

# 黒ボク土の水分保持曲線におけるヒステリシスについて

久行雄大(土壌圏循環学教育研究分野)

**はじめに** 我が国の畑地の 40%を占める黒ボク土は、団粒構造を持つため階段状の水分保持曲線を示す。毛管保水されている団粒間の水分は、砂質土と同様に、吸水過程と排水過程の毛管半径が異なるインク瓶効果により、吸水と排水で水分保持曲線が異なるヒステリシスの存在が予測される。そのため、畑地の水管理のための黒ボク土中の水分移動予測には、ヒステリシスを含む水分保持曲線と不飽和透水係数の把握が必要である。本研究では、三重県と熊本県の 2 種類の黒ボク土を対象に吸引法カラムを用いた吸排水実験を行い、土カラム内の土中水圧力と水分量を測定した。そして、飽和から団粒間保水の領域の水分保持曲線を測定し、吸排水速度と吸排水履歴がヒステリシスに及ぼす影響、異なる黒ボク土のヒステリシスについて調べた。また、熊本黒ボク土を用いた上方浸潤実験を行い、吸排水実験で得られた吸水過程と排水過程の水分保持曲線を用いた数値計算結果との比較を行い、ヒステリシスの水分移動に及ぼす影響を検討した。

**吸排水実験** Fig.1 に吸排水装置を示す。2mm 篩いした三重黒ボク土は、乾燥密度 $\rho_b = 0.75 \text{ g/cm}^3$ で内径 7.8cm、高さ 5cm のカラム、熊本黒ボク土は $\rho_b = 0.48 \text{ g/cm}^3$ で内径 10cm、高さ 2cm のカラムに充填した。カラム中央位置に挿入したテンシオメータにより土中水圧力  $h$ 、TDR センサーにより体積含水率  $\theta$  を連続測定した。カラム下端の境界圧力を三重では 0~ -50cm、熊本では 0~ -100cm の範囲で変化させて吸排水を繰り返し、 $h$ - $\theta$  関係を測定した。三重では 3 種類、熊本では 2 種類の吸排水速度に対して吸排水実験を行った。

**結果と考察** Fig.2 に中速度の吸排水速度における三重黒ボク土の水分保持曲線を示す。1 回目の排水曲線は  $h = -9 \text{ cm}$  の空気侵入圧以下で急激に排水された。等価毛管半径  $r(\text{cm}) = 0.15/|h|$  より、団粒直径 0.3mm 程度の均一な団粒構造を持つと考えられる。吸排水を繰り返すと飽和度と空気侵入圧が減少した。1 回目の吸水による飽和度は、吸水速度が速いほど低く、高速では  $\theta_s = 0.69$  であった。飽和時の試料内の封入空気は、吸水速度が速いほど大きく、また吸排水により蓄積して増加したと考えられる(Fig. 3)。Fig. 4 は、2 回目の吸排水過程の吸排水曲線の差  $\Delta\theta$  と  $h$  の関係である。三重黒ボク土は、 $h > -10 \text{ cm}$  の高水分領域でヒステリシスが大きい。封入空気が大きくなると、相対的に  $\Delta\theta$  は小さくなる。一方、 $h < -10 \text{ cm}$  の水分領域では、条件による吸排水曲線の違いは比較的小さい。三重黒ボク土の場合、封入空気量の大小で飽和透水係数も大きく変化することが予測される。Fig. 5 は、中速度の吸排水速度における熊本黒ボク土の水分保持曲線である。排水曲線は明確な空気侵入圧を示さず、三重黒ボク土に比べて緩やかな減少を示した。これは、団粒の大きさに分布があり、段階的な排水が進行したことを示している。また、吸排水の繰り返しや、吸水速度の増加による飽和度の減少は小さく、吸排水曲線は条件によらずほぼ等しかった。そのため、吸水速度のヒステリシスに及ぼす影響もすべての圧力領域で小さい(Fig. 4)。黒ボク土のヒステリシスは団粒径の分布に依存するが、比較的均一な大きな団粒径を持つ三重黒ボク土では、封入空気量が飽和付近のヒステリシスの支配要因であることが明らかになった。

**上方浸潤実験** 熊本黒ボク土を内径 7.8cm、高さ 30cm のアクリル円筒カラムに  $\rho_b = 0.48 \text{ g/cm}^3$  で充填した。カラム下端にマリOTT管を用いて地下水位を与えて上方浸潤を行った。測定終了後、カラム全体を飽和させた後に排水し、再び上方浸潤を行った。圧力分布の測定値に対して、HYDRUS1D を用いて、逆解析により不飽和透水係数を検討した。

**結果と考察** Fig. 6 は、2 回目の浸潤過程の圧力分布である。Fig. 5 の排水曲線を用いて不飽和透水係数を推定した場合、圧力分布は再現できなかった。一方、吸水曲線を用いた場合には、実測値の適合はある程度改善したが、特に下層部で計算値の水分量増加が早い。これは、飽和付近の透水係数の過大評価が原因と考えられるが、カラム長が 30cm と大きいため、熊本黒ボク土においても封入空気が増加したことも考えられる。吸水過程では、吸水曲線と不飽和透水係数のさらなる検討が必要である。

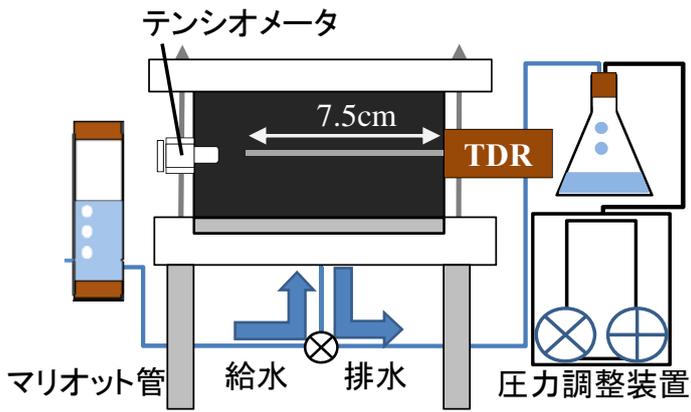


Fig.1 吸排水実験装置(矢印は水分移動の方向)

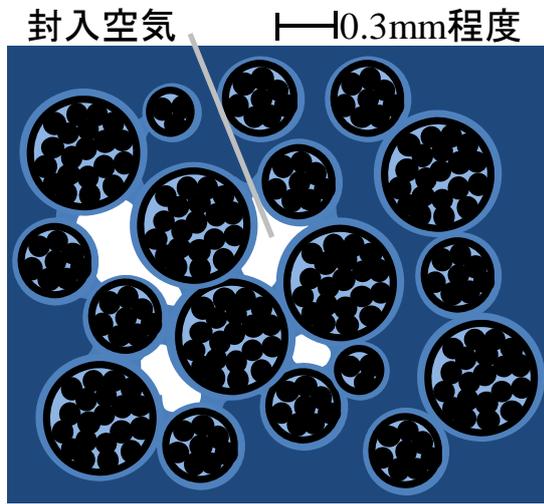


Fig.3 黒ボク土の団粒間隙での封入空気

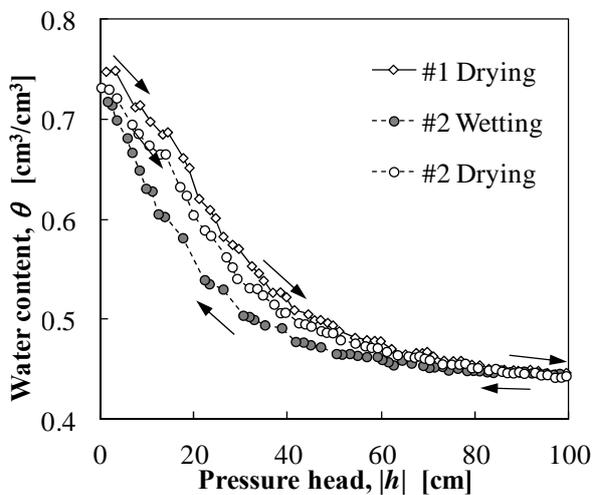


Fig.5 中速度の吸排水速度における熊本黒ボク土の水分保持曲線

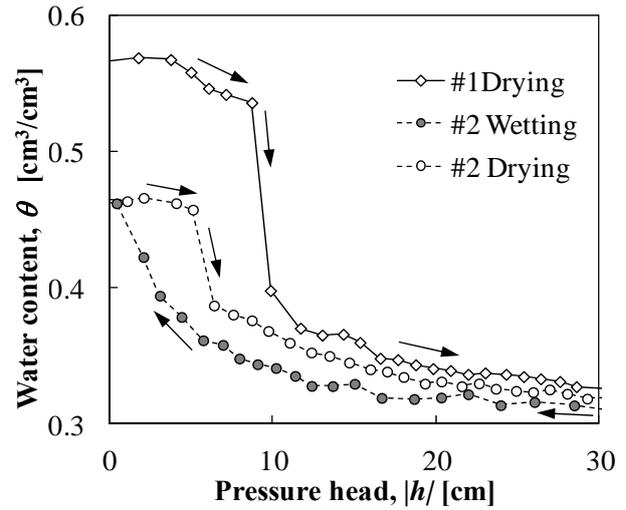


Fig.2 中速度の吸排水速度における三重黒ボク土の水分保持曲線

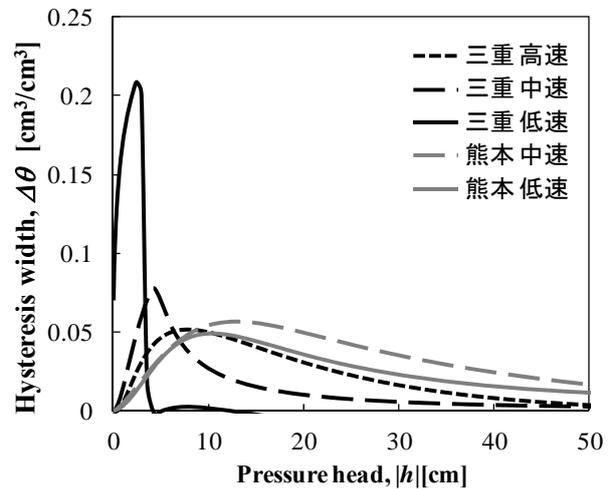


Fig.4 吸排水曲線の幅 $\Delta\theta$ と土中水圧力 $h$ の関係よりヒステリシスループの大きさを示した図

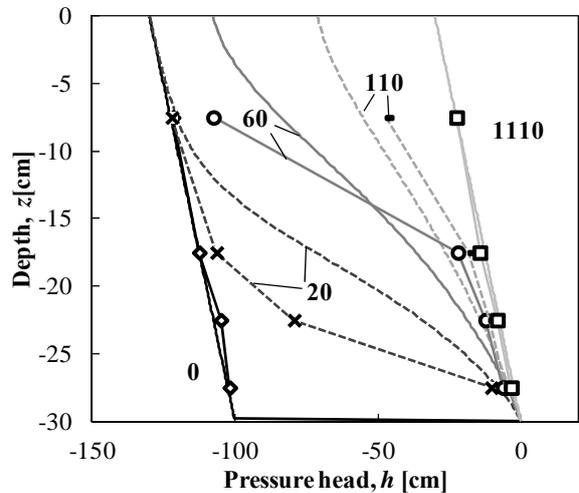


Fig.6 上方浸潤実験の圧力実測値と吸水過程のパラメータで試算した数値実験結果(数字は時間[min])