

## 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計画 (案))

### 1. 対策の基本的な考え方

対象地においては、人為的な汚染である「溶出量基準を超過するベンゼン」及び「卸売市場として利用する場合に問題となる程度の油臭」に対しては、今後、土壌対策を実施する計画となっている。

#### 【ベンゼンに対する土壌対策】

「土壌汚染対策法に基づく調査及び措置に関するガイドライン (改訂第2版)」(平成24年8月 環境省)に基づいて対策を計画・実施していくことが必要となる。

#### 【油臭 (鉱油類) に対する土壌汚染】

土壌汚染対策法の特定有害物質ではないため、「油汚染ガイドライン」(平成18年3月 環境省)を参考に計画・実施していくことが必要となる。

一方で、ベンゼンと油臭の特性から、土壌対策方法については、ベンゼン溶出量も油臭も同様に考えていくことができる。

- ・ベンゼンは揮発性の物質であり、又、化学的、生物的に無害な物質にまで分解することが可能である。
- ・油臭の要因も揮発性の高い鉱油類に由来し、又、ベンゼンと同様に化学的、生物的に分解することで「油臭の程度」を問題のないレベルまで低減することが可能である。

なお、土壌対策方法を検討する際には、対象地の土壌には溶出量基準値を超過する金属類 (鉛、砒素、ふっ素) を含むことを前提に行う必要がある。

### 2. 土壌対策方法と事前評価の必要性の整理

ベンゼン及び油臭の土壌対策方法は、汚染土壌を掘削・運搬して対象地の外で処分する「区域外処分」(いわゆる掘削除去)と汚染土壌を対象地から持ち出さずに対策する区域内措置に大別される。

区域内措置は、図 7.2.1 に示すように、土壌の掘削を伴う「オンサイト措置」、土壌の掘削を伴わない「原位置措置」に区分される。

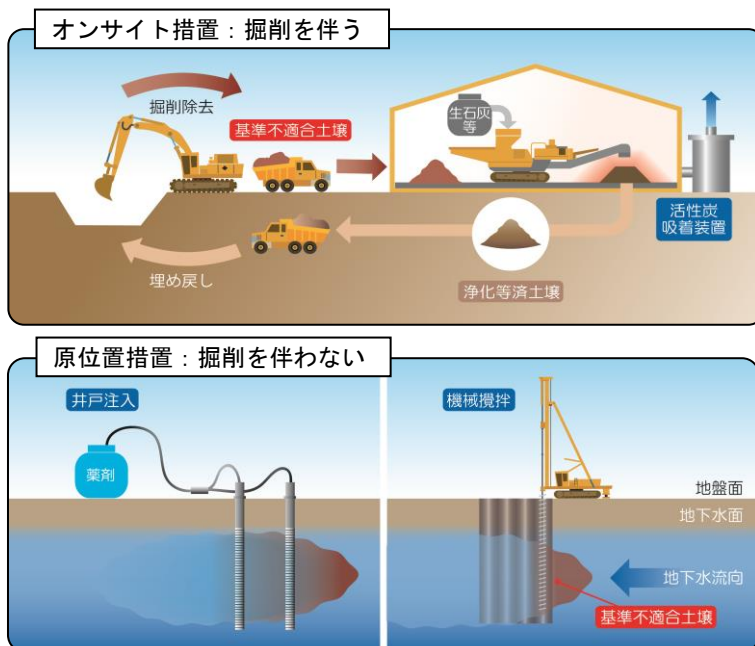


図 7.2.1 区域内措置の種類

ベンゼンについては、基準値への適合が目的となるため、図7.2.2に示される措置のうち「土壌汚染の除去」を選択する必要がある（暴露経路管理では、基準値超過土壌が残置される）。

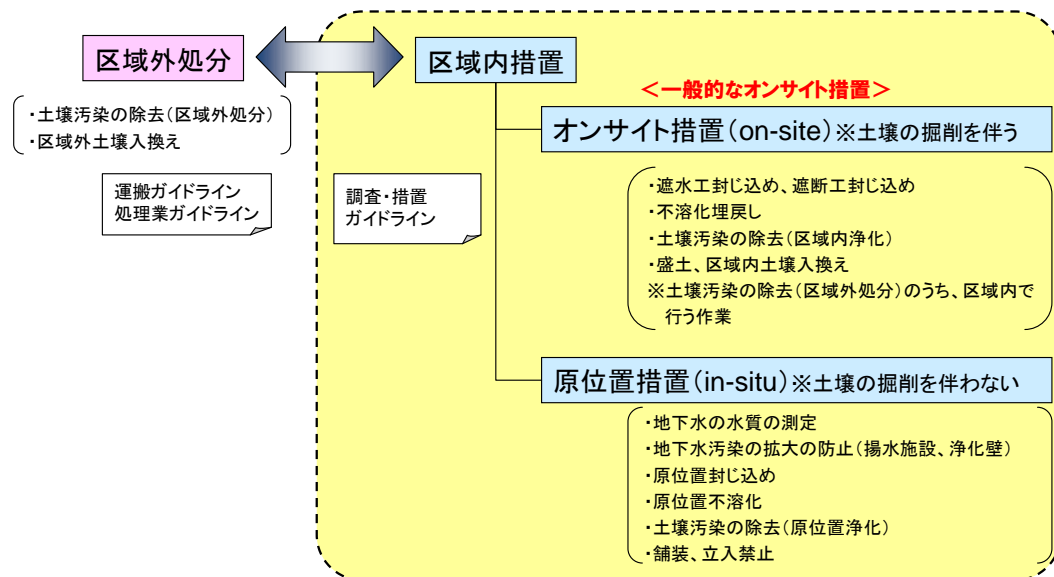


図 7.2.2 区域内措置の位置づけ

ベンゼン及び油臭に対する措置のうち「土壌汚染の除去」として、ガイドラインに示される措置について表7.2.1に整理した。

ここで、

- ・ベンゼン溶出量又は、油臭への浄化技術の適用性については、恒常的な地下水面より下方の「飽和帯」と地下水面と地表面の間の「不飽和帯」に分けて評価した。
- ・浄化費用については、掘削除去を△として相対的に×～◎で評価した。
- ・浄化期間については、掘削除去を◎として、相対的に△～◎で評価した。
- ・実績については、一般社団法人土壌環境センターが会員企業に毎年実施しているアンケート結果等を参考とした。

これらの結果、今後、対象地で適用を検討していくべき措置の方法として、「適用ができない工法」、「実績が少ない工法」、「掘削除去と比較して費用対効果が小さい工法」を除くと、以下が候補となる。

- 区域外処分：掘削除去
  - オンサイト措置：生物処理、抽出処理
  - 原位置措置：土壌ガス吸引、地下水揚水、エアースパージング、化学処理、生物処理
- これらの措置のうち、工事設計する上で、対象地の実汚染土壌を用いた事前の室内試験による適用性の評価（以下、トリータビリティ試験）が必要となる項目について、以下に整理する。

表 7.2.1 ベンゼン及び油臭を対象とした対策方法の整理

	措置技術の概要	ベンゼンへの適用性		油臭への適用性		施工制限	浄化費用	浄化期間	事前評価の必要性	ベンゼンや油臭 に対する実績	候補	
		飽和帯	不飽和帯	飽和帯	不飽和帯							
区域外処分	掘削除去	○	○	○	○	受ける	△	◎	受入先において、受け入れ可能な性 状か事前確認が必要	多い	○	
区域内 措置	オンサイト 措置	熱処理	○	○	○	○	受ける	×～△	○	処理後の土壌及び排ガスの性状につ いて十分に把握した上で処理条件を 設定することが必要。	あり	×
		洗浄処理	×	×	×	×	—	—	—	—	—	×
		化学処理	○	○	○	○	受ける	△～○	○	対象地の土壌を用いた適用性の評価 が必要。条件によっては有害物質の 溶出等が起こる場合もある。	少ない	×
		生物処理	○	○	○	○	受ける	○	△	対象地の土壌を用いた適用性の評価 が必要。土地利用計画からオーグメン テーションの適用は不可	あり	○
		抽出処理	○	○	○	○	受ける	○	○	対象地の土壌を用いた適用性の評価 が必要。条件によっては有害物質の 溶出等が起こる場合もある。	あり	○
	原位置 措置	土壌ガス吸引	×	○	×	×～△	受けない	◎	△	事前の現地試験等が必要	少ない	△
		地下水揚水	△	×	△	×	受けない	○～◎	△	事前の現地試験等が必要	多い	△
		エアースパー ジ ング	○	×	△	×	受けない	○～◎	△	事前の現地試験等が必要	あり	△
		化学処理	○	△	○	△	注入法は 受けない	○～◎	○	対象地の土壌を用いた適用性の評価 が必要。条件によっては有害物質の 溶出等が起こる場合もある。	多い	○
		生物処理	○	×	○	×	注入法は 受けない	◎	△	対象地の土壌を用いた適用性の評価 が必要。土地利用計画からオーグメン テーションの適用は不可	多い	○
		ファイトレ メ デー ション	×	△	×	△	—	—	—	—	適用は浅層部に 限る	×
		原位置土 壌 洗 浄	○	△	○	△	受けない	○	△		少ない	×

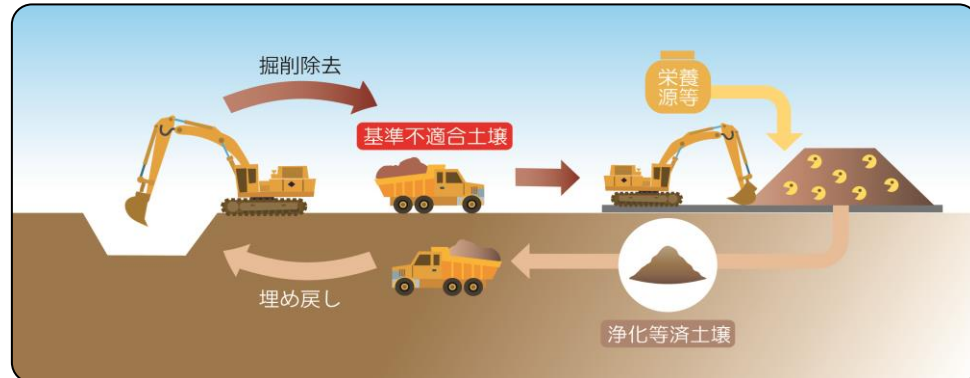
※1: 適用性: △は油の存在状態や土質によっては適用が困難な場合がある。

※2: 浄化コスト、△は10万/m<sup>3</sup>以上、○は10万/m<sup>3</sup>程度、◎は10万/m<sup>3</sup>以下

※3: 工期は、△は1年以上、○は1年程度、◎は1年以下

【措置技術イメージ図】：区域内措置優良化ガイドブックより抜粋

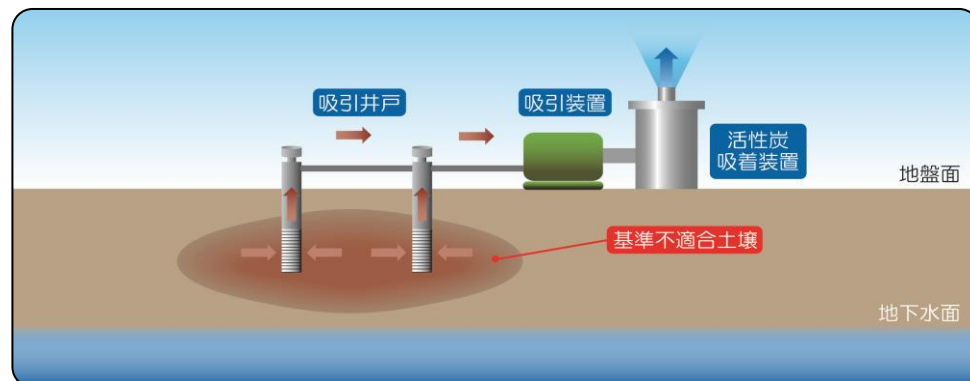
○オンサイト措置（生物処理）



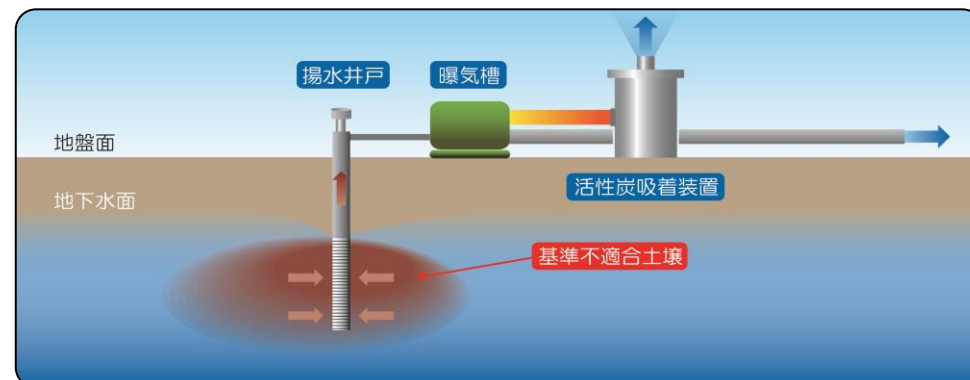
○オンサイト措置（抽出処理）



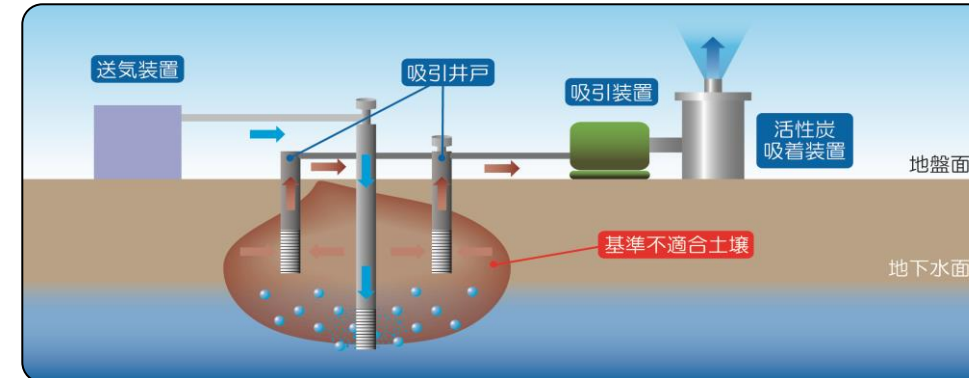
○原位置措置（土壌ガス吸引）



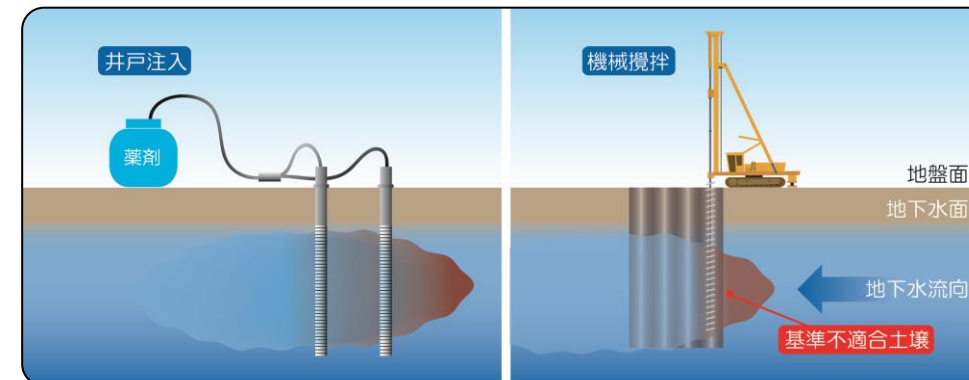
○原位置措置（地下水揚水）



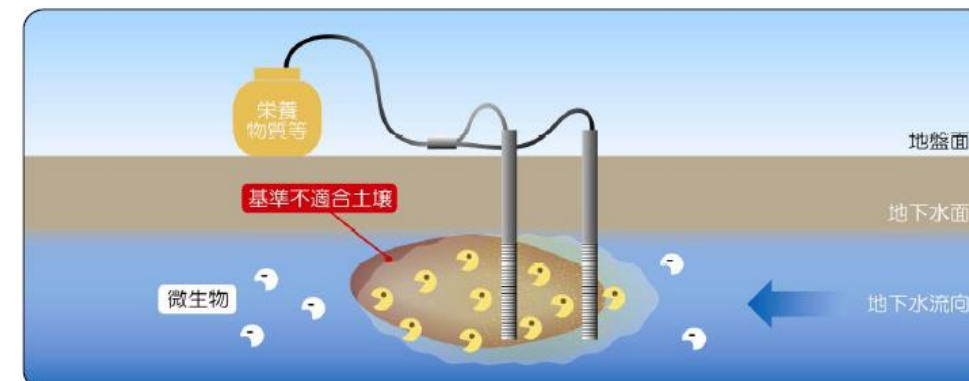
○原位置措置（エアースパーキング）



○原位置措置（化学処理）



○原位置措置（生物処理）



### 3. トリータビリティ試験の実施方針

#### 3.1 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する。

トリータビリティ試験が必要な工法は以下のとおりである（表 7.2.1 参照）。

- ① フェントン法による化学処理
- ② スティ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

#### 3.2 検証項目

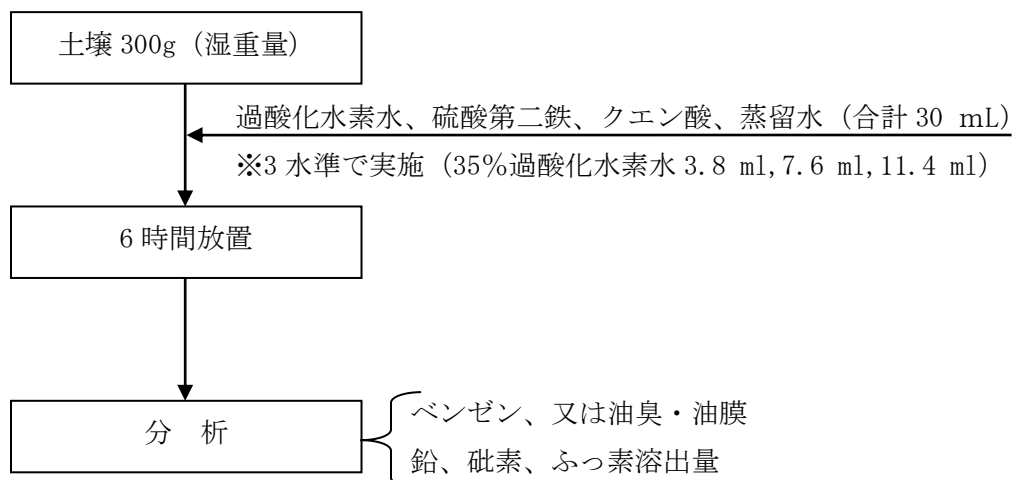
措置技術の概要とトリータビリティ試験での検証項目を表 7.3.1 に示す。

表 7.3.1 措置技術の概要とトリータビリティ試験での検証項目

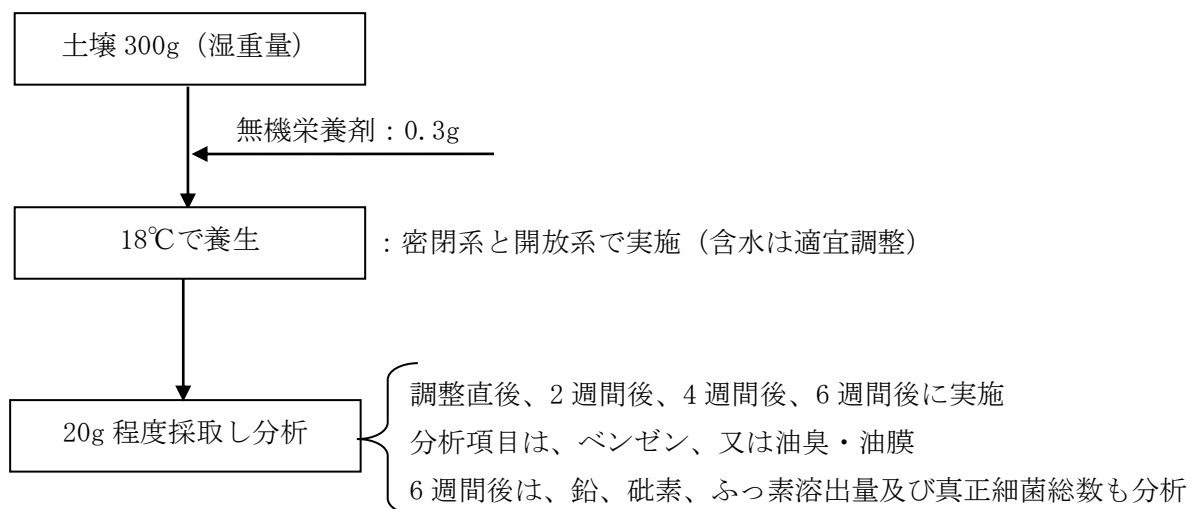
	フェントン (化学処理)	スティミュレーション (生物処理)	石灰混合 (抽出処理)
技術概要	過酸化水素と鉄塩により発生するヒドロキシルラジカルにより、ベンゼンを無害な物質にまで分解、又は油臭の元となる鉱油類を分解する。	栄養や空気を供給し、現地に生息する微生物の活性を高め、ベンゼンを無害な物質にまで分解、又は油臭の元となる鉱油類を分解する	生石灰の水和熱によって土壌温度をあげ、揮発成分であるベンゼン又は油臭成分を揮発・分離する。
適用性評価	フェントン法による分解によりベンゼン又は、鉱油類が問題ない程度となるかどうか、及び過酸化水素の添加量を評価する。	現地に生息する微生物の分解によりベンゼン又は、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。

### 3.3 試験フロー及び試験数量一覧

#### 【フェントン】



#### 【スティミュレーション】



#### 【石灰混合】

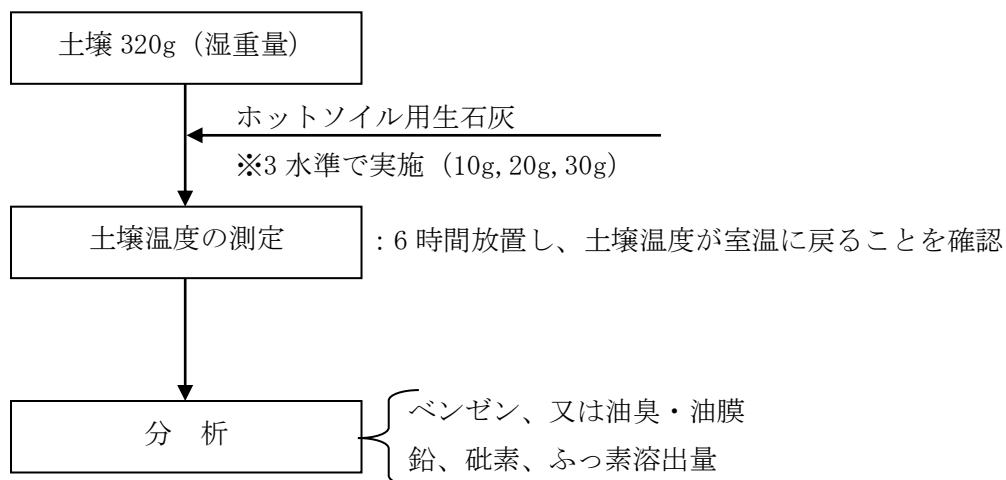


表 7.3.2 トリータビリティ試験における分析数量一覧

	現土	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)
ベンゼン溶出量(公定法分析)	1	4	16	4
油臭・油膜	1	4	16	4
鉛・砒素・ふっ素溶出量(公定法分析)	2	6	4	6
真正細菌総数(リアルタイム PCR 法)	2	0	8	0

## 4. トリータビリティ試験計画（案）

### 4.1 化学処理

#### （1）工法概要

化学処理としては、実績が多いフェントン法の適用性を評価する。汚染土壤にフェントン試薬（過酸化水素と鉄溶液）を添加混合、もしくは地盤に注入し、フェントン反応により発生するヒドロキシルラジカルによって有機成分を酸化分解し、汚染土壤を浄化する工法である。

#### （2）試験内容

##### ① 試験土壤の採取

対象地において、ボーリングにより以下に示す2種類の土壤を採取する。

- ・ベンゼン溶出量が比較的高い土壤（ベンゼン含有土壤）（例えば、F11-5）
- ・油を含有しており、比較的油臭の程度が高い土壤（油含有土壤）（例えば、H4-5）

##### ② 試験土壤の調整

採取した土壤からおおむね粒径5mmを超える中小礫、木片等を除き、試験に供する。

また、試験前の土壤について、ベンゼン溶出量試験及び油臭・油膜判定を実施すると共に、浄化処理に伴う重金属類の溶出量の変化有無の確認のため、鉛、砒素、ふっ素の溶出量を測定する。

##### ③ 適用性試験

ベンゼン含有土壤及び油含有土壤、それぞれに対し、以下手順にて実施する。

- ・ガラスビーカー等に土壤試料を300g秤量する。
- ・土壤湿重量300gに対し、フェントン試薬（過酸化水素・鉄塩混合溶液）を、過酸化水素の重量ベースで1.5, 3.0, 4.5 g（土壤重量に対し0.5, 1, 1.5%）の3段階<sup>※1</sup>で添加・混合する。別途、試薬無添加の試料を作成する。各ケースに添加する液量が同じになるよう、添加液量を30 mlになるように調製して添加する。
- ・反応時にガス（酸素）が発生するので、30～60分程度蓋を半開放状態（時計皿等を置く）で静置する。
- ・6時間放置し、発泡が収まったことを確認後、分析に供する。
- ・処理後土壤の分析は、「ベンゼン含有土壤」を対象とした試験ではベンゼン溶出量を、「油含有土壤」を対象とした試験では油臭・油膜判定を実施し、処理効果を判定する。
- ・処理後土壤の鉛、砒素、ふっ素の溶出量を測定し、フェントン試薬添加の重金属溶出量への影響を確認する。

※1：土壤の単位体積重量を1.6 t/m<sup>3</sup>と想定した場合、1 m<sup>3</sup>あたりの市販の35%濃度の過酸化水素の添加量がそれぞれ約23, 46, 69 kgとなる量



フェントン工法適用性試験配合表（案）

ケース	土壌 (g)	35% $H_2O_2$ (mL)	鉄塩溶液		
			$FeSO_4 \cdot 7H_2O$ <sup>※3</sup> (g)	クエン酸 (g)	蒸留水 (mL)
無添加	300	0	0	0	30.0
0.5 wt %	300	3.8 <sup>※2</sup>	0.16	1.5	26.2
1.0 wt %	300	7.6	0.33	1.5	22.4
1.5 wt %	300	11.4	0.49	1.5	18.6

※2：3.8 mL 中の過酸化水素重量=3.8 mL×1.13 g/mL×0.35=1.5 g

※3：過酸化水素に対し、モル比 1/75 で添加



フェントン工法適用性確認試験状況（例）

### (3) 試験数量及び試験期間

試験ケース、分析数量を下表に示す。

使用土壌	ケース	ベンゼン	油臭	油膜	鉛	砒素	ふっ素	
ベンゼン 含有土壌	原土	1	0	0	1	1	1	
	フェントン 試験	無添加	1	0	0	0	0	0
		0.5 wt %	1	0	0	1	1	1
		1.0 wt %	1	0	0	1	1	1
		1.5 wt %	1	0	0	1	1	1
油 含有土壌	原土	0	1	1	1	1	1	
	フェントン 試験	無添加	0	1	1	0	0	0
		0.5 wt %	0	1	1	1	1	1
		1.0 wt %	0	1	1	1	1	1
		1.5 wt %	0	1	1	1	1	1

現地試料採取	2017年1月23日
試験実施	2017年1月25日～1月27日
試料分析	2017年1月26日～2月10日
結果まとめ	2017年2月末

## 4.2 生物処理

### (1) 工法概要

生物処理としては、環境負荷が小さいバイオスティミュレーション工法の適用性を評価する。汚染土壌に無機の栄養塩を添加混合、もしくは地盤に注入し、現地に生息する微生物の活性を高めベンゼンや油類を好氣的に分解し、汚染土壌を浄化する工法である。

### (2) 試験内容

#### ① 試験土壌の採取

対象地において、ボーリングにより以下に示す2種類の土壌を採取する。

- ・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 試験土壌の調整

採取した土壌からおおむね粒径5mmを超える中小礫、木片等を除き、試験に供する。

また、試験前の土壌について、ベンゼン溶出量試験及び油臭・油膜判定を実施すると共に、浄化処理に伴う微生物への影響を評価するために真正細菌総数について分析を行う。

#### ③ 適用性試験

ベンゼン含有土壌及び油含有土壌、それぞれに対し、以下手順にて実施する。

- ・ガラスビーカー等に土壌試料を300g秤量する。
- ・土壌湿重量300gに対し、無機の栄養素として、窒素やリンを含む市販の無機栄養剤0.3gを添加・混合する。別途、試薬無添加の試料を作成する。また、各試料について、空気とあまり接しないように密栓した系と空気と接する系の2とおり調整する。
- ・調整試料については、18℃で養生する。
- ・調整直後、2週間後、4週間後、6週間後に各試料から20g程度採取し、分析に供する。
- ・処理後土壌の分析は、「ベンゼン含有土壌」を対象とした試験ではベンゼン溶出量を、「油含有土壌」を対象とした試験では油臭・油膜判定を実施し、処理効果を判定する。

- ・6週間後の試料については、真正細菌総数を測定し、スティミュレーションによる微生物数への影響を確認する。



無機栄養剤



養生状況

バイオスティミュレーション適用性確認試験状況 (例)

### (3) 試験数量及び試験期間

試験ケース、分析数量を下表に示す。

使用土壌	ケース	ベンゼン	油臭	油膜	真正細菌総数	鉛	砒素	ふっ素	
ベンゼン含有土壌	原土	1	0	0	1	1	1	1	
	スティミュレーション試験	無添加 (密閉)	4	0	0	1	0	0	0
		無添加 (開放)	4	0	0	1	0	0	0
		添加 (密閉)	4	0	0	1	1	1	1
		添加 (開放)	4	0	0	1	1	1	1
油含有土壌	原土	0	1	1	1	1	1	1	
	スティミュレーション試験	無添加 (密閉)	0	4	4	1	0	0	0
		無添加 (開放)	0	4	4	1	0	0	0
		添加 (密閉)	0	4	4	1	1	1	1
		添加 (開放)	0	4	4	1	1	1	1

現地試料採取	2017年1月23日
試験実施	2017年1月25日～3月8日
試料分析	2017年1月26日～3月24日
結果まとめ	2017年3月末

## 4.3 抽出処理

### (1) 工法概要

抽出処理としては、実績が多いホットソイル工法の適用性を評価する。ホットソイルは、汚染土壌に生石灰を添加混合し、発生する水和熱によって揮発性成分（主に VOC 類や低沸点の油成分）を揮発・分離させて汚染土壌を浄化する工法である。

## (2) 試験内容

### ① 試験土壤の採取

対象地において、ボーリングにより以下に示す2種類の土壤を採取する。

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

### ② 試験土壤の調整

採取した土壤からおおむね粒径5 mmを超える中小礫、木片等を除き、試験に供する。

また、試験前の土壤について、ベンゼン溶出量試験及び油臭・油膜判定を実施すると共に、浄化処理に伴う重金属類の溶出量の変化有無の確認のため、鉛、砒素、ふっ素の溶出量を測定する。

### ③ 適用性試験

ベンゼン含有土壤及び油含有土壤、それぞれに対し、以下手順にて実施する。

- ・バットに土壤試料を320gを秤量する。
- ・土壤湿重量320gに対し、ホットソイル剤（市販のホットソイル用生石灰）を10, 20, 30 gの3段階\*で添加・混合する。
- ・石灰添加後土壤を保温性容器に移す。別途、試薬無添加の試料を作成する。
- ・土壤温度の経時変化を計測する。
- ・6時間放置し、土壤温度が室温に戻ったことを確認後、分析に供する。
- ・処理後土壤の分析は、「ベンゼン含有土壤」を対象とした試験ではベンゼン溶出量を、「油含有土壤」を対象とした試験では油臭・油膜判定を実施し、処理効果を判定する。
- ・処理後土壤の鉛、砒素、ふっ素の溶出量を測定し、ホットソイル剤添加の重金属溶出量への影響を確認する。

※：土壤の単位体積重量を1.6 t/m<sup>3</sup>と想定した場合、1m<sup>3</sup>あたりのホットソイル剤の添加量がそれぞれ約50, 100, 150 kgとなる量

ホットソイル工法適用性試験配合表（案）

ケース	土壤 (g)	ホットソイル剤 (g)
無添加	320	0
50 kg/m <sup>3</sup>	320	10
100 kg/ m <sup>3</sup>	320	20
150 kg/ m <sup>3</sup>	320	30



石灰添加・混合状況



保温性容器移設状況



土壌温度測定状況

ホットソイル工法適用性確認試験状況（例）

(3) 試験数量及び試験期間

試験ケース、分析数量を下表に示す。

使用土壌	ケース	ベンゼン	油臭	油膜	鉛	砒素	ふっ素	
ベンゼン 含有土壌	原土	1	0	0	1	1	1	
	ホット ソイル 試験	無添加	1	0	0	0	0	0
		50 kg/ m <sup>3</sup>	1	0	0	1	1	1
		100 kg/ m <sup>3</sup>	1	0	0	1	1	1
		150 kg/ m <sup>3</sup>	1	0	0	1	1	1
油 含有土壌	原土	0	1	1	1	1	1	
	ホット ソイル 試験	無添加	0	1	1	0	0	0
		50 kg/ m <sup>3</sup>	0	1	1	1	1	1
		100 kg/ m <sup>3</sup>	0	1	1	1	1	1
		150 kg/ m <sup>3</sup>	0	1	1	1	1	1

現地試料採取 2017年1月23日  
 試験実施 2017年1月25日～1月27日  
 試料分析 2017年1月26日～2月10日  
 結果まとめ 2017年2月末