

## 1. はじめに

自然斜面における崩壊現象を把握するためには、浸透流解析や安定解析だけでなく、崩壊履歴や土層の回復あるいは豪雨の発生確率などを視野においた地形学的観点が必要である。また、ハザードマップとしては、地形、地質といった素因に重点をおいた従来のものだけでは不十分であり、今後は誘因と素因の両方を考慮したきめ細かいマップが望まれる。しかし、誘因としての降雨の、降雨パターンも含めた決定論的な予測は現時点では不可能なので、ここでは、地域的に異なる降雨の発生確率と、地形的に異なる浸透流の集中や分散、および土層の成長を考慮した長期的な斜面の崩壊確率、あるいはその逆数としての崩壊再現期間を定義して、確率水文地形学的な観点から斜面崩壊の危険度を定量化したハザードマップを提案する。さらに、島根県浜田市の丘陵地（基盤は安山岩）を試験地とし、5 mメッシュの数値地図に対してモデルを適用した。

## 2. 崩壊確率モデル

以下に崩壊確率モデルの概要（パラメータはいずれも試験地に対応）を箇条書きで示す。

- (1) 安定解析：無限長斜面安定解析（土層の強度定数は、粘着力  $C=0.5 \text{ tf/m}^2$ 、内部摩擦角  $\Phi=30$  度）。
- (2) 浸透流解析（飽和側方浸透流の水深計算<sup>1)</sup>）：修正地形単位関  $(da/d\tau)'$  を用いた、以下の簡易流出解析（土層の水利定数は、飽和透水係数  $k=0.1 \text{ cm/sec}$ 、有効間隙率  $n_e=20\%$ 、浸透流の減衰係数  $\alpha=0.4$ ）。ただし、 $(da/d\tau)' = (da/d\tau) \cdot \exp(-\alpha\tau)$ 。

$$H(t) = \int_0^{t_{\text{MAX}}} (da/d\tau)' \cdot I(t-\tau) d\tau / (k \cdot \sin\beta \cdot \cos\beta)$$

ここで  $H$ ：水深、 $I$ ：降雨強度、 $\beta$ ：斜面傾斜、 $t_{\text{MAX}}$ ：浸透水の最大到達時間、 $\tau$ ：時間。

上式の  $I$  として、後述の確率降雨強度式を用いると（ただし、降雨継続時間  $t_1$  中は、一定強度降雨仮定）、各確率年  $N$  ごとに飽和側方浸透流の最大水深  $H_N$ （= $N$ 年確率の地下水位）が求まる。

- (3) 土層の成長：基盤の風化と土壌クリープ（従順化係数）を考慮した土層深成長モデル。
- (4) 豪雨の確率：タルボット型確率降雨強度式。 $I$ ：平均降雨強度、 $t_1$ ：降雨継続時間。

$$I_N(t_1) = 124.6 N^{0.24} / (t_1 + 2.22 N^{0.077}) \quad (\text{浜田測候所データ})$$

- (5) 崩壊確率<sup>2)</sup>：

短期崩壊確率  $Q$ ：1年間の間に崩壊する確率＝臨界水深  $H_{\text{cr}}$  の超過確率。

$$Q(n) = 1 - F(H_{\text{cr}}(n)) \quad , \quad F: \text{地下水位の非超過確率。}$$

長期崩壊確率  $P$ ：前回の崩壊直後を基準として  $(n-1) \sim n$ 年後に崩壊が発生する確率。

$$P(n) = \{1 - Q(1)\} \cdots \{1 - Q(n-1)\} \cdot Q(n)$$

崩壊再現期間（平均崩壊周期  $T_{\text{av}}$ ）： $n$ の期待値  $T_{\text{av}} = \sum P(n) \cdot n$

## 3. モデルの適用結果

モデルの適用結果を以下に示す。

- (1) 同じ発生確率の降雨でも、地形（斜面位置）ごとに飽和側方浸透流の成長に最も効果的な降雨継続時間が存在する。

(2) 任意の斜面位置におけるFは、以下の対数正規分布式で近似できる。ただし、A、Bはパラメータ。

$$F(\xi) = \{1 + \text{erf}(\xi/\sqrt{2})\}/2 \quad , \quad \xi = A + B \cdot \text{LOG}(H_N)$$

図. 1に示すX, Y, Zの3地点における計算結果を図. 2に示す。特に、地形に応じた浸透流の集中程度はy切片Aのパラメータに反映される。

(3)  $T_{av}$ の分布は一種のハザードマップとして図. 3のようになった。長期的観点からは、 $T_{av}$ が小さい斜面ほど崩壊が頻発しており危険である。

(4) 平均崩壊再現期間 $T_{av}$ は、傾斜 $\beta$ 、曲率(ラブラシアン) $\rho$ 、地下水位超過確率のパラメータAの重回帰式によって、以下のように近似できる。

$$\text{LOG}(T_{av}) = 4.28 + (-0.047)\beta + (-2.68)\rho + (0.226)A$$

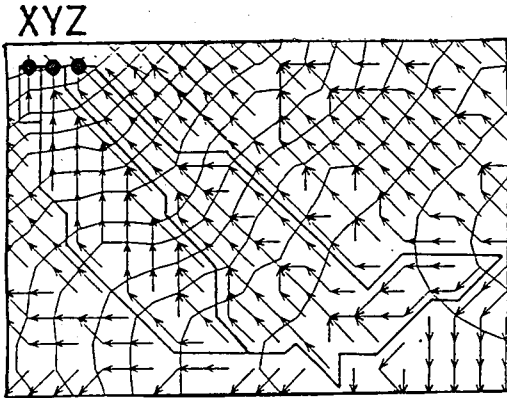


図. 1 数値地図を用いた落水線の例

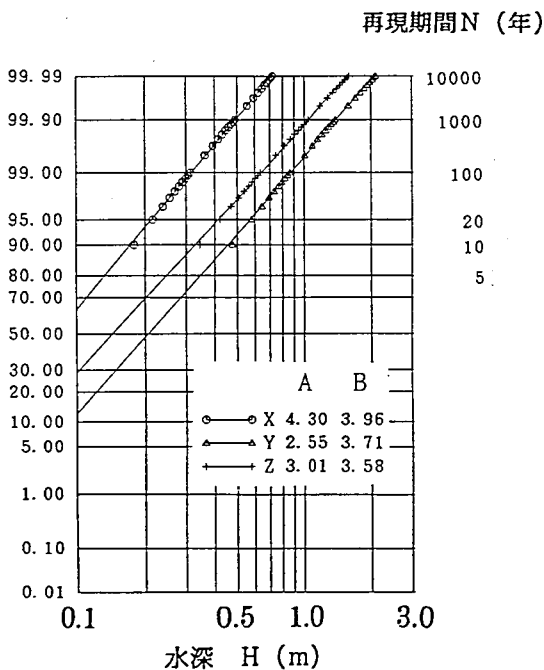


図. 2 飽和側方浸透流の水深の確率計算例  
X、Y、Z地点は図. 1参照

崩壊再現期間  $T_{av}$

( $\times 1000$ 年)

- 5
- 2-5
- 1-2
- 1

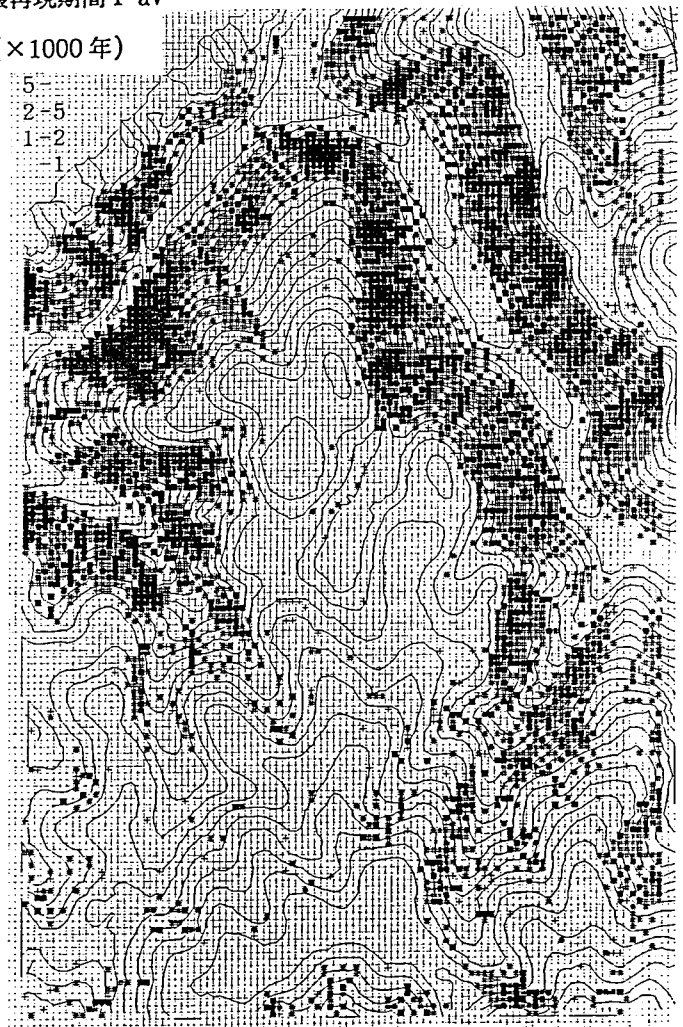


図. 3 崩壊再現期間  $T_{av}$  の分布図  
ただし、傾斜 $\beta > 20$ 度の斜面对象。

参考文献

- 1) 飯田智之 (1984) 飽和中間流に対する斜面形状の効果の評価法：地形, 5, 1-12
- 2) 飯田智之 (1993) 表層崩壊の免疫性と崩壊確率モデル：地形, 14-1, 17-31.