

II-22

豪雨に対する浸透流解析

東北大学工学部土木工学科 学生会員 ○鈴木 雄太郎

東北大学大学院工学研究科 正会員 真野 明

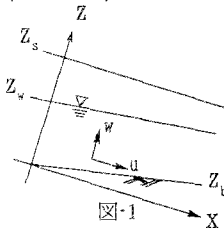
1. はじめに

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。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。

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



(1)式を解くことによって土壌中の水分移動を解析することができる。また、圧力水頭を ψ 、地表面の勾配を β 、不飽和透水係数を K_z とすると、流速 (u, w) はDarcy則を用いて次式で表される。

$$u = -K_z \left(\frac{\partial \psi}{\partial x} - \sin \beta \right) \quad (2)$$

$$w = -K_z \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + \cos \beta \right) \quad (3)$$

土壌中の圧力水頭分布が分かると、Darcy則から流速分布が求められ、土壌中の水分移動過程を知ることができる。そこで飽和域では静水圧分布を与え、不飽和域では(1)の連続式と(2)、(3)のDarcy則を組み合わせた次のRichardsの式より圧力水頭を求める。

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta}{\partial \psi} \frac{\partial \psi}{\partial t} = & \frac{\partial}{\partial x} \left[K_z \left(\frac{\partial \psi}{\partial x} - \sin \beta \right) \right] \\ & + \frac{\partial}{\partial z} \left[K_z \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + \cos \beta \right) \right] \end{aligned} \quad (4)$$

有効飽和度 S_e 、不飽和透水係数 $K_z(\psi)$ には van Genuchten(1980)の表示法(5)、(6)を用いる。

$$S_e = \frac{1}{\left[1 + (\alpha \psi)^n \right]^{1-1/n}} \quad \psi > 0 \text{ (不飽和時)} \quad (5)$$

$$K_z(\psi) = K_{so} S_e^\gamma \left[1 - (1 - S_e^{1/m})^m \right]^2 \quad (6)$$

ここで $S_e = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$ 、 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0.5なる定数である。

式(4)を時間に関して前進差分、空間に関して中央差分を用いて差分化し、陽解法で解いた。

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」からまづ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)の崩壊地を対象に浸透流解析を行った。

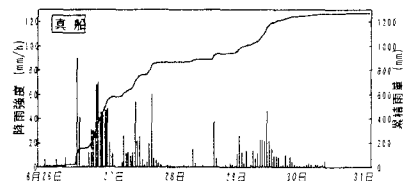


図-2 真船における降雨記録

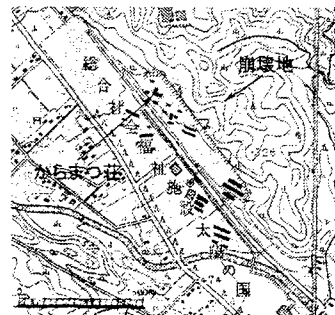


図-3 太陽の国周辺図

3-1 計算条件

図-3 の崩壊地において谷地形の方向に断面を切り取り、図-4 のような x 軸方向に 15m、 z 軸方向に 4.8m の二次元空間を考える。空間を $dx=75\text{cm}$ 、 $dz=24\text{cm}$ のメッシュに区切り $dt=1$ 秒で計算を行った。降雨は真船雨量観測所のデータ(図-2)を使用し一様に雨を降らせた。地表面では浸透能として飽和透水係数を与え、蒸発散は無視した。土壌パラメータは小田ら¹⁾の現地調査により得られた実測値により決定した(表-1)。初期土壌水分は地表面と垂直な方向に $\phi = \psi + z = 0$ (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 時間行った。

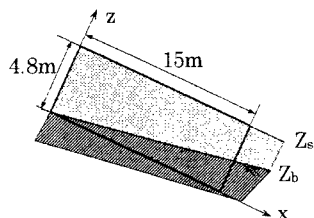


図-4 崩壊地の解析対象範囲

表-1 水分特性パラメータ

飽和透水係数 K_s	飽和体積含水率 θ_s	α	n	γ
$1.0 \times 10^{-2} (\text{cm/s})$	0.61	0.03	2.2	0.5

3-2 解析結果、及び考察

図-5 に崩壊地における 40 時間分の飽和度の変化グラフを示し、図-6 には崩壊地付近における飽和度の 2 次元分布グラフを時系列的に示す。8 月 26 日 17 時(計算開始 17 時間後)に今回の豪雨における最大降雨強度である 90mm/h を記録しているが、図-5、図-6 ではその降雨によって飽和に近い浸潤線が降下していることが確認できる。26 日 22 時(計算開始 22 時間後)から平均 40mm/h の雨が数時間にわたり降ると、飽和度が増している上の降雨であるため地表面から飽和度の高い浸潤線が降下していく。図-5 において崩壊時刻である 8 月 27 日 4 時頃(計算開始 27 時間後)、最も地下水位が上昇していることが確認できる。図-6 では 27 時間後に飽和域が地表面に達していることが分かる。

従ってこの崩壊は、第一の豪雨により土壌全体の飽和度が上昇し、次いで第二群の強い雨帯により飽和に近い浸潤線が降下し地下水面に達していることにより地下水位が上昇し、土中の間隙水圧の上昇によって発

生したと推定される。さらに、崩壊土砂は高い流動性を帯びていたことからほぼ飽和の状態ですり始めたと考えられ、解析結果は実現象と一致している。

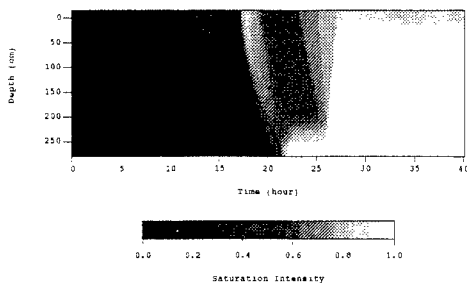


図-5 崩壊地における飽和度変化グラフ

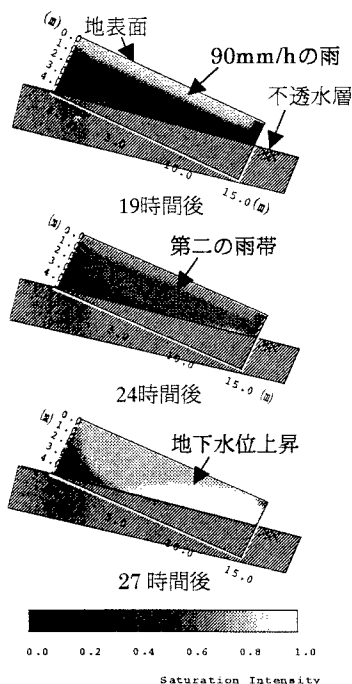


図-6 崩壊地付近における飽和度の 2 次元分布

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。より厳密な浸透計算をするために、土壌を層に分け各層間の水分移動の解析と、奥行き方向の地形効果も考慮した 3 次元モデルの開発が今後の課題である。

参考文献

- 1) 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.