

地すべり地における四次元測量データによる任意すべり面形状の推定

信大工学部 正員吉澤孝和 学生員長谷部美雄 ○大井康史

(はじめに) 地すべり地における地下のすべり面の形状を地表測点の四次元測量データを用いて推定する場合、すべり面を円弧として解析する手法はこれまでに一応の結論を得た。^{*} しかるに円弧すべり面は一般に等質の構成物質からなる地山に発生するものであり、地質構造的な素因が潜在する場合のすべり面の形状はかなり複雑なものとなる。本研究は、地すべりの主移動方向にとった鉛直投影面上のすべり面の形状が任意の曲線形状となるような地すべりについて、これを高次方程式で表現するための解析手法を考究するものである。本文では、解析理論・シミュレーションによる精度の検討・適用例の概略を述べる。

解析式と解析手法 図1に示すように、地すべり地内の数個の測点の四次元測量データの軌跡を平面図上で観察して平均的な移動方向を求め、この方向と平行な鉛直投影面(P-H面)上に各測点の各観測時点で得られた位置を投影したときのP,H座標値を解析に用いる。解析にあたりつぎの仮定を設ける：

- (1) 地すべり土塊は地下に生じたすべり面上を土塊自体に変形や破壊を生ずることなく移動する。
- (2) 地表測点に局所的な破壊や変位を与えるような外力が作用しない限り、地すべり土塊上に設置した測点の軌跡は直下のすべり面の形状と近似したものとなる。

図2は各測点の変位軌跡を任意方向の鉛直投影面(PH)上に投影したものである。この面上において、すべり面(曲線)の形は次式であらわされるものとする。

$$H = a_0 + \sum_{k=1}^K a_k p^k \quad (1)$$

ここで測点の総数をm、各測点での観測時点数をN_iとし、測点No.1におけるすべり面の深度T₁が既知である場合、すべり曲線の方程式を2次曲線としたときの係数は次式で与えられる。

$$\begin{bmatrix} \sum [p^2] & \sum [p^3] & \sum [p^4] & \sum p_1^2 & \dots & \sum p_1^k \\ \sum [p^3] & \sum [p^4] & \sum [p^5] & \sum p_1^3 & \dots & \sum p_1^{k+1} \\ \sum [p^4] & \sum [p^5] & \sum [p^6] & \sum p_1^4 & \dots & \sum p_1^{k+2} \\ \sum p_1^2 & \sum p_1^3 & \sum p_1^4 & N_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum p_m^2 & \sum p_m^3 & \sum p_m^4 & 0 & \dots & N_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_0 \\ a_{k+1} \\ \vdots \\ a_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum [p^2 h] - \sum p_1^2 T_1 \\ \sum [p^3 h] - \sum p_1^3 T_1 \\ \sum [p^4 h] - \sum p_1^4 T_1 \\ \sum h_1 \\ \vdots \\ \sum h_m \end{bmatrix} \quad (2)$$

$\sum [p] = \sum_i \sum_j p_{ij}, \sum p_1 = \sum_j p_{1j}, \sum N_i = \sum_j N_j$

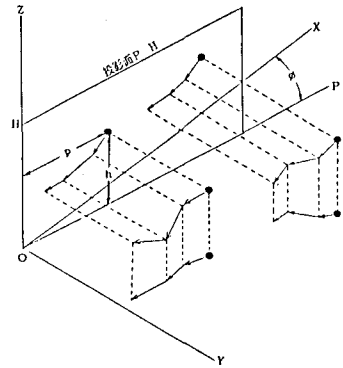


図1 P-H面へのベクトル投影

本報告ではこの2次方程式を用いた場合についての考察を示す。

シミュレーション

この手法に現地から得られる観測データを用いた場合の適否について簡単なシミュレーションにより検討する。

シミュレーション・モデルとしては

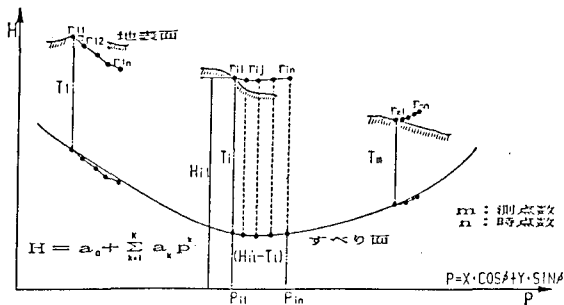


図2 PH面上での測点変位と地下すべり面上への投影

^{*} 吉澤・細川：地すべり地におけるすべり面形状の推定 土木学会中部支部研究発表会講演概要集 1985

あらかじめ地表形状、地表測点、すべり面を設定しておく。各測点は地下すべり面に準じて地表を移動するものとして移動ベクトルを定め、これをデータとして地下すべり面を推定する。各移動ベクトルには、移動量、移動方向などに種々の制限を与えてモデルを設定している。具体的なモデルについては表1に示し、その組み合わせの一例を図3に示す。詳細な解析結果はここでは省略するが、モデルDの結果についてはすべり面は設定したすべり面とほぼ同じであった。モデルCについてはデータに発生させた乱数の影響のためか適当なすべり面が得られなかった。これについてはさらに検討したい。

地すべり地への適用例

本解析法を長野県小諸市と信州新町奈良尾地区に発生した地すべりに適用してみる。

小諸地すべり(図4)ではすでに測量データを用いた円弧すべり面解析法によるすべり面形状が得られている。本解析法によるものはこれよりも深い結果となったが、円弧すべりとしての特性はよくあらわしている。

奈良尾地すべり(図5)についてはボーリングによるすべり面形状が得られている。解析にあたっては地すべり地を上部・下部に分けてすべり面の形状を求め、それらをつなぎ合わせるという手法をとった。その結果、ボーリングによる推定すべり面とほぼ等しい形状が得られた。

表1 シミュレーションモデル

- | | |
|---------------|--------------------------------|
| A すべり曲線方程式 | |
| A-1 | $f(X)=0.01X^2-0.1 \cdot X+5$ |
| B 地表形状 | |
| B-1 | $f(X)=0.4X+5$ |
| B-2 | $f(X)=(0.2\sin(X/2.5)+0.8)+15$ |
| C 測点データの形状 | |
| C-1 | 2次近似ベクトル |
| C-1 | 2次近似ベクトル(乱数発生) |
| C-3 | 高精度観測(乱数発生) |
| C-4 | 低精度観測(乱数発生) |
| D 測点ベクトル長 | |
| D-1 | 測点間距離*1/10 |
| D-2 | 測点間距離*1/100 |
| D-3 | 測点間距離*1/1000 |
| D-4 | 測点間距離*1/10000 |
| D-5 | 測点間距離*1/100000 |
| E 有効桁数 | |
| E-1 | 10^{-3} |
| E-2 | 10^{-5} |
| F すべり面深度の既知点数 | |
| F-1 | 1点 |
| F-2 | 2点 |

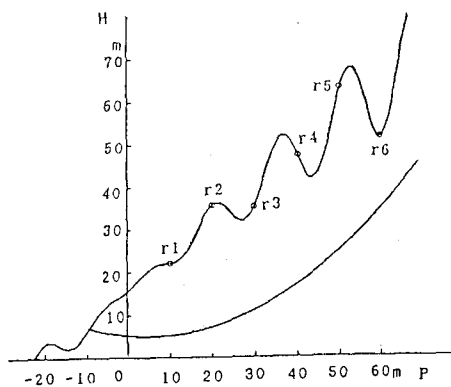


図3 モデル地形

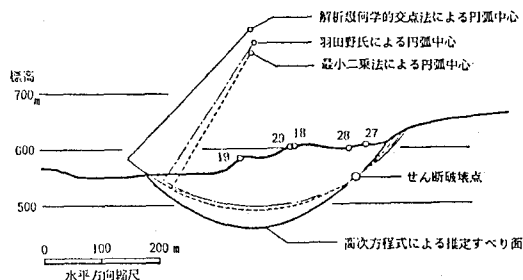


図4 小諸地すべり地での推定すべり面

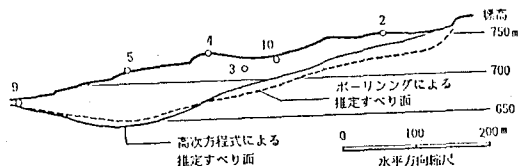


図5 奈良尾地すべり地での推定すべり面