

(32) 計測変位による岩盤斜面の安定性の評価について

名城大学理工学部 正会員 ○ 清水泰弘
東海大学海洋学部 正会員 アイダ・オメル
愛知工業大学工学部 正会員 川本眺万

INTERPRETATION OF DEFORMATION MEASUREMENTS FOR THE STABILITY ASSESSMENT OF ROCK SLOPES

Yasuhiro SHIMIZU Meijo University
Omer AYDAN Tokai University
Toshikazu KAWAMOTO Aichi Institute of Technology

ABSTRACT

Any stability assessment system for rockslopes must consider the possibility of various failure modes and select the appropriate criteria and accurate recognition guidelines in accordance with the discontinuous nature of rock masses. The present study describes how to differentiate and to patternize the displacement fields of rock slopes in relation to failure modes by considering the discontinuous nature of rock masses. The patterns of displacement measured by various equipments and techniques in relation to their positioning, the depth of installation and eigen displacement fields are identified and the measurement techniques are reviewed. Guidelines for the interpretation of measured displacement fields in relation to the geologic structure of the slopes are proposed.

1. はじめに

山岳地帯でのダム建設や道路建設などの長大岩盤斜面の掘削工事では、安全性と安定性の確認のために斜面表面および斜面内の変位計測が行なわれることが多くなってきた。岩盤斜面の掘削における安全性や安定性を確認する目的で行なわれる各種の変位計測は重要なデータを提供する。また、斜面崩壊の兆候を少しでも早く知ることが必要であり、その後の施工方法または安全対策を決定する重要な資料となる。

岩盤斜面の崩壊は岩自身の強度によることよりも岩盤内に無数に存在する不連続面によって多く生ずることが知られており、不連続面の方向、密度、間隔等の幾何学的特性により各種の破壊様式をとる¹⁾。岩盤斜面内の不連続面の力学的および幾何学的な諸特性によって岩盤斜面の変形特性が異なることから、計測位置や計測方法の選択にはこれらの諸特性を十分に考慮する必要がある。しかしながら、各計測点で得られる計測結果の判断や限られた測点数で斜面全体の安全性を予測することは、現場経験が豊かな技術者にとっても非常に困難なことである。そこで、これまで著者等が行ってきた不連続面の幾何学特性と破壊様式についての研究成果^{2) 3) 4)}を利用し、岩盤斜面の安定性および崩壊予測に対する有効的な計測方法および計測位置の選択方法についての考え方を提案する

2. 斜面の破壊様式

岩盤はその岩種を火成岩、堆積岩および変成岩に大きく分類することができ、それぞれ岩盤自身の成因にともなって生じた流理面、層理面および片理面などの規則性のある不連続面を有する。実岩盤中の流理面、層理面、片理面などの不連続面を調査すると、地殻変動や風化などによるほぼこれと直行する他の多数の不連続面に比べ間隔、間げき、長さ、充填物等がよく発達し弱体化した状態が見られる。岩盤斜面の崩壊は、内在している不連続面の方向、間隔、連続性および斜面角度などにより様々な破壊様式をとる。その基本的なパターンを模式図で示すとFig. 1のようである。

破壊様式は岩石の強度のみに依存する破壊様式、岩石と不連続面の強度に依存する破壊様式および不連続面の強度のみに依存する破壊様式の三つに大きく分けることができ、さらに他の諸条件によっていくつかのパターンに分類できる。これらの破壊様式は実岩盤斜面での計器を用いた不連続面や地形状況などを対象とした十分な岩盤調査を実施することにより明らかにすることができ^{1) 4)}、岩盤斜面の変位形状の予測の重要な資料となる。

3. 破壊時の固有の変位場

掘削に伴う斜面崩壊の変位場を把握する目的で二次元模型実験を多数行ってきた。その実験結果の内の幾つかを破壊様式別にFig. 2に示す。また、ある時刻において破壊中の模型斜面の変位場を破壊様式別に図示するとFig. 3のようである。各破壊様式別に見ると斜面内部の各点の変位量と変位方向が異なっている。たとえば、すべり破壊の場合は破壊部分の全体の変位量および変位方向がほぼ一様であり、トップリング破壊の場合は各点の変位量および変位方向が異なっている。ある断面の変位分布を破壊様式別に示すとFig. 4のようである。

4. 変位計測法

岩盤斜面の計測方法としては、GPS、トランシット、伸縮計などを用いて地表面変位を測る方法と挿入式地中傾斜計、パイプひずみ計、地中変位計などを用いた地中変位を測る方法がある。それぞれの計測機は急速なコンピュータの発達により飛躍的にその作業性と精度が向上しているが、変位計測にどの計測法を用いても地表面の変位量と地中の変位量とはその計測結果の解釈が異なる。Fig. 5にトランシットによる計測法を示す。一例として、中部地方の或る村道が崩壊した現場の崩壊前の吹き付けコンクリート部分の指標をトランシットを用いて変位計測を行なった記録をFig. 6に示す。現場は斜面崩壊の前兆現象を事前に発

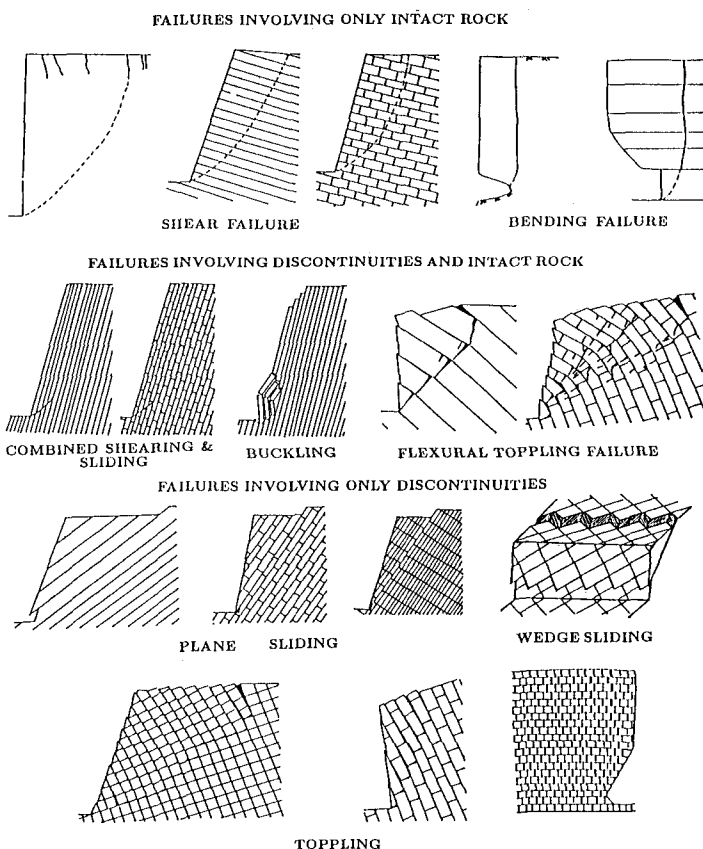


Fig. 1 Classifications of modes of instability in slopes

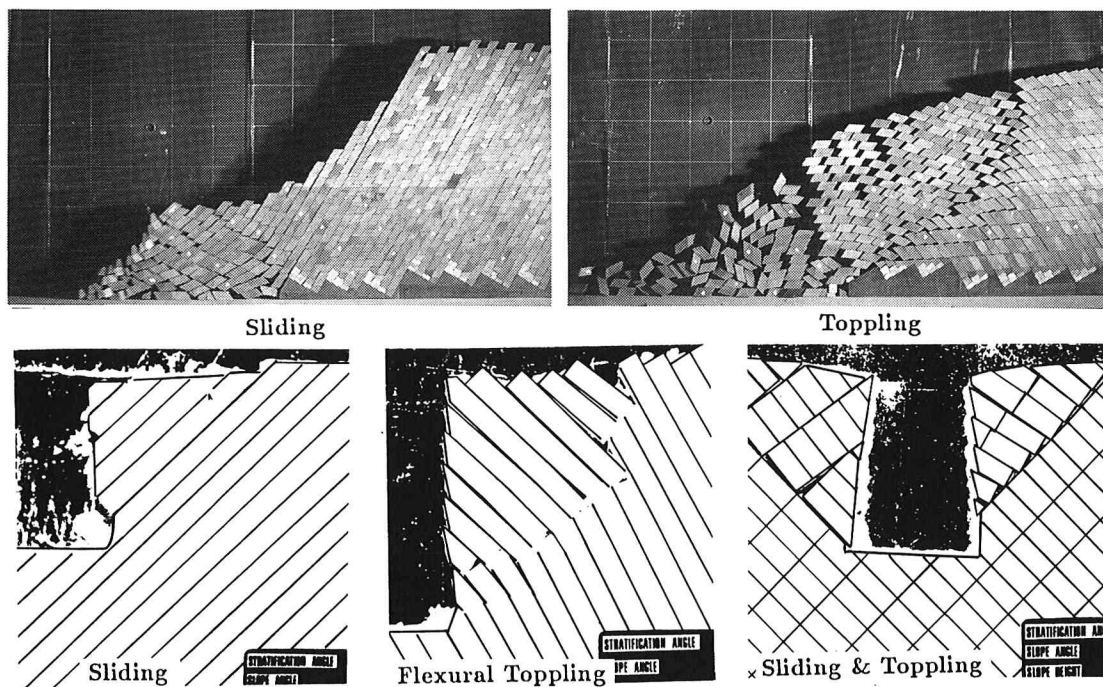


Fig. 2 Pictures of failures observed in slopes in laboratory tests

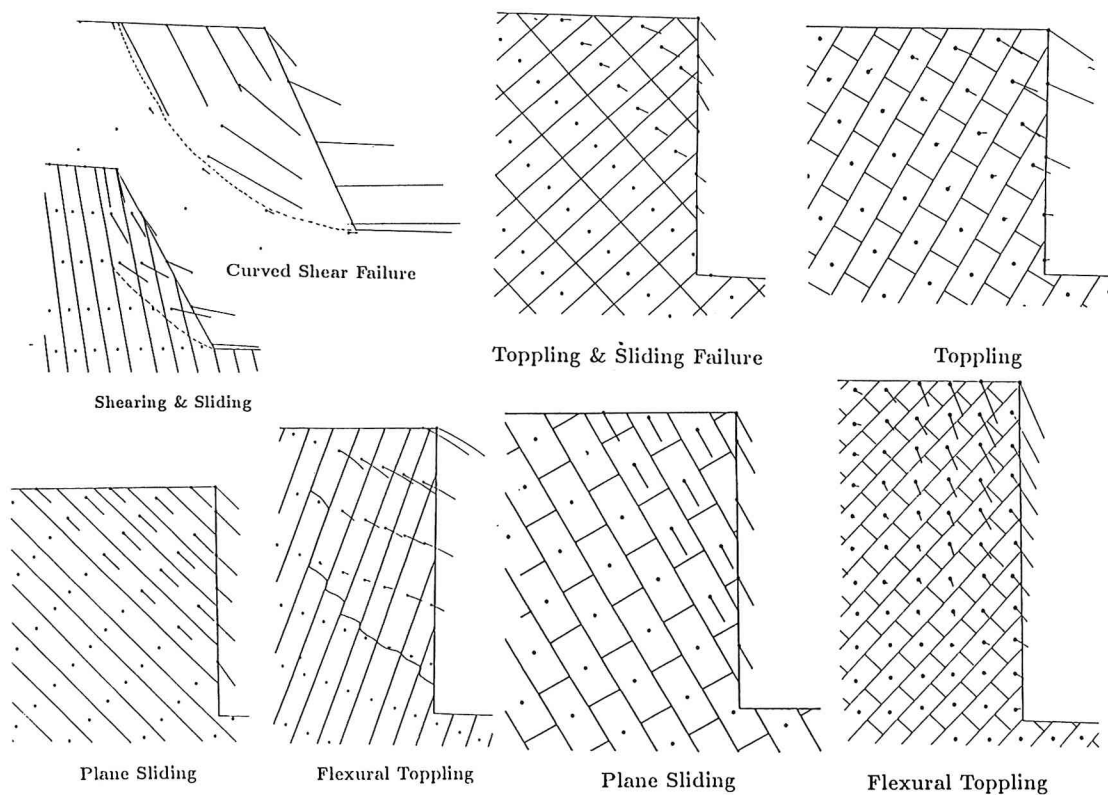


Fig. 3 Displacement fields of rock slopes during failure

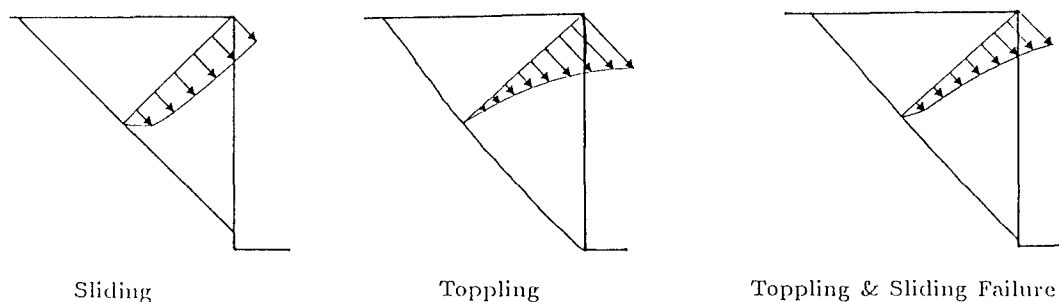


Fig. 4 Displacement responses for various failure modes

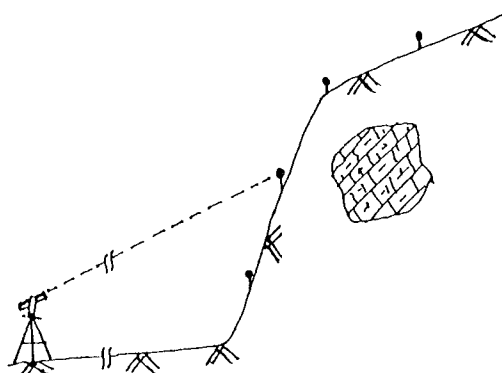


Fig. 5 Precision surveying

見しトランシットその他、傾斜計と伸縮計を多数設置し地質調査を行なって管理体制を整えた数少ない事例である。現場は砂岩粘板岩互層の差し目盤で斜面角度が約 70° と急傾斜であり計測開始後11日目に高さ80m、幅35mの範囲でたわみ性トップリング破壊を起こした。

5. 計測変位の評価

計測変位を評価するため、根本的な概念をFig. 7に示したブロックの各破壊様式に対する変位、速度、加速度・時間応答を考え説明する。このとき掘削荷重を瞬間的に与え弾性的に変位が生じたとする。掘削後、そのブロックの各破壊様式においての変位、速度、加速度・時間応答はFig. 7に示したようになる。すべり破壊において加速度が一定であり、速度は線形的に増加し、変位は放物線的に増加する。トップリング破壊の場合は変位、速度、加速度・時間応答とも指数的に増加していることが分かる。すべりとトップリングの複合破壊の場合は前者の二つの破壊様式の曲線を重ねたようなものになっている。この単純なモデルから分かるように計測変位の時間に対する一回微分である速度と二回微分である加速度の応答が重要な判断基準に成るであろう。

Fig. 8に示した斜面内部のある点の速度と時間の関係によって掘削の安全性と斜面の安定性の評価ができる。掘削中に速度は増加し、掘削終了後ももし斜面が安定に向かうならば速度は減少することになる。しかし不安定に向かうならば速度は一定か増加することになる。斜面表面と内部で選んだ測点の応答の絶対値が異なっても傾向は似たものに成るであろう。表面型測定と内部型測定には大きな差はないと思われる。しかし

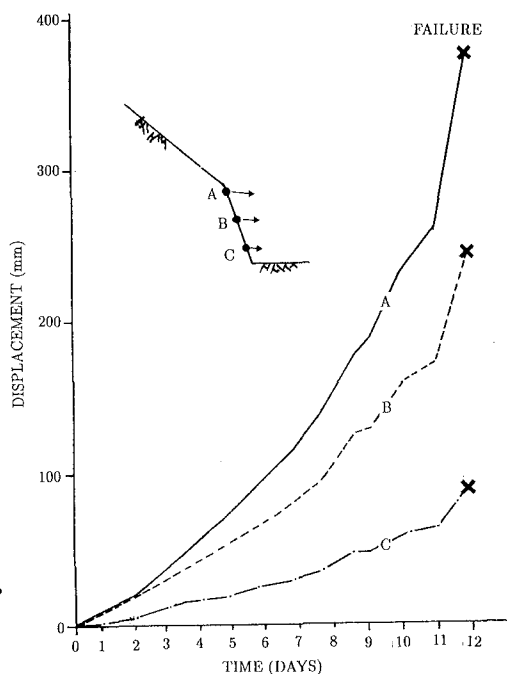


Fig. 6 Displacement-time response of an actual slope failed in flexural toppling

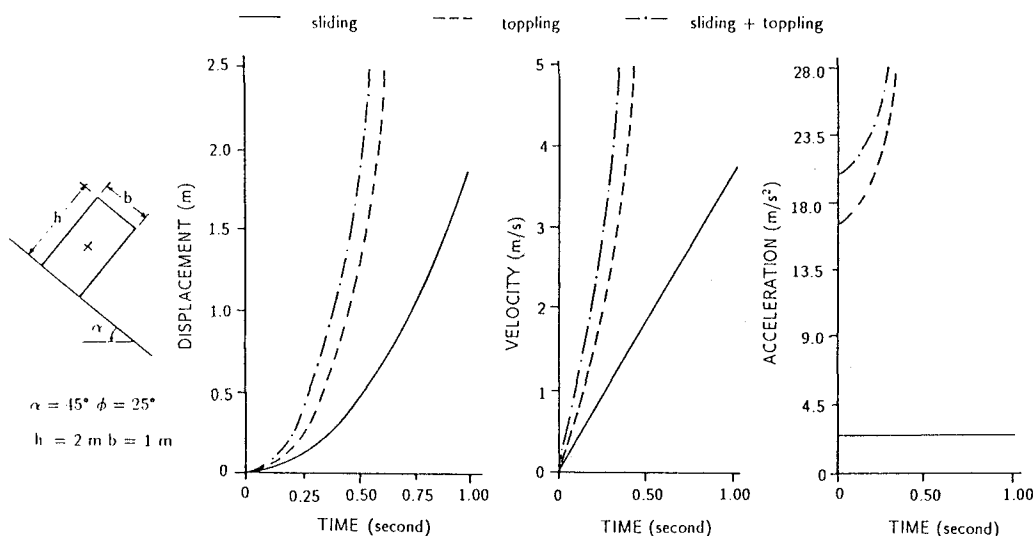


Fig. 7: Rigid body displacement, velocity and acceleration responses of a single block

地中型測定の場合には計測機は十分深く設置される必要がある。表面型測定の方が地中型測定に比べ簡単であるが斜面の不安定性形態と不安定領域の大きさを評価するには不十分であろう。また、斜面表面での計測機の設置の仕方は、できるだけ斜面の変位場を一番よく表すような場所に設置する必要がある。地中型計測機の設置では深さと方向に注意すべきである。

6. あとがき

岩盤斜面の変位挙動は計測場所によって異なり、限られた測定条件で崩壊予測や安定性の評価および施工方法の選択をするには、現場経験が豊かな技術者にとっても非常に困難な問題である。この報告では岩盤斜面の掘削時の計測変位の解釈および変位計測方法と計測位置の選択方法について、破壊様式を有効的に取り入れた考え方を幾つか提案したが、ここでの提案はこの研究の出発点としての概要を述べた。今後この研究を継続して行なう考えである。

参考文献

- 1) 清水泰弘, Omer Aydan, 土山茂希, 市川康明: 不連続性岩盤斜面の安定性評価に関する統一的手法について, 土木学会論文集, 第415号/VI-12, pp. 109-118, 1990.
- 2) O. Aydan, Y. Ichikawa, K. Murata, Y. Shimizu: Integrated system for the stability analysis of rock slopes. Proc. Int. Conf. Computational Methods and Advances Geomechanics, Cairns, Vol. 1 pp. 461-467, 1991.
- 3) Y. Shimizu: A fundamental research on the assessment of the stability of rock slopes in discontinuous rock masses. Doctorate Thesis, Nagoya University, 1992.
- 4) O. Aydan, Y. Shimizu, T. Kawamoto: Interpretation of deformation measurement for the stability assessment of rock slopes. Proc. Regional Symp. Rock Slopes, New Delhi, 1992. 12.

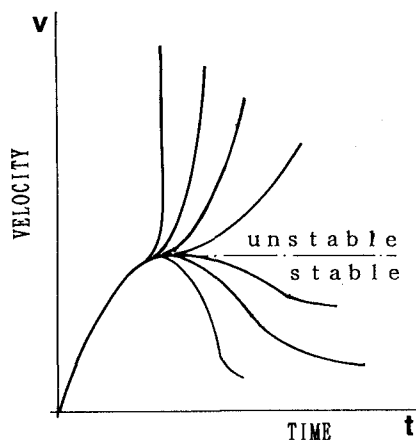


Fig. 8 A conceptual model to assess the stability of rock slopes