

宇宙線ミュオンを用いた道路斜面健全性評価手法の開発

一般社団法人 近畿建設協会 正会員 ○西尾 彰宣
 京都大学名誉教授 正会員 大西 有三
 国土交通省 近畿地方整備局 増田 安弘

1. はじめに

道路斜面の降雨時の健全性を評価する指標は、図-1に示すように降雨量にはじまり、変位量・地下水位・湧水量・土壌水分量等多岐にわたる。本論文では、降雨が地中に浸透する状況を宇宙線ミュオンの利用で可視化し、これまで点の調査・観測であった地下水位や土壌水分量について地表から地中深部まで面的にかつ経時的に水の挙動を密度変化を通して知ることが出来る可能性が出てきた。例えば国道の通行規制区間の斜面群を包括的に計測することにより、通行規制開始と解除に関わる斜面健全性評価が可能になるとして、ミュオン観測システムの開発と検証を行った。斜面近傍に設置したミュオン検出器で地盤の密度変化を捉えることで土壌水分量の動態を観測し、降雨浸透動態挙動を捉える目的で実証実験を行った。

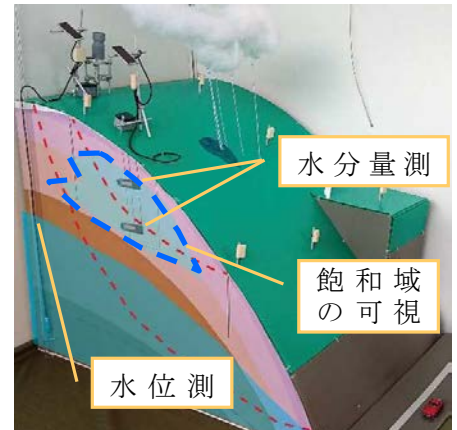


図-1 地下水位上昇・飽和帯発生による斜面崩壊の発生メカニズム

2. 山体密度変化計測(土壌水分量変化)に適用するミュオン観測技術

ミュオン(図-2)はkmオーダーの構造物を貫通するが、その透過量は構造物内部の密度に依存する。したがって山体通過ミュオン数を観測することで、降雨由来の山体密度変化の検出が期待できる。

3. 実証実験の概要

実証実験は道路に面した斜面で実施した。斜面近傍に設置したミュオン検出器にて該当斜面(山体)の密度変化を記録した。計測データはインターネットを通じて同時配信で閲覧可能なシステムを将来の実装に向けた構築を試みた。写真-1に装置の設置状況を載せた。

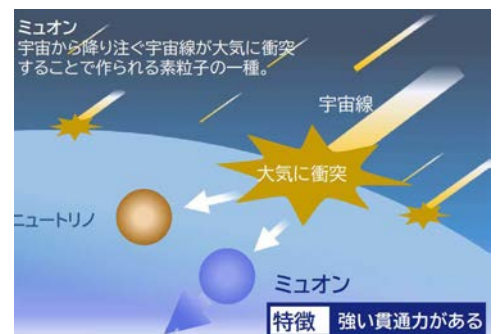


図-2 ミュー粒子(ミュオン)の発生

4. 観測実証結果

(1) 観測概要

観測地にて、山体に含まれる水分量をミュオン観測技術により検出する実証実験を行った(図-3)。解析期間は2021年5/24~6/24及び9/2~10/16である。この内目立った降雨のあった9/18を含む9/2~10/16にて報告を行う。

(2) 画像解析

図-3に示した観測対象領域については、観測対象の山体の背面にも山体があるため、前面の山体と背面の山体の稜線の間を観測対象とすることとし、ミュオン検知範囲は図-3に示すように背面の稜線を除外した範囲となる。

観測対象でのミュオンフラックスの画像解析にあたり、降雨の影響による密度変化判定には多層パーセプトロニューラルネットワークを用いた。また、ミュオンの統計量を増やすための処理や観測期間中の降雨が少なかったことへの対策として、降雨パターン学習データを摂動により増やした。これらの画像処理と機械学習によるデータ判定を行った結果を次項に示す。



写真-1 検出器設置状況

キーワード 降雨浸透, 斜面安定, 通行規制解除, 宇宙線ミュオン粒子, 地中可視化

連絡先 〒540-6591 大阪府大阪市中央区大手前1-7-31 一般社団法人 近畿建設協会 TEL 06-6941-3477

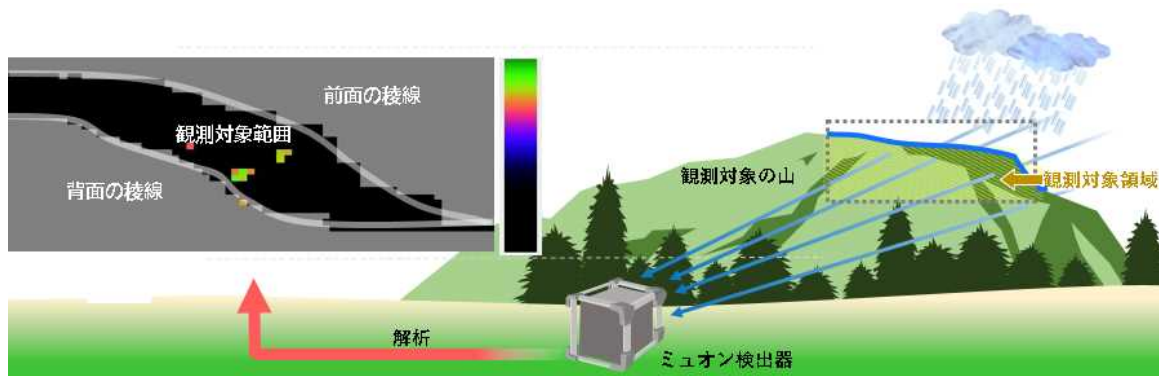


図-3 実験概要

(3) 検証結果

該当斜面近傍に土壌水分計及び地下水位観測孔を設けていて、2021年9月17～18日にかけて154.4mmの降雨に起因した土壌水分量の有意な上昇変化及び少なくともGL-10.00mからGL-8.64m(18日0:50)まで地下水が上昇を示したことが記録されている。

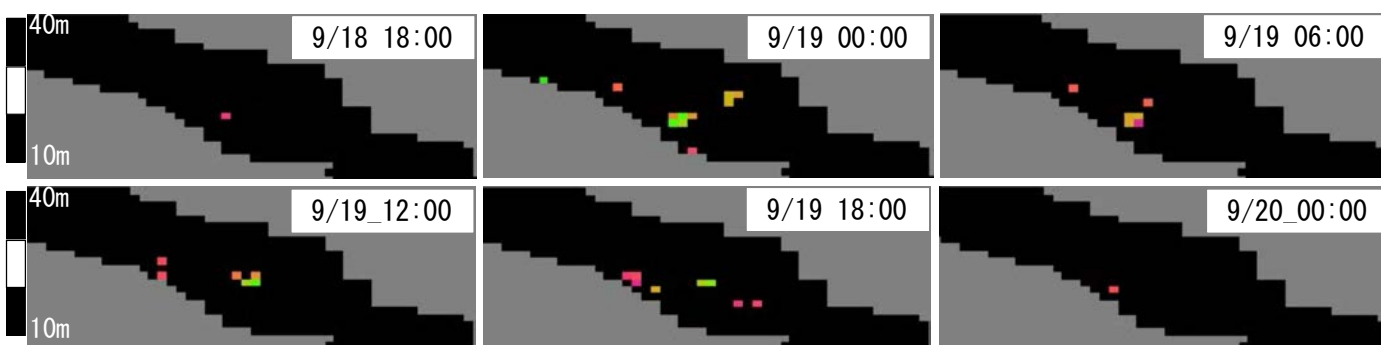


図-4 山体の降雨に起因する土壌水分量(密度)の変化

密度変化 小 大

図-4は上段～下段にかけて6時間毎の密度の経時変化である。現地に設置された観測孔による水位の上昇や土壌水分量の増加にマッチした密度変化を示す。降雨に起因する地山への降雨浸透、斜面安定に関わる飽和帯の形成や地下水上昇が、同じ位置の観測ブロックで密度変化が記録され、可視化できたものと考えられる。

5. まとめ

- (1) 斜面降雨浸透挙動について、ミュオン観測技術を利用し、地中の水分量の変化を記録できることを示した。
- (2) 地下水位観測データと土壌水分計データによる検証の結果、降雨に起因する同時期の変化領域や変化量について有意な一致がある事が分かり、ミュオグラフィの道路斜面安定性評価への適用有効性が確認できた。
- (3) 降雨/非降雨時の密度変化を多層パーセプトロンで判定が可能であることがわかった。物理プロセスの取り込みや深層学習の活用により、斜面降雨浸透の挙動について適用可能な数理モデルを構築していきたい。

6. 謝辞

検証用地下水位観測データを提供いただいた新都市研究会プロジェクトリーダーの京都大学岸田潔教授およびPJメンバー、ミュオン検出器(NEC製高精度ガスタイプディテクタ)を貸与されたNEC、取得データの同時配信システムの構築と運営を担当されたiSRCの西川啓一社長、現地観測サイトの設定とプロジェクト管理運営をされたアーステック東洋の中井卓巳社長の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 田中宏幸ら：ミュオンで地球内部を透視する仕組み、CHEER news 第6号 2015年1月発行、東京大学地震研究所高エネルギー素粒子地球物理学研究センター
- 2) 大西 有三, 西川 啓一, 高橋 健二, 中井 卓巳：第9回インフラメンテナンス国民会議近畿本部フォーラム 2019資料, 保-10株式会社アーステック東洋, 株式会社iシステムリサーチ, 2019
- 3) NEC 技報 Vol. 74 安全・安心・公平・効率を提供する社会インフラ特集