

II-14

斜面崩壊地における浸透流解析

東北大学工学部土木工学科 学生会員 ○水野延彦
東北大学大学院工学研究科 正会員 真野 明

1. はじめに

斜面崩壊を引き起こす要因は様々ある．その中で降雨が主要な要因となる崩壊は浸透水の力により起きたと考えられる．しかし，崩壊にいたるプロセスを厳密に議論するには不飽和浸透と連成した斜面の安定計算が不可欠である．本研究では 1998 年，福島県西郷村で起きた斜面崩壊を取り上げ，その崩壊地を対象とした浸透流解析を目的とし，斜面の安定解析を行った．

2. 浸透流モデル

地下における座標軸を図-1 のように定義し， (x, y) 方向の流速を (u, w) ，土壌水分含水率を θ で表すと水分連続式は(1)式になる．

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z}\right) \quad (1)$$

琴浦ら¹⁾はこの式を (x, y) 方向に分解して計算し， z 方向の不飽和浸透計算結果を x 方向の計算結果により補正する簡便法を提案している．本計算にはこの簡便法を用いた．

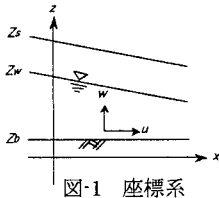


図-1 座標系

2-1 鉛直方向計算

基礎方程式として(2)式に示す Richards を使い，有効飽和度 S_e ，不飽和透水係数 $K_z(\psi)$ は(3)式，(4)式に示す van Genuchten の表示法を用いた．

$$\frac{\partial \theta_i}{\partial \psi} \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ K(\psi) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right\} \quad (2)$$

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \frac{1}{\left[1 + (\alpha \psi)^n \right]^{-1/n}} \quad (3)$$

$$K_z(\psi) = K_{so} S_e^\gamma \left[1 - \left(1 - S_e^{1/m} \right)^m \right]^2 \quad (4)$$

ここで， ψ は圧力水頭， θ_s は飽和体積含水率， θ_r は最小体積含水率， α ， n は定数， K_{so} は飽和透水係数， $m = 1 - 1/n$ ， γ は通常 0.5 なる定数である．

(2)式は時間，空間に関して共に中央差分を用いて差

分化し，implicit に解いた．

2-2 水平方向計算

水平方向は飽和域のみ浸透が起こると考えるため(5)式の Darcy 側を用いる．

$$Q_g = -K_{so} h i \quad (5)$$

ここで， Q_g は側方浸透流量， h は飽和層の厚さ， i は地下水勾配が最大となる方向の地下水勾配である．

3. 斜面崩壊地への適用

1998 年 8 月 26 日から 31 日にかけて福島県西郷村は時間雨量 90mm/h，総降雨量 1250mm という記録的な集中豪雨(図-2)に見舞われ，「太陽の国」からまつ荘裏山では比較的大規模の大きな崩壊が起きた．本研究では「太陽の国」裏山周辺(図-3)を対象に浸透流解析を行った．

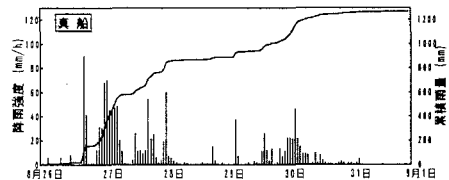


図-2 真船における降雨記録



図-3 太陽の国周辺図，及び擬河道網

3-1 計算条件

「太陽の国」裏山周辺を国土数値情報により 50m × 50m メッシュサイズで分割し，各メッシュの標高値を用いて落水線法により擬河道網を作成した．降雨は最も近くにある真船雨量観測所のデータを使用し，一様に雨を降らせ，蒸発散は無視した．また初期土壌水分は鉛直方向に $\Phi = \psi + z = 0$ (Φ : ピエゾ水頭， ψ :

圧力水頭, z : 位置水頭)を満たすように分布させた。
計算は8月26日午前0時を開始時間とし31日までの144時間行っている。

3-2 計算方法

a) 表面流

地表流は kinematic wave 法を用いて計算を行い, Maninng の公式に用いられる粗度係数は斜面に適切であると思われる0.1にした。

b) 浸透計算

50m×50m メッシュサイズで計算を行う。本モデルに使用する土壌パラメータは小田ら³⁾の現地調査による実測値を用い決定した。崩壊地周辺の不透水層位は調査報告による値を採用したが, 不明な場所は地表面から3.65mと一様に設定した。各種モデルパラメータを表-1に示す。

表-1 水分特性パラメータ

飽和透水係数 K_s (cm/s)	飽和体積含水率 θ_s	α	n	γ
2.55×10^{-3}	0.74	0.02	2.0	0.5

3-3 解析結果, 及び考察

図-4にA地点(崩壊地)における飽和度の変化グラフを, 図-5にA, B地点における地下水位と安全率の変化グラフを示す。図-4より第一の非常に強い雨により土壌全体の飽和度が上昇し, 次いで第二群の雨帯により飽和に近い浸潤線が降下し地下水面に達することで地下水位が上昇していることがわかる。図-5においてA地点, B地点における浸透層厚はほぼ同値であるが, A地点に地下水位の急な上昇が見られる。これはA地点が浸透水の集まりやすい地形にあることを示している。報告ではからまつ荘裏山の崩壊は8月27日午前4時頃発生したとあり, これは計算開始後約27時間に相当する。図-5において約30時間後に地下水位が上昇しているが, 先行降雨, パイプフローの影響を考慮すれば崩壊時刻と地下水位の上昇時刻は一致するといえる。また崩土は高い流動性を帯びていたことからほぼ飽和の状態で滑り始めたこと, 地形的には谷頭部の凹地形を呈する斜面であったことも解析結果と一致している。

3-4 斜面安定計算

安定計算は半無限斜面を仮定し各メッシュに対して行った。計算に用いた土壌特性値を表-2に示す。からまつ荘裏山の崩壊位置に相当するメッシュでは安全率

が最も低いとき(浸透層が完全飽和)で2.6となった。現場調査で多くのパイプフローが見られたことから内部摩擦角, 粘着力が低下し崩壊に寄与したと考えられる。

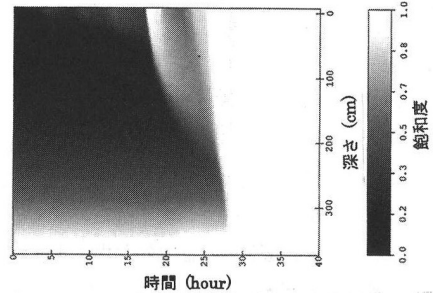


図-4 A地点における飽和度変化グラフ

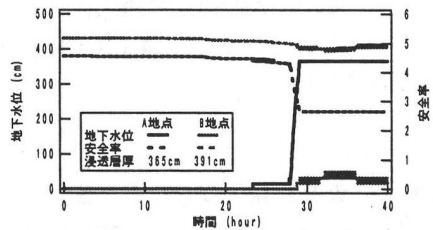


図-5 地下水位, 安全率変化グラフ

表-2 土壌特性

比重 G_s	乾燥密度 ρ_d (g/cm)	間隙比 e	内部摩擦角 ϕ (°)	粘着力 c (Kpa)
2.87	0.59	3.86	26.37	20.06

4. まとめ

本モデルは浸透の様子, 地形の効果をよく表現できる。しかし斜面安定計算では崩壊を起こすほど安全率は低下しなかった。パイプフローの影響, 土壌パラメータ, 地層など地中の更なるモデル化が今後の課題である。

参考文献

- 1) 琴浦毅・真野明: 分布型地下水流出モデルの開発, 東北地域災害研究, 第36巻, pp.177-182, 2000.
- 2) 入江三輝・鈴木伴征・石川忠晴: 水平飽和浸透と鉛直不飽和浸透を可変境界で接合した疑似二次元的浸透流計算について, 水工学論文集, 第43巻, pp.181-186, 1999.
- 3) 小田匡寛・鈴木輝一・川本健: 1998年南東北・北関東の集中豪雨による土砂災害の実態調査, 1998年南東北・北関東の集中豪雨災害に関する調査研究, pp.163-181, 1999.