

## 埋設トレンチへの浸透水量

## 目 次

1	はじめに.....	1
2	浸透水の抑制に関する覆土の設計内容 .....	1
3	浸透水低減効果の確認 .....	5
3. 1	解析コード.....	5
3. 2	解析モデル.....	5
3. 3	境界条件.....	8
3. 4	解析物性値.....	10
3. 4. 1	飽和透水係数.....	10
3. 4. 2	不飽和特性.....	16
3. 5	解析結果.....	23
4	まとめ.....	33
5	参考文献.....	33

別紙 1 掘削抵抗性層を想定した透水試験について

別紙 2 不飽和透水試験について

参考資料 覆土表層での流出割合について

## 1 はじめに

本資料は、第二種埋設許可基準規則及び第二種埋設許可基準解釈で要求される、「廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減」を満足するために行う、埋設トレンチへの浸透水抑制対策の効果について説明するためのものである。

## 2 浸透水の抑制に関する覆土の設計内容

廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減するため、最終覆土の設置完了後は、最終覆土のうち低透水性土層（以下「低透水性土層」という。）及び側部低透水性覆土により、埋設トレンチ内への雨水等の浸入を抑制する設計とする。

低透水性土層及び側部低透水性覆土は、低透水性を有する設計とする。

低透水性土層は、雨水等が浸透して放射性廃棄物を埋設したトレンチ（以下「埋設が完了したトレンチ」という。）の上部から浸入することを抑制するように、埋設トレンチの上部に設置する。

側部低透水性覆土は、雨水等が浸透して、埋設が完了したトレンチの側部から浸入することを抑制するように、埋設トレンチの側部に設置する。

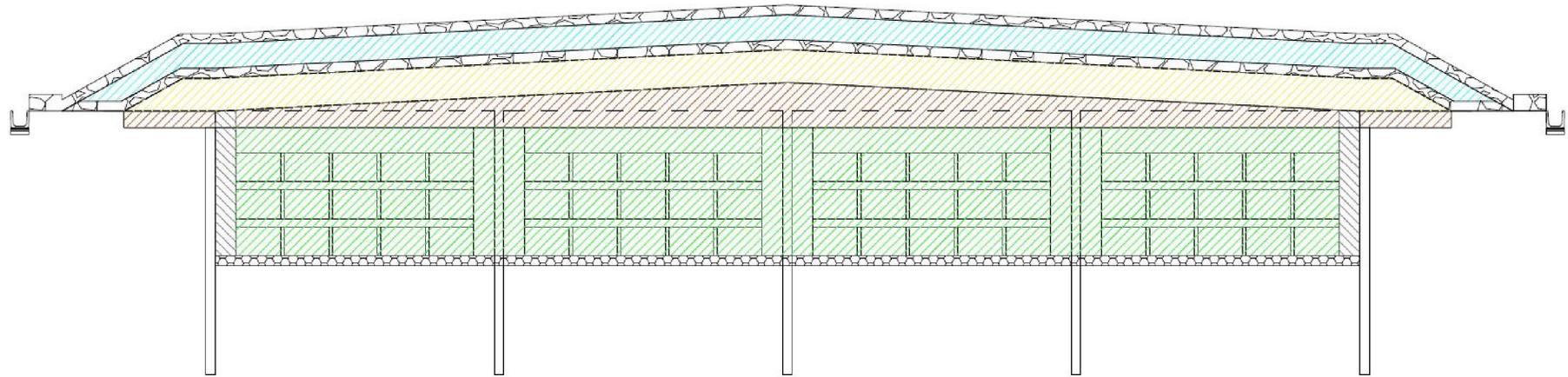
低透水性土層及び側部低透水性覆土は、安全性が損なわれ難い天然材料である土質材料を採用し、力学的影響に対する変形追従性を考慮することとする。

低透水性土層及び側部低透水性覆土は、劣化・損傷が生じた場合にも必要な機能を有する構成・仕様とするため、低透水性を有する層は十分な厚さを確保することとする。

なお、最終覆土は、低透水性土層の他に、保護土層、掘削抵抗性層、

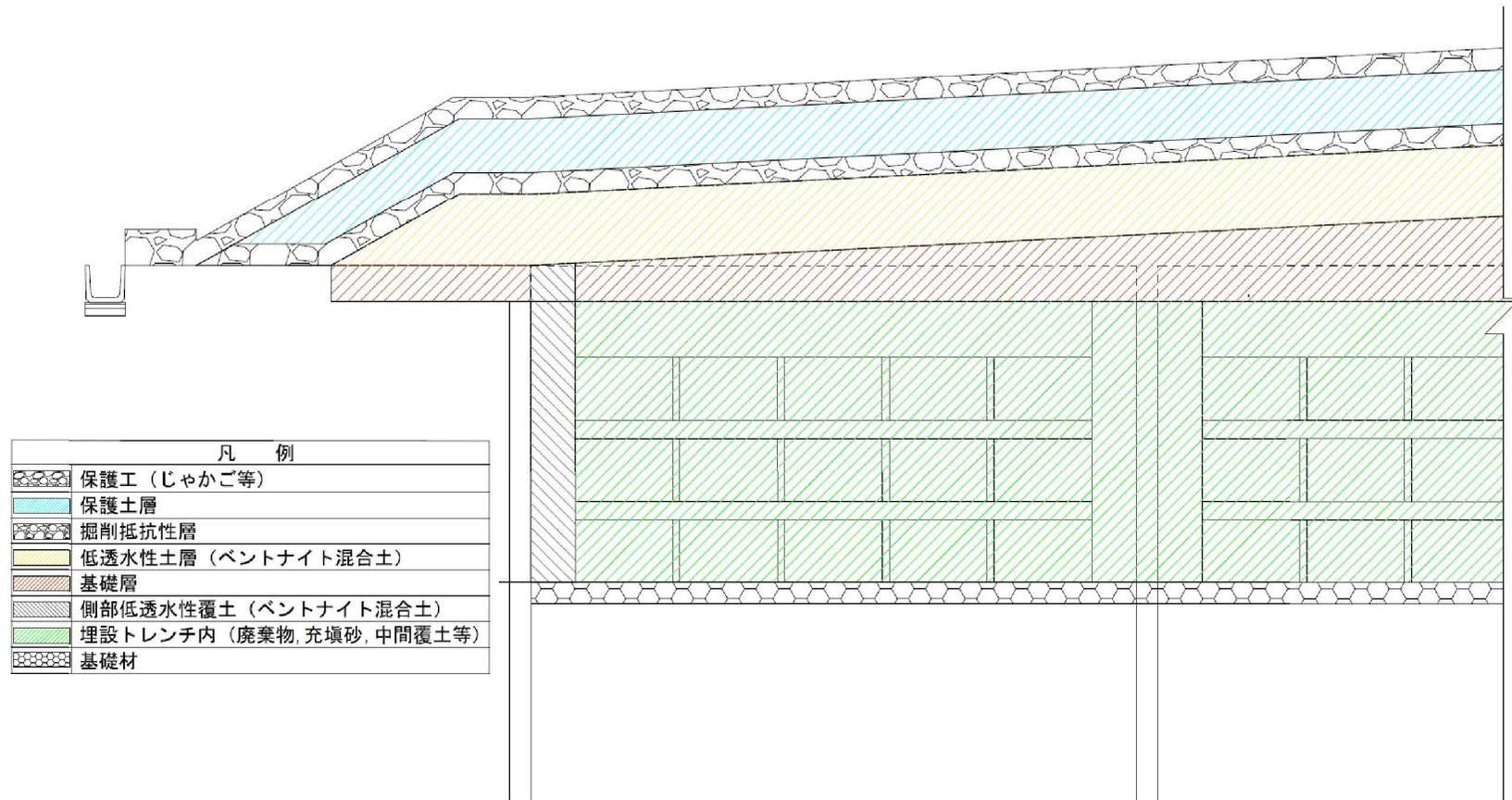
基礎層から構成され、最終覆土上面には保護工（じゃかご等）を有する構造とする。

以上を踏まえた東側埋設トレンチの断面図（全体図）を第 1 図に、東側埋設トレンチの断面図（拡大図）を第 2 図に示す。



凡 例	
	保護工（じゃかご等）
	保護土層
	掘削抵抗性層
	低透水性土層（ベントナイト混合土）
	基礎層
	側部低透水性覆土（ベントナイト混合土）
	埋設トレンチ内（廃棄物, 充填砂, 中間覆土等）
	基礎材

第 1 図 東側埋設トレンチの断面図（全体図）



第 2 図 東側埋設トレンチの断面図 (拡大図)

### 3 浸透水低減効果の確認

「2 浸透水の抑制に関する覆土の設計内容」で示したとおりに設計することで、埋設トレンチ内への雨水等の浸入が抑制された結果について、浸透流解析により確認する。

#### 3. 1 解析コード

解析コードは、「オイラリアン・ラグランジアン法による飽和・不飽和浸透流—移流・分散解析プログラム Dtransu3D-EL Ver. 2.0b（以下「Dtransu3D-EL」という。）」を使用する。

Dtransu3D-EL は、定常・非定常の三次元飽和・不飽和浸透流及び移流分散解析が可能な有限要素法に基づく解析コードであり、本解析では二次元の解析モデルを用いて定常不飽和解析を行った。

#### 3. 2 解析モデル

設計内容を基に作成した解析モデルを第3図に示す。

最終覆土は南北方向に長い形状となっており、雨水等を東西方向に排水できるように勾配を設けている。そのため、降雨の流出方向は東西方向が支配的となる。したがって、二次元で東西方向の廃棄物埋設地断面をモデル化した。

なお、本施設は、地下水面より上に埋設トレンチを設置することにより埋設が完了したトレンチ内への地下水の浸入を抑制する設計であることから、埋設トレンチ内への水の浸透は雨水等による浸透水が支配的となる。そのため、降雨の流出方向に着目してモデル化する。

また、埋設トレンチは西側埋設トレンチと東側埋設トレンチで東西方向の長さが異なり、東側埋設トレンチの方が東西方向長さは長くなる。埋設トレンチの長さが長い方が、解析においては埋設トレンチ内

への浸透水量は多くなる。このため、対象となる解析モデルの断面を、東西方向が長くなる東側埋設トレンチを対象にモデル化した。

本解析は、埋設トレンチ内への雨水等の浸入抑制効果を確認するためのものであることから、埋設トレンチ内は、埋設した放射性廃棄物をモデル化せずに、中間覆土として用いる土砂としてモデル化した。

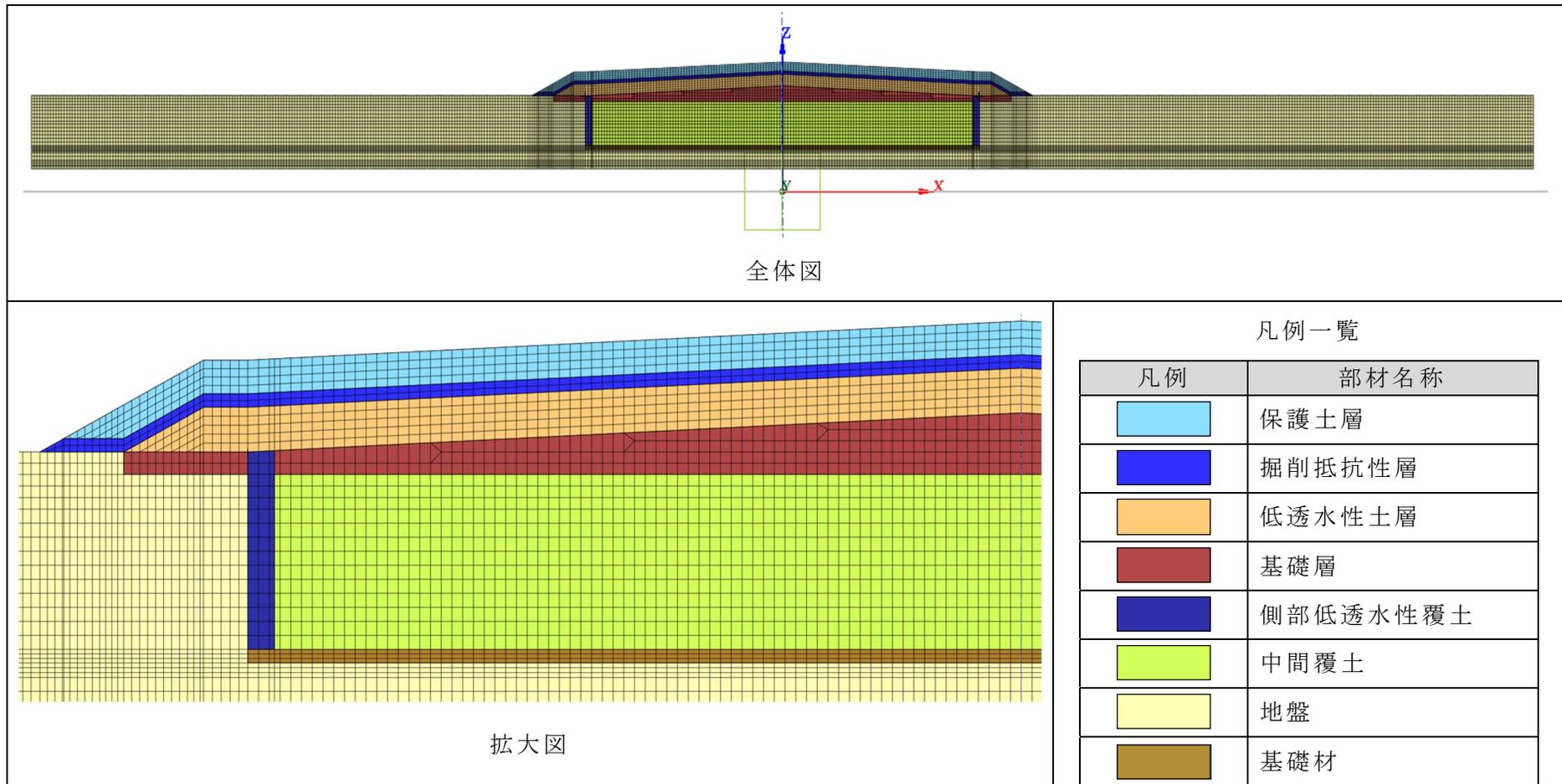
なお、埋設トレンチの側部は側部低透水性覆土を示す層をモデル化した。

境界条件により埋設トレンチ内への浸透水量が変化しないように、最終覆土の法尻から解析モデルの両端までの長さは、最終覆土の東西方向長さと同じ長さとした。

廃棄物埋設地周辺の地盤についてはd u層とした。

解析モデル下端は地下水面までとし、地下水面の高さは、廃棄物埋設地直下の地下水位観測結果の最大値と最小値の中間値となる T.P. + 2 m とした。

最終覆土の構造は「2 浸透水の抑制に関する覆土の設計内容」に示すとおり多層構造とすることから、解析モデルにおいても同様に保護土層、掘削抵抗性層、低透水性土層及び基礎層に分けてモデル化を行った。なお、施設通過流量を算出するための浸透流解析では、保護工（じゃかご等）を除外し、解析モデルにおける最上面を保護土層としてモデル化を行った。



第 3 図 解析モデル

### 3. 3 境界条件

#### (1) 上面境界

解析モデル上面境界には、降雨境界を設定する。

降雨境界で設定する降雨浸透量（かん養量）については、最終覆土の領域（以下「覆土領域」という。）と地盤の領域（以下「地盤領域」という。）に分けて設定する。

地盤領域のかん養量については、「東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所 第二種廃棄物埋設事業許可申請 第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則第十三条（ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄物埋設地）第 1 項第三号及び第四号への適合性について 地質環境等の状態設定（以下「地質環境等の状態設定」という。）」におけるかん養量の状態設定値である  $510 \text{ mm/y}$  を設定する。

覆土領域のかん養量については、以下に示す考えにより、地質環境等の状態設定で設定した 1,000 年後の温暖期継続ケースにおける降水量である  $2,080 \text{ mm/y}$  の 30% と設定する。

覆土領域のかん養量については、最終覆土の構造を踏まえた表面流出割合より設定する。

道路土工要綱によると、路面、のり面の流出係数については、0.7～1.0 程度の値が用いられる例が多いことが示されている<sup>(1)</sup>。これを踏まえ、本施設の覆土領域はのり面の構造であることから流出係数を 0.7～1.0 の範囲で設定することとする。

覆土領域の流出係数が小さい方が、解析においては埋設トレンチ内への浸透水量は多くなる。

このため、覆土領域の流出係数の設定は、0.7～1.0 の下限値である 0.7 と設定する。

覆土領域の流出係数の設定値について、保護工（じゃかご等）についてもモデル化を行い、浸透流解析により流出割合を算出した結果を「参考資料 覆土表層での流出割合について」に示す。

（２）側部境界

解析モデル側部境界には、不透水境界を設定する。

（３）下面境界

解析モデル下面境界には、地下水位相当の固定水頭境界を設定する。

### 3. 4 解析物性値

#### 3. 4. 1 飽和透水係数

モデル化した各層の解析物性値として飽和透水係数を以下の考えで設定した。また，飽和透水係数の設定値一覧を第 1 表に示す。

第 1 表 飽和透水係数の設定値一覧

対象	飽和透水係数の設定値	根拠
保護土層	$1.04 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	透水試験結果より設定
掘削抵抗性層	$1.0 \times 10^{-3} \text{ m/s}$	透水試験結果より設定
低透水性土層	$1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$	廃棄物埋設地の状態設定より設定
基礎層	$3.88 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	透水試験結果より設定
側部低透水性覆土	$5.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$	廃棄物埋設地の状態設定より設定
中間覆土	$4.73 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	透水試験結果より設定
地盤	$3.23 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	揚水試験結果より設定
基礎材	$1.0 \times 10^{-1} \text{ m/s}$	文献より設定

#### (1) 保護土層

保護土層として現地発生土を用いることを想定し，現地発生土を用いた透水試験結果を基に設定した。

透水試験は，敷地内から採取した現地発生土（3 試料）を対象に，土の透水試験方法（J I S A 1218：2009）に準拠して実施した。

現地発生土の透水試験の仕様を第 2 表に，透水試験結果を第 3 表に示す。

保護土層の飽和透水係数については，最も透水係数が高い試料③の結果である  $1.04 \times 10^{-4} \text{ m/s}$  と設定した。

第 2 表 現地発生土の透水試験の仕様

項目	単位	試料		
		試料①	試料②	試料③
供試体径	cm	10.0	10.0	10.0
供試体高さ	cm	12.7	12.7	12.7
乾燥密度	$\text{g/cm}^3$	1.62	1.57	1.55
含水比	%	5.9	6.0	5.9
試験方法種類		変水位法	変水位法	変水位法

第 3 表 現地発生土の透水試験結果

試料番号	試料①	試料②	試料③
透水係数 ( $\text{m/s}$ )	$3.49 \times 10^{-5}$	$6.27 \times 10^{-5}$	$1.04 \times 10^{-4}$

(2) 掘削抵抗性層

掘削抵抗性層は，主材料として碎石又は石（割栗石等の粒径が大きなもの）及び砂又は砂質土により構成される。

飽和透水係数は，割栗石と洗砂を用いた透水試験結果を基に  $1.0 \times 10^{-3} \text{ m/s}$  と設定した。

透水試験の内容を「別紙 1 掘削抵抗性層を想定した透水試験について」に示す。

(3) 低透水性土層

廃棄物埋設地の状態設定を踏まえて最も可能性が高い状態を用いて設定した（「廃棄物埋設地の状態設定」の詳細については，「東海低

レベル放射性廃棄物埋設事業所 第二種廃棄物埋設事業許可申請  
第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則第  
十三条（ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄物埋設地）第 1 項  
第三号及び第四号への適合性について 廃棄物埋設地の状態設定  
（影響事象分析）」（以下「補足説明資料 3」という。）及び「東海低  
レベル放射性廃棄物埋設事業所 第二種廃棄物埋設事業許可申請  
第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則第  
十三条（ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄物埋設地）第 1 項  
第三号及び第四号への適合性について 廃棄物埋設地の状態設定  
（状態変化の評価）」（以下「補足説明資料 4」という。）を参照）。

#### （4）基礎層

基礎層として粒調碎石（M-30）の使用を想定し，粒調碎石（M-30）を用いた透水試験結果を基に設定した。

透水試験は，土の透水試験方法（J I S A 1218：2009）に準拠して実施した。

粒調碎石（M-30）の透水試験の仕様を第 4 表に，透水試験結果を第 5 表に示す。

基礎層の飽和透水係数については，透水試験結果を算術平均した値である  $3.88 \times 10^{-4} \text{ m/s}$  と設定した。

第 4 表 粒調碎石（M-30）の透水試験の仕様

項目	単位	試料		
		試料①	試料②	試料③
供試体径	cm	15.0	15.0	15.0
供試体高さ	cm	12.5	13.3	12.7
乾燥密度	g/cm <sup>3</sup>	2.06	1.94	2.04
含水比	%	0.0	0.0	0.0
試験方法種類		定水位法	定水位法	定水位法

第 5 表 粒調碎石（M-30）の透水試験結果

試料番号	試料①	試料②	試料③
透水係数 (m/s)	$6.49 \times 10^{-4}$	$1.40 \times 10^{-4}$	$3.76 \times 10^{-4}$

(5) 側部低透水性覆土

廃棄物埋設地の状態設定を踏まえて最も可能性が高い状態を用いて設定した（「廃棄物埋設地の状態設定」の詳細については、補足説明資料 3 及び補足説明資料 4 を参照）。

(6) 中間覆土（廃棄物埋設地内土砂）

中間覆土として購入砂（洗砂）の使用を想定し、購入砂（洗砂）を用いた透水試験結果を基に設定した。

透水試験は、土の透水試験方法（J I S A 1218 : 2009）に準拠して実施した。

購入砂（洗砂）の透水試験の仕様を第 6 表に、透水試験結果を第 7 表に示す。

中間覆土の飽和透水係数については、透水試験結果を算術平均した値である  $4.73 \times 10^{-4}$  m/s と設定した。

第 6 表 購入砂（洗砂）の透水試験の仕様

項目	単位	試料		
		試料①	試料②	試料③
供試体径	cm	10.0	10.0	10.0
供試体高さ	cm	12.2	12.3	12.7
乾燥密度	g/cm <sup>3</sup>	1.45	1.44	1.39
含水比	%	6.7	8.4	8.4
試験方法種類		定水位法	定水位法	定水位法

第 7 表 購入砂（洗砂）の透水試験結果

試料番号	試料①	試料②	試料③
透水係数 (m/s)	$3.35 \times 10^{-4}$	$4.09 \times 10^{-4}$	$6.74 \times 10^{-4}$

(7) 地盤

地盤の飽和透水係数については、廃棄物埋設地設置予定場所近傍で実施した d u 層の揚水試験（「東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所 第二種廃棄物埋設事業許可申請 第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則第十三条（ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄物埋設地）第 1 項第三号及び第四号への適合性について 地質環境等の状態設定 添付資料 1 水理」参照）で求めた透水係数である  $3.23 \times 10^{-4}$  m/s と設定した。

(8) 基礎材

基礎材に割栗石（ $\phi 5$  cm～15 cm）を使用することを想定した。

割栗石（ $\phi 5$  cm～15 cm）の飽和透水係数については、土質工学会<sup>(2)</sup>で示される土質分類ごとの透水係数のうち、最も割栗石（ $\phi 5$  cm～15 cm）に性質が近いと考えられる清浄な礫（GW, GP）の透水係数

として示される範囲 ( $1.0 \times 10^{-2} \text{ m/s} \sim 1.0 \times 10^0 \text{ m/s}$ ) の中央値である  $1.0 \times 10^{-1} \text{ m/s}$  と設定した。

### 3. 4. 2 不飽和特性

不飽和特性の設定では、実地盤に近い不飽和特性を設定することが可能であることから、不飽和浸透流解析において多数の実績を有する Van-Genughten の関係式（以下「V G 式」という。）を適用した。

V G 式は、保水性試験結果を以下の (1) 式にフィッティングさせることにより、V G 式のフィッティングパラメータである  $\alpha$  と  $\lambda$  を同定し、同定した  $\lambda$  を (2) 式に入力することによって、比透水係数の値（グラフ：曲線）を得ている。

$$u_c = 1/\alpha * \left\{ (S_e)^{\frac{\lambda}{1-\lambda}} - 1 \right\}^{\frac{1}{\lambda}} \cdot \cdot \cdot (1)$$

ここで、

$u_c$  : サクシヨン (MPa)

$\alpha$  : 有効飽和度によらない定数 (1/MPa)

$S_e$  : 有効飽和度 (-)

$\lambda$  : 有効飽和度によらない定数

$$k_{wr} = S_e^{1/2} * \left[ 1 - \left\{ 1 - (S_e)^{\frac{\lambda}{\lambda-1}} \right\}^{\frac{\lambda-1}{\lambda}} \right]^2 \cdot \cdot \cdot (2)$$

ここで、

$k_{wr}$  : 比透水係数 (-)

モデル化した各層についての不飽和特性設定の考え方を以下に示す。  
また、不飽和特性の設定値一覧を第 8 表に示す。

第 8 表 不飽和特性の設定値一覧

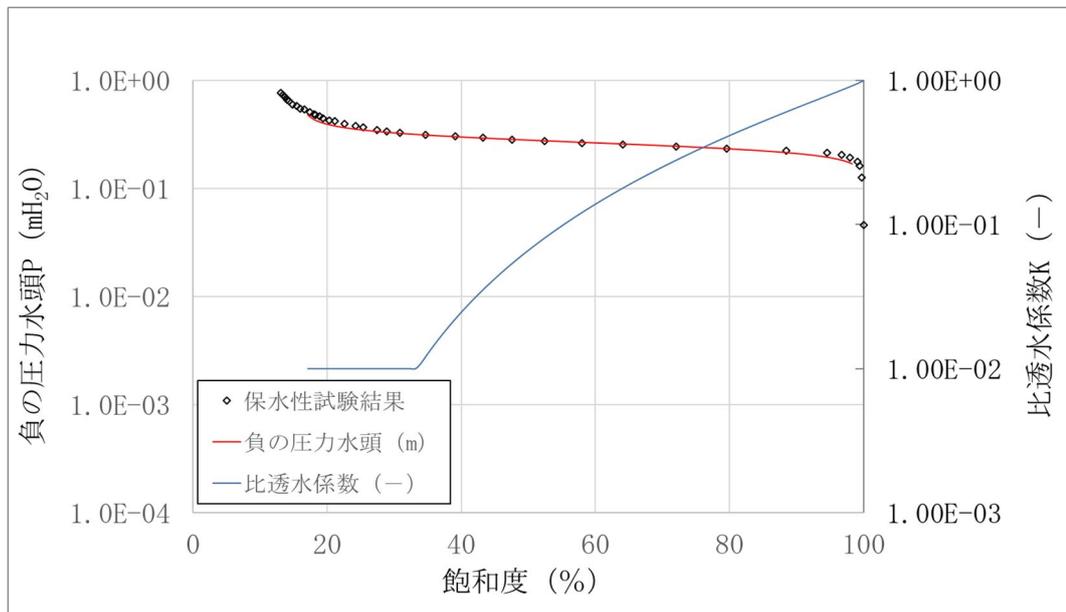
対象	設定値	根拠
保護土層	比透水係数(-) : 飽和度に応じた値 サクシヨン(MPa) : 飽和度に応じた値	V G 式を適用して設定 ※ V G 式のフィッティングパラメータ ・ $\alpha : 3.7894(1/m)$ , $\lambda : 8.5731(-)$
掘削抵抗性層	比透水係数(-) : 飽和度に応じた値 サクシヨン(MPa) : 飽和度に応じた値	保護土層と同一に設定
低透水性土層	比透水係数(-) : 飽和度に応じた値 サクシヨン(MPa) : 飽和度に応じた値	V G 式を適用して設定 ※ V G 式のフィッティングパラメータ ・ $\alpha : 0.040794(1/m)$ , $\lambda : 1.4769(-)$
基礎層	比透水係数(-) : 飽和度に応じた値 サクシヨン(MPa) : 飽和度に応じた値	V G 式を適用して設定 ※ V G 式のフィッティングパラメータ ・ $\alpha : 31.094(1/m)$ , $\lambda : 1.743(-)$
側部低透水性覆土	比透水係数(-) : 飽和度に応じた値 サクシヨン(MPa) : 飽和度に応じた値	低透水性土層と同一に設定
中間覆土	比透水係数(-) : 飽和度に応じた値 サクシヨン(MPa) : 飽和度に応じた値	V G 式を適用して設定 ※ V G 式のフィッティングパラメータ ・ $\alpha : 4.6154(1/m)$ , $\lambda : 5.7182(-)$
地盤	比透水係数(-) : 飽和度に応じた値 サクシヨン(MPa) : 飽和度に応じた値	不飽和透水試験及び V G 式を適用して設定 ※ V G 式のフィッティングパラメータ ・ $\alpha : 5.1757(1/m)$ , $\lambda : 4.0776(-)$
基礎材	比透水係数(-) : 一定 (1) サクシヨン(MPa) : -	文献より設定

## (1) 保護土層

敷地内から採取した現地発生土のうち、試料③の保水性試験（J G S 0151）の試験結果より、V G 式のフィッティングパラメータである  $\alpha : 3.7894 (1/m)$  及び  $\lambda : 8.5731 (-)$  を同定し、同定した V G 式のフィッティングパラメータから比透水係数を算出した。

なお、比透水係数は下限値 0.01 を設定した。

設定した不飽和特性を第 4 図に示す。



第 4 図 保護土層の不飽和特性

## (2) 掘削抵抗性層

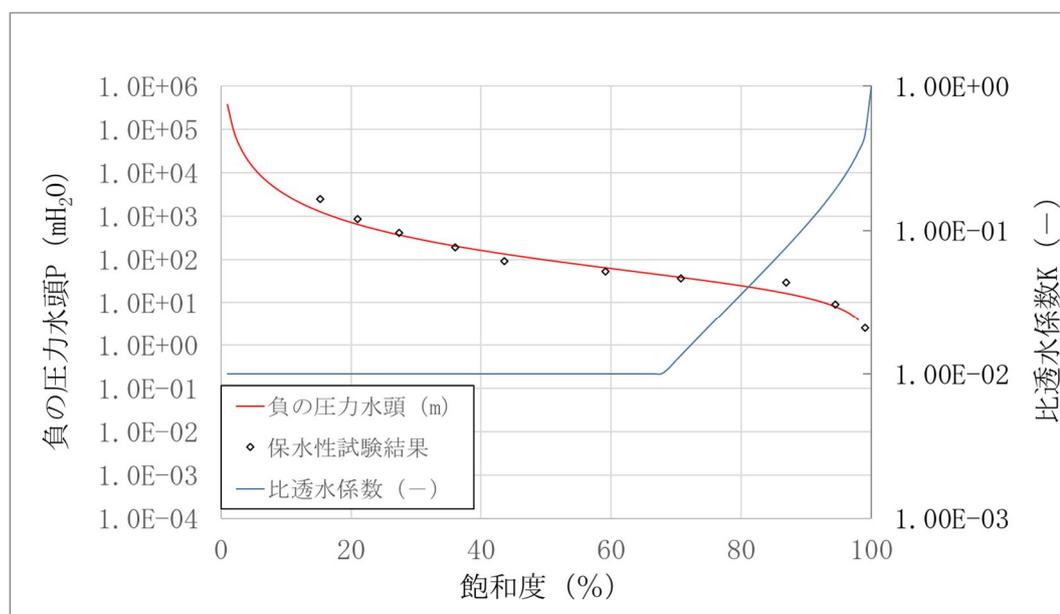
掘削抵抗性層は、砕石又は石（割栗石等の粒径が大きなもの）を設置し、その間隙には砂又は砂質土が充填された構造となる。高透水となる砕石又は石（割栗石等の粒径が大きなもの）とそれに比べて低透水となる砂又は砂質土との混合である。不飽和特性としては、砂又は砂質土の設定を用いた方が施設通過流量は多くなり保守的な設定となることから、保護土層と同一の設定とした。

## (3) 低透水性土層

ベントナイト混合土の保水性試験（J G S 0151）の試験結果より、

V G式のフィッティングパラメータである $\alpha : 0.040794 (1/m)$ 及び $\lambda : 1.4769 (-)$ を同定し、同定したV G式のフィッティングパラメータから比透水係数を算出した。なお、比透水係数は下限値 0.01 を設定した。

設定した不飽和特性を第 5 図に示す。

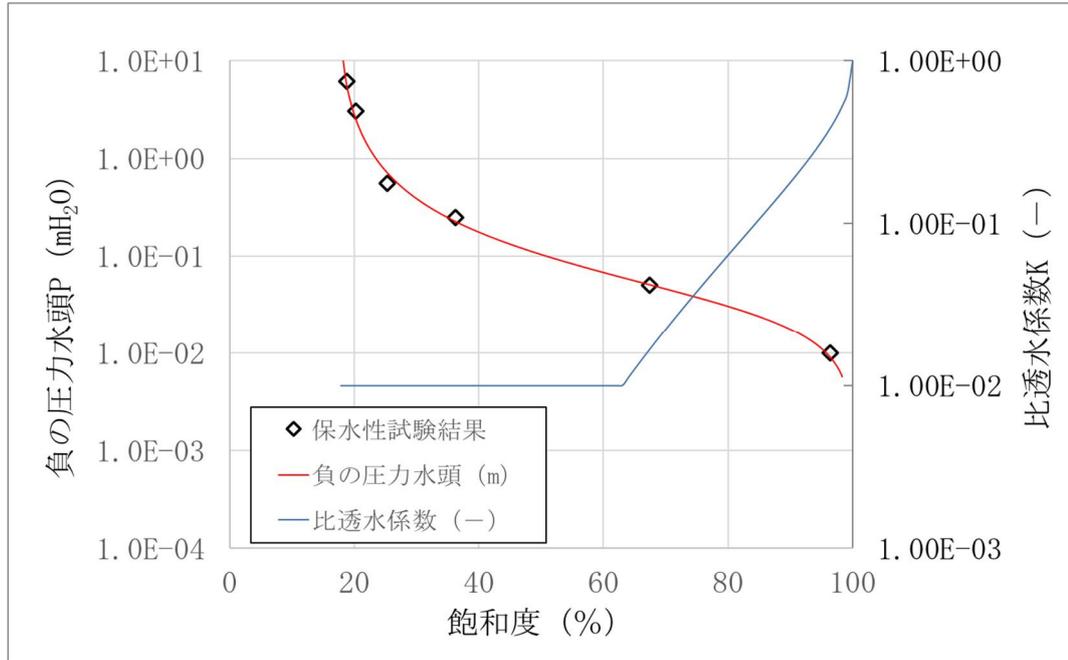


第 5 図 低透水性土層の不飽和特性

#### (4) 基礎層

粒調碎石 (M-30) の保水性試験 (J G S 0151) の試験結果より、V G式のフィッティングパラメータである $\alpha : 31.094 (1/m)$ 及び $\lambda : 1.743 (-)$ を同定し、同定したV G式のフィッティングパラメータから比透水係数を算出した。なお、比透水係数は下限値 0.01 を設定した。

設定した不飽和特性を第 6 図に示す。



第 6 図 基礎層の不飽和特性

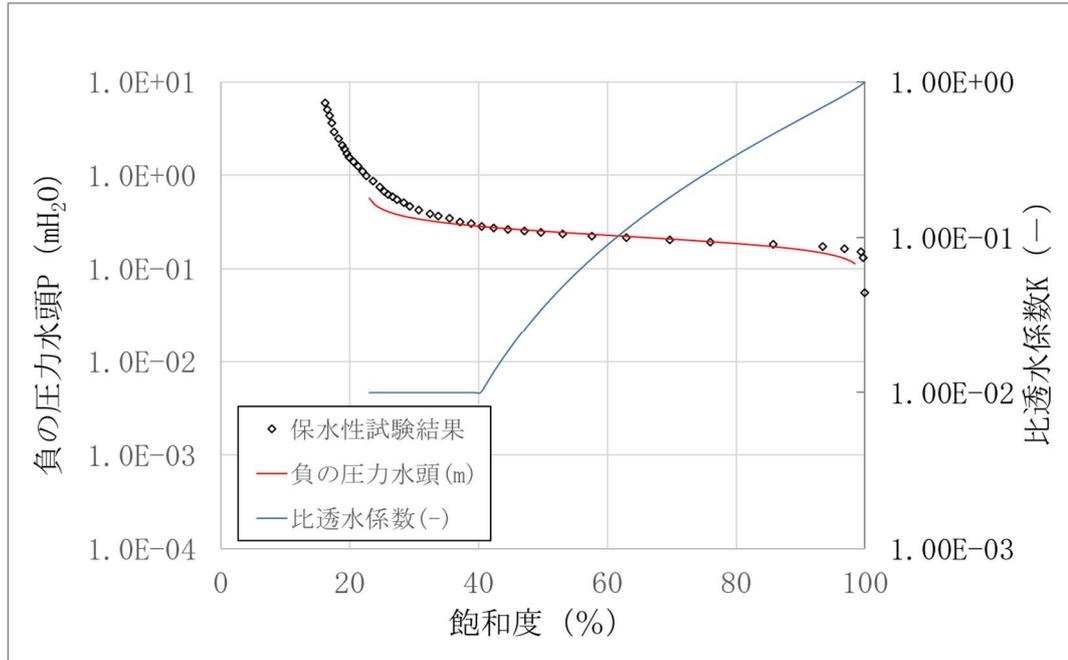
(5) 側部低透水性覆土

低透水性土層と同様に設定した。

(6) 中間覆土（廃棄物埋設地内土砂）

購入砂（洗砂）の保水性試験（J G S 0151）の試験結果より，V G 式のフィッティングパラメータである  $\alpha : 4.6154 (1/m)$  及び  $\lambda : 5.7182 (-)$  を同定し，同定した V G 式のフィッティングパラメータから比透水係数を算出した。なお，比透水係数は下限値 0.01 を設定した。

設定した不飽和特性を第 7 図に示す。



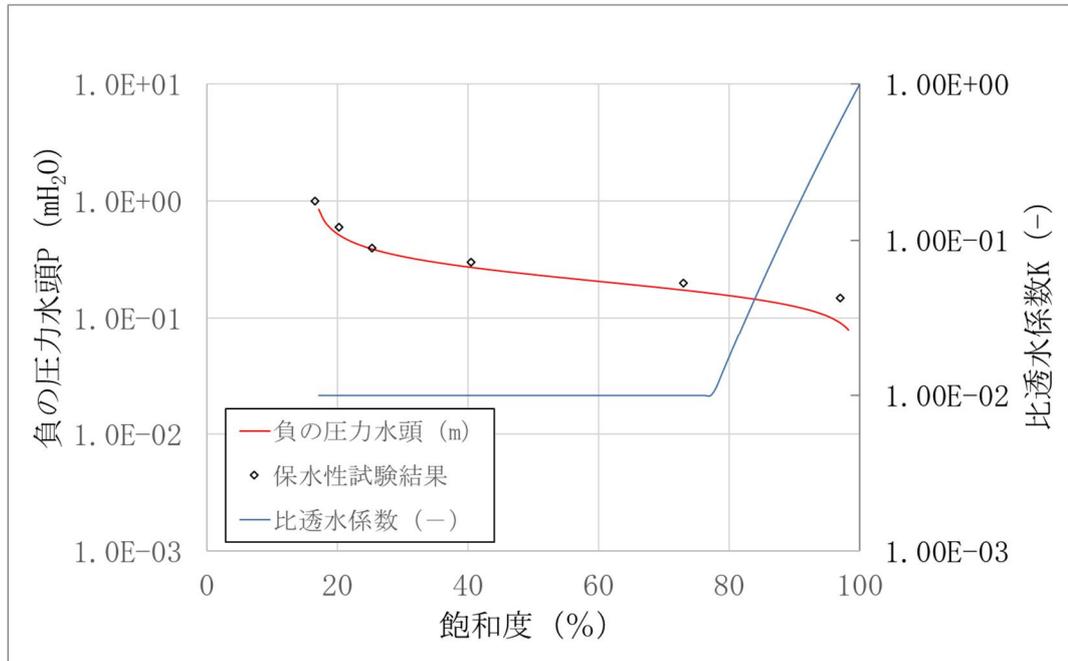
第 7 図 中間覆土（廃棄物埋設地内土砂）の不飽和特性

(7) 地盤

廃棄物埋設地設置予定場所近傍の d u 層を用いた保水性試験 (J G S 0151) の試験結果より, V G 式のフィッティングパラメータである  $\alpha : 5.1757 (1/m)$  及び  $\lambda : 4.0776 (-)$  を同定した。

比透水係数は, 不飽和透水試験結果に基づき, 累乗近似を実施して設定した。なお, 透水係数は下限値 0.01 を設定した。

設定した不飽和特性を第 8 図に示す。



第 8 図 地盤の不飽和特性

(8) 基礎材

基礎材に割栗石 ( $\phi 5 \text{ cm} \sim 15 \text{ cm}$ ) を使用することを想定した。

不飽和時に透水係数が飽和透水係数よりも小さい値を示すメカニズムは、不飽和時にメニスカスにより粒子に固定された間隙水が存在し、間隙水が移動できる空間が狭くなるためである。

割栗石 ( $\phi 5 \text{ cm} \sim 15 \text{ cm}$ ) は、間隙径が非常に大きい。梅田<sup>(3)</sup>では、高透水性物質では不飽和状態での圧力水頭がほぼ 0 であると述べられており、不飽和時に透水性が低下する事象は生じないと考えられることから、基礎材の不飽和特性は、飽和度に寄らず比透水係数 1 で設定する。

### 3. 5 解析結果

前述までの解析モデル及び条件を用いて解析した結果を第 9 図～第 14 図に示す。

第 9 図～第 11 図に解析結果の全水頭コンター図を，第 12 図に解析結果の流速コンター図を，第 13 図に解析結果の飽和度コンター図を，第 14 図に解析結果の流線図を示す。

#### (1) 全水頭コンター図

浸透水は，全水頭の大きい値の領域から小さい値の領域に向かって浸透する。全水頭コンターラインの間隔が狭い場所ほど動水勾配が大きいことを示している。

第 9 図より，廃棄物埋設地から離れた領域は，全水頭コンターラインが概ね水平であり，降雨等が地面に垂直に浸透していることを示している。

また，掘削抵抗性層と地盤の境界部から地盤に向かって波紋状にコンターラインが形成されており，そこから降雨等が地盤に浸透していることを示している。

第 10 図では，廃棄物埋設地周辺に着目した全水頭の表示レンジとしている。この図より，廃棄物埋設地内部は廃棄物埋設地の上方及び側方に比べて全水頭が相対的に小さくなっており，廃棄物埋設地内部への水の浸透を抑制できていることを示している。

また，第 11 図では，廃棄物埋設地内に着目した全水頭の表示レンジとしている。この図より，廃棄物埋設地内部の全水頭分布は廃棄物埋設地内の上方及び側方から廃棄物埋設地中央付近へ水が浸透していることを示している。

#### (2) 流速コンター図

第 12 図は，ダルシー流速の絶対値を用いた流速コンター図である。

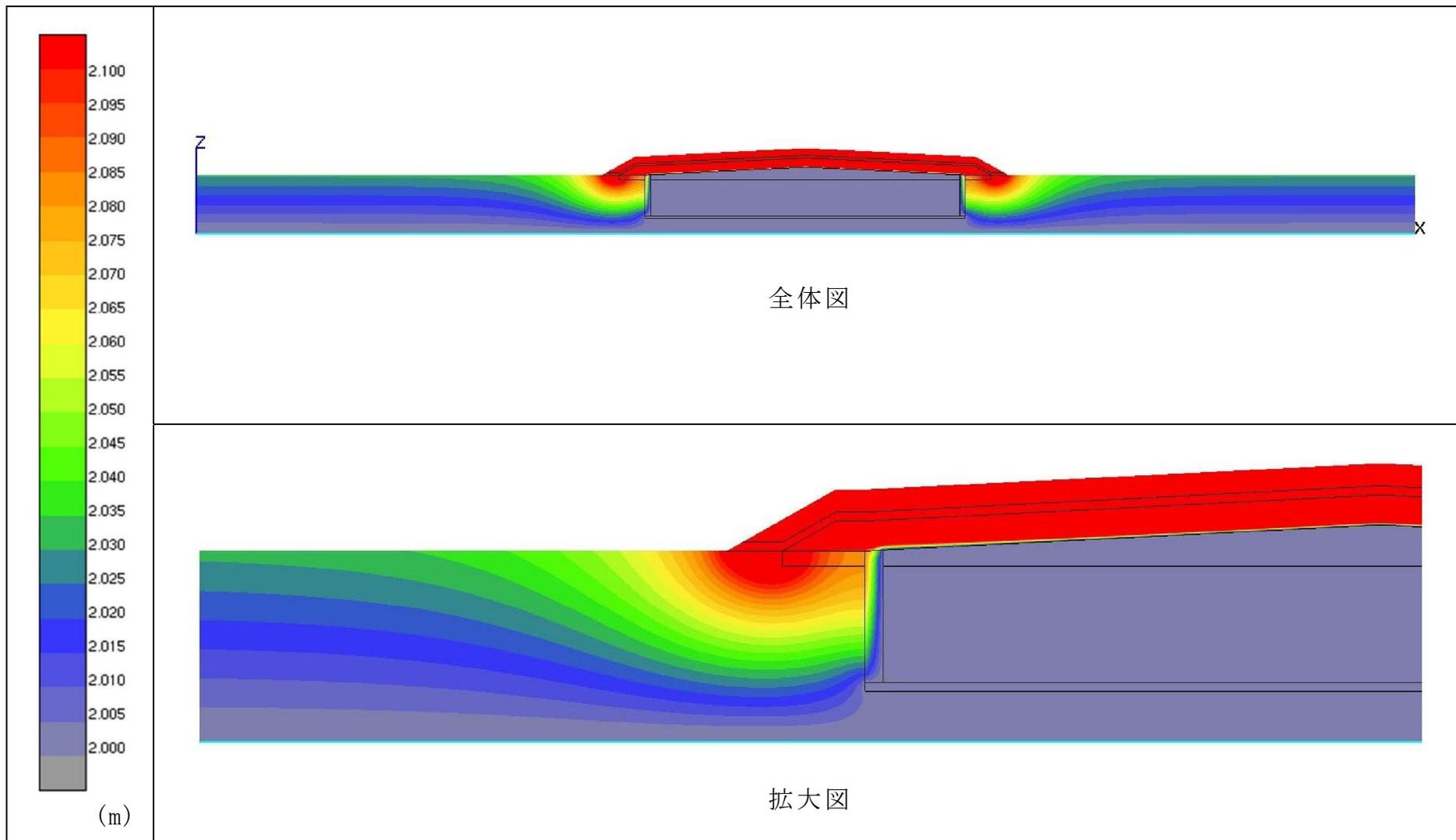
この結果より、掘削抵抗性層の流速が他の領域に比べて大きく、浸透した降雨は保護土層を通過した後、掘削抵抗性層を選択的に流れて掘削抵抗性層と地盤の境界部から地盤に浸透していくことを示している。

### (3) 飽和度コンター図

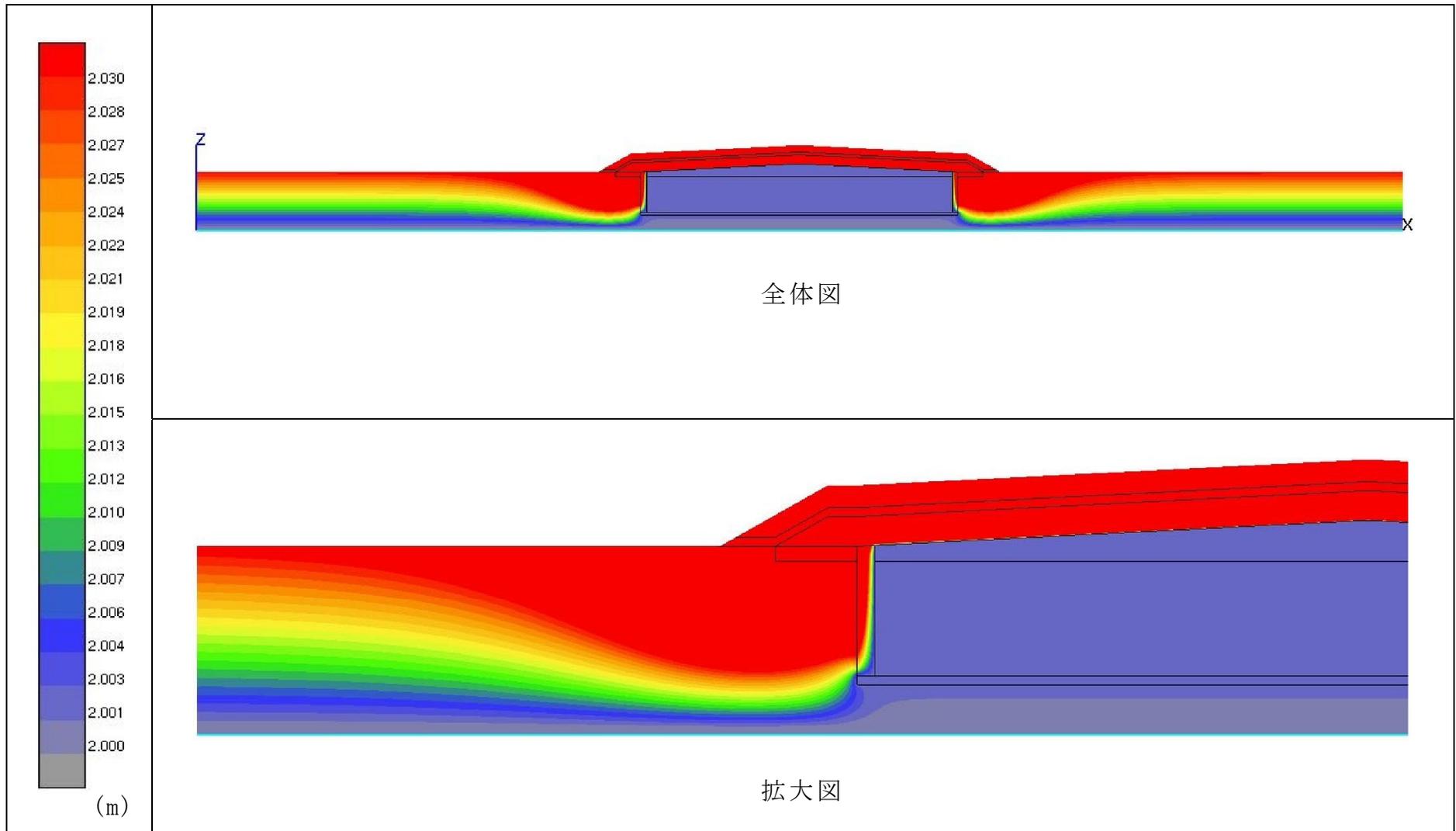
第 13 図には、飽和度コンター図を示す。低透水性土層及び側部低透水性覆土は飽和度が高くなっており、低透水性土層及び側部低透水性覆土の保水性が他の領域に比べて高いことを示している。

### (4) 流線図

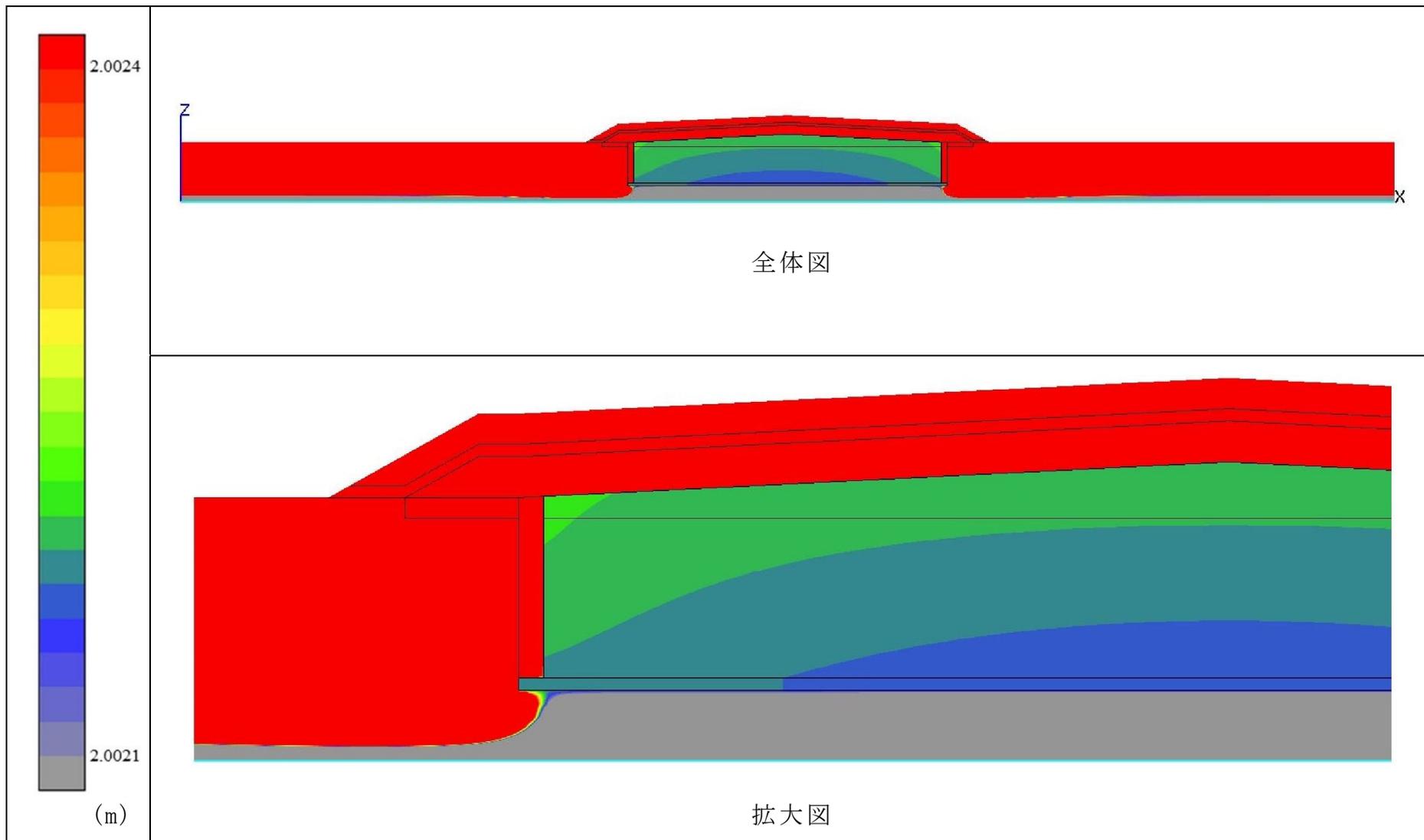
第 14 図には、流線図を示す。最終覆土に浸透した降雨は、主に低透水性土層の上面である掘削抵抗性層を選択的に流れて、その後地盤に浸透する流れとなる。



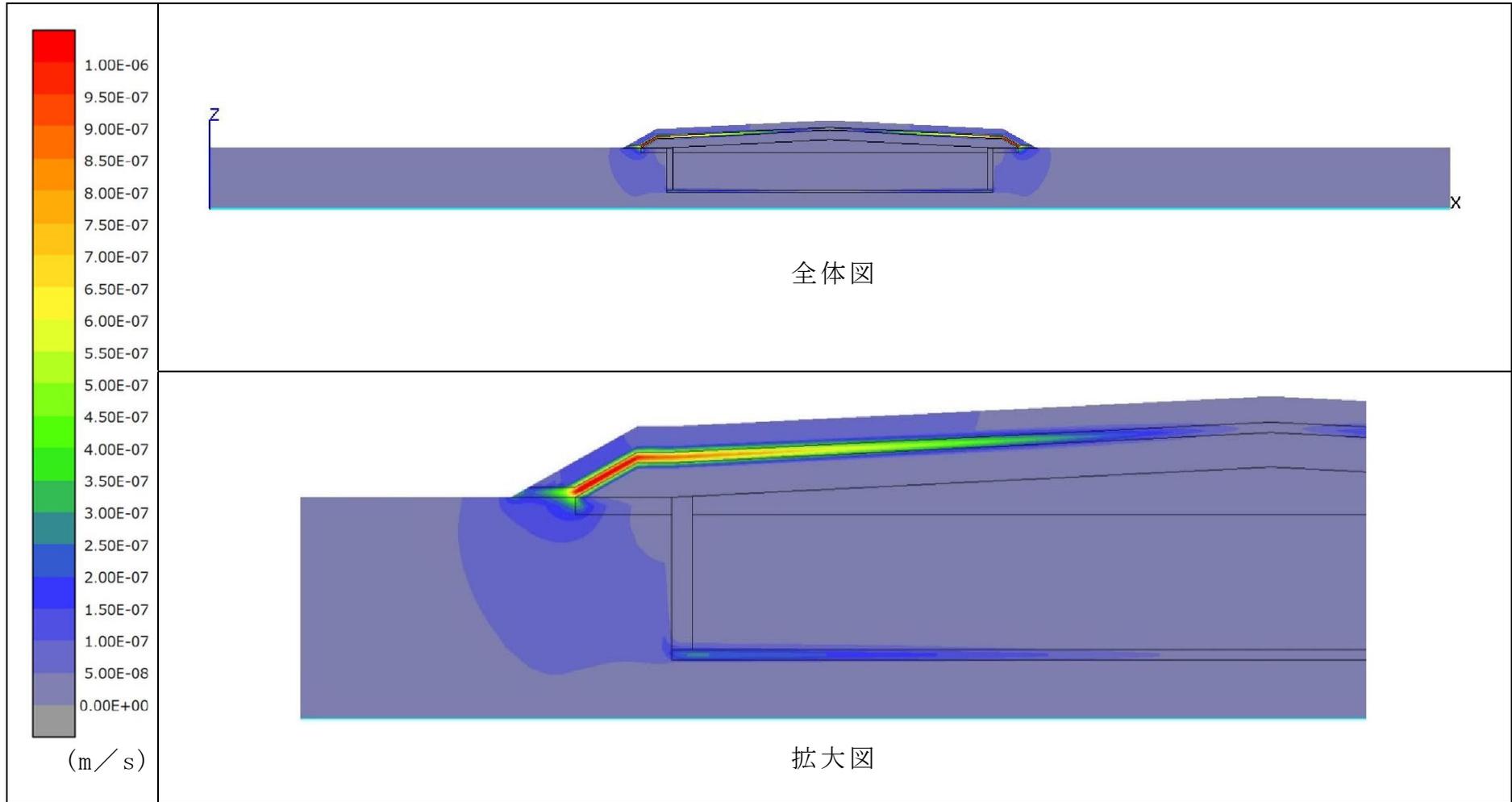
第 9 図 解析結果 (全水頭コンター図)



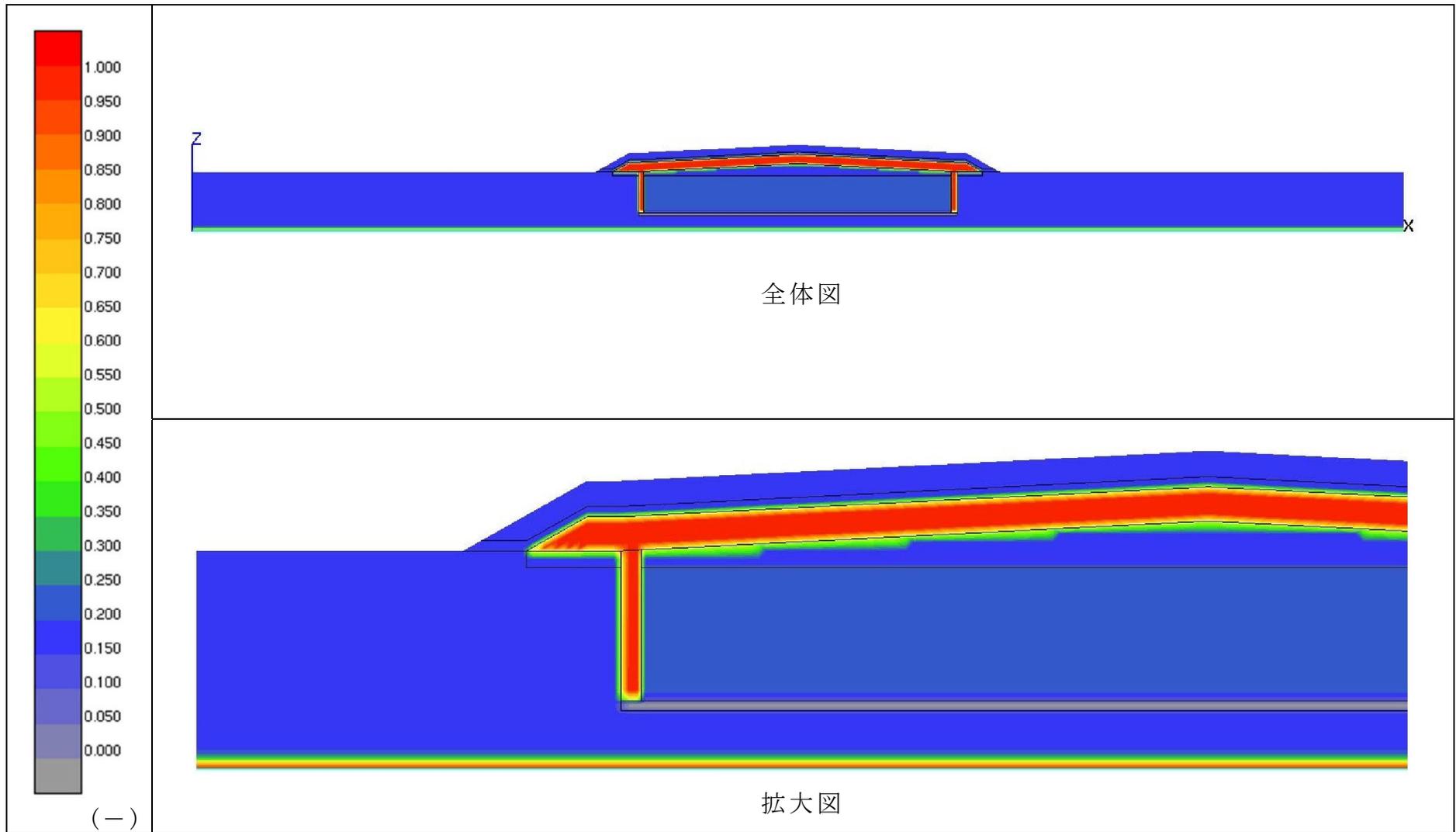
第 10 図 解析結果（廃棄物埋設地周辺に着目した全水頭コンター図）



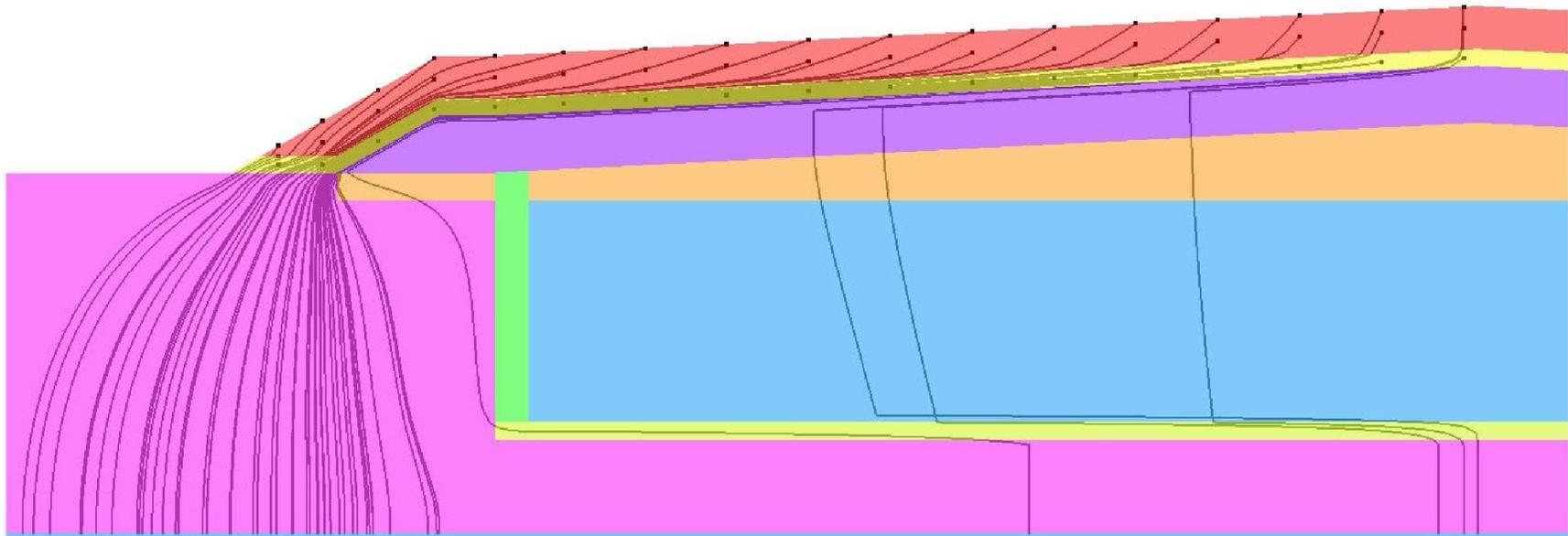
第 11 図 解析結果（廃棄物埋設地内に着目した全水頭コンター図）



第 12 図 解析結果 (流速コンター図)



第 13 図 解析結果 (飽和度コンター図)



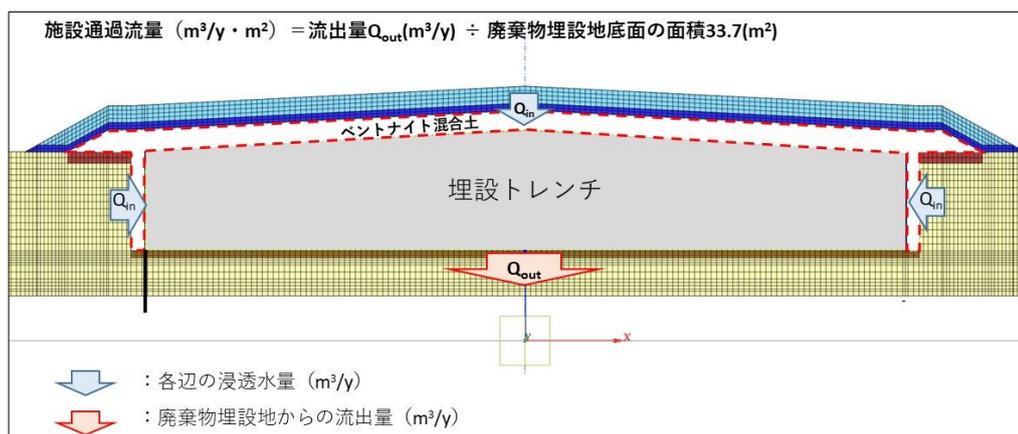
第 14 図 解析結果 (流線図)

## (5) 施設通過流量

低透水性土層及び側部低透水性覆土により，埋設トレンチ内への雨水等の浸透を十分に低減することができる結果となっている。

この場合の施設通過流量は， $0.0009 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{y})$  となる。

なお，施設通過流量とは，埋設トレンチ内を通過する浸透水量のことである。算出方法は，廃棄物埋設地底面からの流出量を廃棄物埋設地底面の面積で除した値を採用している。施設通過流量算出概要図を第 15 図に示す。また，施設通過流量を算出した浸透流解析結果を第 9 表に示す。



第 15 図 施設通過流量算出概要図

第9表 施設通過流量の計算結果

	施設への流入量 <sup>※1</sup> (m <sup>3</sup> /y)	施設からの流出量 <sup>※1</sup> (m <sup>3</sup> /y)
上部	0.02579	0
底部	0	0.03
側部 (右)	0.00205	0
側部 (左)	0.00205	0
計	0.02989	0.03
施設通過流量 <sup>※1, ※2</sup>	0.0009 (m <sup>3</sup> /y/m <sup>2</sup> )	

※1：端数処理（小数第六位を切り上げ）後の値

※2：施設通過流量は，埋設トレンチ底部からの流出量を埋設トレンチ底部の面積（33.7 m<sup>2</sup>）で除した流量

#### 4 まとめ

埋設トレンチ内への浸透水を低減するための覆土形状について設計を行い、その結果として浸透水低減量について解析を用いて評価した。

解析評価の結果、将来の気温に対応する降水量に応じた降雨浸透量（かん養量）を想定しても、年当たりの施設通過流量が  $0.001 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{y})$  以下まで低減できることが確認できた。

本解析結果を踏まえ安全評価の評価条件を設定する。

#### 5 参考文献

- (1) 公益社団法人 日本道路協会（2009）：道路土工要綱 平成 21 年度版
- (2) 土質工学会（1984）：土質試験法
- (3) 梅田美彦（1993）：地盤浅層部における土中水の移動の定量的評価とその制御手法に関する研究

以上

掘削抵抗性層を想定した  
透水試験について

## 目 次

1	はじめに.....	1
2	試験方法.....	1
3	試験結果.....	3

## 1 はじめに

本資料は、添付資料 2「埋設トレンチへの浸透水量」に示す「掘削抵抗性層の飽和透水試験」の内容等について説明するためのものである。

## 2 試験方法

土の透水試験方法（J I S A 1218：2009）を参考に、定水位透水試験を実施した。

掘削抵抗性層は、碎石又は石（栗石等の粒径が大きなもの）を設置した際に生じる間隙に砂又は砂質土が充填された状態を想定することから、第 1 図に示す透水試験の試験装置にて、透水試験を行った。

試験手順の概要を以下に示す。

- ① 本体容器に割栗石及び洗砂を充填する。この時、砂の流出を防ぐために、本体容器の底部に不織布を敷設する。
- ② 本体容器及び外部容器に水を注入し、外部容器の越流口より水を越流させる。
- ③ 外部容器の越流口より排出される水量が安定するまで静置し、本体容器の越流口及び外部容器の越流口の水位差を計測する。
- ④ 外部容器の越流口から排出される水量を計測する。
- ⑤ 水の温度を計測する。
- ⑥ 下記の（1）式及び（2）式を用いて透水係数を算出する。

$$k_T = \frac{L}{h} * \frac{Q}{A * \Delta t} * \frac{1}{100} \quad \dots (1)$$

$k_T$ ：温度  $T^{\circ}\text{C}$ における透水係数（ $\text{m}/\text{s}$ ）

$L$ ：試料の高さ（ $\text{cm}$ ）

$h$ ：水位差（ $\text{cm}$ ）

$A$ ：試料充填部分の断面積（ $\text{cm}^2$ ）

$Q$  : 流出水量 (cm<sup>3</sup>)

$\Delta t$  : 測定時間 (s)

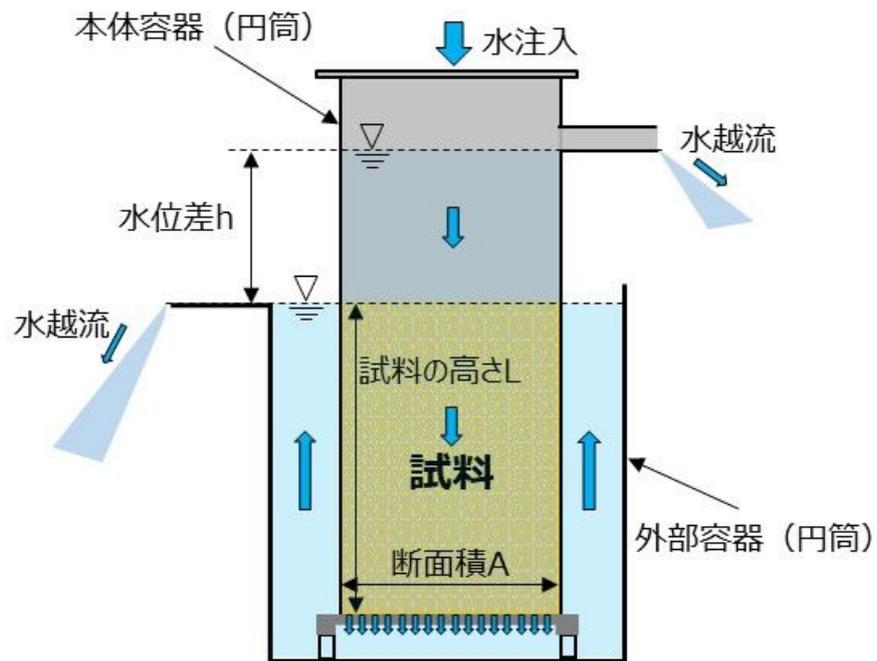
$$k_{15} = k_T * \frac{\eta_T}{\eta_{15}} \quad \dots (2)$$

$k_{15}$  : 温度 15°C における透水係数 (m/s)

$k_T$  : 温度 T°C における透水係数 (m/s)

$\eta_T$  : 温度 T°C の水の粘性係数 (Pa・s)

$\eta_{15}$  : 温度 15°C の水の粘性係数 (Pa・s)



第 1 図 試験装置の概略図

### 3 試験結果

不織布を敷設した上に割栗石を入れた状態から洗砂を段階的に投入して透水試験を繰り返した。試験条件及び試験結果を第1表に示す。

洗砂の投入割合と透水係数の関係を第2図に示す。

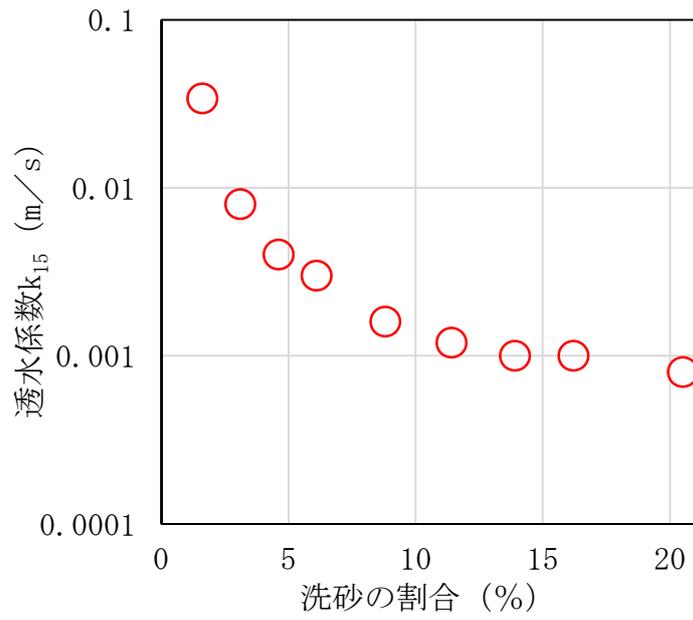
洗砂の投入割合が増加するにつれて透水係数が  $0.001 \text{ m/s}$  に収束する傾向であった。

第 1 表 透水試験結果

割栗石 投入量 (kg)	洗砂 投入量 (kg)	試料の 高さ L (cm)	試料充填部 断面積 A (cm <sup>2</sup> )	流出水量 Q / Δ t (m <sup>3</sup> / s)	水位差 h (cm)	透水係数 k <sub>T</sub> (m / s)	透水係数 k <sub>15</sub> (m / s)
650	10.5	100	3795.9	0.00262	21.0	0.033	0.034
650	21.0	100	3795.9	0.00152	50.0	0.008	0.008
650	31.5	100	3795.9	0.00079	53.0	0.004	0.004
650	42.0	100	3795.9	0.00061	53.5	0.003	0.003
650	63.0	100	3795.9	0.00033	55.0	0.0016	0.0016
650	84.0	100	3795.9	0.00025	55.0	0.0012	0.0012
650	105	100	3795.9	0.00022	55.5	0.0010	0.0010
650	126	100	3795.9	0.00020	55.5	0.0010	0.0010
650	168	100	3795.9	0.00016	55.5	0.0008	0.0008

注 1：水温の計測結果は 14℃であり，水の粘性係数比は 1.027 である。

注 2：水温 14℃の水の密度は 0.999 g / cm<sup>3</sup> とした。



第 2 図 洗砂の割合と透水係数の関係

以 上

# 不飽和透水試験について

## 目 次

1	はじめに.....	1
2	試験方法.....	1
3	試験装置.....	2
4	解析方法.....	3
5	試験結果.....	3

## 1 はじめに

本資料は、添付資料 2「埋設トレンチへの浸透水量」に示す「不飽和透水試験」の内容等について説明するためのものである。

## 2 試験方法

不飽和透水試験方法は、基準化された方法がないため、供試体に一定の圧力（圧力制御）を負荷（加圧）させて平衡状態（供試体内の圧力又は水分量が平衡状態）になった後、不飽和状態の透水係数を求める方法をとった。

したがって、ここでは幾つかある不飽和透水係数を求める手法の中で、原理は圧力を制御する定常法で、手法は加圧法に当たる。

加圧法による不飽和透水試験方法は、供試体に正圧を負荷して一定のサクション状態（不飽和状態）を作り出す。その後、供試体の上部から下部に向かって適当な動水勾配を与えて通水させる。

供試体に加えられた動水勾配はテンシオメータによって測定する。

不飽和透水係数の計測は、供試体内の 2 点間の圧力水頭差及び流量を測定することにより透水係数を求めるものである。

試験条件を以下に示す。

- ・加圧方法 : 負荷圧力（空気圧）制御
- ・測定方法 : 排水量計測，多段階計測
- ・供試体寸法 : 直径 7 cm，高さ 4 cm
- ・加圧水頭 : 3 応力
- ・測定回数 : 各水頭で定常流を確認し，代表的な値を 3 回程度得られるまで

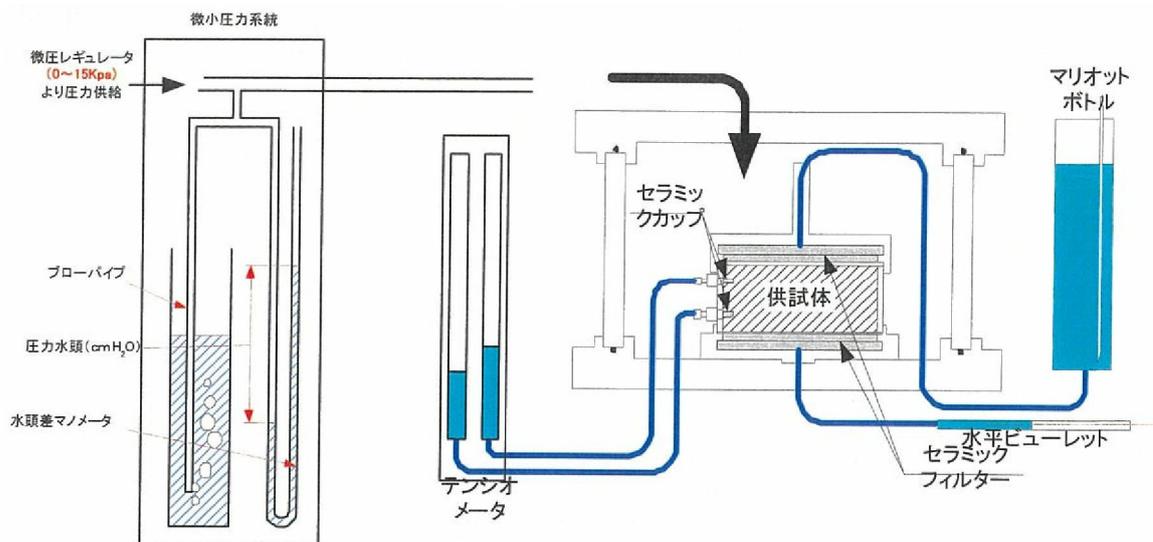
試験手順の概要を以下に示す。

- ①毛管飽和させた供試体を用意する。
- ②セラミックフィルターを上下端面に取り付けた装置に供試体をセットする。
- ③所定の加圧水頭相当の空気圧を供給する。
- ④供試体上部から通水して供試体下部からの排水量を測定する。
- ⑤単位時間当たりの排水量が一定になることを確認する。
- ⑥加圧水頭を変えて③～⑤の操作を行う。

### 3 試験装置

不飽和透水試験装置の概念図を第1図に示す。

試験装置は、供試体に圧力を負荷する圧力供給装置、圧力室並びに通水用のマリOTT管から構成されている。また、供試体内に加えられている動水勾配の計測は、テンシオメータで計測する。



第1図 不飽和透水試験装置の概念図

#### 4 解析方法

供試体中の水が定常に達したら以下の式により不飽和透水係数を求める。

$$K_{wu} = Q/AiT \cdot \cdot \cdot (1)$$

ここで、

$K_{wu}$  : 不飽和透水係数

$Q$  : 流量

$A$  : 供試体の断面積

$T$  : 時間

$i$  : 動水勾配

#### 5 試験結果

不飽和透水試験の結果を第1表に示す。

第1表 不飽和透水試験の結果

試料状態	透水試験時飽和度 (%)	飽和・不飽和透水係数 (cm/s)
飽和	100	$1.67 \times 10^{-3}$
不飽和	82	$4.62 \times 10^{-5}$
	42	$2.15 \times 10^{-5}$
	32	$5.95 \times 10^{-6}$
	22	$6.89 \times 10^{-7}$
	17	$5.23 \times 10^{-8}$

以 上

## 覆土表層での流出割合について

## 目 次

1	はじめに.....	1
2	解析モデル.....	1
3	境界条件.....	7
4	解析物性値.....	7
5	解析結果.....	11
6	まとめ.....	18
7	参考文献.....	18

## 1 はじめに

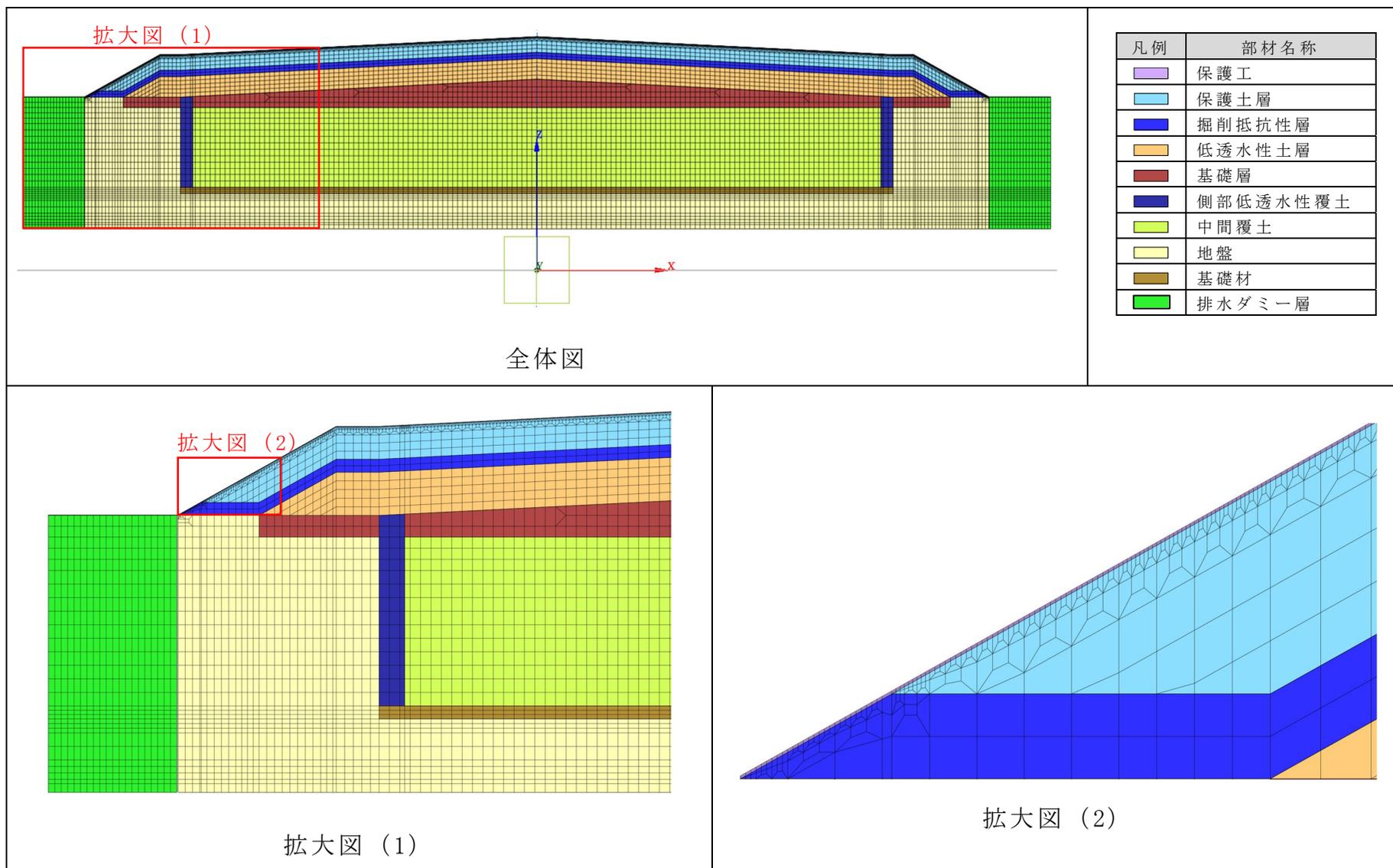
本資料は、添付資料 2「埋設トレンチへの浸透水量」に示す「浸透流解析による表面流出量の算出」の解析モデル、解析条件及び解析結果について説明するためのものである。

## 2 解析モデル

覆土領域の流出係数の設定の妥当性を確認するために、保護工（じゃかご等）を考慮した解析モデルを用いて評価を実施する。

設計内容を基に作成した解析モデルを第 1 図に示す。

本解析は、覆土領域での表面流出割合を評価することを目的とすることから、解析モデルでは、最上面となる保護工（じゃかご等）についてもモデル化を行った。



第1図 解析モデル

保護工（じゃかご等）のモデル化に際し、以下の内容を考慮してモデル化を行った。

(1) 保護工（じゃかご等）のモデル化

保護工（じゃかご等）に浸透した降雨は、保護土層との境界部まで浸透し、その後、境界部をつたって覆土法尻に流れていくと考えられ、その際の水深は保護工（じゃかご等）厚さの 30 cm に比べて薄くなる。

そのため、モデル化においては、保護工（じゃかご等）の厚さを 1 cm と設定した。

(2) 水の流れの水深の設定

保護工（じゃかご等）と保護土層の境界部を流れる降雨時の水深については、降水量 2,080 mm/y 及び施設形状より以下のとおり算出した。水深の算出の考え方を第 2 図に示す。

$$\begin{aligned} Q_{rain} &= \text{降雨範囲}(m) * \text{奥行}(m) * \text{降雨強度}(m/s) \\ &= 12.339(m) * 1(m) * 6.6 \times 10^{-8}(m/s) \\ &= 8.1 \times 10^{-7}(m^3/s) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{flow} &= \text{水の流れの断面積}(m^2) * \text{流速}(m/s) \\ &= \text{奥行}(m) * \text{水深}(m) * \text{透水係数}(m/s) * \text{動水勾配}(-) \\ &= 1(m) * h(m) * 1.0 \times 10^{-1}(m/s) * 0.05(-) \\ &= 5.0 \times 10^{-3}h(m^3/s) \end{aligned}$$

$Q_{rain}(m^3/s) = Q_{flow}(m^3/s)$  が成り立つと仮定して水深を算出。

$$8.1 \times 10^{-7}(m^3/s) = 5.0 \times 10^{-3}h(m^3/s)$$

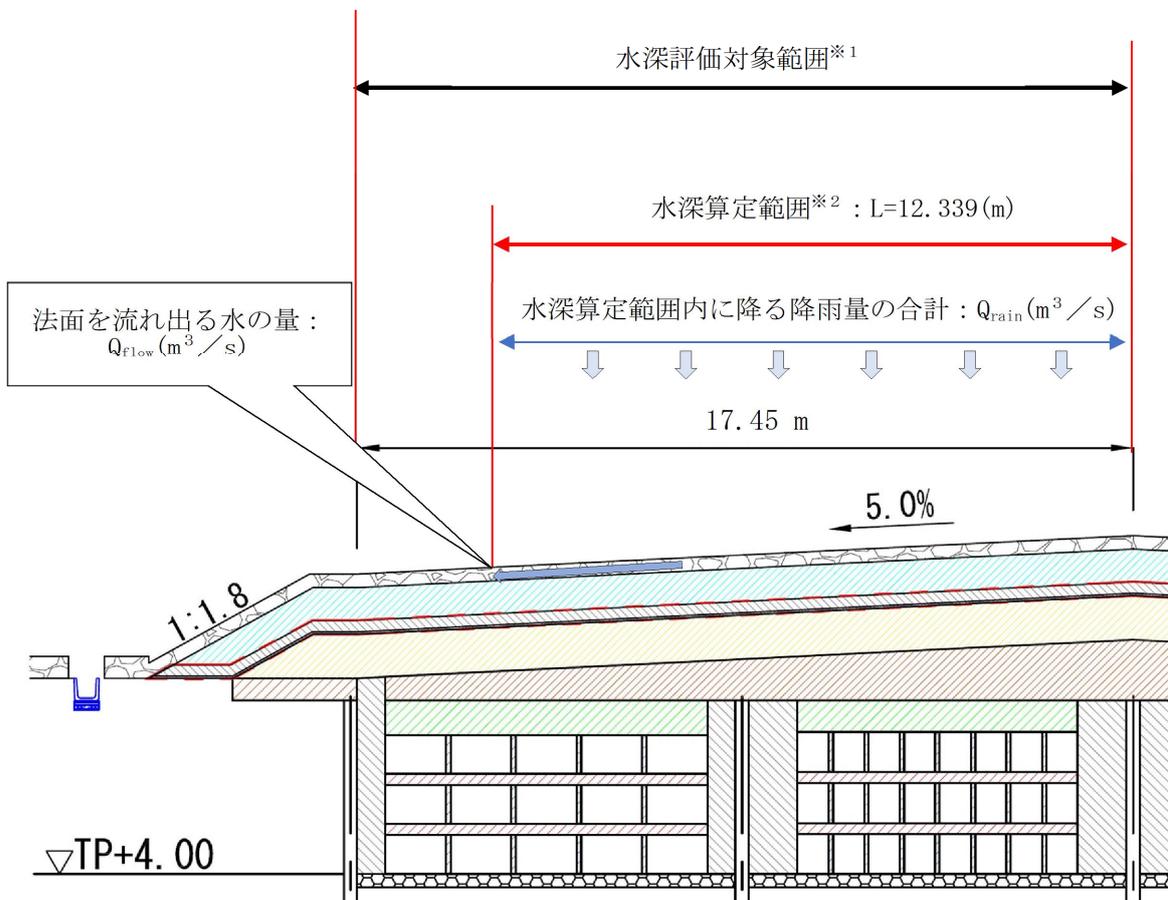
$$h = 1.62 \times 10^{-4}(m)$$

$$h = 0.16(mm)$$

ここで各記号は以下の意味となる。

$Q_{rain}$  : 水深算定範囲内に降る降雨量の合計( $m^3/s$ )

$Q_{flow}$  : 法面を流れ出る水の量( $m^3/s$ )



※1：水の流れる水深が小さい方が表面流出量は小さくなるため、法面勾配が5%の範囲を対象とする。

※2：覆土頂部から法肩に向かうにつれて水深は深くなるため、覆土頂部から $Q_{flow}$ を算出する位置までの水の流れる面積と、 $Q_{flow}$ を算出する位置から法肩の水の流れの面積が1:1となる箇所を計算により算出して設定した。

※3：奥行きを1 mと設定して計算した。

第2図 水深の算定の考え方

### (3) 等価透水係数の設定

水深の算出結果はモデル化した保護工（じゃかご等）の厚さに比べて薄いため、等価透水係数を設定する。

等価透水係数の算定過程を以下に示す。また、等価透水係数算出のイメージを第3図に示す。

- ・想定する水深における法面を流れる水の量 $Q_1$ は、ダルシーの法則より以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned} Q_1 &= k * A_1 * i \\ &= 1.0 \times 10^{-1} * 1.6 \times 10^{-4} * 0.05 \\ &= 8.0 \times 10^{-7} (m^3/s) \end{aligned}$$

ここで各記号は以下の意味となる。

$k$  : 保護工の透水係数(m/s)

$A_1$  : 水の流れの断面積( $m^2$ )

= 単位奥行当たりとして水深 $h = 1.6 \times 10^{-4}$  m が該当

$i$  : 動水勾配(-)

- ・想定する水深における法面を流れる水の量 $Q_2$ は、ダルシーの法則より以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned} Q_2 &= k' * A_2 * i \\ &= 5.0 \times 10^{-4} * k' (m^3/s) \end{aligned}$$

ここで各記号は以下の意味となる。

$k'$  : 保護工の等価透水係数(m/s)

$A_2$  : 水の流れの断面積( $m^2$ )

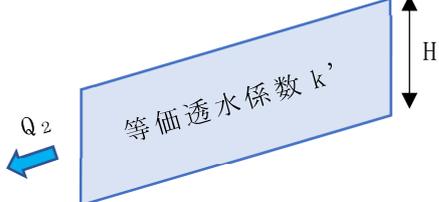
単位奥行当たりとして解析で模擬する保護工の厚さ 0.01 m が該当

$i$  : 動水勾配(-)

・  $Q_1 = Q_2$ より  $k'$ は以下のとおりとなる。

$$k' = 8.0 \times 10^{-7} \div 5.0 \times 10^{-4}$$

$$= 1.6 \times 10^{-3} (m/s)$$

想定する水深	解析で模擬する保護工の厚さ
 <p><math>Q_1</math> : 流れ出る水の量 (<math>m^3/s</math>)</p> <p><math>k</math> : 透水係数 (<math>m/s</math>)</p> <p><math>1.0 \times 10^{-1}</math> (<math>m/s</math>)</p> <p><math>h</math> : 算出した水深 <math>1.6 \times 10^{-4}</math> (m)</p>	 <p><math>Q_2</math> : 流れ出る水の量 (<math>m^3/s</math>)</p> <p><math>k'</math> : 等価透水係数 (<math>m/s</math>)</p> <p><math>H</math> : 解析モデルの保護工厚さ</p> <p><math>1.0 \times 10^{-2}</math> (m)</p>

第3図 等価透水係数の算出イメージ

#### (4) 排水ダミー層の設定

保護工（じゃかご等）端部からの排水は、自由排水となるように地下水面に直接接続する排水ダミー層を設定する。排水ダミー層は、保護工（じゃかご等）の物性と同一とする。

### 3 境界条件

#### (1) 上面境界

解析モデルの上面境界には，降雨境界を設定する。

降雨境界で設定する降雨量については，「東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所 第二種廃棄物埋設事業許可申請 第二種廃棄物埋設施設 の位置、構造及び設備の基準に関する規則第十三条（ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄物埋設地）第 1 項第三号及び第四号への適合性について 地質環境等の状態設定」で設定した 1,000 年後の温暖期継続ケースにおける降水量である 2,080 mm/y を設定する。

#### (2) 側部境界

解析モデルの側部境界には，不透水境界を設定する。

#### (3) 下面境界

解析モデルの下面境界には，地下水位相当の固定水頭境界を設定する。

### 4 解析物性値

#### 4.1 飽和透水係数

本検討で新たに設定した保護工（じゃかご等）及び排水ダミー層の解析物性値として飽和透水係数を第 1 表のとおり設定した。保護土層，掘削抵抗性層，基礎層，中間覆土，地盤及び基礎材については，添付資料 2「埋設トレンチへの浸透水量」で示す解析物性値と同様の設定とした。低透水性土層及び側部低透水性覆土の飽和透水係数は，設計値を用いて設定した。

第 1 表 飽和透水係数の設定値

対象	飽和透水係数の設定値	根拠
保護工（じゃかご等）	$1.6 \times 10^{-3} \text{ m/s}$	2. に示す等価透水係数
排水ダミー層	$1.6 \times 10^{-3} \text{ m/s}$	保護工（じゃかご等）同一と設定
保護土層	$1.04 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	透水試験結果より設定
掘削抵抗性層	$1.0 \times 10^{-3} \text{ m/s}$	透水試験結果より設定
低透水性土層	$1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$	設計値
基礎層	$3.88 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	透水試験結果より設定
側部低透水性覆土	$1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$	設計値
中間覆土	$4.73 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	透水試験結果より設定
地盤	$3.23 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	透水試験結果より設定
基礎材	$1.0 \times 10^{-1} \text{ m/s}$	文献より設定

#### 4. 2 不飽和特性

本検討で新たに設定した保護工（じゃかご等）については、割栗石（ $\phi$  5 cm～15 cm）を使用することを想定した。

不飽和時に透水係数が飽和透水係数よりも小さい値を示すメカニズムは、不飽和時にメニスカスにより粒子に固定された間隙水が存在し、間隙水が移動できる空間が狭くなるためである。

割栗石（ $\phi$  5 cm～15 cm）は、間隙径が非常に大きい。梅田<sup>(1)</sup>では、高透水性物質では不飽和状態での圧力水頭がほぼ 0 であると述べられており、不飽和時に透水性が低下する事象は生じないと考えられることから、保護工（じゃかご等）の不飽和特性は、飽和度に寄らず比透水係数 1 で設定する。

排水ダミー層は保護工（じゃかご等）と同様に設定した。

保護土層，掘削抵抗性層，低透水性土層，基礎層，側部低透水性覆土，中間覆土，地盤及び基礎材については，添付資料 2「埋設トレンチへの浸透水量」で示す不飽和特性と同様の設定とした。

不飽和特性の設定値一覧を第 2 表に示す。

第2表 不飽和特性の設定値一覧

対象	設定値	根拠
保護工（じゃかご等）	比透水係数(-) : 一定 (1) サクシヨン(MPa) : -	文献より設定
排水ダミー層	比透水係数(-) : 一定 (1) サクシヨン(MPa) : -	保護工（じゃかご等）と同一に設定
保護土層	比透水係数(-) : 飽和度に応じた値 サクシヨン(MPa) : 飽和度に応じた値	V G 式を適用して設定 ※ V G 式のフィッティングパラメータ ・ $\alpha$ : 3.7894(1/m), $\lambda$ : 8.5731(-)
掘削抵抗性層	比透水係数(-) : 飽和度に応じた値 サクシヨン(MPa) : 飽和度に応じた値	保護土層と同一に設定
低透水性土層	比透水係数(-) : 飽和度に応じた値 サクシヨン(MPa) : 飽和度に応じた値	V G 式を適用して設定 ※ V G 式のフィッティングパラメータ ・ $\alpha$ : 0.040794(1/m), $\lambda$ : 1.4769(-)
基礎層	比透水係数(-) : 飽和度に応じた値 サクシヨン(MPa) : 飽和度に応じた値	V G 式を適用して設定 ※ V G 式のフィッティングパラメータ ・ $\alpha$ : 31.094(1/m), $\lambda$ : 1.743(-)
側部低透水性覆土	比透水係数(-) : 飽和度に応じた値 サクシヨン(MPa) : 飽和度に応じた値	低透水性土層と同一に設定
中間覆土	比透水係数(-) : 飽和度に応じた値 サクシヨン(MPa) : 飽和度に応じた値	V G 式を適用して設定 ※ V G 式のフィッティングパラメータ ・ $\alpha$ : 4.6154(1/m), $\lambda$ : 5.7182(-)
地盤	比透水係数(-) : 飽和度に応じた値 サクシヨン(MPa) : 飽和度に応じた値	不飽和透水試験及び V G 式を適用して設定 ※ V G 式のフィッティングパラメータ ・ $\alpha$ : 5.1757(1/m), $\lambda$ : 4.0776(-)
基礎材	比透水係数(-) : 一定 (1) サクシヨン(MPa) : -	文献より設定

## 5 解析結果

前述の解析モデル及び条件を用いて解析した結果を第4図～第6図に示す。

第4図に解析結果の全水頭コンター図を、第5図に解析結果の流速コンター図を、第6図に解析結果の流線図を示す。

### (1) 全水頭コンター図

浸透水は、全水頭の大きい値の領域から小さい値の領域に向かって浸透する。全水頭コンターラインの間隔が狭い場所ほど動水勾配が大きいことを示している。

掘削抵抗性層と地盤の境界部から地盤に向かって波紋状にコンターラインが形成されており、そこから降雨等が浸透していることを示している。これは、添付資料2「埋設トレンチへの浸透水量」と同様の傾向である。

### (2) 流速コンター図

第5図は、ダルシー流速の絶対値を用いた流速コンター図である。

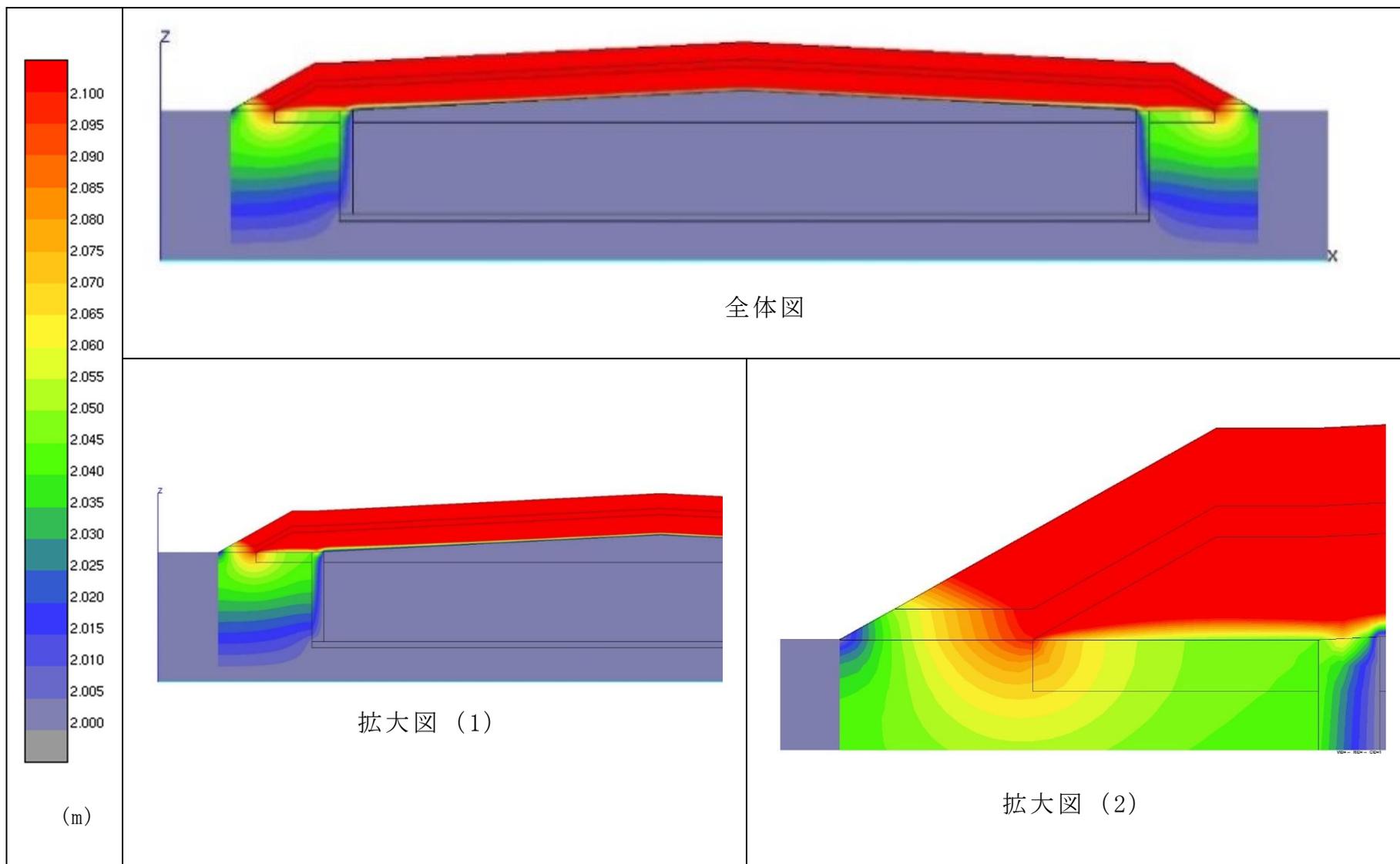
保護工(じゃかご等)の流速が大きく、大部分が保護工(じゃかご等)を流下することが分かる。

保護土層を浸透した降雨等は掘削抵抗性層を通過して地盤に浸透していることを示しており、添付資料2「埋設トレンチへの浸透水量」と同様の傾向である。

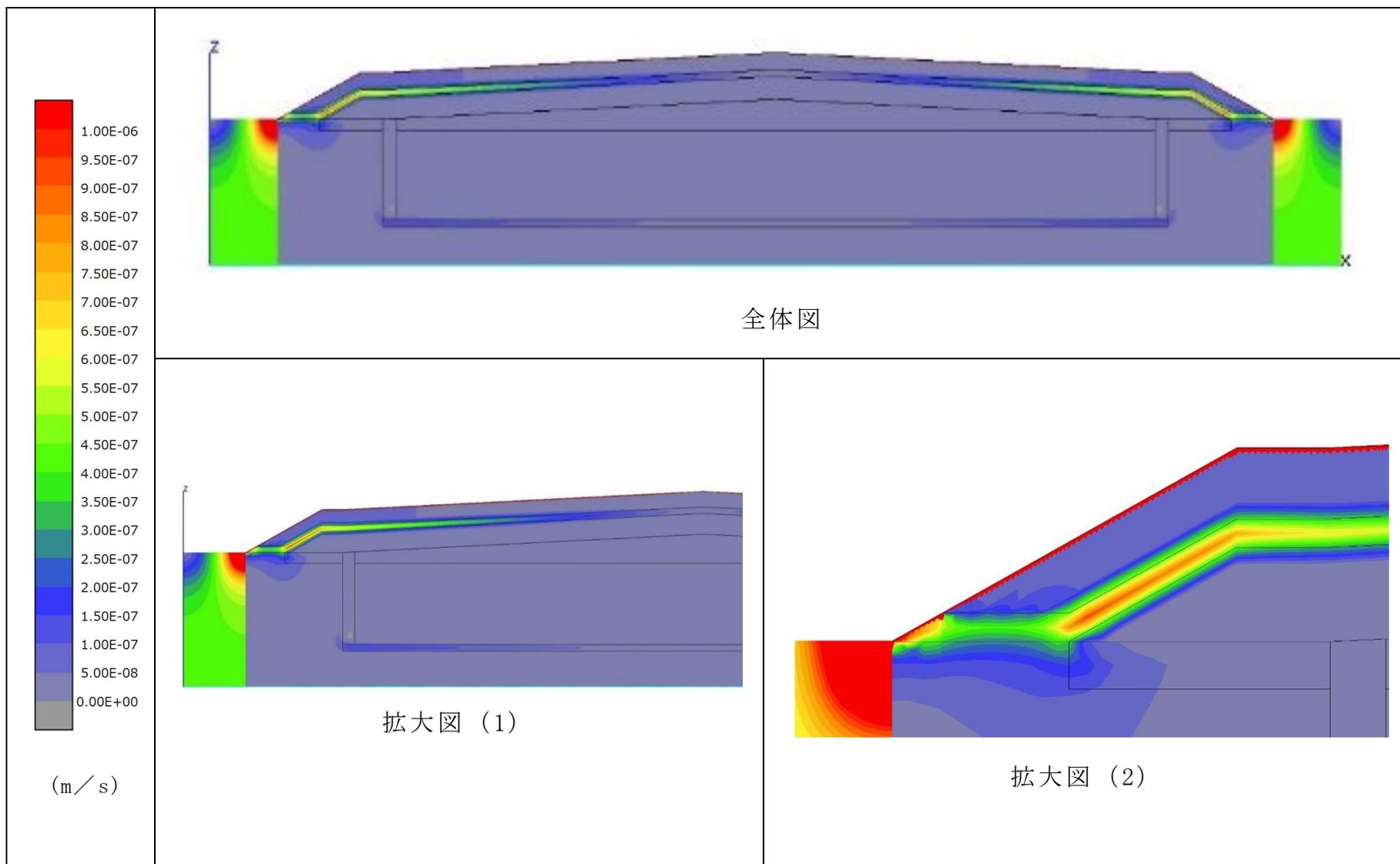
### (3) 流線図

保護工(じゃかご等)に浸透した降雨等は、主に保護工(じゃかご等)内を選択的に流れて、排水ダミー層に流れ出ることが分かる。

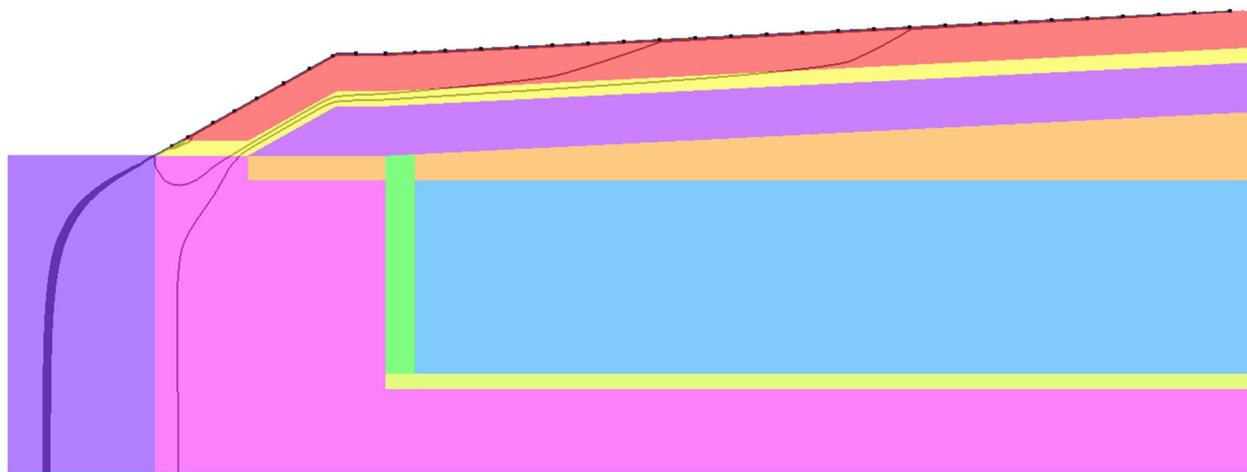
また、保護土層に浸透した降雨等は、主に低透水性土層の上面である掘削抵抗性層を選択的に流れ、その後地盤に浸透する流れとなっており、添付資料2「埋設トレンチへの浸透水量」と同様の傾向である。



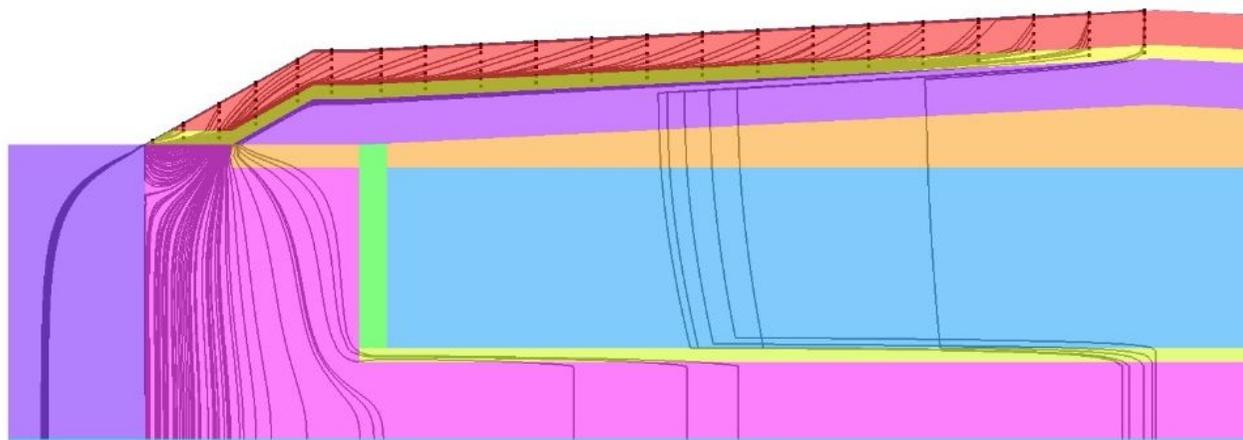
第 4 図 解析結果 (全水頭コンター図)



第 5 図 解析結果 (流速コンター図)



保護工（じゃかご等）に着目



保護工（じゃかご等），保護土層，掘削抵抗性層に着目

第6図 解析結果（流線図）

#### (4) 流出割合の算出

流出割合は、保護工（じゃかご等）の解析モデルの要素流速と降雨量を用いて以下のように算出した。第7図に流出割合の算出方法の概要を示す。

- ・覆土の頂部から流出割合を算出する要素（解析モデルの要素）までの範囲に降る時間当たりの降雨量を以下により算出する。

$$\begin{aligned} Q_{rain}(m^3/s) &= \text{降雨範囲}(m) * \text{奥行}(m) * \text{降雨強度}(m/s) \\ &= 21.585(m) * 1(m) * 6.6 \times 10^{-8}(m/s) \\ &= 1.424 \times 10^{-6}(m^3/s) \end{aligned}$$

- ・解析モデルの要素流速を用いて、要素からの流出量を以下により算出する。

$$\begin{aligned} Q_{out}(m^3/s) &= \text{要素1からの流出量}(m^3/s) + \text{要素2からの流出量}(m^3/s) \\ &= \text{奥行}(m) * A_1(m) * V_1(m/s) + \text{奥行}(m) * A_2(m) * V_2(m/s) \end{aligned}$$

$V_1(m/s)$ 及び $V_2(m/s)$ は以下により算出する。

$$V_1 = V_{x1} * \cos \theta + V_{y1} * \sin \theta$$

$$V_2 = V_{x2} * \cos \theta + V_{y2} * \sin \theta$$

- ・頂部から流出割合を算出する要素（解析モデルの要素）までの範囲に降る時間当たりの降雨量と要素からの流出量の比により流出割合を算出する。

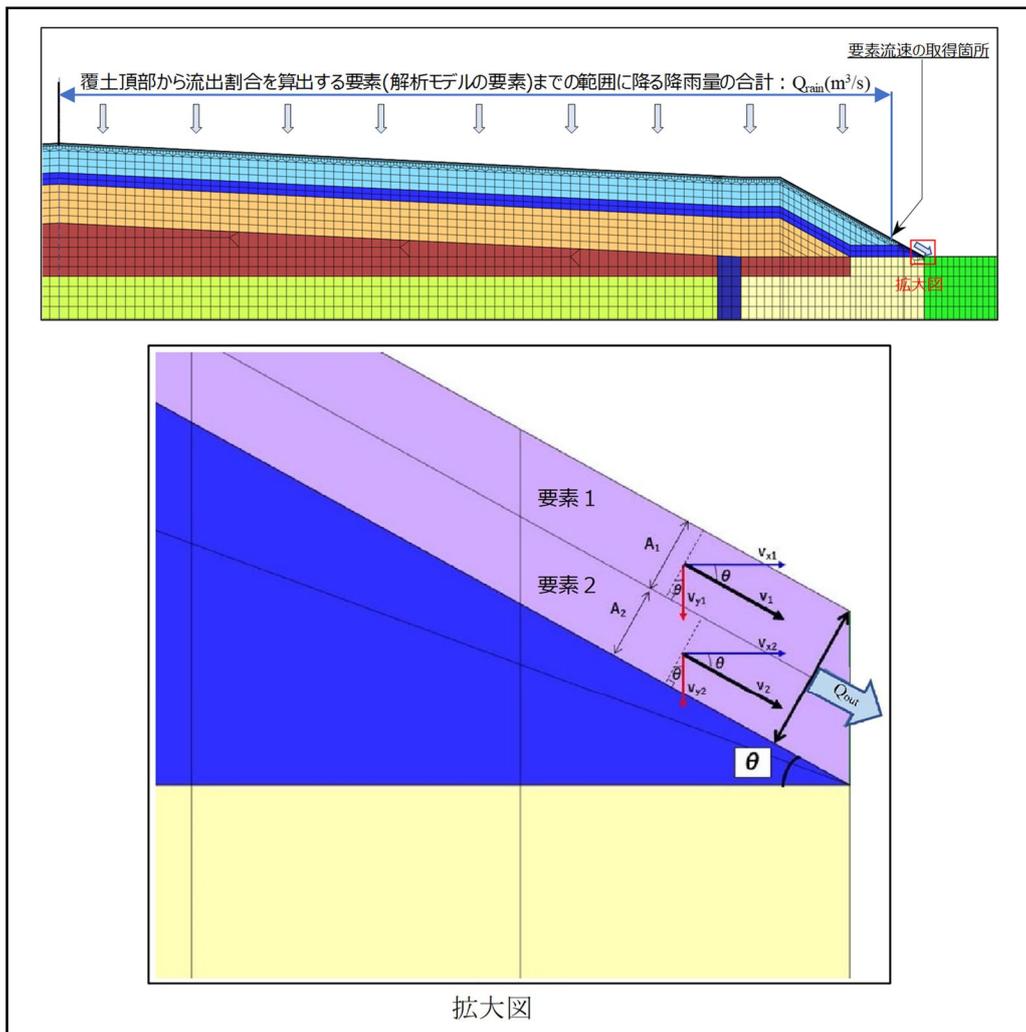
$$Q_{out}(m^3/s) \div Q_{rain}(m^3/s)$$

ここで各記号は以下の意味となる。

$Q_{rain}$  : 覆土の頂部から流出割合を算出する要素（解析モデルの要素）までの範囲に降る時間当たりの降雨量( $m^3/s$ )

$Q_{out}$  : 保護工（じゃかご等）の要素流速より算出する排水量( $m^3/s$ )

- $A_1, A_2$  : 要素 1, 要素 2 の法面に対して垂直方向の厚さ (m)
- $V_1, V_2$  : 要素 1, 要素 2 の法面に対して平行方向の要素流速 (m)
- $V_{x1}, V_{x2}$  : 要素 1, 要素 2 の水平方向要素流速 (m)
- $V_{y1}, V_{y2}$  : 要素 1, 要素 2 の鉛直方向要素流速 (m)
- $V_{y1}, V_{y2}$  : 保護工 (じゃかご等) の水平方向に対する角度 (°)



第 7 図 表面流出率の算出方法の概要

流出割合の算出方法を用いて算出した流出割合は 73.4%となる。  
 流出割合の算出に用いたパラメータを第 3 表に示す。

第 3 表 流出割合の算出に使用したパラメータ

	角度 (°)	要素 断面積 (m <sup>2</sup> )	水平方向 要素流速 (m/s)	鉛直方向 要素流速 (m/s)	要素流速 (m/s)	要素からの 流出量 (m <sup>3</sup> /s)	流出量 (m <sup>3</sup> /s)	降雨量 (m <sup>3</sup> /s)
記号	$\theta$	$A_1, A_2$	$V_{x1}, V_{x2}$	$V_{y1}, V_{y2}$	$V_1, V_2$	$Q_1, Q_2$	$Q_{out}$ ( $Q_1 + Q_2$ )	$Q_{rain}$
要素 1	29.0546	0.004371	$1.044 \times 10^{-4}$	$5.831 \times 10^{-5}$	$1.196 \times 10^{-4}$	$5.228 \times 10^{-7}$	$1.046 \times 10^{-6}$	$1.424 \times 10^{-6}$
要素 2		0.004371	$1.044 \times 10^{-4}$	$5.828 \times 10^{-5}$	$1.196 \times 10^{-4}$	$5.227 \times 10^{-7}$		

## 6 まとめ

覆土領域の流出係数の設定の妥当性を確認するために、保護工（じゃかご等）を考慮した解析モデルを用いて評価した結果、覆土領域の流出係数の設定値である 0.7 と同程度の結果となった。

## 7 参考文献

- (1) 梅田美彦（1993）：地盤浅層部における土中水の移動の定量的評価とその制御手法に関する研究

以上

## 第二種埋設許可基準解釈

### 第 13 条第 1 項

### に関する補足説明

## 目 次

1	覆土に対する要求性能（低透水性）の実現性.....	1
1. 1	ベントナイト混合土製造時及び施工時の設計値.....	1
1. 2	ベントナイト混合土の製造.....	4
1. 3	低透水性覆土の施工実現性.....	9
1. 4	ベントナイト混合率等のばらつきが透水係数に与える影響.....	15
1. 5	代替指標による低透水性覆土の管理（品質管理）の適用性.....	22
2	覆土の施工時における品質管理（案）.....	23
2. 1	完了時における品質管理項目.....	23
2. 2	材料納入時，覆土材料製造時及び覆土施工時の品質管理項目...	24
3	参考文献.....	27
4	諸外国との比較.....	28
4. 1	諸外国の極低レベル放射性廃棄物処分施設との比較.....	28

別紙 透水試験について

## 1 覆土に対する要求性能（低透水性）の実現性

覆土のうち側部低透水性覆土及び最終覆土のうち低透水性土層（以下「低透水性覆土」という。）に求められる要求性能は低透水性であり、その設計項目は透水係数と厚さである。

設計項目のうち、透水係数については、低透水性覆土に砂とベントナイト（クニゲルU相当）を使用したベントナイト混合土で構成する計画であることから、この材料において設計透水係数  $1.0 \times 10^{-10}$  m/s 以下を確保できることの見通しを得ておく必要がある。

計画している材料を用いたベントナイト混合土において目標とする性能（透水係数）を確保できることの見通しを得るために実施した事項の概要を以下に示す。

なお、実施工において低透水性覆土に使用する材料が今回使用したものと異なる場合、今回得られた知見（ベントナイト混合土製造時及び施工時の設計値等）を適用することが難しくなるため、実施工に用いる材料を使用し、同様なプロセスにより、低透水性覆土の設計透水係数  $1.0 \times 10^{-10}$  m/s 以下を確保できる見込みがあることを確認する必要がある。

### 1. 1 ベントナイト混合土製造時及び施工時の設計値

添付資料 1「4. 1 覆土の低透水性」に示す試験結果から、低透水性覆土の設計透水係数  $1.0 \times 10^{-10}$  m/s 以下を確保するためには、ベントナイトの混合率については15%以上、密度については95%（A法）の締固めによって得られる密度以上、初期含水比については最適含水比よりも若干湿潤側（試験結果を踏まえると  $W_{opt} + 2\%$  程度）とする必要があると考えられること、施工（材料製造工、設置工）における不均質性を考慮する必要があることを踏まえて設計値を設定した。

添付資料 1「4. 1 覆土の低透水性」に示す試験結果から、ベントナイ

トの混合率は15%以上とする必要があることから、ベントナイトの混合率を15%とし、この時の密度及び初期含水比の設計値を設定した。

低透水性覆土の設計透水係数は $1.0 \times 10^{-10}$  m/s以下であるが、施工（材料製造工，設置工）における不均質性を考慮すると、ベントナイト混合土製造時及び施工時の設計値は、 $1.0 \times 10^{-11}$  m/s程度となるように設計値を設定する必要があると考えられる。

添付資料 1「4. 1 覆土の低透水性」に示す試験結果から、ベントナイトの混合率15%において、 $1.0 \times 10^{-11}$  m/s程度の透水係数が得られると考えられる密度及び初期含水比の条件としては、乾燥密度については $1.82 \text{ Mg/m}^3$ （C法締固め試験の最大乾燥密度 $\rho_{\text{dmax}} \times 90\%$ ）、初期含水比については $W_{\text{opt}}$ （C法）+2%であると考えられることから、これらをベントナイト混合土製造時及び施工時の設計値として設定する。

ベントナイト混合土製造時の設計値を第1表に、ベントナイト混合土施工時の設計値を第2表に示す。

第1表 ベントナイト混合土製造時の設計値

項目	設計値	備考
ベントナイト混合率	15%	—
初期含水比	$W_{\text{opt}}^* + 2\%$	$W_{\text{opt}} + 2\% = 11\%$

※：最適含水比

第 2 表 ベントナイト混合土施工時の設計値

項目	設計値	備考
乾燥密度	$1.82\text{Mg}/\text{m}^3$ (C 法締固め試験の最大乾燥密度 $\rho_{\text{dmax}} \times 90\%$ )	—

## 1. 2 ベントナイト混合土の製造

ベントナイト混合土製造時の設計値を第3表に、ベントナイト混合土製造に用いた主要材料を第4表に示す。

ベントナイト混合土の製造は、ミキサー（容量5 m<sup>3</sup>）を用いたバッチ式により行った。なお、材料の投入は、ベントナイト混合率が15%になるように事前にベントナイトと母材（久慈川砂）の投入重量を計算しておき、その重量をバッチごとに計量して投入した。

ベントナイト混合土の製造後のサンプリングにより、ベントナイト混合率（ここでは代替指標として細粒分含有率）及び含水比に対して、品質確認を行った。ベントナイト混合土の製造後の含水比の測定結果を第1図に、細粒分含有率の測定結果を第2図に示す。

含水比は、平均値・中央値ともに設計値である11%に近い値である11.2%であり、10.1~12.7%の間に分布し、ばらつきが11%±2%程度であった。

細粒分含有率は、平均値・中央値ともに17.4%であり、ベントナイト混合率の15%よりも大きくなっている。細粒分の全てがベントナイトであるとした場合、ベントナイト混合率が15%になるように材料を計量して投入していること、15%で投入したベントナイトを練り混ぜ機械内で混合した場合、装置内（ミキサーの内壁）に細粒分であるベントナイトが貼り付くことが想定されることから、細粒分含有率の平均値が投入した混合率以上となることは考えにくい。このことから、第2図に示す細粒分含有率の平均値17.4%には、母材（久慈川砂）の細粒分含有率が含まれていると考えられる。

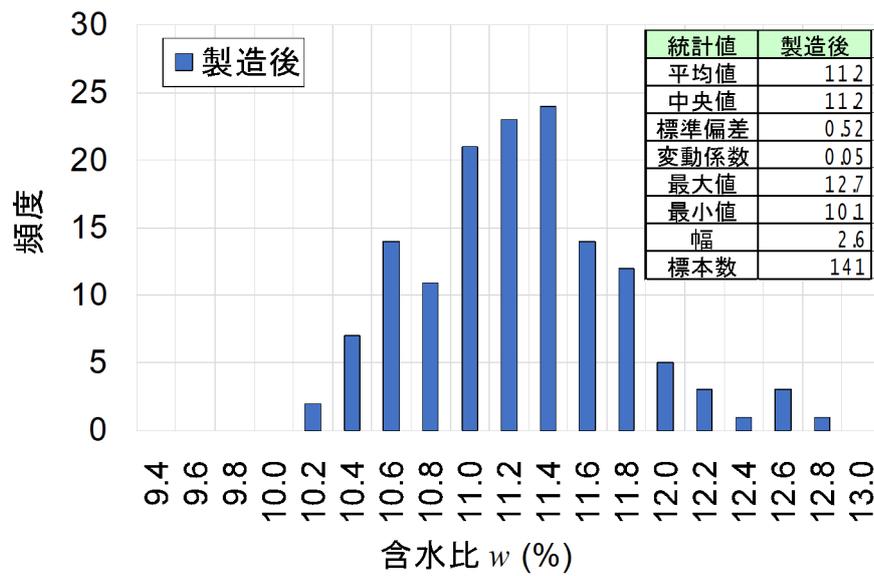
ベントナイト混合土の製造に用いた母材（久慈川砂）の粒度分布を第4図に、母材（久慈川砂）の細粒分含有率を第5表に示す。細粒分含有率は1.3%程度（3点の平均値）であった。ベントナイト混合土における母材（久慈川砂）の割合は85%であるため、混合土に占める母材（久慈川砂）の細粒分含

有率は  $1.3 \times 0.85 = 1.1\%$  となる。よって、ベントナイト混合土の細粒分含有率（計算値）は  $15\% + 1.1\% = 16.1\%$  となるが、第2図に示す細粒分含有率（平均値  $17.4\%$ ）の方が大きくなっている。この原因としては、母材（久慈川砂）の粒度試験の点数が少なく精度が低いことや、練り混ぜ中に母材（久慈川砂）が細粒化して細粒分が増加したことが考えられる。

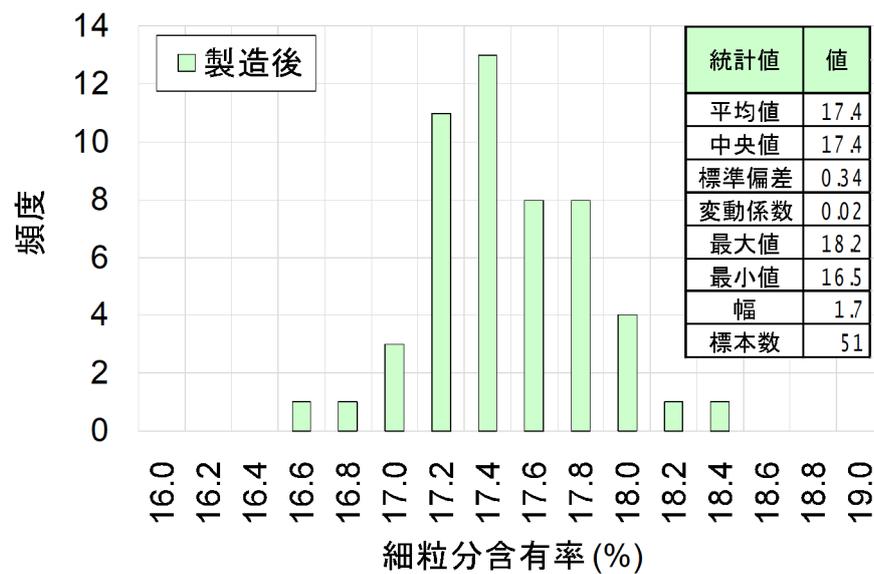
なお、混合後の細粒分含有率のばらつきは、第2図に示すように、平均  $\pm 1\%$  以内と小さく混合土の均質性は高い。

第2図をもとに、平均値が  $15\%$  になるように横軸をずらして、想定されるベントナイト混合土のヒストグラムを第3図に示す。

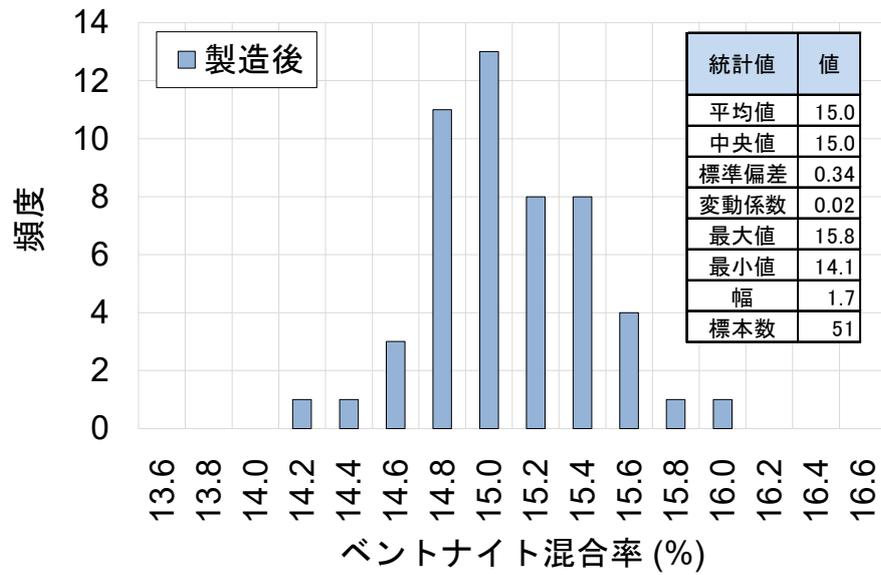
これらにより、ベントナイト混合率は  $15\% \pm 1\%$  以内、含水比は  $W_{opt} + 2\% \pm 2\%$  程度であり、設計値の配合を確保した状態で混合できていると考えられる。



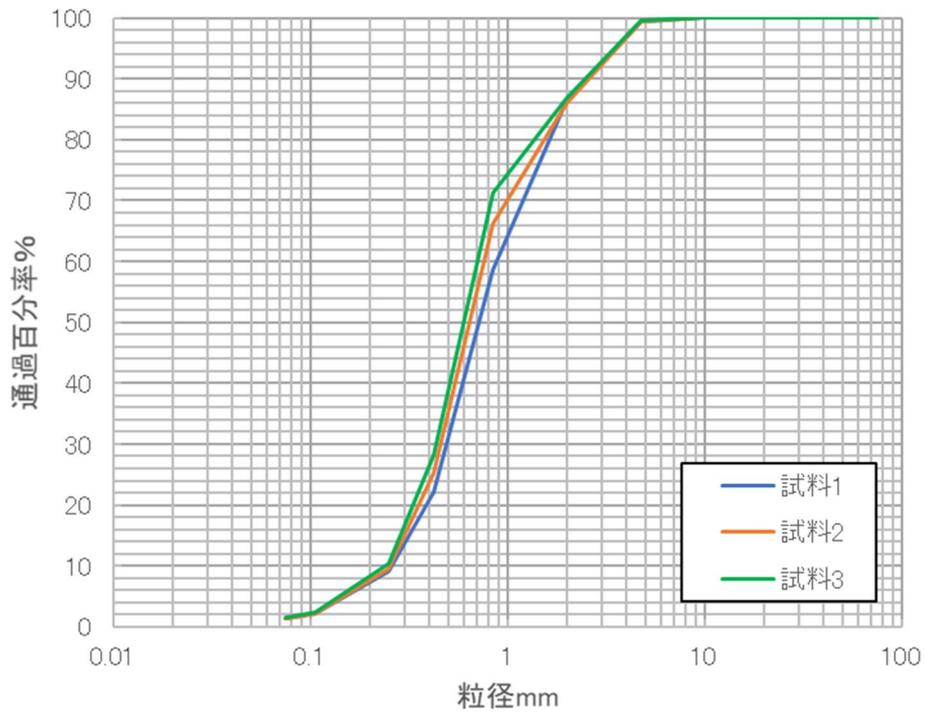
第 1 図 製造後の含水比



第 2 図 製造後の細粒分含有率



第 3 図 製造後のベントナイト混合率のイメージ (想定)



第 4 図 母材 (久慈川砂) の粒度分布

第3表 ベントナイト混合土製造時の設計値（再掲）

項目	設計値	備考
ベントナイト混合率	15%	—
初期含水比	$W_{opt}^* + 2\%$	$W_{opt} + 2\% = 11\%$

※：最適含水比

第4表 主要材料

項目	仕様
Na型ベントナイト（クニゲルU）	MBC66
母材	洗砂（久慈川産出）

第5表 母材（久慈川砂）の細粒分含有率

項目	細粒分含有率 $F_c$ (%)			
	試料 1	試料 2	試料 3	平均
母材	1.3	1.3	1.2	1.3

### 1. 3 低透水性覆土の施工実現性

「1. 1 ベントナイト混合土製造時及び施工時の設計値」にて設定した設計値のとおり到低透水性覆土を施工でき、設計透水係数  $1.0 \times 10^{-10}$  m/s 以下を達成できることを施工試験により確認した。

#### (1) 施工試験の概要

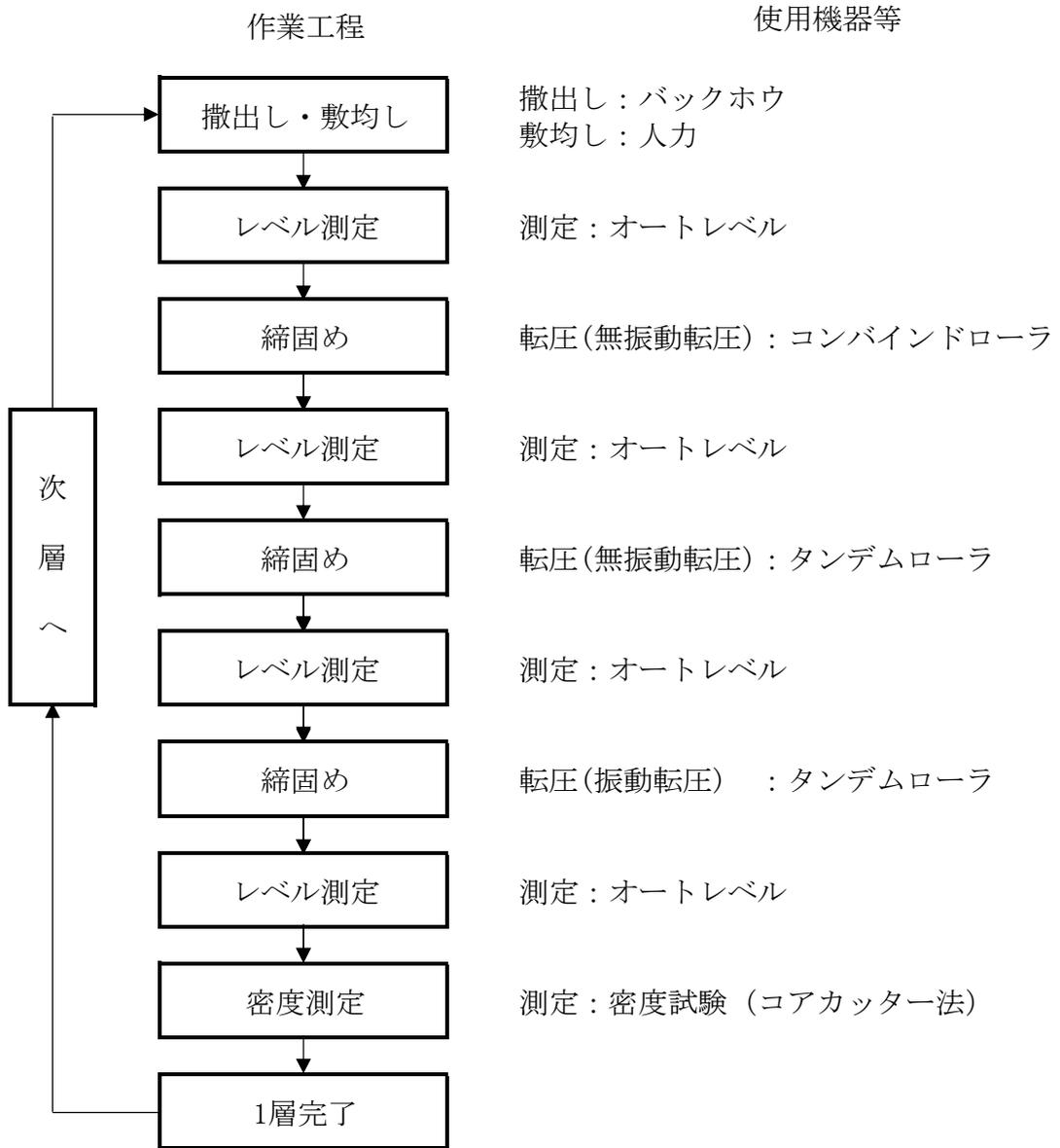
低透水性覆土について、施工の実現性を確認するために実施に近い施設構造において施工試験を実施した。また、施工試験で得られた試験結果を整理し、設計透水係数  $1.0 \times 10^{-10}$  m/s 以下を確保できることを確認した。

施工試験の実施に際しては、一般土工として広く適用されている道路土工—盛土工指針<sup>(1)</sup>の他に、本施設と同様に透水性に留意している土構造物として河川堤防に着目した河川土工マニュアル<sup>(2)</sup>を参照し、低透水性覆土の設計要求性能である低透水性を満足するための締固め機械、締固め厚さ、締固め回数及び含水比を確認した。

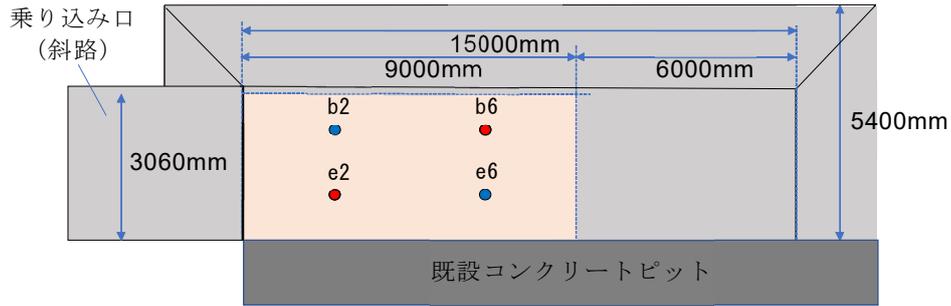
低透水性覆土の施工試験フローを第5図に、試験エリアを第6図に示す。

施工試験の手順としては、バックホウを用いて低透水性の覆土の撒出し後、人力により敷均しを行い、測定機器（オートレベル）を用いて撒出し厚さを確認し、敷均し後、河川土工マニュアル<sup>(2)</sup>で一般的と示されている重機を用いて締固めを行い、1層目の低透水性の覆土を設置する。品質確認のため、高さ及び密度をそれぞれ測定し、2層目以降を同様に実施する手順とした。

低透水性覆土（ベントナイト混合率 15%、初期含水比 =  $W_{opt} + 2\%$ 、撒出し厚さ 20 cm/層）を対象とした施工試験の結果及び概要を第6表に示す。

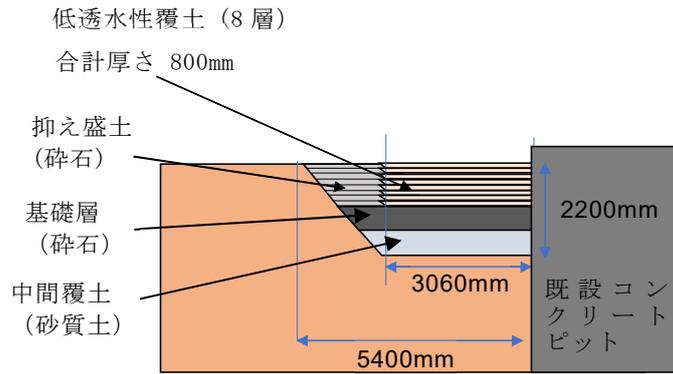


第 5 図 低透水性覆土の施工試験フロー

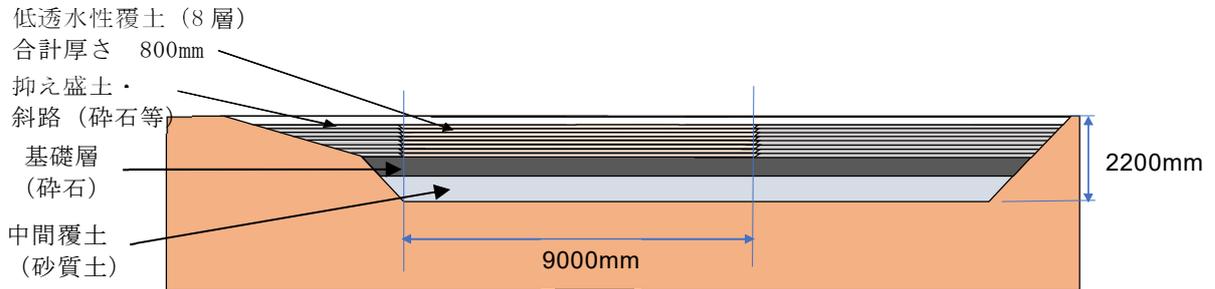


平面図

座標 ● 座標 ●  
 透水試験用試料採取位置：奇数層 ● 偶数層 ●



断面図



側面図

第 6 図 試験エリア

第 6 表 施工試験の結果及び概要一覧

試験対象	透水係数 (m/s)	締固め度 (C法)	施工機械等
低透水性覆土	$6.58 \times 10^{-12}$ ~ $7.11 \times 10^{-11}$ 【n=16】	90.8~96.6 (平均 94.3) 【n=80】	4t 級コンバインドローラ ・無振動転圧 2 往復 7t 級タンデムローラ ・無振動転圧 2 往復, 振動転圧 6 往復

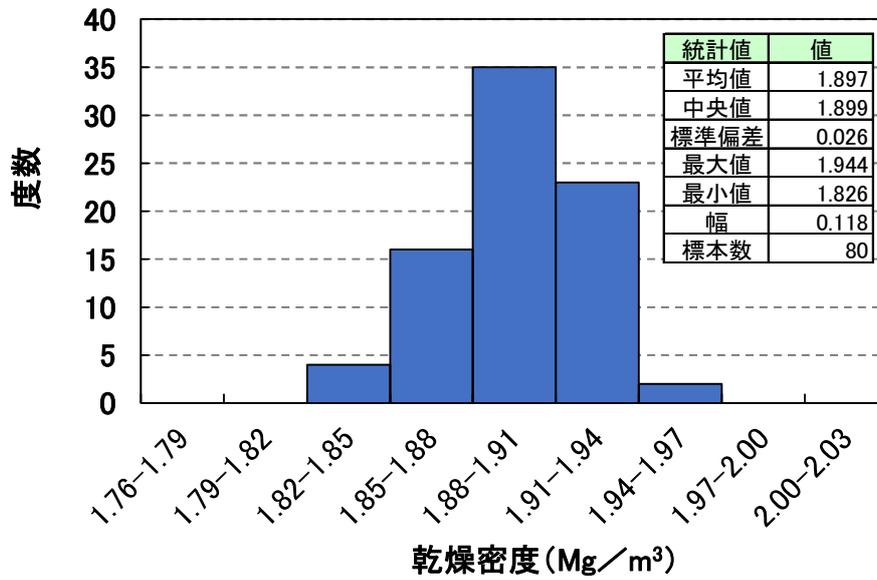
## (2) 施工試験の結果

施工試験において取得した乾燥密度のヒストグラムを第7図に示す。乾燥密度は、設計値である  $1.82\text{Mg}/\text{m}^3$  に対して最小値  $1.826\text{Mg}/\text{m}^3$  と設計値を確保した状態で施工できている。

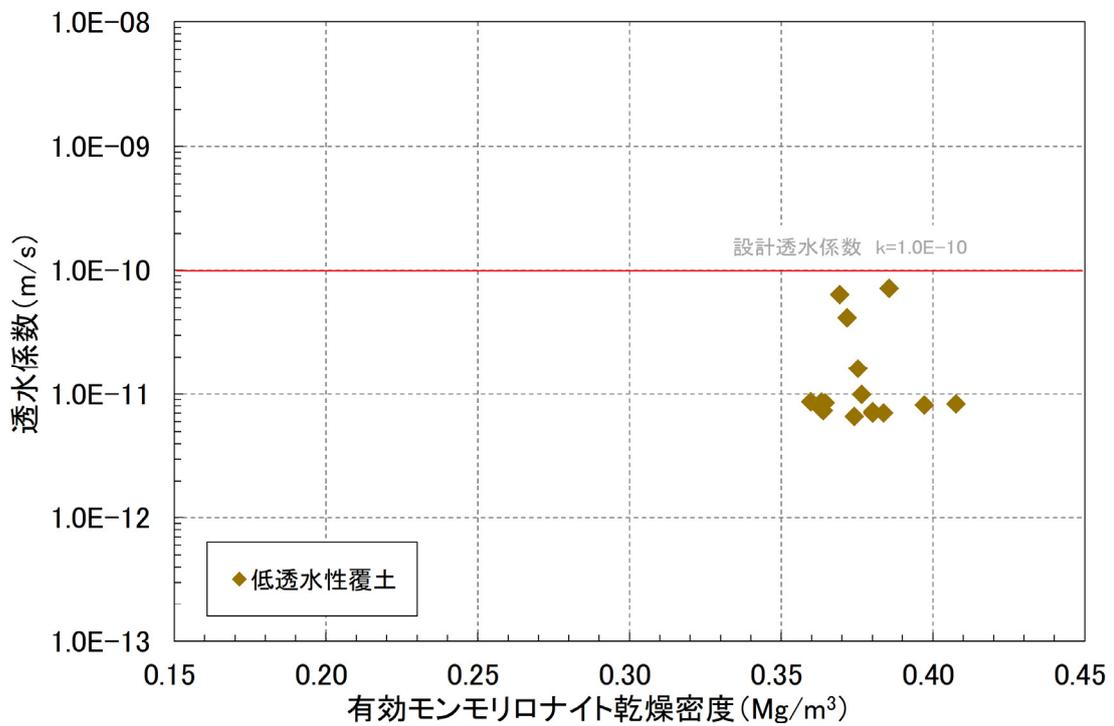
有効モンモリロナイト乾燥密度及び透水係数の関係（試験結果）を第8図に示す。透水係数は、施工時における目標である  $1.0 \times 10^{-11} \text{ m/s}$  程度をおおむね満足し、かつ、低透水性覆土の設計透水係数  $1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$  以下を確保している。

既往文献<sup>(3)</sup>に記載されている「透水係数と有効モンモリロナイト乾燥密度の関係」に施工試験の結果等を加筆したものを第9図に示す。施工試験で得られた結果は、既往の知見と同じような結果が得られていることが分かる。

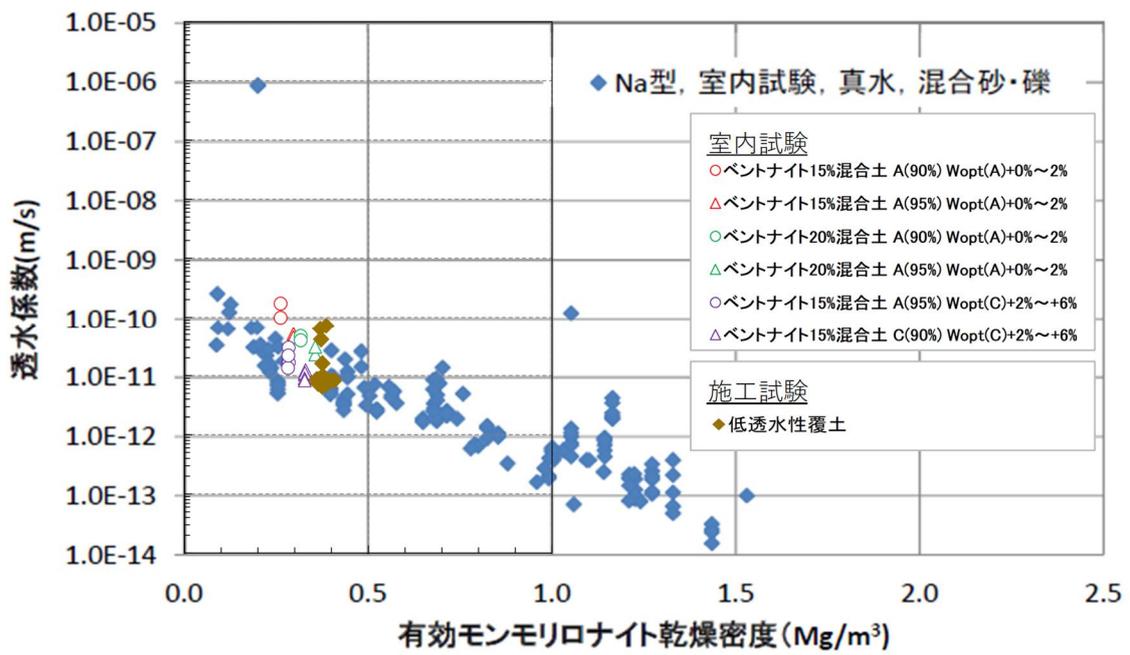
以上のことから、実施工においても「1.1 ベントナイト混合土製造時及び施工時の設計値」に示す設計値のと通りの覆土を施工でき、設計透水係数  $1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$  以下を達成できる見込みがあると考えられる。



第7図 乾燥密度の頻度分布 (全8層・80点)



第8図 有効モンモリロナイト乾燥密度と透水係数の関係



第9図 有効モンモリロナイト乾燥密度と透水係数の関係<sup>(3)</sup>※

※：施工試験のデータ等を加筆

## 1. 4 ベントナイト混合率等のばらつきが透水係数に与える影響

低透水性覆土の設計項目である透水係数は、透水試験により確認するには時間が数ヶ月必要となることから、透水係数を代替指標により確認する必要がある。

既往文献<sup>(3)</sup>に記載されている「透水係数と有効モンモリロナイト乾燥密度の関係」から、透水係数と有効モンモリロナイト乾燥密度には相関性があると考えられること、施工試験で用いた材料と同じものを使用した透水試験（地盤工学会基準 J G S 0312-2018 相当）の結果を有効モンモリロナイト乾燥密度と透水係数の関係を整理した結果（第 10 図参照）においても同様な傾向となっていることから、有効モンモリロナイト乾燥密度を透水係数の代替指標とすることで透水係数の品質管理を行うことができると考えている。

このことから、ベントナイト混合土製造時及び施工時の設計値を設定する設計項目（ベントナイト混合率、含水比及び乾燥密度）のばらつきが、有効モンモリロナイト乾燥密度に与える影響を確認することにより、透水係数に与える影響を確認する。

具体的には、ばらつきの範囲内で施工後の透水係数が大きくなる側に（保守側の評価になるように）ベントナイト混合率を変化させることにより、施工後の透水係数に与える影響を確認し、その影響が小さいことを確認する。

### (1) 有効モンモリロナイト乾燥密度の算定方法

有効モンモリロナイト乾燥密度は、下式で示される。なお、下式に示す項目のうち、骨材混合率 ( $R_s$ ) には、ベントナイト混合率が反映され、乾燥密度 ( $\rho_d$ ) は、ベントナイト混合率及び初期含水比により変化する。

$$\rho_{em} = \frac{C_m \cdot \rho_b}{100 - (100 - C_m) \frac{\rho_b}{\rho_{nm}}}$$

ここに,

$$\rho_b = \frac{\rho_d(100 - R_s)}{100 - \frac{R_s \cdot \rho_d}{\rho_s}}$$

$\rho_{em}$  : 有効モンモリロナイト乾燥密度 (Mg/m<sup>3</sup>)

$\rho_b$  : 有効粘土乾燥密度 (Mg/m<sup>3</sup>)

$C_m$  : モンモリロナイト含有率 (%)

$\rho_{nm}$  : 随伴鉱物の土粒子密度 (Mg/m<sup>3</sup>)

$\rho_d$  : 乾燥密度 (Mg/m<sup>3</sup>)

$\rho_s$  : 骨材の土粒子密度 (Mg/m<sup>3</sup>)

$R_s$  : 骨材混合率 (%)

## (2) ベントナイト混合率のばらつき

「1. 2 ベントナイト混合土の製造」に示すとおり, 今回行ったベントナイト混合土の製造では, ベントナイト混合率は 15%±1%以内で製造できていることから, ばらつきを保守的に±2%と仮定する。

ベントナイト混合土の透水係数がより大きくなる側の混合率を, 前述したばらつきの範囲内で考えると, 混合率は-2%とした 13%を想定し, その際の透水係数に与える影響を確認する。

## (3) 含水比及び密度のばらつき

「1. 2 ベントナイト混合土の製造」に示すとおり, 今回行ったベントナイト混合土の製造では, 含水比は 11%±2%程度 ( $W_{pt} + 2\% \pm 2\%$ 程度)で製造できていることから, ばらつきを±2%とする。

ベントナイト混合率 15%のベントナイト混合土を対象としたC法締固め試験の結果に, 「1. 3 (1) 施工試験の概要」にて示した施工試験に

において実施した密度試験の結果を併記したものを第 11 図に示す。また、施工試験において取得した乾燥密度、含水比及び締固め度のヒストグラムを第 12 図、第 13 図及び第 14 図に示す。

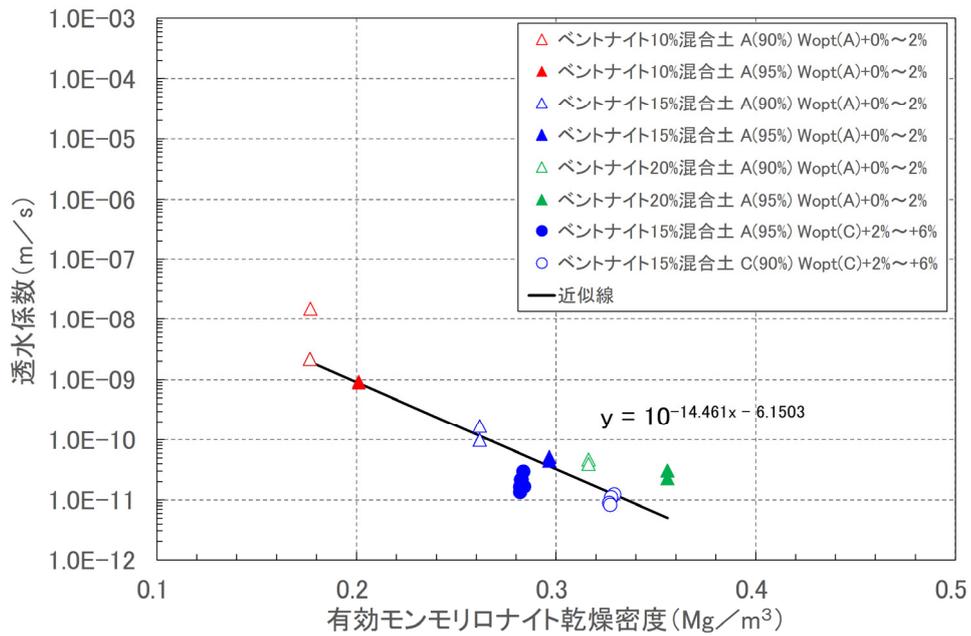
乾燥密度は、全 8 層・80 点において  $1.82\text{Mg}/\text{m}^3$  以上となっている。含水比については、「製造後～撒き出し～転圧」の過程において 1% 程度乾燥したものの最小でも 9.6% であり、ベントナイト混合土の製造時に  $11\% \pm 2\%$  以内で管理すれば、施工時の締固め性には問題ないと考えられる。

以上より、初期含水比が、 $11\% \pm 2\%$  ( $W_{opt} + 2\% \pm 2\%$ ) の範囲内ではばらつきが生じていても、ベントナイト混合土施工時の設計値である密度  $1.82\text{Mg}/\text{m}^3$  (C 法締固め試験の最大乾燥密度  $\rho_{dmax} \times 90\%$ ) を確保できると考えられる。

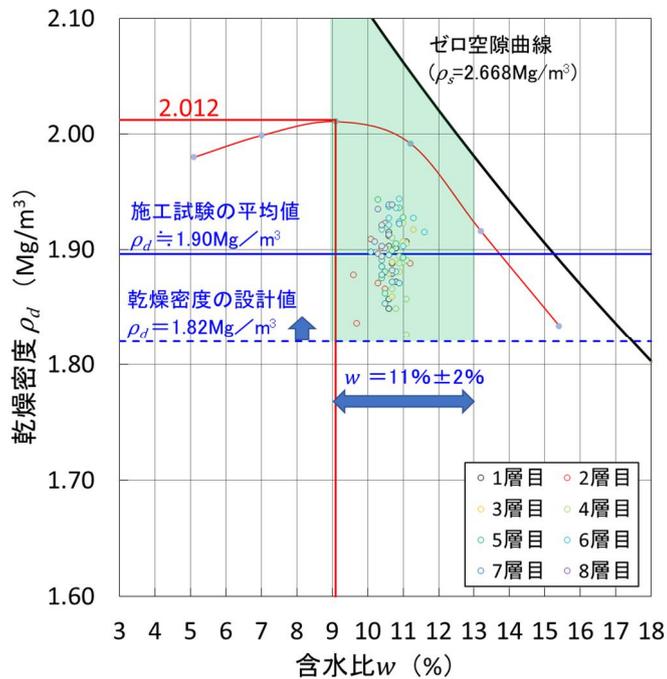
#### (4) ばらつきが透水係数に与える影響

(2)、(3) の結果を参照して、これらが透水係数に与える影響を確認した。具体的には、ベントナイト混合土の混合率 13% を想定した時に算定される有効モンモリロナイト乾燥密度と、施工試験で用いた材料と同じものを使用した透水試験 (地盤工学会基準 JGS 0312-2018 相当) の結果を有効モンモリロナイト乾燥密度と透水係数の関係を整理した結果から得られる近似式を用いて透水係数を推定した。

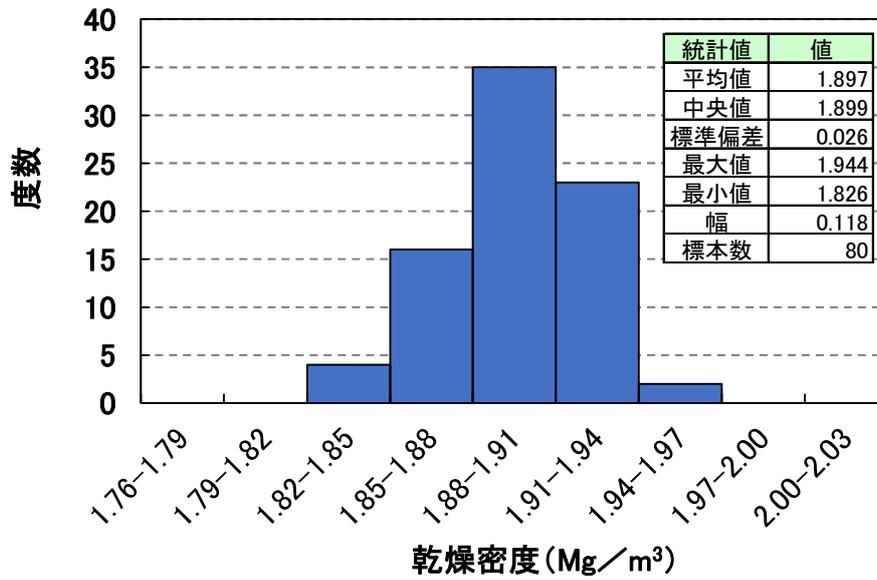
ばらつきを考慮した場合の透水係数の換算結果を第 7 表に、ばらつきを考慮した場合の透水係数の変化を第 15 図に示す。製造時のばらつき (ベントナイト混合土の混合率のばらつき) を考慮しても、透水係数に与える影響は半オーダー程度であり、低透水性覆土の設計透水係数  $1.0 \times 10^{-10}\text{m}/\text{s}$  以下を確保できる。



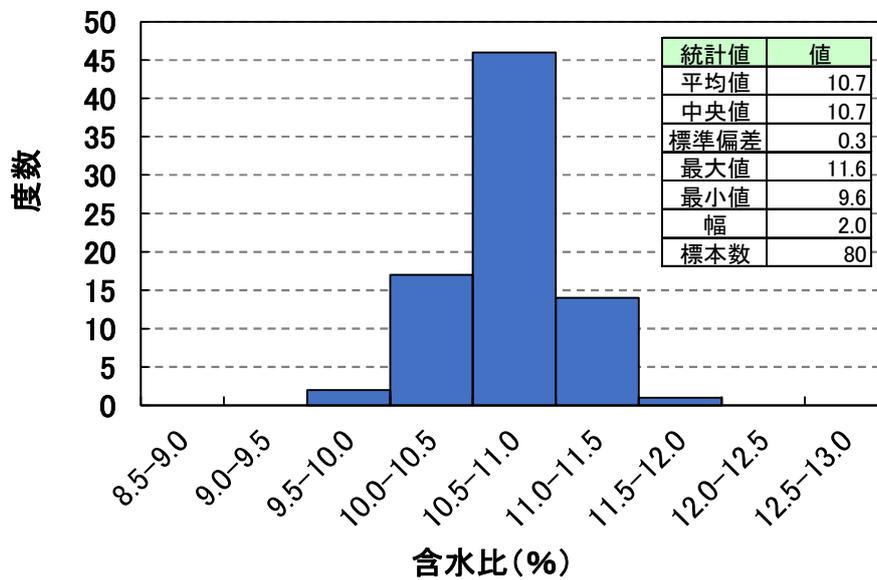
第 10 図 有効モンモリロナイト乾燥密度と透水係数の関係



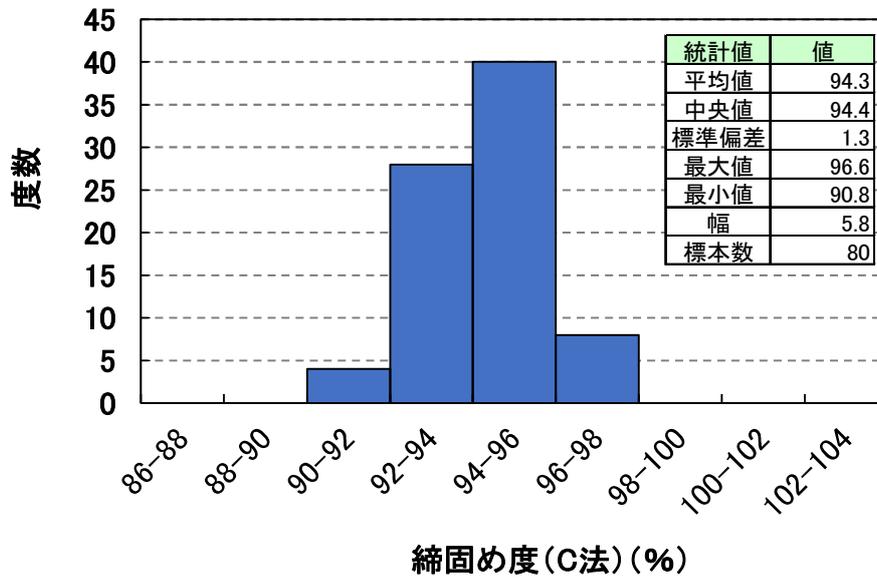
第 11 図 締固め試験結果と施工試験結果 (全 8 層・80 点)



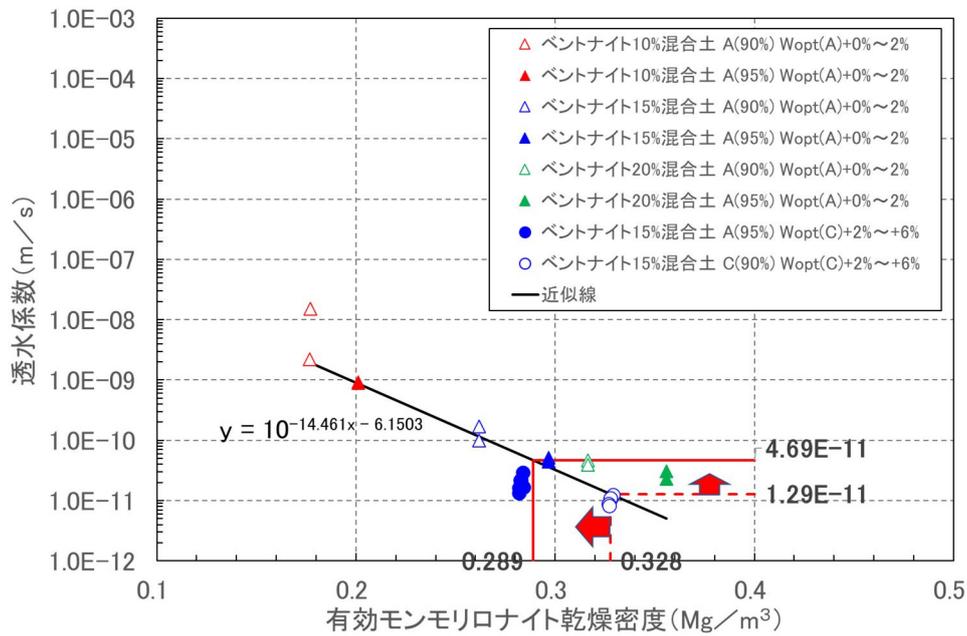
第 12 図 乾燥密度の頻度分布 (全 8 層・80 点) (再掲)



第 13 図 含水比の頻度分布 (全 8 層・80 点)



第 14 図 締固め度の頻度分布 (全 8 層・80 点)



第 15 図 ばらつきを考慮した場合の透水係数の変化

第7表 ばらつきを考慮した場合の透水係数の換算結果

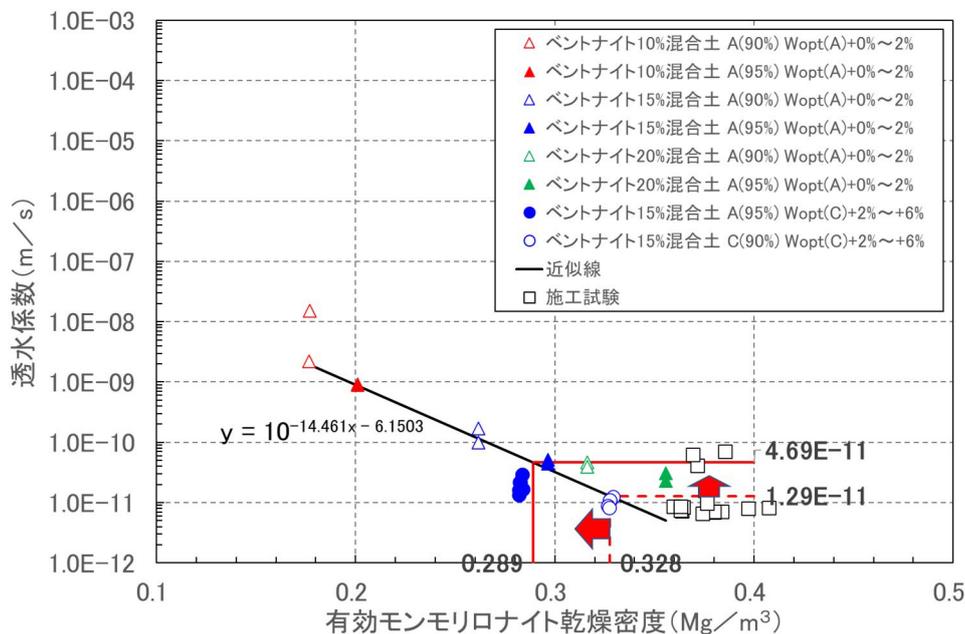
	設計値	ばらつきを考慮した値
混合率	15%	13%
初期含水比	11%	11%±2%
乾燥密度	1.82Mg/m <sup>3</sup>	1.82Mg/m <sup>3</sup>
有効モンモリロナイト 乾燥密度	0.328Mg/m <sup>3</sup>	0.289Mg/m <sup>3</sup>
透水係数	1.29×10 <sup>-11</sup> m/s	4.69×10 <sup>-11</sup> m/s

## 1. 5 代替指標による低透水性覆土の管理（品質管理）の適用性

ばらつきを考慮した場合の透水係数の変化を示す図（第 15 図参照）に、施工試験の結果を加筆したものを第 16 図に示す。

施工試験の有効モンモリロナイト乾燥密度は、全点で設計値から算定される値である  $0.328 \text{Mg}/\text{m}^3$  よりも大きくなった。透水係数は、16 点中 13 点で設計値より算定される透水係数  $1.29 \times 10^{-11} \text{ m}/\text{s}$  よりも低く、残り 3 点は、ばらつきを考慮した場合の透水係数付近に分布した。

施工試験の結果は、代替指標を用いてばらつきを想定した範囲に分布していることから、有効モンモリロナイト乾燥密度を透水係数の代替指標として用いて管理（品質管理）することにより、製造時や施工時のばらつきを包含した管理（品質管理）が可能であると考えられる。



第 16 図 ばらつきを考慮した場合の透水係数の変化と施工試験結果

## 2 覆土の施工時における品質管理（案）

第 8 表に低透水性覆土の品質管理項目（案）を示す。品質管理は、「材料納入」、「覆土材料製造」、「覆土施工」及び「完了確認」の各段階において、所定の管理項目を実施する。

なお、ここで示す品質管理（案）は現在の覆土仕様から想定しているものであり、設計透水係数及び設計厚さを確保するための詳細な品質管理方法（管理項目、管理基準、管理方法及び管理頻度）については、実際の施工時に行う施工試験結果を用いて、平均値及びばらつき（分散）を考慮して最終決定する。その際、本書で示す考え方を基本として品質管理方法を設定するものとする。

### 2. 1 完了時における品質管理項目

#### (1) 有効モンモリロナイト乾燥密度の確認

低透水性覆土の主要機能である透水係数は、透水試験により確認するには時間が数ヶ月必要となることから、ベントナイト混合率及び乾燥密度のばらつきを包含した形で評価可能な有効モンモリロナイト乾燥密度を確認することとする。

#### (2) 原位置サンプリング試料による透水係数の確認

原位置サンプリング試料を用いた透水試験結果より、平均透水係数として設計透水係数が確保されていることを確認する。

## 2. 2 材料納入時、覆土材料製造時及び覆土施工時の品質管理項目

完了確認時における品質管理項目である有効モンモリロナイト乾燥密度は、下式で示される。

$$\rho_{em} = \frac{C_m \cdot \rho_b}{100 - (100 - C_m) \frac{\rho_b}{\rho_{nm}}}$$

ここに、

$$\rho_b = \frac{\rho_d(100 - R_s)}{100 - \frac{R_s \cdot \rho_d}{\rho_s}}$$

$\rho_{em}$  : 有効モンモリロナイト乾燥密度 (Mg/m<sup>3</sup>)

$\rho_b$  : 有効粘土乾燥密度 (Mg/m<sup>3</sup>)

$C_m$  : モンモリロナイト含有率 (%)

$\rho_{nm}$  : 随伴鉱物の土粒子密度 (Mg/m<sup>3</sup>)

$\rho_d$  : 乾燥密度 (Mg/m<sup>3</sup>)

$\rho_s$  : 骨材の土粒子密度 (Mg/m<sup>3</sup>)

$R_s$  : 骨材混合率 (%)

これにより有効モンモリロナイト乾燥密度を定義するための管理項目として、「モンモリロナイト含有率（ベントナイト混合率，メチレンブルー吸着量）」、「乾燥密度（現場密度）」及び「土粒子密度」があげられる。

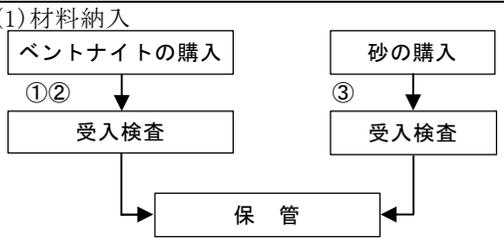
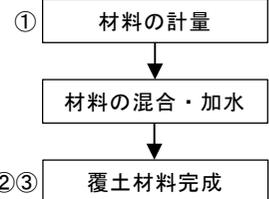
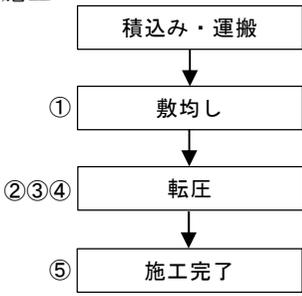
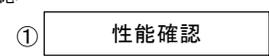
よって、その他の品質管理では、覆土完了時に所定の品質を確保できるように「材料納入」、「覆土材料製造」、「覆土施工」及び「完了確認」の各段階において、第8表に示す所定の管理を実施することにより、有効モンモリロナイト乾燥密度の確認を間接的に行う。

この管理基準は、覆土完了時の覆土全体の平均透水係数が所定の値

( $1 \times 10^{-10}$  m/s) 以下となるような設計値として設定する。透水係数と各種代替指標との関係性は、実際の覆土施工時に行う施工試験で確認を行う。

また、第 1 図、第 2 図及び第 3 図に示す混合土の製造確認結果より混合土は均質に製造できていることから、第 8 表における覆土施工時のばらつきを確認することで、覆土内に連続的な弱部がないことを確認する。

第8表 低透水性覆土の品質管理項目（案）

施工フロー	対象	管理項目	管理基準	管理方法	
(1)材料納入 	ベントナイト	(1)-① 基本物理特性 (粒度分布等)	製品における各種品質基準	ミルシート確認	—
		(1)-② モンモリロナイト含有量	所定のメチレンブルー吸着量以上	メチレンブルー収着試験	J I S Z 2451:2019
	購入砂	(1)-③ 基本物理特性 (粒度分布等)	所定の粒度分布等であること	粒度試験	J I S A 1204:2020 J G S 0051-2020
(2)覆土材料製造 	混合土	(2)-① 材料構成比	所定の構成比	混合前の計量	—
		(2)-② 含水比	所定の構成比	含水比試験	J I S A 1203:1999
		(2)-③ ベントナイト混合率 ※サンプリング試料において一定のベントナイト混合率であることを確認	所定のベントナイト混合率	細粒分含有試験	J I S A 1223:2009
(3)覆土施工 	混合土	(3)-① 1層当たり撤出し厚	所定の厚さ かさ密度測定	測量 密度, 含水比測定	レーザ測量等
		(3)-② 1層当たり仕上がり厚	所定の厚さ	測量	レーザ測量等
		(3)-③ 締固め回数	基準密度を満たす回数	目視	記録管理
		(3)-④ 施工範囲	所定の範囲・位置に施工されていること	測量	レーザ測量等
		(3)-⑤ 現場密度	所定の現場密度	砂置換法 RI 測定	J I S A 1214:2013 J G S 1614-2012
(4)完了確認 	混合土	(4)-① 透水係数	所定の透水係数	一軸透水試験	J G S 0312-2018
			所定のモンモリロナイト乾燥密度	有効モンモリロナイト乾燥密度を算定	—

### 3 参考文献

(1) 日本道路協会 (2010) : 道路土工—盛土工指針

(2) 国土技術研究センター (2009) : 河川土工マニュアル

(3) 地盤工学会 (2016) : 低透水性土質系材料の活用と性能評価技術に関する  
研究委員会 研究報告書

## 4 諸外国との比較

### 4. 1 諸外国の極低レベル放射性廃棄物処分施設との比較

本施設では、廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減するため、覆土により、廃棄物埋設地への雨水等及び地下水の浸入を十分に抑制している。

このことから、本施設の覆土が、合理的かつ利用可能な最善の技術（BAT:Best Available Technique）を使用したものであることを確認するため、諸外国の極低レベル放射性廃棄物の処分施設を調査した。

比較対象として、極低レベル放射性廃棄物を処分する施設で総放射エネルギーが同等な4ヶ国を選定し、第9表に示す。

選定した各国の処分施設の構造（覆土の構造を含む）等を第10表及び第11表に示す。

構造に関しては、各国の極低レベル放射性廃棄物処分場では、覆土及び底部には遮水層（粘土層やHDPE層など）を設けた施設があるのに対し、本施設では、遮水層に相当するものは無く、雨水等による浸透水を低減することを目的として、埋設トレンチの上部及び側部に低透水性覆土（最終覆土のうち低透水性土層及び側部低透水性覆土）を設置する設計としている。

これは、本施設では、金属及びコンクリートのみを取り扱う（埋設する）のに対して、諸外国の極低レベル放射性廃棄物処分場では、日本と異なり金属及びコンクリート廃棄物以外に、可燃物、有害物質やウラン廃棄物等も取り扱うことを考慮して、覆土や底部に遮水層（粘土層やHDPE層など）を設ける設計としていると考えられる例や、規制要求などがされていることによる違いである。

覆土に関して、材料については、各国では粘土材料及び土砂を用いており、加えてHDPE（高密度ポリエチレン）も用いている処分場があるのに対し、本施設では土質材料を用いている。低透水性が必要な土層の厚さについては、

各国においては0.4 m～0.6 m程度であるのに対し、本施設では1 mである。透水係数については、本施設の低透水性覆土の値は、各国のうちベントナイトを混合した材料を採用している処分場と同じ $1.0 \times 10^{-10}$  m/sである。

これらについては、本施設では、金属及びコンクリートのみを取り扱う（埋設する）こと、透水特性及び機能維持特性を考慮した結果であり、諸外国と同等以上のものである。

以上のことから、本施設の覆土による「廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減」に関しては、各国に対して遜色のない技術が用いられているといえる。

第9表 本施設（廃棄物埋設地）及び諸外国の処分施設の調査結果の整理一覧

	スペイン	フランス	スウェーデン	アメリカ	本施設
	エルカプリル	モルヴィリエ	フォルスマルク	クライブ	
概要	原子力発電所，原子燃料施設，CIEMAT（エネルギー・環境技術研究センター），研究機関，医療機関等から発生する極低レベル放射性廃棄物が処分されている。	主に原子力施設の解体，低レベルの放射性物質を扱う非原子力産業サイト，放射性物質によって汚染されたサイトの除染から発生した極低レベル放射性物質が処分されている。	放射線管理区域で使用される作業着，手袋，紙類の他，煙感知器などのプラスチック，金属端材などの極低レベル放射性廃棄物を発電所敷地内において地表埋立てによって処分されている。	Class A の低レベル放射性廃棄物，ウラン鉱さい，化学毒性を持った放射性廃棄物である混合廃棄物が処分されている。	日本原子力発電株式会社東海発電所から発生する固体状の放射性廃棄物であって，中性子線の作用により放射化された金属及びコンクリート又は原子炉冷却材等で汚染された金属及びコンクリートであり，これらの放射性廃棄物は容器等に収納又はこん包されたものである。
操業開始	2008年	2003年	1989年	1998年	—
処分場の型式	掘下げ+盛土	掘下げ+盛土	盛土	掘下げ+盛土	トレンチ
受入廃棄物	金属，がれき等	金属，がれき，土壌，プラスチック等	金属，樹脂，可燃物，プラスチック等	金属，がれき，土壌，有害物質，可燃物，ウラン等	金属，コンクリート
荷姿	ドラム缶，コンテナ，フレコン	ドラム缶，コンテナ，フレコン，大型機器一体	ドラム缶，コンテナ，コンクリート容器，フィルムこん包	容器なし，コンクリート容器，大型機器一体	鉄箱，プラスチックこん包

第10表 本施設（廃棄物埋設地）及び諸外国の処分施設の構造の整理一覧

	スペイン	フランス	スウェーデン	アメリカ	本施設
	エルカブリル	モルヴィリエ	フォルスマルク	クライブ	
処分施設の構造	<p>スペインのエルカブリル処分場は、フランスのモルヴィリエ処分場を基に設計されたもので、放射能レベルと関連付けたリスクに調和した非放射性の有害廃棄物の処分場を規制している規則に基づいて設計されており、放射性廃棄物と有害廃棄物の両方を埋設することを可能としている。このため、埋設施設の覆土は、粘土層及び高密度ポリエチレンによる不透水層（HDPE層）で構成され、浸透水の浸入を防いでいる。モルヴィリエ処分場の場合、粘土層及びHDPE層で構成された閉じ込め機能を、風化（霜、風）、動物及び侵食から保護するために、粘土層及びHDPE層の上部に厚さ約1 m～5 mの粘土層で覆う設計としている。最上部は、厚さ約30 cmの植生された表面土壌層で覆う。また、底部については、廃棄物からの発生水及び万が一浸入した場合の浸透水を、粘土層、HDPE層及び排水管で構成した排水層により、施設の下層への浸透を防ぐ設計としている。</p>	<p>他国のような掘削型のトレンチではなく、地表面直下に排水層を設置し、その上に廃棄物を定置し盛土を施す盛土型の処分施設である。施設の覆土に対する法令要求は<math>10^{-10}</math> m/s以下とされているため、遮水層としてベントナイトテキスタイル及びベントナイトとストーンパウダーの混合層の2種類を組み合わせる設計としている。物理的な影響による損傷を防ぎ、木の根の侵入から遮水層を保護するために、最上部には砂質モーレン層を設ける。また、底部については、廃棄物からの発生水及び万が一浸入した場合の浸透水を、ベントナイトとストーンパウダーで構成された遮水層及び碎石で構成された排水層により、施設の下層への浸透を防ぐ設計としている。</p>	<p>ウラン及びトリウム鉱さい、ウラン廃棄物を取扱っていることもあり、覆土の最下層に厚さ約0.6 mの低密度粘土層であるラドンバリア層を設けている。これは、Environmental Protection Agency（米国環境保護庁）のラドンの放出基準（<math>0.74 \text{ Bq/m}^2/\text{s}</math>を超えないこと）に従うために設置されたものであり、最終覆土の上面には、覆土の侵食を防止するために直径3.2 cm以上の小石を1.5フィート（約46 cm）設置している。底部にはボトムライナーとして2フィート（約0.6 m）の厚さの低密度粘土層（透水係数：<math>1.0 \times 10^{-6} \text{ cm/s}</math>）が設置されている。</p>	<p>埋設トレンチの上部に設置する最終覆土のうち低透水性土層及び側部に設置する側部低透水性覆土により、埋設トレンチへの雨水等の侵入を防止する設計としている。なお、最終覆土は、保護土層、掘削抵抗性層、低透水性土層及び基礎層により構成している。</p>	

第 11 表 本施設（廃棄物埋設地）及び諸外国の処分施設の覆土仕様の整理一覧

	スペイン エルカブルル	フランス モルヴィリエ	スウェーデン フォルスマルク	アメリカ クライブ	本施設
覆土	<p>[材料]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>HDPE, 砕石, 現地土壌</li> </ul> <p>[厚さ]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>不明</li> </ul> <p>[透水係数]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>不明</li> </ul>	<p>[材料]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>HDPE, 粘土質の被覆, 粘土埋戻材, 表層土</li> </ul> <p>[厚さ]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>不明 (HDPE: 2 mm)</li> </ul> <p>[透水係数]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>HDPE: 不明, 粘土埋戻材: <math>10^{-9}</math> m/s 以下</li> </ul>	<p>[材料]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>現地土 (モーレン層), 砕石, ストーンパウダー, ベントナイトとストーンパウダーの混合, 砕石とストーンパウダーの混合</li> </ul> <p>[厚さ]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>3 m (ベントナイトとストーンパウダーの混合層: 0.4 m)</li> </ul> <p>[透水係数]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>10^{-10}</math> m/s 以下 (覆土の透水係数)</li> </ul>	<p>[材料]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>砂+砂利, 土壌, 低密度粘土</li> </ul> <p>[厚さ]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>不明 (覆土の最下層 (低密度粘土層): 約 0.6 m)</li> </ul> <p>[透水係数]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>低密度粘土層: <math>5.0 \times 10^{-8}</math> cm/s 及び <math>1.0 \times 10^{-6}</math> cm/s</li> </ul>	<p>[材料]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>砂又は砂質土, 砕石又は石, ベントナイト混合土</li> </ul> <p>[厚さ]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>最終覆土 2.5 m 以上 (低透水性土層: 1 m 以上, 側部低透水性覆土: 0.6 m 以上)</li> </ul> <p>[透水係数]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>低透水性土層及び側部低透水性覆土: <math>1.0 \times 10^{-10}</math> m/s</li> </ul>
底部	<p>[材料]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>砕石, 粘土, ナトリウムベントナイト, ポリエチレン製ジオメンブレン, HDPE</li> </ul> <p>[厚さ]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>不明 (粘土: 1 m, ナトリウムベントナイト: 3 cm, HDPE: 4 mm)</li> </ul> <p>[透水係数]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>不明</li> </ul>	<p>[材料]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>HDPE</li> </ul> <p>[厚さ]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2 mm</li> </ul> <p>[透水係数]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>不明</li> </ul>	<p>[材料]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>礫 (砕石) とストーンパウダーの混合, 礫 (砕石), ベントナイトとストーンパウダーの混合, 現地土 (モーレン層)</li> </ul> <p>[厚さ]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2.85 m (ベントナイトとストーンパウダーの混合層: 0.4 m)</li> </ul> <p>[透水係数]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ベントナイトとストーンパウダーの混合層: 不明</li> </ul>	<p>[材料]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>現地の粘土又は砂, 低密度粘土</li> </ul> <p>[厚さ]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>不明 (ボトムライナー (低密度粘土層): 約 0.6 m)</li> </ul> <p>[透水係数]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>低密度粘土層: <math>1.0 \times 10^{-6}</math> cm/s</li> </ul>	<p>— (なし)</p>

添 3-32

以上

# 透水試験について

## 目 次

1	はじめに.....	1
2	試験方法.....	1
3	試験装置.....	4
4	供試体情報.....	5
5	透水係数の算出.....	6
6	試験結果.....	7

## 1 はじめに

本資料は、添付資料 3「1. 3 (2) 施工試験の結果」に示す、施工試験において施工された低透水性覆土（ベントナイト混合土）を対象に行った、透水試験（地盤工学会基準 J G S 0312-2018 相当）の内容等について説明するためのものである。

## 2 試験方法

一定の断面及び長さをもつ供試体の中を、ある水位差を初期状態として浸透するときの水位差の変化量、及びその経過時間を測定することにより透水係数を求めるものである。

試験条件を以下に示す。

### 【供試体作製，飽和方法】

- ・現場でサンプリングした試料をトリミングして供試体とした。なお、透水円筒と供試体との隙間はエポキシレジンを充填した。
- ・水浸脱気法により供試体並びに透水セル内を飽和させた。

### 【試験水】

- ・脱気イオン交換水（脱気水：純水）

### 【ビュレット】

- ・断面積：31.2 mm<sup>2</sup>～34.6 mm<sup>2</sup>※1

※1：ビュレットの製品誤差で断面積が異なる。

試験手順の概要を以下に示す。

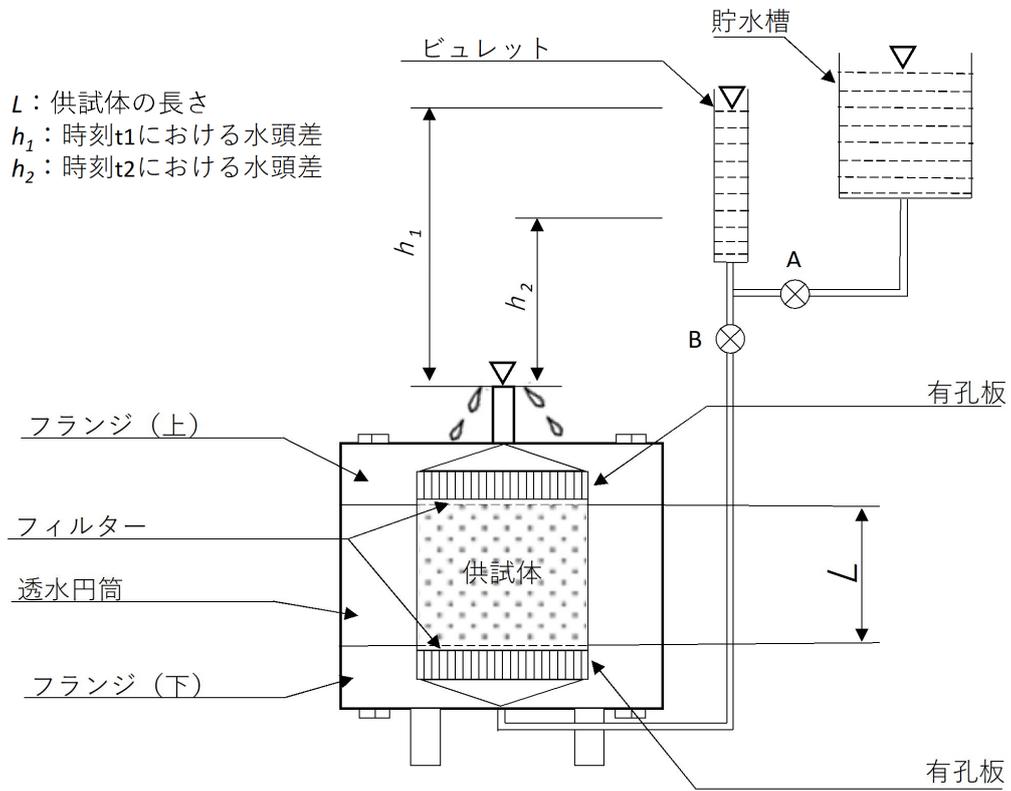
- ①脱気水槽（貯水槽）に純水を入れ，真空ポンプを用いて $-0.095$  MPa 未満まで減圧し，脱気水を作製する。（24 時間以上脱気する。）
- ②フランジ（下）に有孔板及びフィルターをセットし，その上に透水円筒（供試体セット・水浸脱気済み）をセットする。さらにその上にフィルターをセットし，有孔板と組み合わせたフランジ（上）を被せ，ボルト・ナットでこれらを緊結する。
- ③二重管ビュレット（以下「ビュレット」という。）からフランジ（下）までの通水経路となるチューブに脱気水を満たし，チューブとフランジ（下）を接続する。ビュレットの原点と，供試体上面（下流側）もしくは排水口との高さの差を測定する。なお，給水側についてはビュレットを用いること，排水側については，排水口に小さな穴を開けた養生テープを貼り付けることにより，蒸発による測定値への影響を低減する措置を講ずる。なお，給水側は，ビュレットを用いて過去に数か月間放置しての影響確認を行った結果から，影響は少ないことを事前に確認している。
- ④適切な動水勾配を得られるようなビュレットの水位を設定し，容器下部給水ラインのコックを開き，ビュレットより供試体下部への試験水を供給する。ここで，動水勾配は供試体の乱れ（粒子移動等）が結果の利用に影響しないようにするため，ASTM（American Society for Testing and Materials）等で推奨される動水勾配を参考に試験を実施している。具体的には，ASTMの D5084「Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter」には透水係数  $10^{-9}$  m/s 未満の場合においては，動水勾配を最大 30

までと推奨していること、地盤工学会基準 J G S 0312-2018 では、一度の測定時間は、想定される透水係数、動水勾配、ビュレットの容量を勘案し、3 日以内となることが望ましいとされていることから、低い動水勾配で試験水の供給を開始し、ビュレットで有意な変化が読み取れない場合には、動水勾配を上昇させて試験水を供給している。

- ⑤時刻  $t_1$  のビュレットの読み値、水温及び圧力を記録する。十分な時間の後に、時間  $t_2$  のビュレットの読み値、水温及び圧力を記録する。
- ⑥⑤で得られた結果から、透水係数を算出する。安定した値が 4 点以上とれるまで、⑤を繰り返す。ベントナイト混合土のような膨潤性の土は、不飽和の状態の方が透水性は見かけ上は高くなることがあるため、透水係数は収束した部分の測定値を採用し、安定した透水係数 4 ～5 点の平均をもって、その供試体の代表値とする。
- ⑦測定値の平均値から変動が  $\pm 50\%$  におさまることではほぼ一定とみなす。

### 3 試験装置

透水試験装置の概念図を第1図に示す。



第1図 透水試験装置の概念図

#### 4 供試体情報

供試体情報を第 1 表に示す。

第 1 表 供試体の情報

試料番号 (層-座標)	含水比※ (%)	乾燥密度 (Mg/m <sup>3</sup> )	供試体寸法 (mm)
1-e2	11.0	1.945	直径 : 73.8, 高さ : 69.1
1-b6	11.0	1.917	直径 : 73.9, 高さ : 69.6
2-e6	11.0	1.961	直径 : 73.7, 高さ : 69.6
2-b2	11.0	1.889	直径 : 74.2, 高さ : 69.6
3-e2	11.0	1.890	直径 : 74.4, 高さ : 69.8
3-b6	11.0	1.909	直径 : 74.2, 高さ : 69.0
4-e6	10.9	1.923	直径 : 74.2, 高さ : 69.9
4-b2	10.9	1.881	直径 : 73.8, 高さ : 69.8
5-e2	10.7	1.888	直径 : 74.2, 高さ : 70.1
5-b6	10.7	1.888	直径 : 74.0, 高さ : 69.6
6-e6	10.9	1.903	直径 : 74.1, 高さ : 70.1
6-b2	10.9	1.926	直径 : 74.0, 高さ : 69.2
7-e2	10.6	1.917	直径 : 74.1, 高さ : 69.8
7-b6	10.6	1.898	直径 : 73.8, 高さ : 69.8
8-e6	10.5	1.907	直径 : 74.1, 高さ : 69.7
8-b2	10.5	1.911	直径 : 74.1, 高さ : 69.8

※試験前の平均値

## 5 透水係数の算出

以下の式により透水係数を求める。

$$k_{15} = k_T \times \frac{\eta_T}{\eta_{15}} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$

ここに,

$$k_T = 2.303 \frac{aL}{A \times (t_2 - t_1)} \log_{10} \frac{h_1}{h_2} \times \frac{1}{1000} \cdot \cdot \cdot (2)$$

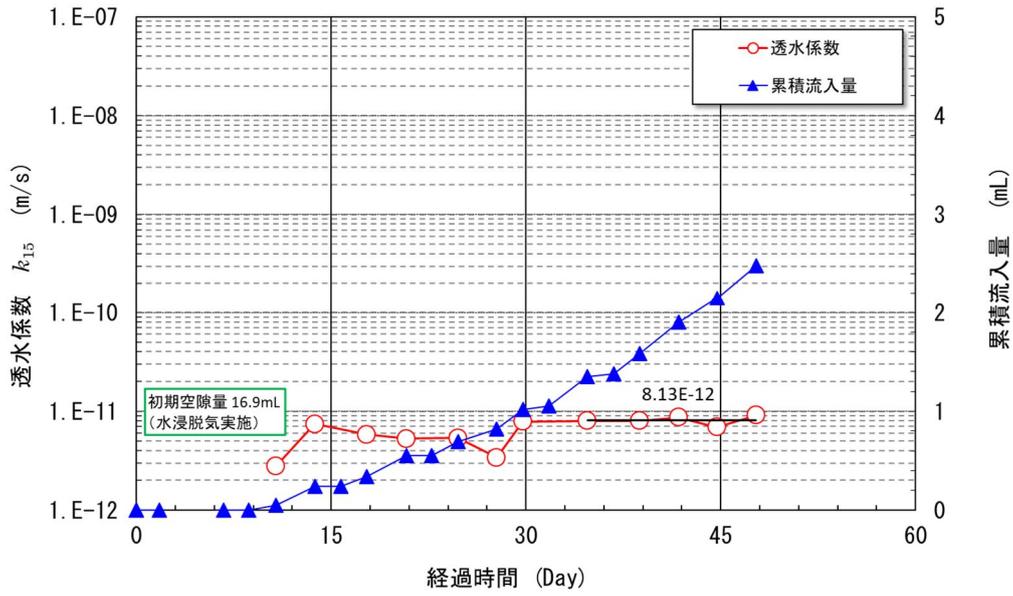
- $k_{15}$  : 温度 15°C における透水係数 (m/s)
- $\eta_T/\eta_{15}$  : 温度 15°C における透水係数を求めるための補正係数
- $k_T$  :  $T$  (°C) における透水係数 (m/s)
- $a$  : ビュレットの断面積 ( $\text{mm}^2$ )
- $L$  : 供試体の長さ (mm)
- $A$  : 供試体の断面積 ( $\text{mm}^2$ )
- $t_2 - t_1$  : 測定時間 (s)
- $h_1$  : 時刻  $t_1$  における水頭差 (mm)
- $h_2$  : 時刻  $t_2$  における水頭差 (mm)
- 2.303 : 対数の底の変換による係数
- 1/1000 : 単位を換算するための係数

## 6 試験結果

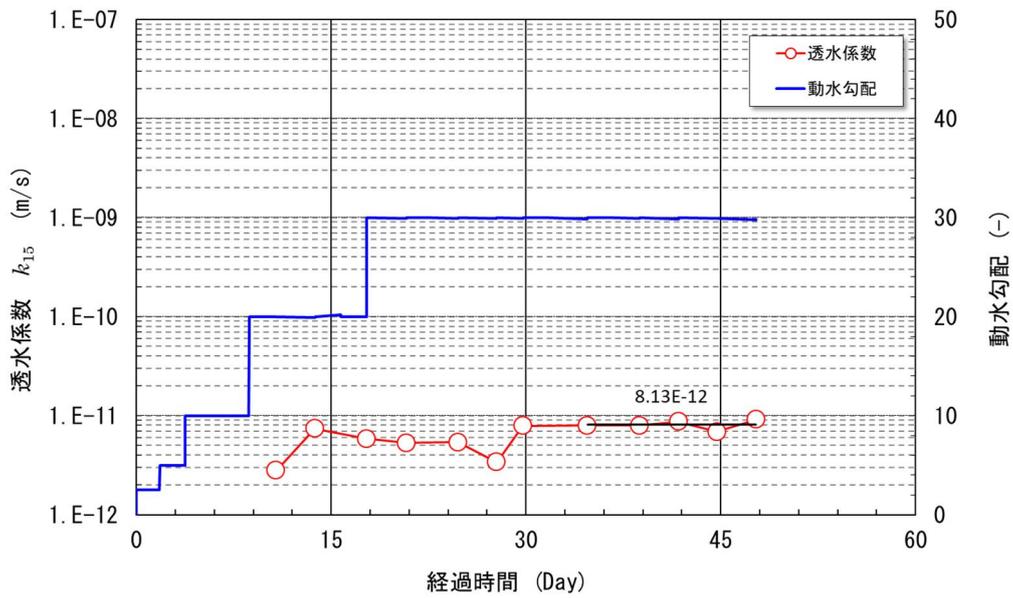
透水試験の結果を第 2 表及び第 2 図から第 33 図に示す。

第 2 表 透水試験の結果

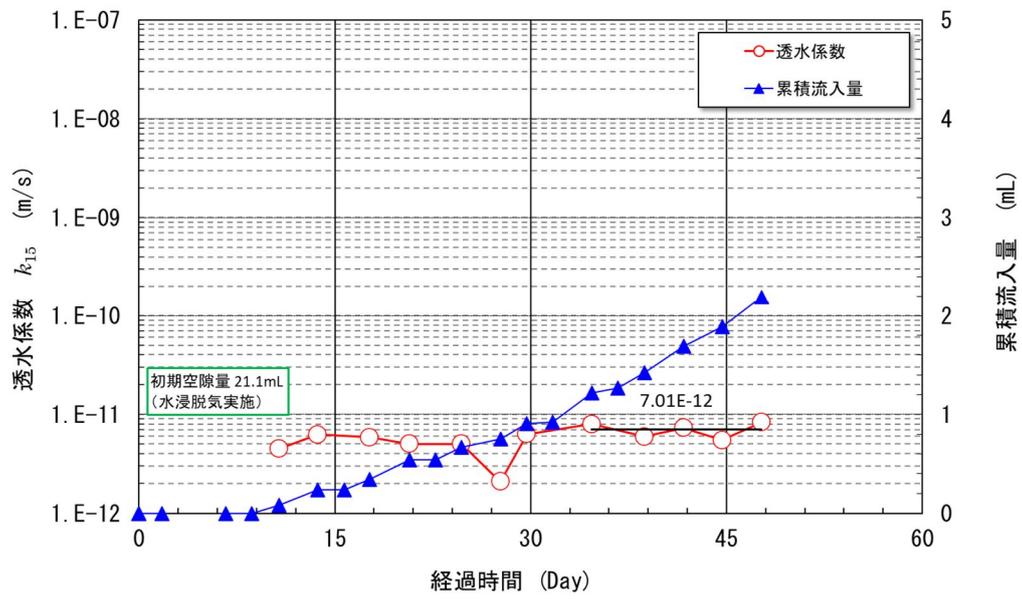
試料番号 (層-座標)	透水係数 (m/s)
1-e2	$8.13 \times 10^{-12}$
1-b6	$7.01 \times 10^{-12}$
2-e6	$8.31 \times 10^{-12}$
2-b2	$7.33 \times 10^{-12}$
3-e2	$8.49 \times 10^{-12}$
3-b6	$1.61 \times 10^{-11}$
4-e6	$7.03 \times 10^{-12}$
4-b2	$8.62 \times 10^{-12}$
5-e2	$7.45 \times 10^{-12}$
5-b6	$8.59 \times 10^{-12}$
6-e6	$4.13 \times 10^{-11}$
6-b2	$7.11 \times 10^{-11}$
7-e2	$7.19 \times 10^{-12}$
7-b6	$6.33 \times 10^{-11}$
8-e6	$6.58 \times 10^{-12}$
8-b2	$9.89 \times 10^{-12}$



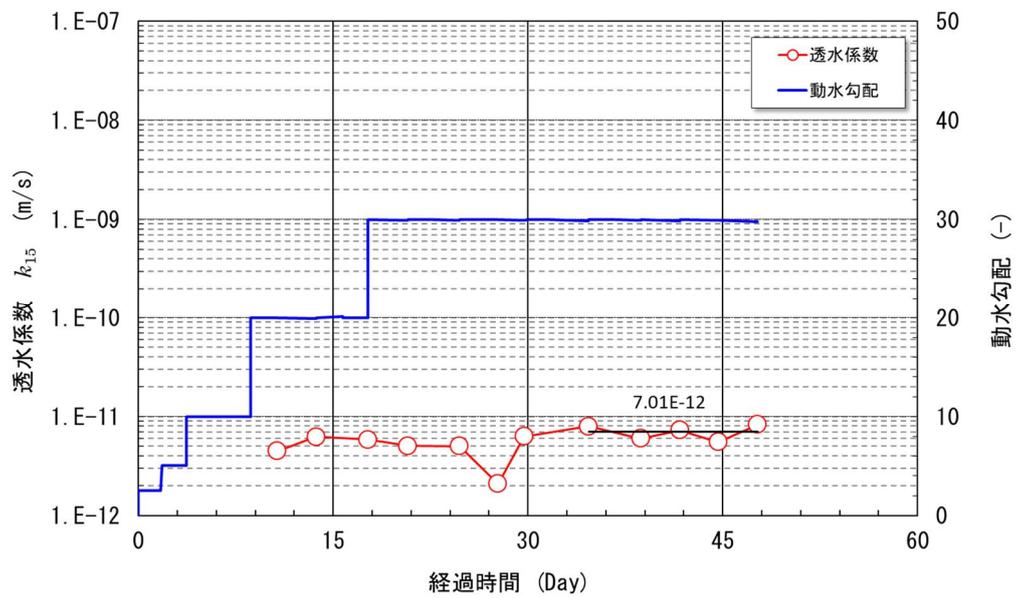
第 2 図 透水係数及び累積流入量の経時変化 (1-e2)



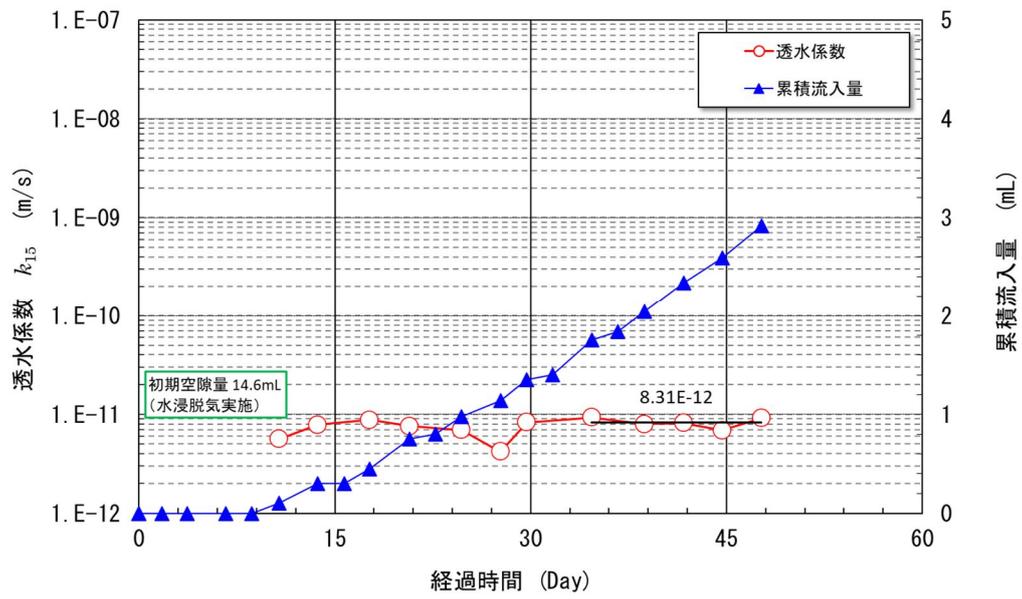
第 3 図 透水係数及び動水勾配の経時変化 (1-e2)



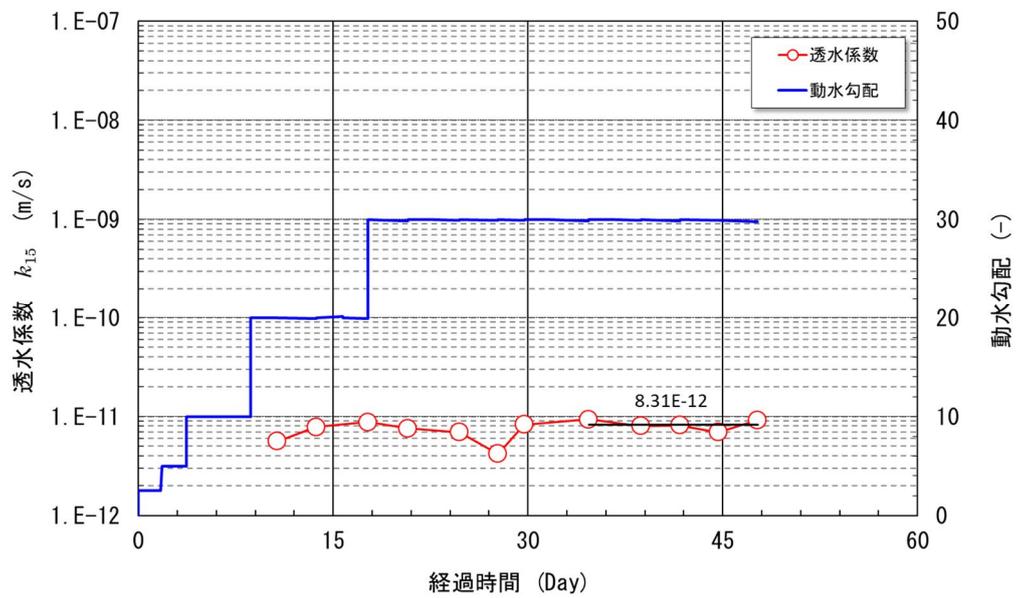
第 4 図 透水係数及び累積流入量の経時変化 (1-b6)



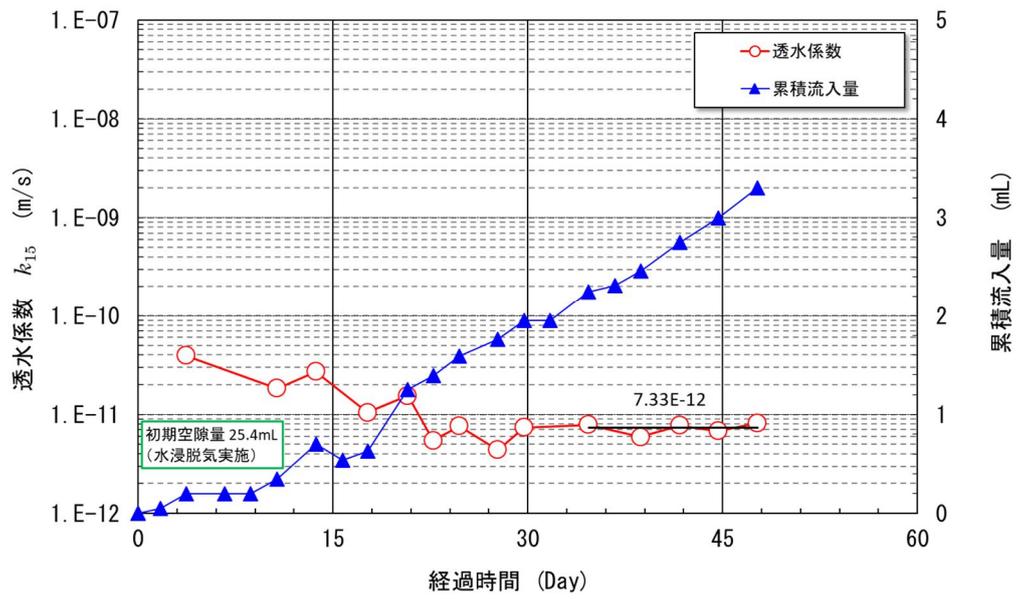
第 5 図 透水係数及び動水勾配の経時変化 (1-b6)



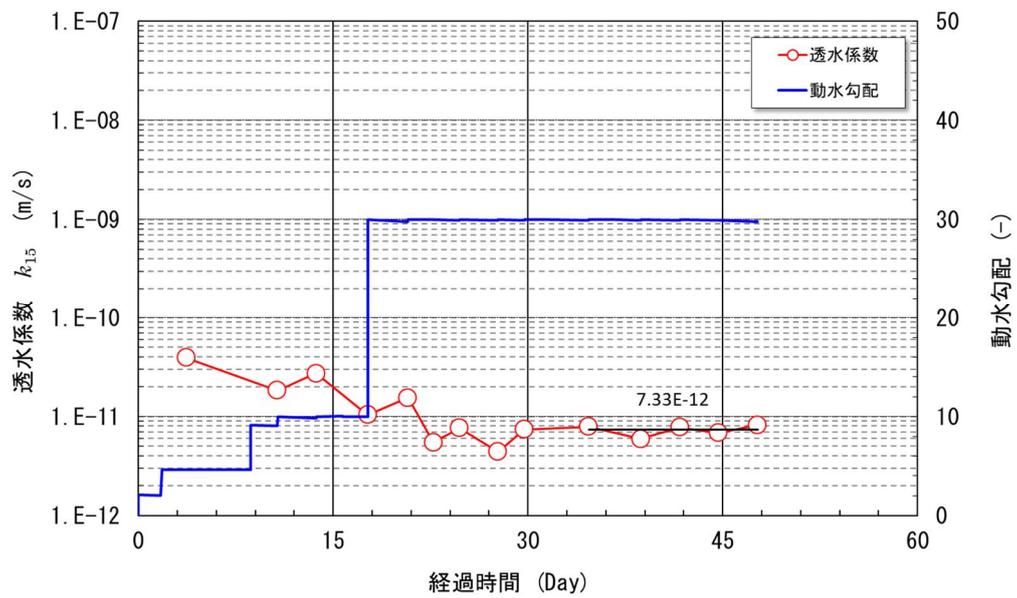
第 6 図 透水係数及び累積流入量の経時変化 (2-e6)



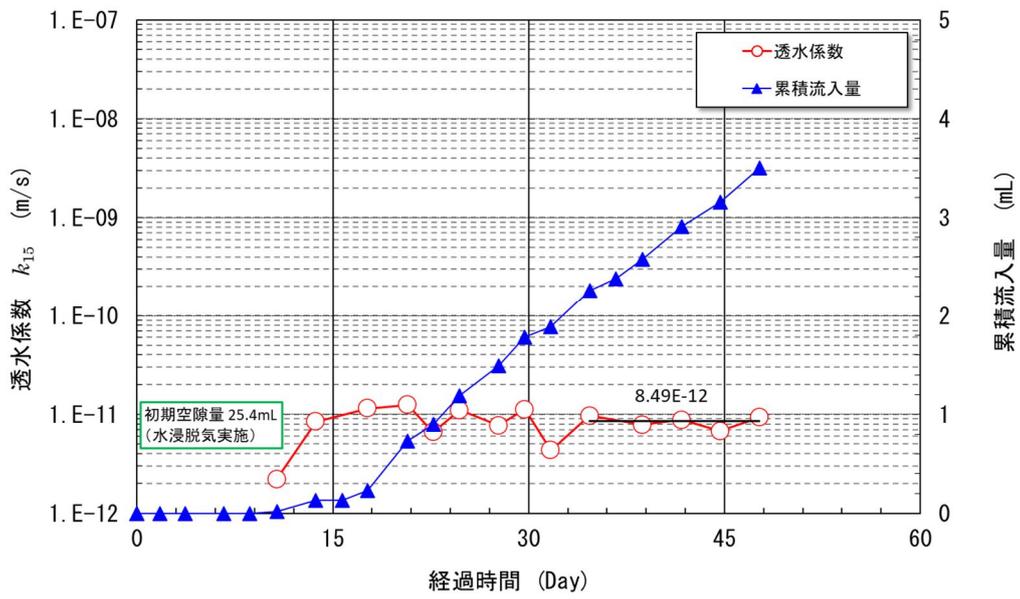
第 7 図 透水係数及び動水勾配の経時変化 (2-e6)



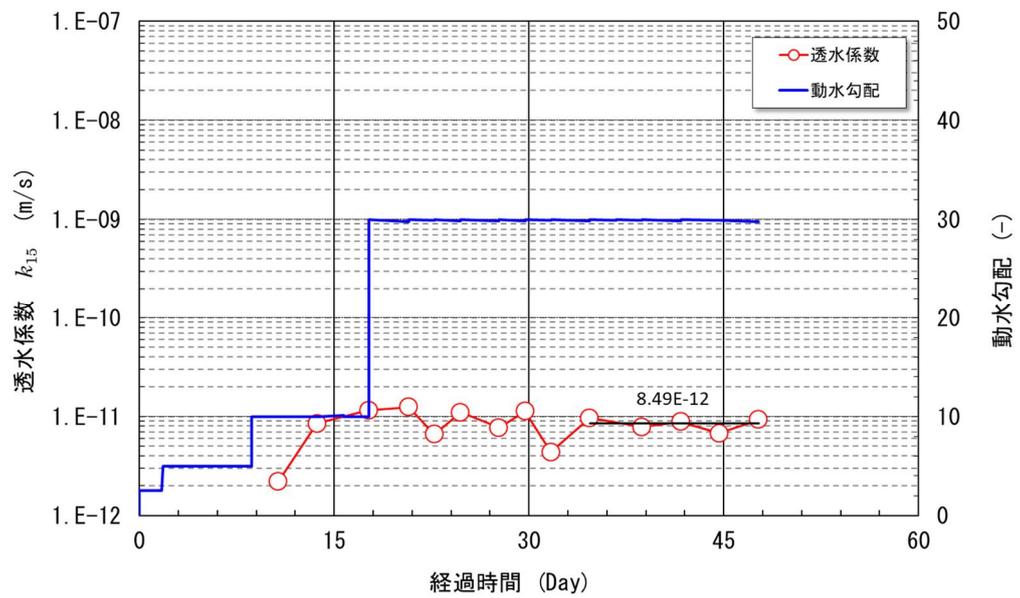
第 8 図 透水係数及び累積流入量の経時変化 (2-b2)



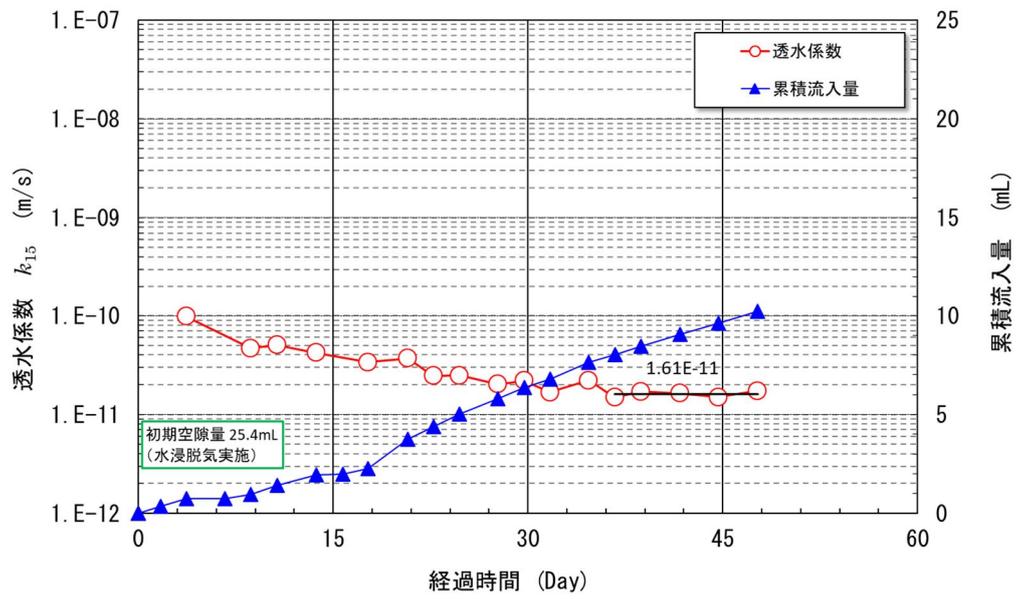
第 9 図 透水係数及び動水勾配の経時変化 (2-b2)



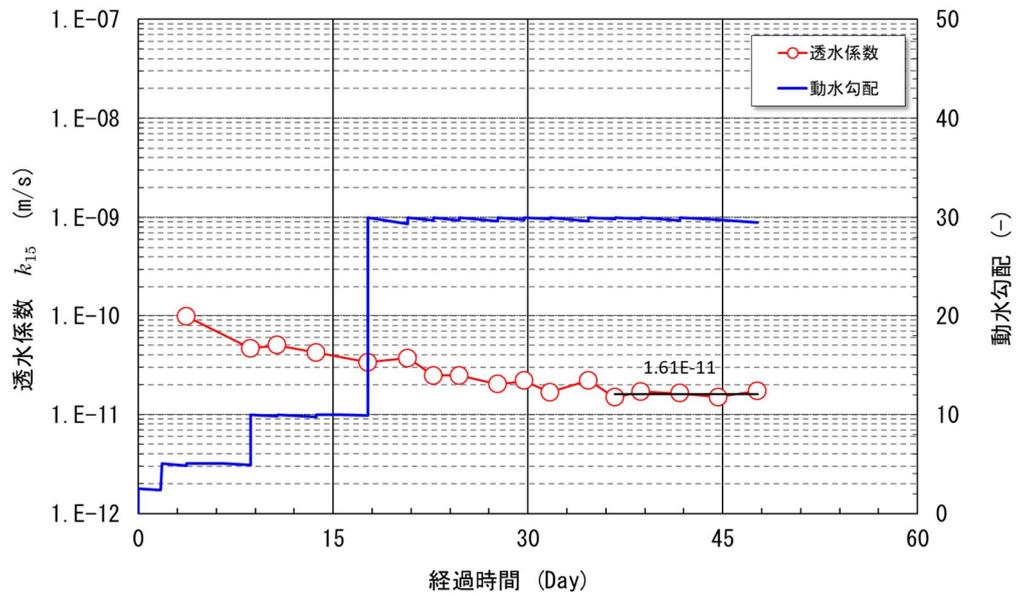
第 10 図 透水係数及び累積流入量の経時変化 (3-e2)



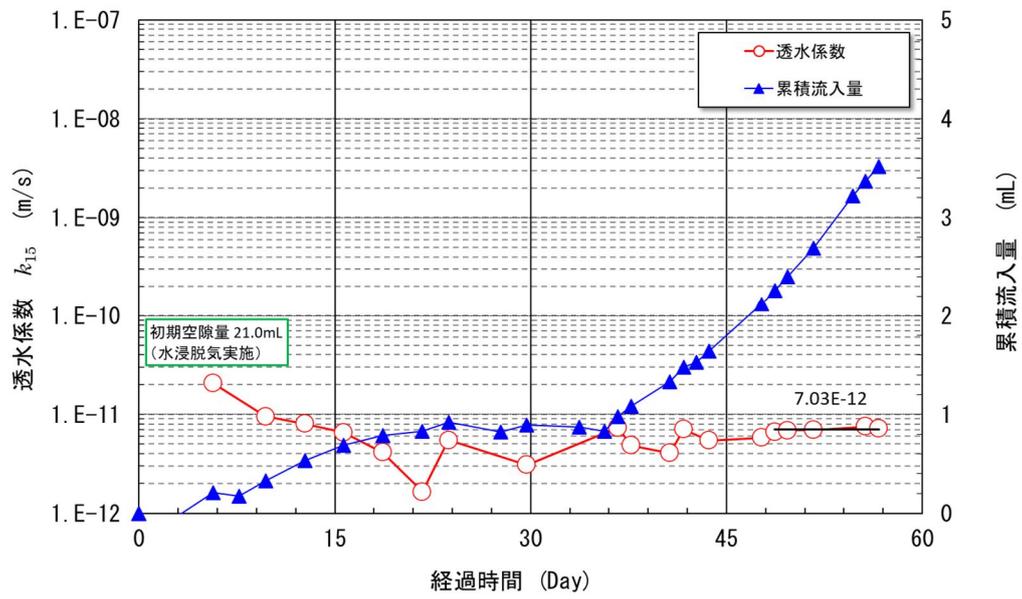
第 11 図 透水係数及び動水勾配の経時変化 (3-e2)



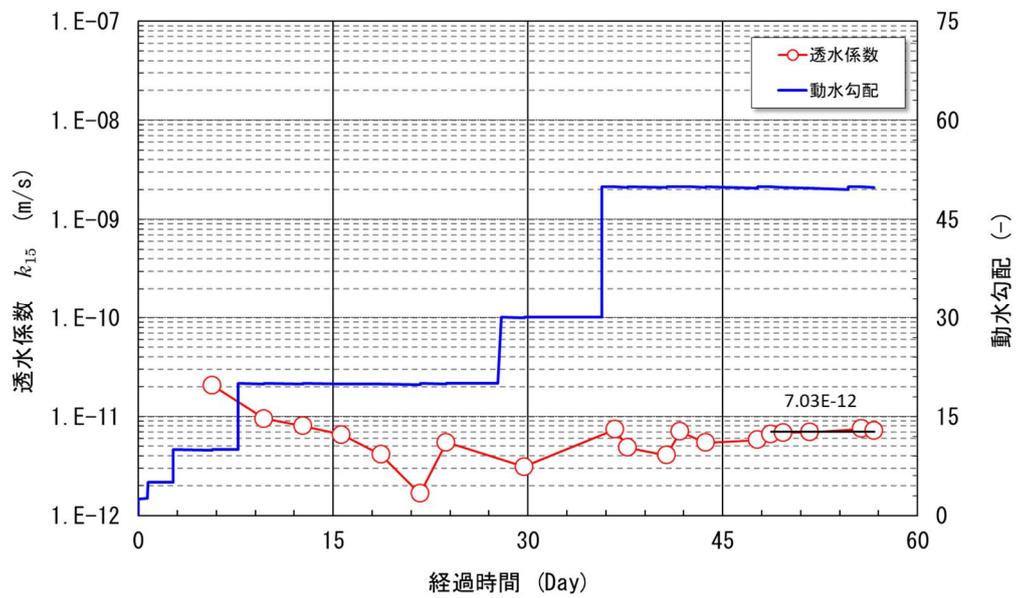
第 12 図 透水係数及び累積流入量の経時変化 (3-b6)



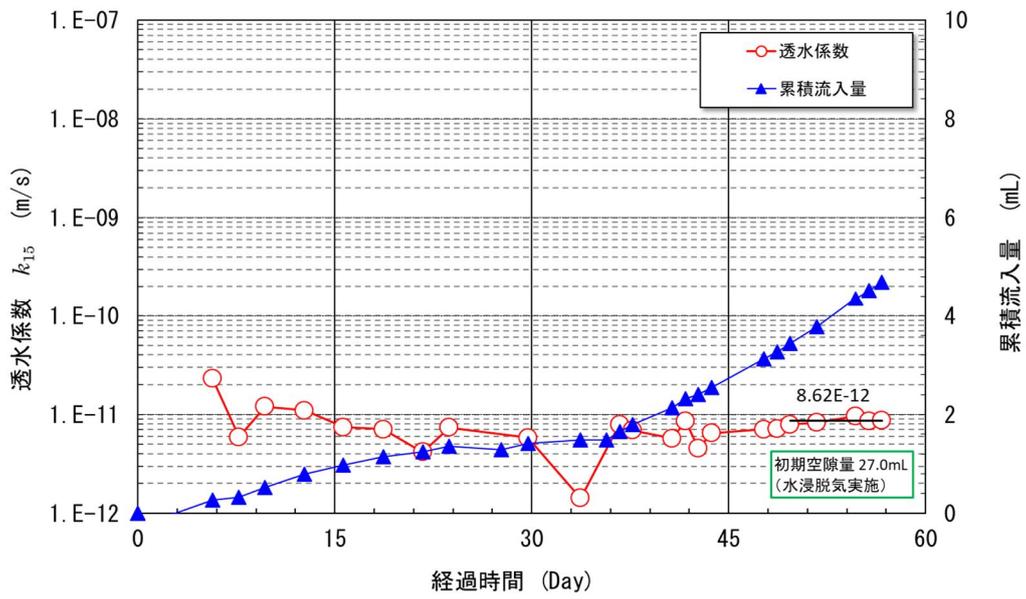
第 13 図 透水係数及び動水勾配の経時変化 (3-b6)



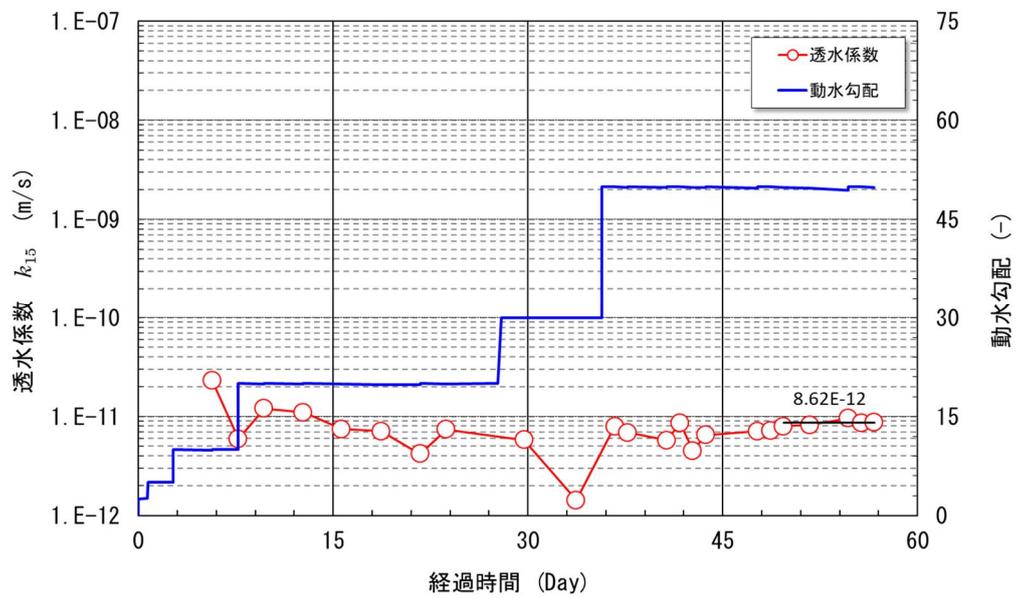
第 14 図 透水係数及び累積流入量の経時変化 (4-e6)



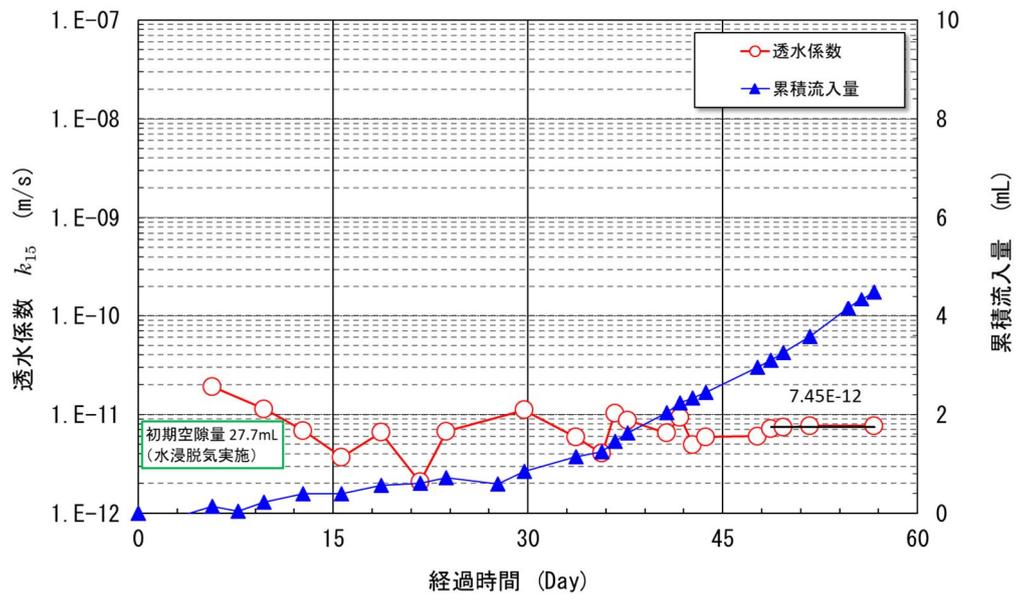
第 15 図 透水係数及び動水勾配の経時変化 (4-e6)



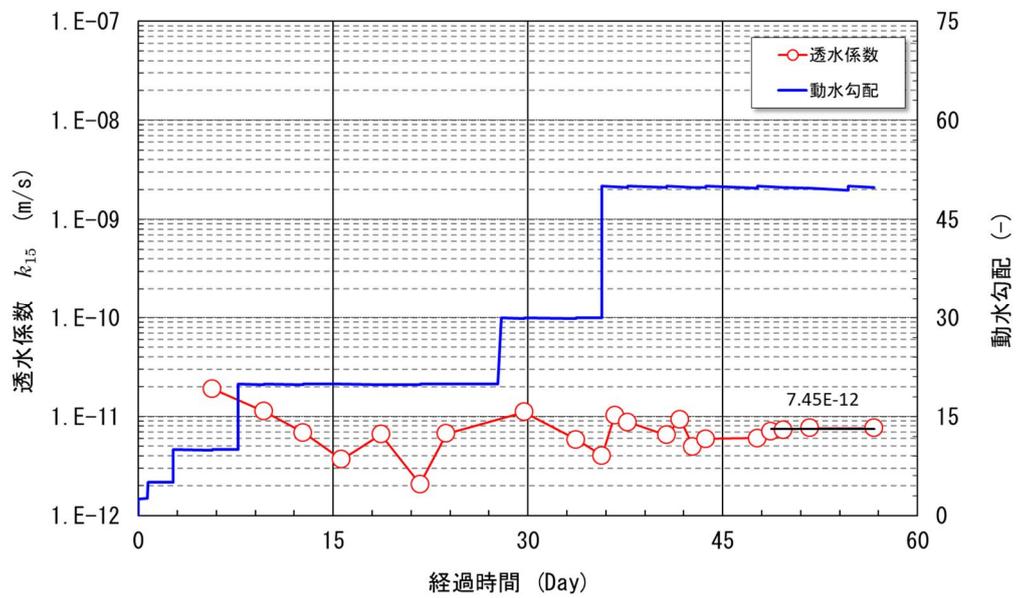
第 16 図 透水係数及び累積流入量の経時変化 (4-b2)



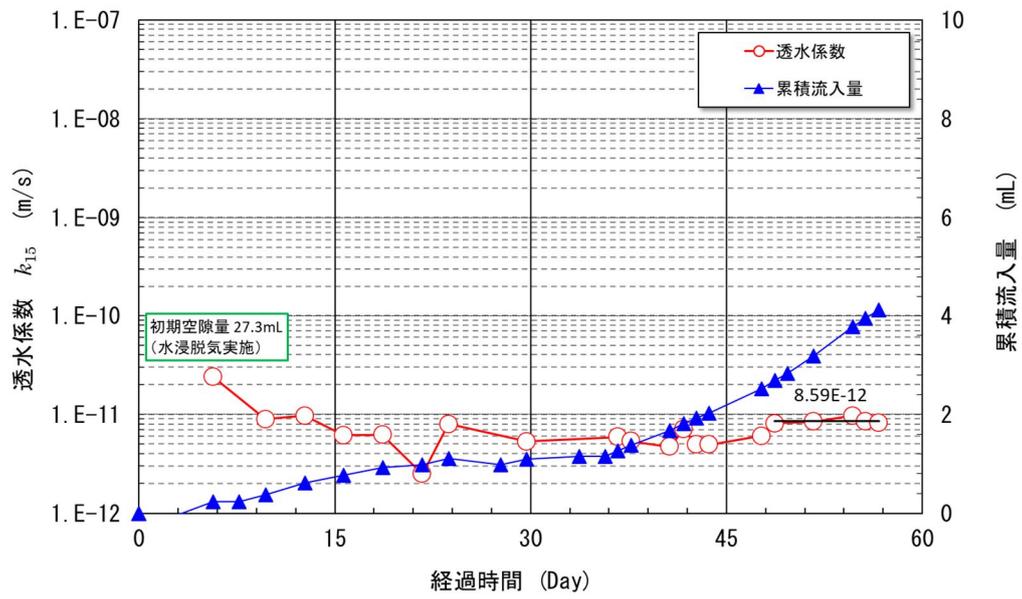
第 17 図 透水係数及び動水勾配の経時変化 (4-b2)



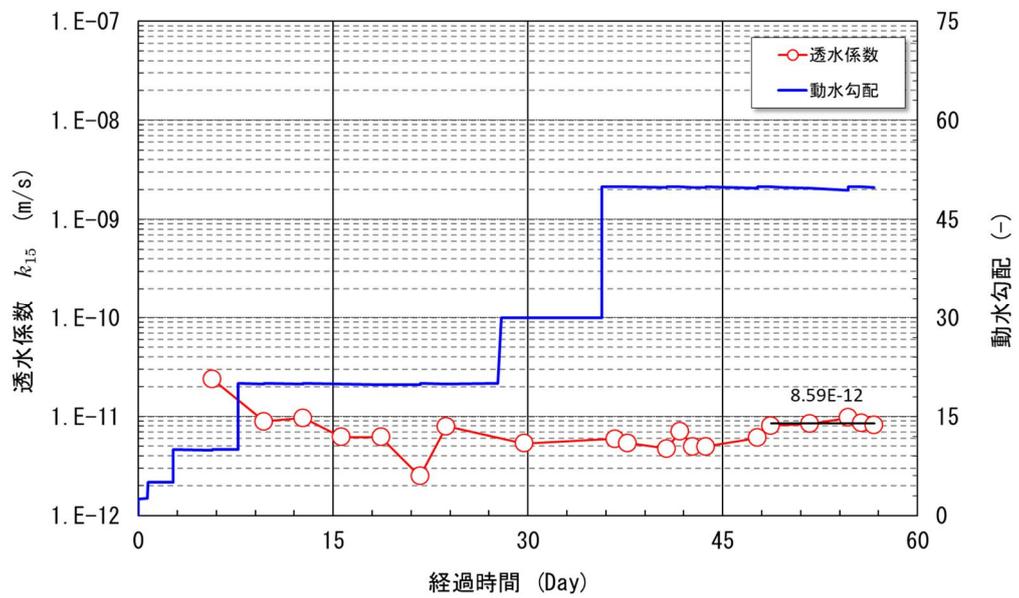
第 18 図 透水係数及び累積流入量の経時変化 (5-e2)



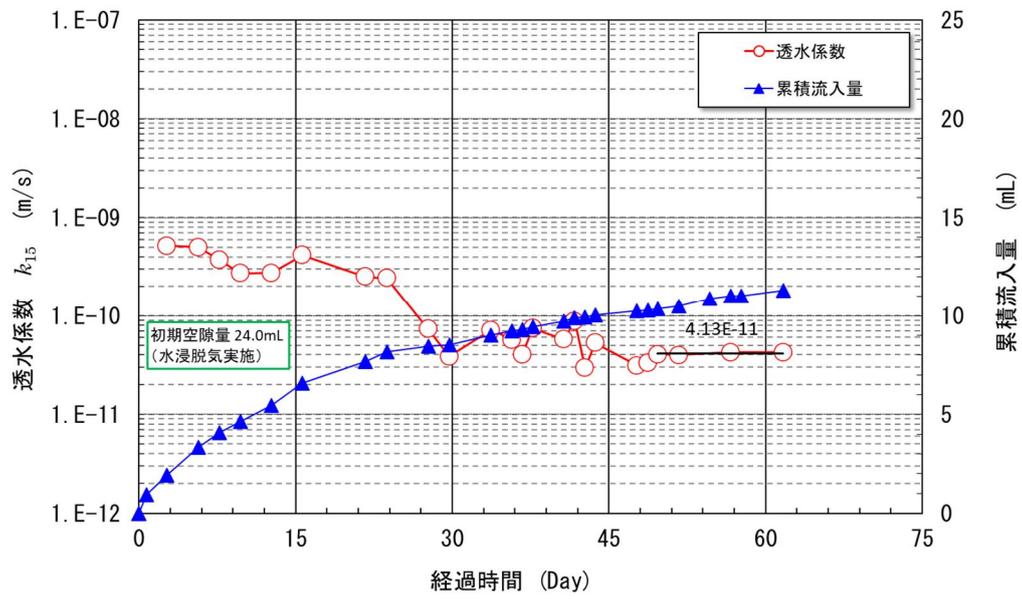
第 19 図 透水係数及び動水勾配の経時変化 (5-e2)



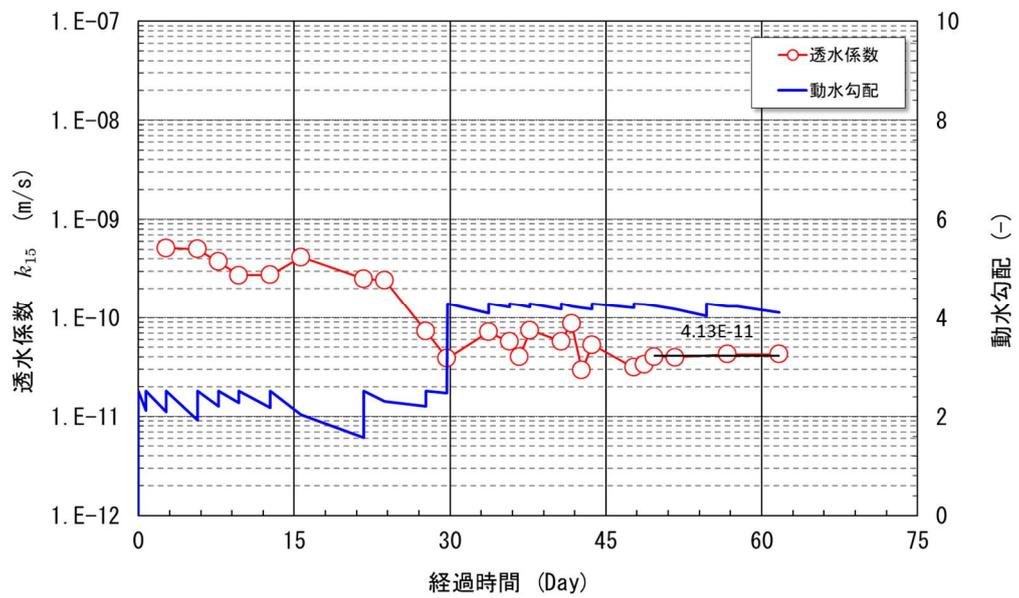
第 20 図 透水係数及び累積流入量の経時変化 (5-b6)



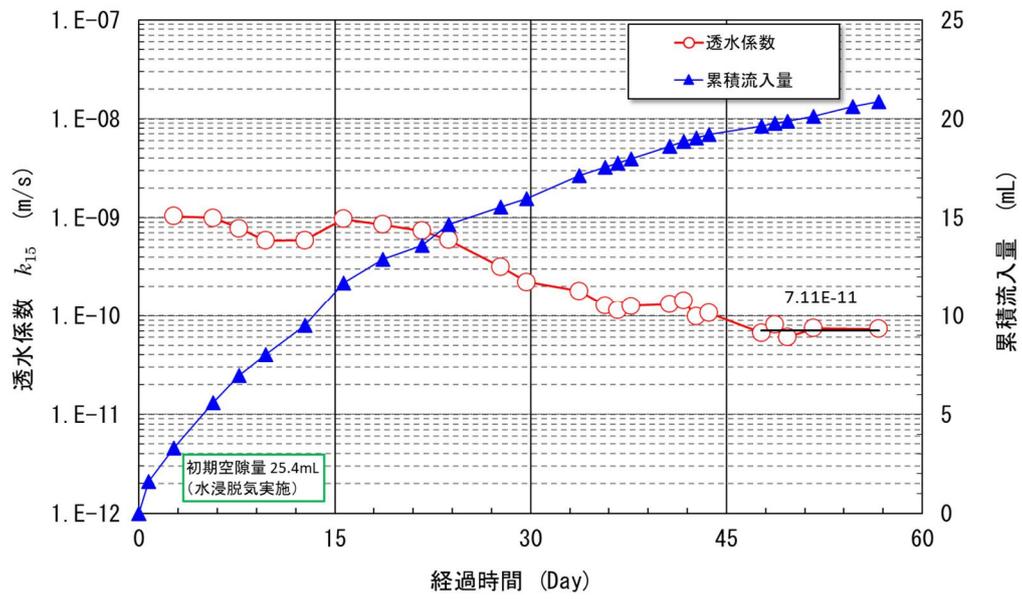
第 21 図 透水係数及び動水勾配の経時変化 (5-b6)



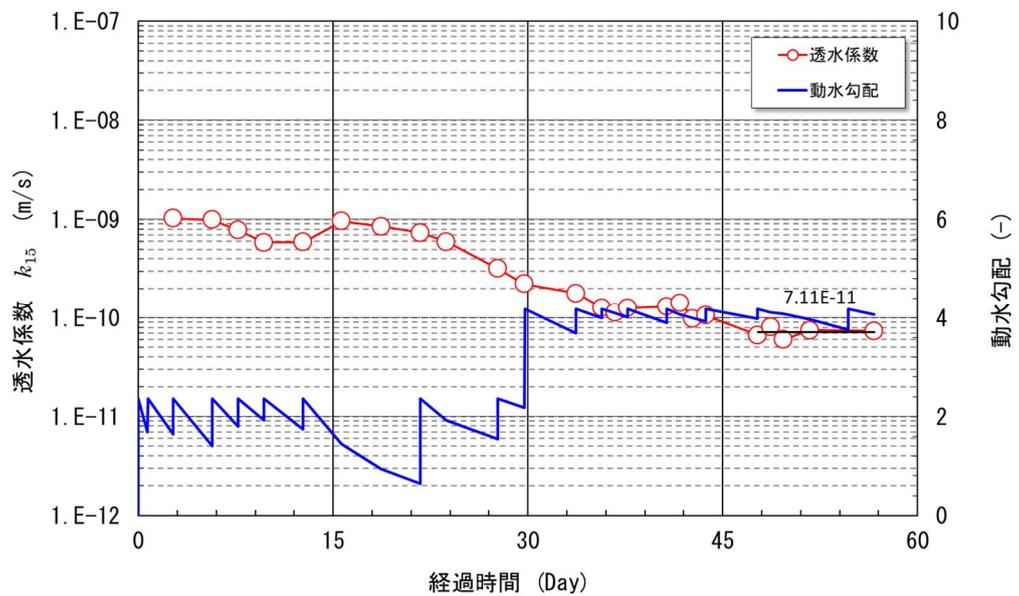
第 22 図 透水係数及び累積流入量の経時変化 (6-e6)



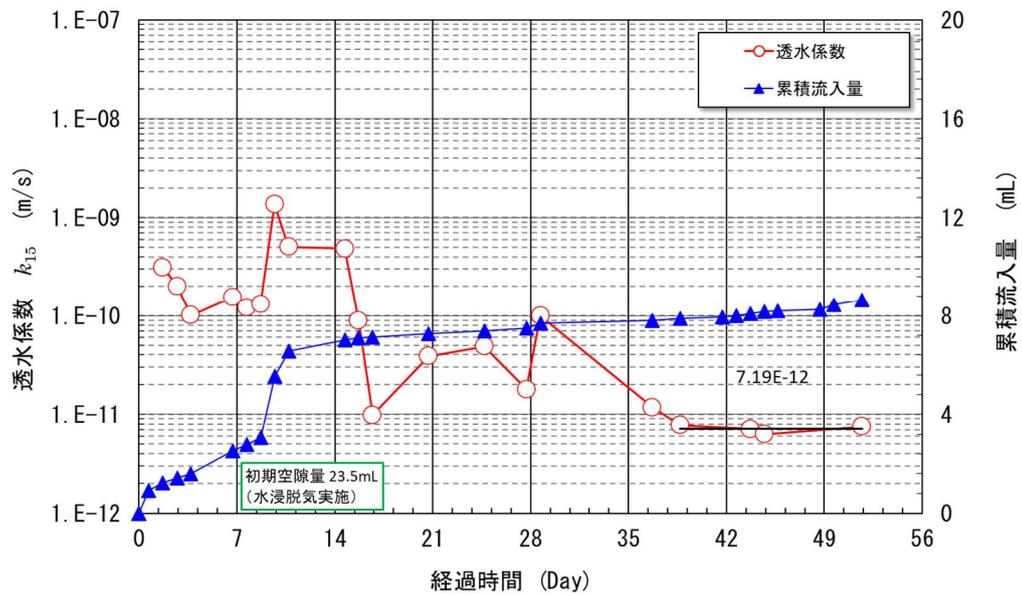
第 23 図 透水係数及び動水勾配の経時変化 (6-e6)



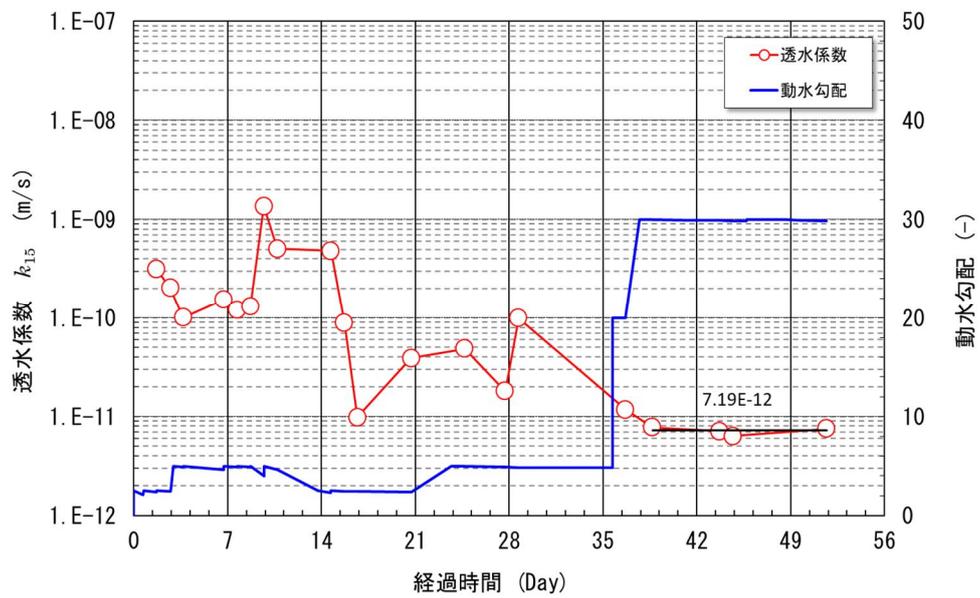
第 24 図 透水係数及び累積流入量の経時変化 (6-b2)



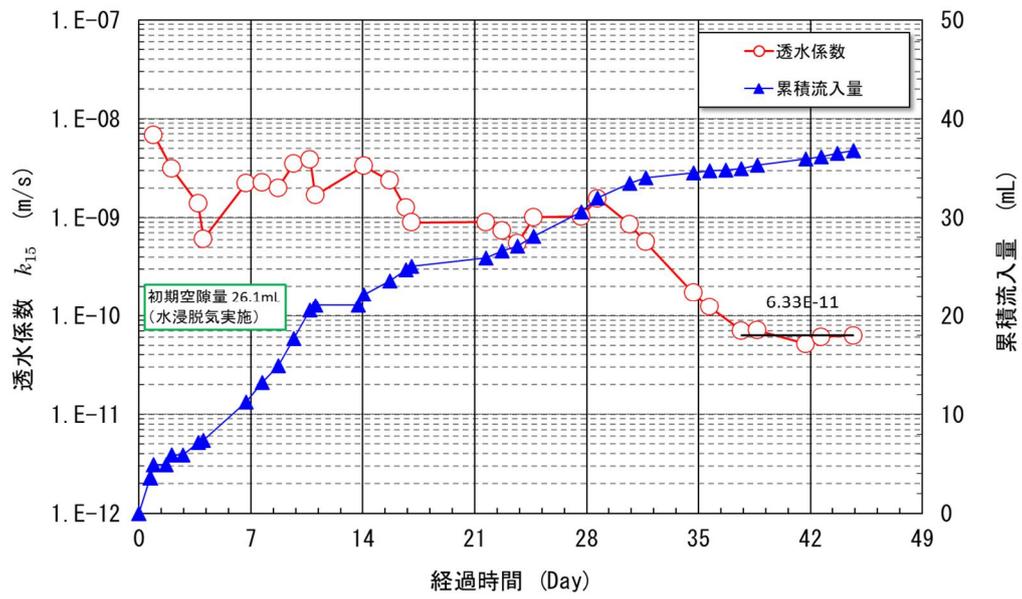
第 25 図 透水係数及び動水勾配の経時変化 (6-b2)



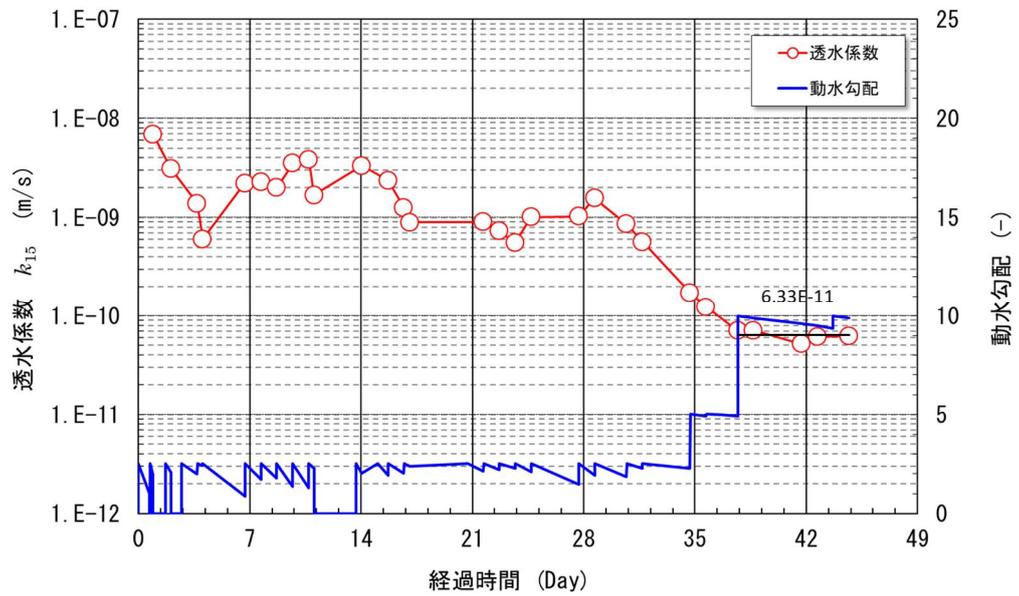
第 26 図 透水係数及び累積流入量の経時変化 (7-e2)



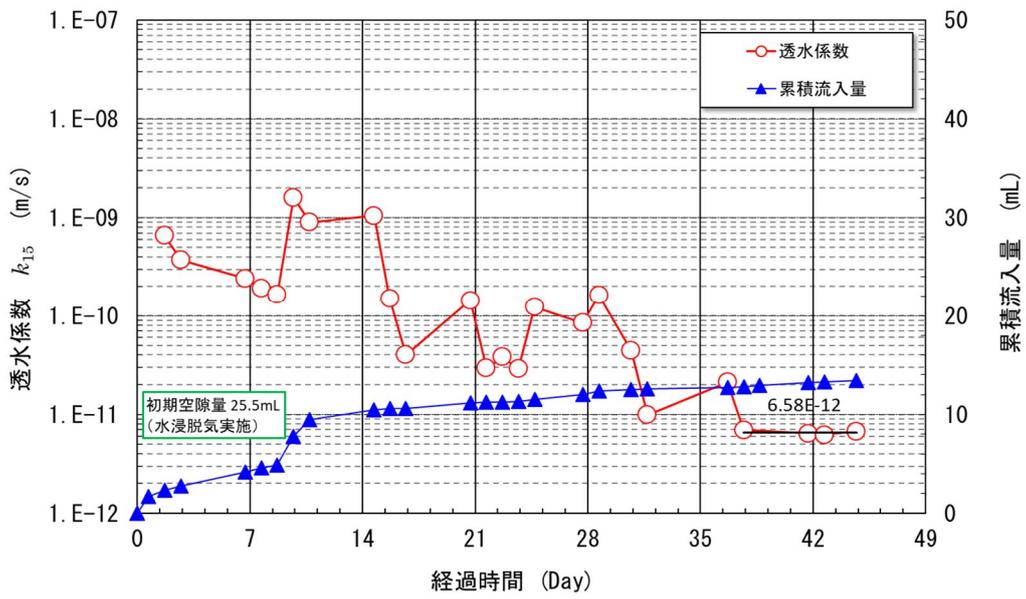
第 27 図 透水係数及び動水勾配の経時変化 (7-e2)



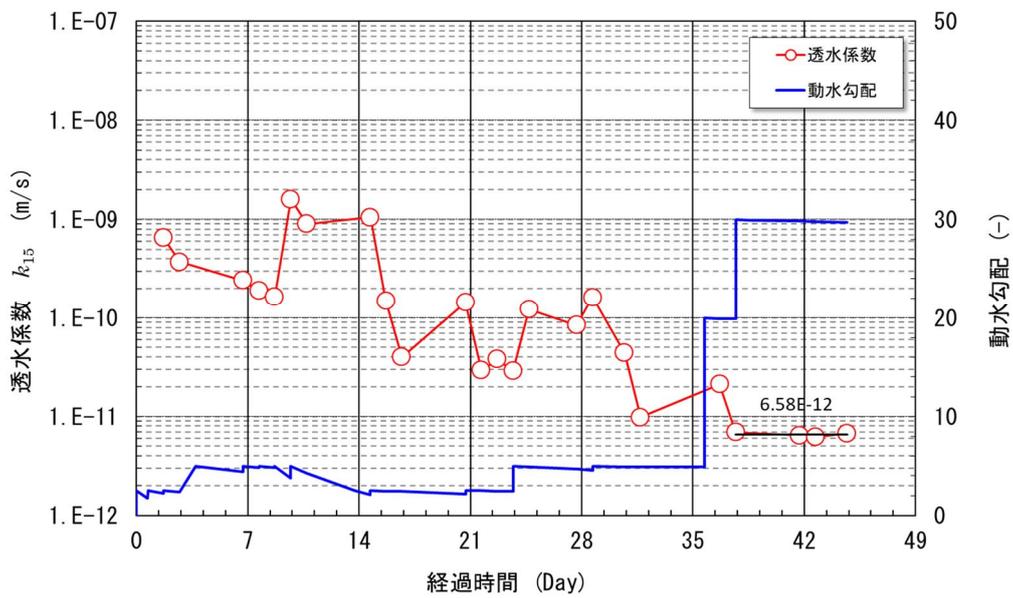
第 28 図 透水係数及び累積流入量の経時変化 (7-b6)



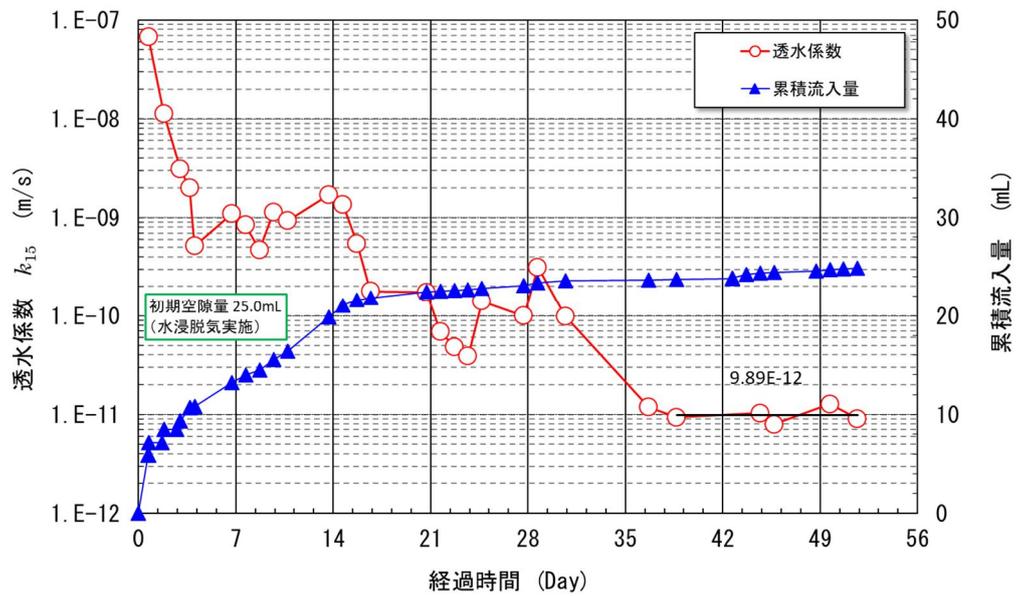
第 29 図 透水係数及び動水勾配の経時変化 (7-b6)



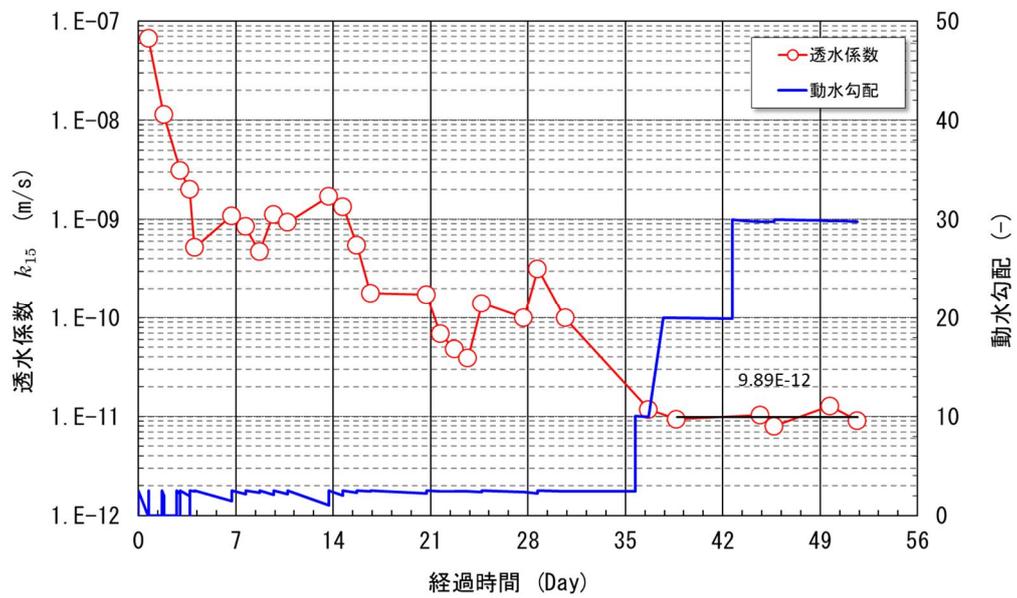
第 30 図 透水係数及び累積流入量の経時変化 (8-e6)



第 31 図 透水係数及び動水勾配の経時変化 (8-e6)



第 32 図 透水係数及び累積流入量の経時変化 (8-b2)



第 33 図 透水係数及び動水勾配の経時変化 (8-b2)

以上

## 第二種埋設許可基準規則への適合性説明

## 目 次

1	はじめに .....	1
2	第二種埋設許可基準規則第十三条第1項第二号（第二種埋設 許可基準解釈第13条第1項） .....	1
3	第二種埋設許可基準規則第十三条第1項第二号（第二種埋設 許可基準解釈第13条第5項） .....	10
4	第二種埋設許可基準規則第十三条第1項第四号（第二種埋設 許可基準解釈第12条第6項） .....	12

## 1 はじめに

本資料は、第二種埋設許可基準規則第十三条第1項第二号及び第四号への適合性について、「東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所第二種廃棄物埋設事業許可申請 第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則第十三条（ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄物埋設地）第1項第二号及び第四号への適合性について」の「4 第二種埋設許可基準規則への適合のための設計方針」及び「5 廃棄物埋設地の設計」を基に項目ごとに整理したものである。

## 2 第二種埋設許可基準規則第十三条第1項第二号（第二種埋設許可基準解釈第13条第1項）

廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減する設計について以下のとおり確認する。

### （1）確認方法

以下の事項が留意された設計になっていることを確認する。

- a. 埋設する放射性廃棄物に含まれる放射性物質の性質及び放射能濃度に応じて、設計時点において合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術によるものであること。
- b. 劣化・損傷に対する抵抗性を考慮すること。
- c. 劣化・損傷が生じた場合にも機能が維持できる構造・仕様であること。

### （2）確認結果

以下に示すとおり、廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減する設計に関する事項が留意された設計となっている。

a. 埋設する放射性廃棄物に含まれる放射性物質の性質及び放射能濃度に応じて、設計時点において合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術によるものであること。

(a) はじめに

廃棄物埋設地の設計が合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術によることについて、各設備の設計の観点から、以下に説明する。

(b) 埋設する放射性廃棄物の特性

放射性廃棄物は、事業規則の別表第二の上欄に掲げる放射性物質についての放射能濃度がそれぞれ同表の下欄に掲げる放射能濃度を超えないものであって、第八条第1項第2号イ、同条第1項第2号ロ（2）及び同条第3項に定める放射性廃棄物等の技術上の基準に適合するものである。また、これらの放射性廃棄物は、廃棄物の種類に応じて容器等に収納又はこん包される。廃棄物埋設地の設計においては、以下に示す事項を考慮した。

i. 金属類及びコンクリートガラ

廃棄物埋設地に埋設する放射性廃棄物のうち金属類及びコンクリートガラは、廃棄物を収納する容器（以下「収納容器」という。）に収納し、収納容器内に残る空隙部に砂を充填したものであること。

・ 収納容器

金属類の廃棄物及びコンクリートガラを収納する容器は、炭素鋼等を用いた金属製の容器であること。

- ・砂充填方法

容器内の空隙による最終覆土の陥没防止対策として、  
収納容器内に砂を充填し、容器内に有害な空隙が残らな  
いよう処置すること。

- ii. コンクリートブロック

廃棄物埋設地に埋設する放射性廃棄物のうちコンクリー  
トブロックは、プラスチックシートによりこん包したもの  
であること。

- iii. 共通事項

- ・表面汚染密度限度

放射性廃棄物を収納又はこん包した容器等の表面汚染  
密度がアルファ線を放出する放射性物質は  $0.4 \text{ Bq/cm}^2$  ,  
アルファ線を放出しない放射性物質は  $4 \text{ Bq/cm}^2$  を超え  
ないものであること。

- ・表面線量当量率

$300 \mu \text{ Sv/h}$  を超えないものであること。

- ・放射性廃棄物の重量

1 体あたり  $6,090 \text{ kg}$  を超えないものであること。

- iv. 放射性物質の性質及び放射能濃度

放射性物質の種類，性質及び放射能濃度により，主に半  
減期，環境中への移動のし易さ及び放出される放射線エネ  
ルギーが異なる。

- ・半減期が長い放射性物質（C-14, C-136, C-41,  
全  $\alpha$ ）に対しては，人工バリアによる漏出低減機能に  
より長期的に廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出

を低減することで公衆の受ける線量を低減する。

- ・半減期が短く環境中に移動しやすい放射性物質(H-3, Sr-90)に対しては,人工バリアによる漏出低減機能により廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減するとともに,放射能減衰を図ることで公衆の受ける線量を低減する。
- ・半減期が短く放射線のエネルギーが大きい放射性物質(Co-60, Cs-137, Eu-152, Eu-154)に対しては,遮蔽機能により放射能が有意に減衰するまで遮蔽を確保することで,公衆の受ける外部被ばく線量を低減する。

(c) 埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から最終覆土完了までの期間

埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から最終覆土完了までの期間は,漏出低減機能及び遮蔽機能を有する部位ごとの要求性能に加え,材料の選定,建設・施工及び検査を考慮した構造物として設計する。以下の内容を満足することで,合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術とする。

i. 合理的な建設・施工技術

側部低透水性覆土の低透水性及び中間覆土の遮蔽性能は,最終覆土の設置完了後も期待するため,力学的・化学的作用により安全性が損なわれ難い天然材料である土質材料を用いた土構造物とすることが合理的である。

表面遮水の低透水性は,最終覆土の設置完了までの間期待するものであり,最終覆土の設置時には撤去することか

ら、点検・補修等による機能維持が可能な遮水シートを用いることが合理的である。

雨水防止テントは、放射性廃棄物の受入れ開始前に設置し、表面遮水設置後は撤去することから、点検・補修等による機能維持が可能なシートを膜材として用いることが合理的である。

雨養生は、最終覆土の設置において表面遮水を撤去したエリアに設置し、最終覆土完了後は撤去することから、点検・補修等による機能維持が可能なシートを用いることが合理的である。

## ii. 利用可能な最善の建設・施工技術

土構造物等としての設計、材料の選定、建設・施工及び検査については、利用可能な最善の建設・施工技術として、最新の知見を確認する。なお、2022年度時点での最新の知見としては、「遮水シート日本遮水工協会自主基準」<sup>(1)</sup>、「廃棄物最終処分場整備の計画・設計・管理要領(2010改訂版)」<sup>(2)</sup>、「道路土工要綱」<sup>(3)</sup>及び「河川土工マニュアル」<sup>(5)</sup>を参照する。

また、土構造物施工時の品質管理方法は、中間覆土及び側部低透水性覆土施工時に行う施工試験結果を用いて最終決定する。

安全機能に対する設計としては以下のとおり。

- ・漏出低減機能は、低透水性として透水係数及び厚さを確保する設計とすること。
- ・遮蔽機能は、敷地周辺の公衆、放射線業務従事者及び管

理区域外の人が立ち入る場所に滞在する者への被ばくを低減するため、中間覆土の密度及び厚さを確保することで、放射線の遮蔽性能を有する設計とすること。

(d) 最終覆土の設置完了後

最終覆土の設置完了後は、漏出低減機能及び遮蔽機能を有する部位ごとの要求性能に加え、材料の選定、建設・施工及び検査を考慮した構造物として設計する。以下の内容を満足することで、合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術とする。

i. 合理的な建設・施工技術

最終覆土の透水特性は、長期的に期待するため、力学的作用により安全性が損なわれ難い天然材料である土質材料及び岩石質材料を用いた土構造物とすることが合理的である。

ii. 利用可能な最善の建設・施工技術

土構造物としての設計、材料の選定、建設・施工及び検査については、利用可能な最善の建設・施工技術として、最新の知見を確認する。なお、2022年度時点での最新の知見としては、「道路土工要綱」<sup>(3)</sup>、「道路土工－盛土工指針」<sup>(4)</sup>及び「河川土工マニュアル」<sup>(5)</sup>を参照する。

また、施工時の品質管理方法は、最終覆土施工時に行う施工試験結果を用いて最終決定する。

安全機能に対する設計としては以下のとおり。

- ・漏出低減機能は、低透水性として透水係数及び厚さを確保する設計とすること。

(e) まとめ

本施設は、廃止措置の開始後、保全の措置を必要としない状況に移行できることを考慮して、安全機能を達成できる設備の設計を行っている。

また、「2 (2) a. (b) 埋設する放射性廃棄物の特性」から「2 (2) a. (d) 最終覆土の設置完了後」に示すとおり、埋設する放射性廃棄物に含まれる放射性物質の性質及び放射能濃度に応じて、設計時点において合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術によるものである。

b. 劣化・損傷に対する抵抗性を考慮すること。

(a) 表面遮水

変形追従性を考慮し、合成ゴム及び合成樹脂系の遮水シートを用いることにより、表面遮水は劣化・損傷に対する抵抗性を有する設計とするとしている。

(b) 覆土

変形追従性を考慮し、粒径分布に広がりを持った土質材料を用いることにより、劣化・損傷に対する抵抗性を有する設計とするとしている。

覆土の設計においては、漏出低減機能を長期にわたり廃止措置の開始前まで維持する必要があるため、長期状態において想定される劣化・損傷として、透水係数及び厚さの変化に影響を及ぼす要因を抽出している。

長期状態において覆土の低透水性に影響を及ぼす要因とその機構は、第 1 表に示すとおりである。

抽出した要因は、廃棄物埋設地に埋設した放射性廃棄物の

容器内に残存する空隙に起因する陥没に伴う、有効粘土密度の変化及び間隙の変化である。これらの要因に対して、機能維持特性として、変形追従性を考慮しており、これらが長期状態において考慮する性能を満たす見通しがあるような設計としている。

具体的には、線量評価上の状態設定において、力学的影響による覆土の性能（低透水性）の低下を考慮しており、設計上の設定値（初期状態）も性能の低下に配慮している。

これらにより、覆土は劣化・損傷に対する抵抗性を有する設計とするとしている。

第1表 覆土の透水特性に影響を及ぼす要因とその機構

設計項目	長期状態における影響要因			影響機構	要求性能 (技術要件)
透水係数	有効粘土密度※ <sup>1</sup> の変化	力学的影響	容器内に残存する空隙	容器内の空隙に起因する陥没により、低透水性土層の変位に伴う透水性が変化した領域の発生。	変形追従性

※1：単位体積当たりに含まれるベントナイト分の乾燥重量をそれぞれ自身の体積で割ることにより得られる密度であり、ベントナイト混合材料の特性を把握するときの指標のひとつ。

(c) 雨水防止テント

耐候性を考慮し、屋外使用に適したシートを用いることにより、劣化・損傷に対する抵抗性を有する設計とする。

(d) 雨養生

耐候性を考慮し、屋外使用に適したシートを用いることにより、劣化・損傷に対する抵抗性を有する設計とする。

c. 劣化・損傷が生じた場合にも機能が維持できる構造・仕様であ

ること。

(a) 表面遮水

補修可能な遮水シートを設置することで、劣化・損傷が生じた場合においても、安全上支障のない期間内において速やかに修復し、漏出低減機能を維持する構造・仕様とするとしている。

(b) 覆土

長期的に発生が予想される力学的影響に対して機能維持が受動的に期待できるよう、十分な厚さの最終覆土のうち低透水性土層を設置することで、劣化・損傷が生じた場合においても、漏出低減機能を維持する構造・仕様とするとしている。

線量評価上用いる各性能は、線量評価の状態設定における不確実性を包含する設定とすることにより、廃棄物埋設地全体として線量基準を満足するようにする。

これらにより、劣化・損傷が生じた場合においても、漏出低減機能を維持する構造・仕様とするとしている。

(c) 雨水防止テント

補修可能なシートを膜材として設置することで、劣化・損傷が生じた場合においても速やかに修復し、漏出低減機能を維持する構造・仕様とする。

(d) 雨養生

補修可能なシートを設置することで、劣化・損傷が生じた場合においても速やかに修復し、漏出低減機能を維持する構造・仕様とする。

3 第二種埋設許可基準規則第十三条第1項第二号（第二種埋設許可基準解釈第13条第5項）

廃棄物埋設地が，埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間，廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減する機能を有するものであることを以下のとおり確認する。

（1）確認方法

「廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減する」について，平常時における廃棄物埋設地からの放射性物質の外への漏出に伴う公衆の受ける線量が，本施設からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による敷地周辺の線量並びに周辺監視区域外の空气中及び周辺監視区域の境界における水中の放射性物質の放出により公衆の受ける線量を含め，法令に定める線量限度を超えないことはもとより，As Low As Reasonably Achievable（ALARA）の考え方の下，合理的に達成できる限り十分に低くなるよう，実効線量で $50\mu\text{Sv}/\text{y}$ 以下であることによって確認する。

（2）確認結果

埋設する廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間における地下水中の放射性物質が移動する海での海産物摂取に伴う内部被ばく線量は約 $6.9\times 10^{-3}\mu\text{Sv}/\text{y}$ である。

また，第二種埋設許可基準規則第八条に規定する「廃棄物埋設施設からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による事業所周辺の線量」により公衆の受ける外部被ばく線量の最大値は，埋設する廃棄物の受入れの開始から全区画の最上段中間覆土完了までの間においては約 $3.8\times 10^1\mu\text{Sv}/\text{y}$ であり，全区画の最上段

中間覆土完了から廃止措置の開始までの間においては約  $1.1 \times 10^1 \mu\text{Sv}/\text{y}$  である。

なお、埋設する廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間における第二種埋設許可基準規則第十七条第1項に規定する「周辺監視区域の外の空气中及び周辺監視区域の境界における水中の放射性物質」の放出により公衆の受ける線量については、本施設は廃棄施設を設置しないことから、考慮する必要はない。

以上より、埋設する廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間における公衆の受ける合計線量は、最大約  $3.8 \times 10^1 \mu\text{Sv}/\text{y}$  となる。

埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの評価のうち廃棄物埋設地からの移動に関する評価の詳細を第 2 表に示す。線量評価に関するパラメータについては、「東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所 第二種廃棄物埋設事業許可申請 第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則第十三条（ピット処分又はトレンチ処分に係る廃棄物埋設地）第1項第三号及び第四号への適合性について 線量評価パラメータ」にて説明する。

これらにより、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間においては、公衆の受ける線量は実効線量で  $50 \mu\text{Sv}/\text{y}$  以下であることから、廃棄物埋設地は、廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減する機能を有する設計である。

第 2 表 埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間において最大となる公衆の受ける被ばく線量の評価結果

線量評価シナリオ	評価結果 ( $\mu\text{Sv}/\text{y}$ )	
	受け入れ ～最終覆土完了	最終覆土完了 ～廃止措置開始
地下水中の放射性物質が移動する海での海産物摂取に伴う内部被ばく	約 $6.9 \times 10^{-3}$	
埋設する埋設する廃棄物に含まれる放射性物質からの外部被ばく	約 $3.8 \times 10^1$ ※1	約 $1.1 \times 10^1$
合 計	約 $3.8 \times 10^1$	約 $1.1 \times 10^1$

※ 1 : 埋設する廃棄物の受入れの開始から全区画の最上段中間覆土完了までの間において公衆の受ける外部被ばく線量の最大値は約  $3.8 \times 10^1 \mu\text{Sv}/\text{y}$  であり, 全区画の最上段中間覆土完了から廃止措置の開始までの間において公衆の受ける外部被ばく線量の最大値は約  $1.1 \times 10^1 \mu\text{Sv}/\text{y}$  である。

4 第二種埋設許可基準規則第十三条第 1 項第四号 (第二種埋設許可基準解釈第 1 2 条第 6 項)

埋設した放射性廃棄物に含有される化学物質その他の化学物質により廃棄物埋設地の安全機能が損なわれないものであることを以下のとおり確認する。

## (1) 確認方法

廃棄物埋設地の安全機能である遮蔽機能及び漏出低減機能を期待する覆土及び表面遮水が、埋設した放射性廃棄物に含有される化学物質その他の化学物質により機能が損なわれない設計となっていることを確認する。

## (2) 確認結果

埋設する放射性廃棄物及び覆土には可燃性の化学物質、可燃性ガスを発生する化学物質を含めない。一方、廃棄物埋設地の安全機能に影響を及ぼす可能性のあるその他の化学物質としては、放射性廃棄物のうちコンクリート類から溶脱するカルシウム成分を含む浸透水との反応による影響を考慮する必要がある。

最終覆土の設置完了前の安全機能については、中間覆土において遮蔽機能を期待し、表面遮水、側部低透水性覆土において漏出低減機能を期待している。遮蔽機能については、中間覆土はカルシウム成分等による影響はない。漏出低減機能については、水理的には側部低透水性覆土からコンクリートへの流れとなること、また、年間の浸透水量は非常に小さくコンクリート廃棄物からの溶出水量も小さいことからコンクリートから溶脱したカルシウム成分等による影響は小さく、漏出低減機能への影響は無視できると考えられる。なお、表面遮水は、埋設した放射性廃棄物より上部に位置するためコンクリート類の廃棄物から溶脱した成分を含む浸透水の影響を受けない。

最終覆土の設置完了後の安全機能については、中間覆土において遮蔽機能を期待し、側部低透水性覆土及び低透水性土層において漏出低減機能を期待している。遮蔽機能については、中間覆土は

カルシウム成分等による影響はない。漏出低減機能については、水理的には側部低透水性覆土からコンクリートへの流れとなること、また、年間の浸透水量は非常に小さくコンクリート廃棄物からの溶出水量も小さいことから、コンクリートから溶脱したカルシウム成分等による影響は小さく、漏出低減機能への影響は無視できると考えられる。なお、最終覆土のうち低透水性土層は、埋設した放射性廃棄物より上部に位置するためコンクリート類の廃棄物から溶脱した成分を含む浸透水の影響を受けない。

したがって、埋設した放射性廃棄物に含有される化学物質その他の化学物質により廃棄物埋設地の安全機能が損なわれないものである。

以上