

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

高木 亨

山本 達生

田窪 祐子

小口 深志

要 旨

バイオレメディエーションでは、トリータビリティテスト（使用条件設定のための試験）が非常に重要なものとして位置付けられている。そのため、微生物の活性に影響を与える因子とその関連性を明確にしておくことが強く求められる。

著者らは、規模の異なる3種類のトリータビリティテストを実施することで、バイオレメディエーションに影響を及ぼす因子として、土壌ECや土壌pH等が重要であることを明らかにした。また、コンポストを用いた試験も合わせて実施し、その有用性も明らかにした。さらに、浄化後の汚染土壌を用いた植生試験を実施し、そこで得られた結果から栄養塩に起因する問題点を指摘する。

キーワード 油汚染土壌 / バイオレメディエーション / 栄養塩 / ATP / 土壌EC / 土壌pH / 降雨 / 植生

目 次

- | | |
|------------------|---------|
| 1. はじめに | 4. 植生試験 |
| 2. 室内トリータビリティテスト | 5. まとめ |
| 3. 屋外カラム試験 | 6. おわりに |

DISPUTATION ON VARIOUS EFFECT FACTORS FOR BIOREMEDIATION OF OIL-CONTAMINATED SOIL

Toru TAKAKI
Yuko TAKUBO

Tatsuo YAMAMOTO
Fukashi OGUCHI

Synopsis:

In bioremediation, treatability test is important. Therefore it must be made a factor influencing activity of microbe clear.

Importance of EC and pH was shown in the treatability test which three kinds of scale was different in by operation. In addition, a test with compost was shown in the utility by operation, too. Furthermore, problems to be caused by a nitrogen amount are pointed out by the effect that thus it was got vegetation test with the oil-contaminated soil after purification by operation.

1. はじめに

1.1 背景

近年、国民の環境問題への関心の高まりの中にあって、典型 7 公害のひとつである土壤汚染は、今年 5 月の土壤汚染対策法の施行を機に、脚光を浴び、それに関連する新たな市場を創出している。そこでは調査や浄化、そして研究開発はもとより、汚染地の不動産的価値基準の設定手法や土壤汚染を対象とした保険商品など、これまでにないビジネスモデルが次々と構築されている。そのため、土壤汚染問題の分野では幅広い知識が要求され、Stigma¹⁾（土壤汚染の存在履歴に起因する心理的な嫌悪感から生ずる減価要因）といった非常に取り扱いの困難な問題まで考慮しなければならないケースも出てきている。そのような多種多様な土壤汚染問題の中でも、浄化・修復すべき汚染地域が大規模かつサイト処理の場合、建設業が果たすべき役割は大きい。

土壤汚染は、重金属による汚染、揮発性有機化合物による汚染、そして油による汚染の 3 つに大きく分けられる。その中で油による土壤汚染は、近年の石油元売り会社の統廃合によって、廃止される油槽所やガソリンスタンド等が顕在化していることから、その跡地の扱いに関心が集まっており、早期浄化が求められている。

油による土壤汚染はその浄化に際していくつかの問題を抱えている。それは、国の示す土壤環境基準の項目には、油による汚染はなく、基準値も示されていないため、浄化の判断が曖昧となる点である。また、油に汚染された土地は土壤汚染対策法では上記理由により汚染土壤として指定されないため、法的に浄化を義務づけることができない点である。しかし、先にも述べたが、昨今の環境問題に対する社会的な要求から、企業が自主的に油汚染土壤の修復事業を実施する動きが盛んになってきている。したがって、油の汚染土壤を浄化する際は、企業では独自に油の浄化基準値を設けたり、安価で浄化効率の高いものを選択する傾向が強くなっている。

1.2 目的

油汚染土壤の浄化技術には土壤洗浄や熱処置などの機械的処理が挙げられるが、周辺環境への影響を考慮すれば、環境に優しく安価とされるバイオレメディエーション（微生物を利用した浄化手法）が優れた技術として挙げられる。

バイオレメディエーションは、微生物源の扱い方によって、以下の 2 つに大別される。

バイオオーギュメンテーション：培養した微生物を汚染地に添加して、汚染物質を分解・除去する。

バイオスティミュレーション：土着の微生物を活性化させ、汚染物質を分解・除去する。

バイオレメディエーションでは、生物を利用した浄化

手法であるため、浄化の前段階で栄養塩、酸素、水といった微生物の生命活動に必要な物質量を、トリータビリティテストによって予め決定する必要がある。トリータビリティテストの結果によって、浄化期間やそれにかかる費用も算出されるため、トリータビリティテストはバイオレメディエーションでは重要な試験として位置付けられている。そのため、微生物の活性に影響を与える因子とその関連性を明確にし、最適な管理項目を抽出することは結果的に浄化への信頼性を高め、浄化不履行のリスクを低減することにつながる。一方、トリータビリティテストは、2L 程度の小規模な試験装置を用いて行うのが一般的である。しかし、微生物は些細な環境変化でも、その浄化能力に大きく影響を及ぼす。小規模な試験装置を用いた手法では、土量が少量であるために少ない頻度のサンプリングしか行えず、土壤中の変化を正確に捉えるのは困難と考えらる。そのため、より大きな規模の試験が求められる。規模を 10L 程度にまで拡大すれば、多種の管理項目の設定による多面的な管理や、多頻度のサンプリングが行えるため、土壤環境の些細な変化を捉えることが可能となる。

本研究では、まず第一に、小規模の試験（以下、S-size と称す）およびそれよりやや大きめの規模の試験（以下、M-size と称す）を同時に実施することで、M-size の有効性を明確にする。第二に、M-size よりさらに規模が大きめの試験（以下、L-size と称す）を実施し、それを M-size で得られた結果の確認試験と位置付け、さらに降雨などの自然環境の変化がどの程度バイオレメディエーションに影響を及ぼすかを明確にする。第三に、「バイオレメディエーションによって浄化された土壤は植生用土壤として有効利用可能なのか？」、浄化後の土壤を用いた植生試験を実施し、その答えを導く。以上の 3 つを主な目的とした。

2. 室内トリータビリティテスト

バイオスティミュレーションによる油汚染土壤のバイオレメディエーションでは、「土着菌の活性をいかに高めるか」が、最も重要視されている。このため、前年度は実汚染土壤を用いたトリータビリティテストを実施し、これにより土着菌の活性やそれによる油分分解能力は栄養塩の添加量に大きく依存するという結論に至った²⁾。しかし、この前年度試験は、土量の少ない S-size の試験であったため、微生物活性に影響を及ぼす諸要因の検討が十分ではなかった。よって、本年度は S-size と共に、M-size も同時に実施することでそれら諸要因の検討を再度行うこととした。

2.1 試験装置

図-2.1、図-2.2 はそれぞれ S-size、M-size の試験装置の

概要である。S-size の試験装置には、容量 2L のガラス製広口瓶を使用し、M-size の試験装置には、内側が容量 13L、外側が容量 20L のプラスチック製容器である二重構造のものを使用した。S-size の試験装置は、広口瓶の口元をゴム栓で閉じることで密閉状態を保てる。一方、M-size の試験装置は内側容器には蓋はないが、外側容器には簡単な蓋があり、通気性のある構造となっている。

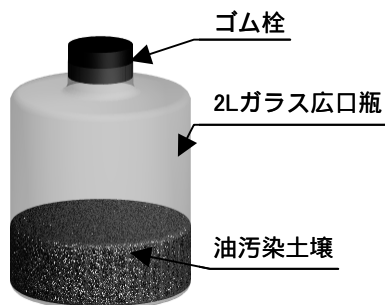


図-2.1 試験装置概要(S-size)

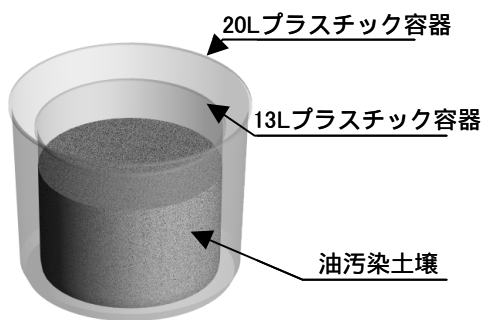


図-2.2 試験装置概要(M-size)

2.2 試験方法

試験には、実油汚染土壌ではなく、実汚染土壌の粒度を模擬した模擬油汚染土壌を用いた。粒度分布を図-2.3 に示す。材料には珪砂 3 号、5 号、6 号、7 号、カオリンを用い、重量比 46:15:15:20:4 で配合したため、土壌は粘土分の少ない(5%以下)砂質土となり、圃場容水量も含水比 7.6%と低い値になった。油種には A 重油を選定し、土壌の油分濃度が 5000mg/kg になるように調整した。土壌の水分量は含水比で圃場容水量の 80%に設定し、そこに、微生物源として少量の実油汚染土壌、栄養塩、副資材を添加し、モルタルミキサを用いて混合した。それをトリータビリティテスト装置に投入し、室温 20℃、湿度 60%の恒温室内で 3 ヶ月の試験を実施した。酸素の供給を目的として週に一度の頻度で土壌の切り返しを行い、それと同時に水分調整、pH 調整並びに各種測定(土壌 pH、土壌 EC、微生物量の指標である ATP、含水比、酸素濃度、および油分濃度)を実施した。

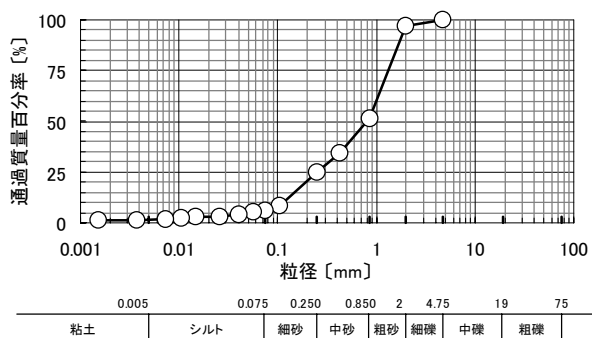


図-2.3 模擬汚染土壌の粒度分布

2.3 試験ケース

試験ケースの一覧を表-2.1 に示す。S-size を栄養塩の添加量をパラメータとして 5 試験行い、M-size を栄養塩の種類および添加量をパラメータとして、9 試験実施した(A シリーズ)。さらに、切り返しおよび pH 調整をパラメータとした M-size を 4 試験実施した(B シリーズ)。なお、即効性の栄養塩(以下、即効性と称す)には尿素とリン酸二水素カリウム(尿素の 0.28 倍)を用い、緩効性の栄養塩(以下、緩効性と称す)にはコーティング肥料(窒素:リン酸:カリ=16:5:10)を用いた。また、pH 調整剤にはリン酸を用いた。

表-2.1 試験ケース一覧(室内)

試験名	栄養塩		切り返し	備考
	種類	油分:N添加量		
SS-A1	-	10:0	有	Control
SS-A2	即効性	10:0.5	有	N-微量
SS-A3	即効性	10:1	有	N-少量
SS-A4	即効性	10:2	有	N-標準
SS-A5	即効性	10:4	有	N-多量
MS-A1	-	10:0	有	Control
MS-A2	即効性	10:0.5	有	N-微量
MS-A3	即効性	10:1	有	N-少量
MS-A4	即効性	10:2	有	N-標準
MS-A5	即効性	10:4	有	N-多量
MS-A6	緩効性	10:0.5	有	N-微量
MS-A7	緩効性	10:1	有	N-少量
MS-A8	緩効性	10:2	有	N-標準
MS-A9	緩効性	10:4	有	N-多量
MS-B1	-	10:0	無	Control
MS-B2	-	10:0	有	Control
MS-B3	即効性	10:2	有	pH調整-無
MS-B4	即効性	10:2	有	pH調整-有

2.4 試験の結果および考察

(1) A シリーズの試験結果および考察

試験終了時における油分濃度(S-316 抽出非分散赤外線吸収法)および油分除去率を表-2.2 に示す。油分が最も減少したのは、S-size、M-size とともに、即効性の添加量微量のケース SS-A2 (Small Size-A series 2)、MS-A2 であった。しかし、試験の規模以外はすべて同条件であるにも関わらず S-size の油分除去率はすべて M-size のそれ

に比べ低かった。これは S-size の試験では、繰り返し時以外は密閉系であったのに対して、M-size の試験では常に開放系であったことが、両者の酸素供給量に差を生じさせ、微生物の活性に影響を与えたためと考えられる。施工の状態にもよるが、ランドファームなどの開放形での処理を想定する場合は、S-size の試験は効果の判定などの定性的な評価には適しているが、想定される油分除去量などの定量的な評価には不適と考えられる。また、M-size では、緩効性の添加量少量のケースでも、油分の除去率が高いという結果となった。図-2.4 に示す栄養塩添加量と油分除去率の関係から、栄養塩の添加量については、栄養塩の種類や対象となる土壌によって、それぞれに最適な添加量が存在し、それを的確に把握した上で栄養塩の種類や添加量を決定することが重要と言える。

表-2.2 試験結果一覧（A シリーズ）

試験名	S-316抽出IR法	
	油分濃度 [mg/kg]	油分除去率 [%]
SS-A1	2,863	42.7
SS-A2	1,648	67.0
SS-A3	2,203	55.9
SS-A4	2,593	48.1
SS-A5	2,733	45.3
MS-A1	2,830	43.4
MS-A2	423	91.5
MS-A3	1,833	63.3
MS-A4	1,695	66.1
MS-A5	1,760	64.8
MS-A6	1,855	62.9
MS-A7	536	89.3
MS-A8	1,075	78.5
MS-A9	1,413	71.7

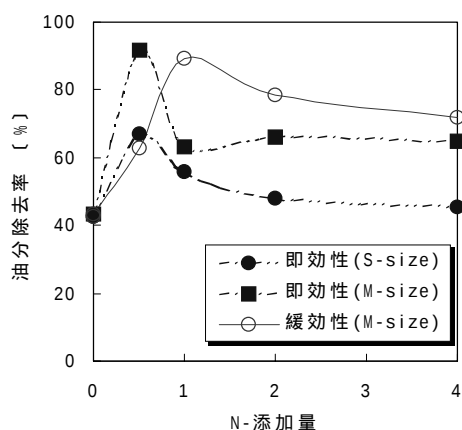


図-2.4 栄養塩添加量と油分除去率の関係

図-2.5 は試験終了時の油分除去率と試験期間中の ATP 最大値の関係を示したものである。ATP が高いほど油分除去率も高いことが分かる。また、図-2.6 は最も油分除去率の高かった MS-A2 を代表例として油分除去率および ATP の経時変化を示したものである。微生物の状態が、対数増殖期と定常期にある時は油分除去の割合が高くなっており、死滅期にある時はその割合は低い。このことから、浄化期間中に微生物の活性を高め、それを維持す

ることが、油分を除去する上で重要であるかが分かる。

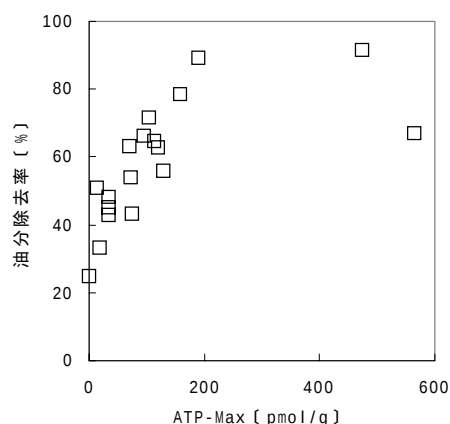


図-2.5 油分除去率と ATP(Max)の関係

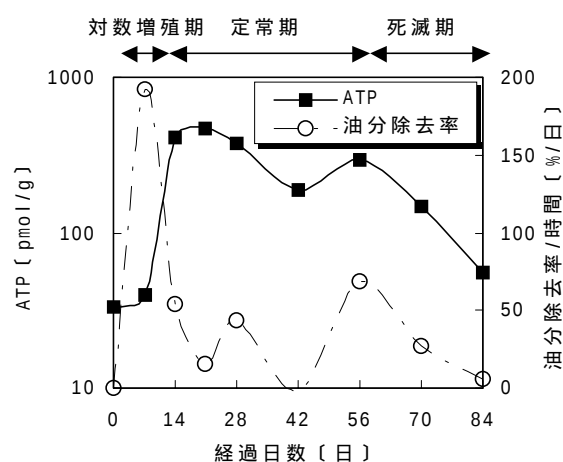


図-2.6 油分除去率および ATP の経時変化

次に微生物の活性に影響を与えと考えられる因子について述べる。図-2.7 は土壌の pH と ATP の関係を示したものである。微生物の活性は、中性領域でもある pH=6.5 と pH=8.5 付近で高いことが分かる。一般的に石油資化性菌を用いたバイオレメディエーションでは pH=6~8 付近の中性領域においてその活性が良好に行われる³⁾とされており、本試験でも同様の結果が示された。特に pH=8.5 付近で微生物の活性が最も高く、これは、微生物源に用いた種菌土壌が pH=8.6 であったことに深く関係していると思われる。以上より、土壌 pH は中性であり、かつ微生物が元々生息していた土壌 pH に近ければ近いほど微生物の活性にとって良好に作用し、その付近に土壌 pH を管理することが重要と言える。

図-2.8 は、EC と ATP の関係である。EC が 100 μ S/cm 付近で ATP の値が高く、EC が 0 μ S/cm 付近や 300 μ S/cm を越えたところでは ATP は低い。これは、土壌 EC の急激な変化が土壌中の微生物に浸透圧ショックを与え、活性を低下させたためであり、微生物を活性化させるには、土壌 EC を 100 μ S/cm 付近に管理することが有効と思われる。図-2.9 は、栄養塩添加量と微生物が増殖期に入っ

た時点（試験開始 2～3 週目）の栄養塩添加量と EC の関係である。即効性、緩効性共に栄養塩の添加量と EC に正の相関がみられ、EC を管理することで、土壌中の栄養塩量の把握も可能と考えられる。

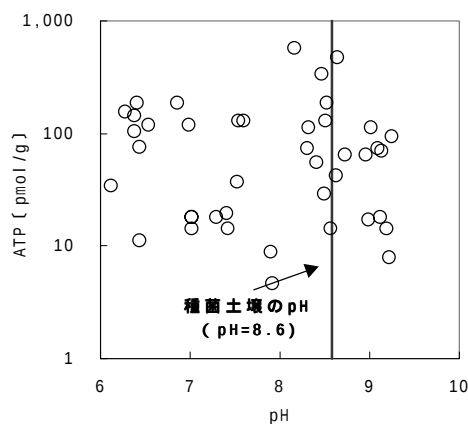


図-2.7 土壌 pH と ATP の関係

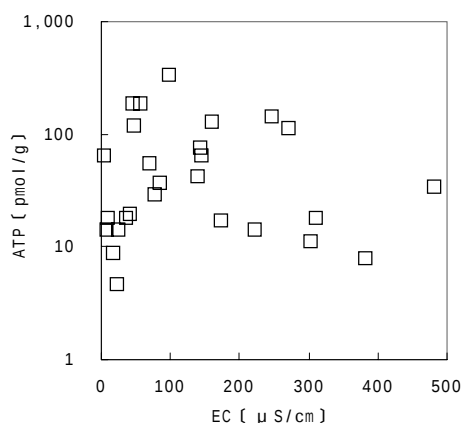


図-2.8 土壌 EC と ATP の関係

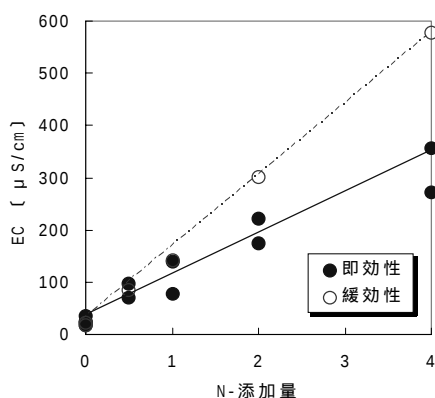


図-2.9 栄養塩添加量と土壌 EC の関係

(2) B シリーズの試験結果および考察

(1) の A シリーズの試験では、Control のケース (SS-A1, MS-A1) でも油分が 40% 程度除去される結果となり、(表-2.2 参照) これは、揮発のためと考えられた。しかし、どの時点でどの程度の揮発が生じるかについては不明であった。一方、A シリーズでは、汚染土壌が、酸性土壌

やアルカリ土壌になった場合には、pH 調整を行っていたが、それによる油分除去効果がどの程度見込めるかなどについての定量的評価も行っていない。よって B シリーズでは、切り返しの有無による揮発効果と pH 調整の有無による微生物活性の効果の違いについて述べる。

表-2.3 は試験終了時における油分濃度および油分除去率である。MS-B2 は MS-B1 に比べ油分濃度が 500mg/kg 程度低く、切り返しにより油分は低下したことが分かる。また、MS-B1 でも 1,000mg/kg 程度油分濃度が低下しており、切り返しなしでも揮発効果により一定量の油分除去は期待できることが示された。

表-2.3 試験結果一覧 (B シリーズ)

試験名	S-316抽出IR法	
	油分濃度 [mg/kg]	油分除去率 [%]
MS-B1	3,753	24.9
MS-B2	3,325	33.5
MS-B3	2,448	51.0
MS-B4	2,303	53.9

図-2.10 は、pH および ATP の経時変化である。MS-B4 は pH を中性に調整することで、ATP はその前後で約 200 倍に増加しており、pH 調整による微生物活性の効果が顕著にみられる。一方、pH 調整を行わない MS-B3 は、試験開始から 6 週目までは pH は 9 より高く、ATP も低かった。しかし、8 週目辺りから pH は下がりはじめ、ATP は pH 調整ありのケースとほぼ同程度にまで上昇した。

6 週目の油分濃度では、MS-B4 の方が MS-B3 よりも 1000mg/kg 程度小さかったが、試験終了時には、両者の油分濃度はほぼ同じ値となった(表-2.3 参照)。これは、土壌の pH 調整を行うことで、土壌中の微生物活性を促進させることが可能であることを示している。さらに、仮に pH 調整を行わなくても、時間はかかるが自然に pH 調整がなされ、微生物にとって良好な土壌環境が整えられる現象、いわゆる土壌の自然減衰(汚染物質や汚濁物質が自然の浄化作用により分解され、濃度が低減していく現象)が生じること示している。

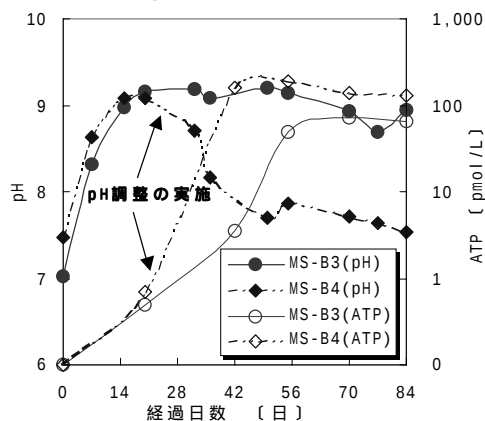


図-2.10 pH および ATP の経時変化

3. 屋外カラム試験

室内トリタピリティテストの結果から、バイオレメディエーションの浄化期間中における管理項目としては、油分濃度、ATP、pH および EC が重要であることが分かった。一方、バイオレメディエーションでは、屋外における積層処理が一般的であり、天候などの環境変化や積層状態にその処理量が左右され易いと考えられる。しかし、このような自然状態における、微生物活性に影響を及ぼす因子について、詳細に検討された事例は少ない。そのため、ここでは、pH や EC 以外にも、微生物の活性に影響を与え、油分の除去量を左右する影響因子があるという推測に基づき、屋外カラム試験 (L-size) を実施したので、それについて述べる。また、同時に室内トリタピリティテストの検証も行った。

3.1 試験装置

図-3.1 に屋外カラム試験装置の概要を示す。試験装置は、内径 $\phi=0.3\text{m}$ 、高さが 2m の円筒状の塩ビ管であり、本試験では試験ケースに合わせて計 6 機の試験装置を用いた。深度方向に 3 箇所 ($h=0.5, 1, 1.5\text{m}$) から土壌サンプルの採取が可能となっており、装置上部には蓋を設けず、降雨が直接土壌に入るようになっている。また、底面には穴を空けることで、土壌中の余剰な水については装置外に排出される構造としてあり、その排出された浸出水については、装置の下方に受け皿を設置することで採取できるようにした。

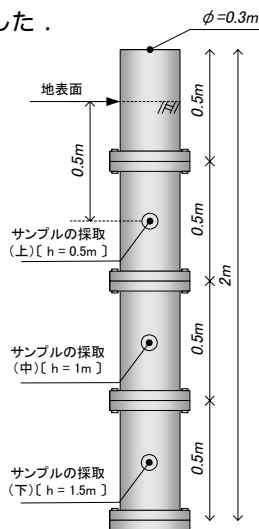


図-3.1 試験装置概要(L-size)

3.2 試験方法

本試験が室内トリタピリティテストの検証を兼ねていることもあったため、それと同様 (2.2 試験方法参照) の試験方法とした。

3.3 試験ケース

試験ケースの一覧を表-3.1 に示す。LS-C1 を Control (栄

養塩の添加を行わない) とし、LS-C2 ~ LS-C6 は栄養塩の種類、量および添加方法をパラメータとした。なお、LS-C2 は微生物源として実油汚染土壌を用いず、下水汚泥を堆肥化させたコンポストを用い、切り返しを行わない試験ケースとした。

表-3.1 試験ケース一覧 (屋外)

試験名	微生物源	栄養塩		
		種類	油分:N添加量	添加方法
LS-C1	実汚染土壌	-	10:0	-
LS-C2	コンポスト	緩効性	10:2	一括
LS-C3	実汚染土壌	緩効性	10:2	一括
LS-C4	実汚染土壌	緩効性	10:0.5	一括
LS-C5	実汚染土壌	即効性	10:0.5	一括
LS-C6	実汚染土壌	即効性	10:0.5×4	分割

3.4 試験の結果および考察

図-3.2 は試験前後のイヤトロスキャン分析による油分分析結果であり、油分濃度の総量は S-316 抽出非分散赤外線吸収法による分析結果である。どのケースもレジン、アスファルテン分は分解されなかった。油分が最も減少したのは、緩効性を用いた LS-C3 であり、油分除去率は 70%程度であった。また、微生物源にコンポストを用いた LS-C2 でも 60%程度の油分が除去されており、これは、コンポスト中の微生物が通性嫌気性菌であったためと考えられ、通性嫌気性菌を用いれば、切り返しなしでも油分が分解されるということが示された。さらに、このケースは上下部共に油分の除去率が良好であったが、通気性がよい上部の方が油分が 1000mg/kg 程度多く除去されていたことから、ある程度 (一ヶ月に一度位) の切り返しを行えば、LS-C3 と同等の油分除去量が期待できそうである。また切り返し回数の減少は、運転管理の簡略化につながり、それによって処理コスト 10%程度低減の可能性はある。

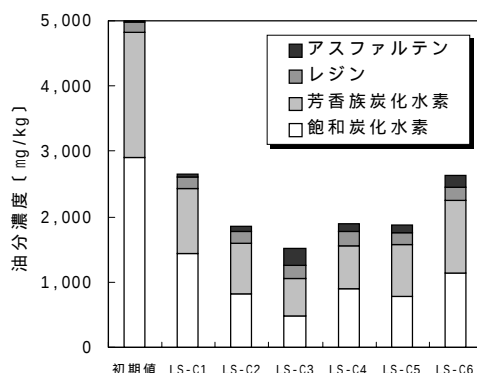


図-3.2 油分濃度(イヤトロスキャン)

図-3.3 は LS-C6 の深度方向における、ATP、酸素濃度、EC および油分濃度の経時変化である。深度方向の酸素濃度では、中部・下部よりも、上部の方が酸素濃度は高く、とくに 6~9 週目にその傾向が顕著であり、その間は ATP も上部の方が高く、それに伴い油分除去率も高い。この

ことから深度 0.5m までは通気性が良く、微生物活性にも適した土壌環境であることが分かる。

また、このケースでは 1 回目の追肥直後に ATP が大幅に上昇しており、追肥による微生物の活性がみられる。さらに、そのときの酸素濃度の推移も、低下傾向を示しており、微生物が酸素を大量に消費している様子がうかがえる。しかし、2 回目の追肥以降は、ATP は低下する結果となり、酸素の消費量も低下した。これは、栄養塩を過度に添加したことによって微生物が浸透圧ショックを起こしたためと考えられる。このときの EC が 300 μ S/cm 付近であり、これ以降は、EC は上昇し続け、また ATP も低下し続けた。これについては、2.4 室内トリタビリティテストにおいても同様に EC が 300 μ S/cm で ATP が低下していることを確認している。

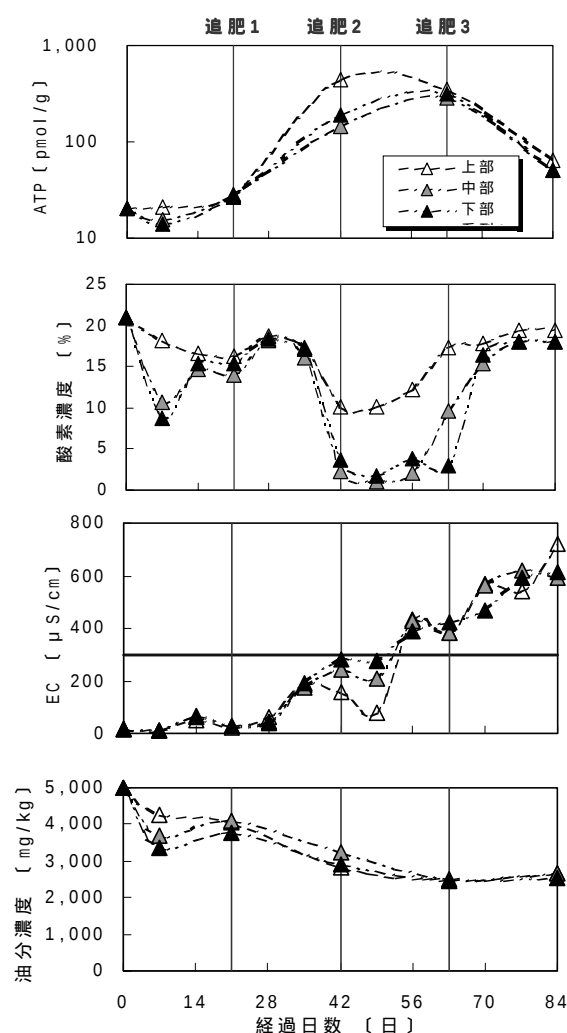


図-3.3 ATP，酸素濃度，EC，および油分濃度の経時変化 (LS-C6)

図-3.4 は浸出水に含まれる窒素の累積値および雨量の経時変化である。どのケースも初期の土壌への窒素添加量に対して 0.03%未満と非常に低く、本試験ような土壌条件では降雨による栄養塩の流出は少ないと言える。

図-3.5 は LS-C5 の油分濃度および土壌温度、並びに

MS-A2 の油分濃度の経時変化である。LS-C5 (屋外) は MS-A2 (室内、LS-C5 と同じ試験条件) ほど油分濃度は低下しなかった。1 週目では、油分濃度の差は 500mg/kg 程度であったが、時間の経過に伴いその差は広がり、12 週目には 1,500mg/kg 程度の差が生じた。これは、LS-C5 は積層処理であったため、特に中・下部において酸素が不足し(図-3.3 参照)、微生物活性が低下したことが要因と考えられる。さらに、6 週目以降は、土壌温度が 10 程度低下しており、これも微生物の活性を低下させた要因の一つとして挙げられる。

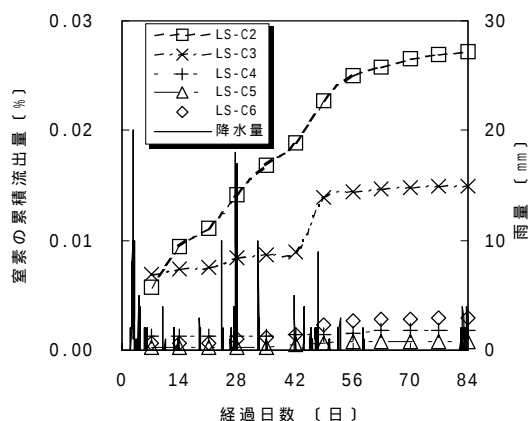


図-3.4 雨量および窒素流出量の経時変化

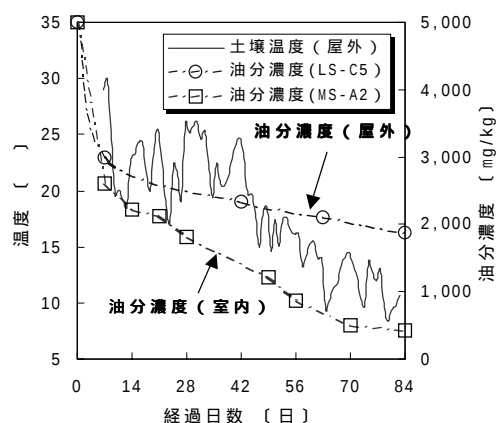


図-3.5 土壌温度および油分濃度の経時変化

4. 植生試験

バイオレメディエーション後の土壌は、処理期間中に微生物の活動に必要な不可欠な栄養塩を添加している関係上、通常の土壌に比して栄養塩が多量に含まれていると考えられる。栄養塩類は、植物の生育にも必要な肥料分でもあるため、処理土が緑化用土壌として有効利用できる可能性が高い。しかし、植生に利用するには過剰とも思える栄養塩類等の添加が、植生にどのような影響を及ぼすか、また植物による土壌性能の改良が行われるかなど、なお不明な点が多い。それらを明確するため植生試験を実施した。

4.1 試験方法

試験には 1/5,000a ワグネルポットを使用した。植生には、油汚染土壌のファイトレメディエーション（植物による浄化手法）で使用されるアルファルファの他、硝酸態窒素の影響を受けやすい葉もの野菜としてホウレンソウ、緑化用植物としてホワイトクローバーの計 3 種を用いた。

4.2 試験ケース

試験ケースを表-4.1 に示す。試験では、室内トリータピリティテスト終了後の土壌のうち、栄養塩を添加しない Control のケース（MS-A1）と最も油分除去されたケース（MS-A2）を植生土壌として用いた。

表-4.1 試験ケース一覧（植生）

試験名	植生	使用土壌
D-1A	アルファルファ	MS-A1
D-1H	ホウレンソウ	MS-A1
D-1W	ホワイトクローバー	MS-A1
D-2A	アルファルファ	MS-A2
D-2H	ホウレンソウ	MS-A2
D-2W	ホワイトクローバー	MS-A2

4.3 試験結果および考察

試験終了時における各ケースの発芽率、油分濃度および全窒素イオン量を図-4.1 に示す。油分濃度の高く全窒素イオン濃度の低い D-1 のケースの方が、油分濃度の低く全窒素イオン濃度の高い D-2 のケースより発芽率が高い結果となった。このことから、植生生育には残留油分濃度よりも、残留栄養塩濃度の方が植生に与える影響が大きいことが示された。

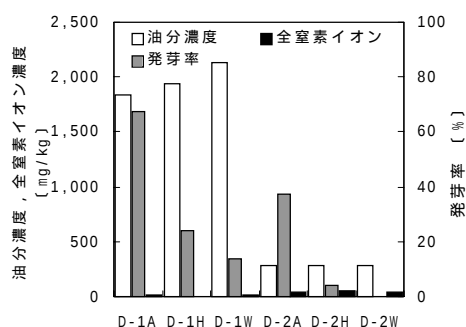


図-4.1 発芽率、油分濃度および全窒素イオン濃度

5. まとめ

本試験により得られた知見を以下に示す。
・即効性や緩効性の栄養塩を用いたバイオスティミュレーションにより、5000mg/kg の油汚染土壌に対し 3 ヶ月間で油分を 90%以上除去することが可能と考えられる。しかし、屋外では土壌の高積みによる酸素濃度の低下、

温度変化等の影響を受けるため、浄化効率が低下する恐れがあり、積層厚、季節等を考慮した設計を行う必要がある。

・施工における処理量の予測は、トリータピリティテストを汚染サイトの環境条件に合わせて実施することが重要と考える。（例えば、2m 程度の積層厚での処理を計画する場合、トリータピリティテストは、密閉可能な容器を使用し、低酸素状態で実施する）それにより、安全側の検討が可能となり、本手法の信頼性の向上に繋がる。

・油汚染土壌の微生物は土壌 pH が中性以外では活性が低下するが、pH 調整により土壌を中性にすることで微生物の活性を促進させることができる。

・栄養塩の過剰添加は、土壌 EC の上昇による微生物の浸透圧ショックを生じさせるため、微生物にとって必要最低限の栄養塩添加が重要となる。

・微生物源として、通性嫌気性菌を含むコンポストを用いることで、切り返しなしでも切り返しありと同等の油分除去が期待できる。これにより、酸素供給の省略による運転管理の簡略化が行え、処理コスト低減につながる可能性がある。

・砂質土を対象とした土壌条件では、降雨による栄養塩の流出は非常に小さく、それによる油分除去量の低下は少ない。

・処理後の土壌では、油分濃度よりも残留栄養塩濃度が植生生育に悪影響を及ぼすため、その点も考慮した設計を行う必要がある。

・試験規模の違いにより、以下の項目が判断できることが分かった。

S-size：最適な栄養塩添加量

M-size：土壌 EC 等の管理水準

L-size：気温、降雨等の気象条件の影響、積層厚による酸素条件等の影響

6. おわりに

今後の課題としては、土の掘削を必要としない原位置バイオ処理手法の確立、通性嫌気性処理の適用性の明確化が挙げられる。

参考文献

- 1) 廣田祐二：地下水・土壌汚染と不動産の鑑定評価、第 8 回地下水・土壌汚染防止対策研究集会講演集、pp.31-44, 2002。
- 2) 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ピリティ特性について、土木学会第 57 回年次学術講演会、pp.653-654, 2002。
- 3) ジョン・T・クックソン 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～、pp.85-86, 1997。