

16 土 壌 水 分 の 変 化 と 湧 水 量 の 関 係

— 表 層 崩 壊 跡 地 に お け る 一 測 定 —

名古屋大学農学部 田中隆文

1, はじめに

表層崩壊跡地にはしばしば湧水地点が認められ、また浸透水の集中が表層崩壊のひきがねになっていると指摘されることは多い。しかしながら、湧出する水分は斜面表層中のどこからどのような状態で供給されているのかについては十分解明されていない。このような斜面表層中の水の動きを解明するための研究の一部として、筆者は表層崩壊跡地における湧水量と湧水地点上方の土壌水分の変化を観測している。本報告では、約半年間の連続観測値を解析した結果、明らかになった不飽和状態の土壌水分のポテンシャルと湧水量の関係について述べる。

2, 観測の概要

2. 1, 崩壊跡地の概要

対象とした表層崩壊跡地は名古屋大学稲武演習林内に位置し、1985年6月30日頃に崩壊した。その規模は幅5.0～5.3m、長さ4.8～5.3m、最大崩壊深は約1.0mである。同一箇所でも過去2回崩壊したことが確認されている。崩壊前の湧水地点の有無は確認していない。崩壊が発見されたのは1985年7月3日であるが、それ以降同年8月8日まで崩壊跡地の中央部で湧水が継続し、以降断続的に湧水が認められた。

現場は領家帯に属する黒雲母花崗岩の風化地帯の北向き斜面で、傾斜は約36度、植生は旧崩壊の山腹工事による灌木混じりの雑草地であり、その周囲は約28年生のヒノキ・スギ人工林である。土壌厚さは2m以上あるが、湧水地点直下部には基岩が露出しているところもある。

2. 2, 観測方法

湧水量は、1985年7月17日に湧水地点に径約50mmのパイプを挿入し転倒マス(150cc/1打点)に導いて自記記録した。

土壌水分は、4台のテンシオメーター(T1～T4)を崩壊地外上方2ヶ所の約100cm深(T1, T3)と約200cm深(T2, T4)に設置し自記記録した(図-1)。T1とT2, T3とT4はそれぞれほぼ同一鉛直線上にある。本報告では土壌水分状態を圧力ポテンシャル値 Ψ で表す。圧力ポテンシャルはサクシオンまたは吸引圧とも呼ばれ、値が大きいくほど土壌は乾いており、値が0のときは土壌は飽和状態にある。湧水地点のパイプ挿入位置を位置ポテンシャルの基準点とすれば各テンシオメーター受感部の位置ポテンシャルは、T1が535cm, T2が422cm, T3が365cm, T4が266cmとなる。

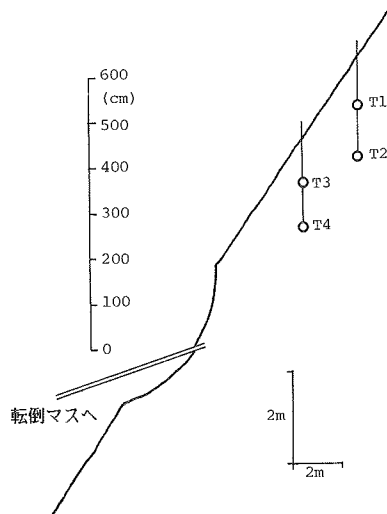


図-1 観測の概要

3, 結果と考察

3. 1, 各測定値の日変化について

1986年5月から11月までの各観測結果を日単位で図-2に示す。

雨量と湧水は、日界午前0時の日雨量（mm/日）、日湧水量（リットル/日）であり、土壌水分の圧力ポテンシャルは午前0時の値（cmH₂O）である。グラフが途切れているところは欠測である。

5月から7月では日雨量に対応して日湧水量が増加しているが、8月はほぼ減水のみで、9月から11月では湧水はほとんどみられない。

深さ100cmの土壌の圧力ポテンシャルの観測値（ Ψ_{T1} と Ψ_{T3} ）は、深さ200cmの値（ Ψ_{T2} と Ψ_{T4} ）に比

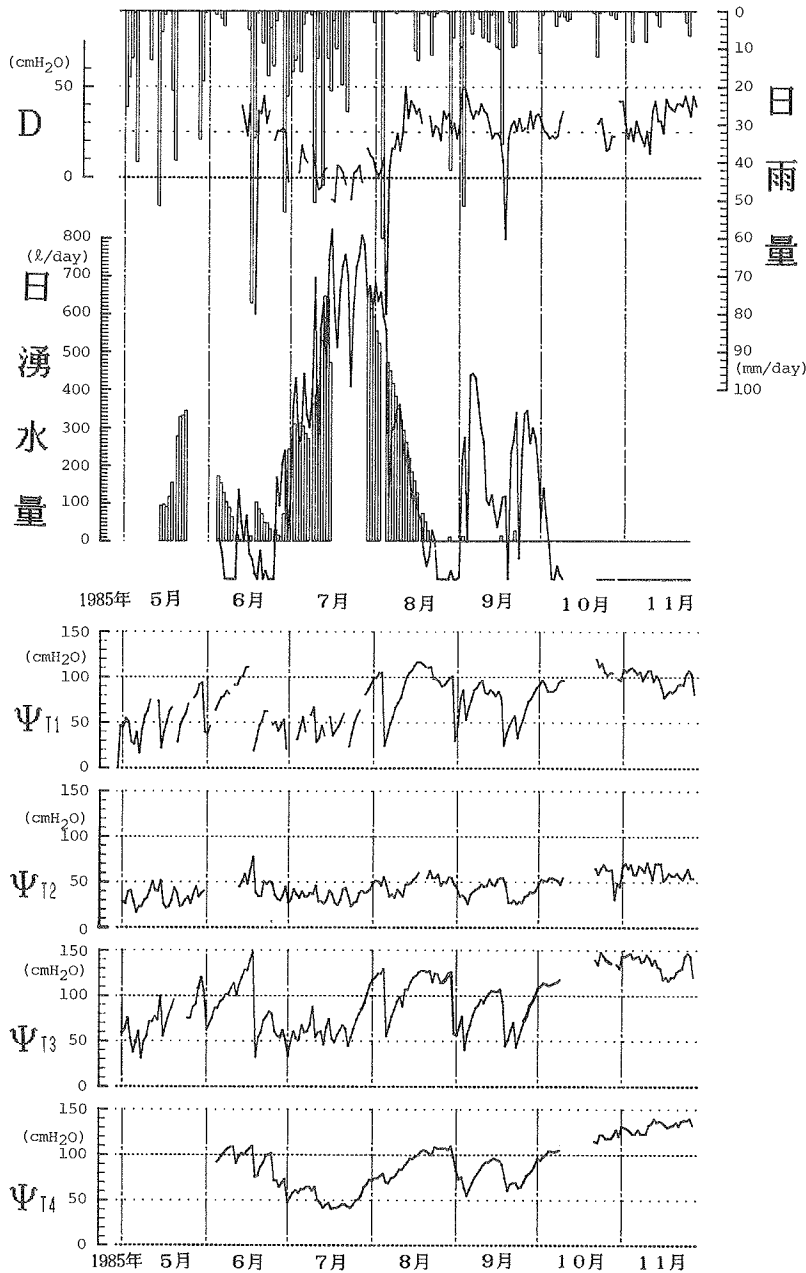


図-2 雨量、湧水量（実測値、推定値）、圧力ポテンシャル Ψ 、指標Dの日変化

べ、変動が小刻みであり、変化幅も大きい。20mmほどの日雨量があれば、圧力ポテンシャルは急激に低下し、無降雨日には圧力ポテンシャルの値は増大している。深さ200cmのT2の圧力ポテンシャル Ψ_{T2} は値が低く、変化幅も小さい。

7月前半は湧水量は増加しており、各圧力ポテンシャルの値 Ψ も小さい。7月下旬には無降雨期間に対応して Ψ の値は大きくなっていくが湧水量は500(リットル/日)以上ある。9月下旬はほとんど湧水は無いが、9月上旬と下旬に各圧力ポテンシャルの値 Ψ は低くなっており、湧水量の多い7月の各 Ψ の値に近い。

Ψ_{T4} と湧水量の相関係数は $r = 0.51$ であり、T1~T3についても同様に相関は低い。全ポテンシャル Φ は(位置ポテンシャル) + (-1×圧力ポテンシャル)で求められるが、 Φ_{T3} と Φ_{T4} の差と日湧水量との相関係数は $r = 0.32$ であり、他のテンシオメーター間の全ポテンシャル差と日湧水量の相関も低い。

3. 2, 日湧水量推定の方法

T1~T4のうち湧水地点に近い Φ_{T3} と Φ_{T4} の値を用いて湧水量の推定を試みた。図-3は、湧水のあった日(欠測日を除いた総日数61日)のみを対象として、横軸に Φ_{T3} を、縦軸に Φ_{T4} をとり、日湧水量(圧力ポテンシャル測定時の過去24時間の湧水量)を円の半径として示したものである。T3, T4がともに湿った状態のとき(Φ_{T3} , Φ_{T4} が大きいとき)は、図の右上にプロットされ、T3, T4がともに乾いた状態のとき(Φ_{T3} , Φ_{T4} が低いとき)は、図の左下にプロットされる。

Φ_{T4} が大きいときは湧水量は多くなる傾向があるが、 Φ_{T4} のそれぞれの値に対しては Φ_{T3} の値が小さいほど湧水量が多いことがわかる。

全ポテンシャル差は図-3の左上ほど小さく右下ほど大きい。今回観測された値の範囲では、左上ほど湧水量が多く右下ほど少ない傾向がある。このことに着目し、互いに等しい湧水量のプロット点を結んだ線(湧水量の等値線)を描けば、 Φ_{T3} と Φ_{T4} の値から等値線の値を読み取ることにより湧水量が推定できる。本報告では便宜的に等値線を次式で表される双曲線で描いた。Bはパラメーターである。

$$\Phi_{T4} = \frac{4000}{(\Phi_{T3} - B)} + (905 - 2 \times B) \quad \text{①}$$

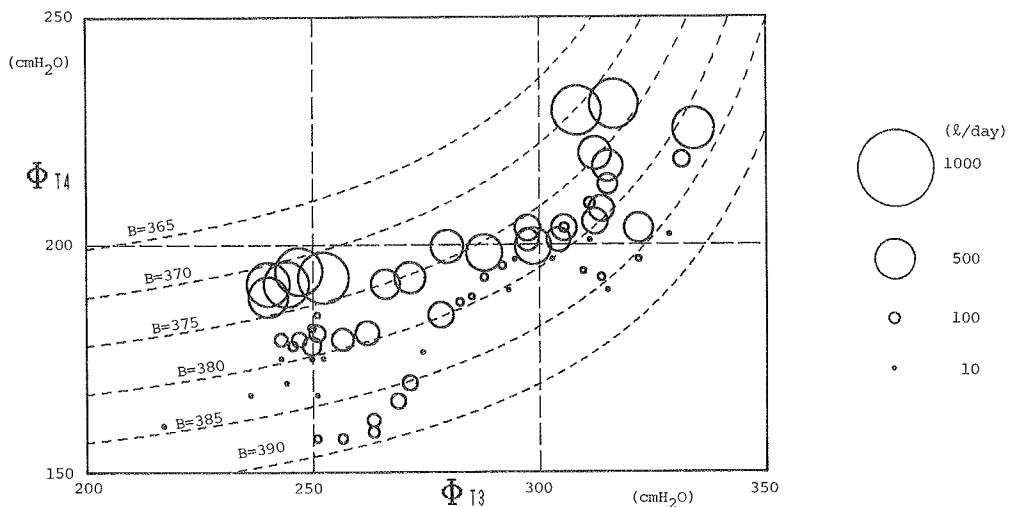


図-3 全ポテンシャル Φ_{T3} , Φ_{T4} と日湧水量の関係
円の半径は日湧水量を表す。

ϕ_{T3} , ϕ_{T4} の実測値を①式に代入して決定したパラメーターBの値から次式により得られる値Q (リットル/日)を日湧水量推定値とした。

$$Q = -60 \times B + 23000 \quad \text{②}$$

湧水のあった61日間の日湧水量の実測値と推定値の相関は $r = 0.66$ であるが、日湧水量実測値が60 (リットル/日)以上の41日間については日湧水量の実測値と推定値の相関は $r = 0.73$ となりやや高くなる。

3.3. 推定された日湧水量の値について

湧水の無い日も含めた全観測期間について日湧水量の推定値を求めた。その結果を図-2の実測湧水量の棒グラフに重ねた折線グラフで示す。5月は ϕ_{T4} の値が欠測のため推定できない。6月は合っていないが、7、8月については、推定値は変動が激しいものの全体として実測値の傾向とよく合っている。10月下旬と11月は推定値は負の値となるが、これは実測湧水量0に対応していると考えられる。9月は、日湧水量の推定値は400 (リットル/日)程の値となるが、実際には湧水はほとんどみられず、推定値と実測値の傾向は大きく異なる。

日湧水量の推定値は、 ϕ_{T3} と ϕ_{T4} の2つの測定値のみを用いているため、 ϕ_{T1} , ϕ_{T2} を含めた4ヶ所の測定値を用いて、実測値と推定値が大きく異なった9月の斜面の水分状態を、比較的よくあった7月の場合と比較した。次式で定義されるDの値を指標とすることにした。

$$D = -\phi_{T1} + \phi_{T2} + \phi_{T3} - \phi_{T4} \quad \text{③}$$

$$= (\phi_{T3} - \phi_{T4}) - (\phi_{T1} - \phi_{T2}) \quad \text{④}$$

$$= (\phi_{T2} - \phi_{T4}) - (\phi_{T1} - \phi_{T3}) \quad \text{⑤}$$

④式から指標Dは鉛直方向の2点の全ポテンシャル差の場所による相違量となり、⑤式から指標Dは斜面に平行な2点の全ポテンシャル差の深さによる相違量となる。4台のテンシオメーターの配置は縦断面において平行四辺形 $\square T1-T2-T4-T3$ をなすため、斜面表層内の土壌水分が一樣に流れているとき、すなわち、等全ポテンシャル線が等間隔のとき、④、⑤式で表される全ポテンシャル差の相違量は小さくなり、指標Dの値は0に近づくと考えられる。指標Dの値が大きいときは斜面表層中の土壌水分の流れは複雑であると考えられる。

観測期間中の指標Dの値の変化を図-2に折線グラフで示した。7月は指標Dの値が低い。すなわち斜面表層内の土壌水分の流れがほぼ一樣であるため ϕ_{T3} と ϕ_{T4} の関係が斜面表層全体の水分の状況をよく反映し、このため ϕ_{T3} と ϕ_{T4} のみを用いた湧水量の推定値が実測値に近いものとなったと考えられる。9月は指標Dの値が高い。すなわち斜面表層の土壌水分の流れが複雑なため、 ϕ_{T3} と ϕ_{T4} の2つの測定値の関係が斜面表層全体の水分の状況を反映していないと考えられる。このため ϕ_{T3} と ϕ_{T4} の値から湧水量が多いと推定されても斜面全体としては湧水を発生させる状況には無かったと解釈できる。

4. おわりに

湧水量と各圧力ポテンシャルの相関は低かったが、湧水がある場合には2点の圧力ポテンシャルの値を用いて日湧水量を推定することができた。湧水の有無には、斜面全体の土壌水分の流れが一樣であるかどうかに関係していることが示唆された。

最後に本研究をおこなうにあたって様々な御便宜を計って頂いた名古屋大学稲武演習林の皆様と名古屋大学治山工学研究室の皆様にご厚意を表す。