

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 7 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22380135

研究課題名（和文） ガスの透気性と吸着性を同時に満たす土壌脱臭槽の土壌構造デザイン

研究課題名（英文） Structural design of soil filter for optimizing gas permeability and gas absorbability

研究代表者

東城 清秀 (TOJO SEISHU)

東京農工大学・大学院農学研究院・教授

研究者番号：4015495

研究成果の概要（和文）：土壌脱臭法で使用されている土壌槽は、外部環境によって通気性能や脱臭性能が変動するため、その改善が課題であった。本研究では、土壌槽に通気するガスの透気性を精密に測定するシステムを開発し、土壌含水率と透気性の密接な関係を明らかにし、土壌の透気性とガス吸着性を同時に満足する土壌槽のデザインについて考察した。さらに、土壌の構造的特徴を物質移動シミュレーションおよび微細形態学的観察により検討した。

研究成果の概要（英文）：Soil filter deodorization has been facing the improvement of soil filter because its performance of ventilation and deodorization varies easily with external environment. In this study, a precise measurement system was developed to determine the gas permeability of the soil filter in the ventilation. A complicated relationship between gas permeability and soil moisture content was revealed by the measurement system. The structural feature of the soil filter which satisfies both the gas permeability and absorbability was discussed by the microscopic morphological observation and the mass transfer simulations.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	8,600,000	2,580,000	11,180,000
2011年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2012年度	3,100,000	930,000	4,030,000
年度			
年度			
総計	14,800,000	4,440,000	19,240,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：土壌脱臭・土壌微細構造・ガス移動・透気性・ガス吸着

1. 研究開始当初の背景

(1) 畜産経営で抱える家畜糞尿などの処理、一方で有機農業に向けて需要が増えている堆肥など、家畜糞尿をリサイクルするための技術と施設の整備が進められてきた。堆肥製造過程で不可欠な脱臭設備の一つである土壌脱臭装置は更新期を迎え、これからの低炭素社会に向けて、如何に稼働エネルギーを低

く抑え、かつ脱臭性能を向上させるかが課題となっている。

(2) 土壌脱臭法は臭気成分を土壌中の水分に溶解させ、あるいは土壌粒子に吸着させ、これを土壌微生物のはたらきで無臭成分に分解して脱臭する方法で、設備も簡易で、普及してきたが、不調になると急激に脱臭性能が低下することが知られている。土壌脱臭法で

は、脱臭槽の土壌中に大量の空気を通過させること、土壌通過中に空気中の悪臭成分を土壌に溶解・吸着させること、この2つの相反する内容を同時に実現するメカニズムが求められている。

2. 研究の目的

- (1) 土壌槽の通気性を評価するため、通気抵抗を精密に測定できる装置を開発し、供試土壌の物理性と土壌の通気性の関係を明らかにする。
- (2) 土壌槽の土壌を人為的に構造化させることで、土壌の通気性がどのように変化するかを検討する。
- (3) 土壌の物理性や構造が土壌の通気性に及ぼす影響について、微細構造観察や数値シミュレーションで検証する。
- (4) 土壌の高い通気性とガス成分の吸着を同時に可能とする構造はどのようなものであるか検討する。

3. 研究の方法

(1) 土壌の通気抵抗測定装置の開発

土壌の通気性（透気性）を精密に測定するため、直径 60mm、高さ 150mm の円筒容器セルに供試土壌を充填させた後、多孔板底面から通気させて水分を蒸発させながら、通気抵抗を測定する測定システムを試作した。図 1 の測定システムは、供試試料に拘束圧をかけて、セルの側面を通過する空気を抑制している。性能を評価するため、土壌脱臭でよく使われる黒ボクを供試材料し、表 1 のように 2 通りの方法で充填した。

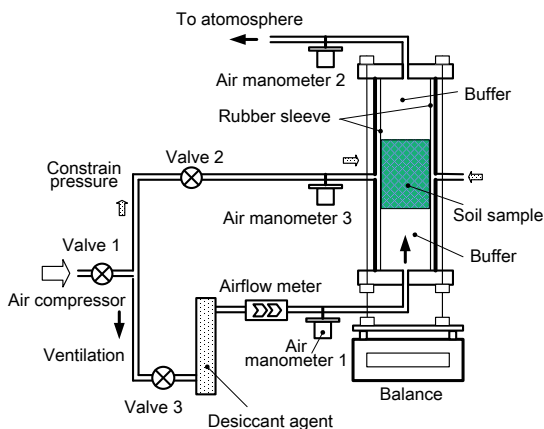


図 1 通気抵抗測定システム

表 1 土壌充填条件と拘束圧

	乾燥密度 (g cm^{-3})	含水率 (g g^{-1})	拘束圧 (kPa)
粗充填	0.52	0.58	3
密充填	0.60	0.58	5

土壌に高度な構造化を持たせるため、供試土壌に低速度で吸水・排水と通気を繰り返すことで構造化させた。供試土壌としては、黒ボク及び黒ボクに構造化補助剤として石膏 (CaSO_4) を 3.8 % 混合した混合土を用いた。

(2) 土壌条件とガスの動的吸着性の検討

臭気ガスとしてアンモニアを供試して、濃度 100ppm 程度のアンモニアガスを通気して、土壌サンプルにおける破過曲線について検討した。カラム前後にアンモニアセンサを設置して、土壌槽を通過するアンモニア量を測定した。側面流によりアンモニアガスが漏れることを防ぐため、拘束圧 20 kPa を負荷した。土壌含水率の異なる試料を供試して、土壌槽を通過するアンモニア量を連続的に記録した。

(3) シミュレーションによる検討

土壌脱臭に適している、団粒構造の発達した黒ボク土を用いて通気に関する水分保持曲線のモデルパラメータを求めるペドトランスファー関数の構築を試みた。

また、HYDRUS を用いた水分蒸発過程の数値計算より、通気による脱臭効果の維持のために水分蒸発に伴う土中水分の変化および成層構造が蒸発に与える影響について検討した。

(4) 微細形態観察による検討

これまでの薄片作成技術では連続薄片をつくることは土壌の樹脂包埋に 2 ヶ月程度かかること、従来の切断装置では連続薄片の作成が困難であることが課題であった。そこで本研究では、モデル土壌としてクレイボール 4 種を用いて、樹脂の硬化剤配合を 3 種類設定し、作成する試料の大きさを小型化し、短期間（2 日程度）で樹脂包埋が完了する方法を検討した。また自然堆積土壌（ソフトローム層）を供試して、連続薄片の作成方法を検討した。

4. 研究成果

(1) 土壌通気抵抗測定システム

充填密度を変えた 2 通りの土壌を供試して得られた空気流量と圧力差の関係を図 2 に示す。いずれの土層でも流量が $50\text{cm}^3\text{ s}^{-1}$ 以下の範囲では、空気流量と圧力差は原点を通る直線となり、Darcy 式が成立することが確認された。一方、空気流量が $50\text{cm}^3\text{ s}^{-1}$ 以上の範囲では、関係式が成り立たないことが判明した。この原因として、高流量の通気によって土層中に短絡流が発生したものと考えられる。なお、この結果を受けて本研究では通気流量を $Q=35\text{cm}^3\text{ s}^{-1}$ と設定することとした。

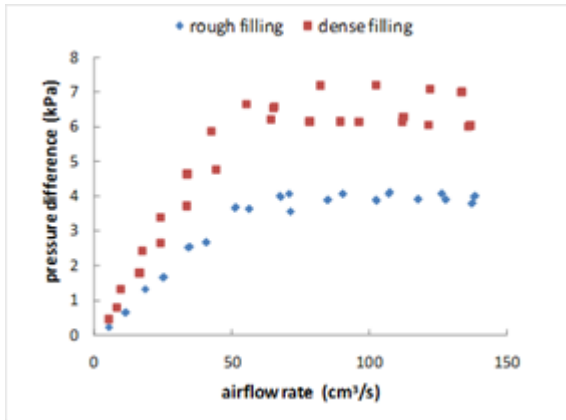


図2 通気流量と圧力差の関係

(2) 給排水処理による通気抵抗の変化

給排水処理前後における土壌の通気抵抗の変化を図3に示した。給排水処理前の通気抵抗は土層中の水分量に比例して推移していること、給排水処理後の通気抵抗は土層中の水分量にそれほど依存せずほぼ同様の値で推移していることが確認できる。なお、給排水処理前後の土層にかけた拘束圧が異なるので、通気抵抗の単純な比較はできない。給排水処理が3回目以降はほぼ同じ関係性が観察され、土壌構造が安定したものと考えられた。

土壌含水率の変化に伴う通気抵抗の推移について次のことが推察される。給排水処理前の供試土層は、黒ボク土をふるいにかけて充填し、粒子間隙サイズが均質な土層構造であった。一方、給排水処理後の供試土層は、給排水処理によって土層内に水みちや空気みちが形成されることにより、大小様々な間隙が共存する階層的な土層構造に変化した。このような土層構造では、土壌脱臭に適した水分条件下において安定した通気性の確保が期待される。

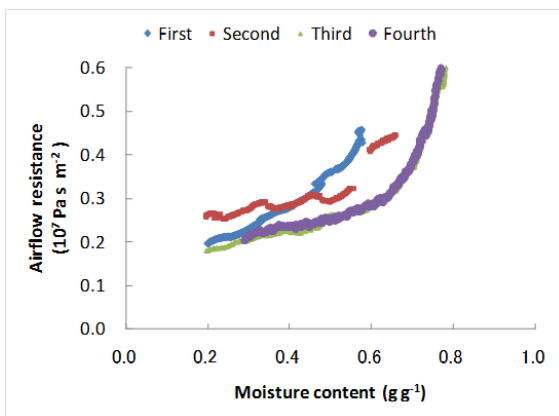


図3 土壌の構造化と通気抵抗の変化

(3) 土壌槽でのアンモニア吸着

図4に動的吸着実験の結果を示す。図4のX軸は Pore Volume (pv, L/L) で、ガスが土壌中の間隙空間に対して入れ替わった回数示している。Y軸には、アンモニアの相対濃度 C/C_0 を示した。黒ボク土の含水比が 50 % d.b. の条件において、約 30000 pv 付近において相対濃度 C/C_0 が急激に増加し、0.3 以上では緩やかな増加に転ずるといった結果を得た。含水比が 20 % d.b と 40 % d.b. ではそれぞれ約 45000, 55000 pv 付近で急激な増加が見られ、それぞれ 0.5, 0.6 pv 以降は緩やかな増加に転じるという結果となった。緩やかな増加は、50, 40, 20 % d.b. と相対濃度が上昇するに伴い同じ挙動を示すようになった。含水比 0 % d.b. では約 80000 pv 付近で緩やかに増加するという結果となった。これは、土壌に一旦吸着されたアンモニアが少しずつ入れ替わって、吸着量と離脱量が徐々に変化することによると考察された。

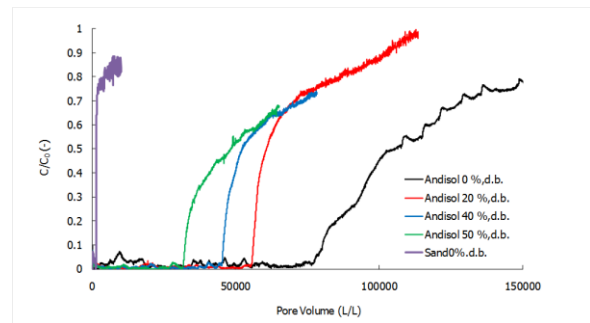


図4 土壌槽におけるアンモニア動的吸着

(4) シミュレーションによる検討

団粒構造が発達した土壌では、団粒間隙と団粒内間隙に保持される水分の保持特性が階段状の水分特性曲線に現れる(図5)。このような形状を表す水分特性曲線について Arya-Paris モデルを用いて、団粒径分布および土粒子径分布からの予測を行った。土中水圧力の大きい領域、つまり団粒間隙が支配的な領域では、上記モデルは水分保持特性を過少評価し、小さい領域では逆に過大評価した。一方、階段状の水分特性曲線のモデルパラメータについては、乾燥密度のように容易に測定が可能な物理性から予測するため、重回帰分析に基づくペドトランスファー関数を構築した。

土壌脱臭の性能は土壌の水分状態に大きく依存しており、土壌水分状態の把握が不可欠である。HYDRUS による数値シミュレーションの結果、表層に薄い砂質土、下層にシルトとなるような構造の場合、下層からの水分供給能力が小さいため、表層は乾燥が進行する

ものの、下層の水分状態は高く維持されることが分かった。一方で、下層が砂質土のように水分供給能力が高い場合は、下層の乾燥が時間とともに進行することが分かった。以上から、土壤脱臭装置の水分状態をある程度高く維持するためには、透水性の高いものの乾燥の進行が速い砂のようなマルチを表面付近に敷くことが有効であることが示唆された。

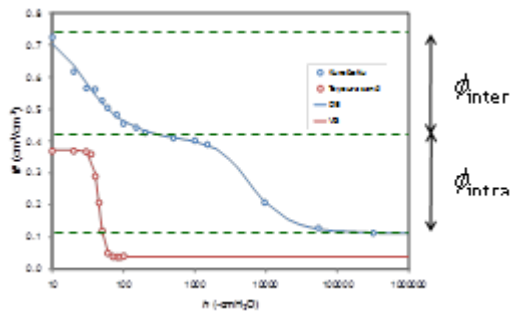
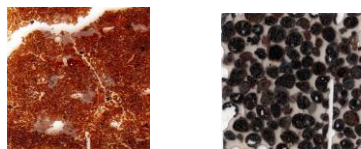


図5 土壤水分特性曲線

(5) 土壤構造の微細形態観察

従来薄片作成用に用いてきた大型研削盤では、一次切断後研磨を行う方法であり連続薄片の作成は困難であった。今回は、切断断面は小さいが連続して切断が可能なゼーグミクロトーム sp1600 (ライカ社製) を用いて切断した。結果、モデル土壤では 350~500 μ m 程度に切断することが可能であり切断後に板状の形状を保持でき、これ以下の厚さでは切断後変形し崩壊することが分かった。そこでスライドガラスへの貼り付けは行わず二次研磨は行わなかった (図6)。薄片間は 800~900 μ m 程度で採取することができた。採取した連続薄片を用いて、3次元情報化を行った。3次元化ソフトは MicroAVS (サイバネットシステム社製) および 3次元情報化後の測定等が可能な Volume Extractor 3.0 (i-plants systems 社製) を用いた。モデル物質では薄片試料から土壤孔隙の連続性を 3次元的に表現できることがわかった。



a. 自然堆積土壤 b. モデル土壤
図6 連続薄片 (1辺2cm)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計2件)

- ① Saito, H., M. Kitahara: Analysis of Changes in Soil Water Content under Subsurface Drip Irrigation using Ground Penetrating Radar, Journal of Arid Land Studies, 22: 283-286, 2012 (査読有)
- ② 斎藤広隆, 取出伸夫: 蒸発過程の土中水分移動 2. 成層土および地下水の影響, 土壤の物理性, 121, 55-63, 2012. (査読無)

〔学会発表〕 (計3件)

- ① Tojo, S., T. Chosa, T. Nakajima, T. Kikuchi, K. Iwasawa. (2012). Dynamic Measurement of Odor Absorbability in Soil Filter Deodorizer. CIGR-AgEng2012, International Conference of Agricultural Engineering, Valencia, Spain, July 8-12, 2012. P-1342. 2012
- ② Tojo, S., Chosa, T., Kikuchi, T., Nakajima, T. (2011). Measurement System of Air Permeability and Airflow Resistance in Soil Deodorizer. 2011 ASABE Annual International Meeting, Paper No. 1111394. Louisville, Kentucky, USA, August 7 - 10, 2011
- ③ 中島亨・東城清秀・斎藤広隆. (2010). 黒ボク土のアンモニアガスの移流・吸着現象の実験的解析. 農業農村工学会大会. 2010年9月1日. 神戸大学百年記念館

6. 研究組織

(1) 研究代表者

東城 清秀 (TOJO SEISHU)
東京農工大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号: 40155495

(2) 研究分担者

斎藤 広隆 (SAITO HIROTAKA)
東京農工大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号: 70447514
帖佐 直 (CHOSA TADASHI)
東京農工大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号: 10355597
須永 薫子 (SUNAGA KAORUKO)
都留文科大学・文学部・非常勤講師
研究者番号: 10405087

(3) 研究協力者

中島 亨 (NAKAJIMA TORU)
米国オハイオ州立大学・PD