

京都大学大学院 工学研究科 学生会員 ○中村 秀樹, 正会員 小山 倫史
 (株)建設技術研究所 大阪本社 正会員 李 圭太
 国土交通省近畿地方整備局福知山河川国道事務所 非会員 山田 雅義, 森井 和弘
 京都大学 正会員 大西 有三

1. はじめに

近年, 集中豪雨や局地的大雨(すなわちゲリラ豪雨)による斜面崩壊が数多く発生している. 表層崩壊は雨水浸透により地盤の表層付近の飽和度が上昇し, 自重の増加や間隙水圧の上昇による有効応力の低下によって発生し, 時間降雨量が大きく, 累積雨量が小さい降雨やゲリラ豪雨のように短時間に局所的に降る豪雨によって発生することが多いとされている. 浸透流解析では, 降雨境界条件として降雨強度を与えるが, 一般的に時間雨量を用いており, 短時間に多量に降る雨の場合, 降雨強度が平均化され, 地盤への雨水浸透挙動および斜面安定に与えるインパクト(サクション圧の変化, 飽和度の分布, 有効応力の低下など)を過小評価してしまう可能性がある. そこで, 本研究では, 豪雨によって表層崩壊を起こした実斜面をモデル化し, 気象庁観測の10分間雨量と時間雨量を降雨強度として用いて有限要素法(FEM)による2次元飽和・不飽和浸透流解析を行い, 降雨強度の与え方の違いが雨水浸透および斜面安定に及ぼす影響について検証を行った.

2. 飽和・不飽和浸透流解析の支配方程式

飽和・不飽和浸透流解析の支配方程式は, 質量保存則による連続式とダルシー則から導出される式を, 不飽和領域にまで拡張した次式となる.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(K_r(\theta) \left(K_{ij}^s \frac{\partial \psi}{\partial x_j} + K_{i3}^s \right) \right) - q = (\alpha S_s + \beta c(\psi)) \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (1)$$

$i, j=1,2,3$ (1:x, 2:y, 3:z)

ここに, K_s : 飽和透水係数, K_r : 比透水係数比, ψ : 圧力水頭, q : 体積内の単位体積当たりのシンク/ソース流量(排水時, $q>0$), S_s : 比貯留係数, α : 飽和領域=1 不飽和領域=0, $c(\psi)$: 比水分容量, β : 飽和領域=0 不飽和領域=1である.

3. 雨水浸透の数値解析

3.1 解析モデル

本研究の対象とした斜面は, 京都府福知山市夜久野町額田地区の平成21年8月10日に降雨により表層崩壊を起こした斜面であり, 幅30m, 高さ30m, 深度10mの部分をモデル化した. 地表面の降雨による応答を詳細に調べるため, 地表面付近の要素を細かく分割した. 斜面傾斜部表面は降雨境界, 道路面および擁壁は不透水境界, モデル上部側面に水頭固定境界を設定し, モ

デルの底部は不透水境界とした. また, 地層区分は既往の報告書¹⁾を基に設定した(図1)

3.2 地盤の不飽和特性

対象斜面は地盤の水利物性についての調査が詳細に行われていないため, 飽和透水係数は地表面から順に各層を, $1.0 \times 10^{-3} \text{cm/s}$, $1.0 \times 10^{-4} \text{cm/s}$, $1.0 \times 10^{-5} \text{cm/s}$, $1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ に設定した²⁾. 表土(シルト質砂礫層)および各岩盤層の不飽和浸透特性を図2に示す.

3.3 降雨強度

降雨強度として気象庁による, 平成21年8月9日か

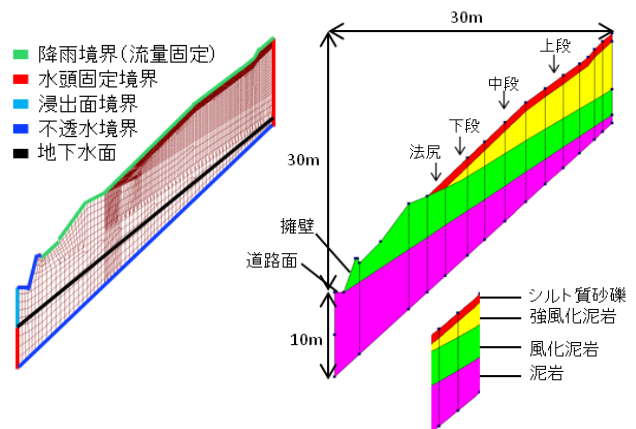


図1. 解析メッシュ図および境界条件模式図

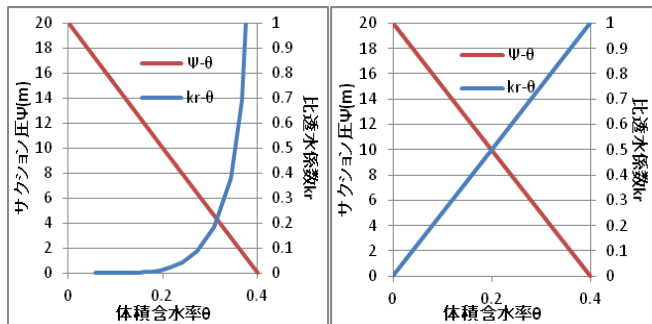


図2. 不飽和特性 (左:シルト質砂礫, 右:岩盤層)

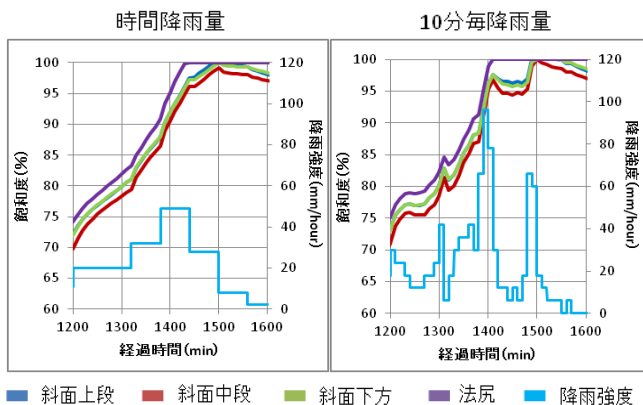


図3. 降雨強度別の斜面各位置における飽和度の経時変化図 (降雨ピーク付近)

ら 10 日にかけての京都府福知山市夜久野町額田地区における 10 分毎降雨量と時間降雨量を用いた。降雨強度の与え方は異なるが総降雨量は同じである。

3.4 解析結果

地表から深さ 10cm の位置における斜面の各位置(図 1 参照)の飽和度の変化について図 3 に示す。本図より時間降雨量よりも 10 分毎降雨量の方が飽和度の変化は鋭敏で、結果として法尻では 20 分程度早く飽和する。したがって、10 分毎降雨量で評価する方が、短時間に急激に変化する降雨強度による雨水浸透挙動をより正確に捉えていると言える。また、シルト質砂礫層と強風化泥岩層の境界にすべり面を仮定し(図 4)、フェレニウス法に基づく安定解析を行った。各層の物性値³⁾を表 1 に、安定解析の結果を図 5 に示す。安全率が 1 を下回る付近では、10 分毎降雨量の方が早く安全率 1 を下回る結果となっている。最低安全率についても 10 分間降雨量の場合の方が小さい(M-3 で 0.8624, H-3 で 0.8656)ことから、1 時間雨量よりも短い期間で降雨を取り扱うことでより正確に安全率の推移を捉えることができると考えられる。また、本解析では降雨終了後についても解析を行い、斜面崩壊が発生しない場合、降雨終了後約 2 日で安全率が 1 に回復する結果となった。

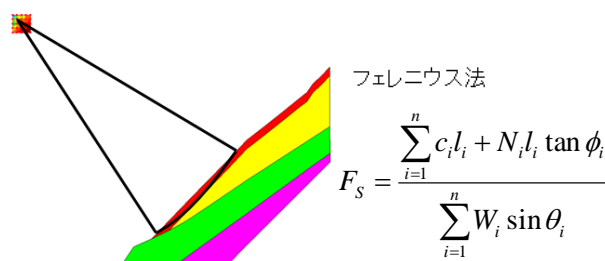


図4. 想定すべり面

表 1. 安定解析に用いた各層の物性値

	γ (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ (°)
シルト質砂礫	18	7.2	30
強風化泥岩	23	8	36
風化泥岩	24	9	37
泥岩	25	10	38

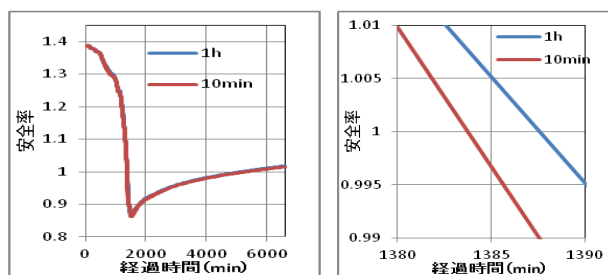


図5. 各層の安定解析における物性値と降雨強度別の安全率の推移比較

3.5 まとめ

豪雨時の斜面への雨水浸透および斜面安定性の把握を目的として、浸透流解析における降雨境界に着目し、降雨強度として 10 分間雨量でおよび 1 時間雨量で取り扱った場合のそれぞれについて浸透流解析を行い、その結果を用いて斜面の安定解析を行った。降雨強度の取り扱いの違いによって斜面内の飽和度分布および安全率に違いがみられ、正確な危険度予測には時間雨量を用いた評価では不十分であるといえる。また、安全率が 1 に回復する時間を計算することは、交通規制解除の判断材料となりうる。また、解析精度の向上のためには現地の詳細な地質調査や、原位置における豪雨時の雨水浸透挙動および斜面の現況の把握のためのリアルタイム計測・モニタリングが必要である。

参考文献

- 1) 国土交通省:国道 9 号日置地区緊急法面他調査設計報告書, 2011,100p
- 2) 日本地すべり学会:有限要素法による地すべり解析, 2006
- 3) 土木学会:ダムの地質調査, 1986, p.112-113