

(107) 汚染現場における汚染の実際と原位置浄化の効果の検証

中間哲志¹・山内 仁¹

¹(株)アイ・エス・ソリューション

1. はじめに

化学酸化法(フェントン反応剤を用いた原位置注入)を用いた原位置浄化法は、揮発性有機化合物(PCE、TCE、cis-1,2-DCEなど、以下、VOCsと記す)や油分、ベンゼンで汚染されたサイトの土壌や地下水の浄化対策として多くの実績をあげてきた。特に最近、ガソリンスタンドにおける浄化対策のニーズから、土壌や地下水中の油分、ベンゼンが分解でき、且つ短期間の浄化が可能な方法として注目され、適用されている。筆者らはこの化学酸化法(フェントン反応剤を用いた原位置注入)を用いた原位置浄化法をこれまで数多くの浄化サイトに適用し、浄化の実績をあげるとともに、浄化の様々な問題に直面してこれを解決してきた。これは原位置浄化対策の限界を理解した上で浄化対策が行っているためと考える。本報告では、これまでの適用例とトラブルを紹介しつつ、浄化対策を通じて得られた知見を整理し、フェントン反応剤を用いた原位置注入のみならず、浄化対策で良好な結果を得るための留意点と提言を述べる。

2. 浄化の方針と原位置浄化法を用いた浄化対策事例

2.1 原位置浄化のトラブル要因

汚染の形態や原因はサイト毎に様々であり、個々の汚染サイトの状況に合わせて仮説検証を行い、浄化対策の計画を立て、浄化完了までのストーリーを念頭に置きつつ浄化対策を実施しなければならない。そのため、対策の設計に当たっては汚染の原因や拡散機構などの十分な情報を入手し、既存資料に基づいて詳細調査によるサイトの評価を行った後に浄化対策の設計・施工を行うことになる。しかし、実際の汚染現場では、土地の持ち主が変わっていて汚染物質を取り扱っていた事実や場所の特定などを確認できないケース、土地を大幅に改変しており以前の図書が残っていない(当時の担当者も退職していない)ケース、設計図書には記載されていない構造物や埋設廃棄物が存在するケース、図書と現状が大きく食い違うケース、等の不測の事態もたびたび見られ、汚染の原因や拡散機構の解明を困難にしている要因となっている。以下に示す原位置浄化対策のトラブルは、～が原因となっていることも少なくない。

- ・資料等の情報が不十分なまま現場に着手した結果、新たな汚染が浄化対策中に判明した
- ・汚染原因や汚染の拡散機構が仮説から乖離していた
- ・敷地外に流出した汚染や敷地内に二次汚染が存在する
- ・産業廃棄物が敷地内に埋められていた
- ・上記の理由により、浄化が進まない、汚染物質濃度のリバウンドが見られる

また、調査の不備が原因で原位置浄化対策のトラブルとなったケースもある。その多くは調査と浄化対策工事の実施者が別であるために浄化対策の実施者に正確かつ十分な情報を得ることができなかつたり、必要十分な調査が行われなかつたり、汚染に関する情報を意図的に隠したことが原因で正しく検証が行えなかつたためにトラブルになるケースで、具体的な事例として以下のようなものがある。

- ・浄化対策を行うのに十分な調査が実施されておらず、新たな汚染が浄化対策中に判明した
- ・既存の調査結果とは異なる汚染の存在が浄化対策中に判明した
- ・敷地外に流出した汚染の敷地内への戻り汚染がある
- ・汚染土による埋め戻しが行われていた(二次汚染がおこっていた)
- ・上記の理由により、浄化が進まない、汚染物質濃度のリバウンドが見られる

Troubles of the contaminated site with VOCs, Benzen or Oil product and advices for insitu remediation

Tetsushi Nakama, Hitoshi Yamauchi

連絡先: 〒101-0041 東京都千代田区神田須田町2-3-16 千代田パリオビル6階 株式会社アイ・エス・ソリューション
中間哲志 TEL 03-5297-7288 FAX 03-5297-0242 E-mail: nakama@enbiotec.co.jp

浄化対策は、汚染の有無を確認するためのスクリーニングや汚染を絞り込むための詳細調査の他に浄化対策を目的とした調査や試験施工を行った後に実施されることが望ましいが、費用や期間がかかることを理由に浄化対策を目的とした調査や試験施工が実施されないケースも多い。

筆者らは汚染の調査結果をもとに浄化の方針を決め、数多くのサイトで原位置浄化（フェントン反応剤を用いた原位置注入）を実施してきた。以下に筆者らが実施した浄化対策の事例とトラブルとその原因を紹介する。

2.2 浄化対策のトラブル事例

2.2.1 VOCs 汚染サイト（サイトA）

(1) トラブル発生までの経緯

VOCs で汚染されたこのサイトは、概況調査、詳細調査、浄化対策を一貫して実施した。このサイトは、すでに廃業していた製造会社が以前の土地の所有者であることが明確であった。しかし、昔の建物の図書や施工図面はほとんど残されておらず、汚染原因も不明確であった。詳細調査の結果から汚染範囲を絞り込み、残された数少ない図面と廃業していた製造会社の関係者の記憶を頼りに汚染源と思われる場所を割り出し、建物の解体前にフェントン反応剤を用いた原位置浄化対策を広範囲に設定して実施した。

浄化対策の着手から半年後、浄化は順調に進んでいると思われたが、2カ所の観測井戸において地下水中の VOCs 濃度が基準値の数百倍という高い濃度を示した。そこで観測井戸の周辺にて試掘を行いったところ、観測井戸の1箇所において汚染物質の原液が溜まった地下ピットとこれに接続する配管が見つかった。更にこの汚染源から伸びていた配管がもう1箇所の濃度の上昇が観測された観測井戸付近で破損し、この周辺に廃棄されていたPC杭内および周辺に漏洩、拡散していることが判明した。

(2) トラブル発生後の対応

汚染経路と汚染拡散のメカニズムを把握するために、

- ・ 試掘による建物基礎の形状の把握調査
- ・ 建物基礎（基礎梁や柱基礎）周辺およびこれに沿った土壌やたまり水の調査
- ・ 埋設配管、暗渠の試掘による形状の把握調査とその周辺土壌の濃度調査

を実施した。試掘には廃業していた製造会社の関係者にも複数回にわたり立ち会ってもらった。その結果、「地下水によって拡散した」という当初予想していた汚染の拡散メカニズムとは大きく異なり、「建物基礎や配管を通じて汚染は拡散、浸透した」ものであることが明らかとなった（図-1）。また、関係者への当初のヒヤリングで得られた情報と立ち会い後のヒヤリングで得られた情報とで大きな隔たりがあることも判明し、試掘の現状を見てもらうことでより正確な情報を引き出せることが可能となった。

その後、このサイトでは

- ・ 汚染が溜まっていた地下ピットと配管の撤去
- ・ 廃棄されていた杭、柱基礎の撤去、解体
- ・ 汚染源周辺の汚染土壌の掘削除去およびたまり水の汲み上げ
- ・ 地下水のフェントン反応剤による原位置浄化

を行い、VOCs の濃度は基準値まで低下している。

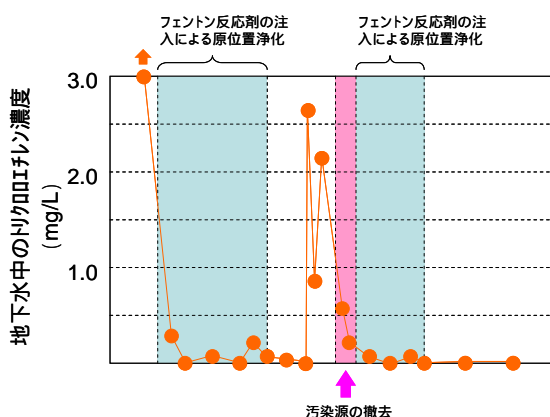
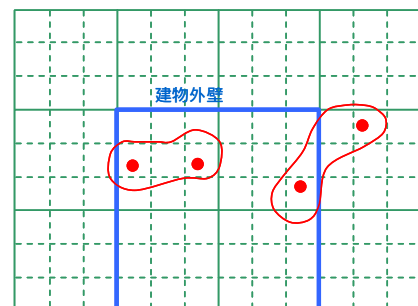
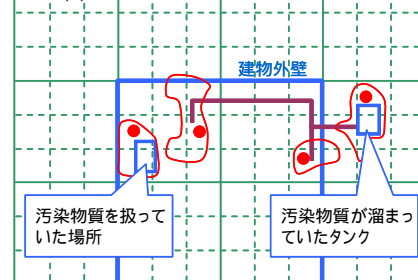


図-1 サイトAの地下水のTCE濃度の推移



(a) 当初予想していた汚染の分布



(b) 対策中に判明した汚染の分布

図-2 サイトAの汚染の分布平面

2.2.2 ベンゼン汚染サイト（サイトB）

(1)トラブル発生までの経緯

ベンゼンで汚染されたこのサイトは、概況調査と浄化対策とをそれぞれ別の機関で実施し、浄化対策は依頼主の要望により、概況調査に基づいて実施した。すでに廃業していた石油販売業者が汚染原因者なのか、浄化対策の依頼主が汚染原因者なのかは不明確であった。昔の施設の図書や施工図面はほとんど残されておらず、依頼主が提示した図面しか入手できなかった。汚染原因は地下タンクからの汚染原因物質の流出であることは推察できたものの、敷地内を複数回にわたり改変していたため、原因の特定には至らなかった。このサイトは浄化対象範囲を広範囲に設定して、地下水のベンゼンの浄化を対象としてフェントン反応剤による原位置浄化を実施した。

浄化対策の着手から2ヶ月経過したものの、T字型擁壁付近の2カ所の観測井戸において、地下水のベンゼン濃度が浄化開始時の初期濃度とほとんど同じ濃度で推移し、フェントン反応剤を注入した直後、一時的に濃度は低下するものの、1週間後にはベンゼン濃度がリバウンドすることを繰り返していた。そこでベンゼン濃度がリバウンドする観測井戸の周辺にて試掘を行なったところ、汚染物質が溜まったヒューム管や単管、型枠材などの建設廃材が見つかった。これらの建設廃材はT字型擁壁の敷地内側に擁壁に沿った形で埋められており、T字型擁壁を構築した際の型枠材や現場で発生した建築材料を擁壁の埋め戻し材とともに埋め殺しにしたものと推察され、ここに溜まったベンゼンで汚染された溜まり水が少しずつ地下水に供給されて継続的に地下水汚染を引き起こしていたことが判明した。

(2)トラブル発生後の対応

汚染経路と汚染拡散のメカニズムを把握するために、

- ・ 深い箇所での地下水の濃度調査
- ・ 擁壁基礎周辺およびこれに沿った土壌やたまり水の調査

を実施した。その結果、「不飽和土から浸透した汚染が、地下水によって拡散した」という当初予想していた汚染の拡散メカニズムに加え、「擁壁の裏込め材とともに埋め殺されていた建築廃材周辺に汚染が溜まり、その周辺から汚染が継続的に地下水に浸透した」ものであることが明らかとなった（図-2）。

その後、このサイトでは、

- ・ 廃棄されていた建築廃材の撤去
- ・ 擁壁周辺の汚染土壌の掘削除去およびたまり水の汲み上げ除去
- ・ 地下水のフェントン反応剤による原位置浄化

を行い、地下水および土壌のベンゼンの濃度は基準値以下まで低下した。

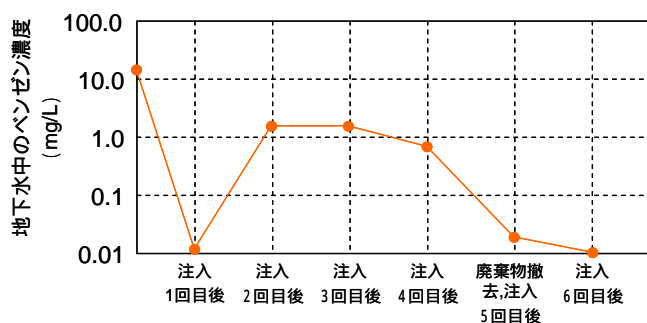


図-3 地下水のベンゼン濃度の推移

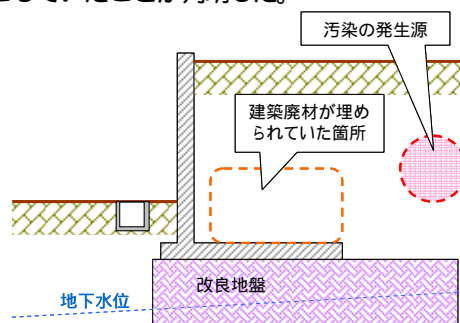


図-4 サイトBの濃度上昇の原因（廃棄物の埋設箇所）

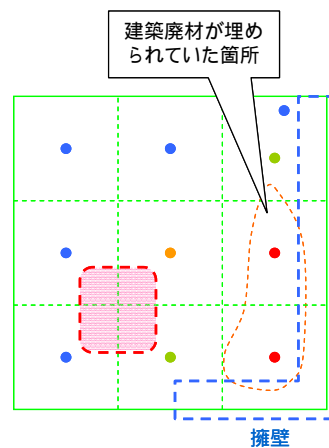


図-5 サイトBの汚染の分布図

3.まとめ

フェントン反応剤を用いた原位置浄化法ではその反応により汚染物質が分解され、注入直後は汚染物質の濃度が大幅に低下するため、大幅に改善されたと思われがちである。しかし、汚染された地下水や土壌が浄化できても汚染源が残っていれば汚染物質は供給され続け、原位置浄化後にも濃度が再上昇したり、濃度低下が見られなかったりする。先に紹介したトラブルのように浄化前の手続きに不備があった場合、つまり事前情報の不足、提示されなかった情報の存在、調査の不足、調査できない箇所での汚染の存在、など浄化の前段階に問題があった場合、汚染源をとらえることができず、浄化対策による良好な結果は得られない。汚染源を見逃さないための浄化対策の事前の留意点は、

浄化対策の実施前に可能な限り多くの建物の設計図書、施工時の図面を収集する。

汚染の疑いがある箇所、過去の土地の使用履歴が分からない場所は、可能な範囲において試掘を行なう。

敷地外汚染や二次汚染がないことを事前の調査で確認する。

浄化対策は、調査から浄化までを一貫して行なう方が望ましい。

である。浄化を手がける技術者にとって、これらの留意点をあらためて本報告で整理する必要はないかもしれないが、筆者らは実際のサイトにおいて、これらの留意点を満足できないケースも多数あるものと推察している。表 - 1 に汚染現場における汚染の実際と原位置浄化対策実施前にその効果を得るためのチェックポイントについてまとめる。なお、フェントン反応剤を用いた原位置浄化法の技術的な側面の対策事例については別途参考文献¹⁾を参照されたい。今後はフェントン反応剤を用いた原位置浄化法を検討するための事前分析法やトラブル対処法などについて紹介したい。

表 - 1 汚染現場における汚染の実際と原位置浄化の効果を得るためのポイント

汚染現場における汚染の実際（トラブルの原因）	浄化効果を得るためのポイント	
事前情報の不足、提示されなかった情報の存在	資料等の情報が不十分による新たな汚染の判明	建物の設計図書、施工時の図面の収集と関係者へのヒアリングの実施
	提示された事前情報と実際の状況の乖離	
	過去の情報の忘却、図書の紛失など	・試掘および対策のための調査、試験の実施と関係者の現地立会い
	過去の汚染事実、二次汚染発生事実の忘却、隠蔽	
調査の不足、調査できない箇所での汚染の存在	二次汚染や敷地外への流出汚染の存在	・敷地外の土地利用状況の把握
	敷地内における産業廃棄物の存在	・浄化対象周辺における現象の観察
	既存の調査結果とは異なる汚染の存在	・調査からの一貫した対策の実施
	調査の量の不足	・適切な調査数量の確保

[参考文献] 1) 中間哲志、他：フェントン反応剤によるガソリンスタンドのベンゼン・油汚染浄化、第11回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会, No.144, 2005