

バイオレメディエーションによる汚染土壌の修復（その2）

— バイオミキシング法による油分汚染土壌の修復（寒冷地冬季生物処理の可能性）—

田崎 雅晴 岡村 和夫
(技術研究所) (技術研究所)

Soil Remediation using Bioremediation Technology (II)

— Cleanup of oil contaminated soil by biomixing method
(Probability of biological soil purification at cold districts winter season) —

by Masaharu Tasaki and Kazuo Okamura

Abstract

We developed a biomixing method as a biological soil purification technology for remediation of contamination soil. Generally, the effects of biological purification are low in the winter season in especially cold regions. However, with this technology, biological purification is feasible even during the winter season in cold regions.

A demonstration test using this biomixing method was carried out on a oil contaminated soil in cold regions. Before testing at an actual site, several treatability tests were carried out in the laboratory. Treatability tests are necessary from the aspect of effective purification at an actual site. The results of the demonstration test in a cold region during the winter season showed that oil concentration of soil when the temperature fell below the freezing point. This suggests that the biomixing method effectively enabled biological purification.

概要

筆者らは汚染土壌の生物浄化技術として、バイオミキシング法を開発した。この技術は、一般的に生物浄化の適用が難しいと言われている寒冷地冬季の生物浄化を可能に出来る技術として期待出来る。

このバイオミキシング法を用いて寒冷地の油分汚染土壌の実証試験を実施した。実サイトで行うに当たっては、事前にラボにて十分なトリタビリティテストを実施し、その適用条件を決定した。トリタビリティテストを行うことは、実サイトでの浄化を効率的に進める上で必須である。実証試験の結果、気温が氷点下にまで下がり積雪のある寒冷地冬季においても、確実に土壌の油分濃度が減少し、生物浄化が進んでいることが確認された。このことより、バイオミキシング法を適用することにより、寒冷地冬季でもバイオレメディエーションにより汚染土壌を浄化することが可能であることが示唆された。

§ 1. はじめに

油汚染土壌の生物浄化技術には、ランドファーマーミング、バイオパイル、バイオスパーキング等がある。ランドファーマーミングやバイオパイルは、浄化を行う深度まで汚染土壌を掘削・移動しなければならないために、その浄化にはかなり広大なスペースを確保する必要がある。また、汚染土壌内に通気して生物浄化を行うバイオスパーキング等は、掘削コストを削減できるが、確実に全範囲に通気されていることを確認することは難しい。

これに対し、今回報告するバイオミキシング法¹⁾ (図-1) は、基本的に原位置での浄化が可能であ

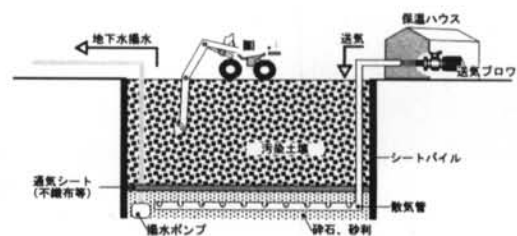


図-1 バイオミキシング概念図

- り、以下のメリットが期待できる浄化方法である。
- シートパイルにより汚染区域を囲うことで汚染の拡散を防止できる。
 - 攪拌耕転している土壌のためにほぼ均一の通気が期待できる。
 - 耕転した土壌はサンプリングが容易である。

- ・表面以外に地上部に汚染土壌が露出しないために飛散が極力押さえられる。
- ・土中での浄化のために、ランドファームングやバイオパイルと比較して外気温の影響が少ない。

生物浄化は一般的に 10℃以下になると極めて効率が悪くなり、寒冷地での冬季には特殊な保温や加温設備が無ければ生物浄化は期待できないと考えられていた。しかしバイオミキシング法を寒冷地の重油汚染土壌の浄化に適用した結果、夏季の効率には及ばないものの、外気温が氷点下まで低下する冬季においても顕著な生物浄化効果が確認された。本報告は、ラボ試験の結果も併せて、バイオミキシング法による冬季生物浄化の結果について報告する。

また同時に、実サイトでの生物浄化を実施するために必須である、事前トリタビリティテストについてもあわせて報告する

§ 2. 実験方法

2.1 適用可能性調査

実際に燃料油で汚染された土壌を修復するために、適用可能性調査として密閉式培養瓶を使用した分解試験を行った。試料は A 重油に汚染されたシルト混じり砂質土壌で、油分を S316 で抽出後、赤外分光光度法で測定した。その結果、試料の含有油分濃度は 5,500 mg/kg であった。

試験には図-2 に示す容積 300ml のブチルゴム栓付培養瓶²⁾³⁾を使用した。密閉容器中には石油系化合物を完全分解に必要な酸素量を確保するために純酸素を封入した。密閉瓶中では、好気性微生物により石油系化合物が分解されると、酸素は減少し、二酸化炭素が生成する。密閉瓶内部は二酸化炭素発生に伴い、土壌 pH が低下することが予想されたので、クラリオバイアル中に 10%NaOH を入れ、二酸化炭素を吸収させた。

密閉瓶に試料を 100 g 入れ、温度を 30℃で 20 日間培養し、定期的に密閉ビン中の酸素消費量を測定した。また、20 日後に内部の試料の油分濃度を測定した。密閉瓶中

の酸素濃度が少なくなった時点で密閉瓶中のガスを酸素ガスに置換した。分解試験項目として、汚染土壌そのまま、NP 源を添加したもの、NP 源の

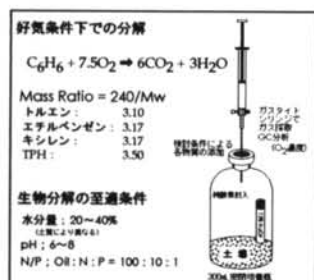


図-2 可能性調査方法

他に微生物源として黒土を添加した系の 3 条件で試験を行った。

2.2 ラボ試験

図-3 に示したように、ガラス容器中に汚染土壌 (2L、約 3kg) を入れ、底部にガラスボールフィルター付きの散気管をセットした。試料は上記可能性調査で使用した A 重油で汚染された実サイトの土壌を用い、栄養塩類と黒土を、可能性調査により得られた最適量を添加した。エアポンプにて純水を通した空気を 10L/day の割合で通気した。試験温度は 15℃に保ち、乾燥を防ぐためにシートにて容器全体を包み、定期的に土壌中の含有油分濃度を測定した。

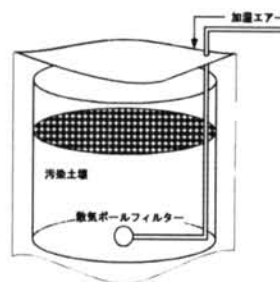


図-3 ラボ試験方法

§ 3. 実験結果

3.1 適用可能性調査

可能性調査の結果を図-4 に示す。汚染土壌そのものでは酸素の消費が少なく、NP 源添加条件でも目立った効果は認められなかった。NP 源の他に微生物源として黒土を添加した系での酸素消費が著しかったことから、試料である汚染土壌中には油分を分解する微生物が少ないと推定されたので、実際の修復には微生物源として黒土を添加することとした。

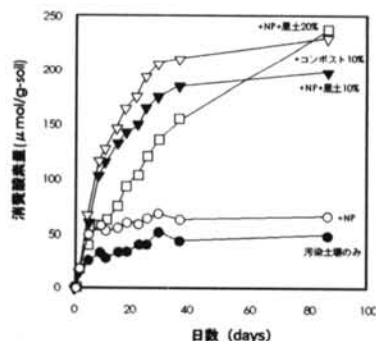


図-4 可能性調査の結果

3.2 ラボ試験

図-5 に通気後の土壌含有油分濃度の推移を示した。試験開始時には約 6,000mg/kg あった油分は試験開

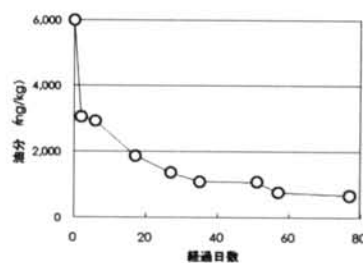


図-5 ラボ試験結果

始後約1週間で1/2まで低下した。これは生分解とともに、分子量の低い揮発しやすい油分が、通気によって土壌から気化したためと推測された。その後は試験開始約2カ月で油分濃度は500mg/kg程度まで低下した。

§ 4. 現地浄化工事

4.1 浄化工事対象サイトの概況

バイオミキシングにより浄化を行ったサイトは、寒冷地の重油汚染サイトである。土質はシルト分を含む砂質が主で、地下水位はGL-1.5m~2.0m程度である。

4.2 装置の概要

バイオミキシングを行うため、図-6に示したように、シートパイルを打ち、地下水排水管および通気管を設置した。汚染土壌には微生物源としての黒土と栄養塩類(N, P等)を事前の試験により得られている最適量を添加、攪拌した。

4.3 浄化運転

装置の設置が完了後、ブローワーにより給気を開始した。吸気は当初は3m³/min.としたが、土壌中の酸素濃度を測定することで通気量を調整した。また、通気のみではチャネリングを起こし均一な空気の供給が阻害されると予測されたため、バックホウによ

る耕耘を週1回程度行った。ただし、積雪時期(1~3月)はブローワーによる給気のみ継続し、耕耘を行わなかった。

浄化は10月上旬から4月にかけて実施し、温度および土壌の温度、油分濃度、酸素濃度、二酸化炭素濃度等の測定を行った。

4.4 現地浄化工事

実サイトでのバイオミキシングによる浄化は、ブローワーによる通気と週1回の耕耘を平行して実施した。当初は、土壌酸素濃度が低すぎる場合は耕耘の頻度を高くすることを予定していたが、酸素濃度が異常に低下することはなかった。バイオミキシングの外観写真を写真-1に示す。

積雪が始まってからは、耕耘により屋外冷気との接触による土壌温度の低下と、融雪水による土壌含水率の上昇を防ぐために、バックホウによる耕耘は停止した。表面をシートで覆い、ブローワーの熱を効率的に土壌中に送るために、ブローワーをビニールハウスに入れ、給気配管を断熱材で保温した。これによりハウス内の温度は、好天であれば外気温が氷点下であっても30~40℃になり、給気温度も土壌に入る直前で15~20℃を維持できた。

土壌の温度は図-7に示した通り、外気温が氷点下が続く時期でも、50cm以深では氷点下になることはなく、1m以深では5℃を下回ることもなかった。つまり浄化装置内の土壌は最低でも5~10℃を保てることが確認された。本サイトでの冬季温度対策としては、ブローワーおよび給気配管の保温程度であったが、地表面の保温、給気ガスの加温等もっと積極的な対策を行えば、さらに土壌温度を高いレベルで維持できると推測された。

浄化中の油分濃度の推移を図-8に示した。寒冷地での秋季からの浄化開始であったが、最初の1カ月で約2,000mg/kgの油分がほぼ1/2に低下した。その後、汚染土壌を追加投入しての浄化は、日平均気温の月平均値が最も低かった12月(-3.6℃)でも土中の温度を5~10℃程度に保持できた。このため、

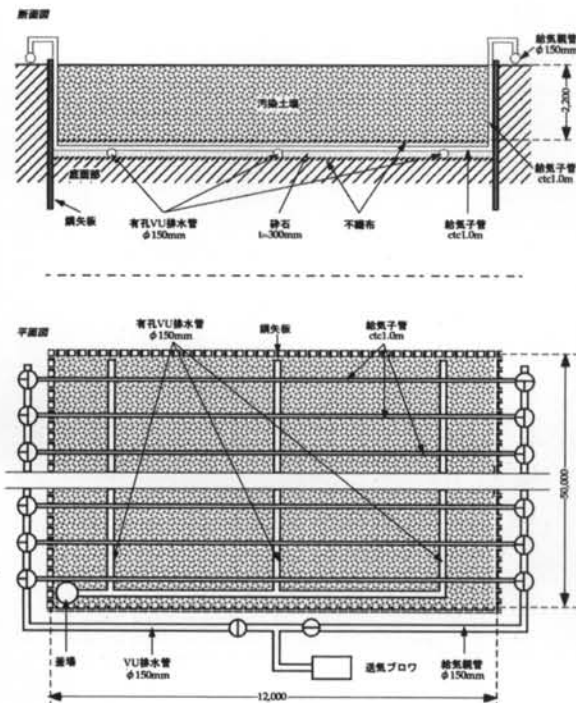
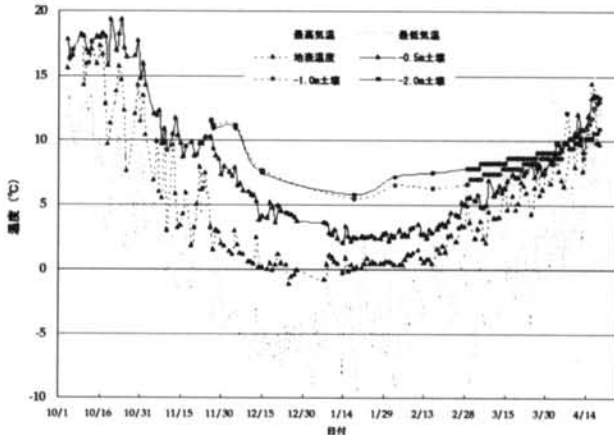


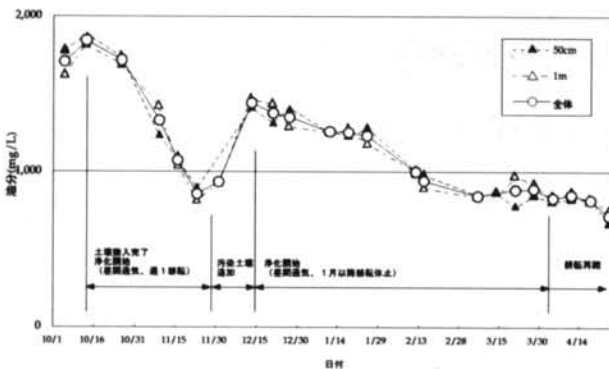
図-6 バイオミキシング槽の構造



写真-1 バイオミキシング槽外観



図—7 バイオミキシングでの土壌温度の推移



図—8 バイオミキシングでの土壌油分濃度の推移

厳寒期の12月～3月でも、浄化活性は1/2程度に低下したものの、石油分解菌の活動が停止せず、土壌の油分濃度が継続的に低下(油汚染土壌を浄化)したことを確認できた。また耕転を停止した送気だけの条件下でも、確実に油分の減少が進んでいることが確認された。

耕転の有無に係わらず、土壌中50cmも1mも浄化効率に殆ど変化がなかった。ただし、途中数回実施した底部土壌(2m)のサンプルは、同時期の50cm、1mのサンプルと比較して、若干ではあるが油分濃度が低いことが確認された。これは底部より通気を行っ

ていることと、底部の方が土壌温度が高いことが影響していると推測された。底部に若干の差が見られたものの、処理装置全体を考えると、殆どむらの無い油分浄化が進んでいたと考えられる。

4月より残雪を除去し再び耕転を開始した。冬季に比べるとより効率的な油分濃度の低下が確認された。秋季の油分濃度低下の効率を考え合わせると、より効果的な浄化を行うためには、通気と耕転を組み合わせたことが有効であると推測された。

§ 5. おわりに

今回検討したバイオミキシング法による油分汚染土壌浄化について以下のことが確認された。

- 1年を通じて微生物による浄化作用を維持できるため、浄化期間を短縮できる。特に気温が低い寒冷地での浄化工事については、大幅な浄化期間の短縮が期待できる。
- 原位置で浄化処理できるため、浄化ヤードが不要である。また、汚染土壌を山積みしなくて済むため、強風や大雨による飛散・流出を確実に防止できる。
- ラボ試験の結果、栄養塩類や通気条件を整えれば、10,000mg/kg程度の重油汚染土壌を2,3カ月で生物浄化できる可能性が高い。
- 栄養塩類や通気条件を整えれば、若干の微生物源を加えることで、複雑な処置や装置を用いなくとも、寒冷地冬季での生物浄化効果が期待できる。
- より効果的な浄化を期待するためには、必要量の通気と耕転を組み合わせることが有効である。

<参考文献>

- 1) 田崎 雅晴, 岡村 和夫, 熊本 進誠: “バイオミキシング法による油分汚染土壌の修復(寒冷地冬季生物処理の可能性)”, 平成14年度地下水・汚染土壌とその防止に関する研究集会, p417-420, 2002
- 2) 岡村 和夫: “土壌汚染の修復と微生物の役割”, 地質と調査, 4, p43-47, 2000
- 3) 岡村 和夫: “微生物による汚染土壌の修復実例”, BIO INDUSTRY, Vol.19, (1), p44-50, 2002