

山口大学大学院 学生会員 ○平林憲 中矢和貴  
 山口大学大学院 正会員 清水則一  
 (独)産業技術総合研究所 正会員 船津貴弘

1. はじめに

筆者らは長大斜面の安全監視を目的に、GPS モニタリングシステムを開発し、鉱山斜面や地すべり地に適用している<sup>1),2)</sup>。岩盤は節理や層理などの不連続面が多く存在し、岩盤斜面の崩壊はこの不連続面に支配されるすべりの形態を取ることが多い。本研究では、不連続面の幾何学情報（傾斜および傾斜方位）と GPS による 3 次元変位計測結果から得られる変位方向を利用し、すべりが生じている不連続面を推定する評価法を提案した<sup>3)</sup>。本報告では、平面すべりを対象に、評価法の妥当性を検討するためのシミュレーションと実際の現場データへの適用結果<sup>4)</sup>について述べる。

2. 評価法の考え方

安定評価法では岩盤斜面の破壊形態の中において、少ないデータで簡易的に評価できる平面すべりを仮定する。平面すべりは不連続面の傾斜が不連続面の摩擦角より大きく、かつ斜面の傾斜より小さい場合に発生する<sup>5)</sup>。つまり、図-1 において不連続面の極が摩擦角を表す円より外側にあり、かつ斜面の傾斜を表す領域(黄色いエリア)にプロットされた場合に、すべりが発生する可能性がある。一般的に不連続面の摩擦角を得ることは困難であるが、すべり方向は不連続面の傾斜方向に一致すると仮定することが出来るため、すべりブロックの変位ベクトルの極とすべりが生じている不連続面の極は一致すると考えることが出来る。実際の斜面の挙動はこのように単純ではないが、本研究では問題を単純化するためにこの考えが成り立つと仮定する。

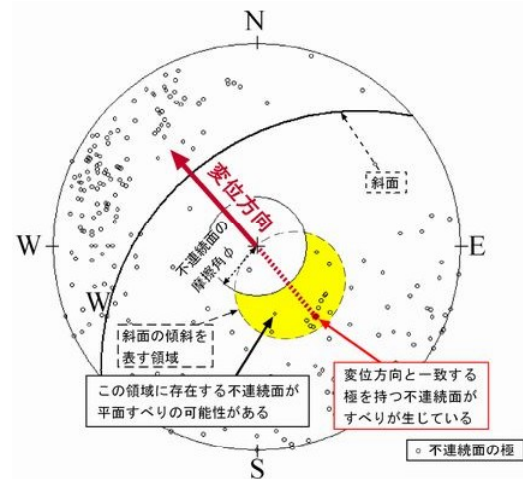


図-1 ステレオネットによる評価

3. 模擬データによるシミュレーション

本研究室で提案している安定評価法における計算上の信頼性の確認とデータのばらつきによる DD（傾斜方位）と Dip（傾斜）の収束時期を調べるためにシミュレーションを行った。

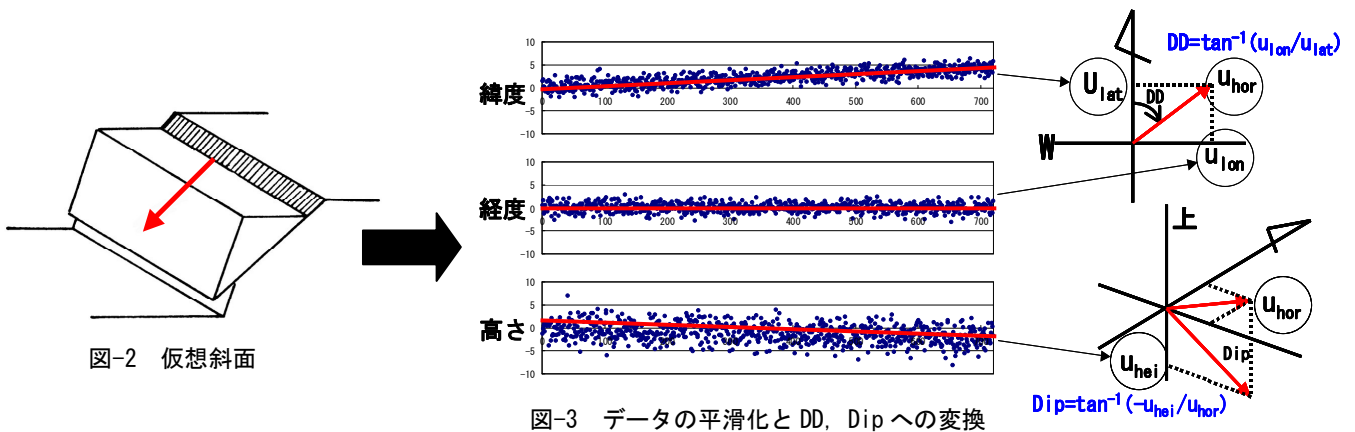


図-2 仮想斜面

図-3 データの平滑化と DD, Dip への変換

シミュレーションでは、変位速度 1mm/30 日と 5mm/30 日の等速で真北に 30° の傾斜で滑る 2 パターンの斜面を想定した(図-2)。仮想斜面の変位に標準偏差を変えた乱数を加えることでデータにばらつきを発生させた。σ<sub>v</sub> (高さ方向標準偏差) = σ<sub>H</sub> (水平方向標準偏差) × 2 とし、標準偏差は σ<sub>H</sub> = 1,3,5mm の 3 通りを

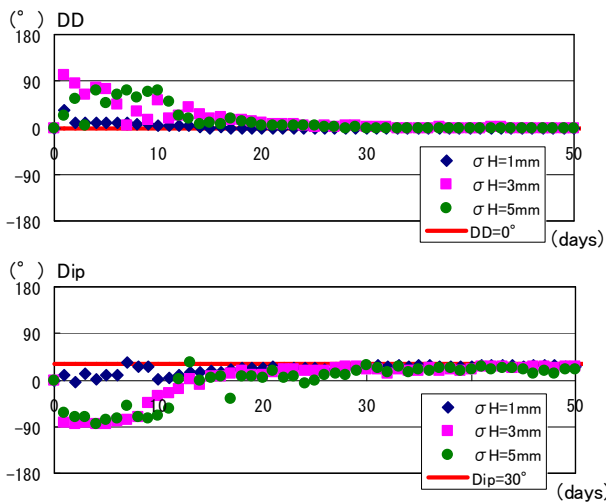


図-4 DD, Dipの収束 変位速度 5mm/30日

表-1 シミュレーション結果 収束にかかった時間

	1mm/30日		5mm/30日	
	DD	Dip	DD	Dip
$\sigma_H=1\text{mm}$	17日 (0.6mm)	38日 (1.3mm)	4日 (0.6mm)	14日 (2.3mm)
$\sigma_H=3\text{mm}$	40日 (1.3mm)	84日 (2.8mm)	14日 (2.3mm)	22日 (3.6mm)
$\sigma_H=5\text{mm}$	26日 (0.8mm)	-	14日 (2.3mm)	30日 (5.0mm)

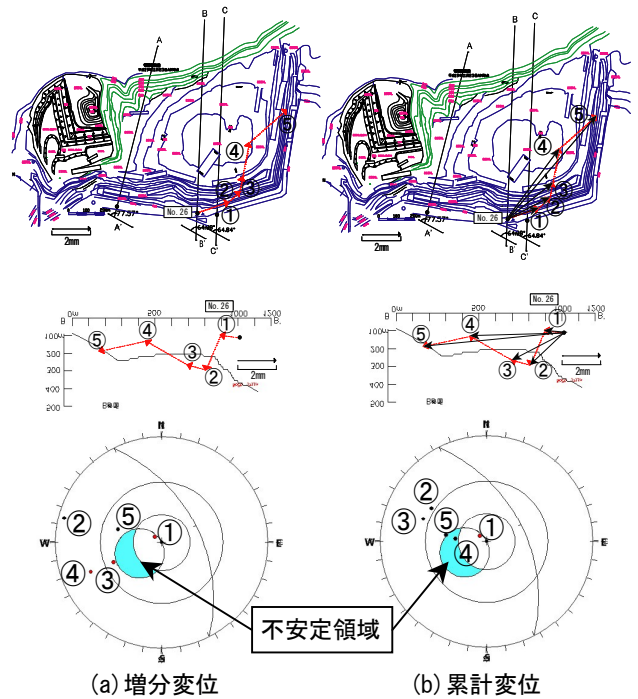


図-5 現場データへの適用

考えた。ばらつきを与えたデータの平滑化を行い、平滑化結果を DD と Dip に変換した (図-3)。時間経過に伴う変位速度 5mm/30 日の DD と Dip の収束傾向を図-4 に示す。また、それぞれの収束時期を判断し、その時の変位を計算したものを表-1 に示す。表-1 より、DD と Dip が正しい値に収束するためには、おおよそ標準偏差程度の変位を計測する必要があると考えた。

#### 4. 安定評価法の現場データ<sup>4)</sup>への適用

ここではある露天掘鉱山において GPS リアルタイム連続変位計測システム<sup>1)3)</sup>によって計測される変位 (2003 年 6 月～2007 年 12 月) から算出される変位ベクトルの方向 (傾斜方位, 傾斜) を用いてステレオネット投影による斜面の安定評価を行った。図-5 は GPS 計測結果 (2003 年 6 月～2007 年 12 月) と、対応する期間 (①2003.6.1～2004.5.31②2004.6.1～2005.5.4③2005.5.6～2005.11.12④2005.11.22～2006.9.30⑤2006.9.30～2007.12.31) の(a)増分変位と(b)累計変位をステレオネット上にプロットしたものである (計測点 No.26)。(a)の方法では各掘削期間ごとの挙動を把握でき、(b)の方法ではベクトルを合算しているため、長期に渡る岩盤の挙動が把握できる。(a)で④のように上向きの変位を示しているも、(b)の④、⑤のように長期的には下向きの変位を示す場合もある。図-5 に示されるように、すべりが生じる可能性がある不連続面の方向を表す領域 (不安定領域) 内に計測変位の方向が集中しないこと、また、絶対的な変位が十分小さいことから、現時点では平面すべりを起こすことはなく安定していると考えられる。

#### 5. まとめ

安定評価法のシミュレーションから、DD と Dip が収束するためには、おおよそ水平成分の標準偏差程度の変位が必要であることが分かった。鉱山の長期変位計測結果に本安定評価法を適用したところ、ステレオネット上の不安定領域内に変位ベクトルの極が集中することはなく、斜面は安定しているものと考えられる。今後平面すべりだけではなく、他の破壊形態も考慮した評価法を考えることが必要である。

参考文献 1) 清水ら: GPS モニタリングシステムの連続観測による安定性の検証と計測結果の処理方法の提案, 資源・素材学会誌, vol.113, No.7, pp.549-554, 1997. 2) 松田ら: GPS による斜面変位計測結果の平滑化処理法と変位計測予測手法の実用性の検証, 土木学会論文集, No.715/III-60, pp.333-343, 2002 3) 松田ら: 不連続面における 3 次元変位計測結果の一評価法, 土木学会論文集, No.764/III-67, pp.157-167, 2004.6. 4) 中矢ら: 石灰石鉱山における GPS による長大斜面の長期変位計測と安全監視事例 (その 2), 資源・素材学会秋季大会, 講演資料 (岩盤工学), B6-3, pp.253-254, 2007 5) E.Hoek, J.W.Bray (小野寺透, 吉中龍之進訳): 岩盤斜面工学, 朝倉書店, 1979