

粒度の違いが土の蒸発効率に与える影響に関する一考察

鹿児島大学工学部 学生会員 ○田西 健将
鹿児島大学大学院 学生会員 軸屋 雄太
鹿児島大学学術研究院 正会員 酒匂 一成・伊藤 真一

1. はじめに

著者らは、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）による降雨時および降雨後の表層すべり型崩壊に対する斜面防災システムの確立に取り組んでいる¹⁾。その中で、警報の解除を行う際に重要になるのが、降雨後の斜面表層からの蒸発量である。蒸発量は降雨量と同様、飽和・不飽和浸透解析等の境界条件として用られる。

本研究では、蒸発量推定方法として、一般的な気象観測データから蒸発量の推定を行うことができるバルク法²⁾に着目した。しかし、バルク法で用いられる蒸発効率 β は表層土の種類、体積含水率などに影響されると言われている。そこで、一般的な土質パラメータから蒸発効率の水分依存性を推定する数理モデルを構築することを目的に、本論文では、豊浦砂と堤体土における土槽・水槽実験より、土の種類の違いによる蒸発効率 β の水分依存性について考察した。

2. 蒸発効率 β の算定方法の概要

単位面積当たりの蒸発量を表すバルク式を次式に表す。

$$E = \rho \cdot \beta \cdot g_a \cdot (q_{SAT} - q_a) \tag{1}$$

また、式(1)に用いられている変数の説明および求めるために必要な観測データを表-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 と蒸発効率 β ）は事前に求める必要があり、それらを求めるための実験装置の概要を図-1に示す。

実験装置は、気象観測装置、土槽実験用装置（土槽＋電子天秤）と水槽実験用装置（水槽＋電子天秤）で主に構成されており、実験方法は、近藤らの方法³⁾に水槽実験を加えた里見らの方法⁴⁾を用いた。図-2の交換速度 g_a と蒸発効率 β の算定フローに示されるように、まず、土槽実験、水槽実験、気象観測を同時に行い、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 が算出される。また、土槽実験の結果と交換速度 g_a より蒸発効率 β が求められる。今回の実験では、豊浦砂と鹿屋堤体土を用い、内径15.5cm、外径16.5cm、高さ2cmの塩化ビニール製円筒容器に相対密度50%で、それぞれ締固めを行った。各試料の粒径加積曲線を図-3に示す。水槽と土槽の表面、また土槽の表面から1cmの深さにそれぞれ熱電対を設置した。体積含水率 θ と蒸発効率 β の関係を求めるため、表-2に示すように初期値として飽和度80%に相当する体積含水率を設定し、体積含水率が0に概ね近づいたときを実験終了とした。供試体の体積含水率の時系列変化は、初期の含水量と、各時間の土槽の蒸発量の差を取

表-1 各変数の算定に必要な観測データ

変数	観測データ
空気密度 ρ [kg/m ³]	P: 気圧 [hPa]
	T: 気温 [°C]
	H_u : 相対湿度 [%]
飽和比湿 q_{SAT} [kg/kg]	P: 気圧 [hPa]
	T: 気温 [°C]
	H_u : 相対湿度 [%]
比湿 q_a [kg/kg]	P: 気圧 [hPa]
	T: 気温 [°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 β [-]	

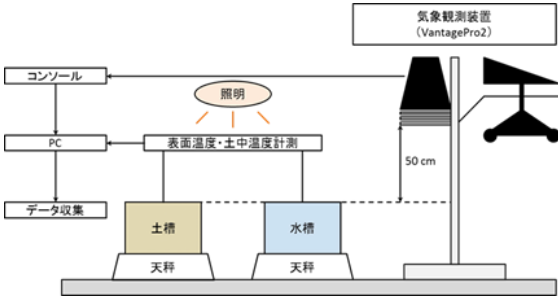


図-1 実験装置概要

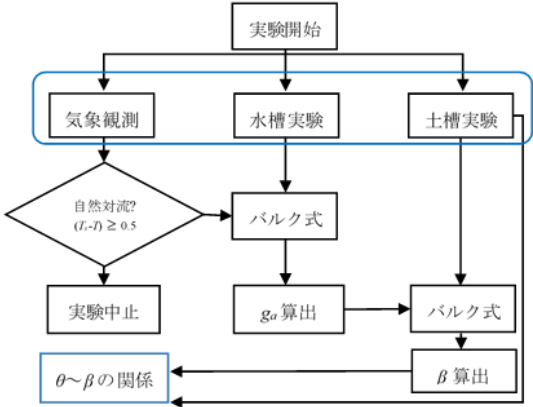


図-2 交換速度と蒸発効率の算定フロー

表-2 供試体の初期条件

試料	相対密度 (%)	初期間隙比 (-)	初期飽和度 (%)	初期体積含水率 (-)
豊浦砂	50	0.75	80	0.34
堤体土	50	1.215	80	0.44

り、土槽体積で除すことで計算している。初期間隙比、体積含水率は供試体作製の影響を受け変化するため、実験終了後に各質量計測から補正を行い、データ整理を行った。

3. 室内土槽・水槽実験結果と考察

図-4、図-5 に、各試料の水槽および土槽からの単位時間当たりの蒸発量の時間変化を示す。図-4 に着目すると、各水槽実験時に気象条件の違いがあるため、水槽表面の蒸発量に差が見られるが、ほぼ一定の値を取り続けている。図-5 では、堤体土の蒸発量が 1500 分付近までは多くなっていることがわかる。これは堤体土の初期間隙比が大きいことや堤体土表面の方が温まりやすかったことが影響していると考えられる。その後は、共に蒸発量が急激に減少しており、1800 分付近からはほぼ同様の蒸発量となっている。

図-6 には、豊浦砂と堤体土の試料の体積含水率 θ と蒸発効率 β の算定結果を示す。図-6 において、①蒸発効率 $\beta > 1$ である部分、②蒸発効率 $\beta \approx 1$ である部分、③蒸発効率 $\beta < 1$ である部分に着目して考察を行う。①の部分 ($\beta > 1$) はあまり差が見られず、②の部分 ($\beta \approx 1$) は、体積含水率が 0.1 付近まではほぼ等しい。その後、③の部分 ($\beta < 1$) において、減少傾向に違いが見られることから、堤体土は豊浦砂よりも水分を多く保持した段階から蒸発効率が低下することがわかる。図-3 の粒径加積曲線が示すように堤体土の粒度の方が、細粒分が多く、分布が広いことが、間隙構造をより複雑にし、蒸発をし難くしていると思われる。

4. おわりに

本論文では、バルク法で用いられる蒸発効率 β は表層土の種類に影響されるため、実験試料として豊浦砂と堤体土を用いて土槽・水槽実験を行った。その結果、堤体土の粒度が、細粒分が多く、分布が広いことが蒸発効率 β に違いを生じさせたものと考えられる。

今後は、粒度の異なる試料を用いて実験を行い、粒径分布が与える影響をさらに検討し、蒸発効率の水分依存性に関する数理モデルの確立につなげたい。

謝辞：本研究は、科研費（基盤研究 C：19K04602、研究代表者：酒匂）の援助を受けた。ここに謝意を示す。

参考文献

- 1) 酒匂一成, 深川良一, 岩崎賢一, 里見知昭, 安川郁夫: 降雨時の斜面災害防止のための重要文化財周辺斜面における現地モニタリング, 地盤工学ジャーナル, Vol.1, No.3, pp.57-69, 2006.
- 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 bares 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.

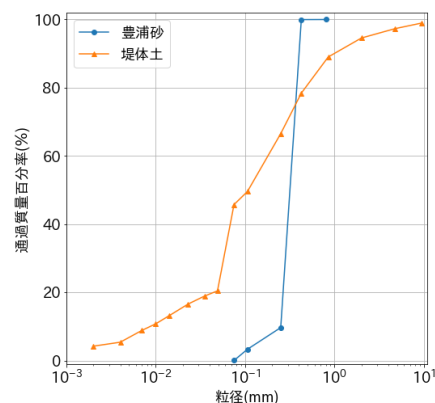


図-3 粒径加積曲線

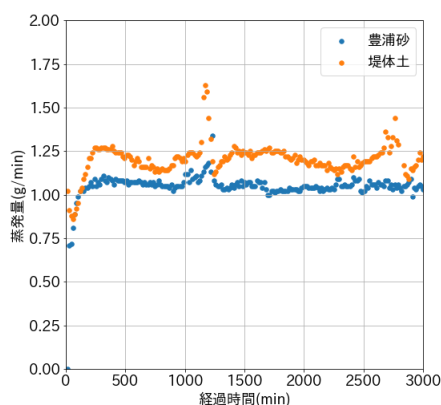


図-4 水槽からの蒸発量の時間変化

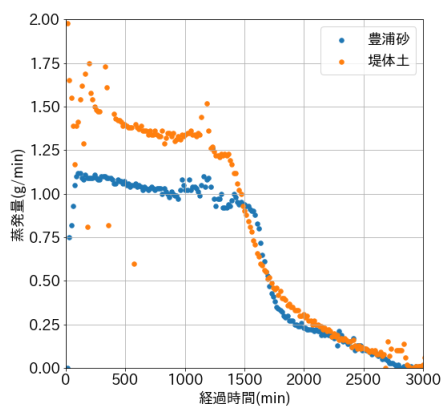


図-5 土槽からの蒸発量の時間変化

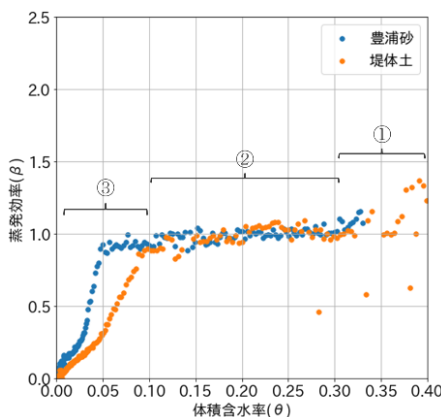


図-6 体積含水率と蒸発効率の関係