

## Ⅲ-A225

## 変位計測結果に基づく斜面の安定性および変形挙動評価手法に関する研究

|         |      |        |
|---------|------|--------|
| 広島工業大学  | 正会員  | 櫻井春輔   |
| (株)大林組  | 非会員  | 濱田啓司   |
| 神戸市     | 正会員  | 中山徹    |
| 神戸大学大学院 | 学正会員 | ○臼井ひとみ |
| 神戸大学工学部 | 正会員  | 芥川真一   |

## 1. はじめに

事前設計の段階において極限平衡法に基づく手法で斜面の安定解析を行う場合、現場計測結果の評価の段階で、そこに本質的な矛盾が存在することが分かる。即ち、設計段階での安定性解析には地盤材料の強度定数が用いられているが、変形概念が考慮されていない。そのため、掘削工事、もしくはその他の要因により斜面の変形が進行すると共に、その安定性評価の結果は当然異なったものとなるはずであるが、極限平衡法に基づく考え方では、この点を説明することができない。また、何らかの方法で変位計測結果にもとづいた斜面の変形挙動評価を試みようとする時、変位計測期間の前後に、すでにどの程度の変形が生じていたか、また生じるのかを推定することは重要であるが容易ではない。本文では、これらの点に注目して著者らが開発してきた斜面の安定性評価手法<sup>1),2)</sup>について、特に、掘削を伴わない場合の変位計測結果の評価手法の概要を報告する。

## 2. すべり挙動を表現する力学モデル

斜面に生じる変形の原因となるのは掘削によるもの、地盤材料の時間依存性によるもの、または降雨などの要因によるものなど、様々である。実際にはこれらの挙動を直接的に構成式に取り込みモデル化するのが妥当ではあるが、ここでは現場での適用性などを考慮して著者らが提案している異方性パラメータ  $m$  を用いた式を基本的な地盤の構成式として採用する。即ち、図-1 に示す  $X'-Y'$  座標系において、応力  $\{\sigma\}$ 、ひずみ  $\{\varepsilon\}$  の関係は以下の式で表される<sup>3)</sup>。

$$\{\sigma\} = \frac{E}{1-\nu-2\nu^2} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & m(1-\nu-2\nu^2) \end{bmatrix} \{\varepsilon\}$$

ここで、 $E$  は弾性係数、 $\nu$  はポアソン比であり異方性パラメータは  $m=G/E$  で与えられる。 $G$  はせん断弾性係数である。この構成関係において地盤材料が等方性を示している場合は  $m=1/2(1+\nu)$  となるが、せん断ひずみ  $\gamma$  が増加するに連れ、 $m$  の値が低下するものとする。この時、地盤材料によって  $m$ - $\gamma$  関係は様々であるが、代表的な例を図-2 に示す。

## 3. 掘削を伴わない場合の斜面の変形の取り扱いについて

ここでは、掘削以外の種々の要因により斜面に変形が生じ、それが一定期間において計測された場合を想定して、その場合の変形の取り扱いについて述べる。まず、計測が開始された時、斜面にはすでにある程度のせん断ひずみが既に発生しており、すべり面、あるいはせん断ひずみが卓越した領域（すべりゾーン）は特定の位置に形成されつつあると考える。この状態を図-2 の Initial とする。ここから、様々な要因によって異方性パラメータが  $\Delta m$  だけ減少することにより、すべりゾーン内にせん断ひずみの増分  $\Delta \gamma$  が発生すると考える。この状態を図-2 の Final とする。この関係を図-3 に示す。この間の変位増分は Initial の位置から Final の位置までに生じた材料定数の低下に関連付けて考えるわけであるが、実際にはこの効果を材料定数の変化に等価な節点外力に置き換えて表現することとする。ここでは、異方性パラメータが  $\Delta m$  だけ変化することに等価な節点外力（すべりゾーンだけに作用するもの）を、すべりゾーンにおける異方性パラメータが  $m_i, m_f$  の場合の二つの重力解析結果の差から計算することとする。

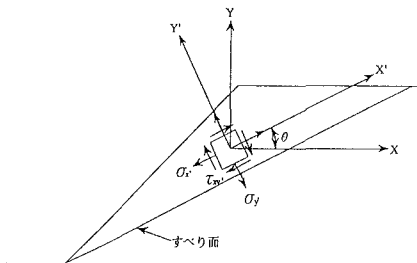


図-1 斜面の方向と座標軸の取り方

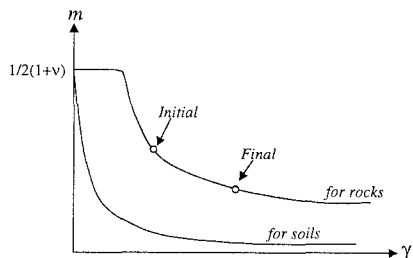


図-2 異方性パラメータとせん断ひずみの関係

Keywords: 斜面の安定性、変位計測、逆解析、異方性パラメータ

連絡先: 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学工学部建設学科 Tel (078) 803 6015 Fax (078) 803 6069

#### 4. すべり面の位置の推定方法

斜面に生じるすべり層の位置は、地表面で計測された変位ベクトルの方向に基づいて決定する方法<sup>1)</sup>を採用する。この方法では、全体を包括する主すべり面が一つ存在し、大局的な運動はこの主すべり面に支配されるものとされ、地表面の計測変位ベクトルは各場所ですべり面と平行となる、との仮定を用いている。この方法に基づいてすべり面の位置を推定する一例を図-4に示す。

#### 5. 逆解析の手順

計測変位に基づいて、計測期間前後の異方性パラメータの値  $m_i$ 、 $m_f$  を求めるために、1) すべりゾーンに発生するせん断ひずみの増分はすべりゾーン内において一定である、2) 異方性パラメータの値は、すべりゾーンにおいて一様に低下する、との仮定を設けた上で、以下の要領で逆解析を実施する。

- 1) 現場で計測された相対変位ベクトルをもとに、すべり面推定手法によりすべり面の位置を決定する。
- 2) 解析に必要な入力値を与える。ここで必要な情報は、地山の単位体積重量、ポアソン比、異方性角、計測変位ベクトル、 $m$ - $\gamma$  関係、および  $m_i$ 、 $m_f$  の初期推定値である。異方性角については、推定すべり面の傾斜角と同一とする。
- 3) 現在与えられている  $m_i$ 、 $m_f$  の値を用いて二つの重力解析を行い、その結果の差として得られる変位ベクトルと計測変位ベクトルを比較し、誤差ベクトルを計算する。
- 4) 誤差ベクトルが十分小さくなった時点、もしくはそのノルムが収束した場合は、繰り返し計算を終了し、ステップ 6) に飛ぶ。
- 5) 誤差ベクトルが一定値以上のノルムを有している場合は、 $m_i$ 、 $m_f$  の値を自動検索アルゴリズムによって調整し、ステップ 3) に戻る。
- 6) 計算終了。

また、この自動検索アルゴリズムにおいては弾性係数などを未知数として加えることも可能である。

#### 6. 逆解析結果の評価と今後の課題について

この逆解析手法によって得られる情報は、変位計測期間前後の異方性パラメータの値、およびその2つの状態の応力、ひずみ分布、弾性係数（それを未知数に含めた場合）などである。その結果の一部を  $m$ - $\gamma$  関係上に例として示したものを図-5に示す。 $m$ - $\gamma$  関係は一般的に曲線として与えられるため、変位ベクトルを最も良く再現する  $m_i$ 、 $m_f$  の組み合わせはこの曲線のどこか1箇所しにしか現れない。これは、変位計測期間の前後に斜面のすべりゾーン内の応力ひずみ関係がどこに位置するかを一義的に求め得ることを意味する。即ち、この情報を用いれば、現在の斜面の応力・ひずみ状態はもとより、計測が始まるまでにどのような変形が生じたのか（これは  $m$  の値が損傷の無い初期値から  $m_i$  になるまでの変位として計算できる）、また、今後、異方性パラメータがさらに減少すると、どの程度の変位が生じる可能性があるのか（これは  $m$  の値が  $m_f$  から任意の値  $m_r$  に低下した場合を想定して計算できる。）を計算できることを意味する。これらの情報は、実際の変位計測が必ずしも初期の段階から行えない現実を考慮すると現場のニーズに合致するものであり、防災面からも非常に有用な情報となるものと考えられる。また、この逆解析結果は文献 1) に示す方法によって変位計測結果に基づく安全率を計算するためにも用いることができる。このように、本手法は、はじめに述べた極限平衡法に基づく設計計算法を用いた場合に遭遇する種々の問題を克服できるものであるが、今後は実測データの分析を通してその実用性を検証して行く予定である。

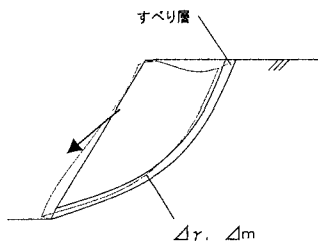


図-3 掘削を伴わない場合の変形の考え方

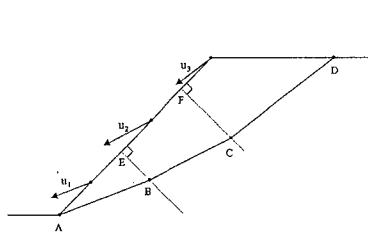


図-4 すべりゾーンの推定方法

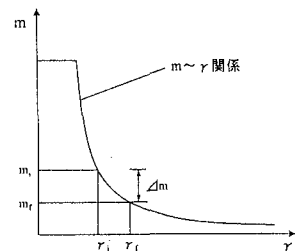


図-5 結果の解釈方法

#### 参考文献

- 1) S. Sakurai and K. Hamada : Monitoring of slope stability by means of GPS, Proc. 8<sup>th</sup> FIG Int. Symp. on Deformation Measurement, Hong Kong (1996)
- 2) 濱田啓司: 斜面の安定性評価に関する研究、神戸大学修士論文 (1998.3)
- 3) S. Sakurai, A. Hiraoka and K. Hori : Strain-induced damage of rocks, Proc. Int. Conf. on Mechanics of Jointed and Faulted Rock, Vienna (1998)