

第Ⅲ部門

土中水分計の観測データに基づく雨量情報を用いた個別斜面の健全度診断手法に関する基礎的研究

大阪大学大学院工学研究科
地球観測（株）
西日本高速道路（株）
大阪大学大学院工学研究科

学生員 ○安藤珠希
正会員 小泉圭吾
正会員 久田裕史
正会員 乾 徹

1. はじめに

近年、異常気象により集中豪雨に伴う斜面災害が各地で多発している。現在、ソフト対策として運用されている土砂災害警戒情報には、土壌雨量指数¹⁾が採用されており、図-1に示すように、3段直列タンクモデルを用いて土中の水分量を数値化して表される。土壌雨量指数は雨量情報のみから簡便に算出できるが、算出に用いられるパラメータが全国一律のため、個別斜面の健全性を評価できないという課題がある。これに対し、深度方向の体積含水率の計測結果に基づく避難や通行止めの判断指標が提案されている。この手法のひとつに IQS 指数²⁾、FS 指数³⁾があり、式(1)、(2)で表される。

$$\overline{IQS} = \frac{\theta}{\theta_{IQS}} \quad (1)$$

$$\overline{FS} = \frac{\theta}{\theta_{FS}} \quad (2)$$

ここで、 $\overline{IQS}$ は IQS 指数、 θ は体積含水率の観測値、 θ_{IQS} は降雨強度に対応する初期擬似飽和体積含水率 IQS を示しており、 $\overline{FS}$ は FS 指数、 θ_{FS} は現場飽和体積含水率を示している。小泉ら²⁾は、図-2に示すように、透水性の高い斜面に一定強度で降雨が生じると、 θ が上昇した後に一時的に上昇が停滞し、その後再び上昇すると変位が進展して崩壊することを実験で確認し、最初に一時的に θ の平衡状態となる時点（初期擬似飽和状態）を把握することが斜面の健全性把握に有効であるとしている。すなわち、 $\overline{IQS} < 1.0$ は健全な状態、 $\overline{IQS} = 1.0$ は IQS への到達、 $\overline{IQS} > 1.0$ は変位が進展する危険性がある状態と解釈できる。また、 $\overline{FS} < 1.0$ では不飽和状態を示し、 $\overline{FS} = 1.0$ で現場飽和（地下水位の形成）への到達を意味する。これらから、 $\overline{IQS}$ 、 $\overline{FS}$ を用いることで、個別斜面の健全性をリアルタイムに評価することが可能である。一方、これらを避難や通行止めの判断指標として用いるためには常時土中の水分量を観測する必要がある。そこで本研究では、雨量情報から簡便に算出できる土壌雨量指数から、個別斜面における $\overline{IQS}$ 、 $\overline{FS}$ を推定する手法の開発を目的とし、 $\overline{IQS}$ —土壌雨量指数、 $\overline{FS}$ —土壌雨量指数の関係を求めることで、土壌雨量指数から、 $\overline{IQS}$ 、 $\overline{FS}$ を推定可能であるか検討する。

2. 対象斜面における観測概要

九州地方に位置する高速道路沿いの斜面で15分毎に観測された土中水分量のデータを用いた。図-3のように、対象斜面の中腹（P-4）と法尻（P-7）の深度0.3、0.8、1.0mに土壌水分計、下段に雨量計を設置した。 $\overline{IQS}$ 、 $\overline{FS}$ と土壌雨量指数の関係を求める際は2021/1/1～2021/12/31（以降、学習期間と称する）の期間の法尻における観測データを用いた。 $\overline{IQS}$ は、深度0.3mにおいて、小泉ら²⁾の手法を基に算出し、 $\overline{FS}$ は、表層の透水層と難透水層の層境界付近と想定される深度0.8mにおい

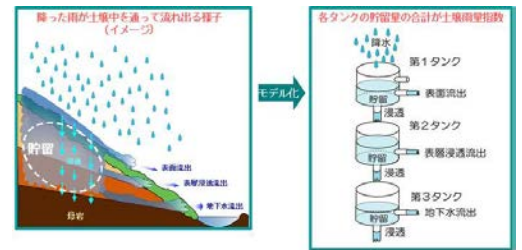
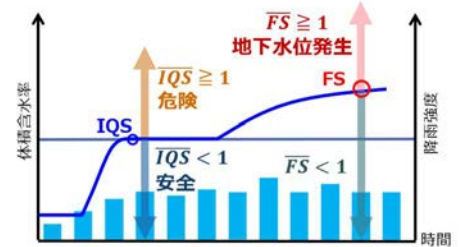
図-1 タンクモデルの概念図¹⁾

図-2 IQS 指数, FS 指数の概念図

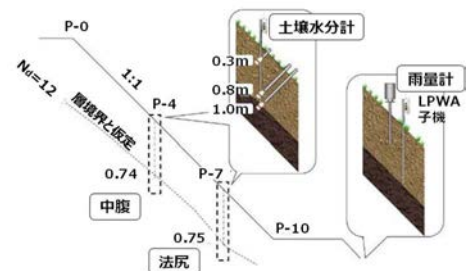


図-3 対象斜面でのセンサ設置状況

て、学習期間中の θ の最大値を θ_{FS} として算出した。土壌雨量指数は、気象庁による定義式を用いて算出した。ただし、気象庁が定義する土壌雨量指数は10分間雨量データが用いられているが、本研究では15分間雨量データを使用したため、定義とは異なるが、便宜上、土壌雨量指数として評価を行う。

3. $\overline{IQS}$, $\overline{FS}$ と土壌雨量指数の相関および推定手法の妥当性

各指数の値と土壌雨量指数の関係を図-4, 5に示す。 $\overline{IQS}$ —土壌雨量指数, $\overline{FS}$ —土壌雨量指数の間には正の相関があることがわかる。そこで両者の関係を線形で近似した式を用いて、別の観測期間(2022/6/19~6/28)の土壌雨量指数から $\overline{IQS}$, $\overline{FS}$ を推定した結果と、観測データから得られる $\overline{IQS}$, $\overline{FS}$ (以降、実測データと称する)を比較して、推定手法の妥当性を検討した。図-6, 7に比較結果(緑線, 青線)を示す。 $\overline{IQS}$, $\overline{FS}$ どちらの推定結果に関しても、降雨に対する応答性は概ね一致したが、全体的に実測データとは差が見られた。この原因は、 $\overline{IQS}$, $\overline{FS}$ と土壌雨量指数の関係が非線形であるためと考えられる。そこで、次章では非線形近似による推定手法を検討する。

4. 機械学習による健全度診断手法の妥当性検討

機械学習(決定木)による非線形近似を導入し、より細かく $\overline{IQS}$, $\overline{FS}$ と土壌雨量指数の関係を捉えることで、より高精度に $\overline{IQS}$, $\overline{FS}$ を推定可能であるか検討する。機械学習による推定結果を図-6, 7(赤線)で示す。その結果、全体の傾向としては、線形近似による推定結果よりも実測データとの差が小さいものの、特に、 $\overline{FS}$ の推定結果について、実測データがピーク値を示したときの値やその後の低下挙動に、実測データと差が見られた。この原因として、 $\overline{IQS}$, $\overline{FS}$ が比較的高い値を示す箇所について、データの蓄積が不十分であったことが挙げられる。今後は、データを蓄積し、様々な降雨パターンを含むデータを学習してさらなる推定精度の向上の可能性を検討するとともに、避難や通行止めの判断指標としての適用性を確認する必要がある。

5. まとめ

$\overline{IQS}$, $\overline{FS}$ と土壌雨量指数の関係性を求めることで、雨量情報から算出できる土壌雨量指数から、個別斜面の健全性を評価可能な $\overline{IQS}$, $\overline{FS}$ を推定する手法の検討を行った。線形近似および機械学習により算出した $\overline{IQS}$, $\overline{FS}$ と土壌雨量指数の関係式から $\overline{IQS}$, $\overline{FS}$ を推定した結果を実測データと比較すると、機械学習の方が良好な推定結果が得られた。一方、特に、 $\overline{FS}$ の推定結果について、実測データがピーク値を示した箇所では、機械学習を用いても実測データと差が見られた。この原因として、 $\overline{IQS}$, $\overline{FS}$ が比較的高い値を示す箇所について、データの蓄積が不十分であったことが挙げられる。一定の推定精度が得られれば、個別斜面の体積含水率の変化を反映した、避難や通行止めの判断となる土壌雨量指数値を提示できる可能性があり、さらなる検討を今後も継続する。

参考文献

- 1) 気象庁：土壌雨量指数, <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/bosai/dojoshisu.html> (閲覧日：2023/1/30)。
- 2) 小泉圭吾, 小松満, 小田和広, 伊藤真一, 堤浩志：体積含水率に着目した降雨時の斜面の健全性を評価するための一考察, 土木学会論文集 C (地圏工学), Vol.77, No.2, pp.129-139, 2021.
- 3) Komatsu, M. and Koizumi, K.: A validation of shallow slope failure monitoring method based on the field soil moisture observations, Proc. 10th Int. Conf. on Geotechnique, Construction Materials and Environment, GX252, 2020.

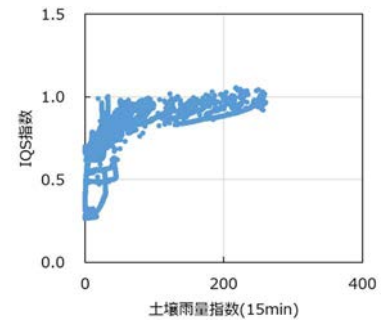


図-4 IQS 指数と土壌雨量指数

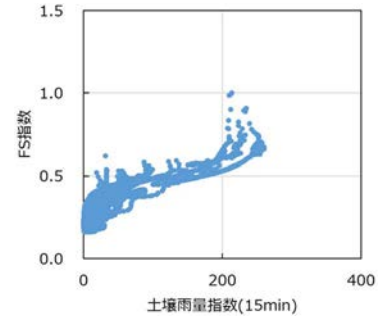


図-5 FS 指数と土壌雨量指数



図-6 IQS 指数の推定結果

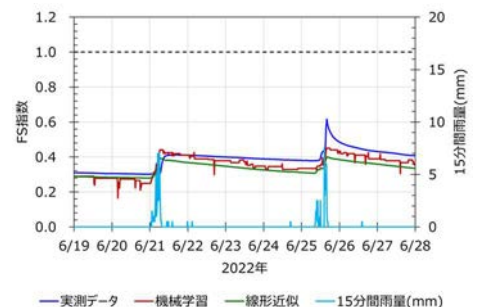


図-7 FS 指数の推定結果