

II-63

土層構造を考慮した豪雨時における斜面浸透流解析

東北大学大学院工学研究科 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

1998年に南東北・北関東を襲った集中豪雨により福島県西郷村では多くの斜面崩壊が発生した。豪雨時に生じる斜面崩壊は、土壌中の地中水や地下水が増大することによる有効応力の減少が原因であると考えられるが、地表面勾配や不透水面深さ、土壌中の地層分布、周辺の地形形状による集水性の相違などによって斜面崩壊の仕方や崩壊時間が変わってくる。本研究では、1998年豪雨時に生じた西郷村の斜面崩壊を取り上げ、その崩壊地における土層構造を考慮した浸透流解析を行っている。

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。

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

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。

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

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

圧力水頭については、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(4)より求める。

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

有効飽和度 S_e 、不飽和透水係数 $K_z(\psi)$ にはvan Genuchten¹⁾の表示法(5)、(6)を用いる。

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

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

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。

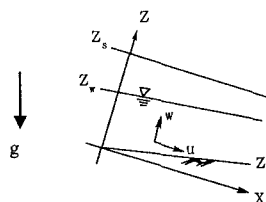


図-1 座標軸

3. 斜面崩壊地へのモデルの適用

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。そこでからまつ荘裏山（図-3）の崩壊地を対象に浸透流解析を行った。

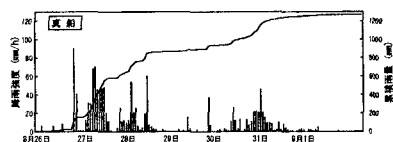


図-2 真船における降雨記録

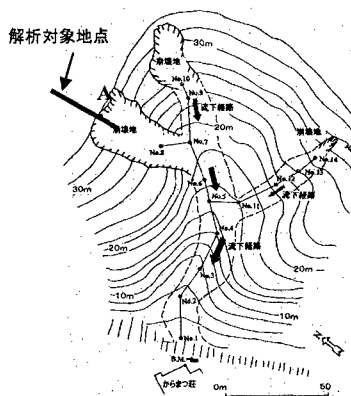


図-3 からまつ荘裏山崩壊地平面図（梅村ら³⁾による）

3-1 計算条件

図-3中の解析対象地点で鉛直断面を切り取り、 x 軸方向に40m、 z 軸方向に9.6mの二次元空間を考えた。空間を $dx=80\text{cm}$ 、 $dz=48\text{cm}$ のメッシュに区切り $dt=1$ 秒で計算を行った。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。また下流端では自由流出条件とした。土壌パラメータは小田ら²⁾の現地調

		透水係数(cm/s)
0.0m	黒ボク土(表土)	1.85×10^{-3}
0.5m	火山灰層 I	1.76×10^{-2}
1.3m	スコリア層 I	2.05×10^{-2}
2.1m	火山灰層 II	2.55×10^{-3}
3.0m	スコリア層 II	—
3.6m	軽石層	1.18×10^{-5}
4.3m		

図-4 A 地点における地層の鉛直分布 (小田ら²⁾ による)

査により得られた実測値により決定した。図-3 の A 地点で小田ら²⁾ の調査によって図-4 の地層分布が得られたので、これを地表面と平行に与えた。地表面勾配と不透水面勾配は梅村ら³⁾ の報告をもとにそれぞれ 15 度、3 度とした。初期条件として全体に $\psi = -50\text{cm}$ を与え、30 日間排水させた状態を定常状態としてその後雨を降らせた。降雨は真船雨量観測所のデータ (図-2) を使用し、 $x=10\text{m}$ の地点を分水嶺としてそれよりも下流側に空間的に一様に与えた。

3-2 解析結果、及び考察

計算によって得られた飽和度分布図の時系列を図-5 に示す。図-5 では分水嶺とした $x=10\text{m}$ より下流側へ空間的に一様に降雨を与えているために $x=10\text{m}$ の地点から浸潤線が現れている。従って単純に浸潤線に沿ってすべりが起こると仮定すると、崩壊開始点は $x=10\text{m}$ の地点ではないかと予測できる。しかし梅村ら³⁾ の報告によると、対象地域の崩壊開始点は Fig.3 の No.8 から上流部へ約 40m の地点であるとされ、今回設定したコントロールボリュームに対してはおおよそ $x=25\text{m}$ の地点で崩壊が始まったことになる。また小田ら²⁾ の報告によると、図-3 の A 地点 ($x=30\text{m}$) ではローム、スコリア、軽石を含む深層に達する崩壊であった。よって A 地点での崩壊深は軽石層が存在する 3.6m かそれよりもやや深い地点である。従って、計算で得られた浸潤線が実際のすべり面と一致していないものの、計算上飽和度が高くなっている地表面の一点で崩壊が開始し、 $x=30\text{m}$ のあたりでは軽石層に沿って飽和度が高くなっておりここですべりが生じたと言える。また、土壤中において下層に上層よりも透水性の低い地層が存在すると、その境界から水が流出するという現象が古田ら⁴⁾ によって報告されているが、図-5 の計算開始 26 時間後の分布を見るとスコリア層と

火山灰層の境界 (地表から 2.1m 前後のところ) でその現象が現れているのが分かる。

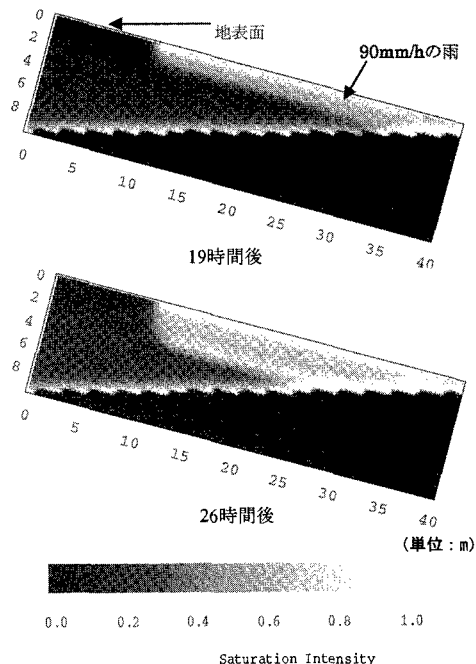


図-5 解析地点における飽和度の 2 次元分布

4. まとめ

解析結果は、本モデルが浸透における土壤中の地層の影響を評価できる可能性を示唆している。地表面と下流端における境界条件の改善が今後の早急な課題である。

参考文献

- 1) Van Genuchten, M.Th. : A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, Soil Science Society of America Journal, 44, pp.892-898, 1980.
- 2) 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.
- 3) 梅村順・森芳信 : 福島県南部で発生した土砂災害, 1998 年南東北・北関東の集中豪雨災害に関する調査研究, 平成 10 年度科学研究費補助金(基盤研究(B)(1))研究成果報告書, pp.182-196, 1999.
- 4) 古田智弘・田村俊和・宮城豊彦・森脇寛・八反地剛 : 斜面における土層別浸透 - 貯留 - 流出状況と降雨強度との関係 - 降雨装置下での実験 -, 東北地域災害研究, 第 38 巻, pp.93-98, 2002.