

廃棄物埋設施設における
許可基準規則への適合性について

第九条第二号 異常時の放射線障害の防止等
(廃止措置開始以後の評価)

廃棄物埋設地の状態設定

－透水係数の設定－



2019年10月16日

日本原燃株式会社

目次

1. はじめに	1
2. 状態変化の評価	2
2.1. 力学的影響	2
2.2. 化学的影響	3
2.3. 状態変化の重畳について.....	4
3. 廃棄物埋設地の状態設定	5
3.1. 覆土の状態設定.....	5
3.2. 難透水性覆土及び下部覆土の等価透水係数.....	8
3.3. その他の廃棄物埋設地の状態設定.....	12

参考資料 低透水性を有する覆土に対して等価透水係数を設定することの妥当性 について.....	添6参1-1
---	--------

	: 補正に伴い変更する箇所 (コメント対応含む)
	: 上記以外の審査会合コメント反映箇所
緑字	: 第 298 回審査会合(2019/8/26)までに自主的に変更した箇所
赤字	: 第 298 回審査会合(2019/8/26)からの変更箇所

1. はじめに

本資料は資料 2-2-1 のうち廃棄物埋設地の状態設定（透水係数の設定）を補足説明するものである。

覆土の透水係数及び厚さに対する状態変化の評価に基づき、廃棄物埋設地の長期状態を設定する。「補足説明資料 4_力学的影響」及び「補足説明資料 5_化学的影響」の評価結果を基に、力学的影響及び化学的影響を考慮した廃棄物埋設地の状態を設定し、線量評価に用いる覆土の等価透水係数を算出する。

なお、水理的影響により大きな状態変化は発生しないことから、状態設定においては直接的な影響として考慮しないものとする。

状態設定においては、埋設設備内に含まれる廃棄体の種類によって評価が異なることから、3号廃棄物埋設施設、1号廃棄物埋設施設及び2号廃棄物埋設施設で個別に設定を行う。

なお、廃棄物埋設地における埋設設備及び地盤についても状態設定を行い、透水係数を設定する。

2. 状態変化の評価

2.1. 力学的影響

金属及び埋設設備の膨張並びに埋設設備の陥没に起因する影響において、DEM解析により覆土の低透水性（透水係数及び覆土厚さ）への影響評価をした結果から、透水係数に変化は生じないものの覆土厚さに力学的変形が生じると評価する。（詳細は「補足説明資料 4_力学的影響」を参照）

(1) 難透水性覆土の変形

a. 埋設設備の膨張による覆土の変形

難透水性覆土の状況を第1表に示す。基本設定においては開口が生じず、膨張量の大きい3号及び2号の変動設定において2mの開口が生じると評価する。

第1表 設備膨張量及び覆土状況

		1,000年後	
		基本	変動
3号	設備膨張量[m]	0.35	5.0
	難透水性覆土の状況	1m以上残る (開口無し)	2m開口
1号	設備膨張量[m]	0.0332	1.26
	難透水性覆土の状況	1m以上残る (開口無し)	ほぼ残らない (開口無し)
2号	設備膨張量[m]	0.164	2.25
	難透水性覆土の状況	1m以上残る (開口無し)	2m開口

b. 埋設設備の陥没による覆土の変形

難透水性覆土の状況を第2表に示す。基本設定及び変動設定において、ともに破断や厚さの変化が生じないと評価する。

第2表 設備膨張量及び覆土状況

		1,000年後	
		基本	変動
1号	設備陥没量[m]	1.0	1.0
	難透水性覆土の状況	厚さの変化 無し	厚さの変化 無し

(2) 下部覆土の変形

破断や厚さの変化が生じないと評価する。

2.2. 化学的影響

地球化学解析を用いて等価透水係数の変遷を評価した結果から、透水係数に化学的変質が生じると評価する。(詳細は「補足説明資料5_化学的影響」を参照)

(1) 難透水性覆土の変質

難透水性覆土の変質後における透水係数及び変質フロント（透水係数が初期値を下回る領域の到達点）に対する覆土の残り長さ（以下「健全部残長」という。）を第3表に示す。化学的影響は難透水性覆土内に留まると評価する。

第3表 変質後の難透水性覆土の透水係数及び健全部残長

		1,000年後	
		基本	変動
3号	透水係数[m/s]	1.01×10^{-10}	1.02×10^{-10}
	健全部残長[m]	1.6	1.2
1号	透水係数[m/s]	1.42×10^{-10}	1.84×10^{-10}
	健全部残長[m]	0.8	0.2
2号*1	透水係数[m/s]	1.01×10^{-10}	1.02×10^{-10}
	健全部残長[m]	1.6	1.2

*1 3号の結果を流用

(2) 下部覆土の変質

下部覆土の変質後における透水係数及び健全部残長を第4表に示す。下部覆土は化学的影響により変質を受けないと評価する。変質を受ける場合においても、直近の難透水性覆土の影響度合いが小さく、下部覆土に対する影響範囲は限定的であり、健全部残長は1.5m以上であると評価する。なお、変質後の透水係数に関しても 1×10^{-7} m/s以下であると評価する。

第4表 変質後の下部覆土の透水係数

		1,000年後	
		基本	変動
3号	透水係数[m/s]	—	—
	健全部残長[m]	2.0	2.0
1号	透水係数[m/s]	—	—
	健全部残長[m]	2.0	2.0
2号	透水係数[m/s]	—	—
	健全部残長[m]	2.0	2.0

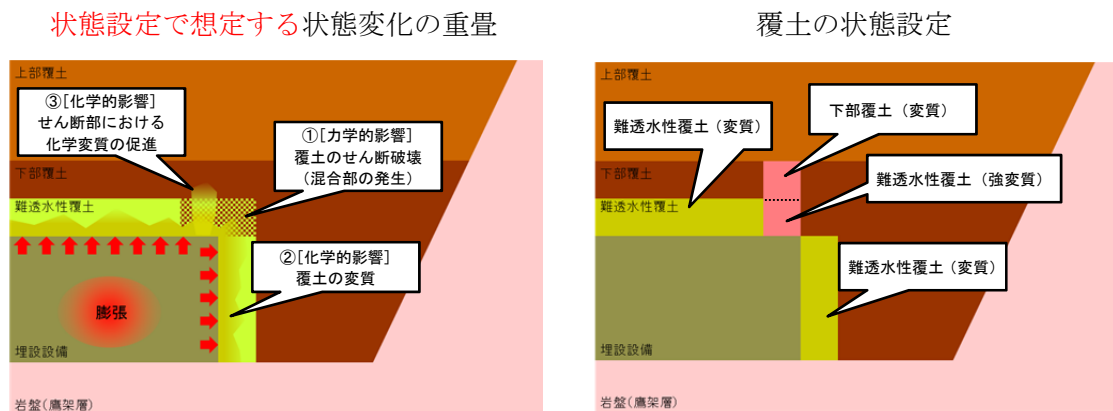
2.3. 状態変化の重畳について

力学的影響により覆土は変形するが、透水係数は変化しないと評価している。ここで、化学的影響による透水係数上昇の主要因であるモンモリロナイトの溶解については、微粒子の変質現象であり、変形特性に対する影響は軽微であると考えられる。

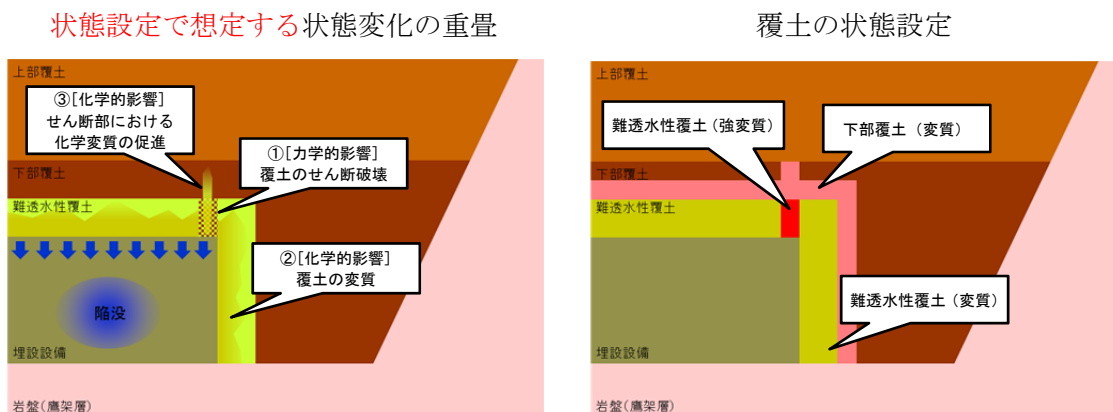
化学的影響により覆土の透水係数が増加すると評価している。ここで、力学的影響では透水係数が増加しないため、覆土の変質要因である化学物質の供給量に対する影響は軽微であると考えられる。

以上のことから、力学的影響及び化学的影響は相互干渉せず、独立して覆土に影響を与えると判断するが、状態設定においては、透水係数の増加を局所的に見込むものとする。

力学的影響及び化学的影響を重ね合わせた概念図について、力学的影響における変形形態の整理に倣い、埋設設備膨張時の状態変化を第1図に、埋設設備陥没時の状態変化を第2図に示す。



第1図 埋設設備膨張時の状態変化及び状態設定の概念図



第2図 埋設設備陥没時の状態変化及び状態設定の概念図

3. 廃棄物埋設地の状態設定

評価結果を基に、力学的影響及び化学的影響を考慮した廃棄物埋設地の状態を設定する。

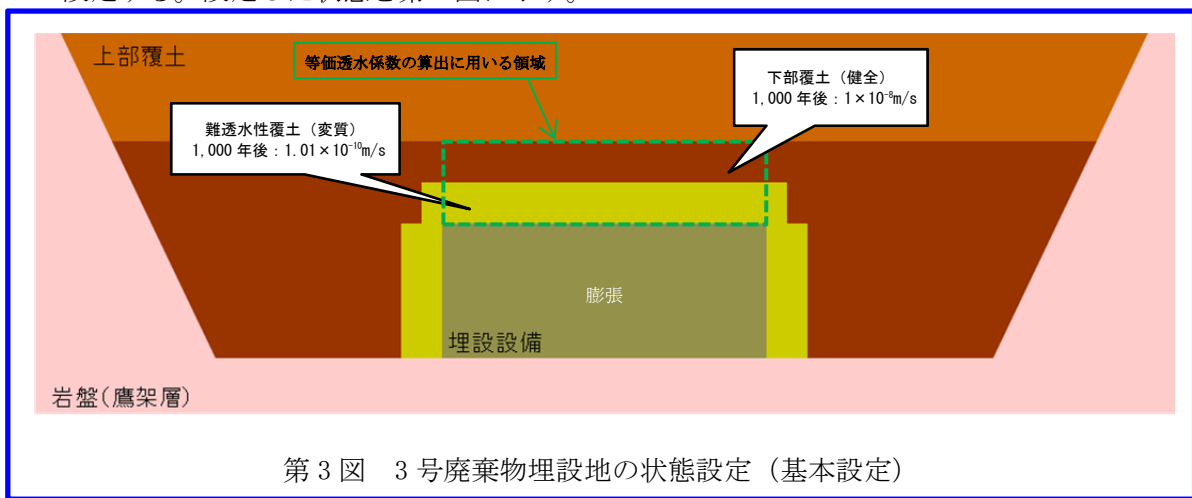
なお、側方の覆土状態に比べ、上方の覆土状態の変質度合いが大きいことから、埋設設備を取り囲む覆土の等価透水係数を算出する際には、上方の覆土状態を対象とした等価透水係数にて代表させる。

3.1. 覆土の状態設定

(1) 3号廃棄物埋設地

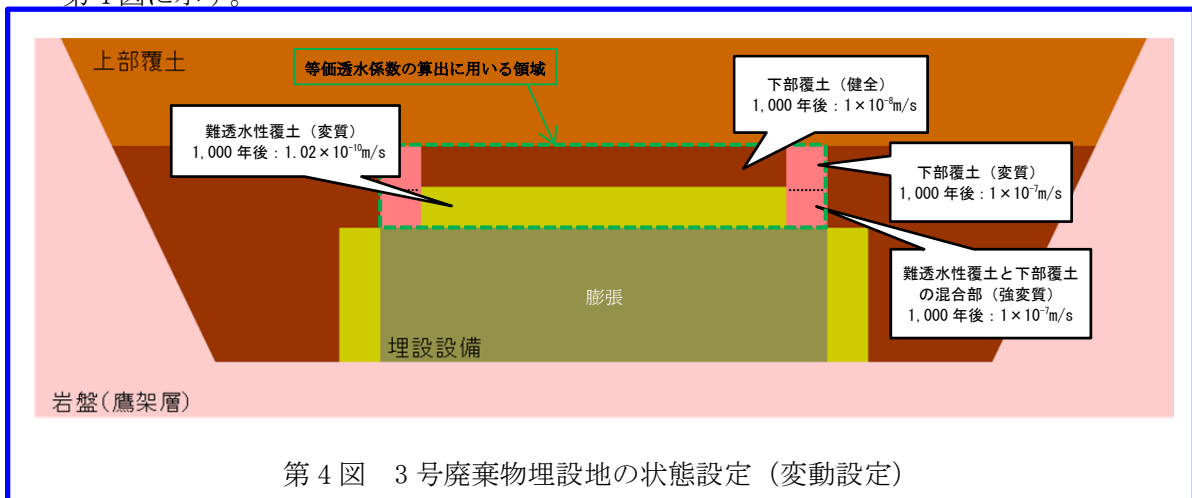
a. 基本設定（開口が生じないケース）

力学的影響により開口を生じないことから、化学的影響による変質のみによる状態を設定する。設定した状態を第3図に示す。



b. 変動設定（2mの開口が生じるケース）

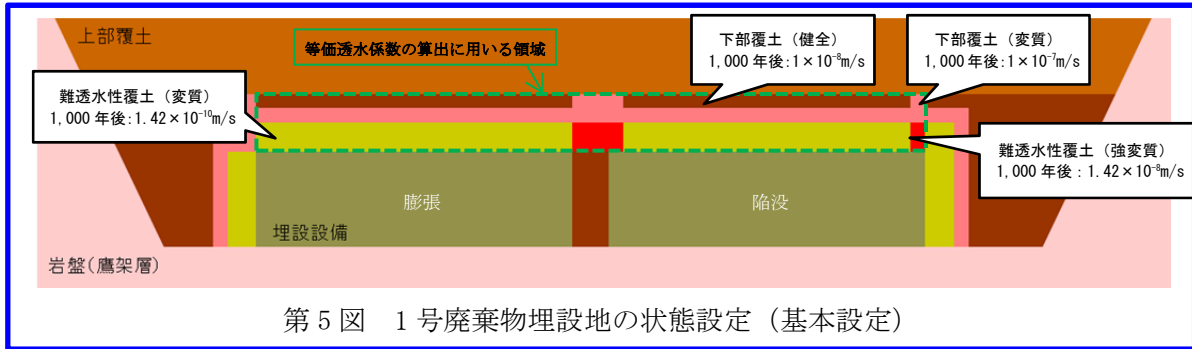
開口部付近の「難透水性覆土と下部覆土の混合部（強変質）」においては化学変質が促進されるものとして、透水係数を変質後から更に2オーダー以上引き上げた状態を設定する。それ以外の箇所においては、化学的影響による変質のみとする。設定した状態を第4図に示す。



(2) 1号廃棄物埋設地

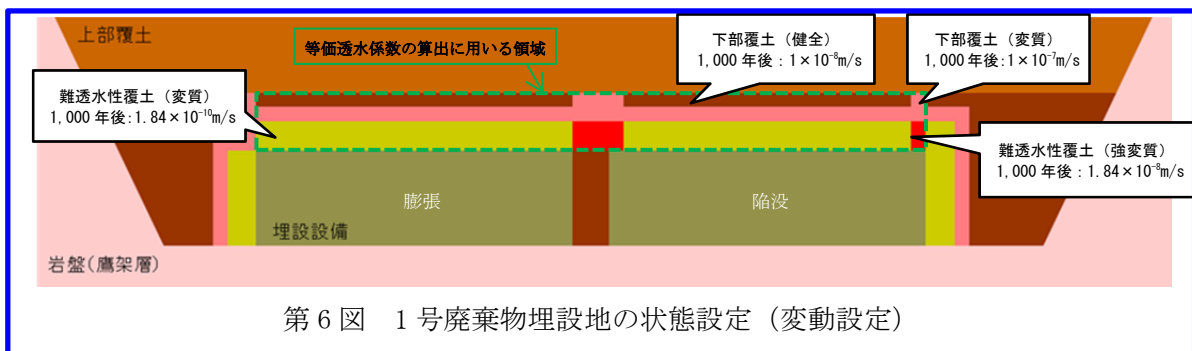
a. 基本設定（開口が生じないケース）

力学的影響により開口を生じないが、陥没によるせん断部付近の「難透水性覆土（強変質）」においては保守的に化学変質が促進されるものとして透水係数を変質後から更に2オーダー引き上げた状態を設定する。それ以外の箇所においては、化学的影響による変質のみとする。設定した状態を第5図に示す。



b. 変動設定（開口が生じないケース）

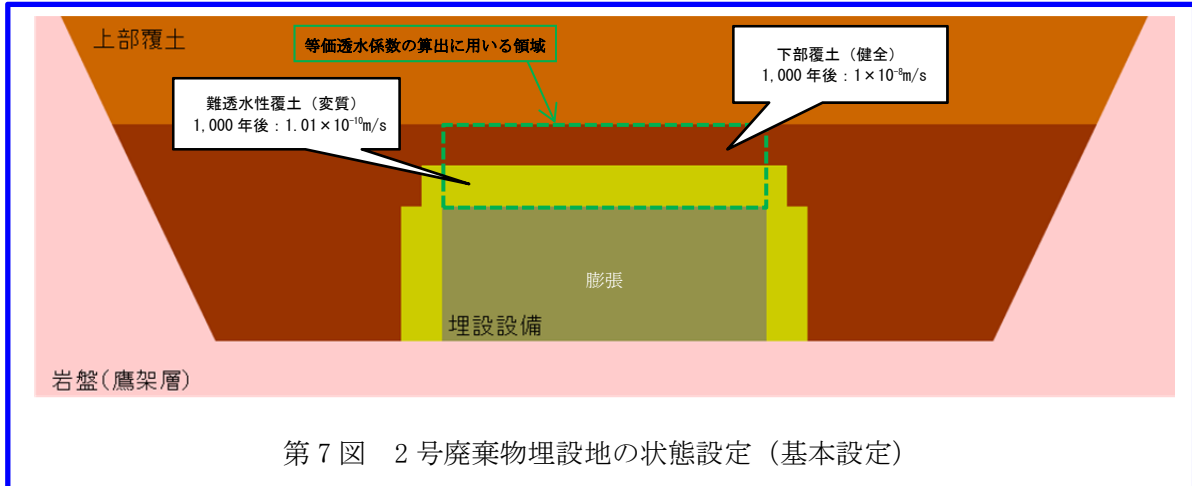
力学的影響により開口を生じないが、陥没によるせん断部付近の「難透水性覆土（強変質）」においては化学変質が促進されるものとして透水係数を変質後から更に2オーダー引き上げた状態を設定する。それ以外の箇所においては、化学的影響による変質のみとする。設定した状態を第6図に示す。



(3) 2号廃棄物埋設地

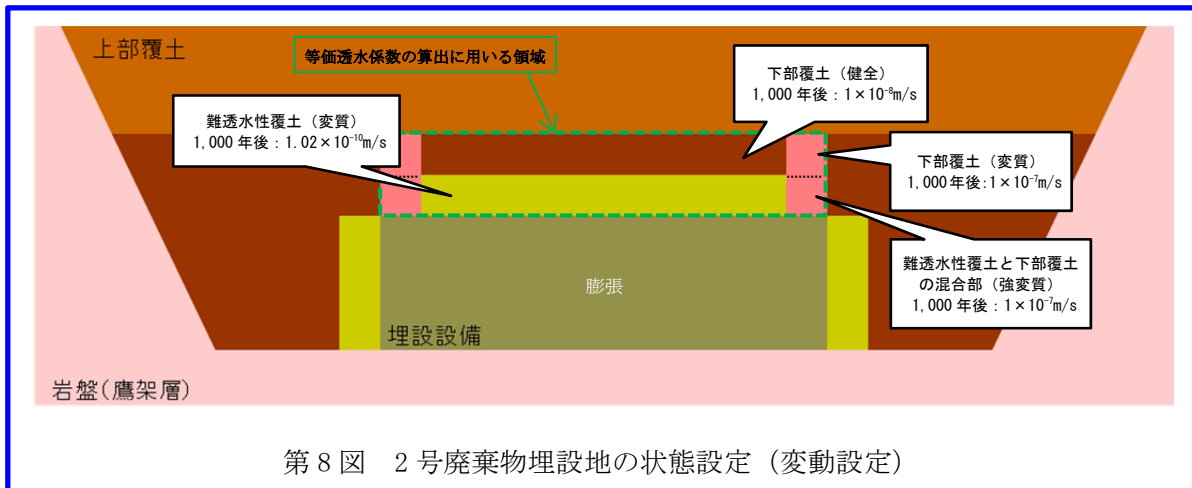
a. 基本設定（開口が生じないケース）

力学的影響により開口を生じないことから、化学的影響による変質のみによる状態を設定する。設定した状態を第7図に示す。



b. 変動設定（2mの開口が生じるケース）

開口部付近の「難透水性覆土と下部覆土の混合部」においては化学変質が促進されるものとして、透水係数を変質後から更に2オーダー以上引き上げた状態を設定する。それ以外の箇所においては、化学的影響による変質のみとする。設定した状態を第8図に示す。



3.2. 難透水性覆土及び下部覆土の等価透水係数

覆土の状態設定を用いて、難透水性覆土及び下部覆土の等価透水係数を算出する。側方の覆土状態に比べ、上方の覆土状態の変質度合いが大きいため、埋設設備の上方の覆土を対象に等価透水係数を算出し、流出水量の計算において上方及び側方の透水係数として用いる。したがって、覆土内の地下水の流動方向によらず、埋設設備から外部への核種移行を検討する際に用いる最も保守的な等価透水係数となる。

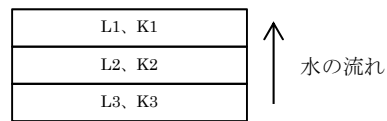
なお、透水係数の異なる複数の土質材料が存在していることから、以下に示す直列方向の合成と並列方向の合成を組み合わせることで、覆土の等価透水係数を算出する。

<鉛直直列方向の合成式>

$$K = \frac{\sum L_i}{\sum (L_i / K_i)}$$

L_i : i 番目の層の覆土厚さ [m]

K_i : i 番目の層の透水係数 [m/s]

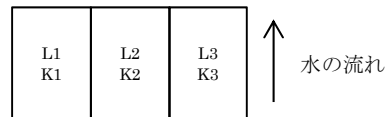


<鉛直並列方向の合成式>

$$K = \frac{\sum (K_i \times L_i)}{\sum L_i}$$

L_i : i 列目の覆土幅 [m]

K_i : i 列目の透水係数 [m/s]



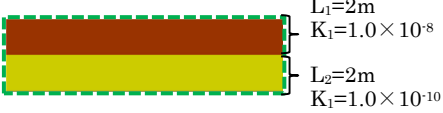

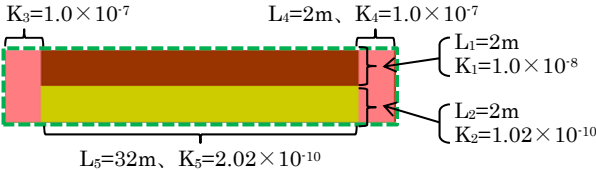
コメントNo.54_初期の等価透水係数を追加
 コメントNo.56_1,000年後の状態設定を追加

状態変化の評価における変更に伴い変更

(1) 3号廃棄物埋設地における覆土の等価透水係数

覆土の透水係数設定及び等価透水係数を第5表及び第6表に示す。

第5表 覆土の透水係数設定 (3号廃棄物埋設地)

時期	—
0年 (初期)	
時期	基本設定
1,000年 後	
時期	変動設定
1,000年 後	

第6表 覆土の等価透水係数 (3号廃棄物埋設地)

	0年 (初期)	1,000年後	
		基本	変動
計算値[m/s]	1.98×10^{-10}	2.00×10^{-10}	1.13×10^{-8}
設定値[m/s]	—	2.00×10^{-10}	1.50×10^{-8}

コメントNo.54_初期の等価透水係数を追加
 コメントNo.56_1,000年後の状態設定を追加

状態変化の評価における変更に伴い変更

(2) 1号廃棄物埋設地における覆土の等価透水係数

覆土の透水係数設定及び等価透水係数を第7表及び第8表に示す。

第7表 覆土の透水係数設定 (1号廃棄物埋設地)

時期	—	
0年 (初期)		
時期	基本設定	
1,000年 後		
時期	変動設定	
1,000年 後		

第8表 覆土の等価透水係数 (1号廃棄物埋設地)

	0年 (初期)	1,000年後	
		基本	変動
計算値[m/s]	1.98×10^{-10}	2.39×10^{-9}	3.00×10^{-9}
設定値[m/s]	—	2.50×10^{-9}	3.00×10^{-9}

コメントNo.54_初期の等価透水係数を追加
 コメントNo.56_1,000年後の状態設定を追加

状態変化の評価における変更に伴い変更

(3) 2号廃棄物埋設地における覆土の等価透水係数

覆土の透水係数設定及び等価透水係数を第9表及び第10表に示す。

第9表 覆土の透水係数設定 (2号廃棄物埋設地)

時期	—
0年 (初期)	
時期	基本設定
1,000年 後	
時期	変動設定
1,000年 後	

第10表 覆土の等価透水係数 (2号廃棄物埋設地)

	0年 (初期)	1,000年後	
		基本	変動
計算値[m/s]	1.98×10^{-10}	2.00×10^{-10}	1.13×10^{-8}
設定値[m/s]	—	2.00×10^{-10}	1.50×10^{-8}

3.3. その他の廃棄物埋設地の状態設定

廃棄物埋設地における埋設設備及び地盤について、以下のとおり状態設定を行い、1,000年後の透水係数を設定する。

(1) 埋設設備

コンクリート構造物である埋設設備は、エトリンガイトの生成による内部破壊やセメントの溶脱による固結性低下により、長期状態においてほぼ砂程度の状態となることが想定される。そのため、基本設定及び変動設定における透水係数を $1.0 \times 10^{-5} \text{m/s}$ と設定する。

(2) 岩盤（「補足説明資料 1_地質環境に係る長期変動事象」を参照）

断層運動及び地震の影響により岩盤の透水性は大きく変化しないと想定される。そのため、長期状態における透水係数は初期値のまま継続すると設定する。地盤の透水係数を第 11 表に示す。

第 11 表 地盤の透水係数

ケース	材料区分	3号廃棄物埋設地 [m/s]	1号廃棄物埋設地 [m/s]	2号廃棄物埋設地 [m/s]
基本 設定	第四紀層	3.0×10^{-6}	2.6×10^{-6}	3.6×10^{-6}
	鷹架層	5.0×10^{-8}	1.1×10^{-7}	7.8×10^{-8}
変動 設定	第四紀層	3.0×10^{-6}	2.6×10^{-6}	3.6×10^{-6}
	鷹架層	5.0×10^{-8}	1.1×10^{-7}	7.8×10^{-8}

参考資料

低透水性を有する覆土に対して
等価透水係数を設定することの妥当性について

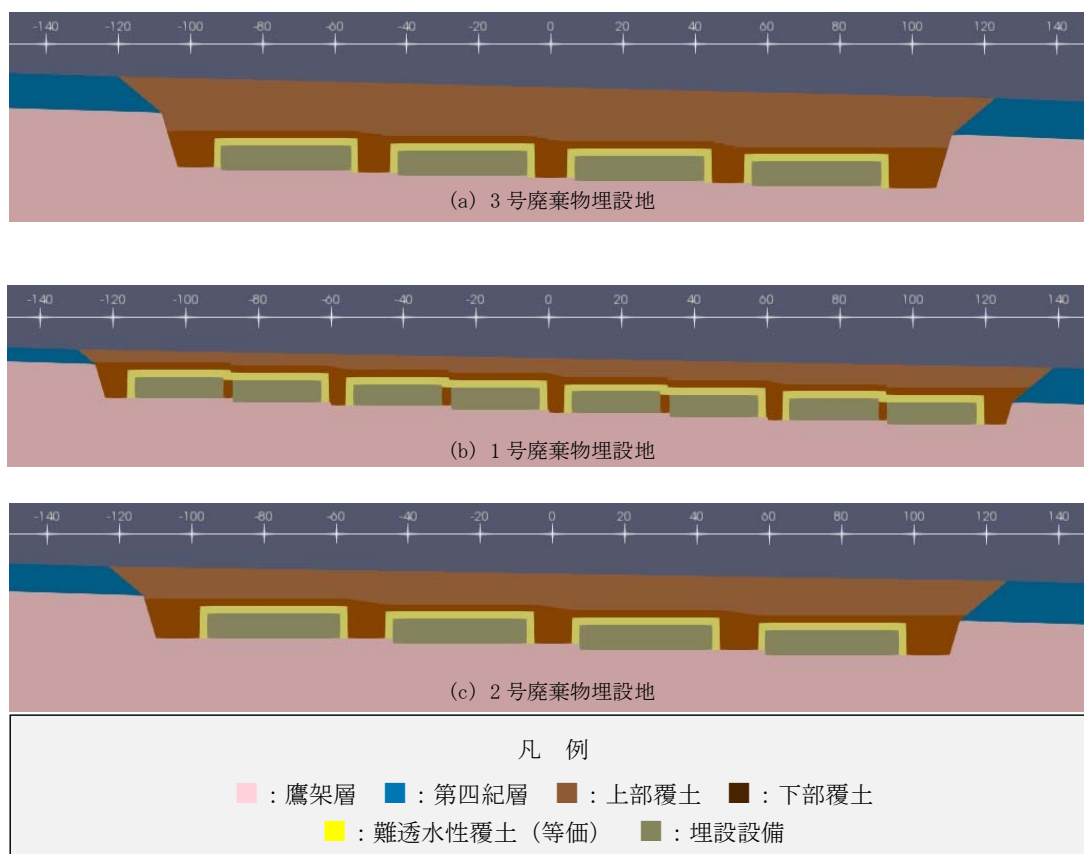
1. はじめに

本資料は、2次元地下水浸透流解析で等価透水係数を設定することの妥当性を示すものである。

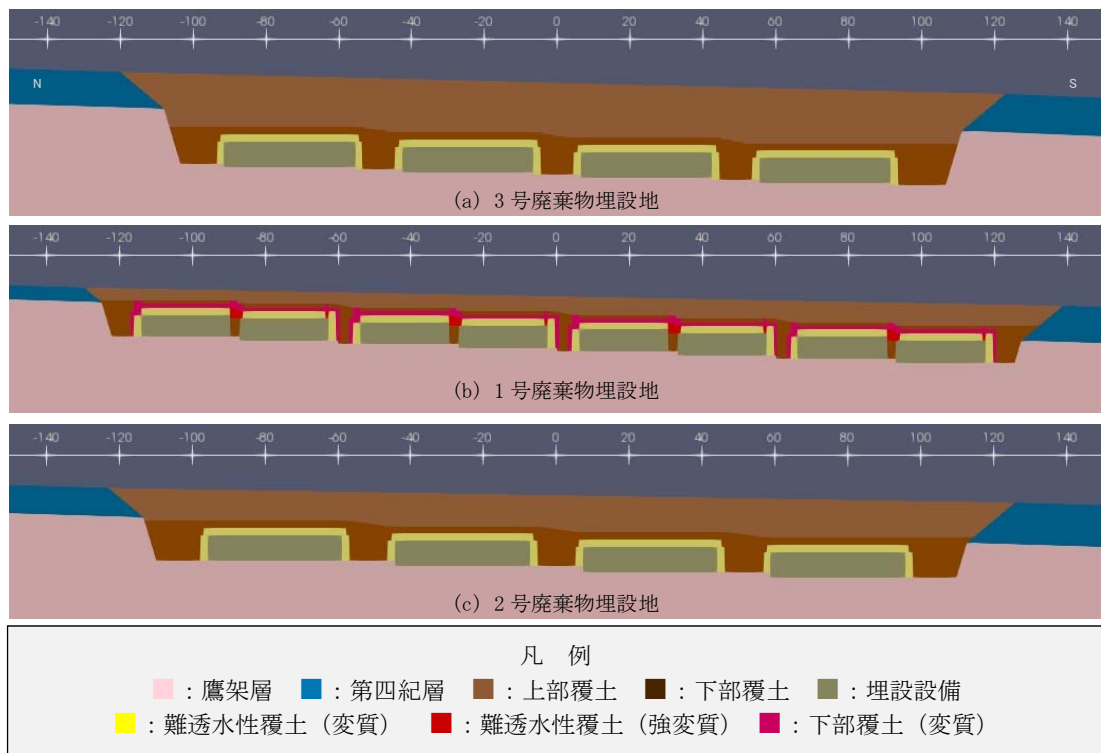
なお、2次元地下水浸透流解析は、線量評価パラメータである「埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量」を求めるために利用している。一方で、線量評価は1次元モデルにより解析を実施していることから、前段の2次元地下水浸透流解析においては、埋設設備から周辺への移行経路をモデリングしやすいように、低透水性を有する覆土の劣化後の透水係数を等価透水係数として設定している。

2. 妥当性の確認方法

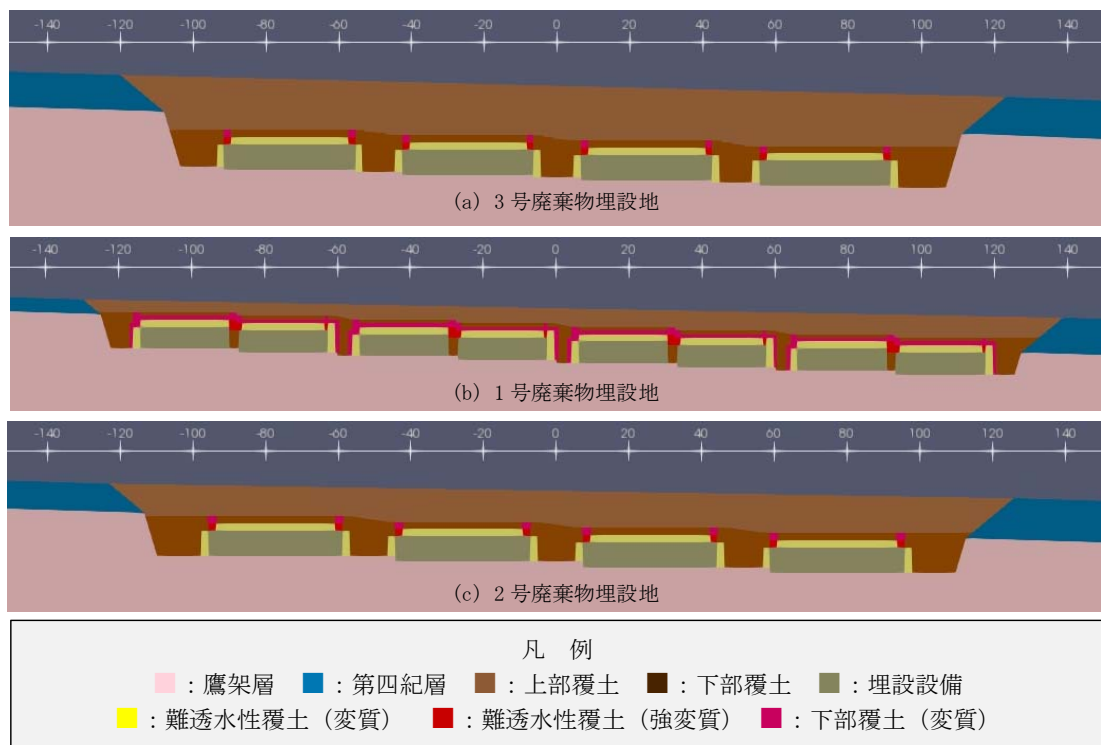
力学的影響及び化学的影響を考慮した状態設定に従い、変質部の透水係数を部分的に配置したモデル（劣化箇所反映モデル）を第1図から第3図に示す。本モデルを用いて流出水量を算出後、等価透水係数を用いたモデル（等価透水係数モデル）による流出水量と比較し、必要に応じて線量評価により影響を確認する。



第1図 廃棄物埋設地付近の材料分布(等価透水係数モデル)



第2図 廃棄物埋設地付近の材料分布(劣化箇所反映モデル 基本設定)



第3図 廃棄物埋設地付近の材料分布(劣化箇所反映モデル 変動設定)

3. 確認結果

等価透水係数モデル及び劣化箇所反映モデルの埋設設備からの流出水量を第1表に示す。等価透水係数モデル及び劣化箇所反映モデルにおいて大きな差はなく、劣化箇所反映モデルの線量評価に影響を与えない見込みがあることを確認した。

第1表 等価透水係数モデル及び劣化箇所反映モデルの埋設設備からの流出水量

計算ケース	モデル	3号廃棄物埋設地		1号廃棄物埋設地		2号廃棄物埋設地		
		Q _{co} (t) [m ³ /y]	Q _{go} (t) [m ³ /y]	Q _{co} (t) [m ³ /y]	Q _{go} (t) [m ³ /y]	Q _{co} (t) [m ³ /y]	Q _{go} (t) [m ³ /y]	
基本設定	寒冷化ケース	①等価透水係数モデル	10	630	130	2,200	20	920
		②劣化箇所反映モデル	10	630	110	2,200	20	910
		差 (②-①)	0	0	-20	0	0	-10
	温暖期継続ケース	①等価透水係数モデル	10	630	130	2,200	20	920
		②劣化箇所反映モデル	10	630	110	2,200	20	910
		差 (②-①)	0	0	-20	0	0	-10
変動設定	寒冷化ケース	①等価透水係数モデル	510	1,500	150	2,200	350	1,300
		②劣化箇所反映モデル	460	1,500	130	2,200	280	1,300
		差 (②-①)	-50	0	-20	0	-70	0
	温暖期継続ケース	①等価透水係数モデル	510	1,500	150	2,200	350	1,300
		②劣化箇所反映モデル	460	1,500	130	2,200	280	1,300
		差 (②-①)	-50	0	-20	0	-70	0

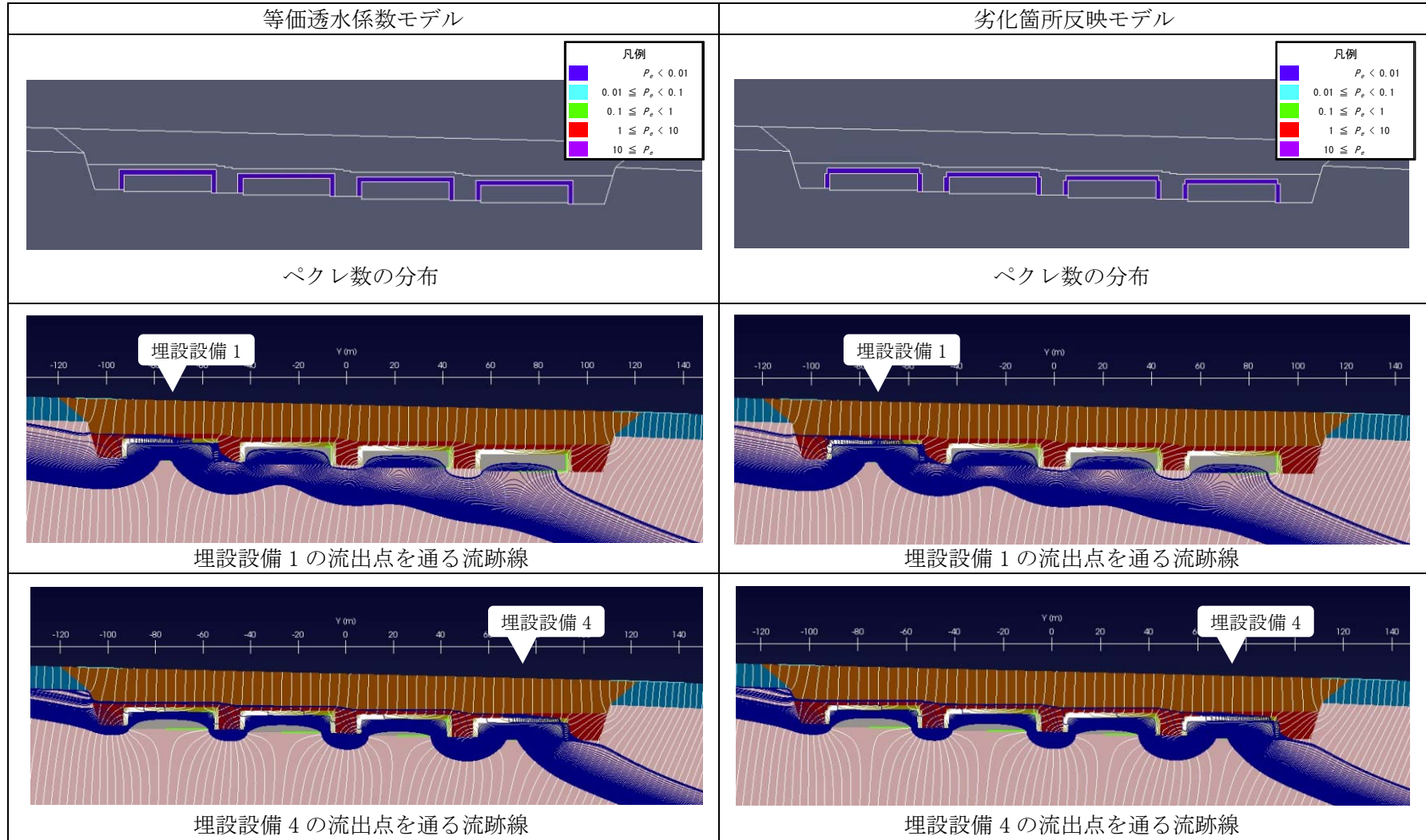
※ Q_{co}(t) : 埋設設備から覆土への流出水量[m³/y]

Q_{go}(t) : 埋設設備から鷹架層への流出水量[m³/y]

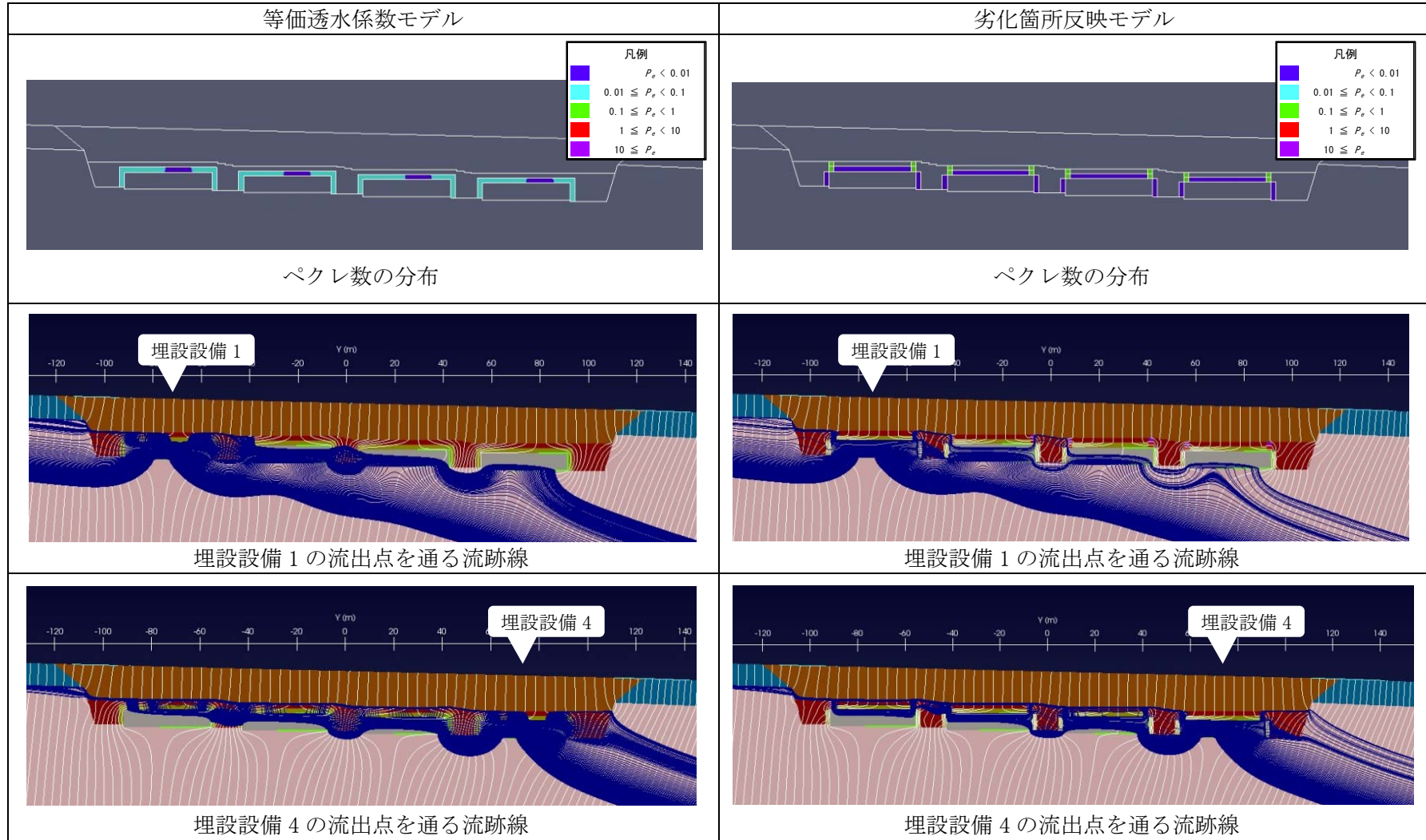
また、等価透水係数モデル及び劣化箇所反映モデルのペクレ数分布及び流跡線を第2表～第7表に示す。低透水性を期待する難透水性覆土および下部覆土において、両モデルともにペクレ数が1未満であることから、拡散場となっていることを確認した。流跡線についても、両モデルで傾向に大きな差異はなく、同等であることを確認した。

以上のことから、2次元地下水浸透流解析を行う際に、覆土における変質部の透水係数を部分的に配置せず、等価透水係数を設定することは妥当であると判断する。

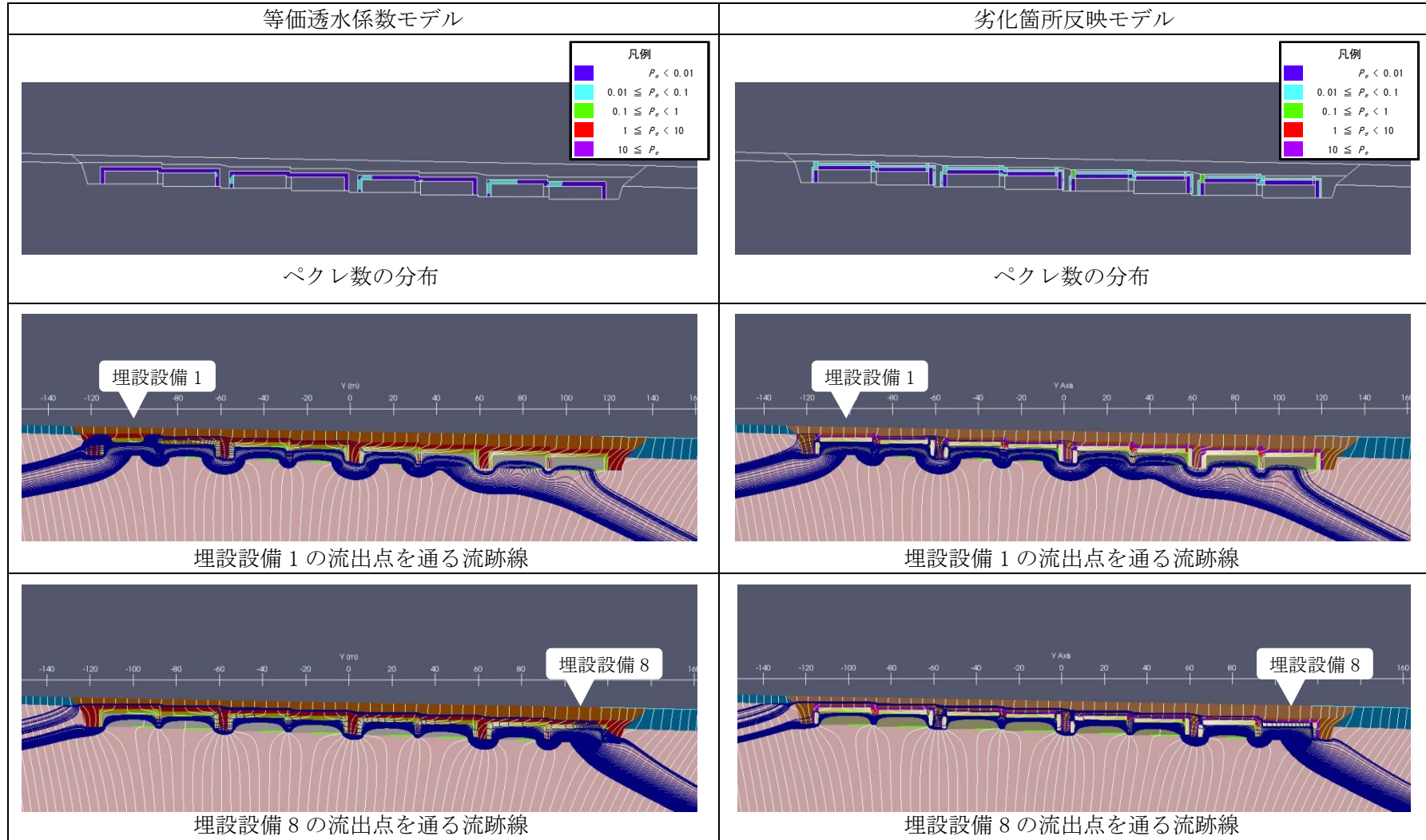
第2表 3号廃棄物埋設地における2次元地下水浸透流解析結果<1,000年後 基本設定>



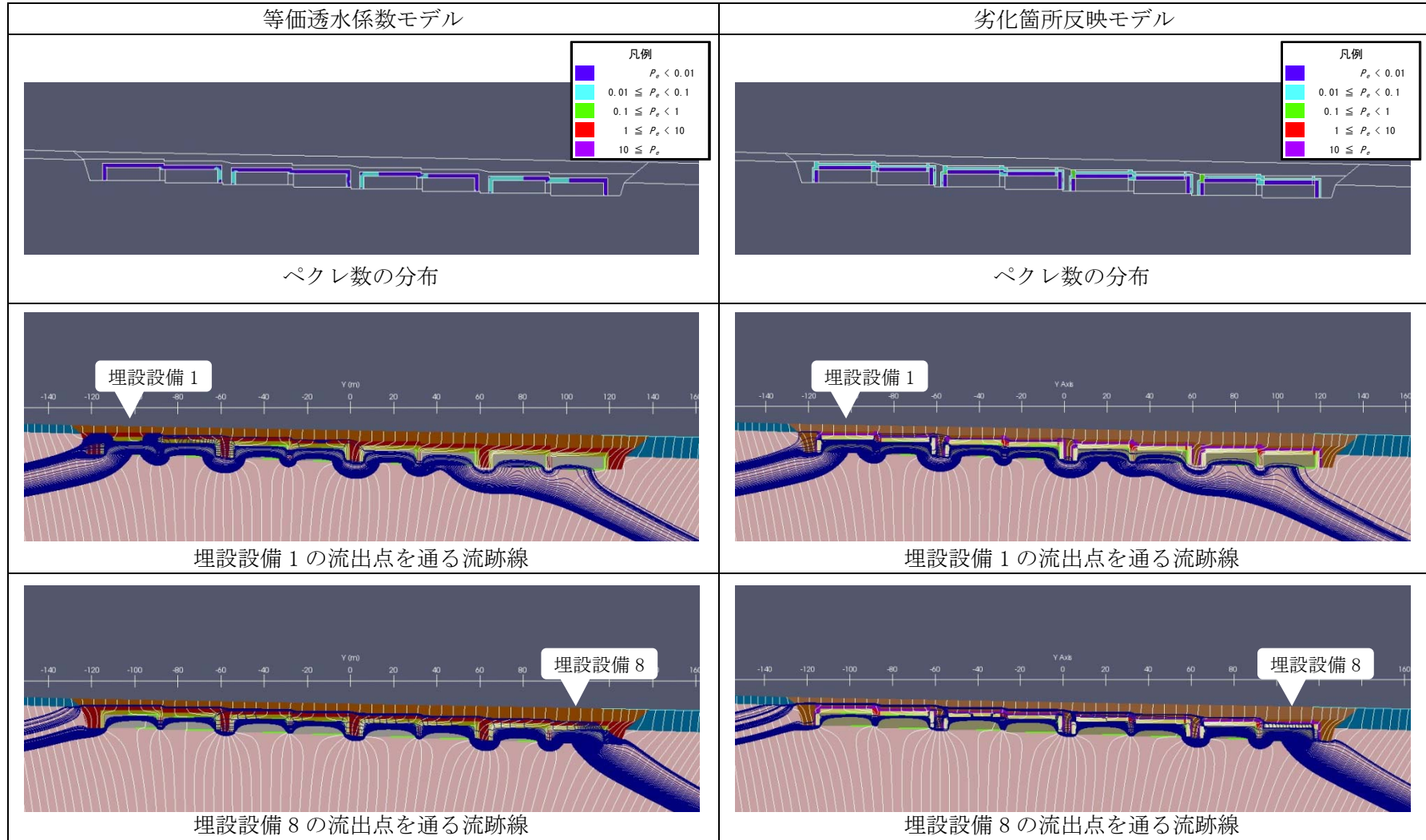
第3表 3号廃棄物埋設地における2次元地下水浸透流解析結果<1,000年後 変動設定>



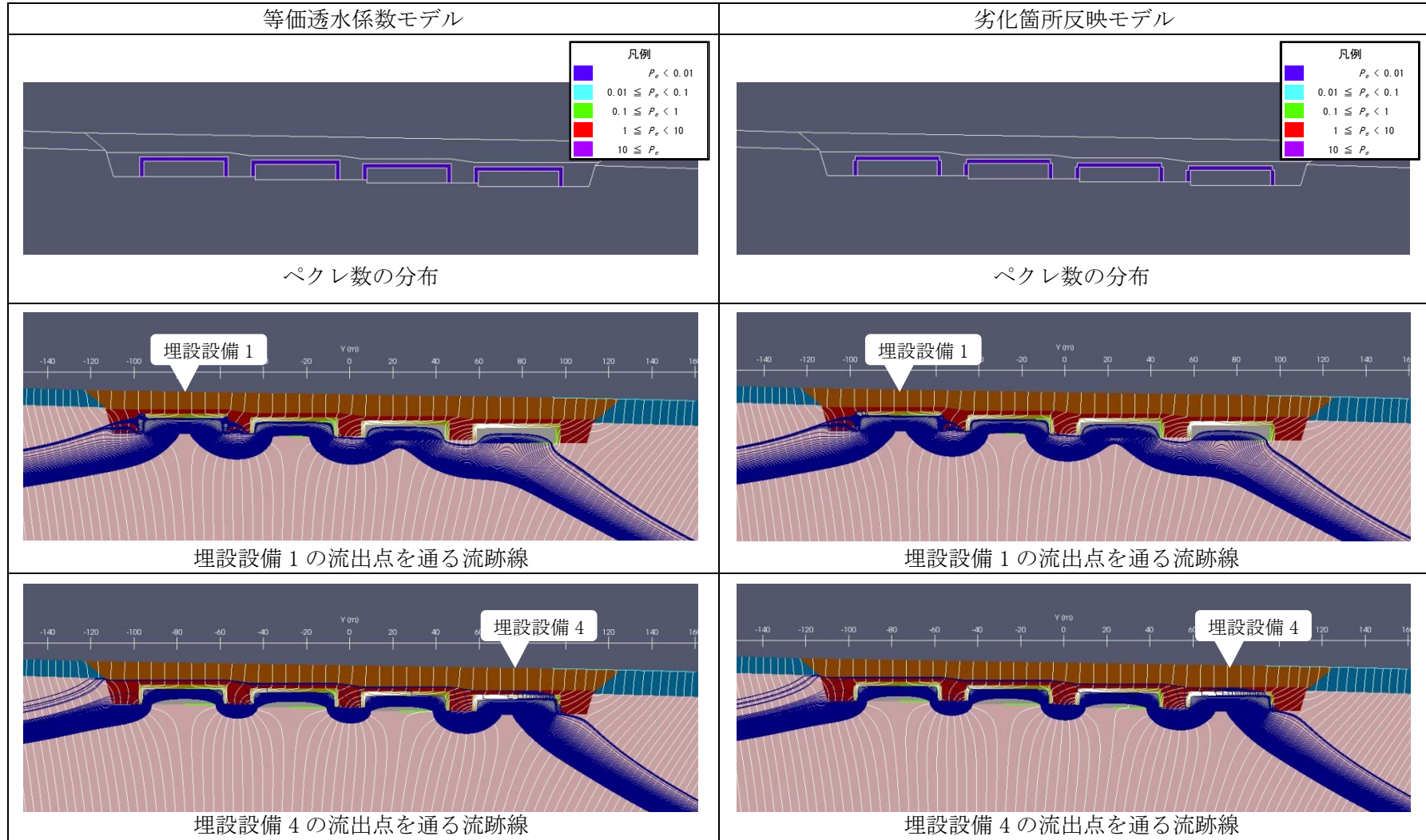
第4表 1号廃棄物埋設地における2次元地下水浸透流解析結果<1,000年後 基本設定>



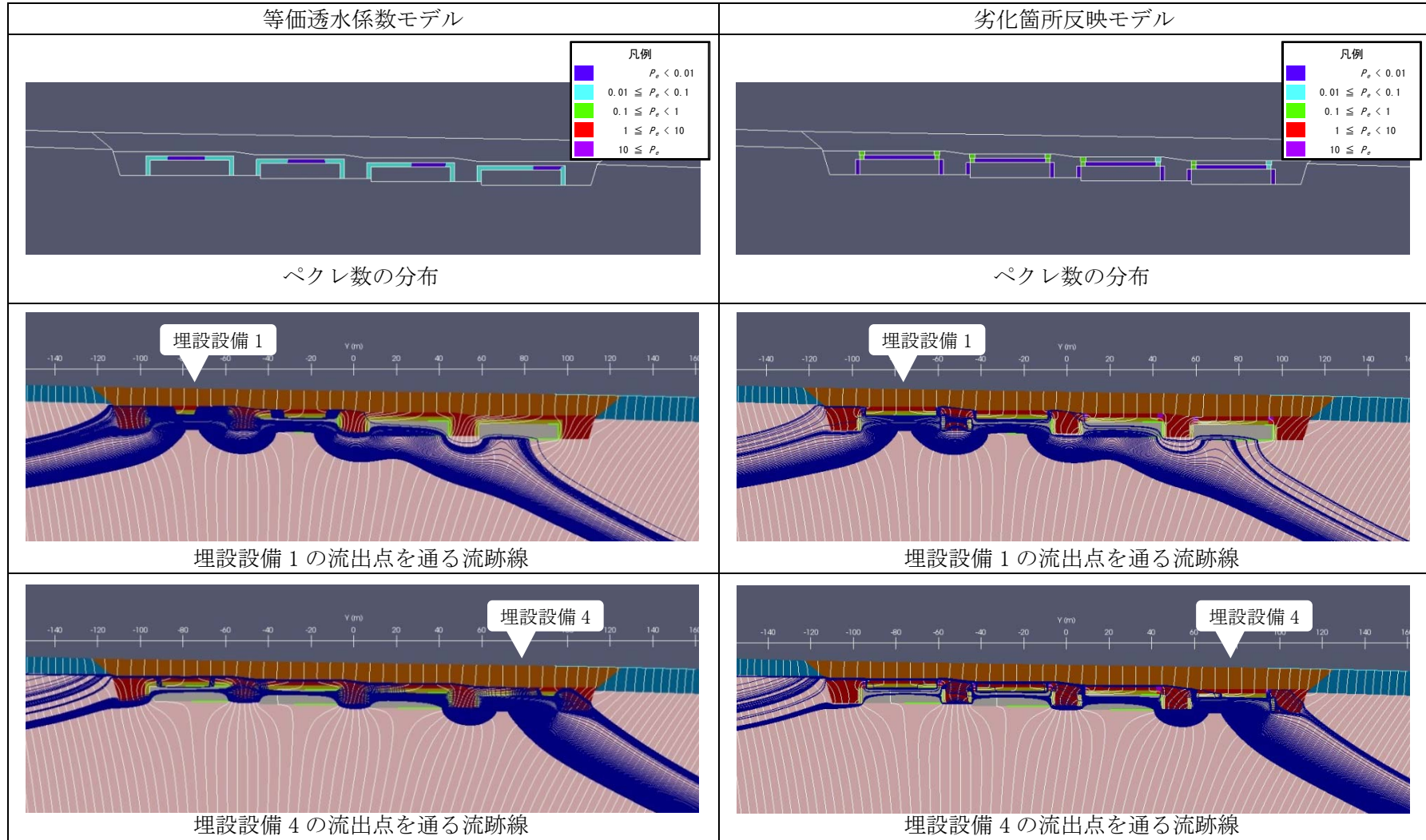
第5表 1号廃棄物埋設地における2次元地下水浸透流解析結果<1,000年後 変動設定>



第6表 2号廃棄物埋設地における2次元地下水浸透流解析結果<1,000年後 基本設定>



第7表 2号廃棄物埋設地における2次元地下水浸透流解析結果<1,000年後 変動設定>



廃棄物埋設施設における
許可基準規則への適合性について

第九条第二号 異常時の放射線障害の防止等
(廃止措置開始以後の評価)

線量評価パラメータ
-埋設設備からの流出水量-

2019年10月16日

日本原燃株式会社

目次

1. はじめに.....	1
2. 埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算方法.....	2
2.1. 計算モデル設定の考え方と計算の流れ.....	2
2.2. 2次元地下水浸透流解析のコード.....	5
2.3. 埋設設備からの流出水量の計算(要素単位).....	5
2.4. 埋設設備からの流出水量の計算(埋設設備単位).....	7
2.5. 埋設設備からの流出水量の計算(廃棄物埋設地単位).....	8
2.6. 埋設設備からの覆土及び鷹架層への流出水量の計算.....	9
2.7. 動水勾配比率による埋設設備からの覆土及び鷹架層への流出水量の計算.....	9
3. 埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算に必要な条件設定及び計算結果..	10
3.1. 廃棄物埋設地付近の水理場.....	10
3.2. 解析断面及び解析領域の設定.....	10
3.3. 境界条件の設定.....	15
3.4. 透水係数の設定.....	17
3.5. 計算ケース.....	20
3.6. 埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算結果.....	21
4. 参考文献.....	22

添付資料 1. 3号埋設設備設置地盤付近の地下水の流れと線量評価について



添付資料 2. 3号埋設設備設置地盤付近の動水勾配について

添付資料 3. 2次元地下水浸透流解析結果

参考資料 1. 水理特性を試験スケールから評価スケールに巨視化する方法

参考資料 2. 難透水性覆土内の地下水中の物質移行状況

参考資料 3. 既申請と2次元地下水浸透流解析による埋設設備からの流出水量について

	: 補正に伴い変更する箇所 (コメント対応含む)
	: 上記以外の審査会合コメント反映箇所
緑字	: 第 298 回審査会合(2019/8/26)までに自主的に変更した箇所
赤字	: 第 298 回審査会合(2019/8/26)からの変更箇所

1. はじめに

本資料は、資料 2-2-1 のうち線量評価パラメータである埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の設定について補足説明するものである。

埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量は、影響事象の状態変化の評価及び状態設定並びに廃棄物埋設地付近で取得した試験データ等に基づいた計算モデルから設定する。

コメント No. 56 を踏まえ、1,000 年後の期間設定に変更

コメント No. 65 及び No. 66 を踏まえ、想定される埋設設備付近の地下水流れの状況及び計算モデルの考え方を説明

2. 埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算方法

埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算モデル設定の考え方と計算の流れ及び計算方法について説明する。

2.1. 計算モデル設定の考え方と計算の流れ

埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量は、将来 1,000 年後の状態を想定した線量評価に利用する。よって、埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算モデルは、覆土後の廃棄物埋設地付近の地下水の流れを前提として設定する。

覆土後の廃棄物埋設地付近の地下水の流れを厳密に予測することは難しいが、覆土後の地形形状及び地盤の透水性を廃棄物埋設地の作業前の状態に復旧することから、敷地造成前後の地下水の流れに近似すると考えて、計算モデルを設定する。

廃棄物埋設地付近の地下水の流れを把握するには、地盤中の地下水の流れの広域的なインパクトとなる地下水面の標高分布、及び埋設設備設置地盤付近の地下水の鉛直方向成分も加味した流向を把握できる岩盤中の間隙水圧分布(標高換算全水頭表示)が必要である。前者は主に埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算モデルにおける境界条件、後者は計算モデルや計算方法を設定する際に必要な情報である。

廃棄物埋設地付近の大局的な地下水の流向は、添付資料 1「3 号埋設設備設置地盤付近の地下水の流れと線量評価について」に示すとおり、おおむね北から南の方向である。また、地下水面の動水勾配は 2~3% であり、地形面勾配と調和的である。

埋設設備設置地盤付近の地下水の流向は、水平断面内では地下水面と同様におおむね北から南の方向を示し、鉛直断面内では下方成分を含む。また、3 号廃棄物埋設地の埋設設備設置地盤付近の間隙水圧測定データから求めた動水勾配は 2.7~7.5% であり、台地面の平均的な地形勾配 2~3% よりも大きい値を含む。これは、間隙水圧測定を実施した際に 3 号廃棄物埋設地付近に仮置土があり、その影響である(添付資料 2 参照)。覆土後の埋設設備設置地盤付近の動水勾配も地下水面と同様に地表面勾配と調和的となる。

以上より、埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算モデルは、廃棄物埋設地付近の水平面内の大局的な地下水の流れがおおむね北から南の 1 方向が主であること、埋設設備設置地盤付近の鉛直断面内では下向き成分を含む 2 方向成分となることから、廃棄物埋設地の南北方向の 2 次元鉛直断面とする。

また、埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算には、廃棄物埋設地の状態を

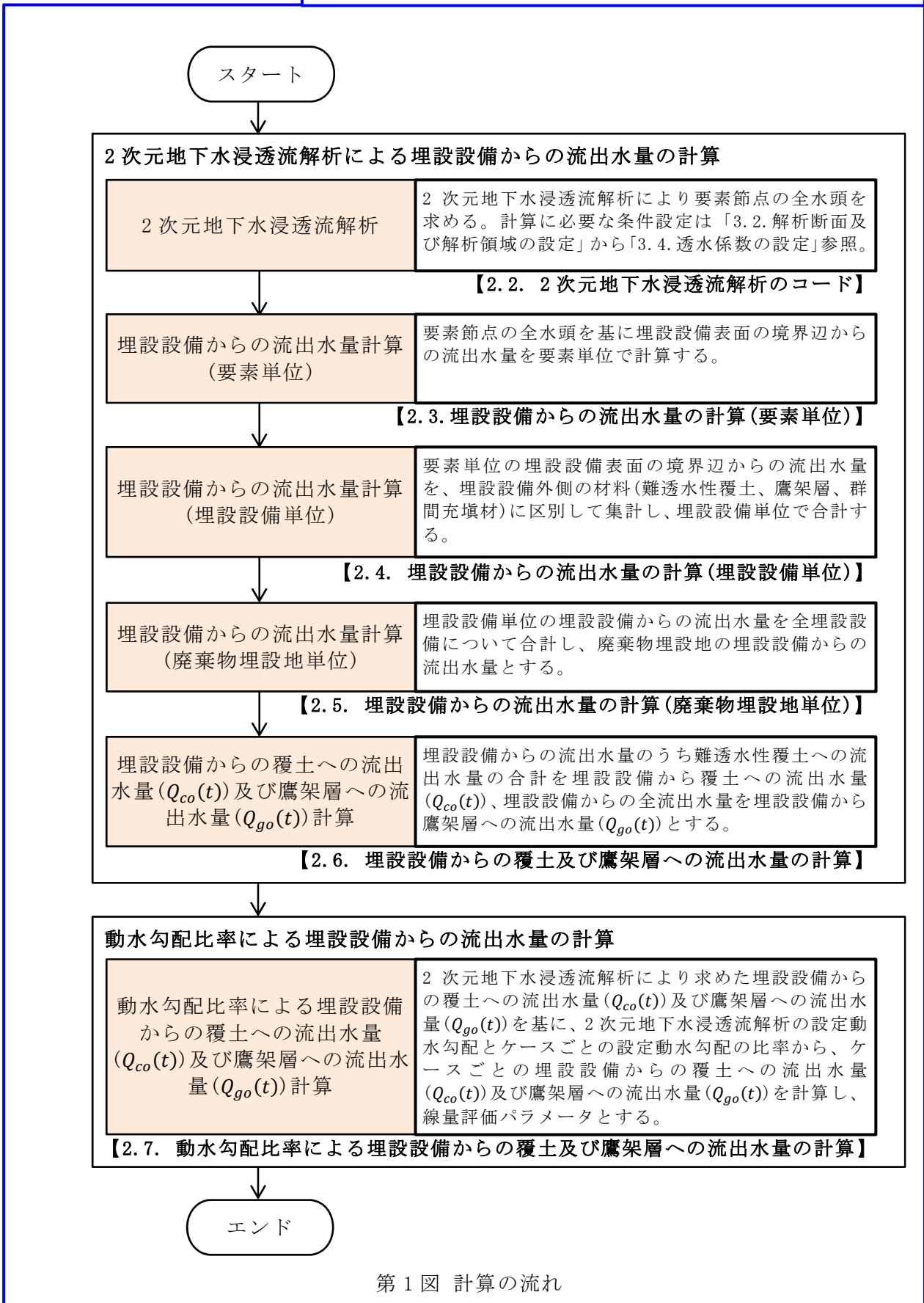
コメント No. 65 及び No. 66 を踏まえ、想定される埋設設備付近の地下水流れの状況及び計算モデルの考え方を説明

細かく設定できるように有限要素法による鉛直断面 2 次元地下水浸透流解析を利用する。

ただし、保守的に線量評価を行うために廃棄物埋設地付近の動水勾配を非現実的な設定にすることもあり、有限要素法によるモデル化が難しい場合もある。このような場合は、モデル化可能なケースの計算結果を用いて動水勾配比率から流出水量を求める。

以上を踏まえ、埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量計算の流れを第 1 図に示す。

コメント No. 65 及び No.66 を踏まえ、想定される埋設設備付近の地下水流れの状況及び計算モデルの考え方を説明



第1図 計算の流れ

2.2. 2次元地下水浸透流解析のコード

2次元地下水浸透流解析の解析コードは、「オイリアン・ラグランジアン飽和・不飽和浸透流－移流・分散解析プログラム(以下「Dtransu2D・EL」という。)*¹を使用する。

Dtransu2D・ELは、鉛直2次元、平面2次元及び軸対称モデルにおける密度勾配を考慮した飽和・不飽和浸透流及び移流・分散問題を対象とした解析コードである。

埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算に鉛直断面2次元地下水浸透流解析を利用することから、これらの機能のうち飽和・不飽和浸透流解析部分を利用する。

また、計算は定常解析とする。

2.3. 埋設設備からの流出水量の計算(要素単位)

Dtransu2D・ELにおける要素単位の流出水量は、Dtransu2D・ELのアウトプットである要素中心平均流速に通過断面積を乗じることで求められる。

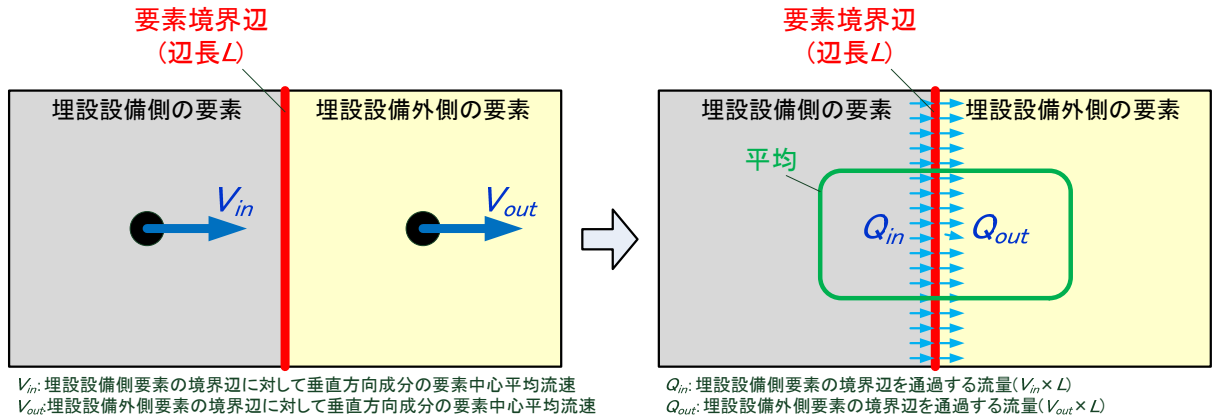
埋設設備からの流出水量は、埋設設備表面の辺を含む要素から流出する流量であり、埋設設備表面の境界辺を介した埋設設備側と埋設設備外側の2つの要素が関係する。

これらの2つの要素の境界辺を通過する流量を求める場合は、これら2つの要素で求めた流量の平均とすることが一般的である(第2図参照)。

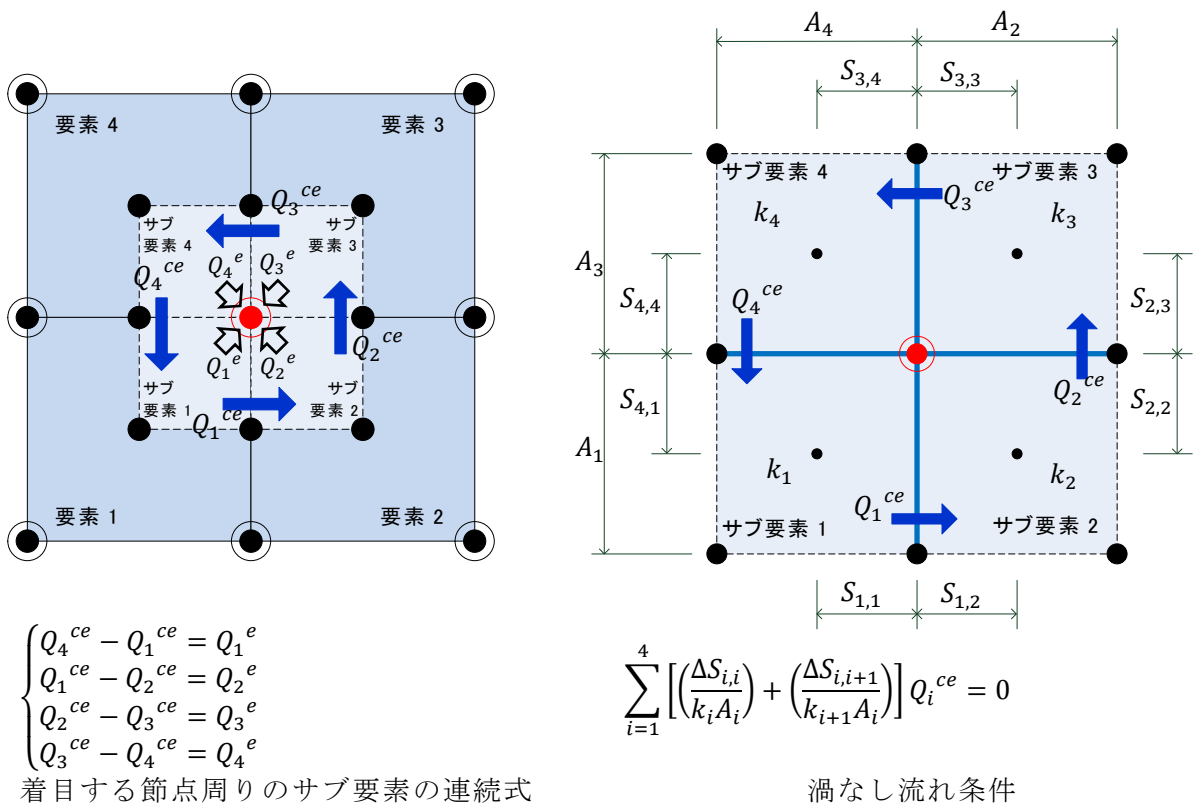
しかし、埋設設備とそれを覆う難透水性覆土やそれに接する鷹架層の透水係数にオーダー単位の大きな差がある場合は、誤差が大きくなる。

以上から、埋設設備や難透水性覆土などの透水係数の設定に幅が生じても誤差が小さくなるように、Dtransu2D・ELのアウトプットである節点全水頭を用い、節点周りの要素境界辺の流量を未知数として、節点周りの流量の収支関係から計算する方法(Cordes and Kinzelbach, 1992: 以下CK法という)を適用する(第3図参照)。

*1 岡山大学、三菱マテリアル(株)、(株)ダイヤコンサルタント: 著作権登録番号P第4135号-1



第2図 要素境界辺を介した2つ要素から要素単位の流量を求めるイメージ



Q_i^{ce} : サブ要素間の境界辺を通過する流量 (m^3/s) (計算して求める未知数)

Q_i^e : 着目する節点に流入するサブ要素の流量 (m^3/s)

(要素単位で要素透水マトリックスに節点全水頭ベクトルを乗じることで得られる)

k_i : サブ要素*i*の透水係数 (m/s)

A_i : サブ要素*i*とサブ要素*i+1*の間の面積 (m^2)

$S_{i,i}$: サブ要素*i*とサブ要素*i+1*の間の境界辺とサブ要素*i*の中心との離隔距離 (m)

$S_{i,i+1}$: サブ要素*i*とサブ要素*i+1*の間の境界辺とサブ要素*i+1*の中心との離隔距離 (m)

i : サブ要素番号 (-) ($i+1 > 4$ の場合は $i+1=1$ とする)

●: 着目する節点 ●: 要素節点 ●: サブ要素の節点 ●: サブ要素中心

第3図 要素境界辺の流量を未知数として計算する方法のイメージ (CK法)*1

*1 参考文献(1)を参考に作成

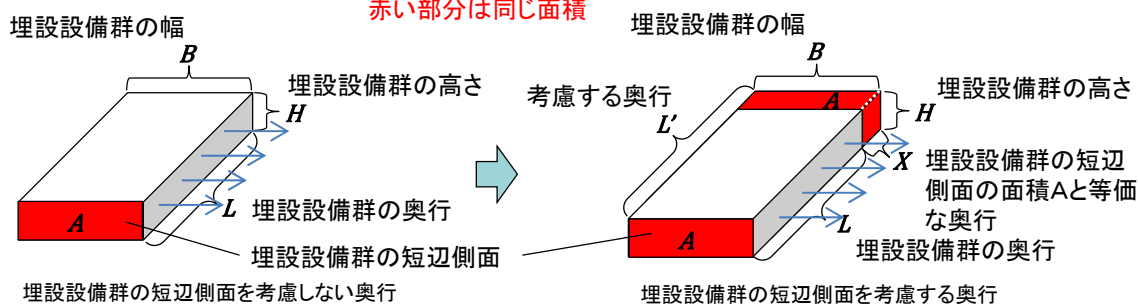
2.4. 埋設設備からの流出水量の計算(埋設設備単位)

埋設設備(群)単位の流出水量は、埋設設備表面の地下水が流出する要素境界辺の外側要素の材料区分ごとに要素単位の境界辺を通る流量の合計を求め、考慮する奥行き(第4図参照)を乗じて求める。第1表には考慮する奥行きを示す。

第5図には、埋設設備からの流出水量の集計イメージを示す。要素単位の埋設設備表面の境界辺からの流出水量を、埋設設備外側の材料(難透水性覆土、鷹架層及び群間充填材)に区別して集計し、埋設設備単位で合計する。

$$\text{考慮する奥行き}(L') = \text{埋設設備群の奥行き}(L) + \text{埋設設備群の短辺側面の面積}(A) \text{と等価な奥行き}(X) \\ \times \text{奥行き方向の埋設設備の数}(N)$$

赤い部分は同じ面積



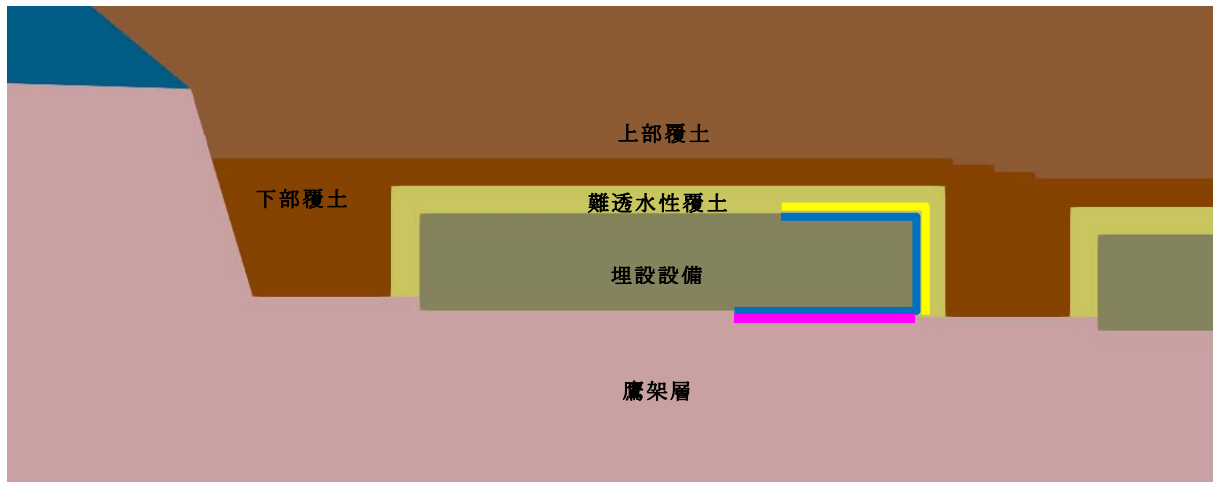
*1「群」の表記については、3号廃棄物埋設地の場合は「基」と読み替えるものとする。

第4図 考慮する奥行きの考え方*1

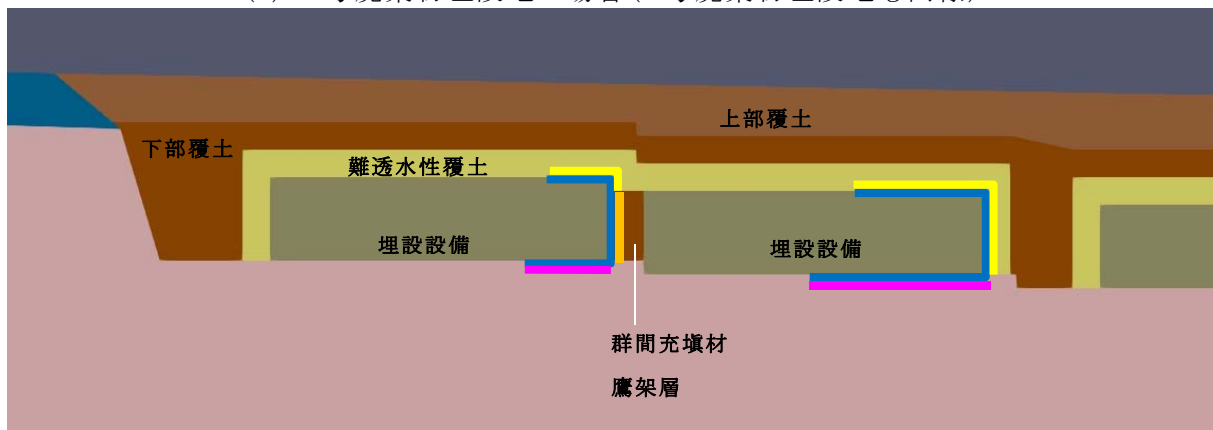
第1表 考慮する奥行き*1

項目		3号廃棄物埋設地	1号廃棄物埋設地	2号廃棄物埋設地
B	埋設設備群の幅(m)	36.0	24.5	37.0
L	埋設設備群の奥行き(m)	$64.1 \times 2 + 2.5$ $= 130.7 \Rightarrow 131.0$	$24.5 \times 5 + 2.5 \times 4$ $= 132.5 \Rightarrow 132.0$	$36.0 \times 4 + 2.5 \times 3$ $= 151.5 \Rightarrow 151.5$
H	埋設設備群の高さ(m)	7.0	6.0	7.0
A	埋設設備群の短辺側面の面積(m^2): $B \times H$	$36.0 \times 7.0 = 252.0$	$24.5 \times 6.0 = 147.0$	$37.0 \times 7.0 = 259.0$
N	奥行き方向の埋設設備の数	2	5	4
X	埋設設備群の短辺側面の面積と等価な奥行き(m): $A \times N / (B + H)$	$252.0 \times 2 / (36.0 + 7.0)$ $= 11.72 \Rightarrow 11.7$	$147.0 \times 5 / (24.5 + 6.0)$ $= 24.09 \Rightarrow 24.1$	$259.0 \times 4 / (37.0 + 7.0)$ $= 23.54 \Rightarrow 23.5$
L'	考慮する奥行き(m): $L + X$	$131.0 + 11.7 = 142.7$ $\Rightarrow 150$	$132.0 + 24.1 = 156.1$ $\Rightarrow 160$	$151.5 + 23.5 = 175.0$ $\Rightarrow 180$

*1「群」の表記については、3号廃棄物埋設地の場合は「基」と読み替えるものとする。



(a) 3号廃棄物埋設地の場合(2号廃棄物埋設地も同様)



(b) 1号廃棄物埋設地の場合

凡 例	
	: ①埋設設備から難透水性覆土へ地下水が流出する範囲
	: ②埋設設備から鷹架層へ地下水が流出する範囲
	: ③埋設設備から群間充填材へ地下水が流出する範囲
	: ①～③の合計(埋設設備から地下水が流出する範囲)

第 5 図 埋設設備からの流出水量の集計イメージ

2.5. 埋設設備からの流出水量の計算(廃棄物埋設地単位)

廃棄物埋設地単位の流出水量は、埋設設備単位の流出水量の合計とする。

2.6. 埋設設備からの覆土及び鷹架層への流出水量の計算

埋設設備から流出する地下水は、鷹架層に向かって移行する。埋設設備から難透水性覆土へ流出した地下水の水量を保守的に埋設設備から覆土への流出水量とし、埋設設備から流出する地下水の水量を埋設設備から鷹架層への流出水量とする。

2.7. 動水勾配比率による埋設設備からの覆土及び鷹架層への流出水量の計算

動水勾配比率による埋設設備からの覆土及び鷹架層への流出水量の計算は、ダルシーの法則((2-1)式参照)に基づいて、2次元地下水浸透流解析により求めた埋設設備からの覆土への流出水量($Q_{co}(t)$)及び鷹架層への流出水量($Q_{go}(t)$)と2次元地下水浸透流解析の設定動水勾配とケースごとの設定動水勾配の比率から、ケースごとの埋設設備からの覆土への流出水量($Q_{co}(t)$)及び鷹架層への流出水量($Q_{go}(t)$)を計算((2-2)式参照)し、線量評価パラメータとする。

$$Q = kiA \quad \text{-----} \quad (2-1)$$

Q : 流量 (m^3/s)

k : 透水係数 (m/s)

i : 動水勾配 (-)

A : 通過断面積 (m^2)

$$Q_{case}(t) = Q_{base}(t) \frac{i_{case}}{i_{base}} \quad \text{-----} \quad (2-2)$$

$Q_{case}(t)$: 計算ケースにおける埋設設備からの流出水量 (m^3/y)

$Q_{base}(t)$: 2次元地下水浸透流解析で求めた動水勾配 3%のときの流出水量 (m^3/y)

i_{case} : 計算ケースにおける動水勾配の設定値 (%)

i_{base} : 2次元地下水浸透流解析の動水勾配の設定値 (%) : 3%

コメント No. 65 及び No. 66 を踏まえ、想定される埋設設備付近の地下水流れの状況及び計算モデルの考え方を説明

3. 埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算に必要な条件設定及び計算結果

埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算に必要な条件設定は、解析領域の設定、境界条件の設定及び材料の透水係数の設定である。

以下に、これらの条件設定の前提となる廃棄物埋設地付近の水理場及び条件設定の考え方を説明し、計算した結果を示す。

3.1. 廃棄物埋設地付近の水理場

事業所敷地内の地下水位は、添付資料 1「3号埋設設備設置地盤付近の地下水の流れと線量評価について」に示すとおり、地形と調和的であり、地下水の流向は、地形面標高の傾斜方向とおおむね一致する。

廃棄物埋設地の北～北東側には、東－西方向～西北西－東南東方向の台地の尾根線が分布し、基本的にはこの尾根線よりも北側では主に北へ、南側では主に南へ地下水が流れている。

廃棄物埋設地及びその付近の間隙水圧測定孔における全水頭は、添付資料 1「3号埋設設備設置地盤付近の地下水の流れと線量評価について」に示すとおり、埋設設備設置地盤標高付近では測定深度が深くなると全水頭が若干小さくなることから、鉛直下方成分を含む地下水流れが生じていると考える。また、埋設設備設置地盤標高付近の動水勾配は、地形と調和的である（添付資料 2 参照）。

また、軽石質砂岩と砂岩を境に全水頭が小さくなり、この付近では鉛直下方成分を含む地下水流れが生じていると考える。

以上の廃棄物埋設地付近の水理場を踏まえて、以下に有限要素モデル作成及び境界条件の考え方について説明する。

なお、3号廃棄物埋設地において、支配核種である C-14 及び Pu-239 に関する被ばくは、埋設設備からこれらの核種が地下水を媒体に分水界の北南どちらに流れた場合でも、半減期の長さから線量値はほぼ同じ傾向となる（添付資料 1 参照）。

3.2. 解析断面及び解析領域の設定

鉛直断面 2 次元地下水浸透流解析の解析断面は、埋設設備付近の地下水の流れが大局的に鉛直下方成分を含む北から南向きであることから、廃棄物埋設地の南北方向の鉛直断面とする。

解析領域の設定は、解析領域範囲の設定及び解析領域を構成する材料分布の設定の 2 つに分かれる。以下に、それぞれについて説明する。

(1) 解析領域範囲の設定

解析領域範囲のうち上端となる地表面の形状は、廃棄物埋設地の設置位置が台地上にあり、将来 1,000 年後程度までの間に沢などの侵食によって廃棄物埋設地が削剥されたとしても局所的であるため、変わらない設定とする。

解析領域範囲の水平方向の範囲は、廃棄物埋設地付近の地下水の流動状況(鉛直下方成分を含む水平流れ)を表現することに着目し、解析領域両端の水位固定境界が有意に影響しないように廃棄物埋設地掘削範囲両端から外側へ 300m 程度(廃棄物埋設地掘削範囲の 1.5 倍程度)の範囲とする。

解析領域の下端は、地表からの地下水流動場が事業所敷地内の既往水質分析結果から地下深部(標高-300m 付近)の鷹架層下部層分布域に対応して化石塩水が分布して底部境界をなしていることから、標高-300m の位置とする。

(2) 材料分布の設定

廃棄物埋設地の周辺地盤の材料分布の設定は、2 次元地下水浸透流解析を利用する目的が埋設設備からの流出水量を求めることにあることから、表層部の土砂地盤である第四紀層及び埋設設備の設置地盤(岩盤)である N 値 50 以上の鷹架層中部層の 2 区分に単純化する。また、N 値 50 未満の鷹架層中部層については風化の影響を考慮して第四紀層と同じ扱いとし、第四紀層と鷹架層の境界は、廃棄物埋設地の掘削法面勾配の急勾配部と緩勾配部分の境界とする。第四紀層と鷹架層の境界線の勾配は、地表面勾配と同じに設定する。

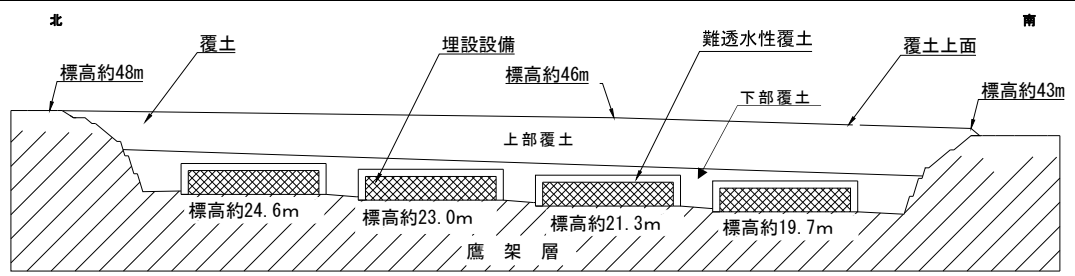
廃棄物埋設地を構成する材料は、上部覆土、下部覆土、難透水性覆土、埋設設備及び点検路の 5 つに区分される。廃棄物埋設地の材料分布の設定は、単純化のため点検路を除外し、上部覆土、下部覆土、難透水性覆土及び埋設設備の 4 区分とする。廃棄物埋設地の材料分布は、申請書の添付書類 5 ニ-第 3 図を基に設定し、上部覆土と下部覆土の境界については難透水性覆土上面の上方 2m とする。

以上を踏まえて作成した有限要素モデルを第 6 図に示す。

廃棄物埋設地の南北鉛直断面に上部覆土及び下部覆土境界を追記

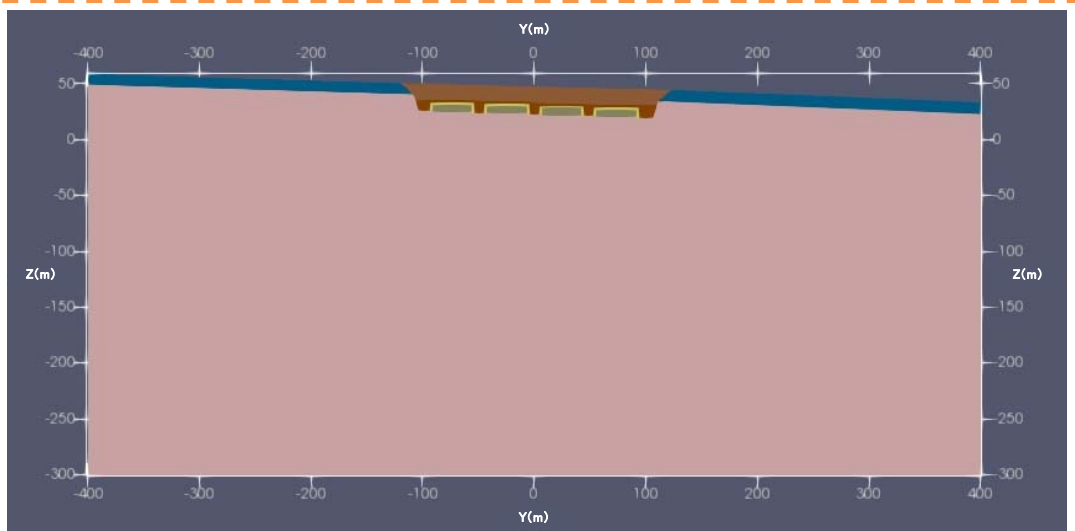
コメント No. 65 及び No.66 を踏まえ、想定される埋設設備付近の地下水流れの状況及び計算モデルの考え方を説明

有限要素モデル作成の参考にした図

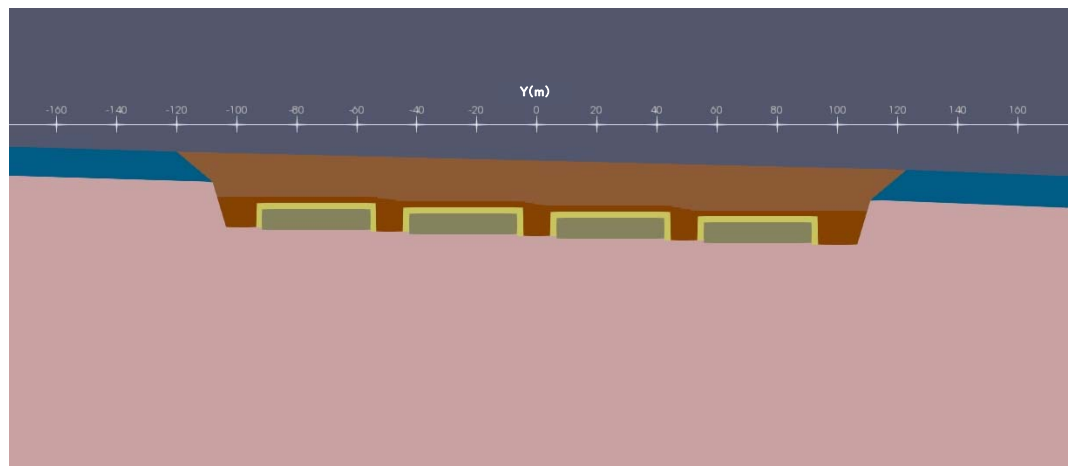


有限要素モデル(材料分布図)

解析領域全体



廃棄物埋設地付近



凡例

- : 鷹架層
- : 第四紀層
- : 上部覆土
- : 下部覆土
- : 難透水性覆土
- : 埋設設備

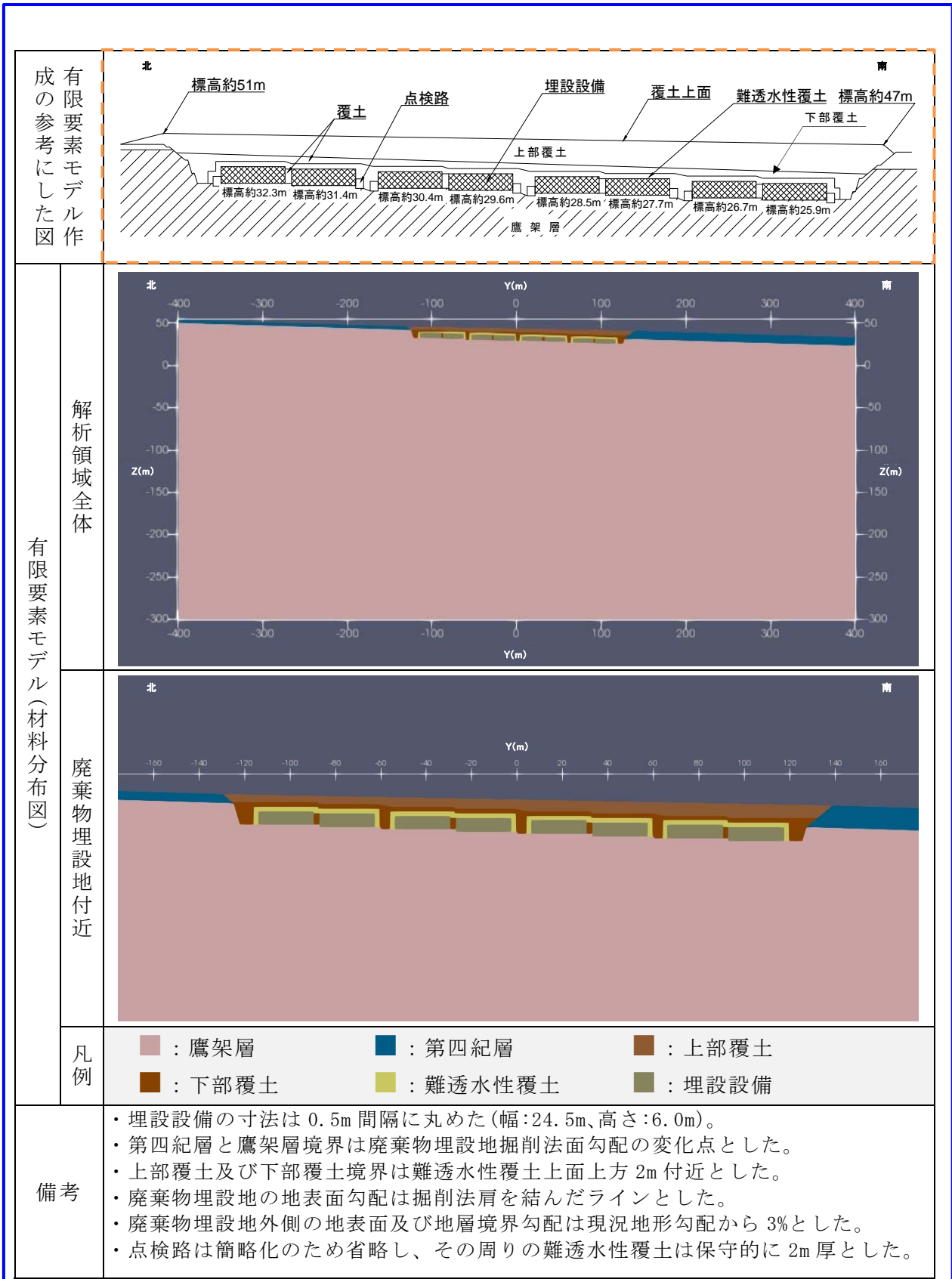
備考

- ・埋設設備の寸法は0.5m間隔に丸めた(幅:36.0m、高さ:7.0m)。
- ・第四紀層と鷹架層境界は廃棄物埋設地掘削法面勾配の変化点とした。
- ・上部覆土及び下部覆土境界は難透水性覆土上面上方2mとした。
- ・廃棄物埋設地の地表面勾配は掘削法肩を結んだラインとした。
- ・廃棄物埋設地外側の地表面及び地層境界勾配は現況地形勾配から3%とした。

第6図 有限要素モデル(材料分布図) (1/3) 【3号廃棄物埋設地】

廃棄物埋設地の南北鉛直断面に上部覆土及び下部覆土境界を追記
誤植の修正

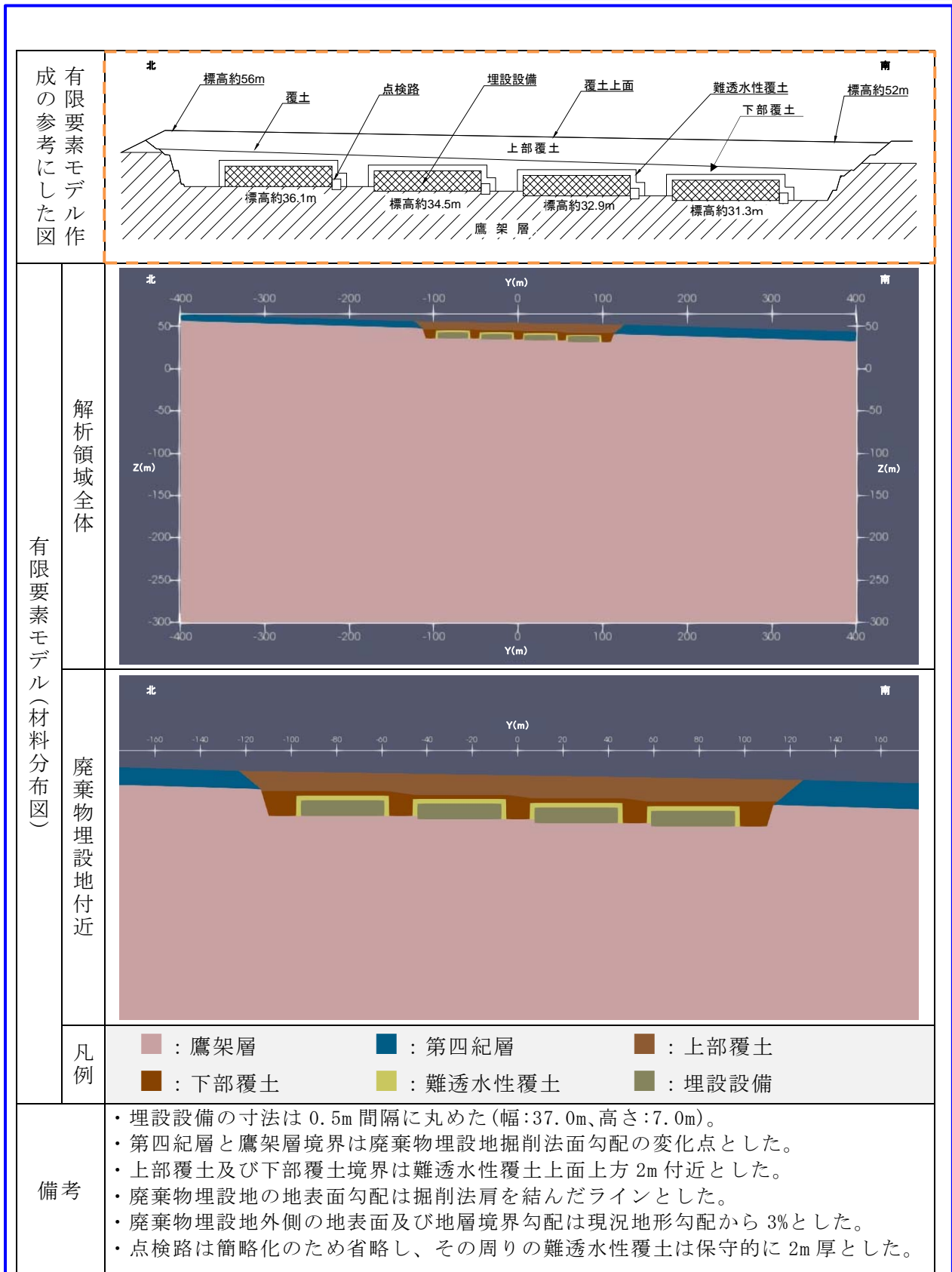
コメント No. 65 及び No. 66 を踏まえ、想定される埋設設備付近
の地下水流れの状況及び計算モデルの考え方を説明



第6図 有限要素モデル(材料分布図) (2/3) 【1号廃棄物埋設地】

廃棄物埋設地の南北鉛直断面に上部覆土及び下部覆土境界を追記

コメント No. 65 及び No. 66 を踏まえ、想定される埋設設備付近の地下水流れの状況及び計算モデルの考え方を説明



第6図 有限要素モデル(材料分布図) (3/3) 【2号廃棄物埋設地】

3.3. 境界条件の設定

境界条件には、水位固定境界、降雨浸透境界及び不透水境界がある。以下にこれらの条件設定について説明する。第 7 図には、3 号廃棄物埋設地を例とした境界条件の設定位置を示す(1 号及び 2 号廃棄物埋設地も同様なイメージ)。

(1) 水位固定境界

水位固定境界は、**解析領域両端**に設定した。水位固定境界の全水頭(標高換算)は、**解析領域両端間**の動水勾配が、**補足説明資料 1「地質環境に係る長期変動事象、3.2. 気候変動に起因する事象、(6)地下水位」**における動水勾配 **3%(基本設定の現在の値)**になるように設定した。

(2) 降雨浸透境界

降雨浸透境界は、解析領域上辺に設定した。

この降雨浸透境界に入力する降雨浸透量は、補足説明資料 1「地質環境に係る長期変動事象、3.2. 気候変動に起因する事象、(5)かん養量」の考えに基づいて、年平均降水量の 20%とする。

埋設設備からの流出水量は、**降雨浸透量(かん養量)**が増えると大きくなる傾向があることから、**降雨浸透量を求めるための年平均降水量は、保守的に大きい値となるように設定する**。また、**降雨浸透量を大きくすることによって、計算ケースにあわせて透水係数を変更しても解析領域の地下水面分布が変化し難くなり、解析領域内の全体的な水理場を安定させることもできる***1。

年平均降水量は、補足説明資料 1「地質環境に係る長期変動事象、3.2. 気候変動に起因する事象、(3)降水量」の年平均降水量(第 2 表参照)を参考に、**温暖期継続ケースの基本設定の値 1,300mm/y 及び変動設定の値 1,050mm/y(ばらつきの小さい側)**を用いて、**年平均降水量のばらつきの大きい側の値 1,550mm/y(=1,300+(1,300-1,050))**とする。

以上から、**降雨浸透量を 310mm/y(年平均降水量 1,550mm/y の 20%)**と設定する。

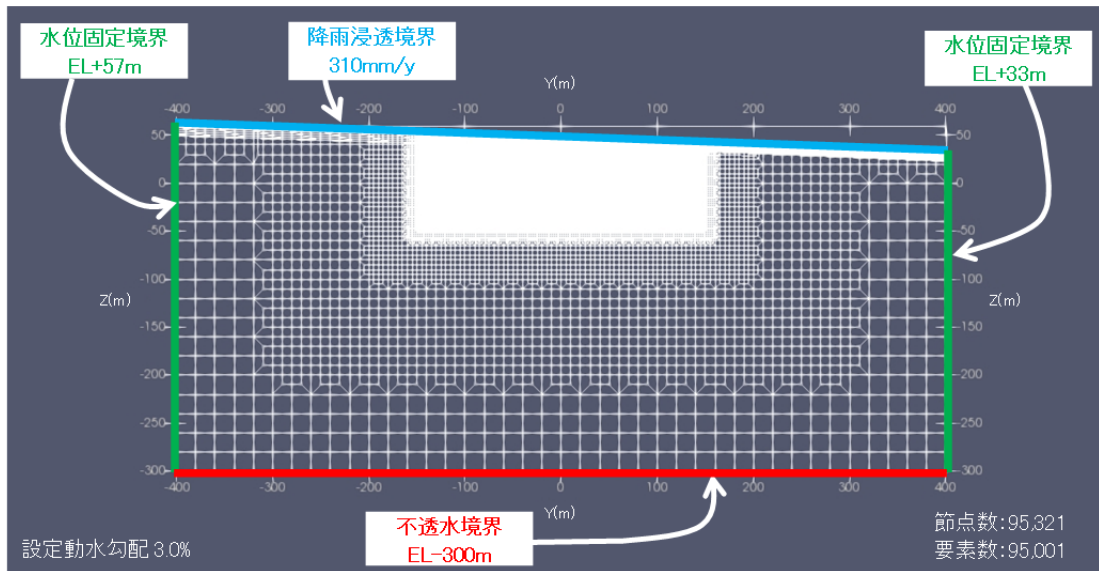
*1 埋設設備からの流出水量を求めるための 2 次元地下水浸透流解析は、地下水面動水勾配が地形面勾配と同程度かつ地下水の流向に鉛直下方成分を含む水理場であることを前提としている。求める流出水量はこの水理場に将来の廃棄物埋設地の状態(材料の分布形状及び透水係数)をはめ込んだときの埋設設備からの流出する地下水の水量である。将来の廃棄物埋設地の状態をはめ込んだ結果、地下水面が変動して動水勾配が変化する場合があり、これを防ぐために降雨浸透量(かん養量)を大きくすることによって地下水面を地表面に張り付け、地下水面の動水勾配を地表面勾配程度に保っている。なお、Dtransu2D・ELにおいて降雨浸透境界に与える降雨浸透量は、解析領域に入る最大値であり、必ずしも設定した降雨浸透量が全量解析領域に入らない。特に地表面に地下水面を張り付ける場合はその度合いが顕著である(実際の計算では設定値の降雨浸透量 310mm/y に対して解析領域への流入量(解析領域上端の全節点の節点流量の合計を基に計算)は 78~100mm/y である)。

コメント No.56 を踏まえ、モデル化時期を 1,000 年後に変更

コメント No. 65 及び No.66 を踏まえ、想定される埋設設備付近の地下水流れの状況及び計算モデルの考え方を説明

(3) 不透水境界

不透水境界は、解析モデル下辺に設定した (Dtransu2D-EL では解析モデル下辺が不透水境界として扱われる。)



第 7 図 メッシュ図及び境界条件 (3 号廃棄物埋設地の場合)

第 2 表 降水量の設定値*1

ケース		モデル化時期	気温 (°C)	降水量 (mm/年)
基本設定	温暖期継続ケース	1,000 年後	12	1,300
変動設定	温暖期継続ケース	1,000 年後	12	1,050

*1 補足説明資料 1「地質環境に係る長期変動事象」参照。

3.4. 透水係数の設定

2次元地下水浸透流解析に用いる解析領域内の材料の透水係数の設定の考え方について説明する。

廃棄物埋設地周辺地盤の透水係数は、埋設設備からの流出水量を求めることから、全体的に平均化した値を用いるものとし、第四紀層及び鷹架層の2区分とする。

廃棄物埋設地の透水係数は、廃棄物埋設地を構成する上部覆土、下部覆土、難透水性覆土及び埋設設備ごとに設定する。

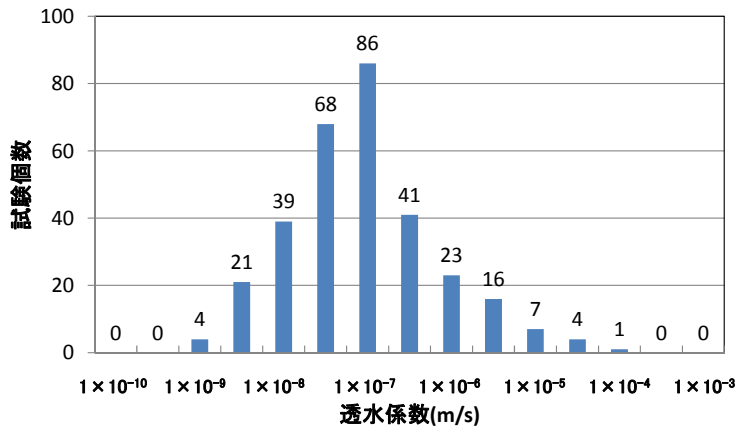
第3表には、2次元地下水浸透流解析に入力する材料の透水係数とその設定の考え方を示す。

第3表 2次元地下水浸透流解析に入力する材料の透水係数と設定の考え方

材料	計算ケース	透水係数(m/s)			設定の考え方	
		3号廃棄物埋設地	1号廃棄物埋設地	2号廃棄物埋設地		
廃棄物埋設地	鷹架層	基本設定	5.0×10^{-8}	1.1×10^{-7}	7.8×10^{-8}	廃棄物埋設地付近で取得したN値50以上の鷹架層中部層の透水係数の対数平均値*1(第8図参照)とする。
	変動設定	5.0×10^{-8}	1.1×10^{-7}	7.8×10^{-8}		
周辺地盤	第四紀層	基本設定	3.0×10^{-6}	2.5×10^{-6}	3.6×10^{-6}	廃棄物埋設地付近で取得した盛土、第四紀層及びN値50未満の風化した鷹架層中部層の透水係数の対数平均値(第9図参照)とする。
	変動設定	3.0×10^{-6}	2.5×10^{-6}	3.6×10^{-6}		
廃棄物埋設地	上部覆土	基本設定	3.0×10^{-6}	2.5×10^{-6}	3.6×10^{-6}	周辺土壌と同程度とする(第四紀層の透水係数と同じ値とする)。
		変動設定	3.0×10^{-6}	2.5×10^{-6}	3.6×10^{-6}	
	下部覆土	基本設定	1.0×10^{-8}			周辺岩盤*2よりも若干小さい透水係数とする。
		変動設定	1.0×10^{-8}			
	難透水性覆土	基本設定	2.0×10^{-10}	2.5×10^{-9}	2.0×10^{-10}	将来1,000年後の力学及び化学影響を考慮した等価透水係数とする(補足説明資料6「廃棄物埋設地の状態設定-透水係数の設定-」参照)。
		変動設定	1.5×10^{-8}	3.0×10^{-9}	1.5×10^{-8}	
埋設設備	基本設定	1.0×10^{-5}			砂程度に劣化した状態の透水係数とする(補足説明資料6「廃棄物埋設地の状態設定-透水係数の設定-」参照)。	
	変動設定	1.0×10^{-5}				

*1 原位置試験の対数平均値と巨視的透水係数(割目と基質部における原位置透水試験の透水係数とボーリングや掘削面等の地質観察で得た割目のデータから算出)が同程度であることから、簡単に求められる原位置試験の対数平均値を採用した。なお、これらの透水係数を用いて敷地の調査坑道の空洞からの湧水量を3次元地下水浸透流解析で計算し、実測値とほぼ一致していることを確認している(参考資料1参照)。

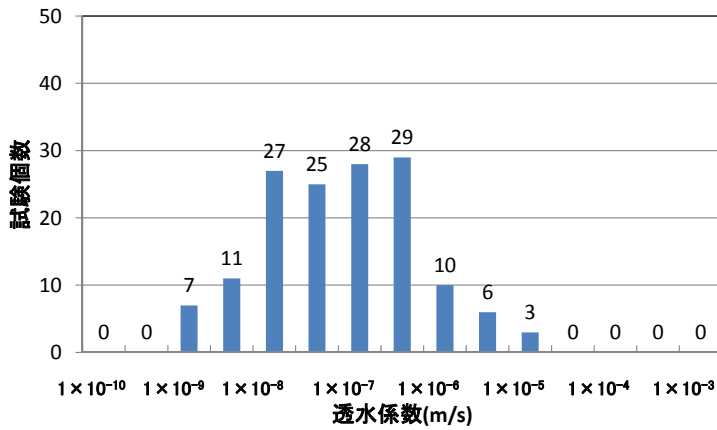
*2 想定した周辺岩盤はN値50以上の鷹架層とした(透水係数： $5.0 \times 10^{-8} \sim 1.1 \times 10^{-7}$ (m/s))。



データ個数	310
対数平均値	5.0×10^{-8}
最小値	7.2×10^{-10}
最大値	3.8×10^{-5}
対数の標準偏差	0.9

データの分布は対数正規分布に従うと考える。

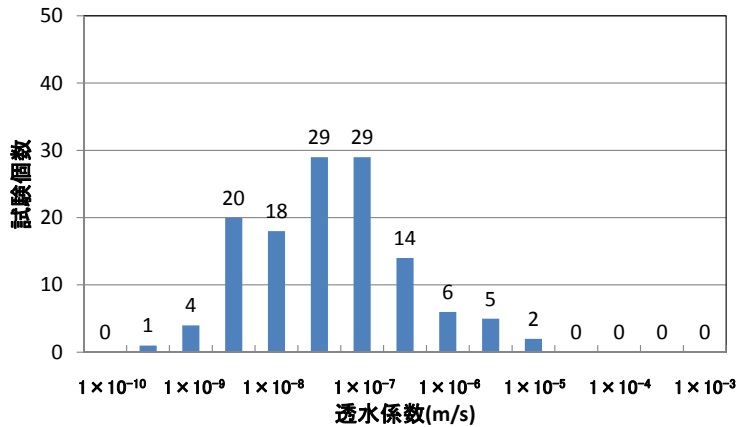
(a) 3号廃棄物埋設地



データ個数	146
対数平均値	1.1×10^{-7}
最小値	1.1×10^{-9}
最大値	1.6×10^{-5}
対数の標準偏差	0.9

データの分布は対数正規分布に従うと考える。

(b) 1号廃棄物埋設地

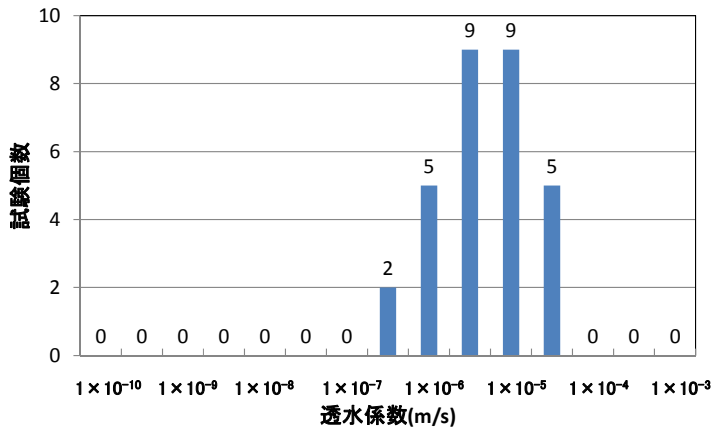


データ個数	128
対数平均値	7.8×10^{-8}
最小値	6.9×10^{-10}
最大値	1.9×10^{-5}
対数の標準偏差	0.9

データの分布は対数正規分布に従うと考える。

(c) 2号廃棄物埋設地

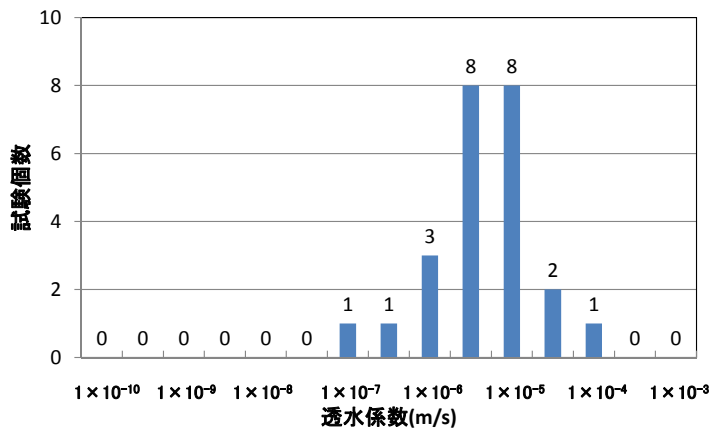
第8図 N値50以上の鷹架層中部層の透水係数の分布



データ個数	30
対数平均値	3.0×10^{-6}
最小値	2.6×10^{-7}
最大値	2.4×10^{-5}
対数の標準偏差	0.6

データの分布は対数正規分布に従うと考える。

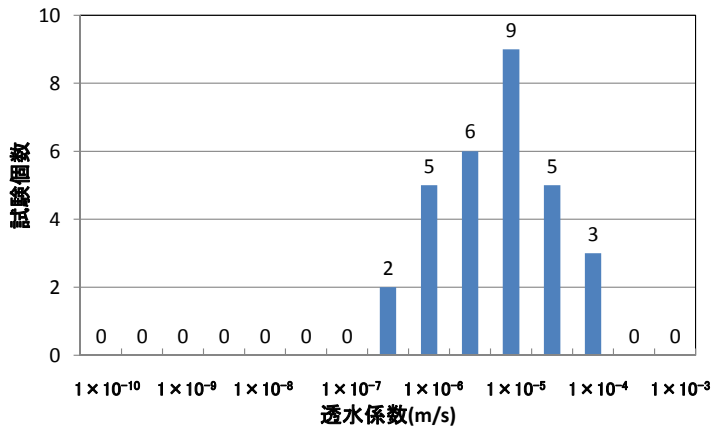
(a) 3号廃棄物埋設地



データ個数	24
対数平均値	2.5×10^{-6}
最小値	5.2×10^{-8}
最大値	5.2×10^{-5}
対数の標準偏差	0.7

データの分布は対数正規分布に従うと考える。

(b) 1号廃棄物埋設地



データ個数	30
対数平均値	3.6×10^{-6}
最小値	1.5×10^{-7}
最大値	5.2×10^{-5}
対数の標準偏差	0.7

データの分布は対数正規分布に従うと考える。

(c) 2号廃棄物埋設地

第9図 盛土、第四紀層及びN値50未満の風化した鷹架層中部層の透水係数の分布

3.5. 計算ケース

埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量は、2次元地下水浸透流解析及び動水勾配比率から求められる。

2次元地下水浸透流解析では、第4表に示す計算ケース及びモデル化の時期における難透水性覆土の透水係数を設定し、動水勾配3%のときの埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量を計算する。

動水勾配比率からの計算では、第5表に示すケース及びモデル化の時期における動水勾配について、ダルシーの法則((2-1)式参照)に基づいて、2次元地下水浸透流解析で求めた動水勾配3%のときの流出水量を基に、該当ケースとモデル化時期の動水勾配との比率を乗じて計算する((2-2)式参照)。

第5表に示すケースについて求めた動水勾配比率から計算した埋設設備からの覆土への流出水量($Q_{co}(t)$)及び鷹架層への流出水量($Q_{go}(t)$)が、線量評価パラメータとなる。

第4表 2次元地下水浸透流解析による計算ケース

計算ケース	モデル化時期	難透水性覆土の透水係数の設定値 (m/s) ^{*1}		
		3号廃棄物埋設地	1号廃棄物埋設地	2号廃棄物埋設地
基本設定	1,000年後	2.0×10^{-10}	2.5×10^{-9}	2.0×10^{-10}
変動設定	1,000年後	1.5×10^{-8}	3.0×10^{-9}	1.5×10^{-8}

*1 補足説明資料6「廃棄物埋設地の状態設定-透水係数の設定-」参照。

第5表 動水勾配比率による計算ケース

計算ケース	モデル化時期	動水勾配の設定値 (%) ^{*1}		
		3号廃棄物埋設地	1号廃棄物埋設地	2号廃棄物埋設地
基本設定	1,000年後	3	3	3
変動設定	1,000年後	4	3	3

*1 補足説明資料1「地質環境に係る長期変動事象」参照。

コメント No. 56 を踏まえ、モデル化時期を 1,000 年後に変更
埋設設備からの流出水量の計算モデルの変更に伴い、流出水量を変更

3.6. 埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量の計算結果

2 次元地下水浸透流解析による動水勾配 3% の場合の埋設設備から覆土への流出水量 ($Q_{co}(t)$) 及び鷹架層への流出水量 ($Q_{go}(t)$) の計算結果を第 6 表に、第 6 表の流出水量を基に動水勾配比率から計算した線量評価パラメータとして設定する埋設設備からの流出水量を第 7 表に示す。添付資料 3 に 2 次元地下水浸透流解析結果の詳細を示す。

第 6 表 2 次元地下水浸透流解析から求めた埋設設備からの流出水量

計算ケース	モデル化 時期	3 号廃棄物埋設地		1 号廃棄物埋設地		2 号廃棄物埋設地	
		$Q_{co}(t)^{*1}$	$Q_{go}(t)^{*2}$	$Q_{co}(t)^{*1}$	$Q_{go}(t)^{*2}$	$Q_{co}(t)^{*1}$	$Q_{go}(t)^{*2}$
基本設定	1,000 年後	10	630	130	2,200	20	920
変動設定	1,000 年後	380	1,100	150	2,200	350	1,300

*1 埋設設備から覆土への流出水量 (m^3/y)

*2 埋設設備から鷹架層への流出水量 (m^3/y)

第 7 表 線量評価パラメータとして設定する埋設設備からの流出水量

計算ケース	モデル化 時期	3 号廃棄物埋設地		1 号廃棄物埋設地		2 号廃棄物埋設地	
		$Q_{co}(t)^{*1}$	$Q_{go}(t)^{*2}$	$Q_{co}(t)^{*1}$	$Q_{go}(t)^{*2}$	$Q_{co}(t)^{*1}$	$Q_{go}(t)^{*2}$
基本設定	1,000 年後	10	630	130	2,200	20	920
変動設定	1,000 年後	510	1,500	150	2,200	350	1,300

*1 埋設設備から覆土への流出水量 (m^3/y)

*2 埋設設備から鷹架層への流出水量 (m^3/y)

4. 参考文献

- (1) 菱谷智幸・鹿島浩之・桜井英行・白石知成:有限要素法による地下水流動解析における流れの局所連続性に関する考察,地下水学会誌(2015年),第57巻第3号,319-334.

添付資料

3号埋設設備設置地盤付近の
地下水の流れと線量評価について

2019年10月16日

日本原燃株式会社



第284回審査会合（2019/6/20）資料1-2-1「前回（第279回）審査会合におけるコメント回答 3号埋設設備設置地盤付近の地下水の流れと線量評価について」を再掲した。ただし、第7図及び第8図については、第298回審査会合（2019/8/26）資料1-4「第十三条 地下水の水位等の監視設備」補足説明資料において更新した図に置き換えた。

目 次

1. 3号埋設設備設置地盤付近の地下水の流れ -----	1
(1) 事業所敷地周辺の地形と水系及びかん養 -----	1
(2) 事業所敷地の地下水の流動状況 -----	2
(3) 3号埋設設備設置地盤付近の地下水の流動状況 -----	7
2. 放射性物質を含む地下水が分水界の北側へ移行した場合の線量評価について----	15
(1) 地下水が北側へ移行した場合に想定される被ばく経路-----	15
(2) 評価パラメータの比較-----	15
(3) 線量評価結果への影響-----	15
3. 分水界周辺の地下水の流れに関する監視について -----	19
(1) 対象データ -----	19
(2) 監視時期 -----	19
(3) 監視頻度 -----	20
(4) 測定精度 -----	20
(5) 監視位置 -----	20
4. 参考文献-----	22

添付資料 1. 地下水位測定方法

添付資料 2. 間隙水圧測定方法

	: 補正に伴い変更する箇所 (コメント対応含む)
	: 上記以外の審査会合コメント反映箇所
緑字	: 第 298 回審査会合 (2019/8/26) までに自主的に変更した箇所
赤字	: 第 298 回審査会合 (2019/8/26) からの変更箇所

1. 3号埋設設備設置地盤付近の地下水の流れ

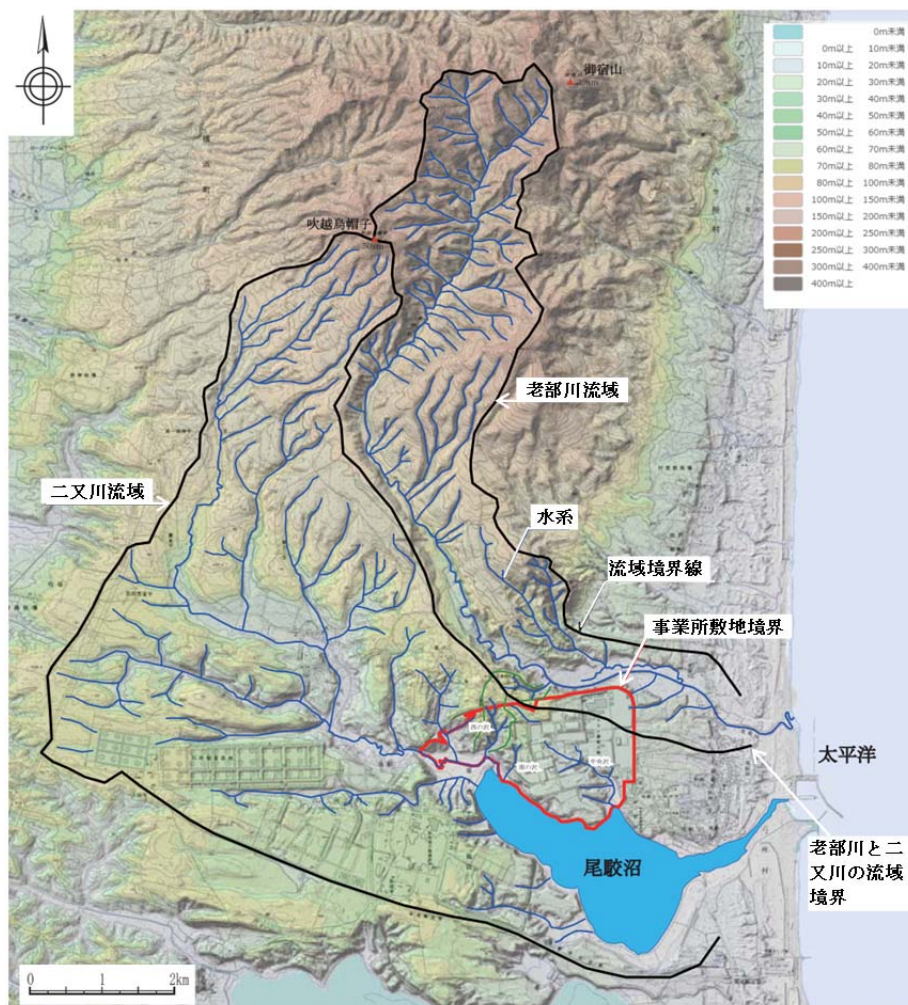
3号埋設設備設置地盤付近の地下水の流れを説明するに当たり、事業所敷地周辺の地形と水系及びかん養、事業所敷地の地下水の流動状況、3号埋設設備設置地盤付近の地下水の流動状況について説明する。

(1) 事業所敷地周辺の地形と水系及びかん養

事業所敷地付近には、第1図に示すように、老部川及び二又川が流れている。老部川は、事業所敷地の北側の標高5m～20mの谷間を西から東に向かって流れ、太平洋に流入している。二又川は事業所敷地の南西側の標高1m～5mの低地を事業所敷地境界に沿って西から東に向かって流れ、事業所敷地南側の尾駱沼に流入している。

廃棄物埋設地は、事業所敷地内の標高30m以上の台地上に位置することから、老部川及び二又川は、廃棄物埋設地及び低レベル廃棄物管理建屋設置位置よりも低い位置を流れている。

廃棄物埋設地及びその付近は、北西から南東に緩く傾斜する台地からなり、西側及び北側は沢地形で後背丘陵地と区分されており、地下水は主に降水によってかん養されている。



第1図 敷地周辺の地形と水系*1

*1 国土地理院国土地理院のウェブ地図「地理院地図」(<https://maps.gsi.go.jp/>) で作成。

(2) 事業所敷地の地下水の流動状況

地下水位及び地下水流向を調査するため、事業所敷地内における 250m グリッド間隔程度のボーリング孔を用いて地下水位観測を行った。地下水位観測位置を第 2 図に示す。

地下水位観測は、圧力センサーを設置し連続的に自動計測する方法*1、巻尺の先に地下水水面を検出する触針器を下ろし、孔口からの深さを計測する手動式の方法*1 の 2 種類を用いた。

手動式の計測は、年間の平均的な水位を示す 6 月に計測を行った。

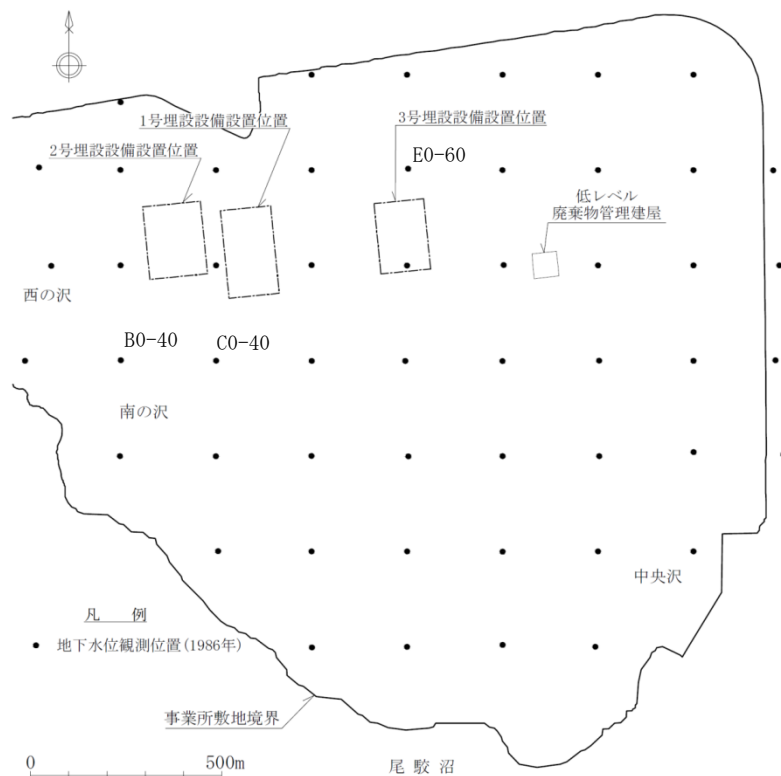
地下水位観測結果を第 3 図に、地下水面標高等高線を第 4 図にそれぞれ示す。

地下水面標高等高線の作製については、隣接する観測地点の測定値の差を等配分(傾き一定)し、地形(地表位置)を考慮した。

事業所敷地内の地下水位は、第 3 図に示すように、主に第四紀層内にあり、融雪や降雨等に対応して変動している。また、第 4 図に示すように、地形と調和的であり、地下水の流向は、地形面標高の傾斜方向とおおむね一致する。

廃棄物埋設地の北～北東側には、東－西方向～西北西－東南東方向の台地の尾根線が分布し、基本的にはこの尾根線よりも北側では主に北へ、南側では主に南へ地下水が流れていると考える。

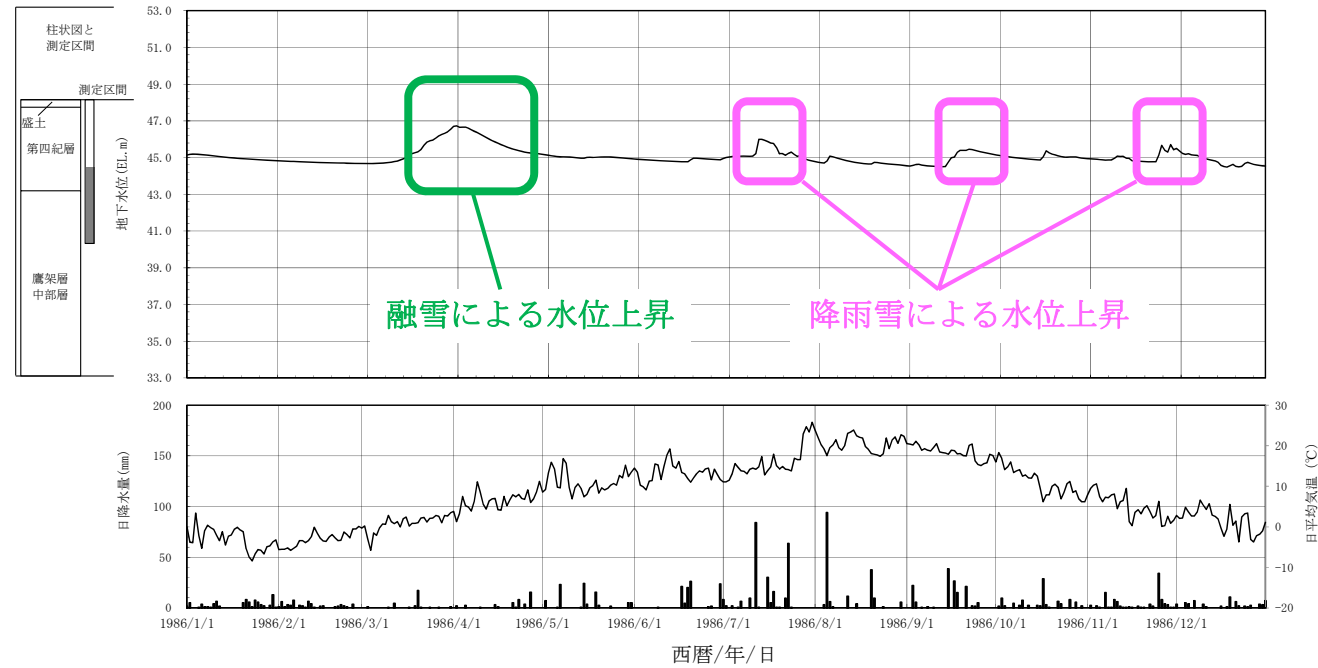
廃棄物埋設地は、台地の尾根線の南に位置することから、廃棄物埋設地を通過した水は、主に南へ流下し、中央沢、南の沢及び西の沢を経て尾駈沼に流入すると考える。



第 2 図 地下水位観測位置図(1986 年)

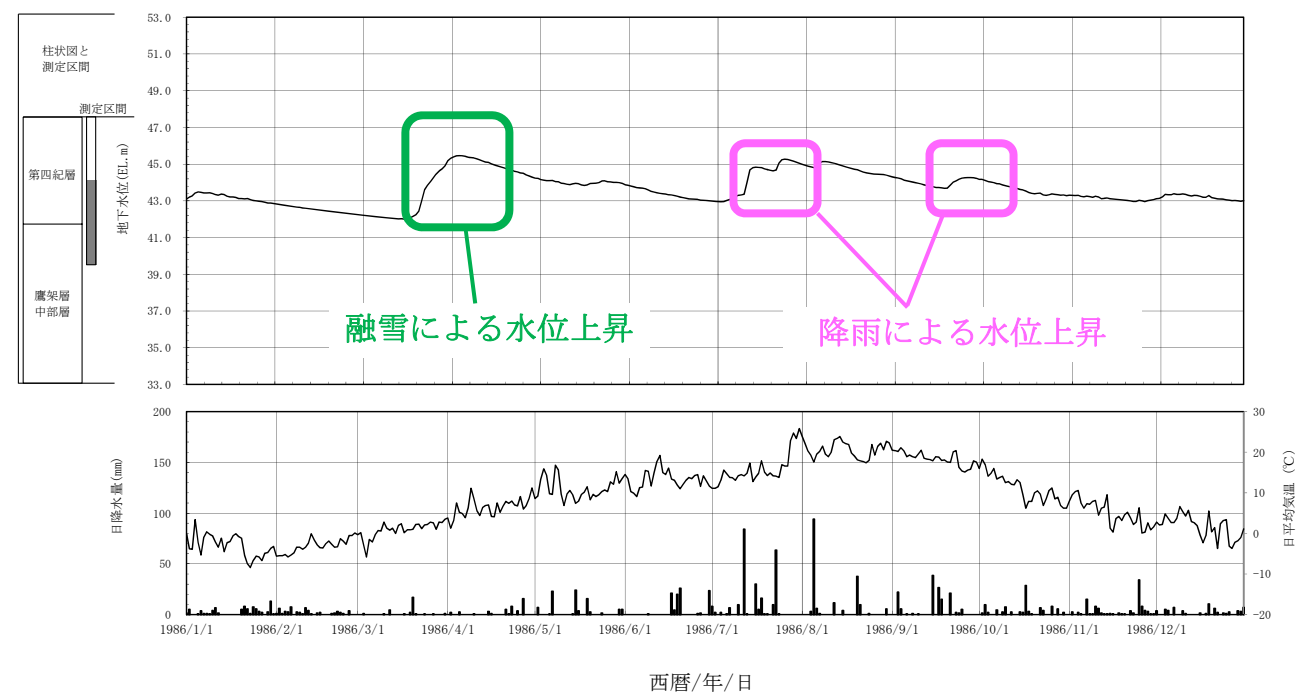
*1 自動計測及び手動式による地下水位測定方法を添付資料 1. に示す。

コメント No. 121 を踏まえ、埋設設備付近の地下水流れについて説明



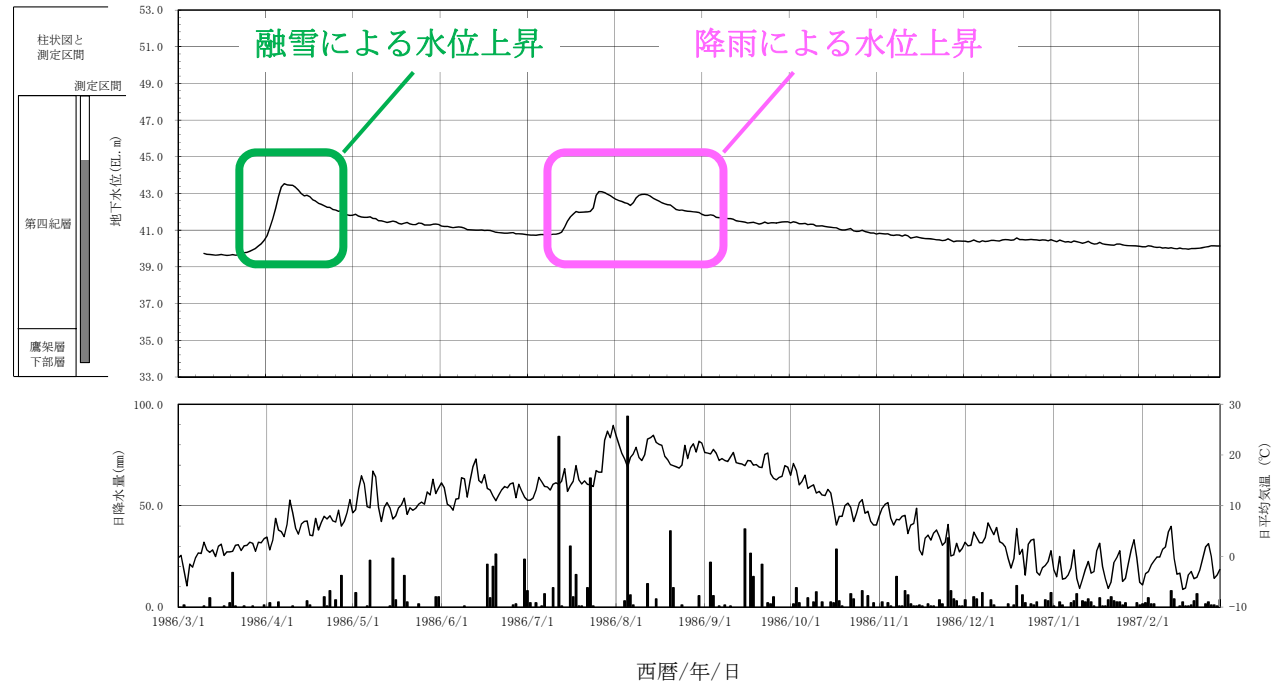
第3図 地下水位観測結果(1/3) (1986年1月1日～1986年12月31日 : E0-60孔)

コメント No. 121 を踏まえ、埋設設備付近の地下水流れについて説明



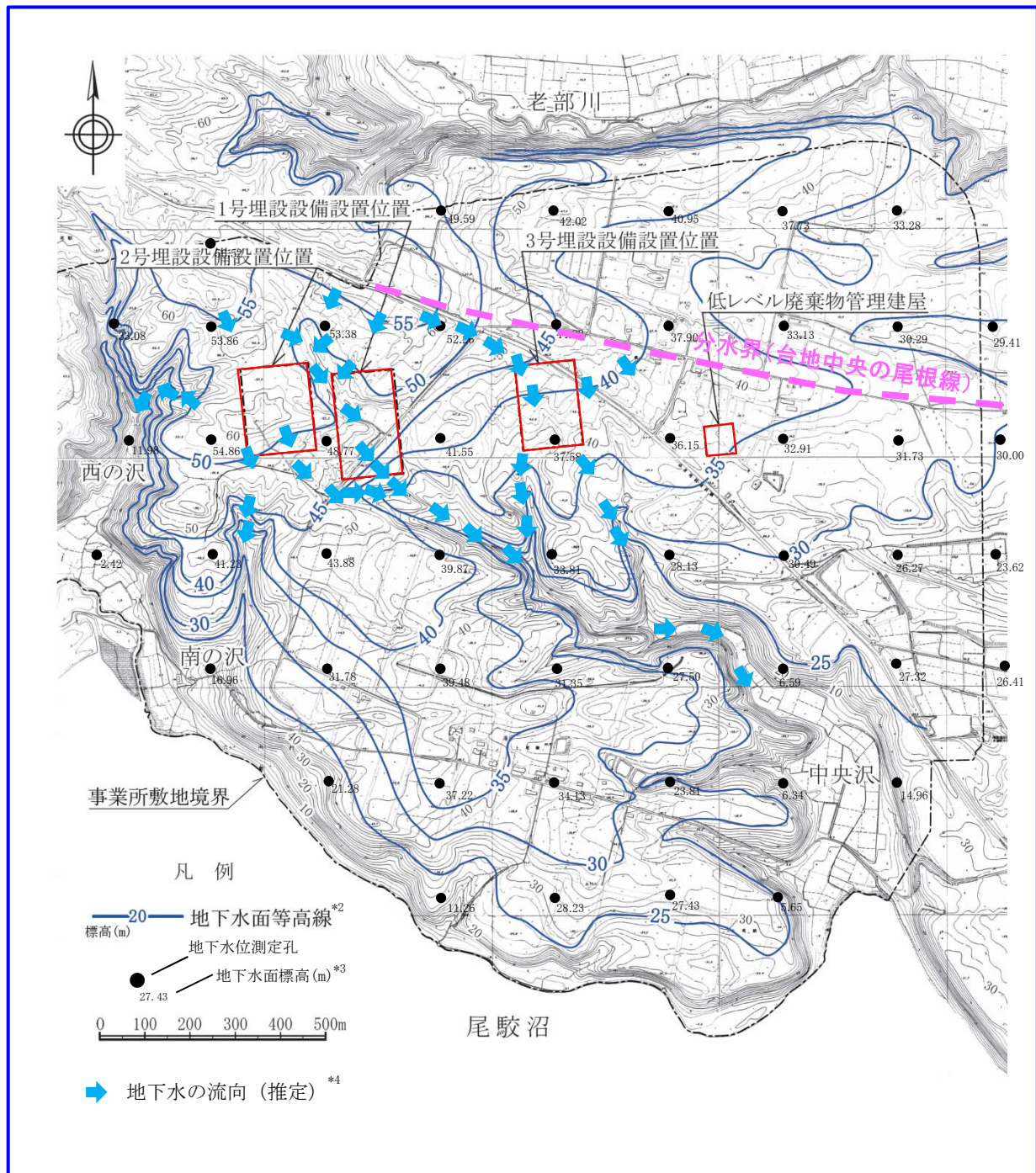
第3図 地下水位観測結果(2/3) (1986年1月1日～1986年12月31日 : C0-40孔)

コメント No. 121 を踏まえ、埋設設備付近の地下水流れについて説明



第3図 地下水位観測結果(3/3) (1986年3月1日～1987年2月28日 : B0-40孔)

コメント No. 121 を踏まえ、埋設設備付近の地下水流れについて説明



第4図 地下水面標高等高線図(1986年)^{*1}

*1 事業所敷地造成前の1986年6月の地下水位測定データを基に地形形状を勘案して作成した。
 *2 地下水面標高等高線の精度は、250mグリッド間隔程度の場合、一般的に地下水面と地形面分布が調和的であることから、地下水面勾配が地形面勾配に等しいと仮定し、事業所敷地内の地形勾配を2%とすると、地下水位測定孔間(孔間距離250m)の地下水位の差は5mとなり、孔間に5m間隔の地下水面等高線が引ける程度の精度となる。
 *3 地下水面標高の測定データである地下水位の測定精度は、添付資料1より±0.05mである。
 *4 地下水の流向は、地下水面標高等高線と直角の方向に地下水面標高が大きい方から小さい方の向きに矢印を引いた。

(3) 3号埋設設備設置地盤付近の地下水の流動状況

3号、1号及び2号廃棄物埋設地及びその付近の地下水は、第4図に示すように、廃棄物埋設地が台地の尾根線(地形から考えられる分水界)の南側に位置することから、基本的にこの尾根線よりも南側の標高の低い沢や尾駁沼へ向かって流れる。

1号及び2号埋設設備が150m程度以上南側に位置していることに比べ、3号埋設設備は台地の尾根線から距離が50m程度であり、台地の尾根線に近い。

以上のように3号埋設設備設置位置が台地尾根線に近いことから、3号廃棄物埋設地及びその付近のボーリング孔を利用して、3号埋設設備の設置地盤標高付近に分布する鷹架層を対象に実施した間隙水圧測定結果に基づいて、3号埋設設備設置地盤付近の地下水の流動状況を説明する。間隙水圧測定位置を第5図に示す。

計測方法は、各区間から立ち上げたパイプ内に圧力センサーを設置し連続的に自動計測する方法のPIEZO方式*1と各区間に圧力センサーを下ろして計測する方法のMP方式*1の2種類を用いた。

間隙水圧測定結果を第6図に、埋設設備設置地盤標高付近の全水頭等高線図を第7図に、南北方向鉛直断面図を第8図に示す。

3号廃棄物埋設地及びその付近の間隙水圧測定孔における全水頭は、第6図に示すように、埋設設備設置地盤標高付近では測定深度が深くなると全水頭が若干小さくなることから、鉛直下方成分を含む地下水流れが生じていると考えられる。また、軽石質砂岩と砂岩を境に全水頭が小さくなることから、この付近では鉛直下方成分を含む地下水流れが生じていると考えられる。

3号廃棄物埋設地及びその付近の埋設設備設置地盤標高付近の水平断面における地下水の流向は、第7図に示すように、おおむね北から南の方向である。標高換算全水頭等高線の形状は事業所敷地の地下水面標高等高線(第4図)と調和的であることから、地形面分布とも調和的である。

3号廃棄物埋設地及びその付近の南北方向鉛直断面における全水頭等高線は、第8図に示すようにおおむね地形に対応した分布を示し、北側で大きく、南側の中央沢付近で小さい。標高-50m付近までの全水頭の値は、水平方向の全水頭の値が北側よりも南側の方が小さいことから、北から南に向かう水平方向の流れが卓越していると考えられる。

更に3号埋設設備設置地盤付近の地下水が主に南向きであることを3号廃棄物埋設地付近の南北方向E2測線沿いの間隙水圧測定孔(E2-54孔、E2-56孔及びE2-57.5孔)のデータを用いて説明する。

第6図に示すE2-54孔、E2-56孔及びE2-57.5孔の間隙水圧測定結果(2017年6月)には、深度方向の間隙水圧測定区間において測定した間隙水圧(標高換算した全水頭表示)の値を測定区間中心深度にプロットするとともに、3号埋設設備設置地盤標高(標高20m)位置、埋設設備設置地盤標高に該当する測定区間及びその測定区間の間隙水圧(標高換算全水頭)の値を示した(赤線、赤枠)。

*1 PIEZO方式及びMP方式による間隙水圧測定方法を添付資料2に示す。

岩盤中の地下水は、基本的に全水頭が高いところから低いところに向かって流れる。E2-54 孔、E2-56 孔及び E2-57.5 孔の 3 号埋設設備設置地盤標高(標高 20m)における全水頭は、それぞれ標高 42.1m、標高 44.5m 及び標高 44.6m であり、北側の間隙水圧測定孔ほど大きい(標高換算した全水頭が高い)。

また、E2-54 孔、E2-56 孔及び E2-57.5 孔の 3 号埋設設備設置地盤標高(標高 20m)における 2011 年 10 月～2017 年 6 月までの全水頭の値を第 10 図に示す。

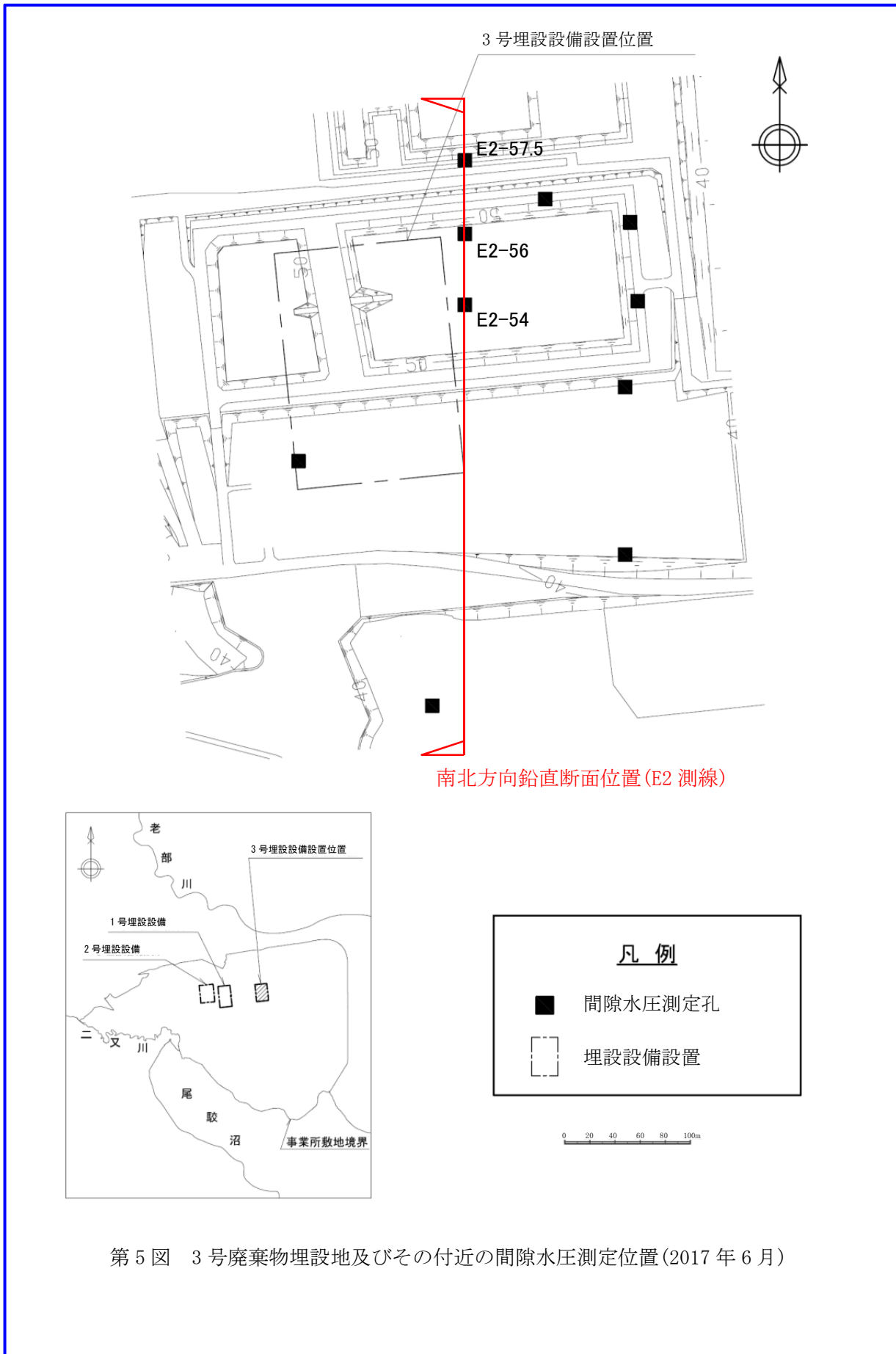
2011 年 10 月～2016 年 6 月の全水頭の値は、第 10 図に示すように、2017 年 6 月の場合と同様に、E2-54 孔、E2-56 孔及び E2-57.5 孔の順に北側の間隙水圧測定孔ほど大きい。

したがって、南北方向 E2 測線沿いの間隙水圧測定孔 E2-54 孔～E2-57.5 孔の区間における地下水の流れは、北側ではなく、主に南側へ向かって流れていると考える。

また、第 7 図に示す 3 号埋設設備設置地盤標高付近(標高 20m)水平断面内の間隙水圧測定位置の標高 20m 付近の全水頭の値の分布から、南北方向 E6 測線についても E2 測線と同様に全水頭が南から北に向かって高くなっていることから、E6-40 孔～E6-56 孔の区間における地下水の流れは、主に南側へ向かっていると考える。

以上から、第 7 図に示すように、3 号埋設設備設置地盤標高付近(標高 20m)の水平断面内における地下水の流れが北側若しくは南側へ向かうかの境界(標高 20m 水平断面内の全水頭の分布から考えられる分水界)は、E2-57.5 孔及び E6-56 孔を結んだ線よりも北側に位置すると考える。よって、間隙水圧測定結果に基づいても 3 号埋設設備設置地盤標高付近を流れる地下水は主に南に向かって流れていると考える。

コメント No. 121 を踏まえ、埋設設備付近の地下水流れについて説明

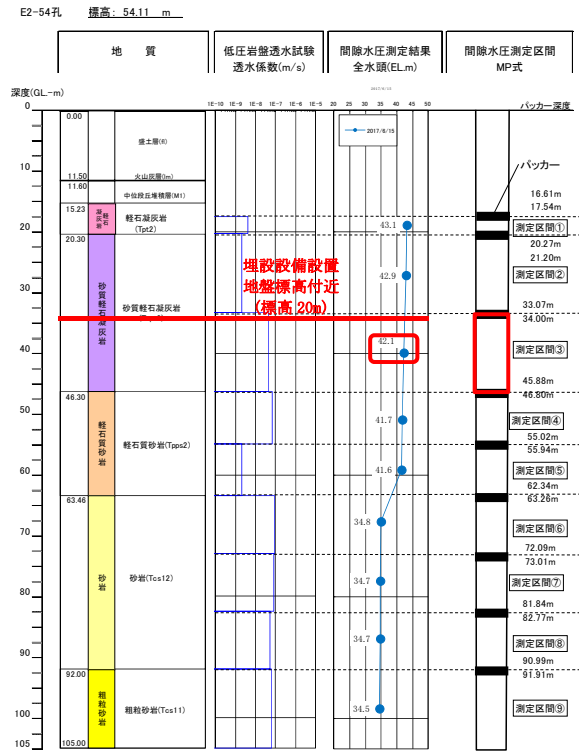


第 5 図 3 号廃棄物埋設地及びその付近の間隙水圧測定位置 (2017 年 6 月)

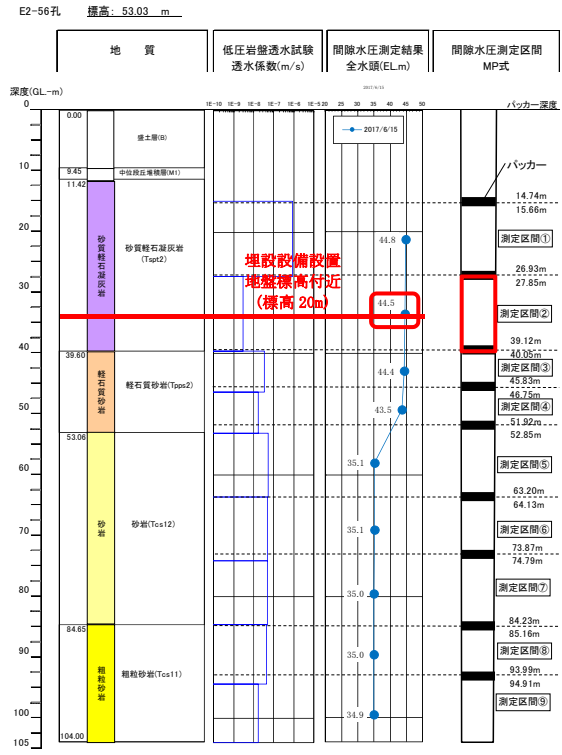
コメント No. 121 を踏まえ、埋設設備付近の地下水流れについて説明

南

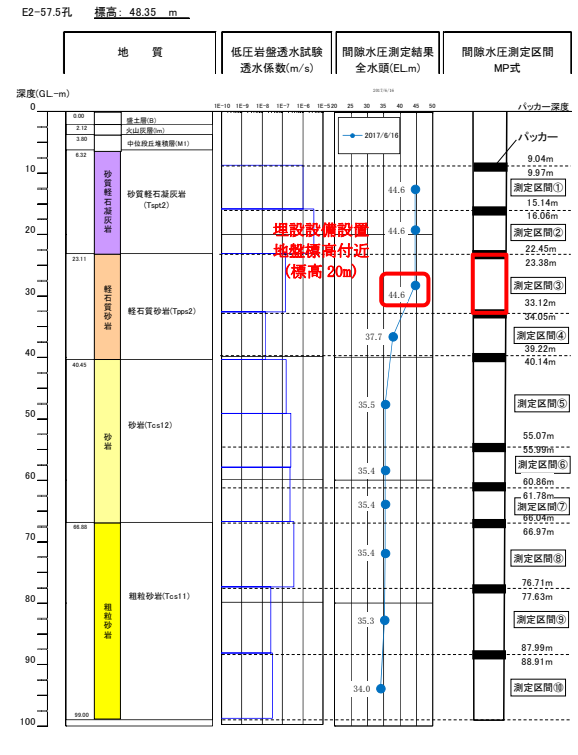
北



(E2-54 孔)



(E2-56 孔)

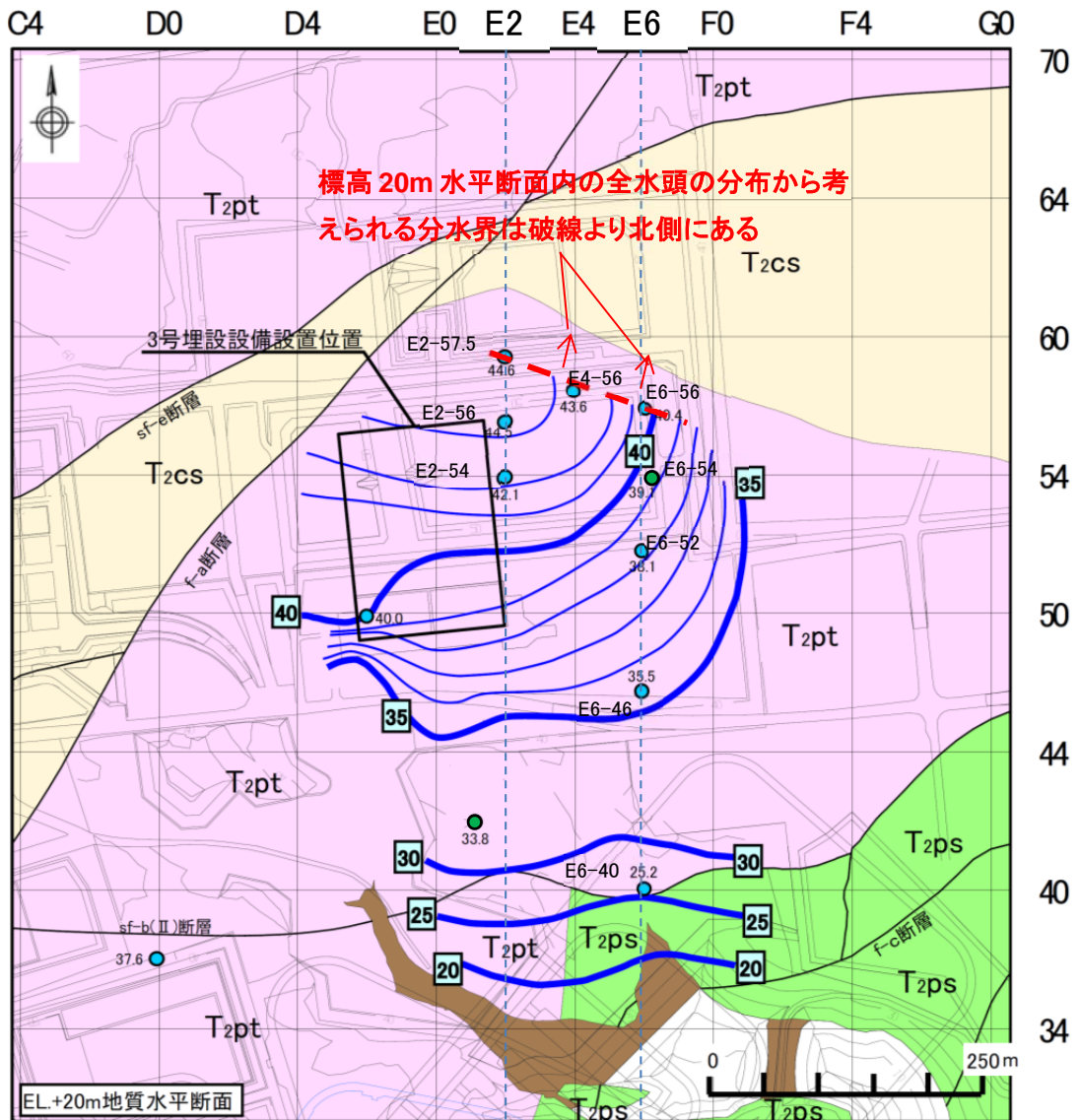


(E2-57.5 孔)

第 6 図 3 号埋設設備設置地盤標高付近の間隙水圧測定孔における間隙水圧測定結果 (標高換算全水頭値)

(南北方向 E2 測線沿い : 2017 年 6 月)

コメント No. 121 を踏まえ、埋設設備付近の地下水流れについて説明



標高 20m 水平断面内の全水頭の分布から考えられる分水界は破線より北側にある

凡例

- fl 盛土
- T2ps 砂質軽石凝灰岩層
- T2pt 軽石凝灰岩層
- T2cs 粗粒砂岩層
- 断層
- 地質境界線

- MP 間隙水圧測定孔※1
- PIEZO 標高20m付近の全水頭値
- 33.8 孔番号
- 5m等高線
- 1m等高線
- 全水頭等高線※2
〔標高表示(m)〕

*1 間隙水圧測定孔は、地盤を削孔した孔に間隙水圧を測定する区間を設けた設備である。この間隙水圧測定孔の測定データを基に全水頭等高線を作成した。なお、図中に示した標高 20m 付近の全水頭の測定精度は±0.04m^{*4}である。

*2 全水頭等高線は、間隙水圧測定孔^{*1}の各測定区間で測定した間隙水圧^{*3}と位置関係から内挿補間により求めた標高 20m の全水頭を基に一般的な知見及び地形を勘案して作成したものである。

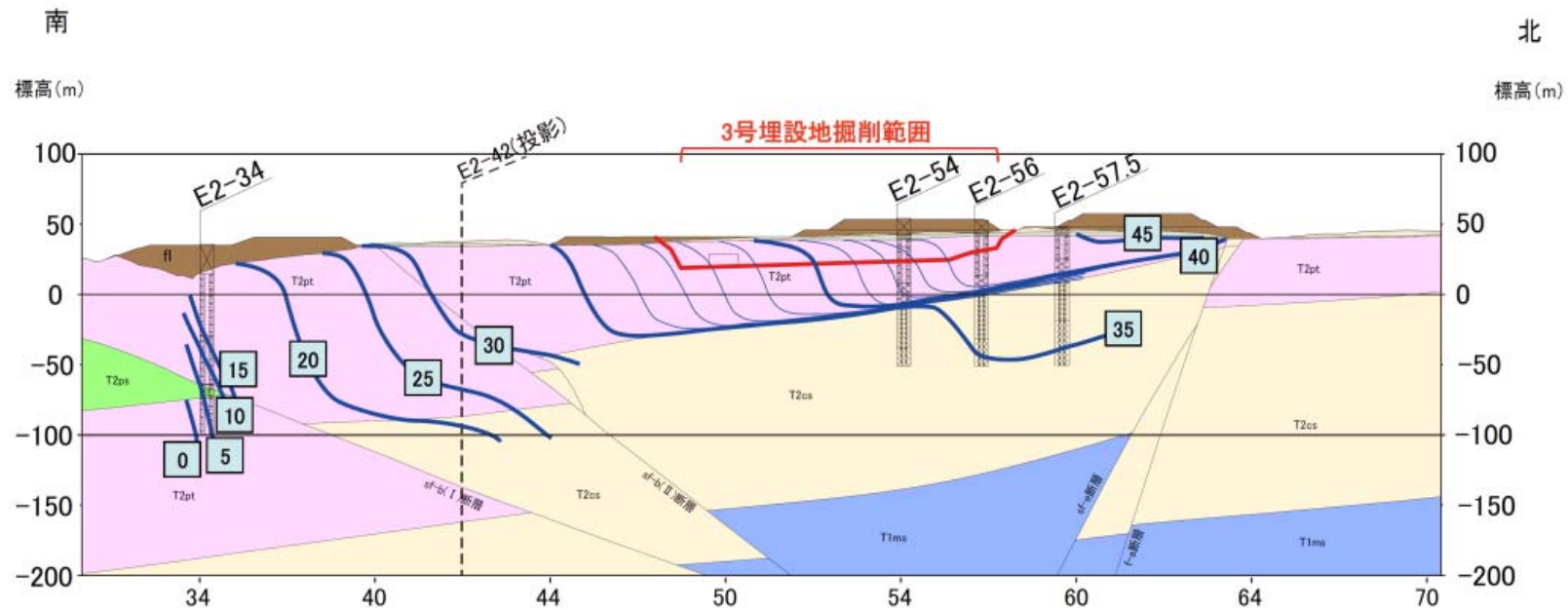
*3 2号廃棄物埋設地掘削後(2017年6月)の測定データを利用した。

*4 添付資料 2. 別紙の GL-50m 以浅の深度における圧力測定器の測定誤差による。

第 7 図 3号埋設設備設置地盤標高付近の全水頭等高線図

(標高 20m 水平断面:2017年6月)

コメント No. 121 を踏まえ、埋設設備付近の地下水流れについて説明

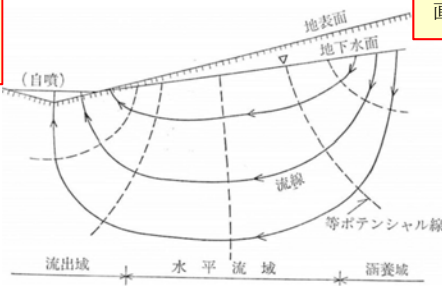


- *1 全水頭等高線は、間隙水圧測定孔^{*2}の各測定区間で測定した間隙水圧^{*4}及び位置関係から各測定深度の全水頭を基に一般的な知見^{*3}及び地形を勘案して作成したものである。
- *2 間隙水圧測定孔は、地盤を削孔した孔に間隙水圧を測定する区間を設けた設備である。この間隙水圧測定孔の測定データを基に全水頭等高線を作成した。なお、図中に示した標高 20m 付近の全水頭の測定精度は±0.04m^{*5}である。
- *3 第 9 図参照。
- *4 2 号廃棄物埋設地掘削後(2017 年 6 月)の測定データを利用した。
- *5 添付資料 2. 別紙の GL-50m 以浅の深度における圧力測定器の測定誤差による。

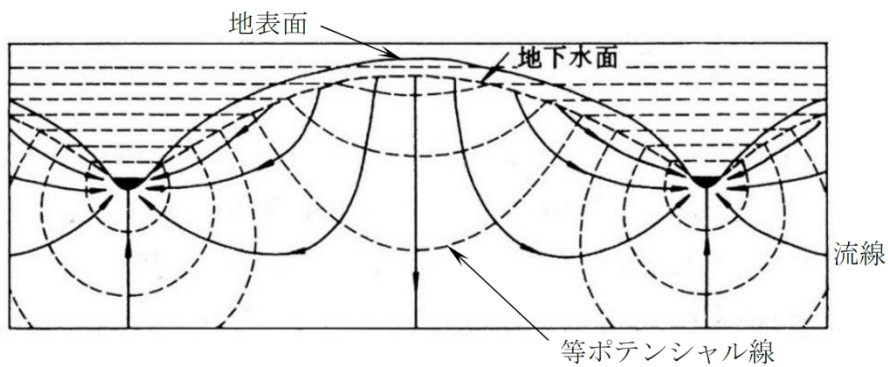
第 8 図 3 号廃棄物埋設地付近の全水頭分布図(南北方向 E2 測線鉛直断面:2017 年 6 月)

沢に湧出
する流れ

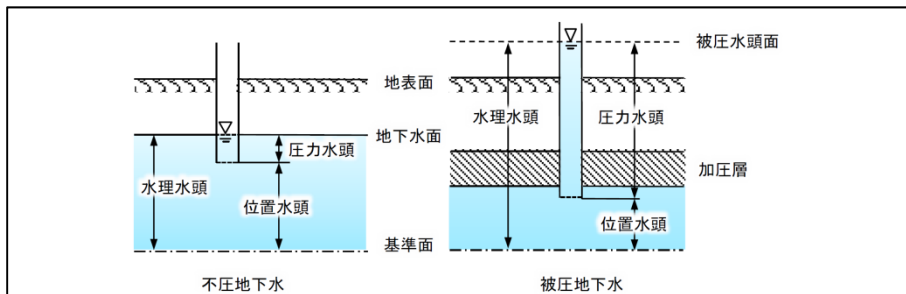
丘陵・台地部では鉛
直下向きに流れる



(a) 水理ポテンシャルと地下水流動系^{*1}



(b) 均質な帯水層の流線^{*1}



(c) 地下水位と水頭の物理的意味^{*1}

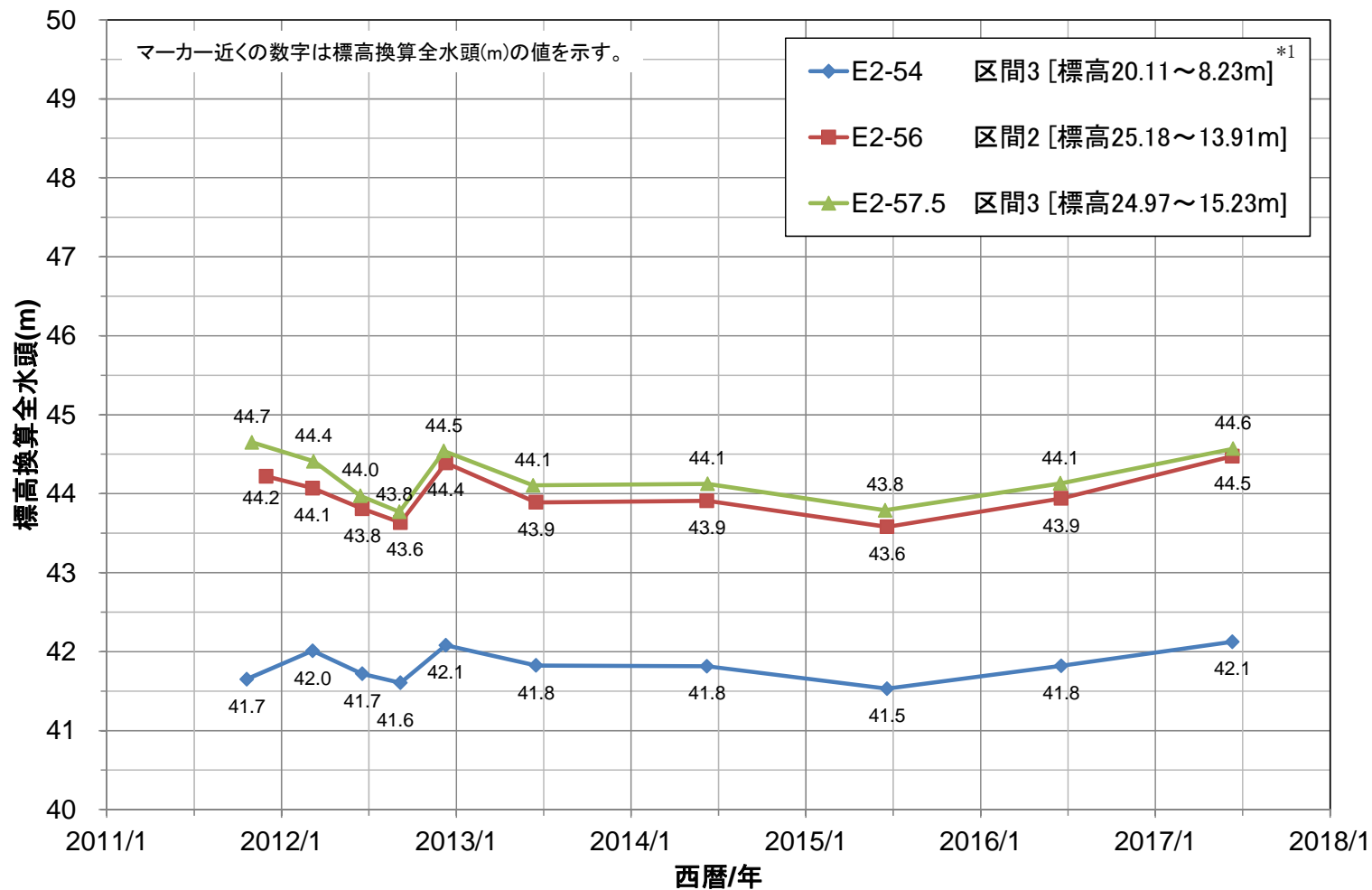
【用語】

- **水理ポテンシャル**：流体のエネルギー状態を表すもので、流れはこの値の高い方から低い方に生じる。地下水などの間隙流体の水理ポテンシャルは、位置ポテンシャルと圧力ポテンシャルの和として表される。
- **全水頭**：任意の地点の水のエネルギーの状態(水理ポテンシャル・・・(c)では水理水頭と表記)を水柱の高さに換算して、例えばメートル単位で表したもの。位置ポテンシャル、圧力ポテンシャルのそれぞれに対応するものとして位置水頭、圧力水頭がある。
- **位置水頭**：水的位置水頭のこと。重力ポテンシャルともいう。
- **圧力水頭**：水の圧力エネルギーのこと。

*1 内閣官房水循環政策本部事務局、地下水マネジメント導入のススメ 技術資料編 地下水用語集p19～p20より引用。

第9図 地下水流動系と水理ポテンシャルに係る一般的な知見

コメント No. 121 を踏まえ、埋設設備付近の地下水流れについて説明



第 10 図 3 号埋設設備設置地盤標高付近の間隙水圧測定孔における全水頭の時系列データ(南北方向 E2 測線沿い:2011 年 10 月~2017 年 6 月)

*1 区間は第 6 図の間隙水圧測定区間を示す。

2. 放射性物質を含む地下水が分水界の北側へ移行した場合の線量評価について

(1) 地下水が北側へ移行した場合に想定される被ばく経路

廃棄物埋設地を通過する地下水は、事業所敷地中央部の沢を経て尾駸沼に流出し太平洋に至るとしているが、仮に廃棄物埋設地を通過する地下水が北部の老部川に流入する場合には、老部川付近に人が住んでいることを踏まえて適切に評価を行う必要がある。河川水を生活用水等に利用することによる被ばくとしては、河川水の飲用による被ばく、河川中の水産物の摂取による被ばく、河川水を利用して生産される農畜産物の摂取及び灌漑作業による被ばくが想定される。

したがって、本評価では河川の利用に伴う被ばく経路として考慮する人間活動は以下として以下を設定する。

- ① 河川水の飲用
- ② 漁業従事者による河川水中の水産物の摂取
- ③ 農業従事者による河川水を利用して生産される灌漑農産物の摂取
- ④ 畜産業従事者による河川水を利用して生産される畜産物の摂取
- ⑤ 農業従事者による河川水を利用する灌漑作業

これらは廃棄物埋設地を通過する地下水が南側の尾駸沼に移行し、尾駸沼が河川化した後の被ばく経路と同様である。

(2) 評価パラメータの比較

老部川の利用に伴う被ばく経路と尾駸沼が河川化した後の河川利用による被ばく経路におけるパラメータの比較を第1表に示す。その他のパラメータについては共通とした。

なお、今回は放射性物質を含む地下水が分水界の北側へ移行した場合の線量評価を行うために、廃棄物埋設地を通過した地下水が全て北側に流れると仮定して評価を行った。

また、評価に用いる放射エネルギーについては、全 α の放射エネルギー(2.3×10^{11} Bq)を基に線量評価に用いる α 核種組成を過度に保守的にならないよう極力現実的に設定した値を用いた。

第1表 評価パラメータの比較

	河川化後の尾駸沼	老部川	備考
交換水量 (m^3/y)	$\sim 1.3 \times 10^7$	1.4×10^7	老部川の交換水量に関しては、尾駸沼及び老部川の平水流量 \times 365日より設定。
河川までの 移行距離 (m)	1号: 20 2号: 20 3号: 30	1号: 190 2号: 200 3号: 350	埋設設備から最短の直線距離。老部川への移行距離は事業所敷地境界までの距離を参考に設定。

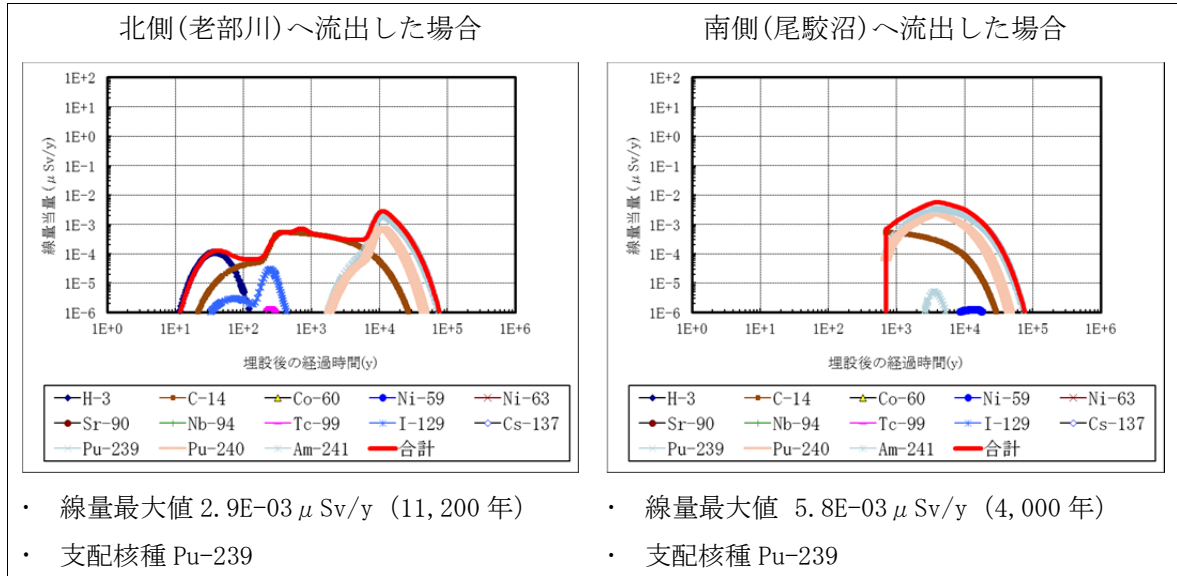
(3) 線量評価結果への影響

線量評価結果への影響を比較するため、3号廃棄物埋設施設の基本シナリオにおける寒冷化ケースの河川の利用に伴う被ばく経路として考慮する人間活動における線量評価

結果を第 11 図から第 15 図に示す。

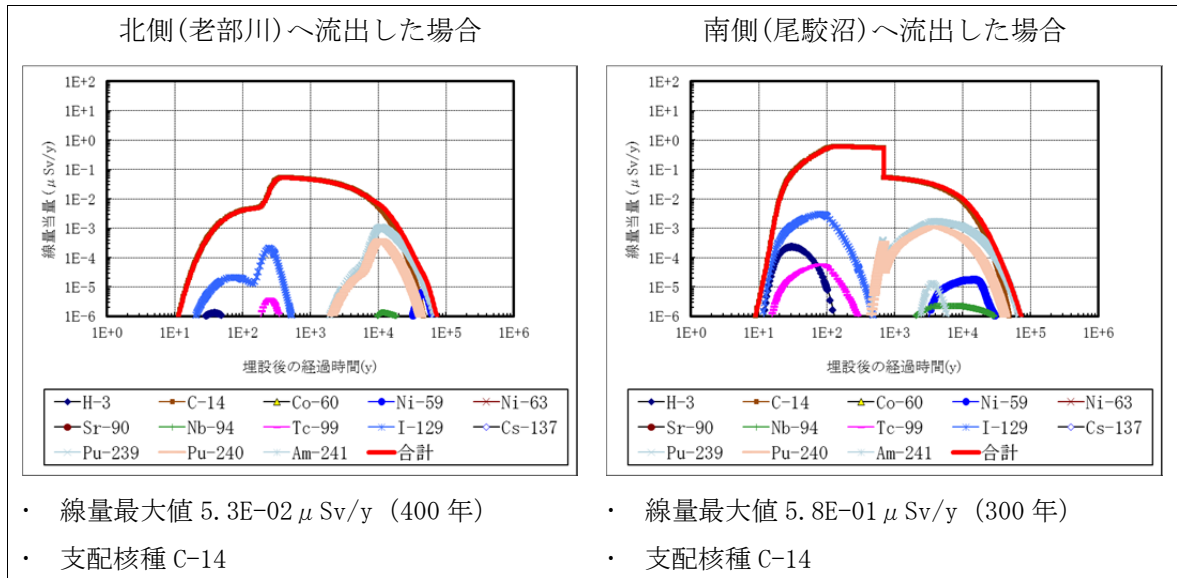
なお、変動シナリオ及び温暖期継続ケースにおける河川化時期及び水産物摂取に伴うパラメータの変更については、次回以降の審査会合にて説明を行う。

① 河川水の飲用



第 11 図 河川水の飲用の線量評価

② 漁業従事者による河川水中の水産物の摂取*1

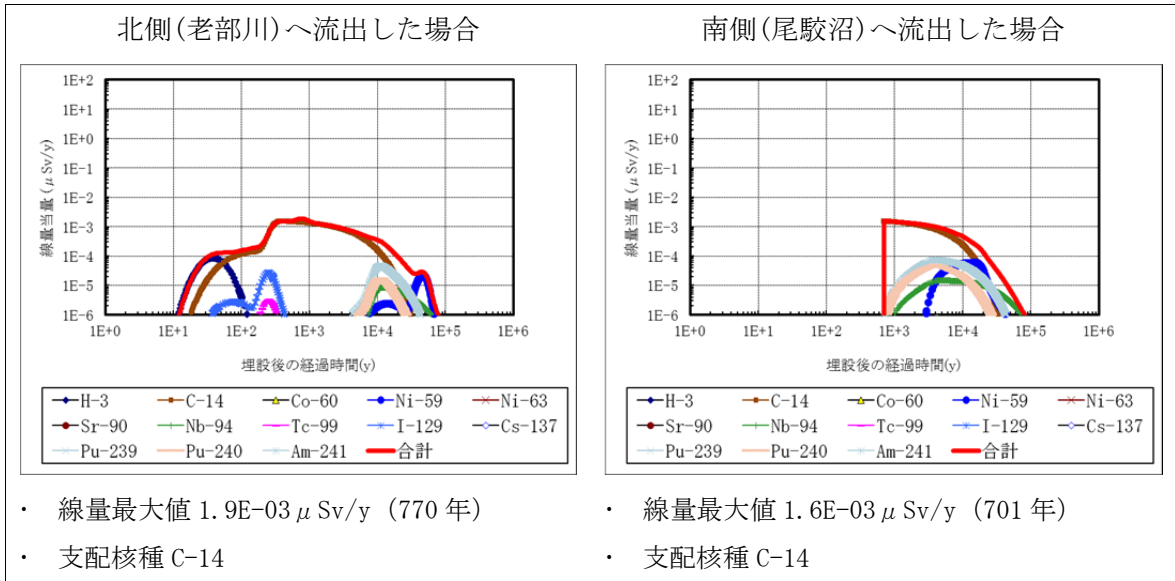


第 12 図 河川水中の水産物の摂取の線量評価

*1 α 核種組成の見直しに伴い、淡水魚類及び淡水無脊椎動物の濃縮係数を、文献(1)における保守的な値から、文献(2)におけるより確からしい値に変更し、濃縮係数全体の見直しを行った。詳細については「第九条第二号：異常時の放射線障害の防止等 廃止措置開始以後の評価(線量評価パラメータ)」等において別途説明する。

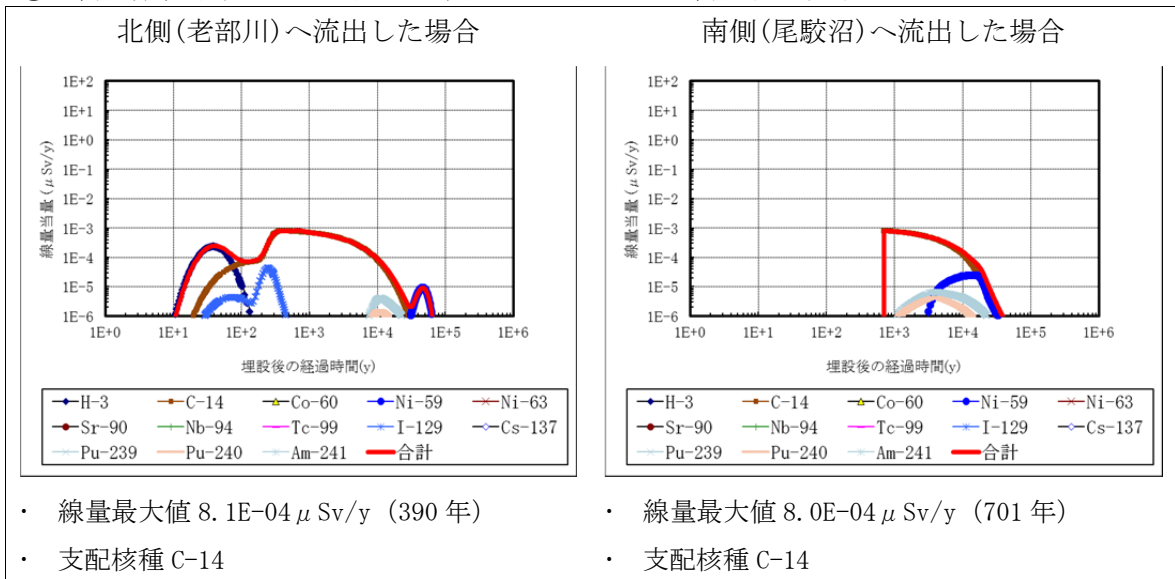
コメント No. 121 及び No. 122 を踏まえ、放射性物質を含む地下水が分水界の北側へ移行した場合の線量評価について説明

③ 農業従事者による河川水を利用して生産される灌漑農産物の摂取



第 13 図 河川水を利用して生産される灌漑農産物の摂取の線量評価

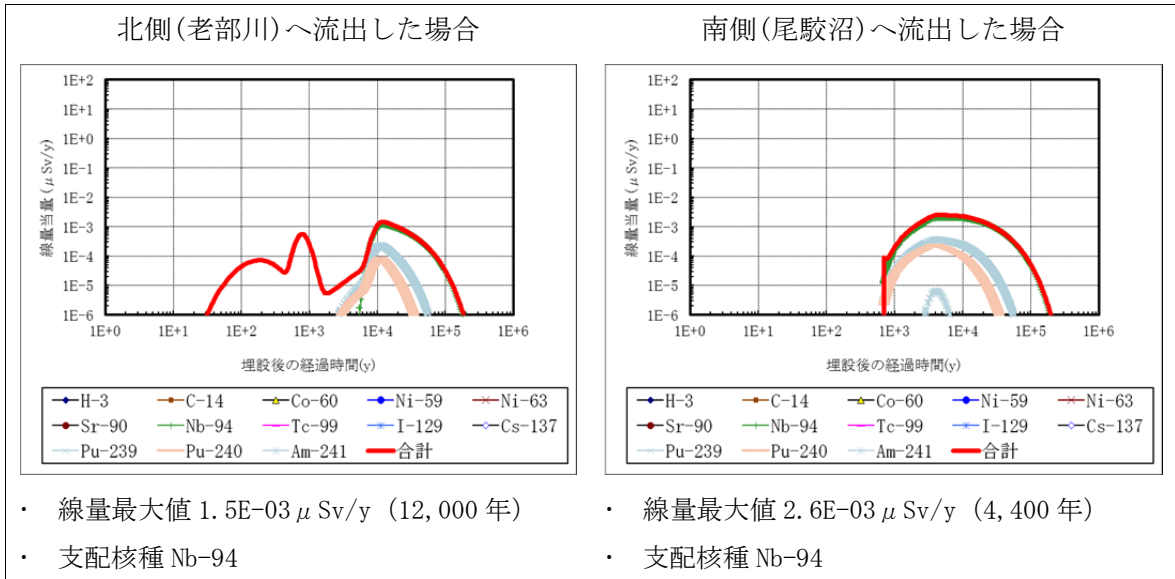
④ 畜産業従事者による河川水を利用して生産される畜産物の摂取



第 14 図 河川水を利用して生産される畜産物の摂取の線量評価

コメント No. 121 及び No. 122 を踏まえ、放射性物質を含む地下水が分水界の北側へ移行した場合の線量評価について説明

⑤ 農業従事者による河川水を利用する灌漑作業



第 15 図 河川水を利用する灌漑作業の線量評価

これらの結果から、支配核種である C-14 及び Pu-239 に関する被ばくは北南どちらに流れた場合でも、半減期の長さから線量値はほぼ同じ傾向となる(尾駁沼の希釈よりも北側の老部川の方が交換水量は多いため、その分は差となって現れる)。ただし支配核種と比べて比較的半減期の短い核種に関しては、各廃棄物埋設施設から老部川へ流れる移行距離が、各廃棄物埋設施設から尾駁沼まで流れる移行距離よりも評価上長いため、その影響を大きく受け、評価上の影響が小さくなる。本評価においては廃棄物埋設地を通過した地下水が全て北側に流れるとして設定しているが、北側に流れる地下水量を適切に設定することにより、更に線量値は小さくなる。

3. 分水界周辺の地下水の流れに関する監視について

3号廃棄物埋設地は、台地尾根線に近く、その南側に位置する。3号廃棄物埋設地北側で計測した地下水の間隙水圧測定値は孔間の全水頭の差が少ない箇所もあるが、地下水は主に南に向かっていることを確認した(第7図参照)。

しかしながら、第10図に示すように全水頭の時系列データの変動も認められ、分水界位置が変動することも否定できないことから、念のため、分水界の位置を監視する。

現在の廃棄物埋設地や事業所敷地内における将来の事業計画を前提とした場合の3号廃棄物埋設地北側の分水界周辺の地下水の流れに関する監視について、対象データ、監視時期、監視頻度、測定精度及び監視位置設定の考え方を説明する。

本資料で説明する分水界位置の監視計画の概要は一例であり、定期的な評価等のタイミングで見直すものとする。

(1) 対象データ

埋設設備から放射性物質が地下水を媒体に移行するシナリオを考える上で3号廃棄物埋設地付近における分水界の位置の変化を監視するため、現在の分水界位置付近において以下のデータを取得する。

- ① 3号埋設設備付近の地下水位
- ② 3号埋設設備設置地盤標高付近の全水頭

なお、地盤中の地下水の流れは、2点以上の地点において地下水位(若しくは全水頭)の大きさを比較することで確認できる。

(2) 監視時期

監視時期は、廃止措置後の埋設設備から放射性物質が地下水を媒体に移行するシナリオについて線量評価を行っていることから、廃棄物埋設地掘削及び操業中の地下水の汲み上げによる人為的な廃棄物埋設地周辺の地下水位(若しくは全水頭)の低下が解消した後の3号埋設設備付近の地下水位及び埋設設備設置地盤標高付近の全水頭を取得する必要がある。

したがって、3号埋設設備付近の地下水位及び3号埋設設備設置地盤標高付近における全水頭の測定は、廃止措置開始よりも前において今後人為的な地下水位(若しくは全水頭)の低下を引き起こさない時期から廃止措置の開始までの間とする。

(3) 監視頻度

監視頻度は、3号埋設設備付近の地下水位及び3号埋設設備設置地盤標高付近の全水頭の時間変化と地下水の流向の傾向を把握できるように設定する。

また、3号埋設設備付近の地下水位及び3号埋設設備設置地盤標高付近の全水頭は、事業所敷地内の降雨や融雪によってかん養される水量の影響を受けている。よって、監視頻度は、気象観測の降水量や積雪深の最小観測頻度と同じ1時間当たり1回とする。

(4) 測定精度

3号埋設設備設置地盤標高付近の全水頭の測定精度は、第7図に示すように孔間の全水頭差が0.1m単位で有意な差として扱える精度とする。

したがって、分水界位置を監視するための3号埋設設備付近の地下水位及び3号埋設設備の設置地盤標高付近における全水頭の測定精度は±0.04mとする。

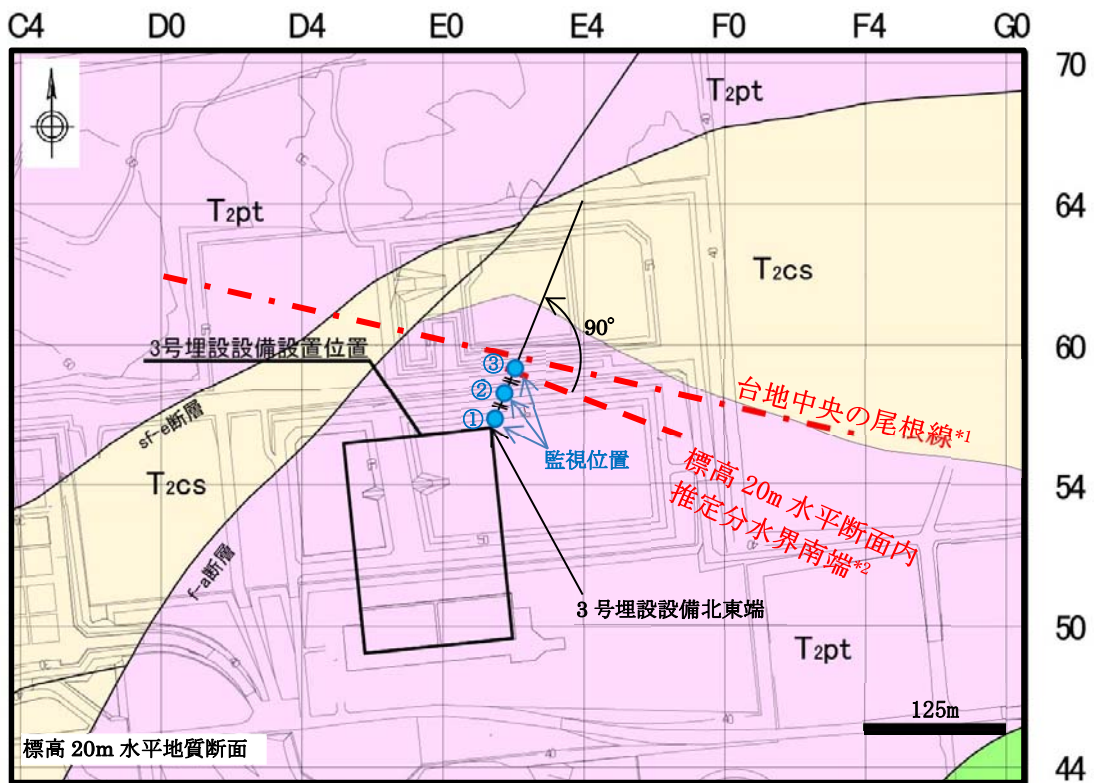
(5) 監視位置

分水界位置の監視位置の考え方を第16図に示す。

3号埋設設備設置地盤標高付近の地下水の流れは、最低2地点の3号埋設設備設置地盤標高付近の全水頭があれば、その2地点間の地下水の流向がわかり、3号埋設設備設置地盤標高付近の水平断面内における分水界の位置は、全水頭が高い側にあることがわかる。このため、監視位置は、第16図(a)に示すような位置に設定する。また、3号埋設設備設置地盤標高付近の水平断面内の分水界位置が変動する場合は、第16図(b)に示すように、監視位置を3地点とすると、3号埋設設備設置地盤標高付近の水平断面内の分水界位置の変化をより捉えやすくなる。

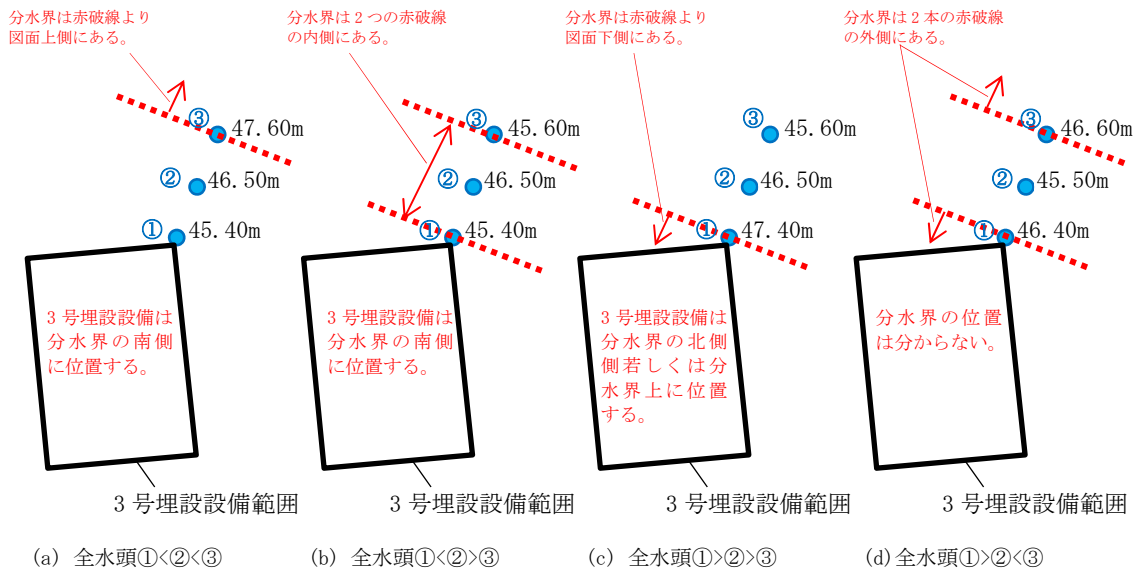
以上から、3号廃棄物埋設地付近の分水界位置の監視位置は3号埋設設備の北側に3地点とし、これらの地点において、地下水位及び3号埋設設備設置地盤標高付近の全水頭を測定するものとする。

コメント No. 121 を踏まえ、分水界周辺の地下水の流れに関する監視について説明



- 凡例
- fl 盛土
 - T2ps 砂質軽石凝灰岩層
 - T2pt 軽石凝灰岩層
 - T2cs 粗粒砂岩層
 - 断層
 - 地質境界線

(a) 監視位置の例



- 凡例
- 46.50m : 監視位置 全水頭(標高表示)
 - : 推定分水界端

(b) 監視位置を3点とした場合の全水頭と分水界位置の関係

第16図 分水界位置の監視位置の考え方^{*3}

*1 第4図の台地中央の尾根線(分水界)をトレースした。
 *2 第7図の赤破線(標高20m水平断面内の全水頭から考えられる分水界の南端ライン)をトレースした。
 *3 全水頭を地下水面標高に置き換えることにより、地下水面の分水界にも適用できる。

4. 参考文献

- (1) International Atomic Energy Agency(2010) : Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments, Technical Reports Series No.472
- (2) International Atomic Energy Agency(2001) : Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, Safety Reports Series No.19

地下水位測定方法

地下水位及び地下水流向を調査するため、事業所敷地内において地下水位測定を行った。地下水位測定は、圧力センサーを設置し連続的に自動計測する方法、巻尺の先に地下水面を検出する触針器を下ろし、孔口からの深さを計測する手動式の方法の2種類を用いた。地下水位測定装置及び測定概要を第1図に、自動計測装置の仕様を第1表に示す。

地下水位測定は、自動計測装置に蓄積された地下水位のデータの収録・点検及び手測り測定からなる。

自動計測装置は、SDL(1996年以降)及びDSC(2004年以前)を用いた(1996年～2004年はSDL及びDSCが混在)。

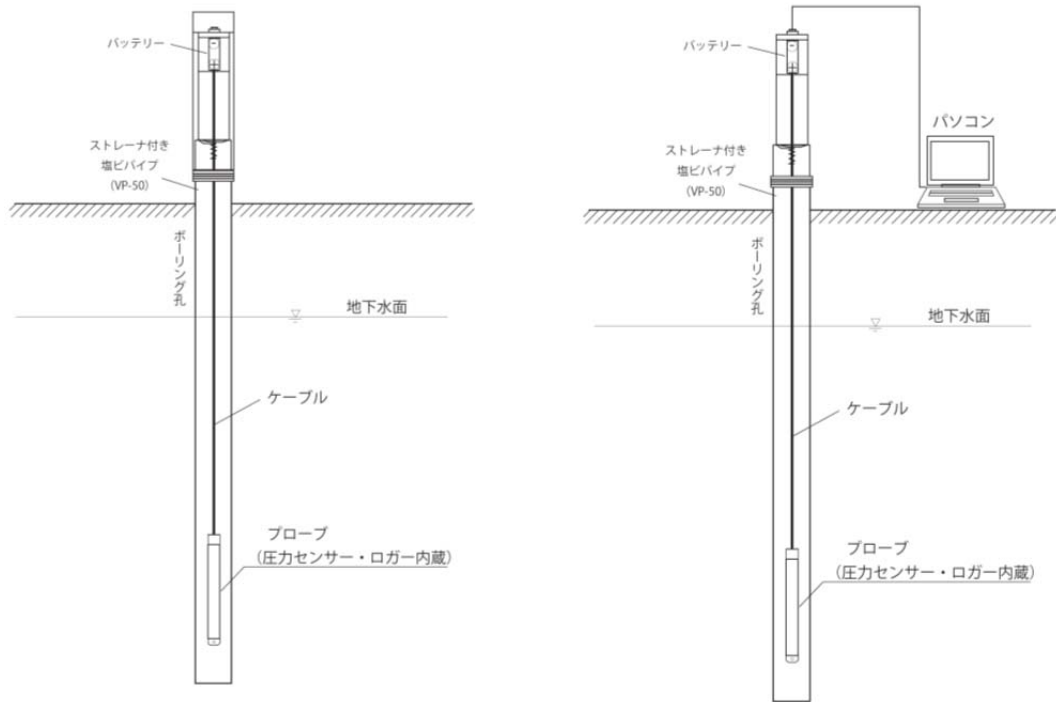
自動計測装置からのデータ収録は、SDLの場合は、専用のソフトを備えたパソコンをロガーから連続する地上部のコネクタに接続して行った。また、DSCの場合は、記録装置(DSC)と収録装置(ジオロガー3030若しくは専用ソフトを備えたノート型パソコン)を接続して行った。

手動式の測定は、触針式水位計を用い、地盤工学会基準 JGS 1312-2012「観測井による砂質・礫質地盤の地下水位測定方法」*1に準じて行った。

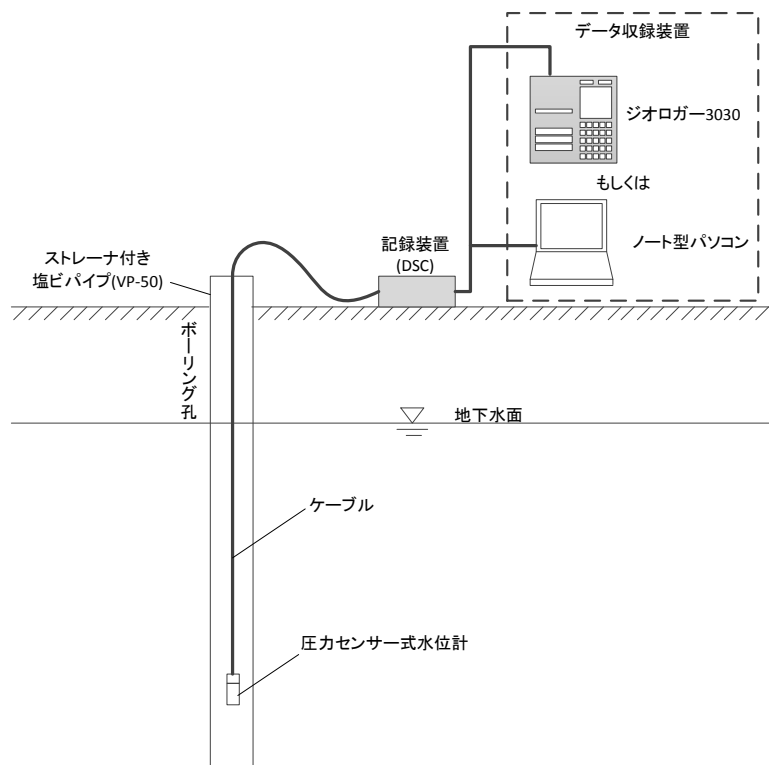
自動計測装置の測定精度は、第1表の水位測定範囲と圧力センサー精度から水頭換算で $\pm 0.01\text{m}$ ～ $\pm 0.05\text{m}$ 、手動式(触針式)の測定精度は触針式水位計の目盛が 0.01m 間隔であることから $\pm 0.01\text{m}$ である。地下水位測定孔の管頭標高及び圧力センサー設置深度については 0.01m 間隔目盛の標尺をもとに標高や深度を求めている。また、地下水面標高は、これらの自動計測装置から得られる水頭値(圧力センサーより上方の水柱の高さ)、地下水位測定孔の管頭標高、圧力センサーの管頭から設置深度を用いて加算・減算から求められる。よって、地下水位測定から求められる地下水面標高の精度は、これらの水頭値、管頭標高及び設置深度の精度のうち最も悪い場合と同じ $\pm 0.05\text{m}$ となる。

*1 表記した地盤工学会基準の制定(改訂)前の測定についても、学会基準の測定方法に準拠していることから、学会基準名及び番号の最新版を用いて表記した。

コメント No. 128 を踏まえ、地下水位測定の方法及び測定精度について説明



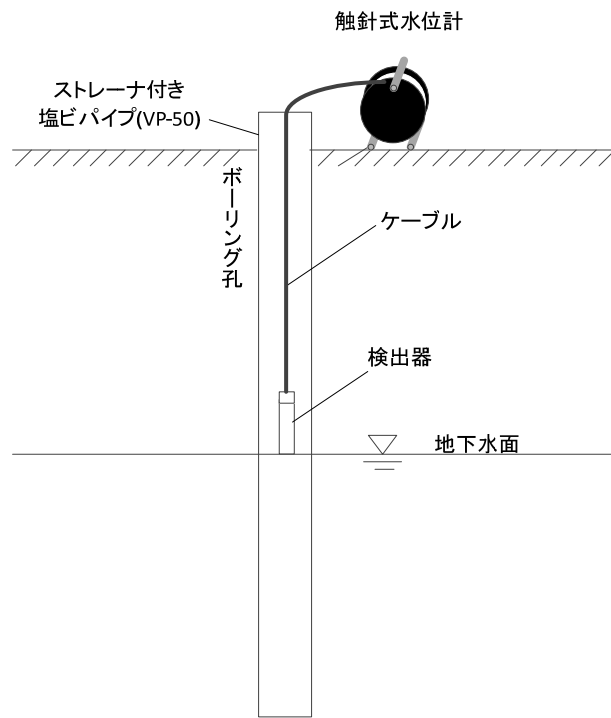
(a) 自動計測(SDL) (左：観測状況、右：データ収録状況)



(b) 自動計測(DSC)

第1図 地下水位測定装置及び測定概要(1/2)

コメント No. 128 を踏まえ、地下水位測定の方法及び測定精度について説明



(c) 触針式水位計による測定

第1図 地下水位測定装置及び測定概要(2/2)

コメント No. 128 を踏まえ、地下水位測定の方法及び測定精度について説明

第 1 表 自動計測水位計 (SDL) の仕様 (1/2)

水位測定範囲 (FS)	10m、20m	<p>外観・構造</p>
圧力センサー精度	±0.1%FS	
記憶容量	57,000 データ	
測定間隔	1分～10日 (1分間隔で設定可能)	
電源	単一アルカリ電池×3本 (または専用リチウム電池 6V、9V)	
プローブ外径寸法	φ25mm×290mm	

第 1 表 自動計測水位計 (DSC) の仕様 (2/2)

圧力センサー式水位計	水位測定範囲 (FS)	4m、10m
	圧力センサー精度	±0.5%FS
	寸法	φ26mm×175mm
デジタルストレージレコーダ (DSC)	チャンネル数	2
	記憶容量	2,560 データ
	測定間隔	10, 20, 30, 60 秒
		2, 3, 6, 10, 20, 30 分
		1, 2, 3, 6, 12, 24 時間
	電源	UM-1×8 個
寸法	φ108mm×400mm	

間隙水圧測定方法

間隙水圧測定は、PIEZO 方式と MP 方式により行った。装置及び測定の概要を第 2 図に、間隙水圧測定装置の仕様を第 2 表に示す。以下に PIEZO 方式及び MP 方式による間隙水圧測定方法について説明する。

(1) 間隙水圧測定 (PIEZO 方式)

PIEZO 方式は、第 2 図 (a) に示すように、パッカーで区切られた各測定区間から連続するスタンドパイプ (内径 16.5mm) 内に立ち上がった水柱の水位 (間隙水圧) を圧力センサー (外径 14mm) によって自動計測するシステムである。自動計測の測定間隔は 1 時間とした。

自動計測された間隙水圧データの収録は、測定データが蓄積されたデータロガーに専用のソフトを備えたパソコンを接続することによって行った。

PIEZO 方式による間隙水圧の測定精度は、第 2 表 (a) の水位測定範囲と圧力センサー精度から水頭換算で $\pm 0.08\text{m}$ である。間隙水圧測定孔の管頭標高及び圧力センサー設置深度については 0.01m 目盛間隔の標尺を基に標高や深度を求めている。また、測定区間の標高換算全水頭は、これらの自動計測装置から得られる水頭値 (圧力センサーより上方の水柱の高さ)、間隙水圧測定孔の管頭標高、圧力センサーの管頭から設置深度を用いて加算・減算から求められる。よって、PIEZO 方式による間隙水圧測定から求められる標高換算全水頭の精度は、これらの水頭値、管頭標高及び設置深度の精度のうち最も悪い場合と同じ $\pm 0.08\text{m}$ となる。

(2) 間隙水圧測定 (MP 方式)

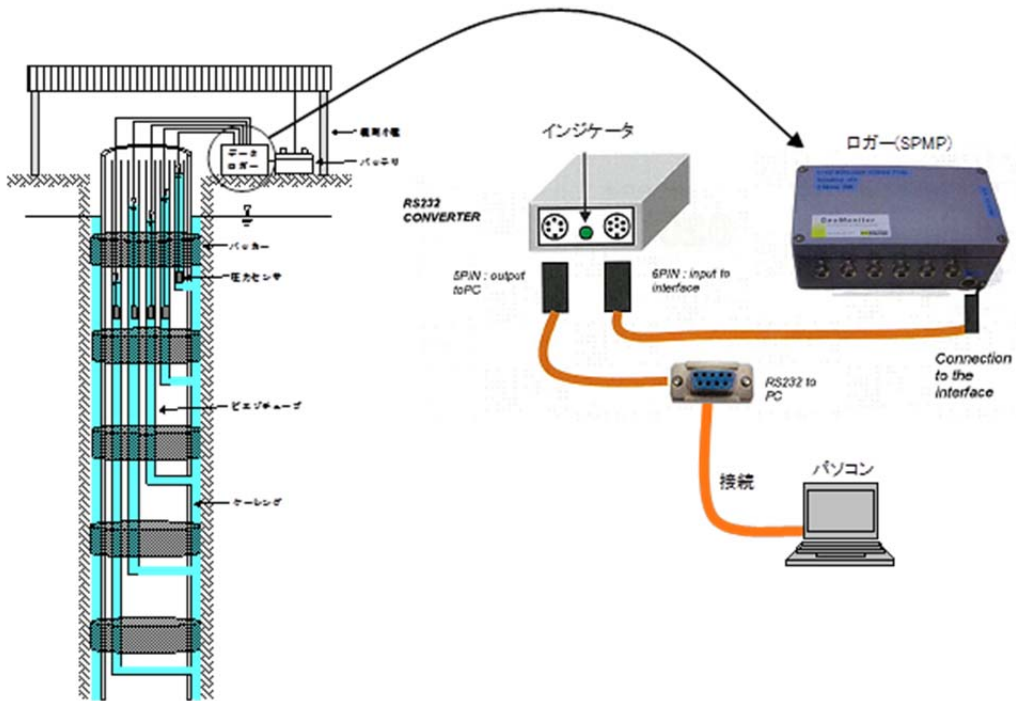
MP 方式は、第 2 図 (b) に示すように、長さ 47cm 程度、直径 3cm 程度の円筒状の圧力測定器 (プローブ) をケーシング内に挿入し、測定区間ごとに設置された測定ポートにこれをセットすることによって、ケーシングの内側から測定ポートを通して外側の間隙水圧を計測する装置である。

MP 方式による測定は、測定中の漏水確認のため孔内を満水にし、制御装置 (MAGI) によってウィンチを制御することにより圧力測定器 (プローブ) を孔内に降ろし、基本的に最下部の測定区間から開始し、順次上方の測定区間の水圧を測定及び記録をした。水圧の記録については、水圧値が安定した状態または水圧の安定が遅い場合にはおおむね 10 分後の値を記録した。また、各区間の測定の前後で大気圧、水温の測定を実施した。

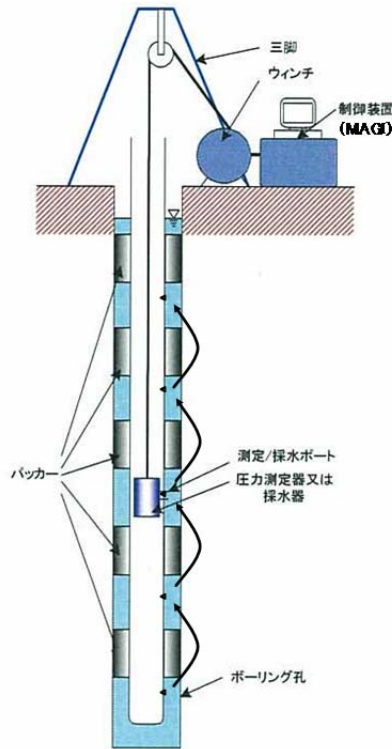
MP 方式による間隙水圧の測定精度は、第 2 表 (b) の水位測定範囲と圧力センサー精度から水頭換算で $\pm 0.35\text{m}$ である。間隙水圧測定孔の管頭標高、測定区間及び測点の深度については 0.01m 目盛間隔の標尺を基に標高や深度を求めている。また、測定区間の標高換算全水頭は、これらの自動計測装置から得られる水頭値 (測定区間の水圧を大気圧補正して水頭に換算)、間隙水圧測定孔の管頭標高、測点の深度を用いて加算・減算から求められる。よって、MP 方式による間隙水圧測定から求められる標高換算全水頭の精度は、これらの水頭値、管頭標高及び測点深度の精度のうち最も悪い場合と同じ $\pm 0.35\text{m}$ となる。

コメント No. 128 を踏まえ、間隙水圧測定の方法及び測定精度について説明

一方、圧力測定器の点検のために、MP ケーシング管頭まで満水にした状態で各測点深度における MP ケーシング内の水頭と圧力測定器により求めた水頭を比較した。地表面から 50m までの深さまでのその差の大きさは 0.04m よりも小さい*1 ことから、地表面から 50m までの深さまでの圧力測定器の精度は±0.04m であるといえる。



(a) PIEZO 方式



(b) MP 方式

第 2 図 間隙水圧測定装置及び測定の概要

*1 別紙の MP 圧力センサー点検記録による。

コメント No. 128 を踏まえ、間隙水圧測定の方法及び測定精度について説明

第 2 表 間隙水圧測定装置の仕様 (PIEZO 方式) (1/2)

圧力センサー	水位測定範囲 (FS)	30.59m
	圧力センサー精度	±0.25%FS
	寸法	外径 14mm、全長 300mm (錘 250mm : 300g)
データロガー	接続可能センサー数	16
	記憶容量	E6-40:56,992 個、E6-54:53,440 個
	測定間隔	1 分～10 日 (1 分間隔で設定可能)
	電源	単一アルカリ電池×4 本、または 12V バッテリ

第 2 表 間隙水圧測定装置の仕様 (MP 方式) (2/2)

圧力測定器	水位測定範囲 (FS)	351.6m
	圧力センサー精度	±0.1%FS
	寸法	φ 28.5mm×466mm

MP圧力センサ点検記録^{*1}

校正地点名 : D0-36

測定年月日 : 2017/6/12~6/13

センサ種類 : EM-3264 Module1567 (精度:フルスケールの±0.1%)

測定レンジ : 500PSI(約3.45Mpa)

記録者 :

大気圧 : 100.2 kPa

GL-50m 以浅の深度の圧力測定器の測定誤差

測定点 No.	(A) 測定ポート深度 GL-m	MPケーシング内 水圧測定値 kPa	(B) MPケーシング内 水圧換算値 GL-m	(C) MPケーシング 立ち上がり m	測定誤差 (A-B+C)	
					m	%FS
1	17.61	278.3	18.16	0.55	0.00	0.00%
2	25.11	352.0	25.68	0.55	-0.02	-0.01%
3	32.61	425.7	33.20	0.55	-0.04	-0.01%
4	40.11	499.3	40.70	0.55	-0.04	-0.01%
5	49.11	587.6	49.70	0.55	-0.04	-0.01%
6	58.11	675.9	58.71	0.55	-0.05	-0.01%
7	67.11	764.1	67.71	0.55	-0.04	-0.01%
8	77.61	867.1	78.21	0.55	-0.05	-0.01%
9	85.11	940.8	85.72	0.55	-0.06	-0.02%
10	95.61	1043.6	96.21	0.55	-0.04	-0.01%
11	103.11	1117.2	103.71	0.55	-0.04	-0.01%
12	112.11	1205.3	112.70	0.55	-0.04	-0.01%
13	121.11	1293.5	121.69	0.55	-0.03	-0.01%
14	131.61	1396.4	132.18	0.55	-0.02	-0.01%
15	142.11	1499.2	142.67	0.55	-0.01	0.00%
16	152.61	1602.0	153.15	0.55	0.02	0.00%
17	163.11	1704.7	163.62	0.55	0.04	0.01%
18	170.61	1778.2	171.12	0.55	0.04	0.01%
19	181.11	1881.0	181.59	0.55	0.07	0.02%
20	191.61	1984.2	192.12	0.55	0.04	0.01%
21	202.11	2087.1	202.61	0.55	0.05	0.01%
22	212.61	2189.9	213.10	0.55	0.06	0.02%
23	223.11	2292.6	223.57	0.55	0.09	0.03%
24	230.61	2366.1	231.07	0.55	0.09	0.03%
25	241.11	2469.0	241.55	0.55	0.11	0.03%
26	251.61	2572.0	252.06	0.55	0.10	0.03%
27	262.11	2675.0	262.56	0.55	0.10	0.03%
28	272.61	2777.5	273.01	0.55	0.15	0.04%
29	280.11	2851.3	280.54	0.55	0.12	0.03%
30	287.61	2925.7	288.12	0.55	0.04	0.01%

点検結果: **合格** ・ 不合格

*1 3号埋設施設の水文観測調査(2017年度分)のMP方式の間隙水圧測定孔のうち最も深い孔を用いて圧力センサーを点検した。点検方法はMPケーシング管頭まで満水にした状態で各測点深度(測定ポート深度)におけるMPケーシング内の水頭と圧力測定器により求めた水頭を比較することによって行った。

3号埋設設備設置地盤付近の動水勾配について

1. はじめに

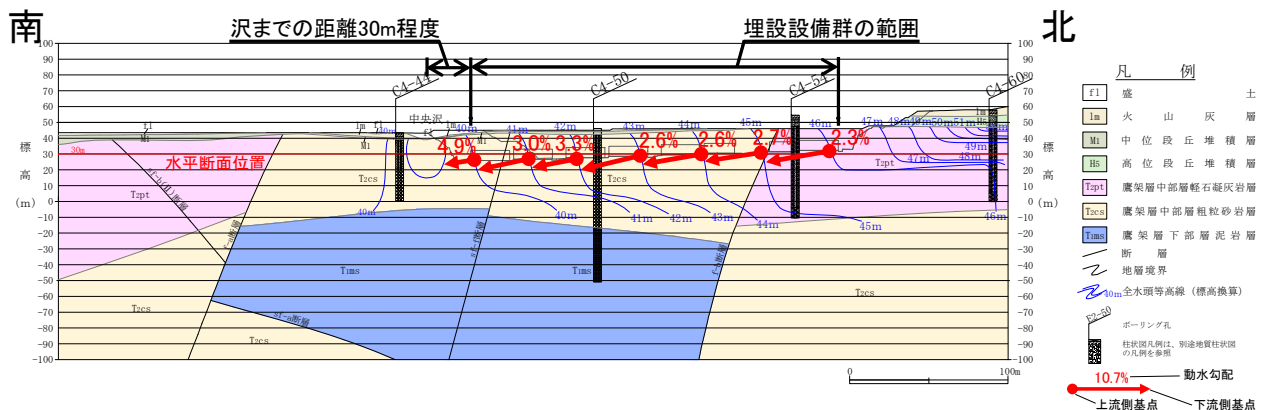
埋設設備設置地盤付近の動水勾配は、地下水面と同様に台地面の平均的な地形勾配2~3%とおおむね調和的であることが、1号廃棄物埋設地付近の間隙水圧測定データから作成した全水頭等高線を基に求めた動水勾配（中央沢に近いデータ4.9%を除くと2.3~3.3%）から判明している（第1図参照）。

一方、3号埋設設備設置地盤付近の間隙水圧測定データから作成した全水頭等高線（第2図参照）を基に求めると2.7~7.5%となる。これは、台地面の平均的な地形勾配2~3%よりも大きい値を含んでいる。

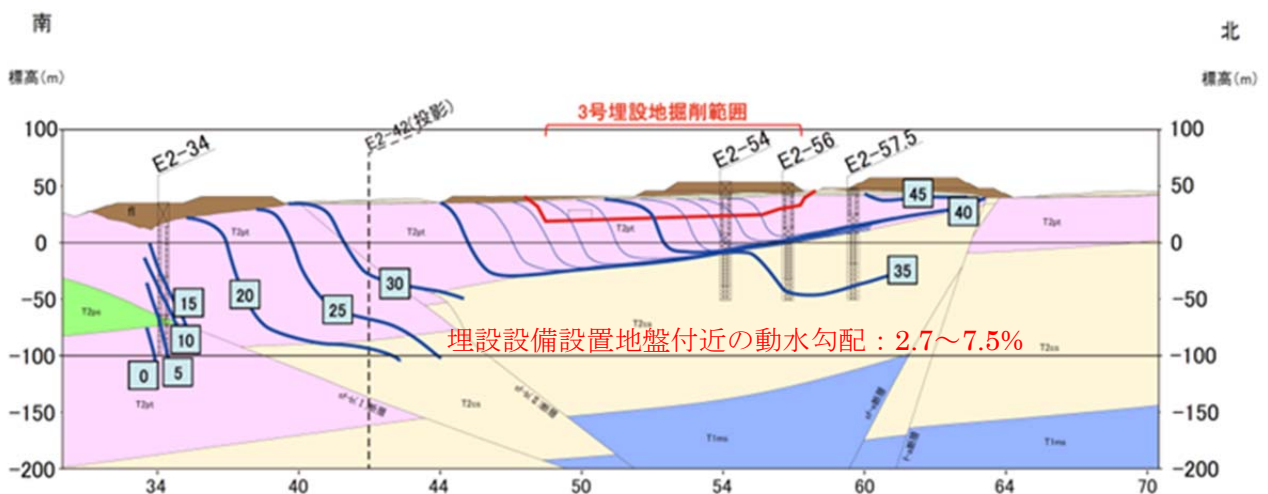
本資料では、3号埋設設備設置地盤付近の動水勾配が台地面の平均的な地形勾配よりも大きい値を含む理由について考察する。

3号廃棄物埋設地付近で間隙水圧測定を実施した際、3号廃棄物埋設地付近に掘削残土（高さ6m程度）が仮置きしており、3号埋設設備設置地盤付近の動水勾配が台地面の平均的な地形勾配よりも大きい値を含む理由はこの影響と考える。

以下に、掘削残土の影響によって、埋設設備設置地盤付近の動水勾配が大きくなることを、2次元地下水浸透流解析を用いて確認した結果を説明する。



第1図 1号廃棄物埋設地付近の間隙水圧測定データから作成した南北鉛直断面内の全水頭等高線と埋設設備設置地盤付近の動水勾配



第2図 3号廃棄物埋設地付近の間隙水圧測定データから作成した南北鉛直断面内の全水頭等高線と埋設設備設置地盤付近の動水勾配

2. 確認方法

3号埋設設備設置地盤付近の動水勾配が掘削残土の影響で大きいことについて2次元地下水浸透流解析を用いて説明する。

2次元地下水浸透流解析の解析メッシュモデルは、線量評価パラメータである埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量を求めるために使用している鉛直断面2次元地下水浸透流解析の解析メッシュモデルを基にする。

2次元地下水浸透流解析は、第1表に示す2つのケースについて実施する。また、材料分布を第3図に、材料の透水係数を第2表に示す。

なお、ケース1の解析メッシュモデルについては、線量評価パラメータである埋設設備から覆土及び鷹架層への流出水量を求めるために使用している鉛直断面2次元地下水浸透流解析の解析メッシュモデルを基に間隙水圧測定時の地形面形状を参考に修正を加えた(第3図参照)。

材料分布及び透水係数を除く入力パラメータ及び境界条件は、等価透水係数モデルの場合と同じとする。

計算結果は、動水勾配分布として表示する。

第1表 計算ケース

ケース番号	ケース名	内容
ケース1	掘削残土あり	掘削残土があり、現況地盤を掘削残土、造成盛土、第四紀層及び鷹架層で表現したモデル(第3図(a)参照)で地下水浸透流解析を実施し、解析結果の節点全水頭を基に要素中心平均動水勾配を求めて動水勾配分布を作成し、掘削残土の影響により、動水勾配が大きくなることを確認する。
ケース2	掘削残土なし	掘削残土がない場合(地表面が平均的な勾配(一定)になっている場合)について、現況地盤を第四紀層及び鷹架層で表現したモデル(第3図(b)参照)で地下水浸透流解析を実施し、解析結果の節点全水頭を基に要素中心平均動水勾配を求めて動水勾配分布を作成し、動水勾配が地形面勾配とほぼ変わらないことを確認する。

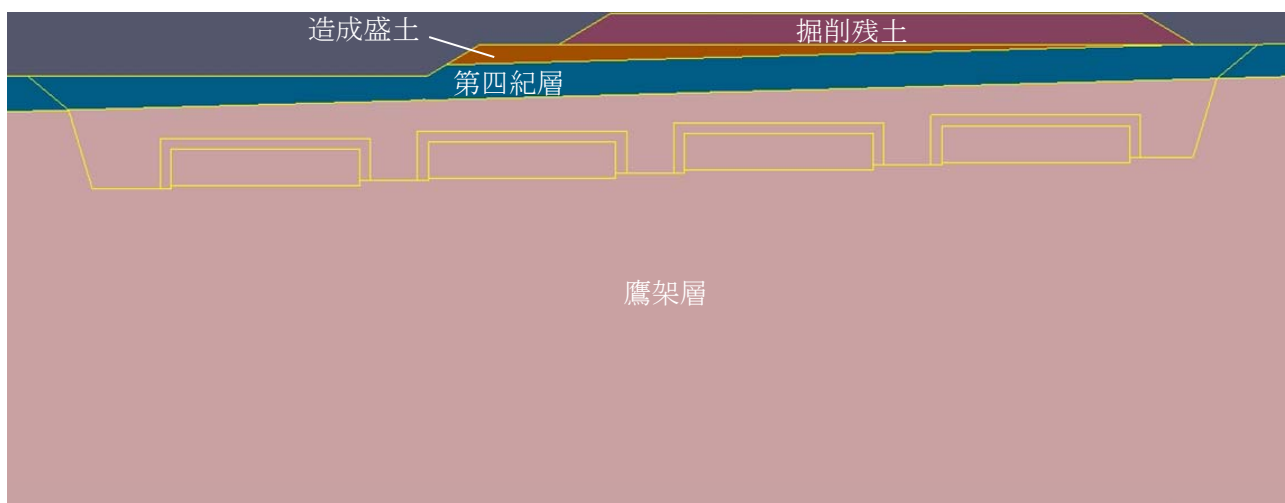
第2表 各材料の透水係数

ケース番号	ケース名	透水係数(m/s)			
		掘削残土*1	造成盛土*1	第四紀層*2	鷹架層*3
ケース1	掘削残土あり	7.3×10^{-6}	7.3×10^{-6}	2.1×10^{-6}	5.0×10^{-8}
ケース2	掘削残土なし	-	-	2.1×10^{-6}	5.0×10^{-8}

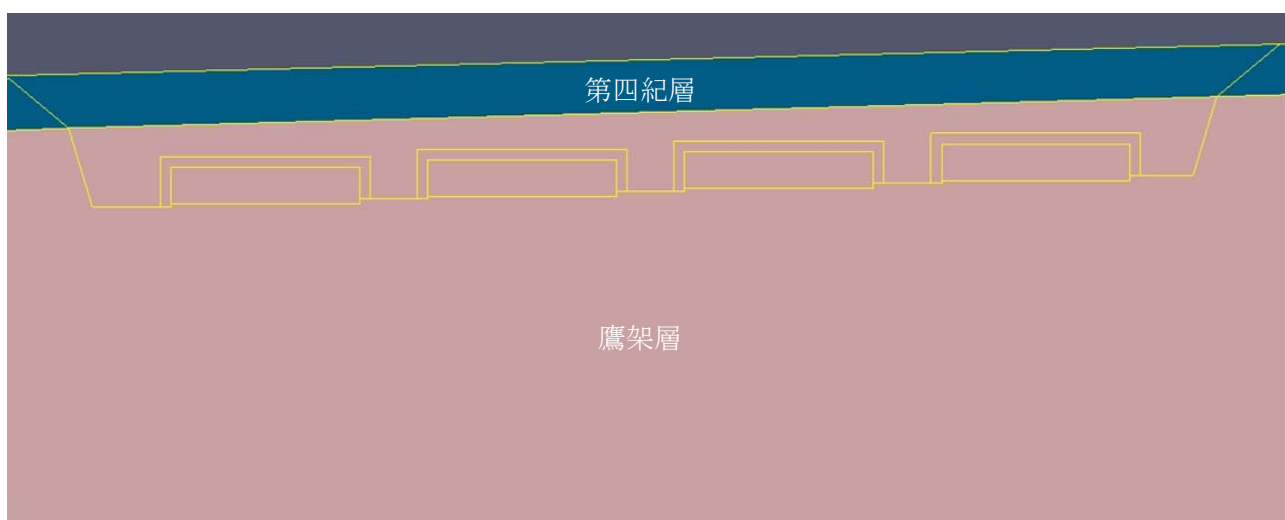
*1 掘削残土と造成盛土の透水係数は、添3ハ-第2表の盛土部の値とした。

*2 第四紀層の透水係数は、添3ハ-第2表の第四紀層と鷹架層中部層N値50未満(風化部)データを再整理した対数平均値とした(第3図に示すように材料分布の第四紀層は鷹架層中部層N値50未満(風化部)を含むため)。

*3 鷹架層の透水係数は、添3ハ-第2表の鷹架層中部層N値50以上の値とした。



(a) ケース 1 掘削残土あり



(b) ケース 2 掘削残土なし

第 3 図 有限要素モデル（廃棄物埋設地付近の材料分布）

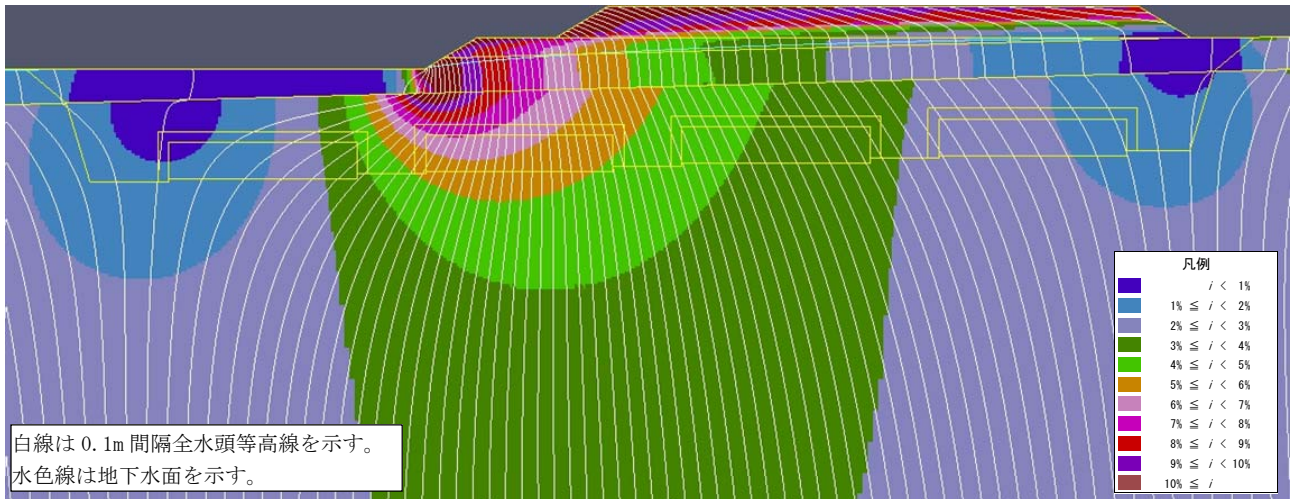
3. 確認結果

第 4 図に動水勾配分布を示す。

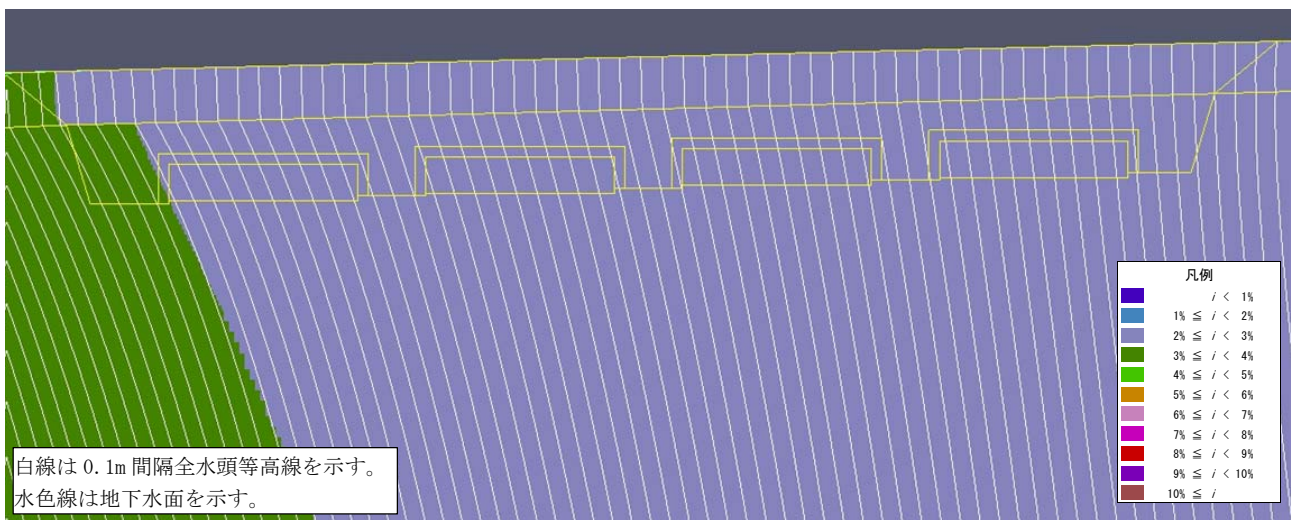
ケース 1 の掘削残土ありでは、掘削残土及び造成盛土ののり面が分布する範囲の埋設設備設置地盤付近の動水勾配が 3～6% となり、台地面の平均的な地形面勾配よりも大きな動水勾配になることが確認できた。

ケース 2 の掘削残土なしでは、埋設設備設置地盤付近の動水勾配が大部分の範囲で 2～3% になることを確認できた。

以上から、埋設設備設置地盤付近の動水勾配は、地下水面と同様に台地面の平均的な地形面勾配と調和的であると判断する。



(a) ケース1 掘削残土あり



(b) ケース2 掘削残土なし

第4図 動水勾配 i の分布