

懸濁液の圧力測定に基づく土の粒度分析

516376 渡邊慧史郎 (土壌圏システム学教育研究分野)

1. はじめに

土は砂、シルト、粘土など様々な径の粒子からなる。こうした粒径のばらつき（粒度分布）を知ることは、土の強度や作物の生産性などを考える上で重要である。土の粒度分布は篩分法と、ストークス則に基づく懸濁液の沈降試験で測定する。一般的に、沈降試験にはピペット法や比重計法が採用される。しかし、これらの測定法は、採水時の懸濁液の攪乱や採水深の誤差、あるいは目盛の読み取り誤差のため正確な測定が難しい。また、試験者が試験に長時間拘束されるものの、連続的に測定することもできない。ところで、近年、懸濁液の圧力に基づく測定法（ISP法）が提案されている。しかし、ISP法については、最適な測定時間や土質毎の留意点の検討が不足している。そこで、本研究ではISP法を用いて異なる土質の土の粒度分析を行い、これらを検討することを目的とした。

2. Integral Suspension Pressure, ISP法

土を水中に均一に懸濁した後、 t 時間後に深さ L まで沈降する土粒子の径 D は、ストークス則に従い、次式(1)で求められる。

$$D = \sqrt{\frac{18\eta L}{gt(\rho_p - \rho_w)}} \quad (1)$$

ここで、 η は水の粘性係数、 g は重力加速度、 ρ_p と ρ_w は土粒子と水の密度である。土粒子が沈降すると深さ L より上部に残る土の質量割合 F が低下するため、 L の水圧 P は時間とともに低くなる。ISP法ではこの水圧 P を連続的に測定し、次式(2)で F の時間変化を求める。

$$F = \frac{P - \rho_w g L}{mgL} \left(\frac{\rho_p}{\rho_p - \rho_w} V \right) \quad (2)$$

ここで、 m は水に懸濁した土の質量、 V は懸濁液の体積である。

3. 試料と方法

試料には鳥取砂丘砂、黒ボク土、藤森シルト、三重大附属農場畑土の2 mm篩通過分を用いた。約50 gの炉乾試料を2つ用意し、片方を500, 250, 75 μm で篩分し、他方をISP法に用いた。ISP法にはMeter社のPARIOを用いた(図1)。試料と水を1000 mLシリンダーにいれ懸濁液を作成し、1分間の振とうの後、PARIOをシリンダーに挿入し25°Cの恒温室に静置した。深さ $L=16$ cmの懸濁液の水圧変化を ± 1 Pa精度で連続的に計測した。そして、式(1)と(2)の関係と篩分の結果から、粒径に対する累積百分率の関係である粒径加積曲線を作成した。PARIOの仕様書は測定開始から480分間以上の水圧の計測期間を推奨している。そこで、ここでは計測期間を60, 180, 360, 720分間(式(1)から $D \approx 7, 4, 3, 2 \mu\text{m}$ 相当)と変えて測定を試みた。同様の試料について、比重計法でも測定を行った。比重計の読みは試験開始から1, 2, 5, 30, 60, 240, 1440分後とした。なお、本試験では土粒子密度 ρ_p は全て2.65 g/cm³とした。

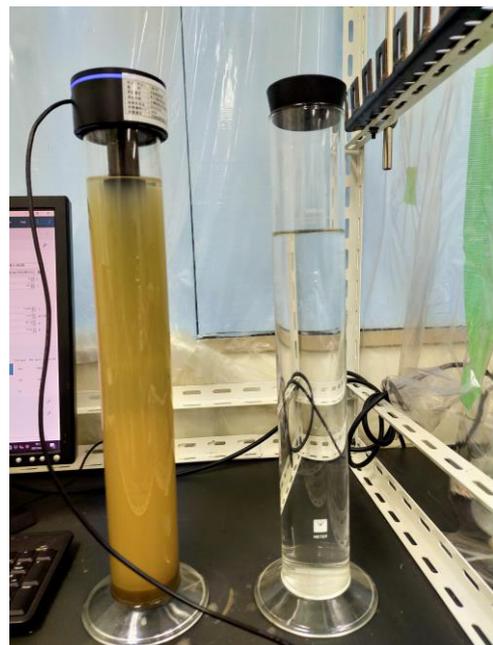


図1 測定の概要

4. 結果と考察

図2に異なる計測期間のISP法から推定した農場土の粒径加積曲線を示す。計測期間720分間の粒径加積曲線を真値とすると、篩分の測定結果を利用できない75 μm 以下の粒径分画の質量分率を、計測期間が短いほど過小評価した。特に計測時間を60分間とすると7 μm 以下の粒子の質量分率が0となり、真値からの差も大きくなった。計測時間が180分間以上であれば、比較的眞値に近い粒径加積曲線を推定できたが、2 μm 以上の粒径で質量分率が0となった。2 μm 以下の細粒分の質量分率も正確に評価するためには720分間以上の計測が必要と考えられる。そこで、以下の測定の見測期間はすべて720分間とした。

図3にISP法と比重計法で作成した農場土の粒径加積曲線を示す。ISP法で作成した粒径加積曲線は比重計法の粒径加積曲線とよく一致した。また比重計法では8点の比重計の読値に対応した粒径の質量分率しか分からないのに対し、ISP法では2~2000 μm の粒径に対しなめらかな粒径加積曲線を示すことができた。また、粗粒分画を多く含む土については、比重計法では計測初期の粒子の沈降に伴う比重計の動きが大きく読値に誤差が出やすいものの、ISP法では安定して測定することが出来た。

図4にISP法で測定した4種の土の粒径加積曲線を示す。鳥取砂丘砂は75 μm 以下の粒径分画が少ないため、懸濁液の密度が低く正確に測れていない可能性がある。砂質土にISP法を適用する場合、予め篩分けにより集めた細粒分のみの測定を併用することで測定精度の向上が期待できる。藤森シルトについては、ISP法は10 μm 以下の粒径分画の質量分率の変化を評価できなかった。粘質土にISP法を適用する場合には、計測期間を720分以上とすべきとおもわれる。黒ボク土については粒径に対し質量分率が単純に減少しており、ISP法は細粒分を過大評価したと思われる。団粒の分散不十分などが考えられるため、今後の検討が必要である。

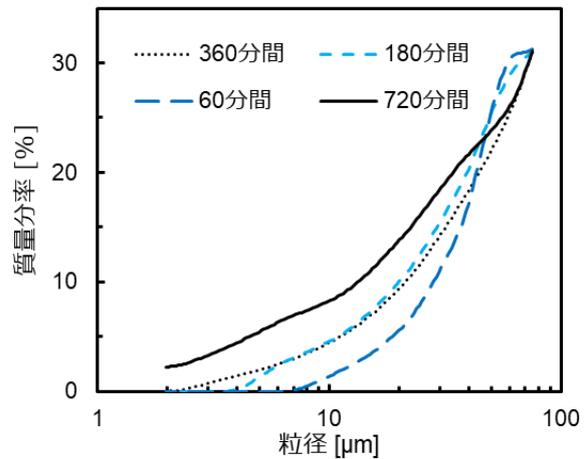


図2 異なる計測期間のISP法で測定した粒径加積曲線の比較

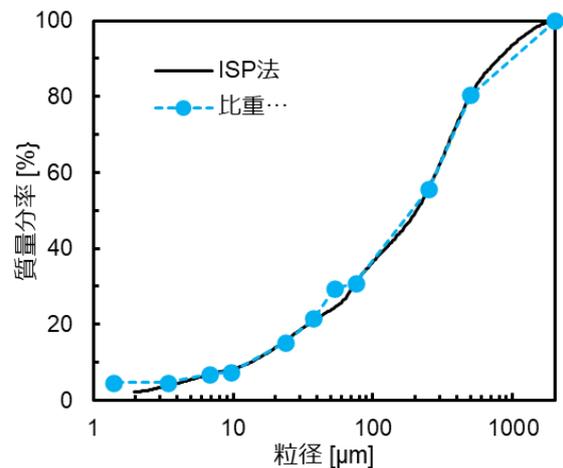


図3 ISP法と比重計法で測定した粒径加積曲線

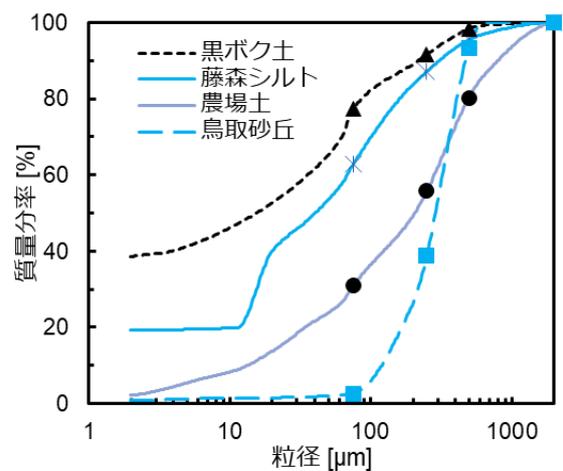


図4 ISP法で測定した4種類の土の粒径加積曲線