

平城宮跡遺構展示館で汚損を引き起こす含水酸化鉄沈殿に関する検討

脇谷 草一郎¹⁾・桑原 範好²⁾・銚井 修一²⁾・小椋 大輔²⁾・高妻 洋成¹⁾

●キーワード：遺構 (remains), 劣化 (deterioration), 含水酸化鉄 (iron hydroxide), 地下水 (groundwater), 水分移動 (moisture movement), 酸化還元状態 (redox state), 溶存酸素 (dissolved oxygen (DO))

1. はじめに

平城宮は奈良時代の都であった平城京の北端中央に位置しており、奈良山丘陵の南側に、北から南に向かって緩やかに傾斜する地形に立地している。宮内には儀式・政務の中心施設であった大極殿・朝堂院や、天皇の住居である内裏などが建ち並んでいたことがあきらかとなっている（奈良文化財研究所編：2010）。本研究で対象とする平城宮跡遺構展示館は、内裏の東側に位置しており、発掘調査によって発見された奈良時代の建物跡である遺構を保存・展示している。

遺構展示館は1965年から1967年にかけて建設され、遺構を展示する3棟の覆屋と1棟の展示棟から構成されていた。しかし、3棟のうち1棟で展示されていた凝灰岩溝は、保存上の問題が生じたことから埋め戻され、現在では北棟と南棟の2棟で遺構展示が実施されている（文化庁：2012）。

掘立柱建物跡が展示されている北棟では、遺構面土壌の含水状態が年周期の増減を示すものの、概ね乾燥した状態が維持されており、顕著な劣化の進行は認められない。一方で、磚積み基壇の建物跡や、それに付随する雨落溝が展示されている南棟では、遺構面へ水がしみ出すため、年の大半の期間、遺構面は湛水状態となっている。さらに、しみ出した水からは褐色を呈する沈殿が大量に

生じて、遺構の汚損を引き起こしているばかりではなく、遺構土壌や雨落溝を構成する一部の磚や石材は、白色を呈する析出物によって材料表層の剥落が生じており、これらの劣化の進行を抑制することが喫緊の課題となっている。

遺構の汚損を引き起こしている褐色の沈殿について、筆者らは既往の調査から含水酸化鉄であることをあきらかとした（脇谷ら：2014）。一般に、陸域の地盤表層は、大気から供給される酸素によって酸化的な環境が形成される。そこでは好気性微生物によって酸素が速やかに消費される一方で、土中では下方への酸素供給が緩慢なため、下層では酸素が枯渇した還元的な環境が形成される（Bolt and Bruggenwert：1976）。このように、地盤では表面深度に応じて酸化還元環境が変化し、その環境の変化に対して鉄の存在形態が変化する（Stumm and Morgan：1996）。すなわち、弱酸性を示す一般的な土壌において、酸化的な環境では、鉄は殆どが第二鉄（Fe(III)）の固体として存在しており、南棟で見られる褐色を呈する含水酸化鉄の沈殿もその1つである。一方、還元環境では、微生物の嫌氣的代謝によって生成されるギ酸や硫化物によって鉄の化学的還元が生じる。さらに、土壌中に生息する細菌の中には強い鉄還元活性を示すものがいるため、これらによっても鉄の還元が助長され、鉄は第一鉄（Fe(II)）として存在する（木村ら：1994）。

¹⁾ 奈良文化財研究所 〒630-8577 奈良県奈良市佐紀町 247 番 1

²⁾ 京都大学大学院 工学研究科 〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂

このとき、鉄は第一鉄イオンとして地盤内の水分に溶出するため、酸化的な環境下とは異なり、水分とともに容易に移動し得る。したがって、酸化還元環境によって、鉄は存在形態が変化するだけでなく、その移動のしやすさも変化することから、遺構の汚損を引き起こしている含水酸化鉄の挙動を考察するためには、遺構展示館周辺の地盤内部における水分移動と、地盤内部の酸化還元環境の両者について検討する必要がある。

同様に、既往の調査から、磚や石材に認められる析出物は硫酸カルシウムと硫酸ナトリウムであることがあきらかとなっている（脇谷ら：2014）。硫酸カルシウムについては磚や石材などの多孔質材料の破壊におよぼす影響は軽微と考えられているが（Goudie and Viles：1997）、一方で、観察の結果から硫酸ナトリウムの析出は冬期に限定されているものの、析出時には、磚や石材表面の粉状化と剥落が著しく進行しており、劣化におよぼす影響が甚大であった。

硫酸ナトリウムは、遺構土壌や磚、および石材のい

れからも析出しており、材料の種類を問わず析出が認められた。また、これらの材料は約 1,200 年間以上の長期間にわたって土中にあったことから、塩の起源が材料中に含まれていた場合、すでに溶出して失われていると推察される。したがって、硫酸ナトリウムの起源は遺構に浸み出す水に溶存する成分と考えられ、塩析出による遺構の劣化を検討する上でも、遺構展示館周辺地盤の水分移動に関する知見は不可欠のものと言える。

本研究では、遺構展示館南棟で認められる含水酸化鉄による汚損と、硫酸ナトリウムによる塩害を抑制することを目的として、南棟遺構面で見られる劣化の発生箇所と、その進行の程度について目視観察を 1 年間にわたっておこない、合わせて周辺の環境、すなわち、外界気象条件、展示館内の温熱環境、および周辺地盤における水分移動性状に関する実測調査をおこなった。本報では、含水酸化鉄沈殿による汚損に着目し、その発生要因と汚損への対策について検討した結果を報告する。

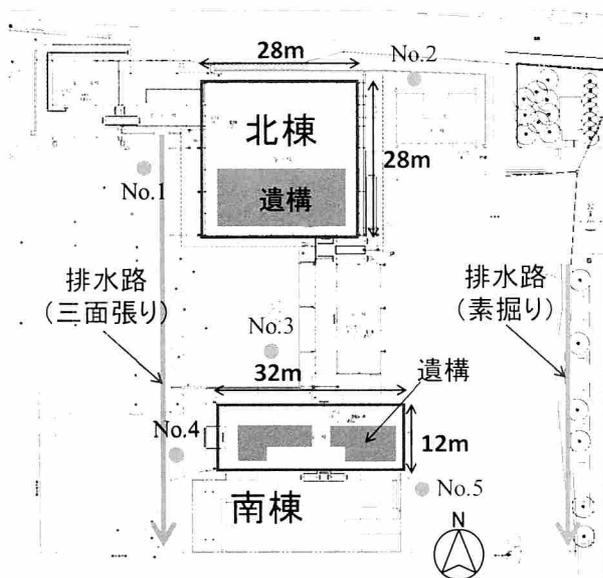


図1 遺構展示館配置図
Fig.1: Plan of the Exhibition Halls



図2 上層構造模式図
Fig.2: A cross sectional view of the soil structure



写真1 南棟外観（南東から）
Photo 1: Exterior of the South Gallery (from southeast)



写真2 南棟内観（西から）
Photo 2: Interior of the South Gallery (from west)

2. 遺構展示館の概要

先述の通り、平城宮跡は奈良山丘陵の南裾部、奈良盆地の北端部に位置しており、周辺の地盤は北から南に向かって緩やかに傾斜している。長岡京への遷都を契機に廃都された後は、平城京は以後長らく田畑として利用された（奈良文化財研究所編：2010）。平城宮の北側には水上池、佐紀池、御前池などの多数のため池が存在しており、平城宮跡一帯の地下水面が高いことがうかがい知れる。

平城宮跡遺構展示館の覆屋は、遺構保存のために基礎を設けておらず、遺構上部に盛土をした上で建設されている。北棟と南棟は互いに隣接しており（図1）、両棟の東西には平城宮内を北から南に流れる排水路が設けられている。南棟の約10m西側を流れる排水路は、奈良時代の基幹排水路を再現したコンクリート三面張りのもので、直下に奈良時代の排水路が存在する。一方、南棟の約30m東側を流れる排水路は素掘りの溝で、西側の溝とは構造が異なる。現在の覆屋からの排水も東西に振

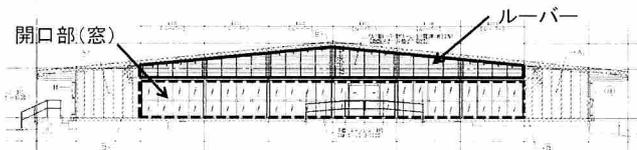


図3 遺構展示館南棟立面図

Fig.3: An elevation of the South Gallery

(The upper parts of both southern and northern walls are louvered openings)

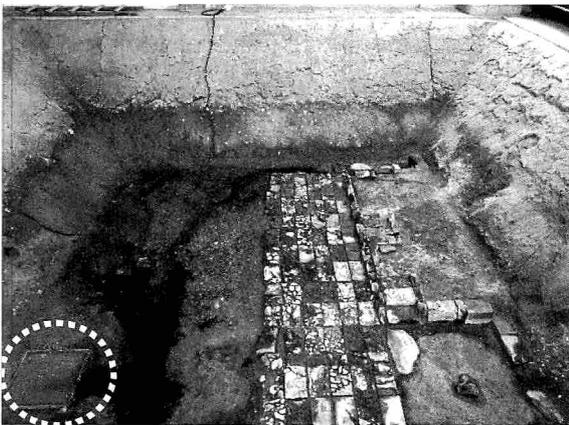


写真3 雨落溝東端の排水設備（破線部）

Photo 3: Drainage pump installed on the east side of the South Gallery

り分けて、両排水路へと排水している。

南棟は南北約12m、東西約32mの建物で（写真1）、磚積み基壇建物跡や、その建物に付随する雨落溝などが展示されている（写真2）。遺構上部には旧耕作土と保護盛土の2種類の土壌が盛土されており、写真2に見られるように、展示されている遺構面の周囲の法面には各土層の断面が露出している（図2）。南側壁面の下半は大部分が開口部となっており、その他に、北側と西側に出入口の扉が設けられている。南側と北側壁面の上半はルーバー状の開口で、常時自然換気がおこなわれており、空調は設置されていない（図3）。1967年に覆屋を建設した際、遺構面に溜まる水を排水するためのポンプが遺構面東側の排水会所内に設置されている（写真3）。

3. 調査方法

3.1 目視観察

南棟遺構面雨落溝の水量、館内法面から流入する水分の分布と流量、および含水酸化鉄沈殿の増減について、約1ヶ月に1回の頻度で遺構面に立ち入って目視観察をおこなった。また、遺構展示館閉館日には、南棟雨落溝を跨ぐ通路から、東西方向の遺構面の定点写真撮影をおこない変化の記録をおこなった。定点の撮影箇所は図4中、①、②で示した方向である。

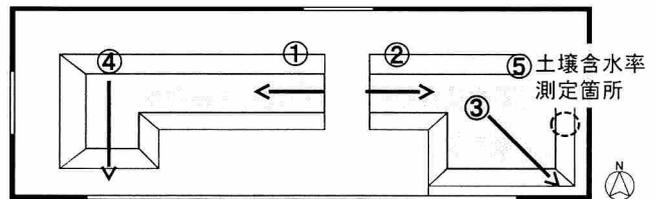


図4 南棟観測箇所

Fig.4: Surveyed points inside the South Gallery

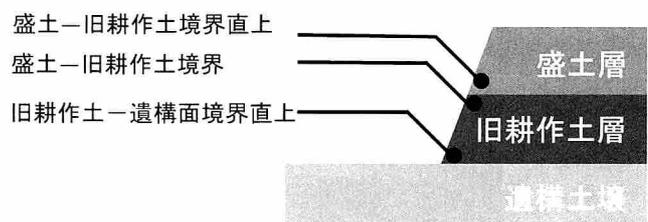


図5 南棟法面観測箇所

Fig.5: A cross sectional view of surveyed points on the slope

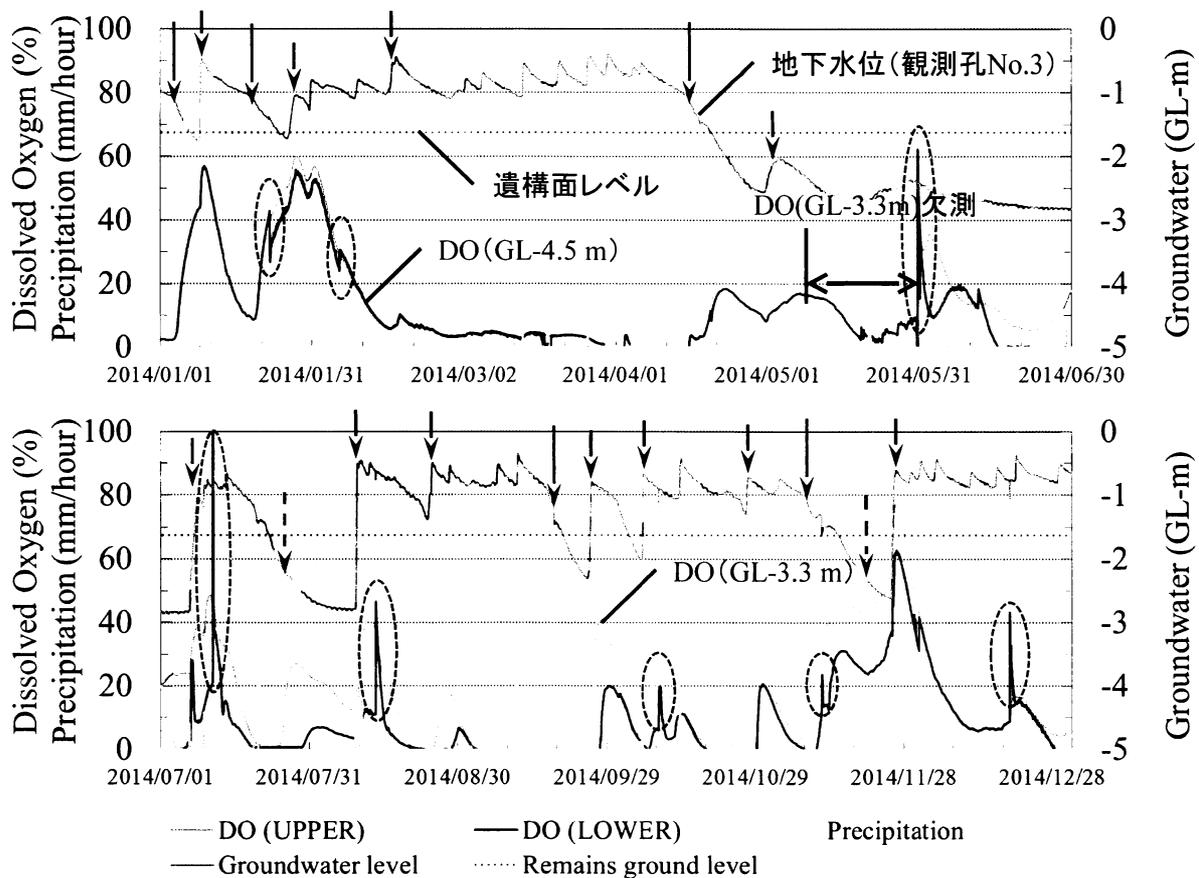


図9 観測孔 No.3 における DO 濃度変化

Fig.9: Annual change in DO concentration measured at the observation well No.3

した雨水のうち、いったん地下水へと涵養されたものも含まれる。2つ目は、降雨時に盛土と旧耕作土の層境界に沿って、直接館内の法面へと浸入する経路が存在すると推察される。そして、両者の水質は前者が地下水のものであるのに対して、後者は雨水に近いと考えられる。

4.2 地下水の酸化還元環境について

観測孔 No.3 における DO 濃度を飽和度に換算した値と、降水量および地下水面の変化を図9に示す。なお、データ回収時の地下水の攪乱に起因する DO 濃度の増加を図中破線で示した。これらの変化については検討から除外する。

図9の結果から、DO 濃度変化には年周期の季節変動は認められず、1年を通して増減を繰り返した。DO の減少は、土中の微生物によって有機物が酸化分解される際に DO を消費することによるものと考えられ、比較的速やかに DO が消費されることがあきらかとなった。すなわち、地下水面以深の地盤内部では、通常は還元的な

環境にあり、酸化剤である DO が供給された場合でも、微生物活動によって還元的な環境へ速やかに戻ることが示唆された。

次に、地盤内部への DO の供給について検討する。DO 濃度の増加と、地下水面および降水量の観測結果には大きく2通りの相関が認められた。DO 濃度が増加を示す1つ目の形態は、地下水面が低下して、約 GL-1 m を下回った際に DO が増加を示すものである。このときの DO 濃度の増加と地下水面の低下を図9灰色実線矢印で示す。一般に、土層境界の上下では土壌の空隙率が異なることから、地下水から一定量の排水が生じ続けて土層境界を越えた場合、地下水面の低下速度は変化すると考えられる。実際、観測孔 No.3 の地下水面が低下して、約 GL-1 m の深度を下回る際は、いずれの場合も低下速度が増加する傾向が認められ、土層境界の存在を示唆する結果と考えられる。また、4.1で述べたように、層境界では水平方向の局所的な水分移動が生じやすく、さらに図6に示したように観測孔 No.1 を除く他の4つの

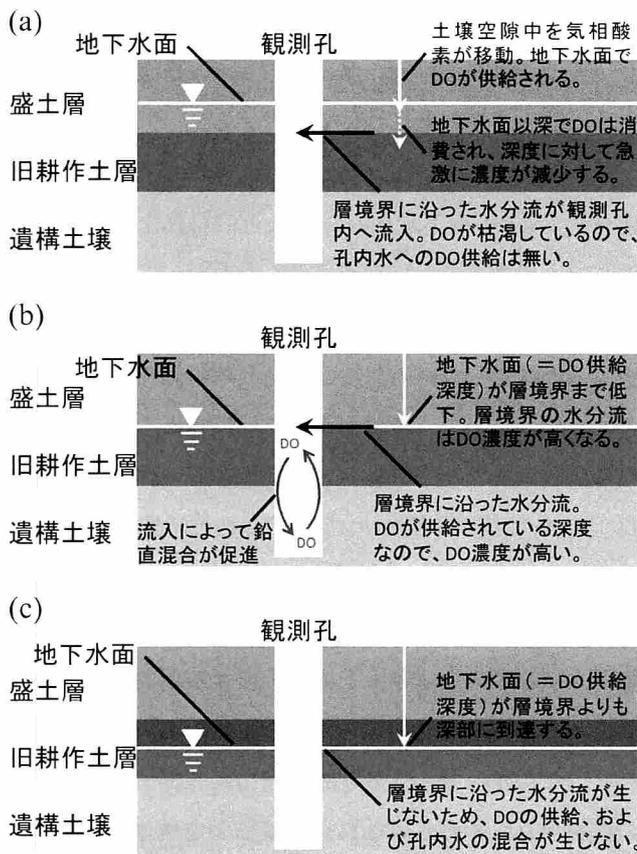


図10 観測孔 No.3における水分、DO移動模式図

((a)：地下水面が盛土-旧耕作土の層境界よりも高い場合、(b)：地下水面が低下して土層境界と同一深度となった場合、(c)：地下水面が低下して土層境界よりも低い場合)

Fig.10: The conceptual scheme about movement of water and DO at observation well No.3

(a): when groundwater table locates higher than soil boundary,
 (b): when groundwater table reaches at soil boundary,
 (c): when groundwater table locates lower than soil boundary

観測孔の水頭をみると、No.2からNo.3、さらにNo.4あるいはNo.5と北から南に向かって下がっていることから、遺構展示館周辺地盤ではこの水頭差を駆動力として層境界に沿った水分流が生じており、観測孔内にも水分が流入していると考えられる。

地下水面では直上の気相から酸素が地下水へと移動することでDOが供給される一方で、それらのDOは微生物の触媒的な働きを伴う有機物の分解によって、地下水で速やかに消費される。DO自身の分子拡散による移動は極めて緩慢であることから(広城ら：2007, Bolt and Bruggenwert：1976)、地下水面以深では深度の増加とともに急激にDO濃度は減少し、還元的な環境へ移行すると考えられる。地下水面がGL-1 m、すなわち盛土と旧耕作土の層境界よりも十分上方に位置していると

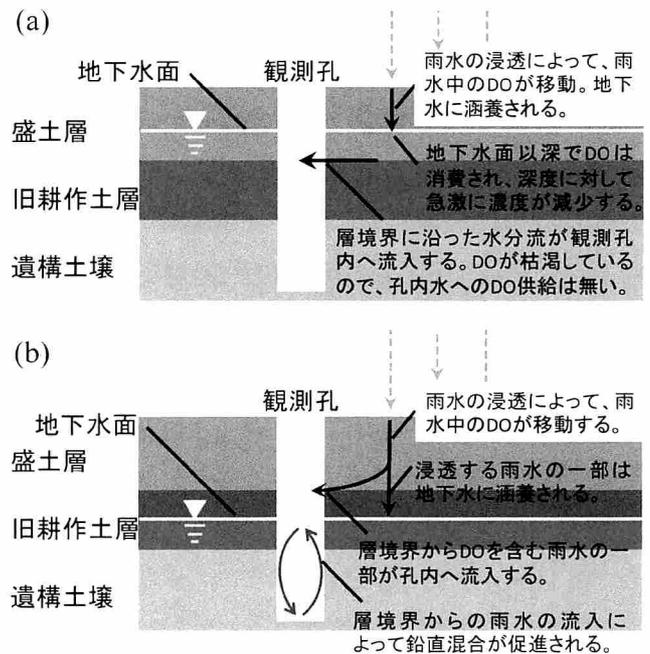


図11 観測孔 No.3における水分、DO移動模式図(降雨時)

((a)：地下水面が元々盛土-旧耕作土の層境界よりも高い場合、(b)：地下水面が元々土層境界よりも低い場合)

Fig.11: The conceptual scheme about movement of water and DO with rainfall at observation well No.3

(a): when groundwater table originally locates higher than soil boundary

(b): when groundwater table originally locates lower than soil boundary

き(図10(a))、層境界に沿って観測孔内へ流入する水は、DOに乏しい還元的な地下水と考えられる。したがって、地下水面がGL-1 mよりも上方で推移する間では、観測孔内の地下水のDO濃度は変化しないと考えられる。一方、地下水面が低下し、層境界近傍に達すると(図10(b))、この深度の地下水はDOに富んだ酸化的な地下水へと変化すると考えられる。そして、これらが層境界に沿って観測孔内に流入することで、観測孔内の地下水はDOが供給されるだけでなく攪拌されるため、DO濃度計が設置されている観測孔深部でも、DO濃度が上昇すると考えられる。さらに地下水面が低下すると(図10(c))、地下水の移動は再び鉛直方向のものが卓越することとなり、地下水面からの供給によって水面直下ではDO濃度が局所的に増加するものの、観測孔内では鉛直方向の水分移動がほとんど生じないため、観測孔底部ではDO濃度が変化しないと考えられる。

DO濃度が増加を示す2つ目の形態は、降雨時に地下水面が上昇すると同時に、DO濃度が増加するもので、

このとき地下水面は先述の層境界の深度、すなわち GL-1 m よりも深い位置にある場合に限定される。このときの DO 濃度の増加を図 9 黒色実線矢印で示す。地下水面が層境界深度よりも上方にある場合（図 11(a)）、地表面から浸透した雨水は地下水へと涵養されるのみで、図 11(a)で示したように層境界を経て地盤から観測孔内へ流入する水は DO に乏しく、したがって観測孔内の地下水の DO 濃度は変化しないと考えられる。実際、2014 年 3 月では断続的な降雨によって地下水面の昇降が繰り返しているが、DO 濃度には顕著な変化は認められない。一方、地下水面が層境界深度よりも下方にある場合（図 11(b)）、4.1 に記したように、降雨時に雨水の一部は盛土と旧耕作土の層境界に沿った水分流となって、地下水に涵養されることなく観測孔に流入していると考えられる。このとき、雨水は不飽和状態の盛土層を浸透して観測孔へ到達するため、DO を含有した酸化的な状態を維持していると推察される。したがって、これらが観測孔内へと流入することで、DO の供給と観測孔内の地下水を攪拌することとなり、観測孔底部へ DO を供給し得るものと推察される。また、GL-3.3 m と GL-4.5 m の深度別の DO 濃度を比較すると、夏期と比較して冬期の降雨時では両者の濃度差は小さく、かつ濃度変化に時間差が認められなかった。冬期では冷たい雨水が観測孔上部から供給されることで、観測孔内の地下水が速やかに鉛直混合されたことによると推察される。

図 9 黒色破線矢印で示したように、2014 年 7 月 24 日および 11 月 20 日に DO 濃度の増加が認められたが、これらは上記の議論のいずれにも合致しない。これらの DO 濃度変化時の共通点は、地下水面が約 GL-2.2 m から -2.4 m 付近まで低下した際に、DO 濃度が増加していることである。したがって、上記の DO 濃度の増加は、GL-2.2 m から -2.4 m 付近にも何らかの局所的な水平方向の水分流が発生し得る層が存在することを示唆するものと考えられる。

以上、観測孔内の地下水について、図 9 に示した DO 濃度変化が生じる要因について検討をおこなった。これらの議論から、地下水面の位置と降雨の有無によって、各土層境界を流れる水の酸化還元状態を推察することが可能と考えられる。そこで、以下では含水酸化鉄の沈殿

が顕著な南棟の南東隅について、直近の観測孔 No.5 における地下水面と降雨の測定結果から、遺構面に浸み出す水の酸化還元状態について検討する。

図 6 に示した 2014 年の地下水面深度の測定結果では、観測孔 No.5 の地下水面は、盛土と旧耕作土の層境界位置まで上昇することはなかった。したがって、先述の通り、この層境界から浸入する水は地下水由来ではなく雨水由来と考えられ、常に DO を含有する酸化的なものと考えられる。一方、遺構面直上の層境界から浸出する水については、4 月下旬から 8 月中旬にかけて、および 11 月下旬に地下水面が大幅に低下した時期に、遺構面の深度を地下水面が通過した際、一時的に酸化的なものになったと考えられる。しかし、その他の時期において、地下水面が遺構面よりも上方に位置する期間は、遺構面直上からは常に還元的な地下水が浸出していると推察される。したがって、この期間、浸出する地下水は溶存態の鉄を含有しており、これらが遺構面で酸化沈殿することで、汚損が生じると考えられる。

4.3 含水酸化鉄沈殿の挙動に関する目視観察

4.3.1 含水酸化鉄の生成箇所

年間を通して、含水酸化鉄沈殿の発生量は増減を示すが、発生する箇所は概ね一定で、図 12 に示すように、南棟東側と南側法面の一部（図 12 中、それぞれ P01, P02, P03）、北西隅（P04）および南西隅（P05）である。沈殿は地下水中に溶存する鉄に由来すると考えられることから、少なくともこれらの箇所において地下水が遺構面へと浸出していると考えられる。各箇所の含水酸化鉄沈殿の様子を写真 4 から 7 に示す。これらの写真に示したように、含水酸化鉄沈殿の生成量は場所によって大きく異なり、図 12 の P02 および P04 において析出量

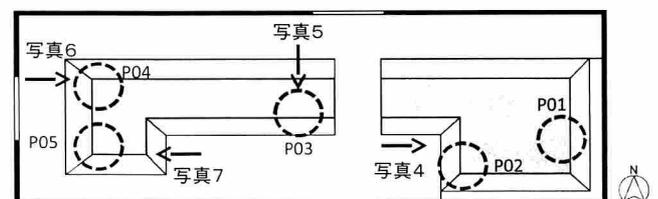


図 12 含水酸化鉄沈殿が生じる箇所

Fig.12: The points where iron hydroxide were observed (P01~P05)

が顕著に多い。また、写真4、5および7で認められるように、盛土と旧耕作土の層境界において土が濡れ色を呈しているにもかかわらず、これらの箇所では含水酸化鉄沈殿は一切生じておらず、いずれの箇所においても旧耕作土と遺構面の層境界から浸みだした水からのみ含水酸化鉄沈殿が生じている様子が認められた。

先述の通り、両層境界から浸み出す水は館内への流入経路が異なり、盛土と旧耕作土の層境界から浸み出す水は雨水に近い水質と考えられる。したがって、ここで浸み出す水は酸化的で、溶存態の鉄の含有量が少ないため、含水酸化鉄の沈殿が生じていないものと推察される。

4.3.2 含水酸化鉄生成量の時系列変化

観測孔 No.5 に近い南棟東側遺構面において、月毎に実施した含水酸化鉄沈殿の定点観察結果を写真8の(a)から(i)に示す。

写真8(a)から(d)に示したように、2014年1月から4月上旬にかけて、遺構面南東側(写真破線箇所)で含水酸化鉄沈殿が増加している様子が観察された。この時期、図6に示したように、南棟遺構面と比較して地下水面は有意に高いことから、遺構面直上の層境界から地下水の浸み出しが継続的に生じていたと推察される。そして、地下水中に溶存していた鉄が、遺構面において酸化されることで沈殿が増加し続けたと考えられる。

4月中旬から7月中旬に至るまでの期間は、写真8(e)から(g)に示したように、含水酸化鉄沈殿の有意な増加は認められなかった。この期間は、地下水面が遺構面よりも低い位置で推移したため、遺構面への地下水の浸み出しが生じていなかったと考えられる。7月中旬以降では、写真8(h)に示したように、含水酸化鉄沈殿がわずかに増加する様子が認められた。地下水面が上昇した結果、地下水が再び遺構面へ浸み出したと推察される。



写真4 遺構面東側 (P01, P02) (2015/2/3)

Photo 4; Eastern region of the South Gallery (P01, P02) (2015/2/3)



写真5 遺構面中央 (P03) (2015/2/3)

Photo 5; Middle region of the South Gallery (P03) (2015/2/3)



写真6 遺構面北西隅 (P04) (2015/2/3)

Photo 6; Northwest corner of the South Gallery (P04) (2015/2/3)



写真7 遺構面南西隅 (P05) (2015/2/3)

Photo 7; Southwest corner of the South Gallery (P05) (2015/2/3)



(a) 2014/1/4



(b) 2014/2/1



(c) 2014/3/4



(d) 2014/4/1



(e) 2014/5/1



(f) 2014/5/31



(g) 2014/7/4



(h) 2014/8/2

写真8 南棟東側遺構面における含水酸化鉄沈殿の変化
Photo 8: Precipitation of iron hydroxide observed in the eastern region of the South Gallery



(i) 2014/9/2



(j) 2014/10/7



(k) 2014/11/2



(l) 2014/12/6

写真8 南棟東側遺構面における含水酸化鉄沈殿の変化

Photo 8: Precipitation of iron hydroxide observed in the eastern region of the South Gallery



写真9 南東隅(図4の③)(2014/8/13)

Photo 9: Southeast corner of the South Gallery (point ③ shown in Fig.4) (2014/8/13)



写真10 写真9の破線箇所拡大

Photo 10: Enlargement of dotted area shown in photo 9

8月2日の定点観察後、8月9日、10日に台風ともなう降雨強度の強い降雨が観測されると、地下水面の急激な上昇が生じるとともに、写真9、10(図4の③で示した箇所)に示すように、遺構面へ多量の水が浸出した。

その結果、東西方向の雨落溝では写真11から13に示すように、雨落溝の水が地表面の勾配に従って東側(写

真下方向)へ移動するのにもない、含水酸化鉄も移動した。また、定点観察箇所でも含水酸化鉄沈殿が顕著に減少する様子が認められた(写真8(i))。いずれの箇所においても、含水酸化鉄沈殿は雨落溝の水と共に、地表面の勾配に従って雨落溝東側に向かって移動した後、排水ポンプによって南棟屋外へ排出されたと考えられる。10月以降は再び降雨強度が比較的弱い降雨が断続的に



写真11 雨落溝西側(図4の①)(2014/8/8)

Photo 11: Western area of ditch (point ① shown in Fig.4) (2014/8/8)



写真12 雨落溝西側(図4の①)(2014/8/16)

Photo 12: Western area of ditch (point ① shown in Fig.4) (2014/8/16)



写真13 雨落溝を移動する懸濁状の含水酸化鉄(2014/8/13)

Fig.13: Movement of suspended iron hydroxide to the drainage pump by the water flow along the ditch (2014/8/13)

観測された結果、地下水面は遺構面よりも概ね高い位置で推移しており、この期間から翌年4月頃まで、再び含水酸化鉄沈殿が蓄積されたと推察される(写真8(j), (k), (l))。以上の結果から、比較的降雨強度が弱い降雨が断続的に観測される10月から翌年の4月頃では、遺構面において含水酸化鉄沈殿が蓄積され続けることがあきらかとなった。そして、地下水面が低下する4月下旬以降では、含水酸化鉄沈殿の顕著な増加は進行せず、夏期を中心に豪雨が発生すると、遺構面に流入する地下水によって含水酸化鉄沈殿の一部は流出し、除去されることが示唆された。

遺構展示館周辺には未だ多量の木製品などの有機質遺物が埋蔵されていると考えられる。したがって、含水酸化鉄沈殿による南棟遺構面の汚損を抑制するために、地下水位を低下させる、あるいは遺構面に浸出した地下水

に、何らかの薬剤を散布するなどの対策を実施した場合、周辺に埋蔵されている遺物の埋蔵環境が悪化することが懸念される。むしろ、遺構面における含水酸化鉄沈殿の蓄積を抑制すると同時に、周辺地盤内の地下水の水質におよぼす影響を軽微なものとするためには、降雨時に含水酸化鉄沈殿が排出された状況を再現することが効果的と考えられる。すなわち、遺構面においてある一定流速以上の水分移動を作り出して、雨落溝で沈殿した含水酸化鉄を移動させて、最終的には排水ポンプで排出することによって沈殿による遺構の汚損の抑制を図るものである。

5. まとめ

土遺構の露出展示を実施している平城宮跡遺構展示館において、南棟で認められる含水酸化鉄沈殿による汚損に着目して、その発生要因を検討するため、主に南棟周辺地盤の水分性状について実測調査、および遺構面における含水酸化鉄沈殿の増減について目視観察調査を実施した。

南棟の南東側および西側で地下水面位置の観測をおこなった結果、4月下旬から8月中旬にかけて地下水面は大幅に低下するものの、その他の期間では地下水面は概ね遺構面よりも上方に位置しており、この間、遺構面には地下水が浸出し続けていることが示唆された。また、これらの観測孔では地下水面が盛土と旧耕作土の層境界の深度まで上昇する様子は認められなかったものの、土壌含水率の実測調査と目視観察の結果から、降雨時には

この層境界から水が浸入することが示唆された。したがって、盛土と旧耕作土の層境界と、遺構面直上の層境界から浸入する水の起源は異なっており、前者では雨水、後者では地下水に由来する水が浸入していると考えられる。

観測孔 No.3 における DO 濃度変化について検討した結果から、含水酸化鉄の沈殿が顕著な遺構南東隅において、遺構面に浸出する水の酸化還元状態について推察した。その結果、降雨時に盛土と旧耕作土の層境界から浸入する水は、雨水由来と考えられることから、通年酸化的なものである一方で、遺構面直上から1年の大半の時期にわたり浸入し続けている水は地下水由来で、概ね還元状態にあると推察された。したがって、地下水位が低下する4月下旬から8月中旬を除く時期において、還元状態の地下水に含まれる溶存態の鉄が遺構面で含水酸化鉄として沈殿し続けていると推察された。

目視観察の結果から、含水酸化鉄沈殿は、上記の地下水位が低下する期間を除いて遺構面で増加し続けることがあきらかとなり、浸出水の酸化還元環境から推察されたものと調和的な結果を得た。一方で、降雨強度が非常に強い場合は、遺構面へ大量に流入した水が、地表面の

勾配に沿って東側へ流れるのにもない、含水酸化鉄沈殿も移動する様子が認められた。また、その一部は降雨後にあきらかに減少したことから、遺構東側に設置されている排水ポンプによって南棟屋外へと排出されたと考えられる。遺構展示館周辺には有機質遺物が多数埋蔵されている可能性があることを考慮すると、汚損の進行を抑制する方法としては、南棟遺構面において緩やかな水分流を作り出すことで、含水酸化鉄沈殿を屋外へ流し出す方法が、周辺地盤の埋蔵環境におよぼす影響が軽微で、かつ効果的であると考えられる。

今後は遺構展示館周辺地盤内部での水分移動のモデル化をおこない、地下水位変化の実測値に対する解析値の再現性から、本報で推察した地盤内部での水分移動経路の確度について検討する。

謝辞

本研究を進めるにあたり文化庁文化財部記念物課に多大なるご協力を頂きました。厚くお礼申し上げます。

なお、本研究は、科学研究費補助金基盤(B) (課題番号：26289203, 研究代表者：鈴木修一) の成果の一部である。

引用文献

- 木村真人・仁王以智夫・丸本卓哉・金沢晋二郎・筒木潔・犬伏和之・植田徹・松口龍彦・若尾紀夫・斎藤雅典・宮下清貴・山本広基・松本聡 1994 『土壌生化学』 朝倉書店 pp.149-153
- 地下水ハンドブック編集委員会(編) 1979 『地下水ハンドブック』 建設産業調査会 pp.141-142
- 奈良文化財研究所(編) 2010 『図説 平城京事典』 柘風舎 50p
- 広城吉成・赤木啓悟・細川土佐男・神野健二 2007 「沿岸部帯水層の塩水遷移域における二価鉄イオンの動態に着目した輸送モデル」 土木学会論文集 B 63 pp.178-188
- 文化庁 2012 『平城宮跡遺構展示館の露出展示改善に関する検討委員会 第1回委員会資料』
- 脇谷草一郎・桑原範好・鈴木修一・小椋大輔 2014 「平城宮跡遺構展示館における塩析出と沈殿物が引き起こす露出展示遺構の劣化に関する研究」 日本建築学会学術講演梗概集 pp.295-296
- Bolt, G.H. and Bruggenwert, M.G.M. 1976 "Soil chemistry" Elsevier Scientific Publishing Company
- 岩田進午・三輪睿太郎・井上隆弘・陽捷行(訳) 1980 『土壌の化学』 学術出版センター pp.175-183
- Goudie, A. and Viles, H. 1997 "Salt weathering hazards" John Wiley & Sons, Ltd. pp.106-107
- Stumm, W. and Morgan, J.J. 1996 "Aquatic chemistry: Chemical equilibria and rates in natural waters" Wiley-Interscience pp.476-479

(2015年12月11日受付, 2016年2月3日受理)

Stain Caused by Iron Hydroxide on the Remains of the Nara Palace Site Exhibited in the Excavation Site Exhibition Hall

Soichiro WAKIYA¹, Noriyoshi KUWABARA², Shuichi HOKOI², Daisuke OGURA²
and Yohsei KOHDZUMA¹

1. National Institute for Cultural Heritage, Nara National Research Institute for Cultural Properties, 247-1 Sakicho, Nara 630-8577, Japan
 2. Graduate School of Engineering, Kyoto University, Nishikyo-ku, Kyoto 615-8540, Japan
-

The Nara Palace Site is located in the northern part of the Nara Basin. Prior to excavation, most of the land in this area was used as paddy fields, and the Nara Palace Site is now re-covered with an embankment and then paddy soil on top to preserve it. In the Excavation Site Exhibition Hall, a part of the remains of the Nara Palace Site is exhibited. Some deterioration has occurred such as soil erosion, detachment of the brick and stone surface, and stains from iron hydroxide precipitation. In this study, to examine the iron hydroxide stain, we observed the deterioration state and performed a field survey on the moisture transfer and redox state in the ground. Because the remains are covered with two layers of soil with different hydraulic conductivities, groundwater flows both vertically and horizontally through these two boundaries. Some rainwater flows directly into the remains from the upper boundary between the embankment and paddy soil, and groundwater flows into the remains from the lower boundary just above them. Annual changes in the groundwater table shows that, except for the period from April to August, the groundwater table was higher than the remains, and thus groundwater flowed into the remains through the lower boundary. Because groundwater is almost always reductive due to microbial activity, it contained a large amount of dissolved iron. Therefore, the stain caused by iron hydroxide occurred in these periods. However, after heavy rain during the summer, the rainwater that had flowed into the remains caused a water flow on the surface of the remains that removed the iron hydroxide. Based on these results, we conclude that because the redox state in the ground cannot be controlled, the water flow on the remains should be controlled to mitigate the staining caused by iron hydroxide.