斜面における変位計測と結果の評価

神戸大学工学部　　桜井春輔

1．まえがき

斜面の挙動をモニターする最も直接的な手段は変位の計測である．パイプひずみ計，孔内傾斜計，地中変位計など地中に埋設あるいは挿入するもの，さらに，地表面に設置する伸縮計や地盤傾斜計あるいはもっと簡単に変位杭の動きを測量によって調べる方法など，種々の計測器機および方法によって斜面の変位挙動をモニターすることが可能である．

しかし，変位が計測されても，斜面の安定性の評価は容易ではない．これは，斜面の安定性は通常，応力強度（c,ϕ）によって評価するからである．すなわち，斜面の設計（切取り斜面）においては地盤材料のc,ϕを求め，地下水位を調査し，すべり面を仮定して安全率の計算を行い，その値によって斜面の安定性を評価する．その場合，変位については通常検討を行わない．したがって，変位計測結果から直接安全率を求め，斜面の安定性を評価することは困難であり，変位計測結果を評価する何らかの解析手法が必要であることが明らかであろう．

2．計測結果の評価法

変位計測結果の評価法に，ＦＥＭなどの解析が有効であることは疑いない．すなわち，ＦＥＭを用いて計測値から逆解析によって地山の力学定数や初期応力を求め，その値によって斜面の安定性を評価することができる．ところが，ＦＥＭによる通常の解析は斜面の挙動を評価する場合において問題が多いことはよく知られている．つまり，斜面が弾性的な挙動をせず，すべりやトップリングなどが生じている場合には，解析値と実測値との間に大きな差が生ずる（図－１参照）．これでは斜面において最も問題となるすべりやトップリングの解析にＦＥＭの解析が役に立たないことになる．ＦＥＭが斜面の設計あるいは計測値の評価にあまり用いられない理由がここにあるのではなかろうか．もちろん，塑性や破壊を考慮した非線形のＦＥＭ解析あるいは個別要素法（ＤＥＭ）など，多くの研究者によって研究がなされているが，まだ実務において利用できるまでには至っていないように思われる．

3．斜面における逆解析

筆者らは斜面の解析において，弾性，すべりおよびトップリングをすべて表現できる，しかも簡単な力学モデルを提案した．以下にその概要を示す．

すべりあるいはトップリングの生ずる方向に局所座標系$x'-y'$をとる（図－２参照）．この局所座標系に対して応力－ひずみ関係を次のように表す．

$$\left\{\begin{array}{c}\sigma_{x'}\\ \sigma_{y'}\\ \tau_{x'y'}\end{array}\right\}=[D']\left\{\begin{array}{c}\varepsilon_{x'}\\ \varepsilon_{y'}\\ \gamma_{x'y'}\end{array}\right\} \tag{1}$$

$$[D']=\frac{E}{1-\nu-2\nu^2}\begin{bmatrix}1-\nu & \nu & 0\\ \nu & 1-\nu & 0\\ 0 & 0 & m(1-\nu-2\nu^2)\end{bmatrix} \tag{2}$$

ここで，mを異方性パラメータと名づける．もし，$m=1/2(1+\nu)$　ならば，これは等方性弾性体に対する応力－ひずみ関係となる．また，$m<1/2(1+\nu)$となる領域において、すべりあるいはトップリングが表現できる．変位計測の結果から逆解析によってE, ν, αおよびmを求め，それらを用いれば斜面のひずみ分布を求めることができる．なお，mが$1/2(1+\nu)$から低下した地盤は誘導異方性体と考えられる．また，その低下の程度によって地盤の劣化の程度を評価できるかもしれない．

4．安全率の評価

斜面の安定性の評価は通常安全率で行っている．したがって，変位計測の結果は最終的に安全率に結び付く必要がある．しかし，変位計測の結果から明らかになるのは地盤の変形特性である（強度特性ではない！）．筆者らの研究から，一軸強度σ_cと弾性係数Eの比（限界ひずみε_0）

$$\varepsilon_0=\sigma_c/E \tag{3}$$

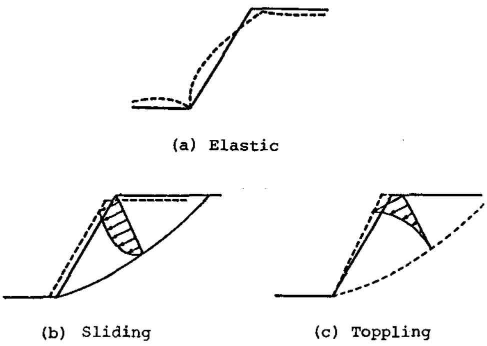
は原位置の地盤に対して推定が可能であることがわかってきた．すなわち，弾性係数と一軸強度の間には良い相関があり，その関係は室内試験によって推定可能である．このことを考慮すれば，一旦，斜面の変位計測の結果から弾性係数が逆解析によって求められると，地盤の一軸強度が推定でき，その結果，次式

$$c=\sigma_c(1-\sin\phi)/2\cos\phi \tag{4}$$

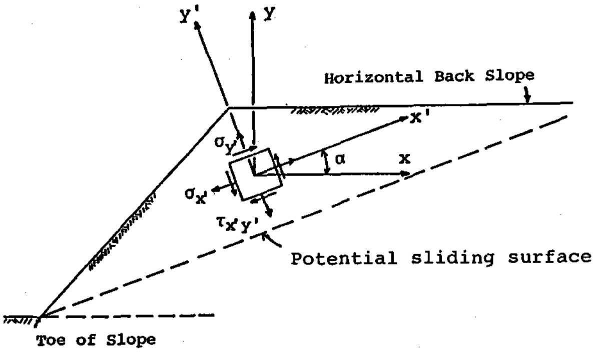
を用いてcとϕの関係を求めることができる．なお，ϕを仮定するならばcの値を求めることができる．その結果，斜面の安全率が求められる．

5．むすび

一般に斜面の逆解析といえば現状の斜面の安全率を0.95～1.0としてc, ϕを逆算することを意味する．しかし，これは斜面にすべりが生じている場合には合理的な方法であるが，すべりが生じていない場合にこの方法を用いることは問題がある．筆者らは斜面の変位計測の結果から地盤の変形特性（弾性係数）を逆算し，弾性係数と強度定数との間の相関を用いて，最終的にc, ϕを求め安全率に結び付ける方法の開発を進めている．この方法にはまだ多くの解決しなければならない問題を含んでいるが，斜面における一つの逆解析の方法として御批判頂ければ幸いである．



図－1　切取り斜面の変形モード



図－2　座標系