

# 磨砕処理による油汚染土壌の浄化プラント

## —スーパーリサイクロンシステム—

渡辺 輝文・川口 謙治・伊藤 洋

油汚染土壌の処理方法は、これまで微生物処理や熱処理などの技術が用いられているが、前者では浄化速度や確実性、後者では土壌のリサイクルやコストなどの課題を有している。

本報文では、土壌の磨砕処理をベースに水のみを用いた油汚染土壌の新たな浄化プラント（スーパーリサイクロンシステム）の概要と実施例について述べる。本システム（以下、SRSと称する）による浄化処理は、短期間で確実な浄化が可能であり、水循環利用で廃液等の発生がないなど周囲環境にも影響を与えないといった特徴を有している。

キーワード：油、プラント、汚染土壌、洗浄、磨砕、環境負荷低減

### 1. はじめに

日本国内における汚染土壌現場は、数十万のサイトに及ぶとされ、工場移転や土地の転売・再開発等により顕在化しつつある。

東京都では平成13年10月1日「環境確保条例」により土壌汚染の調査が義務づけられた。また、同年7月に「埼玉県生活環境保全条例」が公布され、平成14年4月より施行されるなど条例化の動きが活発になっている。さらに、環境省の「土壌環境保全対策の制度の在り方に関する検討会」の中間報告で土地の所有者に一定の条件下で土壌調査を義務づけるほか、汚染が確認された際の対策も所有者に責任を負わせる等の方針が示されている。

このように汚染土壌に対する関心は、日増しに高まっており、油汚染土壌についても生活環境への直接的な影響から、低コストでより確実に環境負荷の小さい浄化技術が求められている。

著者らは、磨砕処理を軸として水のみで浄化・分級を行い、使用した水を循環利用できる浄化プラントを開発し、実用化した。

本報文では、このプラントを実際の油汚染土壌処理に適用し、十分な効果が得られたのでここに報告する。

### 2. スーパーリサイクロンシステムの概要

Super Recyclone System(SRS)とは、磨砕処理装置（トルネードコンボ）で精米するように土粒子を擦り合わせて表面に付着する有害物質を剝離し、高速分級機や浮遊分級機で分級・洗浄して土粒子を回収する汚染土壌洗浄技術である。

図-1にプラントのフローを示している。洗浄に使用した水は、油分を分離除去した後、固形分・懸濁物質を凝集除去して循環水として再利用する。

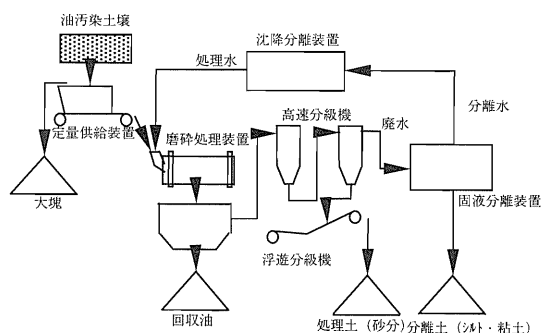


図-1 プラントフロー図

#### (1) 磨砕処理装置

磨砕処理装置（トルネードコンボ）は、図-2に示したように回転する外胴（シェル）とその内部に偏心して設けられた内胴（ロータ）で構成され、外胴と逆回転する内胴により圧縮力・せん断力が

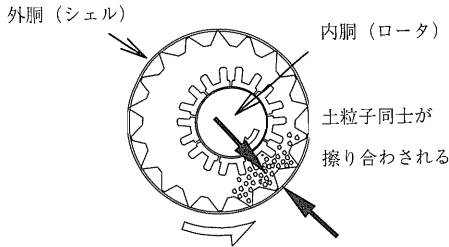


図-2 トルネードコンボの構造

発生し、土粒子を擦り合わせている。

土粒子同士が擦り合わされることにより、土粒子の表面に付着した油分等が剥離される。油分等を剥離された土粒子は、加水によりスラリー化され排出される。

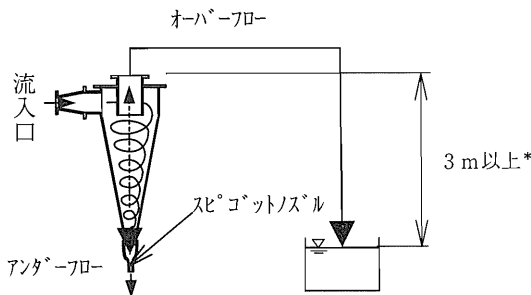
## (2) 油分離除去装置

磨砕処理装置から排出されたスラリーには、土粒子に混じて剥離された油分が浮遊している。この浮遊する油分は、油分離除去装置のエアレーションにより浮上分離され余分なスラリーとともに排水される。排水された油は、比重分離により油分のみ回収される。浮遊する油分を分離・除去された土粒子は、ポンプにて高速分級機に送られる。

## (3) 高速分級機

本システムに採用している高速分級機は、サイクロンの遠心力とサイフォン現象による負圧により分級を行う構造になっており、高速分級機内部では、比重の重い砂分は遠心力により本体外周部に、比重の軽い微粒分や油分は中心部に分級される。

図-3は高速分級機の構造を表しているが、図のように比重の重い砂分はアンダーフローへ、比



\* サイホン現象を保つため3m以上の高さが必要

図-3 高速分級機の概要

重の軽い微粒分（シルト・粘土分）はオーバーフローへ排出される。

外周部に集まった砂分は、沈降してスピゴットノズルから排出される。中心部の微粒分や油分は戻り側の配管より排出され油分離除去装置に戻る。

このときサイホン現象による負圧が戻り配管に発生し、サイクロン中心部の微粒分や油分を吸引することでこれらの除去効率を高めている。

## (4) 浮遊分級機

高速分級機で分級された砂分は、この時点でもかなり浄化されているが、残留油分を含んでいる。この残留油分を除去し浄化レベルを向上させるため、洗浄・脱水機能を兼ね備えた浮遊分級機を用いた。浮遊分級機は、側面にジャバラが付いたベルトコンベヤ方式で、ヘッド側に上り勾配部（約10°）をテール側に水平部を設けた構造となっている。高速分級機で分級された砂分は、ベルトによりヘッド側に運ばれる途中でシャワーにより洗浄され残留油分、微粒分や異物（木片等）を除去される。洗浄に使用した水は、残留油分等と共にテール側に流れて排出される。

## (5) 固液分離（遠心分離機）

洗浄に使用した水及び油分離除去装置からの廃水中には、微粒分が含まれている。この廃水は、このままでは洗浄水として循環利用ができないため、廃水中から固形分を分離処理する。分離処理する方法としては、遠心力により分離を行う遠心分離機を用いる。遠心分離機には、廃水と共に固形分の分離を助長するため、高分子凝集剤をラインミキサで注入混合する。これにより、効率の良い固液分離が行える。

## (6) 沈降処理装置

遠心分離機で分離した分離水中には、若干の懸濁物質が含まれている。この懸濁物質は沈降速度が遅いため遠心分離機で分離できなかったものである。この懸濁物質を除去するため、沈降時間が長い沈降設備を用いる。

沈降設備では、pH調整と凝集剤（PAC、高分子凝集剤）の添加により懸濁物質を再度凝集沈降させ分離・除去する。

処理水は、いったん清水槽へ移送され、洗浄水として再利用する。また、処理過程において損失する水量を補うため補給水ポンプを設け定期的に洗浄水の補給を行う。

### 3. 油汚染土壌の浄化工事の実施例

原油等による汚染土壌の浄化工事をSRSにより実施した施工例についてその概要を示す。

#### (1) 油汚染土壌

油汚染土壌の条件は、以下のとおりである。

- ・汚染対象物：原油等の油汚染土壌
- ・汚染土壌処理量：約7,000 m<sup>3</sup>
- ・油濃度(n-ヘキサン)：最大8,400 mg/kg
- ・処理期間：約3ヵ月

#### (2) プラント概要

汚染土壌エリアは、矢板を周囲に打込み拡散防止を図った。プラントは、基礎が不要なユニット置きタイプとして汚染土壌源の側方20 m×40 mのエリアに設置した。また、2次汚染防止のためプラント設置エリアには鉄板を敷き詰めた。

写真-1は、プラント全景を示すものである。

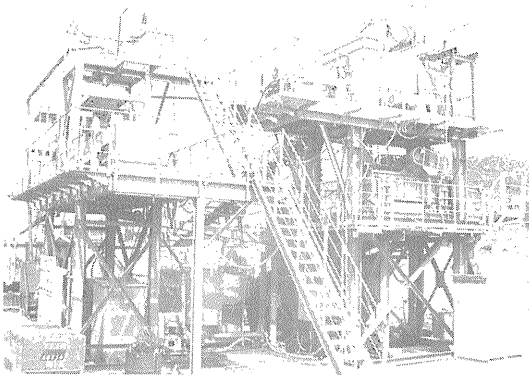


写真-1 プラント全景

#### (3) 洗浄処理状況

原土の投入は0.7 m<sup>3</sup>のバックホウで行い、原料ホッパ約5 m<sup>3</sup>に投入した。

各機器の乗継ぎは汎用性の高いベルトコンベヤ方式を用いた。

原料ホッパに投入された原土は、ベルトフィーダで定量供給され磨砕処理装置で磨砕処理されス

ラリーとして排出された。

磨砕処理は、外胴の回転を一定に保ち、内胴の回転数および加水量を調整することでその効果を調整することが可能で、本施工では約15%の加水量（原土質量に対し）、内胴の回転数約320 rpmで運転した。写真-2は、磨砕処理装置の外形を示す。



写真-2 磨砕処理装置

磨砕処理装置から排出されるスラリーには、油分が剥離、浮遊していた。このスラリーは、油分離除去装置に送られ、エアレーションにより油が分離除去される。

油を分離除去した土粒子は、ポンプにより高速分級機へ送られる。土粒子を送り込むポンプは、インバータ制御により送圧を0.1 MPaに保っている。また、サイフォン現象による負圧は、自動調整装置により0.01~0.02 MPaに調整されている。

インバータ制御と負圧調整により高速分級機(写真-3参照)からは、油分と微粒分(シルト・

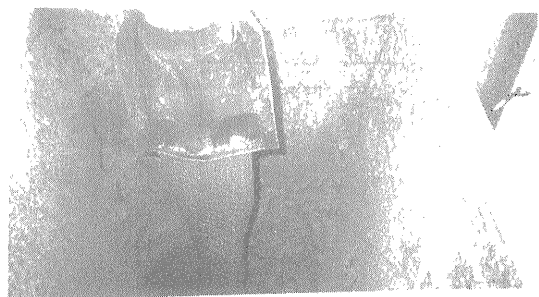
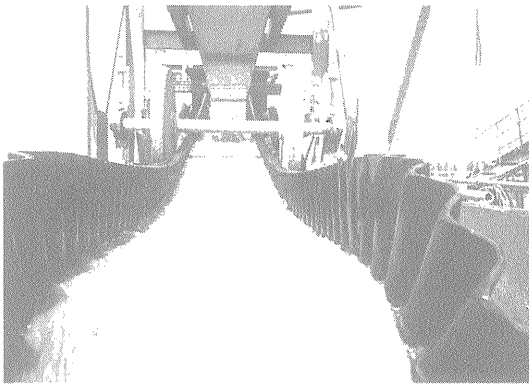
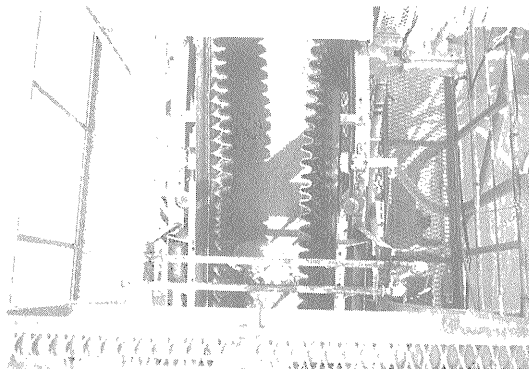


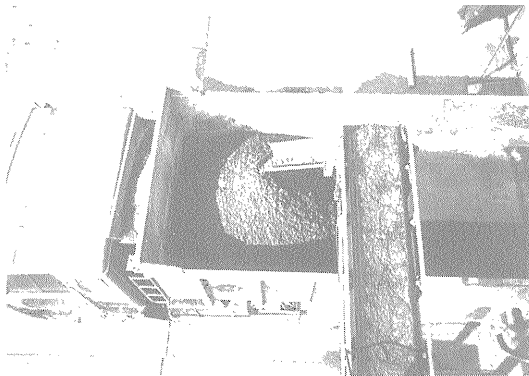
写真-3 高速分級機の排出状況



写真一四 浮遊分級機の洗浄状況



写真一五 浮遊分級機の洗浄・脱水状況



写真一六 処理土の排出状況

粘土分)を除去された砂分が排出され、浮遊分級機に送られた。浮遊分級機では、洗浄シャワーとバイブレータにより洗浄、脱水が行われ、残留する油分と微粒分が除去された(写真一四、写真一五参照)。

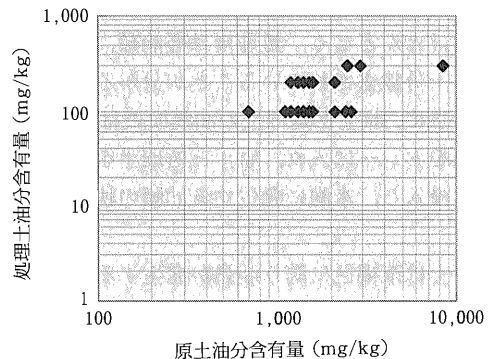
浮遊分級機で洗浄・脱水された処理土は、ダンブに直接積み込まれ元の位置に埋戻した(写真一六参照)。

残った洗浄水は、いったん原水槽に貯留し、遠心分離機で固形分(シルト、粘土分)を、浮遊する懸濁物質を沈降設備で除去して循環利用水として再利用した。洗浄水の循環利用は、遠心分離機及び沈降設備の凝集・沈降処理管理を行うことで安定した処理が行うことができた。

#### (4) 処理土の浄化レベルの確認

洗浄処理の浄化レベルの管理は、油含有量の分析(n-ヘキサン・ソックスレー抽出-重量法)および水中に処理土を投入して目視で確認する油膜検査にて行った。

まず、原土と処理土の油含有量分析結果の関係を図一四に示す。油含有量の分析は、定期的(500 m<sup>3</sup>毎)に原土と処理土のサンプルを採取した。



図一四 原土と処理土の油濃度の関係

図一四は、横軸に原土の油含有量を、縦軸に処理土の油含有量を示している。同図で、原土は700~8,400 mg/kgに対し、処理土は100~300 mg/kgまで浄化されている。このうち処理土の油含有量が300 mg/kgのものは、いずれも原土の油含有量が2,500~8,400 mg/kgと高いものであり、それ以外は200 mg/kg以下で、全体的に見ると100~200 mg/kgのレベルとなっている。処理土の油含有レベルが100 mg/kg単位での変動となっているのは、分析に採用しているn-ヘキサン・ソックスレー抽出-重量法の定量下限値が100 mg/kgであること、また、分析精度の関係から十の位の数値が現れないためである。

一方、同様のサンプルを用いてTPHs(二硫化炭素抽出-ガスクロ法)により分析した結果を表一2に示す。

表-2 TPHsによる油含有量分析結果

名称	TPH(mg/kg)			合計
	C <sub>6</sub> ~C <sub>10</sub>	C <sub>10</sub> ~C <sub>28</sub>	C <sub>28</sub> ~C <sub>44</sub>	
原土1	<10	697	308	1,015
原土2	<10	442	184	636
処理土1	<10	17	11	38
処理土2	<10	18	10	38

同表では、原土の油含有量は636~1,015 mg/kgに対し、処理土の油含有量は38 mg/kgとなっている。処理土の値は、n-ヘキサン・ソックスレー抽出-重量法による結果より、いずれも低い値となっている。

表中で油含有量を三つに分類しているが、これはアメリカ環境保護局(U.S. EPA)の規定によるもので、C<sub>6</sub>~C<sub>10</sub>はガソリン類、C<sub>10</sub>~C<sub>28</sub>は軽油類、灯油類、C<sub>28</sub>~C<sub>44</sub>は潤滑油類となっている。

これによると、原土中にはC<sub>6</sub>~C<sub>10</sub>のガソリン類はほとんどなく、処理後は軽油類、潤滑油類ともに十分除去されていることが分かる。

つぎに、原土と処理土の油膜検査は約1,000 mlの水をトレーに入れ、原土と処理土をそれぞれ十分に投入し、水面に発生する油膜の状況を観察した。

原土は茶褐色に濁り油膜が発生するのに対し、処理土は濁りも全くなく、油膜はほとんど確認されなかった(写真-7参照)。

以上、SRS処理による油汚染土壌は十分浄化されたと判断され、原位置への埋戻しを行った。

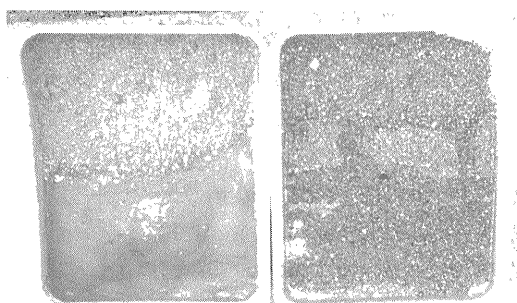


写真-7 原土(左)と処理土(右)の油膜発生状況の比較

#### 4. まとめ

態谷組が開発したSRSにより油汚染土壌の洗浄処理を行い、原土の油含有量が700~8,400

mg/kgに対し処理土の油含有量が100~300 mg/kgとなり、油膜の発生も認められず埋戻しも十分可能となった。

洗浄に使用した水は、固液分離、沈降処理を行うことで再利用し、また、騒音、粉塵等の周囲環境への負荷も極めて低いことを確認した。

SRSによる洗浄処理の特長を整理すると以下のようなになる。

- ① 短期間に確実な浄化が可能である。  
(数千 mg/kg→100~300 mg/kg)
- ② 溶剤等を使用しないので不要な廃水等が発生しない。
- ③ 洗浄水は循環利用でき、動力は電機のみで周辺環境への負荷が非常に低い。
- ④ 複雑な処理が無いためオペレーションが簡単でメンテナンスが容易である。
- ⑤ 処理土は再利用できる。

なお、本施工の一部は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「環境負荷低減汚染土壌浄化技術の開発」の委託業務として実施したものである。

本工法の開発・実施にあたっては関係各位より多大なるご協力を頂きましたこと、ここに記して感謝の意を表します。

J C M A

#### 【筆者紹介】

渡辺 輝文(わたなべ てるふみ)  
株式会社熊谷組  
環境事業プロジェクト部  
課長



川口 謙治(かわぐち けんじ)  
株式会社熊谷組  
環境事業プロジェクト部  
部長  
技術士



伊藤 洋(いとう よう)  
株式会社熊谷組  
響灘環境技術研究所  
所長  
工学博士

