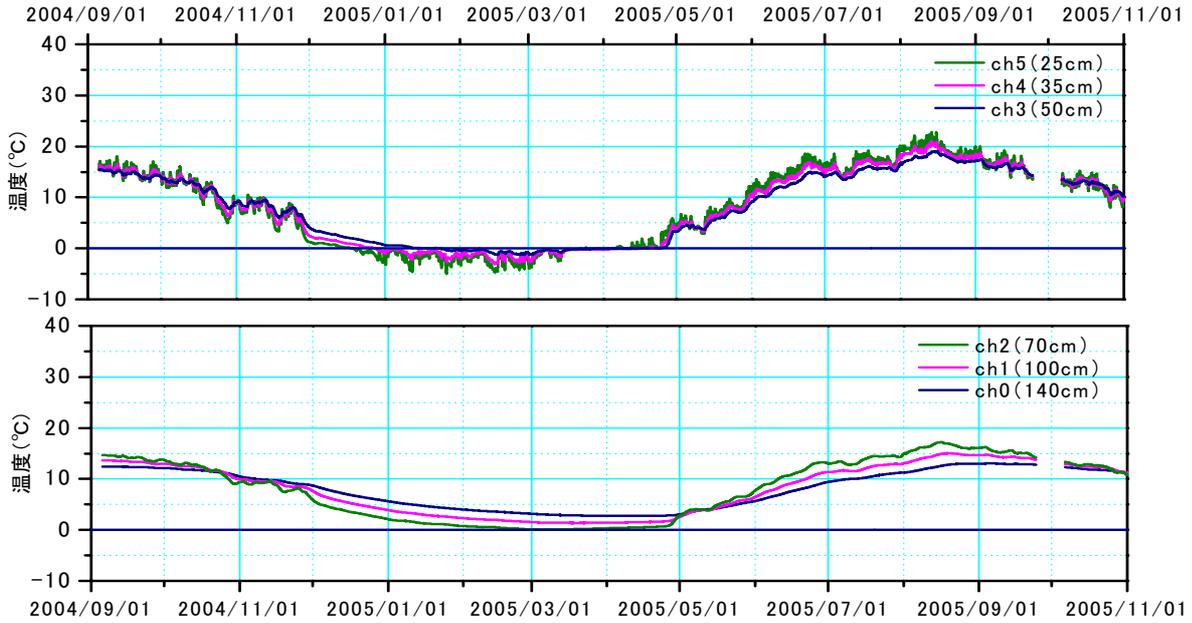
- 1) 計測深度15cmで引張ひずみ（膨張）が発生しており、変動は200~500 $\mu$ と急激で大きい
- 2) ただし、岩盤内温度の平均が0 $^{\circ}$ Cを超える時期からこれらの変動はほとんど見られなくなる。
- 3) また、深度30cmでは、戻りの最大から約250 $\mu$ 、深度50cmで100 $\mu$ の引張側のひずみが発生しているが急激な変動は見られず、その幅は小さい。
- 4) 一方、計測深度70cm以深では目立った引張側のひずみは確認されていない

これらの結果は、先に述べた鉄筋ひずみ計の傾向とは全く異なるものであり、寒冷地において岩盤表面から鉄筋ひずみ計を埋設し、経年的に測定することには十分留意が必要であることが示している。また、外気温、岩盤表面からの深度140cmまでの温度経時変化から次のようなこと観察された。（図-6は紙面の都合上深度25cm~140cmの結果を示した）

- 1) 岩盤表面および深度5cm程度では、厳冬期でも0 $^{\circ}$ C以上の時間がある。日照による岩盤表面の温度上昇のためと思われる、ただし、平均はマイナスである。
- 2) 深度15cmでは、初冬期から岩盤内温度は0 $^{\circ}$ C以下となる。
- 3) 深度50cm程度まで、初冬期から融雪期にかけて、岩盤内温度は0 $^{\circ}$ C以下を示している。
- 4) 深度70cm以深では、岩盤内温度は0 $^{\circ}$ C以上である



図—5 光ファイバセンサによる岩盤内ひずみの経時変化

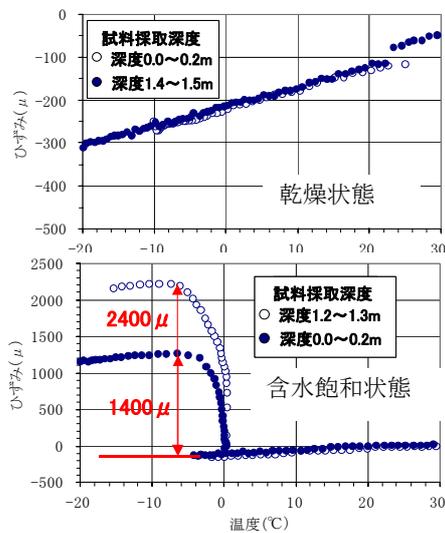


図—6 岩盤内温度の経時変化（深度 25cm～140cm）

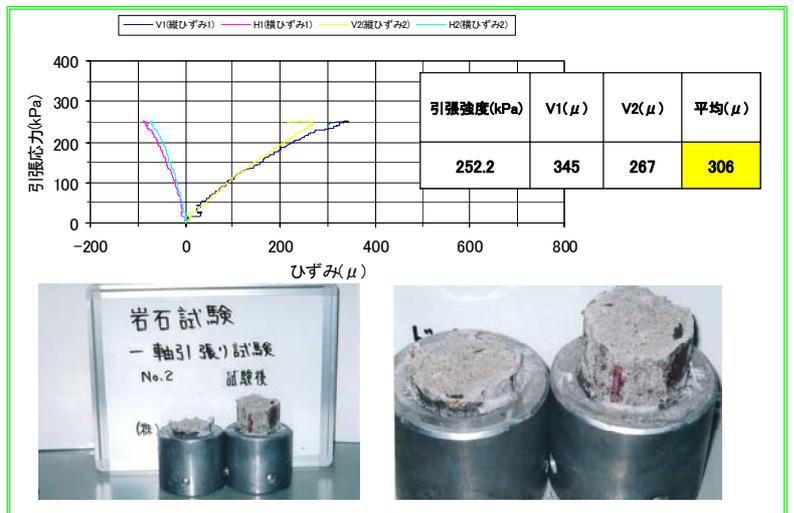
これらのことから、凍結深度は高々50cm 程度である可能性が高く、岩盤内ひずみが深度 50cm までに引張りひずみが出現する現象と調和的である。

### 5. 溶結凝灰岩弱溶結部の凍結膨張特性と限界引張りひずみ

対象岩体である弱溶結部の凍結膨張性を確認するために、計器設定時に行ったボーリングのコアを用いて乾燥



図—7 凍結膨張試験結果



図—8 一軸純粋引張試験結果

状態と含水飽和状態時の凍結膨張試験を実施した。水分を含まない場合には、採取深度に関係なく温度と共に一定の熱膨張係数で収縮・膨張を呈している。一方、含水飽和状態では、0℃以下から徐々に体積が膨張し、マイナス6℃よりも低い温度に達してから体積収縮に転じている。しかも、自由膨張を許容していることもあり発生する縦ひずみは1000～2400 $\mu$ に達している。すなわち、含水比や拘束条件によって呈するひずみの大きさに違いはあるものの、ここで対象にした岩盤は0℃～マイナス6℃の温度環境で凍結膨張の特性を有していることがわかる。

また、一軸状態の引張限界ひずみを求めるために、純粋引張り試験（重箱式）を実施した。得られた引張り限界ひずみは、図一8に示すように、平均でおおよそ300 $\mu$ であり、前述した光ファイバひずみ計で計測された深度15cmの変動幅はこの値を超えるものである。また、深度30cm、あるいは50cmのひずみ量も累積の仕方によっては部分的に破壊が及ぶことも示唆される。

また、図一9は、現地にて斜面したから表層崩壊跡を見上げて撮影した写真である。剥離の幅はいずれも30～50cmであり、今回得られた冬期間に発生する岩盤内の引張ひずみの深度、および岩盤内温度が0℃以下となる凍結可能性深度とほぼ合致するものである。

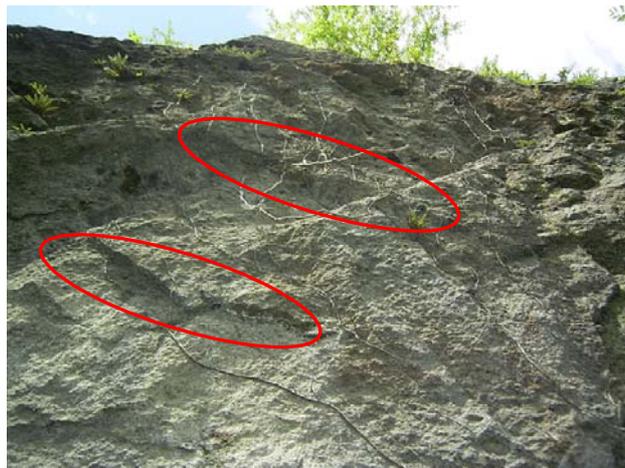
## 6. おわりに

以上、層雲峡四の岩地区にて計測中の鉄筋ひずみ計、光ファイバひずみ計、孔内温度計のデータに基づき、溶結凝灰岩弱溶結部で発生している表層崩壊について岩盤の持つ凍結膨張性および限界引張ひずみの値などとの関連性について考察した。主な結果は以下のとおりである。

- 1) 光ファイバー埋設型ひずみ計測は、温度影響を受けにくく、また、耐久性も高く、設置方法の工夫により、今後、岩盤内ひずみを計測する上で有力な手法となり得る
- 2) 一方、寒冷地において岩盤表面から鉄筋ひずみ計を埋設し経年的に岩盤内ひずみを測定する場合には十分な留意が必要である
- 3) 今回の計測箇所では、計測深度50cm以浅程度で引張方向（膨張）のひずみと温度0℃以下を確認しており、現地で見られる剥離破壊の様相と調和的である。
- 4) すなわち、冬期間に凍結膨張ひずみが発生、または累積し、限界引張ひずみとの関係から、表面から30cm乃至は50cmの幅で局部破壊が経年的に進行していることが示唆される

現地における計測は今後も継続予定であり、初冬期におけるひずみ増大の再現性の確認が待たれるところである。

なお、ここでの取り組みは北海道開発局旭川建設部の関係各位に負うところが大きい。記して謝意を申し上げる次第です。



図一9 斜面下から見上げて撮影した表層崩壊の様子（段差は、30～50cmである）

## 参考文献

- 1) 北海道での岩盤計測に関する調査調査技術検討委員会：北海道での岩盤計測に関する調査調査技術検討委員会中間報告書、3月、2000
- 2) 川北稔・石川博之・伊東佳彦・渡辺一悟・倉内主：凍結膨張により発生する岩盤内ひずみの計測に関して、土木学会第60回年次学術講演会、Ⅲ・433、2005
- 3) 宮下尚志、齊藤誠治ら：モニタリングによる岩盤崩壊の捕捉事例、土木学会第55回年次学術講演会、2000