

# 工場跡地における VOC 汚染土壌対策工事

古川 靖英

土壌汚染対策法の施行以来、VOC 汚染土壌対策の事例が全国で急増している。VOC 汚染土壌の場内オンサイト浄化法としては、生石灰などの発熱を伴う材料を汚染土に混ぜて汚染土中の VOC を揮散させ、VOC を吸着処理する「加熱吸引法」が多く用いられている。本報告は発熱材として生石灰を、破碎・混合装置として「回転式破碎混合装置」を用いる「加熱吸引法」を大規模 VOC 汚染土壌処理に適用し、高濃度を含む VOC 汚染土を基準値以下に処理したと同時に処理コスト低減と省スペース化、工期の短縮を実現したので、施工事例として紹介する。

キーワード：VOC、土壌汚染、浄化

## 1. はじめに

揮発性有機塩素化合物（以下、VOC と略す）に汚染された土壌の対策工法は大きく下記の3つに区分することができる。

- ①掘削－場外搬出
- ②掘削－場内処理－埋め戻し
- ③原位置浄化

対策時には各サイトに適した工法選択を行う。工期が短く、対象土量が数万 m<sup>3</sup> にわたる大規模サイトにおいては掘削－場内処理－埋め戻しを行うことが多い。その際に適用される薬剤としては生石灰<sup>1)</sup>、金属系還元剤（主に鉄粉）、酸化剤が挙げられる。通常は安全性、取り扱いのし易さといった理由で生石灰を用いることが多い。また、汚染土の破碎及び発熱材料との混合には、自走式土質改良機がこれまで多く用いられてきたが、最近は攪拌効率や浄化に伴う品質確保といった理由で「回転式破碎混合装置」<sup>2)</sup> が注目されている。

本報告は、加熱吸引法の原理、「回転式破碎混合装置」の概要を述べた上で、大規模 VOC 汚染土壌処理の施工事例を紹介する。

## 2. 加熱吸引法の原理

生石灰を用いる加熱吸引法による浄化の原理は、以下のようである。

- ①掘削した汚染土壌に生石灰を添加，均質に混合す

ることにより、汚染土壌が生石灰の水和に伴う反応熱で加熱される。

- ②汚染土は VOC の揮散が促進される。
- ③揮散した VOC を吸引し、活性炭で吸着処理を行う。処理土壌は、加温に伴い空隙を増加させることにより、透気性を向上させ、短時間の吸引で基準値以下までの浄化を可能にする。

本工法で浄化の精度を上げるためには生石灰を均質に土壌中に混合することが必要である。

## 3. 破碎混合処理装置の概要

工事事例に先立ち、この工事の特徴の一つである「回転式破碎混合装置」について述べる。

回転式破碎混合装置は円筒内で高速回転する複数本のチェーンの打撃力で、地盤材料の破碎・細粒化及び添加材料の均質な混合を同時に行う装置である。

生石灰と汚染土壌の混合の場合、チェーンは高さ方向に3段、1段あたり放射方向に4本、計12本を標準としている。チェーンの回転数は0～1,000 rpm の範囲で可変であり、チェーンの回転数を変化させることにより破碎効果を調整することができる。図—1 および写真—1 に回転式破碎混合装置の概要と概観を示す。また表—1 に VOC 汚染土壌処理における回転式破碎混合装置と従来多く用いられている自走式土質改良機との比較を示す。

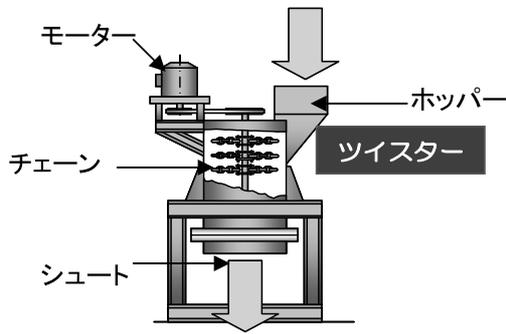


図-1 回転式破碎混合装置概要図



写真-1 回転式破碎混合装置概観

表-1 既存の VOC 汚染土壌処理方式との比較

名称	回転式破碎混合装置による生石灰混合	自走式土質改良機による生石灰混合
主要装置	高速回転するチェーンによる破碎・混合	ソイルカッター, 4軸ロータリーハンマー
形式	定置式	自走式
適用性	礫~粘性土	砂礫~砂質
能力	100 m <sup>3</sup> /hr	80 m <sup>3</sup> /hr
設置場所	屋内外を問わない。	密閉された屋内での使用が基本である。
その他	設置解体にコストがかかる。	生石灰使用量が多い。(湿潤重量 6~8%)

#### 4. 浄化工事事例

VOC の浸透によって広範囲に土壌が汚染されたサイトにおいて浄化工事を行った例を以下に述べる。

##### (1) 対象地盤

VOC の浸透により汚染された対象地盤は関東ロームを主体とした地盤であった。対象地盤の土質柱状図と物理性状を図-2, 表-2 に示す。

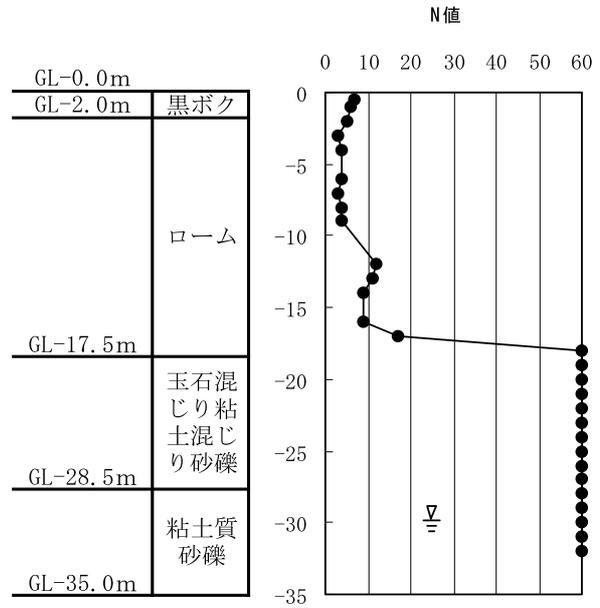


図-2 土質柱状図

表-2 対象地盤の物理性状

項目	GL - 5.0 ~ 5.5 m	GL - 11.00 ~ 11.80 m	GL - 15.00 ~ 15.60 m
湿潤密度 $\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.442	1.539	1.470
乾燥密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	0.805	0.873	0.774
自然含水比 $W_n$ (%)	79.2	76.4	90.2
間隙比 $e$	2.349	2.084	2.461
飽和度 $S_r$ (%)	90.9	98.6	97.9
土粒子密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.693	2.691	2.673
液性限界 $W_L$ (%)	90.9	87.7	81.7
塑性限界 $W_p$ (%)	37.0	40.4	39.1

##### (2) 汚染状況

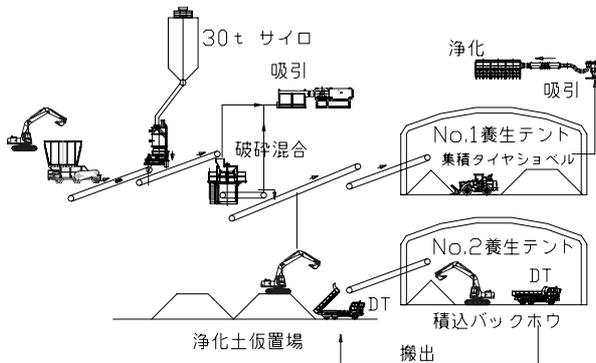
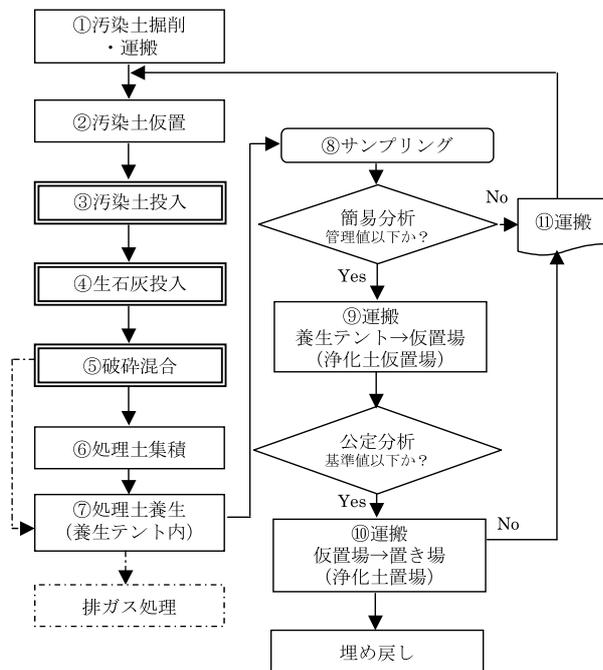
浄化対象物質はトリクロロエチレン (以下 TCE と略す) 及びシス-1,2-ジクロロエチレン (以下 cis-DCE と略す) であった。調査時の濃度は TCE が最大 130 mg/L (溶出量基準は 0.03 mg/L 以下), cis-DCE が 2.7 mg/L (溶出量基準は 0.04 mg/L 以下) であった。汚染サイトとしては広範囲に汚染が拡散し、深度的には GL-17.0 m 付近に汚染箇所が多く存在していた。また最深部は GL-25.0 m 付近まで汚染が浸透していた。

##### (3) 加熱吸引プラント

加熱吸引プラントにおける浄化フローを図-3 に示す。加熱吸引プラントの設置・稼働の準備工事として、汚染土壌を扱うヤードは鉄板・シート等を敷き、雨水処理のため、U字側溝、ノッチタンク、揮散処理装置を設置した。

本工事で用いたプラントの主要設備一覧を表—3に示す。なお、汚染土の投入重量，添加材の添加量，処理機の回転数については各数値をパソコンに表示

し，リアルタイムに監視しながら運転を行った。また，汚染土の投入部分，養生テント部分についてはTVカメラによる監視を行うことで，安全性の確保・施工の効率化を図った。浄化の操作を手順に従い以下に述べる。



図—3 浄化フロー

①汚染土仮置

VOC 汚染エリアから掘削した汚染土壌を仮置場に運搬した。汚染土について，一晩を越すものはシートを掛け養生を行い，VOC の揮発を抑制した。

②汚染土投入

汚染土仮置場に搬入された汚染土をバックホウでプラントホッパーに投入した。設置した破碎混合処理装置の処理能力は1台あたり約 500 m<sup>3</sup>/日 (75 m<sup>3</sup>/hr)であった。

③生石灰投入

添加剤として用いられる生石灰はサイロに貯留した。貯留した生石灰はフィーダで定量供給され，ベルトコンベア (投入用) にて搬送されてきた汚染土に添加した。

④破碎混合

定量供給された汚染土及び生石灰は処理機本体にて，破碎混合した。処理機のフード部及び防塵型ベルトコンベアについては，ガス吸引を行うことで粉塵と VOC ガスの拡散を防止した。

⑤処理土集積

処理土は約 100m<sup>3</sup> ごとに集積し，一晩養生した。汚染土壌中の VOC は揮発し，テント内を常時負圧状態とすることで周辺への拡散を防止した。揮発した VOC は集塵機を通した後に，排ガス処理装置にて活性炭に吸着させた。

表—3 主要設備一覧

工種	名称	仕様	数量	備考
汚染土供給設備	エプロンフィーダー	w 900 mm × L 2 m ホッパー付	2	3.7 kw
	エアークッカー	RKV100P	4	
	ベルトコンベア	w 750 × L 9.2 m 80 m/min 計量器付	2	5.5 kw
添加材供給設備	サイロ	30 t	4	11.0kw
	テーブルフィーダー	8 m <sup>3</sup> /h	2	3.7 kw
破碎混合設備	ツイスターミキサー	75 m <sup>3</sup> /h 級 110 kw	2	110 kw
	エアークッカー	RKV80P	4	
	ベルトコンベア	w 1200 × L 7.0 m 68 m/min	2	5.5 kw
土砂搬送設備	ベルトコンベア	w 750 × L 14.75 m 80 m/min	2	7.5 kw
	ベルトコンベア	w 750 × L 24.0 m 80 m/min	1	11 kw
	ベルトコンベア	w 750 × L 9.2 m 80 m/min	2	5.5 kw

⑥浄化確認

養生テント内で、翌日まで養生された処理土について、100 m<sup>3</sup>に1回の割合で土壌をサンプリングした。簡易分析の結果が合格のものは浄化土とし、不合格の場合は再度処理とした。浄化土については公定分析の結果により、基準値以下のものは埋め戻した。

本浄化プラントは

- A. 処理土仮置ヤードの省スペース化を図ること
- B. 確実な浄化を行うこと
- C. 水・大気等の周辺部への VOC 拡散を防止すること

の3点に着目して設計した。

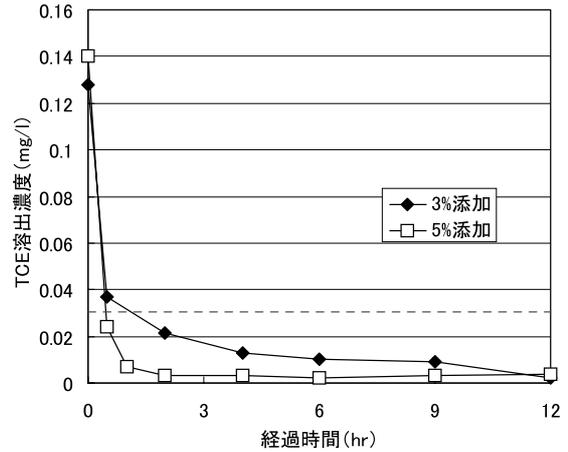
Aについては汚染土壌とこれ以外の土壌を区分し、また処理土については現場での簡易分析結果をもって仮の浄化土とすることで処理土仮置ヤードの省スペース化を図った。Cについては以下の対策を講じた。

- a. 攪拌混合以降の排ガスは全て活性炭吸着と処理後のモニタリングを実施
- b. 汚染土仮置場の雨水は汚染水として揮散処理後に放流
- c. 養生テント内、敷地境界等での周辺環境モニタリングを実施

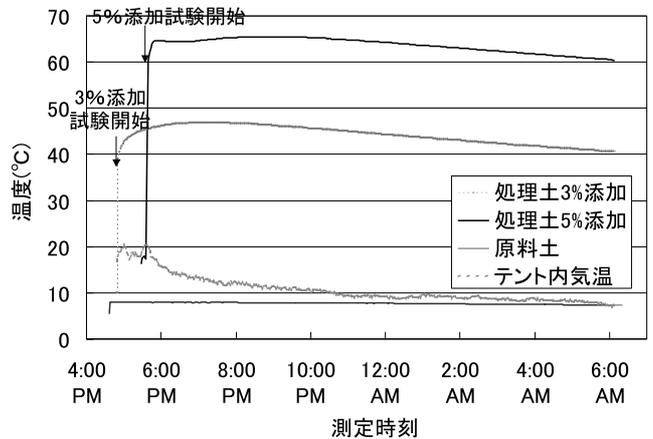
その他の浄化の特徴として汚染サイト内ですべての処理を行うため、場外搬出と比較すると運搬コストを大幅に削減することができる。また、回転式破碎混合装置の適用により、従来湿潤重量で6～8%であった生石灰添加量を5%以下に減らすことができる。これにより、埋め戻し後に植栽等を施す場合に問題となることの多い土壌の一時的なアルカリ化の程度も低減することが出来ることが挙げられる。加熱吸引プラントの全景を写真—2に示す。

(4) 試験施工結果

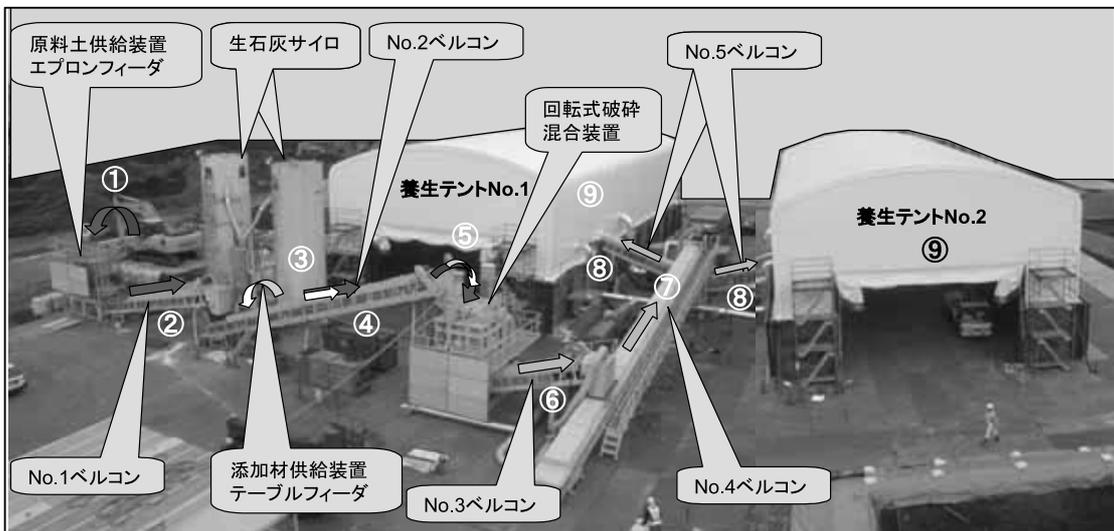
TCEの濃度低減を確認するための試験施工を実施した結果を図—4に、温度変化を図—5に示す。実工事においては汚染土の浄化完了期間が養生テントの



図—4 試験施工結果 (濃度変化)



図—5 試験施工結果 (温度変化)



写真—2 加熱吸引プラント全景

規模、施工速度に大きく関わってくるため、TCEがどの時点で濃度が下がったかが問題となる。本試験の結果から、養生テント内での養生期間は最低2時間以上必要であり、養生期間（一晚）は十分安全側であることが示唆された。

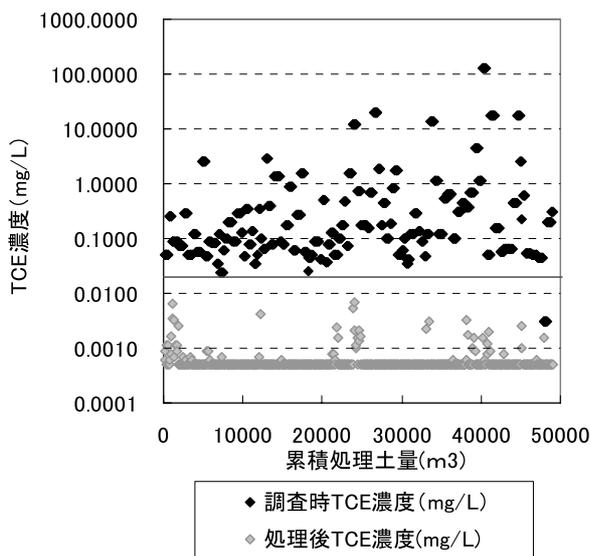
#### (5) 施工概要及び結果

掘削対象の汚染土量としては約50,000 m<sup>3</sup>であった。一部山留めの設置、オールケーシング工法を適用したが、ほぼ全量をオープン掘削とし、スロープ部等の非汚染土掘削土量は約110,000 m<sup>3</sup>であった。

掘削した汚染土は全て加熱吸引プラントにて処理を行った後、埋め戻した。破碎処理装置の処理量は1台あたり1日500～600 m<sup>3</sup>であり、汚染土の掘削量が多い期間は2台体制（処理量：1日1000 m<sup>3</sup>）とした。汚染レベルや含水比等の土質条件によって、生石灰の添加量を変更した。

本工事における調査時のTCE溶出濃度と、処理後の公定分析によるTCE溶出濃度を図一6に示す。

使用した生石灰の添加量は最大で5%であった。基準値の4,000倍を超過する高濃度の汚染土についても基準値以下になった。当初、処理後に基準値を超過した土壌については、生石灰の再添加と再処理を計画していたが、全50,000 m<sup>3</sup>の土壌について再処理は行



図一6 施工結果

必要はなかった。

#### 5. おわりに

本工法の適用により、約50,000 m<sup>3</sup>の汚染土壌を4ヶ月で基準値以下とすることができた。粉塵、大気、排水等のモニタリングの結果、問題となる値が検出されることはなかったことから、周辺環境への負荷も小さかったと考えている。

将来的な土地利用、企業のリスク管理に深く関わる汚染土壌とその対策には安全性、確実性は当然のことながら、低コスト化が求められていく。近年、その改善に関する技術開発が活発に進められているが、汚染土壌の問題は単独の技術だけで解決されるものではない。対象となる土壌の性状や対策の目的、周辺の利用状況等をふまえた多岐にわたる技術が必要となる。望ましい将来計画とは何かということ念頭にいた上で、多様な技術の中から現地最適の方法を選別し、組み合わせる必要がある。今回紹介した工法は特に対策の精度・処理量という点で、有望な選択肢の1つとなりうる技術であると考えている。

本報の作成にあたり、日本国土開発株式会社の本田俊春氏、川上博氏、松井弘明氏、横田茂幸氏には多大なご支援・ご助力を頂いた。ここに記して感謝いたします。

最後に、本工事に関してご指導・ご協力頂きました関係者各位に深く感謝します。 JICMA

#### 《参考文献》

- 1) 特許公報、特許番号第2589002号、「揮発性塩素炭化水素系物質の除去方法」
- 2) 「地盤改良」に関わる技術評価証明報告書、ツイスター工法を用いた遮水土の製造技術、社団法人日本材料学会（平成16年2月）

#### 〔筆者紹介〕

古川 靖英 （ふるかわ やすひで）  
株式会社 竹中工務店  
横浜支店作業所  
工事担当

