

吹田市南吹田地域土壌・地下水汚染浄化対策検討委員会（第 3 回）

地下水汚染浄化実証試験の経過報告（概要）

平成 23 年 3 月 25 日

I . 現地パイロット試験成果の検証

1. 試験領域内各井戸の汚染濃度減少量から導かれる浄化率

試験領域内における地下水汚染の浄化効果を確認するため、試験領域内の各井戸の汚染濃度減少量から浄化率を求めた。

ここで言う汚染濃度とは、主として当該地域周辺で検出されている汚染物質のうち、土壤汚染対策法による指定基準及び地下水基準が定められている 1,2-DCE とその分解生成物である VC の2項目を対象とし、それらの値を、mol 濃度への換算を経て 1,2-DCE 相当に換算した値を用いた。

本試験においては、VC の分解時に生成されるエチレンについても地下水中濃度を測定したが、上記基準等が定められていないため、汚染物質として取り扱わない。

各井戸の浄化率算定方法は、以下のとおりである。

$$\text{浄化率 (\%)} = 100 \times \frac{\text{試験終了までの汚染濃度減少量 (mg/L)}}{\text{初期汚染濃度 (mg/L)}}$$

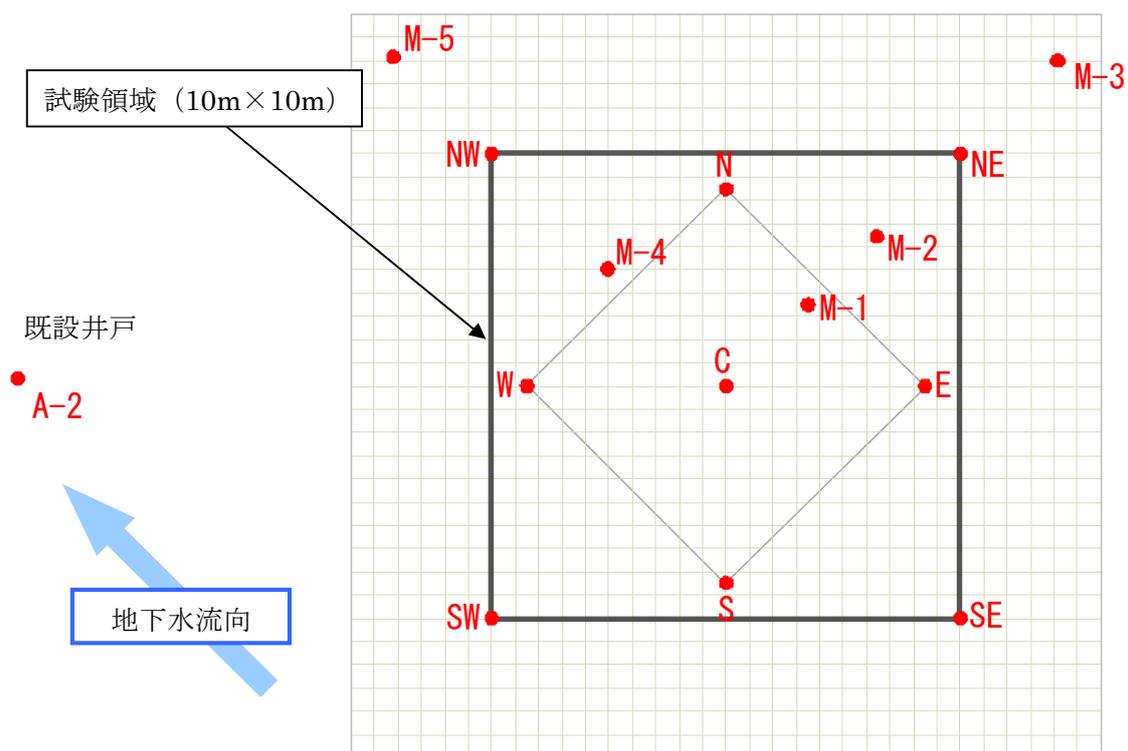


図 1.1 試験領域近傍の井戸配置図

算定の結果、初期汚染濃度を5月21日（初期促進剤溶液注入直前）とした場合、試験領域内平均で80.6%（-22.4～100.0%）の浄化率を得た。一方、初期汚染濃度を循環工程終了後3日目（6月22日）とした場合、試験領域内平均で68.8%（-126.7～100.0%）の浄化率を得た。いずれの場合についても、各井戸の浄化率は大きなばらつきを示し、特に地下水流域に位置する井戸S、SE、SWで低い値となった。井戸SWに至っては、上流域からの汚染地下水再流入によって初期汚染濃度よりも高い値が観測されたため、負の値を示した。

各井戸で観測された汚染濃度の経時的な推移を個別に見ていくと、特に上流域では時間経過に伴い、汚染物質1,2-DCE、VCと分解生成物であるエチレンの合算量の増加や1,2-DCE、VCの濃度低下後の再上昇などが確認され、試験領域内に地下水流域から汚染地下水が再流入したと判断される傾向が確認された（図1.2及び図1.3参照）。

また、促進剤残存量の指標となるTOC濃度やトレーサー物質である臭素イオン濃度の推移からも、10月26日時点において、すでに上流域からの地下水再流入や試験領域内地下水の下流域への流出と判断される傾向が確認された。

以上から、以降の試験（モニタリング）を継続したとしても、それらの結果をもって、促進剤による浄化効果の検証することは困難であると判断した。また、モニタリングを継続するとした場合でも、当初、試験領域内に存在した地下水が流下した範囲（地下水下流域）でのモニタリングが必須となるが、現地での施工制約上、観測井戸の設置が困難であった。

よって、10月26日を試験終了日とし、それまでの試験成果をもって促進剤の浄化効果を検証することとした。検証に際しては、上記に述べた試験領域内への地下水流域からの汚染地下水再流入や地下水下流域への領域内地下水の流出について、どのように取り扱うかが肝要であるため、当初設定した試験領域とは異なる評価領域について検討することとした。

表 1.1 各井戸の汚染濃度減少量から導かれる浄化率一覧

測定日		1,2-DCE (mg/L)			VC (mg/L)			1,2-DCE換算濃度 (mg/L)			浄化率	
		5月21日	6月22日	10月26日	5月21日	6月22日	10月26日	5月21日	6月22日	10月26日	対5月21日	対6月22日
C	領域内	11	7.7	<0.004	0.3	0.30	0.041	11.496	8.165	0.064	99.4	99.2
N	領域内	9.6	6.5	<0.004	0.3	0.24	<0.002	9.988	6.872	0.000	100.0	100.0
S	領域内	11	7.1	0.87	0.17	0.26	1.0	11.264	7.503	2.389	78.8	68.2
E	領域内	11	5.9	0.052	0.410	0.23	0.34	11.636	6.257	0.579	95.0	90.7
W	領域内	9.8	6.9	0.41	0.17	0.25	0.86	10.064	7.288	1.743	82.7	76.1
NE	領域内	4.2	6.4	0.020	0.300	0.24	0.031	4.665	6.772	0.068	98.5	99.0
NW	領域内	7.1	7.0	<0.004	0.3	0.25	<0.002	7.519	7.388	0.000	100.0	100.0
SE	領域内	12	6.9	2.2	0.2	0.26	0.60	12.341	7.303	3.130	74.6	57.1
SW	領域内	13	6.8	13	0	0.24	2.1	13.279	7.172	16.256	-22.4	-126.7
M-1	領域内	11	5.0	0.013	0.420	0.21	0.26	11.651	5.326	0.416	96.4	92.2
M-2	領域内	11	6.1	0.41	0.42	0.24	1.0	11.651	6.472	1.960	83.2	69.7
M-3	領域外	3.8	2.6	5.0	0.2	0.13	1.3	4.079	2.802	7.016	-72.0	-150.4
M-4	領域内		3.7	0.005		0.15	0.002		3.933	0.008		99.8
M-5	領域外		0.91	0.012		0.062	0.004		1.006	0.018		98.2
試験領域内平均											80.6	68.8
同平均 (SW除く)											90.9	86.5

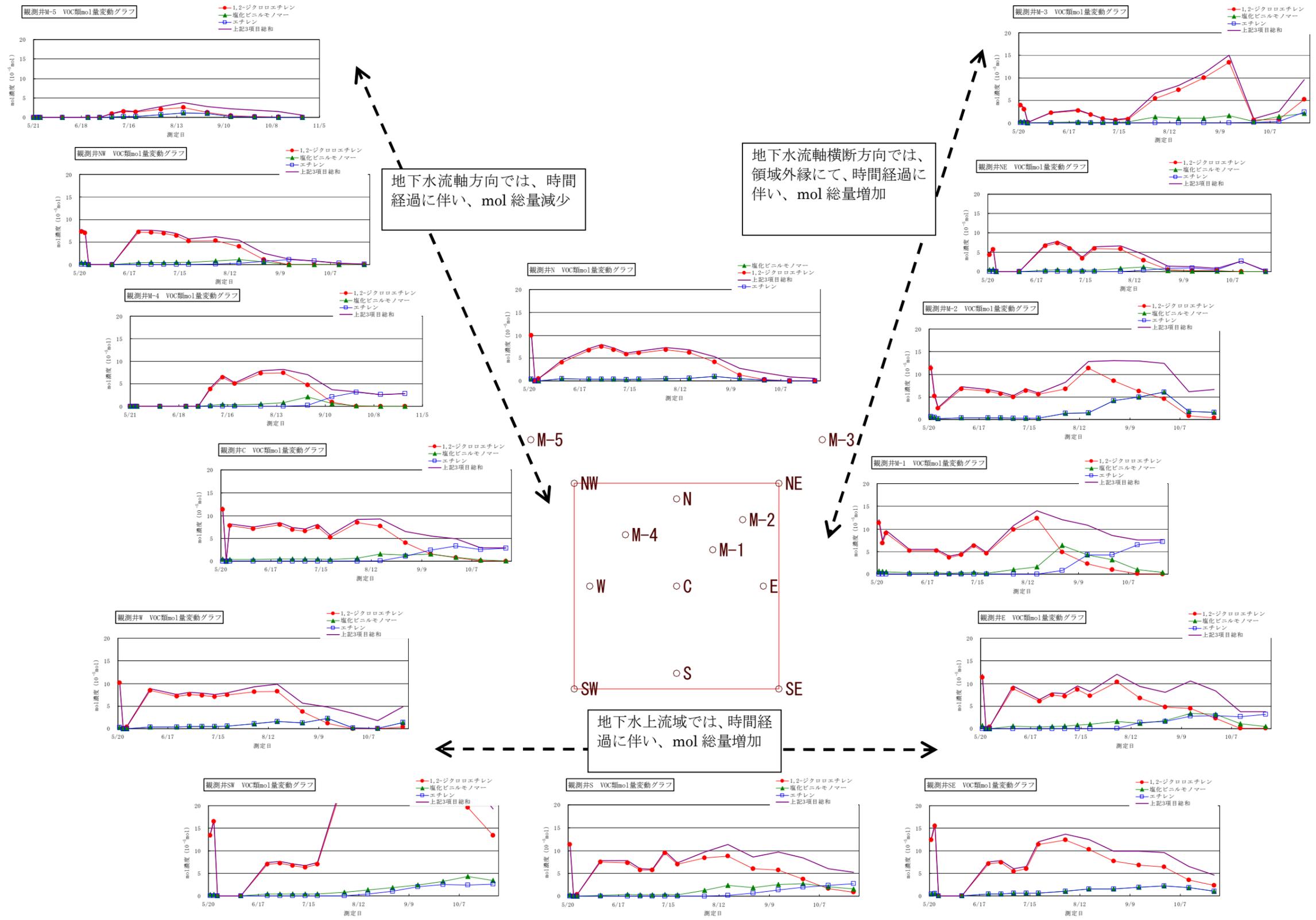


図 1.2 各井戸における VOC 類の mol 総量変動状況

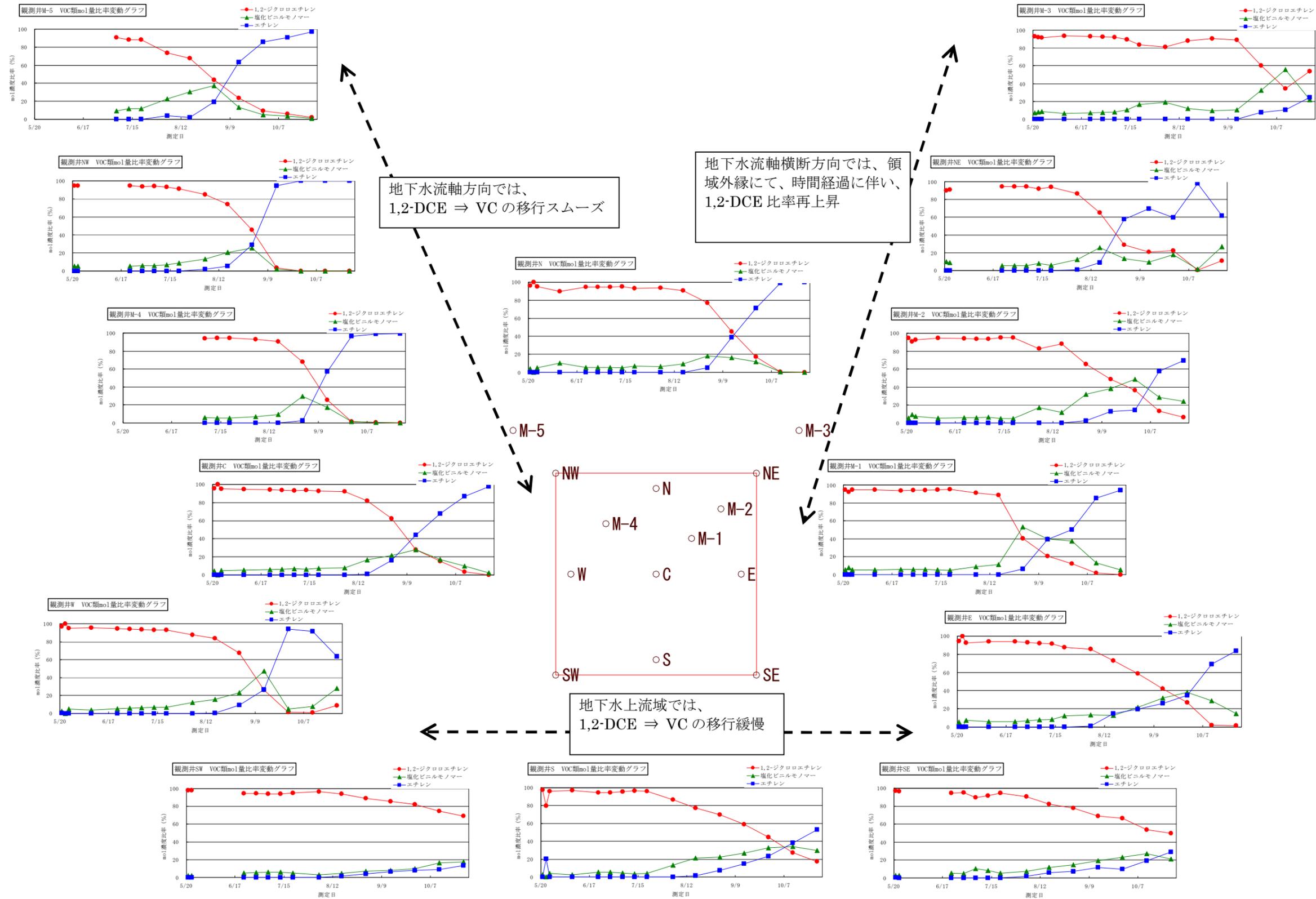


図 1.3 各井戸における VOC 類の mol 濃度比率変動状況

2. 平均地下水流速の再算定と評価領域の設定

1. に示した浄化率は、試験領域内への汚染地下水の再流入及び試験領域外への流出の影響を内包した形式で与えられるため、実際に浄化（分解）した汚染物質総量を過小あるいは過大に見積もる可能性があり、結果として促進剤の浄化効率を正確に評価することは困難である。

そのため、汚染物質の流出入の影響を極力排除できる形式で評価領域を新たに定め、その領域内での各種測定結果を基に促進剤の浄化効率を検証することとした。

ここで、初期促進剤溶液は、1125kg の促進剤 EDC 及び同重量の pH 等調整剤を水道水に溶解させて作成した。また、この初期促進剤溶液中に、注入範囲、循環工程による地下水混合精度及び地下水流向を確認する目的で、トレーサー物質として臭化ナトリウム試薬を混合した。添加量は、臭素イオン換算で 10mg/L となるように設定した。

このトレーサー物質の濃度推移から試験領域周辺の平均的な地下水流速を推定した。地下水中の混入物濃度は、拡散作用や雨水浸透等に伴う希釈によって、経時的に減少する傾向を示すと考えられるが、その影響の程度について詳細な検証は困難である。しかしながら、領域内でも特に中心部は、それらの影響が少なく、経時的に安定して高濃度を示すと考えられる。

上記の視点に立ち、地下水の流軸上に位置し、循環工程により水質が整えられた領域の中央部に当たる井戸 C から地下水下流域に位置する井戸 M-4、井戸 NW 及び井戸 M-5 で、循環工程終了後のトレーサー物質最高濃度が確認された測定日（日）と各井戸の井戸 C からの距離（m）の関係（表-2.1 及び図-2.2 参照）から、流軸方向の地下水流速を推定した。

算定の結果、地下水位分布状況から推定した地下水流速 約 0.4m/月（実流速換算）に対して大きな値となる約 2.7m/月が得られた（図-2.2 参照）。

3. 以降で示す検証においては、循環工程により試験領域内で整えられた地下水質が、この地下水流速に従い、地下水下流域に並行移動したものと見なすこととした。

表-2.1 地下水流軸上井戸の井戸 C からの距離とトレーサー最高濃度到達期間

井戸名	C	M-4	NW	M-5
井戸 C からの距離 (m)	0.0	3.5	7.1	10.1
循環終了～最高濃度到達期間 (日)	46	59	73	101

※起算日は循環工程終了日にあたる 6 月 19 日

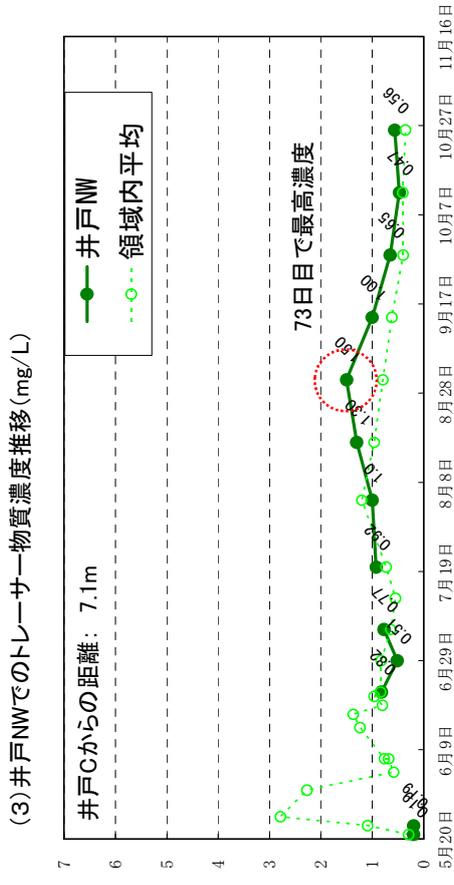
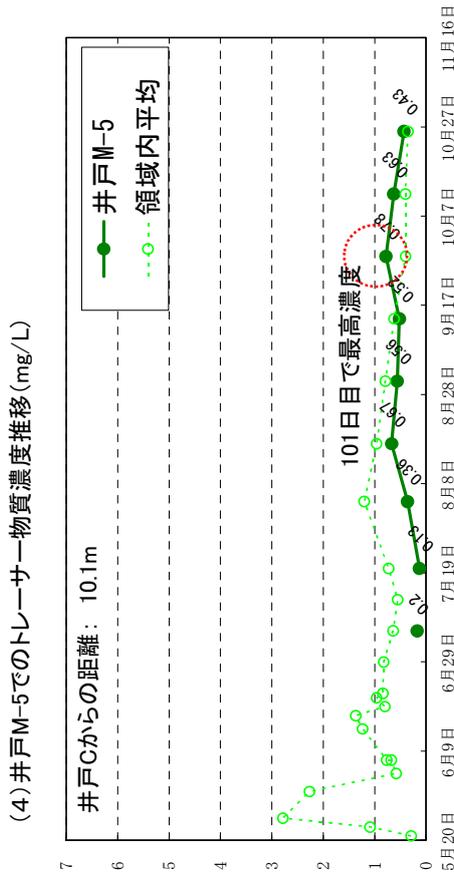
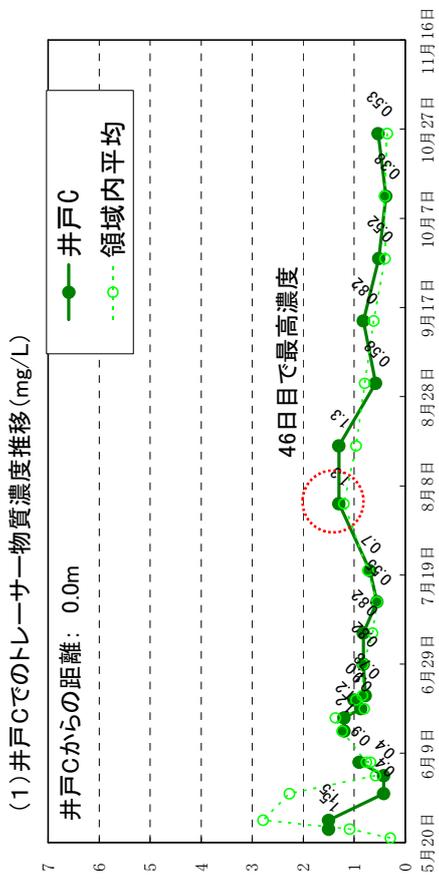
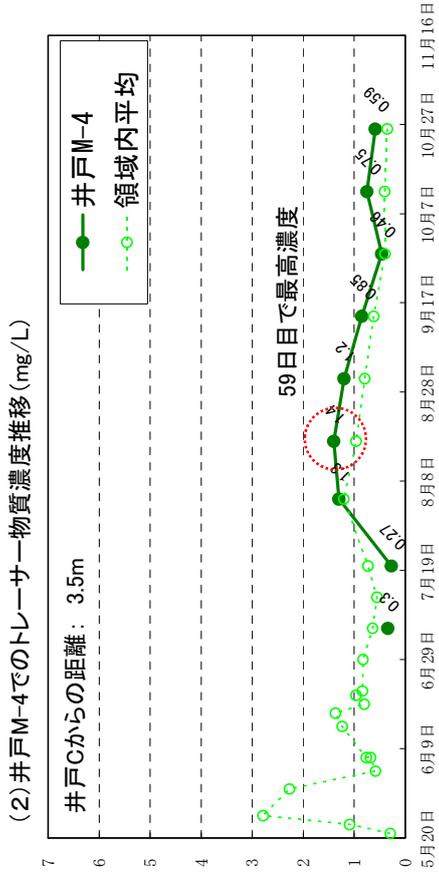


図 2.1 地下水流向軸上の井戸でのトレーサー濃度経時変化グラフ

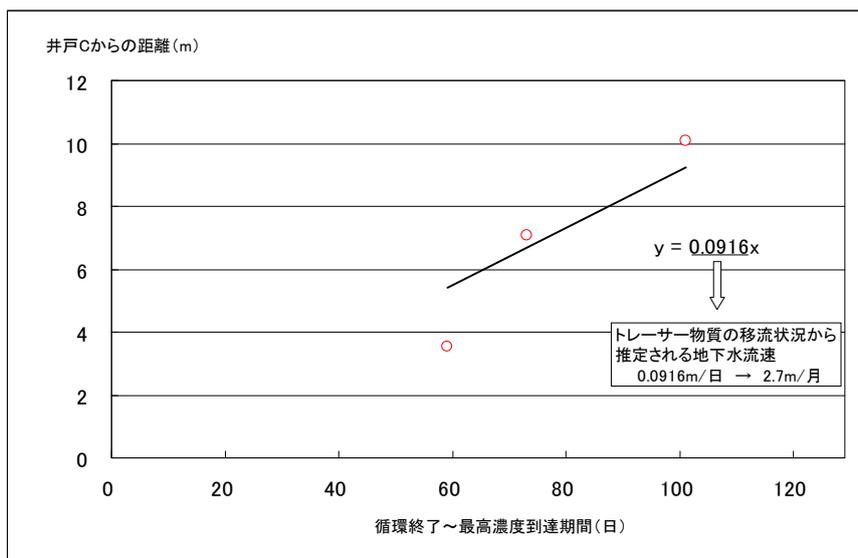


図 2.2 地下水流軸上のトレーサー濃度分布から得た試験領域近傍の地下水流速

3. 測定日ごとの評価領域・水質評価井戸の設定

一般にある系の物質質量やエネルギーなどの収支は、以下のように定式化される。

$$(\text{蓄積量}) = (\text{初期蓄積量}) + (\text{流入量}) - (\text{流出量}) + (\text{生成量}) - (\text{消費量})$$

系内の物質収支を計算する場合、対象領域内への領域外から流入量や領域外への流出量について考慮する必要があるが、本試験の成果を検証するに当たっては、特に汚染物質および促進剤の地下水中の挙動について、以下に示すような仮定を行った。

図 3.1 にイメージ図を示すように、循環工程によって整えられた水質が一定の地下水流速（約 2.7m/月）で、当初の範囲（10m×10m）を保持しつつ、平行移動したと見なすことで、実質、その移動した先の評価領域内が定常状態にある（流入・流出を無視できる）と想定した。

また、上記評価領域内において、対象とする汚染物質は 1,2-DCE および VC のみとし、1,2-DCE が分解された場合、その全量が VC に変換され、VC が分解された場合は汚染物質分解が終了したとみなすこととする。促進剤については、その全量が希釈・拡散の影響がなく評価領域内にとどまり、汚染分解、あるいはそのための阻害要因の解消のために消費されるとみなすこととする。

以上の仮定に基づくと、前述の式は、循環工程終了以降の期間について、以下のように単純化される。

【汚染物質について】

$$\begin{array}{ccccccc} \triangle(\text{蓄積量}) & = & \triangle(\text{初期蓄積量}) & + & \triangle(\text{流入量}) & - & \triangle(\text{流出量}) & + & \triangle(\text{生成量}) & - & \triangle(\text{消費量}) \\ \uparrow 0 & & \downarrow & & \uparrow 0 & & \uparrow 0 & & & & \downarrow \\ & & & & \downarrow & & \downarrow & & & & \downarrow \\ 0 & = & \triangle(1, 2\text{-DCE} + \text{VC 初期蓄積量}) & + & \triangle(\text{VC 生成量}) & - & \triangle(1, 2\text{-DCE 分解量}) & - & \triangle(\text{VC 分解量}) \end{array}$$

また、測定日ごとの汚染物質および促進剤濃度は、移動する評価領域内井戸の平均値を用いた。

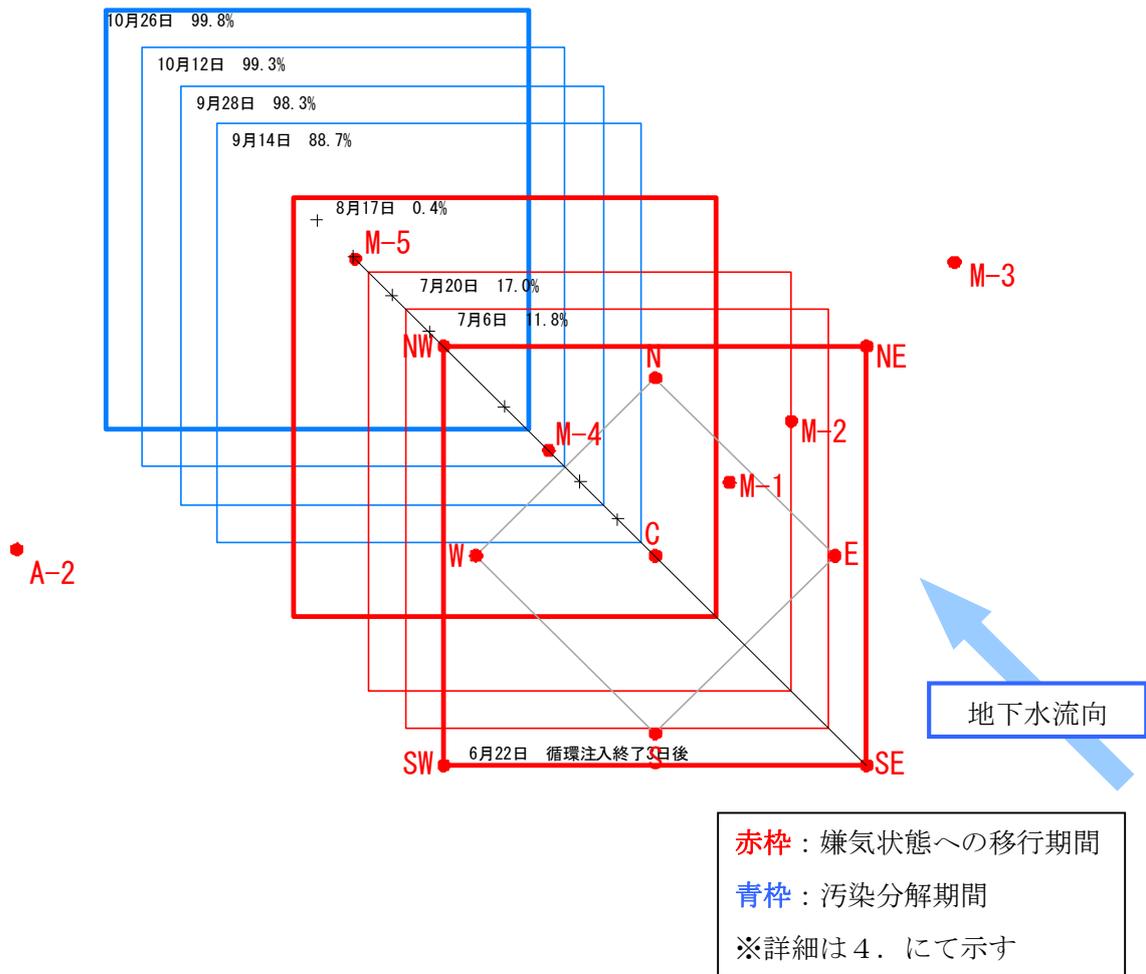


図 3.1 評価領域の移動イメージ

4. 評価領域内の主要測定項目の変動状況

循環工程終了3日目(6月22日)から試験終了日(10月26日)までの試験結果として、評価領域内の主要測定項目(該当井戸の平均値を採用)の変動状況を図4.1に示す。また、図4.2各井戸で観測された1,2-DCE、VCおよびエチレンの濃度の経時変化グラフ集合図を示す。平均値算定に用いた各種データは別紙に示す。

これらの図から、時間経過に伴い1,2-DCEからVC、さらにエチレンへと分解、移行する様子が確認され、促進剤の添加を契機に地下水汚染が改善されていく傾向が明瞭に確認された。

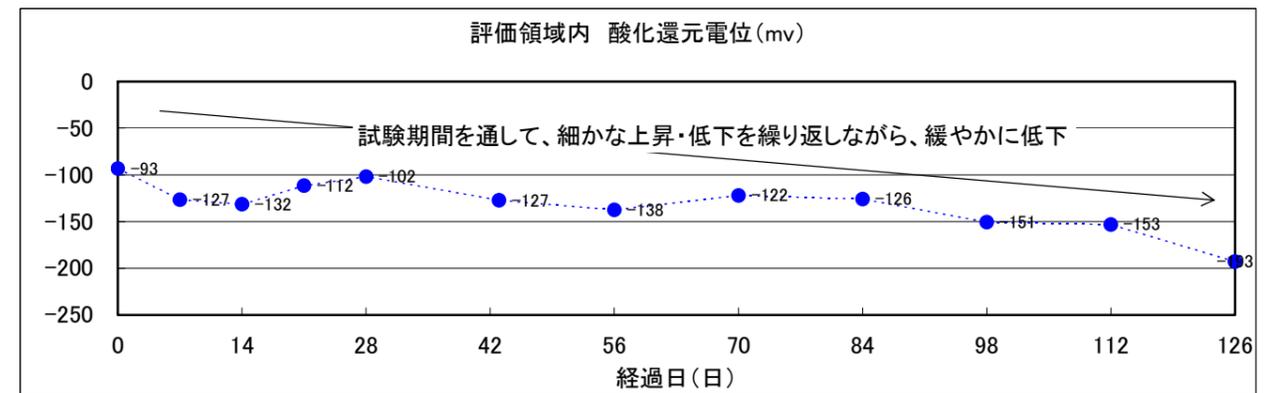
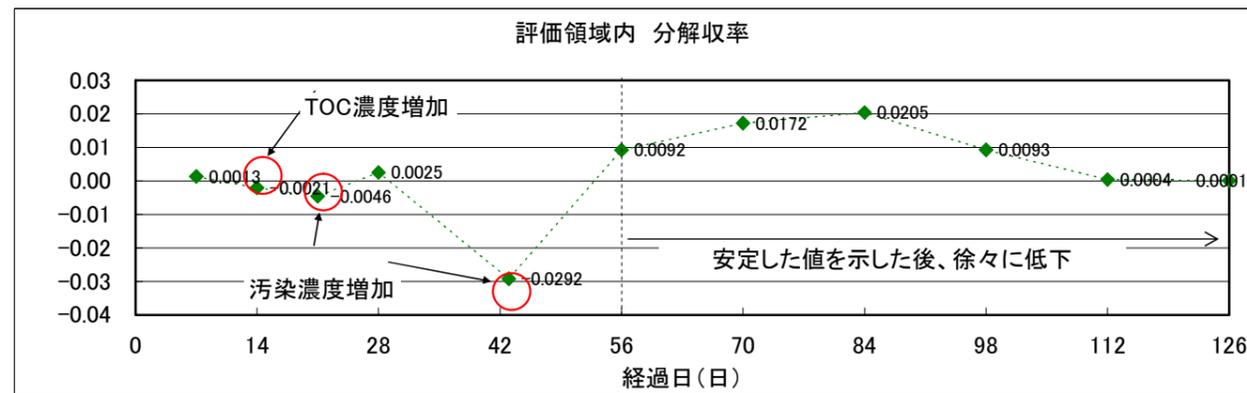
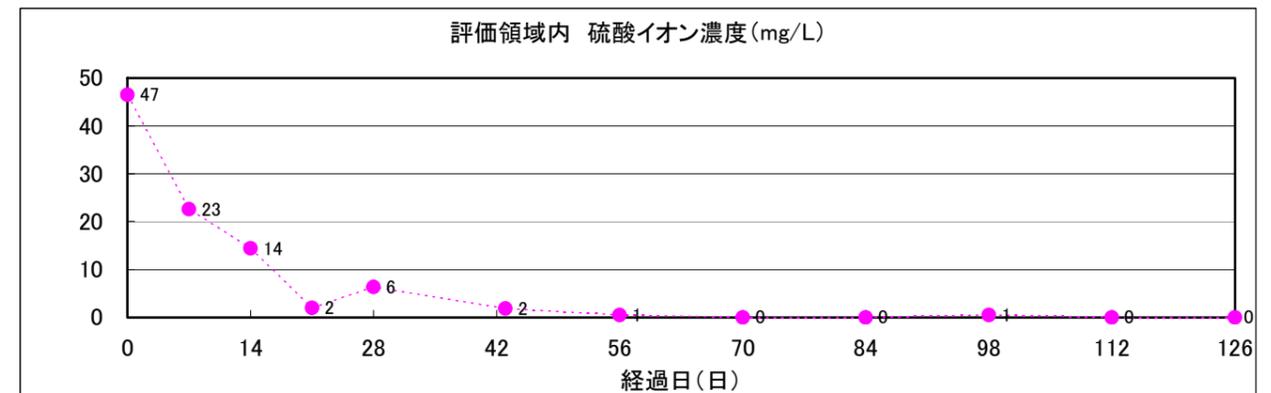
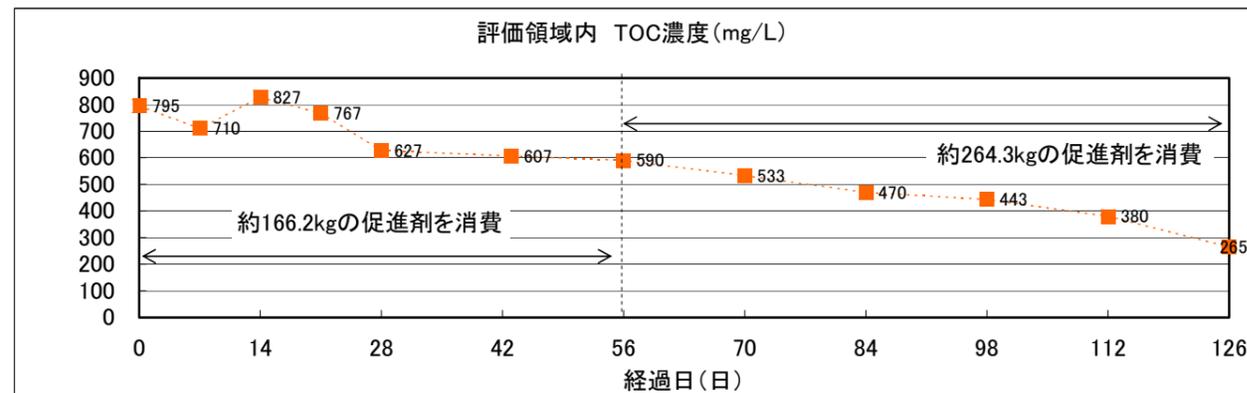
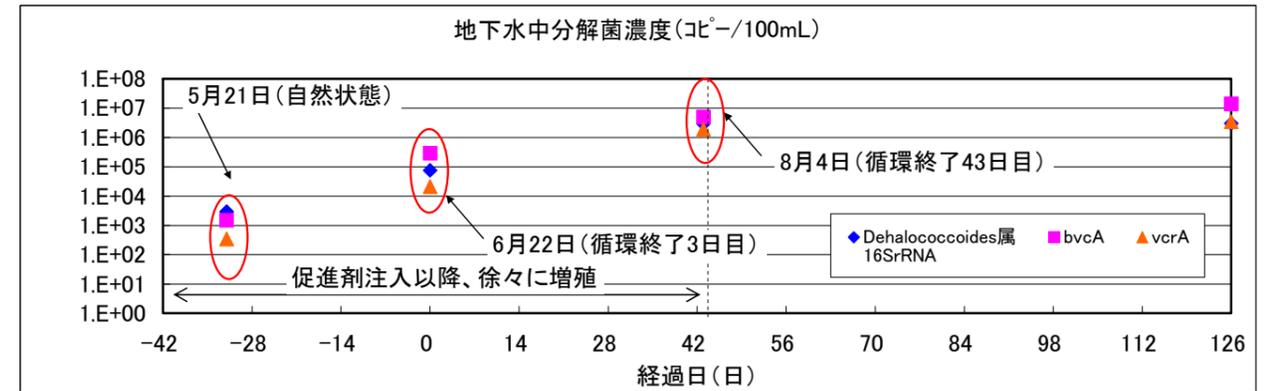
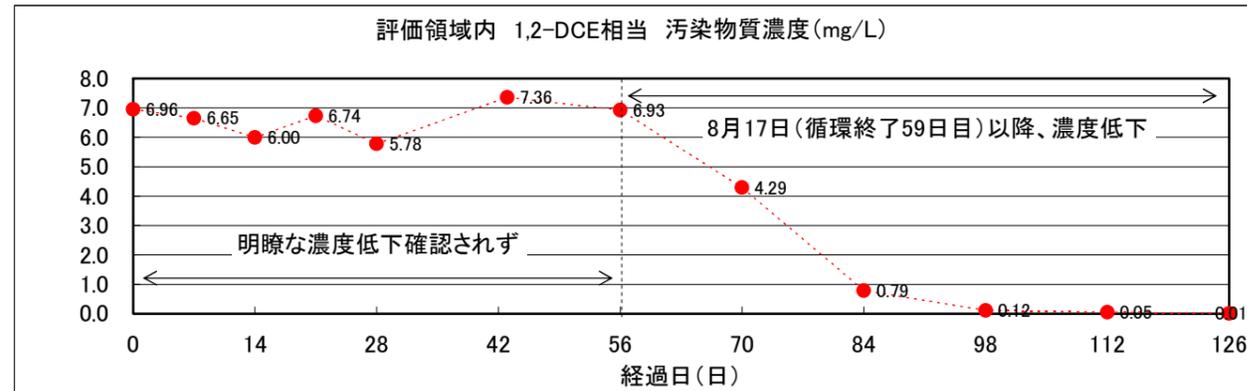
ここで、以降の検証においては、試験経過日について、循環工程終了3日目(6月22日)を起算日として整理を行なっている。

これらの図から、評価領域内においては、56日目を境に急激な汚染濃度の低下が確認された。

また、微生物の増殖傾向について見てみると、その直近の測定日にあたる42日目までに増加傾向を示した以降、横ばい傾向を示している。加えて、本試験において、汚染物質分解傾向の阻害要因として懸念される硫酸イオンも56日目までを目処に解消していることが確認された。

一方で、それらの傾向と並行して、減少幅にばらつきはあるものの継続的に促進剤濃度が低下していく傾向も確認された。

以上から、56日目を境として、その以前の期間は、嫌気状態への移行期間(評価領域内水質が汚染物質を分解するDHC菌が十分な活性状態を示すことができる水質に移行するために要した期間)と見なし、それ以降の期間は、汚染分解期間(主にDHC菌による汚染物質分解がなされた期間)と見なすことができる。

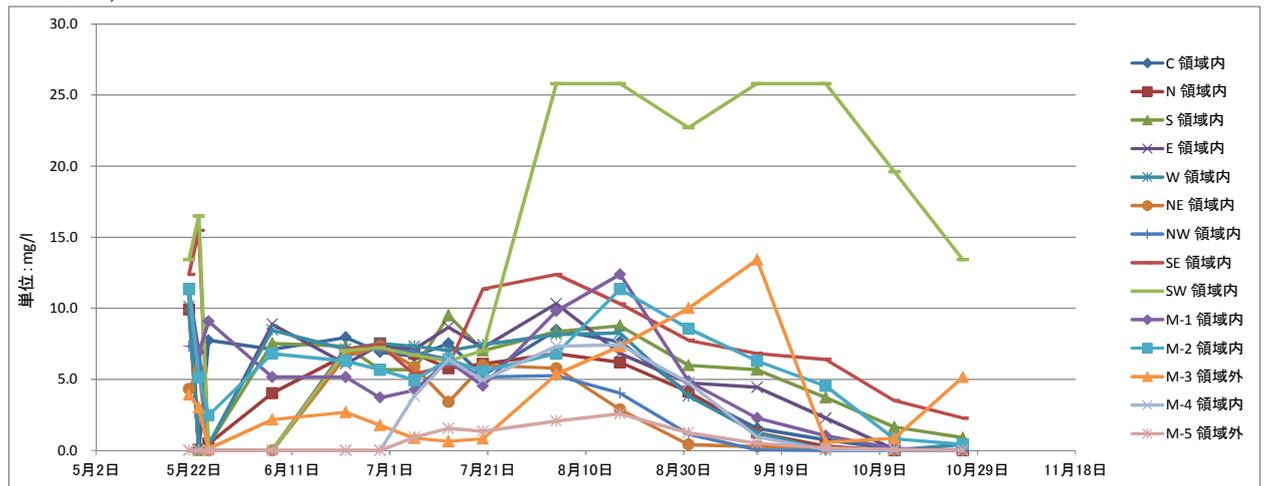


※ 分解収率 = $\frac{\Delta 1,2-DCE}{\Delta TOC} \rightarrow \frac{\Delta 1,2-DCE}{\Delta EDC} \times 0.37$

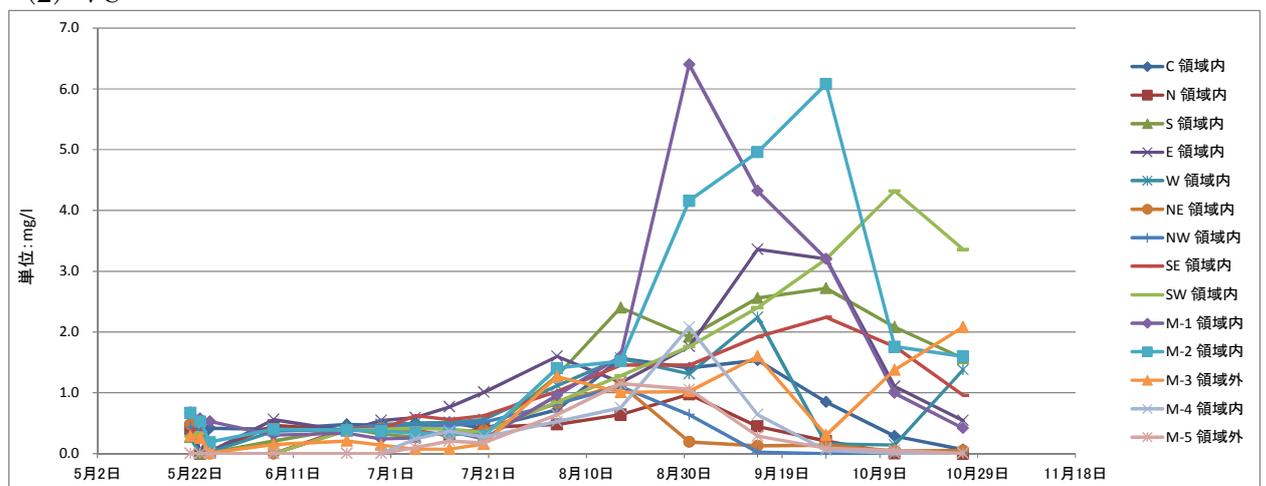
図 4.1 評価領域内の主要測定項目平均値の変動状況

※経過日起算日は、循環工程終了3日目にあたる6月22日とした。

(1) 1,2-DCE



(2) VC



(3) エチレン

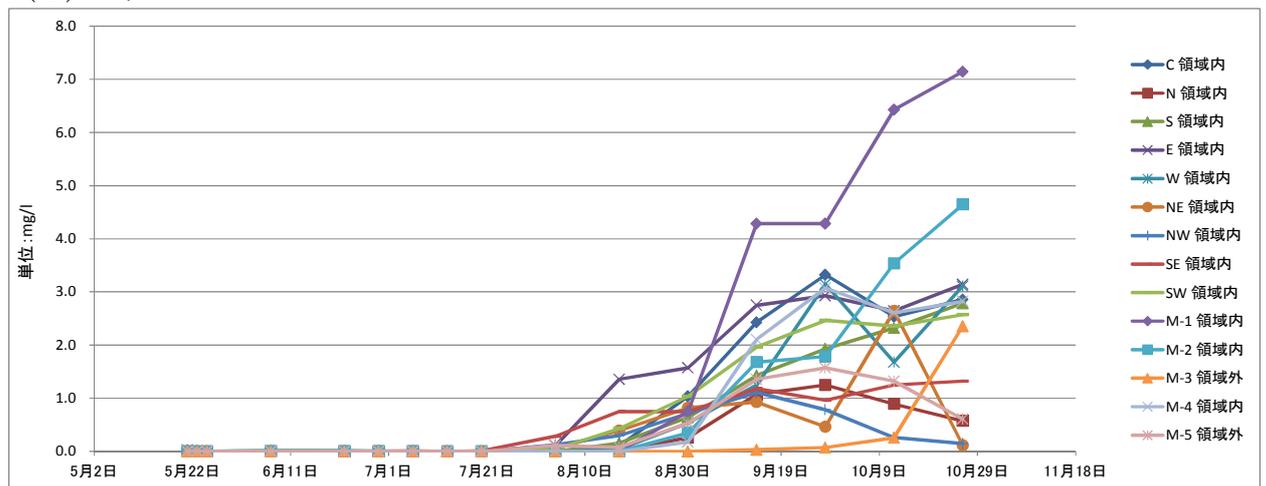


図 4.2 1,2-DCE、VC およびエチレンの濃度の経時変化グラフ集合図

5. 評価領域内の汚染物質分解率

循環工程終了時の評価領域内の汚染物質総量は 2,087g で、その後、分解や地層中からの溶出により変動を示し、56 日目で安定値 (2,079g) し、その後分解が進行し試験終了時で 3g まで減少した。浄化効率の算定に当たっては、評価領域内の汚染物質総量は循環停止後 56 日目で安定濃度となりそれを初期値とした。

$$\text{汚染物質総量 (初期)} = 10\text{m} \times 10\text{m} \times 7.5\text{m} \times 0.4 \times 6.96\text{mg/L} \times 1,000\text{L} = \underline{2,079\text{g}}$$

また、試験終了時の評価領域内の平均値は 0.01mg/L であったので、

$$\text{汚染物質総量 (終了時)} = 10\text{m} \times 10\text{m} \times 7.5\text{m} \times 0.4 \times 0.01\text{mg/L} \times 1,000\text{L} = \underline{3.0\text{g}}$$

以上から、評価領域内の浄化率は、

$$\text{評価領域内の浄化率} = \frac{(2,079\text{g} - 3.0\text{g})}{2,079\text{g}} = 0.9986 = \underline{99.9\%}$$

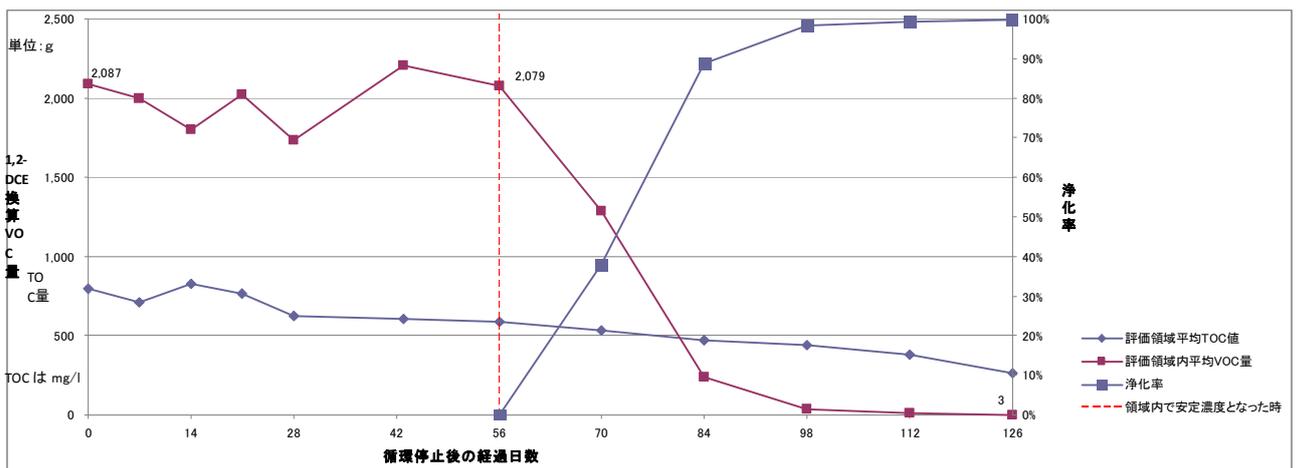


図 5.1 評価領域内の汚染物質および促進剤の収支と浄化率の推移

6. 促進剤の適正設計量（案）の算定

現地パイロット試験結果から、以下の式に提案し、促進剤の適正設計量を算定する。

$$\text{設計量} = \frac{\text{②地下水質移行時の促進剤消費量} + \text{③汚染分解時の促進剤消費量}}{\text{①循環時損失係数}}$$

① 循環時損失係数

$$= \frac{\text{実際の希釈濃度（希釈ロス含む）}}{\text{計画希釈濃度（拡散等考慮無し）}} = \frac{795\text{mg/L}/10,600\text{mg/L}}{39.6\text{m}^3/300\text{m}^3} = \underline{0.568}$$

② 水質移行時の促進剤消費量（主に阻害物質分解、微生物増殖などで消費）

$$= (\text{評価領域内の地下水賦存量}) \times \text{EDC 消費量}$$

$$= 300\text{m}^3 \times 205\text{mg} / (1/0.37) = \underline{166.2\text{kg}}$$

※汚染物質分解、EDC 消費状況から t=0～56 日の期間を対象

$$\text{※EDC 消費量} = \text{TOC 減少量} \times (\text{TOC/EDC 比})$$

③ 汚染分解時の促進剤消費量

$$= (\text{評価領域内の地下水賦存量}) \times \text{EDC 消費量}$$

$$= 300\text{m}^3 \times 325\text{mg} / (1/0.37) = \underline{263.5\text{kg}}$$

※汚染物質分解、EDC 消費状況から t=56 日～126 日間を対象

$$\text{※EDC 消費量} = \text{TOC 減少量} \times (\text{TOC/EDC 比})$$

$$\therefore \text{適正設計量（案）} = \frac{(166.2\text{kg} + 263.5\text{kg})}{0.568} = \underline{756.5\text{kg}}$$

以上より、今回のパイロット試験において、評価範囲内の汚染物質分解時に消費した促進剤量は、地下水流動場における希釈及び拡散、阻害物質分解・微生物増殖等に関わる消費、そして実際に汚染物質分解に必要な消費量を合わせて 750kg 程度と算定した。

この消費量は、メーカーの実績等を踏まえ設定された設計単量 1.0kg/m³（対策土量あたり）から得られる標準設計量に近似する。

ただし、本試験で実際に使用した促進剤量は、その当初設計量に対して、安全率 1.5 を見込んだ 1,125kg であり、試験終了時点（10月26日）において TOC 換算で試験領域内平均 145.4mg/L（10～380mg/L）の EDC が残存する結果となった。

試験終了以降は、それら残存した促進剤が、さらに流下・拡散しながら消費されるこ

ととなり、試験終了後の吹田市によるモニタリングにおいても、試験領域近傍で汚染物質分解が進行している状況が確認されている。

本格浄化に当たっては、施工区ごとの循環時の促進剤損失に関わる水文・地質状況、循環工程移行の促進剤損失に関わる不飽和層部を含む分解阻害物質の分布を把握した上で、安全率を見込んだ促進剤設計が望まれる。

【 考 察 】

(1) 循環時損失係数について

初期促進剤溶液注入及び循環工程時の注入量実績をもとに、3次元モデル内で促進剤の移流・拡散状況を確認した結果、循環終了直後では、試験領域内近傍に初期注入溶液濃度の4～10%の濃度の促進剤が、試験領域として当初見込んだ100 m²に対して約2倍に相当する215 m²の範囲に広がる状況が算定された。一方、各井戸で測定したTOC濃度からは、同平均7.5% (6.6～9.4%)の濃度が測定され、試験領域外の井戸M-3での測定値からも、シミュレーション結果と近似する値が得られた (図6.1参照)。

本試験においては、循環工程時の主目的である汚染物質、促進剤、汚染分解菌の3者を均質に混合させることができたと考える。

本試験においては、循環工程時に再注入井戸において、計画注入量が確保できない事態が発生したが、循環工程を延長し、初期注入溶液中に混合したトレーサー物質 (臭素イオン) 濃度の収束・減少を確認した上で循環工程の終了判断を行った。この延長作業により、シミュレーション結果に近似する理想的な均質化が図られたものとする。

また、本試験を実施した領域は、古神崎川の後背湿地部に位置し、平成20年度調査結果から、南吹田地域においても、旧河道域、自然堤防部と土質状況が異なることが判明している。

本格浄化の事業化の際には、それら条件の差異を踏まえた上で、促進剤量設計を行うことが望まれる。

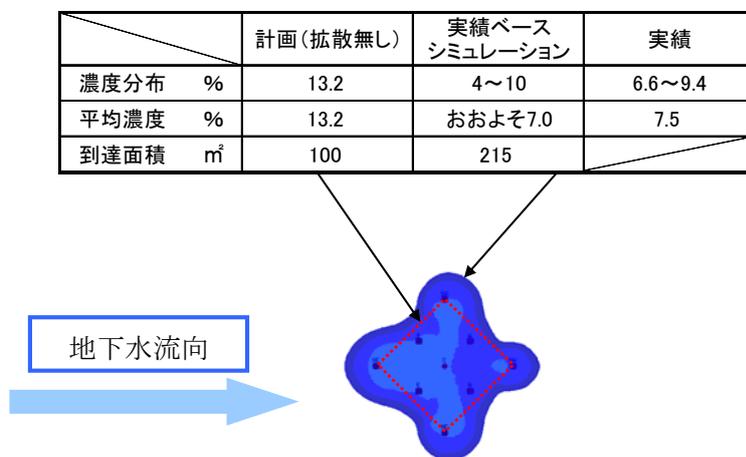


図 6.1 循環終了時促進剤濃度のシミュレーション推定値と実測値の比較

(2) 地下水質移行時の促進剤消費量について

室内試験（バイオトリタビリティ試験）においては、セットアップ時点で、土壌 2 種・地下水試験系のいずれにおいても、硫酸イオンは 5mg/L 未満であることが確認された。

一方、本試験においては、試験期間初期に試験領域内北東域を中心に、高濃度かつ不均質な硫酸イオン検出が確認された。また、並行して実施した井戸内ガス調査においては、可燃性ガス（主としてメタンであったものと判断）が試験期間を通じて検出されており、各影響の程度は明確にならないものの、概ね循環工程終了 59 日目までにそれらの分解、生成が汚染物質分解よりも優先的に行われたものと考えられる。結果として、汚染分解傾向が確認されるまで約 2 ヶ月の期間を要した。

また、循環工程以降の促進剤消費量 429.7kg のうち、約 39%に相当する 166.2kg の促進剤がその期間中に消費されており、その影響は、必要促進剤量、浄化期間の両側面から見ても非常に大きなものであった。

本試験での硫酸イオンの検出状況から、硫酸イオンの発生源として盛土部に含有する硫化物等が考えられる。そのため、本格浄化着工の際は、盛土調査等を実施し、硫酸イオンをはじめとする阻害要因となる物質の分布状況を把握した上で促進剤量設計を行うことが望まれる。

(3) 汚染分解時の促進剤消費量について

循環工程以降の促進剤消費量 429.7kg のうち、約 61%に相当する 263.5kg の促進剤がこの期間中に消費されている。一方、その間に分解されたと考えられる汚染物質は、1,2-DCE 換算で 2.076kg であった。

これより、促進剤による分解収率（促進剤単位量あたりで分解可能な汚染物質質量）は、循環工程終了 3 日目～試験終了時点までの期間平均で 0.0079（0.0001～0.020）となる（図-3.1 中左下図参照）。一方、室内試験では地下水試験系の試験期間平均で 0.048 となる。

上記から、室内試験に比較して、本試験においては平均 15%、最大 42%の分解収率となることが確認された。

測定項目： 1,2-DCE相当汚染濃度 (mg/L)

測定日		6月22日	6月29日	7月6日	7月13日	7月20日	8月4日	8月17日	8月31日	9月14日	9月28日	10月12日	10月26日
経過日 (起算日：6月22日)		0	7	14	21	28	43	56	70	84	98	112	126
C	領域内 φ100mm	8.17	7.15	6.88	7.80	5.50	8.90	8.92	5.26	2.99	1.54	0.38	0.06
N	領域内 φ100mm	6.87	7.72	6.97	5.88	6.32	7.07	6.62	4.95	1.63	0.49	0.01	0.00
S	領域内 φ100mm	7.50	5.81	5.76	9.54	7.09	9.34	10.83	7.66	7.98	6.24	3.62	2.39
E	領域内 φ100mm	6.26	7.73	7.47	9.14	7.98	11.55	7.73	6.31	7.56	5.30	1.14	0.58
W	領域内 φ100mm	7.29	7.77	7.58	7.30	7.74	8.99	9.52	4.97	3.37	0.20	0.15	1.74
NE	領域内 φ100mm	6.77	7.50	6.04	3.59	6.17	6.41	3.90	0.59	0.39	0.30	0.05	0.07
NW	領域内 φ100mm	7.39	7.35	7.13	6.65	5.50	5.89	4.97	1.72	0.06	0.00	0.00	0.00
SE	領域内 φ100mm	7.30	7.59	5.80	6.34	11.60	12.99	11.41	8.91	8.46	8.37	5.11	3.13
SW	領域内 φ100mm	7.17	7.39	6.90	6.49	7.14	25.82	26.24	23.71	27.33	28.10	23.19	16.26
M-1	領域内 φ50mm	5.33	3.83	4.35	6.46	4.63	10.43	13.55	10.90	6.39	4.10	1.09	0.42
M-2	領域内 φ50mm	6.47	5.86	5.13	6.53	5.68	7.96	12.47	12.33	10.91	10.29	2.51	1.96
M-3	領域外 φ50mm	2.80	1.84	0.90	0.68	0.96	6.42	8.08	10.69	14.55	0.84	2.15	7.02
M-4	領域内 φ50mm			3.93	6.56	5.06	7.61	7.93	6.62	1.54	0.10	0.02	0.01
M-5	領域外 φ50mm			1.01	1.70	1.47	2.62	3.62	2.22	0.77	0.26	0.13	0.02
A2	領域外 φ50mm	4.48	4.44	8.19	8.33	6.12	10.84	11.81	10.79	12.96	12.96	14.47	11.98
評価領域内平均		6.96	6.65	6.00	6.74	5.78	7.36	6.93	4.29	0.79	0.12	0.05	0.01
測定期間ごとの減少量			0.30	0.65	増加 -0.74	0.96	増加 -1.58	0.43	2.64	3.50	0.67	0.07	0.04
代表期間ごとの減少量			6月22日～8月17日(56日間)の減少					0.03		8月17日～10月26日(70日間)の減少			6.92

測定項目： 1,2-DCE相当汚染浄化率 (%)

測定日		6月22日	6月29日	7月6日	7月13日	7月20日	8月4日	8月17日	8月31日	9月14日	9月28日	10月12日	10月26日
経過日 (起算日：6月22日)		0	7	14	21	28	43	56	70	84	98	112	126
C	領域内 φ100mm		12.4	15.7	4.5	32.6	-9.0	-9.2	35.5	63.4	81.1	95.4	99.2
N	領域内 φ100mm		-12.3	-1.5	14.5	8.1	-2.8	3.7	28.0	76.2	92.8	99.8	100.0
S	領域内 φ100mm		22.6	23.2	-27.2	5.4	-24.5	-44.3	-2.1	-6.4	16.9	51.8	68.2
E	領域内 φ100mm		-23.5	-19.5	-46.2	-27.5	-84.6	-23.6	-0.8	-20.8	15.3	81.8	90.7
W	領域内 φ100mm		-6.6	-4.0	-0.1	-6.2	-23.3	-30.6	31.8	53.7	97.3	97.9	76.1
NE	領域内 φ100mm		-10.8	10.8	46.9	8.9	5.4	42.4	91.3	94.2	95.5	99.2	99.0
NW	領域内 φ100mm		0.5	3.4	10.0	25.6	20.3	32.7	76.7	99.2	100.0	100.0	100.0
SE	領域内 φ100mm		-3.9	20.5	13.2	-58.9	-77.9	-56.2	-22.0	-15.8	-14.6	30.1	57.1
SW	領域内 φ100mm		-3.0	3.8	9.5	0.4	-260.0	-265.9	-230.5	-281.0	-291.8	-223.3	-126.7
M-1	領域内 φ50mm		28.0	18.4	-21.2	13.0	-95.9	-154.4	-104.7	-19.9	23.0	79.5	92.2
M-2	領域内 φ50mm		7.5	16.5	-0.7	9.7	-18.3	-73.5	-71.8	-54.3	-46.8	48.6	55.3
M-3	領域外 φ50mm		34.4	67.9	75.7	65.9	-129.3	-188.3	-281.7	-419.4	69.9	23.1	-150.4
M-4	領域内 φ50mm				-66.7	-28.8	-93.6	-101.6	-68.2	60.8	97.5	99.4	99.8
M-5	領域外 φ50mm				-69.1	-46.2	-160.4	-259.4	-121.0	23.6	74.5	87.3	98.2
A2	領域外 φ50mm		0.9	-82.7	-85.9	-36.7	-141.9	-163.5	-140.8	-189.3	-189.3	-223.0	-167.3
試験領域内平均浄化率			1.0	7.9	-5.3	-1.5	-55.3	-56.7	-19.7	4.1	22.2	55.0	67.6
試験領域内平均浄化率 (特に流入多いSW除外)			1.4	8.4	-6.6	-1.6	-36.7	-37.7	-0.6	30.0	50.7	80.3	85.2

測定項目： TOC (mg/L)

測定日		6月22日	6月29日	7月6日	7月13日	7月20日	8月4日	8月17日	8月31日	9月14日	9月28日	10月12日	10月26日
経過日 (起算日：6月22日)		0	7	14	21	28	43	56	70	84	98	112	126
C	領域内 φ100mm	700	670	1600	880	670	580	460	380	310	280	170.0	210.0
N	領域内 φ100mm	790	780	850	850	650	720	660	500	360	400	370.0	320.0
S	領域内 φ100mm	770	610	550	840	610	610	300	130	7.2	21	19.0	13.0
E	領域内 φ100mm	1000	780	540	380	400	180	87	34	16	15	20.0	38.0
W	領域内 φ100mm	780	820	850	860	820	780	640	590	420	230	140.0	75.0
NE	領域内 φ100mm	820	1000	960	610	880	800	730	650	570	560	300.0	350.0
NW	領域内 φ100mm	810	790	880	820	590	660	740	690	520	460	340.0	230.0
SE	領域内 φ100mm	770	990	730	970	600	280	130	71	8.4	21	21.0	10.0
SW	領域内 φ100mm	780	890	940	1000	880	380	160	110	30	33	21.0	15.0
M-1	領域内 φ50mm	750	470	480	720	540	580	230	80	10	49	61.0	73.0
M-2	領域内 φ50mm	770	760	670	700	600	410	66	44	24	26	25.0	31.0
M-3	領域外 φ50mm	420	280	260	61	50	100	34	28	13	4.5	4.3	10.0
M-4	領域内 φ50mm			460	540	520	750	690	630	480	420	390.0	380.0
M-5	領域外 φ50mm			320	100	150	180	350	410	410	450	410.0	300.0
A2	領域外 φ50mm	21	11	17	8.4	11	5.2	3.3	3.1	3.6	2.9	3.0	3.0
評価領域内平均		795	710	827	767	627	607	590	533	470	443	380	265
測定測定期間ごとの減少量			85	増加	60	140	20	17	57	63	27	63	115
代表期間ごとの減少量			6月22日～8月17日(56日間)の減少					205		8月17日～10月26日(70日間)の減			325
測定期間ごとの分解収率			0.001	-0.002	-0.005	0.003	-0.029	0.009	0.017	0.020	0.009	0.0004	0.0001
代表期間ごとの平均的分解収率			6月22日～8月17日(56日間)の分解収					0.0001		8月17日～10月26日(70日間)の分解収			0.0079

測定項目： 硫酸イオン (mg/L)

測定日		6月22日	6月29日	7月6日	7月13日	7月20日	8月4日	8月17日	8月31日	9月14日	9月28日	10月12日	10月26日
経過日 (起算日：6月22日)													
C	領域内 φ100mm	15	8.5	0	0	0	0	0	0	0	1.6	3.7	2.6
N	領域内 φ100mm	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	領域内 φ100mm	23	2.8	0	0	0	0	4.8	12	20	21	17	9.8
E	領域内 φ100mm	55	2.3	2.3	7.4	0	0	0	11	26	30	150	11
W	領域内 φ100mm	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.8
NE	領域内 φ100mm	7	0	2.1	13	0	0	0	0	0	1.6	25	0
NW	領域内 φ100mm	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SE	領域内 φ100mm	42	0	35	0	0	19.00	29.0	33	39.0	39.0	28.0	25
SW	領域内 φ100mm	52	0	0	0	0	8.2	13.0	14.00	10.0	8.0	7.9	3.5
M-1	領域内 φ50mm	140	140	88	14	41	0	0	0	7.0	7.6	2.4	2.2
M-2	領域内 φ50mm	69	27	5.2	0	1.5	0	0	0	3.2	12	31	9.9
M-3	領域外 φ50mm	190	100	59	99	43	2.6	1.8	3.7	3.8	150	97	17
M-4	領域内 φ50mm			8.0	0	2.0	0	0	0	0	1.5	0	0
M-5	領域外 φ50mm			13	10	8.6	13	3.1	0	0	0	0	0
A2	領域外 φ50mm	12	12	13	11	12	10	7.8	9.7	7.2	8.2	10	8.8
評価領域内平均		47	23	14	2	6	2	1	0	0	1	0	0
測定期間ごとの減少量			24	8	12	-4	5	1	1	0	-1	1	0

測定項目： 全鉄 (mg/L)

測定日		6月22日	6月29日	7月6日	7月13日	7月20日	8月4日	8月17日	8月31日	9月14日	9月28日	10月12日	10月26日
経過日 (起算日：6月22日)													
C	領域内 φ100mm	100	92.0	100	59	67	51	53	41	37	33.0	23.0	23.0
N	領域内 φ100mm	140	79	68	66	57	53	66	42	39	26	26	25
S	領域内 φ100mm	86	60.0	58	64	48	57	42.0	23	16	15	12	16.0
E	領域内 φ100mm	140	62.0	32.0	26.0	33	28	23	24	26	21	23	18
W	領域内 φ100mm	150	83	100	76	74	79	66	57	50	29	29	21.0
NE	領域内 φ100mm	100	76	92.0	68	55	66	58	45	46	35.0	29	35
NW	領域内 φ100mm	130	77	110	100	56	57	83	70	65	52	43	32
SE	領域内 φ100mm	110	97	130	98	52	23.00	23.0	16	21.0	18.0	17.0	17
SW	領域内 φ100mm	100	88	110	98	85	38.0	33.0	22.00	17.0	14.0	14.0	15.0
M-1	領域内 φ50mm	53	49	57	57	39	43	34	17	16.0	13.0	15.0	12.0
M-2	領域内 φ50mm	39	37	35.0	55	37.0	37	18	20	24.0	25	26	30.0
M-3	領域外 φ50mm	66	73	18	26	9	14.0	12.0	15.0	18.0	11	10	15
M-4	領域内 φ50mm			100.0	110	77.0	100	130	94	58	49.0	51	45
M-5	領域外 φ50mm			75	62	32.0	36	78.0	67	56	47	46	47
A2	領域外 φ50mm	23	12	23	19	17	22	26.0	22.0	23.0	25.0	24	27.0
評価領域内平均		104	67	81	75	58	60	79	62	60	49	47	40
測定期間ごとの減少量			37	-14	7	17	-2	-19	18	2	10	3	7

測定項目： 二価鉄 (mg/L) ※バックテスト

測定日		6月22日	6月29日	7月6日	7月13日	7月20日	8月4日	8月17日	8月31日	9月14日	9月28日	10月12日	10月26日
経過日 (起算日：6月22日)													
C	領域内	40	40.0	40	40	40	30	30	40	30	30.0	20.0	20.0
N	領域内	40	40	40	30	40	40	20	40	30	40	30	30
S	領域内	40	40.0	40	20	40	40	30.0	20	15	20	30	20.0
E	領域内	30	40.0	40.0	20.0	40	30	30	20	30	30	15	15
W	領域内	40	40	40	40	40	40	30	40	40	30	30	20.0
NE	領域内	30	40	40.0	30	40	40	40	40	40	40.0	20	30
NW	領域内	40	40	40	30	40	40	40	40	40	30	30	30
SE	領域内	40	40	40	30	40	20.00	20.0	30	20.0	20.0	40.0	20
SW	領域内	40	40	40	40	40	40.0	20.0	30.00	20.0	15.0	15.0	20.0
M-1	領域内	40	40	40	20	40	40	30	20	15.0	15.0	20.0	15.0
M-2	領域内	40	40	20.0	30	40.0	30	30	20	20.0	30	30	20.0
M-3	領域外	40	40	15	15	20	15.0	20.0	30.0	15.0	15	15	15
M-4	領域内			40.0	30	40.0	40	40	40	30	40.0	40	20
M-5	領域外			40	20	30.0	40	30.0	40	30	40	40	30
A2	領域外	10	15	8	15	15	5	20.0	20.0	20.0	20.0	30	15.0
評価領域内平均		38	40	37	31	40	39	32	40	33	37	37	30
測定期間ごとの減少量			-2	3	6	-9	1	7	-8	7	-3	0	7
2価鉄/前鉄 比率 (%)		36.6	59.4	45.6	42.1	68.8	64.4	39.9	64.7	55.9	74.3	78.6	75.9

測定項目：酸化還元電位 (mv)

測定日		6月22日	6月29日	7月6日	7月13日	7月20日	8月4日	8月17日	8月31日	9月14日	9月28日	10月12日	10月26日
経過日 (起算日：6月22日)													
C	領域内 φ 100mm	-95	-122.0	-138	-119	-102	-122	-132	-115	-117	-156.0	-154.0	-181.0
N	領域内 φ 100mm	-89	-115	-122	-108	-113	-106	-154	-120	-128	-150	-160	-239
S	領域内 φ 100mm	-80	-121.0	-128	-115	-102	-119	-148.0	-106	-120	-140	-120	-206.0
E	領域内 φ 100mm	-99	-135.0	-150.0	-127.0	-103	-113	-132	-95	-100	-142	-149	-190
W	領域内 φ 100mm	-99	-126	-135	-121	-113	-135	-141	-129	-140	-138	-156	-201.0
NE	領域内 φ 100mm	-105	-124	-134.0	-117	-109	-126	-142	-128	-124	-163.0	-165	-200
NW	領域内 φ 100mm	-108	-134	-144	-125	-112	-165	-139	-125	-133	-167	-177	-207
SE	領域内 φ 100mm	-101	-143	-163	-131	-123	-166.00	-143.0	-123	-118.0	-142.0	-137.0	-207
SW	領域内 φ 100mm	-90	-125	-137	-126	-120	-137.0	-136.0	-114.00	-122.0	-139.0	-149.0	-164.0
M-1	領域内 φ 50mm	-72	-130	-123	-101	-92	-126	-143	-135	-133.0	-155.0	-141.0	-203.0
M-2	領域内 φ 50mm	-88	-130	-136.0	-98	-88.0	-130	-123	-111	-111.0	-135	-129	-194.0
M-3	領域外 φ 50mm	-54	-92	-131	-99	-82	-121.0	-110.0	-72.0	-89.0	-89	-80	-284
M-4	領域内 φ 50mm			-123.0	-110	-94.0	-121	-141	-133	-130	-147.0	-147	-163
M-5	領域外 φ 50mm			-122	-81	-81.0	-115	-119.0	-111	-115	-138	-136	-179
A2	領域外 φ 50mm	-66	-78	-79	-74	-92	-96	-102.0	-83.0	-112.0	-129.0	-121	-126.0
評価領域内平均		-93	-127	-132	-112	-102	-127	-138	-122	-126	-151	-153	-193
測定期間ごとの減少量			33	5	-20	-10	25	11	-16	4	25	3	40

Ⅱ. 浄化対策事業化のための概略計画（案）

浄化対策事業化のための概略計画（案） 資料

1. 土壌・地下水汚染対策の目的および方針

(1) 目的

- ① 南吹田地域および周辺地域住民の安心と安全確保
 - ・ 土地価格の減損リスクや不動産売買時の対策費負担を軽減する。
 - ・ 汚染地下水の汲み上げ規制により、現状での健康リスクは無いものの、汚染物質を取り除くことにより将来の安全を確保する。
- ② 飲用水源の保護
 - ・ 吹田市飲用水源である泉浄水場に汚染地下水が到達することを未然に防止する。すなわち、第二帯水層への落ち込み経路（汚染流入）を遮断する。
- ③ 開発行為への妨げ防止
 - ・ 大阪外環状鉄道等の開発行為に対する深度方向への汚染拡散を防止する。加えて開発行為の妨げとならないようにする。

(2) 方針（浄化対策の基本的な考え方）

浄化対策は、目的を踏まえると一般に環境基準値以下を目標とした浄化対策が望ましいが、当該地は対象とする汚染範囲が広域に亘るため、経済性に課題が残る。従って、NA（自然減衰）を効果的に活用した手法が、予算面や工期からも必要と考える。

① 水源への汚染混入対策

平成20年度の地下水汚染機構解明調査で判明した既設井戸No. 11およびNo. 50近傍の第一帯水層から第二帯水層への地下水落ち込み箇所からの汚染拡散を制御する対策を実施する。具体的には、上流域での嫌気バイオ工法等による完全浄化、または該当地点（地下水落ち込み箇所）での地下水頭制御が挙げられる。

② 環境基準値以上～100倍未満の区域へのNA（自然減衰）による対策

当該汚染対策対象区域においては、これまでの調査結果（平成20年度地下水汚染機構解明調査）よりNA効果が期待される。そのNA効果を最大限期待し、監視を行うMNA（モニタリングを主体とした自然減衰の推移評価）またはENA（汚染減衰を積極的に促す手法を加味したMNA）のいずれかの提案が挙げられる。ENAの手法としては、浄水置換工法にエアレーション等を加味した好氣的条件下での浄化が挙げられる。

③ 環境基準値 100 倍以上での積極的浄化対策

環境基準値 100 倍以上の高濃度汚染区域を対象に完全浄化（環境基準値以下）あるいは濃度低下（環境基準値の 10 倍以下とし、以後 NA 効果を期待する）を目標とした積極的な浄化対策を行う。採用工法としては本実証試験で採用した嫌気バイオ工法は、効果確認を得ており第一候補として挙げられる。

(3) 浄化対策条件

① 浄化対象物質は PCE, TCE, DCE, VC の 4 項目

- ・ 当該地の土壌・地下水汚染は、有機塩素化合物の PCE、TCE ならびにこれらの分解生成物質である cis-1,2-DCE を主たる汚染対象としてきた経緯がある。また、平成 21 年 11 月 30 日に環境省告示第 79 号で地下水の水質汚濁に関する環境基準が改訂され、塩化ビニルモノマー (VC) の基準化、DCE の統合が実施された。従って、PCE、TCE、DCE、VC の 4 項目を浄化の対象物質とする。

② 対象地下水および土壌

- ・ 対象土壌および地下水は、GL-2～-8m 付近に堆積する沖積砂質土層 (As 層) およびこの層 (第一帯水層) に賦存する自由地下水である。なお、第一帯水層の基底層となる沖積粘性土 (シルト) 層 (Ac) は、浄化対策期間中での目標対象としない。

③ 対策範囲

- ・ 1,2-DCE の地下水環境基準値 (0.04mg/L) 以上の分布範囲を対策範囲とするが、塩化ビニルモノマーを踏まえた濃度分布 (0.002mg/L 以上) も検討する必要がある。(現時点では分析データが無く、今後最新の分析データを踏まえた濃度分布図の作成を必要とする。)(「図-1.1 汚染濃度による区域区分」参照)

④ 浄化対策優先箇所

- ・ 飲用水源への流入阻止 (第二帯水層への落込み箇所) を第一目標とし、高濃度汚染区域および上流汚染区域を優先とする。

⑤ 浄化目標および対策後の環境イメージ

- ・ 環境基準レベル以下までの低減および原状復帰とする。すなわち、原状復帰が本来の姿であることを考えると、地下水資源を有効活用できる状況に近い将来に見込める対策であることが望ましい。

⑥ 浄化期間

- ・ 大阪外環状鉄道の工事計画および周辺への都市開発計画を踏まえて、仮であるが 5～6 年間の浄化対策工事期間で完了することを条件として設定する。

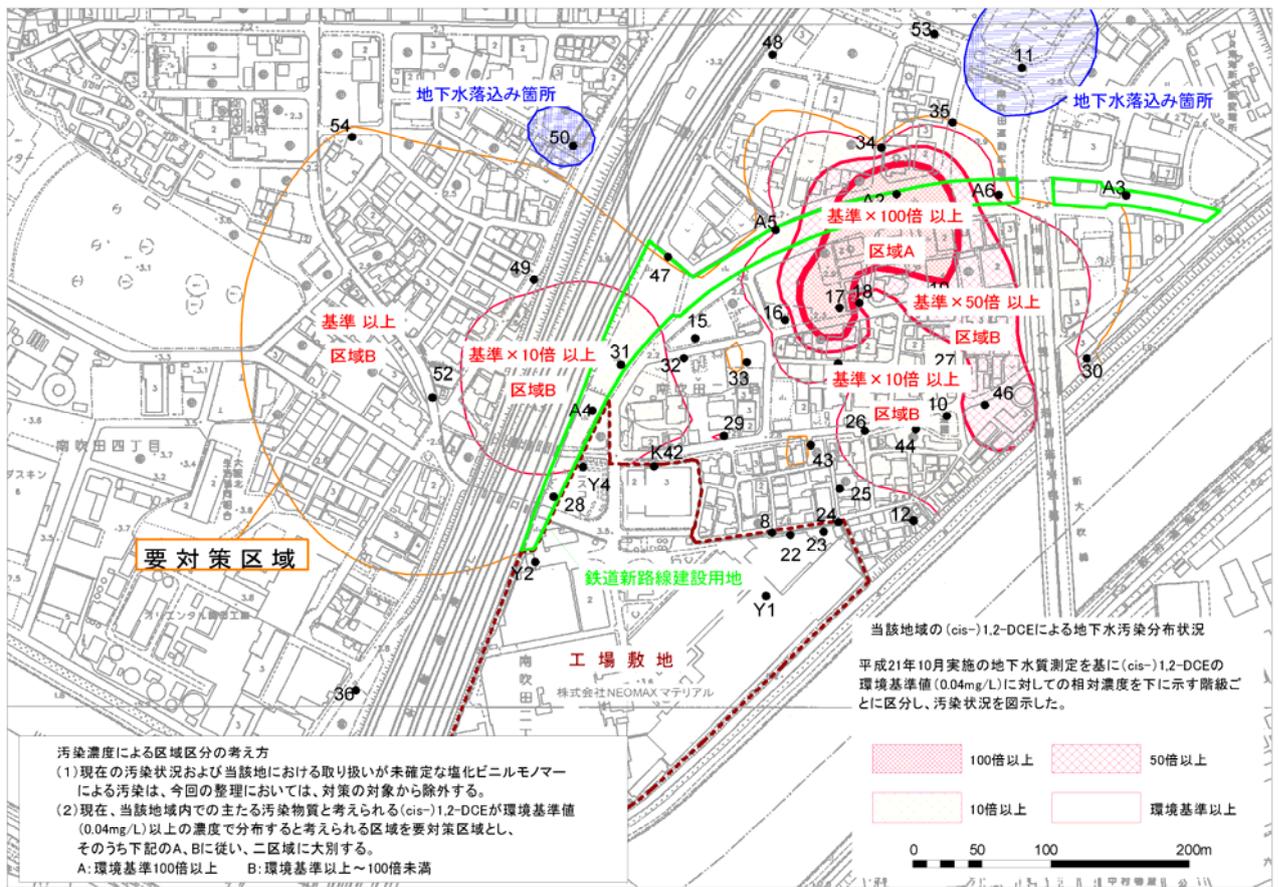


図-1.1 地下水汚染濃度の地域区分

2. 実証試験を踏まえた浄化計画への留意点と設計・施工上の検討項目

(1) 実証試験を踏まえた本格浄化への対応と留意点

- ① 促進剤 EDC による浄化は、地下水・土壌（帯水層土壌の沖積砂層：As 層）とも環境基準値以下と目標を達成した。 ⇒ 本格浄化へ嫌気バイオ工法の採用が可能。
- ② 現地パイロット試験の浄化期間は 126 日間を要し、室内試験の約 2 倍となった。これは現地試験が、対象区域外部からの汚染地下水や降雨の流入、促進剤添加地下水の移流拡散、浄化阻害物質（硫酸イオン等）の存在、その他の有用微生物の促進剤による活性化等による影響で、促進剤の効果発現が遅れたためである。図-2.1 は評価領域内（10m×10m=100 m²の浄化領域が地下水流動と共に移動した事を条件とした領域であり、当初の浄化範囲は固定領域として両者を区分する。）の促進剤の消費量と浄化期間の関係を示す。これより、促進剤量の 40%が前半（約 2 ヶ月間）において阻害物質の解消・嫌気状態への移行時に消費され、残り 60%が後半（約 2 ヶ月間）の汚染物質分解時に消費された。 ⇒ 本格浄化には、分割注入や促進剤割増による対応、または速やかな嫌気状態移行への手法が求められる。なお、浄化期間は、注入・循環期間を含め 6 ヶ月程度は必要である。

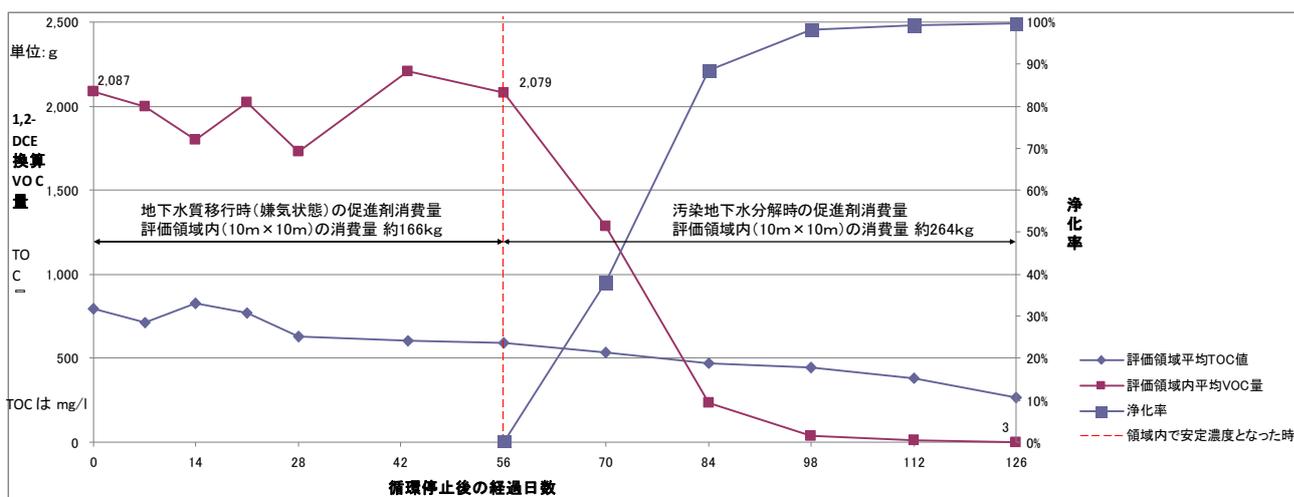


図-2.1 評価領域内の物質収支

- ③ 地下水流動に伴う浄化エリアの拡散・移動（図-2.2 参照）で浄化を十分に発揮する範囲が移動したり、乱れる傾向にある。評価領域内（前述の 100 m²の地下水移流エリア）では、図-2.1 に示すように 100%の浄化率。一方、固定領域内（当初の 100 m²の浄化エリア）では上流側からの汚染地下水の再流入等で約 69%の浄化率。 ⇒ 本格浄化では、上流域での促進剤注入、地下水流速を踏まえた浄化範囲と促進剤量の設定が必要。

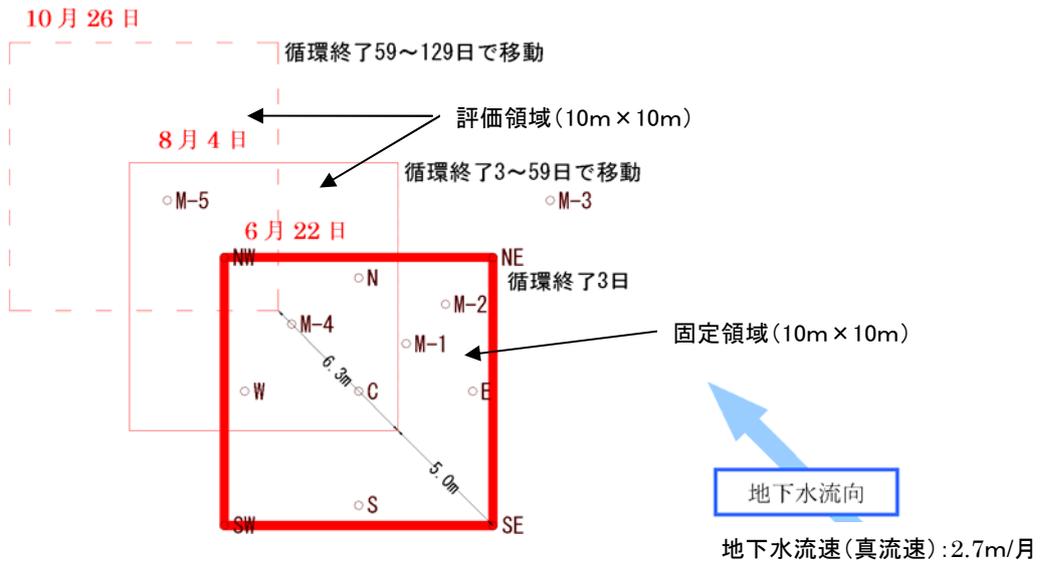


図-2.2 評価領域移動イメージ図

- ④ 嫌気バイオ工法は、“汚染物質”“促進剤”“土着分解菌”が一様にならなければ浄化エリア内の脱塩素化の効果が発揮できない。今回は循環工法を用いて検討区域の均質化を図った。この工法により、浄化の効率や品質を高めると共に注入促進剤による汚染物質の押し出し防止にもなった。また、循環に伴う嫌気状態への移行遅れの懸念は生じなかった。⇒ 本格浄化には、地上構造物(住宅等)・障害物(埋設物等)の配置を踏まえた注入・揚水井戸の設置検討を必要とする。循環工法または促進工法(促進剤溶液の広域浸透化)は、構造物下への促進剤浸透や注入井戸の設置が困難な場所に有効である。

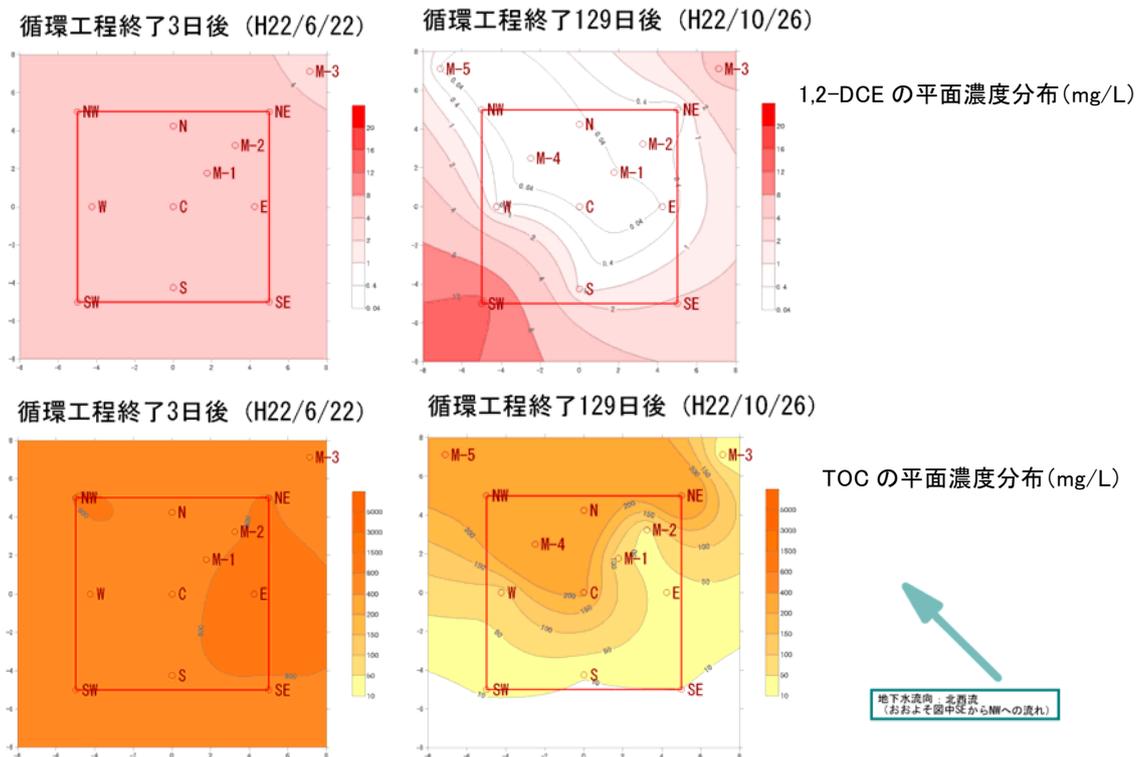
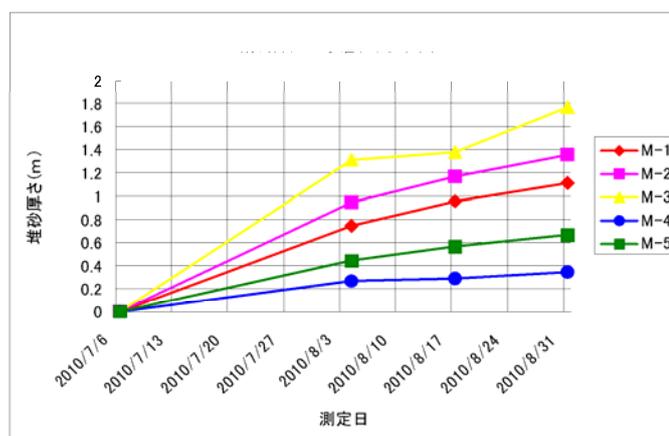


図-2.3 浄化の品質平面図

- ⑤ 促進剤注入井戸の井戸仕様によっては目詰まりが生じ、計画注入量の確保の困難や局部的な地下水上昇で不飽和土壌の障害（湿潤化、有害ガスの発生や促進剤効果の阻害要因物質の溶出等）が生じる。観測井戸に対しフィルター材を2種類使用し、両者の違い（細粒土砂流入量）を把握した。⇒ 本格浄化では、計画注入量に応じた井戸構造（掘削径、井戸径、スクリーン仕様、フィルター材等）の設定が必要。

観測井戸の砂溜まり状況

地点	7月2日		7月6日	7月13日	7月20日	8月4日		8月17日		8月31日		使用フィルター材
	洗浄前 井戸底深度 (天端-m)	洗浄後 井戸底深度 (天端-m)	バーン前 井戸底深度 (天端-m)	—	—	バーン前 井戸底深度 (天端-m)	堆砂厚 (m)	バーン前 井戸底深度 (天端-m)	堆砂厚 (m)	バーン前 井戸底深度 (天端-m)	堆砂厚 (m)	
M-1	6.75	8.65	8.61	—	—	7.87	0.74	7.65	0.96	7.50	1.11	2号珪砂
M-2	6.60	8.60	8.59	—	—	7.65	0.94	7.42	1.17	7.23	1.36	
M-3	6.35	8.65	8.60	—	—	7.29	1.31	7.22	1.38	6.83	1.77	
M-4	新設	8.75	8.74	—	—	8.47	0.27	8.45	0.29	8.39	0.35	3号珪砂
M-5	新設	8.95	8.94	—	—	8.50	0.44	8.37	0.57	8.27	0.67	



観測井戸内の堆砂状況図

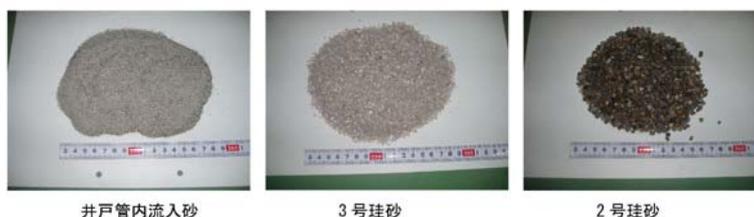
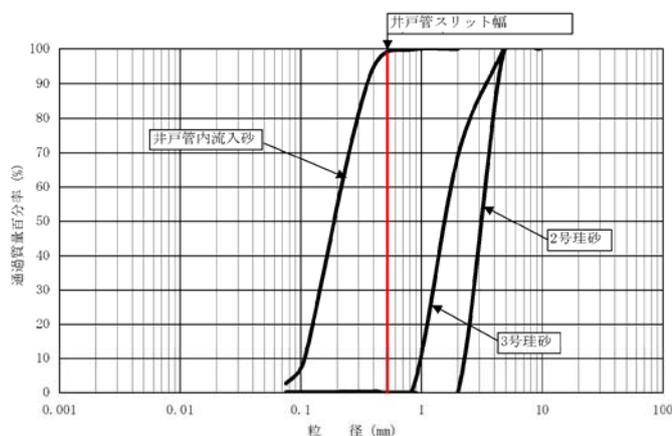


図-2.4 井戸内への流入土砂とフィルター材の関係

- ⑥ 注入・揚水井戸や観測井戸内および表層土壌部で促進剤注入に伴う有害な分解生成物として、メタン（可燃性ガス）や硫化水素（酸欠ガス）等の嫌気性ガスが発生した。 ⇒ 本格浄化には、有害ガスへの予防措置（ガス検知等のモニタリング等）や対策（換気、吸引・除去、ガス回収システム等）が必要。

観測井戸内ガス測定結果一覧表（1回目）

項目			観測井戸			
測定器	分析項目	単位	NE	NW	SE	SW
ECOPRO-5	PID	ppm	0.0	2.5	2.1	2.0
	CH4	%	44	36	29	37
GX-111	H2S	ppm	67	11	7.5	0.0
回収ガス量		mL	1,500	1,190	1,470	1,370
ガス採取器設置時間			7/16 10:30	7/16 15:20	7/16 15:27	7/16 15:35
ガス採取器回収時間			7/17 14:00	7/17 15:00	7/17 14:20	7/17 14:40
採取所要時間(時間)			27.5	23.7	22.9	23.1
ガス発生速度(L/week)			9.2	8.4	10.8	10.0
爆発性ガス生成速度(L/week)			100.7	76.7	78.5	91.0
100平米当たりの爆発性ガス生成速度(L/week)			346.9			

観測井戸内ガス測定結果一覧表（2回目）

項目			観測井戸			
測定器	分析項目	単位	NE	NW	SE	SW
室内分析	CH4	%	42.3	50.1	51.9	47.9
検知管測定	H2S	ppm	3.5	8.0	1.3	6.5
	CO	%	3.0	10.0	8.0	11.0
回収ガス量		mL	2,740	1,940	2,430	1,960
室内測定量		mL	2,440	1,740	1,880	1,660
現地検知管測定採取量		mL	300	200	550	300
ガス採取器設置時間			7/29 16:42	7/29 16:53	8/3 13:53	7/29 16:58
ガス採取器回収時間			7/30 9:09	7/30 9:20	8/4 9:00	7/30 9:26
採取所要時間(時間)			16:27	16:27	19:07	16:28
ガス発生速度(L/week)			28.0	19.8	21.4	20.0
爆発性ガス生成速度(L/week)			295.9	248.2	277.1	239.5
100平米当たりの爆発性ガス生成速度(L/week)			1060.6			

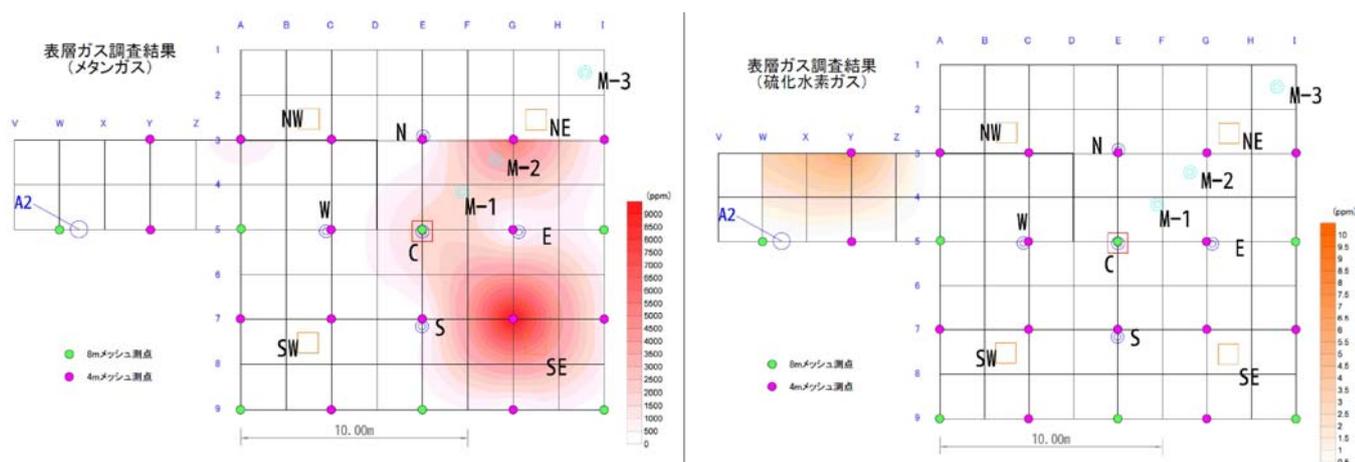


図-2.5 有害ガス現地測定結果図表

- ⑦ 促進剤の地下水への注入は、利用微生物の活性化を伴うものの、病原細菌の菌叢や菌濃度に少なからず影響を及ぼす。但し、促進剤の投入に伴う一次的な増加であり、促進剤の枯渇により土着細菌は以前の環境状態に推移した。⇒ 本格浄化では、BSL2 病原菌が存在する期間中は、採水・採土等の取扱いを慎重とし、試料の飛散やエアロゾルの拡散を防止する措置を講じること。また、作業中は保護具の着用と消毒等の徹底が必要。

(2) 設計・施工上の検討項目

① 優先箇所の選定と着工順位

- ・ 第二帯水層への落込み箇所（2箇所）への対策を最優先とする。
- ・ 高濃度汚染区域と上流汚染区域を先行着手する。
- ・ 汚染源（工場）の浄化対策の進捗状況を踏まえた工程調整が必要である。
- ・ 大阪外環状鉄道等の先行開発行為との協議で施工順位の調整が必要となる。
- ・ 浄化目標（基準値以下へのプロセス）と施工順序を設定する。
- ・ 地元説明・調整並びに協議を行った上での実施とする。
- ・ 浄化期間と年度毎の対策費用に応じた計画を行う。

② 浄化施工範囲

- ・ 浄化対策の施工範囲や区間の設定は、浄化対策範囲が広域に亘るため、分割施工が必要となる。1ユニットを矩形配置（バイオ工法等）、線状配置（浄化壁工法等）や千鳥配置（揚水曝気工法等）とし、施工範囲に応じた組合せが必要となる。
- ・ 浄化プラント施設を配置する場合は、用地を確保した上で集中型（大型化）と分散型（小型化）に区分され、浄化エリアと施設設置箇所との調整が必要である。浄化位置と施設との配管ルートの検討も必要となる。

③ 併用施工か段階施工か

- ・ 本実証試験では嫌気バイオ工法を採用し、浄化効果の確認を得ており、嫌気バイオ工法単独で実施する場合は、本試験で得られた課題を考慮しながらの浄化計画となる。
- ・ 有機塩素化合物の汚染対策工法には嫌気バイオ工法以外に好気バイオ工法、鉄粉工法、化学的酸化処理工法、透過性反応壁工法、揚水曝気工法、浄水置換（注水洗浄）工法やエアースパーキング工法等が挙げられる。これらを単一工法で実施するか、併用工法とするかは施工条件、工期、コストに左右される。但し、採用に当たっては、室内試験や実証試験（現地パイロット試験）等による浄化効果の確認が必要となる。
- ・ 汚染濃度に応じた対策工法を採用する。濃度分布の調整（濃度の低減化や分布範囲の縮小化）を行い、NAの領域への移行や積極的対策範囲を狭める手法であり、モニタリングを活用した段階的施工も効果的である。

(3) 浄化工事に伴う周辺への影響対策

① 振動・騒音対策

- ・ 本格浄化対策工事では、土壌の掘削・除去を伴うような大型重機等による工法は用いないため、騒音・振動等の発生は少ないが、地下水のポンプ揚水やプラント施設（曝気や促進剤溶解）稼動等を連続で実施する可能性（24時間体制）が高い。防音シートによる養生設備が必要となる。

② 沈下・変状対策

- ・ 地下水の揚水を伴う場合は、水位低下に伴う沖積粘性土層の圧密沈下が発生し、住宅構造物の不同沈下による障害が懸念される。沈下計算の試算によると、揚水井戸の水位を2m低下した場合、この井戸から4m以上離れば不同沈下は発生しないが、実施に当たっては家屋調査や定期的な沈下測定で障害発生の無いことを確認しておく必要がある。
- ・ 道路上での地中配管工事を実施する場合は、埋設物調査による障害物確認と掘削に伴う周辺への変状（沈下、側方変位）に留意する必要がある。また、土留め対策や埋戻しの不十分（転圧不足等）による陥没等が挙げられる。

③ 有害ガス対策

- ・ 促進剤を注入した場合、有害な分解生成物として、メタンや硫化水素等の嫌気性ガスの発生が生じる。このガス発生は促進剤等の残留濃度に応じて生じる一過性のものであり、浄化終了後にはこれらガスの有意な発生が起こる可能性は低いものの、本格浄化実施中は地層のクラックや地下構造物の縁などを通じて地上の周辺環境に拡散並びに集合・滞留し、爆発や酸欠事故に至る可能性がある。従って、これらの予防措置として、ガス検知等のモニタリングシステム、換気や吸引・除去等のガス回収システム等による対応が必要となる。

3. 浄化対策計画（案）

全体計画策定に当たっては、NA（自然減衰法）を効果的に活用した手法が工期や予算面からも重要と考えられるが、ここでは今回の実証試験や前述の検討結果を踏まえ以下の3案を提案する。

① シナリオ1：嫌気バイオ工法による単一工法

実証試験の成果を生かした対策を主体とし、浄化目標値の達成や浄化期間の確実性を図る。

② シナリオ2：浄水注入工法、嫌気バイオ工法による併用工法

最小限の浄化対策とモニタリングで監視しながら、将来の効果的な浄化対策の検討を併行して実施し、最適化を図る。

③ シナリオ3：浄水置換工法、ENA工法、嫌気バイオ工法による段階工法

環境保全に配慮しながら汚染範囲の縮小化を図り、全体浄化期間を見据えて目標値の達成が見込めぬ区域に対し、積極的浄化を行う。

上記計画案の内、②③については嫌気バイオ工法以外の浄化手法が組込まれており、浄化の確実性を確認するための可能性適用試験や実証試験が必要となる。

表-3.1 地下水汚染浄化対策計画比較表

項目	シナリオ1:嫌気バイオ 単一工法	シナリオ2:浄水注入・嫌気バイオ 併用工法	シナリオ3:浄水置換・ENA・嫌気バイオ 段階工法
施工概要	<ul style="list-style-type: none"> 対象汚染区域全体(環境基準値以上:153,200㎡)または一部(環境基準値の10倍以上:65,200㎡)を嫌気バイオ工法のみで浄化する。 対象区域は住宅街が主体となり、薬剤注入井戸の設置に制約を受けるため、揚水井戸設置で循環工法または促進工法を採用する。 30m×30m=900㎡程度の範囲を単一ユニットとして、施工条件に応じて拡大または分散施工等順次施工していく。 注水・揚水井戸の配置は格子状が望ましいが、住宅敷地内は周辺道路上に配置(上流側:注水、下流側:揚水)となり、促進剤浸透の促進を促す。 揚水した汚染地下水は、VOC曝気、除鉄、除マンガン、フィルタープレスし、再注入地下水として利用する。 高濃度汚染区域、上流域、地下水落込み箇所周辺を先行着手し、汚染拡散や再汚染化を防止する。 嫌気バイオ工法が一部の区域のみとした場合は、他の区域はMNA工法で監視を行う。但し、MNA工法では全体工期までに浄化が完了しない場合は、追加の嫌気バイオ工法を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 水源への汚染混入対策として、2箇所の地下水落込み部周辺で浄水注入工法(注入井戸3本/箇所)を行う。地下水汚染プルーム拡大防止のバリア井戸は、一般的には揚水・曝気工法であるが、当該地では、施工箇所に隣接してJR東海道本線・外環状鉄道があり、揚水による地盤沈下が懸念されるため注水工法とする。 高濃度汚染区域(環境基準値の100倍以上:8,300㎡)を対象に嫌気バイオ工法で浄化し、高濃度区域の拡散防止と縮小を図る。 低濃度汚染区域(環境基準値～100倍未満)はMNA工法にて監視する。但し、早期対策が必要と判断される区域が発生した場合は、嫌気バイオ工法にて浄化する。 浄化の長期化防止対応として他の工法(化学的酸化工法等)の実証試験を併行して行い、採用の有無を検討する。有効な浄化工法が無い場合は、嫌気バイオ工法を採用する。 	<ul style="list-style-type: none"> 対象汚染区域全体(環境基準値以上:153,200㎡)を注水・揚水井戸の配置による浄水置換工法を採用する。 浄水置換は汚染地下水の帯水層内に清浄水を注入し、一方で汚染水を回収する工法で、遅延係数の小さいcis-1,2-DCEを対象とする。 注水は上水または工業用水とし、揚水井戸で回収した地下水汚染物質は、曝気・除鉄・除マンガン等の排水処理をし排水基準を満足した後、下水道放流とする。 上記工法で低濃度化した後、ENA(汚染減衰を積極的に促す手法を加味したMNA。例えば、エアレーション等により好気的条件下で浄化を行う。)により自然減衰の促進を行う。 上記浄水置換工法、ENA工法で汚染区域の濃度低下、範囲縮小した後、目標値の達成が見込めない区域に対し嫌気バイオ工法にて完全浄化を行う。 浄水置換の場合、揚水に伴う周辺地盤の沈下が懸念されるため、家屋調査や定期的な沈下測定を行う。
共通対策:MNA工法(モニタリングを主体とした自然減衰の推移評価手法)導入			
長所	<ul style="list-style-type: none"> 浄化効果については実証試験で確認済み。 この実験で施工方法、浄化期間や効果の程度が予測され、全体計画が確立し易い。 早期に高濃度汚染の解消や汚染区域の縮小が図られる。 	<ul style="list-style-type: none"> 地下水落込み部周辺の注入効果(水位上昇)で地下水流動が遅くなり、汚染の移流拡散が低減される。 嫌気バイオ工法の浄化効果は実証試験で確認済み。 嫌気バイオ工法により早期に高濃度汚染の解消が図られ、汚染区域の拡散防止に繋がる。 	<ul style="list-style-type: none"> 浄水置換対策のサイクルが進行するに従い、対策区域の縮小が見込まれるため、以降の対策網・管理体制・監視体制が縮小できる。 嫌気バイオ工法時に懸念される有害ガス発生や臭気のリスクを低減・解消することができるため、地域住民への環境保全対策が容易。 他の工法に比べ、浄化目標の変更に対しても経済的な対策網が構築できる。
短所	<ul style="list-style-type: none"> 有害ガス・臭気(促進剤によっては無臭もあり)の発生が懸念され、これらの環境保全対策が必要である。 工事費が他工法に比べて高額となる。 施工範囲内での井戸や配管類が多く、煩雑化する。 MNA工法区域が多くなると対策の工期が長期化する。 	<ul style="list-style-type: none"> 有害ガス・臭気(促進剤によっては無臭もあり)の発生が懸念され、これらの環境保全対策が必要である。 MNA工法の区域が主体となるため、対策の工期が長期化する。 MNA工法の区域の濃度低下が進捗しない場合は、嫌気バイオ工法の追加が必要となり、シナリオ1と同様の施工費の高額化が懸念される。 	<ul style="list-style-type: none"> 浄水置換工法、ENA工法の適用可能性試験・実証試験による効果の確認が必要。 注入・揚水による地下水挙動の操作が主体となるため、初期段階での管理・調整作業が複雑化する。 注入・揚水の配管・水処理施設等が複雑化するため詳細設計・調整等に時間を要する。
工期	全体工期:6年間		
	<ul style="list-style-type: none"> 1ユニット(約900㎡)当り:準備を除き浄化施設設置1ヶ月、薬剤注入・浄化6ヶ月。 環境基準値以上の範囲(153,200㎡)を6年間で浄化するには、14～15ユニット/6ヶ月必要。 環境基準値の10倍以上の範囲(65,200㎡)の場合、10ユニット/6ヶ月の施工可能ならば4年程度で完了。 	<ul style="list-style-type: none"> 浄水注入工法:MNA工法の結果に従うため、注入施設設置と注入期間を含め6年間程度。 嫌気バイオ工法:10ユニット(約9,000㎡)が同時施工出来れば準備を除き浄化施設設置1ヶ月、薬剤注入・浄化6ヶ月で完了。 	<ul style="list-style-type: none"> 浄水置換工法:設備設置工1年、浄水置換1.5年/サイクル →3サイクル計6年間程度。但し、2～3サイクル目でENA工法採用。 嫌気バイオ工法:5～6ユニット(約5,000㎡)が同時施工出来れば、準備を除き浄化施設設置1ヶ月、薬剤注入・浄化6ヶ月で完了。浄水置換工法の2～3サイクル目で導入することとなる。
経済性	<ul style="list-style-type: none"> 環境基準値以上対象の場合(153,200㎡) 嫌気バイオ工事:133.5億円 モニタリング:20.5億円 合計154.0億円 環境基準値の10倍以上対象の場合(65,200㎡) 嫌気バイオ工事:57.0億円 モニタリング:9.0億円 合計 66.0億円 	<ul style="list-style-type: none"> 浄水注水工事:1.3億円 嫌気バイオ工事(8,300㎡):10.5億円 MNA工法による監視:1.7億円 実証試験、業務支援、配管設計、測量等:1.0億円 合計14.5億円 	<ul style="list-style-type: none"> 浄水置換工事(ENA工法含む):15.0億円 嫌気バイオ工事(5,000㎡):6.0億円 MNA工法による監視・環境保全:1.9億円 実証試験、業務支援、配管設計・測量等:1.1億円 合計24.0億円
総合評価	浄化効果の確実性大きい、経済性、環境保全が課題	MNA主体のため経済性で優位であるが、浄化の終了時期が見込められない。	浄水置換の浄化効率が不確定であるものの、全体事業での経済性、環境保全に優位。

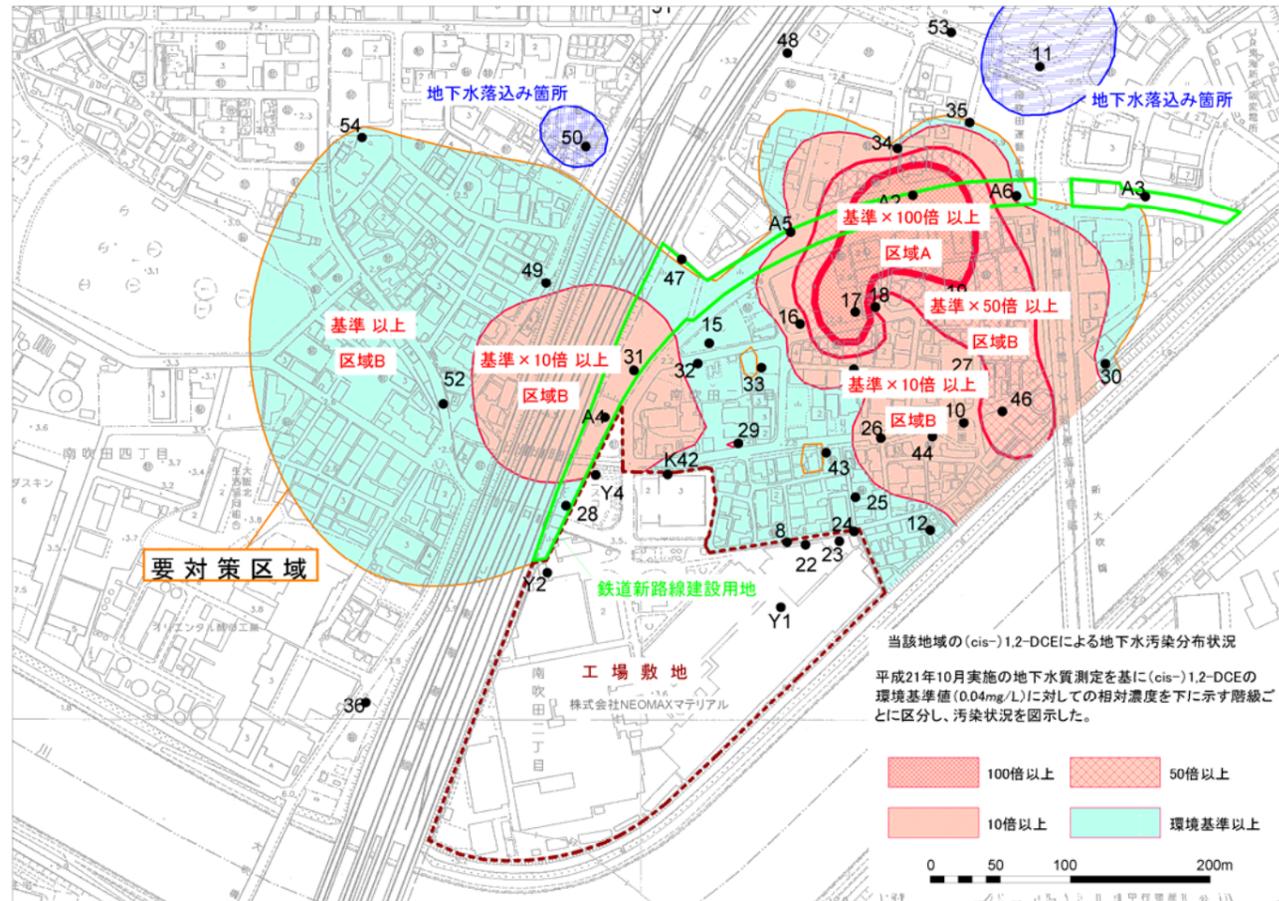


図-3.1 シナリオ1：嫌気バイオ単一工法対策範囲図

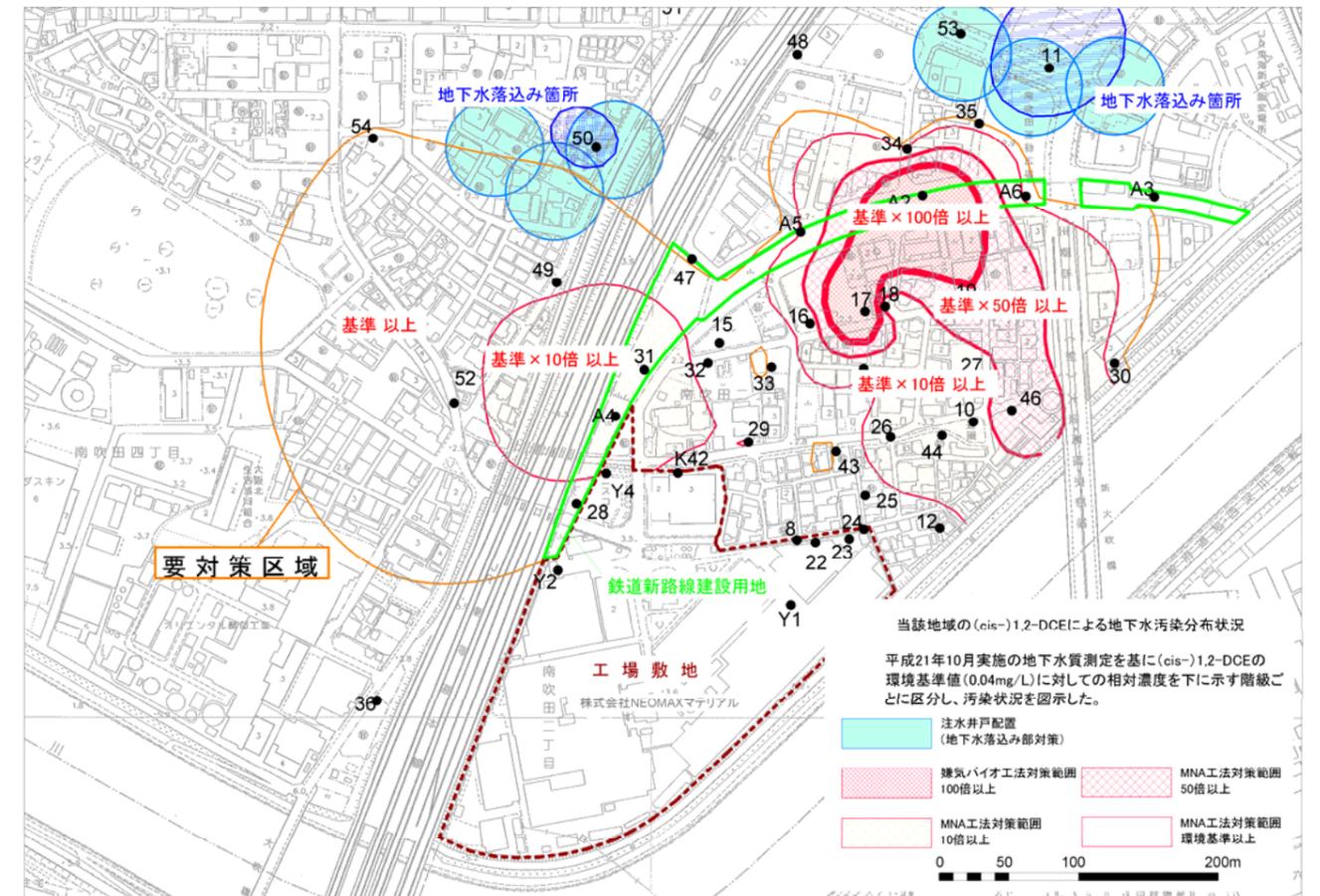
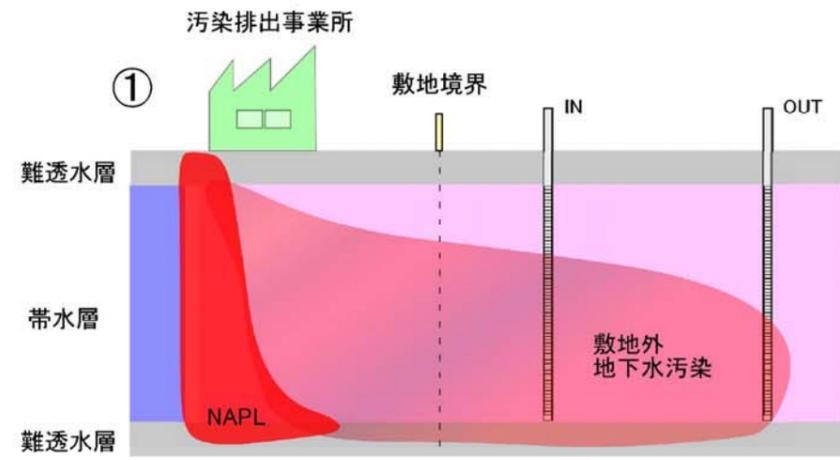
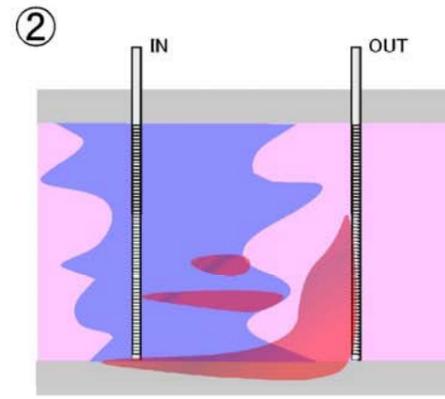


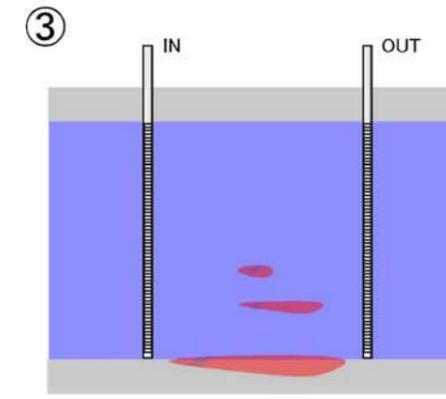
図-3.2 シナリオ2：浄水注入・嫌気バイオ工法配置イメージ図



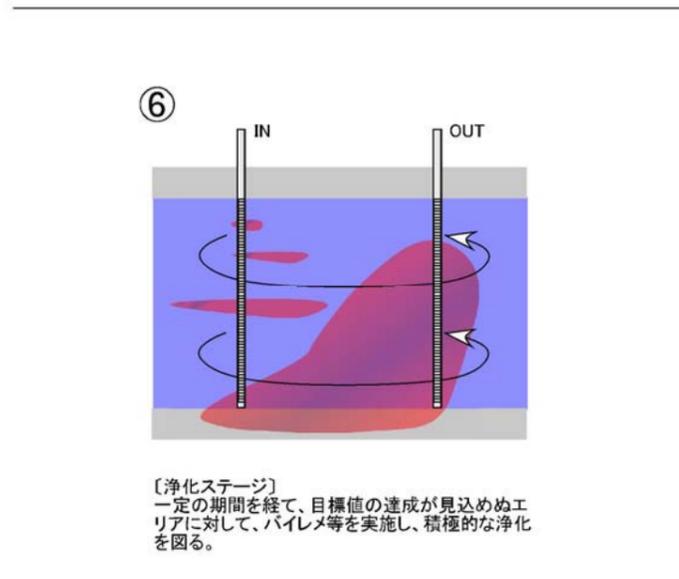
〔要措置区域の設定〕
敷地外の地下水汚染を対象とする。コアボーリングを実施し、詳細な汚染の分布状況を把握し、要措置区域を設定する。要措置区域に注入／揚水井戸を設置する。



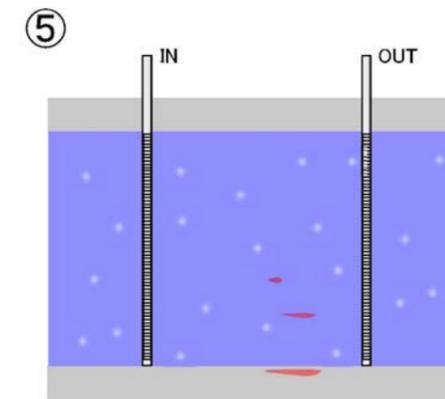
〔浄水置換対策ステージ初期〕
工業用水等の清浄水を注入し、一方で汚染水を回収する。



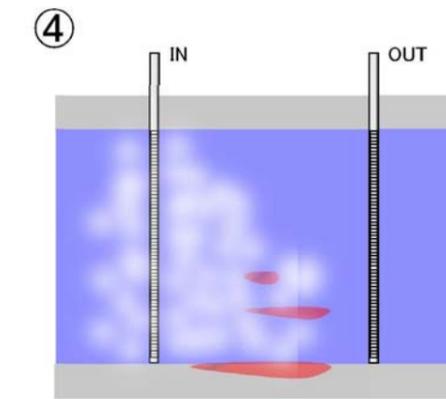
〔浄水置換対策ステージ後期〕
対象帯水層の総置換1回目が終了した時点で、大部分の汚染が回収／除去されると予想。汚染エリアは十分に縮減されるが、一部に残存汚染が存在すると予想される状況。この置換により地下水環境はおおむね嫌気状態から原状の好気条件へ移行。



〔浄化ステージ〕
一定の期間を経て、目標値の達成が見込めぬエリアに対して、バイレメ等を実施し、積極的な浄化を図る。



〔要措置区域の解除〕
モニタリング結果から目標値を達成したエリアに対し要措置区域設定を解除する。



〔ENA対策ステージ〕
低濃度の残存汚染に対しては、ENAを実施し、好氣的なDCE/VC/Ethylene分解を促す。以後定期的なモニタリングを実施し経過観察を行う。

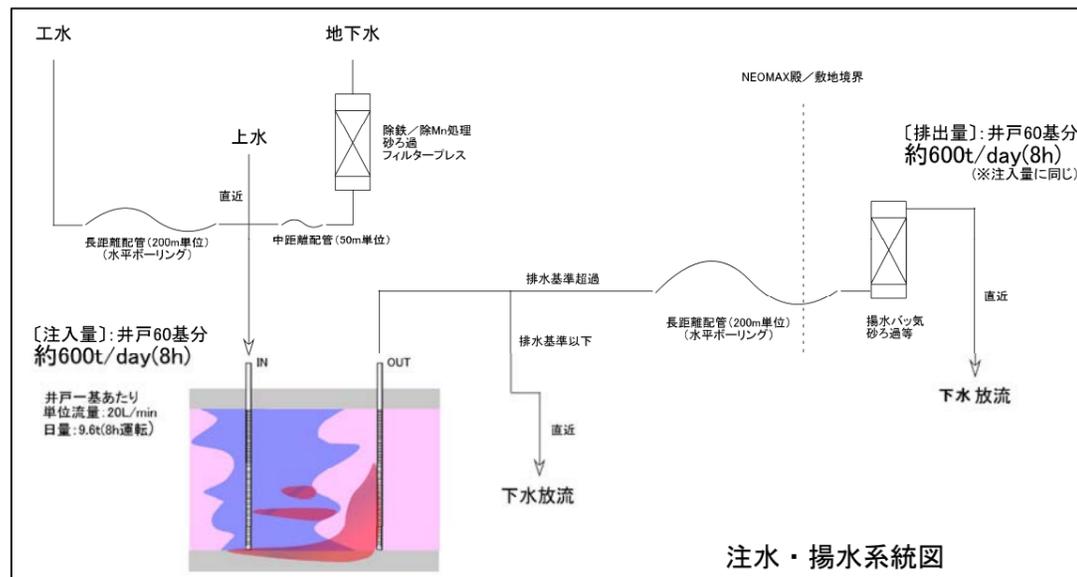
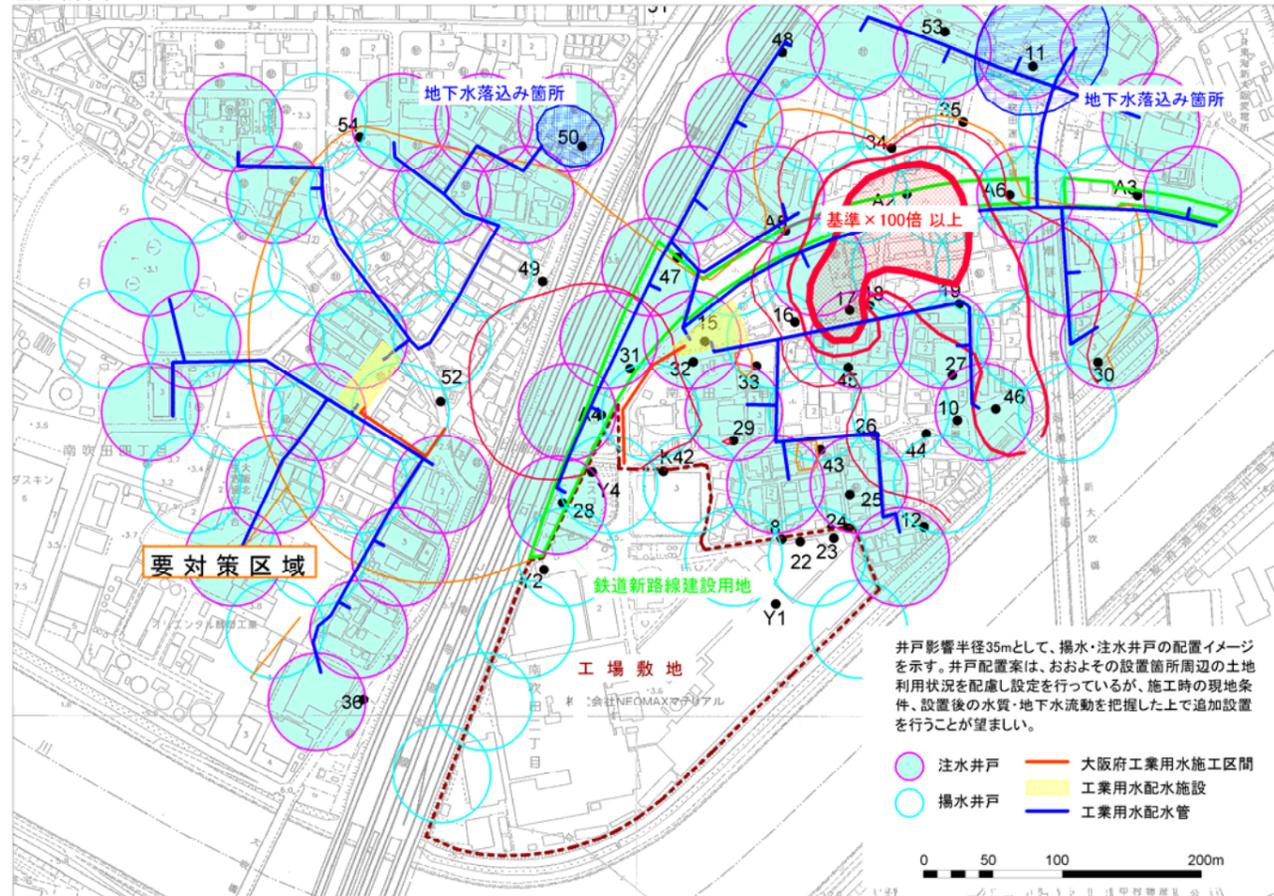


図-3.3 シナリオ 3 : 浄水置換工法・ENA工法浄化対策イメージ図

注入計画



揚水計画

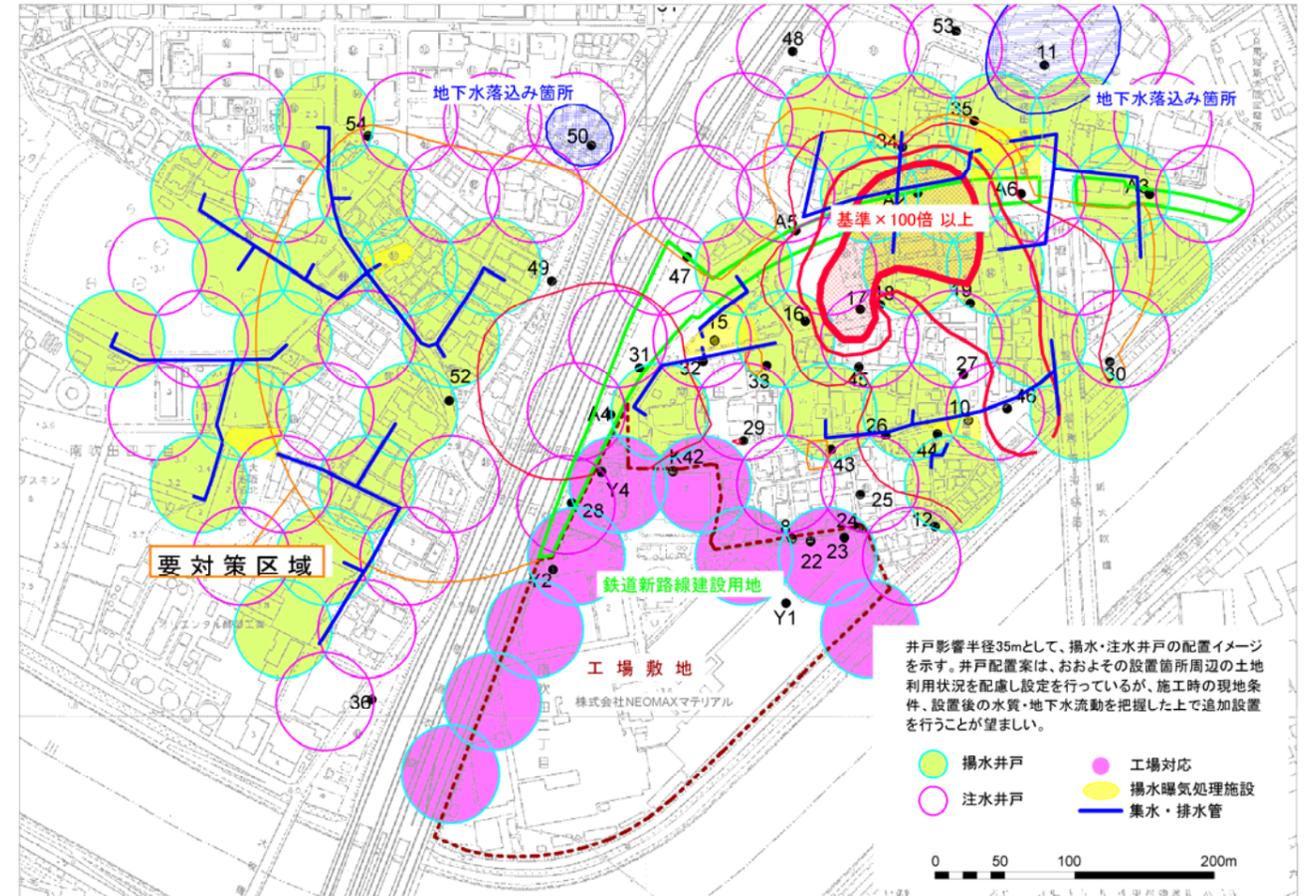


図-3.4 シナリオ3：浄水置換工法 注水井戸・揚水井戸配置および配管計画イメージ図

表-3.4 シナリオ3浄化対策工程表（要対策地域全域で浄水置換工法での対策を実施、その後残存汚染分布域で最適化した浄化工法での浄化を実施）

件名		(仮)南吹田地域 地下水汚染対策工事												着工		平成		年		月																																	
														竣工		平成		年		月																																	
工種	単位	数量	平成〇〇年度												平成〇〇年度												平成〇〇年度												平成〇〇年度														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
対策工	設備設置工	注入・揚水井戸 設置	基	87	[Bar chart showing duration from month 1 to 6]																																																
		地中配管 設置(水平ボーリングによる)	m	5000	[Bar chart showing duration from month 1 to 3]																																																
		地上配管 設置	m	500	[Bar chart showing duration from month 3 to 6]																																																
		地上注水施設 設置	箇所	2	[Bar chart showing duration from month 3 to 6]																																																
		地上排水処理施設 設置	箇所	5	[Bar chart showing duration from month 3 to 6]																																																
		各種設備 調整および追加設置工	式	1	[Bar chart showing duration from month 7 to 12]																																																
	浄水置換工	浄水置換工	基	100	[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												
モニタリング工	汚染確認分析	地下水汚染分布状況確認調査	箇所	65	[Bar chart showing duration from month 7 to 12]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												
		土壌汚染分布状況確認調査	箇所	20	[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												
		地下水汚染分布状況確認調査(区域A)	式	1	[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												
		土壌汚染分布状況確認調査(区域A)	式	1	[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												
	環境保全調査	周辺家屋調査	宅地	30	[Bar chart showing duration from month 3 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												
		周辺沈下測定	箇所	30	[Bar chart showing duration from month 3 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												
		騒音・振動測定	回	2	[Bar chart showing duration from month 3 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												
	追加実証試験工	追加実証試験工	ex.ENA工法	式	1	[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]											
			ex.化学酸化法	式	1	[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]											
			浄化工本格導入のための計画・設計	式	1	[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]											
浄化工	浄化工	ex.EDCによる嫌気/バイオ浄化工	式	1	[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												[Bar chart showing duration from month 1 to 6]												
備考		(1) 注入・揚水井戸設置時条件→同時稼働台数:3台、箇所あたり所要期間:4日、延348日程度 (2) 地中配管設置時条件→同時稼働台数:2台、日進40m、延125日程度 (3) 騒音・振動測定時条件→プラント施設等設置時に3測線程度計画し、暗・稼働時の計2回実施 (4) 有毒ガス測定時条件→嫌気/バイオ工法採用時1回/週程度実施 (5) 臭気測定時条件→嫌気/バイオ工法採用時1回/週程度実施																																																			

地下水汚染浄化実証試験の経過報告 (概 要)

- I . 現地パイロット試験成果の検証
- II . 浄化対策事業化のための概略計画 (案)

平成23年3月25日

I . 現地パイロット試験成果の検証

検証内容

1. 試験領域内の浄化率
2. 平均流速の再算定と評価領域の設定
3. 測定日ごとの評価領域・水質評価井戸の設定
4. 評価領域内の主要測定項目の変動状況
5. 評価領域内の物質収支
6. 促進剤の適正設計量（案）の算定

1. 試験領域内の浄化率(1)

$$\text{浄化率 (\%)} = 100 \times \frac{\text{試験終了までの汚染物質減少量 (mg/L)}}{\text{初期汚染濃度 (mg/L)}}$$

測定日		1,2-DCE (mg/L)			VC (mg/L)			1,2-DCE換算濃度 (mg/L)			浄化率	
		5月21日	6月22日	10月26日	5月21日	6月22日	10月26日	5月21日	6月22日	10月26日	対5月21日	対6月22日
C	領域内	11	7.7	<0.004	0.3	0.30	0.041	11.496	8.165	0.064	99.4	99.2
N	領域内	9.6	6.5	<0.004	0.3	0.24	<0.002	9.988	6.872	0.000	100.0	100.0
S	領域内	11	7.1	0.87	0.17	0.26	1.0	11.264	7.503	2.389	78.8	68.2
E	領域内	11	5.9	0.052	0.410	0.23	0.34	11.636	6.257	0.579	95.0	90.7
W	領域内	9.8	6.9	0.41	0.17	0.25	0.86	10.064	7.288	1.743	82.7	76.1
NE	領域内	4.2	6.4	0.020	0.300	0.24	0.031	4.665	6.772	0.068	98.5	99.0
NW	領域内	7.1	7.0	<0.004	0.3	0.25	<0.002	7.519	7.388	0.000	100.0	100.0
SE	領域内	12	6.9	2.2	0.2	0.26	0.60	12.341	7.303	3.130	74.6	57.1
SW	領域内	13	6.8	13	0	0.24	2.1	13.279	7.172	16.256	-22.4	-126.7
M-1	領域内	11	5.0	0.013	0.420	0.21	0.26	11.651	5.326	0.416	96.4	92.2
M-2	領域内	11	6.1	0.41	0.42	0.24	1.0	11.651	6.472	1.960	83.2	69.7
M-3	領域外	3.8	2.6	5.0	0.2	0.13	1.3	4.079	2.802	7.016	-72.0	-150.4
M-4	領域内		3.7	0.005		0.15	0.002		3.933	0.008		99.8
M-5	領域外		0.91	0.012		0.062	0.004		1.006	0.018		98.2
試験領域内平均										80.6	68.8	
同平均 (SW除く)										90.9	86.5	

1. 試験領域内の浄化率(2)

浄化効率にばらつきが生じた要因

⇒ 領域内への汚染地下水再流入

領域内地下水の領域外への流出

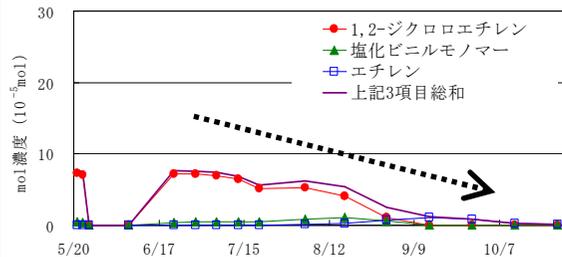


物質収支に乱れが生じている

■ 代表地点の地下水中汚染物質mol総量の推移

地下水流軸上

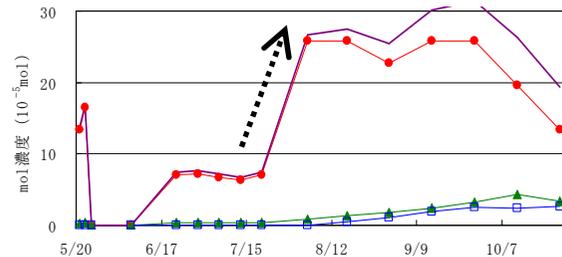
例: 井戸NW 浄化率100%



時間経過に伴い
mol総量減少

地下水上流域

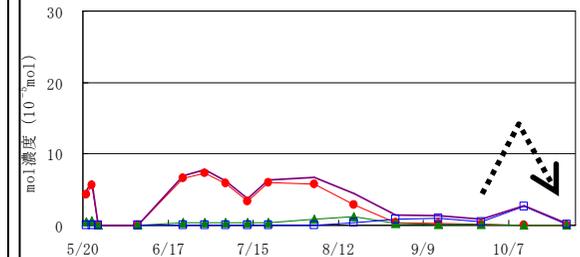
例: 井戸SW 浄化率-126.7%



時間経過に伴い
mol総量増加

地下水流軸横断方向

例: 井戸NE 浄化率99.0%

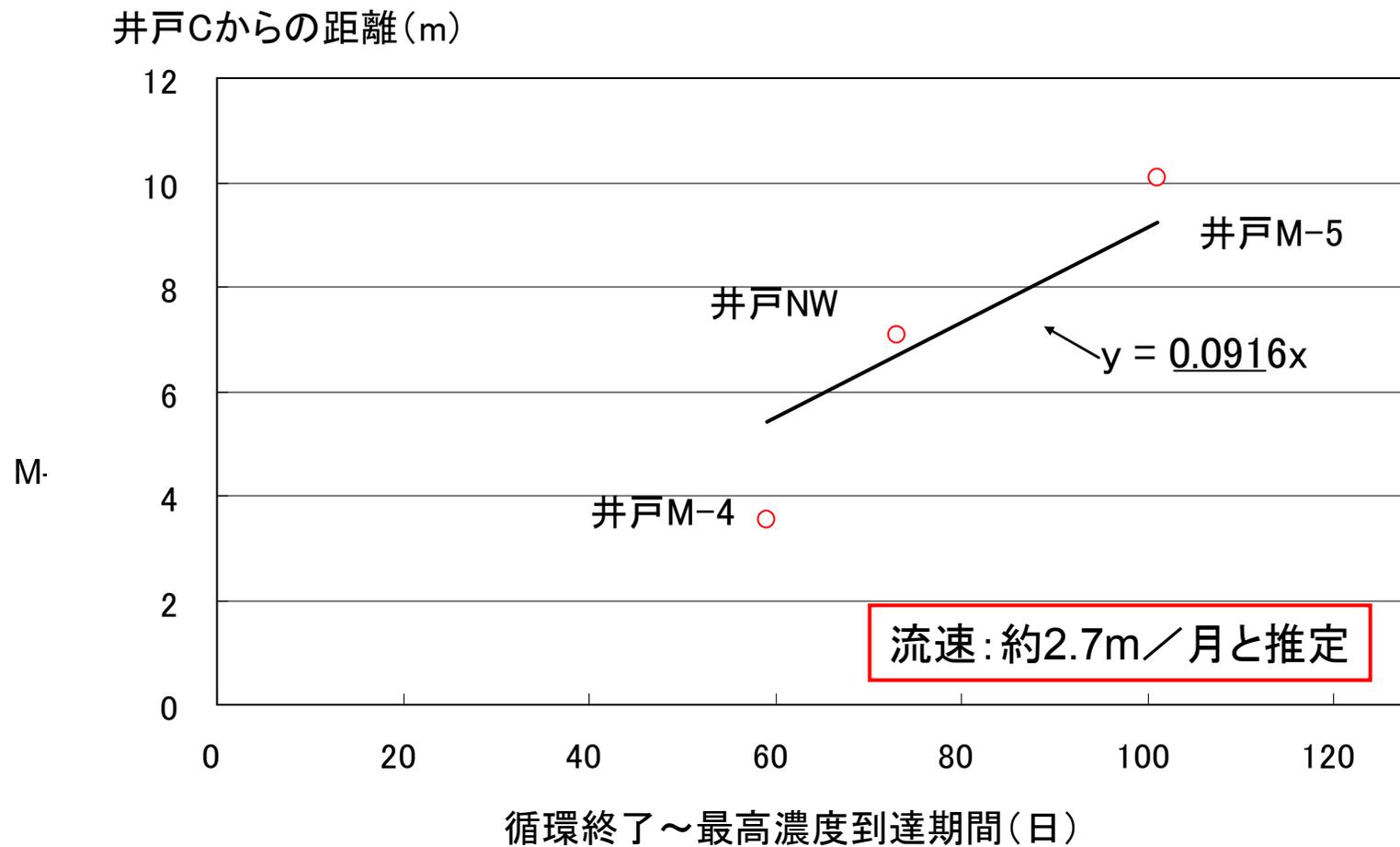


領域外縁にて時間経過
に伴い、mol総量増加

物質収支の乱れにより、促進剤の浄化効果を正確に評価することは困難

2. 平均流速の再算定と評価領域の設定

地下水流軸上に位置する井戸C、M-4、NW、M-5でのトレーサー物質(Br)の濃度推移から、地下水流速を推定



3. 測定日ごとの評価領域・水質評価井戸の設定

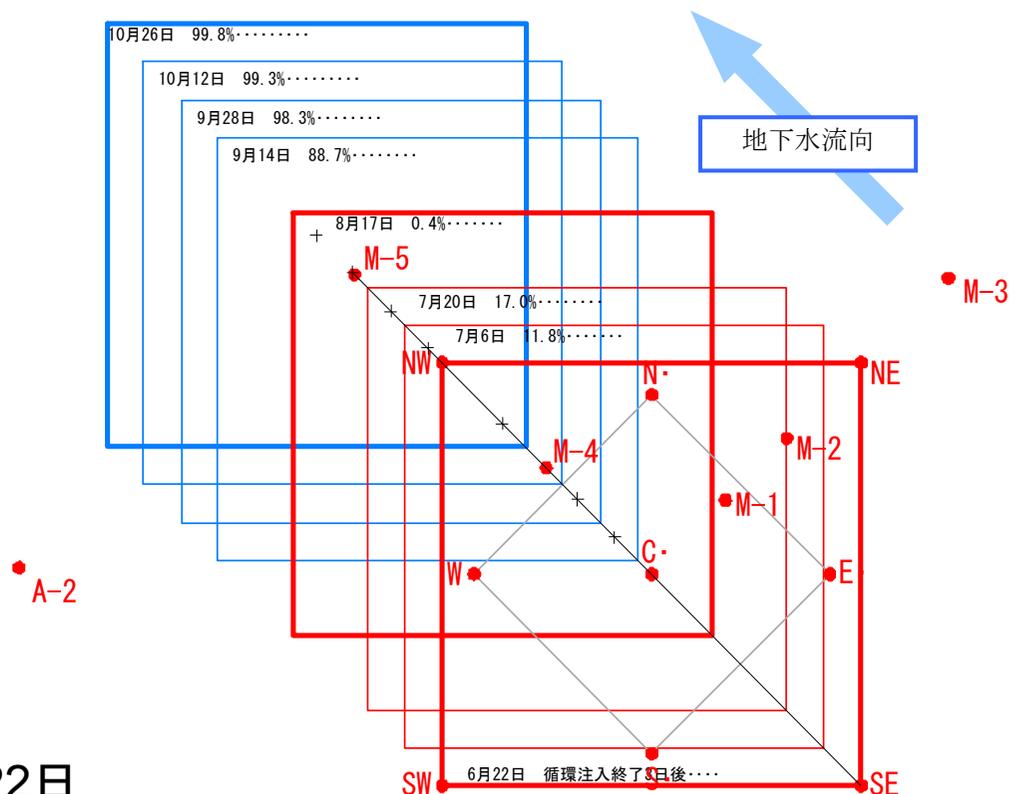
測定日ごとに地下水流に従い、
平行移動した評価領域については、
流入・流出が無いものと想定

- ・流速 約2.7/m
- ・領域面積 100m²(10m × 10m)

1,2-DCEは分解時全量がVCに変換
VCが分解された場合、汚染分解終了

促進剤は希釈・拡散の影響なく、全量
が汚染分解または阻害要因の解消に
より消費される

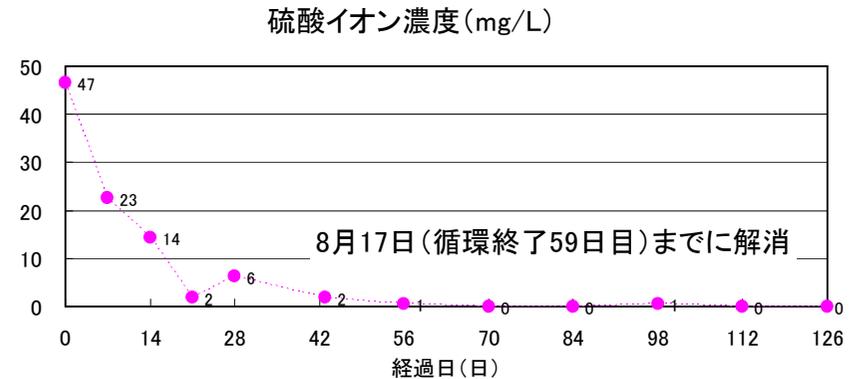
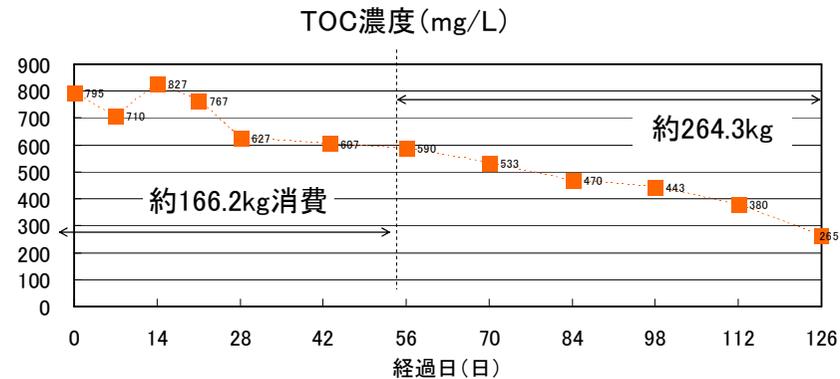
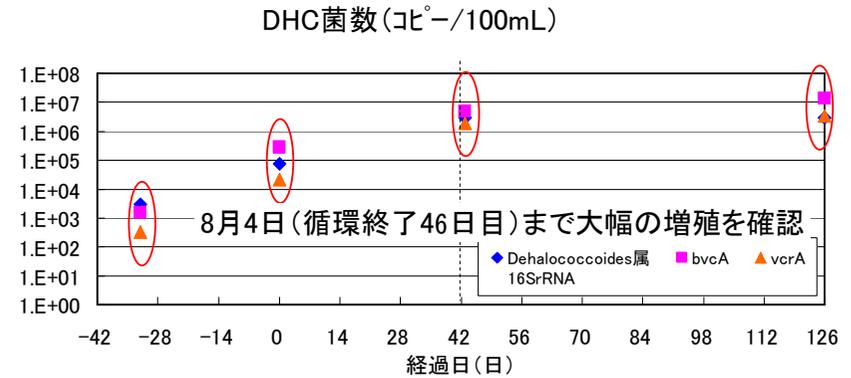
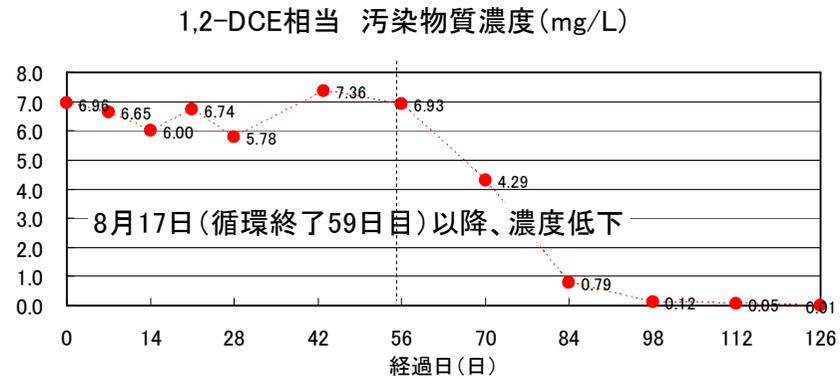
※以降、経過日の表記の起算日は6月22日



$$\Delta(\text{蓄積量}) = \Delta(\text{初期蓄積量}) + \Delta(\text{流入量}) - \Delta(\text{流出量}) + \Delta(\text{生成量}) - \Delta(\text{消費量})$$

$$0 = \Delta(1,2\text{-DCE} + \text{VC 初期蓄積量}) + \Delta(\text{VC 生成量}) - \Delta(1,2\text{-DCE 分解量}) - \Delta(\text{VC 分解量})$$

4. 評価領域内の主要測定項目の変動状況



0~56日目 : 嫌気状態への移行期間
56~126日目: 汚染分解期間

6. 促進剤の適正設計量(案)の算定

$$\text{設計量} = \frac{\text{②地下水質移行時の促進剤消費量} + \text{③汚染分解時の促進剤消費量}}{\text{①循環時損失係数}}$$

$$\text{①} = \frac{\text{実際の希釈濃度(希釈ロス含む)}}{\text{計画希釈濃度(拡散等考慮無し)}} = \frac{7.5\%}{13.2\%} = 0.568$$

$$\text{②} = \text{領域内地下水分存量} \times \text{EDC減少量} = 300\text{m}^3 \times \frac{205\text{mg/L-TOC}}{0.37} = 166.2\text{kg}$$

(※T=0~56日)

$$\text{③} = \text{領域内地下水分存量} \times \text{EDC減少量} = 300\text{m}^3 \times \frac{325\text{mg/L-TOC}}{0.37} = 263.5\text{kg}$$

(※T=56~126日)

$$\text{促進剤の適正設計量} = \frac{\text{②} + \text{③}}{\text{①}} = 756.5\text{kg} / 750\text{m}^3\text{-土量}$$

メーカー提案値に近似

Ⅱ. 浄化対策事業化のための概略計画（案）

成果概要

1. 土壌・地下水汚染対策の目的および方針
2. 実証試験を踏まえた浄化計画への留意点
3. 浄化対策計画（案）

1.土壌・地下水汚染対策の目的および方針

(1) 目的

- ・ 南吹田地域および周辺住民の安全・安心
- ・ 飲用水源の保護
- ・ 開発行為への妨げ防止

(2) 方針（基本的な考え方）

- ①飲用水源への汚染混入対策は、第二帯水層への地下水落込み箇所周辺で積極的浄化手法を採用。
- ②低濃度区域（基準値以上～100倍未満）は、NA（自然減衰）を見込んだ監視を主体とし、浄化の進捗を見て積極的浄化手法を併用。
- ③高濃度区域（100倍以上）は、積極的浄化手法で完全浄化あるいは濃度低下（②への移行）を目指す。

【NA（自然減衰）手法の多様性】

MNA:モニタリングを主体とした自然減衰の推移評価

ENA:汚染減衰を積極的に促す手法を加味したMNA

(3) 本計画（案）における浄化対策条件

①浄化対象物質	汚染原因物質 PCE, TCE 分解生成物質 DCE, VC
②対象土壌・地下水	沖積砂層（GL-2.0~8.0m程度） 第一帯水層の自由地下水
③対策範囲	1, 2-DCEの環境基準値（0.04mg/L）以上の区域
④対策優先箇所	第二帯水層への自由地下水落込み箇所 高濃度区域（100倍以上） 上流汚染区域
⑤浄化目標	環境基準値以下
⑥浄化期間	5~6年程度

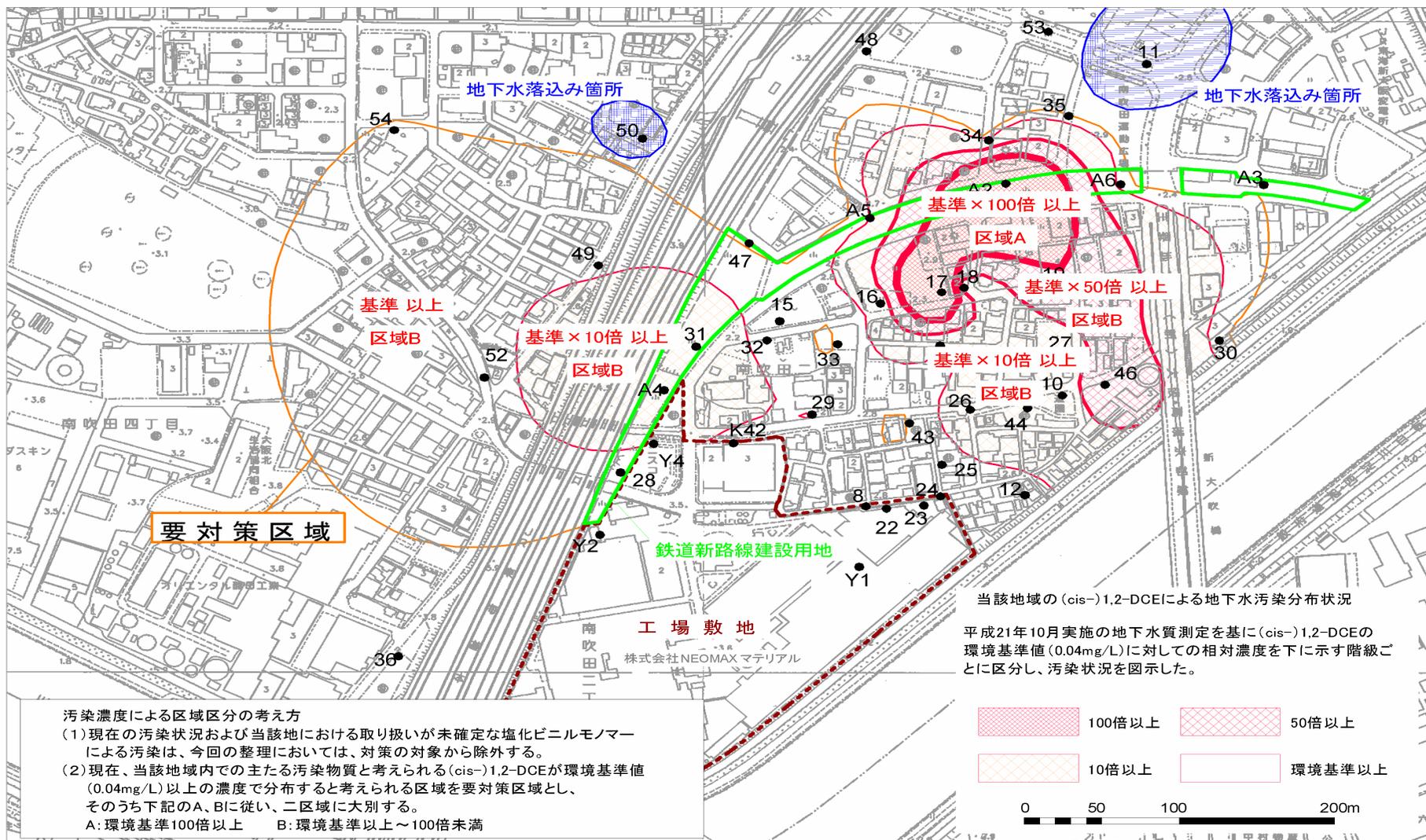


図-1.1 地下水汚染濃度の地域区分

2. 実証試験を踏まえた浄化計画への留意点

- (1) 促進剤の約40%が嫌気状態への移行時に消費
- (2) 地下水流動に伴う効果範囲の拡散・移動
- (3) 促進剤注入時は“汚染物質” “促進剤” “分解菌” を均等に混ぜ合わせる手法
- (4) 促進剤注入井戸の仕様の吟味
- (5) 有害ガス（可燃性ガス：メタン、酸欠ガス：硫化水素等）への対策
- (6) 病原性微生物の一次的増加への対策
- (7) その他
振動・騒音、沈下・変状問題に留意

3.浄化対策計画(案)

【シナリオ1】

嫌気バイオ工法による単一工法

- ・ 実証試験の成果を活かした嫌気バイオ工法による対策主体
- ・ 浄化目標値の達成や浄化期間の確実性が高い

【シナリオ2】

浄水注入工法・嫌気バイオ工法による併用工法

- ・ 地下水落ち込み部での浄水注入による水頭制御
- ・ 高濃度汚染区域（100倍以上）での嫌気バイオ工法を採用
- ・ その他区域ではモニタリングを実施
- ・ 実証試験等実施し、将来の浄化対策を検討し、最適化を図る

【シナリオ3】

浄水置換工法・ENA工法・嫌気バイオ工法による段階工法

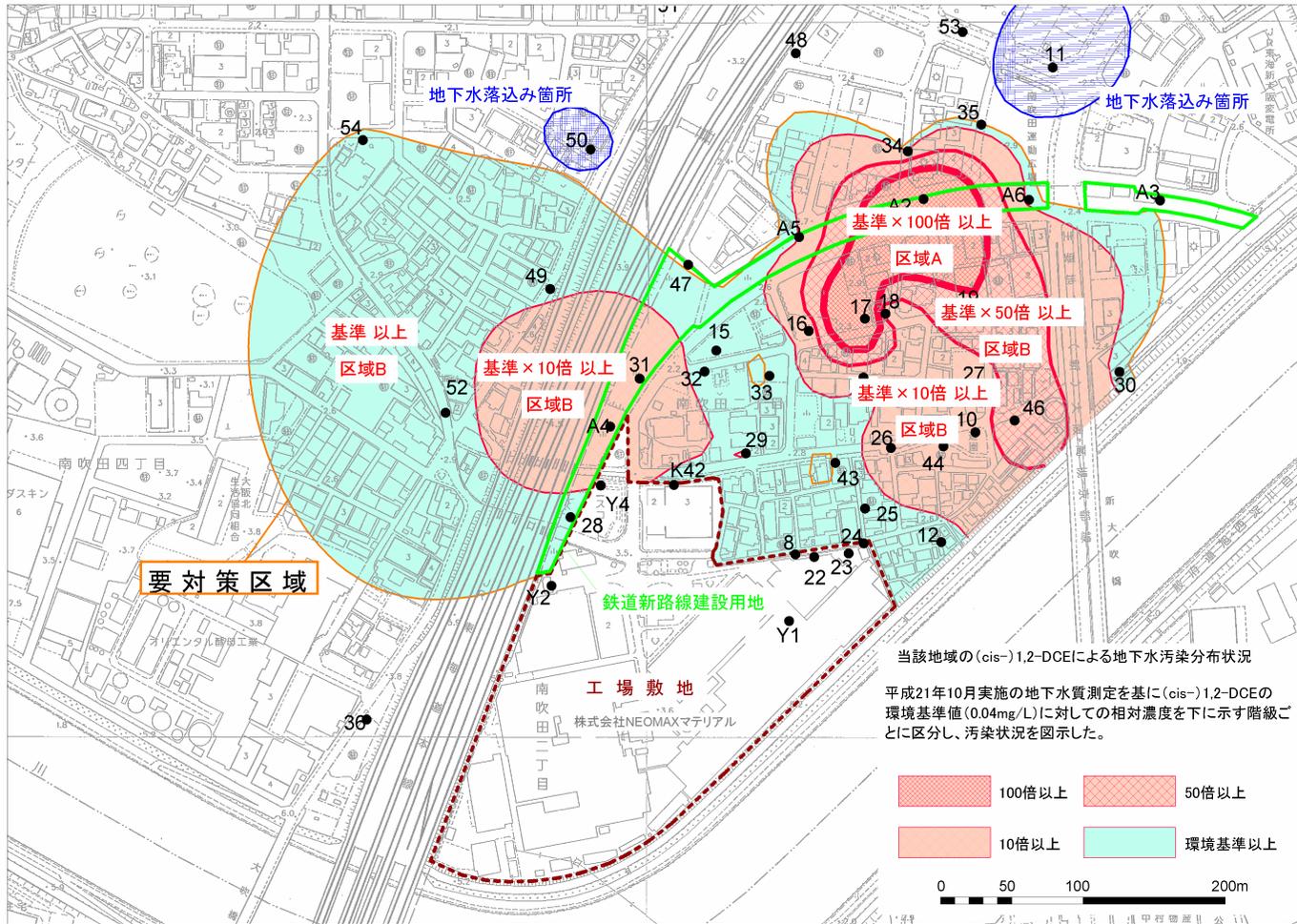
- ・ 南吹田地域全域に浄水循環網を構築
- ・ 浄水置換工法により要対策区域の縮小化、低濃度化を図る
- ・ 進捗に応じてENA工法の実証試験等実施し、採用を検討
- ・ 嫌気バイオ工法の適用範囲を制限し、環境保全への配慮

シナリオ1：嫌気バイオ工法による単一工法

(1) 施工概要

- ① 実証試験で実施した循環式嫌気バイオ工法に準じた施工。
- ② $30\text{m} \times 30\text{m} = 900\text{m}^2$ を単一ユニットとして、
順次ユニット数の増加で施工範囲の拡大や分散施工を行う。
- ③ 注水・揚水井戸の配置は格子状を基本とするが、
住宅敷地内は周辺道路上の配置とする。
(上流側：注水、下流側：揚水)
- ④ 揚水した汚染地下水は、VOC曝気・除鉄・除マンガン・
フィルタープレスを行い、再注入水とする。
- ⑤ 「要対策範囲全体を対象とする場合」と
「環境基準値の10倍以上の区域対象+MNA工法の場合」
の2ケースを提案。

シナリオ1：嫌気バイオ工法による単一工法



<概算工事費>

ケース1
 環境基準値以上
 (水色+赤色) 153,200㎡
 154億円

ケース2
 環境基準値の10倍以上
 (赤色) 65,200㎡
 +MNA工法(水色+赤色)
 66億円

図-3.1.1 嫌気バイオ工法対策範囲図

シナリオ1：嫌気バイオ工法による単一工法

(2) 長所

- ・ 浄化効果は実証試験で確認済み。
- ・ 詳細設計や浄化期間等の全体計画が早期に確立し易い。
- ・ 早期に高汚染濃度区域の解消や縮小化が図られる。

(3) 短所

- ・ 有害ガス、臭気等の環境保全対策が必要。
- ・ 浄化対策費がシナリオ2・3に比較し高額。
- ・ 他の工法に比較し井戸や配管類が多く、煩雑化しやすい。

シナリオ2：浄水注入工法・嫌気バイオ工法による併用工法

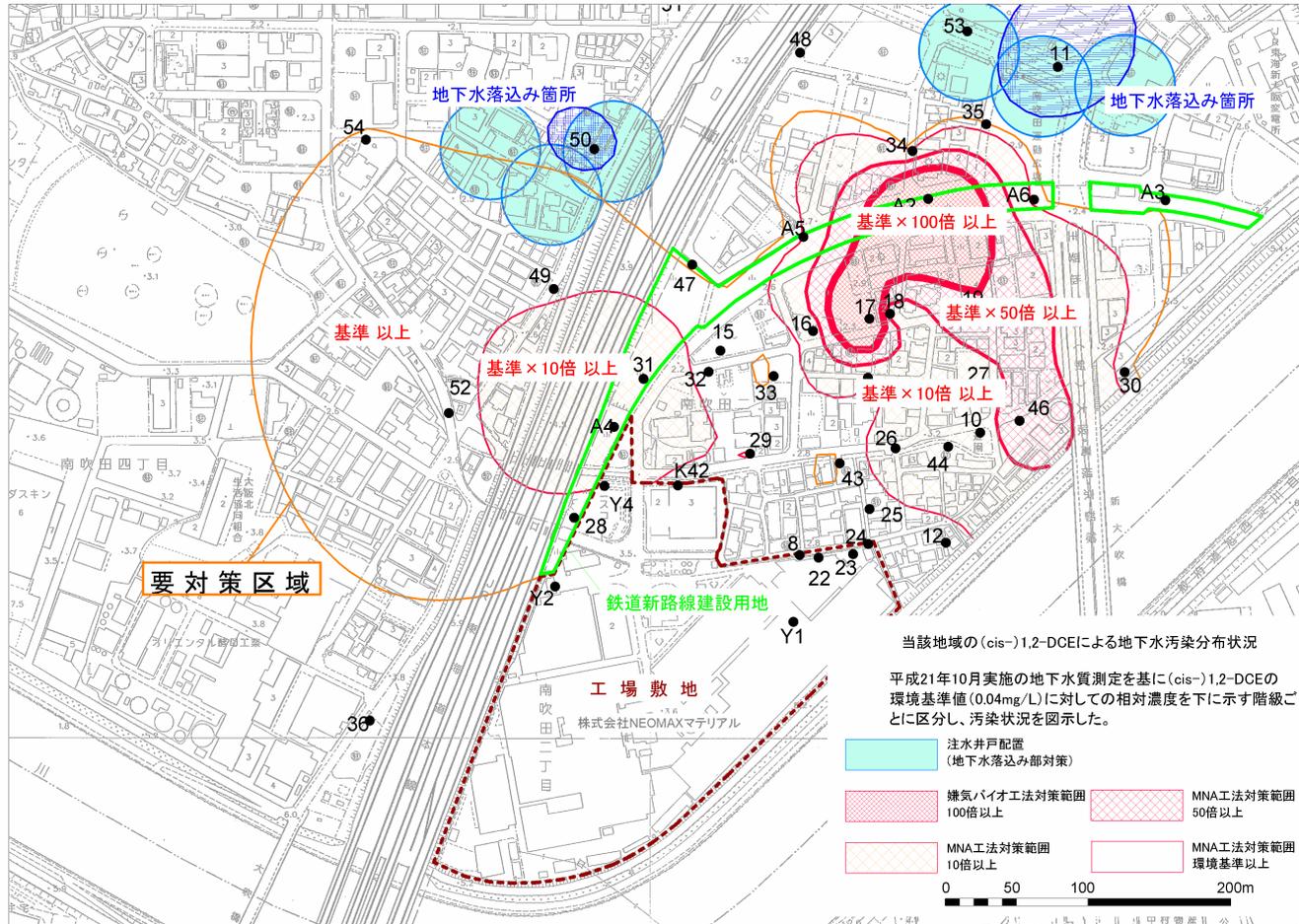
(1) 施工概要

- ① 地下水落込み部では、汚染プルームのモニタリングを行い、濃度上昇の兆候があれば上流側にて水頭制御（浄水注入工法）を実施。

* 地下水汚染プルーム拡大防止には、バリア井戸による揚水・曝気工法が一般であるが、当該地は施工箇所に隣接してJR東海道本線・外環状鉄道があり、揚水に伴う地盤沈下が懸念され、十分な安全確保が求められる。

- ② 高濃度汚染区域（100倍以上）では、嫌気バイオ工法を採用
- ③ 低濃度汚染区域（環境基準値の100倍未満）では、MNA工法を採用
- ④ 低濃度汚染区域の減衰が遅い場合は、他の工法との併用を検討

シナリオ2：浄水注入工法・嫌気バイオ工法による併用工法



<概算工事費>

浄水注入工法(水色)
 地下水落とし込み 2箇所
 1.3億円

嫌気バイオ工法
 環境基準値の100倍以上
 (太赤色枠) 8,300m²
 10.5億円

MNA工法+実証試験等
 (追加対策の有無検討)
 2.7億円

合計 14.5億円

図-3.2.1 浄水注入・嫌気バイオ工法配置イメージ図

シナリオ2：浄水注入工法・嫌気バイオ工法による併用工法

(2) 長所

- 地下水落ち込み部への注水により、高濃度汚染の拡散防止、移流低減化が図れる。
- MNA工法主体となるため、経済性で優位。
- 施工範囲が小さく、周辺住民との調整が比較的容易。
- 環境保全対策も規模が小さい。

(3) 短所

- MNA工法主体のため、浄化期間は長期化。
- 対策事業の終了判断が難しくなる。
- 目的達成が困難な場合、追加対策が発生し、結果的に費用が増大する可能性がある。
- 嫌気バイオ工法採用時は環境保全対策が必要

シナリオ3: 浄水置換・ENA・嫌気バイオ工法による段階工法

(1) 施工概要

- ① 要対策範囲全域に、注水・揚水井戸を配置し、浄水置換工法実施。
* 影響半径は35m、浄水置換1サイクルあたり1.5年と想定
- ② 注水は、上水または工業用水を使用、揚水は、適正処理後に下水放流することで水収支バランスを確保。
- ③ 上記工法で低濃度化した区域は、ENA工法でさらに範囲縮小化、低濃度化を目指す。
- ④ 浄化目標の達成が見込めない区域には、嫌気バイオ工法等を適用。

シナリオ3: 浄水置換・ENA・嫌気バイオ工法による段階工法

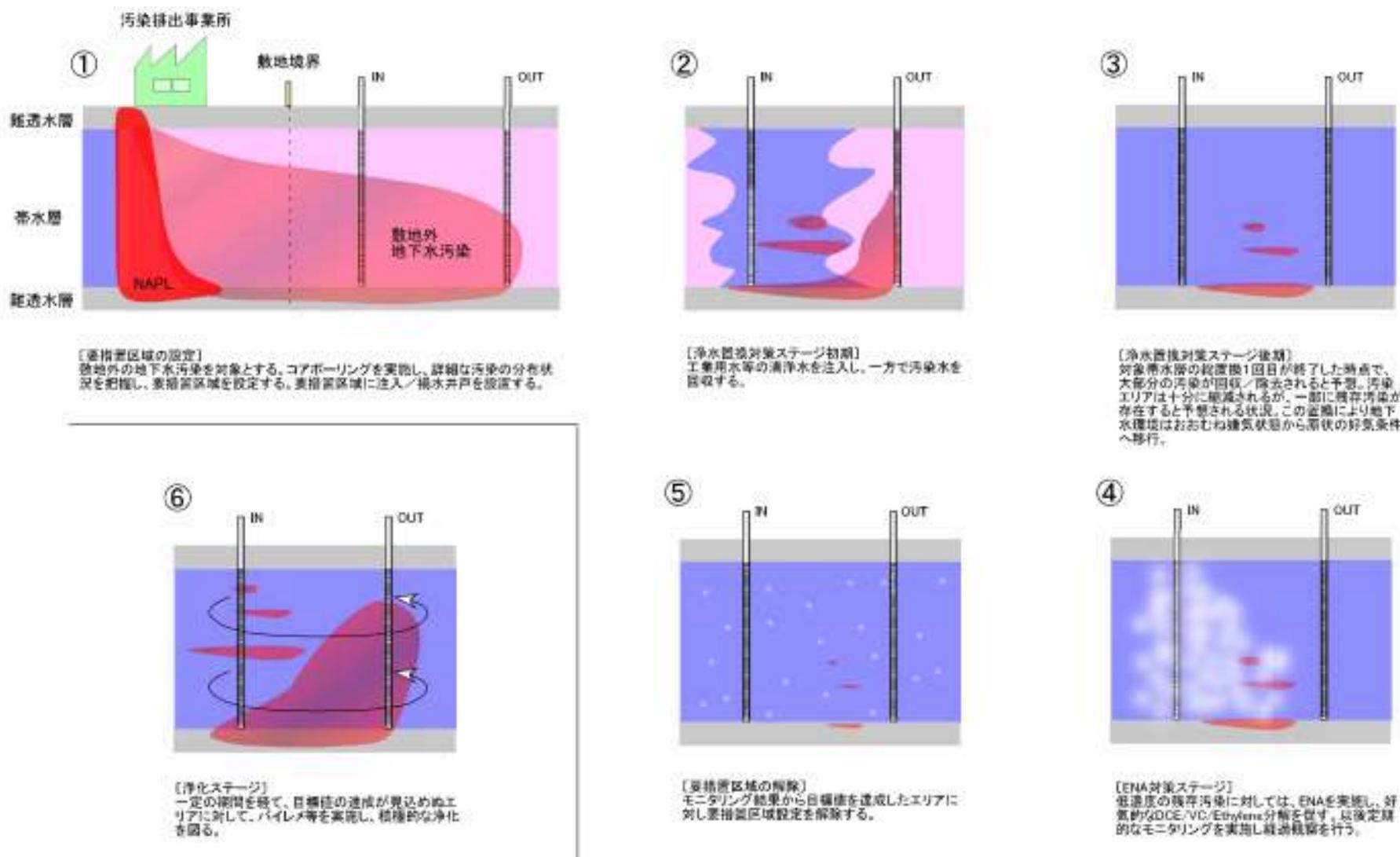


図-3.3.1 浄水置換工法・ENA工法の浄化対策イメージ図

シナリオ3: 浄水置換・ENA・嫌気バイオ工法による段階工法

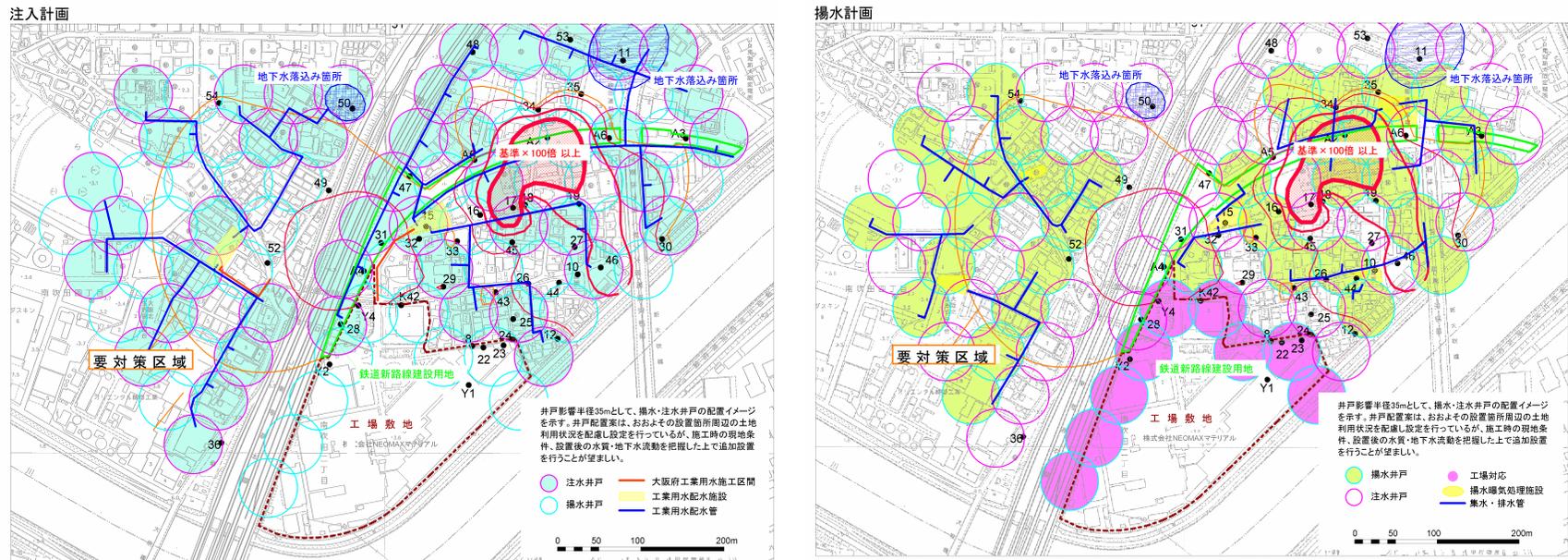


図-3.3.2 浄水置換工法の注水井戸・揚水井戸配置、配管イメージ図

<概算工事費>

浄水置換工法(ENA工法含む)	153,200m ²	15.0億円	
嫌気バイオ工法(高濃度区域)	5,000m ²	6.0億円	
MNA工法・環境保全		1.9億円	
実証試験、業務支援、詳細設計・測量等		1.1億円	合計 24.0億円

シナリオ3: 浄水置換・ENA・嫌気バイオ工法による段階工法

(2) 長所

- ・ 浄水置換対策のサイクル進行と共に、対策区域の縮小が期待され、以降の対策網・管理体制・監視体制が縮小される。
- ・ 嫌気バイオ工法の懸念事項（有害ガス等）を低減・解消することができるため、環境保全対策が容易。
- ・ 浄化目標の変更に対しても経済的な対策網が構築し易い。

(3) 短所

- ・ 浄水置換・ENA工法の適用可能性試験・実証試験による効果の確認が必要。
- ・ 注入・揚水による地下水挙動の管理・調整が複雑化する。
- ・ 浄水置換工法の配管・水処理施設等が複雑化するため、詳細設計・調整等に時間を要する。