

III-236 基盤の断層変位に伴う砂層内の不連続面の形状と位置(第2報)

(財)電力中央研究所 正会員 谷 和夫

1. はじめに: 第四紀層に覆われた基盤内の断層が地震時に変位することによって、断層先端部より地表面に向かってせん断層が進展し、またその周辺には連続的変形(撓曲)が見られる。筆者等はこれまで、縦ずれ断層変位によって基盤上に水平に堆積した砂層内に生じる変形を対象として模型実験¹⁾や数値解析^{2),3)}を試みてきた。既報³⁾では、せん断層の層厚を無視したせん断面に沿って生じる相対変位(すべり)を変位増分(displacement increment)あるいは塑性論で論じる速度(velocity)と等価であると考え、剛完全塑性理論で扱う可容速度場(kinematically admissible velocity field)で考察する“速度の不連続面”とみなして基盤の断層と連続な方向に形成されるせん断層の位置と形状を検討した。今回は低角度の逆断層の場合に、基盤の断層と連続な方向だけでなく共役(conjugate)な方向にもせん断層が形成されることが室内模型実験において観察されたため、上記の剛完全塑性理論の考え方を適用して、その形状と位置をも評価することを試みた。

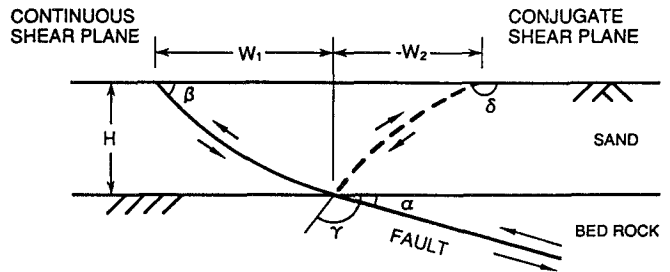


図1: 水平な砂層内に形成される不連続面

2. 基盤の断層と連続な方向に形成される不連続面³⁾: 水平に堆積した層厚Hの砂層(ダイレイタンシー角 ν)下の右側基盤が左側基盤に対して上向きの相対変位を持つ場合を考える(図1)。以下の手順により、基盤内の断層の角度 α と不連続面が地表面に到達する位置 W_1/H の関係が求まる。

(1) “速度の不連続面”の形状は直線または対数螺旋($\nu = 0^\circ$ の場合は円弧)であるから、

$$\frac{W_1}{H} = \begin{cases} \frac{\exp[(\alpha - \beta) \cdot \tan \nu] \cdot \sin(\alpha + \nu) - \sin(\beta + \nu)}{\cos(\beta + \nu) - \exp[(\alpha - \beta) \cdot \tan \nu] \cdot \cos(\alpha + \nu)} & (\alpha \neq \beta) \\ \frac{1}{\tan \alpha} & (\alpha = \beta) \end{cases}$$

(2) 水平な地表面は主応力面で、①応力とひずみ増分の主方向が一致し(coaxiality)、②不連続面の方向が伸び縮みのない方向(zero extension direction)と同一であると仮定すると、運動学的条件より不連続面が地表面となす角 β は以下の2種類である。

$$\beta_P = \frac{\pi}{4} - \frac{\nu}{2} \quad (\text{地表面が受働状態、逆断層型}), \quad \beta_A = \frac{3\pi}{4} - \frac{\nu}{2} \quad (\text{地表面が主働状態、正断層型})$$

(3) 断層の成因である付加水平力の符号で判定される正・逆断層を、速度場における以下3種類の判断基準に拡大解釈して、 β_A と β_P のうち優先的なモードを決める。不連続面の型が基盤から地表面まで不変の条件より、 $\alpha \leq \alpha_1$ (逆断層型)の時 $\beta = \beta_P$ 、 $\alpha \geq \alpha_1$ (正断層型)の時 $\beta = \beta_A$ 。

① 不連続面の方向または伸び縮みのない方向(zero extension direction) $\alpha_1 = \pi/2$

② 変位増分(速度)ベクトルの方向 $\alpha_1 = \pi/2 - \nu$

③ 鉛直主ひずみ増分 $\dot{\epsilon}_v$ と水平主ひずみ増分 $\dot{\epsilon}_H$ の大小 $\alpha_1 = \pi/2 - \nu/2$

なお、主方向の回転の大小による判定の場合、 $\alpha_1 = \pi/2 - \nu/2$ となり③と一致する。

3. 基盤の断層と共役な方向に形成される不連続面: 基盤の断層と連続な方向の場合(前項)と同様に、共役な方向の不連続面が地表面に到達する位置 W_2/H は以下の手順により求まる(図1)。

(1) “速度の不連続面”の形状は直線または対数螺旋($\nu=0^\circ$ の場合は円弧)であるから、

$$\frac{W_2}{H} = \begin{cases} \frac{\exp[(\delta - \gamma) \cdot \tan \nu] \cdot \sin(\gamma - \nu) - \sin(\delta - \nu)}{\cos(\delta - \nu) - \exp[(\delta - \gamma) \cdot \tan \nu] \cdot \cos(\gamma - \nu)} & (\gamma \neq \delta) \\ \frac{1}{\tan \gamma} & (\gamma = \delta) \end{cases}$$

ただし、 $0 \leq \alpha \leq \pi/2 - \nu$ の場合は $\gamma = \alpha + (\pi/2 + \nu)$ 、また $\pi/2 - \nu \leq \alpha \leq \pi$ の場合は $\gamma = \alpha - (\pi/2 - \nu)$ である。

(2) 不連続面が地表面となす角 δ は、運動学的考察により以下の2種類が考えられる。

$$\delta_A = \frac{\pi}{4} + \frac{\nu}{2} \quad (\text{地表面が主動状態、正断層型})、\quad \delta_P = \frac{3\pi}{4} + \frac{\nu}{2} \quad (\text{地表面が受働状態、逆断層型})$$

(3) 共役な不連続面の型が基盤から地表面まで変わらない条件より、 $0 \leq \alpha \leq \pi/2 - \nu$ 、 $\alpha_2 \leq \alpha \leq \pi$ の場合(逆断層型)では $\delta = \delta_P$ 、 $\pi/2 - \nu \leq \alpha \leq \alpha_2$ の場合(正断層型)では $\delta = \delta_A$ 。

ただし、前項(3)の判断基準①～③に対し、それぞれ $\alpha_2 = \pi - \nu$ 、 π 、 $\pi - \nu/2$ となる。

また主方向の回転の大小による判定の場合、 $\alpha_2 = \pi - \nu/2$ となり③と一致した。

4. まとめ: 以上の考察を元に $\nu=0^\circ$ (ゆるい砂)と $\nu=20^\circ$ (密な砂)について、基盤の断層角度 α と、それに連続な方向と、共役な方向に形成される不連続面がそれぞれ地表面に到達する位置 W_1/H (実線)、 W_2/H (破線)を整理したものが図2である。

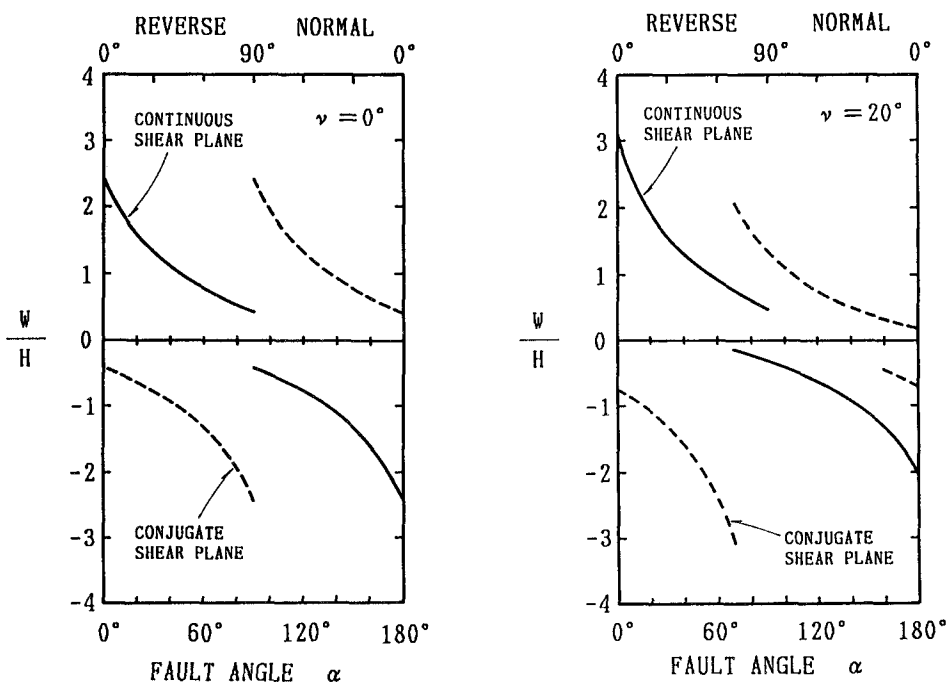


図2: $W/H \sim \alpha$ 関係(左図: $\nu=0^\circ$ 、右図: $\nu=20^\circ$)

参考文献: 1) 上田圭一、谷 和夫(1992)“基盤の逆断層変位に伴う砂層の変形”、第27回土質工学研究発表会。 2) 谷 和夫、金谷 守、大波正行、福田昌幸(1991)“基盤の断層変位に伴う砂層の変形”、土木学会第46回年次学術講演会、pp.980-981。 3) 谷 和夫、上田圭一(1991)“基盤の断層変位に伴う砂層内の不連続面の形状と位置”、第26回土質工学研究発表会、pp.1185-1188。