

立命館大学理工学部 学生会員 ○中野 峻也
立命館大学大学院 学生会員 平岡 伸隆
立命館大学大学院 学生会員 黒原 雄大

立命館大学総合科学技術研究機構 田中 克彦
立命館大学理工学部 正 会 員 藤本 将光
立命館大学理工学部 フェロー 深川 良一

1. はじめに

降雨による斜面崩壊の発生予測には、土中の水分量や地下水位を把握することが重要である。しかし、土中の水分量が上昇し、飽和状態となり地下水を形成するというような一連の流れを連続的に測定可能な計測技術は現時点で確立されていない。またモニタリングを実施する際には、メンテナンス、コスト、設置の利便性についても考慮する必要がある。そこで、従来の測定機器に代わる新たな手法として、超音波による土中水分・水位測定システムを提案した。本稿では、室内実験により超音波測定システムの湿潤～乾燥の繰り返しプロセスに対する適用と、土中水分量の定量的評価の可能性について考察した。

2. 測定方法

本研究で用いる超音波測定システムは、検出器と測定器に大別でき、検出器は、図-1 に示すように、中空パイプを用いた導波管の上部に超音波トランスデューサを固定した構造になっている。また、導波管の下部には反射面を平らにするために金網を取り付けた。超音波トランスデューサから送信された超音波は測定面で反射され、超音波トランスデューサで受信し、その反射波を測定器で読み込む。反射波の波形は、図-2 のように測定面の状態で変化する。超音波測定システムでは、反射波の振幅のピーク値(反射強度)と、超音波を送信してから受信するまでの時間(伝搬時間)を測定する。乾燥状態では、土粒子の凹凸により反射波が散乱して反射強度は小さくなる。湿潤状態になると土粒子間に水の表面張力が働き、水膜が発生し、測定面が滑らかになることで反射強度が大きくなる。水位が上昇すると超音波トランスデューサから測定面までの距離が短くなるため伝搬時間は短くなる。このように、反射強度で土中水分、伝搬時間で水位を測定することができる。

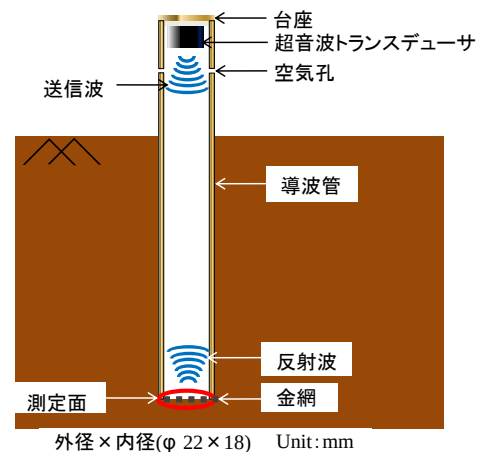


図-1 超音波検出器の概要図

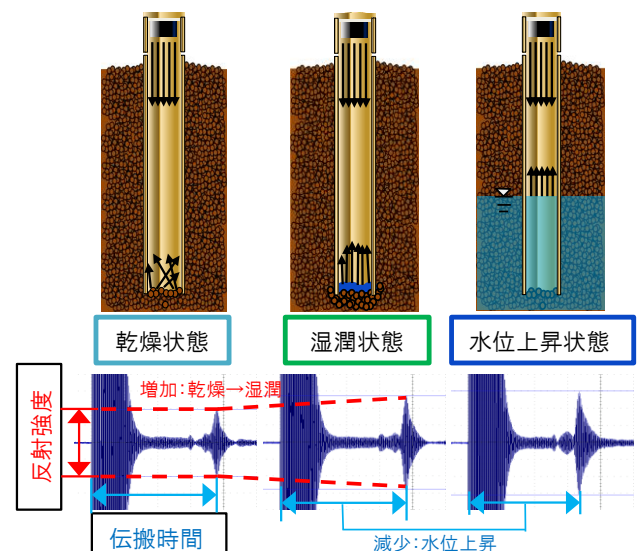


図-2 測定面の状態による反射波の変化

3. 湿潤～乾燥繰り返し

2. で述べたシステムでは、伝搬時間による水位上昇状態において明確な定量的評価が可能であるが、反射強度による土中水分計測は現時点では定性的評価に留まっている。そこで、乾燥状態と湿潤状態を繰り返し変化させて測定し、定量的評価が可能であるか検証を行った。実験概要図を図-3 に示す。検出器 2 器、誘電率土壌水分計 1 器、熱電対 1 器を測定対象深さ 2 cm に設置した。

土槽の表面をコットンで覆い、少しずつ水を注水することで土槽表面に均一に水が染み込むようにした。乾燥過程は放置して測定し、実験試料は豊浦砂を使用した。実験は恒温室で行い、室温、地温ともに多少の上下はあるが、室温は約 22℃、地温は約 19℃でほぼ一定状態であった。反射強度と体積含水率の時系列変化を図-4 に示す。0～188 時間を第 1 サイクル、430～633 時間を第 2 サイクル、645～862 時間を第 3 サイクルとし、3 サイクル行った。体積含水率の上昇、下降に合わせて反射強度も上昇、下降しており、定性的には良好な値を示していることが分かる。ただし、第 1 サイクルと第 2、3 サイクルを比較すると、第 2、3 サイクルのノイズが大きくなっている。これは、電圧供給が不安定であったためと思われる。第 2 サイクルの乾燥過程では初期値である直線部の約 400 mV より下降しないことが確認できる。縦軸に全期間の体積含水率、横軸に No.1、No.2 の全期間の反射強度をプロットしたグラフを図-5 に示す。緩やかな曲線になっていることから、2 次関数による近似を試みた。その結果 No.1 のみの相関係数は 0.936、No.2 のみの相関係数は 0.928、No.1 と No.2 を合わせた相関係数は 0.908 となった。このように反射強度から体積含水率が推定でき、定量的評価が可能なが分かる。各検出器の相関係数はおよそ一致しているが、2 つ合わせたときの相関係数が若干小さくなることが分かった。これは測定面の初期状態や、超音波トランスデューサの個体

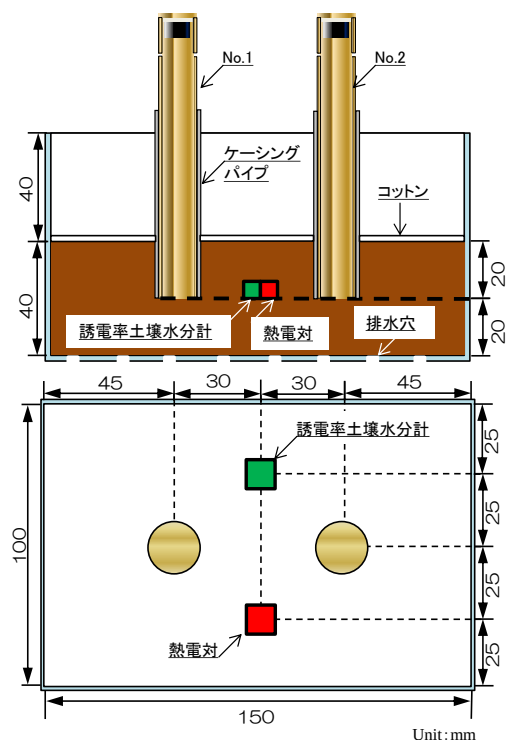


図-3 実験の概要図

差が影響している可能性がある。

4. おわりに

超音波測定システムによる乾燥～湿潤プロセスの土中水分量評価を試みた。その結果、反射強度～体積含水率関係は 2 次関数で近似でき、高い近似性を示すことが判明した。今後はより多くの土試料に対する適用性を検証していく所存である。

5. 謝辞

本研究の一部は科研 C(No.23510230) (2011-2013)の助成の基に行った。また、JR 東日本旅客鉄道株式会社・外狩麻子氏、日鐵住金建材株式会社・岩佐直人氏にはご支援と多くの助言を頂いた。感謝の意を表します。

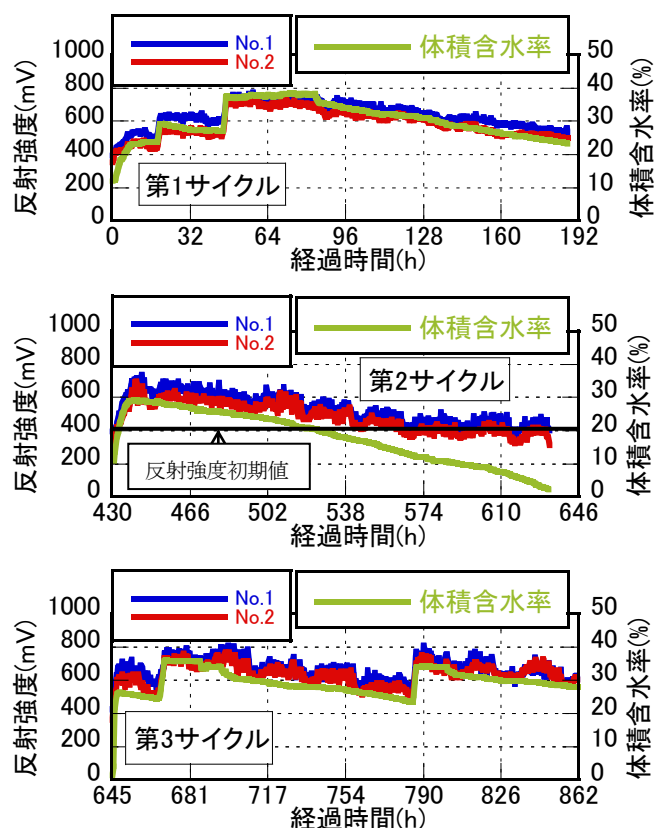
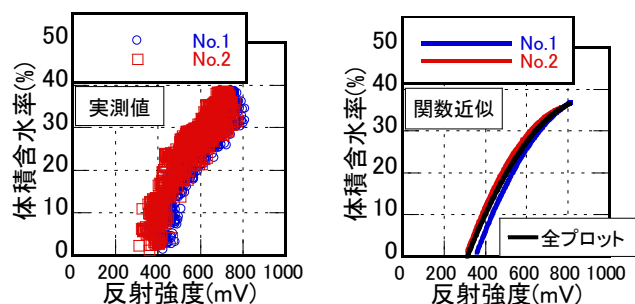


図-4 多サイクル実験 実験結果



$$y = -60.159 + 0.21061x - 0.00011229x^2 \quad R=0.936$$

$$y = -52.509 + 0.21095x - 0.00012528x^2 \quad R=0.928$$

$$y = -49.035 + 0.18889x - 0.00010265x^2 \quad R=0.908$$

図-5 反射強度×体積含水率による相関グラフ