

熱処理による油汚染地盤の修復

Remediation of the Oil Contaminated Ground by the Heat Treatment

神尾昌宏 Masahiro KAMIO (日工(株)技術本部研究開発センター)
蓬萊秀人 Hideto HORAI (日工(株)技術本部研究開発センター)
亀井健史 Takesi KAMEI (宮崎大学工学部社会環境システム工学科)

2006年に油汚染対策ガイドラインが作成され、油臭や油膜が問題となった場合についての対策法が制度化されてきた。このような状況の中で筆者らが開発した土壌浄化システムは、軽質油の浄化を対象としており、重質油に適用すると、一次処理キルンから排ガスと一緒に飛散する微細土粒子の浄化が不十分であり、高濃度の油を含んだ微細土粒子が、サイクロンならびにバグフィルタで捕捉され、一次処理キルンで浄化した土壌に還元されることにより、浄化性能を悪化させている。本研究では、一次処理装置から飛散する高濃度の油を含んだ微細土粒子を浄化する機能を搭載した、重質油対応の油汚染土壌浄化システムを新たに開発し、その基本性能と有効性を明らかにしている。

キーワード：油汚染土壌、加熱処理、酸化分解、修復 (IGC : T14)

1. 諸言

戦後の活発な経済活動により、我が国は世界でも有数の経済大国となった。しかし、その経済活動の負の遺産として、国内各地で地盤や地下水の汚染が問題となっている。土壌汚染の多くは、都市部の工場や事業所跡地で発生しており、再開発や売却の際に行う調査によって明らかとなっている。最近では、調査・対策の費用は2006年において受注額で1993億円(受注件数：14,790件)と最大になったが、その後減少し、ピーク値の約7割程度で推移している((社)土壌環境センター)。土壌汚染が最初に大きく注目されたのは、1982年から実施された環境庁による全国各地の地下水汚染調査であり、その調査の結果、深刻な地盤・地下水汚染が明らかとなった¹⁾。この調査では全国15都市から検体を採取し、トリクロロエチレンやテトラクロロエチレンなどの揮発性有機化合物を中心に18物質での汚染が発覚した。

土壌汚染対策法が2002年5月29日に公布され、翌2003年2月15日に施工された。この法律では、土壌汚染状況の把握と、汚染による人への健康被害を防止する対策を定めて、人体の健康を保護することが目的である。また、26種類の特定有害物質を指定し、土壌の環境基準を設けた。第一種特定有害物質として、VOC(Volatile Organic Compound:揮発性有機化合物)類を11種類、第二種特定有害物質として、重金属類10種類、第三種特定有害物質として、農薬類5種類が指定されている。

土壌汚染対策法の目的は、土壌汚染による人の健康被害の防止である。そのため、油汚染に関しては人への健

康影響が少ないとして対象には含まれなかった。土壌汚染対策法が施工された3年後の2006年に、生活環境の保全を目的として、油汚染を対象とする油汚染対策ガイドライン²⁾が作成された。この中で、油汚染に対する判断基準が、油膜や油臭等の感覚で判断することや、その調査方法及び対策について示された。

既往の油汚染の対策技術としては、大きく分けて3つに分けることができる。第一としては油汚染の影響が、生活環境へ出ないように、油臭や油膜を遮断・遮蔽する方法である。盛り土を設けることによって覆いとしての機能を期待する方法であるが、盛土が飛散や流出によって損壊しない策を講じる必要があり、コンクリート舗装やアスファルト舗装による対策も遮断・遮蔽として有効である。

第二としては、油の地下水への混入による拡散を防止する方法であり、対策方法としては、遮水壁、バリア井戸、地下水揚水等がある。何れの方法もボーリング調査によって油汚染の範囲を確認し、地下水によって油の汚染が流出しない程度の深度まで対策することが重要である。

第三としては、油汚染地盤を修復する方法である。掘削除去した後を清浄土や処理土で埋め戻す方法であるが、浄化方法として土壌洗浄処理や、バイオレメディエーション、加熱処理等がある。敷地内(オンサイト)で修復処理する場合は、土壌洗浄処理や熱処理はプラント設置費用が嵩むため、土壌の処理量が多量で敷地面積に余裕がある場合に有効である。また、敷地外(オフサイ

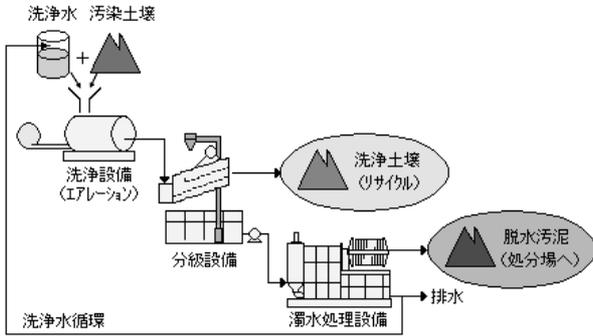


図-1 洗浄処理²⁾

ト) で処理する場合でも、同様の方法で汚染土壌の中間処理施設で対応が可能であるが、土壌の運搬にコストがかかる。敷地外処理では適応可能な油汚染の種類および汚染濃度範囲が広く、短期間で浄化対策工事が完了する特徴がある。その他、掘削しないで浄化を行うガス吸引法やバイオレメディエーション等の原位置処理法もある。

土壌洗浄処理は、汚染された地盤から土壌を掘削し、洗浄プラントで分級・洗浄し、油分濃度を下げる方法である。図-1 に洗浄処理の流れを示す。洗浄の際に溶剤や界面活性剤、微細気泡を使用する場合がある。具体的な工法としては、汚染油が粒度の細かいものに多く含まれているので、分級を行い、土壌を粒度毎に分ける。残留油分濃度の高い微細土粒子は、残渣として処理する必要がある。そのためシルト質や粘土質の土壌には適さない。また他の方法と比較して重質油・高濃度汚染に対して適している。

バイオレメディエーションは、微生物の持つ油分解能力を利用して浄化する方法である。図-2 にバイオレメディエーション処理の流れを示す。汚染土壌に元々棲息している微生物に栄養素や酸素を供給して活性化して浄化を行うバイオスティミュレーションと汚染分解能力の高い微生物を製剤として汚染土壌に噴霧して、浄化を促進するバイオオーグメンテーションがある。後者の方法では、汚染土に元来棲息しない微生物が、浄化後も棲息し続けるので環境への影響を確認して実施する必要がある。

熱処理は、汚染土壌を加熱することにより、土壌から油分を脱離し、ガス化した油成分を高温雰囲気中で酸化分解することにより無害化する方法である。土壌を 800～1,000℃に加熱して油成分を分解する熱分解と、400～600℃程度で加熱して処理する熱脱着と比較的沸点の低い油分を含む土壌を 200～300℃程度の低温で加熱して油分を揮発分離する加熱乾燥方法等がある。本研究で採用し

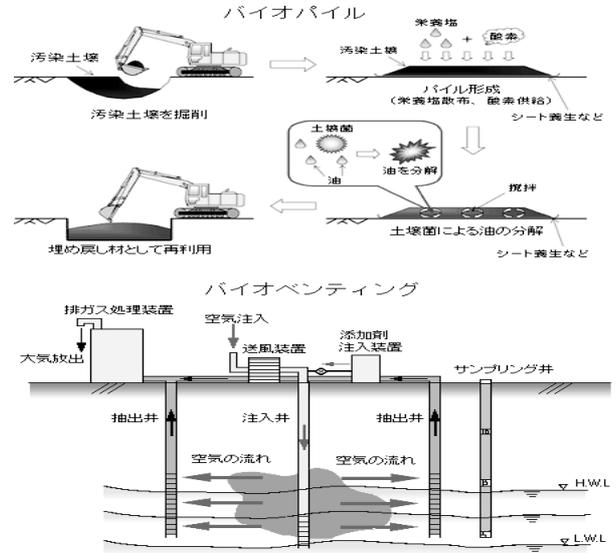


図-2 バイオレメディエーション処理²⁾

ている加熱乾燥方法による土壌浄化の特長としては、バイオレメディエーションに比較して強制的に加熱して油分の浄化を行うので確実に浄化することが可能で、微生物による浄化のように環境（温度・湿度・微生物の油分分解能力等）の影響によって浄化能力が左右されることは無い。また洗浄法の場合は、油分を多く含んでいる微粒子分が残渣として残りその処分が必要になるが、熱処理による浄化に関しては、土壌微粒子も浄化可能で、土壌に還元出来るので、残渣が出ないという特長がある。また、これまで油汚染地盤を熱処理で修復を行う研究報告は少なく、工法等を系統立てて整理確立されていないのが実情である。

以前に我々が開発した初期の土壌浄化プラント（以下「Stage I システム」という）を重質油に適用すると、微細土粒子に含まれる油分の浄化が難しく、装置の改善が必要ことが明らかとなった。本研究では、重質油の浄化まで対応した新たなシステムの開発（以下「Stage II システム」という）を行い、その浄化のメカニズムや特徴を明らかにした。

上記したとおり油汚染土の修復方法としては、様々な方法があるが、工期面、浄化面、コスト面を考慮しながら、効率的に浄化を行うには、汚染油の種類や範囲、土質や汚染サイトの広さや周囲の状況等を総合的に判断して、最適な方法を選択、または組み合わせる必要がある。

2. 本研究で開発した油汚染土壌浄化システム

2.1 概要

筆者らが開発した土壌浄化プラントは、ロータリキルンによる乾燥加熱技術、直接燃焼式排ガス脱臭処理技術を応用し組み合わせた装置である。この浄化工程の概念を図-3に示す。基本原理としては、土壌を加熱することにより、土壌の表面や間隙に含まれる油分を揮発分離し、土壌から油分を脱着し浄化を行う方法であり、加熱乾燥方法に分類される。揮発した油分ガスを含む排ガスは、二次処理装置で750℃に昇温されることによって、油分ガスが酸化分解され、水と二酸化炭素になり無害化される。写真-1に油汚染土壌浄化システムの外観を示す。

ロータリキルンでは、一般的に省エネルギー性を追求する場合は排ガスによる排気損失が少なくなるように、材料温度よりも排ガス温度を低く抑えることが可能な、材料と熱風が向かい合って流れる向流方式を採用する。本研究の土壌浄化プラントにおいても、省エネルギーの観点から一次処理キルンに向流方式を採用している。この一次処理キルンの加熱処理のみでは、排ガスの流れと共に飛散する微細土粒子の処理温度が低く、重質油汚染の種類や濃度によっては浄化処理が不十分となる可能性がある。そのため、本研究で開発した Stage II システムでは、新たに設けた微細土粒子キルンによって、微細土粒子をより高温で処理し、それに含まれる油分の揮発分離を促進して、油汚染土壌の浄化能力を高めている。飛散する微細土粒子は、投入土壌の全体質量の約20%であるが、表面積比では、土壌全体表面積の約80%以上を占



写真-1 油汚染土壌浄化システム

めており、それに含まれている油分が、土壌全体の汚染油の大部分である。そのため、浄化性能を高める上で微細土粒子の浄化処理が非常に重要となる。本研究で開発した装置のシステムフローを、図-4に示す。また以下に各装置の構造と機能について記す。

2.2 土壌処理の流れ

2.2.1 前処理（異物の除去）と土壌の供給

工場跡地等の汚染土壌には、建物解体時に発生するコンクリートがらや鉄筋を多く含むので、土壌浄化プラントで処理する前に、これらの異物を重機等で取り除き、100mm以下にする。土壌の含水比が非常に高く、ハンドリングが悪い場合は、ホップ内での材料のアーチングやベルトコンベヤ乗り継ぎ部における土壌の付着等が発生し、定量的に土壌を供給できない場合がある。そのよう

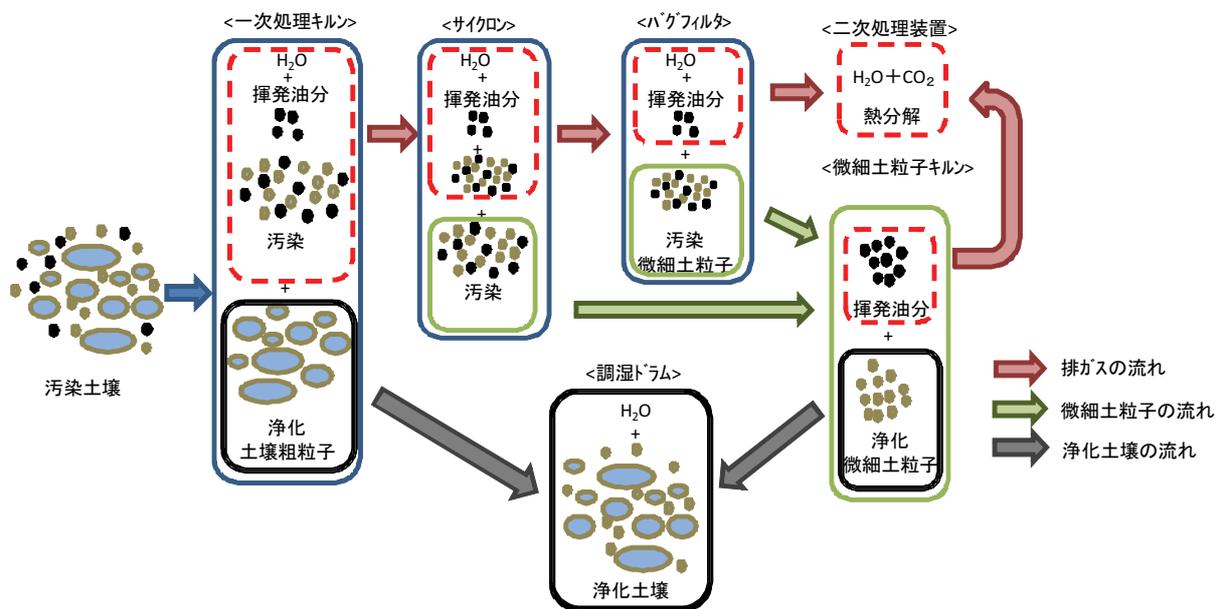


図-3 油汚染土壌浄化システムの概念図

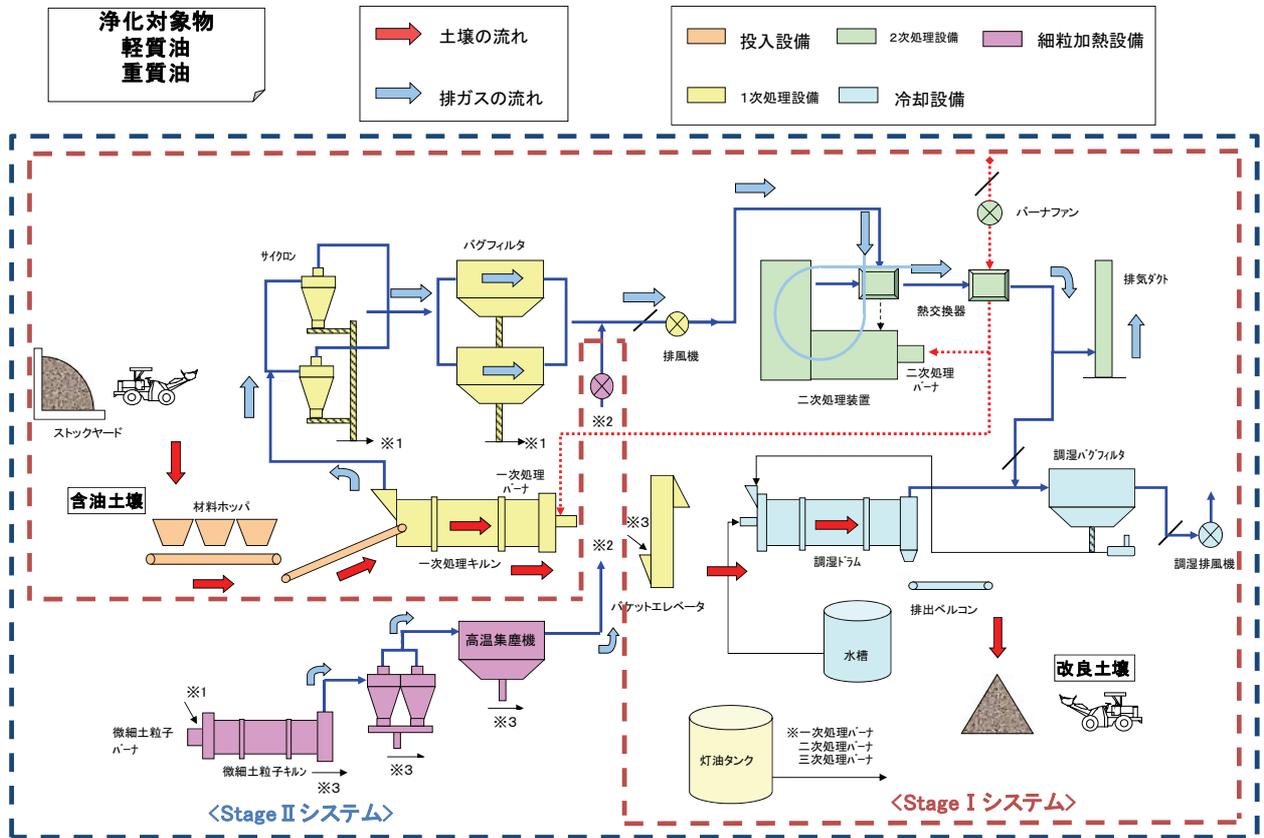


図-4 油汚染土壌浄化システムのフロー図

な場合は、生石灰を土壌に混ぜることにより、含水比の調整を行う。土壌の加熱処理には多くの燃料を消費するが、投入土壌の含水比を抑えることで、材料の含水を蒸発させる熱量が減少し、燃費の改善にも効果がある。

図-4 に示すとおり、前処理後の油汚染土壌は重機によりストックヤードから、投入ホッパに供給される。つぎに、油汚染土壌は、投入ホッパ底部の供給フィーダにより一次処理キルンに定量供給される。この供給フィーダは回転数を自在に変化することが可能で、土壌の供給量を任意に設定することができる。

2.2.2 一次処理キルン（土壌の乾燥・加熱・分級）

一次処理キルンでは、バーナで発生した熱風とキルンのリフターでかき上げた土壌を効率的に直接熱交換し、乾燥加熱を行なって、土壌に含まれる油分を揮発させて土壌から取り除く。キルン内で土壌を乾燥した後は、排ガスの流れと一緒に微細土粒子が飛散し、風力選別的な効果で一定粒度以下のもののみ、サイクロンまで運ばれる。細かい土粒子ほど、油分濃度が高い傾向があるため、油分濃度の高い部分を効果的に分級できる。キルンから排出される土壌の加熱温度は、バーナの燃焼量により150～250℃に範囲で調整することが可能である。また排ガス温度は、土壌の加熱温度によって、150～200℃の範



写真-2 微細土粒子キルン

圍で変化する。

2.2.3 微細土粒子キルン（微細土粒子の加熱）

以前の Stage I システムでは、サイクロンとバグフィルタで捕捉された微細土粒子は、スクリュウコンベヤと空気輸送で集められ、追加処理無く調湿装置に導入されて土壌と混合される。

一方、Stage II システムでは、重質油での浄化性能を高めるため、材料と熱風が同じ方向に向かって流れる並流式の微細土粒子キルンへ投入し、一次処理キルン以上の排ガス温度 300～380℃で、再度加熱処理を行う。このキルンは並流式のため、高温の排ガスによって飛散した微

細土粒子が処理される。写真-2 に微細土粒子キルンの外観を示す。

2.2.4 調湿装置（土壌の調湿）

浄化された土壌は、乾燥した状態で高温であるため、そのままの状態では装置外に出すことは、安全・環境面上好ましくない。調湿装置では、土壌を冷却し、ハンドリングが良くなる程度に、土壌を湿潤させる。

構造としては、回転ドラムの中に、処理後の土壌を投入し、ドラム前後に設置している、水噴霧ノズルによって調湿し、土壌と水を均一に混ぜ合わせる。

2.3 排ガス処理の流れ

2.3.1 サイクロン（微細土粒子の捕集）

一次処理キルンからの排ガスとその気流に乗って運ばれる微細土粒子を分離し、ある一定粒度のものまで捕捉する。構造的には、一般的なサイクロンと同様であり、排ガスの流速を上げて、遠心力により微細土粒子を集塵する。

2.3.2 バグフィルタ（分解ガスの中和・捕集）

排ガスの流れによって飛散する微細土粒子は、サイクロンで比較的粗いものは捕捉するが、それより細かな粒子は、バグフィルタによって集塵する。また同時にバグフィルタの入口側に、消石灰を吹き込むことで、硫酸酸化物や塩化水素等の酸性ガスを中和する機能を持っている。硫酸酸化物は硫酸カルシウム（石膏）、塩化水素は塩化カルシウムとして中和無害化処理され、調湿装置で土壌に還元される。

2.3.3 二次処理装置（有害物質の熱分解）

二次処理装置では、750℃の高温雰囲気中で、油分ガスを酸化分解する。構造的には、バーナ燃焼の熱風と被処理ガスを効率的に混合する燃焼室と、750℃の温度で油分ガスが十分に酸化分解することができる滞留時間を稼ぐ、滞留室の二つに分けられる。

また無害化された高温の排ガスをそのまま大気に放出すると、エネルギー効率が非常に悪くなる。そのため、二次処理装置には、二つの熱交換器を設け、被処理ガスとバーナ用燃焼空気の前熱に利用して、750℃の排ガスから熱回収を行う。この熱の再利用により、最終的に煙突から排出されるガスの温度は、400℃程度になる。

3. 油汚染土壌浄化システムの性能評価と考察

3.1 土壌の浄化性能

Stage I システムで浄化した土壌は、オンサイトで処理した関東の都心部にある機械工場の土壌で、比較的粒度の細かい砂質土の汚染土壌であり、灯油相当（炭素数：C12～C28、沸点範囲：240～350℃）の油で汚染された土壌である。一方、Stage II システムで浄化した土壌は、同じくオンサイトで処理した、関西の油層所の土壌と横浜の比較的粒度の細かい汚染土壌であり、マシン油相当（炭素数：C28～C60、沸点範囲：340～540℃）の油で汚染された土壌である。

浄化性能の評価には、有機溶媒（ノルマルヘキサン）に油分を抽出した後、その溶媒を揮発させて残ったものの重量を測定し、濃度を評価した。油汚染対策ガイドライン²⁾では、油分濃度の規制値は無いが、今回の各汚染土壌の油膜・油臭のない指標として、1,500ppm を自主目標値として設定した。

3.1.1 従来の Stage I システムの浄化性能

図-5 に、Stage I システムでの浄化処理結果の一例を示す。土壌の加熱温度に関しては、一次処理キルンの出口で 200℃になるように設定しており、その排ガス温度は、約 180℃程度である。

図より、処理前土壌の油分濃度は 800～1,700ppm であり、それほど汚染濃度の高い土壌では無い。処理後の土壌は、油分濃度が大きく下がり 100ppm 以下となっており、自主規制の 1,500ppm 以下に浄化できていることがわかる。これは、汚染油が比較的、揮発しやすい、灯油相当の油であったことが要因ではないかと思われる。一方、バグフィルタで捕捉される微細土粒子のみに着目すると、処

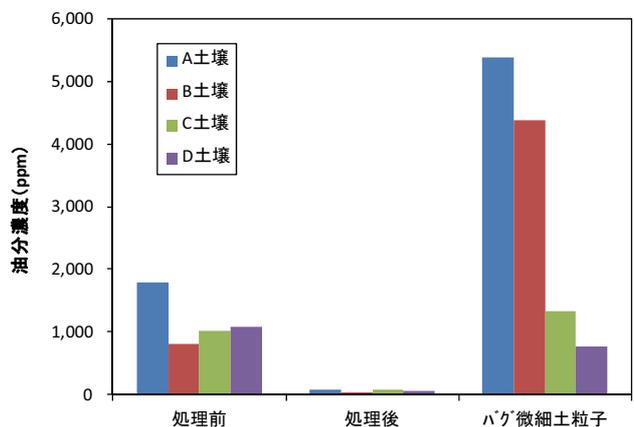


図-5 処理前後の油分濃度 (Stage I システム)

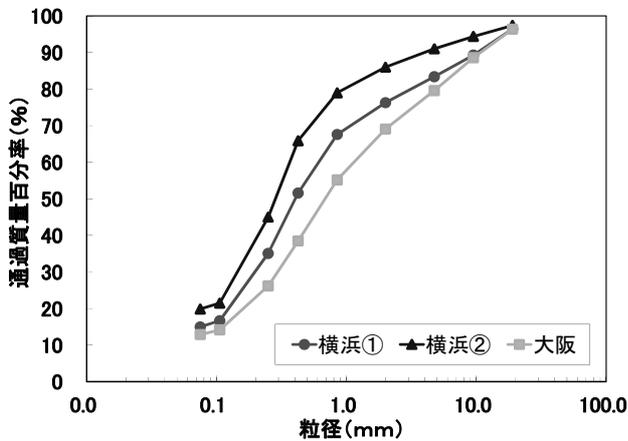


図-6 処理土壌の粒度分布

表-1 処理前後の土壌の性状 (Stage II システム)

現場	処理前		処理後	
	土壌		土壌	
	油分濃度 (ppm)	含水率 (%)	油分濃度 (ppm)	含水率 (%)
(一)				
横浜①	7,300	22	1,300	16
横浜②	6,800	21	1,100	11
大阪	4,300	14	570	9

表-2 各装置の処理途中における油分濃度 (Stage II システム)

現場	処理途中					処理後
	一次処理 キルン (出口) 土壌	サイクロン (出口) 微細土粒子	バグフィルタ (出口) 微細土粒子	微細土粒子 キルン (入口) 微細土粒子	微細土粒子 キルン (出口) 微細土粒子	調湿ドラム (出口) 土壌
横浜①	230	3,700	30,000	3,700	40	1,300
横浜②	430	4,200	27,000	3,000	690	1,100
大阪	250	-	23,000	3,000	250	250

理後においても油分濃度が高く、処理前の 4 倍程度になっているデータもある。上記したとおり、油染土壌の油分の大半は、微細土粒子の表面に付着して存在している。軽質油汚染においても、油分濃度の高い微細土粒子は、排ガス温度の低い一次処理キルンのみの処理では、浄化が不十分であったことがこの結果から判断できる。

重質油の浄化を想定した場合、油分を多く含んでなおかつ粒子が微細で飛散するため浄化の難しいバグフィルタの微細土粒子は、処理土とは別に、管理型最終処分場で処理する方法も考えられる。しかし、シルト分が多くなった場合、バグフィルタの微細土粒子の割合が増加し、管理型最終処分場での処理費用が高んでしまう。また、管理型処分場の残容量が減少している現在の状況を踏まえると、汚染された土壌を微細土粒子も全て含めて修復した方が、浄化としては望ましいことなどから、筆者らは、微細土粒子を再度加熱処理することにより浄化性能を高めた、Stage II システムの開発を行った。

3.1.2 今回開発した Stage II システムの浄化性能

Stage II システムで処理した土壌は、横浜と大阪のマシン油相当の油で汚染された土壌である。この処理土壌の粒度分布を図-6 に示す。図より、大阪の土壌に比較して横浜の 2 種類の土壌の方が細かいことがわかる。また土

壌に含まれるシルト分 (0.005~0.075mm) は、横浜の場合は、15~20%程度であり、ローム層 (シルト割合が 25~40%) の多い関東では、シルト割合が高くない土壤であることがわかる。また汚染の油分濃度であるが、大阪の土壌で約 4000ppm、横浜で約 7000ppm 程度あり、Stage I システムで処理した土壌よりも 2 倍以上の汚染濃度の土壤である。

これらの土壌の処理前後の油分濃度と含水比のデータを、表-1 に示す。処理前の油分濃度が比較的高い (5,000ppm 以上)、横浜の土壤に関しても、自主目標値の 1,500ppm 以下に浄化できていることがわかる。また、汚染濃度の違いはあるが、粒度の細かい比較的シルト分の多い横浜の土壤の方が、処理後の油分濃度が高い結果となっている。この理由の一つとして、粒度の細かい微細土粒子の浄化が、難しいことが挙げられる。

次に、各装置における処理途中の油分濃度を表-2 に示す。一次処理キルンから排出される土壤に関しては、全て 500ppm 以下の低い値になっている。一方、微細土粒子については、サイクロンで捕捉される中心粒子径 30 μ m のものに関しては、処理前よりも低くなっているが、処理前の油分濃度の 50%以上が残留分として存在している。また、バグフィルタで捕捉された中心粒子径 4 μ m のより細かいものに関しては、処理前より 4 倍程度大幅に濃度

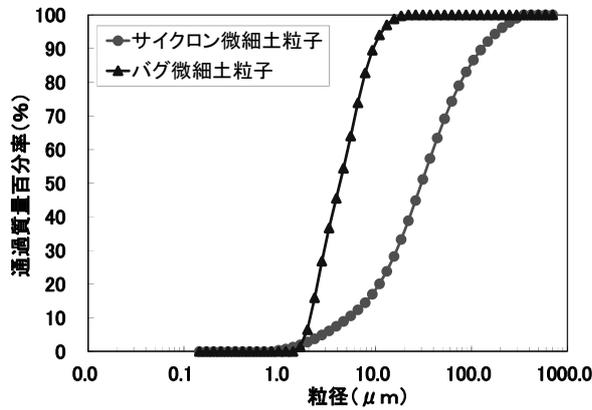


図-7 微細土粒子の粒度分布

が高くなっていることがわかる。土壤に含まれる油分の多くは、土粒子の表面に付着して存在しているが、上記した土壤の比表面積は当然細かい土粒子ほど大きいので、細かいものほど多くの油を含有することができる。このため、細かい微細土粒子ほど単位重量当たりの油分濃度が高くなる。図-3 にこの浄化の流れを示しているが、これら高濃度の油を含んだ微細土粒子が、一次処理キルンで浄化した土壤に還元されることにより、浄化性能を悪化させている。Stage II システムでは、浄化性能を高めるために、これらを集合させて、微細土粒子キルンで再度加熱処理を行うが、セラミックフィルタを使用している高温集塵機の性能の関係上、排ガス温度が 380℃雰囲気までの処理に制限を受ける。データ上バラつきはあるが、微細土粒子の入口と出口で、油分濃度は大きく減少しているが、残留油分が残っていることがわかる。

図-7 にサイクロンとバグフィルタで捕捉される微細土粒子の粒度分布を示す。サイクロンとバグフィルタで排ガスの処理を行う場合、サイクロンで集塵されないで残ったものが、後流側のバグフィルタで捕捉される。この粒子径は、排ガスの風速やサイクロンの効率によるが、本装置の図-7 の結果では、15 μm 以上がサイクロンで捉えられる結果となっている。それ以下の粒度のものは、バグフィルタで集塵されるが、この領域のものに、多くの油分を含んでいることが表-2 からわかる。

またサイクロンとバグフィルタの微細土粒子に油分が多く残っている原因として、温度と時間の要素があげられる。一次処理キルンでは、前半部でまず土壤の乾燥を行うが、乾燥すると土壤粒子から細粒分が分離し、排ガス（一次処理キルン内風速：2m/s、ダクト内風速：15m/s）と一緒に飛散し集塵装置まで運ばれる。一次処理キルンは、材料の流れと排ガスの流れが向かいあう向流式であり、材料の加熱温度よりも排ガス温度を低く抑えることが出来る。バグフィルタでの排ガス処理温度は

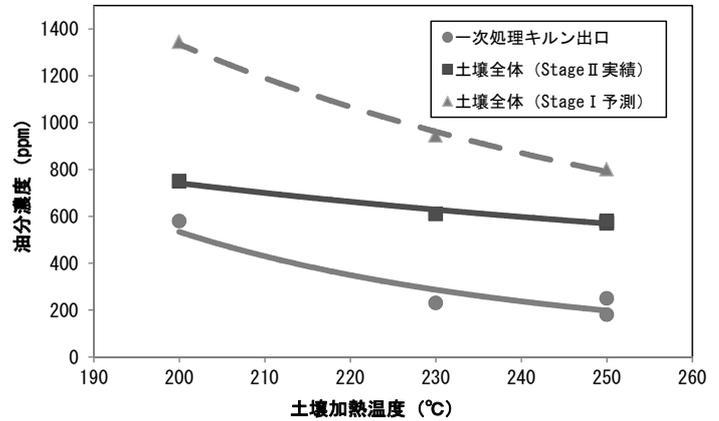


図-8 加熱時間と油分濃度の関係（Stage II システム）

ろ布の耐熱制限から、180℃程度に抑えられているため、微細土粒子の処理温度は排ガス温度と同程度になり、材料加熱温度よりも低くなる。また、微細土粒子は排ガスと一緒に飛散するため処理時間も短いのが実情である。そのため、Stage II システムでは微細土粒子キルンで再度加熱して、追加処理を行っている。タール・ピッチ相当の重質油を、余裕を持って処理するには、この微細土粒子の処理温度を今後更に高める必要がある。

3.2 処理温度と油分濃度の関係

Stage II システムで、土壤の加熱温度を変化させて、処理後の油分濃度がどのように変化するか確認したものを、図-8 に示す。横軸に土壤加熱温度、縦軸には、浄化後の残留油分濃度を示している。

図より、加熱温度が 200℃から 250℃に上昇することで、一次処理キルン出口の残留油分濃度が 70%程度低下していることがわかる。一方、微細土粒子を含む土壤全体（Stage II 実測）では、10%程度しか低下していない。一方、微細土粒子を 20%と想定した Stage I システムの予測値は、Stage II システムの実績値に対して、200℃においては、倍程度の油分濃度が残っているが、土壤加熱温度が高くなるにつれてその差が小さくなっている予測となっている。この差から、Stage II システムに新たに設けた微細土粒子キルンの効果が非常に大きいことがわかる。

また、これらの結果から言えることは、土壤に含まれる油分の大部分が微細土粒子に含まれるものであるため、その浄化処理を効率的に確実にを行うことが、土壤全体の浄化性能を高める上で、如何に重要かということである。

本研究では、重質油の油汚染土壤の実処理を 60t/h という高い処理能力で安定して行い、浄化の実績を得ることができた。また、浄化性能面では、微細土粒子キルンを新たに設けることにより、マシン油相当の浄化を達成

できることが確認できた。

4. 結言

本研究では、微細土粒子キルンを搭載した新たな油汚染土壌浄化システムを開発し、その実処理操作において各装置の処理途中の浄化状態を分析することで、以下の結果が得られた。

(1) 本研究で開発した、土壌浄化プラントは、マシン油相当の実汚染土壌を浄化処理する事ができ、汚染油の種類や土壌の質によっては、処理能力が高いシステムであることが確認できた。

(2) 油汚染土壌に含まれる油は、微細土粒子に多く含まれる。そのため、浄化性能を高めるためには、バグフィルタで回収されるシルト分の浄化が非常に重要である。

(3) 土質によって油分の浄化性能が大きく影響を受ける。シルト分が多い土壌に関しては、微細土粒子の処理温度を高めることが、浄化性能を高める上で非常に重要である。

(4) Stage II システムでは、集塵した微細土粒子を 380℃ 雰囲気です再度加熱処理することにより浄化性能が高まった。より重質なタール・ピッチ相当の汚染を浄化するためには、この処理温度を更に高める必要がある。

(5) 燃費に関しては、土壌の含水比に非常に大きく依存されるので、前処理によって含水を低下することで、ランニングコストや環境負荷を低減することが可能である。

熱処理による地盤の修復は、多くの化石燃料を消費し、その燃費は、土壌の含水比によって大きく影響を受ける。汚染土壌の浄化という環境を修復する行為の中で、多くの化石燃料を使用し、環境負荷を高めることは、技術者として、非常に心苦しいことである。筆者らは、このような背景の中、Stage II システムの浄化性能を更に改善し、

高温の微細土粒子を含む排ガスからの廃熱が回収可能な予備乾燥装置や熱交換器を新たに設けた、更なる省エネ型の土壌浄化プラントを開発中である。また熱処理によっても汚染濃度の高い微細土粒子の分級ができることが明らかになったので、その特性を上手くコントロールして、油と重金属等の複合汚染の浄化に対応出来る新たな土壌浄化プラントの検討を進めたい。

参考文献

- 1) 中杉修身：わが国における土壌・地下水汚染の修復，廃棄物学会誌，Vol. 7, No. 3, pp. 220-227, 1996.
- 2) 中央環境審議会土壌農薬部会，土壌汚染技術基準等専門委員会，油汚染対策ガイドライン - 鉱油を含む土壌に起因する油臭・油膜問題への土地所有者等による対策の考え方 - ， pp. 1~21, 2006.
- 3) 蓬萊秀人，神尾昌宏，亀井健史：加熱による汚染土壌の修復技術，地盤工学ジャーナル，Vol. 8, No. 2, pp. 297 -310, 2013.
- 4) 橋本久義，須藤孝一，井上千弘，千田侑：油汚染土壌のオンサイト修復技術，石油技術協会誌，Vol. 71, No. 1, pp. 131-138, 2006.
- 5) 植松信行，美坂康有，中村隆，峠和男：汚染修復対策技術，廃棄物学会誌，Vol. 7, No. 3, pp. 256-269, 1996.
- 6) 栖原秀朗，新井洋一，中越健太，赤神元英，黒山英伸：揮発性有機化合物による大規模土壌・地下水汚染浄化対策事例，地盤工学ジャーナル，Vol. 6, No. 2, pp. 317-329, 2011.
- 7) 平田健正：土壌・地下水汚染の現状と将来，地下水学会誌，第 40 巻，第 4 号，pp. 395-402, 1988.
- 8) 須藤孝一，平川貴也，中川勇樹，関野聡，橋本久義，井上千弘・千田侑：生石灰混合処理による油汚染土壌浄化と浄化処理の汚染サイトに棲息する油分解微生物に及ぼす影響，石油技術協会誌，第 71 巻，第 5 号，pp. 513-521, 2006.

(2013 年 6 月 24 日 受付)