

II-46

土粒子接合部におけるリング水保水量の推定法について

北見工業大学 正会員 中尾隆志

北海道大学大学院 フェロー 藤田睦博

1. はじめに

浸透流れを微視的な立場から解析的に解く場合、体積含水率(θ)と不飽和透水係数(K)、または θ とサクション(ϕ)の関係を求めなければならない。土壌内の含水量が比較的小さい場合、その保水形態は粒子接合部で水と空気の表面張力によるリング水として大部分が保水されている。

本研究では、構成される土粒子が球形であるとの仮定のもとに粒径分布と間隙率が既知であるとしてリング水の保水量の推定を行っている。

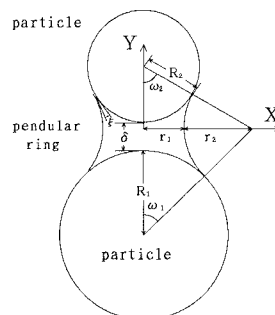


図-1 座標系

2. 計算方法

2.1 2球間モデルによるサクションと保水量の算定

図-1に示すように2つの異球径 R_1 、 R_2 からなる土粒子接合部においてリング水が存在する時、水と大気の圧力差($P_w - P_a$)と保水量 V_w は式(1)、(2)で計算することができる¹⁾。

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

$$r_1 = R_1 \sin \omega_1 + r_2 (\sin \omega_2 - 1), \quad r_2 = \frac{(R_1 + \delta)(R_1 + 2R_2 + \delta) + R_1 \{R_1 - 2(R_1 + R_2 + \delta) \cos \omega_1\}}{2\{(R_2 - R_1) + (R_1 + R_2 + \delta) \cos \omega_1\}}$$

$$V_w = \pi r_2 \left[(A^2 + r_2^2) (\cos \omega_1 + \cos \omega_2) - A r_2 \{ \sin \phi \cos(\omega_1 - \omega_2) + \pi - \phi \} \right] - \frac{\pi}{3} \left\{ r_2^3 (\cos^3 \omega_1 + \cos^3 \omega_2) + R_1^3 (1 - \cos \omega_1)^2 (2 + \cos \omega_1) + R_2^3 (1 - \cos \omega_2)^2 (2 + \cos \omega_2) \right\} \quad (2)$$

ここに、

$$A = r_1 + r_2, \phi = \omega_1 + \omega_2, \omega_2 = \sin^{-1} \left(\frac{r_1 + r_2}{R_2 + r_2} \right)$$

したがって、任意の球に他の球が何個接触しているわかればリング水による保水量を推定することが可能となる。

2.2 配位数の推定

半径 R_0 の土粒子における他の粒子との接合数($N(R_0)$; 以下、配位数と称する)の推定は次式を用いた。

$$N(R_0) = \frac{\{h^3 \overline{R^5} + 3h^2 \overline{R^4} R_0 + 3h \overline{R^3} R_0^2\}}{R^2 R^3} \quad (3)$$

式(3)は球が接する接点における切平面で区切られた球を含む多面体の集合を考え、半径 R_0 を持つ球を含む多面体とその球に接触している全ての多面体の球殻体積を多面体1個当たりの体積で割って平均配位数を推定する方法に基づいている。式中の h は、合併多面体を評価する際、この合併多面体と同体積の半径 $R_0 + hR$ からなる球として式を誘導した結果残る等価半径を決めるパラメータである。著者らはこの h を決定するため、間隙率

キーワード：土壌水分、リング水、サクション、ランダム充填、配位数

連絡先：〒090 北見市公園町 165 北見工業大学 TEL 0157-26-9503 FAX 0157-23-9408

ε が既知であるとして以下の方法を提案している²⁾。すなわち、構成する土粒子が等球径規則充填の混合体であるとし、式(4)より仮の配位数 N を求め、式(5)により h を決定する。

$$N = 2.872 \varepsilon^{-1.055} \quad (4), \quad h = 0.418 + 0.080N \quad (5)$$

2.3 パラメータ h の推定法の有用性の検討

式(3)～(5)を用いた配位数推定法の有用性を検証するため、解析解が既知である以下の仮定の充填体に本モデルの適用を試みた。半径 R の等球径からなる単純立方体の空隙に内接するよう半径 $(\sqrt{3}-1)R$ の異球径を充填させる。この場合の間隙率は 0.271 となり、各球の配位数の理論解は半径 R の球：14 個、半径 $(\sqrt{3}-1)R$ の球：8 個となる。これに対し、計算による配位数はそれぞれ、14.8 個、10.5 個となり、本推定法の有用性が検証された。

3. リング水の算定

上記2で述べた方法により、リング水の算定を試みた。図-2は計算に用いた土粒子の粒径分布を示している。粒径範囲は $3.5 \mu\text{m} \sim 250 \mu\text{m}$ であり、最頻値は $149 \mu\text{m}$ の 55.0%であった。また、間隙率はランマーによる突き固め試験結果より、 $\varepsilon=46.53\%$ を用いた。表-1は式(3)～(5)により求められた配位数の推定値を示している。粒径の増加とともに配位数が増加していることがわかる。また、表中の ω_1 の最大値は得られた配位数の推定値から、接する球同士が互いに決して重なり合わない条件より求められる値である。シミュレーション結果の一例として粒径分布の最頻値である直径 $149 \mu\text{m}$ の粒子に同じ大きさからなる粒子が表-1 から求められた配位数だけ接触している場合のサクションと保水量の算定結果を図-3に示す。この場合、明らかに接触している粒径が小さな時は、サクションの減少に伴う保水量の増加はほとんど見られない。これに対し、接触粒径が大になると保水量は急激に増加していることがわかる。特に、粒径が $75 \mu\text{m}$ 以上の場合、ある保水量を超えると ω_1 の最大値を超えてしまう。この場合、リング水としては単独では存在することはできず別の保水形態、例えばリング水同士の結合または気泡の形成等により保水されるものと思われる。

4. まとめ

本研究では、リング水が粒子接合部において単独で保水するとしてサクションとその保水量の算定手法を示した。計算結果より、接触する粒径の違いにより保水量が増加した時、別の保水形態を持つことがわかった。この場合のサクションと保水量の評価に関しては今後の課題としたい。

本研究は文部省科学研究費基盤研究（C）一般（研究代表者：中尾隆志）の補助を受けて行われたものである。記してここに感謝の意を表します。

参考文献：1) NAKAO T. et al.: Environment International, Vol.21, No. 5, pp.711-716, 1995. 2) 中尾隆志、藤田睦博：土木学会北海道支部論文報告集、第54号(B)、pp.54-57、1998.

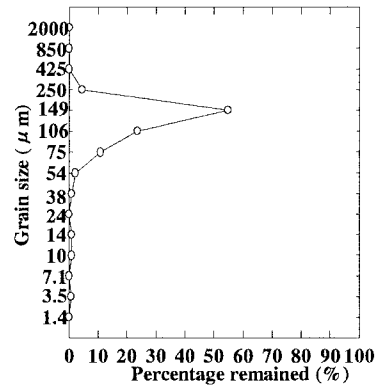


図-2 粒径分布

表-1 配位数の推定値

粒子の直径 (μm)	配位数の 推定値	ω_1 の最大値 (deg)
3.5	1.44	90.00
10	1.61	90.00
14	1.72	90.00
38	2.49	72.29
54	3.09	58.25
75	4.01	44.89
106	5.60	32.14
149	8.30	21.69
250	16.86	10.68

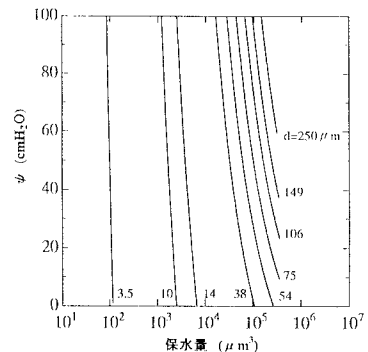


図-3 直径 $149 \mu\text{m}$ 粒子と各径のリング水の保水量