

岩手・青森県境廃棄物不法投棄現場

第 12 回汚染土壌対策技術検討委員会
(N地区の汚染土壌対策)

2010 年 11 月 19 日

～ 目次 ～

1.N 地区の状況	1
1.1 全体の浄化進捗状況	1
1.2 揚水バッキ	8
1.3 バイオレメディエーション	11
2.浄化評価について	15
2.1 地下水モニタリング	15
2.2 浄化確認ボーリング	15
2.3 現在の N 地区汚染状況と今後の浄化傾向の推測	16
3.SKK(すっからか～ん工法)の状況	18
3.1 試験施工運用状況	18
3.2 モニタリング結果	19
3.3 試験区画の土質試験結果	24
3.4 本工法採用時の留意点	28

< Appendix >

Appendix.1	揚水バッキ地下水汚染分析結果
Appendix.2	バイオレメディエーション地下水汚染分析結果
Appendix.3	バイオ自然注入地下水汚染分析結果
Appendix.4	SKK(すっからか～ん)地下水汚染分析結果

略称

VOC : 揮発性有機化合物
ORP : 酸化還元電位
DCM : ジクロロメタン
PCM : 四塩化炭素
1,2-DCA : 1,2-ジクロロエタン
1,1-DCE : 1,1-ジクロロエチレン
cis-1,2-DCE : シス-1,2-ジクロロエチレン
1,1,1-TCA : 1,1,1-トリクロロエタン
1,1,2-TCA : 1,1,2-トリクロロエタン
TCE : トリクロロエチレン
PCE : テトラクロロエチレン
1,3-DCP : 1,3-ジクロロプロパン
Benzn : ベンゼン
COD : 化学的酸素要求量
DO : 溶存酸素量

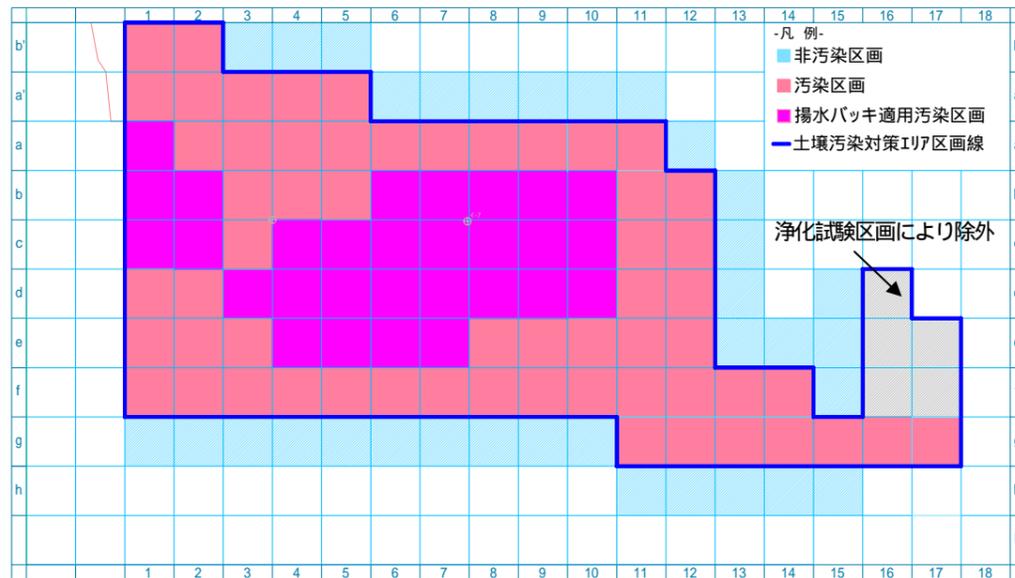
1 N地区の状況

1.1 全体の浄化進捗状況

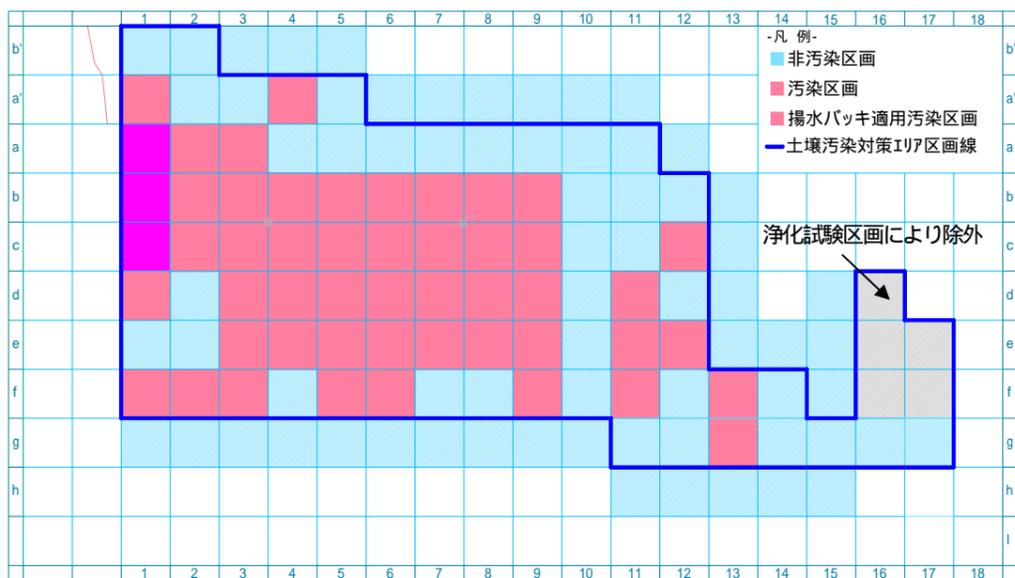
1.1.1 土壌・地下水の汚染状況

浄化開始前および昨年度実施した追加調査の結果、土壌や地下水で環境基準値以上のVOC汚染が確認された区画は87区画(試験施工を実施しているN-0区画の5区画を除く)であり、第11回汚染土壌対策技術検討委員会(以下第11回技術検討委員会とする)では36区画(全体の約41%)であった地下水環境基準値以下の区画がH22年10月時点で全体の約62%となる54区画と進んでいる。また、地下水環境基準値を超過した33区画においても21区画では環境基準値の5倍以下まで濃度が低下してきている。

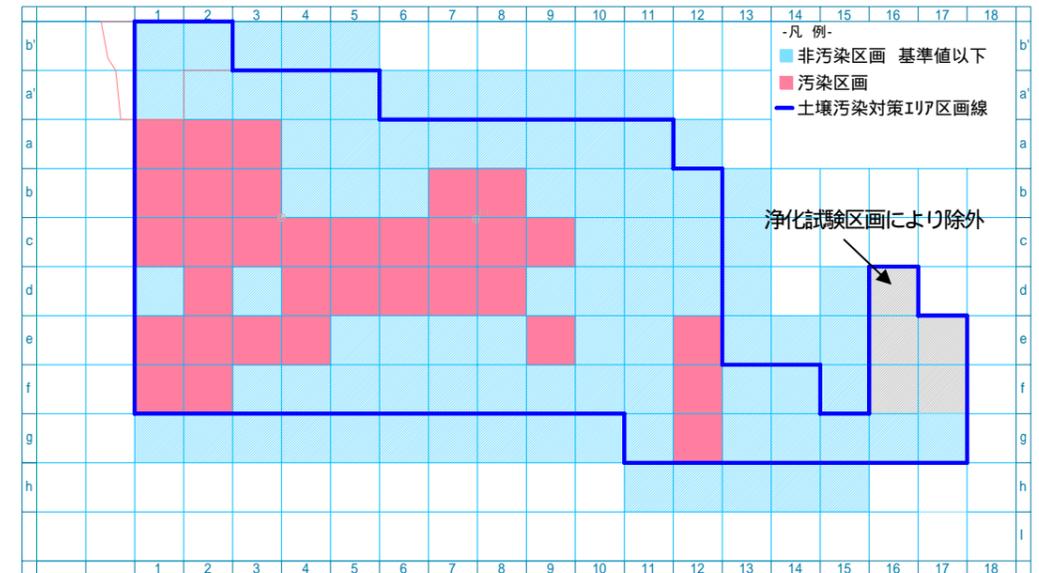
浄化開始前の汚染対策範囲 H21年4~6月



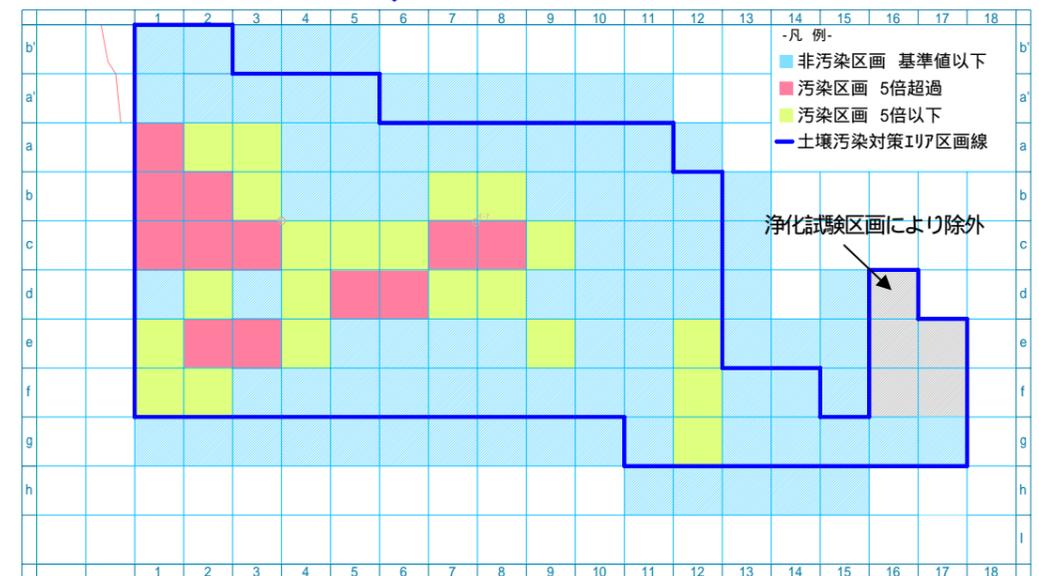
H22年6月時点での地下水環境基準値超過範囲



H22年10月時点での地下水環境基準超過範囲



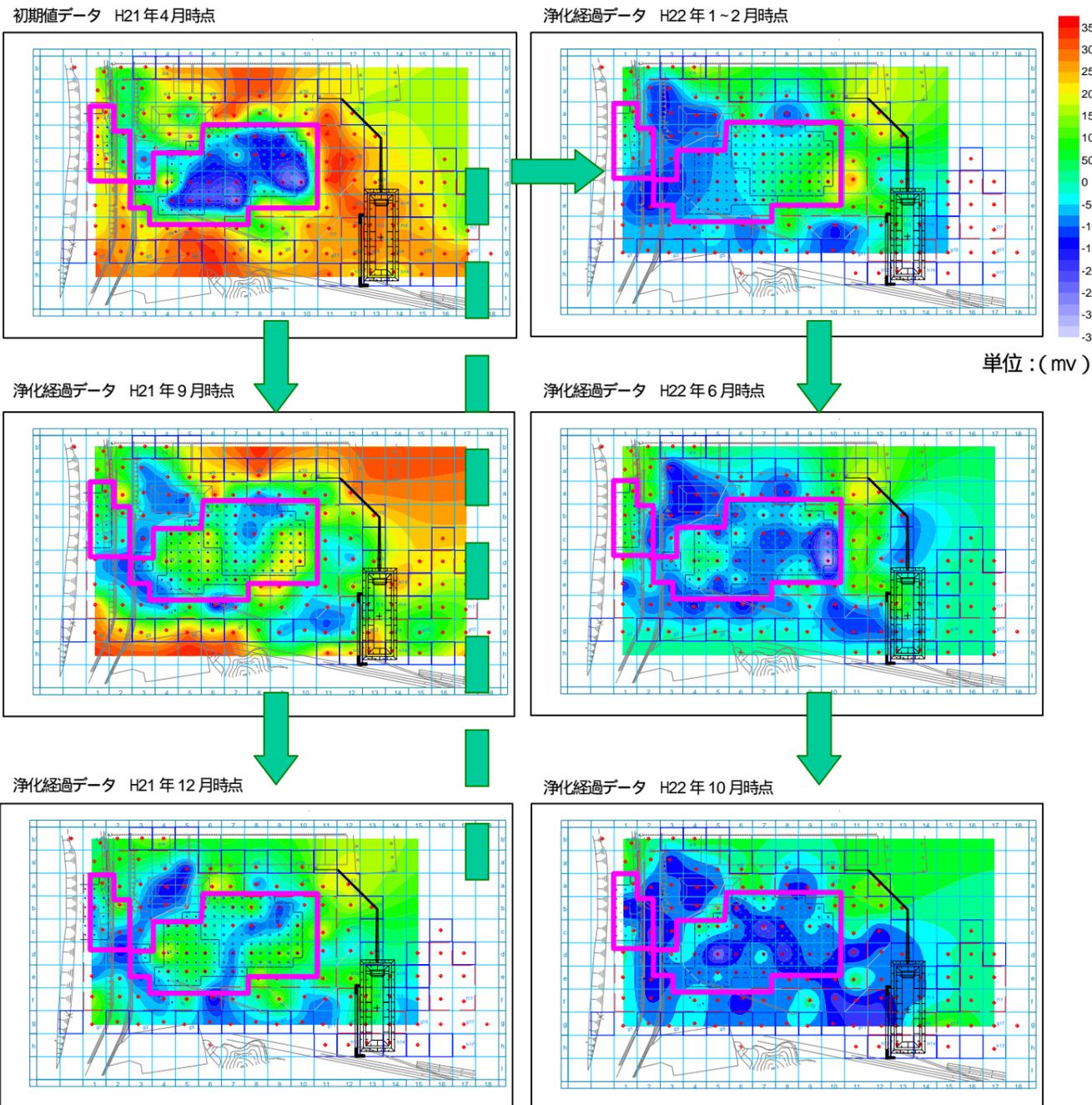
基準値超過36区画を環境基準値倍率5倍以上と5倍以下に色分けすると



1.1.2 各汚染物質の地下水コンター

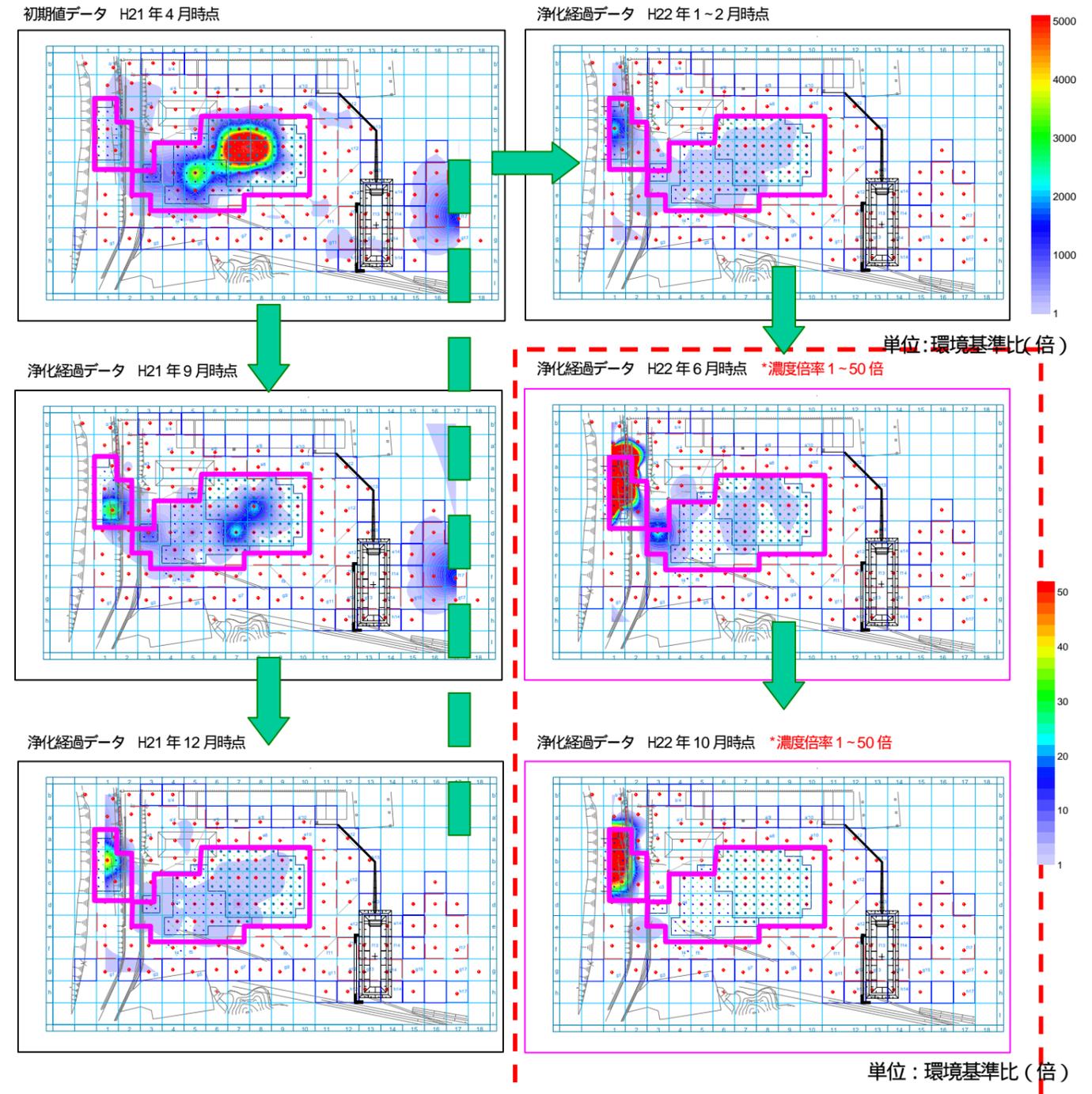
(1) ORP

H21年4月時点においてマイナス状態となっていた掘削エリアのORPは、その後実施した揚水バッキの影響によってプラス状態に変化したが、H22年5月より開始した栄養材の自然注入によって再びORPの低下が見られた。H22年1~2月はf-1、f-2区画で、H22年6月は自然注入実施の掘削エリア（県境部を除く の範囲）で、H22年10月では掘削エリア、N地区東側および南側でORPが低下している。これらはいずれも栄養材の注入を実施した区画であり、その効果が確認できる。



(2) DCM

県境側であるN地区西側に確認されていた高濃度汚染部分は、H22年6月以降もバリアー井戸および揚水バッキの継続運転により、濃度、範囲とも効果的に減少した。現在、このエリアについては10月12日に揚水を停止し、栄養材の注入を開始しており、12月中に終了予定である。また、揚水バッキにより濃度減少傾向が顕著であった掘削エリア内についてはH22年5月からバイオ自然注入を実施し、現在、ほとんどの区画において環境基準値を満足している状態となっている。

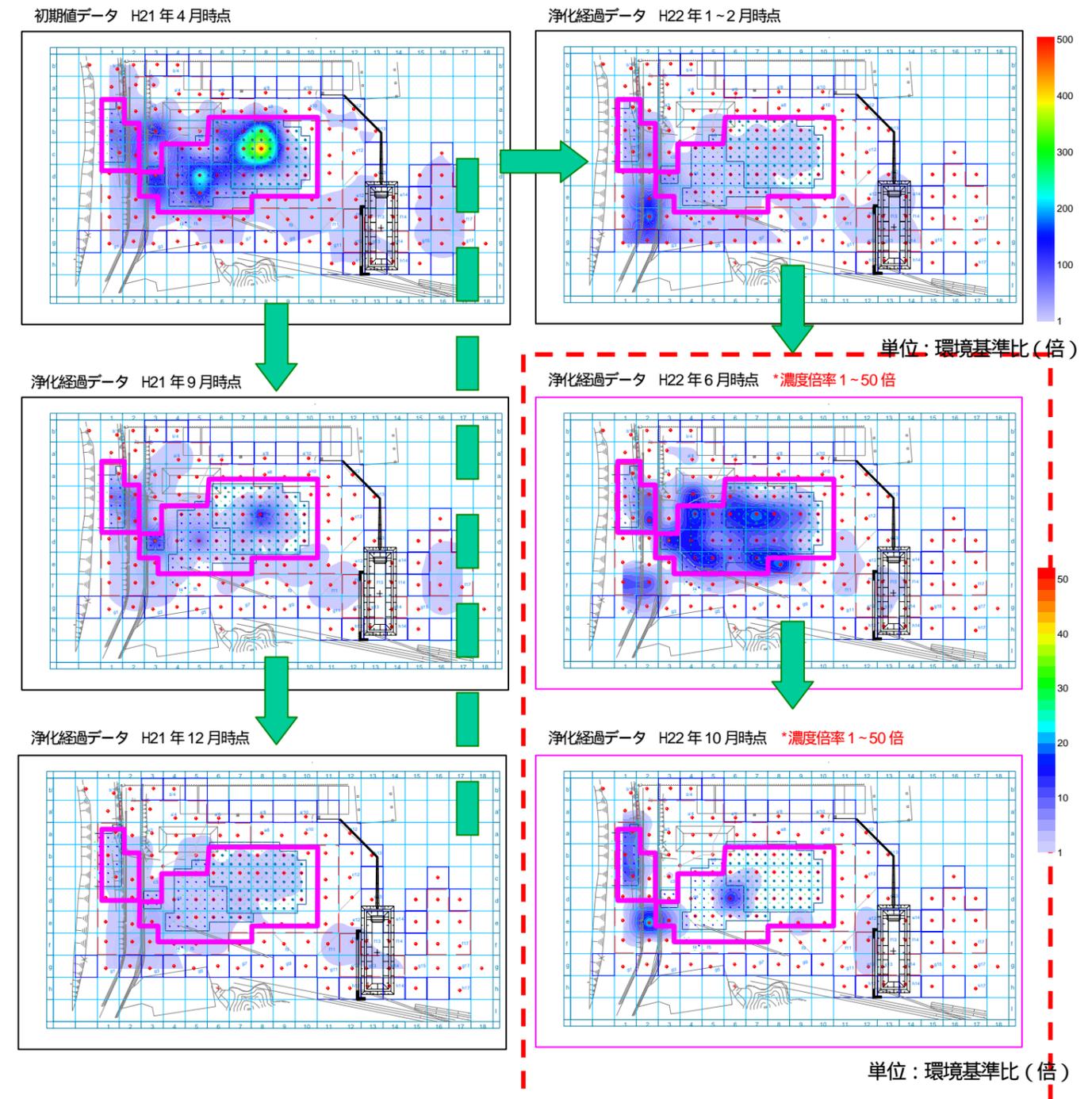
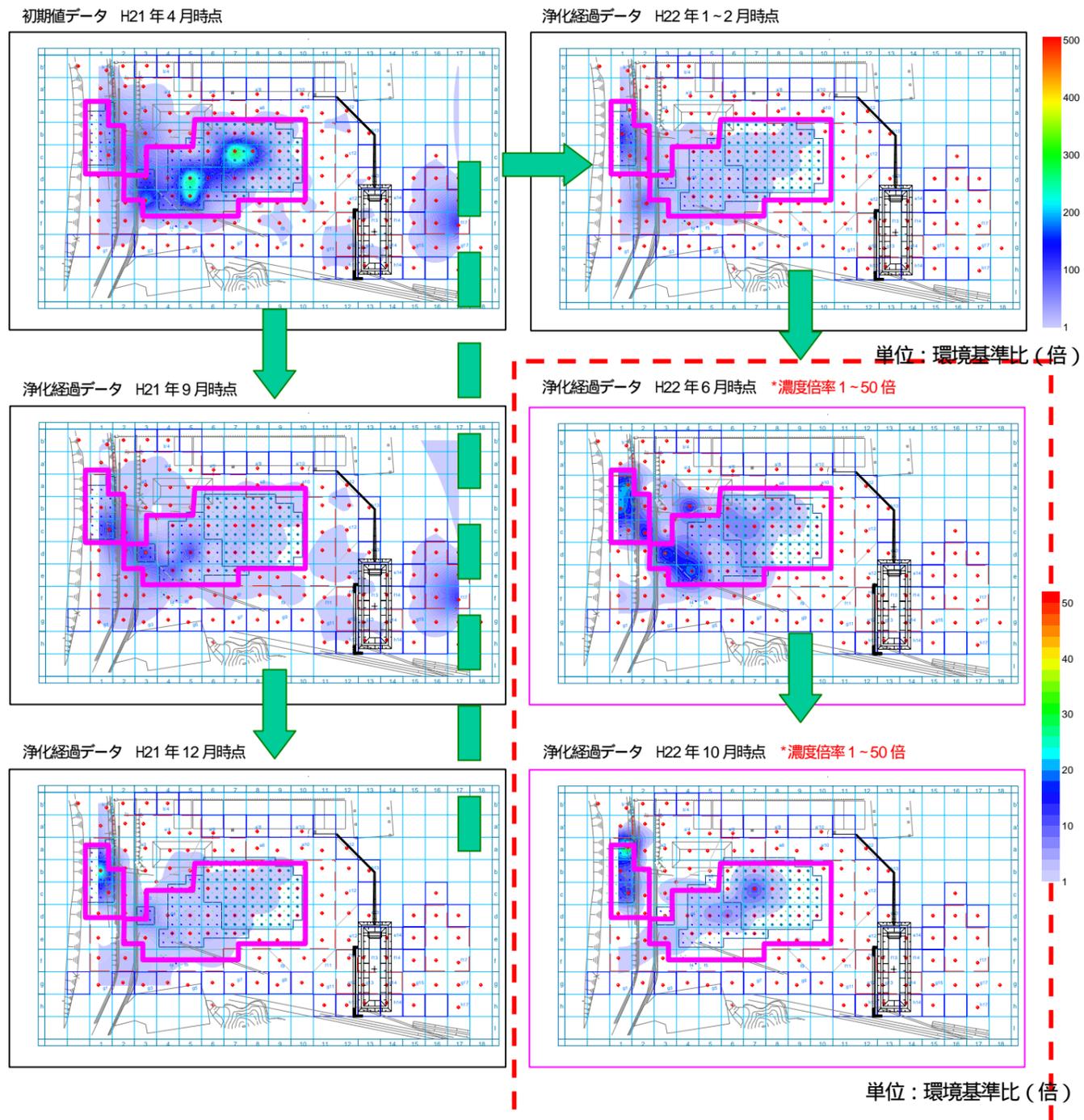


(3) 1,2-DCA

バリアー井戸および揚水バッキの継続運転により、濃度、範囲とも効果的に減少したものの、バイオレメディエーションによる浄化の効果はエチレン系物質に比べ少なく、H22年10月においては自然注入範囲では多くの区画において未だ環境基準値を超過している。

(4) cis-1,2-DCE

掘削エリア内における高濃度汚染部分は、揚水バッキの実施により効果的に減少し、その後の、バイオ浄化により顕著な濃度減少が見られた。H22年10月においては県境側および局所的な環境基準値超過区画が確認される。このような汚染は他の汚染物質の分解過程による一過性であると推測され、今後、更に汚染濃度は減少することが予測される。

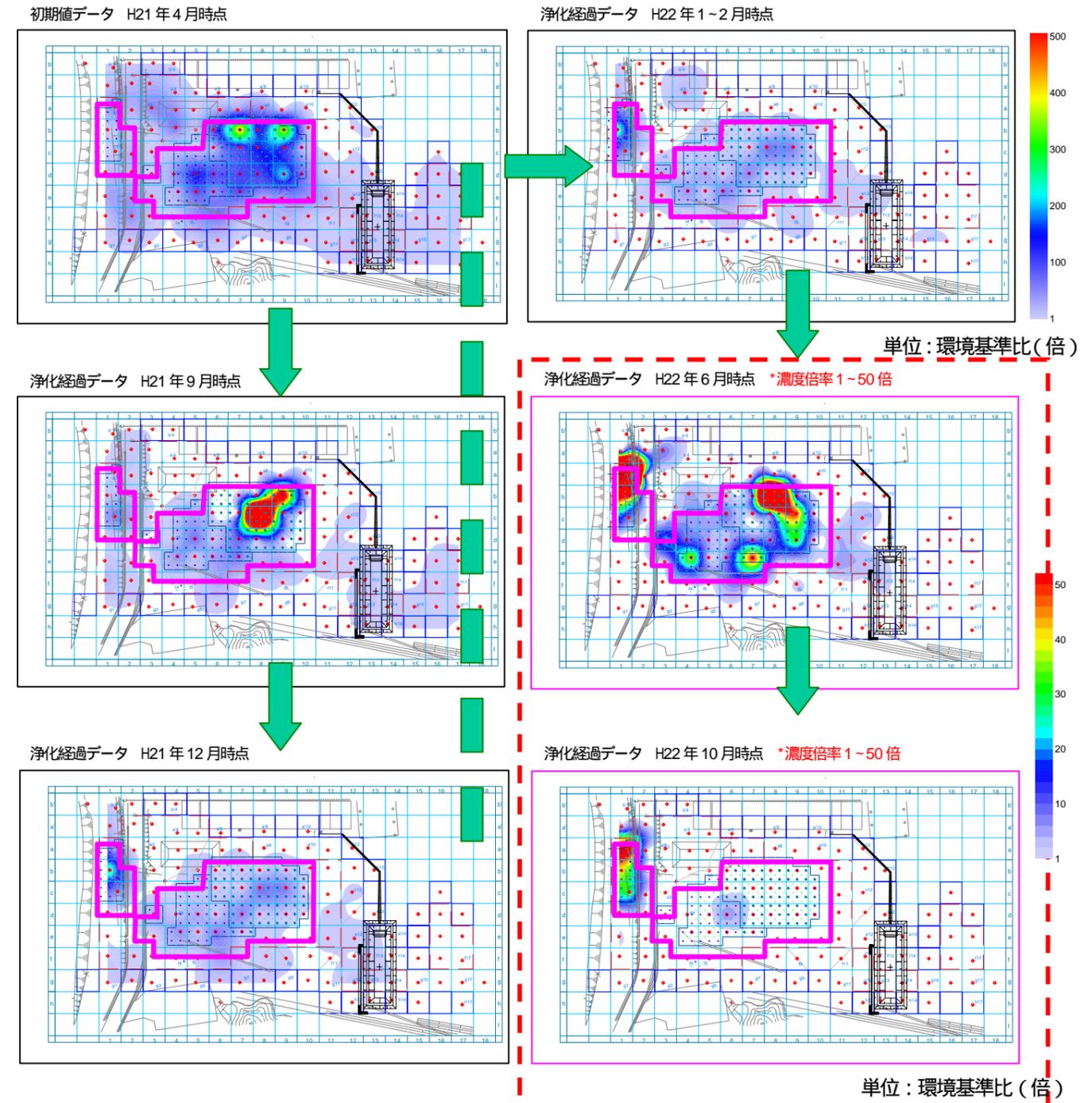
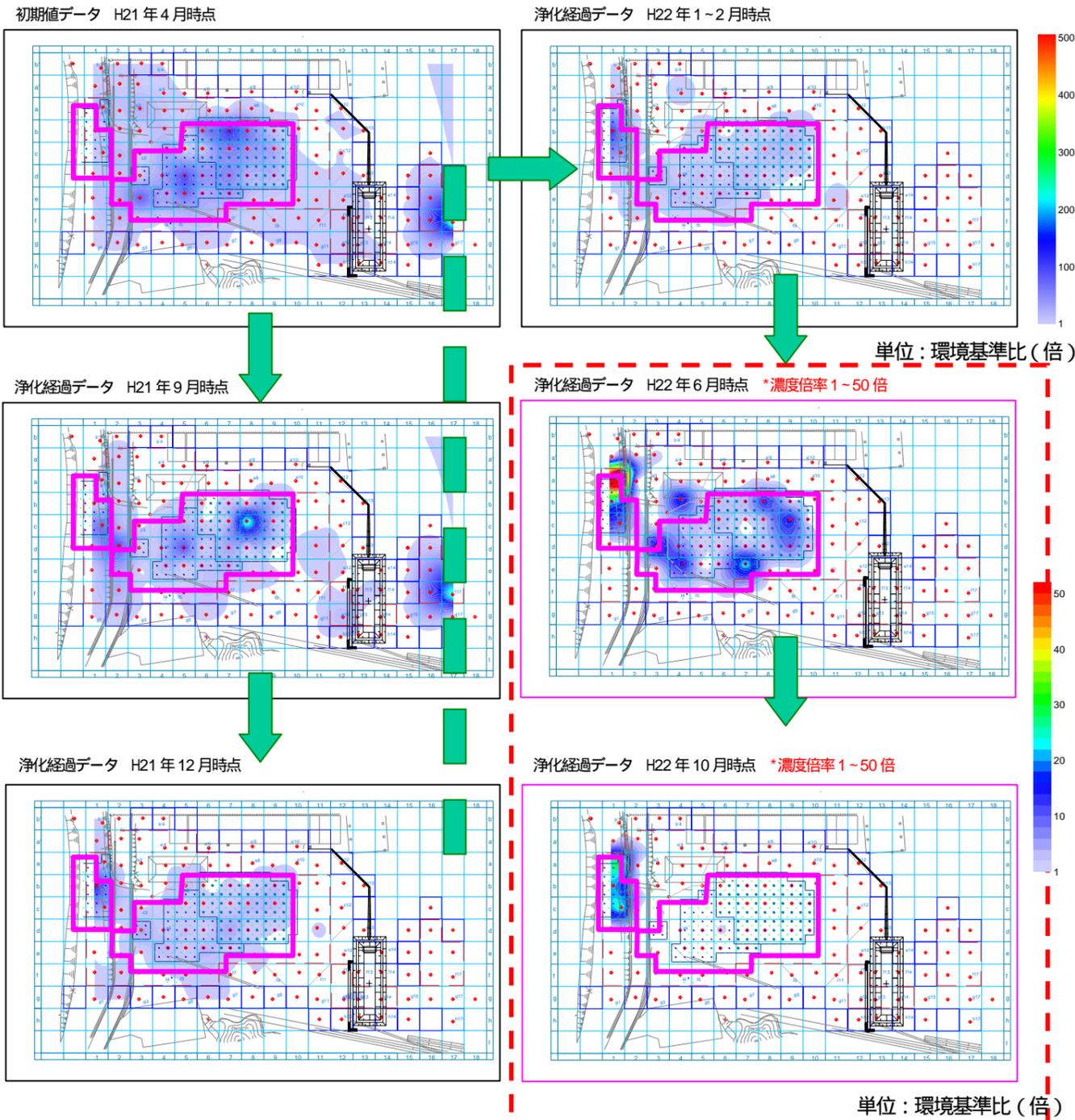


(5) TCE

自然注入を実施した掘削エリア内（県境部を除く エリア内）の減少傾向が顕著であり、N地区のほとんどで環境基準値以下となっており、基準値超過区画は1区画のみである。県境部の高濃度汚染区画では、揚水バッキ継続による濃度減少傾向が確認され、H22年10月で地下水環境基準値の20倍~30倍となった。現在、前記したように栄養材の注入を開始しており、今後、バイオ浄化は効果的に進むものと考えられる

(6) PCE

TCE同様、ダブルバッカー、自然注入でのバイオ浄化による濃度減少が明らかに確認できる。県境部では地下水環境基準値の30倍~40倍程度検出されているほか、N地区内では地下水環境基準値の2~3倍程度で2区画程確認されるまでに浄化が進んでいる。今後、栄養材の注入により、バイオ浄化は効果的に進むものと考えられる。



(7) Benzn

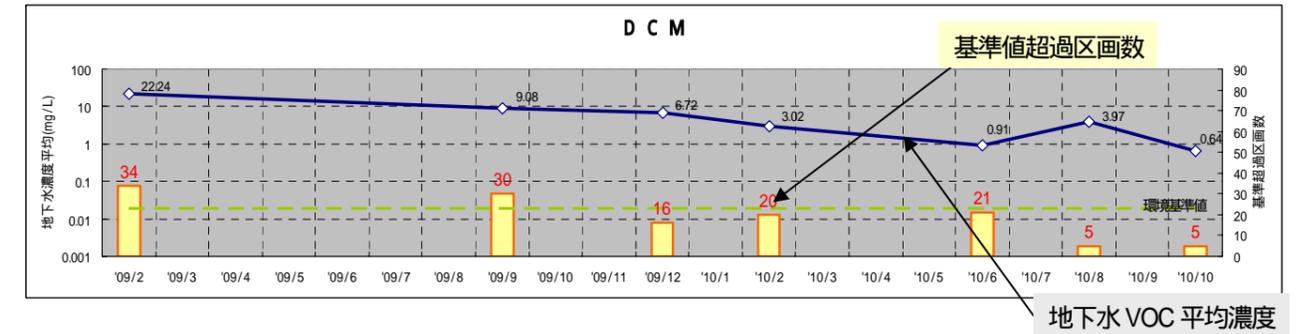
揚水バッキエリアでの濃度減少傾向が著しく確認できる。また、嫌気バイオ対象物質ではないものの、バイオ単独浄化エリアである南西県境部の汚染範囲の縮小が確認できる。しかしながら、まだ多くの区画において環境基準値を超過しておりモニタリングによる観察が必要である。

1.1.3 地下水 VOC 濃度での浄化傾向

地下水汚染濃度の減少傾向を表すため、飽和帯浄化開始（ホットソイル終了後）以降の地下水環境基準値を超過した区画の VOC 濃度の平均値とその数値の減少率を表に、濃度の減少傾向と基準値超過区画の推移をグラフに示す。

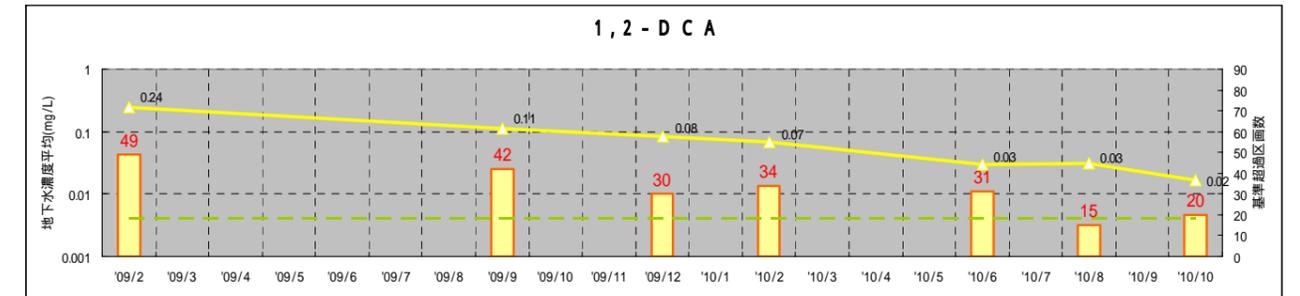
1) DCM

	09年2月	09年9月	09年12月	10年2月	10年6月	10年8月	10年10月
地下水平均濃度	22.24	9.08	6.72	3.02	0.91	3.97	0.64
濃度減少率		59.2%	69.8%	86.4%	95.9%	82.1%	97.1%



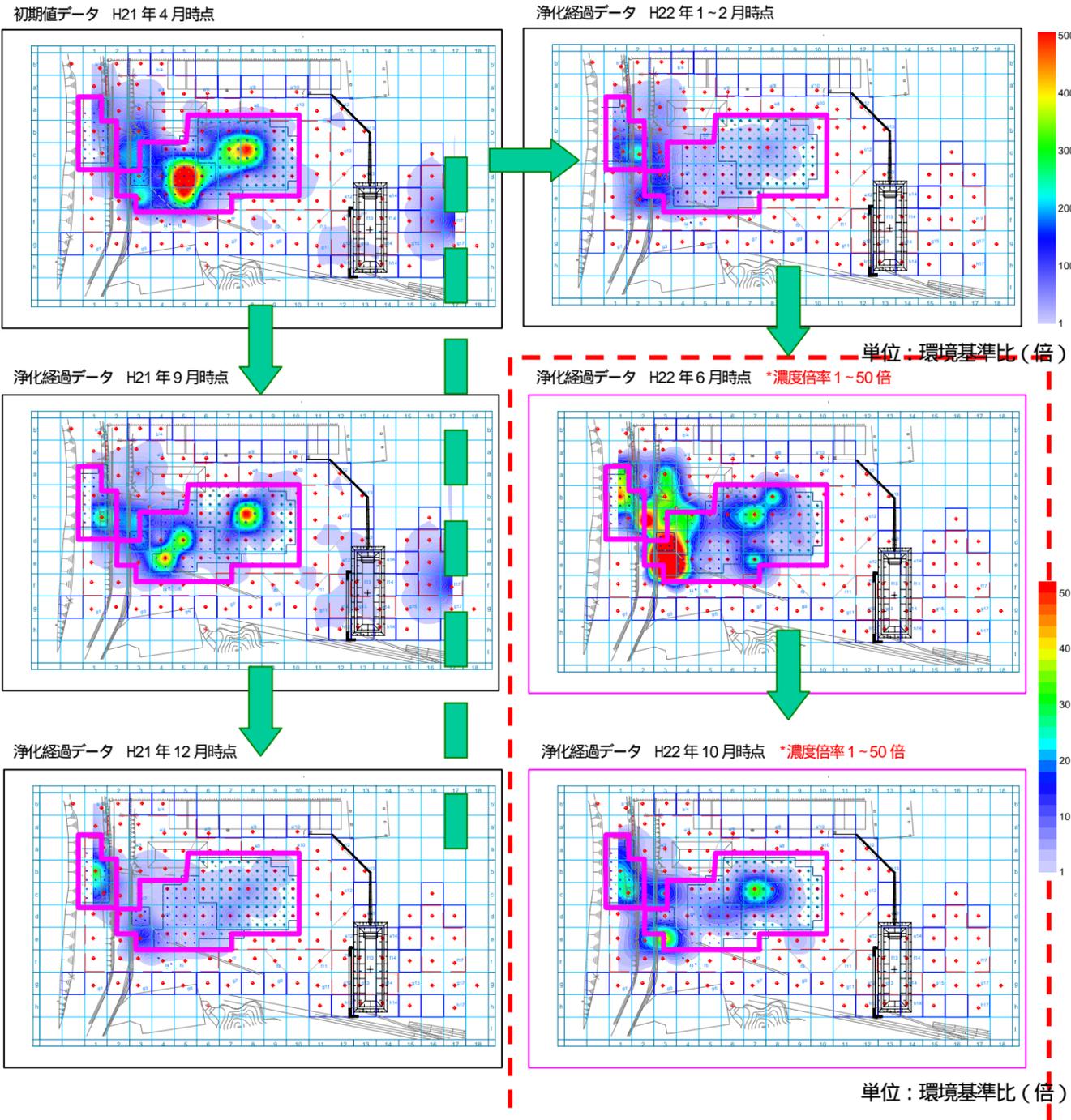
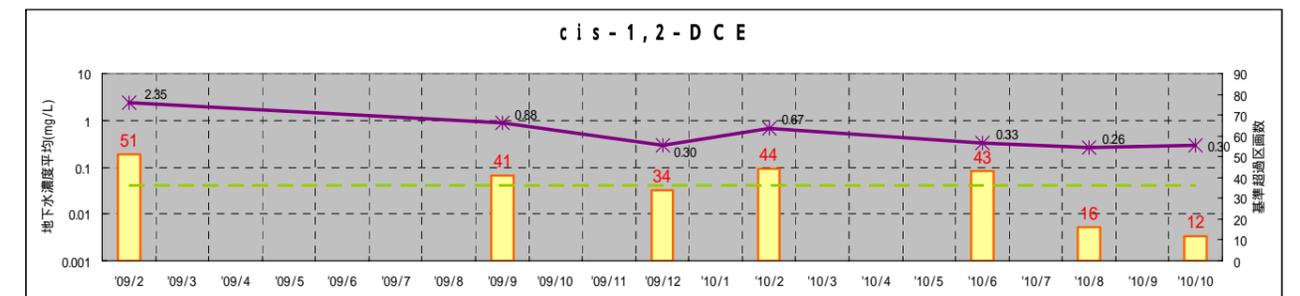
2) 1,2-DCA

	09年2月	09年9月	09年12月	10年2月	10年6月	10年8月	10年10月
地下水平均濃度	0.24	0.11	0.08	0.07	0.03	0.03	0.02
濃度減少率		54.6%	66.0%	72.1%	87.8%	87.4%	93.1%



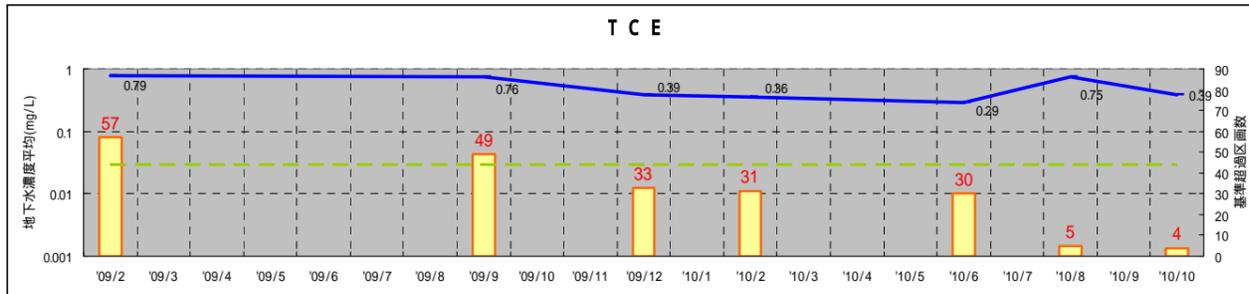
3) cis-1,2-DCE

	09年2月	09年9月	09年12月	10年2月	10年6月	10年8月	10年10月
地下水平均濃度	2.35	0.88	0.30	0.67	0.33	0.26	0.30
濃度減少率		62.3%	87.3%	71.3%	85.8%	88.9%	87.3%



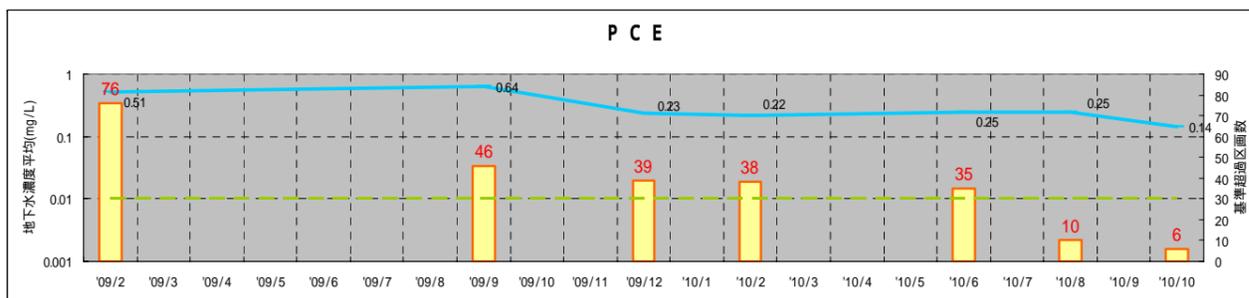
4) TCE

	09年2月	09年9月	09年12月	10年2月	10年6月	10年8月	10年10月
地下水平均濃度	0.79	0.76	0.39	0.36	0.29	0.75	0.39
濃度減少率		3.5%	50.9%	54.7%	62.9%	4.4%	50.5%



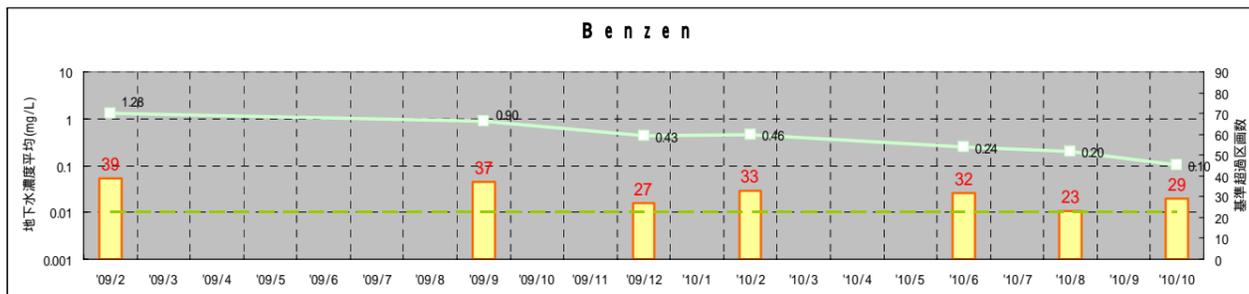
5) PCE

	09年2月	09年9月	09年12月	10年2月	10年6月	10年8月	10年10月
地下水平均濃度	0.51	0.64	0.23	0.22	0.25	0.25	0.14
濃度減少率		-25.9%	54.6%	57.4%	51.5%	51.5%	71.7%



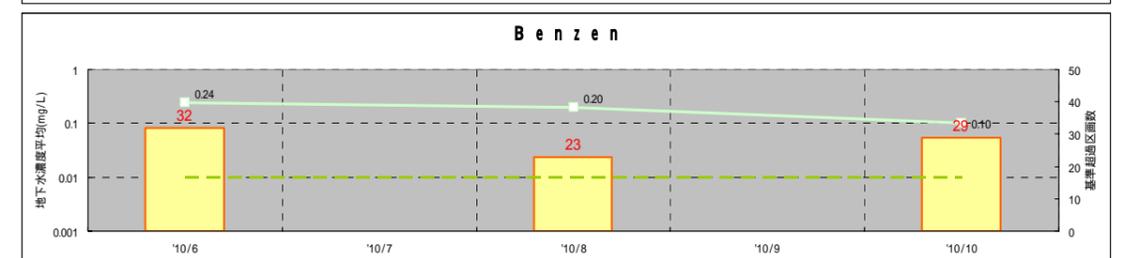
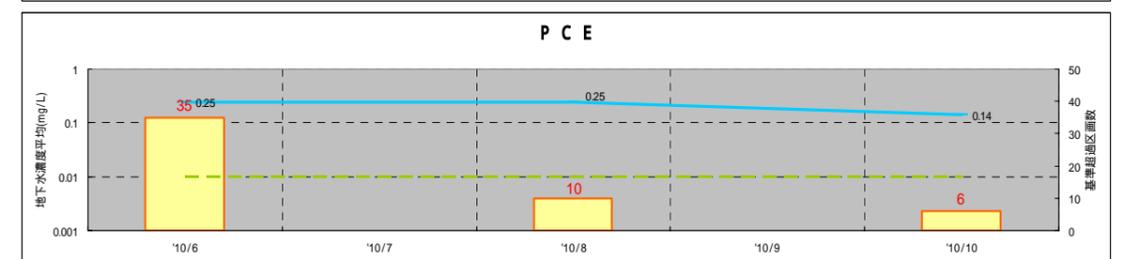
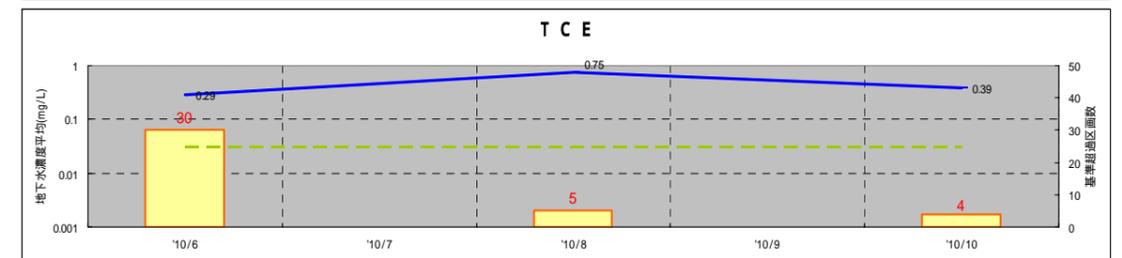
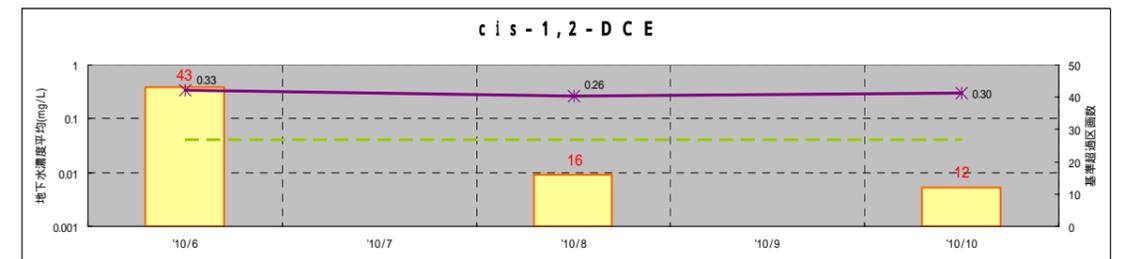
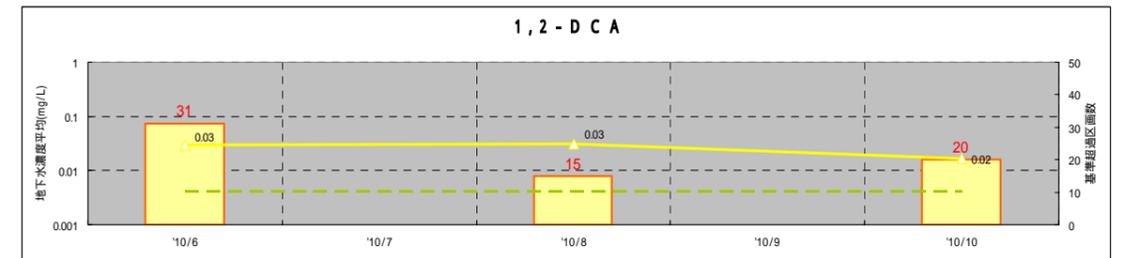
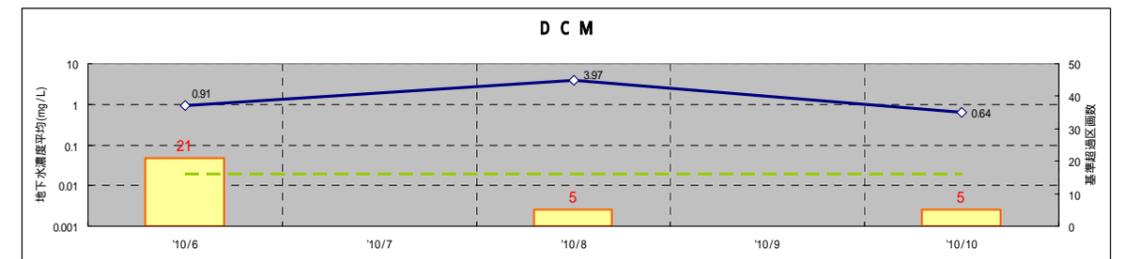
6) Benzen

	09年2月	09年9月	09年12月	10年2月	10年6月	10年8月	10年10月
地下水平均濃度	1.28	0.90	0.43	0.46	0.24	0.20	0.10
濃度減少率		29.9%	66.5%	64.3%	81.1%	84.7%	92.1%



各物質とも H21 年度(09 年 9 月 ~ 12 月) と H22 年 8 月 (10 年 8 月) に基準値超過区画数が大幅に減少している。濃度減少傾向としては緩やかではあるが減少傾向は現在も継続している。H22 年 6 月 (09 年 6 月) 以降のデータ拡大したグラフを以下に示す。

H21 年 6 月以降の濃度では cis-1,2-DCE、TCE でやや横ばい傾向ではあるものの、他の物質はいずれも減少傾向を示していることが確認できる。これらの傾向より N 地区では微生物分解による浄化やそれに伴う濃度減少が現在も継続中であることを示していると推測される。

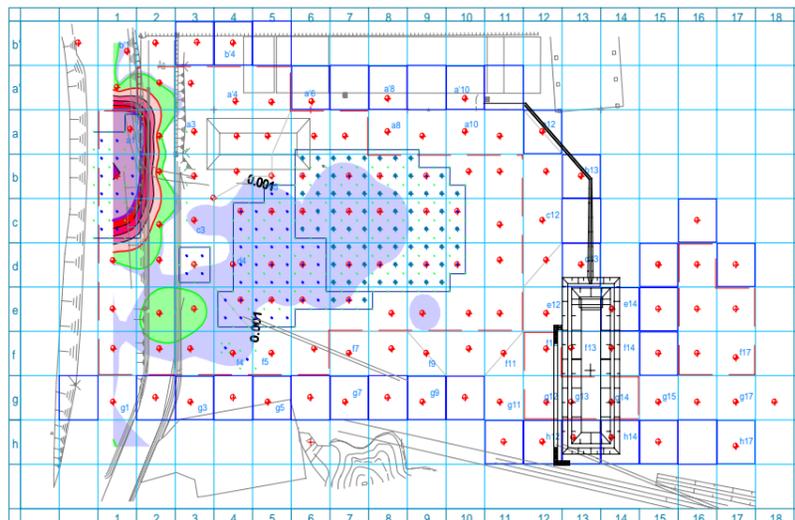


(8) 各汚染物質コンター図 (H22年10月時点)

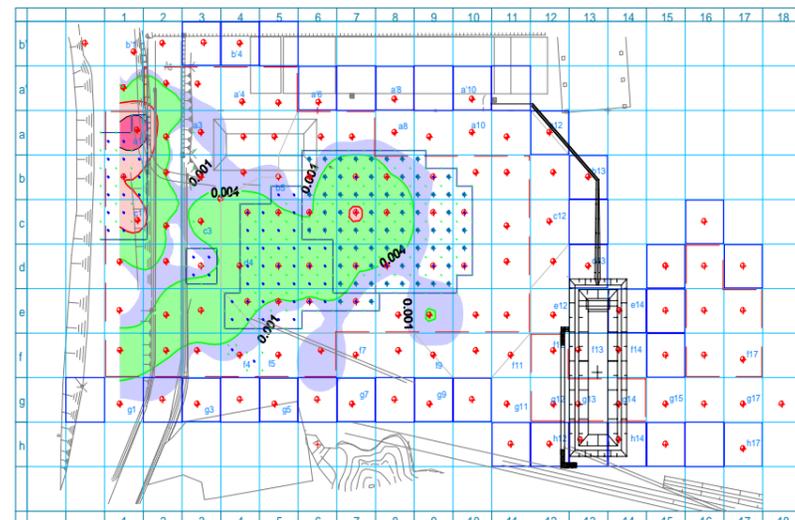
下図にH22年10月時における各汚染物質のモニタリング結果を示す。各汚染物質のコンター図は、前出したコンター図の濃度スケールを変え、低濃度部分における汚染状況を明確にしたものである。結果より、サイト全体において各汚染物質の濃度減少が確認された。特に県境側の区画を除けば、DCM、TCEおよびPCEは、ほとんどの区画において環境基準値を満足している。cis-1,2-DCEについては局所的な汚染が点在しているが、これまでの傾向から今後浄化はさらに進むものと思われる。しかしながら、1,2-DCAおよびベンゼンについてはモニタリングを継続し、濃度の減少傾向を的確に評価することにより、適切な対応策を講じる必要があるものと思われる。また、県境側の汚染区画については、10月12日より栄養材の注入を開始しており、今後モニタリングを継続していく予定である。今回の濃度スケールでホットスポットとなっている環境基準の10倍以上の濃度が確認できる区画は、県境部を除き1,2-DCAで1箇所、cis-1,2-DCEで2箇所、Benzenで3箇所である。この3物質6区画は追加注入実施直後の区画であるが今後モニタリングの中心となっていくと思われる。これまでの浄化傾向より、これらのホットスポットの濃度減少を行い汚染物質の供給源をたつことにより徐々に現場全体の汚染濃度は減少していくと推測している。

- 凡例 -
- | | | |
|------------------------|-----------|-----------|
| □ 検出限界以下 (0.01mg/L 以下) | □ 環境基準値以下 | □ 10倍未満 |
| □ 10倍~20倍 | □ 20倍~30倍 | □ 30倍~40倍 |
| □ 50倍~100倍 | □ 100倍以上 | □ 40倍~50倍 |

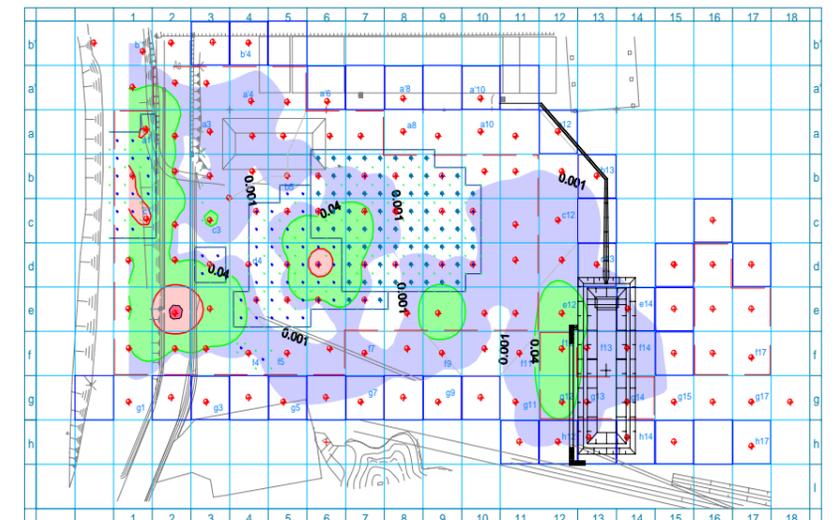
DCM



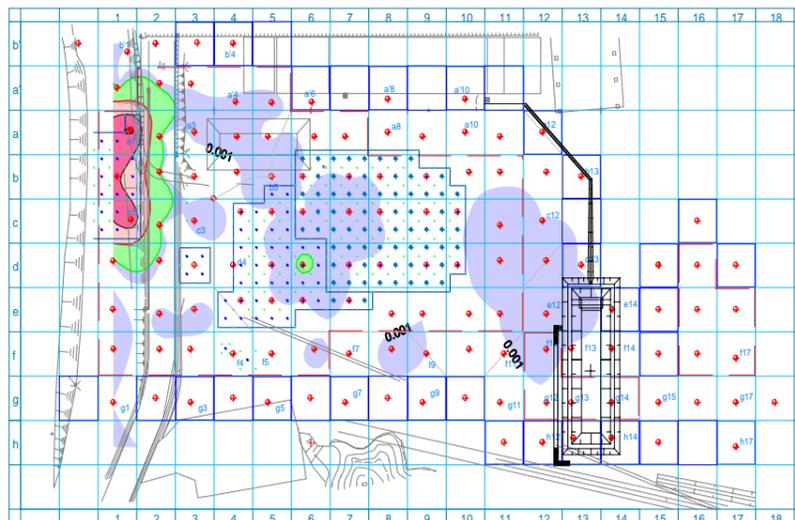
1,2-DCA



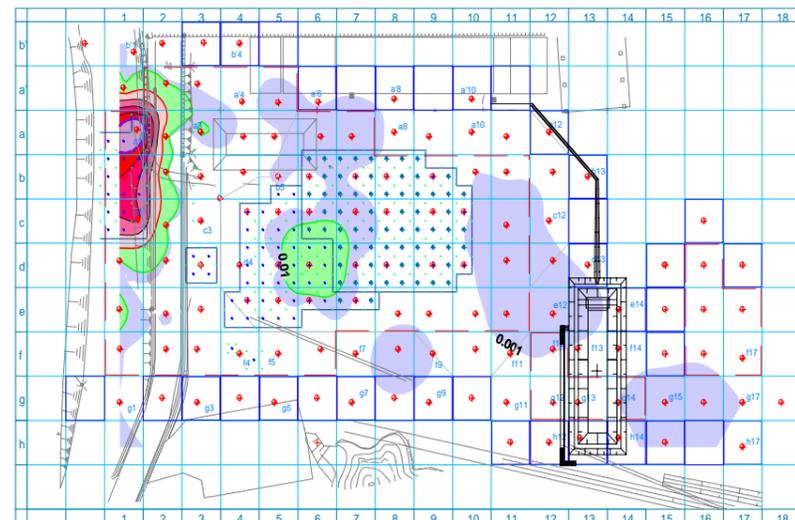
cis-1,2-DCE



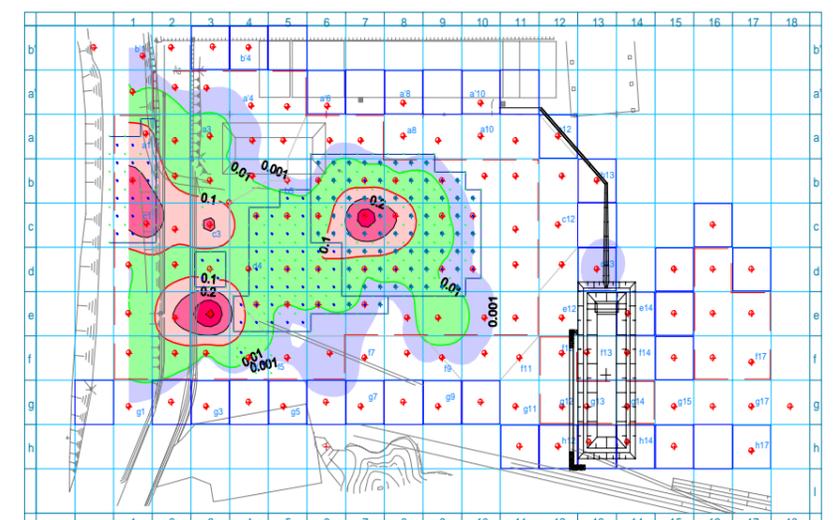
TCE



PCE



Benzen



1.2 揚水バッキ

1.2.1 揚水バッキエリアの状況

揚水バッキは、高濃度汚染エリアにおいてバイオレメディエーション適用可能な濃度(地下水環境基準値の概ね50~100倍以下)に減少することを目的に実施したものである。

図-1.2.1に揚水バッキによる浄化を実施したエリアを示す。(汚染濃度の状況については前項参照のこと)

第11回技術検討委員会での報告時点では、H22年6月のモニタリング結果においてもa-1、b-1およびc-1の3区画は地下水で100倍から2500倍の汚染濃度が検出されており継続で揚水バッキを実施することとしていたが、H22年10月時点での地下水濃度がDCMで100倍程度、PCE、Benzenは50倍以下となったため、バイオ適応可能と判断し県境部3区画においても栄養材の注入を開始した。

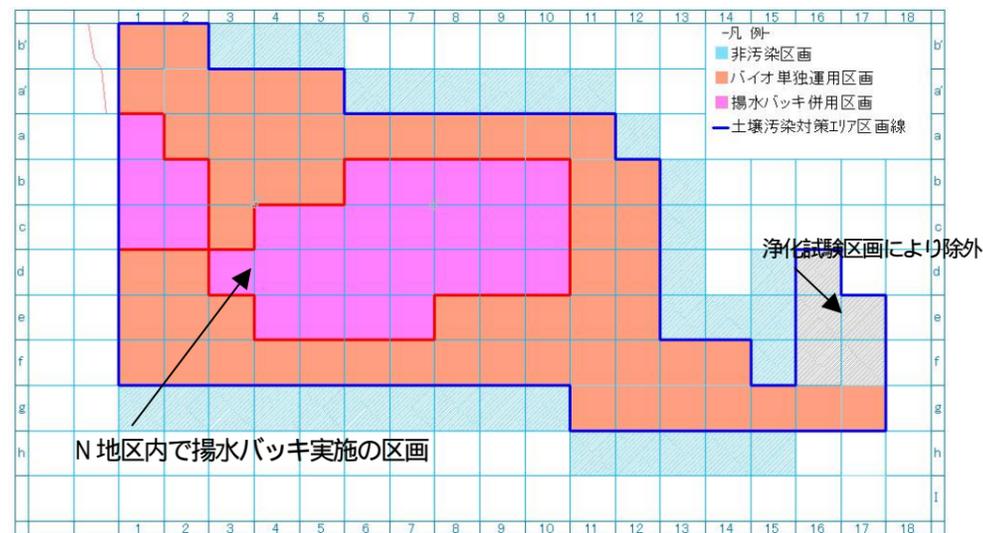


図 - 1.2.1 揚水バッキエリア

1.2.2 モニタリング結果

(1) 揚水バッキによる処理水量および汚染物質回収量

図-1.2.2に揚水バッキにおける処理水量の総量と処理原水の総VOC濃度の経時変化を示す。

揚水バッキによる処理水は最大50~300m³/稼働日で調整し運用を実施し、運用開始0日(H21.6/24)から147日経過後(H21.12/17まで)の累計処理水量は約29,124m³であった。また、継続運用を行った県境3区画はH22年1月15日からH22年10月12日まで運用を延長し累計処理水量は6,986m³であった。揚水バッキでは継続運用も含め総合計で36,110m³の揚水を処理しVOCを回収した。累計処理水量から算出した各汚染物質の回収量を表-1.2.1に示す。

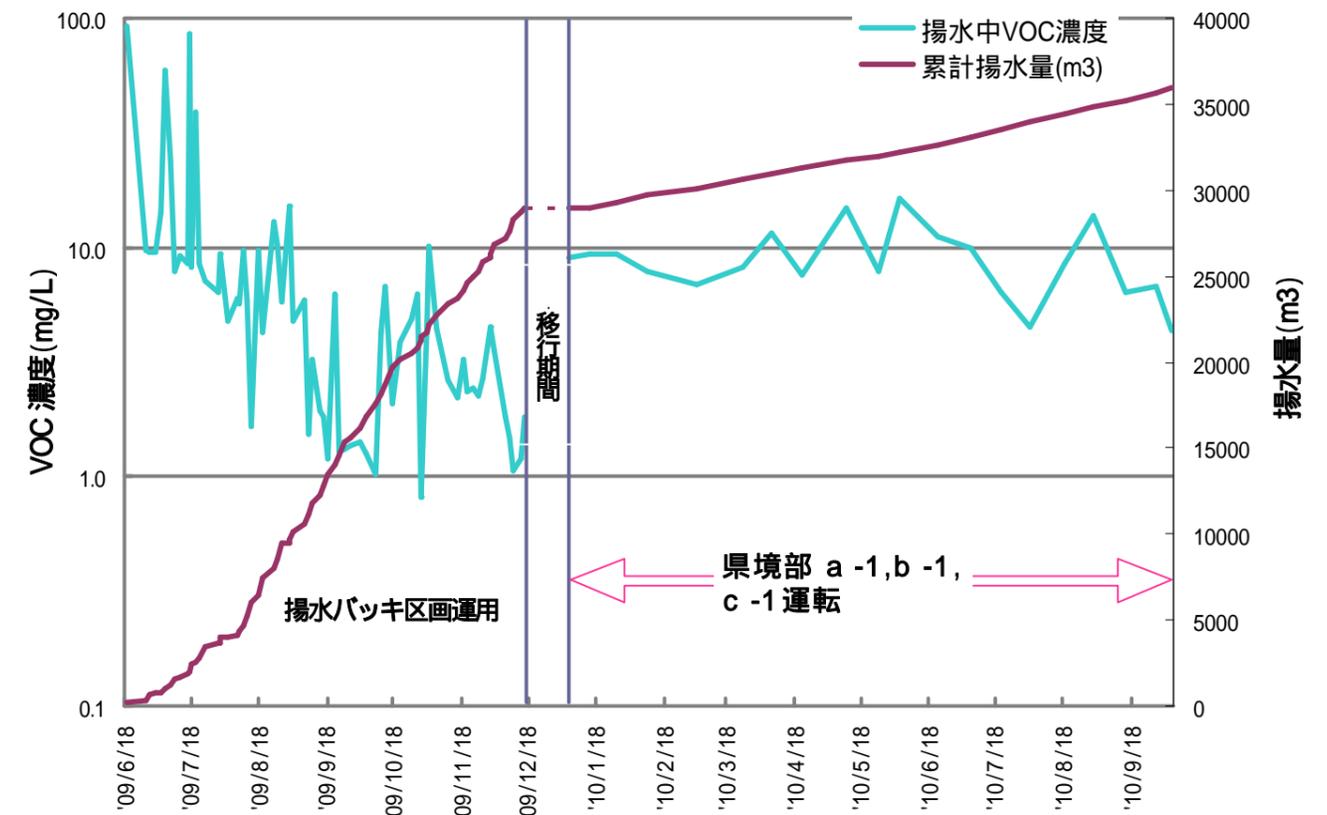


図 - 1.2.2 処理原水中の総VOC濃度の変化と累積揚水量

表 - 1.2.1 加圧注入・揚水バッキにおける汚染物質回収量

汚染物質	H21年回収量(kg)	延長期間回収量(kg)	総回収量(kg)
DCM	142.18	41.22	183.40
PCM	0.00	0.00	0.00
1,2-DCM	1.71	1.32	3.03
1,1-DCE	0.05	0.05	0.10
cis-1,2-DCE	11.31	2.45	13.76
1,1,1-TCA	0.88	0.46	1.34
1,1,2-TCA	0.01	0.002	0.01
TCE	8.73	7.22	15.95
PCE	6.70	6.57	13.27
1,3-DCP	0.00	0.00	0.00
Benzn	10.23	3.42	13.65
合計	181.80	62.73	244.53

(2) 県境部のモニタリング結果

c-1 区画のモニタリング位置図および結果を図-1.2.3 および表-1.2.2 に、濃度経時変化グラフを図-1.2.4、1.2.5 に示す。

c-1 区画は県境部で運用期間を延長しH22年10月まで運用を行った区画の一つであるがバイオ適応濃度まで汚染を減少することができた。

<参照資料>

Appendix.2 揚水バッキ地下水汚染分析結果

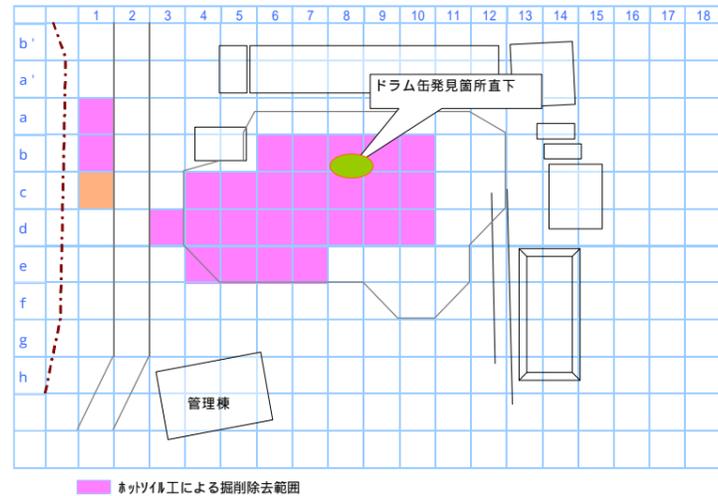


図-1.2.3 c-1区画モニタリング位置図

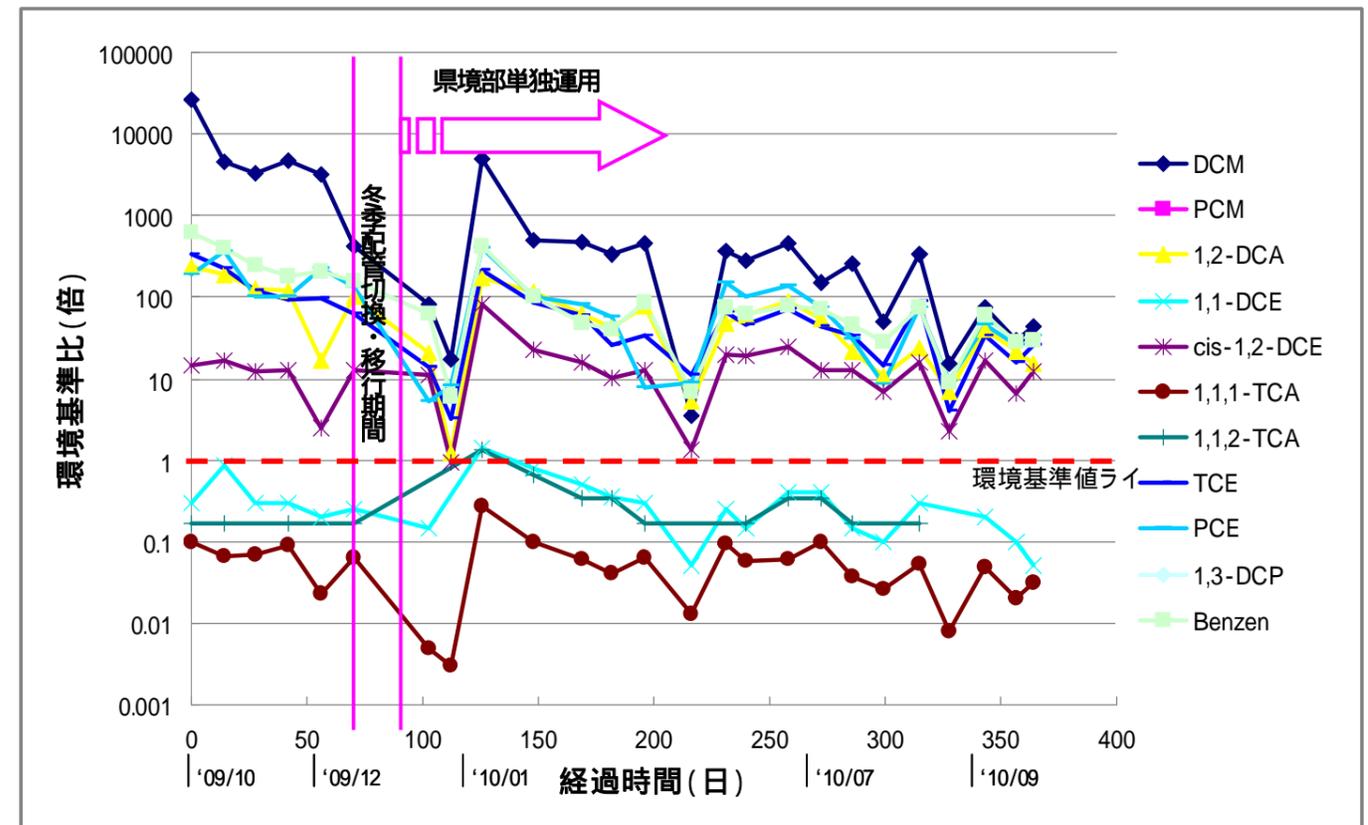


図-1.2.4 c-1区画地下水濃度経時変化 VOC11項目

表-1.2.2 c-1区画 地下水VOC濃度環境基準比結果

採水日	経過日数	地下水濃度環境基準比(倍)										
		DCM	PCM	1,2-DCA	1,1-DCE	cis-1,2-DCE	1,1,1-TCA	1,1,2-TCA	TCE	PCE	1,3-DCP	Benzen
'09/10/7	0	26500	0	235	0.3	14.8	0.1	0.2	333.3	190	0	620
'09/10/21	14	4550	0	192.5	0.9	16.8	0.07	0.2	223.3	360	0	400
'09/11/4	28	3400	0	127.5	0.3	12	0.07	0	120	100	0	250
'09/11/18	42	4800	0	122.5	0.3	13	0.09	0.2	93.3	100	0	180
'09/12/2	56	3150	0	16.5	0.2	2.5	0.02	0	96.7	230	0	210
'09/12/16	70	420	0	102.5	0.3	12.5	0.07	0.2	63.3	130	0	160
'10/1/18	103	80	0	20.8	0.2	11	0.01	0	13.7	5.3	0	62
'10/1/27	112	17.5	0	1.3	0	0.9	0.003	0	3.3	8.2	0	5.9
'10/2/10	126	5000	0	175	1.4	82.5	0.3	1.3	216.7	400	0	420
'10/3/4	148	500	0	115	0.8	22.5	0.1	0.7	86.7	100	0	100
'10/3/25	169	475	0	62.5	0.5	15.8	0.06	0.3	60	81	0	47
'10/4/7	182	340	0	42.5	0.4	10.3	0.04	0.3	25.7	58	0	41
'10/4/21	196	450	0	77.5	0.3	13	0.06	0.2	33.3	8	0	86
'10/5/11	216	3.6	0	5.3	0.05	1.4	0.01	0	11.3	8.9	0	6.8
'10/5/26	231	360	0	47.5	0.3	20.3	0.09	0	66.7	150	0	76
'10/6/4	240	285	0	60	0.2	19	0.06	0.2	46.7	100	0	62
'10/6/22	258	460	0	90	0.4	25	0.06	0.3	70	140	0	78
'10/7/6	272	150	0	55	0.4	13	0.1	0.3	43.3	74	0	72
'10/7/20	286	260	0	21.8	0.2	12.5	0.04	0.2	33	31	0	46
'10/8/2	299	50	0	10.5	0.1	6.8	0.03	0	14.3	8.6	0	28
'10/8/18	315	335	0	23.5	0.3	15.8	0.05	0.2	90	76	0	75
'10/8/31	328	15	0	6.8	0	2.3	0.01	0	4	9.2	0	8.9
'10/9/15	343	75	0	40	0.2	16.5	0.05	0	33.3	45	0	60
'10/9/29	357	30	0	21.3	0.1	6.5	0.02	0	16	26	0	28
'10/10/6	364	43.5	0	15	0.05	12	0.03	0	26.3	33	0	30
地下水濃度基準値(mg/L)		0.02以下	0.002以下	0.004以下	0.02以下	0.04以下	1以下	0.006以下	0.03以下	0.01以下	0.002以下	0.01以下

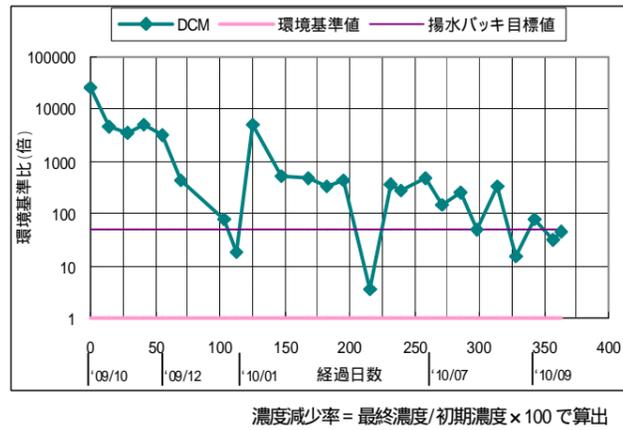
赤字：基準値超過 ND=0倍と表記

DCM

初期倍率は環境基準値を超過していた6物質中一番高く26500倍であった。120日目、230日目で大きく減少するが、その後に濃度が上昇している。この挙動は全ての物質で同じ傾向で確認できる。

1桁オーダー程度の範囲で濃度がバラツキながら徐々に減少していく傾向であった。また、100～150日毎のサイクルで1桁オーダー程度減少している。

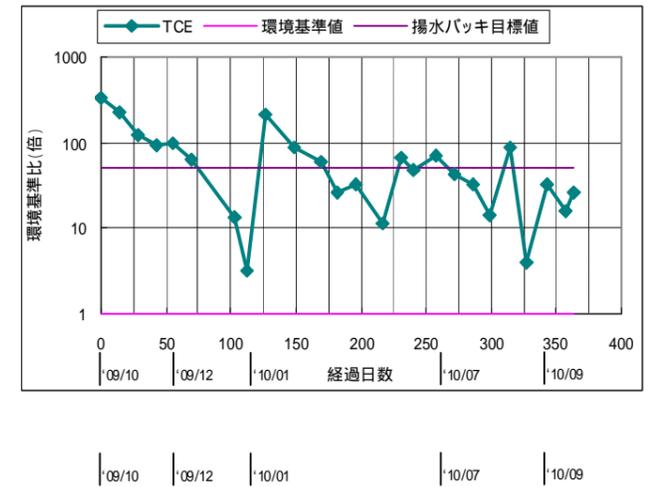
開始前には26500倍であった地下水濃度が終了時には43.5倍となり濃度減少率は99.8%であった。



TCE

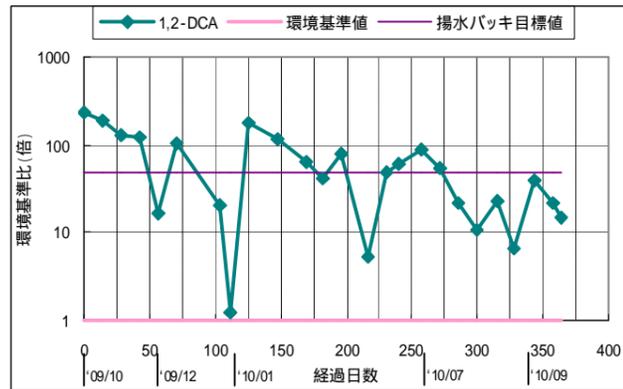
初期倍率は2番目に高く333.3倍であった。DCMと同様に100～150日毎のサイクルで濃度減少、再上昇をくり返し減少している。

濃度減少率は92.1%であった。



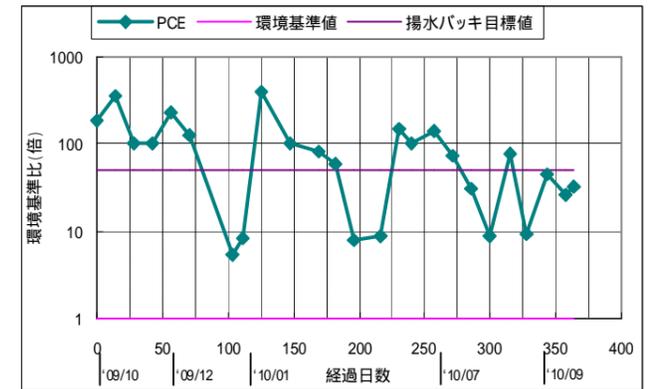
1,2-DCA

初期濃度は3番目に高く235倍であった。112日目には1.3倍まで低下するが126日目には175倍まで再び濃度が上昇した。減少傾向はDCMに比べ緩やかであり、濃度減少率は93.6%であった。



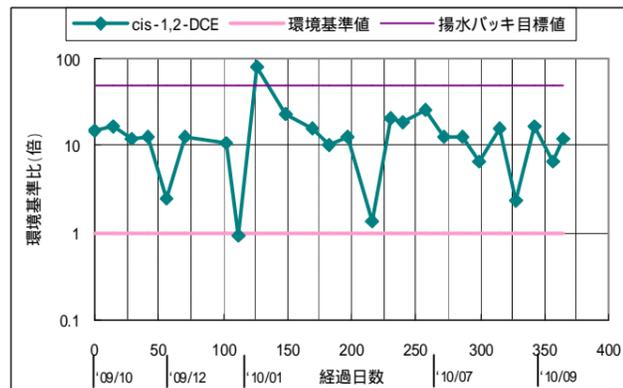
PCE

初期濃度は1,2-DCA、TCEより低い190倍であった。他と同様の100～150日毎のサイクルで濃度減少している。1,2-DCA、TCEよりも減少傾向は緩やかで濃度減少率は82.6%であった。



cis-1,2-DCE

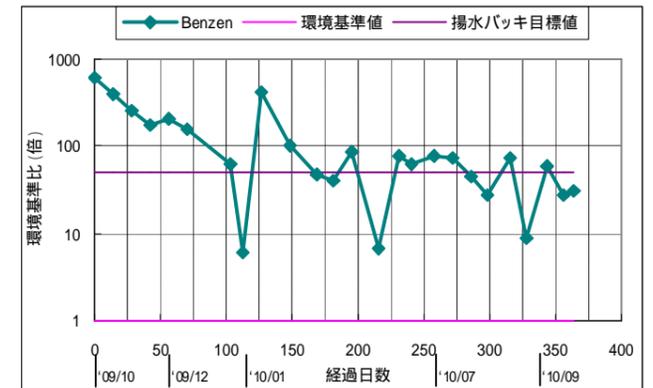
初期濃度は6物質で一番低く14.8倍であった。初期濃度と最終濃度で大幅な減少とはならなかった。120日、230日の増加のたびに初期濃度を超える値となり、最終的に濃度減少率は18.6%であった。



Benzen

DCMの次に初期倍率が高く620倍であった。他の物質と同じような傾向を示し終了時には基準値の30倍まで減少した。

濃度減少率は99.5%であった。



1.3 バイオレメディエーション

1.3.1 注入施工の進捗状況

N地区の栄養材注入施工はH21年4月27日より開始しH22年11月10日現在で計画注入量12,694m³のうち県境部自然注入の465m³を残し12,229m³を完了した。また、浄化傾向の遅いもしくは栄養材効果が切れていると判断した区画では区画を選定し追加での栄養材注入を実施した。県境部自然注入以外は計画注入量を完了した。

表4.3.1に計画注入量、追加注入量、実施合計注入量の栄養材総括注入量表を示す。

表 - 1.3.1 栄養材総括注入量表

注入方法	施工箇所別	細別	対象区画数	注入量(m ³)	実施注入量(m ³)		備考
					注入量(m ³)	進捗率(%)	
二重管ダブル パッカ-注入	バイオ単独エリア	計画注入量	56	7,073	7,073	100%	H22.11/10施工完了
		追加注入量	8	577	577	100%	
自然注入	揚水バッキエリア (掘削ヤード)	計画注入量	29	3,933	3,933	100%	H22.11/10施工完了
		追加注入量	4	226	226	100%	
	揚水バッキエリア (県境部)	計画注入量	3	885	420	47%	H22.11/10現在施工中
		追加注入量	0	-	-	-	
合計	-	-	-	12,694	12,229	96%	

1.3.2 バイオ注入浄化の進捗状況

上記の栄養材注入を完了し、モニタリング業務を継続している。H22年10月31日現在での浄化進捗状況を図4.3.2に示す。

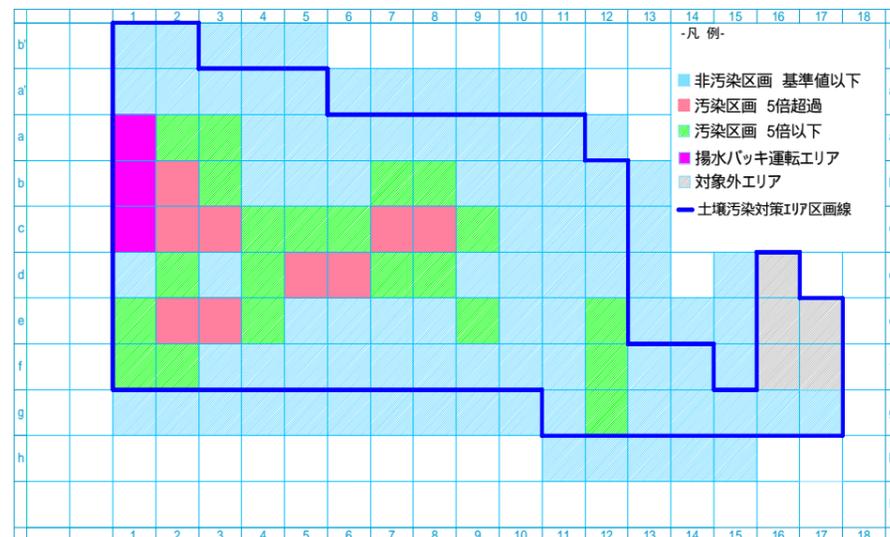


図 - 1.3.2 浄化進捗平面図 (H22.10/31 現在)

1.3.3 揚水バッキエリア自然注入のモニタリング結果

N地区の掘削ヤードエリア、県境部においては揚水バッキによるVOC回収作業を行いバイオ適用範囲であるVOC濃度50~100倍程度に減少した後に栄養材の注入作業を、掘削ヤードエリアではH22年5月10日より、県境部ではH22年10月21日より開始した。第11回技術検討委員会(7/10)時点では施工中であったが8月20日をもって掘削ヤードエリアでは計画注入量の100%を完了した。自然注入を完了した代表区画b-8のVOC濃度変化グラフを図4.3.3に示す。

参照資料 Appendix.2 バイオレメディエーション地下水汚染分析結果

自然注入b-8区画濃度変化

この区画は注入時の傾向観測を兼ねて注入開始より15日間隔でモニタリングを行った。施工開始日を0日とし、157日経過したH22年10月14日までのモニタリング結果を表4.3.3 b-8区画のVOC濃度ORP,DOモニタリング結果表に示す。

表 - 1.3.3 b-8区画のVOC濃度ORP、DOモニタリング結果表

b-8-y-3 自然注入(注入時モニタリング)井戸

経過日数	記事	採水日	pH	COD (mg/L)	導電率 (mS/m)	ORP (mV)	VOC単位:倍(環境基準比)													溶存酸素 (DO)
							ジクロロ メタン	四塩化 炭素	1,2-ジクロロ エタン	1,1-ジクロロ エチレン	シス-1,2- ジクロロエチ レン	1,1,1-トリ クロロエタン	1,1,2-トリ クロロエタン	トリクロロ エチレン	テトラクロロ エチレン	1,3-ジクロロ ブタン	ベンゼン			
		4/23	6.3	2.7		16	0	0	0.3	0	1.3	0.003	0	0.7	3.1	0	1.7	3.2		
	注入開始前	5/10	6.8	6.4		-128	2.6	0	9.5	0.2	2.0	0.05	0	13.0	50.0	0	28.0	1.3		
0日		5/17	6.9	3.2		-97	3.5	0	13.8	0.2	2.5	0	0	22.0	100.0	0	34.0	2.7		
7日		5/25	6.8	7.7		-135	4.9	1.0	13.5	0.3	2.4	0.08	0	31.0	510.0	0	35.0	1.7		
15日		6/9	6.8	4		-50	3.6	4.5	6.8	0.6	2.4	0.07	0	14.7	180.0	0	31.0	1.9		
30日		6/24	6.5	6.6		-7	3.4	3.0	8.0	0.5	2.3	0.07	0	17.3	100.0	0	95.0	1.7		
45日		8/2	7.6	17	409	-137	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0.6	1.9		
84日	注入完了	8/17	8.1	27	370	-128	0	0	0.5	0	0.03	0	0	0	0	0	0.9	1.3		
99日		9/1	7.7	30	343	-126	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	1.0	0.8		
114日		9/15	8.4	14	142.9	-46	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	2.3	2.7		
128日		9/30	7.3	20	161.5	-344	0	0	0.8	0	0	0	0	0	0	0	1.1	0.2		
143日		10/14	8.6	31	257	-86	0	0	1.3	0	0	0	0	0	0	0	1.9	3.5		

自然注入b-8区画濃度変化

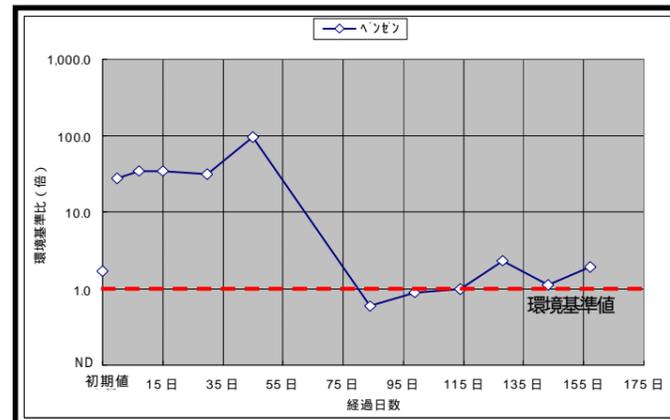
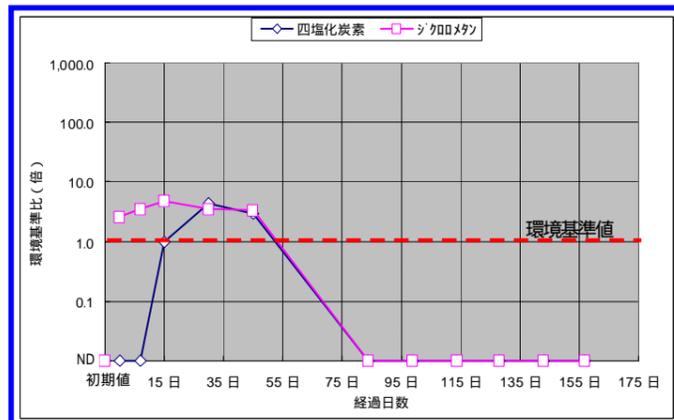
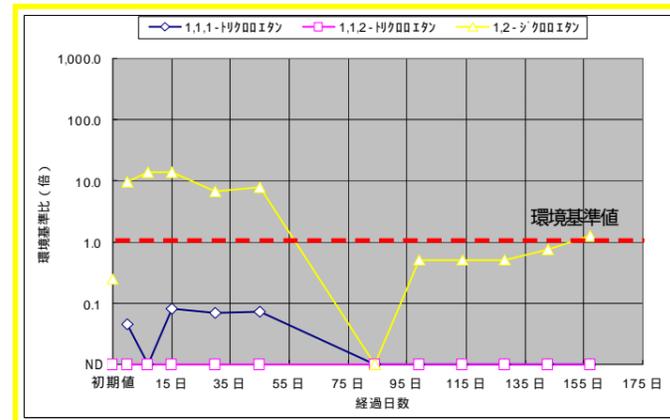
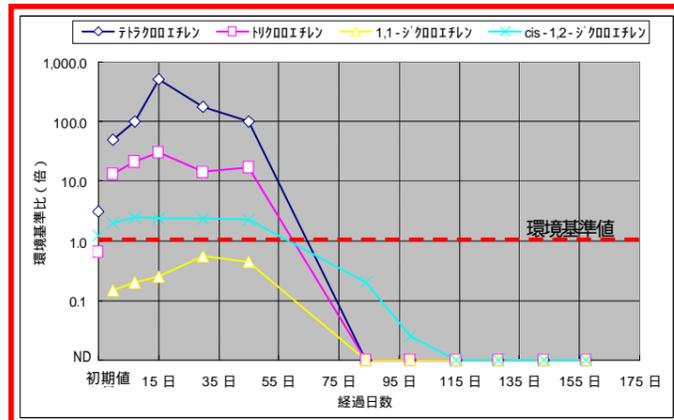


図 - 1.3.4 b-8区画の地下水VOC濃度、ORP、DO変化図

注入開始直後より一時的に(0~35日経過) VOC濃度が上昇した。以降、微生物分解が進み全VOCで濃度が大きく減少した。(経過90日程度)その後は微変動があるものの大きな変化は無く注入材の効果は良好であった。

1.3.4 追加注入の実施状況

(1) 実施区画の選定

追加注入を実施するにあたりH22年7月末時点でのモニタリング結果を採用し検討した。(図4.3.4参照)

第11回技術検討委員会で考察した、栄養材効果が切れていると推測されるN地区地下水流部の12ラインを中心に注入区画を選定した。またe9、f6、e2、f2区画では複数のVOCが検出されていることや比較的高濃度が検出されていることから栄養材の効果が持続されていない追加注入の区画として選定した。さらに自然注入箇所からは12ライン同様に自然注入上流部であることや比較的高濃度が検出されることで区画の選定をおこなった。よって、追加注入を実施した区画はバイオ単独エリアでc-12、d-12、e-12、f-12、e-2、e-9、f-2、f-6の8区画、揚水バッキ併用の自然注入部ではb-7、c-7、c-8、d-6の4区画とし追加注入を実施した。

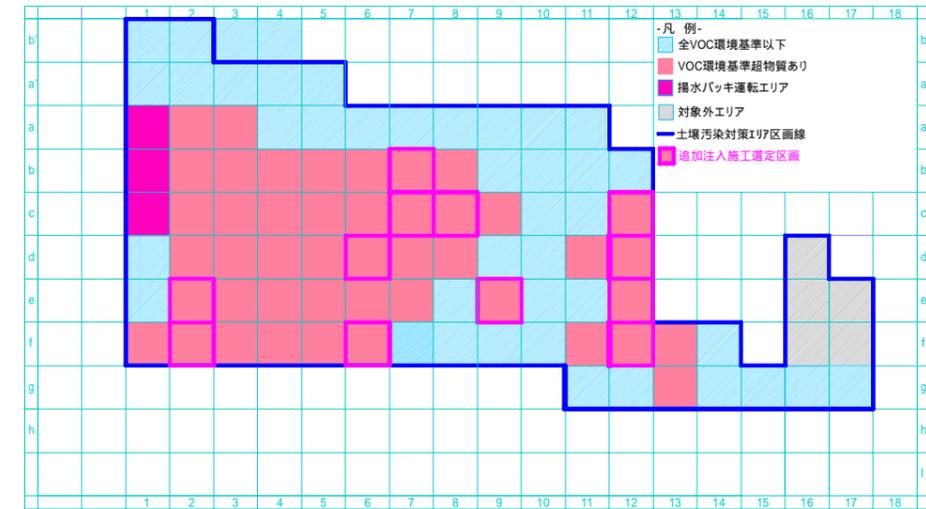


図 - 1.3.4 追加注入区画選定時の浄化進捗図

(2) バイオ栄養材の追加注入モニタリング結果

追加注入全12区画で、約800m3の施工をH22年7月末より開始しH22年11月10日で完了している。代表区画としてe-9、c-12、f-6区画のモニタリング位置を図4.3.5にモニタリング結果を次項に示す。

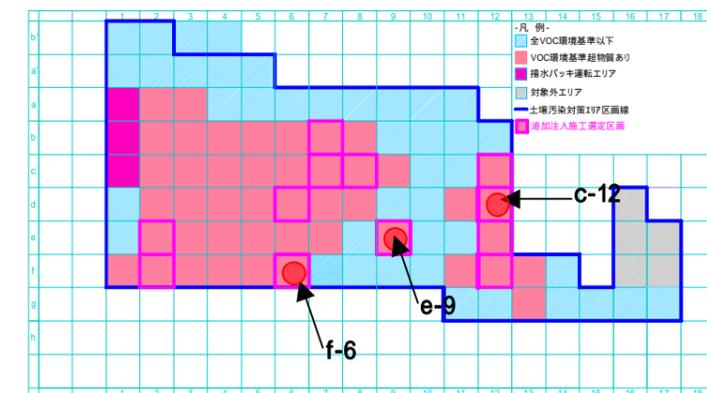
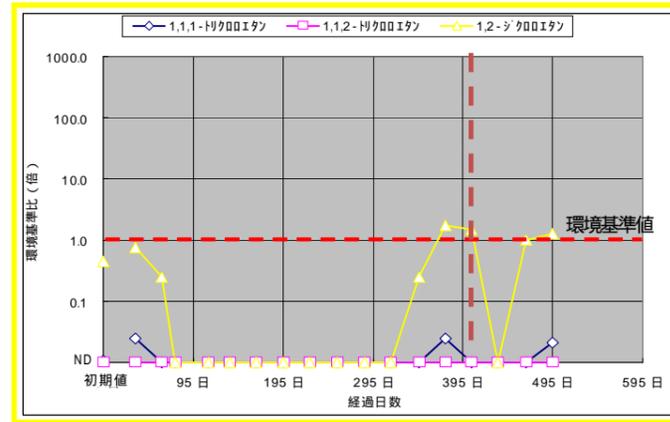
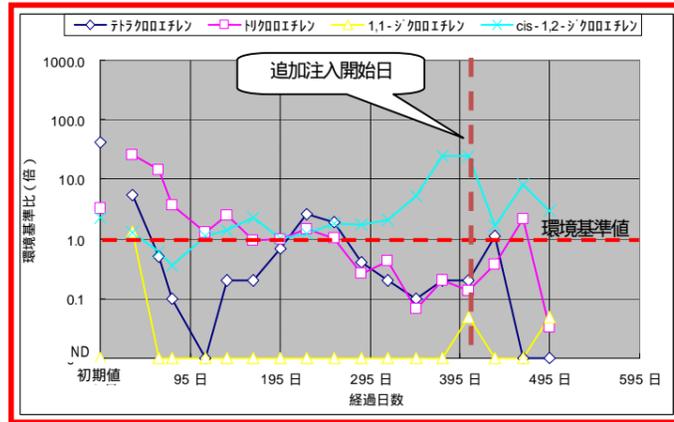


図 - 1.3.5 自然注入モニタリング位置図

追加注入e-9区画濃度変化

エチレン系
エタン系
メタン系



追加注入c-12区画濃度変化

エチレン系
エタン系
メタン系

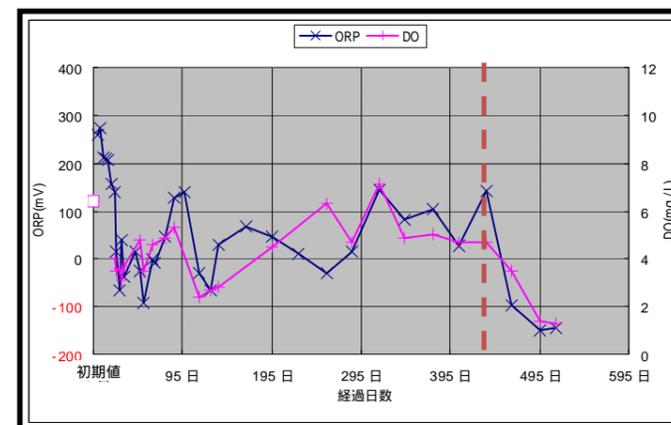
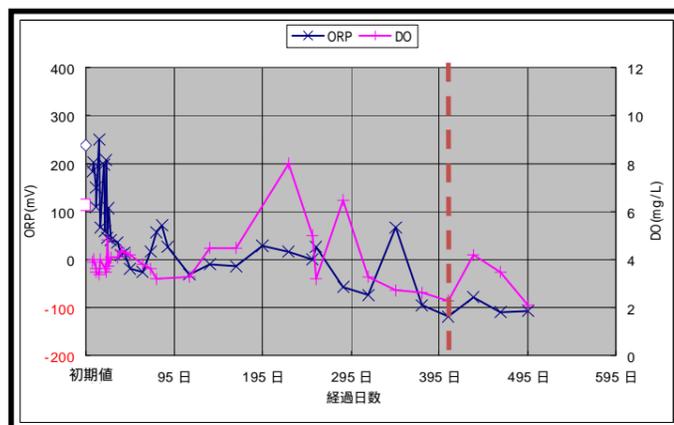
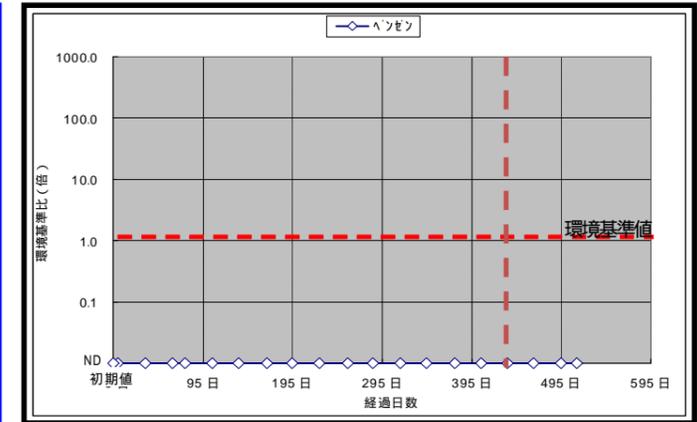
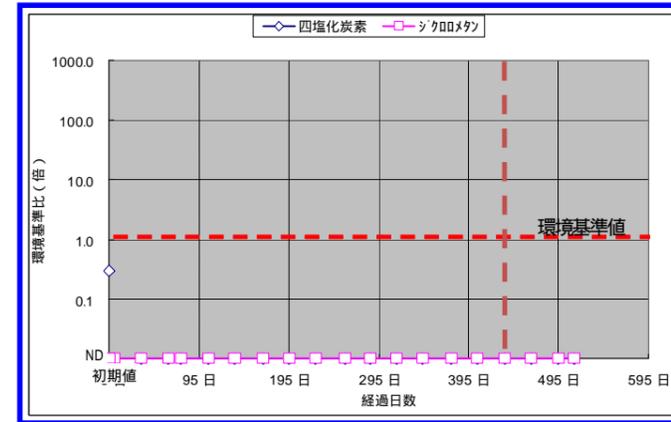
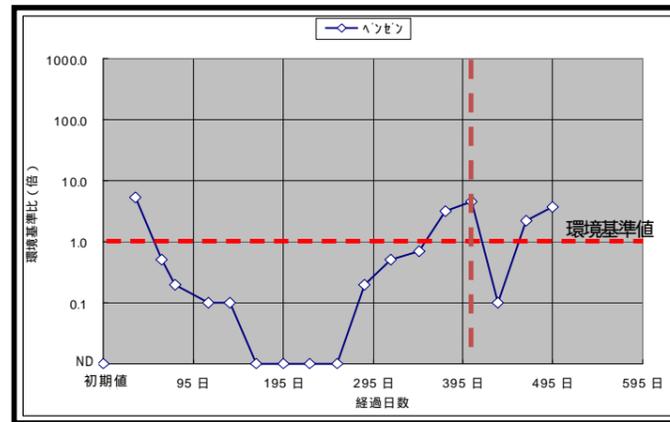
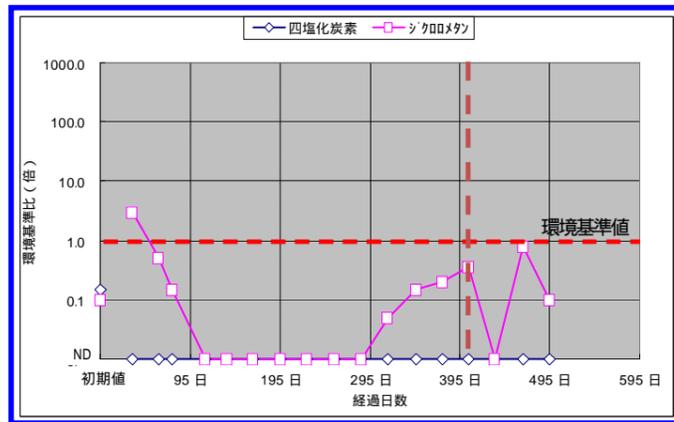
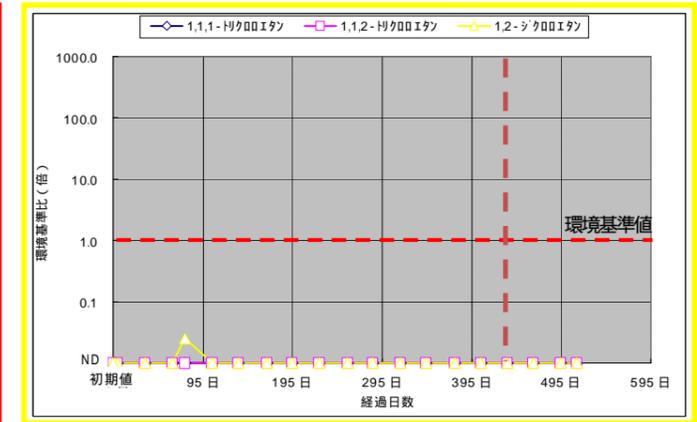
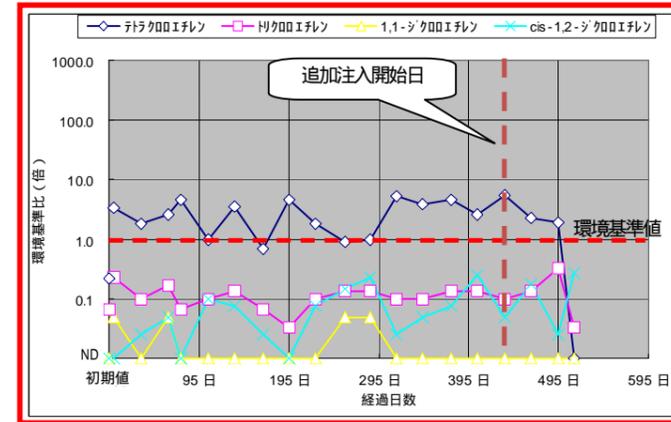


図 - 1.3.6 e-9区画の地下水VOC濃度、ORP、DO変化図

図 - 1.3.7 c-12区画の地下水VOC濃度、ORP、DO変化図

追加注入開始よりORP、DOが下がり徐々に嫌気状態へ移行している事が確認できる。追加注入完了後60日程度たった10月6日のモニタリング結果では親VOCであるTCE、PCEが分解され1,2-DCEが0.005mg/L(環境基準比1.1倍)、cis-1,2-DCEが0.12mg/L(環境基準比3.0倍)となった。現在も嫌気状態を維持しているため、これまでの実績での傾向を踏まえると今後さらにVOCが減少していくと判断される。

追加注入実施以前ではTCE、PCEの親VOCが検出され続けており栄養材効力が切れ、分解傾向が止まっていたが追加での栄養材注入で親VOCが環境基準値以下になりcis-1,2-DCEの上昇が確認されている。またORPが好気から嫌気状態へ移行したことが微生物分解の進んだ要因にあると推測できる。

追加注入f-6区画濃度変化

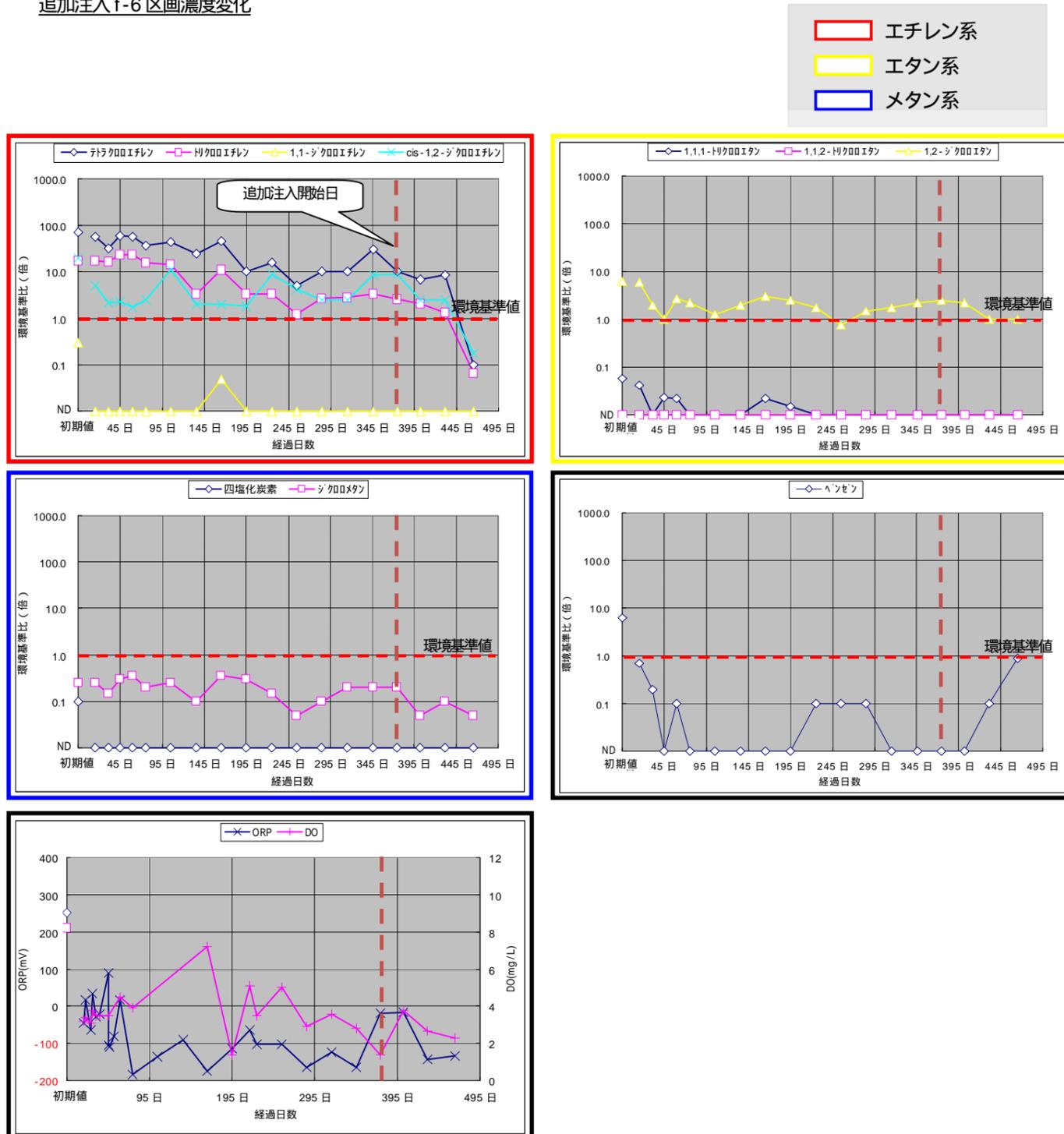
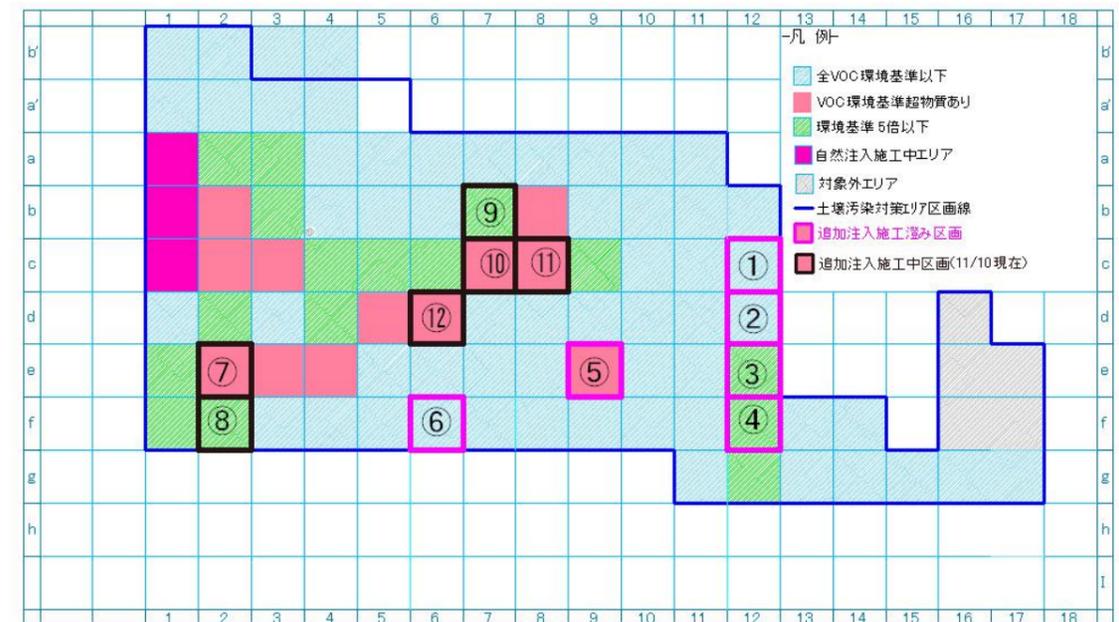


図 - 1.3.8 f-6区画の地下水VOC濃度、ORP、DO変化図

エチレン系のVOCで追加注入後から良好な濃度減少傾向が確認できる。第11回技術検討委員会での報告では346日経過時点でPCEが環境基準比10倍であったが追加による栄養材注入後では大きく濃度が減少し10月11日のモニタリング結果では分解生成物cis-1,2-DCEも含め全てのVOCで環境基準値以下となった。追加での栄養材注入は効果的であり一度環境基準値を下回れば新たなVOC流入源が無い以上、大きなリバウンドが今後発生する可能性は少ないと考える。

(3) 追加注入の結果

栄養材追加注入を実施したc、d、e、fの12ライン区画ではc-12(図示) d-12(図示)区画で環境基準値以下となった。e-12(図示) f-12(図示)区画では依然、環境基準値超過ではあるが微生物分解傾向が見受けられるため今後VOCの更なる濃度減少が推測できる。またe-9(図示)区画においても12ラインと同様に嫌気状態が維持された事で分解が進んで行く事が判断できた。f-6(図示)区画では比較的高濃度かつ継続的に検出されていた区画であるが環境基準値以下にまで減少したことで追加での栄養材注入は有効であり施工を実施した区画ではVOC濃度減少は大きく期待できる結果となった。以上のことからH22年11月10日に施工を終えたe-2(図示) f-2(図示)区画及び自然注入区画であるb-7(図示) c-7(図示) c-8(図示) d-6(図示)区画でも微生物分解が進むと推測する。図-1.3.9に追加注入による浄化進捗図を示す。



図示 ~ 区画はH22.11月10日に注入施工終了である。

図 - 1.3.9 追加注入による浄化進捗図 (H22.11/10 現在)

2 浄化評価について

2.1 地下水モニタリング

浄化の進行に伴いN地区全体での評価する頻度を増やして行うために、地下水汚染範囲縮小に伴い対象区画を30m×30mメッシュ(以降30mメッシュという)に拡大した区画を1単位区画とし採水、分析を実施していこうと考えている。モニタリング単位区画は拡大するものの10mメッシュで汚染が確認されている区画については、現在同様モニタリングを10mメッシュで継続していくこととする。また、汚染の状況などにより必要な場合は随時10mメッシュでモニタリングを実施する。

図-2.1.1に30mメッシュのモニタリング位置と区画アドレスを示す。

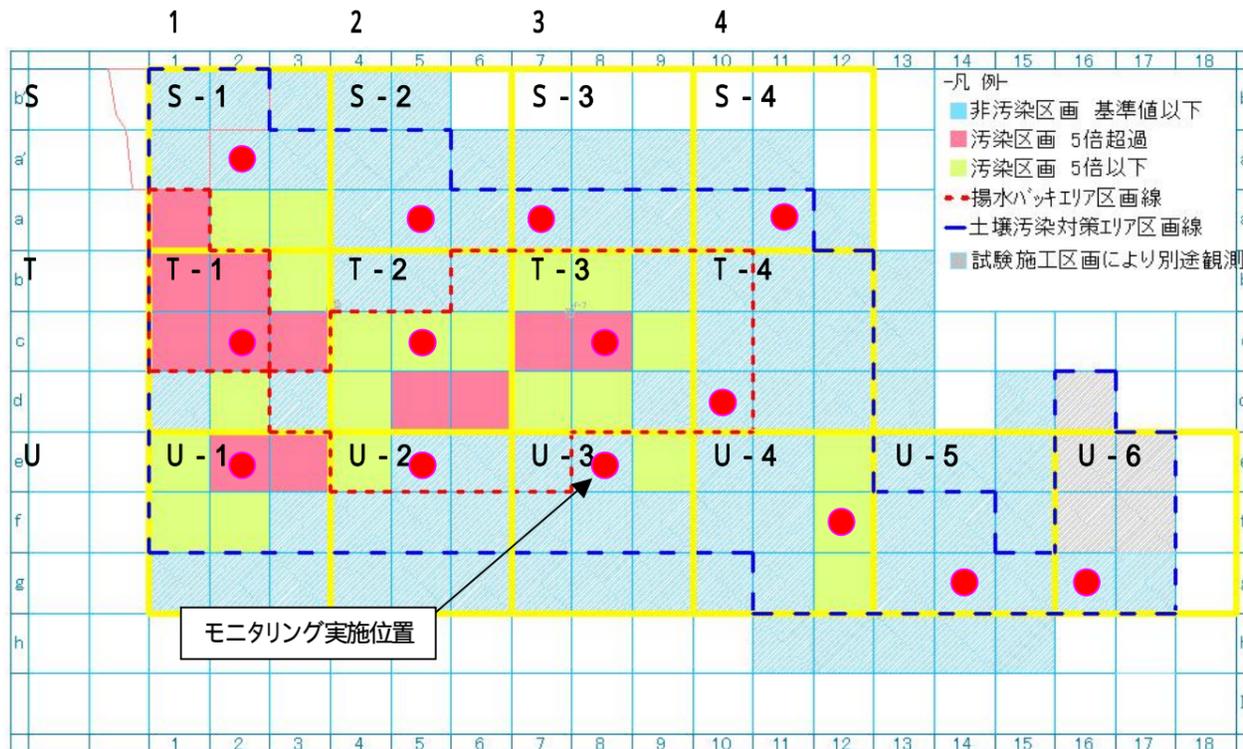


図-2.1.1 30mメッシュでのモニタリング位置

2.2 浄化確認ボーリング

2.2.1 区画の設定

浄化確認ボーリングについては900m²に1箇所のボーリング(N地区土壌汚染除去業務 特記仕様書に基づき)による土壌確認を実施する。ボーリング実施に当たり地下水モニタリング区画と同様に900m²となる30mメッシュを配置する。また、図-2.2.1に示す。

地下水のみ汚染が確認された10mメッシュ区画(調査時より土壌溶出量が基準値以下であった区画)を除外した30mメッシュの全12区画で実施とする。区画アドレスは図-2.1.1を参照のこと

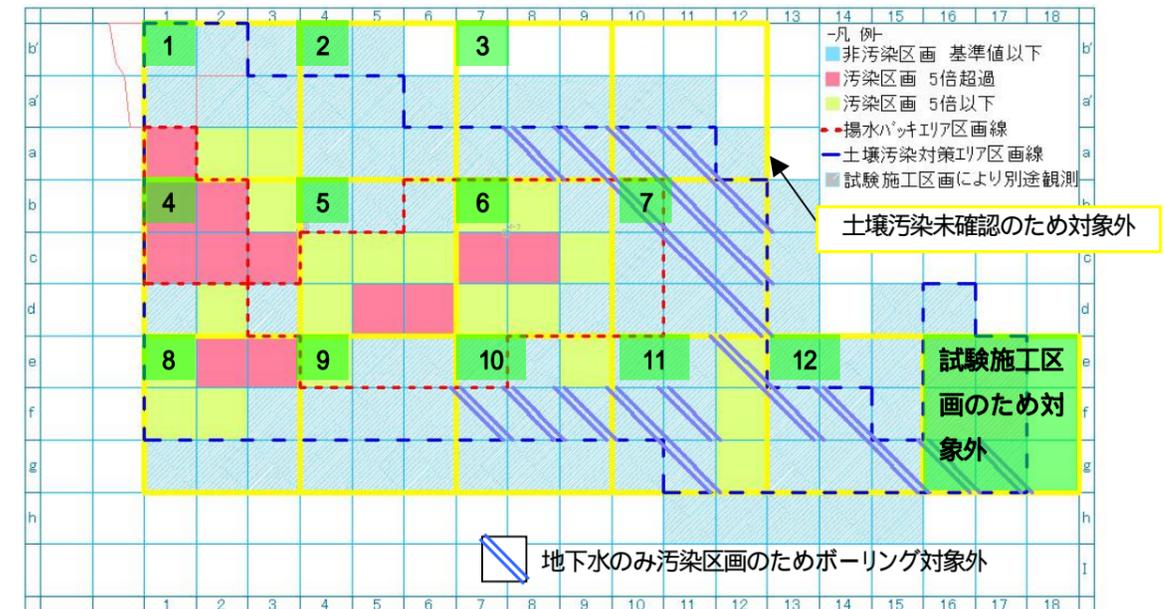
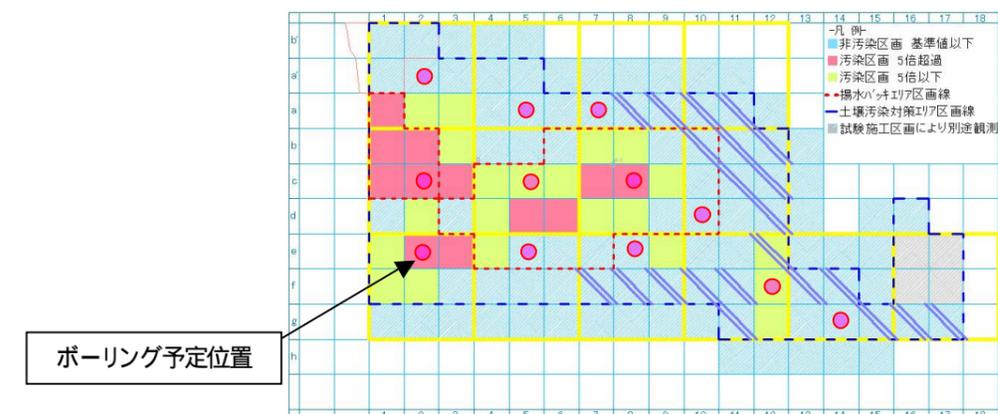


図-2.2.1 ボーリング実施区画配置図

2.2.2 ボーリング位置および実施時期

30mメッシュ内で(地下水のみ汚染区画は対象外)ボーリング対象となる土壌汚染区画のほぼ中央部でボーリングの実施を計画している。ボーリング深度は調査・設計業務時に汚染が確認された深度+2.0m(“土壌汚染対策法に基づく調査及び措置の技術的手法の解説”3.3.2(4)土壌汚染の深さの確認より)とする。

実施時期はH22年12月~H23年1月の予定である。



2.3 現在のN地区汚染状況と今後の浄化傾向の推測

2.3.1 現在のN地区汚染状況の推測

N地区における汚染源はH12、H20、H21年度に撤去を実施した不法投棄された廃液ドラム缶に起因している。その廃液が土壌および地下水に広がりN地区全体に汚染を拡散させたと推測される。

汚染物質で90%以上と大幅な低減傾向が確認でき、かつ現在も減少傾向が進行中である。これは、

- ・ H20年度にN地区土壌汚染除去業務により、その最大の主要原因であるN地区廃ドラム缶を除去した。
- ・ 廃ドラム缶周辺の高濃度汚染土を外部処理およびホットソイルにより浄化し、不飽和帯における汚染源をすべて除去した。
- ・ H21年度に実施した揚水バッキにより、飽和帯の廃ドラム缶内部より漏洩、拡散したと推測される高濃度VOC汚染地下水、および飽和帯のVOC汚染土壌を低減し飽和帯における汚染源を大幅に除去した。

これらの対策により地下水への汚染物質供給源を除去したことでバイオ浄化が進行しやすい状況を作り上げたことが大きな要因であると考えられる。

H22年10月時点の浄化データ傾向より推測すると、H23年3月までにはBenzenを除く物質に関しては地下水で環境基準値程度にまで減少することが予想される。またBenzenに関しては嫌気性物質に比べ効果は遅く、かつ濃度減少機構は不明であるが徐々に減少していることは数値的に明らかである。

現在の飽和帯での地下水と土壌の状況は、主たる汚染源を除去しかつ地下水で汚染物質が減少傾向をしめし続けていることより、浄化対象土質が粘性土で低透水係数であるため、残存する土壌VOC汚染が土壌から地下水への溶出量（もしくは溶出速度）に比べ微生物の分解速度が勝っている状況が続いているためであると推察する。

2.3.2 今後の浄化傾向の推測

N地区全体の浄化傾向が継続しているか、また今後の経過の推測を行う手段の一つとしての数値目標を設定するために飽和帯の濃度減少傾向を参考にExcelの線形近似機能を使用し近似式を算出した。(図-2.3.1) 減少傾向の近似式数値は微生物による分解傾向であるためバリア井戸と揚水バッキでの濃度減少区画を除いたバイオ単独エリア56区画の数値を使用した。

また、浄化傾向が継続されていることを確認できる指標とするため、算出したEXP(x)のより現在基準値を超過している全てのVOCにおいて経時変化予想値を算出した。表-2.3.1~2.3.6参照

この表の数値と同等の減少傾向が地下水で確認できた場合は微生物分解が良好に継続していると推測される。さらに分解傾向が継続し続けた場合には、H24年度内に一部のBenzen汚染区画(3区画)を除き環境基準値以下まで減少する可能性が示唆された。残存する3区画については2区画が注入直後の区画であり、さらに1区画はH22年10月以前のデータでは基準値を下回る数値であるため一過性の値である可能性が考えられる。これらの区画ではH22年3月時点で地下水環境基準値の15倍程度に減少していればH24年度に環境基準値以下となる可能性が高いと判断する。

土壌溶出量での結果についても12月~1月に実施するボーリング結果を参考に地下水との傾向を比較し浄化傾向や傾向の推測を実施していくこととする

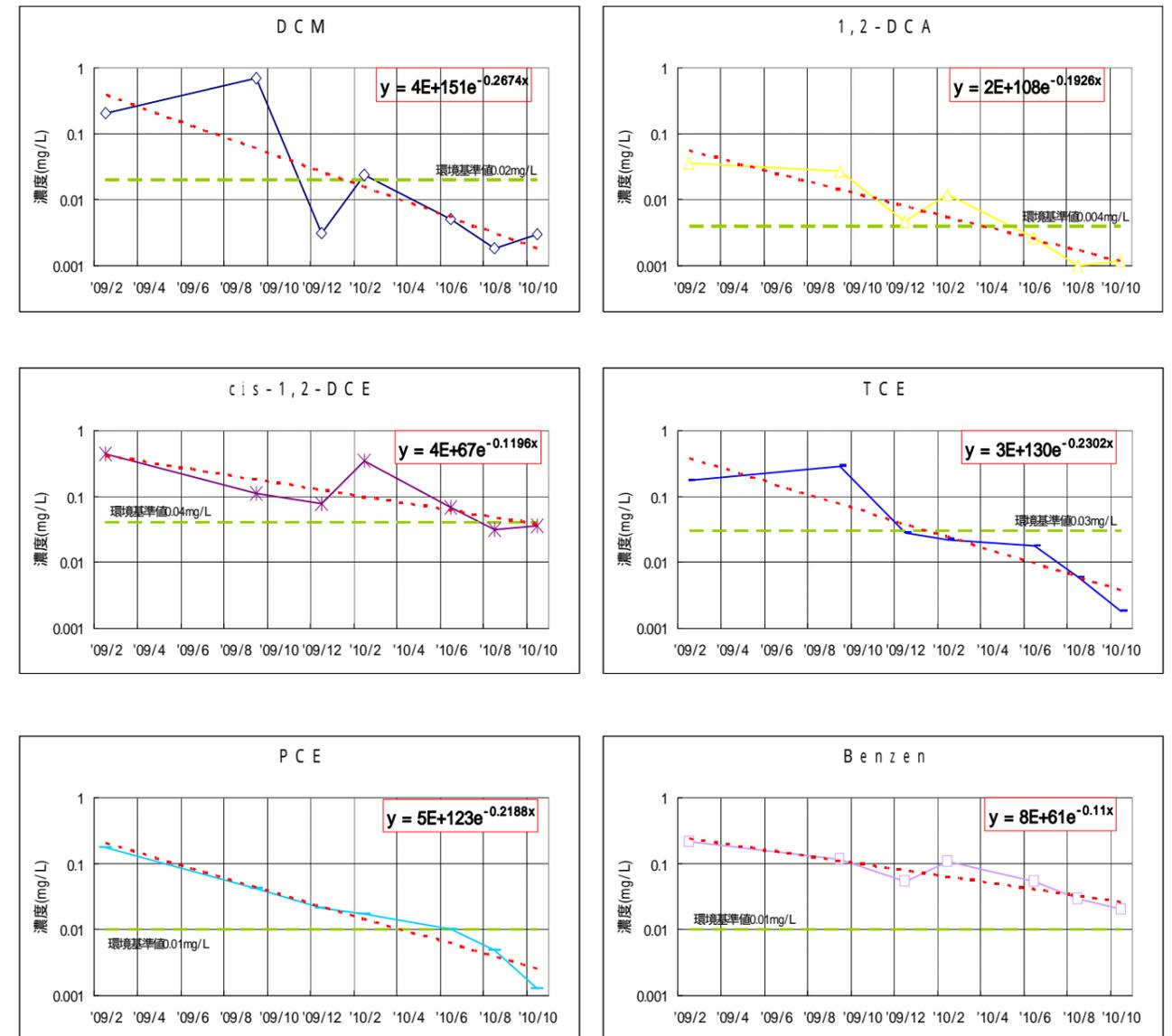


図-2.3.1 減少傾向の近似曲線グラフ

表-2.3.1 DCM 地下水濃度の減少予想

DCM 区画	H22年10月	H23年1月	H23年4月	H23年7月	H23年10月	H24年1月	H24年4月	H24年7月
a1	1.9	0.852	0.382	0.171	0.077	0.034	0.015	0.007
b1	2.1	0.942	0.422	0.189	0.085	0.038	0.017	0.008
c1	0.87	0.390	0.175	0.078	0.035	0.016	0.007	0.003
e2	0.086	0.039	0.017	0.008	0.003	0.002	0.001	0.000
e3	0.033	0.015	0.007	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000
経過時間		3ヶ月後	6ヶ月後	9ヶ月後	12ヶ月後	15ヶ月後	18ヶ月後	21ヶ月後

青字は環境基準値以下

表 - 2.3.2 1,2-DCA 地下水濃度の減少予想

1,2-DCA 区画	H22年10月	H23年1月	H23年4月	H23年7月	H23年10月	H24年1月	H24年4月	H24年7月
a1	0.13	0.073	0.041	0.023	0.013	0.007	0.004	0.002
b1	0.039	0.022	0.012	0.007	0.004	0.002	0.001	0.001
b7	0.012	0.007	0.004	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000
b8	0.005	0.003	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
c1	0.06	0.034	0.019	0.011	0.006	0.003	0.002	0.001
c3	0.009	0.005	0.003	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000
c4	0.008	0.004	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
c5	0.005	0.003	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
c7	0.049	0.027	0.015	0.009	0.005	0.003	0.002	0.001
c8	0.014	0.008	0.004	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000
d4	0.006	0.003	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
d5	0.022	0.012	0.007	0.004	0.002	0.001	0.001	0.000
d6	0.029	0.016	0.009	0.005	0.003	0.002	0.001	0.001
d7	0.005	0.003	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
e2	0.007	0.004	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
e3	0.019	0.011	0.006	0.003	0.002	0.001	0.001	0.000
e4	0.006	0.003	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
e9	0.005	0.003	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
f1	0.009	0.005	0.003	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000
f2	0.005	0.003	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
経過時間		3ヶ月後	6ヶ月後	9ヶ月後	12ヶ月後	15ヶ月後	18ヶ月後	21ヶ月後

青字は環境基準値以下

表 - 2.3.3 cis-1,2-DCE 地下水濃度の減少予想

cis-1,2-DCE 区画	H22年10月	H23年1月	H23年4月	H23年7月	H23年10月	H24年1月	H24年4月	H24年7月	H24年10月	H25年1月
a1	0.43	0.300	0.210	0.147	0.102	0.072	0.050	0.035	0.024	0.017
b1	0.41	0.286	0.200	0.140	0.098	0.068	0.048	0.033	0.023	0.016
c1	0.48	0.335	0.234	0.164	0.114	0.080	0.056	0.039	0.027	0.019
c3	0.06	0.042	0.029	0.020	0.014	0.010	0.007	0.005	0.003	0.002
c7	0.051	0.036	0.025	0.017	0.012	0.008	0.006	0.004	0.003	0.002
d6	0.65	0.454	0.317	0.222	0.155	0.108	0.076	0.053	0.037	0.026
e2	1	0.699	0.488	0.341	0.238	0.166	0.116	0.081	0.057	0.040
e3	0.31	0.217	0.151	0.106	0.074	0.052	0.036	0.025	0.018	0.012
e9	0.12	0.084	0.059	0.041	0.029	0.020	0.014	0.010	0.007	0.005
e12	0.077	0.054	0.038	0.026	0.018	0.013	0.009	0.006	0.004	0.003
f12	0.088	0.061	0.043	0.030	0.021	0.015	0.010	0.007	0.005	0.003
g12	0.08	0.056	0.039	0.027	0.019	0.013	0.009	0.006	0.005	0.003
経過時間		3ヶ月後	6ヶ月後	9ヶ月後	12ヶ月後	15ヶ月後	18ヶ月後	21ヶ月後	24ヶ月後	27ヶ月後

青字は環境基準値以下

表 - 2.3.4 TCE 地下水濃度の減少予想

TCE 区画	H22年10月	H23年1月	H23年4月	H23年7月	H23年10月	H24年1月	H24年4月	H24年7月
a1	1	0.501	0.251	0.126	0.063	0.032	0.016	0.008
b1	0.61	0.306	0.153	0.077	0.039	0.019	0.010	0.005
c1	0.79	0.396	0.199	0.100	0.050	0.025	0.013	0.006
d6	0.041	0.021	0.010	0.005	0.003	0.001	0.001	0.000
経過時間		3ヶ月後	6ヶ月後	9ヶ月後	12ヶ月後	15ヶ月後	18ヶ月後	21ヶ月後

青字は環境基準値以下

表 - 2.3.5 PCE 地下水濃度の減少予想

PCE 区画	H22年10月	H23年1月	H23年4月	H23年7月	H23年10月	H24年1月	H24年4月	H24年7月
a1	0.71	0.368	0.191	0.099	0.051	0.027	0.014	0.007
a3	0.016	0.008	0.004	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000
b1	0.39	0.202	0.105	0.054	0.028	0.015	0.008	0.004
c1	0.33	0.171	0.089	0.046	0.024	0.012	0.006	0.003
d6	0.065	0.034	0.017	0.009	0.005	0.002	0.001	0.001
e1	0.018	0.009	0.005	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000
経過時間		3ヶ月後	6ヶ月後	9ヶ月後	12ヶ月後	15ヶ月後	18ヶ月後	21ヶ月後

青字は環境基準値以下

表 - 2.3.6 Benzen 地下水濃度の減少予想

Benzen 区画	H22年10月	H23年1月	H23年4月	H23年7月	H23年10月	H24年1月	H24年4月	H24年7月	H24年10月	H25年1月
a1	0.13	0.093	0.067	0.048	0.035	0.025	0.018	0.013	0.009	0.007
a2	0.014	0.010	0.007	0.005	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001
a3	0.027	0.019	0.014	0.010	0.007	0.005	0.004	0.003	0.002	0.001
b1	0.24	0.173	0.124	0.089	0.064	0.046	0.033	0.024	0.017	0.012
b2	0.057	0.041	0.029	0.021	0.015	0.011	0.008	0.006	0.004	0.003
b3	0.014	0.010	0.007	0.005	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001
b7	0.036	0.026	0.019	0.013	0.010	0.007	0.005	0.004	0.003	0.002
b8	0.019	0.014	0.010	0.007	0.005	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001
c1 *1	0.3	0.216	0.155	0.111	0.080	0.058	0.041	0.030	0.021	0.015
c2	0.13	0.093	0.067	0.048	0.035	0.025	0.018	0.013	0.009	0.007
c3	0.24	0.173	0.124	0.089	0.064	0.046	0.033	0.024	0.017	0.012
c4	0.034	0.024	0.018	0.013	0.009	0.007	0.005	0.003	0.002	0.002
c5	0.034	0.024	0.018	0.013	0.009	0.007	0.005	0.003	0.002	0.002
c6	0.024	0.017	0.012	0.009	0.006	0.005	0.003	0.002	0.002	0.001
c7 *2	0.38	0.273	0.196	0.141	0.102	0.073	0.052	0.038	0.027	0.019
c8	0.21	0.151	0.109	0.078	0.056	0.040	0.029	0.021	0.015	0.011
c9	0.016	0.012	0.008	0.006	0.004	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001
d2	0.04	0.029	0.021	0.015	0.011	0.008	0.006	0.004	0.003	0.002
d4	0.021	0.015	0.011	0.008	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001
d5	0.1	0.072	0.052	0.037	0.027	0.019	0.014	0.010	0.007	0.005
d6	0.1	0.072	0.052	0.037	0.027	0.019	0.014	0.010	0.007	0.005
d7	0.014	0.010	0.007	0.005	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001
d8	0.023	0.017	0.012	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.002	0.001
e2	0.22	0.158	0.114	0.082	0.059	0.042	0.030	0.022	0.016	0.011
e3 *3	0.45	0.324	0.233	0.167	0.120	0.086	0.062	0.045	0.032	0.023
e4	0.024	0.017	0.012	0.009	0.006	0.005	0.003	0.002	0.002	0.001
e9	0.037	0.027	0.019	0.014	0.010	0.007	0.005	0.004	0.003	0.002
f1	0.024	0.017	0.012	0.009	0.006	0.005	0.003	0.002	0.002	0.001
f2	0.046	0.033	0.024	0.017	0.012	0.009	0.006	0.005	0.003	0.002
経過時間		3ヶ月後	6ヶ月後	9ヶ月後	12ヶ月後	15ヶ月後	18ヶ月後	21ヶ月後	24ヶ月後	27ヶ月後

*1: 現在注入中区画 *2: 11/10 終了追加注入区画 *3: H22年9月以降時 Benzen 基準値以下 青字は環境基準値以下

3 SKK(すっからか~ん工法)の状況

3.1 試験施工運用状況

3.1.1 運転状況

H22年3月よりSWP、およびモニタリング井戸の設置を行い5月6日から6月19日、6月20日から8月3日まで90日間(前半、後半の2クール)の連続揚水・ガス吸引による二層抽出運転を実施した。

前半の45日間の浄化運転では地下空気の減圧が小さかったため、地表部の空気遮断措置として 地下ガス回収用のポルテックスプロアの規格を3.7kwから11.0kwへ変更 地表部からの空気遮断のシート養生およびシート上の水張り 井戸周辺からの空気遮断でSWP井戸周辺の約3.0m四方にキャッピングコンクリートの打設を行った。

また、侵入空気により減圧効果があがらないこと、初期汚染濃度が比較的高かったことから浄化傾向が当初想定していたより遅延していると判断し、後半の45日間は空気注入管を追加で4本設置しコンプレッサーで地中に圧縮空気を注入し、地下空気による浄化を補完した。

空気注入管の仕様は先端部(下端)のみ空気が排出されるよう開放し、深度はGL-13.0mとした。空気注入はSKK工法の浄化概念である、真空ポンプとプロアを使用した負圧の促進とそれによるVOC気化ガスでの空気回収であることより、注入空気圧と負圧のバランスを考慮した運用を目標としていたが空気注入中の矢板内部(モニタリング井戸)では陽圧となったため、日中は空気注入とガス吸引の併用とし夜間はガス吸引のみの通常運転とした。

SKK工法概念図を図3.1.1に示す。試験平面図を図3.1.2に示す。

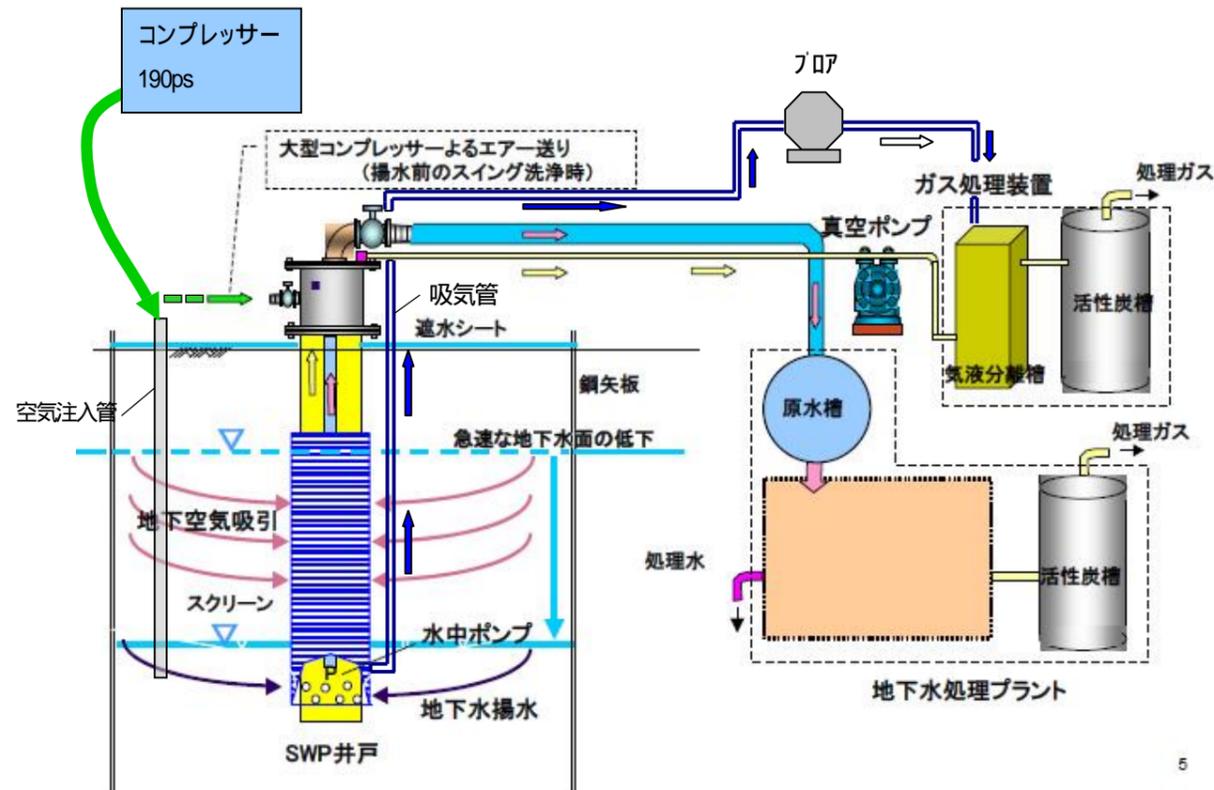


図-3.1.1 SKK工法概念図

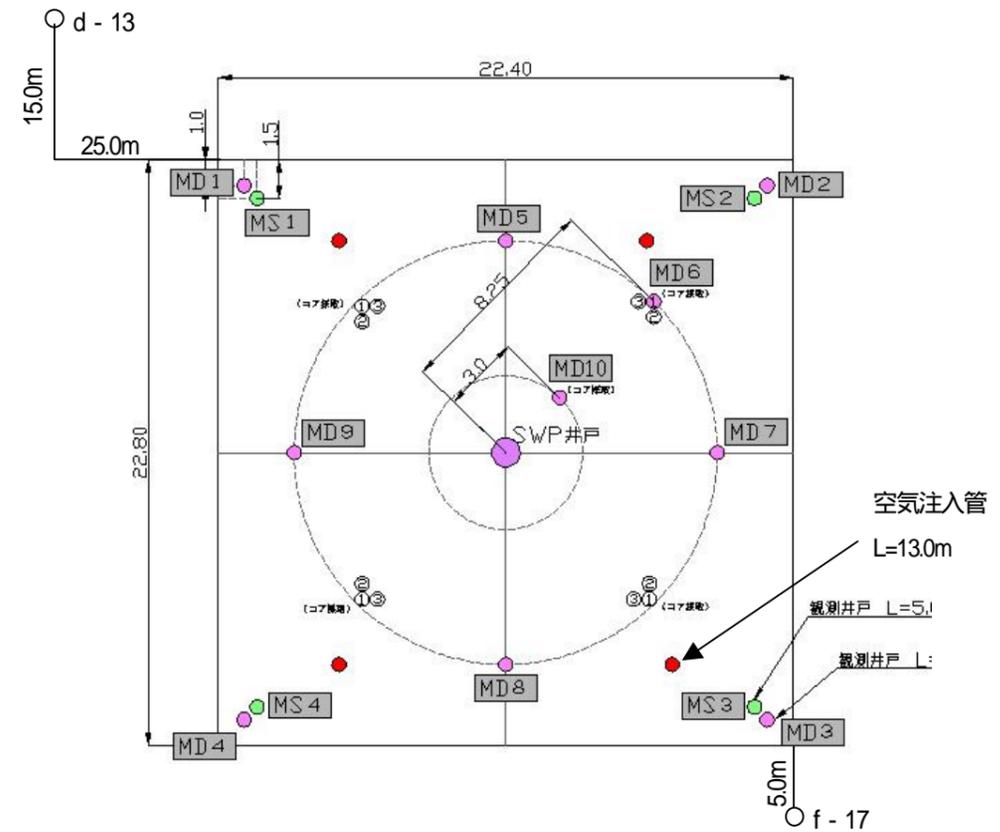


図-3.1.2 試験平面図

3.1.2 モニタリング項目

(1) モニタリング項目

モニタリング項目を表-3.1.1、に、モニタリング位置は図-3.1.2 試験平面図を参照のこと。

表-3.1.1 モニタリング項目

項目	目的	備考
土壌	有機塩素化合物 汚染濃度減少傾向の把握	PCE、TCE、cis-1,2-DCE、1,1-DCE、PCM、DCM、1,1,1-TCA、1,1,2-TCA、1,2-DCA
地下水	有機塩素化合物 汚染濃度減少傾向の把握	PCE、TCE、cis-1,2-DCE、1,1-DCE、PCM、DCM、1,1,1-TCA、1,1,2-TCA、1,2-DCA、COD、pH
地下空気	有機塩素化合物 汚染濃度減少傾向の把握	PCE、TCE、cis-1,2-DCE、1,1-DCE、PCM、DCM、1,1,1-TCA、1,1,2-TCA、1,2-DCA
負圧、地下水位	SWP、SKK 運転時の真空度の影響	
揚水量、風量	SWP 運転状況の把握	

3.2 モニタリング結果

3.2.1 地下水位

4月8日から揚水を開始した5月6日までの期間は洗浄期間のデータであり、5月6日の水位は洗浄の影響を受けており自然水位より高くなっている。揚水開始後、地下水位は急速に低下するが、矢板外部のモニタリング井戸d-13では大きな変化がなく、g-17では当初1.0mほどの低下があるが、その後の浄化期間中においても大きな変化がない。このように矢板外部の地下水位に対して浄化運転による影響の小さいことが確認される。

SWP 井戸の脇（フィルター材の豆砂利部）に配置した観測井戸（塩ビパイプ）の水位は当初、EL 435.6mレベルまで低下して推移する。6月18日、19日にEL 436.0m レベルまで上昇しているが、これは1回目の浄化確認において真空ポンプ、プロアの運転を停止したため生じた水位上昇である。その後、運転を開始するとEL435.7mのレベルまで低下する。しかし、7月1日には1.0mほど上昇してEL 436.6mレベルに達する。この変動が他の井戸の地下水位や空気圧などと連動していないことから、この水位上昇は観測井戸にのみ起きている現象であり一時的な目詰まりなどが原因ではないかと考えられる。これは7月9日以降徐々に回復している傾向が確認できる。地下水位はMD-4、MD-5で他の井戸より高い傾向であったが概ね目標であったEL 439.0で推移している。地下水位モニタリング結果を図-3.2.1、3.2.2に示す。

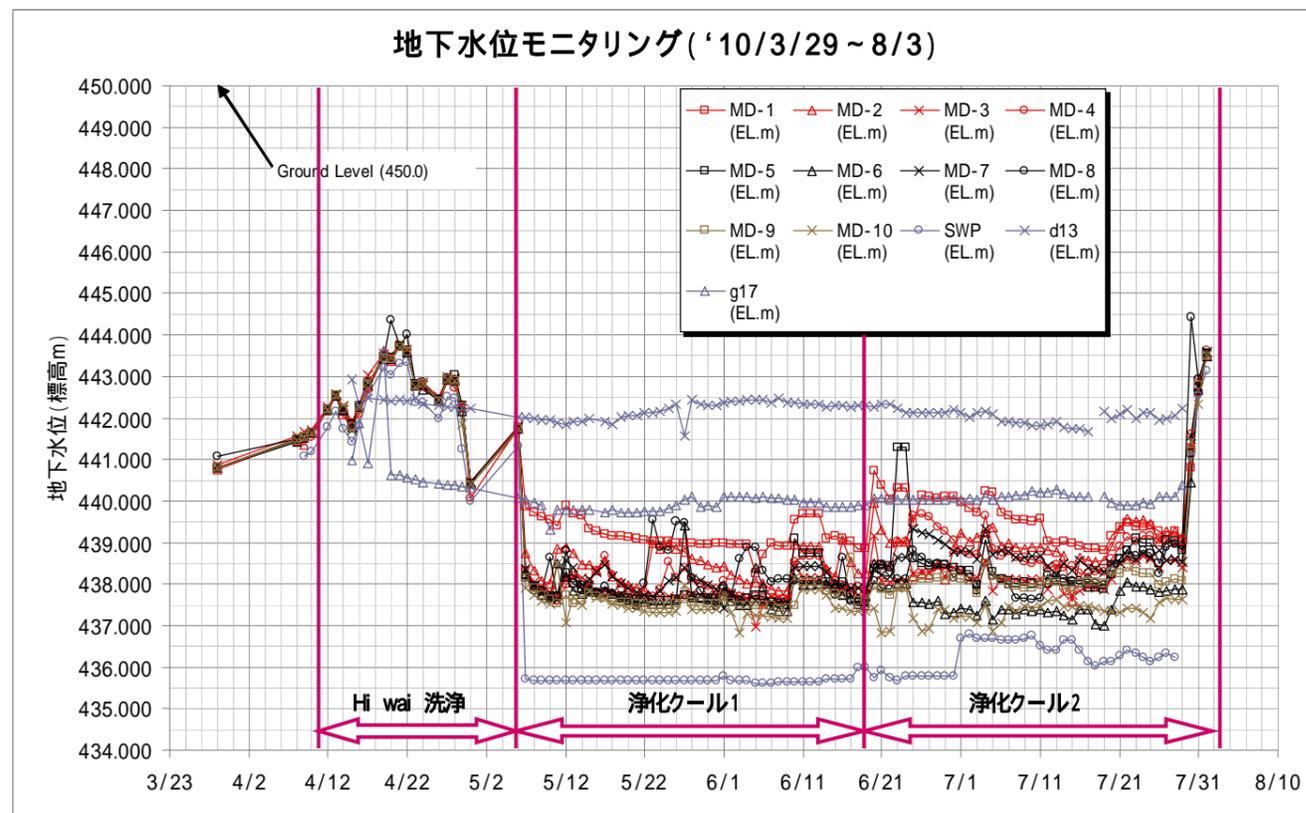


図 - 3.2.1 地下水位モニタリング結果

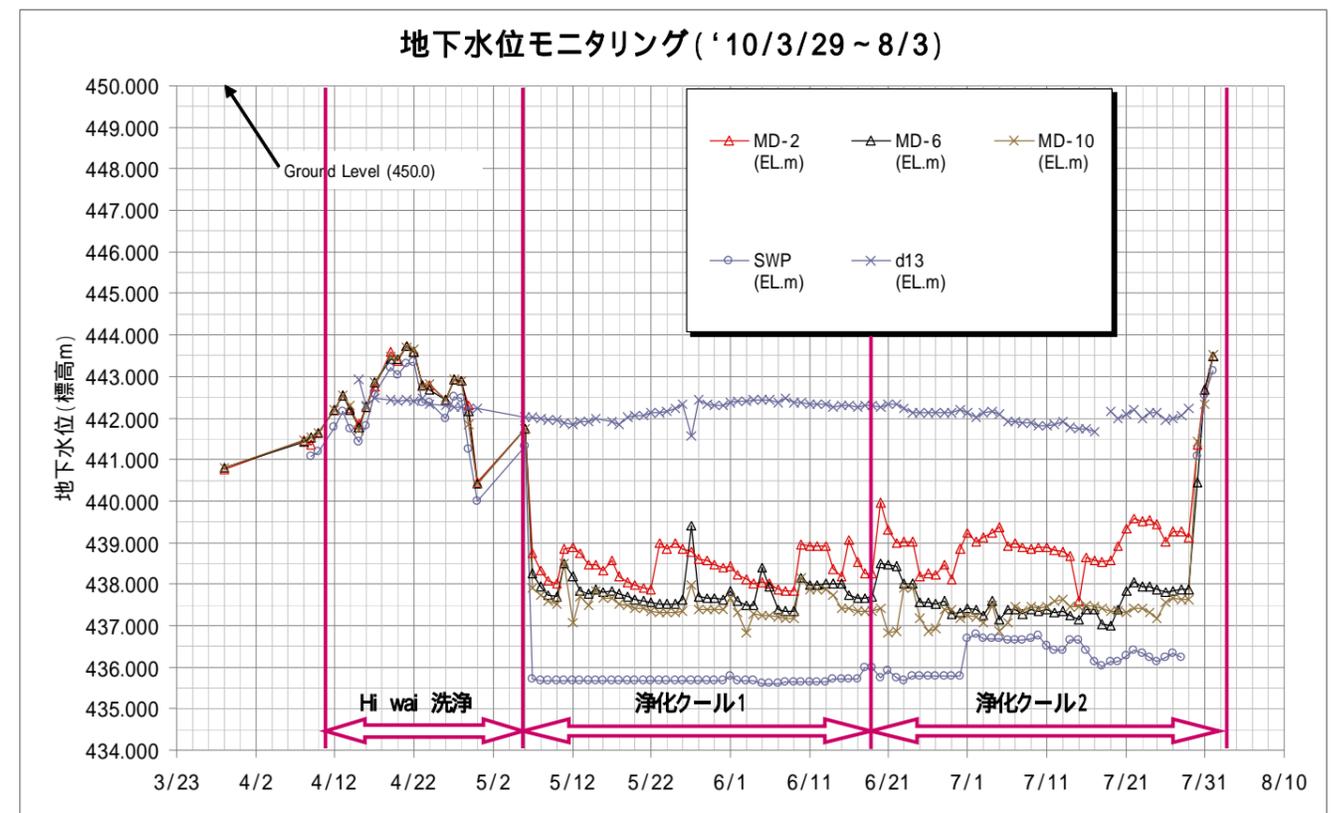


図 - 3.2.2 地下水位モニタリング結果 (MD-2、6、10、SWP、d-13 抜粋)

3.2.2 地下空気圧

地下空気圧が浅部対象井戸（MSシリーズ）では負圧が小さく、深部対象井戸（MDシリーズ）では比較的大きい。しかし、従来のSKK工法に比べ、全般に負圧の絶対値が小さい（これまでの実績では10kPaレベルの負圧が生じている）傾向であった。この原因として鋼矢板あるいは地表からの空気侵入が考えられたため、前述した空気遮断措置を講じた。その結果、6月に入ってから次第に負圧が大きくなったが、本来の負圧には到達しなかった。

最終的には深部対象井戸でMD-10が4.5kpaまで、他の井戸で3.0kpa～4.0kpaまで低下した。また、浅部対象井戸ではMS-4が4.5kpaまで、他の井戸では1.5kpa～2kpaまで低下した。しかし、いくつかの空気遮断措置を講じたが実績レベルまでの空気圧の低下には至らなかった。この現場では自然地下水位がGL-9m近傍にあり不飽和層が厚く、そのため鋼矢板においては地表からGL-8mまでの鋼矢板のセクションから空気が内部へ入り込み、これが空気圧の低下の支障になった可能性が高い。図-3.2.3～3.2.5に地下空気圧変化のグラフを示す。

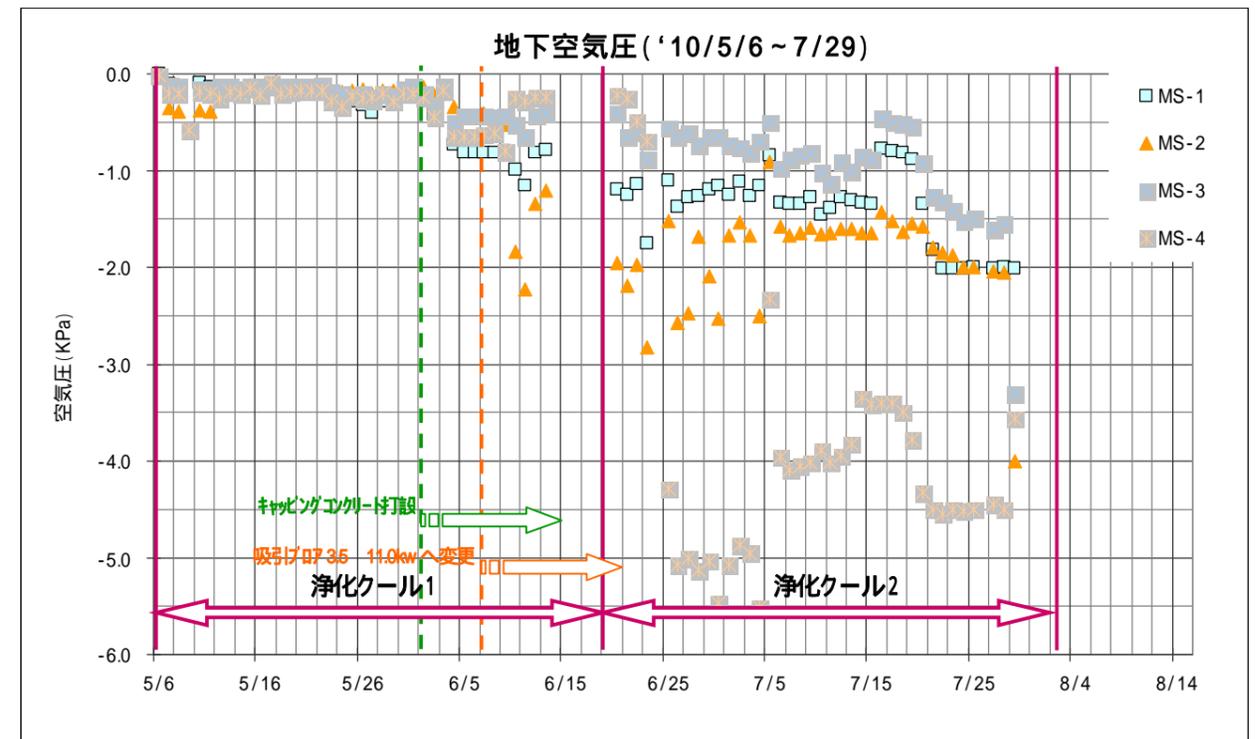


図 - 3.2.4 地下空気圧変化 浅部対象井戸 (MSシリーズ)

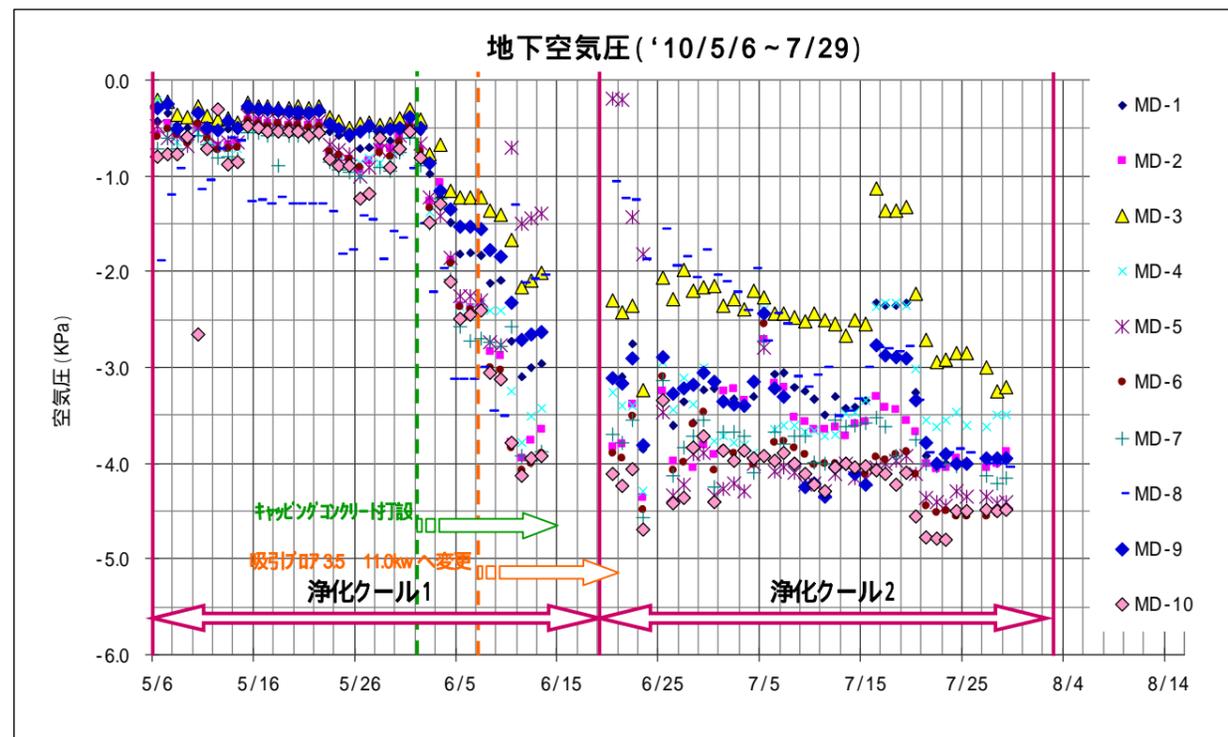


図 - 3.2.3 地下空気圧変化 深部対象井戸 (MDシリーズ)

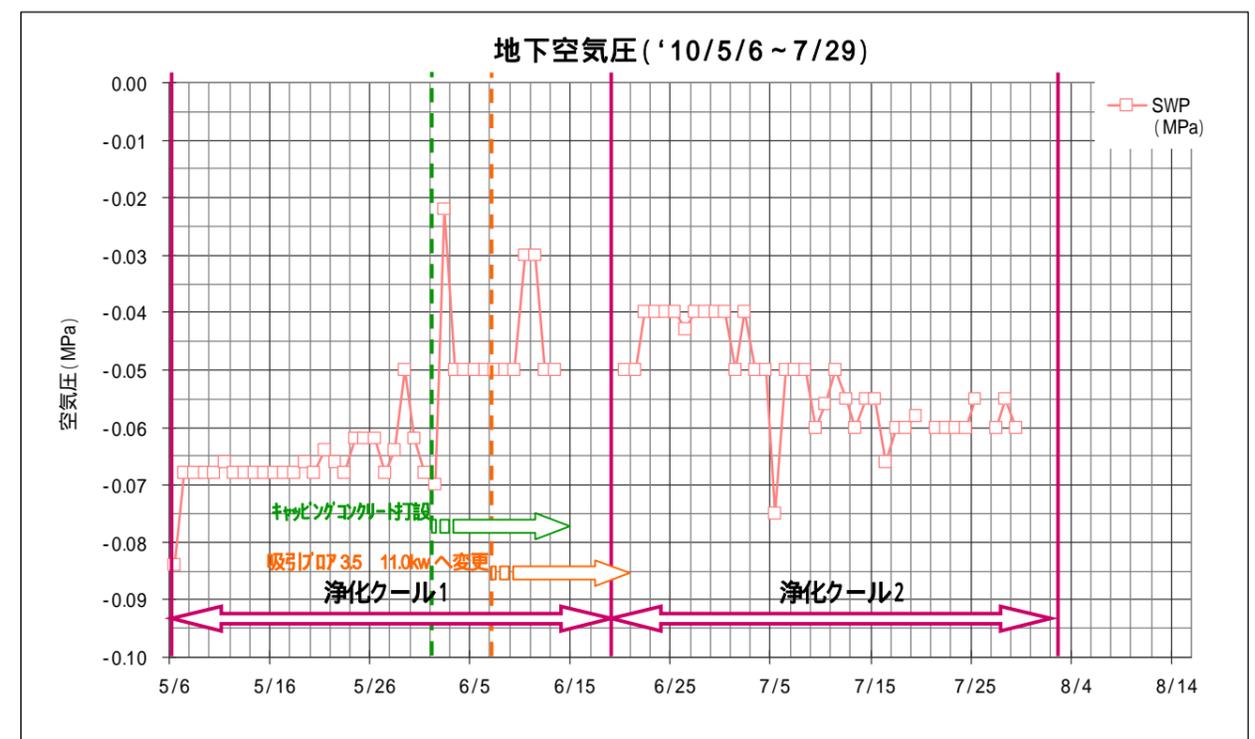


図 - 3.2.5 地下空気圧変化 SWP

3.2.3 揚水量

運用期間の前半は30m³/日程度であるが、6月にはいってからはやや低下し15m³/日となる。最終的な積算揚水量は1690.3m³であった。揚水開始前の地下水位であるEL441.7mから運転期間中のEL438.0mまで3.7m低下したとすれば、対象地の面積が510.7m²(22.4m×22.8m)であるから、その分の帯水層の体積は1889.6m³である。有功間隙率を0.1とすれば189m³が地下水量となる。仮に有功間隙率が0.2であれば地下水量は378m³となり、積算揚水量よりシート上の水、雨水などの浸入を差し引いても矢板内部の少なくとも2倍～3倍近い地下水を外部から揚水したと推測される。

地下水揚水量グラフを図-3.2.6に示す

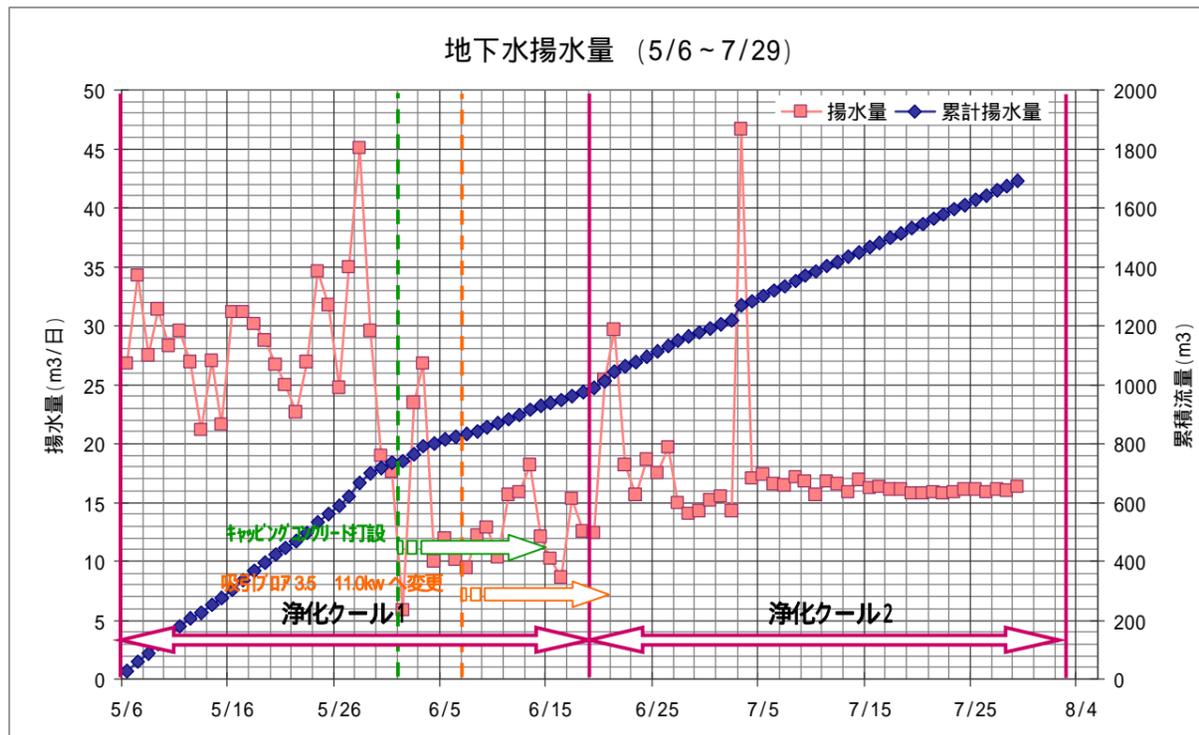


図-3.2.6 地下水揚水量

3.2.4 地下空気回収量

1) 真空ポンプによる地下空気回収量

浄化運転中の毎朝に1回、マスフロー型の流量計により測定した。配管内を流れる流速から1分間の流量を演算して表示される値に1440倍(60分/時間×24時間)してその日の日空気回収量としたものである。

開始から5月28日までは1440m³/日(1.0m³/min)であったものが29日からは大きく増加し、およそ3850m³/日(2.6m³/min)となり、その後もこのレベルで推移する。回収量がこれらの値を中心に大きくまた小さくなる場合があるが、これらは各種作業あるいは水位上昇などにより地下空気が吸引あるいは吸引されないことによる。

2) プロアによる地下空気回収量

日空気回収量は5月25日までは概ね2000m³/日(1.4m³/min)であり、5月26日からは上昇し12000m³/日(8.3m³/min)～15000m³/日(10.4m³/min)を推移する。1回目の浄化確認を終えた時点からは8000m³/日(5.6m³/min)を超える流量となる。5月25日の前後の変化はプロアの変更、および各種の措置作業を実施した時期であり地表からの空気浸入があったことによるものと考えられる。1回目の浄化確認後の8000m³/日を超える流量はこの場所における11.0kwプロアの能力を示している。

図-3.2.7に真空ポンプの、図-3.2.8にプロアの回収空気量グラフを示す。

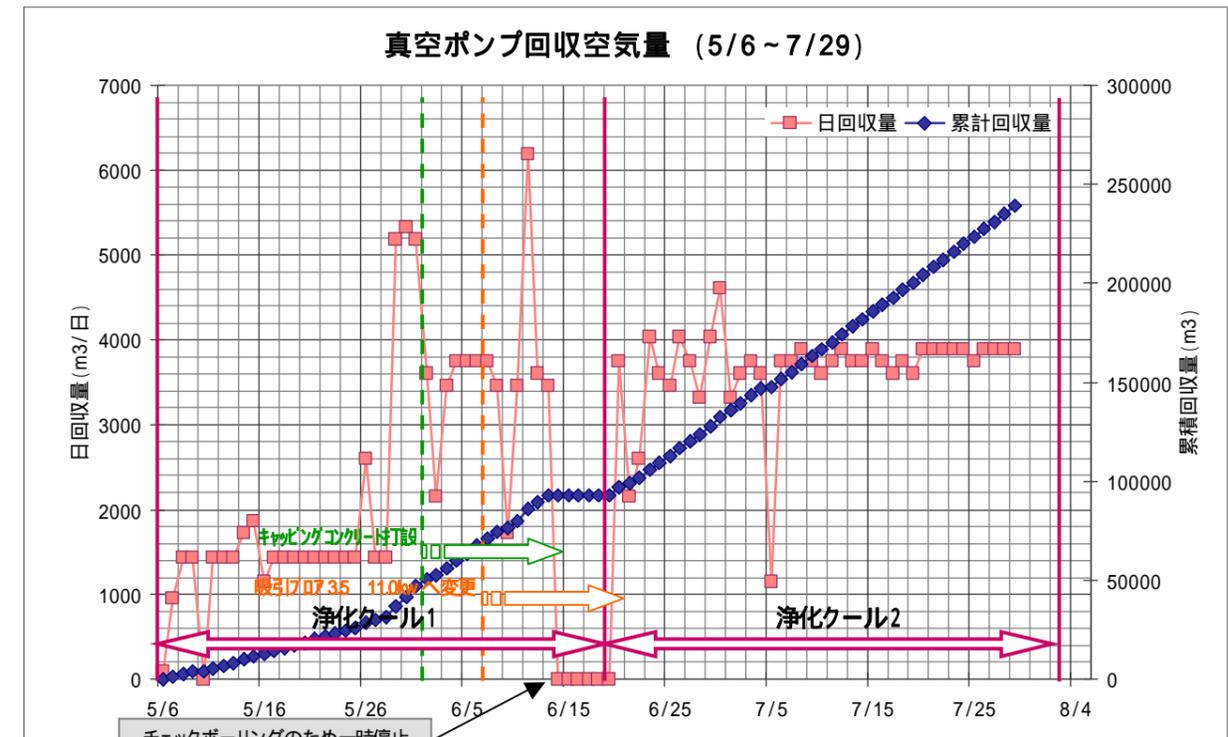


図-3.2.7 真空ポンプ地下空気回収量

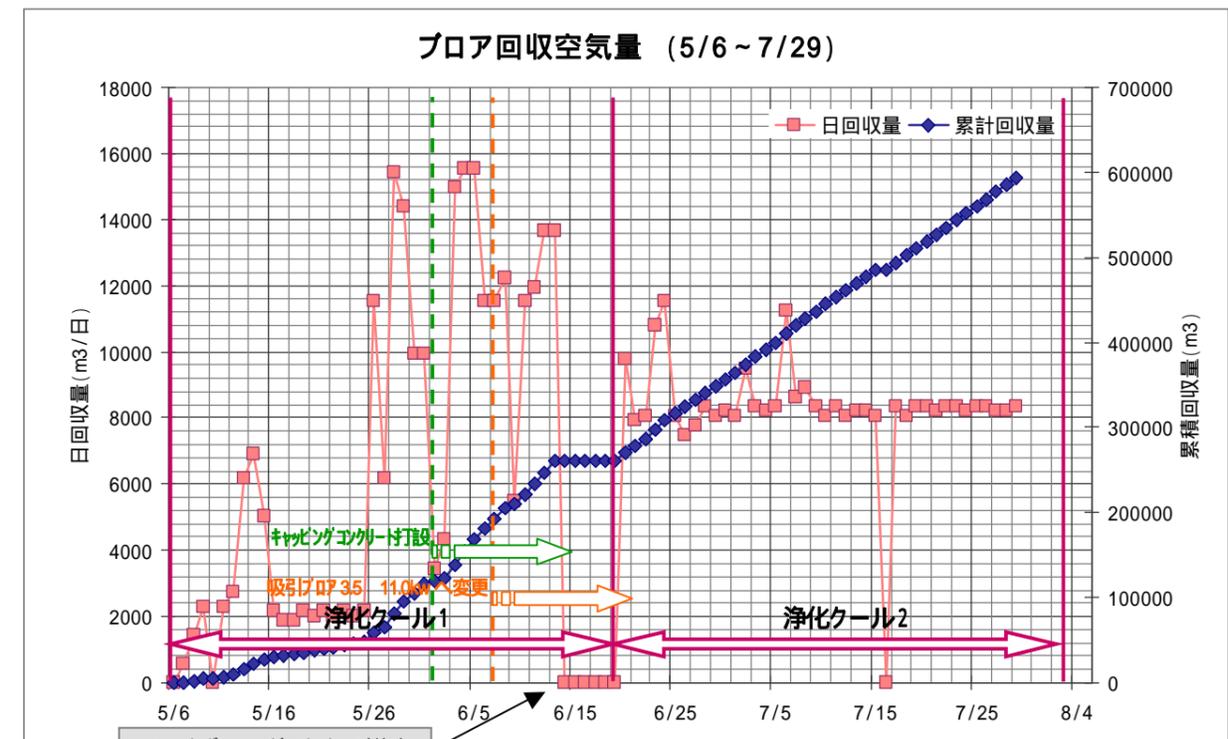


図-3.2.8 プロア地下空気回収量

3.2.5 回収地下空気中のガス濃度

真空ポンプは簡易分析及び検知管で、プロアは検知管で測定をしている。真空ポンプでの回収するVOC濃度は1,1-DCE、1,1,2-TCA、1,3-DCP以外はいずれも高濃度であり、DCM、PCM、TCE、Benzen はともに10ppmを超えたレベルであった。真空ポンプ、プロアのいずれも浄化1クール目は目立った減少傾向は確認されなかったが、浄化2クール目に入ると全ての物質で減少傾向が確認された。1,3-DCPは浄化期間中に一度も確認されなかった。

図-3.2.9、3.2.10に浄化期間中の地下空気濃度変化を示す。

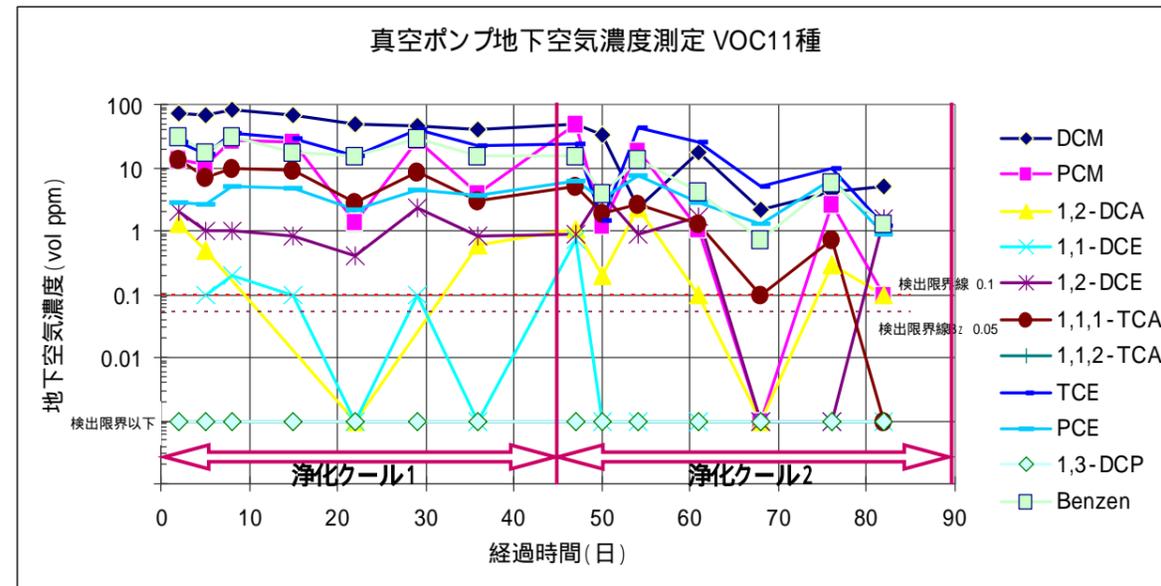


図-3.2.9 真空ポンプ地下空気濃度

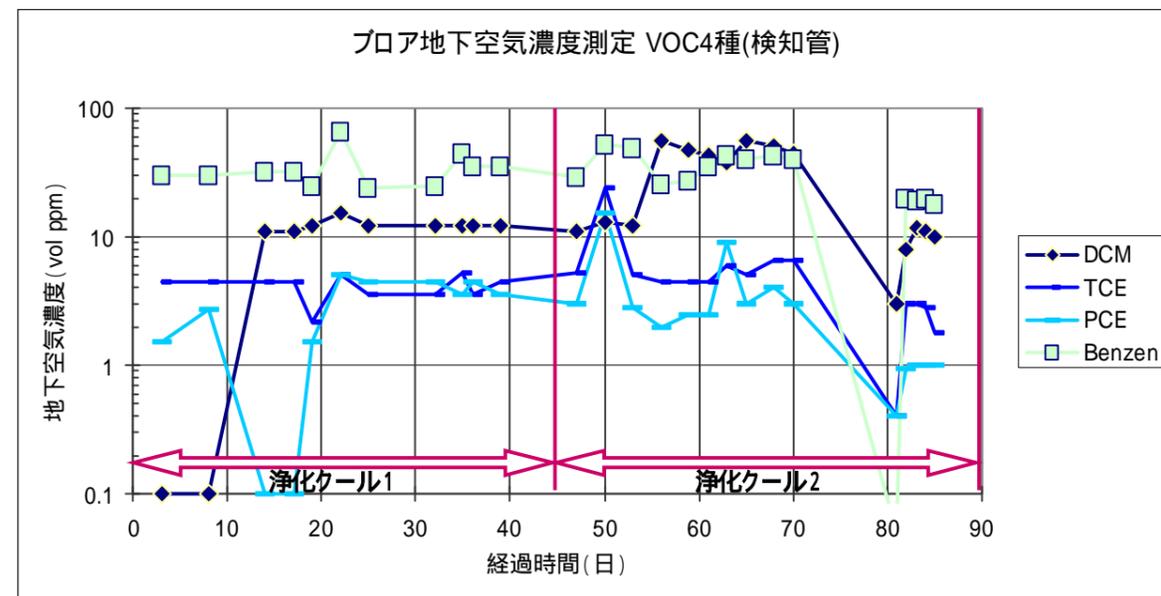


図-3.2.10 ボルテックスプロア地下空気濃度

3.2.6 SWPでの地下水VOC濃度

SWPで揚水した地下水のVOC濃度はDCM、PCM、1,2-DCA、cis-1,2-DCE、TCE、PCE、Benzenの7項目で基準値を超過していた。地下空気同様、地下水でもDCM濃度が一番高く数mg/Lレベルで検出された。浄化1クール目ではPCMのみ減少傾向が確認できたが、浄化2クール目では基準値超過の7項目全てで減少傾向が確認できた。

表-3.2.1にSWPでの地下水モニタリング結果を図-3.2.11にSWPでの地下水VOC濃度グラフを示す。

表-3.2.1 SWP地下水モニタリング結果

採水日	経過日数	DCM	PCM	1,2-DCA	1,1-DCE	cis-1,2-DCE	1,1,1-TCA	1,1,2-TCA	TCE	PCE	1,3-DCP	Benzen
10/5/7	2	4.5	0.098	0.006	0.002	0.009	0.19	0.001	0.54	0.14	0.001	0.43
10/5/10	5	5.4	0.074	0.02	0.003	0.031	0.055	0.001	0.66	0.037	0.001	0.25
10/5/14	9	6.8	0.32	0.041	0.002	0.01	0.068	0.001	0.69	0.044	0.001	0.31
10/5/21	16	3	0.068	0.033	0.001	0.006	0.033	0.001	0.51	0.039	0.001	0.18
10/5/28	23	0.91	0.009	0.027	0.001	0.01	0.019	0.001	0.1	0.028	0.001	0.057
10/6/4	30	4.7	0.008	0.097	0.001	0.055	0.04	0.001	0.56	0.055	0.001	0.36
10/6/11	37	4.7	0.009	0.1	0.001	0.007	0.028	0.001	0.49	0.069	0.001	0.23
10/6/21	47	4	0.002	0.088	0.001	0.005	0.008	0.001	0.68	0.036	0.001	0.23
10/6/24	50	0.93	0.002	0.032	0.001	0.089	0.005	0.001	0.076	0.027	0.001	0.059
10/6/28	54	0.97	0.004	0.08	0.001	0.006	0.006	0.001	0.5	0.045	0.001	0.092
10/7/5	61	0.74	0.001	0.032	0.001	0.01	0.003	0.001	0.29	0.03	0.001	0.03
10/7/12	68	0.046	0.001	0.005	0.001	0.004	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002
10/7/19	75	0.27	0.003	0.028	0.001	0.004	0.003	0.001	0.076	0.034	0.001	0.021
10/7/26	82	0.1	0.006	0.018	0.001	0.002	0.002	0.001	0.057	0.042	0.001	0.022
基準値		0.02 以下	0.002 以下	0.004 以下	0.02 以下	0.04 以下	1 以下	0.006 以下	0.03 以下	0.01 以下	0.002 以下	0.01 以下

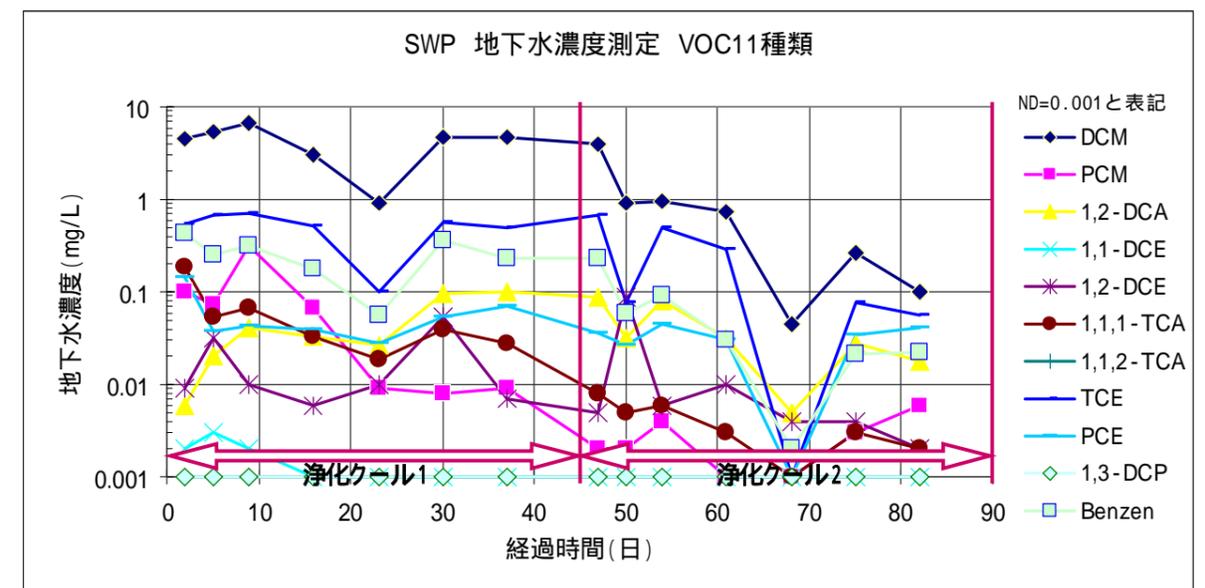


図-3.2.11 SWP地下水VOC濃度

3.2.7 ポーリングコアによる土壌溶出量結果

ポーリングコアの採取はSB-11、SB-12、SB-13、MD-6、MD-10の計5地点で実施した。SB-11は1深度、SB-12は3深度、SB-13地点では2深度で数倍の汚染が残ったが、他の深度では全て環境基準値以下となった。

ポーリング位置を図-3.2.12に示す。(SB-11、SB-12、SB-13の土壌溶出量結果は後掲参照のこと)

MD 6およびMD-10地点のポーリングコアでの土壌溶出量結果を表-3.2.2、3.2.3に示す。表は左側が浄化開始前の1回目ポーリングデータで右側が90日経過後のポーリングデータである。MD-6は全ての深度で汚染が無くなり浄化が確認できた。しかしMD-6や他のポーリング地点よりSWPに近いMD-10は複数の深度で汚染が確認された。

表-3.2.2 MD-6地点での土壌溶出量結果

ポーリング地点：MD6地点 VOC簡易分析結果													ポーリング地点：MD6-3地点 VOC簡易分析結果																
深度(m)	柱状図	井戸	標高(m)	汚染物質	1,2-ジクロロエチレン	1,1-ジクロロエチレン	1,1,1-トリクロロエチレン	1,1,2-ジクロロエチレン	1,1,2-トリクロロエチレン	1,1,1,2-テトラクロロエチレン	1,1,2,2-テトラクロロエチレン	1,1,1,2,2-ペンタクロロエチレン	1,1,1,2,2,2-ヘキサクロロエチレン	単位(mg/L)	深度(m)	柱状図	井戸	標高(m)	汚染物質	1,2-ジクロロエチレン	1,1-ジクロロエチレン	1,1,1-トリクロロエチレン	1,1,2-ジクロロエチレン	1,1,2-トリクロロエチレン	1,1,1,2-テトラクロロエチレン	1,1,2,2-テトラクロロエチレン	1,1,1,2,2-ペンタクロロエチレン	1,1,1,2,2,2-ヘキサクロロエチレン	単位(mg/L)
-1		449.817	449.2-449.0	0.005	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-1		449.817	449.2-449.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
-2			448.2-448.0	0.011	ND	0.001	ND	0.001	0.001	ND	0.006	0.01	ND	0.002	-2			448.2-448.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
-3			447.2-447.0	0.002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-3			447.2-447.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
-4			446.2-446.0	0.007	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-4			446.2-446.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
-5			445.2-445.0	0.007	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-5			445.2-445.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
-6			444.2-444.0	0.43	0.001	0.006	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.003	-6			444.2-444.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
-7			443.2-443.0	0.028	ND	0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-7			443.2-443.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
-8			442.2-442.0	1	0.024	0.01	ND	0.003	0.01	ND	0.011	0.004	ND	0.016	-8			442.2-442.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
-9			441.2-441.0	0.98	0.021	0.014	ND	ND	0.001	ND	0.001	ND	ND	0.01	-9			441.2-441.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
-10			440.2-440.0	1	0.27	0.001	ND	ND	0.002	ND	0.003	0.001	ND	0.014	-10			440.2-440.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
-11			439.2-439.0	0.01	0.002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-11			439.2-439.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
-12			438.2-438.0	1	0.956	ND	ND	0.002	ND	0.005	0.003	ND	ND	0.014	-12			438.2-438.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
-13			437.2-437.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-13			437.2-437.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
-14			436.2-436.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-14			436.2-436.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
-15			435.2-435.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-15			435.2-435.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
-16			434.2-434.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-16			434.2-434.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
土壌溶出量基準 0.02mg/L, 0.002mg/L, 0.004mg/L, 0.02mg/L, 0.04mg/L, 1mg/L, 0.008mg/L, 0.03mg/L, 0.01mg/L, 0.002mg/L, 0.01mg/L 第二溶出量基準 0.2mg/L, 0.02mg/L, 0.04mg/L, 0.2mg/L, 0.4mg/L, 3mg/L, 0.06mg/L, 0.3mg/L, 0.1mg/L, 0.02mg/L, 0.1mg/L 溶出量基準100倍以上 2mg/L, 0.2mg/L, 0.4mg/L, 2mg/L, 4mg/L, 10mg/L, 0.6mg/L, 3mg/L, 1mg/L, 2mg/L, 1mg/L													土壌溶出量基準 0.02mg/L, 0.002mg/L, 0.004mg/L, 0.02mg/L, 0.04mg/L, 1mg/L, 0.008mg/L, 0.03mg/L, 0.01mg/L, 0.002mg/L, 0.01mg/L 第二溶出量基準 0.2mg/L, 0.02mg/L, 0.04mg/L, 0.2mg/L, 0.4mg/L, 3mg/L, 0.06mg/L, 0.3mg/L, 0.1mg/L, 0.02mg/L, 0.1mg/L 溶出量基準100倍以上 2mg/L, 0.2mg/L, 0.4mg/L, 2mg/L, 4mg/L, 10mg/L, 0.6mg/L, 3mg/L, 1mg/L, 2mg/L, 1mg/L																

表-3.2.3 MD-10地点での土壌溶出量結果

ポーリング地点：MD10地点 VOC簡易分析結果													ポーリング地点：MD10-3地点 VOC簡易分析結果																
深度(m)	柱状図	井戸	標高(m)	汚染物質	1,2-ジクロロエチレン	1,1-ジクロロエチレン	1,1,1-トリクロロエチレン	1,1,2-ジクロロエチレン	1,1,2-トリクロロエチレン	1,1,1,2-テトラクロロエチレン	1,1,2,2-テトラクロロエチレン	1,1,1,2,2-ペンタクロロエチレン	1,1,1,2,2,2-ヘキサクロロエチレン	単位(mg/L)	深度(m)	柱状図	井戸	標高(m)	汚染物質	1,2-ジクロロエチレン	1,1-ジクロロエチレン	1,1,1-トリクロロエチレン	1,1,2-ジクロロエチレン	1,1,2-トリクロロエチレン	1,1,1,2-テトラクロロエチレン	1,1,2,2-テトラクロロエチレン	1,1,1,2,2-ペンタクロロエチレン	1,1,1,2,2,2-ヘキサクロロエチレン	単位(mg/L)
-1		449.922	449.2-449.0	0.004	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-1		449.922	449.2-449.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
-2			448.2-448.0	0.01	ND	0.002	ND	ND	0.002	ND	0.013	0.035	ND	0.004	-2			448.2-448.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
-3			447.2-447.0	0.004	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-3			447.2-447.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
-4			446.2-446.0	0.008	ND	0.002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-4			446.2-446.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
-5			445.2-445.0	0.007	ND	0.005	ND	ND	0.008	ND	0.025	0.073	ND	0.013	-5			445.2-445.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
-6			444.2-444.0	0.097	0.003	0.005	ND	ND	0.019	ND	0.032	0.037	ND	0.027	-6			444.2-444.0	0.984	0.009	ND	0.001	0.003	ND	0.036	0.021	ND	0.013	
-7			443.2-443.0	0.003	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.018	-7			443.2-443.0	0.001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
-8			442.2-442.0	0.17	0.015	0.01	ND	ND	0.037	ND	0.052	0.081	ND	0.035	-8			442.2-442.0	0.095	0.01	0.01	ND	ND	0.005	ND	0.023	0.051	ND	0.017
-9			441.2-441.0	0.019	0.01	ND	ND	ND	0.013	ND	0.015	0.036	ND	0.017	-9			441.2-441.0	0.01	0.008	0.001	ND	ND	ND	ND	0.004	0.02	ND	0.004
-10			440.2-440.0	0.003	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.004	-10			440.2-440.0	0.008	ND	0.003	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
-11			439.2-439.0	0.001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.004	-11			439.2-439.0	0.095	0.01	0.001	ND	0.001	ND	0.004	0.001	ND	0.001	
-12			438.2-438.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.001	-12			438.2-438.0	0.008	ND	0.003	ND	0.005	ND	0.004	0.001	ND	0.001	
-13			437.2-437.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.009	-13			437.2-437.0	ND	ND	0.005	0.026	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.001	
-14			436.2-436.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.009	-14			436.2-436.0	0	0	0.005	0	0.026	0	0	0	0	0.009	
-15			435.2-435.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.009	-15			435.2-435.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
-16			434.2-434.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.009	-16			434.2-434.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
土壌溶出量基準 0.02mg/L, 0.002mg/L, 0.004mg/L, 0.02mg/L, 0.04mg/L, 1mg/L, 0.008mg/L, 0.03mg/L, 0.01mg/L, 0.002mg/L, 0.01mg/L 第二溶出量基準 0.2mg/L, 0.02mg/L, 0.04mg/L, 0.2mg/L, 0.4mg/L, 3mg/L, 0.06mg/L, 0.3mg/L, 0.1mg/L, 0.02mg/L, 0.1mg/L 溶出量基準100倍以上 2mg/L, 0.2mg/L, 0.4mg/L, 2mg/L, 4mg/L, 10mg/L, 0.6mg/L, 3mg/L, 1mg/L, 2mg/L, 1mg/L													土壌溶出量基準 0.02mg/L, 0.002mg/L, 0.004mg/L, 0.02mg/L, 0.04mg/L, 1mg/L, 0.008mg/L, 0.03mg/L, 0.01mg/L, 0.002mg/L, 0.01mg/L 第二溶出量基準 0.2mg/L, 0.02mg/L, 0.04mg/L, 0.2mg/L, 0.4mg/L, 3mg/L, 0.06mg/L, 0.3mg/L, 0.1mg/L, 0.02mg/L, 0.1mg/L 溶出量基準100倍以上 2mg/L, 0.2mg/L, 0.4mg/L, 2mg/L, 4mg/L, 10mg/L, 0.6mg/L, 3mg/L, 1mg/L, 2mg/L, 1mg/L																

表-3.2.4 MD-10地点の汚染濃度差(運用開始前、後)

ポーリング地点：MD10地点 VOC簡易分析結果の差														
深度(m)	柱状図	井戸	標高(m)	汚染物質	1,2-ジクロロエチレン	1,1-ジクロロエチレン	1,1,1-トリクロロエチレン	1,1,2-ジクロロエチレン	1,1,2-トリクロロエチレン	1,1,1,2-テトラクロロエチレン	1,1,2,2-テトラクロロエチレン	1,1,1,2,2-ペンタクロロエチレン	1,1,1,2,2,2-ヘキサクロロエチレン	単位(mg/L)
-1		449.922	449.2-449.0	-0.004	0	0	0	0	0	0	0	-0.001	-0.001	0
-2			448.2-448.0	-0.01	0	-0.002	0	0	-0.002	0	-0.013	-0.03	0	-0.004
-3			447.2-447.0	-0.004	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0	0
-4			446.2-446.0	-0.008	0	-0.002	0	0	0	0	0	0	0	0
-5			445.2-445.0	-0.007	0	-0.005	0	0	-0.008	0	-0.025	-0.073	0	-0.013
-6			444.2-444.0	-0.013	-0.003	0.004	0	0.001	-0.016	0	0.006	-0.016	0	-0.014
-7			443.2-443.0	-0.002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.018
-8			442.2-442.0	-0.075	-0.005	0	0	0	-0.032	0	-0.029	-0.03	0	-0.018
-9			441.2-441.0	-0.009	-0.002	0.001	0	0	-0.013	0	-0.011	-0.018	0	-0.013
-10			440.2-440.0	0.005	0	0.003	0	0	0	0	0	-0.001	0	-0.

3.2.8 まとめ

浄化運転の結果、土壌、地下水とも浄化が進んだ。

土壌汚染では4区画のうち1区画で浄化となり、他の3区画では不飽和帯において、5検体のそれぞれ1項目について基準値を超えた。地下水では10本の観測井戸のうち5本に基準値を超える項目があった。

今回の実証試験をまとめれば以下のようである。

浄化の進行

ドラム缶撤去区画であり、かつ汚染の初期濃度の高さを考えると浄化は十分なスピードをもって進んだ。ただし、地下水および不飽和帯の一部に低濃度ではあるが汚染が残り、SMP 近傍のMD-40では飽和帯を中心に土壌汚染が残留した。

この工法では地中の汚染物質（揮発性物質）を地下水と地下空気によりSMP井戸に回収する仕組みである。したがって、浄化途中においてはSMP井戸近傍に汚染が集まる傾向となる。土壌汚染の残留が浄化の途中を確認したものと理解すれば、残留する土壌汚染は浄化運転の継続によってより低下していくものと考えられる。

鋼矢板の施工

負圧の進行がおもいのほかあがらなかった原因は鋼矢板外からの地下水の浸透と地下空気の入り込みである。地下水揚水量のデータから、区画内に存在する地下水の2倍以上の浸透量があったものと推定された。今回、この地下水により汚染物質が流入してきたことについては確認できなかったものの、近接する0地区側には汚染区画が存在し、ここから汚染された地下水が流入した可能性は否定できない。

今回、鋼矢板外から入り込む地下空気量が装備した真空ポンプおよびブロアの能力に比べ大きく、そのため減圧が予想より小さかった。この影響により、浄化のスピードが遅くなった可能性が考えられる。

配置設備

現場にはSSの一時処理設備・排ガス処理設備を設置した。浄化期間中、トラブルもなく処理運転は良好であった。

3.3 試験区画の土質試験結果

3.3.1 試験目的

試験施工業務での浄化確認ボーリング試料の一部を使用して、N地区の調査・設計業務で行った土質試験結果との比較を目的とし土質試験を実施した。

3.3.2 土質試験試料

試験試料は図-3.3.1のボーリングマシンによりオープンチューブサンプラーで採取したSB-41(3回目)ボーリング地点の8.77~9.00m部と11.27~11.57m部のボーリングコアを使用し行った。当県境サイトでの土質分類として、前者は上部ローム層と後者はパミス層と分類されている地点である。

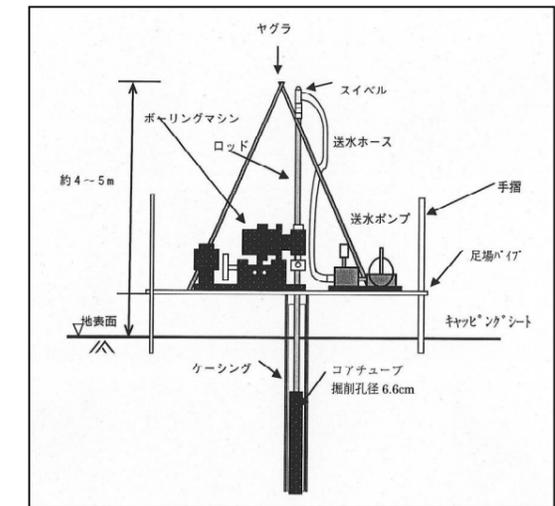
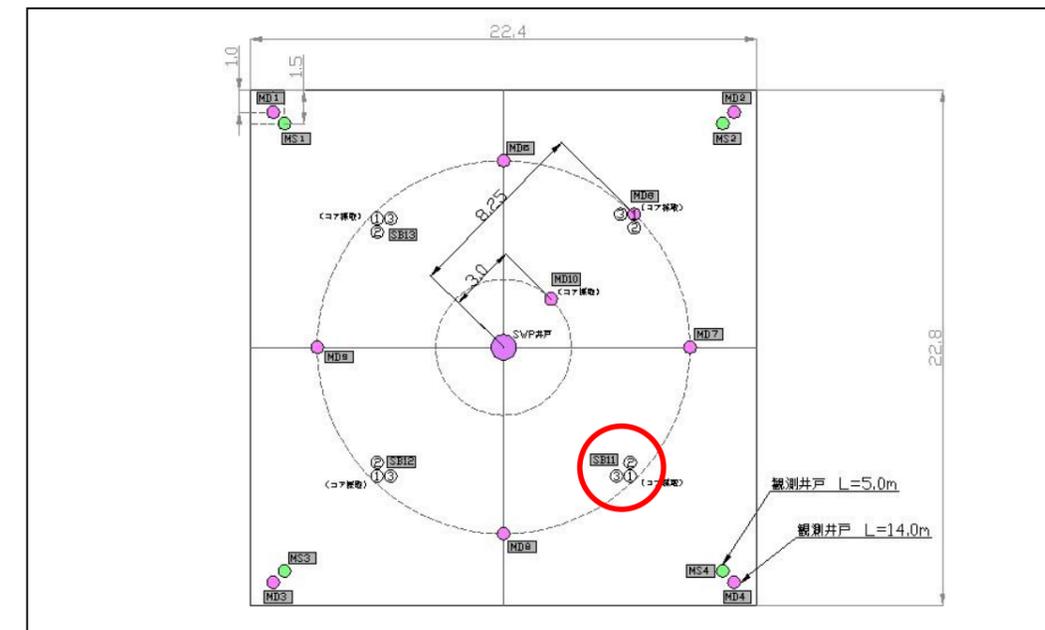


図-3.3.1 ボーリングマシン概要図

(1) 試料採取位置

図-3.3.2にボーリング位置図を示す。



ボーリング SB-11 地点

図-3.3.2 ボーリング位置図

(2) 試料採取深度

図-3.3.3にSB-11(1回目)のボーリングコア写真と図-3.3.4に柱状図に試料採取深度を示す。

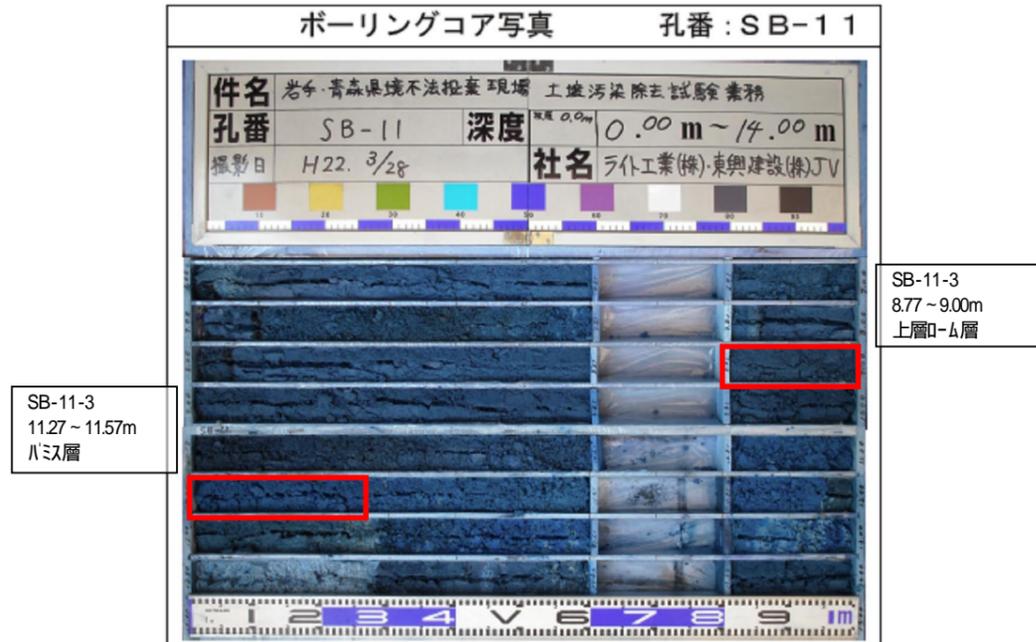


図-3.3.3 SB-11 コア写真(一部抜粋)



図-3.3.4 SB-11 ボーリング柱状図(一部抜粋)

3.3.3 試験方法

オープンチューブサンプラーで採取した試料を対象とした室内土質試験を実施した。表-3.3.1にその方法の基準を示す。

表-3.3.1 土質試験方法

試験項目	日本工業規格	地盤工学会基準
土の粒度試験	JIS A 1204	JGS 0131

なお、JISは国家規格であり、JGSは学会規格である。したがって、試験実施にあたってはJIS規格を優先し、JIS規格外の項目(地盤材料の工学的分類など)については地盤工学会基準(JGS)に準拠した。

(1) 土の粒度試験

粒度試験の目的は、土を構成する土粒子の大きさを知ることにある。具体的には種々の大きさの範囲にある粒子を全重量に対する割合で表した粒度分布を求めることである。土質の材料は、粒径75~2.0mmの礫分、2.0mm~74μの砂分、74~5μのシルト分、5μ以下の粘土分に区分される。また礫分と砂分を合わせた75mm~74μの粒度成分を粗粒分(または砂礫分)といい、シルト分と粘土分を合わせたものすなわち74μ以下の粒度成分を細粒分という。

粒度試験の結果から、粒径加積曲線の通過質量百分率60%、30%、10%にそれぞれ相当する粒径D60、D30、D10(有効径)を求めることにより均等係数Uc、曲率係数U'cを求め、土の粒度分布の状態を知ることができる。

$$U_c = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad U'_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

【試験方法】

2mmふるい残留分に対するふるい分析

- 1) 2mmふるい残留分の全量を2mmふるいの上で水洗いし、2mm以下の土粒子を十分に洗い流す。
- 2) ふるいに残留した試料の全量を110で一定質量になるまで炉乾燥し、その質量をはかる。
- 3) 炉乾燥試料の全量を標準網ふるい75mm、53mm、37.5mm、26.5mm、19mm、9.5mmおよび4.75mmを用いて十分にふるい分ける。
- 4) 各ふるいに残留した試料の質量をはかり、呼び寸法dの各ふるいに残留した試料の質量mdをそれぞれはかる。

2mmふるい通過分に対する沈降分析

- 1) 分散させた全量をメスシリンダーに移し、蒸留水を加えた全体を1にする。
- 2) メスシリンダーを恒温水槽の中に置き、メスシリンダーの内容物の温度が恒温水槽の水温とほぼ同じになるまで放置する。その間、内容物をときどき棒でかきまぜ一様にする。
- 3) メスシリンダーに蓋をして、逆さにしたり戻したりする操作を約1分間続け、メスシリンダーの内容物が均一な懸濁液になるようにした後、素早くメスシリンダーを静置する。
- 4) 静置後、所定の経過時間ごとにメスシリンダー内に浮ひょうを浮かべ、その目盛りの小数部分の読みrをメニスカス上端で0.0005まで読みとり、また同時に懸濁液の温度Tを読みとる。rの読み取り時間tは、メスシリンダー静置後1分、2分、5分、15分、30分、60分、240分および1440分とする。

3.3.4 試験結果

土質試験結果の詳細については、別添の室内土質試験結果に示す。表-3.3.2に土質試験結果の一覧を示す。また、参考値としてN地区調査・設計業務で実施した試験結果も合わせて示す。

表-3.3.2 土質試験結果一覧表

		試験施工業務		N地区調査・設計業務	
孔番号		SB-11-3	SB-11-3	a-10	f-4
地質名		ローム	軽石	ローム	ローム
記号		af1	af1	af1	af1
一般	湿潤密度 $t(g/cm^3)$				
	土粒子の密度 $s(g/cm^3)$	2.563	2.462	2.868	2.666
	自然含水比 $n(\%)$	99.1	242.5	72.3	86.8
粒度	礫分(2~75mm)(%)	0.1	7.5	0.0	0.3
	砂分(0.075~2mm)(%)	23.4	40.7	38.3	37.1
	シルト分(0.005~0.075mm)(%)	62.2	36.6	37.5	34.5
	粘土分(0.005mm未満)(%)	14.3	15.2	24.2	28.1
	最大粒径 (mm)	4.75	9.5	2	4.75
	均等係数 U_c	26.57	46.83	*	*
	50%粒径 D_{50} (mm)	0.0543	0.0691	0.0378	0.0368
分類	地盤材料の分類名	砂質シルト	礫混じり砂質細粒土	砂質粘性土	砂質粘性土
	分類記号	(MS)	(FS-G)	(CsS)	(CsS)
一軸圧縮	一軸圧縮強さ q_u (kN/m ²)				
	被壊ひずみ $f(\%)$				
	変形係数 E_{50} (MN/m ²)				

以下、試験結果を要約して述べる。

(1) 土粒子の密度 s

土粒子の密度は、土の固体部分の単位体積あたりの平均質量である。土粒子を構成する主要鉱物の個々の密度に大差がないため、一般的には $s=2.65\sim 2.75g/cm^3$ の範囲で測定される。有機物が多く混入する場合はこの範囲より低い値となり、金属鉱物を多く含む場合は高い値となる。

今回の測定の結果は、

ローム $s=2.563$

軽石 $s=2.462$

であり、ほぼ粘性土の一般値に近似する値を示している。

表-3.3.3 主な鉱物と土粒子の密度の例

鉱物名	密度(g/cm^3)	鉱物名	密度(g/cm^3)
石英	2.6~2.7	豊浦砂	2.64
長石	2.5~2.8	沖積砂質土	2.6~2.8
雲母	2.7~3.2	沖積粘性土	2.50~2.75
角閃石	2.9~3.5	洪積砂質土	2.6~2.8
輝石	2.8~3.7	洪積粘性土	2.50~2.75
磁鉄鉱	5.1~5.2	泥炭(ピート)	1.4~2.3
クォーライト	2.6~3.0	関東ローム	2.7~3.0
イライト	2.6~2.7	まさ土	2.6~2.8
カオリナイト	2.5~2.7	しらす	1.8~2.4
モンモリナイト	2.0~2.4	黒ボク	2.3~2.6

出典[土質試験の方法と解説、(社)地盤工学会]

(2) 自然含水比 W_n

自然含水比は、土塊中に含まれている水と土粒子の重量比を百分率で表した値である。腐植土等の有機物を多く含む地層や火山灰層は含水比が高く、また粗粒土より細粒土の含水比が高くなる傾向が見られる。

今回の測定結果は、

ローム $W_n=99.1\%$

軽石 $W_n=242.5\%$

であった。表-3.3.4に含水比の一般値を示す。ロームは、一般的なロームの値を示している。軽石は腐植土に近似した非常に高い数値を示している。軽石層は運転期間中でも地下水位が深であったのが影響している可能性もある。

表-3.3.4 土の物理的性状の経験値

地層 物理的性状	沖積層			洪積層		
	粘土	砂	腐植土	粘土	砂	ローム
含水比 $W(\%)$	60~90	30~50	150~300	40~60	20~30	100~130
湿潤密度 $\rho(g/cm^3)$	1.45~1.60	1.60~1.80	1.00~1.20	1.60~1.70	1.80~2.00	1.25~1.35
間隙比	1.60~2.40	0.75~1.50	3.80~8.20	1.30~1.70	0.40~1.00	3.00~4.00
飽和度 $S_r(\%)$	100	85~100	100	85~100	60~80	80~95
備考				N=10内外の粘土	地下水位下では $S_r=100$	

「土質調査の基礎知識」小松田清吉著、鹿島出版会より

(3) 粒度特性

粒度特性は、土の工学的分類の基本となるもので、その土を構成している土粒子の大きさにより、礫分(2mm以上)、砂分(75μm~2mm)、シルト分(5~75μm)、粘土分(5μm以下)に区分し、その重量百分率で表したものである。このうち、礫分と砂分を粗粒分、またその和が50%以上占めている土を粗粒土(砂質土、礫質土)と呼び、シルト分と粘土分を細粒分、またその和が50%以上占めている土を細粒土(粘性土)と呼んでいる。

試験結果は粒径加積曲線として示されるが、今回の粒度分布状況をまとめて図-3.3.5の粒径加積曲線に示した。以下では地質毎の粒度特性を述べる。

1) ローム

細粒分が76.5%を占める。図-3.3.5に粒径加積曲線を示す。

2) 軽石

細粒分が51.8%を占める。図-3.3.5に粒径加積曲線を示す。

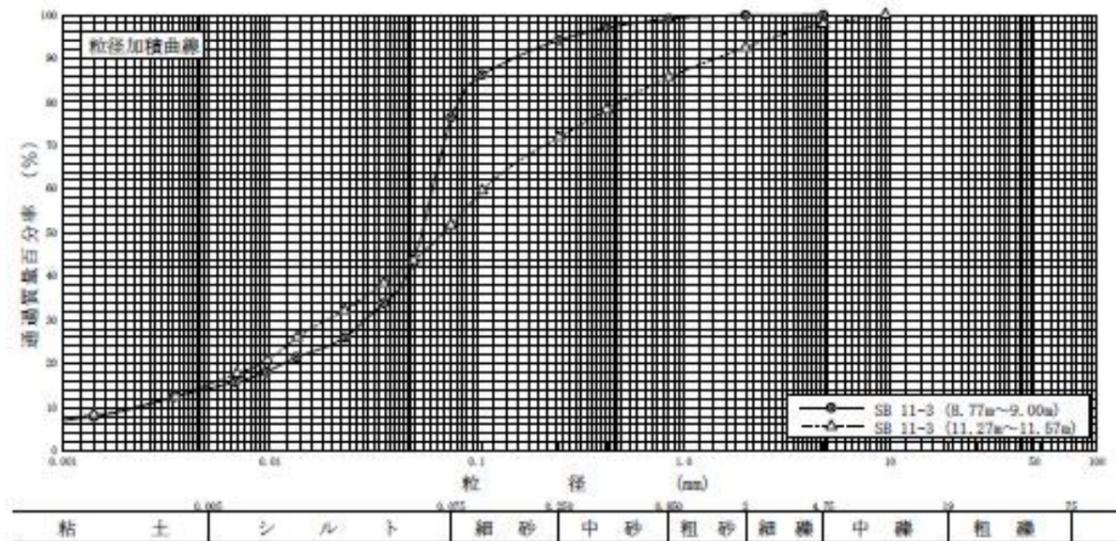


図-3.3.5 粒径加積曲線

3) 粒度試験による透水係数の推定

砂質土及び礫質土の粗粒土に対し、粒度試験から透水係数を推定する方法として表-3.3.5に示すクレーガーの関係が広く採用されている。

表-3.3.5 クレーガーによるD₂₀と透水係数の関係

D ₂₀ (mm)	k(cm/sec)	D ₂₀ (mm)	k(cm/sec)
0.005	3.00×10 ⁻⁶	0.18	6.85×10 ⁻³
0.01	1.05×10 ⁻⁵	0.20	8.90×10 ⁻³
0.02	4.00×10 ⁻⁵	0.25	1.40×10 ⁻²
0.03	8.50×10 ⁻⁵	0.30	2.20×10 ⁻²
0.04	1.75×10 ⁻⁴	0.35	3.20×10 ⁻²
0.05	2.80×10 ⁻⁴	0.40	4.50×10 ⁻²
0.06	4.60×10 ⁻⁴	0.45	5.80×10 ⁻²
0.07	6.50×10 ⁻⁴	0.50	7.50×10 ⁻²
0.08	9.00×10 ⁻⁴	0.60	1.10×10 ⁻¹
0.09	1.40×10 ⁻³	0.70	1.60×10 ⁻¹
0.10	1.75×10 ⁻³	0.80	2.15×10 ⁻¹
0.12	2.60×10 ⁻³	0.90	2.80×10 ⁻¹
0.14	3.80×10 ⁻³	1.00	3.60×10 ⁻¹
0.16	5.10×10 ⁻³	2.00	1.80

出典:「土質試験の方法と解説」(社)地盤工学会

クレーガーによるD₂₀と透水係数の関係から推定した透水係数を表-3.3.6にH20年実施のN地区調査・設計業務での透水係数結果を表-3.3.7に示す。

表-3.3.6 クレーガーによる透水係数の推定結果

孔番号	試験深度(m)	土質名	20%粒径D ₂₀ (mm)	透水係数k(cm/sec)	
				推定値	実測値(地層毎の平均値)
SB-11-3	8.77~9.00	ローム(af1)	0.011	< 1.05×10 ⁻⁵	
SB-11-3	11.27~11.57	軽石(af1)	0.0090	< 1.05×10 ⁻⁵	

表 - 3.3.7 N地区調査・設計業務での透水係数の結果

孔番号	試験深度 (m)	土質名	20%粒径 D ₂₀ (mm)	透水係数k(cm/sec)	
				推定値	実測値(地層毎の 平均値)
f-4	9.60 ~ 9.80	ローム(af1)	0.0015	< 3.00×10 ⁻⁶	2.53×10 ⁻³
f-4	16.00 ~ 16.25	風化岩(Tb)	0.0037	< 3.00×10 ⁻⁶	2.20×10 ⁻⁴
f-4	18.00 ~ 18.25	凝灰岩(Tb)	-	-	6.30×10 ⁻⁷
a-10	5.15 ~ 12.05	ローム(af1)	0.0035	< 3.00×10 ⁻⁶	2.53×10 ⁻³
a-10	16.15 ~ 17.05	風化岩(Tb)	0.0044	< 3.00×10 ⁻⁶	2.20×10 ⁻⁴
a-10	17.75 ~ 18.05	凝灰岩(Tb)	0.0036	< 3.00×10 ⁻⁶	6.30×10 ⁻⁷

赤字は試験区画と同じ上層ローム

3.4.5 まとめ

N地区調査・設計業務の試験データに比べると今回の試験施工区画は土粒子の密度が小さく、含水率が高い結果となった。土粒子の密度が小さい理由としては、軽石などの土の構成物質の多少の差によるものと推測する。

試験結果で得られた土粒子の密度が、表 - 3.3.3 の一般の粘性土の平均値を下回っていることから、ボーリングコアは圧密された状態ではないと推測する。また、定点計測ではないため参考値となるがSB-11の浄化確認ボーリングの地点標高では、1回目GL=449.81mであったものが3回目ではGL=449.775mと標高差が3.5cmであることから、地盤内で真空吸引を実施したことによる急激な圧密沈降は発生していないと判断する。

実際の浄化確認ボーリングの施工時では、不飽和層において1回目と3回目のボーリングで明らかにモンケンの打ち込み回数が減少している。このことから土質は乾燥状態で打ち込み抵抗が低い状態であることが推測され、圧密による空気の回収効率の低下は発生していないと判断する。

3.4 本工法採用時の留意点

試験施工より、岩手・青森県境サイトにおいても減圧土壌ガス吸引工法の効果が十分得られることが判明した。しかしながら、N地区で実施している揚水バッキは試験施工区画の対象土質よりさらに透水係数の低い地層(下層ローム～強風化岩)に適用しており、工法比較時において濃度の減少傾向などは単純比較とはならないと考えられる。N地区以外の他地区において浄化検討工法の1つとする際の減圧土壌ガス吸引工法の留意点を検討する。

1. 減圧土壌ガス吸引工法の特徴は次の通りである。

(1) 工法の長所

- 1) 飽和層、不飽和層の同時浄化が可能である。
- 2) 通常の重力揚水に比べ揚水量が多い。(地下水回収効率が高い)
- 3) 初期非飽和層での地下水汚染物質の回収効率が高いと推測される。
(完全浄化可能かは不明であるが、運用期間さえ延ばせば十分可能性もあると推測する)
- 4) 高濃度汚染に対しても濃度減少に関しては十分適応可能である。
(浄化期間は汚染物質、汚染濃度、適応範囲に合わせ検討が必要)
- 5) 揮発性有機化合物 11項目について全て有効であると考えられる。
(1,3-ジクロロプロペンは未検出のため実績はないが同様の結果が得られると推測する)

(2) 工法の留意点

- 1) 施工区画を仕切る矢板の施工が必要である。
(矢板の施工をしない場合の負圧の状況、地下水の低下に関しては検討が必要)
- 2) 施工場所の地下水位が低い場合(不飽和部の層厚が厚い場合)に減圧効果が低くなる。
- 3) 初期非飽和層での汚染物質の回収効率が高いと推測されるため、回収した地下水、地下ガスの処理プラントの処理能力自体を回収効率の高い時期に合わせて設定しなければ、SKK自体の運用日数の短縮につながらない。
- 4) 他工法との併用を想定した場合、地下水回収効率が高い分、周辺地下水による“もらい汚染”を必然的に作ってしまう。(周辺区画との浄化進行の調整)
- 5) 浄化期間との関係となるが、補助的作業(シールコン打設、送風、吸引プロアのランクアップ)が必要となる場合がある。
- 6) 空気注入孔による送風時には地下空気圧が陽圧となり、モニタリング井戸などから空気が流出してくるためプロアの追加などによる空気回収が必要である。

2. 施工に対する留意点

当該地で減圧土壌ガス吸引工法による浄化施工の検討を行う場合の施工時の課題等は次のとおりである。

(1) 鋼矢板の打設の工夫

- 1) 鋼矢板外からの地下水の浸透および地下空気の入り込みをできるだけ少なくする工夫が必要である。
- 2) SMP井戸の施工範囲は今回のモデルとなった20m×20mの区画を基本としつつ、汚染の分布状態によっては更に広い汚染範囲を囲い、複数本のSMP井戸を設置することも考えられる。その場合、鋼矢板の外に汚染のないこと、揚水量：プラント処理水量の収支を事前に確認する必要がある。くみ上げ能力に長ける本工法においてSMP

の本数が水処理設備の水量収支に大きく影響を与えると判断される。

(2) 地表の空気遮断措置

地下水位の低い位置での施工が考えられる。よって、以下の追加処置は施工に際し不可欠であると判断する。

- 1) 地表に敷設するシートに隙間が生じないよう、またシート上に水張りを実施できるよう、区画内はできるだけ平坦化を行う。
- 2) SMP 井戸周辺のキャッピングコンクリート等、空気侵入防止措置の打設。
- 3) 鋼矢板内側の隙間をポリマー等で充填する。

(3) 空気注入工

- 1) 地表に空気注入管を設置して、圧縮空気を地中に注入する。

空気注入時、観測井戸全てが陽圧となりフロアでの空気回収を実施している。送風時の地下空気回収についても採用時には検討が必要である。

(4) 浄化モニタリング

- 1) 回収ガスのモニタリング回数、分析方法

ガス分析を現場分析で実施の場合、機械校正の違いなどから地下水、土壌と同一機器で行うのは難しく、別途分析機器を準備することとなるため、地下ガス分析の位置付け(ガス濃度には環境基準値がないため数値は傾向の指標としての扱いとなる)についての検討が必要である。

- 2) SMP 井戸へ汚染が集約してくるメカニズムより、浄化完了の確認ボーリングの位置について SMP 井戸近傍で実施することが汚染の残留を防ぐために必要である。