



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19日

日本原子力発電株式会社



審査会合における指摘事項

No.	審査日	資料指摘箇所	指摘事項	指摘事項 対応箇所	回答内容
1	2022/11/14	資料2-2 添2- 28, 29	流線図を描いているが、理解しがたい流れになっているため、解析の方法及び妥当性判断を説明すること。	資料3-2	浸透流解析における入力条件及び解析モデルの見直しを行い、再度解析を行いました。

- 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再度解析を実施した結果を説明する。



埋設トレンチへの浸透水量(1/20)

➤ 埋設トレンチ内への雨水等の浸入を抑制する設計となっていることを、以下のとおり確認する。

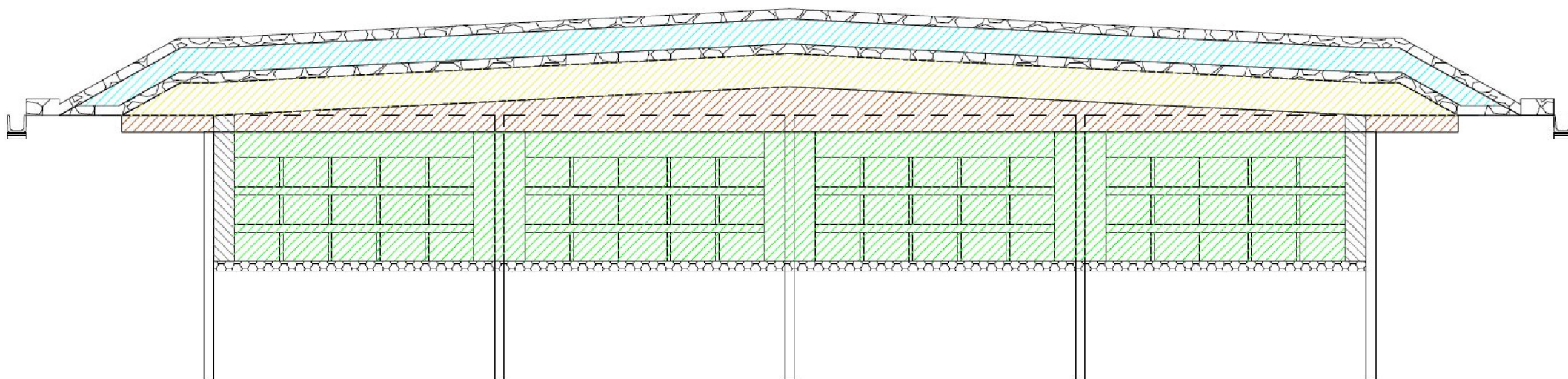
(1) 確認方法

- ✓ 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入が抑制されることを、浸透流解析により確認

(2) 設計内容

- ✓ 低透水性土層は、埋設が完了したトレンチの上部から雨水等が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、埋設が完了したトレンチの側部から雨水等が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。
- ✓ 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。
- ✓ 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。
- ✓ これらを踏まえた東側埋設トレンチの断面図を第1図に示す。

埋設トレンチへの浸透水量(2/20)



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

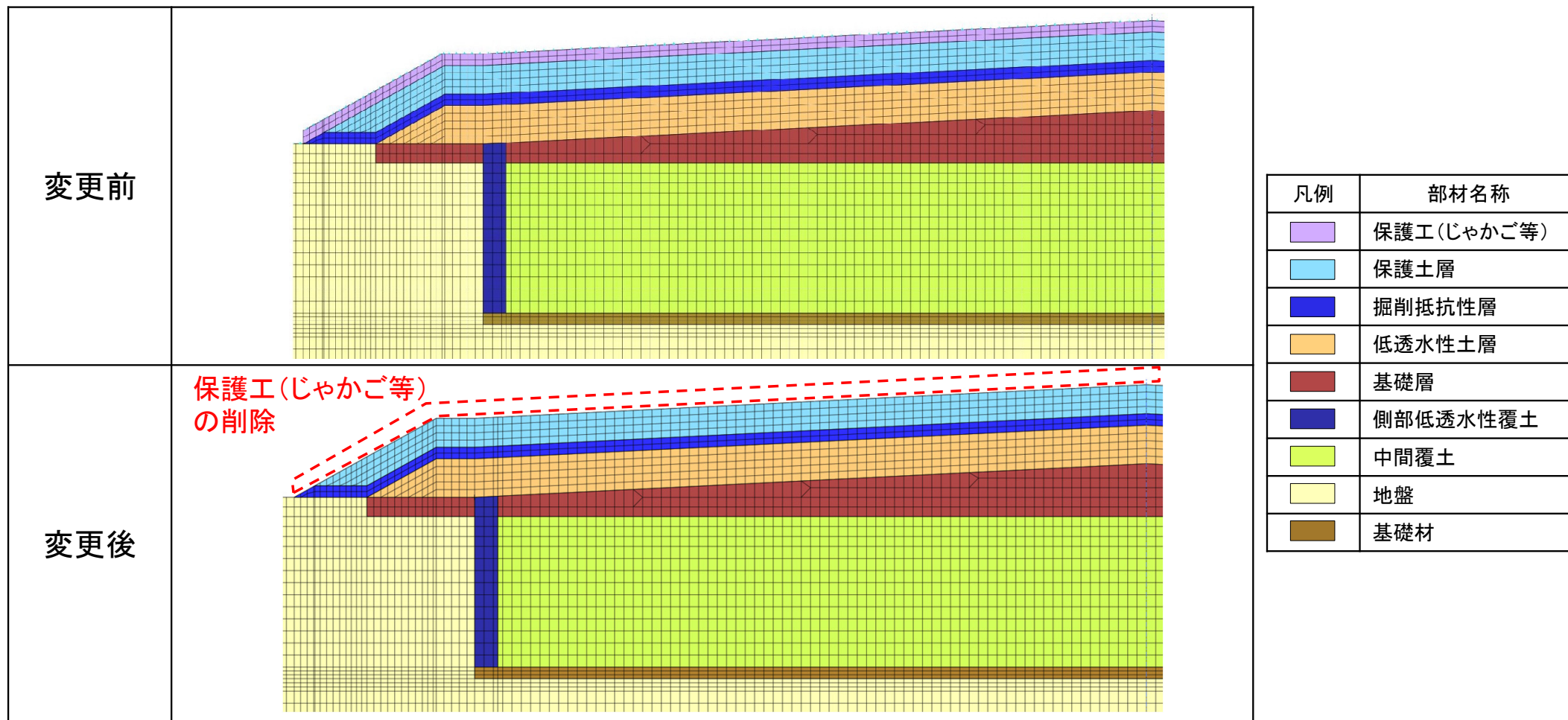
(3) 解析コード

- ✓ 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

(4) 過去資料からの変更点

- ✓ 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から保護工(じゃかご等)を除外した(第2図参照)。
- ✓ 境界条件のうち、上面境界について、覆土領域と地盤領域で同一の設定値を用いていたが、それぞれの設定値を分けて設定することに変更した。
- ✓ 覆土領域の設定値については、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の30%に変更した(第1表参照)。
- ✓ 解析物性値のうち、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は、廃棄物埋設地の状態設定を踏まえた設定に変更した(第2表参照)。

埋設トレンチへの浸透水量(4/20)



第2図 変更前後の解析モデル比較

埋設トレンチへの浸透水量(5/20)

第1表 境界条件のうち上面境界の変更内容

変更前	変更後
<ul style="list-style-type: none"> 覆土領域と地盤領域で同一の設定 	<ul style="list-style-type: none"> 地盤領域と覆土領域で分けて設定
<ul style="list-style-type: none"> 覆土領域と地盤領域の設定値は、地質環境等の状態設定における周辺土壌のかん養量の設定値である510 mm/yと設定 	<ul style="list-style-type: none"> 地盤領域は、510 mm/yと設定(変更なし) 覆土領域は、温暖期継続ケースの1,000年後の降水量である2,080 mm/yの30%(624 mm/y)を設定

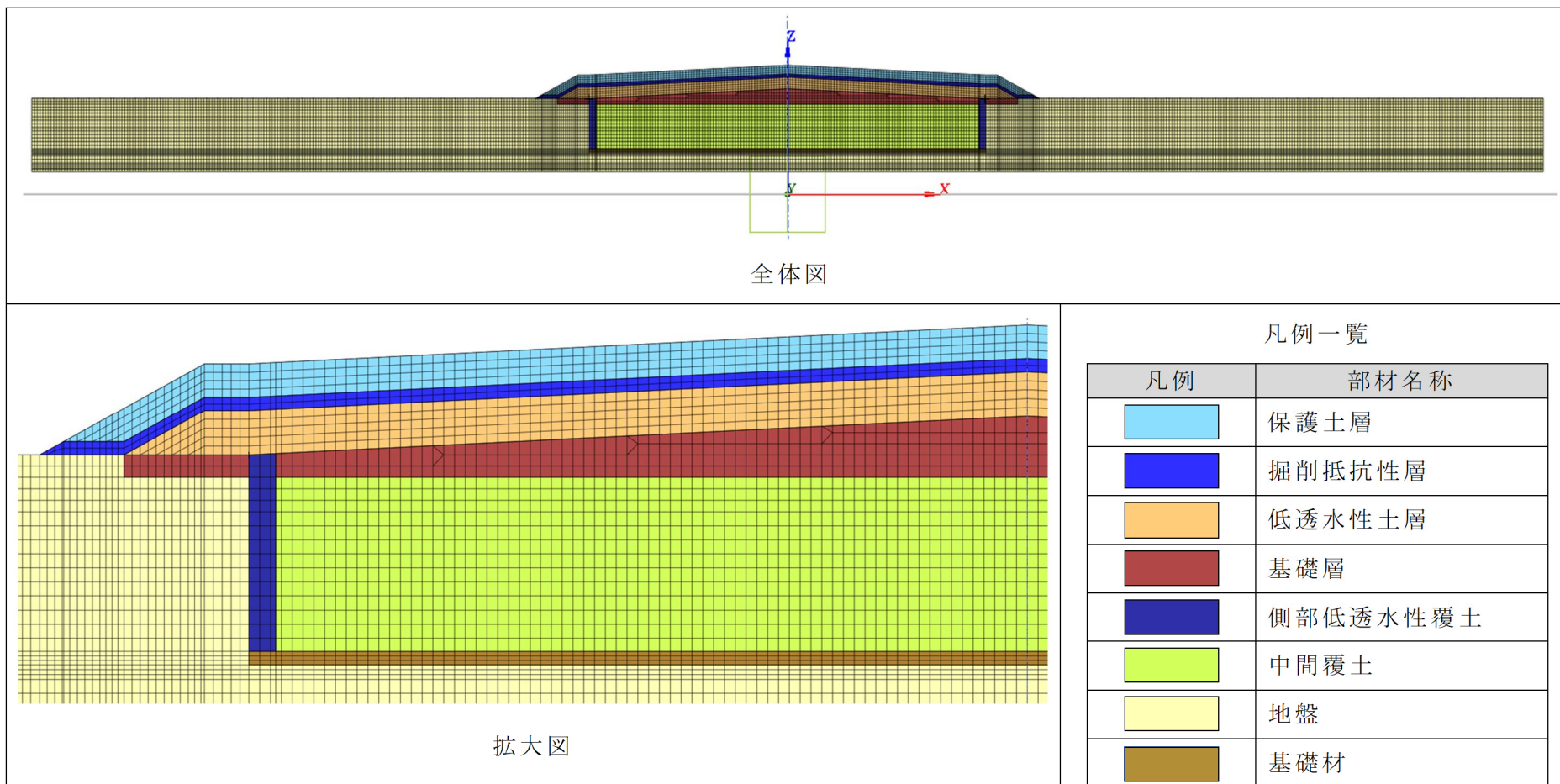
第2表 解析物性値のうち飽和透水係数の設定値の変更内容

部材名称	変更前	変更後
保護工(じゃかご等)	<ul style="list-style-type: none"> 設定値: 1.0×10^{-1} m/s 	<ul style="list-style-type: none"> モデルから除外したため削除
掘削抵抗性層	<ul style="list-style-type: none"> 飽和透水係数を保護土層と同等と設定 設定値: 1.04×10^{-4} m/s 	<ul style="list-style-type: none"> 飽和透水係数を割栗石と洗砂を用いた透水試験結果より設定 設定値: 1.0×10^{-3} m/s(11,12頁参照)
低透水性土層	<ul style="list-style-type: none"> 設計値を用いて設定 設定値: 1.0×10^{-10} m/s 	<ul style="list-style-type: none"> 廃棄物埋設地の状態設定を踏まえて設定 設定値: 1.0×10^{-10} m/s
側部低透水性覆土	<ul style="list-style-type: none"> 設計値を用いて設定 設定値: 1.0×10^{-10} m/s 	<ul style="list-style-type: none"> 廃棄物埋設地の状態設定を踏まえて設定 設定値: 5.0×10^{-10} m/s

(5) 解析モデル

- ✓ 二次元で東西方向の廃棄物埋設地断面をモデル化(降雨の流出方向は東西方向が支配的となるため。)
- ✓ 東側埋設トレンチをモデル化(東側埋設トレンチの方が東西方向が長くなるため。)
- ✓ 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土砂としてモデル化(埋設トレンチ内への雨水等の浸入抑制効果を確認するものであるため。)
- ✓ 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(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。)
- ✓ 廃棄物埋設地周辺の地盤はdu層
- ✓ 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
- ✓ 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分けてモデル化

埋設トレンチへの浸透水量(7/20)



第3図 解析モデル

(6)境界条件

【上面境界】

- ✓ 解析モデル上面境界には、降雨境界を設定
- ✓ 降雨境界で設定する降雨浸透量(かん養量)を以下のとおり設定

- 地盤領域:510 mm/y^{※1}を設定

※1 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

- 覆土領域:温暖期継続ケースにおける降水量である2,080 mm/yの30%^{※2}と設定

※2 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と示されていること、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と、本施設の最終覆土の領域はのり面の構造であることから、最終覆土の領域の流出係数の設定は、0.7~1.0の下限值である0.7と設定

【側部境界】

- ✓ 解析モデル側部境界には、不透水境界を設定

【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



埋設トレンチへの浸透水量(9/20)

(7) 解析物性値

a. 飽和透水係数

✓ 飽和透水係数の設定値を以下のとおり設定

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	設定根拠
保護土層	$1.04 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	✓ 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
掘削抵抗性層	$1.0 \times 10^{-3} \text{ m/s}$	✓ 割栗石と洗砂を用いた透水試験結果を基に設定(詳細は11, 12頁参照)
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※1を踏まえて最も可能性が高い状態を用いて設定
基礎層	$3.88 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	✓ 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
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※1を踏まえて最も可能性が高い状態を用いて設定
中間覆土	$4.73 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	✓ 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
地盤	$3.23 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	✓ 廃棄物埋設地設置予定場所近傍で実施したdu層の揚水試験※2で求めた透水係数を基に設定
基礎材	$1.0 \times 10^{-1} \text{ m/s}$	✓ 割栗石($\phi 5 \text{ cm} \sim 15 \text{ cm}$)を使用することを想定し、土質工学会※3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)の透水係数から設定

※1 「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)」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)」参照

※2 「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

※3 土質工学会(1984):土質試験法

埋設トレンチへの浸透水量(10/20)

掘削抵抗性層を想定した透水試験

- ✓ 掘削抵抗性層は、主材料として碎石又は石(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
- ✓ 割栗石と洗砂を用いた透水試験結果を基に飽和透水係数を $1.0 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ と設定

【試験方法】

- 土の透水試験方法(JIS A 1218:2009)を参考に、定水位透水試験を実施
- 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4図に示す透水試験の試験装置にて透水試験を実施

【試験手順】

- 本体容器に割栗石及び洗砂を充填する(砂の流出を防ぐために、本体容器の底部に不織布を敷設)。
- 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。
- 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。
- 外部容器の越流口から排出される水量及び水の温度を計測する。
- 算出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 (m/s)

L : 試料の高さ (cm)

h : 水位差 (cm)

A : 試料充填部分の断面積 (cm^2)

Q : 流出水量 (cm^3)

Δt : 測定時間 (s)

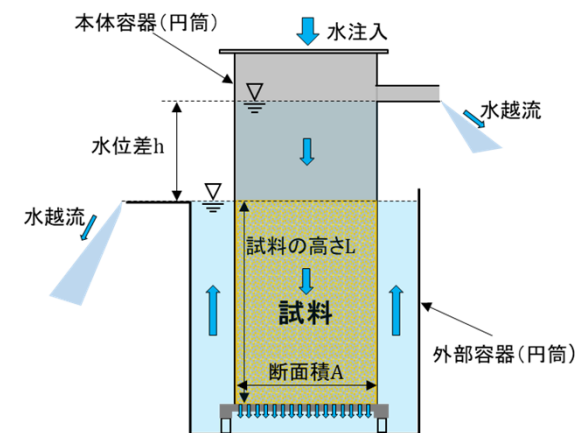
$$k_{15} = k_T * \frac{\eta_T}{\eta_{15}} \quad \dots (2)$$

k_{15} : 温度 15°C における透水係数 (m/s)

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

η_T : 温度 $T^\circ\text{C}$ の水の粘性係数 ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)

η_{15} : 温度 15°C の水の粘性係数 ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)



第4図 試験装置の概略図

埋設トレンチへの浸透水量(11/20)

【試験結果】

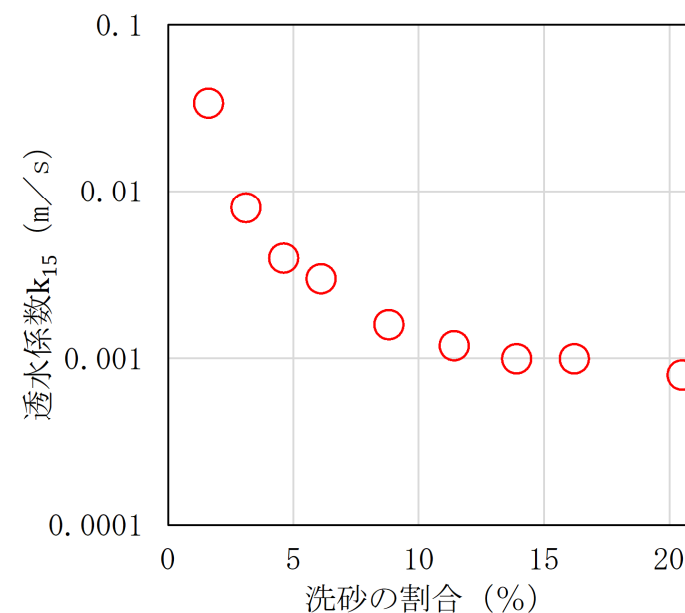
➤ 洗砂の投入割合が増加するにつれて温度15°Cにおける透水係数 k_{15} が0.001 m/sに収束する傾向であった。

第4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 ²)	流出水量 Q / Δt (m ³ /s)	水位差 h (cm)	透水係数 k _T (m/s)	透水係数 k ₁₅ (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°Cであり、水の粘性係数比は1.027である。

注2：水温14°Cの水の密度は0.999 g/cm³とした。



第5図 洗砂の割合と透水係数の関係

埋設トレンチへの浸透水量(12/20)

b. 不飽和特性

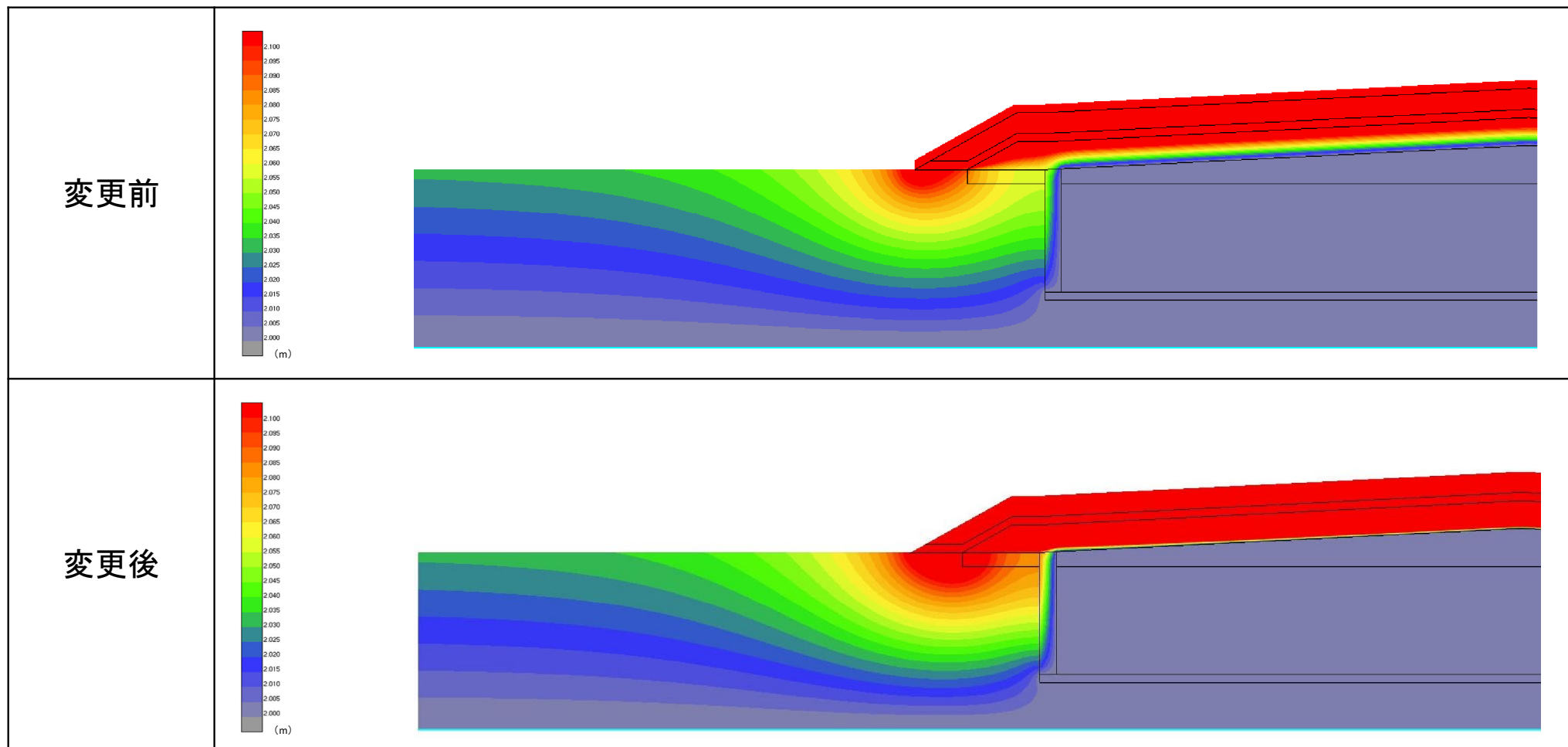
- ✓ 不飽和特性は、多数の適用実績を有するVan-Genughtenの関係式(以下「VG式」という。)を適用して設定
- ✓ 不飽和特性の設定値を以下のとおり設定

第5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 サクシオン(MPa):飽和度に応じた値	VG式を適用して設定 ※VG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 サクシオン(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 サクシオン(MPa):飽和度に応じた値	VG式を適用して設定 ※VG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 サクシオン(MPa):飽和度に応じた値	VG式を適用して設定 ※VG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 サクシオン(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 サクシオン(MPa):飽和度に応じた値	VG式を適用して設定 ※VG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 サクシオン(MPa):飽和度に応じた値	不飽和透水試験及びVG式を適用して設定 ※VG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) サクシオン(MPa):－	文献より設定

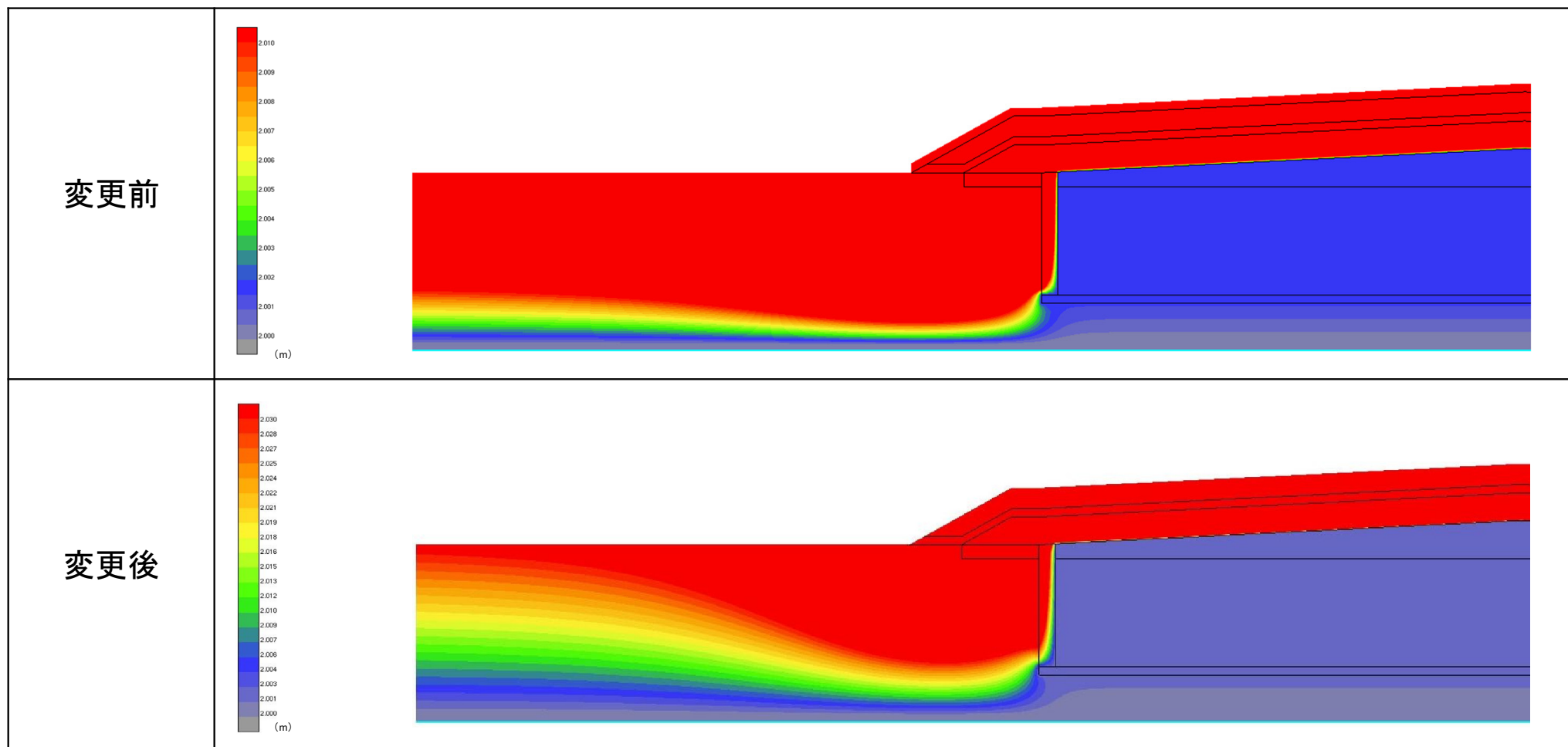
(8) 解析結果(過去資料との比較)

- ✓ 第6図から第10図及び第6表に、過去資料の解析結果との比較を示す。
- ✓ 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水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。
- ✓ 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。
- ✓ 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。

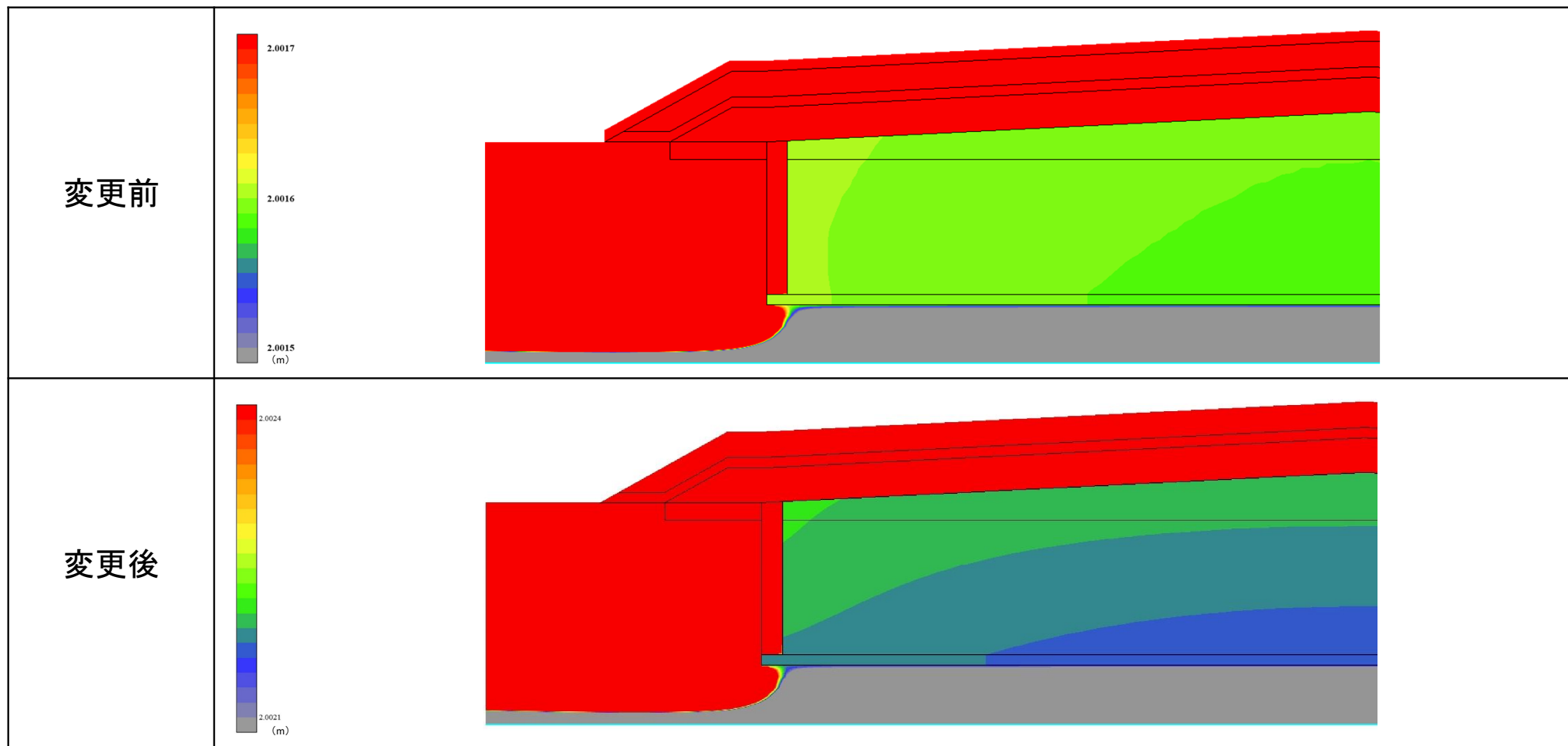


第6図 解析結果の比較(全水頭コンター図)

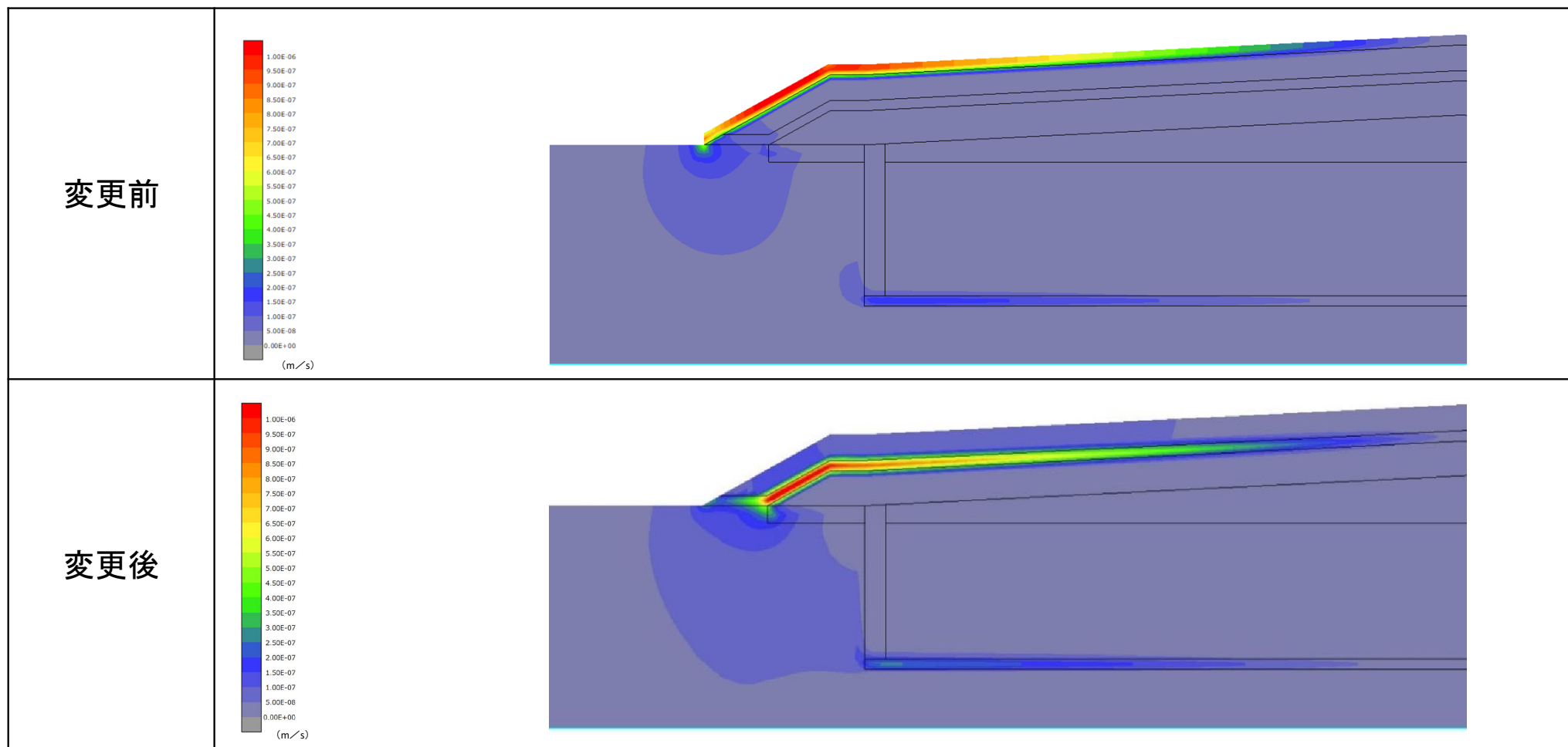
埋設トレンチへの浸透水量(15/20)



第7図 解析結果の比較(廃棄物埋設地周辺に着目した全水頭コンター図)

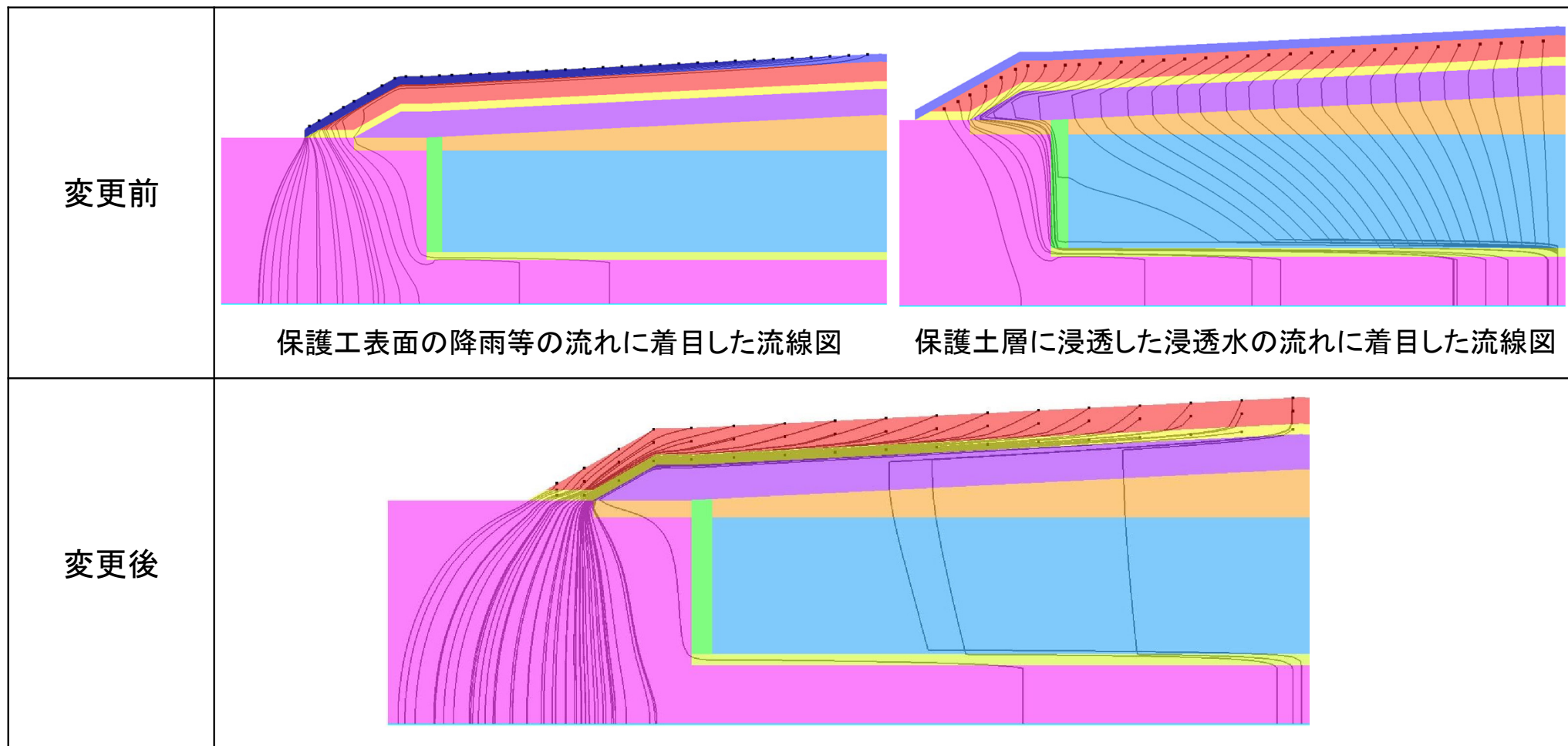


第8図 解析結果の比較(廃棄物埋設地内に着目した全水頭コンター図)



第9図 解析結果の比較(流速コンター図)

埋設トレンチへの浸透水量(18/20)



第10図 解析結果の比較(流線図)

埋設トレンチへの浸透水量(19/20)

第6表 施設通過流量の比較

	変更前		変更後	
	施設への流入量※1 (m ³ /y)	施設からの流出量※1 (m ³ /y)	施設への流入量※1 (m ³ /y)	施設からの流出量※1 (m ³ /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※1, ※2	0.00014 (m ³ /y/m ²)		0.0009 (m ³ /y/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 m²)で除した流量

埋設トレンチへの浸透水量(20/20)

(9)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。



参考：覆土表層での流出割合（1／16）

➤ 覆土領域での表面流出割合を、以下のとおり評価する。

（1）評価方法

✓ 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

（2）解析コード

✓ オイリアン・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

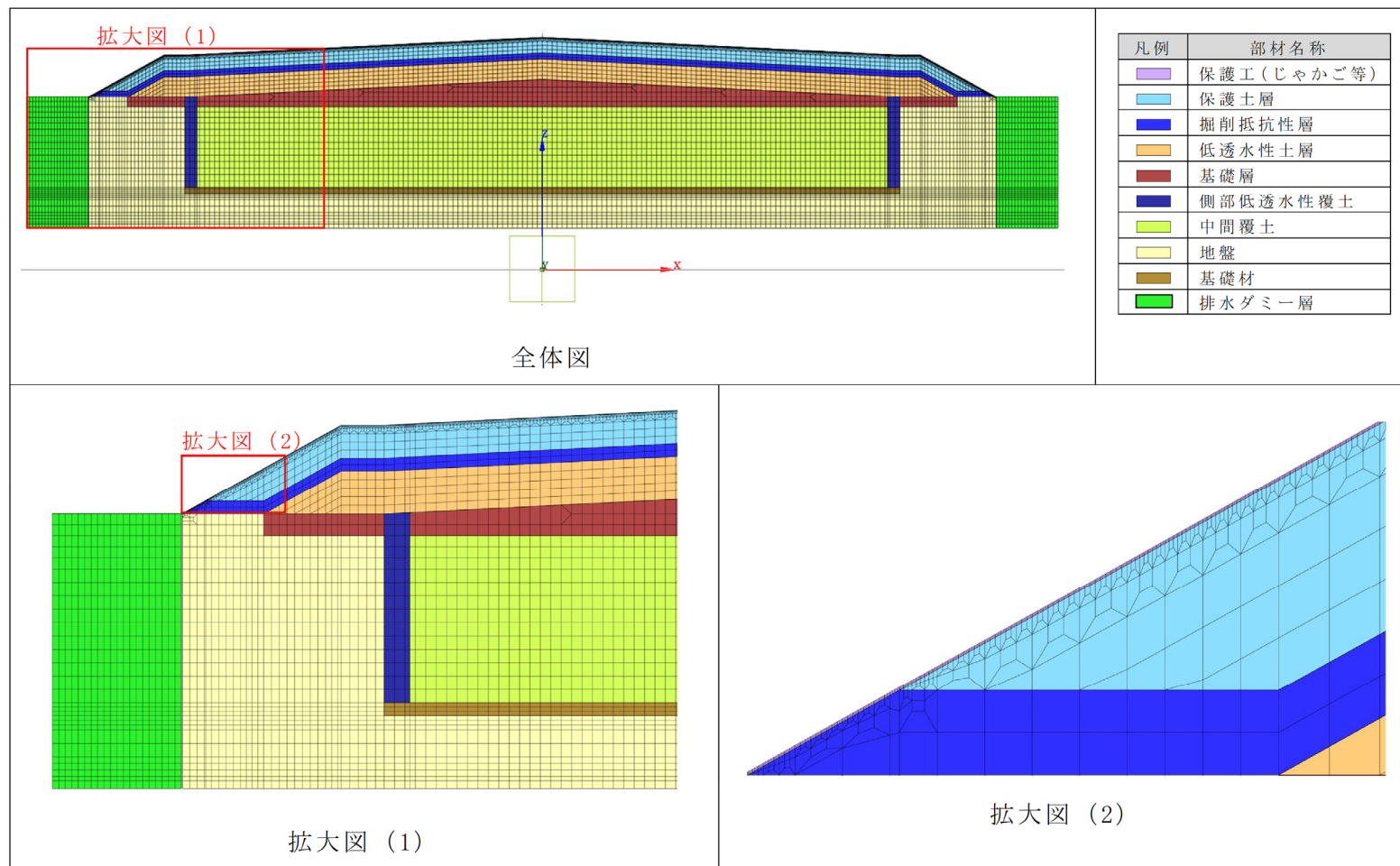
（3）解析モデル

✓ 埋設トレンチ内への雨水等の浸入を抑制する設計となっていることを確認した解析モデルについて、最上面となる保護工（じゃかご等）についてもモデル化

✓ 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

- 保護工（じゃかご等）の厚さの設定
- 水の流れの水深の設定
- 等価透水係数の設定
- 排水ダミー層の設定

参考：覆土表層での流出割合(2/16)



第11図 解析モデル



参考：覆土表層での流出割合(3/16)

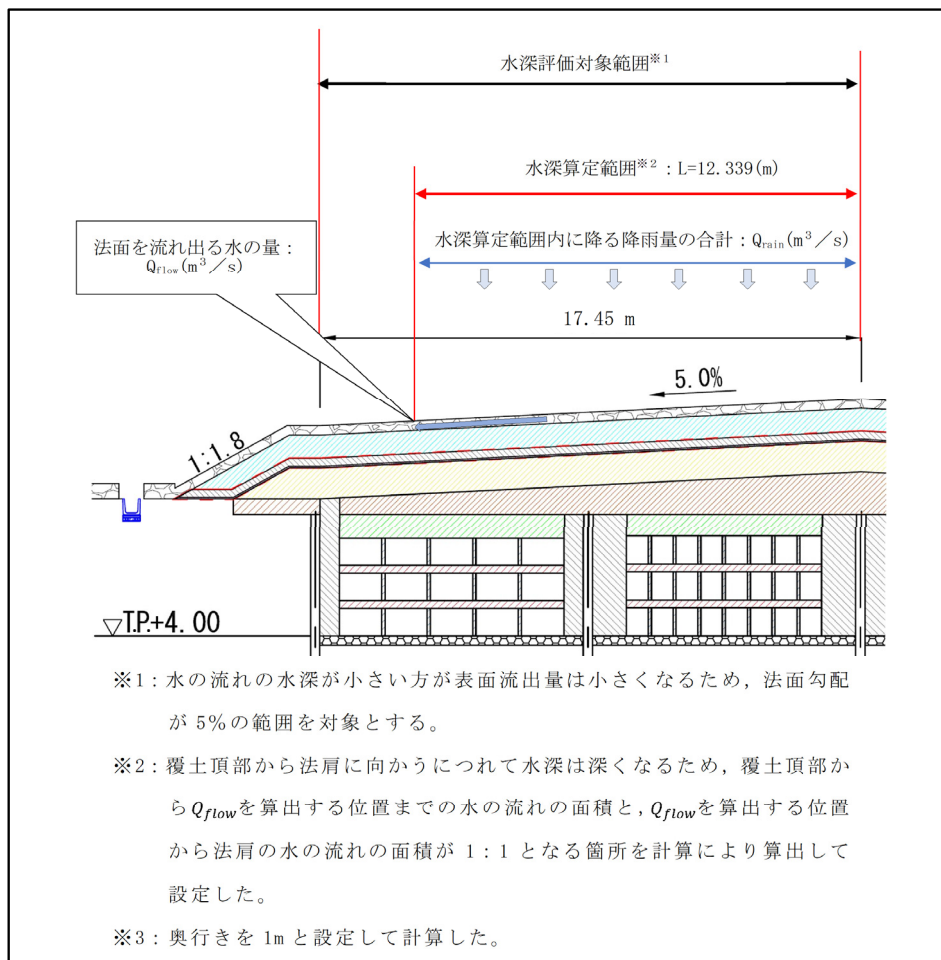
a. 保護工(じゃかご等)の厚さの設定

- ✓ 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

b. 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及び施設形状より水深を0.16 mmと設定(水深の算定の考え方は第12図を参照)

参考：覆土表層での流出割合(4/16)



第12図 水深の算定の考え方

【水深の算出過程】

$$Q_{rain} = \text{降雨範囲}(m) * \text{奥行}(m) * \text{降雨強度}(m/s)$$

$$= 12.339(m) * 1(m) * 6.6 \times 10^{-8}(m/s)$$

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

$$Q_{flow} = \text{水の流れの断面積}(m^2) * \text{流速}(m/s)$$

$$= \text{奥行}(m) * \text{水深}(m) * \text{透水係数}(m/s) * \text{動水勾配}(-)$$

$$= 1(m) * h(m) * 1.0 \times 10^{-1}(m/s) * 0.05(-)$$

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

$Q_{rain}(m^3/s) = Q_{flow}(m^3/s)$ 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)

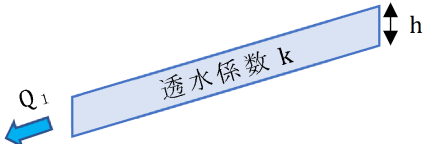
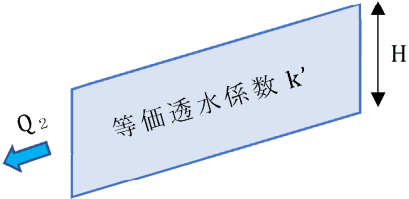
Q_{flow} : 法面を流れ出る水の量(m^3/s)

参考：覆土表層での流出割合(5/16)

c. 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 $1.6 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ と設定(等価透水係数の算出イメージは第13図を参照)

【等価透水係数の算出過程】

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>Q_1 : 流れ出る水の量 (m^3/s)</p> <p>k : 透水係数 (m/s)</p> <p>$1.0 \times 10^{-1} \text{ (m/s)}$</p> <p>$h$: 算出した水深 $1.6 \times 10^{-4} \text{ (m)}$</p>	 <p>Q_2 : 流れ出る水の量 (m^3/s)</p> <p>k' : 等価透水係数 (m/s)</p> <p>H : 解析モデルの保護工(じゃかご等)の厚さ</p>

第13図 等価透水係数の算出イメージ

- ・ 想定する水深における法面を流れる水の量は 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 (m^2)
= 単位奥行当たりとして水深 $h = 1.6 \times 10^{-4} \text{ m}$ 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は 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 (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。

$$\begin{aligned}
 k' &= 8.0 \times 10^{-7} \div (5.0 \times 10^{-4}) \\
 &= 1.6 \times 10^{-3} (\text{m/s})
 \end{aligned}$$



参考：覆土表層での流出割合（6／16）

d. 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
- ✓ 排水ダミー層は、保護工（じゃかご等）の物性と同一に設定

（4）境界条件

【 上面境界 】

- ✓ 解析モデル上面境界には、降雨境界を設定
- ✓ 降雨境界で設定する降水量は2,080 mm／y[※]で設定

※：1,000年後の温暖期継続ケースにおける降水量

【 側部境界 】

- ✓ 解析モデル側部境界には、不透水境界を設定

【 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

参考：覆土表層での流出割合（7／16）

（5）解析物性値

a. 飽和透水係数

- ✓ 保護土層，掘削抵抗性層，基礎層，中間覆土，地盤及び基礎材の飽和透水係数については，本資料の「埋設トレンチへの浸透水量」で示す「（7）解析物性値」と同様の設定
- ✓ 低透水性土層及び側部低透水性覆土は設計値を用いて設定
- ✓ 保護工（じゃかご等）及び排水ダミー層の飽和透水係数については，第7表のとおり設定

第7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
保護工（じゃかご等）	$1.6 \times 10^{-3} \text{ m/s}$	等価透水係数（26頁参照）
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	$3.23 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	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

参考：覆土表層での流出割合（8／16）

b. 不飽和特性

- ✓ 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，地盤及び基礎材の不飽和特性については，本資料の「埋設トレンチへの浸透水量」で示す「(7)解析物性値」と同様の設定

第8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) サクシオン(MPa):－	文献より設定
排水ダミー層	比透水係数(－):一定(1) サクシオン(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 サクシオン(MPa):飽和度に応じた値	VG式を適用して設定 ※VG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 サクシオン(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 サクシオン(MPa):飽和度に応じた値	VG式を適用して設定 ※VG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 サクシオン(MPa):飽和度に応じた値	VG式を適用して設定 ※VG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 サクシオン(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 サクシオン(MPa):飽和度に応じた値	VG式を適用して設定 ※VG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 サクシオン(MPa):飽和度に応じた値	不飽和透水試験及びVG式を適用して設定 ※VG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) サクシオン(MPa):－	文献より設定

参考：覆土表層での流出割合(9/16)

(a) 保護工(じゃかご等)

- ✓ 保護工(じゃかご等)については、割栗石($\phi 5\text{ cm} \sim 15\text{ cm}$)を使用することを想定
- ✓ 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※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。

※：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

(b) 排水ダミー層

- ✓ 保護工(じゃかご等)と同様に設定

参考：覆土表層での流出割合（10／16）

（6）解析結果

a. 全水頭コンター図

- ✓ 第14図に、全水頭コンター図を示す。
- ✓ 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、本資料の「埋設トレンチへの浸透水量」のうち「（8）解析結果」と同様の傾向である。

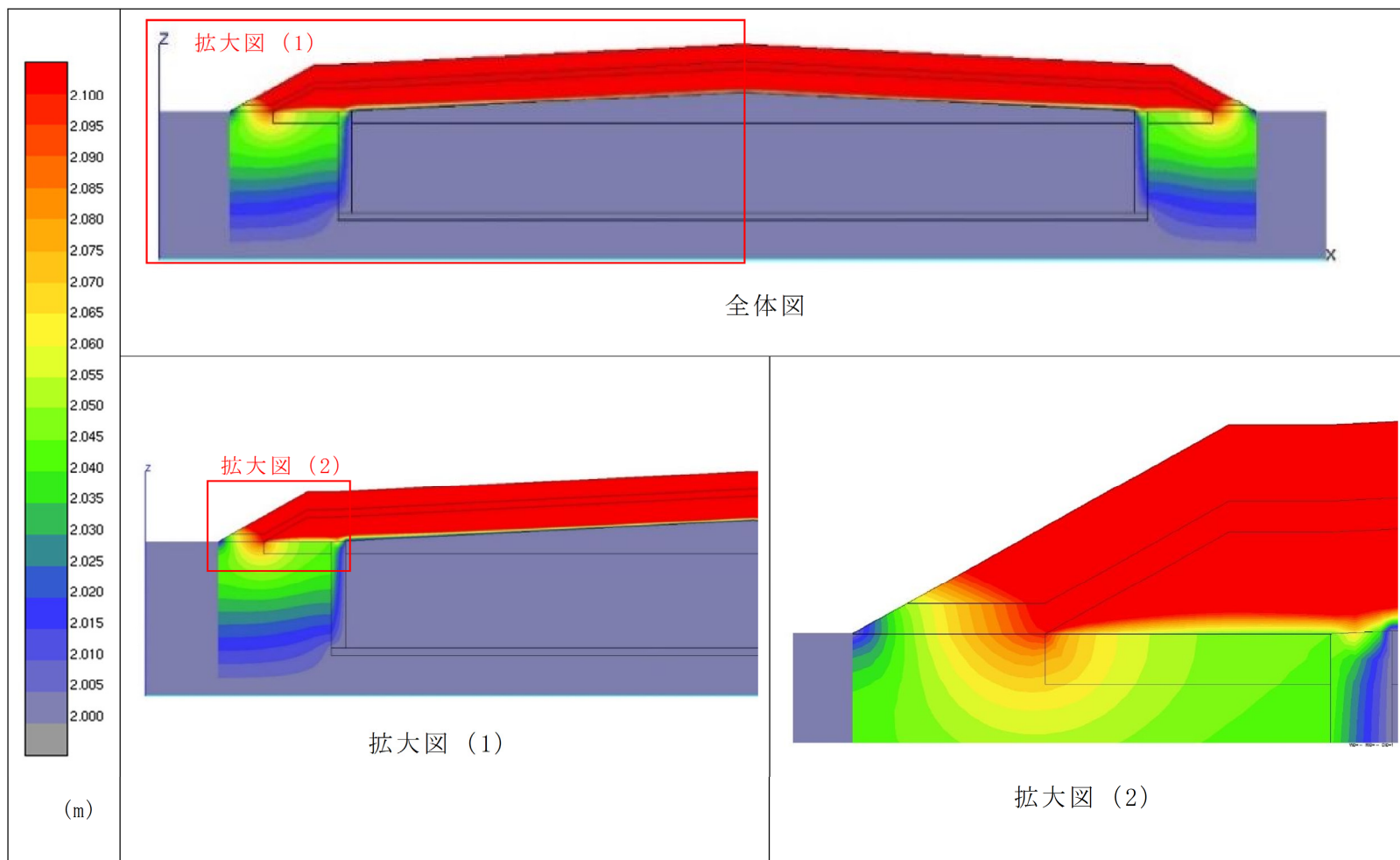
b. 流速コンター図

- ✓ 第15図に、ダルシー流速の絶対値を用いた流速コンター図を示す。
- ✓ 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、本資料の「埋設トレンチへの浸透水量」のうち「（8）解析結果」と同様の傾向である。

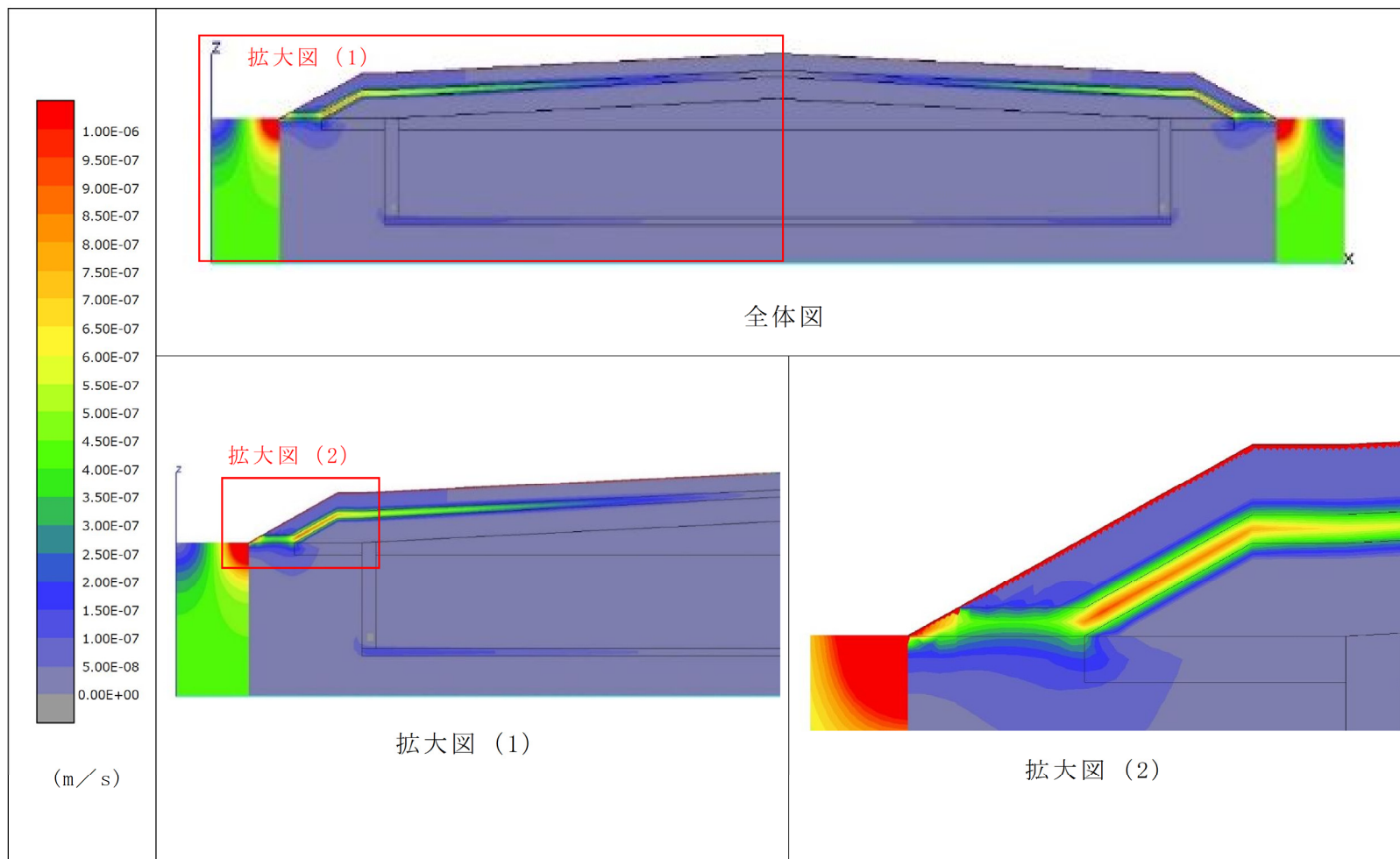
c. 流線図

- ✓ 第16図に、流線図を示す。
- ✓ 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。
- ✓ 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、本資料の「埋設トレンチへの浸透水量」のうち「（8）解析結果」と同様の傾向である。

参考：覆土表層での流出割合(11/16)

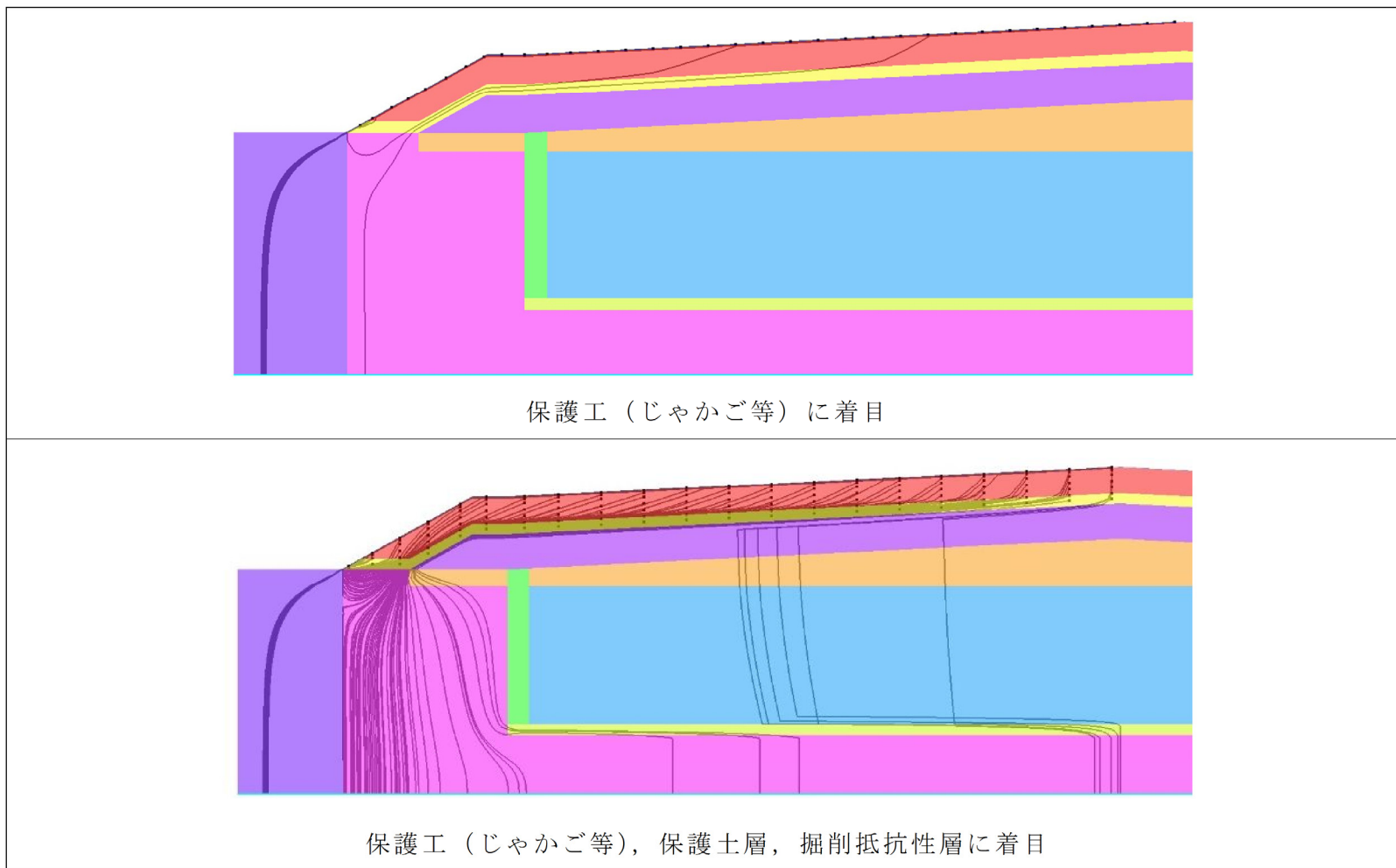


第14図 解析結果(全水頭コンター図)



第15図 解析結果(流速コンター図)

参考：覆土表層での流出割合(13/16)



第16図 解析結果(流線図)

d. 流出割合の算出

- ✓ 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、以下の方法にて流出割合を算出した結果、流出割合は73.4%となる。
- ✓ 第17図に流出割合の算出方法の概要を示す。

【流出割合の算出過程】

- ① 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

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

- ② 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

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

$V_1(m/s)$ 及び $V_2(m/s)$ は以下により算出する。

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

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

- ③ 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

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

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)

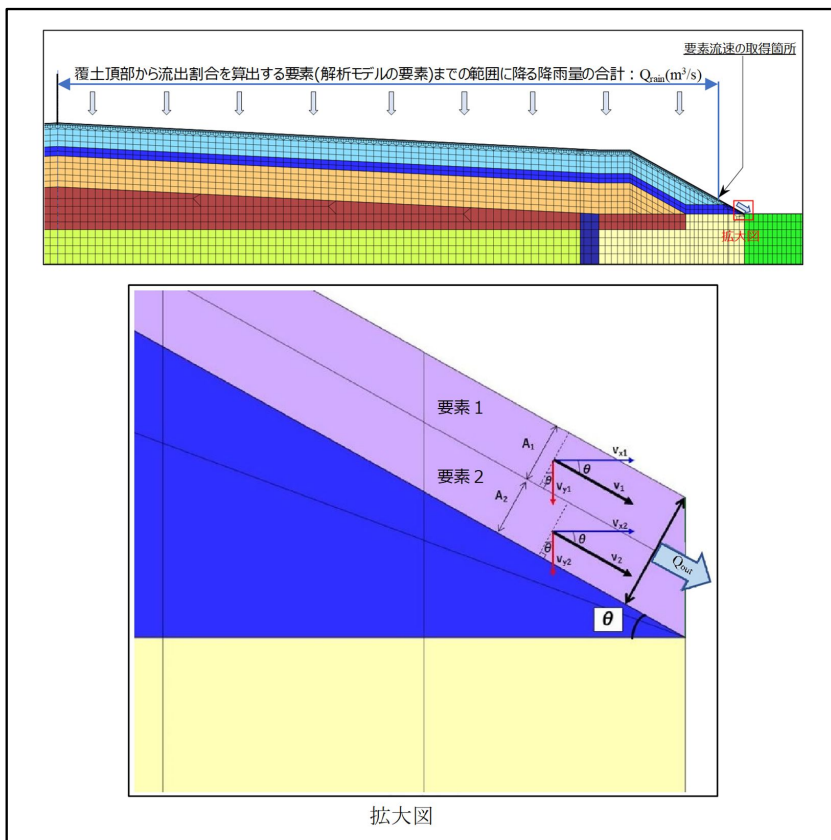
V_1, V_2 : 要素 1, 要素 2 の法面に対して平行方向の要素流速(m/s)

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)

θ : 保護工(じゃかご等)の水平方向に対する角度($^\circ$)

参考：覆土表層での流出割合(15/16)



第17図 流出割合の算出方法の概要

第9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 ²)	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 ³ /s)	流出量 (m ³ /s)	降雨量 (m ³ /s)
記号	θ	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	1.044×10^{-4}	5.831×10^{-5}	1.196×10^{-4}	5.228×10^{-7}	1.046×10^{-6}	1.424×10^{-6}
要素 2		0.004371	1.044×10^{-4}	5.828×10^{-5}	1.196×10^{-4}	5.227×10^{-7}		



参考：覆土表層での流出割合（16／16）

（7）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。



- ✓ 解析評価の結果、流出割合は73.4%となり、覆土領域の流出係数設定値である0.7と同程度の結果となった。