

# 地下貯水槽からの漏えい量の推定

平成25年5月16日  
東京電力株式会社



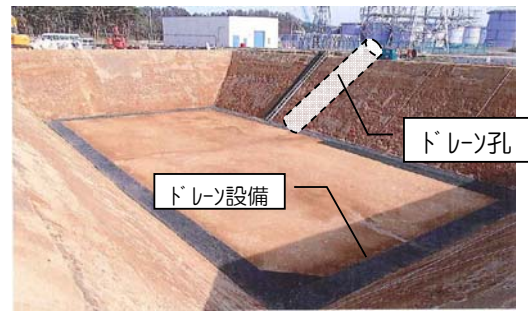
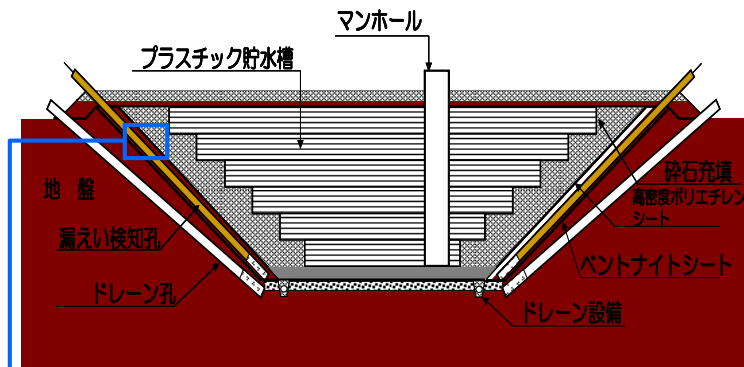
## 1. 漏えい量に関する調査

当初、NO.2地下貯水槽から約120m<sup>3</sup>の漏えいがあるとしていたが、漏えい検知孔の水位が低いことや放射能濃度に偏りがあることなど、約120m<sup>3</sup>の漏えいがあると考えた場合、不自然な状況もあることから、以下の詳細な調査を進めてきた。

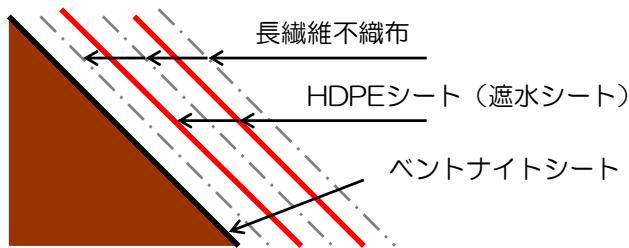
- ボーリング調査
- 漏えい検知孔からの水の回収・分析
- ドレーン設備内からの水の回収・分析

＜参考＞水位計の点検

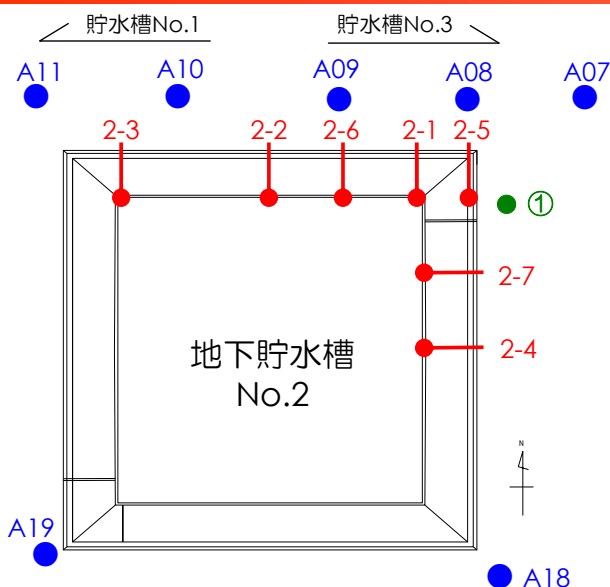
## 2. 地下貯水槽の構造図



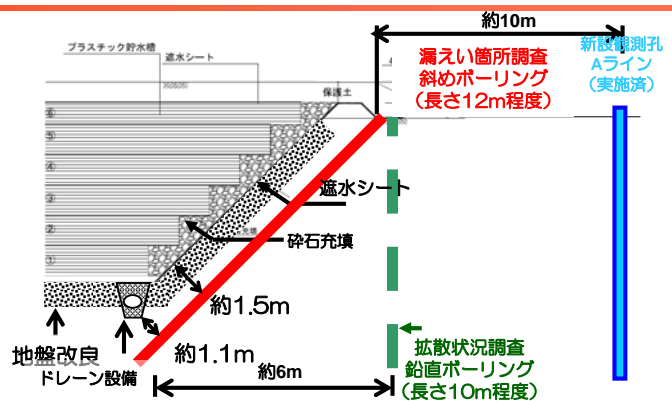
＜法面のシート構造拡大図＞



## 3. ボーリング調査 (1) 水分析結果



- : 地下貯水槽観測孔Aライン (全19箇所のうち、周辺の7箇所抜粋)
- : 地質調査孔 (拡散状況調査) (1箇所) [鉛直ボーリング]
- : 地下貯水槽No.2観測孔 (漏えい箇所調査) (7箇所) [斜めボーリング]

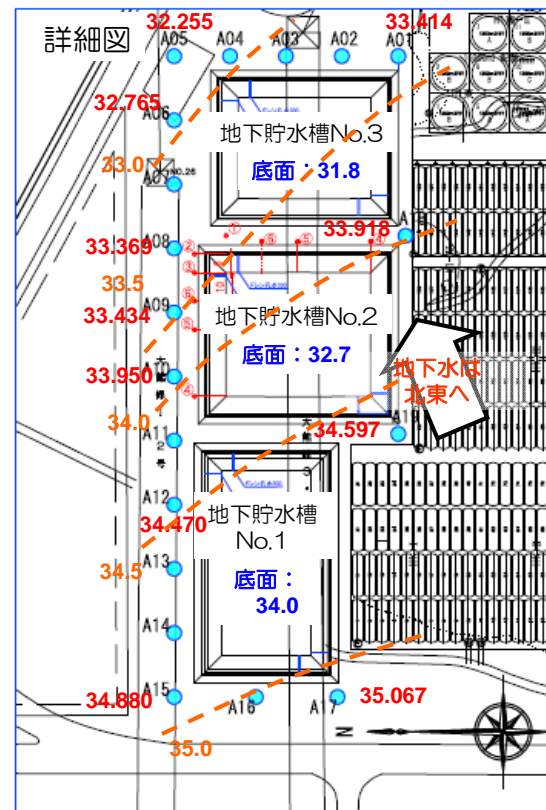
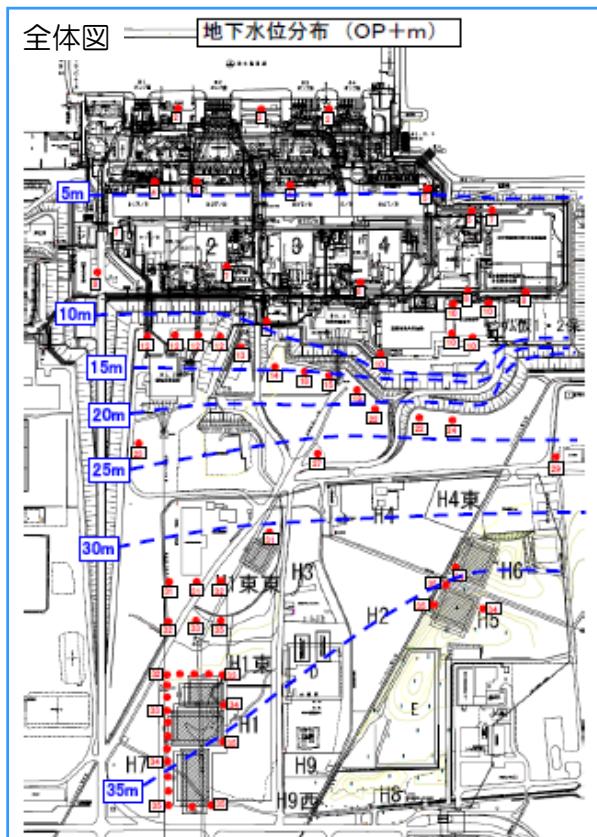


地下貯水槽 No.2観測孔	採取日	全β (Bq/cm <sup>3</sup> )
2-1	5月10日	ND
2-2	5月10日	ND
2-3	5月8日	ND
2-4	5月8日	ND
2-5	5月12日	ND
2-6	5月12日	ND
2-7	5月13日	ND

地質調査孔	採取日	全β (Bq/cm <sup>3</sup> )
①	5月12日	ND

地下貯水槽 観測孔	採取日	全β (Bq/cm <sup>3</sup> )
A-7	5月12日	ND
A-8	5月12日	ND
A-9	5月12日	ND
A-10	5月12日	ND
A-11	5月12日	ND
A-18	5月12日	ND
A-19	5月12日	ND

### 3. ボーリング調査（2） 地下水位分布

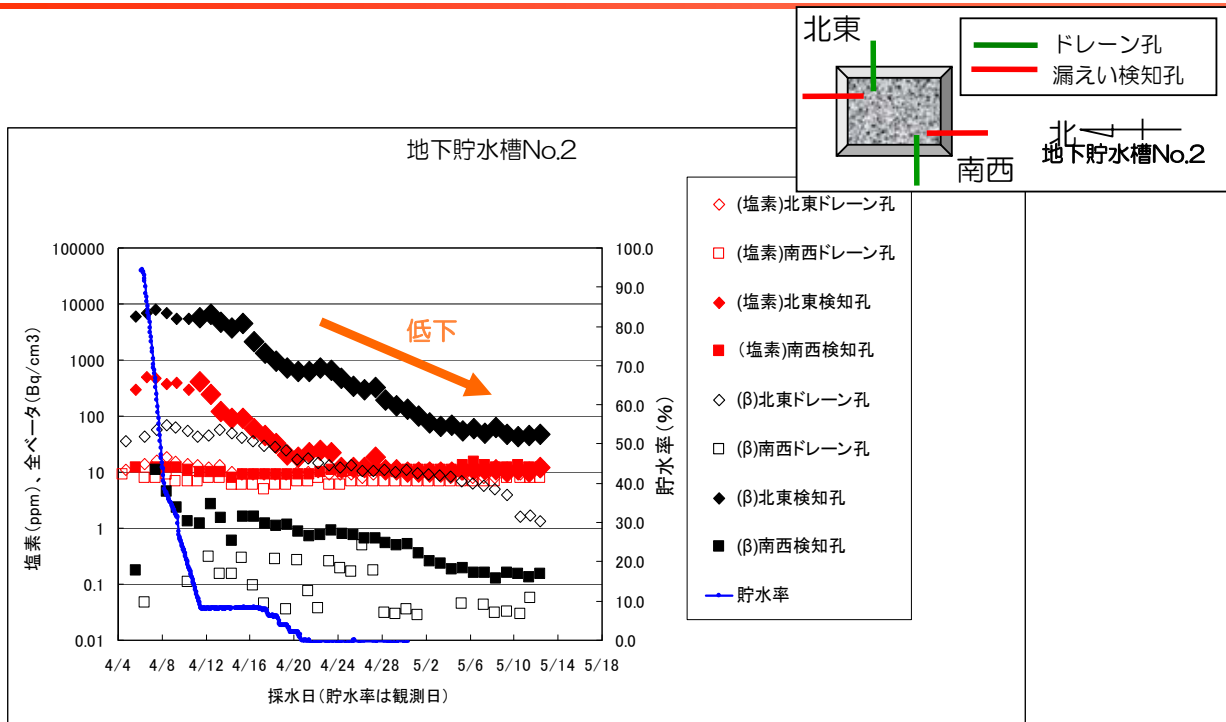


### 3. ボーリング調査（3）

- 地下貯水槽周辺のモニタリング結果は検出限界値未満。
- 観測孔内の水位から、地下貯水槽周辺では地下水は北東の方向に流れており、海岸に近づくと真東に流れを変える。
- 地下貯水槽周辺の地下水位を分析すると地下水面の動水勾配は $2\text{m}/200\text{m}=0.01$ 程度である。この周辺の地盤の透水係数が $5 \times 10^{-4}\text{cm}/\text{sec}$ （透水試験速報値）とすると、地下貯水槽周辺の地下水面付近の流速は約 $1\text{cm}/\text{日}$ である。

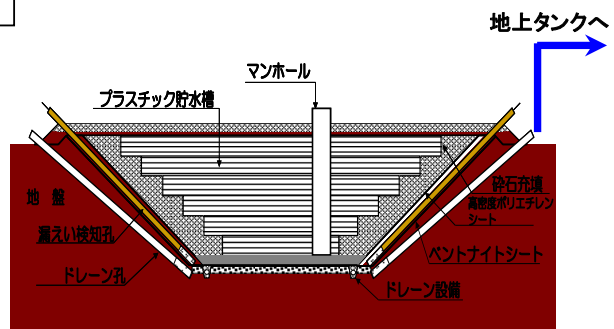
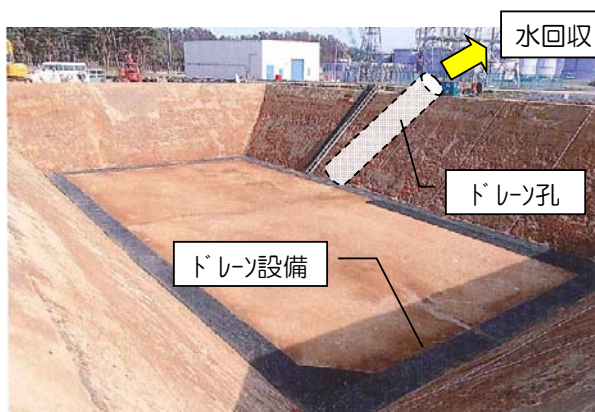
漏えい箇所は特定できなかったが、ベントナイトシート外部への汚染水漏えい量は極めて少量と推定される。

## 4. 漏えい検知孔からの水の回収・分析



検知孔からの汚染水回収を50ℓ/日程度（原水換算数リットル程度）で開始したところ、汚染レベルが急激に低下したため、もともとの漏えい量は少量

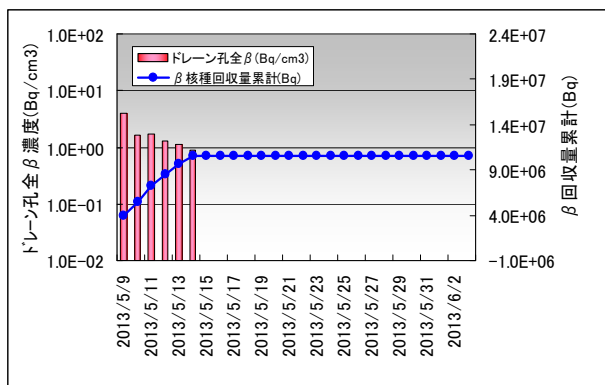
## 5. ドレーン設備内からの水の回収・分析



### ドレーン設備水回収結果

- H25.5.9より、ドレーン設備からの水の回収を開始
- H25.5.14現在、6m<sup>3</sup>の水の回収を完了（ドレーン設備の全体の容量は約17m<sup>3</sup>）
- 回収した水の汚染レベルは最高で3.9Bq/cm<sup>3</sup>
- 放射性物質の回収量は1.1×10<sup>7</sup>Bq
- 最も漏えい水が滞留しやすいと考えられるドレーン設備から高レベルの汚染水が発見されないことから、ベントナイトシートの外側には微量の汚染水しか漏えいしていなかったと考えられる

6m<sup>3</sup>（原水換算0.2リットル）を回収しただけで、全β濃度は1/4程度に低下、**大量の汚染水は存在しない。**



## 6. 漏えい量に関する調査のまとめ

これまでの調査によって分かったことは、以下の通り。

- 追加ボーリング調査の結果から、地下貯水槽周辺の土壌中への汚染水の広がりはなく、ほとんどがHDPEシートとベントナイトシートの間やドレーン設備内にとどまっているものと考えられる。

以上のことから、

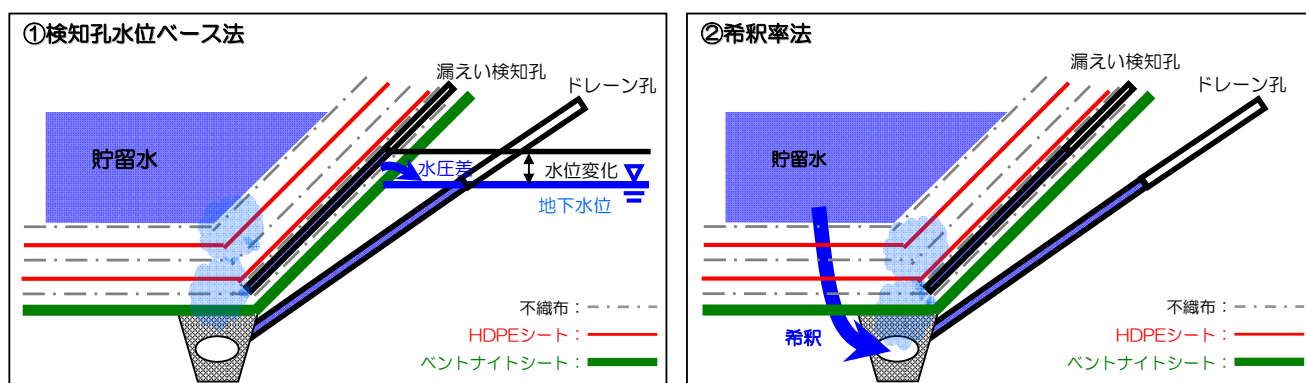
NO.2地下貯水槽からの漏えい量は当初考えていた約120m<sup>3</sup>よりも極めて少量であることが考えられる

## 7. 漏えい量の推定

### ■漏えい量の推定方法

- ①漏えい検知孔と地下水の水位変化に着目して漏えい量の算定（検知孔水位ベース法）

- ②  $\frac{\text{ドレーン孔内全 } \beta \text{ 濃度}}{\text{貯留水全 } \beta \text{ 濃度}}$ （希釈率）×ドレーン設備容量（希釈率法）



## 8. 漏えい量の推定結果

評価の詳細は参考に示すが、評価結果については下記の通り。

場 所	推定方法	No.1 地下貯水槽	No.2 地下貯水槽	No.3 地下貯水槽
HDPEシートと ベントナイト シートの間	検知孔水位ベース法	— (注1)	約300㎥	— (注2)
	希釈率法	約70㎥	約300㎥	約20㎥
ベントナイト シート外部	検知孔水位ベース法	— (注1)	約20㎥	— (注2)
	希釈率法	約10㎥	約10㎥	— (注3)

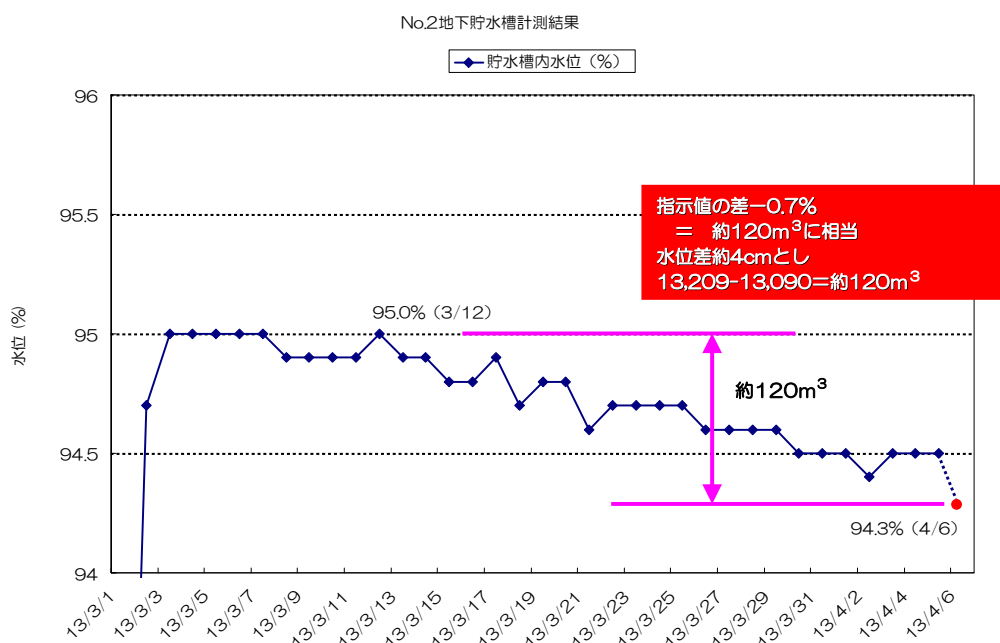
(注1) 漏えい検知孔水位データ無し

(注2) 漏えい検知孔水位の上昇が見られないため、推定不可

(注3) 有意な漏えい確認無し

### <参考>水位計の点検（1）

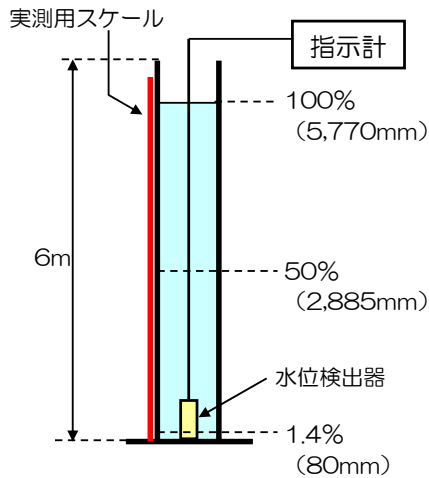
- 当初、NO.2地下貯水槽の漏えいの可能性があることを確認した際（平成25年4月6日時点）、貯水槽内に設置していた水位計の指示値の低下量0.7%から、漏えい量は最大約120m<sup>3</sup>と推定。



## <参考>水位計の点検（2）

- 仮設水柱（ろ過水）による水位計指示値と実測値の比較を行ったところ、本来100%であるべき水位に対し、**水位計指示値に-0.6%のドリフト※が生じている**ことが確認された。

※経時的に指示値がずれていくこと



水位計点検の詳細

	水位実測値	水位計指示値	差分
NO.2地下貯水槽 竣工時	98.06% (5,658mm)	98.0% (5,654.6mm)	-0.06%
水位計点検時 (4月25日)	100% (5,770mm)	99.4% (5,735mm)	-0.6%

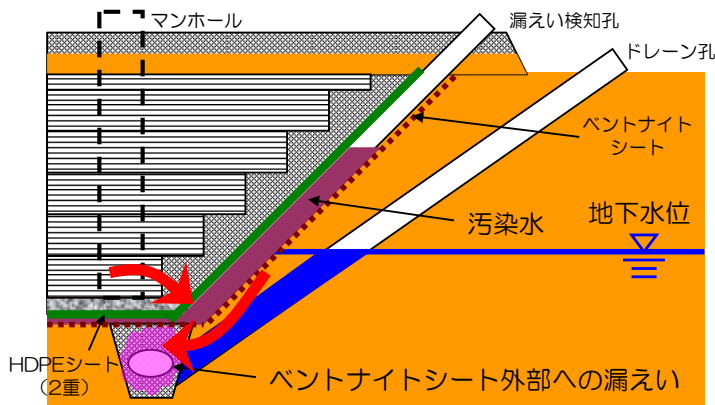
そのため、NO.2地下貯水槽に設置した水位計は、実際の水位低下を表していないと考えられる。

## 9. まとめ

- NO.2地下貯水槽における漏えい量は、ベントナイトシート内側で約300リットルと推定。ベントナイトシートの外側で約20リットル、そのほとんどはドレーン設備にとどまったものと推定。同様の方法で、NO.1およびNO.3地下貯水槽からの漏えい量を推定した結果、さらに少量であった。
- 漏えい量の大小に関わらず、NO.2地下貯水槽から漏えいが発生した事実が変わりはないことから、今後もしっかりと監視するとともに、モニタリングの結果についても、引き続き公表していく。また、地下貯水槽から漏えいした原因と対策については、今後も検討を進めていく。

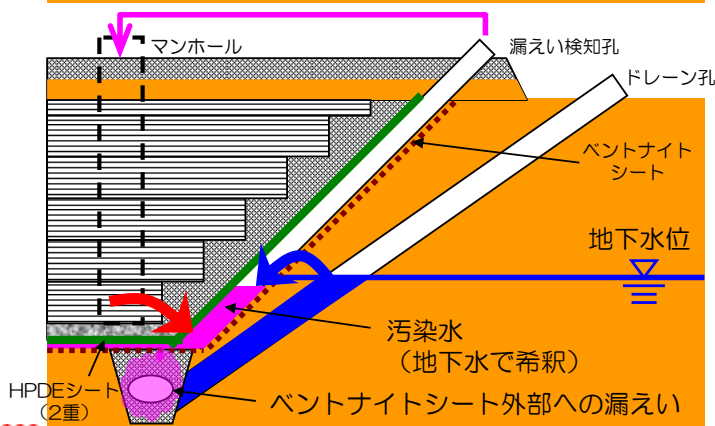
## 参考資料

### 【参考1】 漏えいメカニズム



#### 【漏えい発生初期】

- 汚染水がHDPEシートとベントナイトシート間（不織布、漏えい検知孔内の空隙）に浸出
- 漏えい検知孔水位と地下水位の圧力差から、ベントナイトシートを通じて、ベントナイトシート外部に微量の汚染水が漏えい
- 底面・法面は地盤改良を実施しているため、ベントナイトシート外部に漏えいした水は、相対的に透水性の高いドレーン設備の方向に浸出すると考えられる

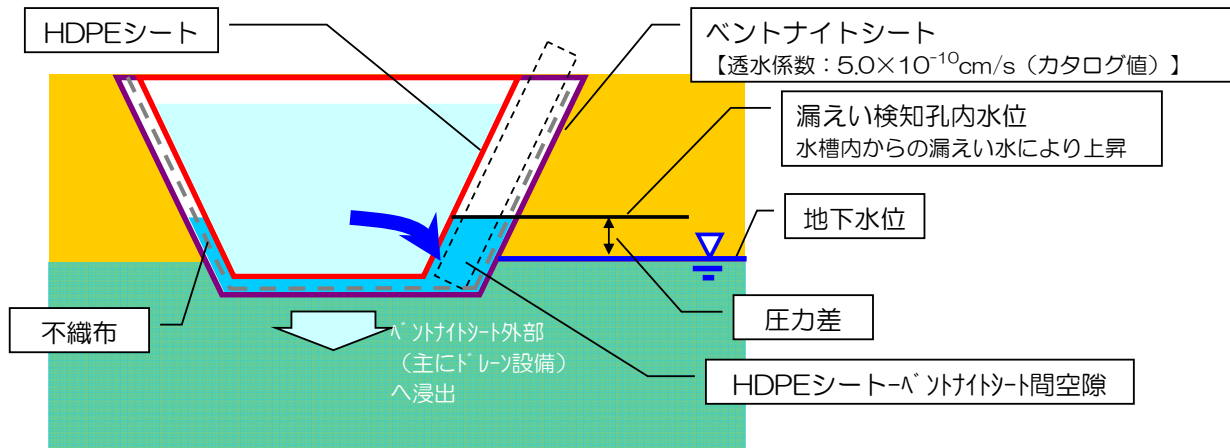


#### 【汚染水の回収実施時】

- 漏えい検知孔からの汚染水回収により、漏えい検知孔内水位が低下
- 漏えい検知孔内には、ベントナイトシートを通じて微量の地下水が流入し、汚染水を希釈
- 希釈された汚染水は回収
- これにより、ベントナイトシート外部への汚染水漏えいは減少～停止



## 【参考2-1】 漏えい量の推定方法（概要）～ 検知孔水位ベース法



- 2重のHDPEシートから漏えいした汚染水は、ベントナイトシートとHDPEシートの間（不織布）の空隙とここに設置されている漏えい検知孔の空隙に浸出
  - 漏えい検知孔の水位上昇分と空隙のボリュームから浸出量を計算
- 漏えい検知孔内水位と周辺地下水位の圧力差が生じ、ベントナイトシートから外部（主に透水性の高いドレーン孔）に汚染水が漏えい
  - 圧力差とベントナイトシートの透水系数、水に接している面積からベントナイトシート外部への漏えい量を計算

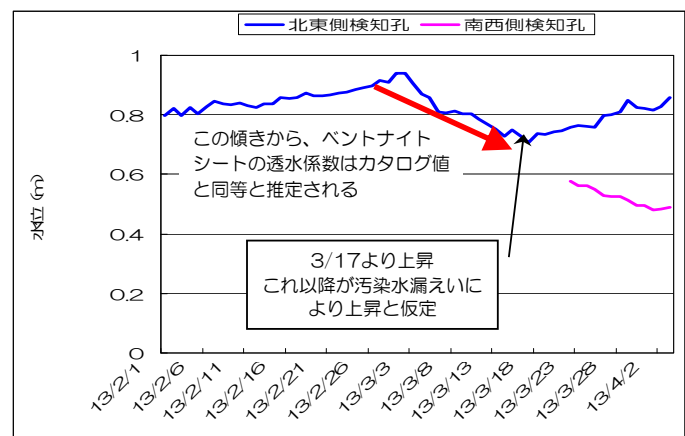
## 【参考2-2】 漏えい量の推定方法（詳細）～ 検知孔水位ベース法

### ■ 空隙量の計算に基づく漏えい量

- 計算式：漏えい量＝漏えい検知孔内水位の上昇分（3/17の北東側検知孔水位0.71mからの上昇分）  
× 漏えい検知孔内水に浸潤している不織布の面積 × 不織布厚  
＋ 漏えい検知孔内水位上昇分の容量
- 水位条件：北東漏えい検知孔の水位分、汚染水が充填している
- 不織布の状態：シート間は6.5mmの不織布が敷設されているが、満水時の水頭5.5m作用時には試験結果より体積歪：41%、気孔容積：90%となっていると仮定
- 計算の結果：3/17～4/10の間、**73%**の水が増えている。  
下のベントナイトシートの透水性に基づいた計算の結果、同期間でベントナイトシート外に **212リットル**の水がベントナイトシートの外に出ていることから、HDPEシートからベントナイトシート間への漏えい量は **285リットル**と推定される

### ■ ベントナイトシートの透水性に基づいた推定

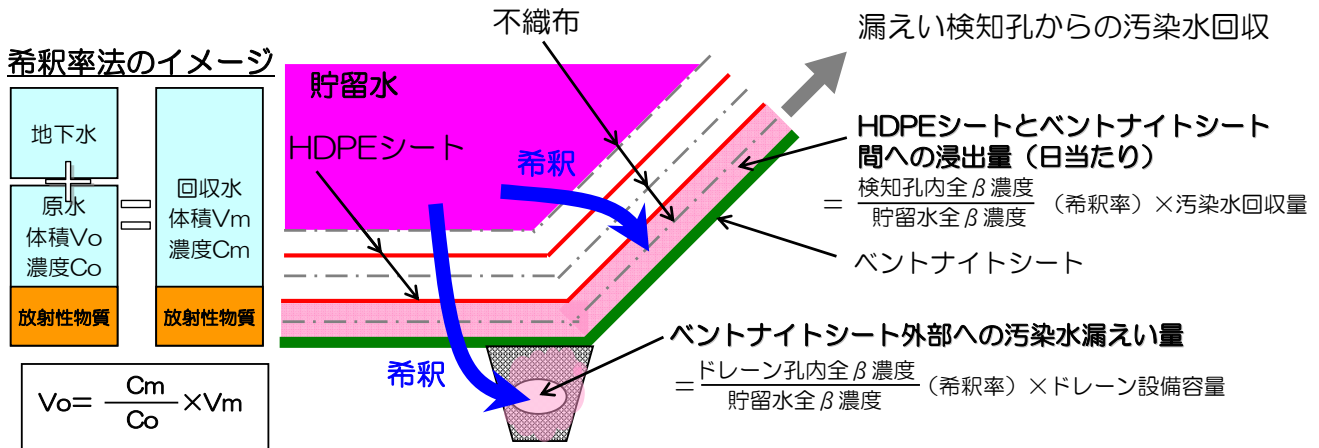
- ベントナイトシート内作用水圧：検知孔水位に基づき算出
- ベントナイトシート透水系数：  
 $5 \times 10^{-10} \text{cm/sec}$ （カタログ値）
- 透水量：**212リットル**\*  
（※地下水を含む量）
- 透水量のうち、汚染水（貯水槽内原水）の比率は  $285 \text{リットル} / 4385 \text{リットル} \approx 7\%$
- よって、ベントナイトシートを通過する汚染水（貯水槽内原水）は  
 $212 \text{リットル} \times 7\% = \text{約 } 15 \text{リットル}$



（参考）ドレーン孔水位【4/14】：約0.78m（北東）、約0.62m（南西）

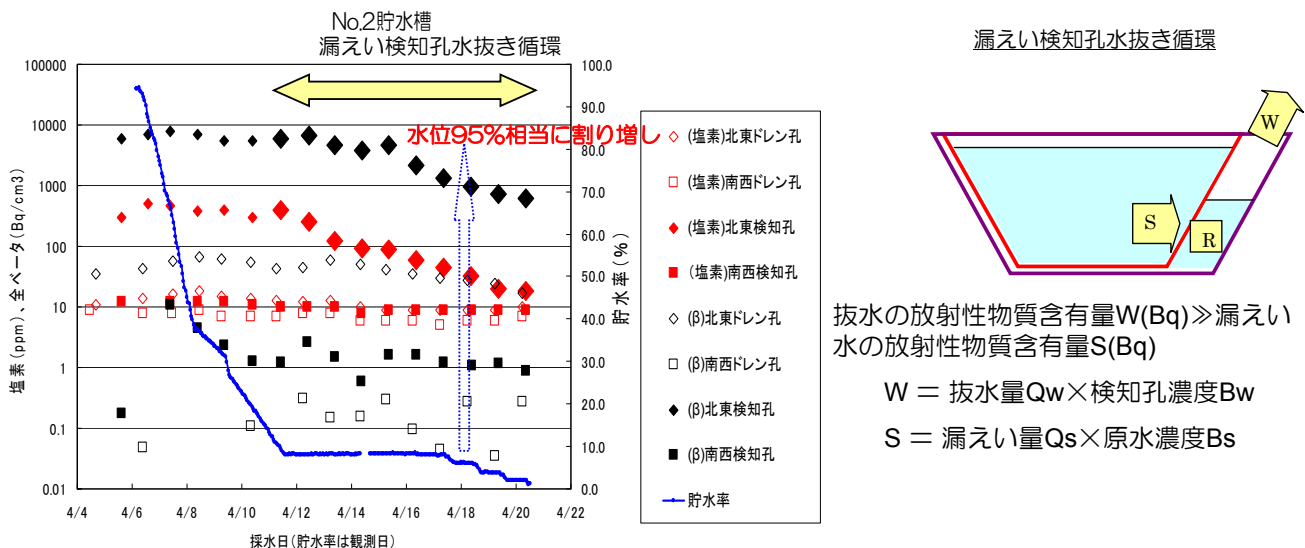
## 【参考3】 漏えい量の推定方法（概要）～希釈率法

- 漏えい検知孔からの汚染水回収により、漏えい検知孔内の汚染レベルが低下
  - 回収された汚染物質質量 > HDPEシートとベントナイトシート間に浸出した汚染物質質量
  - 評価は保守側に推定して、回収された汚染物質質量 = HDPEシートとベントナイトシート間に浸出した汚染物質質量と仮定
- HDPEシートとベントナイトシート間への浸出量は、漏えい検知孔から回収した水の量と全β濃度と貯留していた水的全β濃度※の比（希釈率）から計算
- ベントナイトシート外部への漏えい量については、ドレーン設備の容量と全β濃度と貯留していた水の濃度※の比（希釈率）から計算



※ No.2地下貯水槽貯留水の全β濃度（Bq/cm<sup>3</sup>）は、 $6.6 \times 10^4$ 、 $1.4 \times 10^5$ の2つの測定結果があるが、より保守的な $6.6 \times 10^4$ を採用

### 【参考3-1】 HDPEシート・ベントナイトシート間漏えい量：希釈率法



- No.2では4/11～20の間の漏えい検知孔水抜き循環で検知孔内の全β濃度が下がったということは「抜水の放射性物質含有量 ( $W$ )  $\gg$  漏えい水の放射性物質含有量 ( $S$ )」になったと考えられる
- しかしながら、ここでは保守的な推定として「 $W=S$ 」と仮定する
- No.2貯水槽の原水濃度（全β）は、 $6.6 \times 10^4$  Bq/cm<sup>3</sup>
- 日漏えい原水量は、Ave. ( $Q_w \times B_w / B_s$ ) = 12リットル/日  
 （4/11～20には貯水槽内水位が低下しているため、95%水位相当に割り増して算出）
- 漏えいが3/17に発生したと仮定した場合、漏えい検知孔の汚染水回収前の4/10までの間に約 288 リットル 漏えいしたと考えられる

## 【参考3-2】バントナイトシート外部への漏えい量：希釈率法

### ■ドレーン設備の空隙量と希釈率からの推定

- 算出方法：漏えい量 = 
$$\frac{\text{ドレーン孔全}\beta\text{濃度}(\text{Bq}/\text{cm}^3) \times \text{ドレーン設備空隙量}(\%)}{\text{貯水槽内原水全}\beta\text{濃度}(\text{Bq}/\text{cm}^3)}$$
- 原水濃度（全 $\beta$ ）： $6.6 \times 10^4 \text{Bq}/\text{cm}^3$
- ドレーン孔内最大濃度（全 $\beta$ ）： $68 \text{Bq}/\text{cm}^3$
- ドレーン設備容量（注）： $9 \text{m}^3$
- 漏えい量：
$$\frac{6.8 \times 10 (\text{Bq}/\text{cm}^3) \times 9000 (\%)}{6.6 \times 10^4 (\text{Bq}/\text{cm}^3)} = \underline{9 \text{リットル}}$$

（注）ドレーン設備全体の容量は約 $17 \text{m}^3$ であるが、No.2地下貯水槽では北東側のドレーン孔のみで汚染が確認されていること、ドレーン設備には中心から南北方向に水勾配が設けられていることから、全体の半分の $9 \text{m}^3$ として計算している

## 【参考4】No.1およびNo.3地下貯水槽漏えい量計算結果

### ■No.1漏えい量の算出

- HDPEシートとバントナイトシート間への漏えい量（全 $\beta$ ）
  - ◆算出方法、原水濃度の条件はNo.2と同様
  - ◆4/10-22において漏えい量と水抜き量が均衡しているとしてその間の1日の漏えい量は次の通りとなる

$$\frac{\text{抜水平均全}\beta\text{濃度}(\text{Bq}/\text{cm}^3) \times \text{抜水平均量}(\%)}{\text{貯水槽内原水全}\beta\text{濃度}(\text{Bq}/\text{cm}^3)} = \frac{3.2 \times 10^4 (\text{Bq}/\text{cm}^3) \times 36 (\%)}{6.6 \times 10^4 (\text{Bq}/\text{cm}^3)} = 17\%/\text{日}$$

- ◆No.1貯水槽は4月6日-9日の4日間、汚染水の回収ができていないので漏えい量は約68リットル
- ◆ただし、これに関しては回収を実施
- バントナイトシート外部への漏えい量
  - ◆ドレーン孔内の最高全 $\beta$ 濃度は $6.8 \times 10 \text{Bq}/\text{cm}^3$
  - ◆これより漏えい量は次のように求められる

$$\frac{\text{ドレーン孔全}\beta\text{濃度}(\text{Bq}/\text{cm}^3) \times \text{ドレーン設備空隙量}(\%)}{\text{貯水槽内原水全}\beta\text{濃度}(\text{Bq}/\text{cm}^3)} = \frac{6.8 \times 10 (\text{Bq}/\text{cm}^3) \times 9000 (\%)}{6.6 \times 10^4 (\text{Bq}/\text{cm}^3)} = \underline{9 \text{リットル}}$$

### ■No.3漏えい量の算出

- HDPEシートとバントナイトシート間への漏えい量（全 $\beta$ ）
  - ◆4/15-29の間においてNo.1と基本的には同様計算（ただし、貯水槽の水位を95%に補正）した結果は0.3%/日となる（全 $\beta$ 濃度 $6.3 \times 10^4 \text{Bq}/\text{cm}^3$ ）
  - ◆満水になった2/8から汚染水の回収が始まる4/15までの間20リットル漏えいしたと考えられる
  - ◆ただし、バントナイトシート内にとどまっていると考えられるので、回収可能と考えられる
- バントナイトシート外部への漏えい量
  - ◆ドレーン孔内の最高全 $\beta$ 濃度は $1.1 \text{Bq}/\text{cm}^3$ であり、有意な漏えいはないと考えられる

# 【参考5】 NO.2地下貯水槽と漏えい検知孔の水位

地下貯水槽(iiエリア)計測結果

