

木簡保存メカニズムに関する考察（平城宮跡の土質に関する調査）

1 概要

1) 目的

- ・木簡が長期間保存されてきたメカニズム（土質や土中水の状況）を把握することを目的に、土質等に関する調査を実施する。

2) 調査箇所における木簡等の出土状況

①第401次 東院地区（平城宮跡東部の高台：木簡は出土せず）

- ・遺構は建物や塀等の柱穴など、土器類や瓦礫は出土

②第406次 東方官衙地区（平城宮跡東部の低地：木簡59点、削屑399点）

- ・遺構は大溝、溝、柱穴など、大溝跡底付近の砂礫優勢層から多数の木簡や削屑が出土、最大長さ（約35cm）の木簡が粘土・シルト分を多く含む局所的に広がる土から出土

③第429次 東方官衙地区（平城宮跡東部の低地：木簡743点、削屑23,806点）

- ・遺構は大溝、柱穴など、大溝跡から木簡や削屑が出土、建物の柱穴跡から柱根が出土

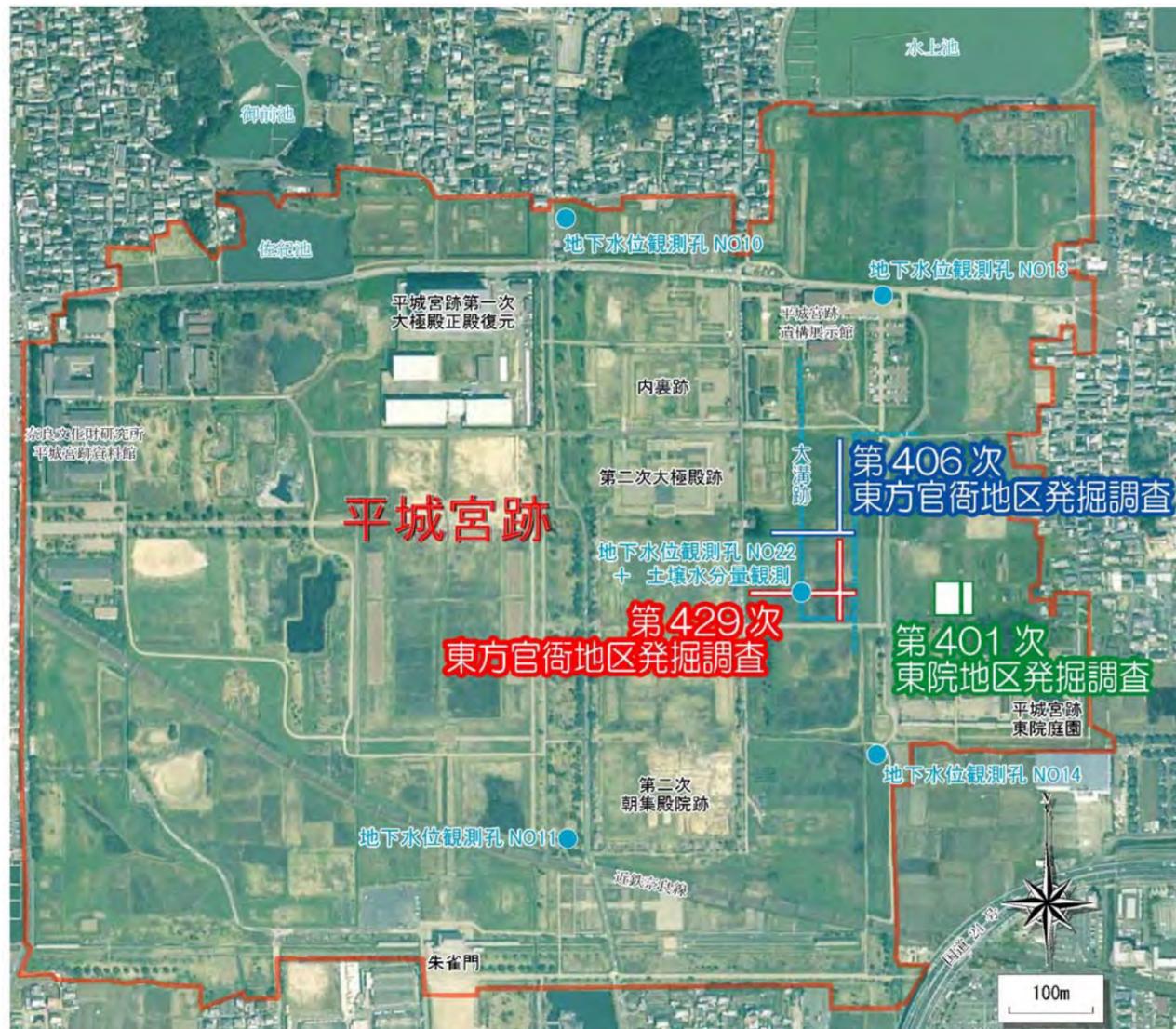


図-1 発掘調査および地下水観測孔、土壌水分量観測位置

□発掘現場写真

①第406次東方官衙地区

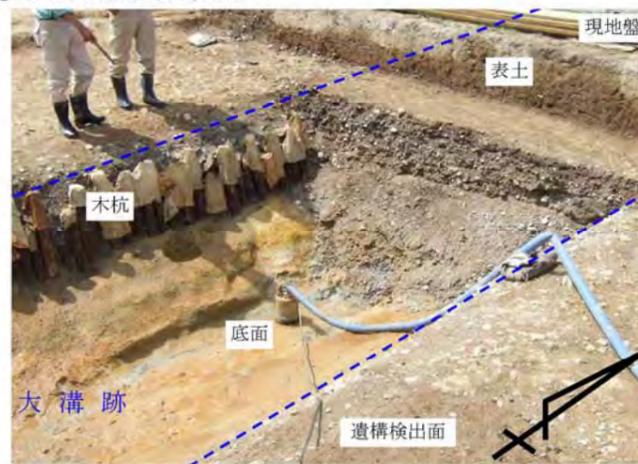


写真 大溝跡発掘調査現場

②第429次東方官衙地区

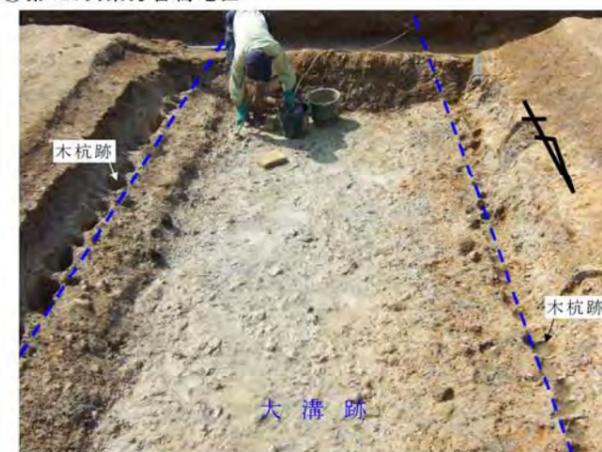
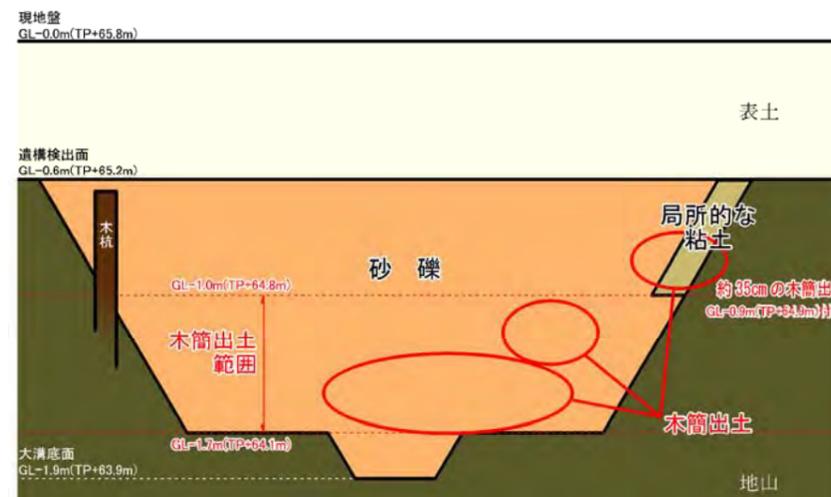


写真 大溝跡発掘調査現場

写真-1 大溝跡発掘調査現場

□東方官衙地区の木簡出土状況

- ① 第406次 … 大溝跡では主として地下1.0m~1.7mの深度で出土



- ② 第429次 … 大溝跡では地下0.7m~1.1mの深度で出土

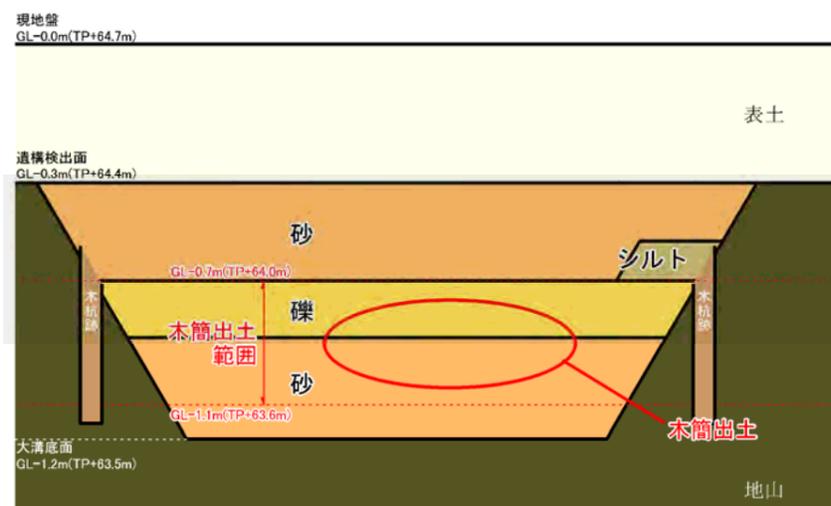


図-2 大溝跡断面模式図

## 2 木簡出土深度の酸化還元状態

これまでの土質調査結果から、木簡が出土した深度では、木材腐朽菌など好気性微生物が生育しない『還元状態』を示す数値となっている。

①酸化還元電位 …… 土壌学的な観点を取り入れて、測定結果を整理した。

その結果、木簡出土した深度は、木材腐朽菌など好気性微生物が生育しない『還元状態』を示す数値であった。

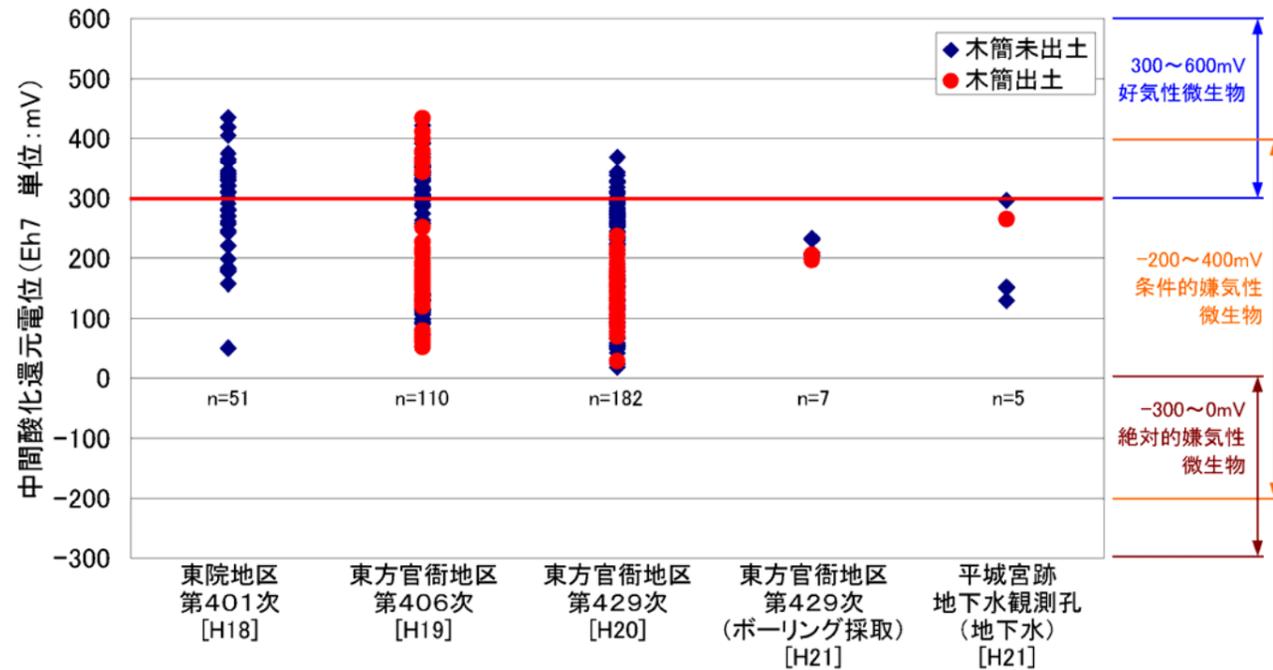


図-3 中間酸化還元電位

表-1 土壌還元過程で見られる物質の変化と酸化還元電位

pH7における酸化還元電位 (Eh)	物質変化	微生物
+600mV~+300mV	酸素消失	好気性
+400mV~+100mV	硝酸消失、窒素ガス発生	条件的嫌気性
+400mV~-100mV	2価マンガン生成	
+200mV~-200mV	2価鉄生成	絶対的嫌気性
0mV~-200mV	2価イオウ生成、硫化物	
-200mV~-300mV	メタン生成	

- 好気性微生物 …… 酸素がないと生育できない微生物
- 絶対的嫌気性微生物 …… 酸素があると生育できない微生物
- 条件的嫌気性微生物 …… 酸素があっても好気性なみに生育する嫌気性微生物湛水状態の水田にいる微生物の大部分が好気・嫌気の両刀づかいの条件的嫌気性微生物

②二価鉄 …… 平成21年度調査では、より精度を高めるべく、大気に触れないで土壌を採取し測定した結果、一般的に言われている『酸化還元電位が低下すると、二価鉄濃度が高くなる』という傾向を確認した。

※発掘調査に合わせた測定のため、大気に触れて検出できなかったものも多数あり

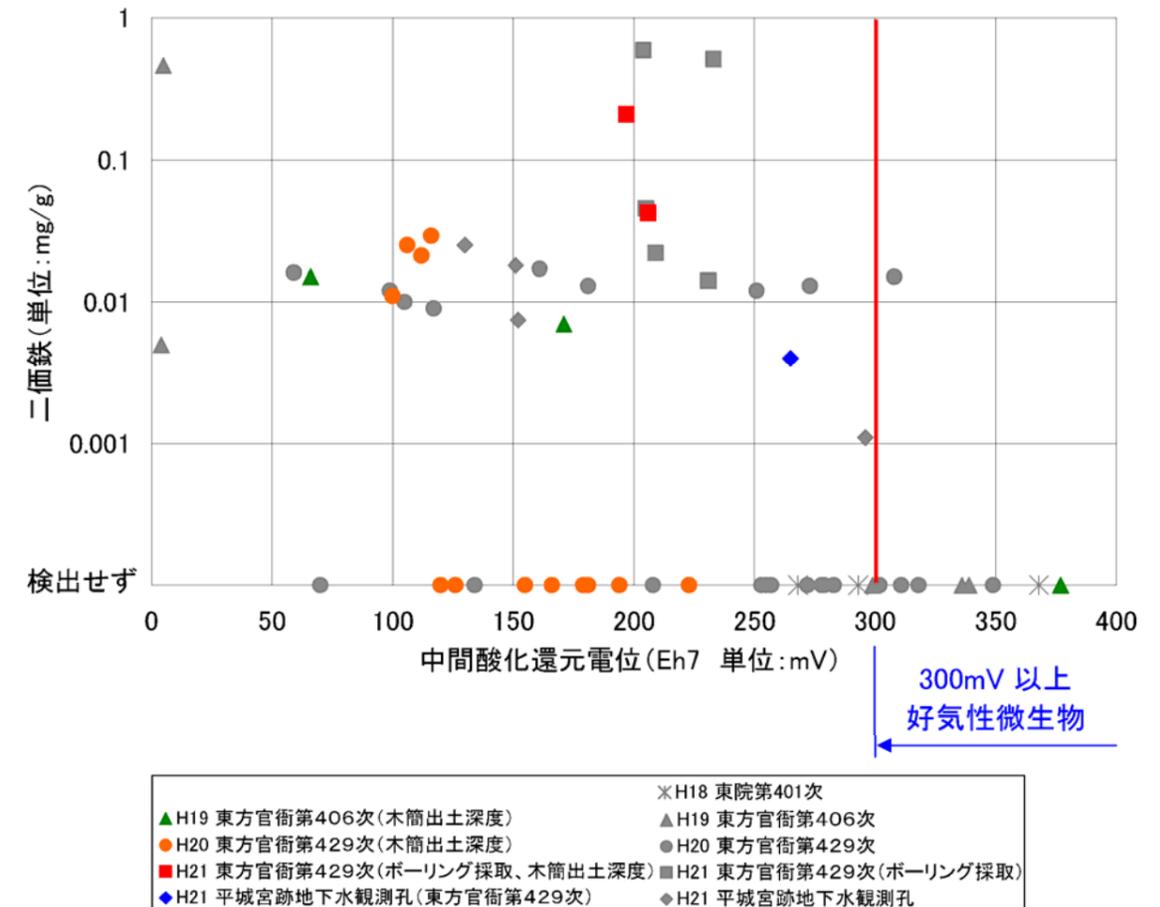


図-4 二価鉄と中間酸化還元電位



写真-2 H21 試料採取状況

### 3 木簡出土深度の土壤水分

- 木簡出土深度と地下水位、土壤の水分量の関係を把握するため、木簡が数多く見つかった「第429次東方官衙地区」において平成20年4月に水位計を、平成21年3月に土壤水分計を設置し、地下水位と土壤水分を観測している。
- これまでの調査結果から、木簡出土深度では、『地下水に浸っている時間が長くなっている』ほか、地下水に浸っていない期間でも、土壤の飽和度が高く、『土壤水分量は保持』されていることが判明している。
- 一般的に、土壤の空隙の2割以上が空気になると、活動する微生物の大部分が好気性微生物となり、空隙の6～8割が水、残りが空気の時、土壤微生物全体の増殖や活動が活発になると言われている。  
〈参考文献：土壤微生物の基礎知識(西尾道徳)〉
- 木簡出土深度は、上述するような領域に入らず、水が多く、空気の少ない『嫌気的な状態』である。

- ①地下水位・・・常に地下水に浸っているわけではなく、地下水面より上方に位置する期間があることが判明。
- ②土壤水分・・・土壤の粒子と粒子の間の空隙にどれぐらいの割合で水分が存在しているのか、土壤飽和度を地下水位と同時に観測。  
 木簡出土深度(地下1m)と木簡不出土深度(地下60cm)を比べると、木簡出土深度では、地下水に浸ってなくても飽和度は低下しないが、木簡不出土深度では、地下水に浸っていないと飽和度が大きく低下することが判明。

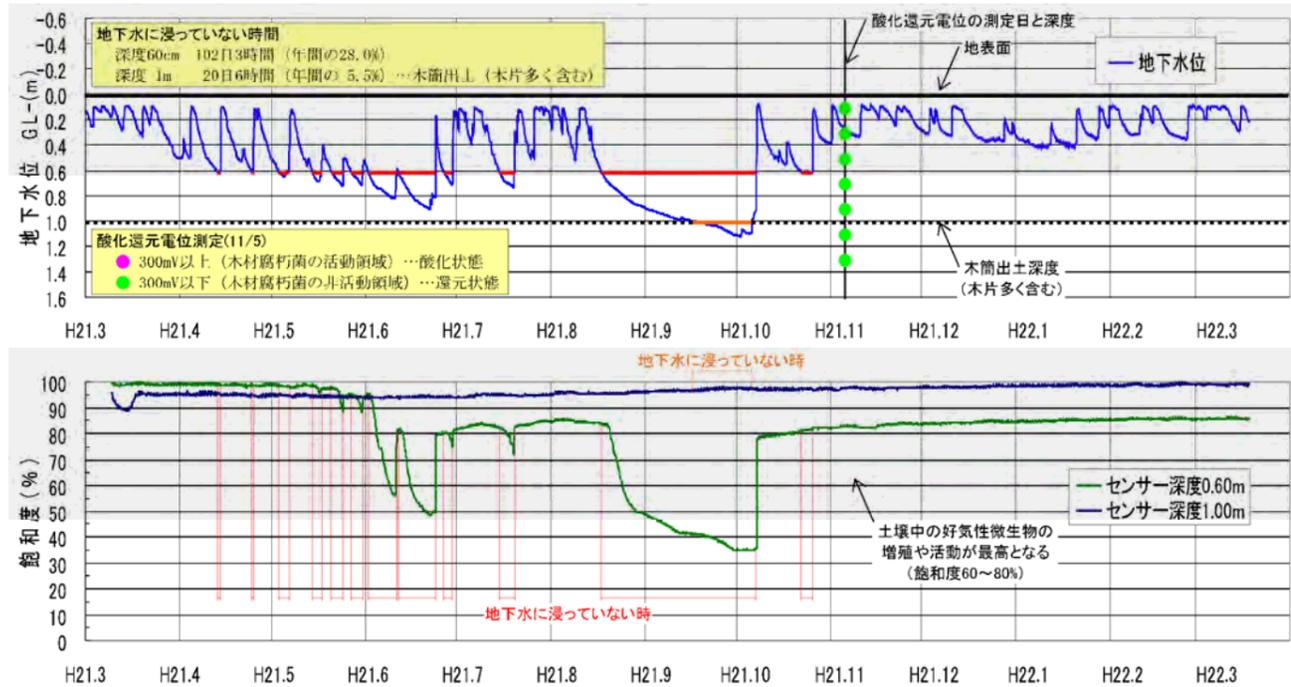
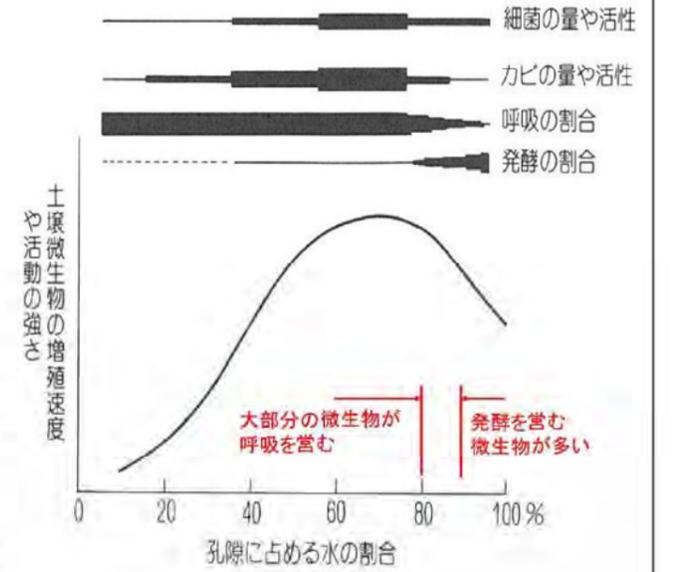


図-5 地下水位と飽和度の関係

#### <参考>土壤の水分条件と微生物

- 土壤の空隙に水が多いほど空気が減り酸素の流入が制限されるので嫌気的になる。
- 空気が空隙に2割以上になると、大部分の微生物が呼吸を営む。(大部分が好気性微生物)
- 水分量が6～8割の時、土壤微生物全体の増殖や活動が活発になる。
- 水分量がこれより少なくなると、好気性微生物の活動は、水分の減少とともに低下する。
- 空気が空隙の1割以下になると、発酵を営む微生物(嫌気性微生物)が多い。
- 湛水した土壤では、発酵を営む微生物が優占するが、全体の活動はそれほど高くない。



<土壤微生物の基礎知識(西尾道徳)を要約、加筆>

・第6回委員会以降の観測結果

地下水位と飽和度の関係は第6回委員会以降も同様の傾向であり、深度0.6mの土壌水分が40～100%の間で変動しているのに対し、深度1.0mの土壌水分は90～100%の間で変動している。

4 まとめ

- ・調査結果から、木簡出土深度は、地下水に浸っている時間が長いなど、土壌水分が高いまま保持されていることが確認できた。
- ・このため、「木材腐朽菌」など好気性微生物が十分生育できない土壌環境にあるものと推察される。

第6回委員会までの報告内容

木簡出土深度(地下1mと)木簡不出土深度(地下60cm)を比べると、木簡出土深度では、地下水に浸っていても飽和度は低下しないが、木簡不出土深度では、地下水に浸っていないと飽和度が大きく低下する。

第6回委員会以降の観測結果

地下水位と飽和度の関係は第6回委員会以降も同様の傾向であり、深度0.6mの土壌水分が40～100%の間で変動しているのに対し、深度1.0mの土壌水分は90～100%の間で変動している。

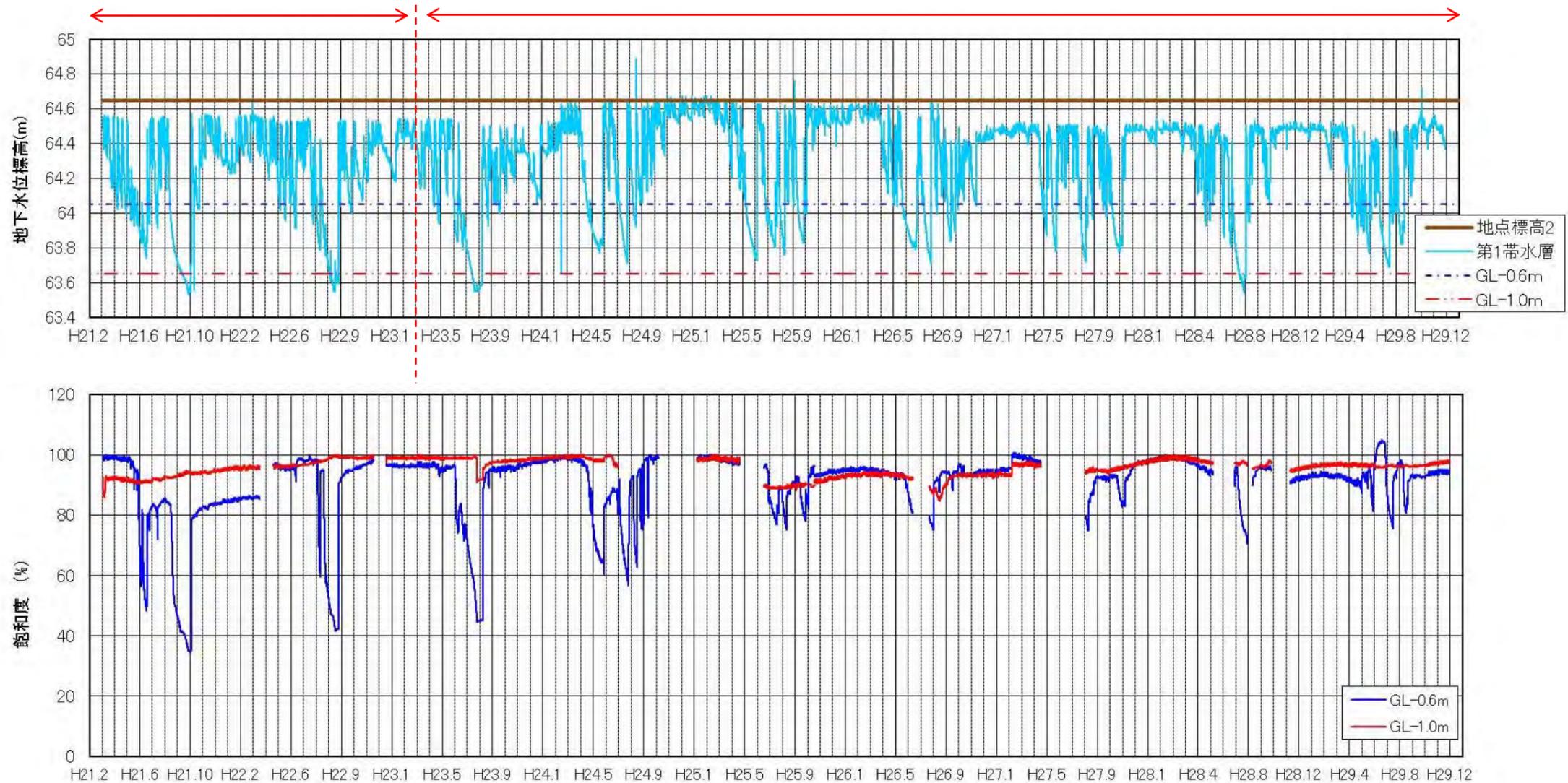


図-6 地下水位と飽和度の関係

■第406次 東方官衙地区大溝跡

1 木簡および削屑の出土土層分類と各土層の地下水位状況

- ・奈良文化財研究所提供の土層図に記載の各土層における地下水位の状況を以下に示す。
- ・地下水位の観測結果は、平成12年1月から平成19年3月までのデータで整理。

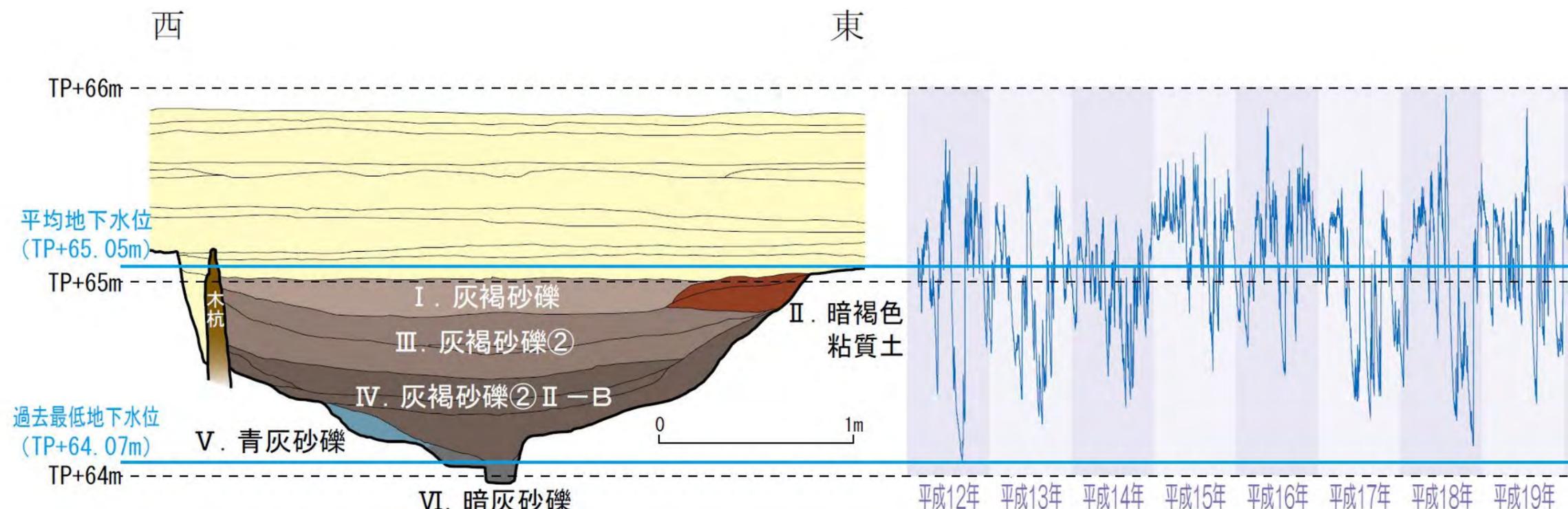


図-7 木簡および削屑の出土土層分類と各土層の地下水位状況（第406次 東方官衙地区大溝跡）

表-2 木簡および削屑の出土数と地下水位の関係（第406次 東方官衙地区大溝跡）

土層名	木簡出土数	削屑出土数	地下水位が連続で下回った最大日数※	[参考] 地下水が下回った1年あたりの日数(割合)※
I. 灰褐砂礫	1	0	63日 (H18. 9.18-11.20)	105日 (29%)
II. 暗褐色粘質土	4	1	63日 (H18. 9.18-11.20)	105日 (29%)
III. 灰褐砂礫②	28	129	54日 (H12. 7.19- 9.11)	58日 (16%)
IV. 灰褐砂礫②II-B	19	233	35日 (H12. 7.30- 9. 4)	24日 (7%)
V. 青灰砂礫	0	12	26日 (H12. 8. 8- 9. 3)	5日 (1%)
VI. 暗灰砂礫	0	5	3日 (H12. 8.28- 9. 1)	0日 (0%)

※それぞれ土層の中間高さにおける日数

2 各土層の土質状況

・ 奈良文化財研究所提供の土層図に記載の各土層に相当する地点の採取試料を用いた土質試験結果を以下に示す。

表-3 土質試験結果一覧表 (第406次 東方官衙地区大溝跡)

試験項目		試験の目的	単位	I. 灰褐砂礫 II. 暗褐色粘質土 III. 灰褐砂礫 ② IV. 灰褐砂礫 ② II-B V. 青灰砂礫 VI. 暗灰砂礫						
				(①地点) (TP+64.8~65.1m)	(③地点) (TP+64.8~65.2m)	(②地点) (TP+64.6~64.8m)	(④地点) (TP+64.4~64.6m)	(⑤地点) (TP+64.2~64.4m)	(⑥地点) (TP+64.2~64.3m)	
物理試験	土粒子密度	土粒子の密度を把握	g/cm <sup>3</sup>	2.640	2.633	2.636	2.631	2.632	2.632	
	自然含水比	土壌の含水比を把握	%	8.6	19.2	13.4	14.0	14.1	9.8	
	粒度組成 ●は最大組成区分	石 分 礫 分 砂 分 シルト分 粘土分 シルト・粘土	土壌の組成区分を把握	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
				%	65.0	28.4	55.2	61.1	55.9	62.2
				%	33.3	28.1	41.1	32.0	37.1	32.1
				%	0.6	18.5	1.7	4.8	4.8	3.1
%				1.0	25.1	2.1	2.2	2.2	2.6	
			%	1.7	43.6	3.7	7.0	7.0	5.7	
化学試験	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	396 (346~428)	455 (421~512)	405 (324~488)	383 (347~417)	303 (252~383)	234 (220~248)	
	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	6.0	5.7	5.9	5.6	4.8	4.2	
	有機性炭素含有率	木製品等の分解形跡の把握	%	0.46	0.74	0.54	1.10	1.10	0.66	
	硫黄含有量	全硫黄 硫酸態硫黄	硫酸硫黄分の含有量を把握 [酸化還元状態の把握の補助]	mg/g	0.022	0.027	0.010	0.031	0.093	0.250
			mg/g	0.001	0.007	0.001	0.002	0.028	0.044	
	鉄含有量	鉄 二価鉄 (非酸化鉄)	鉄分の含有量を把握 [酸化還元状態の把握の補助]	mg/g	2.2	7.3	2.2	2.9	2.8	2.4
mg/g			<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.007	0.015		
木簡出土数			点	1	4	28	19	0	0	
削屑出土数			点	0	1	129	233	12	5	

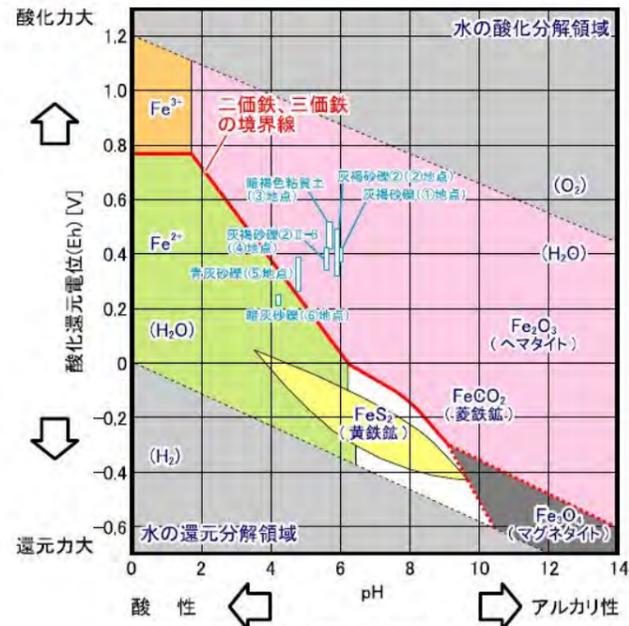


図-8 鉄のpH-Eh安定領域図

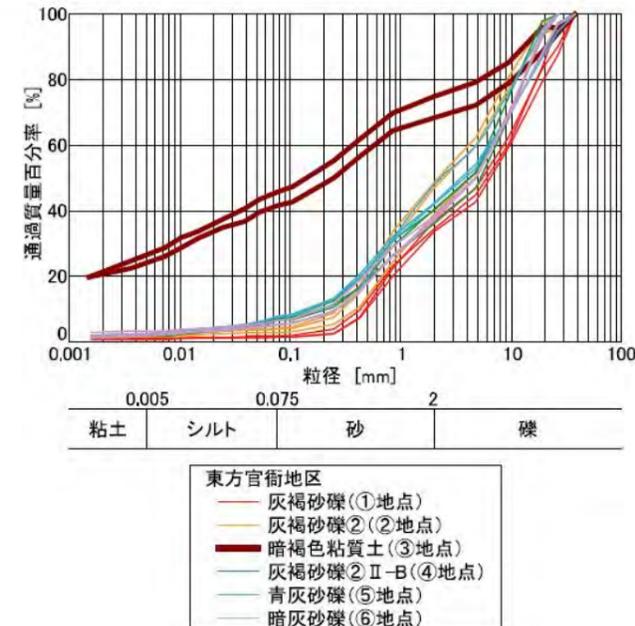


図-9 粒径加積曲線 (第406次 東方官衙地区大溝跡)

■第429次 東方官衙地区大溝跡

1 木簡および削屑の出土土層分類と各土層の地下水位状況

- ・奈良文化財研究所提供の土層図に記載の各土層における地下水位の状況を以下に示す。
- ・地下水位の観測結果は、平成20年5月1日から平成22年4月30日までの2箇年のデータで整理。

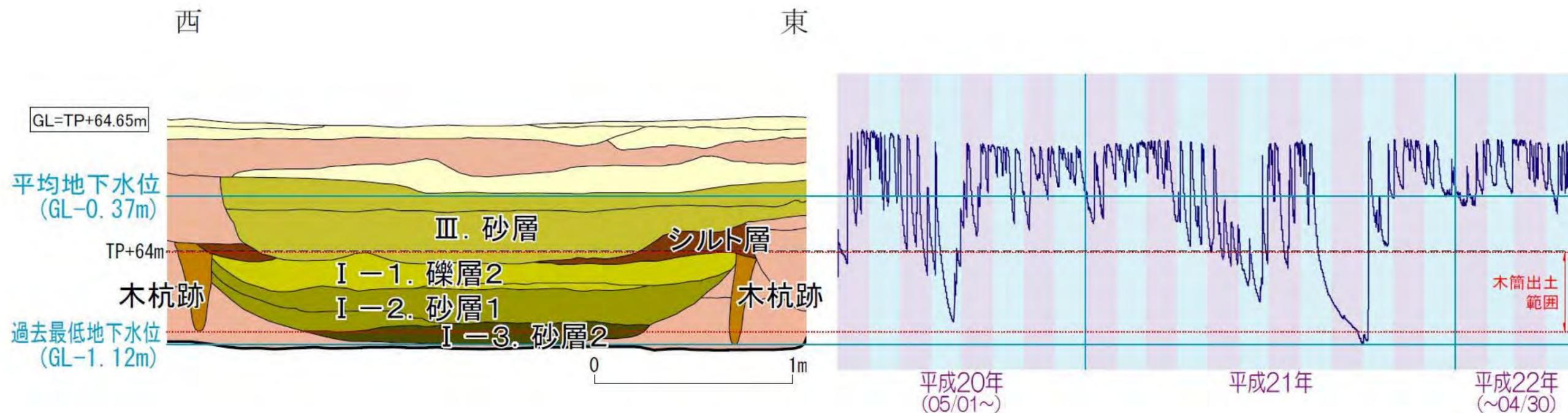


図-10 木簡および削屑の出土土層分類と各土層の地下水位状況（第429次 東方官衙地区大溝跡）

表-4 木簡および削屑の出土数と地下水位の関係（第429次 東方官衙地区大溝跡）

土層名	木簡出土数	削屑出土数	地下水位が下回った年間時間 <sup>※1</sup>			[参考] 地下水位が連続で下回った時間の最大値 <sup>※2</sup>		
			1年目 (平成20年5月1日～平成21年4月30日)	2年目 (平成21年5月1日～平成22年4月30日)	2箇年の平均 (平成20年5月1日～平成22年4月30日)	1年目 (平成20年5月1日～平成21年4月30日)	2年目 (平成21年5月1日～平成22年4月30日)	2箇年の平均 (平成20年5月1日～平成22年4月30日)
Ⅲ. 砂層 (GL-0.26～0.71m)	0	0	78日 5時間 (年間の21.4%)	125日 5時間 (年間の34.3%)	101日 17時間 (年間の27.9%)	22日 21時間 (平成20年08月07日 14:00～平成20年08月30日 10:00)	53日 6時間 (平成21年08月15日 12:00～平成21年10月07日 17:00)	38日 2時間
I-1. 礫層2 (GL-0.66～0.86m)	6	9	14日 4時間 (年間の3.9%)	59日 12時間 (年間の16.3%)	36日 20時間 (年間の10.1%)	13日 1時間 (平成20年08月13日 04:00～平成20年08月26日 04:00)	45日 17時間 (平成21年08月22日 20:00～平成21年10月07日 12:00)	29日 9時間
I-2. 砂層1 (GL-0.69～1.06m)	12	50	7日 14時間 (年間の2.1%)	41日 16時間 (年間の11.4%)	24日 15時間 (年間の6.7%)	7日 14時間 (平成20年08月16日 11:00～平成20年08月24日 00:00)	38日 19時間 (平成21年08月29日 18:00～平成21年10月07日 12:00)	23日 5時間
I-3. 砂層2 (GL-1.00～1.13m)	0	0	0時間	9日 9時間 (年間の2.6%)	4日 17時間 (年間の1.3%)	0時間	9日 9時間 (平成21年09月26日 19:00～平成21年10月06日 03:00)	4日 17時間

※1 地下水位観測期間中において、地下水位がそれぞれ土層厚さの中間高さを下回った年間の時間

※2 地下水位観測期間中において、地下水位がそれぞれの土層厚さの中間高さを連続して下回った年間の時間

2 各土層の土質状況

・ 奈良文化財研究所提供の土層図に記載の各土層に相当する地点の採取試料を用いた土質試験結果を以下に示す

表-5 土質試験結果一覧表 (第429次 東方官衙地区大溝跡)

試験項目		単位	表層	Ⅲ. 砂層	I-1. 礫層2	I-2. 砂層1	I-3. 砂層2	地山	木杭跡			
試料採取高さ (発掘調査時採取試料)			—	GL-0.6m	GL-0.7m	GL-0.92m	GL-1.05m	GL-1.09m	GL-0.84~0.91m			
物理試験 (発掘調査時採取試料による)	土粒子密度	土粒子の密度を把握	g/cm <sup>3</sup>	—	2.657	2.668	2.642	2.668	2.650	2.637		
	自然含水比	土壌の含水比を把握	%	—	16.7	9.0	7.8	11.5	14.9	24.4		
	飽和度	土壌の水分量を把握	%	—	65.7	—	—	—	—	—		
	湿潤密度	土壌の密度を把握	g/cm <sup>3</sup>	—	1.860	—	1.965	—	1.931	—		
	粒度組成 ■は最大組成区分	石	土壌の組成区分を把握	%	—	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		礫		%	—	31.7	58.6	68.9	61.1	56.5	36.3	
		砂		%	—	30.6	36.8	26.3	31.1	18.9	36.0	
		シルト		%	—	17.1	3.3	3.0	5.1	11.7	13.8	
		粘土		%	—	20.6	1.3	1.8	2.7	12.9	14.0	
	シルト・粘土	%	—	—	37.7	4.6	4.8	7.8	24.6	27.8		
飽和透水係数	土壌の透水性を把握	cm/sec	—	—	—	2.45×10 <sup>-2</sup>	—	7.40×10 <sup>-7</sup>	—			
試料採取高さ (機械ボーリングでの採取試料)			GL-0.1m	GL-0.3m	GL-0.5m	GL-0.7m	GL-0.9m	GL-1.1m	GL-1.3m			
化学試験 (機械ボーリングでの採取試料による)	酸化還元電位 (Eh) [pH7換算値]	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	231	205	209	206	197	204	233	—	
	水素イオン指数 (pH)	土壌が酸性かアルカリ性を把握 [酸化還元状態の把握の補助]	pH	5.6	5.2	5.1	5.1	5.0	5.2	5.8	—	
	有機性炭素含有率	木製品等の分解形跡の把握	%	0.46	0.33	0.24	0.22	0.36	0.10	0.12	—	
	硫黄含有量	全硫黄	硫黄分の含有量を把握	mg/g	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	—
		硫酸態硫黄	[酸化還元状態の把握の補助]	mg/g	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	—
	鉄含有量	鉄	鉄分の含有量を把握	mg/g	14.2	11.9	10.0	14.5	11.2	17.9	19.4	—
二価鉄 (非酸化鉄)		[酸化還元状態の把握の補助]	mg/g	0.014	0.045	0.022	0.042	0.210	0.590	0.510	—	
木簡出土	土数	点	—	—	0	6	12	0	—	0		
削屑出土	土数	点	—	—	0	9	50	0	—	0		

表-6 土壌の還元過程で見られる物質の変化と酸化還元電位

参考: 土壌学概論 (北海道大学大学院 農学研究院 教授 波多野隆介) 植物資源科学教科書 II.5.2 土地利用と土壌生態 (九州大学農学研究院 教授 江頭和彦)

pH7における酸化還元電位 (Eh)	物質変化	微生物
+600mV~+300mV	酸素消失	好気性
+400mV~+100mV	硝酸消失、窒素ガス発生	条件的嫌気性
+400mV~-100mV	2価マンガン生成	
+200mV~-200mV	2価鉄生成	絶対的嫌気性
0mV~-200mV	2価イオウ生成、硫化物	
-200mV~-300mV	メタン生成	

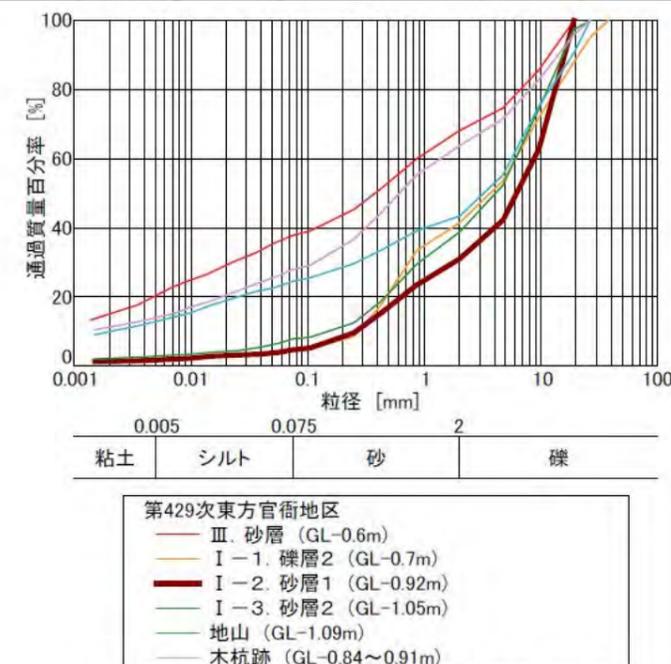


図-1-1 粒径加積曲線 (第429次 東方官衙地区大溝跡)