

稼働中の工場における VOC 汚染地盤の原位置浄化 In-situ Remediation of the Groundwater and Soil Polluted with VOC in a Factory under Operation

山崎 将義*

Masayoshi Yamazaki

菅野 由人**

Yoshito Sugano

要 約

近年、土地取引や経営リスク管理等に際し、事業者が自主的に土壤汚染の調査・対策を行うケースが少なくない。調査・対策は稼働中の工場で行われる場合もあり、その際は生産活動に支障のない方法で行うことが必要不可欠となる。今般、稼働中の工場において、その直下の VOC 汚染地盤（VOC：揮発性有機化合物）に対し、原位置バイオレメディエーション（EDC 工法）を適用した。施工後 6 ヶ月間、地下水モニタリングを行った結果、VOC の分解がみられ、効果が確認された。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. EDC 工法の概要
- § 3. 工事概要
- § 4. 地下水モニタリング
- § 5. 結果
- § 6. 考察
- § 7. まとめ
- § 8. おわりに

§ 1. はじめに

土壤汚染対策法の施行（平成 15 年 2 月）から 6 年が経過し、近年、法や条例に基づく場合以外に、一般の土地取引や経営リスク管理等に際し、事業者が自主的に土壤汚染の調査・対策を行うケースが増えつつある。社土壤環境センターが会員企業に行ったアンケート（平成 19 年）¹⁾によれば、調査案件の 94%が自主的調査であり、対策案件の 85%が自主的対策であった。調査・対策は稼働中の工場建屋内で行われる場合もあり、その際は生産活動に支障なく実施することが必要不可欠となる。

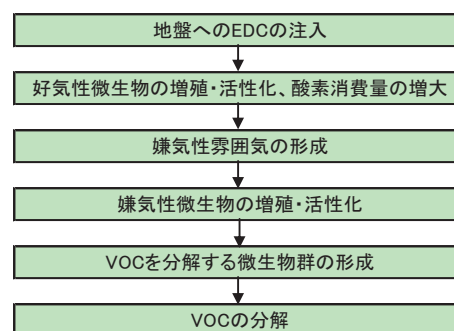
稼働中の工場建屋の直下に汚染された地盤が存在する場合、有効な対策の一つとして原位置浄化が挙げられる。原位置浄化技術には、大きく分けて、①物理化学的处理と②バイオレメディエーション（微生物浄化）の 2 種類

がある。両者の一般的な特徴を比較すると、①物理化学的处理は、短期間で高い効果が期待できるものの、工費が比較的高い。一方、②バイオレメディエーションは、工費が比較的安い、浄化に長期間を要する。

近年、短期間かつ低コストで浄化を実施でき、実績を増しつつある技術として、EDC 工法（原位置バイオレメディエーションの一種）が挙げられる。今般、稼働中の工場において、建物直下の VOC 汚染地盤（VOC：揮発性有機化合物）に対し、本工法を適用した。施工後 6 ヶ月間モニタリングを行い、効果を確認したので報告する。

§ 2. EDC 工法の概要

EDC（Electron Donor Compounds）は、浄化に関わる微生物群の栄養源となる有機物を主成分とした資材（粉体）である。EDC 工法の VOC 分解プロセスを図一1に示す。



図一1 EDC 工法の VOC 分解プロセス

* 技術研究所 技術研究部 環境技術研究課

** 企画技術部 企画技術課

EDC 注入後の初期段階では、地盤に生息する好気性微生物が増殖・活性化し、酸素が消費される。地盤環境は次第に酸素不足となり、好気性微生物は衰退し、嫌気性雰囲気に移り変わる。次の段階として、嫌気性微生物が増殖・活性化し、VOC を分解する微生物群が形成され、VOC の分解が進む。

VOC の一般的な分解経路の例を図-2 に示す。今回の工事で主要な浄化対象であったトリクロロエチレンは、微生物や化学反応等によって脱塩素化され、シス-1,2-ジクロロエチレンおよび 1,1-ジクロロエチレンに分解する。さらに、塩化ビニル、エチレン、エタンへと分解が進み、最終的には二酸化炭素と水および無機塩 (NaCl など) に分解される。EDC はこれらの分解経路における微生物分解を促進するものである。

本工法の特長として次の点が挙げられる。

- ① 注入が容易である。EDC は水溶性で取り扱い易く、単純かつ小規模な注入設備で注入できる。
- ② 地下水流を利用して EDC を拡散できるため、稼働中の工場でも、既存施設を移動・撤去することなく浄化を実施できる。
- ③ 土着の微生物群によって VOC を浄化するため、環境負荷が小さい。
- ④ 豊富な実績 (国内 100 箇所以上) を有する。

§ 3. 工事概要

工事概要を表-1 に示す。本工事は、稼働中の工場建屋の直下に存在する VOC 汚染地盤に対し、約 1 ヶ月間で注入材 (EDC および pH 調整材) を注入した後、6 ヶ月間地下水モニタリングを行い、効果を確認するものである。なお、注入材は、発注者の予算都合により、浄化達成に必要と見込まれた計画量 (24.2 t) の半分に相当する 12.1 t を注入した。

施工フローを図-3 に、EDC 注入の手順を図-4 にそれぞれ示す。はじめに、既往の調査結果を基に、地下水流向と VOC 濃度をふまえて注入地点を 25 箇所設定し、各地点に注入井戸を設置した (図-4 ①、②)。なお、注入地点 25 箇所中 20 箇所は工場建屋内であった。また、注入地点付近に既設井戸がある場合はそれを利用した。次に、井戸の孔内をエアリフトによって洗浄 (図-4 ③) した後、注入プラント (写真-1) を通じて、井戸孔口から EDC 溶液を注入した (図-4 ④、写真-2)。

また、地下水モニタリングは、注入前と注入中および注入後 (6 ヶ月間) に実施した。

§ 4. 地下水モニタリング

(1) モニタリング地点

注入井戸 25 箇所、観測井戸 6 箇所、合計 31 箇所でのモニタリングを行った。

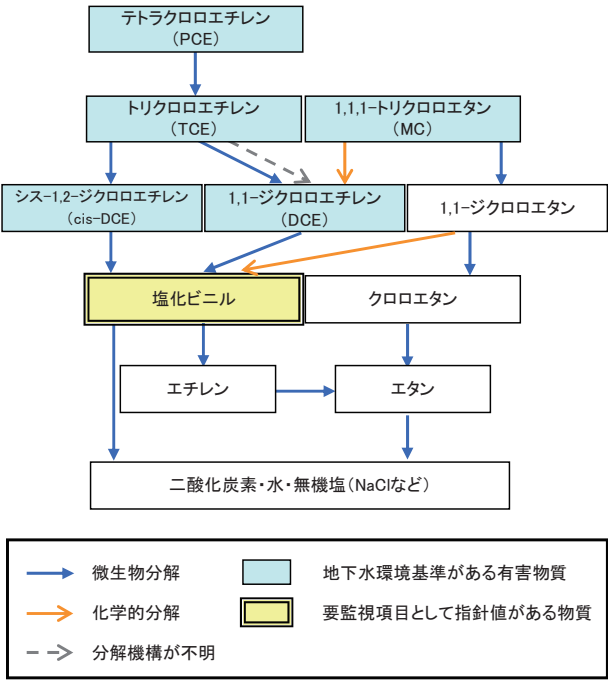


図-2 VOC 分解経路

表-1 工事概要

工事名称	(仮称) EDC 注入工事
工事場所	国内
浄化対象面積	約 3,200 m ²
工 期*	2007 年 12 月 5 日～2008 年 1 月 19 日
工事内容	井戸設置工 ボーリング φ90 mm×9 m×20 本 井戸建込 φ50 mm PVC 管 計 180 m
	EDC 注入工 注入材量 12.1 t (うち EDC 10.5 t, pH 調整材 1.6 t) 注入量 510 m ³
	モニタリング 現地分析 VOC5 項目 (31 箇所×7 回) 他 公定法分析 VOC5 項目 (5 箇所×2 回) 他

注* 工期はモニタリング期間を除く

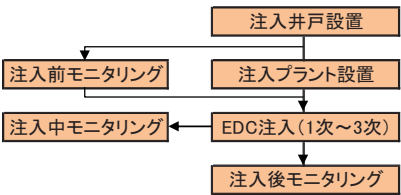


図-3 EDC 注入工事の施工フロー

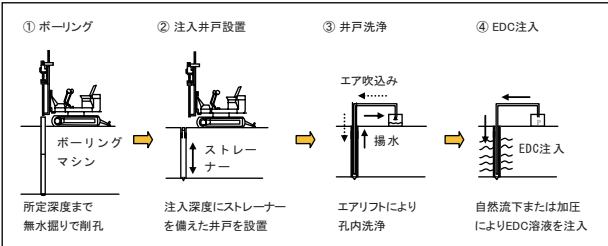


図-4 EDC 注入の手順

(2) モニタリング期間

注入前：2007年12月15日～2007年12月17日

注入中：2007年12月18日～2008年1月19日

注入後：2008年1月23日～2008年7月2日

(3) モニタリング頻度

注入前1回，注入中2回（2次注入直前と3次注入直前），注入終了後6回（月1回）の合計9回実施した（表－2）。

(4) モニタリング項目

1) 浄化効果の確認項目

浄化効果の確認項目を表－3に示す。テトラクロロエチレン（PCE），トリクロロエチレン（TCE），シス-1,2-ジクロロエチレン（cis-DCE），1,1-ジクロロエチレン（DCE），1,1,1-トリクロロエタン（MC）の5物質（以下，VOC5物質と称す）と，分解生成物である塩化ビニルおよびエチレンの計7物質を対象とした。

測定は，多地点における分解傾向を経済的にかつ迅速に把握する目的で現地分析を原則とした（ただし塩化ビニルとエチレンは公定法分析）。また，既往の調査結果をふまえ，T-VOC^{*}が30 mg/l以上検出されたW-28，W-29，W-30およびW-31の4箇所と，表層からの汚染が確認されたW-27を加えた計5箇所（以下，代表井戸と記す）では，地下水基準との比較のため，注入前と注入後6ヶ月後に，公定法分析を合わせて実施した（表－2）。

注^{*}：T-VOCは，ここでは上記VOC5物質のうちMCを除く4物質の地下水濃度の総和を表す。

2) EDC注入の指標項目

EDC注入の指標項目を表－4に示す。嫌気性雰囲気形成を確認するため酸化還元電位（ORP）を，至適分解条件下にあるかどうかを確認するためpHと地下水温を，また，注入後，EDCが維持されているかどうかを確認するため化学的酸素要求量（COD）をそれぞれ指標項目に設定した。また設計仕様に基づき，指標値を設定した。

(5) モニタリング手順

モニタリング手順を図－5に示す。

井戸内洗浄（パージ）は，井戸内の滞留水量の3倍以上を目安に，揚水ポンプまたはベラー（採水器）で揚水した。パージ後に，水温，電気伝導率およびpHを測定し，水質が安定したことを確認した。

現地分析は，地下水を採水後，現地で速やかに実施した。VOCの分析は以下の方法・手順で行った。

- ① 地下水を泡立てないように，ガラス製ねじ口瓶（500 ml）に200 ml採取し，密栓する。
- ② 水槽から瓶を取り出し，30秒間激しく振とうし，2分間静置する。
- ③ 瓶のヘッドスペースに溜まったガスをシリンジで採取し，ガスクロマトグラフ法で測定する。

公定法分析は，地下水を所定の容器に採水後，冷暗保管状態で分析機関に送付し，分析機関にて，所定の試験方法で実施した（表－3，表－4）。



写真－1 注入プラント



写真－2 EDC注入状況

表－2 モニタリング計画概要

時期	頻度	分析方法	地点数	分析項目
注入前	1回	現地分析 ^{*1}	31	VOC 5物質 ^{*4} ，塩化ビニル，エチレン，ORP，pH，COD，地下水温
		公定法分析 ^{*2}	5 ^{*3}	
注入中	2回	現地分析	5 ^{*3}	ORP，pH，COD，地下水温
注入後 1ヶ月後 ～5ヶ月後	月1回 (計5回)	現地分析	31	VOC 5物質，ORP，pH，COD，地下水温
注入後 6ヶ月後	1回	現地分析 ^{*1}	31	VOC 5物質，塩化ビニル，エチレン，ORP，pH，COD，地下水温
		公定法分析 ^{*2}	5 ^{*3}	

注^{*1}：塩化ビニルとエチレンは除く

^{*2}：ORPと地下水温は除く

^{*3}：代表井戸5箇所

^{*4}：PCE，TCE，cis-DCE，DCE，MCの5物質

表－3 浄化効果の確認項目

物質項目	地下水基準 (mg/l)	分析試験方法	
		現地分析	公定法分析
テトラクロロエチレン(PCE)	0.01以下	ガスクロマトグラフ(PID)法	平成15年環境省告示第17号
トリクロロエチレン(TCE)	0.03以下		
シス-1,2-ジクロロエチレン(cis-DCE)	0.04以下		
1,1-ジクロロエチレン(DCE)	0.02以下		
1,1,1-トリクロロエタン(MC)	1以下	ガスクロマトグラフ(ELCD)法	
塩化ビニル	—	—	平成16年環水企発第040331003号付表1
エチレン	—	—	ガスクロマトグラフ(FID)法

表－4 EDC注入の指標項目

指標項目	項目設定理由	指標値	分析試験方法
酸化還元電位(ORP)	嫌気性雰囲気の確認	－150 mV以下	白金電極法
pH	至適分解条件の維持	6.0～9.6	現地：ガラス電極法 公定法：JIS K 0102 12.1
化学的酸素要求量(COD)	EDCの維持	100 mg/l以上	現地：バックテスト 公定法：JIS K 0102 17
地下水温	至適分解条件の維持	10℃以上	JIS K 0102 7.2

§ 5. 結果

5-1 VOC5 物質のモニタリング結果

(1) 現地分析結果

EDC 注入後 6 ヶ月後の地下水の VOC 現地分析結果を表一5 に示す。MC を除く 4 物質（PCE, TCE, cis-DCE および DCE）は、いずれも基準超過地点数が注入後 6 ヶ月後に減少した。例えば、PCE は、注入前に基準超過地点が 10 地点存在したが、注入後 6 ヶ月後に 2 地点に減少した。また、TCE は、注入前に基準超過地点が 27 地点存在したが、注入後 6 ヶ月後に 11 地点に減少した。なお、MC は、注入前と注入後 6 ヶ月後のいずれにおいても基準超過地点はみられなかった。

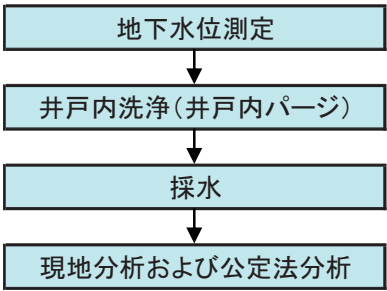
次に、VOC 濃度の経時的変化の例を図一6 に示す。TCE と、その分解生成物である cis-DCE および DCE に着目すると、TCE は 2 ヶ月後までに大きく減少し、その後、6 ヶ月後まで緩やかに減少した。DCE は 6 ヶ月後ま

で緩やかに減少した。cis-DCE は、1 ヶ月後に一旦増加し、その後、緩やかに減少した。

(2) 公定法分析結果

代表井戸 5 箇所を対象に実施した VOC5 物質および分解生成物（塩化ビニル、エチレン）の公定法分析結果を表一6 に示す。

TCE は、3 箇所地下水基準を満足しなかったものの、



図一5 モニタリング手順

表一5 地下水の VOC 現地分析結果

単位：mg/ℓ

井戸名	採水時期	PCE	TCE	cis-DCE	DCE	MC
W-1	注入前	0.010	28*1	21	0.72	ND*2
	注入後 6 ヶ月後	0.007	0.008	0.66	0.098	0.008
W-2	注入前	0.001	0.004	1.4	0.016	ND
	注入後 6 ヶ月後	ND	0.003	0.21	ND	ND
W-3	注入前	ND	0.92	0.20	0.007	ND
	注入後 6 ヶ月後	ND	0.009	0.010	0.002	ND
W-4	注入前	ND	0.017	0.027	ND	ND
	注入後 6 ヶ月後	ND	ND	0.002	ND	ND
W-5	注入前	0.001	0.14	12	0.086	ND
	注入後 6 ヶ月後	ND	0.001	0.073	0.001	ND
W-6	注入前	ND	0.075	12	0.085	ND
	注入後 6 ヶ月後	ND	0.023	0.061	0.003	ND
W-7	注入前	ND	0.025	1.7	ND	ND
	注入後 6 ヶ月後	ND	0.001	0.023	ND	ND
W-8	注入前	ND	12	9.4	0.32	ND
	注入後 6 ヶ月後	ND	1.9	4.0	0.20	0.023
W-9	注入前	ND	16	13	0.41	ND
	注入後 6 ヶ月後	ND	0.021	1.1	0.053	ND
W-10	注入前	ND	15	10	0.10	ND
	注入後 6 ヶ月後	ND	0.45	2.9	0.048	ND
W-11	注入前	ND	10	6.7	0.49	ND
	注入後 6 ヶ月後	ND	0.024	0.69	0.028	ND
W-12	注入前	0.010	16	26	1.2	0.18
	注入後 6 ヶ月後	ND	0.002	0.010	ND	ND
W-13	注入前	0.004	4.5	15	0.65	ND
	注入後 6 ヶ月後	0.001	0.004	0.18	0.042	ND
W-14	注入前	0.006	7.4	26	1.9	0.12
	注入後 6 ヶ月後	0.002	0.004	3.3	0.18	0.015
W-15	注入前	0.057	19	13	0.45	0.28
	注入後 6 ヶ月後	ND	0.002	0.021	0.004	ND
(参考)地下水基準		0.01 以下	0.03 以下	0.04 以下	0.02 以下	1 以下

注 *1：塗色部下線付のデータは、参考にした地下水基準を超過したことを示す

*2：ND は不検出（定量下限値未満）を表す

井戸名	採水時期	PCE	TCE	cis-DCE	DCE	MC
W-16	注入前	ND	2.5	6.1	0.14	ND
	注入後 6 ヶ月後	0.036	18	17	0.53	ND
W-17	注入前	ND	10	6.7	0.49	ND
	注入後 6 ヶ月後	0.084	16	11	0.28	ND
W-18	注入前	0.053	6.2	3.3	0.048	ND
	注入後 6 ヶ月後	ND	0.001	0.010	ND	ND
W-19	注入前	0.012	6.0	9.4	0.68	0.49
	注入後 6 ヶ月後	0.001	0.008	0.066	0.043	0.007
W-20	注入前	0.036	7.1	9.8	0.058	ND
	注入後 6 ヶ月後	ND	0.002	0.010	0.002	ND
W-21	注入前	0.030	0.030	7.6	0.098	ND
	注入後 6 ヶ月後	0.001	0.010	0.11	0.014	ND
W-22	注入前	ND	14	8.6	0.22	ND
	注入後 6 ヶ月後	0.005	19	13	0.66	ND
W-23	注入前	0.087	15	8.4	0.13	ND
	注入後 6 ヶ月後	0.002	0.047	1.8	0.075	ND
W-24	注入前	0.039	0.65	1.5	0.039	ND
	注入後 6 ヶ月後	ND	0.004	0.036	ND	ND
W-25	注入前	ND	0.35	0.62	0.009	ND
	注入後 6 ヶ月後	0.003	0.59	4.1	0.045	ND
W-26	注入前	0.010	0.30	0.71	0.010	ND
	注入後 6 ヶ月後	0.001	0.30	0.77	0.003	ND
W-27	注入前	0.017	29	27	3.6	ND
	注入後 6 ヶ月後	ND	0.76	9.5	0.45	0.009
W-28	注入前	0.007	0.60	9.0	0.093	ND
	注入後 6 ヶ月後	ND	0.009	0.81	0.032	ND
W-29	注入前	0.034	30	12	1.5	0.44
	注入後 6 ヶ月後	0.005	1.1	11	0.44	0.012
W-30	注入前	0.008	5.7	3.9	0.14	ND
	注入後 6 ヶ月後	ND	0.45	1.5	0.20	ND
W-31	注入前	0.22	22	13	0.46	ND
	注入後 6 ヶ月後	ND	0.007	1.0	0.018	ND
(参考)地下水基準		0.01 以下	0.03 以下	0.04 以下	0.02 以下	1 以下

2 箇所（W-28, W-31）で同基準を満足した。中でも W-31 では、注入前 60 mg/ℓ を検出したのに対し、注入後 6 ヶ月後には定量下限値未満（0.003 mg/ℓ 未満）であった。また、既往の調査で TCE が最大レベルを示した W-27 と W-29（注入前それぞれ 120 mg/ℓ, 110 mg/ℓ を検出）においても、それぞれ 3.9 mg/ℓ, 2.3 mg/ℓ に減少した。この 2 箇所の井戸を例にとると、TCE 濃度の減少に伴い、分解生成物である cis-DCE、塩化ビニルおよびエチレンの濃度が増加した。cis-DCE に着目すると、W-27 では注入前 120 mg/ℓ であったが、注入後 6 ヶ月後には 200 mg/ℓ に増加した。

これらのことから、EDC の注入によって効果が得られ、VOC の浄化が進みつつあると考えられる。

5-2 指標項目のモニタリング結果

モニタリングの結果、ORP, pH, COD は指標値を外れることがあった。

(1) ORP

注入前から EDC 注入後 1 ヶ月後まで（12/17～2/14）の代表井戸における ORP モニタリング結果を図-7 に示す。ORP は、指標値（-150 mV 以下）を継続的に維持したのは、注入初期の 3 週間（12/18～1/10）のみであった。

EDC の分解メカニズムは還元雰囲気での脱塩素化である。これをふまえると、ORP が継続的に指標値を維持できるように、EDC の注入方法（濃度、注入量、期間および頻度）等を検討する必要があると考える。最適条件を見出し、それを維持することによって、さらに効果を引き出せる可能性があると考えられる。

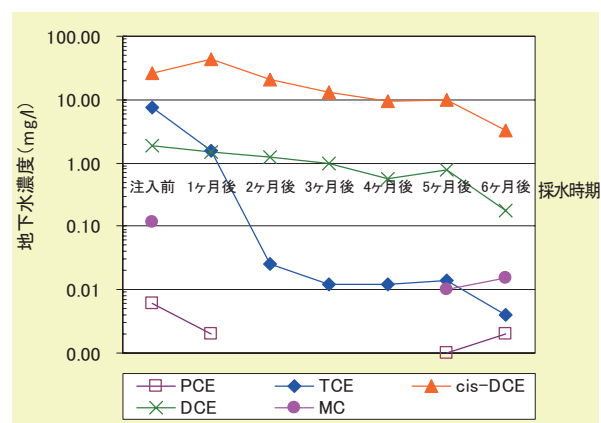


図-6 VOC モニタリング結果（調査地点 W-14）

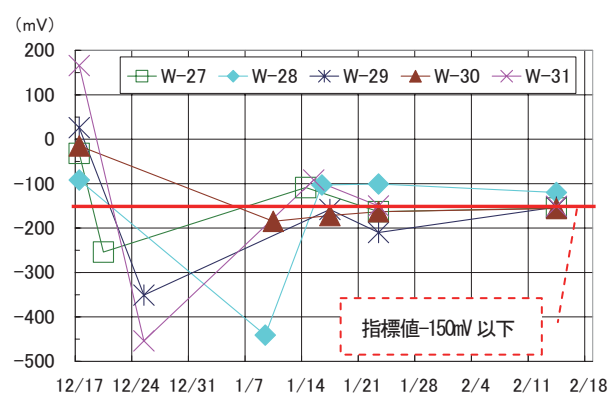


図-7 ORP モニタリング結果（代表井戸）

表-6 地下水の VOC および分解生成物の公定法分析結果（代表井戸）

井戸名	採水時期	PCE	TCE	cis-DCE	DCE	MC	塩化ビニル	エチレン
		mg/ℓ	mg/ℓ	mg/ℓ	mg/ℓ	mg/ℓ	mg/ℓ	mg/ℓ
W-27	注入前	0.004	120 ^{*1}	120	2.9	7.3	8.4	0.62
	6ヶ月後	0.001	3.9	200	1.3	3.6	15	2.1
W-28	注入前	<0.001	0.40	18	0.047	0.002	26	3.0
	6ヶ月後	<0.001	0.004	2.1	0.005	<0.001	1.7	0.32
W-29	注入前	<0.05 ^{*2}	110	23	12	9.6	7.5	0.29
	6ヶ月後	0.002	2.3	74	0.48	1.6	13	0.57
W-30	注入前	<0.001	9.7	5.4	0.095	0.15	6.8	0.50
	6ヶ月後	<0.001	0.64	4.1	0.057	0.019	1.0	0.15
W-31	注入前	0.17	60	29	0.36	0.23	5.3	0.24
	6ヶ月後	<0.001	<0.003	4.4	0.007	<0.001	1.3	0.064
地下水基準		0.01 以下	0.03 以下	0.04 以下	0.02 以下	1 以下	—	—

注 *1：塗色部下線付のデータは、地下水基準超過を表す

*2：共存物質による測定妨害が生じたため、定量下限値を変更した

(2) pH

注入前から EDC 注入後 1 ヶ月後まで (12/17~2/14) の代表井戸における pH モニタリング結果を図-8 に示す。pH は、注入終了直後まで (12/18~1/23) は指標値 (6.0~9.6) を満足したが、その後は、W-31 を除く 4 箇所では指標値 6.0 を下回ることがあった。pH の低下は、EDC の主成分である有機物が微生物によって分解され、有機酸が発生したことに起因すると考えられる。

(3) COD

COD は、代表井戸では、W-31 を除く 4 箇所では注入後 6 ヶ月後まで指標値 (100 mg/ℓ 以上) を満足した。W-31 では 5 ヶ月後まで指標値を満足した。その他の注入井戸では、1 ヶ月後までは全箇所では指標値を満足したが、注入後 2 ヶ月後以後、指標値を下回る井戸があった。

(4) 地下水温

地下水温は、モニタリング期間中、全ての井戸で指標値 (10℃ 以上) を満足した。

§ 6. 考察

今後、浄化を効率化させるためには、地下水位付近に存在する油を揚水等により除去する措置等が考えられる。注入前に TCE が高濃度を示したにも関わらず、注入後 6 ヶ月後に地下水基準を達成した W-31 では、現地分析の結果、注入前の TCE は 22 mg/ℓ であったが、注入後 1 ヶ月で 1 mg/ℓ オーダーを下回り (0.91 mg/ℓ)、2 ヶ月後には基準を満足した。このことから、W-31 での効果は短期間で現れたといえる。ここで、代表井戸の地下水を対象とし、油膜・油臭の観察を行った結果を表-7 に示す。W-31 は、注入前と注入後 6 ヶ月後ともに油膜・油臭がなかったことから、油の影響が少ない地点であったと考えられる。一方、注入後 6 ヶ月後に依然として数 mg/ℓ オーダーの TCE が残存した W-27 および W-29 (表-6) では、注入前に油膜・油臭が確認され、注入後 6 ヶ月後においても依然として油膜・油臭が確認されたことから、油の影響を受け続けている地点と考えられる。VOC は水よりも油に溶けやすいため、水に溶解した VOC の分解が進む一方で、油に溶解した VOC が濃度平衡のため水に溶出し、VOC 濃度が低減しにくくなる可能性が考えられる。また、油の存在によって VOC の微生物分解が阻害されている可能性も考えられる。W-27 および W-29 においては、これらの原因によって、VOC の分解効果が現れにくい状況にある可能性が考えられる。

§ 7. まとめ

・注入した EDC は計画量の半分であったが、注入による効果が確認された。しかしながら、依然として基準を達成していない地下水が存在するため、今後もモニタリングを継続する必要があると考えられる。

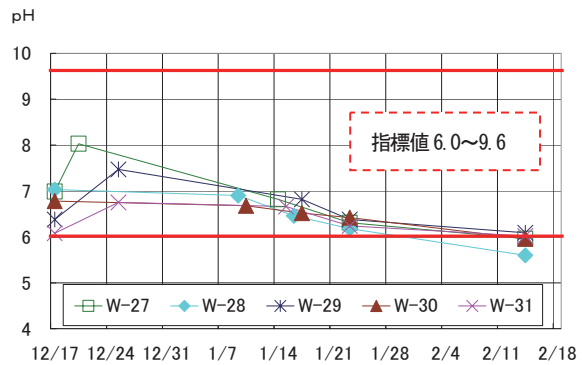


図-8 pH モニタリング結果 (代表井戸)

表-7 地下水の油膜・油臭観察結果 (代表井戸)

井戸名	油 膜			油 臭		
	注入前	注入後 6ヶ月後	備 考	注入前	注入後 6ヶ月後	備 考
W-27	あり	あり	油層あり	あり	あり	注入前と同様、強い油臭あり
W-28	あり	あり		あり	なし	注入前と異なり、油臭なし
W-29	あり	あり	油膜の程度が低下	あり	あり	
W-30	なし	あり	注入前と異なり、油膜あり	なし	なし	
W-31	なし	なし		なし	なし	

- ・油分の共存によって、VOC の分解効果が現れにくくなっている可能性がある。
- ・EDC 注入の指標項目の中で、ORP をはじめ、指標値を外れる項目があった。今後の課題として、継続的に指標値を維持できるように、EDC の注入方法等を検討する必要がある。

§ 8. おわりに

近年、我が国では、「土壤汚染の存在あるいはその懸念から、本来その土地が有する潜在的価値よりも著しく低い用途あるいは未利用となった土地」の問題、いわゆるブラウンフィールド問題が顕在化している。この問題を解決する手段の一つとして、低コストで実施できる原位置浄化技術の適用が考えられ、そのニーズは今後さらに高まると考えられる。

今回の原位置バイオレメディエーションの施工実績をふまえ、抽出した技術課題を改善し、技術の向上を図り、競争力を高めていく所存である。

参考文献

- 1) (社)土壤環境センター：土壤汚染状況調査・対策に関する実態調査結果 (平成 19 年度), 2008
- 2) 山口重徳他：水溶性栄養源によるクロロエチレン類の逐次分解の検証, 第 12 回地下水・土壤汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, pp. 281-284, 2006