

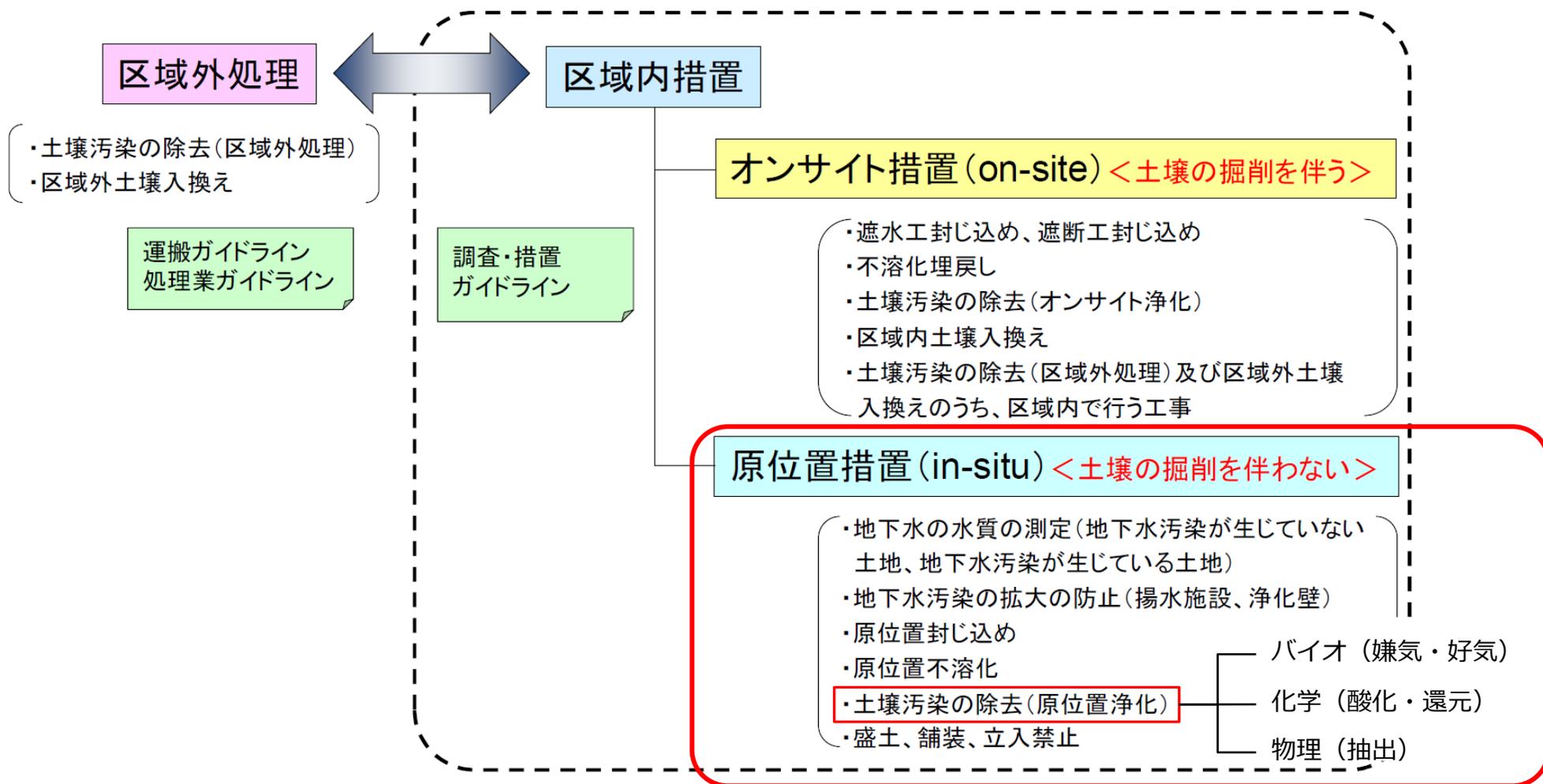
狭隘な土地におけるバイオ等による 原位置浄化事例の紹介

エコサイクル株式会社
技術研究本部
前田 信吾

1. 原位置浄化について
2. 事例紹介
3. 狭隘な土地における土壌汚染対策の留意点

1. 原位置浄化について

1.1 各種土壌地下水汚染対策

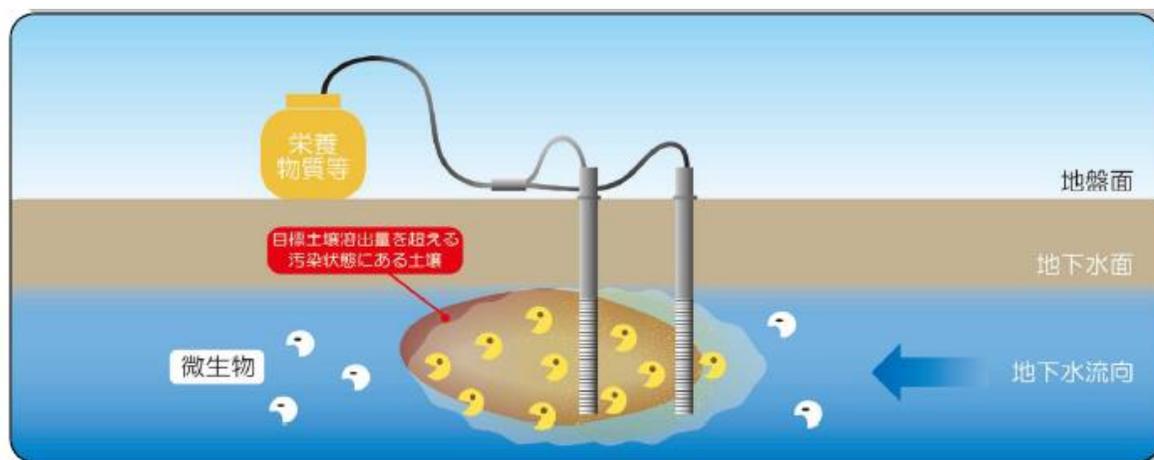


出典：環境省 区域内措置優良化ガイドブックに一部追記

1.2 原位置分解 - 生物（バイオ）処理（土壌汚染の除去）

第一種	第二種	第三種	措置の完了後
○	△（シアン化合物）	△	形質変更時要届出区域 又は区域指定の解除

微生物等の**生物学的作用**を利用して、特定有害物質の分解を行う措置です。井戸等を利用して土壌中に酸素（通常は空気を使用）や有機物、栄養塩等の栄養物質等を注入することにより、土壌中の微生物を活性化させ、特定有害物質を分解します。また、特定有害物質の分解に効果を発揮する微生物を注入する場合があります。生物処理には大きく分けて、「バイオスティミュレーション」と「バイオオーグメンテーション」があります。生物処理は、酸素がある**好氣的条件下**で行うものや酸素がない**嫌氣的条件下**で行うもの等の種類があり、それぞれの種類によって**分解できる対象物質が異なります**。したがって、対象物質の分解が可能となることが明らかとなっている生物処理を適切に選定することが重要です。（酸素を供給するためエアースパーキングのシステムを用いた生物処理は、バイオスパーキングと呼びます。）



出典：環境省 区域内措置優良化ガイドブック

この措置の完了後は、要措置区域の指定は解除されます。ただし、土壌溶出量基準ではない目標土壌溶出量又は地下水基準ではない目標地下水濃度を設定した場合にあっては、改めて形質変更時要届出区域に指定されます。

1.3 原位置分解 – 化学処理（土壌汚染の除去）

第一種	第二種	第三種	措置の完了後
○	△（シアン化合物）	△	形質変更時要届出区域 又は区域指定の解除

原位置化学処理とは、特定有害物質を分解する薬剤を土壌に加え、**化学的に分解**する措置です。特定有害物質の分解には、酸化分解反応や還元分解反応を利用するのが一般的です。

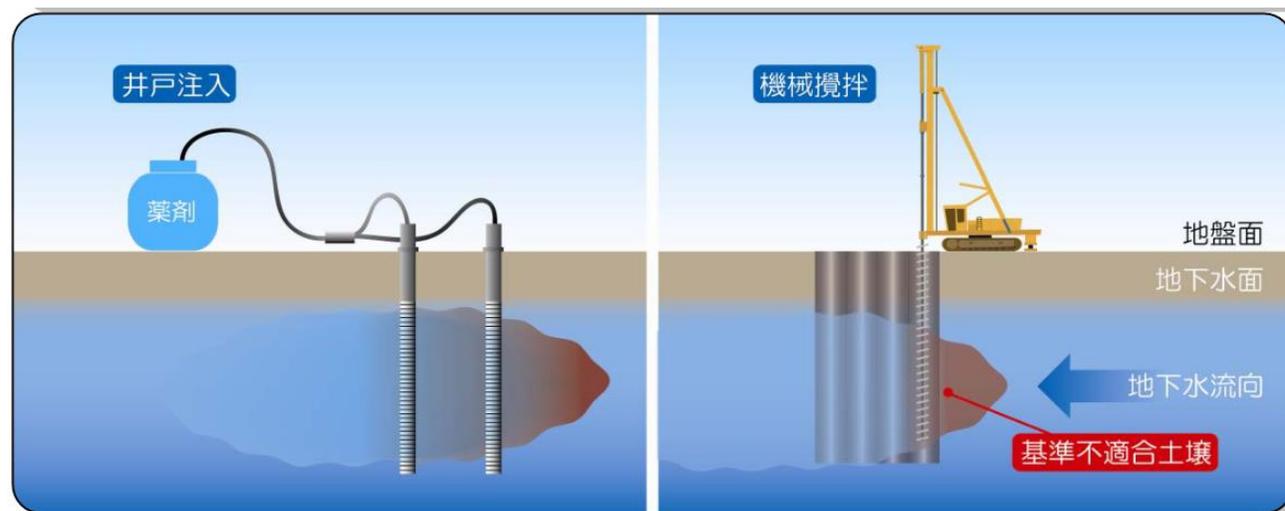
○酸化分解反応

酸化剤としては、**オゾン**や**過酸化水素**、過マンガン酸塩、**過硫酸塩**等があります。フェントン法では、過酸化水素及び鉄塩を使用します。これらの薬剤により、第一種特定有害物質やシアン化合物を**酸化分解**します。

○還元分解反応

還元剤としては、**鉄粉**等があります。

薬剤の注入工法としては、井戸からの注入（井戸注入）、ボーリングロッド等からの直接注入、及び攪拌混合機械を用いた直接混合等があります。



出典：環境省 区域内措置優良化ガイドブック

この措置の完了後は、要措置区域の指定は解除されます。ただし、土壌溶出量基準ではない目標土壌溶出量又は地下水基準ではない目標地下水濃度を設定した場合には、改めて形質変更時要届出区域に指定されます。

1.4 原位置浄化のイメージ

掘削除去	原位置浄化	
	化学処理	バイオ処理
汚染物質を土壌ごと掘り出して取り除く	汚染物質を土壌中で化学的に分解	汚染物質を土壌中の微生物を活性化してバイオ分解

医療に例えると

外科手術 (患部を摘出)	西洋薬 (症状・病気に対して強い効果で治癒)	漢方 (生命本来の力を手助けして自然な状態に)
-----------------	---------------------------	----------------------------

1.5 原位置工法のメリット

原位置工法は、掘削除去のように汚染土壌を移動させることなく、その場所で処理をする手法です。
バイオ処理、化学酸化処理などが代表的な工法です。

① 低コスト

原位置工法は、土壌を移動させる必要がなく、注入井戸と簡易な注入設備での対応が可能であり、大型の重機が不要であることから、**掘削除去に比べて1/2～1/3程度**の低コストです。

② 稼働中工場でも適用可能

掘削除去は、大型の重機を使用し、地上建造物があると、解体しなければ対応できません。一方、原位置工法は、小規模設備での施工が可能であり、施工位置を柔軟に設定できるため、**稼働中の工場でも事業活動を阻害せずに対策**を実施することが可能です。

③ ホットスポット対策＋自然減衰MNAによる対策コスト削減

汚染源（高濃度）部位を先行して処理した後、しばらく時間をおくと、地下水流や土着の微生物など自然の浄化作用により汚染が拡散している周辺域の汚染濃度が低下、低濃度域の範囲が**自然に縮小**します（この手法を**MNA**と呼びます）。

一般的に数年単位の時間がかかる手法ですが、MNAによる汚染範囲縮小の後に対策を実施することで、**対策コストを30～50%程度削減**することが可能です。

1.6 SDGsの取組み・環境負荷の小さい土壌汚染対策（原位置分解）

原位置対策はCO₂削減に寄与します

【CO₂排出の削減】

掘削除去と比べ、ダンプでの運搬・処分が無くなるため、CO₂排出量廃棄物量の削減が可能。

揚水処理と比較してポンプ稼働での電気利用のCO₂排出量の削減ができる。

敷地境界で汚染流出防止対策をした場合のCO₂量の排出量



※バリア長40m×深度19m(砂質土)×10年間での試算

汚染源対策を行う場合のCO₂量の排出量



※対策面積1,000㎡×層厚8m(GL-7~15m)×VOC汚染濃度1mg/L程度での試算

原位置工法の活用によりSDGsの取組みが推進されます。

バイオ浄化による土壌の健全化



地球環境に優しい工法の提供

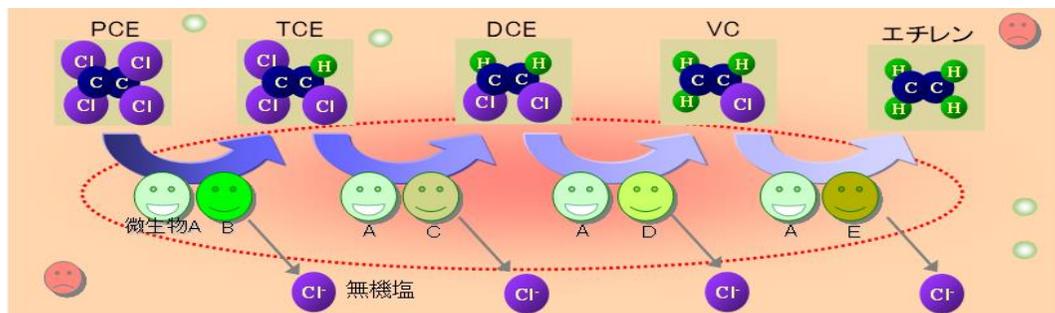


1.7 バイオ栄養源EDCの概要

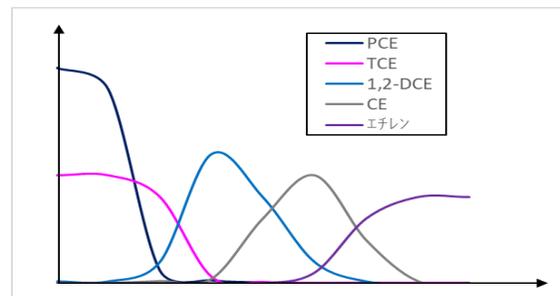


EDCは、VOC分解に関わる有効微生物群（コンソーシアム）を素早く形成し、**短期間**で効果的にVOC汚染を分解します

EDC-Eは現場状況に応じてEDCと併用して使用します。特に、VOC濃度が高い現場、沿岸部、土質がシルト・粘土の現場において効果的です。



微生物によるVOCの分解は、絶対嫌気性微生物による還元的脱塩素化により進行します。還元的脱塩素化は、嫌気性微生物がエネルギーを獲得する過程においてVOCの塩素と水素を一つずつ置換していく反応です。



初めに親物質のテトラクロロエチレン、トリクロロエチレンを分解します。土壤に吸着している部分も分解するので、生成物のジクロロエチレン、クロロエチレンが一旦上昇します。その後分解に転じ、最終的にエチレンとなります。

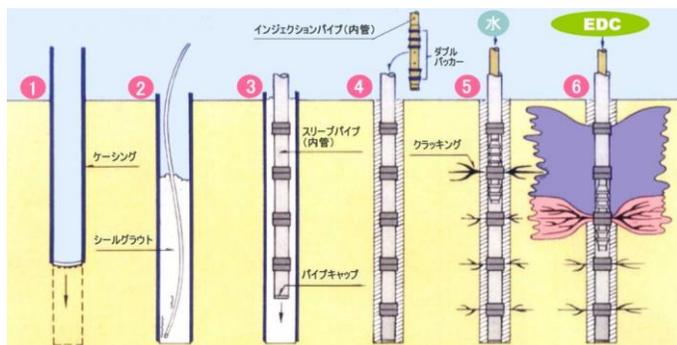
1.8 原位置バイオ浄化の施工要領（例）

注入井戸設置

- 機械搬入
- ↓
- プラント据付
- ↓
- 足場架設
- ↓
- 機械準備
- ↓
- 削孔
- ↓
- シールグラウト注入
- ↓
- 注入外管建込
- ↓
- ケーシング引抜
- ↓
- 器具洗浄
- ↓
- プラント解体
- ↓
- 機械搬出

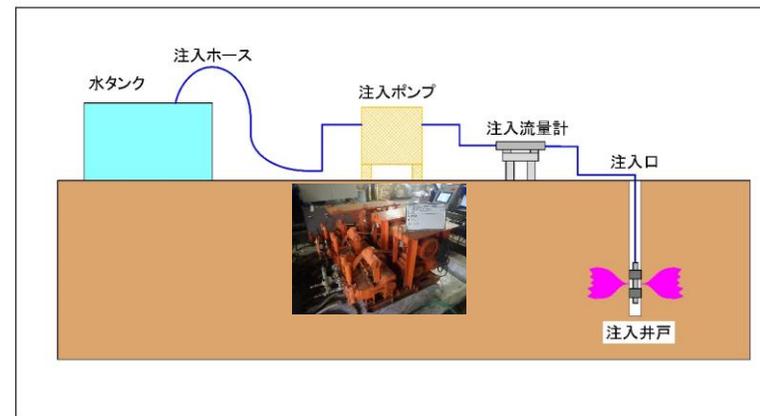


注入井戸設置



注入作業

- 機械搬入
- ↓
- プラント据付
- ↓
- 足場架設
- ↓
- 機械準備
- ↓
- 注入
- ↓
- 器具洗浄
- ↓
- プラント解体
- ↓
- 機械搬出



注入プラント①



注入プラント②



注入配管①

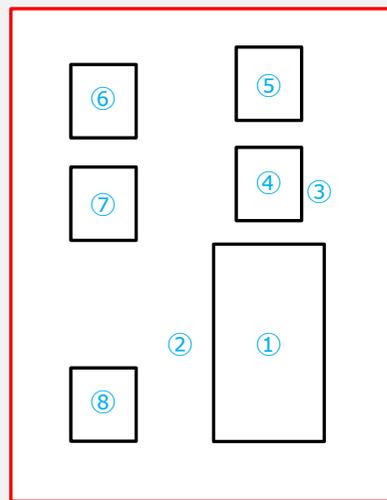


注入配管②

1.9 施工機材とスペース（例）

井戸設置

ECO-1V または同等機種



10m×6m程度

- ①ボーリングマシン
- ②オペレーター
- ③助手
- ④作業台
- ⑤洗い場
- ⑥コア箱
- ⑦ケーシングロッド
- ⑧消耗品等

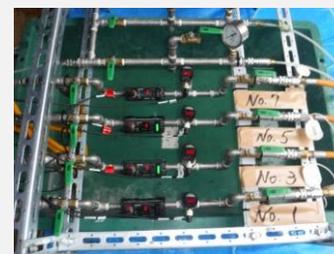
注入作業



薬液タンク等



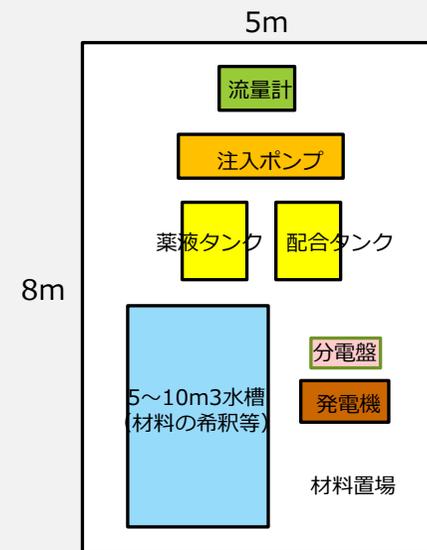
注入機器



注入ポンプ・バルブ類



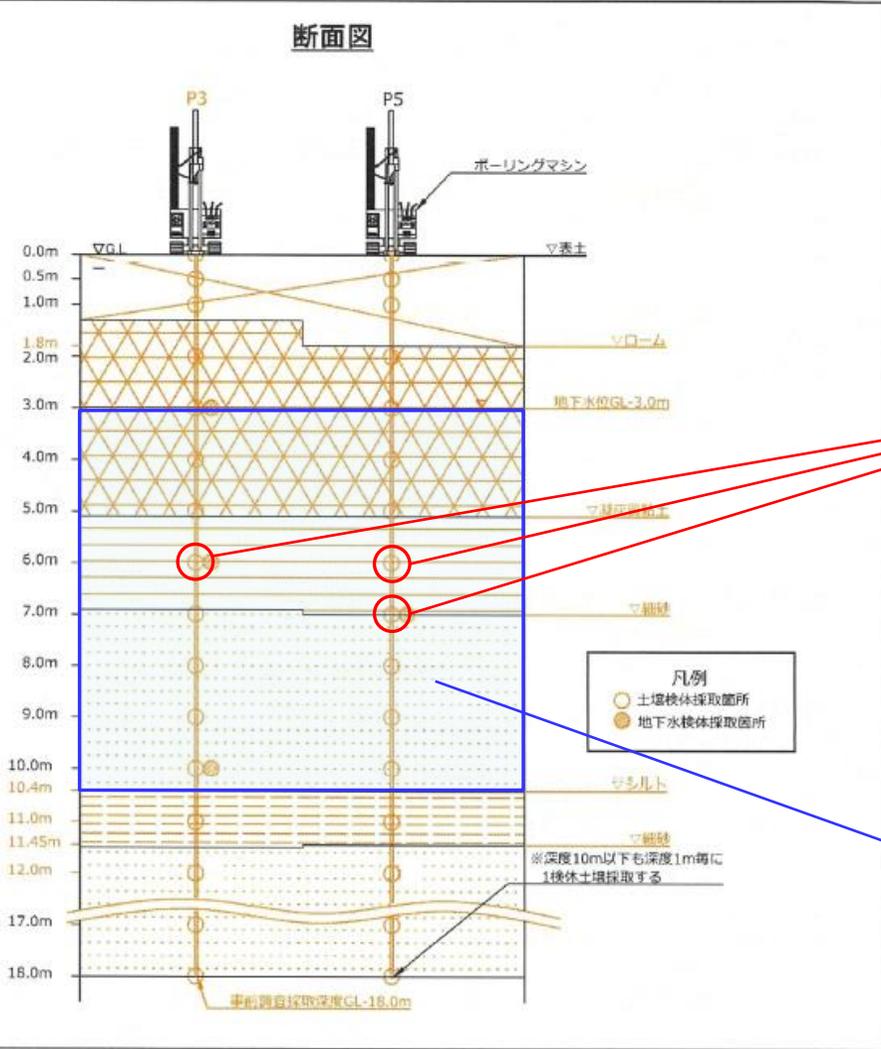
5~10m³水槽
(材料の希釈等)



2. 事例紹介

2.1 狭隘地における事例① ～化学酸化処理の事例～

2.1.2 汚染状況



土壌汚染

採取深度 (GL -m)	シス-1,2-ジクロロエチレン	シス-1,2-ジクロロエチレン
位置	P3	P5
0.05	N.D.	N.D.
0.5	N.D.	N.D.
1.0	N.D.	N.D.
2.0	N.D.	N.D.
3.0	N.D.	N.D.
4.0	N.D.	N.D.
5.0	0.011	N.D.
6.0	0.12	0.14
7.0	0.009	0.065
8.0	N.D.	0.011
9.0	0.031	0.013
10.0	0.003	0.002
11.0	N.D.	0.002
旧基準値	0.04 以下	0.04 以下

地下水汚染

位置	採水深度 (GL -m)	シス-1,2-ジクロロエチレン	クロロエチレン	1,1-ジクロロエチレン	テトラクロロエチレン	トリクロロエチレン
P3	3.0	N.D.	N.D.	N.D.	0.0072	0.0072
P3	6.0	0.076	0.076	N.D.	0.0023	N.D.
P3	10.0	0.49	0.018	N.D.	0.022	0.012
P5	7.0	5.0	0.0069	0.012	1.6	0.97
	定量下限値	0.002	0.0002	0.002	0.0005	0.002
	基準値	旧基準値 0.04 以下	0.002 以下	0.1 以下	0.01 以下	0.03 以下

2.1.3 当該地における対応ポイント ～手法の選定～

指示措置：原位置封じ込めまたは遮水工封じ込め

将来的な土地売買の可能性を見据えて「土壤汚染の除去」を選択

事前調査（土壌・地下水汚染状況の確認）

- ✓ 地表から6mと汚染物質が比較的深い位置で確認
- ✓ 地下水汚染あり

掘削除去 → 原位置処理（化学酸化剤の攪拌混合）

- ✓ 15m×5mと非常に狭い土地である
- ✓ 道路との高低差が2m程度ある
- ✓ 住宅地（民家等）に近接している
- ✓ 対象土壌が凝灰質粘土

土壤の攪拌混合に使用する重機の搬入・現地での取り回しが困難・周辺への影響を最小化

地盤が固く混ぜにくい

原位置処理（化学酸化剤の注入）

標尺	層厚	深	柱状	土質	色	相対	相対	記	孔内水位 m / 測定月日
m	m	m	m	区分	調度	調度	調度	事	
				埋土・凝灰質粘土	暗褐色	粘	粘	粘性土主体、暗褐色、含水小位、粘性中位、所々小礫混入。コップ1杯程度混入。0.50~1.00m迄、褐色、1.00m以深、暗褐色。	
	1.10	1.80		埋土	暗褐色	粘	粘		
				コト	褐色	粘	粘	シルト状を呈する。概ね均質である。少量の細砂分が混じる。含水比は中位～やや高い。4.6~5.1m区間は含水小位。色調不均一。粘性大位。所々酸化物混入。	1/29 3.10
	3.30	5.10		凝灰質粘土	暗褐色	粘	粘	不均質。含水中位、粘性小位。所々有機物少量混入。	
	1.50	7.00		凝灰質粘土	暗褐色	粘	粘	砂分が混じる粘土。砂分は細砂主体。	
	0.20	7.20		凝灰質粘土	暗褐色	粘	粘		
				凝灰質粘土	暗褐色	粘	粘		
	2.10	9.10		凝灰質粘土	暗褐色	粘	粘	粒径ほぼ均一。含水大位。GL-7.80~8.30m迄、褐色。GL-8.30m以深、暗褐色。	
	8.80	8.80		凝灰質粘土	暗褐色	粘	粘	細砂主体、粒径不均一。全体に貝殻片混入。φ2~30mm玉円礫及び垂角礫少量混入。	



2.1.4 ダブルパッカー注入について ～粘性土対応～

ダブルパッカー注入とは、ボーリング機でサイト地面に孔を掘り、そこに加圧注入用の二重管を設置し、深度毎に薬剤を圧力をかけて注入します。

加圧注入により透水性の低い粘性土に対応できること、深度毎に注入が可能で液が浸透しにくく汚染がたまって濃度が高くなりがちな粘性土の深度を狙って注入が可能なおから、粘性土層がある現場において有効な注入方法です。

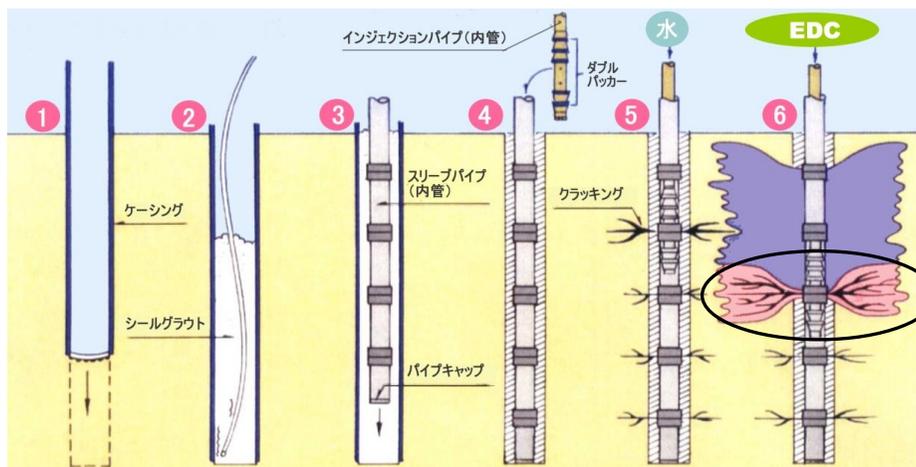


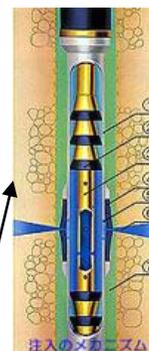
図. ダブルパッカー注入イメージ



注入外管・内管からの送水状況



注入口からの送水状況



注入のメカニズム



スポットで実施する場合の小規模設備



稲働工場内の土壌浄化の注入状況



稲働工場内の注入プラント状況

加圧注入

粘性土、多少の粒子状材料も注入OK

深度ごとに注入

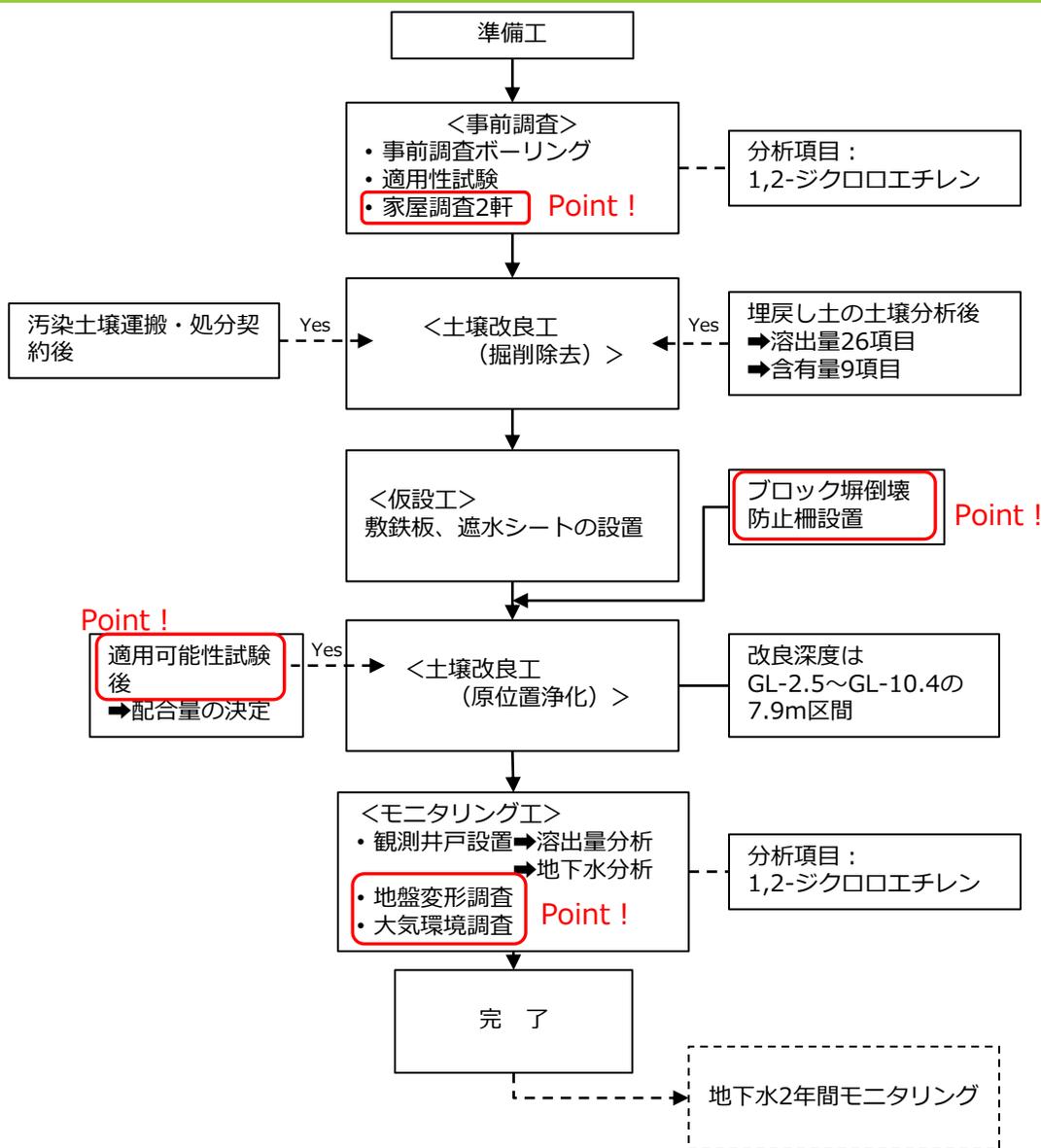
汚染濃度などに応じて深度方向に注入量を配分可能

+

大規模な設備不要

地上部は、注入液調整タンク、送液ポンプ・ホース等面積：数m×数m

2.1.5 対策の流れと狭隘地の対応



対象地が

- ・住宅に隣接していること
- ・ブロック塀が近接していること

から「**周辺の家屋調査**」の実施、「**防止柵の設置**」をしたうえで対策工事を実施しました。

対象物質が揮発性物質であることから「**大気環境調査**」を実施しました（ガス検知管によるVOC測定）

施工後に工事の影響により地盤が変形していないことを「**地盤変形調査**」により確認しました。

対象地における化学酸化剤、レシピを「**事前のラボ試験**」により確認して配合を決定しました（適切でないと浄化に失敗）。

2.1.6 土壤改良工（原位置浄化） 平面図・断面図

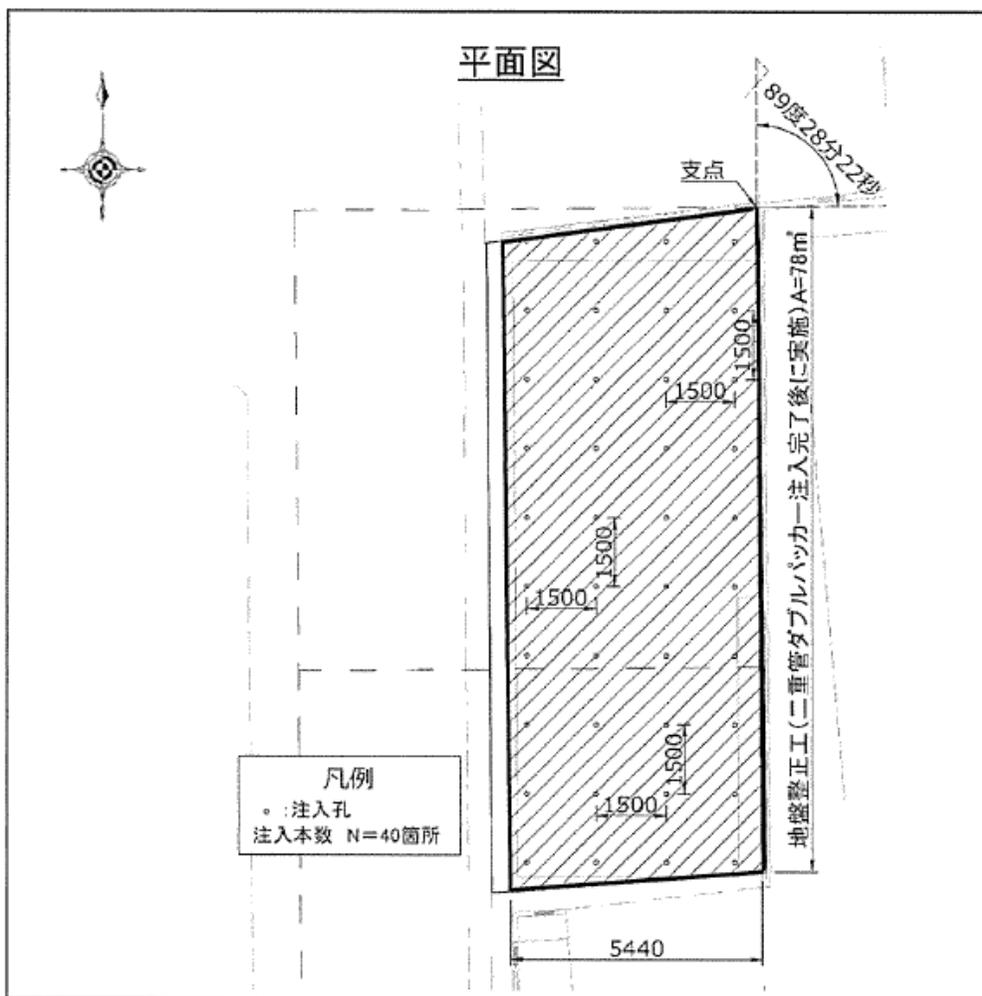


図 3.4 土壤改良工（原位置浄化）平面図

1.5m間隔で碁盤目状に注入管を配置し、地下2.5m～10mの地下水帯に注入

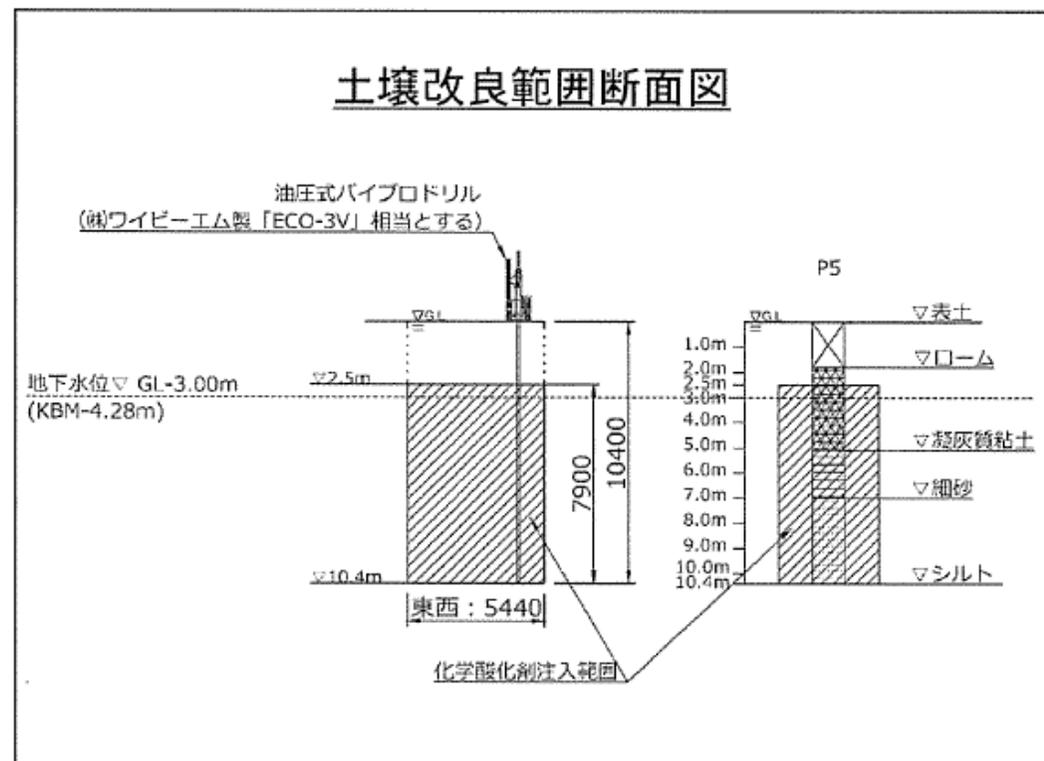


図 3.5 土壤改良工（原位置浄化）断面図 S=Free

2.1.7 現場写真



注入管位置出し



注入管設置



注入管設置完了①



注入管設置完了②



注入液作成



注入

2.1.8 浄化確認

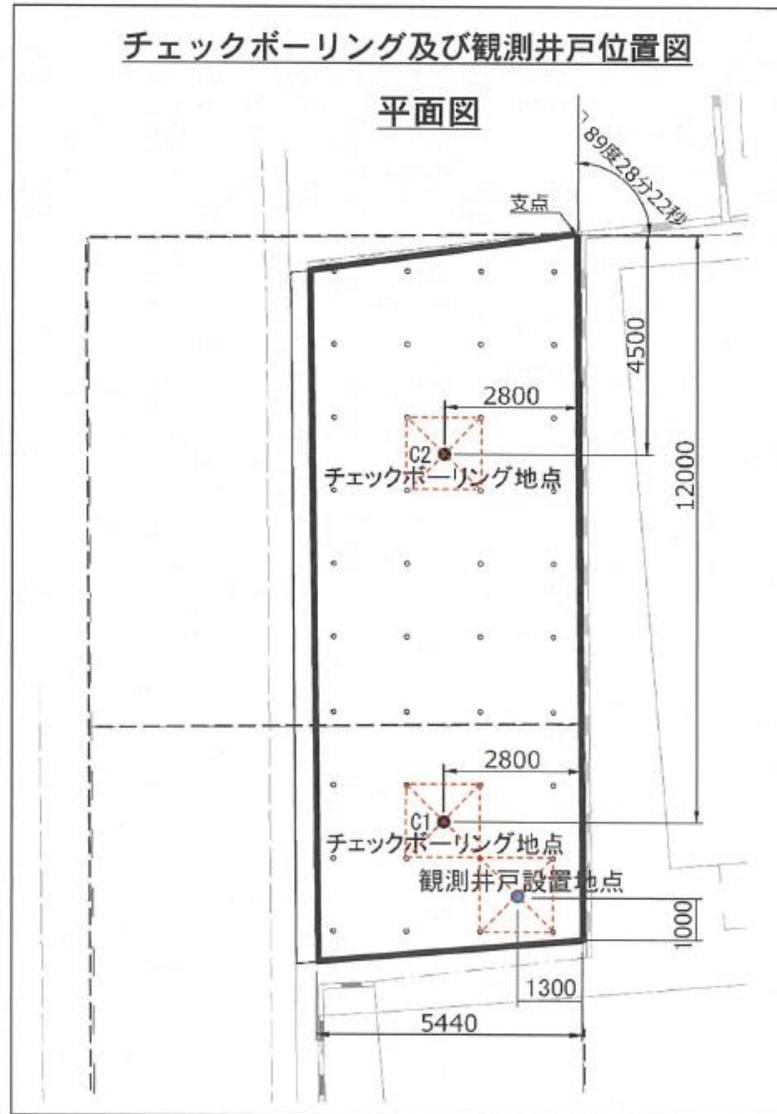
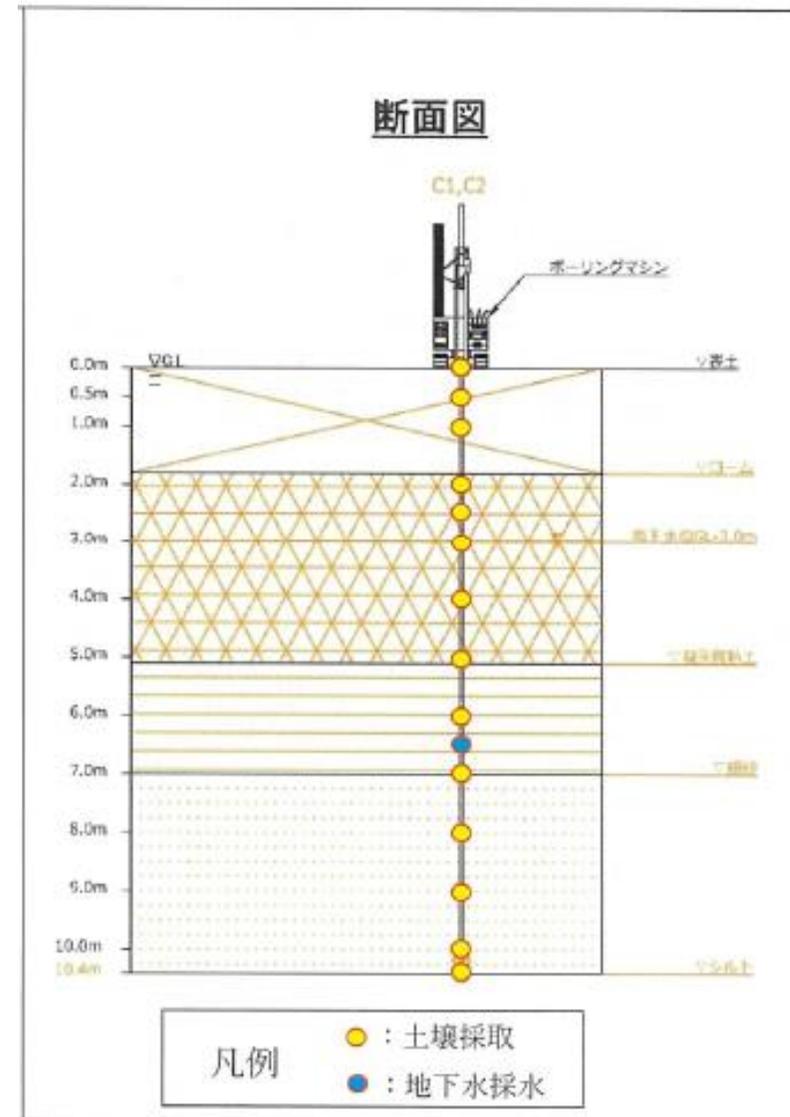


図 3.5.1 チェックボーリング及び観測井戸位置図



2.1.9 結果

表 3-1. 土壌における計量証明書の分析結果表

試料種類：土壌

(単位: mg/L)

採取時期	施工前		施工後	
	2020.3.6	2020.3.6	2020.3.6	2020.3.6
採取箇所	No.P3	No.P5	No.C1	No.C2
分析項目	シス-1,2-ジクロロエチレン		1,2-ジクロロエチレン	
深度				
0.05m	<0002	<0002	<0004	<0004
0.5m	<0002	<0002	<0004	<0004
1.0m	<0002	<0002	<0004	<0004
2.0m	<0002	<0002	<0004	<0004
2.5m	—	—	<0004	<0004
3.0m	<0002	<0002	<0004	<0004
4.0m	<0002	<0002	<0004	<0004
5.0m	0.011	<0002	<0004	<0004
6.0m	0.12	0.14	<0004	<0004
7.0m	0.009	0.065	<0004	<0004
8.0m	<0002	0.011	<0004	<0004
9.0m	0.031	0.013	<0004	<0004
10.0m	0.003	0.002	<0004	<0004
10.4m	—	—	<0004	<0004
11.0m	<0002	0.002	—	—
基準値	旧基準値 0.04 以下		0.04 以下	

※赤字は基準値を超過した値を示す。

表 3-2. 地下水における計量証明書の分析結果表

試料種類：地下水

(単位 :mg/L)

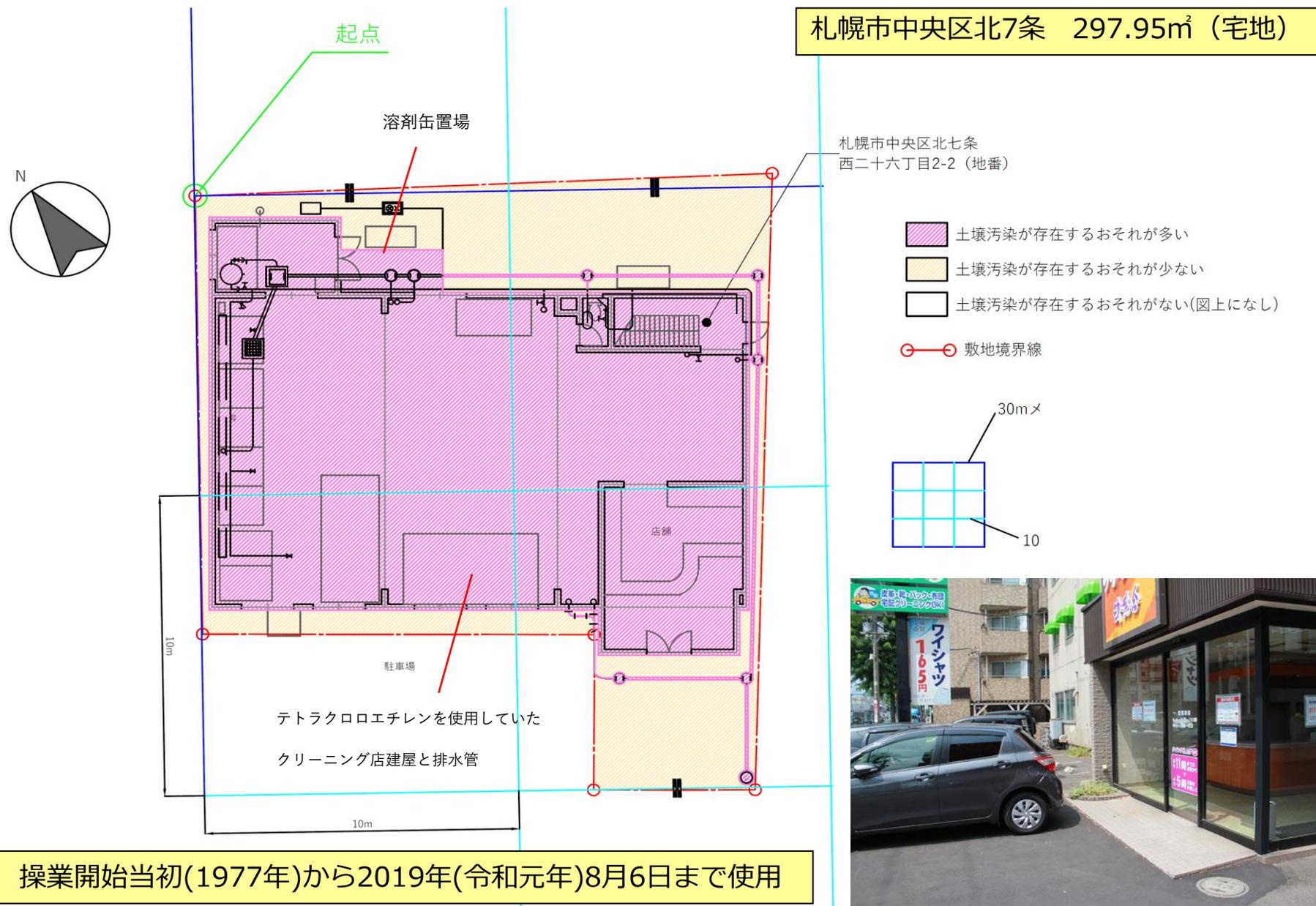
採水時期	施工前		施工後		基準値
	2019/11/25	2019/11/28	2020/3/6	2020/3/6	
採水箇所	No.P3	No.P5	No.C1	No.C2	
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.76	5.0	—	—	旧基準: 0.04 以下
1,2-ジクロロエチレン	—	—	<0.004	<0.004	0.04 以下
1,1-ジクロロエチレン	<0.002	0.012	<0.002	<0.002	0.1 以下
テトラクロロエチレン	0.022	1.6	<0.0005	<0.0005	0.01 以下
トリクロロエチレン	0.012	0.97	<0.002	<0.002	0.03 以下
クロロエチレン	0.076	0.069	<0.0002	<0.0002	0.002 以下

※赤字は基準値を超過した値を示す。

対象地下流側の敷地境界付近に設置した観測井戸において2年間のモニタリングを実施
2年間の地下水モニタリングを経て区域指定解除されました

2.2 狭隘地における事例② ～バイオ処理の事例～

2.2.1 敷地の概要



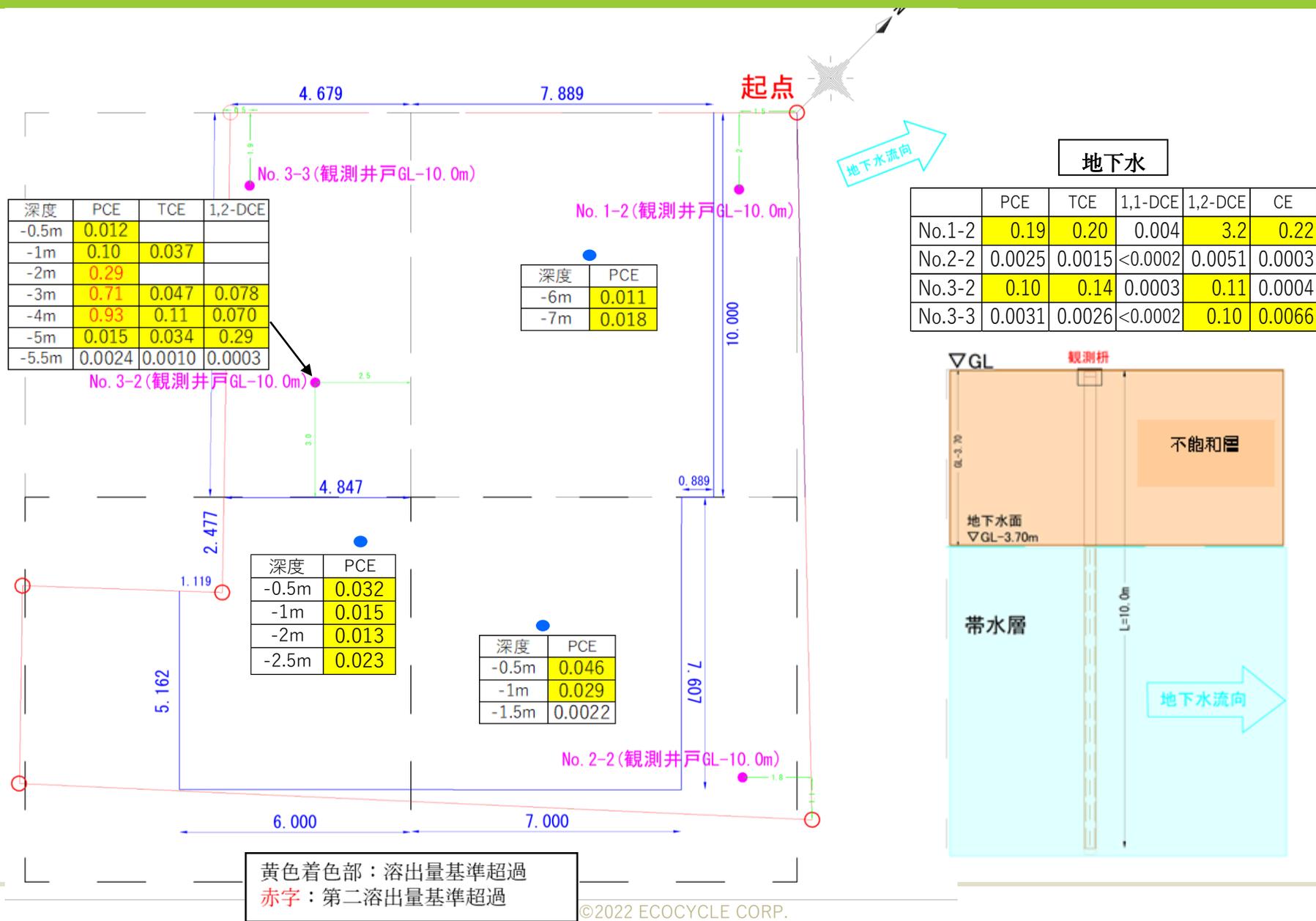
2.2.2 周辺状況と柱状図

敷地境界から80m先に飲用井戸あり

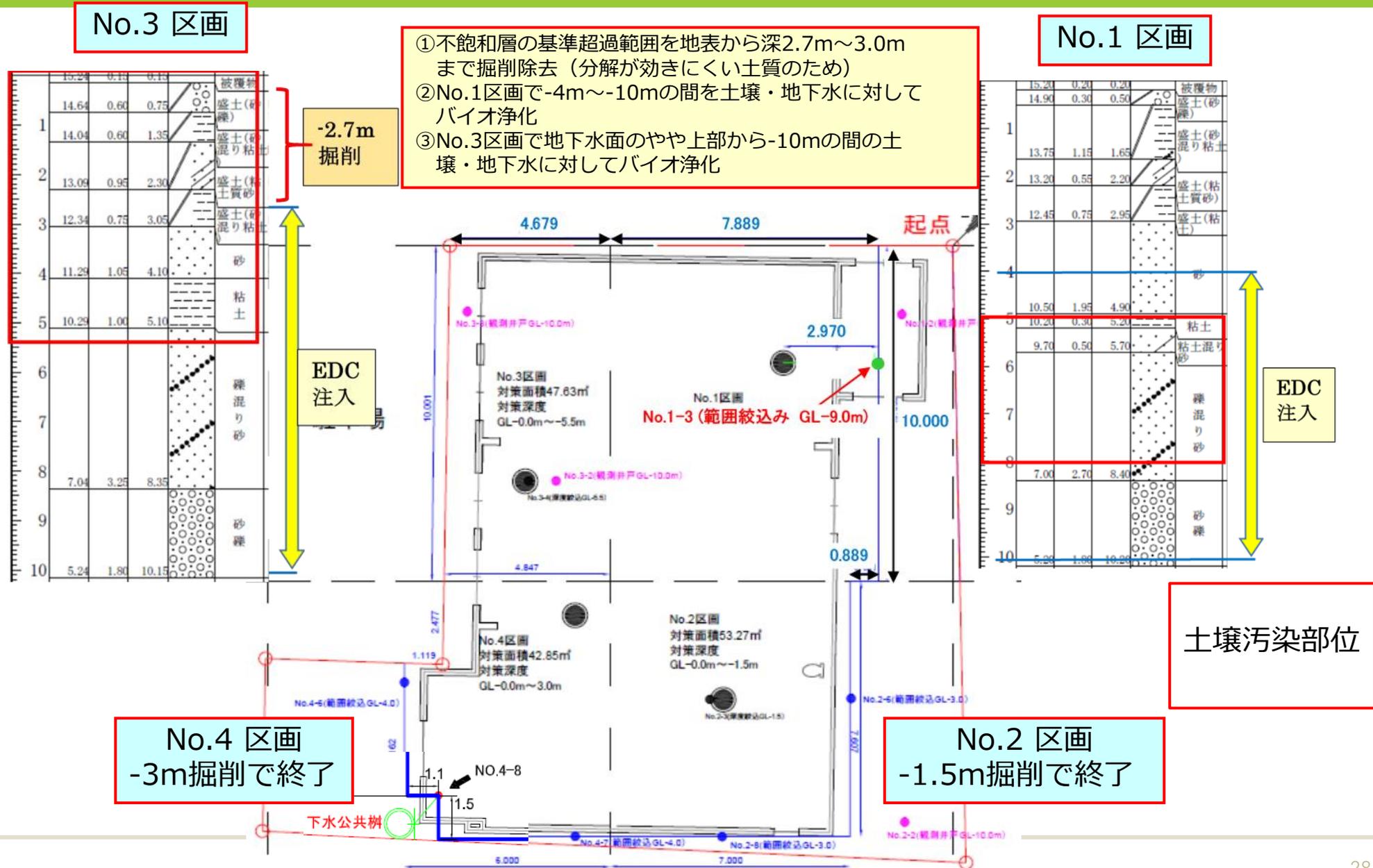


	15.24	0.05	0.15	被覆物		コンクリート13cm 砕石2cm	
	14.64	0.60	0.75	暗炭塊		径5~20mmの角~四角礫主体 基質は細い礫~中粒 含水中位 0.4~0.55m層不均質な粘土状む	
1	14.04	0.60	1.25	暗炭塊		軟らかく不均質 粘性やや強い 黄緑~細砂を不規則に含む	
2	13.09	0.95	2.30	暗炭塊		細かい微細~細砂主体 含水中位 細粒分を含む全体に強い粘性を示す 斑状及び層状に酸化色帯びる	
3	12.34	0.75	3.05	暗炭塊		軟らかく不均質 粘性やや強い 下部0.5cm 明るい色細層を示す 黄褐色	
				砂	暗炭塊	細かい微細~細砂主体 含水中位 5~10cmの互層状に酸化色帯びる	
4	11.29	1.05	4.10		粘土	暗炭塊	軟らかく均質 粘性強い 未分解の粗砂片を僅かに含む 4.65~4.75m均一な細砂状む 下部0.5cm は不規則に微細砂混入
5	10.29	1.00	5.10		細砂り砂	暗炭塊	細かい中~粗砂主体 含水多い 淘汰された細砂を不規則に混入 6.15m層間後初期水位3.85mを跨る
6							
7							
8	7.04	3.25	8.35				
9				砂	暗炭塊	径5~20mmの円~四角礫主体 基質は細かい中~粗砂 含水多い 淘汰された粗石を不規則に混入	
10	5.24	1.80	10.15				

2.2.3 土壌・地下水の対策前汚染状況

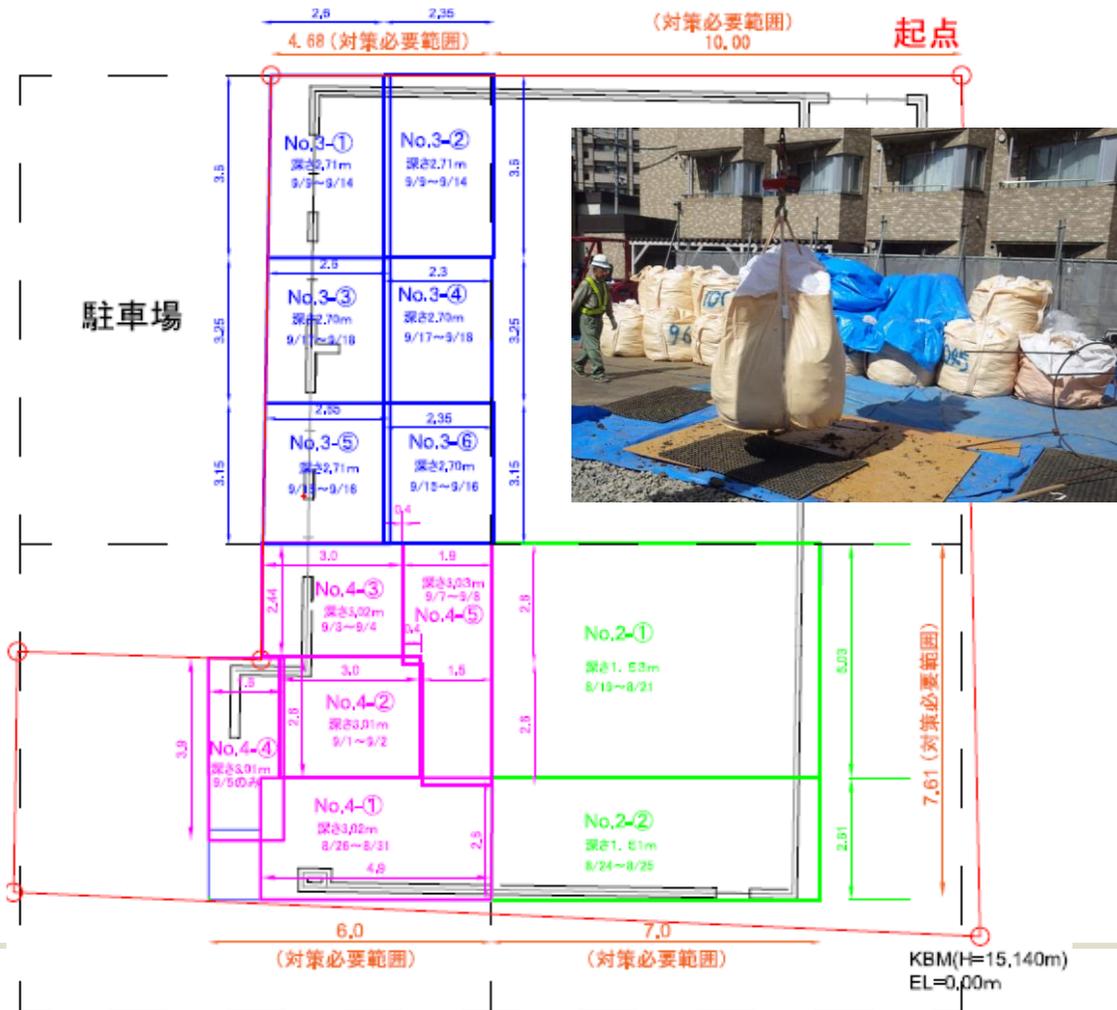


2.2.4 当該地における対応ポイント ～絞込み調査と深度別の対策～



2.2.5 掘削施工

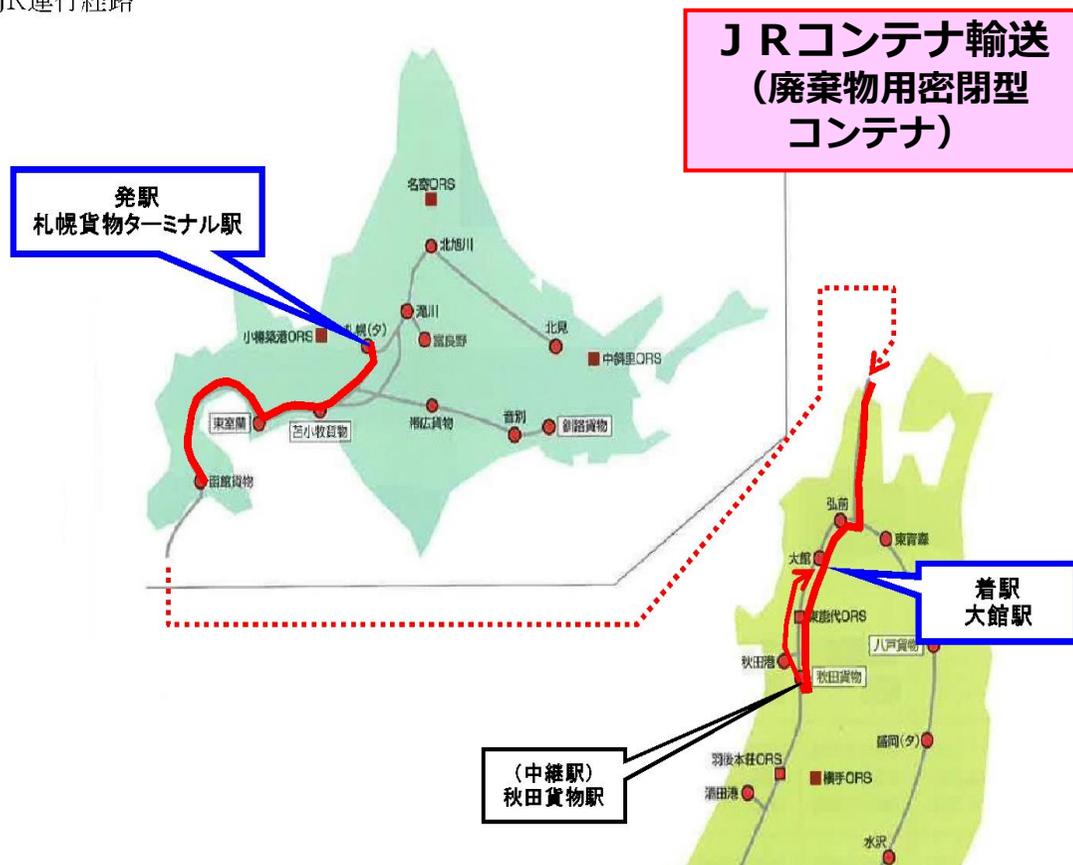
周辺道路に近接、隣地敷地と接続状態で-3mの掘削
⇒簡易土留めによる分割掘削



2.2.6 運搬・処分

汚染土壌運搬経路図【札幌貨物ターミナル駅発 → 秋山貨物駅中継 → 大館貨物駅着】

JR運行経路



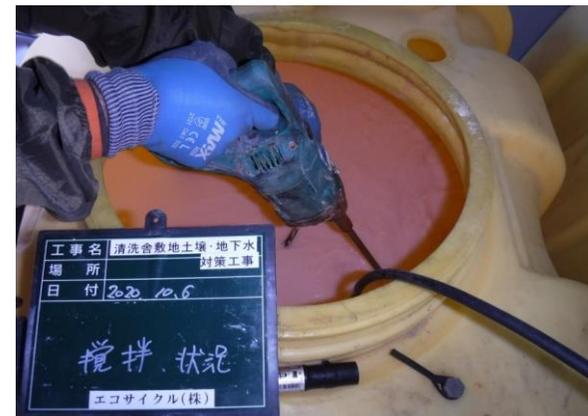
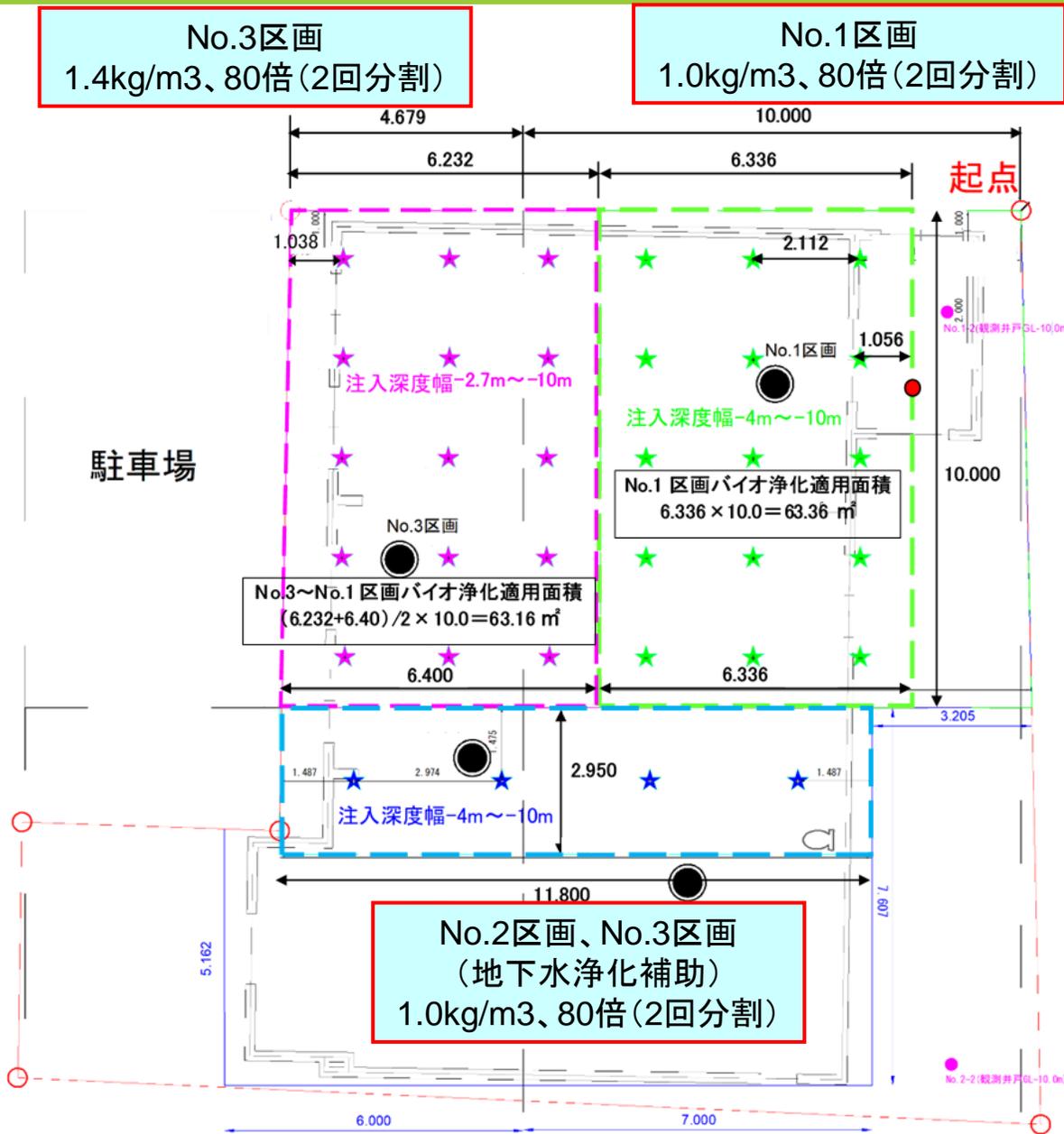
**J R コンテナ輸送
(廃棄物用密閉型
コンテナ)**



DOWAエコシステム秋田工場・花岡工場
 高濃度10mg/L超：焼却処分+埋立
 低濃度：生石灰混合+埋立

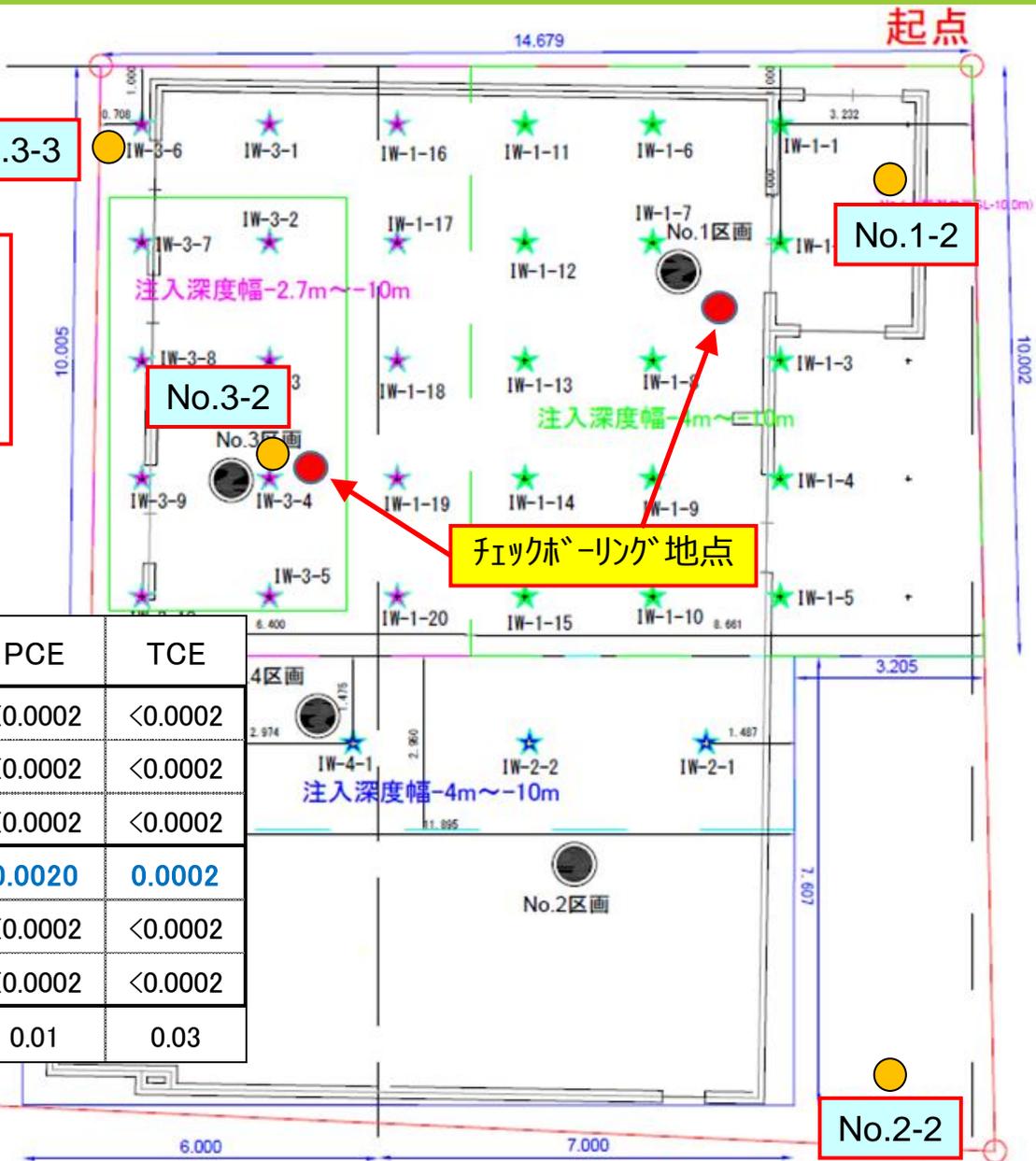


2.2.7 バイオ栄養源EDC注入 (2020/10/6~10、12/1~4)



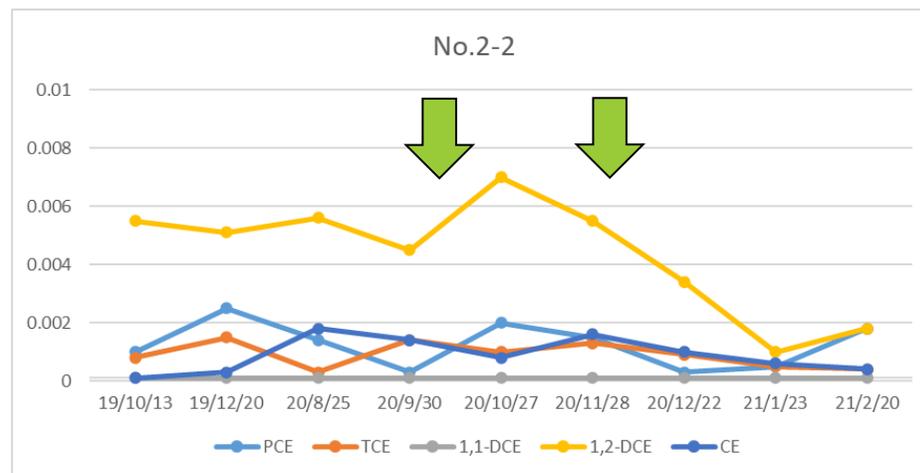
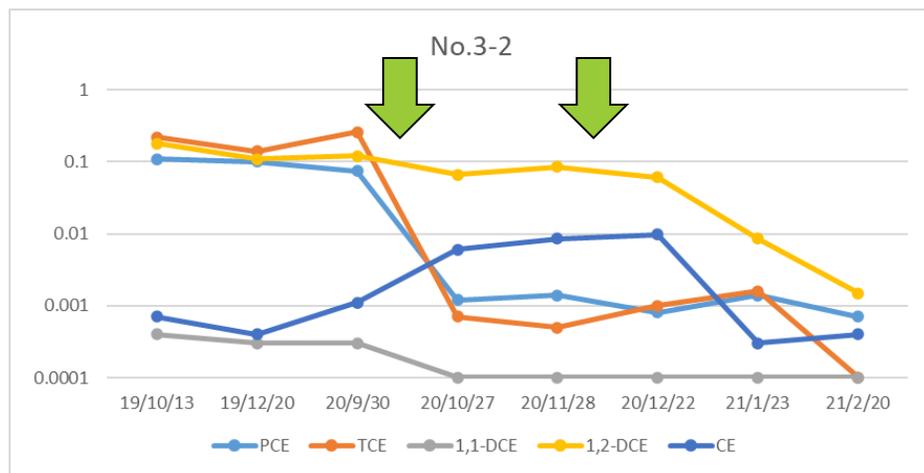
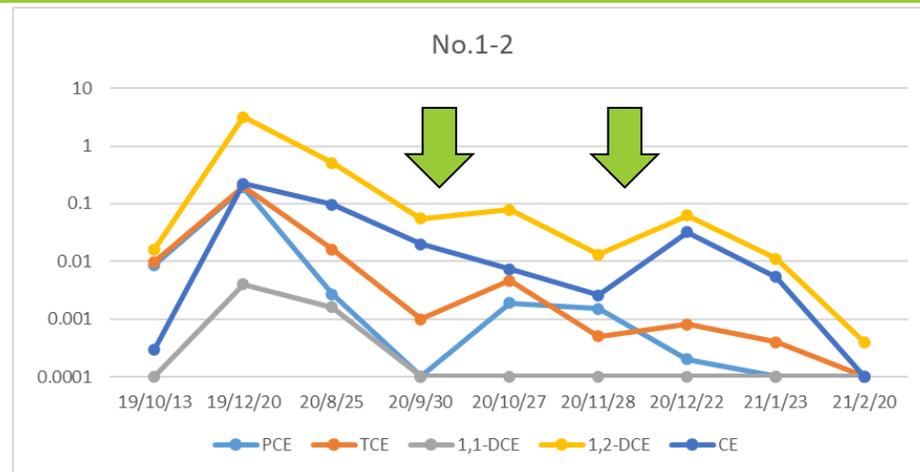
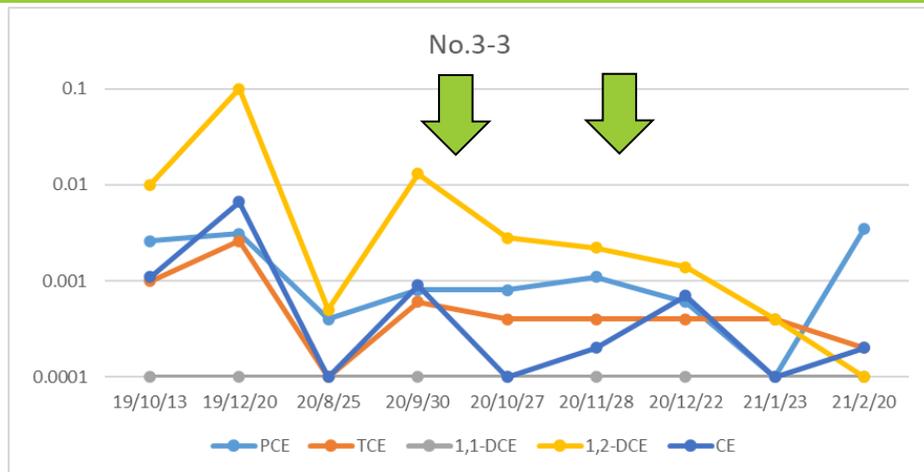
2.2.8 チェックボーリング (2021/3/2) 結果

土壌溶出量基準・第二溶出量基準
不適合であった深度範囲のうちバ
イオ浄化を実施した部分において、
溶出量基準適合となった。



分析地点	CE	1,1-DCE	1,2-DCE	PCE	TCE
No.1C 5.5m	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
No.1C 6.5m	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
No.1C 7.5m	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
No.3C 3.0m	<0.0002	<0.0002	<0.0002	0.0020	0.0002
No.3C 4.0m	<0.0002	<0.0002	0.0002	<0.0002	<0.0002
No.3C 5.0m	<0.0002	<0.0002	0.0016	<0.0002	<0.0002
基準値	0.0002	0.1	0.04	0.01	0.03

2.2.9 施工期間中の地下水VOC濃度の推移と今後



地下水温が12~13℃と低いため、微生物活性が低く、浄化に時間を要すると考えられたが、概ね半年間で基準適合となった。現在、区域指定解除に向けて、2年間モニタリング中。

3. 狭隘な土地における 土壌汚染対策の留意点 (まとめ)

3. 狭隘な土地における土壌汚染対策の留意点

	留意事項	対応（例）
使用する機器・設備	搬入、稼働、搬出に支障がないこと	小型・軽量の設備・機器（ボーリングマシン、タンクなど）を選定
適用工法	コスト、工期、性能、確実性	事前のラボ評価重要
原位置処理における薬剤の添加方法	処理における物理的な制約（スペース等）	制約が大きい場合は、注入工法を選択するなど ※工期、確実性を考慮して選定
周辺に対する影響の配慮	地盤変状、振動、大気、臭気、隣接する塀など	仮囲い・防止柵、大気環境調査、家屋調査、地盤変形調査など

ご清聴ありがとうございました