

(106) 第三紀軟岩切取り斜面における蒸発計測と乾燥・湿潤による割れ目発生の研究

—宮崎県新富町での現地計測—

建設技術研究所
埼玉大学工学部
(株) CTI
埼玉大学工学部
埼玉大学工学部

○ 山脇 真二
渡辺 邦夫
菅 伊三男
田崎 信宏
鈴木 俊一

Evaporation measurement and the observation of fracture creation
on a cut-wall made of the Tertiary sedimentary rocks.

- Field measurements at the Shintomi Town, southwestern part of Japan -

Const. Tech. Inst. Yamawaki, S., Suga, I.
Saitama University Watanabe, K., Tazaki, N., Suzuki, S.

ABSTRACTS: The drying and the wetting processes can easily damage the rock surface of a cut-wall made of the Tertiary sedimentary rocks. Many fractures are newly created on the surface during these processes due to the volumetric change of clay minerals included in the rock. The creation of fractures on a new cut-wall was observed. The temporal change of the evaporation rate was also measured on the wall by using 5 evaporation sensors. The change of the moisture distribution near the wall surface was numerically simulated taking into account the evaporation rate measured. It is found that the evaporation rate measurement is a useful tool to evaluate quantitatively the drying process of rock. Many large fractures were created in special along some parts of boundaries between mudstone and sandstone layers.

はじめに

第三紀泥岩に代表される堆積性軟岩の劣化の特性の一つはスレーキングであり、乾燥・湿潤の繰り返しによって割れ目が発生し、崩壊してゆく劣化現象である。この性質を評価し、例えば道路切取り面の保護対策を考える一つとしてスレーキング試験がある。この試験は主に岩石サンプルを用いて室内で強制的に乾燥・湿潤を繰り返し、その劣化の程度を調べるものである。しかしながら、実際の斜面は、砂泥互層の様に異なった地層の複合体であることが多く、サンプルを用いた試験では、大きな複合体としての岩盤の性質が十分評価できない。また、実際の斜面でどの程度の速さで乾燥が進み、同様に湿潤が起こるかは評価が困難であり、その意味で室内試験には問題があったと考える。本研究では、現位置で実際の斜面を用いて蒸発計測を行い、乾燥の進行を定量的に把握することを試みた。また表面にみられる破壊進行の現象を連続観測し、室内試験と水分移動の数値解析の手法を合わせて、より詳しく斜面劣化の現象調べることを試みた。本研究により、まだ不十分な点はあるが、今後の斜面劣化の研究の一つの方向性が示し得たと考えられたので報告する。

1. 研究方法

1-1 現位置試験

現位置試験は、1991年8月4日～11日にかけて宮崎県新富町で行った。対象とした現地の位置図を図-1に示す。その地点には高さ約20m、長さ50mにも及ぶ大きな切り取り面がある。地質は宮崎層群に属する砂泥互層である。その斜面の表面の一部をまづ面積約2m×3mにわたり約20cm程度はぎ取り新鮮面を出した後、表面状態の変化を割れ目の発生に着目し観察した。同時に、5個の蒸発センサーを用いて蒸発量を測定した。蒸発量は、8月4日～8月8日までは定点で

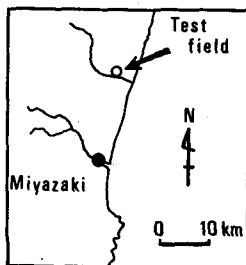


図-1 研究対象地域
(宮崎県新富町)

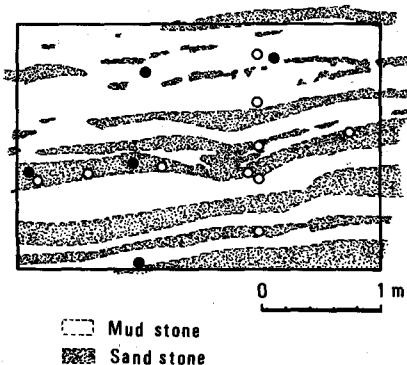


図-2 対象斜面の地質

観測し、8月9日には多点で計測した。図-2に研究対象とした面の地質と、これら定点及び多点の蒸発計測点を示す。が定点、

が多点計測を行った場所である。定点観測は雨の日を除いて毎日午前9時30分から20時前後まで行った。計測期間中8月5日と10日にかなり激しい降雨があった。観測終了後、斜面の一部から一辺約50cmの立方体の試料を取り出し、透水係数や粒度分布などの測定その他、サンプルを用いて、後述する室内乾燥試験を行った。

野外で蒸発計測を行う場合、注意すべき点は、風の影響の考慮である。この蒸発計は、壁面付近に形成される層流層の中の水分拡散量を計るものであり、風速の遅いトンネル内では多くの測定実績がある¹⁾²⁾。この水分拡散量は壁面付近の、壁面からの距離の異なる2点で測定した絶対湿度勾配に水分拡散係数を乗じて計算しうる。しかし、野外では風速が大きく、また風向も変化するため、風の乱れによる水分移動量を考慮しなければならない。この問題に対して次のように考えた。まず平板状の岩石試料を用いて、実際の蒸発量(E_v)を試料の重量変化から求めておき、同時に、蒸発センサーをこの試料上に置き、測定された水分拡散でのみ運ばれる量(E_v)と比較した。それらの比 C ($C = E_v / E_v$)と試料上約5mmの場所で測定された約10分間の平均風速(V)との関係を調べた。その結果を図-3に示す。

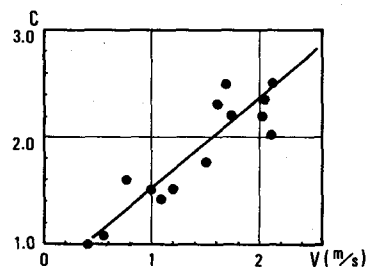


図-3 補正係数と平均風速

風速・風向が時間的にかなり変化し、図-3中のデータはかなりばらついているが、ほぼ、

$$C = 1.7V + 0.7 \quad (V \geq 0.2 \text{ m/s}) \quad (1)$$

の関係が読み取れる。今回、風速を測定しておき、この補正係数 C を測定蒸発量 E_v に乗じて蒸発量と算定した。なお、今回の測定ではほぼ壁面上3mmと9mmの位置の2点で絶対湿度を求めた。したがってこの補正係数 C は、その2点間の平均的な乱流拡散の影響を表していることになる。

1-2 室内乾燥試験

室内乾燥試験は、岩盤中の乾燥や湿潤に伴う水分分布を解析するための不飽和パラメーターを求める目的で行った。この方法について述べる。まず、試料の飽和透水係数を求める。ついで直径10cm、高さ15

cm程度の円筒形資料をとりだし、その側面をシリコンシーラントでおおい、側面からの蒸発を止める。試料の下面を水面にひたし、上面から、様々の条件で蒸発させ、この時の蒸発量を測定しておく。試料中の水分分布が定常になった後、試料から各高さごとに多数の小片をとりだし、水分分布を測定する。それと同時に飽和度-不飽和透水係数、飽和度-サクション圧の関係を種々変えて1次元的な水分分布計算を行い、実測と合う様な関係を求める。今回は、飽和度-サクション圧関係と、飽和度-不飽和透水係数関係をそれぞれ動かし求めることにした。境界条件は、側面からの流入出0、下面は一定水位、上面には計測蒸発量を与える。解析は1次元飽和-不飽和浸透流解析を用いた。1例として、泥岩について実測値と計算値との比較を図-4に示す。図-5はその時与えた飽和度-サクション圧、飽和度-不飽和透水係数関係である。ただ、蒸発量と水分分布からのみこれらの関係を求めるのは難しく、Van-genachten 式の様に、それらが2つのパラメーターで決まるような式を用いることが数学的には望ましい。しかしながら、花岡岩の不飽和特性をVan-genachten 式であてはめた例はあるものの³⁾、この式がそのまま第三紀堆積岩に適用しうるかどうかはまだ調べられていない。そのため今回はトライアンドエラーで決めることとした。なお、試料の飽和透水係数は $10^{-6}-10^{-7}$ cm/s程度であったが、図-5に示した関係は 10^{-7} cm/sとした場合である。なお、砂岩の飽和透水係数は約 10^{-3} cm/sであった。砂岩、泥岩共に従来のスレーキング試験（道路公団基準）ではスレーキング率100%であった。

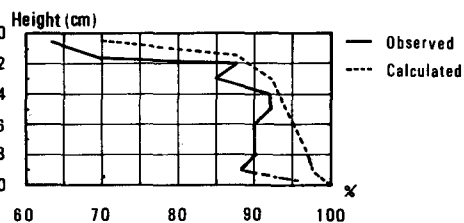


図-4 水分分布の実測と計算

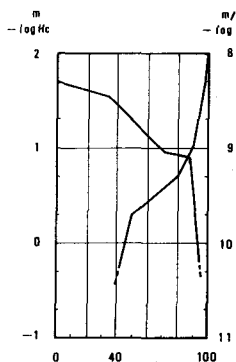


図-5 計算で与えた不飽和特性

室内試験で求めた不飽和状態のパラメーターを用いれば、実際の斜面の表面付近の水分分布を実測蒸発量 (E_v) を与えて図-6に示すように断面2次的に解析し、その結果と野外実測から得られる割れ目発生と比較することができる。つまりこの室内実験の目的はより高度に野外の岩盤の水分量を求めるためのものである。従来、パラメーター同定を同様な手法で求めようとする場合、試料上面の境界条件を定めることが難しかった。さらに実岩盤について定めることはほとんど不可能であった。蒸発量計測法によればこれらの境界条件を実測に基づいて与えることができる。この点が本手法の利点である。

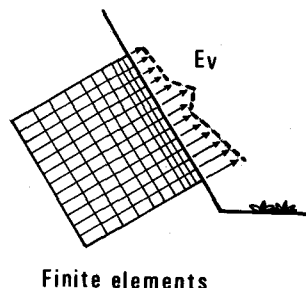


図-6 実斜面の計算

2. 切り取り斜面の劣化の進行と蒸発量分布

まず、切り取り斜面上に見られた割れ目の進行を図-7(a),(b),(c),(d)に示す。各図の上部の数字は斜面上新鮮面を出してから経過時間である。(a)と(d)図にのみ砂岩層の分布を示した。割れ目発生は、実験開始後2~3時間で確認された。これらの図から時間の経過と共に割れ目の数が増加してゆくことがわかる。特に泥岩部((a)と(d)の白抜き部分)に多数の小さな割れ目が集中してゆくことや、砂岩と泥岩の境界に沿って大きな割れ目が発生していることがわかる。(a)に見られるように、地層境界部の割れ目はかなり早い段階から発達している。このことは斜面の劣化を考えると複合体として捉えねばならないことを示している。発生した割れ目は図-8(a),(b),(c),(d)に示す3つのパターンに分けられる。(a)は、表面から1cmまで

発生した表面に平行な細かい割れ目である。(b) は法面上の掘削時の傷などから発生した割れ目である。(c) は砂岩と泥岩との地層境界層に沿って発生した割れ目で、他のものに比べ開口度も大きくて規模の大きな割れ目である。(d) は表層の岩がはがれた状態となり、その下部に小さな割れ目が発生したものである。図-8(a),(b),(d)の割れ目は泥岩中にみられた。

図-9(a)は、8月6日の朝10時30分より夜8時まで図-2に黒丸で示した定点で得られた蒸発量の経時変化である。測定点位置番号を図-9(b)に示した。全体にみて朝10時30分ごろ蒸発量はピークに達し、その後、午後2時頃まで低下していく。2時より5時頃まではほぼ一定となる。5時より再び低下し、7時頃には蒸発がなくなり、逆に岩盤による吸湿、結露が観測された。つまり、降雨がなくとも、夜間、岩盤は水を吸うことが確認された。さらに11時から12時頃の蒸発量の値を各点で比較すると、1、2点の値が3、4、5点の値に比べて全体に小さくなっている。これは、1、2点が泥岩層の上で、しかも高度の相対的に高い点であったことによるものであると考えられる。午後3時頃からは差はほとんど見られない。図-10は、8月9日に測定された蒸発量分布を示す。測定は12時から2時頃にかけて行った。この図から砂岩、泥岩いずれの場所においても、各点で蒸発量の差があまり大きくないことが読み取れる。

一方、前述したように、飽和透水係数は泥岩が $10^{-6} \sim 10^{-7} \text{ cm/s}$ 、砂岩が 10^{-3} cm/s と大きく異なっている。従って岩盤を通して供給される水量は砂岩の方が極めて大きいはずであり、蒸発量も砂

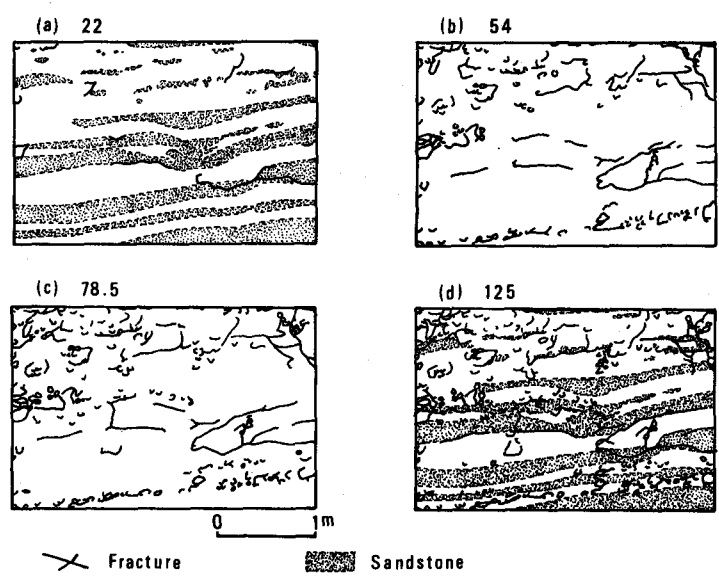


図-7 斜面表面の割れ目の進行

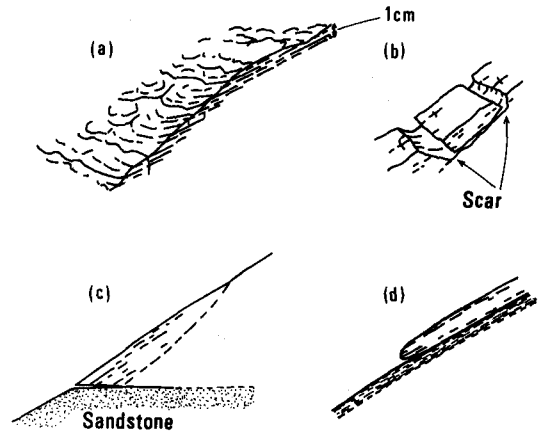


図-8 発生した割れ目のパターン

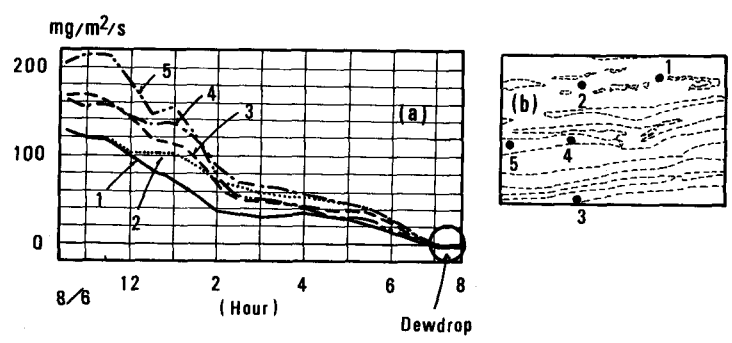
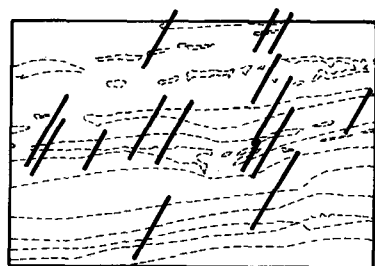


図-9 定点で観測した蒸発量の経時変化

岩層表面の方が大きいと考えられる。しかしながら実際は図-10に示されるようにほとんど差はない。このことから砂岩層を通過してきた水が岩盤表面付近で泥岩の方へ移動することが想定できる。つまり水分移動から見たとき、砂岩と泥岩は壁面近傍で複雑な相互作用を持っていることが想定しうるわけである。この点については、さらに詳細に地層境界付近の蒸発量分布を調べ検討してゆきたい。しかしながら、このように蒸発量計測によって、切り取り斜面の水分移動がより詳しく検討しうるわけである。

今回はまだ実斜面を対象とした水分移動解析が完成していないが、砂岩と泥岩の境界付近での水の移動解析が、前述した境界付近での大きな割れ目の発生を考える上で重要と考える。



/ 100 mg/m²/s

図-10 蒸発量の場所的分布

3. 結論

今回、宮崎県新宮町の切り取り斜面を対象として砂泥互層よりなる斜面の劣化試験を行った。この現場試験では、岩盤中の水分移動や乾燥を定量的に把握するため、蒸発量計測を合わせて行った。また、岩盤中の水分移動解析を目的として、不飽和パラメーターを推定するための室内試験を行った。その結果、まず蒸発量計測を用いることによって不飽和パラメーターの同定が可能になることが明らかになった。また、実際の切り取り斜面表面の割れ目発生を観察した結果、砂・泥互層のような場合、複合体として岩盤斜面を捉えることの必要性が明かとなった。斜面上に、傷などがある場合、そこから割れ目が生成し拡大してゆく。地層境界と併せて、表面凹凸も考慮する必要がある。さらに蒸発量計測から、夜間に岩盤の吸湿が発生することや、砂岩と泥岩の組合せが水分移動に重要であることが示された。今後、水分移動解析を進め、割れ目発生との関係をより詳しく調べることが必要である。

参考文献

- 1) Watanabe, K., Evaporation measurement in the validation drift, Stripa Report, TR 91-06, pp. 1-132, 1991.
- 2) Watanabe, K., Evaporation measurement at the Grimsel Test Site, NAGRA, Interner Bericht, 91-15, pp. 1-49, 1991.
- 3) Finsterle, S., Vomvoris, S., Inflow to Stripa validation drift under two-phase conditions: Scoping calculations, NAGRA, Interner Bericht, 91-40, pp. 1-31, 1991.