

超音波土中水分・水位測定システムによる自然斜面水分動態監視

立命館大学 正 会 員 ○平岡 伸隆
立命館大学 田中 克彦

立命館大学 学生会員 中野 峻也
立命館大学 正 会 員 藤本 将光
立命館大学 フェロー 深川 良一

1. はじめに

我が国では斜面崩壊が頻発しており、降雨による斜面崩壊発生メカニズムの解明や、崩壊発生時刻予測のための広域多地点での斜面内水分動態モニタリング手法の確立が望まれる。我々は、斜面の水分動態をモニタリングするための計測手法として超音波による土中水分・水位測定法を提案し、これまでに室内実験によりその有用性を確認した¹⁾。本研究では、超音波測定手法を用いて自然斜面における長期モニタリング実験を実施し、野外での有用性について検証した。

2. 試験地と測定システム

試験地は京都府東山山麓に位置する清水寺奥之院裏斜面とした(図1)。清水寺の後背および境内斜面は近年3度の表層崩壊が発生しており、崩壊の素因を有しているといえる。特に対象斜面は3m以上の崩積土が堆積し崩壊の危険性が高い。対象斜面では当研究室により2004年度から5地点、2012年度から14地点でテンシオメータによる間隙水圧値の長期観測が実施されており、そのうちM地点に超音波測定システムを併設した(図1, 図2)。超音波検出器は、超音波を送受信するトランスデューサ、外径22mm・内径18mm・長さ500mmの中空の導波管、14メッシュ金網で構成される(図3)。設置方法は任意の深度までオーガで掘削し、φ25mmケーシングパイプを設置後、その中に検出器を挿入する。設置深度は20, 40, 60, 80, 100cmとした。また、室内試験により検出器下端に均等係数の低い試料を挿入することで測定値が安定することが確認されたため、本試験では検出器下端に豊浦砂を投入した。超音波測定では、導波管下端の金網を通過し、挿入試料の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。また、地下水位が上昇した場合には、導波管内を上昇した水位により反射波の伝搬時間が短くなるため、水位を算出することが可能である。

3. モニタリング結果

試験期間中である7月30日から8月26日にかけて、台風第12号、第11号、前線による大雨と暴風(平成26年8月豪雨)により京都市において多量の降雨を観測し、特に8月8日から12日において、台風11号が

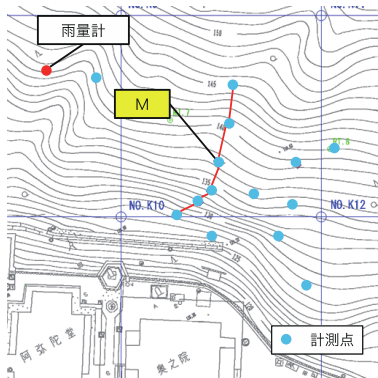


図1 奥之院裏斜面

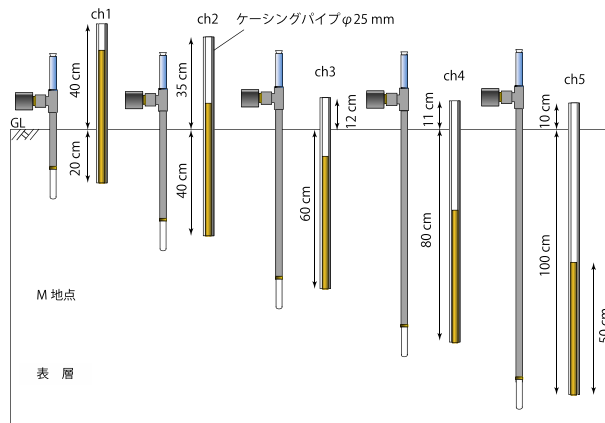


図2 超音波検出器とテンシオメータ設置図

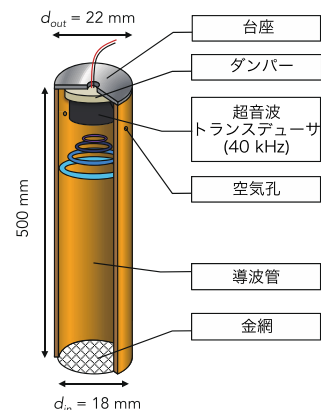


図3 超音波検出器

キーワード 斜面崩壊, 現地モニタリング, 超音波, 間隙水圧, 地下水

連絡先 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 立命館大学ジオメカニクス研究室 TEL 077-561-2875

近畿地方に上陸し、最大時間雨量 46.5 mm、連続雨量 243.5 mm という大雨をもたらした。図 4 に雨量観測結果および深度ごとの反射強度と間隙水圧の推移を示す。累積雨量は観測を始めた 2014 年 5 月 17 日時点から 0 mm として算出した。図中、縦破線はメンテナンス日を表す。間隙水圧はテンシオメータに水を補充する際に大気圧開放され、値が一時的に正圧もしくは 0 となってしまう。一度上昇した間隙水圧は再び設置地盤の間隙水圧と平衡状態になるまで 1 日から 4 日を要した。また装置内の水が、設置地盤のサクションが大きすぎ流失した場合においても、計測している圧力は大気圧もしくは間隙空気圧となり、評価不能となる。本試験では GL-20 cm に設置したテンシオメータにおいて水抜けが発生している。正常な動作をした期間では、降雨に対して間隙水圧の上昇が確認された。

反射強度は降雨に対して各深度で上昇を確認し、GL-20 cm では 8 月 3 日の連続雨量 10 mm 程度の降雨に対しても反応が確認された。各深度、反射強度が降雨に対して鋭敏に反応し、また降雨終了後の回復過程においても間隙水圧が元の値に平衡するのに 1 日から 4 日必要とするのに対し、反射強度は 1 日から 2 日間で速やかに下降しており、連続する降雨を細かく検知でき、応答性に優れることが確認された。また豪雨時には水位上昇を検知しており（図 5）、8 月 9 日の午前 9 時に水位 40 mm、その後 11 時には 47 mm まで上昇している。最大水位を記録した時点で雨は止み、3 時間後の 14 時には水位 2 mm まで低下している。

4. まとめ

自然斜面に超音波土中水分・水位測定システムを展開し、長期モニタリング試験を実施した。その結果、超音波測定システムはメンテナンス性に優れ、比較的応答性良く降雨による地盤内の水分上昇を検知することが確認された。また、伝搬時間の変化により、水分量の上昇から連続的に地下水位の発生を計測できることが確認された。

謝辞 本研究の一部は科学研究費補助金（基盤（C）、23510230）（2011～2014 年度）の助成を受けて行った。また助言を頂いた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 岩佐直人氏に謝意を表します。

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, pp.07HC19-1 - 07HC19-5, 2011.

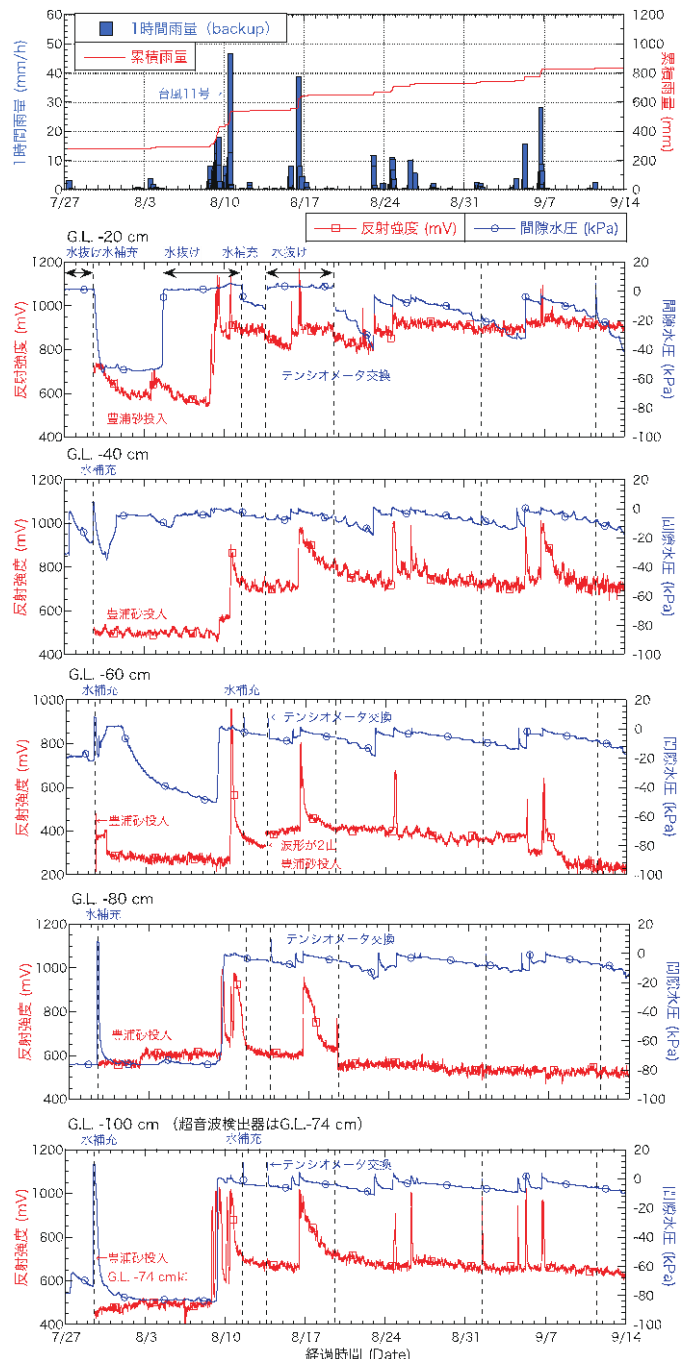


図 4 降雨量・反射強度・間隙水圧の計測結果

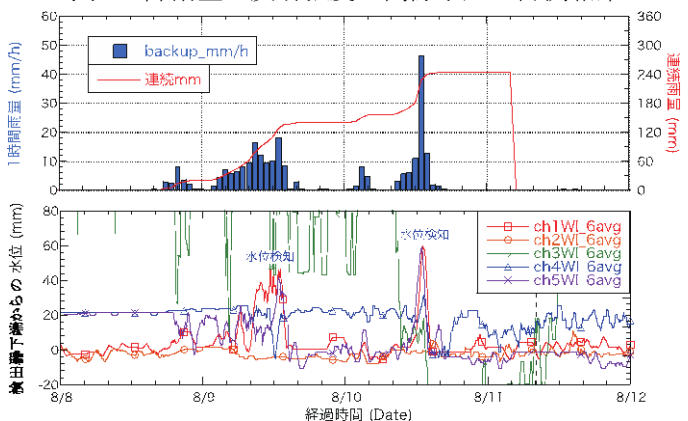


図 5 豪雨時の水位のモニタリング結果