

# 第13回 豊洲新市場予定地の土壌汚染対策工事に関する技術会議

## 会議資料

### 目次

1. 実験目的と概要
2. 初期値について
3. 各処理実験
  - 3.1 掘削微生物処理実験
  - 3.2 原位置微生物・洗浄処理実験
  - 3.3 洗浄処理実験
  - 3.4 中温加熱処理実験
  - 3.5 中温加熱・洗浄処理実験
  - 3.6 地下水浄化処理実験
4. まとめ

平成22年7月22日

東京都中央卸売市場

# 1. 実験目的と概要

## 1.1 実験の目的

「豊洲新市場予定地の土壌汚染対策工事に関する技術会議（以下、「技術会議」という）」は、豊洲新市場予定地における土壌汚染対策を具体化するために民間企業等から広く新技術や新工法を公募し、その評価及び検証を経て、実効性や経済性に優れた土壌汚染対策を策定し、平成21年2月に報告書としてとりまとめた。その結果を受けて、東京都では、汚染物質処理について技術会議が定めた技術・工法を現地の汚染や土質状況に即して適用し、確実に無害化が可能であることを確認する目的で「豊洲新市場予定地の汚染物質処理に関する適用実験」を平成22年1月下旬～7月上旬に実施した。

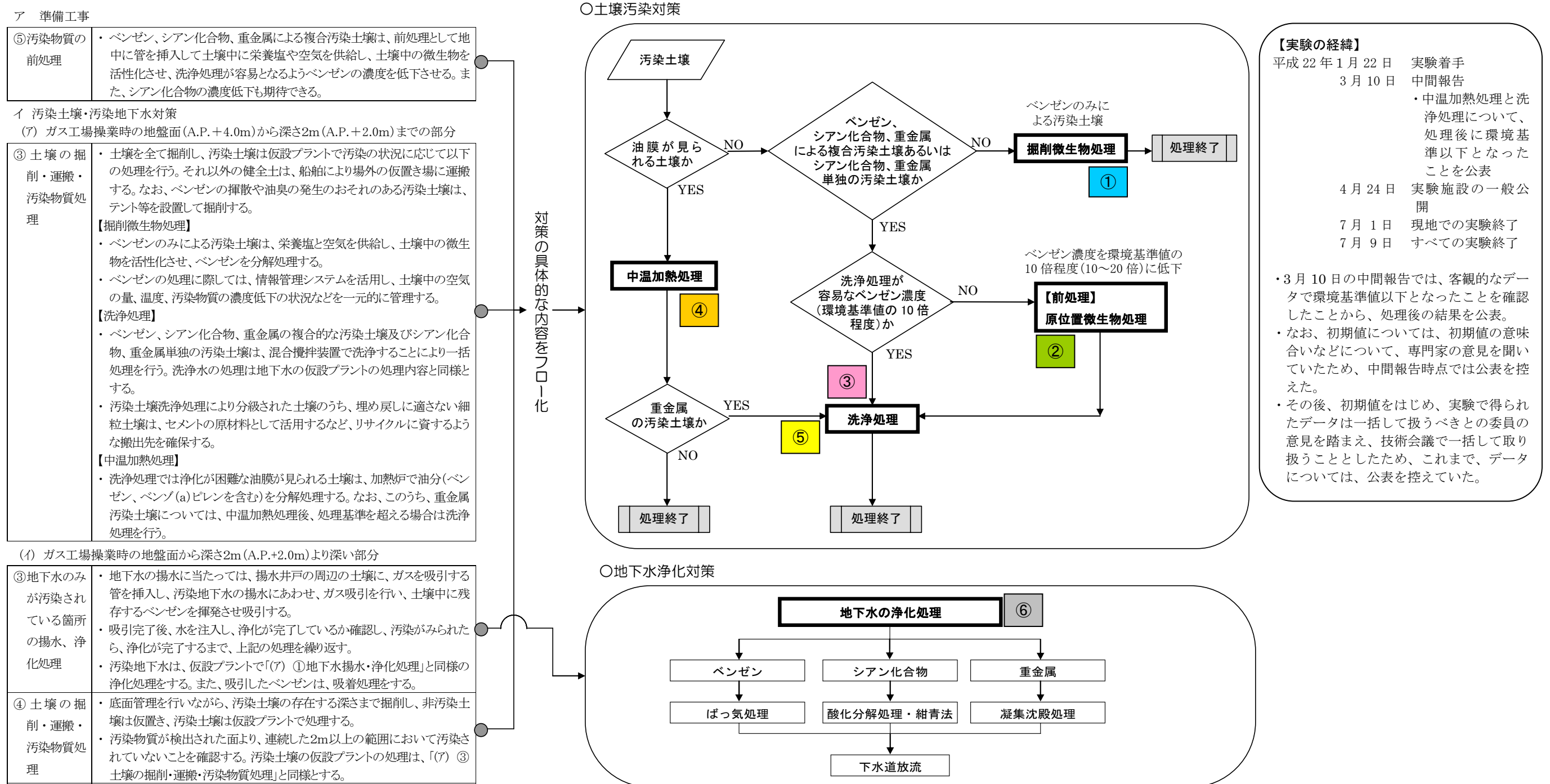


図 1.1-1 対策の具体的な内容と技術の選定フロー

出典：「豊洲新市場予定地の土壌汚染対策工事に関する技術会議報告書（平成21年2月）」(P.16～18)

## 1.2 実験の概要

実験の対象物質、処理方法および概要を表 1.2-1 に示す。

実験地点は、平成 20 年 2 月以降、東京都が実施した土壌汚染調査の結果で、高濃度の汚染が確認された区画について、汚染物質の種類・組合せの特徴を考慮して決定した。なお、豊洲新市場予定地に存在するすべての汚染土壌は、いずれかの処理方法の対象となる。

表 1.2-1 実験概要

処理対象物質	実験地点数	処理方法	処理概要	全処理土量に占める割合	
〈実験ケース①〉 ベンゼン	3	微生物処理	掘削微生物処理	14%	
〈実験ケース②〉 ベンゼンを含む複合汚染	3		原位置微生物処理(前処理) ⇒洗浄処理	1%	
〈実験ケース③〉 低濃度ベンゼン <sup>※1</sup> 、シアン化合物、重金属 <sup>※2</sup>	3	洗浄処理	汚染土壌を掘削し、場外の洗浄処理施設で処理	49%	
油膜が見られる汚染土壌	〈実験ケース④〉 ベンゼン	2	中温加熱処理	汚染土壌を掘削し、場外の中温加熱処理施設で処理	32%
	〈実験ケース⑤〉 シアン化合物、重金属 <sup>※2</sup>	2	中温加熱処理⇒洗浄処理	汚染土壌を掘削し、場外の中温加熱処理施設で処理後、場外の洗浄処理施設で処理	4%
(地下水) 〈実験ケース⑥〉 ベンゼン、シアン化合物、重金属 <sup>※2</sup>	5	地下水浄化処理	汚染地下水を揚水し、現地に設置した地下水浄化施設で処理	(対象面積として 17%)	
計				100%	

※1 低濃度：環境基準値の 10 倍程度 (10~20 倍)

※2 重金属：ヒ素、鉛、水銀、六価クロム、カドミウムの 5 物質

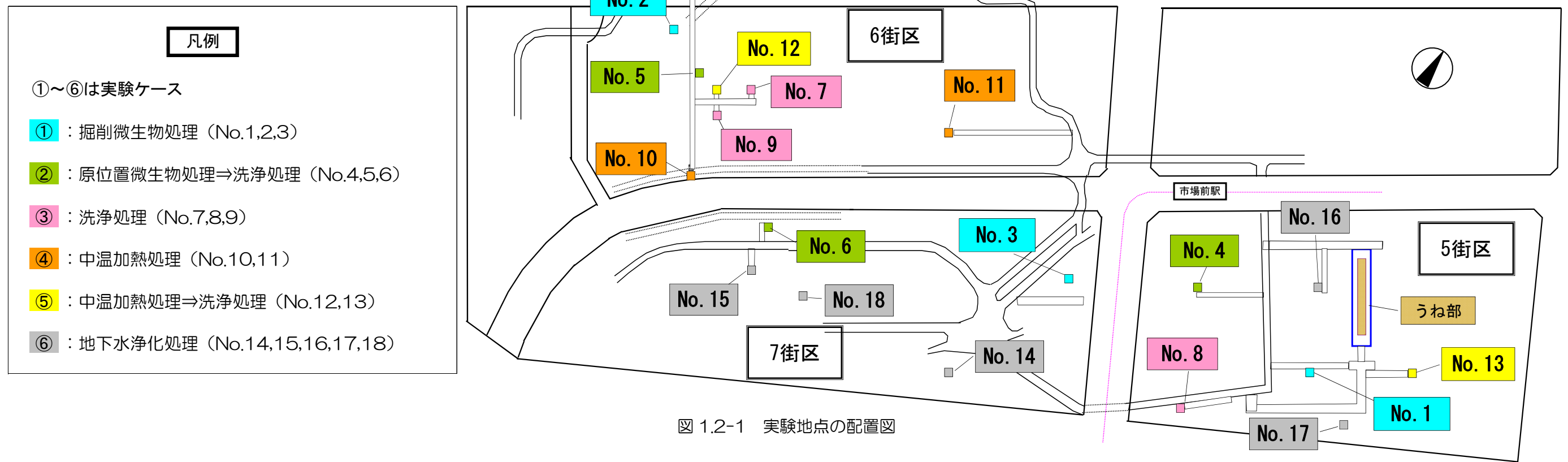


図 1.2-1 実験地点の配置図

## 2. 初期値について

### 2.1 土壌について

本実験では、実験開始時の濃度として、初期値を測定した。

既往調査値は、調査対象区画の汚染の有無を把握することを目的として、環境確保条例などに基づき、調査対象区画の中心の1地点で試料採取を行なっている。

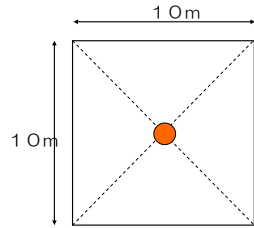


図 2.1-1 既往調査値の試料採取地点

実験の初期値は、実験開始前の実験対象区画（10m×10m）の実験対象土壌全体の平均的な濃度として、土壌汚染対策法施行規則第 59 条に準拠して、5 地点から試料を採取し把握したものであり、実験開始前の実験対象土壌全体の平均的な汚染状態を表している。

実験の分析値は、処理後の土壌全体の平均的な汚染状態を表すものであり、実験開始時の値（初期値）と比較することで、実験の効果を評価できる。

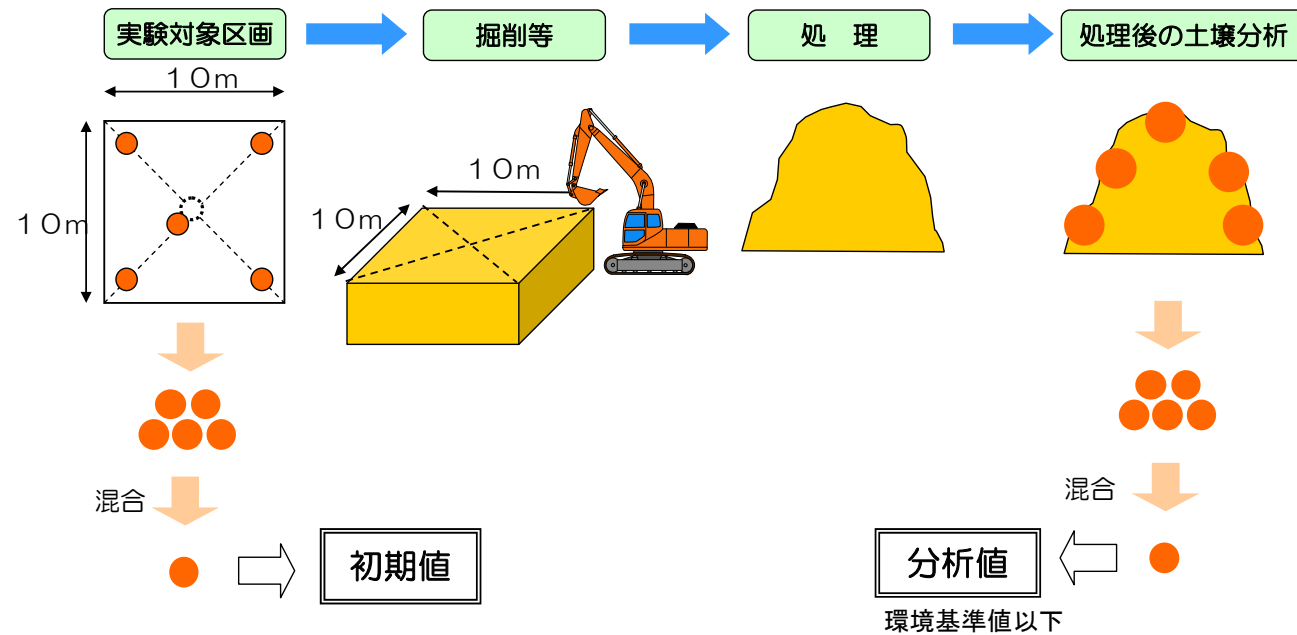


図 2.1-2 初期値等の採取方法例

初期値と既往調査値について、表 2.1-1 と図 2.1-3 に示す。

表 2.1-1 実験の初期値と既往調査値の一覧

					(単位: mg/L)				
実験方法	地点	分析項目	初期値	既往調査値	実験方法	地点	分析項目	初期値	既往調査値
①掘削微生物	No. 1	ベンゼン	3.3	2.2	④中温加熱処理	No. 10	ベンゼン	0.027	430
	No. 2	ベンゼン	0.001	0.78			シアン化合物	0.1	86
	No. 3	ベンゼン	1.2	0.25	⑤中温加熱処理 →洗浄処理	No. 11	ベンゼン	0.91	4.2
②原位置微生物 →洗浄処理	No. 4	ベンゼン	0.381	0.12			ベンゼン	1.8	40
		シアン化合物	< 0.1	0.1			シアン化合物	1.4	93
	No. 5	ベンゼン	0.078	4.8		ヒ素	< 0.005	0.013	
		シアン化合物	0.10	0.3		No. 13	シアン化合物	0.2	1.9
③洗浄処理	No. 6	ベンゼン	3.593	0.25	ヒ素		< 0.005	0.17	
		シアン化合物	0.54	1.3	環境基準		ベンゼン	0.01以下	
	No. 7	シアン化合物	0.3	17			シアン化合物	不検出	
	No. 8	ヒ素	0.39	0.62			ヒ素	0.01以下	
No. 9	ベンゼン	7.0	0.084						
	シアン化合物	0.4	0.2						
	ヒ素	< 0.005	0.034						

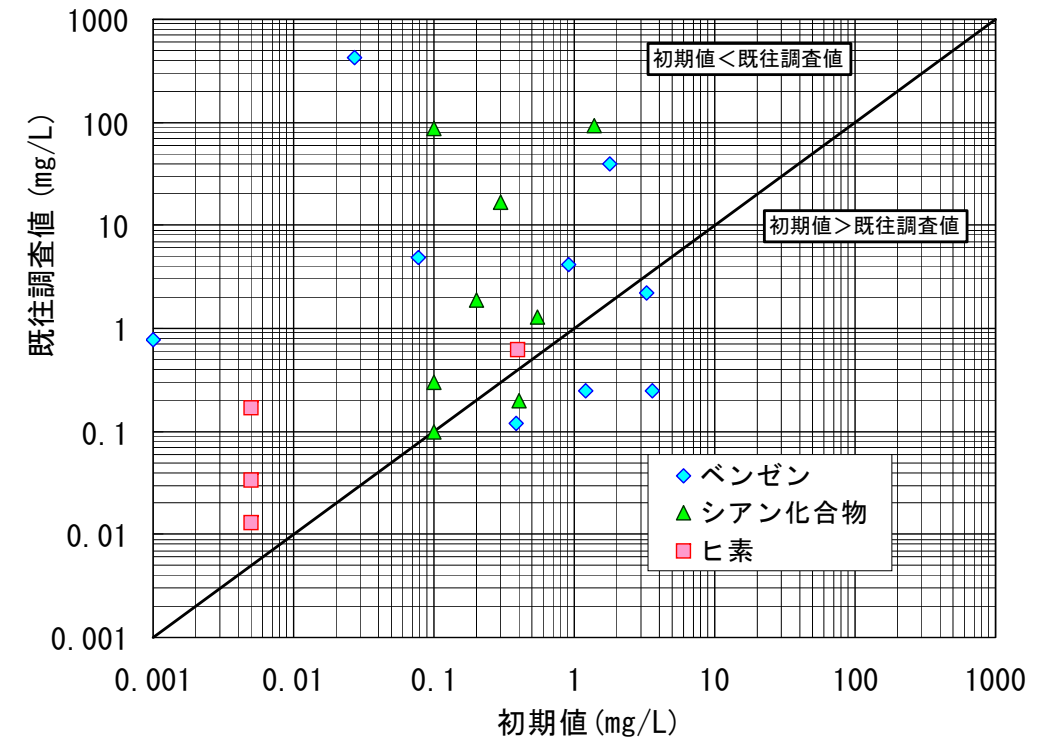


図 2.1-3 初期値と既往調査値の比較（土壌）

○ まとめ

- ① 初期値は、既往調査値に比べて、低いものばかりではなく、初期値の方が高い実験対象区画もあった(図 2.1-3)。
- ② 初期値と既往調査値の相違の理由は、汚染分布が均一ではないこと、試料採取方法の違いがあることが考えられる。(このため、今回の実験においては、初期値と既往調査値とで値が違っている。)
- ③ 既往調査値で環境基準値の 43,000 倍という高濃度のベンゼンが検出された No.10 地点については、初期値は低い濃度(環境基準値の 2.7 倍)となっている。これは高濃度の汚染土壌が対象区画に広く分布するものではなく、局所的に存在するためと考えられる。  
この、No.10 地点について既往調査値を上回る高濃度の模擬汚染土壌を作成して、中温加熱処理の浄化実験を行なった。(P.20「3.4.4 中温加熱処理における追加実験」参照)
- ④ 初期値が環境基準値以下であった地点のうち、
  - ・ No.2 では、No.1 と No.3 で環境基準値を超える初期値が得られている。
  - ・ No.4 ではシアンが環境基準値以下であったが、No.5、No.6 で環境基準値を超える初期値が得られている。
  - ・ No.9、No.12、No.13 でヒ素が環境基準値以下であるが、No.8 で環境基準値を超える初期値が得られている。
 以上のことから、いずれの処理についても実験としては成立していると考えられる。

## 2.2 地下水について

地下水についても、実験開始時の濃度として、初期値を測定した。

地下水は、初期値、既往調査値とも、対象区画の汚染状況を把握することを目的として、対象区画の中心の 1 地点で「土壌汚染対策法に基づく調査及び措置の技術的手法の解説(H15.9 環境省監修、財団法人土壌環境センター編)」に準じて、試料採取を行なった。

初期値と既往調査値について、表 2.2-1 と図 2.2-2 に示す。

なお、No.14、No.16 については、初期値が環境基準値以下であったことから、実験箇所の追加(No.17、No.18)を行った。

表 2.2-1 初期値と既往調査値の一覧

(単位: mg/L)

実験方法	地点	分析項目	初期値	既往調査値
⑥地下水 浄化処理	No. 14	ベンゼン	< 0.001	5.2
	No.15	シアン化合物	1.1	6.9
	No. 16	シアン化合物	0.1	0.2
		鉛	< 0.005	0.08
	No. 17	ベンゼン	0.39	1.1
No.18	鉛	0.023	0.22	
環境基準		ベンゼン	0.01以下	
		シアン化合物	不検出	
		鉛	0.01以下	

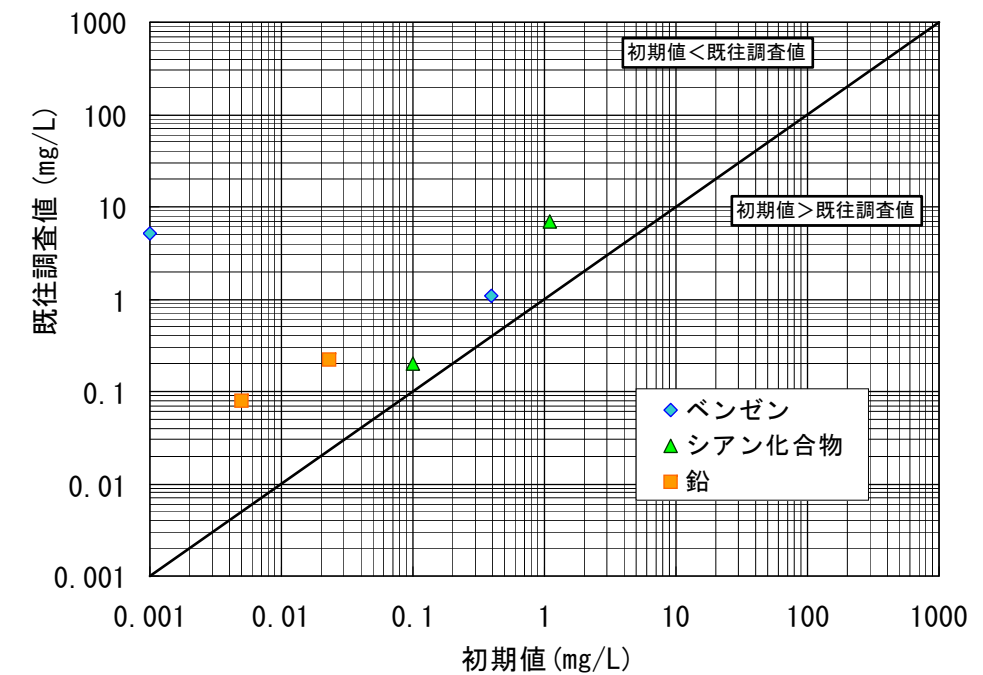


図 2.2-1 初期値と既往調査値の比較(地下水)

○ まとめ

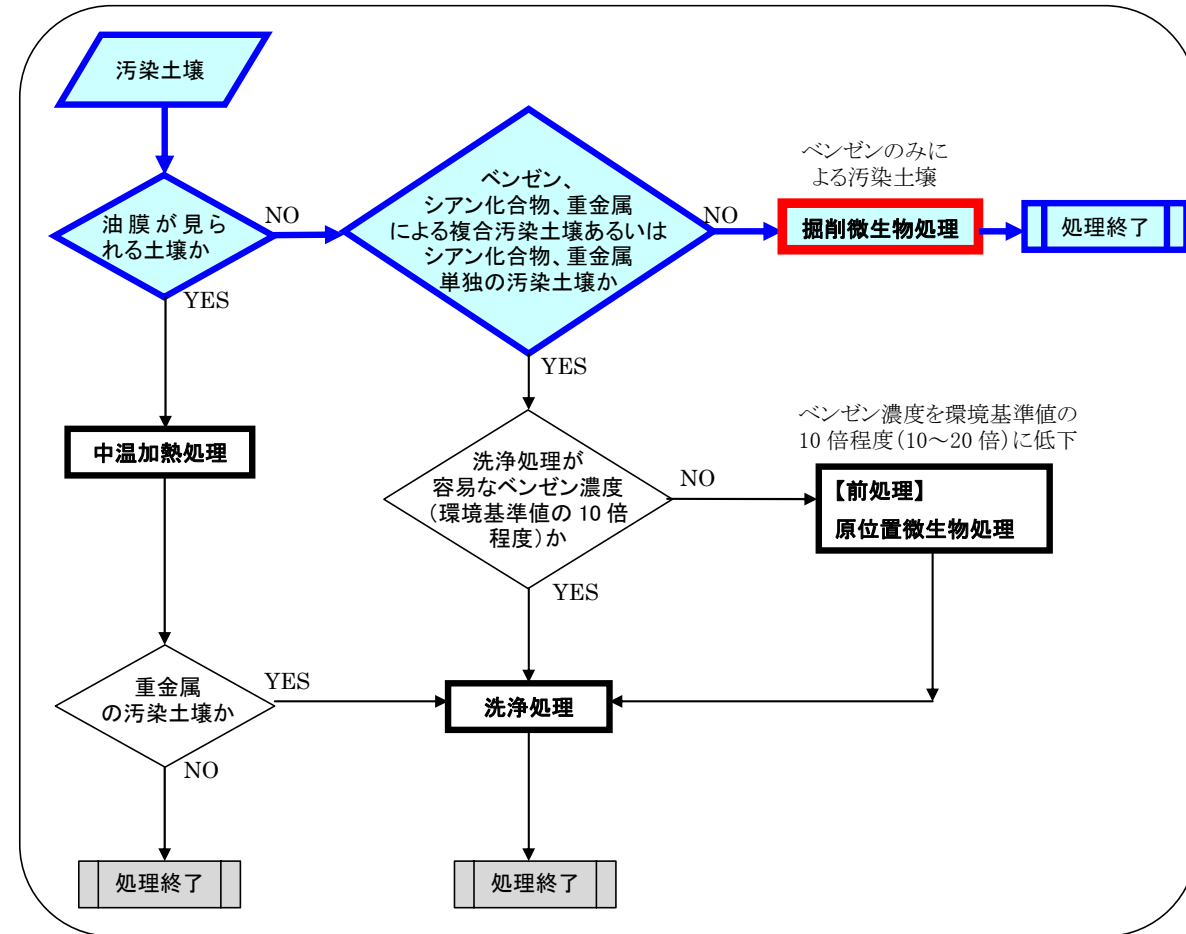
- ① 初期値は、既往調査値に比べて、低い値であった(図 2.2-1)。
- ② 初期値と既往調査値の相違は、既往調査の時点から汚染地下水の状態が希釈や分解等により変化したことが考えられる。
- ③ 地下水の汚染状況は、既往調査の状態から初期値の状態に変化したと考えられるため、実験の評価は初期値に対して行うのが妥当であると考えられる。



### 3. 各処理実験

#### 3.1 掘削微生物処理実験

目的：ベンゼンのみによる汚染土壌について、掘削微生物処理により、浄化できることを確認する。



##### 3.1.1 実験方法

掘削微生物処理は、対象土壌を掘削し、栄養塩等を加えて畝状に積上げて畝内に通気することで微生物を活性化させて汚染対象物質を分解・除去する手法である。

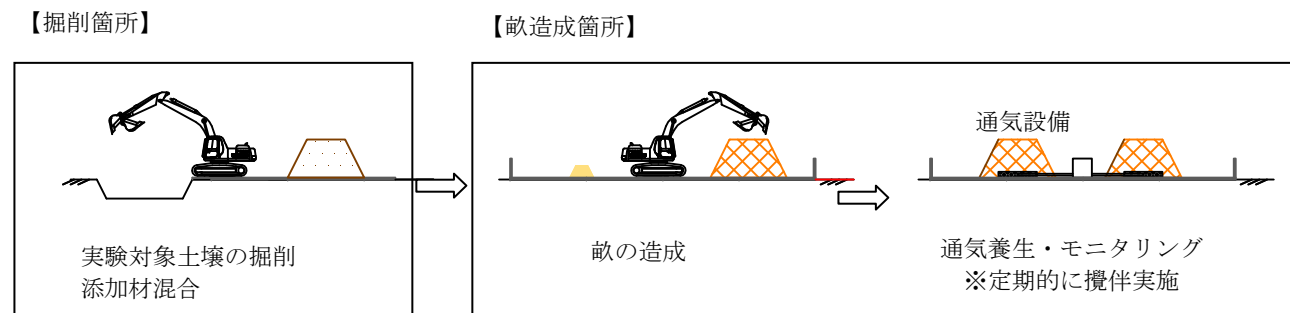


図 3.1-1 掘削微生物処理実験 実施手順概要

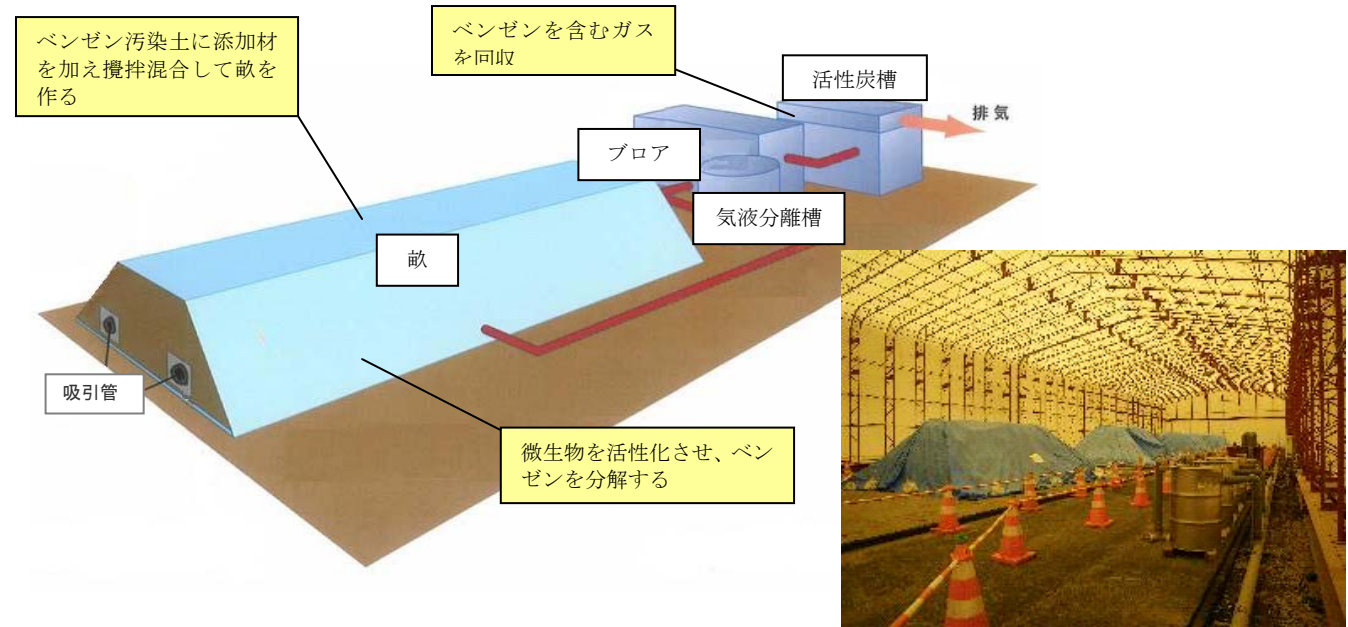


図 3.1-2 掘削微生物処理 浄化概念図

畝の温度上昇に伴う浄化効果の促進が期待されたため、畝は分割して、昇温材の添加区と非添加区を設定して比較を行った。

表 3.1-1 実験の仕様

分類	項目	仕様(考え方)
添加材	栄養塩	窒素源、りん源として一般肥料を土壌重量に対して、それぞれ 0.01% 添加
	昇温材	・各街区とも実験土を 2 ケースに分け、一方のケースに昇温材(小麦成分を使用した発酵助材)を土壌重量に対して、0.5% 添加 ・もう一方のケースは昇温材を添加せず、ケース間の浄化効果を比較
	土質改良材	通気性を確保するために、実験対象土に土質改良材(おがくず)を 3% 添加
畝	形状	・各地点の実験対象土壌をそれぞれ半分ずつの大きさの畝に造成 ・畝の造成後、揮発・飛散防止のため表面をシートで被覆
空気供給	通気設備	・畝底部に碎石を敷き、その中心部に吸引管を設置し、吸引することにより畝内に空気を供給 ・ブロアで吸引(0.02vvm)した空気は、活性炭槽でベンゼンを吸着して、清浄な空気として排出
	通気促進の方法	畝全体への均質な通気を促進するため、2週間に1回の頻度で攪伴

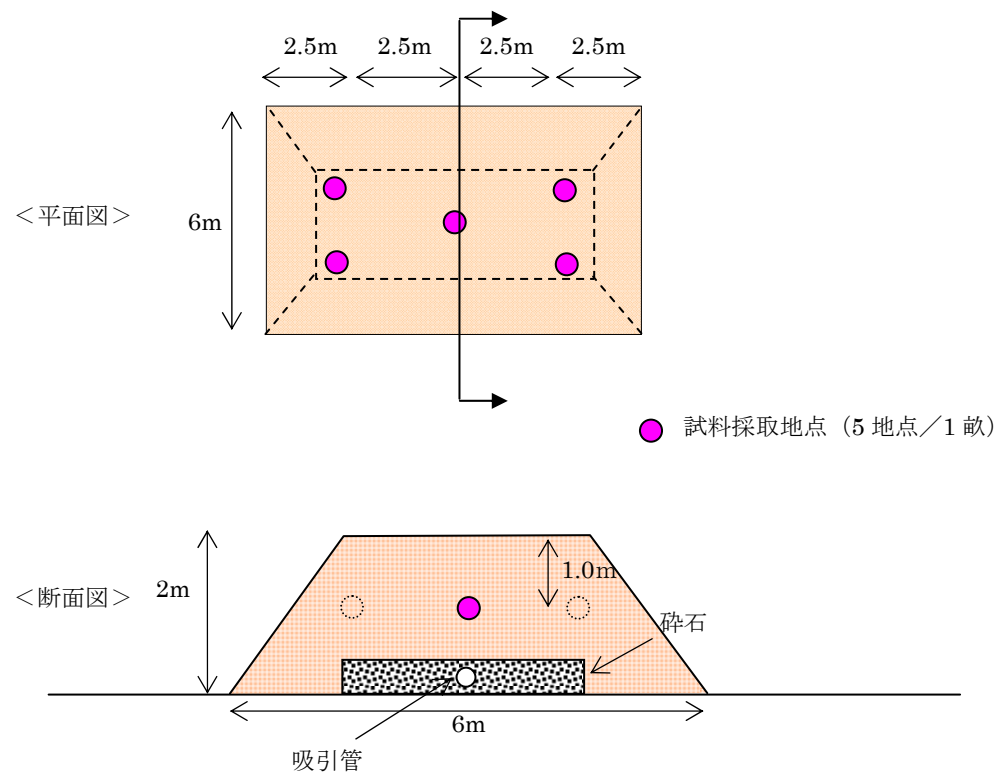


図 3.1-3 畝形状と試料採取地点

表 3.1-2 実験ケース

ケース (畝名称)	畝の 大きさ	添加材		
		栄養塩	昇温材	土質改良材
No.1-①	各 30m <sup>3</sup>	土壌重量に 対して 0.01%ずつ添加	無添加	土壌重量に 対して 3% 添加
No.1-②			土壌重量に対して 0.5%添加	
No.2-①	各 33m <sup>3</sup>		無添加	
No.2-②			土壌重量に対して 0.5%添加	
No.3-①	各 44m <sup>3</sup>		無添加	
No.3-②			土壌重量に対して 0.5%添加	

### 3.1.2 実験結果

表 3.1-3 掘削微生物処理実験の結果

(単位: mg/L)

実験方法	分析項目	ケース	初期値	畝作成 1週間後	2週間後	3週間後	4週間後	5週間後	7週間後	浄化判定 <sup>※1</sup>	
①掘削微生物処理	ベンゼン	No. 1-①	3.3	0.37	0.039	<0.001	<0.001	(終了)		○	
		No. 1-②		0.055	0.016	<0.001	<0.001	(終了)		○	
		No. 2-①	0.001	0.004	<0.001	(終了)				○*	
		No. 2-②		0.001	0.001	(終了)				○*	
		No. 3-①	1.2	1.5	1.2	0.46	1.0	0.14	0.20		
		No. 3-②		0.089	0.51	0.021	0.010	0.001	<0.001		○

No. 3-① を分割	8週後	8.5週後	9週後	9.5週後	10週後		浄化判定 <sup>※1</sup>
No.3-①-1	0.026	0.10	0.014 <sup>※3</sup>	0.005	0.001	(終了)	○
No.3-①-2		0.020 <sup>※2</sup>	0.007	0.001	(終了)		○

※1 環境基準値以下、※2 No. 3-①-2 に昇温材添加 (8.5 週後)、※3 No. 3-①-1 に昇温材添加 (9.3 週後)  
\* 初期値が環境基準値以下

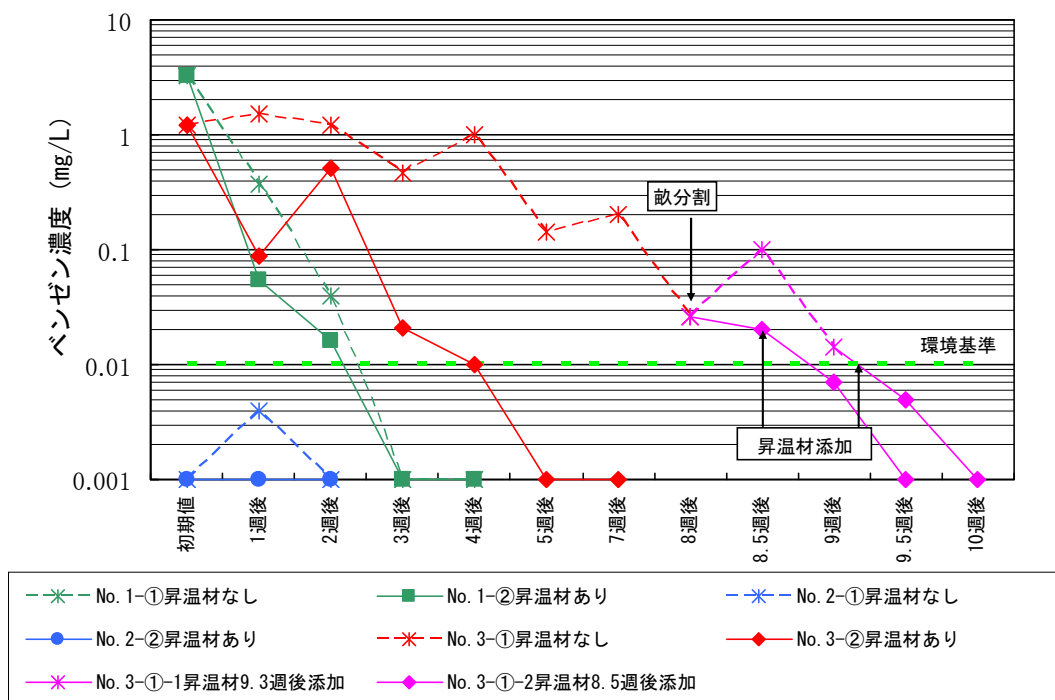


図 3.1-4 各畝のベンゼン濃度

(関連データ)

○ 畝内の温度（昇温材による温度変化を確認）

- ・ 昇温材を添加することにより畝の温度が上昇した。
- ・ 昇温により 50℃を超える最高温度が確認された。

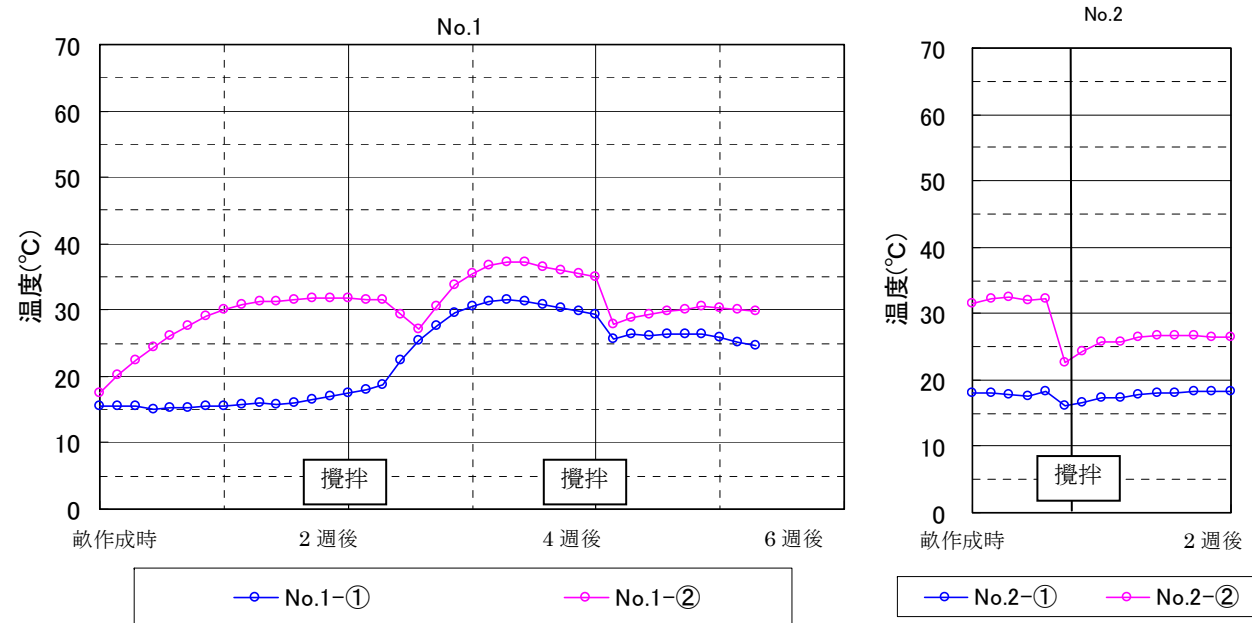


図 3.1-5 畝内部の温度変化

○ 酸素消費活性<sup>※1</sup>（酸素消費量により、微生物の活性を確認）<sup>※1</sup> 数値大⇒活性高

- ・ 実験当初に微生物による酸素消費量が増え、微生物活性が高くなる傾向が確認された。また、ベンゼン濃度の低下に伴い、酸素消費量が減る傾向が確認された。

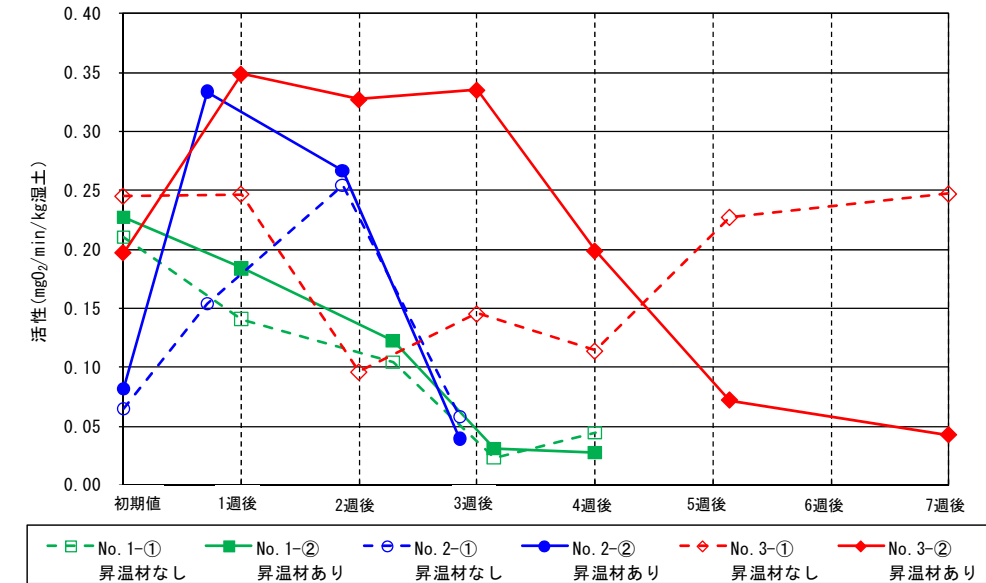


図 3.1-6 各畝の酸素消費活性（土壌中の微生物）

○ ベンゼン分解活性<sup>※2</sup>（ベンゼンの分解速度により、ベンゼン分解菌の活性を確認）<sup>※2</sup> 数値小⇒活性高

- ・ 3 週目以降、ベンゼンの分解速度が遅くなる傾向が確認された。

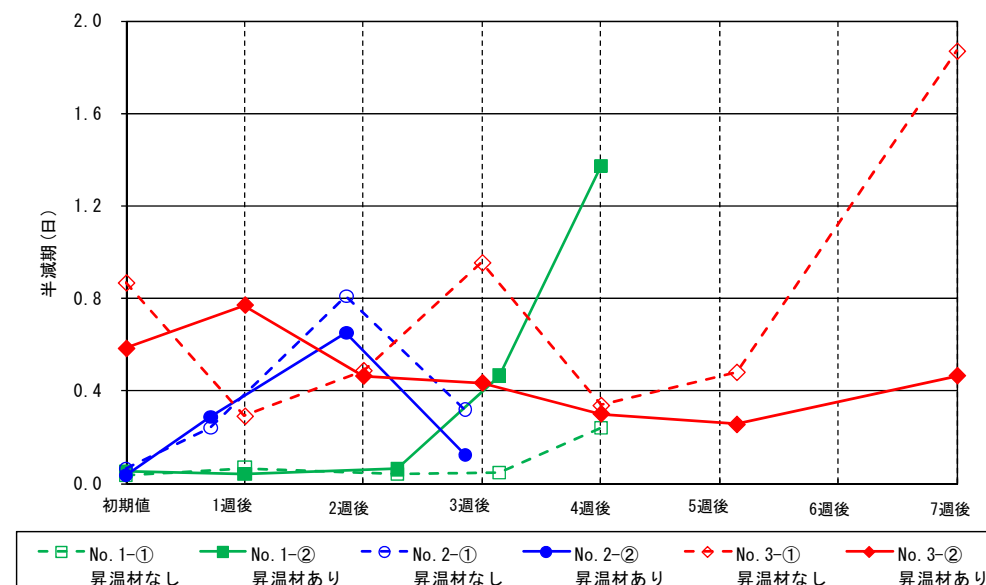


図 3.1-7 各畝のベンゼン分解活性（土壌中の微生物）



○ 全菌数 (微生物の数を確認)

- 微生物は、増加する傾向が確認された。

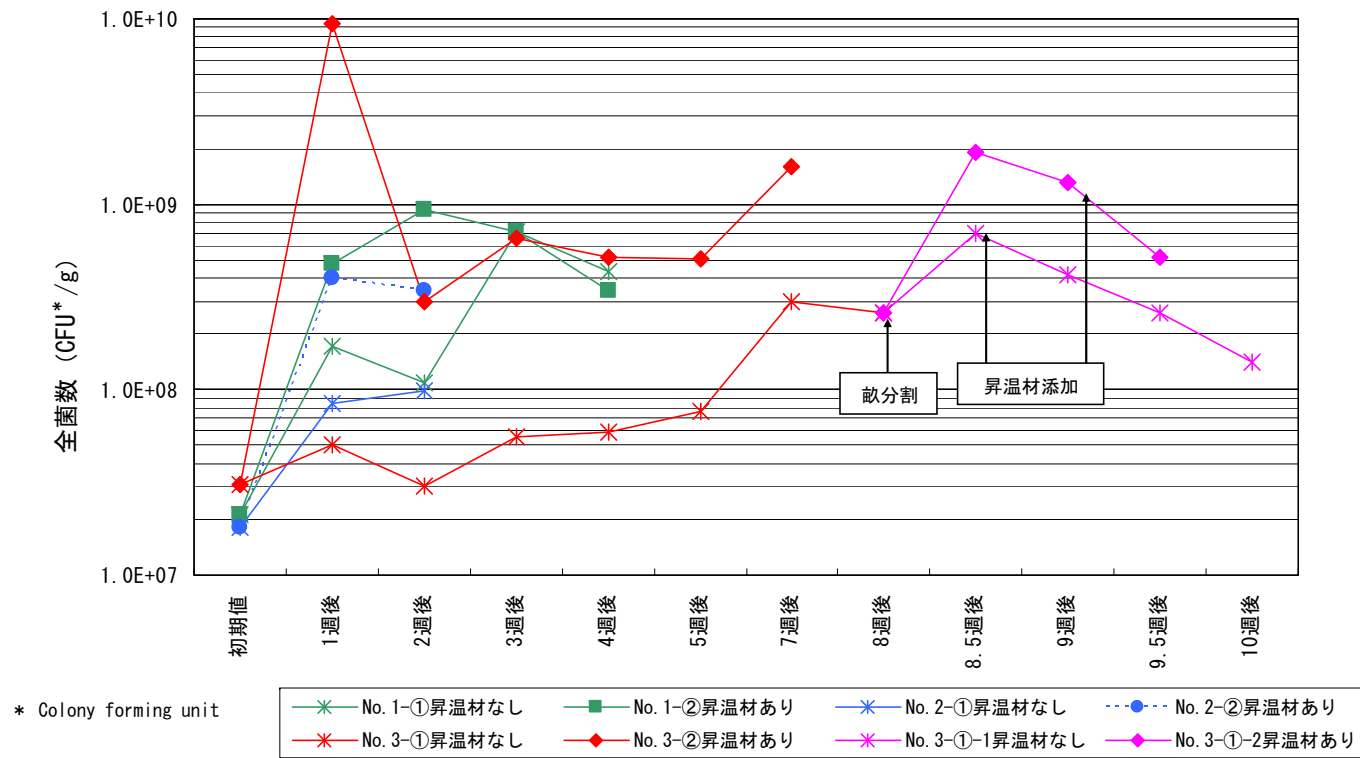


図 3.1-8 各畝の全菌数

### 3.1.3 考察

実験結果から考察される点を以下にまとめる。

- ① 掘削微生物処理実験では、すべての実験ケースで浄化が確認された。
- ② ベンゼン濃度の低下傾向は、昇温材を添加しないケースに比較して、昇温材を添加したケースが速いことが確認された。
- ③ 高濃度のベンゼン汚染土であっても、昇温材を添加することにより 3~5 週間で浄化できることが確認された。
- ④ ベンゼン濃度の減少やベンゼンの分解活性の結果から、豊洲新市場予定地には、ベンゼンを分解する微生物が存在することが確かめられた。

### 3.1.4 掘削微生物処理における追加実験

追加実験は、掘削微生物処理における分解特性を把握するために、室内実験を行った。

#### ○ 追加実験の目的

- ① 掘削微生物処理における昇温効果の確認
- ② 原位置微生物処理の対象土壌に対する昇温効果の確認

表 3.1-4 追加実験の試験区設定

試験区	使用土壌※	条件
各種有機資材試験	No. 3	昇温材(小麦ぬかなど)を用いた昇温試験
分解特性試験	No. 4	試験区 1 中温設定 (40℃)
		試験区 2 高温設定 (60℃)
	No. 6	試験区 3 常温設定 (室温 : 20℃程度)
		試験区 4 昇温材(小麦ぬか)を用いた昇温試験
		試験区 5 中温設定 (40℃)
		試験区 6 高温設定 (60℃)

※ No. 4・No. 6 にベンゼンを添加した土壌を使用

実験装置は、中温及び高温設定では恒温インキュベータを使用し、昇温試験では小型堆肥化装置を用いた。添加材は、いずれの試験区にも掘削微生物処理と同条件になるように、表 3.1-1 に記載の土質改良材および栄養塩を表 3.1-2 に示す量で添加した。通気は、現地試験での吸引量 0.02vvm とした。



図 3.1-9 追加実験装置 (左: 恒温インキュベータ、右: 小型堆肥化装置)

表 3.1-5 各種有機資材試験の結果

土壌	有機資材	測定項目	単位	経過日数					
				初期値	1日目	2日目	3日目	4日目	8日目
No.3	小麦ぬか	温度	℃	25	31	44	62	60	25
		ベンゼン	mg/L	0.10	-	-	-	<0.005	<0.005
	米ぬか	温度	℃	22	25	49	58	45	29
		ベンゼン	mg/L	0.11	-	-	-	<0.005	<0.005
	とうきびぬか	温度	℃	24	37	49	54	58	26
		ベンゼン	mg/L	0.095	-	<0.005	-	<0.005	<0.005
	とうきび芯	温度	℃	23	35	38	40	34	27
		ベンゼン	mg/L	0.099	-	0.017	-	0.049	<0.005

最高温度  
 環境基準値超過  
 環境基準値以下

表 3.1-6 分解特性試験の結果

試験区	土壌	設定温度	分析項目	初期値	1回目		2回目		3回目		4回目		5回目		6回目	
				分析値	採取日	分析値	採取日	分析値	採取日	分析値	採取日	分析値	採取日	分析値	採取日	分析値
1	No.4	40℃	ベンゼン	0.033	3日目	0.029	6日目	<0.005	9日目	<0.005	12日目	<0.005	16日目	<0.001	18日目	<0.005
2		60℃		0.69	2日目	<0.005	4日目	<0.005	6日目	<0.005	8日目	0.001	-	-	-	-
3	No.6	20℃		7.3	4日目	0.038	8日目	<0.005	12日目	<0.005	16日目	<0.001	19日目	<0.005	-	-
4		昇温材(小麦ぬか)		18	2日目	0.13	4日目	<0.005	8日目	0.002	12日目	<0.005	20日目	<0.005	-	-
5		40℃		4.5	3日目	0.011	6日目	<0.005	9日目	<0.005	12日目	<0.005	15日目	0.001	18日目	<0.005
6		60℃		5.5	2日目	<0.005	3日目	<0.005	6日目	<0.005	8日目	0.002	-	-	-	-
3	No.6	20℃	シアン化合物	0.52	-	-	-	-	-	-	16日目	0.54	-	-	-	-
4		昇温材(小麦ぬか)		0.56	-	-	-	-	8日目	0.56	-	-	-	-	-	-
5		40℃		0.59	-	-	-	-	-	-	-	15日目	0.53	-	-	-
6		60℃		0.54	-	-	-	-	-	-	8日目	0.51	-	-	-	-

公定法分析:  環境基準値超過  環境基準値以下  
 簡易分析:  環境基準値超過  環境基準値以下

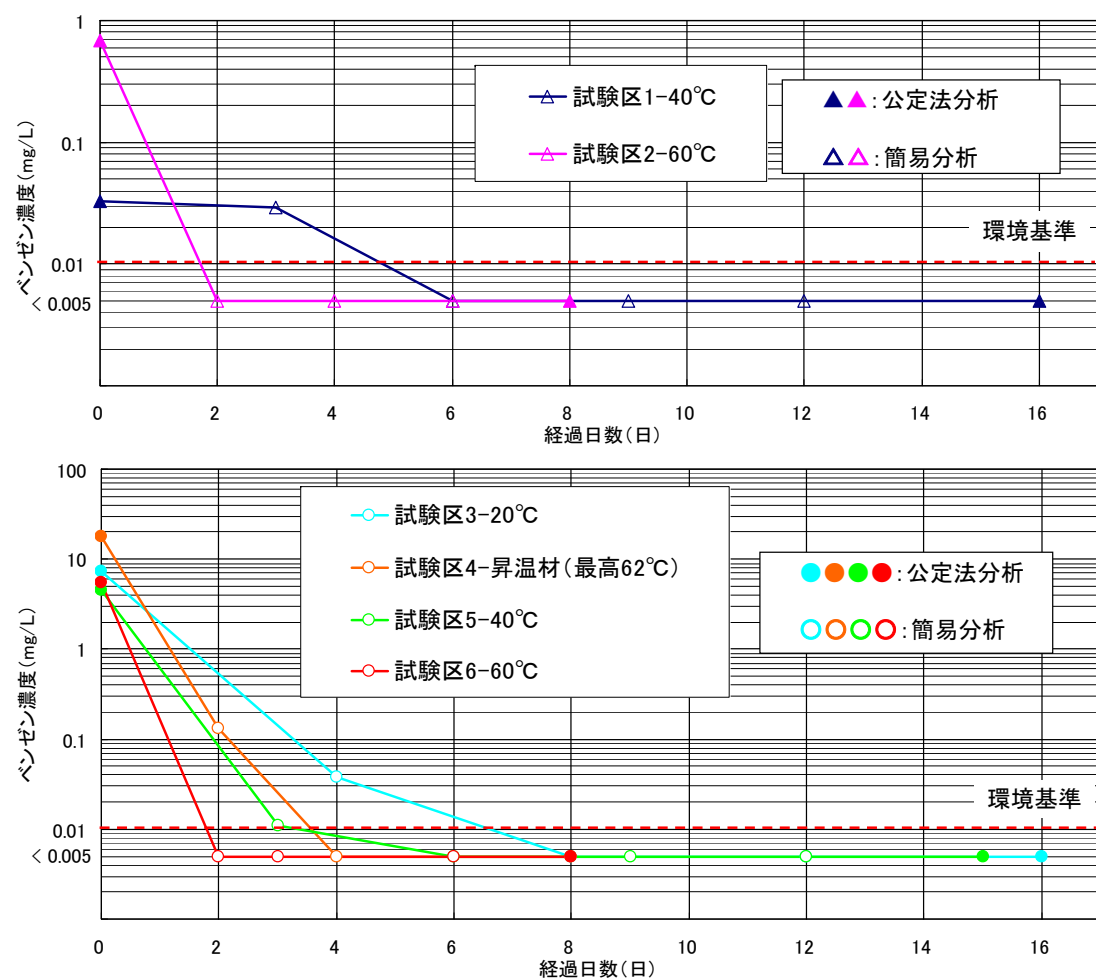


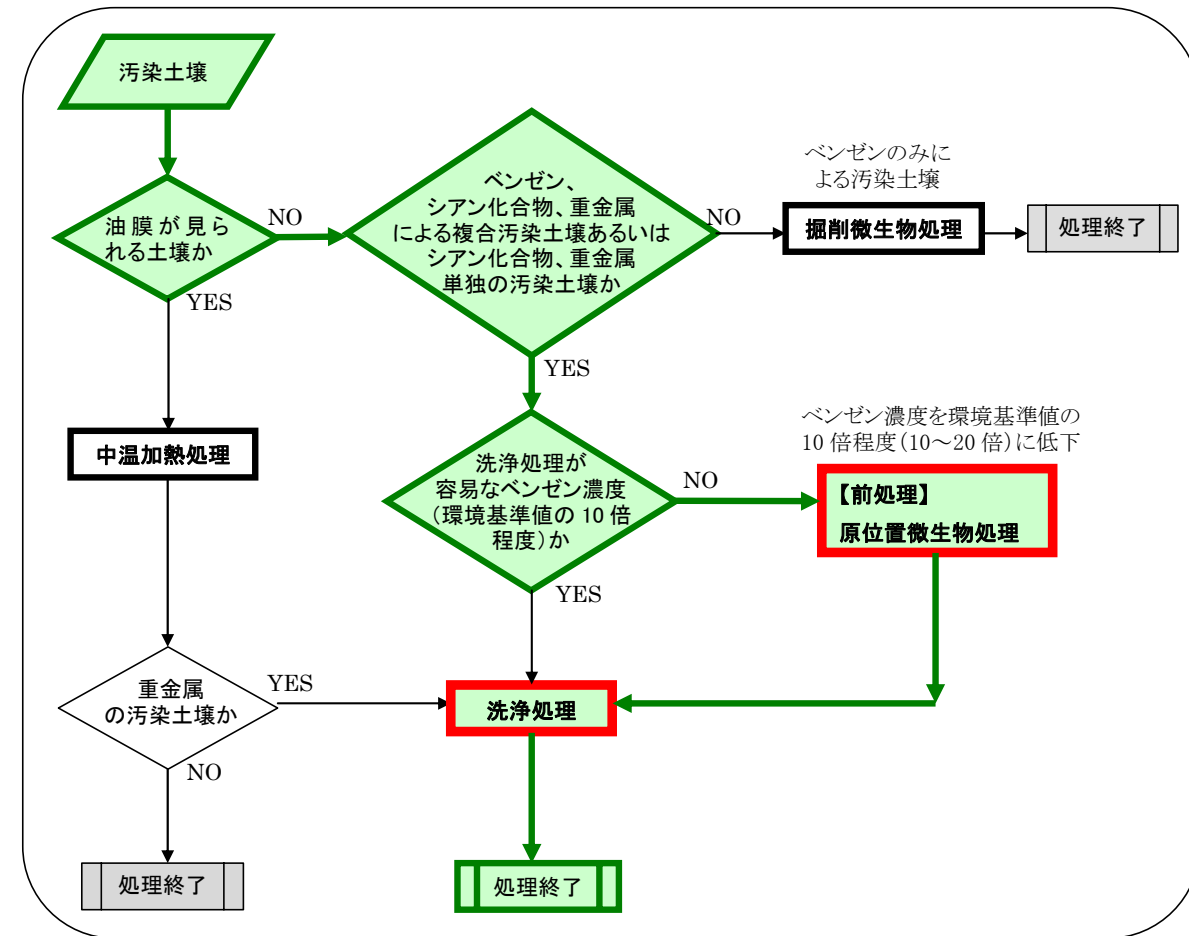
図 3.1-10 各試験区のベンゼン濃度

○ 追加実験の考察

- ① 全ての試験区で、ベンゼンの浄化が確認された。
- ② 小麦ぬか、米ぬか、とうきびぬか、とうきび芯ともに 40～60℃付近までの昇温効果が確認された。
- ③ ベンゼンの浄化速度は、60℃、40℃、20℃の順で速いことが確認された。
- ④ ベンゼンとシアン化合物の複合汚染土壌であっても、掘削微生物処理の昇温により、ベンゼンの浄化が確認された。また、シアン化合物が、微生物によるベンゼンの浄化の阻害要因にならないことも確認された。
- ⑤ シアン化合物の濃度低下は確認されなかった。

### 3.2 原位置微生物処理・洗浄処理実験

目的：ベンゼン、シアン化合物、重金属等による複合汚染土壌について、原位置微生物処理により、洗浄処理が容易となるように、ベンゼン濃度を環境基準値の10倍程度（10～20倍）に低下できることを確認し、その後、洗浄処理を行うことにより、浄化できることを確認する。



#### 3.2.1 実験方法

原位置微生物処理は、洗浄処理の前処理として、実験箇所の周囲を鋼矢板で囲い、スパージング井戸から空気および栄養塩を注入し、活性化させた土壌中の微生物によるベンゼン濃度の低下を図るものである。

さらに、原位置微生物処理においてベンゼン濃度が環境基準値の10倍程度（10～20倍）まで低下した段階で洗浄処理を行い、ベンゼンとシアン化合物の除去を行った。



図 3.2-1 原位置微生物処理の概念図

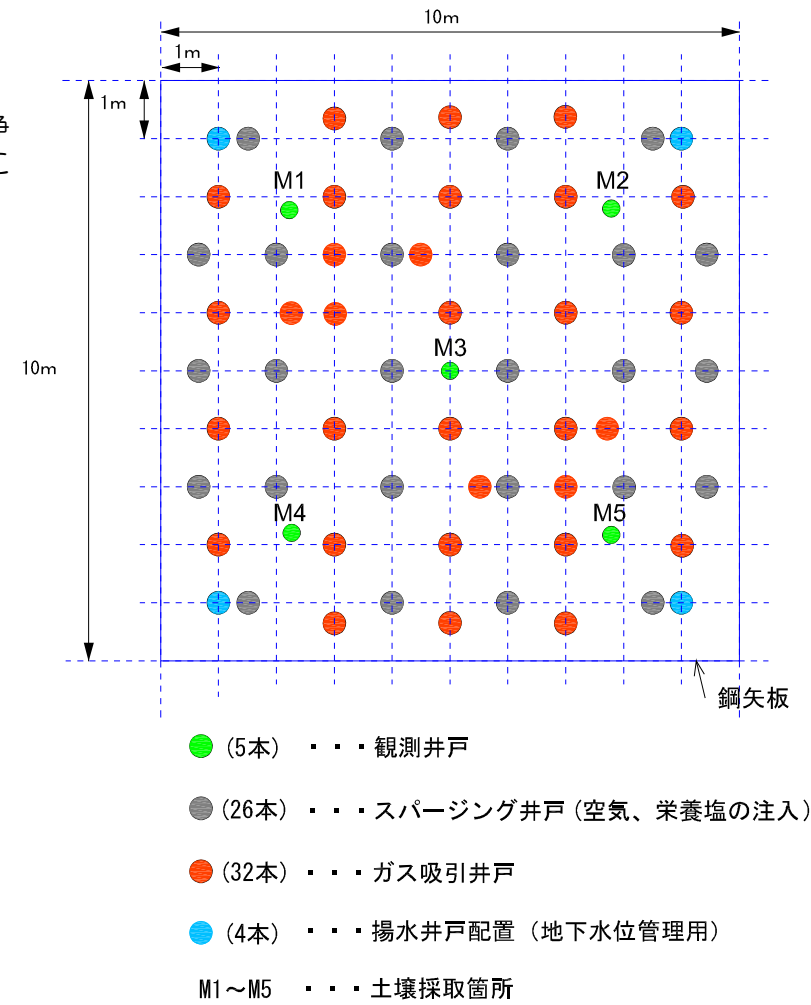


図 3.2-2 原位置微生物処理の井戸配置図

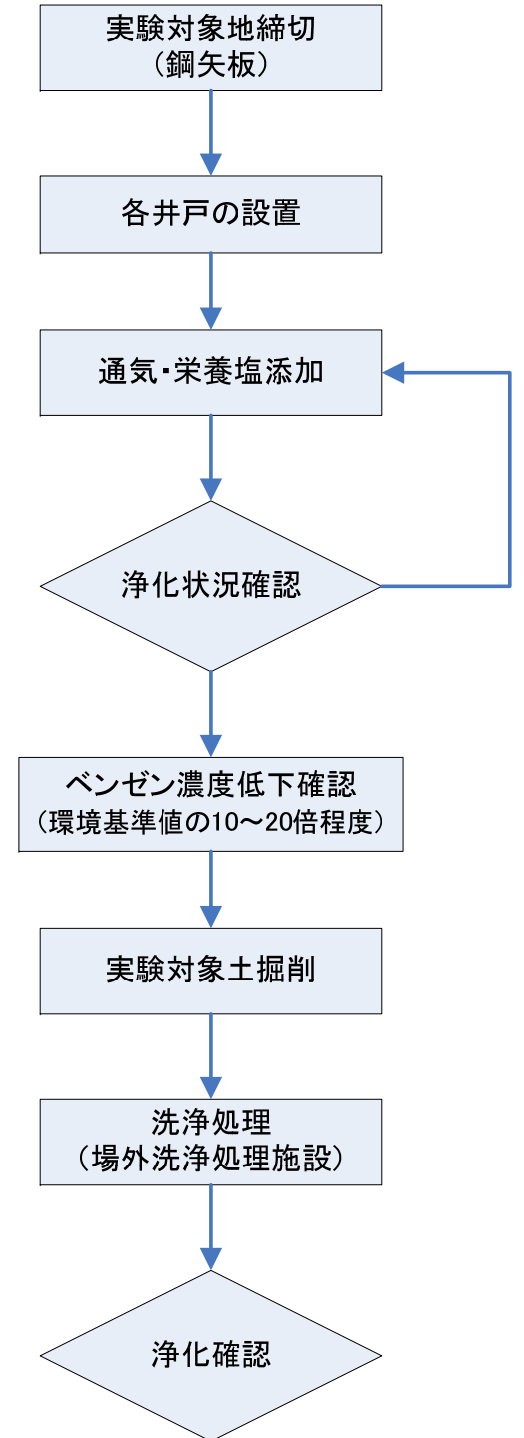
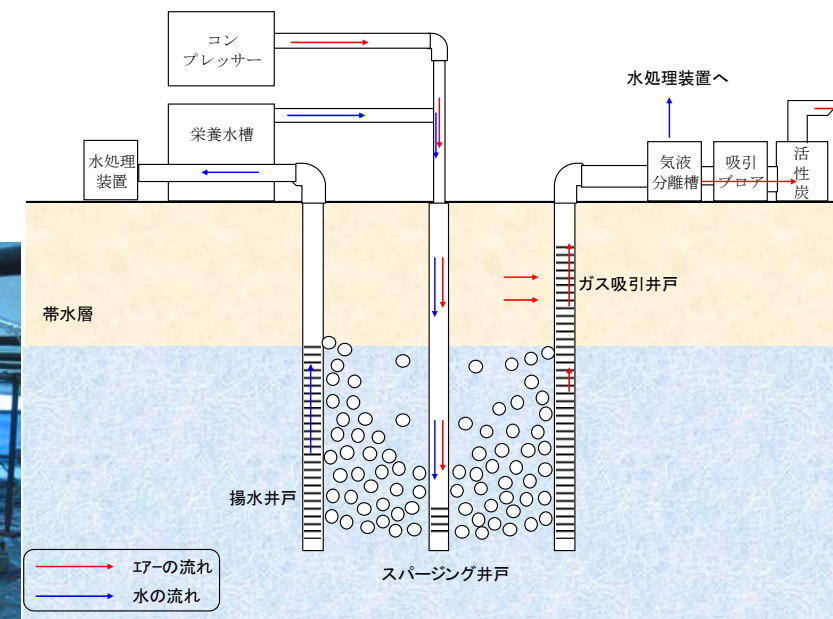


図 3.2-3 原位置微生物処理・洗浄処理のフロー



### 3.2.2 実験結果

#### (1) 原位置微生物処理

○ 土壌 ベンゼン濃度

表 3.2-1 原位置微生物処理の結果（ベンゼン濃度）

(単位:mg/L)

実験方法	分析項目	地点	土壌採取位置	原位置微生物処理						
				初期値	1週後	4週後	9週後	13週後	15週後	
② 原位置微生物処理	ベンゼン	No. 4	M 1	0.39	0.37	0.38	0.14	0.043	0.039	洗浄処理へ
			M 2	0.69	0.54	0.93	0.76	0.14	0.12	
			M 3	0.14	0.24	0.27	0.013	0.041	0.042	
			M 4	0.095	0.11	0.084	0.085	0.026	0.017	
			M 5	0.59	0.39	0.36	0.068	0.001	0.093	
			No. 4平均 <sup>※1</sup>	0.381	0.330	0.405	0.213	0.050	0.062	
		No. 5	M 1	< 0.001	0.035	0.003	0.002	0.017		
			M 2	0.040	0.027	0.077	< 0.001	< 0.001		
			M 3	0.34	0.005	0.17	< 0.001	< 0.001		
			M 4	0.006	< 0.001	0.001	0.001	< 0.001		
			M 5	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001		
			No. 5平均 <sup>※1</sup>	0.078	0.014	0.050	0.001	0.004		
		No. 6	M 1	0.24	0.032	0.004	0.036	0.031		
			M 2	9.3	0.051	0.52	0.053	0.047		
			M 3	8.3	0.024	1.1	0.47	0.75		
			M 4	0.047	0.021	0.010	0.003	0.017		
			M 5	0.080	0.25	1.5	0.005	0.005		
			No. 6平均 <sup>※1</sup>	3.593	0.076	0.627	0.113	0.170		

※1 平均値は小数点以下第4位を四捨五入

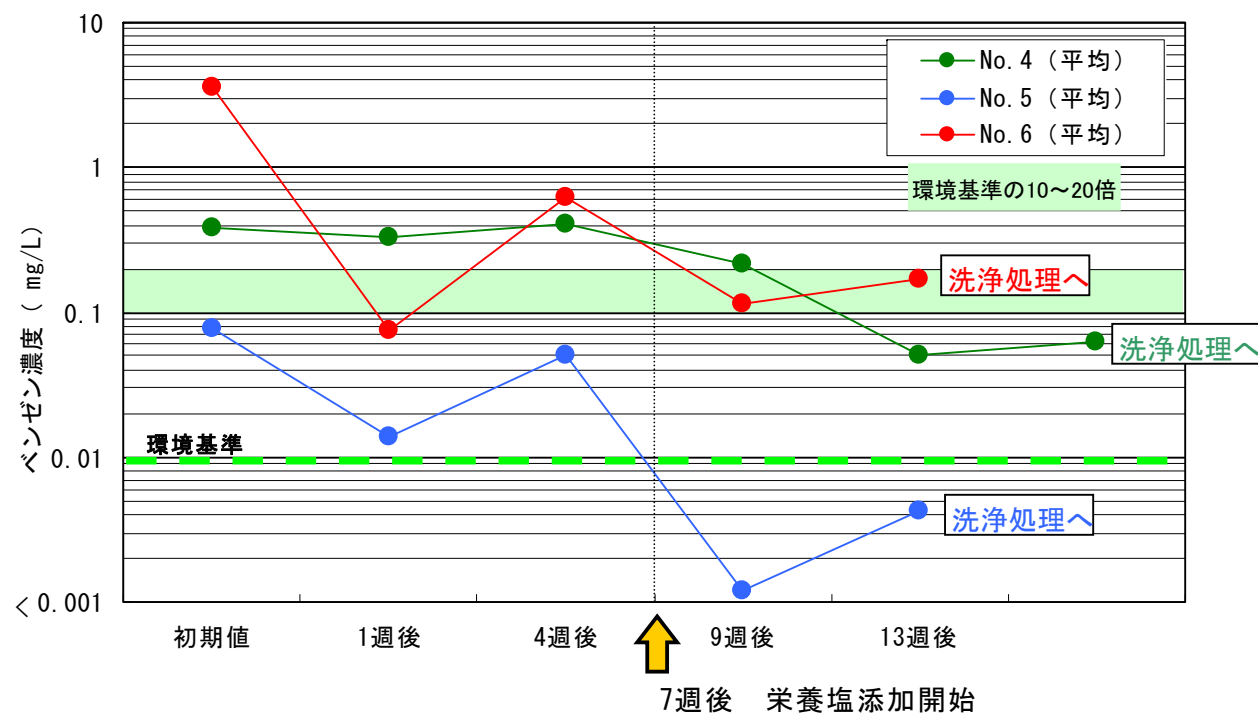


図 3.2-4 ベンゼン濃度 (No.4・No.5・No.6)

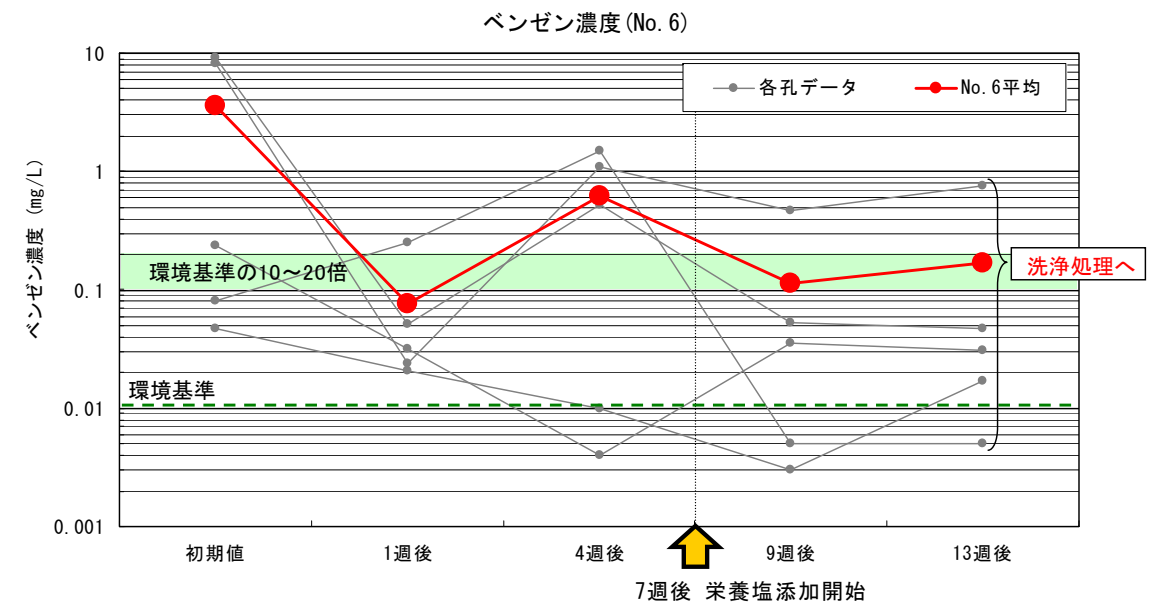
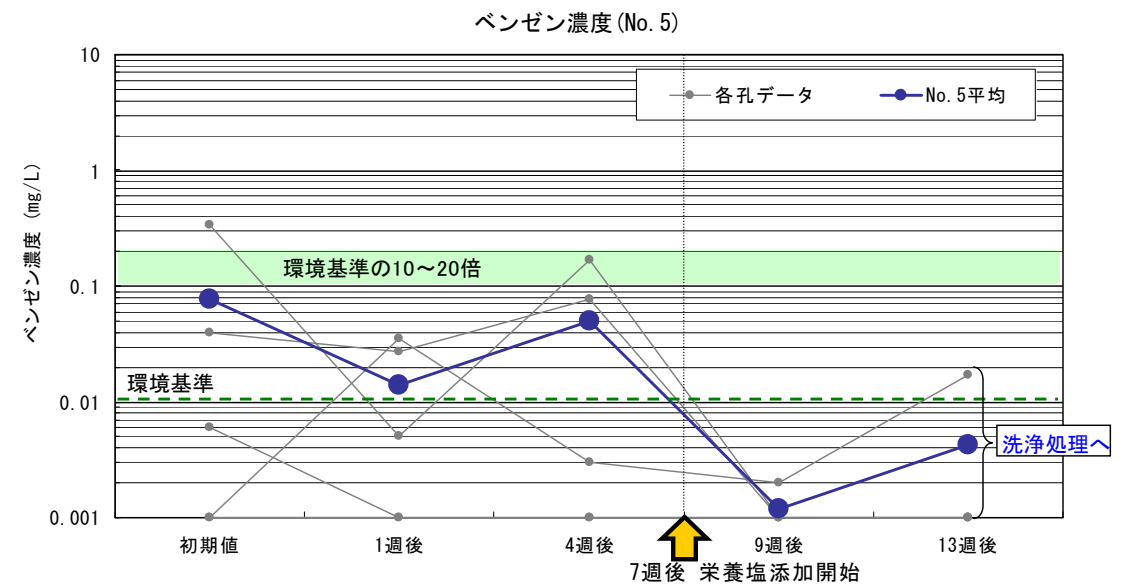
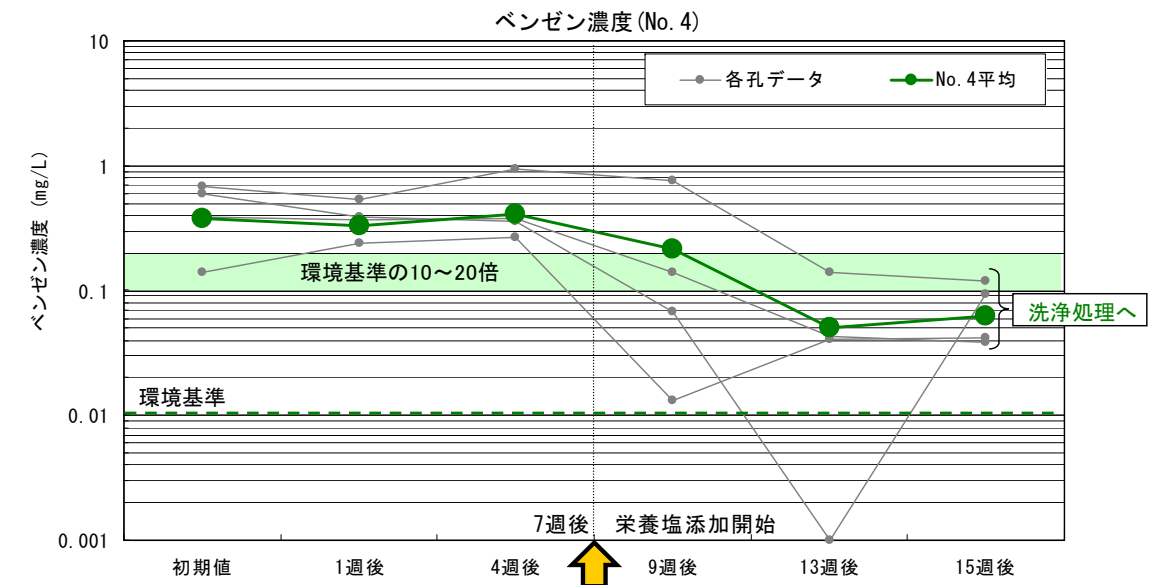


図 3.2-5 各地点のベンゼン濃度 (No.4・No.5・No.6)

○ シアン化合物濃度

表 3.2-2 原位置微生物処理の結果（シアン化合物濃度）

(単位:mg/L)

実験方法	分析項目	地点	土壌採取位置	原位置微生物処理					
				初期値	1週後	4週後	9週後	13週後	15週後
② 原位置微生物処理	シアン化合物	No. 4	M1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
			M2	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
			M3	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
			M4	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
			M5	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
			No. 4平均 <sup>※1</sup>	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
		No. 5	M1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
			M2	< 0.1	< 0.1	0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
			M3	0.1	< 0.1	0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
			M4	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
			M5	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.1	< 0.1
			No. 5平均 <sup>※1</sup>	0.10	< 0.1	0.10	< 0.1	0.10	< 0.1
		No. 6	M1	0.3	0.2	< 0.1	0.1	< 0.1	< 0.1
			M2	1.0	0.9	2.9	0.6	0.6	< 0.1
			M3	0.6	0.1	0.9	< 0.1	1.4	< 0.1
			M4	0.3	0.2	0.3	0.1	0.2	< 0.1
			M5	0.5	0.6	1.0	0.3	1.3	< 0.1
			No. 6平均 <sup>※1</sup>	0.54	0.40	1.04	0.24	0.72	< 0.1

※1 平均値は小数点以下第3位を四捨五入

↑ 7週後 栄養塩添加開始

洗浄処理へ

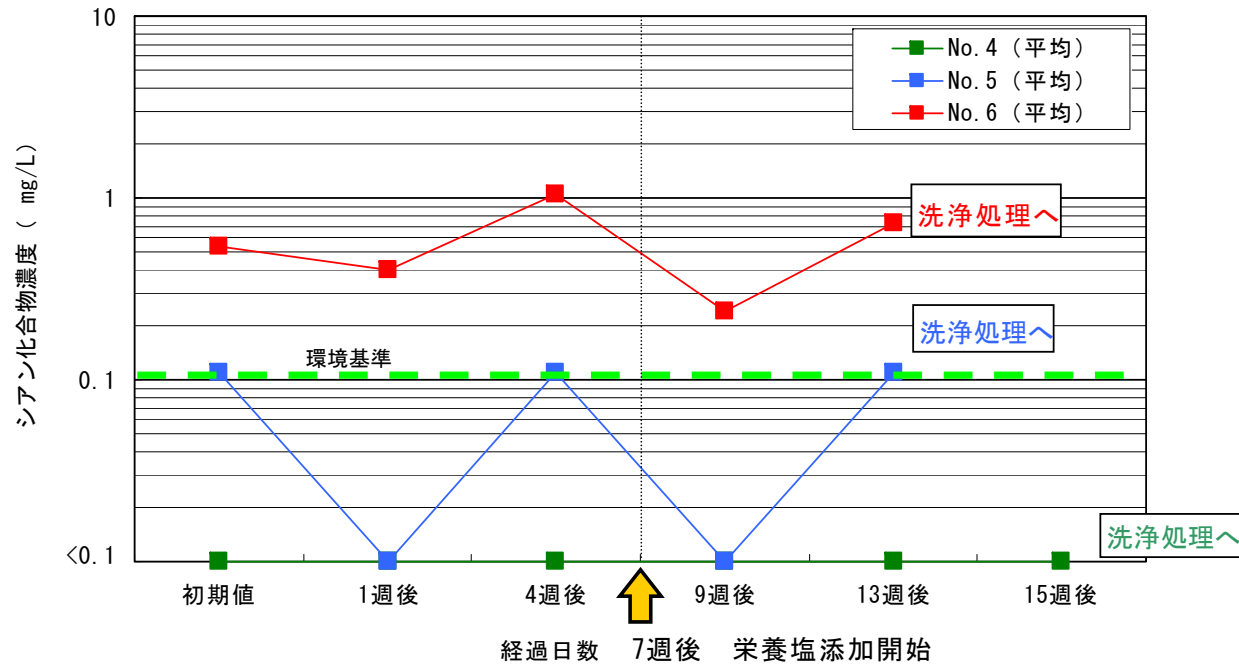


図 3.2-6 シアン化合物濃度(No.4・No.5・No.6)

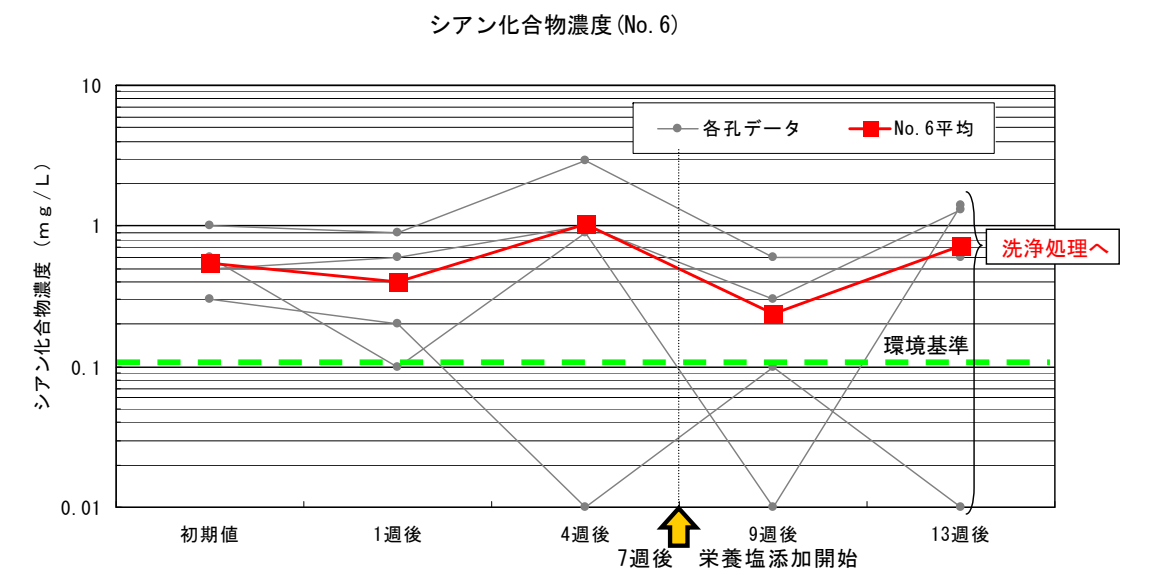
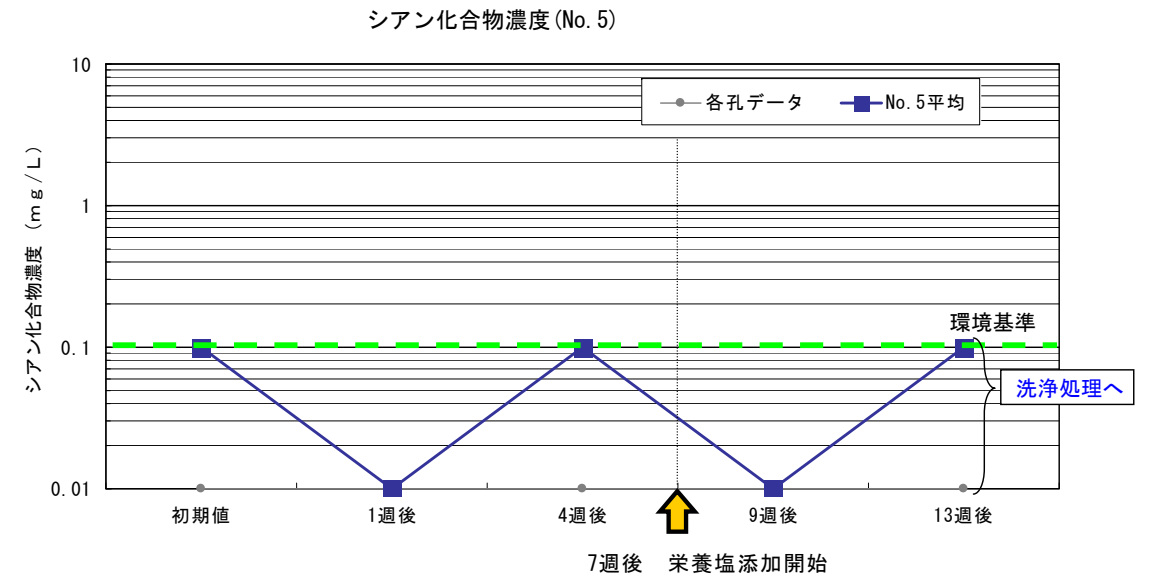
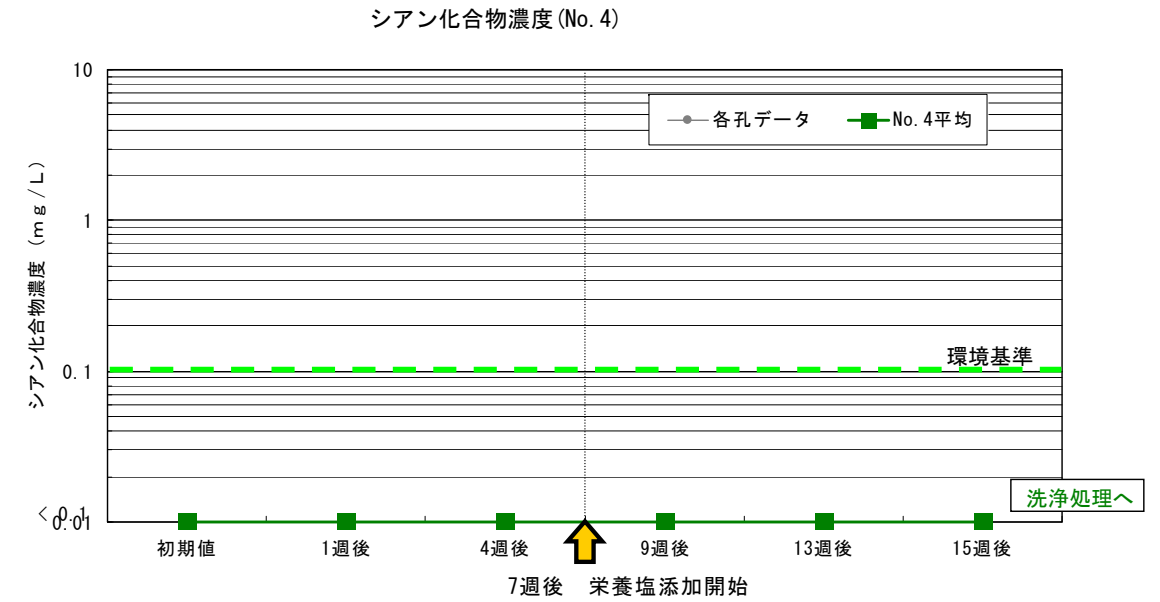


図 3.2-7 各地点のシアン化合物濃度(No.4・No.5・No.6)

(2) 洗浄処理

表 3.2-3 洗浄処理後の結果（ベンゼン）

(単位:mg/L)

実験方法	分析項目	地点	洗浄前 <sup>※1</sup>	洗浄後	浄化判定 <sup>※2</sup>
② 原位 ↓ 洗浄 微生物 処理	ベンゼン	No. 4	0.062	< 0.001	○
		No. 5	0.004	< 0.001	○
		No. 6	0.170	< 0.001	○

※1 5地点平均

※2 環境基準値以下

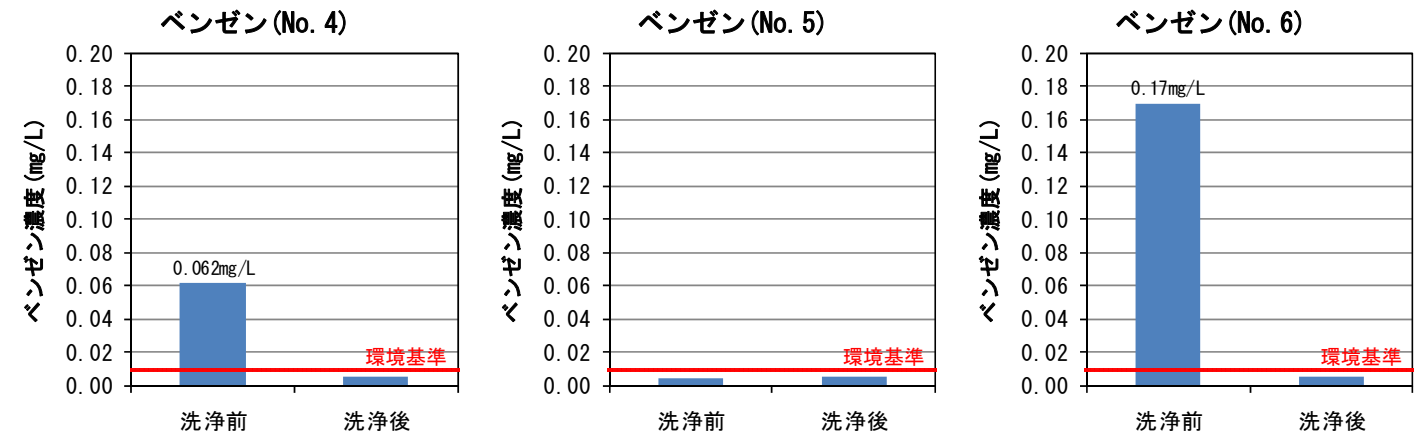


図 3.2-8 洗浄後のベンゼン濃度 (No.4・No.5・No.6)

表 3.2-4 洗浄処理後の結果（シアン化合物）

(単位:mg/L)

実験方法	分析項目	地点	洗浄前 <sup>※1</sup>	洗浄後	浄化判定 <sup>※2</sup>
② 原位 ↓ 洗浄 微生物 処理	シアン化合物	No. 4	< 0.1	< 0.1	○*
		No. 5	0.10	< 0.1	○
		No. 6	0.72	< 0.1	○

※1 5地点平均

※2 環境基準値以下

\*: 初期値が環境基準値以下

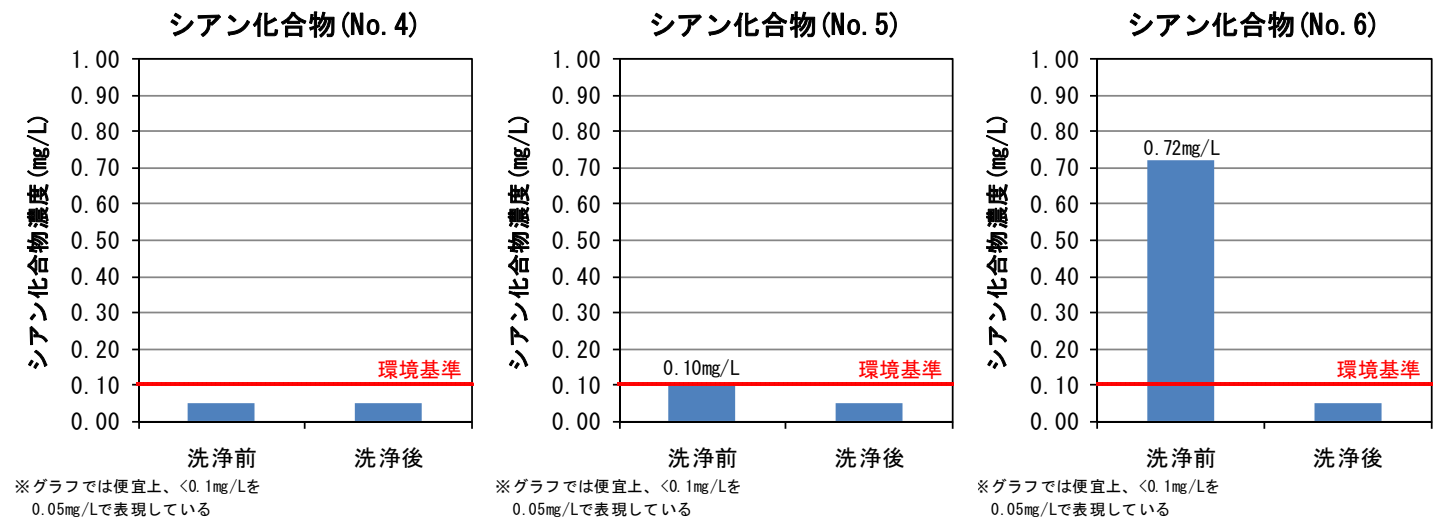


図 3.2-9 洗浄後のシアン化合物濃度 (No.4・No.5・No.6)

(関連データ)

○ 透水係数

・透水係数は、地点により異なるが  $10^{-5} \sim 10^{-7} \text{m/s}$  オーダーであり、透水性が高くないことが確認された。

表 3.2-4 透水係数の結果

地点	実験対象地の透水係数 <sup>*</sup> (m/s)
No. 4	$5.2 \times 10^{-7}$
No. 5	$1.2 \times 10^{-5}$
No. 6	$1.3 \times 10^{-5}$

※ クレガーの表により求めた透水係数

○ 粒度分布と濃縮残渣測定結果

・洗浄処理後、濃縮残渣が重量比で約 27~61%発生した。

表 3.2-5 洗浄処理前の粒度分布

地点	(洗浄処理前) 通過質量百分率 (%)			
	粘土分	シルト分	砂分	礫分
No. 4	49.1	43.5	1.5	5.9
No. 5	25.1	36.8	4.9	33.2
No. 6	27.8	37.8	5.8	28.6

表 3.2-6 洗浄処理後の濃縮残渣率

地点	洗浄処理後土量	
	種類	比率 (%)
No. 4	濃縮残渣	60.3
No. 5	濃縮残渣	26.3
No. 6	濃縮残渣	37.8

○ 酸素消費活性(地下水)<sup>※1</sup> (酸素消費量により、微生物の活性を確認) <sup>※1</sup> 数値大⇒高活性

- 微生物による酸素消費量が栄養塩を添加することで一時的に増加する傾向が確認された。

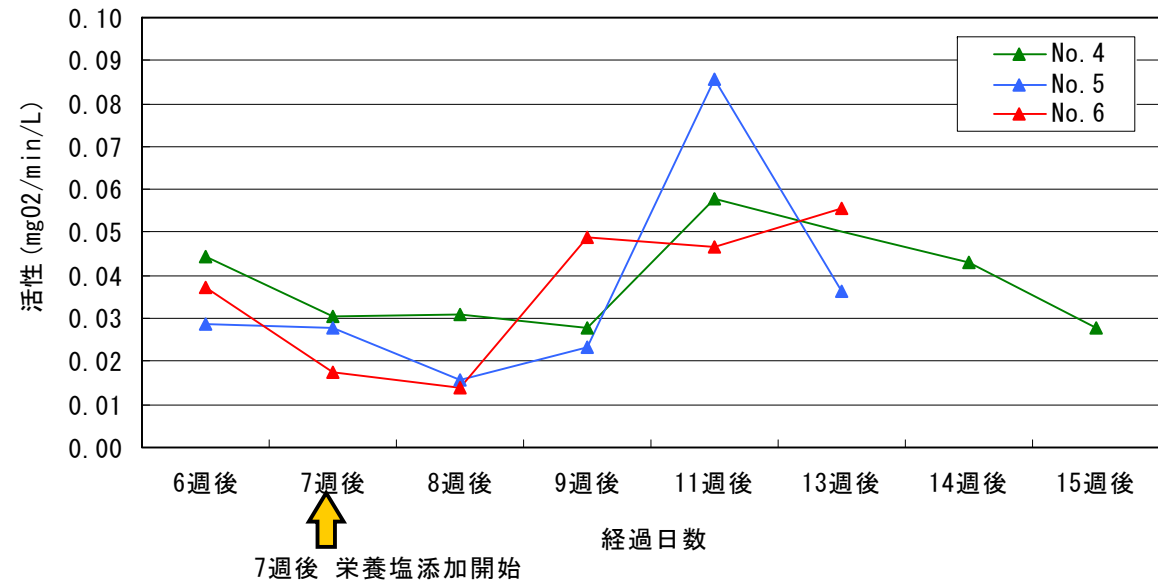


図 3.2-10 各地点の酸素消費活性 (地下水)

○ ベンゼン分解活性(地下水)<sup>※2</sup> (ベンゼンの分解速度により、ベンゼン分解菌の活性を確認) <sup>※2</sup> 数値小⇒高活性

- ベンゼンの分解速度は、栄養塩を添加した後に速く (半減期が短い) なり、ベンゼン分解菌の活性が高くなる傾向が確認された。

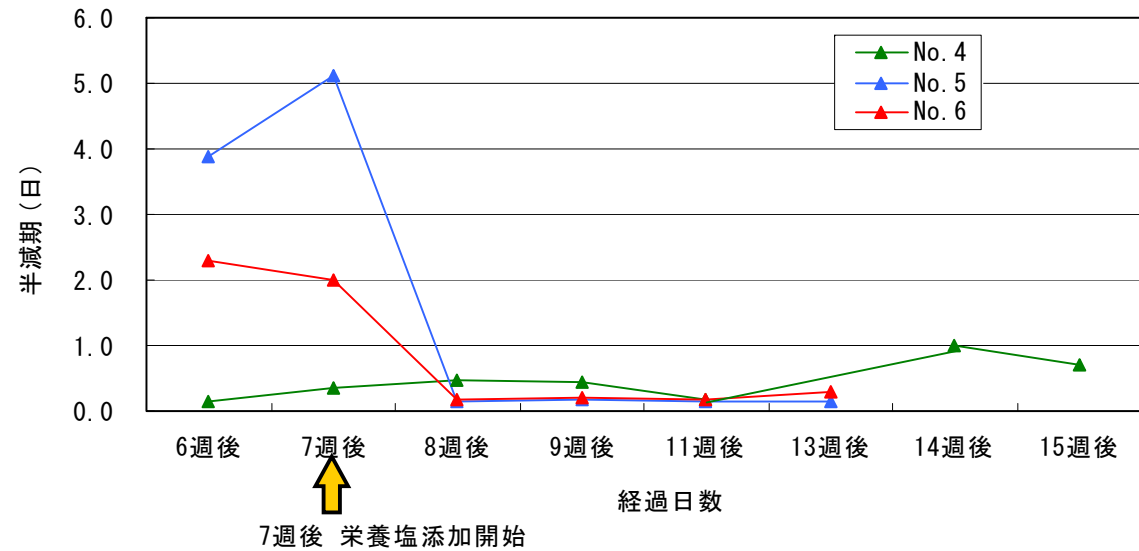


図 3.2-11 各地点のベンゼン消費活性 (地下水)

○ 全菌数 (微生物の数を確認)

- $10^6 \sim 10^7$  CFU/g 程度の微生物が確認された。

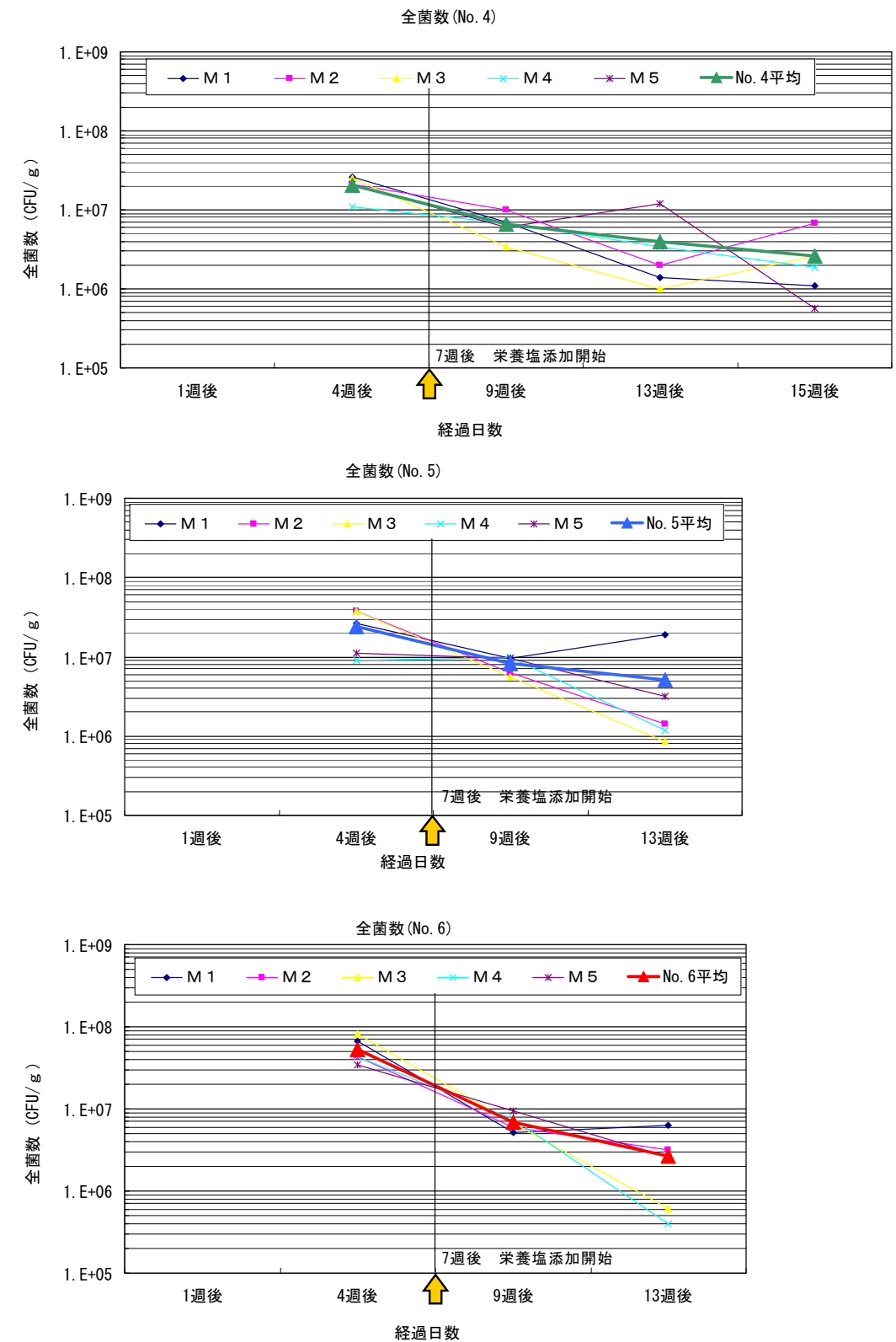


図 3.2-12 各地点の全菌数 (No.4・No.5・No.6)



- 水質データ
- ・ 溶存酸素濃度と酸化還元電位の変動から、好気的な環境が形成されていることが確認された。
  - ・ pH、電気伝導率、水温の結果からは、微生物が十分に活動できる環境にあることが確認された。

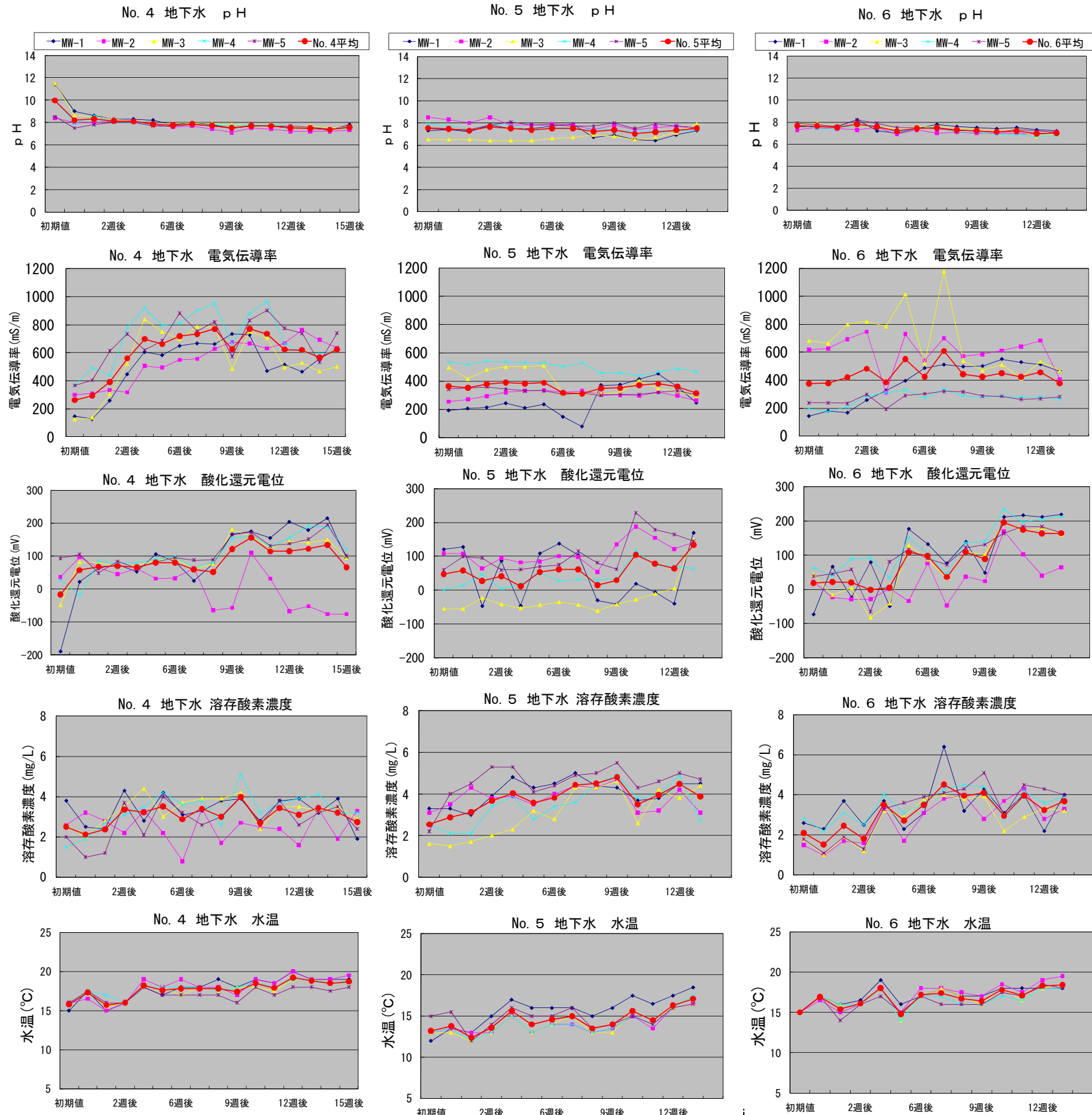


図 3.2-13 水質データ(No.4・No.5・No.6)

### 3.2.3 考察

実験結果から考察される点を以下にまとめる。

- ① 原位置微生物処理・洗浄処理実験では、すべての実験ケースで浄化が確認された。
- ② 原位置微生物処理では、ベンゼン濃度が環境基準値の 10 倍程度 (10~20 倍) まで低下できることが確認された。
- ③ 洗浄処理では、環境基準値の 10 倍程度 (10~20 倍) のベンゼンを含む複合汚染土壌を浄化できることが確認された。
- ④ 原位置微生物処理において、透水性がよければ、スパージングのみでもベンゼン濃度の低下効果が得られることが確認された。また、栄養塩の注入後は、透水性の違いに関わらず、いずれの地点でもベンゼン濃度の低下効果が確認された。
- ⑤ 原位置微生物処理のベンゼン濃度は、対象土壌の平均的な状況を把握するために 5 地点の平均値で環境基準値の 10 倍程度を確認した。なお、局所的に数 10 倍の濃度が検出されていても、洗浄処理による浄化が確認された。
- ⑥ 原位置微生物処理の段階では、シアン化合物の濃度低下はほとんど確認されなかった。
- ⑦ ベンゼン濃度の減少やベンゼンの分解活性の結果から、豊洲新市場予定地には、ベンゼンを分解する微生物がいることが確認された。

### 3.3 洗浄処理実験

目的：ベンゼン、シアン化合物、重金属等の複合的な汚染土壌及びシアン化合物、重金属等単独の汚染土壌について、洗浄処理することにより、浄化できることを確認する。

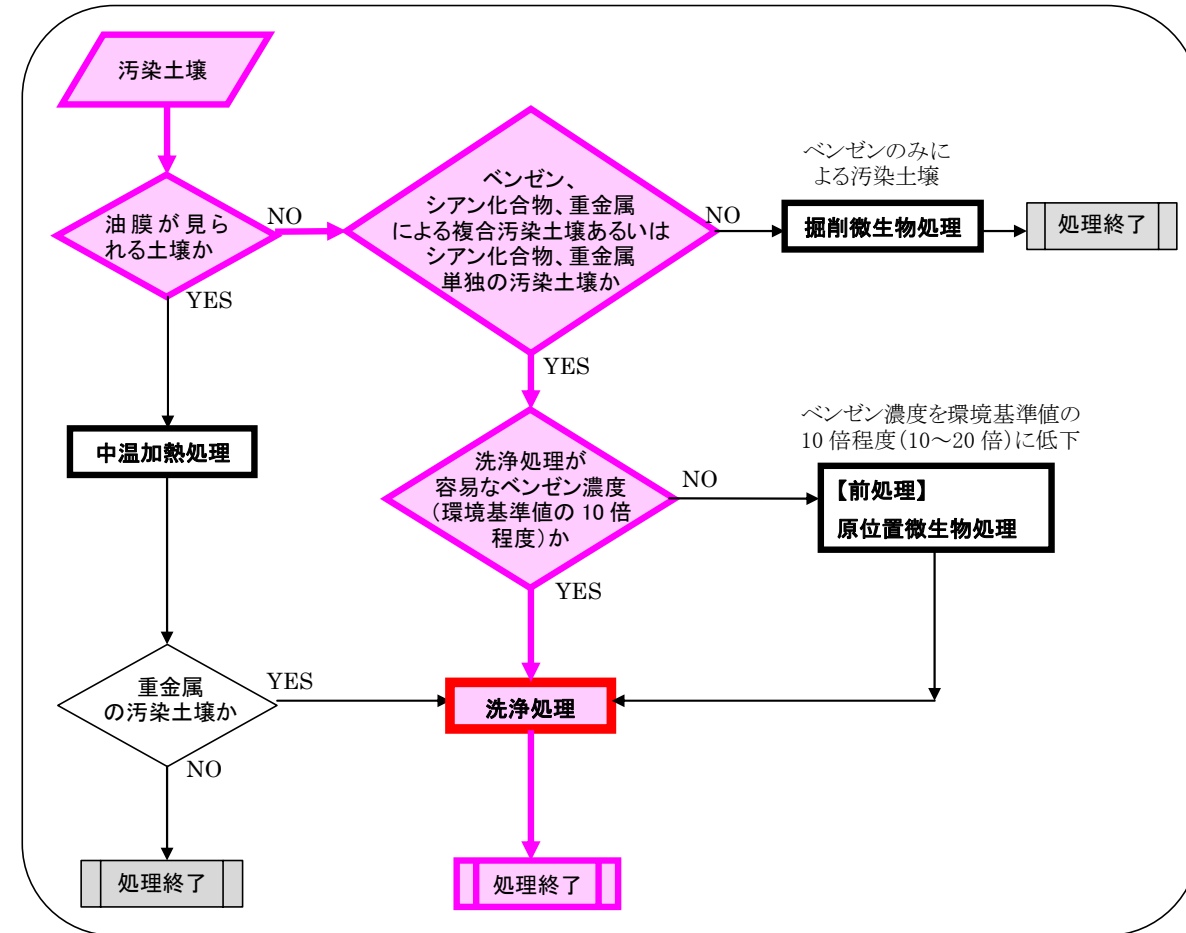


表 3.3-1 実験条件

滞留時間	40分 (試験プラント 20分)
使用水量	100~200t/時間
実験対象土量	約 50~100 m <sup>3</sup> (試験プラント 1 m <sup>3</sup> )

#### 3.3.1 実験方法

洗浄処理実験は、対象土壌を掘削して、場外の洗浄プラントを用いて実施した。なお、ベンゼンを含む土壌の処理については、常設のプラントで対応できないため、試験プラントにて処理を行った。

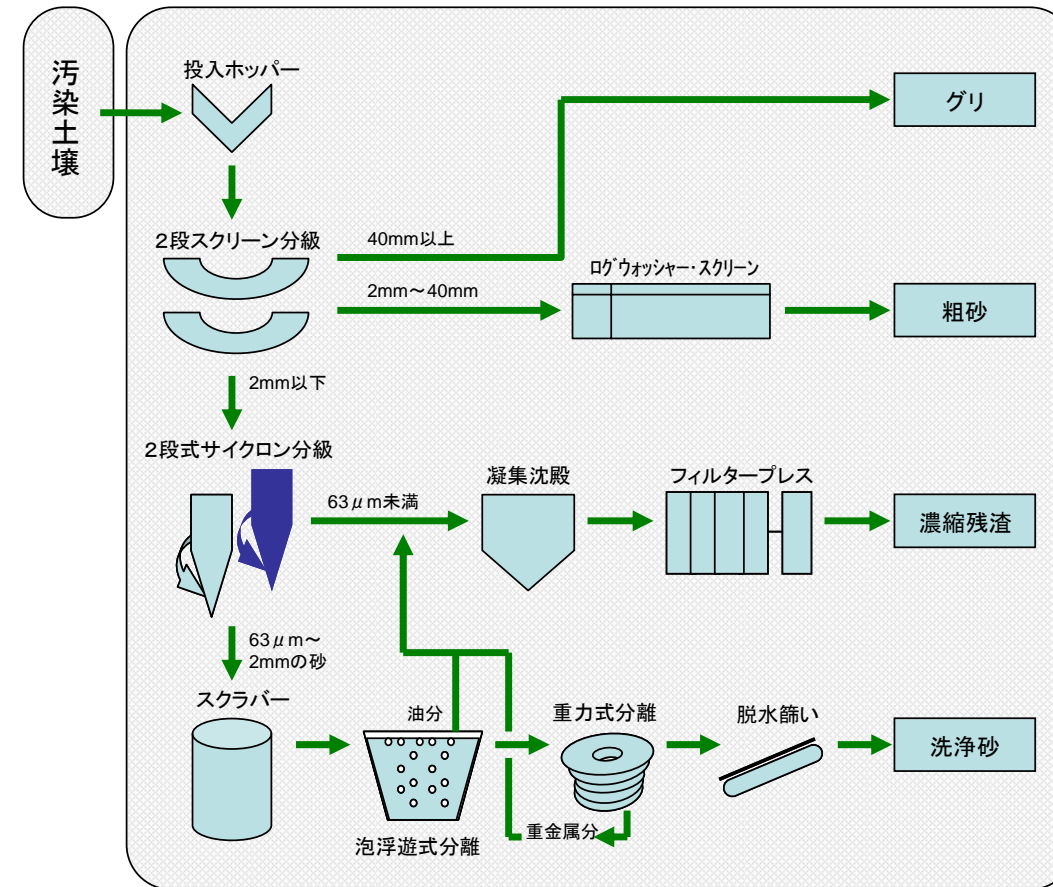


図 3.3-1 洗浄処理概念図



### 3.3.2 実験結果

表 3.3-2 洗浄処理実験の結果

(単位: mg/L)

実験方法	地点	分析項目	初期値	1回洗浄後	2回洗浄後	浄化判定*
③ 洗浄処理	No. 7	シアン化合物	0.3	0.1	<0.1	○
	No. 8	ヒ素	0.39	0.075	<0.005	○
	No. 9	ベンゼン	7.0	0.012	0.001	○
		シアン化合物	0.4	<0.1	-	○
		ヒ素	<0.005	<0.005	-	○*

※: 環境基準値以下  
\*: 初期値が環境基準値以下

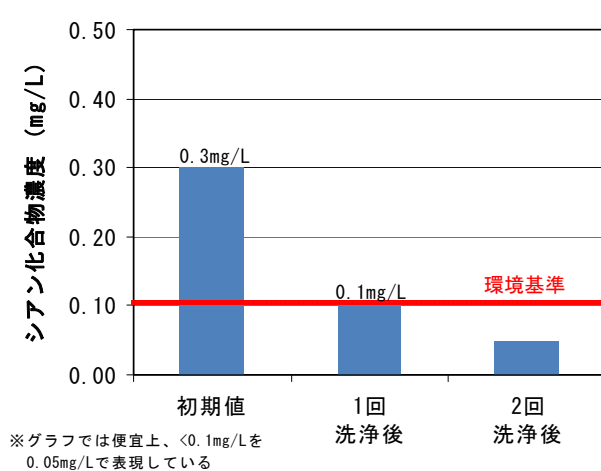


図 3.3-2 シアン化合物の濃度 (No.7)

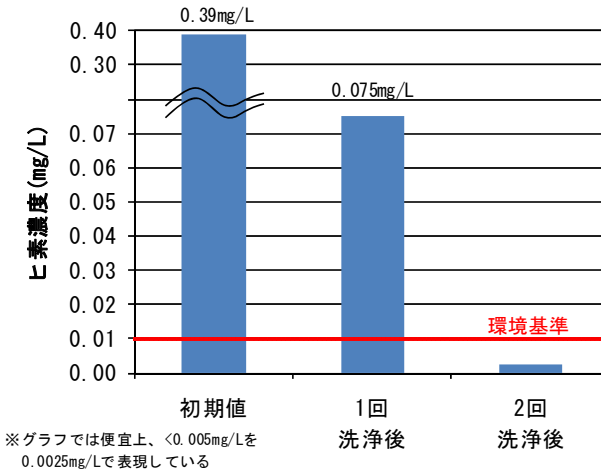


図 3.3-3 ヒ素の濃度 (No.8)

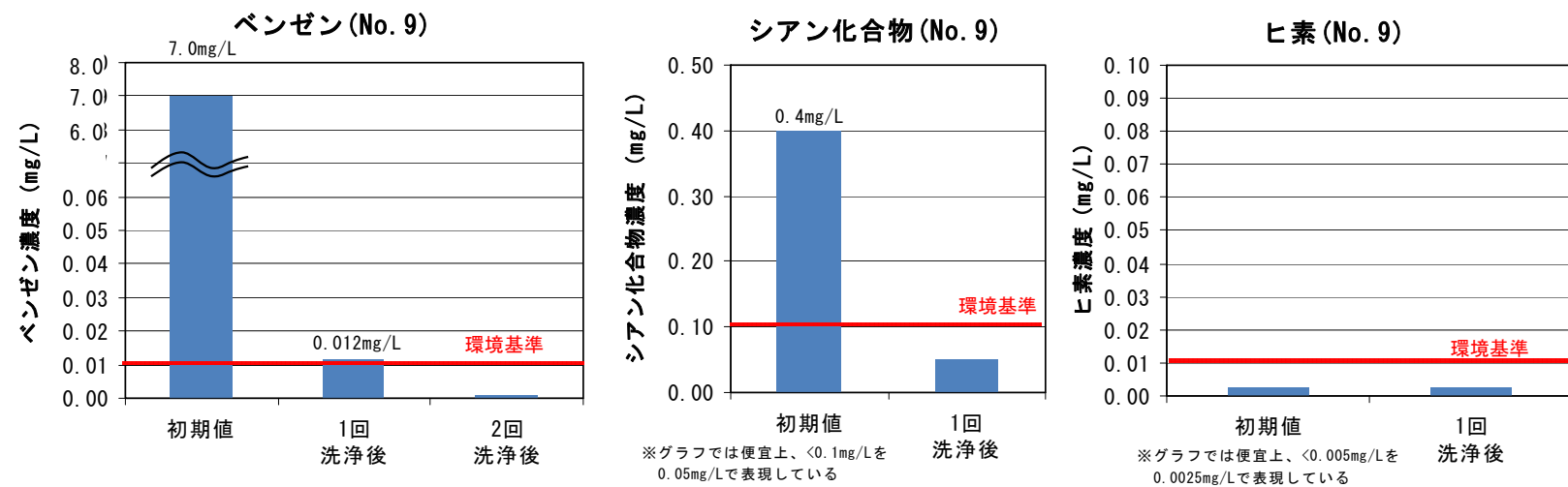


図 3.3-4 ベンゼン・シアン化合物・ヒ素の濃度 (No.9)

(関連データ)

- 粒度と重量測定結果
- ・ 洗浄処理後、濃縮残渣が重量比で約 28~45%発生した。

表 3.3-3 洗浄処理前の粒度

地点	通過質量百分率 (%)			
	粘土分	シルト分	砂分	礫分
No. 7	9.6	32.3	48.8	9.3
No. 8	16.1	35.7	46.3	1.9
No. 9	12.9	32.9	45.8	8.4

表 3.3-4 洗浄処理後の濃縮残渣比率

地点	種類	比率 (%)
No. 7	濃縮残渣	31.0
No. 8	濃縮残渣	45.3
No. 9	濃縮残渣	27.6

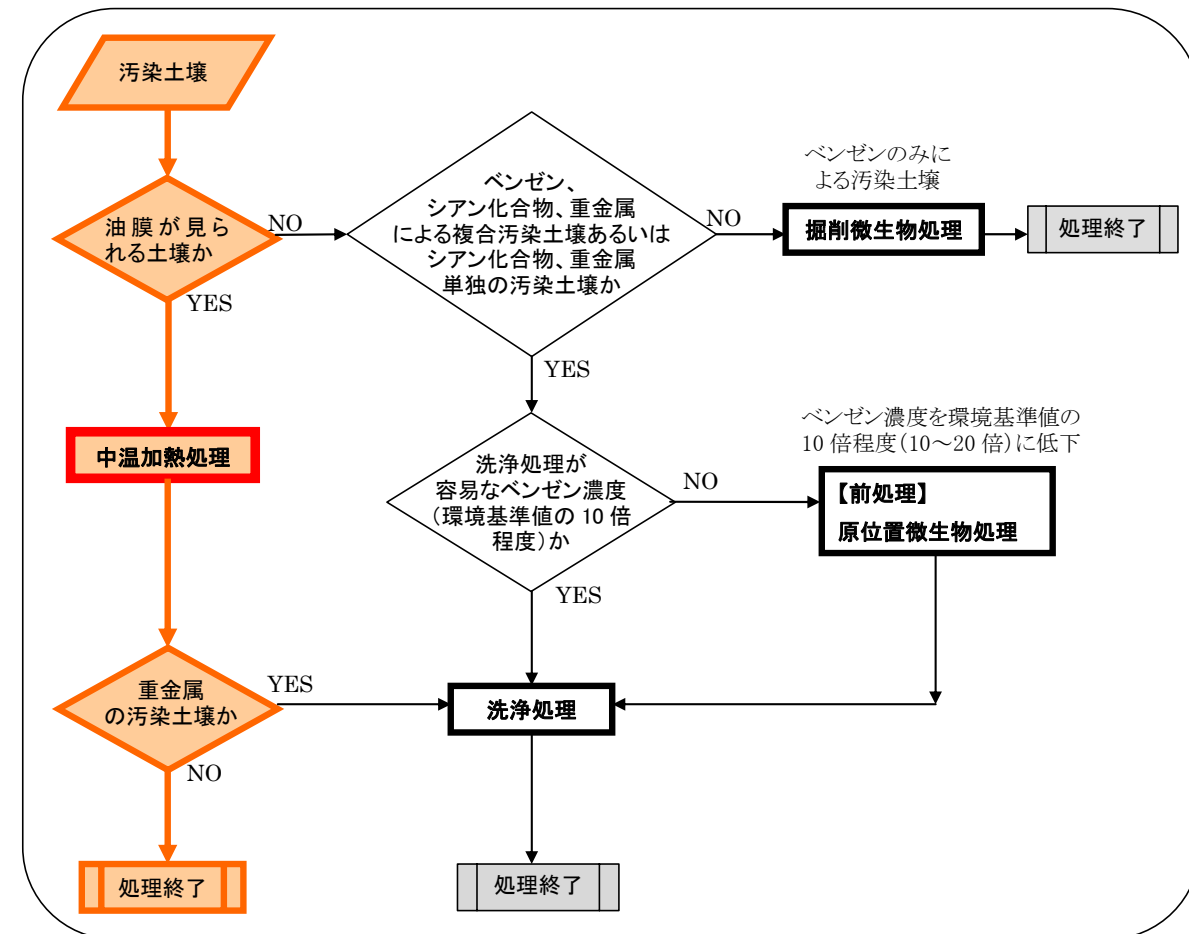
### 3.3.3 考察

実験結果から考察される点を以下にまとめる。

- ① 洗浄処理実験では、すべての実験ケースで浄化が確認された。
- ② 既往調査ではベンゼン濃度が環境基準値の 8.4 倍であった No.9 について、初期値が 700 倍であったが、洗浄処理において、ベンゼンの浄化が確認された。こうしたことから、高濃度のベンゼンについても浄化が可能であると考えられる。
- ③ 高濃度の汚染であっても複数回洗浄処理を行うことで、浄化できることが確認された。
- ④ ヒ素の浄化が確認されたことで、同じ洗浄処理で除去が可能な、鉛、水銀、六価クロム、カドミウムについても、十分処理が可能であると判断される。
- ⑤ 濃縮残渣率は、粒度分布から想定が可能であり、今回の実験においても、その範囲内であることが確認された。

### 3.4 中温加熱処理実験

目的：洗浄処理では浄化が困難な油膜が見られる土壌について、中温加熱処理で浄化できることを確認する。



### 3.4.1 実験方法

中温加熱処理実験は、対象土壌を掘削して、場外の加熱処理施設で中温加熱による処理を行った。

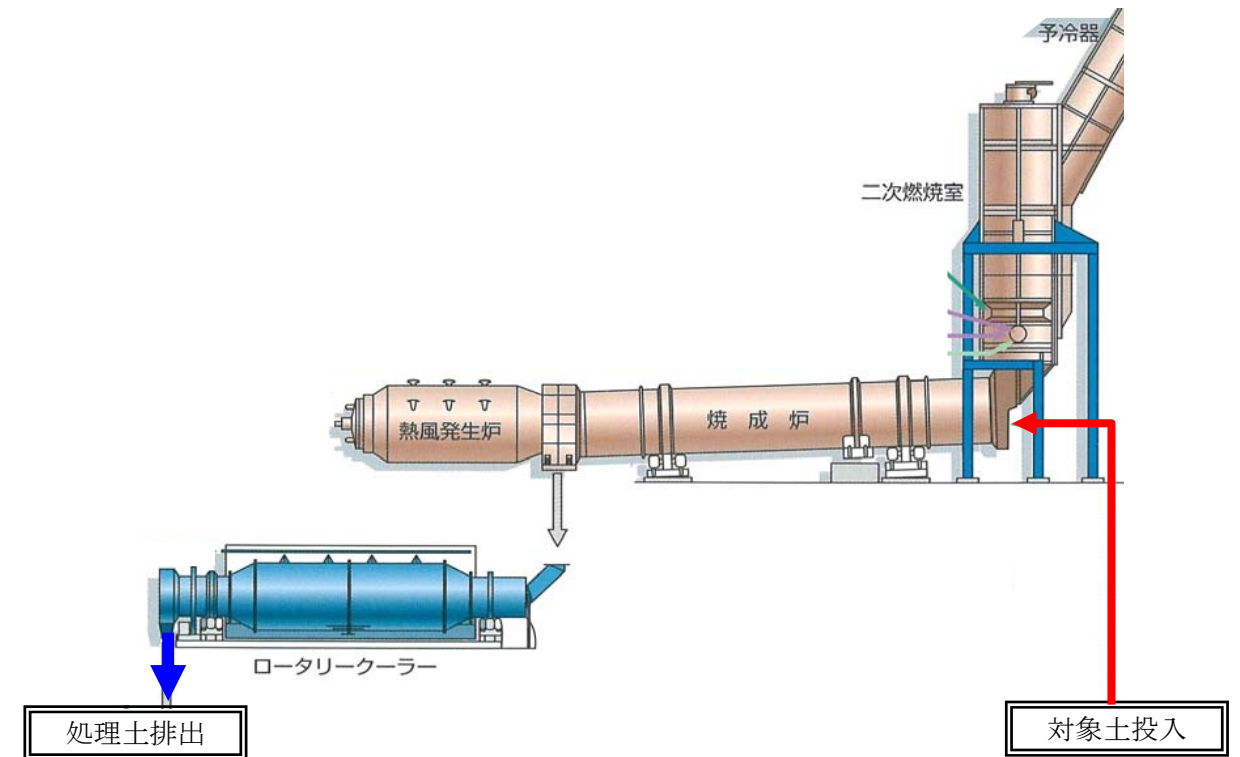


図 3.4-1 加熱処理施設概念図

表 3.4-1 実験条件

加熱温度(炉内温度)	約 600℃ (中温域)
滞留時間	1 時間
処理能力	3~4t/時間
実験対象土量	約 50m <sup>3</sup>



### 3.4.2 実験結果

表 3.4-2 中温加熱処理実験の結果

実験方法	地点	分析項目	単位	初期値	実験後	浄化判定※1
④ 中温加熱処理	No. 10	ベンゼン	mg/L	0.027	0.003	○
		シアン化合物	mg/L	0.1	< 0.1	○
		油膜	0なし~5多い	0	0※2	○*
	No. 11	ベンゼン	mg/L	0.91	0.003	○
		油膜	0なし~5多い	5	0※2	○

\*初期値が環境基準値以下

※1 環境基準値以下または油膜なし

※2 白色の浮遊物質が確認されたため、油分量(炭化水素の総量)を測定する全石油系炭化水素(TPHs)分析を行った結果、油分ではないことを確認した。

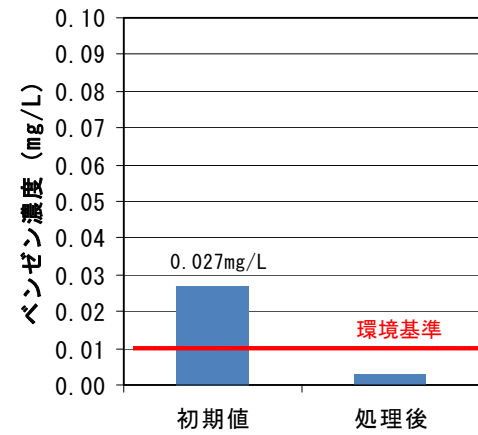
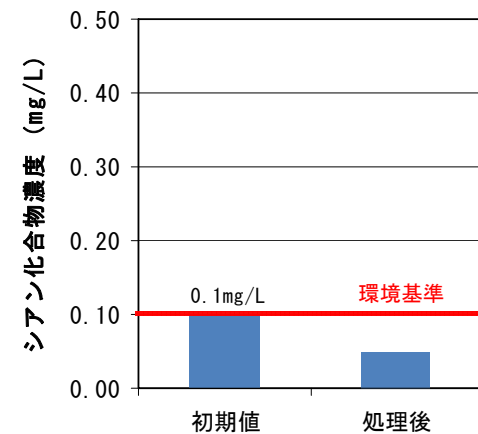


図 3.4-2 ベンゼン濃度 (No.10)



\*グラフでは便宜上、<0.1mg/Lを0.05mg/Lで表現している

図 3.4-3 シアン化合物の濃度 (No.10)

表 3.4-3 全石油系炭化水素 (TPHs) 分析結果

地点	TPHs (mg/kg)			
	C6-C44	(C6-C10)	(C10-C28)	(C28-C44)
No. 10	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0
No. 11	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0

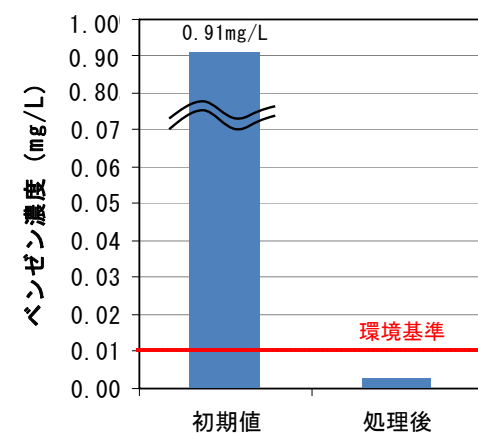


図 3.4-4 ベンゼン濃度 (No.11)

### 3.4.3 考察

実験結果から考察される点を以下にまとめる。

- ① 中温加熱処理実験では、すべての実験ケースで浄化が確認された。
- ② 中温加熱処理において、油膜なしが確認され、油分が処理できたと判断される。
- ③ 中温加熱処理において、低濃度のシアン化合物の浄化が確認された。

### 3.4.4 中温加熱処理における追加実験

中温加熱処理実験の結果を補完するため、追加実験を実施した。

実験は、既往調査時に確認された 43,000 倍など高濃度のベンゼン汚染土壌を対象とした場合の浄化能力を検証することを目的に、模擬汚染土壌を作成して、中温加熱処理を行った。

模擬汚染土壌は、43,000 倍のベンゼン汚染土壌を目標に既往調査で実際に 43,000 倍のベンゼンが確認された区画 (No. 10) の汚染処理土にベンゼンを添加して作成した。

なお、ベンゼンは揮発性の高い液体であり、43,000 倍の濃度そのものの模擬汚染土壌を作成することは技術的に難しいため、43,000 倍を上回る高濃度のものを作成した結果、初期値が 20 万倍となった。

表 3.4-4 運転条件 (追加実験)

加熱温度	約 600°C (中温域)
滞留時間	1 時間

表 3.4-5 追加実験の結果

(単位 : mg/L)					
実験方法	地点	分析項目	初期値	実験後	浄化判定※
中温加熱処理追加実験	No. 10の模擬汚染土壌	ベンゼン	2.000	0.005	○

※環境基準値以下

#### ○ 追加実験の考察

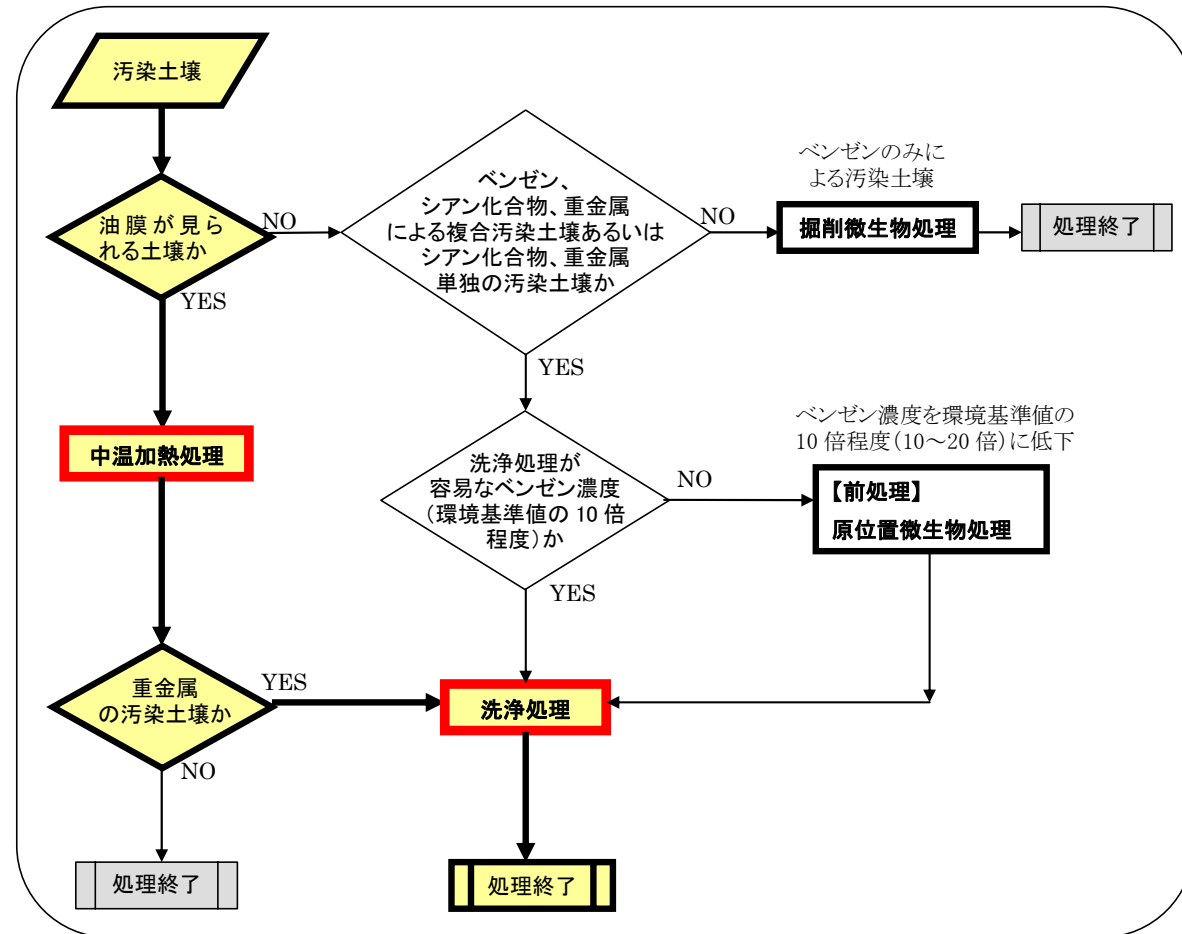
- ・ 43,000 倍を超える高濃度 (環境基準値の 20 万倍) のベンゼン汚染土壌も浄化。

### 3.5 中温加熱処理・洗浄処理実験

目的：油膜が見られるシアン化合物、重金属等の汚染土壌について、中温加熱処理後、洗浄処理を行い、浄化できることを確認する。

#### 3.5.1 実験方法

中温加熱処理・洗浄処理実験は、対象土壌を掘削して、場外の中温加熱処理施設で油分やベンゼンの処理を行い、洗浄処理施設において重金属等の処理を行った。  
処理施設は、「洗浄処理実験」「中温加熱処理実験」の施設とした。



### 3.5.2 実験結果

表 3.5-1 中温加熱処理・洗浄処理実験の濃度測定結果

実験方法	地点	分析項目	単位	初期値	中温加熱後	洗浄処理後	浄化判定※
⑤ 中温加熱 ↓ 洗浄処理	No. 12	ベンゼン	mg/L	1.8	0.003	-	○
		シアン化合物	mg/L	1.4	0.1	<0.1	○
		ヒ素	mg/L	< 0.005	< 0.005	<0.005	○*
		油膜	0なし~5多い	5	0	0	○
	No. 13	シアン化合物	mg/L	0.2	< 0.1	<0.1	○
		ヒ素	mg/L	< 0.005	< 0.005	<0.005	○*
油膜		0なし~5多い	4	0	0	○	

※：環境基準値以下、または油膜なし  
\*：初期値が環境基準値以下

(関連データ)

- 粒度と重量測定
- ・ 洗浄処理後、濃縮残渣が重量比で約 15~17%発生した。

表 3.5-2 洗浄処理前の粒度

地点	通過質量百分率(%)			
	粘土分	シルト分	砂分	礫分
No. 12	2.3	11.0	42.3	44.4
No. 13	4.2	22.3	63.2	10.3

表 3.5-3 洗浄処理後の濃縮残渣重量測定結果

地点	種類	比率(%)
No. 12	濃縮残渣	14.5
No. 13	濃縮残渣	17.0

### 3.5.3 考察

実験結果から考察される点を以下にまとめる。

- ① 中温加熱処理・洗浄処理実験では、すべての実験ケースで浄化が確認され、処理の複合システムが有効であることが確認された。
- ② 中温加熱処理によってベンゼンの浄化が確認された。また、シアン化合物については中温加熱処理で濃度低下が確認され、洗浄処理で浄化が確認された。
- ③ ヒ素については、いずれの実験ケースにおいても環境基準値以下であったが、No. 9 の洗浄処理実験において、浄化を確認している。

### 3.6 地下水浄化処理実験

目的：地下水のみがベンゼン、重金属、シアン化合物で汚染されている地点について、揚水と復水により地下水が浄化できることを確認する

#### 3.6.1 実験方法

地下水浄化処理実験は、鋼矢板で囲った対象範囲において、地下水をポンプにより揚水して、揚水した地下水は地下水浄化施設で処理を行った。地下水を揚水した後、水道水を復水して浄化の状況を確認した。また、浄化効率を上げるために、揚水と復水を1サイクル実施した後は、揚水と復水を同時に行う連続揚復水を行った。

なお、ベンゼンを対象とした実験では、10m区画の狭い範囲を鋼矢板で囲ったことから、技術会議で示された土壌ガス吸引は併用せずに、簡易な処理として実施した。

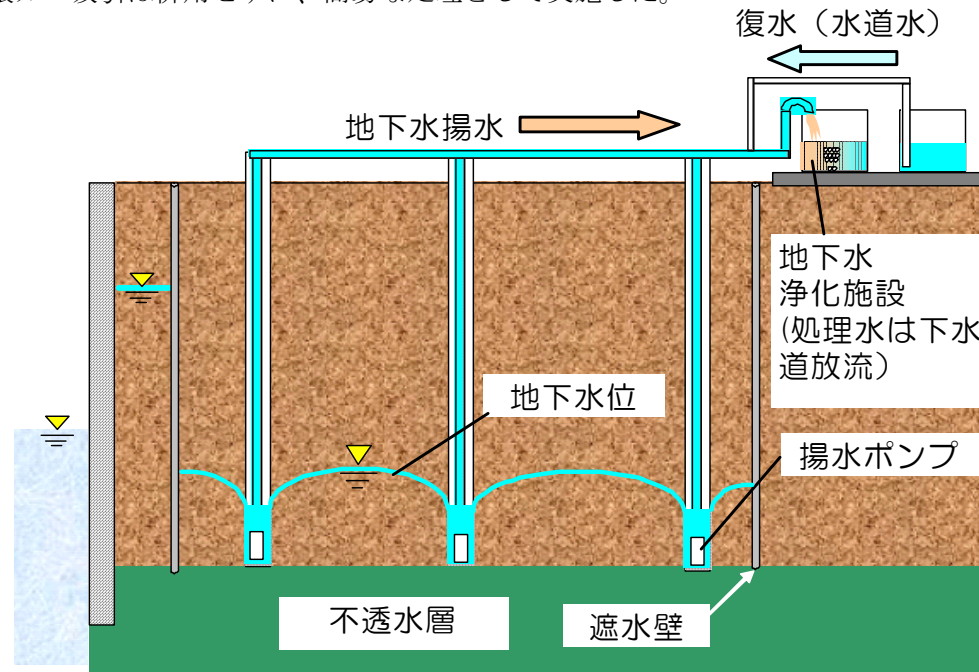


図 3.6-1 地下水浄化処理実験の概念図

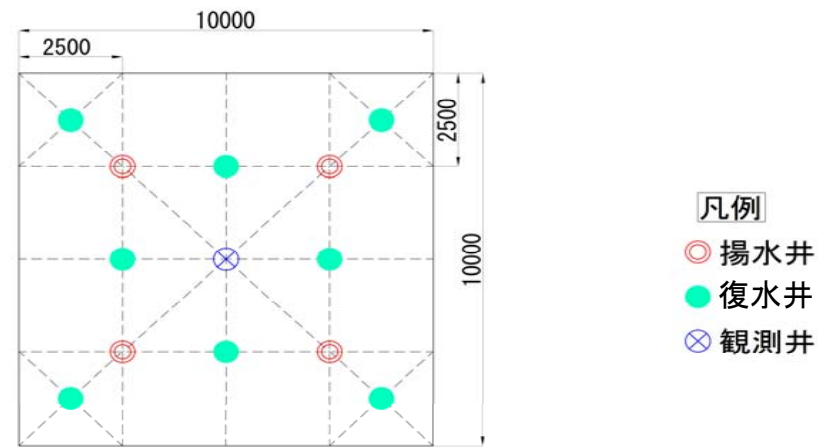


図 3.6-2 地下水浄化処理の井戸配置

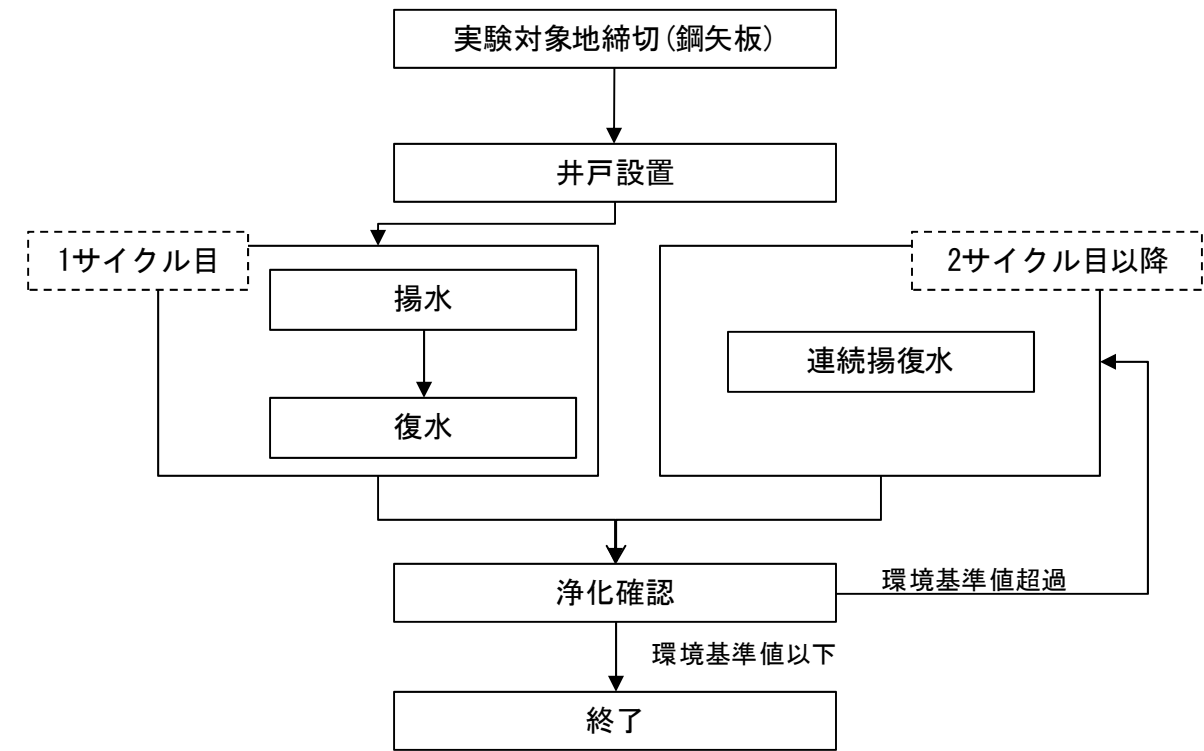


図 3.6-3 地下水浄化処理フロー





### 3.6.2 実験結果

表 3.6-1 地下水洗浄処理実験の結果

(単位:mg/L)

実験方法	地点	分析項目	初期値	揚水・復水後	連続揚復水		浄化判定 <sup>※1</sup>
					(1回目)	(2回目)	
⑥ 地下水浄化処理	No. 14	ベンゼン	< 0.001	< 0.001 <sup>※2</sup>	/	/	○*
	No. 15	シアン化合物	1.1	0.3	< 0.1	/	○
	No. 16	鉛	< 0.005	< 0.005 <sup>※2</sup>	/	/	○*
		シアン化合物	0.1	< 0.1	/	/	○
	No. 17	ベンゼン	0.39	0.19	0.16	0.001	○
	No. 18	鉛	0.023	< 0.005	< 0.005	/	○

※1 環境基準値以下

※2 揚水・復水井戸(12孔)でも分析を実施し、全孔で環境基準値以下を確認

\*: 初期値が環境基準値以下

\*ベンゼン、鉛については、No.14、No.16 地点で初期値が環境基準値以下であったため、No.17、No.18 地点を追加した。

表 3.6-2 地下水処理施設による処理結果

(単位:mg/L)

地点	対象物質	処理方法	処理水濃度	浄化判定*
No. 14	ベンゼン	ばっ気処理	< 0.001	○
No. 15	シアン化合物	酸化分解処理・紺青法	< 0.1	○
No. 16	シアン化合物	酸化分解処理・紺青法	< 0.1	○
	鉛	凝集沈殿処理	< 0.005	○
No. 17	ベンゼン	ばっ気処理	< 0.001	○
No. 18	鉛	凝集沈殿処理	< 0.005	○

\* 下水排除基準値以下

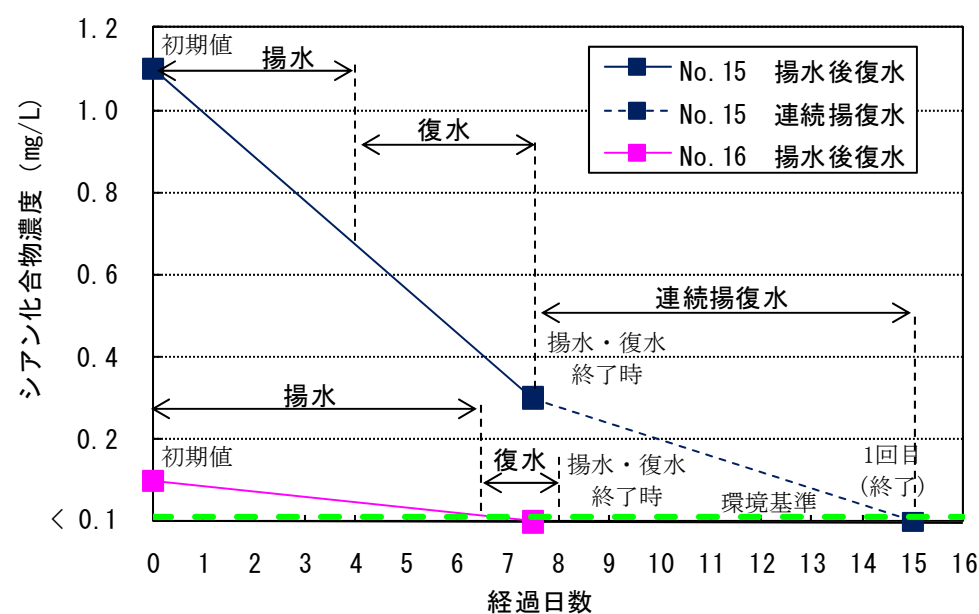


図 3.6-4 地下水シアン化合物濃度 (No.15・No.16)

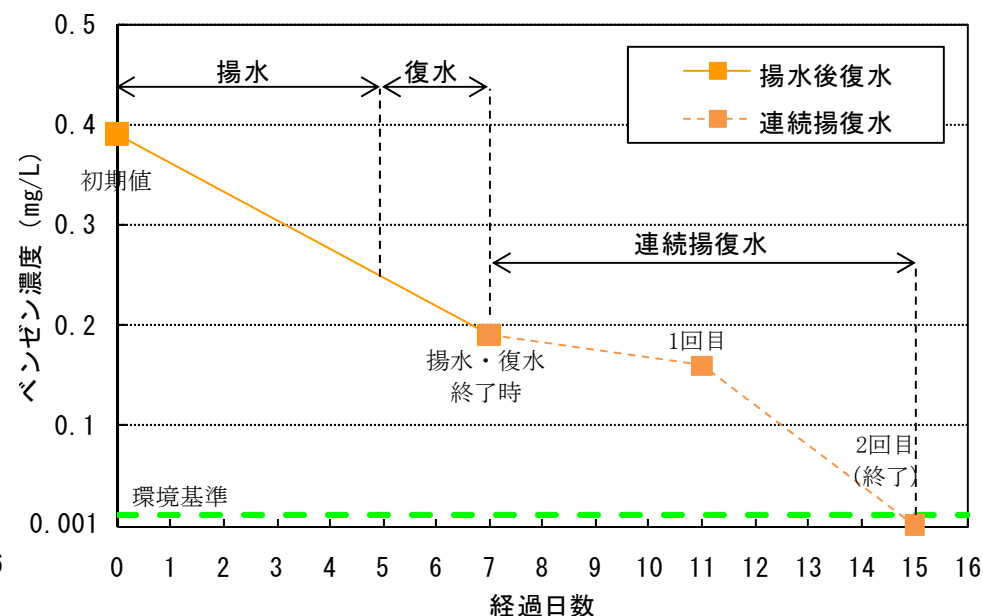


図 3.6-5 地下水ベンゼン濃度 (No.17)

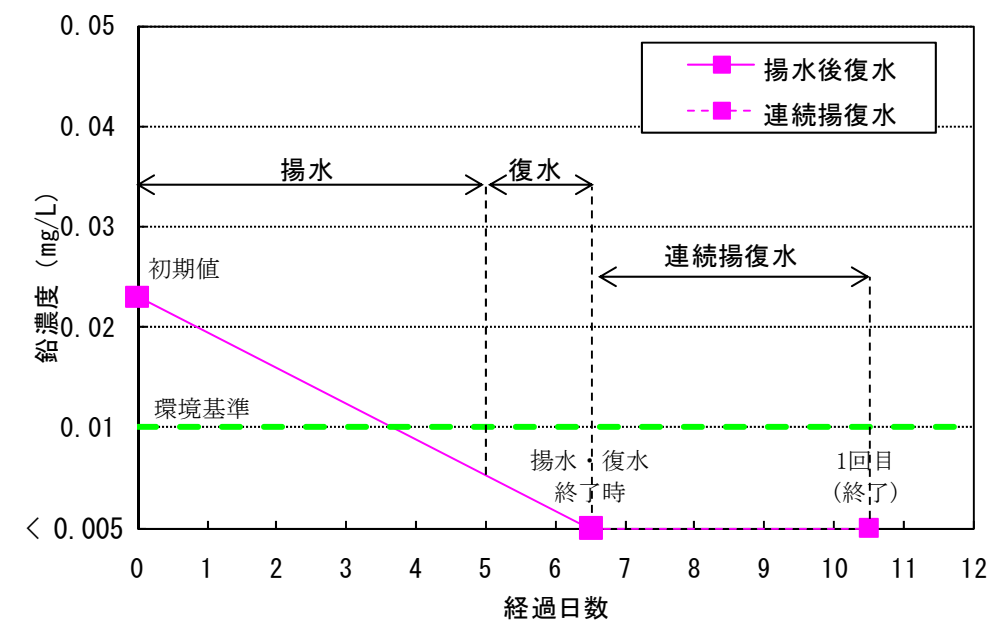


図 3.6-6 地下水鉛濃度 (No.18)

### 3.6.4 考察

実験結果から考察される点を以下にまとめる。

- ① 地下水浄化処理実験では、いずれの実験ケースにおいても浄化が確認された。
- ② 揚水、復水を交互に実施する方法、揚水と復水を同時（連続揚復水）に実施する方法とも浄化効果が確認された。
- ③ 揚水した地下水に含まれるベンゼンはばっ気処理により、シアン化合物は酸化分解処理・紺青法により、重金属である鉛は凝集沈殿処理により下水排除基準値以下に処理できることが確認された。

## 4. まとめ

- ① すべての処理について、処理後に環境基準値以下となったことを確認した。
- ② 掘削微生物処理では、昇温材を利用することで短期間でのベンゼンの浄化が確認された。また、室内実験において、複合汚染であってもベンゼンの浄化が可能であることが確認された。
- ③ 原位置微生物・洗浄処理では、原位置微生物処理でベンゼンが環境基準値の 10 倍程度まで浄化され、洗浄処理でベンゼンとシアン化合物ともに環境基準値以下に浄化されることが確認された。
- ④ 洗浄処理では、ベンゼン、シアン化合物、ヒ素（重金属等）のいずれの浄化も確認された。特に高濃度のベンゼンの浄化が確認された。
- ⑤ 中温加熱処理では、ベンゼンの浄化が確認されるとともに、油膜の処理が確認された。また、低濃度のシアン化合物の浄化が確認された。なお、追加実験において、模擬汚染土壌で、高濃度のベンゼンの浄化が確認された。
- ⑥ 中温加熱・洗浄処理実験では、すべての実験ケースで浄化が確認され、処理の複合システムが有効であることが確認された。
- ⑦ 地下水浄化処理では、ベンゼン、シアン化合物、鉛ともに浄化が確認された。揚水と復水の繰り返しのほかに、連続揚復水も有効なことが確認された。