

土壌洗浄工法と微生物処理を組み合わせた 油汚染土壌の浄化工法の開発

岩 田 将 英 野 田 兼 司
高 木 亨 山 本 達 生^{*1}
小 口 深 志

要 旨

油による汚染土壌の浄化工法の一つに土壌洗浄法とバイオレメディエーション（微生物処理）を組み合わせた工法がある。この工法は油汚染土壌を洗浄によりある程度油分濃度を低減させ、その後微生物による油の分解を促し、清浄土として埋戻し等に使用するというものである。

そこで、著者らは土壌洗浄工法と微生物処理を組み合わせた工法の開発を目的として、アスファルト合材工場跡地の実汚染土壌を用い、浄化実験を実施した。この浄化実験により得られた知見は以下の通りであった。①攪拌・分級・すすぎの3工程からなる土壌洗浄法にて、80%程度の油分を除去することが可能であった。②洗浄処理土に未洗浄土を混合し微生物処理を実施することで浄化の効率を上げることが可能であった。

キーワード 土壌汚染／油／土壌洗浄／微生物処理

目 次

- | | |
|---------------|----------------------|
| 1. はじめに | 4. 微生物処理実験について |
| 2. 浄化工法について | 5. 開発できた油汚染土浄化工法について |
| 3. 土壌洗浄実験について | 6. おわりに |

DEVELOPMENT OF CLEANUP METHOD OF OIL CONTAMINATED SOIL WHICH COMBINED SOIL WASHING METHOD AND MICROBE PROCESSING

Masahide IWATA	Kenji NODA
Toru TAKAKI	Tatsuo YAMAMOTO
Fukashi OGUCHI	

Synopsis:

The method which combined the soil washing method and microbe processing is in one of the cleanup methods of the oil contaminated soil. This method is that carrying out microbe processing, after washing oil contaminated soil first.

Therefore, for the purpose of development of the construction method which combined the soil washing method and microbe processing, authors carried out cleanup experiments by its method. In the experiment, the oil contaminated soil derived the asphalt mixture factory was used, and authors found the following things. ①It was possible to have removed about 80% of oil by the soil washing method which consists of three processes of churning, a classification, and a rinse. ②It was possible to improve the efficiency of cleanup by carrying out microbe processing to the soil which mixed washing processing soil and non-washed one.

* 1 (財) 先端建設技術センター

1. はじめに

近年、環境問題への意識の高まりや、土壤汚染事例の増大、「土壤汚染対策法」の施行(平成 15 年 2 月)、企業の ISO 認証取得、資産のリストラに伴う工場の閉鎖・合併などに伴い、土壤汚染の調査・対策に対するニーズが急増している。油類による土壤汚染問題においては、成分の一つであるベンゼンが規制されているだけであるが、企業が自主的に浄化対策を行う事例が増加している。また、環境省により油汚染土壤対策指針が策定される見通しがあり、今後ますます、油類による汚染土壤の顕在化事例が増加すると考えられる。

油汚染土壤の浄化工法には、表-1 に示すような種々の方法が提案されているが、周辺環境への影響や、浄化対策費用の観点から、近年は微生物処理に対する関心が高まっている。これは、油汚染土壤を一旦掘削し、栄養塩等の添加・水分調整を行い、土壤中に酸素を供給して微生物活性を高め、油の生物分解を促進する処理法である。ただし、微生物処理では難分解性の油成分の浄化は困難なので、高濃度油汚染土の浄化には不向きであり、適用可能な油濃度は 5,000mg/kg 程度である。¹⁾

油による土壤汚染の現場では、微生物処理では対応できない高濃度の汚染土壤に遭遇する事例が多い。このため、微生物処理のみでは、油汚染土壤汚染対策が完結できない場合がある。この場合、別の処理法が使用されることになるが、高濃度油汚染土壤の浄化対策として、熱処理、場外搬出、土壤洗浄などの適用が考えられる。いずれの対策も処理費用が高価であるといった問題があり、環境負荷に与える影響を検討すると、これら三つの対策技術の中では、エネルギーコストが小さい点で、土壤洗浄工法が最も優れた方法であると判断した。このため、後段で微生物処理を実施することを想定して、安価な処理が可能となる簡易な設備による土壤洗浄工法を検討し、微生物処理と組合せた方法の適用性を検討することとした。本浄化工法では、油濃度が 10,000mg/kg 程度の高濃度汚染土に対して、埋め戻し等が可能な 1,000mg/kg 以下にまで低減することを浄化目標とし、浄化実験を実施した。この結果、有用な知見が得られたので、これを報告する。

表- 1 浄化技術一覧

技術分類	概 要	特 徴
場外処分	管理型処分場に埋め立て処分する	短期間での処理が可能
固化・不溶化	汚染土と不溶化剤等を混合し油を固定化する	固化・不溶化の長期安定性に不安がある
熱処理	汚染土を加熱処理し、土壤中の油を酸化分解させる	エネルギーコストが高く、環境負荷が高い
消却処分	セメント原料として焼却処理する	適用油分濃度は 10,000 mg/kg 程度である
土壤洗浄	汚染土を湿式分級し、油を分離する	プラント費が高価となる
微生物処理	微生物により油を生物分解させる	適用油分濃度は 5,000 mg/kg 程度である

2. 浄化工法について

2.1 土壤洗浄法

土壤に浸透した油や重金属等の有害物質は、比表面積の大きい細粒分土壤に吸着する割合が多いため、土粒子粒径毎の有害物質濃度は、粒径が細かいほど高くなる傾向がある。土壤洗浄法は、この特性を活用し、汚染土壤を湿式分級することで、可溶性の汚染物質を洗浄水中に溶解させるとともに、汚染濃度が高い細粒分と、汚染濃度が低い粗粒分に分別する浄化手段である。土壤洗浄の概念図を図-1 に示す。

この土壤洗浄処理の効果は、有害物質の種類・濃度、さらに、汚染土壤の粒度分布に左右される。汚染濃度が高い細粒分は、不溶化処理後管理型埋立処分、または、セメント原料として焼却処分する必要があるため、細粒分を多く含む土壤には不向きな工法である。また、本処理工法は、油汚染土壤のみならず、重金属類の汚染にも適用可能な技術²⁾である。従来の土壤洗浄工法は、後段で微生物処理を組み合わせることなく、単独の技術で油を浄化目標値まで浄化することを想定したシステム設計となっていたため、特殊な設備が必要になり、これが処理コストに大きな負担をかけていた。このため、土木工事で一般に使用される建設機械を組み合わせた簡易なシステムで、微生物処理が可能な程度までの処理が行える洗浄プラントとすることで、土壤洗浄にかかるコスト削減を実現することとした。

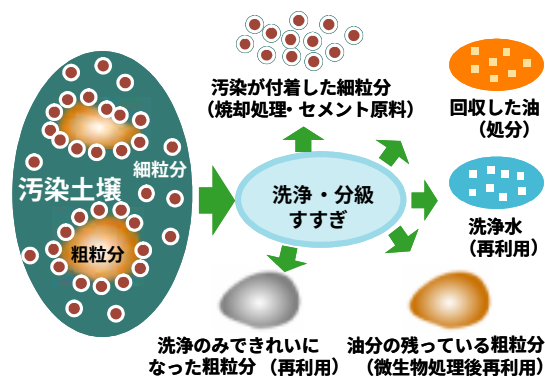


図- 1 土壤洗浄法の概念図

2.2 微生物処理

微生物処理法においては、微生物源の取り扱いによって、以下の 2 つに大別される。

- ① バイオオーギュメンテーション: 浄化対象物の分解に特化した微生物を添加し、汚染物質の分解を促進する。
- ② バイオスティミュレーション: 土着微生物の活性を高め、汚染物質の分解を促進する。

本法においては、浄化対象が油であり、土着微生物でも十分油分解の促進を図れることから、②のバイオスティミュレーションを採用することとした。

土着微生物の活性を高めるためには、土壤中に酸素供

給を行うことが必要となる。酸素の供給方法として、以下に示す方法がある³⁾。

- ①ランドファーミング(畑耕耘方式)：汚染土をトラクターで切り返して酸素供給を行う。
- ②コンポスト化(高畝切り返し方式)：汚染土をバックホウで切り返して酸素供給を行う。
- ③スタティックパイル(高畝強制通気方式)：汚染土下部に強制通気用パイプを設置して酸素供給を行う。

本法においては、コンポスト化(高畝切り返し方式)を採用した。これは、ランドファーミング法は、トラクターでの切り返しになり、汚染土を薄く敷きならすため、浄化に必要な敷地面積が大きくなる、また、スタティックパイルは、パイル中の酸素濃度にムラができ、浄化効果が十分に得られない場合があるためである。

3. 土壌洗浄実験について

3.1 室内実験

(1)目的

土壌洗浄効果に与える影響因子、油除去量の推定を行うことを目的に、模擬汚染土壌による予備実験を実施した。

(2)供試材料

模擬汚染土壌は、1L のガラスビーカーに 500g の珪砂 5 号を入れ、A 重油を添加・混合し、80℃×12 時間の乾燥を行った後、12 時間放冷して作成した。A 重油は揮発しやすい成分を含んでいる。実汚染土壌は、これらの成分が揮発し、炭素数の大きいものがより多く残留している。したがって、模擬汚染土壌に上記操作を加えることで、実汚染土壌により近い性状とすることとした⁴⁾。

(3)パラメータ

油除去能力の影響因子を把握するため、表-2 に示すパラメータを設定した。

表-2 実験パラメータ

パラメータ	水 準
攪拌時間	1, 2, 5 [分]
攪拌速度	60, 150, 300, 600 [rpm]
液固比 [1:X]	0.5, 1.0, 2.0
初期油濃度	設定値 10,000, 20,000, 50,000, 75,000 [mg/kg]
洗浄回数	1, 2, 3, 4 [回]

(4)実験方法

実験は、写真-1 に示す攪拌機により、所定条件で汚染土と洗浄水を攪拌し 1 分間静置した後、土壌と分離した油層、液層部をピペットで吸引除去し、洗浄土を得た。この操作を洗浄回数 1 回と定義した。

油分濃度は、TPHs(Total Petroleum Hydrocarbons)含有量分析(二硫化炭素振とう抽出/ガスクロマトグラフ定量)により測定した。



写真-1 攪拌装置

(5)実験結果

実験結果の基本ケースは攪拌時間 2 分、攪拌速度 150rpm、液固比 1:1、初期油分濃度設定値 50,000mg/kg、洗浄回数 1 回とし、図中に記載のない場合はこれらの条件にて実験を実施した。

①攪拌時間

攪拌時間をパラメータとした試験結果を図-2 に示す。なお、油除去率は、下式により算出した。

$$\text{油除去率} = \{1 - (\text{洗浄土油濃度} / \text{原土壌油濃度})\} \times 100$$

これより、150rpm 以上の攪拌速度では、攪拌時間を 2 分程度確保すれば、油除去効果は頭打ちになることが分かった。

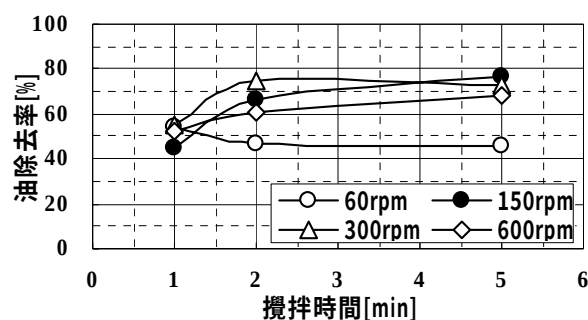


図-2 室内実験における攪拌時間と油除去率の関係

②攪拌速度

攪拌速度をパラメータとした試験結果を図-3 に示す。攪拌速度は、表-2 に示した攪拌機の回転速度である。これより、2 分以上の攪拌時間では、攪拌速度は 150～300rpm 程度が最適であることが分かった。これは、攪拌速度が小さいと、土粒子から油を取り出すためのエネルギーが不足し、攪拌速度が大きいと、一旦土粒子から離れた油が、再び土粒子に付着するため、最適な攪拌速度があると判断した。

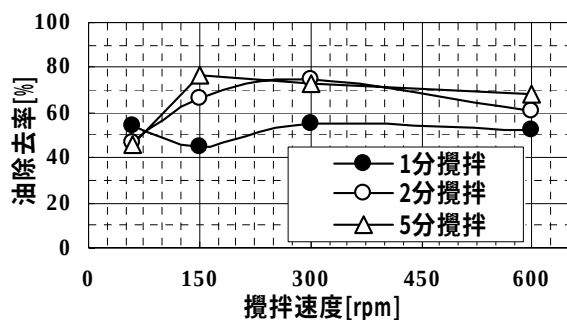


図- 3 室内実験における攪拌速度と油除去率の関係

③液固比

液固比をパラメータとした試験結果を図- 4 に示す。これより、液固比(土量/水量)=1:1 で油除去効果が最大となり、洗浄水を増やすと油除去率が低下する傾向を示した。これは、洗浄水を増やすことにより、土粒子同士の衝突回数が減少したため、油除去能が低下したものと考えられる。

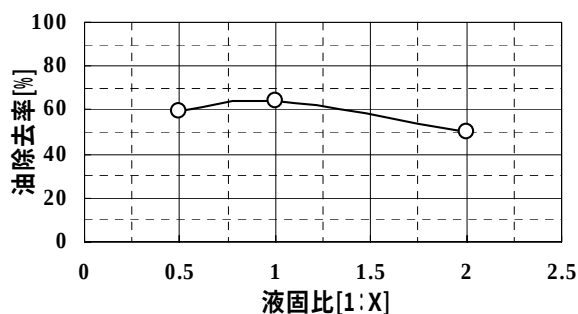


図- 4 室内実験における液固比と油除去率の関係

④初期油濃度

初期油濃度をパラメータとした実験結果を図- 5 に示す。初期油濃度に係らず油除去率は変化せず、油除去率は70%程度であった。

なお、初期油濃度は表- 2 に示したように添加し、実験を実施したが、前述のように A 重油の添加・混合後に12時間の乾燥を行ったことからこの操作により炭素数の小さな成分が揮発し、図- 5 に示す値となった。

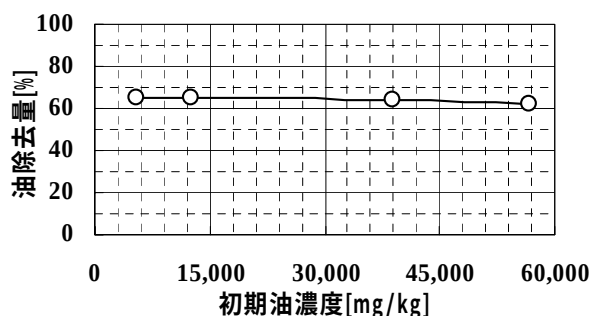


図- 5 室内実験における初期油濃度と油除去率の関係

⑤洗浄回数

洗浄回数をパラメータとした試験結果を図- 6 に示す。これより、洗浄回数を増やすほど、油除去効果が高くなるが、直線的な除去率の増加ではないことが分かった。

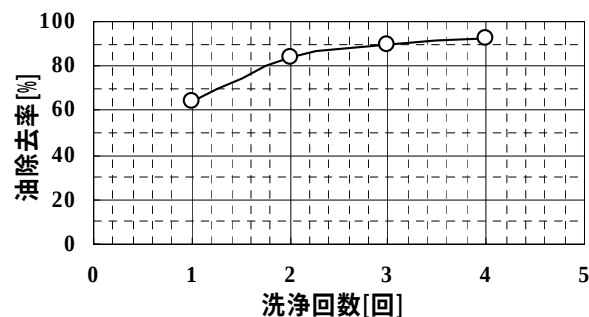


図- 6 室内実験における洗浄回数と油除去率の関係

(6)室内実験のまとめ

以上の検討より、油汚染土壌を洗浄する場合、表- 3 に示す条件を満たすことで、70～80%程度の油を除去できる可能性が示された。なお、一般的に高濃度とされる50,000mg/kg 程度の場合であっても、土壌洗浄終了時の油濃度は、10,000mg/kg 程度となる。このため、土壌洗浄処理土をそのまま微生物処理することは困難であるが、汚染濃度が比較的低い油汚染土壌と混合することで、油濃度を調整すれば、十分、微生物処理が可能となることが分かった。

表- 3 室内実験結果のまとめ

土壌洗浄条件	室内実験で得られた知見
攪拌時間	2分程度で漸近
攪拌速度	150 ～ 300rpm 程度が最適
液固比	1 : 1 程度で漸近
初期油濃度	初期濃度によらず除去率はほぼ同程度
洗浄回数	1 ～ 2 回程度が最適

3.2 現場実証実験

(1)目的

微生物処理の前処理という位置づけで、簡易な土壌洗浄システムに適用可能な機器による土壌洗浄システム実証試験機を構築し、その性能評価を行った。

(2)システムの検討

室内実験の結果から、油汚染土壌の土壌洗浄システムとして、油汚染土壌の攪拌工程、分離した油と土壌を分離する分級工程、さらに、分級した土壌をすすぎ洗いの3工程からなる土壌システムを考案した。考案した土壌洗浄システムフローを図- 7 に示す。

ここで、攪拌工程は、室内実験で実施した攪拌装置による2分間、150～300rpmの攪拌条件を再現できる装置としてコンクリートミキサーを、油層、液層のピペッ

トによる吸引操作を再現できる装置として水平振動ふるいを、2 回目の洗浄操作を再現できる装置としてスパイラル分級装置をそれぞれ使用することとした。なお、室内実験で効果のあった曝気装置は、スパイラル分級装置内に設置した。実証実験で使用した土壤洗浄システムを写真- 2 に示す。

なお、現場実証実験での油濃度分析は、S-316 抽出赤外線分析 (S-316/IR) により実施した。この方法は現場での分析が可能であり、実験を実施した翌日には、土壤の油濃度が把握でき、室内実験での油濃度分析を実施した TPHs 分析とも、相関が強い分析法である。

(3) 実験方法

① 実汚染土壌の性状

実証実験に使用した汚染土壌の平均油濃度は、14,000mg/kg 程度であり、アスファルト合材工場跡地のものである。図- 8 に汚染土壌の粒径加積曲線を示す。細粒分含有率(粒径 75 μm 以下)は 20%程度、含水比は 22%程度であり、油槽所、精油所における油汚染土壌⁵⁾に比較して、細粒分が多い特徴を有していた。写真- 3 に実汚染土壌の状況を示す。

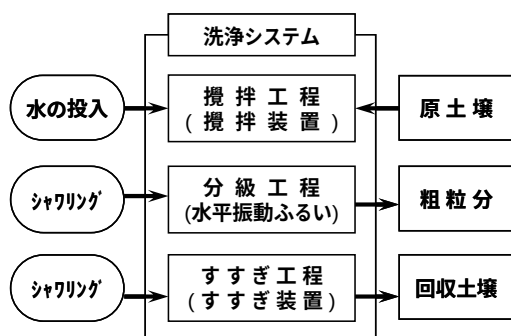


図- 7 油汚染土壌洗浄システムフロー



写真- 2 実証実験で使用した土壌洗浄システム全景

② パラメータ

室内実験での結果を受け、実証実験でのパラメータを、攪拌時間、液固比とした。

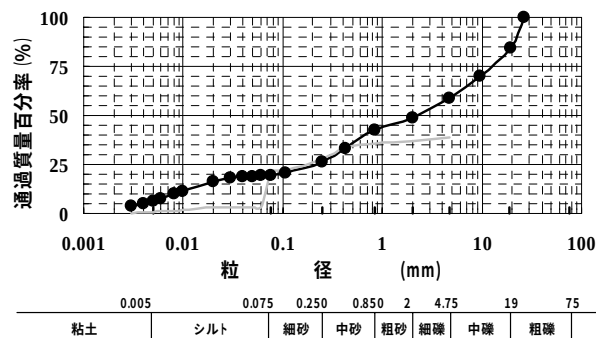


図- 8 実油汚染土壌の粒径加積曲線



写真- 3 実油汚染土壌

(4) 実験結果

① 攪拌時間

攪拌時間をパラメータとした試験結果を図- 9 に示す。なお、この時の液固比は 1:1 とした。これより、攪拌工程後、分級工程後の処理土は、攪拌時間が長くなるほど油除去率が低下するが、すすぎ工程を終了した処理土は、攪拌時間によらず 80%程度の油除去率を示した。したがって、攪拌時間は 1~2 分程度で十分であることが分かった。

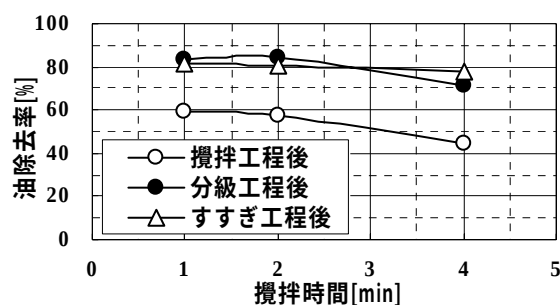


図- 9 実証実験における攪拌時間と油除去率の関係

② 液固比

液固比をパラメータとした試験結果を図- 10 に示す。なお、この時の攪拌時間は 2 分とした。すすぎ工程終了後の処理土については、液固比によらず、油除去率は 80%程度となった。一方、分級工程後の土壌では、液固比 1:0.5 では、油除去率は 60%程度と低い結果となり、液固比を 1:1 程度まで大きくすることで、すすぎ工程

後の土壌と同様の油除去率 80%となった。液固比を 1 : 1.5 まで大きくすると、攪拌工程、分級工程、すすぎ工程で、ほぼ同様の油除去率を示した。室内実験では液固比を 1:1 以上でも油除去率は変化しないという結果であったことから、傾向が多少異なっていた(図- 4 参照)。実証実験で使用した汚染土は、室内実験のものと比較して細粒分を多く含んでいたために(図- 8 参照)、液固比の増加により、油分が細粒分に付着したまま浮上し、除去されたことにより油除去率が上昇したと考えられる。

当洗浄処理においては、分級工程にて汚染濃度が高い細粒分と、洗浄された粗粒分とに分級するために(図- 1 参照)、分級工程までは必須である。よって、分級工程までの油除去率で判断し、固液比は 1:1 程度が最適であるとした。また、今回のような汚染土の場合では、液固比を大きくすることで、工程を省略できる可能性が示唆された。

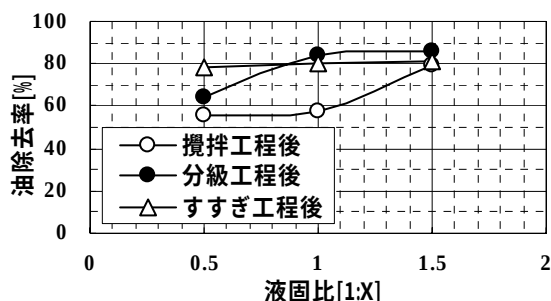


図- 10 実証実験における液固比と油除去量の関係

(5)実証実験のまとめ

以上の検討より、油汚染土壌を洗浄する場合、表- 4 に示す条件を満たすことで、80%程度の油を除去できることが分かった。これは、予備実験と同様の結果となった。

実証実験に使用した実油汚染土壌の初期濃度は 12,000~17,000mg/kg 程度であったため、土壌洗浄終了時の油濃度は、2,000~3,500 mg/kg 程度となる。よって、本土壌洗浄処理土はそのまま微生物処理を実施するのに十分な濃度まで油分を低減することが可能であった。

表- 4 実証実験のまとめ

土 壌 洗 浄 条 件	最 適 値
攪 拌 時 間	2 分 程 度
液 固 比	1 : 1 程 度

4. 微生物処理実験について

4.1 室内実験

(1)目的

洗浄処理により回収した土壌(以下、洗浄土と称す)は、

細粒分の含有率が低くなっていることから、保水性が低くなっている可能性がある。また、洗浄による微生物の流出等も考えられることから、微生物処理の適用可能性の検討、最適栄養塩添加量の把握を目的として室内トリータビリティ試験（適用可能性試験）^{1),5),6)}を実施した。

(2)供試試料及び実験方法

供試試料として洗浄土と、洗浄土と原汚染土を混合し、油分濃度を 6,500mg/kg に調整した土壌(以後、混合土と称す)を使用した。この混合土について微生物処理が有効であれば、土壌洗浄を実施する土量の削減が図れ、汚染土処理費を縮減できる可能性が生じるために実験対象とした。

室内実験は上記 2 種類の土壌 300g をガラス製広口瓶に投入し、所定の割合の栄養塩及び副資材を添加し、20℃の恒温室内で養生させ実施した⁶⁾。実験期間中は S-316/IR 分析による油分濃度を測定した。

(3)実験結果

洗浄土における油除去率は 46%程度(1,200 ~ 1,300mg/kg まで低減)、混合土で 75%程度(1,400 ~ 1,600mg/kg まで低減)となり、両土壌において、微生物処理が可能であることが確認できた。なお、この時の最適栄養塩添加量は両土壌共に、油分量：窒素量：リン量 = 10:0.2:0.027 であった。よって、実証実験は、この添加量にて実施することとした。

4.2 現場実証実験

(1)目的

室内試験で決定した栄養塩添加量を用い、屋外での処理可能性を検討するため現場実証実験を実施した。

(2)実験方法

実証実験は写真- 4 に示すような円錐状のパイルを作成し(0.6m³程度)、7 月上旬から 3 ヶ月間実施した。パイルへの酸素供給を目的とした切り返しは 1 回/週で実施した。



写真- 4 実証実験土壌パイル

(3) 計測項目

TPHs 含有量分析及び土壌油分のタイプ分析(イヤトロスキャン分析), S316/IR 法による油分濃度, 土壌電気伝導度 (Ec), 微生物活性の指標となる ATP (アデノシン三リン酸) 量, 土壌中酸素濃度等の計測を実施した。

(4) 実験結果

①油分濃度

図- 11 に S316/IR 法により測定した油分濃度の経時変化を示す。なお、室内トリータビリティ試験の結果を洗浄土-室内、混合土-室内として併記した。室内試験では、実験開始 1 週にて洗浄土、混合土共に最も油分濃度が低下したが、これは実証実験においても同様の結果となった。

図- 12 に TPHs 含有量及びイヤトロスキャン分析結果を示す。図のように、洗浄土、混合土共に、実験後の油分濃度は 1,000mg/kg を下回った。また油膜・油臭ともに確認されなかった。

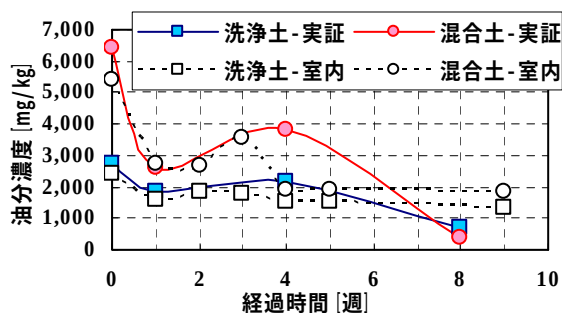


図- 11 油分濃度の経時変化(S316/IR 法による分析)

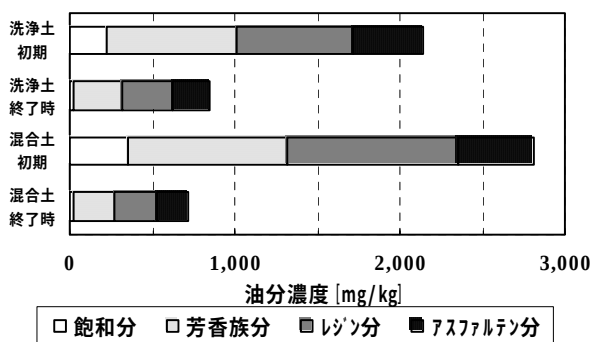


図- 12 試験前後の油分濃度(TPHs による分析)

②ATP 量

図- 13 に ATP 量の経時変化を示す。図のように混合土では、実験開始 7 週までの ATP 量が高い値を示しており、微生物の活性が高くなっていると考えられる。これは前述の図- 11 の油分分析結果での濃度が低下している時期と一致している。一方、洗浄土ではあまり変化

が見られなかった。これは、洗浄処理による細粒分の減少が起因していると考えられる。

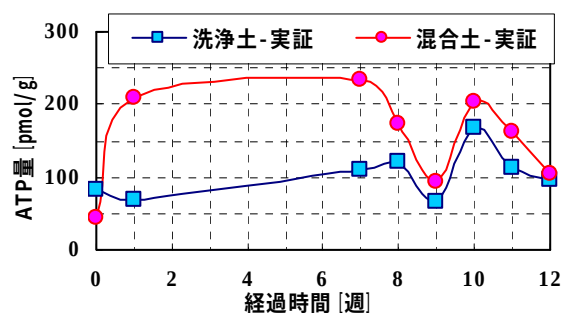


図- 13 ATP 量の経時変化

③土壌中酸素濃度

図- 14 に酸素濃度の経時変化を示す。混合土において、6~7 週目まで、酸素濃度の低下が確認できた。酸素濃度が低下している時期は、図- 13 の ATP 量が高い時期と一致しており、微生物の活性が高くなったことにより、酸素を消費したと考えられる。

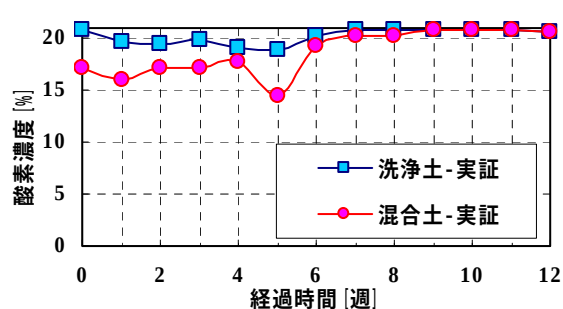


図- 14 酸素濃度の経時変化

④土壌 Ec

図- 15 に土壌 Ec の経時変化を示す。混合土では試験開始初期に Ec が低下しており、この傾向は図- 11 に示した油分濃度一致しており、土中の栄養塩の消費により浄化が進んだと考えられる。一方、洗浄土ではあまり Ec の変化は見られず、これは、②「ATP 量」の項で記載した理由と同様と思われる。

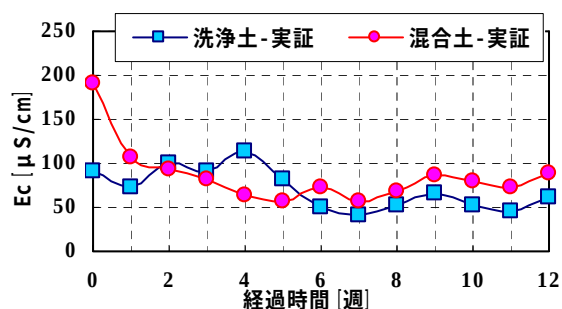


図- 15 土壌電気伝導度(Ec)の経時変化

(5)実証実験のまとめ

以上の検討により、洗浄土においても微生物処理により油分濃度を 1,000mg/kg 以下にすることは可能であるが、混合土の方がより効率的に処理することができることが確認された。これは、原汚染土を添加し、微生物処理が可能な濃度に調整することで、微生物量が増加したためと考えられる。

5. 開発できた油汚染土浄化工法について

攪拌・すすぎ・分級の工程から成る本土壌洗浄システムにより、高濃度油汚染土壌を、5,000mg/kg程度の濃度まで浄化することが可能であった。また、その後段の微生物処理においては、洗浄処理土に原汚染土を混合し微生物処理を実施し、浄化目標値である1,000mg/kg以下まで油濃度を低減することができた。

ここで、従来の土壌洗浄プラントでは、洗浄処理のみで油を浄化目標値まで浄化することを想定したシステム設計になっていたため、特殊な設備が必要になり、処理コストに大きな負担をかけていたが、本浄化工法では、洗浄処理は微生物処理の前段という位置付けとし、簡易なシステムとすることで、コスト縮減を可能とした。

また、その後段の微生物処理においても、洗浄処理土に原汚染土を混合し処理を行うことで、洗浄処理する土量の削減と、それに伴う油汚染土壌浄化処理費の縮減が図れる可能性についても示唆された。

6. おわりに

著者らは洗浄処理と微生物処理を組み合わせた土壌浄化処理システムを開発した。本浄化システムについては、予備実験によって、最適なパラメータを得た後に、洗浄の実証実験により、十分に微生物処理可能な濃度まで油分濃度を低減することができた。さらに、後段の微生物処理により、埋め戻し等が可能な濃度まで低減できることが確認できた。今後は、様々な土壌に対して、処理を行い、有用な知見を増やし、より効果的な工法に仕上げていく予定である。

なお、この研究開発は(株)錢高組、日立造船(株)、東洋建設(株)との共同研究の一貫として実施したものであり、ここに、関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 高木ら:油汚染土壌のバイオレメディエーションに影響を及ぼす各種因子の検討,前田建設技術研究所報,vol44,p57-64,2003
- 2) 野田ら:土壌洗浄法による重金属汚染土壌の処理に関する研究,前田建設技術研究所報,vol43,p101-108 2002
- 3) ジョン.T.クック Jr:バイオレメディエーションエンジニアリング～設計と応用～,エヌティーエス, p291-341,1997
- 4) 深津ら:油汚染土壌の洗浄処理に関する基礎的検討,地

下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会 第9回講演集,p256-257,2003

- 5) 田窪ら:油汚染土壌のバイオレメディエーションにおけるトリータビリティ特性について,地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会 第8回講演集,p89-92,2002
- 6) 山本ら:油汚染土壌のバイオ処理に関する基礎的検討,土壌環境センター技術ニュース,No7,p16～21,2003