

旧嘉手納飛行場（26）土壌等確認調査（その2）

嘉手納飛行場返還跡地内

報 告 書

平成 27 年 1 月

沖縄防衛局調達部

中央開発株式会社

目 次

	頁
1. 業務概要	1
2. 業務の流れ	4
3. 調査方法	5
3.1 たまり水と排水口のダイオキシン類（水質）調査	5
3.2 ドラム缶底面土壌の DDT 類調査	11
3.3 ドラム缶底面土壌の油分調査	15
3.4 ドラム缶付着物の油分分析	17
3.5 底面確認調査	18
3.6 磁気探査	21
4. 調査結果	22
4.1 たまり水と排水口のダイオキシン類（水質）調査結果	22
4.2 ドラム缶底面土壌の DDT 類調査結果	25
4.3 ドラム缶底面土壌の油分調査結果	26
4.4 ドラム缶付着物の油分分析結果	27
4.5 底面確認調査結果	28
5. 結果の評価	30

【巻末資料】

- ・ボーリング柱状図
- ・測量結果
- ・磁気探査報告書
- ・計量証明書
- ・試験結果報告書
- ・土質試験結果
- ・現場記録写真
- ・分析写真

1. 業 務 概 要

本業務は、嘉手納飛行場返還跡地内において、ドラム缶が埋設されていた場所または周辺のたまり水の水質およびドラム缶底面土壌について調査を実施し、有害物質による汚染の有無を把握するものである。

なお、本報告については、愛媛大学農学部森田昌敏客員教授監修の下、とりまとめたものである。

- 1) 業 務 名 旧嘉手納飛行場（26）土壌等確認調査（その2）
- 2) 発 注 者 沖縄防衛局長
担当部署 調達部 土木課
- 3) 業 務 場 所 嘉手納飛行場返還跡地内
- 4) 調 査 期 間 自 平成26年 9月 6日
至 平成27年 1月31日
- 5) 施 工 中央開発株式会社 九州支社
土壌汚染対策法指定調査機関（指定番号 環2003-1-371）
福岡市城南区鳥飼6丁目3番27号
TEL 092-831-8683 FAX 092-831-8268
管理技術者 [REDACTED]
担当技術者 [REDACTED]
[REDACTED]
沖縄支店
沖縄県那覇市港町2丁目6番18号
TEL 098-861-6553 FAX 098-861-6612
担当技術者 [REDACTED]
[REDACTED]

1.1 業務内容

業務内容を以下に示す。

表 1.1 業務内容

項 目	規 格 ・ 寸 法	単 位	実施数量	備 考
1. ドラム缶付着物の油分分析				
油分分析	油分 (n-ヘキサン抽出物質)	検体	1	試料採取済 (付着物No.17)
2. たまり水と排水溝のダイオキシン類 (水質) 調査				
たまり水調査				
試料採取		ヶ所	1	
床掘り		m ²	9	
分析 (水質)	ダイオキシン類	検体	2	未ろ過水1検体 ろ過水1検体
	pH、電気伝導率、 粒径分布	検体	1	未ろ過水
排水口の調査				
試料採取		ヶ所	1	
分析 (水質)	ダイオキシン類	検体	1	未ろ過水
	pH、電気伝導率、 粒径分布	検体	1	未ろ過水
底面土壌の透水係数と粒度組成試験				
機械ボーリング	礫混じり土砂 φ86mm	m	1	シンウォールサンプリング1本
試験	透水係数 (変水位) 粒度組成 (沈降分析)	検体	1	ふるい分析含む
3. ドラム缶底面土壌DDT類調査				
機械ボーリング	礫混じり土砂 φ66mm (オールコア)	m	4.4	No.34で実施
分析 (土壌)	DDT、DDD、DDE	検体	1	底面下-1.0m (79.5m)
4. ドラム缶底面土壌の油分調査				
機械ボーリング	礫混じり土砂 φ66mm (オールコア)	m	4.4	No.17で実施
分析 (土壌)	油分 (n-ヘキサン抽出物質)	検体	3	
	油臭強度	検体	5	
5. 底面確認調査				
機械ボーリング	礫混じり土砂 φ66mm (オールコア)	m	4.5	No.19の底面で実施
分析 (土壌)	ダイオキシン類 (含有量)	検体	2	
	砒素、ふっ素 (溶出量)	検体	5	
	カコジル酸及びカコジル酸ナトリウム	検体	5	HPLC-ICP質量分析計による分析
	全砒素、全ふっ素 (含有量)	検体	5	
6. 磁気探査				
磁気探査		式	1	

1.2 調査位置

調査位置は図 1.1 に示すとおりである。

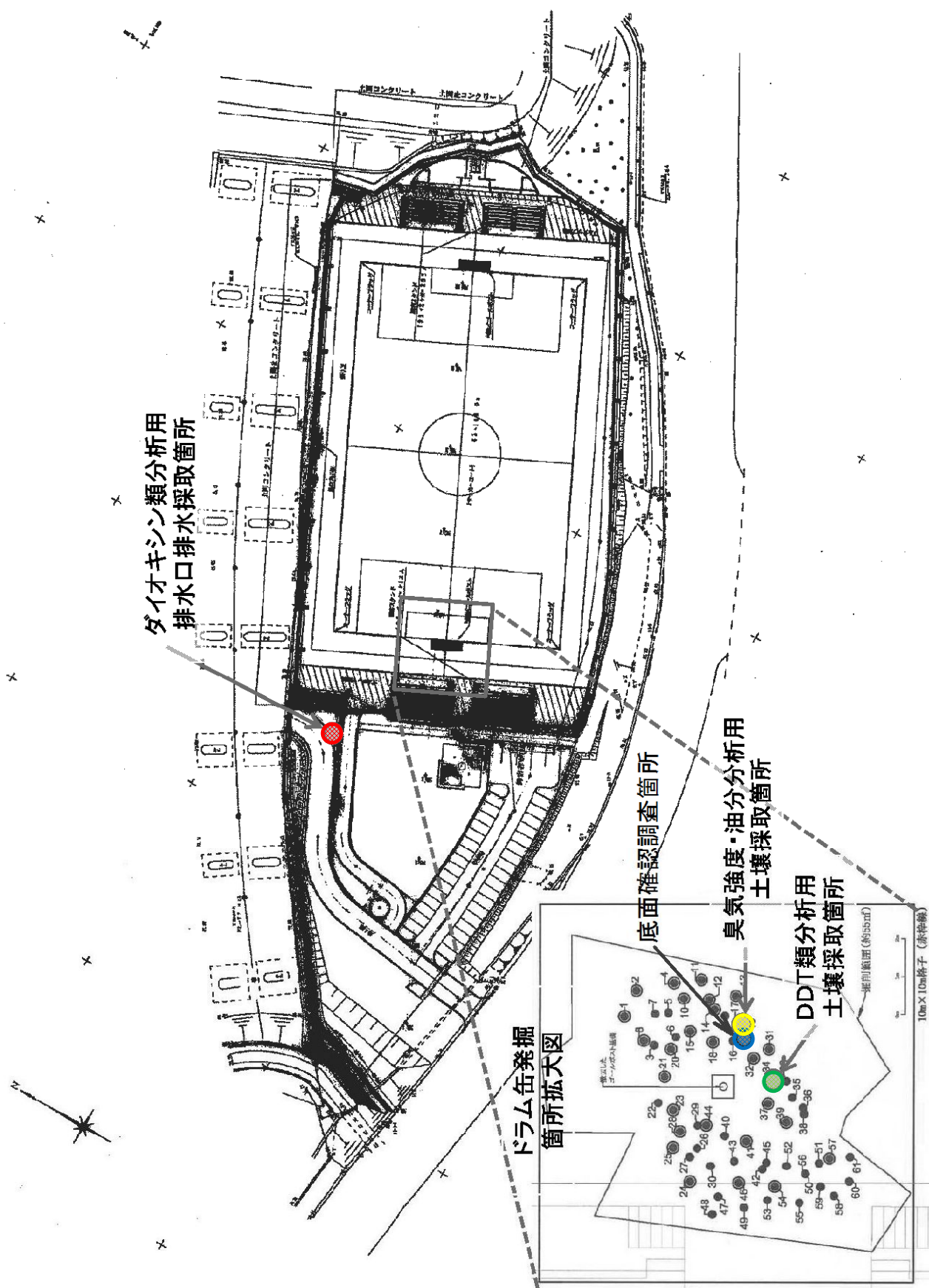
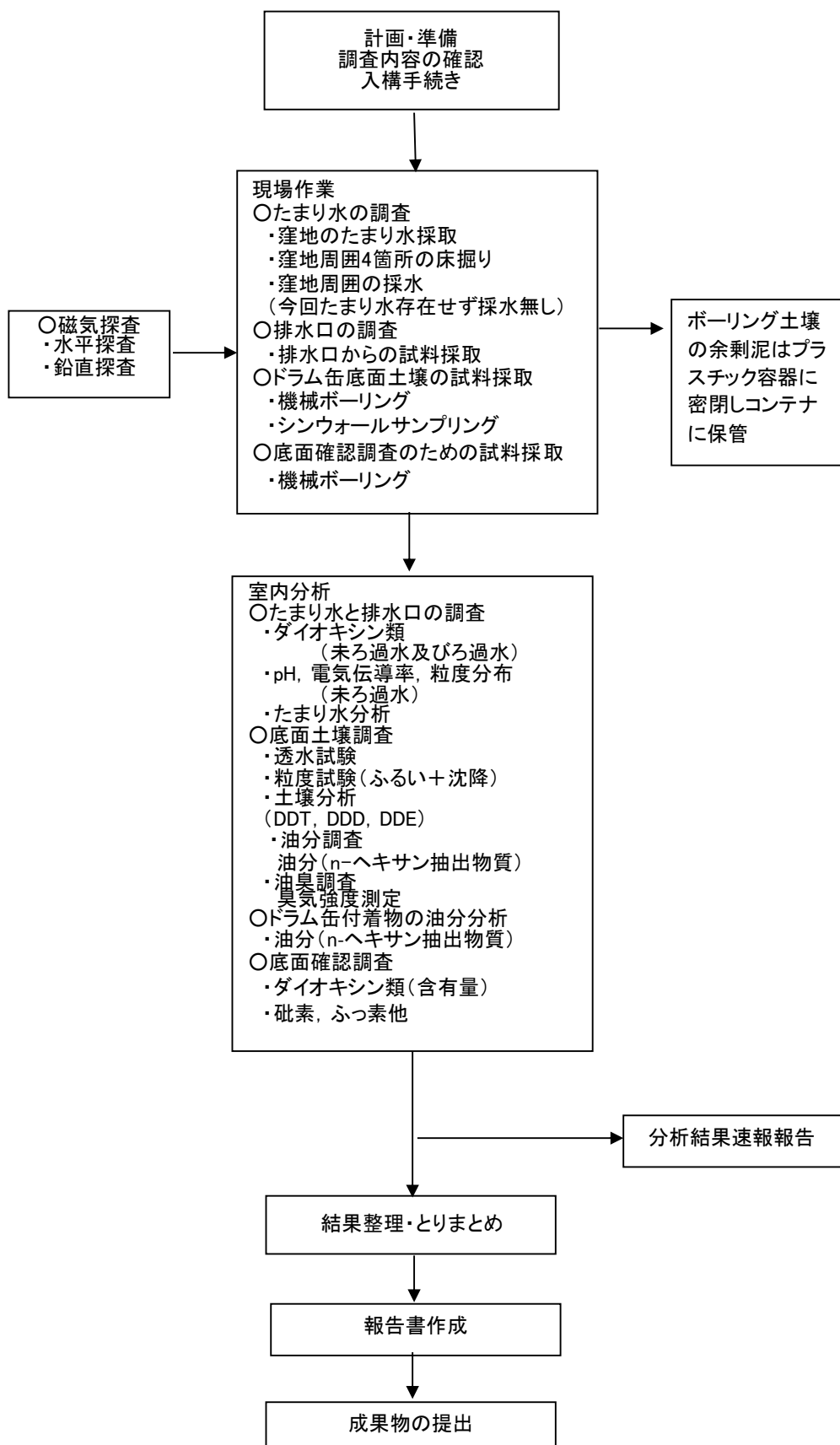


図 1.1 調査位置図

2. 業務の流れ

今回の業務の流れを下記に示す。



3. 調査方法

3.1 たまり水と排水口のダイオキシン類（水質）調査

(1) たまり水の試料採取

- ① 試料採取前に、ドラム缶発掘のために開削した窪地のブルーシート上に溜まっている雨水を排除した。この時には、「平成7年沖縄県土木建築部編 赤土等流出防止対策技術指針（案）（以下、赤土指針と示す）」に示されている濁水の排水基準であるSSが200mg/L以下であることを確認して排水した。現地では透視度計を用いて、透視度によりSSを換算したものとした（赤土指針p159の「表5-1 透視度によるSSの換算」には、透視度4.6cm以上であればSSは200mg/L以下であることが記載されている）。
- ② 窪地に敷設しているブルーシートを可能な範囲でたまり水下の底泥が舞い上がらないように静かに撤去した。底泥の舞い上がりが避けられない場合を想定して、連続して降雨がないと判断される日にブルーシートを撤去して、平成26年10月2日に採水を行った。
- ③ 透視度計で濁りの状況を把握した後に採水を行った。採水は底泥が舞い上がるような場合、減圧ポンプまたはガラス製のシリンジを用いて静かに採取した。
- ④ 採取量は、定量下限値を排水基準10pg-TEQ/Lと想定した場合は2L以上が必要となるので、合計4L以上を採取した。その他のpHと電気伝導率、たまり水の粒径分布用には、1～2L程度を採取し冷暗所保冷して速やかに分析室に搬入した。
- ⑤ 分析室に搬入したたまり水は、複数のステンレス製バケツに貯めて、このステンレスバケツの水を交互に入れ替えて水質を均質化し分析試料とした。
- ⑥ 試料採取後は、開削地一面をブルーシートで再度養生し原状復旧した。

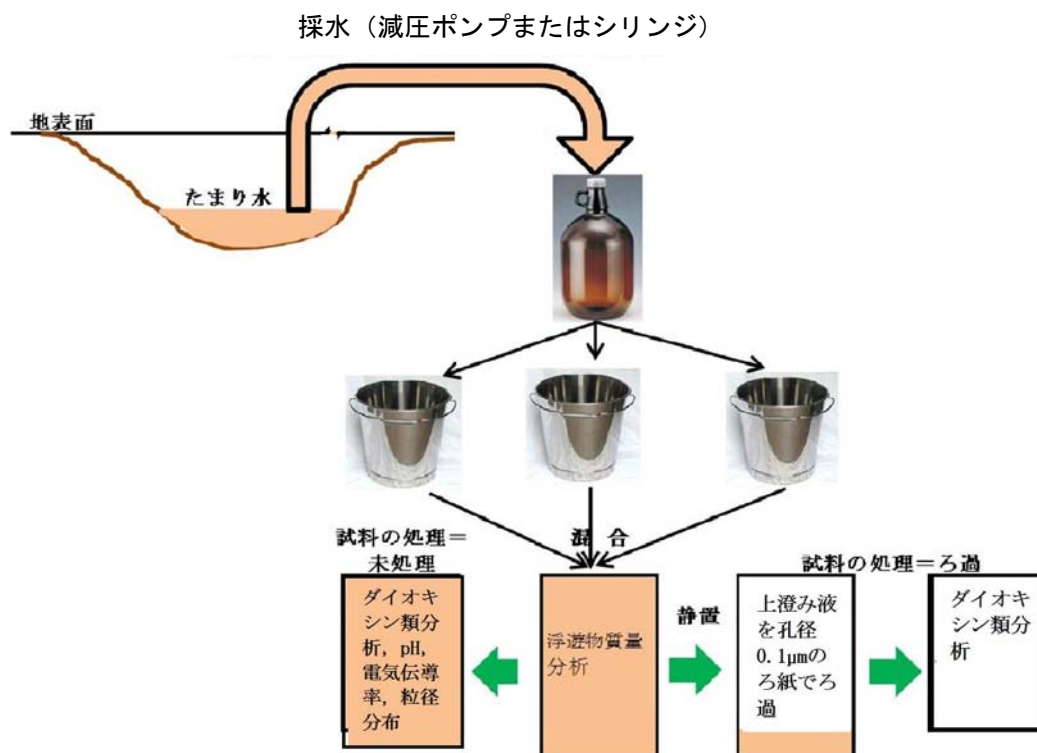


図3.1.1 たまり水調査のイメージ

(2) 窪地周囲のたまり水調査

たまり水の移動先に関する確認が必要と考えられることから、窪地周囲からたまり水を採取し、ダイオキシン類の分析を行いたまり水の移動状況を把握することとした。

採取位置は、図 3.1.2 に示すように窪地を中心に四方位・4カ所とした。

採取方法は、バックホウを用いて約 $1\text{m} \times 2.2 \sim 2.6\text{m}$ の範囲を掘削して浸出してくるたまり水を採取する方法とした。掘削深度は、既往の調査を参考として（2月の測量結果でたまり水表面が現在の地表面から 1.28m 深さにあった）余掘りを含めて、深さ $1.5 \sim 2.0\text{m}$ とした（図 3.1.3 参照）。

掘削の結果、平成 26 年 10 月 2 日に掘削を行い、その結果、4ヶ所ともたまり水は 2 日以上放置しても確認されなかったため、たまり水無しと判断した。

掘削土は、地表面から 0.5m 層の土砂と $0.5 \sim$ 最深部までの土砂とに区別してブルーシート上に仮置きして保管、管理し、調査終了後は深度 50cm 以深の土砂、地表より深度 50cm までの土砂の順序で元の場所へ 1 層仕上がり厚 30cm 毎とし、ランマ又はブレートコンパクタ等で転圧して十分に締め固めをして埋め戻した。

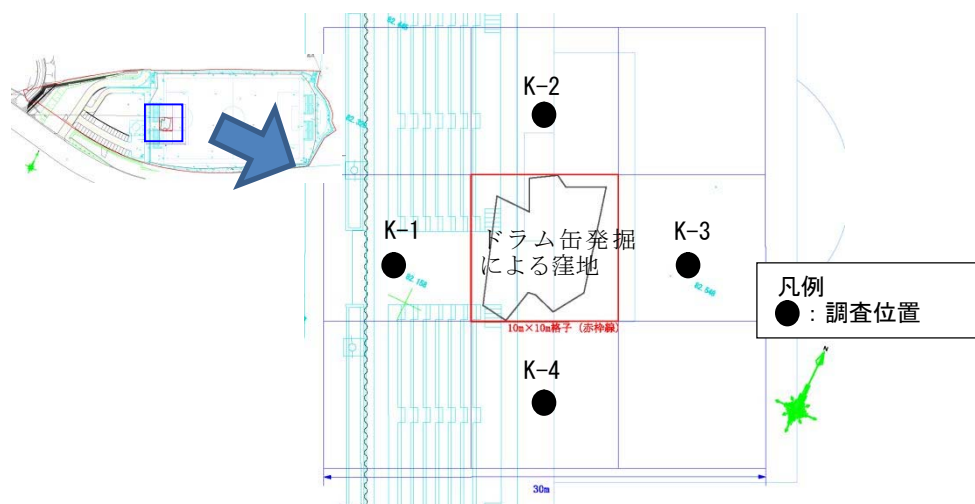


図3.1.2 窪地周囲のたまり水調査地点

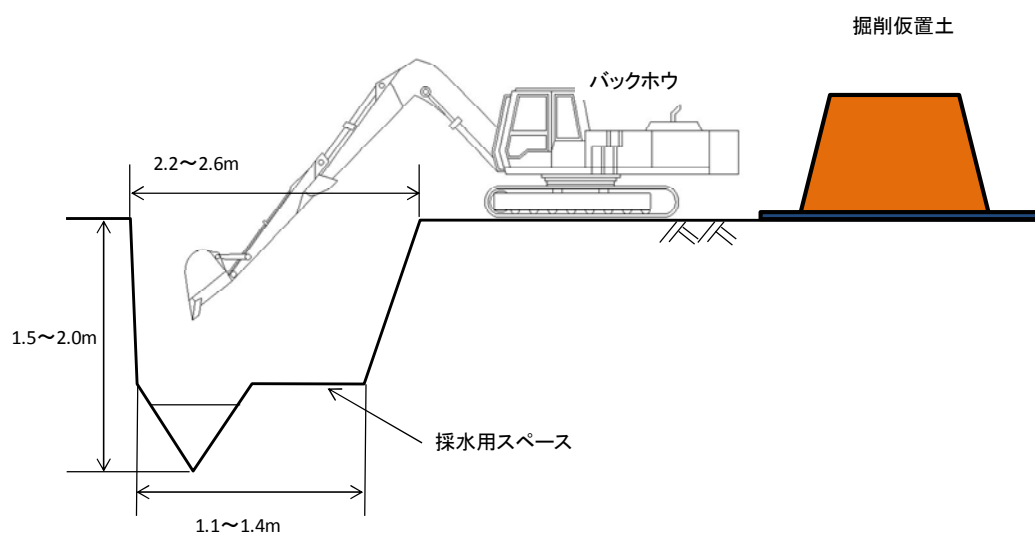


図3.1.3 窪地周囲のたまり水調査掘削イメージ

(3) 排水口の試料採取

排水口のダイオキシン類（水質）調査位置は、沖縄県が「暗渠排水（西側）」として採水を行っている図 3.1.4 に示した場所（ドラム缶発掘場所から北に約 30m の場所）とした。

平成 26 年 10 月 14 日に試料採取を行い、ダイオキシン類専用ビン（アセトン洗浄済みのガロンビン）に 2L 以上の水を採取し、未ろ過水のダイオキシン類を分析した。

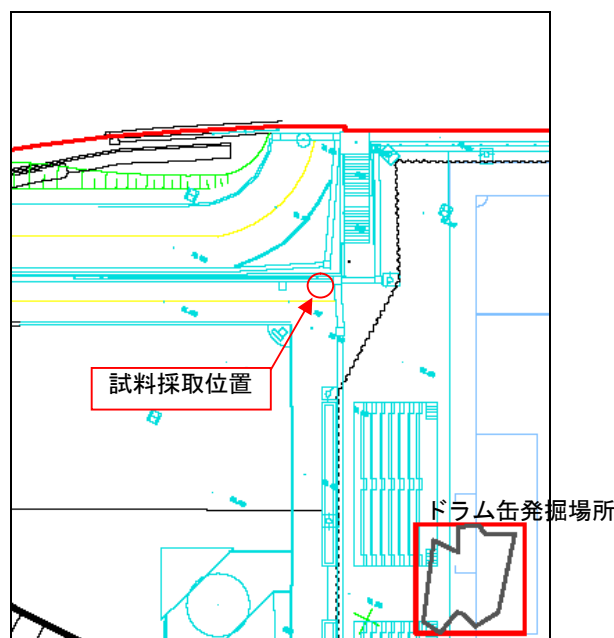


図3.1.4 試料採取位置

(4) 分析項目及び方法

たまり水と窪地周囲のたまり水、排水口のダイオキシン類及び関連項目の分析は表 3.1.1 のとおりとし、未ろ過水については水質の基本的な項目である pH と電気伝導率及び粒径分布を測定する。ダイオキシン類用のろ過水を作成するためのろ紙は、ダイオキシン類吸着等の影響がないオムニポアメンブレンフィルター（親水性 PTFE 製、孔径 $0.1\mu\text{m}$ ）を使用した（平成 26 年 2 月調査時では $0.5\mu\text{m}$ ガラス繊維ろ紙を用いているが、この目あいより小さい土粒子に付着したダイオキシン類の影響が考えられた）。

分析項目のうち pH は、土粒子の沈降の速度や分散性を把握する目的で実施した。

また、これまでの調査結果からたまり水のダイオキシンは、粒子径が小さい土粒子の表面にダイオキシン類が吸着したことにより、ろ過水の結果が高い濃度になったことが推測されていることから、これを確認するために、たまり水中の粒子をレーザー回折式粒度分布測定装置により測定して、ろ紙を通過した可能性について検討することとした。

表 3.1.1 分析項目と分析内容

分析項目		分析方法
ダイオキシン類	未ろ過	JIS K 0312
	ろ過	孔径 $0.1\mu\text{m}$ のろ紙でろ過後、JIS K 0312
pH	未ろ過	JIS K 0102 12
電気伝導率	未ろ過	JIS K 0102 13
粒径分布	未ろ過	レーザー回折式粒度分布測定装置による測定

(5) 底面土壌の透水試験と粒度組成試験

たまり水の移動を表す項目として、土中の水の移動速度を表す透水係数がある。

たまり水は、難透水層が存在することにより土中に水がたまるため、埋土や底面土壌の粒度組成と透水係数を試験することによりたまり水が存在する条件を確認することとした。

調査位置は、たまり水直下に難透水性の土が存在していることの確認であることから、たまり水がある位置とし、透水試験用の試料は「乱さない土」が必要なため、図 3.1.5 に示す $\phi 75\text{mm}$ のシンウォールサンプラーを用いて、地表面から 1.1m まで(サンプラー内は GL-0.6~1.1m)を採取した。採取した試料の上下層は作業上乱れるため、サンプラー内の中間付近の試料を用いた。

粒度組成用の試料は、乱した土でも問題はないため透水係数用に採取した土壌の下部から 1kg 以上を採取した。

表 3.1.2 調査項目と試験内容

調査項目	試験方法
透水試験	JIS A 1218
粒度組成	JIS A 1204

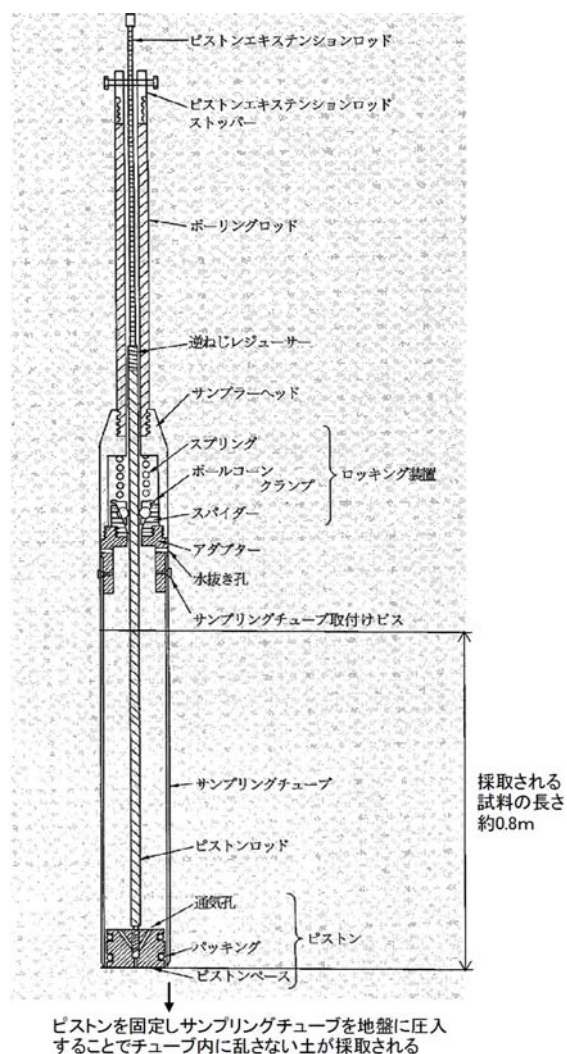


図 3.1.5 固定ピストン式シンウォールサンプラー

○透水試験（JIS A 1218）

透水試験は、図 3.1.6 に示す試験装置を用いて変水位法により試験を行うが、下記の手順で実施した。

・試験方法

- 透水円筒の上蓋にスタンドパイプと貯水槽とを連結し水を満した越流水槽に沈める。
- スタンドパイプの断面積 α (cm²) を求め、スタンドパイプに越流水槽の水面からはかった高さ h_1 及び h_2 を設定する
- 図 3.1.6 のバルブ B を閉じ A を開いて貯水槽の水をスタンドパイプに満し、バルブ A を閉じる。
- バルブ B を開いて、スタンドパイプの水面が h_1 及び h_2 を通過した時刻の t_1 及び t_2 を記録する。
- c) と d) の操作を繰り返し、 $(t_2 - t_1)$ の値がほぼ一定となったことを確認した後、3 回以上の測定を行う。
- 越流水槽の水温 T (°C) をはかる。
- 試験後の供試体の含水比 W_f (%) を求める。

・計算方法

- 供試体の乾燥密度 ρ_a (g/cm³)、間げき比 e 及び飽和度 S_r (%) を算出する。
- 測定時の水温 T (°C) における透水係数は、次の式によって算出する。

$$k_t = 2.303 \frac{\alpha L}{A(t_2 - t_1)} \log_{10} \frac{h_1}{h_2} \times \frac{1}{100}$$

ここに、 k_t : T °C における透水係数 (m/s)

α : スタンドパイプの断面積 (cm²)

L : 供試体の長さ (cm)

A : 供試体の断面積 (cm²)

$t_2 - t_1$: 測定時間 (s)

h_1 : 時刻 t_1 における水位差 (cm)

h_2 : 時刻 t_2 における水位差 (cm)

- 温度 15°C における透水係数 k_{15} (m/s) を算出する。

- 試験後の供試体の含水比 W_f (%) を用いて飽和度 S_r (%) を算出する。

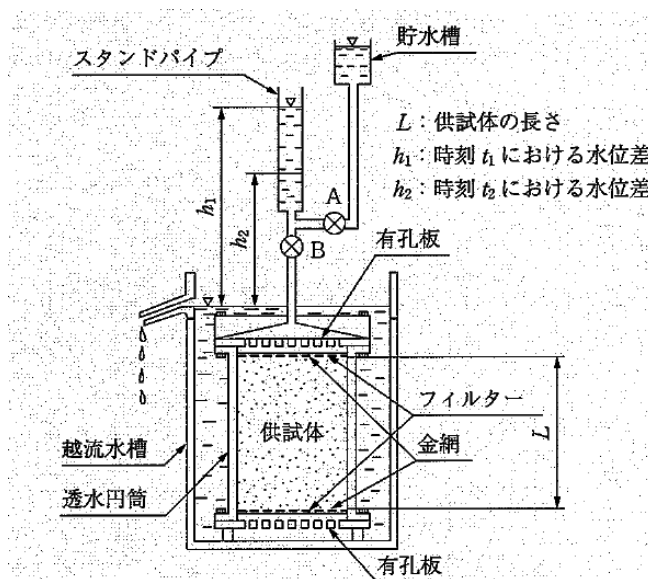


図 3.1.6 変水位透水試験装置

○粒度試験（粒度組成）

粒度試験は土の粒度構成を知り、今回は土の透水性を把握するために行った。土の粒度構成は、何種類かの粒径について、それよりも細かい土粒子の質量が、試料全体の質量の何%を占めるかを測定して定めることにより、図 3. 1. 7 に示すような粒度(粒径加積)曲線で表される。

縦軸の通過質量とは、ある大きさのメッシュのふるいを通過した土粒子、すなわちそのメッシュの大きさより小さい粒径の土粒子の質量である。

試験は、比較的粗い土粒子についてはメッシュの大きさの異なる数種のふるい分けを行い、0.074mm のメッシュを通過した土粒子については、粒径の大きい粒子ほど水中を速く沈降するという性質を利用して沈降分析を行う。

粒度試験により、土の種類（粘土、シルト、砂）などが得られ、その土の種類により透水係数の概略を求めることができる（図 3. 1. 8 参照）。

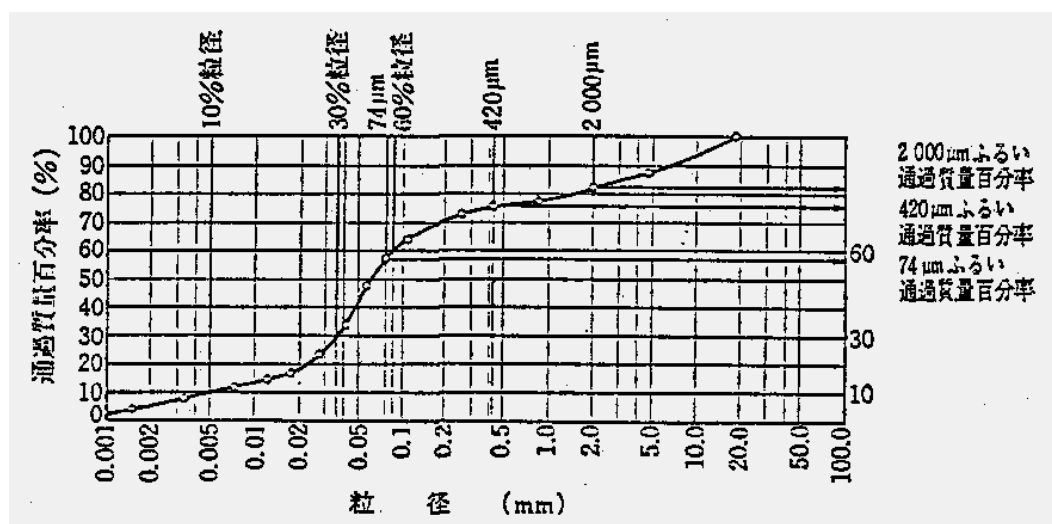


図 3. 1. 7 粒径加積曲線の一例

透水係数 k (m/s)											
10^{-11}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0
透水性	実質上不透水	非常に低い	低	い	中	位	高	い			
対応する土の種類	粘土性 (C)	微細砂, シルト, 砂-シルト-粘土混合土 (SF) (S-P) (M)				砂及びれき (礫) (GW) (GP) (SW) (SP) (G-F)			清浄なれき (GW) (GP)		
透水係数を直接 測定する方法	特殊な変水位 透水試験	変水位透水試験				定水位透水試験		特殊な変水位 透水試験			
透水係数を間接的 に測定する方法	圧密試験結果から計算		なし			清浄な砂及びれきは、粒度と間げき(隙)比とから計算					

図 3. 1. 8 土の種類と透水性及び透水試験の方法

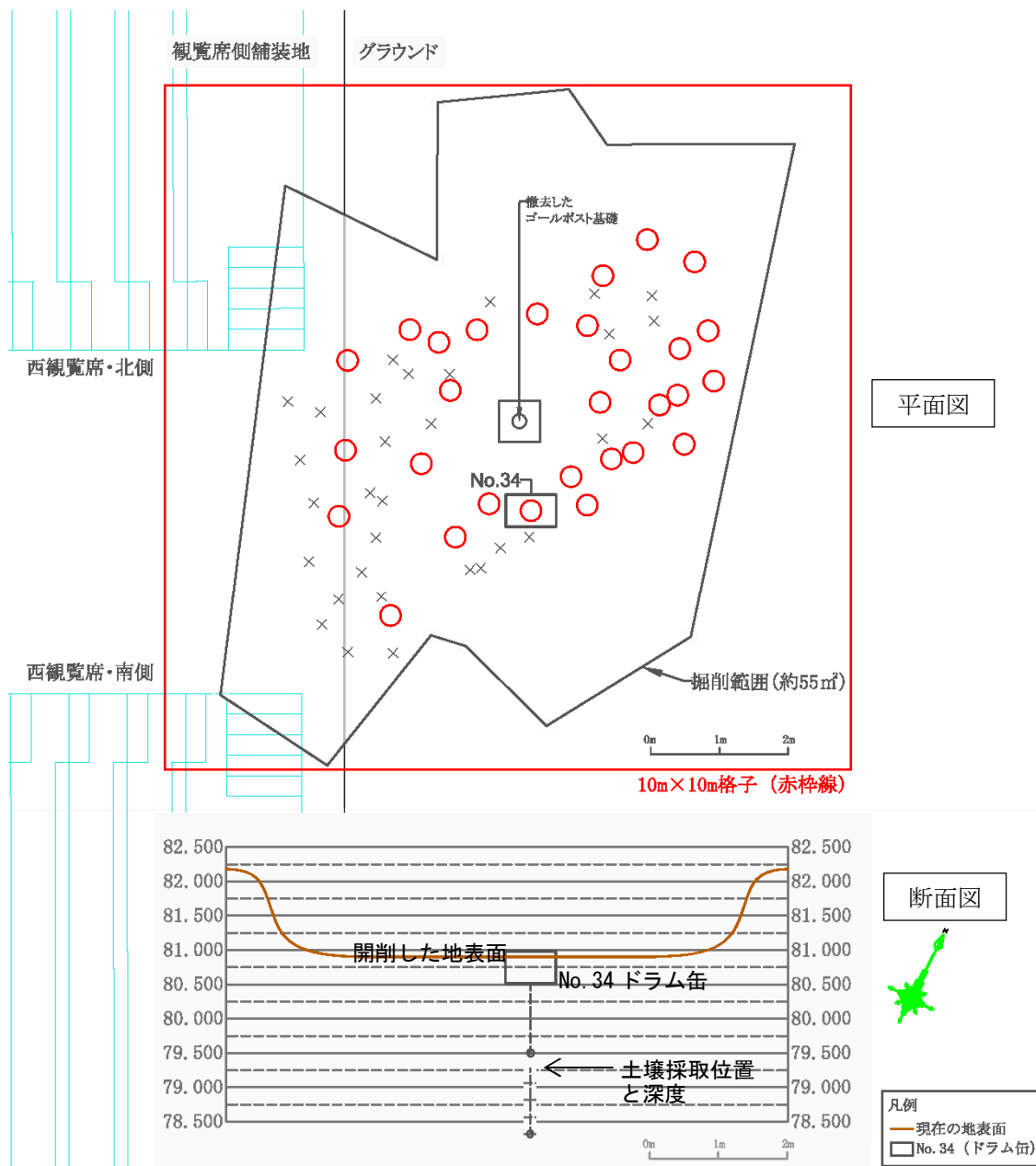
3.2 ドラム缶底面土壌のDDT類調査

(1) 調査位置

底面土壌 29 カ所のうち No. 34 のドラム缶底面土壌のみが DDT 類（塩素系殺虫剤）の含有量指針値 50mg/kg を超過し 81mg/kg と検出されたことから、調査位置は No. 34 ドラム缶の位置とした。No. 34 ドラム缶の位置と座標は図 3. 2. 1 に示す。

No. 34 のドラム缶は、西側観覧席と直角に近い角度で地表面とほぼ平行に埋まっており、図 3. 2. 1 に示した状態で埋没していたと考えられることから、「埋没農薬調査・掘削等マニュアル（平成 20 年環境省編）」に従いドラム缶底面から 1m 下の標高 79. 5m の土壌を採取した。また、この位置での結果が指針値に適合しなかった場合はさらに深度方向の調査が必要となることから、西側観覧席の元地盤高の標高 76. 7m までをボーリングして 1m 毎に試料採取を行い、当初の予定深度の分析結果が指針値不適合となった場合に備えておくこととした。

以上により、試料は標高 79. 5m, 78. 5m, 77. 5m, 76. 7m の 4 層から採取した。



No. 34 の座標と採取深度

X座標	Y座標	分析試料採取深度
37094.162	28623.513	79.5m (79.5m層の分析結果が指針値超過の場合は、78.5m、77.5m、76.7m層の土壌を順次分析する。)

備考：採取深度＝No. 34 の埋没深度 80.99m－ドラム缶直径約 0.5m－1m≒79.5m

図 3.2.1 No34 ドラム缶埋没位置

(2) 調査方法

- ① No. 34 座標位置を測量により設定し、その位置の標高を計測した。
- ② No. 34 の位置にたまり水があると、ボーリングした孔にたまり水が浸入するため、No. 34 のボーリング位置を中心にして 20cm ϕ ×長さ 0.3m の塩ビ管を土中に挿入し、塩ビ管内のたまり水を汲みだし、底面土壌上の水を排除して調査の準備を行った。
- ③ 中心位置に ϕ 66mm のボーリングコアサンプラーを設置し、①で計測した標高に基づいて標高 76.7m までオールコアボーリングにより試料を採取した。
- ④ 採取した柱状泥を観察し、標高 79.5m に該当する位置の土壌試料 500g 以上を試料ビンに採取し分析室に搬入した(標高 79.5m の分析結果が指針値を超えた場合に備えて、予め標高 78.5m, 77.5m, 76.7m から試料採取し分析室に搬入した)。
- ⑥採取した掘削土壌の余剰泥は、今後、処理の対象となるためプラスチック製の密閉ができる容器に入れ、サッカー場のコンテナに保管した。

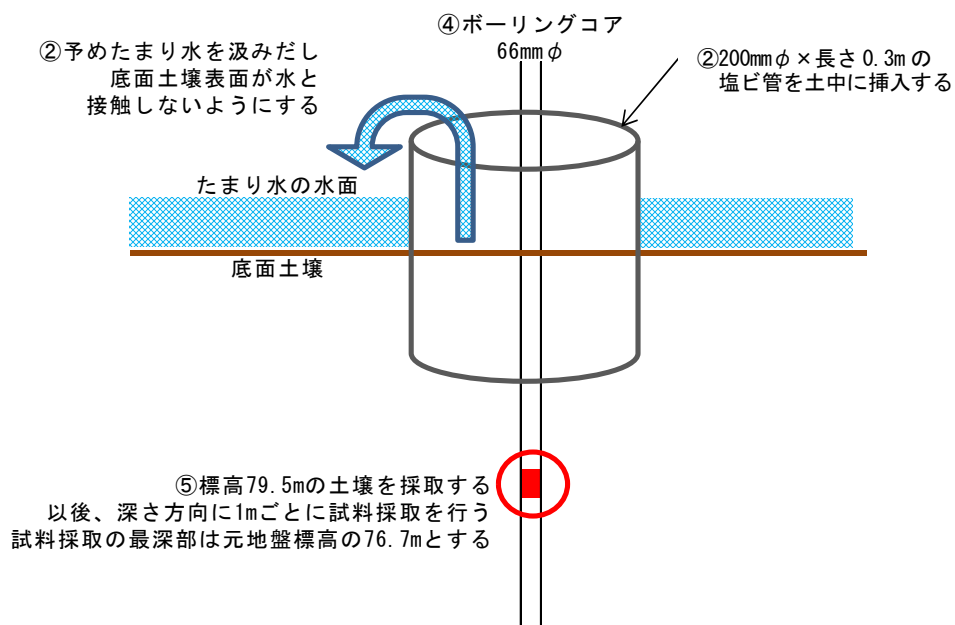


図 3.2.2 試料採取方法の例

(3) 分析項目及び方法

分析項目は有機塩素系農薬の DDT, DDD, DDE の含有量と溶出量とし、分析方法は表 3.2.1 に示すとおりとする。試料は、標高 79.5m の試料を分析し指針値と比較した。

表 3.2.1 分析項目及び分析方法

分析項目		分析方法	定量 下限値	指針値
DDT DDD DDE	溶出量	土壌の汚染に係る環境基準について (平成 3 年環告 46 号) 付表により溶出液を作成後、 農薬等の環境残留実態調査分析法、I 水質編の 1 (平成 12 年 1 月、環境省) に準拠	0.001 (mg/L)	0.026 (mg/L)
	含有量	農薬等の環境残留実態調査分析法、IV 土壌編の 1 (平成 12 年 1 月、環境省) に準拠	0.1 (mg/kg)	50 (mg/kg)

なお平面的な対策範囲は、No. 34 を取り囲む周囲のドラム缶 No. 31, 32, 37, 39 は DDT 類の指針値に適合していたこと、汚染が確認されなかった地点のうち最も埋設地点に近い地点までの範囲を汚染範囲とすることとなっているため、図 3.2.3 に示すような約 2m × 1m の範囲で、対策の深さは指針値に適合した深度までとする。

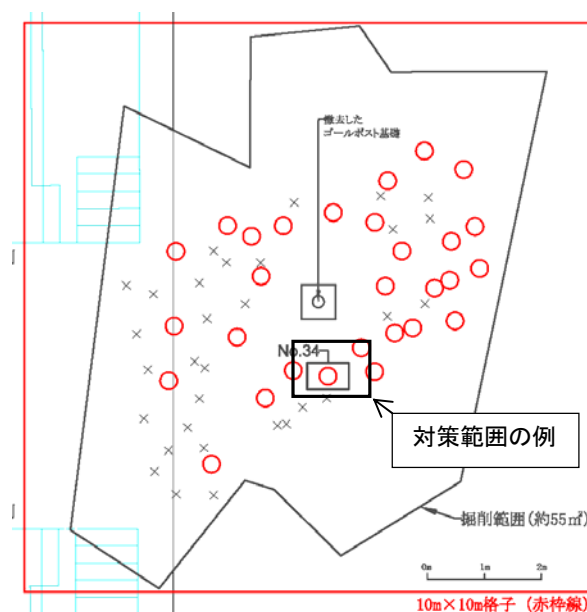


図 3.2.3 対策範囲の例

3.3 ドラム缶底面土壌の油分調査

ドラム缶発掘跡地の対策深度を設定するために、底面土壌の油分（TPH）が9,300mg/kgと最も高い結果であったNo.17のドラム缶底面土壌の位置でボーリング調査を行った。

ボーリング作業は、61本発掘したドラム缶のうち最も深い位置にあったドラム缶No.44の位置と発掘時の写真から、ドラム缶発掘時に掘削した土壌の最深部は標高80.0mと考えられる。したがって、標高80.0mとその1m下の標高79.0mの土壌試料を採取し、油分を分析することとした。

なお、底面土壌は難透水性の粘土質の土質であったことから、さらなる深度方向調査を行わなければならない可能性は低いと思われるが、標高79.0mの土壌が指針値に適合しなかった場合を想定し、西側観覧席の元地盤高の標高76.7mまでボーリングして、1m毎に試料採取を行うこととした。

また、併せて汚染除去対策のために、汚染土壌を掘削・除去する底面の油臭の確認を行うために、油分と同様の標高で分析を行った。

表 3.3.1 分析項目及び分析方法

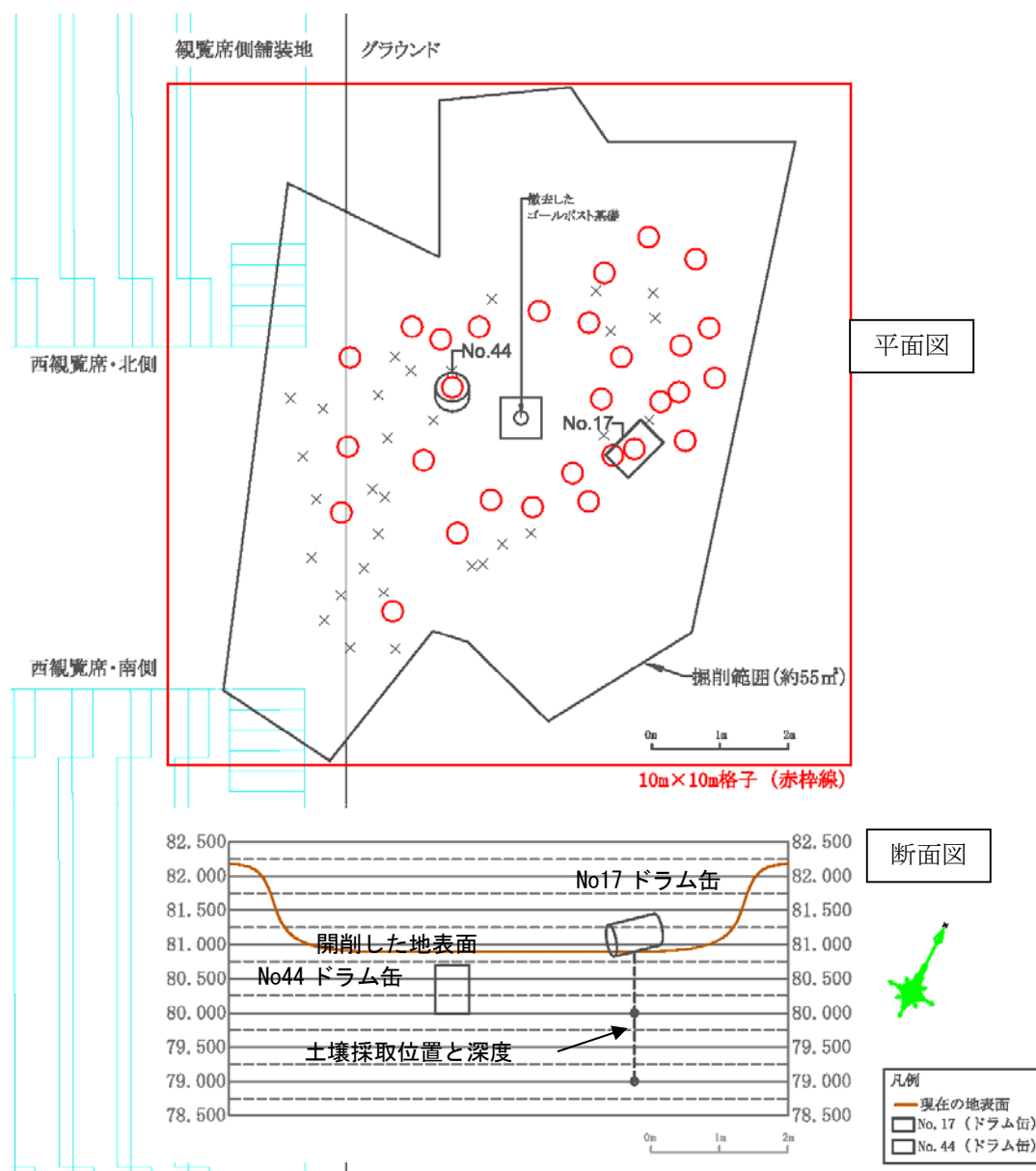
分析項目	分析方法	定量 下限値
油分（n-ヘキサン抽出物質）	昭和 49 年環境庁告示第 64 号 （平成 24 年環境省編「底質調査方法」参照）	100mg/kg
油臭 （臭気強度）	油汚染対策ガイドラインによる方法	—

処理目標値については、油分が500mg/kg、油臭については表3.3.2に示す臭気強度から、今後の協議により設定することとした。

この調査結果が油分の処理目標値以下であれば、対策範囲はドラム缶発掘のために開削した範囲を含む10m×10mの範囲とし、対策深度は処理目標を満足した標高までの深度とすることが適当と考えられる。

表 3.3.2 臭気の程度の表示例

段 階	内 容
0	無臭
1	やっと感知できるにおい（検知閾値濃度）
2	何のにおいであるかがわかる弱いにおい（認知閾値濃度）
3	楽に感知できるにおい
4	強いにおい
5	強烈なにおい



No. 17 の座標と採取深度

X座標	Y座標	分析試料採取深度
37095.578	28624.481	80.0m (80.0m層の分析結果が処理目標値超過の場合は、79.0m、78.0m、77.0m、76.7m層の土壌を順次分析する。)

図 3.3.1 No17 ドラム缶埋没位置

3.4 ドラム缶付着物の油分分析

今後、ドラム缶付着物等を廃棄物処理法にしたがって処分する場合、油分の基準は重量法による分析で 5%が目安となっている。したがって、付着物試料として採取した試料を用いて、昭和 49 年環境庁告示第 64 号に基づく重量法で分析した。なお、廃棄物処分のためには本来は個々の分析結果が必要であることが基本である。しかし、処理予定の廃棄物の発生源はサッカー場の 1 カ所であること、種類は汚泥の 1 種類であること、処分する汚泥量は約 280kg と少量であることから、今回の油分（TPH）分析結果で最も高い値であった No. 17（TPH=250,000mg/kg）を重量法の油分（n-ヘキサン抽出物質）として分析し、この結果が 5%=50,000mg/kg 以上であれば、全 61 検体を 5%以上の油分を含む汚泥とみなして処分することとした。

表3.4.1 分析項目及び分析方法

分析項目	分析方法	定量 下限値
油分 (n-ヘキサン抽出物質)	昭和 49 年環境庁告示第 64 号（重量法） （平成 24 年環境省編「底質調査方法」参照）	100mg/kg

3.5 底面確認調査

3.1～3.4の調査を実施した後は、DDT 類や油分等の汚染除去対策のために底面の汚染土壌を掘削・除去し、掘削した底面の安全を確認して清浄土で埋戻す予定である。掘削・除去する土砂には、国内事例よりやや高い濃度のダイオキシン類と指定基準値をわずかに超過する砒素（溶出量）及びふっ素（溶出量）が含まれる。対策ではこれらを掘削・除去してしまうことから、その後の底面土壌は問題のない土壌になることが期待されるため、その確認を底面確認調査として行うものとし、調査内容は以下のとおりとする。

なお、DDT 類と油分については、指針値に適合している深度まで、または管理目標値を満足している深度までを掘削・除去することから、底面確認調査は行っていると解釈されるため調査は不要とした。

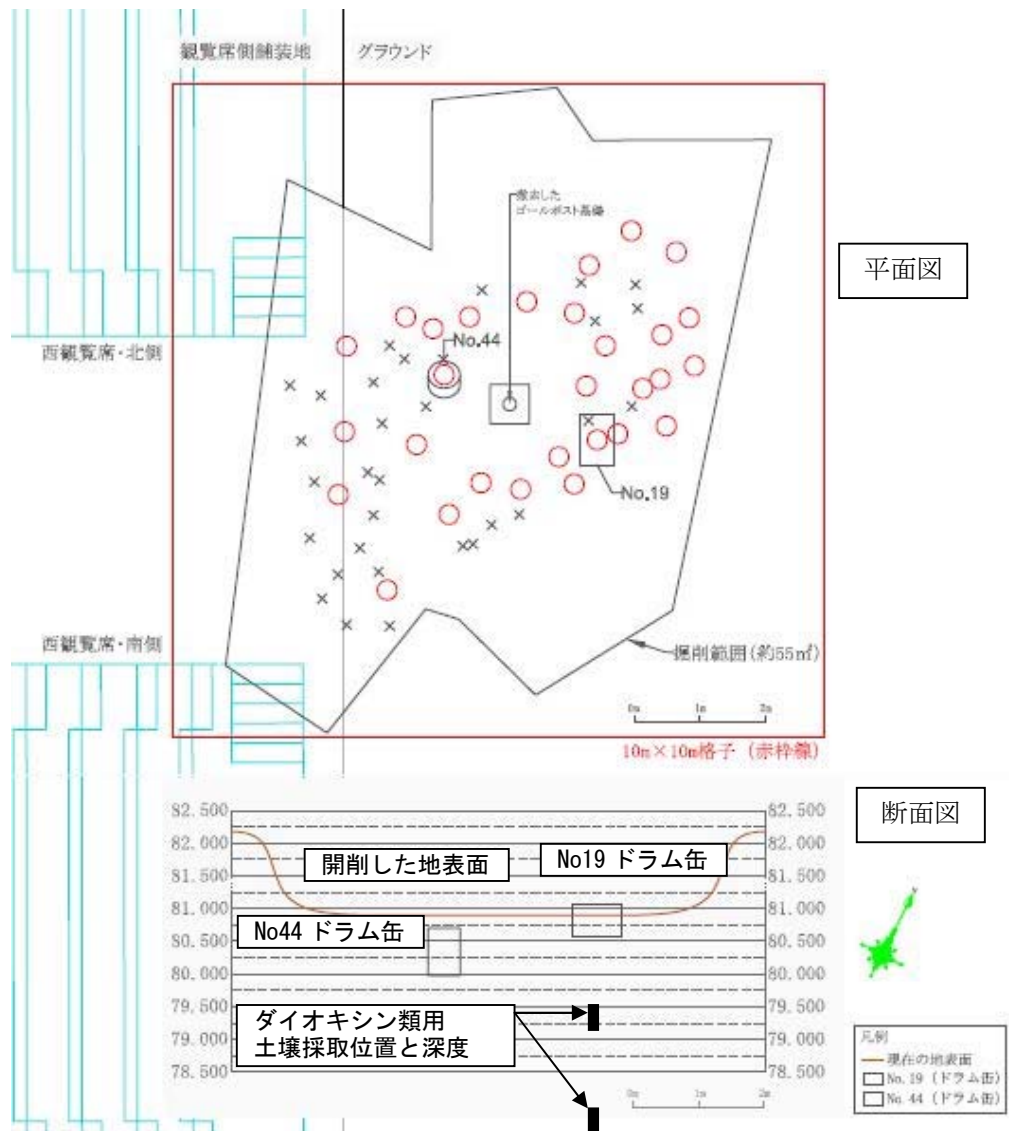
(1) 底面土壌のダイオキシン類

底面土壌のダイオキシン類は、全ての結果が環境基準値（1,000pg-TEQ/g）を下回っており、本調査で発見したドラム缶は全て発掘・撤去しているが、底面土壌は一般的な土壌中のダイオキシン類濃度より高い値を示す傾向がみられた。このことから、底面土壌のダイオキシン類濃度を確認する。なお本調査は、DDT 類と油分の対策深度設定調査により、掘削する底面深度が確定した後に分析を実施することにした。

調査位置は、図 3.5.1 に示すように、底面土壌調査結果で最も高い結果であった No. 19 のドラム缶の位置とした。

試料は事前に採取を行い、採取した状態（柱状）のまま冷暗所に保管し、DDT 類と油分の対策深度設定調査の結果、掘削する底面が確定したらその深度から 0.3m 層の土壌を分取し分析した。採取層厚の設定は、「ダイオキシン類に係る土壌調査測定マニュアル（平成 21 年 3 月 環境省）」に記載されているように、ドラム缶発掘時に対象とする土壌は攪拌された可能性があることから 30cm 層厚とした。

分析項目は、ダイオキシン類（含有量）とした。



No. 19 の座標と採取深度

X 座標	Y 座標	分析試料採取深度
37095.355	28624.237	79.5～79.2m
		77.0～76.7m

図 3.5.1 No19 ドラム缶埋没位置

表3.5.1 分析項目及び分析方法

分析項目	分析方法	基準
ダイオキシン類 (含有量)	ダイオキシン類に係る土壌調査測定マニュアル(平成 21年3月 環境省 水・大気環境局 土壌環境課編)	1,000 pg-TEQ/g

(2) 砒素及びふっ素

「旧嘉手納飛行場（25）土壌等確認調査（その2）」（以下、「平成26年6月調査」）で実施した調査では、底面土壌の砒素（溶出量）とふっ素（溶出量）は、指定基準値をわずかに超過し、土壌汚染対策法の「土地の土壌の特定有害物質による汚染状態が専ら自然に由来するかどうかの判定方法」に示された方法に基づいて全含有量分析結果等から自然由来であるものとした。

このため、深度方向について砒素及びふっ素の調査を行い、この土地自体が持つ自然的な原因により指定基準不適合となったのか確認を行うため調査を行った。

分析用の試料は油分の対策深度設定調査に併せて土壌試料を採取・分析することとし、試料採取層は、油分と同様に標高80.0m、79.0m、78.0m、77.0m、76.7mの5層とした。分析項目は、砒素（溶出量）、ふっ素（溶出量）、自然由来の評価を行うことを想定して全砒素及び全ふっ素の全含有量とカコジル酸及びカコジル酸ナトリウム（溶出量）を分析した。

分析方法は表3.5.2に示したとおりである。

表3.5.2 分析方法

区分	分析項目	分析方法	定量下限値	指定基準
溶出量	検液の作成	平成3年8月環境庁告示第46号（土壌の汚染に係る環境基準について）付表による	－	－
	砒素及びその化合物	規格 K 0102 61	0.002 mg/L	0.01mg/L 以下
	ふっ素及びその化合物	規格 K 0102 34	0.05 mg/L	0.8mg/L 以下
	カコジル酸及びカコジル酸ナトリウム	HPLC-ICP 質量分析計による分析	0.002 mg/L	－
全含有量	全砒素	底質調査方法Ⅱ.5.9（平成24年8月、環境省）	0.2 mg/kg	－
	全ふっ素	底質調査方法Ⅱ.4.12.2（平成24年8月、環境省）	10 mg/kg	－

3.6 磁気探査（鉛直探査）

鉛直探査は、土壌採取地点について、ボーリング調査孔を併用し、探査計により 5 インチ砲弾仕様で 0.3m、50kg 爆弾仕様で 0.5m、250kg 爆弾仕様で 1.0m 毎に孔底直下の安全を確認しながら、所定の深度まで確認した。なお、地表面下-2m までの不発弾等有無の調査・確認・発掘は、平成 25 年度の水平探査で実施済みのため、地表面下-2m 以深より探査した。

なお、本探査に使用する磁気探査計は、探査孔を中心に 5 インチ砲弾仕様で半径 0.5m、50kg 爆弾仕様で半径 1.0m、250kg 爆弾仕様で半径 2.0m 以内の爆弾等を検知し、かつ孔底直下においては、5 インチ砲弾仕様で 0.3m、50kg 爆弾仕様で 0.5m、250kg 爆弾仕様で 1.0m について判断できる性能を有するものとした。

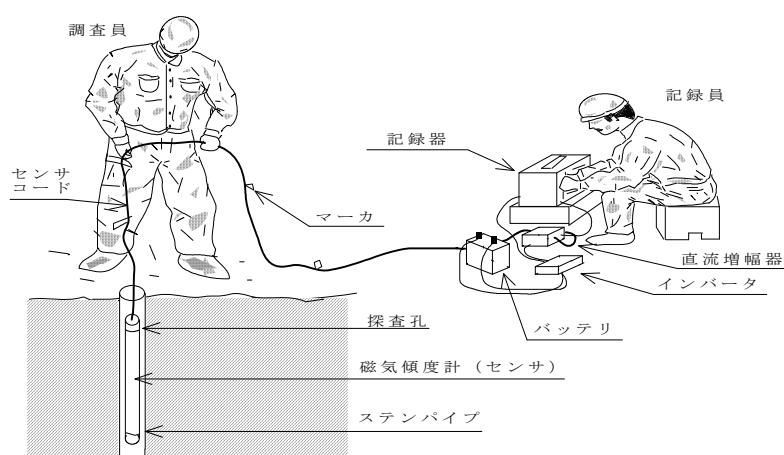


図 3.6.1 鉛直探査状況

4. 調査結果

4.1 たまり水と排水口のダイオキシン類（水質）調査結果

たまり水と排水口の水質分析結果を表4.1.2および図4.1.1～図4.1.2に示す。

(1) pH

- ・たまり水のpHは8.1であった。
- ・排水口のpHは10.5であり、排水基準の範囲外であったが、沖縄市の人工芝張り替え工事に伴い、グラウンドに再生クラッシャーRCを使用していることから、その影響によるものと考えられる。

たまり水、排水口の水ともにpHは8.0以上あることから、土粒子の沈降は遅いと判断される。

排水基準 海域以外の公共用水域に排出されるもの：5.8以上8.6以下

海域に排出されるもの：5.0以上9.0以下

－環境省一律排水基準(排水基準を定める省令別表第2)－

(2) 電気伝導率

- ・たまり水の電気伝導率は261(μ S/cm)であった。
- ・排水口の電気伝導率は314(μ S/cm)であった。
- ・たまり水、排水口の水ともに水道水の電気伝導率(100～200 μ S/cm)を上回ることから、土粒子に吸着する陽イオンが多くなることが確認された。
- ・窪地たまり水と排水口の電気伝導率には大差はなかった。

表4.1.1 水の電気伝導率(25℃)

理論純水	0.05479 μ S/cm
超純水	0.06 μ S/cm
純水	1 μ S/cm
蒸留水	10～1 μ S/cm
水道水	200～100 μ S/cm
おいしい水	700～400 μ S/cm

(公益社団法人 日本冷凍空調学会)

(3) ダイオキシン類

- ・窪地たまり水のダイオキシン類は、未ろ過水で170(pg-TEQ/L)、ろ過水で33(pg-TEQ/L)であった。
- ・排水口のダイオキシン類は、1.3(pg-TEQ/L)であった。

表4.1.2 窪地たまり水および排水口の水質分析結果

試料名	窪地たまり水		排水口	
	今回調査	前回調査	今回調査	前回調査
pH	8.1 (22.6℃)	—	10.5 (20.9℃)	—
電気伝導率 (μ S/cm)	261	—	314	—
ダイオキシン類 (pg-TEQ/L)	未ろ過水	170	150	1.3
	ろ過水	33	55	—
排水基準 (pH)	5.8以上8.6以下			
排水基準 (ダイオキシン類)	—		10pg-TEQ/L	
備 考	平成26年10月2日採取	平成26年2月1日採取	平成26年10月14日採取	平成26年7月9日採取 (沖縄県実施)

(4) 粒径分布

たまり水の粒径分布は、粒子径 $0.229\sim 29.144(\mu\text{m})$ の範囲にあり、ろ過に使用したろ紙の孔径 $0.1\mu\text{m}$ より小さい土粒子は確認されなかった。

なお、平成26年6月調査で使用したろ紙 ($0.5\mu\text{m}$) を使用した場合は、全土粒子の9%程度通過する結果が得られた。

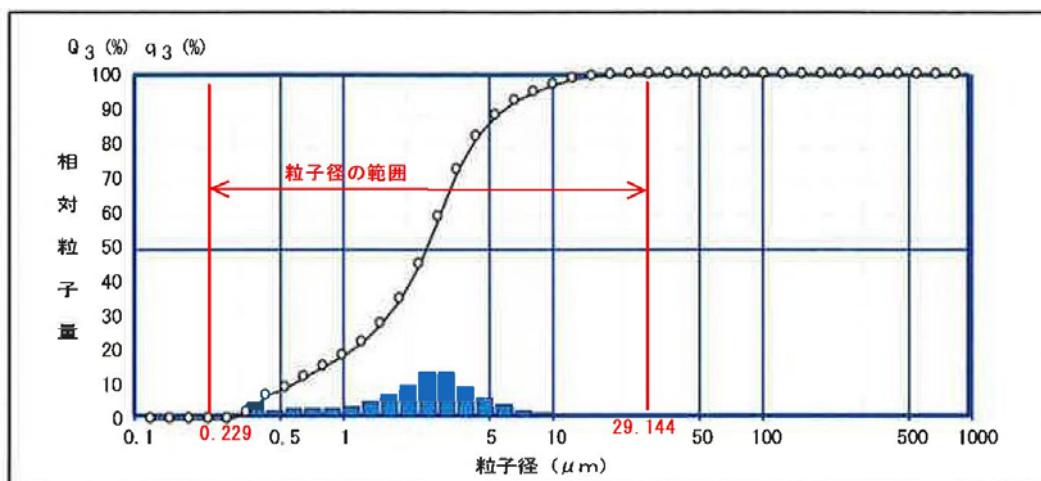


図4.1.1 たまり水の粒径分布図

排水口の粒径分布は、粒子径 $0.283\sim 29.144(\mu\text{m})$ の範囲にあり、ろ過に使用したろ紙の孔径 $0.1\mu\text{m}$ より小さい土粒子は確認されなかった。

なお、平成26年調査で使用したろ紙 ($0.5\mu\text{m}$) を使用した場合は、全土粒子の10%程度通過する結果が得られた。

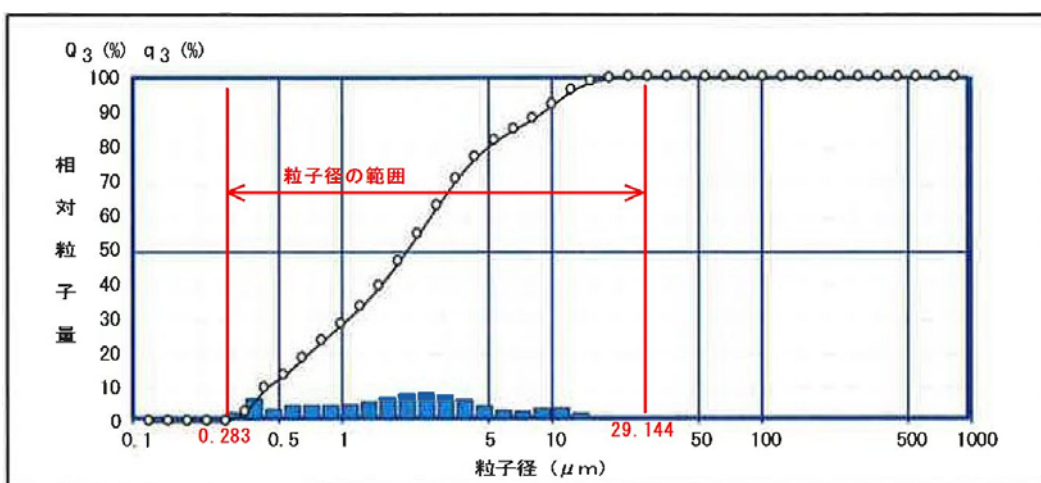


図4.1.2 排水口の粒径分布図

(5) 底面土壌の透水係数と粒度組成

底面土壌の透水試験結果および粒度試験結果を表4. 1. 3に示し、粒径加積曲線を図4. 1. 3に示す。

底面土壌は、細粒土分(シルト分および粘土分)を主体とし、砂分や礫分を計26%程度含有する砂質細粒土(FS)に分類される。

底面土壌は、透水係数 k_{15} (m/s) が 1.89×10^{-8} (m/s) と「非常に低い透水性」を示している。

図4. 1. 4に示すように底面土壌の土の種類からしても細粒土を主体することから、透水係数は妥当であると判断される。

表4. 1. 3 粒度試験および透水試験結果

粒 度	石 分 (75mm以上)%	0
	礫 分 (2mm～75mm)%	0.8
	砂 分 (0.075mm～2mm)%	25.3
	シルト分 (0.005～0.075mm)%	38.4
	粘 土 分 (0.005mm未満)%	35.5
	最大粒径 mm	4.75
分 類	地 盤 材 料 の 分 類 名	砂質細粒土
	分 類 記 号	(FS)
透 水 試 験	透水試験方法	変水位
	透水係数 k_{15} m/s	1.89E-08

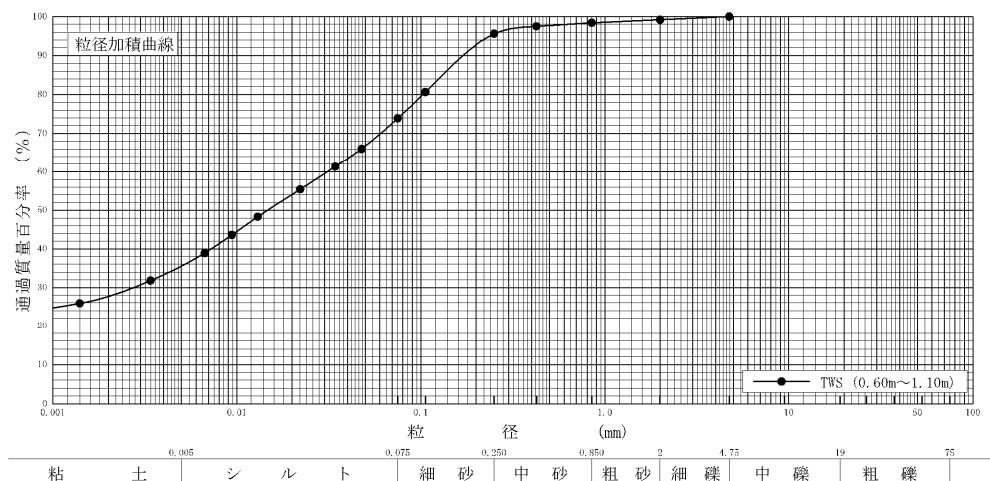


図4. 1. 3 粒度試験結果図(粒径加積曲線)

今回試験結果				
透水係数 k (m/s)				
透 水 性	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁹	10 ⁻⁸
対 応 する 土 の 種 類	実質上不透水	非常に低い	低 い	中 位
透 水 係 数 を 直 接 測 定 する 方 法	特殊な変水位透水試験	変水位透水試験	定水位透水試験	特殊な変水位透水試験
透 水 係 数 を 間 接 的 に 測 定 する 方 法	圧密試験結果から計算	なし	清浄な砂及びれきは、粒度と間げき(隙)比とから計算	

図 4. 1. 4 土の種類と透水性及び透水試験の方法

4.2 ドラム缶底面土壌のDDT類調査結果

前回調査（平成26年6月調査）では、底面土壌29カ所のうちNo. 34のドラム缶底面土壌のみがDDT類（塩素系殺虫剤）の含有量指針値50mg/kgを超過し81mg/kgと検出されたことから、No. 34ドラム缶の位置において標高79.5mの試料についてDDT類を分析した。

ドラム缶底面土壌のDDT類調査の分析結果を表4.2.1に示す。

溶出量は定量下限値（0.001mg/L）未満であり、指針値（0.026mg/L）に適合した。

含有量は定量下限値（0.1mg/kg）未満であり、指針値（50mg/kg）に適合した。

表4.2.1 ドラム缶底面土壌のDDT類分析結果

試料名	調査区分	採取深度 (m)	分析項目	溶出量 (mg/L)	含有量 (mg/kg)
No. 34	今回調査	79. 5m	o, p' -DDE	<0. 001	<0. 1
			p, p' -DDE	<0. 001	<0. 1
			o, p' -DDD	<0. 001	<0. 1
			p, p' -DDD	<0. 001	<0. 1
			o, p' -DDT	<0. 001	<0. 1
			p, p' -DDT	<0. 001	<0. 1
			DDT類含量	<0. 001	<0. 1
	前回調査	80. 5m (底面土壌)	DDE	—	20
			DDD	—	61
			DDT	—	<0. 1
			DDT類含量	—	81
定量下限値				0. 001	0. 1
指針値				0. 026	50

4.3 ドラム缶底面土壌の油分調査結果

底面土壌の油分（TPH）が9,300mg/kgと最も高い結果であったNo. 17のドラム缶底面土壌の位置で油分調査を実施した。

ドラム缶底面土壌の油分分析結果を前回調査（平成26年6月調査）結果と併せて表4.3.1に示す。

n-ヘキサン抽出物質含有量(全油分)は、標高80.0m, 79.0m, 78.0mで定量下限値（100 mg/kg）未満であった。

油臭については、標高80.0m, 79.0m, 78.0mでは油汚染対策ガイドラインに示された6段階の内、油臭3(楽に感知できるにおい)であり、標高77.0m, 76.7mでは油臭0(無臭)であった。

表4.3.1 ドラム缶底面土壌の油分分析結果

調査区分	試料名	採取深度(m)	n-ヘキサン抽出物質含有量	油臭
			全油分 (mg/kg)	
今回調査	No. 17	80.0m	<100	3
		79.0m	<100	3
		78.0m	<100	3
		77.0m	-	0
		76.7m	-	0
	定量下限値		100	-
前回調査	試料名	採取深度(m)	油分 TPH	-
			全量 C6～C44 (mg/kg)	
	No. 17	81.0m (底面土壌)	9,300	-

表 4.3.2 臭気の程度の表示例

段 階	内 容
0	無臭
1	やっと感知できるにおい（検知閾値濃度）
2	何のにおいであるかがわかる弱いにおい（認知閾値濃度）
3	楽に感知できるにおい
4	強いにおい
5	強烈なにおい

4.4 ドラム缶付着物の油分分析結果

ドラム缶付着物の油分分析結果を表4.4.1に示す。

n-ヘキサン抽出物質含有量(全油分)は110,000mg/kg (11%)であった。

表4.4.1 ドラム缶付着物の油分分析結果

試料名	n-ヘキサン抽出物質含有量	
	全油分 (mg/kg)	%換算
No.17ドラム缶付着物	110,000	11%
定量下限値	100	0.01%

廃棄物に関する法令「油分を含むでい状物の取扱いについて(昭和51年11月18日公布 環水企181・環産17)」に産業廃棄物の取扱いについて次のような記載がある。

「油分を含むでい状物の取扱いについて」

1 産業廃棄物分類上の取扱い

- (1) 油分をおおむね五パーセント以上含むでい状物は汚でいと廃油の混合物として取扱うこと。

石油類のタンク又は廃油貯留槽の底部にたまったでい状物、廃油処理又は油の糖製に使用した廃白土、廃油処理のための遠心分離施設から生ずるでい状物等は通常これに該当する。

- (2) 油分を含むでい状物であって(1)に示す汚でいと廃油の混合物に該当しないものは、汚でい(油分を含む汚でい)として取扱うこと。

ガソリンスタンドから生ずる洗車汚でい、油水分離施設から生ずる汚でい、含油廃水処理に伴い生ずる汚でい等は通常これに該当する。

なお、(1)で示す汚でいと廃油の混合物に該当するでい状物中の油分を抽出、分離等により除去した結果(1)に示す汚でいと廃油の混合物に該当しなくなったでい状物は、汚でい(油分を含む汚でい)として取扱うものであること。

(昭和51年11月18日公布 環水企181・環産17より抜粋)

No.17ドラム缶付着物のn-ヘキサン抽出物質含有量(全油分)は110,000mg/kg (11%)で、油分が5% (=50,000mg/kg) 以上であることから、表4.1.1に示す(1)に該当するものとし、ドラム缶付着物については、汚泥と廃油の混合物とみなし処分することとなる。

4.5 底面確認調査結果

底面確認調査の分析結果を表4.5.1および表4.5.2に示す。

(1) ダイオキシン類

底面土壌のダイオキシン類含有量分析結果は、標高79.5～79.2mの試料で1.0 (pg-TEQ/g)、標高77.0～76.7mの試料で0.35 (pg-TEQ/g) であり、土壌環境基準 (1,000pg-TEQ/g) に適合した。

表4.5.1 底面土壌のダイオキシン類分析結果

試料名	調査区分	採取深度 (m)	ダイオキシン類 (pg-TEQ/g)	基準 (pg-TEQ/g)
No. 19	今回調査	79.5～79.2	1.0	1,000
		77.0～76.7	0.35	
	前回調査	80.5m (底面土壌)	620	

(2) 砒素およびふっ素

平成26年6月調査で実施した調査では、底面土壌の砒素（溶出量）とふっ素（溶出量）は、指定基準値をわずかに超過し（砒素：定量下限値（0.002mg/L）未満～0.019mg/L、ふっ素：0.24～2.1mg/L）、土壌汚染対策法の「土地の土壌の特定有害物質による汚染状態が専ら自然に由来するかどうかの判定方法」に示された方法に基づいて全含有量分析結果等から自然由来であるものとした。

このため、深度方向について砒素及びふっ素の調査を行い、この土地自体が持つ自然的原因により指定基準不適合となったのか確認を行うため調査を行った。

調査結果を表4.5.2に示す。

- ・砒素及びその化合物の溶出量は、定量下限値未満(0.002mg/L)～0.08mg/Lであり、全ての試料が指定基準(0.01mg/L)に適合した。

全砒素の全含有量は、24～27mg/kgであり、土壌調査ガイドラインに示されている「自然由来の汚染と判断する際の含有量上限値の目安 砒素：39mg/kg」を全試料とも下回っていた。

- ・ふっ素及びその化合物の溶出量は、定量下限値(0.05mg/L)～0.13mg/Lであり、全ての試料が指定基準(0.8mg/L)に適合した。

全ふっ素の全含有量は、250～320mg/kgであり、土壌調査ガイドラインに示されている「自然由来の汚染と判断する際の含有量上限値の目安 ふっ素：700mg/kg」を全試料とも下回っていた。

- ・カコジル酸及びカコジル酸ナトリウムの溶出量は、全ての試料で定量下限値未満(0.002mg/L)であった。

表4.5.2 底面確認調査分析結果

試料名	調査区分	採取深度(m)	溶出量(mg/L)			全含有量(mg/kg)	
			砒素及びその化合物	ふっ素及びその化合物	カコジル酸及びカコジル酸ナトリウム	全砒素	全ふっ素
No. 19	今回調査	80.0m	0.002	0.13	<0.002	26	270
		79.0m	<0.002	0.05	<0.002	24	300
		78.0m	0.008	<0.05	<0.002	26	250
		77.0m	<0.002	<0.05	<0.002	27	270
		76.7m	<0.002	<0.05	<0.002	26	320
	前回調査	底面土壌	<0.002	0.60	<0.002	25	260
定量下限値			0.002	0.05	0.002	0.2	10
指定基準			0.01	0.8	—	—	—

5. 結果の評価

5.1 たまり水のダイオキシン類（水質）調査結果について

たまり水のダイオキシン類は、未ろ過水で170pg-TEQ/L、ろ過水で33pg-TEQ/Lであった。

未ろ過水とろ過水の異性体割合については、ほぼ同じであった。

今回実施のたまり水の毒性等量と異性体割合について、前回実施（平成26年6月調査）と併せて図5.1.1～5.1.2および表5.1.1に示す。

図5.1.1、図5.1.2および表5.1.1に示すように、たまり水の異性体割合は未ろ過水、ろ過水ともに大きな違いはなく、前回実施（平成26年6月調査）のたまり水と類似した結果を示している。今回のたまり水は前回実施（平成26年6月調査）のたまり水に比べ、1,2,3,7,8-PeCDDの割合がやや多く（今回：27.6%，前回：21.3%），2,3,4,7,8-PeCDFの割合がやや少なく（今回：2.5%，前回：8.4%）になっているが、その他の異性体割合は概ね類似しており、たまり水のダイオキシン類は、前回実施（平成26年6月調査）分と同一なもの（2,4,5-T中不純物、PCP中不純物、およびPCBに由来するダイオキシン類が混合して存在していた）と考えられる。

今回のたまり水に含まれていた土粒子は粒子径0.229～29.144 μm の範囲にあり、ろ過に使用したろ紙の孔径0.1 μm より小さい土粒子の確認はなく、土粒子に付着したダイオキシン類の影響はないものと判断される。実際、前回実施（平成26年6月調査）のろ過水（ろ紙の孔径0.5 μm 通過分）のダイオキシン類55pg-TEQ/Lに対して、今回のろ過水は33pg-TEQ/Lと小さい値となっている。

上記のように、ろ過水は孔径0.1 μm のフィルターによって懸濁物質を除去できたが、比較的多くのダイオキシン類がろ過水においても検出された（未ろ過水：170pg-TEQ/L、ろ過試料：33pg-TEQ/L）。

採取時において、たまり水は黄色く着色しており、着色はろ過水でも残存していた。

このことから、試料にはフミン酸やフルボ酸等の腐植物質などが溶存していると思われる状態であった。フミン酸、フルボ酸は一般環境下では溶存しているが（フミン酸については $\text{pH} \leq 2$ で沈降）、ダイオキシン類を保持しやすい性質があり、これらフミン酸、フルボ酸等が多く含まれる水では通常より溶存状態でのダイオキシン類の存在割合が大きくなることが知られている。

これらのことから、ろ過水のダイオキシン類は、水中のフミン酸やフルボ酸などに保持されて、ろ液中に通常より多く存在していた可能性が考えられる。

また、たまり水の電気伝導率は水道水の電気伝導率（100～200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ）を上回ることから、土粒子に吸着する陽イオンが多くなることが確認され、加えて、 pH が8.1で8.0以上あることから、土粒子の沈降は遅いと判断され、未ろ過状態のたまり水はダイオキシン類が土粒子に付着しているものが多いと考えられる。

なお、底面土壌の粒度組成は、細粒土分を主体とする砂質細粒土（FS）で、透水係数 $k_{15} = 1.89 \times 10^{-8} \text{m/s}$ と「非常に低い透水性」を示すことから、たまり水が存在する条件に合致すること、また、ドラム缶底面土壌のNo. 19（620pg-TEQ/g）は、ダイオキシン類の基準に適合するものの比較的高かったが、No. 19より下位の土壌のダイオキシン類は比較的低い値（標高79.5～75.2mで1.0pg-TEQ/g、標高77.0～76.7mで0.35pg-TEQ/g）であり、さら

に異性体のパターンも異なる（p. 43 図5. 6. 1参照）ことから、たまり水が地盤中に浸透する可能性は小さいと判断される。

以上の結果より、たまり水については、地盤の透水係数が小さいことから地下浸透の可能性は低いこと、排水口の水は排水基準に適合していたこと、窪地周囲の床掘りの結果、たまり水の存在は認められなかったことから、ドラム缶発掘場所である窪地にとどまっていると判断され、窪地内のたまり水を土壌とともに処理すれば問題ないと考えられる。

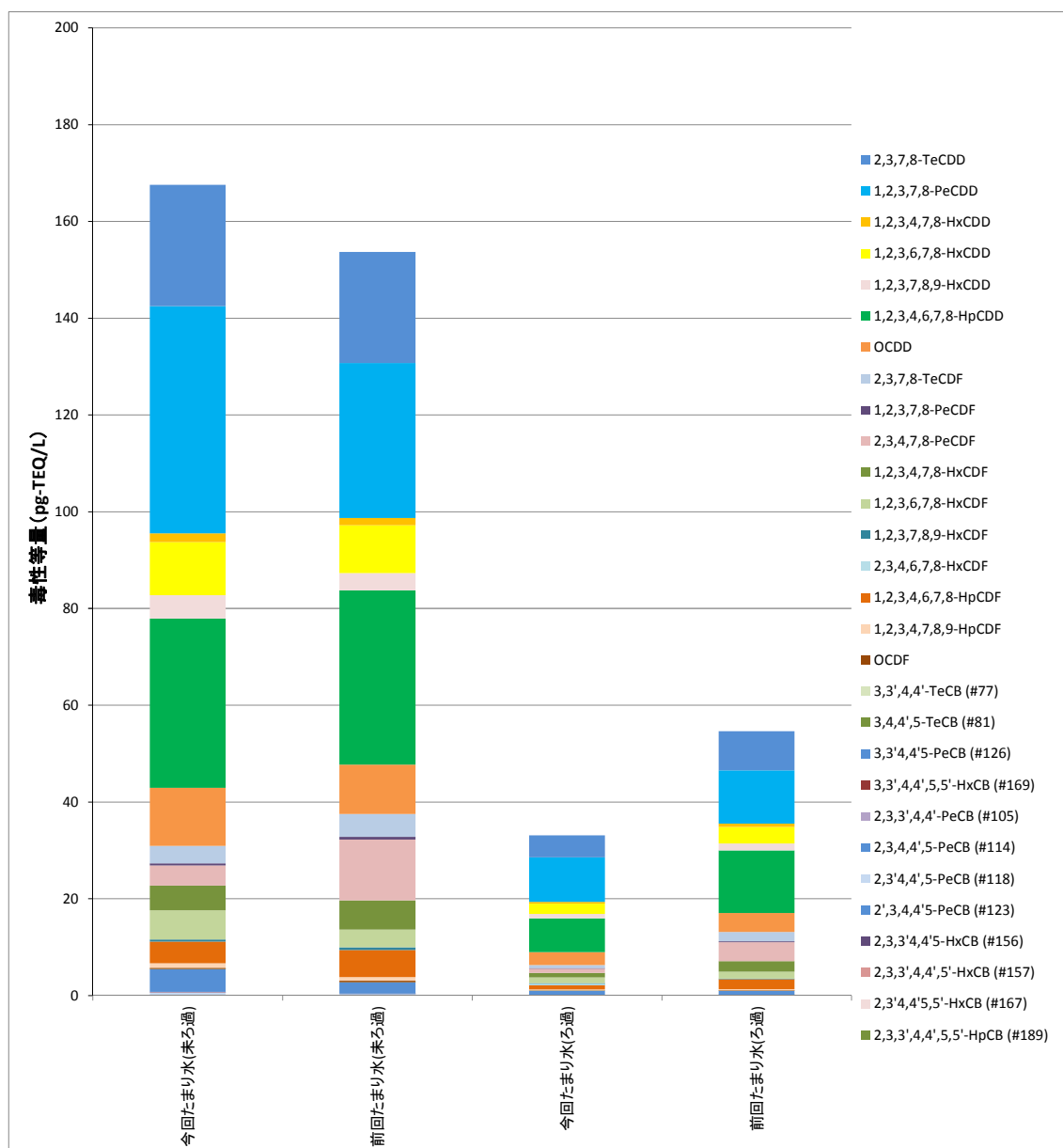


図5. 1. 1 たまり水のダイオキシン類毒性等量と異性体組成

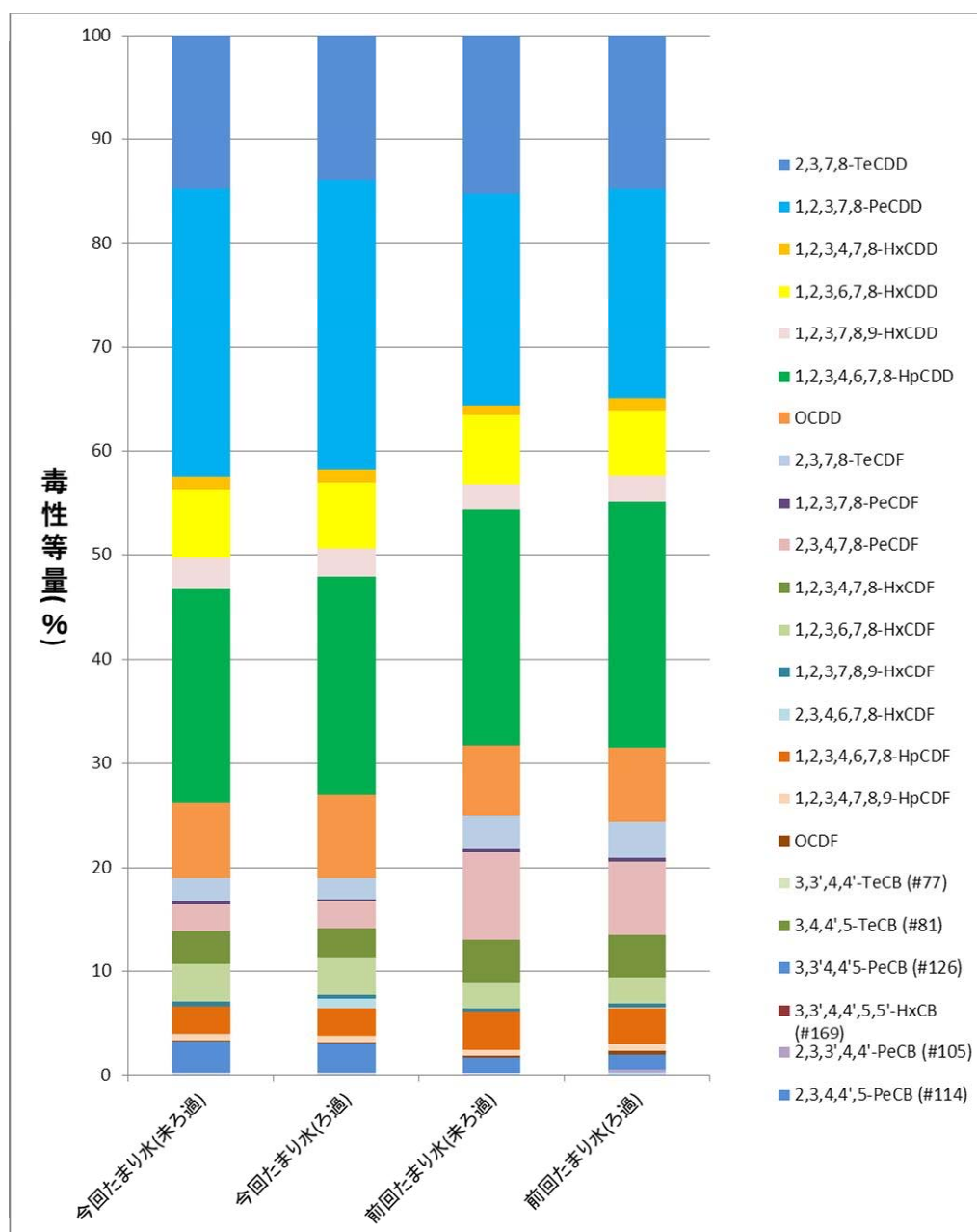


図5.1.2 たまり水のダイオキシン類の異性体割合

表5.1.1 たまり水のダイオキシン類の異性体割合の比較

化合物等の名称等		たまり水（未ろ過水）		たまり水（ろ過水）	
		今回実施分	前回実施分	今回実施分	前回実施分
		異性体割合（％）	異性体割合（％）	異性体割合（％）	異性体割合（％）
PCDDs	2, 3, 7, 8-TeCDD	14.7	15.3	13.9	14.7
	1, 2, 3, 7, 8-PeCDD	27.6	21.3	27.9	20
	1, 2, 3, 4, 7, 8-HxCDD	1.1	1	1.2	1.3
	1, 2, 3, 6, 7, 8-HxCDD	6.5	6.6	6.4	6.2
	1, 2, 3, 7, 8, 9-HxCDD	2.8	2.4	2.7	2.5
	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-HpCDD	20.6	24	21.2	23.6
	OCDD	7.1	6.8	8	7.1
PCDFs	2, 3, 7, 8-TeCDF	2.1	3.1	2	3.5
	1, 2, 3, 7, 8-PeCDF	0.2	0.4	0.2	0.4
	2, 3, 4, 7, 8-PeCDF	2.5	8.4	2.6	7.1
	1, 2, 3, 4, 7, 8-HxCDF	3	4	2.8	4
	1, 2, 3, 6, 7, 8-HxCDF	3.5	2.5	3.6	2.5
	1, 2, 3, 7, 8, 9-HxCDF	0.3	0.4	0.3	0.3
	2, 3, 4, 6, 7, 8-HxCDF	0	0	0.9	0.1
	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-HpCDF	2.6	3.7	2.8	3.6
	1, 2, 3, 4, 7, 8, 9-HpCDF	0.6	0.5	0.6	0.5
	OCDF	0.1	0.2	0.1	0.2
DL-PCBs	3, 3', 4, 4'-TeCB (#77)	0	0	0	0
	3, 4, 4', 5-TeCB (#81)	0	0	0	0
	3, 3', 4, 4', 5-PeCB (#126)	2.8	1.5	2.7	1.4
	3, 3', 4, 4', 5, 5'-HxCB (#169)	0	0	0	0
	2, 3, 3', 4, 4'-PeCB (#105)	0.1	0	0.1	0.1
	2, 3, 4, 4', 5-PeCB (#114)	0	0	0	0
	2, 3', 4, 4', 5-PeCB (#118)	0.2	0.2	0.2	0.2
	2', 3, 4, 4', 5-PeCB (#123)	0	0	0	0
	2, 3, 3', 4, 4', 5-HxCB (#156)	0	0	0	0
	2, 3, 3', 4, 4', 5'-HxCB (#157)	0	0	0	0
	2, 3', 4, 4', 5, 5'-HxCB (#167)	0	0	0	0
	2, 3, 3', 4, 4', 5, 5'-HpCB (#189)	0	0	0	0
毒性等量 (pg-TEQ/L)		170	150	33	55

5.2 排水口の水質調査結果について

排水口のダイオキシン類は1.3pg-TEQ/Lと排水基準(10pg-TEQ/L)に適合しているが、pHが10.5と排水基準(公用水域に排出されるもの：5.8～8.6，海域に排水されるもの：5.0～9.0)の範囲外であった。

排水口の調査は、沖縄県がこれまでも4回実施しており、その調査でもpHが高い値で検出された。今回の調査の結果とこれまでの沖縄県の調査結果を比較してみると同様な傾向が確認できることから、pHが排水基準の範囲外となったのは、沖縄市の人工芝張り替え工事に伴い、グラウンドに再生クラッシャーRCを使用していることから、その影響によるものと考えられる。

今回調査した排水口のダイオキシン類の毒性等量割合を、沖縄県の4回実施分と併せて図5.2.1～5.2.2，表5.2.1に示す。

今回の排水口の水質については、沖縄県の平成26年3月および平成26年7月調査の毒性等量割合と概ね類似しており、毒性等量は1,2,3,4,6,7,8-HpCDD，OCDD，1,2,3,6,7,8-HxCDDの順に高い割合を示す。

沖縄県の平成25年10月調査および平成26年2月調査の毒性等量は、今回の調査結果と比べて小さく、異性体組成が異なっているが、原因としては、平成26年1月末から2月初めにかけて実施したドラム缶発掘工事の影響が考えられる。工事以前の平成25年10月の排水のダイオキシン類は小さく、工事直後の平成26年2月排水のダイオキシン類は平成25年10月排水より大きくなり、平成26年3月・平成26年7月にダイオキシン類はピーク値を示し、今回調査では平成26年3月調査の1/3になっている。

なお、図5.2.2には、今回調査したたまり水と前回（平成26年6月調査）のたまり水の異性体割合を併記したが、排水口の毒性等量割合とは明らかに異なっていることから、ドラム缶発掘工事の影響はあるものの、たまり水の影響は排水口に及んでいないと判断される。

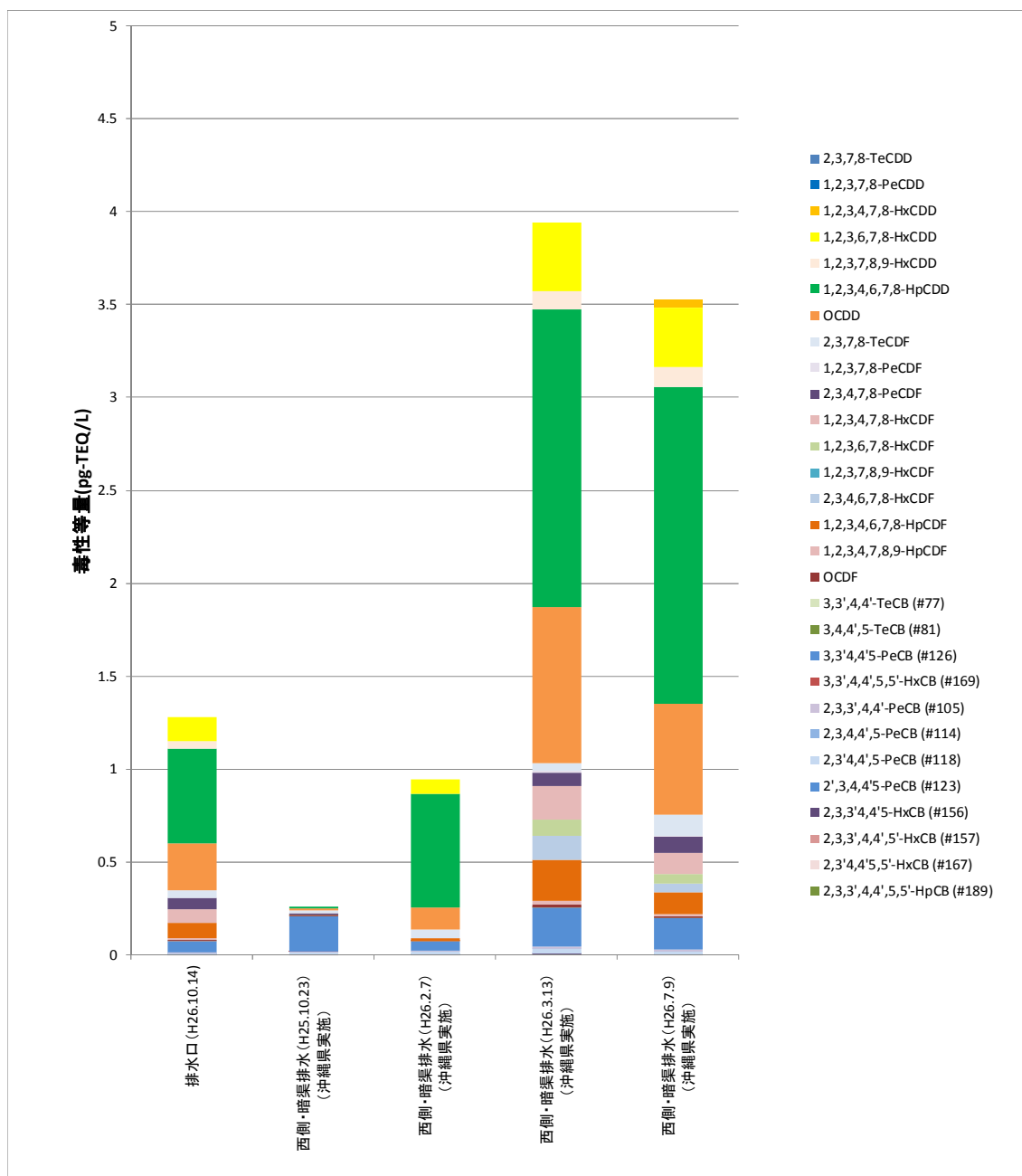


図5. 2. 1 排水口のダイオキシン類毒性等量と異性体組成

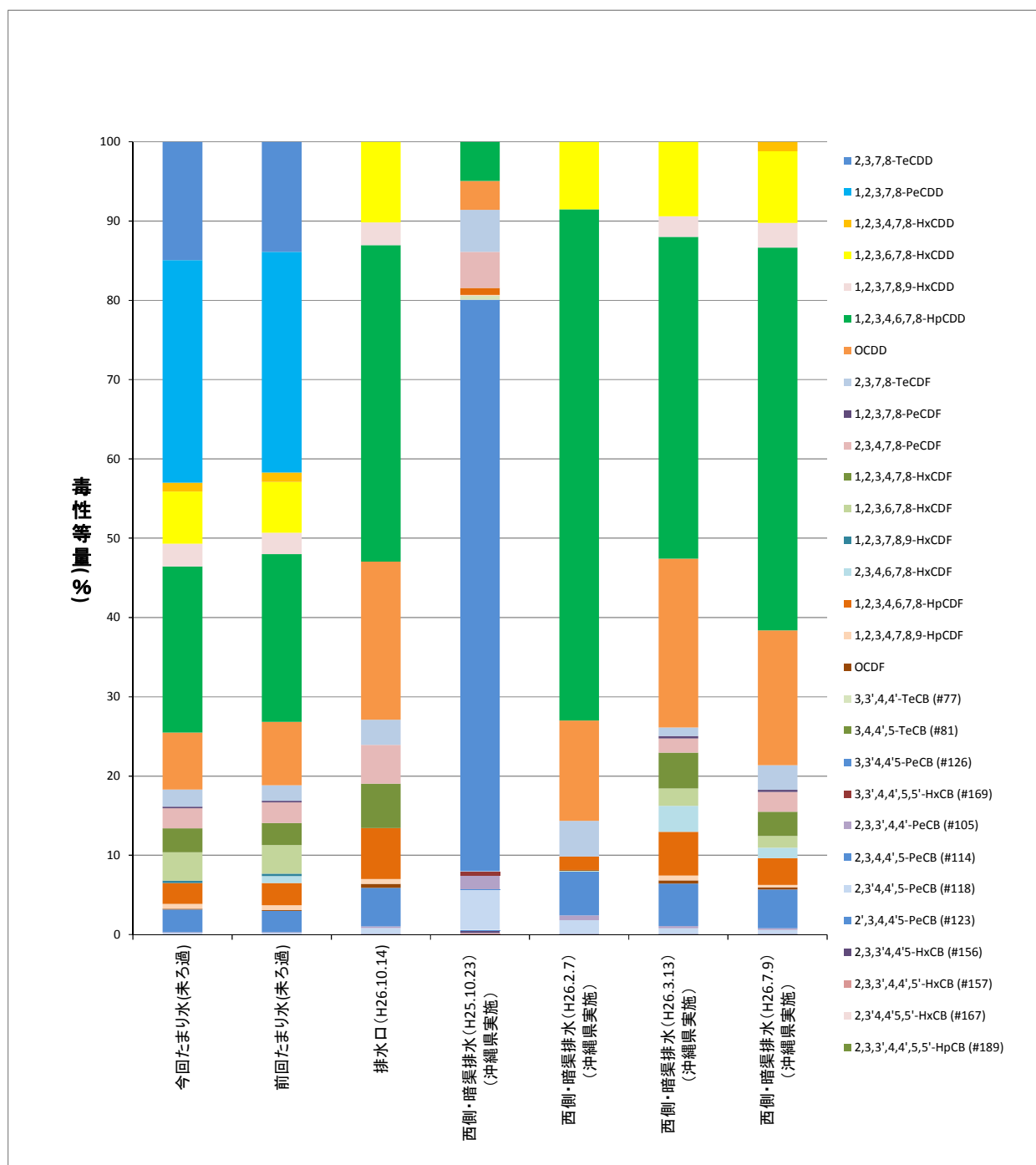


図5.2.2 排水口のダイオキシン類の毒性等量割合（たまり水の結果併記）

表5.2.1 排水口のダイオキシン類の毒性等量割合（たまり水の結果併記）

化合物等の名称等		排水口（今回実施）	西側・暗渠排水（沖縄県実施）			
		H26.10.14採水	H25.10.23採水	H26.2.7採水	H26.3.13採水	H26.7.9採水
		異性体割合（％）	異性体割合（％）	異性体割合（％）	異性体割合（％）	異性体割合（％）
PCDDs	2,3,7,8-TeCDD	0	0	0	0	0
	1,2,3,7,8-PeCDD	0	0	0	0	0
	1,2,3,4,7,8-HxCDD	0	0	0	0	1.2
	1,2,3,6,7,8-HxCDD	10	0	8.5	9.5	9.1
	1,2,3,7,8,9-HxCDD	2.8	0	0	2.6	3.1
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	39.2	5	64.2	41	48.6
	OCDD	19.6	3.7	12.6	21.5	17.1
PCDFs	2,3,7,8-TeCDF	3.1	5.4	4.5	1.1	3.1
	1,2,3,7,8-PeCDF	0	0	0	0.3	0.3
	2,3,4,7,8-PeCDF	4.8	4.6	0	1.8	2.5
	1,2,3,4,7,8-HxCDF	5.5	0	0	4.6	3.1
	1,2,3,6,7,8-HxCDF	0	0	0	2.2	1.5
	1,2,3,7,8,9-HxCDF	0	0	0	0	0
	2,3,4,6,7,8-HxCDF	0	0	0	3.3	1.3
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	6.3	0.9	1.7	5.6	3.4
	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.6	0.1	0	0.6	0.3
	OCDF	0.5	0	0.1	0.4	0.3
DL-PCBs	3,3',4,4'-TeCB（#77）	0	0.5	0.1	0	0
	3,4,4',5'-TeCB（#81）	0	0	0	0	0
	3,3',4,4',5-PeCB（#126）	4.8	73.1	5.5	5.4	4.9
	3,3',4,4',5,5'-HxCB（#169）	0	0.5	0	0	0
	2,3,3',4,4',5-PeCB（#105）	0.2	1.8	0.6	0.3	0.2
	2,3,4,4',5-PeCB（#114）	0	0.1	0	0	0
	2,3',4,4',5-PeCB（#118）	0.7	5.1	1.7	0.7	0.5
	2',3,4,4',5-PeCB（#123）	0	0.1	0	0	0
	2,3,3',4,4',5-HxCB（#156）	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1
	2,3,3',4,4',5'-HxCB（#157）	0	0.1	0	0	0
	2,3',4,4',5,5'-HxCB（#167）	0	0.1	0	0	0
	2,3,3',4,4',5,5'-HpCB（#189）	0	0	0	0	0
毒性等量（pg-TEQ/L）		1.3	0.26	0.95	3.9	3.5

5.3 ドラム缶底面土壌のDDT類調査結果について

No.34ドラム缶底面1m下(標高79.5m)の土壌でDDT類調査を実施した。

分析の結果, 溶出量は定量下限値(0.001mg/L)未満で溶出量指針値(0.026mg/L)に適合した。含有量は定量下限値(0.1mg/kg)未満で含有量指針値(50mg/kg)に適合した。

このことからDDT類による汚染対策の深さは, 指針値に適合した標高79.5mまでとする。

対策の平面範囲としては, No. 34を取り囲む底面土壌のDDT類が指針値に適合しているNo. 31, 32, 33, 37を網羅する範囲とする。

対策のイメージを図5.3.1に示す。

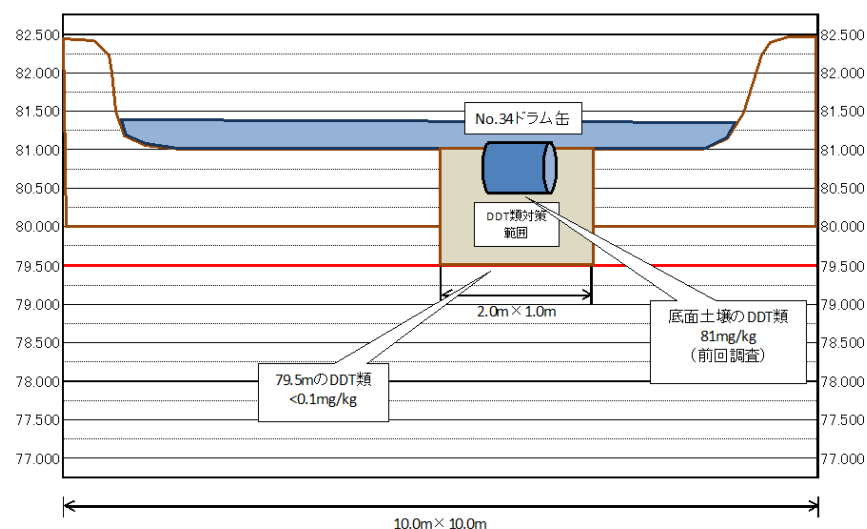
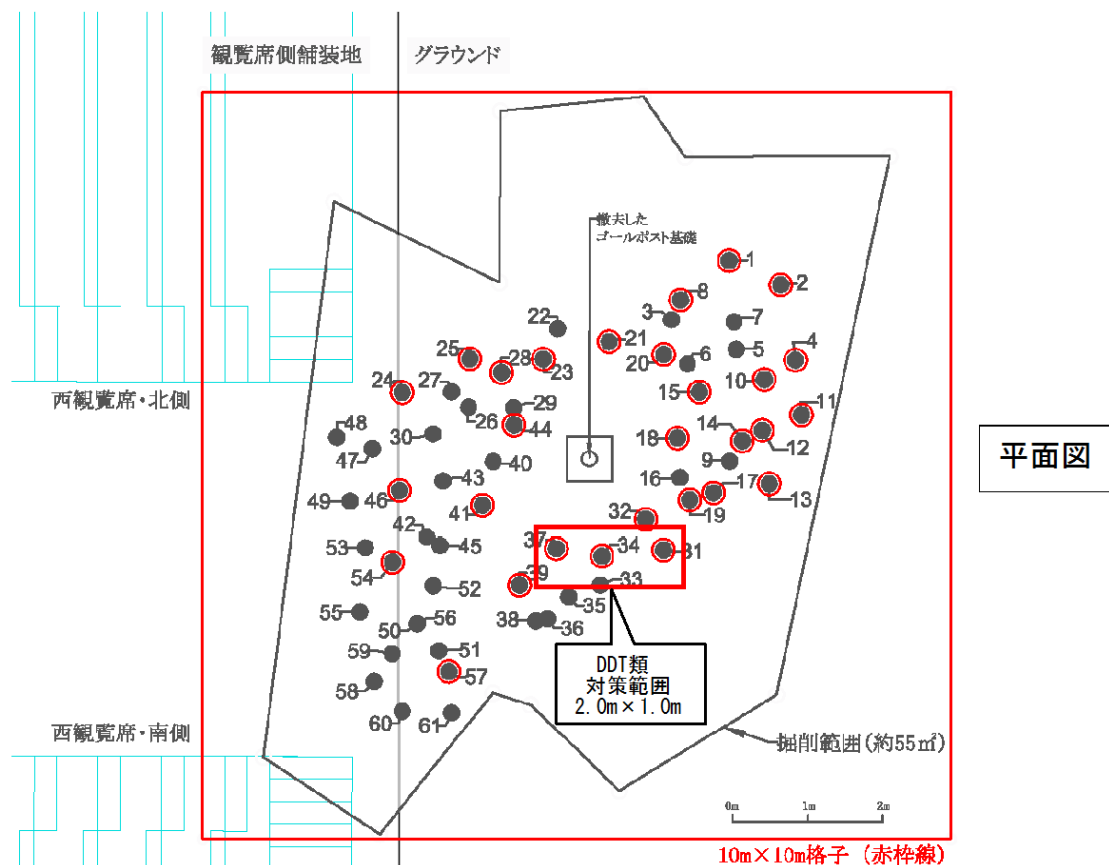


図5.3.1 DDT類土壌の対策範囲図

5.4 ドラム缶底面土壌の油分調査結果について

底面土壌の油分(TPH)が最も高い結果を示したNo.17のドラム缶底面土壌の位置でボーリング調査を実施した結果、油分(n-ヘキサン抽出物質)は標高80.0m, 79.0m, 78.0mで定量下限値(100mg/kg)未満であったが、油臭は標高80.0m, 79.0m, 78.0mで油汚染対策ガイドランに示された6段階の内、油臭3(楽に感知できるにおい)であり、標高77.0mおよび76.7mでは油臭0(無臭)であった。

これら油分および油臭に対する対策方法は、油分については不検出を確認した深度までの掘削除去、油臭については油臭0(無臭)を確認できた深度までの掘削除去の他、原位置浄化(生石灰攪拌混合による無臭化)および改良土壌の埋め戻しが考えられる。

油分および油臭汚染対策範囲を図5.4.1に示す。

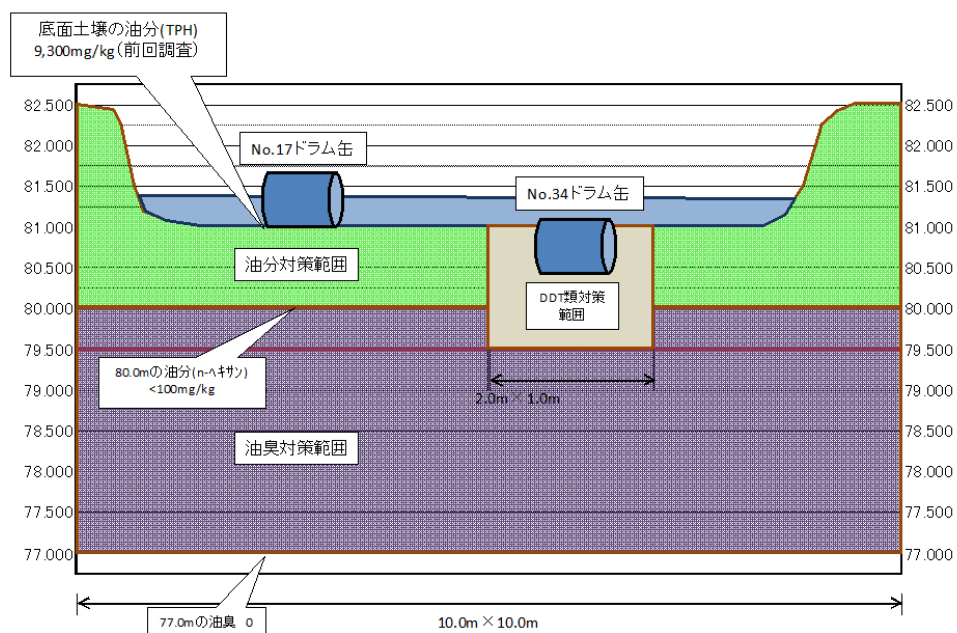
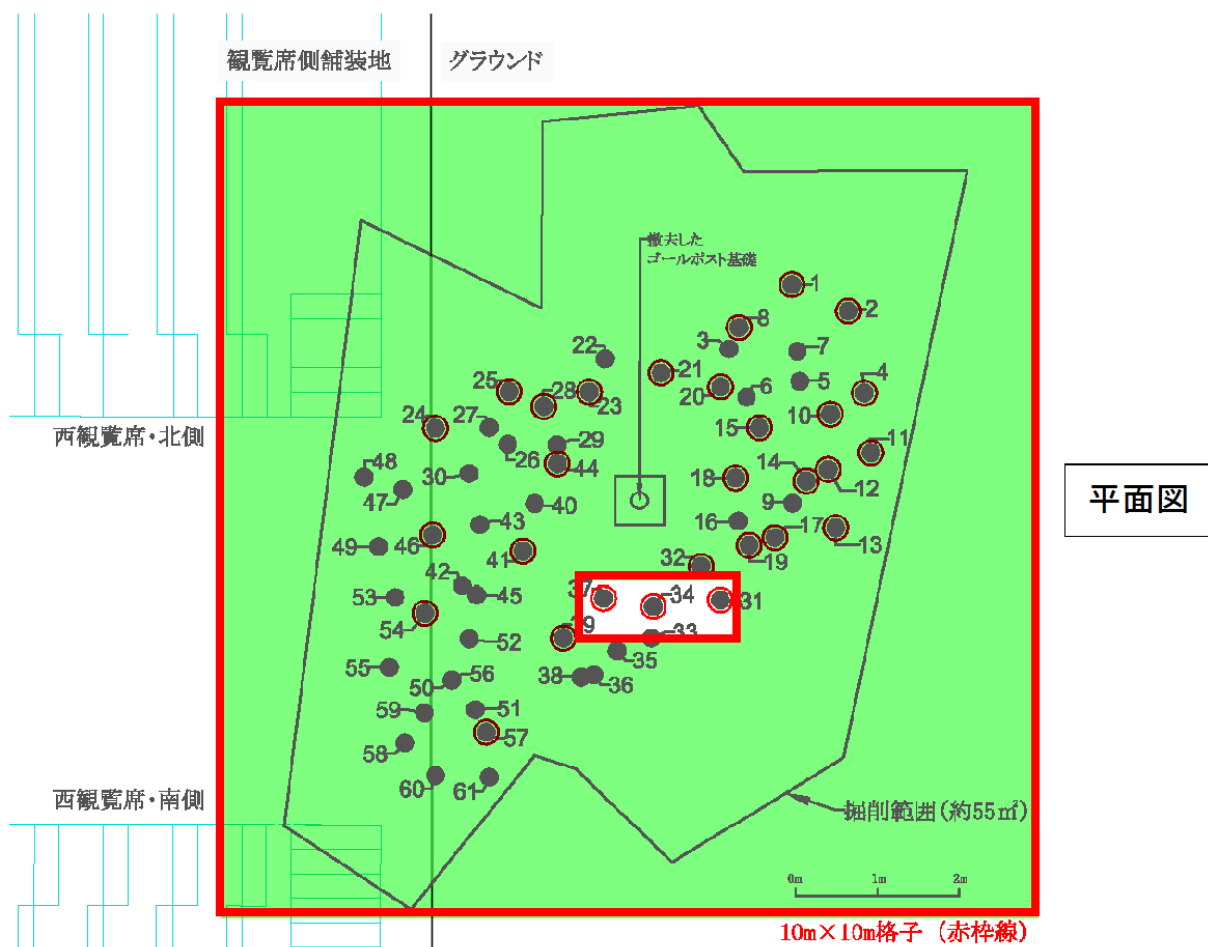


図5.4.1 油分および油臭対策範囲図

5.5 ドラム缶付着物の油分分析結果について

ドラム缶付着物等の油分 (TPH) が最も高い値を示したNo.17を重量法の油分 (n-ヘキサン抽出物質) で分析した結果, n-ヘキサン抽出物質含有量が110,000mg/kg (11%) であった。

ドラム缶付着物等を廃棄物処理法に従って処分する場合, 油分の基準は重量法による分析で5% (50,000mg/kg) が目安であり, 分析結果が5%以上あることから, 全61検体 (ドラム缶付着物) を汚泥と廃油の混合物とみなし処分することになる。

5.6 底面確認調査結果について

(1) ダイオキシン類

底面土壌のダイオキシン類は、全ての結果が環境基準値（1,000pg-TEQ/g）を下回っており、本調査で発見したドラム缶は全て発掘・撤去しているが、底面土壌は一般的な土壌中のダイオキシン類濃度より高い値を示す傾向がみられた。このことから、底面土壌のダイオキシン類濃度を確認した。

底面土壌のダイオキシン類含有量分析結果は、標高79.5～79.2mの試料で1.0（pg-TEQ/g）、標高77.0～76.7mの試料で0.35（pg-TEQ/g）であり、土壌環境基準（1,000pg-TEQ/g）に適合した。

なお、沖縄県で実施している「環境中のダイオキシン類監視結果」（沖縄県HPで公開、環境部環境保全課 水環境・赤土対策班）によると、平成12～18年度における土壌のダイオキシン類は一般環境で0.0091～7.3 pg-TEQ/g、発生源周辺で0.032～43 pg-TEQ/gであり、今回の結果は沖縄県の一般環境のダイオキシン類の範囲内であった。

今回調査した土壌のダイオキシン類の毒性等量割合を、平成26年6月調査のドラム缶底面土壌と併せて図5.6.1、表5.6.1に示す。

図5.6.1によると、No.19ドラム缶底面土壌は、2,3,7,8-TeCDDの毒性等量割合が高い。これに対して、標高79.5～79.2m試料は1,2,3,7,8-PeCDD、標高77.0～76.7m試料はOCDDの毒性等量割合が高く、No.19ドラム缶底面土壌で毒性等量が高い割合で含まれていた2,3,7,8-TeCDDが、今回はほとんど0であった。

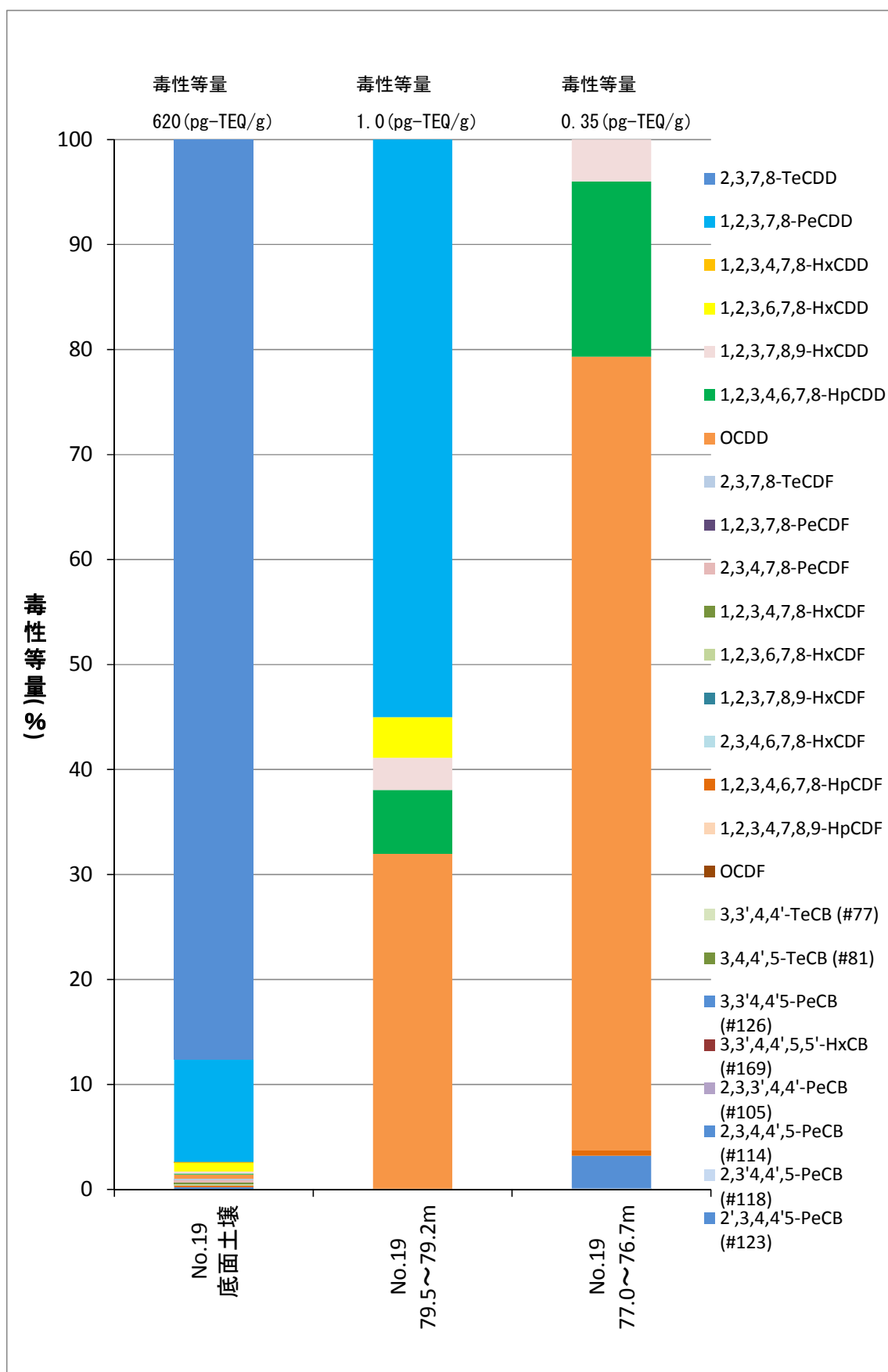


図5. 6. 1 No. 19土壌のダイオキシン類の毒性等量割合

表5.6.1 No. 19土壌のダイオキシン類の毒性等量割合

試料名		No. 19 底面土壌 (H26年6月調査)		No. 19 79.5~79.2m		No. 19 77.0~76.7m	
化合物の名称等		実測濃度 (pg/g-dry)	毒性等量 (pg-TEQ/g-dry)	実測濃度 (pg/g-dry)	毒性等量 (pg-TEQ/g-dry)	実測濃度 (pg/g-dry)	毒性等量 (pg-TEQ/g-dry)
PCDDs	1, 3, 6, 8-TeCDD	0.7	—	0.39	—	0.08	—
	1, 3, 7, 9-TeCDD	0.4	—	0.13	—	ND	—
	2, 3, 7, 8-TeCDD	540	540	0.12	0	ND	0
	TeCDDs	570	—	1.2	—	0.27	—
	1, 2, 3, 7, 8-PeCDD	60	60	0.57	0.57	ND	0
	PeCDDs	130	—	3.5	—	ND	—
	1, 2, 3, 4, 7, 8-HxCDD	3.1	0.31	0.08	0	ND	0
	1, 2, 3, 6, 7, 8-HxCDD	51	5.1	0.4	0.04	ND	0
	1, 2, 3, 7, 8, 9-HxCDD	9.6	0.96	0.32	0.032	0.14	0.014
	HxCDDs	210	—	10	—	1.1	—
	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-HpCDD	540	0.54	6.3	0.063	5.8	0.058
	HpCDDs	860	—	11	—	12	—
	OCDD	7800	2.34	1100	0.33	880	0.264
	Total PCDDs	9600	614	1100	1.04	890	0.336
PCDFs	1, 2, 7, 8-TeCDF	3.1	—	ND	—	ND	—
	2, 3, 7, 8-TeCDF	3.2	0.32	ND	0	ND	0
	TeCDFs	110	—	0.15	—	0.05	—
	1, 2, 3, 7, 8-PeCDF	3.4	0.102	ND	0	ND	0
	2, 3, 4, 7, 8-PeCDF	3.1	0.93	ND	0	ND	0
	PeCDFs	72	—	0.26	—	0.05	—
	1, 2, 3, 4, 7, 8-HxCDF	14	1.4	ND	0	ND	0
	1, 2, 3, 6, 7, 8-HxCDF	4.2	0.42	ND	0	ND	0
	1, 2, 3, 7, 8, 9-HxCDF	0.9	0.09	ND	0	ND	0
	2, 3, 4, 6, 7, 8-HxCDF	1.7	0.17	0.08	0	ND	0
	HxCDFs	280	—	0.33	—	0.19	—
	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-HpCDF	100	1	0.12	0.0012	0.18	0.0018
	1, 2, 3, 4, 7, 8, 9-HpCDF	10	0.1	ND	0	ND	0
	HpCDFs	410	—	0.37	—	0.59	—
	OCDF	230	0.069	0.3	0.00009	0.4	0.00012
	Total PCDFs	1100	4.6	1.4	0.00129	1.3	0.00192
Total (PCDDs+PCCDFs)		11000	620	1100	1	890	0.34
DL-PCBs	3, 3', 4, 4'-TeCB (#77)	130	0.013	0.07	0	0.27	0.000027
	3, 4, 4', 5'-TeCB (#81)	2.5	0.00075	ND	0	ND	0
	3, 3', 4, 4', 5'-PeCB (#126)	9.5	0.95	ND	0	0.11	0.011
	3, 3', 4, 4', 5, 5'-HxCB (#169)	0.22	0	ND	0	ND	0
	Total non-ortho PCBs	140	0.964	0.07	0	0.38	0.011
	2, 3, 3', 4, 4'-PeCB (#105)	870	0.0261	0.75	0.0000225	3	0.00009
	2, 3, 4, 4', 5'-PeCB (#114)	43	0.00129	ND	0	0.17	0
	2, 3', 4, 4', 5'-PeCB (#118)	2400	0.072	2.8	0.000084	11	0.00033
	2', 3, 4, 4', 5'-PeCB (#123)	31	0.00093	ND	0	0.17	0
	2, 3, 3', 4, 4', 5'-HxCB (#156)	250	0.0075	0.33	0.000009	1.8	0.000054
	2, 3, 3', 4, 4', 5'-HxCB (#157)	59	0.00177	0.1	0	0.47	0.0000141
	2, 3', 4, 4', 5, 5'-HxCB (#167)	91	0.00273	0.16	0	0.77	0.0000231
	2, 3, 3', 4, 4', 5, 5'-HpCB (#189)	12	0.00036	ND	0	0.18	0.0000054
	Total mono-ortho PCBs	3800	0.113	4.1	0.000116	18	0.000517
	Total DL-PCBs	3900	1.1	4.2	0.00012	18	0.012
Total (PCDDs+PCCDFs+DL-PCBs)		—	620	—	1.0	—	0.35

(2) 砒素およびふっ素

平成26年6月調査では、底面土壤で砒素(溶出量)およびふっ素(溶出量)が指定基準値をわずかに超過しており、その原因が自然由来であることの確認のために、深度方向の砒素(溶出量)およびふっ素(溶出量)、全砒素及び全ふっ素の含有量、カコジル酸及びカコジル酸ナトリウム(溶出量)を実施した。

分析の結果、砒素およびふっ素の溶出量は全試料(標高80.0m, 79.0m, 78.0m, 77.0m, 76.7m)で指定基準に適合した。

カコジル酸及びカコジル酸ナトリウムは定量下限値(0.002mg/kg)未満であった。

全砒素の含有量は、平成26年6月調査では16~28mg/kg、今回調査では24~27mg/kgであり、全ふっ素の含有量は、平成26年6月調査では130~520mg/kg、今回調査では250~320mg/kgであった。

全砒素および全ふっ素の含有量に大きなばらつきがなく(図5.6.2および図5.6.4参照)、深度方向の全砒素および全ふっ素の含有量は、ほぼ直線的な分布状況(図5.6.3および図5.6.5参照)を示し、土壤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に示されている「自然由来の汚染と判断する際の含有量上限値の目安 砒素：39mg/kg ふっ素：700mg/kg」をいずれも下回っている等により、底面土壤の砒素およびふっ素の土壤溶出量基準超過については、自然由来によるものであったと考えられる。

したがって、これまでの調査で確認された砒素およびふっ素の指定基準の超過は、自然由来によると結論付けられていたことについて妥当であったと判断される。

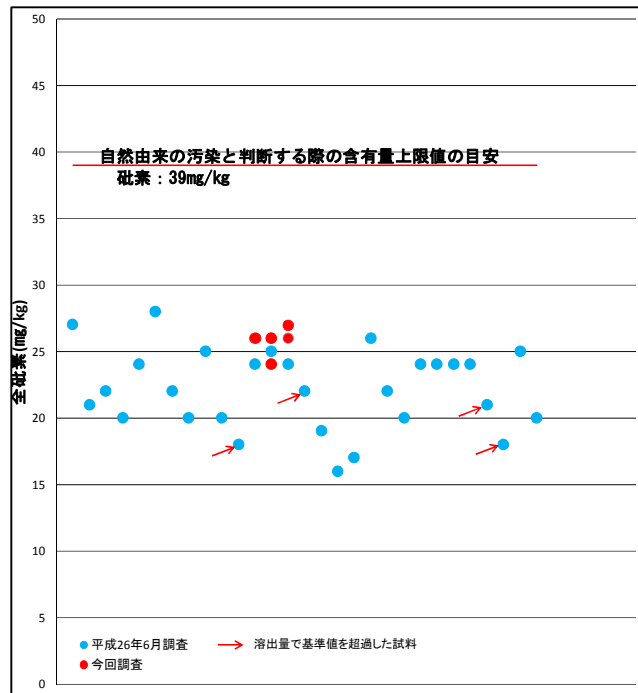


図5.6.2 全窒素の分布図

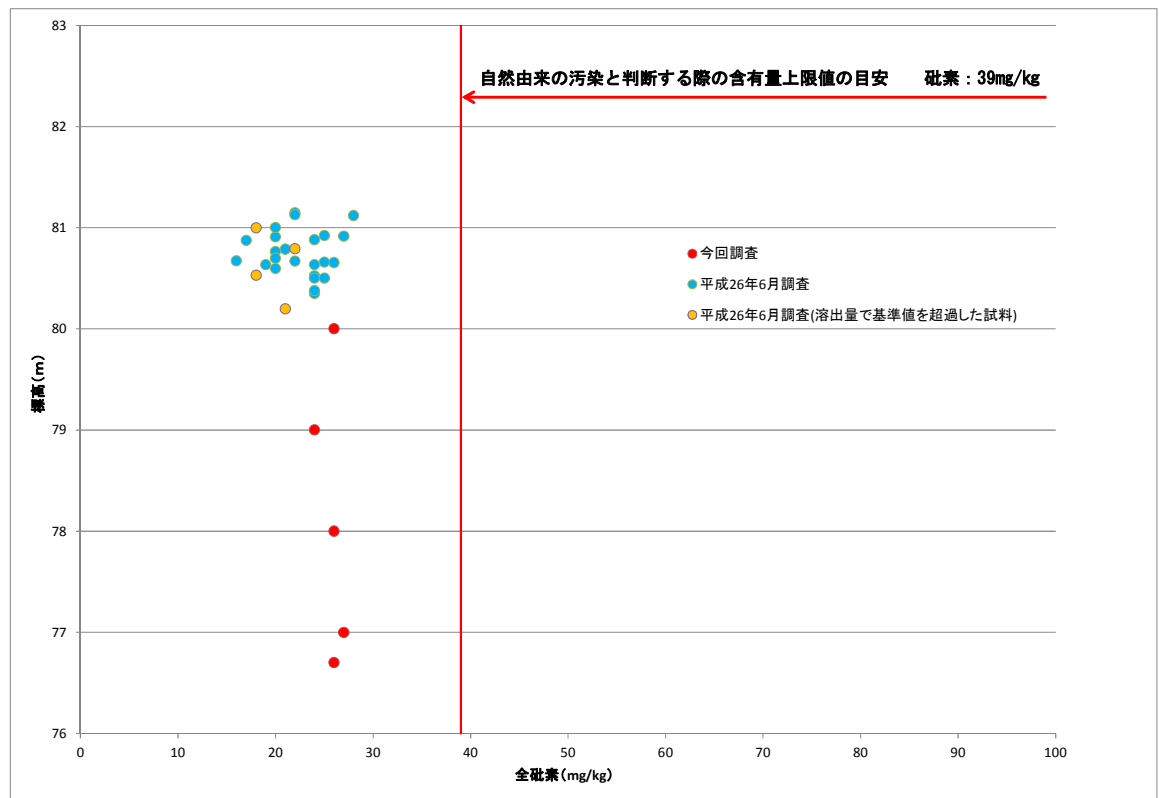


図5.6.3 全窒素の深度分布図

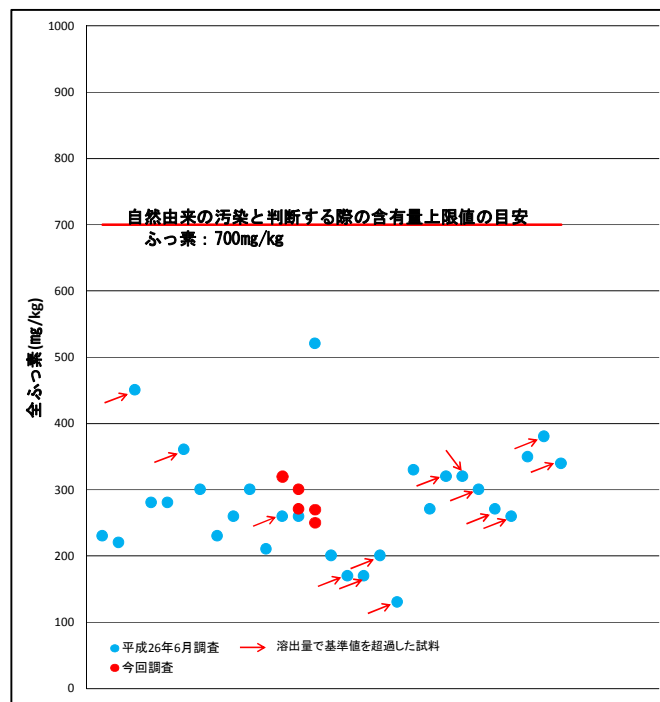


図5.6.4 全ふっ素の分布図

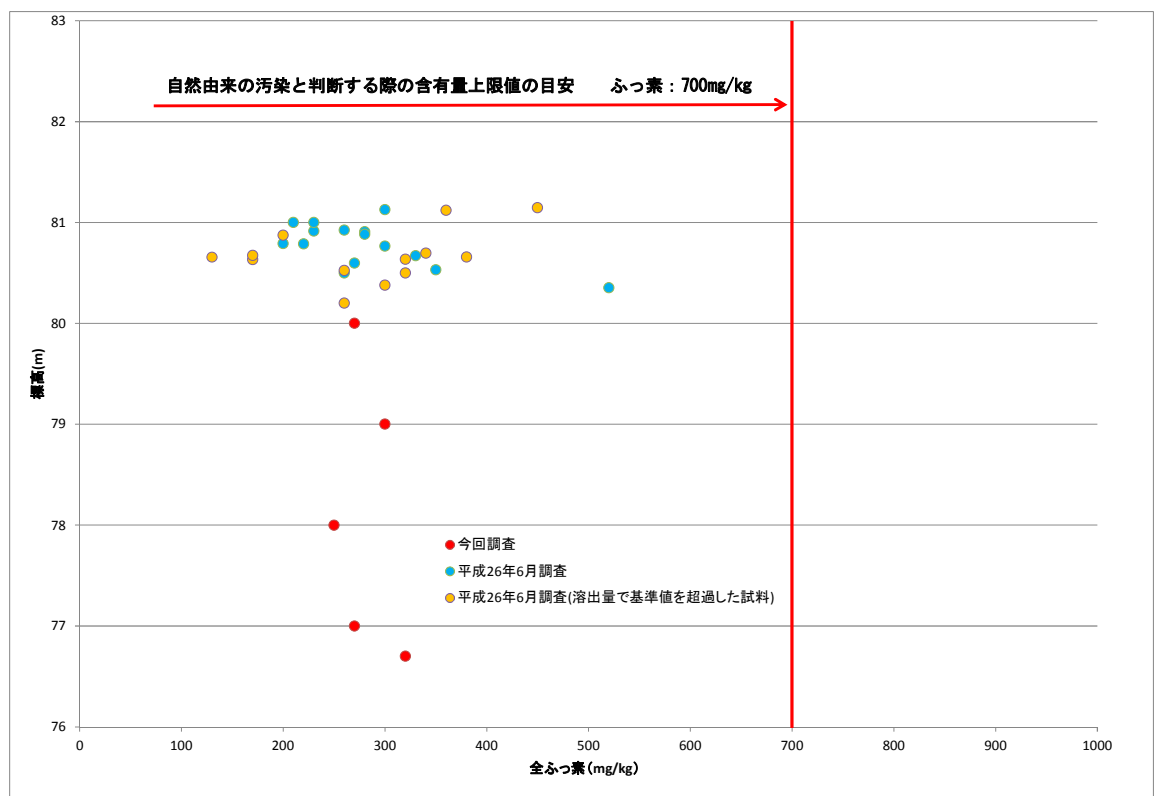


図5.6.5 全ふっ素の深度分布図

5.7 調査結果のまとめ

【たまり水について】

たまり水については未ろ過水、ろ過水ともにダイオキシン類の毒性等量が比較的高い値を示し、2,4,5-T中不純物、PCP中不純物、およびPCBに由来するダイオキシン類が混合して存在していたと考えられる。

今回の窪地周囲のたまり水調査の結果、窪地周囲にはたまり水の存在は認められなかったこと、窪地底面土壌の透水試験の結果、窪地底面は非常に低い透水性を示していることから、たまり水は窪地内にとどまっていること、たまり水と排水口のダイオキシン類の毒性等量割合は明らかに異なること、さらに、底面土壌のダイオキシン類は土壤環境基準に適合し、排水口のダイオキシン類は排水基準に適合していたことから、周囲への環境に影響を及ぼす量の放出はないと判断される。

【砒素及びふっ素について】

平成26年6月調査では、底面土壌で砒素(溶出量)およびふっ素(溶出量)が指定基準値をわずかに超過しており、その原因が自然由来であることの確認のために、深度方向の砒素(溶出量)およびふっ素(溶出量)、全砒素及び全ふっ素の含有量、カコジル酸及びカコジル酸ナトリウム(溶出量)を実施した。その結果、砒素およびふっ素の基準超過は自然由来であることが確認された。

今回の調査の結果、砒素およびふっ素の溶出量は全試料(標高80.0m, 79.0m, 78.0m, 77.0m, 76.7m)で指定基準に適合した。

したがって、ドラム缶底面土壌の砒素およびふっ素の基準超過箇所については、油分の対策(標高80.0mまで掘削除去)で除去されるため、問題はないと判断される。

【土壌のダイオキシン類について】

底面土壌のダイオキシン類含有量分析結果は、標高79.5～79.2mの試料で1.0 (pg-TEQ/g)、標高77.0～76.7mの試料で0.35 (pg-TEQ/g)であり、土壤環境基準(1,000pg-TEQ/g)に適合した。

なお、沖縄県で実施している「環境中のダイオキシン類監視結果」(沖縄県HPで公開、環境部環境保全課 水環境・赤土対策班)によると、平成12～18年度における土壌のダイオキシン類は一般環境で0.0091～7.3 pg-TEQ/g、発生源周辺で0.032～43 pg-TEQ/gであり、今回の結果は沖縄県の一般環境のダイオキシン類の範囲内であった。

以上のことから、土壌のダイオキシン類については、特に対策の必要はなく、比較的数字の高かったNo.19のドラム缶底面土壌(ダイオキシン類含有量620pg-TEQ/g、標高80.5m付近)についても、油分の対策(標高80.0mまで掘削除去)で除去されるため、問題はないと判断される。

今回の調査の結果と対策範囲を図5.7.1に示す。

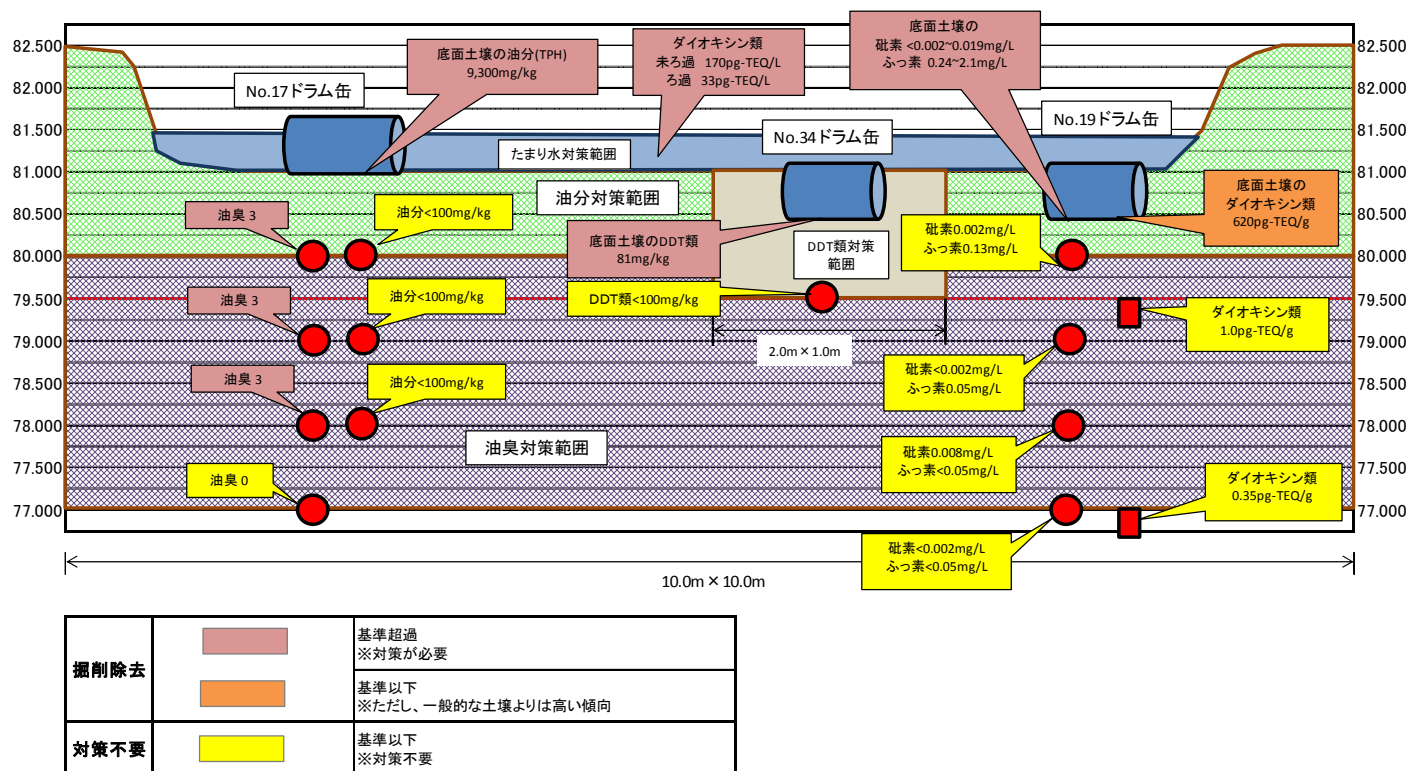
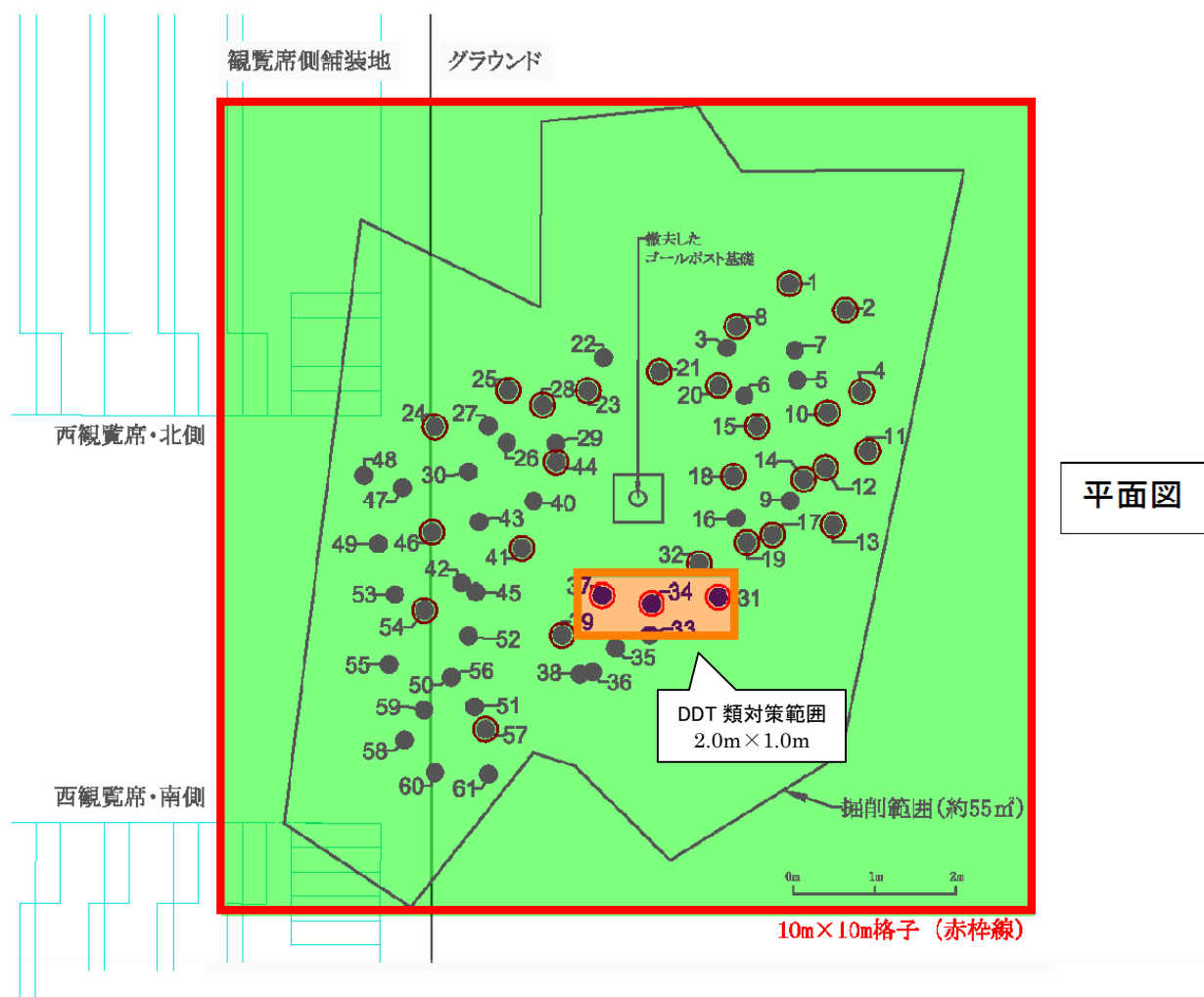


図5.7.1 結果のまとめと対策範囲図

【たまり水および基準超過土壌の処理について】

1) たまり水

たまり水のダイオキシン類については、未ろ過水で170(pg-TEQ/L)，ろ過水で33(pg-TEQ/L)であったことから、未処理では排水できない（排水基準10pg-TEQ/L）ため、処分等の対策が必要である。

たまり水は天候による変化はあるものの、量的にはおおそ数百リットル程度と比較的少ないと考えられることから、工程面や経済性を考慮すると、現地での浄化処理対策よりも場外処分が適切と考えられる。

処分の方法としては、下記の手順で行うこととする。

- ① 現地にノッチタンクを設置し、窪地に釜場を設け、たまり水を揚水ポンプによりノッチタンクに貯水する。
- ② ノッチタンク内で汚泥（土粒子）を沈殿させた後の水をドラム缶に封入する。
- ③ ドラム缶を受入施設に搬入し処分を委託する。
- ④ なお、2)～4)の土壌の掘削作業中にたまり水が発生した場合には、その都度①、②の手順でたまり水の貯水を行うこととする。

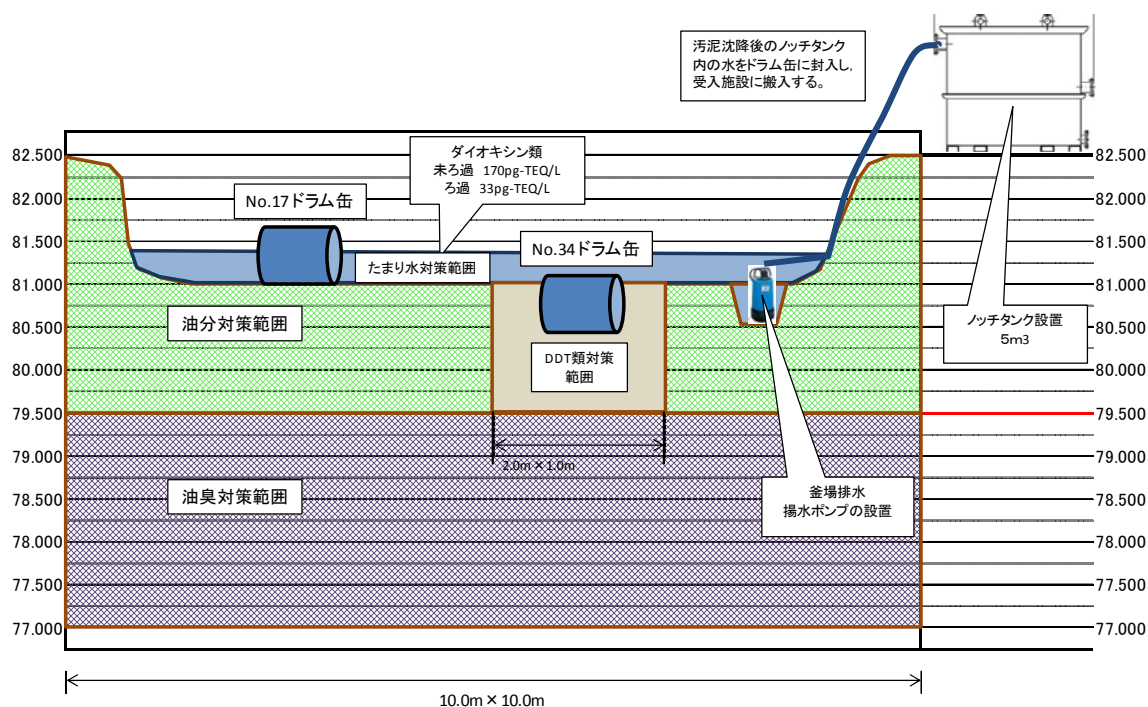


図5.7.2 たまり水対策のイメージ図

2) 基準超過土壌（DDT類，油分，砒素，ふっ素）

平成26年6月調査では、底面土壌29カ所のうちNo. 34のドラム缶底面土壌のみがDDT類（塩素系殺虫剤）の含有量指針値50mg/kgを超過し81mg/kgと検出された。また、ドラム缶底面土壌の砒素（溶出量）が定量下限値（0.002mg/L）未満～0.019mg/L（No. 34では0.003mg/L），ふっ素（溶出量）が0.24～2.1mg/L（No. 34では0.82mg/L）であり、一部指定基準値（砒素0.01mg/L，ふっ素0.8mg/L）を超過し、油分（TPH）については、No. 34で6,300mg/kgと比較的高い値を示した。

今回、No. 34ドラム缶底面1m下(標高79.5m)の土壌でDDT類調査を実施した結果、溶出量は定量下限値(0.001mg/L)未満で溶出量指針値(0.026mg/L)に適合した。含有量は定量下限値(0.1mg/kg)未満で含有量指針値(50mg/kg)に適合した。

また、No. 34近傍のNo. 19では、調査した標高80.0mより砒素、ふっ素ともに指定基準以下であり、油分(TPH)が最も高かったNo. 17において、油分(ノルマルヘキサン抽出物質)は標高80.0mで定量下限値(100mg/kg)未満であった。

このことからDDT類、油分、砒素、ふっ素による汚染対策の深さは、DDT類の指針値に適合した標高79.5mまでとする。

対策の平面範囲としては、No. 34を取り囲む底面土壌のDDT類が指針値に適合しているNo. 31, 32, 33, 37を網羅する範囲(2m×1m)とする(図5.7.1参照)。

対策としては、汚染土量が比較的少量であることから、掘削除去および埋立処分が考えられる。

3) 基準超過土壌(油分、砒素、ふっ素)

平成26年調査では、ドラム缶底面土壌の砒素(溶出量)が定量下限値(0.002mg/L)未満～0.019mg/L、ふっ素(溶出量)が0.24～2.1mg/Lであり、一部指定基準値(砒素0.01mg/L、ふっ素0.8mg/L)を超過した。また、底面土壌の油分(TPH)は、No. 17において全量で9,300mg/kgと比較的大きい値を示した。

今回の深度方向調査においては、砒素、ふっ素ともに指定基準以下であり、油分(ノルマルヘキサン抽出物質)については標高80.0mで定量下限値(100mg/kg)未満であったことから、対策深度は標高80.0mとなる。

しかし、2)の対策深度は79.5mであり、対策工事を実施する際に、2)の対策範囲と明確に区別することは困難であることから、油分も2)の対策深度と同様の79.5mまで対策を行うことを提案する。

これらの対策としては、油分については対策範囲が比較的小規模(平面範囲10m×10m、対策深度約3.0m: 標高79.5mまで)であることから、掘削除去および埋立処分またはセメント原材料化が考えられる。

4) 基準超過土壌(油臭)

底面土壌の油分(TPH)が最も高い結果を示したNo.17のドラム缶底面土壌の位置でボーリング調査を実施した結果、油分(n-ヘキサン抽出物質)は標高80.0m, 79.0m, 78.0mで定量下限値(100mg/kg)未満であったが、油臭は標高80.0m, 79.0m, 78.0mで油汚染対策ガイドランに示された6段階の内、油臭3(楽に感知できるにおい)であり、標高77.0mおよび76.7mでは油臭0(無臭)であった。

したがって、油臭の対策深度は油臭0(無臭)が確認された標高77.0mとする。

油臭の対策については、対策範囲(平面範囲10m×10m、対策深度3.0m: 標高80.0～77.0mまで)において、原位置浄化(生石灰攪拌混合による無臭化)および改良土壌の埋め戻しが考えられる。

以上， 1) ～ 4) の対策についてまとめると図5.7.3のとおりとなる。

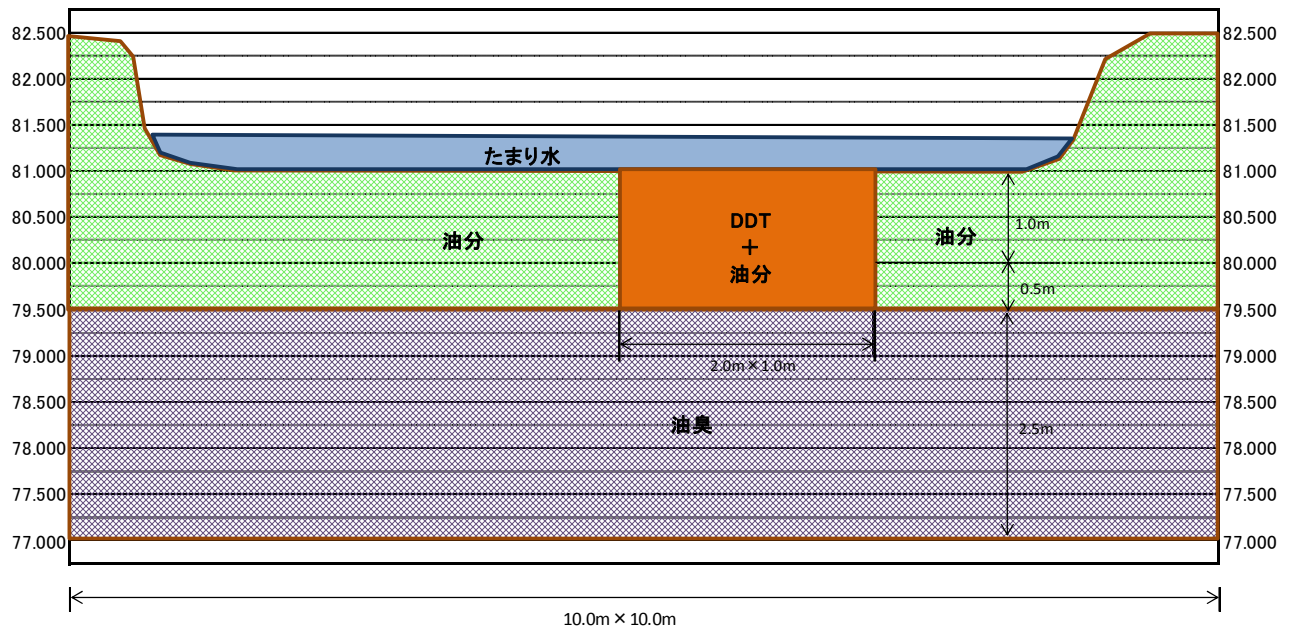


図5.7.3 たまり水，基準超過土壌の対策範囲図