

(III-17) 岩盤切り取り斜面における凍結深度とロックボルトのひずみ分布の計測

(財)電力中央研究所 正会員 小早川博亮

東京電力株式会社 岸裕和

0. はじめに 冬期に気温が 0°C 以下となる岩盤斜面では、地盤中の水分の凍結によって斜面が膨張し、融解時に不安定化することが想定されるため、凍結深度、凍結膨張率を推定し融解による法面の不安定化を防ぐことが重要となる。

しかし、既存の調査・研究では多くが土や多孔質な岩石を対象としており、実岩盤を対象に地盤内部の温度やひずみについて計測した例はほとんどなく、凍結深度や凍結膨張率を推定する方法は確立されているとは言い難い。そこで、岩盤における凍結深度と地盤内のひずみ分布を把握することを目的とし、切り取り斜面の表層5mの温度とロックボルト(以下、RB)のひずみの計測を行った。本報告ではその結果を述べ、土の凍結深度の推定式¹⁾を適用した結果と凍結によって生じるひずみについて検討する。

1. 当該法面の概要 図1は、当該法面の全体図でEL.1592m～1519.5mである。法面は地山を約10～19m掘削しており、北向き(N62E 63N)のためにほとんど日があたらない。岩盤は図2に示す通り多くが砂岩で、法面とほぼ同傾斜～やや高角に混在岩が分布している。温度およびRBひずみの計測孔は標高1524m付近から法面に垂直に設置した。計測孔では C_L ～D級の混在岩や C_M ～D級の砂岩が分布し、地下水位はボーリング孔底以下である。砂岩は亀裂が多く(RQD=0～10)、水分は主に節理内に存在し、また、混在岩は泥岩を挟んで細片化しやすいために、水分は砂岩の節理に加えて泥岩中にも多く存在すると考えられる。

2. 計測の概要 ボーリング孔($\phi 66\text{mm}$)に、図3に示す設置方法と間隔をもって、熱電対を合計12個埋設し、温度計測を行った。熱電対は、直接孔壁に接するように設置深度毎に塩化ビニール製のパイプをビニールテープで巻き付け、反対側のセンサー部が孔壁に向くように設置した。さらに、外気の影響を避けるため孔口は樹脂で塞いだ。また、幅12mm、深さ5mmの切り欠きにひずみゲージを添付して樹脂を満したRB(D25)を法面に打設し軸ひずみを計測した。

3. 計測結果

(1) 温度変動と凍結深度 計測地点の年平均気温は 7°C 、積算寒度は総計して $402^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ であった。2月下旬から6月初旬の気温と降水量の変動状況を図4、法面内温度の経時変化を図5に示す。図4より気温は4月初旬まで 0°C 以下になることがある。一方、3月19日頃の気温の上昇とともに地盤内部では融解面が地表から深部へ向かって現われ(図5)、4月初旬までは深度1.0m付近を推移する。その後は徐々に深部へ移り5月10日頃に深度2.0m付近で消滅する。これらは、地盤内部の温度変化は気温に比べておよそ一ヶ

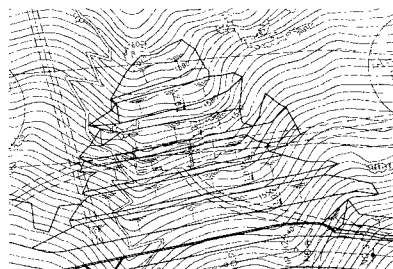


図1. 法面全体図

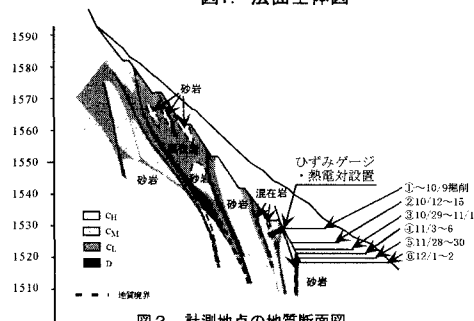


図2. 計測地点の地質断面図

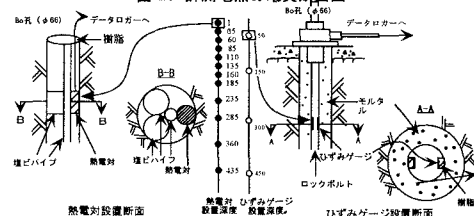


図3 計測器の設置深度と設置断面

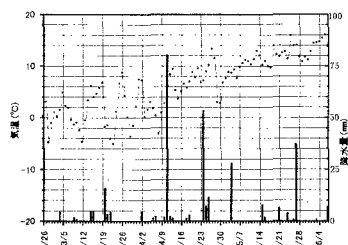


図4 気温と降水量の変化

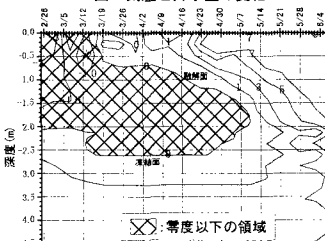


図5 法面内の温度分布の経時変化

キーワード: 岩盤, 凍結, 法面, ロックボルト

連絡先: 〒270-1194 我孫子市我孫子 1646, TEL:0471-82-1181, FAX:0471-84-2941

月の遅れがあることを示している。

また、図5より、最大凍結深度は3月中旬から4月初旬の2.6mである。この最大凍結深度は表1²⁾に示す他地点の深度に比べてかなり深い。現地の目視確認によれば、法面は表土を掘削した岩盤斜面であり、外気と地表面の接触を遮る雪も少なく植生もほとんどないことから外気温の影響が地山へ伝達しやすいものと考えられる。さらに、次に示すAldrichの式¹⁾において λ, I_b, L を試料に関わらず一定とし、 k_p, ω, ρ_d を表1の構成物質による値を用い、岩石(D)の凍結深度を1とした場合、火山灰で0.20、砂〜シルトで0.29、砂礫で0.38となる。つまり、岩石はその他の2〜5倍の凍結深度を示し、計測された凍結深度は極端に深いという訳ではない。

$D_f = \lambda \cdot (2 k_f I_b / L \omega \rho_d)^{1/2}$ λ : 補正係数, k_f : 熱伝導率(凍結状態), I_b : 積算寒度, L : 氷の融解潜熱, ω : 含水比, ρ_d : 乾燥密度

(2)RBのひずみ分布 図6に1998年10月から1999年6月のRBのひずみ(伸長を正)と気温の経時変化の一例を示す。図6より、RBのひずみは気温が0℃以下となる11月中旬から1月まで地表付近で増加し、0℃以上を多く示す3,4月頃に地表では減少しつつも3〜4.5mで微増し、5月以降ほぼ一定値を示すという概ね気温と連動した結果を示している。ただし、計測初期〜12月10日頃までに生じたひずみは図2に示すRBを埋設した位置以下の法面の掘削の時期と対応することから、凍結よりもむしろ掘削によるゆるみの影響によるものと考えられる。

次に、凍結によって生じるひずみの深度方向への分布を検討するために、凍結初期の12月10日からの相対ひずみの経時変化を図7に示す。図7に併記した、計測孔から1m離れたボーリングコアによれば、凍結深〜浅はほぼ様な砂岩であった。ひずみは初め地表に近い0.5mのゲージで増加し最大1200 μ を記録し(1月初旬)、次に1.5mのゲージが1月初旬以降増加し2月初旬の最大2200 μ をピークに計測不能となった。これに対し、3m, 4.5mの深い位置では明らかに挙動が異なり、最大200 μ の伸長ひずみを4月初旬に記録した程度である。

以上のことは、RBのひずみの挙動は、気温や地盤内の温度と連動していること、および凍結深度を境に異なることを示している。このことから、凍結した地盤の膨張によってRBに伸長ひずみが生じたものと考えられる。

ところで、当該法面の砂岩の空隙率は平均で1.6%程度であり、また、別途実施したボアホールスキャナーの開口割れ目幅から算定した空隙率は3.8%程度である。前者は岩石の空隙量を、後者は岩盤の割れ目の空隙量を示しており、水分が主に節理に存在することを考えると、水を含んで凍結する可能性のある空隙は3.8%程度(最大で5.4%)と考えられる。この空隙が飽和され、氷の体積膨張がRBの軸方向にのみ生じると仮定すると伸長ひずみは $3.8\% \times 9\% = 3420\mu$ (最大で4800 μ)となる。これは、凍結範囲で計測された最大ひずみ(3000 μ)よりもやや大きなもので、凍結によって岩盤が膨張し、RBにひずみが生じる可能性があることを示していると考えられる。

4. まとめ 岩盤切り取り斜面の温度とRBのひずみを計測した結果、次のことが明らかとなった。①当該地点での最大凍結深度は土に比べて深い2.6mであるが、Aldrichの式を適用すると極端に深いという訳ではない。②凍結によって岩盤切り取り斜面が膨張し、その結果RBに伸長ひずみが生じることがある。③空隙が100%飽和されており氷の体積膨張により伸長ひずみが生じると仮定すると、最大ひずみ(3000 μ)は岩盤の凍結による膨張によって計測される可能性がある。

参考文献 [1]Aldrich (1956): Frost Penetration Below Highway and Airfield Pavements, Highway Res. Board, 135, 124-149.[2]松岡憲知 (1991): 年平均気温から地盤の最大凍結・融解深度を推定する方法, 地理学評論, 64A-5, 347-357

表1 年間最大凍結・融解深度の実測値²⁾

場所	凍土の状態	構成物質(タイプ)	年平均気温(℃)	凍結深度(平均)(cm)
大・小・大・小	永久凍土	火山灰・土壌(B)	-6.8	74-104 (83)
富士山	永久凍土	火山砂礫(C)	-6.8	75-115 (95)
大雪山	永久凍土	火山灰・火山砂礫(B)	-3.8	120
大雪山	永久凍土	山頂積り砂礫(B,C)	-3.8	150-180
大雪山	永久凍土	泥炭(A)	-2.2	105
北上山地	永久凍土	砂〜シルト(B)	4.2	80-100
宮小牧	季節凍土	火山砂 (B,C)	6.1	66
阿寒	季節凍土	不明 (B,C)	6.4	49-70 (59)
札幌	季節凍土	粘土質砂 (A,B)	7.9	42
札幌	季節凍土	砂岩・凝灰岩 (D)	7	260

構成物質のタイプと特性値
 火山灰 (A): 熱伝導率 0.9 kcal/m・h・℃, 乾燥密度 0.7 g/cm³, 含水比 0.8
 砂〜シルト (B): 熱伝導率 1.2 kcal/m・h・℃, 乾燥密度 1.2 g/cm³, 含水比 0.3
 砂礫 (C): 熱伝導率 1.8 kcal/m・h・℃, 乾燥密度 1.6 g/cm³, 含水比 0.2
 岩石 (D): 熱伝導率 3.0 kcal/m・h・℃, 乾燥密度 2.6 g/cm³, 含水比 0.03

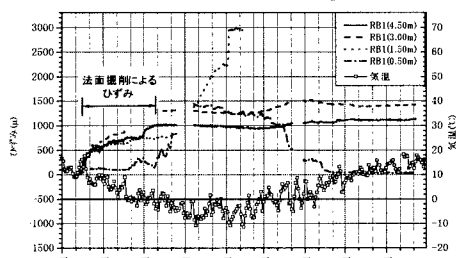


図6 RBのひずみと気温の経時変化

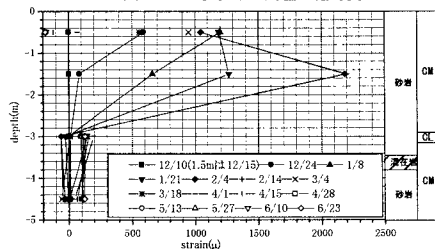


図7 RBひずみの深度方向分布 (1998年10月より計測)