

II-69

等球径規則集合体を利用した土壌水分特性曲線の算定について

北見工業大学 正員 中尾隆志

北海道大学 正員 藤田睦博

1. まえがき 著者らは微視的な観点から θ (体積含水率)- ϕ (サクシオン)関係を理論的に求める事を目的に、2個の粒子間におけるリング水の保水効果について検討を行ってきた¹⁾。さらに土壌を等球径規則集合体の混合体として、その空隙特性のモデル化を試みてきた²⁾。本研究は以上の成果をふまえ、土壌の θ - ϕ 関係の算定を試み、粒径範囲の異なる2種類の砂試料を用いた吸水実験結果と比較検討を行ったので報告する。

2. 等球径規則集合体の保水効果

粒子接合部に生じるリング水が独立して存在する条件および基準容積内に形成されるリング水の数(配位数)の係数による。表1は等球径規則集合体の配位数と空隙率の係数を表している²⁾。

表1 等球径規則集合体の配位数と空隙率

充填方法	配位数	基準容積	空隙率
単純立方体	6	$8R^3$	0.4764
立方四面体	8	$4\sqrt{3}R^3$	0.3954
立方斜方体	10	$6R^3$	0.3019
角柱体	12	$8\sqrt{2}R^3$	0.2595
面心四面体	12	$8\sqrt{2}R^3$	0.2595
Kezdi充填	4	$288R^3$	0.7382

リング水が完全に独立して存在する場合、1つのリング水によるサクシオンと保水量は著者らの提案した式¹⁾で、粒径比を1とし、完全接触とすると、式(1)、(2)が得られる。

$$P_w - P_a = \sigma \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (1)$$

$$V_w = 2\pi R^3 (1 - \cos \omega)^2 \frac{1 - \tan \omega \sin^{-1}(\cos \omega)}{\cos^2 \omega} \quad (2)$$

ここに、 $P_w - P_a$:水と空気の圧力差、 σ :水の表面張力、 r_1, r_2 は曲率半径 $r_1 = \frac{R(\sin \omega + \cos \omega - 1)}{\cos \omega}$,

$$r_2 = \frac{R(1 - \cos \omega)}{\cos \omega} \quad V_w: \text{リング水による保水量、} R: \text{粒子半径、} \omega: 2 \text{ 球間の中心とリング水の先端のなす角度}$$

さらに空隙中の水分が増加すると、もはやリング水は個々に独立して存在せず、全て連続してしまう。この場合、表面張力により最も安定した形状になるのは球状であると考えられる。従って、本モデルでは基準容積の重心を中心として気泡を形成するものと仮定した。この場合、水と空気の圧力差($P_w - P_a$)は式(3)により計算できる。

$$P_w - P_a = -\frac{2\sigma}{r_0} \quad (3)$$

ここに、 r_0 :気泡の半径

また、気泡が初めて形成されたときの気泡内部の圧力を1気圧とすると、保水内部の圧力が P_w から $P_w + \Delta P$ に変化した場合の気泡の体積 V_a は次式により求められる。

$$V_a = \frac{P_a V_0}{\Delta P + P_a} \quad (4)$$

ここに、 V_0 :初めて気泡を形成したときの気泡体積、 P_a :1気圧

従って、基準容積内の保水量は基準容積から容積内に占める粒子の体積と式(4)の気泡の体積を差し引くことにより求めることができる。

3. 等球径ランダム充填の θ - ϕ の算定

一般に等球径といえども、その充填方法はランダムである。そこで、本モデルではこれらランダム充填は、2つの規則集合体の混合体であると考えられる。具体的には土壌の空隙率 n が与えられると、それを挟む2つの規則集合体の θ - ϕ 関係を算出し、 n より求められる2つの規則集合体の混合割合より、ランダム集合の θ - ϕ 関係を算出する。

4. 吸水実験

実験に用いた装置を図1に示す。実験は内径約11cmの塩ビ管に試料を詰め、10日間設置し、吸水実験を行った。実験終了後10cm

毎に試料を取り出し、これより吸水過程の土壌水分特性曲線を得た。

土壌水分特性曲線が粒径分布と締め固めの程度によりどのように変化するかを調べるため、実験に用いた試料は図2に示すように全くふり分けを行わない山形産東北珪砂7号(Sample-1)と粒径が149~250 μm の範囲にとどまるよう調整した(Sample-2)2種類の試料を用いた。また締め固めの程度として突き固め試験用ランマーでそれぞれ50回/25cmと25回/50cmの2通りで突き固めた試料、計4ケースについて実験を行った(Case 1: Sample 2-50回/25cm, Case 2: 50回/25cm-Sample 1, Case 3: Sample 2-25回/50cm, Case 4: Sample 1-25回/50cm)。各ケースともそれぞれ2回実験を行い、その平均値を実験値とした。

ったと思われる。従って、間隙率として実験前後の平均値を用いると $n=43.7\%$ となる。これは単純立方体と立方四面体の混合体と考えられ、混合割合は各々51%, 49%となる。また、等球径に置き換えられる土粒子半径は粒径分布の最頻値より、 $2R=149\mu\text{m}$ として計算を行った。実験で得られた $\theta-\phi$ 関係と本モデルを用いて計算された $\theta-\phi$ 曲線を図3に示す。粒径分布範囲の広いCase 2, Case 4では本モデルの曲線とかけ離れているが粒径範囲の狭い、Case 1, Case 3は本モデルと良く一致しており、粒径範囲が狭い土壌に対し、本モデルを用いて $\theta-\phi$ 関係を推定することが可能であると思われる。

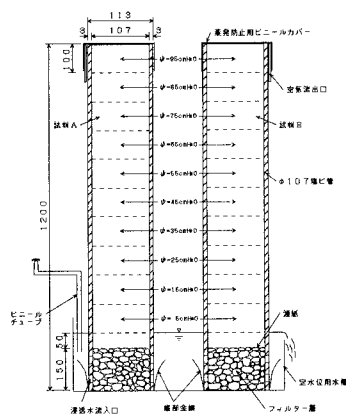


図1 吸水実験装置

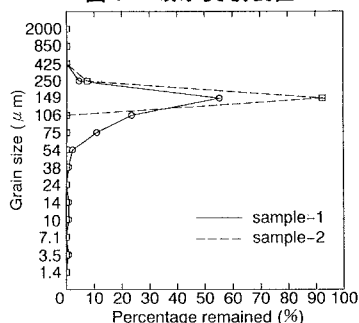


图2 粒径分布

5. 本モデルと実験結果との比較検討

試料の実験開始前の間隙率は44.2~47.3%であったが実験終了時には39.8~43.5%に減少していた。この原因はサクシオンにより試料が締め固ま

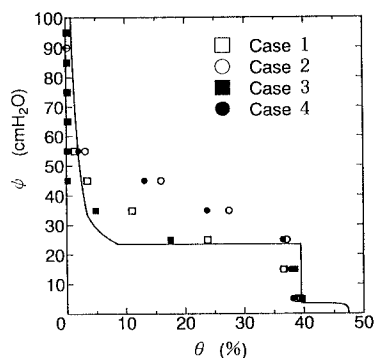


図3 $\theta - \psi$ の計算値と実験値の比較

6. あとがき 本研究は土壌構成が等球径規則集合体の混合体であるとの仮定のもとに $\theta - \psi$ 関係を算出する方法を述べてきた。しかし、本モデルでは等球径を仮定しているため、リング水が独立して存在しないときには、含水量が増加しているにもかかわらずサクシヨンの変化は飽和付近を除きほとんどみられない。一般に粒径分布が広い土壌ではこの部分において含水量の増加に対し、急激にサクシオンが減少すると言われており、この点に対し、どのように本モデルを改良するかが今後の問題となる。

《参考文献》

- 1) 中尾隆志, 藤田睦博: 異球径粒子モデルを用いた
土壌内水分の保水効果に関する研究, 水文・水
資源学会研究発表会要旨集, 1992.
- 2) 中尾隆志, 藤田睦博: 等球径ランダム充填の配位
数と間隙率の関係について, 水工学論文集, 第39
巻, 1995.