

中越地震で発生した崩壊斜面の挙動と排水促進による農地保全

The behavior of collapse slope which arose in the Cyuetu earthquake and Farmland maintenance by the drainage promotion.

南雲順一*, 松尾勝則*, ○風間十二朗*, 中野俊郎**

*新潟県長岡地域振興局部長, 主任, 主任, 〒940-0865 長岡市四郎丸 173-2

**新潟大学自然科学系農学部, 〒950-2181 新潟市五十嵐二の町 8050

1. はじめに

2004年10月23日に発生した中越地震で旧山古志村の南平池谷では斜面崩壊が発生した。地震後の芋川溪流の斜面安定対策を検討するために、崩壊に至る破壊の過程を全応力と有効応力解析から推定することを行なった。地震発生時に現地で体験された地区代表の経験から、直接せん断試験と三軸試験の結果から受働土圧状態による破壊と、破壊後には山塊が伸張状態の主働土圧状態で山塊の破壊が進行することを推定した。今後の芋川溪流の斜面崩壊の破壊の進行を防ぐためには、ベルヌーイの定理で表される位置水頭に圧力水頭と速度水頭を付加するために、排水ホースの吐出口を人工水面に没した排水機構を構築して、ダムアップされた湛水の迅速排除を行なうことによって、芋川の法尻を洗掘させないようにするとともに、溪流護岸の必要性がある。

2. 調査場所

旧山古志村の羽黒ト初を潜り抜けた池谷資料館から下った芋川の両岸に発生した崩壊斜面の頁岩に挟まれた砂を採取した。地震加速度によって頁岩層に挟まれた砂が破壊面を形成したと想定する。地震後の崩壊斜面から分離した砂が斜面の法尻に1mもの砂が堆積し、大量の砂が流れ出していることから推定できる。芋川には貯水ダムが構築され湛水が始まり水位上昇が見られることから、法尻が浸水して崩壊が始まると急傾斜を形成する斜面の崩壊が助長される恐れがあり、ベルヌーイの定理を利用した湛水の迅速排除が農地保全の面で必要となる。

3. 調査方法

(1)全応力解析

芋川両岸から採取した砂を $1\text{kg}/\text{cm}^2$ の載荷重で圧密した供試体について、直接一面せん断試験で求めた全応力解析で求めた粘着力 c と内部摩擦角 ϕ からせん断角度を求めた。さらに、三軸試験で求めた有効応力解析で求めた c' と ϕ' からせん断角度を求めた。一方、現地でハドクリマーにより地層の傾きと斜面傾斜角度から斜面崩壊角度を実測した角度が全応力解析と有効応力解析で求めた斜面崩壊角度が近似することを行ない推定の確からしさを検討した。

池谷区長の体験を聴くと、地震発生3秒間に上下振

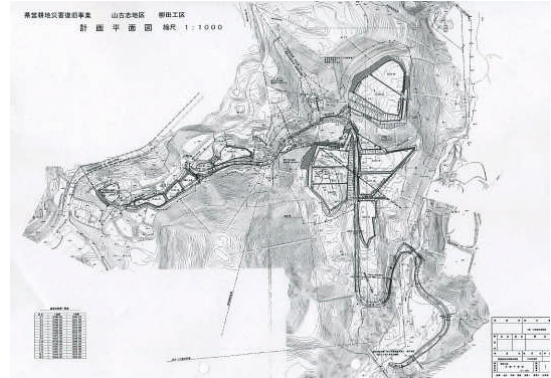


Fig. 1 池谷地区芋川両岸の調査場所

動がありその結果2m吹き飛ばされ、引き続く横波が長く強烈で、斜面直上の家屋の全てが斜面に落下し、築後3年経過した車庫の土台にボルトとナットで固定された柱が破断するくらいの横方向の地震加速の力が作用した。

Fig. 2 にモル応力円で静止土圧状態から地震による水平加速の力が山塊に作用して山塊の水平力が大きくなりモル円がモル・クーロンの破壊規準に接する臨海応力状態を表す。

地盤が伸張した破壊に至る受働状態を表す応力の臨海状態は、 $\triangle ABC$ から、

$$\sin \phi = c \cdot \cot \phi + \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}}$$

$$\sigma_3 = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \sigma_1 + 2c \frac{\cos \phi}{1 - \sin \phi}$$

$$= \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) \rho_1 z + 2c \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)$$

斜面の破壊角度 θ は、 $\theta = \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}$ となる。

この斜面崩壊角度と、せん断試験で得られる内部摩擦角が近似することを確かめる。

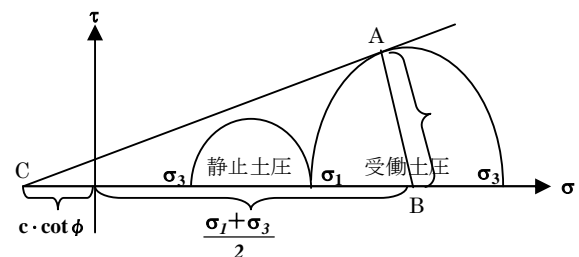


Fig. 2 受働土圧状態による臨海応力

(2) 有効応力解析

非排水条件の側圧一定試験を三軸試験を用いて行った。供試体を設置してから所定の 98, 147, 196, 245 kN/m² まで排水条件で等方圧縮してから、非排水条件で側圧一定試験を行なった。

縦軸に $\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$ を、横軸に $\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ をとり、データをプロット

すると、初期段階には弾性領域が現れる。後半には一定勾配の直線に漸近するのがわかる。この勾配が有効応力解析で求められる摩擦角 ϕ' である。

全応力解析と有効応力解析で得られた内部摩擦角 ϕ , ϕ' から崩壊斜面角度 θ_1 , θ_2 を、

$$\theta_1 = \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} = 45^\circ + 46^\circ = 91^\circ$$

$$\theta_2 = \frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2} = 45^\circ + 18^\circ 10' = 61^\circ 10'$$

(3) ハトクリメータによる崩壊斜面のせん断角の測定

この計算で求めた崩壊斜面角度 θ_1 , θ_2 と現地ではハトクリメータで地層角度と崩壊斜面角度から求めた崩壊斜面のせん断角 θ_3 を測定したところ、

$$\theta_3 = 88^\circ$$

と測定されて、両者が近似する。

したがって、地震加速度により最初の崩壊山塊は圧縮され受働状態で破壊が進行し、その後は地盤が伸張して主働状態で崩壊が進行すると推定できる。

(4) ヘルヌイの定理を利用した湛水の迅速排除

500ml タンク内に水をホースを水面に没すると 3 分 30 秒から 20 秒短縮された。この事実からもヘルヌイの定理で表される位置水頭に圧力水頭と速度水頭が付加された排水が行なわれることがわかる。芋川の貯水ダムによる湛水を迅速に排除させることが斜面法尻の崩壊を防ぐ対策になれば、崩壊斜面上にある農地を保全する。

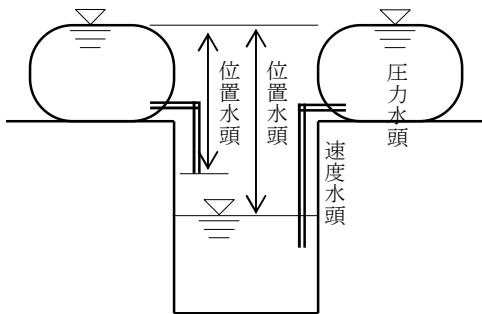


Fig.4 ヘルヌイの定理を利用した湛水の迅速排除

4. 結果の考察

全応力解析と有効応力解析で求められた粘着力と内部摩擦角から求められた斜面崩壊角度とがハトクリメータで実測で求められた斜面崩壊角度が近似することから、推定の正しさがわかる。

さらには、山古志と川口町を結んだ震源断層の西側に位置する新開町で観測された地下水面の変動は本震前は地下水面が低下し本震発生にかけて上昇するのに対して、旧守門村東野妙地すべり孔内地下水位変動は上昇してから低下することから、西側の地盤は伸張して東側地盤は圧縮したと推定する。旧越路町神谷の水田で地盤沈下した事実や中

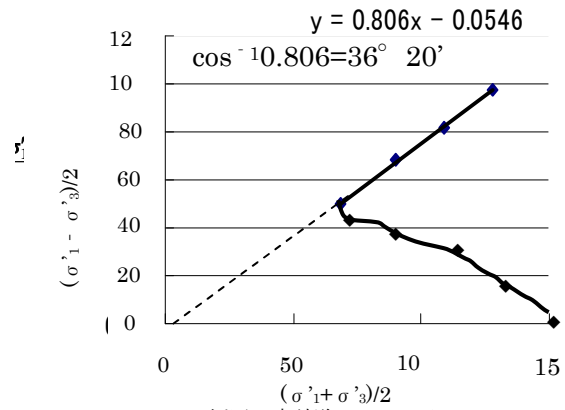


Fig.3 側圧一定試験 $\sigma_3 = 1.5 \text{ kg/cm}^2$

越地震で発生した関越高速道路のボックスカルバートの亀裂が次第に大きくなった事実からも地盤の伸張・圧縮の推定が確かめられる。

今後、南平池谷の芋川沿いの崩壊斜面は一旦山塊が受働土圧状態で破壊に至って崩壊した後、今度は主働土圧状態で破壊が進行する恐れが高い。そうになると、貯水の流下による芋川下流の竜光地区の貯砂ダムの崩壊の心配が発生する。

5. まとめ

- (1) 地震の山塊に作用した加速度によって地盤が圧縮され受働土圧状態で崩壊した後は、山塊が伸び切った主働土圧状態で崩壊が発生すると考えられる。現場では頁岩に挟まれた砂が吐き出され堆積している。
- (2) 芋川はダム群が構築され湛水している。斜面崩壊が発生した芋川の法尻箇所に、洗掘防止対策を施工する必要があると考えられる。
- (3) 湛水を迅速に排除するために、排水ホースの吐出口を人工水面に没しヘルヌイの定理で表される位置水頭に圧力水頭と速度水頭を付加した排水が、今後の崩壊斜面の崩壊防止に寄与し、芋川沿いの農地保全に貢献する。

引用文献

- 1) 農業土木ハンドブック, 農業土木学会編集委員会
- 2) 本間 仁, 水理学, 丸善
- 3) 竹内篤史, 地下水検層,