

**平成20年度低コスト・低負荷型土壤汚染調査・対策技術検討調査  
及びダイオキシン類汚染土壤浄化技術等確立調査結果**

代表機関名		技術の名称	
大成建設株式会社 技術センター		自在ボーリングと噴射攪拌の組合せによる 構造物直下の浄化技術	
技術の概要			
調査／対策	技術の区分	実証試験の対象物質	実証試験の場所
対策	原位置分解	テトラクロロエチレン	原位置

(技術の原理)

本技術は、構造物直下に存在する中間シルト層などにおける VOCs 汚染対策として、自在ボーリングによる削孔技術と噴射攪拌技術を組合せ、対象地盤に金属鉄粉と中性固化材を供給することで、地耐力を維持したまま汚染物質を無害化する原位置浄化技術である。

自在ボーリング工法により浄化対象エリアまで非開削で削孔し、噴射管と排泥回収用の排泥管を上部に敷設した後、浄化材スラリーを噴射管の先端から高圧噴射して、汚染土を一部回収するとともに、地盤中に改良体を造成して鉄粉による浄化と地耐力確保を両立する技術である。

浄化材スラリーは鉄粉と中性固化材の組合せで、金属鉄粉は、有機塩素系溶剤を還元的に脱塩素し、軽焼マグネシウム主体の中性固化材は、地盤の pH を脱塩素反応が阻害される強アルカリまで上昇させることなく、構造物の沈下等が生じない程度に強度発現させる。

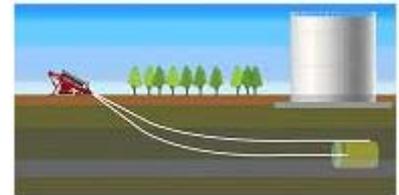


図1 自在ボーリング概念図

**技術保有会社のコスト・環境負荷低減の考え方**

構造物下部で部分的に高濃度域が存在する汚染地盤に対しては、周囲での抽出工法や浄化剤の注入工法など通常の前位置対策技術では工期が長期間に及ぶのに対し、本技術では短期間で施工でき低コスト化が図れる。

また、高濃度汚染範囲あるいは難透水性範囲など、いままで浄化対策が難しかった部分へ適用可能な技術として開発に取り組んでいる。

**調査結果の概要**

(1) 実証調査方法

①実証調査条件 表1 各改良体のスラリー配合条件

改良体 No.	材料配合条件 [単位: kg]					造成条件				
	固化材	水	鉄粉	クエン酸	増粘材 (レスタール)	吐出圧力 [MPa]	吐出流量 [L/min]	造成速度 [min/m]	造成長 [m]	エア条件
1	710	710	—	—	—	20	60	30	2	0.7MPa, 1-2m <sup>3</sup> /min
2	710	710	—	—	—	20	60	60	2	0.7MPa, 1-2m <sup>3</sup> /min
3	710	710	100	35.5	—	20	60	30	2	0.7MPa, 1-2m <sup>3</sup> /min
4	710	710	200	35.5	—	20	60	30	2	0.7MPa, 1-2m <sup>3</sup> /min
5	710	710	200	71	—	20	60	30	2	0.7MPa, 1-2m <sup>3</sup> /min
6	100	1000	100	—	3	20	60	30	2	0.7MPa, 1-2m <sup>3</sup> /min

\* トータル吐出量はCase 1およびCase 3-6は2m<sup>3</sup>、Case 2のみ4m<sup>3</sup>

なお、改良体No.5 は吐出不良のため、改良体の造成ができなかった。

②モニタリング方法

表2 モニタリング項目及び方法

分析対象	分析箇所	分析項目	分析方法	分析頻度/検体数	備考	
土壌	概況調査	VOCs (自主分析)	JIS K 0125 5.2 ヘッドスペースガスクロ マトグラフ質量分析計	40検体	ジオプロープにてGL-3mのみ土壌採取し、40m×25m範囲の平面分布を確認。5mメッシュごとに1点の分析を目安。(補足説明資料-3、p.7図-2参照)	
		VOCs (公定分析)		30検体	5m深度×6本に対し、1mピッチ	
	事前調査ボーリング箇所 (GL-8m×4本)	VOCs (自主分析)	粒度 JIS A 1204 土粒子密度 JIS A 1202	60検体	5m深度×6本に対し、0.5mピッチ	
		物性試験		6検体	6本の削孔箇所て処理対象箇所	
		N値		JIS A 1219	30検体	1mピッチ。削孔費に含む。
		元素組成		波長分散型蛍光X線分析法	18検体	削孔深度±1mの範囲で3点/ボーリング×6箇所
		Mg含有量		環水管127号に基づいた前処理と原子吸光法による含有量分析	18検体	
		Fe含有量		含有量分析	18検体	
改良体	改良体内部	VOCs (公定分析)	JIS K 0125 5.2 ヘッドスペースガスクロ マトグラフ質量分析計	18検体	ボーリング採取時に各改良体から3点×6=18検体	
		VOCs (自主分析)		72検体	ボーリング試料採取時に各改良体から3箇所、6改良体。経日変化で7、14、28日の3水準	
		一軸圧縮強度	JIS A 1216	120検体	各改良体で、1断面、12検体/断面、5改良体 (Case 6除く)、採取後7日と28日後の2回	
		N値	JIS A 1219	30検体	1mピッチ。削孔費に含む。	
		元素組成	波長分散型蛍光X線分析法	90検体	鉛直ボーリング1本、斜めボーリング2本でそれぞれ5検体を分析すると15検体。改良体6個で合計90検体。	
		Mg含有量	環水管127号に基づいた前処理と原子吸光法による含有量分析	75検体	MgはCase 1-5、FeはCase 2, 4, 6、元素組成は全検体で実施予定。	
		Fe含有量	含有量分析	45検体		
地下水 (改良体内部は間隙水)	周辺観測井戸6箇所および改良体内部設置井戸6箇所	VOCs (自主分析)	JIS K 0125 5.2 ヘッドスペースガスクロ マトグラフ質量分析計	30検体	<周辺観測井戸> ◆ 事前分析 (6検体) 施工前に周辺観測井戸で全項目 ◆ 施工中分析 (6検体) 噴射攪拌中に地下水水位および水質分析 ◆ 施工後 (12検体) 2回採水分析の実施 <改良体間隙水> 6箇所の改良体内に採水井戸を設置し、1回6検体採取。	
		pH	JIS K0102 12.1 ガラス電極法	30検体		
		イオン組成	JIS K0102 イオンクロマトグラフ法	30検体		
		TOC	JISK 0102 22 燃焼酸化-赤外線式TOC測定法	30検体		
		地下水水位	地下水水位計	採水時		
		排泥	排泥処理タンク	VOCs (自主分析)		JIS K 0125 5.2 ヘッドスペースガスクロ マトグラフ質量分析計
VOCsガス濃度	検知管			18回		
含水比	JIS A 1203			18検体		
周辺環境モニタリング	試験エリア	騒音	騒音規制法に順ずる	2回	自在削孔時と噴射攪拌時	
		振動	振動規制法に順ずる			
		PCE	JIS K 0102 5.2 ヘッドスペースガスクロ マトグラフ質量分析計			
事前配合試験		VOCs (自主分析)	土壌分析と同じ	42検体	配合試験6ケースで、0, 1, 2, 3, 7, 14, 28日後の7回分析	
		一軸圧縮強度 (自主分析)	JIS A 1216	60検体	配合試験5ケースで3, 7, 14, 28日後の4回 (n=3) で実施	

\*VOCs外注分析はクロロエチレン系4物質 (PCE, TCE, cis1,2-DCE, VCM) を分析、自主分析ではエタン系も定量

(2) 土壌の処理量及び性状等

土壌の処理量は43.4tであり、主にテトラクロロエチレン (初期土壌溶出濃度の平均値で9.6mg/L) により汚染されている地盤である。土質性状としては、細粒分含有量が15-25%を占めるシルト混じり細砂である。

(3) 有効性についての考察

①除去率

事前調査におけるボーリング試料中と、28日後ボーリング試料採取時のテトラクロロエチレン濃度（溶出量）から算出した除去率は、固化剤のみ（No. 1、No. 2）が 88.1～90.9%、鉄粉を用いた場合（No. 3～No. 6）が 92.1～96.4%であり、鉄粉を用いた方が除去率は高めであるが、排泥中の濃度が高いことから主に噴射攪拌による除去、希釈効果が大きい。

#### ②分解率

上記のとおり、28日後濃度について、鉄粉を使用した場合の除去率が固化剤のみの場合の除去率と比べて高めであることから、鉄粉による分解の効果が出ているとも考えられたが、7日後濃度と28日後濃度を比較すると、固化剤のみの場合でも鉄粉を使用した場合に匹敵する濃度低下がみられていたことから、鉄粉による分解効果は明瞭に証明されなかった。なお、排泥の回収率が実施位置（No. 1～No. 6）によって 0～139%とばらついていたため、全体の収支から鉄粉による分解の程度を把握することはできなかった。

表3 分析結果と除去率

内容		No. 1 固化材 のみ	No. 2 固化材 のみ	No. 3 固化材 +鉄粉	No. 4 固化材 +鉄粉	No. 6 鉄粉 のみ	備考
初期濃度 [mg/L]		9.6					試験エリア5地点平均値
7日後ボー リング試料	PCE濃度 [mg/L]	1.8	2.8	1.1	0.87	0.61	改良体範囲の平均値
	除去率① [%]	81.3	70.8	88.5	90.9	93.6	施工後7日後の評価
28日後ボー リング試料	PCE濃度 [mg/L]	1.1	0.87	0.76	0.35	0.39	改良体範囲の平均値
	除去率② [%]	88.1	90.9	92.1	96.4	95.9	施工後28日後の評価
スラリー噴射量 [m <sup>3</sup> ]		1.8	3.6	1.8	1.8	1.8	合計10.8m <sup>3</sup>
排泥回収量 [m <sup>3</sup> ]		2.5	2.6	1.9	0.6	—	合計7.6m <sup>3</sup>
排泥のPCE濃度 [mg/L]		14	6.7	6.5	4.7	—	3点平均値
排泥によるPCE回収率 [%]		150	75	53	12	—	排泥比重1.49
噴射スラリー/地山土壌比率		0.32	1.01	0.79	0.63	—	

注：表中ではテトラクロロエチレンを PCE（別名パークロロエチレンの略）として表示

#### ③排泥

排泥量はスラリー噴射総流量の平均 70%程度（0～100%超）の体積で発生し（No.6 は排泥発生なし）、排泥中のテトラクロロエチレン濃度は、4.7～14 mg/L である。

#### ④副生成物

脱塩素反応の副生成物としてトリクロロエチレン及び cis1,2-ジクロロエチレンなどが生成する可能性があるが、本実証調査では副生成物濃度の増加は見られなかった。

#### ⑤物質収支

原位置からの汚染物質の除去は排泥によるところが大きい。排泥のばらつきが大きいので、正確な物質収支は期待できない。概略の値として、土壌、排泥の溶出濃度、ガス濃度の分析値とそれらの量から試算した物質収支は 26～163%である。テトラクロロエチレンの物質収支は、初期土壌溶出濃度に対して、改良体中に残存 9.1～29.2%、排泥回収 17～144%、ガス回収 0.4～1.7%であり、排泥回収の寄与が大きい。

### （4）実用性についての考察

#### ○安定性

本技術では浄化材スラリーの吐出に対して正常な排泥回収を行えることが不可欠である。実証調査では、初期工事で予定した排泥管では圧損が大きく、排泥回収が滞り、地盤の隆起や周囲でのエアリーや地下水の噴出等の周辺影響も認められたため、排泥坑を追設し

での再試験を行うこととなった。

○安全性

排泥回収位置付近の作業環境中のテトラクロエチレンガス濃度は作業環境基準未満であった。また、使用する浄化資材は無害な性状である。

(5) 経済性についての考察（実証調査における検討）

○効率性

処理土壌 1 t あたりの投入エネルギーは 255MJ であった。作業効率は汚染土壌 1 t を処理するのに、2.5 人日（施工のみでは 1.1 人日）と算出された。

○経済性

実証調査（43.4t）における汚染土壌 1 t を処理するのに要する処理単価は、434,000 円/t と算定された。実規模（10,000t 相当）を処理すると仮定して試算すると 139,000 円/t となる。

(6) 周辺環境への負荷

①環境大気

○排出濃度・量

ガス吸引設備を稼働した際には、吸引ガス風量 1.7m<sup>3</sup>/min でテトラクロエチレンガス濃度は 6.5ppmV であった。30 分間の噴射攪拌で 50m<sup>3</sup> 弱のガス回収を実施した。

○周辺大気中濃度への影響

ガス処理用活性炭塔出口のテトラクロエチレンガス濃度は 1ppmV 未満であった。

②排水

削孔時に発生する削孔水のリターンに関しては、工場内の VOCs 水処理設備で適正に処理した。（なお、排泥は密閉タンクに受けて、バキューム車により場外搬出した。）

③騒音

削孔作業時にパーカッションを使用して打撃貫入する際 100dB(A) 超であり、留意が必要であるが、その他の騒音（通常削孔時、噴射攪拌時）レベルは 70dB(A) 前後であった。

④二酸化炭素排出量

本実証調査における二酸化炭素排出量は 15.6kg-CO<sub>2</sub>/t、実規模（10,000t 相当）を処理すると仮定して試算すると 32.6kg-CO<sub>2</sub>/t となる。

### 検討会概評

本技術は、自在ボーリングにより既存建物下の汚染に対し浄化剤（鉄粉）及び固化剤を高圧噴射攪拌して、VOCを分解除去すると同時に、固化させて地耐力を維持する技術である。

実証調査における施工前後のテトラクロエチレン濃度の減衰からみた鉄粉添加による除去効果は、非添加のものと比較して明確ではなかった。これは固化剤添加による固化後には、鉄粉とVOCの接触ができなくなるためと考えられ、固化と分解が相容れない技術であることを示唆している。

本実証技術は排泥による汚染物質除去効果も期待しており、そのためには固化剤注入に見合う排泥を確実に実施できる技術を確立する必要がある。また高圧噴霧のため土質、地下構造物等による周辺への漏えいには留意が必要であり、特に現在の排泥回収方法では既存建物下への使用は困難であり、排泥回収方法の改良等の関する更なる取組みが必要である。

別紙（自在ボーリングと噴射攪拌の組合せ技術による構造物直下の浄化技術）

## 1. 費用の算出

### ○ 実証対象技術のコストについて

#### 1) 試算前提の主要諸元

汚染土壌濃度（溶出量）	： 土壌溶出濃度で 0.1mg/L～数 10ng/L
目標処理濃度（溶出量）	： PCE、TCE などを環境基準値以下
処理量（t）	： 10,000t
処理能力（t/h）	： 5.3 t /h
運転時間（h）	： 8h/日
稼働日数（日）	： 243 日（延べ施工日数）
処理時間（月）	： 3.2 月（稼働日 25 日/月、3 セットで施工）
減価償却期間（年）	： ボーリングマシンのみ 5 年
工費の試算範囲内	： 施工費、材料費、労務費、諸経費
工費の試算範囲外	： モニタリング費

#### 2) 処理費用の算出

上記を基に本実証試験で得られたデータから経済性を試算すると以下の様に算定された。

総費用（10,000t 処理時）	1,390,000,000 円
処理単価	139,000 円/t

## 2. 二酸化炭素排出量の算出

二酸化炭素排出量の計算に当っては、上記の費用算出と同条件とし、“地球温暖化対策の推進に関する法律施行令第三条第一項第一号（平成 18 年 3 月 24 日一部改正）”の排出係数の数値を用いて二酸化炭素排出量を算出した。

### 算出根拠

実規模プラントでの軽油使用量：124,300 L

### 算出式

軽油使用量(124,300 L) × 排出係数(2.62 kg-CO<sub>2</sub>/L) = 326,000 kg-CO<sub>2</sub>

総排出量（10,000t 処理時）	326 t-CO <sub>2</sub>
排出原単位	32.6 kg-CO <sub>2</sub> /t