

ランドファーミング工法の攪拌頻度を最適化するための実験的検討

熊谷組 ○ 河村大樹

熊谷組 佐々木静郎

熊谷組 門倉伸行

国立環境研究所 石森洋行

1. はじめに

油汚染土壌浄化工法のランドファーミングでは、油圧ショベルなどによって土壌を攪拌し酸素供給を行うため、その攪拌頻度によって浄化に要する費用や時間が異なる。攪拌頻度は、本来、攪拌による酸素供給量が油汚染土壌の酸素消費量を上回るように設計すべきであるものの、現状ではそうした知見は少なく、浄化費用や時間に対して合理的な攪拌が行われているとはいえない。本報では、ランドファーミング工法の最適な攪拌頻度を検討するために、室内試験によって、攪拌時間の違いが土中酸素濃度と TPH（全石油系炭化水素）濃度に与える影響について評価を行った。

2. カラム試験による土壌内酸素濃度と油分濃度の経験

2.1 実験試料

実験には山砂を使用した。山砂に TPH 濃度が 4,000 mg/kg-dry soil 程度になるように所定量のタービンオイルを添加した。その後、栄養塩、有機資材、および石油分解菌（*Rhodococcus erythropolis*.NDKK6 株）を混ぜ合わせて、模擬油汚染土壌を作製した。

2.2 実験方法

図-1 に試験プロセスを示す。模擬油汚染土壌を詰めた土壌カラムを作製し所定期間の養生を行った後、脱型しバット上に土壌を取り出し 5 分間スコップで攪拌した。その後攪拌した土壌をカラム内に再充填するというプロセスを繰り返すことで、ランドファーミングの攪拌を模擬した。

図-2 に土壌カラムの概要を示す。内径 15 cm、高さ 50 cm の塩ビ管に模擬油汚染土壌を充填し、土表面から深度 5 cm、20 cm、35 cm の位置に土壌酸素センサー（日本環境計測製）を配置した。表-1 に実験条件を示す。土壌カラムを作製し、養生を開始してから脱型するまでの時間を、ランドファーミングの土壌切り返しの時間間隔とみなし、このときの切り返し時間（以降、攪拌時間間隔）を 3 時間、12 時間、24 時間、および 72 時間の 4 水準に変化させた。カラム A と B では攪拌時間間隔を 3 時間または 12 時間として、土壌酸素センサーによって深度方向の酸素濃度分布とその時間変化を調べた。攪拌回数 2 回とした。一方カラム C と D では攪拌時間間隔を 24 時間または 72 時間として、土壌カラム表面から 5 cm と 35 cm の位置

で土壌を採取し赤外分光分析法により TPH 濃度を分析した。実験開始から約 3 週間経過するまで所定の攪拌時間間隔で攪拌を継続した。

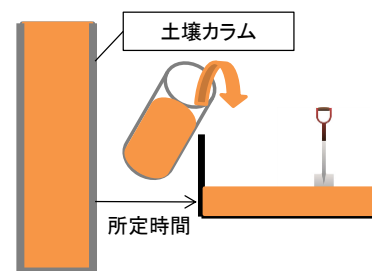


図-1 試験プロセス

(温度 20°C、湿度 40%で実施)

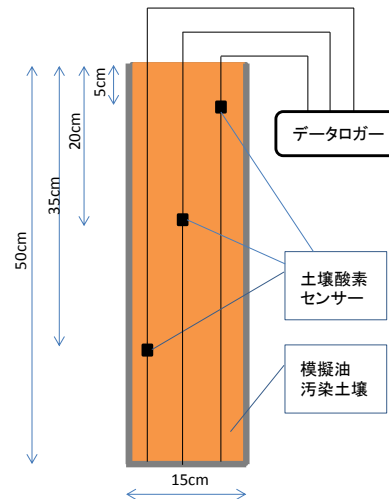


図-2 試験手順

表-1 実験条件

	模擬汚染土壌の作製条件			バイオレメディエーションの条件			備考
	土試料	油種	濃度	石油分解菌	栄養塩	有機資材	
カラム A	山砂	タービンオイル	4000 mg/kg	○	○	○	土中酸素濃度分布の時間変化をみる 油分濃度の時間変化をみる
カラム B				○	○	○	
カラム C				○	○	○	
カラム D				○	○	○	
						攪拌時間間隔	
						3 時間	
						12 時間	
						24 時間	
						72 時間	

キーワード 油汚染土壌、石油分解菌、ランドファーミング、土中酸素濃度

連絡先 〒300-2651 茨城県つくば市鬼ヶ窪 1043 熊谷組 技術研究所 TEL: 029-847-7501

2.3 土中酸素濃度の計測結果

図-3 と図-4 に 3 時間間隔および 12 時間間隔で攪拌した際の酸素濃度経時変化を示す。3 時間間隔でカラム内の土壌を攪拌した場合、土表面から深くなるにつれて酸素濃度の減少が著しくなった。12 時間間隔で土壌を攪拌した場合では、その傾向が著しく認められ、カラム上層部では実験期間中酸素濃度は少なくとも 12%以上を維持できているものの、カラム中層部と下層部ではゼロ近くまで低下した。土中の酸素濃度は、油汚染土壌の微生物分解に伴う酸素消費と土表面からの大気中の酸素の供給速度のバランスによって決まるが、この場合、カラム下層部では大気から酸素供給が及ばないため酸素濃度はゼロになり、一方でカラム上層部では大気からの酸素供給量が微生物による酸素消費量を上回るためある程度（少なくとも 12%以上）の酸素濃度が残留しているものと考えられる。大気からの酸素浸入深さは、微生物分解による酸素消費速度が大きいほど浅くなるので、ランドファーマーミング時では微生物分解の酸素消費速度に応じて所要の酸素供給が得られるように盛土の高さを変化させる工夫が必要になる。

2.4 油分濃度計測結果

図-5 に攪拌時間間隔の違いが油分低減に与える影響について示す。72 時間間隔で攪拌した場合、大気からの酸素供給を受け易いカラム上層部では、油の微生物分解は比較的良好に進行し最終的な油分除去率は 52%であった。一方、カラム下層部では、大気からの酸素供給は少なく酸素供給は 72 時間間隔で行われる攪拌時に限られるため、油分除去率は 31%にとどまりカラム上層部と比べて約 20%少なくなった。また、24 時間間隔で攪拌した場合では、酸素を供給する間隔が短いので 72 時間間隔で攪拌した場合と油分除去率に大きな違いがみられた。カラム上層部の油分除去率は 63%であったのに対して、カラム下層部では 41%であった。

72 時間間隔攪拌と 24 時間間隔攪拌の油分除去率を比較すると、カラム上層部と下層部の平均値でみると、24 時間間隔攪拌の方が 72 時間間隔攪拌よりも 12%高い油分除去率が得られた。したがって、ランドファーマーミング時の盛土高さのみならず、繰り返し時間間隔もまた油分除去率に影響を及ぼす因子であることがわかった。

3. まとめ

本研究から次の知見を得た。(1) 土中の酸素濃度は、微生物分解の酸素消費速度と大気からの酸素供給速度のバランスによって決まり、高さ 50 cm の土壌カラムを用いた本実験では、3 時間間隔程度の攪拌であれば微生物の活動に必要な酸素濃度を供給することができるが、攪拌間隔が 12 時間以上の場合では微生物の活動に必要な酸素濃度はカラム上層部には供給されるものの、カラム下層部ではほぼゼロとなり嫌気状態となった。(2) ランドファーマーミング時の攪拌時間が油分除去率に及ぼす影響では、短い時間間隔であるほど油分除去率は高くなる。高さ 50 cm の土壌カラムを用いた条件では、72 時間間隔よりも 24 時間間隔で攪拌する方が、約 1 割程度の油分除去率の増加が認められた。本研究によりランドファーマーミングの油分除去率は盛土高さ（酸素浸入深さ）と繰り返し時間間隔が支配要因であることを明らかにした。今後は微生物の酸素消費速度を実験で求め、それを入力条件とした土中酸素の挙動に関する数値解析を行い、ランドファーマーミングの合理設計を行う。

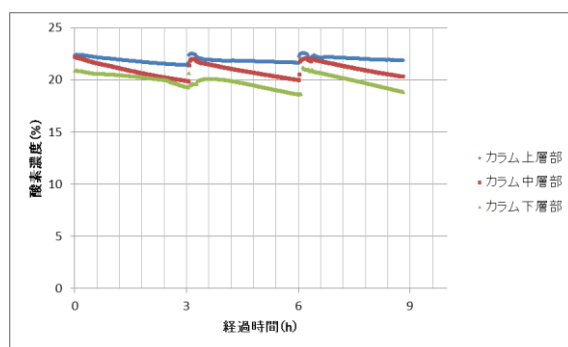


図-3 3 時間間隔攪拌時の酸素濃度経時変化

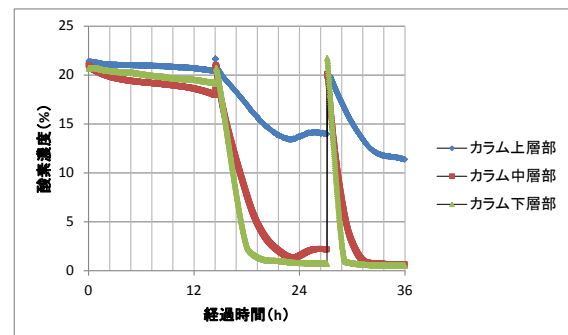


図-4 12 時間間隔攪拌時の酸素濃度経時変化

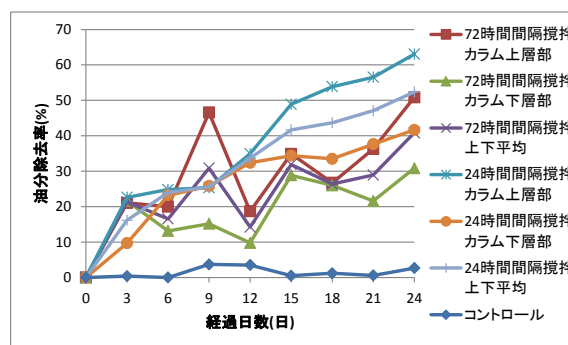


図-5 油分除去率の経時変化