

ADR 法およびテンシオメータ法を用いたモデル斜面崩壊実験のモニタリング

日本大学理工学部 正会員 下辺 悟
 日本大学大学院 学生会員 ○五内川 譲

1. はじめに

我が国は地質構造が脆弱で台風が多く、近年では局地的集中豪雨による土砂災害の影響で尊い命が犠牲になっていることは記憶に新しい。降雨に対する地盤防災・減災の一助として、土砂災害の発生メカニズムの解明が必須であり、そのためには土の含水量・サクシオン分布状況の把握が重要である。

本研究は ADR (Amplitude Domain Reflectometry) 法による土の含水量測定の実用性を調べるとともに、その工学的応用として ADR 法と従来のテンシオメータ法を併用した土壌カラム試験およびモデル斜面崩壊のモニタリング手法について検討を加えたものである。

2. 試験装置と試験方法

ADR 土壌水分計 (以降、ADR プローブと略す) は、土の誘電率 ϵ をその出力電圧で求める装置である。本試験では、あらかじめ対象土における出力電圧 V_{wet} と体積含水率 θ_w のキャリブレーションカーブを求めておき、これに出力電圧の測定値を代入し体積含水率を求める¹⁾。所定の含水状態に設定した対象土を供試体作製用モールドに均一に詰め、ハーバード・ミニチュアコンパクターで締固めを行い、供試体の表面3箇所 ADR プローブを差し込み、出力電圧の平均値を求めた。その後、炉乾燥法により含水比 w と体積含水率 θ_w を求め、キャリブレーションカーブを作成した。

土壌カラム試験 (内径 20cm、高さ 73cm) では、カラム上層部に関東ローム、下層部に山砂を用い、降雨による浸潤・排水過程 (平均降雨強度 20mm/h、連続降雨 8 h) における土の含水状態の経時変化を上記 ADR プローブで、土のサクシオンの経時変化を測定できるマイクロ・テンシオメータ (以降、テンシオメータと略す) を用いて計測を行った。

モデル斜面崩壊実験では実験土槽 (幅 80cm、長さ 120cm、高さ 90cm) 内に上層部が関東ローム、下層部が山砂を用いて斜面の勾配 33° に設定した二層モデル斜面を作製し、降雨による崩壊実験を行った。所定

の位置に ADR プローブ 10 本、テンシオメータ 8 本を埋設し、斜面が崩壊するまで降雨強度 40mm/h で 8 時間連続降雨させ、各プローブの測定を行った。

3. 試験結果と考察

(1) ADR 法による含水量のキャリブレーション

出力電圧と体積含水率の関係を図-1、2に示す。その結果、今回の校正実験に使用したプローブ⑦、⑮ (山砂)、プローブ⑦ (関東ローム) のキャリブレーションカーブは既往の試験結果と一致した。

また、プローブ間の器差については体積含水率の絶対誤差は山砂Ⅲで±1%以内、関東ロームⅣで±2%以内に、次いで相対誤差は山砂Ⅲ、関東ロームⅣともに±5%以内に収まった。さらに、当該キャリブレーションカーブにはヒステリシス現象は認められないことから、ADR 法の実用性はかなり高いといえる。

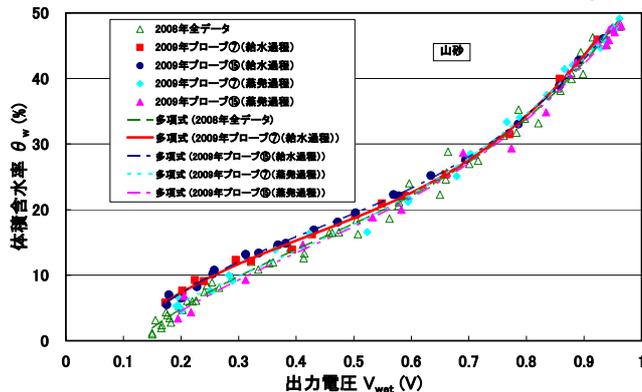


図-1 出力電圧と体積含水率の関係 (山砂)

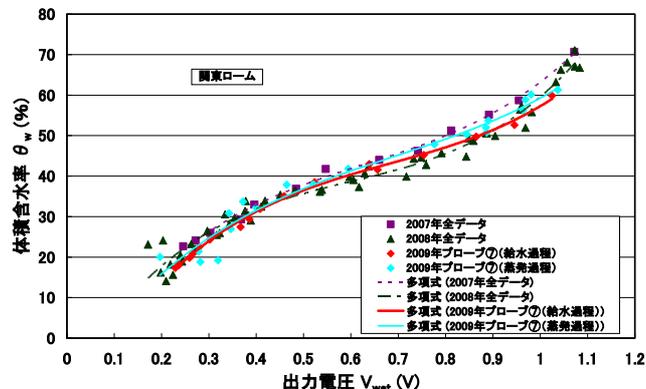


図-2 出力電圧と体積含水率の関係 (関東ローム)

(2) 二層土壌カラム試験

降雨による二層カラム試験の浸潤・排水過程にお

る経過時間 t と、ADR プローブによる予測体積含水率 θ_w^* の関係を図-3に示す。

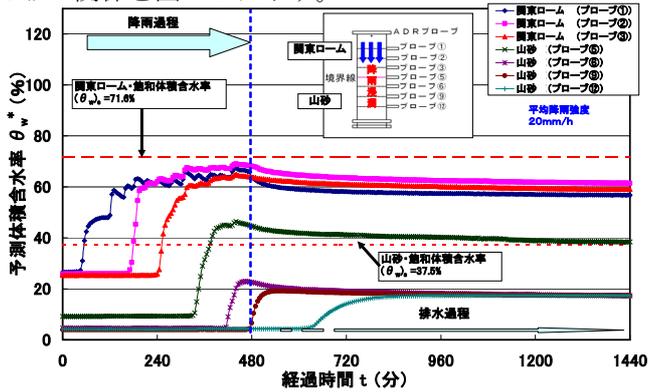


図-3 降雨による二層カラム試験の浸潤・排水過程

における経過時間と予測体積含水率の関係

①から下方へ順に予測体積含水率が上昇していった。降雨終了後では、上部のプローブほど予測体積含水率が減少した。これは、排水過程において重力的作用により下部ほど水が貯留され易いためだと考えられる。

(3) 二層モデル斜面崩壊実験

モデル斜面の降雨浸潤過程における斜面崩壊実験の経過時間 t と予測体積含水率 θ_w^* の関係を図-4に示す。

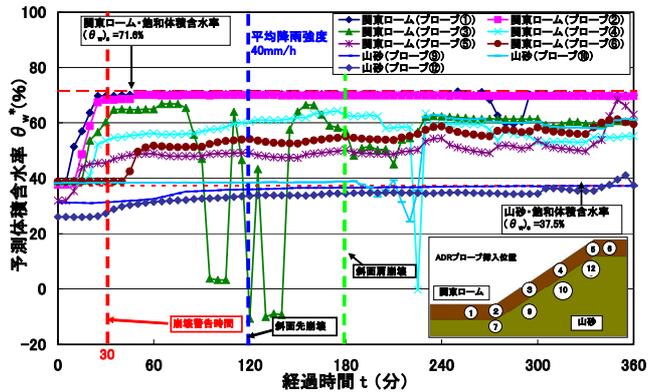


図-4 降雨による二層モデル斜面崩壊実験の経過時間と予測体積含水率の関係

その結果、各 ADR プローブのキャリブレーションカーブによって θ_w^* の変化を比較してみると、地表面にあるプローブ①から⑥まで順に反応している。また、プローブの値の変化に合わせて斜面が逐次崩壊パターンを示していることから、予測体積含水率の急激に変化している点は斜面崩壊パターンを検知していると考えられる。さらにその中で斜面先付近にあるプローブ①とプローブ②の θ_w^* が特に高い数値を示している点が注目すべき結果である。これは水分が斜面に沿って移動しているためであると考えられる。

一方、図-5に経過時間 t とマトリックポテンシ

ャル h_m との関係を示す。その結果、斜面上層部にあるテンシオメーターのNo. 2から4の順に h_m が反応し急激に低下している。このことから斜面先から斜面肩付近へと順に逐次崩壊が起きていると考えられる。

これらの試験結果より今回は崩壊警告時間を 30 分とした。その根拠として、ADR プローブ①~④の θ_w^* 値が急激に上がり降雨開始から 30 分後に一定値に落ち着いた点と、テンシオメーターの No. 2、3、4の h_m 値が降雨開始 30 分後に急激に低下したことの2点を考慮し、崩壊警告時間とした。

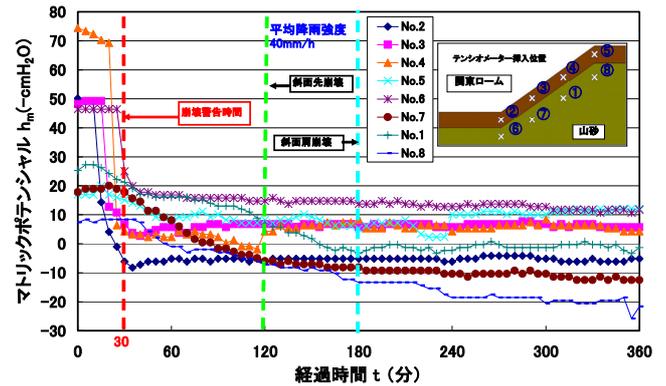


図-5 経過時間とマトリックポテンシャルの関係

4. 結論

- ① 山砂、関東ロームを用いた含水量のキャリブレーション試験の結果、体積含水率の予測精度は JIS 炉乾燥法と比べ、体積含水率の絶対誤差は山砂で $\pm 1\%$ 以内、関東ロームで $\pm 2\%$ 以内、相対誤差は山砂と関東ロームともに $\pm 5\%$ 以内で ADR 法の実用性は高い。
- ② 土壌カラム試験では、ADR プローブおよびテンシオメーターを併用することで、降雨浸潤排水過程における土壌カラム内の深度ごとの含水量・サクシジョンのモニタリングが可能である。
- ③ 二層モデル斜面崩壊実験では、ADR プローブおよびテンシオメーターを併用することで、降雨を伴う斜面内の含水状態のモニタリング、斜面崩壊過程の様相をリアルタイムで検知可能である。

参考文献

1) 井出裕介・山内賢一：ADR およびテンシオメーター法を用いたモデル斜面崩壊実験のモニタリングによる検知技術の実用性の検討、平成 21 年度日本大学理工学部社会交通工学科卒業論文、pp. 17-25、2009 年。