

立命館大学 理工学部 学生員 ○吉留 花江
 立命館大学大学院 学生員 里見 知昭
 立命館大学 正会員 酒匂 一成
 立命館大学 理工学部 フェロー 深川 良一

1. はじめに

降雨に対する斜面災害の防災対策として、従来は降雨量に基づいた避難勧告の基準設定に重点が置かれていた。しかし、避難勧告の解除には未だに明確な基準がなく、避難勧告の指示よりも難しいと言われている。解除の基準設定について検討するため、降雨終了後の日射量や気温などの変化により地盤内の水分が蒸発し、地表面層の飽和度が低くなる現象に着目した。本論文では、蒸発量の推定方法として気温や湿度などの気象観測データから得られるバルク法¹⁾に注目する。ただし、バルク法は事前に交換速度と蒸発効率を求める必要がある。そこで、近藤ら²⁾による算定方法について室内土槽試験で検討する。

2. バルク法の概要

バルク法による蒸発量の推定式を式(1)に示す。

$$E = \rho \beta g_a (q_s - q_a) \quad (1)$$

ここに、 E ：蒸発量 [kg/m²s]、 ρ ：空気密度 [kg/m³]、 g_a ：地表面と大気間の交換速度 [m/s]、 $q_s = q_{SAT}(T_s)$ ：地表面温度 T_s に対する飽和比湿 [kg/kg]、 q_a ：ある高度での気温 T_a に対する大気の比湿 [kg/kg]、 β ：蒸発効率 [-]。空気密度や比湿は気象観測データ(気温 T_a [°C]、地表面温度 T_s [°C]、湿度 Hu [%]、気圧 P [hPa])で求めることができる。ただし、交換速度 g_a と蒸発効率 β は気象観測から直接得ることができないため、事前に求めておく必要がある。近藤ら²⁾が提案した交換速度 g_a と蒸発効率 β を求めるためのフローチャートを図-1 に示す。今回は、図-1の方法をもとに室内土槽試験を行い、交換速度 g_a と蒸発効率 β を算定し、得られた結果の妥当性を検証する。

3. 試験概要

本試験は豊浦砂を対象としており、全体図を図-2 に、カラム土槽(計測機器の設置位置)の概要を図-3 に示す。今回は、地表面からのみの熱伝導とするために、円形カラムの側面に断熱材を巻いた。また、試験条件と目的を表-1 に示す。計測間隔は10分、試験終了は土槽の飽和度が5%低下した時点とした。

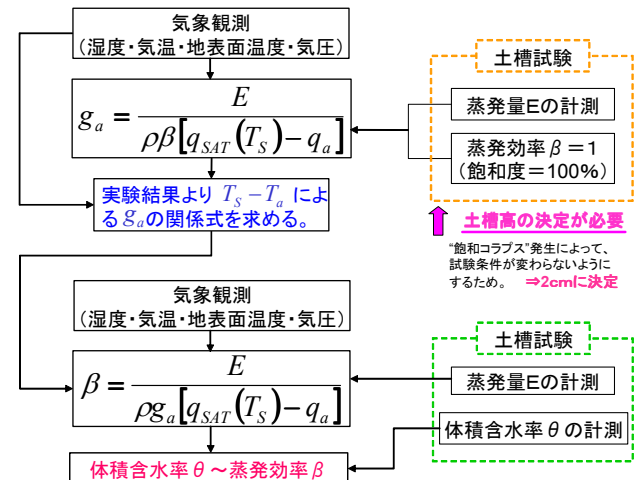


図-1 体積含水率θ～蒸発効率βを求めるためのフロー図

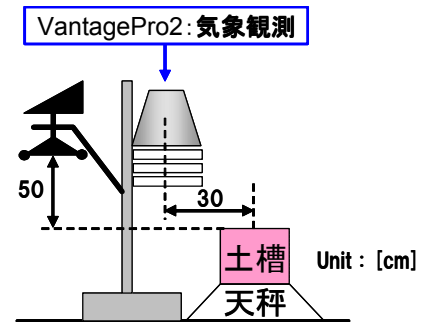


図-2 室内試験の全体図

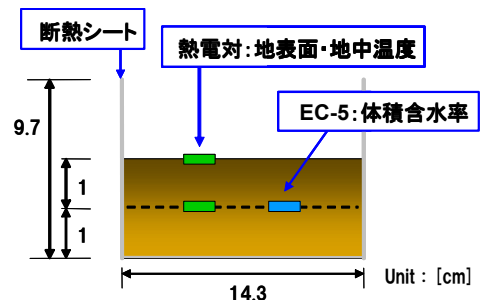


図-3 カラム土槽の概要

表-1 試験条件

	飽和度 (%)	体積含水率 θ	目的
相対密度(%) : 50 間隙比 : 0.805	100	0.446	交換速度 g_a 算定
	10	0.045	
	20	0.089	蒸発効率 β 算定
	40	0.178	
	60	0.267	
	80	0.357	

4. 交換速度の算定

交換速度 g_a は、地表面温度 T_s と気温 T_a との差（以下、温度差）の比例関係であることがわかっている¹⁾。なお、自然対流状態（ $T_s - T_a > 0.5^\circ\text{C}$ ）では、交換速度 g_a は式(2)で表される³⁾。

$$g_a = c(T_s - T_a)^{1/3} \quad (2)$$

ここに、 c ：自然対流の係数 [$\text{m/s}^\circ\text{C}^{1/3}$]。図-4 に飽和度100%の室内土槽試験結果より得られた交換速度 g_a と温度差との関係と近似式（式(3)を参照）を示す。なお、式(3)は式(2)をもとにしており、定数 0.0131 は交換速度 g_a と温度差との関係の精度向上に寄与している。

$$g_a = 0.0107(T_s - T_a)^{1/3} + 0.0131 \quad (3)$$

5. 蒸発効率の算定

図-5 に試験毎の体積含水率 θ と蒸発効率 β の結果を示す。結果より、体積含水率 θ と蒸発効率 β の関係には正の相関があることが確認でき、図-6 と同様の傾向を示していることがわかる。しかし、大きなばらつきを示している。ここで、この結果に対して考察する。本研究では、交換速度 g_a と蒸発効率 β を算定するための試験は別の日に実施しており、バルク式に用いる気象観測データが異なるため、結果にばらつきが出たと考えられる。また、式(2)の関係が保たれるのは自然対流状態のときであり、図-5 で自然対流状態を満たしているのはピンクの色の値のみである。図-7 の既往成果からも分かるように、交換速度 g_a と温度差の関係は蒸発効率 β （地表面の湿潤）の影響を受けている。したがって、交換速度 g_a を温度差のみで表すことは容易ではないと考えられる。さらに、式(3)を求めるために行った飽和度100%の試験中に、供試体内の飽和度が徐々に低下しているにもかかわらず、蒸発効率 β を常に1として扱っていることも結果のばらつきに影響を与えた可能性がある。以上より、任意の体積含水率 θ に対する蒸発効率 β の関係を得ることはできなかった。

6. まとめ

本論文では、蒸発量の推定方法のバルク法に注目し、バルク法の交換速度 g_a と蒸発効率 β の算定方法について室内土槽試験で検討した。その結果、体積含水率 θ と蒸発効率 β には正の相関関係があることは確認できたものの、大きなばらつきがあり、期待する値を得ることができなかった。したがって、今回採用した交換速度 g_a と蒸発効率 β の算定方法を改良する必要があることが確認でき、文献6)で改良方法について報告する予定である。

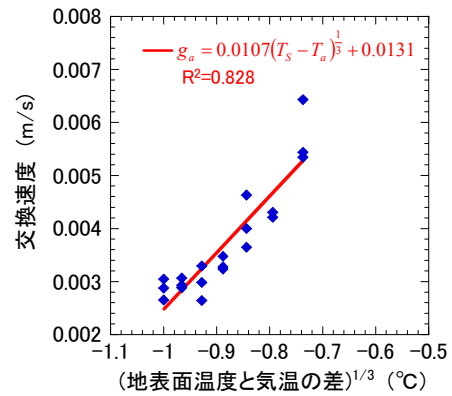


図-4 交換速度と温度差の関係

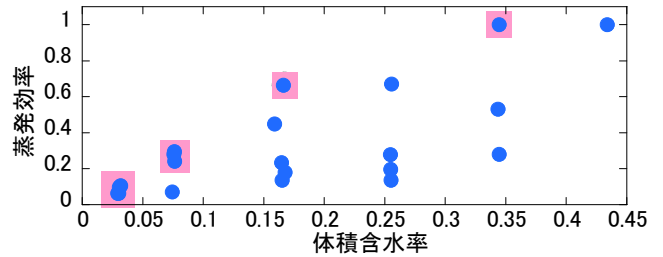


図-5 体積含水率と蒸発効率の関係

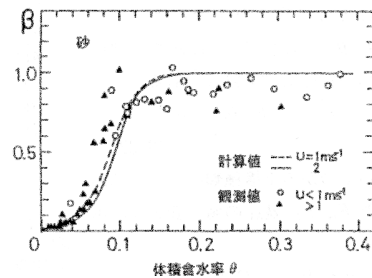


図-6 体積含水率と蒸発効率の関係（砂の場合）⁴⁾

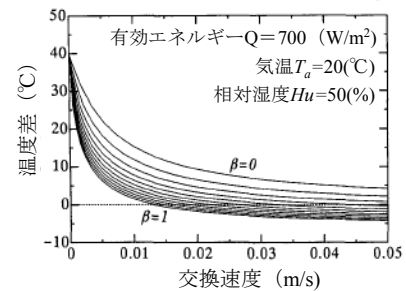


図-7 蒸発効率 β をパラメータとした温度差と交換速度との関係（文献5）に力筆修正

<参考文献>

- 1) 近藤純正：水環境の気象学，朝倉書店，pp.108-109，1994.
- 2) J. Kondo, et al.: *J. Appl. Meteor.*, Vol.29, pp.385-389, 1990.
- 3) 近藤純正：地表面に近い大気の科学，東京大学出版会，p.222, 2000.
- 4) 1) に同じ，p.198.
- 5) 1) に同じ，p.139.
- 6) 里見知昭，吉留花江，酒匂一成，深川良一：最表層土の含水量を考慮した蒸発量推定パラメータの算定手法の改良および検討，地盤工学会第45回地盤工学研究発表会概要，2010。（投稿中）