

斜面安定に影響を与える要因について

ON FACTORS EFFECTED UPON ROCK SLOPE STABILITY

楠見 晴重

Harushige KUSUMI

1. まえがき

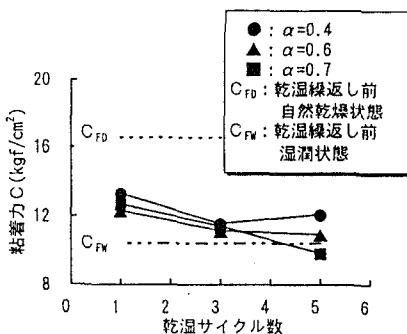
平成9年に土木学会から出された「大規模岩盤崩壊に関する技術検討委員会 報告書」によると、岩盤崩壊の基本的考え方とは、岩盤崩壊の起こり易さは、種々な地形・地質条件が基本にあり、それを引き起こす外的作用に依存しているとしている¹⁾。地形、地質要因としては、岩盤斜面内に存在する不連続面の性状、斜面勾配や形状等が挙げられるが、特に国内のほとんどの地域では、過去にかなりの地殻変動を受けているため、地質構造が複雑化し、不連続面が発達している場合が多い²⁾。

ここでは、このような地形、地質構造を有している岩盤斜面の安定性に影響を与える要因として、地震、気象、自然条件に伴う風化、変質作用、地下水作用および凍結、融雪作用等が挙げられるが、これらの内、気象、自然条件に伴う風化、変質作用、地下水作用および融雪作用の影響について紹介する。

2. 風化・変質作用

上述したように、地質構造が複雑化して開口した不連続面が発達すると、自然および気象条件によって風化・変質の作用が進行する。これは岩盤斜面の安定に影響を与える要因の一つである。一般に風化作用は物理的、化学的、生物的風化作用と分類されるが、風化が進むと岩盤の強度は低下する。特に軟岩ではその傾向が著しい。図一1は、一定の垂直応力およびせん断応力を載荷させた状態で乾湿繰返しを行った時の、軟岩の乾湿繰返し回数と粘着力との関係について示したものである³⁾。

ここで応力比 α とは、供試体に与える一定せん断応力と、乾湿履歴のない湿潤状態下の供試体のせん断強度との比である。この図より、乾湿繰返し回数の増加に伴って、粘着力の低下が著しいことが分かる。図一2は花崗岩礫の強度の時間変化を示したものである⁴⁾。ここで、縦軸のTSI値は点載荷試験によって求めた引張強度である。これによると、風化の進行は直線的でなく、風化の初期に強度の低下が著しいことがわかる。Sunamura⁵⁾は、風化による強度低下を表す次式のような一般式を示している。



図一1 粘着力Cと乾湿サイクル数の関係³⁾

$$S=S_0\exp(-kt) \quad (1)$$

ここで、 S ：時間 t における岩盤の圧縮強度

S_0 ：風化開始時における岩盤の圧縮強度

k ：単位時間当りの低下係数

式(1)は、岩盤表面における風化による強度低下を与える式として提案されたものである。また、風化の始まりは岩盤表面で生じるが、時間の経過とともに岩盤内部にも進行する。その分布は、深さ方向に対して風化の程度は徐々に小さくなっている。これを次式のように表すことができる。

$$S_z=S_0\exp\{-A(z-z_0)^2t\} \quad (2)$$

ここで、 S_z ：深さ z における岩盤の圧縮強度

S_0 ：風化が起っていない深さ z_0 の岩盤の圧縮強度

z ：岩盤表面からの深さ

z_0 ：風化層厚

以上に示したことは、主に堅い岩石もしくは岩盤を対象としたもので、すでに風化が進んだ状態にある岩石・岩盤、またはもともと固結度の低い岩石・岩盤に対しては、風化の進行は格段に早いことが十分予測される。

図一3は道路の切取り後の変化を、種々の岩盤に対して経時的に弾性波速度を計測した結果を示したものである⁶⁾。ここで、縦軸の風化帯走時とは、

$$t = \frac{d_1}{v_1} + \frac{d_2}{v_2} \quad (3)$$

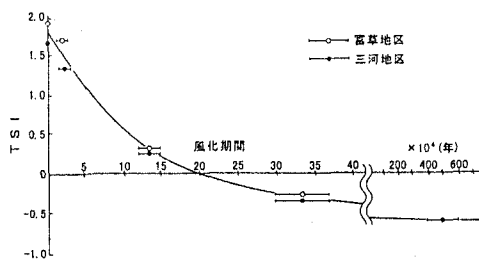
ここで、 d_1, d_2 ：第1，第2風化層厚

v_1, v_2 ：第1，第2風化層の弾性波速度

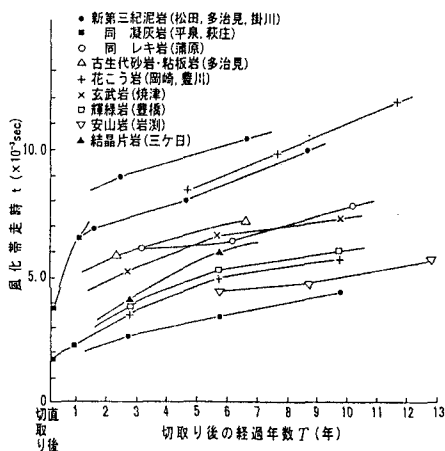
である。この図より、風化は切取り後急速に進み、特に第三紀泥岩や花崗岩が特に顕著である。その後、風化の進行は遅くなり、ほぼ一定となっている。この傾向は図一3で示した花崗岩礫の結果と類似しているが、風化の速度は、岩盤斜面の安定に影響を与えるような短い時間のオーダーである。

3. 降雨に伴う地下水挙動と斜面変動

斜面の変動が地下水の動きと密接に関係していることは、以前から指摘されていることである。したがって、斜面の動きを詳細に捉えるためには、長期にわ



図一2 花崗岩礫の風化による強度減衰曲線⁴⁾



図一3 岩種別にみる風化量（走時）の経時変化⁶⁾

たって地下水変動を計測監視する必要がある。ここでは、第三紀中新世の砂岩、泥岩互層地帯で切土工が行われた所で、約3年半にわたって、斜面のり肩、中央およびのり尻部の孔内地下水位および孔内傾斜計を計測した結果を示している⁷⁾。なお切土高は最大24m、1段の高さが10m、のり勾配は1割である。

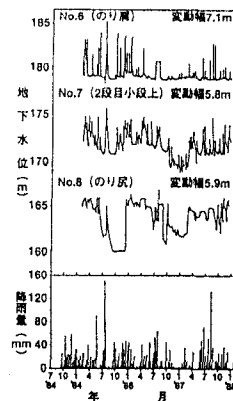
図一4は、84年7月から87年12月までののり面3カ所の地下水変動とその期間の降雨量を示している。地下水位は、継続した降雨が観測されると上昇し、降雨が止むと徐々に下がり、ある一定値に落ち着く傾向がある。ただし、詳細には、斜面の各部によって異なっている。斜面のり肩部では、降雨が観測されない場合、水位はほとんど一定値を示しているが、のり尻部では、季節ごとによって変動が異なり、夏から秋にかけて低く、冬から春にかけて高い傾向を示している。図一5は同時期における、各斜面部の孔内傾斜計から求めた、ある深さの斜面の変位を示している。ここで、No.1とNo.4はのり肩部、No.2はのり中央部、No.3はのり尻部である。この図より、各部とも、変位は山側と谷側へと繰り返しながら経過しているが、谷側に変位する量が多いことから、全体的には谷側へと変位していることがわかる。また、図一4の地下水変動と比べると、地下水位の高くなる7月頃と10～11月頃ののり面の動きは谷側に変位し、地下水位の低くなる4月頃と8月頃に谷側から山側に変位していることがわかる。すなわち、地下水位の高くなる時に谷側に変位し、その一部分が永久変位として蓄積され、地下水位が下がったときに他の変位が山側に戻る。

このように、斜面の動きは地下水位の変動と密接な関係があり、斜面の短期および長期の安定性を論じるために斜面内の経時的な地下水変動特性を把握する必要があると思われる。

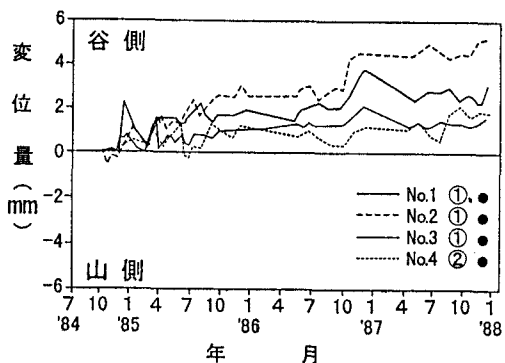
4. 岩盤斜面内の融雪に伴う地下水挙動

寒冷地においては、一般に斜面は融雪期に変動することが多い。しかし、積雪時から融雪期の地下水変動を連続的に計測することは、積雪のため非常に困難を伴う。このため岩盤斜面の水みち部を対象とした連続的な地下水位記録となると、あまり計測されていないのが実状である。ここでは、新第三紀層泥岩、砂岩互層地帯の計測例を紹介する。

図一6は新潟県内における、積雪時から融雪時（12月～4月）にかけて連続的に計測した地下水変動記録である⁸⁾。60.3は深度25m、60.5は深度10mに圧力センサーを設置している。この図より60.3の地下水変動は、融雪が終了する直前に最高値に達している。このことは、以前からよく言われているように、融雪が完全に終わる5月頃よりも3月下旬から4月にかけて、斜面の崩壊や地すべりの発生が多い事実と一致する。



図一4 切土のり面の地下水変化⁷⁾

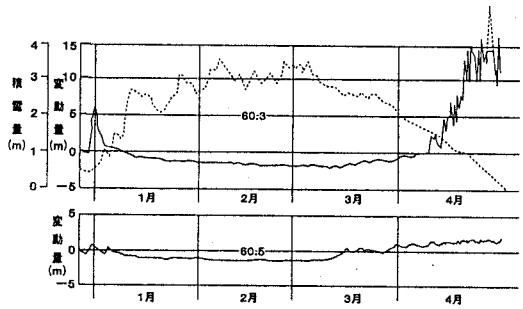


図一5 切土のり面の変化の経時変化⁷⁾

また 60.5 の地下水変動は、60.3 のような大きな変動はしないが、融雪とともに、徐々に水位が上昇している。

このように、融雪時の地下水変動が、場所によって異なった傾向を示すことは、降雨時の場合と同様であるが、積雪よりもむしろ融雪の変化に関係があると考えられる。また、60.3 のような大きなピークを示す箇所では、常時に比べ、岩盤ブロックにかなりの水圧が作用していることから、十分注意する必要がある。

このように、融雪期に地下水位を連続して測定することは、斜面地や地すべり地の地下水挙動を知る上で、重要であると考えられる。



図—6 融雪時の地下水変化⁸⁾

5. まとめ

ここでは、岩盤斜面の安定に影響を与える外的要因の中で、主として風化変質、地下水および融雪について、計測例を挙げて紹介した。これら外的作用は複合したり、何度も繰返し作用したりして、岩盤斜面の安定性に影響を及ぼすものと思われる。しかし、これらの作用については、まだ未解明なことが多く残されており、今後さらに多くの研究がなされることを期待する。

参考文献

- 1) 土木学会編：「大規模岩盤崩落に関する技術検討委員会報告書」，土木学会，1997.
- 2) 土木学会編：「岩盤斜面の安定解析と計測」，土木学会，1994.
- 3) 楠見晴重，峰之久，松下千加生，西田一彦：一定せん断応力を受ける軟岩の乾湿繰返し下におけるせん断挙動，第10回岩の力学国内シンポジウム講演論文集，pp.37～42，1998.
- 4) 木宮一邦：三河・富草地域の花崗岩礫の風化速度．—花崗岩の風化・第2報—，地質学雑誌，Vol.81, pp.202～222，1975.
- 5) Sunamura T：A physical model for the rate of coastal tafoni development, Jour. Geol. Vol.104, pp.741～748, 1996.
- 6) 奥園誠之：切り取りノリ面の風化とその対策，土と基礎，Vol.26, No.6, pp.37～44, 1978.
- 7) 太田秀樹，大森晃治，坂口皆栄，中道育夫：切り取り軟岩のり面の長期挙動，土木学会論文集，No.463/III-22, 15～24, 1993.
- 8) 南雲政博：地下水に関する計測例と問題点，「地すべり計測技術の現状と問題点」，地盤工学会北陸支部他，pp.8～15, 1987.