

中・高濃度VOC汚染土壌の原位置浄化技術

石橋正光¹・奥田信康²・斎藤聰³・古川靖英²・木村玄⁴・岩本宏⁴

¹正会員 工修 株式会社竹中土木 技術本部（〒270-1395 千葉県印西市大塚一丁目5-1）

²正会員 工修 株式会社竹中工務店 技術研究所（〒270-1395 千葉県印西市大塚一丁目5-1）

³正会員 工博 株式会社竹中土木 技術本部（〒136-8570 東京都江東区新砂一丁目1-1）

⁴正会員 工修 株式会社竹中工務店 環境BP本部（〒136-8570 東京都江東区新砂一丁目1-1）

筆者らは、中濃度・高濃度 VOC 汚染土壌の原位置浄化に関して、混合処理機を用いた工法の開発を進めている。この工法は、浅層から深層までの浄化深度に応じた様々な混合処理機を用い、浄化材（酸化剤、還元剤、固化材）を VOC 汚染土壌に添加・混合して短期間で浄化する工法である。本工法は、中濃度汚染地盤に対しては還元剤＋固化材による処理、高濃度汚染地盤に対しては酸化剤での処理後に還元剤＋固化材による処理を行う点に特徴がある。本論文では、中濃度 VOC 汚染土と高濃度 VOC 汚染土に対する室内実験結果から、中・高濃度汚染土への最適な浄化材の組み合わせを明らかにする。次いで、本工法での原位置浄化工事について、高濃度 VOC の実汚染サイトでの施工事例とともに紹介する。

キーワード：酸化剤、還元剤、固化材、原位置浄化、地盤改良工法

1. はじめに

2003 年 2 月に「土壌汚染対策法」が施行され、工場跡地等における土壌汚染問題は各企業の深刻な問題となっている。一般に土壌汚染の浄化対象物質は、VOC 類、重金属類、農薬類、ダイオキシン類、油類などに分類される。その中でも VOC 類は特に汚染事例が多く、土壌・地下水中で低濃度から高濃度まで広範囲かつ大深度に拡散するため、効率的かつ経済的な対策技術の開発が急がれている。土壌浄化の到達目標は環境基準の達成であることが望ましく、工場跡地の再開発事業等では短期間での浄化達成が要求されるため、従来は浄化の確実性から掘削を伴う工法で対応していたが、現在では処理コストの削減と環境保全の観点から汚染土を場外に出さない原位置浄化のニーズが高まっている。

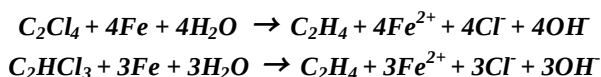
VOC 汚染土壌の原位置浄化技術としては、汚染土壌と浄化剤を機械的に直接混合する方法（原位置混合処理）や、汚染地盤に浄化剤を直接注入する方法（原位置注入処理）、汚染地盤に抽出井戸を設置し土壌ガス・地下水を回収する方法（原位置抽出処理）などが挙げられる。この中で、①多様な VOC 類の汚染地盤を濃度に関係なく確実に浄化できる、②浅層から深層までの汚染に対応できる、③砂質土地盤にも粘性土地盤にも対応できる、④土壌にも地下水にも対応できる、⑤短工期かつ経済的である、⑥周辺環境に影響が少ない、などの理由から筆者らは原位置

混合処理を選択し、混合処理機を用いた原位置浄化技術について研究を進めている¹⁾²⁾³⁾。本工法での混合処理機は、既に地盤改良で実績のある機械を用いることから、工法開発のポイントは用いる浄化材（浄化剤と固化材）にある。浄化剤は、環境基準の数百倍程度の中濃度汚染では還元剤（鉄粉や鉄粉スラリー）を、環境基準の1,000～10,000 倍程度の高濃度汚染では酸化剤（過酸化水素と鉄塩）と還元剤を用いる。固化材は、浄化のために乱した地盤を早期に強度回復させ浄化工事の安全性と短工期施工を可能にするものであるが、浄化剤の浄化効果を阻害しないことが必須条件となる。このため、用いる固化材は浄化剤との適切な組み合わせが重要となる。

本論文では、まず中濃度 VOC 汚染土と高濃度 VOC 汚染土に対する室内実験結果から、中・高濃度汚染土への最適な浄化材（酸化剤、還元剤、固化材）の組み合わせを明らかにする。次いで、本工法での原位置浄化工事について、高濃度 VOC の実汚染サイトでの施工事例とともに紹介する。

2. 鉄粉浄化の原理と必要とする材料特性

鉄粉による VOC の分解は、次の反応式で示される。



上記反応の結果、第一鉄イオン (Fe^{2+}) は間隙水中へ遊離し、遊離した Fe^{2+} は水酸化鉄の形態で存在すると仮定すると、水酸化鉄は高アルカリ性条件では水への溶解度が極めて小さいため、鉄粒子の表面に不溶性被膜を形成してVOC分子との接触が阻害され、分解効果は著しく低減すると考えられる。

一方、我が国の地盤は、細粒分を多く含む鋭敏比の高い沖積粘性土が広く分布しているため、地盤は攪拌により泥濘化し著しい強度低下を引き起こす場合が多い。このような地盤に対して原位置で鉄粉を攪拌混合する場合、施工の安全性及び短工期施工の点から、同時に固化材を添加して地盤強度の早期回復を図る必要がある。しかし、鉄粉の混合に伴う地盤強度低下防止のためには、不溶性被膜を形成する高アルカリ性の固化材（普通ポルトランドセメント、高炉セメントなどの汎用セメント）は使用できず、低アルカリ性の固化材や中性の固化材を用いる必要がある。ただし、低アルカリ性又は中性の固化材は、汎用セメントに比較して高価格であることと、同一強度を得るのに添加量を著しく多くする必要があることが問題であるため、汎用セメントでも浄化の効果を損なわない鉄粉が要求された。

高アルカリ環境下での鉄粉の反応阻害を少なくするためには、鉄粉そのものに大きな反応速度が必要であるため、平均粒子径を小さくして比表面積を増大させ、かつ浄化主体である純鉄 ($\alpha\text{-Fe}$) の含有量を多くした高活性のものが有効である。この鉄粉であれば、高アルカリ性セメント系の固化材と併用しても汚染地盤との混合初期には還元反応に必要な活性点の数が多くなるため、水酸化鉄の皮膜形成による反応阻害の影響を軽減できるものと考えられる。以後、この鉄粉を高活性鉄粉と呼び、従来型の鉄粉と区別することとする。

3. 中濃度VOC汚染の室内浄化実験

本章では、環境基準の数百倍程度の中濃度VOC汚染土壌の原位置浄化法に用いる浄化材として、還元剤に高活性鉄粉と従来型鉄粉、固化材に汎用セメント（普通ポルトランドセメント、高炉セメントB種）と低アルカリ性セメントを用いた室内実験により、還元剤と固化材の併用の有効性について検討した。

(1) 模擬汚染水での分解実験

還元剤と固化材の併用によるVOC分解に関する基本データを得るために、模擬汚染水を用いた実験を行った。還元剤には、平均粒径 $0.6\ \mu\text{m}$ 、 $\alpha\text{-Fe}$ 含有

表-1 模擬汚染水実験での材料配合

	従来型	高活性型
鉄粉スラリー (鉄固形分比率)	20 g (5%)	10 g (2.5%)
固化材 (添加率)	5 g (5%)	
TCE初期濃度	15 mg/L	
合 計	100 mL	100 mL

量25重量%である浄化用鉄粉スラリー（スラリー中の鉄固形分25%、以下、従来型鉄粉スラリーという）と、平均粒径 $0.07\ \mu\text{m}$ 、 $\alpha\text{-Fe}$ 含有量70重量%である浄化用鉄粉スラリー（スラリー中の鉄固形分25%、以下、高活性鉄粉スラリーという）の2種類を用いた。固化材には高炉セメントB種（以下、BBセメントという）と、低アルカリ性の固化材としてマグネシア系セメント（以下、Mセメントという）を用いた。実験はトリクロロエチレン（以下、TCEという）による汚染を想定し、模擬汚染水に2種類の鉄粉スラリーと、2種類の固化材を組み合わせた浄化を模擬した。配合を表-1に示し、実験手順の概略を以下に示す。

- ①初期TCE濃度15 mg/LのTCEメタノール溶液に所定量の水及び鉄粉スラリーを全量が100 mLとなるよう加え、さらに固化材を加えて混合し、密閉ネジ口ガラス瓶に素早く充填・密栓する。
- ②振幅4.0 cm、200 rpmで24時間連続往復振とうし、1,3,6日後にGC/MSで濃度を測定する（JIS K 0125.52に準拠）。

図-1 に従来型鉄粉スラリーを用いた場合、図-2 に高活性鉄粉スラリーを用いた場合の経過日数とTCE残留濃度の関係をそれぞれ示す。なお、図中には比較のため固化材を添加しない場合（鉄粉スラリーのみでの浄化効果を表す）のデータも併せて示している。図-1 より、還元剤に従来型鉄粉スラリーを使用した場合、低アルカリ性のMセメントを添加したケースは6日後には環境基準以下までの濃度の低減が見られたが、高アルカリ性のBBセメントを添加したケースは濃度の低下が全く見られなかった。一方、図-2 に示すように、還元剤に高活性鉄粉スラリーを用いた場合、固化材添加の有無にかかわらず、全てのケースにおいて3日後には環境基準以下までの濃度低減が見られ、高アルカリ性であるBBセメントの添加による還元分解への阻害はなかった。

以上のことから、還元剤として高活性鉄粉スラリーを用いれば、高アルカリ性の汎用セメントとの併

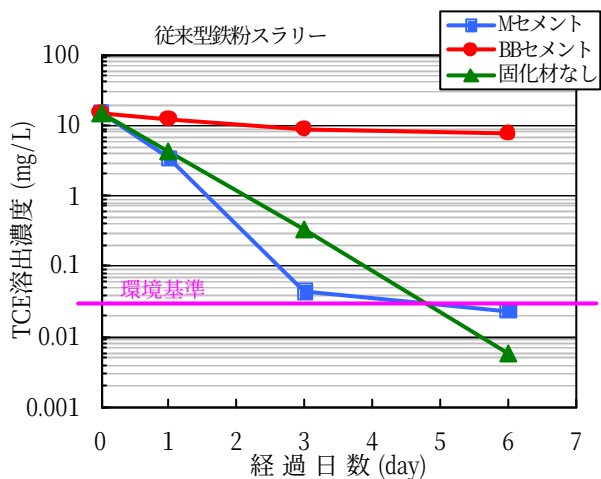


図-1 従来型鉄粉スラリーでの経過日数と TCE 濃度の関係

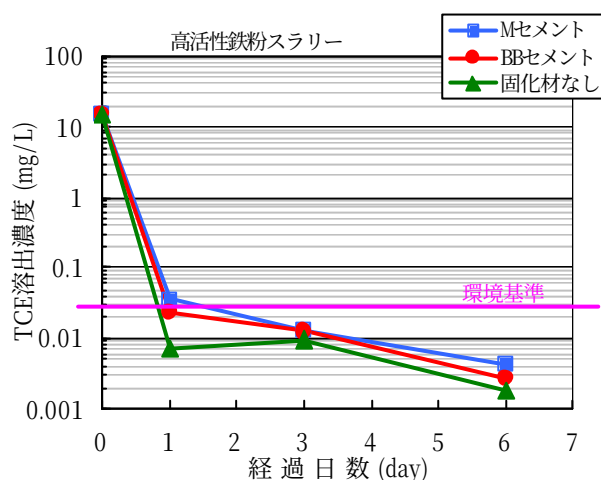


図-2 高活性鉄粉スラリーでの経過日数と TCE 濃度の関係

用であっても還元分解への阻害影響はないことが確認された。

(2) 模擬汚染土での分解実験

高活性鉄粉スラリーと汎用セメントとの併用が、汚染土壌に対してどのようなVOC分解挙動を示すかを確認するため、模擬汚染土を用いた室内実験を行った。用いた土は沖積粘性土、火山灰質粘性土（以下、ロームという）の2種類であり、その土質性状を表-2に示す。固化材には沖積粘性土用としてBBセメント、普通ポルトランドセメント（以下、Nセメントという）、ローム用として火山灰質粘性土用セメント系固化材（以下、Cセメントという）を用いた。実験はTCE並びにテトラクロロエチレン（以下、PCEという）による汚染土壌浄化を模擬した。材料配合を表-3に示し、実験手順の概略を以下に示す。

- ①初期溶出濃度として1 mg/Lとなるように汚染物質を添加した模擬汚染土を作成する。

表-2 試料土の土質性状

	沖積粘性土	ローム
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.519	2.509
含水比 w (%)	87.0	110.0
コンシ デンス	液性限界WL (%)	63.5
	塑性限界Wp (%)	28.9
	塑性指数Ip	34.6
粒 度 組 成	砂分 (%)	15.5
	シルト分 (%)	48.0
	粘土分 (%)	36.5

表-3 模擬汚染土実験での材料配合

	沖積粘性土		ローム	
	TCE	PCE	TCE	PCE
初期VOC含有量 (mg/kg)	1000	200	1000	200
高活性鉄粉スラリー (kg/m ³)	10	10	10	10
固 化 材 (kg/m ³)	30	30	30	30

- ②これに所定量の高活性鉄粉スラリー、固化材及び水を加えて約2分混合したのち、混合直後の土壌の一部を採取してTCE、PCEの溶出試験を実施し、これを初期溶出濃度とする。

- ③残りの混合土を密閉型ガラス瓶に素早く充填・密栓し静置する。

- ④所定期間経過後、土壌を採取してTCE、PCE溶出濃度を測定する（環告46号に準拠）。なお1測定で1瓶を使用し、ふたの開閉による汚染物質の揮散の影響を排除する。

図-3～図-4に、経過日数とTCE溶出濃度の関係を沖積粘性土とロームとに分けて示す。また、図-5～図-6に、経過日数とPCE溶出濃度の関係を沖積粘性土とロームとに分けて示す。なお、図中には比較のため固化材を添加しない場合のデータも併せて示している。図-3、図-4に示すように、沖積粘性土ではNセメントやBBセメントの添加の有無にかかわらず、TCEで7日、PCEで21日後には環境基準を達成することができ、最終的にはTCEで初期濃度の1/1000程度、PCEで初期濃度の1/100程度までの濃度低減が確認された。また、図-5、図-6に示すロームにおいても同様の挙動を示し、Cセメントの添加の有無にかかわらずTCEで3日、PCEで14日後には環境基準を達成し、最終的にはTCEで初期濃度の1/500程度、PCEで初期濃度の1/1000程度まで低減した。

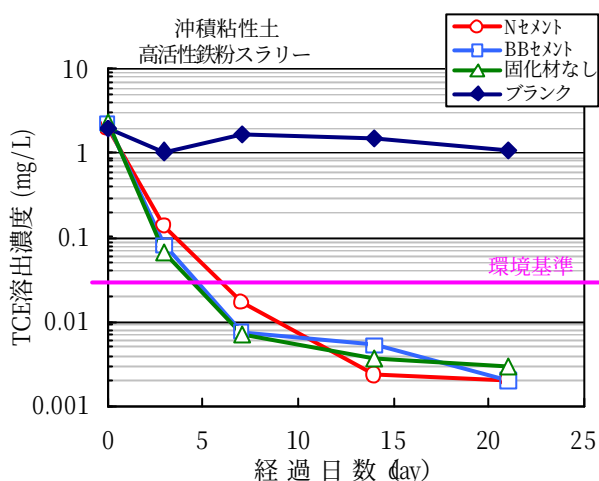


図-3 沖積粘性土での経過日数と TCE 溶出濃度の関係

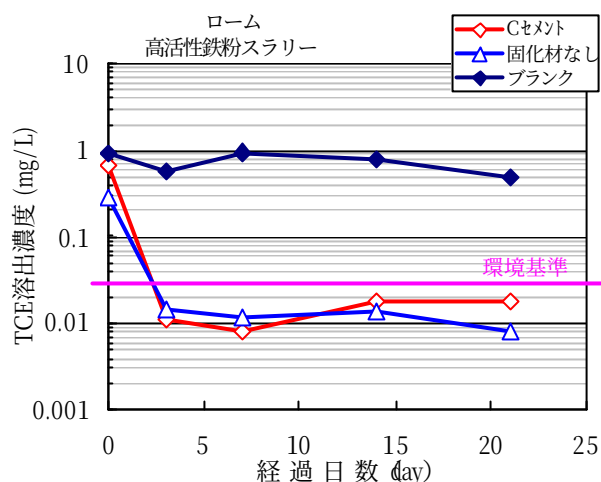


図-4 ロームでの経過日数と TCE 溶出濃度の関係

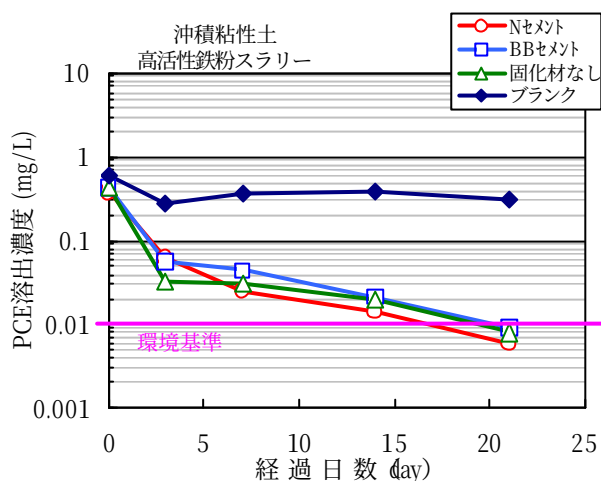


図-5 沖積粘性土での経過日数と PCE 溶出濃度の関係

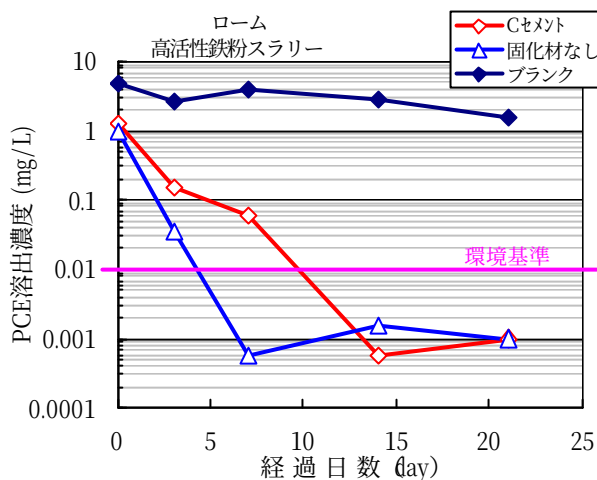


図-6 ロームでの経過日数と PCE 溶出濃度の関係

(3)まとめ

高活性鉄粉は固化材（低アルカリセメント、汎用セメント）との併用であっても還元分解への阻害はなく、中濃度VOC汚染の原位置浄化において、両者の組み合わせは浄化効果と強度回復を両立できる浄化材として非常に有効である。

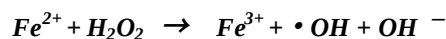
4. 高濃度VOC汚染の室内浄化実験

汚染源中心部付近では、環境基準の数千倍～数万倍を超える濃度が検出される例がある。このような高濃度VOC汚染の場合には、鉄粉と固化材による還元処理だけでは環境基準以下に浄化するには非常に長期間を必要とし、地盤の状況によっては浄化目標を達成できないこともある。そこで本章では、フェントン法による酸化処理と鉄粉による還元処理を組み合わせる方法について、酸化処理単独の場合と、酸化処理と還元処理を併用した場合の室内実験をそれぞれ行い、高濃度VOC汚染の原位置浄化法として

の有効性を評価した。

(1) 酸化処理（フェントン法）による浄化実験

フェントン反応とは、過酸化水素に2価の鉄(Fe^{2+})が作用する際に、酸化力の非常に強いヒドロキシラジカル($\cdot\text{OH}$)を生成することで有機物を分解する反応をいい、次の反応式で表される。



さらにpH4以下の酸性条件下では、次式のように消費された3価の鉄(Fe^{3+})は Fe^{2+} に戻り、触媒としてのFe量が増えるため活発な反応となり、短期間での効率的な浄化ができる⁴⁾。



そこで酸化剤の混合による高濃度VOCの分解特性を把握するため、模擬汚染土による室内実験を行った。用いた土は市販の赤玉土（ローム）であり、こ

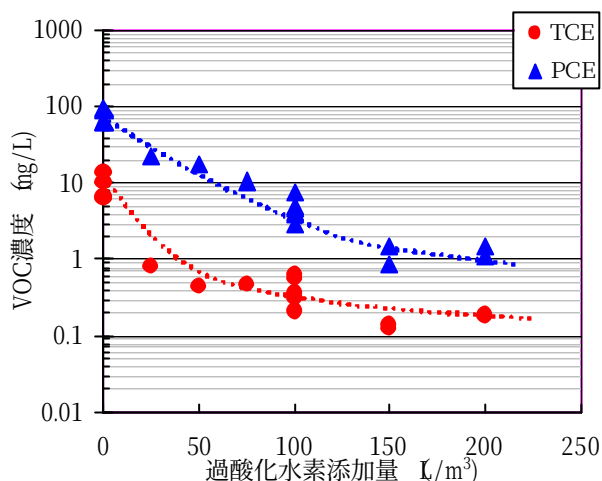


図-7 過酸化水素添加量とTCE, PCE 濃度の関係

れをTCE含有量0.2 g/kg, PCE含有量1 g/kgに調整した後、鉄塩として $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ を25 kg/m³, 酸性保持剤としてリン酸を1 kg/m³添加した模擬汚染土を作成した。浄化剤には35%過酸化水素を0~200 L/m³加え、密閉型ホバートミキサーで30 分間攪拌混合し、処理前後の濃度変化を調べた。

図-7 に過酸化水素添加量とTCE, PCE濃度の関係を示す。これより、過酸化水素添加量が増大するにしたがって各々の濃度は低減するが、TCEで最大0.1 mg/L, PCEで最大1.0 mg/L程度までしか低減できず、酸化処理のみで環境基準を達成することはできなかった。

(2)酸化処理と還元処理の併用による浄化実験

酸化処理と還元処理は、相反する化学反応であり、還元処理を先行した場合、鉄粉は過酸化水素により酸化されてしまうため、還元分解能力は全く発揮されない恐れがある。一方、酸化処理を先行した場合、フェントン反応により残留した溶解性鉄イオンが鉄粉の還元分解を阻害する恐れはあるものの、数十分から数時間の早い段階で高濃度から中・低濃度までの急激な濃度低下が見込めるという点では、酸化処理先行型のほうが有利であると考えられる。

そこで本実験では、酸化処理の有無がその後の還元処理に及ぼす影響と、酸化処理と還元処理の併用により環境基準の達成が可能かどうかを確認するため、模擬汚染土による実験を行った。表-4 に実験ケースを示す。模擬汚染土には前述の赤玉TCE汚染土を用いた。酸化処理条件は35%過酸化水素100 L/m³に対し $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ を25 kg/m³, リン酸1 kg/m³とし、還元剤として高活性鉄粉スラリーを10 kg/m³, 固化材はBBセメントを50 kg/m³とした。また、固化材のアルカリが実験結果に影響を及ぼすことを考慮し、固

表-4 酸化処理+還元処理の実験ケース

	酸化処理	高活性鉄粉スラリー	BBセメント
Case1	あり	10 kg/m ³	50 kg/m ³
Case2	あり	10 kg/m ³	なし
Case3	なし	10 kg/m ³	50 kg/m ³
Case4	なし	10 kg/m ³	なし

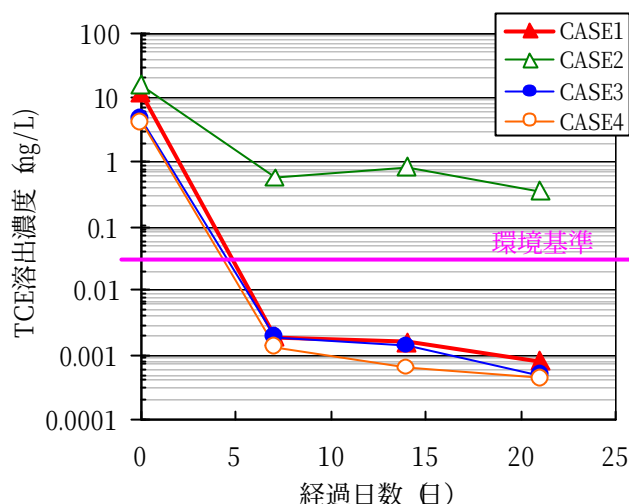


図-8 経過日数とTCE 溶出濃度の関係

化材を添加しないケースも実施した。なお、Case1, 2 については酸化処理後にTCEを再添加した段階を初期濃度とし、Case3, Case4 は模擬汚染土作成時を初期濃度として、濃度の経時変化を調べた。

図-8 に、経過日数とTCE溶出濃度の関係を示す。固化材を添加しない場合、酸化処理ありでは酸化処理なしに比べ濃度の低減が遅く、21日後でも環境基準を達成することはできず、フェントン反応により残留した溶解性鉄イオンによる還元反応への阻害が生じている。一方、固化材を添加した場合は、酸化処理の有無にかかわらずいずれも7 日後には環境基準を達成することができ、還元分解への阻害は認められなかった。

(3)まとめ

酸化処理（フェントン法）は、数時間で高濃度から中・低濃度までの急激な濃度低下が見込める。一方、酸化処理はその後の鉄粉による還元分解に明らかな阻害が生じるが、固化材併用の還元処理とすることでその阻害を解消することができる。したがって、高濃度のVOC汚染土壌の浄化において、酸化処理後に固化材併用の鉄粉還元処理を組み合わせる方法は非常に有効である。

5. 混合処理機による原位置浄化工事

本工法での施工には、混合処理機及びプラント（酸化剤、還元剤、固化材ほかの材料をストック、計量、混合するための諸設備）が必要である。本章では、本工法の施工概念図と原位置浄化工事に適用される混合処理機並びにプラントの一例を示すとともに、高濃度VOCの実汚染サイトでの施工事例を紹介する。

(1) 用いる混合処理機

施工対象のVOC汚染地盤は、数mの浅層から数十mの深層の砂質土または粘性土地盤であるが、地盤改良工事においてはこれらの地盤に全て対処できる状況にある。本工法は、これらの地盤改良工事で実績のある機械を用いることを原則としている。

図-9 に本工法の施工概念図を、表-5 に本工法で用いる代表的な混合処理機として、機械攪拌式深層混合処理工法の一例を示す。

(2) 浄化用プラント

中濃度VOC汚染土壌の浄化は、固化材併用の還元処理であることから、通常的地盤改良工事における固化材プラントをそのまま浄化材プラントとして適

用することができる。一方、高濃度VOC汚染土壌の浄化は酸化処理と還元処理とが必要であるため、特に耐酸性の貯留槽やポンプ類からなる酸化処理用プラントが別途必要となる。図-10 に酸化処理プラントの一例を示す。

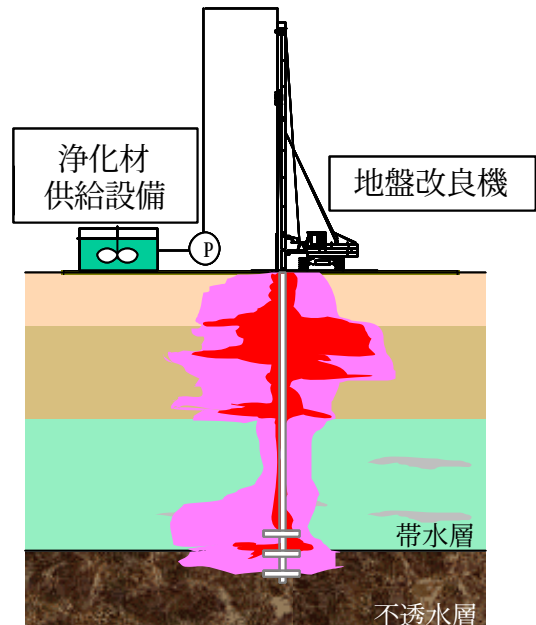


図-9 本工法の施工概念図

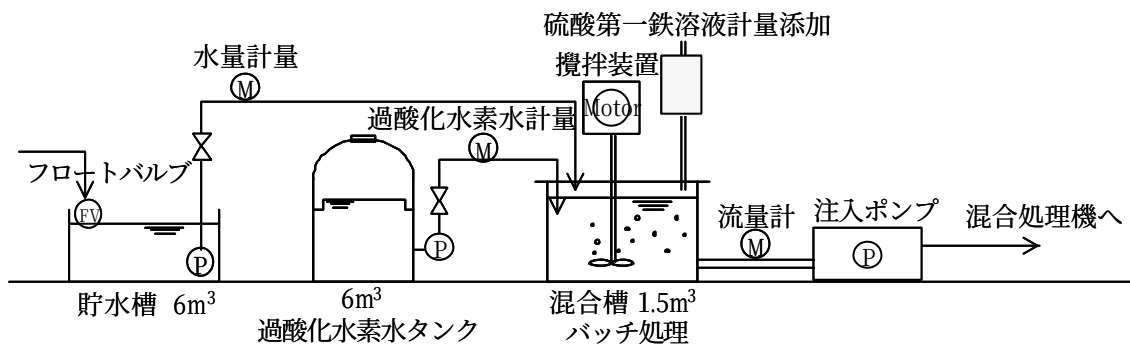


図-10 酸化処理プラントの一例

表-5 本工法に適用する代表的な混合処理機の一例

	回転攪拌翼 単・多軸) タイプ	チェーン式攪拌機タイプ	拡翼攪拌機タイプ
処理形状 断面)	 GL ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	 GL ← →	 GL ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
汚染部 処理部			
処理機断面形状	 1軸 2軸 3軸	 矩形 壁状)	 1軸
備考	最も一般に用いられている (土層毎の材料 添加量変更可) 例) CDM工法など	深度方向に均質な処理 (土層毎の材料 添加量変更不可) 例) パワーブレンダー工法など	汚染部のみを処理できる (汚染部分で攪拌翼が広がる) 例) オープンWING工法など

(3)高濃度汚染地盤での施工事例

高濃度VOC汚染地盤を、酸化処理後に固化材併用の還元処理を組み合わせる方法で原位置浄化した施工事例を以下に紹介する。

a)汚染概況

浄化対象地盤はPCEの浸透が汚染原因のシルト質粘土の地盤であり、浄化対策前の溶出量は、TCEで平均7.6 mg/L（最大26.2 mg/L）、PCEで平均52.6 mg/L（最大174.4 mg/L）であった。浄化エリアの土層構成及び汚染物質の濃度分布を図-11に示す。浄化処理土量は $16.5 \text{ m}^2 \times 8 \text{ m} = 132 \text{ m}^3$ である。

b)浄化剤

浄化剤には、フェントン処理用として第1液に $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ とリン酸を、第2液に35%過酸化水素を用い、還元処理用として高活性鉄粉スラリーとマグネシア系セメントを用いた。表-6に各処理用浄化剤の配合を示す。

c)施工

施工機械には、回転軸先端の上下2枚の掘削攪拌翼の正逆回転機構により均質な攪拌ができる混合処理機（攪拌翼直径800 mm、改良面積 0.5 m^2 、改良長12 m）を採用した。施工手順を以下に示す。

- ①地盤を酸性雰囲気中に保持するため、地盤を掘削しながら第1液を吐出（貫入・引拔の両工程の1

表-6 施工事例における浄化剤の配合

フェントン 処理用	第1液	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	15 kg/m ³
		リン酸 (85%以上)	2 L/m ³
		水	36.5 L/m ³
還元処理用	第2液	35% H_2O_2	100 L/m ³
		高活性鉄粉スラリー	10 kg/m ³
		マグネシア系セメント	75 kg/m ³
		水	75 L/m ³

往復）し混合する。

- ②第2液を吐出（貫入時吐出を2往復）して地盤中で第1液と混合し、フェントン反応を生じさせる。このとき、酸化処理直後の土壌を採取し、濃度を測定する。
- ③反応が落ち着くまで半日～1日ほど放置する。
- ④反応終了後、固化材併用の還元剤を吐出（貫入・引拔の両工程の1往復）し混合する。このとき、還元処理直後の土壌を採取し、濃度を測定する。
- ⑤1週間後及び3ヶ月後にチェックボーリングを行い、処理土壌の濃度及び一軸圧縮強さを測定する。

d)施工結果

図-12にTCE溶出濃度の経時変化を、図-13にPCE溶出濃度の経時変化を示す。また、施工3ヵ月後の深度方向の強度分布を図-14に示す。

図-12より、TCE溶出濃度については、初期溶出濃度平均7.6 mg/Lであったものが、還元処理直後ですでに0.01 mg/Lまで低減し、環境基準を達成することができた。なお、図中には記載していないが、その後も順調に低減し、施工3ヵ月後には0.0001 mg/L以下（定量限界以下）まで浄化することができた。

図-13より、PCE溶出濃度については、初期溶出濃度平均52.6 mg/Lであったものが、酸化処理並びに還元処理により順調に低減し、施工1週間後で環境基準を達成することができ、施工3ヵ月後には0.0005 mg/Lまで浄化することができた。

図-14より、地盤強度については、施工前の現地盤強度は平均60.0 kN/m²であり、施工直後には約1/10の5.0 kN/m²程度まで低下したが、同時に混合した固化材により施工3ヵ月後には平均56.0 kN/m²と元の現地盤強度程度まで回復させることができた。

以上のことから、酸化処理後に固化材併用の還元処理を組み合わせる浄化方法は、当初目標であった浄化効果と強度回復の両立を十分に満足するものであり、高濃度VOC汚染土壌の原位置浄化技術としての有効性が立証された。

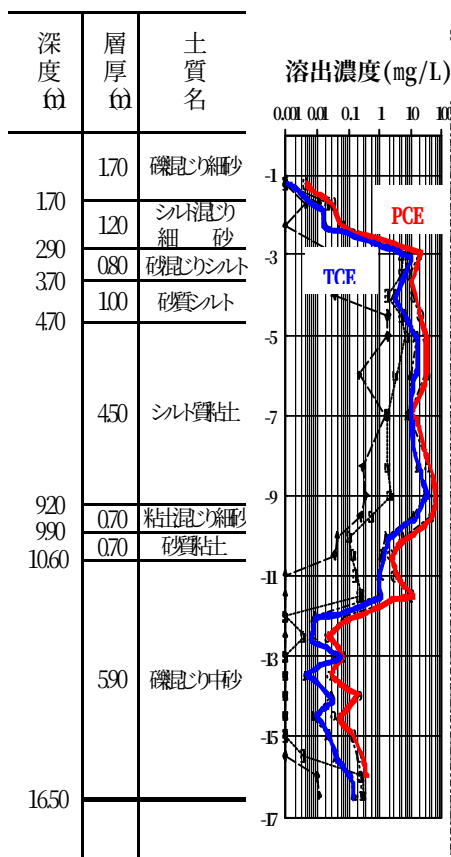


図-11 浄化対象エリアの土層構成と濃度分布

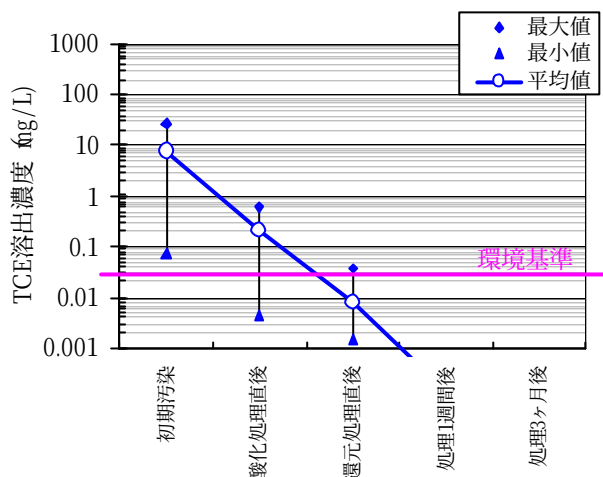


図-12 TCE 溶出濃度の経時変化

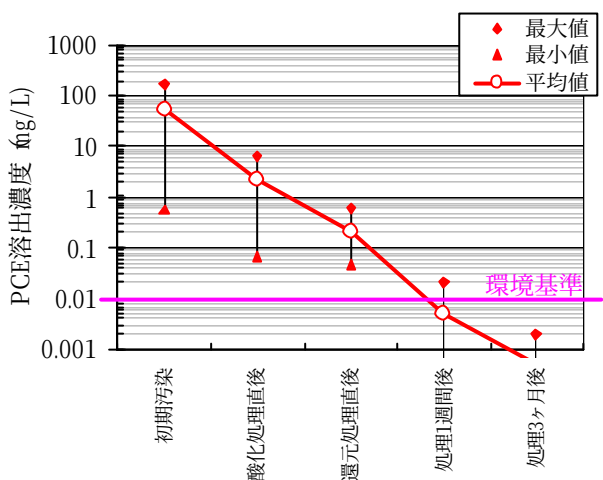


図-13 PCE 溶出濃度の経時変化

6. おわりに

本研究により得られた成果は、次の通りである。

- (1) 高活性鉄粉は固化材（低アルカリセメント、汎用セメント）との併用であっても還元分解への障害はなく、中濃度VOC汚染の原位置浄化において、両者の組み合わせは浄化効果と強度回復を両立できる浄化材として非常に有効である。
- (2) 高濃度のVOC汚染土壌の原位置浄化において、フェントン法による酸化処理後に固化材併用の還元処理を組み合わせる方法は、短期間での浄化が図れる非常に有効な方法である。
- (3) 上記(2)の方法による施工を高濃度VOC汚染サイトで実施し、施工3 ヶ月後にはVOC濃度は環境基準を満足し、且つ施工後の地盤強度は施工前の強度まで回復できたことから、高濃度VOC汚染土壌の原位置浄化技術としての有効性を立証できた。

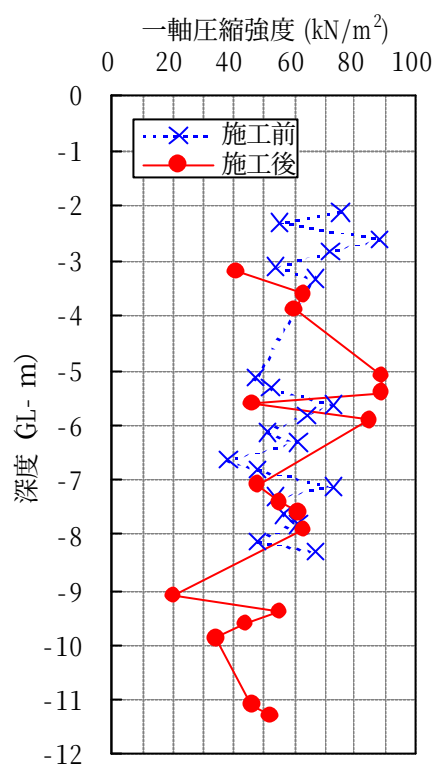


図-14 施工3 ヶ月後の深度方向の地盤強度分布

本研究成果は、これまで場外搬出で対応せざるを得なかった高濃度汚染も地上に掘り上げることなく処理することが可能となるばかりでなく、金属還元剤と固化材の併用が可能となり、施工の安全性と浄化期間の大幅な短縮に繋がることから、適用範囲は広いと考えられる。今後、さらに多くの実施例を重ね、より効率的な施工ノウハウの蓄積を図っていき

参考文献

- 1) 岩本他：固化材を併用した金属系還元剤によるVOC汚染土壌の浄化特性，第38回地盤工学研究発表会，D-10，2003.
- 2) 奥田他：VOC汚染土壌の原位置浄化工法，地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会，pp335-pp338,2004.
- 3) 石橋他：固化材を併用した金属還元剤によるVOC分解への障害影響，第59回土木学会年次学術講演会，VII-251,2004.
- 4) 奥田他：酸化剤および還元剤を原位置混合する高濃度VOC汚染土壌の処理方法，第40回地盤工学研究発表会（投稿中）