

5 追加対策による水質予測

(1) 第1帯水層

1) 基本的な考え方

計画期間内に沢の滲出水及び遮水壁外の1, 4-ジオキサン濃度を環境基準値以下とすること、また、遮水壁内北側及びNo. 4、5処分場の1, 4-ジオキサン濃度を排水基準値以下とする。

2) 揚水井戸配置計画

目標を達成するために必要な揚水量を考慮し、各エリアに揚水井戸を設置する。
新設の揚水井戸配置図を図1-1に示す。

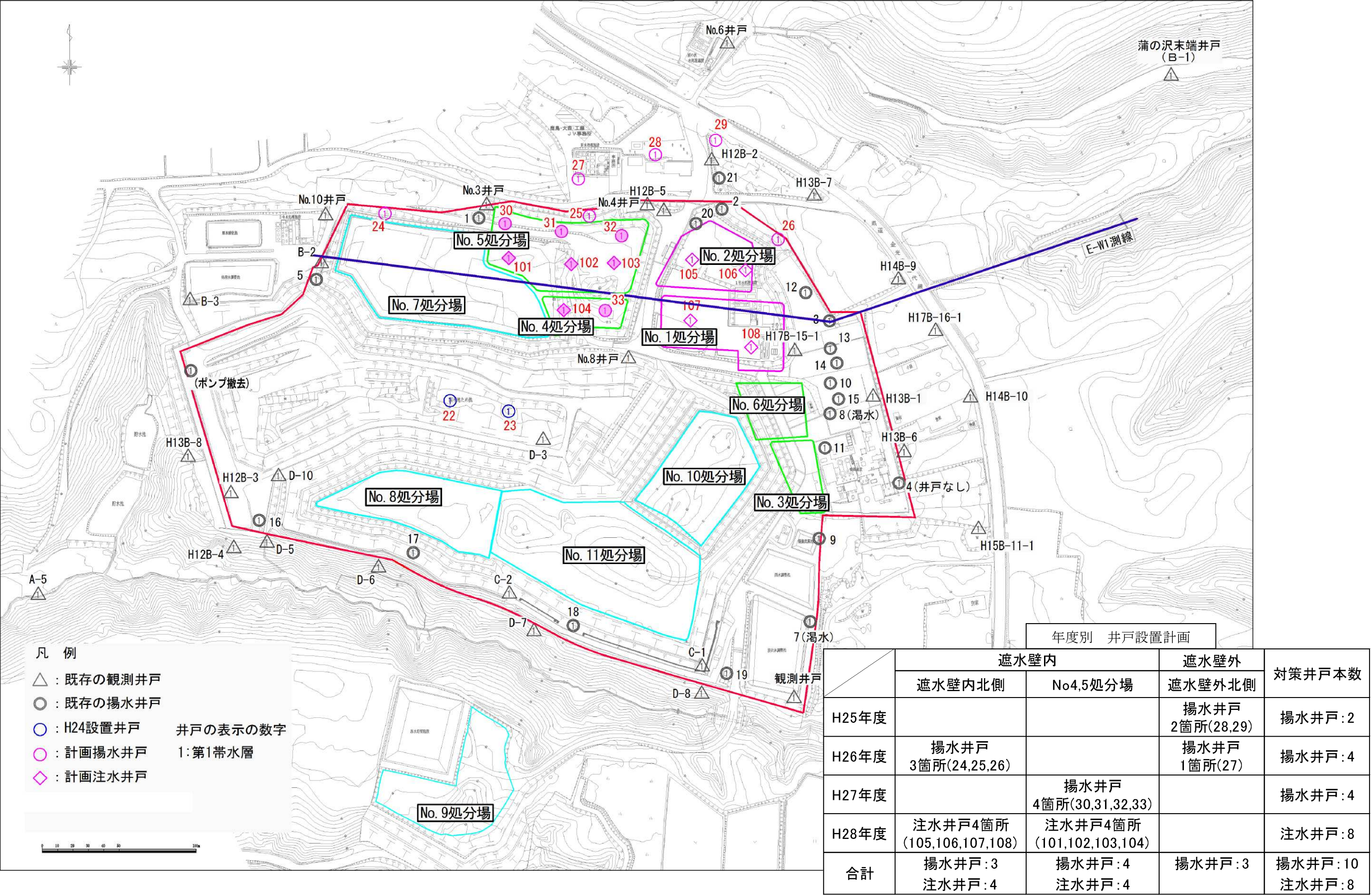


図 1 1 【第 1 帯水層及び No. 4、5 処分場】井戸配置計画図

3) 各エリアの水質予測

① 沢の滲出水（蒲の沢）

追加対策が必要な蒲の沢では、処分場方向から地下水が流れ、滲出していると考えられることから、上流側で追加の浄化促進対策を実施することにより、蒲の沢の滲出水の1, 4-ジオキサン濃度が低下すると予測される。

このことから、遮水壁外北側エリア第1帯水層地下水と蒲の沢の滲出水の関係を以下に整理し、濃度予測を行う。

i) 予測方法

ア 物質の移動速度計算

遮水壁外北側エリア第1帯水層地下水の1, 4-ジオキサンが、蒲の沢へ到達するまでの年数を算定した。

イ 物質が到達するまでの平面的分散による希釈割合設定

1, 4-ジオキサンが、蒲の沢へ到達した時点での希釈割合を推定した。

ウ 追加対策後の蒲の沢の濃度変化予測

遮水壁外北側エリア第1帯水層地下水の1, 4-ジオキサン濃度の浄化状況が、蒲の沢の滲出水に効果として発現する時系列状況を予測し、濃度予測を実施した。

ii) 予測結果

ア 物質の移動速度計算

遮水壁外北側エリアの1, 4-ジオキサン濃度の移動速度を算定した。

[計算条件]

- ・透水係数 k : $3.3\text{E-}5\text{m/s}$ (既往地質調査結果)
- ・有効間隙率 n : 0.15 (「砂質土」一般値)
- ・動水勾配 I : 以下の条件より設定した。

$$I = (H_a - H_b) / L = (35 - 30) / 150 = 0.033$$

I : 動水勾配

H_a : A地点(鉛直遮水壁外側(北側))の地下水位 = 標高 35m

H_b : B地点(蒲の沢原水 湧出地点)の地下水位 = 標高 30m

※ 湧出点のため、地盤標高を地下水位相当とみなした。

L : A地点とB地点の距離 = 150m

- ・流速 v : 実流速 $v=u/n$

: ダルシー流速 $u=kI$

$$\begin{aligned}\text{実流速} &= \text{透水係数} \times \text{動水勾配} \div \text{有効間隙率} \\ &= 3.3\text{E-}5 \text{ (m/s)} \times 0.033 \div 0.15 \\ &= 7.26\text{E-}6 \text{ (m/s)} \\ &= 0.627 \text{ (m/日)}\end{aligned}$$

蒲の沢に達するまでの年数は、以下の計算式により求めた。

$$\begin{aligned}150 \text{ (m)} \div 0.627 \text{ (m/日)} &= 239 \text{ (日)} \\ &= 0.67 \text{ (年)}\end{aligned}$$

計算の結果、遮水壁外北側エリア第1帯水層地下水の1, 4-ジオキサンは、1年程度で蒲の沢へ到達すると予測される。

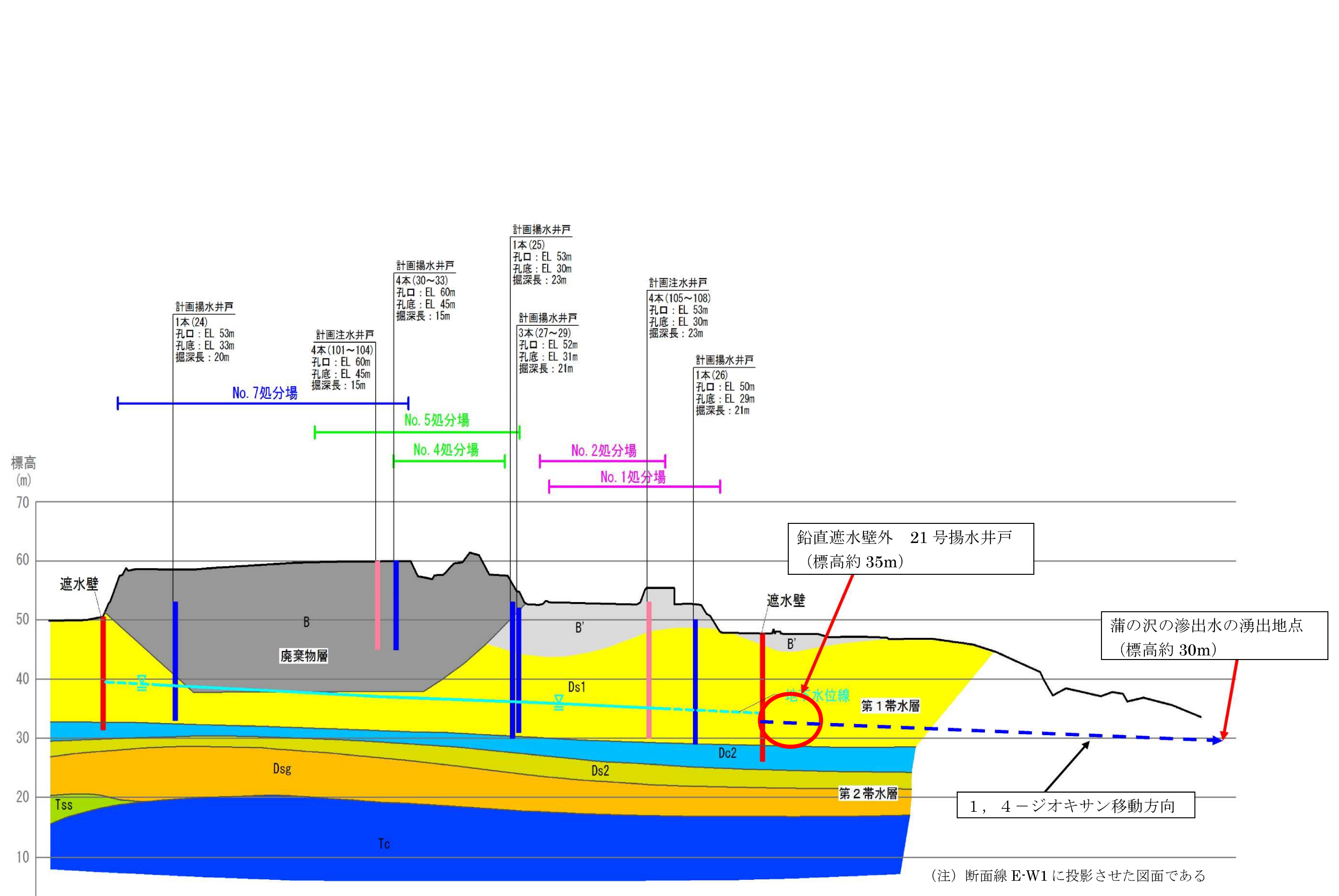


図 1 2 検討位置平面図・断面図

イ 物質が到達するまでの平面的分散による希釈割合設定
遮水壁外の1，4－ジオキサンは、おおむね1年後に蒲の沢に到達することから、平成23年度の遮水壁外北側エリアと平成24年度の蒲の沢の1，4－ジオキサン濃度の測定値比率により希釈割合を設定した。結果を表3に示す。

表3 遮水壁外北側エリアと蒲の沢の1，4－ジオキサン濃度の測定値比率

	21号揚水井戸（A地点）	蒲の沢の滲出水（B地点）	A地点とB地点の濃度比（B／A）	A地点とB地点の濃度比（B／A）の平均
	1年前（H23年度）のおおよその濃度範囲	H24年度のおおよその濃度		
1，4－ジオキサン濃度（mg/L）	1.50 ～ 2.50	0.5	0.33 ～ 0.20	0.27

遮水壁外北側エリア第1帯水層地下水の1，4－ジオキサンは、蒲の沢へ到達する時点では、0.2～0.33倍程度（平均0.27倍）に希釈されている結果となった。

ウ 追加対策後の蒲の沢の滲出水の濃度変化予測

追加対策後の蒲の沢の滲出水の濃度変化については、遮水壁外北側エリアでの浄化効果が、1年後に蒲の沢の滲出水に発現するとして予測する。このため、まず初めに、遮水壁外北側エリアの濃度変化を予測する。なお、遮水壁外北側の揚水井戸は、平成25年度及び平成26年度に設置することから、平成26年度までは、現状までの濃度変化実績をベースに予測し、平成27年度以降については、追加対策により浄化が促進されるとして予測する。

a. 遮水壁外北側での濃度予測

○ 平成25年度から平成26年度までの予測（遮水壁外北側）

遮水壁外北側エリアの1，4－ジオキサン濃度について、現状までの水質測定データから、予測する。遮水壁外北側エリアの1，4－ジオキサン濃度は、平成24年5月現在で1.6mg／Lである。また、遮水壁内北側エリアと地層構造が同じであることから、遮水壁内北側エリアと同じ浄化速度になるとした。これにより、遮水壁外北側エリアの濃度予測を行うと、平成24年5月で1.6mg／L、1年後（平成25年度）で1.27mg／L、2年後（平成26年度）で1.01mg／Lとなる。

○ 平成27年度以降の予測

平成27年度以降の追加揚水井戸設置後の浄化効果を見込むと、

$y = (\text{初期濃度}) \times (0.63 : \text{年あたり残存率})^{(\text{経過年数})}$

初期濃度：井戸設置後の平成26年度における21号揚水井戸濃度（上記より

1.01mg／L）

本予測式によれば、平成27年度の1，4－ジオキサン濃度は0.63mg／Lとなり、平成34年度には0.02mg／Lになると予測される。

b. 蒲の沢の滲出水の濃度予測

遮水壁外北側エリアの揚水井戸の施工を平成25、26年度に実施し平成27年度より効果が発現した場合、蒲の沢へは、さらに1年後の平成28年度より効果が発現することとなる。なお、蒲の沢の滲出水の濃度は、遮水壁外北側エリアの濃度の0.27倍になるとした。この条件によれば、蒲の沢の1，4－ジオキサン濃度は、平成28年度には、0.17mg／Lとなり、平成31年度に環境基準値（0.05mg／L）以下の0.04mg／Lになると予測される。

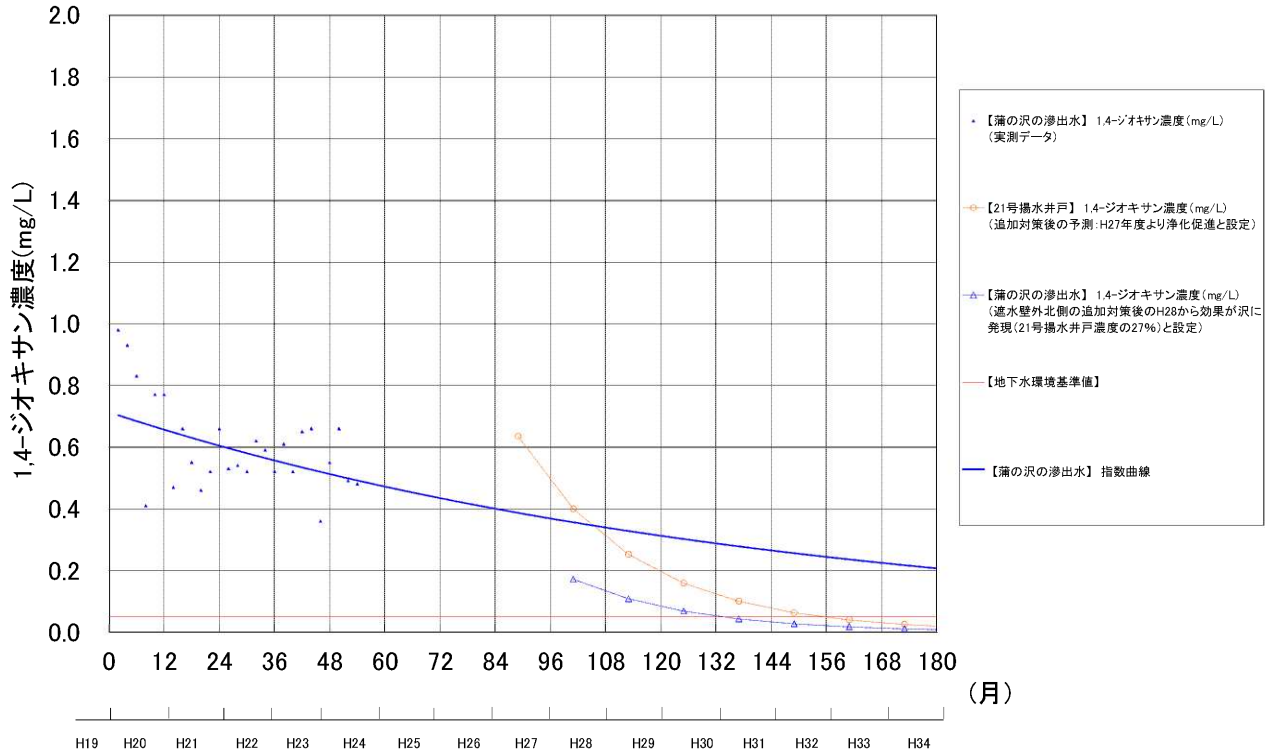


図13 蒲の沢への滲出水 1，4－ジオキサン濃度予測図

② 北側遮水壁内外及びNo. 4、5 処分場
各エリアについて、対策の実施による、1，4－ジオキサン濃度の低下予測を行った。

i) 予測方法
これまでの揚水井戸の対策により、濃度が指数的に減少している傾向が確認されている。これは、対象エリアの保有水（遮水壁で囲われている範囲の地下水）が、井戸による揚水と雨水の地下浸透によって循環されていることによる効果と考えられる。
そこで、ここでは、対象エリアの保有水について、注水・揚水井戸を追加することによって循環頻度を増やすことによる、濃度低減への時間的効果を予測する。
まず、現状での濃度低下について評価し、それを基に、追加対策実施後による濃度評価について評価する。

ii) 予測結果
ア. 保有水の循環による1，4－ジオキサンの残存率
現状における検証結果による濃度予測指数曲線の1年間の濃度残存率より、保有水を1回循環させるごとの濃度の残存率を算出した。

表4 残存率の算出条件及び結果

項目		①	②	③
		遮水壁内北側 エリア	No.4,5処分場	遮水壁外北側 エリア
A	面積A(m ²)	38,902	5,583	16,229
B	水位高h(m)	5.23	5.23	5.4
C	有効間隙率ne	0.15	0.3	0.15
D	保有地下水量(m ³)	D=A×B×C		
E	現況の年間揚水量(m3)	実績値	なし (5,153)	7,403
F	1回循環するために要する年数	F=D/E		
G	1年後の濃度の残存率	現状までの濃度低下状況より作成した指数関数による設定(③は水質データなし、④は水質データ期間が短いことから、それぞれ②の割合適用)		
H	1循環における濃度の残存率	H=G ^F		

各項目の算出条件は以下のとおりである。

○A：面積
CAD図上で面積を算出した。

○B：水位高さ
a 「①遮水壁内北側エリア」
(第1帯水層平均水位標高 36.36m)－(第1帯水層底面平均標高 31.13m)＝5.23m
第1帯水層平均水位標高は、平成19年1月～平成23年12月の5ヵ年平均值(1回/月の観測データ)とした。
第1帯水層底面平均標高は、観測井戸9孔(H12B－3、H12B－5、H13B－1、H17B－15－1、D－10、B－2、C－1、C－2、D－3)の孔底標高平均值とした。
b 「②No. 4、5 処分場内保有水」
測定データがないため、①遮水壁内北側エリアの第1帯水層と同じ水位高さとした。

c 「③遮水壁外北側エリア」
(第1帯水層平均水位標高 35.46m)－(第1帯水層底面標高 30.06m)＝5.40m
第1帯水層平均水位標高は、平成19年1月～平成23年12月の5ヵ年平均值(1回/月の観測データ)とした。
第1帯水層底面標高は、北側エリア中央部の観測井戸(H12B－2)の孔底標高とした。

○C：有効間隙率
第1帯水層(①③エリア)：0.15(「細砂」の一般値とした。「水理公式集、1974」
廃棄物層(②エリア)：0.30(埋立物の実態不詳であるため、混入物を考慮し「砂礫層」相当の一般値とした「水理公式集、1974」

表5 有効間隙率(未固結地盤)

地層	間隙率(%)	有効間隙率(%)	地層	間隙率(%)	有効間隙率(%)
沖積礫層	35	15	洪積砂礫層	30	15～20
細砂	35	15	砂層	30～40	30
砂丘砂層	30～35	20	ローム層	50～70	20
泥粘土質層	45～50	15～20	泥層粘土層	50～70	5～10

○D：保有地下水量
上記A×B×Cにより算出

○E：年間揚水量
各エリア年間揚水量実績値

a 「①遮水壁内北側エリア」

揚水井戸が現在の配置となった平成 2 0 年度以降の揚水実績により、以下の合計量とした。

- 遮水壁内北側エリアの 1 号、2 号、3 号、2 0 号揚水井戸は、平成 2 0 ～ 2 3 年度の年間揚水量平均値とした。
- 遮水壁内北側と南側の境界付近に位置し、揚水量を一括計量している 1 2 ～ 1 5 号の揚水井戸 4 本については、平成 2 0 ～ 2 3 年度の年間揚水量平均値の 1 ／ 2 とした。
- 遮水壁内北側と南側の境界付近に位置するため池は、面積比率によって計上した。なお、ため池からの揚水は、平成 2 3 年 7 月に開始したため、同年 8 月から 1 年間のデータとした。

ため池の年間揚水量 (H23.8-H24.7) × 面積比率 (遮水壁内高濃度エリア／遮水壁内全体 = 38,902m2 ／ 105,443m2) =

(16+1,381+4,823+1,940) + (5,250／2) + (19,318 × 38,902／10,5443)

=17,912m³

表 6 遮水壁内北側エリアの揚水量実績

井戸位置 エリア	① 北側				北側と南側の境界部		ため池			④壁内北 側エリア合 計 ①+②+③
	井戸1号	井戸2号	井戸3号	井戸20 号	井戸12～ 15号	②(井戸12 ～15号)/2	ため池	ため池(H 23.8-H 24.7)	③ため池(H 23.8-H24.7) × 面積比率 (壁内高濃度 /壁内全体= 38902/1054 43)	北側エリア +境界部 /2+ため池 (左記デー タ)
H20年度	0	0	0	4,230	11,581	5,791	0			
H21年度	0	293	8,828	1,897	6,478	3,239	0			
H22年度	0	673	8,124	1,634	89	45	0			
H23年度	65	4,559	2,339	0	2,851	1,426	12,036	19,318		
H20-23年 度平均	16	1,381	4,823	1,940	5,250	2,625	3,009		7,127	17,912

b 「②N o . 4、5 処分場内」

現況揚水なし

c 「③遮水壁外北側エリア」

井戸設置以降の実績月平均値× 1 2 ヶ月の 7 , 4 0 3 m 3

表 7 2 1 号井戸揚水実績

	21号井戸 揚水実績(m3)
H23年4月	398.5
H23年5月	839.5
H23年6月	426.0
H23年7月	637.0
H23年8月	437.0
H23年9月	927.0
H23年10月	751.0
H23年11月	477.0
H23年12月	659.0
月平均	616.9
月平均×12月	7403

○ F : 1 回循環あたりの必要年数

F = D / E

○ G ・ H : 各エリアの 1 年あたり ・ 循環 1 回あたりの残存率の算出

a 「①遮水壁内北側エリア」

1 年後の濃度の残存率 : 79 %

循環 1 回あたりに要する年数 : 保有地下水量／年間揚水量

= 30,519／17,912=1.70 年

循環 1 回あたりの濃度の残存率 : (0.79) ^{1.70} × 100 ≒ 67 %

b 「②N o . 4、5 処分場」

現状では井戸を設置しておらず、濃度の低下状況が不明なため、「②遮水壁内北側エリア」と同じ値とした。

1 年後の濃度の残存率 : 79 %

循環 1 回あたりに要する年数 : 1.70 年

年間揚水量 : 保有地下水量 (8,760m3) ／ 循環 1 回あたりに要する年数 (1.70 年)

= 5,153m3

循環 1 回あたりの濃度の残存率 : 67 %

c 「③遮水壁外北側エリア」

1 年後の濃度の残存率 : 79 %

これまでの水質データ取得期間が短く、濃度の低下状況の評価が困難なため、「②遮水壁内北側エリア」と同じ値とした。

循環 1 回あたりに要する年数 : 保有地下水量／年間揚水量

=13,145／7,403=1.78 年

循環 1 回あたりの濃度の残存率：(0.79)^{1.78}×100 ≒ 66 %

イ 追加対策後の 1， 4－ジオキサン濃度予測

追加井戸も含めた揚水量と保有地下水量の関係から地下水の循環回数を計上する手法とした。1 回の循環により、1， 4－ジオキサンが残存する割合は、実績値から算出した。

これより、揚水・注水対策後の循環回数と合わせて初期濃度から排水基準値および環境基準値までに必要な年数を求めた。各エリアの濃度予測結果については、表 8 に示す。

「①遮水壁内北側エリア」は、浄化促進対策を実施することで、平成 34 年度に排水基準値以下になると予測される。

「②No. 4、5 処分場」は、浄化促進対策を実施することで、平成 33 年度に排水基準値以下になると予測される。

「③遮水壁外北側エリア」は、浄化促進対策を実施することで、平成 33 年度に環境基準値以下になると予測される。

表 8 追加対策後の 1， 4－ジオキサン濃度予測結果

項目			①	②	③	
			遮水壁内北側 エリア	No.4,5処分場	遮水壁外北側 エリア	
A	面積A(m ²)		38.902	5.583	16.229	
B	水位高h(m)		5.23	5.23	5.4	
C	有効間隙率ne		0.15	0.3	0.15	
D	保有地下水量(m ³)		D=A×B×C	30,519	8,760	13,145
E	揚水量	現況の年間揚水量(m3/年)	実績値	17,912	なし	7,403
		追加対策	井戸設置本数(本)	3	4	3
			揚水量(m3/年)	6,570	8,760	6,570
		合計揚水量(m3/年)		24,482	8,760	13,973
F	1回循環するために要する年数		F=D/E	1.25	1.00	0.94
H	1回循環における濃度の残存率		H=G ^F	67%	67%	66%
揚水井戸設置年度			H27	H27	H26	
揚水井戸設置年度の1, 4－ジオキサン濃度(mg/L)			4.1	4.1	1.01	
基準濃度	排水基準(mg/L)		0.5	0.5	－	
	環境基準(mg/L)		－	－	0.05	
循環回数(回/年)			0.80	1.00	1.06	
必要循環回数	排水基準		5.3	5.3	－	
	環境基準		－	－	7.3	
必要循環年数	排水基準		6.7	5.3	－	
	環境基準		－	－	6.9	

ウ「②遮水壁内北側エリア」における年ごとの地下水位の低下予測
「②遮水壁内北側エリア」について、地下水位の予測結果を表 9 に示す。

追加対策を実施することで、平成 3 2 年度には、遮水壁内の地下水位を遮水壁外北側（3 5． 5 7 m）よりも低くすることができると予測される。

表 9 「②遮水壁内北側エリア」における年ごとの地下水位の低下予測

項目				①
				遮水壁内北側 エリア
A	面積A(m ²)	遮水壁内北側エリア		38,902
B		エリア内の処分場		12,378
C		遮水壁内北側エリア　－　処分場		26,524
D	有効間隙率ne			0.15
E	降水量 (mm/年)		能代1981～2010年の 年間降水量平均値	1,473
F	浸透率			0.41
G	流入量	降雨浸透量(m3/年)	C×E×F／1,000	16,019
		追加対策	注水井戸本数(本)	4
			注水量(m3/年)	6,132
		合計流入量(m3/年)		
F	流出量	現況の年間揚水量(m3/年)	実績値	17,912
		追加対策	井戸設置本数(本)	3
			揚水量(m3/年)	6,570
		合計流出量(m3/年)		
G	流出量－流入量(m3/年)			2,331
H	水位低下 (m/年)		G／A／D	0.400
I	標高水位 (m)	H27	揚水井戸設置年度	37.15
		H28		36.75
		H29		36.35
		H30		35.95
		H31		35.55
		H32		35.15
		H33		34.75
		H34		34.35