

土壌水分量指数の斜面監視システムへの実装に関する研究

藤本将光*・林祐妃**・岸田潔***

1. 研究の目的

豪雨時の崩壊の危険性の高い国道の通行止めの規制は連続雨量を基準として行われてきたため、降雨が地面に浸透する特性に応じた規制ができていないのが現状である。山間地の土砂災害に対する警報の発令は土壌雨量指数を用いている。土壌雨量指数は雨量データをインプットし土中の水分状況を表す。土壌の特性は花崗岩質土壌を対象としてパラメータを決定することで代表させてきた。しかし、日本は多種多様な地形、地質構造、土質・岩質を持つ山地で崩壊が起きており、このような複雑な自然に対応したきめ細やかな対策に適応できていないのが現状である。従って、多様な自然条件に合った土壌雨量指数の算定方法を構築することが必要である。

元来¹⁾土壌雨量指数は花崗岩質の流域でのハイドログラフを元にパラメータが決定された。近年、土壌雨量指数は土壌中の貯留量推定値と同様の値となることが示された²⁾。従って、土壌中に貯留されている水分量である体積含水率は土壌雨量指数を表すと仮定することができると考えた。そこで本研究では、チャート質土壌で体積含水率のモニタリング調査を行い、土壌雨量指数と比較することで、花崗岩とは土質の異なる土壌でパラメータの値を提案することを目的とした。

2. 研究の方法

本研究は近畿地方整備局京都国道事務所管轄内における国道9号線京丹波町蒲生交差点～京都市間の法面の観音峠にて行った。観音峠は崩壊した経歴があり再び災害が起きる危険性が高いため、雨量情報を基準に規制をかけて通行規制区間の対象となっている。基岩はチャート質土壌であった。植生は草地になっており、樹木は生えていなかった。斜面下部からK2とK3とプロットを設けさらに深さ30cm, 60cmで体積含水率の測定を行った(図-1)。

体積含水率はTDR (Time Domain Reflectometry) 式土壌水分計 CS655 (Campbell 社) を用いて10分間毎に計測した。

降雨データは国土交通省の水文水質データベースを利用した。

土壌雨量指数は図-1に示した直列三段タンクモデルで表される。最上タンクの第一タンクは横に α_1 と α_2 の二つの流出孔があり、高さはそれぞれ L_1, L_2 となっている。また、底に浸透流出孔があり浸透係数は β_1 となっている。第二タンク、第三タンクのパラメータも同じく図に示した通りである。そして、それぞれのタンクの貯留高が S_1, S_2, S_3 であり、これらの三つの貯留高の和が土壌雨量指数 (Soil Water Index: SWI) である¹⁾。

体積含水率 θ (%)を土壌雨量指数(mm)と比較するとき、次の様な計算を行った。

$$s = \theta \div n = \frac{V_w}{V} \div \frac{V_a}{V} = \frac{V_w}{V_a} \quad (1)$$

ここで順に、 s は飽和度、 n は空隙率、 V は土壌の全体積、 V_w は体積当たりの水分の体積、 V_a は体積当たりの空隙率を示している。つまり、 s は粒子が形成する土壌構造のどの高さまで水分が含まれているかを表すため、土壌雨量指数と同じ水高さの値とすることができると仮定した。 n の値

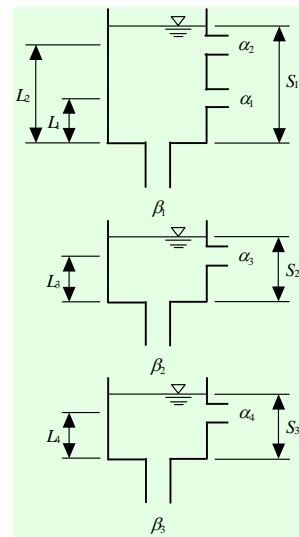


図-1 直列三段タンクモデルの概念図

*立命館大学・准教授, **立命館大学・補助研究員, ***京都大学大学院・教授

は、プロット K2 と K3 順に、53.159%と 53.437%であった。

飽和度に対して、タンクモデルの S1 の値をパラメータを変化させることで最適化を行った。フィッティングは Excel のソルバー機能を用いた。

3. 得られた成果

タンク 1 のパラメータを変化させることで、飽和度に S1 の値をフィッティングした結果を図-2 に示した。K2 の両深度とも振幅が上手く再現することができた。RMSE の値も小さかった(表-1)。しかし、飽和度がピークを見せる時は S1 は過大な値であり、飽和度が低い時は S1 が過少に評価されている。土壤雨量指数を用いて規制を発令するにあたって、大きな降雨を過小評価する事は土砂災害を見逃してしまう危険が伴うが、過大評価する場合はその点安心ではないかと考えられる。K3 も概ね飽和度を再現できた(表-1)。表-1 に最適化を行ったタンク 1 のパラメータを示す。K3-60cm の α_1 は従来の花崗岩の値より 10 倍大きかったが、ほかの地点では二桁小さかった。 α_2 は従来の値の 20 倍となりおよそ 3 の値になった。 L_1 は花崗岩の時は 15 であったが 45 前後の値となった。 L_2 は花崗岩の値と大差なかった。 β_1 は 500 分の 1 の値となりかなり小さな値であった。

4. 謝辞

本研究は新都市社会技術融合創造研究会「土壌水分を考慮した斜面監視システムの実装」プロジェクトにおいて実施したものである。ご協力を頂いた関係者の方々に謝意を表します。

表-1 最適化を行って求めたタンク 1 のパラメータの値と従来の花崗岩の場合のパラメータ。フィッティングした時の RMSE。

Plot	Depth(cm)	α_1 (1/hr)	α_2 (1/hr)	L1(mm)	L2(mm)	β_1 (1/hr)	RMSE
K2	30	0.01	2.90	51.1	60.9	0.00040	1.90
K2	60	0.05	3.00	52.0	60.9	0.00047	1.67
K3	30	0.01	3.00	45.0	51.3	0.00062	1.83
K3	60	0.99	2.60	42.0	56.5	0.00058	1.75
花崗岩		0.1	0.15	15	60	0.12	

発表論文

現地モニタリングに基づく土壌雨量指数の妥当性の検討, *Kansai Geo-Symposium 2021*, 投稿中

参考文献

- 1) Ishihara, Y. and S. Kobatake (1979) : Runoff Model for Flood Forecasting, Bulletin of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Vol.27, pp. 27-431
- 2) 小林秀平・横尾善之, (2014) 土壌雨量指数と流域スケールの雨水貯留量の推定値との関係, 土木学会論文集 B11, Vol. 70, No. 4, I_349-I354

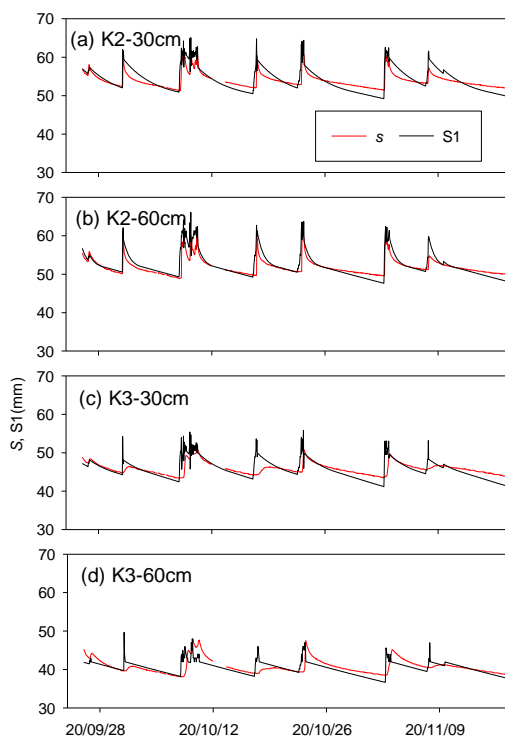


図-2 飽和度とパラメータの値を最適化して求めた貯留高 S1 の計算値の時系列