

囲い込み工法について

1 囲い込み工の位置付けと概要

第4回技術検討専門委員会（以下「前回委員会」という。）では、PCBを含む油による事案現場の汚染について以下の内容を提示した。

- ① 囲い込み工により、図-1に示す5つのエリアに区分し、エリア間での油の移動を防止する。
- ② エリア毎に汚染状況や現場条件に応じた適切な油回収対策を併せて施す。

ここでは、囲い込み工に求められる機能とそのための要件について検討する。

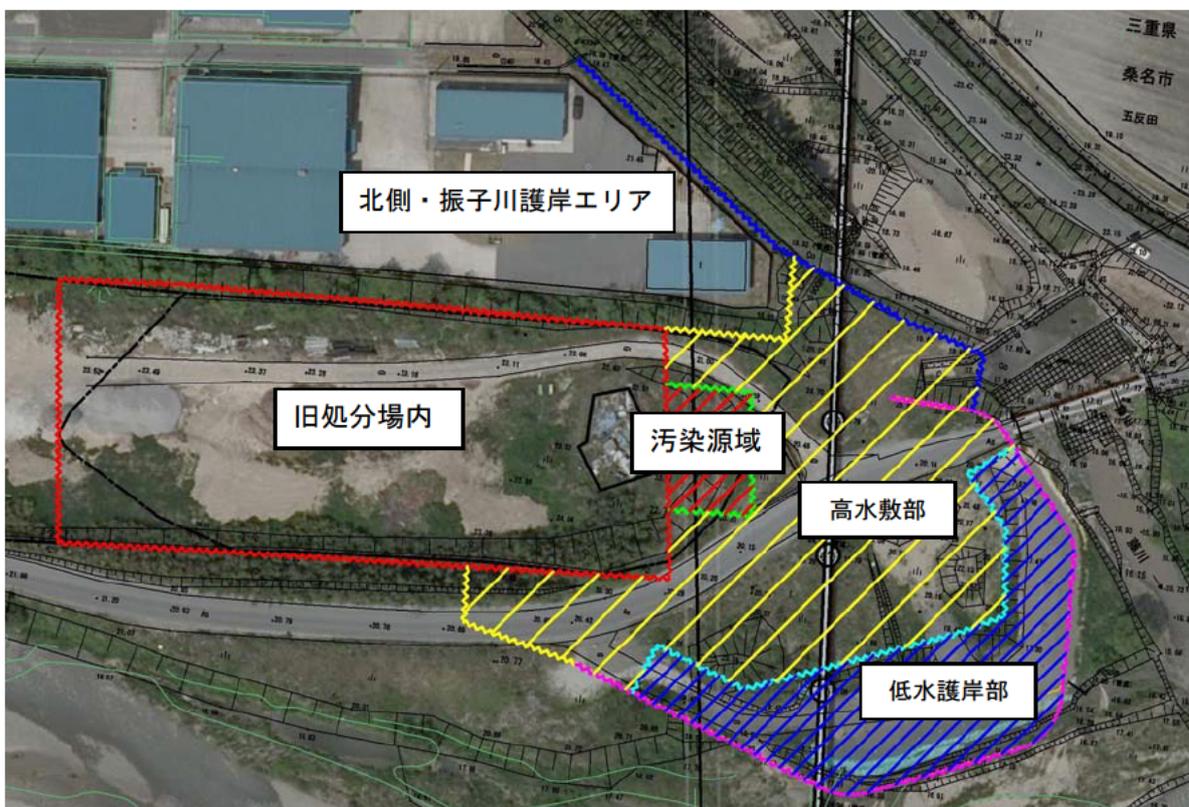


図-1 囲い込み工範囲の平面図

汚染源域	不法投棄されたコンデンサ素子等の投棄物及び高濃度の PCB が留まっていると想定されるエリア
低水護岸部	計画高水位以下で、年間数回程度の水没が想定されるエリア
高水敷部	計画高水位以下で、過去10年間水没していないエリア
北側・振子川護岸エリア	工場用地であり、現在事務所や駐車場として利用されており、大部分が舗装されているエリア
旧処分場内	計画高水位以上の区域で、過去（昭和48年から平成5年まで）に処分場として利用されており、油量が最も多いエリア

以下に各エリアの面積とエリア毎の囲い込み工を示す。

表-1 各エリアの面積

各エリア		面積 (㎡)
旧処分場外	汚染源域	370
	低水護岸部	1,900
	高水敷部	4,100
計		6,370
北側・振子川護岸エリア		2,300
旧処分場内		5,500
合計		14,170

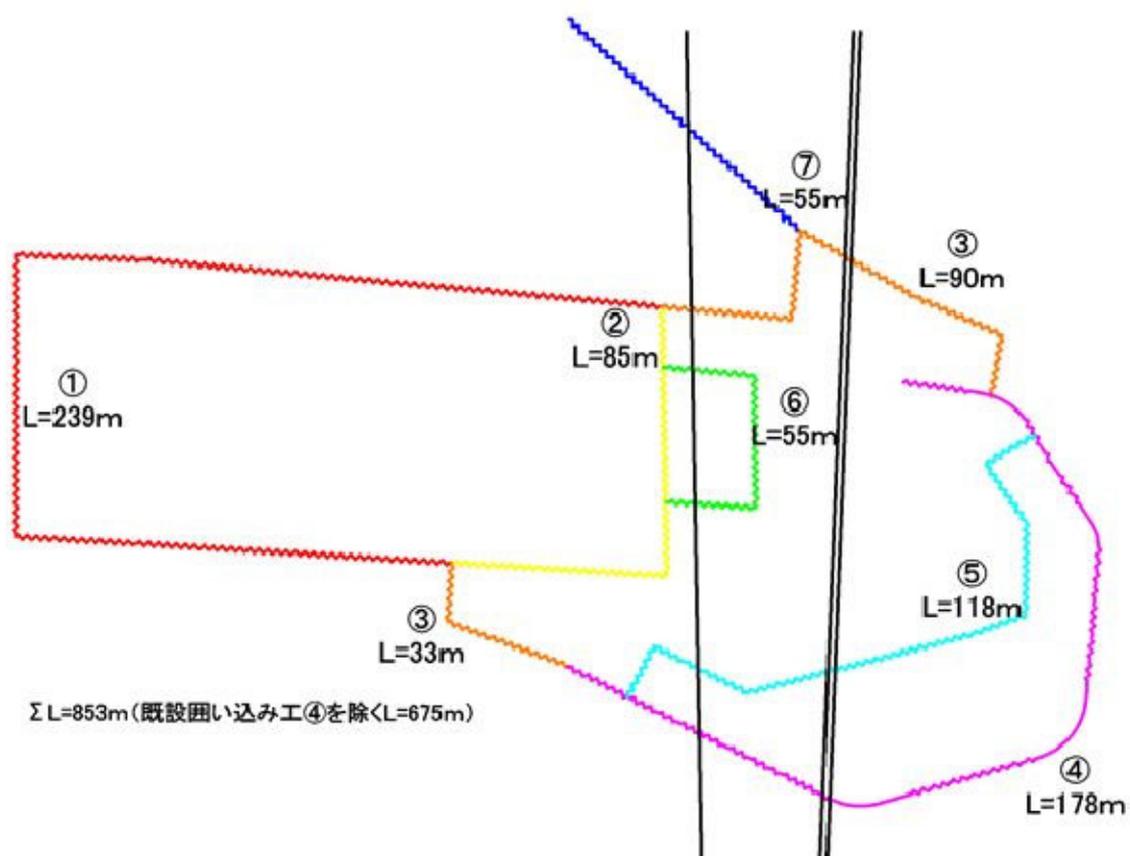


図-2 エリア毎の囲い込み工

## 2 油の存在形態からみた囲い込み工の機能について

事案現場内で油相の厚さが大きく変化する状況が確認されている。このことは、拡散による油の移動が緩慢であることを示唆している。(拡散が速ければ、油相厚は大きく変化せず広く分布する状況が想定される)

一方、油は、旧処分場内から東方向に拡散を広げているが、西方向には大きく拡散していない。このことから、油は、地下水流動に伴う油の移流によって移動している状況と考えられる。

- 油の厚さが狭い範囲で大きく変化する→拡散による移動が緩慢である。
- 油は東方向に広がるが、西方向には大きく広がっていない。→地下水流動に伴う移流によって移動している。

囲い込み工は、このような拡散および移流による油の移動を制限する機能（拡散防止）が求められ、各エリアにおける油汚染除去を安全・確実にすすめるとともに、措置後の油の移動に伴う再汚染を防止することを目的として、設置するものといえる。図-3 に拡散と移流の概念図を示す。

囲い込み工に求められる機能：拡散および移流による油の移動を制限する機能（拡散防止機能）

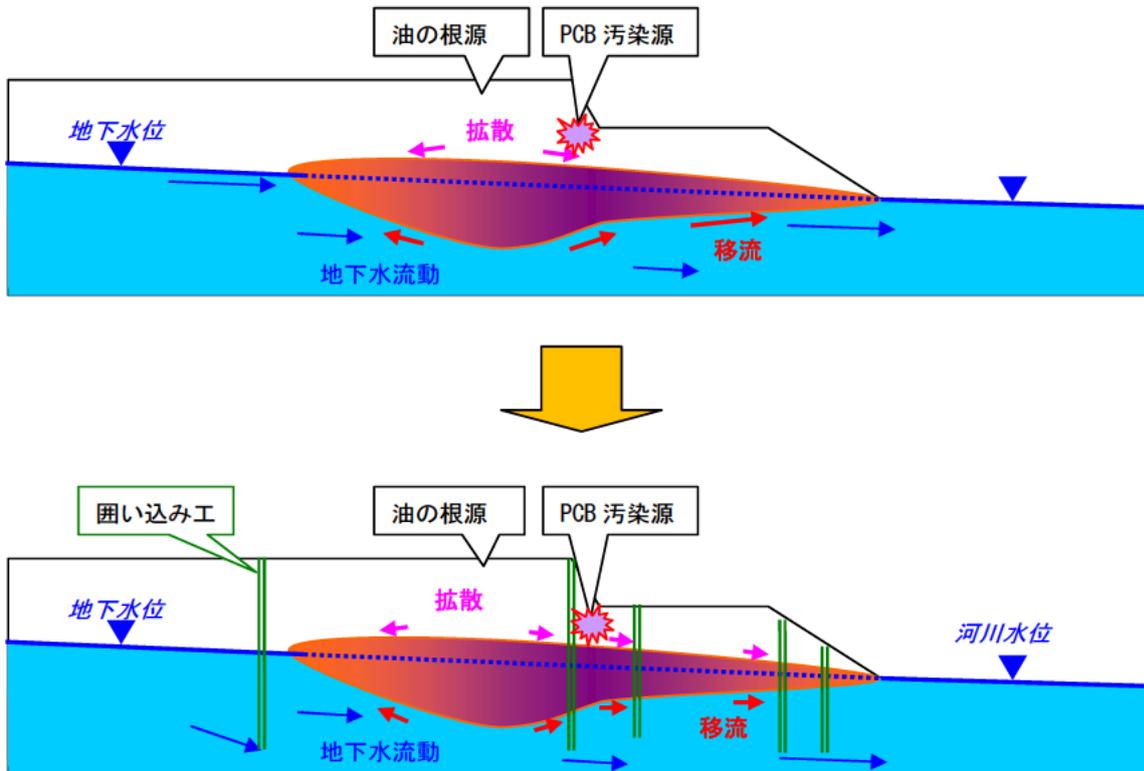
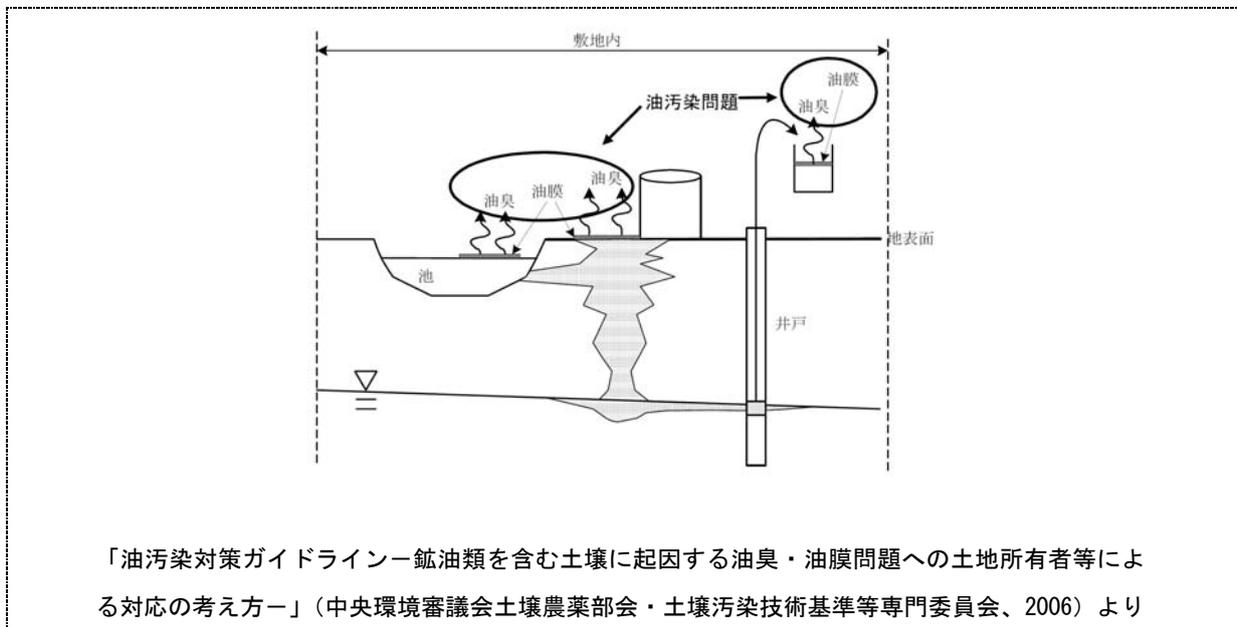


図-3 拡散と移流の概念図

### 3 PCBの性状・挙動について

PCBは水よりも比重が大きい(1.4~1.5)、非親水性の液体である。地盤構成物(土壌等)に対する吸着性が大きいため、汚染は地下浅部にとどまっていることが多いが、土壌間隙の吸着容量を超えると、重力により帯水層まで達すると想定される。帯水層に達しても、地下水中にはほとんど溶解拡散せず、土壌間隙に吸着しながらも重力で沈降し、最終的には不透水層上面まで達すると想定される。

一方、油は、比重概ね0.91の非親水性の液体で、地下水面付近(不飽和帯と飽和帯水層の境界)付近に存在している。地盤構成物(土壌等)に対する吸着性があり、最大十数%までが土壌間隙中に保持されるが、それ以上の濃度となると、不飽和帯と帯水層との間に「油相」を形成して存在する形となる(基本的にL-NAPLsとしての挙動を示す;図-4)。有害物質ではないが、公共用水域に油膜を生じさせる根源として、「汚染源」として見ることもできる。なお油相は、油として回収されると「廃油(廃棄物)」としての処理が必要である。



「油汚染対策ガイドライン—鉱油類を含む土壌に起因する油臭・油膜問題への土地所有者等による対応の考え方—」(中央環境審議会土壌農薬部会・土壌汚染技術基準等専門委員会、2006)より

図-4 想定される油とPCBの挙動

本事案における有害物質であるPCBは、不飽和帯中に不法投棄された廃棄物に由来するものである。このPCBは、本来であれば帯水層中で地下水に溶解拡散せず、鉛直方向(深度方向)に土壌汚染を拡散させる挙動が予想されるが、調査結果からは、地下水面上に形成されている「油相」に溶け込むことにより、より深部には拡がらず、地下水流動に伴って周辺に拡散している状況が確認されている。

## 4 囲い込み工方式について

### (1) 方式の種類

地盤中に物質移動を制限する「壁」を設けると、多かれ少なかれ地下水や汚染物の移動挙動が変化し、一般論としては、壁の上流側の地下水位が上昇する。そのため、施工中や施工後の地下水変化については、観測井戸により継続してモニタリングを実施する必要がある。

囲い込み工方式は、前回委員会で示した「浮き型」と「根入れ型」に区分され、以下に、本事案における「根入れ型」と「浮き型」方式の適用性を検討する。

#### 【根入れ型】

囲い込み範囲内の地下水流動は基本的にないため、油の移動は発生しない。また、地表から雨水が浸透すると、囲い込み内部の水位が上昇して、壁を透過しようとする外向きの力が働く。壁の内外で発生する圧力差を、壁の遮水性のみで支えることとなるため、要求される遮水性能も高い ( $10^{-6}$ cm/sec 以下)。また、囲い込み範囲内の雨水浸透抑制対策（キャッピング等）と、揚水等による地下水位の管理も必須であり、しかも壁が存在する限り、それが恒久的に必要となる。

さらに、根入れ型囲い込みの存在は、河川管理の観点からも、通水断面中における障害として、軽視できない存在となる。

#### 【浮き型】

帯水層は透水性が高い一連の砂礫からなっており、「壁」の下で連続しているため、地下水位の差は基本的に発生しない。同一地点における年間を通しての水位変動幅は、台風直後の大増水時などを除いても 0.5m 程度ある（図-5 参照）が、この程度の水位差は、地下水が壁の下を移動することによって速やかに解消されるため、壁の内外に極端な水位差が発生することはない。壁の下の透水係数は  $10^{-1}$ cm/sec 程度と高いため、それよりも透水性が十分に低い壁であれば問題ないことから、結果として、壁自体に求められる遮水性能も、根入型と比較すると低い。

また、河川管理の観点からも、通水断面確保に対する影響は小さく、対策完了も残置できる可能性がある。

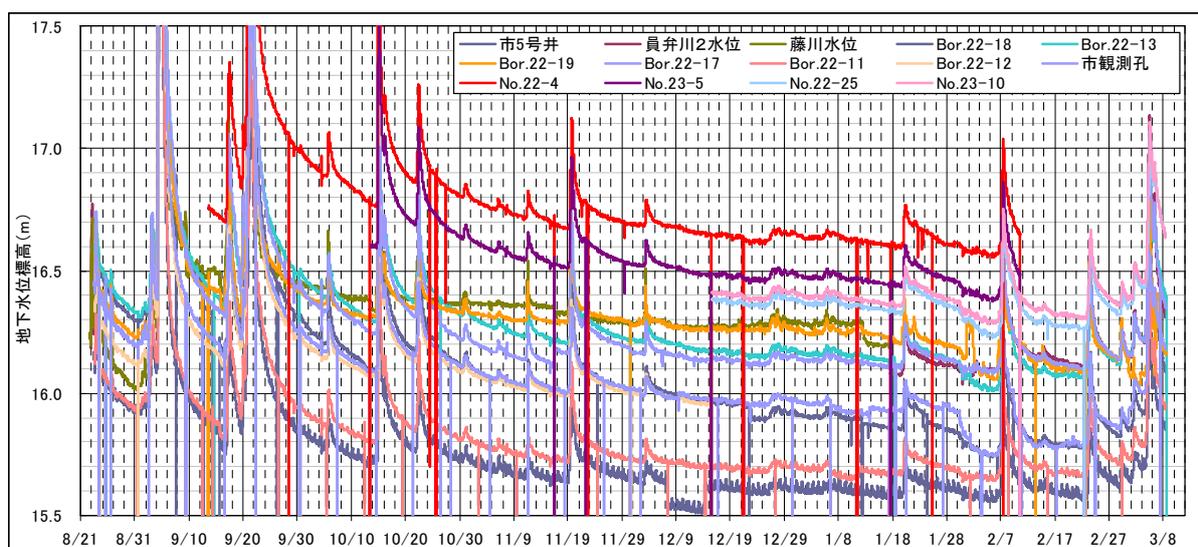


図-5 2011年8月～2012年3月の地下水位観測結果

## (2) 方式の選定

PCB の性状・挙動を考えると、その拡散防止（封じ込め対策）のためには、一般的には不透水層まで根入れされた形（根入れ型）での囲い込み工が求められる。しかし、本事案では、PCB が油に溶解しており、拡散防止の対象を「PCB を含む油」とすると、浮き型の囲い込みも、地下水面上に存在する油の移動を抑制する措置として有効である。ただし、封じ込め対策ではないため、「囲い込み工と併せて PCB を含む油の除去をすすめる」ことが前提である。

浮き型の壁では、降雨や河川増水、人為的な掘削工事・ポンプアップ等に伴って、一時的に若干の水位差が発生することもある。図-6 に示すグラフは、2011 年台風 12 号に伴う増水前後での地下水位の挙動変化を示したものである。このうち、No. 22-13 と 22-19 は、それぞれ帯水層の深部と浅部にのみスクリーンが設定されている観測井である。スクリーンが深部に設定されている No. 22-13 孔の水位（紫）は、No. 22-19 孔（ピンク）や河川水位（青）と比較して、変動がわずかに小さいが、その差は 10cm 未満である。

この事実は、遮水対象となる帯水層の鉛直方向への連続性の高さと、透水性の高さを反映していると考えられる。

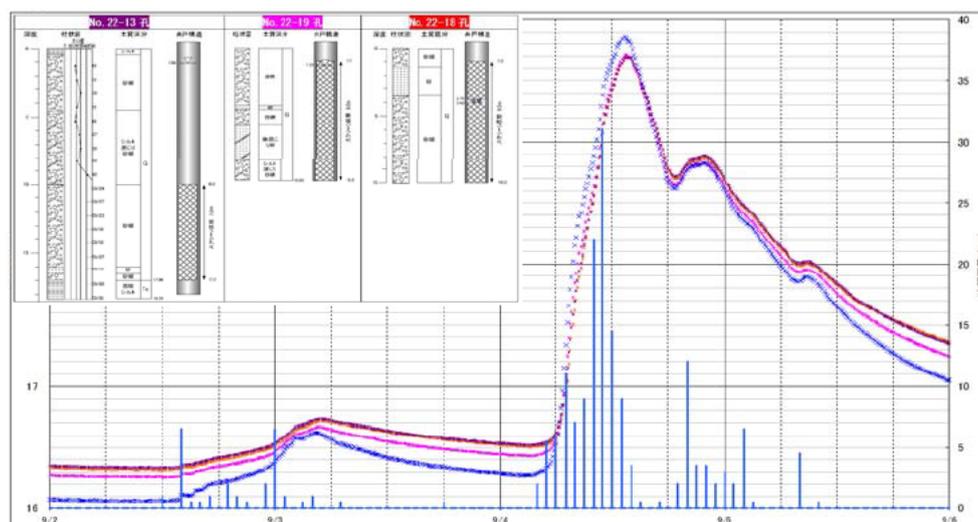


図-6 2011 年台風 12 号に伴う増水の前後での水位変動と観測孔構造

本事案における現場特性や、施工の迅速性・管理面、囲い込み工に求める機能等を考慮すると、Step2 から油の回収を進めることを前提とすれば、「浮き型」による方法が、「根入れ型」よりも合理性があるといえる。

- 根入れ型：雨水浸透抑制対策（キャッピング等）、揚水等による地下水位の管理が恒久的に必須である。また、河川管理の観点から、通水断面中における障害として、軽視できない存在となる。
- 浮き型：壁の内外に極端な水位差が発生することなく、壁の下の透水係数は  $10^{-1}\text{cm/sec}$  程度と高いため、それよりも透水性が十分に低い壁であれば問題ない。また、河川管理の観点から、通水断面に対する影響は小さく、対策完了も残置できる可能性がある。

## 5 囲い込み工法について

囲い込み工法は種々あるが、前回委員会では、拡散防止機能を担保することができる工法を対象に、特に、本事案現場での適用性についての工法比較を提示した。(表-2)

囲い込み工法は、拡散防止機能を有していることが前提となり、選定に際しては、発生するPCB含有汚泥等の廃棄物を保管する必要があることも考慮する必要がある。また、囲い込み工設置後は、汚染源域の廃棄物の掘削や油回収の措置を行う必要があり、土留め機能を兼ね備えた囲い込み工が必要である。

これらのことから、地下水面上に存在する油の拡散防止を目的とした囲い込み工は、施工に伴い発生する廃棄物量も少なく、囲い込み工設置後に土留め壁として活用できる鋼矢板工法が妥当であると考えられる。

- ・ 拡散防止機能を有しており、発生する廃棄物量が少なく、土留め壁として活用できる囲い込み工→鋼矢板工法が妥当であると考えられる。

### 【鋼矢板の遮水係数について】

鋼矢板の遮水係数については、土壤汚染対策法（以下「土対法」という。）の「原位置封じ込め」の措置で示されている遮水係数を参考にしている。土対法で示されている遮水性能は、廃棄物の処理及び清掃に関する法律に基づく「一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める省令」（以下「基準省令」という）を準拠しており、基準省令では、側面・底面遮水工の遮水性能として 次のいずれかの要件を満たさなければならないとされている。

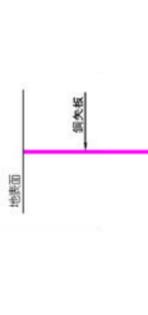
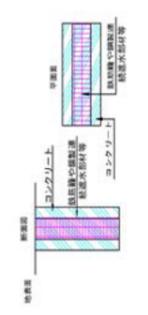
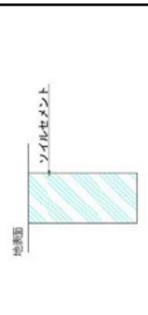
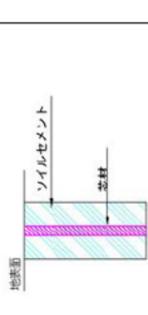
- (1) 厚さ 50cm 以上かつ透水係数  $1 \times 10^{-6}$  cm/s 以下の粘土層、または、これと同等以上の層に遮水シートが敷設されていること。
- (2) 厚さ 5cm 以上かつ透水係数  $1 \times 10^{-7}$  cm/s 以下のアスファルト・コンクリート層、または、これと同等以上の層に遮水シートが敷設されていること。
- (3) 表面に二重の遮水シートが敷設されていること（二重の遮水シートが同時に損傷することを防止できる不織布等の保護層が設けられているものに限る）。ただし、処分場底面に不透水地盤が存在する場合には、以下の側面遮水工を設ける。
- (4) 不透水性地盤よりも上に位置する透水性地盤が、ルジオン値が 1 以下になるまで薬液注入等により固化されていること。
- (5) 厚さ 50cm 以上かつ透水係数  $1 \times 10^{-6}$  cm/s 以下の連続壁が不透水性地盤まで設けられていること。
- (6) 鋼矢板が不透水性地盤まで設けられていること。

上記(1)～(3)は、底面や法面における遮水工を対象に適用されるものと考えられる。一方、(4)～(6)については鋼矢板等の側面遮水工を対象としている。

鋼矢板の遮水性能の評価は、背後地盤を含めて鋼矢板を厚さ 50cm の均一層として置換した換算透水係数によって、鋼矢板の遮水性能が評価される。求められた換算透水係数が  $1 \times 10^{-6}$  cm/s 以下である鋼矢板は、(5)の記述と同等の性能を満たすものと考えられる。

以上のことより本事案の鋼矢板の遮水係数は  $1 \times 10^{-6}$  cm/s 程度としている。

表-2 囲い込み工法の特性比較表

区分	地中連綿壁 (完全置換)		ノイールセメント固化壁		
	既設品	RC遮水壁工法	ノイールセメント固化壁工法	ノイールセメント固化壁工法+芯材	
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	地中を溝状に先行掘削し、鉄筋籠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	ノイールセメント遮水壁とH鋼や鋼矢板との併用工法	
施工イメージ					
透水性能 (期待できる透水係数)	1×10 <sup>-6</sup> cm/sec程度				
	施工可能深度	45m程度			
現場での適用性	水管線 (4.6m~5.0m)	○			
	送電線 (6.6m~9.5m)	○ (1m程度の掘下げが必要)			
空頭制限下の適用	対応重機				
	土留め工としての利用	圧入機：1.9m (国内に数十台) 土留めとしての利用は可能 (ただし約3mを超える掘削に際しては、タイロッド工法や切梁・腹起し等の補助工法が必要となる。)	先行掘削機4.7m (回転式) (国内に8台以上) 空頭制限下では回転式の掘削機 (写真) に限定される。	TRD重機：6.5m (日本に2~3台程度)	○
発生する廃棄物・汚染土壌等の措置 (延長400m深度25mと想定)	概 要	ロックオーガーと圧入機が一体となった専用掘削クリアー工法においては、粒径200mm程度まで対応可能 (粒径200mm以上の場合は、ロックオーガー等で対応。)	回転式掘削機/バケット式掘削機：粒径150mm程度まで対応可能 粒径150mm以上の場合は、ロックオーガー等で対応。	TRD掘削機：粒径300mm程度まで対応可能 粒径300mm以上の場合は、ロックオーガー等で対応	○
	発生する廃棄物・汚染土壌等	廃棄物・汚染土壌はほとんど発生しない。	完全掘削のため、大量の廃棄物・汚染土壌が発生し、適正な保管が必要となる。	原位置土との混合壁となるが、施工時にリターン泥水が発生する。泥水には、PCBが混入するため、PCB含有の汚泥等 (PCB廃棄物) となることが想定される。	△
地下水の高い場合の施工	無振動施工が可能 (硬質地盤クリアー工法)	約8,700㎡	約3,600㎡	約3,600㎡	○
	工期 (施工速度)	90㎡/日程度	60㎡/日程度	80㎡/日程度	○
単体	2.5万円/㎡程度	13万円/㎡程度	4万円/㎡程度	8万円/㎡程度	○
	土留めの補助工法	1.5万円/㎡程度	-	困難	○
計	4万円/㎡程度	13万円/㎡程度	4万円/㎡程度	10万円/㎡程度	○
	施工実績	(既設囲い込み工は、鋼矢板である。)			
メリット	補助工法を用いれば、土留め工としての利用ができる。発生する汚染廃棄物・汚染土壌がほとんどない。経済性に優れている。施工速度が速い。	土留めとして利用ができる。	比較的経済性に優れている。	補助工法を用いれば、土留め工としての利用ができる。	○
デメリット	25mを超える深度の施工は困難	大量の廃棄物・汚染土壌が発生するため、保管・処理の検討が必要。	汚染廃棄物・汚染土壌が比較的大量に発生する。ノイールセメント固化壁の場合、十分な遮水性を担保できない可能性がある。空頭制限下 (水管線) での対応が困難。空頭制限下 (送電線) での対応は可能であるが、対応重機が日本に2~3台であるため不透明である。		○