

岩盤崩壊の危険箇所抽出と可能性について

PRELIMINARY SURVEY AND ESTIMATION FOR ROCK SLOPE FAILURE

基礎地盤コンサルタンツ(株) 福井 謙三

Kenzo FUKUI

1. はじめに

岩盤崩壊現象は、福井県越前岬(1989 年)や北海道豊浜トンネル(1996 年)の災害事例などから分かるように、大規模なものは発生頻度が低く、前兆現象が認め難く、急激な運動速度で特徴づけられる。また、崩壊発生時の降雨や地震などの誘因との時間的関連性も認められていないものが多い。したがって、危険箇所の抽出や安定性評価において、岩盤崩壊現象を単なる破壊現象としてとらえるだけでなく、岩盤斜面形成という地形・地質発達史的な見方が必要であり、これらを踏まえた計測監視や解析評価並びに対策工設計が重要であると考えられる。

ここでは、危険箇所の抽出並びに崩壊の可能性を評価する段階における、地形・地質学的な観点と主に *SMR* (*Slope Mass Rating*) に準じた工学的評価に関して述べることとする。

2. 地形・地質発達史的な岩盤斜面形成過程の解釈

急崖を呈する岩盤斜面は偶然に形成された訳でなく、地質や造構運動、各種の営力等の結果として特異な地形発達史を必然的に有する箇所であると解釈できる。急崖地形の発達する要因を内的要因と外的要因に分けて以下に記述する。

(1) 内的要因

①地質の硬軟

一般に硬い岩盤は風化・侵食作用に強いので急崖を形成する1要因となる。ただし、差別浸食の結果として相対的に硬質岩体が急崖を形成する為には、その周辺に断層や節理などの不連続面や脆弱層などが存在する必要がある。一方、軟らかい岩盤の分布地域では丘陵性の緩やかな地形を形成しやすい。ただし、軟質なため河川や波などの浸食営力によっては急速に削剥され急崖を形成する。

堆積岩に限れば、一般に形成年代の古い地層ほど岩片強度は高く、新期の堆積岩の強度は低い場合が多い。ただし、日本においては地殻変動の影響により、古

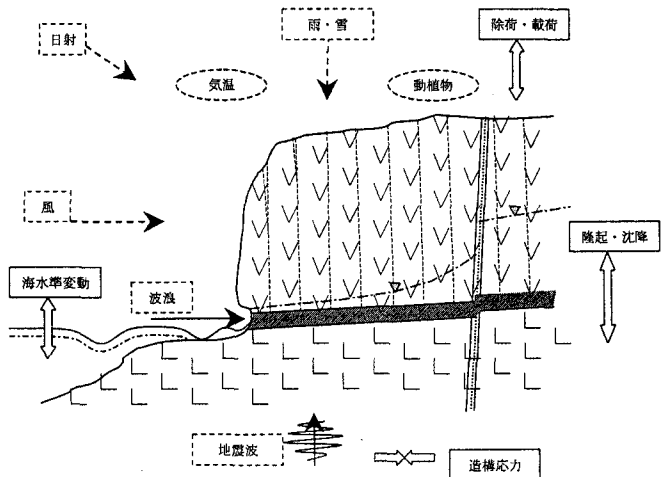


図1 急崖斜面の形成要因

い岩石ほど断層や節理が多くみられるのに対して、新期の堆積岩では相対的に少ないものが多い。

②地層構成

キャップロック構造で代表されるような軟質岩盤の上位に硬質岩盤が分布する場合、差別浸食の結果として上位の硬質岩盤が急崖となる場合がある。

③不連続面

岩片強度が大きくても節理等の不連続面がランダムな方向に密に存在する岩盤は擬似的に軟質岩盤と同様に浸食を受けて急崖を形成し難い。不連続面は弱線や分離面となるため、流れ盤と受け盤の関係で代表されるように、斜面との幾何学的関係が斜面形状の相違の重要な要因となる。また、不連続面の性状（連続性・粗さ・開き・夾在物等）は断層からシームまで様々なものがあり、これによっても斜面形状は左右される。

④浸透性

排水性の良い新期のレキ岩層や柱状節理の発達する火山岩などでは急崖が形成されている。逆に、地下水が亀裂内を充填するような箇所においては急速に崩壊が進み急崖は形成され難いものと考えられる。

（２）外的要因

①風化作用

気温変化や日照、雨水の浸透、氷楔などにより岩質や亀裂面が極めて緩慢に脆弱化していく現象で、物理的風化、化学的風化並びに生物学的な風化が存在する。これらの風化作用は急崖斜面形成には大きな要因とはなり得ないものの、崩壊発生時には誘因の１つとなり得る。また、応力解放によるシーティングジョイントなども一種の物理的風化現象と考えられる。

②浸食作用

主な浸食作用として、内陸部では河川の側方浸食や下方浸食、海岸部では波浪による海食、乾燥地帯では風食、氷河地帯では氷食などがある。当作用は急崖斜面形成に最も重要なもので、同様な内的要因を有する箇所ではこの営力の大小が斜面形状を大きく規定している。

③造構運動

断層や褶曲運動などの造構運動を直接的な原因として大きな急崖が形成されることはないが、これに伴う隆起現象により浸食基準面が更新され、外力としての浸食営力の増大を招く場合が多い。

④その他営力

その他の外的な要因としては、地震動や人為的な地形改変などあるが、これらは崩壊の誘因となるとともに、亀裂の増長や応力解放を促進する営力ともなり得る。

以上のような内的・外的要因を有する箇所では急崖は形成されており、特に日本における急崖をなす岩盤斜面の多くは風化よりも急激な浸食作用を蒙って形成されたものが多い。また、連続する岩盤斜面では一度に形成されることはまれで、比較的脆弱な箇所や浸食作用を強く蒙る箇所が選択的に風化・浸食され、結果的に比較的健全な箇所が残存する形で急崖を形成する場合が多く、このような箇所では緩慢な風化作用や岩盤クリープなどにより徐々に不安定化が進行する場となっていると考えられる。このことは長期的には不安定化が進行して岩盤崩壊発生箇所として特定できても、その発生の前兆現象を監視したり、発生時期を予知することを困難にしている。

３． 岩盤斜面の概略評価

岩盤斜面の詳細な調査や解析の実施に先立ち、対象斜面の概略調査に基づく崩壊の可能性を概略評価する必要がある。以下にその要点と留意事項を記す。

(1) 概略調査

概略調査の段階では、既往地質資料や崩壊履歴なども参考に現地地形・地質踏査を行い、上記の地形地質発達史的な観点から急崖形成要因と不安定化進行程度を可能な限り把握することに努める。具体的には以下の諸項目の解明が必要となるが、この際、調査対象斜面を絞り込み過ぎると情報量が限られるため、周辺斜面や沢部、場合によっては類似した地形地質を有する岩盤斜面も対象とした広域的な踏査も必要となる。

- | | |
|-----------------|-----------------------|
| ①地質構成・地質構造 | ④不連続面の調査（階層性や成因も考慮する） |
| ②岩質（硬軟・岩級）分布 | ⑤風化・緩みの進行程度 |
| ③地下水や湧水状況等の水文地質 | ⑥不安定化要因の種類と程度 |

(2) 概略評価

①崩壊ブロックの特定

斜面上での位置、サイズ、形状を特定する。実斜面上では小規模なものから大規模なものまで複数の崩壊ブロックが想定される場合が考えられる。この際、岩盤斜面の詳細形状や落下岩塊などを調べると支配的な抜け落ちや剥離ブロックの想定において参考となる場合もある。

②破壊モードの想定

特定された崩壊ブロック毎に、斜面と崩壊面の幾何学的関係をステレオネット解析などにより検討して卓越する破壊モードを想定する。この場合にも近隣の崩壊履歴や落下した岩塊などが参考となることもある。

③崩壊の可能性判定

この段階で定量的な危険度の判定は困難な場合がほとんどであり、多くは斜面で見受けられる亀裂の開口幅や変位量、連続性及び性状、岩盤の緩み変位の進行程度などに不安定化要因の寄与程度を勘案して相対的に崩壊の可能性を判定している。

実際の岩盤斜面では、落石やすべりなどのモードを異にする様々な破壊（崩壊）現象が互に関連しながらゆっくりと同時進行している。このため、ここでの不安定性の評価・判定は相対的かつ任意性を有するものとなる。そこで次に示すSMRによる評点評価の手法を導入し、任意性の低減を図る。

4. SMR (Slope Mass Rating) による安定性概略評価と対策工

(1) SMR の概要

ROMANA(1985)は岩盤斜面の崩壊現象のほとんどは不連続面の状態に支配されていることに着目し、次式で示される斜面評点 SMR を提案した。 $SMR = RMR + (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4$

ここに、 RMR はBienawski(1976)の岩盤評価点で①無亀裂部の岩の強度、②RQD、③不連続面の間隔、④不連続面の状態、⑤不連続面からの湧水状況の5評点の合計で算出され。節理に対する調整評点は、 F_1 、 F_2 、 F_3 の3要因点の積で与えられる。 F_1 は節理と斜面の平行性に依存し、 F_2 は面状の破壊モードにおける節理の傾斜角に関係し、 F_3 は斜面と節理の傾斜関係を反映している。また、 F_4 は掘削方法の調整要因点である。

(2) SMR 評価時の注意事項

- ①くさび破壊ではすべり面となる2面の各々について評点を付け、低い値を採用する。
- ②風化作用の影響を強く受ける場合には、将来風化した条件下も想定して評価する。
- ③岩盤斜面の地下水条件は可能な限り最悪の条件下を仮定して算定する。
- ④ばらつきがあるデータを平均値的に評価すると良好であっても特異値で破壊することがある。
- ⑤斜面に平行な不連続面は踏査では認定し難いので注意を要する。

⑥斜面の傾斜方位や傾斜角は局所的に変化するため、最も不安定となるもので評価する必要がある。

⑦オーバーハング部における崩落現象には対応していない(考慮外)。

(3) SMR の利用と事例 (図 2)

①どのブロックが最も不安定となるのかを SMR より判定する。

②破壊モードが複合した斜面で卓越モードを判定する。

③対策工選定の目安とする (SMR に対応した対策工種)。

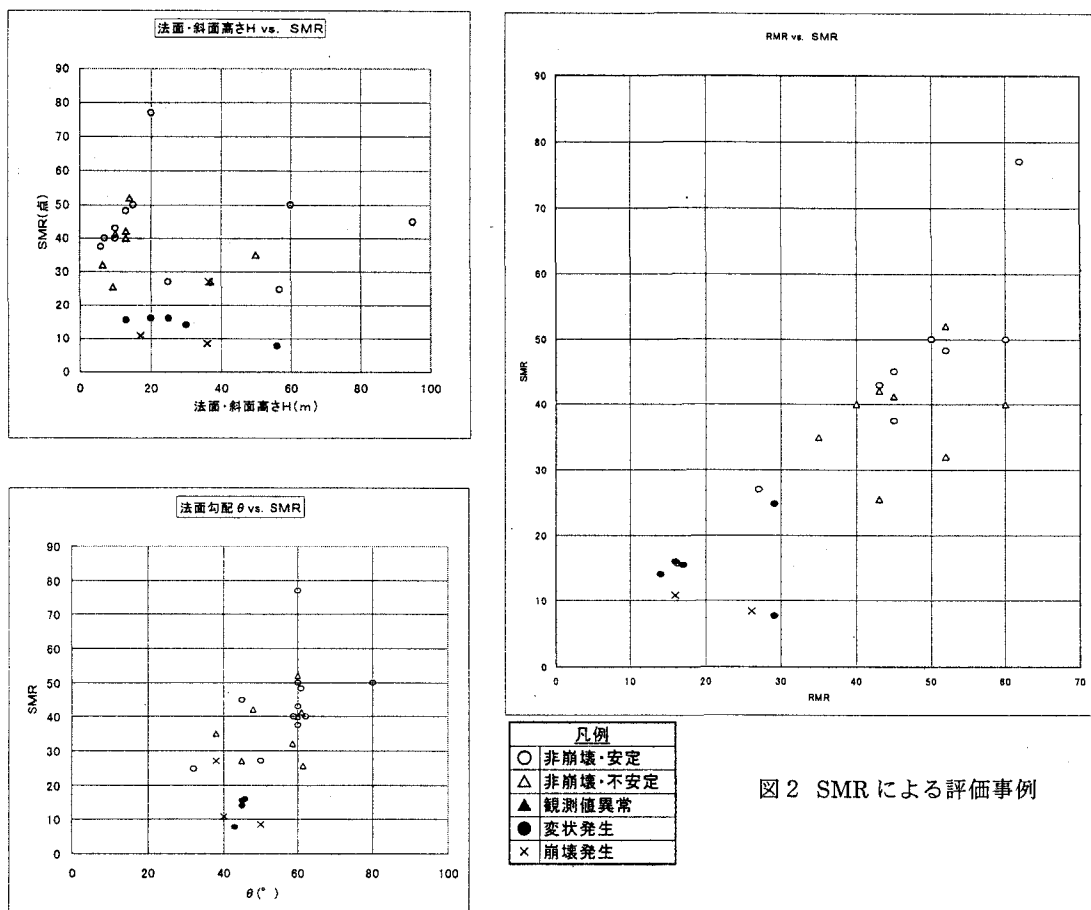


図 2 SMR による評価事例

5. おわりに

公表された既存の岩盤斜面崩壊の事例報告においては、地山の性状や不連続面の記載を行っているものは極めて少ない。今後は上述した SMR による定量的な評価ができる程度の地山記載が望まれ、この種のデータの蓄積により、斜面工学における経験に依存する割合を軽減していく努力が必要と考える。

6. 参考文献

Romana, M.: The geomechanical classification SMR for slope correction, In Proc. 8th, ISRM Congress on Rock Mechanics, Tokyo, pp. 1085-1092. A. A. Balkema, Rotterdam. 1995.