

阿蘇山周辺斜面の土層構造と地下水深形成過程

信州大学農学部 ○桑澤昭雄, 平松晋也, 福山泰治郎

1. はじめに

熊本県阿蘇地方では、2016年4月に発生した熊本地震(前震:M6.5, 本震:M7.3)により崩壊が多発した。崩壊の発生に至らなかったものの、この地震によって斜面に多数の亀裂が発生し、地震後の降雨によって亀裂に起因した新規崩壊や拡大崩壊が多発した。この開口亀裂が斜面の安定性に影響を与えていることは、兵庫県南部地震を対象とした平松らの研究をはじめとする数多くの既往研究で指摘されている。本研究は、地震によって発生した亀裂が斜面の安定性に及ぼす影響を定量的に評価することを目的として、地震時に多数の亀裂が発生した山王谷川流域内の崩壊地周辺の土層構造と土壌物理特性の深度分布を把握するとともに、土層内部での雨水の挙動や地下水深の形成過程の把握を試みた。

2. 対象流域の概要

対象流域は、阿蘇山(熊本県阿蘇地方)の南西に位置する山王谷川流域(流域面積 2.34km²)である。山王谷川流域でも熊本地震時に写真-1 に示すように幅 50cm・深さ 100cm 程度の亀裂が多数発生している。図-1 に示す地点で土層断面調査を行うとともに、同断面より不攪乱試料を採取した。土層構造と土壌物理試験結果を図-2 に示す。表層土以深は黒色の土層と褐色の土層の互層構造を呈しており、部分的に軽石を含んだ層が存在する。飽和透水係数は、最表層部では 9.60×10^{-2} cm/sec と高い値を示し、100cm 深度まで深度の増加とともに低下傾向を示すことがわかる。一方、100cm 以深では 10^{-5} (cm/sec) オーダーの値を示し飽和透水係数の低下はほとんどみられなくなる。また、Nc 値は深度の増加とともに緩やかな増加傾向を示し、100cm 深度では 10 前後の値を示すようになり 100cm 以深ではほとんど変化がみられなくなる。飽和透水係数の深度分布からは明瞭な透水性の不連続面が確認できず、Nc 値の深度分布からは土質強度に明確な差異が認められないため、これらの結果のみでは崩壊時のすべり面を特定するのは困難である。

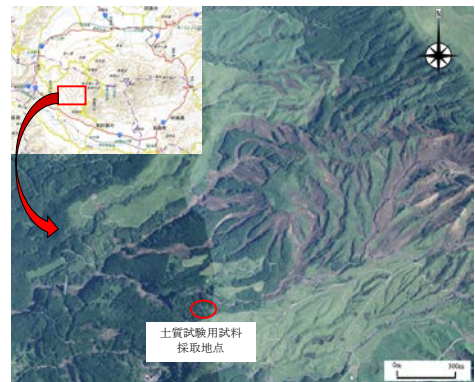


図-1 対象流域概要(地理院地図より引用加筆)

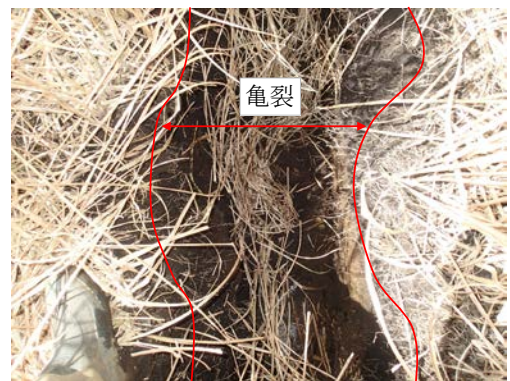


写真-1 山王谷川流域で発生した亀裂

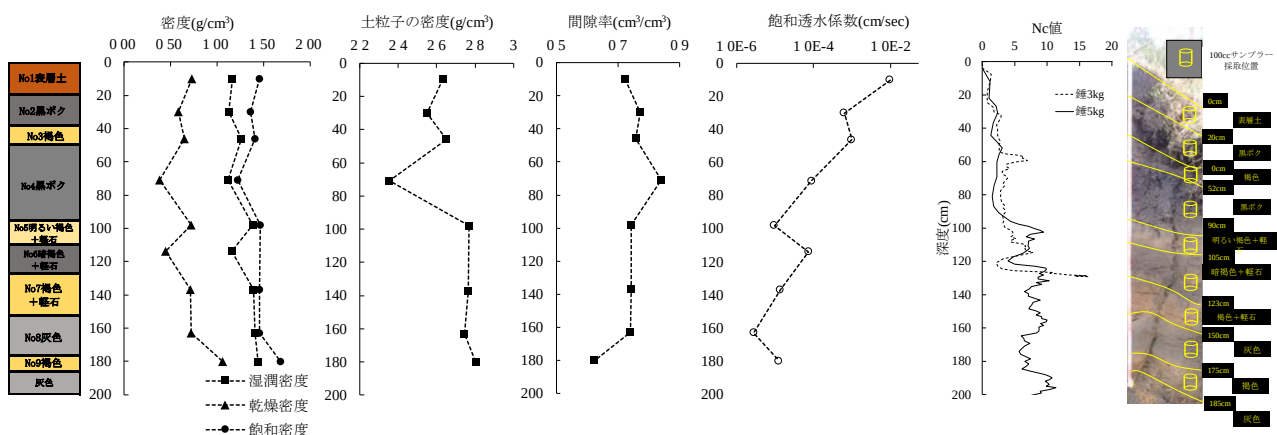


図-2 土層構造と土壌物理定数の深度分布特性

3. 土層内での地下水帯形成過程

地震発生後に観測された降雨イベント(気象庁阿蘇山観測所:2016年6月18日00時00分~27日00時00分)時の土層内の水分状態を確認するため、飽和-不飽和浸透流解析を実施した。解析土層の土層厚を2.0mに設定し、土層構造は図-2の土層断面を参考に、図-4に示す5層構造とした。各層の土壌水分特性曲線と不飽和透水係数曲線は、現地で採取した不攪乱供試体に対するpF試験結果を用いてvan-Genuchten式により設定した。解析開始直前には、土層内の水移動(全水頭: $\Phi=0\text{cmH}_2\text{O}$)はないものとした。解析により得られた地下水帯の経時変化を図-3に、土層内の飽和度分布を図-4に示す。19日17時20分にはNo1(表層土)とNo2(黒ボク)の土層の境界部で微小ながら地下水帯が発生し、その10分後には消滅した。19日18時40分に再び発生した地下水帯はその後の降雨の継続とともに上方と下方へと地下水帯を拡大している。その後の降雨の減少とともに地下水帯は縮小し、20日14時50分には消滅した。その約8時間後である22時40分に再び発生した地下水帯は、降雨が減少しても消滅することなく下方へと拡大し続け、25日4時30分には飽和に達し地下水深2.00mを記録した。地下水帯の上端部はその後、降雨に対応して上昇と下降を繰り返し、解析終了まで無降雨期間が30時間程度継続したにも関わらず解析終了時の27日0時00分まで地下水帯の縮小は5cm程度とわずかであった。

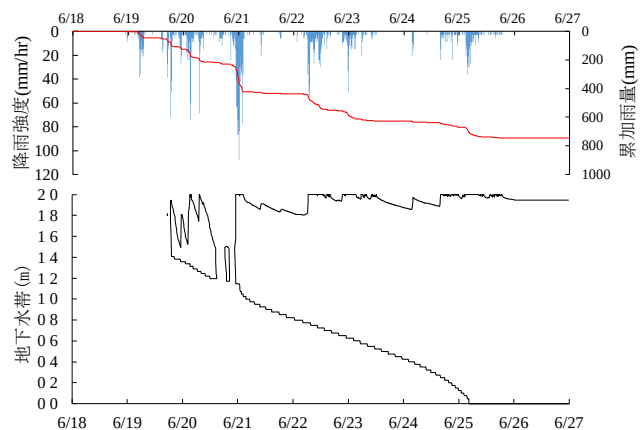


図-3 地下水帯の経時変化

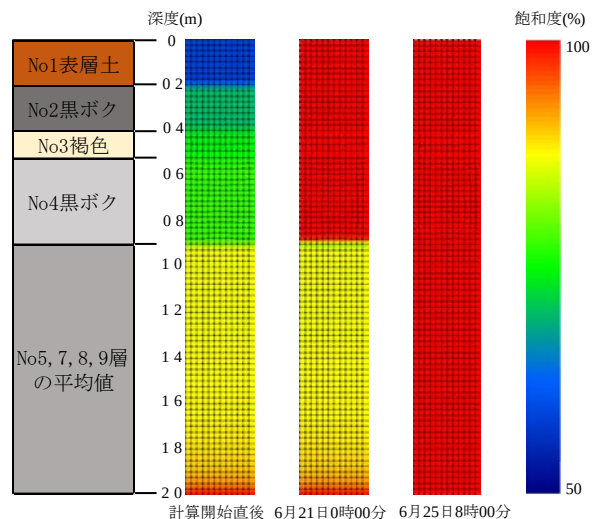


図-4 土層断面内の地下水帯の経時変化

以上の結果から、山王谷川流域の土層は連続した土層間での透水性の差異が少なく深度の増加とともに徐々に低下しているため、特定の土層間で地下水帯が発生する現象は確認できなかった。No5,7,8,9層は透水性が低く難透水層として位置付けられ、長期間継続して降雨が与えられると、土層内に雨水が貯留され続けるという興味深い結果が得られた。

4. おわりに

地震後に発生した降雨イベントの降雨波形を入力条件として飽和-不飽和浸透流解析を実施した結果、山王谷川流域の土壌は短期集中型の降雨では地下水帯が形成されにくく、形成されてもその後直ちに消滅するのに対し、長期間継続した降雨が与えられると土層内に雨水を長期間貯留し続けるといった興味深い事実が明らかになった。

飽和透水係数とNc値の深度分布からすべり面を特定することは困難であったため、今後は各土層内での土質強度を求め、すべり面を特定する上での基礎情報とする予定である。また、今回調査した地点の他にも土層断面調査や土壌物理試験を実施することにより、山王谷川流域全体の土壌物理特性の把握を試みる予定である。さらに、山王谷川流域内で多数確認された亀裂が斜面の安定性に及ぼす影響を定量的に評価することを目的として、亀裂の影響を加味した飽和-不飽和浸透流解析と斜面安定解析を実施する予定である。