

沖縄の代表的土壌における理化学特性と浄化促進材を用いた油汚染土壌の浄化処理 Study on Physicochemical Properties of Representative Okinawan Soils and Purification of Oil Contaminated Okinawan Soil by Purification Promotion Materials

中野拓治*, 崎濱秀明**, 太田綾子***, 高畑陽***

NAKANO Takuji*, SAKIHAMA Hideaki**, OHTA Ayako***, TAKAHATA Yoh***

1. はじめに

沖縄県は我が国で唯一の亜熱帯気候に属する島嶼地域となっており、温暖多雨な気候や地形等を反映して国頭マージや島尻マージ等の沖縄特有の土壌が広く分布するが、その理化学的性質は他の土壌と大きく異なっており、特殊土壌として取り扱われている。一方、沖縄県においては土壌汚染対策法の改正や今後の米軍基地返還等の社会的な要請を踏まえ、特殊土壌に対する油分浄化技術の確立が求められている。バイオレメディエーションは、揮発性有機化合物土壌汚染への有力な浄化手法であるが、国頭マージや島尻マージの油汚染への施工事例は非常に少なく、その浄化メカニズムの解明と浄化技術の開発が図られていないのが現状である。本研究では、油汚染土壌の微生物浄化の基礎的知見を得る観点から、国頭マージと島尻マージの2種類の土壌を対象に、その理化学特性と浄化促進材を用いた油汚染浄化について考察したので、概要を報告する。

2. 研究方法

浄化試験においては、国頭マージ (O 土壌) と島尻マージ (C 土壌) の模擬汚染試料 (風乾後 5mm のふるいを通した土壌に軽油濃度 (TPH) を 15,000mg/kg になるように添加) を締固め試験 (JIS A 1210 : 内径 10cm のモールド, 質量 2.5kg のランマー) 1 回の落下エネルギーによって通気試験装置 (試験試料容器の直径 : 10cm, 高さ : 4cm) に充填した。浄化促進材には、5mm のふるいを通すように破砕した 5 種類 (花崗岩, 貝殻 (アサリ), 貝殻 (ホタテ), 琉球石灰岩砕, 100 μ m 以下の琉球石灰岩粒子) を用いた。浄化試験に際しては、試料の含水比を 19%, 23%, 29% の 3 条件に調整したうえで、5 種類の浄化促進材を無添加, 重量比 10%, 20%, 30% 添加の 4 条件で試験を行った。また、ベンゼンに係る浄化特性を把握するため、重量 1kg 当たり 55.6mL のガソリンを添加した試料 (含水比 23%) において、琉球石灰岩砕を無添加, 重量比 10%, 20%, 30% の添加条件で浄化試験を実施した。通気量は 50mL/min に設定するとともに、ブランク試験を除き栄養塩類として窒素, リンを試料重量 1kg 当たりそれぞれ 7.5mL (0.2g-N/ml), 6mL (0.05g-P/ml) 添加した。浄化試験期間は 28 日間であり、試験開始から 3 日後, その後は 7 日毎に採取した試料の TPH を分析 (二硫化炭素で抽出する GC-FID 法) した。浄化試験に先立ち、試験試料の粒度分布, pH を求めるとともに、試料採取地点の自然含水比と地山密度も調べた。浄化促進材の粒度分布とともに、自動ポロシメータ (オートポア IVMIC-9520, (株)島津製作所製) を用いて細孔分布も測定した。

3. 結果と考察

(1) 国頭マージ・島尻マージの物理・理化学特性

O 土壌の粒度組成は、粗砂分 1.3%, 中砂分 2.2%, 細砂分 7.0%, シルト 63.6%, 粘土分 25.9% であり、C 土壌に関しては細礫分 7.7%, 粗砂分 10.6%, 中砂分 15.3%, 細砂分 14.9%, シルト 45.6%, 粘土分 5.9% と両試料ともシルト分と粘土分を多く含んでいる。pH は、O 土壌が 4.6, C 土壌が 5.2 と両試料とも酸性を示している。また、O 土壌と C 土壌の地山乾燥密度は、それぞれ 1.11g/cm³ (1.04 ~ 1.15 g/cm³), 1.42g/cm³ (1.25 ~ 1.67 g/cm³) であり、自然含水比は、それぞれ 27.7% (23.5 ~ 31.6%), 23.5% (17.1 ~ 28.7%) であった。両土壌とも土壌中の水分が高く、含水比が概ね 25% を超えると練返

*琉球大学農学部地域農業工学科 Faculty of Agriculture University of The Ryukyus, ** (株) 南西環境研究所 Nansei Environmental Laboratory Co. Ltd., ***大成建設 (株) 技術センター Taisei Corporation Technology Center
キーワード: 島尻マージ, 国頭マージ, 油汚染土壌, バイオレメディエーション, 浄化促進材

し状態に至るため、その通気性が阻害されることが確認された。

(2) 油汚染土壌の浄化特性と浄化促進材による油汚染土壌への浄化メカニズム

油汚染土壌の浄化に関しては、TPH 除去作用が 1 次反応であると仮定すると、動力学モデルによる TPH 収支から (1) 式が成り立つ。(2) 式の TPH 除去速度恒数に土中微生物量を乗じた値 (TPH 除去定数と定義し、以下、この用語を用いる) が求められる。なお、TPH の測定値が検出限界 (100 mg/kg) 以下の場合には測定値を 100 mg/kg として TPH 除去定数を算定した。

$$-dBe/dt = k \cdot S \cdot Be \quad (1)$$

$$(Bi - Be) / Be = k \cdot S \cdot T \quad (2)$$

ここで、 Be : t 日後の TPH 濃度 (mg/kg), Bi : 初期 TPH 濃度 (mg/kg), t : 経過日 (d), k : TPH 除去速度恒数 (kg/mg·d), S : 土中微生物量 (mg/kg), T : 浄化日数 (d)。

ブランク試験では、試験期間を通じて顕著な TPH 濃度低下は生じてない一方で、栄養塩類を添加することで浄化促進材の添加・無添加に拘らず全ての含水比条件において、TPH 濃度は減少することが確認された。浄化促進材の添加率が同一である場合には、TPH 除去定数は含水比の増加に対応して低い値を示すことから、TPH 除去性能は土壌中の水分によって阻害されており、TPH 濃度の速度低下に影響を与えていることが示唆された。また、各浄化促進材とも無添加に比較して浄化促進材の添加によって高い値の TPH 除去定数が得られている一方で、TPH 除去定数と浄化促進材の添加率については、琉球石灰岩砕と琉球石灰岩粒子では添加率 20% で TPH 除去定数が極大値を示すとともに、他の浄化促進材は添加率が 10% の条件下で最も高い値となっている。浄化促進材の TPH 除去定数を比較すると、琉球石灰岩砕及び琉球石灰岩粒子の浄化促進材は他の浄化促進材に比べてほぼ全ての試験条件下において概ね 2 倍程度以上の高い値の TPH 除去定数が得られている。さらに、琉球石灰岩粒子による浄化促進材に関しては、浄化促進材の添加率が 10% の低い条件下で琉球石灰岩砕に比較して概ね 2 倍程度の高い値の TPH 除去定数が得られていることから、琉球石灰岩砕、特に、琉球石灰岩粒子の汚染土壌への添加を通じて、顕著な TPH 除去性能の向上を図れることが明らかになった。

一方、浄化促進材の細孔分布を比較すると、琉球石灰岩砕は細孔径が 0.1~10 μ m の範囲に高い細孔容量が存在しており、他の浄化促進材に比べて 5~30 倍程度の細孔容量を示していることから、非常に多孔質的な材料であることが確認された。また、琉球石灰岩砕及び琉球石灰岩粒子を浄化促進材として添加すると、試料の含水比が添加率 10% 毎に 1% 低下するとともに、pH 値も上昇して試料が酸性土壌から中性土壌に変化することも確認された。これらのことから、琉球石灰岩砕、特に、琉球石灰岩粒子の添加を通じた顕著な TPH 除去性能の向上は、汚染土壌を中性域に変化させることで油分分解微生物の浄化活性を高めるとともに、土壌水分の低下を通じて油分分解微生物の代謝活動に必要な通気性が確保されたために生じたものと考えられる。さらに、琉球石灰岩粒子の有する多孔質性は、添加された浄化促進材の表面を油分分解菌の棲息域として担持させることで、油分分解菌の微生物量を大きく増加できるため、土壌中の微生物による油分分解が顕著に促進されたものと推察される。屋外実証試験 (2014 年 1 月~4 月) においても、琉球石灰岩砕による浄化促進材の添加で、無添加のケースに比較して 2 倍程度高い TPH 除去定数が得られており、室内浄化試験結果を支持している。なお、ガソリンの添加による土壌中のベンゼンの浄化は、浄化促進材を添加・無添加にかかわらず、試験開始から 3 日後には全ての試験条件で検出限界以下になっていることを踏まえると、高い揮発性のためにベンゼンが通気に伴って揮発した結果、試料中のベンゼン値の低下が生じたものであり、土壌中の微生物による油分分解によるものではないことが示唆された。

4. まとめ

浄化促進材を用いた油汚染土壌の浄化処理に関する考察結果が、今後、国頭マージや島尻マージ土壌における油分浄化技術の確立に活用されることが期待される。