

超音波土壌水分測定手法による土壌乾湿繰返し過程の計測

立命館大学 ○平岡伸隆, 中野峻也, 田中克彦, 藤本将光, 深川良一
東日本旅客鉄道株式会社 外狩麻子, 日鐵住金建材株式会社 岩佐直人

1. はじめに

頻発する土砂災害の発生を予測し、その被害を最小限に抑えるために、モニタリング計測により斜面内の水分動態を把握することは極めて重要である。そこで、土壌内の水分量や地下水位を計測する測定手法として超音波による土中水分・水位モニタリング法を提案した¹⁾。この測定手法は地盤に設置するセンサが安価であること、地盤への設置が容易であること、メンテナンスをほとんど必要としないことから、多地点計測に適しており、斜面等の広域な場所での高密度な水分動態のモニタリング計測が可能である。図1に超音波検出器の概略図を示す。導波管と超音波トランスデューサで構成され、安価に作製することが可能である。導波管下端には金網を設け、ここを通過し土表面で反射した反射波の強弱によって水分状態を測定する。すなわち、乾燥状態の場合、土粒子の凹凸による散乱で反射強度が低くなり、湿潤状態となると水膜により散乱が軽減され反射強度が高くなる。著者らはこれまで基礎研究を行い、超音波測定により地盤内水分や地下水の上昇を検知することに成功した。超音波測定システムを実際に野外で使用することを想定した場合、地盤の水分は降雨による上昇だけではなく、降雨終了後に乾燥し、また次の降雨によって湿潤するといった乾湿を繰り返すため、乾湿繰返し過程を検知できるか検証が必要である。そこで本稿では室内土槽実験により、超音波土壌水分測定手法の土壌乾湿繰返し過程の計測を行い、測定の耐久性の検証および課題の抽出を行った。

2. 試料の違いによる乾湿繰返し測定の再現性検証

土槽に超音波検出器を設置し、比較のため誘電率土壌水分計を設置した。試料は豊浦砂および滋賀県信楽産まさ土を使用し、異なる試料における再現性の違いについて検証した。実験の概略図を図2に示す。乾湿繰返し過程を短い期間で促すため、幅15 cm・奥行き10 cm・高さ8 cmの小型土槽を用い、試料を設定乾燥密度 1.60 g/cm^3 、初期含水比5%で高さ4 cmまで詰めた。水タンクとチューブを用いて注水を緩やかにを行い、乾湿繰返し過程を3度行った。土槽下端は排水条件とした。

図3に実験結果を示す。反射強度はノイズが確認されたため10点移動平均値とした。豊浦砂における乾湿繰返し過程計測では超音波測定によって得られた反射強度の推移と誘電率土壌水分計から得られた体積含水率の推移が類似しており、超音波測定によって体積含水率の変化を検知できることが確認された。また、検出器ごとの反射強度にも相違が無く、再現性の高い計測が行えている。一方で、まさ土における乾湿繰返し過程計測では、1サイクル目は体積含水率の変化に合わせて、反射強度も同様に変化しているものの、2サイクル目、3サイクル目では反射強度の変化が鈍く水分量変化を検知していない。また、検出器ごとの反射強度の初期値も大きく異なり、設置する毎に補正が必要となる。これらの原因として、まさ土は均等係数が高く、すなわち粒度が広く、湿潤状態で浮き上が

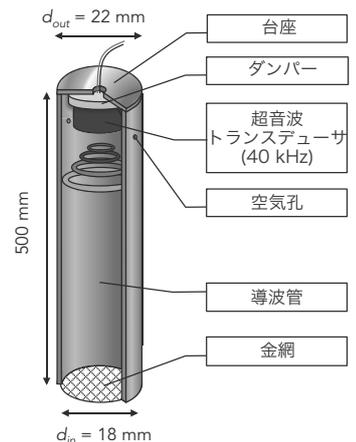


図1 超音波検出器

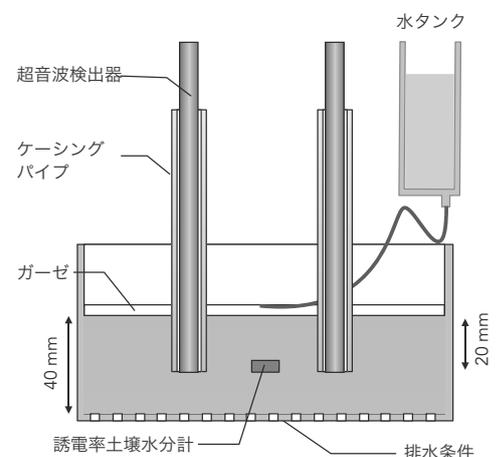


図2 実験概略図

った細粒分が測定面をなだらかにしてしまう可能性や、サイクルを重ねるたびに検出器下端の金網が目詰りを起こす可能性が考えられる。

3. 検出器下端に試料を挿入した測定手法の検証

斜面を構成する土は豊浦砂よりまさ土に近い場合がほとんどであり、粒径幅の広い試料において乾湿繰返し過程が計測できなければならない。そこで、まさ土のような不均一な試料を計測する場合、分級された試料を検出器下端に挿入することで水分変動を検知できるか検証した。また、誘電率土壌水分計に加え、テンシオメータを土槽内に設置することで、反射強度と間隙水圧値の比較検証も実施した。図4に実験概略図を示す。本実験では均等係数の低い試料として、前節で高い再現性を示した豊浦砂と、豊浦砂と同等の粒径を持つ珪砂6号をそれぞれの検出器下端に挿入し、乾湿繰返し過程を3度再現した。結果を図5に示す。検出器下端に均一粒度の試料を挿入することで、まさ土の水分変化が検知された。この場合、反射強度は体積含水率の変化傾向より間隙水圧の変化傾向と近い挙動を示した。これは検出器下端試料に水分が浸透する際にキャピラリーバリアが発生し、水収支がマトリックポテンシャルにより支配されるためと考えられる。

4. まとめ

本実験により超音波土壌水分測定によって乾湿繰返し過程の水分変動を検知可能であることが確認された。対象地盤の粒径幅が広い場合は、検出器を直接設置し体積含水率と似た水分変化を検知でき、粒径幅が狭い場合は、分級された試料を導波管下端に挿入することで水分変化が検知できることがわかった。またこの場合、反射強度は間隙水圧値に近い挙動を示すことが確認された。

謝辞 本研究の一部は科学研究費補助金(基盤(C), 20510180)(2008~2010年度)および(基盤(C), 23510230)(2011~2014年度)の助成を受けて行った。

参考文献 1) N. Hiraoka, T. Suda, K. Hirai, K. Tanaka, K. Sako, R. Fukagawa, M. Shimamura, A. Togari, "Improved Measurement of Soil Moisture and Groundwater Level Using Ultrasonic Waves", Japan. J. Appl. Phys., 50, 07HC19, 2011.

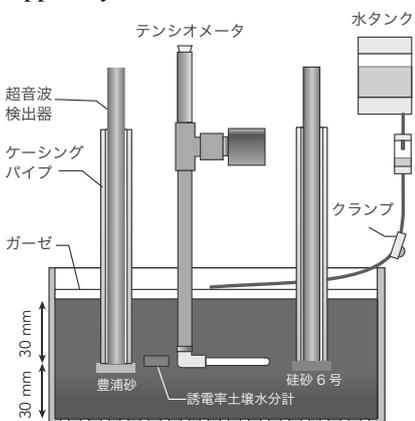


図4 下端試料挿入実験概略図

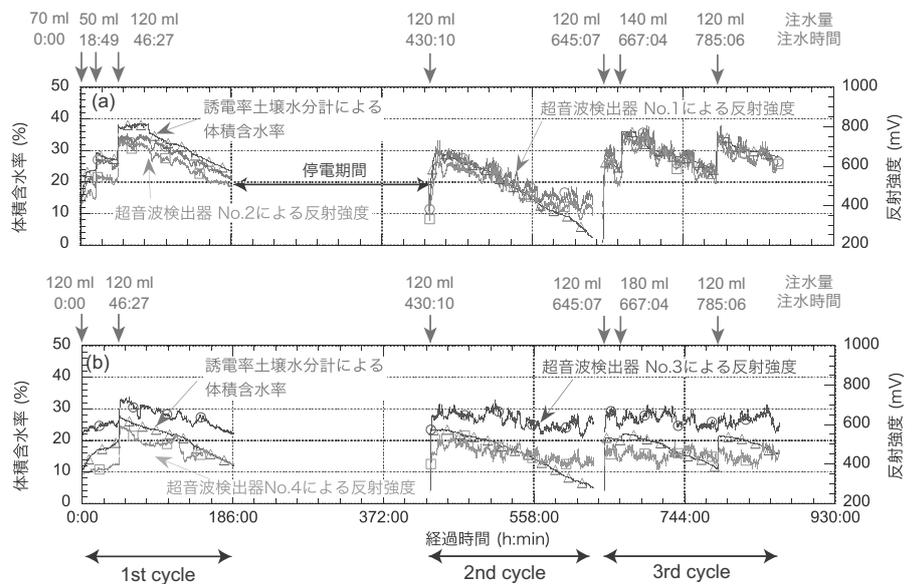


図3 乾湿繰返し実験結果 (a)豊浦砂, (b)まさ土

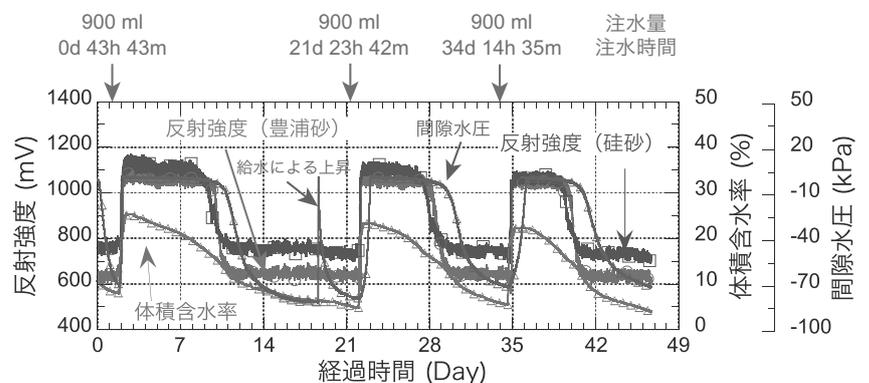


図5 反射強度・体積含水率・間隙水圧の変動結果