

リスク評価のための計測の役割 (When)

川北 稔

正会員 (株)ドーコン (〒004-8585札幌市厚別区厚別中央1条5丁目4番1号)
E-mail:mk793@docon.jp

Key Words :risk evaluation, measurements of rock mass,evaluation of measurements data,rock slope stability

1. はじめに

斜面崩壊において「When」という問題は、「What」,「Where」が事前にわかり、仮に「Why」や「How」がある程度想定されたとしても、そこにたどり着くのは容易ではない。しかも、不連続面を含み、複雑で不均質な岩盤斜面の場合には、現状では、極めて困難といわざるを得ない¹⁾²⁾。そういう意味で、岩盤斜面のリスク評価を「崩壊による災害の影響度(社会損失)評価」³⁾とするならば、「When」はあまり役割や意味を持たない。しかし、経年的な計測のなかで、加速要因となる地震や豪雨時の岩体挙動を確認しつつ、特異データが得られた時点でハード・ソフト対策を講ずるという、リスク管理のなかでは大きな役割を果たす可能性がある。

ここでは、まず、計測の視点に立った岩盤崩壊の特徴を述べ、次に計測の目的、計測の実際、データの評価、そしてリスク評価、リスク管理における計測の役割や課題などについて述べる。

2. 岩盤崩壊の特徴 ～計測の視点から

例えば、地すべりの場合、滑動の形跡はブロック上部のクラックや段差、下部でははらみ出しなどの変状が認められることが多い。ボーリングによってN値特性や粘土介在などからすべり面が推定できるのに加え、計器を埋設することですべり面が特定できることも多い。すなわち、すべりの規模もほぼ特定でき、変位速度も比較的遅く、計測器設置の面からもモニタリングがしやすい。

一方、岩盤崩壊の場合には、①斜面は全般に急峻で比高が大きく踏査に多大な労力を要し計器の設置自体が困難なことが多い、②崩壊が瞬時である、③仮に事前に変位が観測されても、安全率などの導入が難しいためその

影響度が不明瞭である、④岩盤深部の不連続面の形態などが不明であり発生の規模や発生様式がさまざまである、などが指摘される。

3. 岩盤計測の目的

前節までに述べたことから、計測の岩盤崩壊おける位置づけとしては、「岩盤斜面の安定性評価や崩壊の危険性認識のための支援システム」であり、「計測結果も参考にしたうえで適切な対策をとることで、崩壊の未然防止、被害の最小化など、崩壊リスクを可能な限り軽減すること」が岩盤計測の目的といえる。

4. 岩盤計測の実際

(1) 計測の区分

計測に際しては、危険と判断された岩体について特定は困難であるが崩壊規模や様式を想定し、必要に応じて数値解析などから着目箇所を選定する必要がある。

計測は、直接計測と間接計測に区分できる。(図-1) 直接計測は、さらに岩盤表面に設置するものと内部に埋設するものに区分される。また、間接計測は、斜面が危険で近づけない場合などに利用される遠隔からの計測と斜面下方での待ちうけ計測に分類される。

(2) 直接計測

図-1に示すように、表面設置では、伸縮計、亀裂変位計などが多用される。不安定と思われる岩盤の動態や亀裂間の変位を直接測るためデータとしては理解しやすいが、温度などの環境補正に留意が必要である。その点、GPSや地震計は補正はほとんど必要としない。最近では

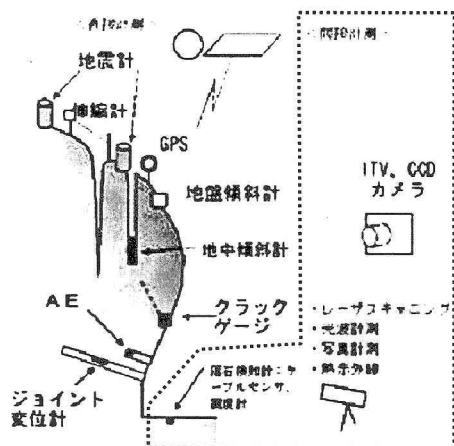


図-1 岩盤計測の区分

，対象岩体と母岩の双方に地震計としてサーボ型速度計を設置し，地震時などの振動スペクトルなどの違いから安定性を評価する試みもされている⁴⁾。また，地中式の変位計や傾斜計も有効であるが，方式によっては外気温の影響を受け岩盤の挙動を反映しない場合もあるので注意が必要である⁵⁾。AEについては，岩盤によっては有用とする報告事例もあるが⁶⁾，岩盤では実用的適用には今後に期するところが多い。直接計測の事例を図-2に示す。

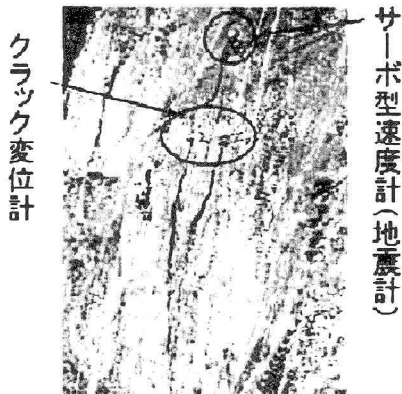


図-2 直接計測の設置例⁴⁾

間接計測

間接計測のうち遠隔計測は，前述したように落石や小崩壊が相次ぎ立ち入りが困難な場合や国立公園など環境問題が厳しい時に実施される。その代表的な例として，測量でよく使われる光波（レーザ）測距がある。精度を問題にすることもあるが，基準点の設置に留意すれば対象岩体の大きさによっては十分な精度を発現することが多く，経費の面でも有効性が高い⁴⁾。最近よく用いられるものとしてレーザスキャニングによって地形を精度よく計測し，定期的実施して面的な変化をとらえようと

する方法がある。空中からの方法と地上からのものがある。垂直空中式はその原理から高低の精度や急崖斜面の計測に難点がある。それを補完する方法として斜め空中や地上式のレーザ計測が有効である（図-3）。さらに，ごく最近では地上型の合成開口レーダによる方法も提案されており，今後の研究に期待される。また，通常のデジタルカメラを利用した精度の高い面的測定や肉眼では観察が難しい湧水や滲水箇所の測定にもちいられる熱赤外線表面温度測定はすでに実務的段階にある。

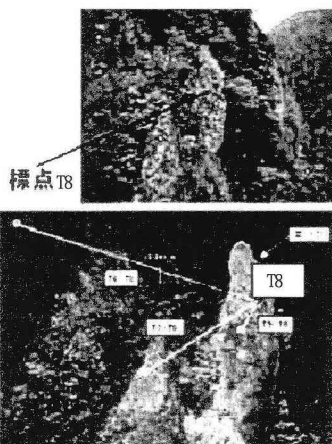


図-3 3Dレーザプロファイラ計測画像例⁴⁾

一方，対象岩体の下方斜面に敷設し，落石や小崩壊を捉えようとする方法に加速度計を利用した落石検知計やケーブルセンサがある。ケーブルセンサは，格子状にケーブルを斜面に敷設することで斜面を通過する個数や経路を計測することが可能である⁷⁾。これまでの事例のなかには大規模崩壊まえの前兆的現象と思われる複数の落石などの事例も見られることから今後のリスク管理上有効となる可能性がある。（図-4）

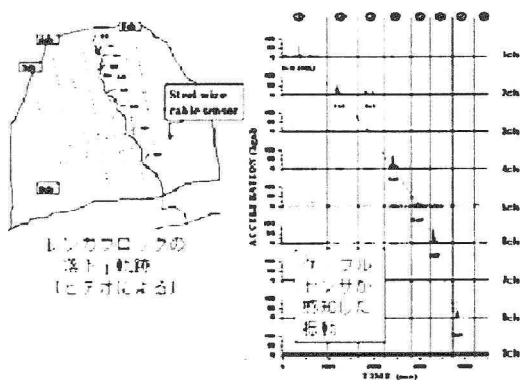


図-4 ケーブルセンサによって検知された模擬落石例⁷⁾

5. 計測データの評価

(1) 急変点および特異点の評価

計測データが、それ以前の値から予想される値（期待値）と異なったり、累積勾配が急上昇した場合を、‘急変’したとし、その時刻を急変点と取り扱い、また、急変点のなかで、岩盤の何らかの変動を捉えていると判定できるデータを‘特異’であるとし、その時刻を特異点と扱う方法が提案されている⁸⁾。この方法によれば、モニタリングは、『急変点、特異点を抽出し、特異点と確定された場合のデータ出力原因等を評価すること』が目的であると表現することもできる。

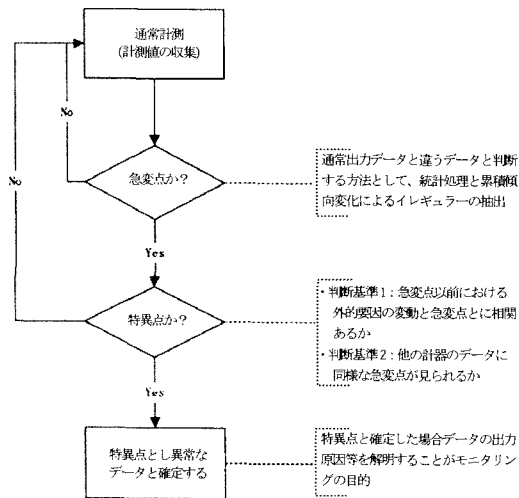


図-5 急変点、特異点の抽出フロー⁸⁾

しかし、実際の計測では、事前の地質調査等から最もセンシティブと思われる箇所に計測器を設置したとしても、以下のような問題点があるため、計測データから岩盤の変動に関係する特異点を認識することは簡単ではない。

- 1) モニター箇所のデータは、岩体全体からみれば点としてのデータである。
- 2) データは、様々な要因によって影響を受けており、なかには、計測器自体の変動も含まれる。
- 3) 岩盤の場合、そのデータは土砂地山などと比べ微小であり、判断基準から特異点を認識し、さらに岩体全体の安定性（安全率）を評価するほどの技術的蓄積がない。

すなわち、点としてのデータのみで岩盤全体の挙動を評価することは、通常困難であり、分析フローで示した判断基準1、2に加え、現地における地質、地形、あるいは湧水など、主要な要因の変化に着目した総合的な判断が必要な現状にある。しかも、岩盤崩壊が瞬時の現象

であることを考慮すれば、ごく短時間でこれらの判断を下すことが求められる。

(2) データ評価の事例

斜面における最終破壊時期の予測については、これまで、地すべりなどを対象として地表面傾斜計や伸縮計を用いた取り組みが行われており、岩盤についても第三次クリープの考え方を適用した天鳥橋西地区の事例(図-6)⁹⁾などがある。天鳥橋の破壊様式は、トップリングであるが、破壊時間の図式解法の時間的起点をどこに設定するかなど、実際には試行錯誤せざるを得ない問題がある。こうした予測式の時間的起点を認識する意味においても、前節の急変点の抽出は重要である。

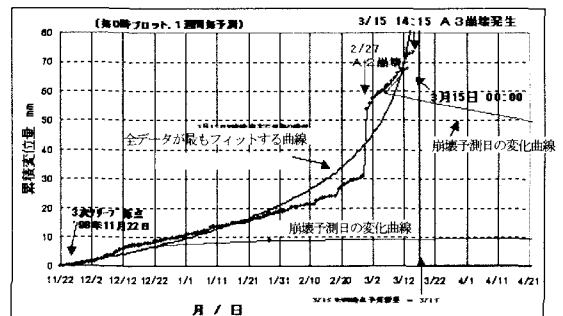


図-6 天鳥橋西地区のデータ評価事例⁹⁾

急変点の抽出には、統計処理による方法と累積値のグラフ化の方法などがある。統計処理による方法は、収集したデータを標準偏差により分析し、データの急変時刻を抽出する方法であるが、ここでは、生データを異なったグラフで見ることで、管理基準を視野に入れた急変点の評価について述べることにする。

図-7は、北海道における事例で、柱状節理が発達し岩塔状を呈した溶結凝灰岩の開口亀裂に設置された亀裂計の経年的な変動データである¹⁰⁾。亀裂計 No.1 が、外気温と同様に周期的な挙動を示しているのに対し、No.2は、明らかに不可逆的変位（累積変位）があることを示している。

そこで、縦軸に変位量、横軸に外気温をとって整理したのが図-8(a),(b)である。No.1の年変化は、冬に開口し夏に閉じる亀裂変位を繰り返す、累積変位はほとんど見られない。一方、累積がみとめられる No.2の亀裂変位データについては、楕円ループは規則性はあるものの1年ごとに亀裂が閉じる方向に移動し、確実に変位が進行していることがわかる。また、12月に急変点と思われる変動が見られるものの1月には楕円ループに復帰しているのが分かる。この傾向は、計測開始直後から読み取れ、管理上毎年12月のこの変動幅に注意することが示されている。ただし、両者とも変位の幅は1.0mm以内

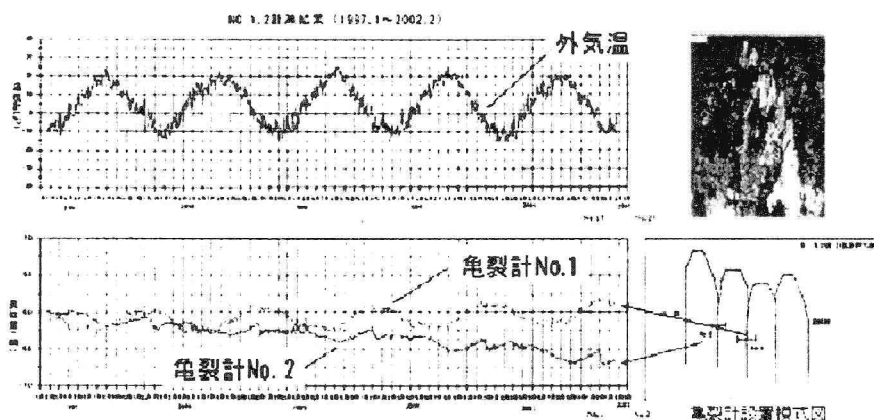


図-7 溶結凝灰岩開口亀裂の経年変動データ例¹⁰⁾

程度と小さい。現地で詳細に観察しても明瞭な変化は認められず、こうした微小な累積が岩体の安定性に与える影響は、現段階では判然としていない。地震など動的な外力がかかった場合の応答を数値解析などで概略把握し、管理上の目安にするなどの取り組みも必要である。いずれにしても、これらの値を大きく上回る変位が収録された場合のみ緊急的措置が必要とする、などのリスク管理上の方針が見てとれる。

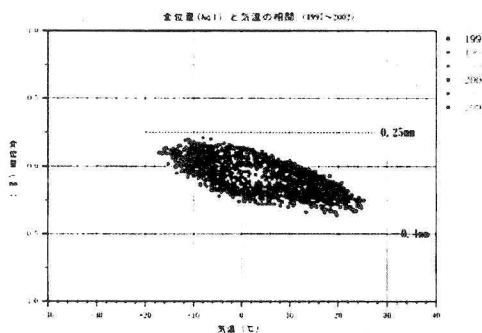


図-8(a) No.1 亀裂計 6年間データ¹⁰⁾

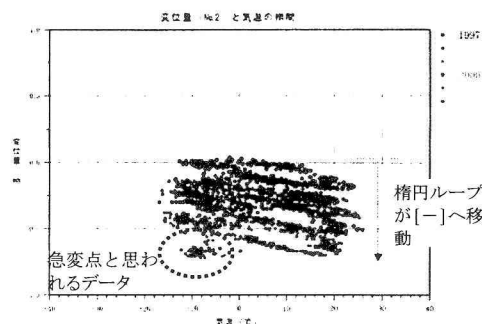


図-8(b) No.2 亀裂計 6年間データ¹⁰⁾

6. 計測のリスク評価・管理における課題

冒頭でも述べたように、計測が、リスク管理上の「When」に寄与することはあっても、事前に社会損失を評価（リスク評価）するうえで必ずしも必要な項目とはいえない。リスク評価では特定箇所では一定規模の崩壊が起きうるといふ蓋然性の認識がまず必要だからである。計測は、むしろ、計器設置後の発生規模や発生様式の見直し、即ち、What や Why, How の修正に寄与する可能性がある。そのためには、得られたデータの解析、評価をどのように実施してゆくかが今後の課題といえる。

参考文献

- 1) 豊浜トンネル崩落事故調査委員会：豊浜トンネル崩落事故報告書, 1996.
- 2) 第2白糸トンネル崩落事故調査委員会：第2白糸トンネル崩落事故調査報告書, 1997.
- 3) 萩原良二：道路斜面崩壊のリスクマネジメント技術, 土木技術資料, 45-9, pp22-23, 2003.
- 4) 豊平峡ダム斜面対策技術検討会：豊平峡ダム斜面対策技術検討会報告書, 2004.
- 5) 川北稔・石川博之・伊東佳彦：凍結膨張により発生する岩盤内ひずみの計測に関して, III-433, 土木学会第60回年次学術講演概要集 (CD-ROM), 2005.
- 6) 根岸正充ら：層雲峡溶結凝灰岩の柱状節理におけるき裂進展とすべり機構, 応用地質, Vol.34, No.2, pp1-11, 1993.
- 7) 氏平増之ら：スチールワイヤ型ケーブルセンサの感度に関する研究, 応用地質, Vol.42, No.1, 2001.
- 8) 北海道での岩盤計測に関する調査技術検討委員会：北海道での岩盤計測に関する調査技術検討委員会中間報告書, 2001.
- 9) 門間敬一ら：岩盤モニタリング箇所での転倒崩壊に至るまでの変位挙動の計測例, 地すべり, Vol. 39, No.1, pp62-69, 2002.
- 10) 真殿浩幸ら：更新世溶結凝灰岩の温度による亀裂の開口度による岩体の安定性-天人狭柱状節理の例, 土木学会年次学術講演概要集第3部, VOL.57, pp797-798, 2002.