

5 対策工法の概略検討

5.1 油回収のための囲い込み工について

(1) 囲い込み工の設置位置

各対策区域からの油回収にあたっては、上流からの新たな油の流入を防止した上で対策を実施する必要がある。囲い込み工の設置位置を図5-1に示す。

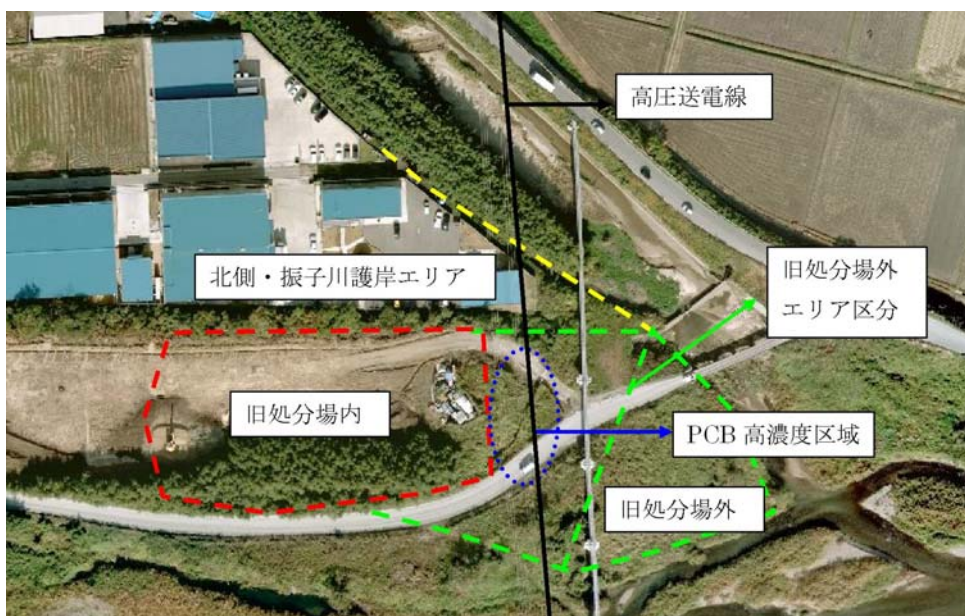


図5-1 囲い込み範囲

(2) 囲い込み工の工法概要

囲い込み工の工法は種々あるが、実績が多く、技術的な成熟度が比較的高い工法に集約すれば、図5-2に示すとおりとなる。

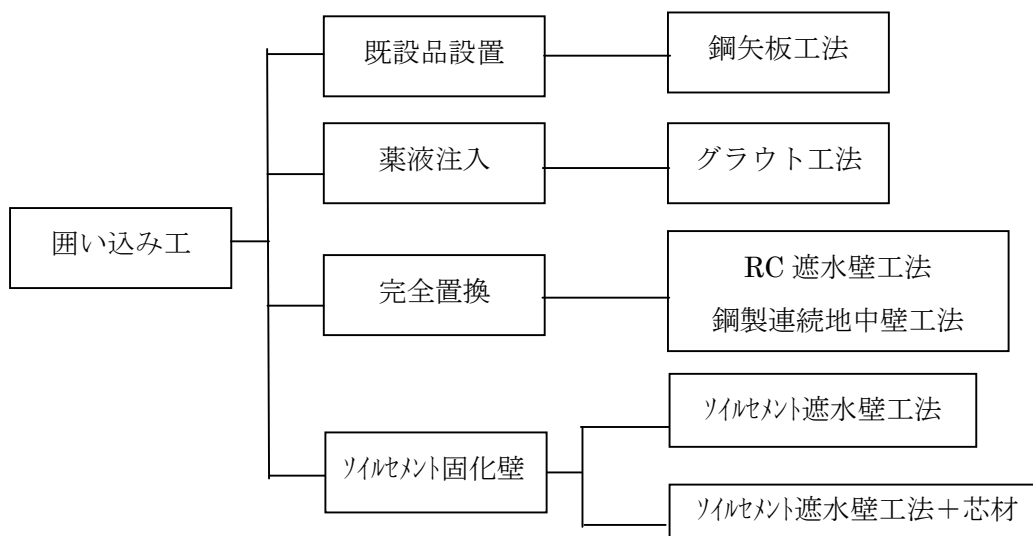


図5-2 囲い込み工の種類

(3) 遮水壁の根入れ長について

囲い込み工法における根入れ長について、表 5-1 にまとめた。

表 5-1 遮水壁における根入れ長

工法名称	浮き型遮水壁	根入れ型遮水壁
概要	<ul style="list-style-type: none"> 不透水層までの根入れは行わない遮水壁である。 地下水の移動はあるが、地下水面上の油の移動を制限することが可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> 不透水層までの根入れを行う遮水壁である。 地下水の移動を制限できる。 根入れ型遮水壁内においては、地下水位の管理が重要となる。
概要図		
経済性	良い	悪い
設置深さ	10m～15m程度	25m以上 (不透水層まで)
主な適用技術	鋼矢板	地中連続壁 ソイルセメント固化壁
遮水壁内の掘削	可能(必要に応じ補助工法が必要)	可能(必要に応じ補助工法が必要)
実績	あり	あり
備考		

(4) 当該場所での工法選定の条件

検討項目は、工法概要、油分の滲出防止の有無、掘削の可能性、経済性、汚染廃棄物・汚染土壌等の発生の有無、実績等、狭小箇所での適応、施工時の振動とする。

検討結果は表 5-2 に示すとおりである。

表 5-2 囲い込み工比較検討結果

区分	既製品	薬液注入	地中連続壁 (完全置換)	ソイルセメント固化壁	
	鋼矢板工法	グラウト工法	RC遮水壁工法/ 鋼製連続遮水壁工法	ソイルセメント固化壁工法	ソイルセメント固化壁工法+芯材 (芯材は、遮水性を考慮したものを 含む)
略図					
工法の説明	鋼矢板を接続しながら打設し、連続した壁を構築する工法	ボーリング機械で削孔し、地盤中に硬化材を注入して間隙を充填し、透水性を減少させる工法	地中を溝状に先行掘削し、鉄筋籠や鋼製連続壁部材等を挿入後コンクリートを打設して連続壁を構築する工法	現地盤とセメント系配合液を混合して連続した固化壁を構築する工法	ソイルセメント遮水壁の中に芯材を入れる工法。芯材の種類はH型鋼や鋼矢板の他、遮水性を高めた鋼製連続壁部材等がある。
施工例 (写真)					
	(鋼矢板の例)	(薬液注入の例)	(地中連続壁の例)	(TRDの例)	(TRD+鋼矢板の例)
油の滲出防止	可能	不可	可能	可能	可能
掘削 (土留めとしての利用の可能性)	可能 (補助工法が必要)	不可	可能	不可	可能 (必要に応じ補助工法が必要)
発生する廃棄物/汚染土壌等の有無	旧処分場内	ほとんど無し	ほとんど無し	多い	多い
	旧処分場外	ほとんど無し	ほとんど無し	多い	多い
狭小箇所への適応 (北側・振子川エリアでの適応)	可能	可能	困難 (重機が大型化するため)	困難 (重機が大型化するため)	困難 (重機が大型化するため)
施工時の振動	無振動施工対応が可能 (ウォータージェット併用油圧圧入)	無振動施工対応が可能	無振動施工対応は不可 (振動発生)	無振動施工対応は不可 (振動発生)	無振動施工対応は不可 (振動発生)
経済性	1.5万円/㎡~2.5万円/㎡程度	10万円/㎡程度	13万円/㎡程度	4万円/㎡程度	8万円/㎡~12万円/㎡程度
工期 (施工速度)	90㎡/日~100㎡程度	80㎡/日程度	60㎡/日~70㎡程度	70㎡程度	70㎡程度
実績	多数	多数	多数	多数	多数 (ただし、シートの場合は数例)
評価	油の滲出防止が可能であり、掘削に際して土留め工 (切梁腹起し) としての利用も可能である。最も経済的であり、実績も多い。また、発生する汚染廃棄物・汚染土壌はほとんど無い。	油の滲出防止は出来ない。掘削に際して土留めとしての利用も不可であり、経済性に劣る。	油の滲出防止は可能であり、掘削に際して土留め工としての利用も可能である。経済性に劣り、発生する汚染廃棄物・汚染土壌は最も多い。	油の滲出防止は可能であるが、掘削に際して土留め工としての利用は不可である。比較的経済的であるが、発生する汚染廃棄物・汚染土壌は多い。	油の滲出防止は可能であるが、掘削に際して土留め工としての利用は不可である。経済性に劣り、発生する汚染廃棄物・汚染土壌は多い。

5. 2 油回収の方法について

当該場所の PCB を含む油分は、地下水面付近に油相を形成する状態で存在しており、可能な限り回収が必要である。

各対策区域の油の存在状況等を表 5-3 に示す。

表 5-3 各エリアの油の状況

区分	旧処分場内	旧処分場外	北側・ 振子川護岸エリア
用地制限	河川区域 処分場跡地	河川区域 一般環境	操業中工場 一般環境
油相厚さ	最大約 2m	最大約 0.5m	最大約 0.3m
地下水位	GL-7m 前後	GL-4m 以内	GL-4m 前後
PCB 濃度	概して低い	高～中程度(旧処分場境界 付近の PCB 汚染源を含む)	中程度
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・ VOC、ガソリン成分による汚染がある。 ・ 現況地盤高の大半が計画高水位より高い 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現況地盤高の大半は計画高水位より低い 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地盤改良等の難透水性盛土により、油が分散して分布している様相である
既往対策	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定期的な油回収(1回/月) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 緊急対策工(矢板)による油流出防止 ・ 定期的な油回収(1回/月) ・ 瀬替え工 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定期的な油回収(1回/月)

(1) 旧処分場内の油回収

①揚油井戸による油回収

透油係数をもとに、以下に、油回収により孔内油相厚を減少させた時の影響範囲(確実に集油効果のある範囲)及び定常的な揚油量を算出した。

検討式については、次に示す一般的な地下水関連式を用いた。なお、透水(油)係数は $3 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ を用い、各地点における孔内油相の厚さ(影響範囲境界水位)は、2011年1月測定時の油相厚等高線図を参考にした。

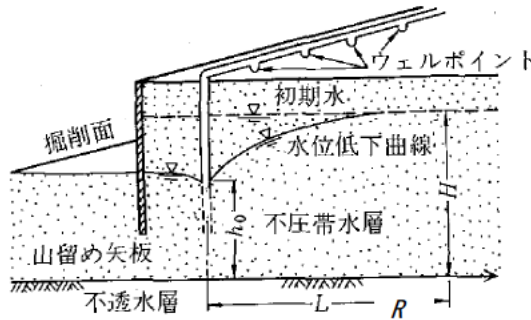
影響半径 $R = 3000 \cdot (H - h_0) \cdot \sqrt{k}$

H : 非回収時における油相厚さ (m)

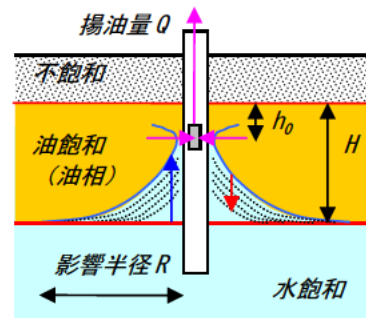
h_0 : ポンプ吸込口から油相上面までの厚さ (m)

k : 透油係数 (m/sec)

揚油量 $Q = \frac{k}{R} \cdot (H^2 - h_0^2)$



地下水位低下に関する一般的な検討



油回収 (本調査)

図 5-3 地下水関連式

表 5-4 揚油量

地点	井戸本数 (本)	油相厚 (m)	影響範囲 (m)	1本当りの揚油量 (m ³ /day)	全揚油量 (m ³ /day)
No. 22-04 周辺 (Y-1~Y-7)	7	1.6	2.6	0.025	0.177
No. 22-01 周辺 (Y-8~Y-10)	3	1.2	2.0	0.019	0.057
合計	10				0.233

揚油井戸による油回収の方法と対策をまとめると以下のとおりである。

- ①油相が薄いところは、影響範囲 (集油効果のある範囲) が小さくなる。油相厚が 1m 以下でも油回収は可能であるが、回収効率が悪く、効果的な対策でない。
- ②油水面に動水勾配を与えて強制的に油を回収する方法が考えられるが、地盤は透水性がよいため、相当量の揚水を行わなければ動水勾配を与えることが難しい。

上記のことから、揚水 (油) 井戸を活用した方法では、油相が形成されなくなるまで油を回収するためには、長期を要すると考えられる。しかし、大規模な工事を必要とせず、直ちに着手可能な工法といえる。

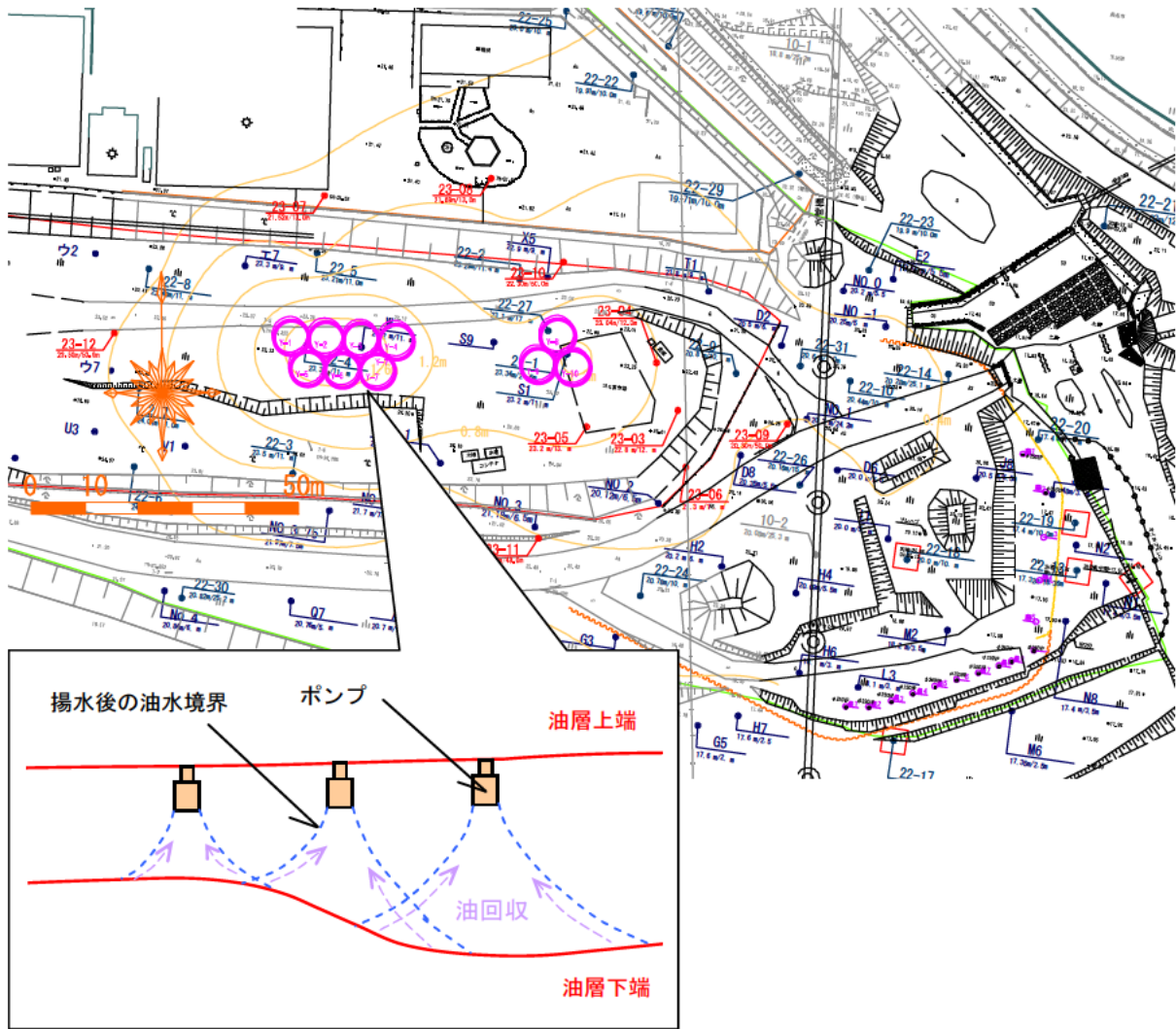


図 5-4 揚油井戸イメージ図

②掘削による油回収

井戸からの油回収のみで油相が形成されない状態を実現させることは、長期間を要すると想定される。一方、掘削（開削）により油相が形成される深度下端に釜場を設け、地下水とともに油を回収することで、比較的短期間で回収が可能と考えられる。掘削により多量の廃棄物の保管・処分が必要となる課題がある。

なお回収された油は、地下水を含むことから、専用の油水分離装置に通油し、廃油はドラム缶等で保管し、分離排水は水処理施設で処理後放流する必要がある。

掘削方法の検討については、5.4に示す。

(2) 「旧処分場外（北側を除く）」の油回収

旧処分場外エリアの大半は計画高水位より低いエリアにあり（図 5-5）、水没する可能性のある区域であることから、集油設備を設置した場合、長期間維持管理することは困難である。

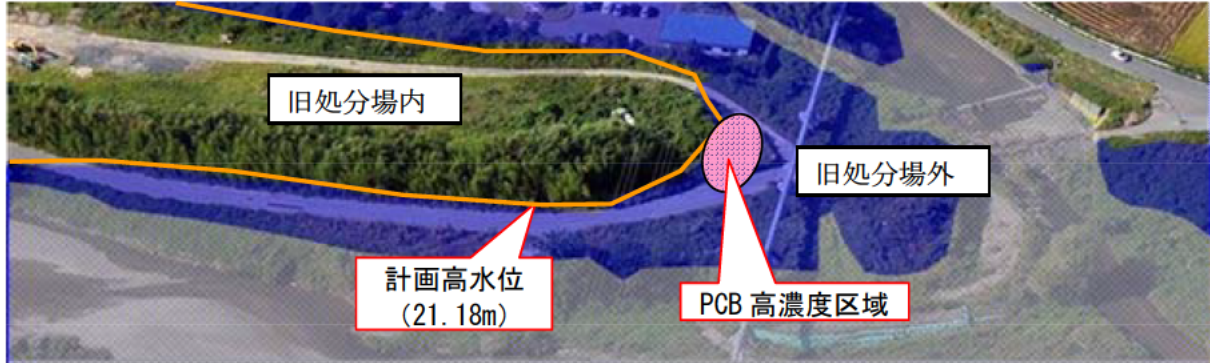


図 5-5 計画高水位

短期間で油回収を実現させるためには、汚染土壌を掘削後、油相が形成される深度下端に釜場を設け、地下水とともに油回収する方法が考えられる。

なお汚染土壌の掘削除去は、渇水期に期間を限定して掘削を行う必要があり、回収した油は油水分離後保管等し、分離排水は水処理施設で処理後放流する必要がある。

掘削方法の検討については、「5-4 掘削による油回収について」に示す。

(3) 「北側・振子川護岸エリア」の油回収対策

当エリアは、孔内に形成される油相が 30cm 程度と薄く、大部分が周辺事業所内に存在している。周辺事業所の表層はアスファルト舗装が敷設されている。このため、掘削等を伴う油回収には制限がある。

そのため、振子川護岸沿いに拡散防止工（鋼矢板等）を設置し、その内側に集油管（碎石巻きの有孔管）を設けて集油する等の対策が適用可能と考えられる。

回収された油は、地下水を含むことから、専用の油水分離装置に通油し、廃油はドラム缶で保管する。油回収は油相が形成されなくなることを目標とするが、上記方法による目標達成が困難と判断される場合は、残油分の対策として、必要に応じ地盤改良による拡散防止等の措置を検討する必要がある。

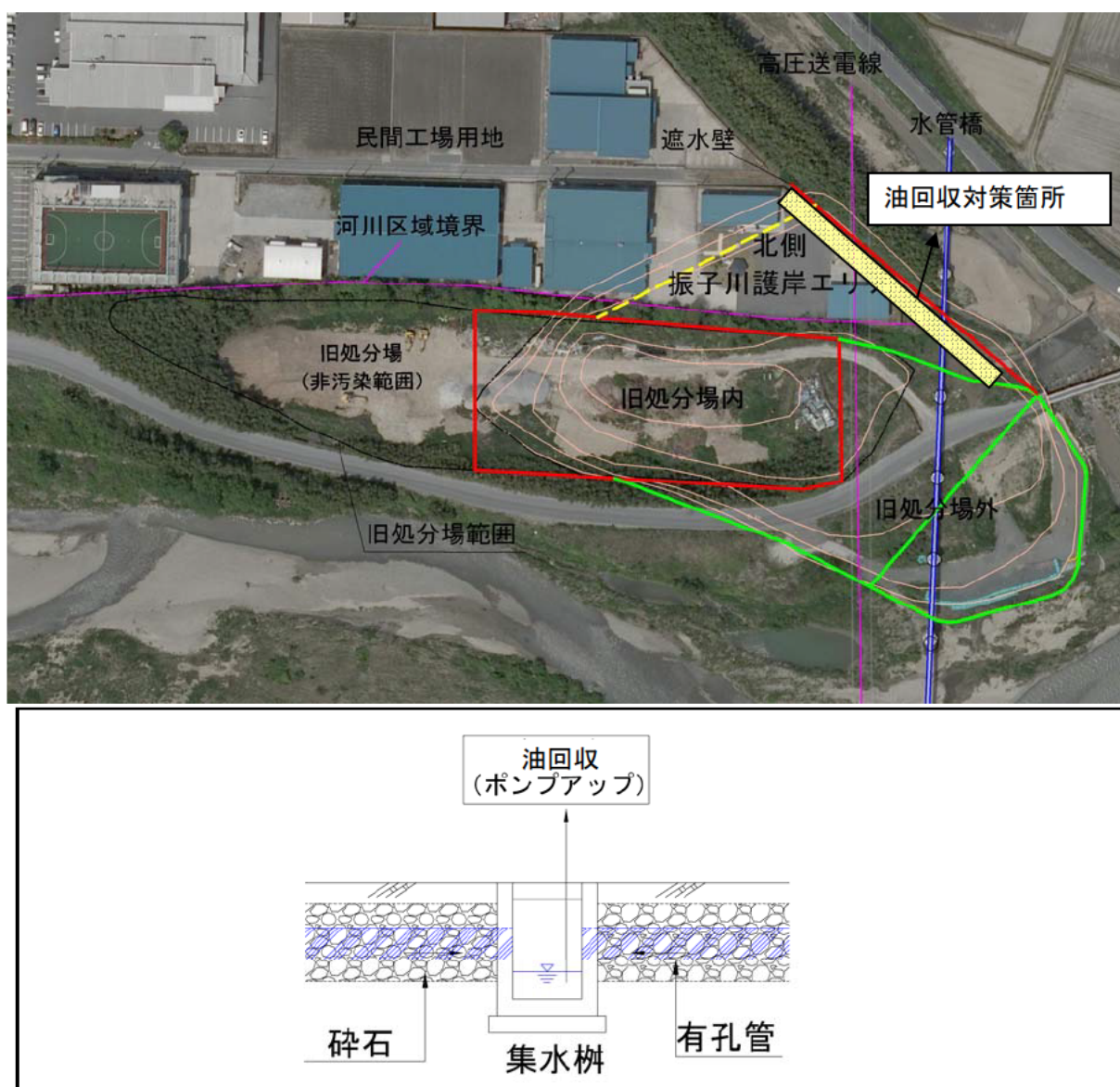


図 5-6 集油管概念図（北側・振子川護岸エリア）

5. 4 掘削による油回収について

油の回収を目的とした掘削の概念図を図 5-7 に示す。この地盤掘削は、高濃度の PCB を含む廃棄物や土壌の除去の目的を、兼ねて実施することができる。

掘削した PCB を含む廃棄物や土壌は、適正に処分する、もしくは処分するまでの間保管する必要があることから、保管等が可能な量を踏まえて、掘削範囲および掘削工程を決定する必要がある。

掘削範囲・深度を設定する上で必要となる、廃棄物及び土壌中の TPH 濃度結果と地下水位（≒油相が形成される深度）との関係を、表 5-5 に示す。

(1) 「旧処分場内」での対象物の掘削方法

旧処分場内エリアは大半が計画高水位より高いため、河川流水の影響を直接受けることはなく、年間を通じた掘削工事が可能と考えられる。ただし、廃棄物地盤より深部の地盤透水性は高く、地下水位の季節変動、河川増水に伴う水位の上昇等も想定されるため、これらに留意した掘削計画が必要である。

(2) 「旧処分場外（北側を除く）」での対象物の掘削方法

旧処分場外エリアは大半が計画高水位より低いため、汚染土壌の掘削除去と釜場排水による油分回収は、豊水期の掘削を避け、渇水期に期間を限定して行う必要がある。

当エリア全体の汚染土壌を 1 年間（1 回の渇水期）で掘削除去することは、時間・掘削量が限られるため、困難である。なお、掘削可能量は、バックホウ 1 台あたり、掘削量 140 m³/日程度であり、河川側全体の汚染土壌量 28,277 m³を掘削するためには 201 日必要となる。

このため、当エリア全体を鋼矢板等で区分し、2 年間程度で対処し、掘削完了後は、良質土等で埋め戻しする。

また、不法投棄物（汚染源）が存在し、投棄物の直下には高濃度の PCB を含む油が存在する。掘削する場合には、旧処分場内と同様に廃棄物の保管が必要となる。

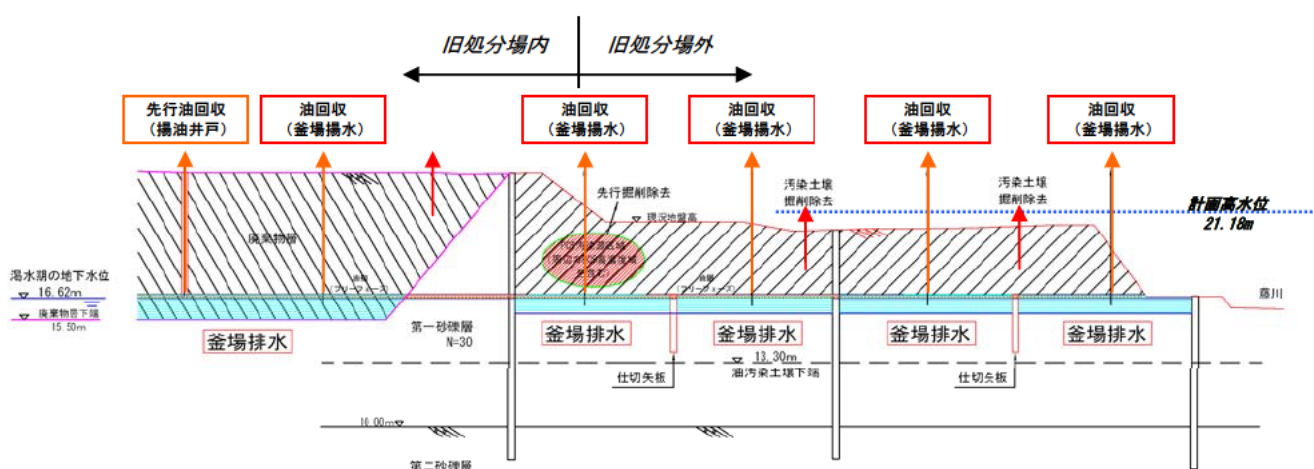







図 5-7 掘削による油回収の概念図

表 5-5 土壌・廃棄物中の TPH 濃度と地下水位との関係

区分	旧処分場内										旧処分場外									
	No. 22-06	No. 22-07	No. 22-08	No. 22-03	No. 22-04	No. 22-05	No. 22-02	No. 22-01	No. 23-05	不法投棄：先行掘削箇所					その他箇所					
番号	24.04	24.01	23.48	23.53	23.30	23.21	23.29	23.34	23.22	No. 23-04	No. 23-03	No. 23-06	No. 22-09	No. 22-10	No. 22-14	No. 22-18	No. 22-20	No. 22-23	No. 22-24	
孔口標高	24.04	24.01	23.48	23.53	23.30	23.21	23.29	23.34	23.22	23.04	22.84	20.30	20.80	20.44	20.28	20.04	17.45	19.93	20.78	
標高																				
23.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22.0	N.D.	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21.0	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	110,000	70,000	130,000	N.D.	N.D.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20.0	N.D.	100	-	-	-	-	-	-	-	-	N.D.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19.0	-	-	400	N.D.	21,000	N.D.	48,000	85,000	48,000	9300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18.0	N.D.	16,000	-	-	-	-	-	-	-	-	400	N.D.	100	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
17.0	-	-	N.D.	200	130,000	4,500	8,800	160,000	24,000	100,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16.0	N.D.	800	-	-	-	-	-	-	-	-	52,000	18,000	1,200	12,000	2,100	3,700	N.D.	N.D.	7,600	
15.0	-	-	N.D.	200	23,000	500	3,200	58,000	1200	1100	-	-	-	900	1,300	300	3,500	16,000	4,100	
14.0	N.D.	N.D.	-	-	-	-	-	-	-	-	N.D.	N.D.	100	N.D.	700	N.D.	200	100	100	
13.0	-	-	N.D.	N.D.	200	100	N.D.	100	N.D.	N.D.	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
12.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11.0	-	-	-	-	-	-	-	-	N.D.	100	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
10.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N.D.	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
9.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

 : 汚泥系物主体の廃棄物
 : 焼却灰主体の廃棄物
 : 地山砂礫（一部砂）

凡例	
数値	TPH濃度 (mg/kg)
N.D.	TPH濃度 (100mg/kg未満)
	油膜検出
-	試験なし
(空欄)	試験なしかどうか不明 (不検出の可能性あり)
	TPH濃度 : 100mg/kgの下端
	廃棄物と土壌の境界
	地下水位

(3) 掘削による廃棄物・土壌の除去の基準

油の回収を目的として旧処分場内外を掘削する場合には、併せて汚染された廃棄物や土壌の除去が可能となる。

掘削範囲については、底質の暫定除去基準を担保することが必要となる。油相中の PCB 濃度（最大値）から、土壌等の TPH に換算すると次のとおりであり、「旧処分場内」では TPH 14,000mg/kg、「旧処分場外（北側を除く）」では 2,000 mg/kg の TPH 濃度の土壌を除去すれば、底質の暫定除去基準以下と判断できる。

【旧処分場内】

油相中の PCB 濃度を 680mg/kg（最大値）とすると、

土壌 1kg 中の PCB が 10mg となる油量は $10 / 680 = 0.0147$ kg

→土壌の TPH が 14,700mg/kg 以上であれば、底質の暫定除去基準を超過。

【旧処分場外】

油相中の PCB 濃度を 9,600mg/kg（最大値）とすると、

土壌 1kg 中の PCB が 10mg となる油量は $10 / 9,600 = 0.0010$ kg

→土壌の TPH が 1,000mg/kg 以上であれば、底質の暫定除去基準を超過。

(4) 残油対策について

前項に示した各エリアの対策後の土壌については、底質暫定除去基準を満足するものの、わずかであるが土壌に油が残留すると考えられる。この場合、地下水位の変化等により、土壌から油が離脱し、再び油膜を形成するおそれがある。

このことから、埋め戻し材の選定にあたって、残油対策となる資材の検討が必要である。

5. 5 油の保管と汚染廃棄物の保管について

(1) 油の保管方法

回収する油の性状は、危険物試験結果（引火点測定試験等）によれば、消防法の規定により、危険物（第四類第三石油類）に該当する。

危険物の保管は、消防法等により、建屋構造や保有空地の幅、保管方法等について規定されているが、全エリアの回収油が危険物に該当するので、これを遵守した保管が必要である。

表 5-6 に保管規定項目を示す。

表 5-6 油保管における規定項目

区 分	内 容	備 考
危険物の分類	第四類第三石油類	消防法第二条第七項
屋内保管所床面積	1,000㎡を超えない範囲	危険物の規制に関する政令第十条一項五号
建物の構造	耐火構造	
保有空地の幅	2m以上	危険物の規制に関する政令第十条一項二号
屋内貯蔵所の地盤面からの軒までの高さ	6m未満	危険物の規制に関する政令第十条一項四号・二項
容器の積み重ね高さ	4m	危険物の規制に関する政令第二十六条一項三の二号
容器の選定	密閉容器とする。→UNマークのドラム缶（200リットル）とする。 （参考にPCB廃棄物・収集ガイドラインによれば、200リットルのUNマークのドラム缶が規定されている。）	
保管方法	同一品名の自然発火するおそれのある危険物又は災害が著しく増大するおそれのある危険物を多量に貯蔵する場合、指定数量の10倍以下ごとに区分し、かつ、0.3m以上の間隔を置いて貯蔵する必要があるため、本計画では、ドラム缶を0.3mの離隔をとり配置するように計画する。	危険物の規制に関する政令第二十六条一項三号
容器の置き方	流出防止を考慮し、縦置きとする。	

(2) 汚染廃棄物の現地保管

汚染廃棄物の保管については、表 5-7 に示す施設設置に係る設計上等の課題を解決する必要がある。

表 5-7 汚染廃棄物の現地保管における課題

課 題	内 容	備 考
不等沈下	保管する廃棄物の荷重を勘案し、不等沈下防止する地盤改良や杭基礎等が必要となる場合がある。	
漏水等	保管施設の接続部や底盤部の十分な漏水対応が必要である。	
流水による影響	現地保管の場合、特に河川流水の影響が無い箇所で の保管が必要となる。	
掘削箇所から保管施設までの運搬	現地以外に保管施設を設ける場合、運搬容器への詰め込み、運搬時における周辺環境への影響に配慮する必要がある。	ドラム缶等