

遺跡の保存技術の確立に向けた連携研究報告書Ⅰ

２０２６

福井県立一乗谷朝倉氏遺跡博物館

独立行政法人国立文化財機構
奈良文化財研究所



遺跡の保存技術の確立に向けた
連携研究報告書Ⅰ

２０２６

福井県立一乗谷朝倉氏遺跡博物館

独立行政法人国立文化財機構
奈良文化財研究所

序

特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡では、昭和47年刊行の『朝倉氏史跡公園基本構想』に示された理念に基づき、50年以上にわたり遺構の露出展示を中心とした遺跡整備を継続してきました。しかし近年、気候変動の激化や経年変化に伴い、遺構の劣化が深刻化しており、その対応が喫緊の課題となっています。こうした状況を踏まえ、平成24年度からは劣化対応事業に着手し、遺構の保全に向けた取り組みを進めてきました。

さらに令和元年度には、露出展示遺構の保存という全国的な課題に対応するため、日本を代表する調査技術と研究実績を有する独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所と連携研究協定を締結し、本遺跡において保存技術の確立を目的とした連携研究を開始しました。

本報告書は、令和元年度から7年度までにわたる第1期連携研究事業の成果を取りまとめたものです。調査では、本遺跡に数多く見られる露出展示遺構に着目し、環境条件の異なる屋内・屋外双方で実態把握と保存対策の検討を行いました。また、近年頻発・甚大化する豪雨等により顕在化した排水不良の解消を目的として、遺跡保存に資する排水環境調査・設計にも取り組みました。これらはいずれも先例の少ない研究領域であり、奈良文化財研究所との連携によって、当館のみでは得ることのできない成果を挙げることができたと考えております。

本研究の成果が一乗谷朝倉氏遺跡の保存はもとより、国内外の史跡や名勝の保存の一助となれば幸いです。

令和8年3月

福井県立一乗谷朝倉氏遺跡博物館

館長　湯川　直

序

特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡は、中世城下町の実像を今日に伝える我が国屈指の遺跡であり、発掘調査の成果を踏まえた保存・活用の先進的な取り組みが長年にわたり積み重ねられてきました。一方で、庭園遺構をはじめとする遺構の屋外露出展示は、気候条件や環境変動の影響を直接受けるため、現在においても技術的に困難な性質をもち、その保存手法の確立は全国の遺跡に共通する重要な課題となっています。

こうした課題意識のもと、令和元年度に福井県と独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所との間で連携研究協定を締結し、本遺跡を対象として、屋外の庭園遺構および屋内の遺構の露出展示という挑戦的な課題を対象として、７か年にわたって継続的に調査研究を進めてきました。

本報告書は、これらの連携研究の第１期における成果を総括したものです。本研究期間内にすべての課題が解決されたわけではありませんが、調査を通じて多くの技術的・学術的課題が整理され、今後の保存対策の検討に資する調査データと知見が蓄積されました。本事業の成果が、一乗谷朝倉氏遺跡の保存・継承に寄与するとともに、国内外の遺跡および名勝地における露出展示遺構の保存に広く活用されることを強く期待します。

令和８年３月

独立行政法人国立文化財機構
奈良文化財研究所

所長　本中　眞

例　言

1．本書は、令和元年度から７年度までの期間に、独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所（以下、「奈良文化財研究所」という。）と福井県立一乗谷朝倉氏遺跡博物館（以下、「当館」という。）が実施した、遺跡の保存技術の確立に向けた連携研究事業に関する報告書である。

2．本事業は、福井県朝倉氏遺跡研究協議会（以下、「研究協議会」という。）及び一乗谷朝倉氏遺跡劣化対応事業ワーキンググループ（以下、「劣化対応ワーキンググループ」という。）の指導のもと実施した。

3．本書は次の分担により執筆し、全体の編集は当館学芸員 藤井佐由里が担当した。なお、校正については執筆者全員で行った。
第１章、第２章（2.1 ～ 3、2.4.1、2.4.3、2.5.1、2.6）、第３章（3.1 ～ 3.2.1、3.2.3 ～ 5、3.4）、結語　藤井佐由里（当館学芸員）
第２章（2.4.2、2.5.2）　渡邊英明（当館主査（学芸員））
第３章（3.2.2）　脇谷草一郎（奈良文化財研究所埋蔵文化財センター保存修復科学研究室室長）・柳田明進（同研究室主任研究員）
第３章（3.3）　藤田若菜（当館主査（文化財調査員））

4．挿図及び表の作成は、主として各執筆者が行った。本書で業務委託により作成した図・表は、業務委託成果報告書を一部改変して使用している。なお、紙面の都合上、本書に掲載できなかった調査結果等の根拠資料は、本書の挿図・表と併せて、当館ホームページに掲載の資料編を参照されたい。また、本編と資料編に掲載した図・表の対応を示すため、資料編のキャプションには該当する本編の頁数を記載した。

5．本事業の実施及び本書の作成にあたり、次の諸氏及び諸機関からご教示、ご協力を賜った。ここに記して謝意を表する（敬称略・五十音順、所属は令和７年度時点）。
荒井克彦（福井大学名誉教授）、石崎武志（独立行政法人国立文化財機構東京文化財研究所名誉研究員）、株式会社サンワコン、株式会社福井環境分析センター、佐藤嘉則（東京文化財研究所生物科学研究室長）、島田潤（同研究室アソシエイトフェロー）、山本博文（福井大学教育学部特命教授）

6．令和元年度から７年度までの各年度における事業概要及び研究成果については、当該年度ごとに概要報告書や研究発表等により公開しているが、内容は本書が優先する。

目　次

第１章　連携研究事業の概要

1.1　一乗谷朝倉氏遺跡の概要 …… 1
1.1.1　遺跡の位置 …… 1
1.1.2　遺跡周辺の地質 …… 2
1.1.3　遺跡と博物館の歴史 …… 3
1.2　経緯と目的 …… 4
1.2.1　経緯 …… 4
1.2.2　目的 …… 5
1.3　連携研究事業について …… 6
1.3.1　対象地域と対象地 …… 6
1.3.2　研究及び運営体制 …… 9
1.3.3　研究の経過及び成果の公開 …… 11

第２章　屋内での最適な遺構の展示手法

2.1　目的 …… 15
2.2　石敷遺構と遺構展示室の概要 …… 15
2.3　遺構展示室内の環境条件の調査 …… 16
2.3.1　調査目的 …… 16
2.3.2　調査方法 …… 16
2.3.3　結果と考察 …… 18
2.4　劣化状態の調査 …… 26
2.4.1　物理的劣化に関する調査 …… 26
2.4.2　生物的劣化に関する調査 …… 29
2.4.3　遺構の保存と維持管理の方針 …… 37
2.5　遺構の保存対策と維持管理方法 …… 38
2.5.1　埋め戻し方法の検討 …… 38
2.5.2　維持管理方法の検討 …… 46
2.6　第２章のまとめ …… 49

第３章　屋外での遺構の保存方法

3.1　目的 …… 51
3.2　景石の保存に向けた調査 …… 51
3.2.1　諏訪館跡庭園の概要 …… 51
3.2.2　景石の劣化状態及び劣化要因に関する検討 …… 51
3.2.3　景石の凍結破砕抑制に向けた冬季養生 …… 56
3.2.4　景観に配慮した景石の冬季養生 …… 63
3.2.5　小結 …… 65
3.3　遺跡の排水環境改善 …… 66
3.3.1　排水環境調査 …… 66
3.3.2　排水環境設計 …… 86
3.4　第３章のまとめ …… 92

結語（総括・今後の課題） …… 96

挿図目次

第1図　福井県の地形 …… 1
第2図　一乗谷周辺の地質図 …… 2
第3図　本遺跡の範囲図 …… 7
第4図　調査位置図 …… 8
第5図　奈良文化財研究所と当館の研究体制 …… 9
第6図　調査箇所と遺構展示室内の設備（展示室断面） …… 17
第7図　調査箇所と遺構展示室内の設備（展示室平面） …… 17
第8図　外気と展示室内の温度 …… 18
第9図　展示室内の温度と絶対湿度（夏季） …… 19
展示室内の温度と絶対湿度（冬季） …… 19
第10図　展示室内の温度と相対湿度（夏季） …… 20
展示室内の温度と相対湿度（冬季） …… 20
第11図　遺構展示室の熱画像 …… 21
第12図　雨量と遺構展示室直下の地下水位及び足羽川の水位 … 22
第13図　遺構土の水ポテンシャル …… 23
第14図　降雨時の遺構土の水ポテンシャルと展示室内外の絶対湿度 … 23
第15図　遺構展示室直下の地下水と足羽川の水質分析結果 … 24
第16図　再発掘後の断面模式図 …… 25
第17図　土質部分の割れ及び塩類の分布 …… 27
第18図　白色菌類様物質の試料採取箇所 …… 30
第19図　粘着トラップ設置箇所 …… 31
第20図　空中浮遊菌調査箇所 …… 31
第21図　白色菌類様物質の走査型電子顕微鏡画像 … 31
第22図　保護層上面の生物捕獲個体数の変移 …… 33
第23図　各生物の月別捕獲割合 …… 33
第24図　各エリアに設置した粘着トラップの生物平均捕獲数 … 34
第25図　各エリアにおける平均空中浮遊菌量 …… 35
第26図　カビ・コケ類の分布 …… 36
第27図　スポットライトの照明光波長分布 …… 37
第28図　吸光度と照度の測定結果 …… 37
第29図　粒度分布及び粒径加積曲線 …… 39
第30図　遺構土の埋め戻し方法 …… 40
第31図　遺構土の埋め戻し箇所と温湿度測定箇所 … 40
第32図　遺構面の水ポテンシャル …… 41
第33図　水ポテンシャル（Case A） …… 42
水ポテンシャル（Case B） …… 42
水ポテンシャル（Case C） …… 43
水ポテンシャル（Case D） …… 43
第34図　埋め戻し土最表層の pF 値 …… 45
第35図　埋め戻し土最表層の水分活性 …… 45
第36図　割れが認められる景石等の分布 …… 53
割れが認められる景石等の岩種 …… 53
第37図　対象景石と測定項目 …… 54
第38図　景石クラック内部の温度 …… 55
第39図　石の養生による温度低下の抑制イメージ … 57
第40図　調査箇所 …… 59
第41図　石の養生模式図 …… 59
第42図　対象石の表面温度と日射量（非養生期間） … 61
第43図　対象石の表面温度（養生期間） …… 61
第44図　養生材内部の絶対湿度（養生期間） …… 62
第45図　石の養生模式図 …… 63
第46図　対象石の表面温度（非養生期間） …… 64
第47図　対象石の表面温度（養生期間） …… 65
第48図　土砂災害警戒区域等指定図 …… 67
第49図　砂防指定範囲図 …… 68
第50図　調査対象位置図 …… 72
第51図　排水現況図 …… 73
第52図　調査対象区域の排水流域 …… 74
第53図　山地部の排水流域図 …… 78
第54図　平地部の排水現況図 …… 79
第55図　降雨強度式 …… 80
第56図　排水施設の現況写真リスト …… 83
第57図　基本モデルの断面イメージ図 …… 85
第58図　土砂流出防止工の標準図 …… 85
第59図　外周水路の標準断面図 …… 85
第60図　土砂流出防止工の計画流域 …… 87
第61図　かご枠工断面図（もたれ式） …… 88
第62図　かご枠工断面図（重力式 - 1） …… 88
第63図　かご枠工断面図（重力式 - 2） …… 91
第64図　土砂流出防止工の標準断面図 …… 91
第65図　A 流域の設計案 …… 93
第66図　J 流域の設計案 …… 94

写真目次

写真1　一乗谷全景 …… 3
写真2　当館外観 …… 3
写真3　本遺跡で見られる遺跡の整備手法 …… 5
写真4　露出展示遺構の劣化 …… 6
写真5　連携研究協定締結式 …… 6
写真6　連携研究室整備完了報告会 …… 6
写真7　冬季早朝の諏訪館跡庭園での共同調査 … 13
写真8　劣化対応ワーキンググループ …… 13
写真9　発掘直後の石敷遺構 …… 16
写真 10　当館建設後の石敷遺構 …… 16
写真 11　遺構展示室の風除室 …… 16
写真 12　見学通路と壁面の換気ガラリ …… 16
写真 13　保護層上面の割れ …… 26
写真 14　石敷遺構盛土部の割れ …… 26
写真 15　塩類析出箇所の定点撮影の結果 …… 28
写真 16　保護層上面に発生した白色菌類様物質 … 29
写真 17　保護層上面に発生したカビ …… 29
写真 18　保護層上面に発生した木材腐朽菌のキノコ … 29
写真 19　カビをえさとするヤスデ類 …… 29
写真 20　散水の様子 …… 47
写真 21　遺構展示室の様子 …… 47
写真 22　生物死骸の回収作業 …… 47
写真 23　扉下部の隙間を埋めるスポンジ …… 47
写真 24　風除室に設置した除塵マット …… 48
写真 25　日常的な見学通路の清掃 …… 48
写真 26　保護層上面に立ち入るイベント …… 48
写真 27　遺構展示室に設置したスリッパ …… 48
写真 28　諏訪館跡庭園 …… 52
写真 29　諏訪館跡庭園の園池 …… 52
写真 30　保存状態の良好な景石 …… 52
写真 31　保存状態の不良な景石 …… 52
写真 32　割れの顕著な景石直上の全天写真 …… 54
写真 33　景石1 …… 55
写真 34　景石2 …… 55
写真 35　養生材料 …… 58
写真 36　地衣類が繁茂した石試料 …… 62
写真 37　福井豪雨に伴う本遺跡内の被害状況 …… 66
写真 38　朝倉館跡庭園の斜面崩落状況 …… 66
写真 39　溝跡を活用した排水状況 …… 69
写真 40　暗渠の機能不全に伴う排水不良 …… 69
写真 41　泥濘化及び石積の不安定化 …… 69
写真 42　泥濘化後の獣害によるき損 …… 69
写真 43　本遺跡内の山際の既存U字溝 …… 86

表目次

第1表　連携研究担当者及び担当期間 …… 10
第2表　当館の事業費 …… 11
第3表　劣化対応ワーキンググループ委員 …… 11
第4表　調査の経過及び成果の公開履歴 …… 11
第5表　各塩の飽和塩溶液が与える相対湿度 …… 25
第6表　塩類の季節性の挙動 …… 28
第7表　白色菌類様物質の細菌を対象とした次世代シーケンス解析（門レベル） …… 32
第8表　白色菌類様物質の細菌を対象とした次世代シーケンス解析（種レベル） …… 32
第9表　土の飽和透水係数 …… 39
第 10 表　埋め戻し土最表層（粘質土層）の吸光度 …… 44
第 11 表　養生材料の物性値 …… 58
第 12 表　測定項目と調査期間 …… 59
第 13 表　養生材料と組み合わせ …… 63
第 14 表　山地部の流域概要 …… 75
第 15 表　平地部の流域概要 …… 76
第 16 表　山麓部における確率年数ごとの最大高水流量 …… 82
第 17 表　既整備地における排水環境評価及び対応方策 …… 84
第 18 表　土砂流出防止工の工法比較 …… 89
第 19 表　かご枠の素材比較 …… 90

第１章　連携研究事業の概要

１．１　一乗谷朝倉氏遺跡の概要

１．１．１　遺跡の位置（図１）

特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡（以下、「本遺跡」という。）の所在する福井県は本州日本海側のほぼ中央に位置し、東西約 75km、南北約 135km に及び、西側は長い海岸線が走っている。地理的には現在、敦賀市東方に位置する木ノ芽山嶺を境にして、嶺北地方と嶺南地方に分けられているが、旧国名としては、嶺北地方に敦賀市域を加えた範囲が越前国、嶺南地方から敦賀市を除いた範囲が若狭国にそれぞれ相当する。

嶺北地方は、加越・越美・丹生の各山地に囲まれ、中央を越前中央山地が南北に走る。その東側に勝山・大野盆地が、西側にはこれらの山地を源流とする大小河川が合流して形成された広大な福井平野がある。その主な河川が、加越山地の岐阜県境付近を源流とし、加越台地の南西側で日本海に注ぐ九頭竜川、越美山地を源流とし、福井平野中央部を横断して日野川に合流する足羽川である。

本遺跡は、福井市街地（現在のＪＲ福井駅周辺）の南東約 10km に位置する。本遺跡の中心である一乗谷は、足羽川の支流である一乗谷川の流末部に形成された南北約５km の細長い袋状の谷である。谷の東・西・南の三方は標高 200 ～ 700m の山地に囲まれている。一方、谷の北側は開口し、本遺跡の中心を流れる一乗谷川が足羽川に合流し、さらに足羽川を通じて福井平野及び日本海へと連絡する。谷の北側を美濃街道が通り、本遺跡は交通上の要衝であるとともに、軍事的にも重要な立地条件を備えていた。

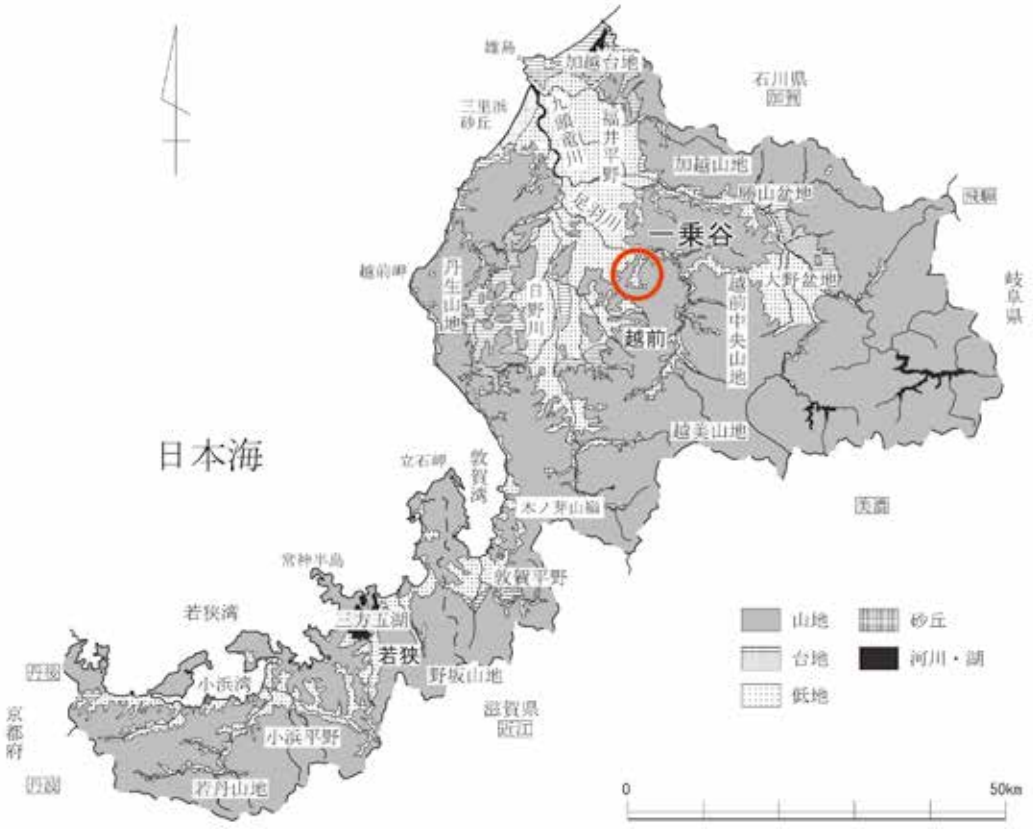


図１　福井県の地形（1/100,000）

１．１．２　遺跡周辺の地質

一乗谷周辺の地質図を図２に示す。一乗谷付近の地質は新生代新第三紀前期中新世の糸生層（安山岩、火山砕屑岩）である。周辺の地質を見ると新生代古第三紀漸新世の「西谷流紋岩（流紋岩、溶結凝灰岩、流紋岩質火山砕屑岩）」、中生代ジュラ紀の「手取層群（礫岩、砂岩、泥岩）」、中生代ジュラ紀の「古期花崗岩類（花崗岩、花崗閃緑岩）」、古生代石炭紀の「美山変成岩類（石灰岩、砂岩、頁岩、緑色岩）」が分布する。これらはいずれも一乗谷付近の地質である「糸生層」より時代が古いことから、「糸生層」を形成した火山活動が始まる以前の一乗谷付近の地表面は、これらの岩石で覆われていたと考えられる。よって、これらの古い地質の岩石は一乗谷周辺の糸生層（安山岩溶岩、火山砕屑岩）の中に火山噴出物とともに礫として含まれると考えられる（当館・株式会社サンワコン 2023）。

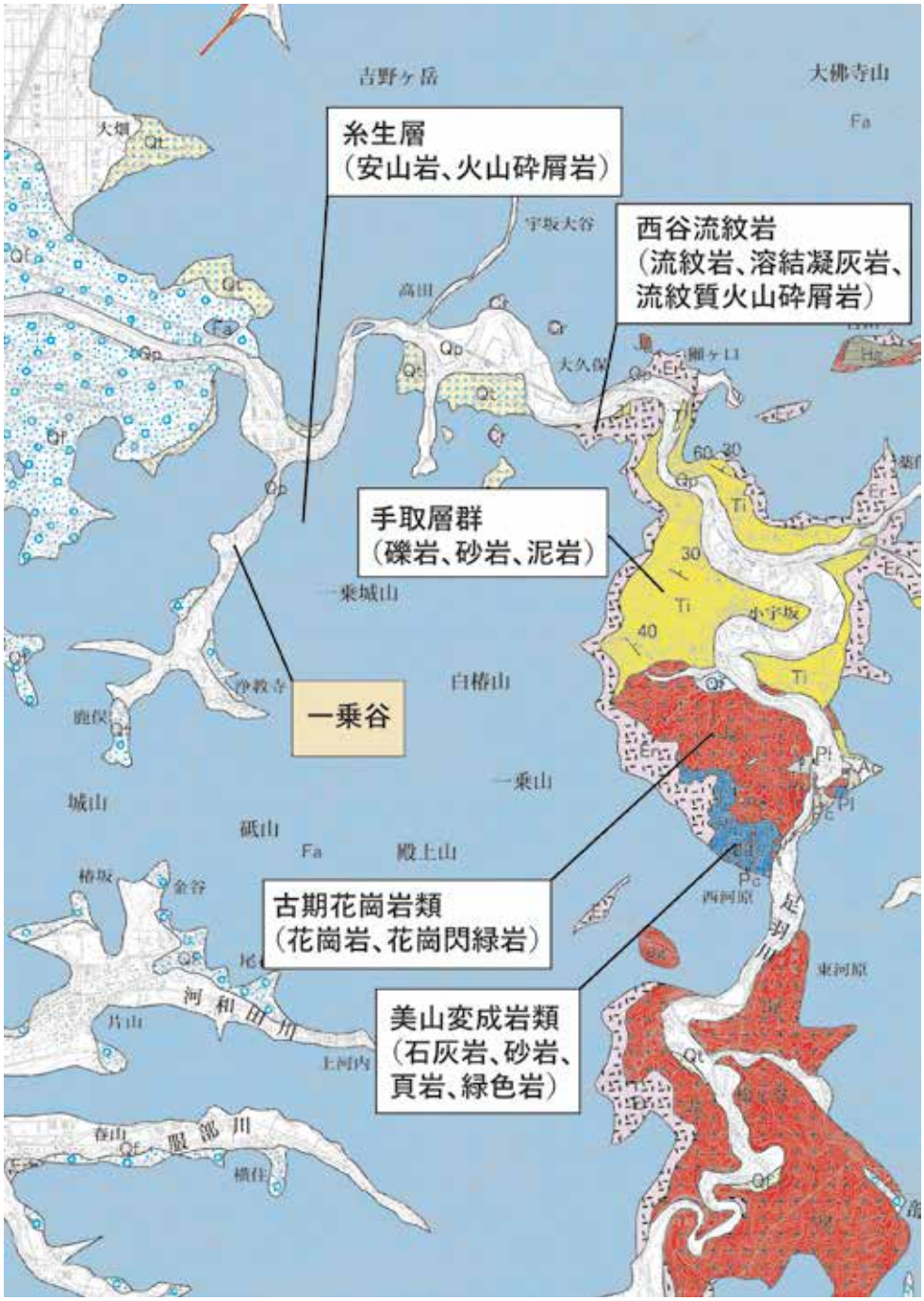


図２　一乗谷周辺の地質図（『令和4年度一乗谷朝倉氏遺跡岩石鑑定業務委託報告書（諏訪館跡庭園）』を一部改変）

１．１．３　遺跡と博物館の歴史

本遺跡は、戦国大名朝倉氏が越前支配の拠点として計画的に築いた城下町跡である。谷の南北の出入口には「上城戸」及び「下城戸」の二つの城戸が設けられており、これらに挟まれた谷内部が城下町の主要部を構成する（写真１）。二つの城戸で挟まれた谷の平地部には、当主館をはじめ、武家屋敷や町屋等の遺構が良好に残り、当主館の東側山上には城下町の防御拠点となる山城が築かれる。

城下町の存続期間は、初代当主朝倉孝景が一乗谷を本拠地とした文明３年（1471）から、織田信長軍の焼き討ちにより朝倉氏が滅亡した天正元年（1573）までの 103 年間が中心とされている。朝倉氏滅亡後、城下町は北庄（現在のＪＲ福井駅周辺）へ移され、一乗谷の地は農村として利用された。その結果、近代以降に至るまで大規模な改変を受けることなく、戦国期の遺構が良好な状態で地中に保存されてきた。

本遺跡の保存の歴史は、昭和５年（1930）に朝倉館跡と湯殿跡・諏訪館跡・南陽寺跡の３庭園が史蹟及び名勝に、西山光照寺跡が史蹟に指定されたことに始まる。昭和 42 年（1967）には山城跡及び上城戸跡・下城戸跡・南陽寺跡の一部、英林塚が追加指定され、これと併せて遺跡の本格的な発掘調査及び史跡整備が開始された。さらに昭和 46 年（1971）には、戦国大名の城下町の様相を総合的に示す遺跡として類例のない価値が評価され、指定範囲約 278ha が「特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡」として格上げ指定された。以後、半世紀以上にわたり、発掘調査及び史跡整備が継続して行われている。

令和４年（2022）10 月には、本遺跡へのゲートウェイ施設として旧資料館を改修するとともに、旧資料館の隣接地に展示・収蔵施設を新築し、当館が開館した（写真２）。当館及び旧資料館は谷の北側を流れる足羽川と谷の中心を流れる一乗谷川が合流する氾濫原に位置し、旧資料館時代の平成 16 年（2004）に発生した福井豪雨の際には、氾濫した足羽川によって旧資料館の１階が浸水する等の被害を受けた。こうした経験から、当館建設の際には実物資料を扱う展示室や重要文化財を保管する収蔵庫は全て２階に設置することとした。また、当館建設に伴う発掘調査では、川湊の一角と想定される大型の石敷遺構が発見され、当館の所在する安波賀地域の性格を位置づける重要な戦国期の遺構として当館内での露出展示を実施している（当館内での遺構展示の詳細は第２章を参照）。



写真１　一乗谷全景（北から）



写真２　当館外観

１．２　経緯と目的

１．２．１　経緯

１．２．１．１　関連計画

本遺跡では、昭和 47 年（1972）に策定された『朝倉氏史跡公園基本構想』に示された、「歴史に埋もれてきた遺構をして自ら語らせる」という発想､及び「つくりすぎない史跡環境整備により、歴史を訪れる人々それぞれにくみ取らせる」との理念に基づき、史跡整備が進められてきた。これにより、本遺跡では、礎石、石組溝、石垣、庭石等の石製遺構について、露出展示を基本とする整備手法が広く採用されてきた。そのような中、既整備地においては、遺構の経年劣化や近年頻発する集中豪雨等の影響により、補修や保存対策を必要とする箇所が認められるようになり、既整備地に対する劣化対応の必要性が顕在化してきた。こうした状況を受け、『特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡保存管理計画』（福井市教育委員会・平成 23 年（2011））が改定され、これに続いて平成 23 年度には『特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡発掘・整備基本計画』の改定が行われた。これらの計画では、今後の環境整備事業の一環として遺構の劣化対応事業を実施することが明記され、平成 24 年度から事業に着手した。さらに令和３年度には、既整備地の保存と適切な活用に資する再整備等の方針及び方策を定めた『特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡再整備等計画』（以下、「再整備等計画」という。）を策定した。同計画では、露出展示遺構の経年劣化への重点的な対応や、頻発する集中豪雨等の気象災害への対処を方針の一つとし、その具体的方策として、奈良文化財研究所との連携研究を位置付けた。また、令和５年に改定された『一乗谷朝倉氏遺跡保存活用計画』（福井市･令和５年（2024））では、劣化が進行している山石を用いた庭石等の露出展示遺構に対して、奈良文化財研究所との連携研究による調査成果を活用し、同遺構の経年劣化に重点的に対応すること、また、集排水系統を整備することが保存の方針として明確に位置付けられた。

１．２．１．２　遺跡の整備手法

『朝倉氏史跡公園基本構想』に定められた理念に基づき、本遺跡では、露出展示、平面表示、立体表示、建物復元、修景整備等、遺構の性質に応じた多様な整備手法が採用してきた（写真３）。なかでも、出土した遺構そのものを展示する露出展示は、地下に埋もれていた遺構を地表に表出させる展示手法であり、地上に現存する史跡等の本質的価値を構成する諸要素と相まって、遺跡の真実性（オーセンティシティ）を来訪者に対して直接的に伝える点で、最も効果の高い展示手法とされる（史跡等整備の在り方に関する調査研究会・文化庁文化財部記念物課 2004)。本遺跡では、検出状況が良好な遺構の展示手法として露出展示を多く採用しており、本遺跡の来訪者は庭園、礎石等、戦国期のオリジナルの遺構を間近に観察することができる。また、発掘調査により検出した屋敷地を区画する溝、石垣等の遺構については、必要最小限の補修を施した上で露出展示する手法も採用している（吉岡 2004、写真３:右上)。具体的な事例では、道路跡を可逆性を考慮したアスファルト系材料によって規模を平面的に表示し、区画する溝石等は遺構そのものを露出展示するものがある。また、当初整備から半世紀以上が経過した現在、本遺跡では令和３年度策定の『再整備等計画』に基づき、既整備地の再整備を進めている。令和４～６年度にかけては朝倉館跡において、戦国期の動線及び建物配置を活かしつつ、露出展示遺構の確実な保存を図るため、全国的にも先例のないガラス製床を用いた「回遊・鑑賞施設」の整備を行った（藤田 2025、写真３：右下)。



写真３　本遺跡で見られる遺跡の整備手法（左上：湯殿跡庭園（特別名勝の露出展示）、右上：道路跡と町屋跡の平面表示、左下：復原町並の建物復元、右下：朝倉館跡の露出展示遺構を保存・活用する回遊・鑑賞施設）

１．２．２ 目的

先述のとおり、本遺跡では遺構の展示手法として露出展示を数多く採用しており、戦国期のオリジナルの遺構を間近に観察できる点は、本遺跡の大きな魅力の一つである。しかし、当初整備から半世紀以上が経過した現在、露出展示遺構は風雨や日射に長期間さらされるとともに、獣害等の影響も受け、一部の遺構では物理的・化学的・生物的劣化が進行している。とりわけ、乾湿の繰り返しによる剥離、塩類析出による粉状化・汚損、凍結・融解の繰り返しによる崩壊、及び生物着生による汚損等の劣化現象が認められ（写真４）、これらは本遺跡に限らず全国の露出展示遺構に共通する課題といえる。

こうした全国的な課題に対応するため、福井県は全国の遺跡の整備、保存技術についての研究実績を有する奈良文化財研究所と令和元年度に連携研究協定を締結し、遺跡の保存技術の確立に向けた連携研究事業を開始した（写真５～６）。連携協定の期間は令和元～７年度までの７か年とし、令和元年度及び令和２年度を事前調査期間、本格的な調査研究は令和３～７年度までの５か年にわたって実施した。



写真４　露出展示遺構の劣化（左上：乾湿の繰り返しによる表層剥離、右上：塩類の析出、左下：凍結・融解による割れの発生、右下：苔類による汚損）



写真５　連携研究協定締結式



写真６　連携研究室整備完了報告会

１．３　連携研究事業について

１．３．１　対象地域と対象地

本遺跡の範囲図を図３に示す。一乗谷朝倉氏遺跡に係る周知の埋蔵文化財包蔵地（図３の橙色線で示した区域）は、戦国大名朝倉氏による越前国支配の本拠を示す地域である。同地域は越前国のほぼ中央に位置し、戦国期の街道、山城や櫓等の防御施設、重臣の館、朝倉氏一族が外護した寺院等の遺構が広範囲に確認されており、これらを含む一帯は朝倉氏の領国支配の中枢域として位置付

けられている。本遺跡の特別史跡の範囲（図３の赤色線で示した区域）は、谷の南北に城戸及び濠を構え、その内部に朝倉氏一族の館や家臣の屋敷、寺院、町屋、山城等が計画的に配置された当城下町の中核部である。

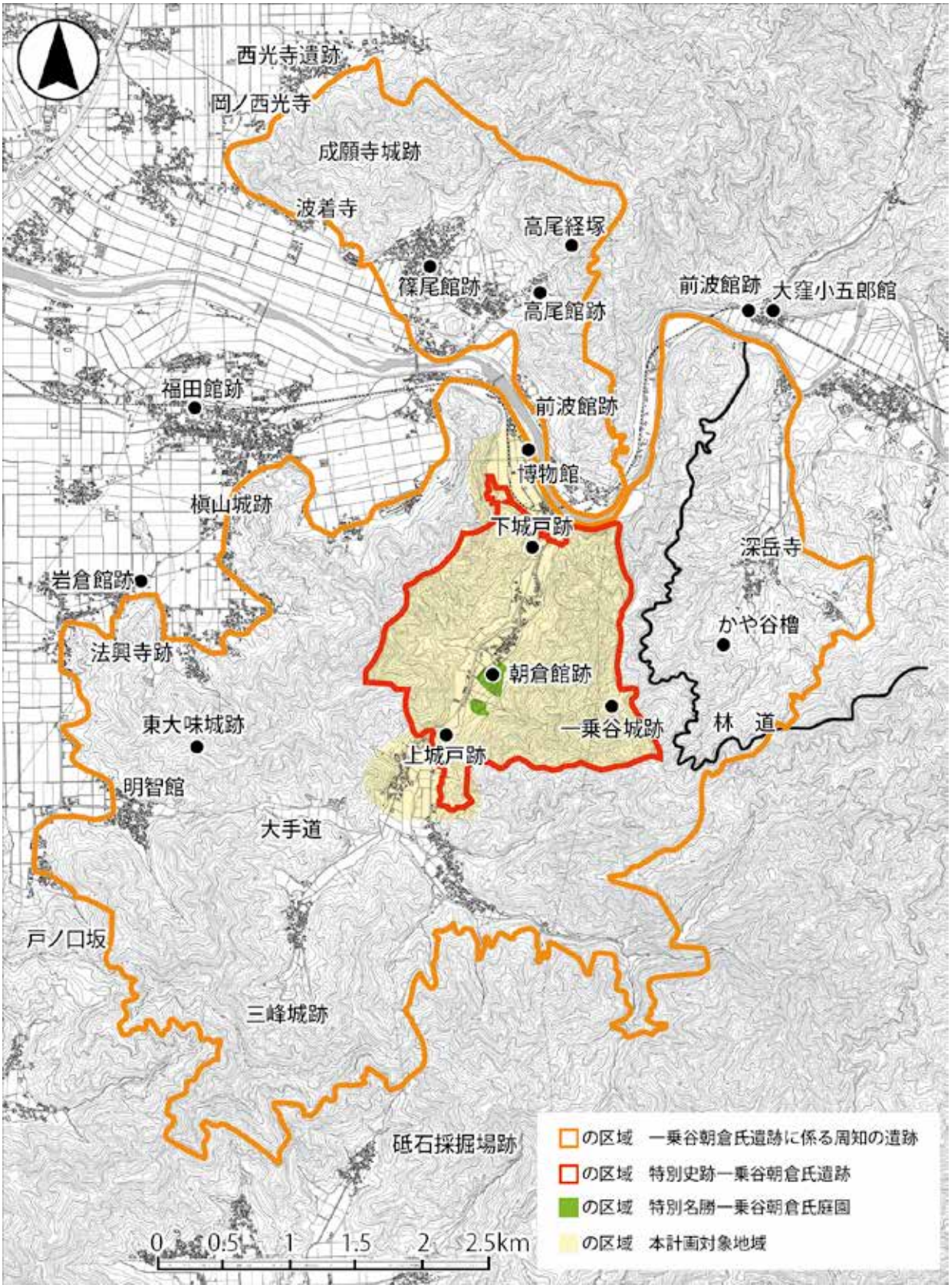


図３　本遺跡の範囲図（『特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡再整備等計画』より引用）

本連携研究の対象域は、本遺跡の特別史跡の範囲に令和４年（2022）に開館した当館が所在する区域等を加えた範囲とした(図３の黄色で網掛けした範囲)。露出展示遺構の保存に関する調査は、環境条件の異なる屋内と屋外の遺構を対象とした。屋内の遺構は当館内の遺構展示室、屋外の遺構は本遺跡内の諏訪館跡庭園を調査地として設定した。また、遺跡の排水環境調査は本遺跡の特別史跡の範囲を対象とし、設計は西山光照寺跡及び復原町並を代表地点として実施した（図４）。

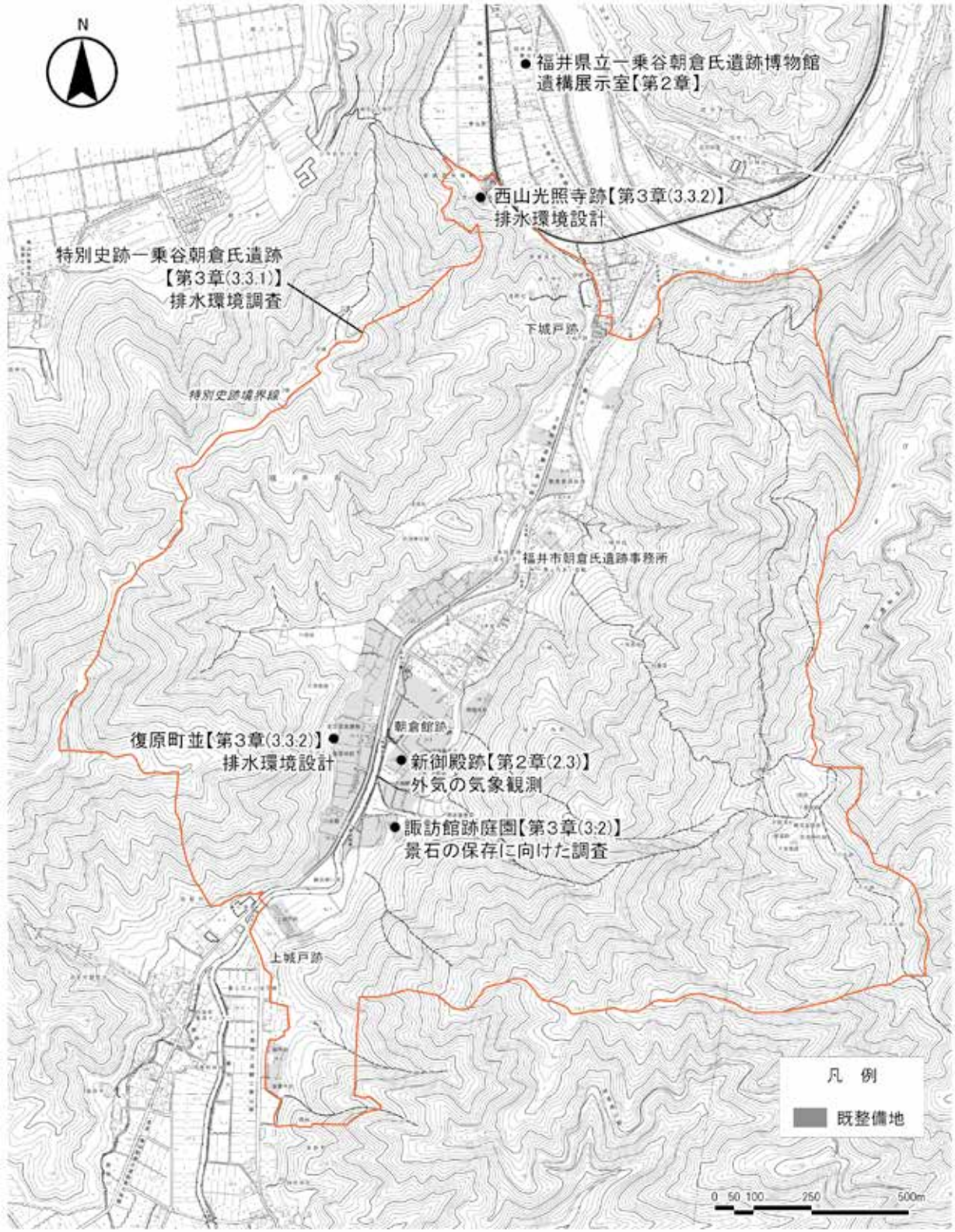


図４　調査位置図

１．３．２．研究及び運営体制

１．３．２．１　研究体制

本連携研究事業は、遺跡の保存技術の確立を研究テーマに、奈良文化財研究所埋蔵文化財センター保存修復科学研究室と当館が連携して実施した（図５）。本連携研究に携わった奈良文化財研究所及び当館の職員は表１のとおりである。

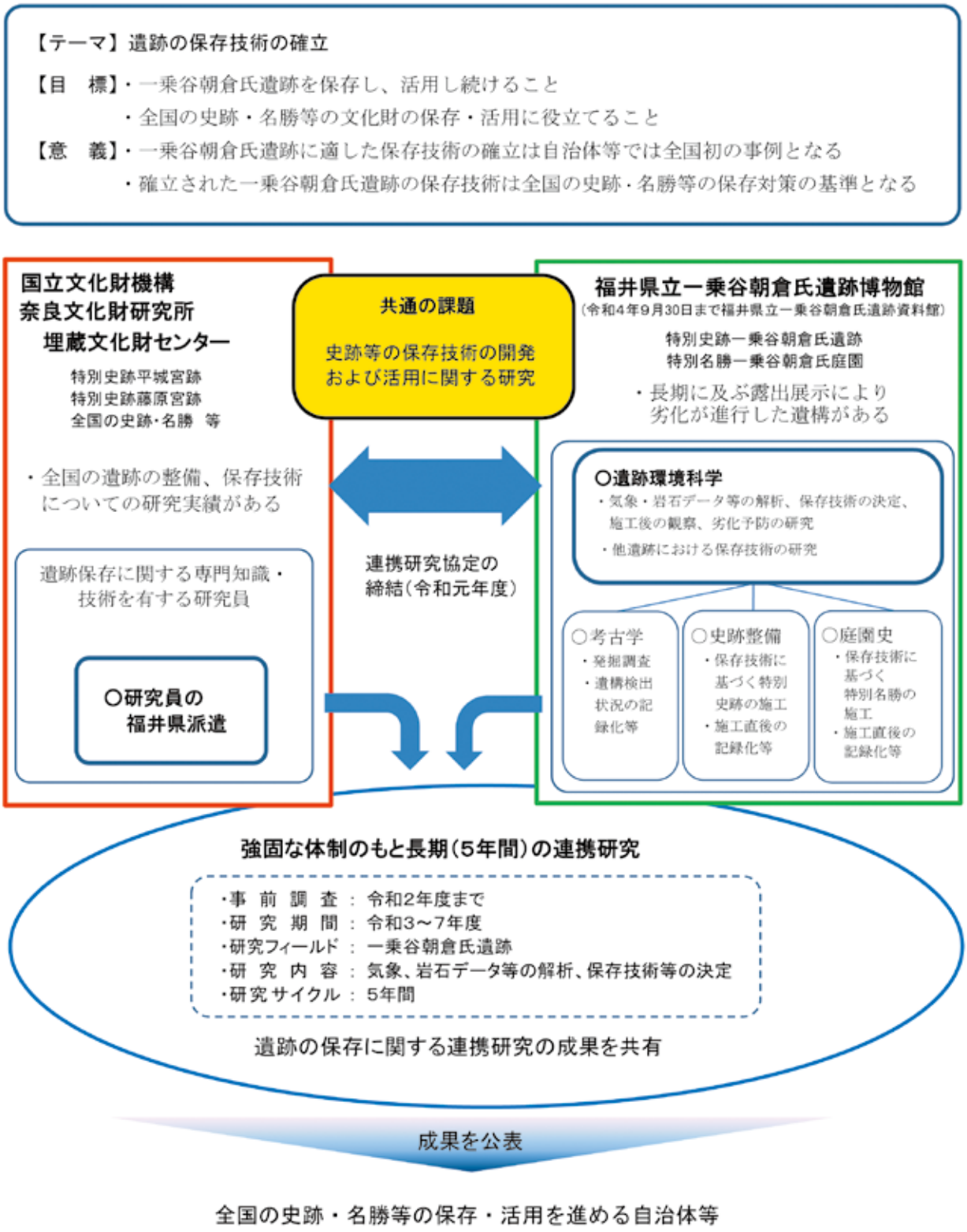


図５　奈良文化財研究所と当館の研究体制（令和元年 12 月 24 日 連携研究協定締結式 配付資料を一部改変）

表１　連携研究担当者及び担当期間（所属・役職は令和７年度末時点）

氏　名	所属・役職	専門分野	担当期間
高妻　洋成	独立行政法人国立文化財機構　文化財防災センター　センター長（兼）奈良文化財研究所　参与	保存科学・文化財防災	令和元年度～令和７年度
脇谷　草一郎	独立行政法人国立文化財機構　奈良文化財研究所埋蔵文化財センター　保存修復科学研究室　室長	保存科学	令和元年度～令和７年度
田村　朋美	独立行政法人国立文化財機構　奈良文化財研究所都城発掘調査部　主任研究員（兼）埋蔵文化財センター　保存修復科学研究室	保存科学	令和元年度～令和７年度
柳田　明進	独立行政法人国立文化財機構　奈良文化財研究所埋蔵文化財センター　主任研究員	保存科学	令和元年度～令和７年度
松田　和貴	独立行政法人国立文化財機構　奈良文化財研究所埋蔵文化財センター　主任研究員	保存科学	令和５年度～令和７年度
川越　光洋	福井県立歴史博物館　副館長（前福井県立一乗谷朝倉氏遺跡博物館　副館長（調査研究））	考古学	令和元年度～令和６年度
中原　義史	福井県立一乗谷朝倉氏遺跡博物館　副館長（調査研究）	考古学	令和７年度
藤田　若菜	福井県立一乗谷朝倉氏遺跡博物館　主査（文化財調査員）	庭園史	令和元年度～令和７年度
渡邊　英明	福井県立一乗谷朝倉氏遺跡博物館　主査（学芸員）	保存科学	令和元年度～令和７年度
藤井　佐由里	福井県立一乗谷朝倉氏遺跡博物館　学芸員	遺跡環境科学	令和３年度～令和７年度
大竹　桃子	福井県立一乗谷朝倉氏遺跡博物館　学芸員	史跡整備	令和元年度～令和２年度
下見　茜	福井県立一乗谷朝倉氏遺跡博物館　学芸員	造園学	令和６年度～令和７年度

１．３．２．２　経費

本連携研究事業及び調査に係る経費は、各機関がそれぞれ負担して実施した。当館における事業費の内訳は表２のとおりである。なお、令和２～６年度までの当館の事業費は、文部科学省所管のデジタル田園都市構想交付金（地方創生推進タイプ）の補助を受けて実施した。

表２　当館の事業費

年　度	執行額	備考（補助金の有無等）
令和元年度	０千円	―
令和２年度	１３，８３３千円	交付金 50%・一般財源 50%
令和３年度	２１，１２２千円	交付金 50%・一般財源 50%
令和４年度	２２，８２４千円	交付金 50%・一般財源 50%
令和５年度	２４，０５９千円	交付金 50%・一般財源 50%
令和６年度	２２，１７６千円	交付金 50%・一般財源 50%
令和７年度	１９，３５２千円	一般財源 100%

１．３．３　研究の経過及び成果の公開

本連携研究事業に係る調査及び協議は奈良文化財研究所と当館の共同で実施した（写真７）。その他、遺構保存及び博物館内の保存環境を専門とする外部有識者の指導を適宜得ながら、保存対策手法の検討を行った。保存対策の検討にあたっては、本遺跡の保存・整備に関する有識者委員会である劣化対応ワーキンググループ（表３・写真８）で協議を行った。また、当館整備に伴う遺構の展示手法や遺跡の排水環境設計に関する協議は、本遺跡の諮問機関である研究協議会で審議を行った。本連携研究事業で実施した調査の経過及び成果の公開履歴は表４のとおりである。

表３　劣化対応ワーキンググループ委員（五十音順、所属・役職は令和８年３月末時点）

氏　名	所属・役職	専門分野
荒井　克彦	福井大学大学院工学研究科　名誉教授	土木工学
石﨑　武志	国立文化財機構東京文化財研究所　名誉研究員	保存科学
山本　博文	福井大学教育学部　特命教授	地質学
脇谷　草一郎	国立文化財機構奈良文化財研究所埋蔵文化財センター保存修復科学研究室　室長	保存科学

表４　調査の経過及び成果の公開履歴

年	月	内　容
令和元年	12 月	・連携研究協定締結、事前調査開始
令和２年	４月	・遺跡の排水環境調査開始
令和３年	３月	・事前調査終了
	４月	・本格調査開始
	８月	・第 14 回劣化対応ワーキンググループにて調査結果の報告・協議 ・石敷遺構の再発掘・保護措置・環境調査の開始（於 当館遺構展示室）

令和３年	９月	・遺構展示室の開館後の展示環境に関する共同調査・協議 ・第 68 回研究協議会にて遺構展示室の調査結果の報告・協議 ・日本文化財科学会第 38 回大会石造文化財ワーキンググループにて遺構展示室の調査結果の発表（於 岡山理科大学）
	11 月	・佐藤嘉則氏（国立文化財機構東京文化財研究所生物科学研究室　室長）による遺構展示室内の菌類調査に関する指導（於 当館遺構展示室）
令和４年	１月	・日本建築学会文化財ワーキンググループ（於 当館）にて遺構展示室の調査結果の報告 ・冬季における景石の劣化要因解明のための共同調査（於 当館・本遺跡）
	３月	・第 15 回劣化対応ワーキンググループにて調査結果の報告・協議 ・遺構展示室内で遺構土の埋め戻し試験を開始
	６月	・奈良文化財研究所、飛騨市教育委員会及び当館職員による景石の劣化対策に関する現地視察・協議（於 当館・本遺跡）
	７月	・佐藤嘉則氏（前掲のとおり）による遺構展示室内の菌類調査に関する指導（於 当館遺構展示室）
	９月	・日本文化財科学会第 39 回大会にて景石の劣化要因の検討、遺構展示室内の生物調査結果、当館内での遺構土の埋め戻し方法の調査結果（計３本）発表（於 千葉大学）
	10 月	・福井県立一乗谷朝倉氏遺跡博物館開館
	12 月	・第 16 回劣化対応ワーキンググループにて調査結果の報告・協議 ・庭石の凍結破砕抑制に向けた冬季養生調査の開始（於 諏訪館跡庭園）
令和５年	１月	・遺構展示室で発生した白色物質の X 線回折分析及び埋め戻し土の土質試験（於 奈良文化財研究所）
	３月	・連携研究室整備完了報告会（於 当館） ・奈良文化財研究所、飛騨市教育委員会、宇野朋子氏（武庫川女子大学建築学部建築学科　准教授）、当館職員による景石の凍結破砕に関する現地視察・協議（於 当館・本遺跡）
	６月	・遺構展示室の埋め戻し土及び遺構土の土質試験（於 奈良文化財研究所）
	７月	・遺跡の排水環境設計開始 ・第 17 回劣化対応ワーキンググループにて調査結果の報告・協議 ・奈良文化財研究所、小椋大輔氏（京都大学大学院工学研究科　教授）、高取伸光氏（京都大学大学院工学研究科　助教）による遺構の保存対策に関する現地視察・協議

令和５年	９月	・石造文化財の塩害に関する国際会議（First International Conference in Asia on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures, 於 奈良文化財研究所）にて当館内での遺構土の埋め戻し方法に関する発表
	11 月	・第 52 回大規模遺跡調査連絡協議会（於 福井市）にて当館内での遺構土の埋め戻し方法に関する発表 ・飛騨市教育委員会と共同で庭石の冬季養生調査を開始（於 江馬氏館跡庭園（飛騨市）、諏訪館跡庭園（本遺跡））
令和６年	３月	・第 18 回劣化対応ワーキンググループにて調査結果の報告・協議 ・連携研究に関する調査結果の報告・協議、現地視察（於 当館・本遺跡）
	７月	・日本文化財科学会第 41 回大会にて庭石の冬季養生調査の結果を発表（於 青山学院大学）
	９月	・第 19 回劣化対応ワーキンググループにて調査結果の報告・協議
	12 月	・景観に配慮した庭石の冬季養生調査の開始（於 諏訪館跡庭園）
令和７年	３月	・第 20 回劣化対応ワーキンググループにて調査結果の報告・協議
	７月	・第 21 回劣化対応ワーキンググループにて調査結果の報告・協議
	８月	・第 75 回研究協議会にて遺跡の排水環境設計（実施設計）に関する協議
	９月	・第 15 回石造文化財の保存に関する国際会議（15th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone, 於 パリ）にて庭石の冬季養生調査の結果を発表
	10 月	・第 6 回新知創造学際ハブ研究会（於 福井県立大学）にて連携研究事業の調査成果を発表
令和８年	１月	・第 76 回研究協議会にて遺跡の排水環境設計に関する協議
	２月	・第 22 回劣化対応ワーキンググループにて調査結果の報告・協議



写真７　冬季早朝の諏訪館跡庭園での共同調査



写真８　劣化対応ワーキンググループ

［第 1 章参考文献］

史跡等整備の在り方に関する調査研究会・文化庁文化財部記念物課 2004「第 5 章　遺跡の表現に関わる技術」『史跡整備のてびき―保存と活用のために―【技術編】』pp.223–226pp.236–254

福井市 2025『特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡保存活用計画』

福井県立一乗谷朝倉氏遺跡資料館 2018『特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡劣化対応事業報告Ⅰ　朝倉館跡・西山光照寺跡（名号石碑）』

福井県立一乗谷朝倉氏遺跡博物館 2021『特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡再整備等計画』

福井県立一乗谷朝倉氏遺跡博物館・株式会社サンワコン 2023『令和 4 年度一乗谷朝倉氏遺跡岩石鑑定業務委託報告書（諏訪館跡庭園）』

藤田若菜 2025「一乗谷朝倉氏遺跡における再整備事業―露出展示を中心に―」『史跡整備の現状と課題 3 ―中世遺跡を中心に―　第 49 回全国遺跡環境整備会議資料集』、福井県立一乗谷朝倉氏遺跡博物館 pp.9–14

吉岡泰英 2004「一乗谷朝倉氏遺跡／一乗谷朝倉氏遺跡庭園」『史跡整備のてびき―保存と活用のために―【事例編】』文化庁文化財部記念物課 pp.28–33

第２章 屋内での最適な遺構の展示手法

２．１　目的

当館の遺構展示室では、大型の石敷遺構を露出展示している。屋内での露出展示遺構では、しばしば塩類析出による粉状化や、乾湿の繰り返しによる割れ、藓苔類等の生物による汚損が起こることが知られ、さらにはカビの発生によって来館者の健康被害が生じる可能性もある。加えて、当館の遺構展示室は常に外気が流入する構造となり、温湿度等の室内環境の制御が難しいことから、開館以前より遺構の劣化が懸念されていた。

本章では、当館内で遺構の保存と展示の両立を図るために実施した調査成果について述べる。具体的には、まず開館以前に行った環境調査の結果を踏まえ、遺構の展示手法を決定した。次いで、開館後に発生した物理的・生物的劣化に対し、その要因を明らかにする調査を行い、その結果に基づき遺構土の埋め戻し方法及び維持管理手法の検討を進めた。

２．２　石敷遺構と遺構展示室の概要

平成 29 年（2017）から実施した博物館建設に伴う発掘調査において、幅 5.6 m、長さ 38 mを測る大型の石敷遺構が検出された（写真 9）。石敷遺構は旧河道の流路を横断するように直線的に構築されている。その機能は、川湊に付属する船着場・荷揚場、または博物館西側で検出された経堂と想定される施設へ通ずる参道の可能性が想定される（福井県立一乗谷朝倉氏遺跡博物館 2023）。平成 29 年の発掘調査後、研究協議会や各分野の有識者との検討会等を経て、石敷遺構は戦国期に構築された重要施設であるとの認識で一致し、現状保存の方針のもと博物館内の遺構展示室で展示を行うこととなった（写真 10）。

石敷遺構は、盛土の上に大小の川原石が大量に敷きつめられた構造で、その周辺には粘質な土から成る川跡が広がる。平成 29 年の発掘調査ののち、平成 30 年（2018）には博物館建設のため石敷遺構周辺を埋め戻し、建築の躯体完成後の令和 3 年（2021）8 月から室内で再発掘を実施した（田中・藤井 2024）。遺構の展示範囲は土層観察用の畦を含め 860㎡（幅約 20 m、奥行き約 43 m）とした。便宜上、本文中では遺構の最上面を指す場合を「遺構面」、遺構面を含む土層を指す場合を「遺構土」とする。また、再発掘時には、土質部分の川跡では土を掘り残し、厚さ 20cm 前後の保護層を設けた。

遺構展示室は、博物館 1 階の遺跡ガイダンスから風除室（写真 11）を介して展示室内へ入る構造となっている。展示の中心となる石敷遺構の直上には、調光式の LED スポットライト（最大照度 200lx）を 16 灯設置し、開館時間中（午前 9 時～午後 5 時）に石敷遺構を照らす。展示室内は遺構を取り囲む見学者用通路に沿って周遊できる仕様で、見学者は通路から遺構を間近に観察することができる。また、展示室の四隅の壁面には換気ガラリを付設しており、ガラリは常時開放している（写真 12）。この換気ガラリの開口率は、建築基準法で定める「床面積に対する避難上及び消火活動上有効な開口部の割合」を基準に設計されたもので、スプリンクラー等の消火設備を整備しない限りは排煙設備のため常時開放しておくことが義務付けられている。



写真９　発掘直後の石敷遺構（西から）



写真 10　当館建設後の石敷遺構（西から）



写真 11　遺構展示室の風除室



写真 12　見学通路と壁面の換気ガラリ

２．３　遺構展示室内の環境条件の調査

２．３．１　調査目的

遺構は地盤と切り離せない不動産であることから、雨水や地下水等との縁を断ち切ることができず、水分の供給と熱の移動による影響を受けやすい環境下に置かれる。熱と水分の移動は、乾湿の繰り返しによる遺構の割れや、塩類析出による遺構の破壊･汚損を引き起こす要因となり、加えて、そこに栄養分や光の供給がある場合には、地衣類、蘚苔類及びカビ等の発生にもつながる。このように遺構の劣化は遺構周辺の環境条件と密接に関係している。

本調査では、当館内での石敷遺構の最適な展示手法を決定することを目的とする。具体的には、令和４年（2022）10 月の当館の開館以前から、遺構の水分状態及び遺構周辺の室熱環境の調査を実施し、遺構の展示手法を検討した。

２．３．２　調査方法

遺構の劣化要因となる熱と水分に関する調査項目を設定した。それぞれの調査箇所を図６、図７に示す。調査項目は以下のとおりである。

遺構展示室内の室熱環境を把握するため、温湿度センサー（T&D 社製、RTR-507SL）による測定を行った。センサーは展示室内の上下部と、保護層面直上の計３ヵ所に設置した。また、遺構展示室内の表面温度の分布を把握するため、サーモグラフィ（Fluke 社製、Ti480pro）による熱画像

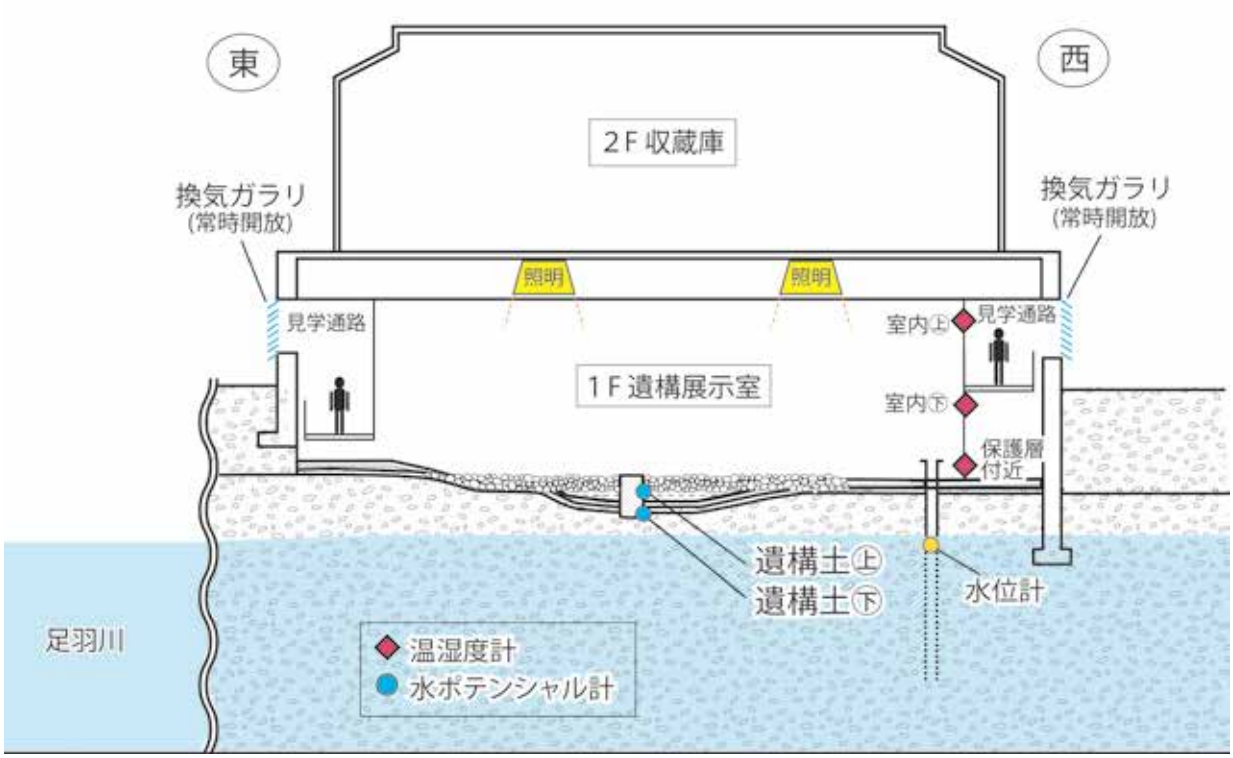


図６　調査箇所と遺構展示室内の設備（展示室断面）

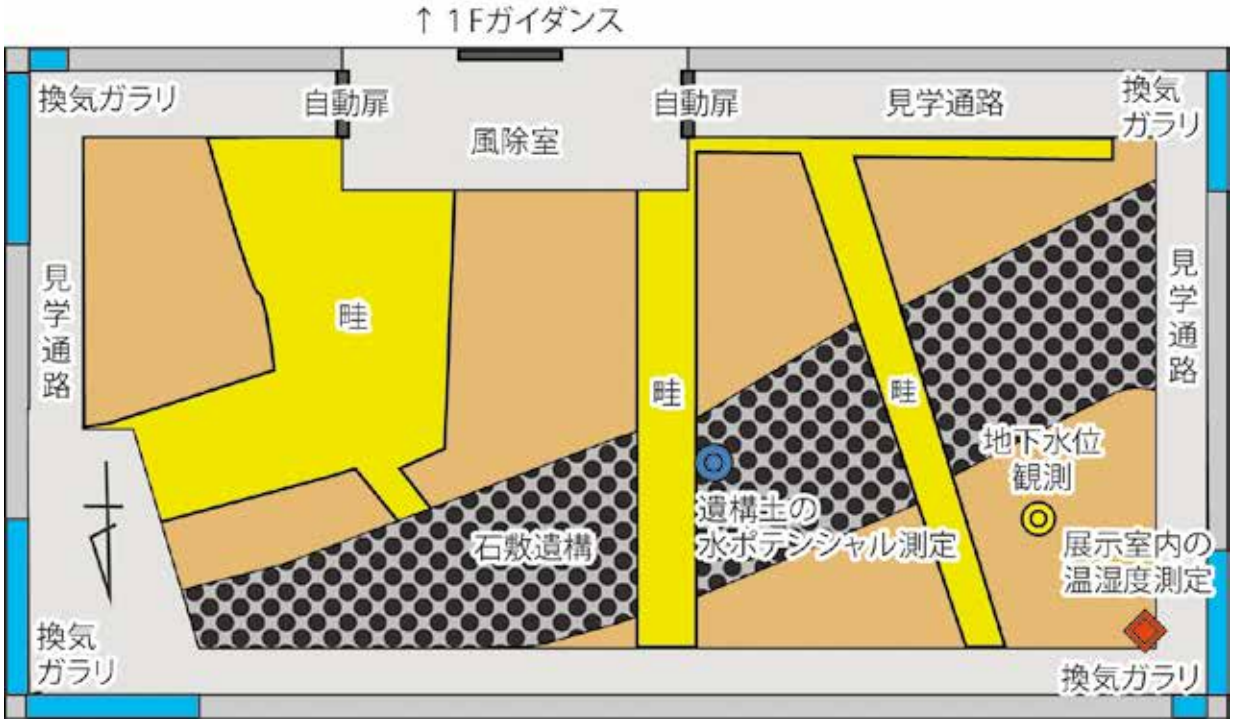


図７　調査箇所と遺構展示室内の設備（展示室平面）

撮影を行った。なお、外気の温湿度及び降水量のデータは、当館から南へ約２km 離れた新御殿跡で観測している気象データを使用した。

また、遺構展示室直下の地下水の変動と遺構の水分状態の関係を把握するため、水位計（応用地質株式会社製、S&DL mini）を用いて地下水位の観測を行った。加えて、遺構の含水状態を把握するため、水分化学ポテンシャルセンサー（Decagon 社製、MPS-6）による測定を行った。ポテンシャルセンサーは、石敷天端から約 50cm 下と約 90cm 下の２か所の地点に設置した。

塩類析出による遺構の劣化リスクを把握するため、地下水及び河川水の水質分析を行った。地下水は遺構展示室内の観測孔から採取し（2021 年 10 月 6 日採取）、同日に当館の北東側を流れる足羽川から河川水を採取した。採取した水は奈良文化財研究所内にあるイオンクロマトグラフィ（DIONEX 社製、ICS-1000）を用いて水質分析を実施した。採取した水試料は、分析前にろ紙（ADVANTEC 5B、保持粒子径４μm）によるろ過を行い、さらにメンブレンフィルター（Millipore 社製、0.22μm）による精密ろ過を行った。その後、ろ液に対してイオンクロマトグラフィを用いて陽イオンと陰イオンの定量分析を行った。測定は、地下水と足羽川のそれぞれに対し３回ずつ行った。

２．３．３　結果と考察

２．３．３．１　遺構展示室内の室熱環境

遺構展示室内の温度測定の結果（図８）から、室内上下部の温度は通年で外気と同様の変動を示した。しかし、夏季（８～９月）にかけては室内上部の温度が下部より高くなる傾向が認められた。これは、遺構地盤の熱容量が大きいため室内の温度上昇は緩慢となり、ガラリから流入した温かい外気は室内上部に滞留し、結果として室内空気が成層化したと考えられる。また、夏季の絶対湿度

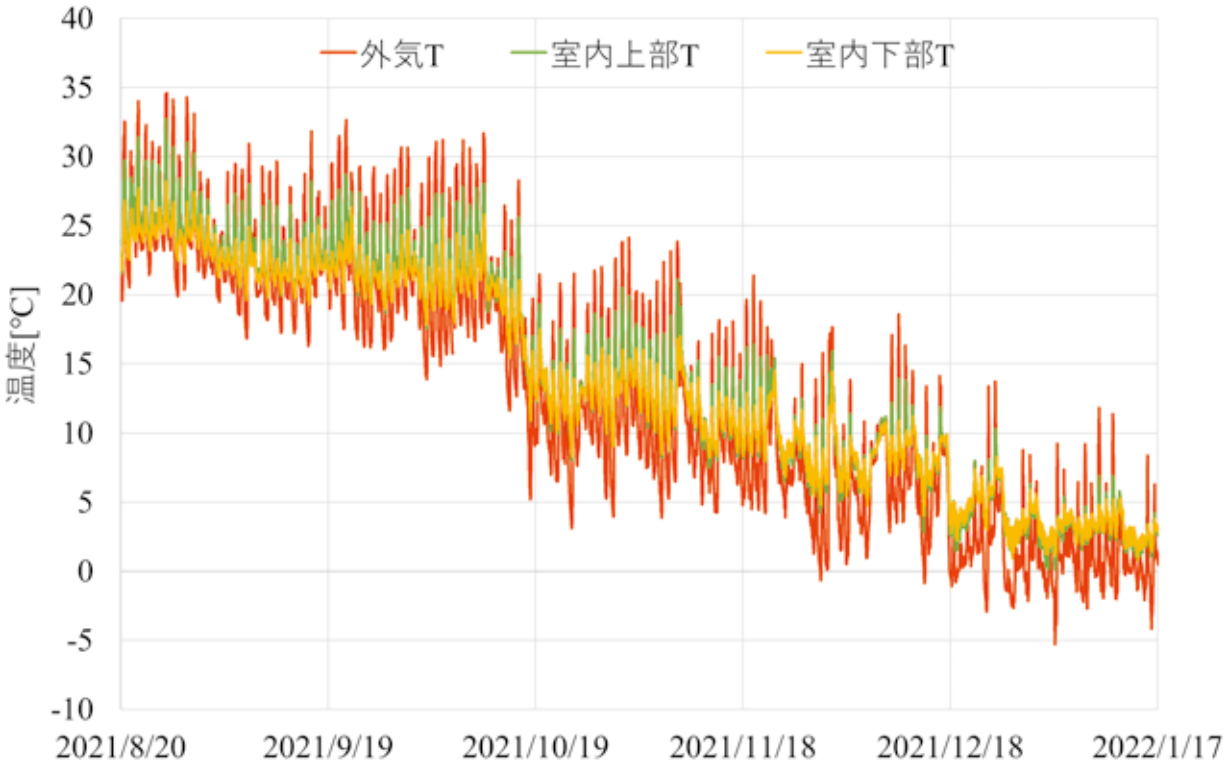


図８　外気と展示室内の温度

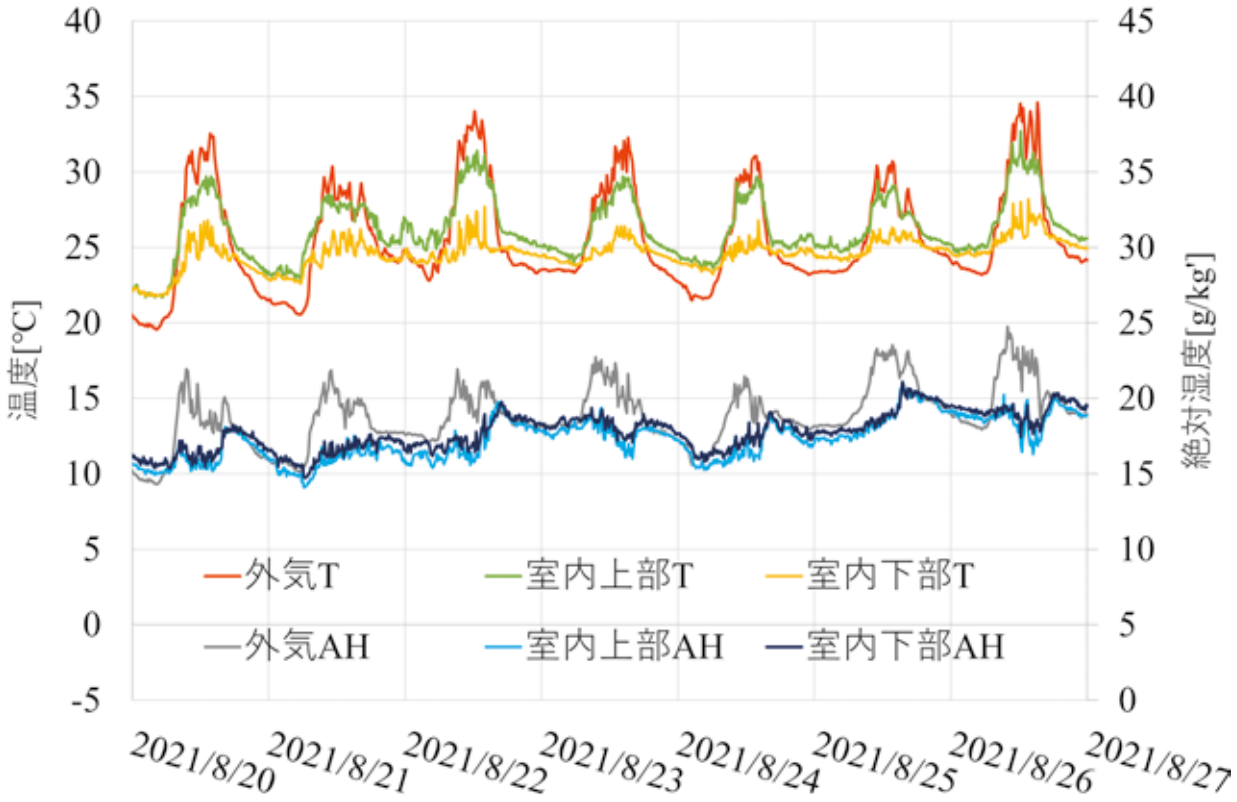


図９-１　展示室内の温度と絶対湿度（夏季）

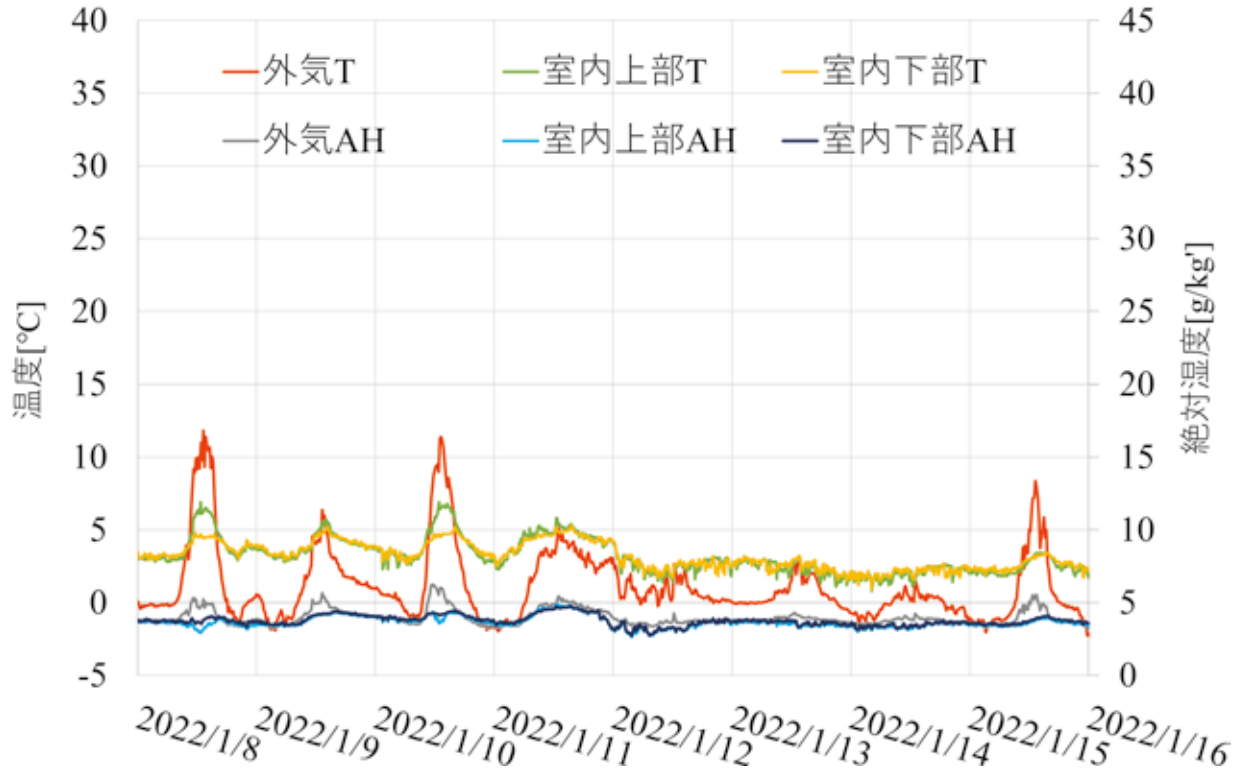


図９-２　展示室内の温度と絶対湿度（冬季）

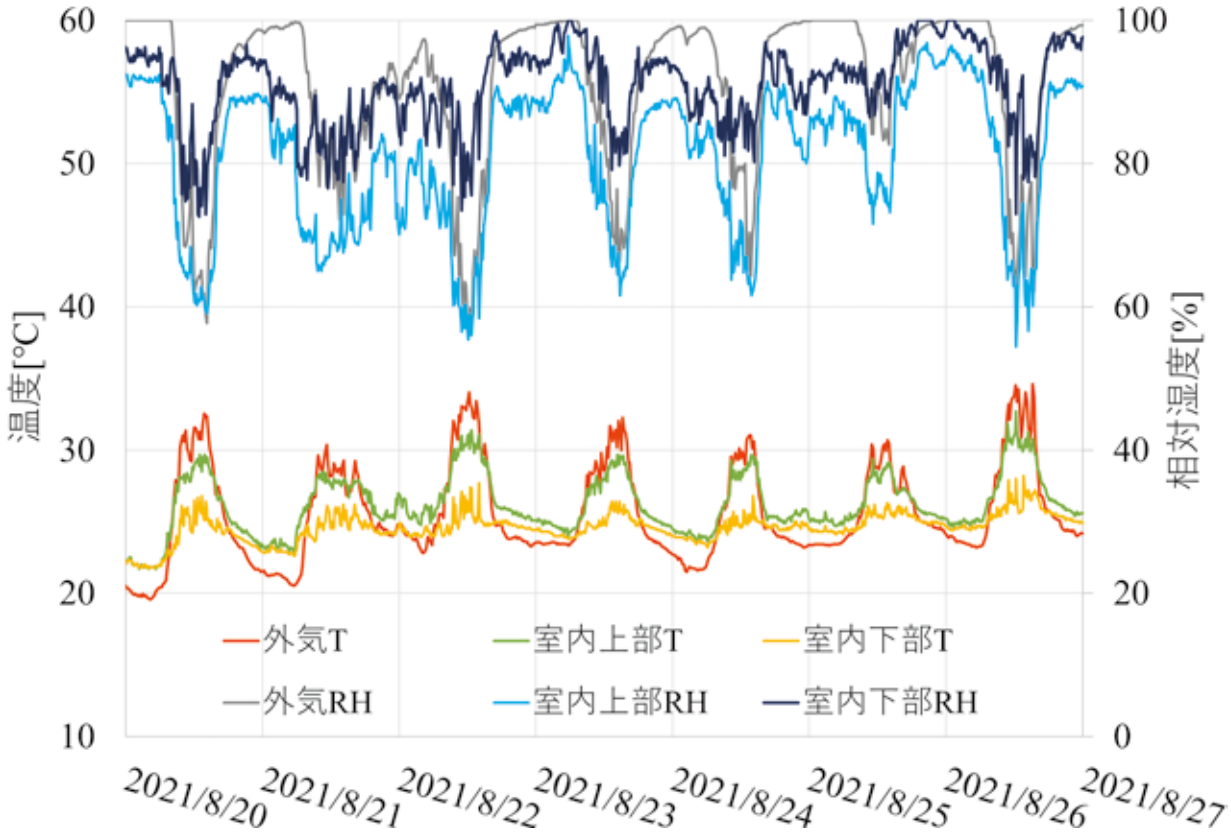


図 10-1　展示室内の温度と相対湿度（夏季）

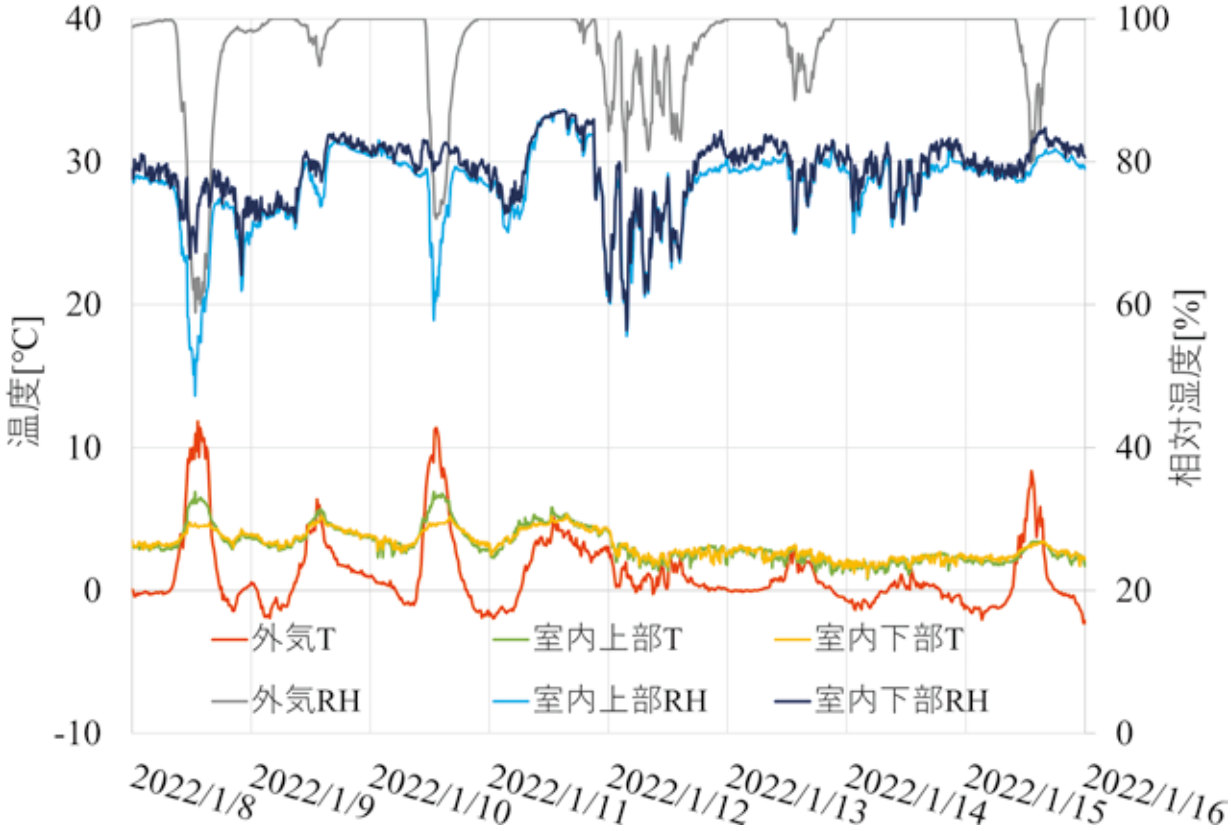


図 10-2　展示室内の温度と相対湿度（冬季）

の測定結果（図 9-1）では、明け方から夜間にかけて、室内の絶対湿度が外気と同等または上回る傾向が確認された。このことから、遺構土からは常時水分蒸発が生じており、遺構面付近は高湿度環境にあると推定される。一方、日中には外気の絶対湿度が上昇するにもかかわらず、室内の絶対湿度が上昇しない日が複数確認された。このことは、夏季の日中において室内下部には外気の影響が及びにくいことを示している。

加えて、2021 年の夏季には、室内下部のコンクリート壁面で結露が確認された。結露の発生箇所は、コンクリート壁面下部や石敷の表面等であり表面温度が特に低い部分と一致する（図 11）。これは遺構土を介した水分蒸発量が多いことにより、壁面等の低温部で結露が発生したものと考えられる。さらに、夏季の夜間から明け方にかけては、室内下部で相対湿度が 100％に達する日が確認された（図 10-1）。このことから、外気温の低下に伴い、遺構地盤や壁面の温度も低下する夜間～明け方にかけて、結露が発生している可能性が高いと推察される。

図 8 より、外気温が低下する 11 月中旬を境に、室内の上下間にみられた温度差は小さくなった。冬季の夜間には、室内よりも外気温が低くなる時間帯が多く、低温の空気は高温の空気よりも密度が大きいため外気がガラリから流入することで、室内空気の鉛直混合が促進されたと考えられる。

同様に、乾燥した外気の流入により室内の絶対湿度も低下し、外気との湿度差が小さくなった（図 9-2）。室内下部では夏季に相対湿度が 100％を超える日が確認された一方で、冬季には相対湿度が 70 ～ 90％の範囲で推移したことから（図 10-2）、外気の流入により遺構周辺の相対湿度も低下したと考えられる。

以上の点から、冬季においては遺構面付近を含む室内全体が低温かつ乾燥傾向になると判断される。

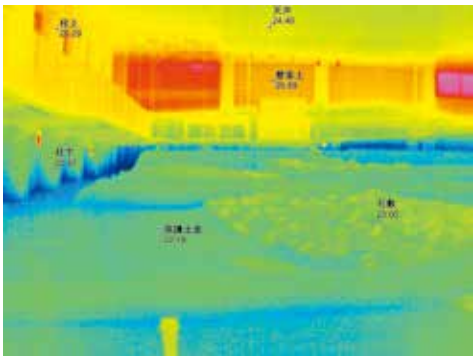


図 11　遺構展示室の熱画像（西から）

２．３．３．２　遺構の水分状態と水分供給源

遺構は地盤と接続していることから遺構への水分供給源の 1 つに地下水が想定される。地下水の変動には周辺を流れる川や降雨が関係しており、図 12 は雨量、展示室直下の地下水位、及び足羽川の水位の観測結果である。なお、足羽川の水位は当館の北東約 1 ㎞下流に位置する足羽川頭首工で観測されているデータを使用している。また、足羽川の水位は、頭首工により耕作期は水位標高が 25.7m、非耕作期は 25.4m、台風等大雨の時は 23.0m になるよう水位が調節されている。

図 12 より、地下水位は足羽川の水位より常に高い位置にあり、年間を通して概ね 25.5 ｍから 26.0m の間で推移していることが分かる。遺構面の最低標高は 26.45 ｍであることから、遺構展示室直下の地下水面は遺構面から約 50cm 下に位置し、遺構面と地下水面が近いことが分かる。また、降雨が連続する期間には、降雨と連動して地下水位が上昇し、降雨の少ない期間（例：2021 年 9 月～ 10 月）には、地下水位が足羽川の水位まで低下した。このことから、降雨が連続する際には地下水位が足羽川の水位以上に上昇し、遺構展示室内へ河川水が逆流することが懸念された。しかし、台風のような大雨時には頭首工で一時的に堰の開放が行われ、これに伴い足羽川の水位と地下水位も急激に低下を示した（例：2021 年 7 月上旬）。したがって、頭首工による水位調節が行われる限り、台風等により足羽川の水位が急激に上昇した場合においても、足羽川の河川水が遺構面へ逆流する恐れは低いと考えられる。

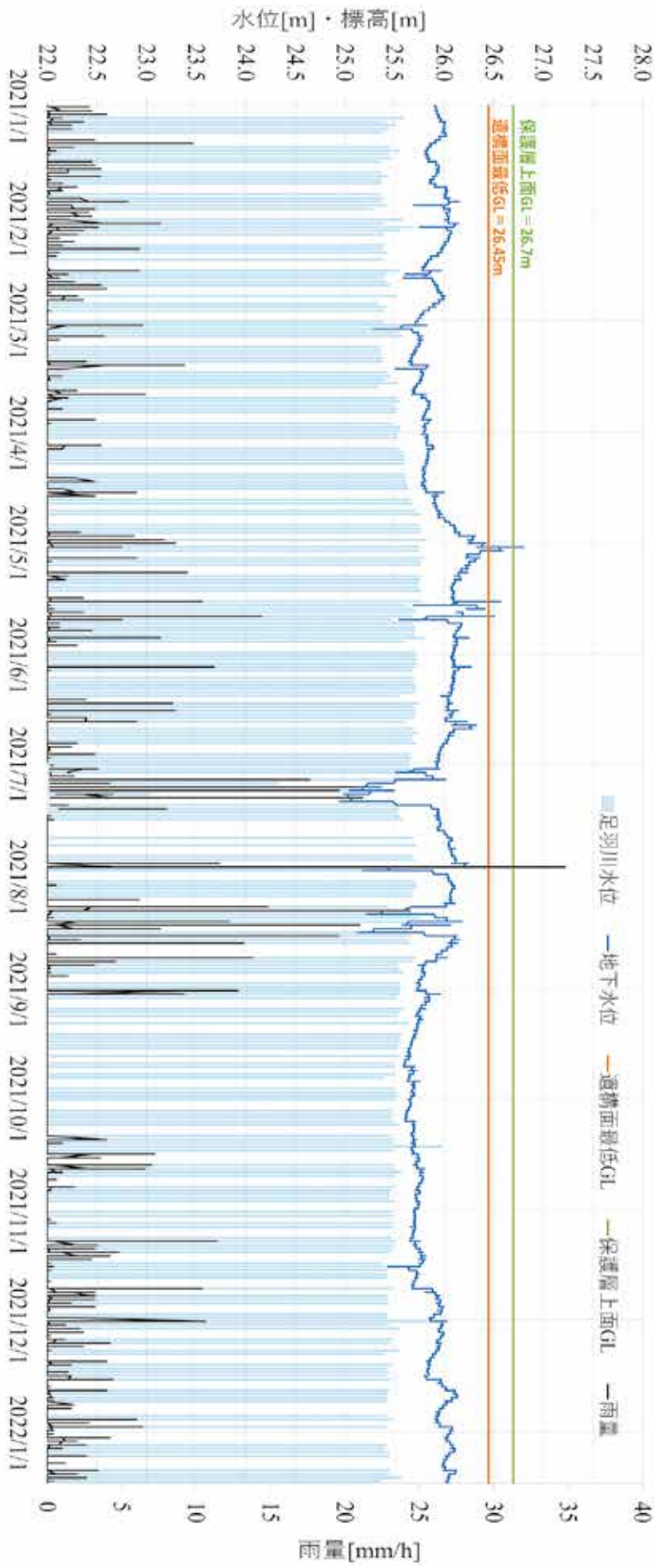


図１２　雨量と遺構展示室直下の地下水位及び足羽川の水位

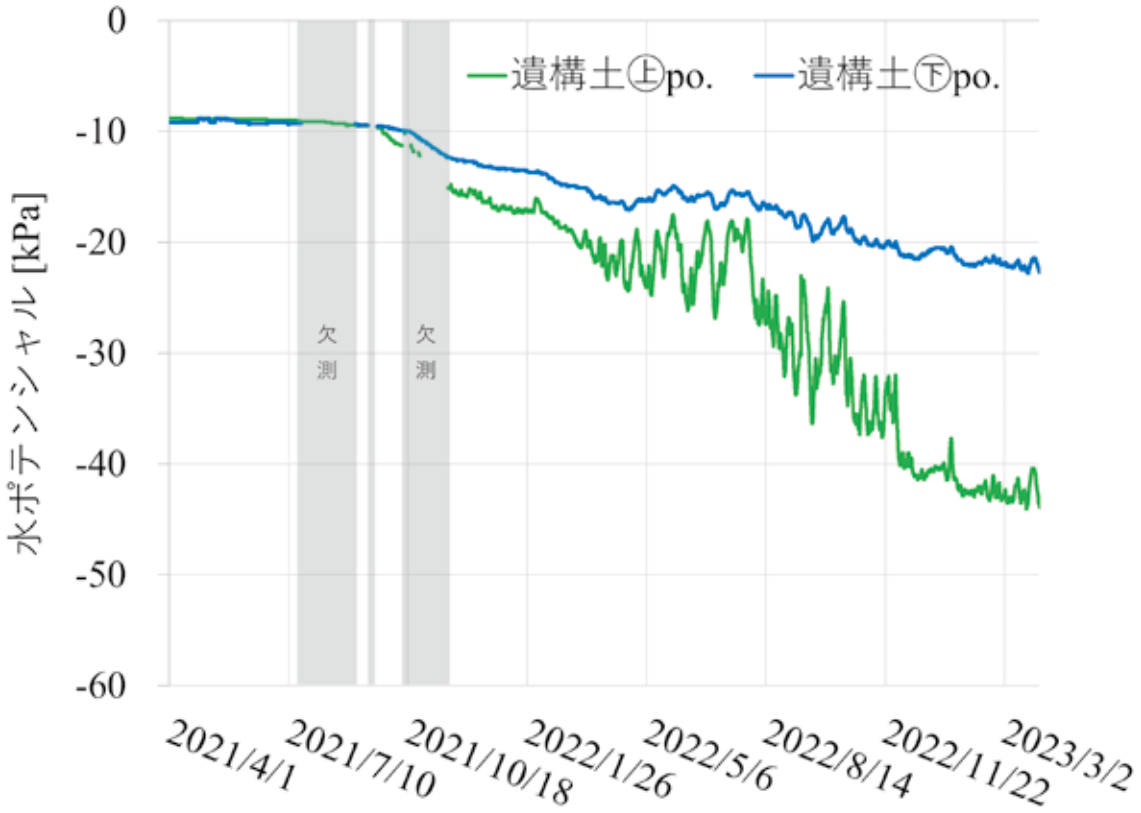


図 13　遺構土の水ポテンシャル

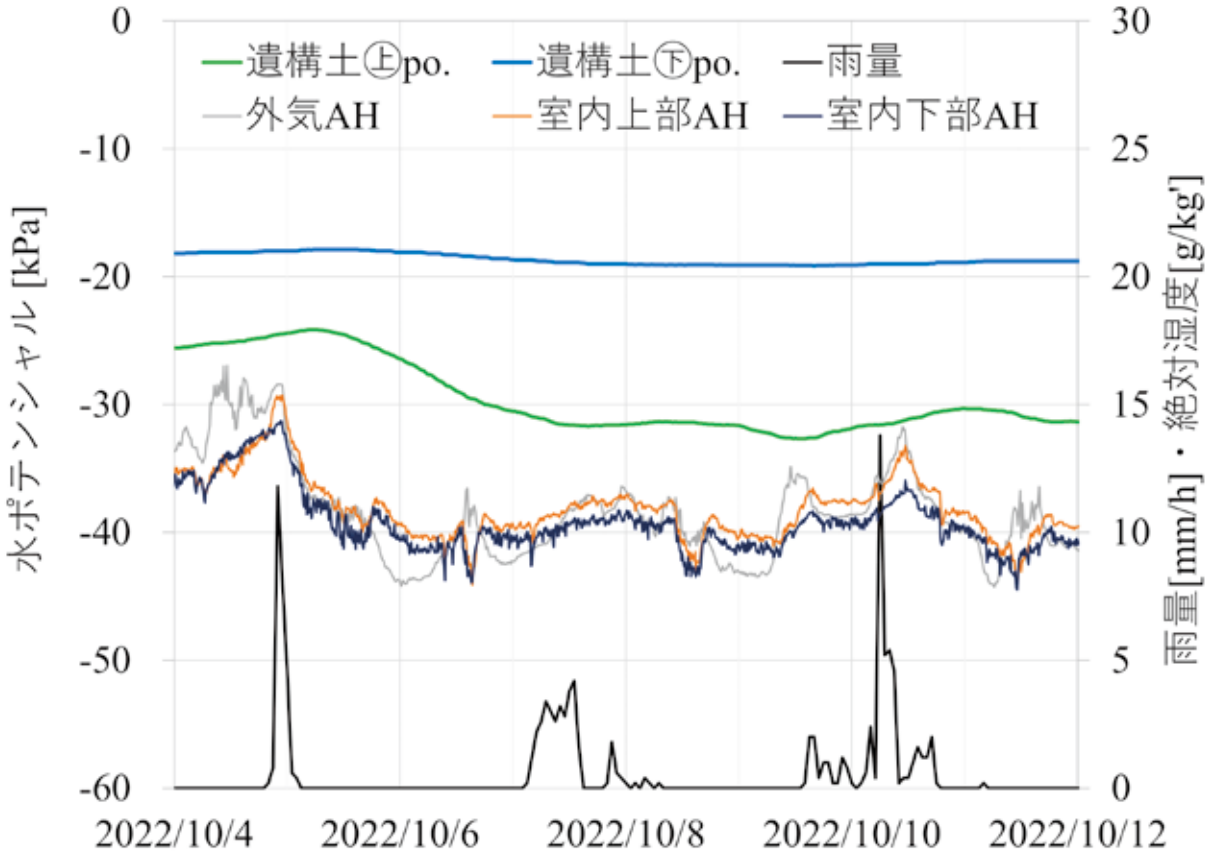


図 14　降雨時の遺構土の水ポテンシャルと展示室内外の絶対湿度

遺構土の水分化学ポテンシャル（以下、「水ポテンシャル」という。）の測定結果より（図 13)、遺構土上下部ともに水ポテンシャルは -30 ～ -10kPa の間で推移し、石敷直下の遺構土は常に高含水状態であることが分かった。これは、遺構土が粘質土であることに加えて、遺構面から地下水面が非常に近いことに起因すると考えられる。また、2021 年の４月から９月上旬までは、遺構土上下部とも水ポテンシャルは高い値を維持していたが、９月中旬を境に遺構土上部の値が下部を下回った。これは、９月中旬に遺構面を養生していたビニールシートを取り外したことで、遺構土が乾燥しはじめたものと考えられる。

また、降雨時の遺構土の水ポテンシャルと室内外の絶対湿度の結果より（図 14)、測定期間中、遺構土下部の水ポテンシャルは一定の値を示すのに対し、遺構土上部の値は降雨後にゆるやかに上昇する傾向が認められた（2022 年３月 16 日)。この時の室内の絶対湿度は、外気、室内上部、室内下部、保護層の順に高く示されたことから、ガラリから室内に外気が流入していると考えられる。加えて、遺構土上部の水ポテンシャルは、-20kPaとほぼ水分飽和に近い値を示すことから、降雨後の遺構土上部の水ポテンシャルの上昇は、室内空気から湿気の供給による遺構面の結露、もしくは遺構周辺の地盤を介して浸透した雨水による影響と推察される。

２．３．３．３　塩類析出による遺構の劣化予測

遺構展示室直下の地下水と足羽川の水質分析の結果を図 15 に示す。イオン種により電荷は異なるが、陽イオンと陰イオンは同じ電荷数（当量）で結合することから縦軸の濃度は当量表記している。分析結果より（図 15)、地下水に含まれるイオンの総量は、陰イオンと比較して陽イオンが多く示された。陽イオンでは、カルシウムイオン、ナトリウムイオン、マグネシウムイオン、カリウムイオンの順に濃度が高く示され、陰イオンでは、塩化物イオン、硫酸イオン、硝酸イオンの順に濃度が高く示された。測定結果では、陰イオンと比較して陽イオンの総量が多く示されたが、原則、溶液

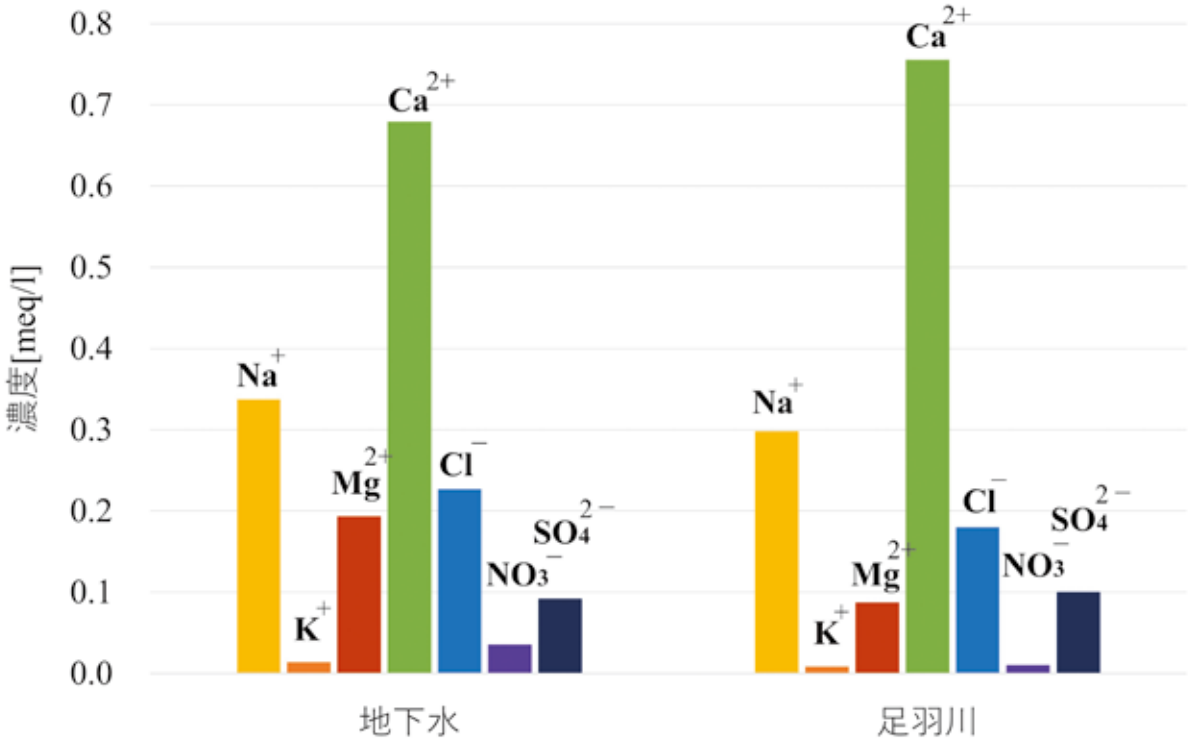


図 15　遺構展示室直下の地下水と足羽川の水質分析結果

中では電気的中性が成り立つことから、炭酸イオンや重炭酸イオンの陰イオンの影響を受けていると考えられる。

一般に、塩類の析出と潮解は、遺構周辺の温湿度の変化に伴って起こるものであり、周辺環境の相対湿度が、その塩の飽和塩溶液が与える相対湿度以下となった時に析出する。遺構展示室の相対湿度は年間を通して 70% ～ 100％を推移することから（図 10)、遺構展示室においては、高湿度環境で析出する塩化ナトリウムや、硫酸マグネシウム、硫酸ナトリウム等の可溶性塩や中溶性の硫酸カルシウム等が析出する可能性が示唆された（表５)。

表５　各塩の飽和塩溶液が与える相対湿度（Goudie.A and Viles.H 1997 をもとに筆者が作成）

塩類	0℃	10℃	20℃	30℃
塩化ナトリウム（NaCl）	75.9%	75.6%	75.4%	75.2%
硫酸ナトリウム（Na_2SO_4）	84.4%	85.6%	86.6%	87.3%
（Na_2SO_4•$10H_2O$）	98.8%	97.8%	95.6%	90.1%
硫酸マグネシウム（$MgSO_4$•$7H_2O$）	–	93.7%	91.3%	89.1%
硫酸カルシウム（$CaSO_4$•$2H_2O$）	–	–	99.96%	–

２．３．３．４　劣化を未然に防ぐ遺構の展示手法の検討

環境調査の結果から、遺構展示室内は換気ガラリから外気が流入することで、夏季は高温高湿、冬季は低温低湿な環境になることが明らかとなった。また､遺構面下の地下水位は常に高い状態で、遺構面からは常に水分蒸発が起こっていると推測された。こうした環境下で石敷遺構周辺の遺構土や畔部分を露出すれば、遺構面での塩類析出やカビ等の生物の発生が懸念された。この結果を受けて、令和３年（2021）８月から実施した石敷遺構の再発掘では、展示の中心である石敷遺構の全面露出を行う一方で、その周辺に広がる遺構土は砂質土と発掘時の発生土（粘質土）で遺構上面を覆い、遺構面の上部に約 20㎝厚の保護層を設ける方針とした（図 16)。

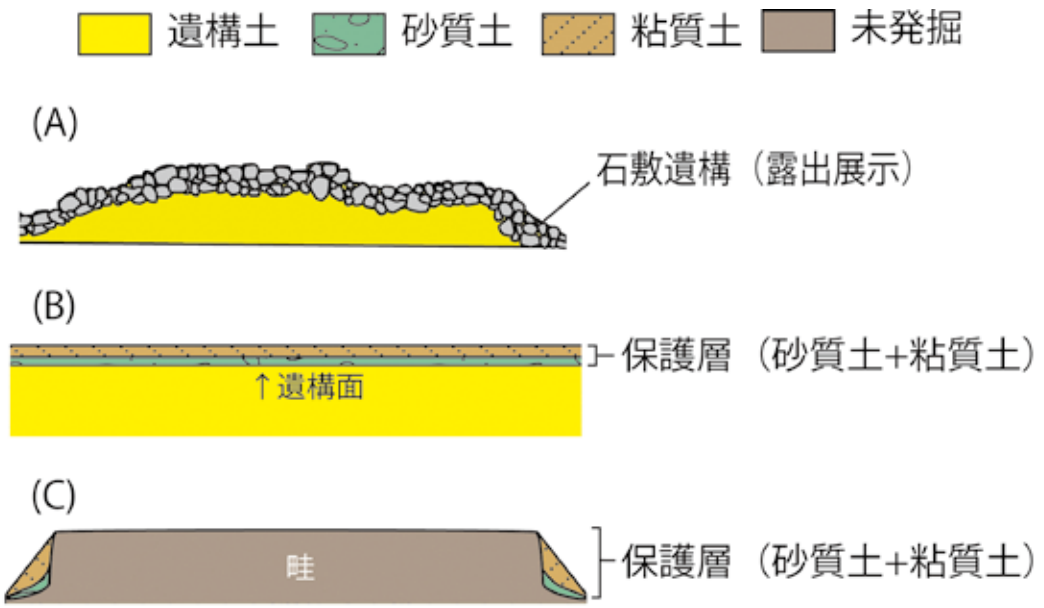


図 16　再発掘後の断面模式図（A：石敷遺構、B：遺構土、C：畦）

２．４　劣化状態の調査

２．４．１　物理的劣化に関する調査

２．４．１．１　調査目的

令和４年（2022）10 月の開館後、石敷遺構周辺の土質部での亀裂発生や石敷遺構での塩類析出等の物理的劣化が認められた。こうした劣化は、遺構周辺の空気、遺構を構成する材料、遺構の接する地盤間の水分移動が原因となって起こることが知られる。

本調査では、これらの物理的劣化に対する保存対策を検討するため、塩類及び割れの劣化分布の記録と、塩類の季節性の挙動を把握することを目的とした。

２．４．１．２　調査方法

遺構展示室内の物理的劣化の分布を把握するため、目視観察によって劣化範囲の記録を行った。塩類については季節ごとの塩類の分布と析出量の増減を把握するため、デジタルカメラによる定点撮影を行うとともに、X 線回折装置 (Rigaku 社製、MiniFlex) を用いて塩類の同定を行った。

２．４．１．３　結果と考察

遺構の再発掘から約２カ月後の令和３年（2021）12 月頃から粘質土より成る保護層の表面に広い範囲で網目状の割れが認められた(写真 13、図 17：黄色で示した範囲)。こうした網目状の割れは、一般に田んぼの土等の粘土粒子を多く含む土でよく見られる現象で、土が乾燥し粘土粒子が収縮する際に、そのひずみによって生じた応力を逃がすために多角形状の割れ目が入ることが知られる。石敷遺構周辺の遺構土の埋め戻しに使用した発掘時の発生土は粘質土であったことから、こうした割れ目が広範囲で生じたものと考えられる。また、石敷遺構の盛土部分では土が乾燥し、先の埋め戻し土（以下、「保護土」という。）表層と同様に網目状の割れが生じている様子が確認された（写真 14、図 17)。こうした土質部分での割れは、遺構面や保護層上面から水分蒸発が続き乾燥が進むことで生じたと考えられる。また、石敷遺構の盛土部分は石の支持体でもあることから、乾燥による割れが進行すればその固着力が失われ、石が自重で崩落することも懸念される。

塩類は当館の開館から約２年が経過した令和６年（2024）の冬季から析出が確認された。特に石敷遺構の外縁部に集中して確認され（図 17：赤色線で示した範囲)、石の表面には粉状及び針状の結晶が観察された（写真 15：No. 1 は粉状結晶、No. 2 ～ 4 は針状結晶)。定点観察の結果（表



写真 13　保護層上面の割れ



写真 14　石敷遺構盛土部の割れ



図 17　土質部分の割れ及び塩類の分布（『特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡発掘調査報告書第 150 次調査』に掲載の遺構図を元に作成）

６、写真 15)、粉状の結晶を呈する No.1 の塩類は年間を通して析出量に大きな変化はみられず、X 線回折分析の結果、硫酸カルシウム二水和物（Gypsum, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ 以下、「Gypsum」という。）が検出された。

一方、針状の結晶を呈する No. ２～４の塩類は、冬季に析出量が増加し夏季に減少する季節的傾向が認められた（表６、写真 15)。X 線回折分析の結果、硫酸マグネシウム七水和物（Epsomite, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 以下、「Epsomite」という。）が主として検出され、Epsomite よりピーク強度は低いものの Gypsum も併せて確認された。Gypsum および Epsomite はいずれも表５で想定した塩類とも一致し、これらの塩の平衡する相対湿度が 90％以上（20℃のとき）であるため、高湿度環境下でも析出し得る。

塩類分布の違いについては、今後に更なる検討が必要であるが、いずれの析出箇所においても溶解度の比較的低い Gypsum が析出していることから、石敷表面まで湿潤状態となり、塩がイオンの状態で表層まで移動し、石の表面で析出している可能性が高いと考えられる。

表６　塩類の季節性の挙動

No.	１月	２月	３月	４月	５月	６月	７月	８月	９月	１０月	１１月	１２月
1	＋	＋	＋	＋	＋	＋	＋	＋	＋	＋	＋	＋＋
2	＋＋＋	＋＋	＋	＋	＋	＋	＋	＋	＋	＋	＋＋	＋＋＋
3	＋＋＋	＋＋＋	＋＋＋	＋＋	＋＋	＋	＋	＋	＋	＋	＋＋	＋＋＋
4	＋＋＋	＋＋＋	＋＋＋	＋＋	＋＋	＋	＋	＋	＋	＋	＋＋	＋＋＋

※表中の記号は＋＋＋、＋＋、＋の順に塩の析出量の多さを示している

No.	春（2025 年４月）	夏（2025 年７月）	秋（2025 年 10 月）	冬（2026 年１月）
1				
2				
3				
4				

写真 15　塩類析出箇所の定点撮影の結果（図 17, No. １～４）

２．４．２　生物的劣化に関する調査

２．４．２．１　調査目的

石敷遺構の再発掘直後から、保護層上面において白色菌類様物質が大量に発生し、保護層全面を覆うまでに拡大した（写真 16）。また、再発掘直後から遺構展示室では、カビ、生物、コケ類等の発生が確認され（写真 17 ～ 19）、遺構の汚損のみならず、来館者への健康被害や文化財の展示・収蔵エリアへの文化財害虫の侵入、空気汚染等が懸念された。

本調査では、保護層上面に発生した白色菌類様物質を同定し、その抑制・除去方法を明らかにすること、また、遺構展示室における生物の生息状況や空中浮遊菌量、カビ・コケ類の分布を調査し、文化財展示・収蔵エリアへの影響の有無の確認及びその対策方法を明らかにすることを目的とした。



写真 16　保護層上面に発生した白色菌類様物質



写真 17　保護層上面に発生したカビ



写真 18　保護層上面に発生した木材腐朽菌のキノコ



写真 19　カビをえさとするヤスデ類

２．４．２．２　調査方法

（1）保護層上面に発生した白色菌類様物質の調査

白色菌類様物質の調査は国立文化財機構東京文化財研究所生物科学研究室の佐藤嘉則氏、島田潤氏に依頼して実施した。試料は、遺構展示室南西隅の調査用畦の表面から 3 点採取し（図 18、試料①～③、採取日 2021 年 11 月 5 日）、電子顕微鏡観察及び分子生物学的解析を実施した。電子顕微鏡観察では、試料の一部を検体とし、走査型電子顕微鏡（日立ハイテク社製､S-3700N）を用いて低真空モードで観察した。分子生物学的解析では､試料から DNA を抽出（株式会社ニッポンジーン社製､ISOPLANTDNA Extraction kit）した後、カビ及び細菌が有している遺伝子領域（ITS 領域遺伝子、16S rRNA 遺伝子）を標的とした PCR（Polymerase Chain Reaction）を行った。その後、次世代シーケンス解析に供し、得られた DNA 配列を類似度からグルーピングし（存在比を基

に出現頻度（%）を算出)、代表配列について公共のデータベースと照合して相同性検索（BLAST 検索）を行い、白色菌類様物質の微生物同定を行った。

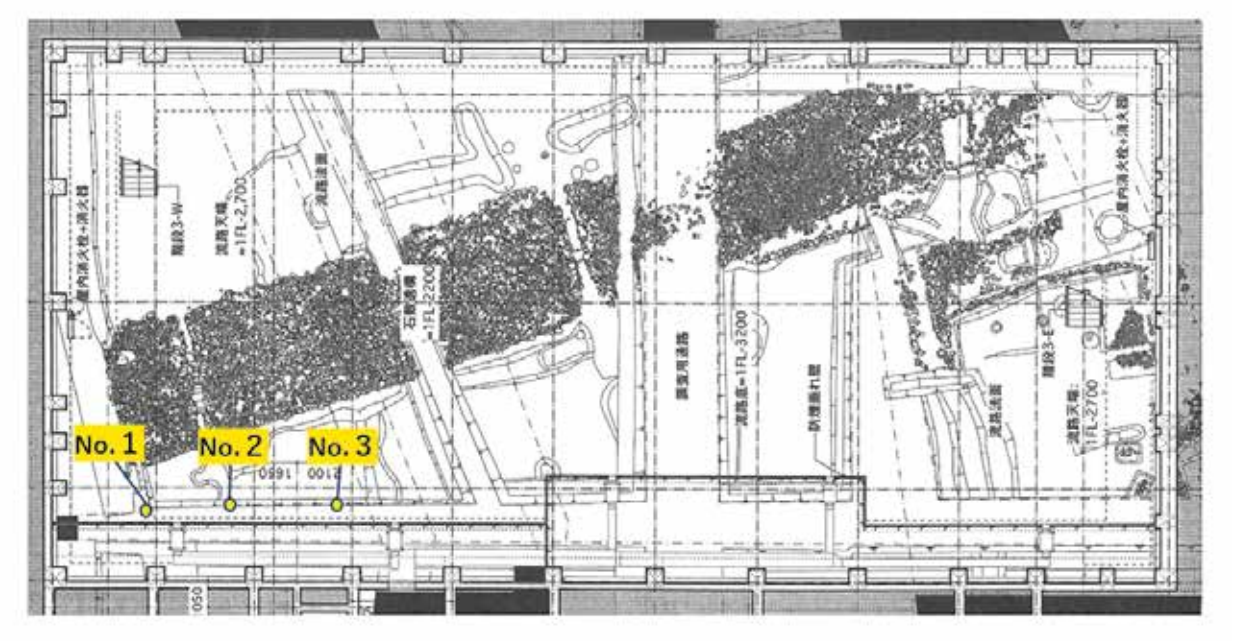


図 18　白色菌類様物質の試料採取箇所（遺構展示室平面図）

（2）生物生息状況の調査

保護層上面における生物の生息状況を把握するため、目視による生物回収調査（生物調査①）を実施した。また、遺構展示室において生物調査①では捕獲されない生物（トビムシやダニ類）が多数確認されたため、粘着トラップによる捕獲調査（生物調査②）も実施した。

生物調査①は 2022 年 6 月～ 2025 年 6 月まで実施し、回収頻度は 2023 年 12 月末までは 3 回 / 週間、2024 年 1 月からは 1 回 / 週間、作業時間は 1 回あたり 30 分間である。生物調査②は 2023 年 10 月及び 2024 年 10 月に計 2 回実施し、各回とも遺構展示室を中心に館内各所に粘着トラップ（株式会社バイオゾーンメディカル製、サイズ 8.0㎝× 6.5㎝、ノンフェロモン）を 79 箇所設置した（図 19)。設置期間はそれぞれ 20 日間である。

（3）空中浮遊菌量の調査

遺構展示室で発生しているカビによる展示・収蔵エリアへの空気汚染の影響有無を把握するため、館内各所において空中浮遊菌量の調査を実施した。サンプリング箇所は図 20 に示す通りで、各サンプリング箇所においてエアーサンプラー（ミドリ安全株式会社製、MBS-1000D）を用いて、100L の空気を吸引し、SCD 寒天培地に吹き付けた。サンプリング後の寒天培地は 25℃で 7 日間培養し、コロニー数を計量、菌種の同定を行った。サンプリングは 2023 年 2 月 21 日、2023 年 9 月 26 日、2024 年 10 月 31 日、2025 年 2 月 7 日、2025 年 10 月 3 日の計 5 回実施した（ガイダンス及び収蔵庫は 2024 年 10 月 31 日、2025 年 10 月 3 日の 2 回のみ実施)。

（4）カビ・コケ類の分布調査

遺構展示室では局所的にカビやコケ類が発生しており、発生原因を把握するためにカビ・コケ類の分布を調査した。調査は目視により実施し、2022 年 6 月～ 2025 年 12 月までのカビ・コケ類の発生箇所を記録した。また、コケ類が繁茂する箇所については照度及び赤外線吸光度（以下、「吸

光度」という。）の測定を行った。照度は 2023 年 8 月 2 日に分光方式カラーメーター（セコニック製、C-800）を使用し、吸光度は 2024 年 4 月 9 日に近赤外線水分計（株式会社ケット科学研究所製、KJT-130）を使用し、それぞれ測定を実施した。

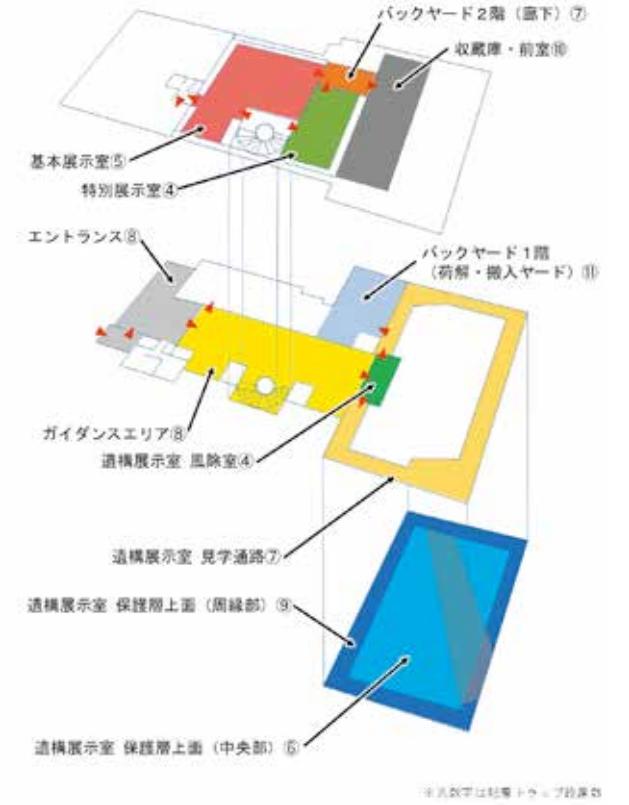


図 19　粘着トラップ設置箇所

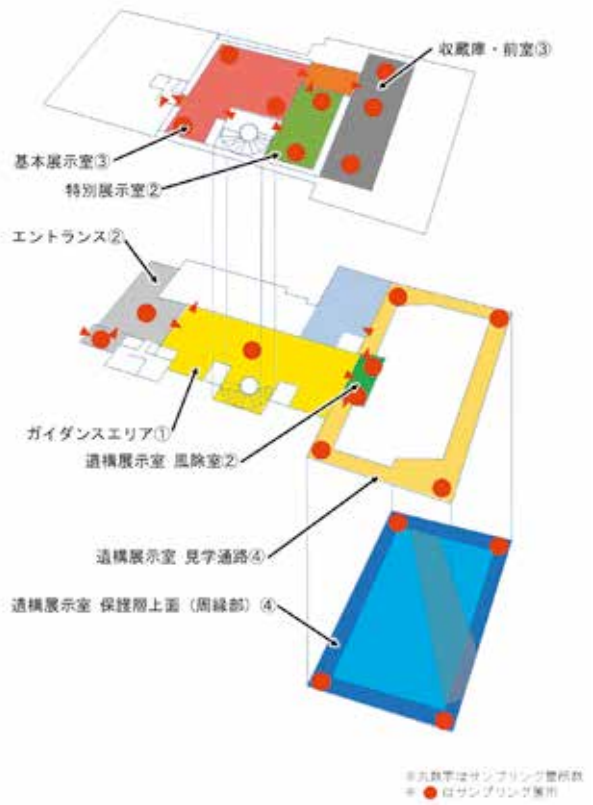
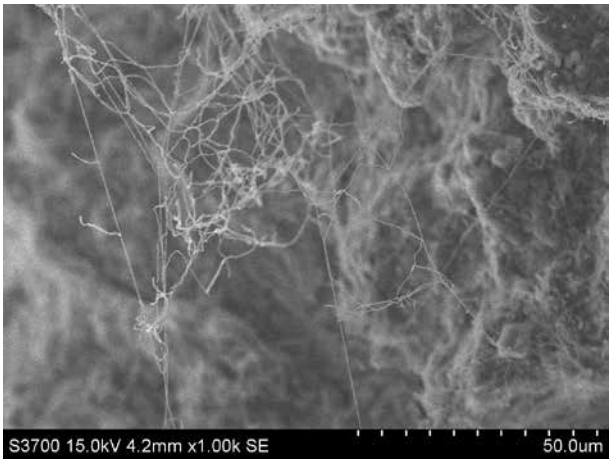


図 20　空中浮遊菌調査箇所

２.４.２.３　結果と考察

（1）保護層上面に発生した白色菌類様物質

走査型電子顕微鏡で得られた画像を図 21 に示す。白色菌類様物質は菌糸状の形態を示しており、微生物であることが確認された。一方、菌糸は 1 ㎛ 程度と非常に細く、放線菌の可能性が高いと考えられた。



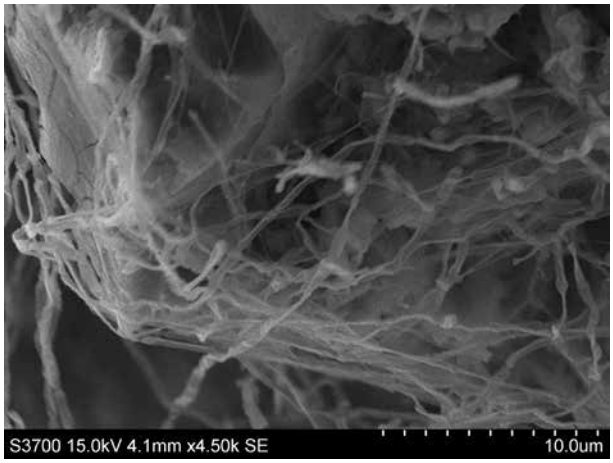


図 21　白色菌類様物質の走査型電子顕微鏡画像

分子生物学的解析では、抽出した DNA を用いてカビ及び細菌が有する遺伝子領域（ITS 領域遺伝子、16S rRNA 遺伝子）を標的とした PCR を行った。その結果、ITS 領域遺伝子では定量下限値以下であったが、16S rRNA 遺伝子では有意な定量値が得られた。このことから白色菌類様物質はカビではなく、細菌の１グループである放線菌である可能性が高いと判断された。

次に、細菌を対象とした次世代シーケンス解析の結果を表７・表８に示す。門レベルで出現頻度が最も高いグループは Actinobacteria 門（放線菌門）で、次に多いのは Proteobacteria 門であった。種レベルでは、Pseudonocardia spinosa（Actinobacteria 門）、Nevskia ramosa（Proteobacteria 門）、Pseudonocardia petroleophila（Actinobacteria 門）が試料①～③に共通して多く認められ、いずれも人体に悪影響を及ぼす種ではないことが判明した。

放線菌が生育するのに適した土壌環境は、種によって様々であるが、放線菌の多くはカビ等の真菌類に比べて水分活性が高い環境で優占しやすいことが知られている。そのため、保護層上面の土壌環境を踏まえると、水分量が高い湿潤な土壌が放線菌の優占化を助長した要因の一つである可能性が高いと考えられる。

表７　白色菌類様物質の細菌を対象とした次世代シーケンス解析（門レベル）

RDP Classifier による系統分類		構成比（総リード数に対する割合）			リード数		
ドメイン	門	試料①	試料②	試料③	試料①	試料②	試料③
Bacteria	Actinobacteria	57.90%	70.20%	41.00%	31416	18613	21928
Bacteria	Proteobacteria	40.80%	21.40%	58,0%	22110	5671	31020
Bacteria	Others	1.30%	8.40%	1.00%	727	2244	543

表８　白色菌類様物質の細菌を対象とした次世代シーケンス解析（種レベル）

RDP Classifier による系統分類		構成比（総リード数に対する割合）			リード数		
ドメイン	種	試料①	試料②	試料③	試料①	試料②	試料③
Bacteria	*Pseudonocardia spinosa*	37.70%	38.10%	23.20%	20431	10119	12418
Bacteria	*Nevskia ramosa*	34.40%	1.40%	50.70%	18669	367	27110
Bacteria	*Pseudonocardia petroleophila*	11.30%	14.90%	9.50%	6111	3958	5107

（２）展示室内の生物生息

＜生物調査①目視による生物回収＞

遺構展示室の保護層上面において回収された生物の個体数を図 22 に示す。調査頻度が月によって異なるため、調査１回当たりの平均捕獲個体数を用いて年変動及び季節変動を評価した。

回収個体数は毎年４月から 11 月にかけて顕著に増加し、冬季には減少する傾向を示した。捕獲された生物の内訳は、多い順にヤスデ類（6,936 点、88.8%）、クモ類（208 点、2.7%）、貝類（181 点、2.3%）、コウチュウ目（135 点、1.7%）、ゲジ類（148 点、1.9%）、チョウ目（59 点、0.8%）、ムカデ類（44 点、0.6%）、ハエ目（13 点、0.2%）、コオロギ類（12 点、0.2%）、ハサミムシ類（６点、0.1%）、ハチ目（２点、0.0%）、カメムシ類（２点、0.0%）、その他（79 点、1.0%）であった。

回収個体数が最も多かった生物はヤスデ類であり、全体の約９割を占める。ヤスデ類は湿潤な土壌環境を好み、腐食性であることが知られていることから、保護層上面が極めて湿潤な状態であったこと、ならびにヤスデ類の食物となり得る放線菌やカビ類等が豊富に存在していたことが、大量発生の要因となった可能性が高い。ヤスデ類は石敷遺構や保護層上面を直接劣化させる生物ではないが、死骸が放置された場合には他の生物の栄養源となり、カビ等による展示室内の汚損を助長する要因となる。また、ヤスデ類は歩行性動物であることから、遺構展示室以外の諸室への侵入が懸念される。実際に、遺構展示室に隣接するバックヤードでは、たびたび侵入が確認された。ヤスデ類自体は文化財害虫ではないが、文化財展示・収蔵エリア（基本展示室、特別展示室、収蔵庫）へ

の進入経路は可能な限り遮断し、侵入を防止する対策が求められる。

ヤスデ類以外に注意すべき生物としてはムカデ類が挙げられる。ムカデ類も文化財を直接加害することはないが、人に対する咬傷被害のリスクがある。図 23 に捕獲された各生物の個体数の割合を月ごとに示すとおり、ムカデ類は 11 月～３月の冬季に捕獲されないことを確認した。以上のことから、遺構展示室の保護層上面に一般の来館者が立ち入るイベントを実施する際には、ムカデ類の発生が確認されない 11 月～３月の冬季に限定する等、見学者の安全に配慮し実施する必要がある。

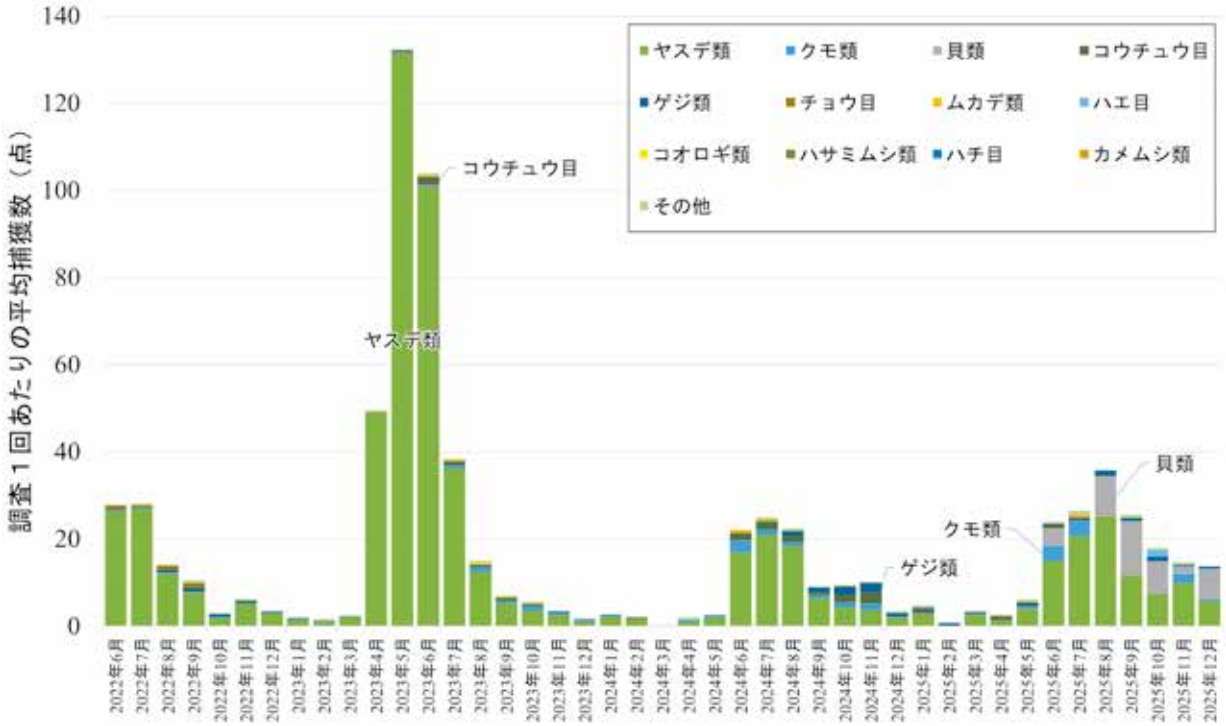


図 22　保護層上面の生物捕獲個体数の変移

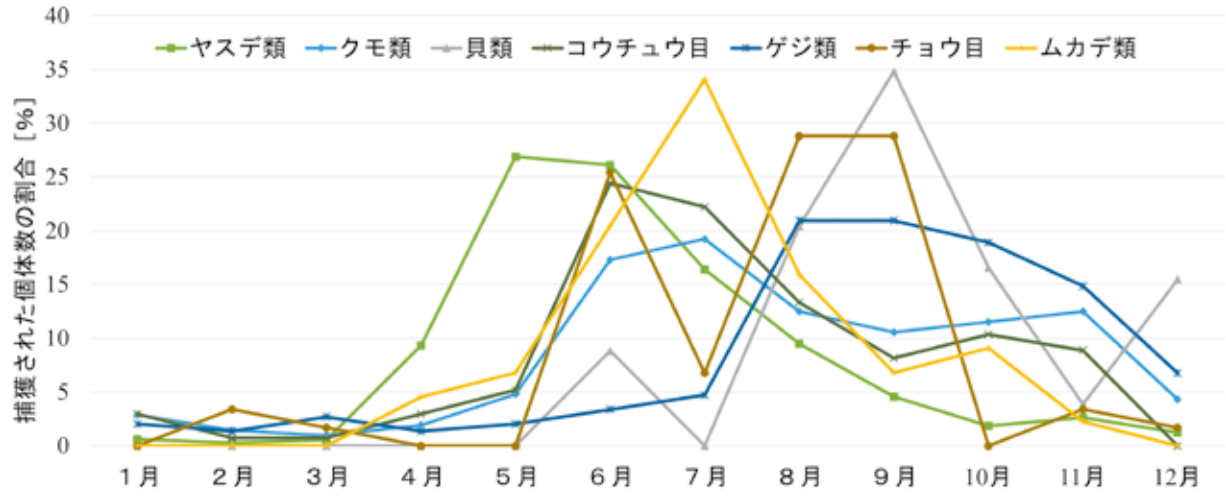


図 23　各生物の月別捕獲割合

＜生物調査②トラップ調査＞

粘着トラップ１個当たりの生物捕獲個体数をエリアごとにまとめた結果を図 24 に示す。なお、エリアごとに設置した粘着トラップ数が異なるため、トラップ１個当たりの平均捕獲数を示している。

粘着トラップによる調査では、目視調査（生物調査①）では把握できなかった小型生物が多数捕獲された。エリアごとにみると、遺構展示室の保護層上面（周縁部・中央部）や当館の正面玄関を含むガイダンスエリアでの捕獲数が多く、それらのエリアから距離が長くなるほど、捕獲数が少ない結果となった。文化財を展示・収蔵するエリアでは、チャタテ類が捕獲されているが、文化財を加害するほどの数は認められず、その数は年々減少している。

遺構展示室の保護層上面では、トビムシやチャタテ類、チリダニ類、タカラダニ等の湿潤な土壌や湿度の高い場所を好む生物が多く捕獲された。これらの生物自体は非常に小さく、石敷遺構や保護層上面を直接劣化させることはないが、その死骸は他の生物の栄養源となり、遺構面等の汚損につながる。そのため、遺構展示室で発生する生物はできる限り個体数を減らすことが必要である。

捕獲個体数が最も多かったのは、2023 年 10 月（①）の調査における保護層上面（周縁部）である。保護層上面は当館建設時に使用された土留め用の木製矢板が地中に残存していたエリアである。直下の木製矢板については 2022 年 3 月 14 日に撤去を実施したが、細かな木片まで取り除くことができず、その後、木材腐朽菌と思われるキノコやカビが頻繁に発生していた。こうしたキノコやカビの菌糸はトビムシやチャタテ類等の栄養源になり得ることが考えられたため、2024 年 1 月 17 日に、地表に露出している木片の撤去を実施した。その結果、木片撤去実施前の 2023 年 10 月（①）

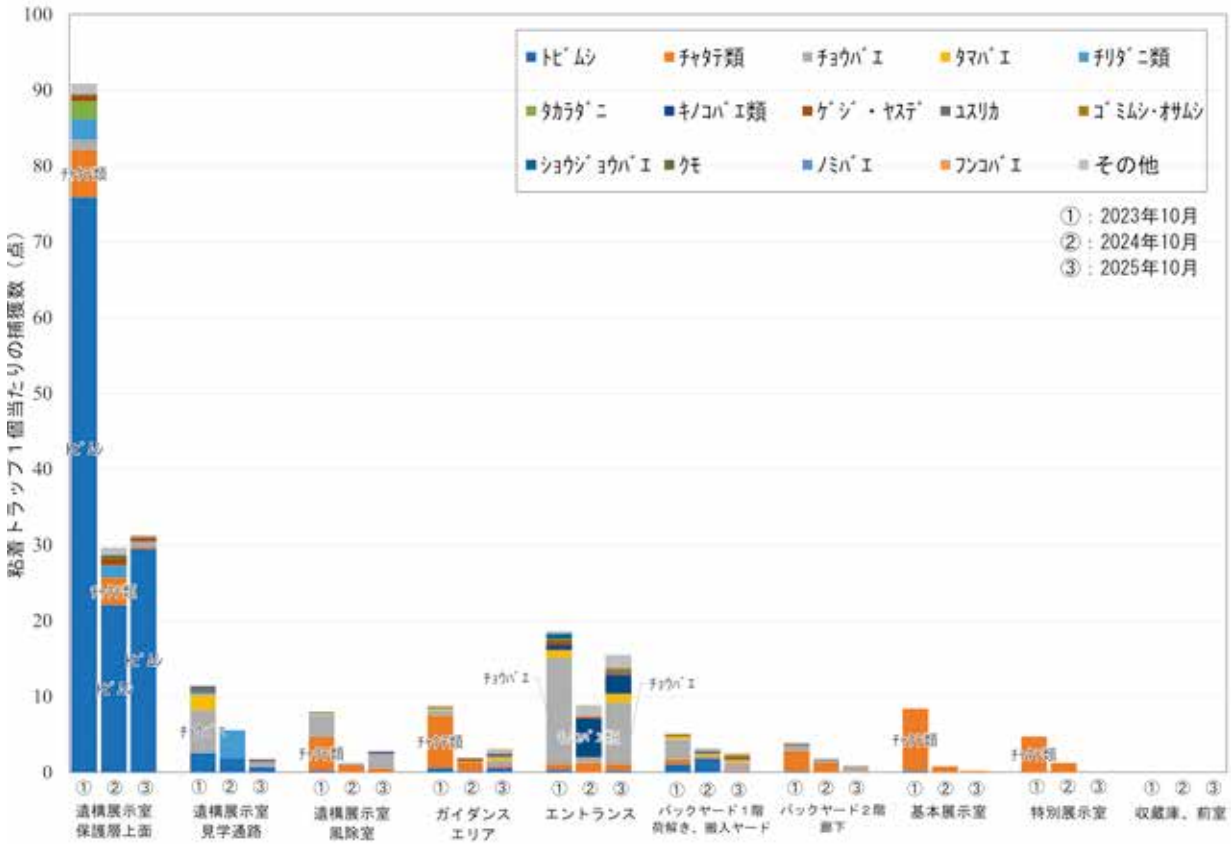


図 24　各エリアに設置した粘着トラップの生物平均捕獲数

に比べて、撤去実施後の 2024 年 10 月（②）や 2025 年 10 月（③）では、トビムシ類及びチャタテ類の捕獲数に顕著な減少が認められた。このことから、木製矢板の木片の存在が小型生物の発生に関与していた可能性が示唆される。

（3）空中浮遊菌量

各エリアにおける空中浮遊菌量の調査結果を図 25 に示す。なお、複数箇所で測定したエリアについては、空中浮遊菌量の平均値を用いた。

どの調査時期でも、空中浮遊菌量は遺構展示室で最も高い値を示し、概ねは風除室、ガイダンスエリア、文化財展示・収蔵エリア（基本展示室、特別展示室、収蔵庫）の順に低い結果となった。遺構展示室や風除室の空中浮遊菌量が大きく増加していた 2024 年 10 月や 2025 年 10 月においても、文化財展示･収蔵エリアの空中浮遊菌量は、文部科学省が示す「施設環境管理指針（試案）」（東京文化財研究所 2004）の「清潔区域」の基準値である浮遊真菌数 50 個 /㎥を下回る水準で推移した。これは､空調設備の 24 時間稼働により､当館内の各エリアを段階的に陽圧管理していたことや、遺構展示室とガイダンスエリアに風除室を設けたことで、当館内への浮遊菌の流入が大幅に低減されたためと考えられる。

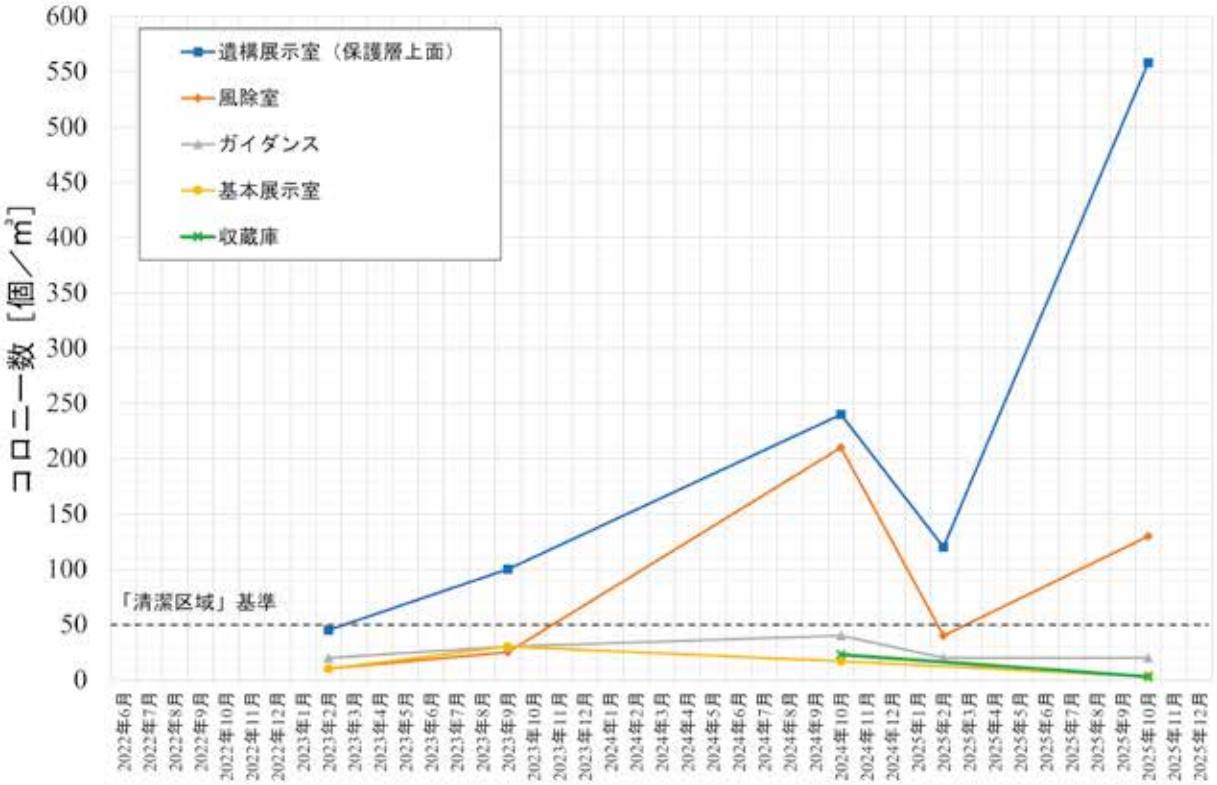


図 25　各エリアにおける平均空中浮遊菌量

（4）カビ・コケ類の分布調査

目視調査により確認したカビ及びコケ類の分布を図 26 に示す。なお､カビやコケ類の同定は行っていない。

カビの分布は保護層上面（周縁部）に偏在する傾向が認められ、主に木製矢板直上の周辺で木材

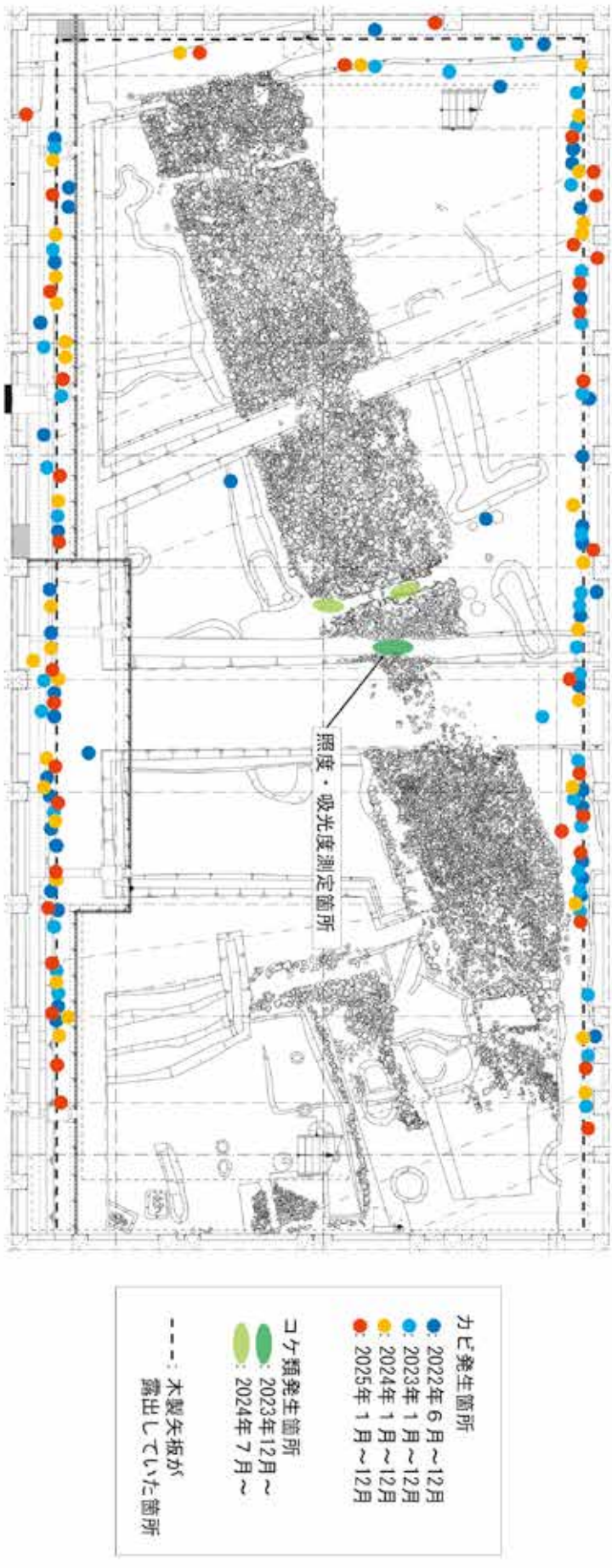


図 26　カビ・コケ類の分布

腐朽菌とみられるキノコを伴い観察されることから、木製矢板の木片を栄養源として繁殖したものと推察される。そこで、2024 年 1 月 17 日に保護層上面（周縁部）に残存する木製矢板の木片の撤去を行った。しかし、細かな木片は回収しきれず、撤去作業を実施後もカビは発生し続けている。わずかな木片が地表に残っているだけでもカビは発生しており、矢板撤去の際には、土ごと入れ替える等、徹底した木片の回収が必要と考えられる。一方、遺構展示室の周縁部以外では、死骸生物にカビが発生している箇所も複数確認された。

コケ類は当館開館（2022 年 10 月）から約 14 カ月後の 2023 年 12 月頃から発生が確認された。コケ類の分布は局所的であり（図 26）、石敷遺構中央付近の保護層上面及び遺構面の一部に限られている。コケ類が分布する直上には展示用スポットライトがあり、当館の開館時間中（午前 9 時～午後 5 時）は継続的に照明光が照射される状態にある。

コケ類が分布する地点（図 26）で照度計測を行った結果、約 113 lux の照度が確認された。また、照明光の波長分布は図 27 の通りであった。一般的に植物が効率的に光合成できる光の波長は 450 nm（青）と約 660 nm（赤）付近とされており、開館以降、光合成に適した波長の光が継続的に照射され続けたことが、コケ類が繁茂した要因の一つと考えられる。

また、コケ類が繁茂した箇所付近での吸光度の結果を図 28 に示す。No. 1 ～ 9 はいずれも開館時間中、展示用スポットライトが継続的に照射されている箇所であるが、コケ類が発生しているのは No. 1 ～ 3 のみである。No. 1 ～ 3 は他の No. 4 ～ 9 に比べて吸光度の値が高く、土壌の水分状態が比較的高いことから、照度の供給に加えて土壌の水分状態の高さもコケ類の局所的な繁茂に寄与したものと推測される。

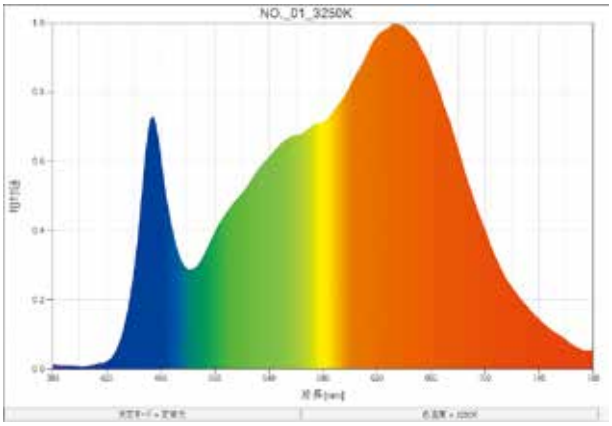


図 27　スポットライトの照明光波長分布

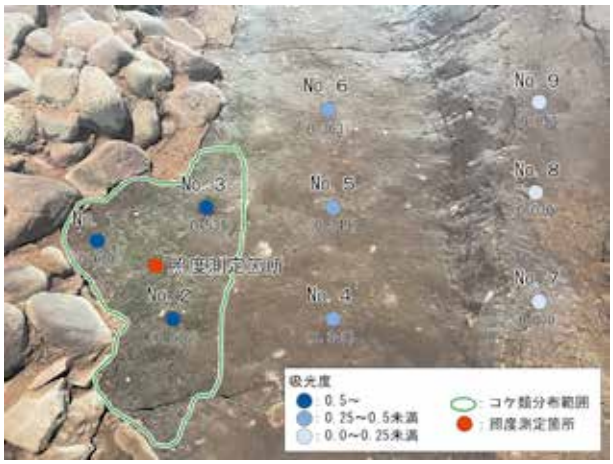


図 28　吸光度と照度の測定結果

２．４．３　遺構の保存と維持管理の方針

開館後に確認された物理的・生物的劣化に関する調査結果から、外気が流入する遺構展示室のような環境下では、遺構土の保護及び生物発生の抑制に向けて、埋め戻しによって土の水分量を適切に制御する方法が有効であると考えられる。

まず、乾湿の繰り返しに伴う割れの発生については、保護層下の遺構表面では水分状態が一定程度維持されていたものの、経時的には乾燥傾向が見られた。これは、外気が展示室内に流入することで土壌が乾燥し、含水比が徐々に低下したためと推察される。したがって、遺構面は高含水状態を安定的に保つことが望ましい。次に、塩類の析出については、石敷の縁部に Gypsum 及び

Epsomite の析出が確認された。これらは、保護層と石の表面まで水分が上昇し、高含水状態となることで溶存イオンが移動した結果と考えられる。水分およびイオンの移動を抑制するためには、埋め戻し後の保護層最表面を低含水状態に保つ一方で、サブフロレッセンスを防止するために遺構面付近は乾湿を繰り返さず、一定の高含水状態を維持することが重要である。加えて、生物的劣化として、保護層表面で放線菌やカビ類の発生が確認され、展示室内では昆虫の発生も見られた。これら生物の発生要因は、保護層表面の水分量が高いことであるため、生物被害を抑制するためには、保護層最表層を低含水状態に維持することが望ましい。

以上の検討から、理想的な埋め戻し条件として、埋め戻し土の最表層は低含水状態とし、遺構面は高含水状態を保つ構造が適切であると考えられる。さらに、生物的劣化への対策としては、埋め戻しによる保護だけでは不十分であり、日常的な維持管理の実施も不可欠であると考えられる。

２．５　遺構の保存対策と維持管理方法

２．５．１　埋め戻し方法の検討

２．５．１．１　調査目的

先述のとおり、遺構展示室のように室熱環境の制御が難しい条件下では遺構の埋め戻しによる保存が有効であると考えられる。脇谷らは、タイのタンロン城跡において屋外で露出展示している遺構面上に透水性の低い砂を敷設することで遺構面からの水分蒸発を抑制し、劣化を抑制できることを提示している（Wakiya et al. 2014）。ただし、遺構展示室のような屋内での遺構の埋め戻しを検討した事例はなく、埋め戻し土を介して水分蒸発が起こり、遺構面が乾燥状態になれば、塩類析出、乾湿の繰り返しによる割れ等の物理的劣化が問題となる。一方、埋め戻し土が高含水状態を維持する場合、カビや細菌類、蘚苔類等の生物が埋め戻し土表層に生育し、遺構展示や展示室内の汚損に繋がる可能性があり、カビ等の発生は来館者の健康にも影響をきたす危険性がある。したがって、塩類析出や乾湿の繰り返しによる物理的劣化から遺構面を保護するためには、遺構面の水分状態を高く維持する必要があり、その一方、生物的劣化を抑制するためには、埋め戻し土最表層の水分状態を低くすることのできる埋め戻し方法が必要といえる。

本調査では、遺構の保存と展示の両立に向け、遺構面は高含水状態、埋め戻し土最表層は低含水状態となる埋め戻し方法を明らかにすることを目的とし、現地で埋め戻し方法の比較を実施した。

２．５．１．２　調査方法

（１）埋め戻し材料

遺構土の埋め戻しには発掘に伴い生じた粘質土（以下、「粘質土」という。）と砂質土及び砂利（粒径φ２～５㎜）の３種類の材料を用いた。土の透水性状を把握するため、遺構土及び埋め戻しに使用した粘質土、砂質土に対して、事前に定水位透水試験を行い（JIS A 1218：2020）、飽和透水係数を求めた。なお、埋め戻しに用いた砂利は他の土と比較して粒径が大きく透水抵抗が極めて低いため、飽和透水係数の測定は実施しなかった。また、各土試料の粒度分布をレーザー回折・散乱式粒度分布測定装置（マイクロトラック社製、MT3000）により測定した。

土の飽和透水係数は、砂質土、遺構土、粘質土の順に高い値を得た（表９）。また、土の粒度分布の測定結果より（図 29）、砂質土は、600 ～ 300 μm の砂粒子、遺構土と粘質土は 75 μm 以下のシルトや粘土等の細粒分を主とする土であることが示された。これらの結果から、砂利及び砂質土は遺構土と比べて粒径が大きく透水係数も高いと考えられる。既往研究より、露出した遺構面に

透水性の高い砂質土を敷設することで遺構面の乾燥を抑制できるとされていることから（Wakiya et al. 2014)、本調査においても遺構面の乾燥の抑制効果を期待し、砂質土や砂利による埋め戻しを行った。

表９ 土の飽和透水係数

試料名	飽和透水係数 [m/s]
遺構土	1.35×10^{-5}
粘質土	3.62×10^{-6}
砂質土	1.11×10^{-4}

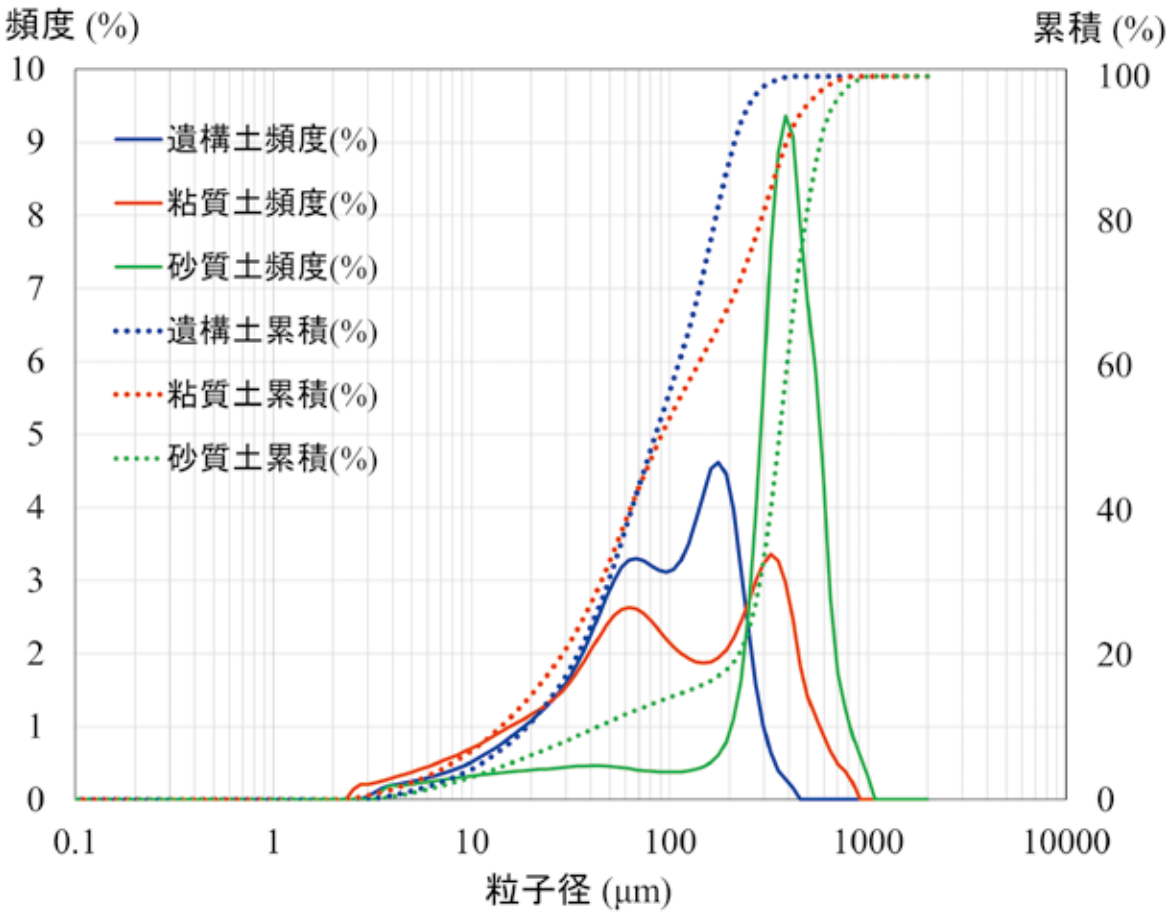


図 29　粒度分布及び粒径加積曲線

（2）埋め戻し方法と測定項目

遺構土の埋め戻し方法の検討では、遺構を露出展示した条件の Case A、ならびに異なる埋め戻し条件とした Case B ～ Case D を設定した（図 30)。 各埋め戻し範囲は 1.5 m× 1.5 mとし、図 31 に示す箇所で実施した。Case B ～ Case D は、既往研究に則し（Wakiya et al. 2014)、遺構面の乾燥の抑制効果を期待し、遺構土より透水性の高い砂質土や砂利による埋め戻しを行った。

Case B は、当遺跡の発掘調査で実施される埋め戻し方法に倣ったもので、石敷遺構周辺の遺構土上面に砂質土を約 5 cm 厚、更にその上面に発掘時の発生土である粘質土を 20cm 厚で設置

した。粘質土は再発掘時に使用する重機の荷重から遺構面を保護するため保護盛土として設置した。Case C は、Case B で用いた砂質土よりもさらに粒径が大きく透水性の高いと考えられる砂利を用いた方法で、他の Case A・B・D と近接する北西部と遺構面が最低標高となり最も地下水面が近いと考えられる南側中央部の 2 箇所で実施した（図 31 − C1・C2）。Case D は、埋め戻し土最表層の水分状態を低くするため、Case B の粘質土層上に粘質土よりも粒径の大きい砂質土を敷設した方法である。遺構土と埋め戻し材料間の水分移動を把握するため、ポテンシャルセンサー（METER 社製、TEROS21）を用いて各層の土中水圧力を測定した。なお、センサーは各埋め戻し範囲の中央部、かつ各層の上端から約 2 ～ 3cm の深さに埋設した。加えて、粘質土表層の水分状態を比較するため赤外線吸光度計（株式会社ケット科学研究所製、KJT-500）を用いて Case B と Case C の埋め戻し土最表層の吸光度を測定した。吸光度の測定はそれぞれの埋め戻し土最表層で 3 回実施し、その平均を求めた。

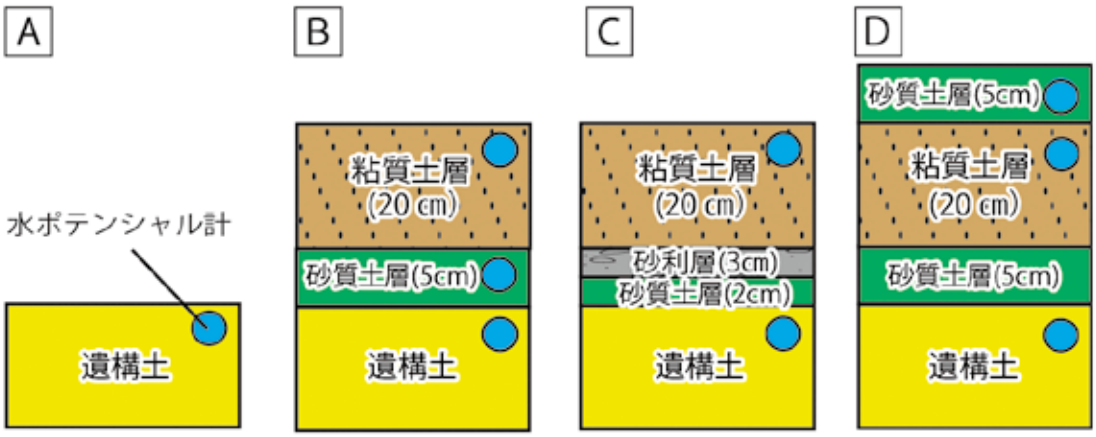


図 30　遺構土の埋め戻し方法（A：戦国期の遺構面を露出、B：砂質土と粘質土で埋め戻す、C：砂質土、砂利、粘質土で埋め戻す、D：条件 B の上層に砂質土を敷設）

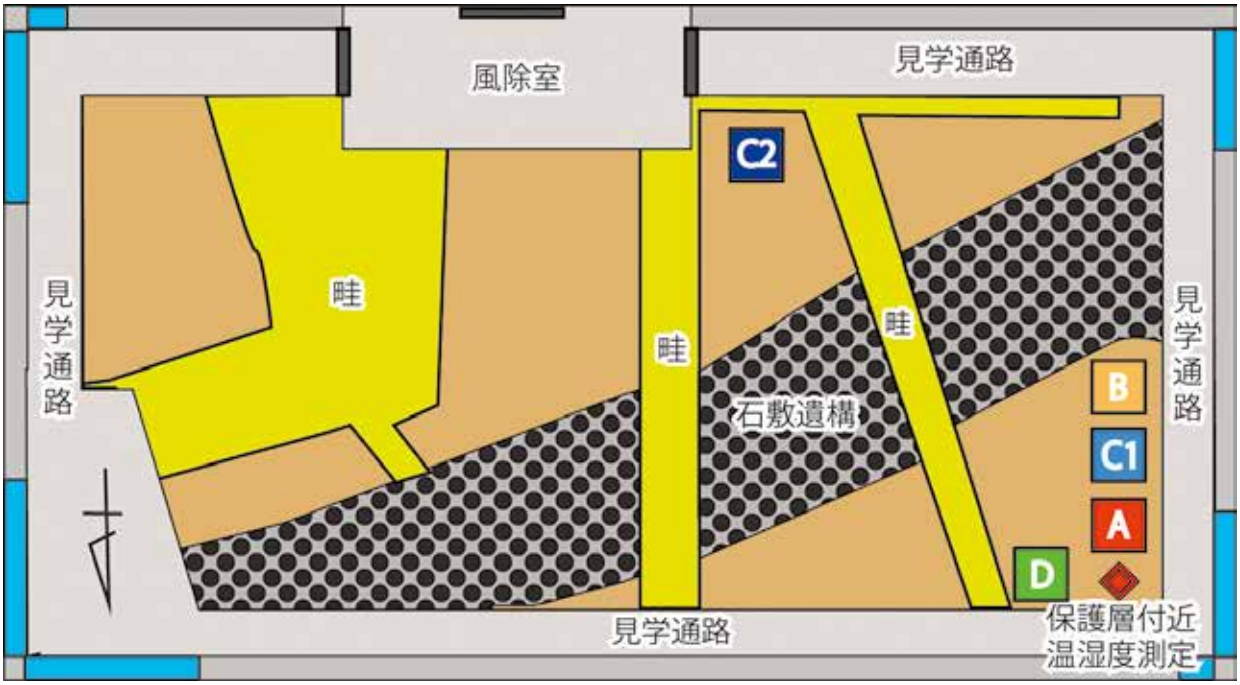


図 31　遺構土の埋め戻し箇所と温湿度測定箇所

２．５．１．３ 結果と考察

（１）遺構面の水分状態の比較

水ポテンシャルの測定結果を図 32 ～ 33 に示す。なお、図 33 に示した展示室内空気の化学ポテンシャルは、保護層付近の湿温度の計測値を用いて次式より求めた。

$$\mu = RT/M \ \ln (P/Psat)$$

ここで、μ は水蒸気の化学ポテンシャル [J/kg]、R は気体定数 [8.31 J/mol･K]、T は絶対温度 [K]、M は水の分子量 [0.018 kg/mol]、Psat は飽和水蒸気圧 [Pa]、P は水蒸気の蒸気圧 [Pa] である。

遺構土の測定結果より（図 32）、遺構土は Case C、Case B、Case D、Case A の順に水分状態が高く示された。遺構面を露出した Case A と埋め戻しを行った Case B・C・D の遺構土の水ポテンシャル値を比較すると、Case A の測定値は他の埋め戻し方法を行った遺構土の値と比べて 1 桁～ 2 桁低く示され、最も乾燥していた。環境調査の結果から（第 2 章（2.3）参照）、遺構下部からは常に地下水もしくは雨水由来の水分供給がある一方、室内には外気が流入し、特に冬季は遺構からの水分蒸発が促進される環境である。そのため、実際に遺構土を露出展示した場合、遺構面の乾燥による割れや析出が起こると考えられる。今回の調査結果から、遺構面を保護層で覆うことで水分蒸発を抑制し、遺構を高含水状態に維持できることが示され、既往研究（Wakiya et al. 2014）とも調和的な結果を得た。

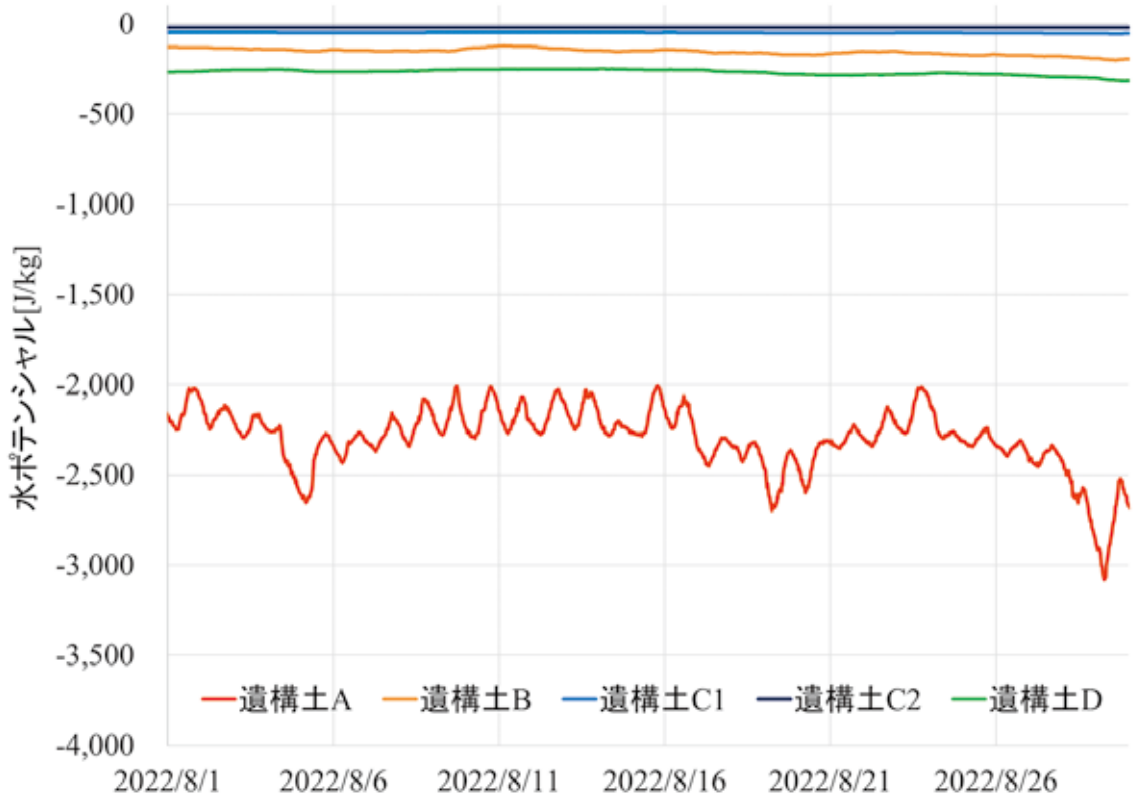


図 32　遺構面の水ポテンシャル

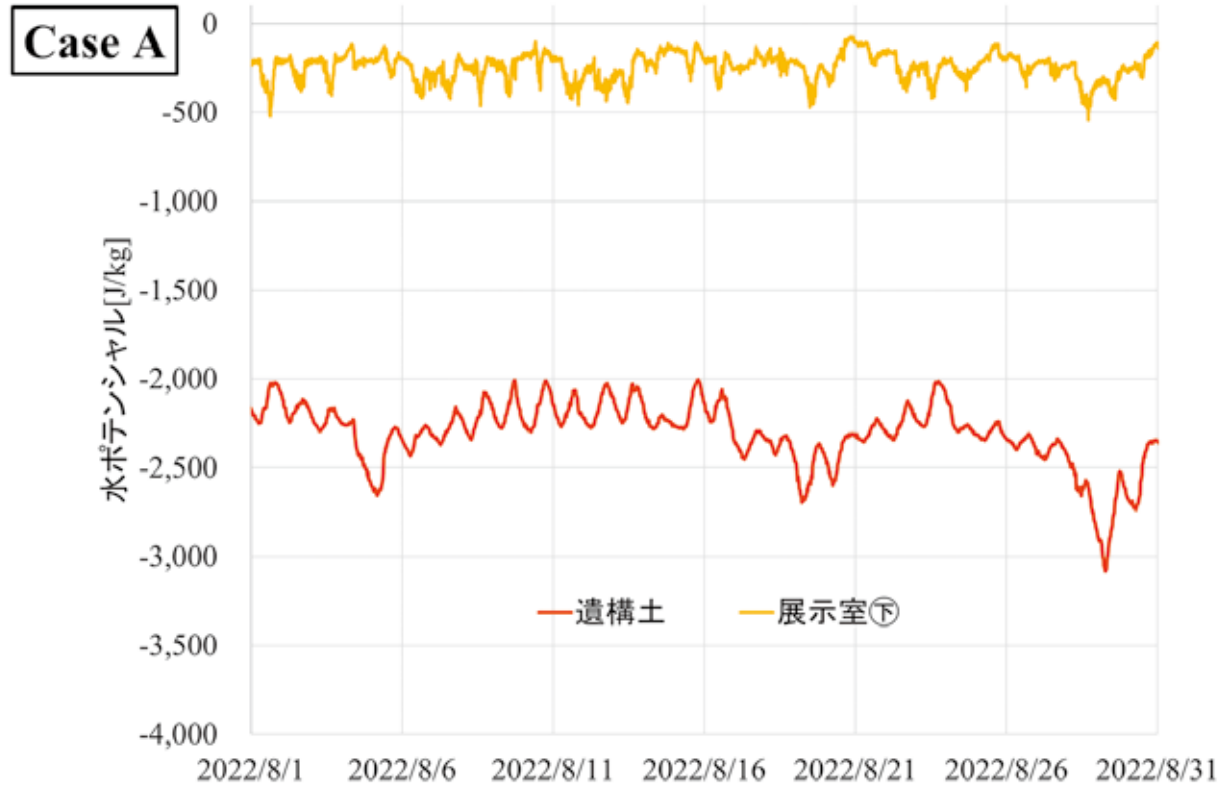


図 33-A　水ポテンシャル（Case A：戦国期の遺構面を露出）

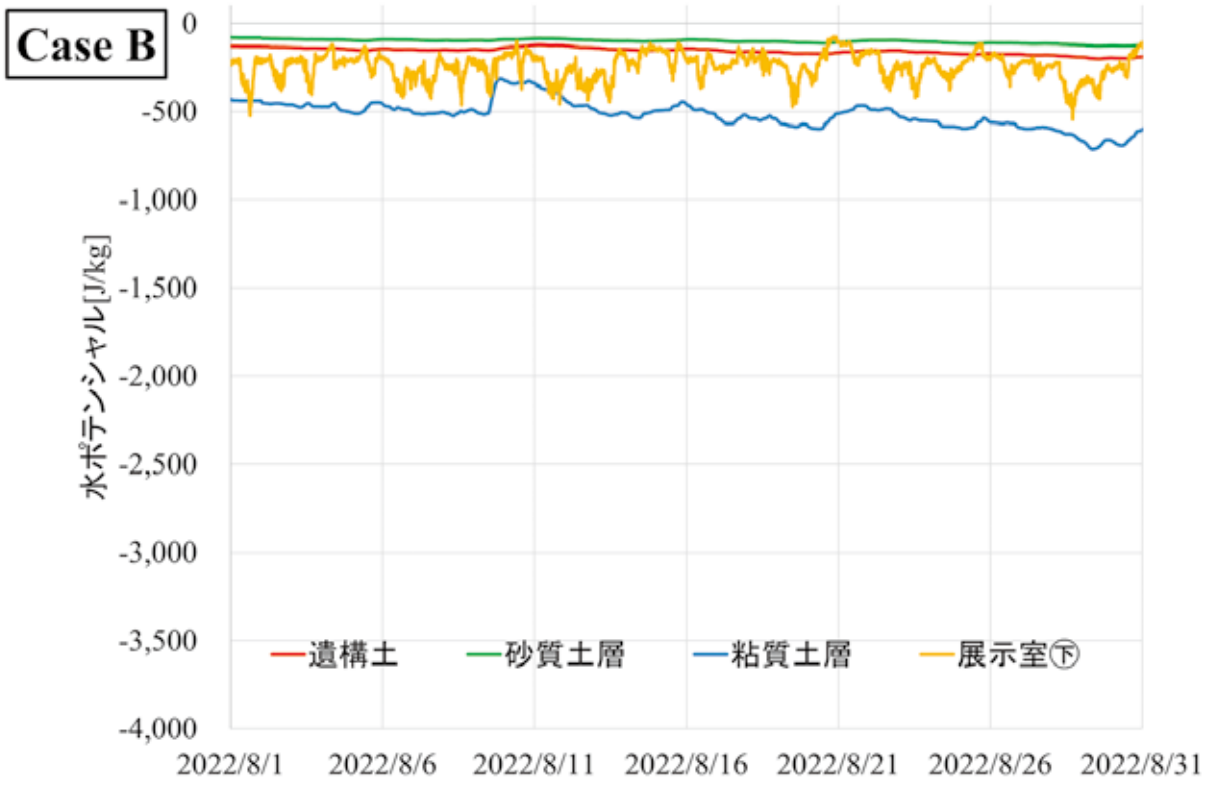


図 33-B　水ポテンシャル（Case B：砂質土と粘質土で埋め戻す）

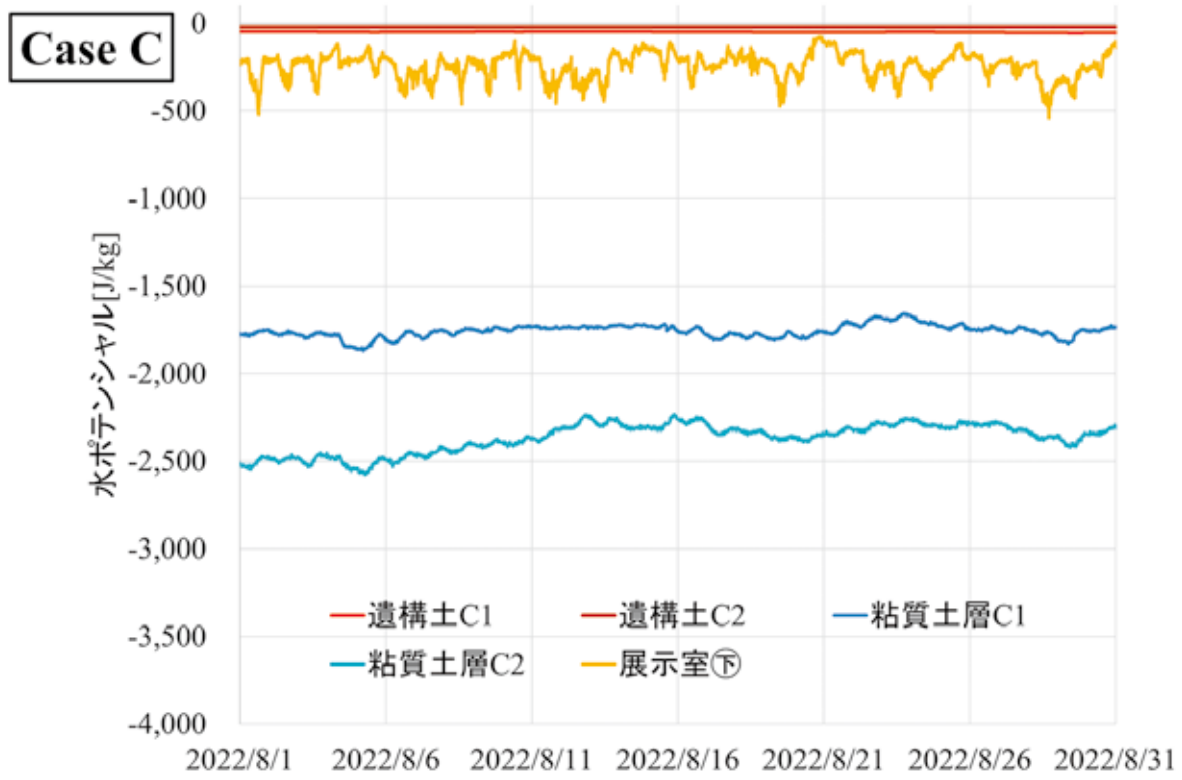


図 33-C　水ポテンシャル（Case C：砂質土、砂利、粘質土で埋め戻す）

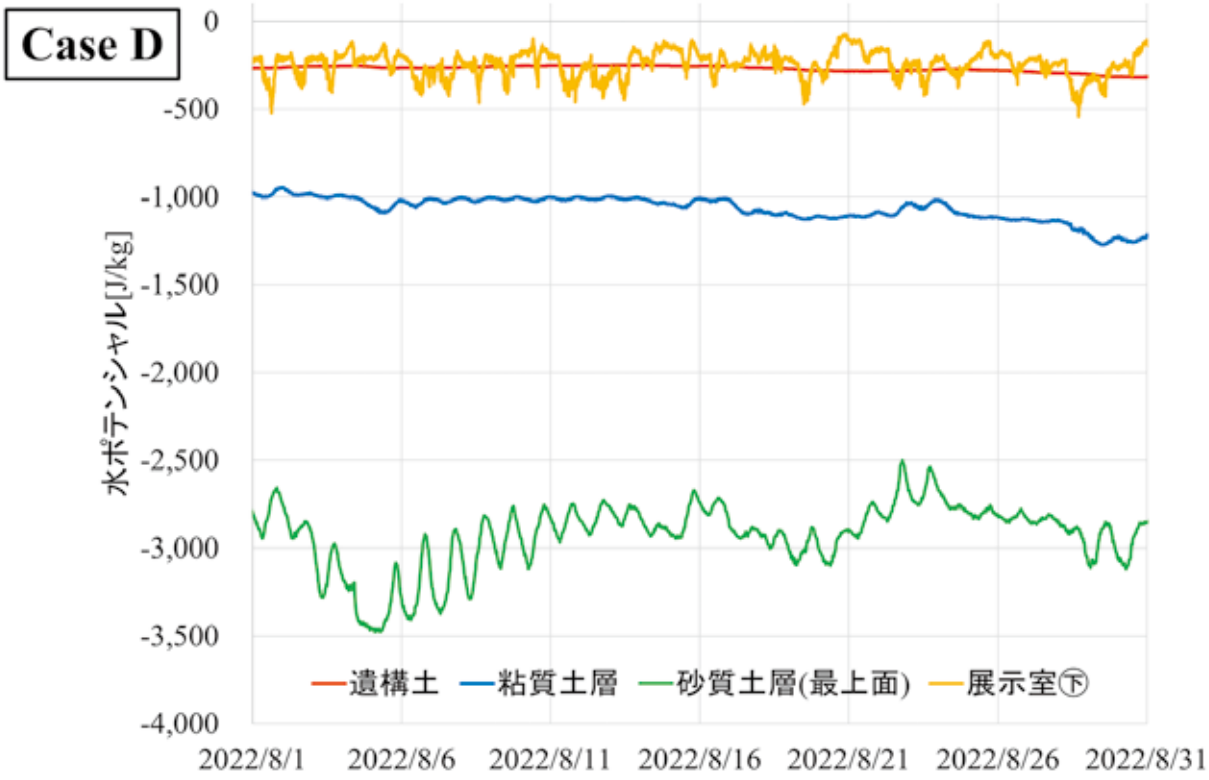


図 33-D　水ポテンシャル（Case D：Case B の上層に砂質土を敷設）

砂質土を用いて埋め戻しを行った Case B の各層ごとの水ポテンシャル値と室内の水蒸気の化学ポテンシャルを比較すると（図 33-B)、水分状態の高い順に砂質土、遺構土、室内空気、粘質土となった。この期間、粘質土よりも室内空気の化学ポテンシャルが高いことから、地盤表面では水分の凝縮が卓越するため、蒸発が抑制される環境にあり、砂質土と遺構土は高い水ポテンシャルを維持したと考えられる。砂質土の値は、その下層にある遺構土よりもわずかに高い値を示したが、この差に有意性はなく、いずれも等しく高い値を示していると考えられる。

また、砂利を用いて埋め戻しを行った Case C の各層のポテンシャル値と室内の水蒸気の化学ポテンシャルを比較すると（図 33-C)、C1 と C2 ともに、遺構土、室内空気、粘質土の順に高く示された。Case B と同様に、この期間、粘質土よりも室内の水蒸気の化学ポテンシャルが高いことから、地盤表面では凝縮が卓越し、遺構土から水分蒸発が抑制される環境になっていると考えられる。

埋め戻しに砂質土を用いた Case B と砂利を用いた Case C の遺構土の水ポテンシャル値を比較すると、Case C が Case B と比較してより高い水分状態を維持した。このことから、遺構土から埋め戻し土側への水分移動を抑制する材料としては、砂質土に比べて砂利が有効であることが示された。砂利は砂質土に比べて粒径が大きく、その透水性は高いと考えられるが、砂利層でサクションが働かなくなることにより水分移動が抑制され、Case C の遺構土は高い水分状態を維持できたものと考えられる。

（2）埋め戻し土最表層の水分状態の比較

埋め戻し土最表層の赤外線吸光度測定の結果（表 10）より、最表層を同じ粘質土で覆った Case B と Case C を比較すると、Case C の方が乾燥していることが示された。これは、Case C で使用した砂利の粒径が大きいことにより砂利層でキャピラリーバリアが形成され、埋め戻し土最表層への水分移動が抑制されたためと考えられる。

図 34 および図 35 は、各埋め戻し土の最表層における水ポテンシャルを pF 値と水分活性によって示したものである。pF 値とは、水頭の絶対値を cm で表した際の常用対数値であり、植物が土壌中の水分をどれだけ利用できるかを示す指標である。pF4.2 は「永久しおれ点」と呼ばれ、植物がしおれてから飽和状態の空気中に 12 時間おいても回復しないときの含水量として定義されている（石田ほか 1987)。図 34 より、Case C と Case D は永久しおれ点である pF4.2 前後またはそれ以上の値を示し、特に埋め戻し土最表層に砂質土を敷設した Case D は常に pF4.2 以上を維持した。このことから、今回実験を行った埋め戻し条件では、Case D が植物の生育抑制に効果的であると考えられる。

次に、物質中に含まれる水分のうち、微生物が利用可能な水分量を示す水分活性について述べ

表 10　埋め戻し土最表層（粘質土層）の吸光度

測定箇所	赤外線吸光度
Case B（粘質土層）	0.3017
Case C-1（粘質土層）	0.1018
Case C-2（粘質土層）	0.1116

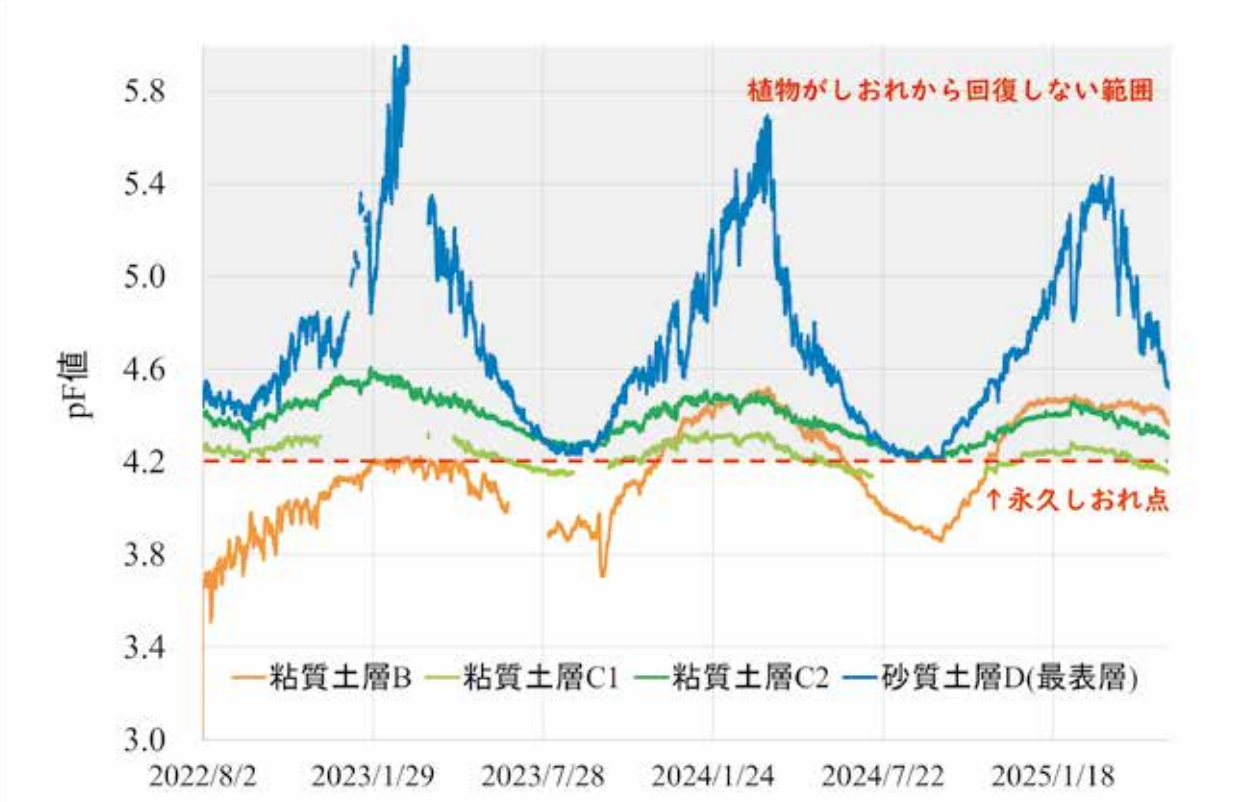


図 34　埋め戻し土最表層の pF 値

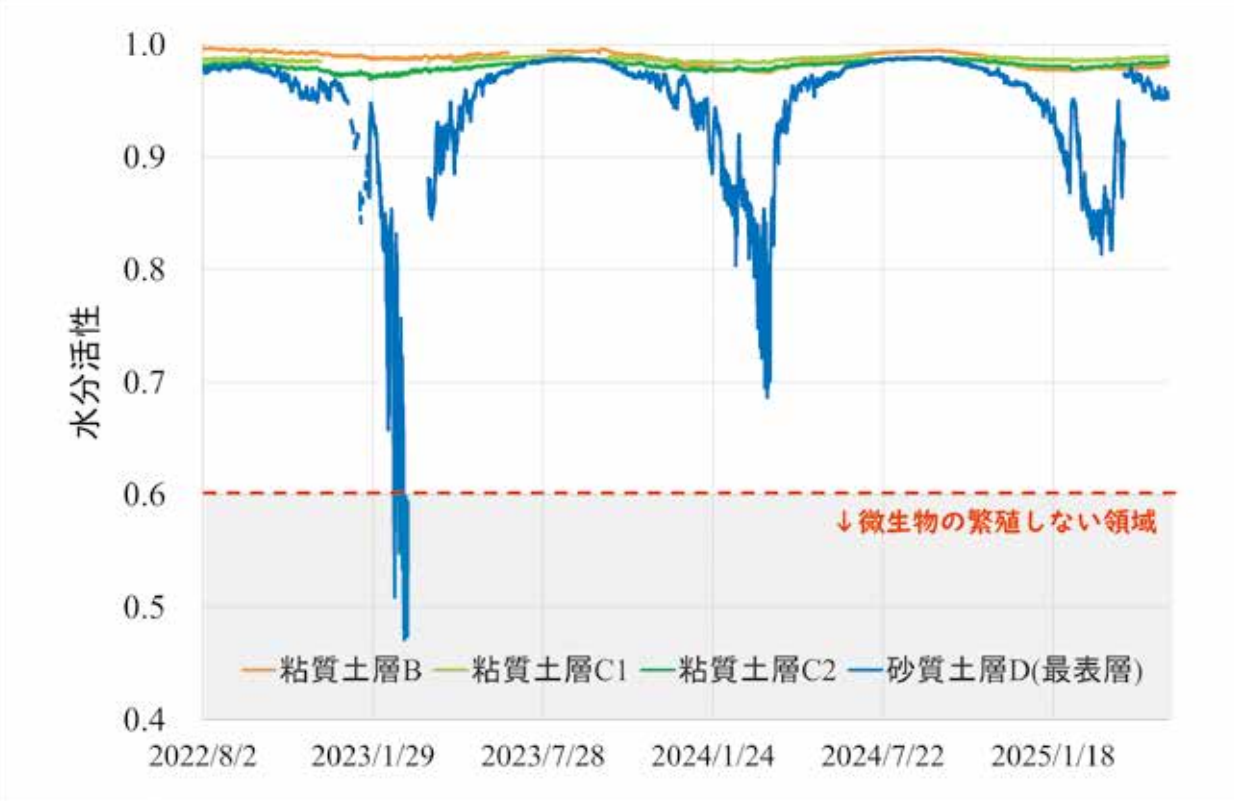


図 35　埋め戻し土最表層の水分活性

る。一般に、水分活性 0.6 以下は微生物が繁殖しにくい領域とされている（木川 2011）。図 35 より、どの埋め戻し条件においても最表層の水分活性は 0.6 を常に下回ることはなかったが、最表層に砂質土を敷設した Case D が最も水分活性 0.6 に近い値を示した。本実験に使用した砂質土には細粒の粘質土が含まれていたため、室内空気中の湿気を吸湿し水分活性が低減しなかった可能性がある。したがって砂の種類を珪砂など粘質分の少ない素材に変更することで、カビの生育抑制効果がさらに高まる可能性が示唆された。

以上の結果から、遺構面の高い水分状態を維持するには、遺構面を砂利など粒径の大きい材料で埋め戻す Case C の方法が、また埋め戻し土最表層を低含水状態に保つには、最表面に砂質土を敷設する Case D の方法が有効であることが明らかとなった。したがって、遺構展示室内の遺構土に適した埋め戻し方法は、遺構土上面の埋め戻しに粒径の大きい砂利を用い、その上に細粒分を含まない砂質土を敷設する方法が適当であると考えられる。

ただし、遺構展示室では遺構の点検作業や当館主催のイベント等において、埋め戻し土上面での人の歩行が想定されるほか、石敷遺構と埋め戻し土の高さ関係や展示上の見え方にも考慮する必要がある。そのため、実際の施工にあたっては、使用材料の詳細や各層の厚さについて、今後さらに検討する必要がある。

２．５．２　維持管理方法の検討

２．５．２．１ 目的

本項では、開館後の遺構展示室において顕在化した放線菌、生物、カビ・浮遊菌及びコケ類を抑制するため、それぞれの発生要因を踏まえつつ、調査結果に基づいた具体的な維持管理方法を検討した。

２．５．２．２　対処方法

＜放線菌＞

保護層上面に発生した白色菌類様物質については、分析の結果、放線菌の一種であることが判明した。放線菌が保護層上面で広範囲に優占して発生した要因は明らかではないが、何らかの土壌物理化学性が放線菌の生育にとって最適な条件となったためであり、土壌水分量の高さもその条件のひとつと考えられる。

分析の結果、検出された放線菌はいずれも人体への健康被害が報告されている種ではなかった。しかし、放線菌が優占して発生すると土壌の白色化を引き起こし、再発掘以後、観覧に堪えないほど保護層を汚損した。そのため、当初は、薬剤による除去・抑制も検討したが、薬剤を使用することで保護層上面において微生物相の急激な変化を生じさせ、カビ類が優占するリスクが高いと判断した。そのため、放線菌の除去・抑制を目的とした薬剤の散布は行わず、微生物の生態バランスが安定するまで静観する方針とした。

経年的な観察の結果、再発掘以後、放線菌による保護層上面の白色化は徐々に減少しており、微生物の生態バランスは安定状態に向かっているものと考えられる。再発掘以後、複数回にわたり実施した散水は、視覚的な白色化の改善が確認される一方で、過度な湿潤化によってカビやコケ類、生物の発生を誘発するリスクが想定された。そのため、散水の実施回数は最小限に留め、展示上の支障が生じる場合に限定し実施することとした（写真 20）。なお、散水は 2023 年 9 月 25 日以後実施していないが、2026 年 3 月現在、放線菌による白色化はほとんど見られない（写真 21）。



写真 20　散水の様子



写真 21　遺構展示室の様子（西から、2026 年３月現在）

＜生物＞

遺構展示室では、ヤスデ類を中心とする生物が多数確認されたが、それらのほとんどが湿潤な土壌や湿度の高い暗所を好む生物であった。これらはいずれも石敷遺構や遺構面を直接劣化させる生物ではなかったため、放線菌と同様に、殺虫剤等の薬剤による積極的な防除は行わないこととした。しかしながら、死骸の蓄積による遺構の汚損、新たなカビの誘発、来館者への心理的影響、ならびに文化財展示・収蔵エリアへの侵入リスクを考慮すると、博物館施設として適切な害虫管理が必要である。そのため、定期的に生物死骸の回収を実施し（写真 22）、遺構展示室での生物相の変化を継続的にモニタリングすることとした。また、ヤスデ類等の歩行性動物が遺構展示室から他の諸室へ侵入することを防止するために扉下部の隙間をスポンジで塞ぎ、トビムシやチャタテ類等の小さな生物が来館者の靴底に付着して館内に持ち込まれることがないように、当館内の各所に除塵マットを設置する等の対策を実施している（写真 23 ～ 24）。除塵マットは害虫の温床とならないように定期的に清掃を行い、遺構展示室の見学通路についても委託業者により１日３回、モップ掛けの清掃を行っている（写真 25）。

来館者が保護層上面に立ち入るイベントは、ムカデ類等の人に害を及ぼす生物が発生するリスクが低い冬季時期に限定して実施することで、来館者の安全性の確保を図っている（写真 26）。なお、遺構展示室の小さな生物やカビ菌糸の館内への持ち込みを防ぐために、遺構面に立ち入る際は靴カバーの着用や、専用のスリッパの使用を徹底している（写真 27）。



写真 22　生物死骸の回収作業



写真 23　扉下部の隙間を埋めるスポンジ



写真 24　風除室に設置した除塵マット



写真 25　日常的な見学通路の清掃



写真 26　保護層上面に立ち入るイベント



写真 27　遺構展示室に設置したスリッパ

＜カビ・浮遊菌＞

カビについては主に保護層上面（周縁部）に分布し、木製矢板直上を中心に木材腐朽菌とみられるキノコや生物の死骸を伴って発生していた。特に、木製矢板はカビ発生の主な原因となっているため、当館建設工事の際に埋めたままにせず、地表に露出する矢板だけでも撤去する必要があったと考えられる。

遺構展示室で発生するカビは、菌糸の生長によって直接、保護層や遺構の汚損を引き起こす要因となるほか、カビ胞子の飛散による文化財展示・収蔵エリアへの影響が懸念されたため、定期的な点検によるカビや生物の死骸の除去を基本方針とした。今後、保護層上面（周縁部）を砂質土で埋め戻すことで、矢板直上で発生しているカビはある程度抑制できるものと考えられる。

空中浮遊菌の調査結果からは、文化財展示・収蔵エリアにおいて基準値を超える汚染は認められなかった。このことから、当館内のゾーニングや 24 時間空調、日常的な生物の死骸やカビの除去を組み合わせた対応が、清浄な展示･収蔵環境を維持するうえで有効に機能していると考えられる。文化財展示・収蔵エリアへの浮遊菌の拡散防止を図るため、これらの対応を引き続き実施することとした。

＜コケ類＞

コケ類については、遺構展示室中央部の一部に局所的に分布しており、土壌の水分状態が比較的高く、展示用ライトによる照度が一定程度ある箇所で繁茂していた。展示用ライトの照射時間をできる限り短くし、照度を低く設定することで、コケ類の繁茂はある程度制御できると考えられるが、見学者の便宜を考慮すると、これらの照度設定の変更は運用上、実施が困難である。そのため、今後は第２章（2.5.1）で検討したとおり、保護層上面の土壌をコケ類が繁茂しにくい砂質土に置き換える等の根本的な対策が必要であると考えられる。現在、遺構展示室で繰り返し発生しているコケ類は植物に比べれば根を深く張ることはなく、遺構を直接劣化させるものではない。しかし、繁茂するコケ類の数が増えると遺構面の汚損を引き起こすため、発見次第、物理的な除去を実施する対応とした。

２．６　第２章のまとめ

本章では、遺構展示室における遺構の保存と展示の両立を目的に、開館前後の調査結果を基に劣化要因と対策を検討した。環境調査の結果から、遺構展示室は年間を通じて換気ガラリを介して外気が流入し、高温多湿と低温低湿を繰り返す環境であり、カビや塩類析出、遺構土の割れが生じやすいことが明らかとなった。そのため、開館時点では石敷遺構は露出し、その周辺の遺構土は砂質土と発掘時に出た粘質土で埋め戻す展示手法を採用した。

開館後の検証では、埋め戻しを行った遺構土の水分状態は露出した場合と比べて高く維持され、埋め戻しが遺構土の保護に有効であることが確認された。一方で保護層上面では物理的・生物的劣化も見られ、土壌の水分量がその要因であることが分かった。遺構土の最適な埋め戻し手法を検討するために実施した試験では、砂利層によるキャピラリーバリアの形成が遺構面の水分保持と上層への水分移動抑制に有効であり、埋め戻し土最上面に砂質土を敷設することが生物劣化の抑制につながる可能性も示された。また、放線菌やカビ等の生物の発生に対しては薬剤の使用を避け、最小限の散水と経過観察、清掃や侵入防止といった日常管理を継続する方針とした。その結果、保護層上面に大量発生した放線菌は落ち着き、浮遊菌やカビによる来館者への健康被害も認められていない。

以上のことから、遺構展示室のように室熱環境の制御が難しい環境下では、遺構土の埋め戻しによる土壌水分のコントロールと、薬剤を使用しない継続的な維持管理の組み合わせが、遺構保存に有効な手段であることが示された。

[第２章参考文献]

浅間茂・石井規雄・松本嘉幸 2002「ダニ等の土壌動物」『野外観察ハンドブック　校庭のクモ・ダニ・アブラムシ』全国農村教育協会 pp.89–156

石田朋靖・多田敦・東山勇 1987「pF の原理と応用 12. 植物の水環境と pF」『土と基礎』35–9 pp. 81–87

カビ対策専門家会合 2007「Ⅲ . 今後のカビ対策に向けて 別紙 施設環境管理指針（試案）」『報告書－カビの発生予防と早期発見のために－』文部科学省

木川りか 2011「５生物被害　Ⅲ . カビによる文化財の劣化と対策」『文化財の保存環境』独立行政法人国立文化財機構東京文化財研究所編 pp.100–105

地盤工学会 2014「第 11 章 土の透水試験」『土質試験―基本と手引き―（第二回改訂版）』丸善出版 pp.91–102

竹田幸司・斎野裕彦・原河英二・五十嵐康洋・平塚幸人 2000「ポリシロキサンを用いた富沢遺跡の保存について」『保存科学研究集会 2000 － 12 出土木製品の保存処理における諸問題』奈良国立文化財研究所埋蔵文化財センター pp.13–18

田中祐二・藤井佐由里 2024「１. 博物館整備（３）展示・収蔵環境　遺構展示室」『一乗谷朝倉氏遺跡博物館年報・紀要 2022』pp.33–34 福井県立一乗谷朝倉氏遺跡博物館

東京文化財研究所 2004「各論」『文化財害虫事典　2004 年改訂版』クバプロ pp.19–200

平塚幸人 2012「仙台市富沢遺跡保存館の遺構保存について」『地底の森ミュージアム・縄文の森広場研究報告 2011』仙台市教育委員会 pp.1–21

福井県立一乗谷朝倉氏遺跡博物館 2023『一乗谷朝倉氏遺跡発掘調査報告 第 150 次調査 一乗谷朝倉氏遺跡博物館整備に伴う発掘調査』福井県立一乗谷朝倉氏遺跡博物館 pp.168

藤井佐由里・渡邊英明・脇谷草一郎・柳田明進 2022「博物館内における遺構の展示手法と周辺環境の最適化に関する研究－遺構展示室における遺構の展示環境の調査－」『一乗谷朝倉氏遺跡資料館紀要 2021』福井県立一乗谷朝倉氏遺跡博物館 pp.47–62

鉾井修一・池田哲朗・新田勝通 2002「6.1.6 カビの発育と湿度」『エース環境工学Ⅱ―熱・湿気・換気―』朝倉書店 pp.76–77

宮崎毅・長谷川周一・粕渕辰昭 2015『土壌物理学』朝倉書店 pp.138

宮下清貴 2003「放線菌の分類・同定と土壌の主要な放線菌」『新・土の微生物（９）放線菌の機能と働き』博友社 pp.37–55

渡邊英明・佐藤嘉則・島田潤・藤井佐由里・田中祐二・川越光洋・髙妻洋成 2022「博物館内における遺構生物劣化と保存対策に関する検討－遺構展示室における微生物調査－」『日本文化財科学会第 39 回大会研究発表要旨集』日本文化財科学会 pp.178–179

Goudie, A and Viles, H. 1997 “Salt Weathering Hazards” John Wiley & Sons

Wakiya, S, Ishizaki, T, Kohdzuma, Y, Aoki, S. 2014 “Study on Preservation Methods of Imperial Citadel of Thang Long based on heat and moisture movement in the remains” Proceedings of the International Conference on Conservation of Stone and Earthen Architectural Heritage pp.97-104

第３章　屋外での遺構の保存方法

３．１　目的

本遺跡では 50 年以上にわたり屋外で遺構の露出展示を実施している。近年の露出展示遺構は経年劣化や集中的な降雨等の影響を受け、既整備地での遺構の劣化が課題となっている。

本章では、屋外の露出展示遺構の保存対策を目的とし、景石の保存対策の検討及び本遺跡の排水環境の改善策を検討した結果を記述する。景石の保存対策については、特別名勝指定を受けた諏訪館跡庭園において、景石の凍結・融解作用による劣化の抑制方法を検討した。排水環境の改善策については、本遺跡の既整備地を対象として、排水不良箇所の調査等による現況把握及び調査結果に基づく設計内容を検討した。

３．２　景石の保存に向けた調査

３．２．１　諏訪館跡庭園の概要

調査地である諏訪館跡庭園（写真 28）は、一乗谷の南側の高台に位置する戦国期の庭園遺構であり、特別史跡内に所在する 4 つの特別名勝指定の庭園のうち、最大規模を誇るものである。昭和 42 年（1967）に発掘調査が実施されて以降、庭園は現在まで露出展示されてきた。庭園の中心部には園池があり、常に湛水した状態にある（写真 29）。この園池を取り囲むように景石が配され、一部の景石は石の下部が水に浸かる状態となっている。園池の水は、庭園北側を流れる諏訪川の上流部を給水源とし、園地への湛水後は北側に設けられた暗渠管を通じて諏訪川の下流部へ排水される構造である。

３．２．２　景石の劣化状態及び劣化要因に関する検討

３．２．２．１　調査目的

諏訪館跡庭園に配された景石は、その保存状態にばらつきが認められ、現在も良好な状態を維持しているものが存在する一方で、表層の剥離やクラックの進行、小片化等、劣化が著しく進行しているものも確認されている。これらの劣化は一様に進行するものではなく、景石に用いられた岩石種による違いや、各石材固有の内部構造、あるいは庭園内の環境等の違いによって、その進行様相や速度が異なっていると考えられる。

本調査では、景石に見られる劣化のさらなる進行を抑制する手法を検討するため、諏訪館跡庭園における景石の劣化状態を体系的に整理し、その要因を検討することを目的とした。具体的には、まず庭園内に分布する景石の岩石種とその分布状況を整理するとともに、各景石に認められる劣化の特徴について観察結果をもとに記述する。次いで、これらの劣化状態と岩石種・環境条件との関係を踏まえ、景石の劣化に関与していると想定される劣化要因の検討を行った。

３．２．２．２　景石の岩石種と劣化状態について

諏訪館跡庭園に据えられた景石は、凝灰岩や火山角礫岩などの火山砕屑岩を主体とし、これに加えて、斜長石および角閃石を斑晶として含む安山岩も確認された（福井県立一乗谷朝倉氏遺跡博物館・株式会社サンワコン 2023）。安山岩の中には板状節理が発達しているものが認められるが、保存状態は比較的良好なものが多い（写真 30）。これらの岩石種の違いは、後述する劣化様相の差異



写真 28　諏訪館跡庭園（東から）



写真 29　諏訪館跡庭園の園池（南から）



写真 30　保存状態の良好な景石
（火山岩－安山岩）



写真 31　保存状態の不良な景石
（火山砕屑岩－火山角礫岩）

とも密接に関連している可能性がある。

火山角礫岩は、緻密なマトリクスをもつ岩石片が結合した構造を有するが、その接触面には形成過程に起因するジョイント部分が存在し、力学的・水理学的に相対的な弱部となりやすい。そのため、これらの中にはジョイント部分がクラックとして開きつつあり、その内部に溜まった水によって景石表面に蘚苔類や草本が着生しているものが見られた（写真 31）。さらに、クラックが完全に開くことで数センチから十数センチ大のブロック状に表層が浮き上がっているものや、既に崩落に至っているものも確認された（図 36）。このように、極めて保存状態の悪い景石も分布している。これらの景石の形状に着目すると、一般に河原から採取される転石は、角が丸みを帯びるとともに、内部にジョイントなどの弱部を有する部分は割れて小片化が進み、比較的堅牢な部分のみが残るように淘汰される。一方、諏訪館跡庭園の景石の多くは比較的角張った形状を保っている。このことは、自然環境下で長期間淘汰を受けた転石とは異なり、内部に潜在的な破壊起点を保持した状態で庭園に据えられたことを示唆している。火山角礫岩のマトリクスは緻密で透水性は低いと考えられるが、とくに降雨や積雪後には、開口したジョイント部分に毛管作用や重力によって水が滞留しやすい。それらの水が物理的・化学的作用を引き起こす起点となり、やがてクラックが拡大して表層の崩壊へと至るものと推察される。以上の観察結果から、景石の劣化にはジョイント部分を経路とした水の浸透が重要な役割を果たしている可能性が高く、とりわけ冬季における凍結・融解作用がその進行に関与していることが示唆された。

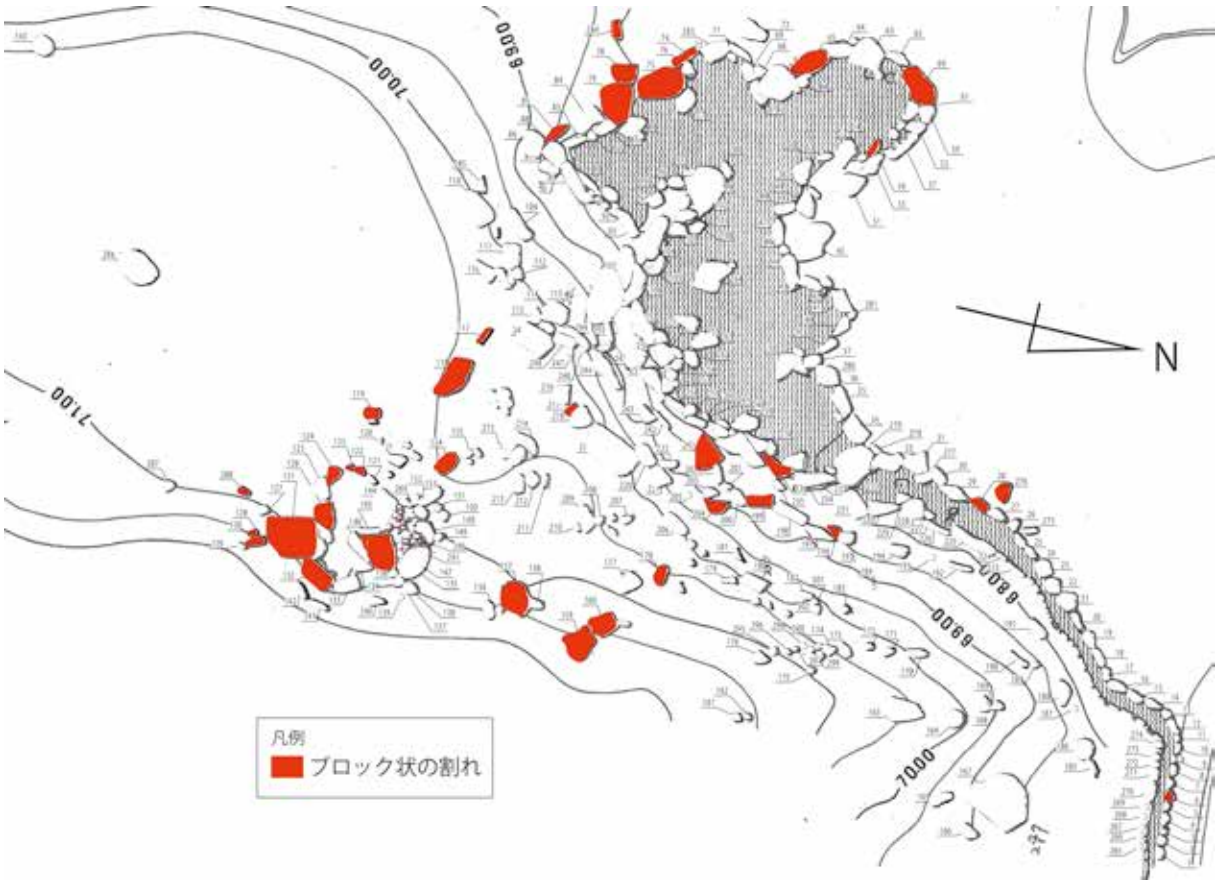


図 36-1　割れが認められる景石等の分布（諏訪館跡庭園）

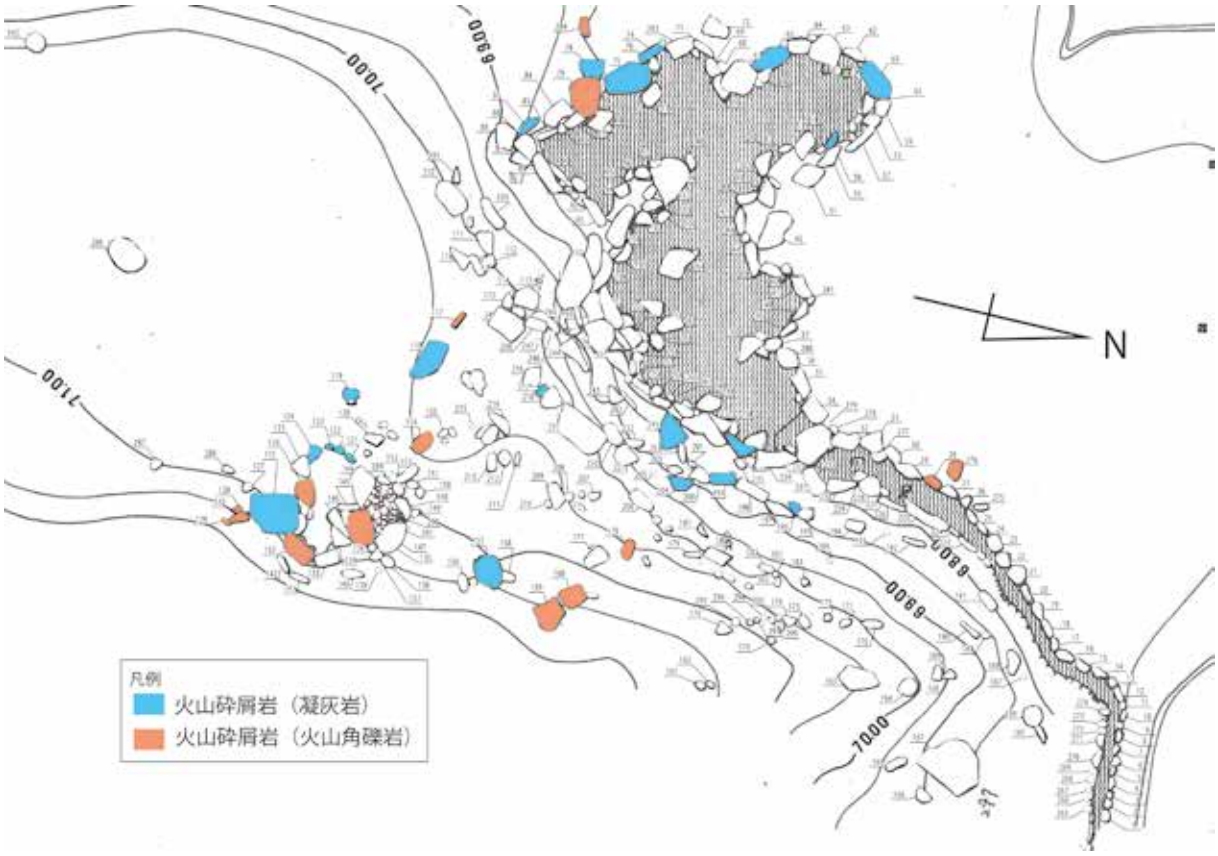


図 36-2　割れが認められる景石等の岩種（諏訪館跡庭園）

３．２．２．３　調査方法

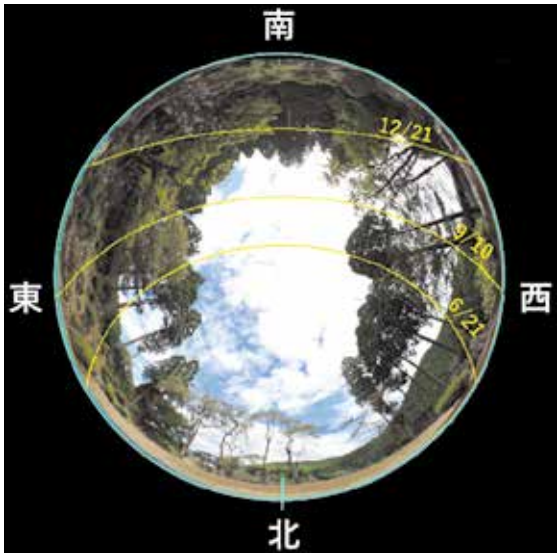


写真 32　割れの顕著な景石直上の全天写真

第３章（3.2.2.2）に記したように、景石に用いられた石材のうち、一部の火山角礫岩は多数のクラックが既に発達していること、また写真 32 に示すように、庭園直上は木に覆われておらず、開空率が約 30% 程度と高く、夜間放射による石材温度の低下が促進されると考えられる。したがって、景石の劣化はクラック内部に浸透した水が冬季に凍結すると同時に更なる水をクラック内部に引き込み続け、クラック内部で氷晶が膨張することで材料が破壊される、凍結融解劣化によって主に引き起こされていると推定された。そこで、景石のクラック部分と、クラックに囲まれたブロック状の箇所において、石材表面の水分量を測定するとともに、厳冬期に限定して、景石のクラック内部の温度を測定した。石材表面の水分量測定には赤外線水分計(株式会社ケット科学研究所社製、KJT-130）を用いて、水分量の相対的な多寡を推定した。

景石のクラック内部温度の測定にはサーミスタ温度計（TandD 社製、TR42）を用いた。温度センサーはφ 2.2mm のフッ素樹脂被覆されたもので、これをクラック内部に挿入して測定した。外気の温湿度は Onset 社製、HOBO MX2302A を用いた。測定対象とした景石は図 37 に示すように隣接する２石で（写真 33、写真 34)、石材表面の水分量測定は 2022 年１月 28 日に実施し、クラック内部温度の測定期間は 2022 年１月 27 日から同年２月８日とした。

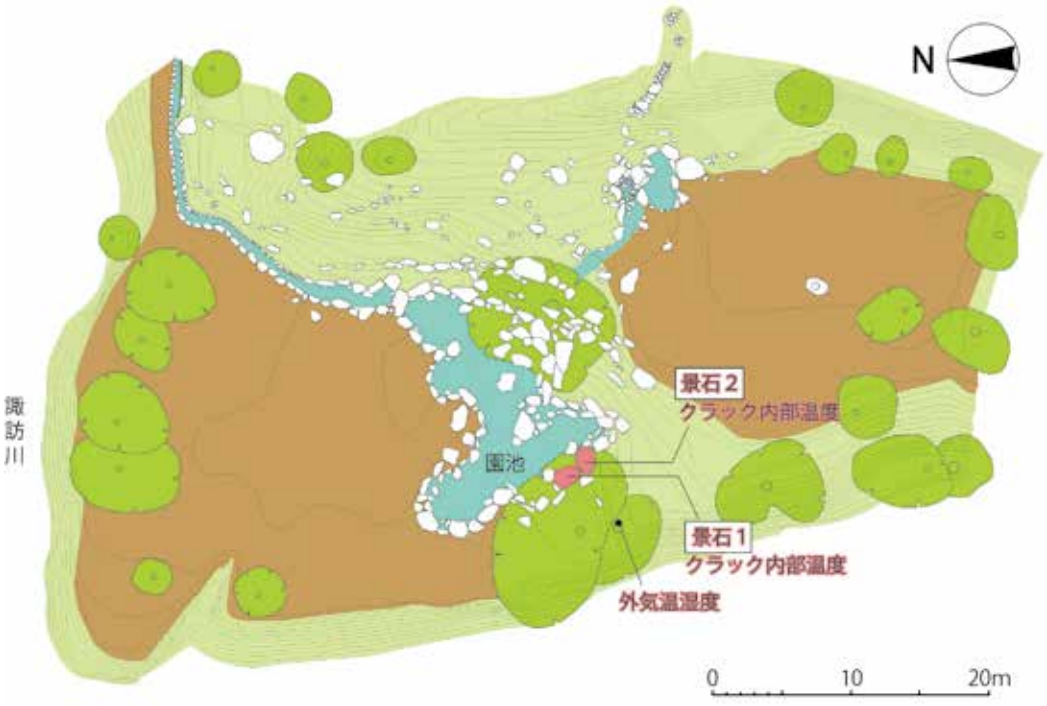


図 37　対象景石と測定項目



写真 33　景石 1



写真 34　景石 2

3.2.2.4　結果と考察

赤外線水分計により石材表面の吸光度を測定した結果、景石の上部と下部で水分状態が高く、さらにクラック近傍ではひときわ高い値を示した。これらの結果から、雨水や雪によって景石上部から供給される水と、地盤あるいは池から供給される水が、クラック内部に浸透していると考えられる。

景石のクラック内部温度の測定結果を図 38 に示す。外気温度は 1 月 27 日夜から翌日の明け方にかけて－ 3℃まで低下し、その後日中は約 10℃まで上昇した。景石 2 は外気の温度変化に対して僅かな位相の遅れと日較差の低減が認められたものの、外気の温度変化を大略追従する結果を示した。石材は比較的熱伝導率が小さく、熱容量が大きいため、外気温度と比較して変化の遅れと振幅の低減を示したと考えられる。

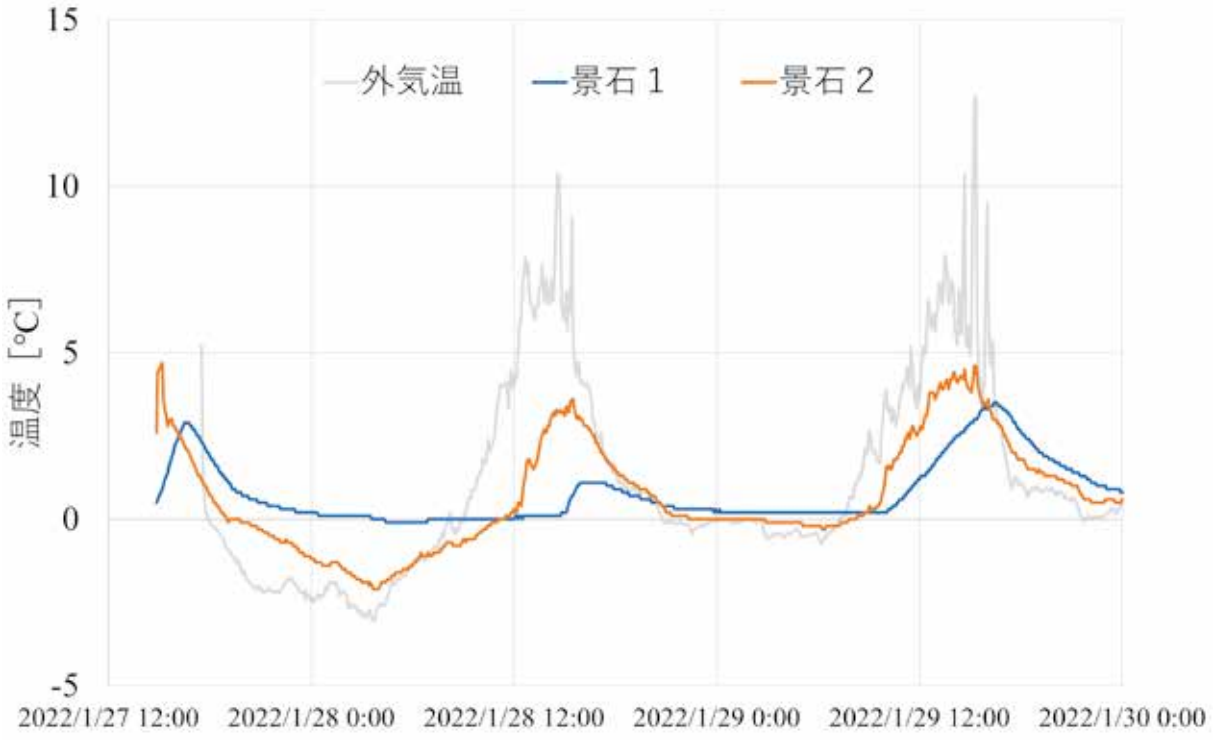


図 38　景石クラック内部の温度

一方､景石１では 27 日深夜から 28 日にかけてクラック内部の温度は約 0℃で下げ止まりとなり、28 日の日中も外気温度や景石２では温度が上昇を示したのちも引き続き 0℃を示し続けた。これはクラック内部において、夜間は水から氷へ、翌日の日中は反対に氷から水へと相変化する際のそれぞれ凝固熱及び融解熱の影響により 0℃で一定値を示したと考えられる。すなわち、諏訪館跡庭園では開空率が高いことから夜間放射が大きく、石材からの熱の損失が促進された結果、景石１のクラック内部では水の凍結が生じていることが示唆された。これらの結果から、安山岩に特徴的に認められるブロック状の崩壊は、山から採取された石材が有するクラックに沿った水の浸透と、景石が露出しているために夜間放射の影響を強く受け、クラック内部での水の凍結が繰り返し生じることで進行していると考えられた。

３．２．３　景石の凍結破砕抑制に向けた冬季養生

３．２．３．１　調査目的

景石及び周辺環境の調査結果から、景石に認められるブロック状の割れは、クラック内部における氷晶の成長が影響していることが示唆された。特別史跡及び特別名勝の両指定範囲に含まれる諏訪館跡庭園では、遺跡現地においてオリジナルの景石を保存・公開する必要があるため、景石の劣化要因を把握し、それに基づいた劣化抑制手法を策定することが喫緊の課題となっている。しかしながら、名勝指定地であることから、景石保存を目的として庭園上部に覆屋を設置する、あるいは庭園周辺に樹木を植栽する等、景観を容易に改変することはできない。こうした制約条件のもとで景石の現地保存を行うためには、以下の２つの保存対策が考えられる。

① 薬剤等を用いた景石の修理
すでに割れが生じている景石に対し、薬剤等を用いてクラックの充填を行い、凍結・融解の要因となる水の浸透を抑制する方法。

② 景石の冬季養生
庭園の維持管理の一環として、クラック内部の水の氷晶化を防ぐため冬季に景石を養生し、温度低下を抑制する方法。

本項では特に、庭園の維持管理方法としての景石の冬季養生の検討結果を記載する。既往研究では、屋外にある石造文化財や石製遺構を対象として、土嚢袋に落ち葉を詰めた「保温袋」（朽津ほか 2014）や莚（石崎 2020）を用いた養生調査が実施されており、いずれも温度低下の抑制に効果があることが報告されている。また、ヨーロッパでは、城壁や修道院等の石造建造物を風雨や日射から保護するため、“soft capping” と呼ばれる植物性マットによる養生が実施されている (Historic Environment Scotland., 2014, Wood et al. 2018, Richards, J. et al. 2025) 。

当遺跡で養生対象とする景石は、形状や大きさが多様であり、その数量も多いため、養生材料には、さまざまな形状・大きさの景石に対応可能で、かつ非養生期間に大量の収納スペースを必要としないシート状材料が適していると考えられる。ただし、シート状材料には多様な種類が存在し、図 39 に示すように、景石の凍結破砕を抑制するうえで、日中に石材への蓄熱量が大きい材料と、夜間放射による温度低下の抑制効果が高い材料のいずれがより有効であるかは、検討の余地が残されている。そこで本調査では、景石の温度低下抑制に適した養生材料を明らかにすることを目的とした。

３．２．３．２　調査方法

養生材料の形状は、作業性及び収納性を考慮し、シート状の製品とした。材料としては、比較的断熱効果が高いと考えられる菰、半硬質ウレタン、エアキャップを選定した（写真 35）。エアキャップについては、輻射の影響を検証するため、表面にアルミを蒸着した製品と、蒸着していない製品の２種類を用意した。透過率の高い材料は、日中の熱取得による夜間の温度低下抑制に有利であると推測される一方、夜間放射の抑制という観点では、放射率の低い材料が有効であると考えられる。このため、材料ごとの養生効果を適切に評価する目的で、各養生材料の熱に関する物性値を取得した（表 11）。

養生対象の石及び測定箇所を図 40 に示す。養生対象の石は、日射条件、大きさ・形状、周辺地盤との接触面積等の条件が比較的近い、幅約 70 ～ 90 cm、高さ約 45 cm の５石とした。これらの石はいずれも庭園内の水路を構成し、石の一部が水面及び地盤に接している。そのため、図 41 に示すように、石の上面及び側面を覆う形で養生を行った。なお、養生効果を比較するため、養生を行わない１石を対象として設定した。

測定項目は以下のとおりである。石の温度変化を把握するため、サーミスタ温度計（T&D 社製、RTR502）を用いて景石表面温度を測定した。養生後は、養生材内部の湿度環境を把握する目的で、石と養生材の間に温湿度計（Onset Computer 社製、U23-002A）を設置した。また、外気の気象条件を把握するため、養生対象の石から約３m 北東に位置する解説板に温湿度計（Onset Computer 社製、MX2302A）を高さ２m の位置に設置した。さらに、対象石の周辺の地盤温度を把握するため、サーミスタ温度計（T&D 社製、RTR502）を深さ５cm 地点に埋設し、土中温度を

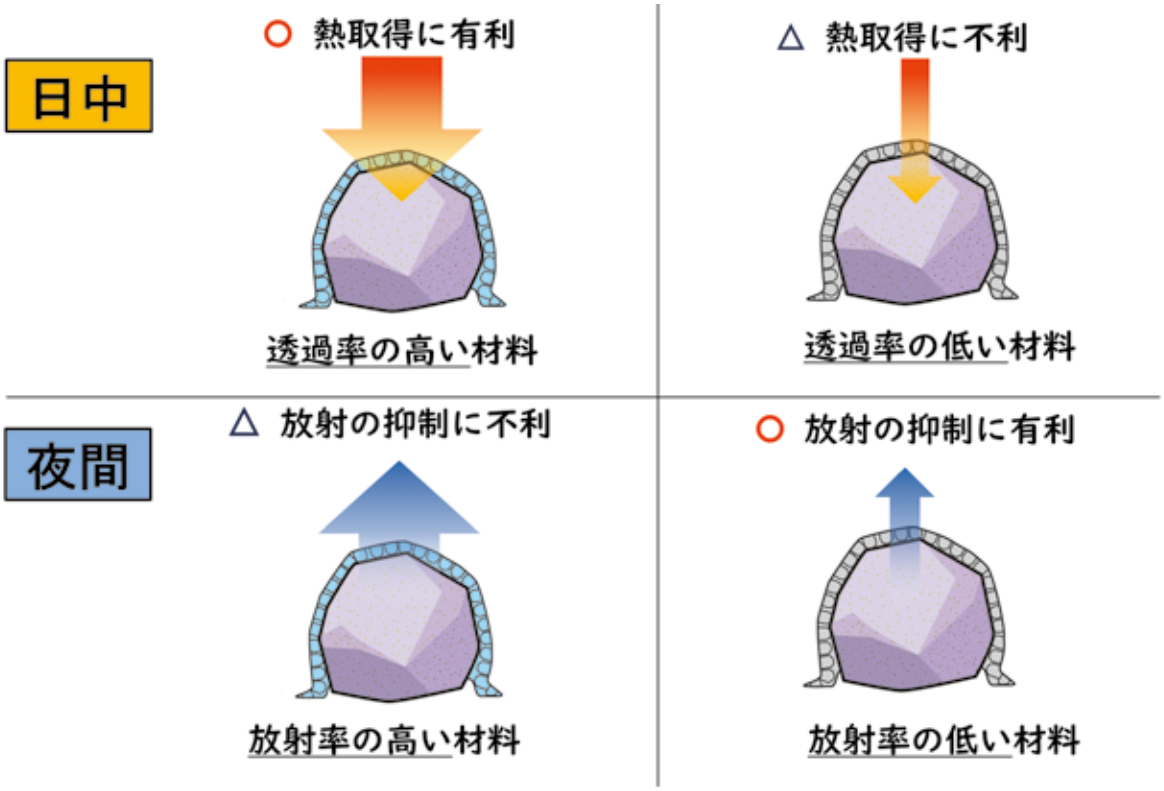


図 39　石の養生による温度低下の抑制イメージ

測定した。加えて、養生期間中の庭園内の積雪状況を把握するため、タイムラプスカメラ（Brinno 社製、MAC200DN）を用いて調査対象地の定点撮影を行った。

測定項目及び調査期間を表 12 に示す。温度測定及び定点撮影は、2024 年 1 月 6 日から 4 月 1 日までの期間に実施した。なお、対象石については、全く同一条件の個体を用意することが困難であるため、温度変化等が養生による影響か、石の個体差によるものかの判断が難しい。このため、養生開始前に約 1 週間の非養生期間を設け、同様の環境条件下において比較対象の石が同様の温度変化を示すことを確認した。その後、2024 年 1 月 12 日に景石の養生を開始し、併せて養生材内の温湿度測定を開始した。

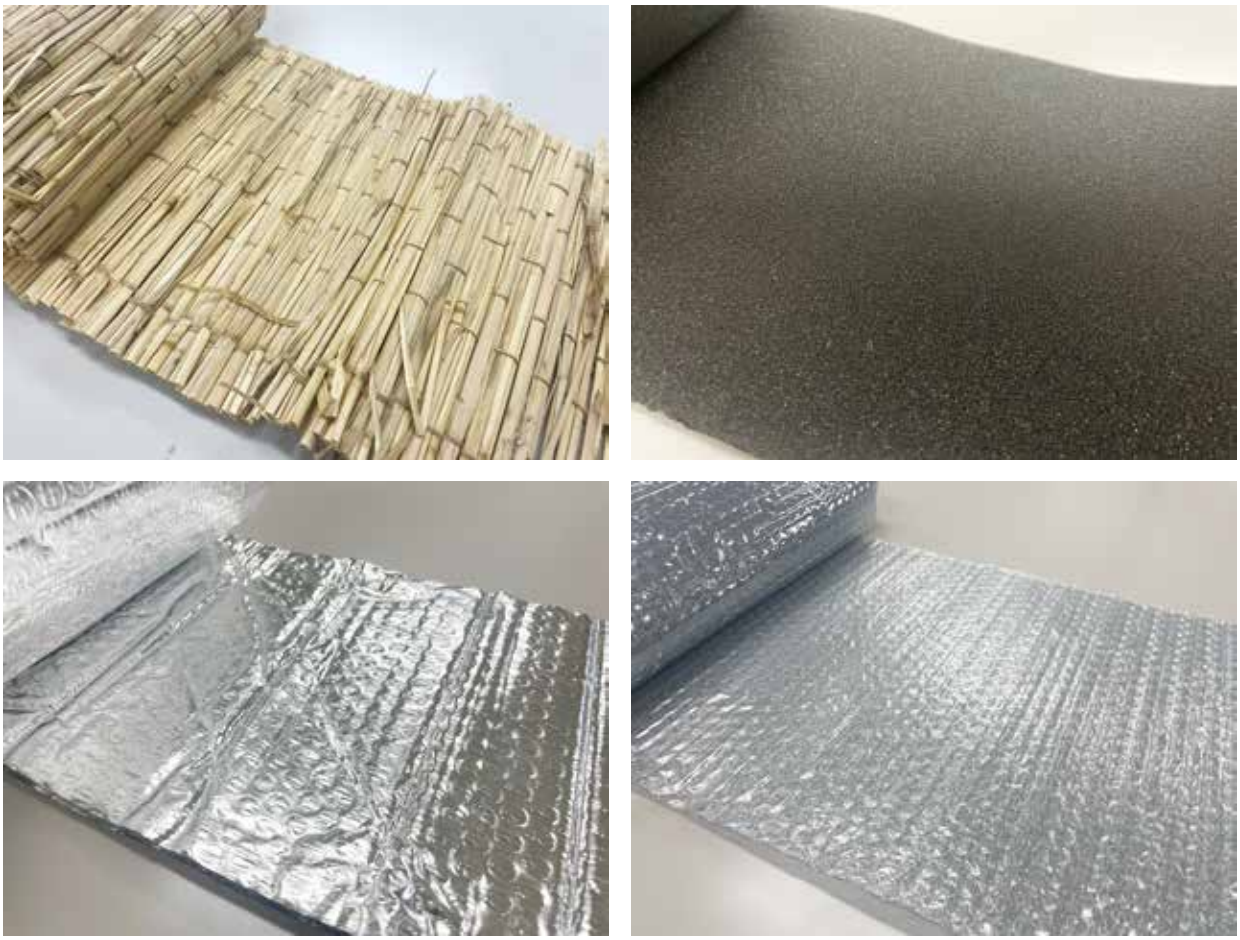


写真 35　養生材料（左上：菰、右上：半硬質ウレタンシート、左下：エアキャップ（アルミ蒸着あり）、右下：エアキャップ（アルミ蒸着なし））

表 11　養生材料の物性値

養生材料	厚み [㎜]	透過率 [%]	反射率 [%]	放射率 [%]	熱伝導率 [W/(m・K)]
菰	約 2.0	–	–	–	–
半硬質ウレタン	5.0	0.3	4.2	95.5	0.0350
エアキャップ（アルミ蒸着なし）	4.0	39.5	26.4	34.1	0.0348
エアキャップ（アルミ蒸着あり）	4.0	0.0	84.0	16.0	0.0341

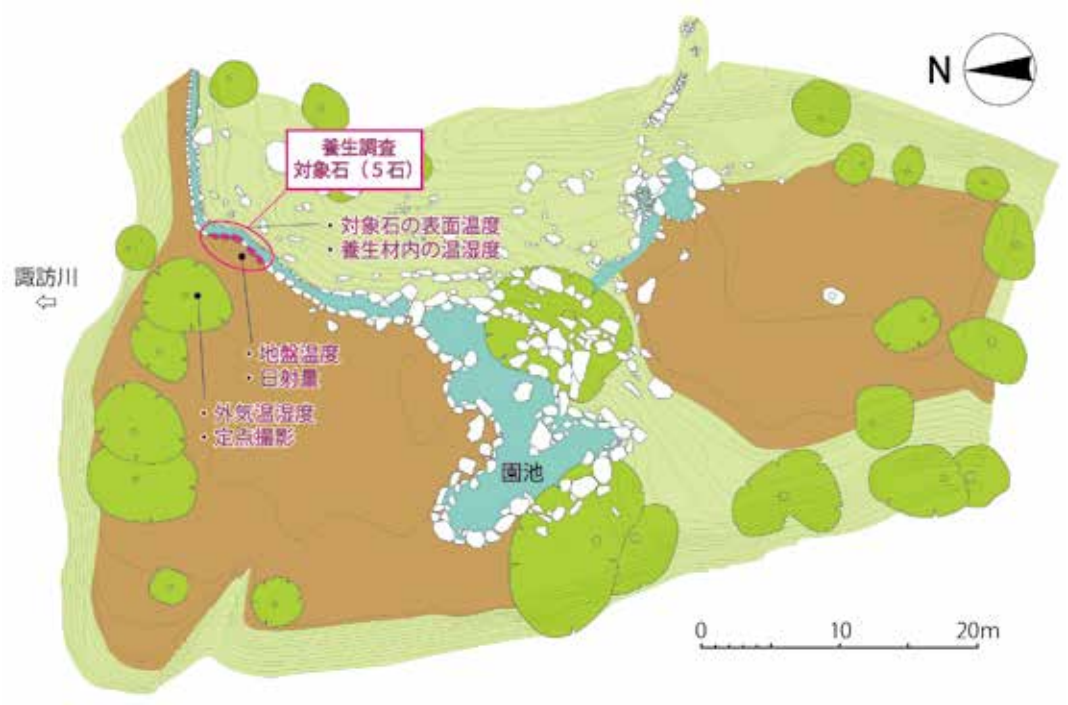


図 40　調査箇所（諏訪館跡庭園）

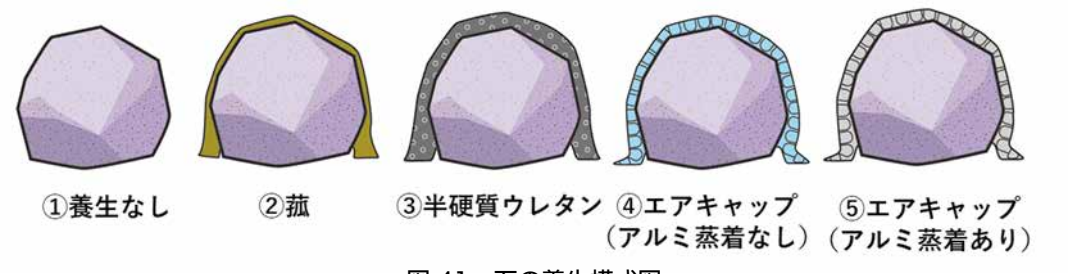


図 41　石の養生模式図

表 12　測定項目と調査期間

2024年	1月	2月	3月
養生	1/12	養生期間	
対象石の表面温度	測定期間		
地盤温度	測定期間		
養生材内の温湿度	1/12	測定期間	
日射量	測定期間		
定点撮影	撮影期間		

３．２．３．３　結果と考察

（１）非養生期間

非養生期間においては（図 42)、熱容量の影響により、地盤、対象石の順に温度低下が相対的に抑制されたものの、いずれも外気温の変化に追従して推移した。積雪のない期間であり、かつ外気温が氷点下を下回った１月９日の夜間から明け方にかけては、すべての対象石において表面温度が０℃を下回り、対象石間に有意な温度差は認められなかった。このことから、養生開始後に観測された対象石間の温度差は、養生による効果に起因するものと判断される。また、庭園直上には遮蔽物が少なく比較的開空率が高いことから、養生対象の石の表面温度は、日中には日射の影響を受けて上昇し、夜間には放射冷却等により低下したものと考えられる。

（２）養生期間

① 養生材ごとの石表面温度の比較

一方、養生期間においては（図 43)、外気温が氷点下を大きく下回った１月 17 日の夜間から明け方にかけても、養生を施したすべての石において表面温度は０℃を下回らなかった。この結果から、本調査で用いたすべての養生材料において、石表面の温度低下を抑制する効果が確認された。

さらに、外気温が最も低下した１月 17 日の夜間から明け方にかけての石表面温度は、エアキャップ（アルミ蒸着あり、以下「蒸着あり」とする)、菰、エアキャップ（アルミ蒸着なし、以下「蒸着なし」とする)、ウレタンの順に高く、本調査で用いた養生材料の中では、エアキャップ（蒸着あり）が最も高い温度低下の抑制効果を示した。これは、エアキャップ（蒸着あり）の放射率が他の材料と比較して低いため（表 11)、夜間放射による温度低下が抑制されたためと考えられる。

一方、エアキャップ（蒸着なし）及びウレタンで養生した石では、表面温度が０℃付近まで低下する傾向が認められた。ウレタンは他の材料と比較して放射率が高いことから、夜間放射による温度低下が生じたものと考えられる。また、エアキャップ（蒸着なし）は放射率が高いことに加え、熱透過率も高いため、石材表面からの熱損失が大きくなり、その結果、表面温度の低下が引き起こされたものと推察される。

②養生材内の水分状態

図 44 に示すように、いずれの養生材を用いた場合においても、石の表面温度を０℃以上に維持できることが明らかとなった。しかしながら、養生材内部の水蒸気量が高く、かつ光が透過する条件下では、地衣類等の生物による景石表面の汚損が生じるおそれがある。令和４年度冬季に実施した冬季養生の予備調査では、エアキャップ（蒸着なし）で養生した石試料の表面に白色の地衣類の成長が確認された（写真 36)。

また、すべての養生材において養生材内部の絶対湿度が外気よりも一貫して高い状態にあったことを示している（図 44)。日中に外気温が上昇する時間帯（例：２月９日 13 時頃）には、養生材内部の絶対湿度は、エアキャップ（蒸着なし)、ウレタンシート、菰、エアキャップ（蒸着あり）の順に高い値を示した。さらに、養生材内部の空気温度は、外気温を上回る状態が維持されていた。これは、養生材内部の温度上昇により石表面からの水分蒸発が促進され、水蒸気圧が上昇したことを示唆している。特に、エアキャップ（蒸着なし）やウレタンシート等放射率の高い材料では、日中における石表面の温度上昇幅が他の材料と比較して大きく（図 43)、その結果、養生材内部の絶対湿度が高くなったものと考えられる。加えて、養生材によって形成される密閉空間において光が

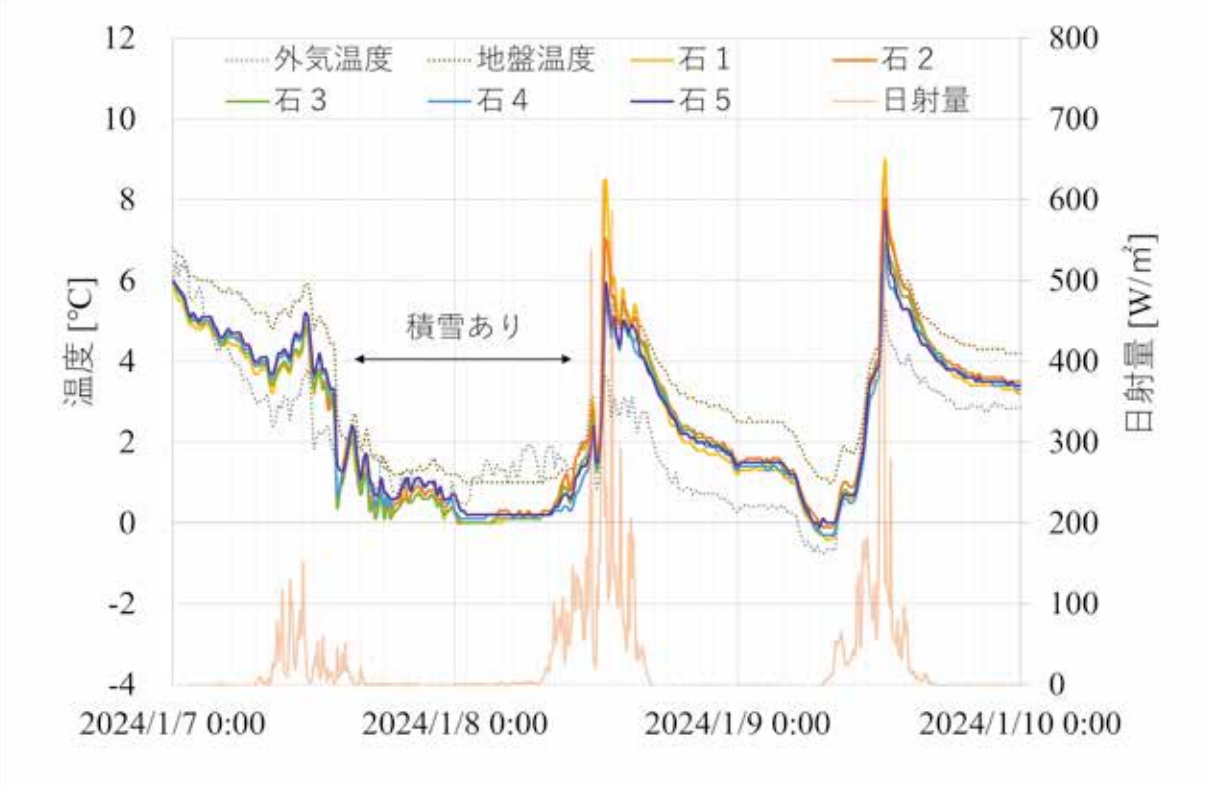


図 42　対象石の表面温度と日射量（非養生期間）

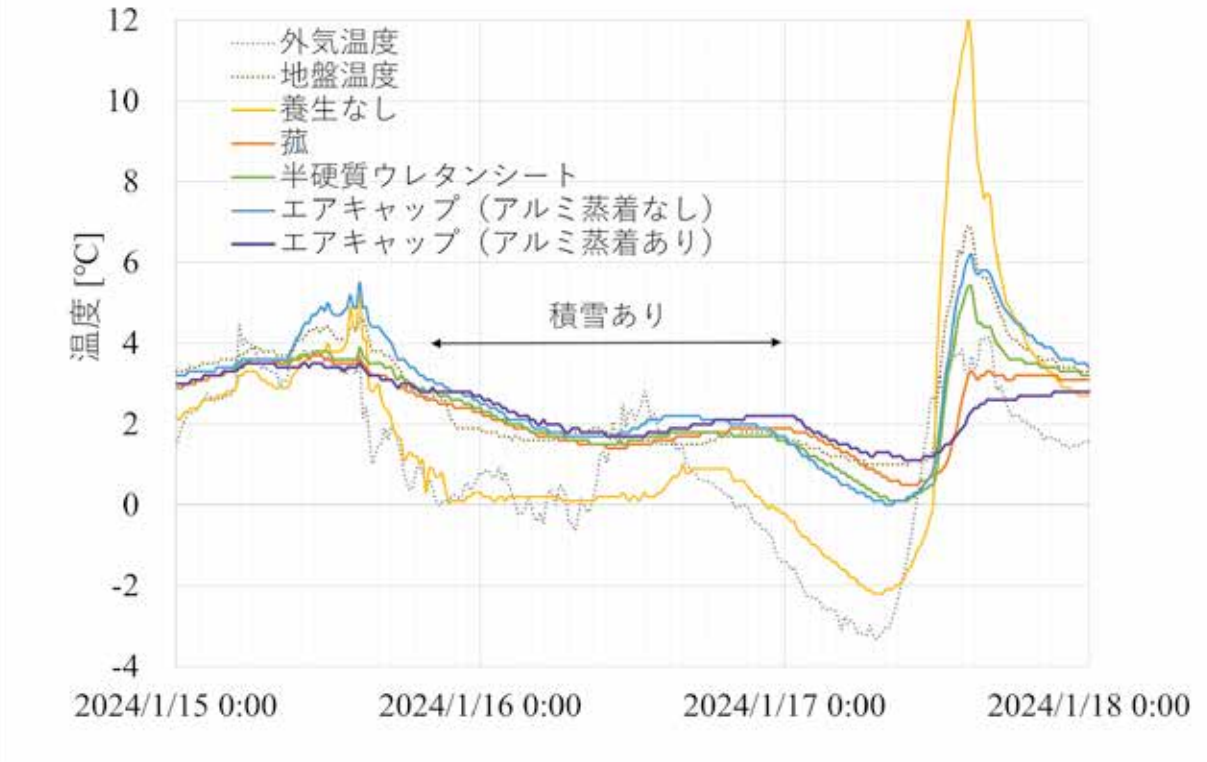


図 43　対象石の表面温度（養生期間）

存在する場合、石表面における地衣類の成長が促進される可能性がある（写真 36）。

以上の結果から、夜間放射による温度低下を抑制でき、日中の湿度上昇を相対的に抑え、かつ光透過を遮断できるエアキャップ（蒸着あり）のような材料が、景石の冬季養生に適していると考えられる。

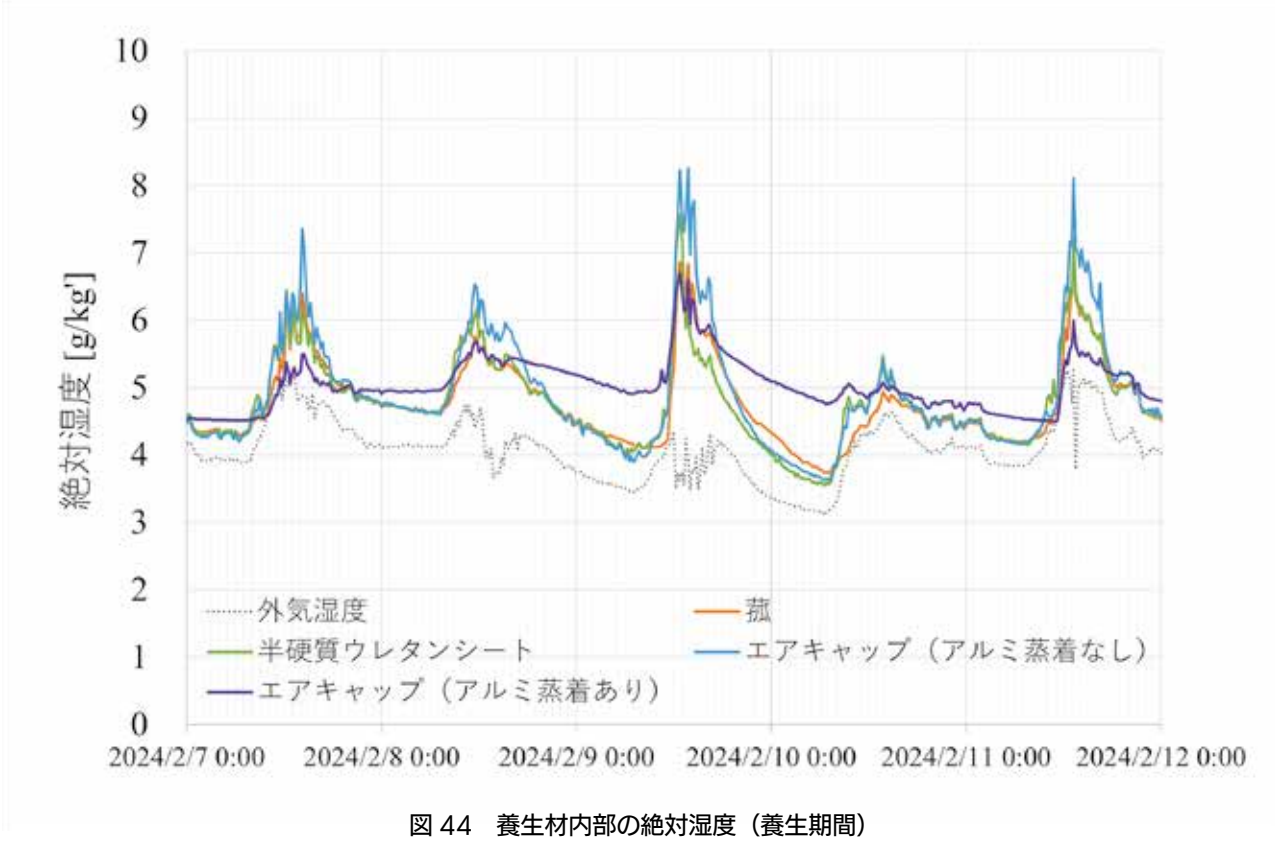


図 44　養生材内部の絶対湿度（養生期間）



写真 36　地衣類が繁茂した石試料（エアキャップ（アルミ蒸着なし）で養生）

３．２．４　景観に配慮した景石の冬季養生

３．２．４．１　調査目的

凍結破砕抑制を目的とした養生調査の結果から（第３章（3.2.3）参照）、放射率の低いエアキャップ（蒸着あり）が、石表面の温度低下を最も効果的に抑制できることが明らかとなった。しかしながら、エアキャップ表面の金属光沢が庭園景観を損なう点や、養生材の厚み及び弾力性により、設置時に脆弱な景石へ負荷がかかる可能性がある点等、いくつかの課題が残された。

本調査では、石材表面の温度低下を抑制しつつ、庭園景観に調和し、かつ設置時に景石への負荷が小さい養生方法を明らかにすることを目的とした。

３．２．４．２　調査方法

本調査では、エアキャップ（蒸着あり）、アルミ保温シート、菰を用いて対象石の養生を行い、それぞれの養生効果を比較した。調査で用いた養生材料及びその組み合わせを表 13 に示す。先行する調査において最も高い養生効果が確認されたエアキャップ（蒸着あり）に加え、これと同様に放射率が低く、かつ厚みが薄く、作業性に優れるアルミ保温シートを比較対象として選定した。また、庭園景観に配慮し、表面に金属光沢を有するエアキャップ（蒸着あり）及びアルミ保温シートの上面に、それぞれ植物性の菰を被せる条件にも加えて比較を行った。養生の対象石及び測定項目は、先行する調査（第３章（3.2.3）参照）と同様とした。調査期間は 2024 年 12 月 17 日から 2025 年３月 30 日までとし、先行する調査と同様に、養生開始前に約１週間の非養生期間を設け、比較対象の石が同様の温度変化を示すことを確認した後、2024 年 12 月 24 日より養生を実施した（図 45）。

表 13　養生材料と組み合わせ

番号	養生材料	厚み [mm]	備考
①	養生なし	—	
②	エアキャップ（アルミ蒸着あり）	4.0	
③	アルミ保温シート	0.12	
④	エアキャップ（アルミ蒸着あり）＋菰	4.0 ＋ 約 2.0	菰が外側
⑤	アルミ保温シート＋菰	0.12 ＋ 約 2.0	菰が外側



図 45　石の養生模式図

３．２．４．３　結果と考察

（１）非養生期間

非養生期間における対象石の表面温度を図 46 に示す。対象石の表面温度は外気温の変化に追従して推移し、対象石間に有意な温度差は認められなかった。このことから、養生開始後に観測される対象石間の温度差は、養生の効果に起因するものと判断される。

（２）養生期間

養生期間中における対象石の表面温度を図 47 に示す。外気温が 0 ℃を下回る条件下においても、養生を施したすべての対象石の表面温度は 0 ℃を下回らず、本調査で用いたすべての養生材料で、石材表面の温度低下が抑制されることが確認された。また、外気温が 0 ℃を下回る夜間から明け方にかけては、材料表面に金属光沢を有するエアキャップ（蒸着あり）が、最も高い温度低下抑制効果を示した（例：1 月 25 日夜間）。金属光沢を有する材料は放射率が低く、夜間放射による温度低下が抑制されたものと考えられ、この結果は先行する調査結果とも整合する。一方、アルミ保温シートは表面に金属光沢を有するものの、材料の厚みが薄いため、外気との熱伝達の影響を受けやすく、エアキャップ（蒸着あり）と比較して夜間における温度低下が大きくなったものと考えられる。ただし、庭園景観への配慮として、アルミ保温シートの上面に菰を被せた条件では、エアキャップ（蒸着あり）に菰を被せた条件と同程度まで石表面の温度低下を抑制できた。

以上の結果から、庭園景観への配慮と養生作業性の両立を図る観点では、アルミ保温シートに菰を組み合わせた養生条件が、実用的かつ有効であると考えられる。

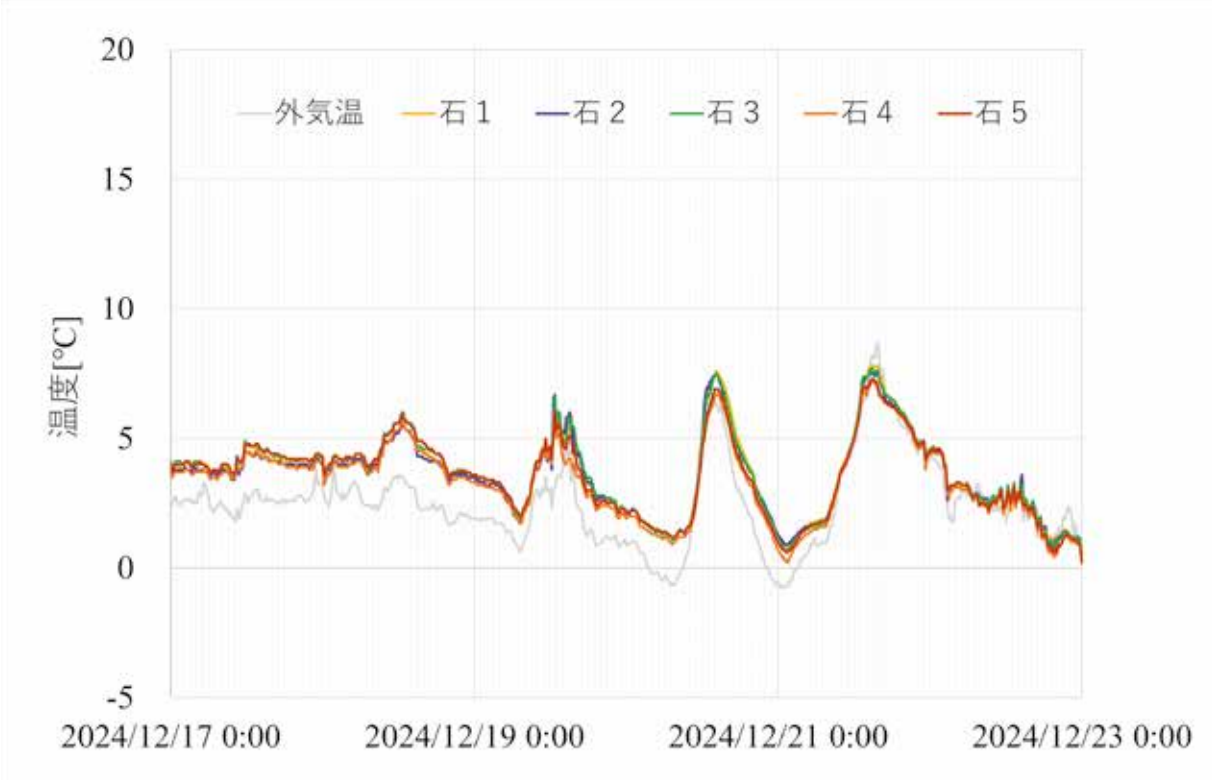


図 46　対象石の表面温度（非養生期間）

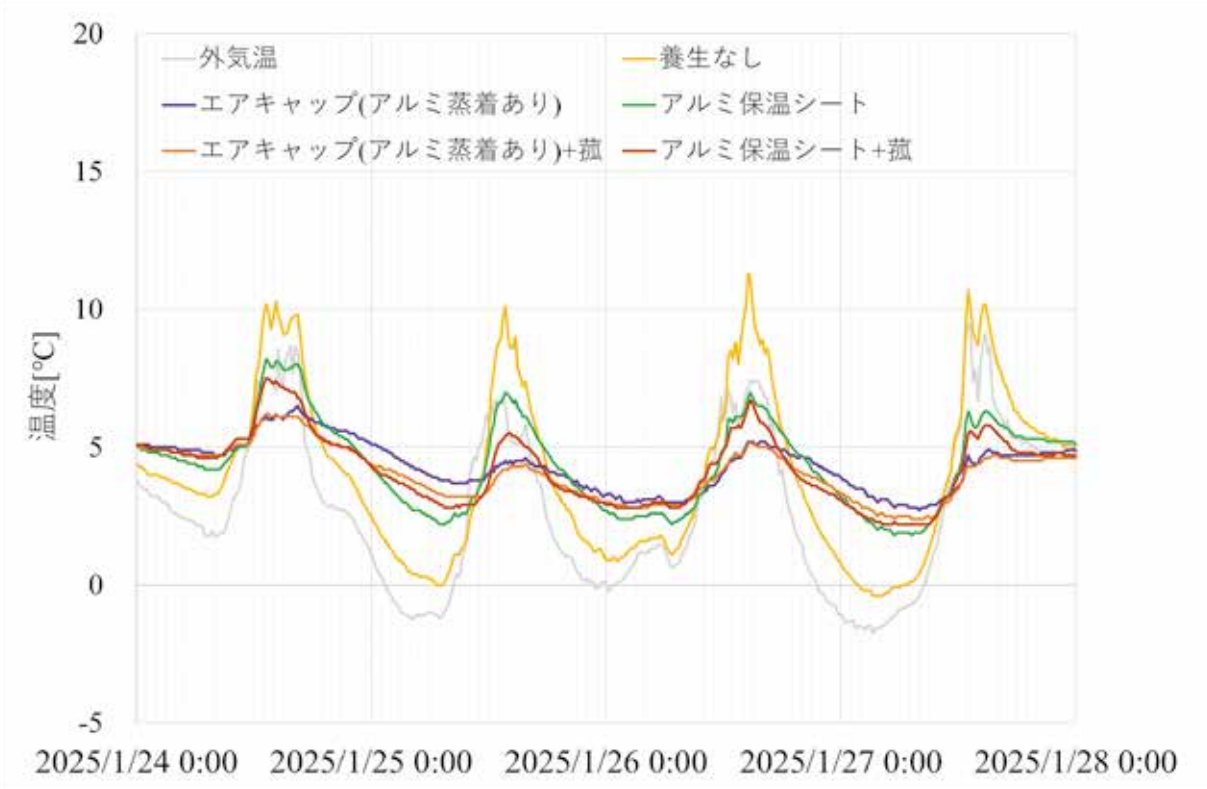


図 47　対象石の表面温度（養生期間）

3.2.5　小結

庭園遺構の景石の一部には、ブロック状の顕著な割れが生じているものが認められる。これらの劣化が生じている景石は、石材内部にクラックを多く内包する火山砕屑岩に多く確認された。さらに、劣化要因の特定を目的とした環境調査の結果、景石のクラック近傍では水分量が有意に高いことが明らかとなり、クラック内部へ選択的に水が浸透している可能性が示唆された。また、外気温が大きく低下する日には、クラック内部の表面温度が 0 ℃で一定値を示したことから、浸透した水分が氷へ相変化していると推定される。以上の結果より、景石に生じる顕著な割れは、凍結・融解を繰り返すことによって発生していることが明らかとなった。

こうした景石の劣化を抑制するため、現地において熱物性の異なる複数種のシート材料を用いた冬季養生調査を実施した。その結果、菰、ウレタン、エアキャップ（蒸着あり／蒸着なし）の中では、放射率が低く光を透過しないエアキャップ（蒸着あり）が、温度低下抑制の最も高い効果を示すことを確認した。ただし、エアキャップ（蒸着あり）は材料表面に金属光沢を有し、また材料の弾力性や厚みにより、設置時に脆弱な景石へ負荷を与える可能性があるという課題が残った。そこで、庭園景観との調和及び作業性の向上を目的として、養生材料の再検討を行った。その結果、厚みの薄いアルミ保温シートの上に菰を掛ける方法が、温度低下の抑制、景観への配慮、作業性の 3 点において、最も効果的であることが示された。

以上より、名勝のように景観への配慮が求められ、かつ脆弱な遺構に養生を施す場合には、厚みが薄く作業性に優れたアルミ保温シートと菰を組み合わせた養生方法が、実用的かつ有効であると結論づけられる。なお、冬季に一般公開を行わない庭園や、景観への配慮を比較的要しない石製遺構においては、アルミ蒸着のあるエアキャップ等の放射率の低いシート状材料による養生が有効である。

３．３　遺跡の排水環境改善

３．３．１　排水環境調査

３．３．１．１　経緯と目的

図 48 のとおり、本遺跡の一部は土砂災害警戒区域等の指定を受け（図 48）、また、中央を流れる一級河川の一乗谷川は、これまでも氾濫蛇行を繰り返してきた。近年の土砂災害及び河川氾濫の事例として平成 16 年（2004）７月の福井豪雨が挙げられ、最多降雨量は当遺跡が隣接する美山町において 96mm/ 時間を記録した。福井市中心部での破堤により、福井市街地が甚大な被害を受けたほか、写真 37 のとおり、本遺跡においても平野部浸水や土砂埋塞等の多大なる被害が発生した。本遺跡内には城戸ノ内町の集落が所在するため、福井県土木部による砂防堰堤整備（図 49）や一乗谷川河川整備等の災害復旧工事が迅速に進められた。集落住民の安全性が確保されるとともに本遺跡の災害対策の一環ともなったが、保全対象は集落周辺に限定された。

平成 20 年（2008）３月には、写真 38 のとおり、特別名勝の一つである朝倉館跡庭園において、園池背後の斜面が一部崩落した。斜面崩落の発生以前に集中的な豪雨は観測されていないことから、雪解けによる湧水及び積雪荷重等が、崩落原因を複合的に形成したと考えられており、またその背景には地下水及び表面水の排水不良が起因した点も報告されている（福井市教育委員会 2012）。本遺跡の管理者である福井市により、平成 21 年度から 24 年度にかけて修理指導委員会が立ち上げられ、対策工法の立案に当たって排水量計測等の調査も実施されたが、局所的な調査・対策工事に留まるものであった。





写真 37　福井豪雨に伴う本遺跡内の被害状況
（上：西山光照寺跡、下：朝倉館跡）





写真 38　朝倉館跡庭園の斜面崩落状況
（上：崩落直後、下：応急処置後）

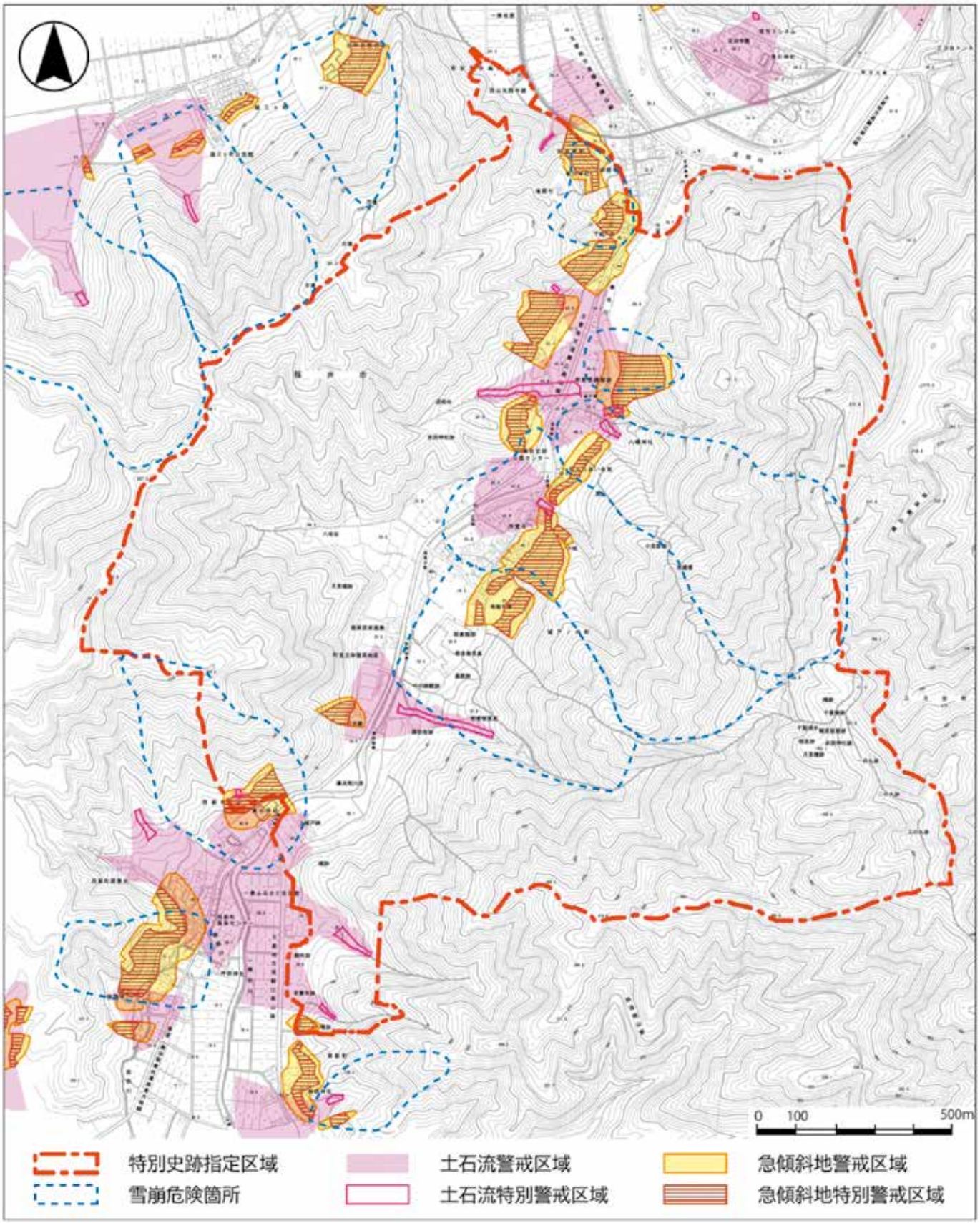


図 48　土砂災害警戒区域等指定図（『特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡保存活用計画』より抜粋）

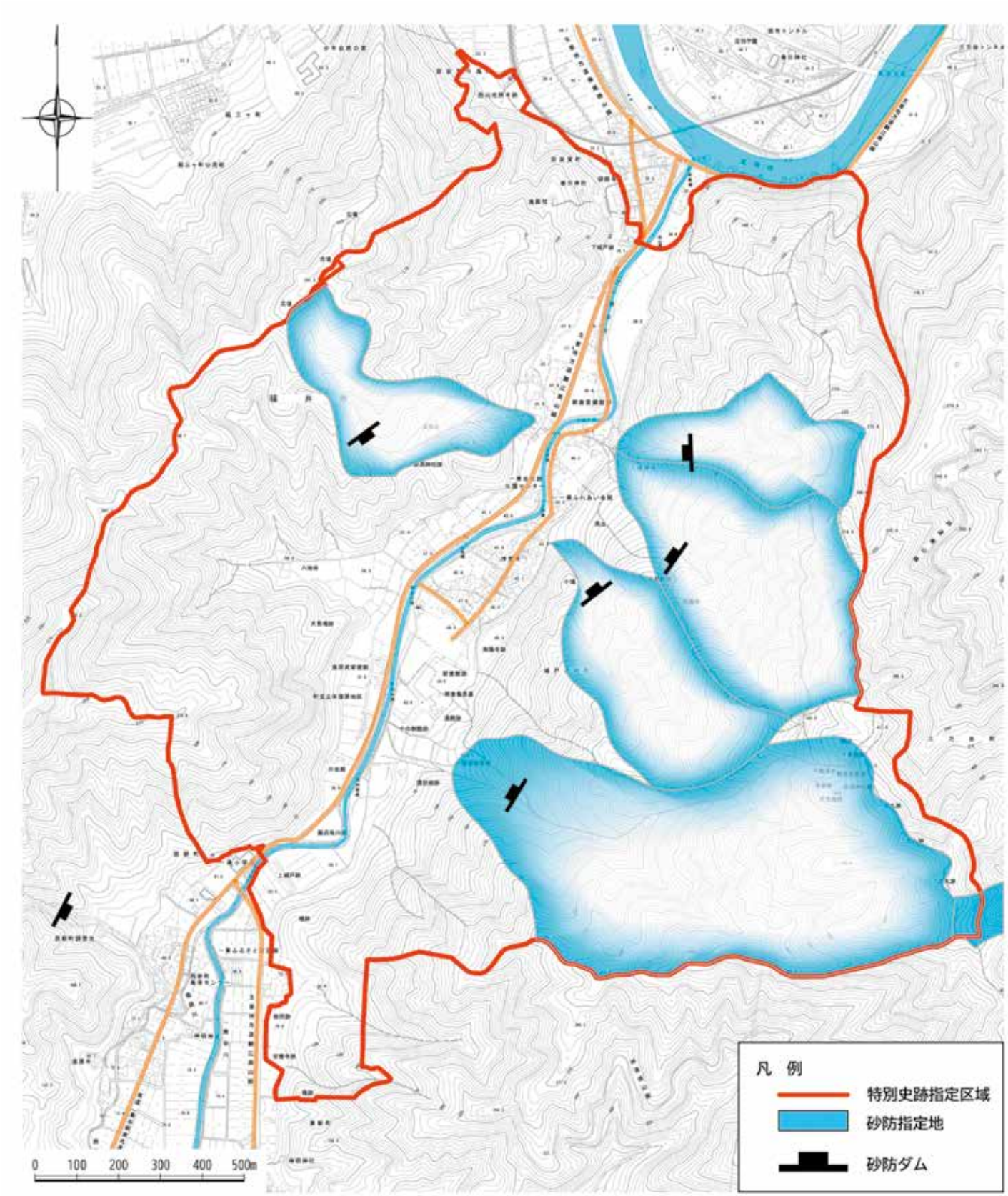


図 49　砂防指定範囲図（『特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡保存活用計画』より抜粋）

また、本遺跡では発掘調査により検出した遺構の露出展示を中心に整備してきたため、石組の溝跡を排水施設として活用する（写真 39）ほかは、遺跡景観に配慮し暗渠管を用いてきたが、施行後に排水機能を失った事例も見られた（写真 40）。本遺跡は、平地部の公有地に限っても約 25ha という大規模な遺跡であるため、遺跡全体の発掘調査が完了してから史跡整備を行うのではなく、数千㎡の発掘調査を実施しては直後に露出展示等の環境整備を進め、迅速に公開してきた。そのため遺跡全体を対象とした排水施設は未整備の状況であり、そのような諸条件の中で、近年に多発している異常気象に伴う短時間降雨の増大化を背景とし、既整備地における排水不良が日常的な泥濘化を引き起こすようになった。泥濘化により石組溝や石積施設等の基盤が流れ、不安定化が発生している（写真 41）ほか、イノシシ等の獣害を誘発し、露出展示遺構の保存に影響を与えている（写真 42）。



写真 39　溝跡を活用した排水状況（平成 27 年撮影）



写真 40　暗渠の機能不全に伴う排水不良（平成 27 年撮影）



写真 41　泥濘化及び石積の不安定化（平成 27 年撮影）



写真 42　泥濘化後の獣害によるき損（平成 27 年撮影）

以上のことから、異常気象に起因する流水被害に備えるため、また被災後の対応策ではなく平常時の予防策の立案を目的として、本遺跡全体の排水環境の現状を把握するべく現況調査を実施する方針とした。なお、調査の実施にあたっては、次の二つの計画に集排水系統の再整備の必要性ならびに、自然災害及び獣害への対応方針を位置づけた。

『特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡再整備等計画』（福井県立一乗谷朝倉氏遺跡資料館・令和３年（2021）策定）

第２章 これまでの遺跡整備の総括
第３項 集排水系統
１ 現状
　既整備地における雨水等の集排水については、溝跡等、発掘調査にて出土した遺構を使用することを基本としてきたため、溝跡と繋がっている石組施設跡や井戸跡のように、滞水が想定される場合であっても、特に排水機能を高める施工をしていない。また、近年は未発掘地であっても、山際にＵ字溝等の開渠を敷設したことにより、敷設後に周辺の法面の崩落を防げた事例（字米津）がある。
２ 現状の主な課題
　既整備地の暗渠管は設置してから年月の経過により機能が低下しており、降雨の際にぬかるみが生じ、来訪者の安全性や獣害被害がおこりやすくなる等の影響が出ている箇所もある。また、排水系統と呼べるような、本遺跡全体を見通した計画的な遺跡整備ができていない。近年の集中豪雨等の気象災害への対応を想定した、集排水系統の整備が必要である。

第４章 体制とスケジュール
第２項 施策の実施計画
１　優先的に対処する事項（第１期計画（前期）：令和３～４年度）
・遺跡内の排水に関する調査等を実施する。
２　優先的に対処する事項（第１期計画（後期）：令和５～９年度）
・集排水系統の整備等を実施する。

『特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡保存活用計画』（福井市・令和６年（2024）策定）

第５章 現状と課題
第４節 整備
（３）課題
・露出展示遺構等の経年劣化及び大雨等気象災害が頻発したことに伴い、本遺跡の本質的価値そのものである遺構の適切な保存が十分に行えていない。

第 10 章 整備
第２節 整備の方向性
第１項 全体的な整備の位置づけ
（１）保存に資する整備方針
・甚大化する自然災害及び獣害に十分対応する。

３．３．１．２　調査対象と方法

本遺跡を取り巻く排水環境のうち、調査対象は本遺跡を構成する排水施設（例：石組溝等の露出展示遺構の水路、史跡整備にて敷設した暗渠管等）及び、本遺跡に間接的に関係する排水環境（例：既整備地に隣接する山河、集落の排水路等）である。一方で、本遺跡を構成する要素だが貯水を主目的とする井戸や、既整備地に流入しない集落内の用水や河川、水生生物の生息地である湧水地等は、調査の対象外とした。調査対象地区の面積は、平地部の排水施設等の調査が、既整備地を中心とした約 20.62ha、平面測量が既整備地の周辺を含めた約 26.52ha、山地部の流域調査が 2.13ha である（図 50）。

調査は業者委託により実施し、調査期間は令和４・６年度の２か年度である。調査にあたっては、まず既存資料の整理を行い、以下の資料を当館または当県から貸与した。

・地形に関する調査資料
・特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡　赤色立体地図データ
・特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡　地形図
・史跡整備に関する工事図書
・特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡　整備工事図面一式
・『特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡 再整備等計画書』
・『福井豪雨の災害復旧に伴う砂防堰堤計画書』
・『特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡における砂防堰堤計画書』

次に現地踏査を実施し、図 51 のとおり排水現況図を作成した。山地部については、貸与資料をもとに各流域における山地部流路下流点を整理した。一方、平地部については、貸与資料等をもとに地形確認を行ったほか、流路等の形状や流水方向等の現地状況を確認するとともに、最下流の河川である一乗谷川までの流路を整理した。続いて、既存資料の整理及び現地調査を踏まえ、山地頂上部から既整備地が位置する平地部を経由し一乗谷川まで流下する、調査対象区域内における排水流域を、図 52 のとおり A 流域～ T 流域の 20 流域に分類した。

流域の分類に基づき山地部における雨水最大高水流量（計画規模 (確率年) 降雨での最大流量）を算定するため、山地部の流域 (山頂付近から山麓まで) ごとの面積及び最大流路長（流路最上流端から懸案地点までの延長）を表 14・図 53 のとおり整理した。一方、平地部の各流域については排水上の懸案地点を設定し、山地部と同様に雨水流出量を算定して排水環境評価を行うため、平地部流域 (山麓から一乗谷川まで) ごとの面積及び最大流路長を表 15・図 54 のとおり整理した。

続いて山地部及び平地部の最大高水流量の算定を行った。算定方法及び算定基準等は『福井県砂防事業技術指針』に準拠したが、遺跡保全を対象とした一般的な算定基準がないため、算定に用いる計画規模は砂防計画で用いられる確率年数 1/100 年、1/50 年及び、一般に道路計画の排水計算で用いられる確率年数 1/10 年とした。計算式や流出係数等の詳細は次のとおりである。

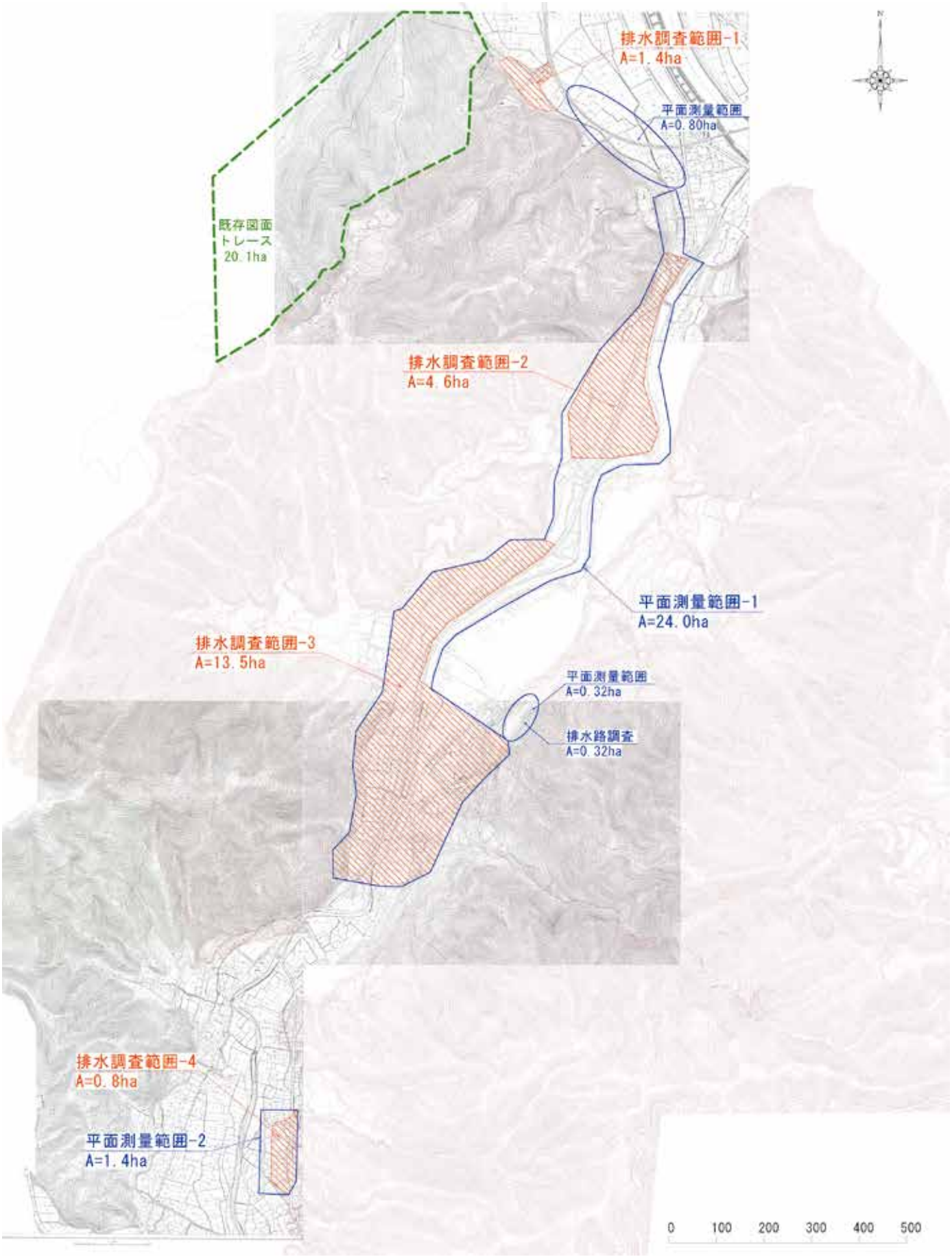

排水調査範囲-1
A=1.4ha
平面測量範囲
A=0.80ha
既存図面
トレース
20.1ha
排水調査範囲-2
A=4.6ha
平面測量範囲-1
A=24.0ha
排水調査範囲-3
A=13.5ha
平面測量範囲
A=0.32ha
排水路調査
A=0.32ha
排水調査範囲-4
A=0.8ha
平面測量範囲-2
A=1.4ha
0
100
200
300
400
500

図 50　調査対象位置図

排水現況図【その④】

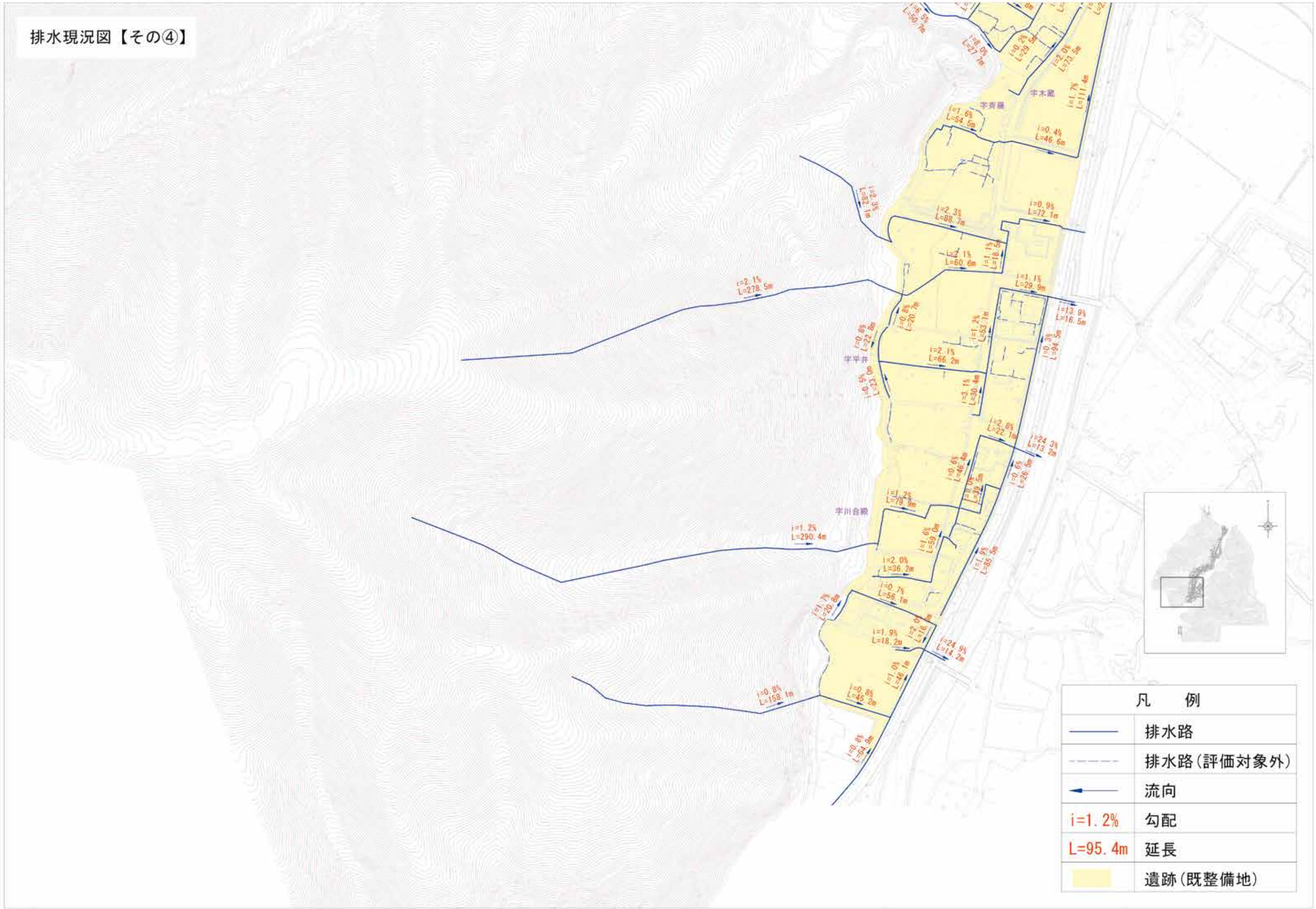


図 51　排水現況図（抜粋）

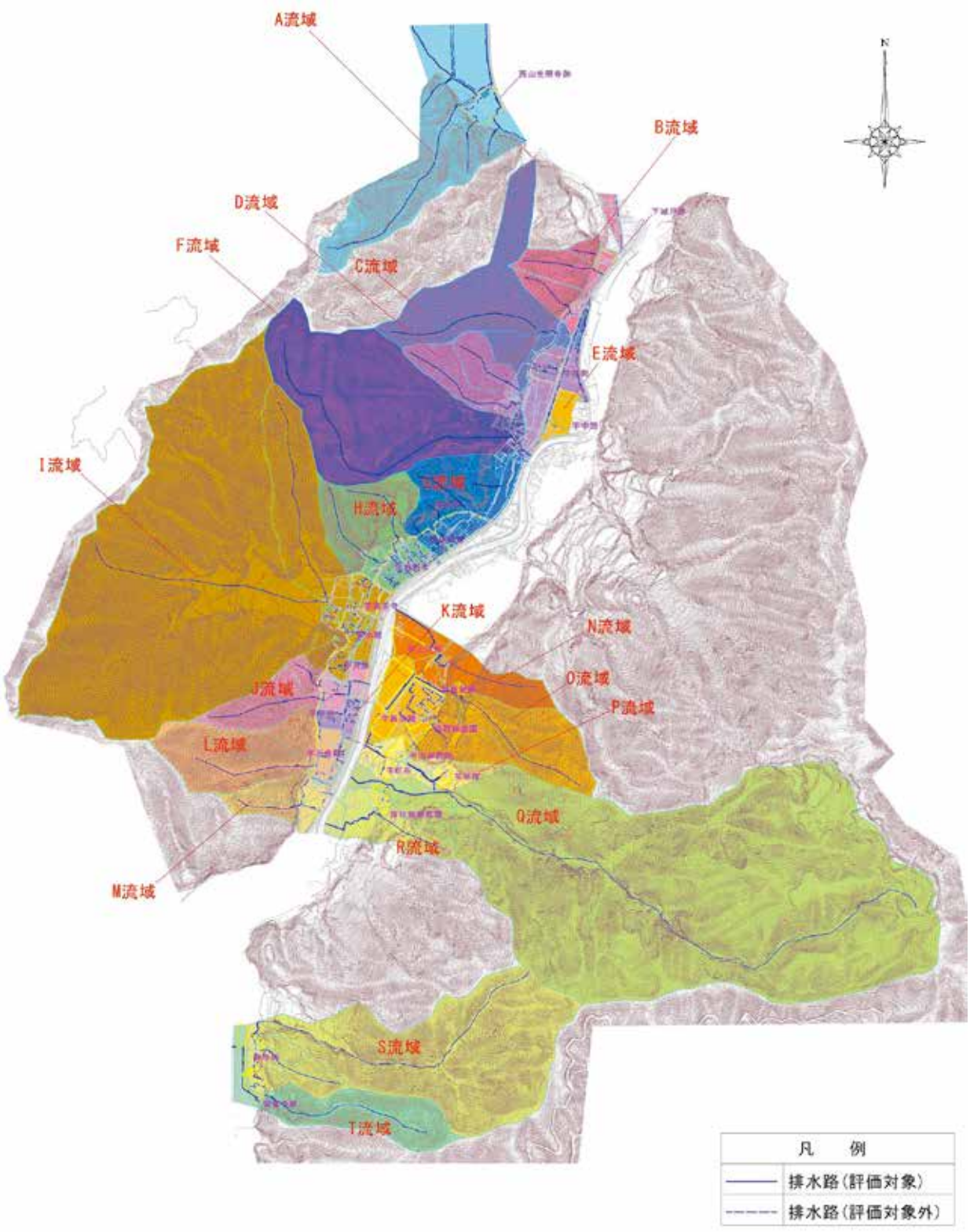


図 52　調査対象区域の排水流域（全体図）

表 14　山地部の流域概要（抜粋）

流域名		流域面積 (ha)	最大流路長（m）
A 流域	A1	4.7ha	509.5m
	A2	0.42ha	84.1m
	A3	0.71ha	76.6m
	A4	0.74ha	128.9m
計		**6.57ha**	**−**
B 流域	B1	0.92ha	151.0m
	B2	1.24ha	199.3m
	B3	0.32ha	59.1m
計		**2.48ha**	**−**
C 流域	C1	6.46ha	409.4m
計		**6.46ha**	**−**
D 流域	D1	1.79ha	326.0m
	D2	1.35ha	180.4m
計		**3.14ha**	**−**
E 流域	※山地部の流域なし		
F 流域	F1	13.8ha	811.1m
計		**13.8ha**	**−**
G 流域	G1	0.30ha	53.6 m
	G2	0.28ha	61.8m
	G3	1.39ha	151.3m
	G4	0.44ha	70.7m
計		**2.41ha**	**−**
H 流域	H1	1.52ha	249.4m
	H2	2.16ha	20.7m
計		**3.68ha**	**−**
I 流域	I1	5.39ha	499.2m
	I2	36.9ha	591.1m
計		**42.29ha**	**−**
J 流域	J1	2.06ha	278.5m
	J2	0.43ha	82.1m
計		**2.49ha**	**−**
K 流域	※山地部の流域なし		
L 流域	L1	4.24ha	290.7m
計		**0.83ha**	**158.1m**
M 流域	M1	0.83ha	158.1m
計		**0.83ha**	**−**

表 15　平地部の流域概要（抜粋）

流域名 / 懸案地点		流域面積 (ha)	最大流路長（m）
H 流域	h-1　※山麓部	1.52ha	249.4m
	h-2　※山麓部	0.04ha	29.0m
	h-3	2.16ha	245.7m
	h-4	0.02ha	54.2m
	h-5	0.30ha	25.4m
	h-6	0.06ha	48.3m
	h-7	0.20ha	39.1m
	h-8	0.05ha	39.7m
	h-9	0.04ha	25.6m
	h-10	0.04ha	40.1m
	h-11	0.01ha	19.8m
	h-12	0.01ha	14.2m
	h-13	0.06ha	40.5m
	h-14	0.01ha	14.4m
	h-15	0.13ha	62.8m
	h-16	0.03ha	24.1m
	h-17	0.05ha	47.5m
	h-18	0.06ha	40.8m
	h-19	0.04ha	22.6m
	h-20	0.11ha	60.5m
	h-21	0.02ha	14.4m
	h-22	0.05ha	24.7m
	h-23	0.02ha	18.6m
	h-24	0.02ha	15.3m
計		**5.05ha**	**－**
I 流域	i-1　※山麓部	5.39ha	499.2m
	i-2　※山麓部	36.93ha	591.1m
	i-3	0.01ha	12.8m
	i-4	0.03ha	21.0m
	i-5	0.09ha	25.6m
	i-6	0.01ha	19.8m
	i-7	0.16ha	29.1m
	i-8	0.26ha	50.7m
	i-9	0.07ha	27.2m
	i-10	0.05ha	32.3m
	i-11	0.05ha	35.5m
	i-12	0.06ha	27.7m
	i-13	0.03ha	29.5m
	i-14	0.03ha	25.8m
	i-15	0.08ha	43.8m
	i-16	0.02ha	23.7m
	i-17	0.18ha	73.5m
	i-18	0.03ha	22.2m
	i-19	0.00ha	12.1m
	i-20	0.65ha	54.5m
	i-21	0.03ha	46.6m

I 流域	i-22	0.37ha	111.4m
	i-23	0.30ha	29.1m
	i-24	0.21ha	40.8m
	i-25	0.01ha	20.1m
	i-26	0.12ha	58.4m
	i-27	0.01ha	12.5m
計		**45.18ha**	**－**
J 流域	j-1　※山麓部	2.06ha	278.5m
	j-2　※山麓部	0.43ha	82.1m
	j-3	0.26ha	60.6m
	j-4	0.07ha	18.5m
	j-5	0.01ha	20.7m
	j-6	0.23ha	88.7m
	j-7	0.38ha	72.1m
計		3.44ha	－
K 流域	k-1	0.02ha	22.8m
	k-2	0.02ha	23.0m
	k-3	0.17ha	66.2m
	k-4	0.09ha	30.4m
	k-5	0.05ha	53.1m
	k-6	0.01ha	29.9m
	k-7	0.28ha	94.5m
	k-8	0.01ha	16.5m
計		**0.65ha**	**－**
L 流域	l-1　※山麓部	4.24ha	290.7m
	l-2	1.27ha	79.9m
	l-3	0.14ha	36.2m
	l-4	0.09ha	59.0m
	l-5	0.18ha	46.4m
	l-6	0.02ha	22.1m
	l-7	0.08ha	85.5m
	l-8	0.06ha	39.5m
	l-9	0.02ha	26.5m
	l-10	0.01ha	13.2m
	計	**6.11ha**	**－**
M 流域	m-1　※山麓部	0.83ha	158.1m
	m-2	0.17ha	45.2m
	m-3	0.15ha	64.9m
	m-4	0.07ha	46.1m
	m-5	0.10ha	18.2m
	m-6	0.71ha	20.8m
	m-7	0.05ha	56.1m
	m-8	0.01ha	16.8m
	m-9	0.01ha	14.2m
計		**2.10ha**	**－**

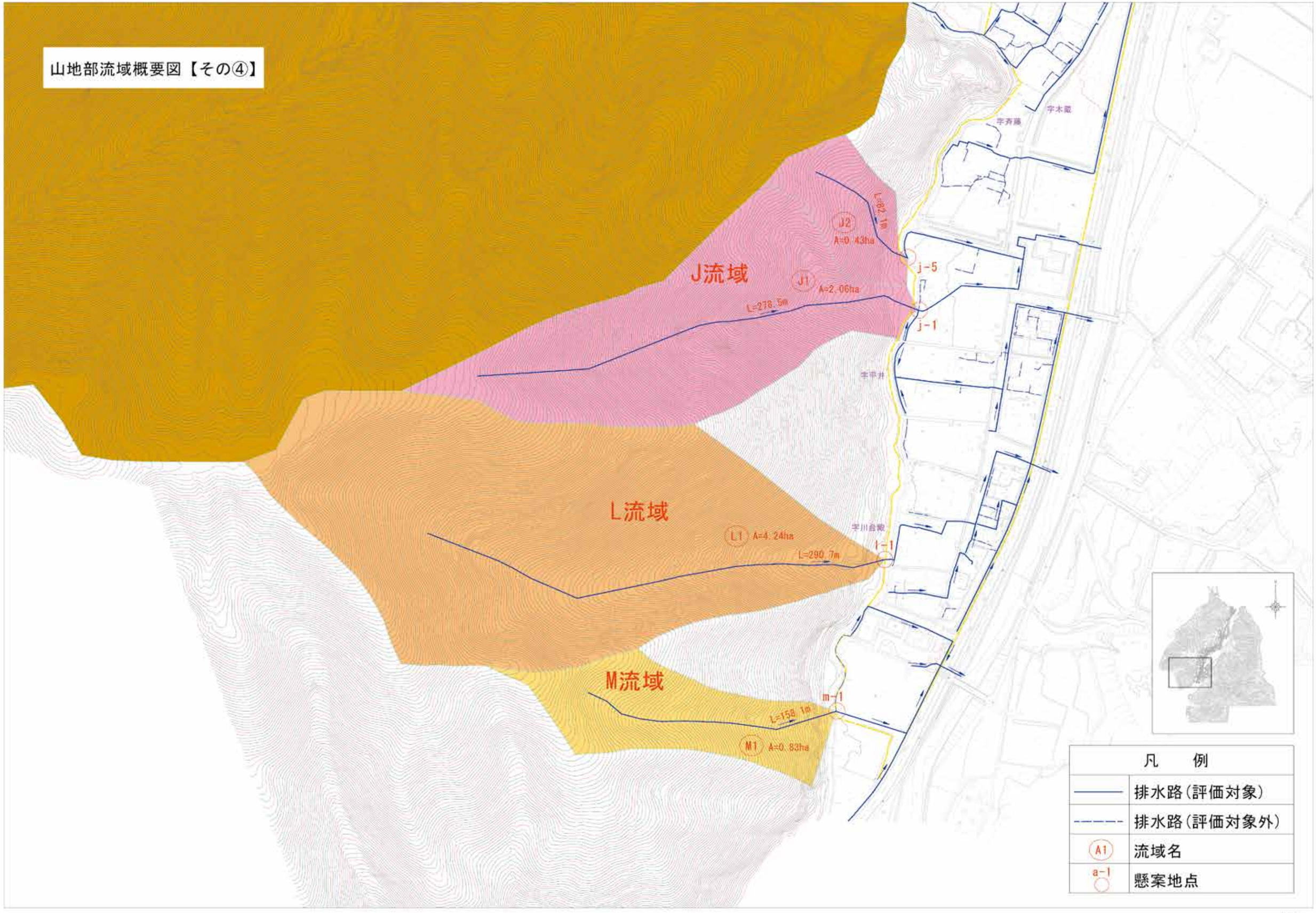


図 53　山地部の排水流域図（流域ごと・J～M 流域抜粋）

現況排水流域図【その④】

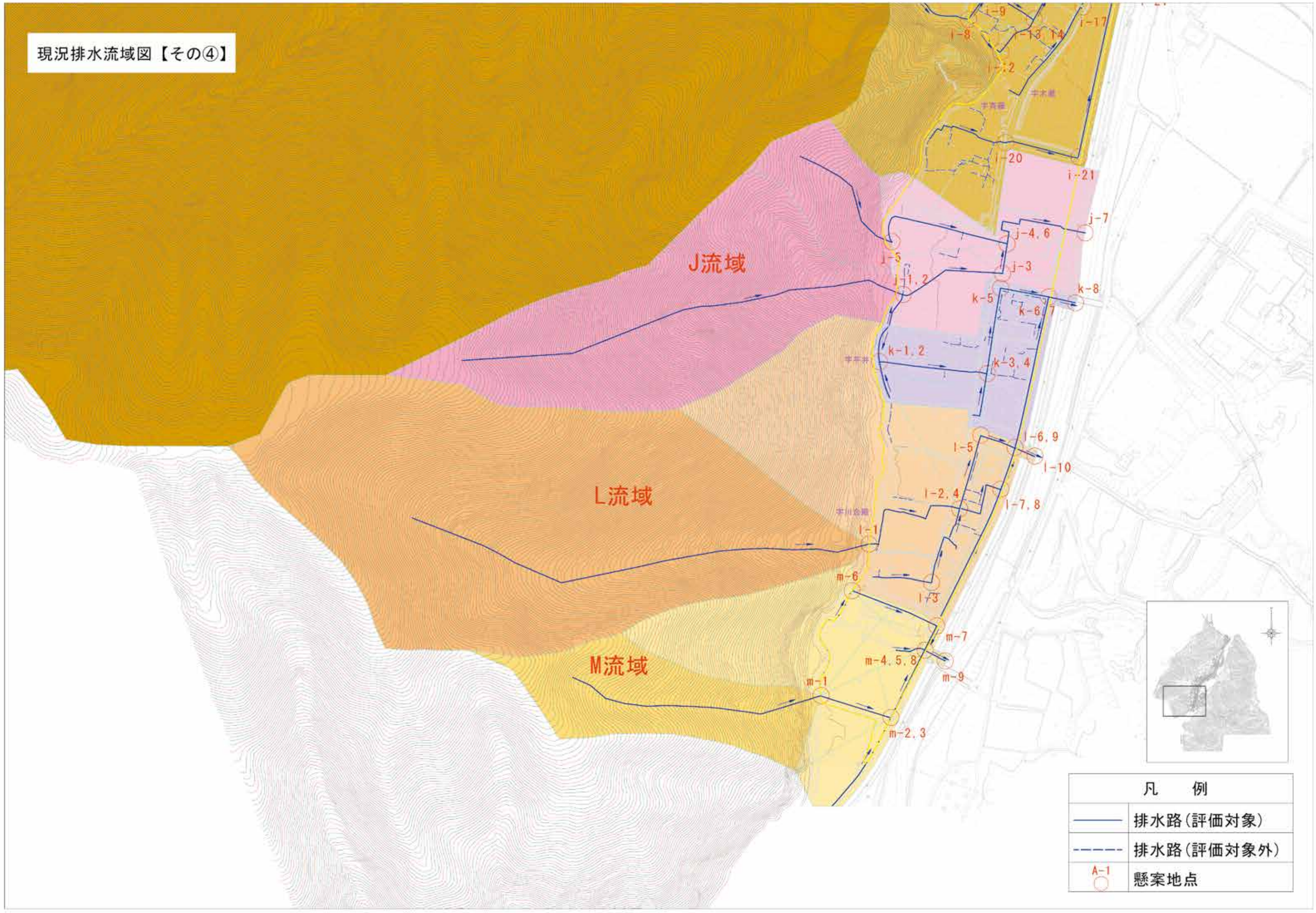


図 54　平地部の排水現況図（流域ごと・J～M 流域抜粋）

Q＝1/3.6・f・ｒ・A・(1＋α)

Q：計画高水流量（㎥/sec）

ｆ：流出係数

※『建設省河川砂防技術基準(案)同解説』の日本内地河川の流出係数に基づき設定し、「急峻な山地」の流出係数 f=0.75 ～ 0.9 の平均値である f=0.83 とした。

ｒ：洪水到達時間内の平均雨量強度（㎜/ｈ）

※図 55 の福井県の降雨強度式をもとに、確率年数ごとの時間雨量強度を算定した。

A：流域面積（㎢）

α：土砂混入率（一般的には考慮しない）

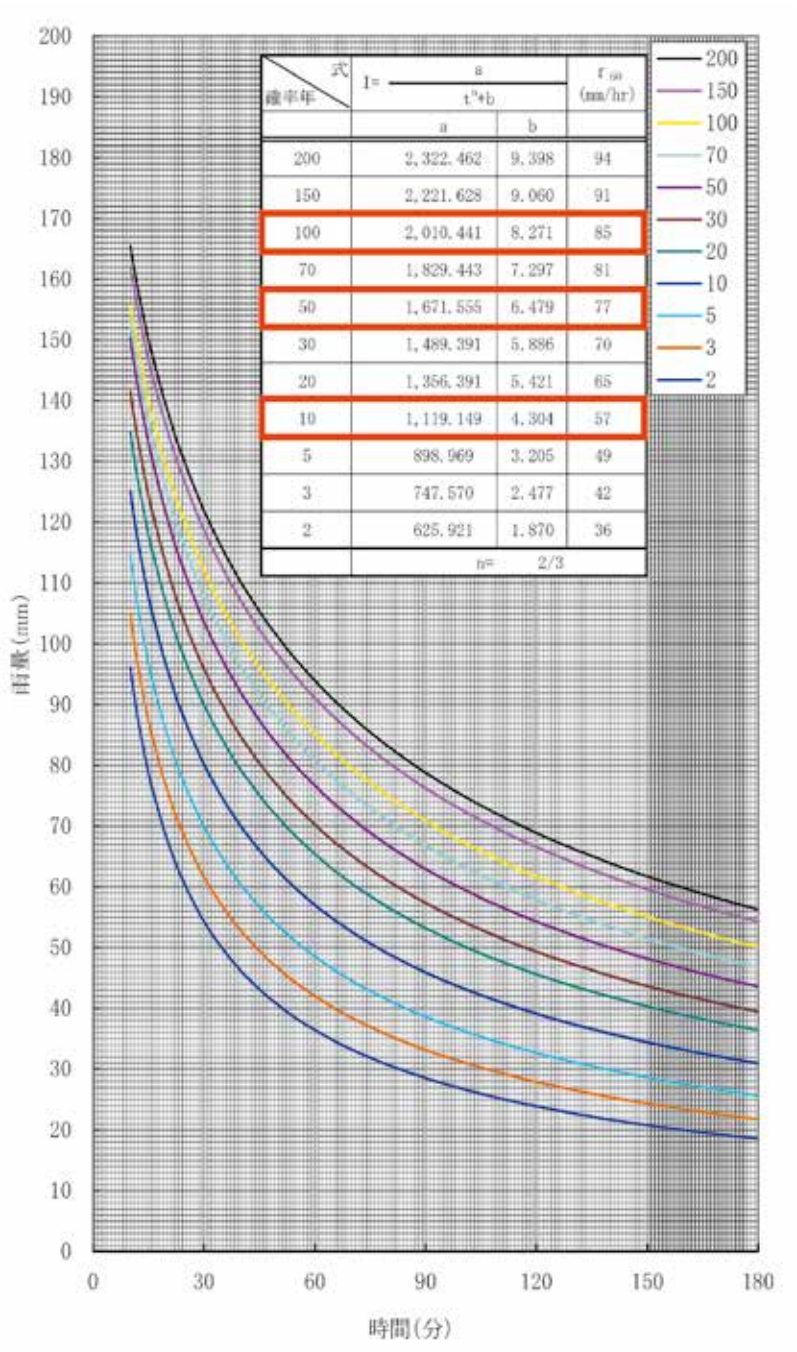


図 55　降雨強度式（足羽川中流・適用時間：10 ≦ t ≦ 180 分）

排水計算の結果、山麓部における各懸案地点の最大高水流量は、表 16 のとおりとなり、特に I 流域の i-1 や Q 流域の q-1 において高い数値を示した。続いて、下記のとおり計画高水流量（Q a）及び流下能力流量（Q b）を計算し、山麓部を含めた平地部全体の懸案地点における既設排水路の排水能力を整理評価したのが図 56・表 17 である。

Q a ＝ 1 ／ 3.6 × f × r × A

Q a ：計画高水流量（㎥／ sec）

f ：流出係数

※山地部と同様に『建設省河川砂防技術基準 (案) 同解説』の日本内地河川の流出係数に基づき設定し、「平地小河川」の流出係数 f=0.45 ～ 0.75 の平均値である f=0.6 を基準とし、山地部の流出係数 0.83 と懸案地点ごとの排水面積の按分により平地部の流出係数を設定した。

r ：確率雨量強度（洪水到達時間内の平均雨量強度㎜／ hr）

※山地部と同様に確率年数ごとの時間雨量強度を算定した。

A：流域面積（㎢）

Q b ＝ V × A

Q b：流下能力流量（㎥／ sec）

V：平均流速（m／ sec）

A：流水断面積（㎡）

排水能力を数値的に満たしている場合は「○」、満たしていない場合は「×」と評価した。数値的な評価を行う上で、10 年確率・50 年確率・100 年確率それぞれの最大高水流量と既設排水路の排水能力とを比較したところ、評価が変わるような大きな差が認められなかったことから、数値の基準は 10 年確率とし、50 年確率・100 年確率は参考値とした。そのほか、現状で流路が設けられていない懸案地点は、その排水能力を 0 とした。

評価により、山麓部の懸案地点において最大高水流量が特に高かった i-1 や q-1 は、いずれも既存の排水施設が排水能力を満たしていることが明らかとなった。また、数値的評価のほか、現状での土砂流出の有無、災害履歴の有無等を含め総合的に評価した。例えば、日常的な泥濘化が課題となっている J 流域を取り上げると、表 17 の j-1 や j-4 のように、流水の越水や上流部からの流入土砂が認められる場合は、土砂流出防止工及び外周水路の必要性を「対応方策」の欄に特記し、設計に向けて優先的に対応が必要な地点の明確化を行った。一方で、j-7 のように評価は×であっても、溢水時の影響が局所的で本遺跡への影響が少ない場合は、「対応方策」の欄に対応不要の旨を記載した。そのほか、j-3 や j-6 のように、底打ちコンクリートの破損等の細部の対策についても「対応方策」の欄に特記し、細部設計に備えた。

表 16　山麓部における確率年数ごとの最大高水流量

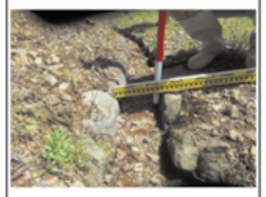
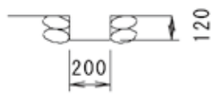
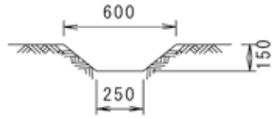
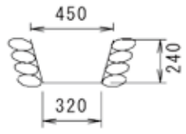
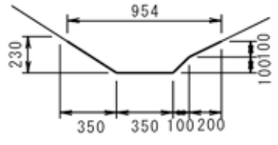
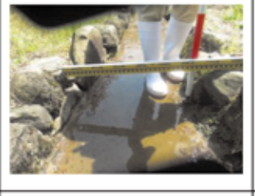
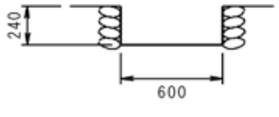
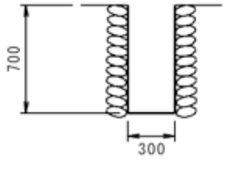
流域名	懸案地点	最大高水流量（㎥ /sec）		
		確率年数 n ＝ 10	確率年数 n ＝ 50	確率年数 n ＝ 100
A 流域	a-1	1.30	1.60	1.60
	a-4	0.10	0.10	0.20
	a-6	0.20	0.20	0.30
	a-8	0.20	0.30	0.30
B 流域	b-1	0.30	0.30	0.30
	b-4	0.40	0.40	0.40
	b-6	0.10	0.10	0.10
C 流域	c-1	1.80	2.20	2.30
D 流域	d-1	0.50	0.60	0.60
	d-3	0.40	0.50	0.50
F 流域	f-1	3.70	4.60	4.70
G 流域	g-1	0.10	0.10	0.10
	g-4	0.10	0.10	0.10
	g-9	0.40	0.50	0.50
	g-13	0.10	0.10	0.20
H 流域	h-1	0.40	0.50	0.50
	h-3	0.60	0.70	0.80
I 流域	i-1	10.20	12.40	12.90
	i-2	1.50	1.80	1.90
J 流域	j-1	0.60	0.70	0.70
	j-5	0.10	0.10	0.20
L 流域	l-1	1.20	1.50	1.50
M 流域	m-1	0.20	0.30	0.30
N 流域	n-1	0.50	0.50	0.60
O 流域	o-1	1.20	1.40	1.50
Q 流域	q-1	13.00	15.80	16.50
R 流域	r-1	0.30	0.40	0.40
S 流域	s-1	0.30	0.40	0.40
	s-5	4.10	5.00	5.20
T 流域	t-1	1.10	1.30	1.40

	令和6年度 一乗谷朝倉氏遺跡保存のための排水環境調査及び設計業務委託 福井市 新御殿 地係ほか J流域 1 外周水路③中間付近
	令和6年度 一乗谷朝倉氏遺跡保存のための排水環境調査及び設計業務委託 福井市 新御殿 地係ほか J流域 2 外周水路③
	令和6年度 一乗谷朝倉氏遺跡保存のための排水環境調査及び設計業務委託 福井市 新御殿 地係ほか J流域 3 外周水路③流末付近

図 56　排水施設の現況写真リスト（J 流域抜粋）

表 17　既整備地における排水環境評価及び対応方策（J 流域抜粋）

J 流域

懸案地点	標準断面図		※ 1 雨水流入量（㎥ /s）			排水能力（㎥ /s）	評価	課題事項	対応方策
			1/100 年確率（参考値）	1/50 年確率（参考値）	1/10 年確率				
j-1			0.73	0.71	0.59	0.01	×	・既設排水路の流下能力(0.01㎥/s)は、雨水流出量(0.59㎥/s)を満足していない。 ・渓流から遺跡への流入部(山裾部)において、流水が越水し、法面を流出した形跡がある。 ・将来、渓流上流部の不安定土砂が流入し、遺跡内水路を埋塞する恐れがある。	・遺跡(字平井)と上流部山地との山際に土砂流出防止工を設置し、流入土砂を抑制する。 ・遺跡と上流部山地との山際に外周水路を設置し、遺跡内に直接排水が流入しないようにする。
j-2			0.00	0.00	0.00	0.02	○	・既設排水路の流下能力(0.02㎥/s)は、雨水流出量を満足している。	特になし
j-3			0.80	0.77	0.64	0.11	×	・既設排水路の流下能力(0.11㎥/s)は、雨水流出量(0.64㎥/s)を満足していない。 ・遺跡内に地表面が湿潤傾向にあり泥濘化する恐れがある。 ・J3、J6交差部の水路底打コンクリートが破損・空洞化している。	・集水井戸、暗渠排水を設置し、河川(一乗谷川)へ排水を行い、地下水位を下げる。 ・底打コンクリートを打設して遮水する。
j-4			0.84	0.81	0.67	0.13	×	・既設排水路の流下能力(0.13㎥/s)は、雨水流出量(0.67㎥/s)を満足していない。 ・渓流から遺跡への流入部(山裾部)において、流水が越水し、法面を流出した形跡がある。 ・将来、渓流上流部の不安定土砂が流入し、遺跡内水路を埋塞する恐れがある。	・遺跡(字平井)と上流部山地との山際に土砂流出防止工を設置し、流入土砂を抑制する。 ・遺跡と上流部山地との山際に外周水路を設置し、遺跡内に直接排水が流入しないようにする。
j-5			0.15	0.15	0.12	0.26	○	・既設排水路の流下能力(0.26㎥/s)は、雨水流出量(0.12㎥/s)を満足している。	特になし
j-6			0.23	0.22	0.18	0.32	○	・既設排水路の流下能力(0.32㎥/s)は、雨水流出量(0.18㎥/s)を満足している。 ・J3、J6交差部の水路底打コンクリートが破損・空洞化している。	底打コンクリートを打設して遮水する。
j-7			1.15	1.11	0.91	0.28	×	・既設排水路の流下能力(0.28㎥/s)は、雨水流出量(0.91㎥/s)を満足していない。	雨水流出量(12.44㎥/s)は満足していないが、周辺は道路であるため、溢水しても影響は少ないと考えられ、特に対策は行わない。

３．３．１．３　結果と考察

計 168 カ所の既設排水路の現況調査の結果、うち 88 カ所において対策の必要性が明らかとなり、一部の懸案地点において、大雨等に伴う既整備地内への土砂の流出を防ぐ「土砂流出防止工」が必要と判断された。さらに、既整備地への大雨等の直接流下を抑制する上で、山麓部と平地部の境界への「外周水路」の設置が有効と判断され、設計に向けた基本モデルが図 57 ～ 59 のとおり完成した。

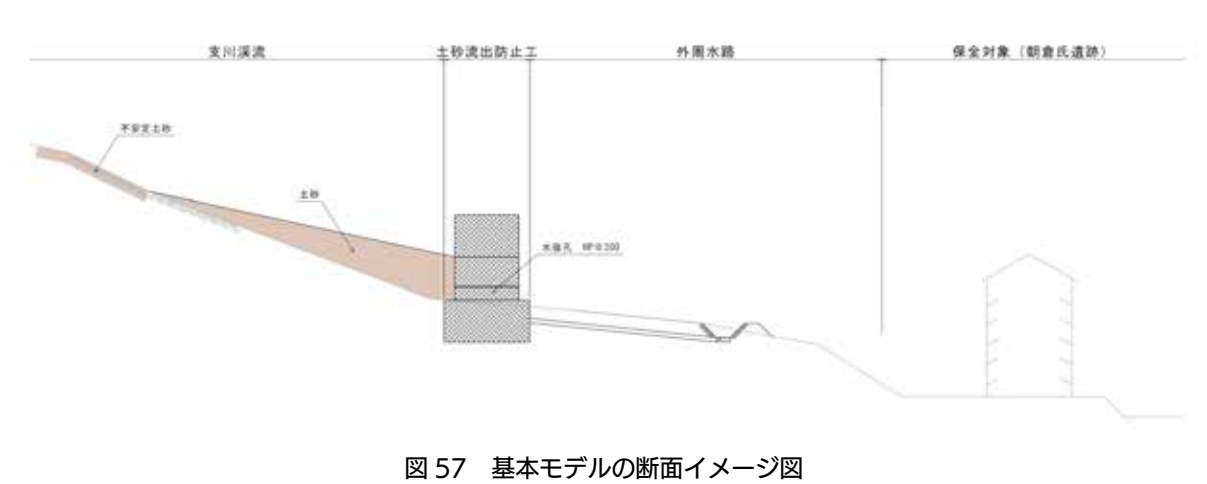


図 57　基本モデルの断面イメージ図

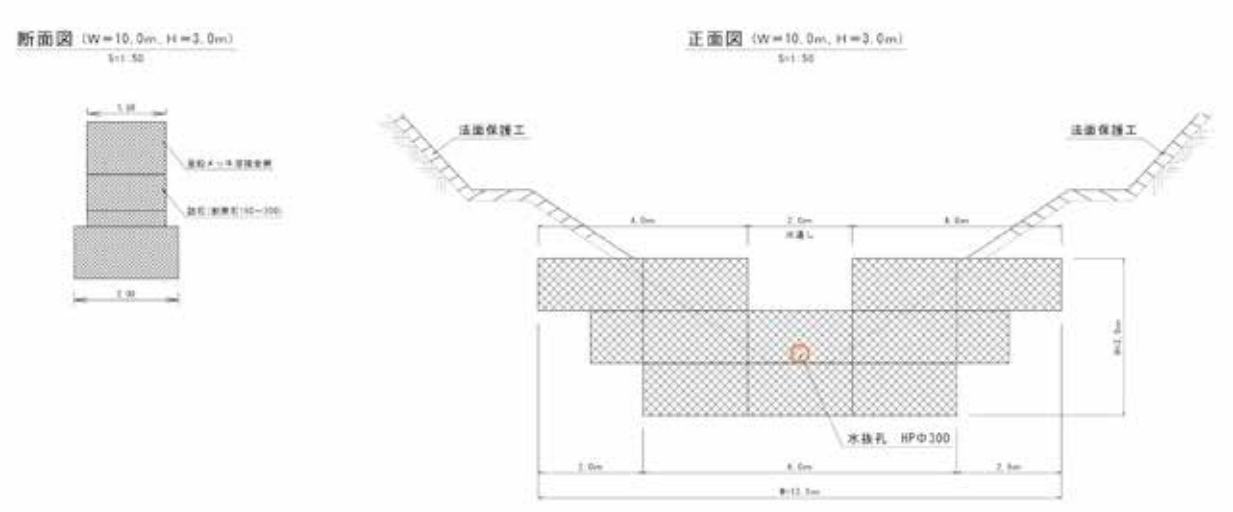


図 58　土砂流出防止工の標準図（断面図・正面図）

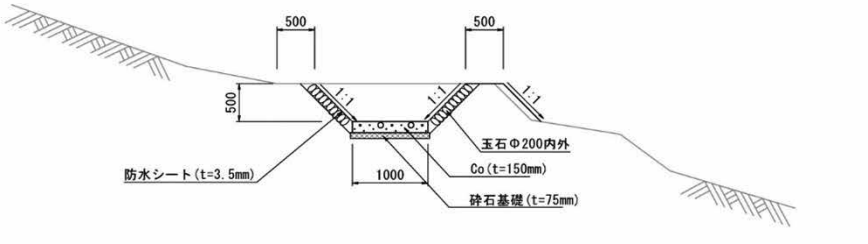


図 59　外周水路の標準断面図

３．３．２　排水環境設計

３．３．２．１　対象の選定と基本方針

設計は業者委託により実施し、令和６年度に基本（予備）設計、翌７年度に実施設計を行った。細部の設計は令和８年度に継続して実施する方針としており、本項では基本（予備）設計を中心にその検討過程や方向性を中心に報告する。

前項のとおり、調査を通じて 88 カ所の排水不良への対応のほか、土砂流出防止工及び外周水路の設置の必要性が明らかとなった。土砂流出防止工及び外周水路の設置により一部の排水不良があわせて解消できること、また、土石流等の災害による既整備地の壊滅的なき損の予防を重視し、個別の排水不良への対応よりも、流域単位の土砂流出防止工及び外周水路の設置を優先して進める方針とした。砂防堰堤により対応済みの流域を除き、土砂流出防止工が必要となる対象流域は図 60 のとおり、Ａ・Ｂ・Ｈ・Ｊ・Ｌ・Ｓ・Ｔ流域の７流域である。そのうち、土石流等の災害により露出展示遺構への直接的な被害が想定される５流域（Ａ・Ｊ・Ｌ・Ｓ・Ｔ流域）の対応の優先度を高め、更に流域面積が最大のＡ流域と、二番目の大きさのＪ流域への対応を最優先する方針とした。

続いて土砂流出防止工の有効性及び効率性の観点から理想的な計画位置を検討したところ、いずれも現状の公有地外に求められる結果となった。本事業は人命確保ではなく文化財保護を目的とした事業であることから、本事業を目的とした県による公有化は困難であり、理想的な計画位置における土砂流出防止工の整備は将来計画とし、福井市の公有化後に実施する方針とした。ただし、福井市による公有化は、遺構の残存が想定される区域から優先的に計画されているため、将来計画地の公有化年が不透明であることから、公有化前であっても遺構への直撃的な被害をおさえる減災の発想をもって、公有地内にて土砂流出防止工の整備を行い、将来計画とあわせて整備率 100％を達成する方針とした。

また、外周水路についても、近年の集中的な豪雨を踏まえると確率年を 100 年周期とすることも検討したが、遺構面との高さ関係により掘削可能な深さや設置可能な水路幅に限りがあり、同様に減災の考え方を適用し、確率年を 10 年周期として計画した。外周水路は土砂流出防止工とは異なり理想的とする計画地が公有地内に求められること、また日常的な降雨においても露出展示遺構の基盤面の流失等により遺構保存への直接的な影響がみられることから、土砂流出防止工と一体的に進めることを前提とせず、遺構保存に対しより有効な懸案地点から順に着手する方針とした。そのほか、外周水路による集排水能力をより高めるため、基本モデルにて想定していた浅い玉石張りの溝の構造を取りやめ、既整備地と同様にコンクリート製Ｕ字溝（写真 43）を用いる方針に変更した。



写真 43　本遺跡内の山際の既存Ｕ字溝

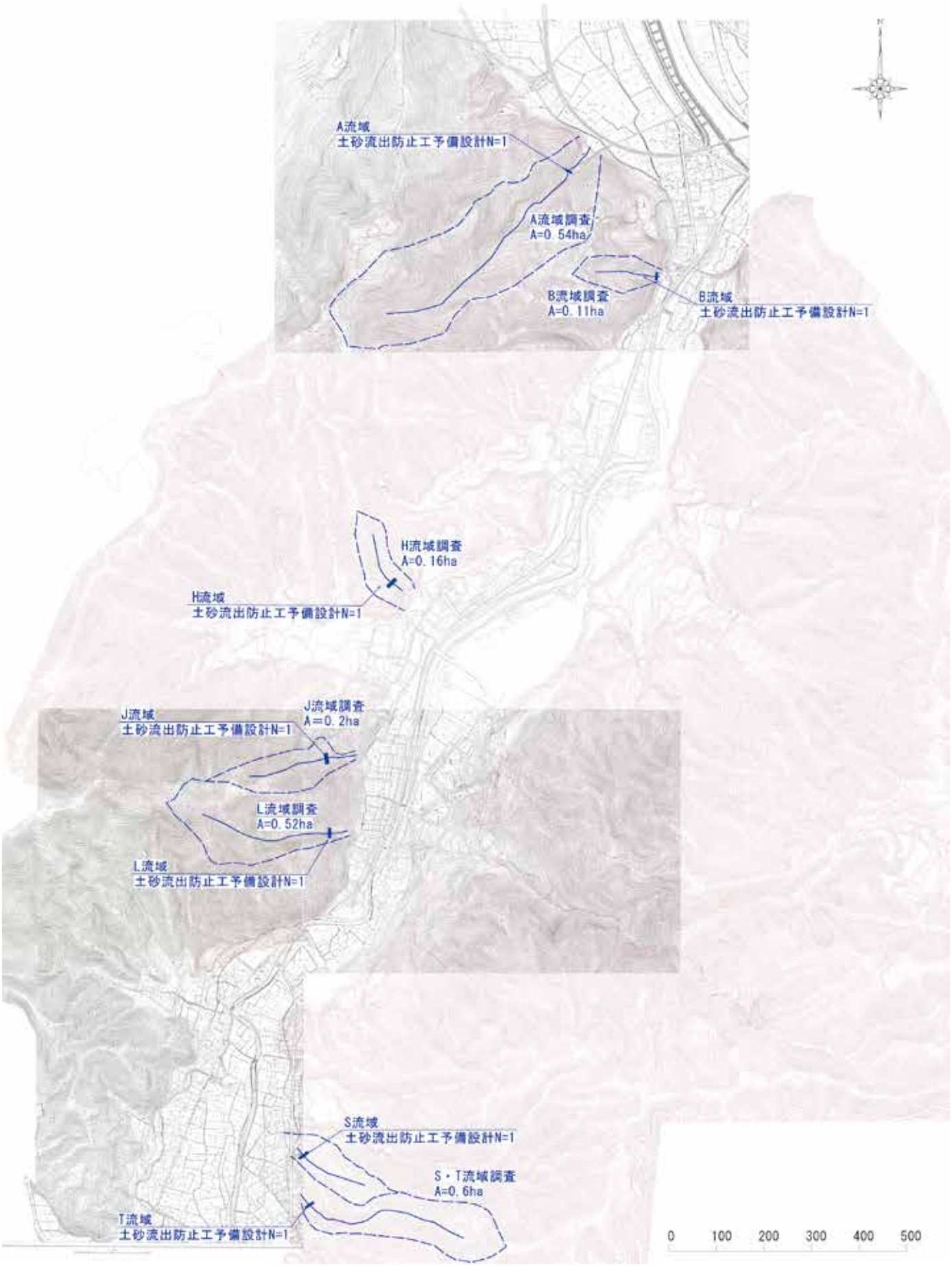


図 60　土砂流出防止工の計画流域

３．３．２．２　設計の検討過程

土砂流出防止工の規模等を決定するため、計画最大高水流量の算出したほか、放水路の位置及び形状・断面（放水路下長 2.0 m以上、側のり５分）の検討を行い、過去の土石流災害に伴う平均浸食深 0.5 m～ 2.0 mを参考とし、崩壊土砂量の浸食深を 1.0 m、浸食幅を 2.0 mと推定し、施設効果量と整備率の算定を進めた。続いて土砂流出防止工の構造形式の選定を一次・二次の二段階に分けて行った。表 18 のとおり、一次選定においては、ワイヤーネット工法や杭式の対策工法に比べ、湧水等の多い場所に適した適応性の観点や、部材が比較的軽量で運搬しやすい点で施工性に優れた「かご枠工法」を採用する方針とした。また、表 19 のとおり、二次選定においてはかご枠の素材を検討し、錆が発生しない点から耐久性に優れ、また施工性・経済性の観点から鉄線よりも優れる「繊維製かごマット」を採用した。工法及び素材決定を受け、土砂流出防止工の安定計算を行った上で、放水路天端厚（1.5 m）や袖の突込み深さ（土砂の場合の 1.0 m程度)、天端厚（1.0 m以上を確保)、基礎底面の根入れ深さ（砂礫層の 1.0 m程度)、上下流掘削法勾配（土砂の場合の３分、余掘 0.4m）等の設計を進めた。また、かご枠工には、図 61 ～図 63 のとおり、もたれ式や重力式の施工方法があるが､堆積土の堆砂範囲を確保しやすく､かつ土石流が直撃しても安定しやすい「重力式 - １」を選定する方針とし、外周水路と一体型として標準化した断面図が図 64 である。

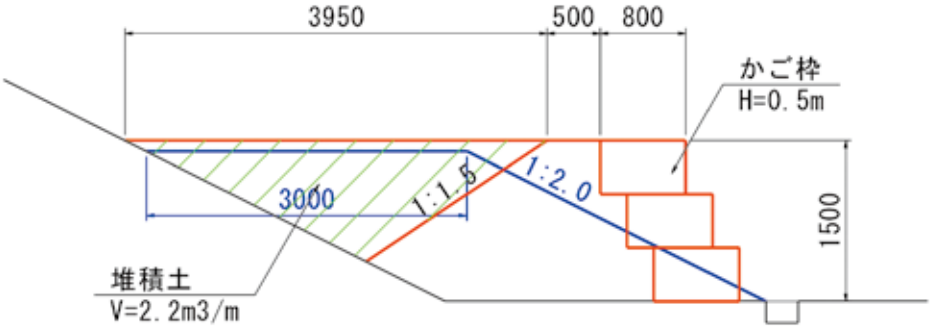


図 61　かご枠工断面図（もたれ式）

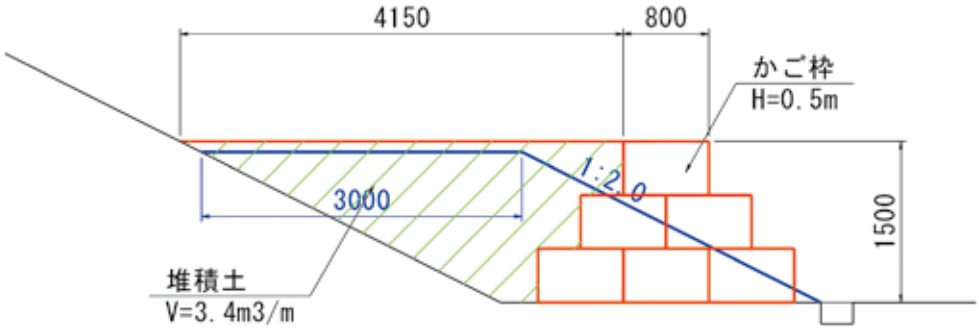


図 62　かご枠工断面図（重力式 - １）

表 18　土砂流出防止工の工法比較

工法名	鉄線かご枠谷止工					ワイヤーネット工法					杭式土石流対策工				
イメージ写真															
型　式	不透過型					透過型					透過型				
工法概要	･鋼製カゴ型谷止工は、鋼製部材の中に中詰材を充填する構造の擁壁である。 ・鋼製部材と中詰材の重量により土圧に抵抗する構造で、透水性に優れることから特に湧水や浸透水の多い箇所に適している。					・ワイヤーロープとリングネットを用い、土石流を捕捉する透過型の堰堤である。 ・最終的な荷重を反力体（アンカレッジ）で受け持つ。 ・設置時の河床掘削が少なく、現地形を大きく改変しない。					・主に０次谷等の小規模渓流で発生する土石流を捕捉する柔構造の杭式対策工である。 ・シンプルかつ軽量な部材で構成されており、施工性に優れている。				
施工性	・山形鋼と丸棒を組み合わせたパネルをコイル筋で一体化し、ボルト接合によりスムーズな組立が可能である。 ・部材は規格化され軽量なので、運搬がしやすく施工が容易である。					・構造部材が軽量なため現地搬入と施工性に優れる。 ・主索の架設やリングネットの取付にはラフタークレーンが必要となる。 ・反力体が荷重を全て受け持つため、規模が大きくなる。					・アンカー削孔、組立、グラウト注入後大口径ボーリングマシンで削孔し、支柱建て込み、モルタル充填、横ロープ設置、縦ロープ設置、ワイヤーネット設置と工程が多岐にわたる。 ・支柱建て込みにはラフタークレーンが必要となる。				
経済性	･直接工事費(1式当り)	数量	単位	単価	金額	･直接工事費(1式当り)	数量	単位	単価	金額	･直接工事費(1式当り)	数量	単位	単価	金額
	パネル	48.00	m2	32,100	1,540,800	リングネット・接続ロープ	1.00	式	11,500,000	11,500,000	材料費（鋼管）	3.00	m	798,000	2,394,000
	端面パネル	12.00	枚	10,900	130,800	ケーブル等	1.00	式	7,895,000	7,895,000	フェンスエ（施工費）	3.00	m	121,000	363,000
	ぐり石	107.00	m3	3,800	406,600	リングネット施工	1.00	式	1,800,000	1,800,000	基礎工（施工費）	3.00	m	130,000	390,000
	吸出防止材	66.00	m2	540	35,640	ケーブル施工	1.00	式	3,605,000	3,605,000	アンカー工（施工費）	3.00	m	160,000	480,000
	施工費	12.48	式	20,000	249,600	アンカレッジ工	1.00	式	6,900,000	6,900,000					
	合計				2,363,440	合計				31,700,000	合計				3,627,000
総合評価	・経済的である。 ・浸透水の多いところに適している。 ・部材が軽量なので施工が容易である。				◎	・高価である。 ・施工にラフタークレーンが必要となる。				×	・鉄線かご枠谷止工と比較して高価である。 ・周囲の景観に調和しやすい。 ・材料、機材の搬入が可能な工事用道路が必要となる。				△

表 19　かご枠の素材比較

工法名	①　鉄線かご工（製品例：EGボックス）		②　繊維製かごマット（製品例：FIT-CUBE）	
イメージ写真				
工法概要	・耐久性および施工性に優れた、亜鉛アルミ合金先メッキ溶接金網で構成されるかご工である。 ・一般的には中詰材に割栗石や玉石を用い、擁壁背面の湧水を壁面全体で排出する高排水性能を持ち、コンクリート擁壁と比べ軽量かつ可とう性を有する擁壁が構築可能となる。		・化学的に安定した高分子材料を使用したラッシェル網地を用い、耐候性・耐腐食性・耐薬品性を有するなど、腐食が起きうる環境下での使用が可能である。 ・線材に剛性加工を施しているため、形状変化が小さく吊り上げが可能となり、敷設時の出来形安定性に優れる。 ・発生土をいれる専用の内袋がある。	
耐久性	・亜鉛アルミ合金先メッキ溶接金網により、耐久年数が50年以上として規格化されている。	◎	・屋外および淡水、海水中において、耐用年数30年程度の耐候性を有する。 ・覆土により直射日光を遮ることで、耐久年数を長くすることができる。	○
施工性	・山形鋼と丸棒を組み合わせたパネルをコイル筋で一体化し、ボルト接合によりスムーズな組立が可能となる。 ・部材は規格化され軽量なので、運搬がしやすく施工が容易である。 ・発生土を中詰材とする場合、現地製作となる。	○	・吊り上げが可能なため、別ヤードでの製作が可能となる。 ・安定した出来形となるため、専門工および熟練工が不要となる。 ・中詰作業・設置作業とも機械施工が主体のため、工期の短縮が図れる。 ・発生土を入れる専用の内袋があるため施工が早い。	◎
景観性	・アルミ合金メッキが周辺の景観と同調しない恐れがあるが、覆土により周辺景観との同調が可能となる。	○	・かごマットおよび内袋ともに黒色のため、周辺の景観と同調しやすく、覆土をすることでより周辺景観との同調が可能となる。	○
経済性				

・直接工事費(10m当り)	数量	単位	単価	金額
掘削（オープン）	50.0	m3	274	13,700
埋戻し	12.0	m3	2,283	27,396
パネル	30.0	m2	17,300	519,000
端面パネル	12.0	枚	5,000	60,000
中詰材（発生土）	24.0	m3	0	0
植生シート	156.0	m2	920	143,520
残土処分	10.0	m3	10,000	100,000
施工費	30.0	m2	9,500	285,000
合計				1,148,616

・直接工事費(10m当り)	数量	単位	単価	金額
掘削（オープン）	56.0	m3	274	15,344
埋戻し	12.0	m3	2,283	27,396
繊維製かごマット・内袋含む	30.0	基	32,569	977,070
吸出防止材	30.0	m2	970	29,100
残土処分	9.3	m3	10,000	93,000
中詰材（発生土）	30.0	m3	0	0
合計				1,141,910

総合評価	・砂防堰堤としての実績がある。 ・浸透水の多いところに適している。	○	・別ヤードでの製作が可能である。 ・発生土を入れる専用の内袋があるため施工が早い。 ・覆土をすることで直射日光を遮り、耐久年数が長くなる。	◎

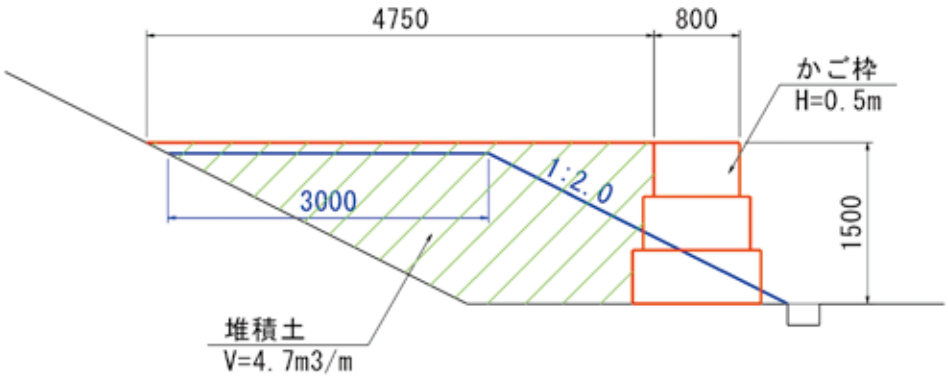


図 63　かご枠工断面図（重力式 - 2）

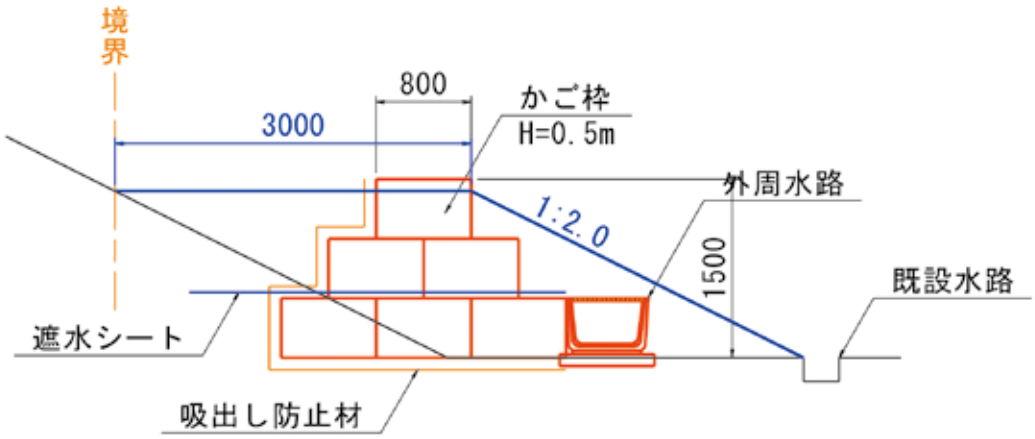


図 64　土砂流出防止工の標準断面図（標準図外周水路一体型）

一方、外周水路については、計画最大高水流量の算出により外周水路断面の検討を行い、日常的な堆積土砂や落葉等による目詰まりといった維持管理に対して余裕をもつ断面を確保するため、最小内幅 600mm 以上のグレーチング蓋付きベンチフリュームを基本とする方針とした。また、遺構面が浅く掘削深さに制限がある計画路については、園路下部に自由勾配側溝の三連暗渠を敷設することで流下断面を確保する方針とした。

３．３．２．３　流域ごとの設計の方向性

（１）Ａ流域（西山光照寺跡・図 65）

Ａ流域には２箇所の谷水があり、それらを受け止める場所に土砂流出防止工を計画した。計画延長を南東側に延ばすことは可能だが、背後の堆砂地等の確保に伴い、約５ｍ高に及ぶ切土が発生するため、大規模な地形改変を行わない最低限の長さに設定した。西山光照寺跡の正面から山側を見上げた際の景観に配慮し、かご枠の天端高をおさえるよう調整し、またかご枠は覆土し、植生マット等により緑化を行うことで遺跡景観に配慮する考えである。土砂流出防止工の水抜孔は、露出展示遺構の溝跡とＵ字溝の二つの既存水路に接続する方針とし、主要排水路をＵ字溝に設定するが、既存水路のみでは最大流水量の流下能力が不十分となる。そこで新設水路の設置を検討したが、遺

構面が浅く、かつ流水量が多いことから既製品では対応できず、西山光照寺跡の与件にあわせた設計を引き続き検討している。そのほか、寺有地の墓地へのアクセス確保が必要なため、合成木材を想定した階段を設置する計画である。本工事による土砂流出防止工の整備率は 34％に留まるが、景観保全や最低限の切土を優先し、露出展示遺構への土石流等の直撃防止を主目的とする考えである。

（２）Ｊ流域（復原町並・図 66）

Ｊ流域には山林部の私有地と公有地との境に高さ１m 前後の既存盛土があり、既存盛土の位置を計画地とすることで、現状の景観からの改変を最小限におさえる考えである。また、本遺跡の管理者である福井市及び福井市より日常管理を委託されている（一社）朝倉氏遺跡保存協会との協議を受け、約２m幅の管理用通路を確保するため、土砂流出防止工及び外周水路を一体的に設計し、外周水路上に管理用通路を設定した。なお、かご枠を覆土し、植生マット等を用いて緑化を行う点はＡ流域と同様である。

また、山林部の樹脂製Ｕ字溝（水路１）から、暗渠の自由勾配側溝（水路２）とベンチフリュームを用いた外周水路（水路３）に分水し、流下能力を確保する計画である。水路２を主要排水路とし、県道沿いの既存開渠へ排水することで、一乗谷川への迅速な排水を想定している。水路１は民有地に位置するが、水路１の施工により外周水路の規模をおさえられるため、例外的に民有地に計画している。所有者の同意が得られたことからＵ字溝を敷設し、谷水の受け口付近のみ杉板・杉丸太を打設し安定化を図る考えである。なお、公有地の正確な境界は、現地にて所有者と確認し進めている。本工事により土砂流出防止工の整備率 66％をカバーし、整備率 100％は将来計画を含め達成する考えである。

３.３.２.４　今後の課題

前項のとおり、流域ごとの特性を踏まえた設計の方向性を示したが、西山光照寺跡における新設水路の検討のほか、土砂流出防止工の水抜孔と既存水路との接続部の取り合い等の細部設計は、次年度の課題である。また、将来的には整備率 100％を達成するための公有化が必要である。そのほか、本報告の現地調査では、山地部の私有地における調査は十分に実施できていないため、公有化後には山地部の沢等を含め排水環境調査を行い、より防災力を高めた整備を目指す必要がある。

３.４　第３章のまとめ

本章では、屋外に露出展示されている遺構の保存を目的として、諏訪館跡庭園の景石の劣化対策の検討及び特別史跡内の排水不良の改善に向けて調査・設計を行った。

諏訪館跡庭園の景石では、クラック内部に浸透した水の凍結・融解の繰り返しが、ブロック状の劣化を引き起こす主因であることが示唆された。現地での養生試験の結果、アルミ蒸着付きエアキャップは温度低下の高い抑制効果を示した。一方､名勝としての景観および施工性を考慮すると、アルミ保温シートと菰を組み合わせた方法も有効であり、公開中の名勝において実用的な対策と判断した。

遺跡の排水対策では、既整備地を中心に現況排水図を作成し、流域を 20 に区分した上で、確率 10 年規模の降雨に基づく計画高水流量と既設排水路の流下能力を評価した。その結果、168 か所の既設排水路のうち 88 か所で対策が必要と判断された。特に、溢水や土砂流入が想定される流域

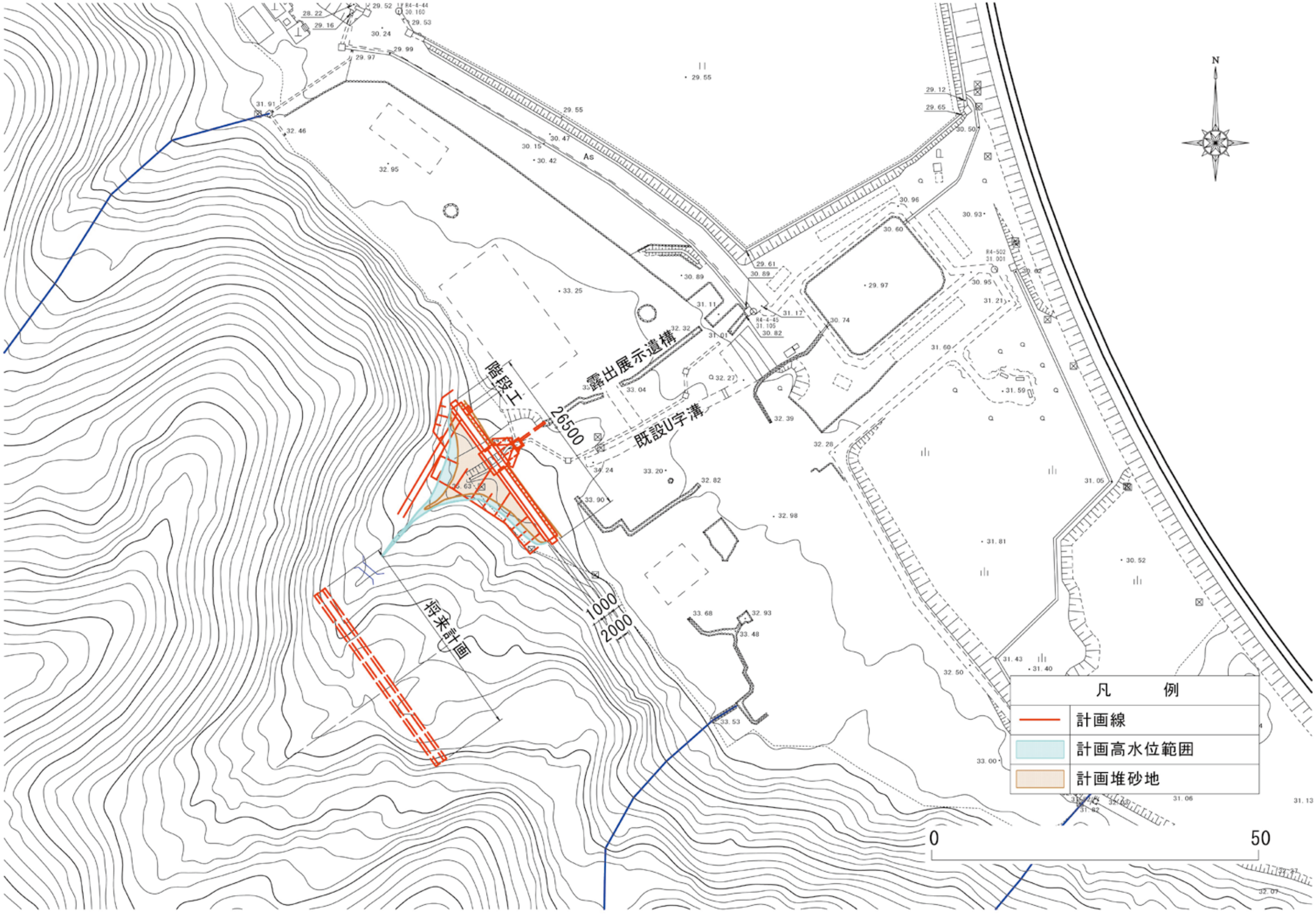


図 65　A 流域の設計案

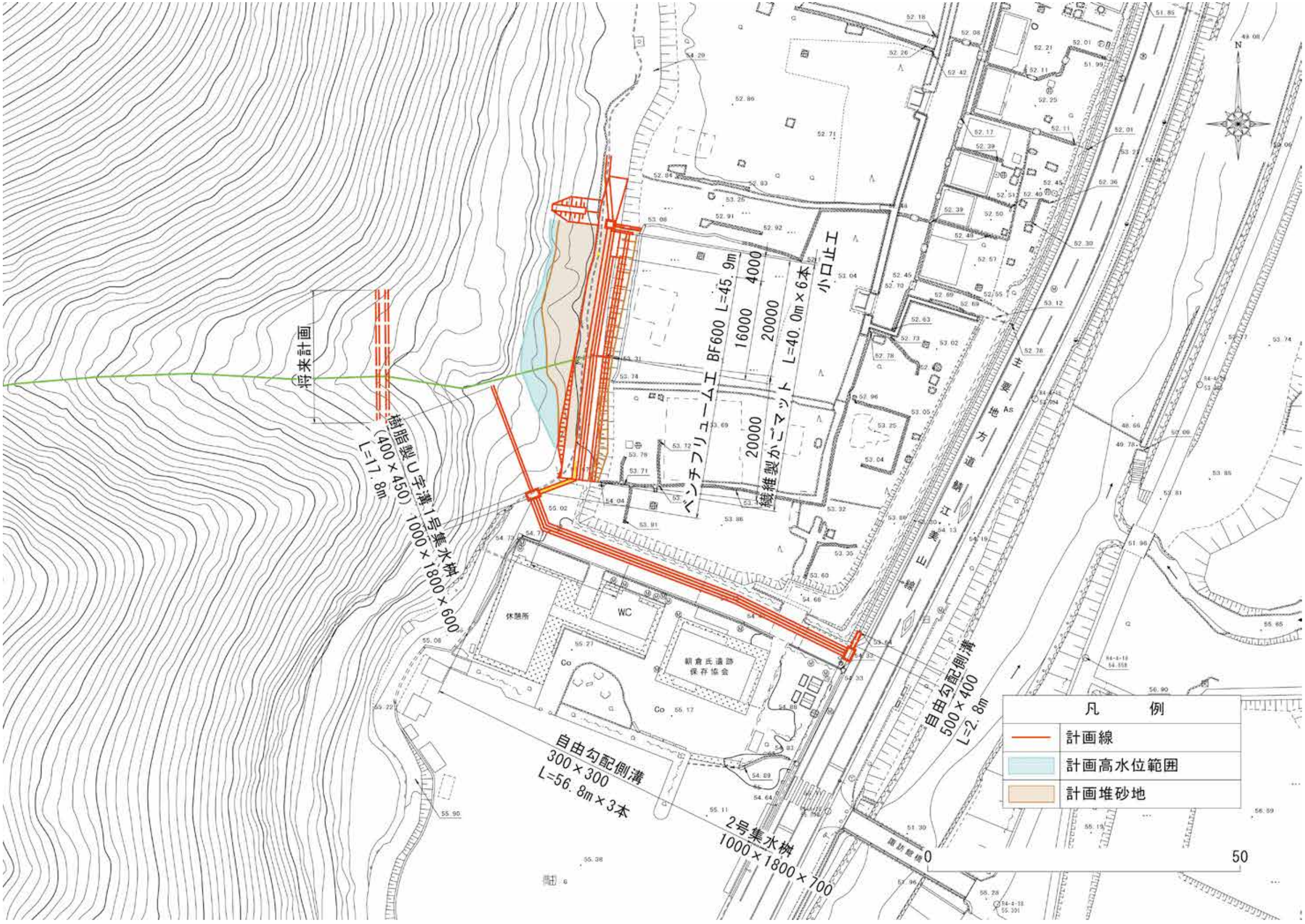

将来計画
樹脂製U字溝1号
(400×450)
L=17.8m
1000×1800×600
ベンチフリューム工 BF600 L=45.9m
16000
4000
20000
20000
繊維製かごマット L=40.0m×6本
小口止工
休憩所
WC
Co
Co
朝倉氏遺跡
保存協会
自由勾配側溝
300×300
L=56.8m×3本
2号集水桝
1000×1800×700
自由勾配側溝
500×400
L=2.8m
凡　例
計画線
計画高水位範囲
計画堆砂地
0
50

図 66　J 流域の設計案

については、土砂流出防止工及び山麓部と平地部の境界に設ける外周水路の整備が有効と整理し、流域単位での計画的な対策方針を示した。

以上より、屋外にある露出展示遺構を適切に保存するためには、劣化から庭石を保護する養生等の継続的な維持管理手法の開発と、遺跡全体の排水環境を改善する基盤的整備の双方を一体的に講じることが不可欠であると考える。

[第３章参考文献]

〈3.1 ～ 3.2 参考文献〉

石﨑武志 2020「重要文化財『鳥居』冬季養生の効果検証及び周辺環境調査」『令和元年度 東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター紀要』東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター pp.45–46

朽津信明・森井順之・伊藤広宣・山路しのぶ・神田高士 2014「臼杵市・下藤キリシタン墓地における遺構の凍結防止策」『保存科学』53 保存科学研究センター pp.105–114

福井県立一乗谷朝倉氏遺跡博物館 2022『特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡再整備等計画』

福井県立一乗谷朝倉氏遺跡博物館・株式会社サンワコン 2023『令和 4 年度 一乗谷朝倉氏遺跡岩石鑑定業務委託報告書（諏訪館跡庭園）』

脇谷草一郎・藤井佐由里・藤田若菜・柳田明進・渡邊英明・川越光洋・髙妻洋成 2022「特別名勝一乗谷朝倉氏庭園の景石保存に関する研究 ― 周辺環境が景石の劣化に及ぼす影響 ―」『日本文化財科学会第 39 回大会研究発表要旨集』日本文化財科学会 pp.190–191

Historic Environment Scotland., 2014, Soft capping in Scotland: the context and potential of using plants to protect masonry. Volume 1.

Ruedrich, J., Kirchner, D., Siegesmund, S. 2011 “Physical weathering of building stones induced by freeze–thaw action: a laboratory long-term study” Environ Earth Sci pp.63 1573–1586

Wood, C., Cathersides, A. and Viles, H. 2018 “Soft capping on ruined masonry walls” Historic England Research Report pp.88-2018

〈3.3 参考文献〉

福井市 2024『特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡保存活用計画』

福井市教育委員会 2012『特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡 特別名勝一乗谷朝倉氏庭園　朝倉館跡庭園修理整備報告書』

日本河川協会編 1997『[改訂新版] 建設省河川砂防技術基準（案）同解説』

結語（総括・今後の課題）

本連携研究では、本遺跡において広く採用されてきた露出展示という整備手法の持続可能性の向上を目的として、奈良文化財研究所と当館が連携し、保存科学等の知見に基づき屋内外における遺構の劣化要因の解明と対策の提示を行った。戦国期城下町の実像を伝える本遺跡において、遺構そのものを公開する意義は極めて大きいが、その一方で長期的な保存との両立が喫緊の課題となっていた。本連携研究は、こうした課題に対し、科学的調査に基づく遺構の保存の方向性を示した点に意義がある。

第２章では、当館内の石敷遺構を対象に、温湿度、地下水位、水ポテンシャル、水質分析等の環境調査を実施し、遺構展示室内の環境条件を把握するとともに、開館後に想定される劣化の予測を行った。その結果を踏まえ、遺構の保存と展示の両立を図る観点から、遺構の露出展示と埋め戻しを組み合わせた展示手法を採用した。また、開館後には新たに遺構展示室内で菌類の発生や塩類の析出等が確認されたことから、外気が常時流入する展示環境を前提とした遺構の保存方法の検討を行った。具体的には、展示と保存を両立させるための埋め戻し方法や維持管理手法の見直しを進めた。

第３章では、本遺跡内の諏訪館跡庭園の景石を対象に、凍結・融解作用による劣化メカニズムを解明するとともに、その対策として冬季の養生方法を検討した。現地での養生試験を通じて、夜間放射による温度低下の抑制が重要であることを確認し、放射率の低い材料が養生材として有効であることを明らかにした。また、景観や公開条件に応じた対策の選択肢を提示した。さらに、遺跡全体を対象とした排水環境調査では、現況の排水能力の評価を行い、土砂流出防止工や外周水路の整備といった基盤的対策の必要性を明らかにした。これらにより、個別遺構の保存と遺跡全体の排水環境の改善を一体的に進める視点の重要性を示した。

遺構の露出展示は、遺跡の真実性を直接伝える優れた手法であるが、その価値を将来にわたり継承するためには、日常的な養生・点検と排水環境をはじめとする基盤整備を両輪として進めることが不可欠である。本報告書で示した内容は研究段階の成果であり、実際の施工や日常管理へと具体化していくためには、なお検討すべき課題が残されている。今後は、調査データの継続的蓄積と長期モニタリングの実施、維持管理体制の充実、排水施設の詳細設計等を進め、実装に向けた取組を着実に展開していく必要がある。

本連携研究の成果は、露出展示を基本とする史跡整備において、科学的根拠に基づく遺構の保存のための整備・管理手法へと展開するものであり、同様の課題を抱える全国の遺跡にも応用可能な知見を含むと考える。本連携研究で得られた成果を基盤として、今後も遺跡の保存と活用の両立を目指した取組を継続する考えである。

令和８年３月 25 日発行

遺跡の保存技術の確立に向けた
連携研究報告書Ⅰ

編集　福井県立一乗谷朝倉氏遺跡博物館
　　独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所

発行　福井県立一乗谷朝倉氏遺跡博物館

印刷　藤田製本印刷株式会社

一乗谷朝倉氏遺跡博物館
ICHIJODANI ASAKURA FAMILY SITE MUSEUM