

平城宮跡の土質等に関する調査結果について

1. 概要

別紙-1

□ 目的

- ・木簡が当該地で長期間保存されてきたメカニズム(保全に関する土質や土中水の状況)の把握

□ 現地状況

① 東院地区

建物や塀等の柱穴、木簡は出土せず

② 東方官衙地区

大溝跡底面付近の砂礫中を中心に多数の木簡や削屑が出土、最大長さ(約35cm)の木簡は粘土・シルト分を多く含み局所的に広がる土の中に埋蔵(この木簡を対象に検討を実施)

2. 調査結果

別紙-2

- サンプルング試料について、粒度、透水性、pF等の物理試験および、化学試験を実施。また、現地で酸化還元電位を調査

① 東院地区

- ・細粒土が多く、透水性が悪い

② 東方官衙地区

- ・酸化状態の土壌から木簡が出土 別紙-3
- ・木簡周辺の粘土・シルト分を多く含む土は局所的に広がり量的に少ないため、透水試験やpF試験に必要なサンプルング不可

3. 予定

- 今後の木簡発掘とあわせて、様々な状態における木簡周辺土壌の飽和度や、水分保持特性、土壌の酸化還元状態に関するデータ収集の実施

[参考]

- ① 近傍の観測井の観測結果から、木簡は常時地下水位以下ではなかったと推定 別紙-4

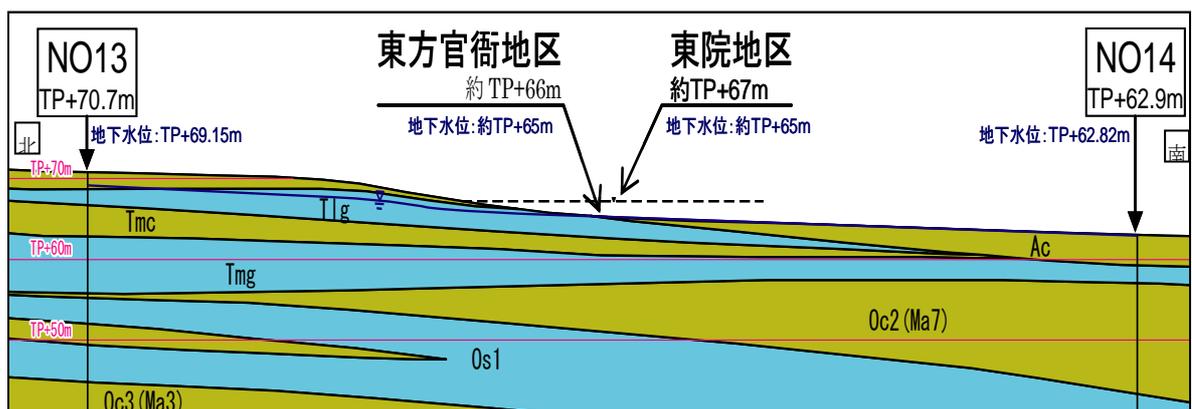
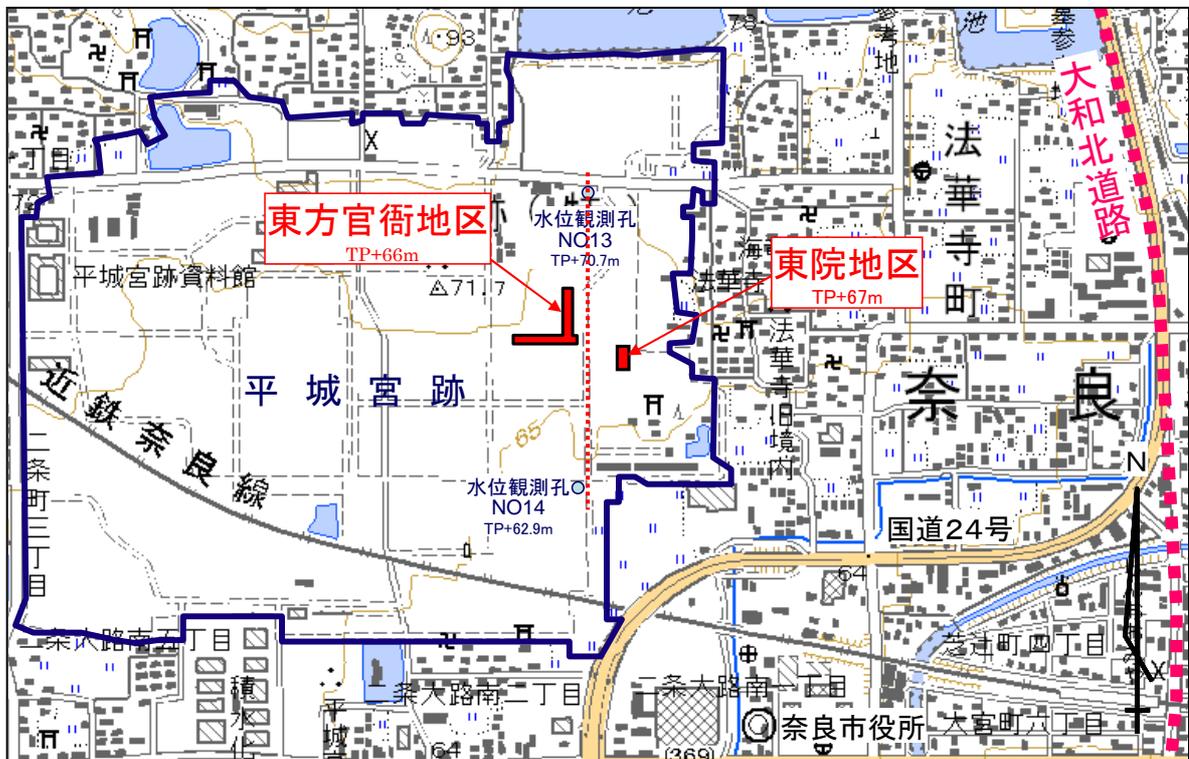
- ② 東院地区のデータを用い、地下水位低下時の不飽和土の状況を解析したところ、木簡周辺の土壌水分量は概ね保持されていたと推定 別紙-5

平城宮跡の土質等に関する調査位置の概要

□奈良文化財研究所による以下の発掘調査現場にて、資料採取および現地試験を実施

- ①東院地区とういん（平城第401次調査）
- ・平城宮跡東部の高台に位置
 - ・主に検出された遺構は、建物や塀等の柱穴 等
 - ・土器類や瓦塼がせんの遺物が出土、木簡は確認されず

- ②東方官衙地区とうほうかんが（平城第406次調査）
- ・平城宮跡東部の低地に位置
 - ・主に検出された遺構は、大溝、溝、柱穴 等
 - ・大溝跡から約50点の木簡や約400点の削屑が出土



□発掘現場写真

①東院地区



写真 柱穴発掘調査現場

②東方官衙地区

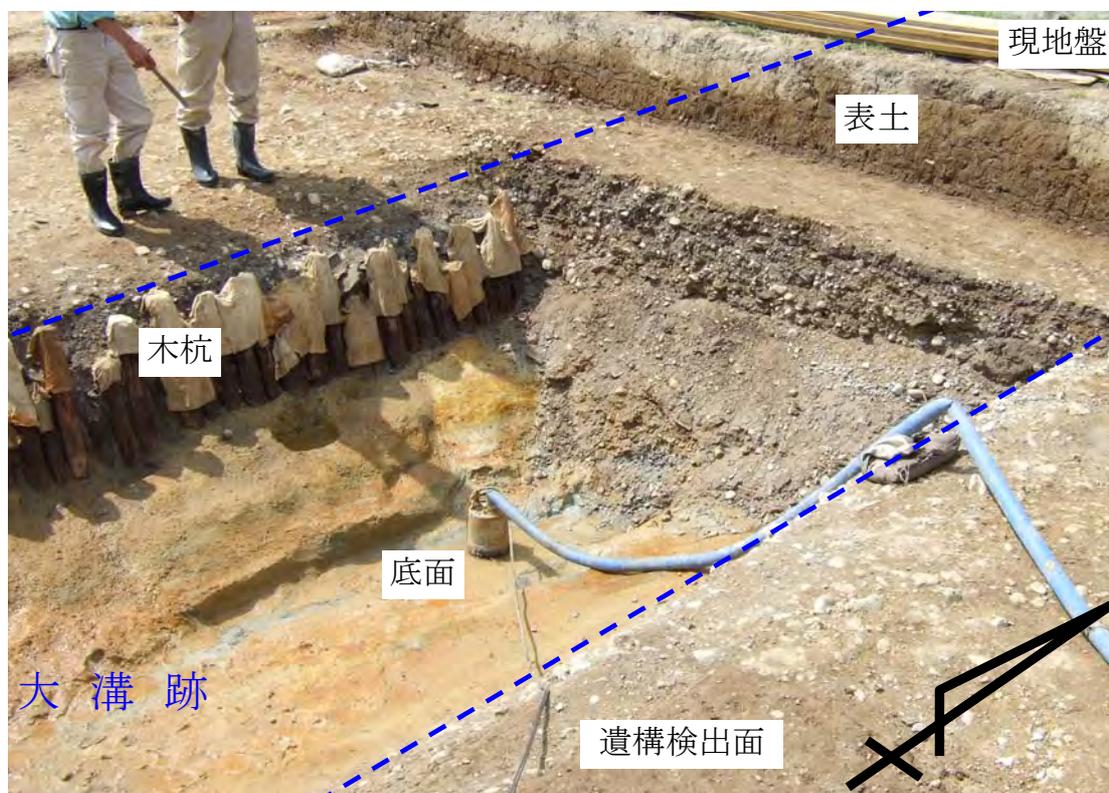


写真 大溝跡発掘調査現場

□東方官衙地区の木簡出土状況

- ・大溝内より約50点の木簡
- ・多数は、大溝跡底面付近の砂礫中にかたまって埋蔵
- ・最大長さ(約35cm)の木簡は局所的な粘土・シルト分を多く含む土の中に埋蔵
(この木簡を対象に検討を実施)

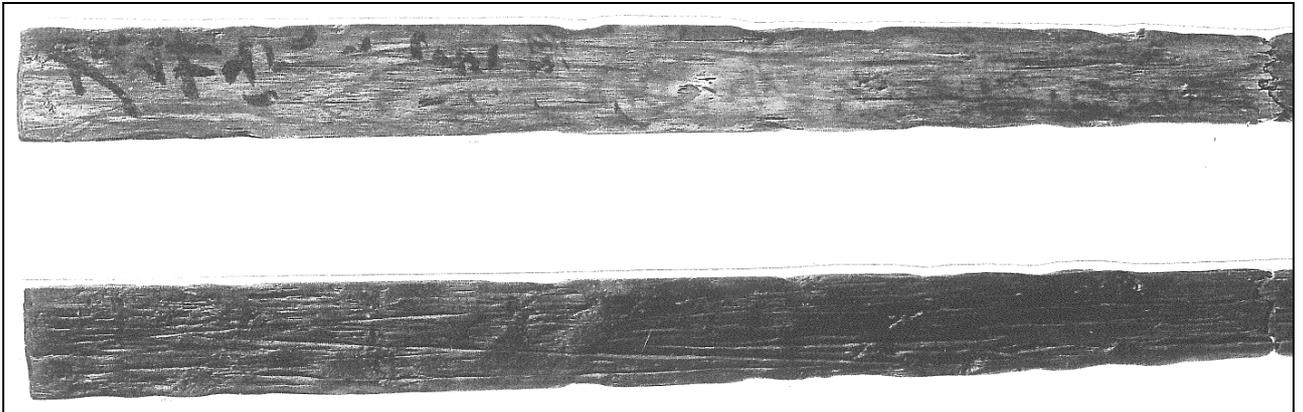


写真 最大長さ(約35cm)の木簡 上：表面、下：裏面
(提供：奈良文化財研究所)

現地盤

GL-0.0m(TP+65.8m)

遺構検出面

GL-0.6m(TP+65.2m)

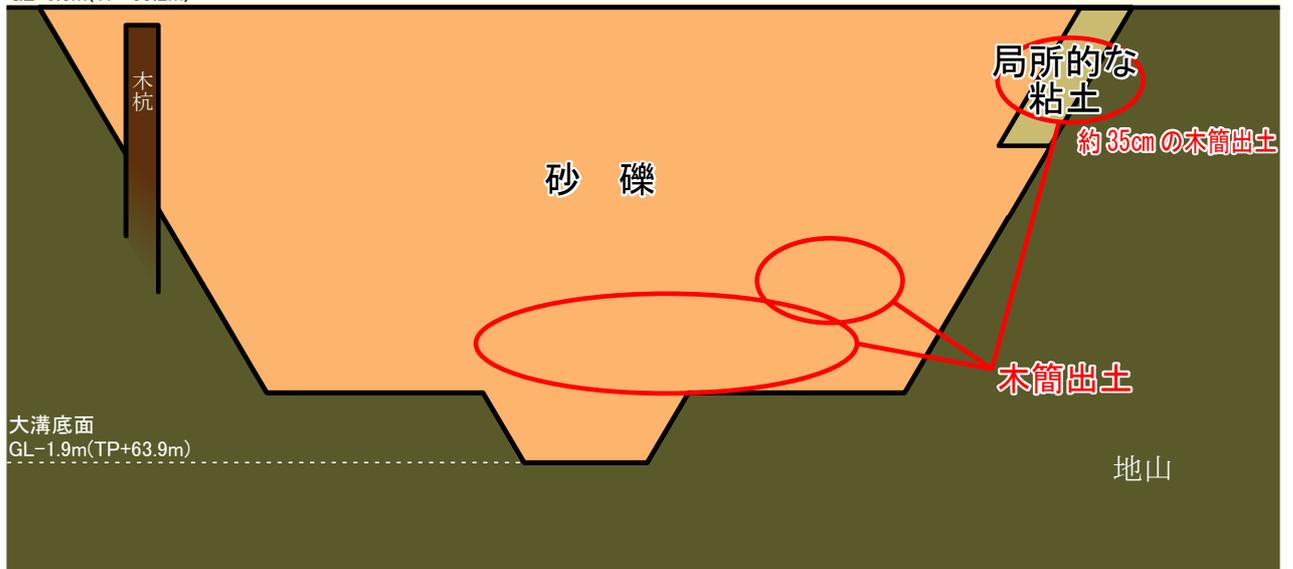


図 大溝跡断面模式図

平城宮跡の土質等に関する試験結果

1. 試験項目

□下表の項目について、現地試験及び、現地で試料採取の後、室内試験を実施

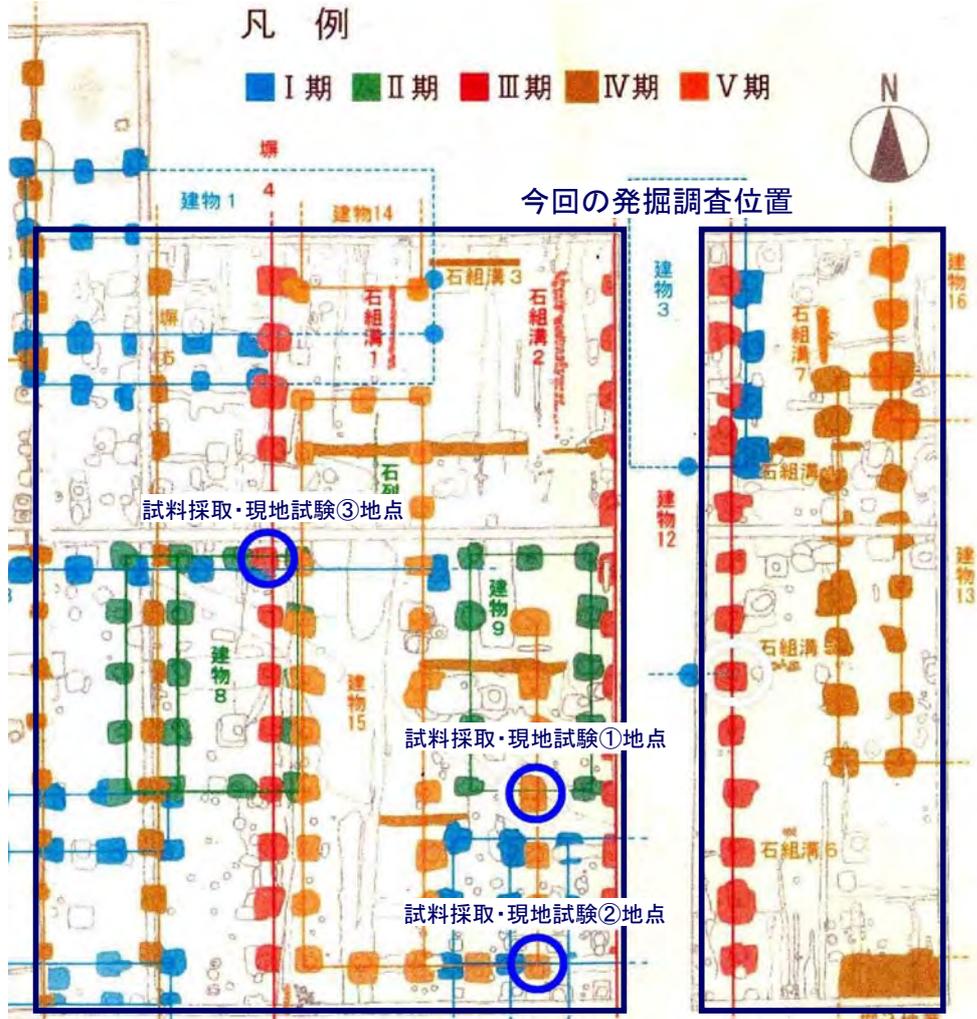
□なお、東方官衙地区では、サンプリング採取ができず、一部の試験は実施していない

試験方法	試験項目		試験の目的	東院地区	東方官衙地区	
現地での試料採取 ↓ 室内試験	物理試験	土粒子密度	土粒子の密度を把握	○	○	
		自然含水比	土壌の含水比を把握	○	○	
		飽和度	土壌の水分量を把握	○	×	
		湿潤密度	土粒子の密度を把握	○	×	
		粒度組成	土壌の組成区分を把握	○	○	
		飽和透水係数	土壌中の透水性を把握	○	×	
		pF	土壌の水分保持特性を把握	○	×	
現地試験	酸化還元電位(Eh)		土壌が酸化状態か還元状態かを把握(バクテリア繁殖状況の目安)	○	○	
現地での試料採取 ↓ 室内試験	化学試験	水素イオン指数(pH)		土壌が酸性かアルカリ性かを把握 [酸化還元状態の把握の補助]	○	○
		有機性炭素含有率		木製品等の分解形跡の把握	○	○
		硫黄含有量	全硫黄	硫黄分の含有量を把握 [酸化還元状態の把握の補助]	○	○
			硫酸態硫黄		○	○
		鉄含有量	鉄	鉄分の含有量を把握 [酸化還元状態の把握の補助]	○	○
二価鉄(非酸化鉄)	○		○			

(○:実施 ×:実施せず)

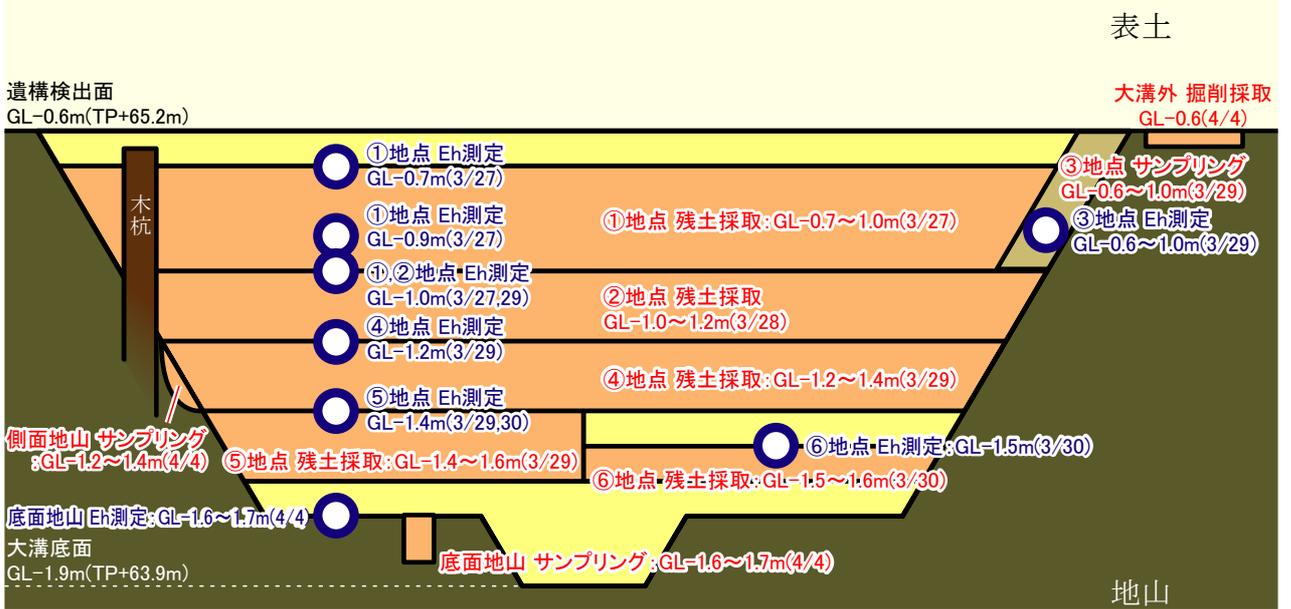
2. 現地調査及び試料採取位置

①東院地区



②東方官衙地区

現地盤
GL-0.0m(TP+65.8m)



日付は試料採取、または現地試験実施日

3. 試験結果

表 試験項目と試験結果(1)

試験方法	試験項目	試験の目的	単位	東院地区						東方官衙地区							
				柱穴跡内堆積土			大溝跡堆積土			(参考)地山							
				①地点	②地点	③地点	①地点	②地点	③地点 検討対象木簡 が出土	④地点	⑤地点	⑥地点	側面 砂部	底面 粘土部	大溝外 砂礫		
現地での 試料採取 ↓ 室内試験	物理試験	土粒子密度	土粒子の密度を把握	g/cm ³	2.672	2.671	2.671	2.640	2.636	2.633	2.631	2.632	2.632	2.635	2.631	2.650	
		自然含水比	土壌の含水比を把握	%	18.2	21.7	20.7	8.6	13.4	19.2	14.0	14.1	9.8	21.2	28.9	5.7	
		飽和度	土壌の水分量を把握	%	64.4	80.5	92.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		湿潤密度	土粒子の密度を把握	g/cm ³	1.79	1.89	2.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		粒度組成 ■は最大組成区分	土壌の組成区分を把握	石分	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
				礫分	%	6.7	5.2	14.1	65.0	55.2	28.4	61.1	55.9	62.2	20.5	5.1	68.9
				砂分	%	34.4	31.9	32.2	33.3	41.1	28.1	32.0	37.1	32.1	68.9	39.4	13.4
				シルト分	%	26.8	26.5	23.1	0.6	1.7	18.5	4.8	4.8	3.1	7.9	29.1	8.6
				粘土分	%	32.1	36.5	30.7	1.0	2.1	25.1	2.2	2.2	2.6	2.7	26.4	9.2
シルト・粘土	%	58.9	62.9	53.8	1.7	3.7	43.6	7.0	7.0	5.7	10.7	55.5	17.7				
飽和透水係数	土壌中の透水性を把握	cm/sec	1.21 ×10 ⁻⁶	9.90 ×10 ⁻⁷	7.80 ×10 ⁻⁷	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
現地試験	酸化還元電位(Eh)	土壌が酸化状態か還元状態かを把握 (バクテリア繁殖状況の目安)	mV	370	319	323	396	405	455	383	303	234	284	266	—		
現地での 試料採取 ↓ 室内試験	化学試験	水素イオン指数(pH)	土壌が酸性かアルカリ性かを把握 [酸化還元状態の把握の補助]	pH	6.8	6.2	6.5	6.0	5.9	5.7	5.6	4.8	4.2	4.0	4.7	5.4	
		有機性炭素含有率	木製品等の分解形跡の把握	%	0.26	0.30	0.26	0.46	0.54	0.74	1.10	1.10	0.66	0.14	0.11	0.47	
		硫黄含有量	全硫黄	硫黄分の含有量を把握 [酸化還元状態の把握の補助]	mg/g	0.043	0.034	0.058	0.022	0.010	0.027	0.031	0.093	0.250	0.059	0.085	0.067
			硫酸態硫黄	mg/g	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.001	0.007	0.002	0.028	0.044	0.029	0.013	0.005	
		鉄含有量	鉄	鉄分の含有量を把握 [酸化還元状態の把握の補助]	mg/g	19	20	19	2.2	2.2	7.3	2.9	2.8	2.4	8.4	6.4	13
二価鉄 (非酸化鉄)	mg/g		<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.007	0.015	0.005	0.460	<0.005		

※飽和度、湿潤密度、飽和透水係数の試験は、不攪乱試料が採取可の東院地区でのみ実施

表 試験項目と試験結果(2)

試験方法	試験項目	試験の目的	東院地区																																												
			柱	穴	跡	内	堆	積	土																																						
			①	地	点	②	地	点	③	地	点																																				
現地での試料採取 ↓ 室内試験	物理試験	pF 土壌の水分保持特性を把握	<table border="1"> <caption>Data for Point 1</caption> <thead> <tr> <th>pF</th> <th>体積含水率 v/v(%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>31</td></tr> <tr><td>1</td><td>29</td></tr> <tr><td>2</td><td>27</td></tr> <tr><td>3</td><td>26</td></tr> <tr><td>4</td><td>25</td></tr> </tbody> </table>			pF	体積含水率 v/v(%)	0	31	1	29	2	27	3	26	4	25	<table border="1"> <caption>Data for Point 2</caption> <thead> <tr> <th>pF</th> <th>体積含水率 v/v(%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>41</td></tr> <tr><td>1</td><td>39</td></tr> <tr><td>2</td><td>38</td></tr> <tr><td>3</td><td>37</td></tr> <tr><td>4</td><td>32</td></tr> </tbody> </table>			pF	体積含水率 v/v(%)	0	41	1	39	2	38	3	37	4	32	<table border="1"> <caption>Data for Point 3</caption> <thead> <tr> <th>pF</th> <th>体積含水率 v/v(%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>36</td></tr> <tr><td>1</td><td>35</td></tr> <tr><td>2</td><td>34</td></tr> <tr><td>3</td><td>33</td></tr> <tr><td>4</td><td>31</td></tr> </tbody> </table>			pF	体積含水率 v/v(%)	0	36	1	35	2	34	3	33	4	31
pF	体積含水率 v/v(%)																																														
0	31																																														
1	29																																														
2	27																																														
3	26																																														
4	25																																														
pF	体積含水率 v/v(%)																																														
0	41																																														
1	39																																														
2	38																																														
3	37																																														
4	32																																														
pF	体積含水率 v/v(%)																																														
0	36																																														
1	35																																														
2	34																																														
3	33																																														
4	31																																														

※pFの試験は不攪乱試料が採取可の東院地区でのみ実施

平城宮跡の土壌の酸化還元状態

①東院地区

- ・ 酸化還元電位測定結果から、酸化状態
- ・ pHは、6.2~6.8(若干酸性)

②東方官衙地区

- ・ 浅深度(①、②地点)において酸化還元電位は、酸化状態を示すが、深度が深くなるにつれ低下、最も深い⑥地点および大溝跡底面の地山は還元状態と推定
- ・ pHは、4.0~6.0(若干酸性)

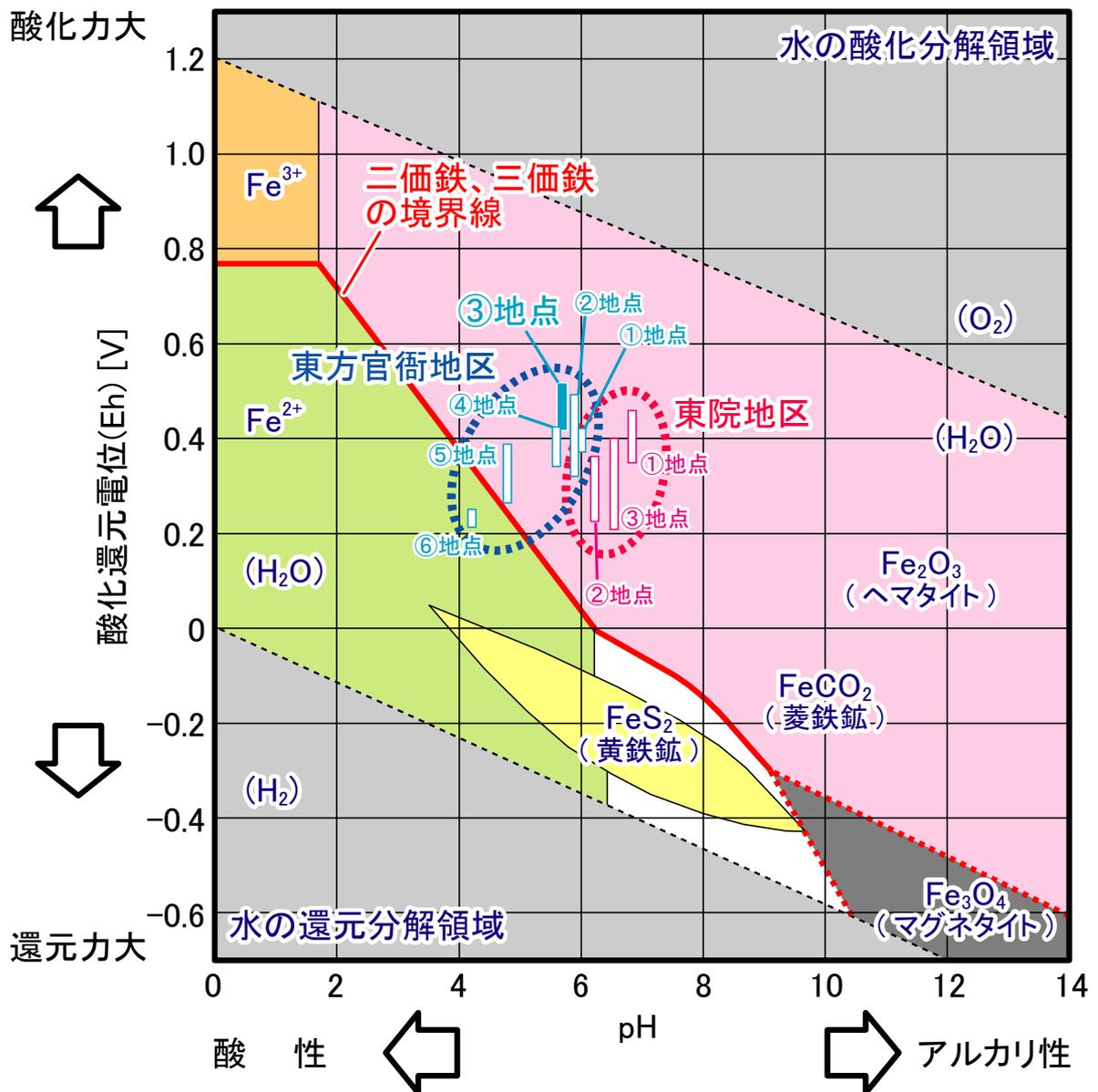
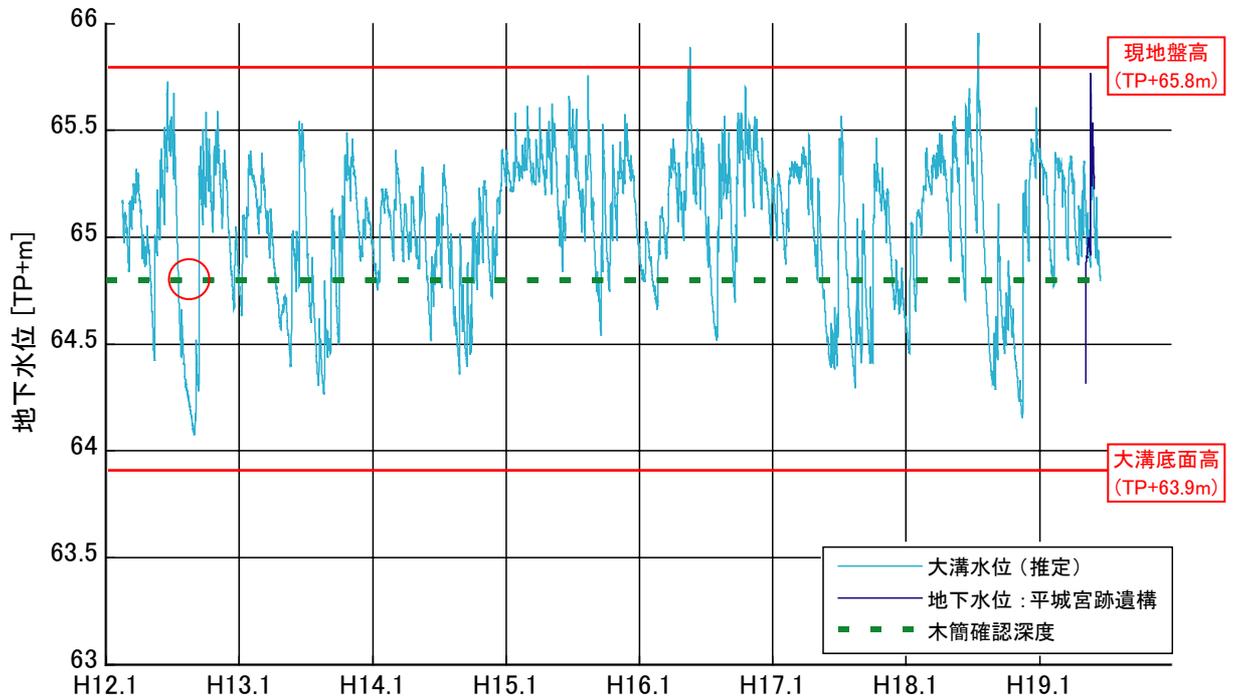


図 鉄のpH-Eh安定領域図
(J.Eアンドリュウ他：地球環境科学に加筆)

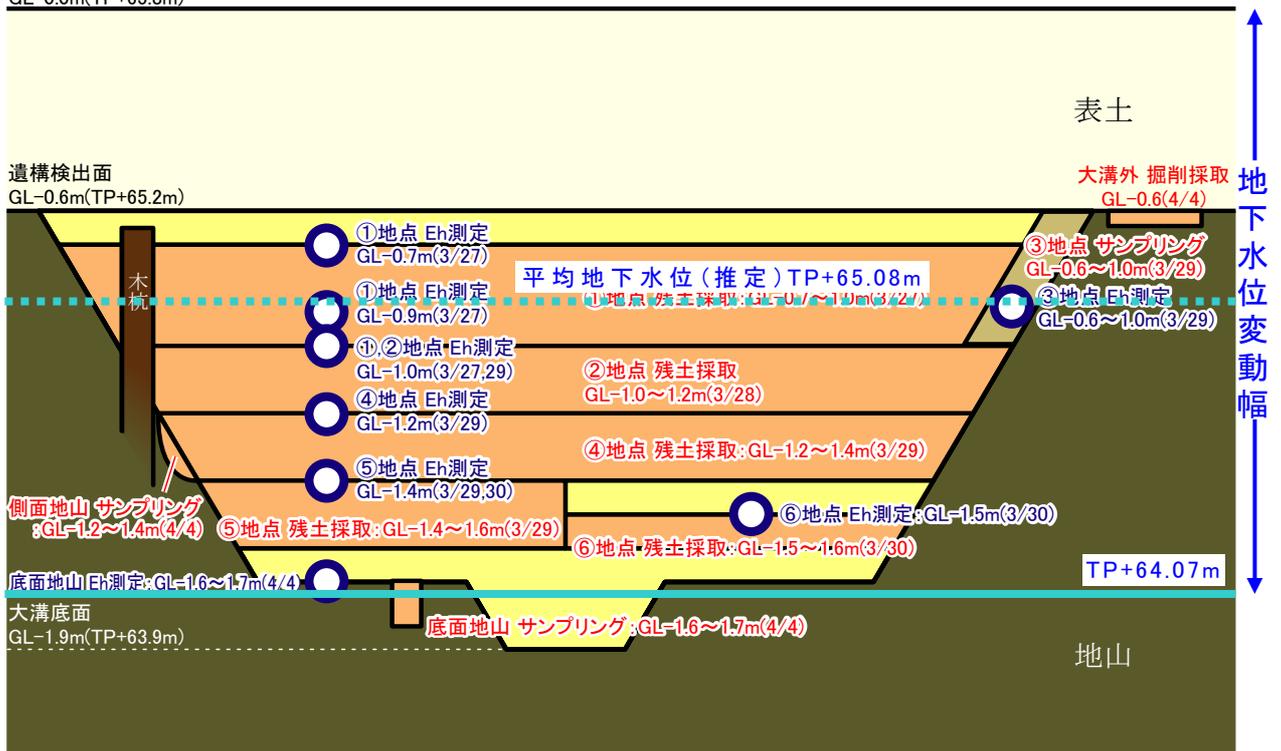
木簡出土位置と地下水位との関係

□ 発掘調査終了後に地下水位観測を実施し、近傍の観測井の観測結果から、当該地の地下水位変動を推定



・検討対象木簡は、過去において、最大で連続2ヶ月間程度は地下水位上であったと推定

現地盤
GL=0.0m(TP+65.8m)



木簡周辺の土壌水分の状況

- 検討対象木簡の周辺に局所的に広がる土については、透水試験及びpF試験が行えなかったため、参考として、東院地区のデータを用い、地下水位低下時の不飽和土の状況を推定
- 解析によると、地下水位が約60日間、木簡埋蔵高さ(GL-1m)を下回っても、木簡周辺の土壌水分量は概ね保持されていたと推定

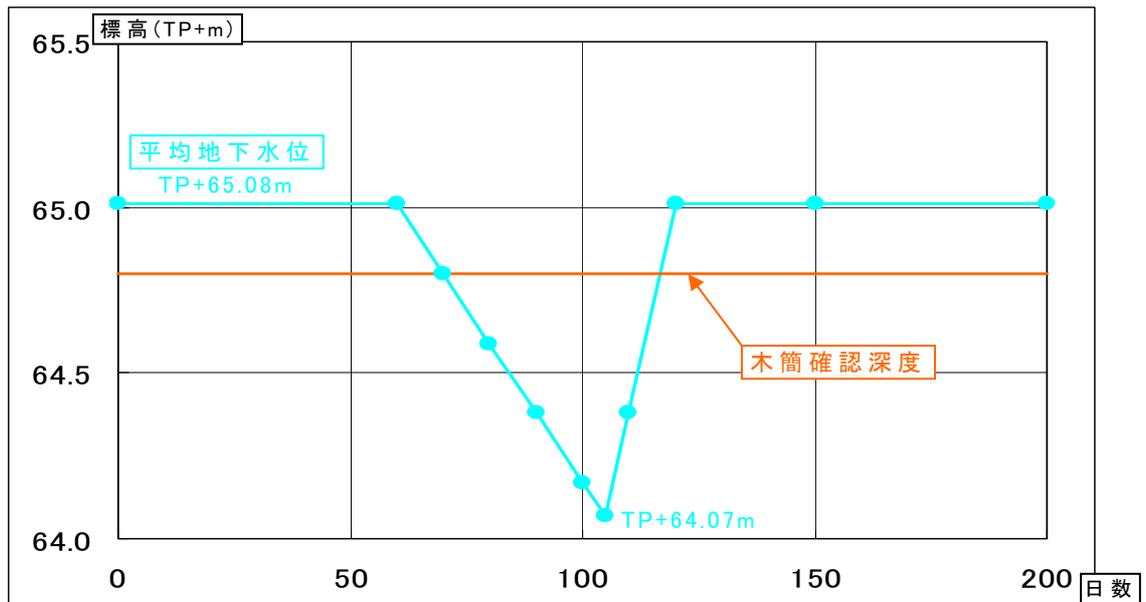


図 地下水水位の低下状況 (H12の変動をモデル化) [解析条件]

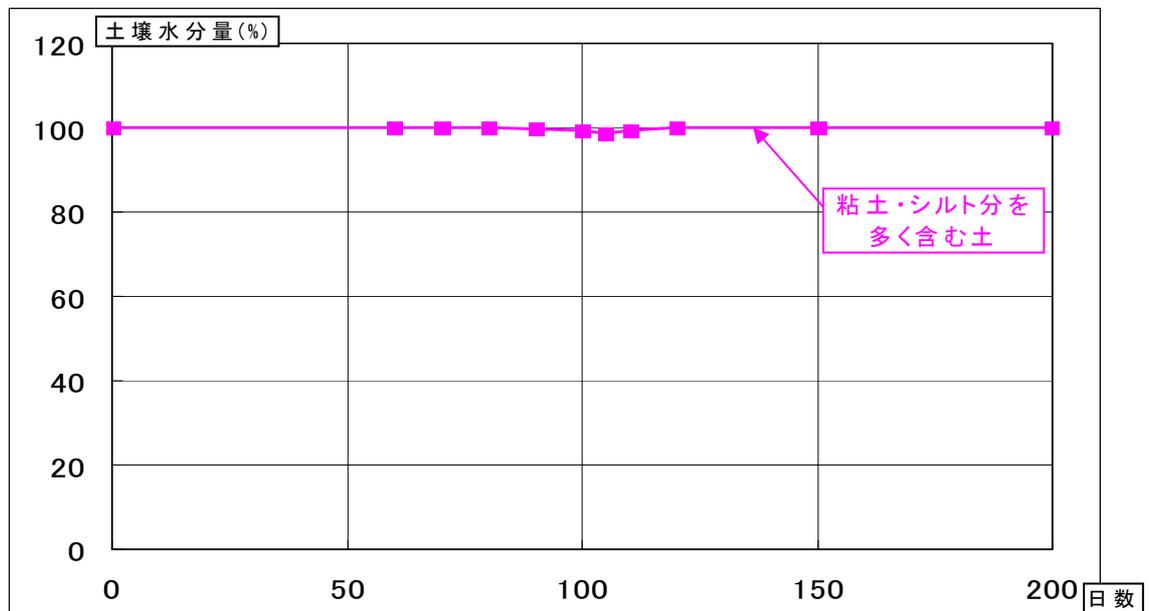


図 上記地下水水位低下に対応した土壌水分量の変動 [解析結果]

□解析概要

実際の大溝跡発掘調査現場を対象とした簡略モデルを用いて、以下の土質特性および境界条件により2次元浸透流解析を実施

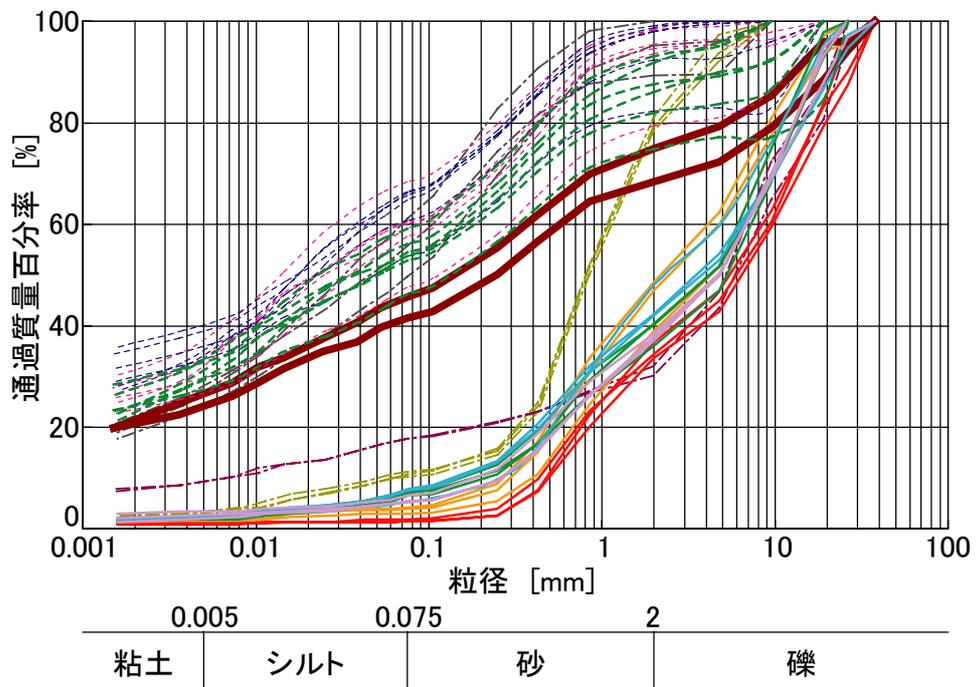
[土質特性]

- ・透水性係数 (粘土・シルト分を多く含む土: 1×10^{-6} cm/s 砂礫土: 1×10^{-1} cm/s)

木簡周辺の粘土・シルト分を多く含む土については、粒度組成が類似している(粒径加積曲線参照)東院地区の細粒土の試験値を採用、その他の砂礫については、クレーガーの表から設定

表 クレーガーの表
(出典:「地下水ハンドブック」(建設産業調査会))

D ₂₀ (mm)	k (cm/sec)	土質分類	D ₂₀ (mm)	k (cm/sec)	土質分類
0.005	3.00×10^{-6}	粗粒粘土	0.18	6.85×10^{-3}	微粒砂
0.01	1.05×10^{-5}	細粒シルト	0.20	8.90×10^{-3}	
			0.25	1.40×10^{-2}	
0.02	4.00×10^{-5}	粗砂シルト	0.3	2.20×10^{-2}	中粒砂
0.03	8.50×10^{-5}				
0.04	1.75×10^{-4}				
0.05	2.80×10^{-4}				
0.06	4.60×10^{-4}	極微粒砂	0.45	5.80×10^{-2}	粗粒砂
0.07	6.50×10^{-4}				
0.08	9.00×10^{-4}				
0.09	1.40×10^{-3}				
0.10	1.75×10^{-3}				
0.12	2.6×10^{-3}	微粒砂	0.6	1.10×10^{-1}	粗粒砂
0.14	3.8×10^{-3}				
0.16	5.1×10^{-3}				
			2.0	1.80	細レキ



東院地区		東方官衙地区		
--- NO1	--- NO2	--- NO1	--- NO2	--- 側面地山(砂)
--- NO3	--- NO4	--- NO3	--- NO4	--- 底面地山(粘土)
	--- NO5	--- NO5	--- NO6	--- 大溝外地山

図 粒径加積曲線

・不飽和特性

木簡周辺の粘土・シルト分を多く含む土については、上記と同様に東院地区の細粒土のpF試験の結果からvan Genuchten modelを用い、その他の砂礫については、一般的な砂質土の浸透特性からモデル化

[境界条件]

・大溝跡の地下水位

平成12年以降、最も長期間、木簡埋蔵高さを連続で下回ったと推定される時期(平成12年7月～9月)の地下水変動をモデル化

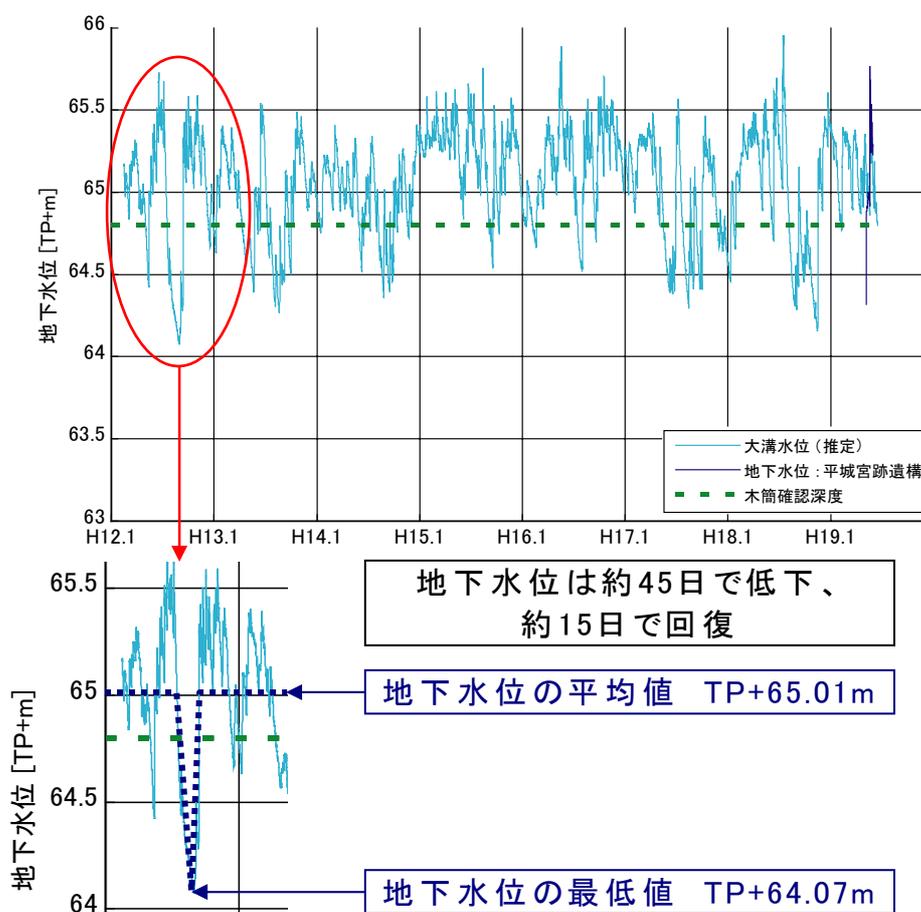


図 地下水位のモデル化