

(127) 沖縄、島尻泥岩を対象とした原位置斜面劣化試験

埼玉大学 工学部	渡辺 邦夫
建設技術研究所(株)	○山脇 真二
C.T.I.(株)	菅 伊三男
埼玉大学 工学部	三浦 克仁

In-situ experiment on the fracture creation and propagation below a cutface of the Shimajiri mudstone

Saitama University	Kunio Watanabe
C.T.I. Co. Ltd	Shinji Yamawaki
C.T.I. Co. Ltd	Isao Suga
Saitama University	Katsuhito Miura

ABSTRACT

Many fractures are created below a cut face of Tertiary mud stone during the drying and wetting process. The fractures creation and propagation below a cutface made of the Shimajiri mudstone were studied in detail by a large scale in-situ test. The test was performed at one place of the Okinawa prefecture from August 4 to August 10, 1992. Evaporation rates from 4 different points of the rock surface were continuously measured using four evaporation sensors. The moisture distributions below the surface were also measured. It was clearly found that the moisture condition in the mud stone strongly influence on the fractures creation and propagation process. The process can be essentially divided into three phases; (1) creation of small vertical fractures, (2) enlargement of some of these vertical fractures and (3) creation of parallel fractures of which directions are nearly parallel to the wall surface.

1. はじめに

従来から軟岩切取り斜面の劣化には、岩石中の水分変化が重要な要因となっていることが指摘されている。したがって、この研究では岩石内の水分状態と岩盤劣化の主な現象の1つである割れ目の発生と拡大との関係を十分に把握しておく必要がある。その上で、劣化を防ぐ技術を開発することが望ましい。しかしながら従来、岩盤の乾燥湿潤状態を解析したりモニタリングしたりする技術が十分といえず、この方向の研究が進んでいるとは言い難い。とくに、乾燥・湿潤過程の評価に必要な岩石の不飽和特性は、測定が極めて難しいこともあってあまり調べられてこなかった。この点に関して、最近筆者らは、簡易的な測定法を提案し、各種の岩の性質を調べている¹⁾。また、まだ風速の影響などの評価に問題があるとはいえ、蒸発量計測により、岩盤の乾燥状態をモニタリングする試みもなされている²⁾。このような研究状況の変化を踏まえ、もう一度基礎的に実際の斜面の劣化特性を詳しく調べることは、軟岩斜面劣化を防ぐ技術を開発する上で重要である。この観点に立って、今回、乾燥が極めて速いと考えられる沖縄本島において、原位置岩盤劣化試験を行った。

その結果、割れ目の形成や岩表面からの蒸発特性について特徴的な性質が明らかとなったので報告する。

2. 原位置岩盤劣化試験

原位置試験を1992年8月4日から8月10日まで沖縄市内の切り取り斜面を対象として行った。図-1に試験場所と切り取り斜面の断面図を示す。試験は、図中に示す部分で行った。この部分は、勾配35°で斜面に沿った高さ6.5m、斜面長約30mである。この斜面は作られてからほぼ1年経過している。試験に先だって、この斜面の高さ2.5m、長さ3mの部分を深さ約30cm人力で掘削し、新鮮面を出した。

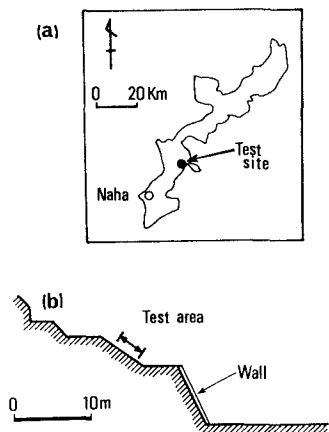


図-1 原位置試験場所

図-2に掘削面の状況を示す。掘削面上には、多くの割れ目が見られた。地質は、ほとんどが島尻層群に属する泥岩であり、点模様で示したような火山灰の薄層をはさんでいる。火山灰層をはさんでいるとはいえ、その量は少なく、ほぼ均質な泥岩と言える。図中に併せて蒸発測定点を●で示した。数字は観測点番号である。これらの地点を第1～第4観測点と書く。このうち第2観測点は火山灰層の上に置かれた。また、図中の太い実線は変位計である。この変位計は、約1m離れた2点に埋め込まれたボルトの間隔の変化を測定するものである。ボルトの埋め込み深さは10cmであった。試験中、とくにめだった変位は観察されなかった。なお、図下部に、この試験区域の中でとくに詳しく割れ目の発生と発達を観察した領域を斜線で示した。試験期間中、8月6日早朝に2～3mmの降雨が見られた。また8月7日は全日台風に伴う激しい降雨があった。総降雨量は50mmに達した。試験区域の岩盤表面の温度は最高でも34°C程度であった。

図-3は、掘削前の自然斜面部分の2点で測定した深さ方向の飽和度分布である。まず図-3(a)を見ると、表面から約2cm程度までは飽和度はほぼ20%で一定である。一方約3cm以下では、飽和度は80%に達している。つまり、約2cmから3cmの間に極めて大きな飽和度のギャップがあることがわかる。実際、斜面表層は乾いていても、数cm掘ると黒く湿った泥岩が現

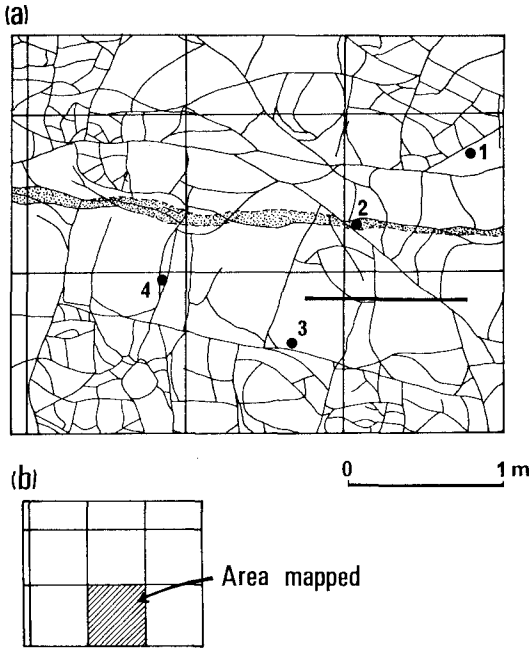


図-2 試験区域の割れ目系および劣化観測領域

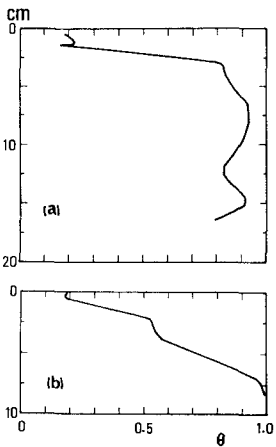


図-3 初期飽和度分布

れる。乾いた部分には、斜面にほぼ平行な小さな割れ目が多数存在している。これらの斜面にほぼ平行な割れ目は、30 cmほど掘削しても数は表層部に比べて極めて少ないが観察することができる。一方、図-3 (b) では、表層より約7 cm程度より深い所では、飽和度は100%近くになっている。それより浅い所では、少しずつ飽和度が小さくなり、表面付近では(a)と同様に約20%となる。表面付近に約1 cmの範囲で飽和度がほぼ一定の層が見られる。また、深さ3 cmから5 cmの間にも飽和度の変化の少ない部分が見られる。

以上をまとめると、この斜面では、場所により多少異なるが、表面から3ないし7 cm以深では飽和度がかなり高くなっており、これより浅い部分で飽和度が大きく変化していることがわかる。したがって、今回のように30 cm程度掘削すると、表面に飽和度の高い層が現れることになる。

3. 試験期間中の割れ目の発生の特徴

図-2で示した領域で試験期間内の割れ目の発生と発達を観察した。図-4 (a) - (f) にその結果を示す。各図の上部に観察した日時を記している。まず、(a)は、試験開始直後の割れ目状態を表している。実験初期にもかなり多くの割れ目が存在していた。(b)は、試験開始後2時間経過した時の状態である。わずか2時間で多くの割れ目が生じたことがわかる。(c)は、試験開始32時間後の状態である。割れ目も多くなっているが、この時点では、割れ目の数が増加する以外の性質が見られた。それは、発生した割れ目の一部がとくに大きく開口したことである。大きく開口した割れ目の分布を(d)図に示す。それらの開口幅は0.5 mmから1.5 mm程度であった。一部の割れ目の開口に伴い、他の割れ目の間隙幅は逆に小さくなり、完全に閉じたようになってしまったものも観察された。つまり、一部の割れ目の開口幅の増大が他の割れ目の閉塞を生じさせた。図(e)は、小降雨後の割れ目系である。一度湿潤した表層が再び乾燥したため、表面がはがれめくれあがった状態となった。また、表面直下に斜面表面にほぼ平行な割れ目が現れた。図(f)は、台風の通過した翌日の午後5時の状況である。表面に乾いた土がはりついたようになり、表層には乾燥に伴って斜面にほぼ平行な割れ目が多数発生した。

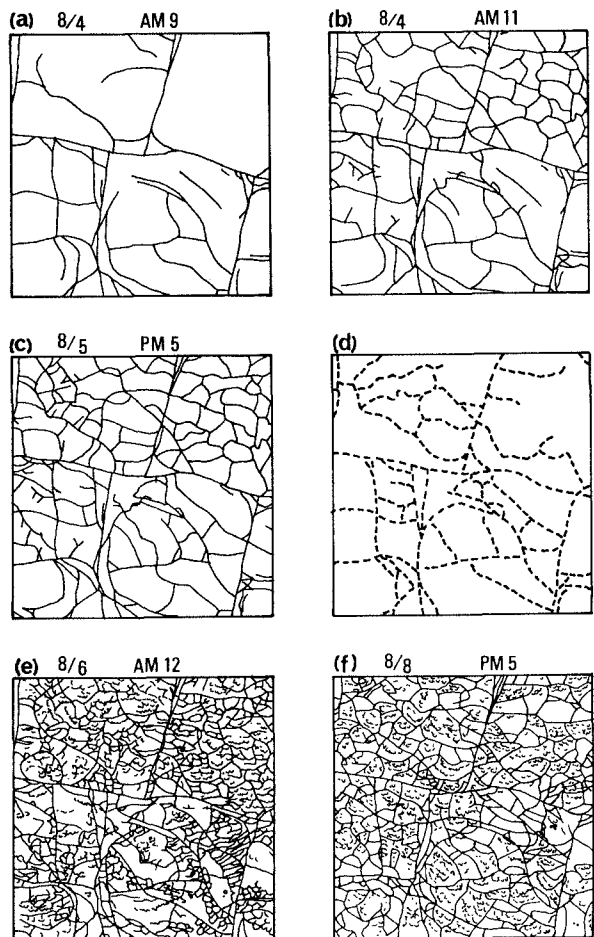


図-4 試験区域内の割れ目の進行状況

図-5は、これら観察された割れ目の発生と発達の性質を模式的に示したものである。(a)は掘削直後に現れる小さな割れ目であり、割れ目の深さは1 cm程度である。(b)はそれらのうちの一部分が発達する状況である。間隙幅が前述のように、1 mm程度となり、深さは3-5 cmに達する。(c)は小降雨後、

表層が乾燥した後の状態である。表面が破断しウロコ状になりめくれあがる。表面直下に、斜面にはほぼ平行な割れ目が生じ始める。(d)は台風後の状態である。一度乾燥した表層が大量の水を含み、泥状になる。斜面に平行な割れ目が発達する。これらのうち、(a)、(b)が岩の単純な乾燥によって作られた割れ目であり、(c)、(d)が一度降雨により湿潤することにより形成されるものである。

このように、軟岩の乾燥・湿潤に伴う割れ目の発生と発達が模式的に把握でき、岩の水分変化によって大きく影響されることがわかる。

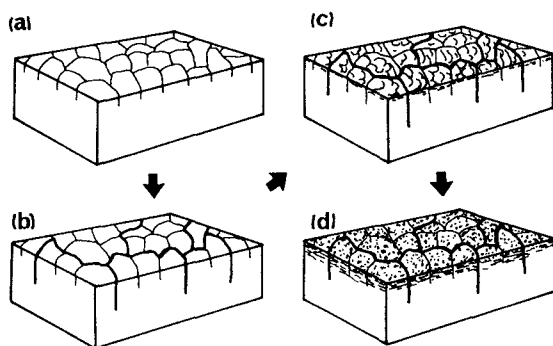


図-5 割れ目の進行状況の模式図

4. 蒸発量と岩盤表層の水分分布

図-6に、試験期間中測定された蒸発量の変化を示す。蒸発量計測は、蒸発センサー⁴⁾を用いて行った。このセンサーは、地表付近の高さの異なる2点で絶対湿度を求め、その勾配に水分拡散係数を乗じて空気中の水分移動量を求めるものである。蒸発した水分は斜面直交方向に空气中を移動する。水分が分子拡散のみ移動する場合にはこのセンサーにより、蒸発量をかなり精度良く測定することができる³⁾。しかし、野外では、分子拡散ばかりではなく、空気中の風の乱れによっても運ばれる。そのため、センサーの値を補正しなければならない。その補正は、以下の式を用いて行った。

$$Ev_0 = C \cdot Ev$$

ここに、 Ev_0 は実際の蒸発量であり、 Ev は、このセンサーによって求めた

値である。 C が補正係数である。一般的な補正係数を求めることは、容易ではない。今回は、昨年宮崎県新富町で行った岩盤劣化試験で求めた下記の関係式を用いて補正係数を推定することとした。

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

ここに、 V は、斜面表面上5mmの高さの点で測った風速である。ただこの式の精度はあまり高くなく、いまの所、誤差を3-4割程度含んでいる。この点が野外での蒸発量計測の最大の問題である。

試験開始後の8月4日から6日までの蒸発量の連続記録を見ると、いずれの点においても昼間の蒸発量が大きくなる。夜間蒸発量はほとんどなくなり、逆にマイナス値(岩の吸水を表す)を示す点もある。この期間内では、第2観測点からの蒸発量が最も小さい。これは、このセンサーの置かれた場所がよく締まった火

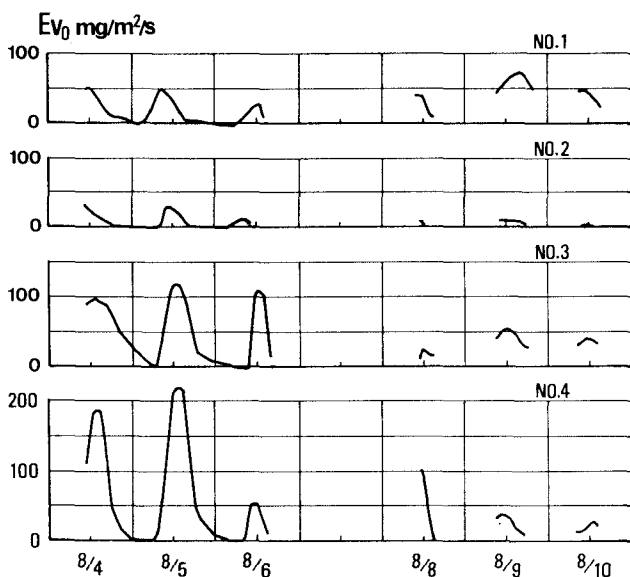


図-6 蒸発量の非定常変化

山灰層であり、含水比が小さく、透水性も相対的に小さいことによるものと考えられる。これに対して、第3、第4観測点からの蒸発量は大きい。とくに第4観測点では $200 \text{ mg/m}^2/\text{s}$ 以上の値を観測した。このように、均質に見える泥岩層でも、掘削直後は蒸発量にかなりの場所的な差が認められる。これは、岩に含まれる水分量に場所的な差異があることによるものと考えられる。たとえば、8月5日の蒸発量がピークに達した時点と比べると、第1観測点では第3、第4観測点に比べてピーク時間が11時頃と早くなっている。これにたいして、第3、第4観測点では、13時から14時にピークとなる。もともと、日射量は13時から14時にかけて最大となるから、すべての点でこの時点で蒸発量も最大になるはずである。しかし、この時、表層の水分量が小さくなれば、日射量に応じた蒸発量の増加は生じないことになり、日射と蒸発量のピーク値は対応しないことになる。このように、ピーク時間の場所的な差は、岩の水分量の違いを反映するわけである。この水分量の違いは、場所的な含水比の差や、その付近の割れ目などを通して行われる水分の供給量の違いによるものと考えられる。第3、第4観測点に見られるように、8月8日以降、表面に割れ目が多数形成された後には、蒸発量はピークでも $50 \text{ mg/m}^2/\text{s}$ 程度と小さくなる。これは、前述したように表面に生じた割れ目の多い層が、蒸発抑制効果を持つことを示している。この時点で第1観測点とのピーク蒸発量の差はあまり見られない。このように、まだ、精度上の問題は残るものの、蒸発量測定によって、表層の水分状態を推定することができる。

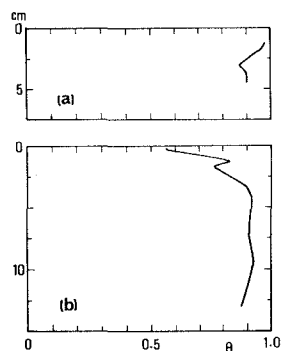


図-7 表層飽和度分布

図-7は、台風の通過した次の日の11時(a)とその6時間後(b)の表層の水分分布を見たものである。(a)では表面付近は90%程度の高い飽和度を示しているが、その後の蒸発の結果、(b)では地表から約3cmまでの飽和度が小さくなっている。これは、表層の水分が蒸発していることを示している。最終的には、前述図-3に示したように、表面付近に飽和度20%程度の薄層が形成され、水分分布の急変点が地表数cmの深さに現れると思われる。この低水分の薄い層が蒸発の抑制効果を持つと考えられる。つまり、この層内では、発生した斜面に平行な割れ目により、水の地表面に向かう毛管流動が妨げられ、表面からの蒸発が低下するものと考えられる。まだ直接観察できなかったが、この低飽和度層内の水分輸送は、毛管流動に加えて水蒸気輸送が大きいと考えられる。

5. 結論

今回、軟岩斜面表層の劣化を岩盤の水分状態の変化と関係付けて把握するため、原位置の風化試験を行った。その結果、まだ計測精度や計測数に不十分な点はあるが、以下のことが明らかになった。

- (1) 乾燥・湿潤に伴った割れ目の発生と発達の特徴的なパターンが示された。
- (2) 蒸発計測が表層の水分状態の把握に有効であることが示された。
- (3) 劣化した岩盤表層の水分変化の特徴がある程度把握できた。

今後、水分移動の解析を併せ、さらに詳しく劣化の進行と水分変化との関係を調べる必要がある。

参考文献

- 1) 渡辺邦夫、堤和大等、軟岩の不飽和特性の室内測定と軟岩斜面表層部を対象とした水分移動解析、第25回岩盤力学シンポジウム、1993。
- 2) 山脇真二、渡辺邦夫等、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、第24回岩盤力学に関するシンポジウム、pp. 519-523、1992。
- 3) 渡辺邦夫等、蒸発計測によるトンネル壁面からの湧水量の測定(その1)、応用地質、vol. 30、pp. 189-196、1989。