

マサ土を活用した土壌脱臭

石川 洋二 杉本 英夫
溝田 陽子 辻 博和

Soil Bed Reactor with Modified "Masado" as Soil Medium

Yoji Ishikawa Hideo Sugimoto
Yoko Mizota Hirokazu Tsuji

Abstract

There is a need for the development of a soil bed reactor with "Masado" (weathered granite) as the major soil component in the area where "Kurobokudo" (Ando soil) cannot be easily accessed. After determining the appropriate ranges for the physical, chemical, and biological characteristics of soil for the soil bed reactor, we compare "Masado" characteristics with the target values, and propose a guideline for improving "Masado" as an odor-eliminating soil. Based on the pF characteristics of several modified "Masado" mixtures, we discuss and determine the mixture ratio of the soil improving materials added to "Masado" as soil for the soil bed reactor. Then, the example is shown where the modified "Masado" soil mixture is applied to the site for the remodelling of the soil bed reactor. In this case, the soil characteristics monitored after construction satisfy the target ranges as odor-eliminating soil, and the odor concentrations for several odor gases, found evident at the entrance, are below the detection limits at the exit.

概 要

生物脱臭の一種である土壌脱臭において、一般に用いられる黒ぼく土（火山灰土壌）が容易に得られない地域では、現地で発生するマサ土（花崗岩風化土壌）等を基材とした脱臭土壌を工夫する必要がある。この報文では、まず、脱臭土壌の持つべき性質として、物理的・化学的性質および微生物数の適正な範囲について述べ、これをマサ土の性状を調査した結果と比較し、マサ土の改良指針を検討する。マサ土に各種土壌改良材を混合した場合の含水比、気相率などの室内実験のデータに基づき、マサ土に添加すべき各種土壌改良材およびその混合比を検討する。この改良土壌の性状は当初の脱臭土壌としての目標値の範囲内にある。開発した脱臭土壌の応用例として某土壌脱臭装置改造工事に適用した事例を紹介する。施工前に比べ、施工後の土壌は脱臭土壌としての性質を満足しており、かつ、装置入口で存在した各種臭気成分は、出口ではほぼ検出限界以下であった。

1. 緒言

土壌脱臭とは、土壌中の微生物および化学的作用により臭気成分を吸収除去するシステムであり、生物脱臭の一種である。土壌としては、通常黒ぼく土が用いられる。硫化水素やメチルメルカプタンなどの含硫化合物およびアンモニアなどの窒素化合物などの臭気に対して有効であり、屋外に広い敷地を持つ場所で多用される。

下水処理場より搬出される脱水ケーキの処理施設においてケーキピット等から硫化水素やアンモニアなどの臭気が発生する。某地方自治体では、これらの臭気の除去に土壌脱臭装置を活用している。この内のひとつの土壌脱臭装置において脱臭土壌を交換する必要性が生じた。この地域では、黒ぼく土が入手しにくく、現地で容易に手

に入るマサ土を使用することがコストの低下において必須の条件であった。ところが、マサ土はそのままでは脱臭土壌（臭気が除去される層の土壌）となりにくく、マサ土を基材としつつ土壌改良を施した脱臭土壌を考案することが新規に求められた。

この報文では、まず、脱臭土壌に必要な条件について述べ、脱臭土壌の持つべき物理的および化学的性質を定量的に考察する。続いて、マサ土の性状について調査した結果を述べる。このマサ土の改良すべき項目を列挙し、改良に適した材料の種類およびその配合比を、物理的・化学的性質の室内試験を通じて、決定する。そして、選択した脱臭土壌構成を実際の土壌脱臭装置の改造工事に適用した事例について述べ、施工後の土壌調査、脱臭効果確認試験の結果について報告する。

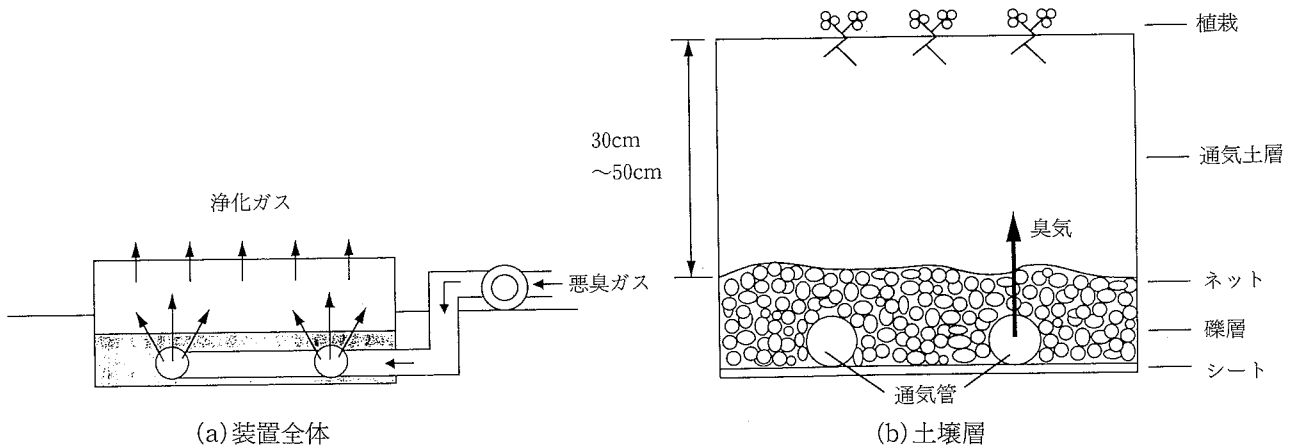


図-1 土壤脱臭装置模式図

表-1 土壤脱臭装置諸元

空塔速度	30~50/hr
線速度	~5 mm/sec
圧力損失	20 mmH ₂ O/100 mm (雨天時)
脱臭土厚	~500 mm

2. マサ土を活用した脱臭土壌の設計指針

2.1 脱臭土壌の持つべき性質

一般的な土壤脱臭装置の模式図とその諸元を図-1と表-1にそれぞれ示す。土壤層表面には植栽が施される例が多い。

土壤脱臭で用いられる土壌の持つべき性質として次の項目が挙げられる²⁾。

- ① 通気性・透水性が良い。締め固まらない。
- ② 微生物の住みやすい環境である。

以上の条件を定量的に示したものを表-2に示す。

2.2 マサ土の特徴とその改良項目

マサ土は、養分をほとんど含まず、保肥性も低く、腐植や団粒に富む畑土とは異なる貧栄養の土である。pHは中性域にあり、透水・通気性は良いが、以下のような欠点を持つ。

- ① 微生物が有効に利用できる水分が少ない。
- ② 粘土分が多いと容易に締め固まる。
- ③ 腐植や窒素などの養分をほとんど含んでいない。
- ④ 土のCEC(陽イオン交換容量)も低く、pH緩衝能が低い。

したがって、マサ土の選択および改良は次の項目を目標とする。

- ① 粘土含量の低いマサ土の選択
- ② 微生物の栄養分の添加
- ③ 微生物の種菌の添加
- ④ 微生物馴養までの期間の臭気を吸収する資材の添加
- ⑤ pH緩衝能の付加
- ⑥ 微生物棲息間隙の確保

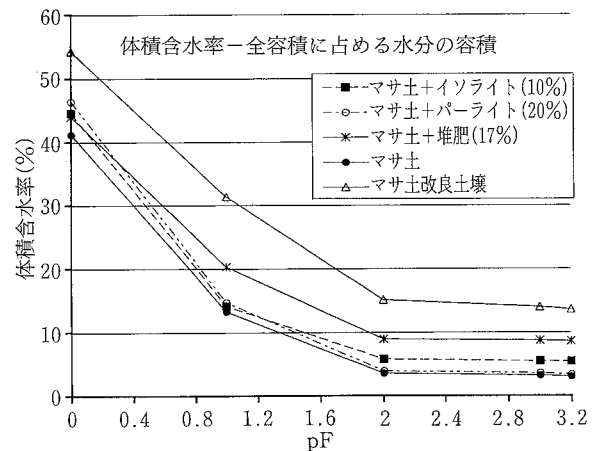


図-2 マサ土およびマサ土改良土壌のpF-水分曲線

- ⑦ 通気性・透水性の維持
- ⑧ 微生物に利用できる水分量の確保

3. 脱臭に適したマサ土改良土壌の構成

3.1 土壌の測定方法

マサ土への土壤改良材の混合比を決定するため、マサ土およびその改良土壌の物理・化学・生物学的諸量の測定を行った。

pF-水分曲線の測定には、pF1については土柱法、pF2から3.2については加圧板法によった。固相率・気相率は文献³⁾に準拠した。透水係数は変水位法により、pHは2.5倍の水で浸出しpHメーターにより測定した。腐植量は全炭素量(乾式燃焼法、CHNコーダー)の1.7倍とみなした。微生物数は寒天平板希釈法(YM寒天培地法)による。微生物の棲息可能な空間の量的な評価としてpF1からpF3.5までの間隙率を指標とした。粘土含有量は土の粒度試験方法⁴⁾によった。

3.2 基材のマサ土の選択

基材に利用するマサ土としては、粒度分布を測定し、粘土含量が5%以下のものを使用した。このマサ土の諸性質、pF-水分曲線をそれぞれ表-2、図-2に示す。

表-2 各種土壤の物性値

	脱臭土壤目標値	マサ土	改良マサ土	施工例	
				既存の脱臭土壤	改良マサ土土壤
固相率 (%) (全容積に対する固相容積の百分率)	<50	58	45	47~58	45~48
気相率 (%) (全容積に対する気相容積の百分率)	20~30	55	40	3~20	32~41
含水比 (%) (乾燥土質量に対する含水量の百分率)	7~20(砂質土) (50~60黒ぼく土)	2.27	12.7	25~30	12~17
透水係数 (cm/sec)	>10 ⁻⁴	>10 ⁻²	>10 ⁻²	3×10 ⁻⁶ ~2×10 ⁻²	1×10 ⁻² ~3×10 ⁻²
微生物の有効水分 (pF2の体積含水率)	15~30	3.5	15.1	33~39	14~20
微生物数 (cfu/g-乾土)	~10 ⁷	5×10 ³	—	—	6×10 ⁶ ~9×10 ⁶
微生物の生息可能な空間 (pF1~pF3.2の空気率)	—	10	18	6~8 (pF1~pF3)	9~13 (pF1~pF3)
pH	中性域	7.8	7.9	5.8~6.7	8.1~8.6
腐植 (%)	>2(砂質土) (>5黒ぼく土)	0	2	0~1	1~2

3.3 マサ土の改良材

3.3.1 微生物の栄養分 栄養分の多様性を考え数種類の異なる材料を加えるとする。パーク堆肥、鶏糞堆肥、畑土の約10%が腐植量となること⁵⁾から、2%以上の腐植を得るために、これらを相当量添加する。

3.3.2 微生物の種菌 堆肥、肥土など多様な種類の材料を混合する。通常の肥土では、乾土1gあたり約10⁷ CFU (Colony Forming Unit) の微生物が存在する。堆肥、肥土にも同数の微生物が存在するとすれば、上記の混合比の改良土壤で約10⁶CFU/ (g-乾土) の微生物数が初期に供給できる。

3.3.3 微生物馴養までの期間の臭気を吸収する資材

アンモニアを当初物理化学的に除去できる材料として、ゼオライトを添加する。

3.3.4 pH 緩衝能 ゼオライト・堆肥の添加により CEC (陽イオン交換容量) が増加し、pH が調整される。

3.3.5 微生物棲息間隙 0.001 mm 以上の間隙の体積を増加すればよい。また、あまり大きな間隙径は除くとすると、これは、pF1 から pF3.5 までの間隙率を増加することに相当する。図-2 の測定結果に示すように、マサ土とイソライト (10%) の混合土では、マサ土の曲線に比べ、pF1 から pF3.2 までの領域で体積含水率を押し上げている。また、マサ土と堆肥 (17%) の混合土においても同様の傾向が見られる。マサ土にイソライトなどの細かい空隙を含む材料を添加することにより、全体の空気率が増加すると同時に、pF3.2 以上の微生物の大きさに等しい間隙も増加することが期待できる。

3.3.6 通気性・透水性 パーライトの添加による比較的粗い間隙径の空気率を増加することを考える。図-2 に示すように、マサ土とパーライト (20%) の混合土の pF 水分曲線においては、マサ土と比較して、pF2 に相当する間隙径 (0.03 mm) 以上の体積は増加しないが、pF0-pF1 (径 0.3 mm 以上) の体積は増加することがわかった。

3.3.7 微生物により利用される水分量 自然状態 (pF2) での体積含水率を考える。これは、微生物が、間隙径の大小にかかわらず自然状態での土壤中の水分はすべて (毛管水および吸湿水) 利用できると考えられるからである。図-2 に見るように、イソライト、堆肥などの細かい空隙を含む材料を添加することによりこの条件は達成できる。

3.4 マサ土改良土壤の性質

以上の考察に基づき、かつ、コストを考慮し、イソライト、パーライト、堆肥等を含むマサ土の改良土壤構成を決定した。この改良土壤について測定した物理的・化学的性質を表-2 に、pF 水分曲線を図-2 に示す。

固相率、含水比、有効水分、腐植において、改良土壤は目標値を達成することになった。気相率、透水係数は、マサ土の良好な性質を保持している。通気係数は透水係数にほぼ比例すると考えてよい。また、pF2 から pF3.2 にかけて間隙が確保されていると同時に、pF3.2 においても十分な体積含水率が確保されていることから、微生物の棲息にとって必要な微小な間隙が保持されていることもわかる。

以上のことから、改良土壤においては、改良の目的通り、マサ土の持つ通気性を保持しつつ、微生物が利用できる水分・栄養分・間隙を加えることができたといえる。

4. 土壤脱臭装置改造工事に適用した事例

開発した脱臭土壤を土壤脱臭装置改造工事に適用した。施工前後の土壤の物理的・化学的性質を調査し、施工後の臭気の実験を行った。改造した装置の表面積は約 700 m²であり、敷設した脱臭土壤の厚さは 30 cm である。

施工前後の土壤調査の結果を表-2 に示す。測定法は前節に準ずる。

施工前の土壤では、表層で透水係数は 3×10⁻⁶cm/sec を示し、土は緻密になっており、気相率が低かった。

表-3 改良マサ土脱臭装置の臭気分析結果

	95年9月5日		96年1月17日		96年2月6日		検出限界
	入口	出口	入口	出口	入口	出口	
アンモニア (ppm)	0.65	不検出	0.41	0.19	0.17	不検出	0.1
メチルメルカプタン (ppm)	0.53	不検出	0.28	不検出	0.053	不検出	0.0005
硫化水素 (ppm)	1.3	不検出	0.76	不検出	0.24	不検出	0.001
硫化メチル (ppm)	0.049	不検出	0.046	不検出	0.013	不検出	0.001
二硫化メチル (ppm)	0.049	不検出	0.060	不検出	0.012	不検出	0.001
トリメチルアミン (ppm)	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	0.0005
臭気濃度	17,000	170	1,700	13	1,300	10未満	10

施工後の土壌では、マサ土系の土壌としては、固相率が低く、かつ、気相率が高くなっている。透水係数が表層から下層まで 10^{-2} cm/sec 以上を確保し、透水性・通気性のよい土壌となっている。含水比、微生物の有効水分ともに、目標値の範囲内に収まっている。pH は目標値をはずれ、弱アルカリ性を示している。これは、ゼオライトの添加によるものと思われる。施工直後でいまだ微生物が馴養していないことから、今後、臭気成分が微生物により酸化されていくにつれ pH は低下していくと思われる。微生物の栄養分として、腐植分は、マサ土よりは増加したが、目標値をわずかに下回った。微生物数は、施工後約半年で 6×10^6 から 9×10^6 CFU/ (g-乾土) であり、通常の畑土 (約 10^7 CFU/ (g-乾土)) に近い。今後馴養が進行していけば、微生物数は増加すると考えられる。

施工後の脱臭効果を調べるために、装置入口と出口において、臭気分析を行った(表-3, 図-3)。硫黄化合物は直接捕集した後ガスクロマトグラフ法(FPD法)、アンモニアはインドフェノール吸光光度法、トリメチルアミンは、ガスクロマトグラフ法(FID法)によった。施工終了(1995年8月8日)後約1カ月経過した時点において、装置出口での臭気成分は、検出限界以下だった。臭気濃度は、100分の1に落ちている。施工後5カ月での測定において、アンモニアの出口臭気が若干見られる。気温が低いと微生物の活性が下がったことが考えられる。これ以外には臭気成分の濃度は出口において検出限界以下である。また、臭気濃度も100分の1以下となっている。

5. まとめ

- ① 脱臭土壌の持つべき性質を定量的に規定した。
- ② マサ土を脱臭土壌の基材として使用する場合は

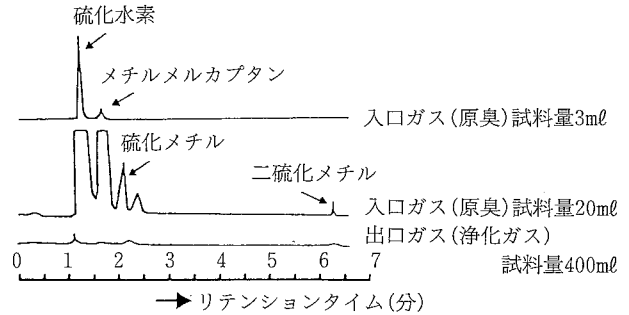


図-3 改良マサ土脱臭装置の臭気分析

定してマサ土の性状について調査し、通気性については維持しつつも、微生物の棲息に役立つような水分、栄養分、種菌、間隙を増加させるような改良材の添加が必要なることを示した。

③ マサ土に、パーライト、珪藻土焼成材、堆肥、肥土、ゼオライトを混合すれば、脱臭土壌としての性質が保持できることを確認した。

④ マサ土改良脱臭土壌を、実際の土壌脱臭装置に適用した。土壌調査の結果、物理化学性は、脱臭土壌の持つべき性質を満たしていた。臭気分析により、当土壌による脱臭効果を確認した。

参考文献

- 1) (社)臭気対策研究協会編：生物脱臭の基礎と応用—改訂版, (1994)
- 2) 下水道事業団：土壌脱臭装置仕様書
- 3) 土壌物理測定法委員会編：土壌物理測定法, 養賢堂, (1978)
- 4) 土質工学会編：土質試験の方法と解説, (1990)
- 5) 土壌微生物研究会編：土の微生物, 博友社, (1981)