

変位を用いた降雨時斜面崩壊予知の可能性

愛媛大学工学部 八木 則男・榎 明潔・矢田部 龍一・○田坂 嘉章

1. まえがき

斜面崩壊の予知法には、①崩壊の発生する場所の予測、②斜面発生時間の子測、③崩壊が発生したときの規模と形態の予測が満たされている必要があるが¹⁾、もっとも不確かで、また切実に望まれているのは、発生の子期についての予知である。この斜面崩壊の発生子期の子知に関する研究としては、地表・地中変位、間隙水圧、振動、音などの前兆現象からの予測、実効雨量や降雨強度などの崩壊発生を支配する要因の变化からの予測などがある。本研究では前兆現象としての斜面の変位を観測することによって、降雨時の斜面崩壊予知が可能かどうかを、浸透流を考慮した非線形弾性解析と実験から考える。

2. 模型実験の装置と方法

実験に用いた実験土槽と降雨装置の概要を Fig.1 に示す。土槽の奥行きは50cmで斜面内に任意の角度的不透水層を設けることが可能である。土槽の前面は浸潤前線が観測できるようにアクリル板とし、背面は鋼板で間隙圧測定のための小孔が開けられている。土留壁は前後に移動が可能であり、数種の高さを選ぶことができる。降雨装置は農業用スプリンクラーを改良したものを用いた。

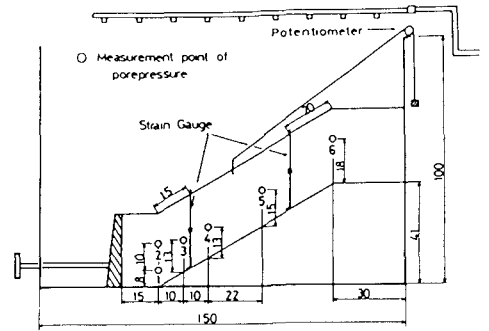


Fig. 1 実験土槽と降雨装置

降雨の状态は霧状である。間隙水圧計はひずみゲージ式のものを試作し、測定精度は1.0gf/cm²である。地表変位はポテンシオメーターにより測定した。地中ひずみ計は鋼板にひずみゲージを取り付けたものを用いた。実験方法としては、先ず斜面に平行に不透水層を設け、土留壁の高さを表層厚と同じ30cmとして土留壁から排水を許さないようにした、そこに、できる限り均一になる様に各層5~7cmの厚さで均一に突き固めながら試料を入れていった。地表変位計の設置については、ポテンシオメーターを土槽の上端部に取り付け、変位棒を斜面の任意の位置に地表から約2cmほど埋め込み、その上端に付けてあるナイロン製の糸をポテンシオメーターに接続しておいた。降雨強度は約100mm/hとし、計測は降雨開始からの経過時間と発生間隙水、地表変位、地中ひずみ、崩壊形態について行なった。

3. 有限要素法による雨水浸透時斜面の非線形弾性解析法

斜面変位解析の手法として、先ず降雨前の斜面の初期応力状態を荷重漸増法を用いて自重のみを与え決定した。次に、降雨時に発生する間隙水圧を導入するため、次式に示すように任意の要素の土の応力の釣り合い式を有効応力で表わすと

$$\frac{\partial \sigma_x'}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y'}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial y} + \gamma = 0$$

u : 間隙水圧
γ : 単位体積重量

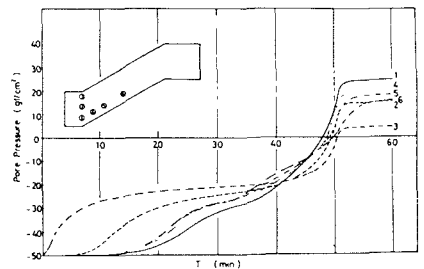


Fig. 2 浸透流解析

となり、間隙水圧は物体体積力として扱うことができる。そこで、浸透流解析²⁾ (Fig. 2) から得られた間隙

水圧 u を用いて、初期応力状態の決定と同様の計算をし、Fig. 3 に示すモデル斜面の各節点の変位を求めることができる。ここで用いた応力～歪関係 (Fig. 4) は、次式に示す各応力レベルに応じた接線変形係数より得られたものを用いた。

$$\frac{E_t}{E_0} = a \cdot \frac{d_{\text{max}}}{R_f}$$

$$d_{\text{max}} = c \cos \phi + \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \sin \phi + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

$$R_f = c \cot \phi + \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$$

E_t : 各応力状態に応じた接線変形係数 c : 粘着力

E_0 : 初期接線変形係数 ϕ : 内部摩擦角

σ_1, σ_3 : 最大・最小主応力 a : 実験定数

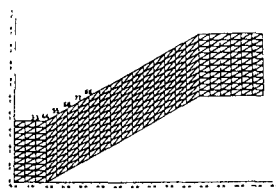


Fig. 3 モデル斜面

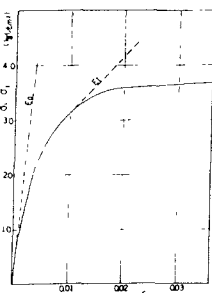


Fig. 4 解析に用いた応力～歪関係

4. 実験と数値解析の結果

実験と数値解析の結果の一例を Fig. 5～Fig. 7 に示す。Fig. 5・6 は内部摩擦角 40.2° 、間隙比 0.85 の海砂を試料とし、斜面角度 30° の室内実験結果である。この実験では、より大規模な崩壊を起こすことを目的にスプリンクラーによる人工降雨を与えるとともに、斜面肩背面に礫を入れて礫部給水を行ない斜面内に浸透流を与えた。崩壊は、まずのり先部でパイピング破壊に似た小崩壊が発生し、それに誘発されるように2次、3次と崩壊が続き、斜面全体にまで及んでいる。Fig. 6 において、地表変位は目立った変化はほとんどなく、土塊の崩壊とともに急激に変化している。地中ひずみは、崩壊までに徐々に 10μ 足らずの変化が見られる。地表変位・地中ひずみに比べると、間隙水圧は、崩壊に先って比較的顕著な変化を示している。Fig. 7 に、内部摩擦角 40° 、単位体積重量 1.38 t/m^3 の海砂を試料とし、斜面角度 30° の変位解析をおこなったときの Fig. 3 に示す節点の変位の経時変化を示した。図から地表変位は降雨開始からの経過時間 $T=47\sim 50$ 分でわずかに見られ、 $T=51$ 分で顕著に見られる。解析と同じ条件の室内実験において、 $T=52$ 分で斜面のり先で小崩壊が発生していた。他の実験結果および解析結果も含めて、変位観測からの降雨時の斜面崩壊予知の可能性について次のことが考察できる。室内実験において崩壊前の地表変位は、いずれのケースにおいても微小であり、崩壊時に急に生じること、また、解析結果でも、実験結果に比べて地表変位は過大評価されているが、ほぼ実験結果と対応しているなどのことから、小規模の斜面崩壊の予知を地表変位によりおこなうことは困難と思われる。

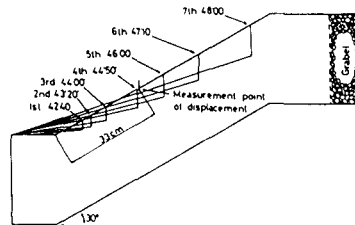


Fig. 5 崩壊形態

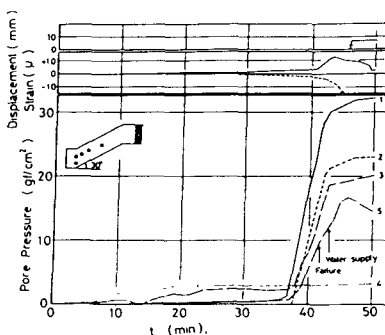


Fig. 6 地表変位・地中ひずみ
間隙水圧の経時変化

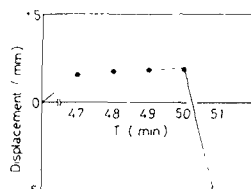


Fig. 7 地表変位の経時変化
(節点番号・33)

参考文献

- 1) 小橋澄治: 斜面安定、鹿島出版会、pp. 18~58、1975.
- 2) 大西有三、西垣誠: 有限要素法による飽和～不飽和領域の三次元浸透流解析、第12回土質工学研究発表会概要集、第237号、1977.