

中国砂漠土壤における灌漑と水分移動特性

郝, 愛民
九州大学大学院生物資源環境科学府

中野, 芳輔
九州大学大学院農学研究院

原口, 智和
佐賀大学農学部

丸居, 篤
九州共立大学工学部

<https://doi.org/10.15017/4381>

出版情報 : 九州大学大学院農学研究院学芸雑誌. 61 (1), pp.43-48, 2006-02-01. 九州大学大学院農学研
究院

バージョン :

権利関係 :

中国砂漠土壌における灌漑と水分移動特性

郝 愛 民*・中 野 芳 輔¹
原 口 智 和²・丸 居 篤³

九州大学大学院生物資源環境科学府生産環境科学専攻

(2005年10月28日受付, 2005年11月16日受理)

Characteristic feature of soil water movement during irrigation on desert soil in China

Aimin HAO*, Yoshisuke NAKANO¹, Tomokazu HARAGUCHI²
and Atsushi MARUI³

Laboratory of Irrigation and Water Utilization, Division of Regional Environment Science,
Department of Bioproduction Environmental Science, Faculty of Agriculture,
Kyushu University, Fukuoka 812-8581 Japan

緒 言

中国の黄河周辺では、広い範囲にわたり砂漠が広がっており、その一部が農地として利用されている。農地の水分補給法としては一般的に畦間灌漑、水盤灌漑およびボーダー灌漑などがあるが、これらの灌漑法には深層でも水損失を防ぐための的確な水管理が必要である。近年、黄河断流のような黄河水資源の枯渇は大きな問題となっているため、黄河周辺の畑地灌漑を行うには、灌漑効率を高めることが更に重要になってきた。これまでに、砂漠土壌の透水性を扱った報告は少なく、本研究では、灌漑時の砂漠土壌の土壌水分挙動を把握するために、砂漠土壌の不飽和透水係数を測定し、浸潤実験とその解析を行った。

調査地の概要

調査地は、中国蘭州市の北東部に位置するテンゲル砂漠(北緯37°32', 東経105°02', 標高は約1,300m)

にある中国科学院蘭州砂漠研究所である。黄河河畔に位置し、気候は、7月から9月が雨期となっており、年間降雨量は約200mm、寒暖の温度差が著しい、月平均温度は最高が7月で32℃、最低が1月で-10℃である。

実験方法および結果の考察

1. 水分特性曲線

土壌は試験地周辺の砂漠地より採取した。砂は深さ20m以上の堆積層となっている。地域一帯は流砂地帯であり、深さ方向の土性は均質と判断できる。図1は水分特性曲線である。

2. 不飽和透水係数

(1) Hot Air 法

直径50mm、長さ100mmのステンレス円筒に試料をつめ、土柱法で圃場容水量に調整し、これに70℃程度の熱風を送って蒸発させる。ここで、ステンレス円

¹九州大学大学院農学研究院

²佐賀大学農学部生物生産学科生産情報科学講座利水情報工学分野

³九州共立大学工学部地域環境システム工学科

¹Laboratory of Irrigation and Water Utilization, Division of Regional Environment Science, Department of Bioproduction and Environmental Sciences, Faculty of Agriculture, Kyushu University

²Laboratory of Agricultural Water Supply and Management, Department of Agricultural Sciences, Faculty of Agriculture, Saga University

³Regional Environment System Engineering, Kyushu-Kyoritsu University

*Corresponding author (E-mail: aimin@bpes.kyushu-u.ac.jp)

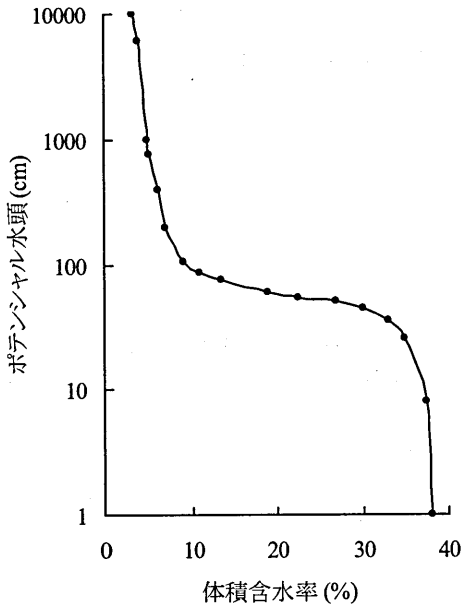


図1 水分特性曲線

筒が熱くなるのを防ぐために、先端部にチューブを巻き、マイクロポンプで水を通して冷やし、温度上昇を防いだ。熱風は、試料円筒の底部の水分変動が起きる以前に停止し、表面から少しずつ採土し、秤量法で土壌水分を測定する(図2)。

この方法の特徴は、極めて短時間に不飽和拡散係数の測定が可能であり、また現場で円筒にサンプリングした試料をそのまま利用できるということである。

ただし、熱風によって試料の温度上昇がおき、それが透水性に及ぼす影響が懸念される。このため温度上昇の激しい表面付近について、体積含水率の鉛直分布とともに温度の時間変化を測定した(図3, 4)。実験結果から、温度は全体的に上昇し、温度勾配も表面近傍で4℃/cmになるが、それ以外では、2℃/cm以内であるから、温度勾配による水分移動は小さく、透水性への影響は少ないと思われる。

次に、実験によって得られた不飽和拡散係数から、水分特性曲線を使って、不飽和透水係数 $K(\theta)$ は次式によって求める。

$$K(\theta) = -D(\theta)\Delta\theta/\Delta\phi \quad (1)$$

$\Delta\theta/\Delta\phi$ は水分特性曲線の θ における接線の傾き、 $D(\theta)$ は不飽和拡散係数、 θ は体積含水率、 ϕ はポテンシャル水頭である。

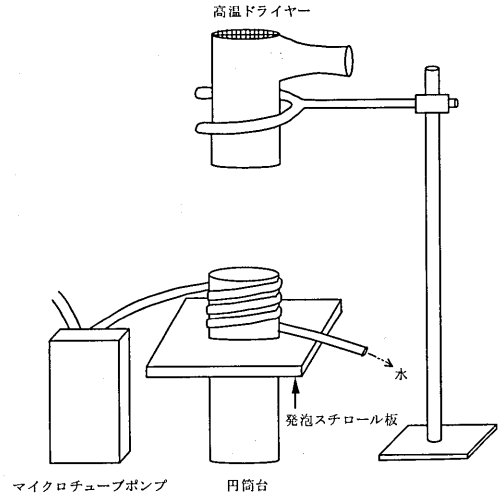


図2 Hot Air 法実験装置

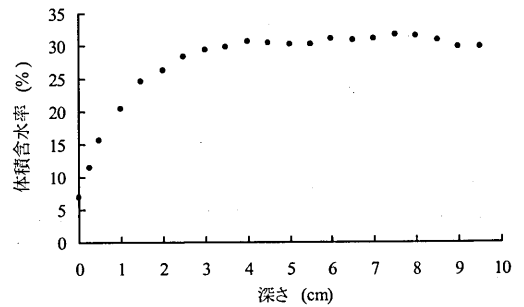


図3 体積含水率の変化

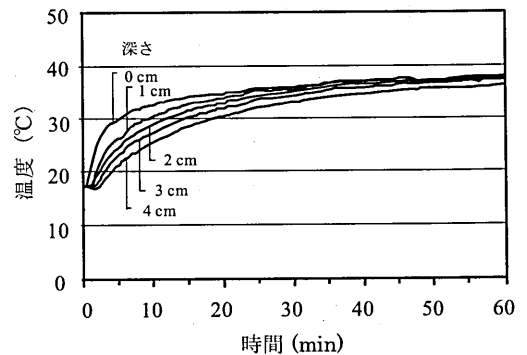


図4 地中温度の変化

(2) Bruce・Klute 法および One-Step 法との比較
Hot Air 法によって得られた結果を、従来の方法である Bruce・Klute 法と One-Step 法による結果と比較検討した(図5, 6)。測定方法によって係数の

開きがあるのは、Bruce・Klute法は吸水過程で、One-Step法とHot Air法は脱水過程で求めた不飽和拡散係数であることに由来する、砂特有のヒステリシスが原因と考えられる。

下記の浸潤実験における不飽和拡散係数と不飽和透水係数は、Bruce・Klute法とHot Air法による値の

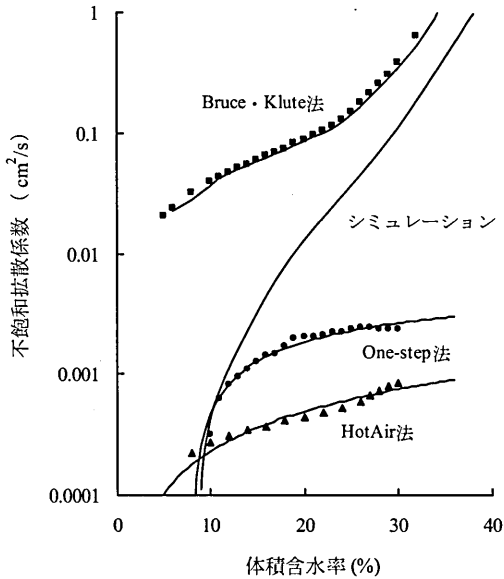


図5 砂の不飽和拡散係数 $D(\theta)$

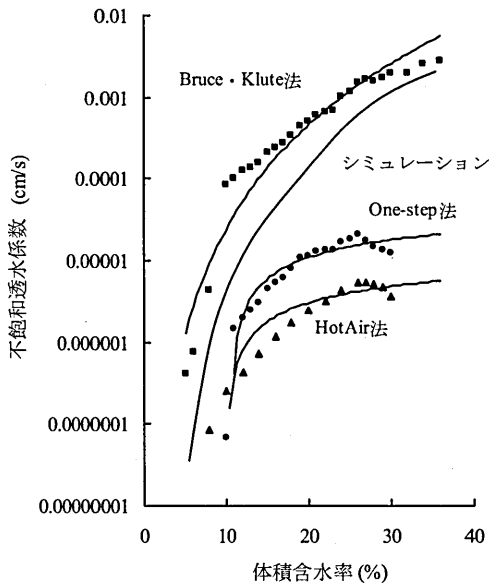


図6 砂の不飽和透水係数 $K(\theta)$

中間を変動するものと想定し、実験結果との比較によって逐次試行的に決定した。土壌水分挙動の推定では、こうして求めた最適な係数を用いた。

3. 浸潤実験

(1) 実験の方法

直径52mm、長さ100mmの円筒の下にポーラスなフィルターを付け、アスピレーターで吸収させ、途中にバブリング装置を付け、180cmの負圧が一定にかかるようにした。そして、直径6mmのテンシオメーターの設置深さは、表面から不等間隔で0cm、2cm、4cm、6cm、8cm、10cm、15cm、20cm、30cm、40cm、50cm、75cmと、合計12個を取り付けてポテンシャル水頭を測定した。灌水量は、浸潤前線が円筒下端に到達するまで灌水する連続灌水と、1時間だけ灌水する方法の2通りについて浸潤過程を調べた。灌水強度は、連続灌水では2.0cm/h、4.7cm/h、7.4cm/hの3通り、1時間灌水では4.7cm/hの1通りである。初期条件は、実際の圃場を想定して、円筒を飽和させた後、180cmのサクシオンで水分を排除した土壌水分の状態を設定した(図7)。

(2) 実験結果

まず、連続灌水では、最初の30分を6分間隔、その後は30分間隔で測定を行った(図8)。下端に到達し

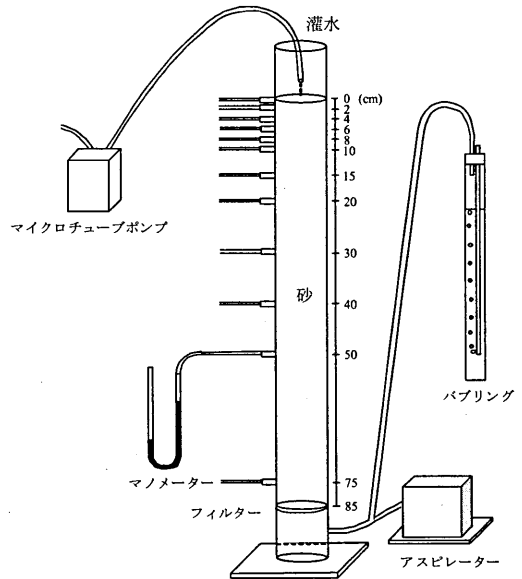


図7 浸潤実験装置

た時間は、灌水強度2.0cm/hが4時間半後、4.7cm/hが2時間半後、7.4cm/hが2時間後であった。また、流量が多くなるにつれて、浸潤前線が膨らむのが分かる。次に、1時間灌水では30分間隔で水分測定を行った。その結果、灌水を停止した後、上の層の水が、下の層へ再分配される過程を明らかにすることができた(図9)。

4. 数値実験

浸潤過程のシミュレーションモデルを作成し、実験

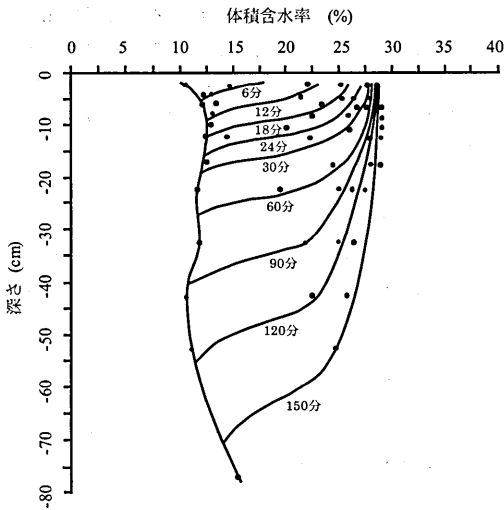


図8 浸潤実験 (4.7cm/h, 連続灌水)

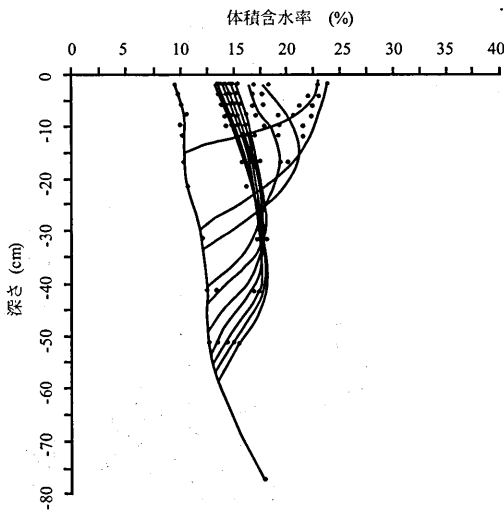


図9 浸潤実験 (4.7cm/h, 1時間灌水)

によって得られた不飽和拡散係数と不飽和透水係数を適用した。

シミュレーションを行うにあたって次の土壌中の水分輸送支配方程式を用いた。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) - \frac{\partial K(\theta)}{\partial z} \quad (2)$$

ここで、 t は時間、 z は深さである。

これを数値的に解くために、土層を幾つかの層に分割し、次の様なコンパートメントモデルにおきかえて解いた(図10)。

$$FLOW(I) = -D(I) \frac{WC(I) - WC(I-1)}{TCOM(I)} + K(I) \quad (3)$$

$$NFLOW(I) = FLOW(I+1) - FLOW(I) \quad (4)$$

$$WC(I)_{t+DELTA} = WC(I)_t - \frac{NFLOW(I) \cdot DELTA}{TCOM(I)} \quad (5)$$

ここで、

- FLOW(I) : 土壌水分輸送量
- D(I) : 不飽和拡散係数
- K(I) : 不飽和透水係数
- WC(I) : 体積含水率
- TCOM(I) : 土層厚さ
- NFLOW(I) : 土壌水分変化量
- DELTA : 計算のタイムステップ

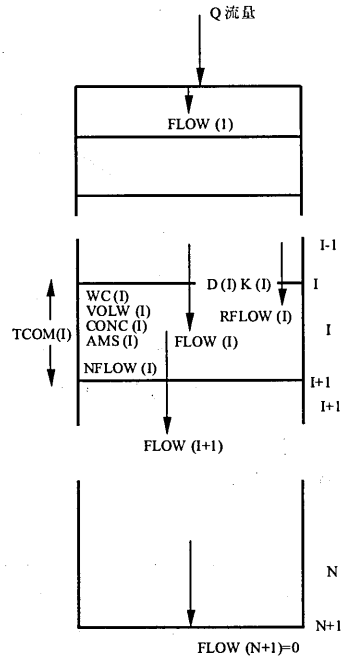


図10 コンパートメントモデル

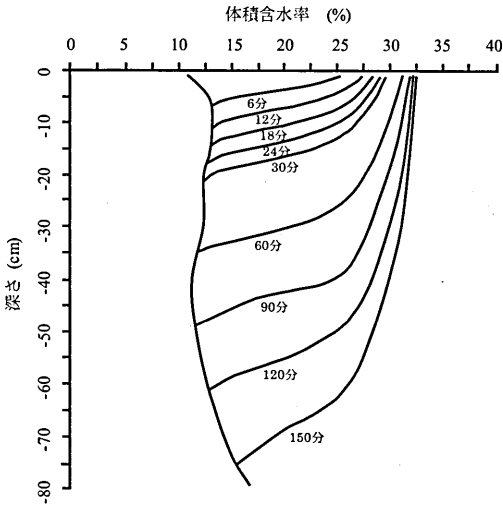


図11 浸潤シミュレーション (4.7cm/h, 連続灌漑)

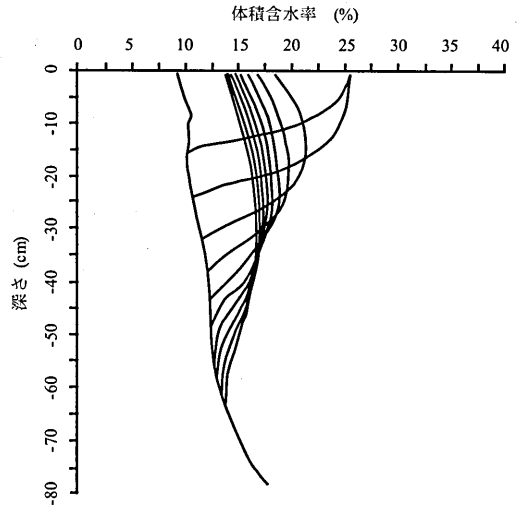


図12 浸潤シミュレーション (4.7cm/h, 1時間灌漑)

上部境界条件

$$q = Q \text{ (cm/h)}$$

下部境界条件

$$q = 0$$

ただし, q は水分輸送量である.

$$q = -D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} + K(\theta) i \tag{6}$$

本実験では, 80cmの土層を表面から20cmまでを1cm間隔, 40cmまでを2cm間隔, 80cmまでを5cm間隔に, 38層に分割して, 各層の水分移動を求めた. シミュレーションの初期土壌水分は実験値を用いた. 計算間隔は, 測定間隔と同様に, 連続灌漑の場合, 最初の30分を6分間隔とし, その後を30分間隔とした. 1時間灌漑の場合は, すべて30分間隔とした.

不飽和拡散係数と不飽和透水係数は, 先に述べた曲線を用いた. シミュレーションの結果 (図11, 12), 浸潤実験と曲線の形がほぼ一致しており, 時間的にも数分以内程度の誤差でシミュレーションすることができた. 1時間だけ灌漑を行った場合についても, 不飽和拡散係数と不飽和透水係数の数値を1本の曲線で仮定したが, シミュレーション結果は実験とほぼ一致した.

結 論

本研究では, 不飽和透水係数, 不飽和拡散係数を3種の方法で求めた. 測定方法によって係数の開きがあるのは, Bruce・Klute法は吸水過程で, One-Step法とHot Air法は脱水過程で求めた不飽和拡散係数であることに由来する, 砂特有のヒステリシスが原因と考えられる.

さらに, 浸潤実験とシミュレーションモデルを比較し逐次試行的にそれぞれの係数を定めた. これらの係数によって砂漠土壤における灌漑水の浸潤過程を正確に表せることを示した. 農地への水分補給は畦間灌漑, 水盤灌漑, ボーダー灌漑のいずれにせよ, この手法を用いて灌漑水量, 灌漑時間, 灌漑強度から浸潤深さを推定することが可能であり, 適切な灌漑計画を立てることが可能となる.

文 献

- Bruce, R.R. and A. Klute. 1956 The measurement of soil-water diffusivity. *Soil Science. Soc. Am. Proc.* 20: 458-562
- Doe ring E.J. 1965 Soil-water diffusivity by the One-step method. *Soil Science.* 99: 322-326

Summary

Soil hydraulic conductivity and diffusivity were measured with Hot AIR Method, Bruce and Klute Method and One-Step Method. The deviations of each curve were caused by hysteresis phenomena. The seepage conditions were studied applying various types of irrigation intensity, irrigation amount and irrigation duration. With trial and error method, the soil hydraulic conductivity and diffusivity were modified. Those values showed good explanation on the various types of irrigation conditions.