

中央卸売市場移転予定地における  
 土壌・地下水汚染調査 (Step2) 業務委託  
 (トリータビリティ試験結果)

1. トリータビリティ試験の実施方針

1.1 目的

今後、ベンゼン及び油臭の対策方法を検討する場合に、トリータビリティ試験が必要な工法について、STEP2 調査の中で実施し、今後の浄化対策の設計等を円滑に進めることを目的とした。

トリータビリティ試験を実施した工法は以下のとおりである。

- ① フェントン法による化学処理
- ② ステイミュレーション法による生物処理
- ③ 石灰混合法による抽出処理

1.2 検証項目

措置技術の概要とトリータビリティ試験での検証項目を表 4.1.1 に示す。

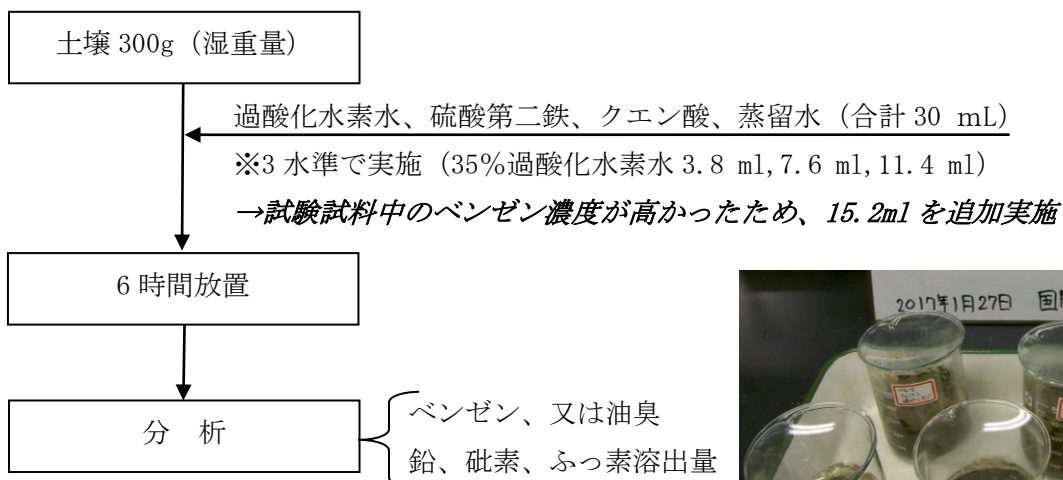
表 4.1.1 措置技術の概要とトリータビリティ試験での検証項目

	フェントン (化学処理)	ステイミュレーション (生物処理)	石灰混合 (抽出処理)
技術概要	過酸化水素と鉄塩により発生するヒドロキシルラジカルにより、ベンゼンを無害な物質にまで分解、又は油臭の元となる鉱油類を分解する。	栄養や空気を供給し、現地に生息する微生物の活性を高め、ベンゼンを無害な物質にまで分解、又は油臭の元となる鉱油類を分解する	生石灰の水和熱によって土壌温度をあげ、揮発成分であるベンゼン又は油臭成分を揮発・分離する。
適用性評価	フェントン法による分解によりベンゼン又は、鉱油類が問題ない程度となるかどうか、及び過酸化水素の添加量を評価する。	現地に生息する微生物の分解によりベンゼン又は、鉱油類が問題ない程度となるかどうか、及びその期間を評価する。	石灰混合による揮発・分離によりベンゼン又は、油臭が問題ない程度となるかどうか、及び生石灰の添加量を評価する。
環境影響評価	処理の過程で土壌が酸性となり、重金属が溶出しやすくなる可能性があるため、鉛、砒素、ふっ素の溶出量の変化を評価する。	処理過程における微生物量の変化を評価する。土壌性状への影響は小さいが、処理の過程で鉛、砒素、ふっ素の溶出量に変化しないことを確認する。	処理の過程で土壌がアルカリ性となり、重金属が溶出しやすくなる可能性があるため、鉛、砒素、ふっ素の溶出量の変化を評価する。

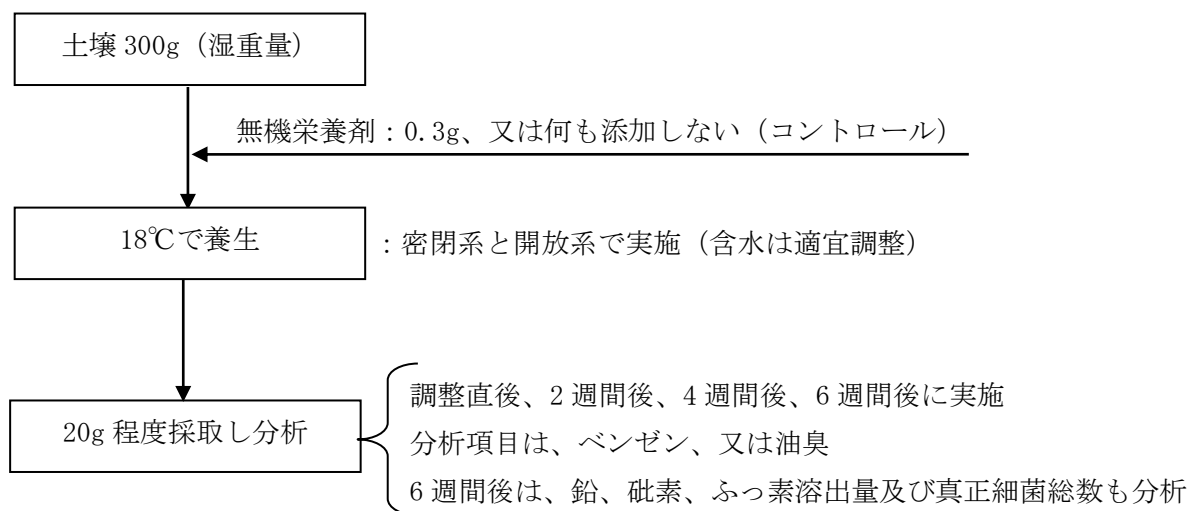
## 2. トリータビリティ試験結果

### 2.1 試験フロー

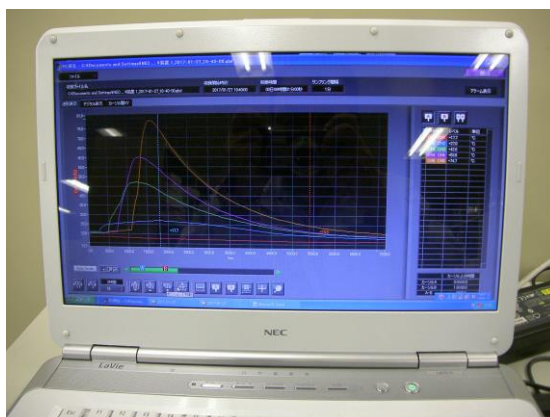
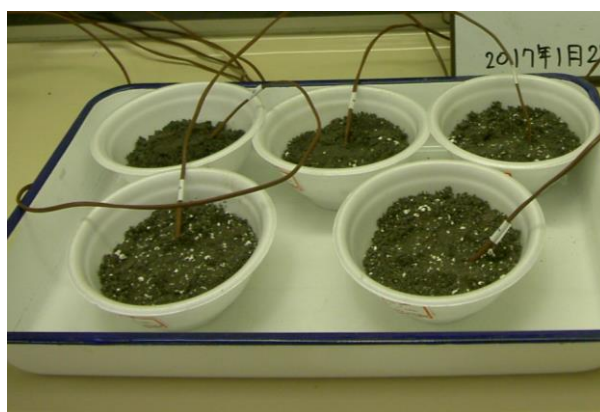
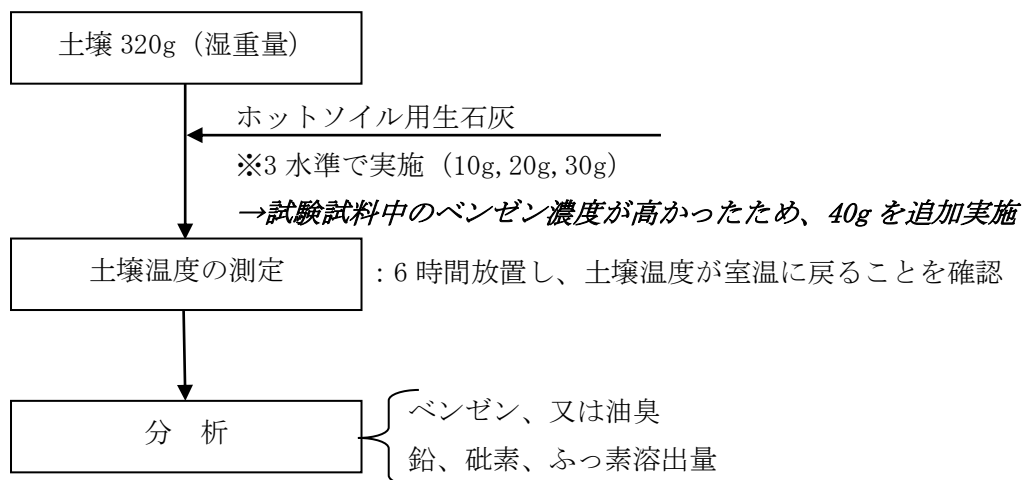
#### 【フェントン】



#### 【スティミュレーション】



【石灰混合】



## 2.2 試験土壌

計画（案）においては、ボーリングにより以下に示す2種類の土壌を採取することとしていたが、試験用に採取した試験試料Aについては、油も含有しており、ベンゼン濃度が高く、油臭の程度も高かったことから、ベンゼンと油臭について評価した。また、試験試料Bについては、ベンゼンは基準値以下であるが油臭の程度が高かったため、油臭について評価した。

### 試験土壌の計画案

- ・ベンゼン溶出量が比較的高い土壌（ベンゼン含有土壌）
- ・油を含有しており、比較的油臭の程度が高い土壌（油含有土壌）

## 2.3 試験結果

トリータビリティ試験結果を表4.2.1に示す。

表4.2.1 (1/2) トリータビリティ試験結果（試験試料A）

			ベンゼン (mg/L)	油臭	鉛 (mg/L)	砒素 (mg/L)	ふっ素 (mg/L)	溶出液 pH	真正細菌総数 (copies/g)	
試験 土壌A	原土		2.3	4	<0.005	0.005	0.88	7.5	$4.6 \times 10^6$	
	フェントン	過水無添加	6h後	1.8	1	—	—	—	—	—
		過水0.5%	6h後	1.4	1	<0.005	0.018	0.45	4.3	—
		過水1.0%	6h後	0.25	1	0.006	0.019	0.68	4.2	—
		過水1.5%	6h後	0.29	1	0.005	0.035	0.74	4.2	—
		過水2.0%	6h後	0.098	1	0.005	0.023	0.80	4.4	—
	バイオ 開放系	栄養剤添加	調整直後	0.066	2	—	—	—	—	—
			2w後	0.018	2	—	—	—	—	—
			4w後	0.0028	2	—	—	—	—	—
			6w後	0.0064	2	<0.005	0.008	0.58	7.5	$8.4 \times 10^8$
		コントロール	調整直後	0.079	2	—	—	—	—	—
			2w後	0.0082	2	—	—	—	—	—
			4w後	0.0020	2	—	—	—	—	—
			6w後	0.0022	2	—	—	—	—	$2.5 \times 10^8$
	バイオ 密閉系	栄養剤添加	調整直後	0.064	2	—	—	—	—	—
			2w後	0.10	2	—	—	—	—	—
			4w後	0.052	2	—	—	—	—	—
			6w後	0.011	2	<0.005	0.005	0.79	7.6	$4.5 \times 10^8$
		コントロール	調整直後	0.069	2	—	—	—	—	—
			2w後	0.11	2	—	—	—	—	—
			4w後	0.053	2	—	—	—	—	—
			6w後	0.024	2	—	—	—	—	$5.6 \times 10^7$
	ホット ソイル	石灰無添加	6h後	0.074	2	—	—	—	—	—
		石灰50kg/m <sup>3</sup>	6h後	0.049	2	<0.005	0.002	0.19	12.6	—
		石灰100kg/m <sup>3</sup>	6h後	0.018	2	<0.005	0.002	0.17	12.6	—
		石灰150kg/m <sup>3</sup>	6h後	0.014	2	<0.005	0.001	0.15	12.7	—
		石灰200kg/m <sup>3</sup>	6h後	0.012	2	<0.005	0.001	0.13	12.7	—

表 4.2.1 (2/2) トリータビリティ試験結果 (試験試料B)

			ベンゼン (mg/L)	油臭	鉛 (mg/L)	砒素 (mg/L)	ふっ素 (mg/L)	溶出液 pH	真正細菌総数 (copies/g)	
試験 土壌B	原土		—	3	<0.005	0.022	0.71	9.6	$4.0 \times 10^7$	
	フェントン	過水無添加	6h後	—	1	—	—	—	—	—
		過水0.5%	6h後	—	0	0.006	0.028	0.63	7.4	—
		過水1.0%	6h後	—	0	0.006	0.026	0.62	6.7	—
		過水1.5%	6h後	—	0	0.008	0.028	0.62	7.1	—
	バイオ 開放系	栄養剤添加	調整直後	—	2	—	—	—	—	—
			2w後	—	1	—	—	—	—	—
			4w後	—	1	—	—	—	—	—
			6w後	—	1	<0.005	0.011	0.46	8.8	$4.3 \times 10^7$
		コントロール	調整直後	—	2	—	—	—	—	—
			2w後	—	1	—	—	—	—	—
			4w後	—	1	—	—	—	—	—
			6w後	—	1	—	—	—	—	$9.7 \times 10^7$
	バイオ 密閉系	栄養剤添加	調整直後	—	2	—	—	—	—	—
			2w後	—	2	—	—	—	—	—
			4w後	—	2	—	—	—	—	—
			6w後	—	2	<0.005	0.012	0.27	8.8	$2.5 \times 10^7$
		コントロール	調整直後	—	2	—	—	—	—	—
			2w後	—	1	—	—	—	—	—
			4w後	—	1	—	—	—	—	—
6w後			—	1	—	—	—	—	$1.7 \times 10^8$	
ホット ソイル	石灰無添加	6h後	—	1	—	—	—	—	—	
	石灰50kg/m <sup>3</sup>	6h後	—	1	0.009	0.004	0.24	12.6	—	
	石灰100kg/m <sup>3</sup>	6h後	—	1	0.011	0.003	0.17	12.7	—	
	石灰150kg/m <sup>3</sup>	6h後	—	1	0.006	0.002	0.13	12.7	—	

### (1) フェントン

#### 【ベンゼンに対する効果】

過酸化水素を1%以上添加した系では、原土と比較して1回の適用で1/8~1/23程度となり、溶出量基準値の10倍程度(原土は溶出量基準の230倍)にまで減少した。これは酸化分解によりベンゼンが分解したためと考えられる。

#### 【油臭に対する効果】

試験土壌Aについては、非添加系(水のみ添加)も含め、油臭は全て1(原土は4)にまで減少した。また、試験土壌Bについては、酸化剤添加系については、全て0にまで減少した。非添加系も減少していることから、酸化分解だけではなく、試験の過程における油臭成分の揮散、または自然分解した可能性が考えられる。

#### 【重金属類溶出への影響】

試験土壌Aについては、酸化剤添加によるpH低下(~4程度)と、砒素溶出量の増加が確認された(0.005mg/l→最大0.035mg/l)。試験土壌Bについては、重金属の溶出に大きな変化は確認されなかったが、これは原土がアルカリ性で酸化剤添加後も中性付近であったためと考えられる。

## (2) スティミュレーション

### 【ベンゼンに対する効果】

開放系については、コントロールも含め、4週間で基準値以下にまで低下した。一方、密閉系については、6週間目で濃度低下が確認されたが、基準値以下とはならなかった。他の試験結果等も踏まえると試験期間中の揮散の影響も大きい。開放系については試験前後において、微生物数が約50~200倍増加しているため、好気微生物による分解も寄与しているものと考えられる。

### 【油臭に対する効果】

試験土壌Aについては、コントロールも含め、油臭は全て2(原土は4)にまで減少した。また、試験土壌Bについては、4週間目の時点で密閉系の栄養剤添加以外は、全て1にまで減少した。非添加系も減少していることから、微生物分解だけではなく、試験の過程における油臭成分の揮散した可能性が考えられる。

### 【重金属類溶出への影響】

試験土壌Aについては、全て基準値以下であり、スティミュレーションによる、鉛、砒素、ふっ素溶出量への影響は確認されなかった。試験土壌Bについては、砒素については溶出量基準値を超過しているものの、原土と比較すると小さくなったため、スティミュレーションによる溶出量の増大は確認されなかった。

## (3) 石灰混合

### 【温度への影響】

生石灰添加後の土壌温度の変化を図4.2.1に示す。両試料とも生石灰の添加量に応じた土壌温度の上昇が確認され、良好な温度上昇効果が得られた。

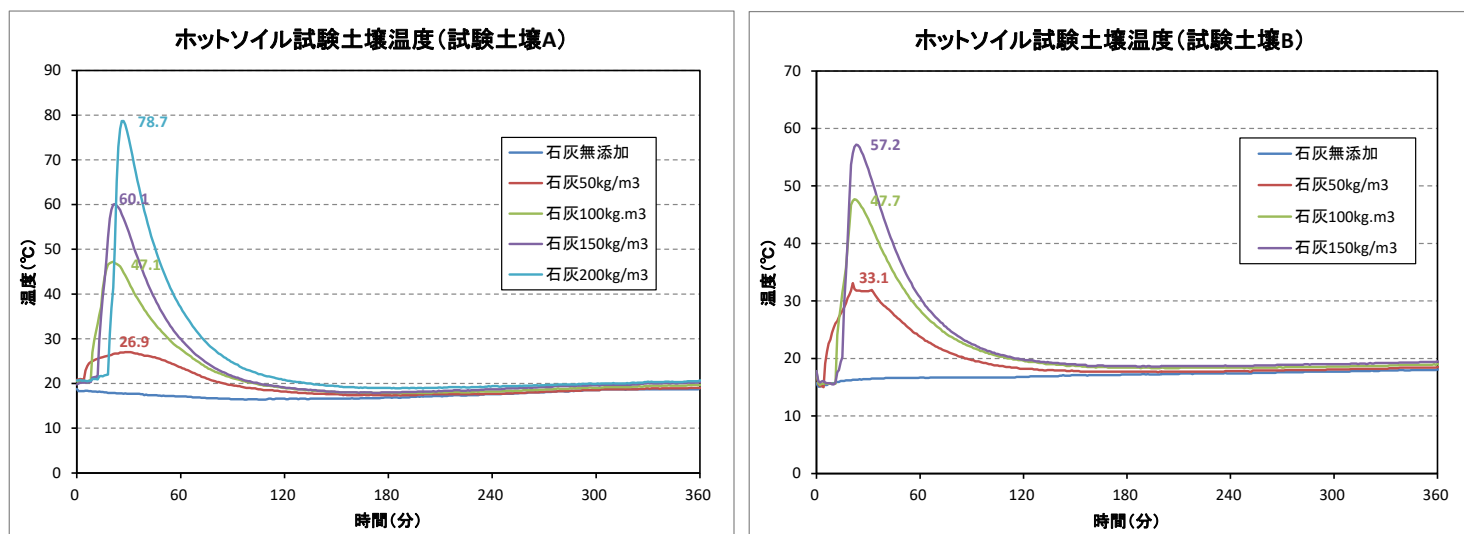


図 4.2.1 生石灰混合後の土壌温度変化

### 【ベンゼンに対する効果】

生石灰を立米あたり 100 kg の割合以上添加した系では、原土と比較して 1/120～1/190 程度となり、溶出量基準値程度（原土は溶出量基準の 230 倍）にまで減少した。これは、土壌温度の上昇によりベンゼンの揮散が促進したためと考えられる。なお、非添加系についても、ベンゼン溶出量が顕著に減少しているがこれは試験の過程で揮散したためと考えられる。

### 【油臭に対する効果】

試験土壌Aについては、非添加系も含め、油臭は全て 2（原土は 4）にまで減少した。また、試験土壌Bについては、非添加系も含め、油臭は全て 1（原土は 3）にまで減少した。なお、非添加系についても、同様に減少していることから、試験の過程における油臭成分の揮散の効果が大きいものと考えられる。

### 【重金属類溶出への影響】

両試料ともに、生石灰添加による pH 上昇（～12 程度）の影響により、砒素及びふっ素溶出量の減少が確認された。一方、鉛については、試験試料Bについては、検体によるバラつきも大きいですが、鉛溶出量の上昇が確認された（ $<0.005\text{mg/l}$ →最大  $0.011\text{mg/l}$ ）。

## 2.4 評価

対象地において、掘削での浄化を考える場合、場外搬出処理するのが最も確実で、工期や費用を確定できるが、コストはかなり高額となる。一方、トリータビリティ試験における石灰混合やスティミュレーションの結果を踏まえると、ベンゼンや油臭に対しては、揮散による低減効果が大きいため、オンサイトにおける抽出処理や生物処理がコスト的にも適しているものと考えられる。更に、スティミュレーションの結果から「高濃度のベンゼン土壌についても 4 週間で基準値以下となったこと」、「鉛、ふっ素、砒素溶出量への影響がないこと」から、ランドファーミングが有効な選択肢の一つと考えられる。一方で、石灰混合を行った場合は、pH や鉛溶出量が増加（溶出量基準値をわずかに超過するレベル）することに留意する必要がある。

また、原位置浄化を考える場合、土質や浄化期間を踏まえると、フェントン法による酸化分解が適していると考えられるが、pH の低下により砒素溶出量の増加が促進されることに留意する必要がある。また、今回の試験結果から揮散の効果が大きいことが分かったため、対象となる範囲の土質や濃度によっては、スパージングによる浄化も可能と考えられる。

以上の点を踏まえ対象地での対策方法を考える場合、①ベンゼンの低減効果、②処理方法による他物質への影響、③処理に要する期間、④汚染の濃度、⑤建物の有無、などを総合的に判断し、費用対効果の観点も踏まえ検討する必要がある。