

立命館大学理工学部 学生会員 ○飯田 哲也
 立命館大学理工学部 正会員 藤本 将光
 株式会社東芝 コミュニティ・ソリューション事業
 部 正会員 熊倉 信行

株式会社東芝 コミュニティ・ソリューション事業
 部 非会員 高崎 大輔
 立命館大学大学院 学生会員 平岡 伸隆
 立命館大学理工学部 フェロー 深川 良一

1. 研究の背景と目的

近年、日本で多く発生している斜面崩壊の原因の一つとして、降雨などによる斜面内の水分量の増加が挙げられる。一般に、地盤内の水分量を把握するためには現位置で、テンシオメータや誘電率土壌水分計などが用いられている。これらの計測には、電力供給が必須であり、システムは有線ケーブルを用いるため費用・労働コストの点で課題がある。また、誘電率土壌水分計は定期的メンテナンスの必要がないのに対し、テンシオメータは脱気水を補充する定期的メンテナンスが必要である点も運用上の課題となる。そのため、現地メンテナンスが不要な土壌水分計、無線ネットワークシステムを用いた斜面モニタリングシステムを構築することが求められる。本研究では、斜面崩壊現象における地盤内の体積含水率の変化を室内実験から把握した。また、得られた実験データを用いて斜面崩壊危険度判定手法を提案した。

2. 室内降雨土槽実験

本実験は人工降雨実験装置を用いて行った。土槽には滋賀県信楽産の真砂土を用いた。土槽は実斜面の状態を再現するために土層と基盤層の2層構造とした。計測機器には、テンシオメータと土壌水分計を用いた。図1に土槽の概要図を、表1に実験条件を示す。実験前に予備降雨を与え、自然条件下の鉛直方向の土壌水分量の差を人為的に作り出した。図2、図3に体積含水率と間隙水圧の時系列変化を示す。間隙水圧は、地点間で差はみられるが深度が浅い点から徐々に反応し、飽和状態になると一定の値を取った。また、深度別に間隙水圧の値を見ると、深度が浅い計測点の間隙水圧値が0を超えていない。しかしその他は、わずかながらではあるが間隙水圧値は0を超えた。このことから、土槽の下部には、地下水が発生したことが示さ

れた。体積含水率は降雨後に上昇した後、一定の値を取った。この結果は、計測点が飽和状態に達したためであると考えられる。また、密度が高い基盤層付近に設置している土壌水分計の値の方がその他のものに比べて大きくなる傾向があることが認められた。

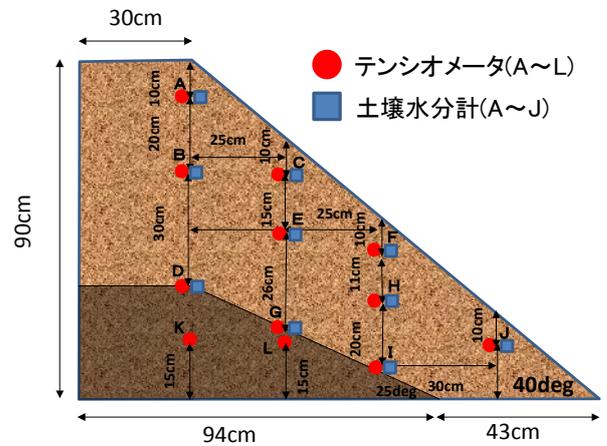


図1 室内降雨土槽実験の概要図

表1 実験条件

含水比	10%
乾燥密度	1.85g/cm ³ (基盤層) 1.6g/cm ³ (土層)
湿潤密度	2.035g/cm ³ (基盤層) 1.76g/cm ³ (土層)
排水条件	開始時→排水 降雨開始10時間後→非排水に変更
予備降雨条件	25mm/hr (2時間)
本降雨条件	25mm/hr (降雨開始から4.5時間)
	50mm/hr (降雨開始4.5時間後から15.5時間)
	120mm/hr (降雨開始20時間後から1時間)

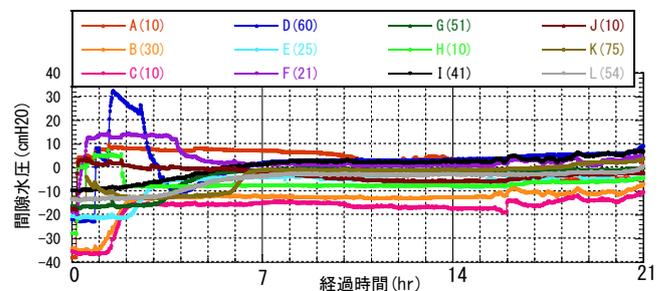


図2 間隙水圧の時系列変化

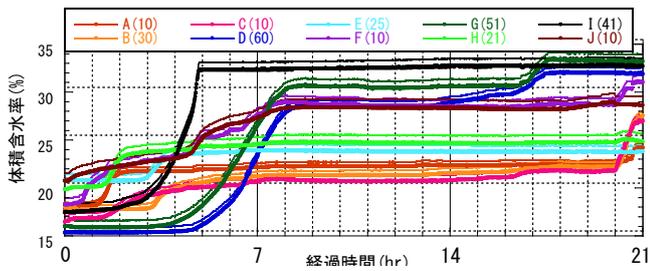


図3 体積含水率の時系列変化

3. 土壌水分を用いた斜面崩壊危険度判定手法の開発

実験結果から土壌水分は、降雨に反応して上昇し、飽和状態になると一定の値を取ることが示された。また、間隙水圧の値から見ても、土壌水分の値が一定になったときに地下水位が発生していることが示された。地下水位の発生は、斜面崩壊の危険度が高くなることを示している。したがって、判定の手法としては、土壌水分が増加し、変動が非常に小さくなる、あるいは、なくなる時点で飽和帯が形成され、崩壊の危険度が高いと判定することが可能であると考えられる。

土壌水分が一定になった状態を捉えるために、体積含水率の変化率を指標にした。各計測点の危険度を判断するために、体積含水率と変化率の関係性について図4を例にして説明する。まず、体積含水率が急激に増加すると、変化率はグラフの傾きを表しているため変化率も大きな値を取ることが分かる。その後、飽和状態に近づく過程において、体積含水率の増加は緩やかになるため変化率は減少する。さらに、飽和状態に達すると、体積含水率は一定になるため変化率は0に近づく傾向を示した。

以上の結果から、各計測点の危険度の判断基準は、第一条件として変化率が正の高い値を取った後、第二条件として、変化率が0付近にあることが考えられる。第一条件や第二条件で用いる変化率の基準値として、正の高い値を0.05、0付近の値を-0.01から0.01とした。基準値は、本実験から得られたものであり、今後実斜面でのデータに基づく検証が必要となる。

次に、斜面全体の判断基準として、本実験では10点の土壌水分計を用いたので10点のうち5点が危険な状態に達した時に警戒状態とし、8点以上が危険な状態に達した時に避難の必要があるという判定を設定した。

体積含水率だけの結果は斜面内のピンポイントデータであるため、従来から用いられている降雨を指標と

した危険度の判定基準に土壌水分の結果を加味することで危険度判定が改良されると思われる。そこで、降雨量から危険度を判定するために、総雨量と最大降雨強度の2つの指標を用いた。それぞれの指標の判断基準として、総雨量は250mmを基準値に設定し、最大降雨強度は50mm/hrを基準値に設定した。降雨が、総雨量250mmを超えた、もしくは、最大降雨強度50mm/hrを超えた時に警戒状態とし、両方超えた場合に避難という判定を行った。

図5に実験における判定結果を示す。降雨を指標とした判定結果と土壌水分を指標とした判定結果が異なっている部分が認められた。この部分の判定結果の取り扱い方には検討の余地があるが、土壌水分のデータが付加されたことでこれまで示されていなかった斜面内部の状態が明確化されたといえる。本研究が提案した降雨を指標とした判定基準と土壌水分を指標とした判定基準の両方を用いることで斜面崩壊の危険度を総合的に判断することができるため、非常に有効であり、また、視覚的にも分かりやすいと考えられる。

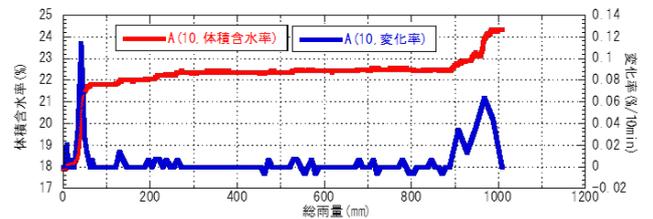


図4 計測点Aにおける体積含水率と変化率の変化

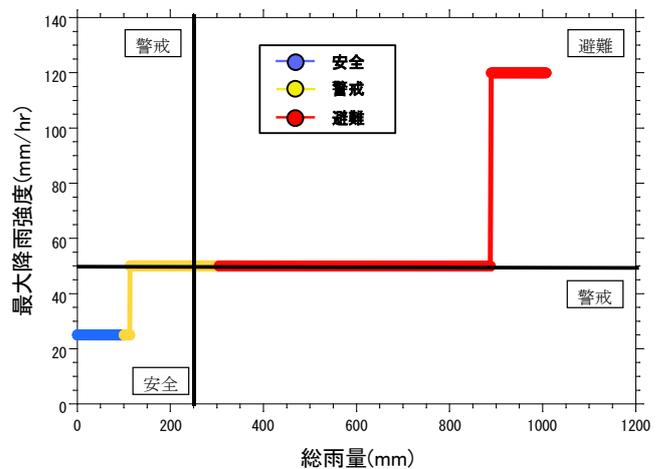


図5 降雨と土壌水分を指標にした危険度判定結果