

不飽和領域における泥炭土の透水・透気性評価

埼玉大学大学院理工学研究科 学生会員 飯塚健仁
 正会員 川本健
 正会員 小松登志子
 埼玉大学総合研究機構技術部 小林邦宏

1.はじめに

湿地開発で引き起こされる地下水低下とそれに伴う地盤沈下問題,さらには不飽和帯の増加によって生じた泥炭の分解に起因する温室効果ガス放出量の変化を考えるには泥炭地盤の透水性・透気性を把握することは重要である。これまで泥炭地盤の透水性については多くの知見^{1) 2)}が蓄積されているが,ガス移動特性について論じられた研究例は少ない。本研究では,泥炭土中の水・ガス移動特性を把握することを目的とし,植物遺体を主成分とする泥炭土の透水性および透気性の異方性や,飽和透水係数と透気係数の関係について調べた。

2.試料

今回使用した泥炭試料は,北海道美唄地区の美唄湿原に隣接した防風林内より採取したヨシ、スゲ、ハンノキ等の植物遺体を中心とした中間泥炭である。試料は,透水係数および透気係数測定のためのコア試料と,土壌物理性測定のための袋試料を採取した。コア試料は,体積100cm³(高さ4.1cm,直径5.6cm)のコアサンプラを使用し,各深さ3本ずつ採取した。深さ40, 65, 105cmについては,透水係数・透気係数の方向依存性について確認するため,水平方向試料についてもコア試料を3本採取した。採取した試料の土壌物理・化学特性を表-1に示す。また,脱水過程における試料の相対体積 V/V_0 および固相・液相・気相の三相割合を図-1に示した。同図より,泥炭試料は脱水に伴う著しい収縮性を示し,飽和状態から風乾状態に至る過程で,最終的に試料は初期体積の約3割($V/V_0 \approx 0.3$)となった。本報告で示す不飽和透水係数 k_w および透気係数 k_a は,飽和 $\sim pF \approx 2.0$ 程度までの水分状態であり,脱水に伴う試料の体積収縮は比較的小さい条件下である。

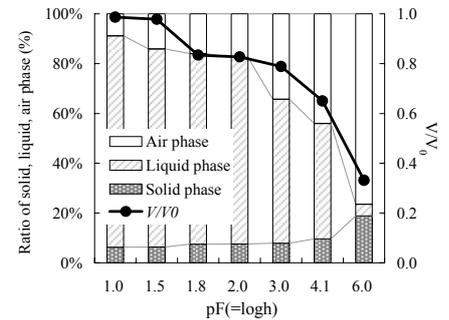


図-1 三相の割合, 試料の体積変化

3.測定

(1)透水係数

飽和透水係数は,まず各深さより採取したコア試料を飽和させ,定水位法により測定した。不飽和透水係数は,飽和させたコア試料を吸引法により段階的に脱水させ,給水量を調整する定常法(フラックス制御法)により測定した。

(2)透気係数

透気係数 k_a の測定は, Ball and Schjonning³⁾の方法に従い,定常法で行った。多孔質媒体中の空気の一次元流れ(x軸方向)に関する運動式は,ダルシー則によれば次式の一次元流れに関して流体の密度に関係なく次式で与えられる。

$$v_a = -k_a \frac{dh_a}{dx} \dots \dots \dots (1)$$

ここで, v_a : 空気流速 (cm s⁻¹), k_a : 透気係数 (cm s⁻¹), h_a : 空気圧力水頭 (cm), x : 空気の移動距離(試料高さ)。測定にあたっては,コアサンプラにフローメーターおよびマンメーターを連結し,コンプレッサーより送気される流量及び試料にかかる圧力水頭をそれぞれ読み取り,(1)式に代入することにより,透気係数 k_a を決定した。

表-1 土壌物理・化学特性

| depth (cm) | Description | Particle density | Dry Bulk density | Porosity | Gravimetric water content | Saturated hydraulic conductivity | | anisotropy of $k_{s,h} / k_{s,v}$ | Loss-on-ignition L_{ig} (%) | C (%) | N (%) | C/N |
|---------------|----------------|--------------------------------|--------------------------------|--|---------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------|-------|------|
| | | ρ_s (g cm ⁻³) | ρ_d (g cm ⁻³) | Φ (cm ³ cm ⁻³) | | w (%) | $k_{s,v}$ (cm s ⁻¹) | | | | | |
| 6 | Peat soil | 2.08 | 0.266 | 0.872 | 113 | 1.20×10^{-2} | — | — | 36.8 | 27.5 | 1.1 | 24.2 |
| 40 | Peat soil | 1.52 | 0.097 | 0.937 | 833 | 1.91×10^{-2} | 6.44×10^{-2} | 3.4 | 92.7 | 81.2 | 2.8 | 28.7 |
| 65 | Peat soil | 1.48 | 0.098 | 0.933 | 953 | 8.43×10^{-3} | 3.71×10^{-2} | 4.4 | 88.7 | 81.6 | 2.3 | 36.2 |
| 100 | Peat with Clay | 2.04 | 0.181 | 0.895 | 277 | 2.53×10^{-2} | 8.76×10^{-3} | 0.4 | 24.8 | 27.3 | 1.1 | 24.0 |
| 140 | Clay | 2.64 | 0.756 | 0.713 | 71.7 | 5.53×10^{-3} | — | — | 8.4 | 3.2 | 0.2 | 17.9 |

キーワード: 泥炭, 透気係数, 透水係数, 異方性

連絡先: 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学大学院理工学研究科 飯塚 健仁

TEL:048-858-3572 FAX:048-858-7374 E-mail:s07me102@mail.saitama-u.ac.jp

4.結果および考察

(1) 飽和透水係数 k_s

各深さにおける飽和透水係数 k_s の測定結果を表-1 に示す。鉛直方向の透水係数 $k_{s,v}$ は概ね $10^{-2} \sim 10^{-3} \text{cm/s}$ のオーダーであった。 k_s の異方性について水平方向飽和透水係数 $k_{s,h}$ と鉛直方向飽和透水係数 $k_{s,v}$ の比 $k_{s,h}/k_{s,v}$ をみると、中間泥炭層である深さ 40cm, 60cm では比 $k_{s,h}/k_{s,v} = 1.6 \sim 2.0$ であったが、粘土混じり泥炭層である深さ 100cm では比 $k_{s,h}/k_{s,v} = 0.3$ であり、 $k_{s,h}$ が $k_{s,v}$ に比べて小さい結果となった。今回採取した泥炭土の異方性は、一般に北海道の泥炭に関する透水異方性の値 $k_{s,h}/k_{s,v}$ が 2~6 程度である²⁾ と報告されており、これと同程度であった。

(2) 不飽和透水係数 k_w

深さ 40cm および 60cm について、鉛直方向の不飽和透水係数 $k_{w,v}$ と水平方向の不飽和透水係数 $k_{w,h}$ の測定結果を図-2 に示す。同図には、 k_w の異方性の指標として、サクシオン $h=30\text{cm}$, 60cm における $k_{w,h}/k_{w,v}$ の値も合わせて示した。 k_w は $k_{w,v}$, $k_{w,h}$ ともに飽和状態からの脱水過程において $10^{-2} \sim 10^{-8}$ オーダーへと著しく低下した。 k_w の異方性についてみると、いずれの深さともに、 $k_{w,h}/k_{w,v}$ 値は 2.2~3.8 程度であり、異方性の程度は飽和透水係数におけるそれと大きな違いはなく、また、脱水過程において異方性の程度が大きく変化することはなかった。

(3) 透気係数 k_a

各深さにおける透気係数 k_a の測定結果を図-3 に示す。同図には、 k_a の異方性の指標として、各サクシオンにおける $k_{a,h}/k_{a,v}$ の値も合わせて示した。 k_a はサクシオンの増加に対してゆるやかに増加した。 k_a の異方性についてみると、(b)Z=60cm でサクシオン $h=10\text{cm}$ において $k_{a,h}/k_{a,v}$ 値が 17.6 であったのを除き、概ね 1.9~4.1 程度であった。

(4) 飽和透水係数 k_s と透気係数 k_a の比較

飽和透水係数 k_s と透気係数 k_a の比較を行った。両者の比較を考えるにあたって、多孔質媒体の間隙部分が水で占められたときの飽和透水係数と、空気でも占められたときの透気係数の比は、液相と気相の粘性比 η_w/η_a で表わされる。その値は、温度 20°C (実験室内温度を想定) のとき、 $\eta_w/\eta_a = 0.0100 / 0.000180 = 55.6$ となる。この値は温度により変化するが、常温では透気係数は透水係数より 2ケタほど大きい。そこで、比較する透気係数は、2つの水分状態を設定した。すなわち、(a): 圃場容水量(サクシオン $h=60\text{cm}$)、(b): 大部分の間隙は脱水している状態(風乾状態)とした。図-4に k_s と k_a の相関図を示す。同図より、 k_s の増加に対して、 k_a も増加する傾向が確認できる。図中には、 k_s と k_a の比: k_a/k_s が 1, 10, 56, 100 となるラインを直線で示したが、(a) $h=60\text{cm}$ では、測定値は $k_a/k_s: 1 \sim 10$ の範囲にプロットされている。 h の増加に伴い k_a/k_s は大きくなり、風乾状態では 50 程度となり、液相と気相の粘性比 $\eta_w/\eta_a \approx 56$ に近い値を示した。

5.まとめ

以上の検討より、中間泥炭土の透水性および透気性について調べた結果、以下のことがわかった。

- ・ 不飽和透水係数 k_w は脱水過程において、 $10^{-2} \sim 10^{-8}$ オーダーへと著しく低下した。
- ・ 飽和透水係数 k_s 、不飽和透水係数 k_w および透気係数 k_a の異方性の程度は大きな違いがなく、水平方向の測定値 k_h と鉛直方向の測定値 k_v の比 k_h/k_v は 2~4 程度であった。
- ・ 飽和透水係数 k_s と透気係数 k_a の比は試料の脱水に伴って増加し、風乾状態では水と空気の粘性比に近づく。

謝辞：本研究は埼玉大学 21 世紀総合研究プロジェクトならびに文部科学省科学研究費 (No. 18360224, 18686039) の補助を受けた。また、本研究に使用した試料の採取にあたり、北海道農業研究センター寒地温暖化研究チームの永田修氏の協力を得た。ここに記して厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 山口晴幸, 松尾啓, 大平至徳, 木暮敬二: 泥炭および泥炭地盤の土質工学的性質, 土木学会論文集, No. 370/III-5, pp. 271-280, 1986.
- 2) 木暮敬二: 高有機質土の地盤工学, pp. 56-59, 東洋書店, 1995.
- 3) Ball, B. C., and P. Schjønning: Air Permeability. In J.H. Dane and G. C. Topp (eds.). Methods of Soil Analysis, Part 4, SSSA Book Ser. 5, ASA and SSSA, Madison, WI, pp. 1141-1158, 2002.
- 4) 地盤工学会「不飽和土地盤の挙動と評価」編集委員会: 不飽和地盤の挙動と評価, pp. 11-84 (第2章 保水性および透水性, 地盤工学会, 2004).
- 5) 宇野尚雄, 杉井俊夫, 神谷浩二: 比表面積測定に基づく土粒子物性と透気性・透水性の考察, 土木学会論文集, No. 469, III-23, pp. 25-34, 1993.

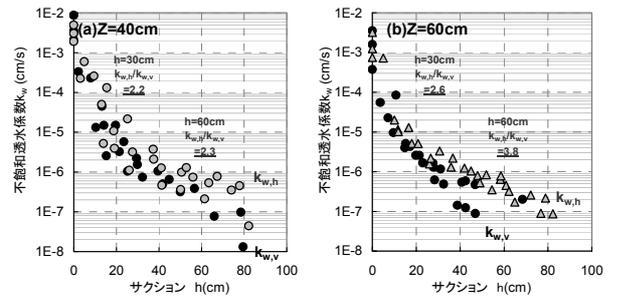


図-2 不飽和透水係数 k_w とサクシオンの関係

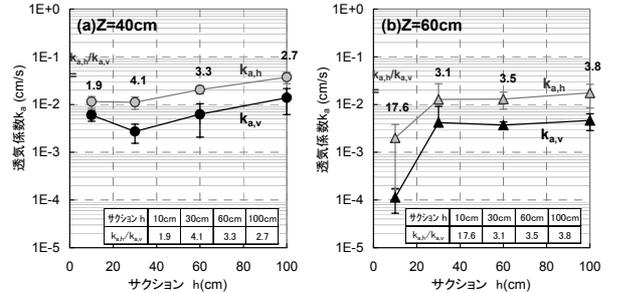


図-3 透気係数 k_a とサクシオンの関係

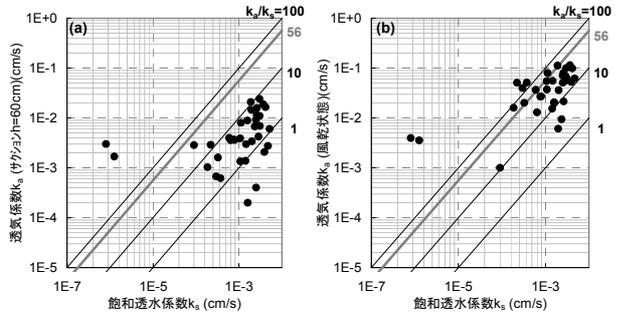


図-4 飽和透水係数 k_s と透気係数 k_a の比較