

不飽和度の計測データに基づく雨量指数の検証とタンクモデルの適用

日本道路公団

松山裕幸

地域 地盤 環境 研究所 福田光治, 池田勇司

藤原照幸

1. まえがき

降雨に伴う斜面崩壊の研究では雨量指数と崩壊確率を関係させている例が多い¹⁾。斜面の降雨による緩み状態を単一あるいは複数の雨量指数でいかに表現するかが課題であると考えられる。一方表層からの降雨浸透を直接的な対象とした飽和・不飽和浸透流解析と斜面安定解析を結合させた基礎的研究も蓄積されてきている²⁾。本論文では斜面内飽和度の計測データを基準にして単一の雨量指数による表層斜面飽和度の推定精度を分析した結果を示す。また降雨後の飽和度の減少過程に着目すれば、単一雨量指数による推定結果に比べタンクモデルが有効に適用できることを示す。

2. 切土斜面飽和度の測定

図-1の模式図に示すように切土斜面の20, 40, 80cmの深度にADRを設置して飽和度を測定した。地下水位はさらに下方に存在している。図-2は日降雨量と各深度の飽和度の経時変化を示している。図より斜面表層の飽和度は降雨に敏感に対応しながら変化していることがわかる。また冬季の湯水期の飽和度は上昇、あるいは高飽和度で一定に近い傾向を示していることが特徴である。このうち本論文では降雨量と飽和度の関係に着目する。雨量指数として連続雨量、実効雨量を取り上げ、これらの雨量指数から推定した飽和度と斜面内飽和度の合致度によって雨量指数の推定因子としての評価を行う。

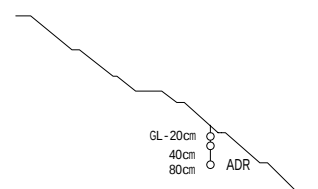


図-1 計器設置模式図

3. 連続雨量と斜面内飽和度

本論文では斜面の降雨による緩みの表現に飽和度を使用した。深度20cmに設置したADR水分計から求めた飽和度の経時変化に対して連続雨量を用いて推定した結果である。ここに連続雨量は2mm/hr以下の降雨量が6時間継続するとリセットするものとして求めた。連続雨量による飽和度の推定には式(1)を用いた。

$$S_t = S_{r0} + R \times C \quad (1)$$

ここに S_t : 飽和度(%), S_{r0} : 基準飽和度(%), R : 連続雨量(mm), C : 係数である。 $S_{r0}=90(\%)$, $C=0.2$ を用いて推定したのが図-3である。式(1)の右辺係数0.2は推定値が計測データのピーク値が視覚的にあうように設定した。この図より連続雨量から推定した飽和度は、飽和度の上昇過程、ピーク位置は概略推定することができるが、減少過程の推定値は急激に低下する。このことから増加関数である連続雨量を用いて飽和度の減衰過程を表現することは困難であることが分かる。特に連続雨量はあらかじめ決められた無降雨条件を満たすとリセットされ、最大値から一挙にゼロになるために減衰過程の評価はできない。従って長期間に複数のパターンの降雨列が続く実際の現象に対しては先行雨量による影響がまったく消失してしまわない限りリセットを伴う連続雨量によって斜面内の湿潤条件を表現することは困難であることがわかる。

4. 実効雨量と土中飽和度

実効雨量は半減期6時間として計算した。図-4は推定結果を示している。実行雨量による飽和度の推定は式(2)を用い

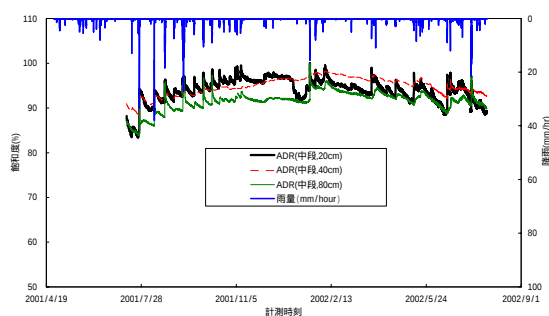


図-2 表層斜面飽和度と降雨

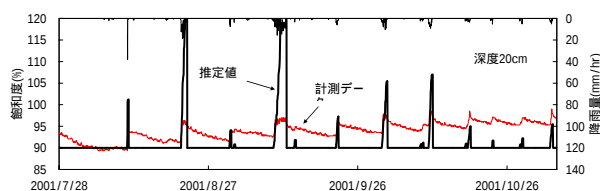


図-3 連続雨量による斜面飽和度の推定

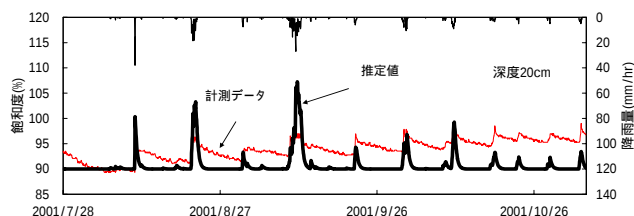


図-4 実効雨量による斜面飽和度の推定

キーワード：切土斜面，飽和度，降雨，雨量指数，タンクモデル

連絡先：大阪市西区立売堀4丁目3番2号 TEL：06-6539-2971 FAX：06-6578-6560

た。

$$S_r = S_{r0} + r_e \times C \quad (2)$$

ここに r_e ：実効雨量(mm/hr)である。図では $S_{r0}=90(\%)$ 、 $C=0.2$ を用いた。式(2)でも視覚的に推定値が計測値に適合するように設定したが、結果的にはピーク値を調整することによって係数を決めた。実効雨量による推定結果は飽和度の上昇開始・上昇速度・ピーク時期に関しては概略観測データに対応しているが、飽和度の減少過程に関しては連続雨量による推定結果に比べてやや緩やかな傾向を示しているものの、基本的な減少モードは連続雨量の式(1)に類似しており観測データに比べて早い減少速さを示している。従って観測データを基準にする限り、斜面内水分状態を連続雨量や実効雨量で表現することは困難であることが分かる。

5. タンクモデルによる斜面内飽和度の推定

飽和度の減少過程を表現することを目的にしてタンクモデルを適用した。図-5に示す3連結のタンクモデルを用いて観測データの経時変化を説明できるパラメータを探索的に求めた。図-6はタンクモデルの第2タンクの貯留水深を用いて式(3)により推定した飽和度と観測データを比較したものである。

$$S_r = S_{r0} + D_2 \times C \quad (3)$$

ここに D_2 ：第2タンクの貯留水深(mm)である。式(3)の右辺係数0.15は推定値と計測値の視覚的な適合度を見ながら決めた。深度20cmの観測データに対して以下のパラメータを用いて推定した。

$L_1=40\text{mm}$ 、 $L_2=60\text{mm}$ 、 $L_3=60\text{mm}$ 、 $L_4=15\text{mm}$ 、 $r_1=0.9$ 、 $r_2=0.9$ 、 $r_3=0.9$ 、 $f_1=0.005$ 、 $f_2=0.0001$ 、 $f_3=0.01$ 、 $f_4=0.01$ 、 $S_{r0}=90(\%)$ 、 $C=0.15$

図より飽和度の立ち上がり時期、上昇速度、ピーク時期に加えて減少傾向をよく表現している。従ってタンクモデルによる土中水のモード表現は連続雨量、実行雨量を用いた結果に比べて推定精度は高く、先行降雨の影響や減少傾向を表現することができることがわかる。しかし、数段のタンクを重ねることによって各段のタンク貯留水深と20、40、80cmの飽和度を対応させるを試みたが困難であった。つまりひとつの深度の計器に対して、ひとつのタンクモデルを適用しなければ高い精度の評価は困難であるという結果を得た。

図-7はマサ土斜面の飽和度を推定したものである。以下に使用したパラメータを示す。 $L_1=15\text{mm}$ 、 $L_2=60\text{mm}$ 、 $L_3=20\text{mm}$ 、 $L_4=15\text{mm}$ 、 $r_1=0.3$ 、 $r_2=0.01$ 、 $r_3=0.01$ 、 $f_1=0.10$ 、 $f_2=0.05$ 、 $f_3=0.01$ 、 $f_4=0.01$ 、 $S_{r0}=13(\%)$ 、 $C=0.9$

図-8はレキ質土斜面の飽和度を推定したものである。

$L_1=15\text{mm}$ 、 $L_2=60\text{mm}$ 、 $L_3=20\text{mm}$ 、 $L_4=15\text{mm}$ 、 $r_1=0.3$ 、 $r_2=0.01$ 、 $r_3=0.01$ 、 $f_1=0.10$ 、 $f_2=0.05$ 、 $f_3=0.01$ 、 $f_4=0.01$ 、 $S_{r0}=65(\%)$ 、 $C=0.4$ を用いた。

6. 結論

本研究では斜面飽和度を対象に降雨時の斜面安定管理に使用されている雨量指数の意味を検討した。この結果連続雨量、実効雨量は斜面内飽和度の降雨に伴う上昇とピーク現象は降雨から推定できることを示した。しかし飽和度の減少過程では連続雨量、実効雨量による推定結果は計測データに比べ早く低減する傾向になることがわかった。複数の降雨列に伴う斜面安定性の評価には前降雨による影響を評価することが重要である。タンクモデルを関東ローム、マサ土及びレキ質土斜面に適用した。この結果ピークの発生時期と振幅ばかりでなく、減少過程も高い精度で推定できることが分かった。

(参考文献)

- 1) 杉井俊夫・山田公夫・宇野尚雄：崩壊確率を用いた斜面の有効雨量の評価，土木学会第51回学術講演概要集，-A，pp.416-417，1996。
- 2) 松山裕幸：降雨ハザードに対する切土のり面管理支援システムに関する研究，京都大学学位論文，pp.94-95，2005

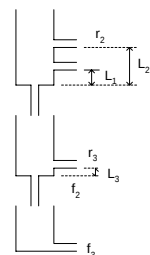


図-5 タンクモデル

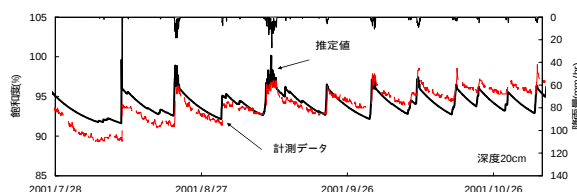


図-6 タンクモデルによる関東ローム斜面の飽和度推定

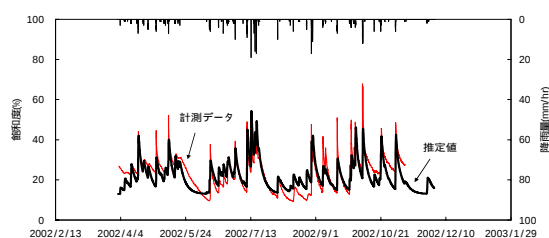


図-7 タンクモデルによるマサ土斜面の飽和度推定

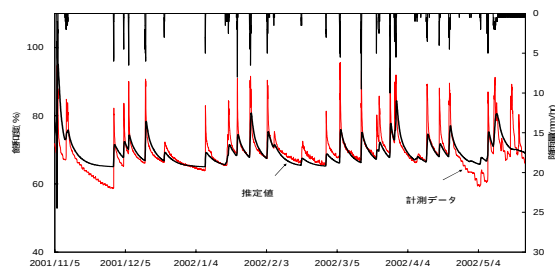


図-8 タンクモデルによるレキ質土斜面の飽和度推定