

豪雨による斜面崩壊発生の予測法

鳥取大学工学部 正 員 道上 正規
 鳥取大学工学部 正 員 藤田 正治
 日本上下水道設計(株) 正 員 ○細谷 守生
 鳥取大学大学院 学生員 則政 康三

1. はじめに 近年、豪雨時の斜面崩壊の発生を予測することが重要な問題となっており、崩壊発生時刻および発生場所の予測に関する研究が行われている。しかし、崩壊発生機構は非常に複雑で、不確定要因が数多く存在するために、これまで現地に適用できるような予測方法が確立されていないのが現状である。本研究では、斜面崩壊の一要因として考えられる斜面内間隙水圧のデータと浸透流解析を基にして崩壊発生時刻を予測する手法を提案しようとするものであり、この手法を模型実験に適用し、その有効性を検討する。

2. 室内模型実験の概要および実験結果 本実験に用いた実験土槽ならびに降雨装置を図-1に示す。土槽の奥行きは50cmで底面と側面は不透水面になっている。実験に使用した試料はまさ土で、比重 $G_s=2.64$ 、最大粒径 $D_{max}=4.7\text{mm}$ 、 $D_{50}=0.7\text{mm}$ 、均等係数 $U_c=10.9$ で、乾燥密度 1.5gf/cm^3 での飽和透水係数は $K_s=2.8 \times 10^{-2}(\text{cm/s})$ である。模型斜面は、厚さ約10cm程度づつ試料を入れ、各層均一に締固め所定の乾燥密度($\gamma_d=1.5\text{gf/cm}^3$)になるように作成した。斜面の層厚は30cm、斜面勾配 30° 、降雨強度は 80mm/hr および 120mm/hr である。計測は間隙水圧、表面流出量、浸透量について行った。間隙水圧計は(ひずみゲージ式)の容量 0.2kgf/cm^2 のものを使用した。また、表面流出量、浸透量については転倒ます型雨量計を使用した。図-2(a)、図-2(b)に実験で得られた斜面内間隙水圧の経時変化を示す。図中---▶はクラック発生時刻を、—▶は崩壊発生時刻を示している。---▶の上の数値は、下流端からクラック発生位置までの距離(cm)を表わす。これらの図より、降雨開始後浸潤前線が不透水面に到達すると間隙水圧は徐々に上昇しクラックの発生を伴いながら、斜面内間隙水圧がある値に到達すると崩壊が発生していることがわかる。クラックは下流端付近に発生し、順次上流側で発生した。つぎに、特に実験斜面の中でもっとも危険な場所であると考えられる斜面法先部分の間隙水圧に注目し、この間隙水圧データを用いた崩壊予測方法を以下検討していくことにする。

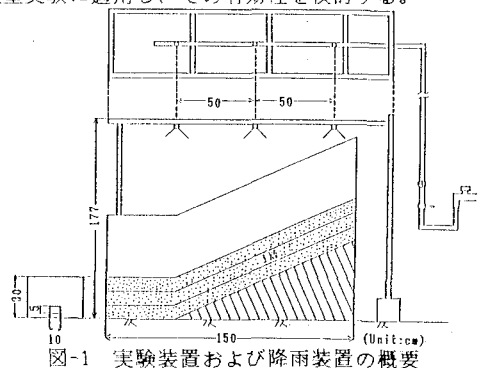


図-1 実験装置および降雨装置の概要

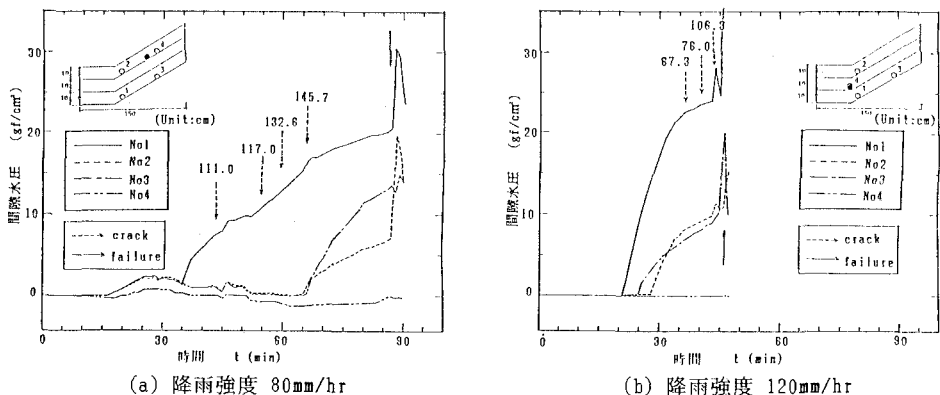


図-2 斜面内間隙水圧の経時変化

3. 崩壊予測方法 (1) 安全率の変化率に基づく方法:

間隙水圧のデータを斜面内の飽和水深と等しいと仮定すれば、時々刻々変化する間隙水圧のデータと(1),(2)式で示す無限長斜面の安定計算より、各時刻の安全率が算出できる。時刻 t に得られた安全率と時刻 $t-\Delta t$ の安全率とを外挿する直線を引くことにより安全率が1を割る時刻を求め、それより崩壊予測時間を求める。図-3は図-2(a)のケースについて各時刻の安全率を示したものである。ここで、安定計算に用いた強度定数は、 $c'=0 \text{ gf/cm}^2$ 、 $\phi'=41^\circ$ である。図-4は図-3より先に述べた方法を用いて崩壊発生予測時刻を求めたもので、図中に示した実線に近ければ確かな崩壊発生予測が行われていることになる。図を見ると、バラツキは見られるもののほぼ実際の崩壊発生時間に近い予測となっている。しかし、この手法は斜面内に水深が形成なければ予測が可能とならない。

(2) 飽和浸透流解析に基づく方法: 斜面内飽和浸透流は(3),(4)式より計算でき、将来の降雨条件が与えられれば、地下水位の変化が解析できる。この解析と(1),(2)式より安全率が1となる時刻を求め、崩壊時刻を予測する。ここでは、土層は一層で、流下方向に一次元的な解析を行ったが、平面的な広がりを持った山地流域にも適用できる手法である。しかし、これより得られる解は理想的なものであり、実斜面内での現象とは異っている可能性がある。そこで、実験で得られた間隙水圧のデータと、浸透流解析による結果と一致するように、有効空隙率 λe を修正し、修正時点から先の予測を行う。図-5に図-2(b)に対する解析結果を、また、図-6に崩壊予測時間を示す。この図では時刻25分と29分に修正を行った。同図より修正を加えることにより、より正確な予測が行えることがわかる。

4. おわりに

ここで提案した2つの手法は、不確定な要因を数多く持った斜面崩壊の予測に対し、現場

データを用いる点や現場修正を加えるという点で従来の手法に比べかなり正確な予測が可能となるものと考えられる。しかし、斜面内間隙水圧の測定精度および修正方法、土質パラメータの決定法にも若干の問題があるものと思われ、今後、さらに検討する必要がある。

参考文献) 1) 道上ら: 豪雨による山腹斜面崩壊の発生予測法, 第39回土木学会中国四国支部研究発表会講義概要集, 1987.5, pp117~118

【 斜面崩壊発生予測法 】

無限長斜面の安定解析

$$\begin{cases} \tau = g \sin \theta \cos \theta [D(1-\lambda) + \{(D-WF-H)So + WFS + H\} \lambda \rho] \\ \tau_c = g \cos \theta [(D-H)(1-\lambda) \sigma + \{(D-WF-H)So + WFS + H(1-\lambda)(\sigma-\rho)\} \tan \phi + C] \end{cases}$$

安全率は、次式で計算される。

$$SF = \tau_c / \tau \quad \dots (2)$$

降雨の鉛直浸透 (Wetting front)

$$t \cdot dt = (S-So) WF \lambda \quad \dots (3)$$

斜面内横方向浸透流

$$\begin{cases} \text{連続式: } \lambda e \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} = ia - ib \\ \lambda e = (1-S) \lambda \end{cases} \quad \dots (4)$$

ダルシー式: $q_x = KH \cos \theta \frac{ix}{\sqrt{1+i^2}}$

ここに、 λ : 空隙率, WF : Wetting frontの到達距離, S : 飽和度, So : 初期飽和度
 σ : 土粒子比重, ϕ : 内部摩擦角, C : 粘着力, i : 浸透強度, K : 透水係数, D : 層厚
 λe : 有効空隙率, H : 飽和水深, g : 重力加速度, ρ : 水の比重である。

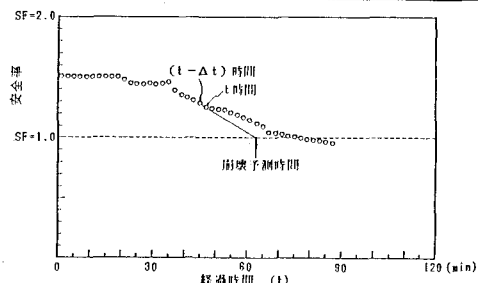


図-3 安全率の時間的变化

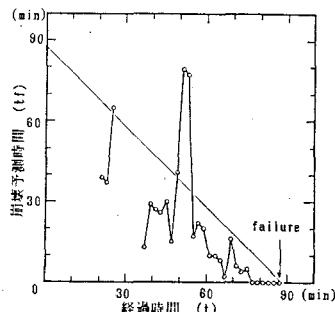


図-4 崩壊予測時間の変化

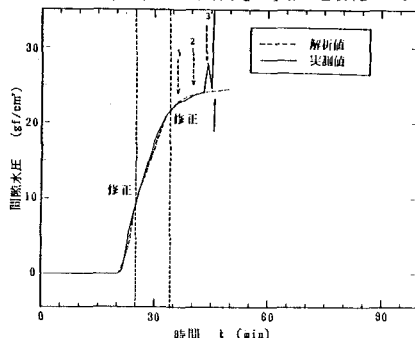


図-5 実測値と計算値の比較

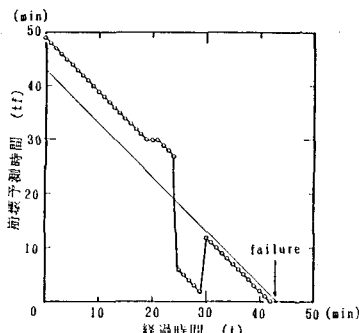


図-6 崩壊予測時間の変化