

ガラスビーズ充填層におけるリング水

Lens water in glass beads column

安中 武幸*・田野 早霧**

ANNAKA Takeyuki* and TANO Sagiri**

1. はじめに

ガラスビーズ充填層における浸潤現象は初期水分量に強く依存する。このメカニズムを検討するため、稲垣ら(1999)は、風乾からの水分量の増加に伴ってリング水の体積は一定のまま数のみが増加する水分域があるという仮説を設定し、落下充填による間隙率の水分依存性からそれが含水比0~1%の領域であると報告した。

本研究では、この仮説を別の面から追究した。すなわち、突き固め充填試料を対象に測定した熱伝導率の水分依存性にパーコレーション理論を援用して、リング水の体積と対応する圧力水頭を推定した。また、テンシオメータで充填試料の圧力水頭を測定しリング水体積から推定された値と比較した。

2. リング水モデル

充填層の含水量が風乾状態から増えるにつれて体積 V_r のリング水の数 N_r が増えていくと仮定する。この時、パーコレーション理論によれば、全接点数 N に対するリング水数 N_r の比がある一定値(臨界浸透確率 p_c)を越えると上下端を結ぶ熱伝導ルートが形成される(Fig.1(a))。つまり、熱伝導率が一定値から急増を示す水分量が存在すれば、その水分量が $N_r = p_c \times N$ 個のリングに配分されていると考えることができる。

また、リング水に関する諸量は以下の通り表わすことができる(Fig.1(b))。

$$\text{体積 } V_r = 2\pi R_s^3 (\sec \alpha_t - 1)^2 \left\{ 1 - \left(\frac{\pi}{2} - \alpha_t \right) \tan \alpha_t \right\} \quad (1)$$

$$\text{圧力水頭 } h_r = \frac{\sigma}{\rho_w g R_s} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2)$$

(1)式および(2)式から、リング水の体積と圧力水頭の関係が得られる。また、全接点数 N は、充填層の固相率を ϕ とおくと、 $N = 2 \exp(2.4\phi)$ で表される(Meissner et al., 1964)ので、全ての接点にリング水が存在する時の含水比 (g/g) は次式となる。

$$\omega = \frac{m_w}{m_s} = \frac{\frac{1}{2} N V_r \rho_w}{\frac{4}{3} \pi R_s^3 \rho_s} \quad (3)$$

すなわち、(2)式と(3)式から、粒子半径 R_s 、粒子密度 ρ_s 、充填密度 γ_d の時の含水比と圧力水頭に関係が得られる。

3. 試料と実験方法

用いた試料は平均粒径 0.1mm のガラスビーズであり、粒子密度 2.50g/cm³ であった。洗剤で洗浄し蒸留水で良くすすいだ後過酸化水素処理を行ない乾燥させたものを用いた。乾燥試料に所要の蒸留水を霧吹きで加えた後密封し、良く攪拌した上で24時間静置したものが水分調整試料である。

* 山形大学農学部 (Faculty of Agriculture, Yamagata Univ.) キーワード: ガラスビーズ・リング水・浸潤

** 厚生労働省 (Ministry of Health, Labour and Welfare)

この試料をアクリル円筒容器に充填し、ヒートプローブ法による熱伝導率の測定（粕淵、1982）およびテンシオメータ法による圧力水頭の測定を行なった。圧力水頭の測定は、試料にポラスカップを挿入する時のカップ内水圧を一定にして測定する方法（A 測定法）に加えて、カップ内水圧を種々変えて挿入しその後の出力値の変化方向から推定する方法（B 測定法）を試みた。

4. 結果および考察

- (1) 熱伝導率の水分依存性を Fig.2 に示す。これより、含水比 0.00125(g/g)の時に N_r/N が p_c に等しくなると考えられる。充填密度 1.47g/cm^3 から $N = 8.2$ が得られ、これは体心立方格子に近いことから、 $p_c = 0.1785$ （小田垣、1993）と仮定した。この結果、リング水の体積は $2.2 \times 10^{-9}\text{cm}^3$ と推定された。リング水体積と圧力水頭の関係（Fig.3）から、圧力水頭は -157cm となる。
- (2) 含水比と圧力水頭の関係性を Fig.4 に示す。A 測定法では、カップから試料への給水が大きな誤差要因となっている。一方、含水比 0.011(g/g)の測定値には疑問があるものの、B 測定法によれば実態に近い値が得られるものと考えられる。この結果は水分量が増加するにつれリング水の数とともに体積も増えていくことを示している。

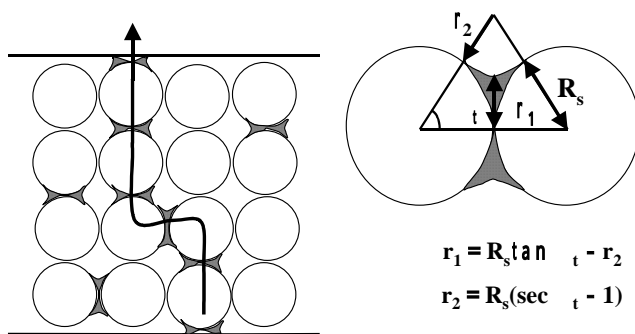


Fig.1 Illustration of lens water between spheres

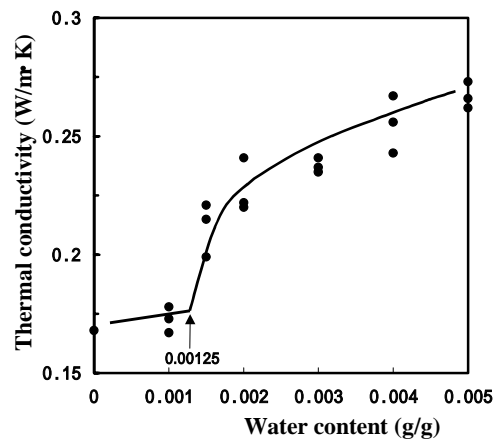


Fig.2 Relationship between thermal conductivity and water content

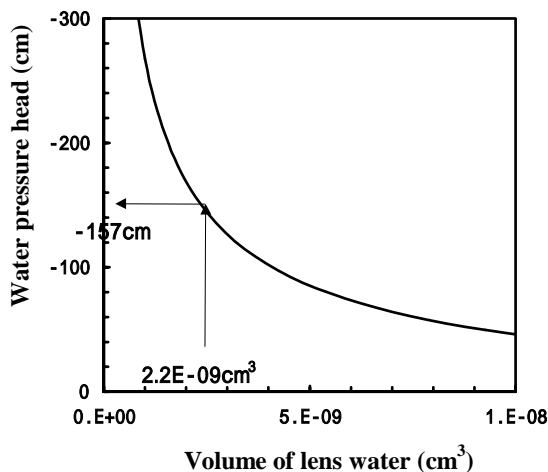


Fig.3 Relationship between water pressure head and volume of lens water

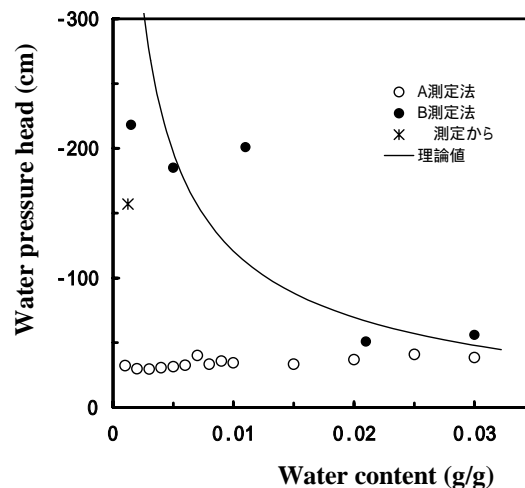


Fig.4 Relationship between water pressure head and water content