

掘削・釜場による油回収の具体的な工法検討

1. 掘削・釜場による油回収の目的

掘削・釜場による油回収は、PCB 汚染源や汚染土壌の掘削・除去とともに、釜場での油回収を行う方法である。

本事案における油には PCB が含まれ、過飽和状態の油は地下水とともに移動することから、可能な限り速やかに油を回収する必要がある。そこで、Step1 にて囲い込み工を敷設し油の移動を防止し、各エリアにおける油の分布状況や、求められる状態に即した最適な工法にて Step2 から油の回収を開始する。前回委員会では、掘削・釜場による油回収について、実現可能性についての概念図を示したが、今回、事案現場の状況や前回委員会での検討事項を踏まえ、掘削・釜場を用いるエリアや具体的手法について、改めて検討を行った。

2. 対象エリアの設定

予めエリアごとの油回収方法の適応性を検討した（資料4 表-3 参照）が、掘削・釜場による油回収エリアは、汚染源域と低水護岸部とする。

- ① 汚染源域からは、PCB 汚染の原因物質である不法投棄された廃棄物を除去し、油相を形成している高濃度の PCB を含む油を回収する必要がある。掘削により廃棄物を除去した後に、原因廃棄物直下の地下水面上に存在する油の回収を行う。その際には、PCB の回収効率やハンドリングを考慮し、また、防災・安全上の観点から、揚油井戸による油相からの油回収を先行して行い、油相の消滅が困難な場合に釜場回収に移行することが考えられる。
- ② 低水護岸部では、油相を形成する油の回収と併せて、河川への油の滲出を防止する必要があることから、汚染された土壌を掘削除去する必要がある。他のエリアに比べ油の量や PCB 濃度も低いことから、直ちに釜場により油を回収する。

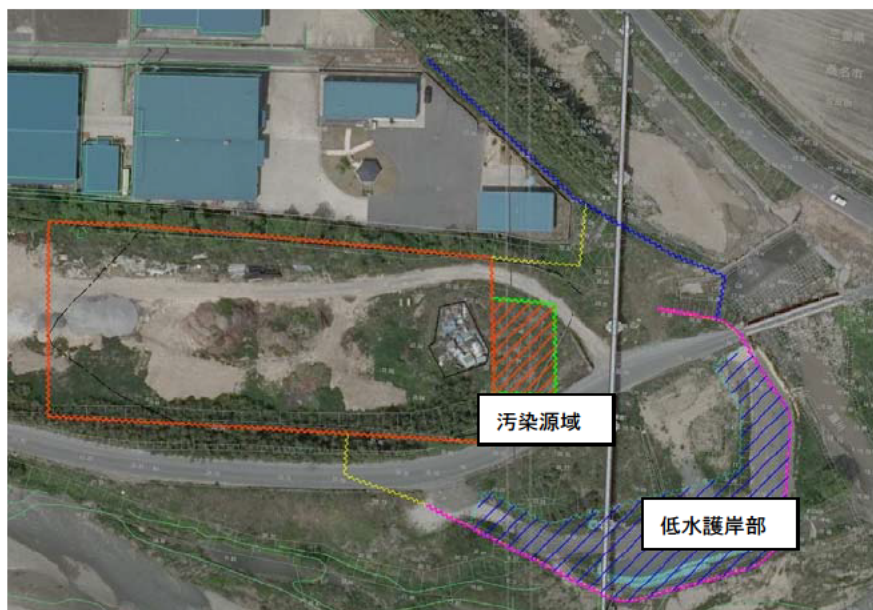


図-1 釜場設置エリア設定の平面図

3. 掘削深度範囲及び釜場設置範囲の設定（案）

掘削深度範囲及び釜場設置範囲を表-2、表-3 に示す。掘削深度範囲は、TPH 濃度の違い等により表層部、中層部、深層部に区分する。また、掘削深度範囲のうち、掘削後、原則として外部委託処理する範囲は、前回委員会で示した底質の暫定除去基準相当を超過する TPH 濃度範囲^{*)} とする。

なお、釜場設置範囲は、TP+16.5m（地下水位+0.5m）～TP+15.0mの範囲を基本^{*)} とする。

*) 油中の PCB 濃度を 9,600mg/kg とすれば、油量 1kg 中に PCB が 9,600mg 存在していることになる。

PCB が底質の暫定除去基準 10mg となるための油量を X とすれば

1 : 9,600 = X : 10 となり、 $X = 10 / 9,600 = 0.0010\text{kg}$ となる。

土壌 1kg 中の油量が 0.0010kg（つまり TPH 濃度 1,000mg/kg）以上であれば、底質の暫定除去基準を超過することになる。

表-2 掘削深度範囲及び釜場設置範囲(1)

用地区分	旧処分場外								
	汚染源域			高水敷部					低水 護岸部
調査地点	No. 23-03	No. 23-06	No. 22-09	No. 22-24	No. 22-10	No. 22-14	No. 22-23	No. 22-18	No. 22-20
孔口標高	22.84	20.30	20.80	20.78	20.44	20.28	19.93	20.04	17.45
23.0									
22.0									
21.0	—								
20.0	N.D.								
19.0	—	—	—	N.D.	N.D.	N.D.		N.D.	
18.0	400	N.D.	100	N.D.	100	N.D.	N.D.	N.D.	
17.0	—	—	—	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
16.0	52,000	18,000	1,200	7,600	12,000	2,100	N.D.	3,700	N.D.
15.0	—	—	—	4,100	900	1,300	16,000	300	3,500
14.0	N.D.	N.D.	100	100	N.D.	700	100	N.D.	200
13.0	—	—	—	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
12.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
11.0	—	—	—	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
10.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	—	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
9.0	—	—	—	—	—	—	N.D.	—	N.D.
8.0	—	—	—	—	—	—	—	—	N.D.
7.0	—	—	—	—	—	—	—	—	N.D.
6.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—

数値	: TPH濃度 (mg/kg)		: 地下水位		: 掘削範囲
N.D.	: TPH濃度 (100mg/kg未満)		: 油膜判定 による汚染範囲		: 釜場設置範囲
—	: TPH試験なし		: TPH \geq 1,000mg/kg (≒PCB \geq 10mg/kg) による汚染範囲		: 不法投棄と考えられる廃棄物
	: 油膜検出				

表-3 掘削深度範囲及び釜場設置範囲 (2)

区分*)	汚染源域		低水護岸部		基準 TPH 濃度 (mg/kg) *)
表層部	地表面～ TP+20.0m	掘削	地表面～ TP+17.0m	掘削	1,000 未満
中層部	TP+20.0m～ TP+16.5m	掘削除去	TP+17.0m～ TP+16.5m	掘削除去	1,000 以上 (汚染源域に廃棄物)
深層部	TP+16.5m～ TP+15.0m	掘削除去 (釜場設置)	TP+16.5m～ TP+15.0m	掘削除去 釜場設置	1,000 以上 (地下水位下)

*) 各エリアの油相中最大 PCB 濃度より、「掘削深度範囲及び釜場設置範囲の設定」に基づき、基準となる暫定除去基準相当の TPH 濃度を算出する。施工の際には、詳細な事前検討により、汚染範囲や油中の PCB 濃度を調査・把握し、“基準 TPH 濃度”を算出のうえ対策区分、深度範囲等を決定する。

【参考 PCB の存在形態と挙動】

1. 油相が形成されている地盤の浅部（不飽和帯）に、PCB を含む廃棄物（コンデンサー素子等）が不法投棄された。
2. 投棄物から染み出した PCB は、周辺土壌を汚染している。土壌間隙の吸着容量を超える分（過飽和となった）だけが、油相（投棄箇所では 0.5m 程度）に到達した可能性がある。
3. 降雨や河川水位の変化に伴う地下水位（油相）の昇降により、土壌間隙の PCB が油相に溶解する。
4. 油相に溶解した状態で、PCB が周辺に拡散する。この際、油に溶けきれなかった PCB は、土壌間隙に残される（理論的には、微量 PCB が地下水に溶解するが、検出されていない）。
5. 汚染源域以外の油に溶けている PCB は、上記の溶解や地下水流による拡散の過程を経た、いわば「派生的な PCB」であるため、油よりも PCB に対する吸着性や溶解度を有する物質と接触しない限り、再度油から分離して水に溶解することは考えにくい。

分子式	$C_{12}H_nCl_{10-n}$ ($0 \leq n \leq 9$)
分子量	188.5～498.5
比重 ^{*1}	1.44 (30℃)
融点 ^{*2}	233～253、340～375℃
沸点 ^{*2}	340～648℃
蒸気圧 ^{*1}	4.94×10^{-4} mmHg (25℃)
水溶解度 ^{*1}	0.7mg/L (25℃)
分配係数 (logPow) ^{*1}	7.1

- CAS-NO 11097-69-1、27323-18-8、1336-36-3
- 透明液体、淡黄色粘性液体、結晶
Mp 10-253℃ bp603℃—648℃
水に不溶 10-0.01 μg/ml
オクタノール水分分配係数 Log-Pow 6.3

※ 1 環境省 PRTR 法指定化学物質データ検索より
※ 2 環境省 POPs 対策検討会資料より

PCB の油に対する溶解度に関する直接的な資料はないが、水よりもおよそ 200 万倍、オクタノール（炭素数 8 の脂肪族一価アルコール）に溶けやすい、ということになる。すなわち、「0.0005mg/L（環境基準）の PCB を含む水」と「PCB を含むオクタノール」が平衡状態で共存する場合、後者の理論的な PCB 濃度は 1,000mg/L ということになる。

→油中 PCB 濃度が 1,000mg/ kg (=L) 以下なら、釜場で攪拌しても問題ないと考えられる。

4. 掘削・釜場の具体的な方法検討

汚染源域及び低水護岸部における掘削・釜場の具体的な方法を以下に示す（基準 TPH 濃度は 1,000mg/kg としている）。なお、掘削・釜場に際しては、囲い込み工の設置が前提となる。

4.1 汚染源域

(1) 表層部

汚染源域の表層部は、地表面～TP+20.0mまでの範囲であり、TPH 濃度 1,000mg/kg 未満である。清浄土（油の付着が認められない土壌）を除く掘削土壌は、TPH 濃度 1,000mg/kg 未満ではあるものの、油の再溶出を防止するため措置が必要であると考えられ、不溶化等の処理を行った後、現地での場内利用を行うことを基本とする。

また、表層部において、一部廃棄物等が確認されることも考えられるが、その場合は、中層部と同様の措置が必要である。

(2) 中層部

汚染源域の中層部は、TP+20.0m～TP+16.5mまでの範囲であり、TPH 濃度 1,000mg/kg 以上である。この範囲には、不法投棄されたと考えられる廃棄物が存在していると考えられるが、掘削調査時の状況から、その量は多くないと見込まれる。

掘削方法は、小型バックホウを利用し、慎重に掘削を進めるとともに、廃棄物が確認された場合は、手選別により、廃棄物の品目毎に選別を進め、ドラム缶等の密閉容器に封入する必要があると考えられる。廃棄物を封入したドラム缶は、現地等での保管が必要である。

(3) 深層部

汚染源域の深層部は、TP+16.5m～TP+15.0mまでの範囲であり、TPH 濃度 1,000mg/kg 以上である。この範囲は、地下水面上に油相が存在し、高濃度の PCB を含む油が存在する。そのため、PCB の回収効率やハンドリングを考慮し、また、防災・安全上の観点から、揚油井戸による油相からの油回収を先行して行い、油相の解消が困難な場合に釜場回収に移行する。油回収方法は、「(4) 油回収方法」に示す。

掘削を行う場合の方法は、汚染源エリアに隣接した箇所にバックホウを設置し、地表面より、水中掘削することが考えられる。また、汚染源域は、地表面から掘削底面まで最大で約 8m と深いため、10m 程度まで掘削可能であるロングアーム型バックホウの適応が考えられる。掘削完了後は、汚染源エリア全体が釜場となり、釜場に集油される油の回収が必要となる。

汚染源エリアにおける、施工概念図を図-2、図-3 に示す。

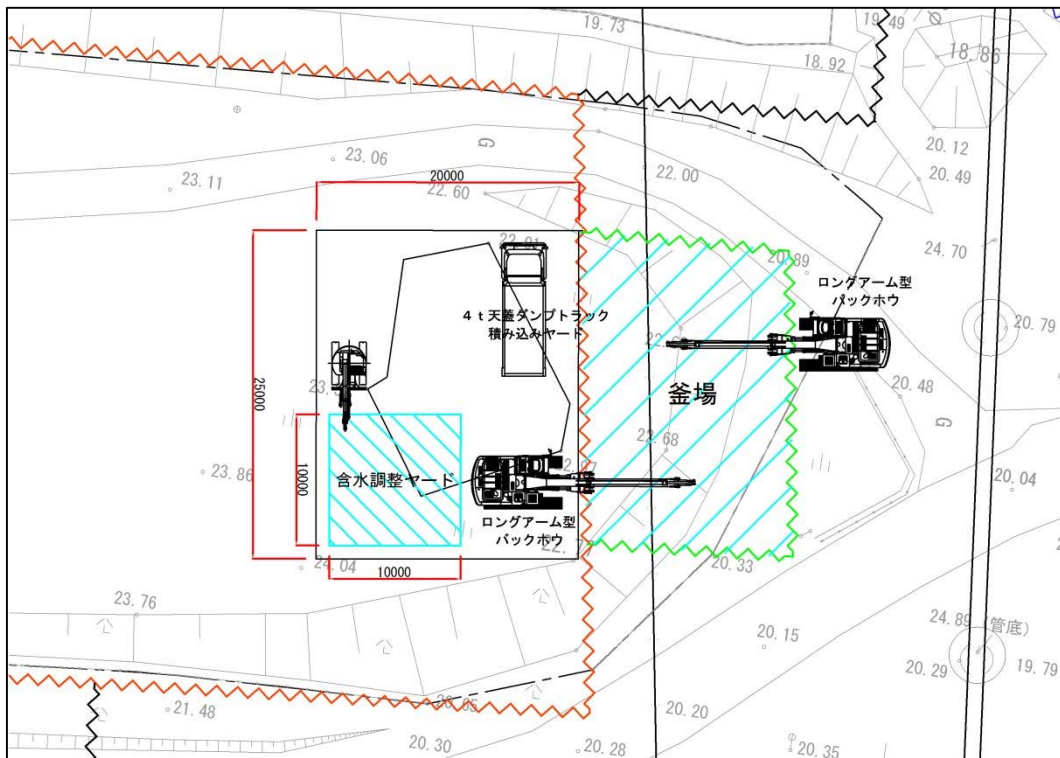


図-2 施工概念図（概略平面図）

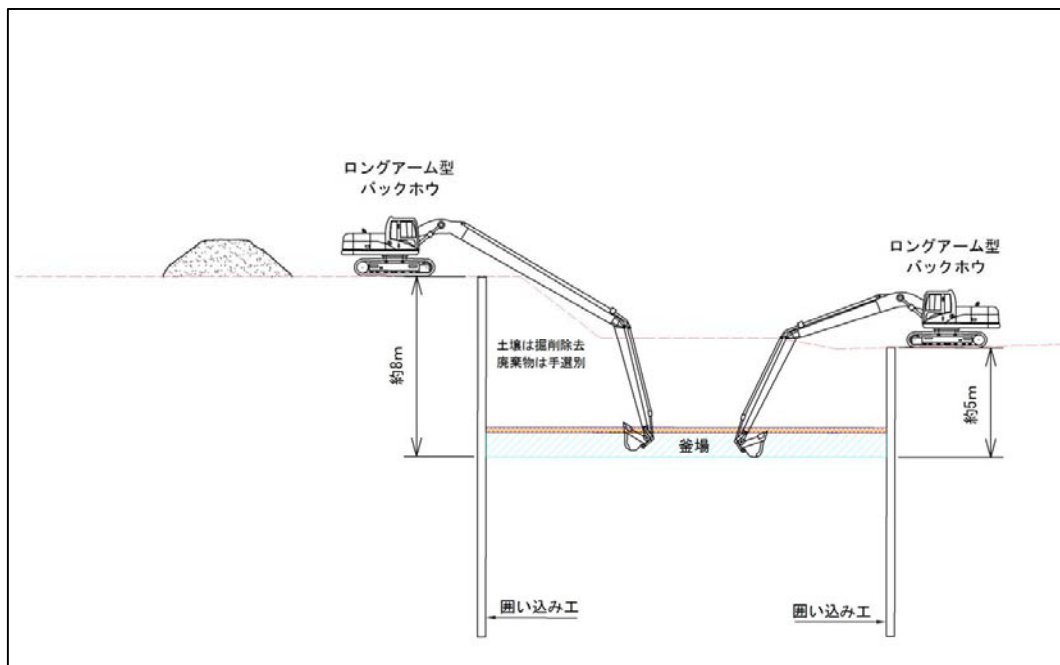


図-3 施工概念図（概略断面図）

(4) 油回収方法

汚染源域の油回収は、油相の消滅を目標として、①掘削・釜場を設置する前の油回収（以下「先行油回収」という）、②釜場設置後の油回収に区分される。また、油回収は、地下水とともに大量揚水を行うと、処理や保管について課題が多いことから、油のみの回収を行うことを基本とする。

1) 油回収方法

先行油回収は、以下に示す方法が考えられる。

汚染源域の油相厚さは、最大で約 0.5m と想定され、比較的薄い油相を継続的に回収する必要がある。その方法は、揚油井戸を設け、孔内に待ち受け式のオイルスキマーを設置することが考えられる。油の揚程は数m程度と比較的小さいため、オイルスキマーと地上式ポンプとの組み合わせによる回収が、合理的と想定される。

表-4 油回収設備について

種類	地上式ポンプ ペリスタティックポンプ・ ダイヤフラムポンプ等	ジニーポンプ	水中型ポンプ トップインレット型ポンプ (現在油回収で使用)
概念図	<p>地上からオイルスキマー等に溜まった液相を吸引する。</p>	<p>孔内不飽和帯に設置、オイルスキマー等に溜まった液相を揚げ、地上に送り出す。</p>	<p>油面下に設置、ポンプ上部から入った液相を地上に送り出す。</p>
特性	メンテナンスが容易 複数井戸で共用可能	(地上・水中ポンプの間)	高粘性でも最大の揚程が得られる
課題	粘性による損失で揚程が満たせない可能性がある 地上に設置場所が必要	(地上・水中ポンプの間)	ポンプ位置制御が必要 オイルスキマーの併用不可 メンテナンス困難

釜場設置後の油回収方法は、エリア全体に存在する油をそのままの状態で行回収することは、効率が悪いと考えられる。そのため、エリア全体の油を集油した後、浮遊型のオイルスキマーで油回収することが考えられる。

なお、回収した油は、ドラム缶に封入後、保管・管理することが考えられる。

2) 油回収終了後の判断基準

汚染源域の油回収終了の判断基準は、油相の消滅とする。ただし、当エリアについては、Step2 までに対策を完了することから、継続して油相厚のモニタリングを行い、概ね低水護岸部と同等の PCB 量となった時点で、必要に応じて、釜場回収に移行することが考えられる。

釜場設置後の油回収の判断基準は、前回委員会で示した以下の基準とすることが考えられる。

「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（改訂版）」によれば、掘削除去の判断として、100 m²に1地点の密度で底面管理を行い、土壌汚染が存在しないことを確認すると明記されている。このことより、釜場による油回収終了の判断は、釜場底面の土壌を 100 m²に1箇所の密度で採取後、PCB 含有量及び TPH 濃度を測定し、釜場底面の土壌が汚染されていないことを確認することが考えられる。PCB 含有量及び TPH 濃度の判断基準は、表-5 に示す。

表-5 油回収終了の判断基準

区 分	判断基準	備 考
釜場の底面土壌	PCB 含有量：10mg/kg 未満	底質の暫定除去基準
	TPH 濃度：1,000mg/kg 未満	基準 TPH 濃度未満

(5) 掘削土壌・油の発生量と措置

汚染源域の対策を行うことにより、釜場による回収まで実施した際に発生する掘削土壌や油の発生量は表-6 のとおりと想定される。

表-6 掘削土壌・油の発生量（汚染源域）

区 分		発生量	措 置	根 拠
表層部	掘削土壌 (非汚染土壌)	約 560m ³	不溶化等の処理 を行い、場内利用	地表面～TP+20.0m (平均高さ 1.5mと想定)
	廃棄物	約 100m ³	保 管	想定
中層部	掘削土壌 (汚染土壌)	約 1,200m ³	委託処理	TP+20.0m～TP+16.5m (平均高さ 3.5mと想定) 廃棄物量は控除
	掘削土壌 (汚染土壌)	約 560m ³	委託処理	TP+16.5m～TP+15.0m (平均高さ 1.5mと想定)
深層部	油	約 35m ³	保 管	三次元クリギングより

(6) 汚染源域の対策フロー

汚染源域の対策として考えられるフロー（案）を以下に示す。

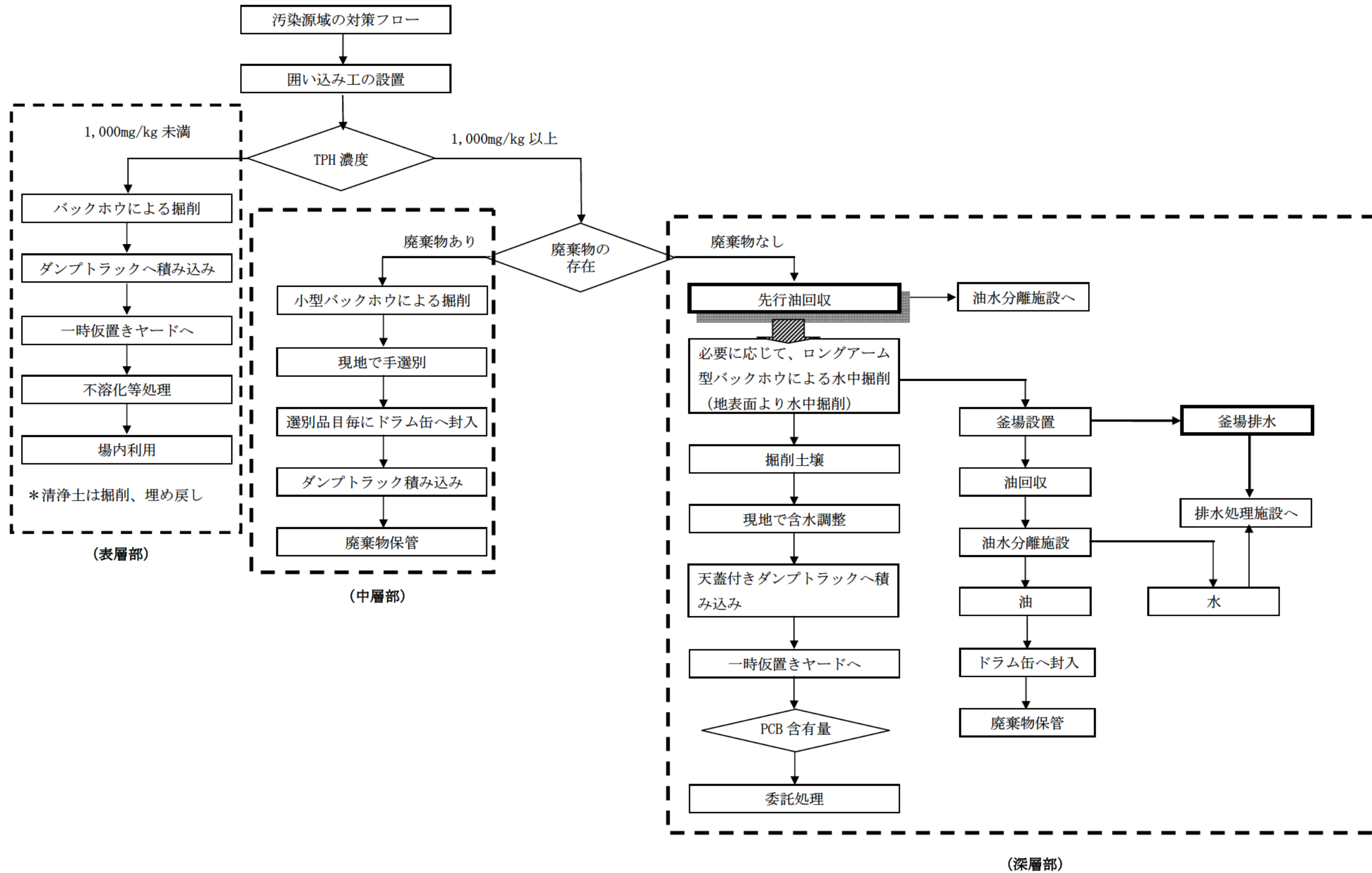


図-4 汚染源域の対策フロー（案）

4.2 低水護岸部

低水護岸部の面積は、1,900m²と比較的広いため、一様に掘削を行い、釜場を設け、油回収することは困難であると考えられる。そのため、低水護岸部は、複数区画に区分し、1区画毎に掘削をし、釜場を設け、油回収することが考えられる。3区画に区分する場合（以下、同様に3区分で示す）の低水護岸部の平面図を図-5に示す。

なお、区画区分のためには、囲い込み工と同様の機能をもった鋼矢板を用いることが考えられる。

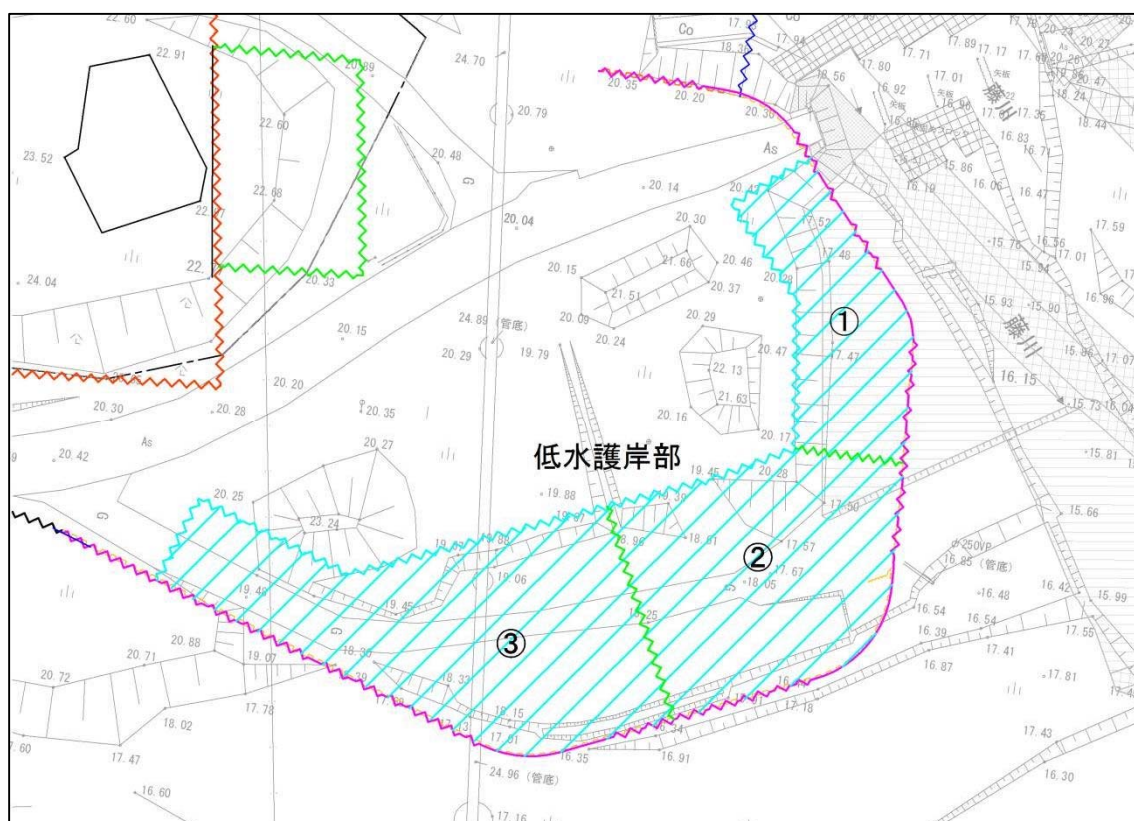


図-5 低水護岸部区分平面図

(1) 表層部

低水護岸部の表層部は、地表面～TP+17.0mまでの範囲であり、TPH濃度1,000mg/kg未満である。清浄土を除く掘削土壌は、TPH濃度1,000mg/kg未満ではあるものの、油の再溶出を防止するため措置が必要であると考えられ、不溶化等の処理を行った後、現地での場内利用を行うことを基本とする。

(2) 中層部

汚染源域の中層部は、TP+17.0m～TP+16.5mまでの範囲であり、TPH濃度1,000mg/kg以上である。この範囲には、地下水位より高い範囲であり、バックホウでのドライワークによる掘削が可能である。掘削した土壌は、委託処理等が必要になると考えられる。委託処理する場合は、委託処理先の受入条件（粒度調整や含水調整）を満たす必要がある。掘削方法と掘削土壌の措置の対策として考えられるフローは、低水護岸部の深層部と同様になると考えられる。

(3) 深層部

低水護岸部の深層部は、TP+16.5m～TP+15.0mまでの範囲であり、TPH濃度1,000mg/kg以上である。この範囲は、地下水面上に油相が存在し、油中にはPCBが存在するが、その量はごく少量である。

掘削方法は、低水護岸部に隣接した箇所にバックホウを設置し、地表面より掘削し、釜場を設けるものとする。低水護岸部の掘削深さは最大で約4mであり、部分的に掘削幅が広いことから、汚染源域と同様にロングアーム型バックホウの適用が考えられる。

掘削した土壌は、水を多く含むことが考えられるため、土壌のハンドリングを容易にするため、含水調整を行う必要があると考えられる。含水調整後は、粒度選別を行い、粒度選別以下の土壌は、委託処理となると考えられる。粒度選別超の土壌は、土壌洗浄を行い、土壌に付着した油を除去した後、油膜の有無を確認した後、必要に応じ不溶化処理を行い、埋め戻しや場内利用を行うことが考えられる。

釜場設置後は、油回収を行うものとするが、汚染源域と同様に、エリア全体の油を集油した後、浮遊型のオイルスキマーで油回収することが考えられる。

低水護岸部における施工概念図を図-6、図-7、図-8に示す。

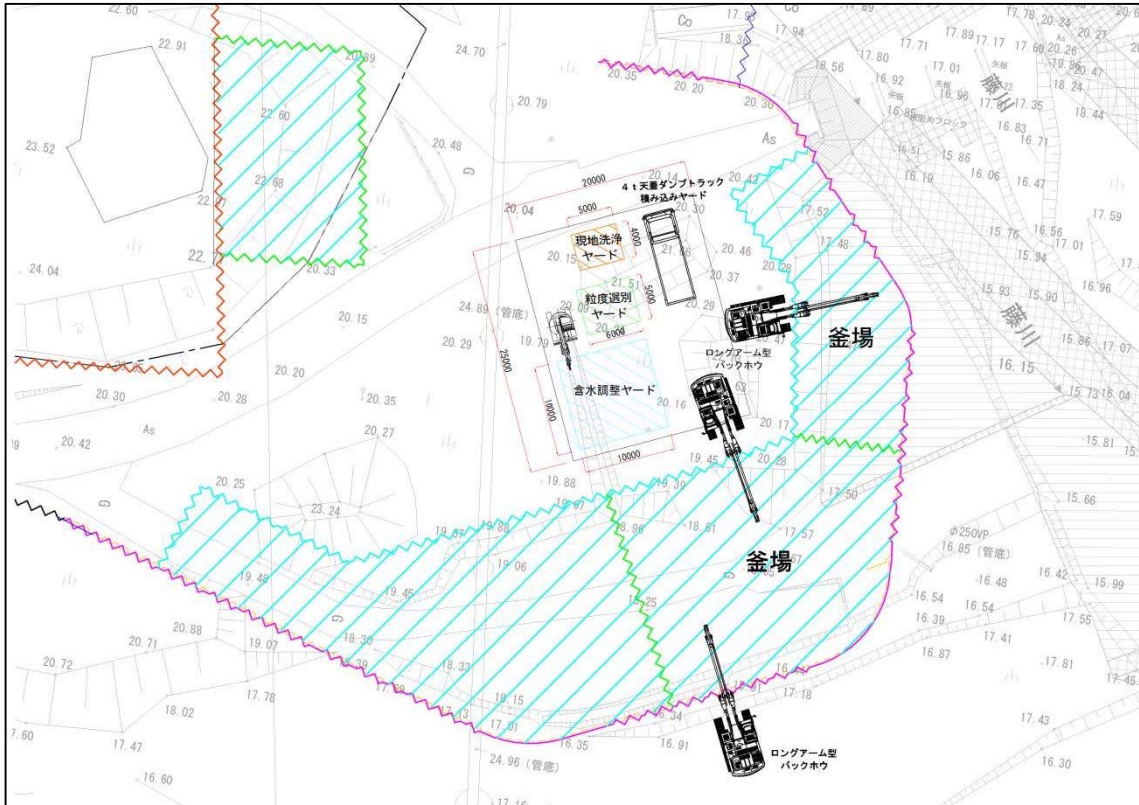


図-6 施工概念図（概略平面図（1））

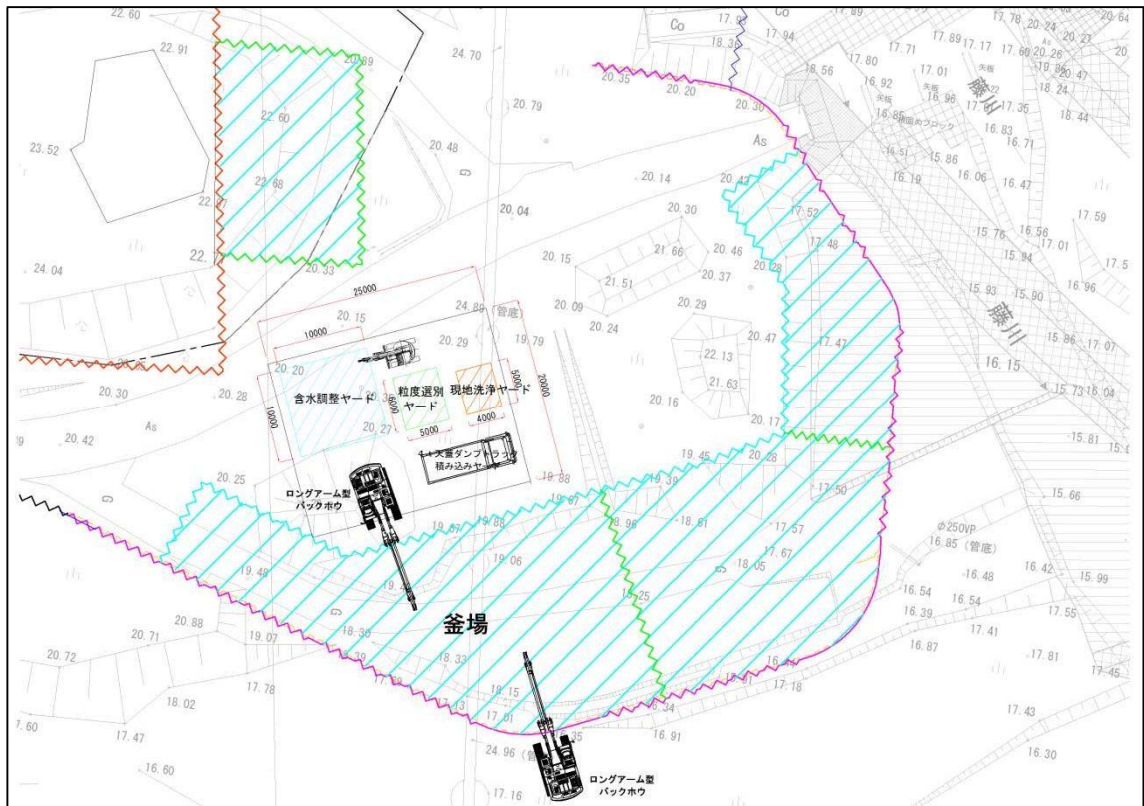


図-7 施工概念図（概略平面図（2））

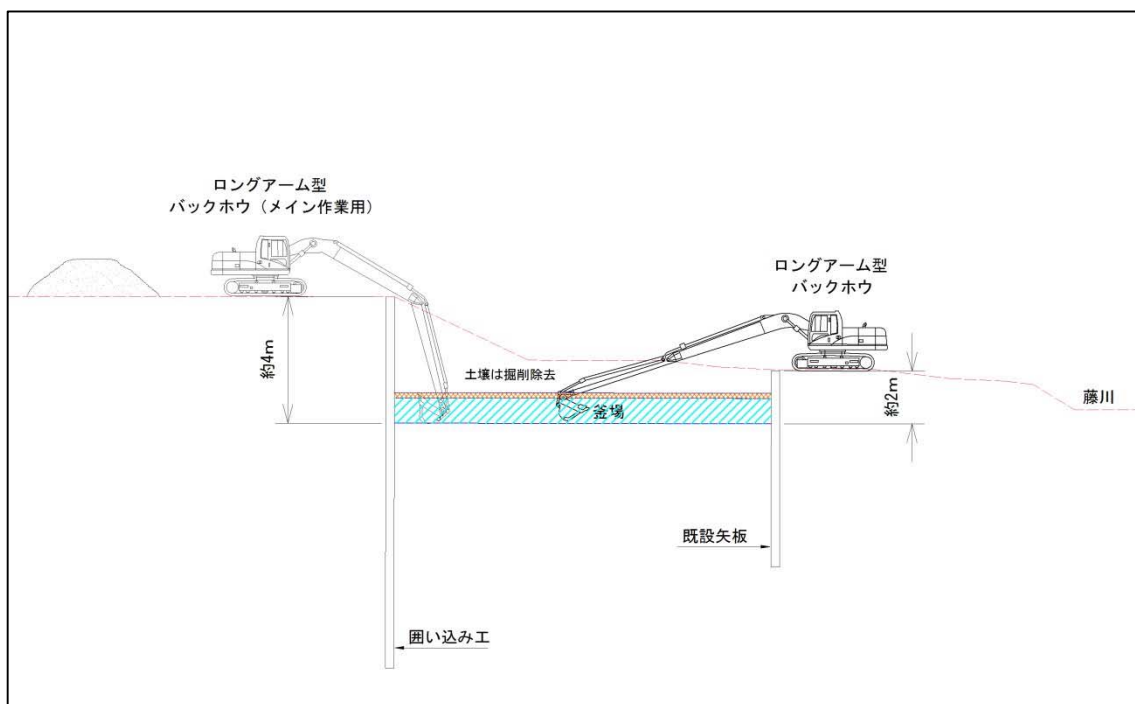


図-8 施工概念図 (概略断面図)

(4) 油回収方法及び油回収終了の判断基準

低水護岸部の油回収方法及び油回収終了後の判断基準は、汚染源域の釜場設置後の油回収と同様の措置が必要になると考えられる。

(5) 掘削土壌・油の発生量と措置

低水護岸部の対策を行うことにより、発生する掘削土壌や油の発生量は表-7 のとおりと想定される。

表-7 掘削土壌・油の発生量（低水護岸部）

区 分		発生量	措 置	根 拠
表層部	掘削土壌 (非汚染土壌)	約 1,900m ³	不溶化等の処理 を行い、場内利用	地表面～TP+17.0m (平均高さ 1.0mと想定)
中層部	掘削土壌 (汚染土壌) 洗浄対象土壌	約 95m ³	洗浄後不溶化等 の処理を行い場 内処理	TP+17.0m～TP+16.5m (平均高さ 0.5mと想定) 粒度調整時の粒径を 40mm とし、 その割合を 10%と想定
	掘削土壌 (汚染土壌) 洗浄しない土壌	約 855m ³	委託処理	中層部の掘削土量-洗浄土量
深層部	掘削土壌 (汚染土壌) 洗浄対象土壌	約 285m ³	洗浄後不溶化等 の処理を行い場 内処理	TP+16.5m～TP+15.0m (平均高さ 1.5mと想定) 粒度調整時の粒径を 40mm とし、 その割合を 10%と想定
	掘削土壌 (汚染土壌) 洗浄しない土壌	約 2,565m ³	委託処理	深層部の掘削土量-洗浄土量
	油	約 21m ³	保 管	三次元クリギングより

(6) 低水護岸部の対策フロー

低水護岸部の対策として考えられるフロー（案）を以下に示す。

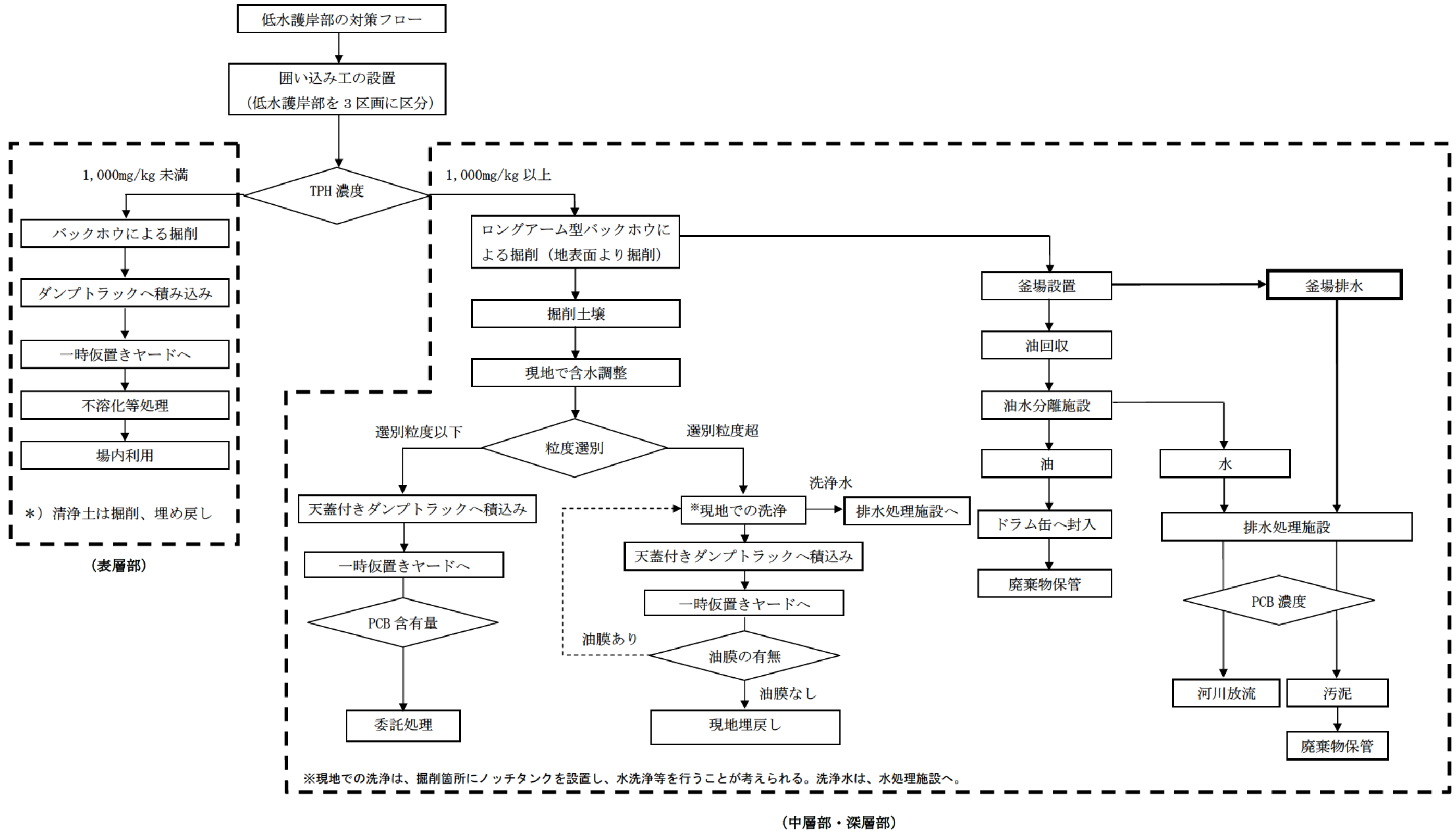


図-9 低水護岸部の対策フロー（案）

4.3 施工中の河川流水対策等（案）

汚染源域は、過去10年間水没していないエリアであり、河川流水の影響はほとんど無いと考えられる。（汚染源域の地盤高さは概ねTP+20.0mである。）

低水護岸部は、周辺に河川が隣接しており、年間数回程度水没が想定されるエリアである。そのため、低水護岸部の釜場の施工中及び油回収中は、河川流水の影響を考慮する必要がある。（低水護岸部の地盤高さは、概ねTP+17.0mである。）また、施工等に伴い発生する濁水対策として、排水処理施設の設置が考えられる。

(1) 低水護岸部の河川流水対策

低水護岸部の河川流水対策は、図-10に示す位置に大型土のうを設置することが考えられる。大型土のうは、河川工事の締切堤防によく利用されており、適応性は高いと考えられる。大型土のうの設置高さは、河川流水の影響を考慮すれば、汚染源域の地盤高さ（TP+20.0m）程度まで必要であると考えられ、約3.0mと想定される。大型土のうの概略断面図を図-11に示す。

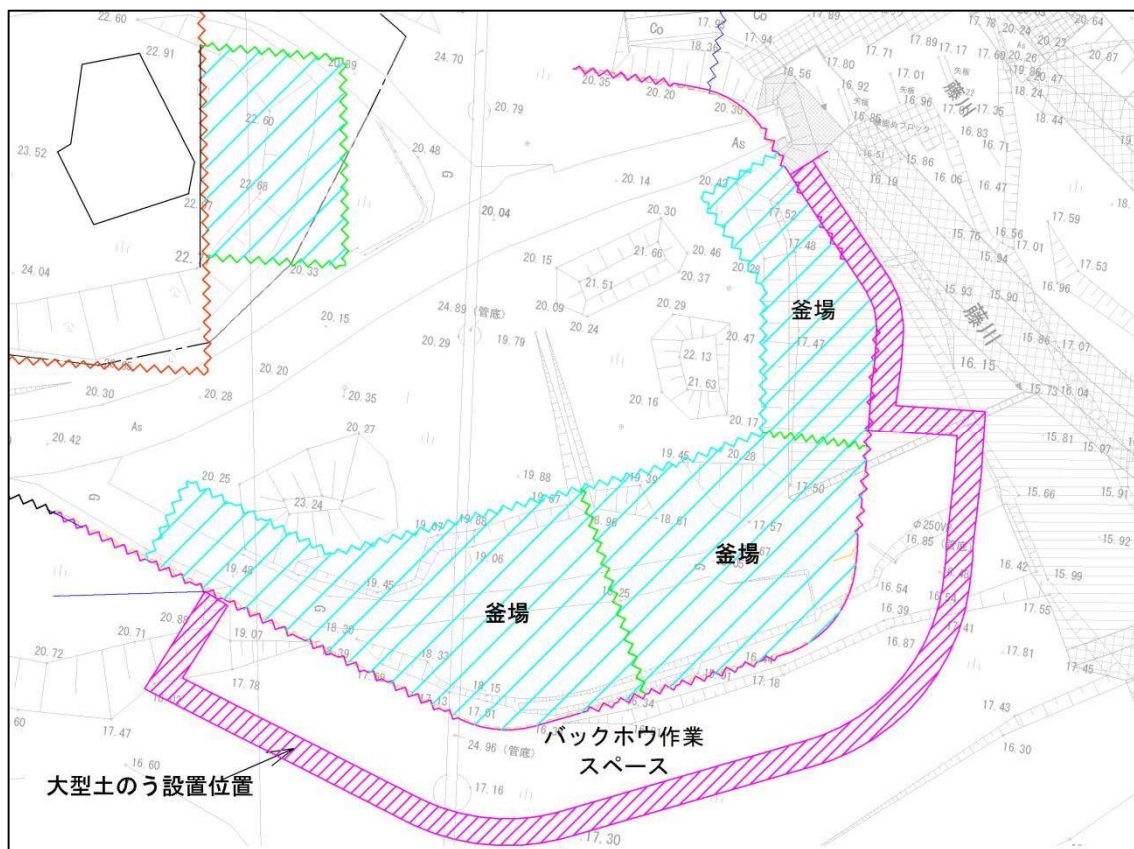


図-10 大型土のう設置位置図（イメージ）

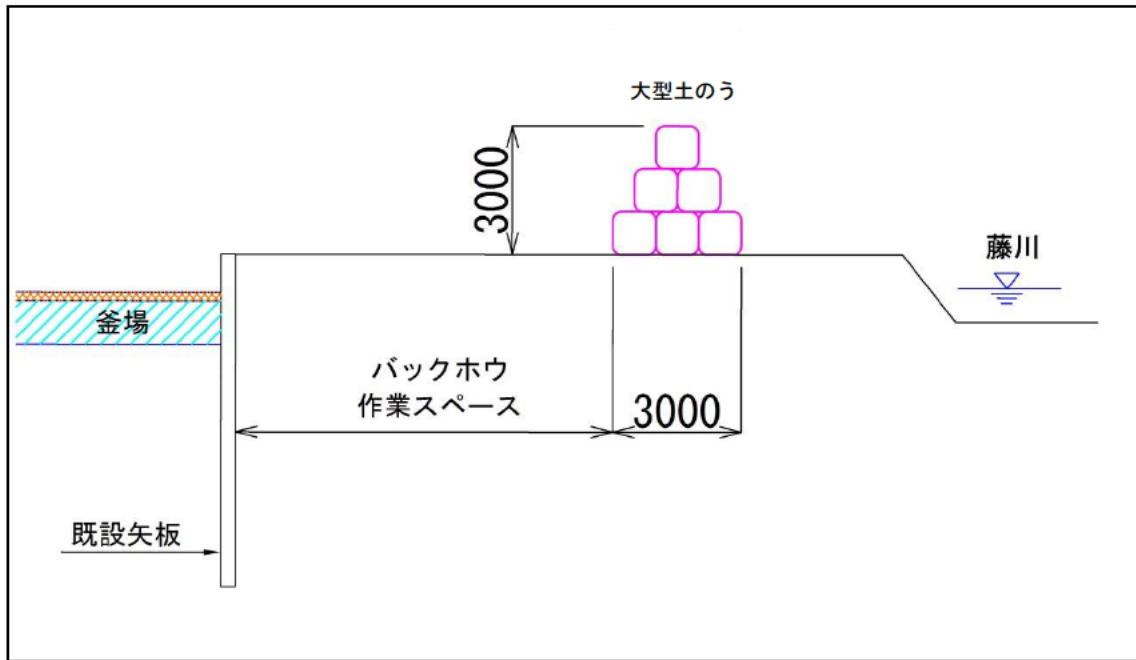


図-11 大型土のう（概略断面図）

(2) 低水護岸部の排水処理施設

低水護岸部での釜場施工等に伴い発生する濁水の対策として、排水処理施設の設置を検討する。排水処理施設では、通常の工事排水処理における工程に加え、微量に含まれる PCB を回収可能な設備とする。なお、当該施設においては放流水の SS 管理等を行い、排水中の PCB を含む有害物質の管理を徹底し、排水基準を遵守する必要がある。