

豪雨時における斜面の雨水浸透特性に関する解析的研究

京都大学大学院 学生会員 ○長野 航兵
京都大学大学院 正 会 員 小山 倫史
建設技術研究所 正 会 員 李 圭太
京都大学大学院 正 会 員 大西 有三

1. はじめに

近年、梅雨前線や台風、異常気象などによる豪雨に起因する斜面崩壊が数多く発生し、道路や住宅地域などが山地斜面に隣接している地区において多大な被害をもたらしている。本研究ではこの斜面災害の表層崩壊における局部的に短時間に多量に降る雨（ゲリラ豪雨）に着目し、従来の時間雨量データに基づく解析と近年気象庁より観測されている10分毎雨量の降雨外力条件の与え方の相違による雨水浸透挙動の違いを解析的に検証した。この降雨外力作用条件と同様に降雨浸透では、不飽和地盤における浸透特性と斜面の勾配が重要となることから、本研究では既往の不飽和特性に関する試験結果を整理し、砂質土とシルト質砂における不飽和特性をモデル化したもの、また異なる勾配のモデルを適用して飽和 - 不飽和浸透流解析を実施した。

2. 飽和 - 不飽和浸透流解析モデル

本研究で用いる有限要素法による飽和 - 不飽和浸透流解析は、赤井・大西・西垣により開発¹⁾された飽和-不飽和浸透流の支配方程式を基本として、この式中の比貯留係数を大西ら²⁾により提案された一般的に取り扱いやすい体積圧縮係数とした支配方程式を有限要素法により定式化し、解析を行なった。解析モデル・境界条件は図1に示すものとし鉛直2次元断面にモデル化した。初期条件はモデル左端部においてG.L.-10mに水平な状態に地下水位を設定し、定常解析により得られた各節点における圧力水頭とした。降雨境界条件は、大西ら³⁾による表層における浸出を考

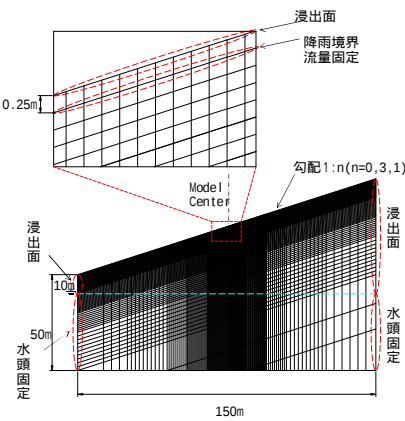


図1 飽和-不飽和浸透流解析モデル・境界条件

慮した降雨境界条件を用いた。本研究ではゲリラ豪雨における斜面浸透挙動の把握を行なうため平成20年8月末豪雨における10分毎降雨量の変化が顕著である名古屋地方気象台一宮観測所記録の時間雨量：1hrと10分毎降雨量：10minの降雨データを外力条件とする。また斜面勾配*i*を1:0(*i*₀)、1:3(*i*₃)、1:1(*i*₁)の3種、浸透特性を透水係数 $k=1\times10^{-3}$ cm/s : Sand, $k=1\times10^{-4}$ cm/s : Silt の2種を適用する。これらの解析に用いるパラメータは表1に、それぞれの水分保持曲線を図2に示す。本研究では、i0Sand-1hr, i0Sand-10min, i0Silt-1hr, i0Silt-10min, i3Sand-1hr, i3Sand-10min, i3Silt-1hr, i3Silt-10min, i1Sand-1hr, i1Sand-10min, i1Silt-1hr, i1Silt-10min の計12ケースで解析を行なった。

3. 飽和 - 不飽和浸透流解析結果

解析結果として、図3、図4にSand, Silt ケースそれぞれにおける各勾配の斜面モデル中心表層部での地表面浸出量

表1 飽和-不飽和浸透流解析に用いるパラメータ

飽和透水係数 k (cm/sec)	体積圧縮係数 m_v (m ⁻¹)	不飽和特性モデル	θ_s 飽和率 (間隙比 e)	θ_r	α (cm ⁻¹)	n^*
1.0×10^{-3}	7.157×10^{-4}	VG1 浸水過程	0.375 (0.60)	0.057	0.12400	2.28
		排水過程		0.061	0.02270	5.05
1.0×10^{-4}	3.579×10^{-3}	VG2 浸水過程	0.394 (0.65)	0.078	0.03600	1.56
		排水過程		0.125	0.00867	2.81

※ θ_r , α , n^* はvan Genuchtenの水分保持曲線モデル、不飽和透水特性モデルに用いるパラメータ

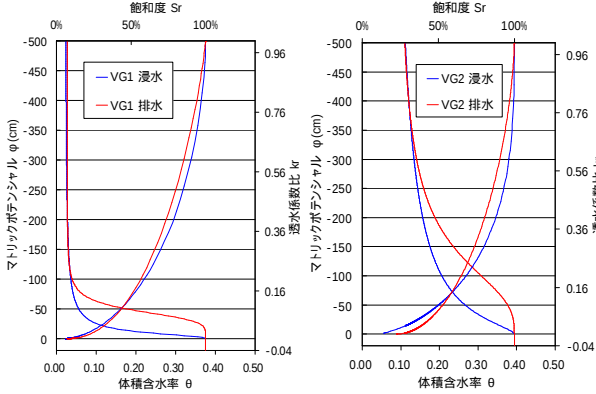


図2 飽和-不飽和浸透流解析に用いる不飽和特性

キーワード 斜面降雨浸透 飽和 - 不飽和浸透流解析 不飽和特性
京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻ジオフロント環境工学講座 (〒615-8540 京都市西京区京都大学クラ
スターC1-2 棟 TEL: 075-383-3306)

の経時変化図，図 5，図 6 に表層付近に形成される浸潤面の経時変化図を示す．この結果から，まず砂地盤において，浸出量はほとんど見られず，形成される浸潤域は勾配が大きいほど狭く，i1 ケースではほとんど見られない．また，降雨外力の相違による結果の違いはそれほど見られない．次にシルト地盤において，i3-10min と i1-10min ケースでは雨水の浸透挙動に大きな違いは見られず，急斜面でも浸潤域が形成されている．また 10 分毎雨量を用いたケースのほうが形成される浸潤域が小さく，勾配が小さいケースで顕著に見られる．

4．斜面安定解析結果

降雨浸透により表層付近に形成される飽和領域の深さが最大となった位置を滑り面と仮定して安定解析を行った．長大斜面の安全率の計算式に表 2 に示す値を代入し，その結果を表 3 に示す．これより，Silt ケースにおいて飽和域ではすべり破壊が生じない結果となっていることから，粘着成分が主体となる地盤においては従来のすべり安定性による慣用法だけでなく，弾塑性法を用いた FEM 安定解析による安定性検討手法が必要と考えられる．

5．まとめ

本研究では，短時間に多量に降る雨を対象とした浸透流解析において，降雨強度の与え方の違いが雨水浸透挙動にどのような影響を与えるのか調べた．砂地盤の斜面では，降雨強度の相違による解析結果の相違は差ほど見られず，降雨は概ね地盤に浸潤することが解った．一方，シルト地盤の斜面では，降雨外力の相違による解析結果の相違は i0，i3 ケースで明確となった．しかしながら，この相違はゲリラ豪雨的な 10min の方が浸潤域は小さい結果となっており，近年のゲリラ豪雨による斜面崩壊の発生と異なる結果となったが，本研究において降雨外力の取り扱いにより浸潤挙動が異なる結果となることは確認されたので，今後降雨規模を大きくするなどの外力変化によるさらなる検討を進め，ゲリラ豪雨による斜面崩壊のメカニズムの解明における降雨外力の取り扱い方針を明確にする必要がある．

参考文献

1) 赤井浩一,大西有三,西垣誠：有限要素法による飽和-不飽和浸透流の解析，土木学会論文集，第 264 号，pp.115-124, 1977.

2) 大西有三,大津宏康,石川浩,李圭太,小林猛嗣：河川堤防を対象とした浸透流解析における不飽和特性の設定に関する考察，第 35 回地盤工学研究発表会，pp.103-104, 2000.

3) 大西有三,大津宏康,李圭太,黒田兆次,小林猛嗣：河川堤防を対象とした浸透流解析における降雨境界の設定に関する考察，第 36 回地盤工学研究発表会，pp.1395-1396, 2001.

4) 李圭太,小山倫史,大西有三,古川秀明,小林猛嗣：越流を考慮した河川堤防の浸透破壊に対する応力 - 浸透連成解析，地盤工学ジャーナル， Vol. 4 No.1, pp.1-9, 2009.

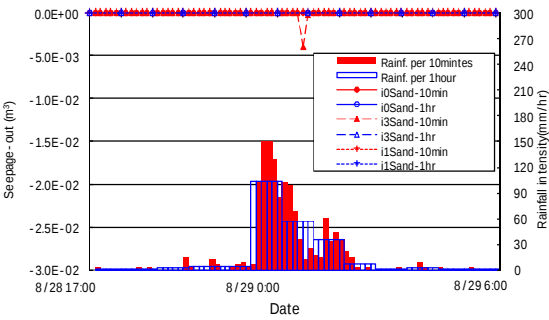


図 3 外力条件と砂地盤における表層浸出量の経時変化図

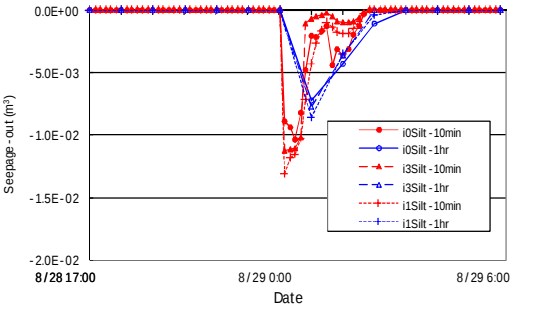


図 4 シルト地盤における表層浸出量の経時変化図

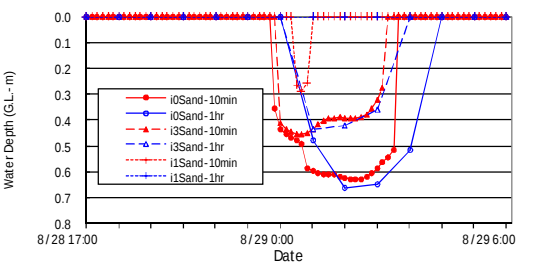


図 5 砂地盤における表層浸潤面の経時変化図

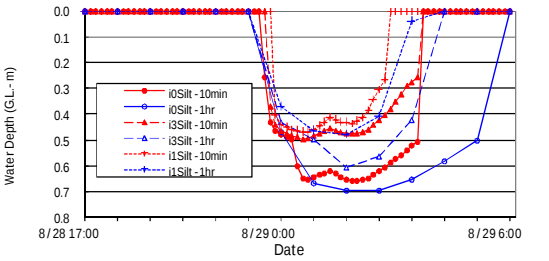


図 6 シルト地盤における表層浸潤面の経時変化図

表 2 斜面安定解析に用いるパラメータ

	$\gamma_{sat}(\text{kN/m}^3)$	$\gamma_w(\text{kN/m}^3)$	$c(\text{kN/m}^2)$	$\phi(\text{度})$		$\alpha(\text{度})$
Sand	20	9.8	1	35	i1	45
Silt	18	9.8	10	0	i3	18.4349

表 3 斜面安定解析結果

解析ケース	安全率 (飽和状態)	安全率 (初期状態)	時刻	H(m)
i1Sand-10min	0.702	1.045	28日23:40	0.29
i3Sand-10min	1.442	2.471	28日23:40	0.45
i1Silt-10min	2.364	2.364	28日23:40	0.47
i3Silt-10min	3.779	3.779	28日23:40	0.49
i1Sand-1hr				0
i3Sand-1hr	1.459	2.488	29日0:00	0.43
i1Silt-1hr	2.315	2.315	29日1:00	0.48
i3Silt-1hr	3.036	3.036	29日1:00	0.61