

4 水文環境関連

4.1. 三次元地下水解析について

当該事業の土工の範囲・深度、地下構造物の構造は複雑であることから、土工に伴う地下水位低下・上昇の範囲やその程度の定量的な予測にあたり、三次元地下水解析手法を用いた。

三次元地下水解析手法とは、地質条件や土工条件を要素と呼ばれる直方体や三角柱の集まりで表し、全ての要素の飽和帯における地下水の流入・流出と地下水頭の間を、数値解法を使って解く手法である。基本方程式は以下のとおりであり、プログラムは USGS（アメリカ地質調査所）が開発した MODFLOW を用いた。なお、本プログラムは数値解法に差分法を用いている。

<三次元地下水解析手法>

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

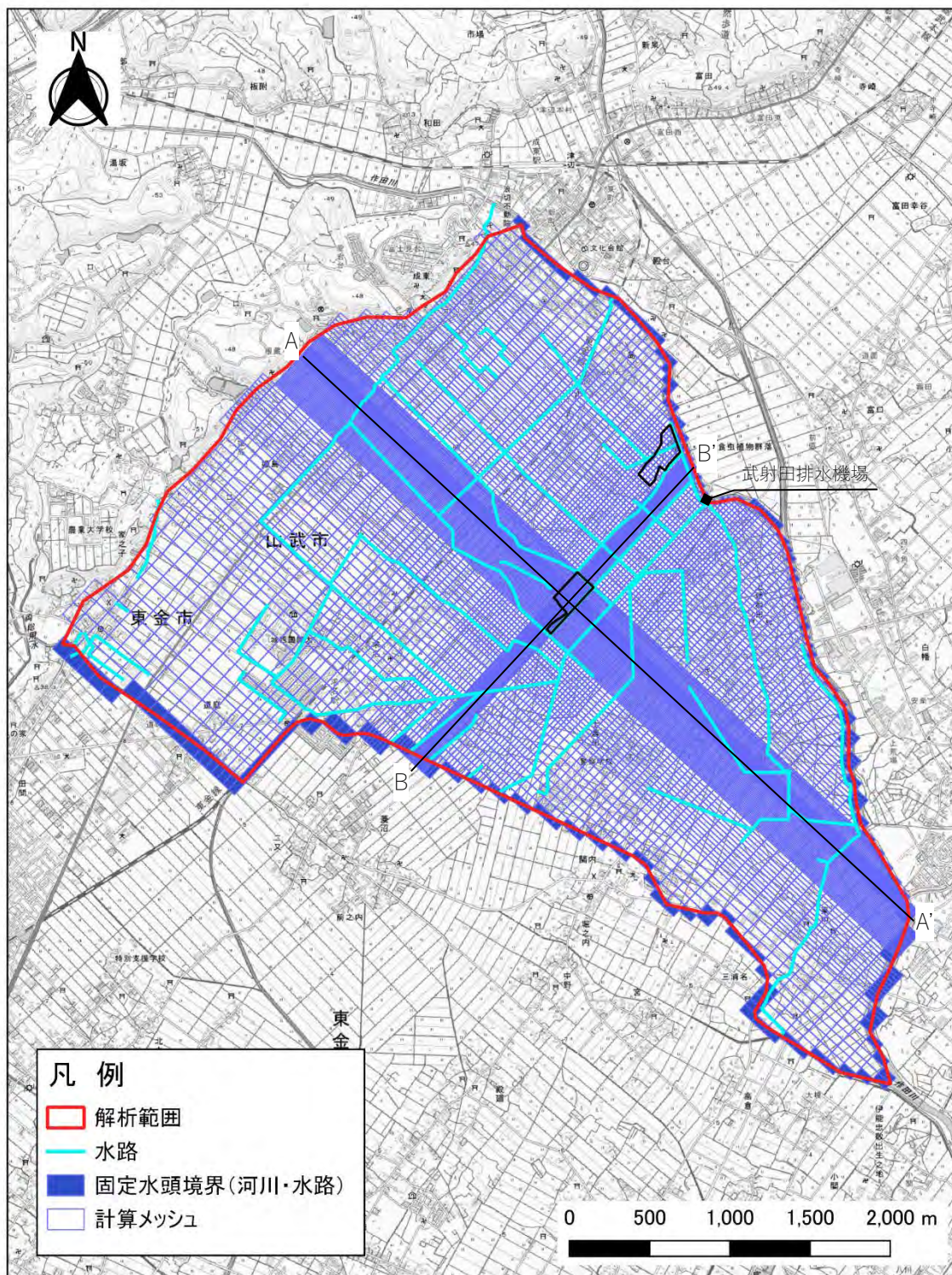
ここで、 h ：全水頭（地下水位）、 K_x, K_y, K_z ：透水係数(x, y, z 方向)、 S_s ：比貯留量、 t ：時刻

4.1.1. 地下水解析モデルの基本設計

本アセスにおける地下水解析モデルの基本設計を表 4.1-1 に示す。

表 4.1-1 本アセスにおける地下水解析モデルの基本設計

項目	基本設計	備考
①解析範囲 (平面) (図 4.1-1 参照)	<ul style="list-style-type: none"> 都市計画対象事業実施区域とその周辺の水田及び食虫植物群落の予測にあたり境界条件の影響が及ばないように、都市計画対象事業実施区域とその周辺及び食虫植物群落を十分包括する範囲とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 解析メッシュは、地下構造物（ピット、調整池）の形状を可能な限り正確に反映した。
②解析範囲 (鉛直) (図 4.1-2 参照、 表 4.1-2 参照、 表 4.1-3 参照)	<ul style="list-style-type: none"> 2.8×10^{-8} m/s と低い透水係数を示す柿ノ木台層を相対的な水理基盤とし、地表面から沖積砂質土層（As1,As2）までを対象帯水層とする。 	<ul style="list-style-type: none"> モデルレイヤー数は地下構造物（ピット、調整池）の形状を可能な限り正確に反映し、14層に区分した。
③境界条件 (図 4.1-3 参照)	<ul style="list-style-type: none"> 河川・幹線水路水位（作田川、真亀川～幹線水路）については、河川・幹線水路沿いの地盤高を参考に設定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 作田川の武射田排水機場より上流の河川水位については、食虫植物群落近傍の作田川観測水位（日本大学提供）より、灌漑期は 4.8m に設定した。
④水理定数 (表 4.1-2 参照、 表 4.1-4 参照)	<ul style="list-style-type: none"> 既往調査資料^{*1}によれば、都市計画対象事業実施区域の沖積砂質土層の透水係数は $1.62 \times 10^{-6} \sim 7.49 \times 10^{-6}$ m/s であり、文献^{*2}に示された「微細砂・シルト・砂～シルト～粘土混合土」に分類されることから、$10^{-9} \sim 10^{-5}$ m/s の範囲を参考とし、地下水位観測井戸 St.1～4 の観測水位の再現性検証のうえで決定した。 ※1：新ごみ処理施設に係る地質調査業務報告書（令和 2 年 3 月 東金市外三市町清掃組合） ※2：地盤調査の方法と解説（平成 16 年 9 月 地盤工学会） 	<ul style="list-style-type: none"> 地下水位観測井戸 St.1～4 の観測水位の再現性の他、工事に伴う影響範囲が広がり易く安全側の予測が可能なことから、沖積砂質土層の透水係数は 1.0×10^{-5} m/s に設定した。
⑤地下水涵養量 (図 4.1-4 参照、 図 4.1-5 参照、 表 4.1-5 参照)	<ul style="list-style-type: none"> 土地利用状況^{*3}より、地目を a)水田（田）、b) 浸透域（その他農用地・森林）、c) 非浸透域（その他の地目）の 3 つに区分し、灌漑期については降雨浸透（浸透域）と水田漏水（水田）、非灌漑期については降雨浸透（水田・浸透域）の平均的な値を設定した。 水田漏水量については、文献^{*4}に示す湿田（壤土）の単位用水量（14mm/日）から一般的な水田の蒸発散量 5mm/日を差し引いた 9mm/日を参考とし、地下水位観測井戸 St.1～4 の観測水位の再現性検証のうえで決定した。 ※3：平成 28 年版土地利用細分メッシュデータ（国交省国土数値情報ダウンロードサービス） ※4：日本の農業用水（昭和 55 年 8 月 農業水利研究会・編） 	<ul style="list-style-type: none"> 灌漑期と非灌漑期の降雨浸透量はタンクモデル法により求めた。 水田漏水量については、水田湛水深 0.15m のもとで次の式で算出した。 a) $h \leq B_p$ のとき $Q_p = C_p \cdot (H_p - B_p)$ b) $h > B_p$ のとき $Q_p = C_p \cdot (H_p - h)$ ここで、H_p：水田水面高、B_p：水田底面高、C_p：導水係数、h：水田直下の地下水位、Q_p：水田漏水量



注) A-A',B-B'測線は図-3 の断面位置

図 4.1-1 地下水解析モデルにおける解析範囲と解析メッシュ（平面）及び境界条件
 出典：「地理院タイル淡色地図（国土交通省 国土地理院）」に解析範囲 他を追加して掲載

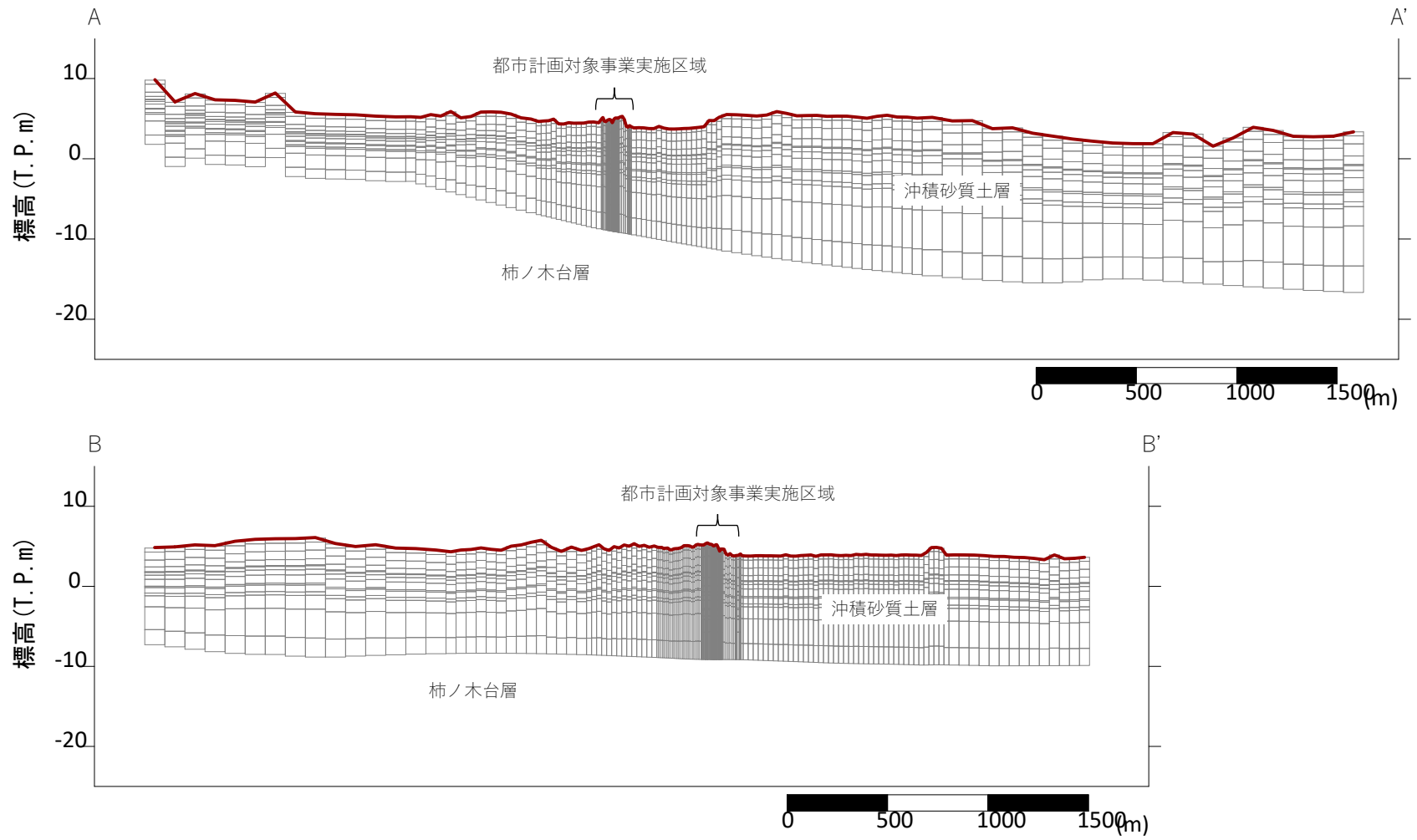
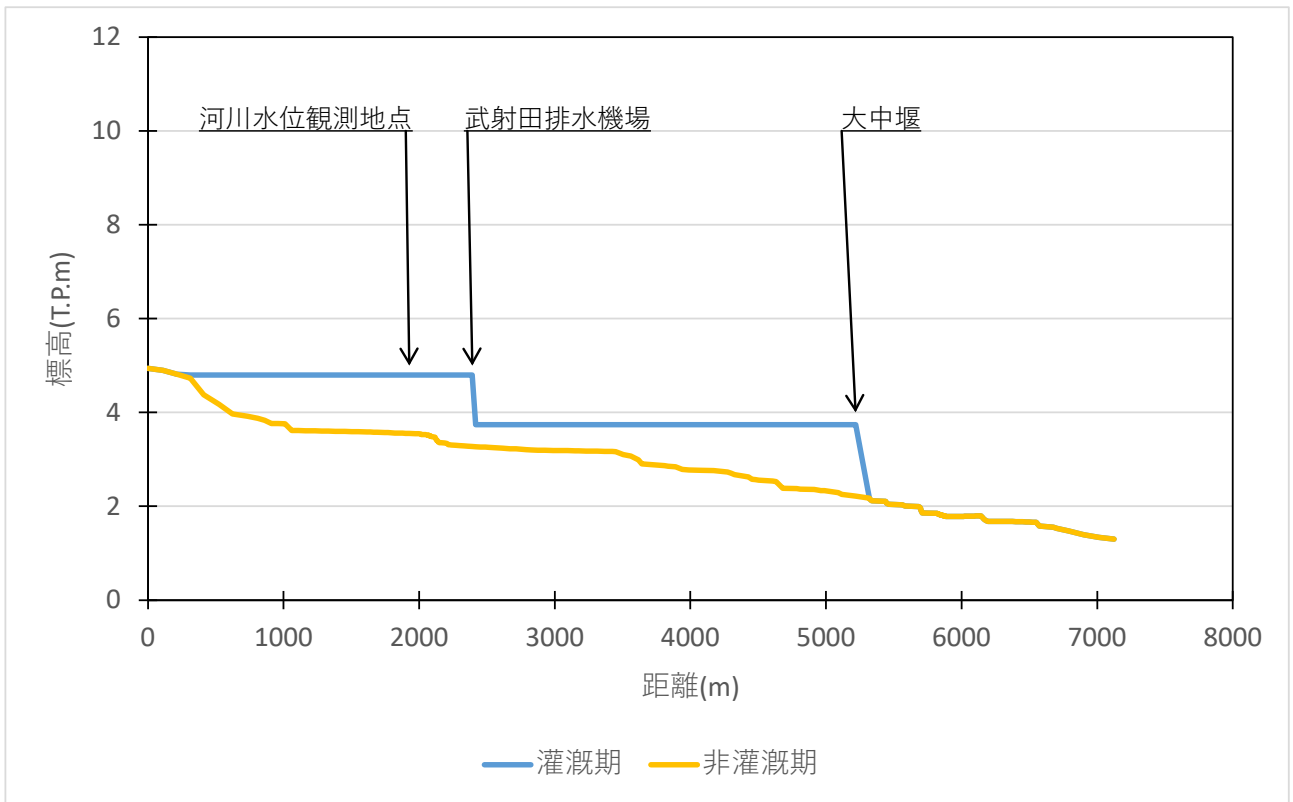
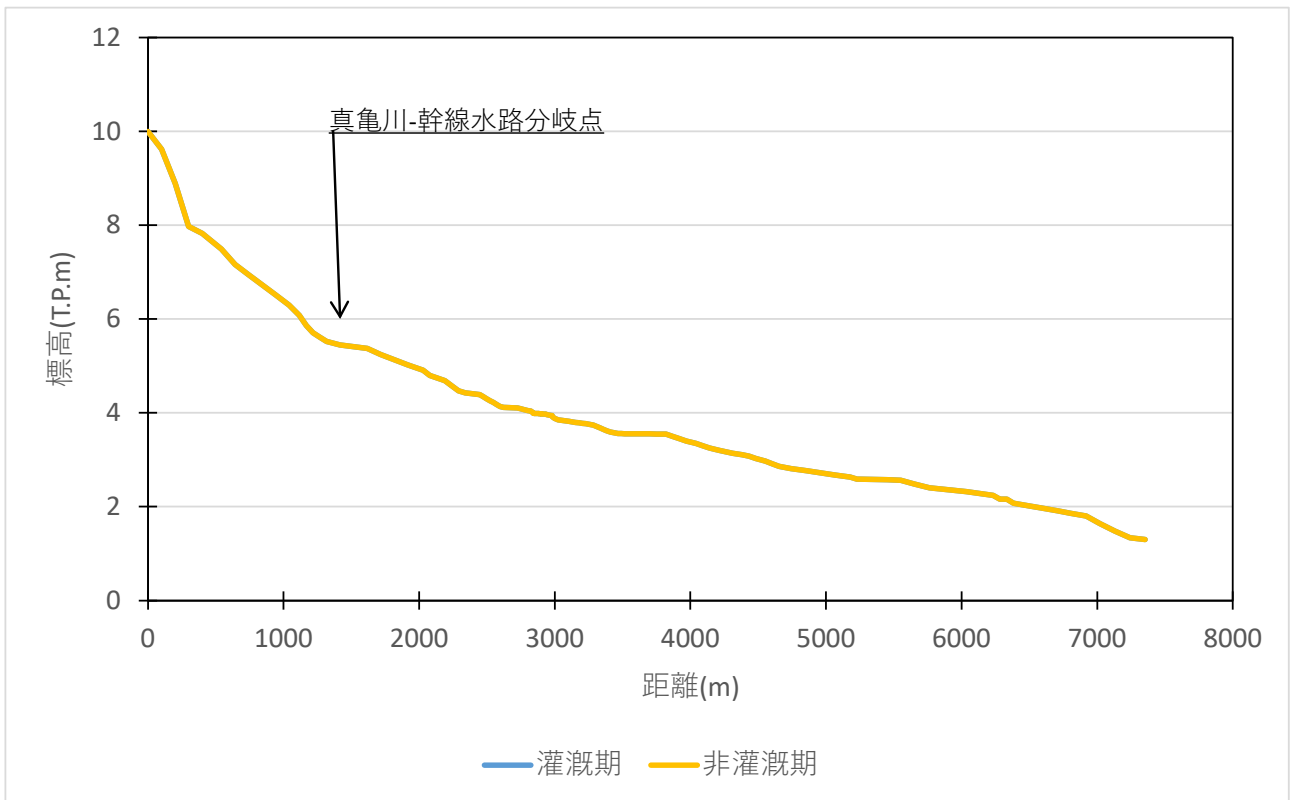


図 4.1-2 地下水解析モデルにおける解析メッシュ (代表断面)



(作田川)



(真亀川及び幹線水路)

図 4.1-3 固定水頭境界 (河川・水路) に設定した河川水位

表 4.1-2 沖積砂質土層を対象とした現場透水試験結果

試験方法	回復法				
ボーリングNo.	1	2	3	4	5
試験区間 GL-(m)	5.00~5.50	5.00~5.50	10.00~10.50	5.00~5.50	5.00~5.50
土層名	沖積第一 砂質土層	沖積第一 砂質土層	沖積第二 砂質土層	沖積第一 砂質土層	沖積第一 砂質土層
記号	As1	As1	As2	As1	As1
土質名	シルト混じり 細砂	シルト混じり 細砂	シルト質 細砂	シルト混じり 細砂	シルト混じり 細砂
N値(回)	27	27	58	27	25
透水係数 K (m/s)	1.62×10^{-6}	7.49×10^{-6}	4.34×10^{-6}	5.37×10^{-6}	7.16×10^{-6}

出典：「新ごみ処理施設に係る地質調査業務報告書（令和2年3月 東金市外三市町清掃組合）」

表 4.1-3 深井戸における柿ノ木台層を対象とした揚水試験結果

解析法		透水量係数 T (m^2/s)	透水係数 k		貯留係数 S
			(m/s)	(cm/s)	
連続揚水 試験	タイス法	7.3×10^{-7}	2.6×10^{-8}	2.6×10^{-6}	1.7×10^{-1}
	ヤコブ法	8.2×10^{-7}	2.9×10^{-8}	2.9×10^{-6}	1.2×10^{-1}
水位回復試験		7.7×10^{-7}	2.8×10^{-8}	2.8×10^{-6}	—
平均値		7.7×10^{-7}	2.8×10^{-8}	2.8×10^{-6}	1.4×10^{-1}

注1) 試験区間は深度 48.0~80.0m（深井戸のスクリーン設置深度）

注2) 透水係数は、スクリーン有効長計（28.0m）を帯水層厚として求めた。

表 4.1-4 透水係数と透水性

		透水係数 k (m/s)											
		10^{-11}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0
透水性	実質上不透水	非常に低い			低い		中位		高い				
対応する土の種類	粘性土 {C}	微細砂, シルト, 砂-シルト-粘土混合土 {SF} [S-F] {M}					砂および礫 {GW} {GP} {SW} {SP} {G-M}			清浄な礫 {GW} {GP}			
透水係数を直接測定する方法	特殊な変水位透水試験	変水位透水試験					定水位透水試験		特殊な変水位透水試験				
透水係数を間接的に推定する方法	圧密試験結果から計算	なし					清浄な砂と礫は粒度と間隙比から計算						

出典：「地盤調査の方法と解説（平成16年9月 地盤工学会）」に一部加筆

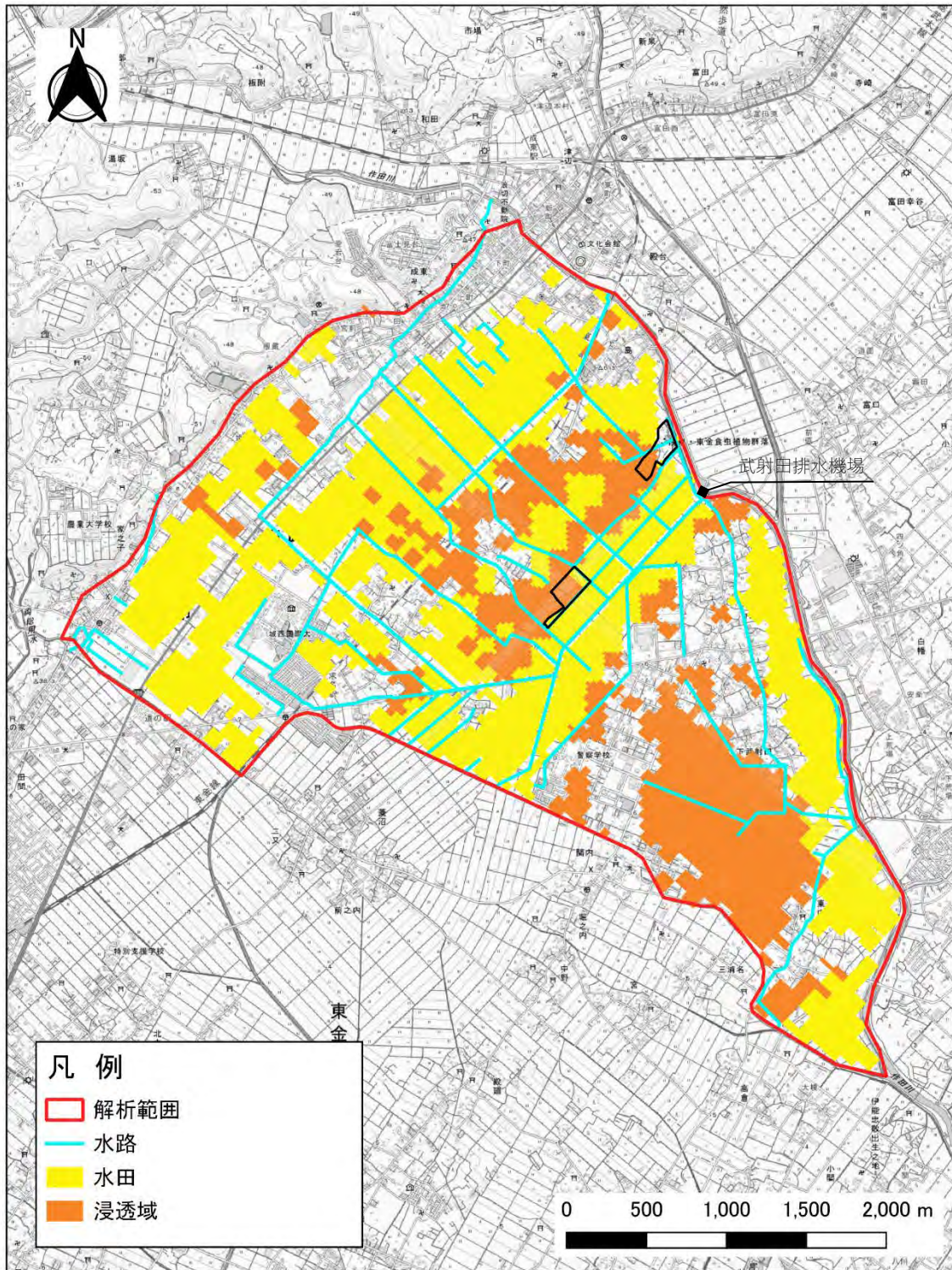
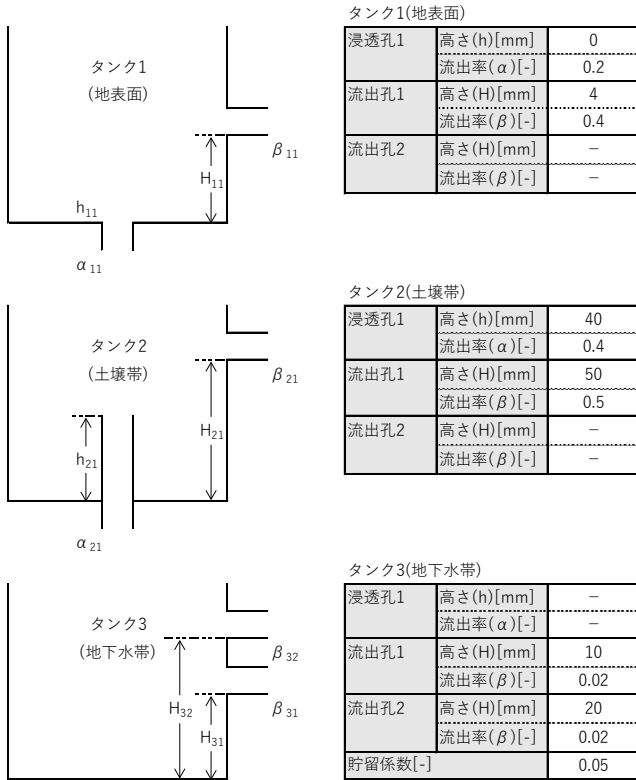


図 4.1-4 地下水解析モデルにおける水田と浸透域

出典：「地理院タイル淡色地図（国土交通省 国土地理院）」に解析範囲 他を追加して掲載

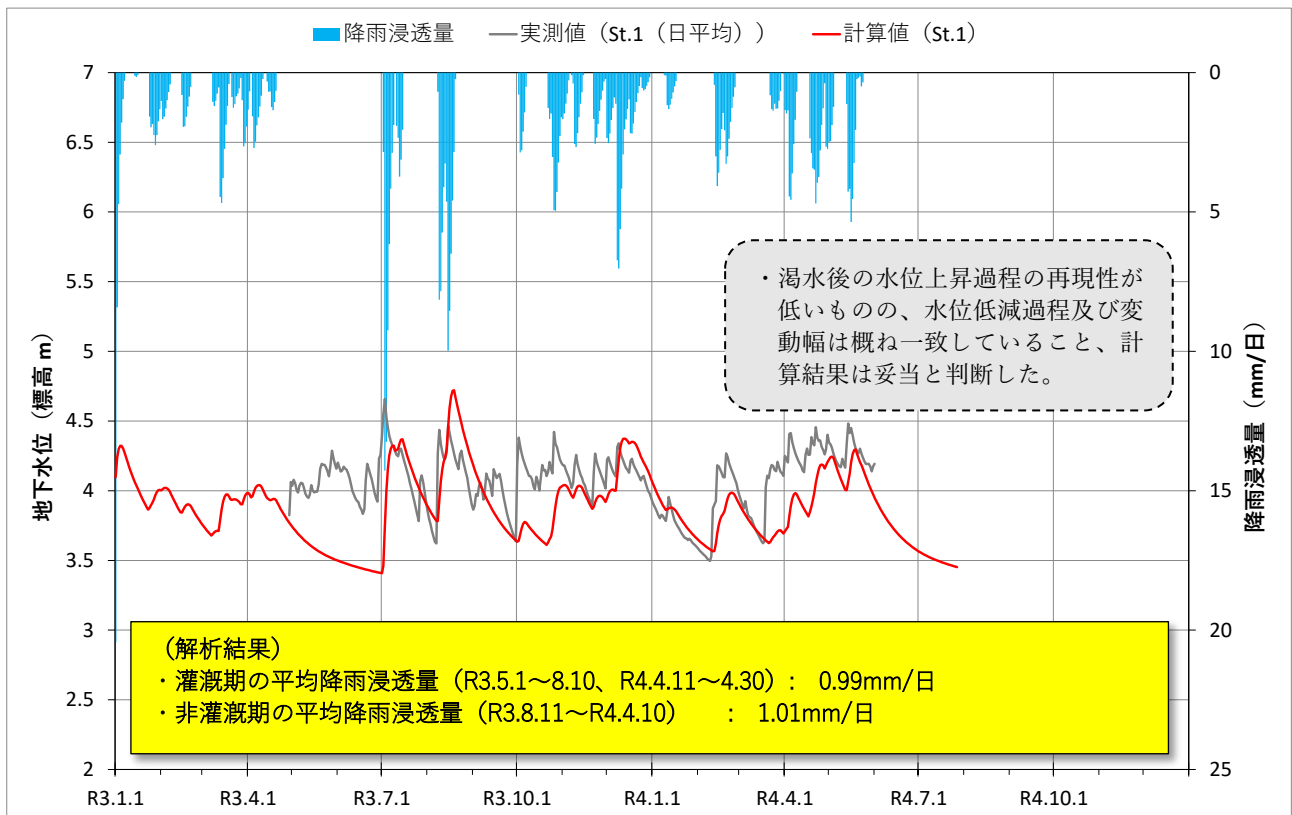


注) h_{ij} , H_{ij} , α_{ij} , β_{ij} の添字iはタンク番号、jは孔番号を表す

(タンクモデルの入力値)

項目	内容
降水量	・横芝光 (気象庁アメダス) の日降水量データを使用 ・タンク 1 に入力
可能蒸発散量	・ハーモン法により推定 $E_p = 0.14 \times D_0^2 \times P_t$ ここで、 E_p : 日平均蒸発散能(mm/日)、 D_0 : 可照時間(12hr/日)、 P_t : 日平均気温に対する飽和絶対湿度(g/m^3)。また、ハーモン法の可照時間と飽和絶対湿度は、横芝光 (気象庁アメダス) の緯度及び気温データより算出。 ・蒸発散はタンク 1,2 の貯留量がある場合に生じるものとし、蒸発散量はタンクモデルの計算過程で算定。

(タンクモデル概要及び入力パラメータ)



(地下水位変動検証結果)

図 4.1-5 タンクモデル法による降雨浸透量の推定

表 4.1-5 土性区分別単位用水量（減水深）

土性区分		乾湿区分	湿田	半湿田	乾田
強	粘 土		11	14	17
	粘 土		12	14	19
	壤 土		14	17	23
	砂 土		17	19	26
泥炭黒泥 土壌	強 粘 土		11		
	粘 土		12		
	壤 土		14		
黒色土壌	粘 土				21
	壤 土				29
礫層礫質 土壌	礫 質				32
	礫 層				34
	全層砂礫				38
平	均		14	16	26

1971～1973年の国営農業用排水事業並びに1972～1973年の県営用排水事業計画資料（新規全体実施設計）に基づき整理した。

・湿田（壤土）の単位揚水量（14mm/日）から一般的な水田の蒸発散量 5mm/日を差し引いた 9mm/日を、水田漏水量の参考値とした。

出典：日本の農業用水（昭和 55 年 8 月 農業水利研究会・編）

4.1.2. 地下水解析モデルの再現性検証

表 4.1-1 に示す基本設計のもとで構築した地下水解析モデルの地下水位の再現性を検証するため、灌漑期と非灌漑期の再現解析を行った。

図 4.1-7 に計算地下水位分布図を示す。計算地下水位は、大局的には地形的に高い北西から低い南東に向かってその高度を下げるが、都市計画対象事業実施区域付近で微地形の影響を受けて、砂丘間の堤間湿地に位置する 13 号排水路に集まるような地下水位分布を示している。さらに、場所によっては農用地周辺に張り巡らされた水路にも規制され、特に水田に水が張る灌漑期には計算地下水位が高くなることから、この傾向が顕著に現れる。

図 4.1-7 の計算地下水位分布図から都市計画対象事業実施区域に設置した地下水位観測井 St.1～4 の計算地下水位を抽出し、実測地下水位と比較した結果を図 4.1-6 に示す。同図によれば、St.2～3 では計算地下水位が実測地下水位より 0.2～0.3m 程度低く、St.1 では 0.1～0.3m 程度高いものの、地下水解析モデルは概ね良好な地下水位の再現性を示した。

以上より、構築した地下水解析モデルは、工事の実施及び施設の存在等に伴う水文環境への影響予測するうえで、適正な設定ができたと判断した。

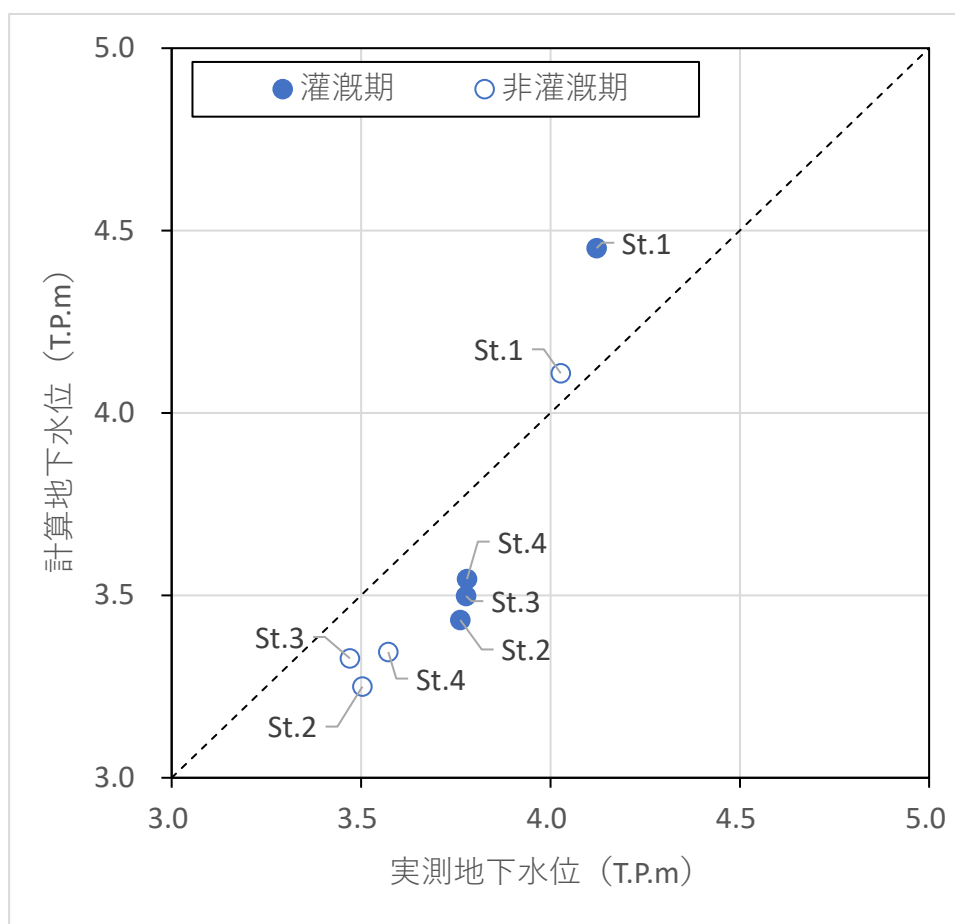


図 4.1-6 地下水位の再現性検証結果
(地下水位観測井戸 St.1～4)

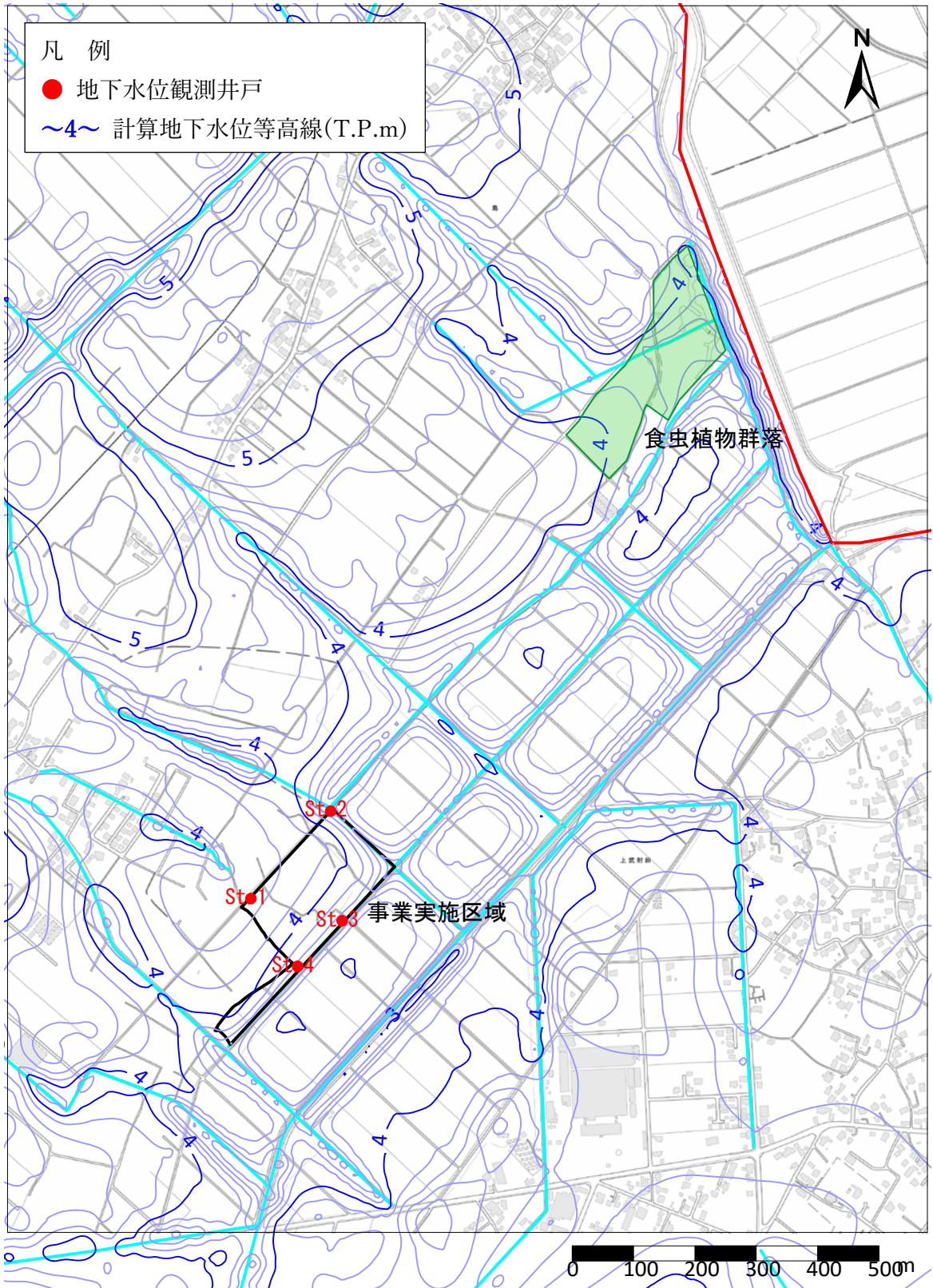


図 4.1-7(1) 計算地下水位分布（灌漑期）

出典：「地理院タイル淡色地図（国土交通省 国土地理院）」に計算地下水位分布 他を追加して掲載

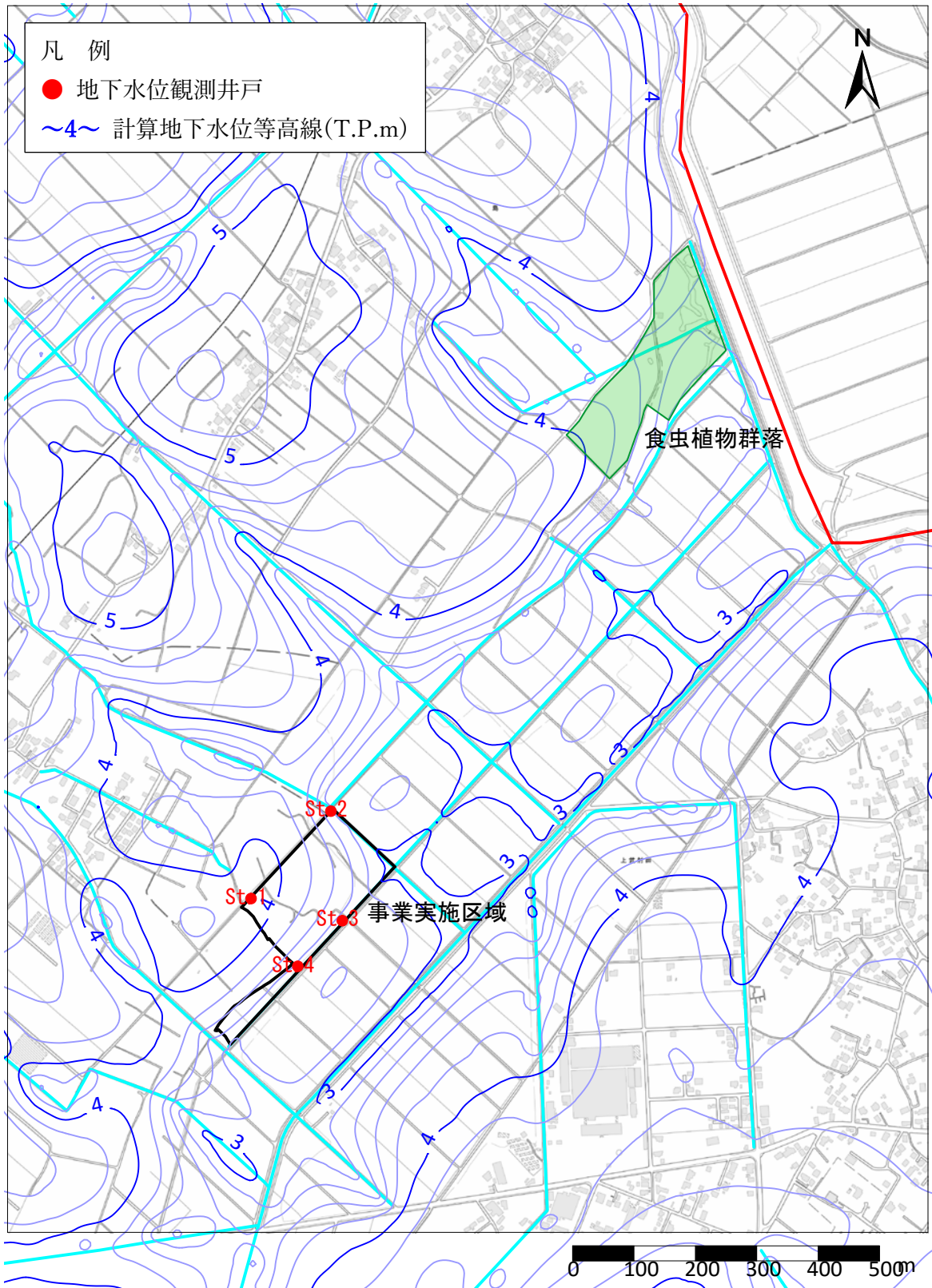


図 4.1-7(2) 計算地下水位分布 (非灌漑期)

出典：「地理院タイル淡色地図 (国土交通省 国土地理院)」に計算地下水位分布 他を追加して掲載

4.1.3. 地下水解析モデルによる影響予測条件

予測にあたっての各施設の施工条件は、「新ごみ処理施設建設基本設計報告書（令和4年3月東金市外三市町清掃組合）」（以降、基本設計という）を基礎とした。このうち、基本設計で計画されていない土留壁の仕様については、以下の①～③のように想定した。

- ① 調整池の土留壁は、掘削深度より 3.0m深くまで打設するものと想定し、7.9m（掘削深度 4.9m+3.0m）と設定した。但し、「矢板（親杭横矢板もしくは鋼矢板）」と計画されていることから、影響予測にあたっては、土留壁による止水は期待できないものとした。
- ② ごみピットの土留壁は、「SMW（Soil Mixing Wall）」と計画されている。掘削深度は 9.3m と深いので、土留壁（SMW）の根入れ深度は支持層（柿ノ木台層）の中まで打設することを想定した。これらのことより、影響予測にあたっては、土留壁による高い止水性が期待できるものとした。
- ③ その他ピットの土留壁は、掘削深度より 3.0m深くまで打設するものと想定し、8.5～11.3m（掘削深度 5.5～8.3m+3.0m）と設定した。但し、「矢板（親杭横矢板もしくは鋼矢板）」と計画されていることから、影響予測にあたっては、土留壁による止水は期待できないものとした。

また、施設平面図を図 4.1-8 に示すとおりである。各施設の詳細な手順については、表 4.1-7 及び表 4.1-8 のような手順を想定した。

以上を踏まえ、工事中・工事後の各段階で水文環境への影響が最大となる状況を表 4.1-7 及び表 4.1-8 から選択し、表 4.1-6 に示す3つのケース×2時期（灌漑期・非灌漑期）を影響予測ケースとした。

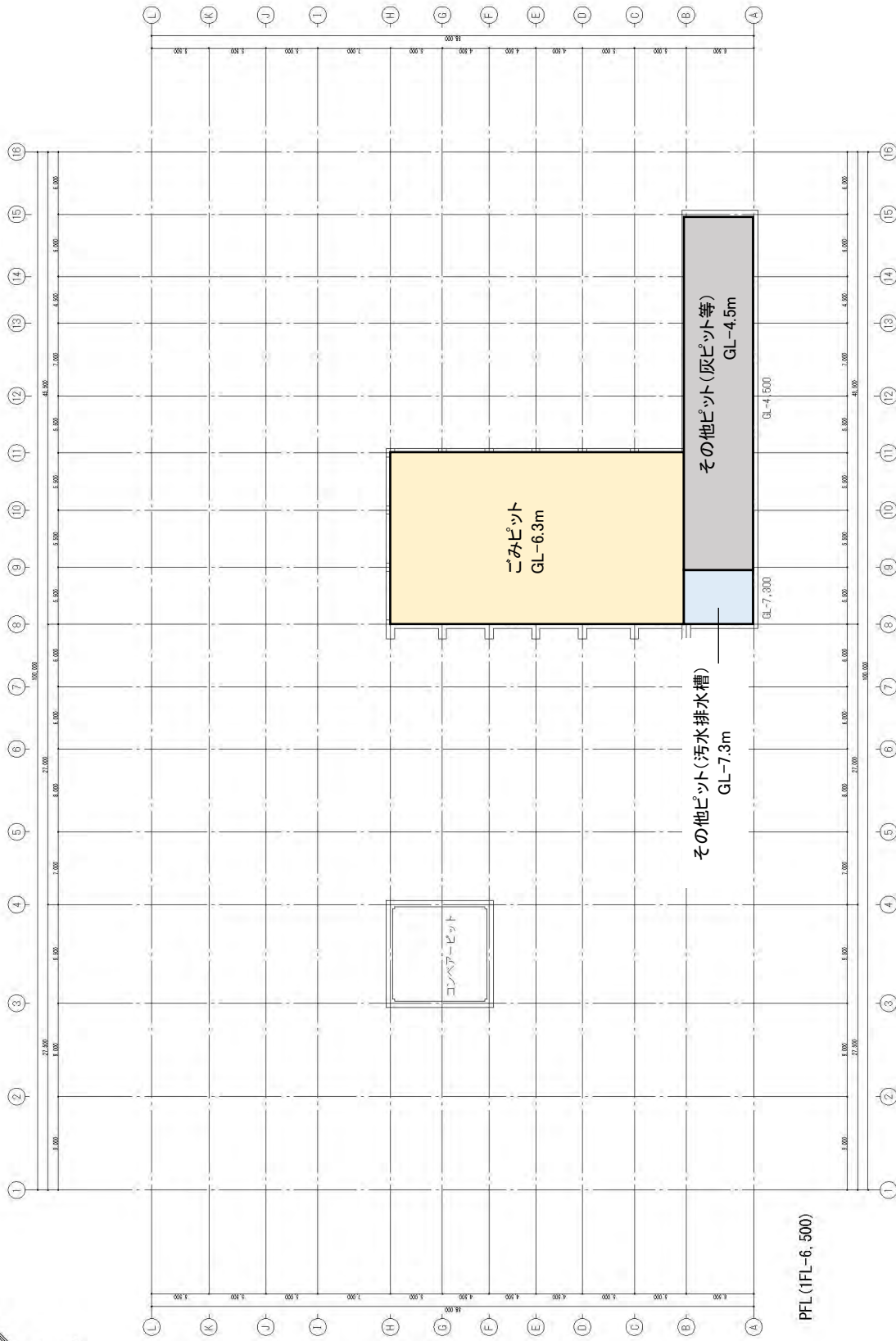
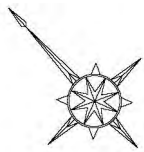


図 4.1-1 施設平面図 (地階部分)

表 4.1-6 影響予測ケース

予測 ケース	工事段階	内 容	水理条件
ケース 1	調整池の工事中	<ul style="list-style-type: none"> ・都市計画対象事業実施区域の造成が始まり、水田は消滅 ・予定掘削深度まで掘削し、掘削範囲に流入する地下水を排水 ・土留壁には矢板（親杭横矢板もしくは鋼矢板）を使用 	<ul style="list-style-type: none"> ・都市計画対象事業実施区域の水田は消滅し浸透域化 ・調整池の掘削範囲（134m×23m×深度4.9m）を、深度4.9mを境界値とする浸出境界に設定、土留壁の止水は期待できないものとし、未設定（原地盤のまま）
ケース 2	調整池の工事後 + 工場棟の工事中	<ul style="list-style-type: none"> ・都市計画対象事業実施区域が造成され、盛土範囲の地盤高はT.P.+5.6mに嵩上げ（現状地盤高の平均値T.P.+4.3m） ・都市計画対象事業実施区域の地表面からの地下浸透は減少（降水浸透の減少、水田の消滅による） ・調整池は止水性の高い構造物とする ・ごみ及びその他ピットでは予定掘削深度まで掘削し、掘削範囲に流入する地下水を排水 ・ごみピットの土留壁には、SMWを柿ノ木台層の中まで打設 ・その他ピットの土留壁には矢板（親杭横矢板もしくは鋼矢板）を使用 	<ul style="list-style-type: none"> ・都市計画対象事業実施区域の水田・畑はなくなり、非浸透域化 ・調整池の掘削範囲のうち調整池の126m×15m×深度4.5mを不透水化、その他部分は埋め戻し ・ごみピットの掘削範囲の沖積砂質土層を0.8m厚の不透水の土留壁（SMW）で全周閉め切り、内側の掘削範囲（27.7m×17.7m×深度9.3m）を深度9.3mを境界値とする浸出境界に設定 ・その他ピット（汚水排水槽）の掘削範囲（6.5m×6.3m×深度8.3m）を深度8.3mを境界値とする浸出境界に設定、土留壁の止水は期待できないものとし、未設定（原地盤のまま） ・その他ピット（灰ピット等）の掘削範囲（7.3m×34.0m×深度5.5m）を深度5.5mを境界値とする浸出境界に設定、土留壁の止水は期待できないものとし、未設定（原地盤のまま）
ケース 3	工事後	<ul style="list-style-type: none"> ・都市計画対象事業実施区域が造成され、盛土範囲の地盤高はT.P.+5.6mに嵩上げ（現状地盤高の平均値T.P.+4.3m） ・都市計画対象事業実施区域の地表面からの地下浸透は減少（降水浸透の減少、水田の消滅による） ・調整池、ごみ及びその他ピットは止水性の高い構造物とする 	<ul style="list-style-type: none"> ・都市計画対象事業実施区域の水田・畑はなくなり、非浸透域化 ・調整池の掘削範囲のうち調整池の126m×15m×深度4.5mを不透水化、その他部分は埋め戻し ・ごみピットの掘削範囲（29.3m×17.3m×深度9.3m）を不透水化 ・その他ピット（汚水排水槽）の掘削範囲（6.5m×6.3m×深度8.3m）、その他ピット（灰ピット等）の掘削範囲（7.3m×34.0m×深度5.5m）を不透水化

表 4.1-7 「①調整池の工事」における概略施工手順

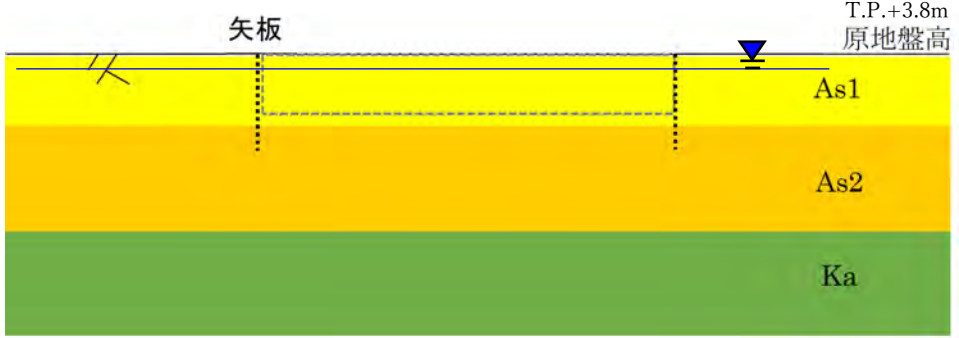
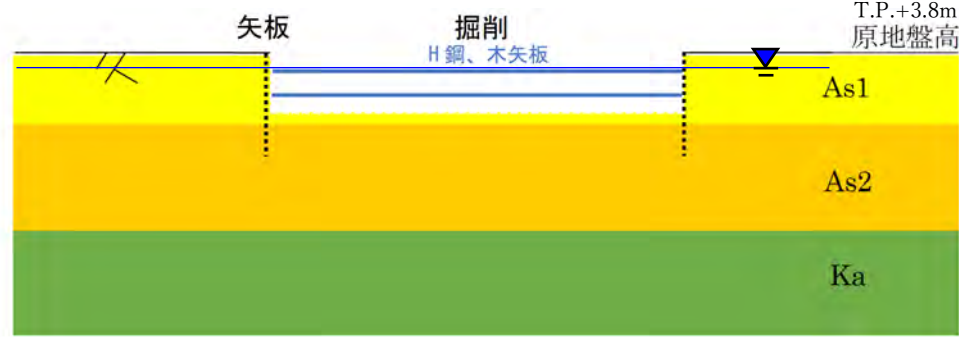


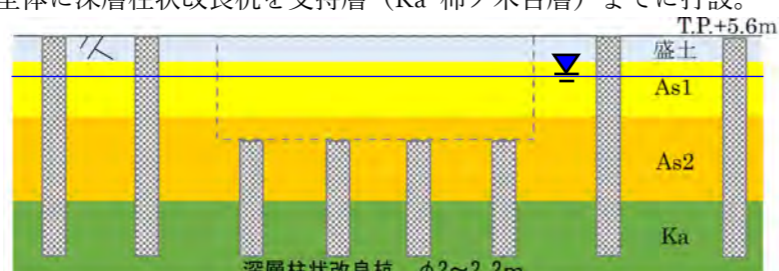
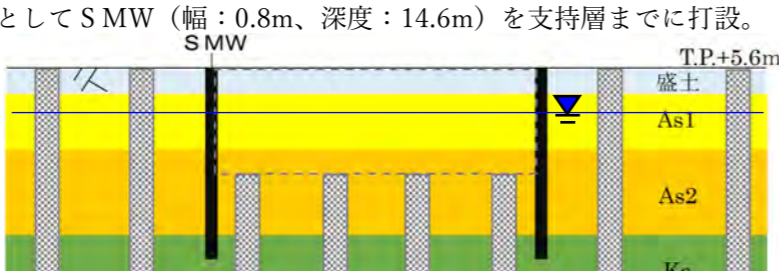
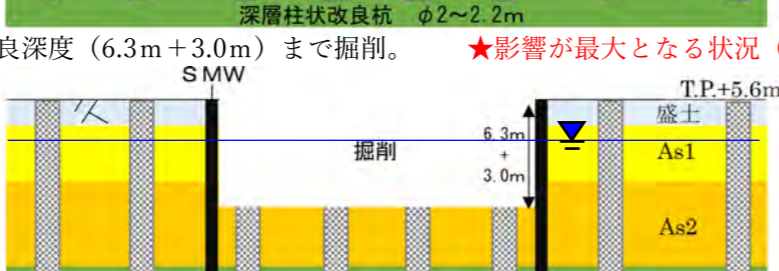
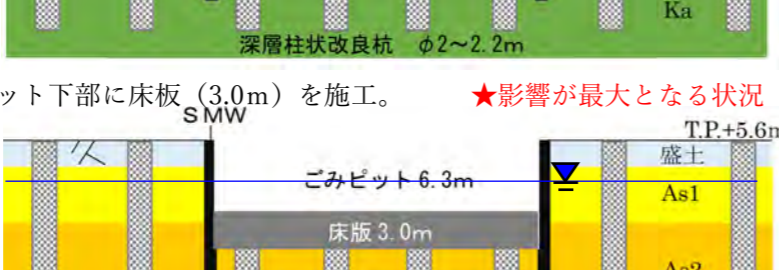

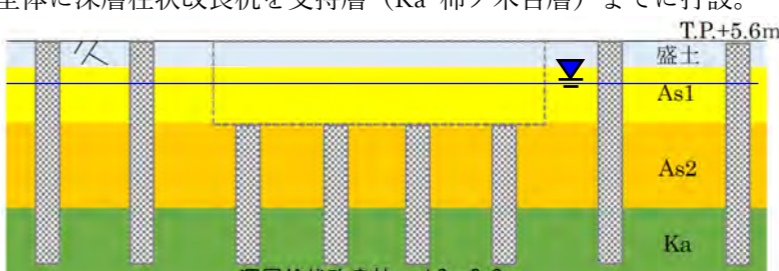
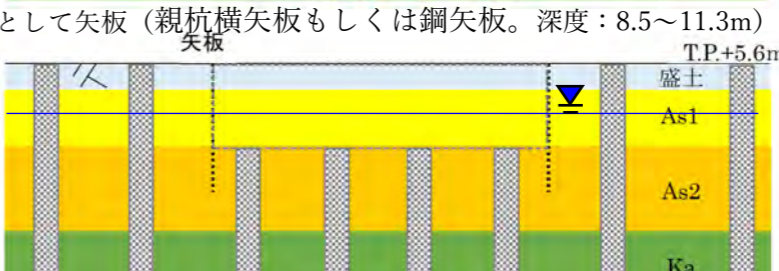
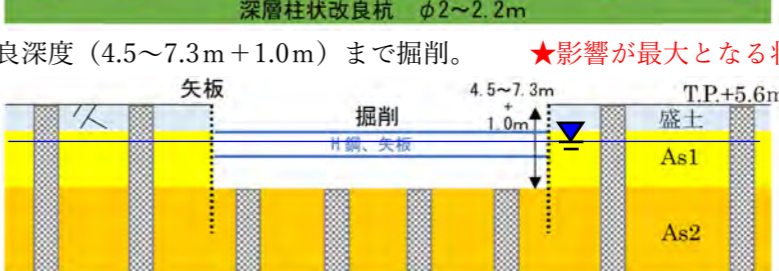

対象施設	調整池（掘削深度：4.4m+0.5m）
施工手順	①土留壁として矢板（親杭横矢板もしくは鋼矢板。深度：7.9m。）を打設。 ②予定掘削深度（4.4m+0.5m）まで掘削。 ③床板・側壁を施工（場所打ちコンクリート）。
施工ステップ図	<p>①土留壁として矢板（親杭横矢板もしくは鋼矢板。深度：7.9m。）を打設。</p>  <p>②予定掘削深度（4.4m+0.5m）まで掘削。 ★影響が最大となる状況（工事中）</p>  <p>③床板・側壁を施工（場所打ちコンクリート）。 ★影響が最大となる状況（工事後）</p>  <p style="text-align: right;">▼ 非灌漑期地下水位 2021/11/15 約 T.P.+3.48m</p>

表 4.1-8 「②工場棟の工事」における概略施工手順

対象施設	ごみピット (掘削深度: 6.3m+3.0m)	その他ピット (掘削深度: 4.5~7.3m+1.0m)
<p>施工手順</p>	<p>①対象地全体に盛土し、嵩上げ後標高: T.P.+5.6m。平均嵩上げ高さ: 1.3m。 ②対象地全体に深層柱状改良杭を支持層 (Ka 柿ノ木台層) までに打設。 ③土留壁としてSMW (幅: 0.8m、深度: 14.6m) を支持層までに打設。 ④地盤改良深度 (6.3m+3.0m) まで掘削。 ⑤ごみピット下部に床板 (3.0m) を施工。</p>	<p>①対象地全体に盛土し、嵩上げ後標高: T.P.+5.6m。平均嵩上げ高さ: 1.3m。 ②対象地全体に深層柱状改良杭を支持層 (Ka 柿ノ木台層) までに打設。 ③土留壁として矢板 (親杭横矢板もしくは鋼矢板。深度: 8.5~11.3m) を打設。 ④地盤改良深度 (4.5~7.3m+1.0m) まで掘削。 ⑤床板及び側壁を施工。</p>
<p>施工ステップ図</p>	<p>①対象地全体に盛土し、嵩上げ後標高: T.P.+5.6m。平均嵩上げ高さ: 1.3m。 </p> <p>②対象地全体に深層柱状改良杭を支持層 (Ka 柿ノ木台層) までに打設。 </p> <p>③土留壁としてSMW (幅: 0.8m、深度: 14.6m) を支持層までに打設。 </p> <p>④地盤改良深度 (6.3m+3.0m) まで掘削。★影響が最大となる状況 (工事中) </p> <p>⑤ごみピット下部に床板 (3.0m) を施工。★影響が最大となる状況 (工事後) </p> <p style="text-align: right;">▽ 灌漑期地下水位 2021/5/12 約 T.P.+3.85m</p>	<p>①対象地全体に盛土し、嵩上げ後標高: T.P.+5.6m。平均嵩上げ高さ: 1.3m。 </p> <p>②対象地全体に深層柱状改良杭を支持層 (Ka 柿ノ木台層) までに打設。 </p> <p>③土留壁として矢板 (親杭横矢板もしくは鋼矢板。深度: 8.5~11.3m) を打設。 </p> <p>④地盤改良深度 (4.5~7.3m+1.0m) まで掘削。★影響が最大となる状況 (工事中) </p> <p>⑤床板及び側壁を施工。★影響が最大となる状況 (工事後) </p> <p style="text-align: right;">▽ 灌漑期地下水位 2021/5/12 約 T.P.+3.85m</p>