

封入空気が土壌の透水性に与える影響 Effect of entrapped air on soil hydraulic conductivity

坂口 敦 西村 拓 加藤 誠
Atsushi Sakaguchi Taku Nishimura Makoto Kato

1. Introduction

土壌中の空隙が大気と連続している一般的な不飽和状態に対し、空隙が大気とは不連続な気泡として存在している状態が封入不飽和である。空隙が大気と連続している不飽和状態では土壌水に負圧がかかるが、封入不飽和は地表灌漑をした時の様な、土壌に正圧がかかった状態でも発生し、一般的には飽和状態として扱われている。封入空気が水の浸潤に与える影響は未だ十分に解明されていない (Wang and Feyen 1998)。本研究では、封入空気体積の増加に伴う透水係数低下の測定、及び封入不飽和透水係数と不飽和透水係数の比較を目的とする。

2. Materials and Methods

実験にはマサ土およびクロボク土を用いた。土壌を 100cc コアサンプラー (高さ 5.1cm) にマサ土は乾燥密度 1.52g/cm^3 (3)、 1.58g/cm^3 (1)、 1.71g/cm^3 (1) で、クロボク土は乾燥密度 0.68g/cm^3 (1)、 0.82g/cm^3 (3)、 0.89g/cm^3 (1) で充填した (カッコ内は反復回数)。充填中や後述する透水試験中に土粒子が流出すると封入空気量測定の精度が低下するため、コアサンプラーの底面にはナイロンメッシュ ($20\mu\text{m}$) を張った。更に、土壌の分散を防止する為、以下の封入不飽和透水試験、及び不飽和透水試験には 10mmol/L の硫酸カルシウム水溶液を用いた。

封入不飽和透水試験

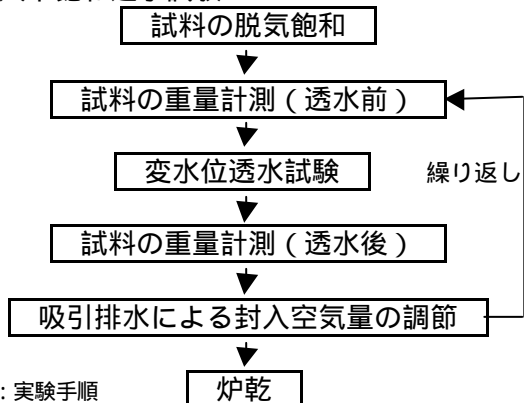


Fig.1 : 実験手順

封入不飽和透水係数の測定は、Fig.1 の手順で行った。封入空気の体積は、完全飽和時の試

料重量から透水係数測定時の試料重量を差し引き、それを水の密度で除する事で算出した。不飽和透水試験

圧力制御法で測定したが、マサ土の近飽和領域についてのみ、流束制御法を用いた。

3. Results and Discussion

縦軸に透水係数 (cm/sec)、横軸に単位土壌体積当りの封入空気含有率 ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$) をプロットした。マサ土 (乾燥密度 1.52g/cm^3) は Fig. 1、クロボク土 (0.82g/cm^3) は Fig. 2 に示す。それぞれ 3 回実験した結果であり、各回ごとに、 \blacklozenge 、 \blacksquare 、 \bullet で表示している。

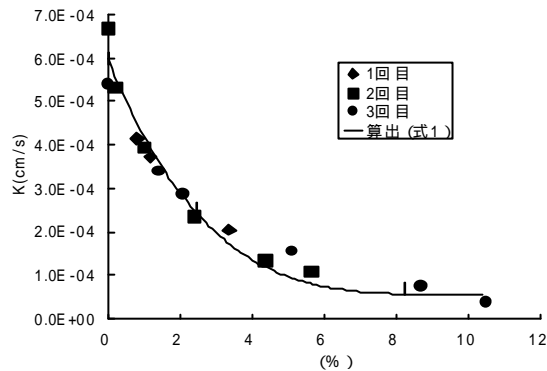


Fig.2 : マサ土 (乾燥密度 1.52g/cm^3) における封入空気と透水係数の関係

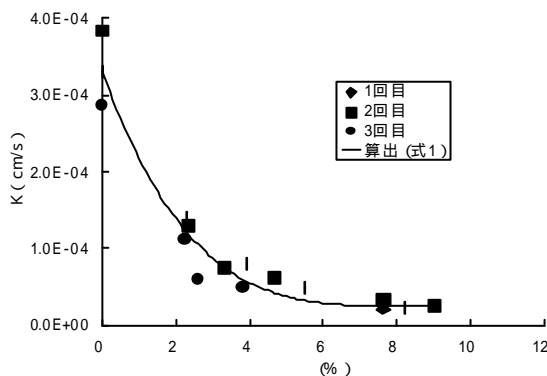


Fig.3 : クロボク土 (乾燥密度 0.82g/cm^3) における封入空気と透水係数の関係

両土壌において、この実験の再現性は高いと考えられる。マサ土及びクロボク土において封入空気の増加に伴い透水係数が指数関数的に低下した。封入空気含有率の最大値はマサ土で 10.5% (間隙体積の 23%)、クロボク土で 9.0% (間隙体積の 13%) であった。また、マサ土で

は封入空気の増加に伴い透水係数は最大で完全飽和時の透水係数の7%、クロボク土では6%にまで低下した。これは異なる土壌及び実験方法を用いた既往の研究と概ね同様の結果であった (Faybishenko 1995)

封入空気の体積と封入不飽和透水係数の関係を定式化するのに、Faybishenko (1995) が提唱した式(1)を採用する。

$$K(w) = K_o + (K_s - K_o) \left(1 - \frac{w}{w_{max}} \right)^n \quad (1)$$

K_s は飽和透水係数 (cm/sec) K_o は透水係数の漸近値 (cm/sec) w は単位土壌体積当りの封入空気含有率 (cm³/cm³) w_{max} は封入空気の最大含有率 (cm³/cm³) n はフィッティングパラメータである。本実験により測定された封入空気と透水係数の関係を式(1)にあてはめた結果を Fig.1 及び 2 に実線で示す。それぞれ R^2 値は 0.98、および 0.96 となり、測定値と式(1)は非常に良く適合した。

土壌の乾燥密度の違いにより式(1)の適合性および各パラメータにどのような違いが生じるか、比較を試みた。式(1)は各密度において高い R^2 値 (0.99 以上) を示した。両土壌において乾燥密度が高くなると、封入空気の最大量 w_{max} が低下する傾向が見られた。また、封入空気の増加に伴う透水係数の低下は、乾燥密度の低い (透水性の高い) 土壌ほど急になる傾向が伺えた。

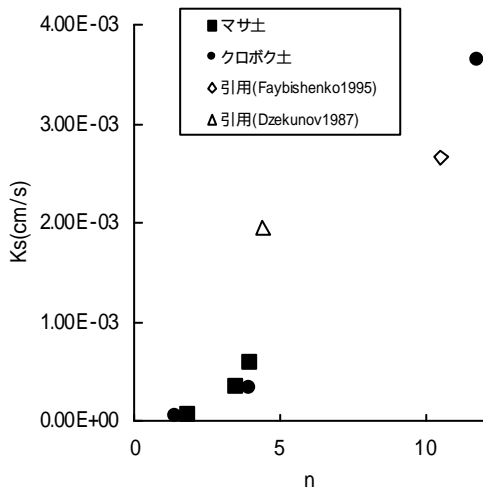


Fig.4 : n の値と飽和透水係数の比較

ここで、パラメータ n は透水係数の低下傾向を反映している (n が大きいほど急低下) と考えられるため、飽和透水係数との相関を調べた。Fig.4 に示された様に透水性の高い土壌ほど n は大きい値となり、この事からも透水性の高い土壌ほど封入空気の増加と共に急激に透水係

数が低下する事がわかる。

不飽和透水試験の結果から、封入空気と同量の空隙を含有する時の不飽和透水係数と封入不飽和透水係数との比較を試みた。(Fig.5 及び Fig.6)

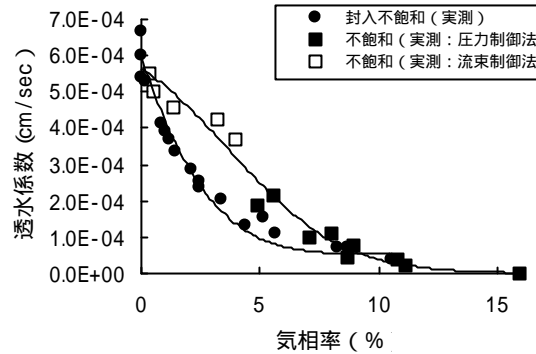


Fig.5 : マサ土 (乾燥密度 1.52g/cm³) における封入不飽和透水係数と不飽和透水係数の比較

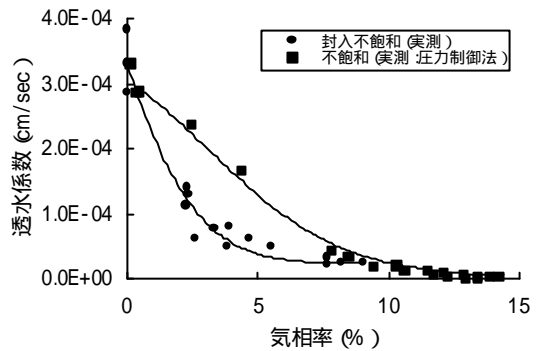


Fig.6 : クロボク土 (乾燥密度 0.82g/cm³) における封入不飽和透水係数と不飽和透水係数の比較

両土壌とも、同じ気相率では封入不飽和透水係数よりも通常の不飽和透水係数の方が大きな値を示した。また、両土壌とも最大に封入空気が入った時の封入不飽和透水係数は不飽和透水係数と同程度の値になる事がわかった。

Conclusion

封入不飽和の封入空気の増加に伴う透水係数低下傾向は土性により異なり、透水性の高い土壌ほど曲線的な低下をする事が分かった。

封入不飽和透水係数は同じ量の空気と連続した空隙を有する不飽和透水係数よりも低い値となり、更に最大量の空気を封入した時に不飽和透水係数と同じ値となる事がわかった。

Faybishenko, B. A.: Water Resour. Res., 31(10), pp.2421~2435 (1995)

Wang Z. and Feyen J.: Water Resour. Res., 34(2), pp.223~231 (1998)

本研究は、科学研究費補助金基礎(B)(2)13556036 によって行われた。