

地表変位観測データによる地すべりブロックの判別について

正会員 (株)長野技研 ○宮澤 圭 信州大学工学部 吉澤 孝和

1. はじめに

地すべりブロック判別は従来、微地形および地表の段差や亀裂等の変状から判別されている。本研究ではブロックの変形が移動量に比べて微小であるという仮定のもとに、地表面に設けた個々の変位追跡点間の距離変化に注目して移動ブロックを判別する。

いま移動中のブロックをひとつの連続体とみなして、そのひずみ状態を解析することができれば、内部応力状態の解明に寄与できるものと考ええる。よって本稿では上記の手法で判別したブロックに対して、さらにこれを連続性のあるひずみ場と考えて、扱うものかどうかの検討を行う。

地すべり地の平面ひずみ問題については、釜井¹⁾、早川²⁾らの研究があるが、本稿ではこれらの解析手法に最小二乗法を応用した手法を加えて検討し、ブロック判別の再評価を行うものである。

2. 解析方法

平面ひずみ場における主ひずみの大きさ($\varepsilon_1, \varepsilon_2$)とせん断ひずみの極値の方向(θ)は次式で計算できる。

$$\left. \begin{matrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \end{matrix} \right\} = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{2} \right)^2 + \gamma_{xy}^2} \quad \tan 2\theta = \frac{\varepsilon_y - \varepsilon_x}{2\gamma_{xy}}$$

ここで、ひずみ成分 $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}$ を、以下の3手法について検討する。各手法の解析式を示す。

手法1：ひずみロゼット法 [釜井による手法]

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta_A & \sin^2 \theta_A & 2 \cos \theta_A \sin \theta_A \\ \cos^2 \theta_B & \sin^2 \theta_B & 2 \cos \theta_B \sin \theta_B \\ \cos^2 \theta_C & \sin^2 \theta_C & 2 \cos \theta_C \sin \theta_C \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \varepsilon_A \\ \varepsilon_B \\ \varepsilon_C \end{bmatrix}$$

$\theta_A, \theta_B, \theta_C$: x軸とA, B, C方向のなす角
 $\varepsilon_A, \varepsilon_B, \varepsilon_C$: A, B, C方向の線ひずみ

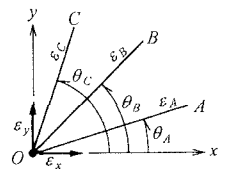


Fig.1：ひずみロゼット法

手法2：一義的変位関数法 [早川・高浜による手法]

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i & y_i & 1 & & & \\ & x_j & y_j & 1 & & 0 \\ & x_k & y_k & 1 & & \\ & & & x_i & y_i & 1 \\ & & & 0 & x_j & y_j & 1 \\ & & & & x_k & y_k & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} dx_i \\ dx_j \\ dx_k \\ dy_i \\ dy_j \\ dy_k \end{bmatrix}$$

変位関数
 $dx = a \cdot x + b \cdot y + c$
 $dy = d \cdot x + e \cdot y + f$
 $\varepsilon_x = a \quad \varepsilon_y = e$
 $\gamma_{xy} = \frac{d+b}{2} \quad \omega_{xy} = \frac{d-b}{2}$

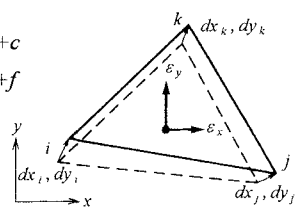


Fig.2：一義的変位関数法

手法3：多変量的変位関数法 [本研究の最小二乗法]

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i^2 & x_i y_i & x_i \\ x_j^2 & x_j y_j & x_j \\ x_k^2 & x_k y_k & x_k \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} y_i^2 & y_i \\ y_j^2 & y_j \\ y_k^2 & y_k \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix} \\ O & \begin{bmatrix} x_i^2 & x_i y_i & x_i \\ x_j^2 & x_j y_j & x_j \\ x_k^2 & x_k y_k & x_k \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} y_i^2 & y_i \\ y_j^2 & y_j \\ y_k^2 & y_k \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_i dx_i \\ y_i dx_i \\ dx_i \\ x_i dy_i \\ y_i dy_i \\ dy_i \end{bmatrix}$$

$[]$: 和の記号
 $\text{ex. } [x_i] = \sum_{i=1}^n x_i$
 n : 要素構成節点数

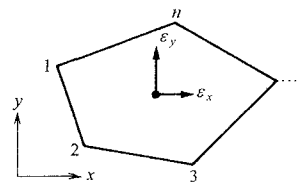


Fig.3：最小二乗法

平面ひずみ問題を適用するためには、解析の対象となる測点群は、地すべりによる破壊の影響は少なく、巨視的に一体化して移動する地山として扱うものでなければならない。よって平面ひずみ解析を行う前に、各測点間の線ひずみによるの大きさに判別基準を与えて、ブロックに分割する。

1) 釜井 俊孝：小川村袖地地すべりの変形像—表面ひずみ速度の測定とその応用—

地すべり Vol.26-2, 1989

2) 早川・高浜：地表面変位の2次元解析にもとづく地すべりの変形挙動—東野名地すべりを例として—

地すべり Vol.30-1, 1993

3. 解析結果と考察

Fig.4は、長野県の落合地すべり地の平面図である。太い破線は地表に発生した段差や亀裂等から判定された地すべりブロックである。図中の番号はそれぞれ変位追跡点で、追跡点の移動ベクトルの始点は昭和62年、終点は平成6年である。2点間の距離変化量が1m以下の場合、その2点間を直線で結んだ。

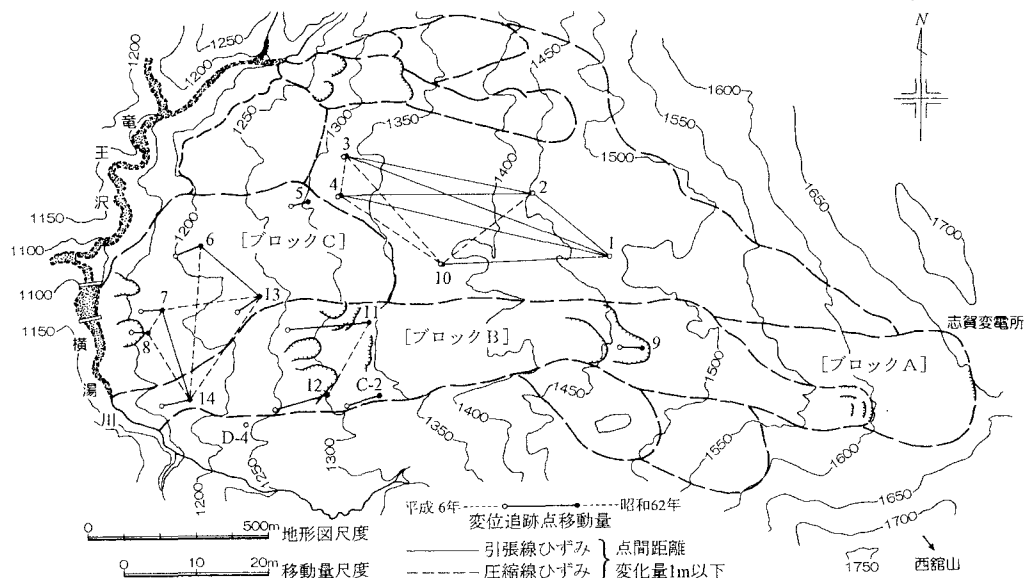


Fig.4 : 落合地すべり地平面図

結線された追跡点 6, 7, 8, 13, 14 について検討する。ここで次の2点に注意しておく。

- 1) 6, 13 は 7, 8, 14 に比べ、移動ベクトルがやや南方向を向いている。
- 2) 6, 7, 8, 13 は [ブロックC] に属するが、14 のみ [ブロックB] に属する。

これらの追跡点に前記の3つの手法を適用した解析結果を Fig.5 に示す。[手法2] と [手法3] は同一の3点を用いて解析を行うと、同じ結果が得られる。よって [手法3] では4点を用いた解析結果を示す。上段は 6, 7, 8 と 13 を組み合わせた場合、下段は 6, 7, 8 と 14 を組み合わせた場合である。

各段では3手法とも類似した結果が得られる。しかし上下の段を比較すると解析に 13 と 14 を用いるので

は主ひずみの符号や方向が異なることがわかる。14 は他の点とは異なるブロックの追跡点であるため、ここではひずみ状態は、Fig.5 の上段が妥当であると考えられる。

また、[手法3] で解析点数が4点に増やすと、3点を用いた3つの解の中間的な類似した結果が得られた。

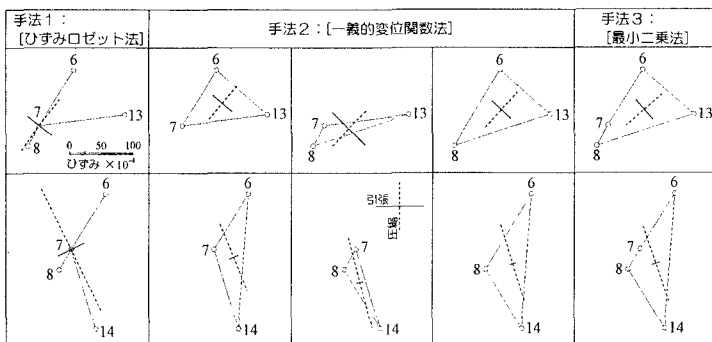


Fig.5 : 各手法による解析結果の比較

3. おわりに

地すべり地内の変位追跡点間の距離変動量に基準値を与えて地すべりブロックを判別し、ブロック内は連続的なひずみ場という仮定のもとで3種類の手法で主ひずみを求めたところ、ほぼ同一の結果が得られた。

本稿で提案した最小二乗法による変位関数の求めかたは、より多くの変位追跡点のデータを一括して同時処理できる点で能率的である。なお同一ブロックに属さない変位追跡点のデータを加えると、主ひずみの符号や大きさに顕著な変化が生ずる。この点に関しては今後シミュレーション等によって検討していきたい。