

# バルク法における蒸発効率 $\beta$ の算定方法に関する検討

鹿児島大学 学生会員 森岩 寛稀  
鹿児島大学大学院 正会員 酒匂 一成

## 1. はじめに

降雨時の土砂災害に対する避難勧告や交通規制などの解除には明確な基準がなく、管理者にとって解除のタイミングは非常に難しいとされている。

酒匂ら<sup>1)</sup>は、降雨時に表層すべり型崩壊に対して、斜面内の水分変動に着目した現地モニタリングと数値シミュレーション(飽和・不飽和浸透解析+斜面安定解析)による斜面防災システムの確立に取り組んでいる。この手法において、降雨後の斜面内の水分変動を計測、数値シミュレーションすることにより、規制解除に必要な情報を示すことが可能であると考えている。その中で重要となるのが、降雨後の斜面表層からの蒸発量の現地モニタリングである。そこで、一般的な気象観測データから蒸発量の推定を行うことのできるバルク法<sup>2)</sup>を用いることにした。しかし、バルク法で用いられる蒸発効率 $\beta$ は表層土の体積含水率や間隙径などに影響される<sup>3)</sup>。そこで、本研究では、蒸発効率 $\beta$ の算定方法について検証した。

## 2. 蒸発効率 $\beta$ の算定方法

### 2.1 バルク式の概要

単位面積当たりの蒸発量 $[kg/(m^2 \cdot s)]$ を表すバルク式を次式に表す。

$$E = \rho \times g_a \times \beta \times [q_{SAT} - q_a] \quad (1)$$

その他、式(1)に用いられている変数を表-1に示す。

バルク法を用いる際、未知パラメータ(交換速度 $g_a$ と

表-1 バルク式に用いる変数

| 変数                    | 観測データ                 |
|-----------------------|-----------------------|
| 空気密度 $\rho[kg/m^3]$   | $P$ : 気圧 $[hPa]$      |
|                       | $T$ : 気温 $[^\circ C]$ |
|                       | $H_u$ : 相対湿度 $[%]$    |
| 飽和比湿 $q_{SAT}[kg/kg]$ | $P$ : 気圧 $[hPa]$      |
|                       | $T$ : 気温 $[^\circ C]$ |
| 比湿 $q_a[kg/kg]$       | $P$ : 気圧 $[hPa]$      |
|                       | $T$ : 気温 $[^\circ C]$ |
|                       | $H_u$ : 相対湿度 $[%]$    |
| 交換速度 $g_a[m/s]$       | 気象観測から直接算定不可          |
| 蒸発効率 $\beta$ $[-]$    | 気象観測から直接算定不可          |

蒸発効率 $\beta$ )を事前に求めておく必要があるが、1 高度の気象観測データで蒸発量を求めることができる。蒸発効率 $\beta$ は地表面からの蒸発のしやすさを表すパラメータであり、土の飽和度に対して 0~1 の値をとる。飽和度  $Sr=0\%$  の時は $\beta=0$ 、飽和度  $Sr=100\%$  の時は $\beta=1$ をとる。

### 2.2 実験概要

図-1 に交換速度 $g_a$ と蒸発効率 $\beta$ の算定フローを示す。

まず、気象観測と水槽実験で得られた結果より水面における交換速度 $g_{a,water}$ を算出し、土の表面からの交換速度 $g_{a,soil}$ に補正する。また、土槽試験で得られた結果と求めた交換速度 $g_{a,soil}$ より蒸発効率 $\beta$ を求める。実験の全体図を図-2に示す。

試料として豊浦砂を用い、内径 15.5cm、外径 16.5cm、高さ 2cm の塩化ビニール製円筒容器を間隙比 0.785 になるように締固めた。水槽と土槽の表面に熱電対、土槽の表面から 1cm の深さに熱電対と土壌水分計を設置した。

体積含水率と蒸発効率の関係を求めるため、表-2に示すように初期の体積含水率として飽和度 10, 20, 40, 60, 80%に相当する5ケースの体積含水率を設定し、複数回実験を行った。

計測間隔は 15 分とし、計測開始後 1200 分(約 1 日)経過したときに実験を終了とした。

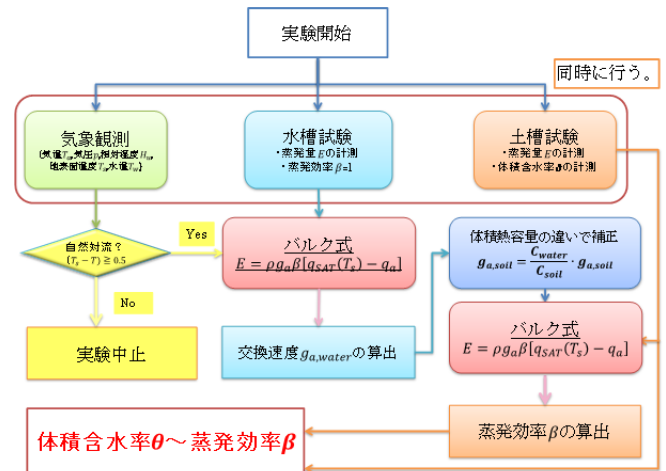


図-1 交換速度 $g_a$ と蒸発効率 $\beta$ の算定フロー

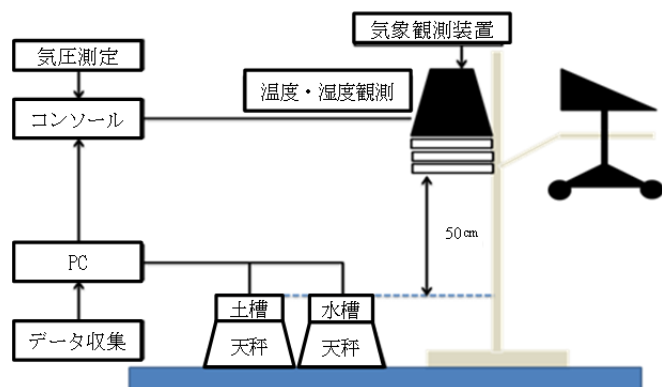


図-2 実験の全体図

## 2.3 実験結果

図-3に初期飽和度60%相当の実験における蒸発効率と土壌水分計から得られた体積含水率の時間変化を示す。図-3より、体積含水率の低下とともに、蒸発効率も低下していることが分かる。各初期体積含水率について、同様な結果が得られた。これまでは、1時間ごとの蒸発効率の平均値と初期体積含水率の関係について整理していた。しかし、試験時間が経過するとともに表面が蒸発し、土の体積含水率と蒸発効率が変わるため、算定値のばらつきが大きくなった。そこで、本論文では、体積含水率と蒸発効率の関係をどのように求めるかについて検討した。

## 3. 蒸発効率 $\beta$ 算定方法の検討

図-4に本試験から得られた体積含水率と蒸発効率の関係を示す。本論文では、以下に示す3つの方法で算定した。

方法1) 蒸発効率を1時間ごとに算定する方法。(初期体積含水率が5%低下するまでを考慮した)

方法2) 各時間における体積含水率の計測値と蒸発効率を各飽和度における体積含水率ごとに算定する方法。

方法3) 初期体積含水率と計測開始直後の蒸発効率のみを考慮した方法。

今回、以上の方法で各実験から算定し、その平均値を図-4に示し、回帰曲線を記載した。

図-4より、体積含水率が増加すると蒸発効率が増加している。これは、地表面に水が多いと蒸発がしやすくなることを示している。一般に、飽和状態付近で蒸発効率 $\beta=1$ となるといわれており、今回の実験データ整理法では、方法3)が最も定性的な傾向に近い結果であることがわかる。

## 4. まとめ

既往の蒸発効率の算定方法では、結果にばらつきが

見られたため、本論文では、算定方法について検討を行った。その結果、各試験の初期の値を用いた方がより定性的な結果が得られることが分かった。今後、さらに実験結果を蓄積し、妥当性の検証を行いたい。

表-2 実験条件

| 実験   | 飽和度(%) | 体積含水率 | 実験回数(回) |
|------|--------|-------|---------|
| 水槽実験 |        |       |         |
| 土槽実験 | 10     | 0.044 | 3       |
|      | 20     | 0.088 | 4       |
|      | 40     | 0.176 | 3       |
|      | 60     | 0.264 | 6       |
|      | 80     | 0.352 | 5       |

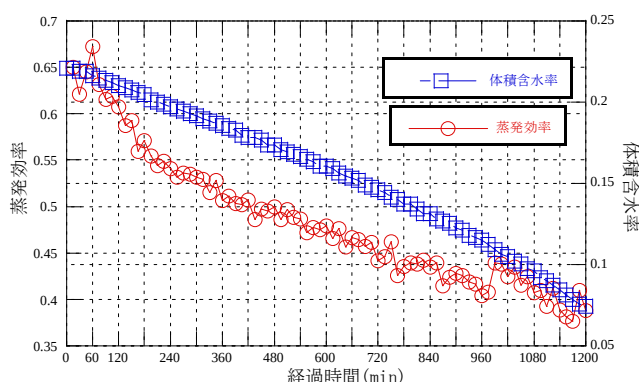


図-3 蒸発効率と体積含水率の時間変化( $S_r=60\%$ )

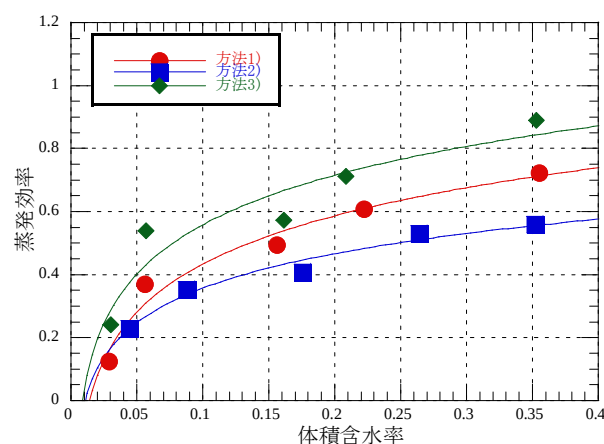


図-4 体積含水率と蒸発効率の関係

謝辞)本研究は、科研費(若手A)(24686056、酒匂)の支援を受けた。ここに、謝意を示す。

## 参考文献

- 1)酒匂一成,里見知昭,菅野智之,深川良一,安川郁夫:降雨時の斜面崩壊に対する防災システムの確立に関する研究,歴史都市防災論文集,vol.1,pp.164-174,2007.
- 2)近藤純正:水環境の気象学,朝倉書店,pp.108-109,1994.
- 3)J.Kondo,N.Saigusa and T.Sato: A parameterization of evaporation from bare soil surfaces,j.Appl.Meteor,Vol.29,pp.385-389,1990.
- 4)里見知昭,酒匂一成,吉留花江,深川良一:最表層土の水分変動を考慮したバルク法による蒸発量推定手法の改良,応用力学論文集,Vol.13,pp.525-534,2010.