

土中水分計の観測データに基づく土壌雨量指数を用いた斜面の健全度診断手法

大阪大学 正会員 ○小泉 圭吾
西日本高速道路(株) 正会員 久田 裕史
西日本高速道路(株) 正会員 藤原 優

1. はじめに

近年、降雨に伴う土砂災害が多発しており、その対策が課題として挙げられている。現在、様々なインフラ管理者の中でソフト対策である降雨規制基準の高度化が検討されており、これによる安全性の確保や規制時間の短縮等が期待されている。中でも土壌雨量指数や実効雨量はタンクや半減期を設定することで斜面に保水される水分量を表現でき、通行・運行規制の指標だけでなく、解除指標としての利活用も検討されている。一方、これらを用いた基準はあくまで雨量と履歴順位の情報を基に発令されるため、格子ごとあるいは区間ごとの評価には適しているが、個々の斜面の評価には不向きであるといった特徴を持つ。これに対し当研究グループでは、降雨時の現地斜面における深度方向の体積含水率の変化から土中の水分量を評価し、斜面に設置した傾斜センサの情報と組み合わせることで、表層崩壊に対する避難や通行止めを行うための判断指標を提案している¹⁾。この手法は個々の斜面の健全性を現地観測データに基づいて評価できる点が特長であるが、長期に渡って観測を継続することは費用の面から実用的ではない。そこで本研究では両者の特長を組み合わせることで、雨量情報のみから個々の斜面の健全度をリアルタイムに診断する手法について検討を行った。

2. 健全度指標の考え方

図1は気象庁が用いている3段タンクモデルによる土壌雨量指数の概念図²⁾を示している。土壌雨量指数とは、雨量から各タンクにおける浸透量、流出量を差し引き、各タンクに残留した水量を積算することで求められる土中水分量の指数である。タンクモデルのパラメータは全国一律のため、広域を簡便に評価できるが、得られる

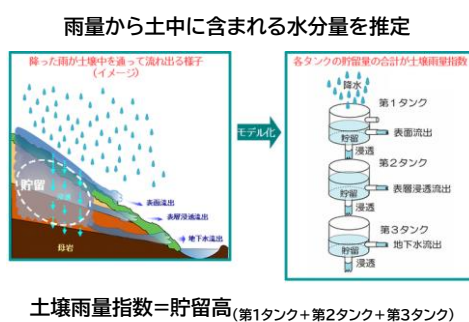


図1 土壌雨量指数の概念図²⁾

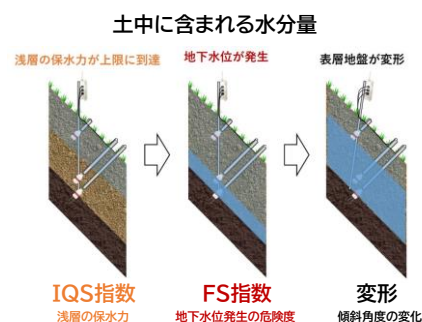


図2 現地観測データに基づく斜面の健全度診断手法

指数自体に物理的な意味はなく、履歴順位と組み合わせることによって、格子ごとの土砂災害の発生危険度を評価できるという特徴をもつ。図2は、体積含水率の深度方向の変化をIQS指数、FS指数、変形を傾斜角度の変化で表すことによって、降雨時の斜面の健全度をリアルタイムに評価する手法を示している。IQS指数¹⁾とは、時々刻々変化する降雨強度に対する不安定土層の保水力の上限値を1.0とする無次元値、FS指数³⁾は不安定土層と基盤層との境界面で発生する地下水位の発生に伴う飽和度の上限値を1.0とする無次元値をそれぞれ表している。ここで、土壌雨量指数の考え方はIQS指数とFS指数の総和と理屈の上では整合性があり、両者に相関性がみられれば、雨量情報のみから現地観測データに基づく斜面の健全度を評価できる可能性がある。

3. IQS・FS指数を用いた現地斜面の健全度評価

図3は西日本高速道路リアルタイム観測網(newron®)の一環として、高速道路沿いのり面構造物に設置した各センサとLPWA子機の設置概要を示している。のり面の地質は風化花崗岩で、表層1m程度はマサ化している。土壌水分計は簡易動的コーン貫入試験結果を基に深度0.7m~0.9m付近のNd<12を境界層とし、のり尻と中腹に設置した。設置深度は両地点とも深度0.3, 0.8, 1.0mである。斜面の動きを検出する傾斜計はLPWA子機に内蔵されて

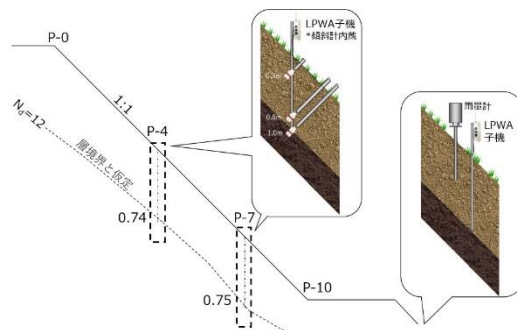


図3 設置概要

キーワード 斜面崩壊, 体積含水率, 土壌雨量指数, 土中水分計

連絡先 〒565-0871 吹田市山田丘2-1 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 TEL:06-6879-7346

いる。雨量計は同のり面の下段に設置した。図4は2021/1/1～2021/12/31の法尻各深度の体積含水率の経時変化を示している。同図より、降雨に応じて各深度の体積含水率が変動しているが、特に浅部である0.3mの反応が大きい。一方、降雨強度の強いイベントでの体積含水率の上昇幅に着目すると、0.3mよりも0.8mの方が上昇幅が大きい。特に8月の豪雨時には深度1.0mにおいても上昇幅が大きいことから、浸潤前線の停滞によって一時的に水位が発生している可能性が示唆される。

そこでこの観測データを基に、式(1)、(2)によってIQS指数、FS指数を求める。

$$\overline{IQS} = \theta / \theta_{IQS} \quad (1), \quad \overline{FS} = \theta / \theta_{FS} \quad (2)$$

ここで、 \overline{IQS} はIQS指数、 \overline{FS} はFS指数、 θ は体積含水率の観測値、 θ_{IQS} 、 θ_{FS} は表1に示す通りである。本研究では簡便性を考慮し、IQS指数は観測データから直接求める手法を採用し、FS指数は深度0.8mで採取した不攪乱試料の間隙率から求めた。図5は観測期間中のIQS指数、FS指数および傾斜計の経時変化を示した図である。この図より、期間中に複数回IQS指数が1.0に到達したことが確認できる。8月の豪雨時にはFS指数が1.0を超えたことから、深度0.8m付近に一時的に水位が発生したことがわかるが、この間の傾斜計に動きは見られなかった。

4. 観測データに基づく土壌雨量指数を用いた斜面の健全度診断手法

図6は出水期にあたる6/1～10/31の土壌雨量指数と斜面の健全度指標の関係を示した図である。ここで健全度指標は、2章の考え方を基に図5に示すIQS指数とFS指数の総和で求まる。また、IQS指数、FS指数の基準値がそれぞれ1.0であることから、健全度指標の基準値は2.0となる。同時より、土壌雨量指数と健全度指標には正の相関($R=0.74$)が見られることが確認された。そこで本研究では最初の試みとして、線形近似によって式(3)に示す、土壌雨量指数から健全度指標を求める式を提案する。

$$\text{健全度指標} = 0.0032 \times \text{土壌雨量指数} + 1.4321 \quad (3)$$

図7は土壌雨量指数から算出した健全度指標を示している。同図より、例えば2.0を基準値とすることで8月の地下水位発生を捉えられており、図5に示すIQS指数、FS指数を用いた指標と同様の評価が可能であることが確認された。

5. まとめ

本研究では土壌雨量指数を用いて降雨時の個々の斜面の健全度をリアルタイムに診断する手法について検討を行った。その結果、提案した健全度指標と土壌雨量指数には相関があり、この関係性を求めることで、雨量データのみから現地観測データに基づく斜面の健全度を評価できる可能性が示された。

参考文献:1)小泉吾ら: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. 2)気象庁 HP <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/bosai/dojoshisu.html>. 3) Komatsu, M. etc. K.: A validation of shallow slope failure monitoring method based on the field soil moisture observations, 10th Int. Conf. on Geotechnique, Construction Materials and Environment, 2020.

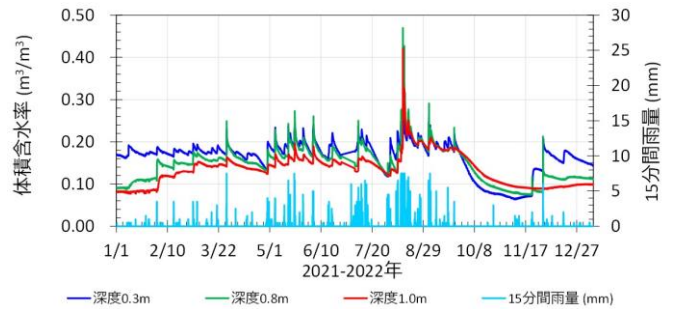


図4 法尻の体積含水率と雨量の経時変化

表1 法尻における θ_{IQS} 、 θ_{FS}

θ_{IQS} (法尻_深度0.3m)	θ_{FS} (法尻_深度0.8m)
$\theta_{IQS} = 0.032LN(RI) + 0.2022$, if $3.5 \leq RI$, 0.243, otherwise.	$\theta_{FS} = 0.349$

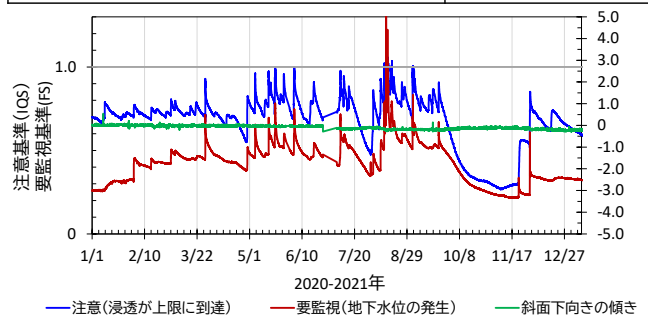


図5 IQS・FS指数を用いたリアルタイム健全度評価

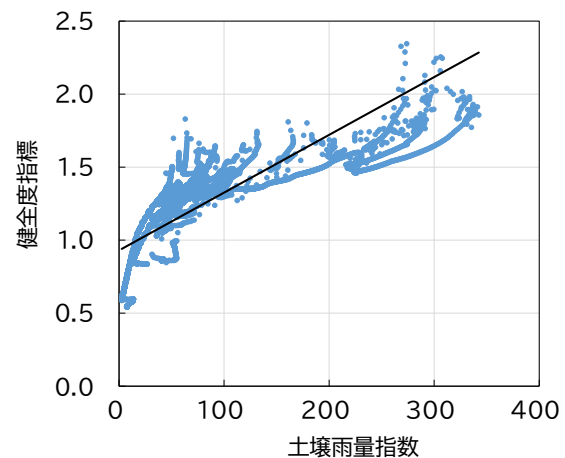


図6 土壌雨量指数と健全度指標の関係

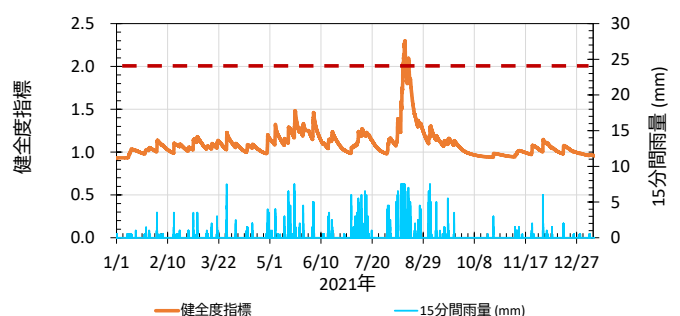


図7 土壌雨量指数から算出した健全度指標の経時変化