

III-502

法面変位計測結果を用いた地盤内弱層面の位置評定法

東急建設(株) 技術研究所 正会員 壺内 達也

1. はじめに

掘削中に計測された法面変位の計測結果を用いて、地盤内に存在する弱層面の位置を評定する方法を考えた。法面において、荷重条件を満足する地盤内のひずみを解析する。次に、計測された法面変位を強制変位として与え、地盤内のひずみを解析する。これらの解析には同じ均質地盤モデルを用いる。両者のひずみの値を比較し、差の大きい場所から順番に選んで行く。選ばれた場所が実際の弱層面の位置と、どの程度対応するかを数値実験により調べた。

2. 弱層面の位置評定法の考え方

均質な弾性体の基礎式は次式で与えられる。

$$C_{ijkl} u_{k,lj} + q_i = 0 \quad (1)$$

式(1)はNavierの式で、Cは弾性定数、uは変位、qは物体力を示す。コンマは微分を示し、繰り返される添え字については総和を取る。

境界条件は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} u_i &= u_i^* && \text{on } S_1 \\ C_{ijkl} u_{k,l} n_j &= t_i^* && \text{on } S_2 \end{aligned} \quad (2)$$

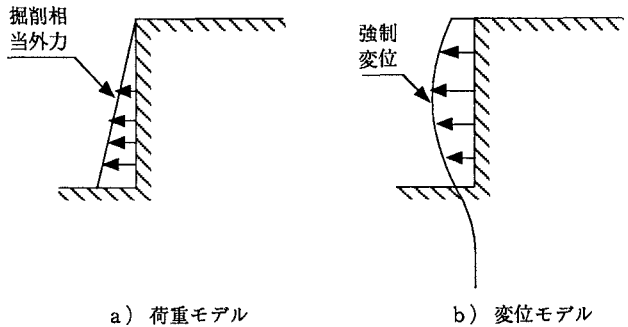


図1 荷重モデルと変位モデル

ここで、Sは境界を示し、 $S_1+S_2=S$ である。また、上添え字の*は既知量を表わし、 u_i^* 、 t_i^* は境界上の変位と荷重である。

通常の解析では、式(2)の境界条件の下で、式(1)を解く。しかし、法面の変形が計測されている場合、その法面では、荷重と変位を同時に与えることができる。

ここで、図1に示す2つのモデルを考える。図1 aは、均質地盤モデルを用いて、法面に掘削相当外力を作用させたものである。図1 bは、均質地盤モデルを用いて、法面計測変位を強制変位として作用させたものである。以下、図1 aのモデルを荷重モデル、図1 bのモデルを変位モデルと呼ぶ。

ここで、以下の様に考える。

- 1) 実際の地盤の応力は変位モデルの応力より、荷重モデルの応力に近い。
- 2) 実際の地盤の変位は荷重モデルの変位より、変位モデルの変位に近い。

すなわち、荷重を入力した境界が多いモデルは応力の値が実物に近く、変位を入力した境界が多いモデルは変位の値が実物に近いと考えるものである。

この考えに従えば、荷重モデルで求めた応力解と、変位モデルで求めた変位解を組み合わせた解は、実地盤の応力と変位に近くなる。

荷重モデルで求めた応力解と、変位モデルで求めた変位解を組み合わせた解が式(1) (2)を満足するためには、以下の条件が十分条件となる。

$$\begin{aligned} C_{ijkl} u_{k,l}^a &= C_{ijkl}^{\#} u_{k,l}^b \\ C_{ijkl} u_{k,l}^a &= C_{ijkl}^{\#} u_{k,l}^b = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、上添え字のa、bは荷重モデルと変位モデルを示す。 $C_{ijkl}^{\#}$ は、荷重モデルの応力解と、変位モデルの変位解の組み合わせが、式(1) (2)を満足するために修正しなければならない弾性定数である。

$C_{ijkl}^{\#}$ は場所によって異なる。先に述べた考えが、ある程度正しければ、 $C_{ijkl}^{\#}$ が小さくなるどころが、実地盤の弱層面の位置と近くなるはずである。

3. 計算例

第2章で述べた考えが、どの程度妥当なものか調べるため、有限要素法による数値実験を試みる。図2に示すモデルを用いて、弱層面を入れた解析を行なう。法面の水平変位を求め、その値を計測変位と見たてる。図2中にこのときの法面変位を示す。また参考のため、均質モデルの場合の法面変位を同時に示す。表1に物性値を示す。

次に、均質地盤モデルを用いて、法面に掘削相当外力を作用させ、地盤内のひずみを求める。同じ、均質地盤モデルを用いて、法面計測変位(ここでは弱層面を入れたモデルで、あらかじめ解析した水平変位)を強制変位として作用させ、地盤内のひずみを求める。

要素内で弾性定数が一定とする有限要素法では式(3)の第2式は常に満足する。式(3)の第1式を満足する C_{ijkl}^* を直接求めることは困難なので、両辺のひずみ(変位の微分量)の大きさを比較し、 C_{ijkl}^* の小さくなる要素を以下のように選ぶ。

荷重モデル、変位モデルそれぞれについて、各要素の体積ひずみIと、最大せん断ひずみJを計算する。

I、Jそれぞれに対し、荷重モデルと変位モデルの比を、各要素ごとに次式で計算する。

$$\alpha_I = I^a / I^b$$

$$\alpha_J = J^a / J^b \tag{4}$$

ここで、 α_I 、 α_J は C_{ijkl}^* の成分のうちの体積ひずみと平均応力に対応する成分の平均的な剛性低下率。 α_J は C_{ijkl}^* の成分のうちの最大せん断ひずみと最大せん断応力に対応する成分の平均的な剛性低下率を意味する。

α_I 、 α_J それぞれに対して、値の小さい要素から順番にN個選ぶ。最後に α_I と α_J の小さい順番が両方ともN番目以内の要素を選ぶ。

ここではNの個数を、全要素数の23%に当たる52個とした。

図2中に、実際の弱層と本法で選択された要素の比較を示す。この図より、本法で選択される要素は実際の弱層の位置とほぼ一致することがわかる。

4. おわりに

法面の計測変位から弱層面の位置を評定する方法を示した。応力の境界条件を満足する均質モデルと、変位の境界条件を満足する均質モデルのひずみの差が、大きくなる部分が、弱層面の位置とある程度対応することが示唆された。

ここで示した方法では、市販の解析ソフトによる弾性解析を2回行なうのみである。さらに評定精度を上げる必要がある場合には、ここで示した方法を初期値の設定に用いて、フィルター理論や最適化手法を併用することができる。

また、本法は式(1)、(2)と同様の形を持った浸透流、熱伝導問題にも適用できると考える。

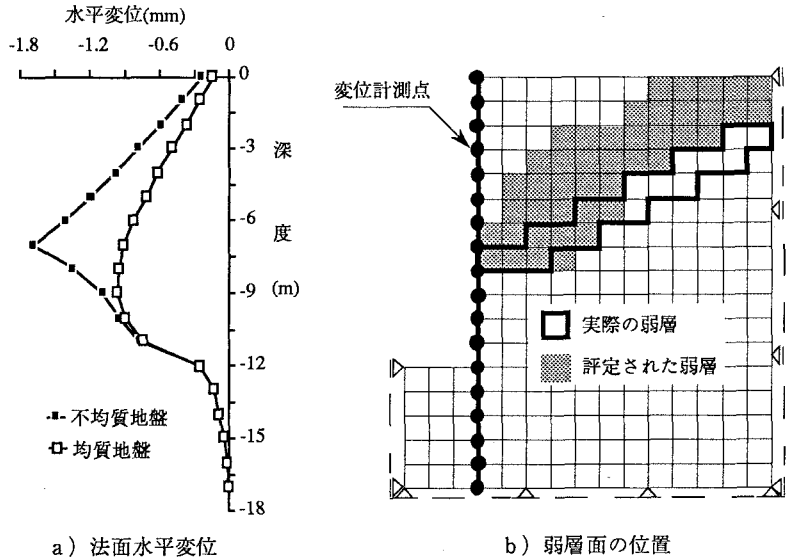


図2 弱層面の位置と評定結果の比較

表1 解析に用いた物性値

$E = 10,000$ (kgf/cm ²)	均質部分
$E = 1,000$ (kgf/cm ²)	弱層部分
$\nu = 0.3$	
$\gamma = 2.0$ (tf/m ³)	
$k = 1.0$	