

環境修復シナリオのロードマップについて

環境修復シナリオとして、(1)ケース a-1：揚水による水位制御＋揚水浄化、(2)ケース b-1：廃棄物等(※1)の高濃度箇所一部掘削処理＋揚水浄化、(3)ケース e-1：廃棄物等の全量掘削処理＋揚水浄化の3ケースについて検討する（第2回技術検討委員会で抽出）。

汚染源対策については、(1)ケース a-1 は現在の汚染拡散防止対策を継続的に長期間実施していくシナリオであり、(2)ケース b-1 は高濃度箇所一部掘削によりケース a-1 の汚染源のポテンシャルを低下させ、リスクを低減させようとするシナリオである。また、(3)ケース e-1 は、今までの汚染拡散防止対策とは異なり、廃棄物等を全量掘削処理することで汚染リスクをほとんどゼロにしようとするシナリオである。

なお、汚染地下水対策は各シナリオとも揚水浄化を行うこととする。

以下に、各環境修復シナリオについて具体的な実施内容を示し、安全性、確実性、期間、経済性や合意形成の観点から比較検討を行う。

表 2.1～表 2.3 に各ケースにおける概略工程を示す。

※廃棄物等：廃棄物及び汚染土壌

表 2.1 ケース a-1（揚水による水位制御＋揚水浄化）の概略工程

対策箇所	対策物質	対策工	シオキサン平均濃度 mg/L	数量	単位	対策期間																					
						1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年	11年	12年	～	50年								
						25年度	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度	31年度	32年度	33年度	34年度	35年度	36年度	～	74年度								
汚染源対策	遮水壁内廃棄物汚染土壌汚染地下水	1,4-シオキサン VOC	揚水＋水処理(水位制御)	上部帯水層	1.9	9	m ³ /日	揚水＋水処理(水位制御)																			
				下部帯水層	0.92	25	m ³ /日																				
				計		34	m ³ /日																				
汚染地下水対策	遮水壁外汚染地下水	1,4-シオキサン VOC	揚水＋水処理(浄化)	第2帯水層	0.45	11	m ³ /日	シオキサン平均濃度：環境基準レベル(浄化効率0.33)																			
				第3帯水層	0.28	15	m ³ /日	揚水＋水処理(浄化)																			
				計		26	m ³ /日	必要に応じて科学的自然減衰(MNA)																			
				進行管理		1	年毎																				
水処理施設	運転					1	式																				
	改修					5	年毎																				
モニタリング						1	式																				

表 2.2 ケース b-1（一部撤去＋揚水浄化）の概略工程

対策箇所	対策物質	対策工	シオキサン平均濃度 mg/L	数量	単位	対策期間																					
						1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年	11年	12年	～	50年								
						25年度	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度	31年度	32年度	33年度	34年度	35年度	36年度	～	74年度								
汚染源対策	廃棄物	1,4-シオキサン VOC	高濃度箇所掘削処理	盛土	1,500	m ³	高濃度箇所掘削処理																				
	遮水壁内汚染土壌	1,4-シオキサン VOC	一部掘削処理	土壌	2,300	m ³	一部掘削処理																				
汚染源対策	遮水壁内汚染地下水	1,4-シオキサン VOC	揚水＋水処理(水位制御)	上部帯水層	1.9	16	m ³ /日	揚水＋水処理(水位制御)																			
				下部帯水層	0.92	44	m ³ /日																				
				計		60	m ³ /日	シオキサン平均濃度：上部帯水層0.58mg/L掘削処理																			
汚染地下水対策	遮水壁外汚染地下水	1,4-シオキサン VOC	揚水＋水処理(浄化)	第2帯水層	0.45	15	m ³ /日	シオキサン平均濃度：環境基準レベル(浄化効率0.33)																			
				第3帯水層	0.28	21	m ³ /日	揚水＋水処理(浄化)																			
				計		36	m ³ /日	必要に応じて科学的自然減衰(MNA)																			
				進行管理		1	年毎																				
水処理施設	運転・増強					1	式	水処理処理能力増強 60→70m ³ /日																			
	改修					5	年毎																				
モニタリング						1	式																				

※：揚水量は概略検討で算出したもので、設計段階で変更する可能性がある

表 2.3 ケース e-1（全量掘削処理＋揚水浄化）の概略工程

対策箇所	対策物質	対策工	シオキサン平均濃度 mg/L	数量	単位	対策期間																					
						1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年	11年	12年	～	50年								
						25年度	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度	31年度	32年度	33年度	34年度	35年度	36年度	～	74年度								
汚染源対策	廃棄物	1,4-シオキサン VOC	全量掘削処理	盛土	7,300	m ³	全量掘削処理																				
	遮水壁内汚染土壌	1,4-シオキサン VOC	掘削処理	土壌	21,500	m ³	掘削処理																				
				計	21,000	m ³	掘削処理																				
汚染源対策	遮水壁内汚染地下水	1,4-シオキサン VOC	揚水＋水処理(水位制御)	上部帯水層	1.9	16	m ³ /日	シオキサン平均濃度：上部帯水層0mg/L掘削処理、下部帯水層0.07mg/L(揚水浄化)																			
				下部帯水層	0.92	44	m ³ /日	揚水＋水処理(水位制御)																			
				計		60	m ³ /日																				
汚染地下水対策	遮水壁外汚染地下水	1,4-シオキサン VOC	揚水＋水処理(浄化)	上部帯水層	0	0	m ³ /日	シオキサン平均濃度：環境基準レベル(浄化効率0.33)																			
				下部帯水層	0.077	0	m ³ /日	揚水＋水処理(浄化)																			
				計		0	m ³ /日	必要に応じて科学的自然減衰(MNA)																			
汚染地下水対策	遮水壁外汚染地下水	1,4-シオキサン VOC	揚水＋水処理(浄化)	第2帯水層	0.45	21	m ³ /日	シオキサン平均濃度：環境基準レベル(浄化効率0.33)																			
				第3帯水層	0.28	29	m ³ /日	揚水＋水処理(浄化)																			
				計		50	m ³ /日	必要に応じて科学的自然減衰(MNA)																			
				進行管理		1	年毎																				
水処理施設	運転					1	式																				
	改修					5	年毎																				
モニタリング						1	式																				

※：揚水量は概略検討で算出したもので、設計段階で変更する可能性がある
 ※※：汚染土壌掘削量は今後の検討課題とする

1. ケース a-1：揚水による水位制御＋揚水浄化

(1) 対策の概要

ケース a-1 は、現工法の揚水浄化処理を継続するもので、遮水壁内外の既設井戸を利用して揚水された汚染地下水を、既設水処理設備で処理し放流する方法である。

なお、ケース a-1 での汚染源対策は、遮水壁内の地下水位を周辺の地下水位より低く制御して汚染地下水の外部への拡散防止を図るものである。

一方、汚染地下水対策としては、周辺汚染地下水を既存の揚水浄化処理施設にて揚水浄化し、地下水を入れ替えることで浄化を図るものである。

(2) 揚水量等

汚染源対策である遮水壁内の揚水浄化は、地下水位を低下させることが目的であるため、遮水壁内の上部帯水層（第 1 と第 2 帯水層）と下部帯水層（第 3 帯水層）から目標水位となるように揚水することとする。なお、帯水層毎の揚水量は、これまで実施してきた対策工による実績から、上部帯水層から 9.0m³/日、下部帯水層から 25.0 m³/日の計 34.0 m³/日の揚水量で遮水壁外より地下水位が低下することができる。（緊急対策時の揚水量を継続する）。

一方、遮水壁外の汚染地下水対策としては、1,4-ジオキサン濃度が高濃度域にある既存井戸から揚水することとし、第 2 帯水層と第 3 帯水層における揚水量は、濃度コンター図より環境基準（0.05mg/L）を超過しているエリアにおける加重平均濃度から、対策期間の 10 年間で加重平均濃度が環境基準を下回ることを条件に設定する。ここで、揚水による 1,4-ジオキサンの揚水効率を 0.33 と想定した場合、第 2 帯水層から 11.0m³/日、第 3 帯水層から 15.0 m³/日の計 26 m³/日揚水浄化することにより、遮水壁外の浄化は期限内に完了することとなる。

以上の場合、揚水量は汚染源対策（遮水壁内）が 34 m³/日、汚染地下水対策（遮水壁外）が 26 m³/日の計 60m³/日となり、既存の水処理施設（処理能力 60m³/日）で処理できることになる。

なお、各エリアの揚水量は 1 年毎に進行管理を行い見直すこととする。

(3) 対策期間

汚染地下水対策の目標達成期間は 10 年程度である。しかし、汚染源対策は、揚水による地下水位制御となるので半永久的な管理が必要となる（表 2.1 参照）

(4) メリットとデメリット

ケース a-1 のメリットとデメリットは次のとおりである。

1) メリット

- ・ 遮水壁内の地下水位管理は従来の対策工の継続であり、汚染源対策として地下水位を下げる効果は実績がある（確実性）。
- ・ 従来の対策工の継続であり、新たな環境汚染のリスクがない（確実性）。

- ・短期的には既存水処理施設の維持管理に要する費用のみであり、一時的には多大な財政負担を伴うことはない（経済性）。

2) デメリット

- ・高濃度の有害物質を含有する廃棄物等が残置されるので、汚染源対策は半永久的に継続する必要がある（目標達成期間）。
- ・既存の水処理施設能力に余裕がないため、安全性を考えると $10\text{m}^3/\text{日}$ 程度の施設増強が必要となる（安全性、経済性）。
- ・水処理施設の定期的改修及び更新が必要となる（その都度コストがかかる）（経済性）。
- ・遮水壁は永久構造物ではないので、維持管理期間が半永久的になると遮水機能劣化による更新費用がかかる（経済性）。
- ・残置された廃棄物からの汚染リスクが残るため、発生が予想されている大震災による 2 次災害のリスクがある（安全性）。
- ・事業完了までの期間が想定できないため、全体コストを算出できない（経済性）。
- ・廃棄物が残置されるため、周辺住民に安全・安心が理解されにくい（合意形成）。
- ・跡地利用することができない。

2. ケース b-1：高濃度箇所掘削処理＋揚水浄化

(1) 対策の概要

ケース b-1 は、不法投棄地内の高濃度汚染箇所を掘削浄化することにより、汚染ポテンシャルを低下させ、ケース a-1 の揚水浄化処理の期間が短縮されることに期待する方法である。

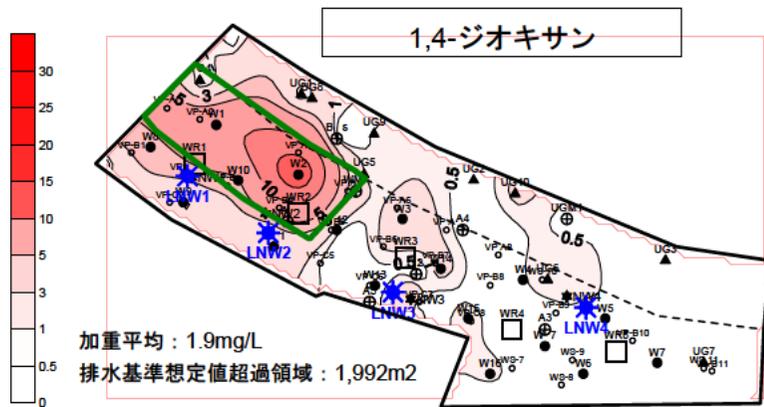
汚染源対策としては、1,4-ジオキサンの高濃度廃棄物や上部帯水層の汚染土壌等を部分的に掘削撤去し汚染源のポテンシャルを低下させ、ケース a-1 と同様の地下水位管理を行うことと併せて揚水浄化による有害物質の浄化にも期待する。

一方、汚染地下水対策としては、ケース a-1 と同様に周辺汚染地下水を既存水処理施設にて揚水浄化し、地下水を入れ替えることで浄化を図るものである。

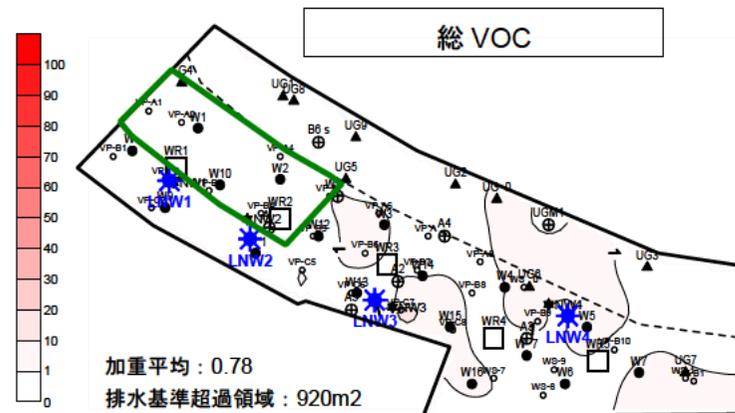
(2) 廃棄物の掘削箇所等

廃棄物等の掘削箇所としては、VOC については遮水壁の効果が期待できるので、主に遮水壁の効果が小さい 1,4-ジオキサンの濃度コンターが最も高い不法投棄地西側を部分掘削する方法が効果的と考えられる。

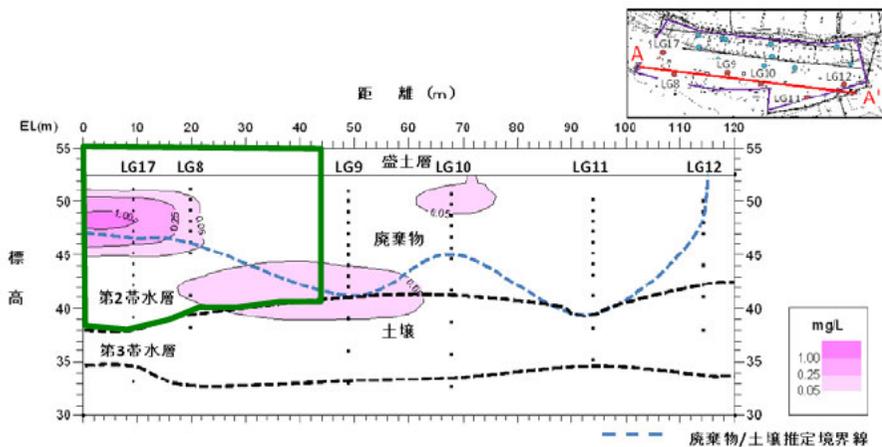
例えば、1,4-ジオキサン濃度コンターが最も高い W2 井戸付近を中心とした 5mg/L コンター付近で廃棄物下部の上部帯水層の汚染土壌まで除去した場合は、汚染範囲の広さ約 $45.8\text{m} \times 13.0\text{m}$ 、面積 590m^2 程度、平均掘削深さは 13.3m となり、1,4-ジオキサン除去効果は、除去率 69% (加重平均濃度で $1.9\text{mg/L} \rightarrow 0.58\text{mg/L}$) となる(図 2.1 参照)。また、その場合の掘削量は、表層のアスファルト層を含む盛土層が $1,500\text{m}^3$ 、廃棄物が $4,000\text{m}^3$ 、汚染土壌が $2,300\text{m}^3$ である。



(a)廃棄物層内の1,4-ジオキサン濃度分布(H23年/6月)

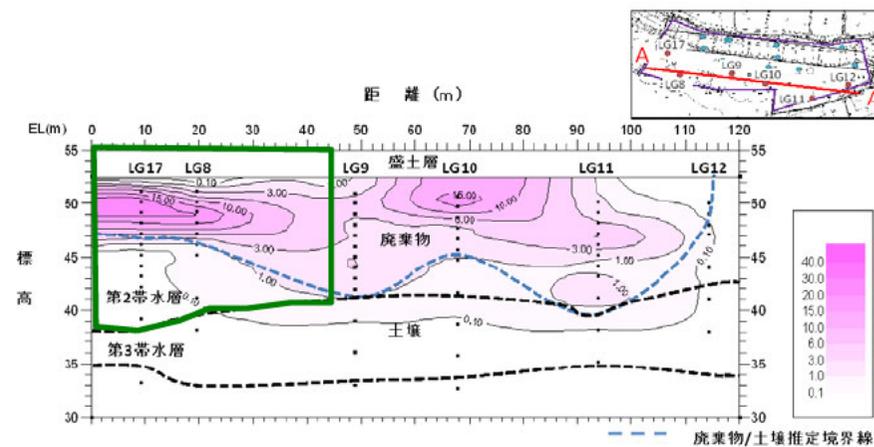


(a)廃棄物層内の総 VOC 濃度分布(H23年/6月)



A-A' 断面 (遮水壁内側南側)

(b)1,4-ジオキサン溶出量分布(H22年度調査)



A-A' 断面 (遮水壁内側南側)

(b)総 VOC 溶出量分布(H22年度調査)

掘削範囲: コンターライン 5mg/L を囲むように、大きさ約 45.8m×13.0m、面積 590m²程度、平均掘削深さは 13.3m
掘削量: 盛土層 1,500m³、廃棄物 4,000m³、汚染土壌 2,300m³
部分撤去による地下水中の1,4-ジオキサン除去効果: 加重平均 1.9mg/L→0.58mg/L (1,4-ジオキサン撤去率 69%)

図 2.1 1,4-ジオキサン高濃度掘削箇所为例 (ケース b-1)

掘削範囲

(3) 遮水壁内外の汚染地下水対策

廃棄物等の掘削時には、掘削作業性や山留め安全性を確保するために、地下水位を低下させる目的で遮水壁内の上部及び下部帯水層から水処理施設の処理能力と同じ $60\text{m}^3/\text{日}$ で揚水を行うこととする。遮水壁内の揚水量は、ケース a-1 の地下水制御と同じ比率とし、上部帯水層から $16\text{m}^3/\text{日}$ 、下部帯水層から $44\text{m}^3/\text{日}$ とする。

つぎに、廃棄物等の一部掘削完了後は、汚染源対策として遮水壁内の水位制御と併せて、遮水壁外の汚染地下水対策のために揚水浄化処理を行う。

汚染源対策である遮水壁内の地下水位低下のための揚水計画では、遮水壁内の上部帯水層と下部帯水層から目標水位となるように揚水することとする。なお、揚水量は、ケース a-1 と同様に、上部帯水層から $9.0\text{m}^3/\text{日}$ 、下部帯水層から $25.0\text{m}^3/\text{日}$ の計 $34.0\text{m}^3/\text{日}$ とする。

一方、遮水壁外の汚染地下水対策では、揚水浄化処理により 7 年間（トータルでは 10 年間）で 1,4-ジオキサンの加重平均濃度が環境基準を下回ることをケース a-1 と同条件で設定すると、揚水量は第 2 帯水層から $15.0\text{m}^3/\text{日}$ 、第 3 帯水層から $21.0\text{m}^3/\text{日}$ の計 $36\text{m}^3/\text{日}$ となる（表 2.2 参照）。

一部掘削処理後の揚水量は汚染源対策（遮水壁内）が $34\text{m}^3/\text{日}$ 、汚染地下水対策（遮水壁外）が $36\text{m}^3/\text{日}$ の計 $70\text{m}^3/\text{日}$ となり、既存の水処理施設（処理能力 $60\text{m}^3/\text{日}$ ）では $10\text{m}^3/\text{日}$ の処理能力が不足することになり、水処理施設の増強が必要となる。

なお、各エリアの揚水量は 1 年毎に進行管理を行い見直すこととする。

(4) 対策期間

周辺汚染地下水対策の目標達成期間は 10 年程度である。

一部掘削処理後の汚染源対策としては揚水による地下水位制御となるので長期間の管理が必要となる（表 2.2 参照）。しかし、確認されている 1,4-ジオキサンの主な汚染源の大部分が撤去されること及び 1,4-ジオキサンの特性として親水性が高いことから汚染源としてのポテンシャルが低い地下水と接触している廃棄物からは既に溶出していると推測すると概ね 12 年で浄化が完了する。

なお、VOC は高濃度箇所が残存するが、遮水壁による封じ込め効果が期待できると考えられる。

(5) 周辺環境に及ぼす影響

廃棄物等の掘削、処理、搬出作業においては、VOC 等の有害物質のガス発生や廃棄物等の飛散・流出による周辺環境への二次汚染が懸念されることから、掘削ヤード、掘削物処理ヤード、ストックヤードに簡易テントを設置して、その中を集塵機で負圧に管理すること等によって外部環境と遮断する計画とする。

それ以外に廃棄物等の運搬車両による周辺環境への影響が想定される。ケース b-1 の一部掘削処理では、不法投棄地の土層から掘削することになるので、現場からの廃棄物等の搬出

は、盛土材→廃棄物→汚染土壌の順序となる。掘削は不法投棄地の地表よりクラムシェルによる掘削となり、切梁等の障害物があることや簡易テント内で防護服着用での作業となるので、日掘削量は 130m^3 （障害ありのクラムシェル日掘削量）の 50%程度と考えられる。以下に搬出日数と日当たりの運搬車の台数を算出する（表 2.4 参照）。

表 2.4 廃棄物等の搬出台数（ケース b-1：一部掘削処理＋揚水浄化）

掘削物	容量 (m^3)	掘削量 ^{a)} ($\text{m}^3/\text{日}$)	搬出日数 ^{b)} (日)	搬出台数 ^{c)} (台/日)	算出条件
盛土	1,500	65	35	12(10tDT)	a) : クラムシェル掘削 $130\text{m}^3/\text{日} \times 50\%$ b) : 稼働日 = 実働 $\times 1.5$ c) : 単位体積重量 廃棄物 $2.0\text{t}/\text{m}^3$ 汚染土壌と盛土 $1.8\text{t}/\text{m}^3$ 最大搬出台数は廃棄物の搬出時
廃棄物	4,000	65	92	13(10tDT)	
汚染土壌	2,300	65	53	12(10tDT)	
計	7,800	—	180 (6ヶ月間)	13(10tDT)	

現場からの廃棄物等の搬出量は搬出先の受入量にもよるが、最大で、日搬出量が $130\text{t}/\text{日}$ ($=65\text{m}^3/\text{日} \times 2.0\text{t}/\text{m}^3$)、10 t ダンプトラック 13 台程度であり（搬出期間 6 ヶ月間）、6 時間作業とすると 2~3 台/h と県道四日市多度線の大型車通行量約 18 台/h(※¹)と比較しても周辺環境に過度の影響を与えるものではない。

※¹:平成 22 年度調査結果より、県道四日市多度線平日昼間平均交通量(7時から 19時)2838 台/12h、大型車混入率 7.6%(約 216 台/12h)

(6) メリットとデメリット

ケース b-1 のメリットとデメリットは次のとおりである。

1) メリット

- ・ 1,4-ジオキサンの高濃度箇所の汚染リスクが低減する（低減率 0.69）（安全性）。
- ・ 1,4-ジオキサンの特性から推測すると、汚染源対策としての地下水位管理のための揚水浄化処理を停止することができる可能性がある（安全性）。

2) デメリット

- ・ 廃棄物等は一部掘削処理するため、ケース a-1 と比較して短期的にやや高額な財政負担が生じる（経済性）。
- ・ 高濃度 VOC や 1,4-ジオキサン等の有害物質が残留するので、汚染源対策は長期間に及ぶおそれがあり、事業完了までの期間が想定できない（目標達成期間）。
- ・ 廃棄物等の掘削処理作業による周辺環境への 2 次汚染リスクがあるため、周辺環境・作業環境対策が必要となる（安全性）。
- ・ 対策期間を 10 年間とするためには、一部掘削処理対策後、水処理施設の能力を $10\text{m}^3/\text{日}$ (安全率を考えると $20\text{m}^3/\text{日}$ 程度) 増強させる必要がある（経済性）。
- ・ 水処理施設の定期的改修及び更新が必要となる（その都度コストがかかる）（経済性）。
- ・ 遮水壁は、汚染源対策が長期間に及ぶと遮水機能劣化による更新費用が必要となるおそ

れがある（経済性）。

3. ケース e-1：全量掘削処理＋揚水浄化

(1) 対策の概要

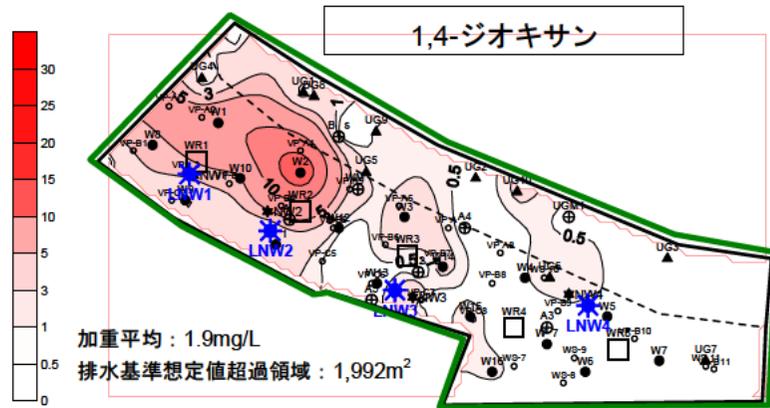
ケース e-1 は、汚染源となる廃棄物等を全量掘削処理する方法である。

汚染源対策としては、遮水壁内外の 1,4-ジオキサンや VOC 等の汚染源を全て掘削撤去し、遮水壁内の汚染地下水を揚水浄化する。

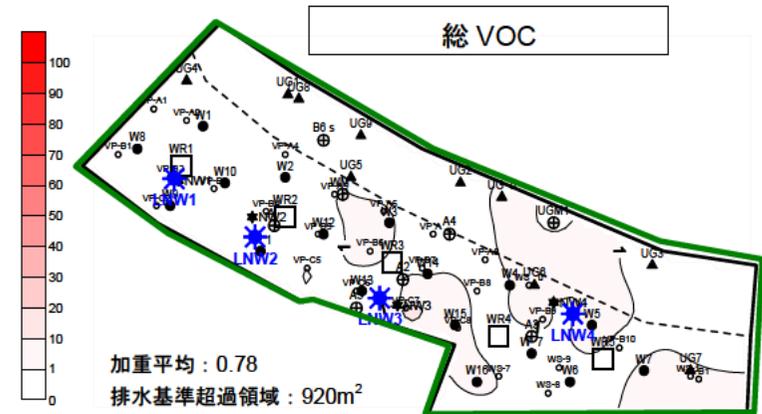
また、遮水壁外の汚染地下水対策としては、ケース a-1 と同様に汚染地下水を揚水して汚染物質を回収し、地下水を入れ替えることで浄化を図るものである。

(2) 廃棄物等の掘削箇所、掘削量、掘削方法

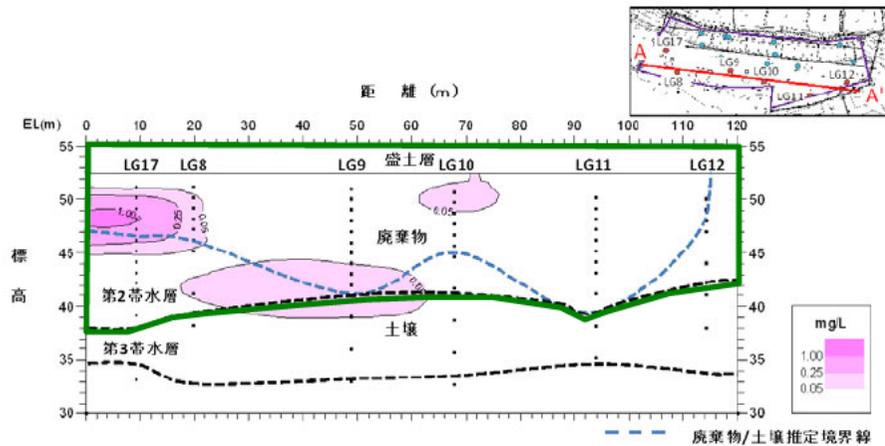
廃棄物等の掘削箇所は、遮水壁内及び遮水壁外に残置されている範囲を全て掘削し、汚染源を撤去する。掘削範囲は広さ約 120m×35m、面積 3,810m² となり、汚染土壌まで掘削撤去すると平均掘削深さは 13.3m (図 2.2 参照)、掘削量は、表層のアスファルトや盛土層が 7,300m³、廃棄物が 21,500m³、汚染土壌が 21,000m³ である。



(a)廃棄物層内の 1,4-ジオキサン濃度分布(H23 年/6 月)

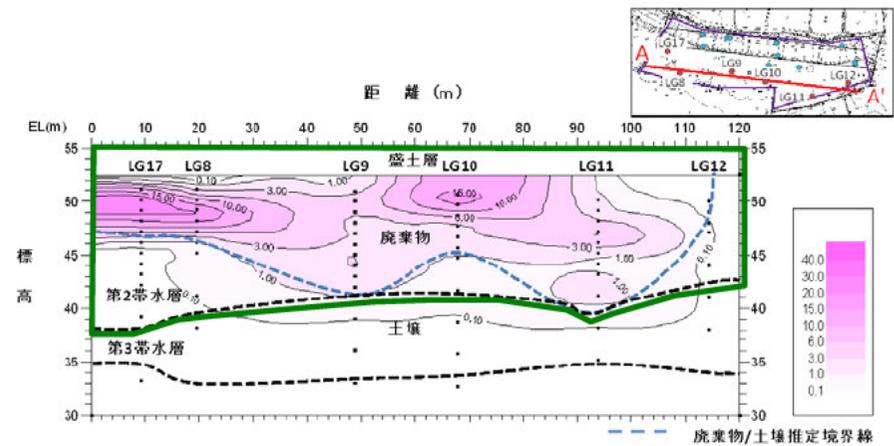


(a)廃棄物層内の総 VOC 濃度分布(H23 年/6 月)



A-A' 断面 (遮水壁内側南側)

(b)1,4-ジオキサン溶出量分布(H22 年度調査)



A-A' 断面 (遮水壁内側南側)

(b)総 VOC 溶出量分布(H22 年度調査)

掘削範囲: 遮水壁内外の廃棄物全量と遮水壁内の上部帯水層の汚染土壌、面積 3,810m²程度、平均掘削深さは 13.3m
 掘削量: 盛土層 7,300m³、廃棄物 21,500m³、汚染土壌 21,000m³ (全量) ※、※汚染土壌掘削量は全量とするか一部残置させるかは今後検討する予定
 1,4-ジオキサン撤去による効果: 上部帯水層 加重平均 1.9mg/L→0.0mg/L (1,4-ジオキサン撤去率 100%: 上部帯水層の汚染土壌を全量撤去したとき)
 下部帯水層 加重平均 0.92mg/L→0.044mg/L (掘削時の水位低下のための揚水浄化による効果、上部帯水層からの拡散がないものとして評価)

図 2.2 廃棄物等の全量掘削箇所 (ケース e-1)

掘削範囲

(3) 遮水壁内外の汚染地下水対策

廃棄物等の掘削時には、ケース b-1 と同様に遮水壁内の地下水を水処理施設の処理能力と同じ、上部帯水層から $16\text{m}^3/\text{日}$ 、下部帯水層から $44\text{m}^3/\text{日}$ の計 $60\text{m}^3/\text{日}$ で揚水を行うこととする。

つぎに、廃棄物等の掘削完了後は、汚染源対策として遮水壁内の下部帯水層の揚水浄化、汚染地下水対策として遮水壁外の汚染地下水の揚水浄化を行う。

遮水壁内の下部帯水層の揚水浄化は、廃棄物等の掘削処理対策後の 5 年間（廃棄物等の掘削処理対策時に 5 年間と併せてトータル 10 年間）で 1,4-ジオキサン¹の加重平均濃度が環境基準を下回ることを条件に設定することになる。しかし、廃棄物等を掘削するための地下水位管理を 5 年間継続することにより 1,4-ジオキサン平均濃度が環境基準以下にするための揚水量となり、廃棄物等の掘削処理対策後に下部帯水層の揚水浄化を改めて実施する必要は無いと想定される。（揚水効率 0.33）。

一方、遮水壁外の汚染地下水対策についても同様に、揚水浄化処理により 5 年間で 1,4-ジオキサン¹の加重平均濃度が環境基準を下回ることを条件に設定すると、揚水量は第 2 帯水層から $21.0\text{m}^3/\text{日}$ 、第 3 帯水層から $29.0\text{m}^3/\text{日}$ の計 $50\text{m}^3/\text{日}$ となる（表 2.3 参照）。

掘削処理後の揚水量は、汚染地下水対策（遮水壁外）の $50\text{m}^3/\text{日}$ のみとなり、既存の浸出水処理施設（処理能力 $60\text{m}^3/\text{日}$ ）を用いて処理できる。

なお、各エリアの揚水量は 1 年毎に進行管理を行い見直すこととする。

(4) 対策期間

産廃特措法の延長想定期間の 10 年で、全ての対策を完了することができる（表 2.3 参照）。

(5) 周辺環境に及ぼす影響

廃棄物等の掘削、処理、搬出作業における VOC 等の有害物質のガス発生や廃棄物等の飛散・流出による周辺環境対策は、上記 2. (5) のケース b-1 と同様に、掘削ヤード、掘削物処理ヤード、ストックヤードに大型の簡易テントを設置してその中を集塵機で負圧に管理することによって外部環境と遮断する計画とする。

廃棄物等の運搬車両による周辺環境への影響としては、ケース b-1 と同量の掘削量/日とした場合の搬出日数と日当たりの運搬車の台数を算出する（表 2.5 参照）。

表 2.5 廃棄物等の搬出台数（ケース e-1：全量掘削処理＋揚水浄化）

掘削物	容量 (m ³)	掘削量 ^{a)} (m ³ /日)	搬出日数 ^{b)} (日)	搬出台数 ^{c)} (台/日)	算出条件
盛土	7,300	65	168	12(10tDT)	a) : クラムシェル掘削 130m ³ /日×50% b) : 稼働日＝実動×1.5 c) : 単位体積重量 廃棄物 2.0 t/m ³ 汚染土壌と盛土 1.8 t/m ³ 最大搬出台数は廃棄物と汚染土壌を同時搬出
廃棄物	20,000	65	462	13(10tDT)	
汚染土壌	21,000	65	485	12(10tDT)	
計	48,300	—	1,115	25(10tDT)	

現場からの廃棄物等の搬出量は搬出先の受入量にもよるが、廃棄物と汚染土壌を同時に搬出したとすると、最大で見積もっても日搬出量が 247t/日（： $65\text{m}^3/\text{日} \times 2.0\text{t}/\text{m}^3 + 65\text{m}^3/\text{日} \times 1.8\text{t}/\text{m}^3$ ）、10 t ダンプトラック 25 台程度であり、25 台/日は 6 時間作業とすると 4～5 台/h と県道四日市多度線の大型車通行量約 18 台/h(※¹)と比較しても周辺環境に過度の影響を与えるものではない。

(6) メリットとデメリット

ケース e-1 のメリットとデメリットは次のとおりである。

1) メリット

- ・汚染源を全量撤去するので、汚染リスクがなくなる、大災害に対しても安心である（安全性、確実性）。
- ・産廃特措法の延長期間で環境修復事業が完了できる（目標達成期間）。
- ・汚染源が全量撤去されるため、水処理施設の負荷が低減する（安全性）。
- ・現地から廃棄物がなくなるため、対策工法として周辺住民の合意が得られやすい（合意形成）。
- ・跡地利用が可能となる。

2) デメリット

- ・廃棄物処理費用が膨大となるため、短期的な財政負担が多くなる（経済性）。
- ・廃棄物量や汚染土壌量が膨大となるので、搬出先の確保が重要となる（廃棄物 130 t/日、汚染土壌 120 t/日程度）（確実性）。
- ・安定搬出の確保や受入条件によっては、広大なストックヤードが必要となる（確実性）。
- ・廃棄物等の掘削処理作業が発生するので周辺環境・作業環境対策が必要となる（安全性）。
- ・掘削ヤード、処理ヤード、ストックヤードを設置するための用地確保が必要である（確実性）。

4. 廃棄物等の掘削・処理・処分方法

(1) 廃棄物の掘削方法

廃棄物の掘削方法としては、(a)山留め工法や(b)ライナープレート工法がある。

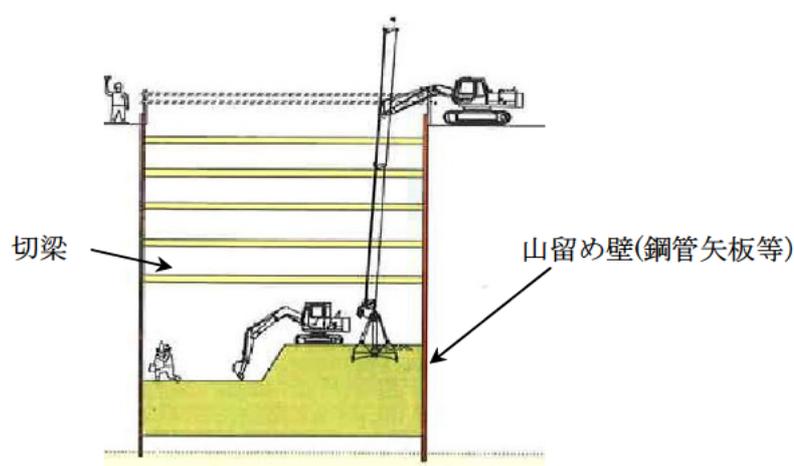
(a)山留め工法は、ほとんどの掘削工事で用いられ実績が豊富であり、深度 5mを超えると自立が困難となり切梁や中間杭等が必要となる（図 2.3 参照）。

一方、(b)ライナープレート工法（深礎工法）は、当該地において大口径揚水井戸を設置するために採用しており、廃棄物等を掘削、ライナーを組み立てながら所定深度まで掘削するもので、掘削完了後、ライナープレートを撤去しながら土壌を埋め戻す。コストは山留めと比較して安い、工期が長く、ライナープレートの設置や撤去を人力で行うため作業環境の安全性に留意する必要がある（図 2.4 参照）。

ライナープレート工法は、1回の掘削エリア毎に掘削と埋戻を行うので、掘削エリアが小さく周辺環境対策は容易にできるメリットがあるが、埋戻後、汚染地下水が浸透して埋戻土が再汚染する可能性があることや工期がかかること等のデメリットがあるため、当該地では、廃棄物等の一部撤去及び全量撤去ともに山留め工法を適用することが適当である。

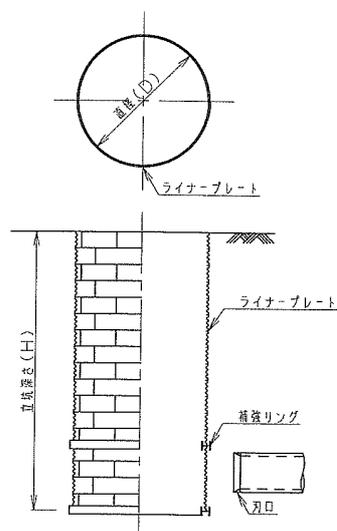
山留め工法の特徴は次のとおりである。

- ①掘削エリアの廃棄物等は確実に掘削撤去できる。
- ②埋戻土の再汚染がほとんどない。
- ③下部帯水層の浄化井戸は養生しながら掘削できる。
- ④掘削エリアが広範囲となるので、掘削底面の汚染調査が容易となる。
- ⑤廃棄物層内に山留め材を施工する場合は、廃棄物を地盤内に巻き込まないように留意する必要がある。



(a) 山留め工法（鋼管矢板等）

図 2.3 廃棄物等の掘削方法



掘削径 (H19年 : 径φ4m, H22年 : 径φ7.5m)

(b) ライナープレート工法

図 2.4 廃棄物等の掘削方法

(2) 廃棄物等掘削処理による周辺環境対策

廃棄物等の掘削、処理、搬出作業において、VOC等の有害物質からのガス発生や廃棄物等の飛散・流出による周辺環境への二次汚染が懸念される。それらによる周辺環境対策として、平成21年度の大口径掘削井戸工事では、廃棄物等の処理ヤードに大型の簡易テントを設置し、内部環境を集塵機で負圧に保つことにより、外部への有害物質の拡散や廃棄物等の飛散・流出の防止対策を実施した(図2.5参照)。

そのため、ケースb-1及びケースe-1の廃棄物等の掘削処理対策においても同様に、VOC等の有害物質からのガス発生や廃棄物等の飛散・流出による周辺環境対策として、掘削ヤード、掘削物処理ヤード、ストックヤードに簡易テントを設置し、その中を集塵機で負圧に管理することによって外部環境と遮断する計画とする必要がある。

また、当該地はVOC、可燃性ガス、硫化水素ガス等の有害ガスが発生していることから、作業員の安全性を確保するために、①作業員の防護具装着、②集塵機や送風機による換気対策、③有害ガス検知を行わなければならない。なお、防護具は、作業ヤード毎に発生ガスの量や濃度を評価し、レベル1~3に分けて対応する必要がある(図2.6参照)。



図 2.5 大型簡易テントと集塵機の一例



レベル 2 : 化学防護服+防毒マスク



レベル 3 : 化学防護服+エアライン

図 2.6 作業員の防護服の一例

(3) 廃棄物の前処理方法

1) 廃棄物の組成

掘削廃棄物の組成については、平成 19 年度と 21 年度の大口径揚水井戸工事の際に、深さ 1 ～3m毎に測定している。表 2.6 は廃棄物組成の分析結果であり、値は 19 年と 21 年の平均値で示している。掘削廃棄物は、土砂、ガラス・がれき、汚泥や鋳物砂などの土砂様物が約 96% を占めている。残りの 4%は金属類、木くずやプラスチック類等の可燃物である。

表 2.6 掘削廃棄物の組成分析結果 (H19 年度と H21 年度分析の平均値)

廃棄物種類		重量比 (%)	備考	
分類	可燃物	紙・布類	0.5	ダンボール片
		合成樹脂・ゴム・皮革類	1.2	ゴム片、ゴムチューブ、廃塗料
		ビニール類	0.2	
		プラスチック類	0.1	瓶蓋
		木・竹・ワラ類	0.7	木片、刷毛の柄
		厨芥類	0.0	貝殻
	小計		2.7	
	不燃物	金属類	0.9	釘、クリップ、乾電池、缶、電灯部分、ホキス、硬貨、針、蛍光灯部品、アルミくず、フタ、ワッシャー
		その他(医療系廃棄物など)	7.5	汚泥、鋳物砂、注射針、ギブス、アンブル
		ガラス・がれき	5.6	かわら片、コンクリートガラ、断熱材、溶融ガラス
		土砂	83.3	汚泥(汚泥と土砂との判別困難)、汚泥混じり、焼却残渣混じり、焼却灰混じり
	小計		97.3	
	合計		100.0	
	水分(%)		27.0	
乾燥重量(%)		73.0		
総重量(%)		100.0		
熱しゃく減量(分類廃棄物対象) (%)		17.0		

※重量比：乾燥重量の比率

2) 掘削容量（遮水壁内全量掘削処理のとき）

汚染源対策として廃棄物及び汚染土壌（法面部及び上部帯水層）を全量掘削処理を行ったときの掘削廃棄物及び掘削汚染土壌の容量を表 2.7 に示す。

掘削廃棄物の容量は、遮水壁内が約 20,000m³、遮水壁外が 1,150+287.5≒1,500m³、盛土が約 7,300m³、汚染土壌が上部帯水層と法面部を合わせて 11,372+2,494+7,075≒21,000m³である。

表 2.7 掘削廃棄物と掘削汚染土壌の容量

項目		面積(m ²)	
遮水壁内側		3,813	
平坦(舗装)部		2,906	
法面部		907	

項目	上端EL	厚さ	容積(m ³)		備考
			平坦(舗装)部	法面部	
平坦部	盛土①	55.0	2.53	7,353	加重平均
	廃棄物層②	52.5	6.86	19,925	加重平均
	上部帯水層③	45.6	3.9	11,372	
	粘土層④-1	41.7	1.0	2,906	
	下部帯水層⑤-1	40.7	7.7	22,376	25,282
法面部	不飽和層⑥	55.0	5.5		2,494
	上部帯水層⑦	49.5	7.8		7,075
	粘土層④-2	41.7	1.0		907
	下部帯水層⑤-2	40.7	7.7		6,984
		33.0			7,891
壁外側廃棄物(南)(8)-1		延長40m, 幅2.5m, 深11.5m(EL52.5-41)		1,150	
壁外側廃棄物(東)(8)-2		延長10m, 幅2.5m, 深5.5m(EL52.5-47)		287.5	

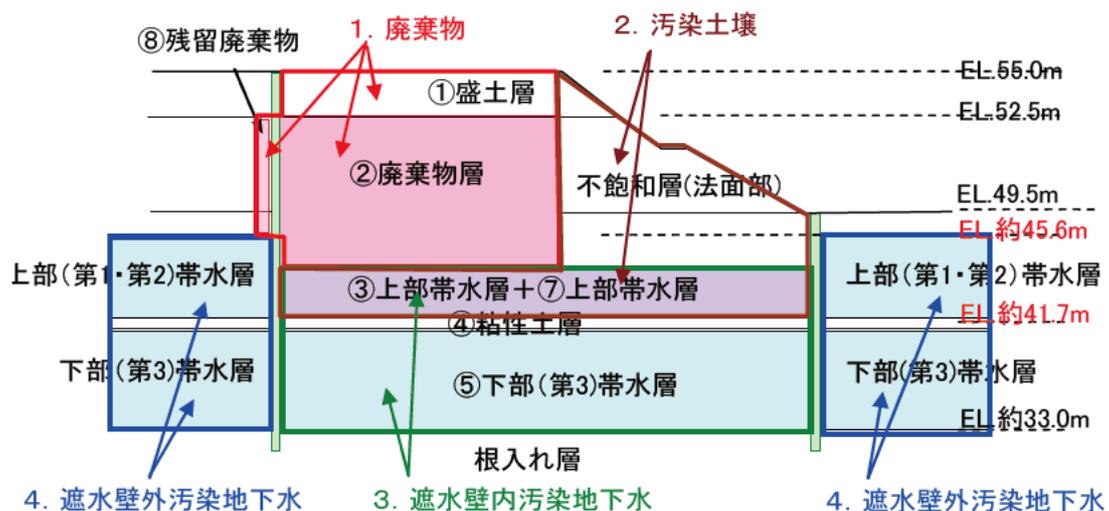


図 2.7 断面模式図

3) 掘削廃棄物の処理方法

掘削廃棄物には高濃度の VOC が含まれており、混合廃棄物として処分することは経済性に欠けることから、掘削廃棄物を選別し、処分経費の軽減を図る。ここでは、選別の考え方を整理し、選別機械等の例を示す。

a) 選別フロー

掘削廃棄物は、図 2.8 のように選別を行う。基本的な考えは、以下のとおりである。

- ・①ドラム缶(内容物入り)：特別管理産業廃棄物と同様の処理、②がれき類：洗浄後、再生材工場 or 場内利用、③金属類：洗浄処理後有価物、④可燃物：特別管理産業廃棄物と同様の処理、⑤土砂様物：特別管理産業廃棄物と同様の処理
- ・①，③，④と⑤は場内保管後、特別管理産業廃棄物が処理できる施設へ搬出処理、②のうち玉石等の天然石は埋戻材、コンクリート殻・アスファルト殻は路盤材等の再生材として利用

(平成 21 年度の大口徑掘削井戸の施工実績より)

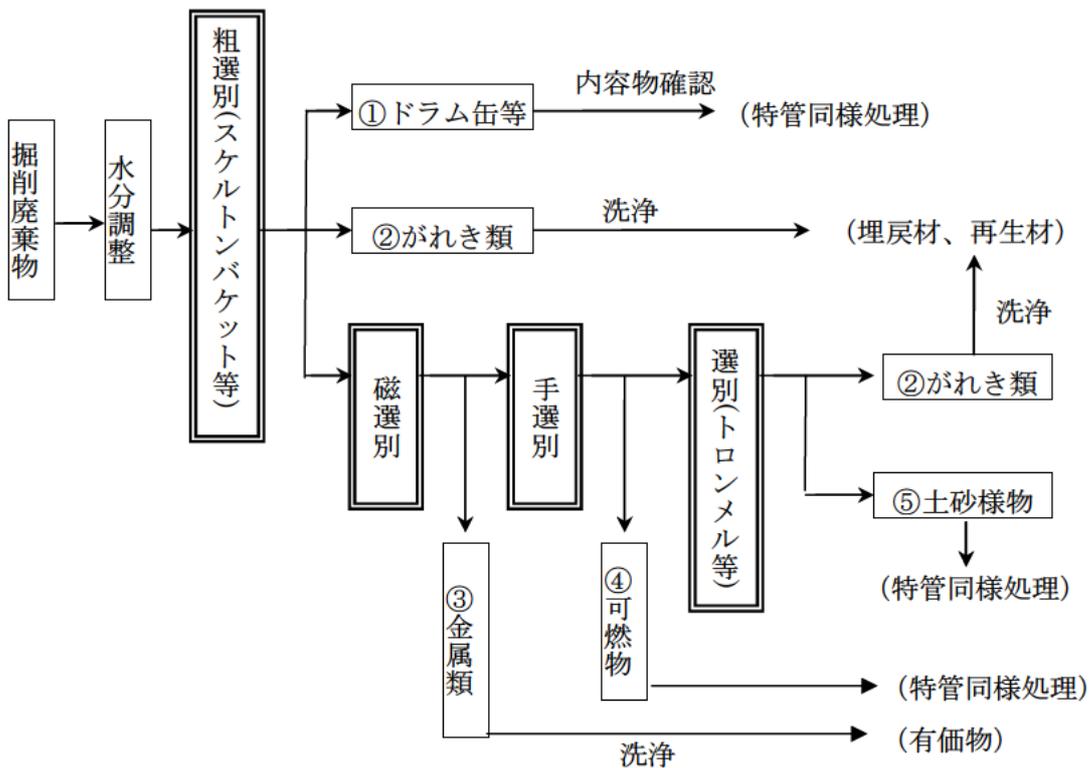


図 2.8 掘削廃棄物の選別フロー

b) 選別方法

選別方法は以下のとおりとする。

- ①ドラム缶：スケルトンバケット（粗選別）
- ②がれき類：スケルトンバケット（粗選別）、トロンメル（ふるい：25mm or 40mm）
- ③金属類：ベルトコンベアに磁選別機を設置

- ④可燃物：スケルトンバケツト（粗選別）、手選別、トロンメル
- ⑤土砂様物：トロンメル選別（ふるい：25mm or 40mm）の通過物

また、選別時の洗浄方法は、次のとおりとし、洗浄水はノッチタンクに貯留し既設水処理施設にて処理する。

- ①槽内で、トロンメルバケツトによる洗浄
- ②高圧ジェット洗浄

選別システムは、上記に示す個別の機械を処理能力に応じて組み合わせることで、簡単に設置することができる。

4) 掘削汚染土壌の処理方法

掘削した汚染土壌には、部分的に高濃度の VOC 及び油分が含まれ、搬出にあたっては含水比調整が必要となる。平成 21 年度の大口徑掘削井戸工事の際には、原位置にてホットソイル工法を用いて VOC の浄化と含水比調整を行い、セメント工場へ搬出・処分している。

本検討においても、汚染土壌はホットソイル工法により VOC 浄化と含水比調整を行うこととする。

(4) 廃棄物の処分先

当該地における廃棄物は VOC の埋立判定基準を超過する特別管理産業廃棄物と同様の処理が必要な物である。三重県及びその周辺で処理できる主な施設は、調査の範囲で表 2.8 の 4 施設である（図 2.9 参照）。処理方法は焼却や焙焼処理で、その処理能力は 61～200t/日、受入条件はほとんどの施設で粒徑 100mm 以下である（一部、粒徑 25mm 以下の施設もある）。

日当たりの搬出量は、上記 3. (4)より 100～150t/日であるので、同表より単独で処理できる施設があるが、2 施設は処理能力を満たしていない。ただし、複数施設に受け入れを分割して搬出する方法も考えられる。

以上、掘削した廃棄物は三重県及びその周辺に受入施設があり、日搬出量を考慮しても処理は可能と考えられる。

表 2.8 VOC 特管物の処理施設

No	場 所	企業名	処理方式と処理能力	受入条件(粒徑等)	備考
1	三重県伊賀市	三重中央開発(株)	①焙焼 (200t/日) ②焙焼 (150t/日)	①粒徑 100mm 以下 ②粒徑 25mm 以下	
2	愛知県刈谷市	サンエイ(株)	焼却 (150t/日)	粒徑 100mm 以下	
3	愛知県半田市	豊田ケミカルエンジニアリング	焼却 (105t/日)	個別対応	
4	大阪市鶴見区	ダイカン(株)	焼却 (61t/日)	個別対応	

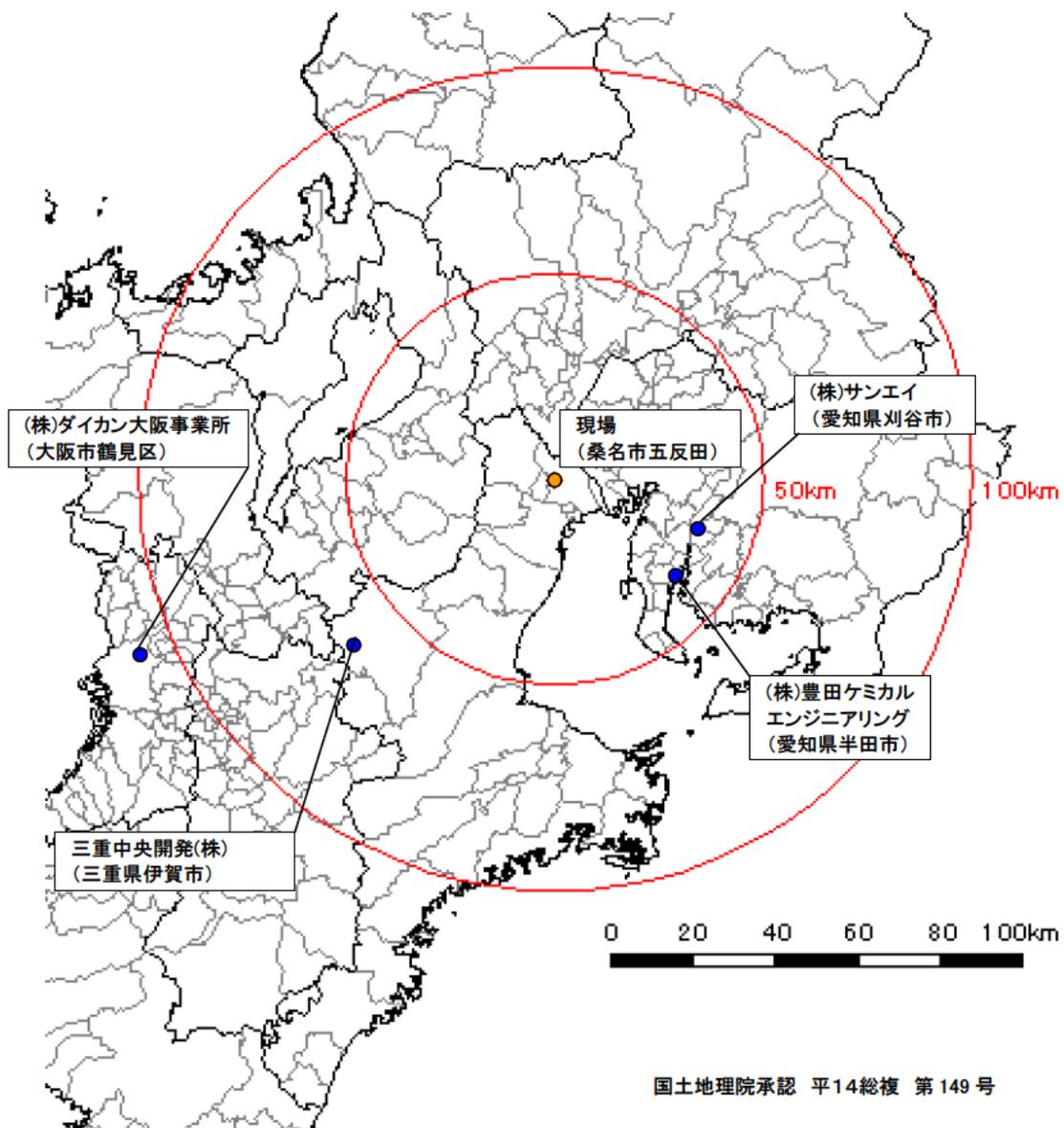


図 2.9 処理施設の位置図

(5) 既存遮水壁の汚染拡散防止効果

遮水壁内の廃棄物等を掘削するに際して、既存遮水壁が撤去可能か否かは工法選定に大きな影響を与えるため、掘削処理後の既存遮水壁の汚染拡散防止効果について検証を行う必要がある。

汚染源の掘削処理した後に遮水壁を撤去した場合の汚染拡散シミュレーションの結果から、1,4-ジオキサン分布濃度は地下水流の移流によって、第1帯水層及び第2帯水層では短期間に汚染が拡散し、大部分のエリアで環境基準以下となるが、粘性土層に汚染が一部残留し新たな場所に汚染が拡散する。また、第3帯水層では地下水流の動きが遅いため、遮水壁撤去後、不法投棄地を中心に汚染拡散エリアが広がった後にゆっくりと東側に移動し、遮水壁撤去により汚染拡散エリアが広範囲となる。

そのため、恒久対策の工法検討においては、汚染拡散エリアの拡大を防止するために遮水壁を撤去しない工法を検討する必要がある。

図2.10から図2.12に不法投棄廃棄物撤去後(ケースe-1)に遮水壁を撤去した場合の汚染拡散シミュレーション結果を示す。

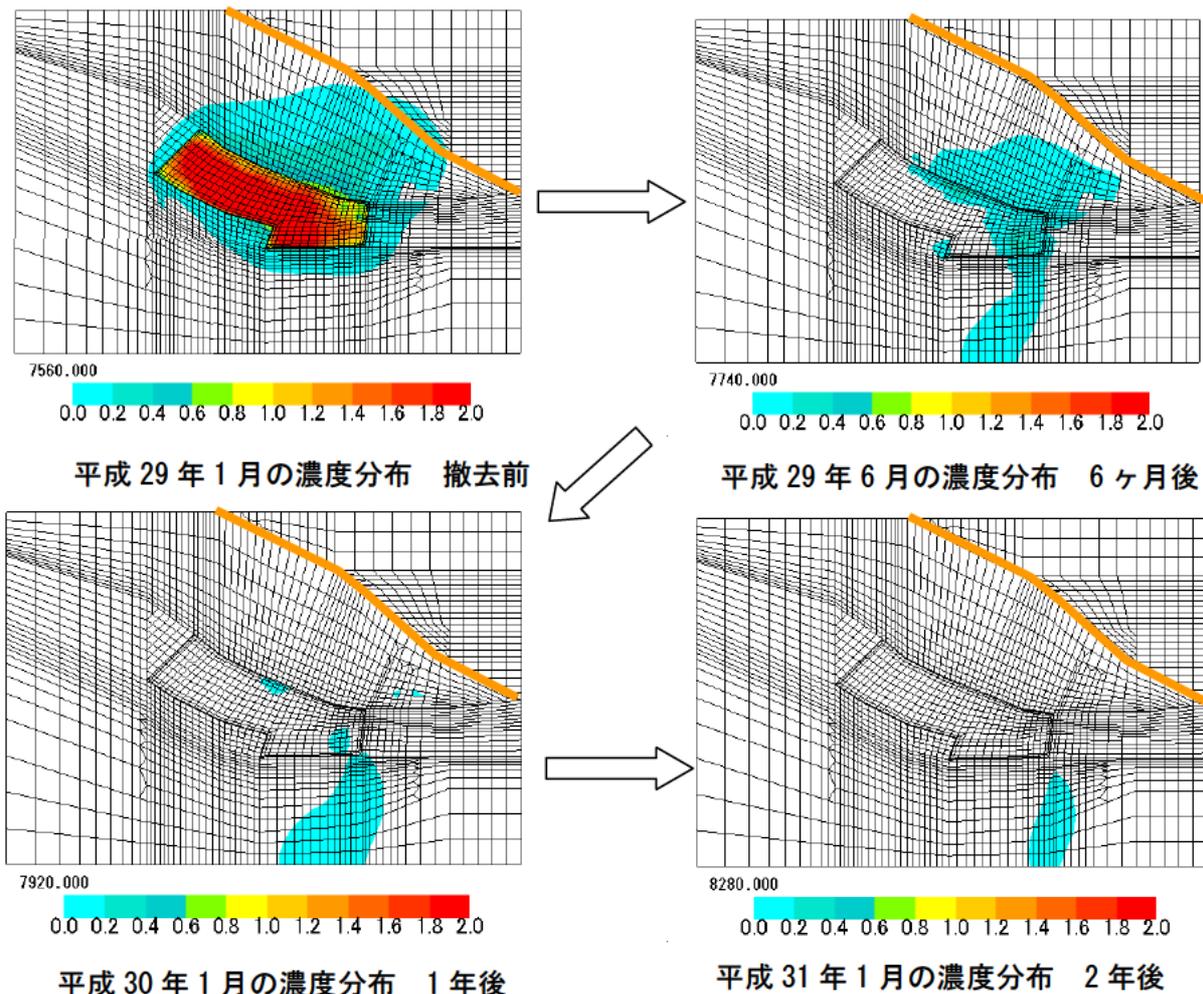


図 2.10 第 1 帯水層(EL45m)遮水壁撤去後の 1,4-ジオキサン濃度分布 (最小濃度 0.05mg/L)

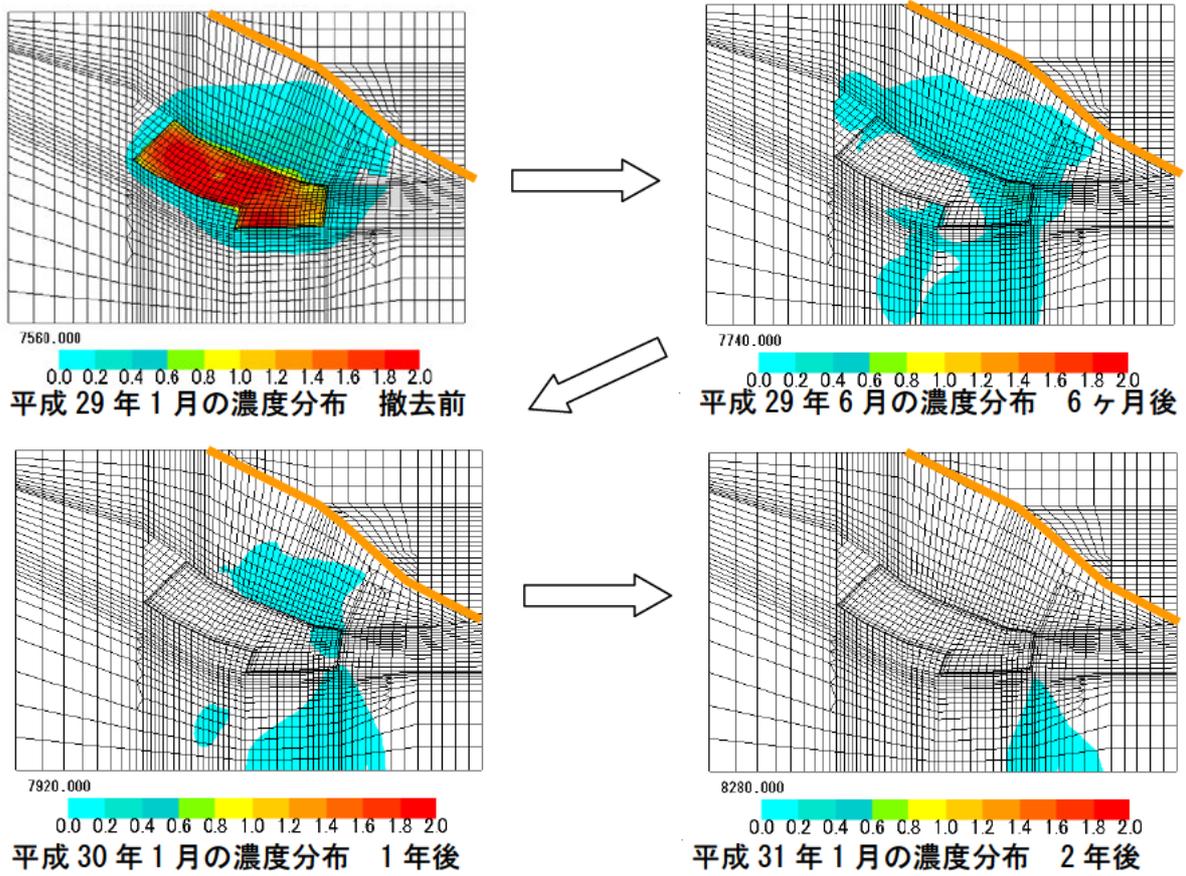


図 2.11 第 2 帯水層(EL42m)遮水壁撤去後の 1,4-ジオキサン濃度分布 (最小濃度 0.05mg/L)

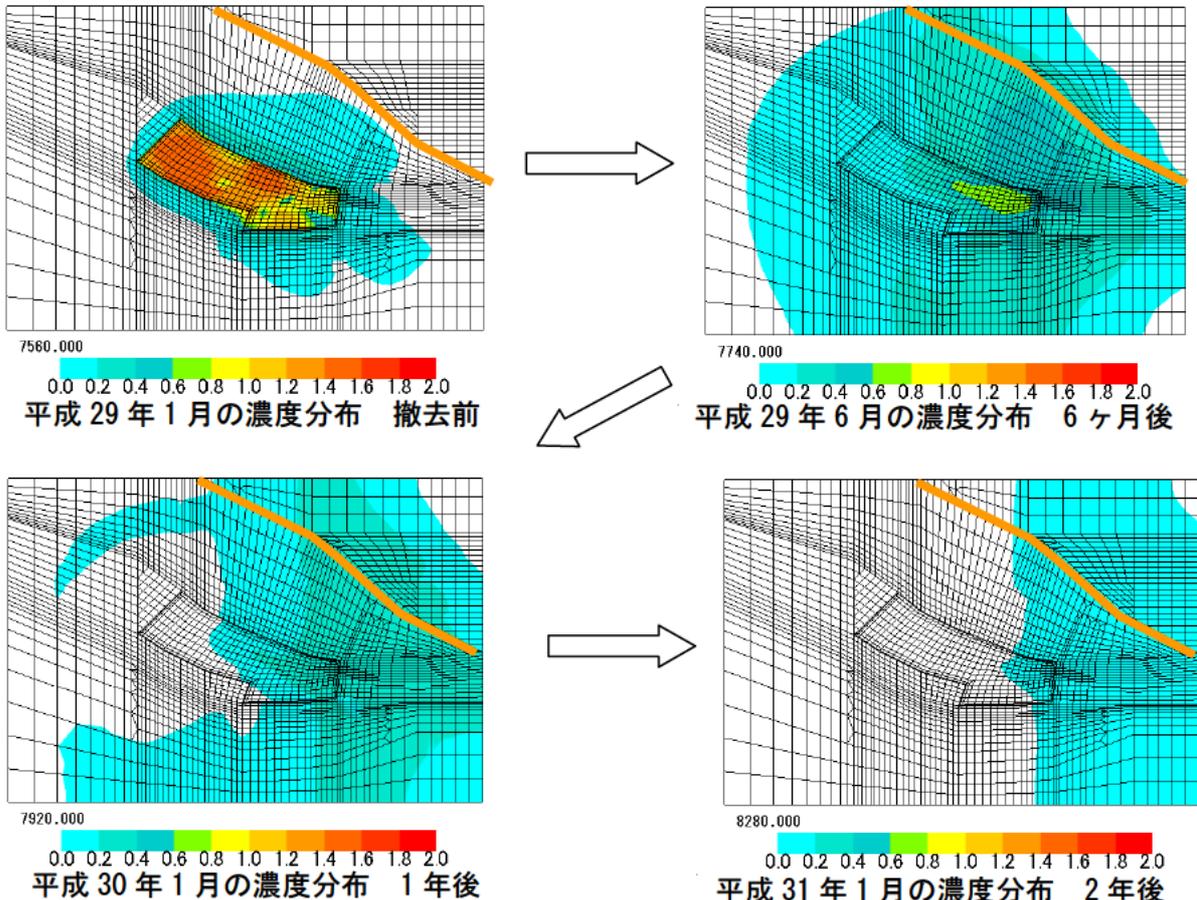


図 2.12 第 3 帯水層(EL36m)遮水壁撤去後の 1,4-ジオキサン濃度分布 (最小濃度 0.05mg/L)

5. 環境修復シナリオの比較検討

比較検討を行っている環境修復シナリオが合理的であるか否かについて、①安全性（リスク評価）、②環境修復の確実性、③目標達成までの期間、④経済性、⑤関係者との合意形成（リスクコミュニケーション）の5項目について評価を行う。

ケース a-1 は④経済性に優れているが、①安全性及び②環境修復の確実性で劣る。ケース b-1 は汚染源の一部が残置されるため、①安全性と②環境修復の確実性での評価は低いが、フォローアップ技術との組み合わせにより、汚染リスクの低減を図ることも可能である。

一方、ケース e-1 は廃棄物の処理処分費が多くなるため④経済性に劣るが、①安全性及び②環境修復の確実性は高い評価となる。

環境修復シナリオの比較検討表を表 2.9 に示す。

表 2.9 環境修復シナリオの比較検討表

ケース	対策内容	安全性 (リスク評価)	環境修復の 確実性	目標達成までの期間	経済性	合意形成 (リスクコミュニケーション)	総合評価
ケース a-1	揚水浄化	△ 汚染リスク が残り恒久的 に維持管理が 必要。	○ 汚染地下水 の浄化は完了 する見込み。	△ 半永久的に遮水壁 内の水位制御、水処理 施設の稼働が必要。	◎(短期的な評価) 短期的には、多大な 財政負担を伴わない。 しかし、長期的には、 水処理施設や遮水壁の 更新費用が必要。	△ 廃棄物が残置されるので、 周辺住民に安全・安心が理解 されにくい。	短期的な経済性 は優位であるが、半 永久的な管理が必要。
ケース b-1	高濃度箇所 掘削処理＋ 揚水浄化	○ 汚染源のポ テンシャルは 下がるが、汚 染リスクは残 る。	○ 汚染地下水 の浄化は完了 する見込み。	△－○ 長期的に遮水壁内 の水位制御、水処理施 設の稼働が必要。	○ 特措法期間内のコス トはケース a-1 の約 4.0 倍程度。 少なくとも 12 年程 度の水処理施設の運転 管理費と施設更新費用 が必要。	○ 周辺住民の理解はケース a-1 と比較して得られやすい。 多大な財政負担を伴わない ことから、議会及び財政部局 の理解も得られやすい。	ケース a-1 より安 全性は優位である が、汚染のリスクは 残る。 しかし、フォロー アップとの組み合 わせにより、安全 性・確実性を向上さ せることも可能。
ケース e-1	全量掘削処 理＋揚水浄 化	◎ 汚染リスク がなくなる。	◎ 汚染源がな くなるので汚 染地下水の浄 化は確実に達 成できる。	◎ 期間内に全ての対 策が完了する見込み。	△ 特措法期間のコスト はケース a-1 の 9.5 倍 程度と多大な財政負担 が必要。	○ 周辺住民には理解されやす い。 しかし、多大な財政負担を 生じるため議会及び財政部局 の理解を得るのが困難。	安全性・確実性に 優れているが、経済 性に課題。