

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

への適合性について

浸透流解析

2023年5月

日本原子力発電株式会社

## 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.....	10
3. 4	解析物性値.....	13
3. 4. 1	飽和透水係数.....	13
3. 4. 2	不飽和特性.....	21
3. 5	解析結果.....	29
4	まとめ.....	47
5	参考文献.....	47

添付資料 1 掘削抵抗性層を想定した透水試験について

添付資料 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（以下「第二種埋設許可基準規則」という。）及び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の解釈（以下「第二種埋設許可基準解釈」という。）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。

埋設トレンチへの浸透水抑制対策の効果については、廃棄物埋設地の構造を踏まえた浸透流解析により確認する。

浸透流解析の説明については、2022年11月14日開催の核燃料施設等の新規制基準適合性に係る審査会合にて示した資料（以下「過去資料」という。）からの変更点などを明確にしたうえで最新の結果を説明する。

## 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、長期的に安全性が損なわれ難い天然材料である土質材料を採用する。

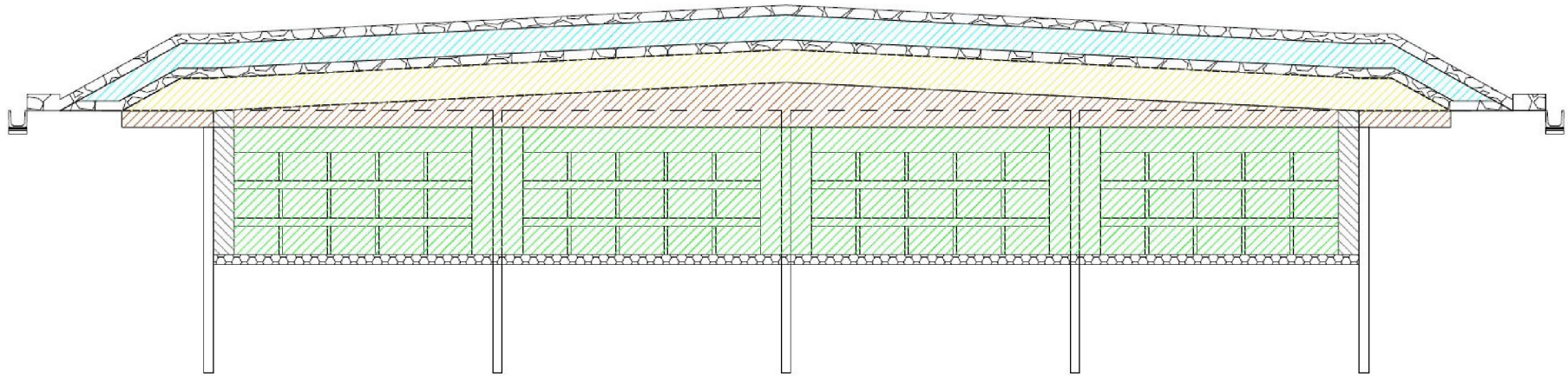
低透水性土層は、長期的な力学的影響に対して、変形追従性を考慮する。

側部低透水性覆土は、長期的な化学的影響及び力学的影響に対して、化学的安定性及び変形追従性を考慮する。









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。

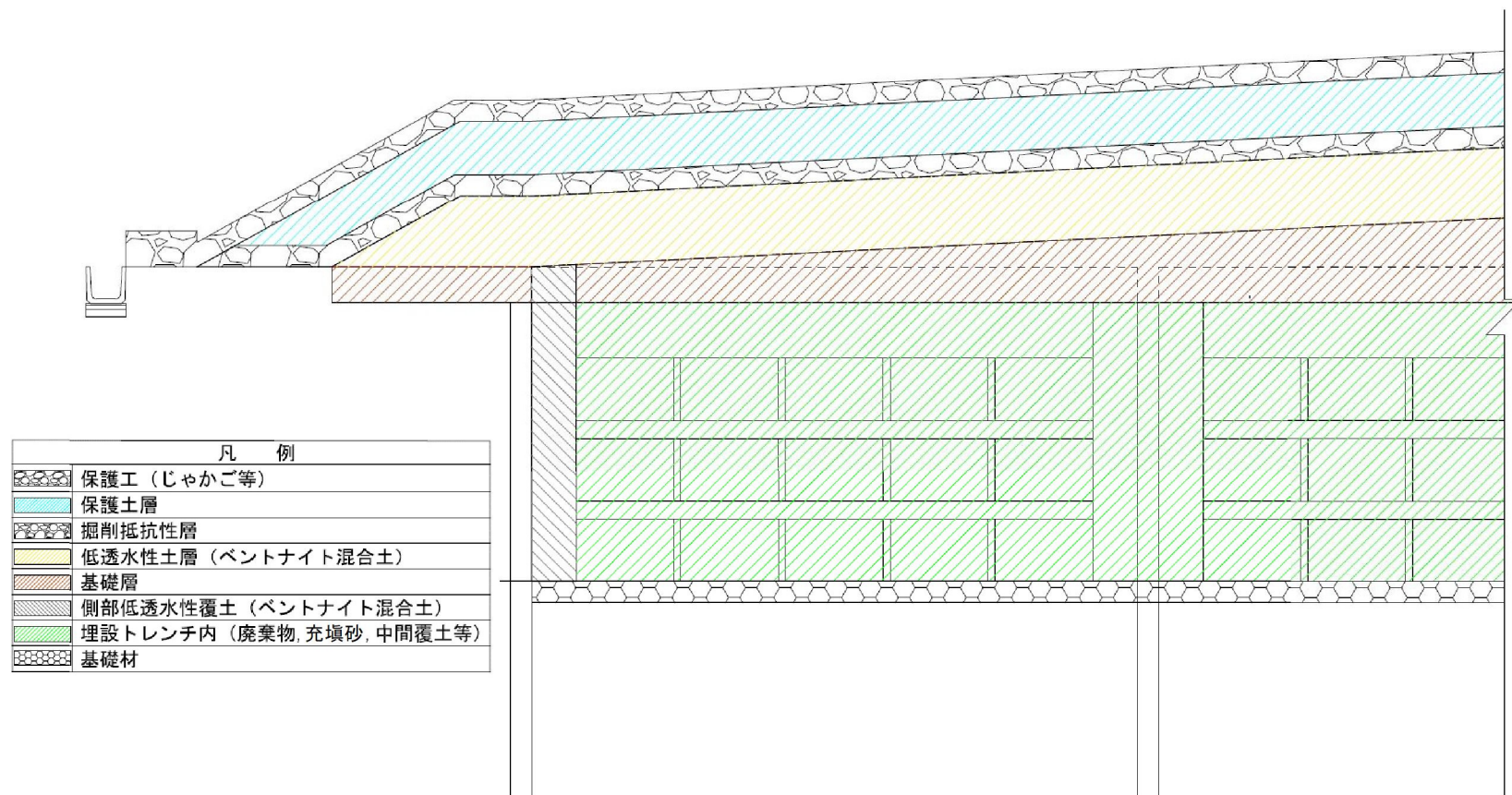
以上を踏まえた東側埋設トレンチの断面図（全体図）を第1図に、東側埋設トレンチの断面図（拡大図）を第2図に示す。



3

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。

浸透流解析の条件等については、審査での指摘を踏まえ変更していることから、過去資料からの変更点を示したうえで最新情報に基づく説明を行う。

#### 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。

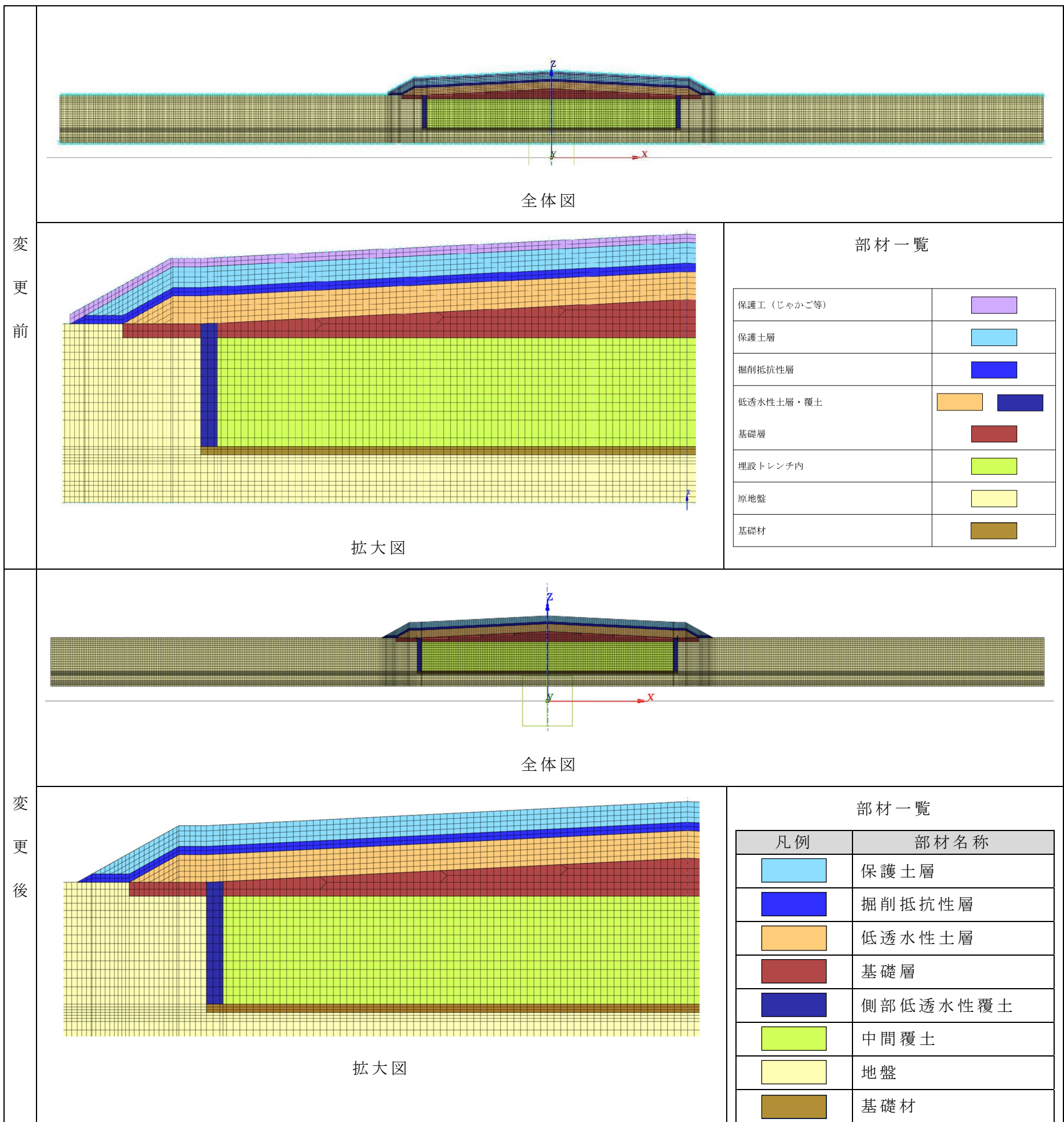
Dtransu3D-EL は、定常・非定常の三次元飽和・不飽和浸透流及び移流分散解析が可能な有限要素法に基づく解析コードであり、本解析では二次元の解析モデルを用いて定常不飽和解析を行った。

#### 3. 2 解析モデル

##### (1) 変更内容

過去資料では、埋設施設の構造を踏まえ、保護工（じゃかご等）を反映した解析モデルとしていたが、審査等での指摘を踏まえ解析モデルを変更し、保護工（じゃかご等）を除外した。

変更前後の解析モデルを第3図に示す。



第3図 変更前後の解析モデル



## (2) 最新解析モデル

設計内容を基に作成した解析モデルを第4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。

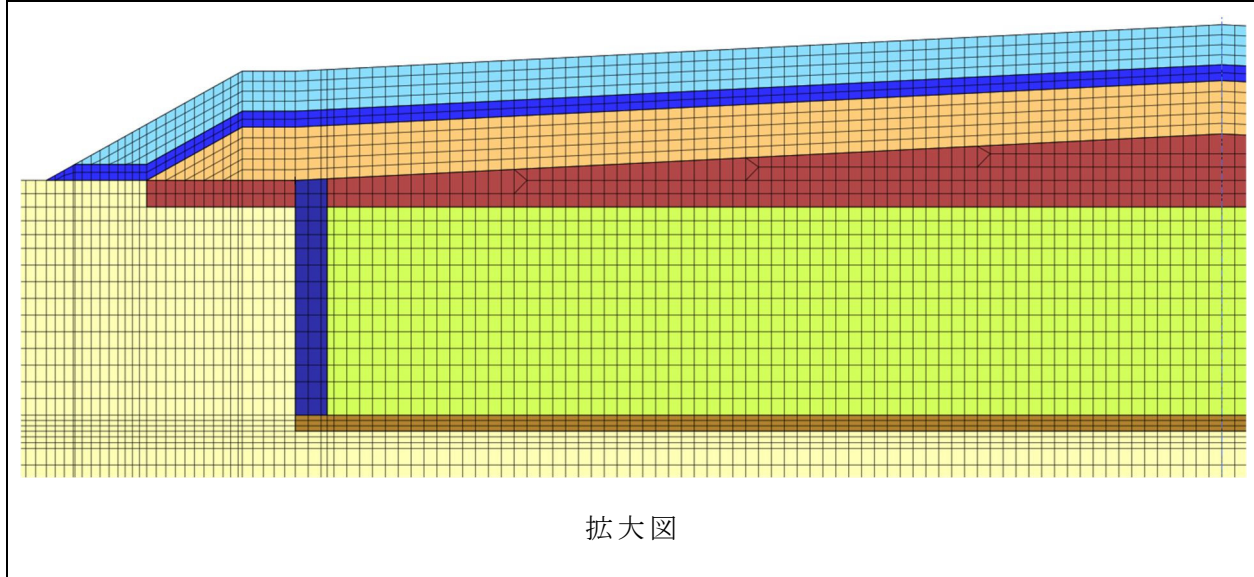
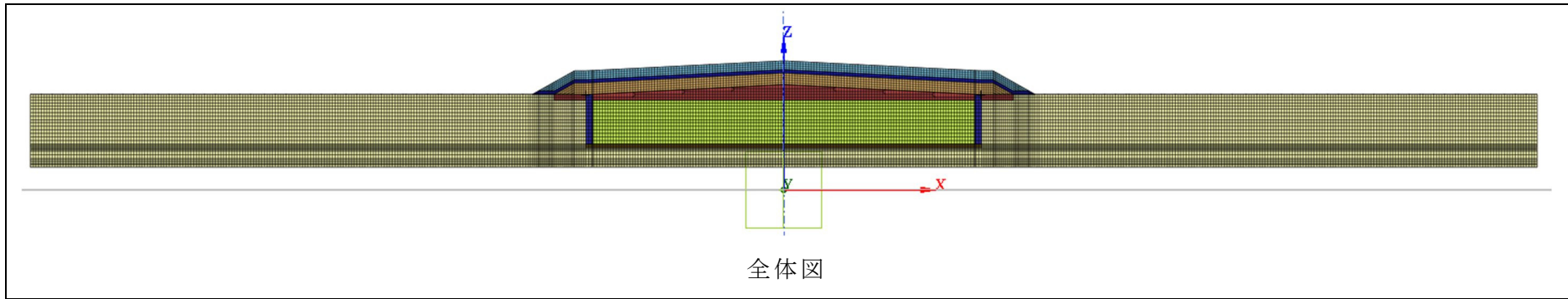
境界条件により埋設トレンチ内への浸透水量が変化しないように、最終覆土の法尻から解析モデルの両端までの長さは、最終覆土

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。



部材一覧

凡例	部材名称
	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
	基礎材

6

第 4 図 解析モデル

### 3. 3 境界条件

#### (1) 変更内容

過去資料では、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。）で同一の設定値として「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。）」で設定した1,000年後の温暖期継続ケースにおけるかん養量の状態設定値である510 mm/yを設定していた。

しかし、審査等での指摘を踏まえ、覆土領域と地盤領域で設定値を分けて設定することに変更した。

覆土領域の降雨浸透量（かん養量）の設定値は、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の30%と設定した。地盤領域は地質環境等の状態設定におけるかん養量である510 mm/yに設定した。

変更前後の設定値を第1表に示す。

第 1 表 覆土領域の降雨浸透量（かん養量）の設定値の変更内容

	設定値	設定根拠
変更前	510 mm/y	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かん養量の状態設定値
変更後	624 mm/y	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 の 30% と設定

(2) 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、覆土領域と地盤領域に分けて設定する。

地盤領域のかん養量については、地質環境等の状態設定におけるかん養量の状態設定値である 510 mm/y を設定する。

覆土領域のかん養量については、以下に示す考え方により、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 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、設定の妥当性を確認するため、保護工（じゃかご等）を考慮した解析モデルについても別途評価を行い、覆土領域での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。

### （3）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。

### （4）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

##### (1) 変更内容

解析モデルの変更に伴い、保護工（じゃかご等）を削除し、掘削抵抗性層、低透水性土層及び側部低透水性覆土の飽和透水係数の設定を変更した。

掘削抵抗性層の飽和透水係数については、実施した透水試験の結果を基に設定することに変更し、低透水性土層及び側部低透水性覆土の飽和透水係数については、廃棄物埋設地の状態設定を踏まえた設定に変更した。なお、低透水性土層の飽和透水係数の設定根拠は変更したものの、設定値の変更はない。

変更内容を第2表に示す。

第2表 飽和透水係数の設定値の変更内容

対象	飽和透水係数の設定値		備考
	変更前	変更後	
保護工（じゃかご等）	$1.0 \times 10^{-1} \text{ m/s}$	—	保護工（じゃかご等）を削除
保護土層	$1.04 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	$1.04 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	変更なし
掘削抵抗性層	$1.04 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	$1.0 \times 10^{-3} \text{ m/s}$	透水試験結果を基に設定することに変更
低透水性土層	$1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$	$1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$	廃棄物埋設地の状態設定を踏まえた設定値に変更
基礎層	$3.88 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	$3.88 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	変更なし
側部低透水性覆土	$1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$	$5.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$	廃棄物埋設地の状態設定を踏まえた設定値に変更
中間覆土	$4.73 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	$4.73 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	変更なし
地盤	$3.23 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	$3.23 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	変更なし
基礎材	$1.0 \times 10^{-1} \text{ m/s}$	$1.0 \times 10^{-1} \text{ m/s}$	変更なし



(2) 設定値

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3表に示す。

第3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

a. 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（JIS 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4表に、透水試験結果を第5

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  $1.04 \times 10^{-4}$  m/s と設定した。

第 4 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	g/cm <sup>3</sup>	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 5 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 (m/s)	$3.49 \times 10^{-5}$	$6.27 \times 10^{-5}$	$1.04 \times 10^{-4}$

b. 掘削抵抗性層

掘削抵抗性層は、主材料として砕石又は石（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  $1.0 \times 10^{-3}$  m/s と設定した。

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

c. 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)。

d. 基礎層

基礎層として粒調砕石(M-30)の使用を想定し、粒調砕石(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。

粒調砕石(M-30)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。

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 6 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 7 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)	$6.49 \times 10^{-4}$	$1.40 \times 10^{-4}$	$3.76 \times 10^{-4}$

e. 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）。

f. 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 8 表に、透水試験結果を第 9 表に示す。

中間覆土の飽和透水係数<sup>3</sup>については、透水試験結果を算術平均

した値である  $4.73 \times 10^{-4} \text{ m/s}$  と設定した。

第 8 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	$\text{g/cm}^3$	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 9 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 ( $\text{m/s}$ )	$3.35 \times 10^{-4}$	$4.09 \times 10^{-4}$	$6.74 \times 10^{-4}$

g. 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  $3.23 \times 10^{-4} \text{ m/s}$  と設定した。

#### h. 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。

割栗石 ( $\phi 5 \text{ cm} \sim 15 \text{ cm}$ ) 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 ( $\phi 5 \text{ cm} \sim 15 \text{ cm}$ ) 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

#### (1) 変更内容

解析モデルの変更に伴い、保護工（じゃかご等）を削除した。

#### (2) 設定値

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-Genuchten 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 10 表に示す。

第 10 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

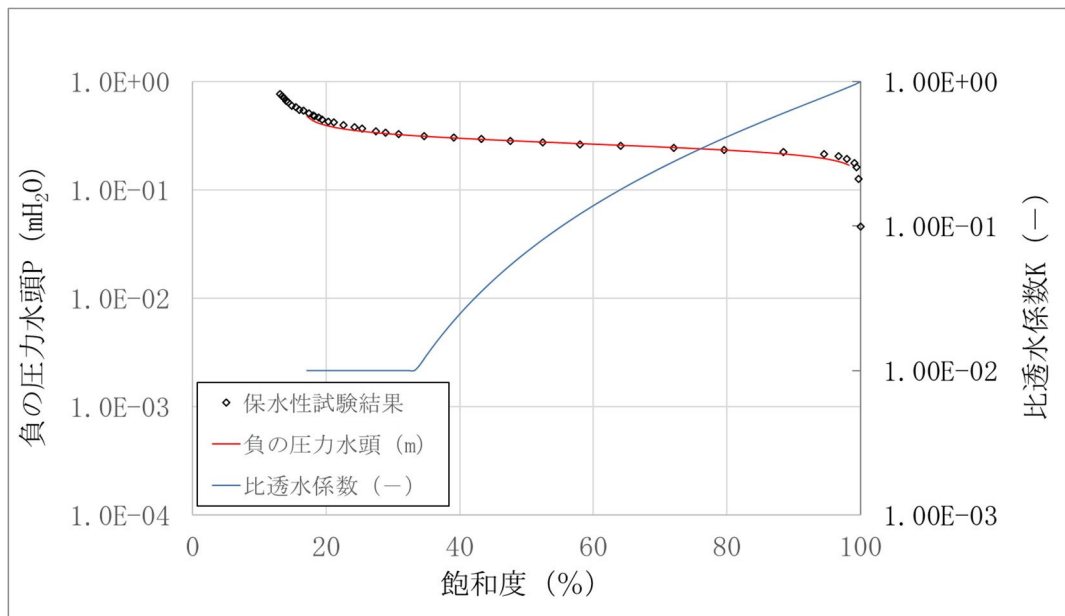


a. 保護土層

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（JGS 0151）の試験結果より、VG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VG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 保護土層の不飽和特性

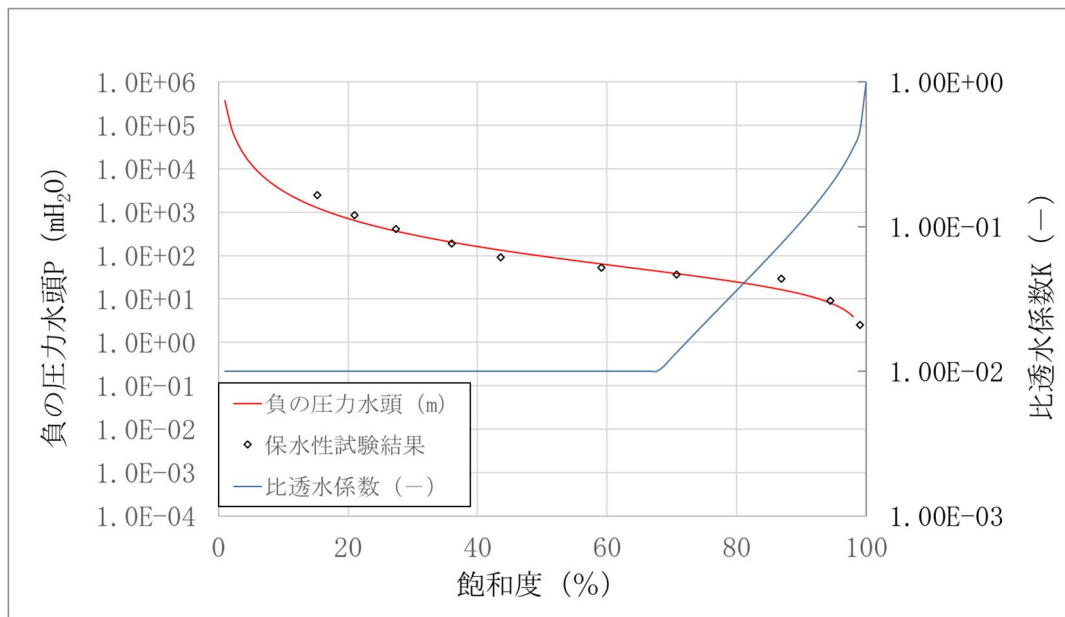
b. 掘削抵抗性層

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。

c. 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 6 図に示す。

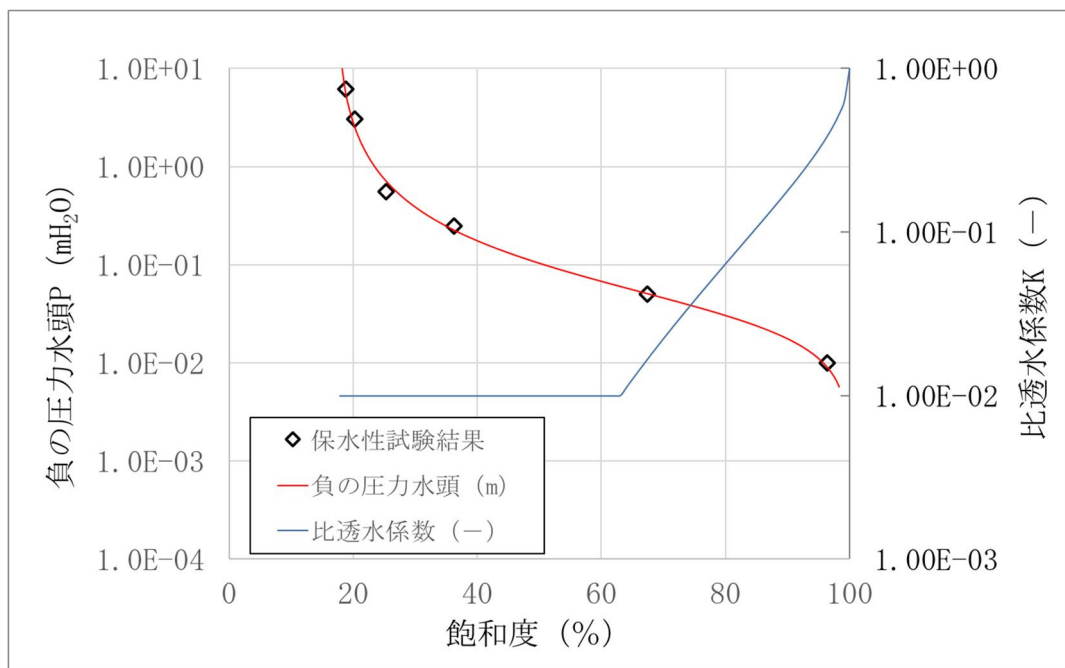


第 6 図 低透水性土層の不飽和特性

d. 基礎層

粒調砕石 (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 7 図に示す。



第 7 図 基礎層の不飽和特性

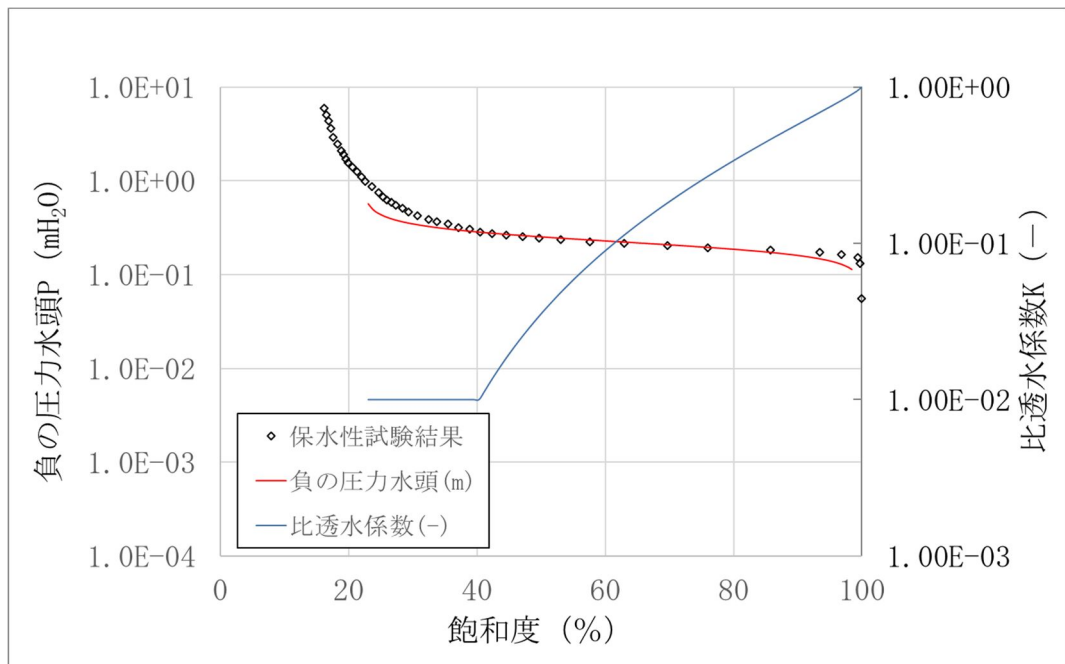
e. 側部低透水性覆土

低透水性土層と同様に設定した。

f. 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，VG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VG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8図に示す。



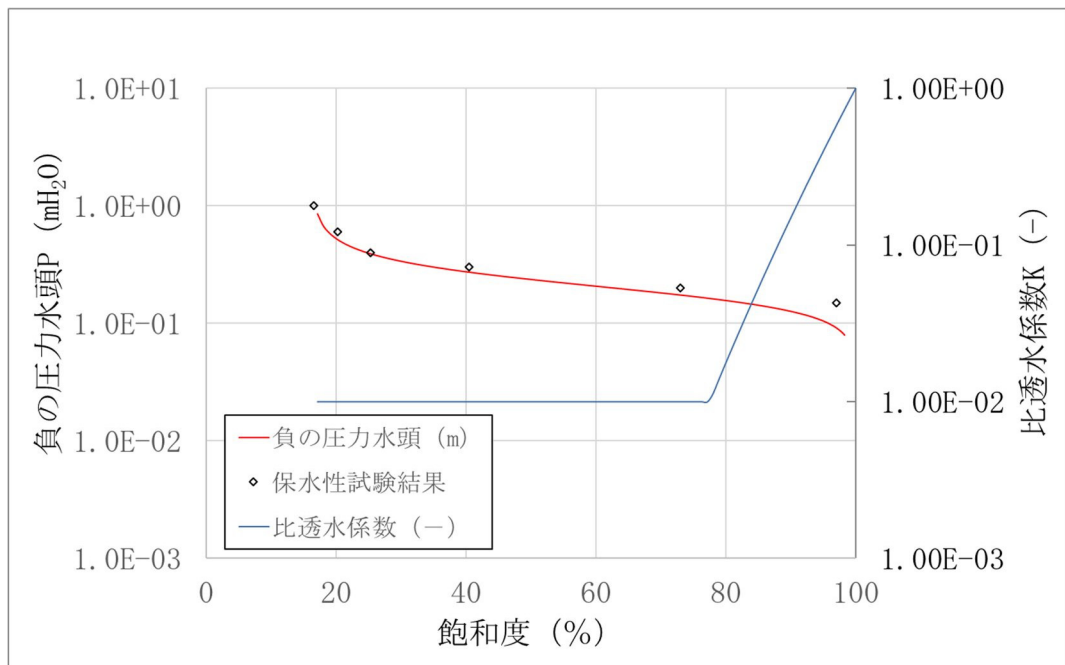
第8図 中間覆土（廃棄物埋設地内土砂）の不飽和特性

g. 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 9 図に示す。



第 9 図 地盤の不飽和特性

## h. 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、飽和度によらず比透水係数 1 で設定する。

### 3. 5 解析結果

#### (1) 変更内容

過去資料で示した解析結果との比較を第 10 図～第 14 図に示す。  
また、施設通過流量の比較を第 11 表に示す。

過去資料では、降雨条件として、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 から地質環境等の状態設定で設定した 1,000 年後の温暖期ケースにおける蒸発散量と表面流出量を除いたかん養量をモデルの上面境界として設定したうえで、さらに保護工（じゃかご等）で大部分が流れ出る結果となっており、保護土層より下への浸透水は極少量となる結果であった。

最新の解析結果では、保護工（じゃかご等）を解析モデルから除外し、降雨条件とし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 から、文献を基に表面流出量を 70%と設定し、降水量の 30%のかん養量をモデルの上面境界として設定した。そのため、降水量の 30%が保護土層に流入することとなり、過去資料の解析結果よりも多くの降雨が保護土層及び掘削抵抗性層に浸透する結果となっている。また、掘削抵抗性層の飽和透水係数の設定値を透水試験結果からの設定に変更したことにより、保護土層に比べて掘削抵抗性層の方が浸透水は流れやすい設定となっている。

そのため、全水頭コンター図を比較すると、第 11 図では廃棄物埋設地周辺の全水頭が低くなり、第 12 図では廃棄物埋設地内の全水頭が高くなっている。

流速コンター図を比較すると、保護工（じゃかご等）での水の流

れが支配的であったが、掘削抵抗性層での水の流れが支配的な結果に変わっている。

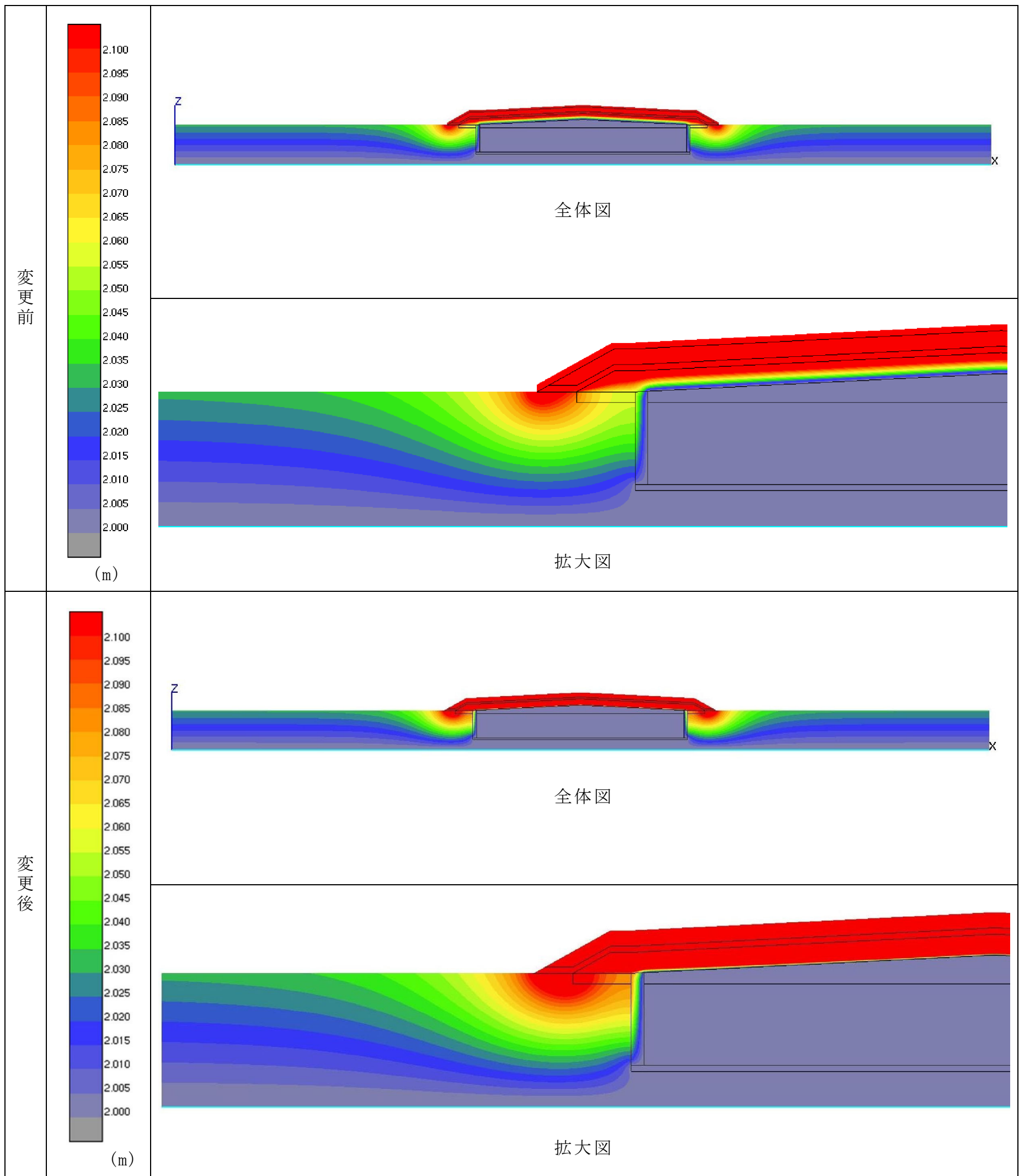
過去資料では、保護土層及び掘削抵抗性層への浸透水が極少量に抑えられていることから、保護土層及び掘削抵抗性層において浸透水は廃棄物埋設地の外側に流れ出ず、低透水性土層に到達した浸透水は、低透水性土層を鉛直に浸透する結果になっていたと考えられる。一方で、最新の解析結果では、保護土層及び掘削抵抗性層への浸透水量が増え、かつ、掘削抵抗性層の飽和透水係数の設定値を変更したことで、掘削抵抗性層を選択的に流れる結果になったと考えられる。

これらを踏まえ、流線図を比較すると、過去資料では、保護工（じゃかご等）で廃棄物埋設地の外側に流れ、保護土層に浸透した浸透水は埋設トレンチ内に鉛直に浸透する流線となっているのに対し、最新の解析結果では、掘削抵抗性層を選択的に流れ、低透水性土層を鉛直に浸透する流線は少なくなる結果となっている。

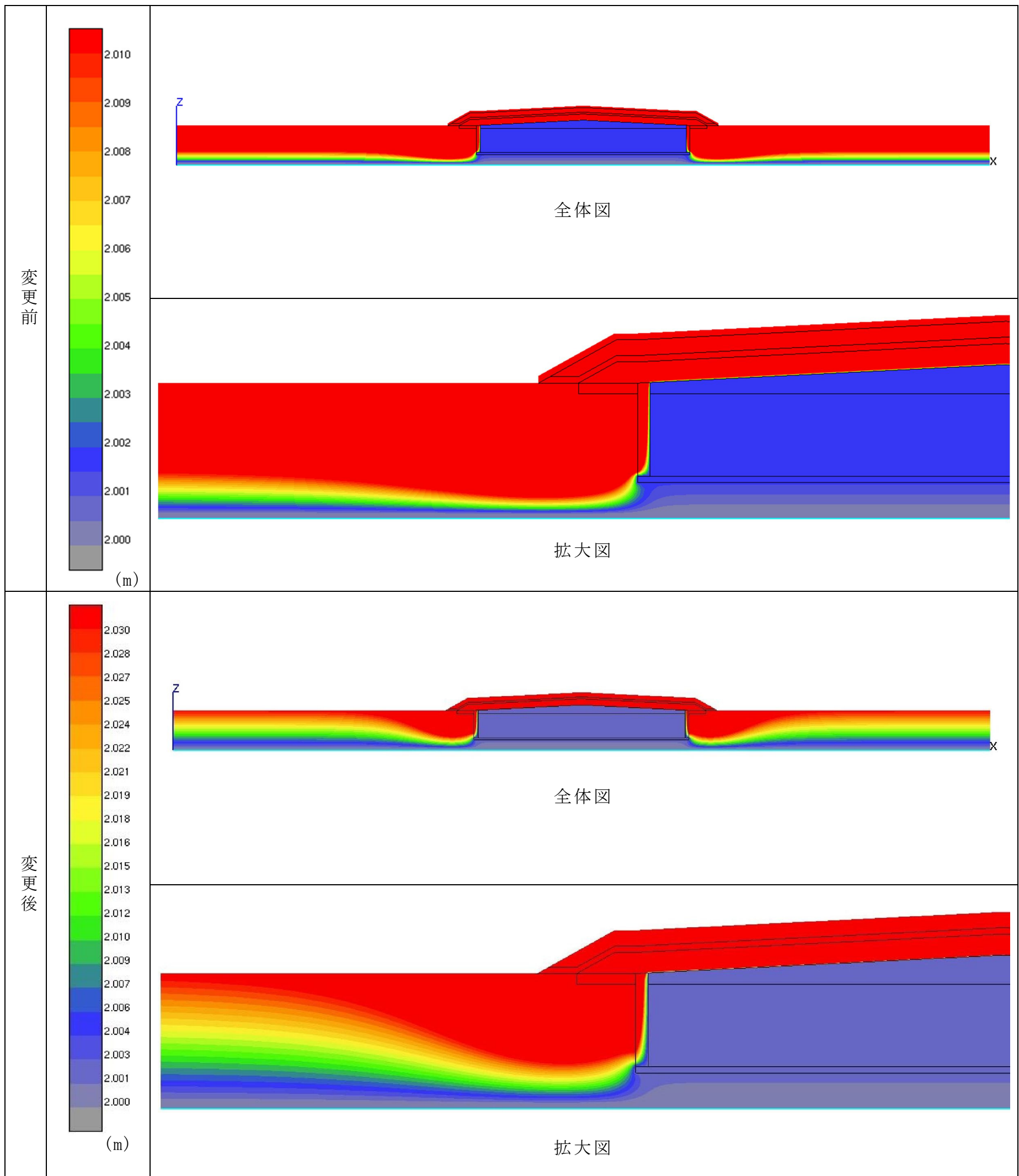
施設通過流量で見た場合は、過去資料では  $0.0002 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{y})$  であったのに対し、最新の解析結果では  $0.0009 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{y})$  となっており、過去資料において低透水性土層を鉛直に浸透する量が極少量となっていたことが分かる。

また、施設通過流量の増加については、保護土層より下に浸透する浸透水量が増えたことにより施設通過流量が大きくなった結果であると考えられる。

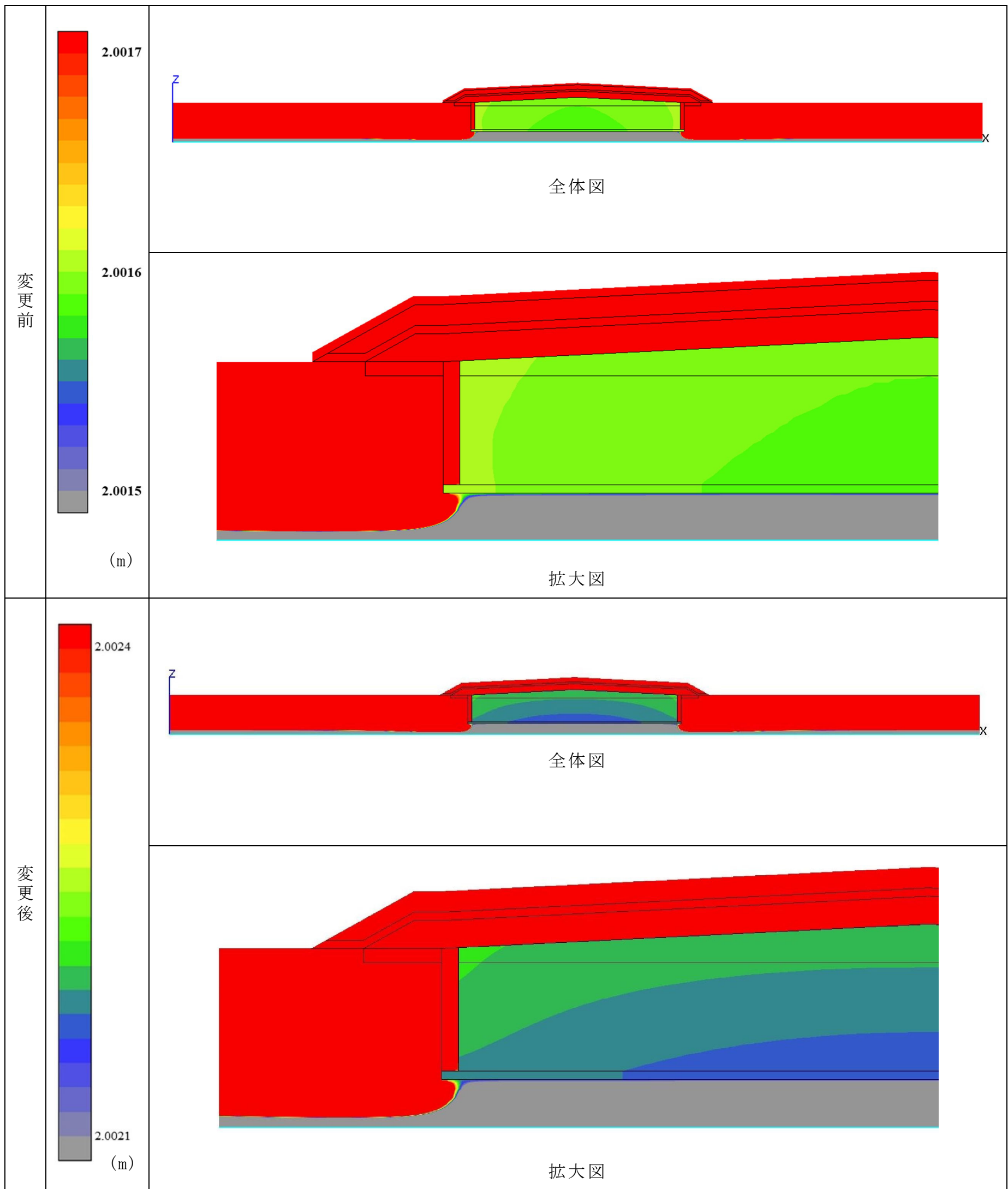




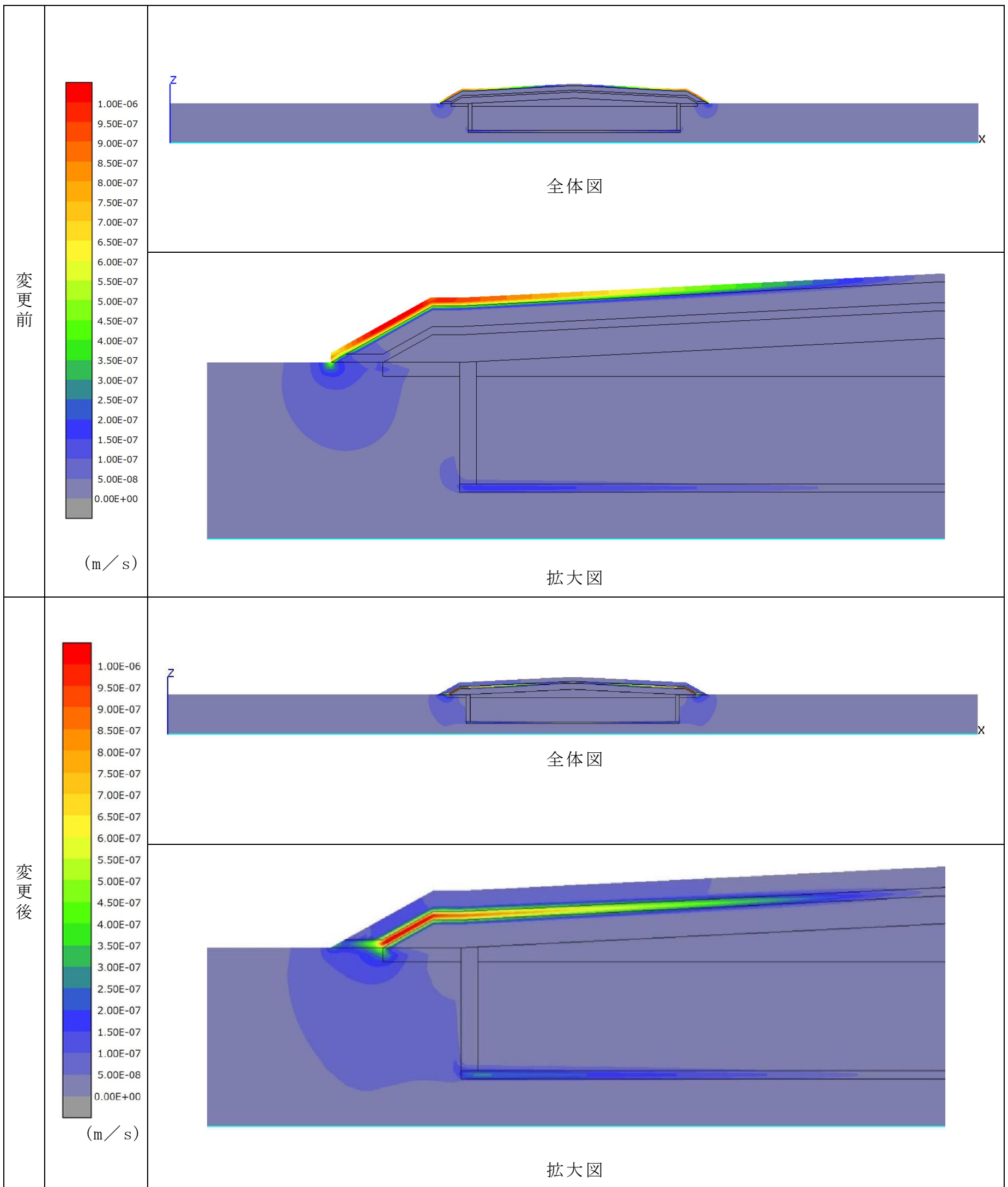
第 10 図 解析結果（全水頭コンター図）の比較



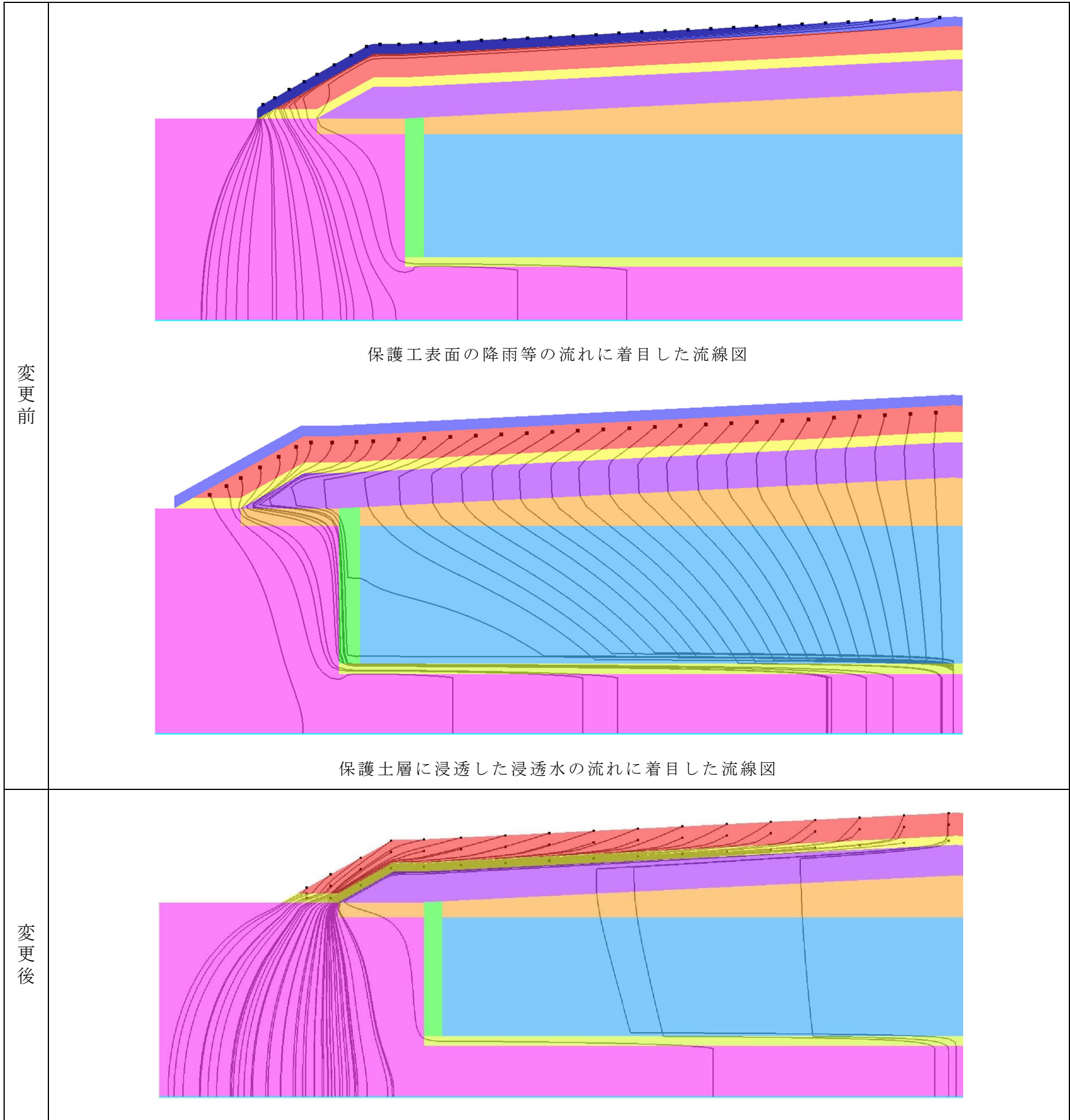
第 11 図 解析結果（廃棄物埋設地周辺に着目した全水頭コンター図）の比較



第 12 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）の比較



第 13 図 解析結果（流速コンター図）の比較



第 14 図 解析結果（流線図）の比較

第 11 表 施設通過流量の比較

	変更前		変更後	
	施設への流入量 <sup>※1</sup> ( $\text{m}^3 / \text{y}$ )	施設からの流出量 <sup>※1</sup> ( $\text{m}^3 / \text{y}$ )	施設への流入量 <sup>※1</sup> ( $\text{m}^3 / \text{y}$ )	施設からの流出量 <sup>※1</sup> ( $\text{m}^3 / \text{y}$ )
上部	0.00347	0	0.02579	0
底部	0.00039	0.00448	0	0.03
側部 (右)	0.00029	0	0.00205	0
側部 (左)	0.00029	0	0.00205	0
計	0.00444	0.00448	0.02989	0.03
施設通過流量 <sup>※1, ※2</sup>	0.00014 ( $\text{m}^3 / \text{y} / \text{m}^2$ )		0.0009 ( $\text{m}^3 / \text{y} / \text{m}^2$ )	

※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 ( $33.7 \text{ m}^2$ ) で除した流量

## (2) 最新の解析結果

第 15 図～第 17 図に解析結果の全水頭コンター図を，第 18 図に解析結果の流速コンター図を，第 19 図に解析結果の飽和度コンター図を，第 20 図に解析結果の流線図を示す。

### a. 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 15 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おおむね水平であり，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 16 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 17 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。

### b. 流速コンター図

第 18 図には，ダルシー流速の絶対値を用いた流速コンター図を示す。

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。

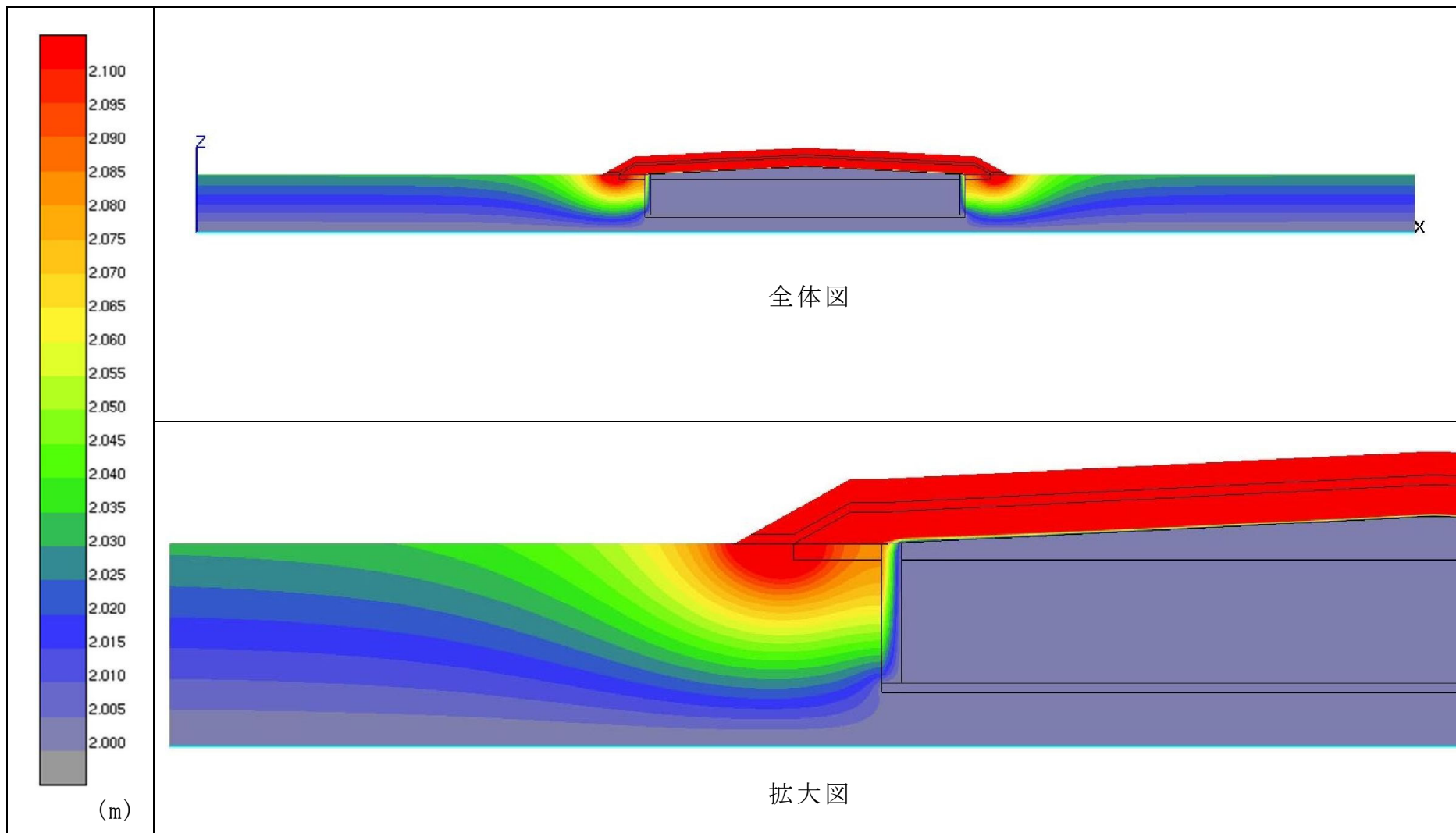
c. 飽和度コンター図

第 19 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。

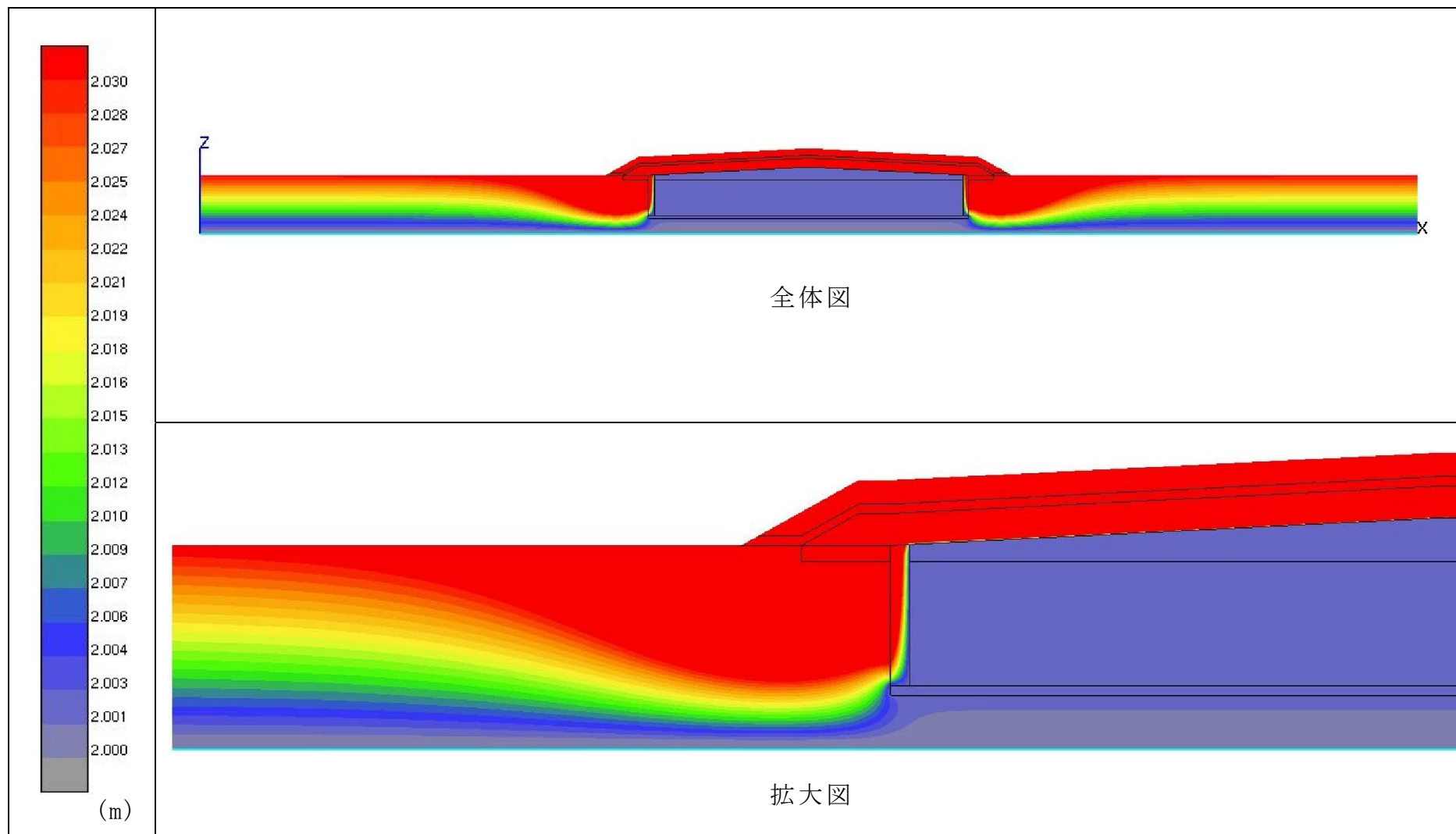
d. 流線図

第 20 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ことを示している。

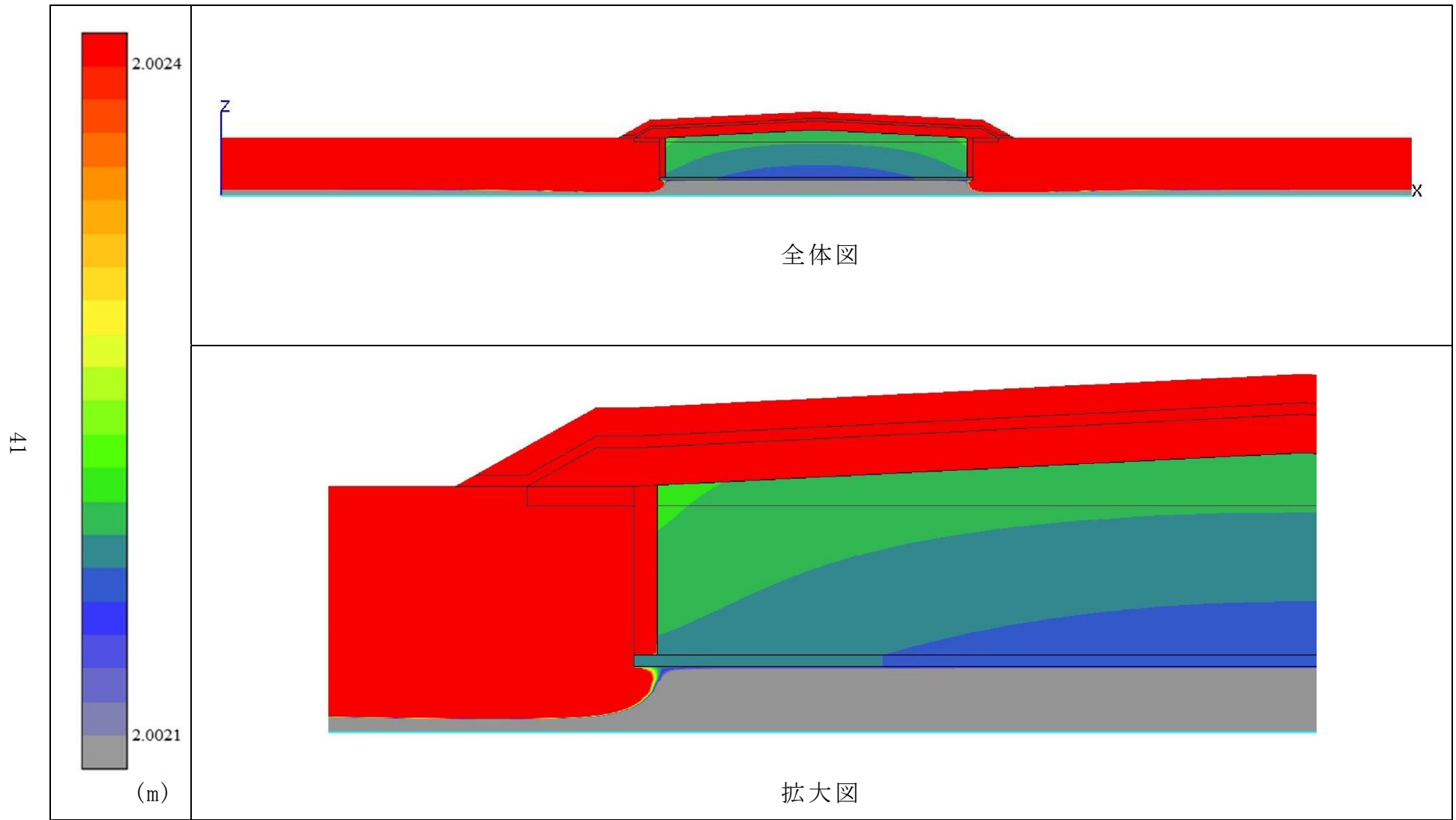




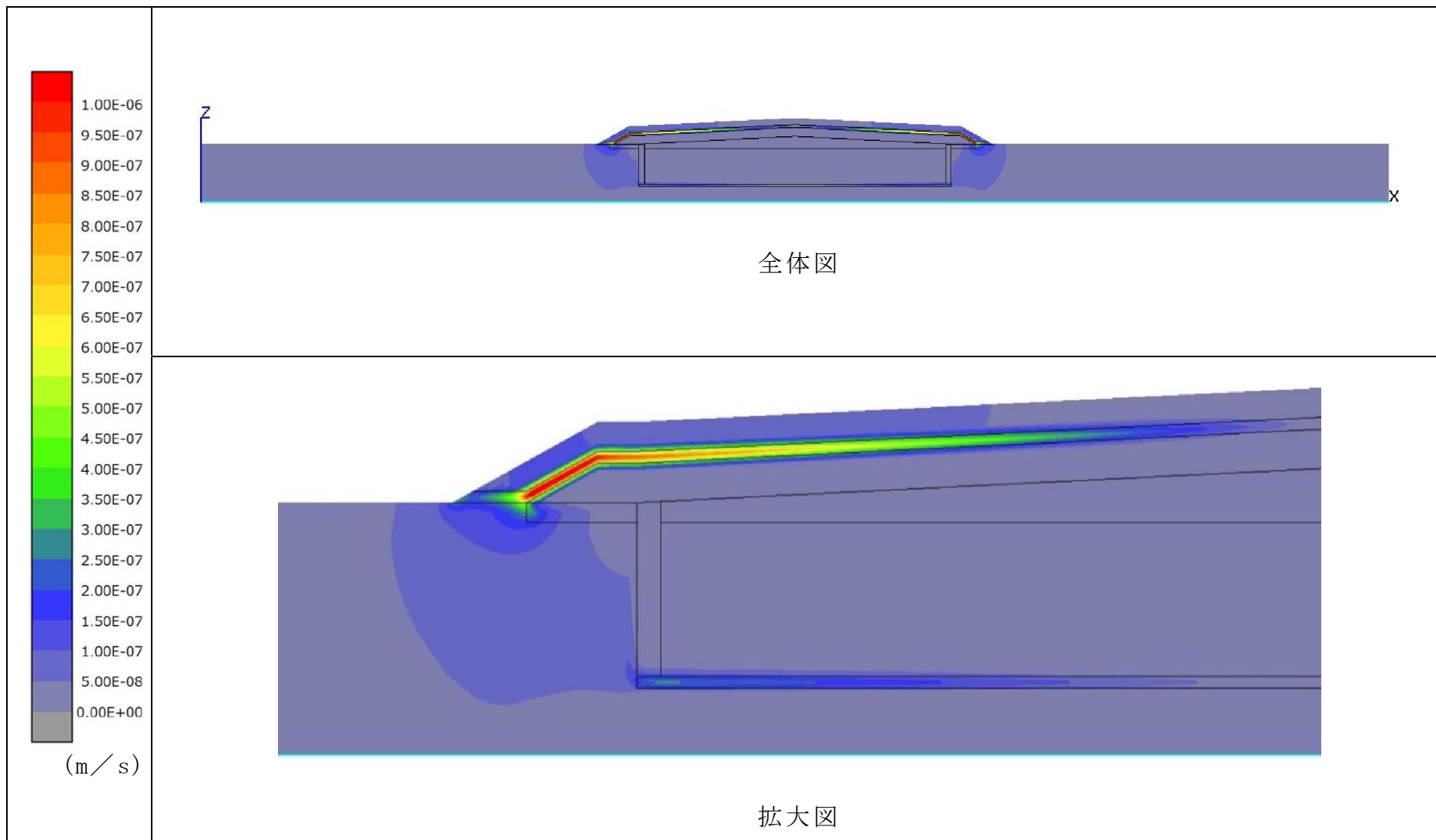
第 15 図 解析結果 (全水頭コンター図)



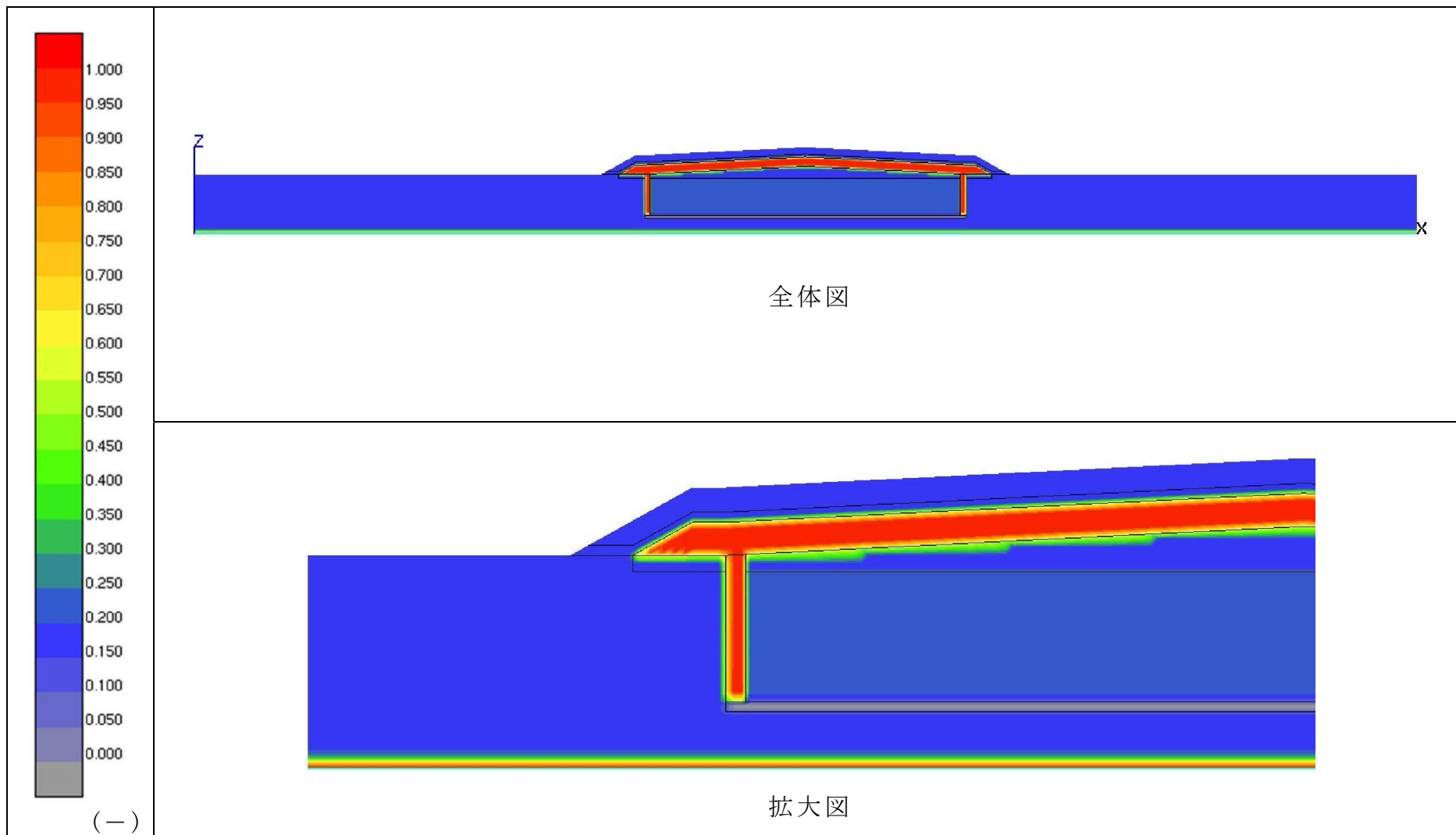
第 16 図 解析結果（廃棄物埋設地周辺に着目した全水頭コンター図）



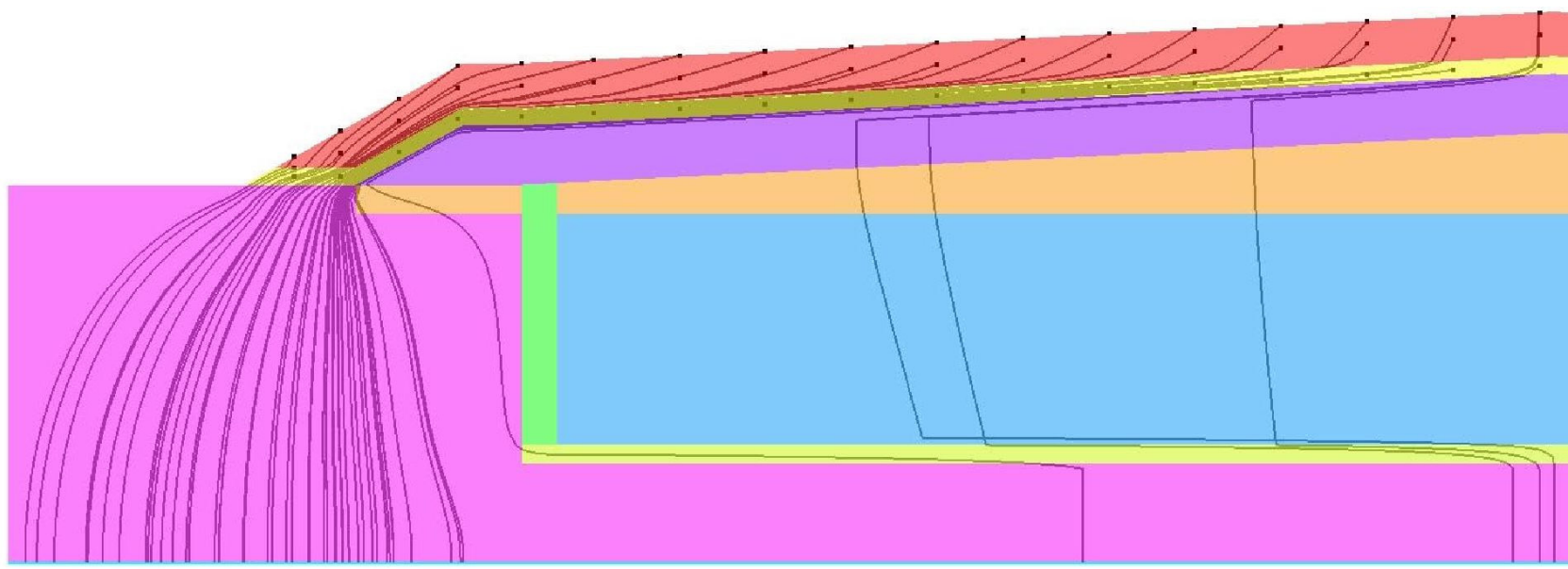
第 17 図 解析結果（廃棄物埋設地内に着目した全水頭コンター図）



第 18 図 解析結果 (流速コンター図)



第 19 図 解析結果 (飽和度コンター図)



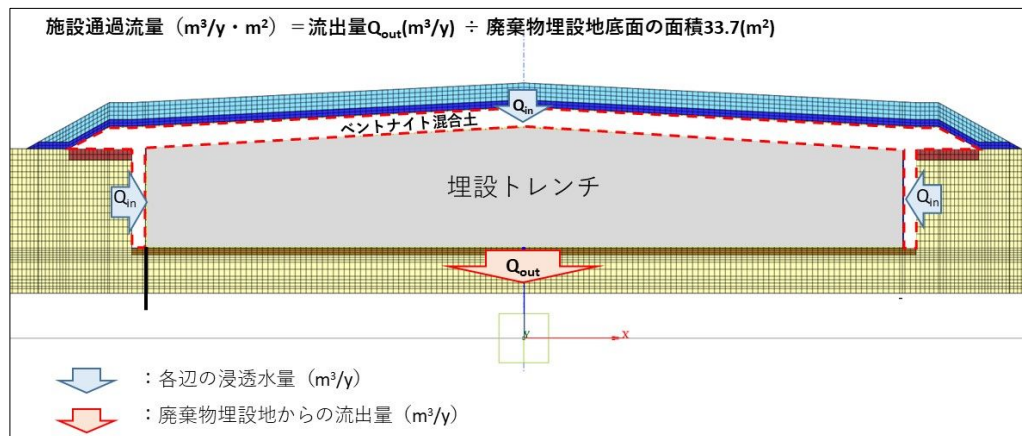
第 20 図 解析結果 (流線図)

e. 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 21 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 12 表に示す。



第 21 図 施設通過流量算出概要図

第 12 表 施設通過流量の解析結果

	施設への流入量 <sup>※1</sup> ( $\text{m}^3 / \text{y}$ )	施設からの流出量 <sup>※1</sup> ( $\text{m}^3 / \text{y}$ )
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 ( $\text{m}^3 / \text{y} / \text{m}^2$ )	

※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 ( $33.7 \text{ m}^2$ ) 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、「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への適合性について 浸透流解析」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 (cm<sup>2</sup>)

$Q$  : 流出水量 (cm<sup>3</sup>)

$\Delta t$  : 測定時間 (s)

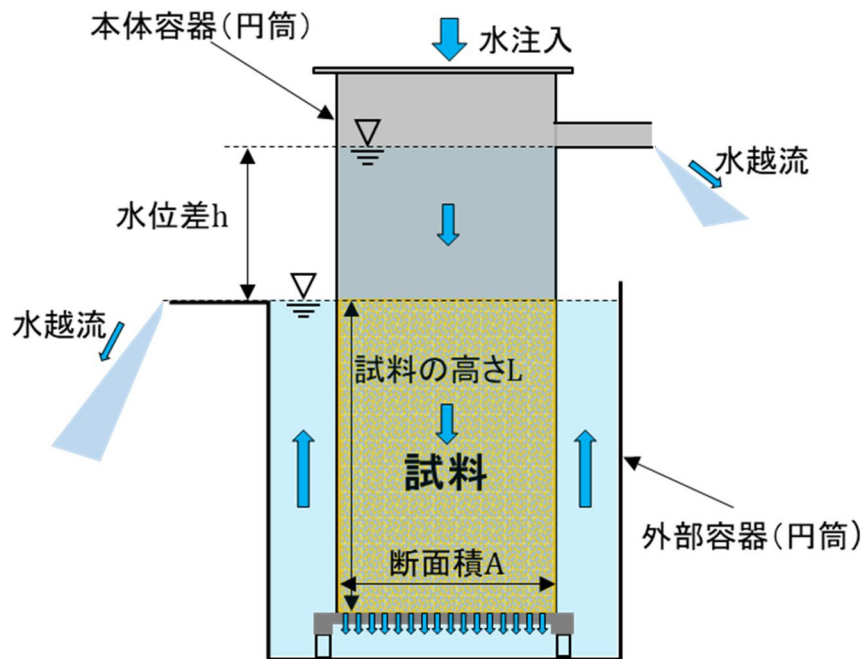
$$k_{15} = k_T * \frac{\eta_T}{\eta_{15}} \quad \dots (2)$$

$k_{15}$  : 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。

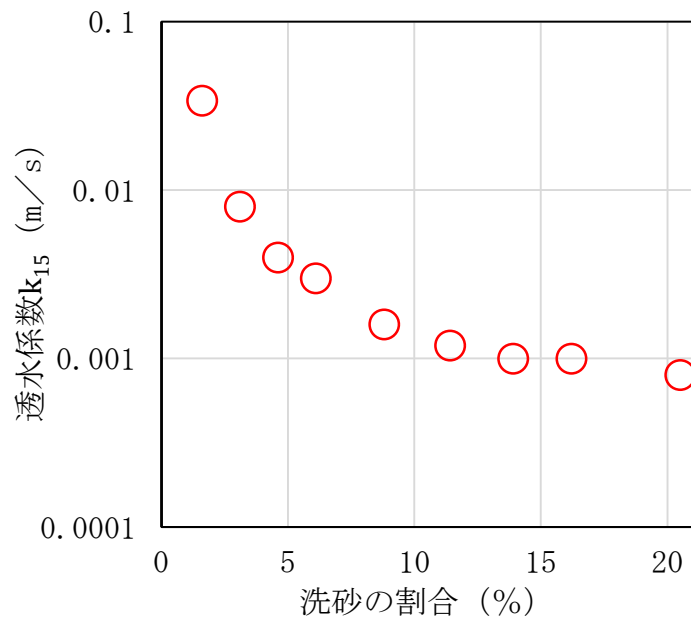
洗砂の投入割合が増加するにつれて温度 15°Cにおける透水係数  $k_{15}$  が 0.001 m/s に収束する傾向であった。

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 / Δt (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	3,795.9	0.00262	21.0	0.033	0.034
650	21.0	100	3,795.9	0.00152	50.0	0.008	0.008
650	31.5	100	3,795.9	0.00079	53.0	0.004	0.004
650	42.0	100	3,795.9	0.00061	53.5	0.003	0.003
650	63.0	100	3,795.9	0.00033	55.0	0.0016	0.0016
650	84.0	100	3,795.9	0.00025	55.0	0.0012	0.0012
650	105	100	3,795.9	0.00022	55.5	0.0010	0.0010
650	126	100	3,795.9	0.00020	55.5	0.0010	0.0010
650	168	100	3,795.9	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、「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への適合性について 浸透流解析」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

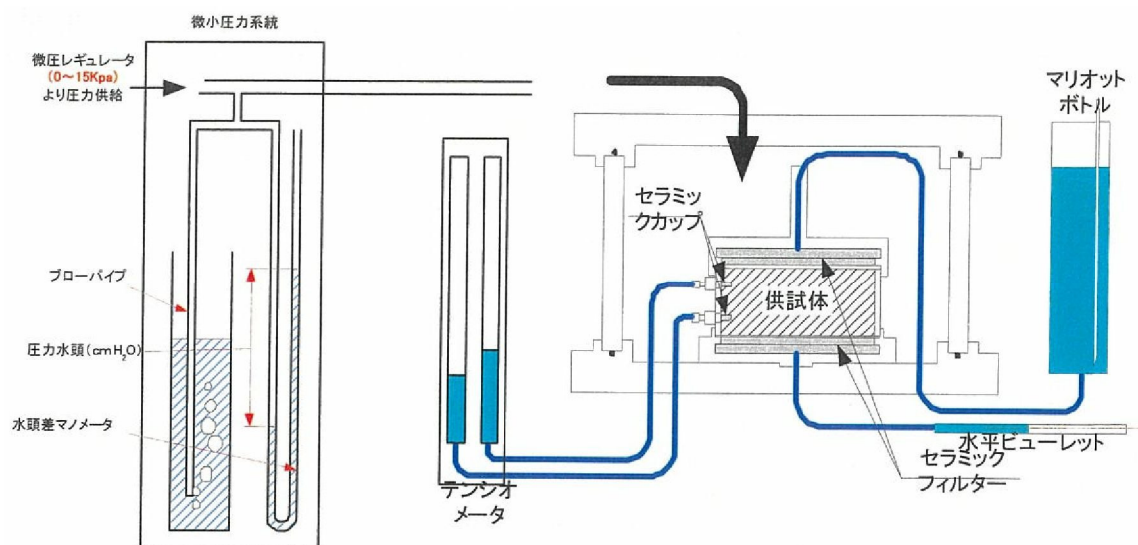
試験手順の概要を以下に示す。

- 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ョット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 (1) 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.....	19
7	参考文献.....	19

## 1 はじめに

本資料は、「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への適合性について 浸透流解析」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。

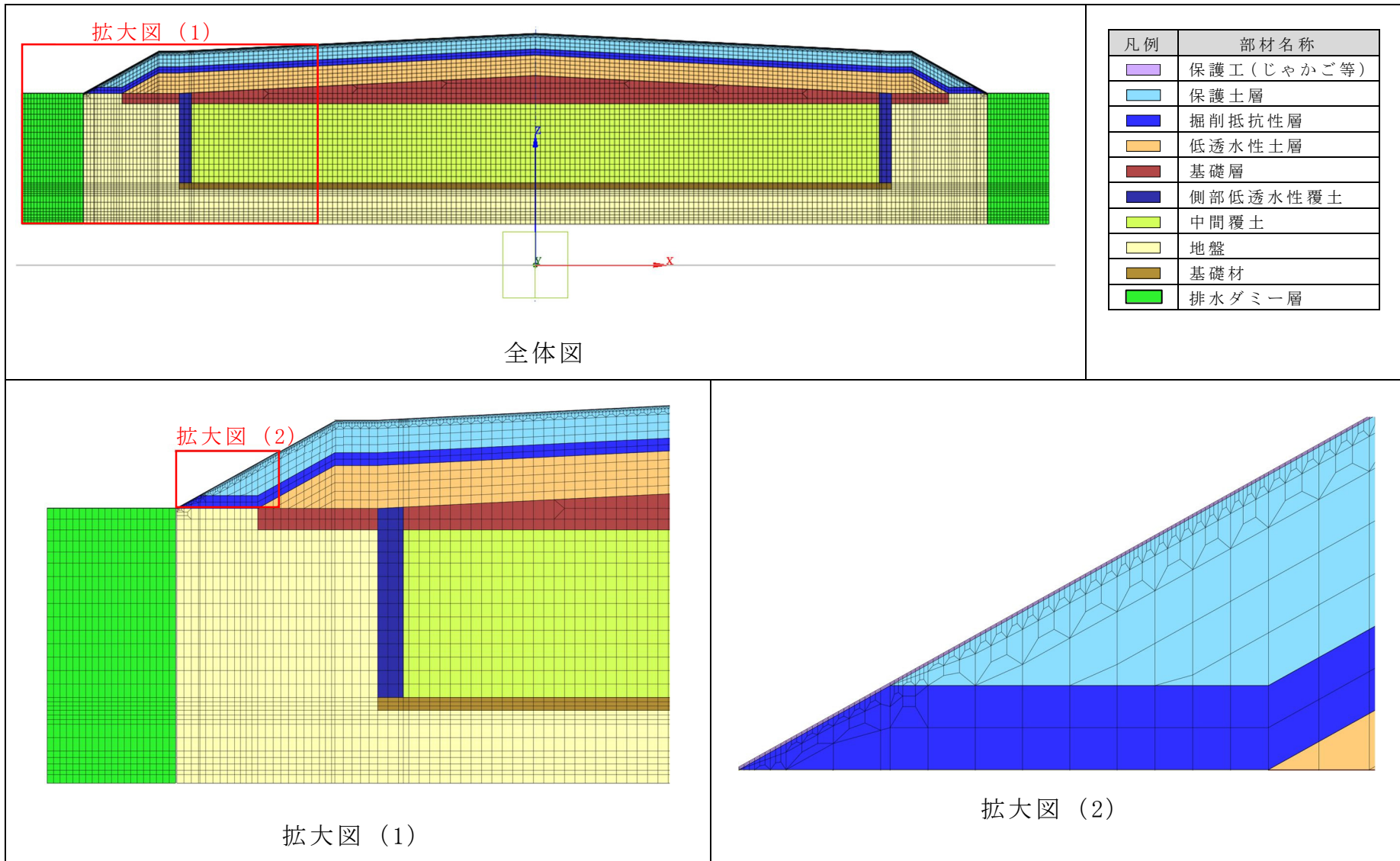
## 2 解析モデル

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。

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

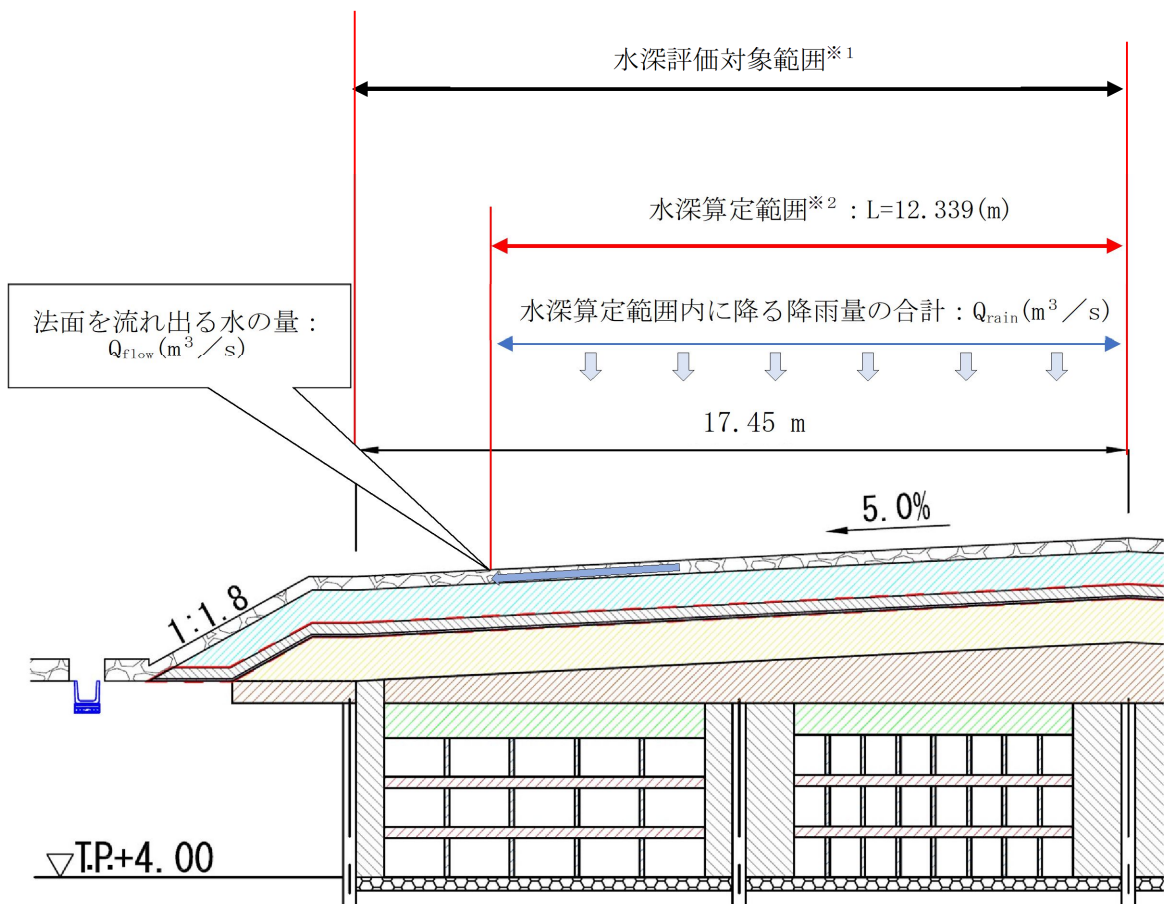
$$h = 1.62 \times 10^{-4}(m)$$

$$h = 0.16(mm)$$

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：水の流れの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の面積と、 $Q_{flow}$ 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、等価透水係数の算出イメージを第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。

$$\begin{aligned} Q_1 &= k * A_1 * i \\ &= 1.0 \times 10^{-1}(\text{m/s}) * 1.6 \times 10^{-4}(\text{m}^2) * 0.05(-) \\ &= 8.0 \times 10^{-7}(\text{m}^3/\text{s}) \end{aligned}$$

ここで各記号は以下の意味となる。

$k$  : 保護工（じゃかご等）の透水係数(m/s)

$A_1$  : 水の流れの断面積( $\text{m}^2$ )

= 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。

$$\begin{aligned} Q_2 &= k' * A_2 * i \\ &= k'(\text{m/s}) * 1.0 \times 10^{-2}(\text{m}^2) * 0.05(-) \\ &= 5.0 \times 10^{-4} * k'(\text{m}^3/\text{s}) \end{aligned}$$

ここで各記号は以下の意味となる。

$k'$  : 保護工（じゃかご等）の等価透水係数(m/s)

$A_2$  : 水の流れの断面積( $\text{m}^2$ )

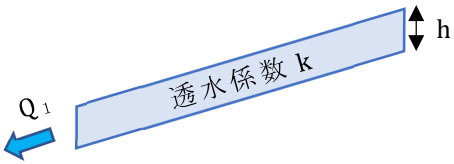
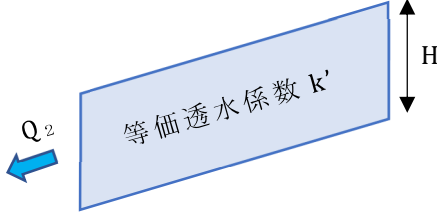
単位奥行当たりとして解析で模擬する保護工（じゃかご等）の厚さ 0.01 m が該当

$i$  : 動水勾配(-)

・  $Q_1 = Q_2$ より  $k'$ は以下のとおりとなる。

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

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

想定する水深	解析で模擬する 保護工（じゃかご等）の厚さ
 <p><math>Q_1</math> : 流れ出る水の量 (<math>\text{m}^3/\text{s}</math>)</p> <p><math>k</math> : 透水係数 (<math>\text{m}/\text{s}</math>)</p> <p><math>1.0 \times 10^{-1}</math> (<math>\text{m}/\text{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>\text{m}^3/\text{s}</math>)</p> <p><math>k'</math> : 等価透水係数 (<math>\text{m}/\text{s}</math>)</p> <p><math>H</math> : 解析モデルの保護工（じゃかご等） 厚さ</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，「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への適合性について 浸透流解析」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）と同一に設定
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	$3.23 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	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

#### 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，「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への適合性について 浸透流解析」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、「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への適合性について 浸透流解析」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。

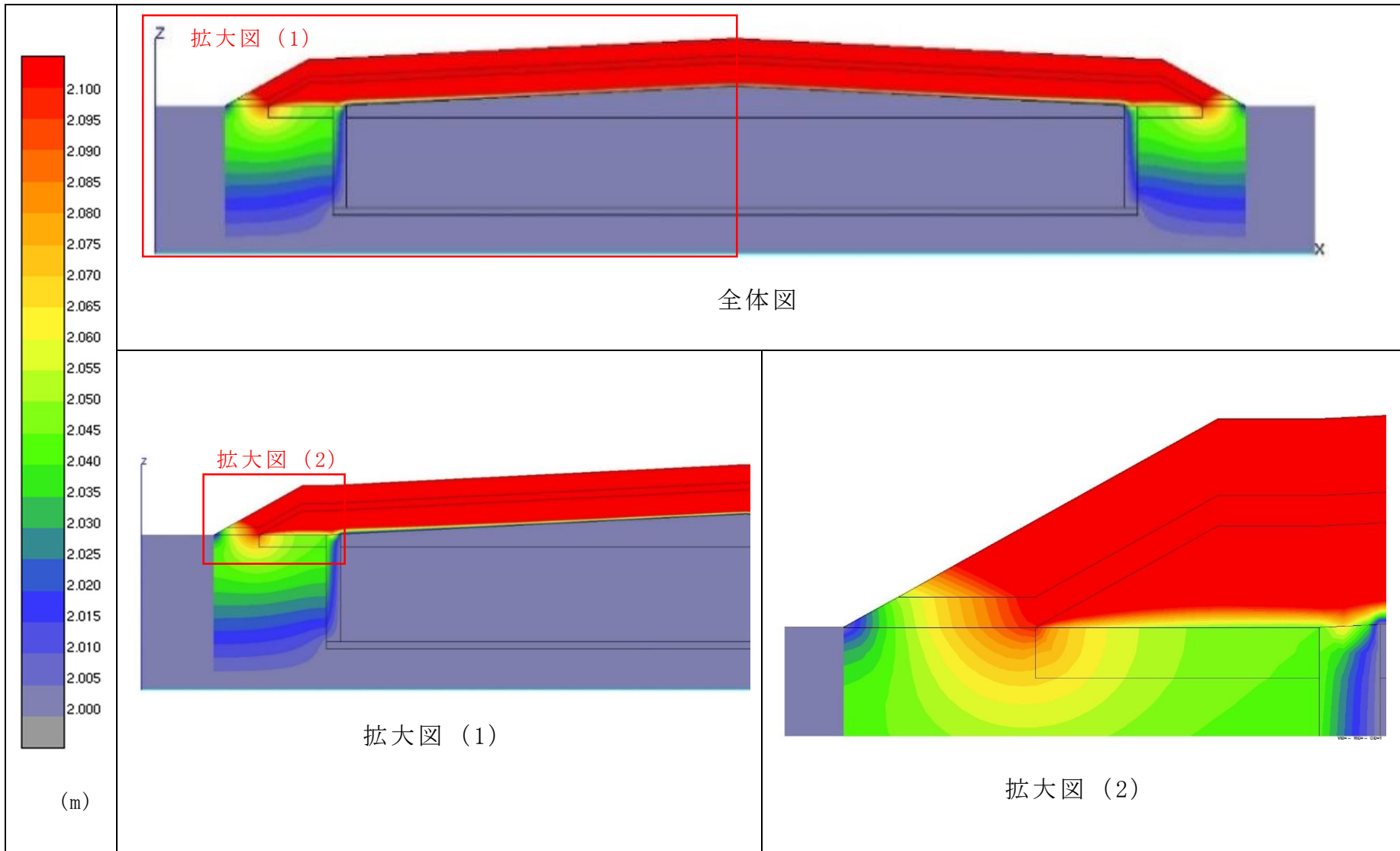
保護工(じゃかご等)の流速が大きく、大部分が保護工(じゃかご等)を流下することが分かる。

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、「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への適合性について 浸透流解析」と同様の傾向である。

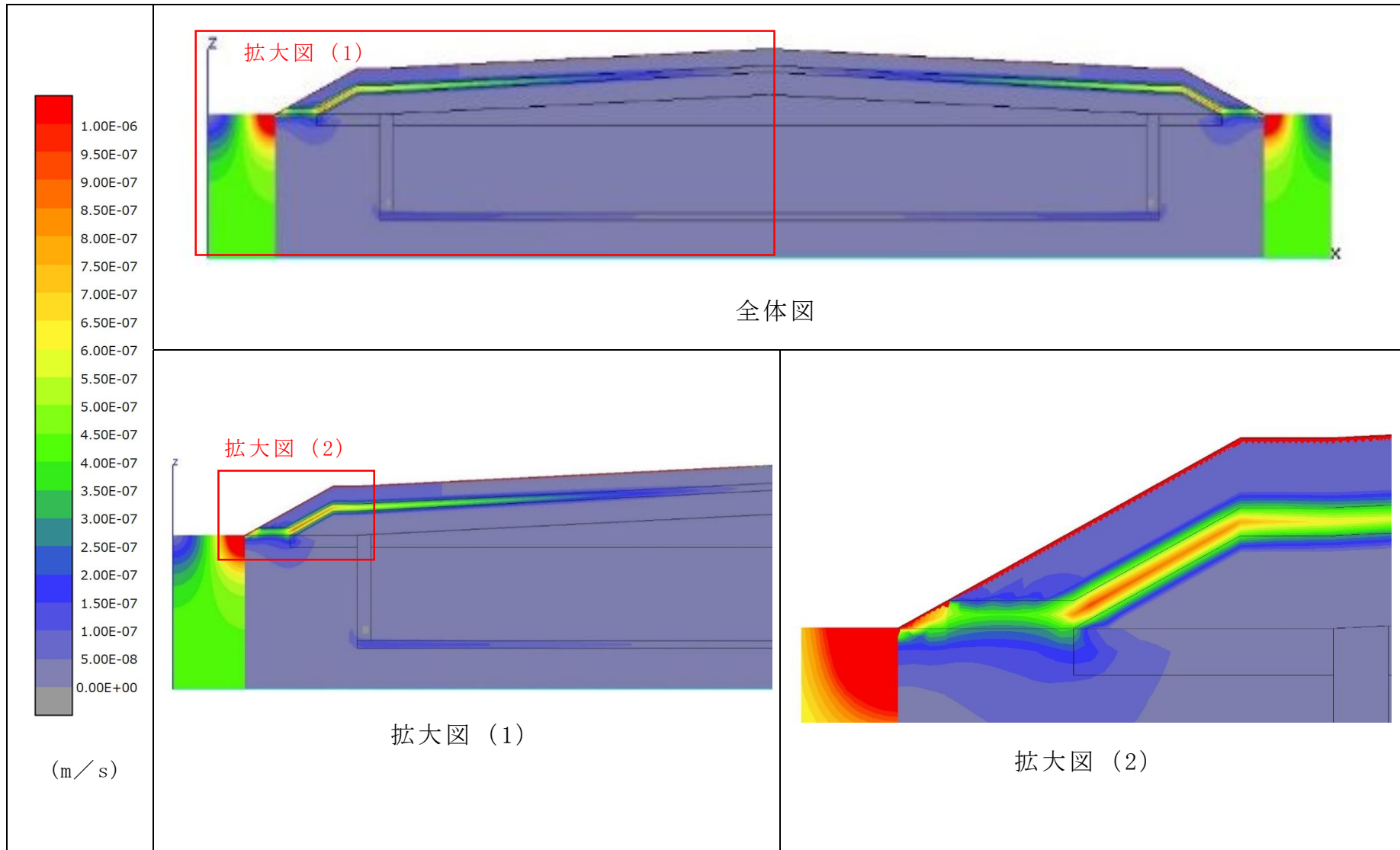
### (3) 流線図

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。

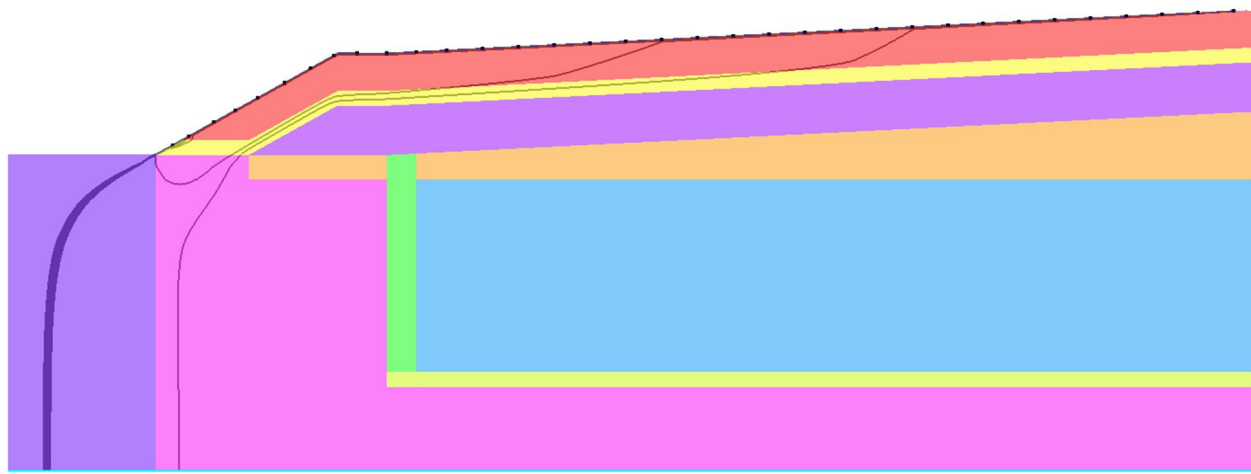
また、保護土層に浸透した降雨等は、主に低透水性土層の上面である掘削抵抗性層を選択的に流れ、その後地盤に浸透する流れとなっており、「東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所 第二種廃棄物埋設事業許可申請 第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則への適合性について 浸透流解析」と同様の傾向である。



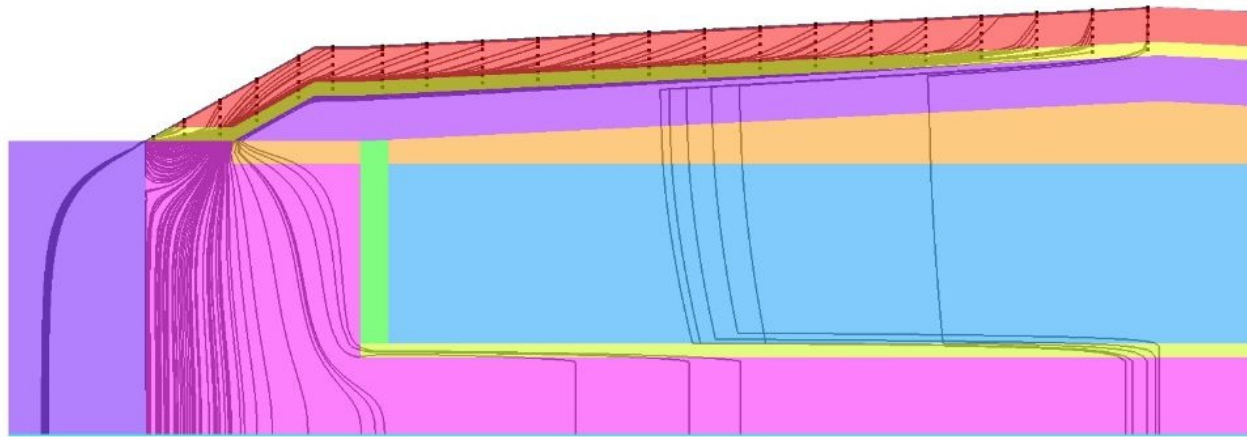
第4図 解析結果（全水頭コンター図）



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。

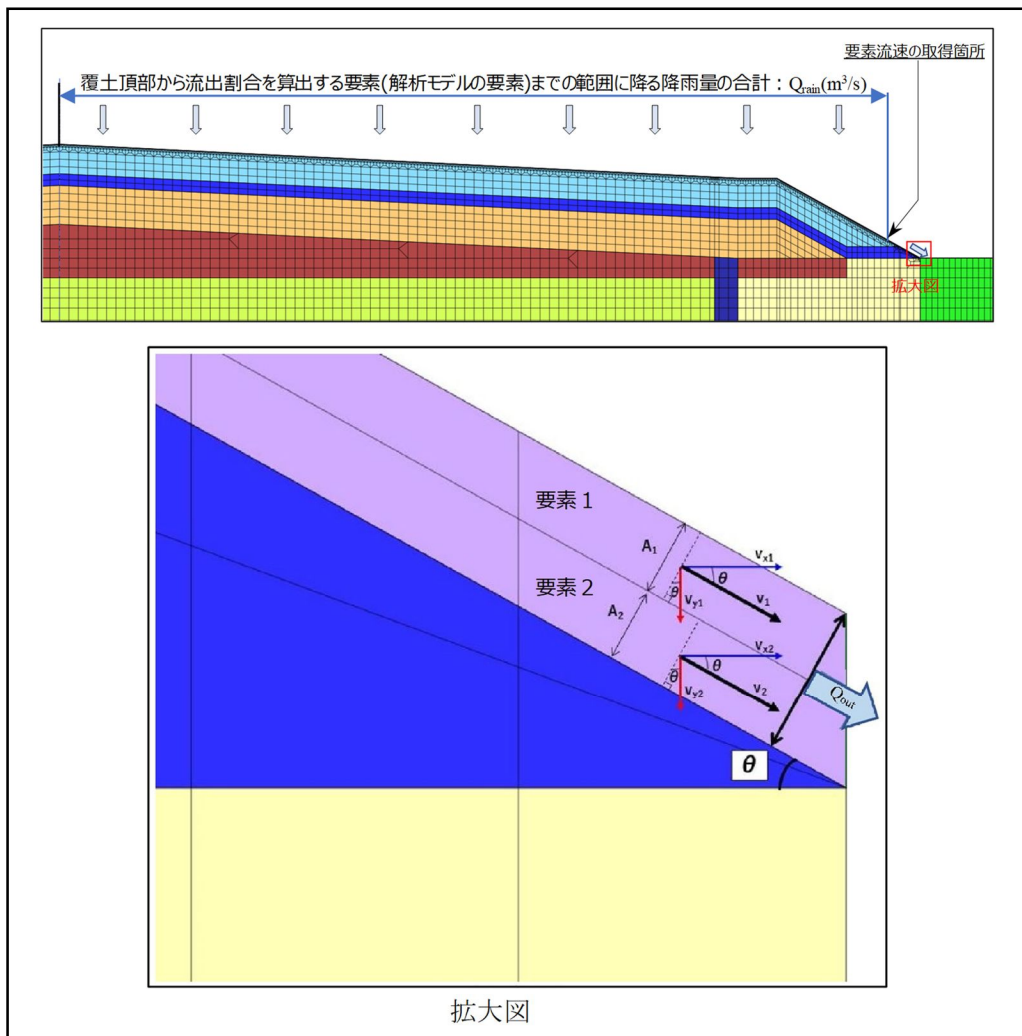
$$Q_{out}(m^3/s) \div Q_{rain}(m^3/s)$$

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/s)
- $V_{x1}, V_{x2}$  : 要素 1, 要素 2 の水平方向要素流速 (m/s)
- $V_{y1}, V_{y2}$  : 要素 1, 要素 2 の鉛直方向要素流速 (m/s)
- $\theta$  : 保護工 (じゃかご等) の水平方向に対する角度 (°)



第 7 図 流出割合の算出方法の概要

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 流出割合の算出に用いたパラメータ

	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