真空蒸発下における不飽和砂の蒸発特性（その１）

信州大学工学部　学生会員○高須　萩
信州大学工学部　正会員　　梅崎健夫，正会員　河村　隆

1.　はじめ　砂漠などの乾燥地帯における不飽和砂の蒸発特性を調べるために真空蒸発法[1)]を用いた不飽和豊浦砂の蒸発試験を実施した．

2.　試験概要　真空蒸発法は供試体を静置した真空デシケータ内の圧力を真空ポンプにより減少させることにより供試体内の水の蒸発させる方法である．また，真空レギュレータにより真空圧を制御することにより水蒸気圧によって定義される相対湿度 *RH* も制御することができる．試験装置には真空ポンプ，真空レギュレータ，真空デシケータを使い，真空圧，蒸発量，温度，湿度は圧力指示器，電子天秤，温度湿度計を用い計測を行った．温度湿度計は供試体とともに真空デシケータの中に設置した（**写真-1**）．

試料には，豊浦砂(ρ_s=2.702g/cm^3，ρ_{dmax}=1.634 g/cm^3，ρ_{dmin}=1.341 g/cm^3)を用いた．一定の初期含水比 w_0 になるように純水を加えよくかき混ぜた試料を 500ml ビーカー（A=694cm^2）にランマーで所定の相対密度 *Dr* になるように 10 層で締め固めたものを供試体として用いた．試験条件は初期飽和度 Sr_0=50%, 層厚 h_0=7.2cm（V=500cm^3）において *Dr*=20, 30, 40, 50, 60%の 5 ケースと，*Dr*=50%において Sr_0=50%, h_0=1.4cm（V=100），h_0=4.3cm（300cm^3）と Sr_0=20%，h_0=7.2cm（V=500cm^3）の 3 ケース，計 8 ケースである．

供試体を真空デシケータに静置し真空圧 p_v=-95.0～-98.0kPa を負荷し絶乾状態になるまで続けた．

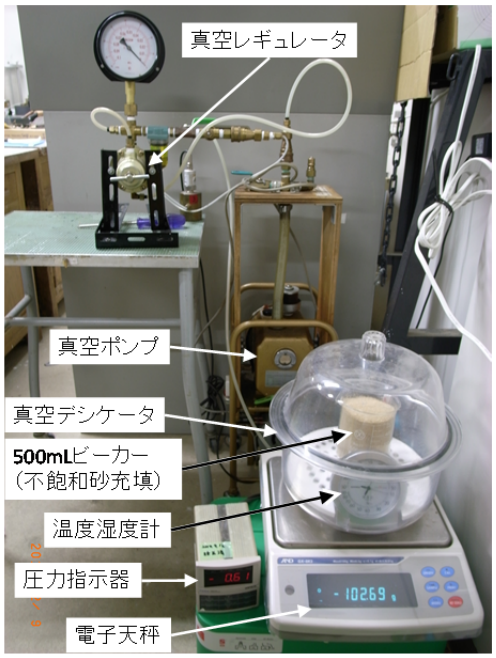

写真-1　真空蒸発試験

3.　試験結果および考察　**図-1**(a)～(f)に試験結果の一例を示す．ここで，温度：*T*（℃），蒸発量：*Δ*m(g)，含水比：*w*(%)，蒸発速度：(*Δ*m/*A*)/*dt*(g/m^2/s)である．デシケータ内の *T* は，試験中ほぼ一定に保たれている．*Δ*m は，直線的に上昇し一定値に収束する．*Δ*m より求めた *w* は，直線的に減少し *w*=0%に収束する．*RH*，(*Δ*m/*A*)/*dt* は同様の傾向を示しており，最初急激に減少しその後一定になるが，絶乾状態に至る直前の t^*から徐々に減少し 0g/m^2/*s* に収束する．

図-2 に *RH*~(*Δ*m/*A*)/*dt* の関係性を示す．Sr_0=50, 20%, *V*=100, 300，500cm^3 と条件を変えて行った実験データをプロットした．**図-1**(e)，(f)の①*RH*=0~30%の範囲はばらつきも少なく関係性が顕著に表れている．②*RH*=30~45%，の範囲には多くのプロットが集中している．③*RH*>40%の範囲は，かなりのばらつきが見られた．**図-1**(e)，(f)の最初の急激に減少する点が③に，速度が一定の点が②に，終盤のなだらかに減少していく点が①に対応する．

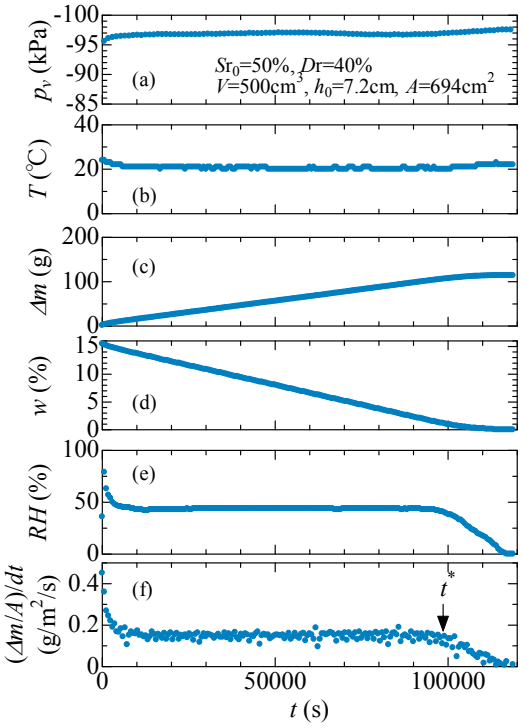

図-1　試験結果の一例

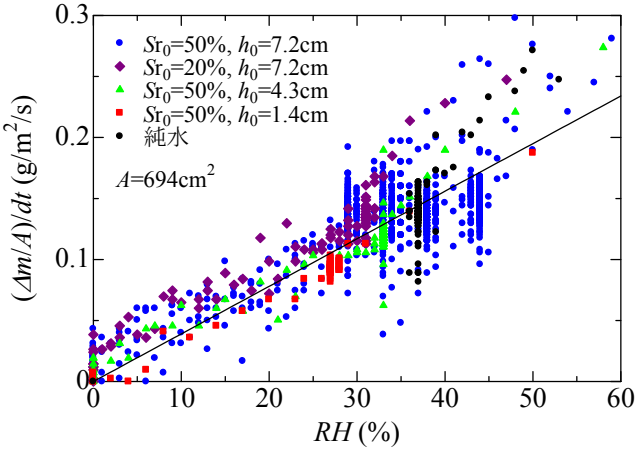

図-2　相対湿度と真空蒸発速度の関係

図－３は Dr~$(\Delta m/A)/dt$，図－４は h_0~$(\Delta m/A)/dt$ の関係を整理したものである．**図-3** は V=500cm^3，A=694cm^2，h_0=7.2cm のデータのみを表示している．**図-4** は Sr_0=50%，Dr=50%，において(Vcm^3，$h_0$cm)=(500，7.2)，(300，4.3)，(100，1.4)のデータのみの結果である．**図-3** において Dr の変化に対して $(\Delta m/A)/dt$ は一定である．しかし，**図-4** に示すように，h_0 が増加すると $(\Delta m/A)/dt$ も増加する．不飽和砂においては，表面からだけでなく内部からも蒸発が進んでいると考えられる．一方，**図-3**，**図-4** の点線は純水のみの $(\Delta m/A)/dt$ であり Dr=50% 時の $(\Delta m/A)/dt$ とほぼ一致している．

図-5，**図-6** は**図-1(f)** の蒸発速度が低下しはじめる折れ曲がり点 t^*における含水比 w^*と飽和度 Sr^*を Dr について整理したものである．また，図中の赤点線は Dr と Sr_0 から求められた豊浦砂の水分特性曲線におけるサクションの増加に対して水分量が平衡状態となった時の含水比 w_∞と飽和度 Sr_∞である[2)]．**図-5**，**図-6** に示すように w^*，Sr^*は，Sr_0 や $h_0(V)$によらずほぼ一定であり，豊浦砂の水分特性曲線の w_∞，Sr_∞とほぼ一致している．

4.　まとめ

①相対湿度と蒸発速度は，RH<30%において顕著に一意的な関係が見られる．RH=30%を超えると，ばらつきが多くなる．②相対密度が変化しても蒸発速度はほとんど変化しない，しかし層厚が大きくなると蒸発速度も大きくなる．③蒸発速度の低下が始まる折れ曲がり点 t^*における含水比 w^*，飽和度 Sr^*は，条件によらずほぼ一定の値となり水分特性曲線におけるサクションの増加に対して水分量が平衡状態となった時の含水比 w_∞，飽和度 Sr_∞とほぼ一致する．

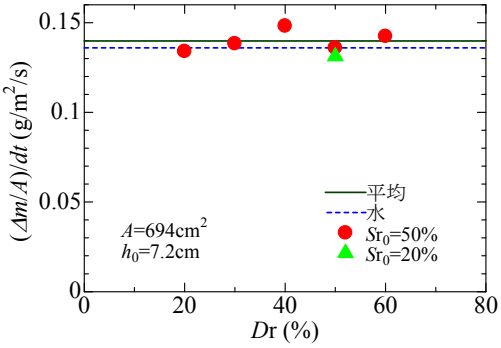

図-3　相対密度と真空蒸発速度の関係

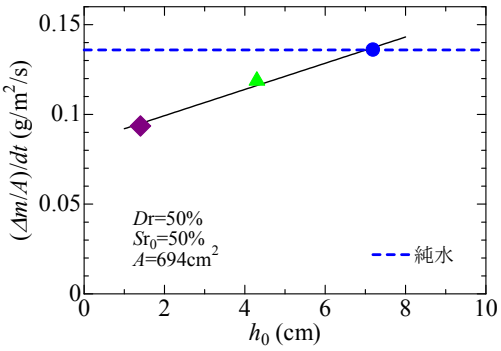

図-4　初期層厚と真空蒸発速度の関係

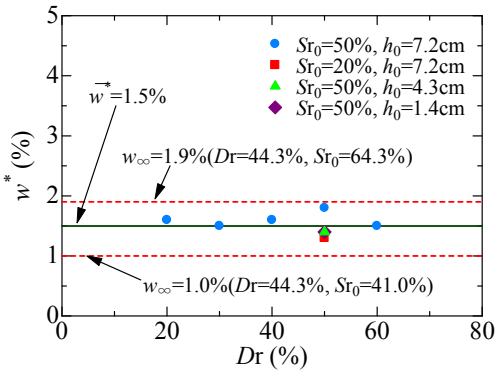

図-5　RH～t 関係の折曲点における含水比

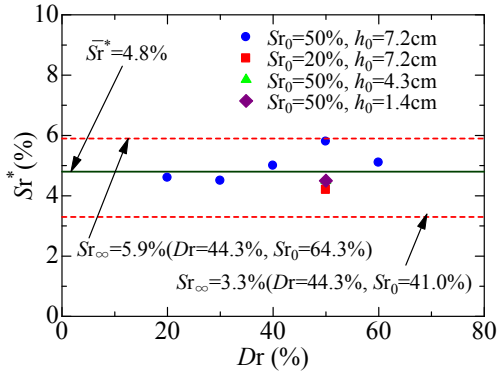

図-6　RH～t 関係の折曲点における飽和度

【参考文献】 1)T. Umezaki & T. Kawamura: Shrinkage and desaturation properties during desiccation of reconstituted cohesive clay, Soil and Foundations, Vol.53, No.1, pp.47-63, 2013.
2)神谷浩二，井上光弘：不飽和砂の乾燥特性から水分特性曲線を推定する簡易法の考察，第 43 回地盤工学研究発表会，pp.1081-1082，2008.