

亀裂性岩盤の崩落形態とその評価

Rockfall Patterns of Blocky Rock Slope and its stability evaluation

斜面災害の比較的多い地質の一つに、形成時代の古い堆積岩や変成岩などに代表される「亀裂性岩盤」があげられる。これらの地質から構成される斜面では、個々の岩片は比較的硬質だが、割れ目が発達する岩盤が分布しており、片理面や節理面等の不連続面に規制された岩塊の崩落や崩落跡がしばしば確認されている。これらの亀裂性岩盤の崩落形態には典型的な崩落パターンからそれらが複合したものまで様々なタイプがあるが、ここでは比較的頻度の高い代表的な崩落様式と思われる「くさび型の崩落」と「平面型の崩落」の岩盤の特徴とその評価の2,3の例について紹介する。

長瀬 真央¹⁾



1. 不連続面の定義と分類

「亀裂性岩盤（Blocky Rocks）」に対する明確な定義はないが、ここでは、不連続面の密に発達した岩盤の総称として使用することとする。

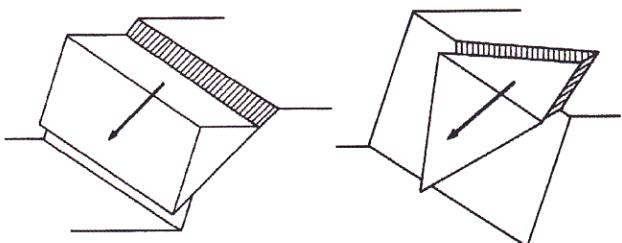
不連続面とは「岩盤内に存在する引っ張り強度が小さい又は全くない力学的不連続面の総称（ISRM）」とされており、これらの不連続面が発達する岩盤を岩盤工学の分野では「不連続性岩盤（Discontinuous Rocks）」と呼んでいる。不連続性岩盤では、不連続面の性状や方向性が岩盤の力学特性に大きな影響を与えることが知られており、亀裂性岩盤斜面における斜面災害の多くも、これらの不連続面に規制された岩塊の崩落現象となっている。これらの不連続面は、成因ごとに特定の方向性を持っていることが多いことから、それらの不連続面を詳しく観察することによって、崩落のタイプについてはある程度まで予測することが可能な場合もある。比較的多く見られる不連続面には、以下のものがある。

①層理面：堆積岩に形成される堆積構造。形成時代の古い堆積岩では、平行な層状の弱面となりやすい。

②片理面：変成作用によって形成された、二次的な層状の不連続面で、層理面とは必ずしも一致しない。

③節理面：規則的に配列した不連続面で、広域的な構造運動に関連して形成される節理（構成性節理）と、火山岩などの冷却過程で形成される節理（非構成性節理）がある。層理面や片理面等とは必ずしも一致せず、成因を反映した方向性（1系統とは限らない）を示す。

以下では、これらの不連続面の組み合わせによって生じる発生頻度の比較的高い崩落様式と思われる「くさび型の崩落」と「平面型の崩落」（図1）の特徴とその評価の2,3の例について述べる。



(左：平面型の崩落、右：くさび型の崩落)

図1 岩盤の崩落形態の模式図

¹⁾ 共通事業本部 地質部 （技術士 応用理学部門、建設部門） Mao NAGASE

2. くさび型の崩落

くさび型の崩落は、方向（走向）と傾斜の異なる複数の不連続面が複合して生じる現象で、不連続面の組み合わせによって幾何学的に抜け落ちることが可能な岩塊（写真 1、2）が発生する。これらのくさび型の岩塊が抜け落ちることが可能かどうかは、斜面の形状と不連続面の分布によって決まるが、数 10cm 大の小規模なものや現時点ではほとんど開口していない亀裂に囲まれた潜在的な岩塊も含めると、急崖斜面におけるこれらの移動可能岩塊を完全に把握することは非常に困難と判断される。また、現時点で幾何学的には安全と判断される岩塊でも、その周囲の岩塊が抜け落ちることによって将来的に不安定化することもあることから、これらの不連続面の発達する斜面では、規模の大きなものを除けば、斜面全体に対する対策を検討することが望ましいと考える。

くさび型の崩落が想定される岩盤斜面から移動可能な危険岩塊を抽出・評価する方法としては、ブロック理論によるキーブロック解析等が知られているが、岩塊の安定性に関わる主要な不連続面の方向性と広がりが確認できる場合であれば、複雑な解析をしなくとも複数の断面図

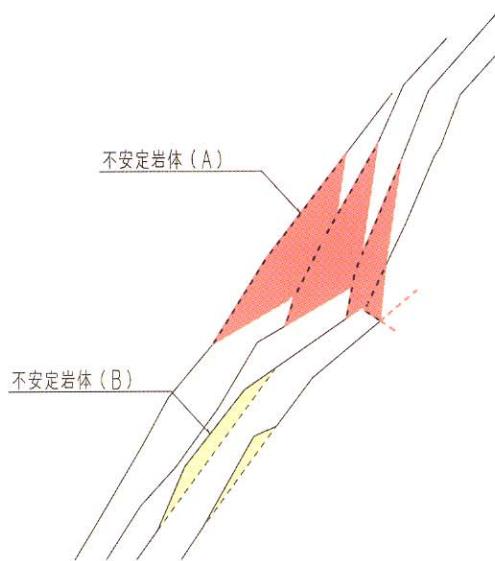


図 2 断面図における不安定岩塊の表示例

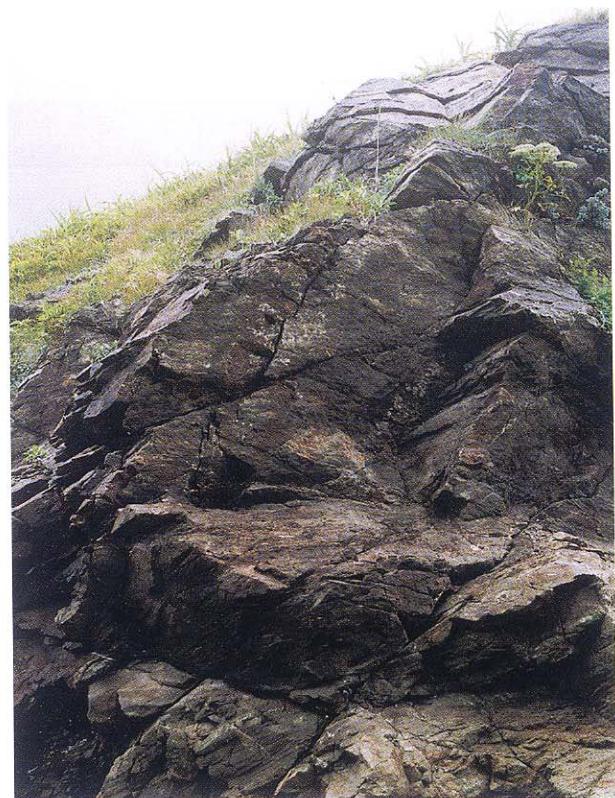


写真 1 くさび型の崩落を生じる可能性がある岩盤斜面

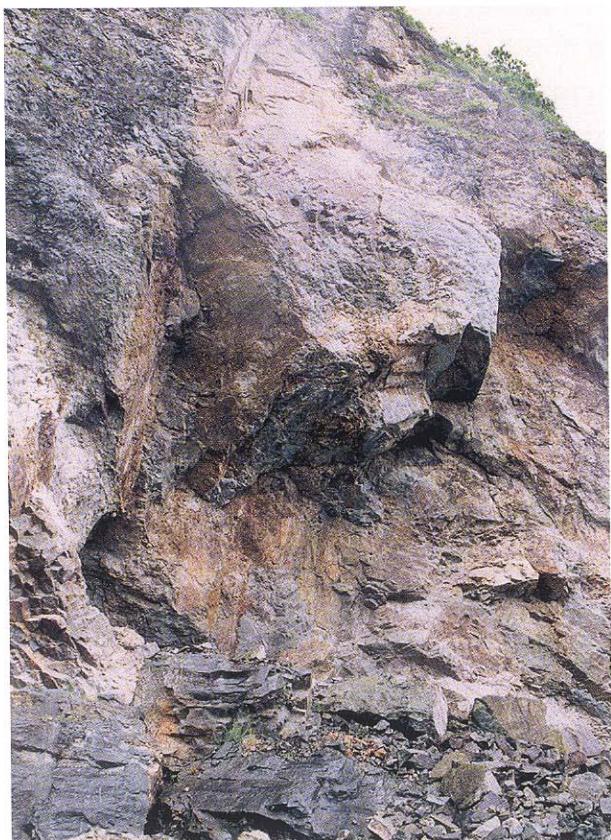
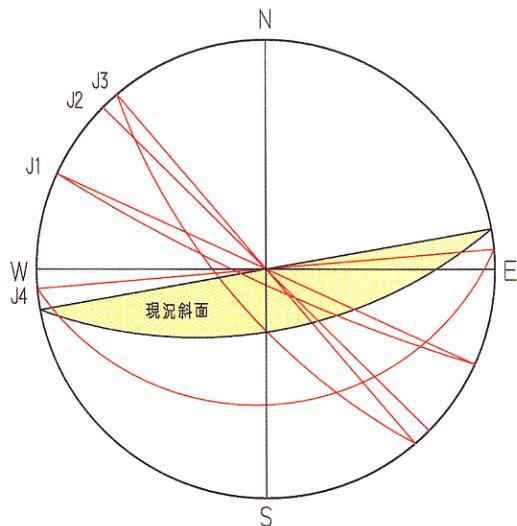


写真 2 くさび型の崩落跡

(図 2) やステレオネット (図 3) 上に不連続面を表示することによって、不安定岩塊の 3 次元的な分布や形状を簡易に把握できることもある。

特にくさび型の崩落が想定される亀裂性岩盤斜面では、不連続面の分布や組み合わせの詳細な把握が、移動可能な岩塊の有無を判断する目安となることから、現地調査の重要性は言うまでもなく、これらの幾何学的な検討によってその範囲や規模を特定していくことも重要と考えられる。



(J1～J4 は主要な節理面)
図 3 ステレオネットによる解析例

3. 平面型の崩落

平面型の崩落は、斜面と同じ走向・傾斜を有する層理面や片理面等の不連続面が主要な分離面となって板状の岩塊がすべり落ちるものである。平面型の崩落を生じるには、これらの板状の岩体を周囲から分断する複数の胴切り状の不連続面（節理面等）が分布するか、岩盤自体が自重によって破断すること必要で、後者の場合には非常に予測が困難となる。

崖面の内部に分布する流れ盤構造の不連続面の状態や連続性については、側面部の観察やボーリング調査、ボアホールカメラ等によって確



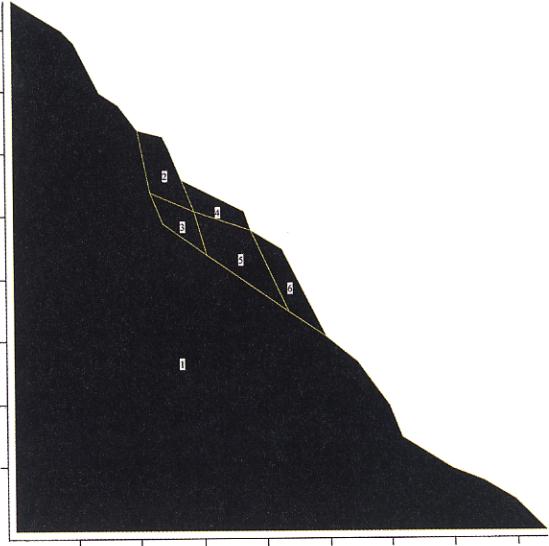
写真 3 平面型の崩落が懸念される岩盤斜面

認することも可能だが、その不連続面が層理面や片理面である場合などは、同系統の不連続面が幾重にも重なっていることが多く、移動可能な岩塊の範囲の決定に際しては、開口程度の大きな不連続面の分布と性状だけでなく、地形的な要素も考慮した斜面全体の評価が必要と判断される。特に、オーバーハングが形成されていて、その切欠きの根元に流れ盤構造の不連続面が分布する場合などは注意が必要で、現時点で安定度が高いと判断される場合でも、継続的な監視を行って行く必要があると考える。

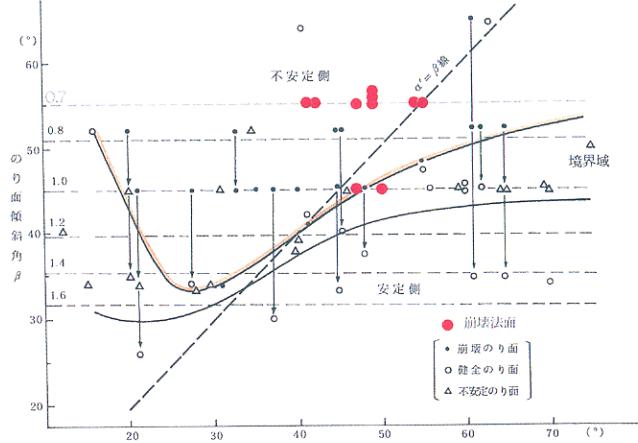
4. 不連続面の工学的性状と安定性

亀裂性岩盤斜面の安定性の評価手法には、個別要素法や不連続変形法（図 4）等の数値解析法もあるが、これらの解析には一長一短があり、また、現時点で不連続面の工学的性状を正確に把握する確立された手法もないことから、亀裂性岩盤の安定性を定量的に評価する手法には、未だに多くの課題が残されているのが現状であろう。

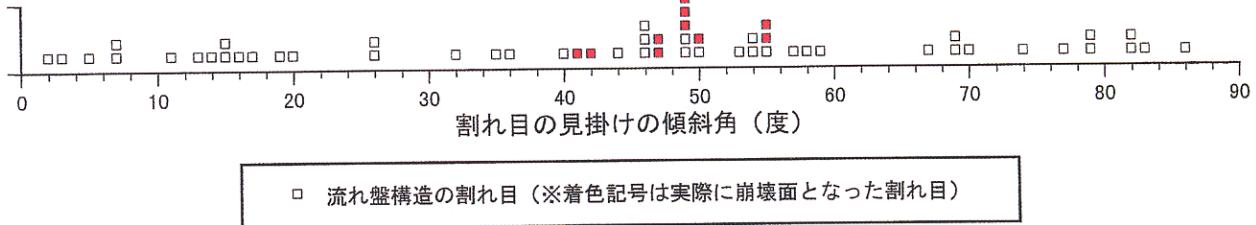
その一方で、多くの細かな不連続面が発達する切土法面等で、大規模な崩落の懸念がない場合であれば、不連続面の強度が一定との仮定のもとで岩塊の抜け落ち箇所における不連続面の傾斜角などから、法面全体の大規模な安定勾配を推定できる場合もある（図 5 や図 6）。



(黄色線で囲まれた部分が移動可能ブロック)
図4 不連続変形法（DDA）による解析例



(日本道路公団「設計要領第一集」の図に一部加筆)
図5 亀裂性岩盤斜面の法面勾配の検討例(1)



(不連続面の見掛けの傾斜角と崩落実績から見掛けの安息角が推定できる)
図6 亀裂性岩盤の法面勾配の検討例(2)

亀裂性岩盤斜面の安定性の評価に際しては、斜面の状況や規模等を総合的に判断し、適切な評価手法を採用することが必要だが、特に数値解析を行う場合には、不連続面のせん断強度についての十分な検討が必要となろう。不連続面の工学的性状は、その成因や不連続面の状態(凹凸や充填物の性状など)によっても異なるほか、長期的には風化や含水状態の変化、掘削時の応力開放等に伴ってせん断強度が低下することも予想される。従って、幾何学的に不安定な移動可能岩塊に対しては、長期的な観点で安定性の評価と対策を検討することが必要で、仮に現時点での安定が確認できた場合でも、斜面状態の変化に即座に対応できるように定期的な観測を重点的に実施していくことが重要であろう。

5.まとめと課題

岩盤の不連続面には、片理面・層理面など岩石の構成粒子の配列による亀裂のほか、節理面といった分離面や断層や破碎帯などの弱面があり、それぞれで異なる工学的性状を有すると判断される。これらの分布や状態を完全に把握することは不可能で、仮に確認されたとしても近い将来に分離する可能性のある不連続面なのか、分離するとしたらいつ分離するのかを予測することはできないのが現状である。ただし、斜面崩落の可能性の一つである岩盤の不連続面の把握や評価を行うことが、危険予測のための重要な課題であり、これらの不連続面の分布と状態を可能な限りつぶさに観察し、崩壊範囲と形態を予測していくことが重要と考える。