

35. DJM 機を用いた汚染土壌の浄化技術

～有機塩素化合物によって汚染された土壌の修復～

大成建設(株)：氏家 正人

1. はじめに

半導体産業のようなハイテク産業が盛んになる中で、トリクロロエチレンに代表される揮発性有機塩素化合物（VOCs）による汚染地下水及び土壌汚染が近年社会的問題として大きくクローズアップされている。これに対して我が国では、1994年2月に環境庁によって土の汚染にかかわる環境基準が設定され、土壌環境基準の達成に向けた事業者などによる取組が指導されている。

この汚染土壌に対する浄化技術の1つとしてDJM工法を応用し、この汚染土壌からの汚染物質の除去を試みた。ここにその結果について報告する。

2. 浄化法の概要

2. 1 原理

本工法は主として揮発性有機塩素化合物（VOCs）の粘性土層からの除去を目的として、土と汚染物質双方の特性に着目し、

- ① 土の含水比の低下
- ② 汚染物質の揮発促進

を同時に満足させる方法として考案したものであり、図-1に示す生石灰の水和反応原理を利用した攪拌混合工法である。

反応式およびメカニズムを以下に示す。

反応式：



メカニズム：

- ①生石灰と土を攪拌混合する。
- ②生石灰の水和反応の際の土中の水分奪取、及び水和反応熱による水分の蒸発により含水比は低下し、粘土層のような粘性の高い土質は砂状化する。
- ③水和反応により空気を通り易くなった土壌を攪拌曝気することにより、ガス化した汚染物質を回収する。

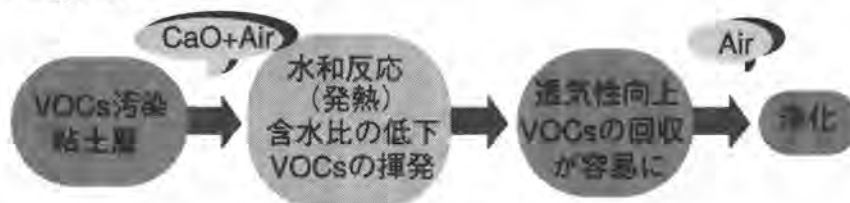


図-1 浄化メカニズムフロー図

2. 2 浄化方法

既存の軟弱地盤改良工法で用いられるDJM機を用いて、圧縮空気と生石灰を攪拌翼の先端に送り、攪拌・混合する。土壌中に混合された生石灰は、前記の水和反応によって土中に存在する汚染物質をガス化させ、圧送されたエアと共にフードに回収される。回収された汚染物質を含む空気は、溶剤回収装置に送られここで汚染物質は原液として回収され、また浄化された空気は大気に放出される。

以上のような浄化システムで、汚染土壌中から除去された汚染ガスが大気中に放出されることなく回収できる。(図-2)

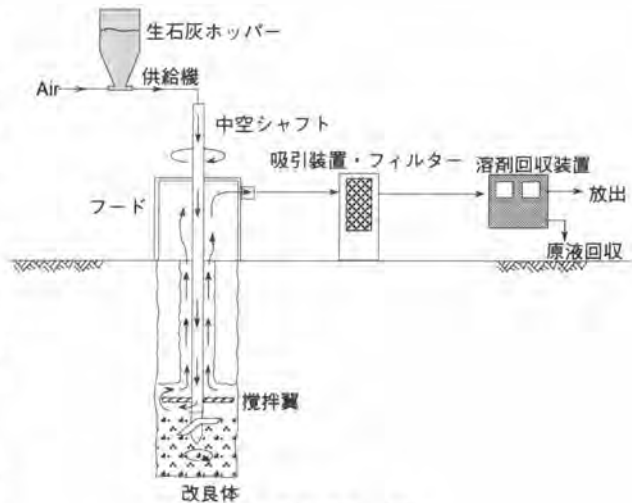


図-3 浄化フロー図

3. 実証試験

前記による方法を用いて実際の汚染サイトで浄化を行ない、浄化程度および工事としての実用性について検証した。

3. 1 浄化運転条件

(a) 混合機運転条件

生石灰混合量： 100 及び 150 kg/m ³	ロッド回転数： 30 rpm
貫入速度： 0.4m/min	吸引エア-量： 3~4m ³ /min
羽根きり回転数： 300回転/m	1 コラムの径： φ 1.0 ^m
吐出エア-量： 2.5m ³ /min	深 度： GL-5.5m

(b) 生石灰攪拌混合条件

生石灰混合方法は、1サイクル目の引抜き吐出を基本とし図-3に示すような手順で行い、放置日数、再攪拌回数、生石灰混合量のパラメータに対し、効果的な浄化が達成できる最適条件について調べるために、以下のようなブロックに分割しての試験を行なった。

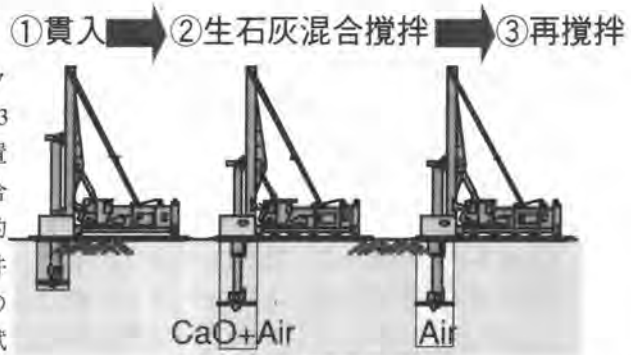


図-3 浄化手順図

Aブロック：生石灰混合量を100kg/m³で、2サイクル終了後に1, 3, 7日の放置期間において再攪拌する方法を3ケース行なった。

Bブロック：生石灰混合量は100kg/m³で、4ケースについて数回の再攪拌を行なった。
 Cブロック：生石灰混合量を150kg/m³で、5ケースについて数回の再攪拌を行なった。
 ここで1サイクルは、貫入+引抜きとした。

(c) 攪拌翼の改良

DJM工法は本来軟弱地盤の改良を目的としているため、本体の攪拌トルクは土質によって異なるが、N値10程度の改良を限界値としている。

ところが今回のような土壌の浄化に用いる場合、工場が隣接しているサイトが多く支持地盤も安定していることが予想できる。

今回の試験サイトにおいても事前調査結果からは、N値15~20を示していた。またこの浄化工程では生石灰混合後再攪拌を伴うため、生石灰の水和反応による再攪拌時の負荷が増大することが予想されたため、攪拌トルクの軽減を目的とした攪拌翼の改良を行った。

図-4に作成した攪拌翼を、表-1にこれを用いた負荷について電流値で従来型との比較を行った。

この結果より貫入・引き抜きいずれの工程においても、明らかに本体にかかる負荷の低減を確認することが出来た。またその後のボーリングサンプルによって、土壌中には十分に生石灰が混合されており、回収ガス濃度も従来型と同等の高濃度ガスを回収することが出来た。

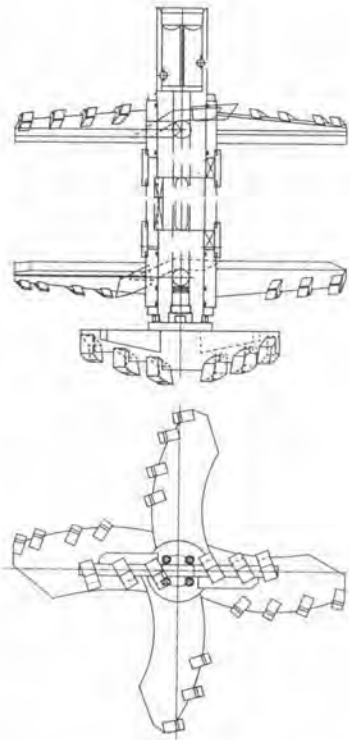


図-4 改良攪拌翼略図

表-1 攪拌翼の負荷の比較

サイクル	従来型	改良型
貫入	100	90
引抜き混合	200	140
再貫入	80	60
再引抜き	200	200

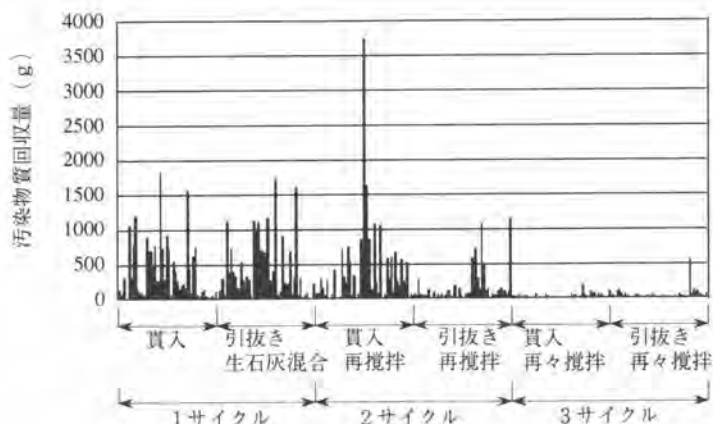
*単位：電流値A

3. 2 浄化試験結果

(a) 浄化運転中の汚染ガス回収量状況

汚染ガスの回収量は、溶剤回収装置に入る配管中のガス濃度から算出した。図-5に回収量の一例を示す。

この図より、1~2サイクルでガスを回収する量が多いことがわかる。これは、1サイクル目の貫入時では土壌の攪乱が主として行われ、引抜き時には生石灰の混合と同時に昇温して汚染物質の気化が促進され、さらに再攪拌を行なうことによる曝気効果によってガス化した汚染物質を効率良く系外に取り出しているものと考えられる。ここで全回収量に対する1~2サイクルまでの回収量の割合を算出すると、平均で約93%に達している。



生石灰混合攪拌工程

図-5 各サイクル毎のガス回収量

(b) 検証調査

改良施工1週間後にボーリング試料から汚染物質の残留濃度を測定した。そして、改良前の値との比較から浄化率を求めた。深度別浄化結果を表-2に示す。

改良パターンの違い、再攪拌回数の違い、さらには生石灰混合量の違いによる浄化率の違いは、顕著には表れなかった。しかし、初期濃度が各物質の合計で数百～数千mg/kgであった汚染土が、処理後には全ての箇所において数～数十mg/kgとなり、90%以上の浄化率が得られた。

この結果から、本サイトの汚染粘性土の場合、生石灰混合量は100～150kg/m³程度で平均98.1%の浄化率が得られることが確認できた。

表-2 本方法を用いた浄化結果

ブロック	深度 (m)	初期濃度 (mg/kg)	浄化後濃度 (mg/kg)	浄化率 (%)
Aブロック (CaO100Kg/m ³)	1.0	1721.90	0.30	99.98
	2.0	943.40	9.70	98.97
	3.0	2991.30	15.56	99.48
	4.0	658.10	61.63	90.64
	5.0	560.20	56.00	90.00
Bブロック (CaO100Kg/m ³)	1.0	1721.90	2.70	99.84
	2.0	943.40	7.15	99.24
	3.0	2991.30	4.13	99.86
	4.0	658.10	2.14	99.67
	5.0	560.20	4.76	99.15
Cブロック (CaO150Kg/m ³)	1.0	—	0.44	—
	2.0	440.00	1.72	99.61
	3.0	522.40	1.39	99.73
	4.0	117.00	2.55	97.82
	5.0	509.90	3.44	99.33
平均		1095.65	11.57	98.10

5. まとめ

今回のオンサイト試験結果から得られたことがらについて以下に整理した。

1. 攪拌翼の形状を変えることによって、本体の負荷を軽減させることが出来た。
2. トリクロロエチレンなどの有機塩素化合物で汚染された粘性土層に対し、生石灰を攪拌・混合することによって、短時間に高い浄化率を得ることができた。
3. 引抜き時に生石灰を混合し2サイクルの攪拌を行うことで90%以上の浄化率が得られた。
4. 排出した有機塩素化合物は、溶剤回収装置によって大気に放出することはなく回収することができた。