

4.1.1 土壤水分の鉛直分布調査

(1) 調査目的

本調査は、汚染物質の鉛直上向きの移動の要因の一つと考えられる毛管現象の程度の確認等を目的とし、合わせて土壌中からの汚染空気の曝露量等の算定に必要な土壌物理特性に係るパラメーターの値を取得することを目的とした。

(2) 調査内容

土壤水分の鉛直分布調査を表 4.11.1 に示す内容で行った。

調査地点の位置を図 4.11.1 に示し、調査地点と試験項目の対応を表 4.11.2 に示す。

調査対象深度は東京ガス(株)豊洲工場操業時の地盤面付近(A.P.+4m 付近)～想定地下水位(A.P.+2m)の不飽和帯に設定することを計画していたが、調査実施時の地下水位が想定地下水位(A.P.+2m)よりも高かったため、調査実施時の地下水位よりも上の不飽和帯の中で設定することとした。また、盛土部では、土壌中からの汚染空気の曝露量等を算定する際に必要となる可能性のある土壌物理特性を把握した。

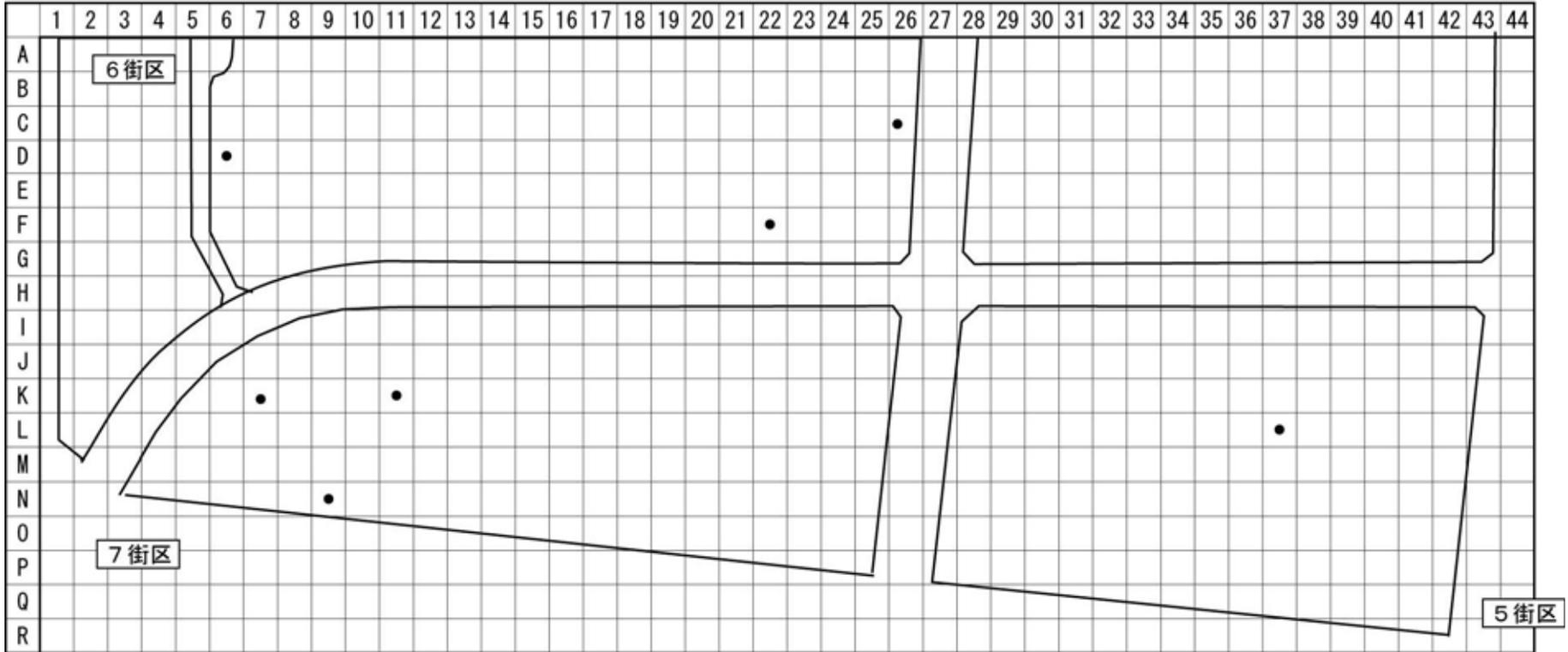
なお、保水性試験を行った土壌試料の内、7街区の2試料(K-11、N-9)については、現地で採取した土壌試料を一度ときほぐし、所定の密度となるよう突き固めた試料(かく乱試料)を用いている。

表 4.11.1 土壤水分の鉛直分布調査の概要

項目	内容
現地調査期間	平成 19 年 8 月 30 日～9 月 14 日
調査項目	土壌物理特性 湿潤密度、土粒子密度、含水比、粒度、保水性、有機物含有量
調査方法	ボーリングにより必要深度のなく乱土壌試料を採取・試験
調査地点	7 地点(5 街区：1 地点、6 街区：3 地点、7 街区：3 地点)
試験方法	湿潤密度：JIS A 1225 (土の湿潤密度試験方法) 土粒子密度：JIS A 1202 (土粒子の密度試験方法) 含水比：JIS A 1203 (土の含水比試験方法) 粒度：JIS A 1204 (土の粒度試験方法) 保水性：JGS 0151 (土の保水性試験方法) 有機炭素含有量：JGS 0231 (土の有機炭素含有量試験方法)
土壌試料採取深度	湿潤密度、土粒子密度、含水比 東京ガス(株)豊洲工場操業時の地盤面以深の不飽和帯 操業時の地盤面付近(A.P.+4m 付近)～地下水位確認深度： 25cm 間隔 東京ガス(株)豊洲工場操業時の地盤面以浅の盛土部 盛土部の中間深度(A.P.+5.5m 付近) 粒度、保水性、有機炭素含有量 東京ガス(株)豊洲工場操業時の地盤面以深 A.P.+2m～+4m の間の代表的な土質 東京ガス(株)豊洲工場操業時の地盤面以浅の盛土部 盛土部の中間深度(A.P.+5.5m 付近)

注) 1：分析方法の「JIS」は日本工業規格、「JGS」は地盤工学会基準を示している。

2：地下水位は、平成 19 年 8 月 31 日定期観測時の地下水位を基準とした。



4-29

凡 例

● : 土壤水分の鉛直分布調査地点 (7箇所)

図 4.11.1 土壤水分の鉛直分布調査の調査地点位置図

表 4.11.2 土壌水分の鉛直分布調査における調査地点と試験項目の対応

街区	調査地点	試験項目			
		土粒子密度、含水比、湿潤密度		粒度、保水性、有機炭素含有量	有機炭素含有量
		ガス工場操業 当時の地盤面 以深	ガス工場操業 当時の地盤面 以浅（盛土部）	ガス工場操業 当時の地盤面 以深	ガス工場操業 当時の地盤面 以浅（盛土部）
5 街区	L-37	-			
6 街区	C-26		-		-
	D-6		-	-	-
	F-22		-		-
7 街区	K-7	-		-	
	K-11				
	N-9		-		-

(3) 調査結果

不飽和帯の判断根拠とした各地点の地下水位は表 4.11.3 に示すとおりである。

表 4.11.3 不飽和帯の判断根拠とした地下水位

(平成 19 年 8 月 31 日定期観測時の地下水位)

街区	調査地点	地下水位 (A.P. m)	備考
5 街区	L-37	+4.91	
6 街区	C-26	(+3.04)	近傍の D-26 の地下水位による
	D-6	+3.21	
	F-22	+3.07	
7 街区	K-7	+4.97	
	K-11	+3.48	
	N-9	+2.75	

1) 飽和度

表 4.11.4 に湿潤密度、土粒子密度、含水比の試験結果およびこれらの試験結果から算定した乾燥密度、間隙比、飽和度を示す。

各地点とも飽和度にばらつきがあり、2) で後述するように保水試験の結果得られる水分特性曲線でも限界毛管水頭（水分特性曲線による毛管上昇の到達地点）が明確に推定できなかったことから、毛管現象の程度は確認できなかった。

2) 粒度および保水性

表 4.11.5 に保水性試験に用いた土壌試料の粒度試験結果を示し、図 4.11.2 に保水試験の結果得られた各土壌試料の水分特性曲線を示す。水分特性曲線では、横軸（x 軸）の体積含水率が土壌の体積（土粒子 + 水分 + 気体）に占める水分の体積の割合を示し、縦軸（y 軸）の土中水のポテンシャル（cm）が水頭（水中の高さ）を示している。

表 4.11.4 湿潤密度、土粒子密度、含水比の試験結果

および乾燥密度、間隙比、飽和度の算定結果

街区	調査地点	試料採取深度 (A.P. m)	湿潤密度 (g/cm ³)	土粒子 密度 (g/cm ³)	含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)	間隙比 (-)	飽和度 (%)
5 街区	L-37	+5.63 ~ +5.13	1.823	2.702	31.5	1.386	0.949	89.7
6 街区	C-26	+3.99 ~ +3.74	1.797	2.507	29.5	1.388	0.806	91.8
		+3.74 ~ +3.49	1.861	2.652	18.0	1.577	0.682	70.0
		+3.49 ~ +3.24	1.858	2.663	19.8	1.551	0.717	73.5
		+3.24 ~ +2.99	1.862	2.659	22.7	1.518	0.752	80.3
	D-6	+3.96 ~ +3.81	1.934	2.686	13.5	1.704	0.576	63.0
		+3.81 ~ +3.56	2.179	2.703	13.4	1.922	0.406	89.2
		+3.56 ~ +3.11	2.087	2.687	12.2	1.860	0.445	73.7
	F-22	+3.31 ~ +3.06	2.108	2.700	17.4	1.796	0.503	93.4
		+3.77 ~ +3.62	2.228	2.733	6.9	2.084	0.311	60.6
		+3.62 ~ +3.37	2.201	2.632	5.8	2.080	0.265	57.6
+3.37 ~ +3.12		1.940	2.611	22.7	1.581	0.651	91.0	
7 街区	K-7	+3.12 ~ +2.87	1.922	2.609	27.0	1.513	0.724	97.3
		+5.55 ~ +5.45	1.865	2.699	29.8	1.437	0.878	91.6
	K-11	+5.55 ~ +5.45	1.818	2.691	30.0	1.398	0.925	87.3
		+4.00 ~ +3.90	1.497	2.758	80.8	0.828	2.331	95.6
		+3.80 ~ +3.70	1.444	2.756	88.7	0.765	2.603	93.9
N-9	+3.55 ~ +3.45	1.840	2.686	32.8	1.386	0.938	93.9	
		+3.55 ~ +3.45	1.924	2.704	26.7	1.519	0.780	92.6

注) 1: 乾燥密度は、{ 湿潤密度 / (1+含水比 / 100) } で算出。

2: 間隙比は、{ (土粒子密度 / 乾燥密度) - 1 } で算出。

3: 飽和度は、{ (土粒子密度 × 含水比) / (間隙比 × 水の密度) } で算出。

4: 着色部は東京ガス(株)豊洲工場操業時の地盤面以浅の盛土部、その他(着色なしの部分は東京ガス(株)豊洲工場操業時の地盤面以深の不飽和帯を示す。

5: 東京ガス(株)豊洲工場操業時の地盤面以深の不飽和帯は、平成 19 年 8 月 31 日定期観測時の地下水位を基準として設定した。

表 4.11.5 粒度試験結果

街区	5 街区		6 街区		7 街区		
調査地点	L-37-1	L-37-2	C-26	F-22	K-11	N-9	
試料採取深度	+3.98 ~ +3.48	+3.38 ~ +2.98	+2.49 ~ +2.24	+3.37 ~ +3.12	+3.30 ~ +3.10	+2.50 ~ +2.30	
粒度 (%)	礫	10.0	10.0	0.0	20.4	12.5	40.0
	砂	51.0	37.0	54.0	46.2	41.1	45.1
	シルト	24.0	33.0	35.6	24.1	22.2	11.1
	粘土	15.0	20.0	10.4	9.3	24.2	3.9
分類	礫混じり 粘性土質 砂	礫混じり 砂質粘性 土	細粒分質 砂	細粒分質 礫質砂	礫混じり 細粒分質 砂	細粒分混 じり礫質 砂	

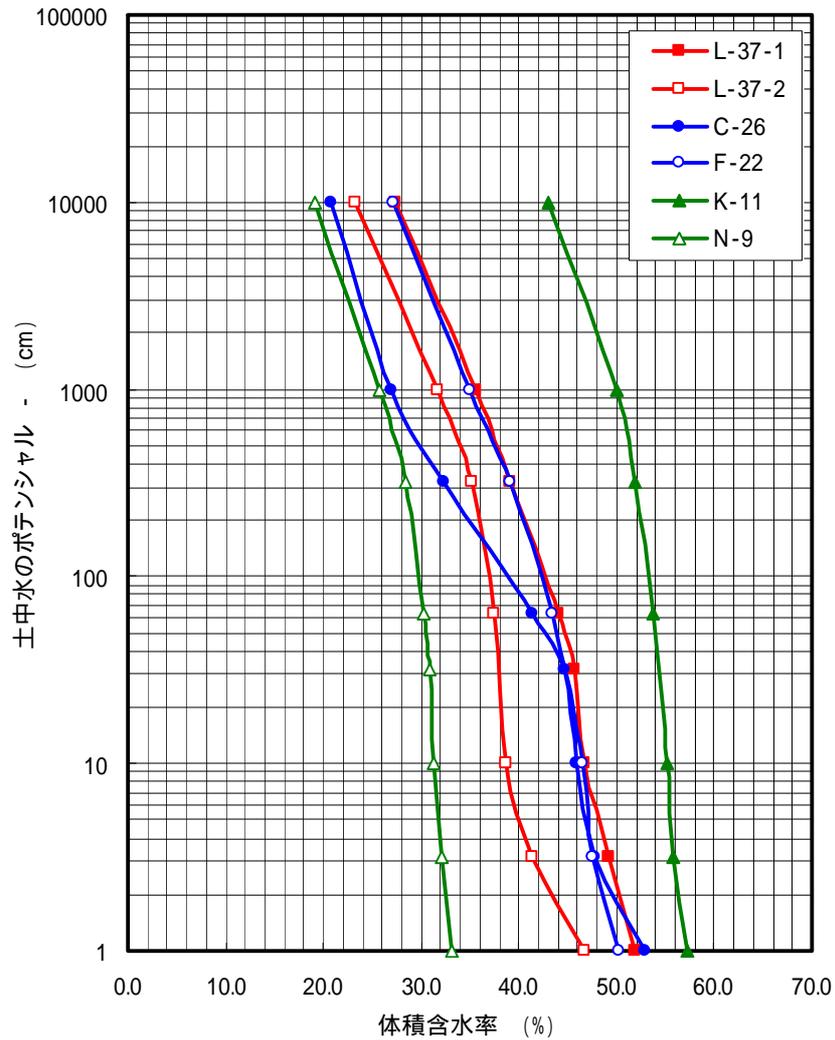


図 4.11.2 水分特性曲線（保水性試験結果による）

体積含水率は、 $\{ \text{含水比} \times (\text{土の乾燥密度} / \text{水の密度}) \}$ で算出される。

保水性試験に用いた土壌試料 6 試料の内、5 試料(L-37-2 以外)が砂質土で、1 試料(L-37-2)が粘性土であった、

3) 有機炭素含有量

有機炭素含有量の試験結果を表 4.11.6 に示す。有機炭素含有量は、東京ガス(株)豊洲工場操業時の地盤面以深において 0.02 ~ 1.73%、盛土部において 0.7 ~ 1.49%であった。

表 4.11.6 有機炭素含有量の試験結果

街区	調査地点	試料採取深度 (A.P. m)	有機炭素含有量 (%)
5 街区	L-37	+5.63 ~ +5.13	1.49
		+3.98 ~ +3.48	0.22
		+3.38 ~ +2.98	0.86
6 街区	C-26	+2.49 ~ +2.24	0.02
	F-22	+3.37 ~ +3.12	1.73
7 街区	K-7	+5.55 ~ +5.45	0.7
		+5.55 ~ +5.45	1.1
	K-11	+3.30 ~ +3.10	0.9
		N-9	+2.50 ~ +2.30

注)着色部は、東京ガス(株)豊洲工場操業時の地盤面以浅の盛土部、その他はその地盤面以深を示す。

4.12 油汚染状況調査

(1) 調査目的

本調査は、油汚染に対する生活環境の保全および人の健康保護の観点から、現状の油汚染の状況の確認を目的とした。

(2) 調査内容

油汚染状況調査は、図 4.12.1 に示す調査地点において、表 4.12.1 に示す内容で実施した。

調査項目の油臭・油膜および全石油系炭化水素(TPH)は、「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」(平成18年3月、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)(以下、「油汚染対策ガイドライン」という。)を参考に設定した。

また、有害性が指摘される多環芳香族炭化水素(PAH)については、中央環境審議会が有害大気汚染物質の優先取組物質とし、世界保健機関(WHO)による飲料水水質ガイドラインでガイドライン値が設定されているベンゾ(a)ピレン、およびPAHを含む石油系芳香族炭化水素を7つの炭素範囲(画分)に区分した濃度(以下、「芳香族炭化水素画分」)を調査項目とした。

なお、6街区のD-12については、地下水質調査実施後に油汚染状況調査を追加したことから、土壌についてはD-12(D-12-1)で新規にボーリングを実施し、地下水面よりも上の表層土壌1試料を採取した。

(3) 調査結果

1) 油臭・油膜

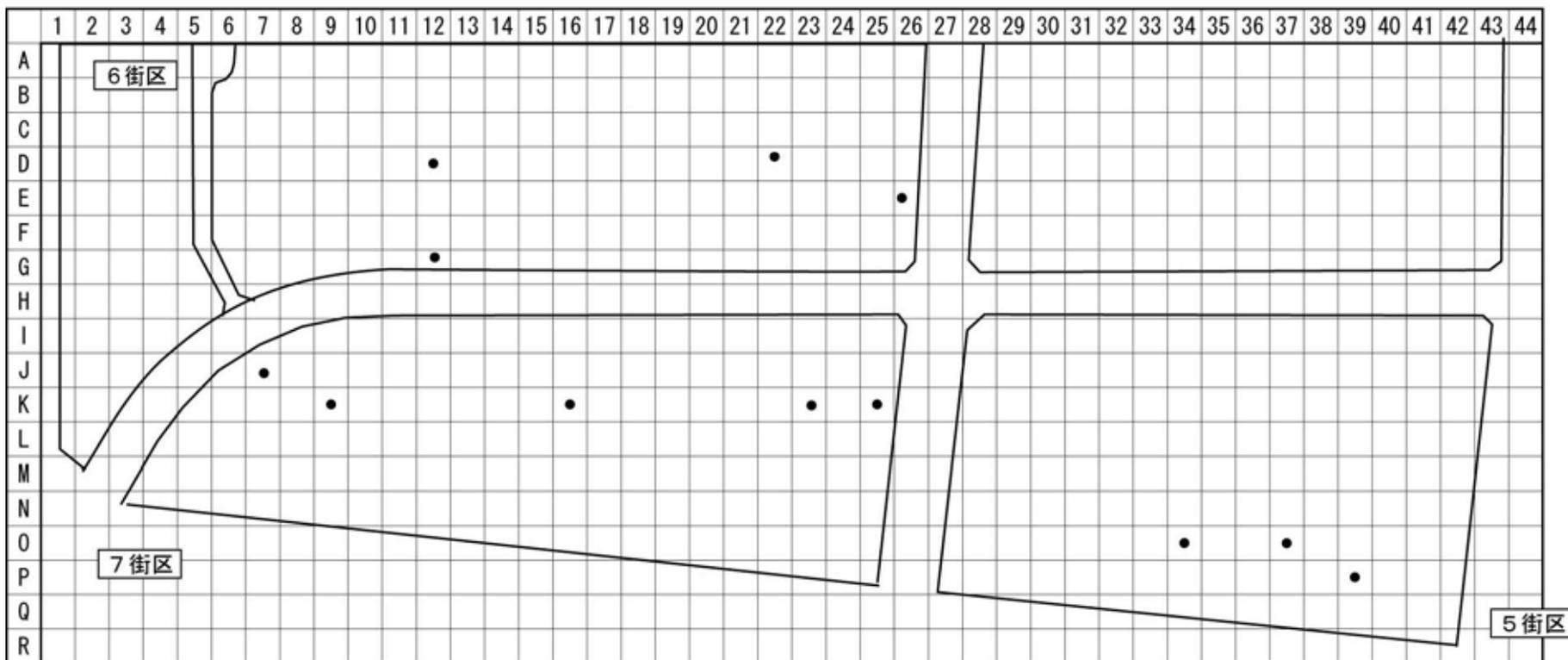
油臭・油膜を調査した12地点の内、土壌について油臭が8箇所、油膜が5箇所を確認され、地下水については8箇所を確認された(表4.12.2)。

2) 全石油系炭化水素、ベンゾ(a)ピレン、石油系芳香族炭化水素

TPHは土壌で20mg/kg未満~2800mg/kg、地下水で1.9mg/L未満~12mg/Lであり、ベンゾ(a)ピレンは土壌で0.005mg/kg未満~5.1mg/kg、地下水で0.0001mg/L未満~0.0002mg/Lであった(表4.12.3(1)~(2))。

地下水中のベンゾ(a)ピレンは全ての地点でWHOによる飲料水ガイドライン値(0.0007mg/L)を下回った。

芳香族炭化水素画分は、全ての地下水試料およびほとんどの土壌試料でTPHが少なく、画分分析を行うことができなかった。土壌の画分分析を行った5地点8試料の結果では、炭素数(等価炭素数)が大きくなるにつれて濃度が高くなる傾向にあった。



4-35

凡 例

● : 油汚染状況調査地点 (12箇所)

図 4.12.1 油汚染状況調査の調査地点位置図

表 4.12.1 油汚染状況調査の概要

項目	内容
現地調査期間	平成 19 年 8 月 20 日～9 月 3 日
調査項目	油臭・油膜 全石油系炭化水素 (TPH)、ベンゾ(a)ピレン、 石油系芳香族炭化水素
調査方法	・ボーリングにより採取した A.P.+6.5m 以深のオールコア試料 (土壌) および観測井からパージ作業による新鮮な地下水との入れ換え後に採取した試料 (地下水) に対して、人の感覚 (嗅覚、視覚) に基づく油臭や油膜の発生の有無の判定、TPH、ベンゾ(a)ピレン、石油系芳香族炭化水素の分析を実施
調査地点	12 地点 (5 街区 : 3 地点、6 街区 : 4 地点、7 街区 : 5 地点) ・東京ガス (株) が既往土壌汚染対策実施前に実施した地下水調査結果をもとに作成したベンゼンおよびシアン化合物の濃度分布図において。濃度の高い地点、低い地点、中間となる地点を参考に設定
試験方法	油臭・油膜 : 人の感覚 (嗅覚、視覚) に基づき油臭や油膜の発生の有無を判定 TPH : GC-FID 法 (油汚染対策ガイドラインに記載されている試験方法) ベンゾ(a)ピレン : EPA 8270 芳香族炭化水素 : ・ EC5 ~ EC7、EC7 ~ EC8 : EPA 5030 および 8021 ・ EC8-EC10、EC10-EC12、EC12-EC16、EC16-EC21、EC21-EC35 : TNRCC 1006
試料採取深度	油臭・油膜 : 全深度 (オールコア全体) TPH、ベンゾ(a)ピレン、芳香族炭化水素画分 : 土壌 : 5,7 街区 東京ガス (株) 豊洲工場操業時の地盤面付近 (A.P.+4m 付近) から深さ 1 ~ 2m (A.P.+2 ~ +3m) 付近 土壌 : 6 街区 東京ガス (株) 豊洲工場操業時の地盤面付近 (A.P.+4m 付近) 試料採取時に地下水位を確認した深度 (A.P.+2 ~ +3m) 付近 地下水 : 全街区 試料採取時に地下水位を確認した深度付近 スクリーン区間 (A.P.+3m 付近 ~ 第一不透水層である有楽町層 Yc 層 (粘土層) の上端面付近) については、スクリーン区間が 2m 以下となる場合については実施しない

注) 1: EPA は米国環境保護庁。

2: TNRCC はテキサス州天然資源保護委員会。

3: EC は Equivalent Carbon Number (等価炭素数)。

表 4.12.2 油臭・油膜調査結果

街区	調査地点	土壌		地下水			
		油臭	油膜	地下水水面		スクリーン区間 中間深度	
				油臭	油膜	油臭	油膜
5 街区	O-34	弱～強	なし	弱	なし	-	-
	O-37	弱～強	確認	弱	なし	-	-
	P-39	弱～中	確認	なし	なし	-	-
6 街区	D-12	弱～中	確認	中	なし	弱	なし
	D-22	なし	なし	なし	なし	なし	なし
	E-26	弱	確認	弱	なし	中	なし
	G-12	弱～強	確認	弱	なし	弱	なし
7 街区	J-7	弱～中	なし	強	なし	強	なし
	K-9	なし	なし	なし	なし	なし	なし
	K-16	なし	なし	中	なし	中	なし
	K-23	なし	なし	なし	なし	-	-
	K-25	弱～強	なし	強	なし	-	-

注) 1: 油臭はの強さは、以下のとおりとする。

強：長時間嗅ぐのに苦痛を伴う程度

中：明らかに臭気を確認できる程度

弱：わずかに臭気を確認できる程度

2: 地下水のスクリーン区間中間深度の「-」は、スクリーン区間が 2m 以下であったことから調査を実施しなかったことを示す。

表 4.12.3(1) TPH、ベンゾ(a)ピレン、芳香族炭化水素画分の調査結果(5,6街区)

項目	5 街区												
	O-34				O-37				P-39				
	土壌 (mg/kg)		地下水 (mg/L)		土壌 (mg/kg)		地下水 (mg/L)		土壌 (mg/kg)		地下水 (mg/L)		
	No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2	
TPH	<20	63	<2.0		370	840	<1.9		41	<20	<1.9		
ベンゾ(a)ピレン	0.024	0.029	<0.0001		1.5	1.4	0.0002		0.012	0.008	<0.0001		
芳香族炭化水素画分	EC5-EC7 (ベンゼン)	<0.25	<0.25	0.059		<0.25	<0.25	0.012		<0.25	<0.25	<0.005	
	EC7-EC8 (トルエン)	<0.25	<0.25	<0.005		<0.25	<0.25	<0.005		<0.25	<0.25	<0.005	
	EC8-EC10	-	-	-		<10	<10	-		-	-	-	
	EC10-EC12	-	-	-		<10	<10	-		-	-	-	
	EC12-C16	-	-	-		13	20	-		-	-	-	
	EC16-EC21	-	-	-		42	81	-		-	-	-	
	EC21-EC35	-	-	-		130	280	-		-	-	-	

項目	6 街区																
	D-12				D-22				E-26				G-12				
	土壌 (mg/kg)		地下水 (mg/L)		土壌 (mg/kg)		地下水 (mg/L)		土壌 (mg/kg)		地下水 (mg/L)		土壌 (mg/kg)		地下水 (mg/L)		
	No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2	
TPH	2800		3.5	12	<20	170	<1.9	<2.0	30	26	<2.0	6.3	240	1000	3.4	2.5	
ベンゾ(a)ピレン	0.72		<0.0001	<0.0001	0.021	0.088	<0.0001	<0.0001	0.19	0.012	<0.0001	<0.0001	0.48	1.3	<0.0001	<0.0001	
芳香族炭化水素画分	EC5-EC7 (ベンゼン)	<0.25		0.12	7.9	<0.25	<0.25	0.008	0.019	<0.25	<0.25	0.019	0.27	<0.25	0.25	1.7	1.5
	EC7-EC8 (トルエン)	<0.25		<0.005	0.018	<0.25	<0.25	<0.005	<0.005	<0.25	<0.25	<0.005	<0.005	<0.25	<0.25	0.007	<0.005
	EC8-EC10	<10		-	-	-	<10	-	-	-	-	-	-	<10	<10	-	-
	EC10-EC12	<10		-	-	-	<10	-	-	-	-	-	-	<10	<10	-	-
	EC12-C16	25		-	-	-	<10	-	-	-	-	-	-	11	16	-	-
	EC16-EC21	57		-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	28	49	-	-
	EC21-EC35	750		-	-	-	98	-	-	-	-	-	-	130	230	-	-

- 注) 1.土壌のNo.1は東京ガス株式会社豊洲工場操業時の地盤面付近(A.P.+4m付近)、No.2はA.P.+2~3m付近の分析結果。
 2.地下水のNo.1は地下水位を確認した深度付近、No.2はスクリーン区間の中間深度の分析結果。
 3.「<」は未満を示す。
 4.芳香族画分の「-」は炭化水素の全量が少なく画分分析できないことを示す。

表 4.12.3(2) TPH、ベンゾ(a)ピレン、芳香族炭化水素画分の調査結果(7街区)

項目	7 街区												
	J-7				K-9				K-16				
	土壌 (mg/kg)		地下水 (mg/L)		土壌 (mg/kg)		地下水 (mg/L)		土壌 (mg/kg)		地下水 (mg/L)		
	No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2	
TPH 濃度	77	60	1.9	<1.9	59	28	<1.9	<1.9	250	78	<1.9	<1.9	
ベンゾ(a)ピレン	0.081	0.027	<0.0001	<0.0001	0.019	<0.005	<0.0001	<0.0001	0.098	0.007	<0.0001	<0.0001	
芳香族炭化水素画分	EC5-EC7 (ベンゼン)	<0.25	<0.25	0.029	0.020	<0.25	<0.25	<0.005	<0.005	<0.25	<0.25	<0.005	<0.005
	EC7-EC8 (トルエン)	<0.25	<0.25	0.007	<0.005	<0.25	<0.25	<0.005	<0.005	<0.25	<0.25	<0.005	<0.005
	EC8-EC10	-	-	-	-	-	-	-	-	<10	<10	-	-
	EC10-EC12	-	-	-	-	-	-	-	-	<10	<10	-	-
	EC12-C16	-	-	-	-	-	-	-	-	<10	<10	-	-
	EC16-EC21	-	-	-	-	-	-	-	-	<10	<10	-	-
	EC21-EC35	-	-	-	-	-	-	-	-	60	79	-	-

項目	7 街区								
	K-23				K-25				
	土壌 (mg/kg)		地下水 (mg/L)		土壌 (mg/kg)		地下水 (mg/L)		
	No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2	
TPH 濃度	<20	34	<1.9		<20	2400	2.5		
ベンゾ(a)ピレン	0.054	0.018	<0.0001		0.018	5.1	<0.0001		
芳香族炭化水素画分	EC5-EC7 (ベンゼン)	<0.25	<0.25	<0.005		<0.25	<0.25	0.16	
	EC7-EC8 (トルエン)	<0.25	<0.25	<0.005		<0.25	<0.25	<0.005	
	EC8-EC10	-	-	-		-	<10	-	
	EC10-EC12	-	-	-		-	<10	-	
	EC12-C16	-	-	-		-	72	-	
	EC16-EC21	-	-	-		-	170	-	
	EC21-EC35	-	-	-		-	390	-	

- 注) 1.土壌の No.1 は東京ガス株式会社豊洲工場操業時の地盤面付近 (A.P.+4m 付近)、No.2 は A.P.+2~3m 付近の分析結果。
 2.地下水の No.1 は地下水位を確認した深度付近、No.2 はスクリーン区間の中間深度の分析結果。
 3.「<」は未満を示す。
 4.芳香族画分の「-」は炭化水素の全量が少なく画分分析できないことを示す。

4.13 D-12(6街区)等のモニタリング調査

(1) 調査目的

本調査は、地下水質調査(「4.4」参照)を行った調査地点の内、5街区:1地点、6街区:2地点について、引き続きベンゼン、シアン化合物の濃度をモニタリングするとともに、地下水質調査地点の内、最も高濃度のベンゼンおよびシアン化合物が確認された6街区のD-12周辺部における地下水および土壌の汚染状況を把握し、汚染範囲を特定することを目的とした。

(2) 調査内容

1) 地下水質のモニタリング調査の内容

地下水質のモニタリング調査は、表4.13.1に示す内容で実施した。採水は、L-39およびF-26については2回、D-12について3回採水を行った。

表4.13.1 地下水質のモニタリング調査の概要

項目	内容
現地調査期間	平成19年8月9日~9月20日
調査項目	ベンゼン、シアン化合物
調査方法	・ボーリングにより観測井を設置し、パージ作業による新鮮な地下水との入れ換え後、スクリーン区間の中央で採水・分析
調査地点	3地点 ・5街区:1地点(L-39) ・6街区:2地点(D-12、F-26)
試験方法	公定分析

2) D-12周辺部(6街区)の地下水および土壌汚染状況調査の内容

D-12周辺部の地下水および土壌汚染状況調査は、表4.13.2に示す内容で実施した。

(3) 調査結果

1) 地下水質のモニタリング調査の結果

地下水質のモニタリング調査の結果を表4.13.3に示す。

D-12のベンゼン濃度が調査の度に大きく変動していることから、季節変動の確認が必要であると判断された。

2) D-12周辺部(6街区)の地下水および土壌汚染状況調査の結果

D-12周辺部(6街区)の地下水および土壌汚染状況調査の結果を図4.13.1に示す。

調査を実施した9地点の内、ベンゼンはD-12-2およびD-12-5を除く7地点で、シアン化合物はD-12-5を除く8地点でそれぞれ地下水環境基準を超過した。D-12から西に10m離れたD-12-7および南に10m離れたD-12-9においてベンゼンの濃度が高く検出された。

D-12は東京ガス(株)による既往土壌汚染対策において土壌掘削されていないエリアに

表 4.13.2 D-12 周辺部 (6 街区) の地下水および土壌汚染状況調査の概要

項目	内容
現地調査期間	平成 19 年 9 月 27 日 ~ 29 日
調査項目	土壌 (溶出量): ベンゼン、シアン化合物 地下水: ベンゼン、シアン化合物
調査方法	土壌 (溶出量): ボーリングにより必要深度の土壌試料を採取・分析 地下水: ボーリングにより観測井を設置し、パージ作業による新鮮な地下水との入れ換え後、スクリーン区間の中央で採水・分析
調査地点	9 地点 ・ D-12 近傍: D-12-1 (土壌 (溶出量)) ・ D-12 から東西南北方向に 5m 離れた地点 : D-12-2 ~ D-12-5 (土壌 (溶出量) 地下水) ・ D-12 から東西南北方向に 10m 離れた地点 : D-12-6 ~ D-12-9 (地下水)
試験方法	公定分析

表 4.13.3 地下水質のモニタリング調査の結果

街区	調査地点	採水日	地下水質 (mg/L)	
			ベンゼン	シアン化合物
5 街区	L-39	1 回目: 平成 19 年 8 月 14 日 (火)	0.41	不検出
		2 回目: 平成 19 年 9 月 4 日 (火)	0.37	
6 街区	D-12	1 回目: 平成 19 年 8 月 9 日 (木)	10	8.0
		2 回目: 平成 19 年 8 月 30 日 (木)	6.6	8.4
		3 回目: 平成 19 年 9 月 20 日 (木)	4.5	6.4
	F-26	1 回目: 平成 19 年 8 月 10 日 (金)	0.27	1.0
		2 回目: 平成 19 年 8 月 30 日 (木)	0.17	0.6

注) 1: 5 街区の L-39 のシアン化合物は、1 回目が「不検出」で地下水環境基準を満たしたことから、2 回目は実施していない。

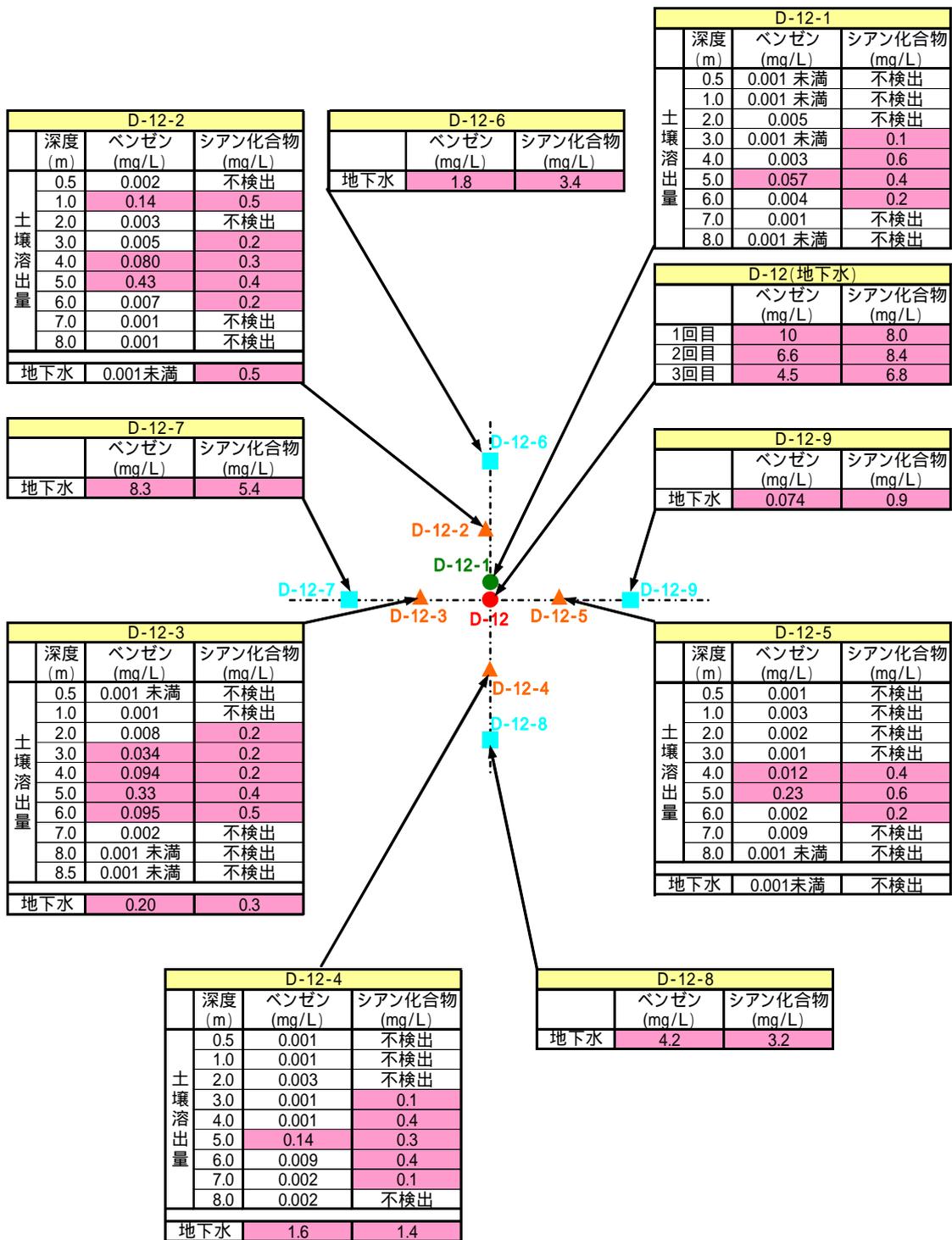
2: は地下水環境基準 (ベンゼン: 0.01mg/L、シアン化合物: 不検出 (0.1mg/L 未満)) を超過したことを示している。

該当する。

土壌溶出量は、調査対象とした 5 地点ともいずれかの深度でベンゼンおよびシアン化合物の処理基準を超過していたが、ベンゼンが最高で 0.43mg/L、シアン化合物が最高で 0.6mg/L と、地下水に比べてそれほど高い濃度ではなかった。また、深度 2.0~4.0m より深部で処理基準を超過している地点が多く見られた。

ここで、土壌溶出量の分布と地下水汚染の分布を比較すると、狭い範囲にピンポイントで存在する土壌汚染を調査することは難しいが、地下水にそれが溶け出して広がったものを地下水調査により把握する方が土壌汚染のスクリーニングに適しているであろうと考えられる。

各調査地点の地質状況と土壌の汚染状況の関係は、表 4.13.4(1) ~ (2) に示すように整理される。



- 注) 1: は土壌溶出量の処理基準超過、地下水の地下水環境基準超過を示す。
 2: 処理基準 (土壌溶出量) 地下水環境基準はともに以下のとおりである。
 ベンゼン : 0.01mg/L 以下、シアン化合物 : 検出されないこと (0.1mg/L 未満)
 3: D-12 (地下水) は、地下水モニタリング調査の結果である。

図 4.13.1 D-12 周辺部 (6 街区) の地下水および土壌汚染状況調査の結果

表 4.13.4(1) D-12 周辺部 (6 街区) の土壤汚染状況調査結果 (D-12-1~3)

D-12-1					
標高 (A.P.m)	深度 (m)	土質区分	色調	土壤溶出量 (mg/L)	
				ベンゼン	シアン 化合物
+3.58	0.00	砕石	灰		
+3.33	0.25	粘土混じり砂礫	褐	0.001未満	不検出
+3.08	0.50				
+2.83	0.75	砂礫	暗褐	0.001未満	不検出
+2.58	1.00				
+2.33	1.25	礫混じり粘土	暗緑灰		
+2.08	1.50				
+1.83	1.75	礫混じり粘土	黒~暗灰		
+1.58	2.00				
+1.33	2.25	シルト混じり細砂	黒灰~暗灰	0.005	不検出
+1.08	2.50				
+0.83	2.75	シルト	暗灰	0.001未満	0.1
+0.58	3.00				
+0.33	3.25	シルト	暗灰		
+0.08	3.50				
-0.17	3.75	シルト	暗灰	0.003	0.6
-0.42	4.00				
-0.67	4.25	細砂	暗灰		
-0.92	4.50				
-1.17	4.75	シルト	暗灰	0.057	0.4
-1.42	5.00				
-1.67	5.25	シルト	暗灰		
-1.92	5.50				
-2.17	5.75	細砂	暗灰	0.004	0.2
-2.42	6.00				
-2.67	6.25	細砂	暗灰		
-2.92	6.50				
-3.17	6.75	砂質シルト	暗灰	0.001	不検出
-3.42	7.00				
-3.67	7.25	砂混じりシルト	暗灰		
-3.92	7.50				
-4.17	7.75	シルト	暗灰	0.001未満	不検出
-4.42	8.00				

D-12-3					
標高 (A.P.m)	深度 (m)	土質区分	色調	土壤溶出量 (mg/L)	
				ベンゼン	シアン 化合物
+3.57	0.00	粘土混じり砂礫	褐	0.001未満	不検出
+3.32	0.25				
+3.07	0.50	砂礫	黒褐~暗褐	0.001	不検出
+2.82	0.75				
+2.57	1.00	礫混じり粘土	暗緑灰~ 淡褐		
+2.32	1.25				
+2.07	1.50	シルト	暗灰	0.008	0.2
+1.82	1.75				
+1.57	2.00	貝殻混じり細砂	暗灰	0.034	0.2
+1.32	2.25				
+1.07	2.50	シルト	黒	0.094	0.2
+0.82	2.75				
+0.57	3.00	シルト	暗灰	0.095	0.5
+0.32	3.25				
+0.07	3.50	細砂	暗灰	0.002	不検出
-0.18	3.75				
-0.43	4.00	シルト	暗灰		
-0.68	4.25				
-0.93	4.50	細砂	暗灰	0.33	0.4
-1.18	4.75				
-1.43	5.00	シルト	暗灰	0.007	0.2
-1.68	5.25				
-1.93	5.50	細砂	暗灰		
-2.18	5.75				
-2.43	6.00	砂質シルト	暗灰	0.001	不検出
-2.68	6.25				
-2.93	6.50	シルト質砂	暗灰		
-3.18	6.75				
-3.43	7.00	シルト	暗灰	0.001未満	不検出
-3.68	7.25				
-3.93	7.50	シルト	暗灰	0.001未満	不検出
-4.18	7.75				
-4.43	8.00	シルト	暗灰	0.001未満	不検出
-4.68	8.25				
-4.93	8.50				

D-12-2					
標高 (A.P.m)	深度 (m)	土質区分	色調	土壤溶出量 (mg/L)	
				ベンゼン	シアン 化合物
+3.45	0.00	砂礫	褐灰	0.002	不検出
+3.20	0.25				
+2.95	0.50	砂混じり粘土	暗緑灰~ 暗褐灰	0.14	0.5
+2.70	0.75				
+2.45	1.00	細砂	暗灰	0.003	不検出
+2.20	1.25				
+1.95	1.50	シルト	暗灰	0.005	0.2
+1.70	1.75				
+1.45	2.00	砂混じり細砂	暗灰	0.080	0.3
+1.20	2.25				
+0.95	2.50	シルト	暗灰	0.43	0.4
+0.70	2.75				
+0.45	3.00	細砂	暗灰	0.007	0.2
+0.20	3.25				
-0.05	3.50	砂質シルト	暗灰	0.001	不検出
-0.30	3.75				
-0.55	4.00	砂混じりシルト	暗灰		
-0.80	4.25				
-1.05	4.50	シルト	暗灰	0.001	不検出
-1.30	4.75				
-1.55	5.00				
-1.80	5.25				
-2.05	5.50				
-2.30	5.75				
-2.55	6.00				
-2.80	6.25				
-3.05	6.50				
-3.30	6.75				
-3.55	7.00				
-3.80	7.25				
-4.05	7.50				
-4.30	7.75				
-4.55	8.00				

表 4.13.4(2) D-12 周辺部 (6 街区) の土壌汚染状況調査結果 (D-12-4 ~ 5)

D-12-4						D-12-5					
標高 (A.P.m)	深度 (m)	土質区分	色調	土壌溶出量 (mg/L)		標高 (A.P.m)	深度 (m)	土質区分	色調	土壌溶出量 (mg/L)	
				ベンゼン	シアン 化合物					ベンゼン	シアン 化合物
+3.58	0.00	粘土質砂礫	暗褐			+3.57	0.00	砂礫	灰		
+3.33	0.25			0.001	不検出	+3.32	0.25			0.001	不検出
+3.08	0.50	砂礫	暗褐			+3.07	0.50	粘土混じり砂礫	暗褐		
+2.83	0.75			0.001	不検出	+2.82	0.75			0.003	不検出
+2.58	1.00	礫混じり粘土	暗緑灰			+2.57	1.00	礫混じり粘土	淡緑 ~ 暗褐灰		
+2.33	1.25			0.003	不検出	+2.32	1.25			0.002	不検出
+2.08	1.50	細砂	暗灰			+2.07	1.50	シルト質細砂	暗灰		
+1.83	1.75			0.001	0.1	+1.82	1.75			0.001	不検出
+1.58	2.00	シルト	暗灰			+1.57	2.00	シルト	暗灰		
+1.33	2.25			0.001	0.4	+1.32	2.25			0.001	不検出
+1.08	2.50	シルト混じり細砂	暗灰			+1.07	2.50	砂質シルト	暗灰		
+0.83	2.75			0.001	0.4	+0.82	2.75			0.012	0.4
+0.58	3.00	砂質シルト	暗灰			+0.57	3.00	シルト	暗灰		
+0.33	3.25			0.001	0.3	+0.32	3.25			0.002	0.2
+0.08	3.50	貝殻混じり細砂	暗灰			+0.07	3.50	細砂	暗灰		
-0.17	3.75			0.009	0.4	-0.18	3.75			0.002	0.1
-0.42	4.00	シルト	暗灰			-0.43	4.00	砂質シルト	暗灰		
-0.67	4.25			0.002	0.1	-0.68	4.25			0.009	0.4
-0.92	4.50	細砂	暗灰			-0.93	4.50	シルト	暗灰		
-1.17	4.75			0.14	0.3	-1.18	4.75			0.23	0.6
-1.42	5.00	シルト	暗灰			-1.43	5.00	シルト	暗灰		
-1.67	5.25			0.002	0.1	-1.68	5.25			0.002	0.2
-1.92	5.50	細砂	暗灰			-1.93	5.50	細砂	暗灰		
-2.17	5.75			0.002	0.1	-2.18	5.75			0.009	0.4
-2.42	6.00	砂混じりシルト	暗灰			-2.43	6.00	砂質シルト	暗灰		
-2.67	6.25			0.002	0.1	-2.68	6.25			0.009	0.4
-2.92	6.50	シルト	暗灰			-2.93	6.50	砂質シルト	暗灰		
-3.17	6.75			0.002	0.1	-3.18	6.75			0.009	0.4
-3.42	7.00	シルト	暗灰			-3.43	7.00	砂質シルト	暗灰		
-3.67	7.25			0.002	0.1	-3.68	7.25			0.009	0.4
-3.92	7.50	シルト	暗灰			-3.93	7.50	砂質シルト	暗灰		
-4.17	7.75			0.002	0.1	-4.18	7.75			0.009	0.4
-4.42	8.00	シルト	暗灰			-4.43	8.00	砂質シルト	暗灰		
				0.002	不検出	-4.44	8.00			0.001未満	不検出

4.14 高濃度汚染確認地点 (D-12、G-12) 周辺の土地利用履歴について

(1) 調査方法

追加調査における地下水質調査で新たに高濃度のベンゼンおよびシアン化合物による汚染が確認された D-12 (ベンゼン 10mg/L、シアン化合物 8.0mg/L) および G-12 (ベンゼン 1.2mg/L、シアン化合物 0.9mg/L) 周辺の東京ガス(株)豊洲工場操業当時の土地利用履歴について、東京ガス(株)より提供された資料を図 4.14.1～図 4.14.4 として次ページ以降に示す。

調査は、航空写真および操業当時の関係者に対するヒアリングにより行われている。

提供資料に用いられている航空写真は、東京都が国土交通省国土地理院の掲載基準に合わせて加工している。

(2) 調査結果

東京ガス(株)からの資料

豊洲用地の履歴について

1) 航空写真より

当用地は、第1期として昭和29年から昭和30年にかけて埋め立て造成され工場としての操業を開始し、さらに当用地先端部は、第2期として昭和34年から昭和37年にかけて埋め立て造成されました。

過去の設備・機器等の配置について、航空写真～(図4.14.1～図4.14.3)に示します(参考:図4.14.4)。

それによると、埋め立て完了後、先端のエリアにはLPGタンク、重油タンク、ナフサタンク、グラウンド、協力会ヤードとして利用されていたことが確認され、同タンクの損傷等の履歴もないことから、装置由来の汚染の可能性は低いエリアと推定されます。しかし、詳細が不明のため、当社の調査でも、ここだけ汚染の可能性が低いと判断することなく、この部分も含め全域について、同じレベルのボーリングによる調査を行いました。

航空写真等では詳細が不明なため、この周辺がどのような状況であったかを当時の関係者にヒアリングを行いました。

2) ヒアリングより

東京都殿の実施した追加土壌・地下水調査において、高濃度のベンゼンを含んだ地下水が確認されたエリアは、協力会ヤードとして、工場内の各種設備・機器等を維持管理業務のために工場内に常駐していた方々の事務所などでした。この部分は、昭和41年から昭和44年頃にかけて整備され、関係者の休憩所、小規模な作業場等がありました。ヒアリングの結果、このエリアでは、協力会社社員等の休憩あるいは簡単な作業のみに利用され、その作業で汚染の原因となる行為が行われた可能性は低いと考えられます。

ただし、この周辺において、石炭ガス製造で発生したタールスラッジ*1を仮置きし、そこでタールスラッジと木屑等を混ぜて燃料として都内の銭湯等に出荷していたことがあったようです。このタールスラッジにはベンゼンが含まれており、仮置き場所までの運搬時、仮置き時、混錬作業時などに、被覆されていない部分から地中に浸透した可能性があります。

(注)

*1: ガス製造時に発生するタール残渣

以上



図 4.14.1 東京ガス（株）豊洲工場操業時の航空写真（昭和 31 年）

注）東京ガス株式会社提供資料に D-12、G-12（6 街区）の位置を追記
航空写真の出典：米極東空軍撮影の空中写真（昭和 31 年撮影）

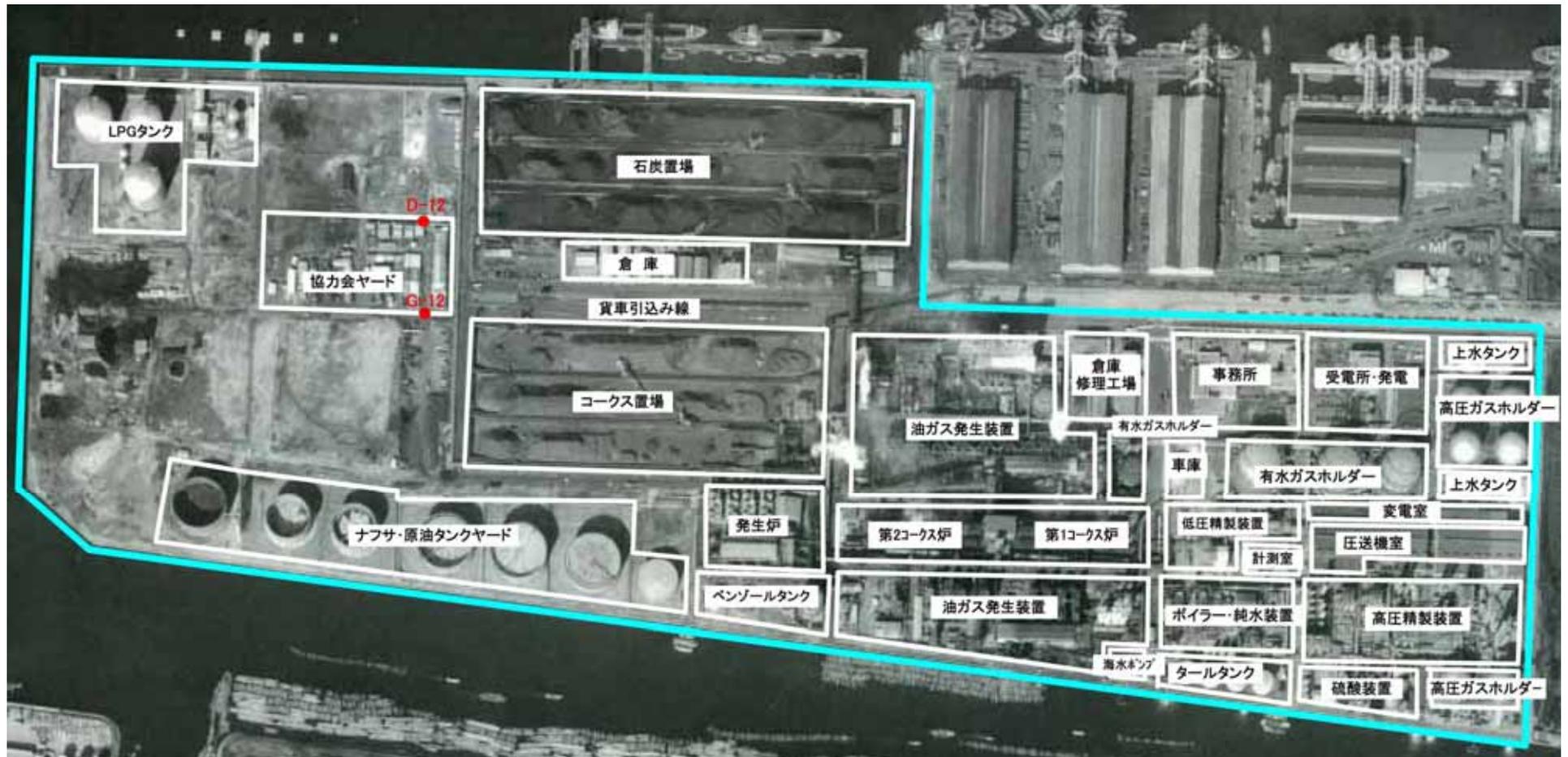
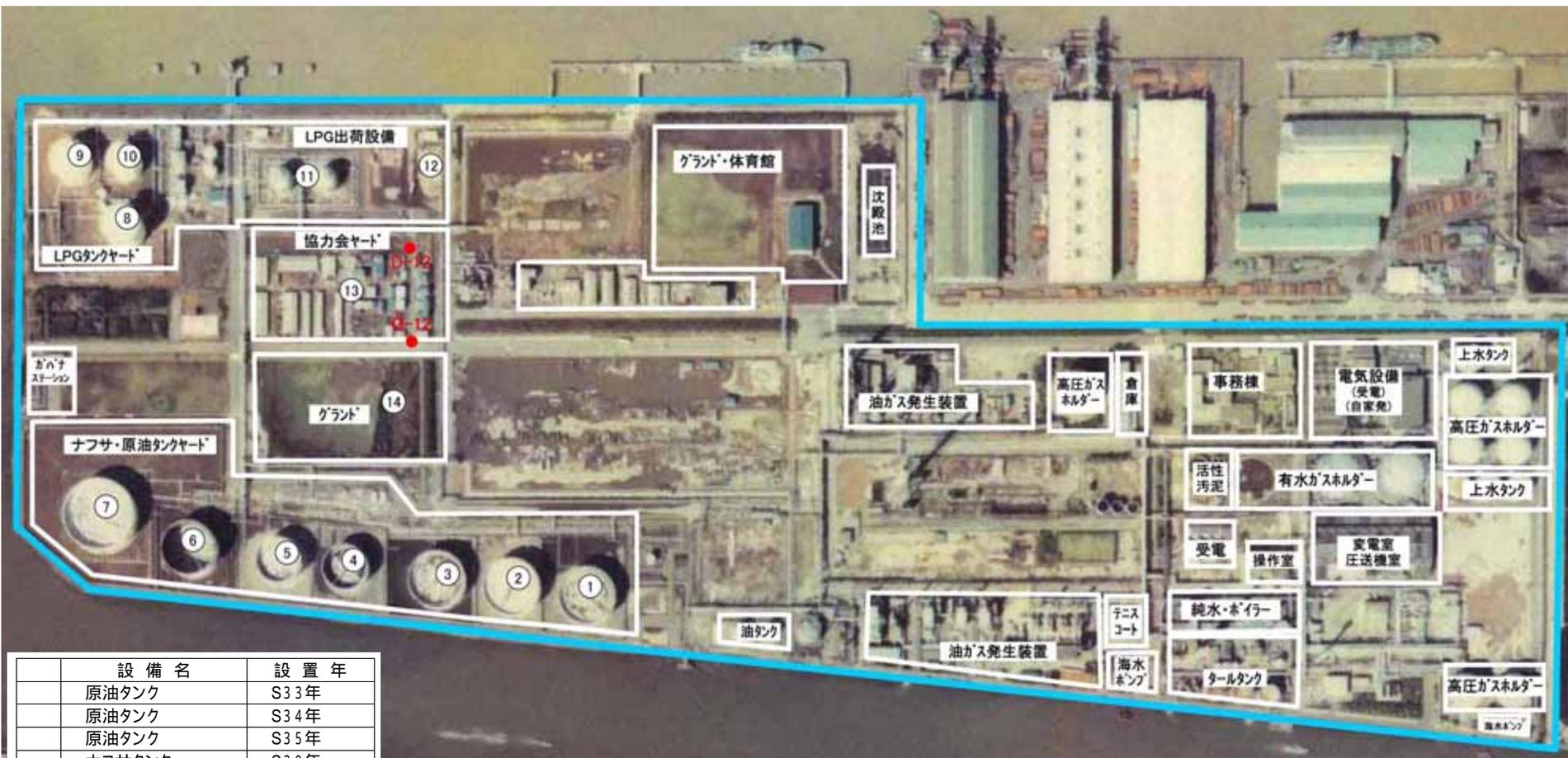


図 4.14.2 東京ガス（株）豊洲工場操業時の航空写真（昭和41年）

注）東京ガス株式会社提供資料に D-12、G-12（6 街区）の位置を追記

航空写真の出典：国土交通省国土地理院撮影の空中写真（昭和41年撮影）



設備名	設置年
原油タンク	S33年
原油タンク	S34年
原油タンク	S35年
ナフサタンク	S39年
ナフサタンク	S39年
原油タンク	S42年
原油タンク	S43年
LPGタンク	S40年
LPGタンク	S37年
LPGタンク	S37年
LPG球形タンク(2基)	S51年
LPG出荷場	S41年
協力会ヤード	S41～44年
グラウンド	S36年

図 4.14.3 東京ガス(株)豊洲工場操業時の航空写真 (昭和54年)

注) 東京ガス株式会社提供資料に D-12、G-12 (6 街区) の位置を追記
 航空写真の出典: 国土交通省国土地理院撮影の空中写真 (昭和54年撮影)

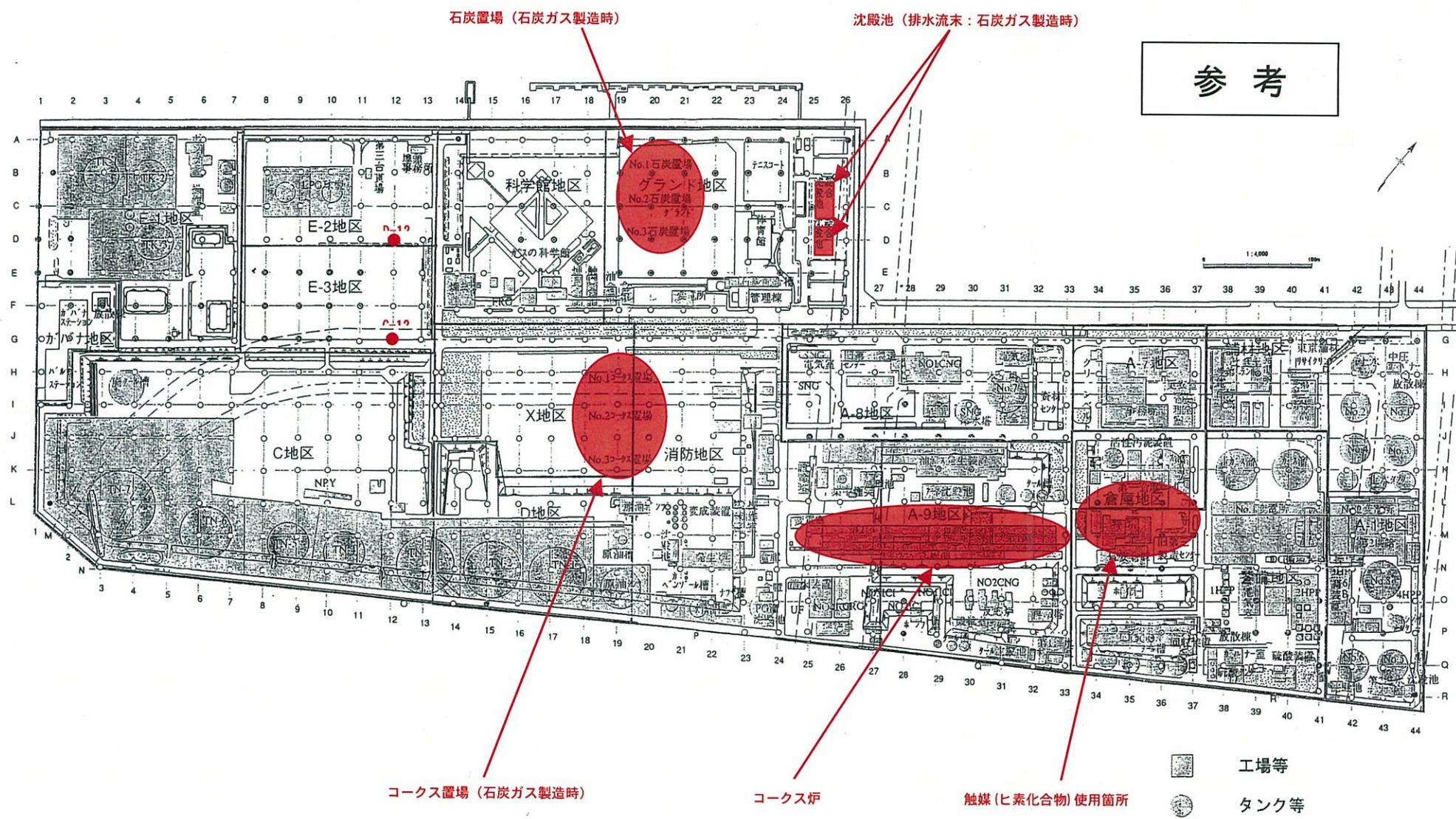


図 4.14.4 東京ガス (株) 豊洲工場操業時の都市ガス製造工場配置図

注)石炭ガスは、昭和 31 年～昭和 51 年に製造
※図 2.1.7 を再掲 (D-12 および G-12 の位置を追記)

4.15 追加調査結果のまとめ

追加調査で得られた結果について、専門家会議における検討の結果、以下のとおり評価した。

4.15.1 地下水の現況

(1) 地下水質の現況

新市場予定地内の 56 地点において地下水質調査を行った結果、ベンゼン、シアン化合物、ヒ素、鉛が地下水環境基準を上回る濃度で検出され、ベンゼンおよびシアン化合物については地下水環境基準の 10 倍値を超える高濃度の地下水汚染が存在していることが把握された。

高濃度のベンゼンが確認された 6 街区の D-12 (10mg/L)、E-26 (1.0mg/L)、G-12 (1.2mg/L) および 7 街区の K-25 (1.52mg/L) の内、E-25 および K-25 は既往土壤汚染調査における地下水調査でも高濃度の地下水汚染が確認された地点である。

高濃度のベンゼン (10mg/L) およびシアン化合物 (8mg/L) が検出された D-12 付近の高濃度地下水汚染は、既往土壤汚染調査では東京ガス (株) 豊洲工場操業時の地表面 (約 A.P.+4m) から原則として深度 3m 以浅が調査対象とされていたために把握されておらず、既往土壤汚染調査の結果をもとに土壤汚染対策を行うと高濃度の地下水汚染が見逃されたままとなってしまう可能性があると考えられる。

高濃度の地下水汚染の見逃しを防ぐため、新市場予定地全体を対象に 10m メッシュでの詳細調査を行い、高濃度の地下水汚染の範囲をスクリーニングし、絞り込まれた範囲について土壤汚染の状況を確認していくという方法での詳細調査の追加実施が必要である。

追加実施する詳細調査では、深部も含めて詳細にベンゼンおよびシアン化合物による汚染の状況をスクリーニングするため、帯水層全体の平均的な地下水汚染状況を調査対象とする必要がある。

新市場予定地内の 56 地点の地下水について、水素イオン濃度 (pH)、電気伝導率 (EC)、塩分濃度、酸化還元電位 (ORP)、水温、生物化学的酸素要求量 (BOD)、銅、全リン、全窒素、溶存酸素量 (DO) を調査した結果から、概ねバイオレメディエーションを適用することは可能であると考えられる。ただし、一部の調査地点で高い塩分濃度 (10,000mg/L 以上) が確認されており、微生物の増殖に支障をきたすおそれがあることから、これらの調査地点でバイオレメディエーションを適用する場合には、トリータビリティ試験等により適用性を検討する必要がある。

(2) 地下水位の現況

新市場予定地内の地下水位変動と東京湾の潮位変動の相関は小さく、地下水位変動の主な要因は降雨であると考えられる。

地下水位は5街区の北西側および7街区のK-7付近で高く、5、7街区は東京湾東京湾に向かって地下水位が低くなっている。6街区は地下水位の高低差があまりないが、6街区の南側からA-13方向に向かって地下水位が低くなっている。

4.15.2 土壌汚染の状況

(1) 深度方向の補足調査結果

6街区のF-26について、ボーリング掘削孔底において第一不透水層(有楽町層 Yc層:粘土層)が確認されたため、土壌溶出量の処理基準超過を確認した深度から1mの地点で処理基準の適合を確認した。

その他のすべての調査地点については、汚染土壌処理基準超過が確認された深度から下方に2m以上続けて土壌溶出量が処理基準に適合していることが確認された。

(2) G-12の土壌汚染状況

G-12(6街区)は、東京ガス(株)が既往土壌汚染調査を行った当時、障害物等の影響により調査が実施できなかった地点である。

G-12(6街区)で土壌汚染状況調査を行った結果、ベンゼン、シアン化合物、ヒ素、鉛の土壌溶出量および鉛の土壌含有量が処理基準を上回っている深度があった。

4.15.3 ベンゼンの土壌ガス濃度

(1) 表層の土壌ガス濃度(ベンゼン)

地下水が存在し土壌ガスが採取できなかった4地点を除く調査地点62箇所内の、6街区の5箇所で定量下限値(0.05volppm)以上のベンゼン濃度(最高値6.4volppm)が確認された。

6街区と5、7街区の相違点として、6街区が東京ガス(株)豊洲工場操業時の地盤高のままとなっているのに対して、5、7街区は東京都の区画整理事業により盛土された状態になっていることが挙げられる。

地下水質調査で56地点中14地点の地下水で地下水環境基準を上回るベンゼン濃度が検出されていることから考えると、新市場予定地内のベンゼンによる土壌汚染の状況を表層の土壌ガス調査によりスクリーニングすることは難しく、地下水調査の方がスクリーニングに適していると考えられる。

(2) 土壌ガス(ベンゼン)の鉛直分布

地下水位が調査計画において想定していた水位(A.P.+2m)よりも高かったため、調査を行った深度範囲のほとんどが飽和帯もしくは地下水の変動範囲(地下水位の定期観測結果における地下水位の範囲)に位置していた。

そのため、土壌ガス(ベンゼン)の鉛直上向きの移動状況の検討に用いることので

きる情報を得ることができなかった。

土壌ガスの採取が可能であった地点・深度については、ベンゼン濃度がすべて定量下限値（0.05volppm）未満であった。

4.15.4 土壌汚染物質および土壌水分の鉛直分布

地下水位が調査計画において想定していた水位（A.P.+2m）よりも高かったため、調査を行った深度範囲のほとんどが飽和帯もしくは地下水の変動範囲（地下水位の定期観測結果における地下水位の範囲）に位置していた。

毛管現象による土壌汚染物質の鉛直上向きの移動を示す状況は確認されなかった。

土壌試料 6 検体について保水性試験を行って水分特性曲線を求めた結果、限界毛管水頭（水分特性曲線による毛管上昇の到達点）がいずれも明確に推定できなかったことから、毛管現象の程度は確認できなかった。

4.15.5 現状の油汚染の状況

油臭・油膜を調査した 12 地点の内、土壌について油臭が 8 箇所、油膜が 5 箇所を確認され、地下水については油臭が 8 箇所を確認された。地下水に油膜が確認されておらず、人が立った位置（地表から 1.5m のところ）で油臭がなかったことから、油汚染問題（土地の利用者に対する油臭や油膜による生活環境保全上の支障）が生じる状態ではないと考えられる。

TPH は土壌で 20mg/kg 未満～2800mg/kg、地下水で 1.9mg/L 未満～12mg/L であり、ベンゾ(a)ピレンは土壌で 0.005mg/kg 未満～5.1mg/kg、地下水で 0.0001mg/L 未満～0.0002mg/L であった。

地下水中のベンゾ(a)ピレンは、全ての地点で WHO による飲料水ガイドライン値（0.0007mg/L）を下回った。

芳香族炭化水素画分は、全ての地下水試料およびほとんどの土壌試料で TPH が少なく、画分分析を行うことができなかった。土壌の画分分析を行った 5 地点 8 試料の結果では、炭素数（等価炭素数）が大きくなるにつれて濃度が高くなる傾向にあった。