

II-83

等球径モデルを用いた土壌水分特性曲線の算定

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 θ （体積含水率）- ϕ （サクション）の関係を理論的に求める事を最終目的として土粒子を球形と仮定し、2個の粒子間におけるサクションによるリング水の保水効果について検討を行ってきた^{1), 2)}。本報告は土粒子が等球径で規則的な配列をなすものとして、理論を2球間モデルから三次元問題に拡張し、 θ - ϕ 関係の算定を試みた。また、粒径範囲の異なる2種類の珪砂試料を用いて吸水試験を行い、実験結果と本モデルの比較検討を行ったので報告する。

2. 実験方法 実験に用いた水分量測定装置を図-1に示す。実験は長さ120cm、内径約11cmの塩ビ管に試料を詰め、水深が20cmとなるように越流水槽内に10日間設置し、吸水試験を行った。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。

この土壌水分特性曲線は用いた試料の粒径分布や締め固めの程度により変化すると考えられる。従って、試料として、全くふるい分けをしない試料（山形産4号珪砂 粒径範囲3.5~250 μ m）と粒

径が149~250 μ mの範囲にとどまる2種類の珪砂試料を用い、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。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。各ケースの実験条件と実験開始前の間隙率を表-1に示す。

表-1 実験条件

	突き固め条件 (回/cm)	粒径範囲 (μ m)	間隙率 (%)
Case 1	50/25	149~250	45.24
Case 2	50/25	3.5~250	44.24
Case 3	25/50	149~250	47.29
Case 4	25/50	3.5~250	46.53

表-1より、同一の突き固め条件では粒径範囲の広いCase 2, Case 4の方が間隙率が小さく、締め固め程度が良いことがわかる。また、同一の粒径範囲では突き固めが25回/50cmの場合よりも50回/25cmの方が締め固まっていることがわかる。

3. 立方四面体集合による θ - ϕ の算定

実際の土粒子の形は球ではなく、その大きさも充填の程度も不規則な構造をなしている。また、土粒子間のリング水によるサクションと保水量の関係は土粒子の粒径比に大きく影響する²⁾。土壤が種々の粒径比を持つ場合の土壌内の間隙特性は確率論的に取り扱う事が出来るが、ここでは簡単な等球径の場合を考える。最上ら³⁾は粒状体を等球径のみの集合体と考えた時、粒子が規則的に配列する充填方法を表-2のように5つに分類している。表-2から明らかなように最疎充填構造をなすのは間隙率が47.64%となる単純立方集合の場合であり、また最密充填としては角柱体集合と面

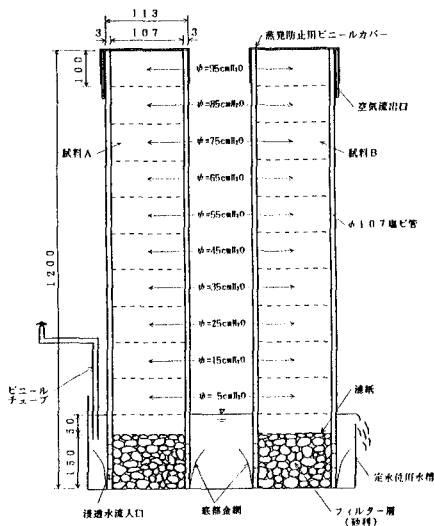


図-1 実験装置

表-2 等球径規則集合体の間隙比、間隙率

充填方法	粒子が占める割合	間隙比	間隙率 (%)
単純立方体集合	0.524	0.910	47.64
立方四面体集合	0.605	0.654	39.54
立方斜方体集合	0.698	0.432	30.19
角柱体集合	0.741	0.350	25.95
面心四面体集合	0.741	0.350	25.95

心四面体集合の2通りあることがわかる。

試料の実験開始前の間隙率は表-1に示すように44.24～47.29%であったが実験終了時には0.7～3.8%の間隙率の減少がみられた。このため充填モデルとしては図-2に示す立方四面集合を考える。

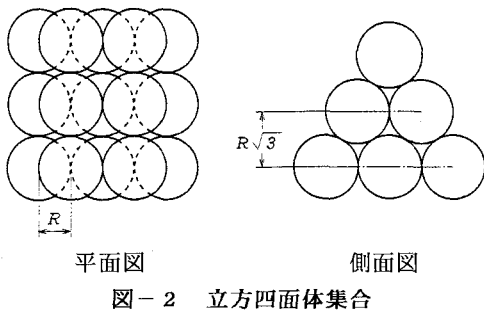
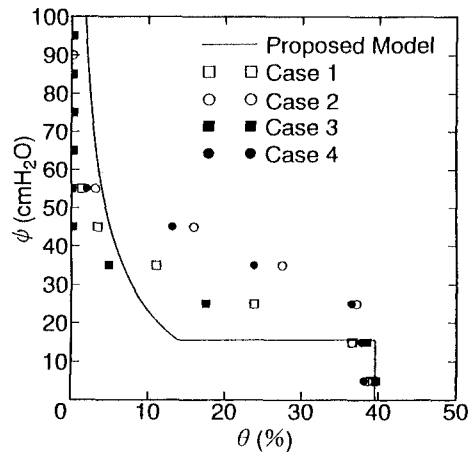


図-2 立方四面体集合

図-2に示すように球の半径を R とし、基準体積として底面の面積($2R^2$)、高さ $\sqrt{3}R$ を考えると、不飽和域ではこの基準体積内に4個分に相当するリング水が形成される事になる。この時のリング水による $\theta-\phi$ 関係は紙面の関係上省略する(文献1, 2)を参照)。また、飽和域として水と空気の表面張力を σ とすると、飽和域最上部では $2\pi R\sigma$ の水を飽和水として保水できるものとして土壌内の飽和高さを求めた。土粒子半径 R は実験に用いた試料から得られた粒度分布の最頻値より、 $2R=149\mu\text{m}$ とした。この場合の飽和域の高さは15.64cmとなる。

4. 実験結果との比較検討 本実験で得られた土壌水分特性曲線(吸水過程)と土粒子充填を等球径立方四面集合体とした場合の $\theta-\phi$ 理論曲

線(実線)を図-3に示す。実験結果として同一の ϕ では粒径範囲が広いCase 2, Case 4の方が粒径範囲の狭いCase 1, Case 3よりも θ がいずれも大となっており、さらに同一の粒径範囲の試料でも間隙率が小で、より締め固まっているCase 1, Case 2の方がCase 3, Case 4よりも θ が大となり、粒径分布や試料の締め固め程度は土壌水分特性曲線に影響を与えることを示している。一方、理論曲線は等球径を仮定しているため、粒径分布範囲が狭い、Case 1, Case 3に近い曲線を示している。理論曲線が飽和域から不飽和域に変化するところで実験値と適合しないのは計算上、飽和域と不飽和域をそれぞれ独立に計算し求めたためである。この点に関しては、飽和域から不飽和域に変化する時のリング水の形状問題に深く関係するものと思われる、種々の粒径比で構成される土粒子構造の場合と共に今後の課題としたい。

図-3 $\theta-\phi$ の計算値と実験値の比較

なお、本研究は文部省科学研究費一般研究C(課題番号04650448、代表者 中尾隆志)の補助のもとに行われた事を記して感謝の意を表す。

《参考文献》

- 1) 中尾隆志, 藤田睦博: 等球粒子モデルを用いた不飽和浸透流の微視的解析, 土木学会北海道支部論文報告集, 1992.
- 2) 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.
- 3) 最上武雄 編: 土質力学, 技報堂, 1969.