

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)

2018

福井県立一乗谷朝倉氏遺跡資料館



## 序 文

特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡の調査・研究事業は、特別名勝の指定を受けている庭園群の調査に着手して以降、現在にいたるまで50年以上にわたって継続しており、本遺跡の保存・活用を進めています。

昭和47年に『朝倉氏史跡公園基本構想』を策定し、史跡公園化の理念を定め、この理念に基づき本遺跡の保存・活用事業を進めてきましたが、近年は経年変化による遺跡の劣化への対応が重要な課題となっています。そこで、平成22年度に特別史跡の保存管理計画を改定し、続く平成23年度に発掘・整備基本計画を見直し、平成24年度から劣化対応事業を開始しました。

本報告書は、劣化対応事業のうち、朝倉館跡を主な調査対象地として検討した石製遺構の接着と、西山光照寺跡にて検出された名号石碑の保存・活用に関してまとめたものです。特に接着手法の検討では、昭和44年度の朝倉館跡における保存科学的処理の接着片を基礎試料とし、化学分析に基づき具体的手法を決定しました。特別名勝庭園への対応など、課題は残っていますが、特別史跡内における石製遺構の接着への着手が可能となりました。

最後になりましたが、事業の実施から報告書の刊行に至るまで、文化庁をはじめ関係各位、地元の皆様には多大なご支援とご協力をいただきました。深く感謝申し上げます。

平成30年3月

福井県立一乗谷朝倉氏遺跡資料館

館 長 向 出 宏 二

## 例 言

- 1 本書は、平成24年度～平成29年度まで、国庫補助金の交付を受けて福井県が実施した、特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡(福井県福井市)の劣化対応事業に関する報告書である。
- 2 事業は、文化庁文化財部記念物課、福井県朝倉氏遺跡研究協議会、劣化対応事業ワーキンググループの指導のもとに、福井県(平成24年度～平成28年度：教育庁埋蔵文化財調査センター 朝倉氏遺跡グループ、平成29年度：一乗谷朝倉氏遺跡資料館)が実施した。
- 3 本書は次の分担により執筆し、全体の編集は当館文化財調査員 藤田若菜が担当した。  
I・II・III-1・III-3～9(p.62～64・p.67～70・p.74～75を除く)・IV・V 藤田若菜  
III-2 当館学芸員 大竹桃子  
III-8のうちp.62～64・p.67～70・p.74～75 株式会社福井県環境分析センター 山口秀尚氏・宮久泰氏・川口友里氏
- 4 挿図・表の作成は主として執筆者と当館主査 熊谷透がおこなった。III～IV章において業者委託にて実施した業務の図・写真・表は、業務委託成果報告書の一部を改変して使用した。そのほか、協力機関に作成いただいた図・表が含まれ、本文中に協力機関について記載した。以上の図のスケールバーは原図のまま使用した。なお、本書に掲載できなかった試験結果等の根拠資料や、当館が所蔵する業務委託成果報告書のデータは、別添CD内の資料編を参照いただきたい。
- 5 事業の実施および本書作成にあたり、次の諸氏、諸機関から御教示、御協力を賜った。記して謝意を表したい(敬称略・五十音順)。石崎武志(東北芸術工科大学教授)、大村嘉人(国立科学博物館研究主幹)、岡本篤志(大手前大学助教)、小椋大輔(京都大学大学院教授)、河崎衣美(筑波大学研究員・現奈良県立橿原考古学研究所技師)、北野武男(写真家)、高妻洋成(国立文化財機構 奈良文化財研究所埋蔵文化財センター長)、佐藤嘉則(国立文化財機構 東京文化財研究所生物科学研究室長)、杜之岩(京都大学大学院博士課程)、松井敏也(筑波大学教授)、山本博文(福井大学教授)、脇谷草一郎(国立文化財機構 奈良文化財研究所主任研究員)、福井県工業技術センター、福井県立恐竜博物館。
- 6 平成24年度～平成28年度までの各年度の事業概要は、当該年度の概要報告書を公刊しているが、内容については本書が優先する。



# 目 次

| I   | 事業概要                | 頁  |
|-----|---------------------|----|
| 1   | 目的 .....            | 1  |
| 2   | 関連計画 .....          | 1  |
| 3   | 方法・組織等 .....        | 5  |
| 4   | 経費 .....            | 8  |
| II  | 遺構劣化台帳の作成           |    |
| 1   | 目的と対象 .....         | 9  |
| 2   | 方法 .....            | 9  |
| 3   | 結果 .....            | 9  |
| III | 朝倉館跡                |    |
| 1   | 過去の保存科学的処理の総括 ..... | 13 |
| 1-1 | 石製遺構の処理目的・対象        |    |
| 1-2 | 土製遺構の処理目的・対象        |    |
| 2   | 気象条件の調査 .....       | 15 |
| 2-1 | 目的と対象               |    |
| 2-2 | 方法                  |    |
| 2-3 | 結果と考察               |    |
| 3   | 岩石鑑定 .....          | 43 |
| 3-1 | 目的と対象               |    |
| 3-2 | 方法                  |    |
| 3-3 | 結果と考察               |    |
| 4   | 定点撮影 .....          | 45 |
| 4-1 | 目的と対象               |    |
| 4-2 | 方法と結果               |    |
| 5   | 含水率計測 .....         | 45 |
| 5-1 | 目的と対象               |    |
| 5-2 | 方法                  |    |
| 5-3 | 結果                  |    |
| 6   | 接着剤分析 .....         | 49 |
| 6-1 | 目的と対象               |    |
| 6-2 | 方法                  |    |
| 6-3 | 結果と考察               |    |

|       |                   |    |
|-------|-------------------|----|
| 7     | 硬度試験              | 55 |
| 7-1   | 目的と対象             |    |
| 7-2   | 方法                |    |
| 7-3   | 結果と考察             |    |
| 8     | 緊急接着              | 57 |
| 8-1   | 目的と対象             |    |
| 8-2-1 | 方法と結果(最大体積含水率の測定) |    |
| 8-2-2 | 方法と結果(強化処置・接着)    |    |
| 9     | 接着剤試験             | 59 |
| 9-1   | 目的                |    |
| 9-2-1 | 方法と結果(平成26年度)     |    |
| 9-2-2 | 方法と結果(平成27年度)     |    |
| 9-2-3 | 方法と結果(平成28年度)     |    |
| 9-2-4 | 方法と結果(平成29年度)     |    |
| 10    | 本施工(石製遺構の接着)      | 78 |
| 10-1  | 目的と対象             |    |
| 10-2  | 方法                |    |

## IV 西山光照寺跡(名号石碑)

|     |                        |    |
|-----|------------------------|----|
| 1   | 劣化対応に至る経緯              | 79 |
| 2   | 地衣類・菌類調査               | 81 |
| 2-1 | 地衣類調査(平成26年度)          |    |
| 2-2 | 菌類調査(平成26年度)           |    |
| 2-3 | X線回折法・顕微鏡観察(平成28・29年度) |    |
| 3   | 蛍光X線分析                 | 85 |
| 3-1 | 目的                     |    |
| 3-2 | 方法と結果                  |    |
| 4   | 保存処置                   | 86 |
| 4-1 | 基本方針                   |    |
| 4-2 | 整備工事(平成26年度)           |    |
| 4-3 | 保存科学的処置(平成26年度)        |    |
| 5   | 三次元レーザー計測              | 90 |
| 5-1 | 目的と方法                  |    |
| 5-2 | 結果と今後の展望               |    |

## V 結語(総括・今後の展望)

94

# 図 版 目 次

|      |                     |    |      |                                 |    |
|------|---------------------|----|------|---------------------------------|----|
| 第1図  | 整備ゾーニング図            | 2  | 第37図 | 赤外吸収スペクトルの比較－3                  | 53 |
| 第2図  | 既整備地現況              | 3  | 第38図 | IR分析結果(点分析)                     | 53 |
| 第3図  | 既整備地現況－2            | 4  | 第39図 | IR分析位置(点分析)                     | 53 |
| 第4図  | 劣化対応WG会議の様子         | 7  | 第40図 | Py-GC定性分析結果の比較                  | 54 |
| 第5図  | 遺構劣化台帳(地区毎)         | 10 | 第41図 | 熱分析による部位ごとの比較                   | 54 |
| 第6図  | 遺構劣化台帳(地区毎－2)       | 11 | 第42図 | Py-GC定性分析用試料                    | 54 |
| 第7図  | 遺構劣化台帳(遺構毎)         | 12 | 第43図 | 硬度試験結果                          | 56 |
| 第8図  | 石製遺構の保存科学的処理        | 14 | 第44図 | 計測位置                            | 56 |
| 第9図  | 土製遺構の保存科学的処理        | 14 | 第45図 | 緊急接着例                           | 58 |
| 第10図 | 観測位置図(新御殿跡)         | 18 | 第46図 | 試験体                             | 60 |
| 第11図 | 観測位置図(朝倉館跡)         | 19 | 第47図 | 試験体の固定(促進耐候性試験用)                | 60 |
| 第12図 | 観測機器等設置状況           | 22 | 第48図 | 試験前後の硬度測定結果                     | 61 |
| 第13図 | 観測機器等設置状況－2         | 23 | 第49図 | 試験体設置状況                         | 61 |
| 第14図 | 観測機器等設置状況－3         | 24 | 第50図 | 漆喰の試験体(促進耐候性試験後)                | 61 |
| 第15図 | 観測機器等設置状況－4         | 25 | 第51図 | 試料605の焼成前後の外観                   | 62 |
| 第16図 | 積雪深計と積雪・融雪状況        | 26 | 第52図 | 標準砂の粒度調整                        | 62 |
| 第17図 | 平成27年度観測結果          | 27 | 第53図 | 粉碎条件検討結果                        | 63 |
|      | St.1(気温、相対湿度、温度、地温) |    | 第54図 | 混合条件検討結果                        | 63 |
| 第18図 | 平成27年度観測結果          | 29 | 第55図 | 試験体の作製方法                        | 64 |
|      | St.1(風速、風向)         |    | 第56図 | 試験体一式                           | 64 |
| 第19図 | 平成27年度観測結果          | 31 | 第57図 | PSL値の測定(Area(mm <sup>2</sup> )) | 65 |
|      | St.1(降水量、全天日射量)     |    | 第58図 | PSL値の測定(Line)                   | 65 |
| 第20図 | 平成27年度観測結果 St.T1    | 33 | 第59図 | 昭和44年度施工時の石粉量との相関               | 66 |
| 第21図 | 平成27年度観測結果 St.T3    | 35 | 第60図 | X線透過量との相関                       | 66 |
| 第22図 | 冬季養生の有無と表面温度の比較     | 37 | 第61図 | 試験体の作製方法                        | 67 |
| 第23図 | 福井地方気象台の観測データとの比較   | 39 | 第62図 | 試験体一式(耐久性試験用)                   | 68 |
| 第24図 | 福井地方気象台の観測データとの比較－2 | 41 | 第63図 | デシケーター保管                        | 69 |
| 第25図 | 安山岩の特殊な劣化           | 43 | 第64図 | 試験体の作製方法                        | 69 |
| 第26図 | 岩石鑑定の結果             | 44 | 第65図 | 試験体一式(接着力試験用)                   | 70 |
| 第27図 | 含水率の計測状況            | 45 | 第66図 | PSL値の比較(mm <sup>2</sup> ・平均値別)  | 72 |
| 第28図 | 含水率計測結果             | 46 | 第67図 | 圧縮せん断試験後の試験体                    | 72 |
| 第29図 | 含水率計測結果－2           | 46 | 第68図 | FT-IR分析結果                       | 73 |
| 第30図 | 含水率計測位置             | 48 |      | (促進耐候試験前・アラルダイト0 wt%)           |    |
| 第31図 | 接着剤採取               | 51 | 第69図 | FT-IR分析結果                       | 73 |
| 第32図 | 顕微鏡観察結果             | 51 |      | (促進耐候試験後・アラルダイト0 wt%)           |    |
| 第33図 | 赤外線吸収スペクトルの比較       | 52 | 第70図 | 金属片の外観                          | 74 |
| 第34図 | 赤外線吸収スペクトルの比較－2     | 52 | 第71図 | 試験体の作製方法                        | 74 |
| 第35図 | IR分析結果(ライン分析)       | 52 | 第72図 | 試験体一式                           | 75 |
| 第36図 | IR分析位置(ライン分析)       | 52 | 第73図 | 圧縮せん断試験後の試験体                    | 76 |

|      |                  |    |      |                        |    |
|------|------------------|----|------|------------------------|----|
| 第74図 | 圧縮せん断試験後の試験体－2   | 76 | 第85図 | 整備工事完了後                | 87 |
| 第75図 | 圧縮せん断試験結果        | 77 | 第86図 | 保存科学的処置の様子             | 87 |
| 第76図 | 圧縮せん断試験結果(追加実験分) | 77 | 第87図 | 保存科学的処置前後の比較           | 87 |
| 第77図 | 本施工に至る手順基本図      | 78 | 第88図 | SfM写真計測の様子             | 90 |
| 第78図 | 名号石碑             | 79 | 第89図 | ハンディー計測の様子             | 91 |
| 第79図 | 名号石碑の漆膜残存位置      | 80 | 第90図 | 固定型レーザー計測の様子           | 91 |
| 第80図 | 名号石碑着生の地衣類・菌類    | 82 | 第91図 | 三次元レーザー計測<br>陰影図＋カラー画像 | 92 |
| 第81図 | 地衣類調査結果          | 83 | 第92図 | 三次元レーザー計測<br>陰影図       | 93 |
| 第82図 | XRD解析位置          | 84 |      |                        |    |
| 第83図 | 計測状況             | 85 |      |                        |    |
| 第84図 | 計測位置             | 85 |      |                        |    |

## 目 次

|     |                     |    |      |               |    |
|-----|---------------------|----|------|---------------|----|
| 第1表 | 事業費                 | 8  | 第8表  | 主な熱分解生成物      | 54 |
| 第2表 | 朝倉館跡の接着タイプ(昭和44年施工) | 14 | 第9表  | 最大体積含水率の測定結果  | 58 |
| 第3表 | 礎石表面温度が－4℃を下回った回数   | 17 | 第10表 | 接着剤試験の工程フロー   | 59 |
| 第4表 | 環境観測項目              | 20 | 第11表 | 接着剤と砂の混合比     | 67 |
| 第5表 | 年度別観測状況             | 21 | 第12表 | XRD解析結果       | 84 |
| 第6表 | 使用機器一覧              | 21 | 第13表 | 名号石碑の保存処置方針比較 | 88 |
| 第7表 | 含水率計測対象一覧           | 48 |      |               |    |

# I 事業概要

## 1 目的

特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡(以下、本遺跡とする)では、『朝倉氏史跡公園基本構想』(近畿都市学会・昭和47年(1972))に基づき、約半世紀にわたって整備事業を継続的に実施している。具体的な整備手法としては、礎石や石組溝、石垣、庭石など、石を材料とする遺構の露出展示を基本とした整備手法を大部分において実施してきた。現在、既整備地の面積は約17 haに及び、戦国期の城下町の姿が蘇りつつある。

しかし一方で、既整備地では経年劣化などの理由から、露出展示や平面表示等の復元遺構について補修を必要とする箇所が認められ、既整備地の劣化への対応を行う必要性が生じていた。そのため、『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、続く平成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」<sup>1)</sup>の改定を行い、今後の環境整備事業の一環として劣化対応事業(以下、本事業とする)を実施する旨を明記し、平成24年度から本事業を開始した。

## 2 関連計画

以下、本事業に関連する計画の一部を抜粋・掲載する。

『朝倉氏史跡公園基本構想』

I 史跡公園構想の前提

I-1 史跡観光の理念について

「歴史に埋もれて来た遺構をして自ら語らせる」との発想、「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とらせる」との考慮がそれである。

『特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡 保存管理計画』

第3章 今後の方針

第2節 整備

①快適な遺跡環境保存

既整備地の破損に対する補修および再整備について、計画をたてて行う。

「特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡 発掘・整備基本計画」

3. 事業基本方針

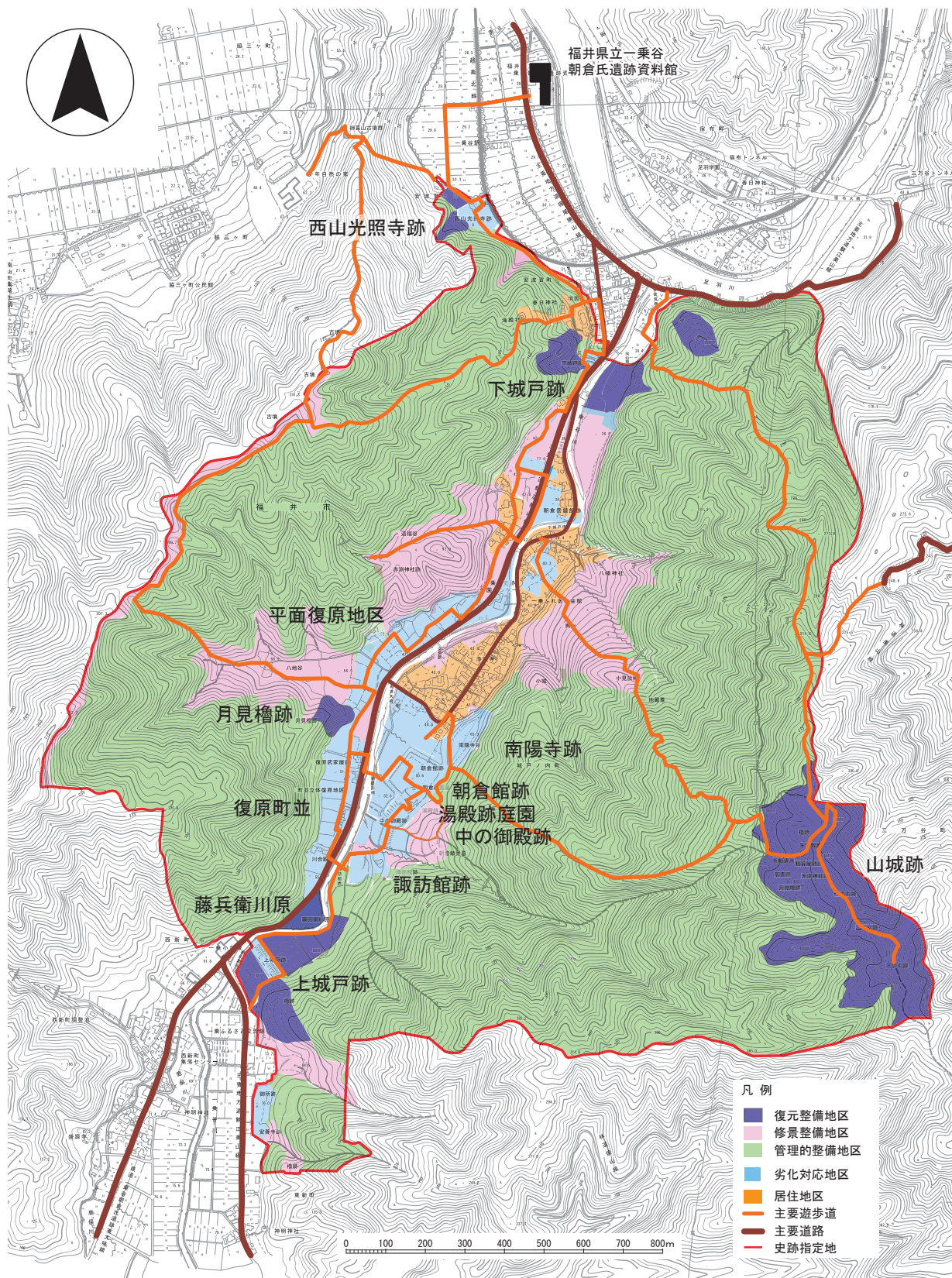
(2)整備

これまでは発掘調査の成果を公開することに重点を置いてきたが、今後は過去の整備手法を見直すとともに、維持管理を念頭においた整備手法を検討し、より魅力的で統一感のある景観の形成を目指す。劣化対応では、劣化が著しい遺構および復元遺構への対応を優先する。劣化の原因は経年変化や材料に起因するものだけではなく、各整備地の環境条件からも影響を受けると考えられる。そのため、劣化の原因を調査・研究した上で対応を行い、利用のニーズ等の要素を加味し、必要に応じて整備工法についても再検討する。

註

1) 当館刊行の『福井県立一乗谷朝倉氏遺跡資料館紀要2011』に掲載





第1図 整備ゾーニング図

(「特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡 発掘・整備基本計画」別紙3に地区名を加筆)





西山光照寺跡(石仏群)



下城戸跡



平面復原地区



平面復原地区－2(石組溝の露出展示)



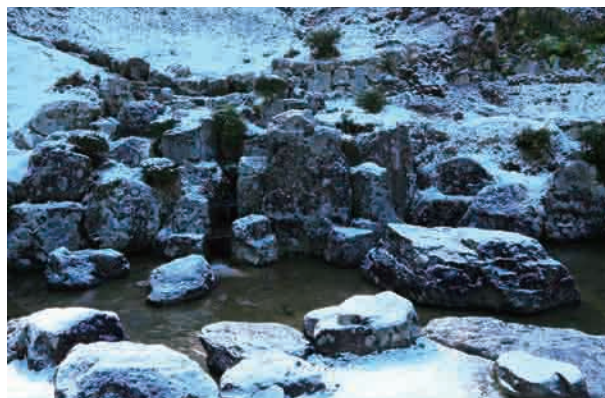
石垣の露出展示



復原町並



朝倉館跡  
第2図 既整備地現況



朝倉館跡庭園





湯殿跡庭園



南陽寺跡庭園



中の御殿跡



朝倉館跡(昭和46年時)



朝倉館跡(平成25年時)



露出展示遺構(昭和53年時)

第3図 既整備地現況一2



露出展示遺構(平成24年時)



### 3 方法・組織等

#### 3-1 方法

本事業は、文化庁補助事業の「歴史生き生き！史跡等総合活用整備事業(史跡整備)」(平成27年度～、平成26年までは「史跡等・登録記念物・歴史の道保存整備費事業」)の採択を受け、福井県(平成24年度～平成28年度までは教育庁埋蔵文化財調査センターの朝倉氏遺跡グループ、平成29年度は一乗谷朝倉氏遺跡資料館)が実施した。また、事業の全般にわたって福井県朝倉氏遺跡研究協議会(以下、研究協議会)および劣化対応事業ワーキンググループ(以下、劣化対応WG)の指導を受けた。

#### 3-2 体制(敬称略)

##### ○指導<sup>1)</sup>

##### 研究協議会(平成24年1月25日～平成29年度)【委員は五十音順】

|       |                                   |                       |                  |
|-------|-----------------------------------|-----------------------|------------------|
| 会 長   | 池上 裕子(成蹊大学教授)                     | ～平成28年1月24日           | 現成蹊大学名誉教授        |
| 〃     | 小野 正敏(国立歴史民俗博物館名誉教授)              | 平成28年1月25日～           |                  |
| 副 会 長 | 高橋 康夫(花園大学教授)                     | ～平成26年1月24日           |                  |
| 〃     | 小野 正敏(元人間文化研究機構理事)                | 平成26年1月25日～平成28年1月24日 |                  |
| 〃     | 高妻 洋成(国立文化財機構 奈良文化財研究所保存修復科学研究室長) | 平成28年1月25日～           | 現同埋蔵文化財センター長     |
| 委 員   | 網谷 克彦(福井県陶芸館長)                    | 平成28年1月25日～           |                  |
| 〃     | 池上 裕子(成蹊大学名誉教授)                   | 平成28年1月25日～           |                  |
| 〃     | 小野 健吉(和歌山大学教授)                    | 平成28年1月25日～           |                  |
| 〃     | 小野 正敏(前掲のとおり)                     | ～平成26年1月24日           |                  |
| 〃     | 神吉紀世子(京都大学大学院教授)                  |                       |                  |
| 〃     | 岸田 清(朝倉氏遺跡保存協会長)                  |                       |                  |
| 〃     | 久保 智康(元国立文化財機構 京都国立博物館学芸企画室長)     | 現同博物館名誉館員             |                  |
| 〃     | 高妻 洋成(前掲のとおり)                     | ～平成28年1月24日           |                  |
| 〃     | 小浦 久子(神戸芸術工科大学教授)                 | 平成28年1月25日～           |                  |
| 〃     | 高瀬 要一(元奈良文化財研究所文化遺産部長)            | ～平成28年1月24日           |                  |
| 〃     | 高橋百合子(地元代表)                       | ～平成26年1月24日           |                  |
| 〃     | 富島 義幸(京都大学大学院准教授)                 | 平成26年1月25日～           |                  |
| 〃     | 水野 和雄(地元研究者)                      | 平成26年1月25日～平成28年1月24日 |                  |
| 〃     | 藪本 金一(元福井県立若狭東高等学校長)              | 平成26年1月25日～平成28年1月24日 |                  |
| 〃     | 山下忠五郎(地元代表)                       | ～平成26年1月24日           |                  |
| 〃     | 吉田 智(元福井市明道中学校長)                  | 平成28年1月25日～           | 現福井県総合研究所 教育博物館長 |

##### 劣化対応WG(平成24年度～平成29年度)【五十音順】

|     |                            |             |
|-----|----------------------------|-------------|
| 委 員 | 石崎 武志(国立文化財機構 東京文化財研究所副所長) | 現東北芸術工科大学教授 |
| 〃   | 高妻 洋成(前掲のとおり)              |             |
| 〃   | 山本 博文(福井大学教授)              |             |

##### 註

1) 肩書きは着任時。ただし、継続の委員については現在の肩書きも併記。

**文化庁文化財部記念物課(平成24年度～平成29年度 研究協議会出席者)【五十音順】**

|          |       |           |
|----------|-------|-----------|
| 主任文化財調査官 | 佐藤 正知 | 平成27・28年度 |
| 〃        | 禰宜田佳男 | 平成27・28年度 |
| 文化財調査官   | 近江 俊秀 | 平成26年度    |
| 〃        | 山下信一郎 | 平成25・27年度 |

**○事業者(劣化対応WG会議出席者)**

**教育庁埋蔵文化財調査センター(平成24年度～平成28年度)**

|        |       |              |
|--------|-------|--------------|
| 所 長    | 佐藤 圭  | 平成24年度       |
| 〃      | 畠中 清隆 | 平成25・26年度    |
| 〃      | 工藤 俊樹 | 平成27年度～      |
| 次 長    | 富山 正明 | 平成24年度       |
| 主 任    | 月輪 泰  | 平成24年度       |
| 〃      | 本多 達哉 | 平成24・27・28年度 |
| 〃      | 中川 佳三 | ～平成26年度      |
| 〃      | 川越 光洋 |              |
| 文化財調査員 | 藤田 若菜 |              |
| 〃      | 今出 瑞穂 | ～平成25年       |
| 〃      | 熊谷 透  | 平成26年度～      |

**一乗谷朝倉氏遺跡資料館(平成29年度)**

|        |       |
|--------|-------|
| 副 館 長  | 月輪 泰  |
| 主 任    | 川越 光洋 |
| 文化財調査員 | 藤田 若菜 |
| 学 芸 員  | 渡邊 英明 |
| 〃      | 大竹 桃子 |

**○オブザーバー(劣化対応WG会議出席者)**

**教育庁生涯学習・文化財課**

|     |       |              |
|-----|-------|--------------|
| 室 長 | 工藤 俊樹 | 平成24年度       |
| 主 任 | 本多 達哉 | 平成25・26・29年度 |
| 〃   | 中田 加苗 | 平成26年度       |
| 〃   | 中川 佳三 | 平成27年度       |

**一乗谷朝倉氏遺跡資料館(平成24年度～平成28年度)**

|       |       |         |
|-------|-------|---------|
| 館 長   | 吉岡 泰英 | ～平成26年度 |
| 〃     | 畠中 清隆 | 平成27年度～ |
| 副 館 長 | 月輪 泰  | 平成25年度～ |

**福井市教育委員会文化課**

|       |       |         |
|-------|-------|---------|
| 主 任   | 天谷 賢一 | ～平成25年度 |
| 副 主 幹 | 青木 元邦 | 平成25年度  |
| 〃     | 中村 寛  | 平成26年度  |
| 〃     | 栗波 大寛 | 平成27年度  |

## 福井市文化財保護センター

所 長 天谷 賢一 平成26・27年度

## 福井市教育委員会文化財保護課

課 長 天谷 賢一 平成28年度

主 幹 青木 元邦 平成28年度

学 芸 員 山場 愛弓 平成29年度

## 福井市一乗谷朝倉氏遺跡管理事務所

所 長 山村 隆信 平成24年度

〃 松原 為之 平成25年度

〃 田畑 裕嗣 平成26・27年度

〃 山岸 達明 平成28年度

主 幹 阿津川英利 平成24年度

〃 白嶋 祐司 平成25～29年度

〃 白崎 一夫 平成29年度

主 査 辻 克英 平成25年度

### 3-3 劣化対応WG会議の開催と個別指導

#### ○劣化対応WG会議

第1回：平成24年(2012)6月25日

第2回：平成24年(2012)11月21日

第3回：平成25年(2013)8月6日

第4回：平成26年(2014)1月9日

第5回：平成26年(2014)6月13日

第6回：平成26年(2014)11月26日

第7回：平成27年(2015)6月9日

第8回：平成28年(2016)3月29日

第9回：平成28年(2016)8月1日

第10回：平成29年(2017)3月24日

第11回：平成29年(2017)6月15日

第12回：平成29年(2017)11月2日

#### ○個別指導(五十音順)

石崎 武志(前掲のとおり)

- 平成24年(2012)12月20日

- 平成25年(2013)6月20日～21日

大村 嘉人(国立科学博物館研究主幹)

- 平成26年(2014)6月12日

岡本 篤志(大手前大学助教)

- 平成27年(2015)8月10日～11日

- 平成28年(2016)10月17日～20日



会議の状況



現地視察一



現地視察二



現地視察三

第4図 劣化対応WG会議の様子



高妻 洋成(前掲のとおり)

- 平成25年(2013)11月7日
- 平成26年(2014)6月10日
- 平成27年(2015)3月26日
- 平成27年(2015)6月10日
- 平成28年(2016)3月28日
- 平成29年(2017)10月28日

佐藤 嘉則(国立文化財機構 東京文化財研究所生物科学研究室長)

- 平成26年(2014)6月10日

山本 博文(前掲のとおり)

- 平成24年(2012)5月14日

## 4 経費

本事業は、劣化の原因を調査して対応策を検討する「調査・研究」と、調査・研究の成果に基づき実施する「修理」に大別しており、さらに調査・研究を「環境調査」と「資料調査」に分け、「環境調査」を①環境条件に関するもの、②石製遺構の条件に関するもの、③施工方法に関するものの3つに分類した。

環境条件に関する調査としては、本遺跡における基本的な環境条件を把握するため、代表地点の気象観測や、石製遺構ならびに舗装材などの表面温度の計測を継続的に実施した。次に石製遺構の条件に関する調査としては、岩石鑑定や含水率計測などを行い、それぞれの石製遺構の特性把握を試みた。また、施工方法に関する調査としては、昭和44年度に本遺跡にて実施された保存科学的処理の分析とともに、近年、他遺跡で使用されている接着剤を使用した試験を行い、今後の施工方法の検討を行った。

一方、資料調査では、劣化の進行状況を把握するための遺構劣化台帳を作成した。遺構劣化台帳の作成にあたっては、目視により現況を記録するとともに、発掘調査時や当初整備時の写真フィルムのデジタル化を行い、現況との比較を行った。また、劣化が認められる石製遺構については、前述の環境調査の②として硬度試験を実施し、その実施箇所もあわせて記録した。

本事業では調査・研究の成果を受けて修理内容を決定することを基本としたが、調査・研究期間のうちに強風などで紛失の恐れがある石製遺構の剥離片については、別途、緊急的な対応を行う方針とした。

以上の事業に伴う経費の内訳は以下のとおりである。

第1表 事業費

| 区 分   | 平成24年度 | 平成25年度 | 平成26年度 | 平成27年度 | 平成28年度 | 平成29年度 | 合計     |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 執 行 額 | 1,106  | 6,851  | 5,677  | 5,395  | 4,121  | 7,837  | 30,987 |

※金額の単位は千円、執行額の半額が国庫補助額。

## Ⅱ 遺構劣化台帳の作成

### 1 目的と対象

「特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡発掘・整備基本計画」(以下、「基本計画」とする)では、劣化への対応順について「整備の実施年度が古いものから対応する」としたが、既整備地によっては施工年度が古いものでも健全な事例があり、既整備地の劣化状況を記録し、対応の優先度を決定する必要がある。

そこで、特別史跡内における劣化状況の把握を目的に、まずは地区毎の遺構劣化台帳を作成した(第5・6図)。対象範囲は平成12年度(基本計画改定時の10年前)以前に整備した既整備地とし、特に劣化が著しい地区については、遺構毎の劣化台帳を作成することとした(第7図)。

### 2 方法

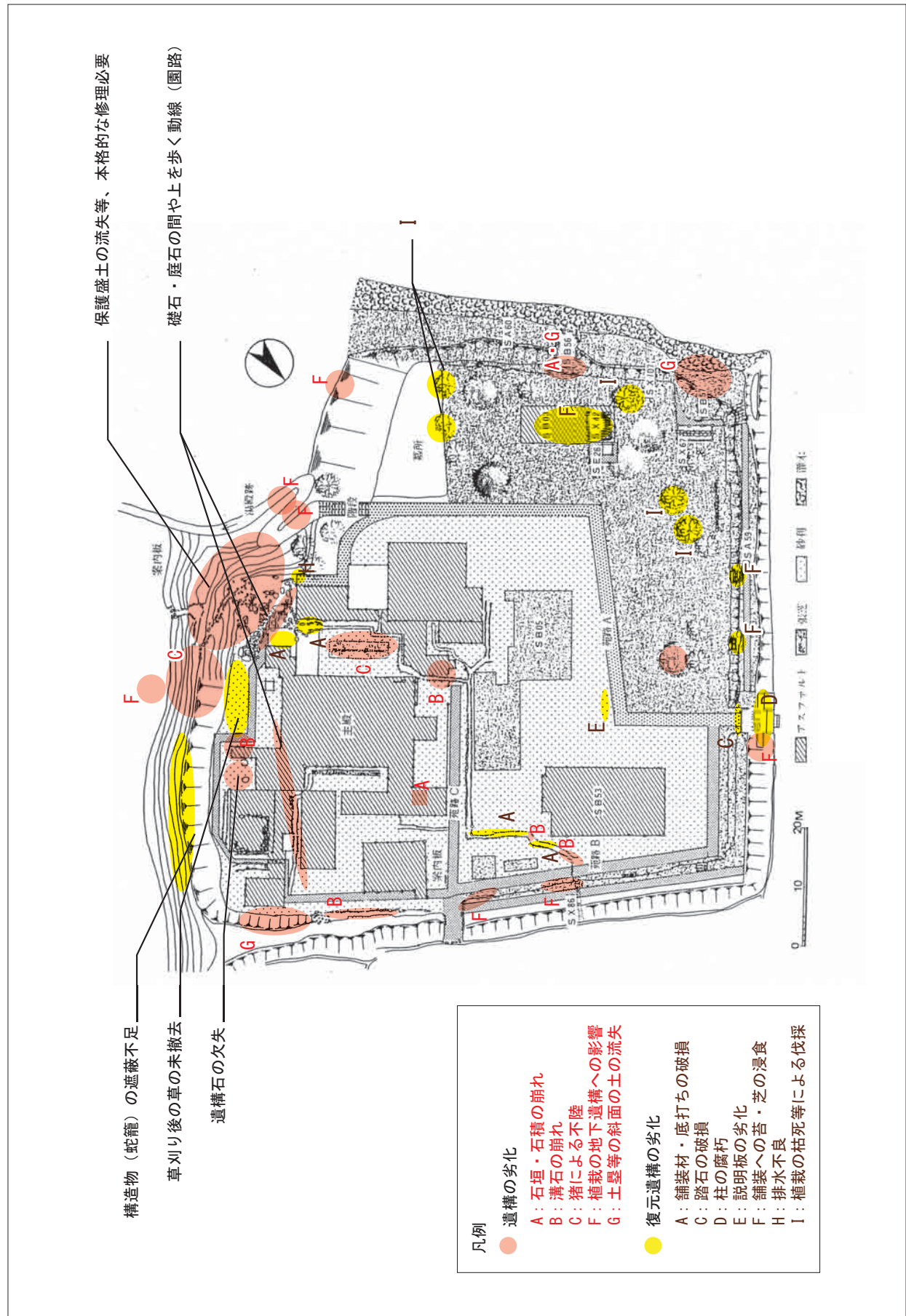
地区毎の台帳では、既整備地を地字や整備手法によりエリアを分け、劣化を「遺構の劣化」と「復元遺構の劣化」に大別した。遺構の劣化は「A:石垣・石積の崩れ」、「B:溝石の崩れ」、「C:猪による不陸」、「D:石積施設・井戸の排水不良」、「E:排水不良に伴う素掘り溝の掘削」、「F:植栽の地下遺構への影響」、「G:土塁等の土の流失」に分け、一方復元遺構の劣化は、「A:溝底打ちの破損」、「B:井戸枠・カメ表示の破損」、「C:踏石の破損」、「D:掘立柱表示柱の腐朽」、「E:説明板の劣化」、「F:舗装の破損・苔等の浸食」、「G:境界ブロックの倒壊」、「H:排水不良」、「I:植栽の枯死等による伐採」に分けた。以上に分類した劣化の位置と範囲を図示し、遺構の劣化を赤色、復元遺構の劣化を黄色で表示することにより対応の優先度を判断した。

一方、遺構毎の台帳では遺構の劣化のうち、主に石製遺構の劣化状況を1石毎に作成した。石製遺構には番号を付し、岩種や保存科学的処置の有無等の基礎情報と、劣化に関する情報を記載した。劣化に関する情報では、デジタル化した発掘調査・環境整備時の古写真と現況写真の比較により、劣化の有無や変異の把握を行い、対応の優先度の判断材料とした。なお、劣化タイプの項目は、『石材劣化パターンの図版用語集(英語－日本語版)』(ISCS日本国内委員会・平成24年(2012))を参考とした。

### 3 結果

台帳作成の結果、当主の居館跡である「朝倉館跡」における劣化が最も深刻であることを確認した。また、遺跡全体をとおして、川石を中心に使用している町屋などの小規模な屋敷よりも、川石よりも大きな山石を多用している朝倉一族の館・寺院や、大型武家屋敷等の石製遺構の方が劣化が進行していた。これは川石が資材として採取される時点で川の流水などにさらされ、風化等により劣化した部分が取り除かれているのに対し、山石は劣化した部分が残った状態で資材として使用されたためと考えられた。次に朝倉館跡が他の既整備地よりも劣化が進行している理由としては、整備の実施年度が古い点、庭石や礎石、石垣などの石製遺構に、巨石(山石)を多く使用している点、石製遺構が戦国期の焼亡時と推測される被熱を受けている点が挙げられる。また、朝倉館跡では昭和44年度に、接着剤などの保存科学的処理が実施されており、その効果の確認が今後の事業検討に有効であり、さらに特別名勝庭園の指定範囲にも含まれる点からも、対応の優先度が高いと考えられた。以上のことから、本事業では、朝倉館跡内の石製遺構の劣化への対応を優先して取り組む方針とした。

第5図 遺構劣化台帳(地区毎)





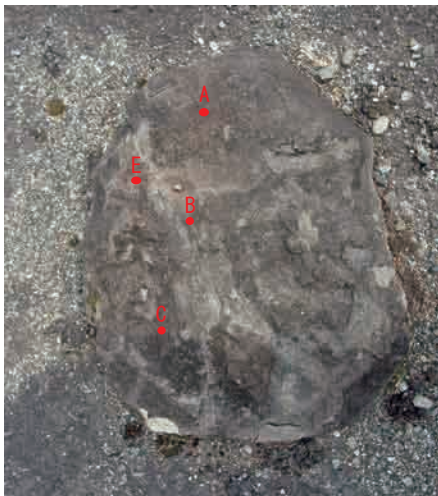


第6図 遺構劣化台帳(地区毎-2)



平成 27年 5月 25日記入

遺構劣化台帳(基礎情報)

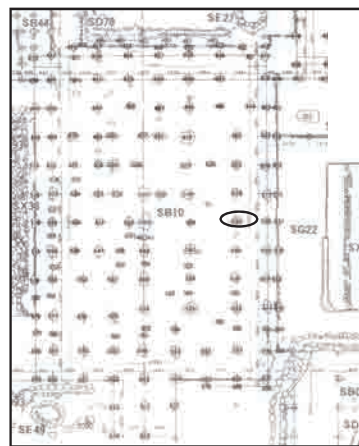


●エコーチップ計測箇所

現状写真(平成27年5月25日撮影)



昭和52年時写真(データベースNo.QC19770166)



位置図

発掘次数(遺構番号) 朝倉館跡(SB10) 石製遺構番号 535

対象 ☒ 礎石・☐ 庭石・☐ 溝石・☐ 石垣・その他 ( )

遺構タイプ ☒ 遺構・☐ 復元遺構・その他 ( )

岩種 凝灰角礫岩

発掘時期 ☒ 昭和・平成 43 年 整備時期 ☒ 昭和・平成 46 年

過去の保存科学的処理 ☒ 有・☐ 無・☐ 不明

変位 明らかにある・☒ わずかにある・☐ あまりみられない・☐ ほぼない

劣化タイプ ☒ ひび・☒ 剥離・☐ 変色・☐ 生物着生・☐ その他

詳細等: 昭和44年度の接着箇所は健全だが、全体的に劣化が進行している。  
一部の破片については、緊急接着にて対応が可能。

### Ⅲ 朝倉館跡

#### 1 過去の保存科学的処理の総括

本遺跡においては、昭和44年(1969)に朝倉館跡にて石製遺構(礎石)と土製遺構(土塁)の露出展示を行うにあたり、奈良国立文化財研究所(現 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する)の指導のもと、保存科学的処理が先進的に実施された。処理の概要は『特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡発掘調査報告Ⅰ』(福井県教育委員会・昭和54年(1979))にて既に報告されているが、本事業の今後の対応手法を検討する上で重要な整備実績であったため、改めて内容を総括・掲載する。

##### 1-1 石製遺構の処理目的・対象

前述の報告書の「第7章 朝倉館跡の整備」の「2. 計画」には、処理の目的が述べられており、「朝倉館跡は全体に火を受けているため、礎石等の風化はそれらを露出した場合、いちだんと激しいことが予想されたため、科学的方法による保存処理を施すことによって、未処理のまま露出されるよりははるかに良い結果が得られると考えられる」とある。

当時、石製遺構の割れ方が観察され、3つのタイプに分けて接着が行われた(第2表)。施工図等の資料は残されていないので、どの石製遺構に施工を行ったのかなどの詳細は不明だが、「破損している石の全体に対する割合を知るため、礎石、溝石、その他の3種について各々300個を抽出し検討した結果、タイプ1・2に相当する石が全体のうちの約10%、タイプ3は約20%を数え、保存処理を要する石はあわせて全体の30%を占める」と報告書にあることが施工数の参考となる。

そのほか、タイプ1について報告書では、「その接着強度に関しては簡単な衝撃テストを行い、接着された部分とは無関係に無傷の部分が粉碎されるという結果を得た。(途中略)接着効果をあげるため、剥離片はあらかじめよく洗浄し、完全に乾かしてから接着剤を塗布するようにした。なお、接着処理後、剥離片に欠損部分があったりして、接着面に隙間が生じる場合にはタイプ2の方法に従った」とある。一方、タイプ2については、「隙間を充填する際、同時に接着力を要求されるため、充填材の選択にはその効能に対する十分な配慮を要する。ここでは一般に新旧コンクリートの接着に用いられるエポキシ系の合成樹脂「Bostik3003J,Bostik Japan」を使用した。「Bostik3003」を塗布した後、補修すべき石と同質の岩石を砕き、同剤と練り合わせペースト状の充填剤をつくり隙間に埋め込んだ」とある。最後にタイプ3については、「線状の非常に細いひび割れなので、タイプ2で使用したと同じ接着剤をトロール溶液で希釈して粘度を下げ、注射器や毛筆などで注入した。なお、この場合、合成樹脂の固形分が少なくなるので数回繰り返して注入した」とある。

その他、破損していないものも含めた全体の石に対して有機ケイ素化合物(コルコート社製 エチルシリケート40など)が塗膜されている。塗膜の目的としては、同化合物の撥水性を利用して水分を遠ざけ、その主成分であるSiO<sub>2</sub>の耐熱性を生かして礎石等が露出された環境に順応するまでの保護が挙げられている。

##### 1-2 土製遺構の処理目的・対象

次に土製遺構(土塁)については、露出展示によって遺構面が流出崩壊しない措置を講じることが処理の目的として挙げられている。また、「土そのものを固化して保存する例は今までにいくつか見られるが、

(途中略)遺構の保存処理ではほとんど成功した例がない」ことが指摘されており、「そこで朝倉館跡では、合成樹脂による土の固化は後に詳述する築地底部石敷遺構の目地など、部分的な処理に留めた。(途中略)土塁については一部グラウト工法を応用するなど種々の方法によった」と報告されている。土の固化方法等の詳細は、第7章の「3. 細部計画」の「B. 土塁整備」に詳述があり、北土塁の門より西47.3 mの部分は石積み補強のため、グラウト注入作業が行われている。43.7 mのうち、門から19.2 mについては薬剤(珪酸ソーダ、水、セメント、ベントナイトの混合液)、それ以西についてはセメントミルクがそれぞれ石垣天端より加圧注入されている。ともに施工にあたり、石垣表面(目地)に液が吹き出さないように圧力の加減などの断続注入が行われ、また「使用材料を変えたのは強度を比較するため」と報告されている。

第2表 朝倉館跡の接着タイプ(昭和44年施工)

|      | 石の割れ方                                                          | 使用接着剤                                          |
|------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| タイプ1 | 完全に剥離しているが、その剥離片が比較的小さい場合で、これを元の位置にもどすことが可能な状態のもの。             | Araldite 106, CiBa Gaigg                       |
| タイプ2 | まだ完全に剥離していないが、石の内部に大きな隙間ができているもの。また同等の大きさでいくつかに割れているもの。        | Bostik 3003J, Bostik Japan<br>※接着対象と同質の岩石を砕き混合 |
| タイプ3 | 非常に細かい線状のひび割れを呈しているもので、まだ隙間は出来ていないが、将来ここから剥離していくことが容易に推察できるもの。 | Bostik 3003J, Bostik Japan<br>※トロール溶剤で希釈       |



第8図 石製遺構の保存科学的処理  
(上：処理後、下：現況(平成26年時))



第9図 土製遺構の保存科学的処理  
(上：処理中、下：処理後)



## 2 気象条件の調査

### 2-1 目的と対象

事業当初より石製遺構の劣化の主な要因は凍結融解に伴う破碎であると推測されていたが、福井市内の気象については福井地方気象台が1800年代から現在まで計測を継続しているものの、特別史跡内の気象については昭和52年度を除いて計測は行われていなかった。

そこで、一乗谷朝倉氏遺跡における基本的な気象条件および環境条件を把握するため、特別史跡内を対象に観測機器による測定を実施した。

### 2-2 方法

朝倉館跡南側の新御殿跡の1地点にて気象観測機器(ロガー番号: St.1)を設置し、気象観測を実施した(第10図)。また、朝倉館跡内では遺構(礎石や庭石等)に温度センサー(ロガー番号: St.T1～T4)を設置し、表面温度の測定を実施した(第11図)。平成24年度の冬季においては気温・相対湿度および石製遺構の表面温度の測定のみ行ったが、平成25年度からは測定対象を第4表に示す項目に増やし、遺跡内のどのような環境条件が石製遺構の劣化に対して影響を及ぼすのかを調査するため、本格的な測定を開始した。なお、各年度における観測状況は第5表に示すとおりである。観測機器はOnset社製ならびにノースワン社製、Bushnell社製の機器を使用した(第6表)。

まずSt.1について、計測地点の選定にあたっては昭和52年度に降水量・気温・相対湿度と、積雪深を計測していた観測箇所に近い場所として、朝倉館跡南側の新御殿跡の1地点を選定した。また、No.1～No.3については、環境観測実施範囲の積雪・融雪状況を記録するため、朝倉館跡内外に定点撮影用のカメラを3箇所に設置し、デジタル撮影を実施した(第11図)。なお、St.1のロガーの固定では、地下遺構のない箇所において打ち込んだ木杭を用いて設置し、風による転倒防止措置を施した。そのほか、定点撮影に用いたセンサーカメラには、積雪や着雪によるレンズ面への影響を防ぐため、ひさしを取り付けた。

次にSt.T1・T2では、礎石ならびに舗装材の表面温度を山側と川側に分けて計測し、舗装材や礎石付近における温度の季節毎の違いを確認した。一方、St.T3・T4では、それぞれ同程度の劣化がみられ、劣化の進捗が著しい同種の2石の庭石の表面温度を計測し、積雪期には片方の庭石に冬季の低温や積雪が礎石や庭石の劣化に与える影響を検討するために冬季養生を施し、養生を実施しない石との温度差を確認した。St.T3とSt.T4では冬季養生の構造が異なり、St.T3では竹を組んだ骨組で庭石を囲んだうえに菰(こも)を巻き、劣化が生じている庭石の表面に養生材が直接触れない構造とした(間接設置型)。一方、St.T4では、養生方法による温度変化や養生効果の相違を調査するため、平成25年度からは環境整備時の補充石を利用し、庭石を菰で直接包む構造とした(直接設置型)。なお、礎石とアスファルト、庭石への温度センサーの取り付けには計測終了後に取り外し可能な接着剤を用いることとし、不乾性充填剤とアルミテープを使用した。地下遺構への影響を考慮し、ロガーは既設の遊歩道の木杭を利用して固定したほか、野生動物の咬傷による断線を防ぐため、センサーケーブルを被覆管(ビニールチューブ)で覆った。さらに、景観面の対策として、センサーケーブルを砂利内に埋め込むことで目に触れにくいよう配慮した。

観測機器による測定間隔は15分を基本とし、積雪深および定点撮影の測定・撮影間隔のみ60分とした。機器の設置および測定データの回収は、事業を開始した平成24年度～平成27年度までは業者へ委託して

おり、平成28年度および平成29年度は機器を業者より借用し、データの回収は職員が行った。また、各ロガー等の設置箇所にはラミネーターを用いた貼紙により、気象観測中であることや接触禁止の旨を表示した。なお、積雪深は事業開始当初は手測りにて実施したが、データの空白期間を減らすため、平成25年度からはレーザー式の計測機器による測定へと変更した。積雪・融雪状況の定点撮影についても同様に、事業開始当初は職員が定期的にデジタルカメラで撮影を実施していたが、平成25年度から業者委託でカメラを設置し定期撮影するよう変更した。なお、観測機器の設置状況は第12～16図のとおりである。

### 2-3 結果と考察

第17～21図は5年間の気象観測のうち平成27年度の観測結果を抜粋したものである。なお、エラーや異常値が出た期間のデータは抜いてある。これらの図からは、1.5 m高の気温と0.5 m高の温度のグラフがほぼ重なることや、谷あいに風が吹く場合に北東方向の風向きが多いことが読み取れるが、その一方で風速は「強風」に定義される14 m/sに達する頻度が年間を通してかなり少ないことから、劣化への影響も低いことが考えられる。積雪については、東の川側に比べて西の山側の方が、若干雪が溶けにくい傾向にあることがNo.1～No.3の定点撮影により確認できた。これは川側に対して山側の方が一日の間で日陰となる時間帯が長いためだと考えられる。

石製遺構の凍結融解に伴う破碎については、遺跡内の石製遺構は基本的に凝灰岩より強度の高い岩石が多いことから、 $-4^{\circ}\text{C}$ 以下から $4^{\circ}\text{C}$ 以上を行き来するような温度変化が凝灰岩の凍結融解に伴う破碎が顕著となる温度である、という福田正己氏の研究<sup>1)</sup>をもとにして評価を行った。平成24年度～平成29年度までの各年度における遺跡内の最低気温が $-4^{\circ}\text{C}$ を下回った日数およびSt.T1～T4における礎石表面温度が $-4^{\circ}\text{C}$ を下回ったことを確認した回数を第3表に示した。この表から、気温が $-4^{\circ}\text{C}$ を下回る日であっても礎石の表面温度が $-4^{\circ}\text{C}$ を下回することは少なく、一冬の間 $-4^{\circ}\text{C}$ 以下から $4^{\circ}\text{C}$ 以上を行き来するような温度変化が起こる頻度は多くないことが確認できた。

また、積雪の少ない期間において、間接設置型の冬季養生を施したSt.T3 (No.9)では、対照区のNo.11と比較して最高温度が低く、最低温度が高くなっており、温度の日較差が小さくなっているものの、わずかな変化であった。一方で、直接設置型の冬季養生を施したSt.T4 (No.13)では、対照区のNo.11と比較して最高温度が低く、最低温度は同程度となっており、日中の昇温が抑制されるものの、夜間の最低温度は同程度まで低下し、間接設置型の冬季養生よりも温度変化の抑制効果は小さくなっていた。これは、直接設置型の冬季養生は日射や外気の影響が内部の庭石に伝わりやすいため、間接設置型の冬季養生と比較して最高温度、最低温度とも対照区の温度に近く、冬季養生による温度変化の緩和効果が低いためだと考えられる。一方、第22図に示すとおり、積雪の多い期間においては温度センサーまたは冬季養生が積雪により覆われると温度が $0^{\circ}\text{C}$ 前後でほぼ一定となっており、積雪により庭石表面が外気と遮断され、庭石の表面温度は氷の融解温度で一定となった。

このことから、冬季養生の手法によっては、積雪が少ない期間において、最低気温を緩和する効果がみられたが、養生しない温度環境との差はわずかであり、一乗谷朝倉氏遺跡においては冬季の大部分が雪で覆われることで温度変化が緩和されていることを確認した。

第23図のとおり、近年の冬季における遺跡内と福井地方気象台で観測されたデータを比較すると、最低気温は遺跡内の方が低い日が多く、最高気温については気象台の方が高い日があるものの、ほぼ同程度の気温であることが確認できた。積雪量については、ほぼ同量か気象台の方が多い日も確認できるが、基本

的には遺跡内の方が深く雪が積もる日が多く、平成26年度には気象台での観測量に比べて最大で46 cm多い積雪量を確認した日もあり、また、一冬間における積雪を確認した日数も遺跡内の方が多い傾向にあることが確認できた。

昭和52年度における遺跡内と福井地方気象台の気温の観測データを比較してみても、最低気温は遺跡内の方が低いことが多く、最高気温については気象台の方が高い日があるものの、ほぼ同程度の気温であることが確認できる。このことから、福井地方気象台と比較した際の一乗谷朝倉氏遺跡の気象条件の傾向は昭和50年代からさほど変化していないことが考えられる。

また、近年の観測データと昭和52年度の観測データを比較すると、一乗谷朝倉氏遺跡と福井地方気象台のどちらも近年の方が最低気温、最高気温ともに高い傾向にあり、かつ積雪量は近年の方が少ないことが確認できた。このことから、昭和50年代から現在にかけて、気温が上昇し積雪量が減少していることが予想された。しかし、昭和50年代～平成28年度までの福井地方気象台で観測された最低気温、最高気温、積雪深を確認してみると、積雪量は年度によってかなりばらつきがあり、一概に積雪量は減少傾向にあるとは言えず、気温についても同様に年度によって高低差があることを確認している。

これらの結果から、近年の一乗谷朝倉氏遺跡は、積雪の多い冬季においては石製遺構の凍結融解に伴う破砕による劣化は起こりにくい環境にあると考えられる。しかし、積雪の少ない冬季においては、凍結融解に伴う破砕による劣化が十分起こりうる環境であるといえる。福井地方気象台における過去の観測データからは、気温や積雪深は年度によってばらつくことや、朝倉館跡をはじめとした遺跡内の石製遺構は、戦国期と推定される被熱を受けているものも多く存在しているため、石製遺構自体が弱くなっている可能性も考慮する必要がある。これらのことから、遺跡内の石製遺構について、発掘当初から現在に至るまでの間に凍結融解に伴う破砕による劣化が起こった可能性を否定できず、また今後も起こりうる環境であることがわかった。

第3表 礎石表面温度が $-4^{\circ}\text{C}$ を下回った回数

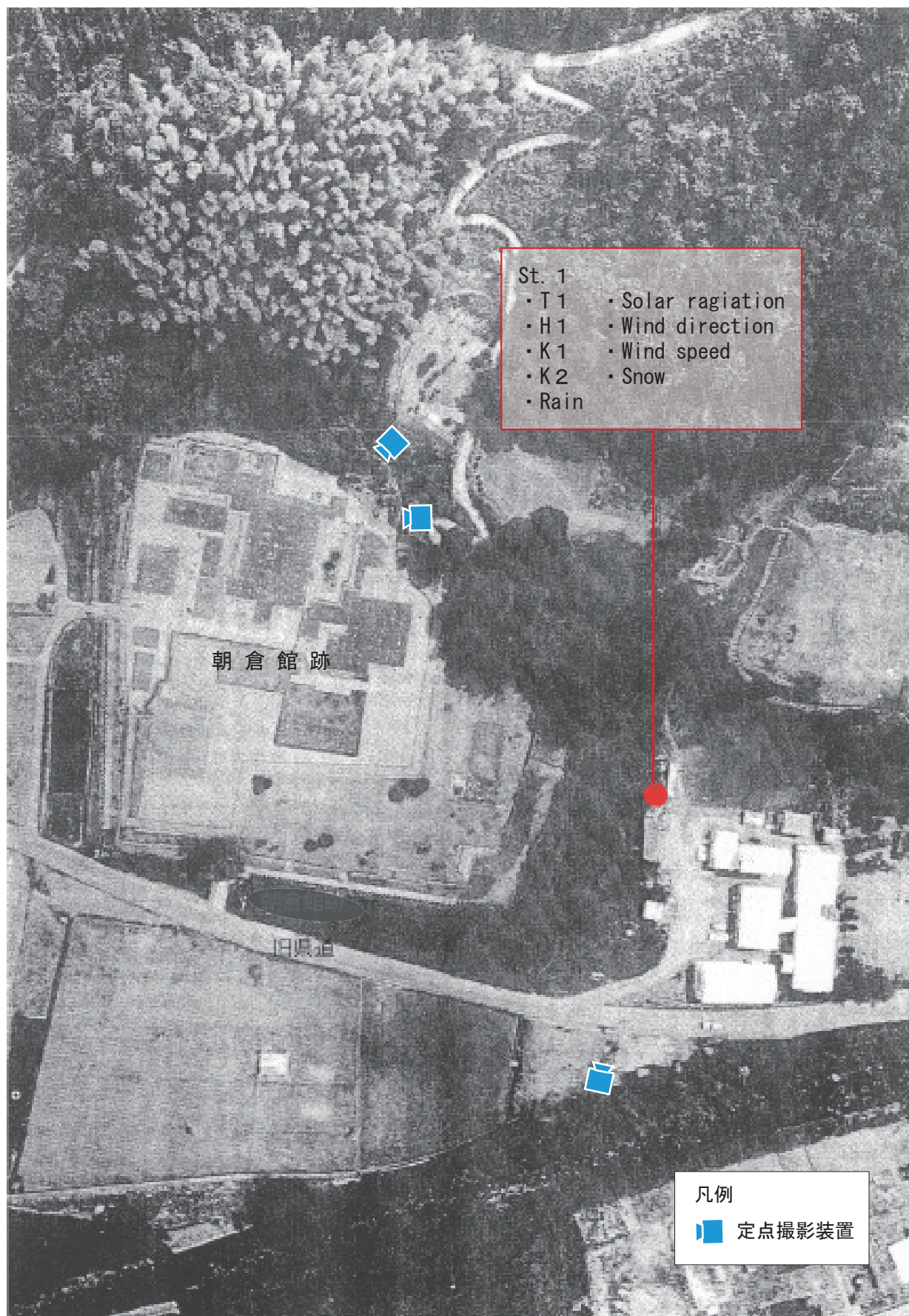
|                                        | 平成24年度 | 平成25年度 | 平成26年度 | 平成27年度 | 平成28年度 | 平成29年度<br>(3月7日時点) |
|----------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------|
| St. T 1                                | 0      | 4      | 0      | 0      | 0      | 0                  |
| St. T 2                                | 0      | 0      | 0      | 0      | ※      | 0                  |
| St. T 3                                | 0      | 0      | 0      | 0      | ※      | 0                  |
| St. T 4                                | —      | 0      | 0      | 0      | ※      | 0                  |
| St. 1のT1で $-4^{\circ}\text{C}$ を下回った回数 | 12     | 16     | 2      | 3      | 1      | 0                  |

「※」の箇所はデータが正常に取れなかったことを示す

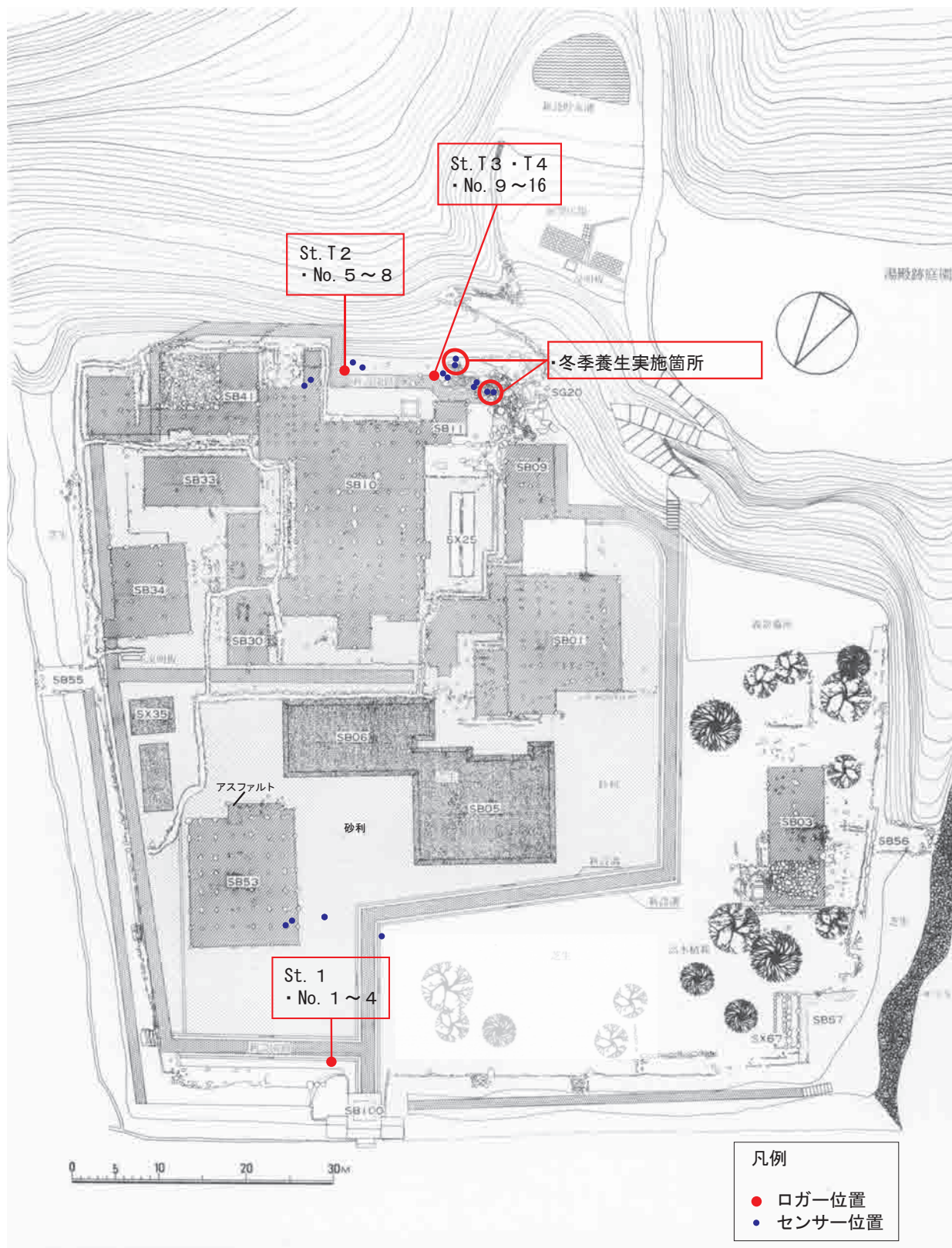
#### 註

- 1) 福田正己(1985)「小樽手宮洞窟壁面遺構の凍結破損防止に係る基礎研究」『低温科学 物理編 第43輯』北海道大学低温科学研究所





第10図 観測位置図(新御殿跡)  
(昭和51年8月25日撮影の航空写真を使用)



第11図 観測位置図(朝倉館跡)

第4表 環境観測項目

| 調査地点    | 調査箇所            | 測定対象         | 備考              |
|---------|-----------------|--------------|-----------------|
| St. 1   | T 1             | 気温           | 地上高1.5 m        |
|         | H 1             | 相対湿度         | 地上高1.5 m        |
|         | K 1             | 温度           | 地上高0.5 m、放射よけ設置 |
|         | K 2             | 地温           | 地表面－0.01 m      |
|         | Rain            | 降水量          | 地上高1.8 m        |
|         | Solar radiation | 全天日射量        | 地上高1.95 m       |
|         | Wind direction  | 風向           | 地上高2.05 m       |
|         | Wind speed      | 風速           | 地上高2.05 m       |
|         | Snow            | 積雪深          | 地上高1.8 m        |
| St. T 1 | No. 1           | 表面温度(芝土)     |                 |
|         | No. 2           | 表面温度(砂利)     |                 |
|         | No. 3           | 表面温度(アスファルト) |                 |
|         | No. 4           | 表面温度(礎石)     |                 |
| St. T 2 | No. 5           | 表面温度(芝土)     |                 |
|         | No. 6           | 表面温度(砂利)     |                 |
|         | No. 7           | 表面温度(アスファルト) |                 |
|         | No. 8           | 表面温度(礎石)     |                 |
| St. T 3 | No. 9           | 表面温度(庭石上面)   | 冬季養生(雪囲い)       |
|         | No.10           | 表面温度(庭石側面)   | 冬季養生(雪囲い)       |
|         | No.11           | 表面温度(庭石上面)   |                 |
|         | No.12           | 表面温度(庭石側面)   |                 |
| St. T 4 | No.13           | 表面温度(庭石上面)   | 冬季養生(雪囲い)       |
|         | No.14           | 表面温度(庭石側面)   | 冬季養生(雪囲い)       |
|         | No.15           | 表面温度(庭石上面)   |                 |
|         | No.16           | 表面温度(庭石側面)   |                 |

| 定点撮影No. | 設置箇所     | 定点撮影対象     | 備考 |
|---------|----------|------------|----|
| 1       | 展望広場     | 朝倉館内(北東方向) |    |
| 2       | 見学路(階段)  | 朝倉館内(北西方向) |    |
| 3       | 御屋形橋南詰付近 | St. 1 付近   |    |



第5表 年度別観測状況

| 調査地点                  | 平成24年度 | 平成25年度 | 平成26年度 | 平成27年度 | 平成28年度 | 平成29年度 | 備考                                 |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------------------------|
| St. 1<br>(積雪深以外)      | →      | →      | →      | →      | →      | →      | 平成24年度は<br>T1・H1のみ                 |
| 積雪深                   | →      | →      | →      | →      | →      | →      | 平成24年度は<br>手測り<br>平成25年度より<br>機械計測 |
| St. T1                | →      | →      | →      | →      | →      | →      |                                    |
| St. T2                | →      | →      | →      | →      | →      | →      |                                    |
| St. T3                | →      | →      | →      | →      | →      | →      |                                    |
| St. T3<br>(No. 9・10)  | →      | →      | →      | →      | →      | →      |                                    |
| St. T4                | →      | →      | →      | →      | →      | →      | 平成25年度は<br>冬期のみ実施                  |
| St. T4<br>(No. 13・14) | →      | →      | →      | →      | →      | →      | 平成25年度は<br>冬期のみ実施                  |
| No. 1                 | →      | →      | →      | →      | →      | →      | 冬期のみ実施                             |
| No. 2                 | →      | →      | →      | →      | →      | →      | 冬期のみ実施                             |
| No. 3                 | →      | →      | →      | →      | →      | →      | 冬期のみ実施                             |

第6表 使用機器一覧

| 機器名称          | 製造元       | 製品名             | 型番             | 数量  |
|---------------|-----------|-----------------|----------------|-----|
| ロガー           | Onset社    | マイクロステーションロガー   | H21-002        | 6 個 |
| 温度センサー        | 同上        | 12 bit温度センサー    | S-TMB-M006     | 18個 |
| 温・湿度センサー      | 同上        | 高分解能温度／湿度センサー   | S-TMB-M002     | 1 個 |
| 温・湿度センサー用放射避け | 同上        | ソーラーラジエーションシールド | RS3            | 1 個 |
| 風向センサー        | 同上        | 風向スマートセンサー      | S-WDA-M003     | 1 個 |
| 風速センサー        | 同上        | 風速スマートセンサー      | S-WSA-M003     | 1 個 |
| 雨量センサー        | 同上        | 雨量スマートセンサー      | S-RGB-M002     | 1 個 |
| 日射センサー        | 同上        | 日射スマートセンサー      | S-LIB-M003     | 1 個 |
| 三脚・固定マスト      | 同上        | 2 mトリポッド        | M-TPB          | 4 式 |
| ソフトウェア        | 同上        | HOBOWare Pro    | BHW-PRO-CD     | 1 式 |
| 積雪測定装置        | ノースワン社    | 積雪測定装置          | KADEC21-SNOW-C | 1 式 |
| 屋外型センサーカメラ    | Bushnell社 | トロフィーカムXLT      | Trophy Cam XLT | 3 個 |
| カメラ用保護箱       | 同上        | ベアーセーフ          | Bear Safe      | 3 個 |



St. 1 ロガーおよびセンサー設置状況



測定箇所 T 1、H 1 (気温・相対湿度)



測定箇所 K 1 (温度)



測定箇所 Rain(降水量)



測定箇所 Solar radiation(日射量)

第12図 観測機器等設置状況





測定箇所 Wind direction(風向)



測定箇所 Wind speed(風速)



St. T1 ロガー設置状況



測定箇所 No. 1 (芝土)



測定箇所 No. 2 (砂利)



測定箇所 No. 3 (アスファルト)、No. 4 (礎石)

第13図 観測機器等設置状況－2





St. T2 ロガー設置状況



測定箇所 No. 5 (芝土)



測定箇所 No. 6 (砂利)



測定箇所 No. 7 (アスファルト)、No. 8 (礎石)



St. T3 ロガーおよびSt. T4 ロガー設置状況  
第14図 観測機器等設置状況－3



測定箇所 No. 9 (庭石上面、冬季養生対象石)



測定箇所 No. 10 (庭石側面、冬季養生対象石)





測定箇所 No.11(庭石上面)



測定箇所 No.12(庭石側面)



測定箇所 No.13、No.14(冬季養生対象石)



測定箇所 No.15、No.16



冬季養生(St. T3)



冬季養生(St. T4)



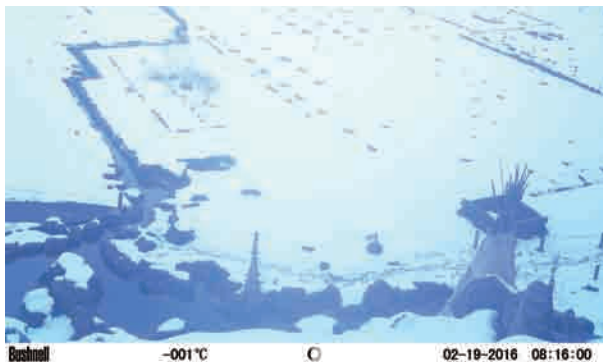
定点撮影

第15図 観測機器等設置状況－4

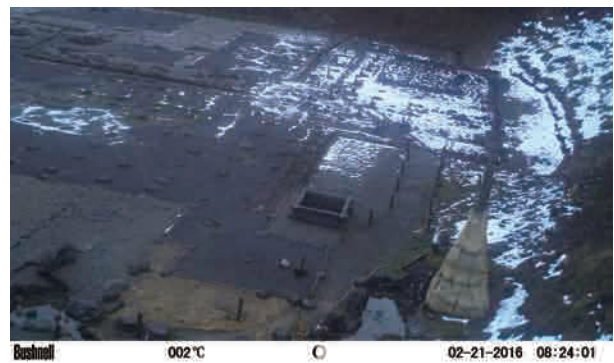
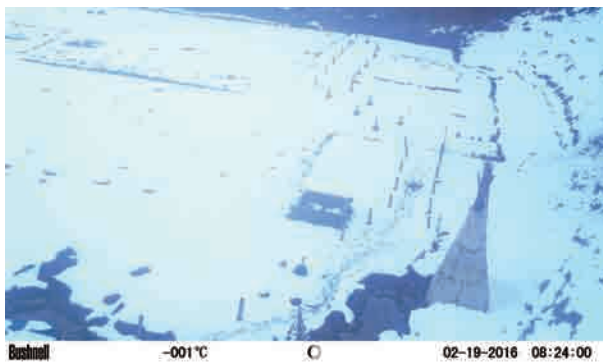




測定箇所 Snow(積雪深)



定点撮影No. 1 (左: 積雪状況 右: 融雪状況)



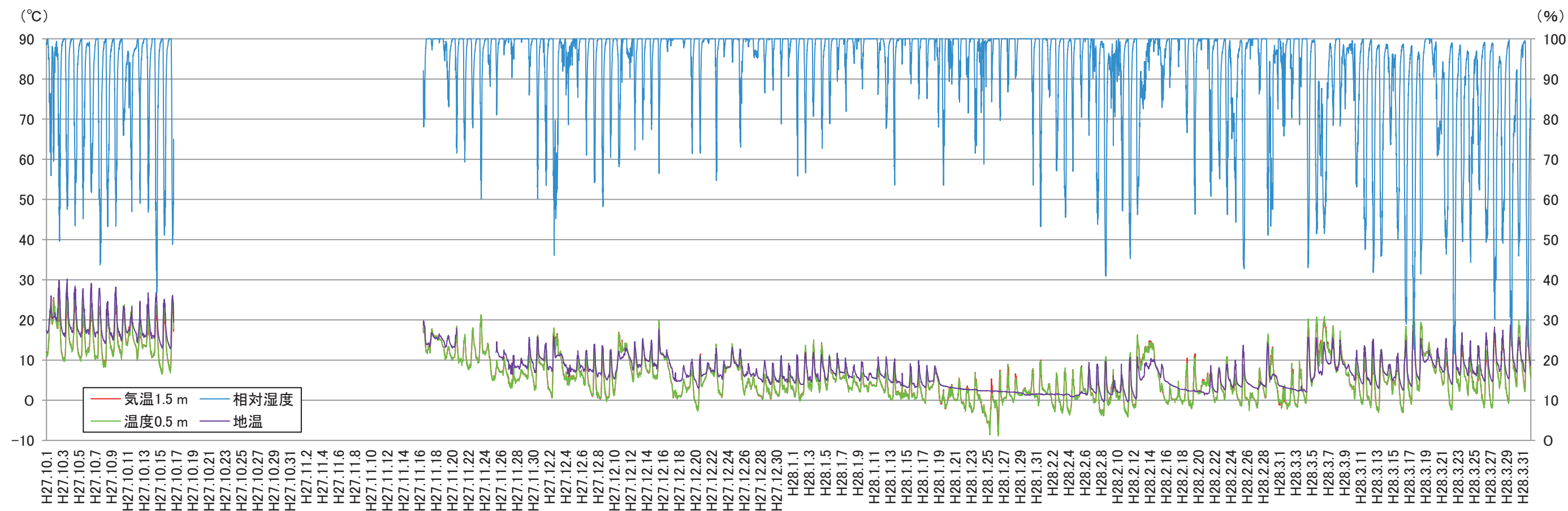
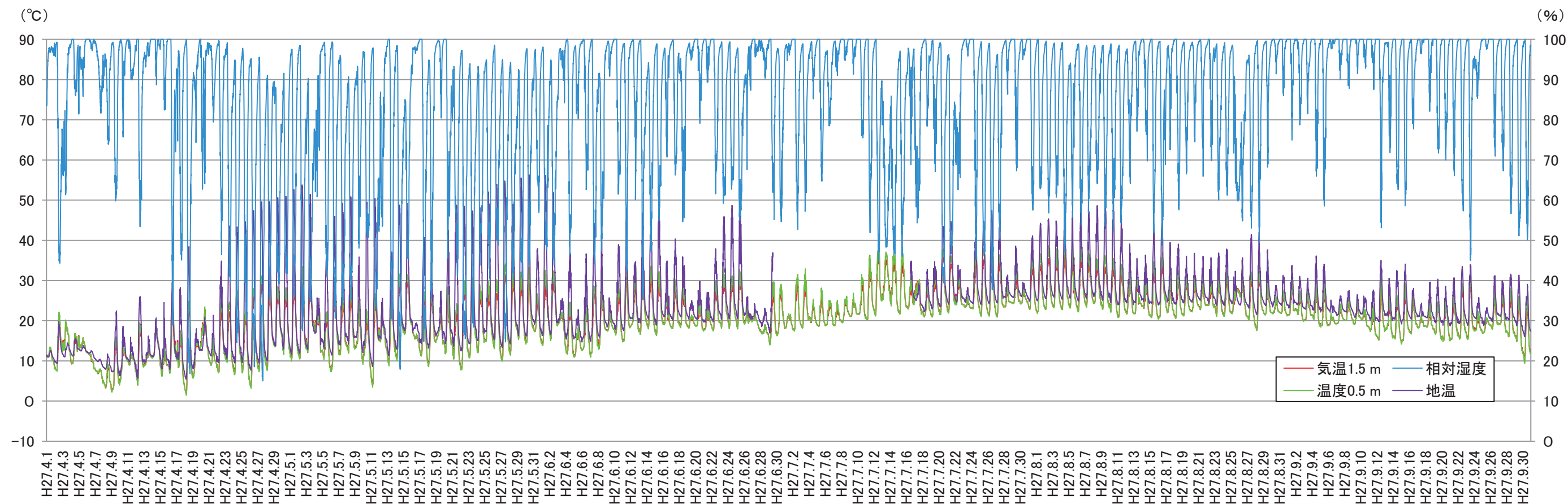
定点撮影No. 2 (左: 積雪状況 右: 融雪状況)



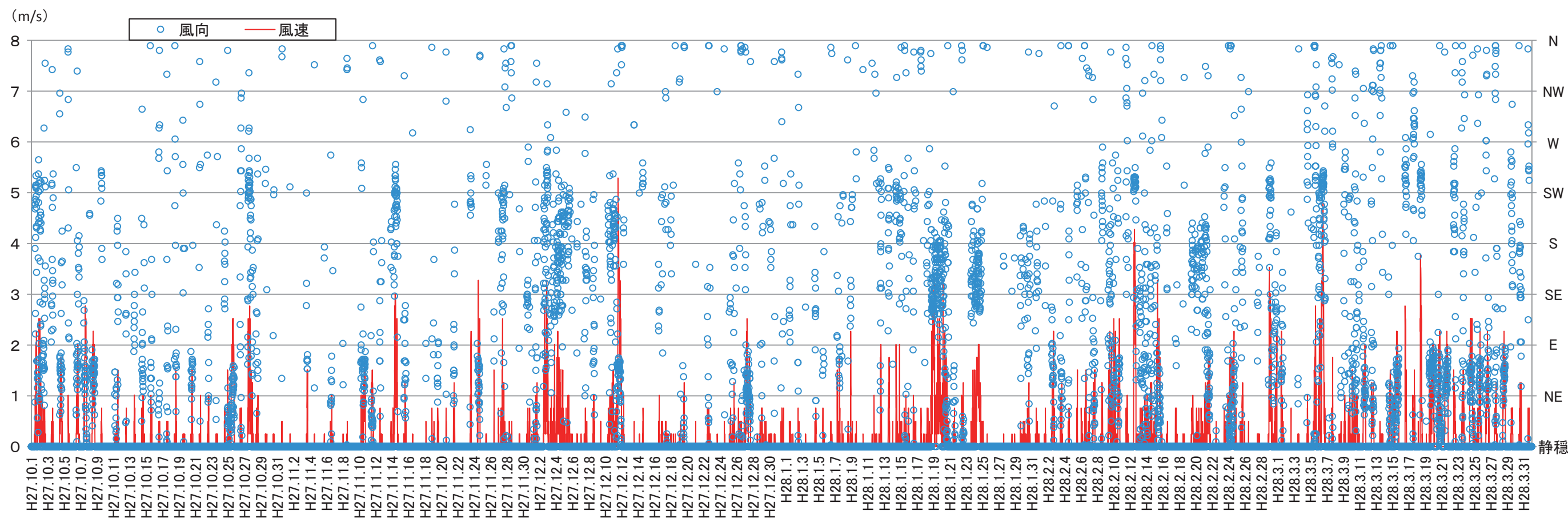
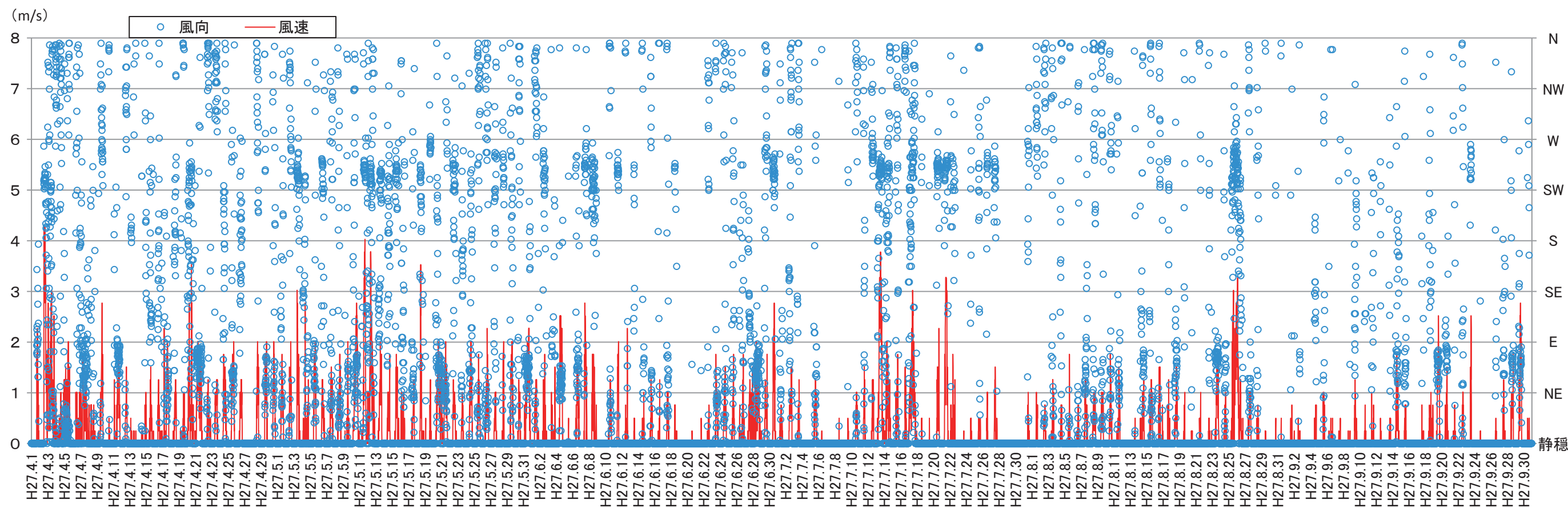
定点撮影No. 3 (左: 積雪状況 右: 融雪状況)

第16図 積雪深計と積雪・融雪状況

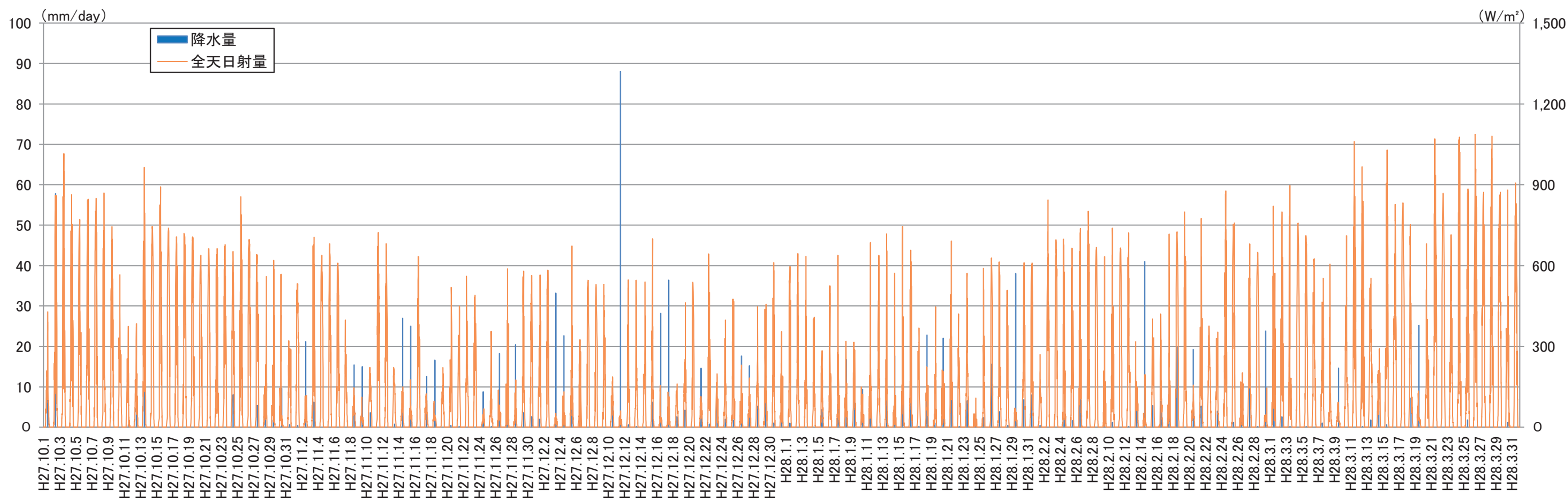
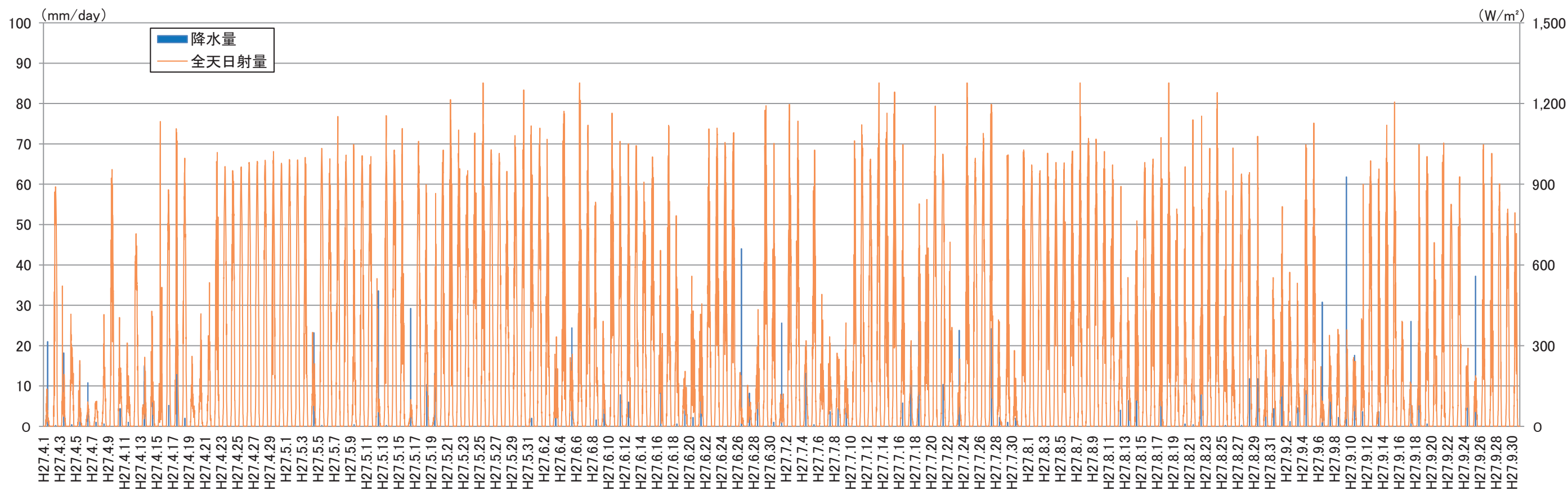




第17図 平成27年度観測結果 St.1 (気温、相对湿度、温度、地温)

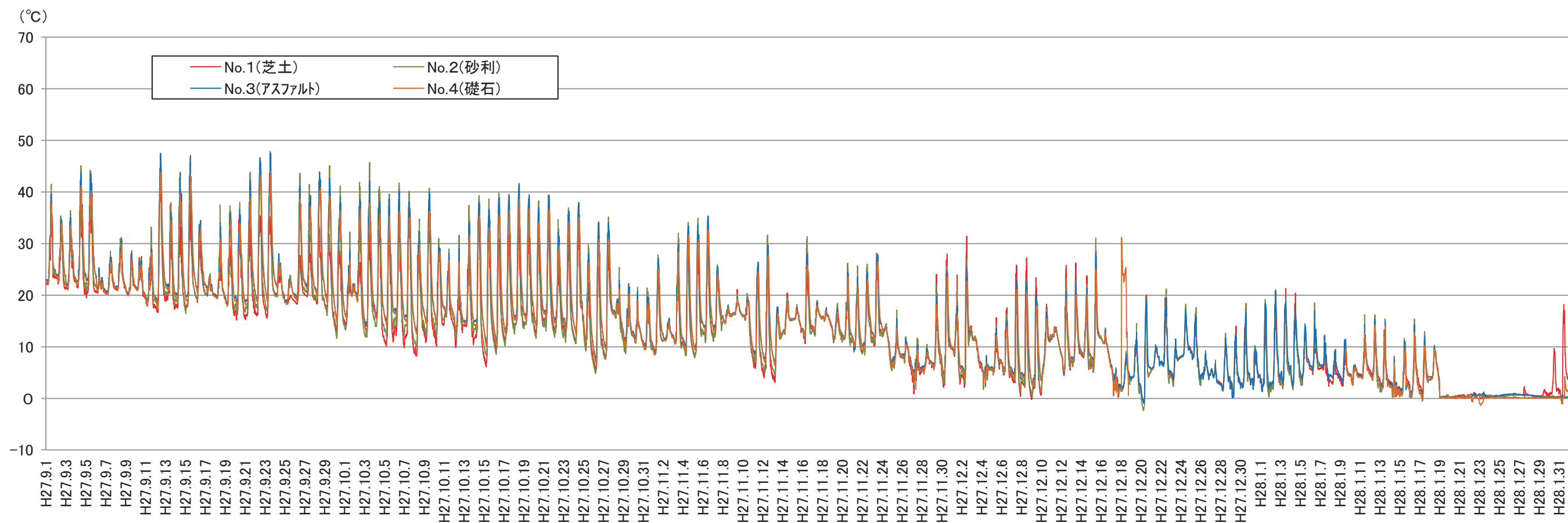
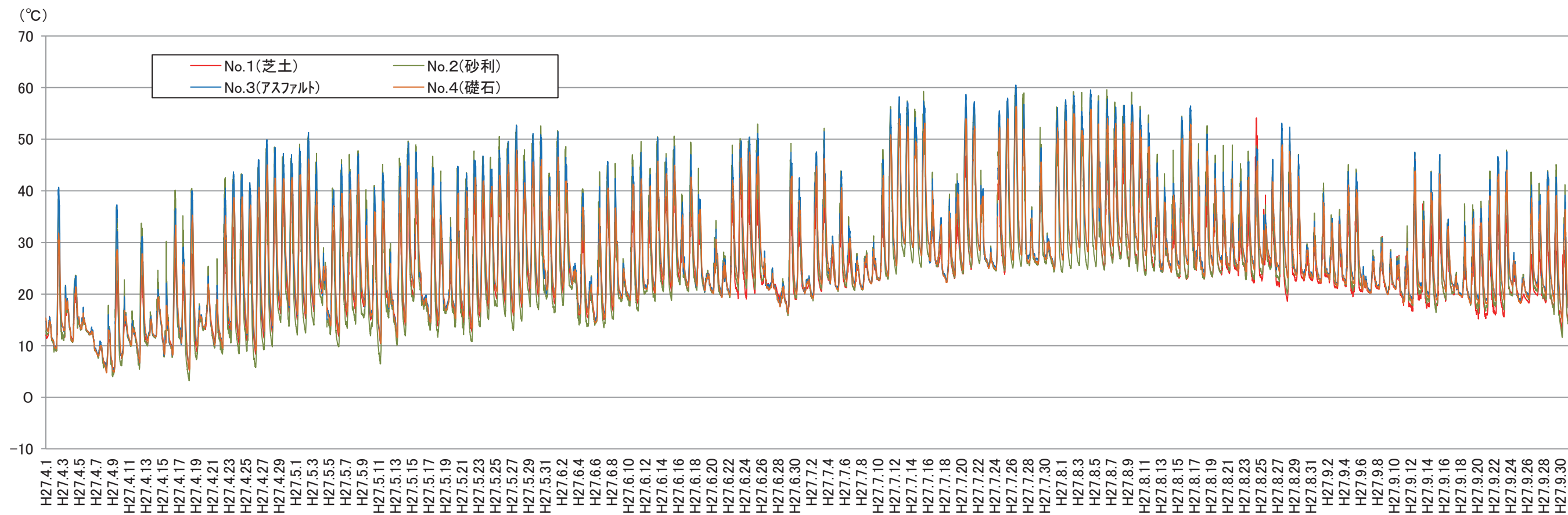


第18図 平成27年度観測結果 St.1 (風向、風速)

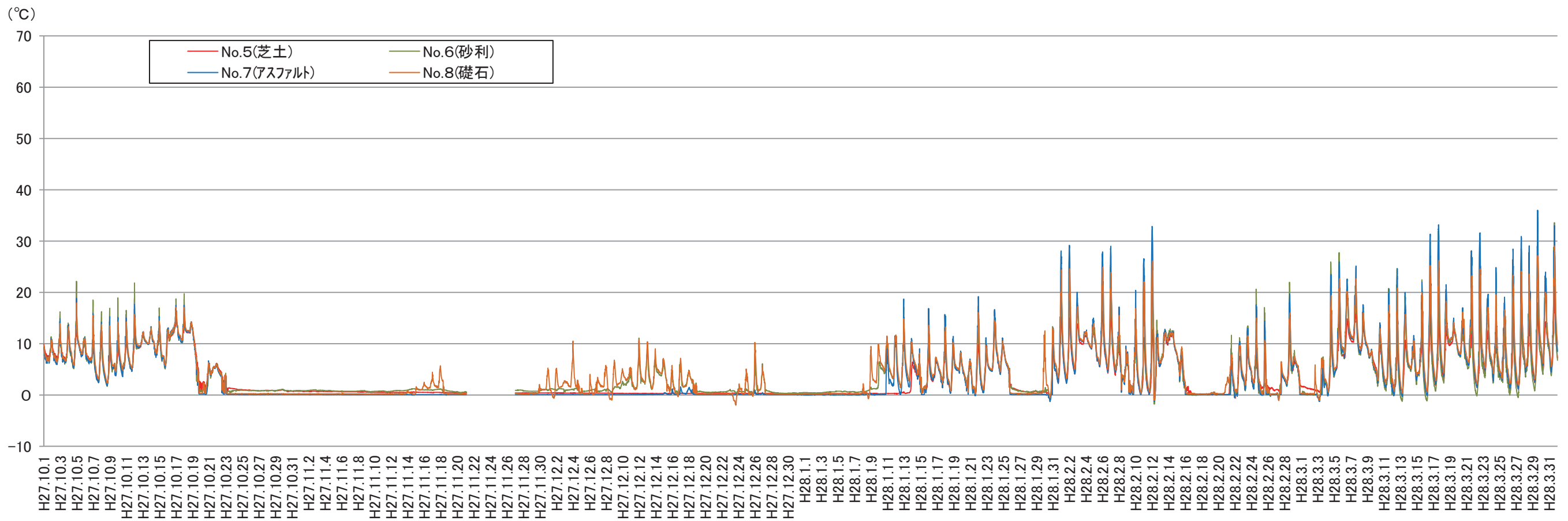
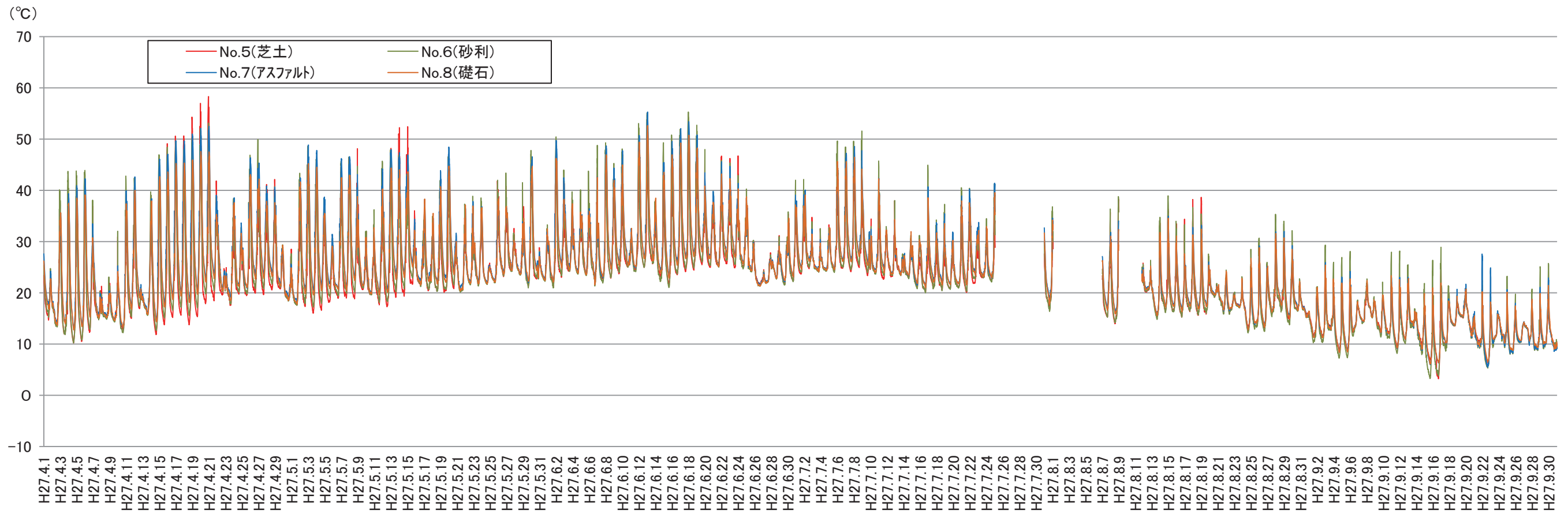


第19図 平成27年度観測結果 St.1 (降水量、全天日射量)

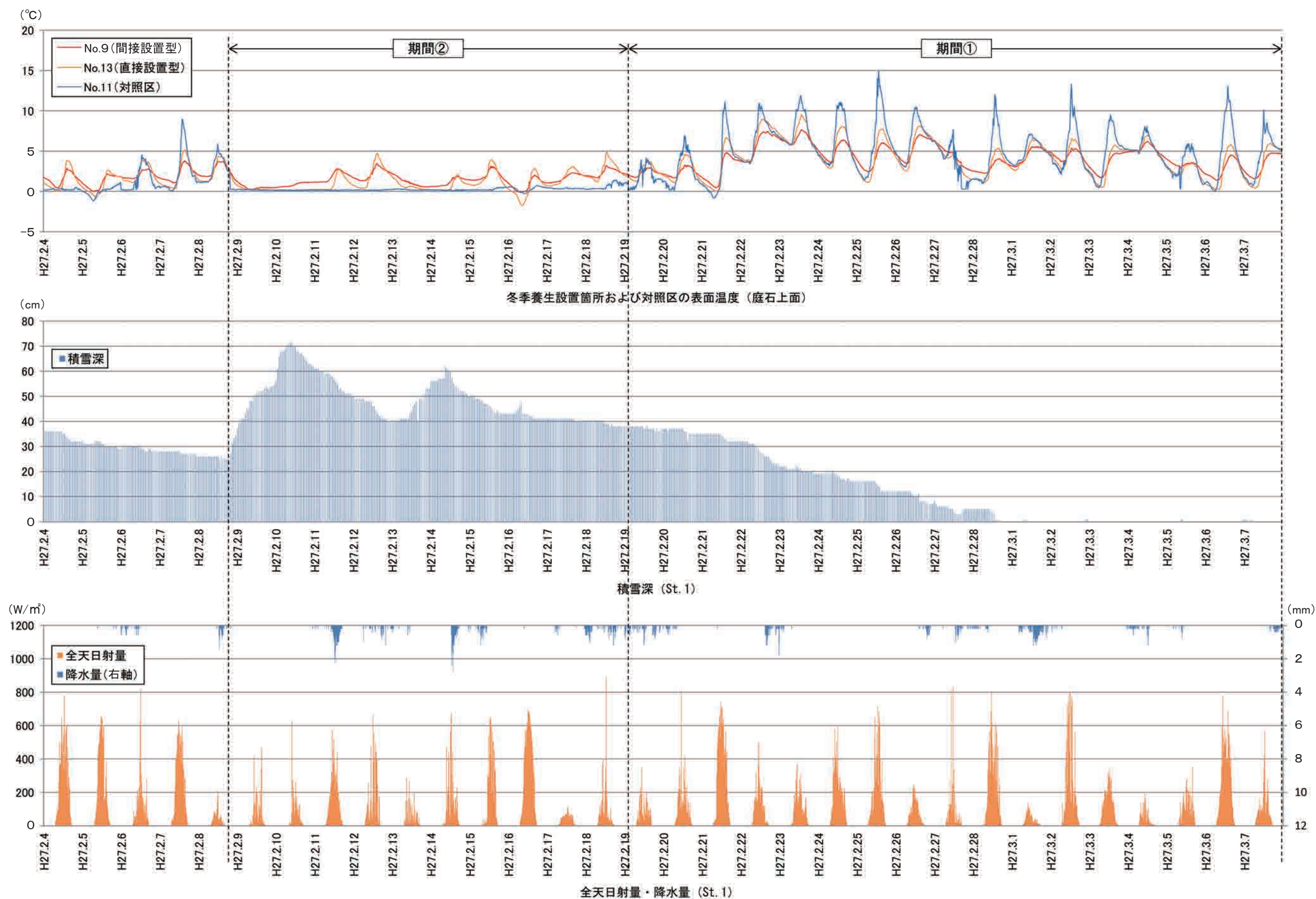




第20図 平成27年度観測結果 St.T 1

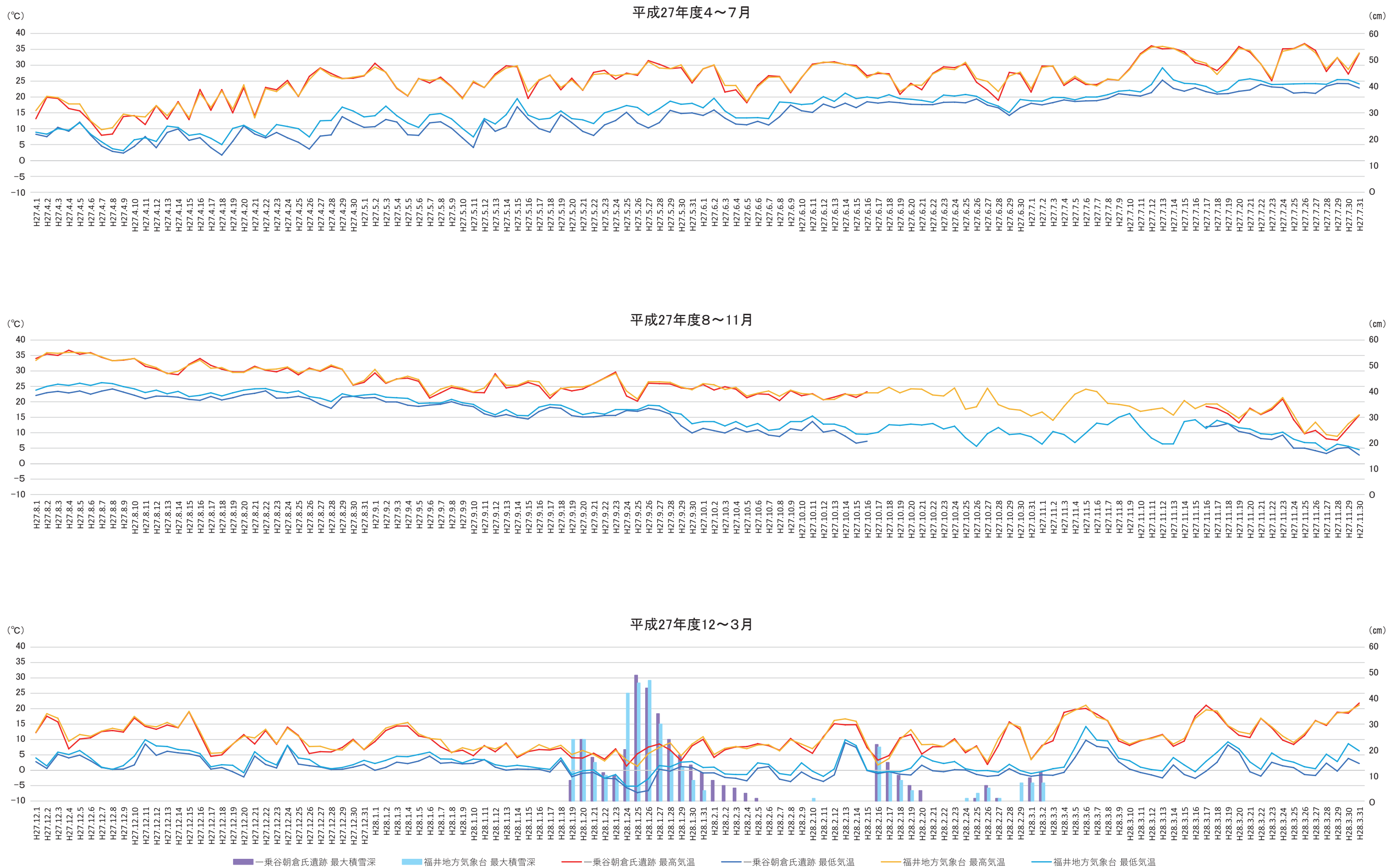


第21図 平成27年度観測結果 St.T 2



第22図 冬季養生の有無と表面温度の比較





第23図 福井地方気象台観測データとの比較



第24図 福井地方気象台観測データとの比較ー2

## 3 岩石鑑定

### 3-1 目的と対象

朝倉館跡では、『特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡環境整備事業報告書Ⅰ』(福井県教育委員会・昭和54年(1979))に掲載されているとおり、主要な礎石および庭石については岩石鑑定が行われていた。しかし、表面温度の測定(p. 15)や含水率の計測(p. 45)を開始した石製遺構と、剥離などの劣化が生じている石製遺構の一部にも岩種が不明なものがあり、また、劣化の傾向と岩種の関連性を検討するうえでも岩石鑑定が必要と考えられた。そこで、測定・計測対象の基礎情報を得ることと、劣化の傾向と岩種の関連性を検討することを目的に、岩石鑑定を実施した。

### 3-2 方法

鑑定は業者委託により実施し、非破壊による鑑定方法を前提条件として、表面観察のために石製遺構の部分的な洗浄を行った。ただし、洗浄後の表面観察をもっても鑑定が困難であり、かつ対象石の付近に微細で接着不可能な同種の剥離片が確認できる場合には、剥離片を用いてプレパラートを作製し、偏光顕微鏡による鑑定を行う方針とした。

### 3-3 結果と考察

鑑定の結果を含め、朝倉館跡における礎石の劣化状況を岩種毎にまとめると(第26図)、母数にバラつきがあるものの、安山岩系の岩種は同程度の劣化傾向を示し、それらに比べて凝灰角礫岩は「劣化あり」の割合がやや高いことが分かった。俗称で「笏谷石」と呼ばれ、石仏や井戸枠などの多くの石造物に使用されている火山礫凝灰岩は、母数が少ないものの、さらに「劣化あり」の割合が高いことが分かる。

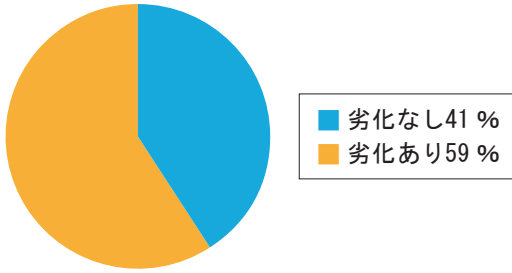
以上の結果は、一般的に安山岩よりも凝灰岩の方が風化しやすいとされることと矛盾しないが、一方で、劣化対応WGの現地指導により、第25図のように、一般的にはより強度が高いとされる岩種についても、進行の著しい劣化が認められた。これらの劣化は、節理といった石の本来の特性によるものではなく、火を受けた跡が部分的に見られることから、被熱が劣化の要因と推定される。特に、朝倉館の中で最も規模が大きい建物(SB10)の礎石において劣化した石製遺構が多くみられ、戦国期の焼き討ちの際には他の建物に比べて構造材の燃焼時間が長かったと考えられることから、往時の被熱による劣化への影響が可能性の一つとして挙げられる。

以上のことから、安山岩よりも凝灰岩は劣化がより進行している傾向を確認できた一方で、火を受けたことによる劣化は岩種に関係なく生じており、劣化の進行が著しい事例も認められた。そのため、劣化への対応策を検討する上では、岩種に限らず、被熱等の各石製遺構の特性を考慮する必要性があると考えられた。

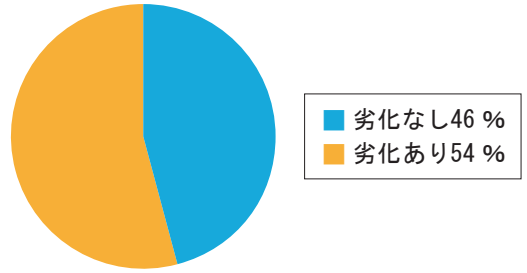


第25図 安山岩の特殊な劣化

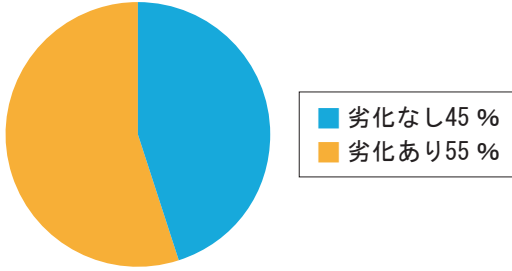




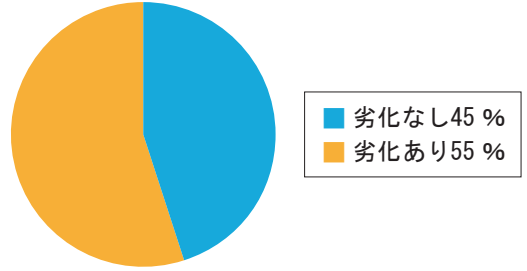
角閃石安山岩(母数 : 32個)



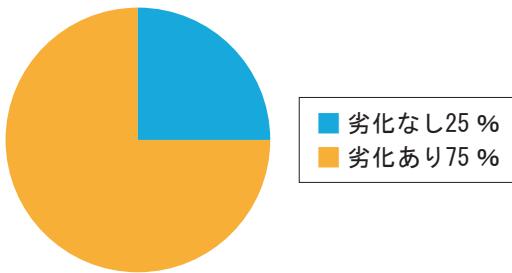
輝石安山岩(母数 : 50個)



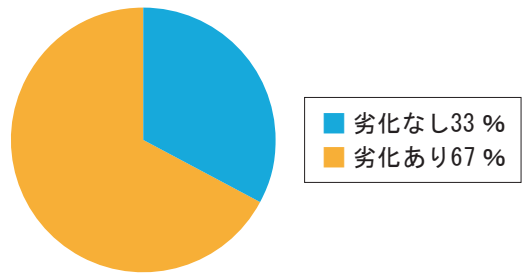
玄武岩質安山岩(母数 : 11個)



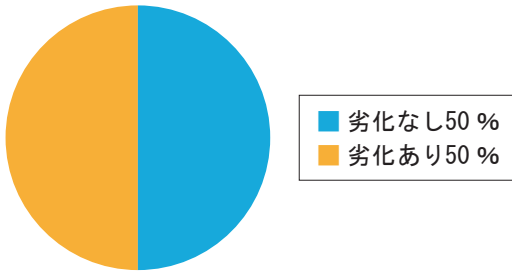
変質安山岩(母数 : 289個)



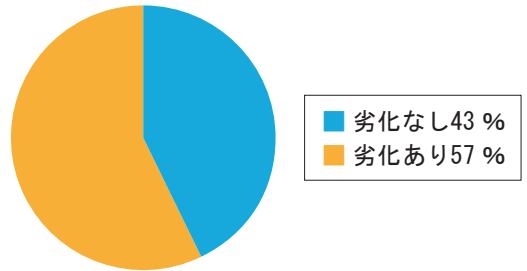
火山礫凝灰岩(母数 : 8個)



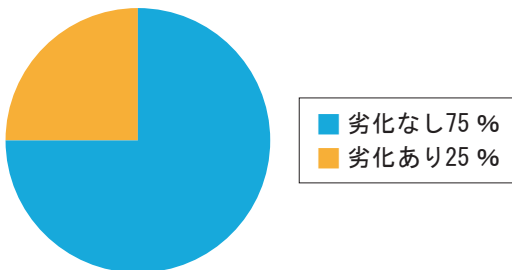
凝灰角礫岩(母数 : 33個)



緑色片岩(母数 : 2個)



斜方輝石流紋岩(母数 : 7個)



花崗閃緑岩(母数 : 4個)

第26図 岩石鑑定の結果

## 4 定点撮影

### 4-1 目的と対象

劣化対応WGでの現地視察をとおり、いくつかの石製遺構のひびなどの劣化について、経過観察が必要な旨の指摘を受けていたことから、劣化の進行状況の確認を目的に実施した。対象は、特別名勝に指定されている朝倉館跡庭園・湯殿跡庭園の景石の一部と、西山光照寺跡の石仏群、そして朝倉館跡内にある義景墓所である。

### 4-2 方法と結果

当館所蔵のデジタルカメラを用い、3か月ごとに一定の撮影方向からデジタル撮影を職員が行った。以前に撮影した画像との比較は、当初は当館に戻ってから確認していたが、平成29年度からは新たに購入した当館所蔵のタブレットを使用し、現地にて劣化の進行状況を確認することも可能とした。現時点では亀裂などの劣化の明らかな進行は認められないが、今後も経過観察を継続するとともに、デジタル撮影によって記録を蓄積する計画である。

## 5 含水率計測

### 5-1 目的と対象

事業開始当初より凍結融解による劣化の可能性が指摘されていたため、代表的な石製遺構の含水率を数値化することを目的に実施した。計測の対象は、「2 気象条件の調査」として表面温度を測定している石製遺構、または劣化が著しい石製遺構とした。

### 5-2 方法

非破壊による計測を前提とし、機器はポータブルタイプの土壌水分計(IMKO Micromodultechnik GmbH社製 TRIME-FM)を使用した。計測は台風などで雨量が多く、含水率が高くなっていると想定される日の翌日や、逆に夏の猛暑日が続き、含水率の低下が想定される日を選出して実施した。

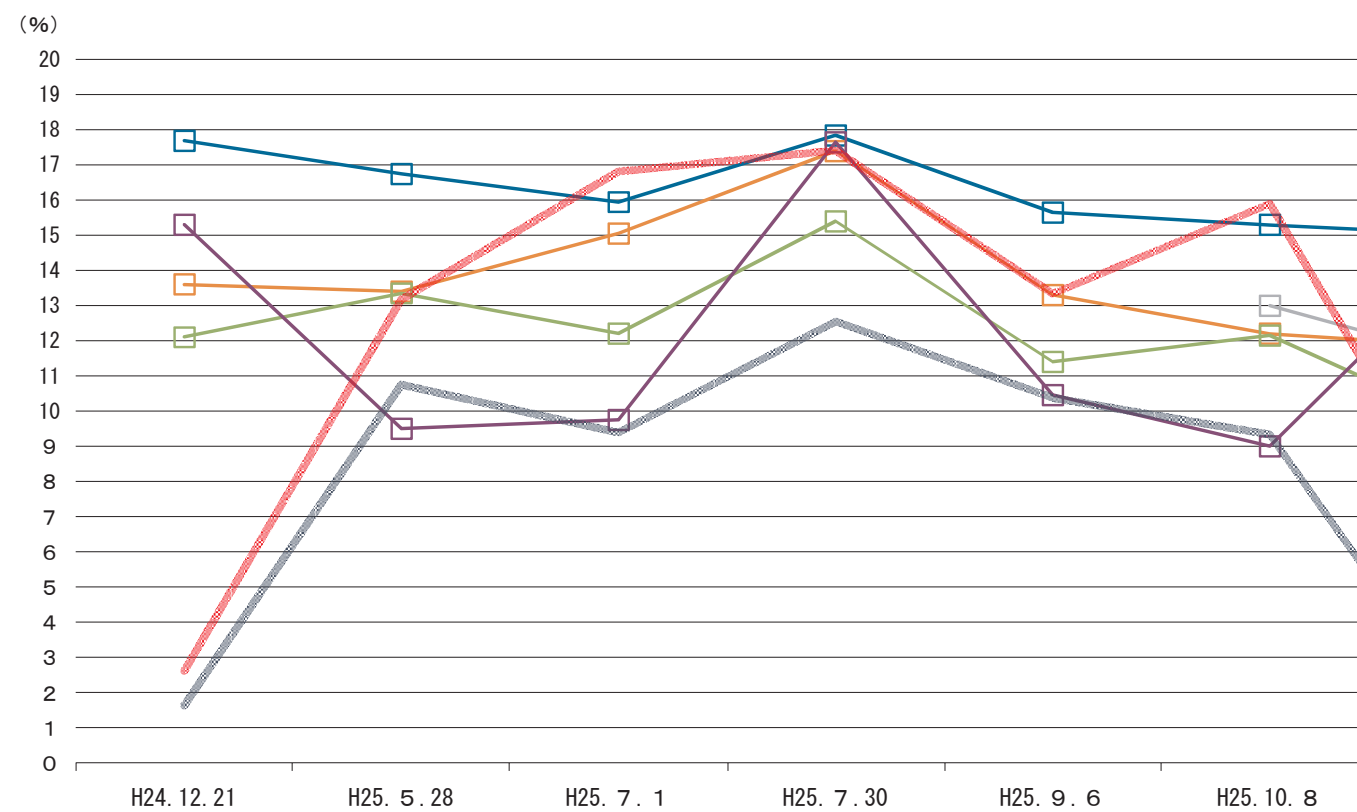
### 5-3 結果

第28・29図のとおり代表的な計測結果について、St.1の降水量および気温(T1)の観測データとの比較を行った。計測当初の予想どおり、雨量が多い日の翌日の含水率は高い傾向がみられた一方で、気温との相関は確認できなかった。また、計測開始当初には、岩種によって含水率の傾向がみられるかと予測していたが、実際には岩種よりも各石製遺構の劣化状況に即した値が確認された。

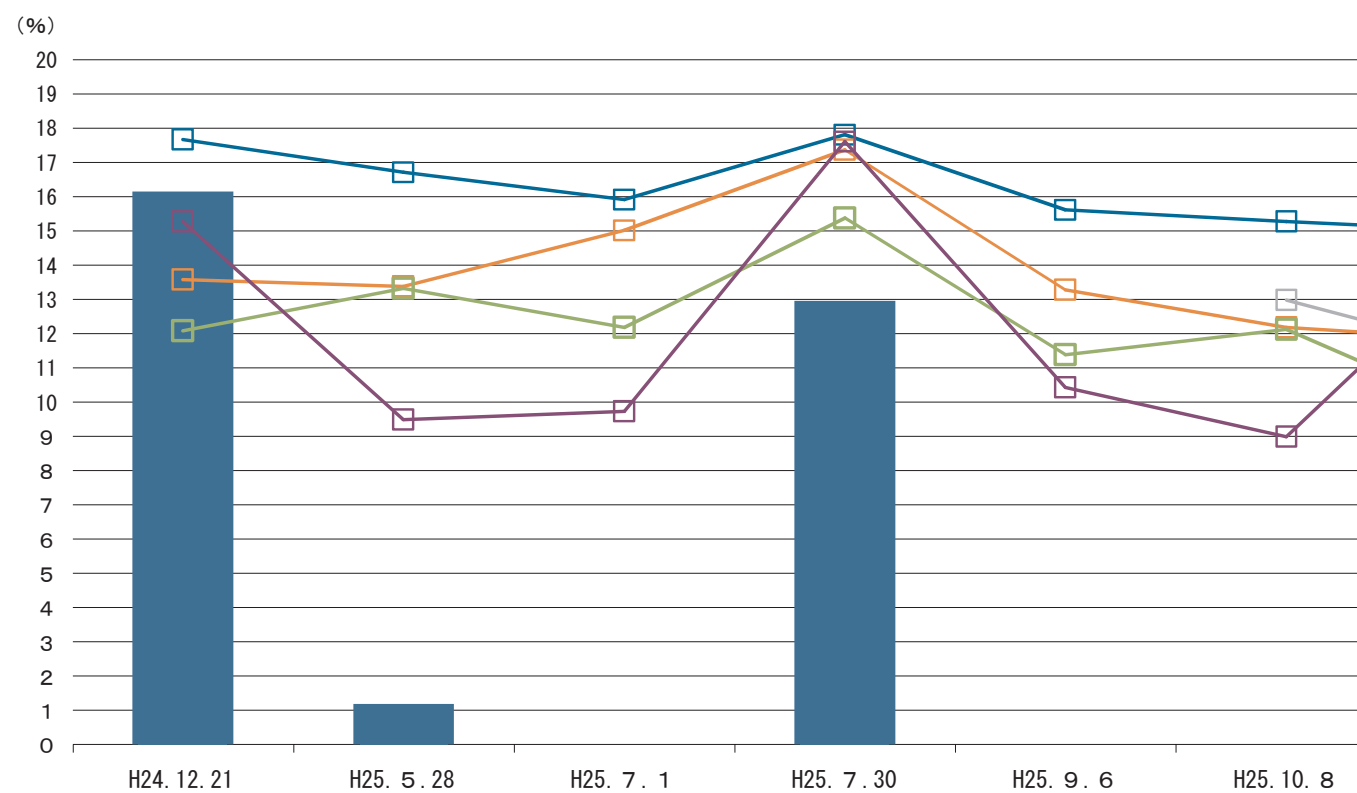
以上のことから「3 岩石鑑定」と同様に、岩種による石の本来的な特性によるものではなく、被熱等の各石製遺構の特性を考慮する必要があると考えられた。



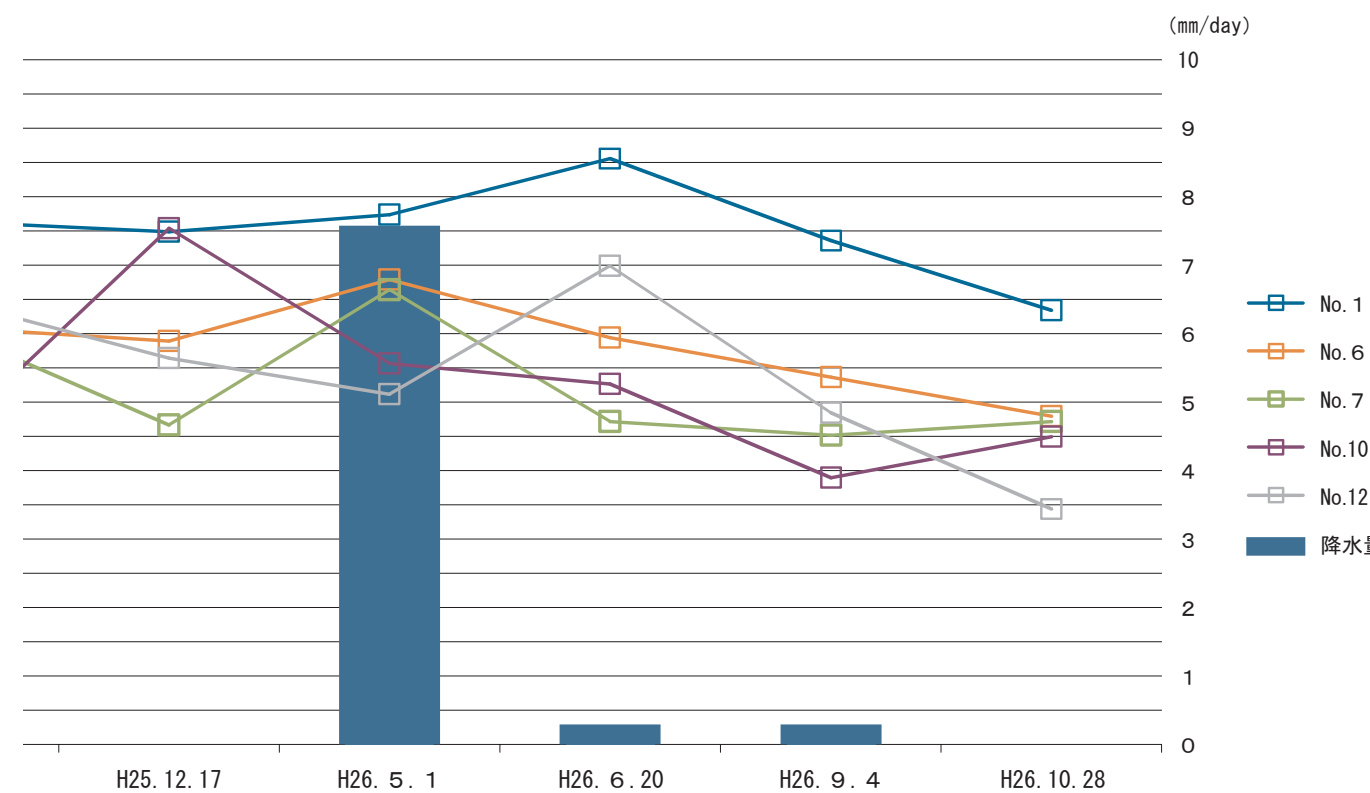
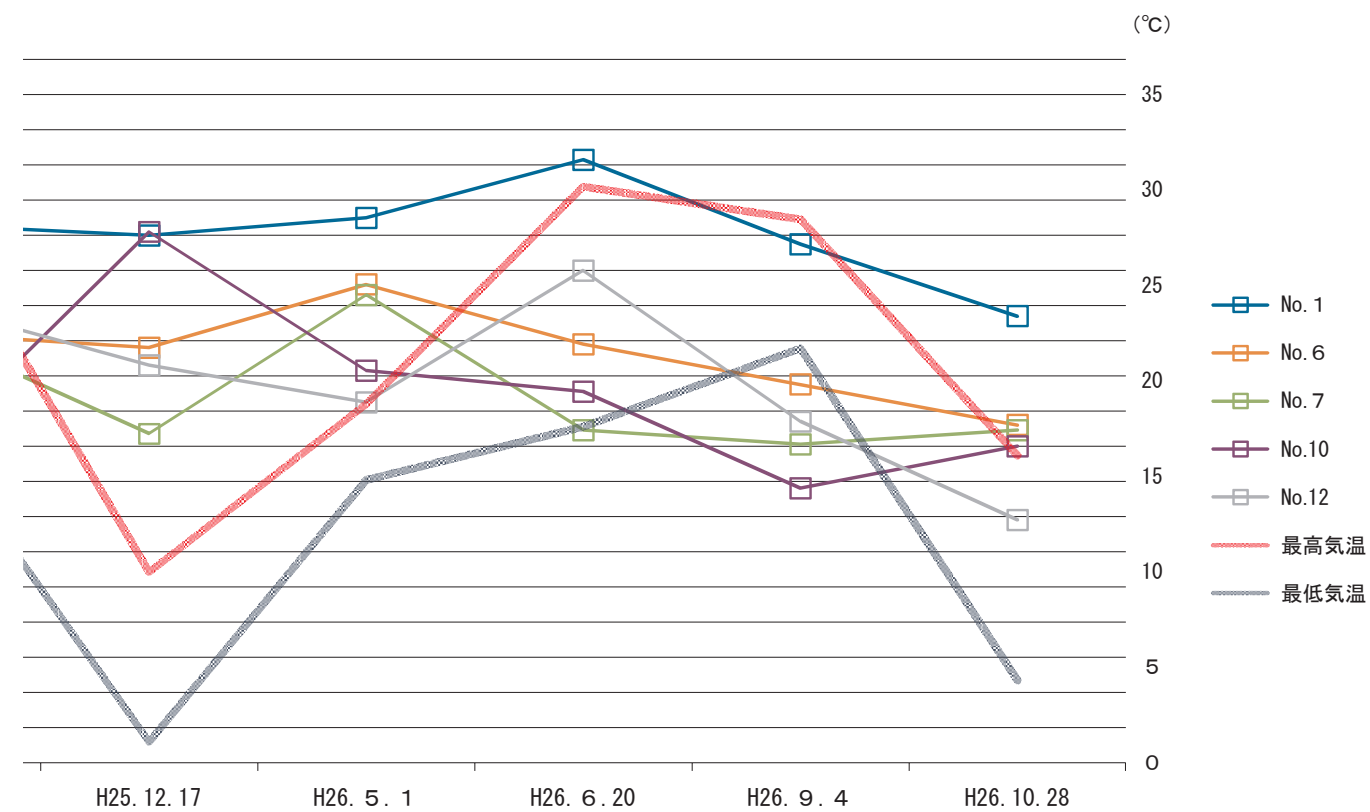
第27図 含水率の計測状況



第28図 含水率計測結果



第29図 含水率計測結果－2





第7表 含水率計測対象一覧

| No. | 遺構番号      | 石製遺構番号等           | 石種      | 備考             |
|-----|-----------|-------------------|---------|----------------|
| 1   | SB53      | St.T 1 No. 4      | 輝石安山岩   | 温度ロガー設置        |
| 2   |           | St.T 1 No. 4 北隣の石 | 輝石安山岩   |                |
| 3   | SB10      | 605               | 角閃石安山岩  |                |
| 4   |           | 595               | 輝石安山岩   |                |
| 5   |           | 531               | 変質安山岩   |                |
| 6   |           | 478               | 変質安山岩   |                |
| 7   | SX46・SC45 | St.T 2 No. 8      | 角閃石安山岩  | 温度ロガー設置        |
| 8   |           | St.T 2 No. 8 北隣の石 | 角閃石安山岩  |                |
| 9   | SB11      | 242               | 輝石安山岩   |                |
| 10  | SG20      | St.T 3 No.11・12   | 凝灰岩     | 温度ロガー設置        |
| 11  |           | St.T 3 No.9・10    | 輝石安山岩   | 温度ロガー設置 冬期養生対象 |
| 12  |           | 173               | 凝灰角礫岩   |                |
| 13  |           | 194               | 斜方輝石流紋岩 |                |



第30図 含水率計測位置

## 6 接着剤分析

### 6-1 目的と対象

朝倉館跡においてはp.13～14のとおり、保存科学的処理が実施されており、これは昭和44年度の処理以降、約50年にわたって遺跡現地にて曝露試験を実施していたとも言い換えることができる。今後の石製遺構の修理手法を検討するにあたっては、この接着剤の効果の持続性を確認することが重要である旨が劣化対応WGにて指摘された。

分析の対象は、接着剤の一部が採取可能で、かつ大気や日射に晒される暴露面の面積が多いことから、劣化が最も進みやすいと考えられた「タイプ2」(p.14 第2表)とし、現地にて確認できた53石分の接着箇所のうち、部分的に剥離していた接着剤の一部を分析に用いた。なお、明らかな剥離が認められた石製遺構は1石(1箇所)のみで、剥離が生じている側の地盤に落ち込みが見られることから、特殊な外圧がかかり剥離したものと想定された。そのため、接着剤の効果が現在も持続していることが想像されたが、より正確を期すため、化学分析を業者委託によって実施した。

### 6-2 方法

第一に、大気や日射に晒された暴露面(以下、表面とする)から深度方向の観察が可能な断面でプレパラートを作製し、偏光顕微鏡を使用して観察を行った。次にエポキシ樹脂の劣化の有無を評価するため、顕微赤外分光法(以下、IRとする)と熱分解ガスクロマトグラフィー(以下、Py-GCとする)を適用した定性分析を行った。IRにはサーモフィッシャーサイエンティフィック社製 Nicolet iN 10を、Py-GCには日本分析工業社製 JHP-3型/島津製作所社製 QP-5050Aを使用した。あわせて、熱分析(ブルカー・エイエックス社製 TG-DTA2000SA)により分析の精度を高めた。また、X線回折試験を実施し、接着剤に混合された石粉の岩石鉱物の種類特定も実施した。

### 6-3 結果と考察

#### 1) 顕微鏡観察(第32図)

観察の結果、光学顕微鏡で認定できる劣化(ひび割れ)はなく、含有する岩石片と接着剤も密着しており、健全な状態と考えられた。また、0.5 mm前後の岩石片以外に細かい粒子の岩石鉱物の含有が認められ、接着剤全体に均等に配合されていることも確認できた。

#### 2) IRによる劣化生成物の確認(第33図)

劣化生成物のピークを確定するため、現地採取の接着剤(以下、試料605とする)と固化させて間もない類似接着剤の赤外吸収スペクトルの比較を行った。類似品はメーカーに確認し、「Hi-Bon3003GL(日立化成社製 エポキシ樹脂)」とした。現地採取品の表面側のスペクトルの $1650\text{ cm}^{-1}$ (CONH基)と $1020\text{ cm}^{-1}$ (CO基)にピークが認められる一方、類似品はピークがほとんどないか小さいことから、CONH基とC=O基が劣化生成物のピークと判断した。

#### 3) 赤外吸収スペクトルのピーク強度比(vs $1500\text{ cm}^{-1}$ )の深度方向への変化(第34・35図)

次に試料605の表面側・剥離側(石から剥がれていた面)・内部(接着剤の中央付近)の赤外吸収分析のスペクトルから、特に表面側と内部では表面の方が劣化生成物のピークが大きく、その傾向はCONH基で明瞭であり、表面側の劣化の進行が認められた。

劣化生成物のピーク強度と表面からの深さの関係を定量的に評価するために、ライン分析で得られたスペクトルにおいて、 $1500\text{ cm}^{-1}$ のピーク強度を基準とした場合の $1650\text{ cm}^{-1}$ 、 $1600\text{ cm}^{-1}$ 、 $1180\text{ cm}^{-1}$ 、 $1020\text{ cm}^{-1}$

のピーク強度の比を求めた。 $1650\text{ cm}^{-1}$ と $1020\text{ cm}^{-1}$ が劣化により生成したと考えられるカルボニル基で、 $1600\text{ cm}^{-1}$ と $1180\text{ cm}^{-1}$ はフェニル、ベンゼンなど劣化によらないものである。表面から10点目(表面からの距離 $720\text{ }\mu\text{m} \approx 1\text{ mm}$ 弱)までのカルボニル基のピーク強度が大きく、10点目以降は小さいことから、劣化の影響は $1\text{ mm}$ 程度までであることを確認した。

#### 4) 赤外吸収スペクトルのピーク強度比(vs $1500\text{ cm}^{-1}$ )の比較(第37・38図)

接着剤の表面側、剥離側、接着側(石と密着していた面)、内部の劣化状況の違いを定量的に比較するために、点分析で得たそれぞれの部位のピーク強度比(vs $1500\text{ cm}^{-1}$ )を算出した。 $1020\text{ cm}^{-1}$ のカルボニル基は接着剤混合の石粉の影響でピーク強度の比較が難しいが、 $1650\text{ cm}^{-1}$ のピーク強度比を見ると表面側や剥離側のピーク強度比が内部や接着側のピーク強度比よりも相対的に大きい。以上のことから、表面側や剥離側の劣化が進んでおり、接着側は劣化があまり進んでいないことが分かった。

#### 5) Py-GC定性分析による酸化物の生成状況の確認(第40図・第8表)

内部、表面側、剥離側のPy-GC定性分析の結果を示す。検出時間8.0付近のピーク(ピークNo.1)は酸化反応により生成されたフェノールである。検出時間25.0付近に認められるピーク(ピークNo.11)は酸化反応で減少するビスフェノールである。ビスフェノール(No.11)が小さく、フェノール(No.1)が大きいものほど酸化が進んでいると考えられる。以上のことから、内部、表面側、剥離面側の順に酸化が進んでいることが分かる。表面側よりも剥離面側の酸化が進んでいるのは、剥離側に雨水が溜まり、酸化をより促進させた可能性が考えられるが、今後の検討課題である。

#### 6) 熱分析による減量比較(第41図)

IRやPy-GC定性分析は分析に用いる試料の量が微量であるため、石粉の影響を受けやすいことから、分析試料が比較的多い熱分析を実施した。熱分析( $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ )で表面側、剥離側、接着側、内部の揮発性成分の含有状況を比較した。 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 程度では差はないが、 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ および $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ では表面側、剥離側の減量が接着側や内部より大きく、やはり表面側や剥離側に劣化の傾向が認められ、特に日射の影響を受けやすい表面側は、他の部位より明らかに劣化が進んでいることを確認した。

#### 7) X線回折試験

試験の結果、接着剤に混合された石粉の主な鉱物は石英と長石(斜長石)であることを確認した。

#### 8) 結果のまとめ

試料605には、光学顕微鏡で認定できるひび(亀裂)がなく、含有する岩石片とも密着しており、施工から約50年が経過した現在も健全な状態を保持していると評価できた。さらに化学分析によって詳細な劣化状況を確認すると、日射の影響を受ける表面側は他の部位よりも劣化が進んでいるものの、劣化の影響は深さ $1\text{ mm}$ 程度であった。石製遺構との接着面は内部と比較するとある程度劣化しており、石から剥がれると劣化が進行すると推定される。以上の分析結果からも、剥離が生じた要因は接着剤の自然的な劣化ではなく、現地の地盤状況も考慮すると、部分的な地盤沈下により、接着箇所の片面が剥離したと考えられた。また、接着剤に混合されていた石粉は、石英・長石(斜長石)を多く含むことが分かった。

以上により、若干の劣化が認められるものの、施工から約50年が経過した現在も接着剤が健全な状態を持続していること、外圧に対しても石製遺構を破損せずに剥離していることから、接着力が適切であることも確認できた。また、接着剤に配合された石粉の構成鉱物が明らかになり、今後の施工方法の決定を目的とする接着剤試験の試験体を作製するための基礎資料を得ることができた。





接着剤採種前の石製遺構



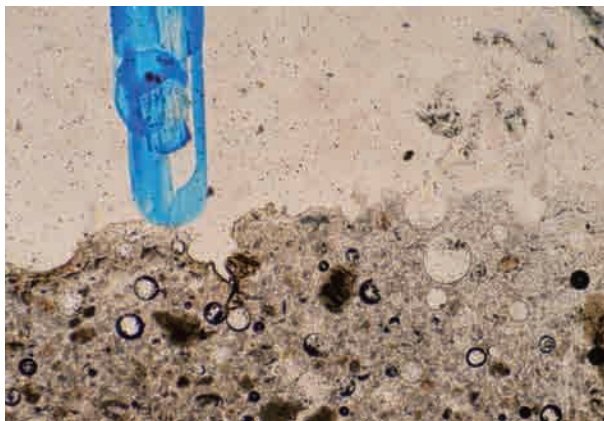
接着剤採取箇所



接着剤採取後(試料605)  
第31図 接着剤採取



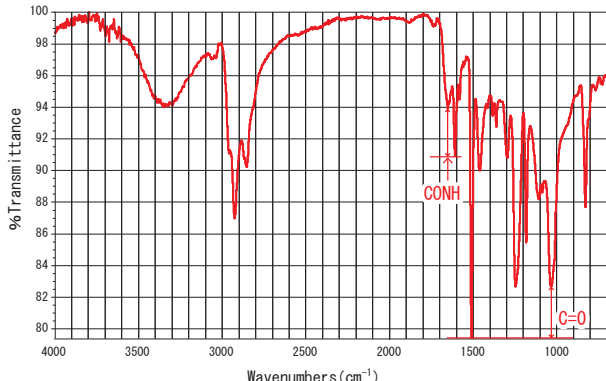
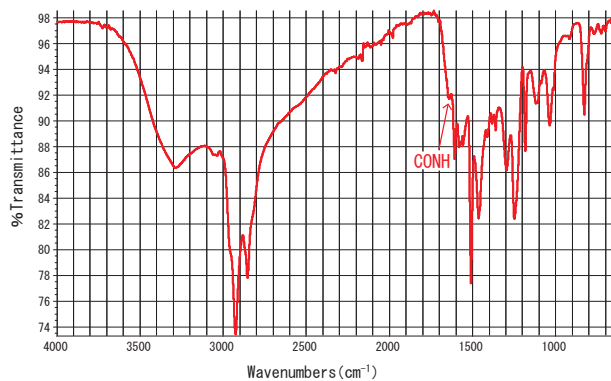
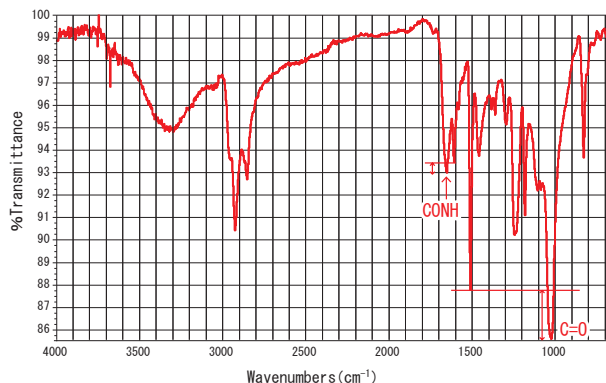
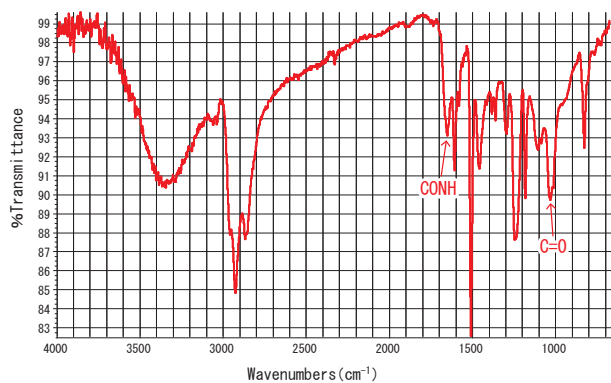
試料605(側面)



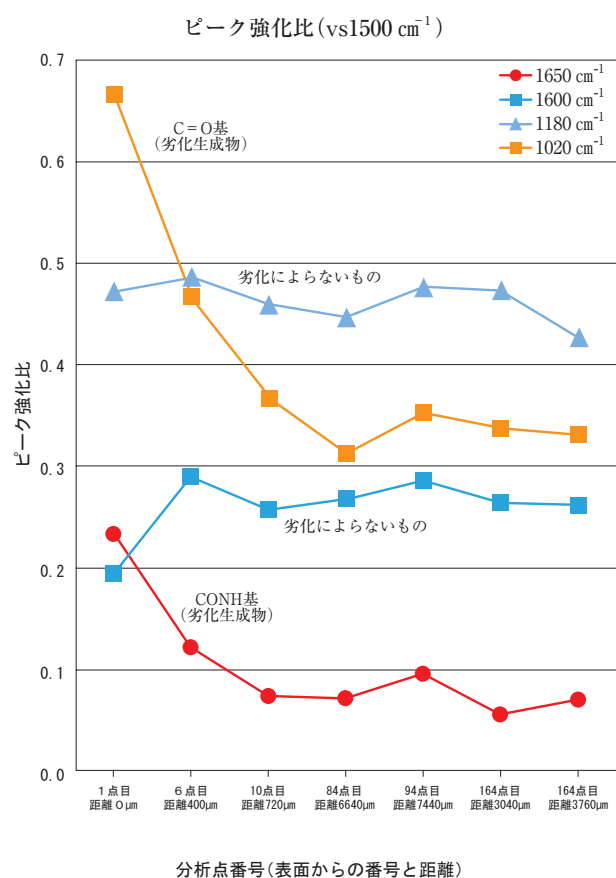
オープンニコル  
第32図 顕微鏡観察結果



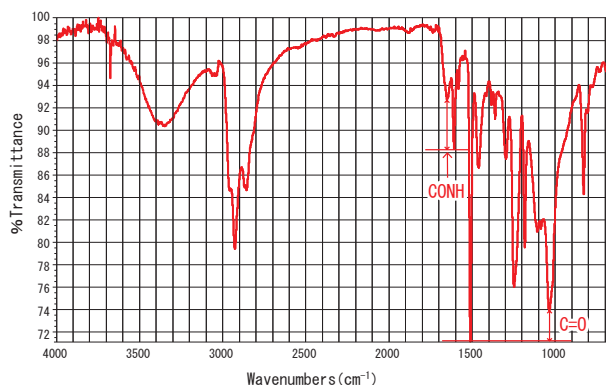
クロスニコル



第33図 赤外線吸収スペクトルの比較  
(上：表面側、下：Hi-Bon3003GL)



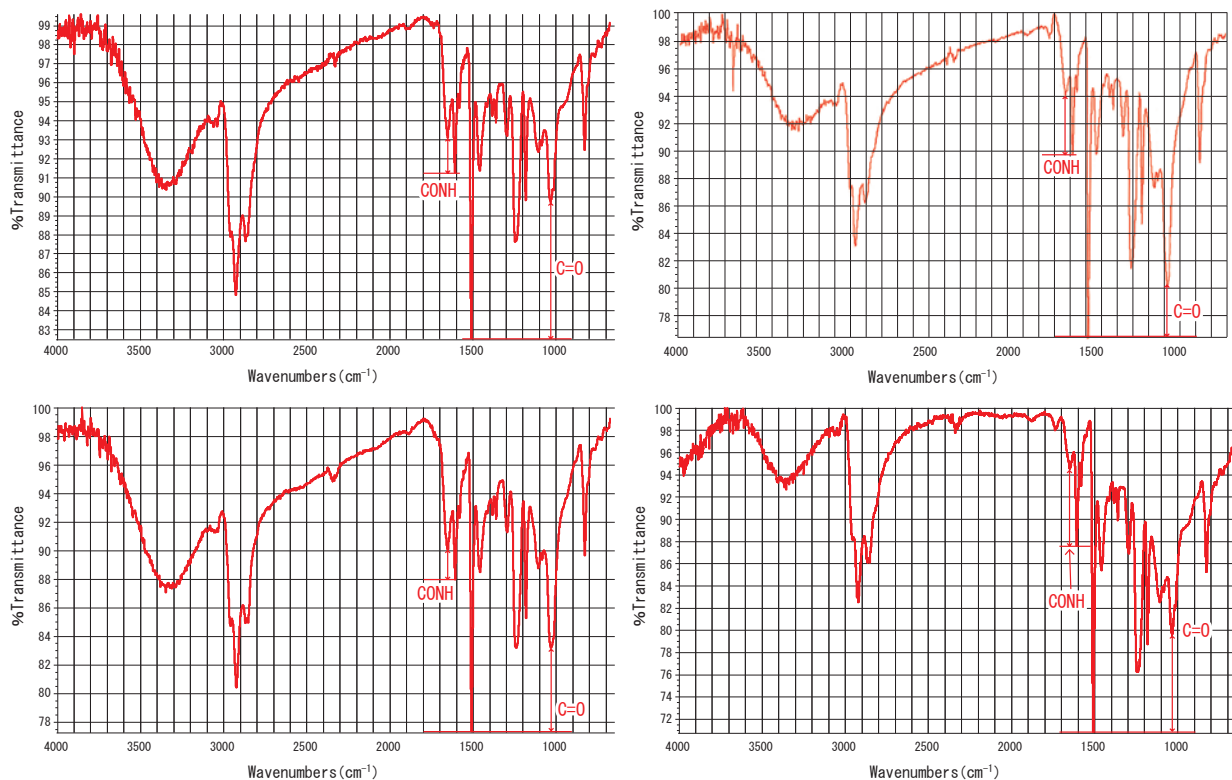
第35図 IR分析結果(ライン分析)



第34図 赤外線吸収スペクトルの比較-2  
(上から1点目、10点目、84点目)

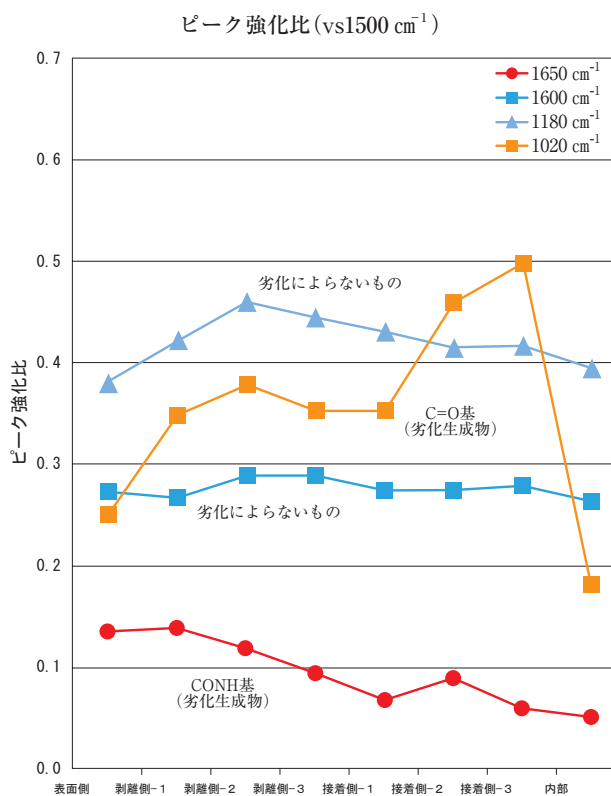


第36図 IR分析位置(ライン分析)

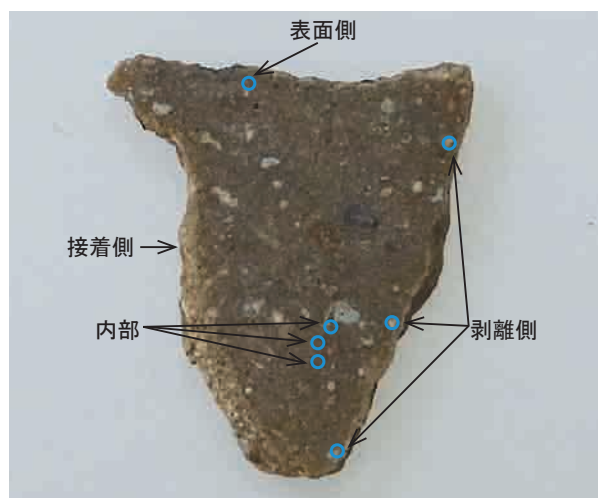


第37図 赤外吸収スペクトルの比較-3

(左上：表面側、左下：剥離側-1、右上：接着側-1、右下：内部)



第38図 IR分析結果(点分析)

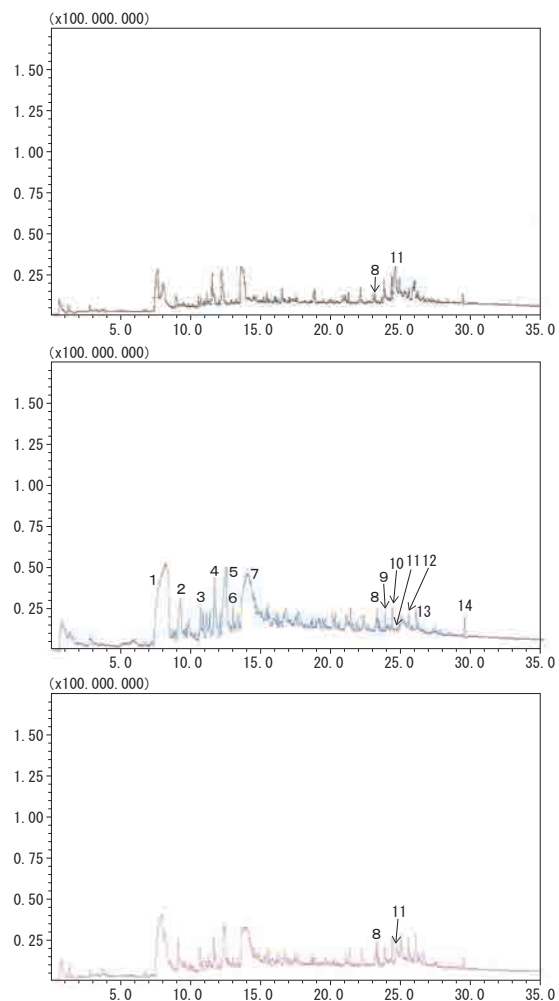


第39図 IR分析位置(点分析)

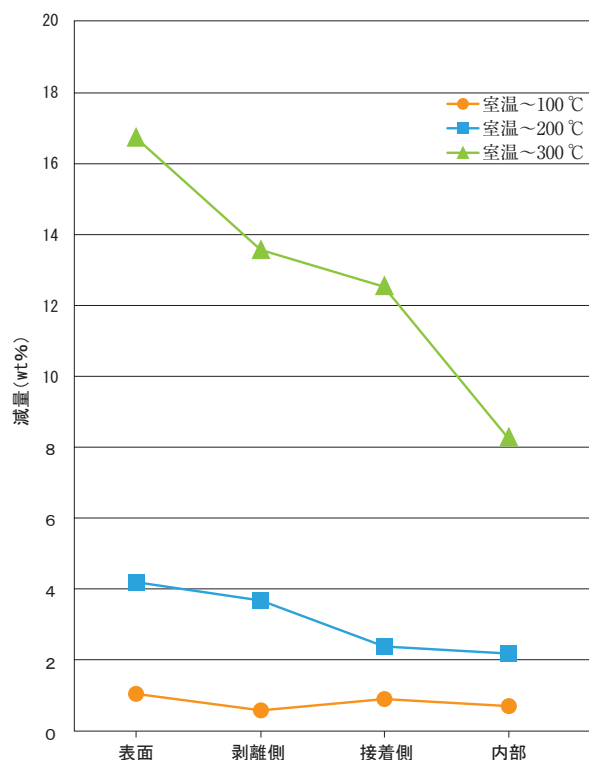


第8表 主な熱分解生成物

| ピークNo. | 保持時間 | 物質名                  | GAS No.   |
|--------|------|----------------------|-----------|
| 1      | 7.9  | フェノール                | 108-95-2  |
| 2      | 9.3  | 2-メチルフェノール           | 95-48-7   |
| 3      | 10.7 | 2-メチルフェノール           | 90-00-6   |
| 4      | 11.7 | アリルフェノール類            | —         |
| 5      | 12.5 | 4-(1-メチルエチル)フェノール    | 99-89-8   |
| 6      | 13.0 | アリルフェノール類            | —         |
| 7      | 14.1 | フェノール類またはアニソール類      | —         |
| 8      | 23.3 | N-(2-ヒドロキシエチル)デカンアミド | 7726-08-1 |
| 9      | 23.8 | オレアニトリル              | —         |
| 10     | 24.4 | ヘキサデカンアミド            | 629-54-9  |
| 11     | 24.9 | ビスフェノールA             | 80-05-7   |
| 12     | 25.5 | アミド類                 | —         |
| 13     | 26.0 | アミド類                 | —         |
| 14     | 29.5 | スクアレン                | 111-02-4  |
| 15     | 17.7 | 炭化水素類                | —         |
| 16     | 18.7 | ビフェニル類               | —         |



第40図 Py-GC定性分析結果の比較  
(上から内部側、剥離側、表面側)



第41図 熱分析による部位ごとの比較



第42図 Py-GC定性分析用試料

## 7 硬度試験

### 7-1 目的と対象

本事業のこれまでの調査・研究では、石製遺構の劣化を評価する方法として、発掘調査時などの過去の写真と現況の比較(目視)によってきたが、劣化対応WGにて劣化状況の数値化の必要性が指摘され、平成27年度から新たに本試験を追加することとなった。

試験の対象は、主に緊急接着を実施する石製遺構とし、硬度を数値化することによって劣化状況の指標とし、緊急接着にあたって剥離片および石材本体の剥離面の強化処置の必要性などを検討する基礎データとした。あわせて、将来的に劣化の進行を評価する際の比較データとすることも試験目的の一つとした。

### 7-2 方法

試験方法は、石製遺構そのものを用いて試験を行うため、非破壊の手法を前提とした。そこで、実質上非破壊にて石材の強度試験を行うことが可能であり、文化財の石材劣化の評価にも有効な方法とされている、エコーチップ硬度試験を実施することとした。

使用機器は(プロセク社製 equotip 3)であり、職員が試験を行った。計測は朽津氏の研究<sup>1)</sup>を参考に、1石あたり5か所を選定した。なお、5か所の選定にあたっては、①平滑面とすること、②礫部を避けること、③計測箇所を集中させないこと、以上の3点に留意した。1か所あたりの連打回数は、朽津氏の研究において10回目以降の数値に収束傾向が認められたことが指摘されていることから、15回連打して計測する連打法を基本とした。

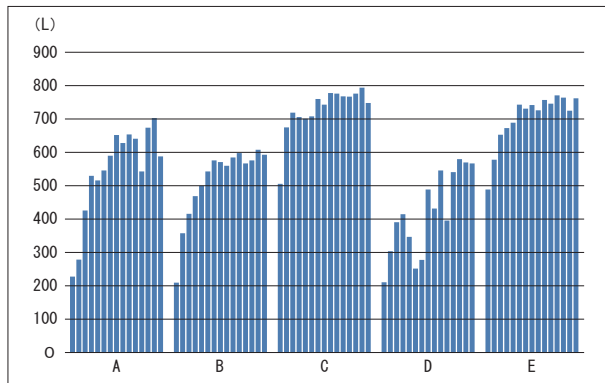
### 7-3 結果と考察

第43図のとおり、基本的には1回目の計測値が最も低い値を示しているが、これは、単打法と呼ばれる1回の打撃による試験方法の結果と同等に考えることができ、石材本体の表面の硬さとして評価される。言い換えれば、緊急接着の対象となる剥離片の硬度に近い計測値となる。5回前後以降の安定した計測値からは石材本体の内部の硬さが読み取れ、2回から4回前後の計測値が表層の風化を示していると考えられた。この表層の風化は、今後、石材本体の強化処置を検討する場合に、強化処置後に内部の硬さと読み取れる数値まで上昇するかが、強化処置の効果を検証するうえで一つの目安になるとも考えられた。

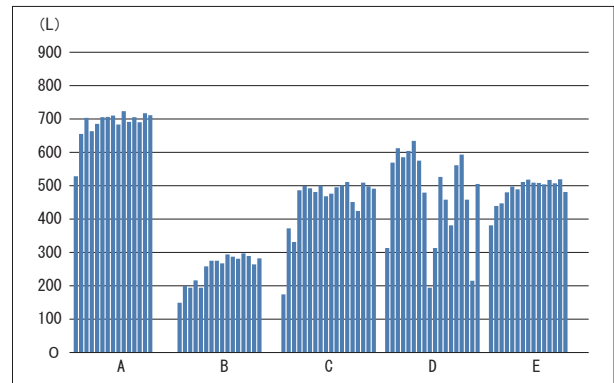
岩種別に結果を見ると、安山岩質の石製遺構(531・550)は、800 L前後まで数値が上昇している箇所が認められる。ただ、531は視認上も朝倉館跡内において最も劣化が進行している石製遺構であるため、550に比べて全体的に数値が低い傾向を示している。一方、凝灰岩質の石製遺構(535・541)は、最大の数値が600 L前後であるが、400 L前後の数値を示す箇所も多く見られた。なお、数値のばらつきが見られる箇所は、測定方法によるノイズであるのか、石材内部に劣化が及んでいるのかは今後の検討課題である。

#### 註

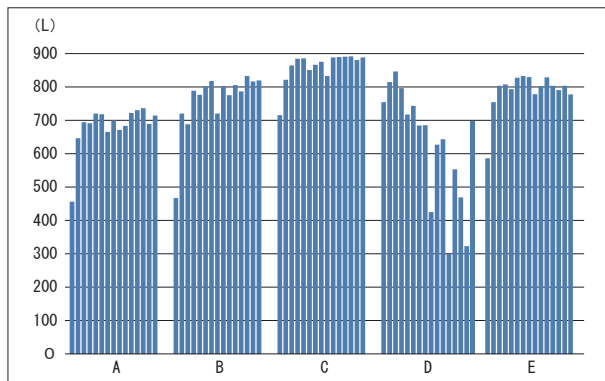
1) 朽津信明(2007)「エコーチップ試験による文化財石材の硬さに関する研究」『保存科学No.46』東京文化財研究所



石製遺構番号531・変質安山岩

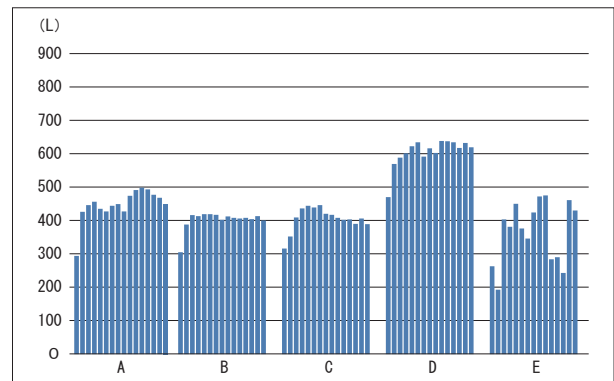


石製遺構番号550・玄武岩質安山岩



石製遺構番号535・凝灰角礫岩

第43図 硬度試験結果

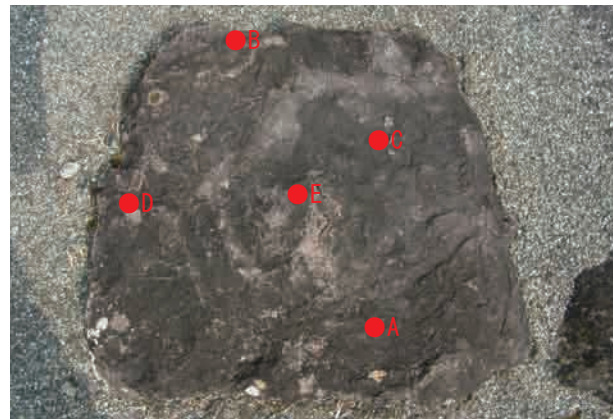


石製遺構番号541・凝灰角礫岩



石製遺構番号535

第44図 計測位置



石製遺構番号541



## 8 緊急接着

### 8-1 目的と対象

本遺跡では、石製遺構の劣化の一つとして剥離がみられ、平成24年度より剥離片の採取を行っており、採取にあたっては、デジタル撮影により採取前後の状況を記録化している。しかし、特に小さな剥離片は、現地に残る石材本体の剥離面の劣化が進行すると、剥離片の採取直後には容易に可能であった接着が困難になることが想定でき、一部については緊急的な対応として接着を実施する方針とした。

本事業では、昭和44年度に施工された接着剤の効果が持続していることが明らかになっているが(p. 49～54)、より良い接着剤と接着手法によって今後の対応手法を決定することを目指しており、緊急接着は限定的なものとした。具体的には対象の剥離片の大きさは強風等で紛失の恐れのあるような小さなものに限定し、さらに重力がかかるような側面の剥離片は対象とせず、石上面の剥離片のみを対象とした。

緊急接着を実施するにあたり、剥離片の強化処置の有無を判断する必要性が劣化対応WGにて指摘されていた。そこで、非破壊の方法で最大体積含水率の測定を行い、強化処置の有無を判断する基準値とした。なお、最大体積含水率の測定は、職員が奈良文化財研究所の協力をえて実施した。測定対象は第9表のとおりであり、なお、枝番は一つの剥離箇所において複数に割れていた剥離片を示している。

#### 8-2-1 方法と結果(最大体積含水率の測定)

最大体積含水率の測定にあたり、まず恒温器(ESPEC社製 ST-110)の105℃の設定環境にて、24時間乾燥させ、乾燥重量を求めた。次に含水重量を求めるため、真空状態で24時間、蒸留水を剥離片に含水させた。続いて電子上皿天秤(METTLER TOLEDO社製 XS204)を用いて含水重量を求め、含水重量から見かけの体積ならびに密度、重量当たりの含水率を算出した。続いて水の密度を0.997490 g/cm<sup>3</sup>(水温23℃)とし、最大体積含水率を求めた。

第9表のとおり、No.1を除けば最大体積含水率はいずれも高い数値を示した。本事業では同含水率10%以上を基準として強化処置の有無を決定した。強化処置後の剥離片については、再度、同含水率の測定を行い、同含水率が10%未満になっていることを確認のうえ、緊急接着を実施した。

#### 8-2-2 方法と結果(強化処置・接着)

強化の程度は、石材本体の健全な部分、すなわち石材内部の強度に合わせるべきであるが、剥離片や石材本体の剥離面の風化の程度によって、強化処置の効果は様々であることが予想され、強化処置の具体的な方法を定めることは、緊急的な対応においては困難であると判断された。剥離片の散逸を防ぐという緊急接着の目的を鑑み、昭和44年度に施工された接着手法の効果の持続性が接着剤分析によって認められたことから、接着手法は同年度の手法に準じることとした。あわせて、剥離片の脆弱性を考慮し、剥離片に有機ケイ酸エステル(ワッカーケミー社製 OM-25)への24時間含浸処置を行い、石材本体の剥離面に対しては同強化剤を塗布する処置を行った。

含浸処置においては、まず、OM-25に24時間、剥離片を浸漬したのち、剥離片を取り出し、2週間放置して硬化させた。次に石材本体の剥離面の強化処置として、筆を用いて剥離面にOM-25を塗布した。塗布の目安は塗布した薬剤が石材により吸収されなくなる程度とし、最大で5回を目途とした。OM-25塗布後は雨水が当たらないように雨除けを施し、最低2週間放置して硬化させた。剥離片の接着には、昭和44年度使用の「Araldite106」(HUNTSMAN社製 エポキシ樹脂)の同等品として「Araldite2011WP」

(HUNTSMAN社製 エポキシ樹脂)を使用し、石粉を配合せずに塗布し、接着後は、石材本体の剥離面の強化処置と同様に雨除けを施した。

第9表 最大体積含水率の測定結果

| No. | 岩 種     | 乾燥重量<br>(g) | 含水重量<br>(g) | 最大体積<br>含水率(%) |
|-----|---------|-------------|-------------|----------------|
| 1   | 玄武岩質安山岩 | 33.27       | 34.03       | 5.93           |
| 2   | 変質安山岩   | 2.97        | 3.30        | 23.66          |
| 3-1 | 凝灰角礫岩   | 8.35        | 8.71        | 10.51          |
| 3-2 |         | 8.56        | 9.06        | 13.50          |
| 4-1 | 凝灰角礫岩   | 2.08        | 2.18        | 11.17          |
| 4-2 |         | 1.02        | 1.09        | 15.21          |
| 4-3 |         | 3.34        | 3.55        | 14.54          |



No. 2 (左：全体、右：接着部拡大)



(左：全体、右：接着部拡大)

第45図 緊急接着例No. 3

## 9 接着剤試験

### 9-1 目的

接着剤試験は、本施工にてより良い接着手法を決定することを目的として開始した。「5 接着剤分析」(p. 49～54)に前述したとおり、昭和44年度施工の接着剤の効果が持続していることを踏まえ、昭和44年度の施工条件を基本として試験体の作製を進めた。接着剤試験は昭和44年度の施工条件の確認と接着剤に配合された石粉の効果検証に大きく分け、さらに耐久性試験と接着力試験の2つに分けた(第10表)。まず耐久性試験では、昭和44年度施工の接着剤が現在もほぼ健全な状態を保持している要因を、混合された石粉(接着対象の石と同質の岩石を砕いたもの)による接着剤本体への紫外線の照射抑制と推測し、樹脂の耐久性と石粉配合量の相関を明らかにすることを目的に実施した。一方、接着力試験においては、朝倉館跡にて石製遺構が破壊されずに剥離していた接着剤の強度を基準として、接着剤としての樹脂の強度と石粉配合量の相関を明らかにすることを目的に実施した。以上の2試験をもって、今後の接着に適切な樹脂の種類および石粉の配合率決定を最終目的とし、平成26年度～平成29年度にかけて試験を実施した。

第10表 接着剤試験の工程フロー

| 目的                 |               | 平成26年度                     | 平成27年度 | 平成28年度 | 平成29年度 |
|--------------------|---------------|----------------------------|--------|--------|--------|
| 昭和44年度の<br>施工条件の確認 | 石粉量の特定        | 「5 接着剤分析」の<br>プレパラート画像より推定 |        |        |        |
|                    | 耐久性との<br>相関検証 |                            |        |        |        |
| 石粉の効果検証            | 接着力との<br>相関検証 |                            |        |        |        |
|                    |               |                            |        |        |        |

### 9-2-1 方法と結果(平成26年度)

#### 1) 試験体作製

平成26年度には耐久性試験として、促進耐候性試験の前後に硬度試験・フーリエ変換赤外分光光度計分析(以下、FT-IR分析とする)を実施し、人工的に再現された外的環境下において樹脂の試験体を強制的に劣化させ、接着剤の種類や石粉の配合量による劣化の違いを確認した。試験体の作製は業者委託により実施した。

接着剤は昭和44年度に施工した接着剤の同等品である、アラルダイト2011WP(HUNT SUMAN社製 エポキシ樹脂 以下、アラルダイトとする)ならびにHibon3003GL(日立化成社製 エポキシ樹脂 以下、ハイボンとする)、他県の寒冷地で使用実績のあるKモルタル(コニシボンド社製 エポキシ樹脂)、CAT-18(コニシボンド社製 アクリル樹脂)、文化財の施工で実績のある漆喰(田川産業社製 城かべ)の5種類とした。

接着剤に混合する石粉は、粒度等の条件のばらつきを減らすため、市販の標準砂を用いた。標準砂の選出にあたっては、「5 接着剤分析」のX線回析試験結果を踏まえ、珪砂(石英砂)で構成される豊浦標準砂(以下、標準砂とする)とした。標準砂の配合量は、「5 接着剤分析」で得られたプレパラート画像



等を参考に、10 cm<sup>3</sup>あたり 0 g / 2 g / 5 gの3パターンとした。標準砂の粒径は、購入時のものを「中粒砂」、昭和44年度施工時の粒径に近づけて磨り潰したものを「小粒砂」とし、2 gと5 gは中粒砂と小粒砂の試験体をそれぞれ作製した。すり潰しの程度は、接着剤分析のプレバート画像との比較によって決定した。

試験体の形状は、促進耐候性試験、硬度試験、FT-IR分析を一つの試験体で実施できるものとし、既製品の円筒試料(内径 32 mm)を用い、切断機により深さ12 mm(誤差± 1 mm程度)に加工した。ハイボン・アラルダイトは攪拌機で混合し、CAT-18ならびにKモルタル、漆喰はその特性から、ガラス板の上で樹脂製のヘラを用いてこね合わせた。ハイボンについては固結時に表面に泡が発生したため、表面の研磨を行った。なお、研磨の仕上げはカーボラダム3000番を使用した。完成した試験体は第46図のとおりで、これらを試験体作製時の精度のばらつきを考慮して5セット、予備1セット、あわせて6セットを作製した。

## 2) 試験方法

促進耐候性試験、硬度試験、FT-IR分析は、いずれも福井県工業技術センターの計測・分析機器を使用し、職員が実施した。

促進耐候性試験ではサンシャインウェザーメーター(スガ試験機社製 WEL-300-DC)を用いた。曝露時間は最大連続灯火時間の300時間とし、温度45℃・湿度32%の条件とした。また、降雨の条件も加えた。試験体を機器に直接設置可能な試験片ホルダーに強力両面テープで接着し、さらに試験体の下部に予め空けた孔に針金を通し、試験片ホルダーと固定した。針金を通した後の孔は、市販の粘土を用いて塞いだ(第47図)。

硬度試験ではビッカース硬度試験機(アカシ社製 AVK-C2V3)を使用し、促進耐候性試験の前後に端部を最大荷重 1 kg f(マイクロビッカース)の条件で計測した。ただしKモルタルおよびCAT-18、漆喰は表面の凹凸が多く認められたため、試験を実施することができなかった。

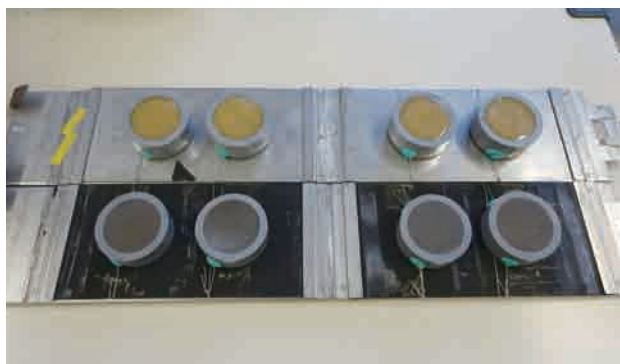
FT-IR分析ではATR法を用い、促進耐候性試験の前後の分子構造の変化を確認し、さらに劣化生成物のピーク強度の変化により、耐久性および石粉の効果の評価を試みた。KモルタルとCAT-18については、材種自体の特性から測定機のプリズム部を傷つける恐れがあったため、測定条件にあわず分析ができなかった。残る3種の接着剤については、硬度試験の実施箇所と重ならないように表面端部をカッターでサンプリングし、1つの試験体につき表面の1測点を測定した。

## 3) 結果と考察

促進耐候性試験後の試験体を目視で確認したところ、漆喰に著しい変形(流失)が見られ、特に細



第46図 試験体

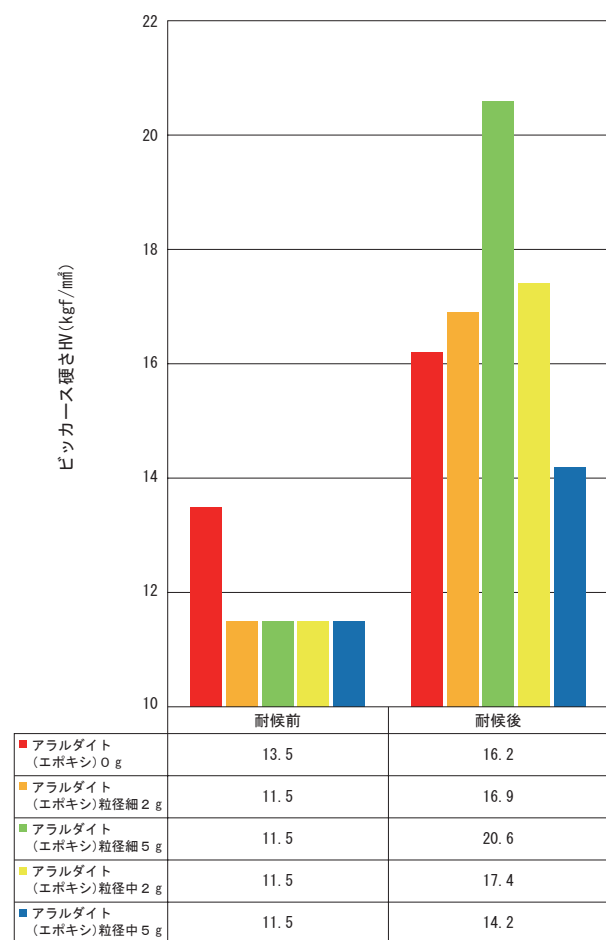


第47図 試験体の固定(促進耐候性試験用)

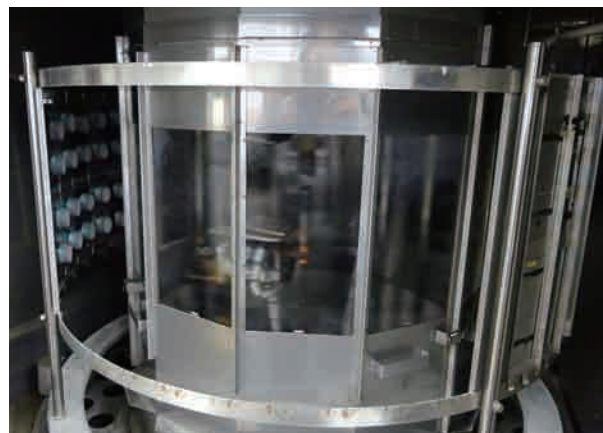
粒砂を混合した試験体に流失が顕著であった(第50図)。変形の原因としては、漆喰の乾燥が十分でなかった可能性が挙げられた。続く硬度試験では、アラルダイトとハイボンの促進耐候性試験の前後の数値を比較したところ、試験後に硬度が上昇する傾向がみられた(第48図)。硬度の上昇が劣化を示しているとも考えられたが、今回の促進耐候性試験の条件では、硬度の変化が僅かであったため、石粉量と硬度の相関を看取できなかった。FT-IR分析の結果では、促進耐候性試験後に劣化生成物のピーク強度が促進耐候性試験前に比べて相対的に高まるが、今回の試験条件では顕著な変化は確認できず、また、石粉量と劣化生成物のピーク強度には相関が看取できなかった。

以上の試験・分析結果と昭和44年度の施工実績から、次年度以降はハイボン、アラルダイトを優先した試験を実施する方針とした。また、昭和44年度施工の接着剤の顕微鏡観察を基に標準砂の配合量および粒度のパターンを決定したが、より精度の高い方法を用い、昭和44年度の石粉の配合量・粒度分布の再現を行ったうえで次年度以降の試験を実施することとした。

そのほか、促進耐候性試験によって劣化させた樹脂の硬度を測定することは困難であったことから、次年度以降は硬度試験に代わる試験として、標準砂の配合量と遮光効果等による樹脂の耐久性との相関を明らかにするためのX線透過撮影を実施する方針とした。また、FT-IR分析は、条件をより細かく揃えた分析を行うため、KBr錠剤法を用いる方針に変更することとした。



第48図 試験前後の硬度測定結果



第49図 試験体設置状況



第50図 漆喰の試験体(促進耐候性試験後)

## 9-2-2 方法と結果(平成27年度)

昨年度(平成26年度)には、顕微鏡観察によって昭和44年度に施工された接着剤の再現を試みたが、より精度の高い方法を用いた再現の必要性が劣化対応WGにて指導されていた。そこで、今年度は昭和44年度に施工された接着剤と石粉の粒度と配合率を近似させた試験体の作製を目的とし、奈良文化財研究所の協力のもと、X透過線撮影を用いた試験を実施した。また、あわせて石粉の配合率を変えた複数種の試験体を作製し、X線の透過量の違いも確認した。試験体の作製はいずれも業者委託により実施した。

### 1) 試験体作製

#### (1) 既存試料の砂の混合量と粒度の確認

現地採取の接着剤試料(以下、試料605とする)の一部を取出し、つぼに入れ、ガスバーナーで焼成した(第51図)。火炎が鎮まった後、600℃の電気炉で1時間加熱した。得られた灰分を秤量し石粉の混合量とした。この灰分を「JIS A 1102 骨材のふるい分け試験方法」に準拠してふるい分け試験を実施し、粒度分布を求めた。ふるいの目開きが75  $\mu\text{m}$ 、100  $\mu\text{m}$ 、150  $\mu\text{m}$ 、300  $\mu\text{m}$ 、600  $\mu\text{m}$ 、1.18 mm、2.36 mmの金属製網ふるいを使用した。



焼成前 焼成後  
第51図 試料605の焼成前後の外観

#### (2) 接着剤試験体配合用豊浦標準砂の粒度調整

(1)の結果を基に、新たに作製する試験体に配合する標準砂の粒度調整を行った。粉碎方法については標準砂を超硬製粉碎容器に入れ粉碎時間と回転数の検討を行い、既存の接着剤に近い粒度分布を有する石粉の再現を試みた(第52図)。粒度分布については(1)に示す既存試料のふるい分け試験方法と同じ手法を実施した。



粉碎機 粉碎容器セット前 粉碎容器中の粉碎粉  
第52図 標準砂の粒度調整

既存試料と1200 rpm×3 minの条件で粉碎した標準砂は100  $\mu\text{m}$ 以下の領域で近似していたが、それ以上の粒度分布域では解離が大きかった(第53図)。この解離を解決するため、150  $\mu\text{m}$ 以上の領域に分布を持つ粉碎前の標準砂と粉碎後の標準砂を混合し、既存試料の分布に近い混合砂の粒度分布の再現を試みた。検討の結果、混合比が粉碎前の標準砂：本粉碎粉 = 1 : 9の場合に既存試料の粒度分布と近似することが分かった。

既存試料と混合砂の粒度分布比較を容易にする目的で300  $\mu\text{m}$ 以下の領域で100%ノーマライズしたグラフを作製し第54図に示した。グラフからも、既存試料と本条件で調整した「混合砂」の粒度分布が近いことが示された。これらの結果から、本条件で調整した「混合砂」を接着剤試験体の作製に使用する混合砂とした。

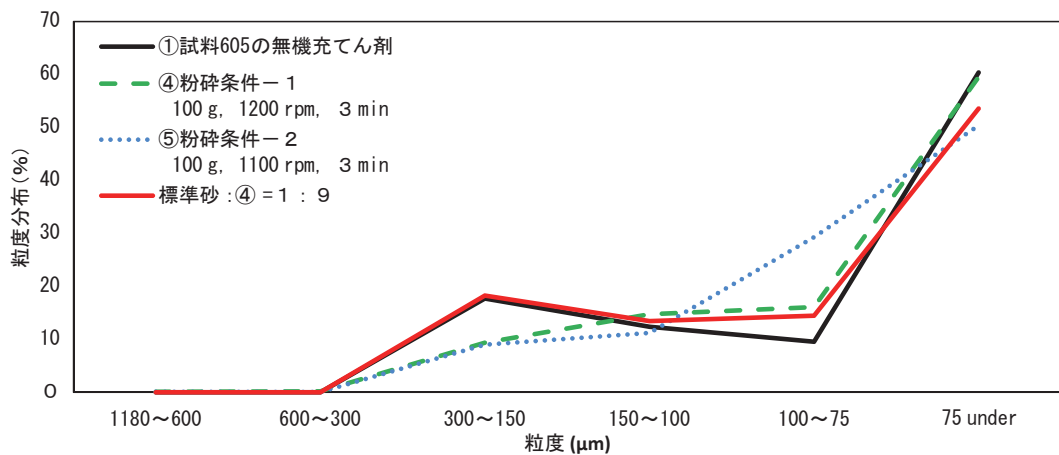
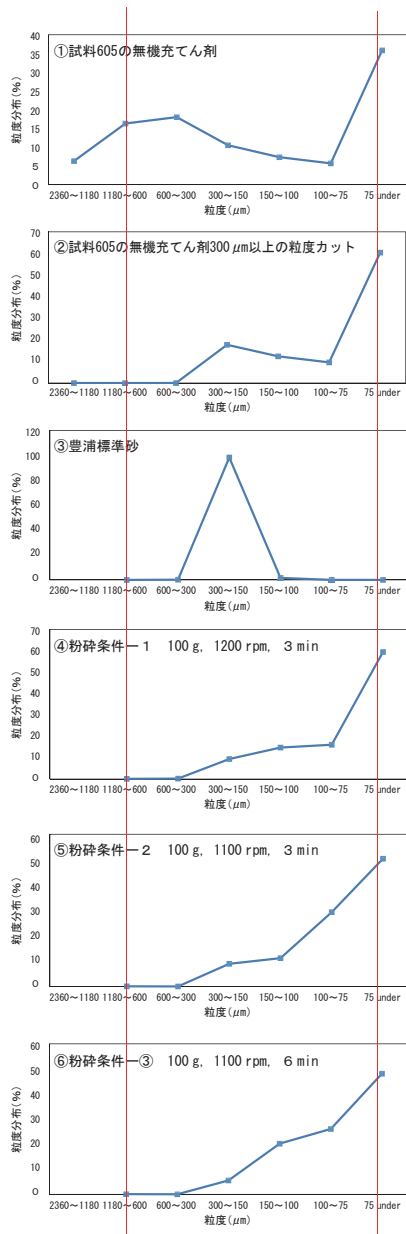
#### (3) エポキシ系接着剤試料作製

ハイボンの主剤と硬化剤を2 : 1の比で混合し、これに(2)で作製した混合砂を配合した。混合砂の配合量は0 g(0 wt%)、基準量の4分の1(14 wt%)、基準量の半分(33 wt%)、基準量(44 wt%)、



|                                              | ふるい目の開き<br>( $\mu\text{m}$ ) | 粒度分布<br>(%) | ふるい試験重量<br>(mg) |
|----------------------------------------------|------------------------------|-------------|-----------------|
| ① 試料605の無機充てん剤                               | 4750                         |             | 0.00            |
|                                              | 2360                         |             | 328.44          |
|                                              | 2360~1180                    | 6.3         | 49.94           |
|                                              | 1180~600                     | 16.3        | 129.27          |
|                                              | 600~300                      | 18.0        | 142.75          |
|                                              | 300~150                      | 10.5        | 83.24           |
|                                              | 150~100                      | 7.3         | 58.10           |
|                                              | 100~75                       | 5.7         | 44.98           |
|                                              | 75 under                     | 35.8        | 283.97          |
|                                              |                              | 100         | 792.25          |
| ② 試料605の無機充てん剤<br>300 $\mu\text{m}$ 以上の粒度カット | 4750                         |             | 0.00            |
|                                              | 2360                         |             | 328.44          |
|                                              | 2360~1180                    | 0.0         | 0.00            |
|                                              | 1180~600                     | 0.0         | 0.00            |
|                                              | 600~300                      | 0.0         | 0.00            |
|                                              | 300~150                      | 17.7        | 83.24           |
|                                              | 150~100                      | 12.4        | 58.10           |
|                                              | 100~75                       | 9.6         | 44.98           |
|                                              | 75 under                     | 60.4        | 283.97          |
|                                              |                              | 100         | 470.29          |
| ③ 豊浦標準砂                                      | 4750                         |             | 0.00            |
|                                              | 2360                         |             | 0.00            |
|                                              | 2360~1180                    | 0.0         | 0.00            |
|                                              | 1180~600                     | 0.0         | 0.00            |
|                                              | 600~300                      | 0.2         | 1.40            |
|                                              | 300~150                      | 98.3        | 2483.30         |
|                                              | 150~100                      | 1.6         | 40.47           |
|                                              | 100~75                       | 0.1         | 1.52            |
|                                              | 75 under                     | 0.0         | 0.21            |
|                                              |                              | 100         | 2526.90         |
| ④ 粉碎条件－1<br>100 g, 1200 rpm, 3 min           | 4750                         |             | 0.00            |
|                                              | 2360                         |             | 0.00            |
|                                              | 2360~1180                    | 0.0         | 0.00            |
|                                              | 1180~600                     | 0.1         | 4.73            |
|                                              | 600~300                      | 0.2         | 9.78            |
|                                              | 300~150                      | 9.4         | 477.53          |
|                                              | 150~100                      | 14.8        | 752.52          |
|                                              | 100~75                       | 16.1        | 820.21          |
|                                              | 75 under                     | 59.5        | 3036.56         |
|                                              |                              | 100         | 5101.33         |
| ⑤ 粉碎条件－2<br>100 g, 1100 rpm, 3 min           | 4750                         |             | 0.00            |
|                                              | 2360                         |             | 0.00            |
|                                              | 2360~1180                    | 0.0         | 0.00            |
|                                              | 1180~600                     | 0.1         | 5.05            |
|                                              | 600~300                      | 0.1         | 2.73            |
|                                              | 300~150                      | 9.0         | 486.60          |
|                                              | 150~100                      | 11.2        | 607.17          |
|                                              | 100~75                       | 29.3        | 1588.32         |
|                                              | 75 under                     | 50.4        | 2730.22         |
|                                              |                              | 100         | 5420.09         |
| ⑥ 粉碎条件－3<br>100 g, 1100 rpm, 6 min           | 4750                         |             | 0.00            |
|                                              | 2360                         |             | 0.00            |
|                                              | 2360~1180                    | 0.0         | 0.00            |
|                                              | 1180~600                     | 0.1         | 4.94            |
|                                              | 600~300                      | 0.0         | 1.52            |
|                                              | 300~150                      | 5.5         | 406.78          |
|                                              | 150~100                      | 20.2        | 1483.30         |
|                                              | 100~75                       | 26.1        | 1913.87         |
|                                              | 75 under                     | 48.1        | 3532.59         |
|                                              |                              | 100         | 7343.00         |

第53図 粉碎条件検討結果



第54図 混合条件検討結果

基準量の2倍(69 wt%)、基準量の4倍(79 wt%)の6パターンとした。

試験体の作製方法としては、まずミキサー(シンキー社製 AR-250)を用いて樹脂と混合砂を攪拌・脱泡した。条件は、攪拌5分、脱泡4分を基本とし、混合砂と樹脂の状態によって適宜変更した。次に、同ミキサーで調整した樹脂を硬化した。この時、混合砂が分離沈降する傾向が確認されたため、混合砂の配合量の少ない試料は、孔をあけたポリ容器の球体に試験液を充填後密封し、混合砂の偏りが出来ないようにエバポレーターで回転させながら硬化させた(第55図)。硬化体を取り出し、10 mm×5 mm×5 mmに精密に切断し、10 mm×5 mmの対向2面を研磨し、奥行きが $5 \pm 0.5$  mmになるように調整した。同様に既存試料(試料605)に関しても、図に示す部位から切り出し、表面と対向面をそれぞれ研磨し、奥行きが $5 \pm 0.5$  mmになるように調整した(第56図)。



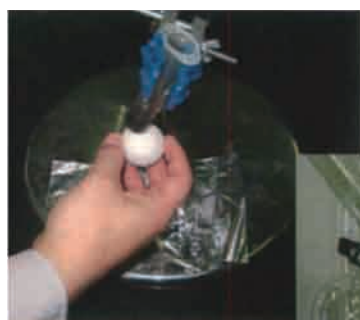
自転・公転ミキサー



攪拌脱泡前



攪拌脱泡後



混練物注入



回転

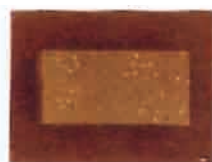
第55図 試験体の作製方法



No. 1 混合砂 0 g



No. 2 混合砂基準量の4分の1



No. 3 混合砂基準量の半分



No. 4 混合砂基準量



No. 5 混合砂基準量の2倍



No. 6 混合砂基準量の4倍



No. 7 試料605

第56図 試験体一式

## 2) 試験方法

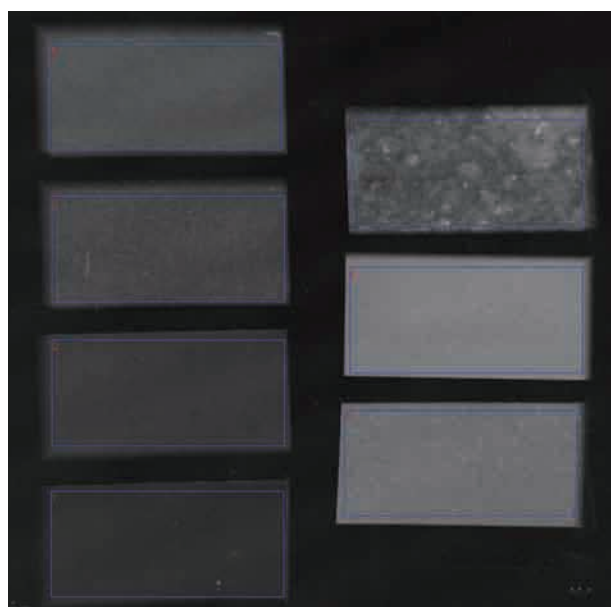
本試験にあたっては、石製遺構のおかれている環境により近づけた試験内容とするため、紫外線を透過させる試験の実施も検討されたが、その場合には試験体の厚さを薄くする必要があり、必然的に試験体の混合砂の量が減少することとなる。その場合、昭和44年度施工の接着剤の再現を目的とした本試験には不適當であると判断し、CR法を用いたX線透過撮影を実施することとした。

X線透過撮影およびその解析は奈良文化財研究所の協力を得て職員が実施した。撮影に用いた装置はマイクロフォーカスX線拡大撮像システム(富士フィルム社製  $\mu$ FX-1000)と、イメージングアナライザー(富士フィルム社製 BAS-5000)である。イメージングプレートにはBAS-2025を用い、撮影条件は、40 kV・50  $\mu$ A・60 sec・6倍拡大として実施した。

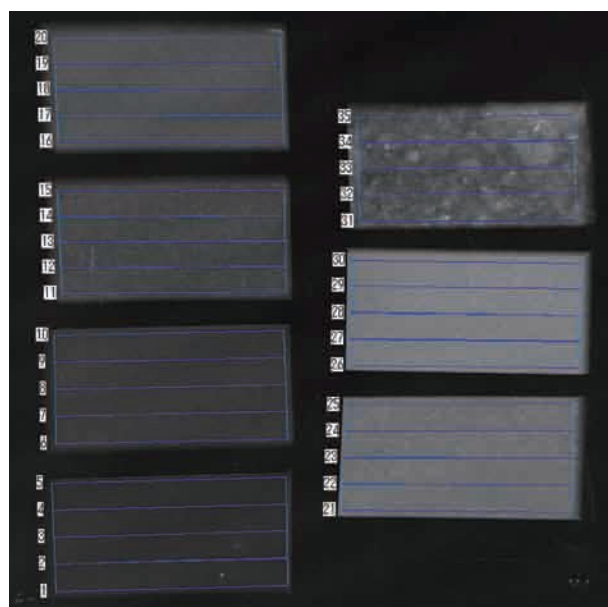
## 3) 結果と考察

第57・59図のとおり、同面積あたりのPSL値<sup>1)</sup>(PSL/ $\text{mm}^2$ )を比較した結果、混合砂の配合率との相関性が認められ、解析の結果、試料605(No.7)の石粉は、No.4の砂の約1.22倍の配合率(54.7 wt%)であることを確認した。そこで次年度以降は54.7 wt%を「新」基準量の配合率とし、そのほかに混合砂の配合率を変えた試験体を複数作製する方針とした。

さらに、試験体1点あたり、5本の線上のPSL値を測定した(第60図)。PSL値が高いほどX線が透過していることになり、最大値を示した付近は混合砂および石粉が少ないことになる。No.7(試料605)において最大のPSL値は10.9であり、この最大値はNo.2(混合砂基準量の4分の1)の試験体の数値の近似値であった(第60図)。以上のことから、次年度以降の接着剤試験において混合砂の配合率を変えた複数の試験体を作製する際、最低の配合率をNo.2とすることとした。



第57図 PSL値の測定(Area( $\text{mm}^2$ ))  
(左下から上にNo.1～4、右下から上にNo.5～7)

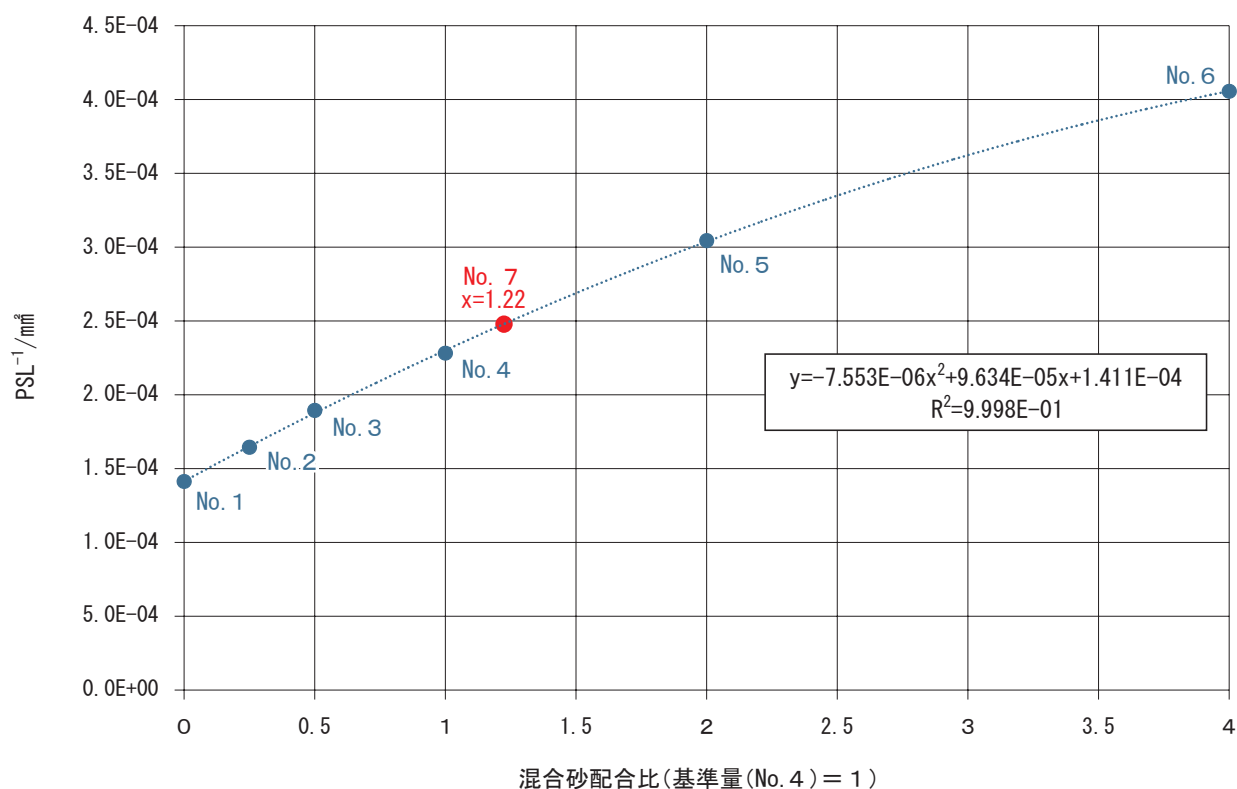


第58図 PSL値の測定(Line)  
(左下から上にNo.1～4、右下から上にNo.5～7)

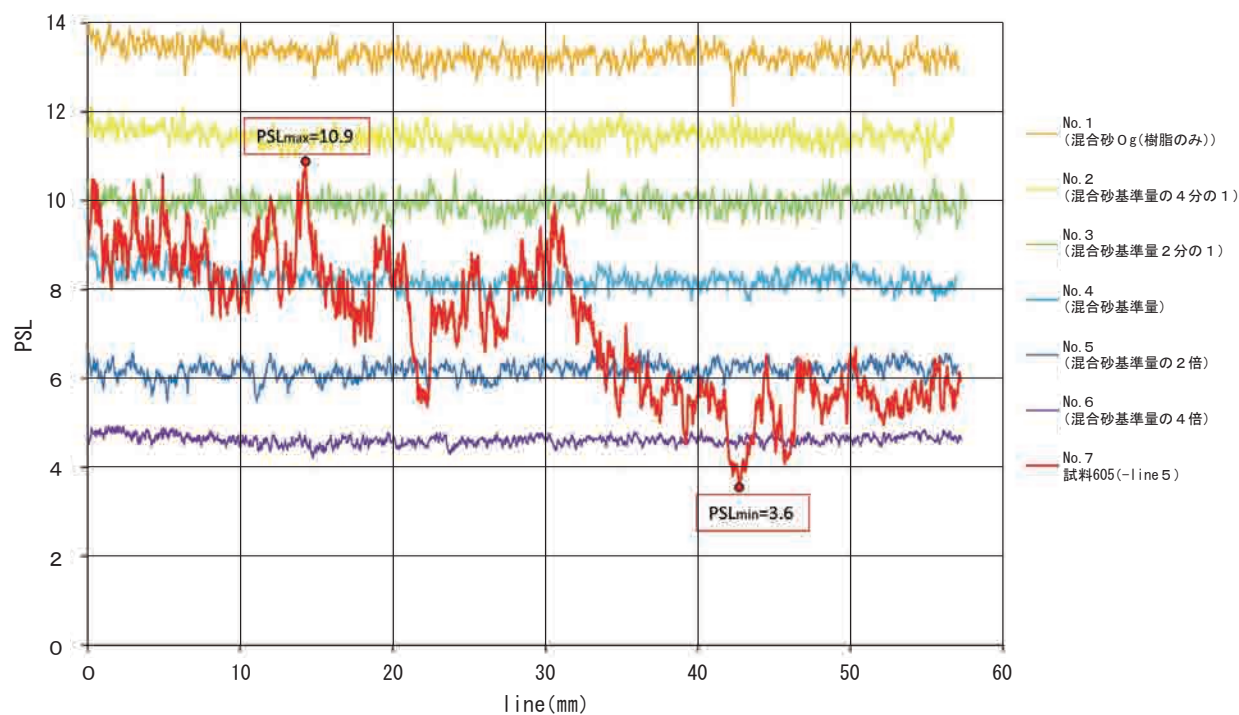
### 註

1) PSLとは、輝尽性蛍光(Photo-Stimulated Luminescence)の略であり、放射線量の単位を示す。





第59図 昭和44年度施工時の石粉量との相関



第60図 X線透過量との相関

### 9-2-3 方法と結果（平成28年度）

平成28年度には、促進耐候性試験器を用いて試験体を劣化させ、促進耐候性試験の前後のX線透過撮影、FT-IR分析により、混合砂の配合率と樹脂の耐久性の相関を明らかにする耐久性試験と、笏谷石を用いた圧縮せん断試験により、接着剤としての強度と混合砂の配合率との相関を明らかにする接着力試験を実施した。試験体の作製はいずれも業者委託により実施したが、接着力試験用の笏谷石の加工については、福井県立恐竜博物館の機器を使用し、職員が行った。

#### 1) 試験体作製

##### (1) 砂の粒度調整

試験体に使用する混合砂については、平成27年度と同様の手法で粒度調整を実施した。微粉碎品と標準砂を85：15の比で混合することで、平成27年度に使用した混合砂の粒度分布と類似した粒度分布を有する混合砂を調整した。

##### (2) 試験体の作製(耐久性試験用)

耐久性試験用の試験体は、樹脂をアラルダイトとハイボンの2種とし、混合砂の配合率は平成27年度の試験結果をもとに、0.0、12.5、36.5、54.7、60.5、80.0 wt%の6パターンとした。試験体は、樹脂2種×砂混合比6パターン×3または4個の計36点を作製した(第11表)。

試験体の作製方法としては、まずミキサー(シンキー社製 AR-250)を用いて樹脂と混合砂を攪拌・脱泡した。条件は、攪拌5分、脱泡4分を基本とし、砂と樹脂の状態によって適宜変更した。次に、同ミキサーで調整した樹脂を硬化した。硬化方法は、混合砂の粘性の高い配合率が高い樹脂(アラルダイト：54.7、60.5、80.0 wt%、ハイボン：80.0 wt%)については静置硬化にて実施した。静置硬化サンプルについてはアラルダイト54.7、80.0 wt%の試作品を作り割ることで、内部に砂の偏りや気泡が

第11表 接着剤と砂の混合率

| 砂配合率<br>(wt%) | ハイボン(主剤：硬化剤=2：1) |         |       | アラルダイト(主剤：硬化剤=5：4) |         |       |
|---------------|------------------|---------|-------|--------------------|---------|-------|
|               | 主剤 (g)           | 硬化剤 (g) | 砂 (g) | 主剤 (g)             | 硬化剤 (g) | 砂 (g) |
| 0.0           | 10               | 5       | 0     | 10                 | 8       | 0     |
| 12.5          | 11.67            | 5.83    | 2.5   | 9.72               | 7.78    | 2.5   |
| 36.5          | 8.47             | 4.23    | 7.3   | 7.06               | 5.64    | 7.3   |
| 54.7          | 6.03             | 3.02    | 10.95 | 5.03               | 4.02    | 10.95 |
| 60.5          | 5.27             | 2.63    | 12.1  | 4.39               | 3.51    | 12.1  |
| 80.0          | 2.66             | 1.33    | 15.96 | 2.22               | 1.78    | 16    |



第61図 試験体の作製方法

脱気

振とう

存在しないことを簡易的に確認した。その他の粘性の低いサンプルについては静置硬化では混合砂の沈降の心配があるため、孔をあけたポリ容器の球体に試験液を充填させ、内部の空気を真空ポンプで減圧にすることで取り除いた。気泡を抜いた後カーボンテープで穴を塞ぎ全体をビニールテープで覆い、混合砂の偏りが出来ないように振とう機で5時間以上回転させながら硬化した(第61図)。

硬化体については、容器から取り出した後、ウォータージェットで粗く削り出した後、手作業で25 mm×25 mm×25 mmの立方体とした(第62図)。

| 砂配合率<br>(wt%) | 接着剤                                                                                 |                                                                                      |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|               | ハイボン                                                                                | アラルダイト                                                                               |
| 0.0           |    |    |
| 12.5          |   |   |
| 36.5          |  |  |
| 54.7          |  |  |
| 60.5          |  |  |
| 80.0          |  |  |

第62図 試験体一式(耐久性試験用)



### (3) 試験体の作製(接着力試験用)

「JIS K6852 接着材の圧縮せん断接着強さ試験方法」に基づき、 $(25.0 \pm 0.5) \text{ mm} \times (30.0 \pm 1.0) \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ に加工した笏谷石を用いた。加工後の石材は濡れていたため、重量変化がなくなるまで約3日間デシケーター内に保管した(第63図)。

(2)と同様に接着力試験用試験体の樹脂はアラルダイトとハイボンとし、混合砂の配合率は0.0、12.5、36.5、54.7、60.5、80.0 wt%の6パターンとした。試験体は、樹脂2種×砂混合率6パターン×3個の計36点を作製した。

試験体の接着方法は、まずミキサー(シンキー社製 AR-250)を用いて樹脂と混合砂を攪拌・脱泡した。条件は、攪拌5分、脱泡4分を基本とし、混合砂と樹脂の状態によって適宜変更した。次に、石材につ



第63図 デシケーター保管

いてばらつきが確認されたため、30.0 mmからのズレが近いもので組み合わせた。石材を長辺の端から5 mm幅で線を引き、同ミキサーで調整した樹脂を25 mm×25 mmの領域に塗布した(第64図の黒緑部)。塗布後もう一枚の石材を上部から重ね合わせ、手で圧をかけながらはみ出した樹脂を金属製のスパチュラで取り除いた。

試験体の硬化方法は、石材を傷つけないようにシリコンゴムを挟み、その上からクリップで固定した。さらにはみ出した樹脂を除去後、クリップに挟んだ状態で室温にて硬化させた。硬化後、クリップ等の固定治具を外し接着力試験用の試験体とした(第64・65図)。



樹脂塗布後



はみ出した樹脂の除去



硬化状況

第64図 試験体の作製方法

| 砂配合率<br>(wt%) | ハイボン                                                                                |                                                                                     |                                                                                     | アラルダイト                                                                               |                                                                                       |                                                                                       |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|               | n=1                                                                                 | n=2                                                                                 | n=3                                                                                 | n=1                                                                                  | n=2                                                                                   | n=3                                                                                   |
| 0.0           |    |    |    |    |    |    |
| 12.5          |    |    |    |    |    |    |
| 36.5          |    |    |    |    |    |    |
| 54.7          |   |   |   |   |   |   |
| 60.5          |  |  |  |  |  |  |
| 80.0          |  |  |  |  |  |  |

第65図 試験体一式(接着力試験用)

## 2) 試験方法

### ① 耐久性試験

促進耐候性試験は、福井県工業技術センターに機器の使用を依頼して職員が実施し、続くX線透過撮影、FT-IR分析は奈良文化財研究所の協力を得て職員が実施した。

促進耐候性試験では、平成26年度実施時と同様にサンシャインウェザーメーター(スガ試験機社製 WEL-300-DC)を用いた。曝露時間は平成26年度実施時の2倍の600時間とし、温度等の条件は「促進暴露試験ハンドブック(財団法人 日本ウエザリングテストセンター発刊)」を参考に、ブラックパネル温度 63℃、湿度 $50 \pm 5\%$  RH、水分負荷は120分サイクルで102分間照射、18分間照射・純粋噴霧とした。

X線透過撮影では、平成27年度実施時と同じく、マイクロフォーカスX線拡大撮像システム(富士フイルム社製  $\mu$ FX-1000)と、イメージングアナライザー(富士フイルム社製 BAS-5000)を用いた。イメージングプレートにはBAS-2025を用い、撮影条件は、促進耐候性試験の前後でいずれも60 kV・60  $\mu$ A・60 sec・1倍として実施した。FT-IR分析はKBr錠剤法により、BRUKET社製 ALPHA-Pを用いた。条件は分解能 4  $\text{cm}^{-1}$ 、スキャン回数64 scansに設定した。

### ② 接着力試験

試験方法は圧縮せん断試験とし、奈良文化財研究所の協力を得て職員が実施した。機械は強度試験機(島津製作所社製 オートグラフAG-100kNXplus)を用いた。試験機の設定条件は「JIS K6852 接着剤の圧縮せん断接着強さ試験方法」に則り、クロスヘッドの移動速度を 2 mm/minとした。

## 3) 結果と考察

### ① 耐久性試験

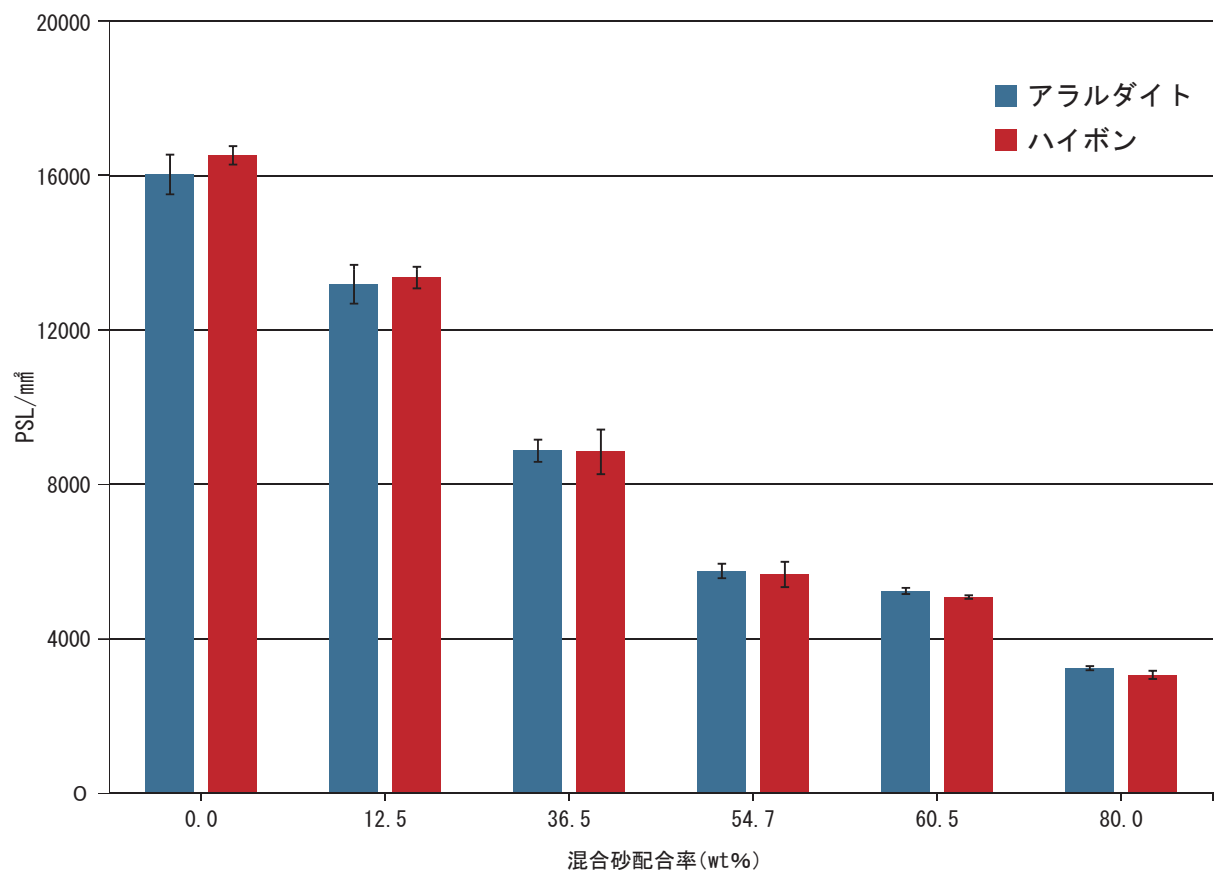
X線透過撮影の結果、第66図のとおり、いずれの試験体も促進耐候性試験後のPSL値が促進耐候性試験前に比べて減少した。以上のことから、混合砂の配合率が高いほど、促進耐候性試験前後の数値変化が小さく、接着剤の保護効果が高まると考えられた。

つぎにFT-IR分析の結果からは、劣化しているのであれば最も変化が生じると推定できる混合砂 0.0 wt%の試験体であっても、促進耐候性試験の前後で変化が見られず(第68図・第69図)、すべての試験体について劣化していないと判断された。促進耐候性試験の600時間の負荷は屋外曝露における4年に相当し、4年程度の負荷では今回使用のエポキシ樹脂が劣化しないと考えられた。また、昭和44年度に施工されたエポキシ樹脂の劣化が表面の1 mm内外におさまっていた分析結果も加味すると、樹脂自体の強度ならびに耐久性は十分にあると判断された。よって、今後の現地施工の手法を決定する上では、石製遺構に影響を与えない接着剤の強度を検討する、接着力試験を優先して行う方針とした。

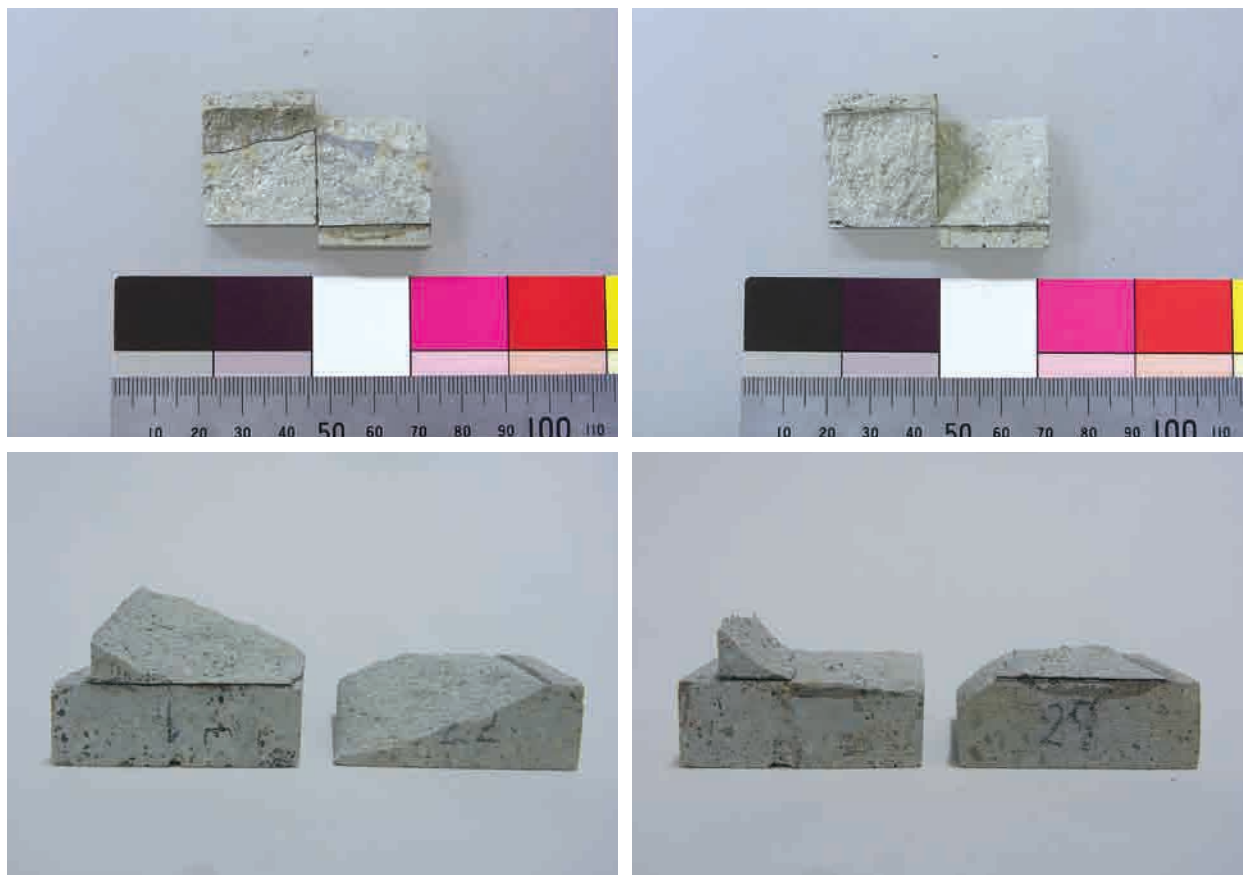
### ② 接着力試験

圧縮せん断試験の結果、全ての試験体において、接着箇所ではなく笏谷石側が破断する結果となった(第67図)。施工性が確保できる混合砂の最大配合量である80.0 wt%の試験体であっても石側が破断したことから、笏谷石の強度に対してエポキシ樹脂は強すぎるということが明らかになった。当県では笏谷石を加工した石造文化財が多数存在し、今後の修理ではエポキシ樹脂の使用に慎重を期する必要があると言える。本遺跡の石製遺構の石材のうち、強度が最も弱い岩種である笏谷石を試験体に用いたが、大多数の石製遺構の岩種が安山岩・凝灰岩であること、また、昭和44年度のエポキシ樹脂の施工実績も加味し、次年度の接着力試験においては接着剤の強度を純粋に測定できるよう、鋼材を用いた試験体を作製する方針とした。

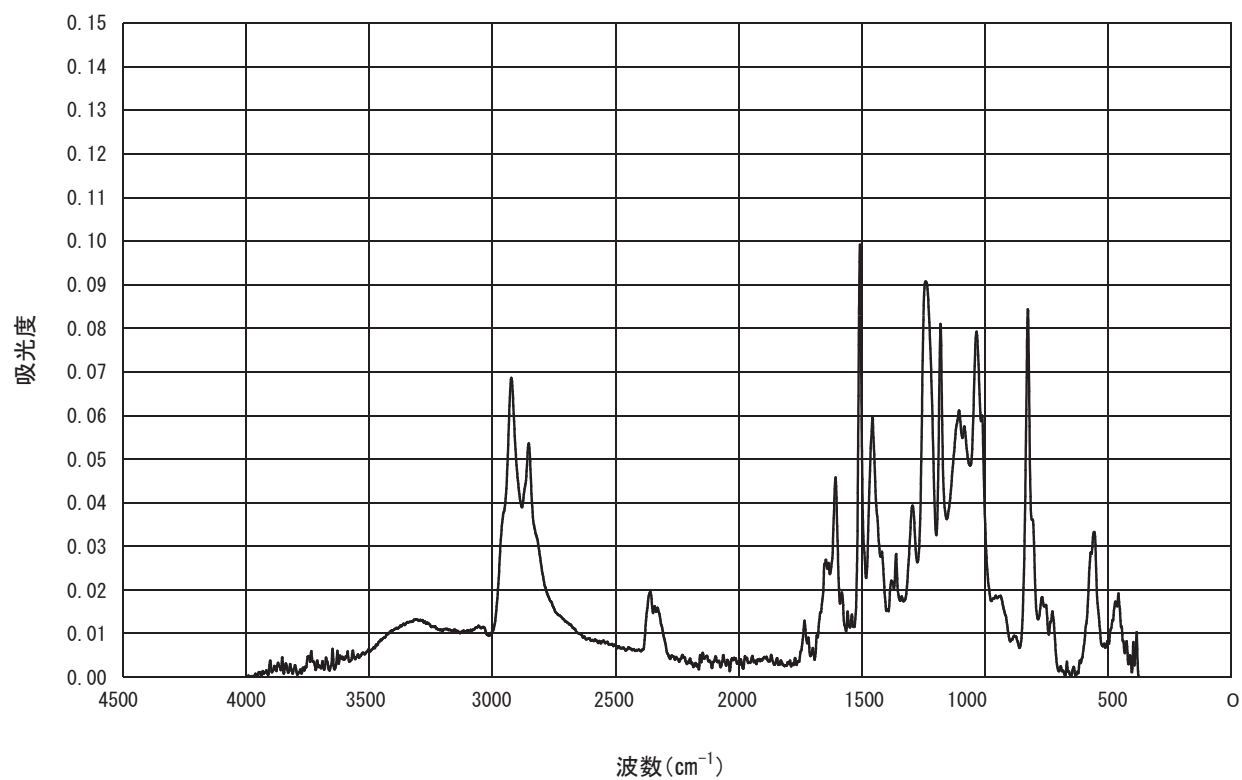




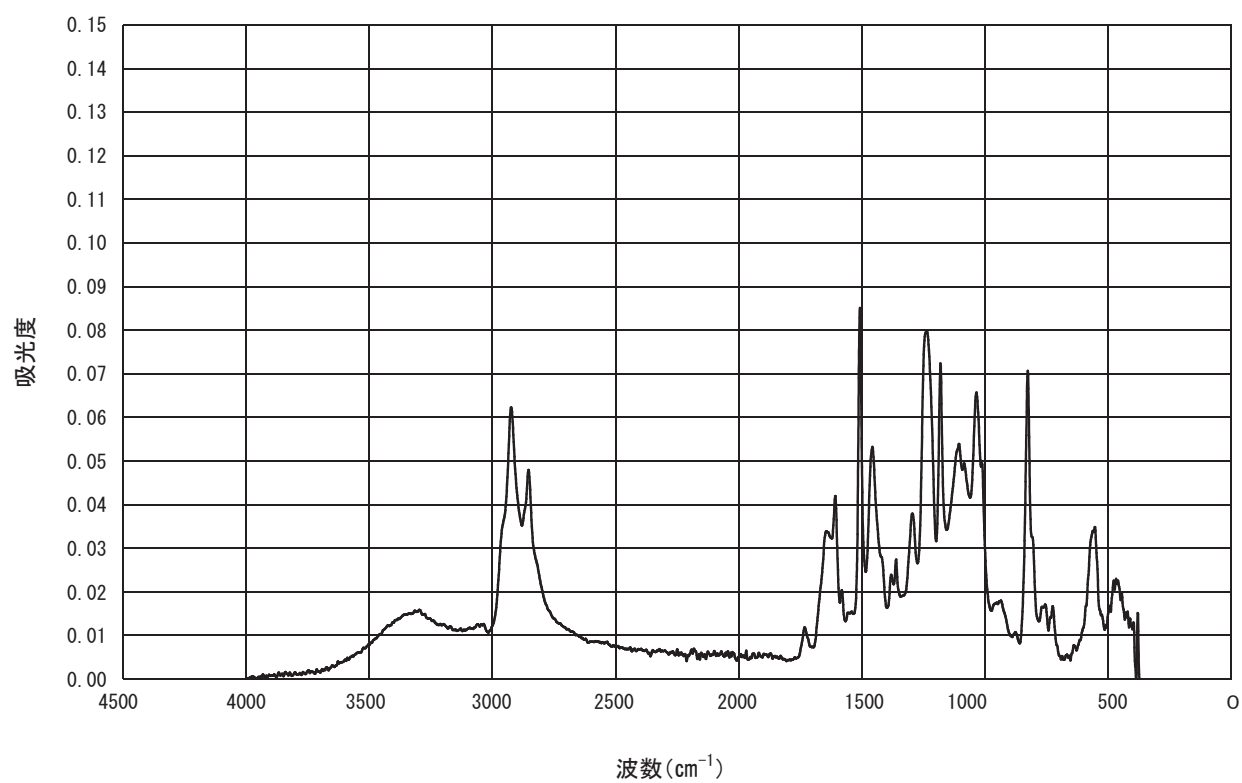
第66図 PSL値の比較 (mm³・平均値別)



第67図 圧縮せん断試験後の試験体



第68図 FT-IR分析結果(促進耐候性試験前・アラルダイトO wt%)



第69図 FT-IR分析結果(促進耐候性試験後・アラルダイトO wt%)

#### 9-2-4 方法と結果(平成29年度)

平成29年度は、前年度の結果を踏まえて接着力試験を中心に実施し、今後の現地施工における接着手法の決定を目指した。接着力試験においては、新基準量とした54.7 wt%の試験体を先行的に作製し、圧縮せん断試験を実施したうえで、残りの試験体作製を進める方針とした。

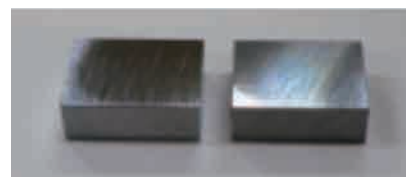
##### 1) 試験体作製

###### (1) 砂の粒度調整

試験体に使用する混合砂は平成27、28年度と同様の手法で粒度調整を実施した。

###### (2) 試験体の作製 (接着力試験用)

鋼材SS400の金属片を「JIS K6852 接着材の圧縮せん断接着強さ試験方法」に基づき、 $(24.8 \pm 0.1) \text{ mm} \times 5 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ に加工した。なお、表面に関して鏡面加工は実施しなかった(第70図)。



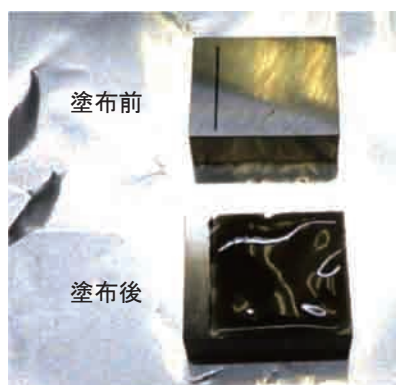
第70図 金属片の外観

樹脂は平成28年度と同様にアラルダイトとハイボンとし、混合砂の配合率も平成28年度同様に0.0、12.5、36.5、54.7、60.5、

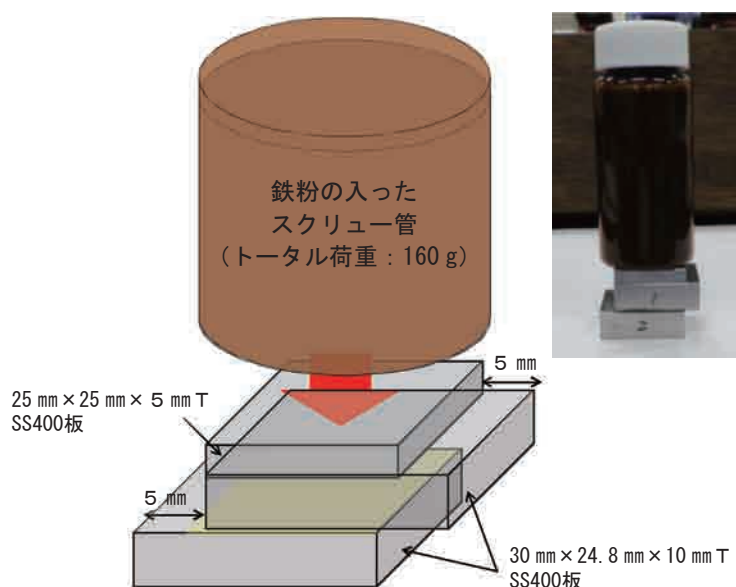
80.0 wt%の6パターンとした。試験体は、樹脂2種×砂混合率6パターン×3個の計36点を作製した。

試験体の接着方法としては、まずミキサー(シンキー社製 AR-250)を用いて樹脂と砂を攪拌・脱泡した。条件は、攪拌5分、脱泡4分を基本とし、砂と樹脂の状態によって適宜変更した。次に、金属片に5 mm幅で線を引き、同ミキサーで調整した樹脂を25 mm×25 mmの領域に塗布した(黒緑部)。塗布後、もう一枚の金属片を上部から重ね合わせ、手で圧をかけながらはみ出した樹脂を金属製のスパチュラで取り除いた。

試験体の硬化方法は、試験体毎のばらつきをなくす目的で、接着した金属片の接合面上部に押さえ板(材質:SS400、サイズ:25 mm×25 mm×5 mm T、重量:25 g)を置き、その上に鉄粉が入ったスクリー管(トータル荷重160 g)を載せ25℃にて24時間静置した。静置後、さらにはみ出している接着剤を除去し、圧縮せん断試験用試験体とした(第71・72図)。なお、各試験体については測長および測量をし、使用した樹脂量を確認した。



第71図 試験体の作製方法





| 砂配合比<br>(wt%) | ハイボン                                                                                |                                                                                     |                                                                                     | アラルダイト                                                                               |                                                                                       |                                                                                       |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|               | n=1                                                                                 | n=2                                                                                 | n=3                                                                                 | n=1                                                                                  | n=2                                                                                   | n=3                                                                                   |
| 0.00          |    |    |    |    |    |    |
| 12.50         |    |    |    |    |    |    |
| 36.50         |    |    |    |    |    |    |
| 54.75         |   |   |   |   |   |   |
| 60.50         |  |  |  |  |  |  |
| 80.00         |  |  |  |  |  |  |

第72図 試験体一式

## 2) 試験方法

### ① 接着力試験

平成28年度と同様に、奈良文化財研究所の協力を得て圧縮せん断試験を実施した。試験機ならびにその設定条件も平成28年度の使用機械・方法に準じた。

### ② 曝露試験

これまでの接着剤試験は人工的な屋外環境下において促進耐候性試験を実施し、接着剤の耐久性を検討してきたが、遺跡内の実際の環境下における試験の必要性が以前より劣化対応WGにて指摘されていた。そのため、遺跡内に曝露試験台を設置し、接着剤の強度を確認する曝露試験を実施した。曝露試験台は「JIS K5600 塗料一般試験方法」を基本としつつ、屋外曝露後の化学分析を考慮し、JIS規格よりも厚い試験体をのせることも可能な曝露台の構造とした。試験体には凝灰岩および緑色凝灰岩(笏谷石)を用い、縦50 mm、横50 mm、厚さ10 mmの直方体に加工し、50 mm×10 mmの面を樹脂等で接合した。

## 3) 結果と考察

### ① 接着力試験

第77図のとおり、混合砂0.0 wt% (樹脂のみ)の場合には、ハイボンよりもアラルダイトの方が接着力が高く、混合砂12.5 wt%についても同様の傾向が見られた。ただ、一方で数値のばらつきが多く認められたため、混合砂60.5 wt%と80.0 wt%の試験体10点を新たに作製し、追加の実験を行った(第76図)。その結果、ハイボンの混合砂80.0 wt%が最も低い接着力を示すことが分かった。

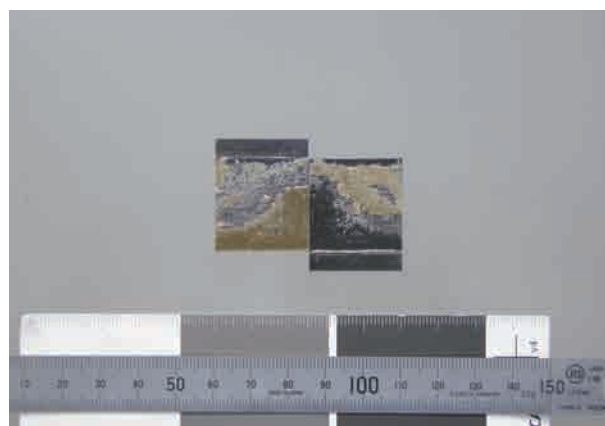
以上のことから、昭和44年度の施工条件よりも更に慎重を期して、かつ施工性が担保される混合砂の最大量である80.0 wt%を混合した上で、エポキシ樹脂(日立化成社製 Hibon3003GL)を使用し、今後の石製遺構の接着を行う方針とした。

### ② 曝露試験

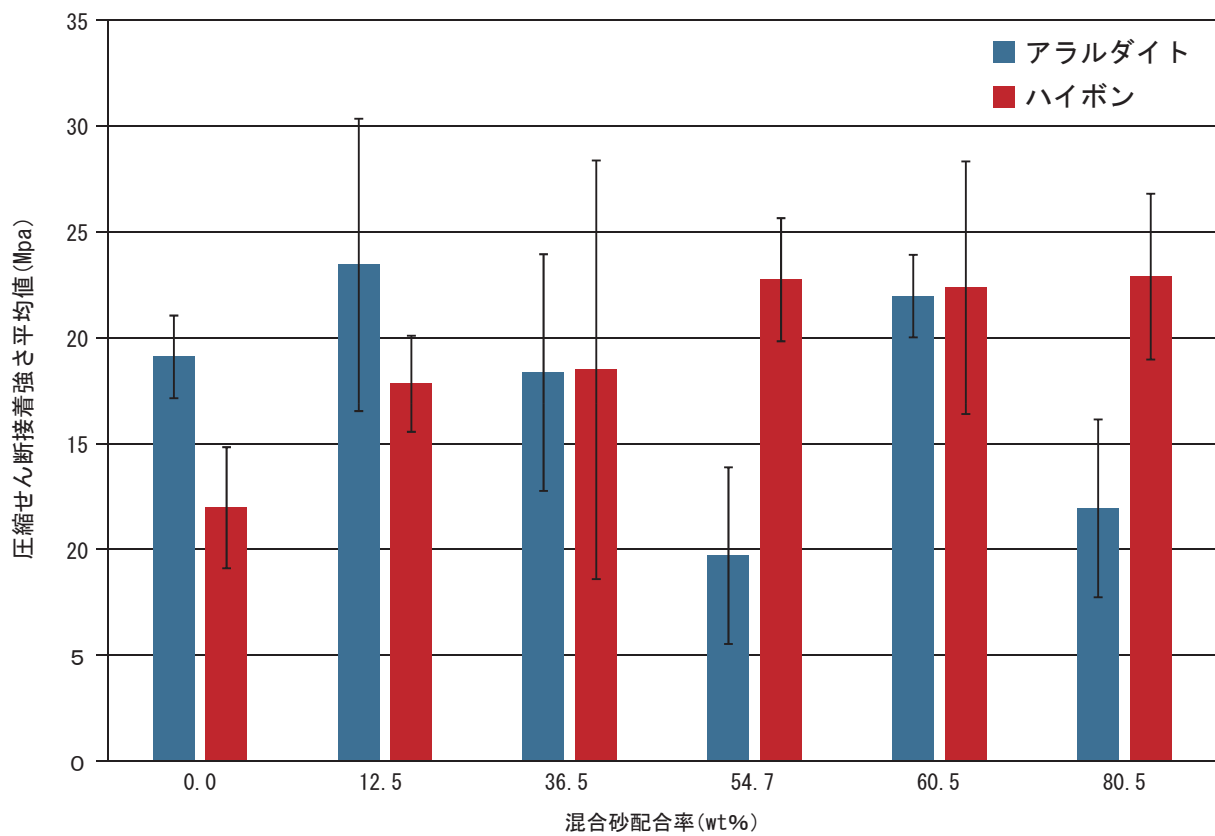
試験の結果、漆喰で接合した試験体は、作製時に接着部が剥がれてしまい、促進耐候性試験と同様に石材の接着剤としての使用は難しいことを確認した。そのほか、アクリル樹脂である「CAT-18(砂混合なし)」と、本施工で使用する予定のエポキシ樹脂「HiBon3003GL(混合砂80.0 wt%)」で接合した試験体については、現時点では特に変化が認められなかった。現在の劣化対応事業を第1期とするならば、数十年後には第2期劣化対応事業が想定されることから、将来的な劣化対応に向け、曝露試験は平成30年度以降も継続することとした。



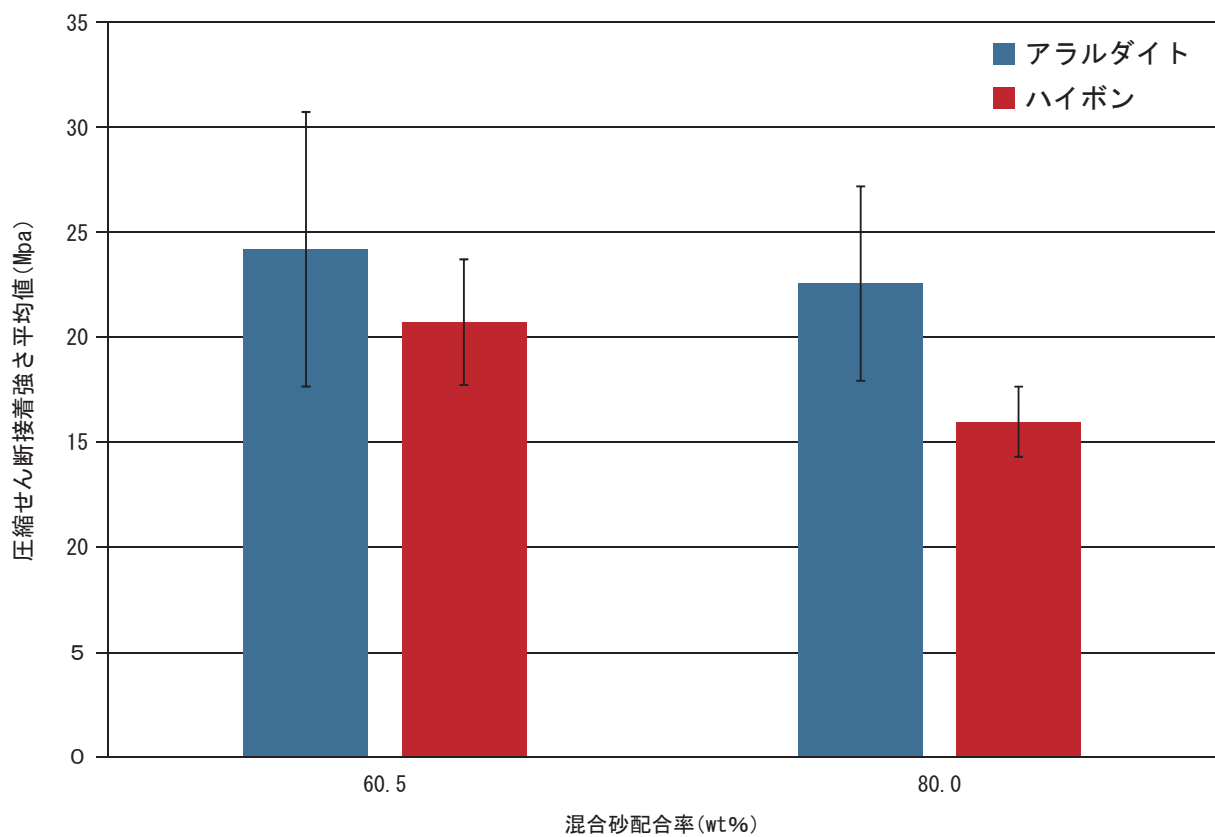
第73図 圧縮せん断試験後の試験体



第74図 圧縮せん断試験後の試験体— 2



第75図 圧縮せん断試験結果



第76図 圧縮せん断試験結果(追加実験分)



## 10 本施工(石製遺構の接着)

### 10-1 目的と対象

緊急接着は、剥離片の大きさを強風等で紛失の恐れのあるような小さなものに限定し、さらに重力がかかるような側面の剥離片は対象とせず、石上面の剥離片に限って実施していた。一方、本施工は基本的にはすべての石製遺構について、p.14(第2表)のタイプ1(完全に剥離しているが、剥離片を元の位置に戻せるもの)・タイプ2(まだ完全に剥離していないが、石の内部に大きな隙間ができているもの)の劣化を施工対象とする。ただし、特別名勝指定範囲については、特別名勝の保存活用計画策定が遺跡の管理者である福井市によって平成29年度から開始されており、計画策定までは対象から外す方針を基本とする。ただし、遺構の劣化状況によっては計画策定期間中であっても個別に対応を検討する。また、破断面が大きい割れなど、接着剤のみでは対応が困難な劣化についても今後の課題とし、施工対象から外すこととした。

### 10-2 方法

接着剤試験の結果から、接着剤を用いた接着においては、エポキシ樹脂(日立化成社製 HiBon3003GL)に豊浦標準砂を80.0 wt%の割合で混合して施工する。なお、混合する標準砂の粒度調整および粒度分布は、接着剤試験時の条件(p.63・第53・54図)に準じるものとする。また、タイプ1の劣化の場合には体積最大含水率の測定を行い、体積最大含水率10%を基準として薬剤含浸の有無を決定して実施する。薬剤含浸を行う場合は、「Ⅲ-8 緊急接着」(p.57・58)時の施工方法に準じるものとする。

本施工の施工時期は、接着剤の凝固が早い時期(7月~10月)を基本とするが、気候条件などを考慮して適宜対応するものとする。施工前後の状況をデジタル撮影などで記録化し、あわせて硬度試験(エコーチップ試験)により石材本体の劣化状況の測定を行い、遺構劣化台帳を作成する。

実施体制は、福井市が実施する日常管理における見回り、および福井県が実施する遺構劣化調査作業員による遺構劣化台帳の作成において、劣化への対応が必要な石製遺構の選定を行う。なお、それ以後の対応については劣化状況によって臨機応変な対応が必要とされるので、福井市と福井県が協議し、専門家の指導を仰いだうえで、対応手法を決定するものとする。

#### ①劣化対応箇所の早期発見

- ・日常管理における見回り(福井市実施)
- ・遺構劣化調査作業員による遺構劣化台帳の作成(福井県実施)

#### ②対応手法の検討

- ・福井市と福井県で協議(役割分担・対応案)
- ・専門家指導
- ・文化庁協議(現状変更の必要性の有無も確認)

#### ③劣化への対応

- ・劣化状況に応じて適宜対応

第79図 本施工に至る手順基本図

## Ⅳ 西山光照寺跡(名号石碑)

### 1 劣化対応に至る経緯

西山光照寺跡は、戦国期に一乗谷屈指の規模をほこった有力寺院の跡である。平成22・23・25年度における発掘調査により、自然石の巨石に「南無阿弥陀仏」の六字名号が彫られた石碑(以下、名号石碑とする)が検出された。名号石碑は、境内地を上段・下段に区画する石垣に組み込まれ、原位置の状態であることが分かっている。高さは約2.3 m、最大横幅約1.1 m、奥行約1.0 mを測る。岩種は安山岩質の凝灰角礫岩で、発掘調査前には土に埋もれていた「弥陀仏」の三字に、漆膜が残存していることが発掘調査後に明らかになった(第78・79図)。

西山光照寺跡は遺跡導入部に位置することから、遺跡の景観形成上の重要エリアとして、整備手法は基本計画において、露出展示・復元展示を基本とする計画としていたが、特に名号石碑に関しては漆膜の残存から、一乗谷朝倉氏遺跡に関する事業の諮問機関である研究協議会にて、現地保存に関する検討の必要性が指導された。さらに、石垣が後世の改変により裏込め土等が大きく崩れ、不安定な状況にあったこと、そして脆弱な漆膜の剥離を防ぐためにも、早急な対応が必要と考えられた。以上のことから、本事業では、朝倉館跡に関する調査・研究を優先的に行う方針としていたが、西山光照寺跡の整備工事に際し、本事業にて名号石碑の保存についてもあわせて検討を行うこととした。

名号石碑の保存場所および保存対象範囲、保存処置方法について検討を行うにあたり、地衣類および菌類の着生状況に伴う指導を専門家に依頼し、さらに地衣類については、X線回折による解析と顕微鏡観察により、石材本体への影響の検討も行った。そのほかに、蛍光X線装置を用いた名号部の分析調査を実施し、以上の調査結果および個別指導を踏まえ、名号石碑に対して整備工事と保存科学的処置による保護措置を施したので、以下に詳細を述べる。



第78図 名号石碑  
(上：発掘調査前、下：発掘調査完了後)





第79図 名号石碑の漆膜残存位置



## 2 地衣類・菌類調査

### 2-1 地衣類調査(平成26年度)

名号石碑の名号のうち、「南無阿」の三字は、発掘調査前から地上に露出していたため、発掘調査以前から地衣類が着生している状況であった。地衣類は着生した石材に菌糸を貫入させ、また有機酸を出すことにより石材の保存に悪影響を与えるとする否定的な評価がある一方で、風雨・紫外線から保護するという肯定的な評価もあり、地衣類の石造文化財への影響は現時点で明らかになっていない。そのため、まずは名号石碑に着生している地衣類の種別を明らかにするため、現地指導を国立科学博物館の大村嘉人氏に依頼した。

大村氏の現地調査の結果、職員が目視で分けた8種(第81図の①～⑧)の地衣類が6種に分類された。調査時の天候不良と名号石碑全面がカビに覆われている状況下での調査において、「①クボミゴケ属の一種」と「⑥・⑦ヘリトリゴケ」が優占している状況が確認された。そのほか、②は判別不能、「④チャシブゴケ」は2種が混ざっているようにも見られるが、変色しているだけで同種の可能性もある、との見解が示された。成長の早いカビやバクテリアが隙間に入って増えたときには石材本体の保存に悪影響を及ぼすことが想定されるが、名号石碑に現時点で着生している地衣類は石材に著しく菌糸を貫入させる「岩内生地衣類」ではないことが確認された。また、今後の影響を正確には想定しがたいが、一般的に酸で石材に影響を及ぼすのは数百年単位であること、そして地衣類は現時点では菌類の着生により弱る一方なので、名号石碑への影響は少ないと推定された。以上の調査結果から、名号石碑の石材本体の保存への地衣類による影響は微々たるものであり、仮に現在着生している地衣類を取り除いたとしても、一乗谷の環境においては大気中に存在する地衣類が新たに着生することも想定され、今後の経過観察にて新たに石材保存等への影響が確認されない限りは、地衣類を無理に取り外さないことが適当と判断した。

### 2-2 菌類調査(平成26年度)

漆膜および石碑本体の保護を目的に、風雨対策として遮光シートをかけた結果、カビの発生が確認された。そのため、専門家への現地調査・指導を依頼する方針となり、東京文化財研究所の佐藤嘉則氏に依頼した。佐藤氏の現地調査の結果、名号石碑に着生している菌類はアオカビ(*Penicillium*属)の一種と推定され、石への影響はわずかである旨の見解が示された。なお、アルコール消毒はかえって菌類の栄養になる可能性もあるため殺菌は不要であり、遮光シートを除けば乾燥によって死滅すると想定された。その後、遮光シートを除去したところ、菌類の着生は見られなくなった。

### 2-3 X線回折法・顕微鏡観察(平成28・29年度)

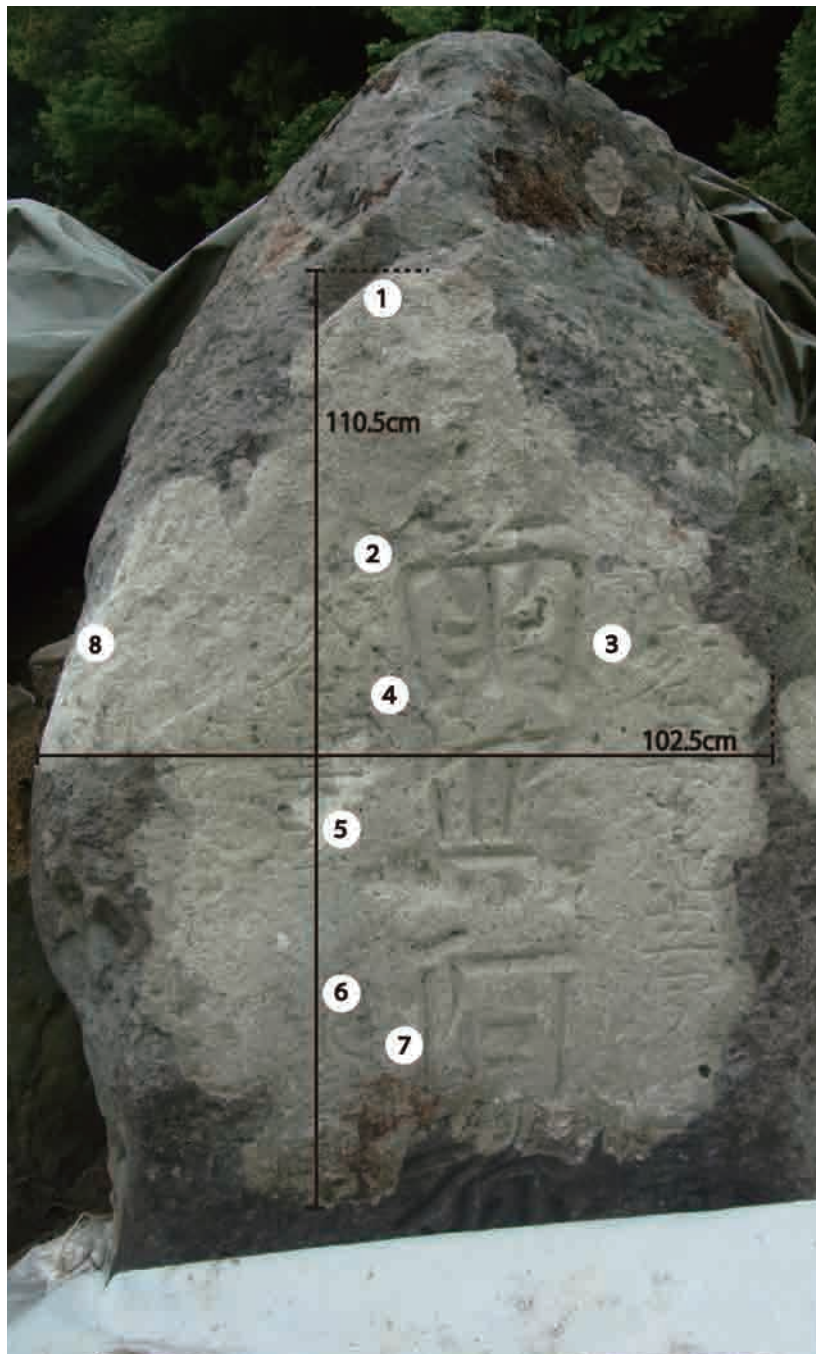
地衣類調査後、経過観察時に地衣類と想定される剥離片が確認された。目視にて観察したところ、名号石碑の表層の一部を破壊して剥離しているようにも見られたため、奈良文化財研究所の協力を得て、X線回折装置による解析(以下、XRD解析とする)実施した(第82～86図・第12表)。解析結果から、岩石側の面の分析点(第83図No.5～No.8)においてSiO<sub>2</sub>が検出され、石碑の一部を破壊している可能性を確認した。さらに剥離片の光学顕微鏡(Olympus社製 BX51)および実体顕微鏡(Nikon社製 SMZ800)を用いた顕微鏡観察を業者委託した結果、藻類細胞の層と菌類の菌糸で構成される層が観察され、剥離片が地衣類であることを確認した。以上のことから、今後、石碑の保存方法は再検討が必要と考えており、方針等については「V. 結語」の今後の課題で述べる。



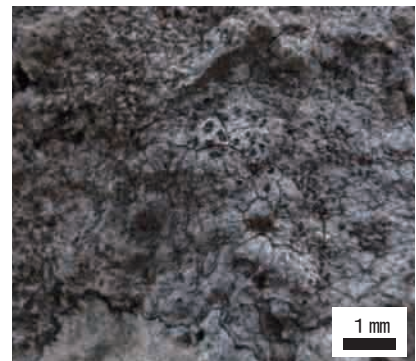


第80図 名号石碑着生の地衣類・菌類





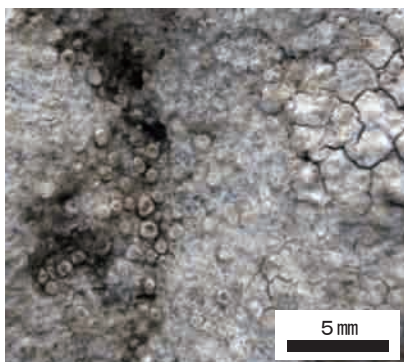
①クボミゴケ属の一種  
*Aspicilia sp.1*



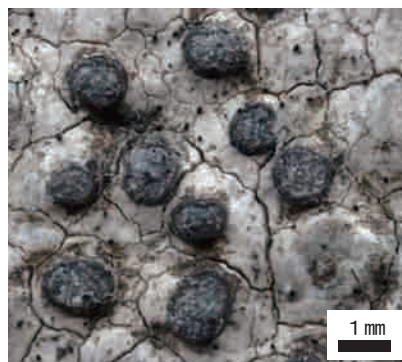
②クチナワゴケ属の一種  
*Enterographa sp.*



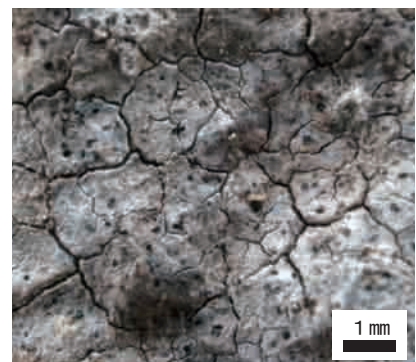
④チャシブゴケ属の一種  
*Lecanora sp.*



⑤イワニクイボゴケ  
*Ochrolechia parellula*



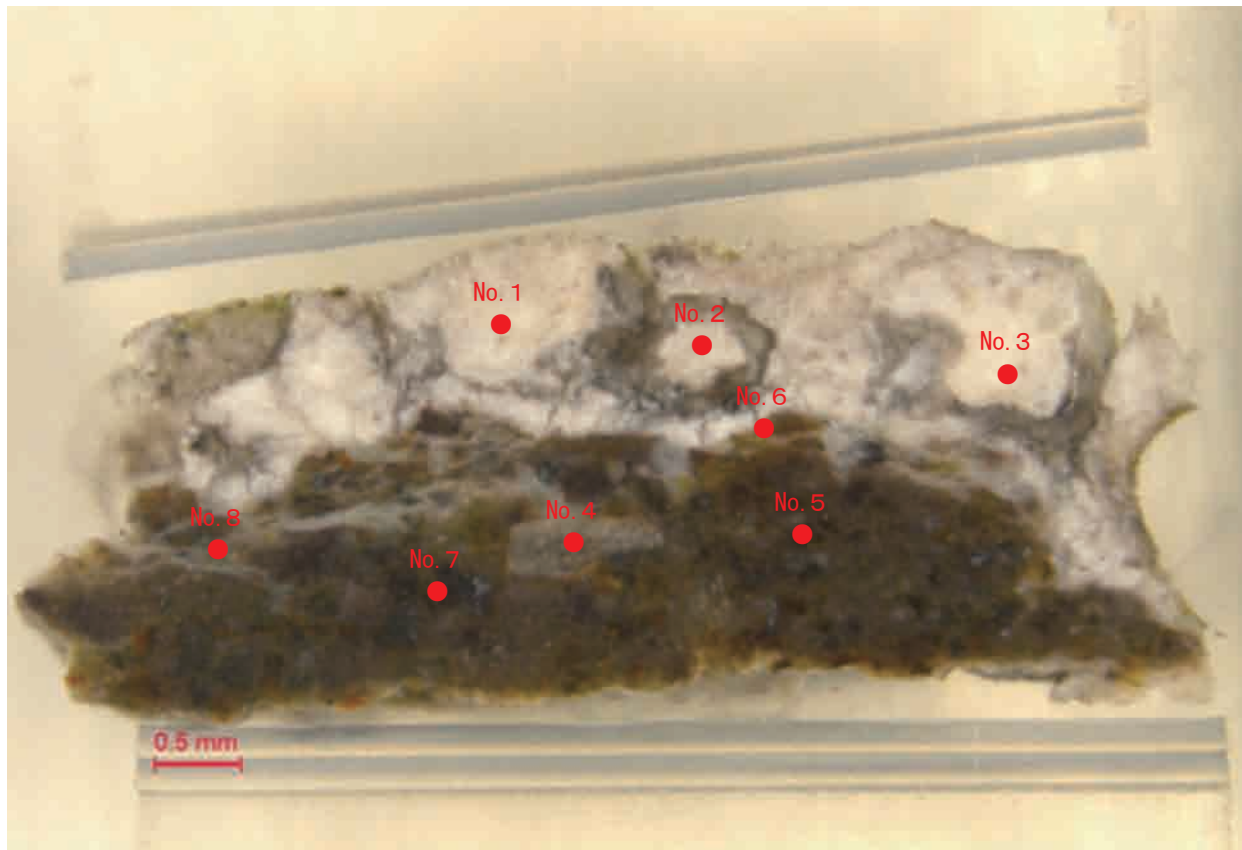
⑥・⑦ヘリトリゴケ  
*Porpidia albocaerulescens*



⑧クボミゴケ属の一種  
*Aspicilia sp.2*

第81図 地衣類調査結果(①～⑧の写真は国立科学博物館提供)





第82図 XRD解析位置(奈良文化財研究所提供)

第12表 XRD解析結果

| 測定箇所  | XRD検出鉱物 |     |     |                           |
|-------|---------|-----|-----|---------------------------|
|       | Whe     | Wed | Qtz | 粘土鉱物                      |
| No. 1 | ●       | ●   | ×   | ×                         |
| No. 2 | ×       | ●   | ×   | Kaolinite                 |
| No. 3 | ●       | ●   | ×   | ×                         |
| No. 4 | ×       | ×   | ●   | Illite,Muscovite          |
| No. 5 | ×       | ×   | ●   | Muscovite                 |
| No. 6 | ×       | ●   | ●   | Muscovite                 |
| No. 7 | ×       | ×   | ●   | Montmorillonite,Muscovite |
| No. 8 | ×       | ×   | ●   | Montmorillonite           |

Whe: (Whewellite)  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$   
 Wed: (Weddellite)  $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   
 Qtz: (Quartz)  $\text{SiO}_2$

### 3 蛍光X線分析

#### 3-1 目的

本遺跡では、石造物に漆膜の残存が見られる場合、金箔を貼るための接着剤として用いられていることが多く、名号石碑の漆膜も同様の用途が推定された。しかし、目視では金箔の残存は確認できなかったことから、奈良文化財研究所の協力により、蛍光X線分析を実施した。

#### 3-2 方法と結果

名号石碑は六字名号のうち、「南無阿」の箇所が発掘調査前から露出しており、地衣類が着生していた。一方、発掘調査後に露わになった「弥陀仏」の箇所には部分的に漆膜の残存が視認できたが、蓮華座には漆膜などの付着は視認できなかった。

機器はポータブル型の蛍光X線装置(Niton社製XL3t)を使用し、①「弥陀仏」の箇所に金箔が認められないか、②蓮華座の箇所に朱などの漆膜以外の付着が認められないか、③「南無阿」の箇所において地衣類の下に漆膜や金箔の痕跡を探れないか、以上3点について確認を行った。

計測・分析は117測点において実施したが、金箔の残存を示すデータは得られなかった。



第83図 計測状況



第84図 計測位置

【赤字】  
平成27年3月26日測定  
【青字】  
平成27年6月10日測定



## 4 保存処置

### 4-1 基本方針

保存処置を実施するにあたり、地衣類等の調査や蛍光X線分析の結果を踏まえ、第13表のとおり、保存・活用方針を整理した。以下に概要を抜粋すると、まず保存場所については、現段階では遺構の一部としての価値を重視し、「原位置での屋外保存」が適当と判断した。ただし、今後の劣化状況などの経過観察結果によっては、屋外保存の継続を再検討する方針とした。次に彫刻部の保存対象範囲については、「漆膜の残存が確かな名号露出部のみを保存処置」することが適当と考えられた。なお、地衣被覆部については、地衣類が名号石碑の保存に影響があると判断されるまで、現状を維持することとした。最後に保存処置方法として、石碑全体には環境整備工事による工学的処置を施すこととし、彫刻部については緊急的措置を前提とすれば、最も簡易な方法である「樹脂による剥落止め」が適当と判断した。

将来の調査において地衣被覆部において金箔や漆膜の残存が確認された場合には、説明板上に金箔等の残存を復元図等で示す方針とし、あわせて地衣類を除去後、金箔を名号部全体(名号露出部および地衣被覆部)に復元するかを検討することとなる。ただし、地衣類の除去および金箔の復元は、名号石碑の石材本体や漆膜の保存に影響を与えないことが前提条件となる。また、彫刻部の保存科学的処置の手法については、将来的には「樹脂+漆による剥落止め」の実施も検討するため、経過観察を継続することとした。

以上の方針に基づき、まず、名号石碑全体の保存を図ることを目的に、「平成26年度 第2期 西山光照寺跡整備工事」を実施した。つぎに緊急的措置として保存科学的処置を施すことを目的に、「平成26年度 特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡 名号石碑漆塗部の剥落止め業務」を業者委託した。施工内容等の詳細は次のとおりである。

### 4-2 整備工事(平成26年度)

名号石碑が組み込まれた石垣は、戦国期の一乗谷において最大級の規模を誇った西山光照寺の権威を伝える遺構として戦国期の景観を伝えるため、復元展示する方針としていた。この石垣は、西山光照寺跡の上段平坦面と下段平坦面を区画しており、復元高は約2.5 mとなる。上段平坦面への来訪者の安全性を考慮し、石垣の天端に沿ってチゴザサを植栽する計画であった。そのため、石垣遺構の裏込めは天端から20 cm下まで栗石(φ150 mm内外)を詰め、その上部には植栽のための客土を20 cm盛土する方針としていた。しかし、山からの雨水等の排水を名号石碑が吸水することを防ぐため、名号石碑の背面については天端まで裏込めの栗石で詰める方針に変更した。また、名号石碑が据えられている下段平坦面については、排水性の高い舗装材を使用する方針とした。具体的には、舗装の路床を碎石(100 mm厚)とすることで排水性の向上を図り、表面は来訪者の歩きやすさや景観に配慮して山土(100 mm厚)で仕上げる計画であり、平成26年度に路床まで施工した(第85図)。なお、水勾配は、西山光照寺跡外縁の既存排水路が石垣に沿っていることから、石垣から既存排水路に向かってつけた。

### 4-3 保存科学的処置(平成26年度)

対象は、名号石碑の名号露出部に残存する黒漆であり、文字に漆が塗られていたことを証明する資料の保護が目的となる。本処置は応急処置の意味合いを持つことから、近い将来、本処置の樹脂を解くことが前提となり、そのため可逆性を担保し、かつ剥落止めの対象である脆弱な漆膜に影響が出ないような材料を使うことが求められた。そのため、被膜を形成しやすく、かつアルコールで解くことが可能な



特徴をもつ、ポリビニルブチラル樹脂(吉田生物研究所社製 アルタインG) 3 %アルコール溶液を使用した。この樹脂を3 %程度に薄め、複数回塗り重ねて剥落止め作業が実施された。

処置から約6か月が経過したところ、漆膜の一部について、石碑本体から剥離しかけている状況が経過観察により確認された。原因としては季節が変わり、秋～春の間はほぼ届かなかった太陽光を石碑が直接受けることにより、石碑表面の乾燥が進んだことなどが可能性として挙げられる。そのため、剥離しかけている該当箇所について、委託業務の受注業者により、作業時と同じ材料を用いた処置が施され、その後も職員による経過観察を継続することとした。



第85図 整備工事完了後



第86図 保存科学的処置の様子



第87図 保存科学的処置前後の比較(左：処置前、右：処置後)

第13表 名号石碑の保存処置方針比較

|        | 対象   |             | メリット                                                                               | デメリット                                                                        |
|--------|------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 保存場所   | 原位置  |             | 遺構の一部としての価値が守られる                                                                   | 将来的な劣化が懸念される                                                                 |
|        | 屋 内  |             | 保存環境に比較的優れる                                                                        | 遺構の一部としての価値を失う                                                               |
| 保存対象範囲 | 石碑全体 |             |  | 石碑全体                                                                         |
|        | 彫刻部  | 地衣被覆部       |                                                                                    | 地衣被覆部                                                                        |
|        |      | 名号露出部       |                                                                                    | 名号露出部                                                                        |
|        |      | 蓮華部         |                                                                                    | 蓮華部                                                                          |
|        |      |             |                                                                                    |                                                                              |
| 保存処置方法 | 石碑全体 |             | —                                                                                  | —                                                                            |
|        | 彫刻部  | 漆による剥落止め    | 劣化による変質の恐れが低い                                                                      | 現代の漆による処置後、遺構の漆膜を確認することは基本的にはできなくなる                                          |
|        |      | 樹脂による剥落止め   | —                                                                                  | 石材に染み込む可能性があり、また、劣化による変質の影響が想定できない<br>劣化した場合、樹脂を塗り重ねる事により、元の漆膜は目視できなくなる恐れがある |
|        |      | 樹脂+漆による剥落止め | 樹脂上の現代の漆を外せば、劣化していない樹脂を通して遺構の漆膜を確認することができる                                         | 石材に染み込む可能性があり、また、遺構の漆膜を視認できなくなる                                              |

| 備考                                                                | 結論                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 露出展示によってすぐに割れる石質ではないことを確認                                         | <p>現段階では、遺構の一部としての価値を重視し、「原位置での屋外保存」が適当と判断する。</p> <p>ただし、今後の劣化状況などの経過観察により、屋外保存の継続の再検討も行う</p>                                                                                                                                              |
| —                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                            |
| 彫刻部以外は特に加工の痕跡が確認されていない                                            | 保存科学的処置ではなく、環境整備の工事による工学的処置を用いて保存を図る。                                                                                                                                                                                                      |
| 現況では石材本体の保存上、地衣類の影響は認められず、紫外線から石碑を保護している可能性もある<br>(漆膜：不明／金箔：残存なし) | <p>現時点で可能な方法で金箔・漆膜の有無を確認した結果、「漆膜の残存が確かな名号露出部のみ保存科学的処置」を施すことが適当と判断する。</p> <p>地衣被覆部については、地衣類が石材等の保存に影響があると判断されるまで、現状を維持するものとする。なお、今後、金箔や漆膜の存在が確認された場合には、説明板にて、金箔等の存在を復元図等に表示し、名号石碑の石材本体や漆膜の保存に影響を与えないことを確認した上で、地衣類を除去後、金箔を名号全体に復元するか検討する</p> |
| (漆膜：あり／金箔：残存なし)                                                   |                                                                                                                                                                                                                                            |
| (漆膜：残存なし／金箔：残存なし)                                                 |                                                                                                                                                                                                                                            |
| —                                                                 | 山からの雨水を受けるなどして石碑の水分量が上昇しないよう、排水性を高める整備手法が必要。                                                                                                                                                                                               |
| 膨れるように石材と乖離している漆膜には施工しにくいデメリットもあるが、名号石碑においてそのような箇所は確認されていない       | <p>緊急的措置を前提とすれば、最も簡易な方法である「樹脂で剥落止め」を行い、将来的に「樹脂と漆で剥落止め」を実施することも考慮し、経過観察を継続することが適当と判断する。</p>                                                                                                                                                 |
| 塗布範囲が限られているので、石材への影響は低いと想定                                        |                                                                                                                                                                                                                                            |



## 5 三次元レーザー計測

### 5-1 目的と方法

将来的な名号石碑の劣化に備えた、現況の詳細な記録化を目的に実施した。計測は、大手前大学史学研究所の岡本篤志氏に依頼した。本計測では名号石碑の微細形状の記録化を目的としており、当初はレーザー計測による石碑全体の計測を事務局としては想定していたが、名号石碑のような大型の対象物全てをレーザー計測すると、膨大なデータになり処理できない可能性があり、また計測欠損部分も多くなり、現実的ではない旨の指導を同氏より受けた。そのため、SfM(Structure from Motion)写真計測、ハンディー計測、固定型レーザー計測を併用し、細部記録の必要な箇所(名号部)と石碑全体の形状を記録するのに、解像度の異なるデータを取得・合成することにより、大型対象物の効率的な三次元計測が実施された。

計測は平成27年度・平成28年度の2回に分けて実施し、初年度はSfM写真計測(Agisoft社製 photscan Pro、Nikon社製 D500)が行われた。石碑周辺の形状もあわせて計測するために、伸縮ポールを用いた高所撮影と接写撮影が行われ、また、石碑本体の詳細計測のため、マクロレンズを用いた接写詳細撮影もあわせて実施された。計721枚の画像から三次元データを取得した。

続く平成28年度には、最も詳細な情報を残すことが望ましい名号部の計測に、固定型レーザー計測機(コニカミノルタ社製 Range 7)が用いられ、さらにSfM写真測量データを基準とした、ハンディー計測機(Artéc 3D社製 Artéc EVA)による石碑全体の計測も実施した。いずれも直射日光の下での計測は不向きであるため、テントを設置し、外光が入らない状態で計測を実施した。

本計測では、ハンディー計測とSfM写真計測の計測間隔は近似していたが、形状がシャープなハンディー計測データが優先された。その後、最も詳細な計測データである固定型レーザー計測機のデータを優先した合成・結合が行われたことにより、荒いデータに引っ張られて形状データが損われることが防がれた。また、データの合成にはICP(Iterative Closest Point)アルゴリズムが用いられ、異なる計測データの接合部分に違和感を生じさせない調整が行われた。さらにSfM写真計測により得られたカラーテクスチャー情報の追加により、高品位のカラー情報を載せた三次元データが作成された(岡本・藤田・熊谷, 2017)。

### 5-2 結果と今後の展望

当初目的としていた現況の微細形状の記録化を達成した。将来的には三次元データ同士の比較により、形状変化等の劣化進行の確認が可能となると予想される。

また、高品位のカラー情報を載せた三次元データの作成により、現況の記録化のみならず、展示等をはじめとする公開活用にも資するデータをを得ることができた。今後、遺跡現地のみならず、当館のような展示・公開施設でも名号石碑の遺構としての価値や本事業における三次元計測の有効性などについて紹介していきたい。



第88図 SfM写真計測の様子

#### 参考文献

岡本篤志・藤田若菜・熊谷透(2017)「西山光照寺跡名号石碑の三次元計測」『日本文化財科学会第34回大会研究発表要旨』日本文化財科学会

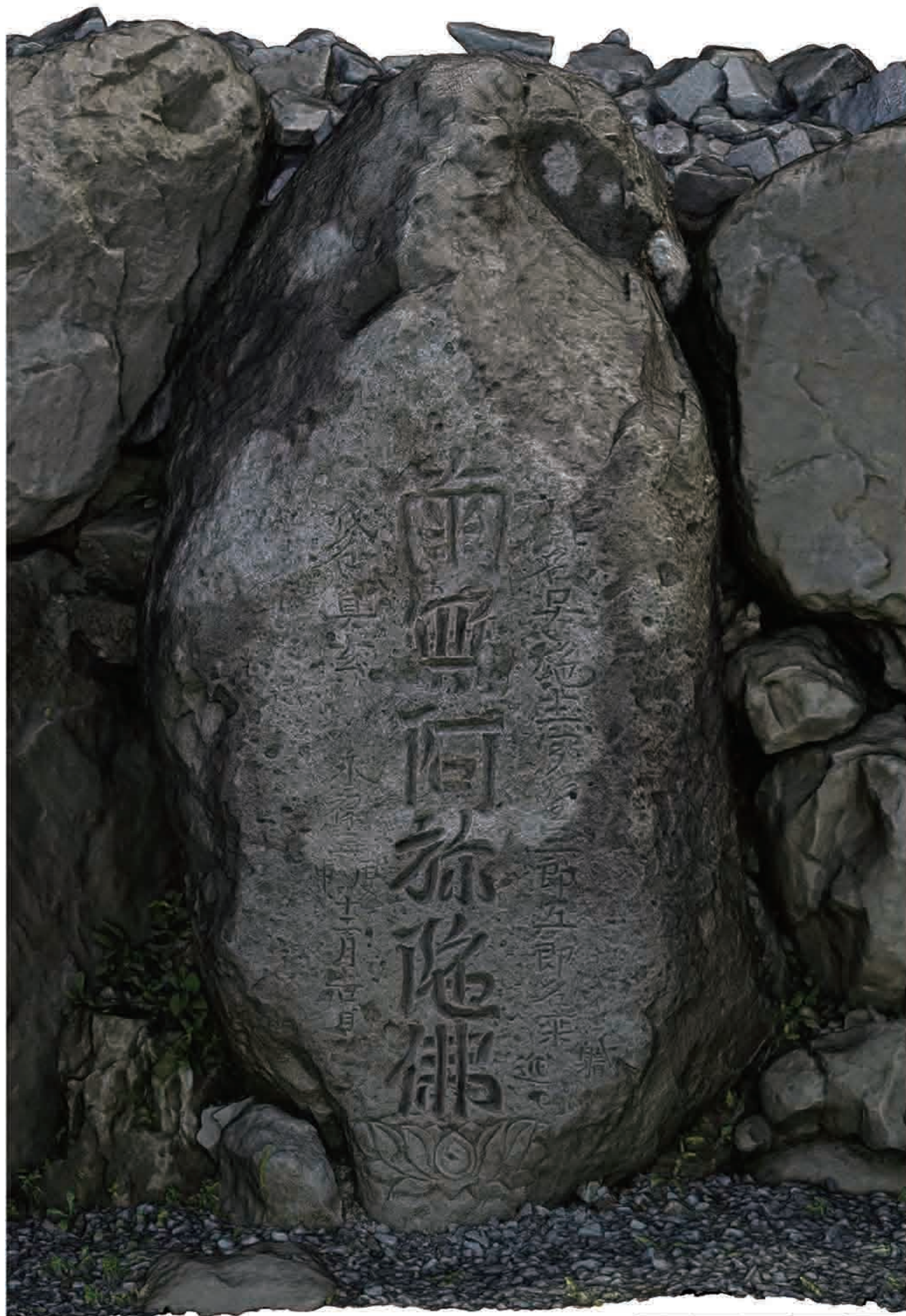


第89図 ハンディー計測の様子



第90図 固定型レーザー計測の様子

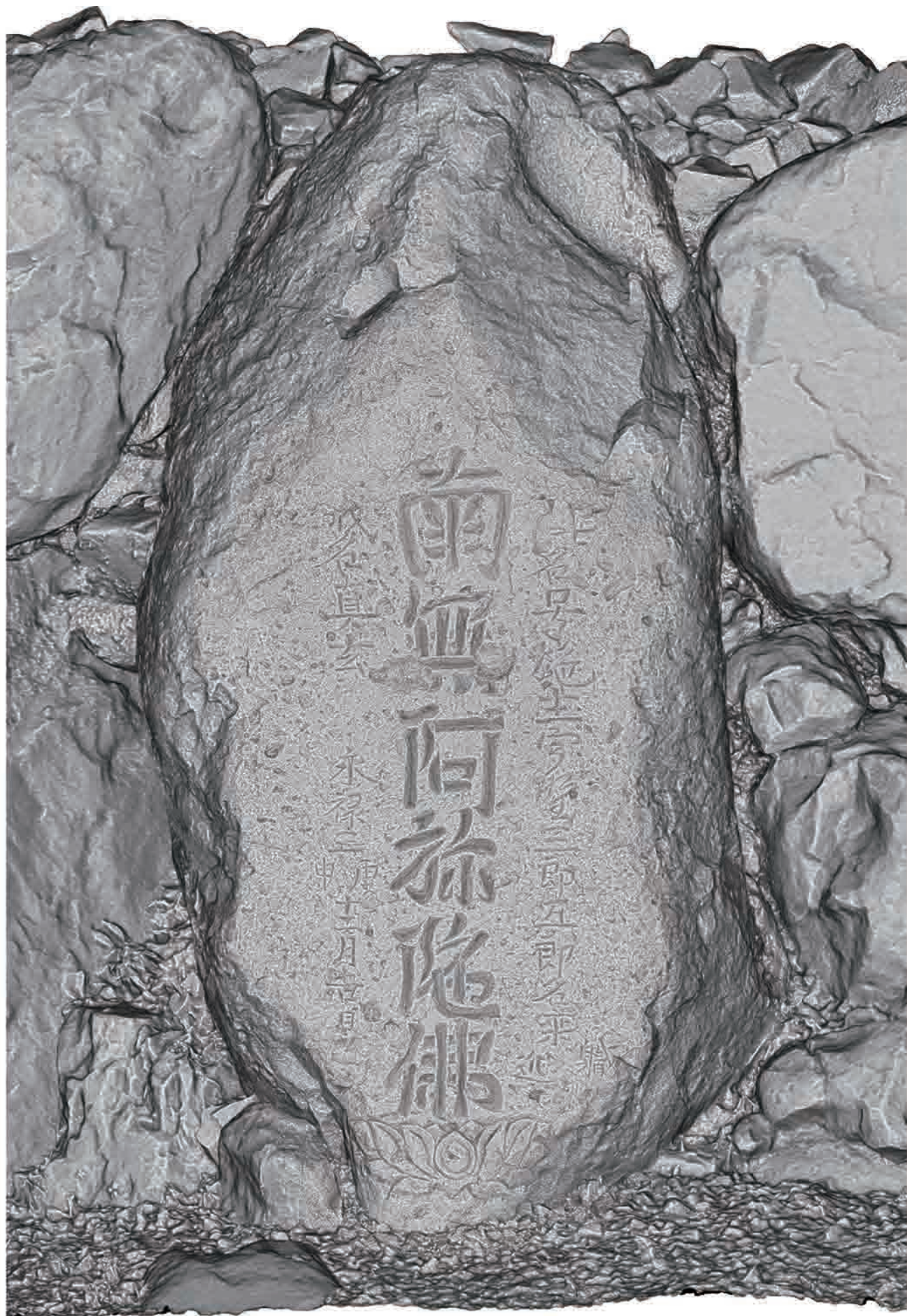




第91図 三次元レーザー計測 陰影図+カラー画像(縮尺1:10・大手前大学提供)

0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5m





第92図 三次元レーザー計測 陰影図(縮尺 1 : 10・大手前大学提供)

0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5m



## V 結語(総括・今後の展望)

本事業は、保存管理計画の改定により、遺跡における経年変化への対応が重要課題として共有され、続く翌年の発掘・整備基本計画の改定を受けて事業化された。事業計画の当初より調査・研究によって対応手法を検討したうえで現地での施工を行う方針としており、本事業において特に重要な調査結果となったのが、昭和44年度に施工された接着剤の分析であった。化学分析によって約50年が経過した今も接着剤の効果が持続していることを確認したことで、今後の接着方針の検討・決定が大きく前進したといえる。約50年分の遺跡環境を再現して実験することは困難であり、実際に現地施工された接着剤の分析結果とあわせて接着剤試験の結果を総括することが、今後の接着剤を用いた接着手法を決定する上で大変有効であった。なお、昭和44年度の施工以降、接着剤や施工対象の石製遺構、施工されなかった石製遺構の変化などの記録が定期的になされていれば、より有効な検証・総括ができた可能性があり、今後は施工時の詳細な記録化を行うとともに、施工後にも定期的に記録化を行う必要があると考える。

遺構劣化台帳の作成は、事業開始前の保存管理計画改定における、本事業の必要性の議論の時から劣化状況を可視化する上で重要な役割を果たした。作成開始から5年以上が経過した現在においても、地区毎・遺構毎の台帳の作成を積み重ねることで劣化の進行の確認に役立てており、今後とも作成を継続し、本事業の基礎資料として活用する計画である。また、これまではデジタルカメラを用いたデジタル撮影によって台帳作成を進めてきたが、石垣や溝石、庭石などのようなより立体的な遺構については、二次元的な撮影での記録よりも三次元的な記録化の方が有効であり、場合によってはSfM写真測量やレーザー測量など、三次元データによる記録化も検討する必要がある。そのほか、各石製遺構については、岩種や硬度などの基本情報が不足しているものが大半であり、遺構劣化台帳の作成を継続する上では、岩石鑑定や硬度試験(エコーチップを用いた計測)もあわせて継続する必要があるといえる。

気象条件の調査においては、約5年分の観測結果を積み上げるとともに、平成23年度以前の福井地方気象台の観測結果も参照することで、遺構がおかれている遺跡の環境を明らかにし、あわせて凍結融解に伴う破砕による劣化への影響について検討した。一乗谷の環境においては、積雪下の石製遺構は凍結融解に伴う破砕が起こりにくい環境にあると考えられるが、福井地方気象台における過去の観測データからは、気温や積雪深の年度によるばらつきが確認されている。さらに戦国期に被熱したと推定する石製遺跡も多く存在しているため、石製遺構自体が弱くなっている可能性も考慮する必要がある。以上のことから、発掘後から現在に至るまでの間に凍結融解に伴う破砕による劣化が起こった可能性は否定できず、積雪が少ない年度においては冬季養生も検討する必要があると考える。なお、冬季養生の手法については、本事業でこれまでに実施した方法に限らず、他遺跡の最新の事例も参考として手法を決定することが望ましく、養生環境内の温度測定も含めて今後の課題である。また、近年は今までに想定できない気候変動も各地でみられるように、今後、本遺跡がおかれている環境が変われば、劣化対応の手法も再検討が必要と考えられることから、代表地点における気象観測は永続的に実施する方針としている。これまでの気象観測においては、小動物等によるセンサーの部分破砕や機材の不調によりエラーが発生し、計測データの欠如が生じてしまった。そのため、永続的な観測を行っていく上では、異常が発生した際にすぐに対応できるよう、現在は観測したデータを職員のパソコン等にメールで定期的に送付される仕様に変更した。今後の課題としては解析が十分でなかった観測項目の解析を引き続き進めることも

挙げられる。なお、観測するデータは観光客などの遺跡来訪者も遺跡内の気象を知られるよう、当館のガイダンスエリアなどでの公開・活用にも資する計画である。

接着剤を用いた接着手法が決定できた一方で、特別名勝庭園の庭石等の巨石の劣化対応は今後に残された大きな課題であり、明らかな劣化が認められる景石もあることから、早急に対応する必要がある。また、名号石碑については1 mmに満たない数値ではあるが、石材本体への地衣類の菌糸の貫入が認められており、今後さらなる注視が必要と考える。これまでは目視によるモニタリングを実施しているが、その他の方法も検討のうえ、第13表に示したような保存処置方針をまとめ、今後の対応を決定したいと考える。そのほか、石製遺構以外の遺構(土塁などの土製遺構・建物表示の舗装等の復元遺構)への劣化対応も課題として挙げられる。さらに、現時点では劣化が既に生じた遺構への対応が中心となっているが、本来的には露出展示遺構の劣化予防を行う必要があり、当館の研究事業の柱の一つとして取り上げる考えである。

これまで本事業を実施するなかで、有識者とともに現地視察を行った際、下城戸跡の石垣について危険性の高い亀裂が指摘されたため、後日に遺跡の管理者である福井市により、安全対策としてバリケードが設置された。その指摘から約2か月後、亀裂が顕在化し、石垣の一部がき損・落石したが、バリケードによって来訪者の安全性を確保することができた事例があった。以上のことから、遺跡内の劣化箇所の経過観察や見回りの継続により、対応が必要な劣化状況の早期発見に努め、有識者の指導のもと対応手法を検討し、実行することが重要であり、そのための体制を整備する必要がある。体制整備にあたっては、管理者である福井市と史跡整備にあたる専門職員を配置している福井県が役割分担を行い、遺跡の実際の管理にあたっている(一社)朝倉氏遺跡保存協会、その他関係機関との協力のうえで決定する必要があるといえる。

本事業は、石製遺構の接着手法を決定することから始まったが、上記のとおり、露天下における露出展示の継続には課題が残っており、劣化対応事業を本遺跡の整備事業の柱の一つとして、そして当館の研究事業の柱の一つとして、今後も事業を継続していくこととなる。体制整備も含めて本事業はまだ始まったばかりであり、事業内容を適宜見直しながら本事業を継続し、永続的な本遺跡のより良い保存および活用を図る考えである。





平成30年3月9日 印刷

平成30年3月16日 発行

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)

編 集 福井県立一乗谷朝倉氏遺跡資料館

発 行 福井県立一乗谷朝倉氏遺跡資料館

〒910-2152 福井市安波賀町4-10

印 刷 白崎印刷株式会社