

# 土壌洗浄プラント

菅原 尚也

神奈川県川崎市の土壌洗浄プラント事業所では月 10,000 t ~ 20,000 t のペースで汚染土壌の洗浄処理を行っている。2008 年 9 月までの土壌洗浄処理の累積処理トン数は約 100 万 t を超え、洗浄処理を行った汚染物質も鉱物油から重金属類まで多岐にわたる。また、現地で土壌洗浄処理を行うオンサイト型土壌洗浄プラントも順次稼働させ、2008 年 9 月までに 10 ヶ所の現場で浄化工事を実施してきた。本稿では土壌洗浄プラントの特長、システム構成、洗浄プロセスについて説明を行う。さらに、新たな市場開拓であるダイオキシン類汚染土壌洗浄プラントについても紹介する。

キーワード：土壌洗浄プラント、汚染土壌、定置型、オンサイト型、重金属類、ダイオキシン類

## 1. はじめに

本稿では、2002 年にオランダから技術導入し、土壌浄化・修復事業の大きな柱として事業展開している「土壌洗浄プラント」について紹介する。技術導入した土壌洗浄プラントは、分級（篩い分け）と水洗浄のみによる従来の洗浄法と大きく異なり、土壌粒子と汚染物質の性状の違いを利用して分離する鉱山技術と化学工学の分離技術のノウハウが組み込まれている。首都圏からの汚染土壌を受け入れるのに便利な神奈川県川崎市に土壌洗浄プラント事業所（写真—1 (A)）を設立し、2002 年 9 月から本格的な土壌洗浄事業を展開している。川崎では土壌洗浄プラントを汚染土壌の洗浄処理工場（定置型）として使用し、月 10,000 t ~ 20,000 t のペースで汚染土壌の洗浄処理を行っている。2008 年 9 月までの土壌洗浄処理の累積処理トン数は約 100 万 t を超え、洗浄処理を行った汚染物質も鉱物油から重金属類まで多岐にわたる。

2004 年度からは汚染サイトへユニット化した洗浄プラントを車輛運搬し、現地で土壌洗浄処理を行うオンサイト型（モバイル型ともいう）土壌洗浄プラント（写真—1 (B)）を順次稼働させ、2008 年 9 月までに 10 ヶ所の現場で浄化工事を実施してきた。

オンサイト型プラントの場合は、掘削した汚染土壌と洗浄処理土の運搬及び埋め戻しを全て現場で行うため、運搬（車輛）コストを大幅に削減することが可能である。汚染サイトと汚染土壌の特性に最適化した洗浄システムを現場別に構成するため、洗浄処理コスト

の低減と処理工期の短縮の両方を達成することができる。

今回は、川崎土壌洗浄プラントにおける土壌浄化・修復の流れ、土壌洗浄処理フローについて概説した後、オンサイト型土壌洗浄プラントの特長、システム構成、洗浄プロセスについて説明を行う。さらに、新たな市場開拓であるダイオキシン類汚染土壌洗浄プラントについても紹介する。



(A) 定置型 洗浄プラント(川崎)

(B) オンサイト型 洗浄プラント

写真—1 土壌洗浄プラント

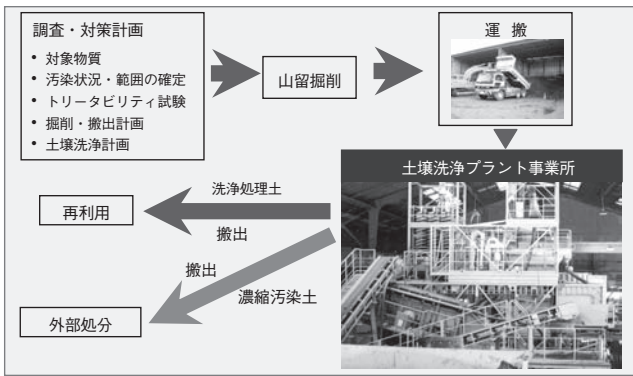
## 2. 定置型土壌洗浄プラント

### (1) 土壌浄化・修復の流れ

川崎土壌洗浄プラントを中心とした土壌浄化・修復の流れを図—1 に示す。調査・対策計画に従って掘削された汚染土壌は、洗浄プラント事業所へ運搬、洗浄処理される。川崎土壌洗浄プラントの処理能力は、40 t/hr である。洗浄処理土は土壌環境基準を満足しているため、埋め戻し等に再利用可能である。また、汚染物質が濃縮されている濃縮汚染土は脱水ケーキとして場外処分場へ搬出処分される。

土壤洗浄法の基本は、湿式振動フルイ、サイクロン分級機、泡浮遊式分離、重力式分離などの分級・洗浄プロセスによって、重金属類や油の汚染物質を、細粒子分を主体とした濃縮汚染土に分離、濃縮することである。これによって、場外処分の対象量が汚染土全量（100%）から濃縮汚染土（細粒子分）の量（10～30%）へ大幅に減量できるため、低コストの土壤処理が可能となる。

土壤洗浄プラント事業所では、土壤洗浄の運転と並行して、受け入れ土壤の分析、トリータビリティテスト（事前検試験）、洗浄プラントの管理、洗浄処理土の品質検査を実施する。受け入れ土壤の分析及びトリータビリティテストによって、汚染土壤の受け入れの判断を行う。このトリータビリティテストは、土壤洗浄プラントと同じ敷地内にある実験棟とミニプラント実験棟で実施する。洗浄処理土は、ロット単位の品質検査によって土壤環境基準を満足していることが確認される。



図一 土壤洗浄による土壤浄化・修復の流れ

(2) 土壤洗浄処理フロー

土壤洗浄処理フローを図一2に示す。土壤洗浄プラント事業所へ運ばれた汚染土壤は、ストックヤード

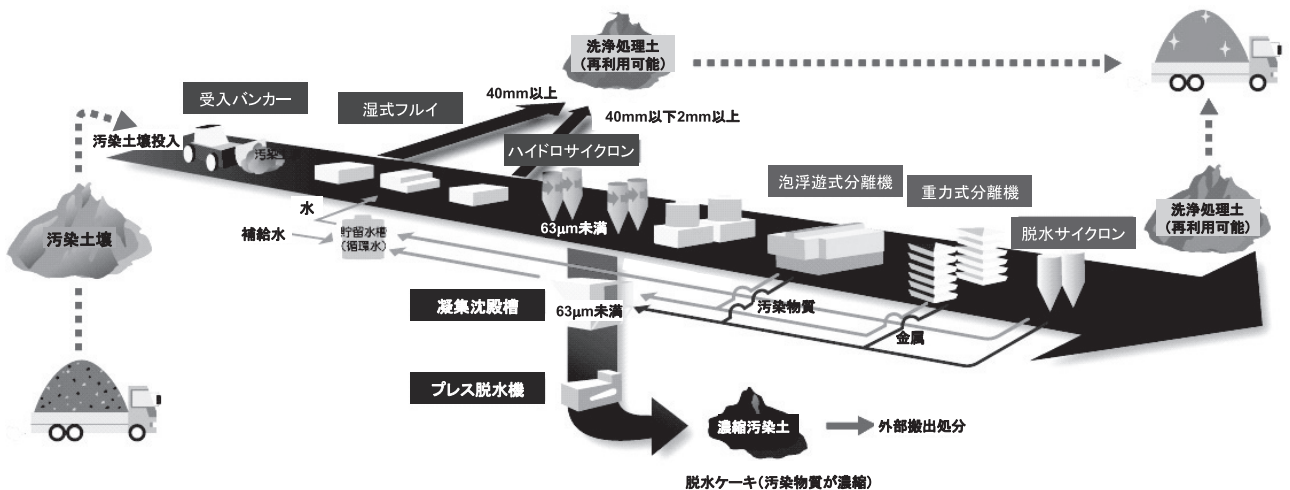
に仮置きされる。汚染土壤は重機によってストックヤードから受け入れバンカーへ順次投入される。受け入れバンカーに投入された汚染土壤は、湿式振動フルイにより2mm以上の礫・粗砂を取り除いた後、サイクロン分級機によって63μm未満の細粒子分（シルト）と63μm～2mmの砂・細砂分に分離される。一般的に汚染物質はその多くが細粒子分に付着・吸着しているため、細粒子分を分級することによって、砂・細砂分から汚染物質を効率良く分離、除去することができる。砂・細砂分は、高速攪拌槽において洗浄薬剤とよく混合された後、泡浮遊式分離機（フローテーション）に入る。土壤中の汚染物質は、土壤粒子との性状（表面電荷など）の違いを最大限利用して洗浄・分離される。泡浮遊式分離機で洗浄された砂・細砂分は重力分離機と脱水サイクロンの工程を経て、洗浄処理土（浄化済み土）となる。

洗浄処理土は一定量ごとに品質検査を行い、環境基準を満足していることが確認された後、埋め戻し等に再利用される。また、汚染物質が濃縮されている濃縮汚染土は場外へ搬出し処理または処分される。

3. オンサイト型土壤洗浄プラント

オンサイト型土壤洗浄プラントは定置型土壤洗浄プラントを改良したものであり、車輛搭載可能なサイズにユニット化した洗浄プラントを車輛によって汚染サイトへ運搬し、現地において迅速に組み立て、土壤洗浄処理を行う。

オンサイト型プラントによる洗浄処理のイメージを図一3に示す。オンサイト型プラントで処理した洗浄処理土の埋め戻しは、現地サイト内で行うので容易



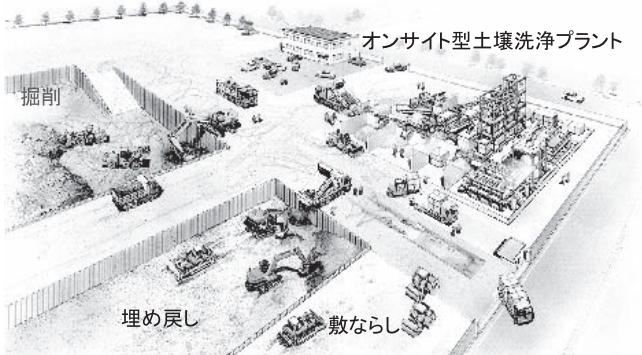
図一2 土壤洗浄処理フロー

かつ迅速に行うことが可能である。

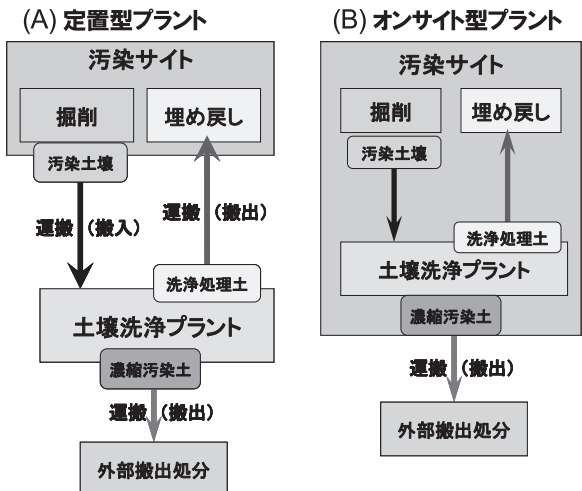
オンサイト型洗浄プラントは、(a) 汚染土壌と洗浄処理土の搬出・搬入車輛を大幅に削減すること、及び (b) 汚染サイトと汚染土壌の特性に最適化した洗浄システムを構成できることの2点を大きな特長とする。図一4 (A) に定置型プラントによる土壌浄化の流れを、図一4 (B) にオンサイト型プラントによる土壌浄化の流れを示す。オンサイト型プラントによる土壌浄化の場合、運搬車輛を大幅に低減できるため、周辺道路の混雑を緩和し運搬車輛による騒音や排気ガスの問題を大幅に緩和することができる。対象とする汚染土壌とサイトの特性に最適化した洗浄システムを構成することによって、オンサイト型プラントは高効率の土壌洗浄を実施できる。効率の良い洗浄処理を行うことによって、洗浄処理の低コスト化と工期の短縮の両方を達成することが可能となる。

(1) オンサイト型プラントのシステム構成

オンサイト型土壌洗浄プラントのフルスペックのシステム構成を図一5に示す。フルスペックシステムは、



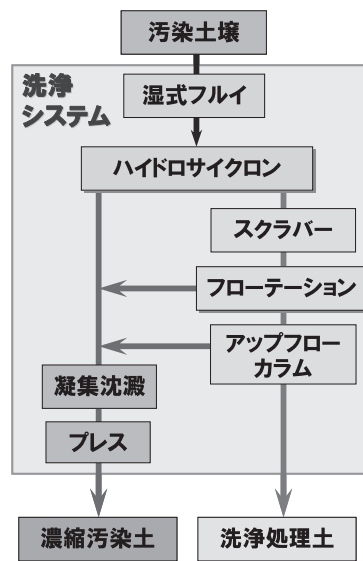
図一3 オンサイト型土壌洗浄プラント



図一4 土壌浄化・修復の流れ

湿式フルイ、ハイドロサイクロン、スクラバー、フローテーション、アップフローカラムから構成される。これらの分級・洗浄プロセスによって、重金属類、鉱物油の汚染物質を、細粒子分を主体とした濃縮汚染土に分離、濃縮する。

フローテーションやアップフローカラムを用いなくても環境基準を満足することができる低濃度汚染土壌の場合には、ハイドロサイクロンを中心とする簡易な洗浄システム（簡易型）を構成することによって低コスト処理を行う。



図一5 洗浄システム構成

(2) 土壌洗浄技術

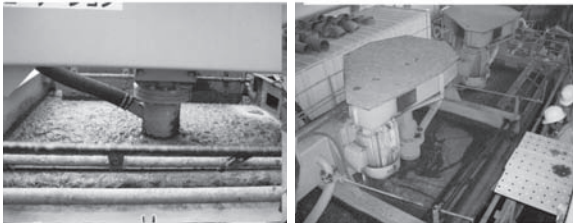
オンサイト型プラントの主要なプロセス、すなわちハイドロサイクロン、フローテーション、アップフローカラム、凝集沈殿、脱水プレス、及び集中管理室を写真一2に示す。

ハイドロサイクロンは、液体中に懸濁している粒子をスラリー状のままサイクロン内にポンプ圧送し、旋回運動による遠心作用によって、液体と固体粒子を分離または濃縮する装置である。ハイドロサイクロンに流入したスラリーは内部で分離され、上部流出口より細粒子分を主体とするオーバーフローが流出、下部流出口より砂分を主体とするアンダーフローが流出する。フローテーションは汚染物質と土壌粒子の性状（表面電荷など）の違いを利用して汚染物質を分離する。汚染物質と土壌粒子の表面電荷が正と負に分かれるpH領域において、捕収剤を汚染物質の表面に付着させると汚染物質は捕収剤を介して気泡へ付着することができる。気泡に付着した汚染物質（鉱物油、重金属類など）は、気泡とともにセル上部へ上昇しフロスを

(A) ハイドロサイクロン, 左:分級径が小, 右:分級径が大



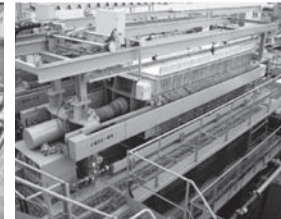
(B) フローテーション(左右), 表面に見えるのはフロス



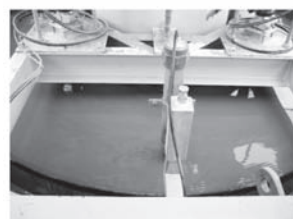
(C) 凝集沈澱(シクナー)



(D) 脱水(フィルタープレス)



(E) アップフローカラム



(F) 集中管理室



形成する。汚染物質が付着しているフロスはスクレーパーによってかき取られる。汚染物質が除去された洗浄土はセル底部から排出される。

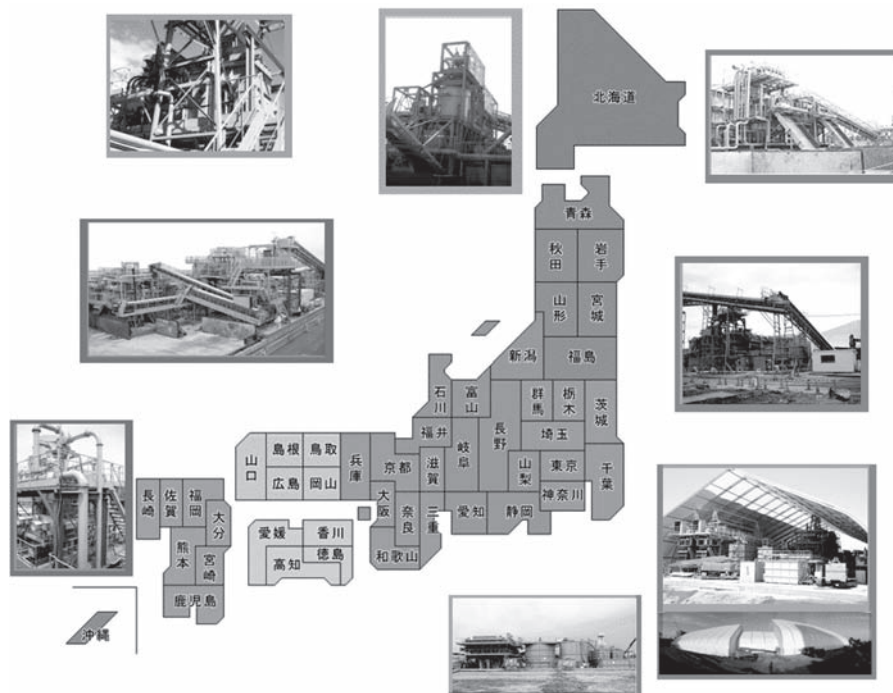
オランダから洗浄技術を導入した後、最も技術開発に注力したのは、このフローテーションプロセスである。重金属類と鉱物油の複合汚染が多い日本の汚染土壌の実情に合わせて、フローテーションの性能を大幅に強化した。このフローテーションと後述するアップフローカラムによって、格段に高い除去性能を可能にした。

新技術であるアップフローカラムは、ガス工場跡地のように微細な炭ガラや有機物を含む汚染土壌の洗浄を行なう際に特に威力を発揮する。アップフローカラムはフローテーションプロセスの後に位置し、上向流によってフローテーション洗浄砂に残存していた微細な炭ガラや有機物（汚染物質を含有）を洗い出し、上向流とともに系外へ流出させる。

### (3) オンサイト型プラントの展開

2004年度から現地で洗浄処理を行うオンサイト型土壌洗浄プラントを順次展開し、2008年9月までに10ヵ所の現場で浄化工事を実施してきた。主なオンサイト型土壌洗浄プラントを図一6に示す。

写真一2 オンサイト型プラントの主要プロセス



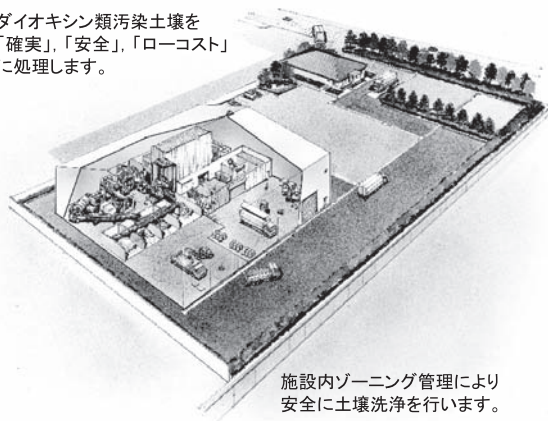
図一6 オンサイト型土壌洗浄プラントの展開

#### 4. ダイオキシン類汚染土壌の洗浄

川崎市内に新設したダイオキシン類汚染土壌洗浄プラント（図一七）の処理能力は5 t/hrであり、当面1日50 tの稼働を考えている。汚染の敷地外への拡散を防ぐために施設内はゾーニングで管理を行う。

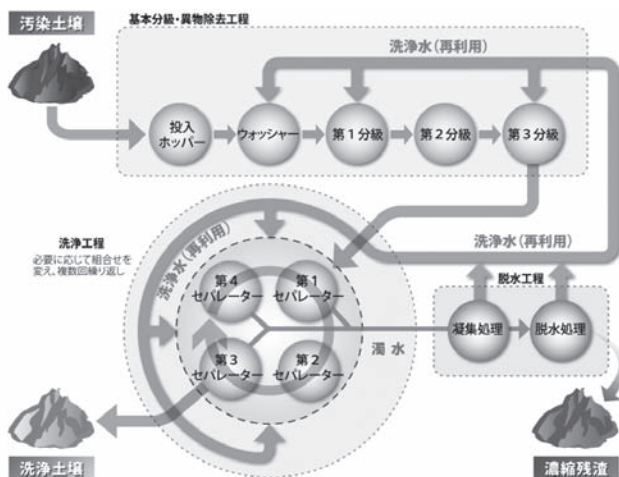
ダイオキシン類汚染土壌の洗浄処理では、ダイオキシン類汚染土壌を多段階の洗浄プロセス（分級、擦り揉み、異物除去など）によって汚染物質を分離・除去し、環境基準を満足する洗浄土を産出する。分離・除去された汚染物質は、凝集沈殿及び脱水工程を経て脱

ダイオキシン類汚染土壌を「確実」、「安全」、「ローコスト」に処理します。



施設内ゾーニング管理により安全に土壌洗浄を行います。

図一七 ダイオキシン類汚染土壌洗浄処理プラント



図一八 ダイオキシン類汚染土壌洗浄処理フロー

水ケーキとなり、場外で分解・無害化処理される。

ダイオキシン類汚染土壌の洗浄システムのフローを図一八に示す。本洗浄処理の特長を以下に記す。

- 分解・無害化処理が必要となる土壌量が汚染土壌全量から濃縮汚染土の量にまで大幅に低減
- 外部処分が必要な土壌量を大幅に削減することによって、外部処分に要する費用が大幅に削減
- ダイオキシン類環境基準を満足する浄化土はリサイクル可能
- ダイオキシン類汚染土壌の処理費用は土壌の性状によって幅があるが、従来の高温熱処理法よりも割安になる。

#### 5. おわりに

2002年9月から川崎の土壌洗浄プラントにおいて開始した土壌洗浄事業は、年々実績を伸ばしてきた。川崎洗浄プラント事業所は毎日ほぼフルに稼働している。オンサイト型洗浄プラントは、2004年の土壌洗浄工事から始まり、順調に全国に展開し、2008年9月までに計10箇所の現場で浄化工事を実施してきた。

難易度の高い汚染土壌の洗浄を可能にするために、当社の洗浄技術は年々進化した。高い技術力を有していると自負している。

これからは、新しいチャレンジとしてダイオキシン類汚染土壌の洗浄処理に取り組みますので、皆様の御支援と御協力をよろしく申し上げます。

最後に本稿執筆に当たり、ダイオキシン類汚染土壌において多大なご協力を賜りました日本道路株式に感謝を申し上げます。

JICMA

[筆者紹介]

菅原 尚也 (すがわら なおや)  
清水建設株式会社 エンジニアリング事業本部  
土壌環境本部 土壌洗浄グループ  
グループ長

