

3.3 移流分散特性

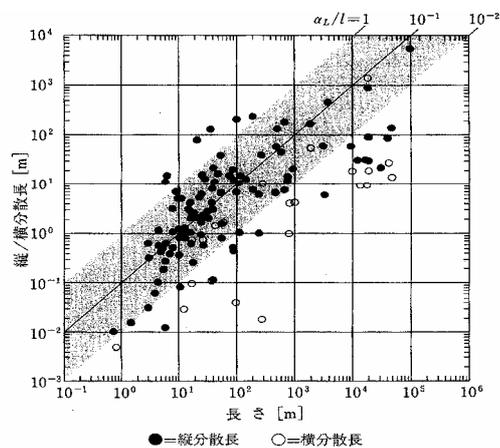
解析に必要な移流分散に係る物性については、表 3.3.1 のように設定した。

表 3.3.1 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				
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

『汚染メカニズム中間報告書』と同様、本解析においても、汚染物質の吸脱着に伴う遅延、化学反応や微生物分解等により起こる減衰については考慮していない。

分散長に関しては、一般にモデルスケール（モデルの大きさ、汚染物質の移動距離）に依存することがわかっており、『汚染メカニズム中間報告書』よりやや小さな値とした。



引用元
Gelhar et al., 1992. A critical review of data on field-scale dispersion in
Water Resources Research, Vol.28 (7), pp.1955-1974.

分散長

分散長は、縦分散長と横分散長に分けられ、縦分散長は、流れ方向に地下水の流速に先行して濃度がぶれる度合いを表し、横分散長は流れに直交する方向への濃度のぶれの度合いを表す。

一般に分散長は、巨視的な地盤の不均質性による流速のばらつきにより、移行距離に依存することが言われており、図 3.3.1 を参考にすると、横分散長は縦分散長の 1/10 ~ 1/100 程度なる。

図 3.3.1 分散長設定の例（実務者のための地下水環境モデリング、技報堂出版：2003）

4. 解析条件

4.1 解析プログラム

三次元飽和不飽和移流分散解析プログラム (Dtransu-3D・EL)、密度考慮

解析コードの基本は、密度流が考慮できる三次元飽和不飽和移流分散解析プログラム (Dtransu-3D・EL)としたが、降雨や流量条件を変動境界にできるように改良して利用した。

4.2 解析領域界の境界条件

水位固定境界 (1ヶ月単位変動)

解析の領域界はすべて水位固定境界とし、『汚染メカニズム中間報告書』のA井戸等の地下水汚染シミュレーションで得られた地下水位を1ヶ月単位で変動させた。

4.3 降雨浸透条件

有効雨量の50%

降雨は、神栖市役所内に設置してある降雨観測所データを基に、ソーンズウェイト式から可能蒸発散量を差し引き有効雨量とし、さらに有効雨量の50%が浸透する設定とした(図4.3.1)。

なお、掘削調査地点付近では、平成16年10月以降、降雨浸透しない設定とした。

4.4 A井戸揚水

間欠揚水条件

A井戸の汲み上げに伴う周辺地下水の流向変化を精度よく把握し、できる限り生活実態に合わせたものとするため、揚水は間欠揚水とし、揚水量は集合住宅居住実績と同集合住宅の平成15年以降の水道利用量を参考に設定した(図4.4.1)。

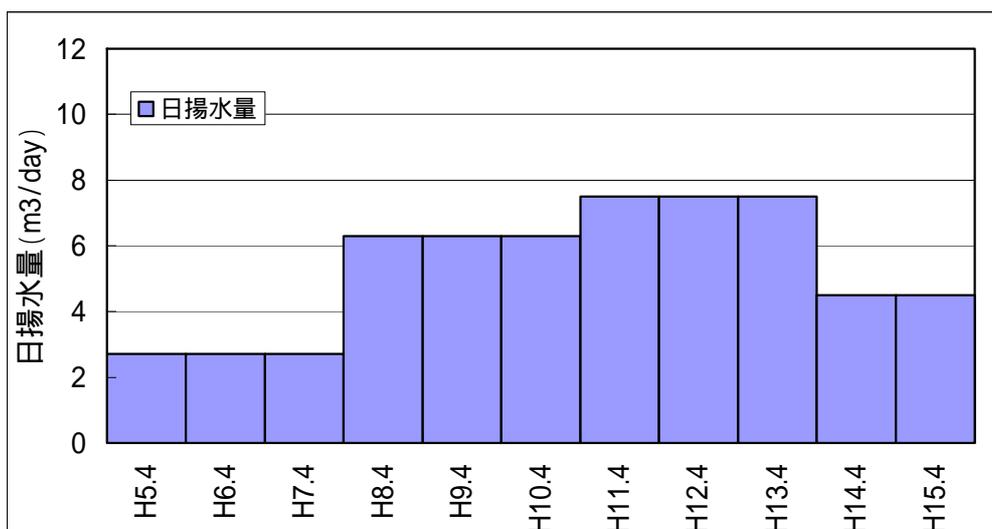
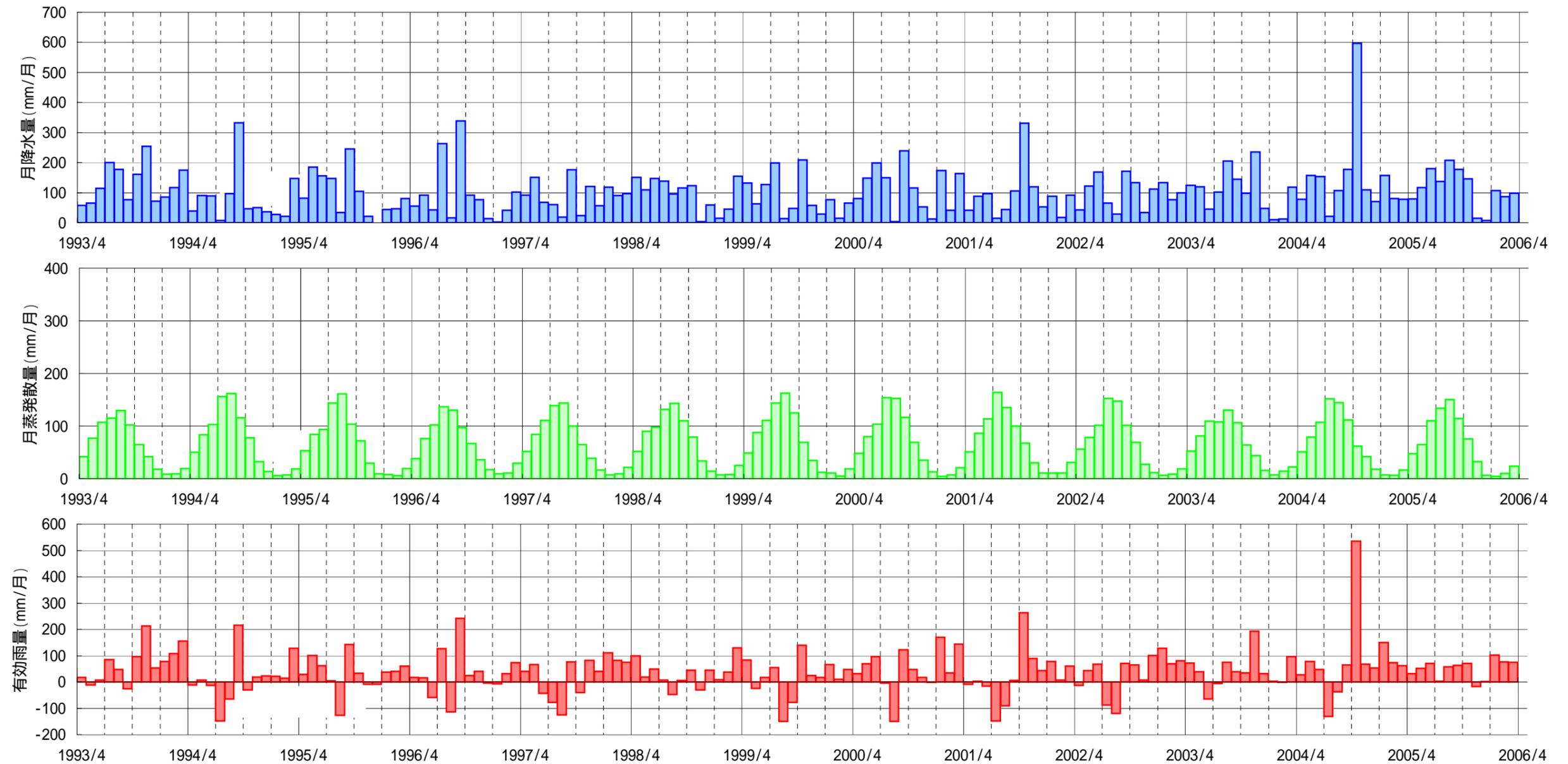


図4.4.1 A井戸の揚水量設定

図4.3.1 降水量(月単位)、観測点：神栖市役所



(単位: mm/月)

	平成5年度	平成6年度	平成7年度	平成8年度	平成9年度	平成10年度	平成11年度	平成12年度	平成13年度	平成14年度	平成15年度	平成16年度	平成17年度
4月	58.5	39	81.5	56.0	92.0	151.0	132.5	80.0	42.0	43.0	124.5	78.0	79.0
5月	65.5	91	185.0	92.0	150.5	109.0	63.0	149.0	88.5	121.5	120.0	157.0	116.5
6月	114.5	89.5	155.5	42.5	68.5	147.0	127.5	199.5	97.0	168.5	45.0	154.0	180.5
7月	200	8.0	147.5	263.5	60.5	138.0	198.5	150.0	15.5	65.0	102.0	21.0	137.0
8月	177	97.0	34.5	16.5	18.5	96.0	14.0	3.5	44.5	28.5	205.0	107.0	207.5
9月	76.5	332.5	246.0	338.5	176.0	115.5	47.5	239.0	105.5	171.5	144.5	177.0	177.5
10月	161.5	47.0	105.0	91.5	24.5	124.0	209.0	116.0	330.5	133.5	98.5	597.0	145.5
11月	254.5	50.5	21.0	76.5	121.0	3.5	58.5	52.5	119.5	34.5	236.0	109.0	15.5
12月	72	36.0	0.5	13.5	56.5	59.0	29.0	12.5	53.5	112.0	48.0	71.0	8.0
1月	85.5	28.0	44.5	2.0	118.5	15.5	77.0	173.5	88.0	134.0	10.5	157.5	106.5
2月	117.5	21.0	46.5	42.0	90.5	45.0	14.5	41.5	17.5	77.0	13.0	80	87
3月	175.5	147.0	80.0	102.5	97.0	154.5	66.0	164.0	92.0	99.0	118.5	78.5	98.2
年間	1558.5	986.5	1147.5	1137.0	1074.0	1158.0	1037.0	1381.0	1094.0	1188.0	1265.5	1787.0	1358.7

4.5 汚染濃度

(1)汚染源位置の設定

『汚染メカニズム中間報告書』における A 井戸等の地下水汚染シミュレーションでは、当初の汚染濃度等に関する情報がないため、No123 ボーリングコアの深度 3.1m 付近の試料の溶出試験で得られた DPAA 濃度 3200mg/L (ヒ素換算値) を濃度固定境界として、確認されたコンクリートの様塊全体にその濃度が一定であり続けると仮定していた。しかしながら、この条件では、汚染は A 井戸方向に向かうことが再現されるものの、汚染源付近では全体的に高濃度の DPAA が地下水中に残存する結果となる。

『汚染メカニズム中間報告書』公表以後、新たなコンクリート様の塊が発見され、さらに発見されたコンクリート様の塊の含有量試験、溶出量試験を行うなど、追加情報が得られた(その内容は『中間報告書追補版』において報告済み。)。

コンクリート様の塊は、現時点で合計 4 つ発見されているが、分析の結果、それぞれ含有量には大きな違いがあり、塊、塊などは含有量が多く溶出量も多いのに対し、新たに発見された塊 -A、塊などは含有量も少なく、溶出量も小さい(表 4.5.1、図 4.5.1)。

今回、『中間報告書追補版』のデータも踏まえ、DPAA の含有量が多かった塊 付近を汚染源域として設定した(図 4.5.2)。

なお、モデルは平面方向の節点間隔が 2.5m であるため、コンクリート様の塊の形状を正確に入力しているものではない。

表 4.5.1 コンクリート様の塊の分析結果(『中間報告書追補版』より)

試料名		-3-1コア 上部60cm 上	-3-1コア 上部60cm 中	-3-1コア 上部60cm 下	-2-1コア GL-2.75m 小塊	-2-1コア GL-3.48m付近 粘土混じり砂	塊 -A-11	塊 -A-15	塊 -A-21	塊 -A-2	定量下限	
化学剤関連化合物												
含有量	マスタードガス	mg/wet-kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.05	
	マスタードジスルフィド	"	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.05	
	ルイサイト1、クロロビニル亜アルソ ン酸及びルイサイトオキシド	mg-As/wet-kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.04 ²	
	ルイサイト2	"	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.03	
	ジフェニルクロロアルシン	"	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.3	
	ジフェニルシア/アルシン	"	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.1	
	ビス(ジフェニルアルシン)オキシド	"	ND	ND	ND	ND	15	ND	ND	0.05	0.05	
	ジフェニルアルシン酸	"	1800	3400	4800	2000	310	770	360	230	890	0.03
	フェニルアルシン酸	"	190	180	150	130	9.2	46	42	120	200	0.04
	トリフェニルアルシン	"	8.3	6.6	6.3	0.54	0.49	4.5	0.79	2.0	8.8	0.02
	ジフェニルアルシン化合物 ¹	"	1600	2800	3500	1800	330	710	340	220	780	0.03
	フェニルアルシン化合物 ¹	"	160	170	140	160	9.0	54	42	120	210	0.04
	含水率	%	18.0	17.2	17.5	12.9	20.2	19.4	18.9	18.7	17.7	-
	総ヒ素	mg/kg	2,700	3,800	4,300	1,600	770	-	-	-	-	-
溶出量	ジフェニルクロロアルシン	mg-As/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.008	
	ジフェニルシア/アルシン	"	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.0009	
	ビス(ジフェニルアルシン)オキシド	"	ND	ND	ND	ND	0.030	ND	ND	0.001	0.002	0.0009
	ジフェニルアルシン酸	"	200	330	480	220	32	90	38	21	87	0.0009
	フェニルアルシン酸	"	17	14	15	14	0.73	4.6	3.9	11	22	0.0007
	ジフェニルアルシン化合物 ¹	"	140	210	290	170	23	92	39	22	94	0.0009
	フェニルアルシン化合物 ¹	"	19	18	18	17	1.2	4.9	3.7	8.7	22	0.0009
	pH	-	11.6 (at18.5)	11.5 (at18.5)	11.5 (at19.5)	11.0 (at21.0)	7.9 (at22.0)	10.4 (at24.5)	10.2 (at24.5)	11.3 (at24.5)	11.4 (at24.5)	-
総ヒ素	mg/L	210	350	420	180	31	-	-	-	-	-	

1 チオール誘導体化合物として

2 定量下限はルイサイト1とした場合の値

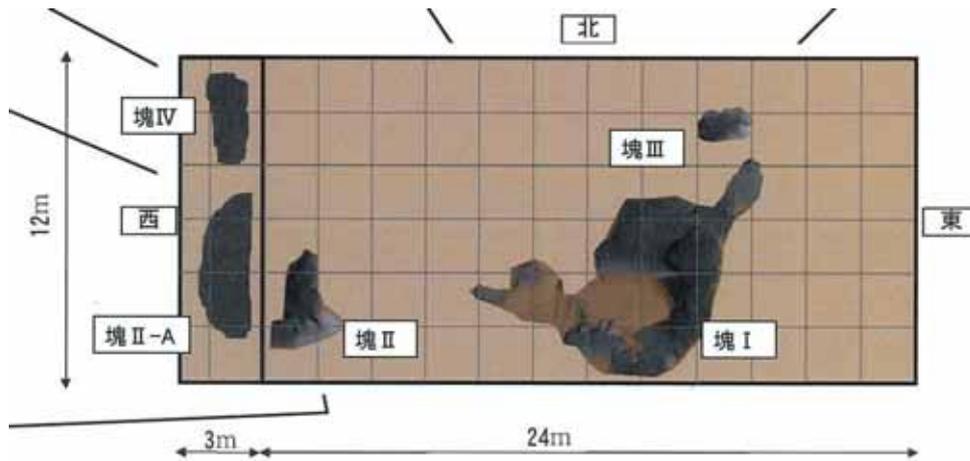


図 4.5.1 コンクリート様の塊の分布（『中間報告書追補版』より）

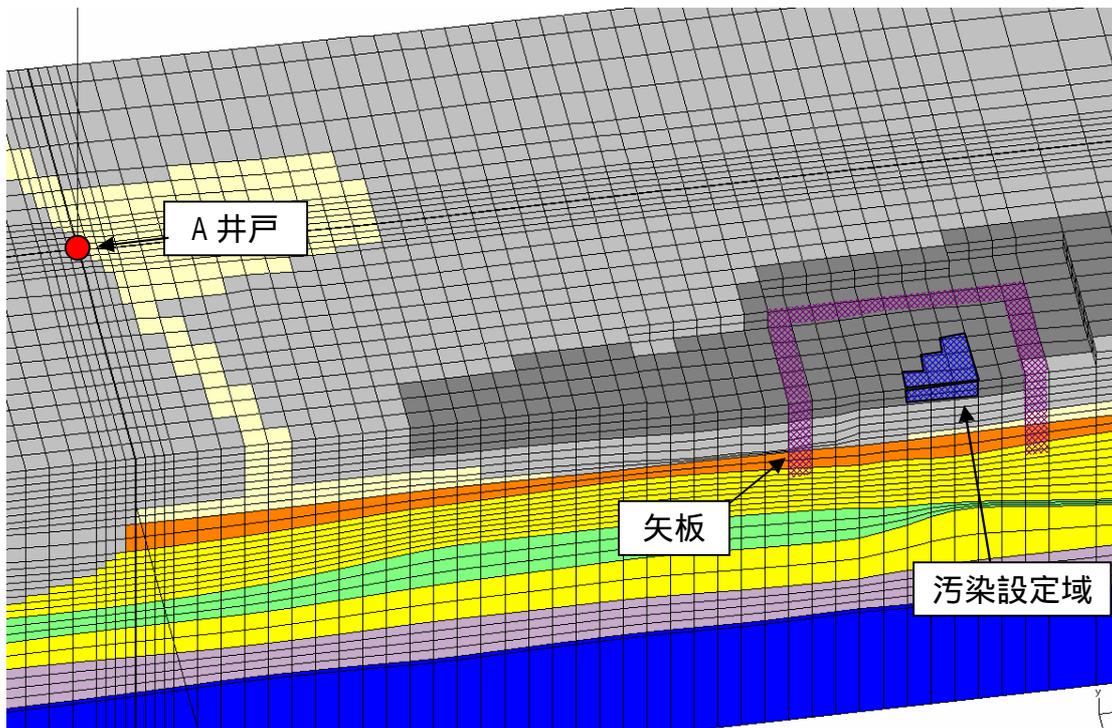
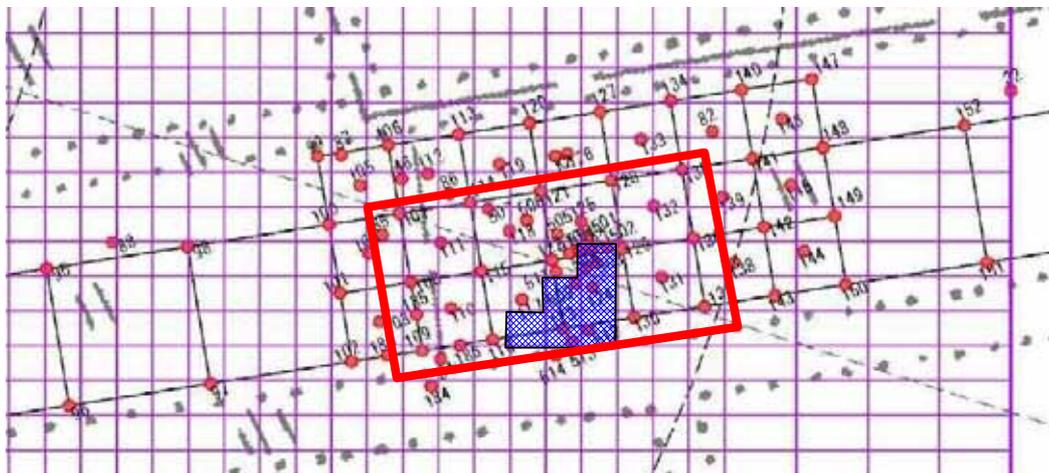


図 4.5.2 3次元モデルにおける汚染源設定域

(2) DPAA 溶出量の設定

『汚染メカニズム中間報告書』における A 井戸等の地下水汚染シミュレーションでは、汚染源に常に 3200mg/L (ヒ素換算値) の DPAA があるものとして設定していた。このため、シミュレーションにおいては、現在も汚染源には 3200mg/L (ヒ素換算値) の汚染地下水が残ることになる。

他方、コンクリート様の塊の分析における溶出試験では、塊 から最大で 480mg/L (ヒ素換算値) の DPAA が確認されている (表 4.5.1)。

当初の汚染源からの DPAA 溶出については、現時点でも不明であるため、初期汚染濃度を 10,000mg/L、1,000mg/L、3,200mg/L (ヒ素換算値) の 3 ケース設定し、さらにその後溶出量が線形的に減少して、コンクリート様の塊の撤去時 (平成 17 年 3 月) で 480mg/L (ヒ素換算値) となると仮定して、現況の汚染状況を再現できるかを検証し、初期濃度の推定を行った。

また、平成 17 年 3 月にはコンクリート様の塊が撤去されたため、以後については汚染源からの溶出量をゼロとした (図 4.5.3)。

CASE1 初期濃度 10,000mg/L (ヒ素換算値)

CASE2 初期濃度 1,000mg/L (ヒ素換算値)

CASE3 初期濃度 3,200mg/L (ヒ素換算値)

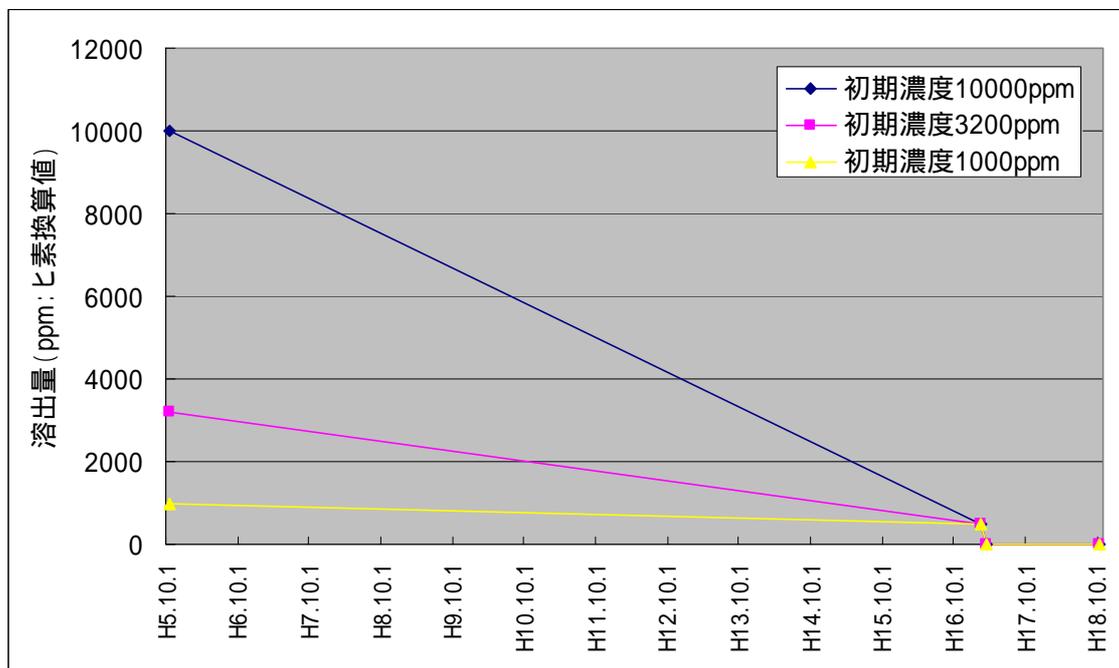


図 4.5.3 コンクリート様の塊からの溶出量の設定

4.6 計算条件

計算期間：平成 5 年 10 月～平成 18 年 3 月

計算ステップ：0.5 日間隔

5. 現況再現解析結果

5.1 初期汚染濃度別の解析結果

当初の汚染源濃度を推定するため、DPAAの初期濃度を10,000mg/L、1,000mg/L、3,200mg/L（ヒ素換算値）として、現況の地下水汚染状況およびA井戸の地下水汚染を再現できるか検証をおこなった。

CASE1 初期濃度10,000mg/L（ヒ素換算値）の場合【図5.1.2～、図5.1.3】

100mg/L（ヒ素換算値）を超える高濃度プルームは、汚染発生後約1年程度で、深度30m付近の砂礫層に達し、汚染発生後2年弱でA井戸付近の直下まで達する結果となる。その後100mg/L（ヒ素換算値）を越えるプルームは、深部砂礫層の底（粘土層の上面）を移流し続ける結果となる。

ただし、汚染源の濃度が下がるため、平成15年以降では、100mg/L（ヒ素換算値）を超える高濃度領域は小さくなっていく。

また、A井戸において、5mg/L（ヒ素換算値）程度の汚染濃度の地下水は、深部の砂礫層から吸上げられる結果となるが、100mg/L（ヒ素換算値）を越える濃度のものは、A井戸の揚水による影響をほとんど受けない。

CASE2 初期濃度1,000mg/L（ヒ素換算値）の場合【図5.1.4～、図5.1.5】

初期濃度が低いため、汚染プルームは下方まで浸透降下しない。また汚染濃度が低く密度が小さいため、汚染プルームは、地下水流速に乗り、下方よりも側方へと移流する。

このため、10年以上経過してもプルームは、深部の砂礫層には達しない結果となる。

CASE3 初期濃度3,200mg/L（ヒ素換算値）の場合【図5.1.6～、図5.1.7】

100mg/L（ヒ素換算値）の高濃度プルームが砂礫層に到達するまでに、約3.5年（平成9年4月頃）要する結果が得られた。

汚染源の溶出設定を時間とともに減少させたことにより、汚染源からの高濃度プルームの溶出量が減っていき、さらには平成17年3月に汚染源が撤去された影響で、深度30m付近の高濃度のプルームは、序々に高濃度域を減らしていく傾向が見られた。

これらシミュレーションの結果より、現況の地下水汚染濃度および汚染分布から勘案すると、当初の汚染源濃度については、3ケースの中では、3,200mg/L（ヒ素換算値）を初期濃度として設定した場合が最も現実的と考えられる。