

高濃度汚染対策後の汚染状況予測について（案）

1.A 地区高濃度汚染対策シミュレーション

1.1 目的

A 地区高濃度汚染対策シミュレーションは、2009 年 4 月より実施している高濃度汚染対策による効果の検証、並びに対策実施後の地下水汚染の挙動を予測するために実施した。

2007 年 6 月に公表した『茨城県神栖市における汚染メカニズム解明のための調査 地下水汚染シミュレーション等報告書』（以下「シミュレーション報告書」）では、A 井戸南東 90m で発見されたコンクリート様の塊から溶出したジフェニルアルシン酸（DPAA）を含む汚染地下水が、A 井戸周辺の汚染源になりうるかを検証するために「A 井戸詳細地下水汚染シミュレーション」を実施したが、同モデルでは、モデル範囲が小さく、高濃度汚染対策で実施している揚水井戸からの揚水状況をより精度よく再現するため、さらに大きなモデルを再構築して実施した。

1.2 公表した A 井戸詳細地下水汚染シミュレーション以後の解析の流れ

本シミュレーションは図 1.2.1 のフローに示す手順で行った。

高濃度汚染対策開始時点の汚染分布は、「シミュレーション等報告書」の A 井戸詳細汚染シミュレーションにおける 2009 年 4 月 29 日時点の 3 次元汚染分布を抽出し、A 地区高濃度汚染シミュレーションの初期値とした。2009 年 4 月 30 日以降については、新たに構築したモデルを用いて、2 年間の高濃度汚染対策、その後 1 年追加した対策、対策終了後の予測、対策を実施しなかった場合の計算を行った。

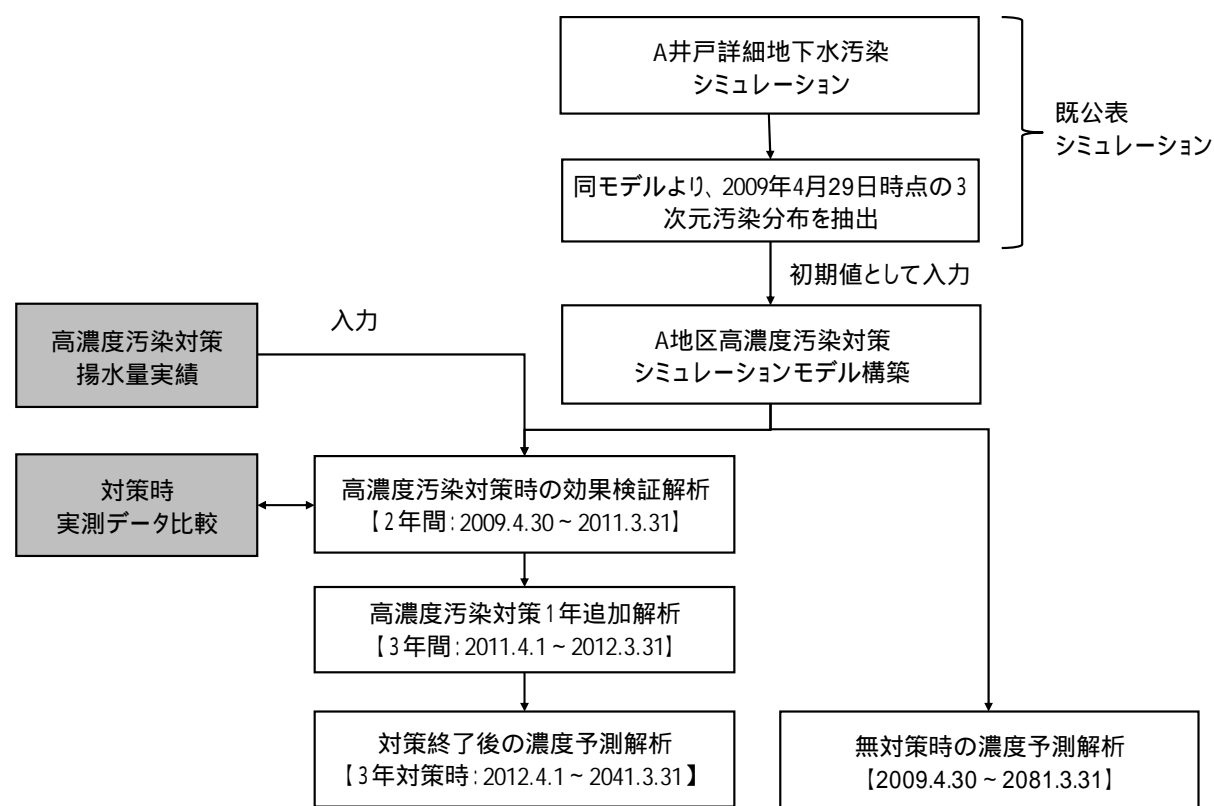


図 1.2.1 A 井戸詳細地下水汚染シミュレーション以後の解析の流れ

1.3 A 地区高濃度汚染対策シミュレーションモデル

1) 三次元地盤モデル

A 地区高濃度汚染対策シミュレーションモデルの範囲

A 地区高濃度汚染対策シミュレーションでは、モデル範囲が揚水に与える影響を避けるため、A 井戸を基準に南北方向にそれぞれ 150m（計 300m）、東西方向に 200m（計 400m）とした。

なおメッシュについて、掘削調査地点については、概ね 2m 間隔、対策を実施した A 井戸周辺部については概ね 2.5m 間隔とした。

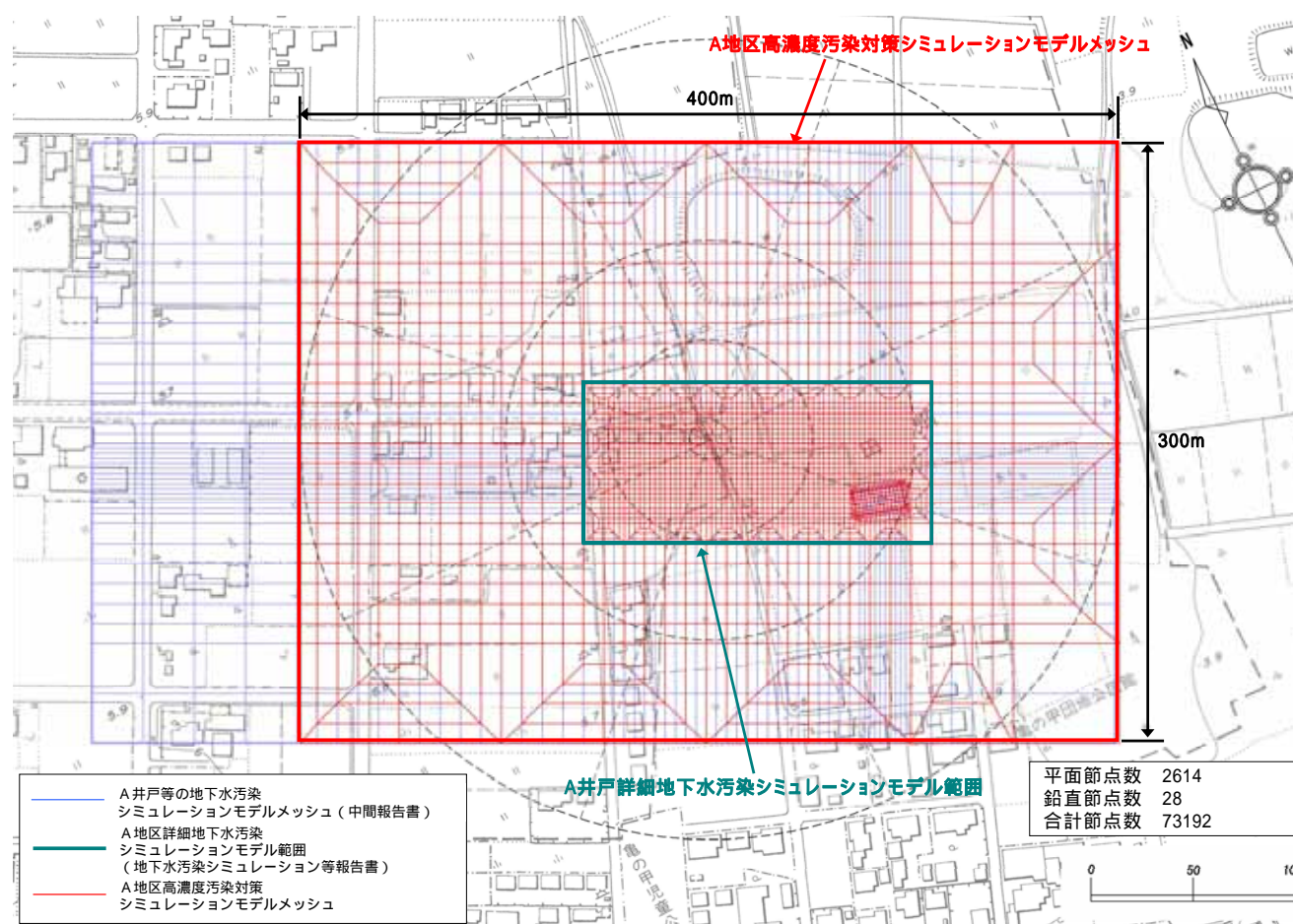
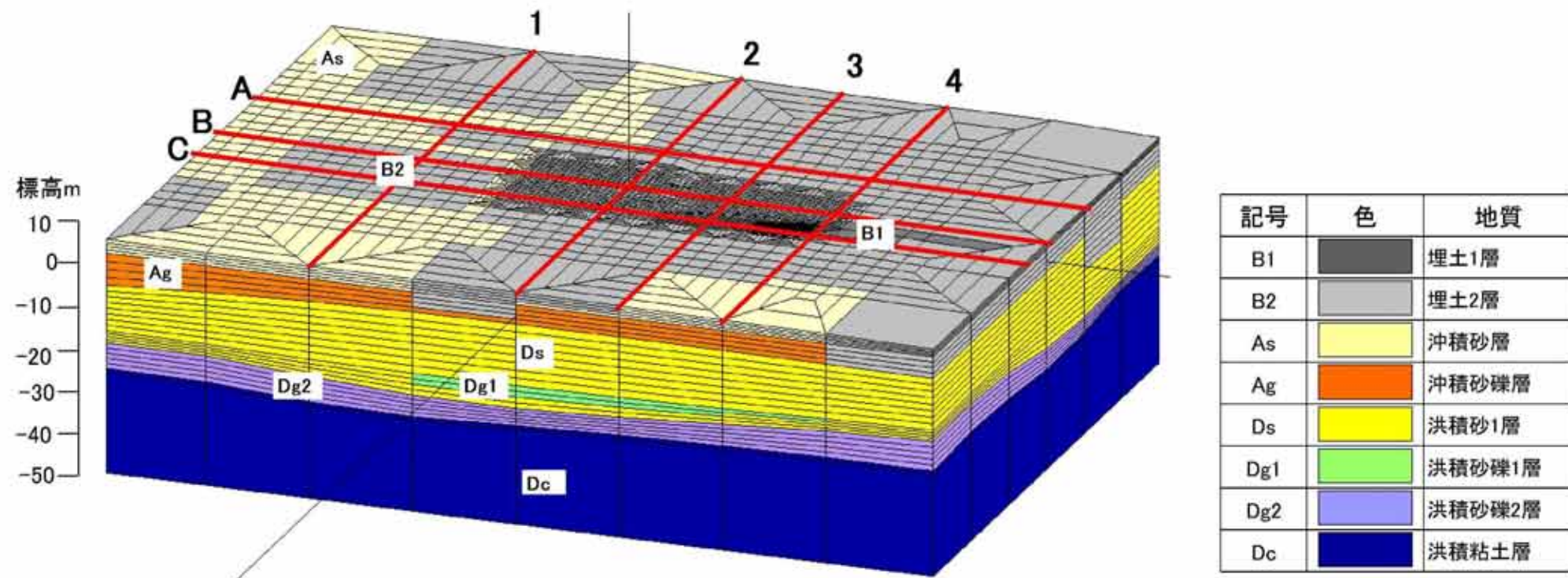


図 1.3.1 解析範囲図

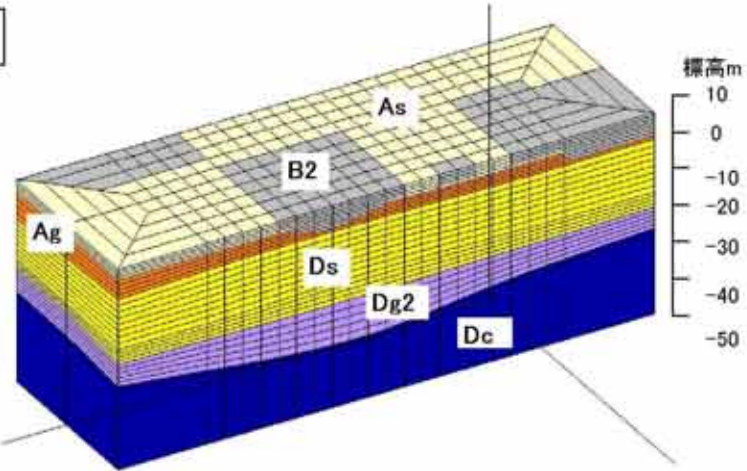
3 次元地質モデル

これまで得られたボーリングデータをもとに 3 次元の地質モデルを作成した（図 1.3.2、図 1.3.3）。なお、コンクリート様の塊が発見された掘削調査地点においては、深度 11m まで矢板が打設されているため、矢板もモデル化した。この矢板は高濃度汚染対策が終了する 2012 年 4 月以降は撤去されたとした。

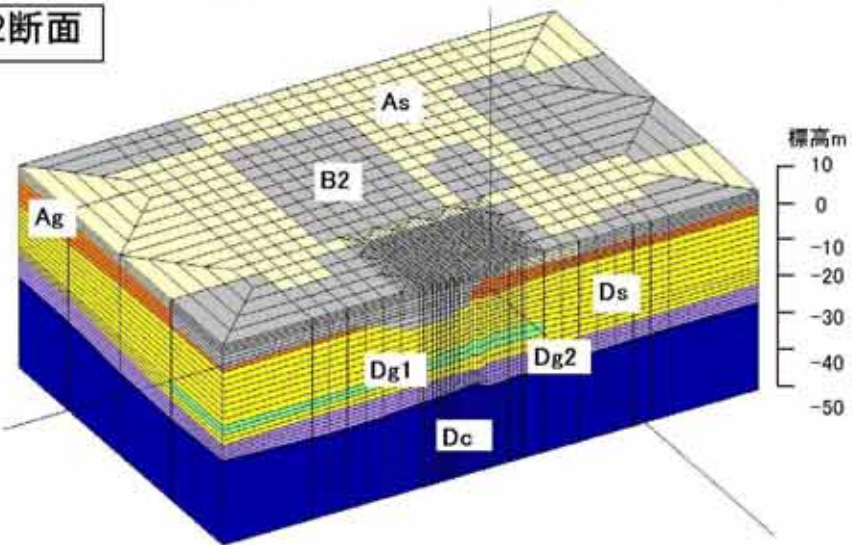
図1.3.2 A地区高濃度汚染対策シミュレーション3次元地質モデル図(1)



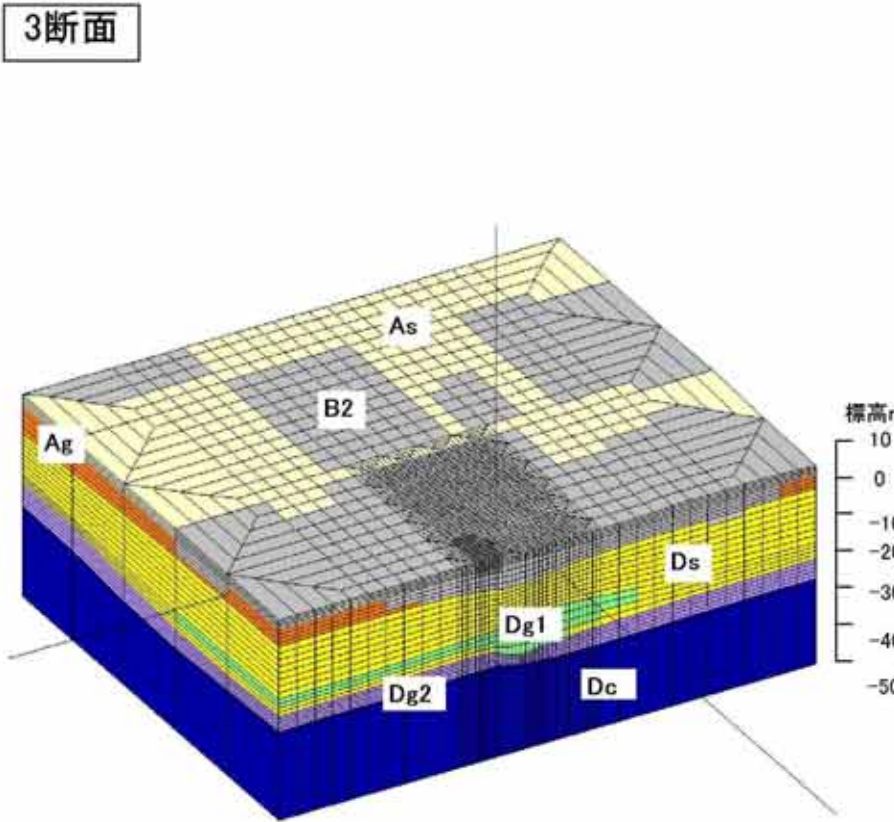
1断面



2断面



3断面



4断面

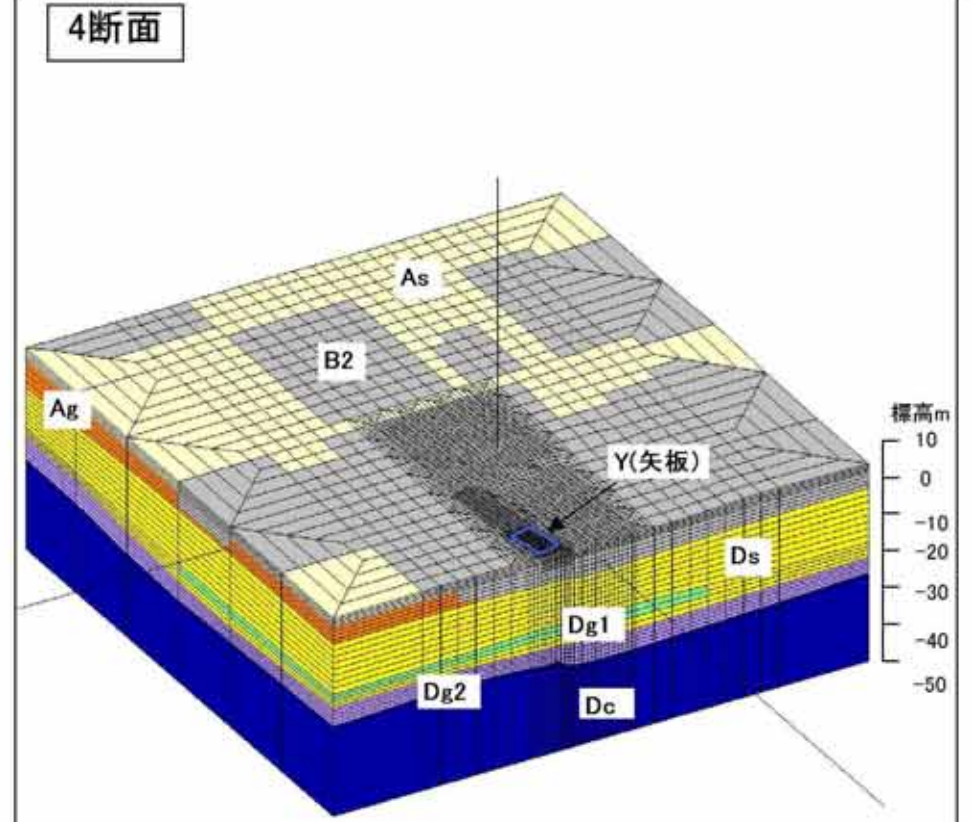
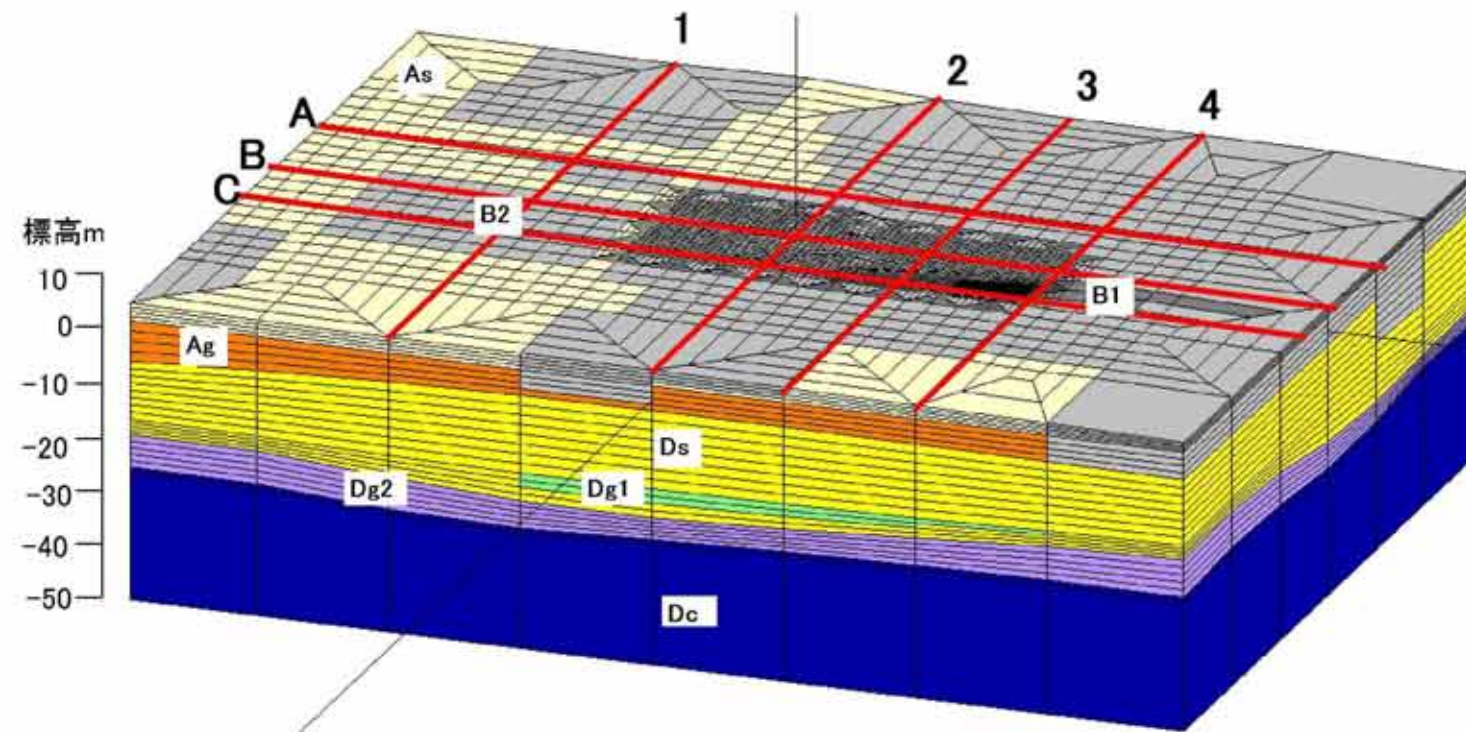
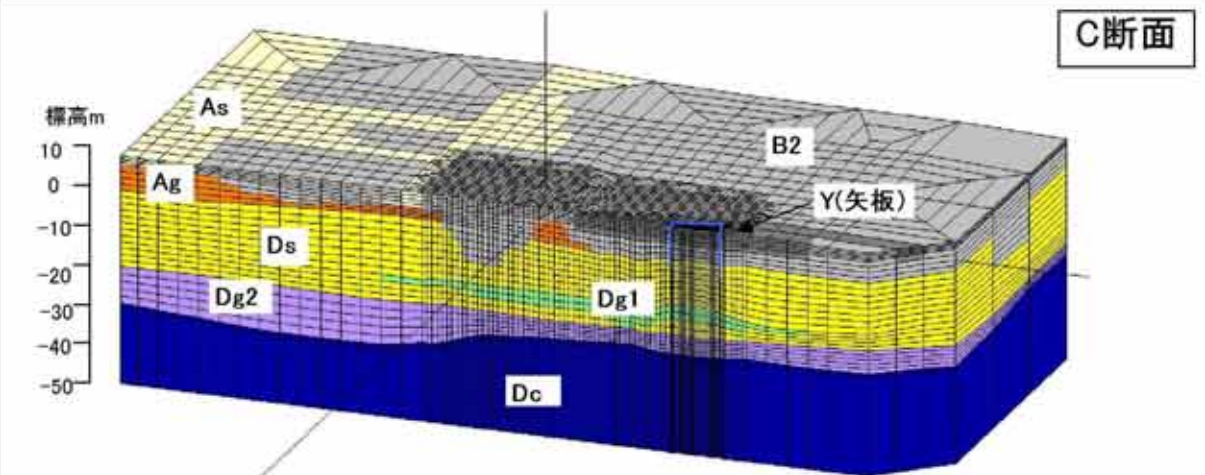
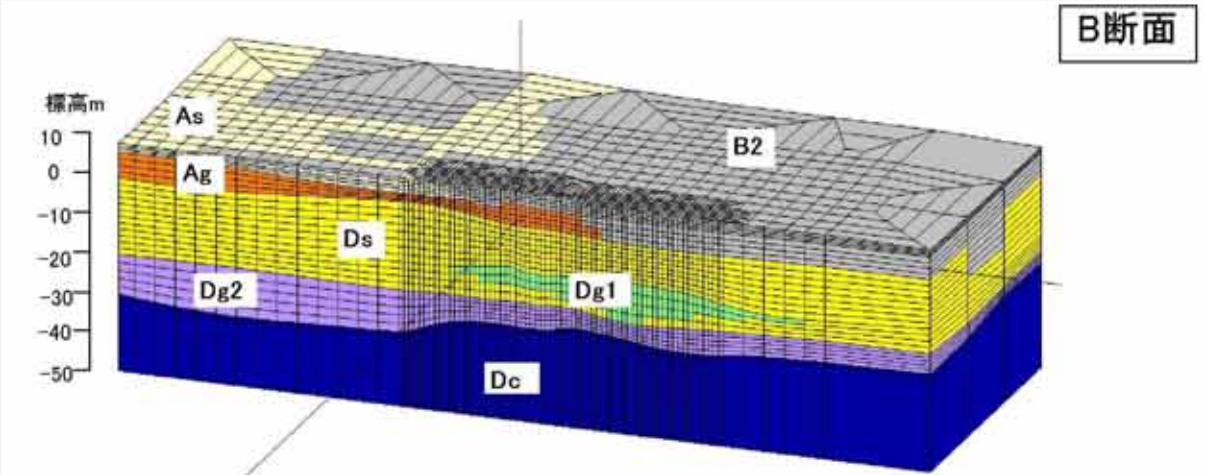
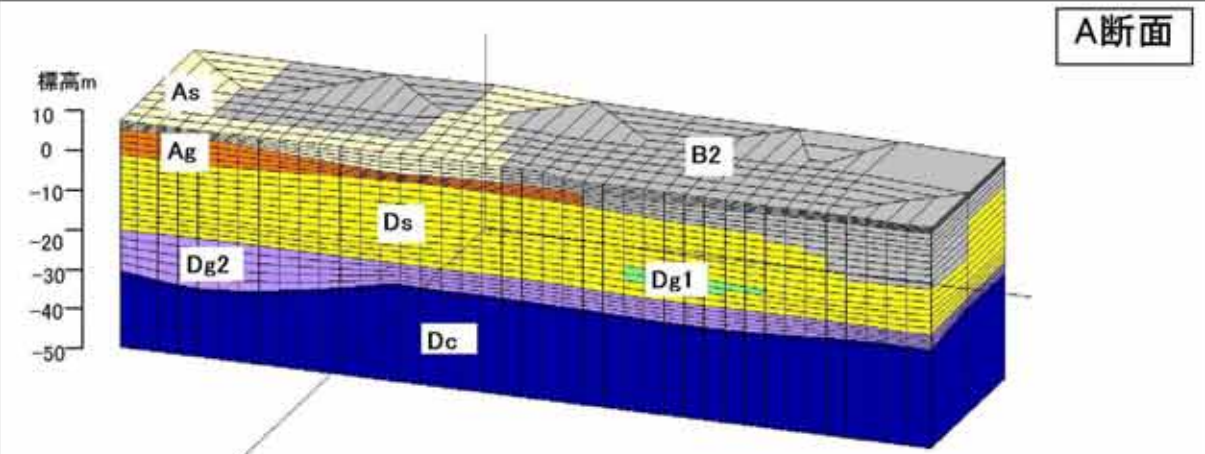


図1.3.3 A地区高濃度汚染対策シミュレーション3次元地質モデル図(2)



記号	色	地質
B1	■	埋土1層
B2	■	埋土2層
As	■	沖積砂層
Ag	■	沖積砂礫層
Ds	■	洪積砂1層
Dg1	■	洪積砂礫1層
Dg2	■	洪積砂礫2層
Dc	■	洪積粘土層



2) 水理定数

表 1.3.1 に水理定数一覧を、表 1.3.2 に移流分散定数一覧を示す。これらの値は、A 井戸詳細汚染シミュレーションと同値である。

矢板の透水係数については、総理府・厚生省『一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める命令の一部改正について（平成 10 年総理府・厚生省令第二号）』1998 より、遮水の効力を有する地層と同程度（層厚 50cm）の $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ とした。

表 1.3.1 入力水理物性値一覧

記号	地層名	透水係数 (cm/sec)			比貯留係数 (1/cm)	有効間隙率 (%)
		X	Y	Z		
Y	矢板	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	2×10^{-5}	20
B1	埋土 1 層	5×10^{-4}	5×10^{-4}	5×10^{-4}	2×10^{-5}	40
B2	埋土 2 層	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	2×10^{-5}	40
As	沖積砂層	5×10^{-3}	5×10^{-3}	5×10^{-3}	2×10^{-5}	30
Ag	沖積砂礫層	7×10^{-3}	7×10^{-3}	7×10^{-3}	1×10^{-6}	20
Ds1・2	洪積砂層	3×10^{-3}	3×10^{-3}	3×10^{-3}	4×10^{-5}	20
Dg1	洪積砂礫 1 層	5×10^{-3}	5×10^{-3}	5×10^{-3}	1×10^{-6}	20
Dg2	洪積砂礫 2 層	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	5×10^{-7}	20
Dc	洪積粘土層	1×10^{-6}	1×10^{-6}	1×10^{-6}	2×10^{-5}	20

表 1.3.2 移流分散物性値一覧

記号	地層名	分散長 (m)		分子拡散係数 (m^2/s)	屈曲率	遅延係数	減衰係数
		縦	横				
Y	矢板	1	0.01	1×10^{-9}	1.0	1.0	0.0
B1	埋土 1 層	1	0.01	1×10^{-9}	1.0	1.0	0.0
B2	埋土 2 層	1	0.01	1×10^{-9}	1.0	1.0	0.0
As	沖積砂層	1	0.01	1×10^{-9}	1.0	1.0	0.0
Ag	沖積砂礫層	1	0.01	1×10^{-9}	1.0	1.0	0.0
Ds1・2	洪積砂層	1	0.01	1×10^{-9}	1.0	1.0	0.0
Dg1	洪積砂礫 1 層	1	0.01	1×10^{-9}	1.0	1.0	0.0
Dg2	洪積砂礫 2 層	1	0.01	1×10^{-9}	1.0	1.0	0.0
Dc	洪積粘土層	1	0.01	1×10^{-9}	1.0	1.0	0.0

1.4 高濃度汚染対策 2 年（2009 年 4 月～2011 年 3 月）の効果検証解析

1.4.1 解析条件

1) 解析プログラム

3次元飽和不飽和移流分散解析プログラム (Dtransu-3D・EL)

2) 解析領域界の境界条件

水位固定境界：2004 年 8 月～2009 年 3 月の期間中の平均的な水位として、2005 年 6 月の地下水位を参考に設定した（図 1.4.2）。

※A 井戸北側の砂利採取場の水位条件について

地下水流動の再現の中で、A 井戸北側の砂利採取場の影響を考慮するため、水位固定条件として、解析に反映させた。解析では周辺よりも 9cm 低く設定した。これを揚水量として簡易に計算すると、

流量＝透水係数×動水勾配×面積

で与えられ、 $0.864 \text{m/day} \times 0.09 \text{m} \times 3000 \text{m}^2 = 233 \text{m}^3$ となる。

これを、毎分流量に換算すると、162L/min 程度となる。実際の砂利採取場（現在は砂利洗浄場）に設置されている機械等から判断すると妥当な値と考えられる。

3) 揚水量・注水量の設定

掘削調査地点外

表 1.4.1 に掘削調査地点外に設けた B-1 井戸、F-15 井戸、C-1 井戸の各揚水量設定を示す。表中の値は実際の揚水量である。

表 1.4.1 B-1 井戸、F-15 井戸、C-1 井戸の揚水量設定（単位：m³/日）

		B-1	F-15	C-1
2009	4/30～5/1	25	15	0
	5/7～8	50	30	0
	5/11～5/15	50	30	0
	5/18～22	50	30	0
	5/25～27	50	30	0
	5/28～7/12	150	90	0
	7/13～11/15	160	90	0
2010	11/16～2010/1/25	160	100	0
	1/26～3/14	160	105	0
	3/15～4/11	160	100	0
	4/12～5/31	160	105	0
	6/1～8/1	75	105	75
	8/2～10/10	0	105	150
	10/11～2011/3/31	0	105	110

掘削調査地点内

表 1.4.2 に掘削調査地点内の揚水井戸の揚水量、注水量の設定値を示す。なお、東日本大震災（2011年3月11日）以後、高濃度汚染対策においては、揚水を停止したが、本シミュレーションでは引き続き、揚水を行った条件とした。注水については、表 1.4.2 の数値を矢板範囲内の GL-約 2.1m の全面に設定した。

表 1.4.2 掘削調査地点内の揚水量・注水量設定

		F-6	F-22	F-1	F-5	F-19	F-10	注水
2009	4/30	2.2	0.8	0.8	2.2	0	0	2
	5/1	2.6	0.8	0.8	2.6	0	0	4
	5/7~8	5	1.6	1.6	5	0	0	10
	5/11~5/15	5	1.6	1.6	5	0	0	10
	5/18	5	1.6	1.6	5	0	0	10
	5/19~20	5	1.6	1.6	5	0	0	7
	5/26	0.6	0.2	0.3	0.6	0	0	0
	6/1~14	15	5	5	15	0	0	30
	6/15~30	15	5	15	15	0	0	30
	7/1~5	15	5	15	15	0	0	45
	7/6~8/2	16	11	16	16	0	0	45
	8/3~9/1	16	11	16	16	0	0	50
	9/2~6	16	11	16	16	0	0	45
	9/7~11/15	16	11	10	16	0	0	45
11/16~29	16	11	5	16	0	0	45	
12/1~12/29	16	11	5	16	0	0	40	
12/30~2010/1/31	16	11	3	16	0	0	35	
2010	2/1~2/28	16	0	2	16	0	0	30
	3/1~14	16	0	1	16	0	0	30
	3/15~21	16	0	1	16	15	0	30
	3/22~30	16	0	1	16	15	0	35
	3/31~4/11	16	0	1	16	15	0	0
	4/12~8/1	16	0	0	16	15	0	0
	8/2~10/10	16	0	0	16	15	10	0
	10/11~2011/3/31	30	0	0	16	30	20	0

※1 予備運転期間（2009年4月30日～2009年5月31日）は上記記載日のみ、揚水井戸稼働。

※2 2009年6月1日～2010年4月1日は週5日稼働とした。

※3 2010年4月2日～2011年3月31日は週6日稼働とした。

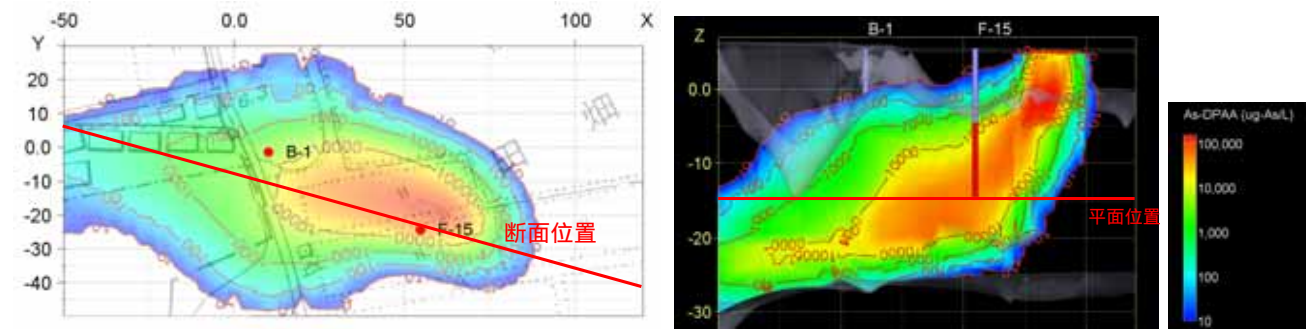
4) 降雨浸透条件

降雨は、神栖市役所での降雨観測データ約 3.5mm/日（1993年10月～2009年3月）を基に、ソーンズウェイト式による可能蒸発散量を差し引き有効雨量の 50%が浸透するとしたときの平均的な値として 1.0 mm/日を用いた。

5) 汚染濃度

「シミュレーション等報告書」における A 井戸詳細地下水シミュレーションの予測解析結果より算出した、2009年4月29日時点の DPAA の汚染分布、およびその濃度を現状再現解析の初期濃度として入力した（図 1.4.1）。

なお、上記の初期濃度からは、シミュレーション開始時点で A 地区に残存する DPAA 量は 161.26kg と計算される。



汚染濃度コンター（平面：GL - 20m）

汚染濃度コンター（断面）

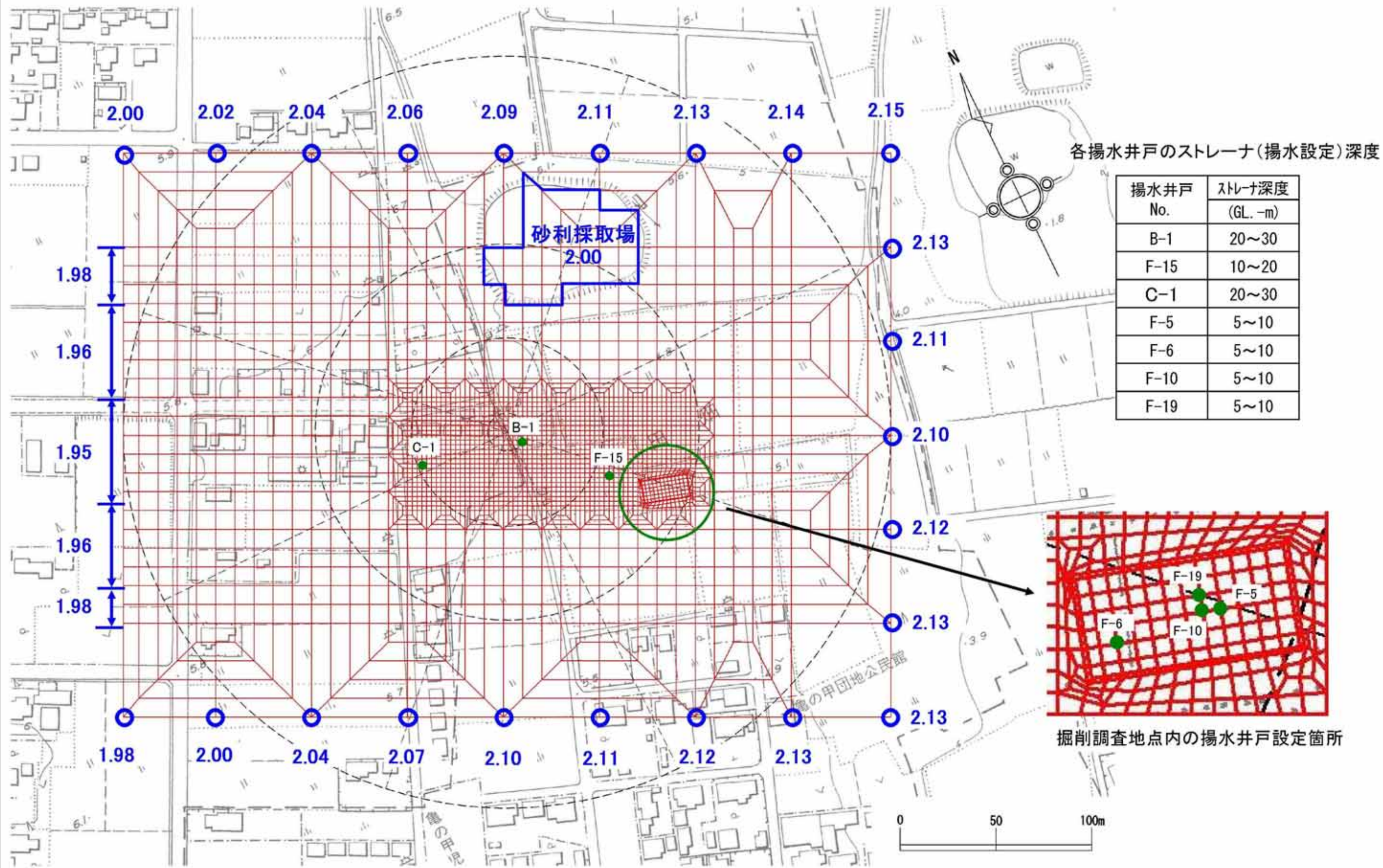
図 1.4.1 設定したシミュレーション開始時点の汚染分布（2009年4月29日時点）

6) 計算条件

解析期間：2009年4月30日～2011年3月31日

計算ステップ：5日

図1.4.2 A地区高濃度汚染対策シミュレーション 境界水位 (m) と揚水井戸配置位置



1.4.2 結果

1) 解析結果および実測値との比較

図 1.4.4 に 2 年間の高濃度汚染対策の再現結果を示す。高濃度汚染対策前、掘削調査地点から B-1 井戸下流にかけては、広く 10mg-As/L を超える汚染が分布しているが、対策開始 2 ヶ月後に 10mg-As/L を超える汚染範囲は半分になり、1 年後にはさらに小さくなり、2 年後にはその範囲は消滅する。しかし、対策によって、汚染が完全に除去されるわけではなく、2 年後においても 1mg-As/L を超える汚染は、F-15 井戸と B-1 井戸の間、深度 15m 付近を中心に残存することが示された。

図 1.4.3 は、各揚水井戸におけるシミュレーション結果と実測値の比較である。図では左が濃度軸を対数表示にしたもので、右が濃度軸を真数表示で最大値を 5mg-As/L としたものである。

F-15 井戸では、対策後半においてシミュレーション値が実測値よりもやや早く濃度低下するものの、B-1 井戸はシミュレーション値と実測値との整合性がよいことが示された。

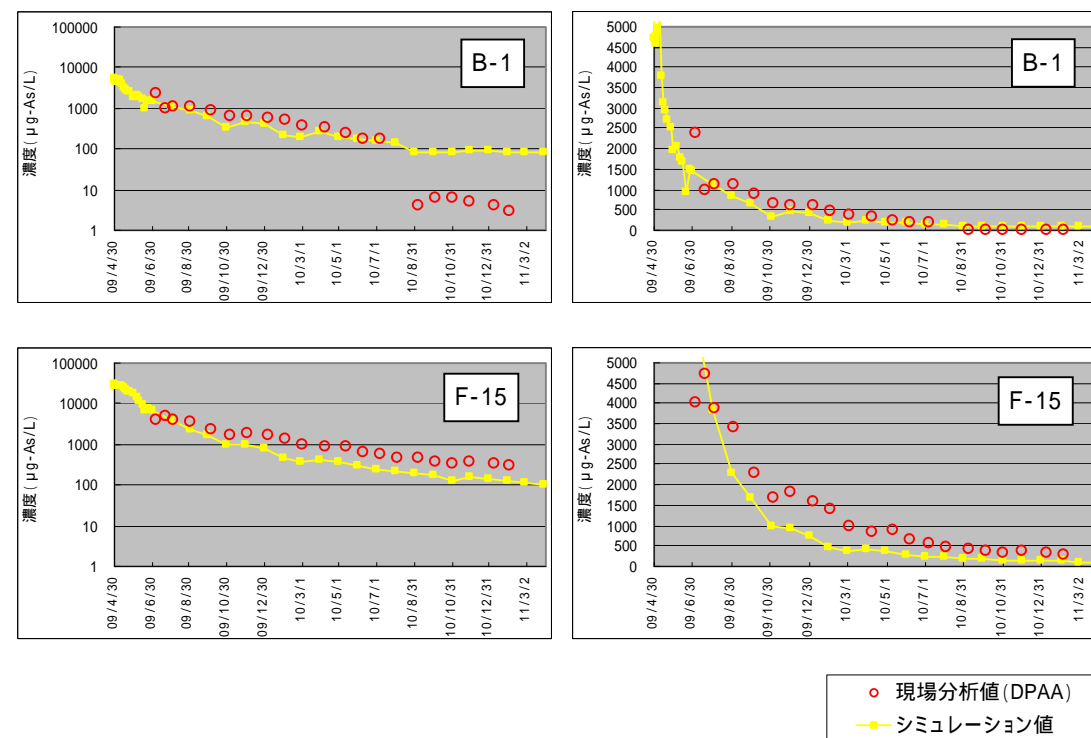


図 1.4.3 シミュレーション結果と実測値 (B-1 井戸、F-15 井戸の濃度推移)

2) 有機ヒ素除去率の検証

高濃度汚染対策前 (2009 年 4 月 29 日時点) に A 井戸周辺に残存していた有機ヒ素量は、A 井戸等詳細地下水汚染シミュレーションより、161.26kg である。

同時期を初期値として、シミュレーションを用いて高濃度汚染対策の状況を再現すると、2011 年 3 月 31 日時点、高濃度汚染対策による有機ヒ素除去量は 131.89kg となる。

他方、高濃度汚染対策における実測除去量は、2011 年 3 月 31 日時点で 144.68kg と算出される。シミュレーションとの差は 12.79kg となった。

シミュレーションによる除去量は実測除去量よりも少ないが、シミュレーションのもつ不確実性を踏まえると、両者はある程度整合していると判断され、シミュレーションが、実現場の状況を精度良く再現していると考えられることから、対策前に残存していた有機ヒ素量も概ね妥当性のある数値と判断される。

ここで、対策前に残存していた有機ヒ素量を約 160kg とすると、対策によるヒ素除去率はシミュレーションでは 82.4%、実対策では 90.4%となる。

表 1.4.3 シミュレーションと実測から算出される対策における有機ヒ素除去率

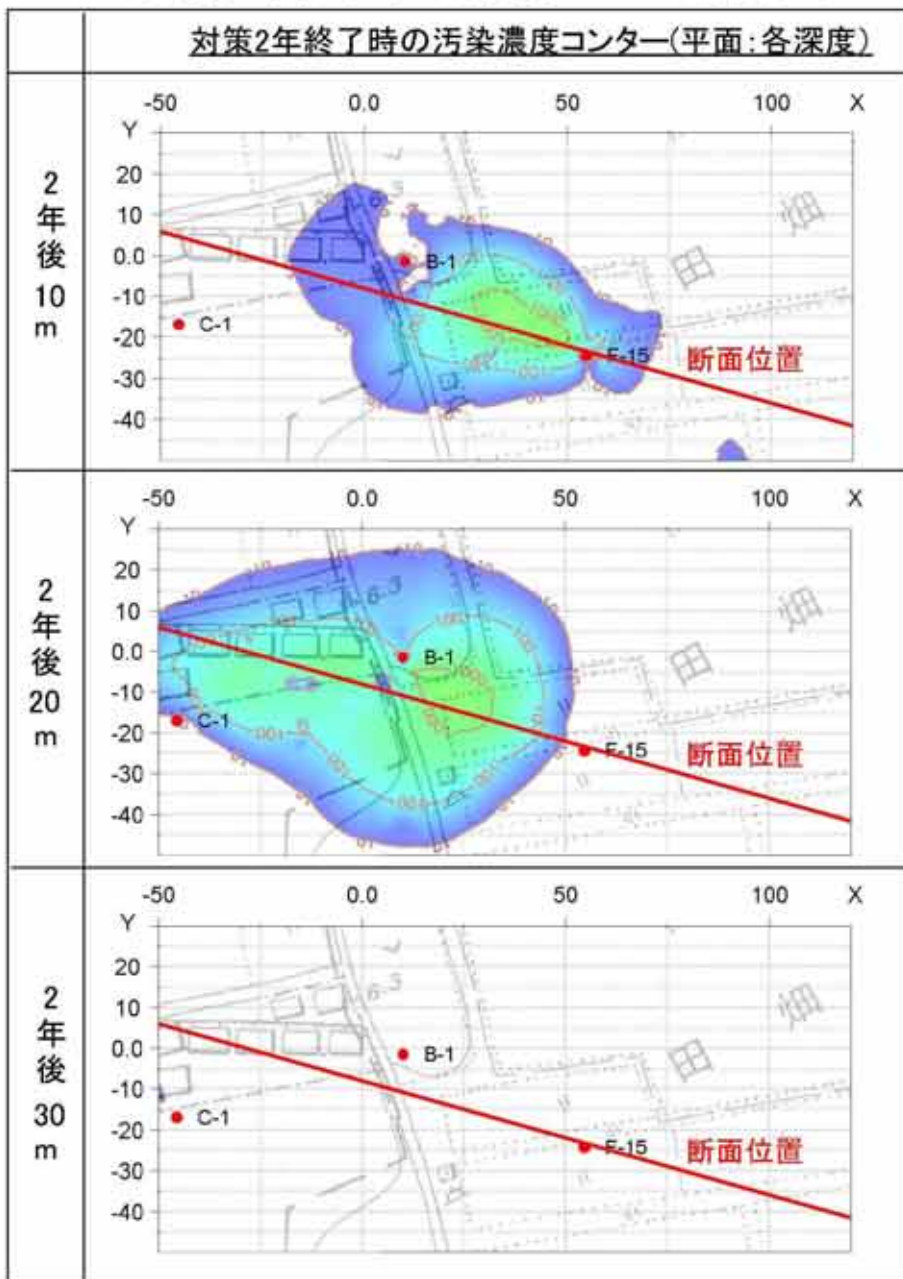
算出方法	区分	有機ヒ素量 (kg)	割合 (対、対策前有機ヒ素量) (%)
シミュレーション	対策前有機ヒ素量	約 160	
	除去した有機ヒ素量	131.89	82.4
実測	除去した有機ヒ素量	144.68	90.4
シミュレーションと実測における除去した有機ヒ素量の差		12.79	

図1.4.4 現況再現シミュレーション結果

解析条件	
項目	内容
対策前汚染分布	○A井戸詳細地下水汚染シミュレーションにおける2009年5月1日時点 A井戸詳細地下水汚染シミュレーション（地下水汚染シミュレーション等 報告書）の予測解析の結果から2009年5月1日時点の汚染分布状況を初期濃 度とする。
揚水井戸	○現時点までの対策状況と対策計画を反映 2010年11月末時点の対策状況と対策計画を反映
期間	○2009年4月30日～2011年3月31日 予備運転期間（2009年4月30日～5月31日）、および本格運転期間（2009年6 月1日～2011年3月31日）

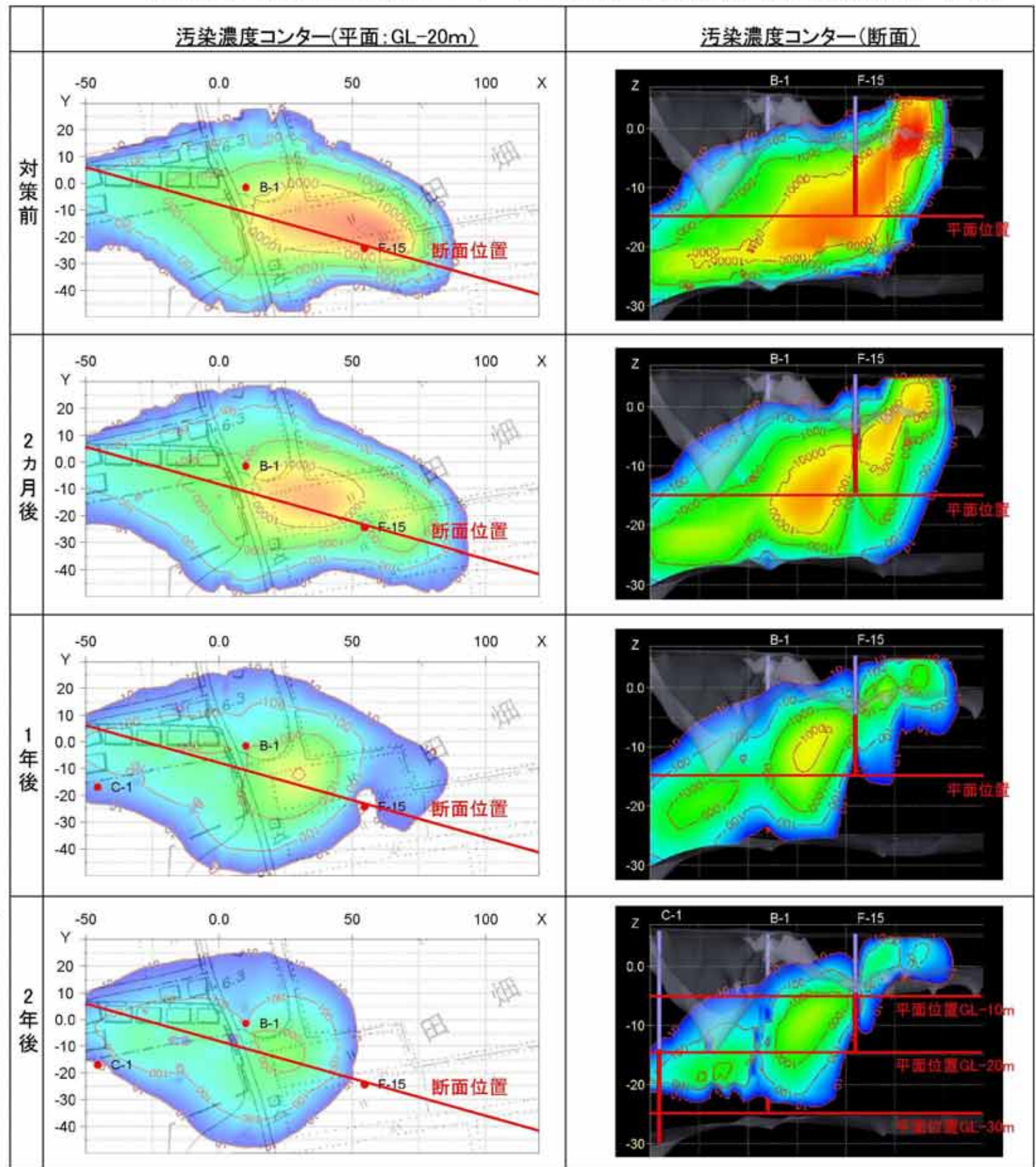
シミュレーション結果

○対策2年終了時の深度毎のDPAA濃度分布



シミュレーション結果

○各時期における汚染濃度コンター(平面、断面) ※揚水井戸の赤い区間はストレーナ区間



1.5 予測解析

1.5.1 解析条件

予測解析では、2011年4月以降2012年3月までの追加の高濃度汚染対策の状況を踏まえた上での将来予測と、高濃度汚染対策を実施しなかった場合の将来予測を行った。

- ① 3年対策：追加の高濃度汚染対策の解析を実施し、その後対策終了後の濃度予測解析を実施
- ② 無対策：無対策時の濃度予測解析を実施

1) 解析プログラム

3次元飽和不飽和移流分散解析プログラム (Dtransu-3D・EL)

2) 解析領域界の境界条件

前掲の図 1.4.1 と同値。

3) 高濃度汚染対策3年目の揚水量

追加の高濃度汚染対策 (2011年4月～2012年3月) の揚水量は表 1.5.1 に示した。3年対策終了後以降 (2012年4月以降)、および「無対策」については、揚水は行わないものとした。

なお、実現場においては、2011年度以降掘削調査地点を主体とした対策を行っているが、A地区高濃度汚染対策シミュレーションによる2年対策終了時においては、掘削調査地点付近のDPAA濃度が低く、掘削調査地点とB-1井戸の中間部に汚染が残存することから、より効率的な揚水条件となるよう、B-1井戸、F-15井戸、C-1井戸の揚水量の割合を多くすることとした (表 1.5.1)。稼動日数は、2010年度と同様、週6日稼動とした。

表 1.5.1 予測シミュレーションにおける各井戸の揚水条件

	揚水量 (m ³ /日)
C-1	75
B-1	75
F-15	105
F-5	15
F-6	15
F-10	10
F-19	15
揚水量合計	310

4) 降雨浸透条件

「1.4. 高濃度汚染対策2年 (2009年4月～2011年3月) の効果検証解析」と同様とした。

5) 初期汚染濃度

3年対策：2011年3月31日 (A地区高濃度汚染対策シミュレーションによる2年対策終了時点の3次元汚染分布を抽出した)

無対策：2009年4月29日 (シミュレーション報告書におけるA井戸詳細汚染シミュレーションによる3次元汚染分布を抽出した)

6) 計算条件

解析期間

- ・ 3年対策：2011年4月1日～2041年3月31日
2011年4月1日～2012年3月31日：追加の高濃度汚染対策実施、
2012年4月1日～2041年3月31日：対策なし
- ・ 無対策：2009年4月30日～2081年3月31日

計算ステップ

- ・ 3年対策：10日
- ・ 無対策：2009年4月30日～2011年3月31日：5日
2011年4月1日～2081年3月31日：3ヶ月

1.5.2 結果

1) A地区が地下水環境基準以下になる時期

無対策の場合、A地区が地下水環境基準以下(0.01mg/L)となるのは2062年(2012年4月を起点とした場合50年後)と予測された。一方で、3年対策の場合は2034年(同22年後)と予測された。

地下水環境基準以下になるまでの年数は、無対策と比較すると、3年対策では28年(=50-22)間早くなり、年数が約半減すると予測される。

表 1.5.2 A地区が地下水環境基準以下になる時期

	地下水環境基準以下(0.01mg/L)となる年
無対策	2062年(2012年4月を起点とした場合50年後)
3年対策	2034年(同22年後)

なお、シミュレーション等報告書では、無対策時にA地区が地下水環境基準以下になるのを概ね60年後(2067年)と予測している。一方で今回新たに実施したA地区高濃度汚染対策シミュレーションでは2062年となっており、約5年短縮されたことになる。この原因は、当時予測を10年単位での表示(50年から60年の間で地下水環境基準以下になる)としたが、今回の無対策時のシミュレーション結果では、5年単位での表示にしたことによるものである。

2) 3年対策と無対策における汚染分布の比較

図 1.5.1 に「無対策」の予測結果として、汚染濃度コンター(平面:GL-20m および断面)を示す。図 1.5.2 に「3年対策」の予測結果として、汚染濃度コンター(平面:GL-20m および断面)を示す。図 1.5.3 には、「無対策」および「3年対策」の予測結果として、各地点における最大濃度コンターを示す。

「3年対策」と「無対策」では、特に高濃度汚染分布に大きな違いがあり、「無対策」では2011年4月時点で、10mg-As/Lを越えるものが存在するが、「3年対策」では、10mg-As/L以上のものは2011年4月時点で残存しない。

また、1mg-As/L以上の汚染についても、「無対策」では、2037年(25年後)まで存在するのに対し、「3年対策」では、2015年(3年後)を最後に無くなっており、これらの予測シミュレーションでは、対策を実施したことで、DPAA濃度の大幅な低下が生じる結果となっている。

図1.5.1 A地区高濃度汚染対策シミュレーションによる無対策時の濃度推移予測結果①

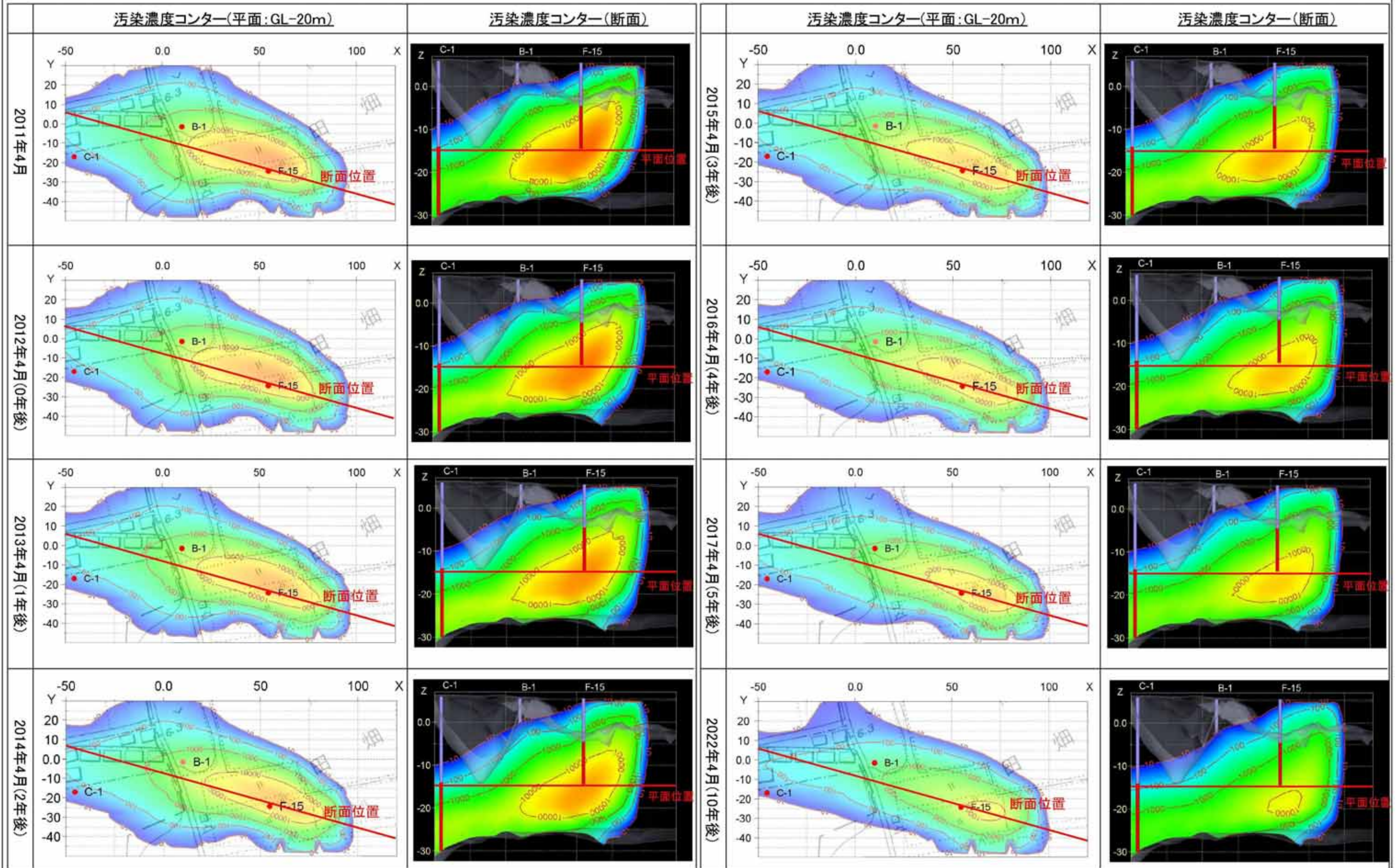


図1.5.1 A地区高濃度汚染対策シミュレーションによる無対策時の濃度推移予測結果②

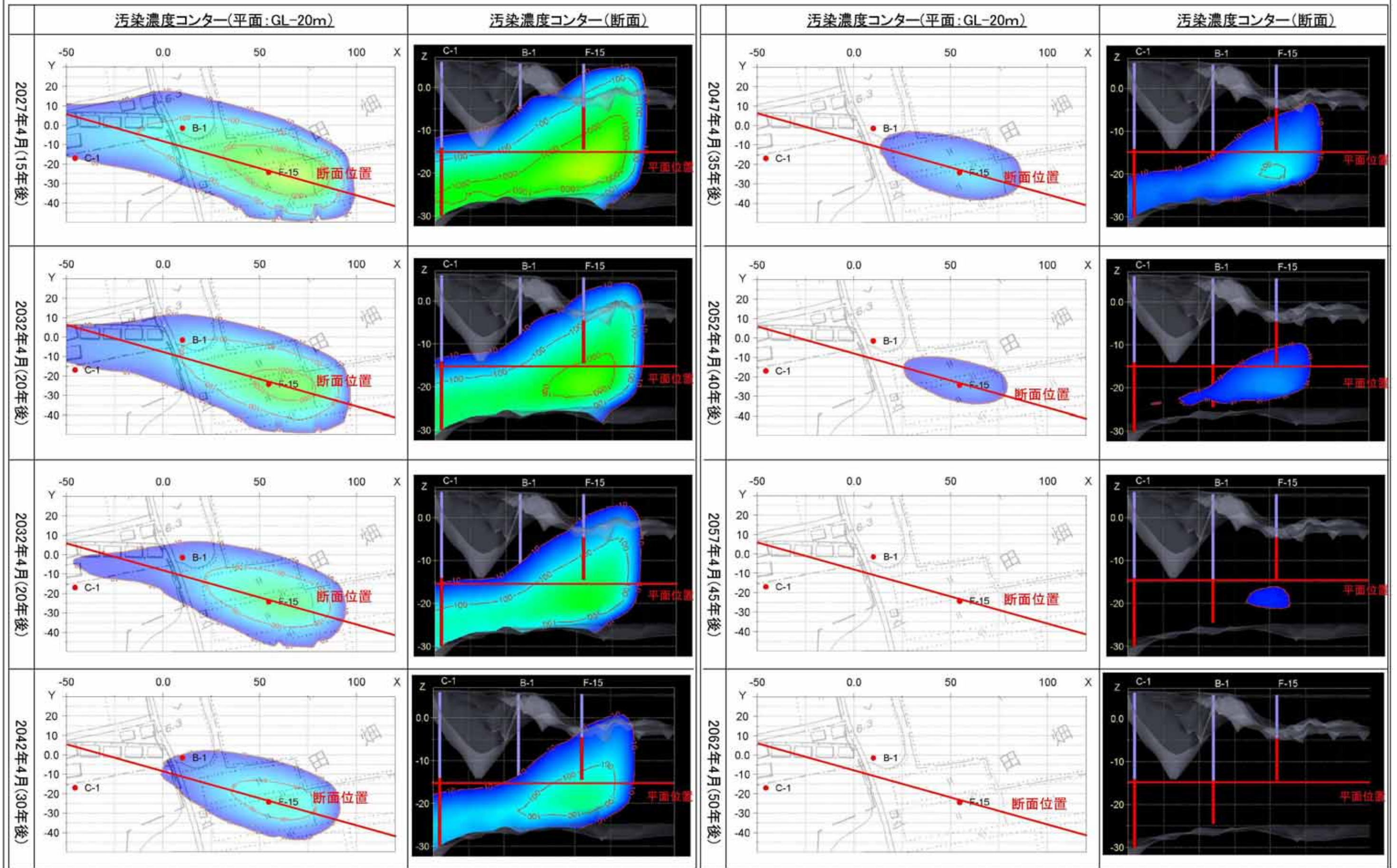


図1.5.2 A地区高濃度汚染対策シミュレーションによる3年対策時の濃度推移予測結果①

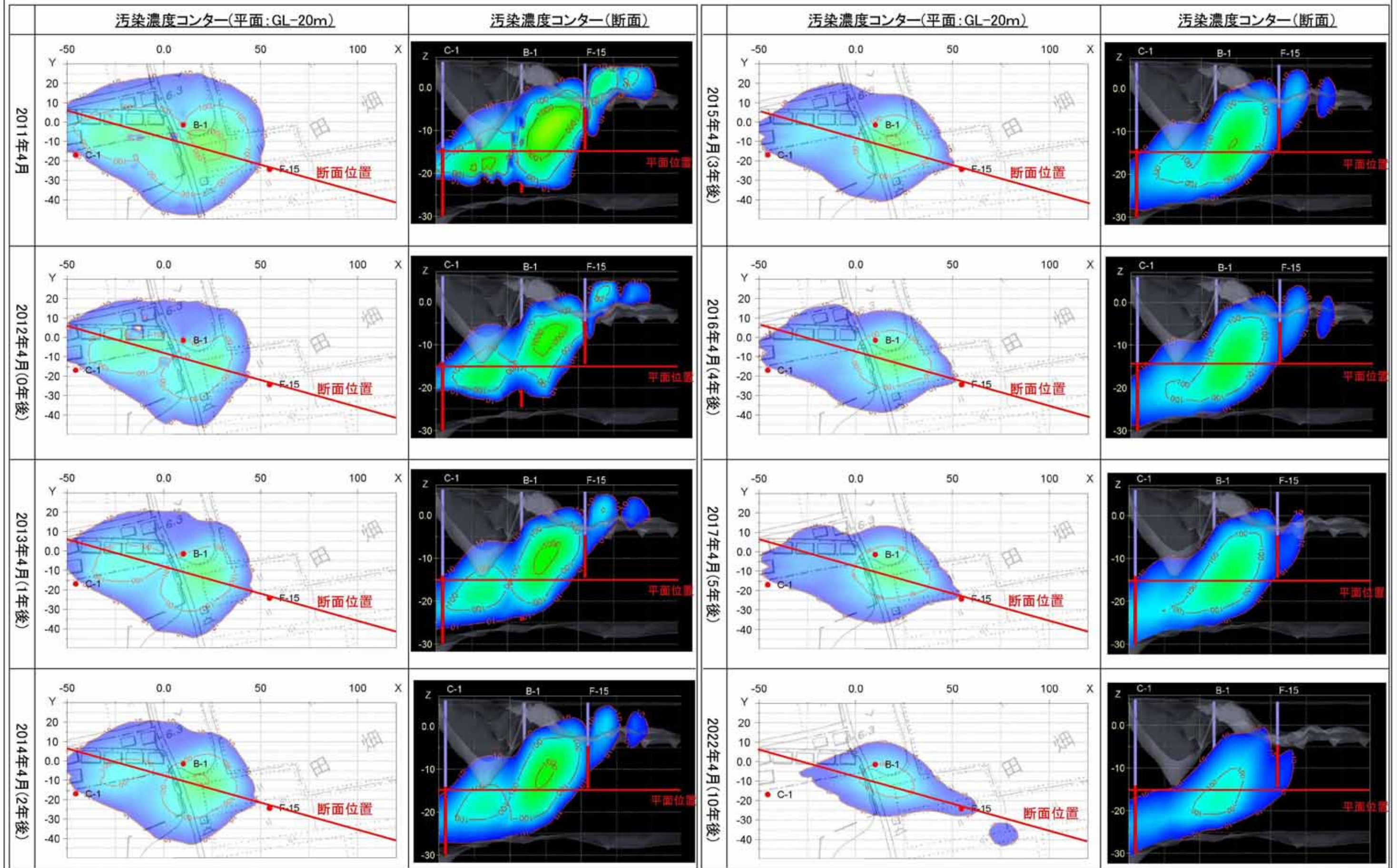


図1.5.2 A地区高濃度汚染対策シミュレーションによる3年対策時の濃度推移予測結果②

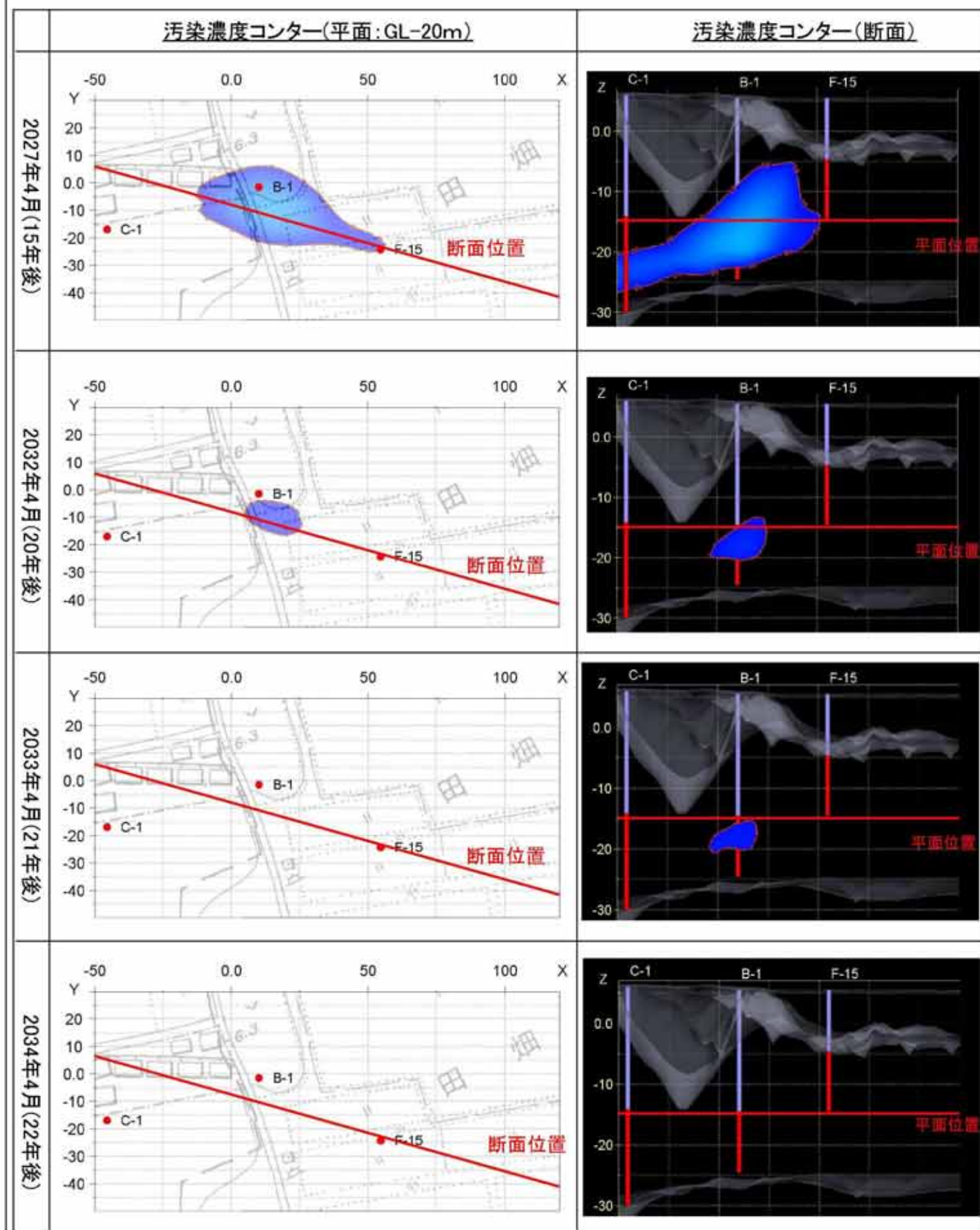


図1.5.3 A地区高濃度汚染対策シミュレーションによる対策年数ごとの平面有機ヒ素分布（全深度の最大値表示）①

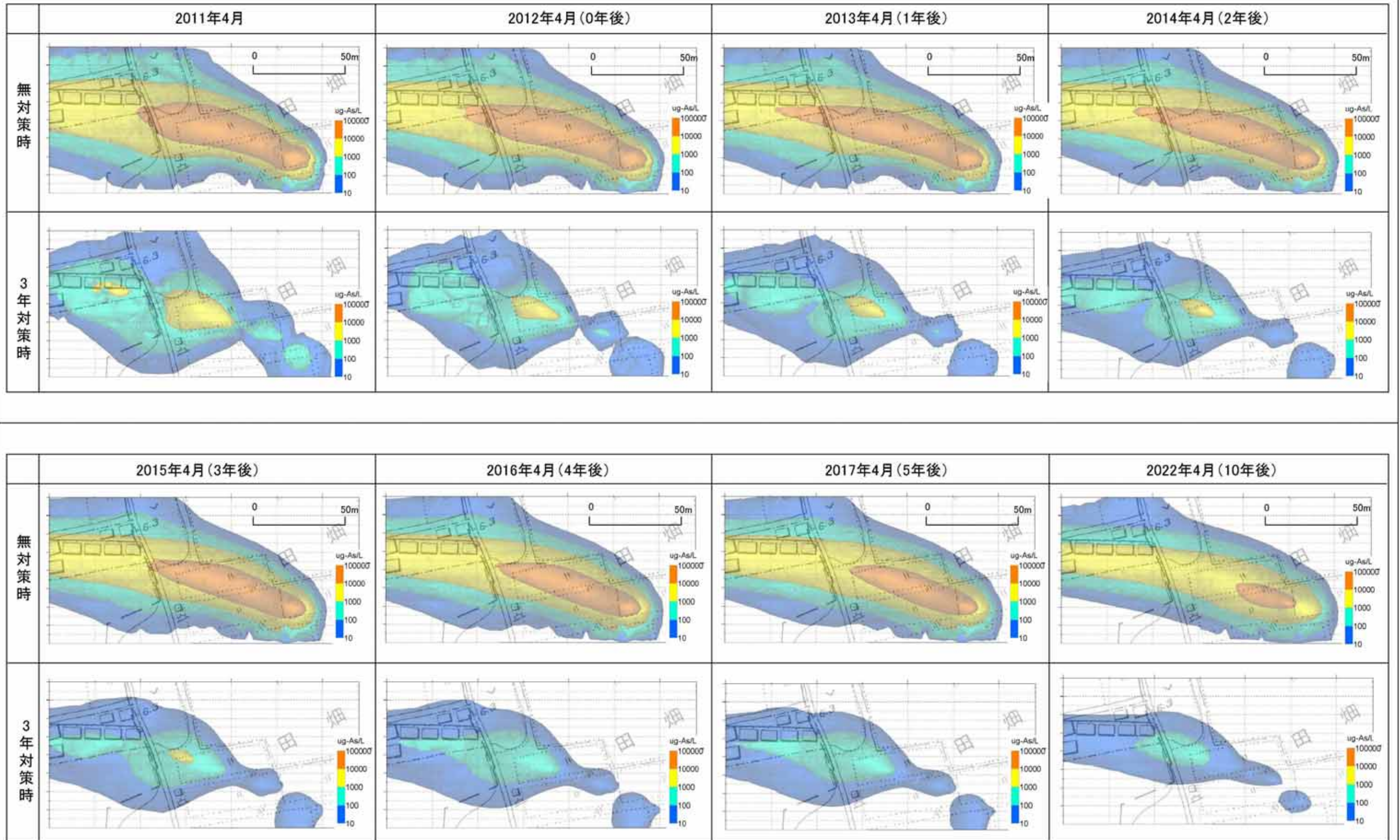


図1.5.3 A地区高濃度汚染対策シミュレーションによる対策年数ごとの平面有機ヒ素分布（全深度の最大値表示）②

