

第4節 いもり坂脇石垣 (No.6 1500N、1501N、1500W・S)

基本事項 (第101図)

位置 玉泉院丸と本丸附段と間の東斜面上に位置する。石垣北面は本丸附段と二ノ丸の間にある空堀に面する。西面石垣の前には明治40年頃に造成されたいもり坂があり、現在も園路として利用される。玉泉院丸庭園と本丸附段の標高差は約25m、石垣は斜面のやや上方標高43m付近にある。北面のみ2段石垣である。

規模 1500N : H5.0m、L9.6m、A40.1㎡、角度71°
1501N : H2.3m、L7.0m、A13.9㎡、角度84°
1500W : H5.2m、L17.5m、A75.1㎡、角度73°
1500S : H4.5m、L6.9m、A14.9㎡、角度85°

履歴 現状で確認できる最も古い石積は、1500Nの東側、本丸附段北石垣ととの入角部付近に残る切石積石垣(金場取残積)部分で、金沢城石垣編年5期(17世紀後半、寛文期)に該当する。江戸期の修理に関する文献や絵図は未確認だが、現状観察からは、複数回の修理が想定できる。現状は粗加工石積が主体となっており、1500Wなどでは切石材と混在する。

観測 定点観測による動能観測が平成9年(1997)より、クラックゲージによる計測が平成17年度、孔内傾斜計における観測が平成10年(1998)に1箇所、平成19年(2007)3月の能登半島地震以後に追加で1箇所設置され、計2箇所で行われている。定点観測は1500Nと1501Nの10地点、1500Wで7地点の計17地点を、孔内傾斜計は、1500Nと1501Nの間的小段と、1500W上部に、クラックゲージは、1500Sの角石周辺に設置している。

定点観測では南西隅角部の天端と裾部の角石が25mm、北西隅角部の天端で20mm、いずれも北西方向に動いている。1500Nの天端では北側に14cm、上部にあたる1501Nも最大で21mmの変位がみられる。

孔内傾斜計は能登半島地震後に1501N背後に設置された1箇所、累積的な変位がみられ、この変位については、地震直後の4年間よりは緩やかになっているが、GL-3.5mの深度で変位の増加が続いている。

クラックゲージによる計測はH17からR2までで5.5mmを測る。能登半島地震直後には、急激に増加しているが、近年は大きな変位もなく安定的な様相を示している。定点観測も同様の傾向にはあるが、1501Nや1500N天端付近など、僅かだが累積している箇所もある。

差分比較 (第102図)

1500N、1501N、1500Wについて、平成19年(2007)と平成29年(2017)に計測したデータによる差分比較を行った。点群データの比較では、1500N天端周辺に10~30mmの前方への変位がみられたが、1500Wでは局所的な変化はみられなかった。定点観測のデータでは隅角部の天端付近で最大20mmの変位があったが、H19~H29の期間でみると10mm程度であった。これは差分図Aでは表現で

きなかったとみられる。

差分図Bでは、凡例の範囲を3パターンで作成しており、解析の数値範囲の幅を狭くした場合に、1500Nでは前方へへの動き、1501Nは沈下の傾向、1500Wでは右下の裾部が前方に、さらに天端が後方に倒れるような変位が認められた。

いずれの可視化図からも1500Nの上部において変位が進んでいることと、その動能観測の結果とは概ね傾向は一致している。しかし、1500Wの南西隅角部天端の前方への変位は、3次元データでは確認できなかった。

内部観察 (第103~106図)

石垣各面で行った計7地点について観察を行った。いずれの石垣面をみても土砂の堆積はみられたが、大量の土砂を確認したのは、1500W中央部の1地点のみで、裏込めの栗石の隙間にも入っていた。その他は裏込め層というより築石間に薄く堆積した状況であった。

介石の破損も各面で見られたが、1500Wの南西隅角部付近では、割れて散らばったような状態の円礫がみられたが、介石が割れて脱落したものと推測した。また、南西隅角部周辺に介石の割れがやや偏在しているようにも見えるが、他の面では介石の割れが集中するようなことはみられなかった。

築石の内部での破損はみられなかった。

内部観察の観察項目としては上げていないが、1500Sの隅角部周辺の観察で、裏込めの栗石層が乱れた状態が見受けられた。1500Sは定点観測で、1500W方向への変位がみられることから、築石が動き、裏込め層に隙間ができたことで、栗石が噛み可能性がある。築石と裏込めの動きが連動しているのか、それぞれ別の誘因であるかは不明である。

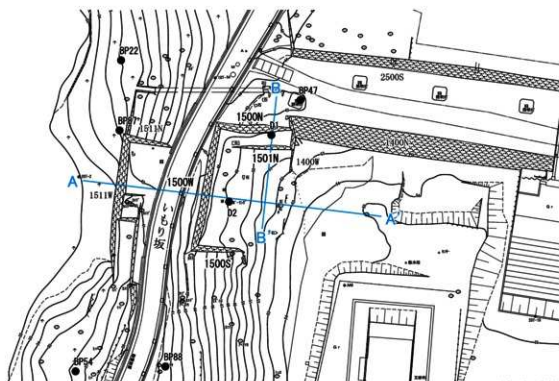
小結

本石垣は、定点観測を開始した当初から変位進んでおり、能登半島地震の際に大きく増加し、以後も5年程度は、同様の傾向にあった。石垣の西面は主要な園路であるいもり坂に面しており、注意箇所として経過観察を進めてきたが、近年動きがみられなくなってきた。

差分比較はその動きがなくなってきたタイミングで計測されたデータであったため、差が明確にはならなかった。ただし、それでも変動がみられた1500Nについては要注意であろう。また、上下の動きを把握できた。

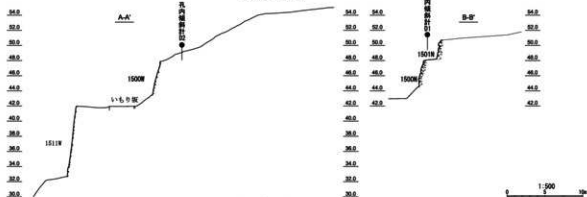
継続的な動能観測は、石垣の動きの緩急を知ることができるので有効だが、設置地点の適切さが求められる。

2時期の計測データの比較は、石垣ごとの動態の傾向を把握可能なことから、適切な観測地点の選択の傾向には有効であろう。



現況平面図

平成 20 (2008) 年測量



現況地形断面図

1:300



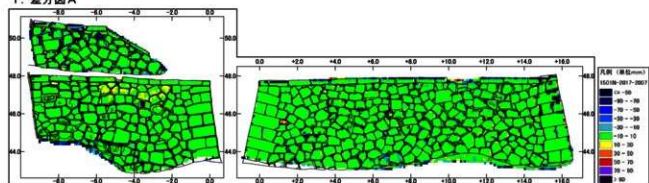
近代 昭和 20 (1945) 年「第五十二回省庁令附録」
石川県立歴史博物館蔵



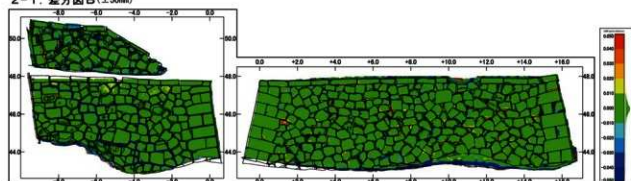
江戸後期 文政 13 (1830) 年「御城中等分幕絵図」
横山隆昭氏蔵

第 101 図 No. 6 いもり坂陥石垣現況と周辺地形・絵図

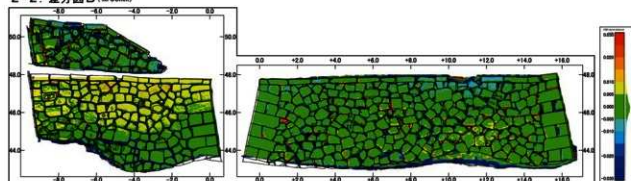
1. 差分図 A



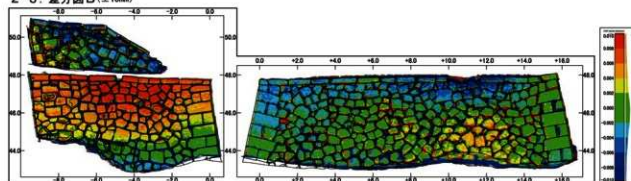
2-1. 差分図 B ($\pm 50\text{mm}$)



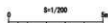
2-2. 差分図 B ($\pm 30\text{mm}$)



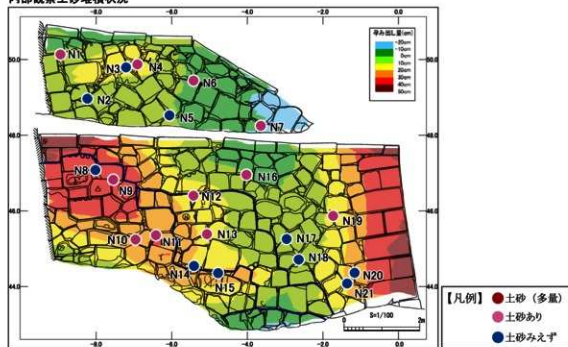
2-3. 差分図 B ($\pm 10\text{mm}$)



第 102 図 No.6 いもり板脇【1500N、1501N、1500W】 1



内部観察土砂堆積状況



土砂あり



N1



N4



N6



N9

土砂はみえない



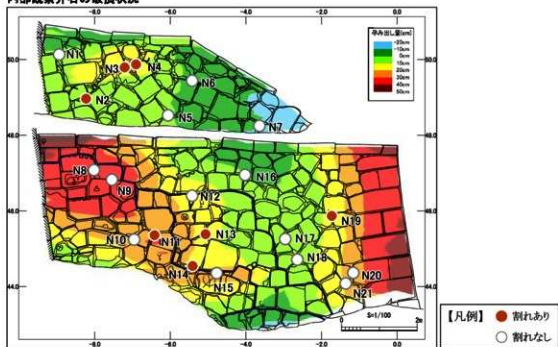
N17



N21

第103図 No.6 いもり板脇【1500N、1501N】2

内部観察介石の破壊状況



割れあり



N2



N11



N14

割れなし



N1



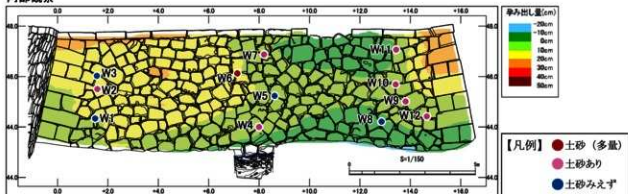
N9



N12

第 104 図 No.6 いもり坂脇【1500N、1501N】3

内部観察



土砂多量にあり

土砂あり

土砂はみえない



W6



W4



W1

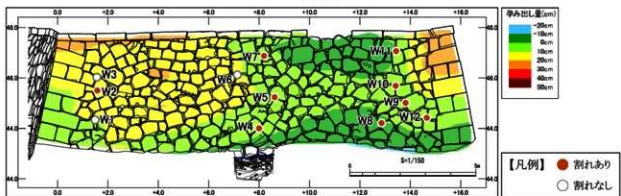


W9



W3

土砂堆積状況



割れあり

割れなし



W2



W3



W8

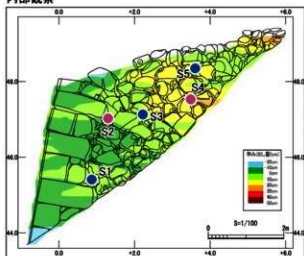


W6

介石の破損状況

第105図 No.6 いもり坂脇【1500W】4

内部観察



土砂あり



S2

土砂はみえない



S3



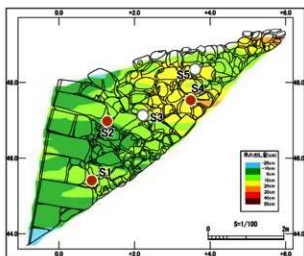
S4



S5

- 【凡例】 ● 土砂 (多量)
● 土砂あり
● 土砂みえず

土砂堆積状態



割れあり



S1

割れなし



S3



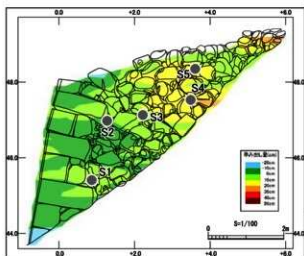
S4



S5

- 【凡例】 ● 割れあり
○ 割れなし

介石の破損状態



割れなし



S4

- 【凡例】 ● 築石が奥で胴割れ
● 土砂などで確認できない

築石の破損状態

第 106 図 No.6 いもり板脇【1500S】 5



1. 1500N・1501N (北から)

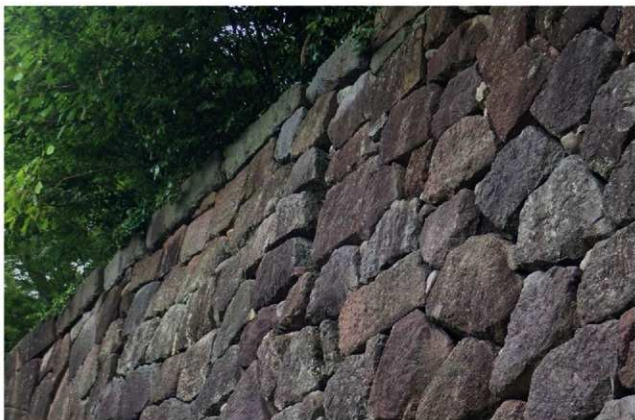


2. 1500W (坂下側の西から)

第107図 いもり坂石垣脳写真1



3. 1500W (坂下側の西から)



4. 1500W 中央部 (西から)

上部に縦方向の目地のずれ

第 108 図 いもり坂石垣牆写真 2



5.1500W (西から)



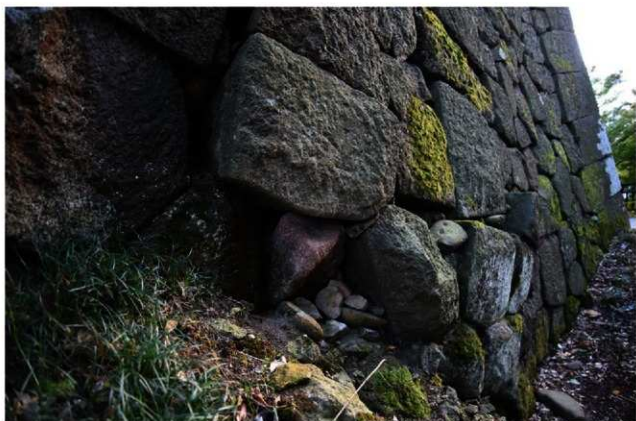
6.1500W 隅角部 (西から)

上部に石積のずれや石口の開き

第109図 いもり坂石垣撮影写真3



7. 1500N (北から)



8. 1500N (北から) 中部の石積が緩み、小型の石材が前倒れ

第110図 いもり坂石垣脳写真4

第5節 本丸北石垣 (No.18 1301N)

基本情報 (第111図)

位置 本丸北面に築かれた粗加工石積の石垣で、中央部分は旧陸軍により断ち切れ、内部がレンガ積のトンネルに改変されている。トンネルを抜けた奥は弾薬庫が造られており、石垣背後の曲輪造成土も大規模に掘り下げられている。改変後のトンネル入口脇は間知石による落とし積石垣となっている。石垣に沿うように園路が通り、その前面は鶴ノ丸・二ノ丸となる。

北東隅角部で折れて南側に石垣面は続くが(1301E)、この石垣も弾薬庫建設のために中央部の石積みが断ち切られている。

規模 1301N: H11.5m、L95m、A845.8㎡、
角度69.5°

履歴 金沢城石垣編年4期(17世紀前半、寛永期)に創建したと考えられる。西側にある戌亥櫓台石垣は5期(17世紀後半、寛文期)に改修されており、その後の宝暦大火による被災痕を残すものの、改修等の痕跡はみられない。その後は上述のとおり、近代に入り石垣中央部に大きな改変を受けている。

観測 1301Nは、平成9年から石垣の西側、戌亥櫓台の石垣について定点観測を行ってきたが、これは、火災の被災により石材が劣化していることとみられること、板状詰石が脱落していたこと、それにより築石間の隙間が際立ってきたことを変形と判断したため、観測箇所にしたと思われる。平成9年から観測を実施していたが、変位が確認されなかったことから、現在は休止している。その後、弾薬庫入口トンネル付近に顕著な孕み出しがみられ、進行していることが写真比較でも判明したことから、この孕み出し周辺について、平成28年(2016)より観測を開始した。

トンネル両脇の落とし積石垣の天端部分において、設置直後の1年目の観測データに急激な動きがみられたが、その後は僅かである。最も孕み出している地点は現状ではほとんど変化がないが、直上の天端で10mm程の累積的な変化がみられるが、こちらも観測開始1年後の観測で大きく変位して以降は停滞気味である。寛永期の石積み部分に設置した観測点ではほとんど変位はみられない。

差分比較 (第112～118図)

平成19年(2007)と令和2年(2020)に計測したデータの比較を行った。

差分図Aでは、石垣全体をみるとほとんど変位がないことが分かるが、中央部の弾薬庫トンネル脇の孕み出し箇所をみると10～20mmの前方向の変位がみられ、差分図Bでも同様であった(第118図)。また、解析範囲を±3.0mmに設定すると、トンネル右側の孕み出し箇所だけでなく、左側でも前方向への変位が確認でき

た。更に±1.0mmにすると、トンネル両脇の落とし積石垣部分だけでなく、更に左側の石積み上部も変位がみられた。また、石垣の隅角部の下半部を中心に青色に表現される変位がみられる。青色は、沈下、又は後方への動きと考えられる。直線的に区切られるような色の差の場合は、旧データの処理の問題が考えられるが、隅角部下に向かって青が濃くなるような変化がみられることから、データの問題ではないと思われる。北東隅角部(図の左側)については、地山レベルが低いことから沈下の可能性もある。また、石垣背後に本来あった曲輪造成土が、弾薬庫を作るために切り下げられていることから、土圧が不足して倒れてしまっている可能性も考えられる。しかし、北西隅角部(図の右側、戌亥櫓部分)の沈下もしくは後方への動きについてはどのような要因か思い当たらない。

内部観察

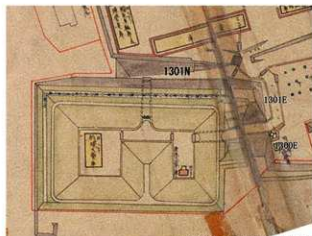
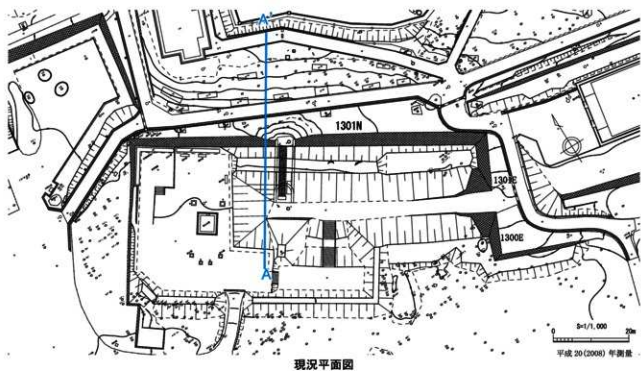
変形箇所が高所となるため内部観察は実施できなかった。ボールにカメラを取付け、石材が背後に落ち込んでいる状況を撮影したが、裏込めの栗石が充填されている状況を確認した(第122図7)。

小結

平成8年には孕み出しが確認できるが、石材の陥没はなかった。平成16年に1石が背後に落ち込んでいることを確認し、更に平成23年にもう1石が落ち込んだ。最も孕み出した箇所の上部にあたることから、築石の孕み出しにより裏込めの栗石層が噛み付いたため、上部の背後に空隙が生じ、控えの短い間知石は石尻を支えるものがなく、更に石材同士の合端も少ないことから、背後に落ち込んだとみられる。合端同士でちゃんと接点を保っている他の石材はお互いに支えあっているため崩落や落ち込みせずに現状を保っている。

定点観測は、観測開始直後の1年目までに大きく動いているが、その後はほとんど変化がない。開始してまだ4年と短期間ということもあるが、これまで、目に見えて変形が進んできた状況と、観測データにやや乖離があるようにみえる。石垣が、活動と停滞を繰り返すものなのか、こいでいったん動きが収まったものなのか、その動態を今後も注視したい。

また、石垣ではないがトンネル内部の目玉中央部において、レンガ積み部分に縦方向の大きな亀裂がみられる。こちらについても経過に注意したい。



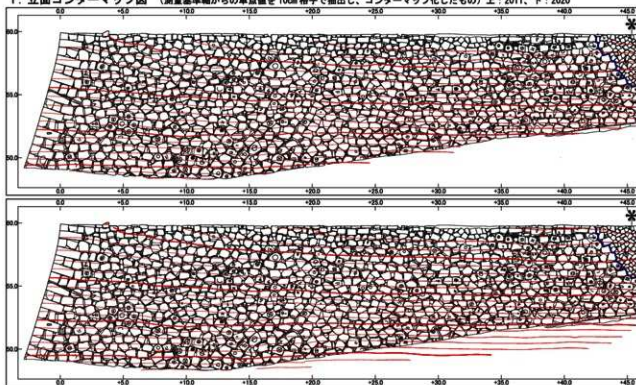
近代



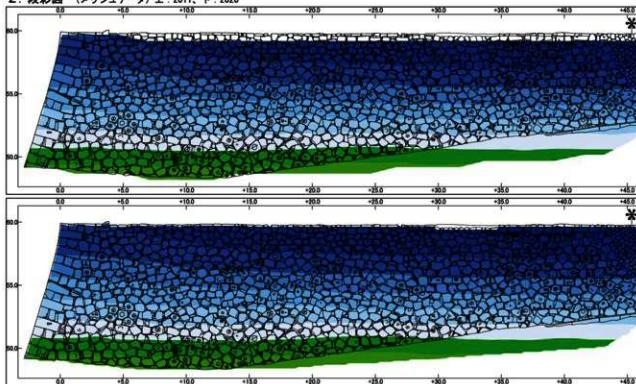
江戸後期

第 111 図 No.18 本丸北石垣現況と周辺地形・絵図

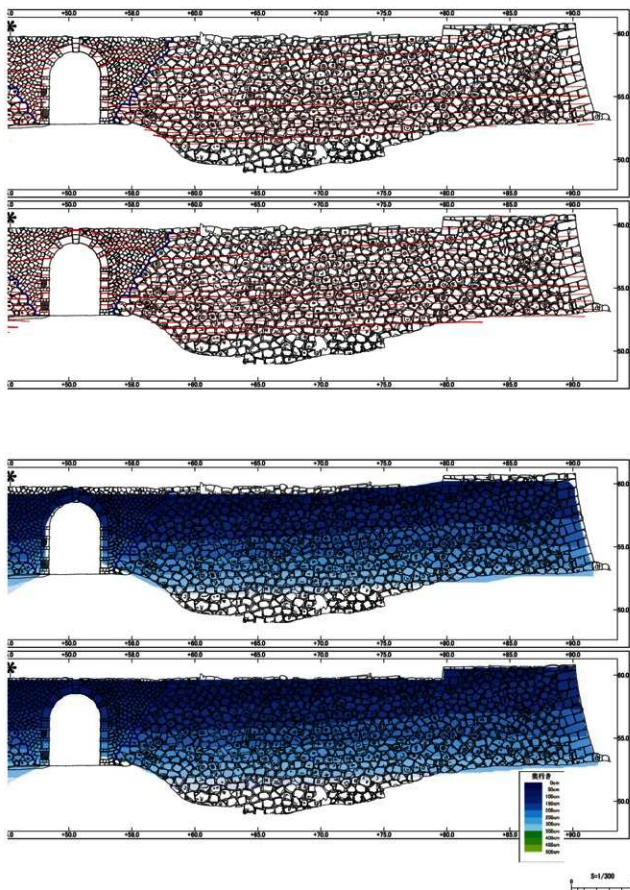
1. 立面コンターマップ図 (測量基準軸からの単点値を10cm格子で抽出し、コンターマップ化したもの) 上: 2011, 下: 2020



2. 段彩図 (メッシュデータ) 上: 2011, 下: 2020

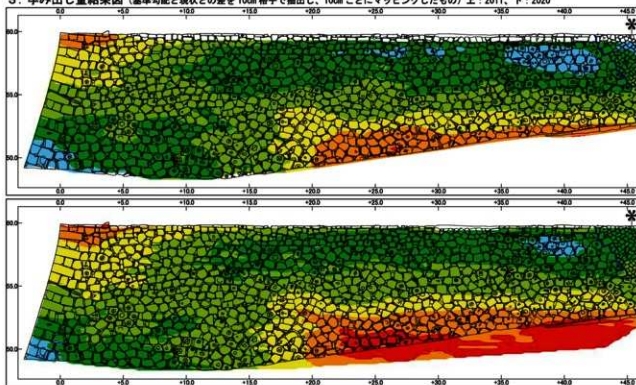


第112図 No.18 本丸北【1301N】1-(1)

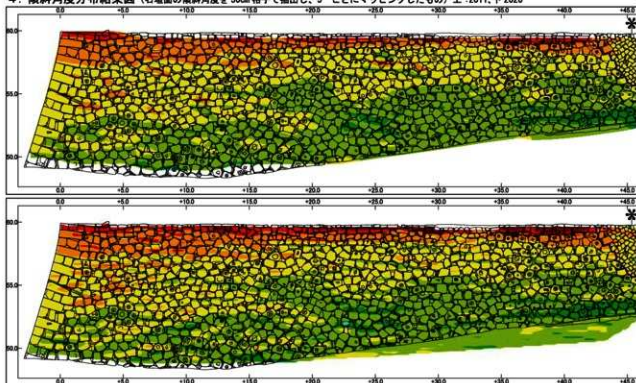


第 113 图 No.18 本丸北【1301N】1-(2)

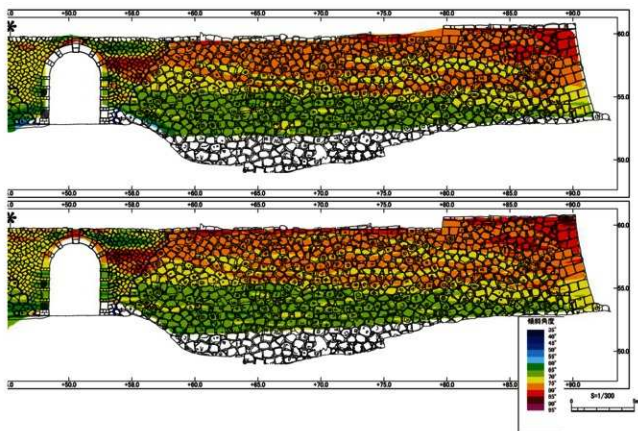
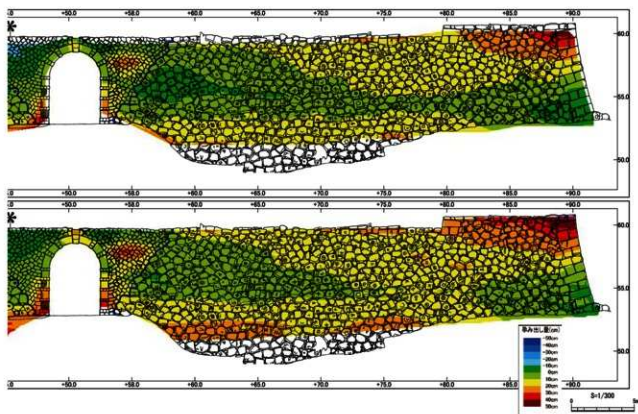
3. 孕み出し量結果図 (基準勾配と現状との差を 10cm 格子で抽出し、10cm ごとにマッピングしたもの) 上: 2011、下: 2020



4. 傾斜角度分布結果図 (石垣面の傾斜角度を 50cm 格子で抽出し、5° ごとにマッピングしたもの) 上: 2011、下: 2020

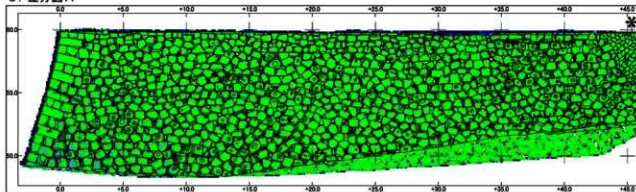


第 114 図 No.18 本丸北【1301N】2-(1)

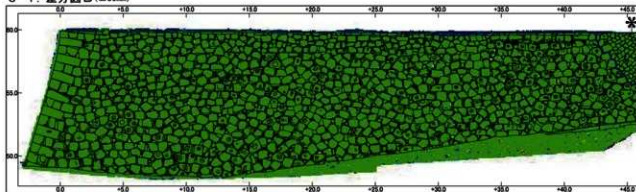


第 115 图 No.18 本丸北 [1301N] 2-(2)

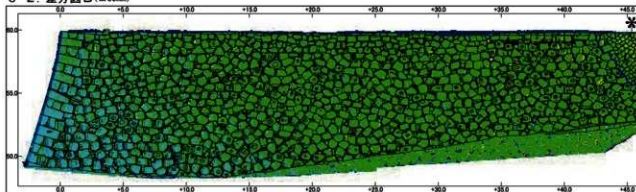
5. 差分図A



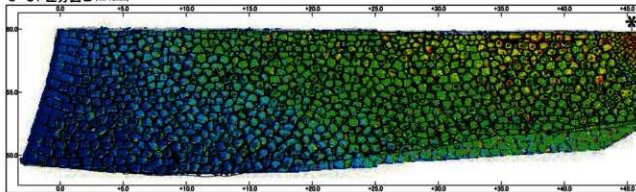
6-1. 差分図B ($\pm 50\text{mm}$)



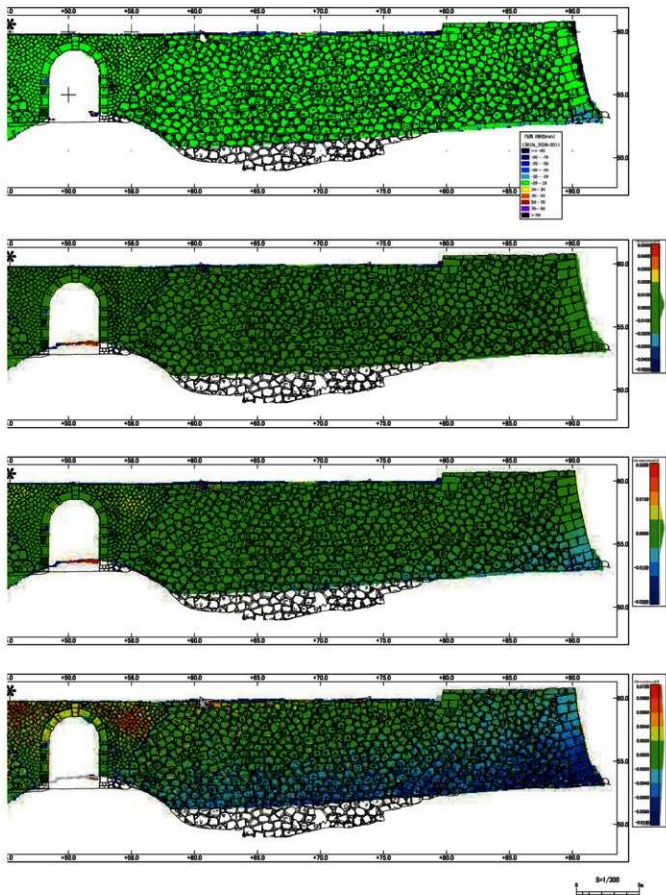
6-2. 差分図B ($\pm 30\text{mm}$)



6-3. 差分図B ($\pm 10\text{mm}$)

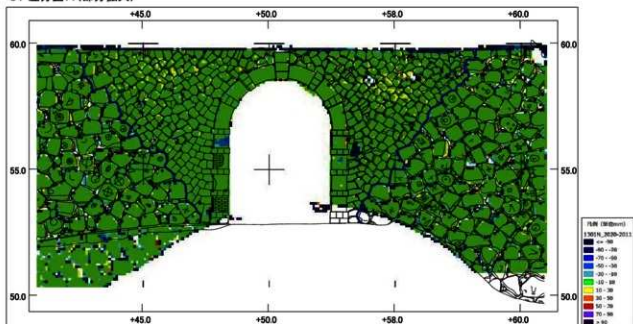


第 116 図 No.18 本丸北【1301N】3-(1)

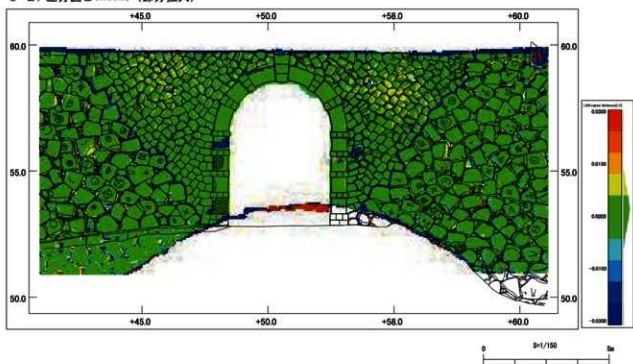


第 117 圖 No.18 本丸北【1301N】3-(2)

5. 差分図A (部分拡大)



6-2. 差分図B ($\pm 30\text{mm}$) (部分拡大)





1. 1301N (北東から)



2. 1301N (北東から)

第119図 本丸北石垣写真1



3. 1301N (北西から)



4. 1301N 弾薬庫 (北から)

第120図 本丸北石垣写真2



5. 1301N

弾薬庫入口周辺に孕み出し



6. 1301N

孕み出し上部は石材が後ろに倒れる

第121図 本丸北石垣写真3



7. 1301N

裏込めは栗石が詰まる



8. 1301Nの背後（西から）

弾薬庫として曲輪の盛土を撤去

第122図 本丸北石垣写真4



9. 弾薬庫入口のトンネル（南から）



10. トンネル内のレンガ積（北から）

中央部に縦方向の亀裂

第 123 図 本丸北石垣写真 5

第6節 三ノ丸北石垣 (No.20、21 3440N・E)

基本事項 (第124図)

位置 三ノ丸北辺、河北坂の東側に位置する。前面は現在埋め立てられているが、堀があり、さらにその前面は新丸となる。河北坂の上には北門があり、新丸尾坂門から三ノ丸に至る大手筋に位置する。

規模 3440N: H8.7m, L6.4m, A615.3㎡, 角度65.5°

3440E: H9.0m, L7.7m, A38.1㎡, 角度66°

履歴 金沢城石垣編年2期新(慶長後期)に創建したと考えられる。3440E上部は江戸後期に修理されたとみられ、3440N上部には大正期まで九十間長屋があり、西側には櫓台もあったがこれも近代に撤去されている。

安政2年(1855)の地震で幕府に提出した修理願では3440N西側部分が孕み出したとされる。現状は石材が局所的に前面に飛び出したような状態がみられ、積み直した痕跡は確認できないことから、未修理で現在に至っていると考えられる。変形箇所周辺の築石間に栗石が多く詰められており、詰石補修を行った可能性があるが、安政地震の際なのか、時期は不明である。

観測: 3440Nでは、定点観測・孔内傾斜計による動態観測が平成9年(1997)から行われている。計測箇所は北面石垣の西半部に集中しており、一部観測地点が亡失するなどしているが、令和2年度で計34地点計測を実施している。計測は年に2回である。ほとんどの計測点で変位の累積がみられ、最も大きい箇所で、23年間で約21mm前方への動きがみられる。年間0.5~1mmと、急激な増加ではないが累積傾向である。また、前方への変位だけでなく、沈下もしており、天端付近では沈下が最大-30mmもあったが、H23年頃からほぼ一斉に動きがみられなくなる。孔内傾斜計平成10年から計測を行っている。計測管は石垣の裏込め層を通るが、累積的な変化はほとんどみられない。

3440Eは、報告書Iの調査結果を受けて平成28年から21地点で定点観測を開始した。過去の修理範囲で、現状で最も孕み出した上部において5年で最大10mm、前面への変位がみられ、北面と比べてもそのスピードが速いことが判明した。また、ほとんど前方への動きがみられない観測点でも、すべて上方への動きがみられる。特に隅角部で顕著である。

差分比較 (第125~127図)

平成16年(2004)と平成29年(2017)年の計測データによる比較を行った。

3440Nの差分比較では、石垣西側について面的に前方への変位が確認できる。また、中央から東側に向けては、中位よりも上方で同様に前方方向の変位の累積がみられ、いずれも変位量は、10~20mmとなっている。定点観測のデータと比べても矛盾はない。

3440Eは孕み出しがみられる上部で変位が進んでお

り、変位量は10~20mmであった。定点観測は期間が短く、変位量は比較できないが、累積がみられる範囲と傾向は一致する。

差分図Bでは、更に石垣が面的に前方方向へと動いていることが窺えたが、中央部の中位以下では色彩が明らかに周辺と異なる傾向を示している。特に図の6-3ではその差が明瞭で、周辺が橙色から黄色を示しているが、20m程の区間は青くなっている。前章の3500N(三ノ丸北西石垣)でも同様の現象があったが、点群データの処理の際にデータ合成のズレがあったことが判明した。孕み出し量図や傾斜角度分布図などは10cm、50cmといったグリッドでデータを均しているため、差があまり影響しないと考えられる。

内部観察 (第128図)

築石形状が不整形なため、石材間の隙間も大きいのが、石口に土が厚く堆積している箇所が多い。勾配が比較的小さなことから上から流れてくる土砂が溜まりやすいのであろう。最も変形が顕著な3440N西端と、石垣面を3箇所断続するように計34地点を観察した。

内部の土砂の堆積状況は、中位から現状の裾野付近で築石間の隙間から土砂がみえ、裏込めの栗石が見えないような地点(No.23)もあった。西側の孕み出しが顕著な箇所の周辺を重点的に観察したが、土砂の堆積はほとんど見られなかった。孕み出し周辺の内部は、ほとんどの介石に破損や亀裂がみられた。特に、割れた状態の円礫が築石間に転がっているような状態が特徴的であった。裏込めの栗石も不安定な角度になっており、乱れた状態にみえるなど、地震でゆすられた状態を想起させるような様相であった。

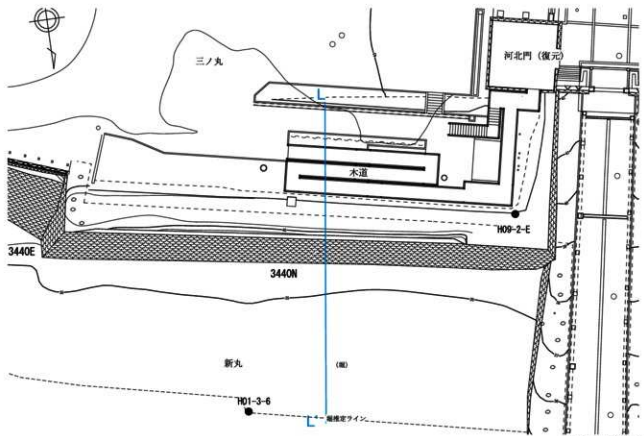
小結

3440Nについては、地震で大きく動いたがそれが致命傷にはならず、現在もその状態で保っているといえる。ただし、周辺も含め現状も急激な変位はみられないが変位が累積傾向にあることは間違いない。今後も経過観察を継続していく必要はある。

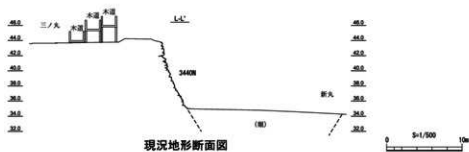
定点観測では、前方方向の動きは累積しているが、沈下方向の動きが、ある時期から停滞していることや、孔内傾斜計の動きが築石とは連動していないなど、石垣の変形動態の複雑さを窺わせる。

また、3次元計測データの比較では、計測技術の新旧による精度差や作業手法による誤差が、この作業を通して現れてきている。定点観測においても同様だが、計測誤差をどの程度まで抑えるか、また、それを含んだものとしてデータを見る目も必要であろう。

3440Eは、過去の修理箇所が再発し、現在も進行していることが判明しており、こちらの進行がやや速くみえることから、経過を注視したい。



現況平面図



現況地形断面図



近代

昭和 20 (1945) 年「歩兵第七師団図」
石川県立歴史博物館蔵

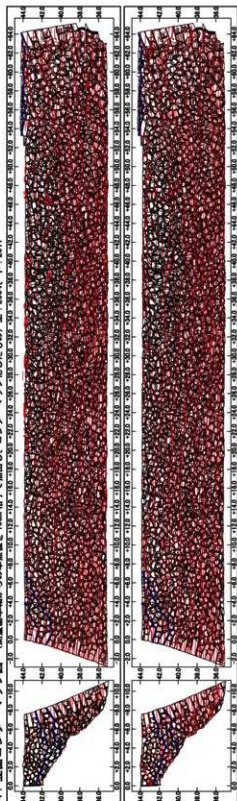


江戸後期

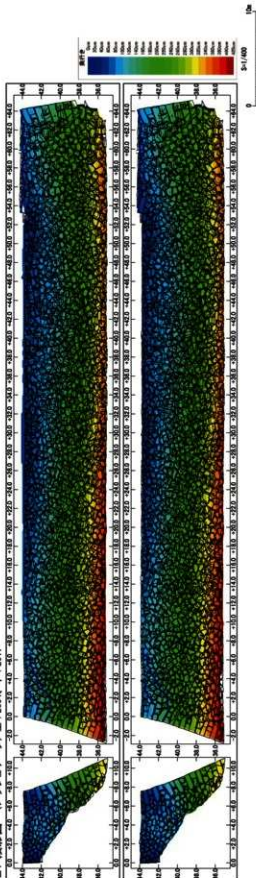
文政 13 (1830) 年「御城中老分奉給図」
横山純昭氏蔵

第 124 図 №20、21 三ノ丸北石垣現況平面図・地形断面図・絵図

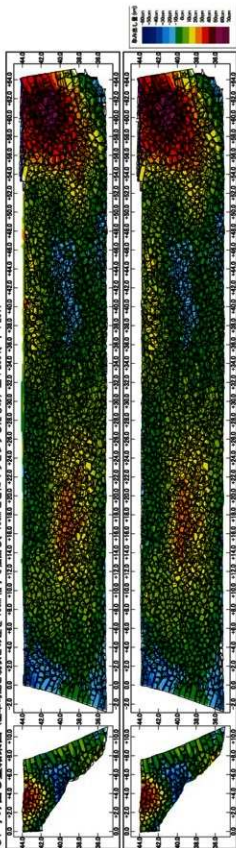
1. 立面コンターマップ図 (測量基準面からの基点値を10mm格子で抽出し、コンターマップ化したもの) 上: 2004、下: 2017



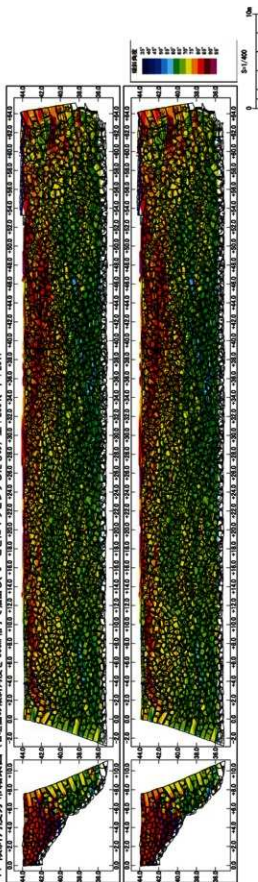
2. 陰影図 (メッシュワーク) 上: 2004、下: 2017



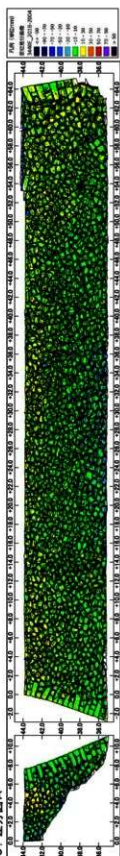
3. 孕み出し量結果図 (基準配込層状との差を 10cm 格子で抽出し、10cm ごとにマッピングしたもの) 上: 2004、下: 2017



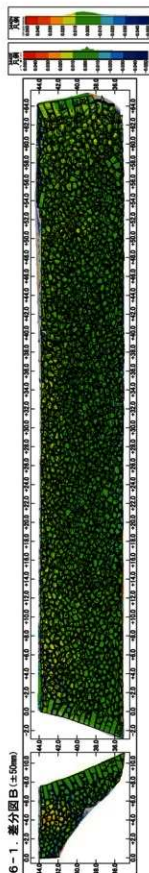
4. 傾斜角度分布結果図 (石垣面の傾斜角度を 50cm 格子で抽出し、5° ごとにマッピングしたもの) 上: 2004、下: 2017



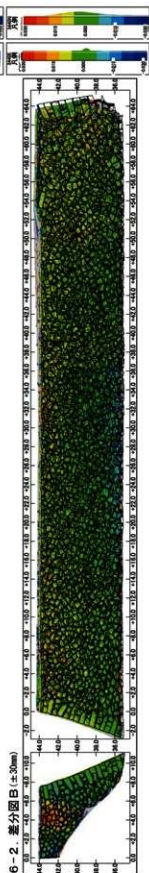
5. 差分図A



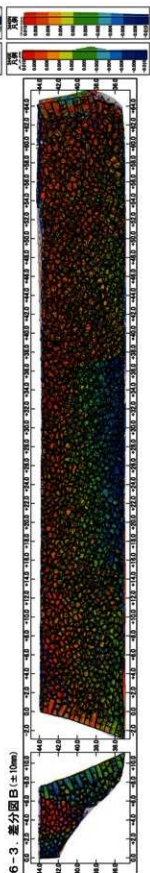
6-1. 差分図B(±50mm)



6-2. 差分図B(±30mm)

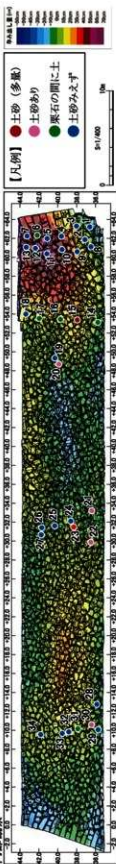


6-3. 差分図B(±10mm)

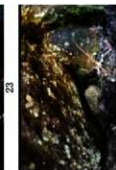


第127図 №20、21 三ノ丸北 [3440E]、[3440N] 3

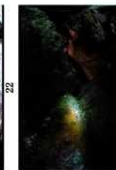
内証観察



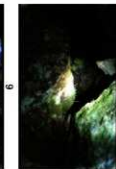
土砂多量にあり



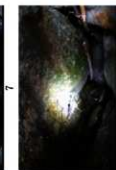
土砂あり



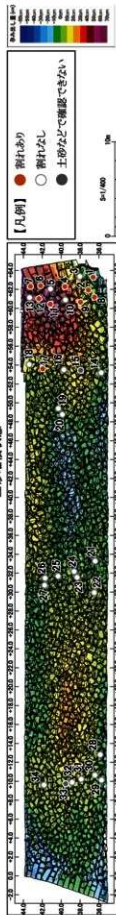
黒石の間に土あり



土砂はみえない



土砂増減状況



割れあり



第128図 №21 三ノ丸北【3440N】4
介石の破壊状態



1.3440N (北から)



2.3440N 西部 (北から)

第 129 図 三ノ丸北石垣写真 1



3. 3440N 中央部（北から）



4. 3440N（北から）

第 130 図 三ノ丸北石垣写真 2



5.3440E・N（北東から）



6.3440E（東から）

第 131 図 三ノ丸北石垣写真 3



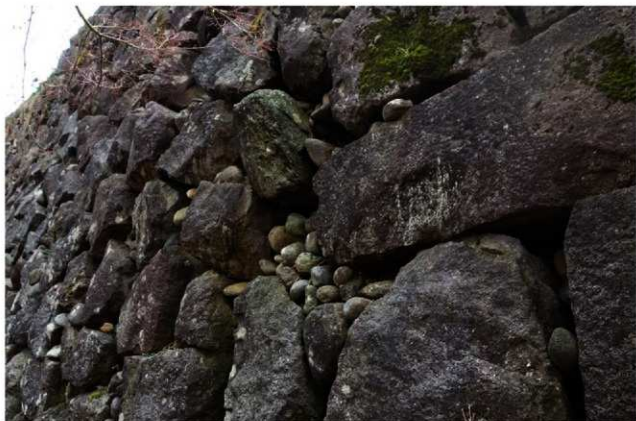
7. 3440E (北東から)

上半部に孕み出し



8. 3440N (北から)

第 132 図 三ノ丸北石垣写真 4



9. 3440N (北から)

安政地震で孕み出したと推測



10. 3440W (西から)

局所的に孕み出し

第 133 図 三ノ丸北石垣写真 5

第4章 総括

第1節 調査のまとめ

本節では、第2・3章で述べてきた、金沢城石垣保存実態調査及び詳細調査の成果と課題にふれて、まとめとしたい。

城内石垣の概要

第2章では、金沢城の石垣の概要と、現在石垣変形箇所としている26箇所について述べた。金沢城の現在の石垣編年については、『金沢城跡石垣保存実態調査報告書Ⅰ』（以下『報告書Ⅰ』）においても触れている。また石垣修理履歴についても文献史料を中心に集成し、年表形式でとりまとめていることから、本報告では省略したが、石垣の修理履歴は現況観察の際や、現状の変形箇所を理解するうえでも非常に参考となる。

本報告では、上述の年表ではなく、近世の石垣修理願図を改めて掲載した。修理願図をみると、被災や崩落した規模はもとより、具体的な位置が読み取れる場合が多いことから、今回はなるべく文字も判読可能なサイズにして掲載した。また、文化2年(1805)に加賀藩の穴生である後藤小十郎が城代の村井長世の指示により、金沢城内の石垣間数を調査し、絵図に仕立てて提出しているが、これは江戸後期における石垣管理の基本図面ともいえるものであり、現況との比較可能な史料として掲載した。

実態調査

金沢城内で特に変形が顕著な石垣変形箇所については、『報告書Ⅰ』で26箇所としていたが、その後、No.25, 5003・5002・5001S(御宮南東石垣)については、応急措置ではあったが保全対策を実施したことから、26箇所からは除外した。そして、新たに対応が必要とされる2箇所(3500N, 三ノ丸北西石垣, 2810E・S, 切手門西櫓台石垣)を追加し、計27箇所とした。

追加となった2箇所(No.26, 3500N, No.27, 2810E・W)については、個別石垣の基本事項、保存状態、立地環境等について取りまとめた。

3500Nは、石垣だけをみていると顕著な変形はみられないが、石垣内部を通る暗渠で崩落が起きている。現在城内に石組の吐水口は26箇所を数えるが、整備などで新規の排水管を内部に設置したような事例を除いては通水しているものは無く、吐水口から奥が見える箇所のほぼ全てで、天井部が崩落し、土砂で埋まっている。城内の吐水口は曲輪面の雨水等の排水を堀へと排出するための暗渠と繋がっているものが大部分で、石垣の天端からもそう低い位置にはない。そのためか天井部が崩落しても、石積にまで影響を及ぼしているような事例はない。

3500Nの場合、吐水口から覗いてみると、約3.5m

奥で天井が崩落し、土砂で埋まった状態となっている。この崩落の影響による石垣の変状は、現在のところ確認できない。

ただし3500Nの場合は、他に比べて内部の石積規模が大きいこと、曲輪面の排水目的ではないため石垣の中立に位置し、しかも石垣が10m近い高さのため、天端から7m弱と、崩落箇所よりも上方の石積が相当にあること、現状で吐水口の周辺で石垣内から流水音がしており、背後の土壌が流されて空洞化する恐れなども考えられる。今回の崩落箇所は、これ以上の拡大を防ぐための応急的な対策は行われたが、今後石垣に影響があることも想定した上での、定期的な観測・観察は欠かせない。

もう一つの追加箇所である2810E・Sは、櫓台状の石垣の南東隅角部角石の前倒れが顕著になっている。隅角部背後にあった樹木が成長し、背後の裏込め土や栗石層に何らかの動きがあり、角石が動いたとみられる。現状は、天端石の石尻が下がり、立石状態の角石が前倒れている。天端石がさがったことで、角石のバランスが崩れたのか、角石が前倒れて天端石が落ち込んだのか、どちらが先かはわからないが、これまでの事例から、樹木が石垣に及ぼす影響を考えると、より自重の軽い天端石が先に影響をうけた可能性がある。控えが短く、不安定な縦置きされた角石という素因に、樹木という誘因も相俟って変形規模が大きくなったものだが、樹木管理が適切に行われていれば、事前に防ぐことが可能であった点が悔やまれる。

樹木が石垣に与える影響については、城内の場合、天端など、自重が比較的軽い箇所について、隙間に入り込んだ根が成長し、石材を持ち上げたり、押し下りといった事例がみられた。また、城内ではなく、特別名勝兼六園では、石垣の前面にあった巨木の根が、根石下まで伸びていたが、木が枯死したため直上の石積が沈下した事例があり〔石川県金沢城・兼六園管理事務所、金沢城調査研究所2012〕、樹木の成長にあわせて管理の重要性を示している。

詳細調査

詳細調査では、『報告書Ⅰ』で変形箇所として現地観察等の報告を行った中から、5箇所を選択し、調査を行った。第3章第1節でも触れたが、平成30年に策定した『金沢城の石垣の保存管理及び保全対策に係る計画書』での現状評価から、特に変異の累積が進んでいるものを対象とした。

詳細調査では変形動態の把握と変形要因の調査の2つを掲げているが、本報告書をまとめるにあたり、まずは、対象石垣の基礎データ整理を兼ねて、再度立地・

規模・履歴・動態観測結果をとりまとめた。動態観測は、土木部公園緑地課が外部委託しているが、長期にわたる観測データが蓄積されており、変形動態の把握には欠かせないものであった。

変形動態

変形動態を把握する作業では、6500W（数寄屋敷西堀縁石垣）における10年間の定点観測の観測値をみて、この差であれば、計測誤差があったとしても、新旧2時期の三次元計測データにはその差があるのではないかと推測した。そこでその差を段影表現し、変形量を把握するため、孕み出し量図等の作成業務をうけてきたコンサルタントとも協議しつつ差分図A・Bを作成した。

差分比較は、10年間を一つの目安として2度目の三次元計測を行い、10年前の計測データと重ね合わせ、その差分である変形量を段影表現した。

差分図Aは、10年間に変位の累積があった地点の変化量と累積変化している範囲・形状を読み取ることが可能である。ただし、点群データを単純に比較はできないため、10cmメッシュで平均化し、その前後方向の差を表現している。

作業当初は、前後方向比較の差分図Aのみの作成を行っていたが、業務を委託していたコンサルタントからの提案により、全方向比較の差分図Bを作成した。

図は、点群データをTINメッシュデータにして全方向について解析を試みた。槽台状の石垣で、孕み出している石垣面の側面にあたる石垣にみられる、横方向への石口が開くような変位や、一見すると認識しづらい下などに対して有効な手法であろう。

また、差分図Bについては段影表現のデータの幅を調整することで、細かな動きについても把握可能とした。

今回解析を行った地点は、定点観測の観測値を参考に差分比較を行っているの、動いているというのは当然だが、一見して変形が顕著でない部分や、定点観測等の範囲外となっている場所でも変位が進んでいることがわかるなど、変形動態を把握するには有効であった。また、定点観測やクラックゲージなどの手法は、定期的・継続的に行うことにより、石垣の変動のスピードやタイミングといった詳細なデータを取得できる反面、観測点の設置場所の選択によっては変位を見逃してしまう可能性も含んでいる。そのため、今回のような長期間で比較したデータを検証することで、定点観測の位置を選択したり、すでに実施している観測箇所の見直しをする場合にも参考となるであろう。

今回の解析作業当初は、計測時の誤差が課題となった。定点観測で利用するトータルステーションや3次元計測で利用する3Dスキャナなどは一般的に ± 5 mm程度の測距誤差は含まれている。2時期の比較となれば、10mm前後の数値の差が、誤差なのか変形量なのか、

どちらかを判別するのが困難と考えられる。データを取得する際に、精度を保つよう努めるのは勿論のことだが、機器ごとの特性や、同種の機器であっても時代とともに精度も向上しており、特に10年以上前の機器と現とでは精度の差は生じてしまう。さらにデータ処理の手法の違いや人為ミスなども起こりうるため、誤差は避けられない。このような点も、データを比較する際には注意が必要で、時系列で比較するとすれば尚更である。

観測結果と解析結果の両者について、単純な絶対値の比較は必ずしも一致しないこともあるが、継続的に計測を行うことで定点観測のばらつきを平準化し、解析結果との比較でデータを相互にチェックすることが可能となる。今後とも、石垣管理の基本情報の一つとして、孕み出し量図などと同様に差分比較も継続して実施していきたい。

変形要因

石垣の変形要因の調査の一環として行った内部観察は、変形箇所背後の裏込め層には土砂の堆積があり、目詰まりを起こしているのではないかと、という単純な想定で観察を始めた。しかし、必ずしもそれは一様ではなく、むしろ想定していたよりも土砂の堆積は少ないこと、堆積している土砂も裏込め層からというよりも、雨水とともに石垣表面を流れて来た土砂や、入り込んだ葉っぱなどが腐植土として堆積したような状況が多くみられた。当初の想定通りの状況もあったが、6500Wの内部観察結果でも述べたように、修理時の解体作業停止面と想定するレベルと重なっている場合、どのタイミングでの土砂堆積か判断がつかなかった。また、孕み出した箇所裏込め層は空隙ができて、スカスカの状態になっているとの想定もあったが、実際には、築石の石尻より奥には小型カメラは入っていけないほど築石は密な状態であった。

その一方で、変形箇所も健全な箇所も築石間は隙間が多く、いわゆる馴染みの栗石が密に詰められているとは感じなかった。これは、石垣解体時の所見と一致するものであった。ただし、城内でも17世紀後半（寛文期・石垣鎮年5期）に積まれた粗加工石積（土橋門続石垣・薪ノ丸北石垣）の築石間については、栗石だけでなく、2~5cmの玉石が隙間を埋めるように充填されていた。平成10年に解体調査が行われた二ノ丸五十間長屋・菱櫓と同様の事例を検出していたが、今回、同時期の石垣の内部観察においても確認した（第134図）。石垣変形についての調査の一環として始めた内部観察であるが、視点を替えると石垣の年代の違いによる構築技術の違いについても、探れる可能性がでてきた。

石垣内部の様相を探るため、金田委員にGPR探査、電磁探査を実施していただいた。詳細な結果は第3章第2節の本文によるが、GPR探査で「水分量の多い部

分が存在する」と指摘された箇所は、探査での反射形状とほぼ同様の変形範囲を呈している。現状は天端付近が沈下し後ろに倒れ、その直下が孕み出している(第75-6図)。6500Wで最も顕著に孕み出している箇所の変形要因は、石垣背後の斜面の滑りを想定しているが、斜面からもやや離れており、局所的であるという、同一の石垣でも異なる変形状態の要因を考えるうえで重要な指摘をうけた。

内部観察や物理探査については、その所見と解体調査の内容との比較がされると、その成果や課題がより明確になるであろう。第3章第2節で報告した、ID6500W(数寄屋屋敷西堀縁石垣)は、R4年度より石垣解体修理を実施することになっており、今回の調査で得られたデータとの比較を行い、何が見えていたのかを検証しながら調査を進めていきたい。

地盤条件や地形については、変形要因の1つとして考えているが、今回の差分比較で、地盤条件の違いが石垣の変形動態に影響を及ぼしていると考えられる箇所があった。

6501Wは『報告書1』で、石垣背後が旧堀の軟弱地盤である可能性と、変形範囲の広がり概ね一致すること指摘した。この時は軟弱地盤と石垣変形について注目していたが、今回の差分比較を行ってみると、その旧堀前面の変形範囲はほとんど変位の累積が確認されず、背後に斜面が迫ってきている箇所でも累積的な変異が確認された(第135図)。同じ石垣面の変形でも、動いている箇所とそうでない箇所があることを示している。今回の結果は、一時的に動くがその後、安定状態となる場合と、動き出してそのまま動き続ける場合があり、その要因として、背後の地盤や地形が影響していることを示していると考えられる。

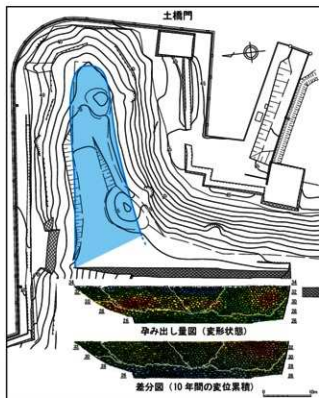
石垣の変形動態の把握とともに地盤条件についても継続的に調査を進めていきたい。

金沢城跡の石垣を適切に保存管理していくための技術や方法を調査研究し、その本質的価値の将来に亘る保存継承に資することを目標に据え取り組みを始めた「石垣保存管理技術等の総合研究」は、令和3年度をもって調査研究事業としては一旦終了することとなる。今後は、この事業で試行してきた調査方法を、城内石垣の保存管理の場において実践し、更に実態に即した手法に磨き上げていきたい。

最後になりましたが、平成24年度から10年、本事業を進めるにあたり、行政関係者の方、技能者、研究者の方に色々と情報提供や協力をいただきました。そして、多岐にわたる指導・助言をいただいた金沢城調査研究伝統技術(石垣)専門委員会委員の皆様にあらためて御礼申し上げます。



第134図 石垣内部の施工状況
(上: 変積, 下: 薪ノ丸北)



第135図 6501W背後の地盤・地形と石垣の変位状況

第2節 石垣の管理

1. 石垣の特性と歴史文化的価値

石垣は天守や櫓とともに近世城郭をイメージさせる遺構の一つである。木造建築は近代に解体、破却されたものが多いのに対し、石垣は大地に根を下ろし、地上に露出しかつてそこに城があったことを顕在化させる。高くそびえる城壁、苔むした古城の趣、個性的な意匠や色合い。都市の中心部に石垣が見え隠れる風景は城下町らしさとして、日本人の心象にも深く刻まれている。

現在、我々が見ている城跡は創建されてから幾度も拡張、改変されてきた終の姿であり、内には秘められた長い歴史が隠れている。石垣は外観でも年代や技術、精神性など、豊富な歴史情報を読み取ることができる。後から、これを歴史の証拠として良好な姿で保存し、世に引き継いでいくことは文化財保存の観点から重要である。

曲輪斜面を保護する石垣は地表に露出する大型の石材(築石)の背後に、裏込め(栗石、盛土等の地盤を持つ。この物性の異なる三層が地震動に対して相互に干渉しあって揺れの増幅を抑える効果がある。また、斜面崩壊の要因となる地盤への過剰な水分を外へ逃がしやすい構造にもなっている。地震や大雨が多い日本の自然環境が生み出した世界に誇る土木遺産ともいえる。

この歴史遺産を後世に継承するためには、埋蔵文化財と同様にいかに現状で保存していくかがカギとなる。しかし、地下にあって自然の影響を受けにくい埋蔵文化財と違って、地表に露出する石垣は荷重、変形による石材の破損やスレーキング、凍結破砕といった劣化現象にも悩まされる。また、斜面構造物であり地震や大雨、台風で崩壊しやすいという性質を持っている。実際に各地の石垣は近世以来、幾多の災害と修理を経験しながら現在に至っており、500年、1000年のスパンでは今後ともなんらかの修理は不可避といえる。現在の管理や修理も過去から未来への長い保存行為の中に位置付けてみた時に、修理の手法や履歴そのものに歴史的価値があることを忘れてはならない。

同じ不動産文化財でも木造建造物は、日本の気候とその材質から定期的な解体修理と部材の一部交換を行いながら継承されてきた。解体修理は長期的な保存のための手段と位置付けられる。柔構造に特質のある石垣ではあるが、地震による裏込めの揺す込み沈下や背面地盤からの土の浸透による摩擦力の低下、細粒分の流出による地盤の劣化など、経年劣化が避けられない。修理しながら伝えていく文化財という点では木造建造物と共通するが、石垣は地下遺構を伴う複雑な複合構造物であるという点で異なっており、解体によって文化財としての「真正性」が大きく損なわれてしまうことに留意しなければならない。現状保存を原則と

する埋蔵文化財と同じ性質を持っており、解体修理が長期的な保存のための不可欠な手法とは割り切れない。修理が伝統技術の継承に貢献し、安定した構造体としての価値を回復しとしても、継承を断たれる歴史の証拠はあまりにも大きい。ここに石垣の保存と修理におけるジレンマがあり、この点を統一的に把握するための管理や修理の理念、方法を構築し、個々の事例に即して地道な検討がなされなければならない。

石垣の崩壊は文化財価値の喪失であり、人命を危機に晒す。できる限り現状保存を志向しつつ、運用としては適切なタイミングで、適切な範囲を、適切な方法で修理していくことになる。近年は大地震や集中豪雨による文化財被害が頻発する一方で、これを地域づくりや観光等に活用するための法整備や施策が進められ、石垣と人の距離が近くなっている。石垣を適切に保存管理していく技術的指針や手法が要請されるゆえんである。

2. 石垣の声を聴く—動態観測と裏込めの変状

文化財の保護において、その保存は管理と復旧(修理)によってなされる(文化庁文化財部記念物課『史跡整備のてびき』)。管理には日常的な観察、日常的な維持管理、石垣カルテの作成・更新の実務がある(文化庁文化財部記念物課『石垣整備のてびき』、『金沢城跡石垣保存実態調査報告書1』)では、変位の大きい26箇所に対して詳細観察を行い、石垣カルテを例示した。特に三次元計測データから石垣の変形を孕み出し量や傾斜角など、複数の段彩図によって可視化する方法は、個人の目視と感に頼ってきた変状認識を関係者間で共有することに成功している。このカルテでは、石垣の基本属性と石材の破損・ゆるみ・修理境界等、古文書・絵図等による修復履歴、三次元計測による変状の様態が示されており、当該石垣の静的な安定性に関する基礎情報を提供している。

本報告ではさらに小型カメラによる築石の割れや裏込めの異常(空隙、栗石の割れ、土の堆積)についても情報が加えられた。今後は石垣の形式や時期ごとに健全な状態の胴込め等の特徴と比較しながら評価していくことが必要となる。栗石の築石裏側の情報は従来から行われてきた石垣表面からのレーダー探査も有効である。築石の控え長さを推定したり、築石背後の裏込めの空隙などを把握する。控えの短い石材の分布や築石背後の裏込めの粗密は石垣面の変形と関わる場合があり注意しておきたい。築石や裏込めの緩みは山中らが試みている表面波探査の研究も期待される(後述)。

石垣には孕み等の変状が大きくても江戸期からさほど進行していない箇所や、逆にあるきっかけで変位が

進行することがある。三ノ丸北面の河北門跡にある大きな孕みは安政地震により生じたことが当時の修理願ひ絵図でわかるが、修理されない図まま現在に至っている。後述するように柔構造の石垣は地震等で突発的に孕んだ場合でも、時間をかけて平衡を保つとすると考えられる。

石垣の安定性を評価し、対策工を判断する上で欠かせないのが動態観測である。金沢城跡では平成9年度から段階的に実施され、トータルステーションによる定点観測やクラックゲージ（分解能 0.05mm）による観測はすでに24年余りのデータの蓄積がある。また、地盤のすべり変形の影響が想定される箇所（F地区）では平成21年度から石垣面に多点変位計測計（常時観測、傾斜・変位量計測）を設置し、平成26年度からは斜面に伸縮計を設置して複合的な観測を実施してきた。これによって、石垣の変形要因や進行性について理解が深まり、対策工の選択や修理に踏み出すタイミングに一定の根拠が与えられることになった。

トータルステーションによる定点観測は、一般に石垣の年間変位量が計測に伴う機械誤差や作業誤差を包括することから、基準点の設置場所や計測数値の検証方法を考慮して実施しなければ評価は難しい。また、数年程度の期間では変異の方向やスピードを見定められない場合もあり、計画的に実施する必要がある。

史跡盛岡城跡では昭和60年度～平成10年度に全国に先駆けて総合的な動態観測が実施された（盛岡市・盛岡市教育委員会 2000）。変状の大きな三ノ丸西石垣に対して定点観測（18点→11点）、基準梁からの多点計測（自動計測）、孔内傾斜計（平成3年度～）を設置して観測し、平成11年度からは精度の高いストレインゲージ（測定精度 0.001mm）によって石材間のひずみ観測している（当初8地点30カ所）。年間12回の定期観測により、気温等による年間周期や地震動、雨量との関係も考察可能な詳細なデータが蓄積されている。石垣により年周期の振幅に大小の差があることや間詰石の欠落による熱膨張の影響など、石垣の性質を理解するうえで重要な情報が得られている。現在では部分的に傾斜角の測定も加えている。盛岡城跡ではこのような動態観測を継続しつつ、専門家らの助言を得ながら毎年評価を行っている。これにより近年、応急対策としてふとんかごを設置した例や、解体修理に着手した例がある（盛岡市教委ご教示）。

群馬県の史跡荒船風穴では平成27年

度から石積みや岩塊に対してトータルステーション、クラックゲージ、伸縮計による複合的な動態観測が行われている（下仁田町教育委員会ご教示）。見学通路との近接が避けられない石積みには地震等による突発的な崩壊に備え、見学者の安全を確保するために石材飛散防止用ネットが設置された。

史跡甲府城跡の石垣管理では、第1次点検としてまず全石垣366面の目視観察を行い、その後主要石垣と重点監視石垣を3回点検する（山梨県埋蔵文化財センターご教示）。孕み出し、割れ、間詰等の欠落・落石、出水、落書き等をカウントし、これによって各面の健全度を3段階で評価する。さらに警戒が必要な石垣についてはゲージを設置して動態観測を行っている。ゲージは平成27年度に78カ所を設置し、その後順次追加し、令和3年度は157カ所に達している。ここでは石垣、石材の変状に合わせて4種類（孕み、傾斜、割れ、開き）のゲージを独自開発している点に特徴がある。変位が観測されるゲージについては年3回の読み取りを行っている。

第2次点検では警戒箇所を中心に、年1回技能者らがロープ、高所作業で近接目視、触診を行っている。築石の打音検査や間詰石の浮き等を点検し、それぞれ補修方針を検討した後、対策工を実施する。甲府城跡では平成17年度から非解体での各種補修（部分補強）工事を実施しており、平成27年度からこれらを順次2次点検している。甲府城跡の石垣は石口の開きが大きい野面積みで間詰石の浮きや落下が頻発するため、石垣直下の利用状況も勘案しながらこのような点検とメンテナンスが行われている。

このほか、鉄筋棒にひずみ計を設置して石垣内部の変位を観測している事例もある（玉野ほか2014）。



第136図 良好な裏込め 小峰城跡藤門

レーザー計測による点群データの差分比較

今回は 3D レーザースキャナーによる点群データを活用して 10 年間の差分比較で動態を把握する手法が提示された。この可視化図は石垣面全体の変位を把握できる点で優れており、今後は標準的な動態観測の手法になるであろう。ただし、点群密度や点群のマッチング方法等、精度に影響を与える要素もあることから、測量コンサルタント会社や専門家と相談しつつ、他の観測データと併用しながら解釈することが望ましい。

小山らは熊本城石垣の被災直後とその後 2 年間の変位を差分解析によって比較している（小山ほか 2017）。

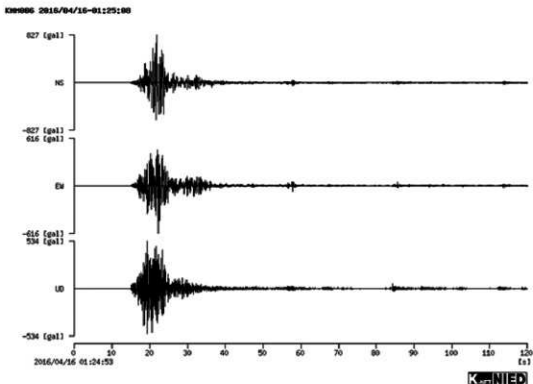
宇土櫓下、同続櫓下では地震時に孕み出しや前倒れが見られたが、その後、顕著な変位が認められなかったのに対し、平櫓北面では 1 年後までに孕み出しが進行し、その後変位が収まった。被災によって石垣が不安定化すること、同時に一定の時間を経過すると変位の進行が鈍化することが示唆された。栗石や地盤が一体となった柔構造の特性ともいえよう。内部が総栗の馬具櫓南面石垣が地震の約 1 か月後に突如崩壊したことが示すように、大地震で不安定化した石垣は監視を強化する必要がある。熊本地震による石垣崩壊では鉛直方向の大きな加速度によって栗石や薬石の摩擦力が一気に低下し、これに横揺れが加わることで、耐えきれない石垣は崩壊を引き起

こすというメカニズムが復元されている。東十八間櫓台の被災現場をみた西形連明も当初からその点を指摘している。熊本城では前震の不安定化が回復する間もなく、直後に本震が襲ったことが石垣被害を助長したといえる。

石垣カルテでは、管理番号や写真・目視による簡易カルテの作成を基礎としつつ、現状把握の手法としてレーザー計測による三次元データの取得を推奨したい。また、フォトグラメトリーや LiDER スキャナーによる計測も多方面で活用されており、精度を検証しながら石垣管理への応用を検討していきたい。



第 137 図 熊本城跡東十八間櫓台の崩壊



第 138 図 熊本地震の強震動波形（本震 KM006 南北・東西・上下）

3. 石垣の声を聴く―旧地形・地盤

地震動は地形や土質の影響を強く受けるため、旧地形や石垣の基礎地盤、背面地盤等の情報を得ることが不可欠となる。特に城では曲輪を造成する際、高所を削平して、谷や斜面に盛り土して石垣を作るのが一般的である。枋形や門の石垣台では内部を栗石で充填する場合もある。

石垣が立地する地形や地盤の情報を得るためには様々な手法がある。城地全体の地形測量図により尾根や谷などの旧地形が把握できる。井戸遺構の分布によって谷や水みちがわかるし、石垣面からの出水や湿度も参考となる。発掘調査やボーリング調査では直接地盤の層位や土質等が把握できる。標準貫入試験によるN値や採取したコアの土質試験データ（内部摩擦角や粘着力）は、斜面の安定計算に用いられる。地下探査には各種あり、目的に応じた手法が選択される。

山中稔らによる常時微動測定や表面波探査は、地盤の揺れやすさ、裏込みや盛り土の締まり具合など、複合構造体である石垣の全体的な特性を知り、変状に対する理解を得るのに有効である（山中ほか2015・2017）。土木学会「城壁の耐震診断・補強に関する研究小委員会」や橋本隆雄らによる熊本地震の石垣被害の分析や地盤の特性に関する研究（橋本ほか2019、荻野ほか2021）も参考になる。

地盤情報の取得は石垣管理のために計画的実施できるのが望ましいが、当面は過去の発掘調査やボーリングデータなどを整理しておくことが、史料では事業ごとに土質調査がなされても、役所の縦割り行政によって情報が共有されないことが少なくない。

4. 石垣安定性の評価をめぐる動向

石垣の安定性評価の手法についてかつては「経験的・統計的方法」「理論式による方法」「数値解析による方法」に分類された（野間ほか2013）が、近年は石垣構造の特徴や地震被害の分析を踏まえた解析が行われるようになってきた。

杉本知史らは熊本地震で被害を受けた石垣を3タイプ（石壘・半石壘・無石壘）に分けてモデル化し、個別要素法（FEM）によって動的挙動の数値解析を実施している（杉本ほか2019）。このような数値解析では栗石内部の空隙比が大きい場合、地震動によって鉛直下向きに詰まっていき、その時発生する主動土圧が石垣石の受動土圧より大きくなった際に下部石垣から崩壊に至るというメカニズムが復元されている。ここでは同時に石垣の常時観測を行うために3軸加速度センサーに通信モジュールを取り付けて、常時モニタリングするシステムも提案されている。

令和3年3月、熊本市は熊本城の石垣の耐震対策

を進めるにあたり、標準的な手順と方法等を示すために「耐震診断指針（案）」が策定された。診断のプロセスは先行して運用されている「重要文化財（建造物）耐震診断指針」に準拠し、予備診断、基礎診断・専門診断を行って補強等の対処方針を定めていく。予備診断では石垣の特性（石垣タイプ、高さ・勾配、過去の被災・修復履歴、築石の変状、天端や基礎部の変状、変状の進行性、湧水）によって累積された基礎点を判定の指標とする。ここでは安定性に関わる静的な属性と変状の進行性という動的な属性が同一レベルで評価されており、金沢城の既存の石垣保存管理方針とは違いがある。

実質的な判定となる基礎診断では擁壁や斜面の安定性を評価する地盤工学の診断手法（築石の示力線、根入れ部の転倒・滑動・支持力、石垣背面の円弧滑り）を援用、診断に用いる各種物性値は地盤調査・試験により得られた値や既往の実験値を総合的に勘案して用いる方針となっている。

現在、文化庁では城石垣の耐震診断や危険と判断した場合の対処方法に関する指針作りを行っているが、全国の多様な石垣、地盤特性をもった城跡にどのように適応させ、運用できるかはまだ不透明である。また、数値解析（FEM、DEM等）が実現象を再現できているわけではない。地盤の安定解析や地震時の石垣挙動の解析のみで安定性を評価し、対策工に走るとは文化財保存上適切とはいえないだろう。

全国の城跡では災害によって毀損する石垣が毎年のようにあり、不安定な状態にある石垣は少なくない。それらが十分な管理もされず、危険性が認識されないまま利用されていることが問題である。『石垣整備のてびき』や「熊本城の耐震診断指針（案）」にも示されているように不安定な石垣は何かの対処が必要である。しかし、解体や補強は一つの選択肢にすぎない。指針は文化財である石垣を良好な姿で後世に伝え、史跡公園利用者の安全が確保されるものではなくてはならない。

三次元計測とデータ解析、地盤工学分野の研究の進化は著しく、複雑な石垣構造や変形挙動の理解は今後も深まるだろう。石垣管理はこのような技術の進化と新たな研究を取り込みながら更新されていくべきものである。

5. おわりに

石垣は生きている。石垣管理は医療に例えるとわかりやすい。若い石垣、壮年期の石垣、老齢期の石垣、健康な石垣、持病を持った石垣、成人病を患う石垣、災害で大きな傷を負った石垣。石垣が厳しい自然の中で生き抜こうとしている複雑な生命体だとすると、管理とは人がそこに寄り添い、対話することで相手

の性格や病状を理解しようとするところから始まる。

日常の観察は見てやって、触ってやって、声を聴いてやる。問診、聴診器、機器による検診、人間ドックと階梯がある。医学や工学は健康状態を知るうえで不可欠な手法である。ただし専門病院での診察や高度な医療はだれもが受けられるわけではない。

日常の管理とは石垣の嫌がることを把握し、除去したり簡単な手当てをすること。草木が繁茂すれば取ってやり、排水が悪ければ水回りを改良してやる。凍結破砕があれば保温してやる。石垣が生きやすいよう適度に手をかけてやる。

石垣の管理や安定性の評価において、なんでも切ることのできる「万能の刀」はないと心得たい。

参考文献

- ・石垣隼士・山中稔・小泉勝彦・東信男 2016「丸亀城石垣変状部の常時微動測定による振動特性の検討」『第12回地盤改良シンポジウム論文集』
- ・荻野将樹・山中稔 2021「常時微動探査による地層区分を利用した熊本城三次元地盤図の作成」『土木史研究講演集』41
- ・神谷圭祐・菊本統・橋本涼太・桑島流音・小山倫史 2018「2016年熊本地震による熊本城石垣の変状の分析」『自然災害科学』S05 Vol.37 特別号
- ・熊本城石垣耐震診断指針(案)https://www.city-kumamoto.jp/common/UploadFileDsp.aspx?e_id=5&id=5566&sub_id=139&flid=269347
- ・小山倫史・菊本統・橋本涼太・桑島流音 2017「平成28年(2016年)熊本地震における熊本城の城郭石垣の被害調査およびその分析」『社会安全学研究』7
- ・杉本知史・山中稔・石塚洋一 2019「変状進行中の城郭石垣のモニタリングと崩壊危険度評価手法の提案」『一般財団法人大成学術財団2017年度助成研究概観書』
- ・玉野富雄・金岡正信・西形達明・西田一彦 2014「石造構造物における力学安定評価時の「温度一ひずみ係数」」『地盤工学ジャーナル』Vol.9, No.4
- ・野間康隆・山本浩之・西村毅・笠博義・西形達明・西田一彦 2013「城郭石垣の地震時変形予測と安定性評価に関する研究」『土木学会論文集C(地盤工学)』vol.69, No.4
- ・橋本隆雄・石作克也・松尾拓 2019「熊本城の石垣タイプと被害の相関についての研究」『国士館大学理工学部紀要』第12号
- ・橋本隆雄・磯部有作・松尾拓・石作克也 2021「熊本城内の石垣を対象とした3次元地盤モデルの構築と2次元地震応答解析」『国士館大学理工学部紀要』13
- ・橋本隆雄・磯部有作・松尾拓・石作克也 2021「熊本城石垣における累積示力線法を用いた耐震性能の検証」(熊本城石垣耐震診断指針(案)所収)

・盛岡市・盛岡市教育委員会 2000『史跡盛岡城跡石垣移動量調査報告書』

・山中稔・西脇大祐・小泉勝彦・長谷川修一 2015「常時微動測定による高知城石垣部の地震時不安定箇所を検出について」『第50回地盤工学研究発表会』

・山中稔・橋本涼太・杉本知史・勝田侑弥 2017「熊本城二様の石垣の振動特性の特徴について」『地盤工学会四国支部平成29年度技術研究会発表会講演概要集』

引用・参考文献

- 石川県1924『石川県史蹟名勝調査報告 第二集』
石川県1991a『金沢大学城内キャンパス石垣・崩地等調査報告書』
石川県1991b『金沢大学城内キャンパス用地測量石積法面調査 求積表』
石川県1993a『金沢大学城内キャンパス石垣等動態観測調査報告書』
石川県1993b『金沢大学跡地等の利用に関する提言』
石川県1994『金沢城跡整備計画報告書(案)』
石川県1995『金沢城跡整備実施計画報告書』
石川県2011『史跡金沢城跡保存管理計画書』
石川県金沢城・兼六園管理事務所 石川県金沢城調査研究所2012『特別名勝兼六園 榮耀山石垣等修理工事報告書』
石川県金沢城調査研究所2008a『金沢城調査研究所年報1』
石川県金沢城調査研究所2008b『絵図でみる金沢城』
石川県金沢城調査研究所2008c『金沢城石垣構築技術史料1』
石川県金沢城調査研究所2008d『金沢城跡埋蔵文化財確認調査報告書1』
石川県金沢城調査研究所2008e『戸室石切丁場確認調査報告書1』
石川県金沢城調査研究所2009a『金沢城調査研究所年報2』
石川県金沢城調査研究所2009b『よみがえる金沢城2』
石川県金沢城調査研究所2010a『金沢城調査研究所年報3』
石川県金沢城調査研究所2010b『金沢城の三御門―河北門・橋爪門・石川門―』
石川県金沢城調査研究所2011a『金沢城調査研究所年報4』
石川県金沢城調査研究所2011b『金沢城石垣構築技術史料2』
石川県金沢城調査研究所2011c『金沢城跡―河北門―』
石川県金沢城調査研究所2011d『金沢城跡―二ノ丸内堀・菱櫓・五十間長屋・橋爪門被櫓1―』
石川県金沢城調査研究所2012a『金沢城調査研究所年報5』
石川県金沢城調査研究所2012b『金沢城跡―二ノ丸内堀・菱櫓・五十間長屋・橋爪門被櫓2―』
石川県金沢城調査研究所2012c『城郭石垣の技術と組織』
石川県金沢城調査研究所2013a『金沢城調査研究所年報6』
石川県金沢城調査研究所2013b『金沢城普請作事史料1』
石川県金沢城調査研究所2013c『戸室石切丁場確認調査報告書2』
石川県金沢城調査研究所2014a『金沢城調査研究所年報7』
石川県金沢城調査研究所2014b『金沢城普請作事史料2』
石川県金沢城調査研究所2014c『金沢城跡―石川門付風太鼓塀―』
石川県金沢城調査研究所2014d『金沢城跡埋蔵文化財確認調査報告書2』
石川県金沢城調査研究所2015a『金沢城調査研究所年報8』
石川県金沢城調査研究所2015b『金沢城普請作事史料3 奥村栄実御用番并御城日記』
石川県金沢城調査研究所2015c『金沢城跡―橋爪門―』
石川県金沢城調査研究所2015d『金沢城跡―玉泉院丸庭園Ⅰ―』
石川県金沢城調査研究所2016a『金沢城調査研究所年報9』
石川県金沢城調査研究所2016b『金沢城普請作事史料4』
石川県金沢城調査研究所2016c『金沢城跡石垣保存実態調査報告書1』
石川県金沢城調査研究所2016d『金沢城跡―鶴ノ丸第1次・新丸第1次・尾坂門・二ノ丸廻路・敷居垣屋敷―』
石川県金沢城調査研究所2017a『金沢城調査研究所年報10』
石川県金沢城調査研究所2017b『金沢城普請作事史料5 三壺問書』

- 石川県金沢城調査研究所2017c『絵図にみる金沢城二ノ丸御殿』
石川県金沢城調査研究所2018a『金沢城調査研究所年報11』
石川県金沢城調査研究所2018b『金沢城総合年報 前編』
石川県金沢城調査研究所2018c『金沢城庭園調査報告書』
石川県金沢城調査研究所2018d『金沢城跡―玉泉院丸庭園Ⅱ―』
石川県金沢城調査研究所2019a『金沢城調査研究所年報12』
石川県金沢城調査研究所2019b『金沢城編年史料 近世Ⅰ』
石川県金沢城調査研究所2019c『金沢城跡―一本丸階段・北ノ丸―』
石川県金沢城調査研究所2020a『金沢城調査研究所年報13』
石川県金沢城調査研究所2020b『金沢城編年史料 近世Ⅱ』
石川県金沢城調査研究所2020c『金沢城跡―いもり堀―』
石川県金沢城調査研究所2020d『金沢城跡―鼠多門・鼠多門橋Ⅰ―』
石川県金沢城調査研究所2020e『令和2年度 二ノ丸御殿確認調査の概要 (現地説明会資料)』
石川県金沢城調査研究所2020f『金沢城シンポジウム「近世前期の金沢城―利常・綱範の城づくり―』
石川県金沢城調査研究所2021a『金沢城調査研究所年報14』
石川県金沢城調査研究所2021b『文化五年 御造方一件留帳』
石川県金沢城調査研究所2021c『金沢城跡―鼠多門・鼠多門橋Ⅱ―』
石川県金沢城調査研究所2021d『令和3年度 二ノ丸御殿確認調査の概要 (現地説明会資料)』
石川県教育委員会・(財)石川県埋蔵文化財センター198『金沢城跡を語る 198』
石川県教育委員会・(財)石川県埋蔵文化財センター199a『金沢城跡を語る 199』
石川県教育委員会・(財)石川県埋蔵文化財センター199b『金沢城跡を語る 199』vol. 2
石川県教育委員会・(財)石川県埋蔵文化財センター2000『金沢城跡を語る 2000』
石川県教育委員会・(財)石川県埋蔵文化財センター2002a『金沢市 金沢城跡1』
石川県教育委員会・(財)石川県埋蔵文化財センター2010『金沢市 金沢城跡1』
石川県教育委員会・(財)石川県埋蔵文化財センター2012『金沢市 金沢城跡2―堂形(第3・4次調査)―』
石川県教育委員会・(公財)石川県埋蔵文化財センター2014a『石川県金沢市 金沢城下町跡(丸の内7番地点)』
石川県教育委員会・(公財)石川県埋蔵文化財センター2014c『金沢市 金沢城跡3―堂形(第5次調査)―』
石川県土木部公設財地課・石川県金沢城調査研究所2010『金沢城跡石垣修理工事報告書―玉泉院丸内西石垣―』
石川県土木部公設財地課・石川県金沢城調査研究所2017『金沢城跡玉泉院丸内石垣等』
石川県教育委員会1970『金沢城二ノ丸跡発掘調査概報』
石川県教育委員会2001『金沢城フォーラム いま語る金沢城』
石川県教育委員会事務局文化財課金沢城研究調査室2003a『年報1』
石川県教育委員会事務局文化財課金沢城研究調査室2003b『研究紀要 金沢城研究 創刊号』
石川県教育委員会事務局文化財課金沢城研究調査室2004a『年報2』
石川県教育委員会事務局文化財課金沢城研究調査室2004b『御造方

方日並記』上巻

- 石川県教育委員会事務局文化財課金沢城研究調査室2006a『年報3』
- 石川県教育委員会事務局文化財課金沢城研究調査室2006b『御造営方日並記』下巻
- 石川県教育委員会事務局文化財課金沢城研究調査室2006c『金沢城フォーラム 記録集 石垣の匠と技』
- 石川県教育委員会事務局文化財課金沢城研究調査室2006d『金沢城を語る』金沢城調査研究パンフレットNo. 3
- 石川県教育委員会事務局文化財課金沢城研究調査室2006a『年報4』
- 石川県教育委員会事務局文化財課金沢城研究調査室2006b『金沢城跡II』
- 石川県教育委員会事務局文化財課金沢城研究調査室2006c『よみがえる金沢城I』
- 石川県教育委員会事務局文化財課金沢城研究調査室2006d『金沢東照宮(尾崎神社)の研究』
- 石川県教育委員会事務局文化財課金沢城研究調査室2007a『年報5』
- 石川県教育委員会事務局文化財課金沢城研究調査室2007b『金沢城代と横山家文書の研究』
- 石川県教育委員会文化課・金沢御堂金沢城調査委員会1991a『金沢御堂・金沢城調査報告書1』金沢城史料編
- 石川県教育委員会文化課・金沢御堂金沢城調査委員会1991b『金沢御堂・金沢城調査報告書1』金沢御堂史料編
- 石川県教育委員会文化課・金沢御堂金沢城調査委員会1993『金沢城跡 金沢城跡遺構実態調査概要報告書』
- 石川県土木部公園緑地課2013『金沢城公園 河北門復元整備工事報告書』
- 石川県立埋蔵文化財センター1992『特別名勝 兼六園(江戸町推定地)発掘調査報告書一附 本多家上屋敷跡跡地調査報告一』
- 石川県立埋蔵文化財センター1996『金沢城跡石川門前土橋(通称石川橋)発掘調査報告書I』
- 石川県立埋蔵文化財センター1997『金沢城跡石川門前土橋(通称石川橋)発掘調査報告書II』
- 石川県立埋蔵文化財センター1998『金沢城跡石川門前土橋(通称石川橋)発掘調査報告書III』
- 井上親夫1969『金沢城跡の発掘』金沢大学金沢城学術調査委員会
- 上野佳也1976『金沢城四十間長堀跡発掘調査概報』『日本海文化』No. 3 金沢大学法文学部日本海文化研究室
- 宇佐見親夫1987『新編 日本被爆地誌』財団法人東京大学出版会
- 宇和島市1998『史跡宇和島城事前遺構調査(石垣調査)報告書』
- 宇和島市教育委員会2008『代右衛門丸跡石垣崩落現場から学ぶもの—宇和島城の石垣と樹叢を考える—』(現地説明会資料)
- 宇和島市教育委員会2019『史跡宇和島城 保存活用計画書』
- 江戸遺跡研究会2001『図説 江戸考古学研究事典』柏書房
- 大洲市教育委員会2014『大洲城跡(明治C箇所)』(現地説明会資料)
- 学習院大学史料館編2006『写真集 明治の記憶』吉川弘文館
- 金沢市史編さん室1965『金沢の百年 明治編』金沢市
- 金沢市史編さん室1967『金沢の百年 大正・昭和編』金沢市
- 金沢市役所1973『稿本 金澤市』市海編第四 名著出版
- 金沢大学金沢城学術調査委員会1967『金沢城 その自然と歴史』
- 金沢大学生生活協同組合
- 金沢大学創立50周年記念事業後援会2001『金沢大学50年史』通史編
- 金田明大ほか2010『文化財のための三次元計測』岩田書院
- 木越隆三2003a『元和〜寛文期の金沢城修築について』『研究紀要 金沢城研究』創刊号 金沢城研究調査室
- 木越隆三2003b『資料紹介:古より公開された侯爵城絵図・御用図 図改申品々之帳』『研究紀要 金沢城研究』創刊号 金沢城研究調査室
- 木越隆三2004『金沢城全域絵図の分類と編年—金沢城絵図調査報告I—』『研究紀要 金沢城研究』第2号 金沢城研究調査室
- 木越隆三2007『近世後期、石垣構築技術「秘伝」の形成過程』『研究紀要 金沢城研究』第5号 金沢城研究調査室
- 木越隆三2008a『後藤藩三郎の石垣技術書と初期秘伝の読み方』『金沢城石垣構築技術史料I』石川県金沢城調査研究所
- 木越隆三2008b『天保年間金沢城辰巳櫓の再建計画について』『研究紀要 金沢城研究』第6号 石川県金沢城調査研究所
- 木越隆三2013『「戸室石切丁場」の歴史と石引道の管理』『戸室石切丁場確認調査報告書II』石川県金沢城調査研究所
- 北垣聰一郎1987『石垣普請』法政大学出版局
- 北島俊明 1987『金沢の石切り 石切り緊急調査報告書』金沢市教育委員会
- 北島俊明 1995『戸室石引き道 調査報告書』金沢市
- 北野博司2001『加州金沢城の石垣修築について』『東北芸術工科大学紀要』No. 8 東北芸術工科大学
- 北野博司2003『金沢城石垣の変遷I』『研究紀要 金沢城研究』創刊号 金沢城研究調査室
- 北野博司2004『金沢城石垣の変遷2—石積石垣—』『研究紀要 金沢城研究』第2号 金沢城研究調査室
- 北野博司2006『近世城郭と石垣普請の実像』『日本歴史』686
- 寒川 旭1986『寛政15年(1799年)金沢地震による被害と活断層』『地誌』第39巻 日本地質学会
- 佐々木達夫1980『金沢城跡の発掘—一九七九年—』『日本海文化』No. 7 金沢大学文学部日本海文化研究室
- 佐々木達夫1981『金沢城跡の発掘—1977年—』『金沢大学日本海城研究所報告』第13号
- 貞末亮司ほか1986『金沢城の発掘—1981—藤右エ門丸北側法面裾部発掘報告』『金沢大学日本海城研究所報告』第18号
- 貞末亮司ほか1989『金沢城の発掘—1986年—黒門横北側外郭発掘調査報告』『日本海文化』No. 15 金沢大学文学部日本海文化研究室
- 澤 孝平ほか2008『シビルエンジニアリングの第一歩』コロナ社
- 公益社団法人地盤工学会関東支部2014『土木史跡の地盤工学的分析・評価に関するシンポジウム委員会報告書及び一般発表論文集』
- 社団法人地盤工学会2008『歴史的地盤構造物の構築技術および保存技術に関するシンポジウム 発表論文集』
- 高松市・高松市教育委員会2007『数門石垣調査・保存整備工事報告書』
- 田端實作1979『金沢城とその周辺の災害史』『金沢城石垣刻調調査報告書』城郭石垣刻調研究所
- 徳島市教育委員会2006『国指定史跡徳島城跡石垣現状基礎調査報告書』
- 内閣府(防災担当)2014『1707 宝永地震報告書』
- 西形達明ほか2008『遠心載荷実験による城郭石垣構造の変形挙動』

- 『歴史的地盤構造物の構築技術および保存技術に関するシンポジウム 発表論文集』社団法人地盤工学会
- 西田一彦ほか1998『歴史遺産としての城郭石垣の安定性評価方法の工学的提案』『地盤に係わる維持・補修・管理技術に関するシンポジウム 論文集』土木学会
- 西田一彦2010『石垣修理と土木工学—石垣の現状把握と安全な修理工事のために—』『第7回全国城跡等石垣整備調査研究会資料集』第7回全国城跡等石垣整備調査研究会実行委員会
- 日本海文化研究室編1976『金沢城郭史料』日本海文化叢書第三巻 金沢大学法文学部日本海文化研究室
- 日置 謙1966『改訂増補 加能郷土辞彙』北國新聞社
- 彦根市教育委員会2010『特別史跡彦根城跡 石垣総合調査報告書』
- 兵庫県歴史文化遺産活用活性化実行委員会2015『「城跡と樹木」—兵庫県みどりのヘリテージマネージャーによる史跡と樹木に関する保護対策調査—』
- 文化財石垣保存技術協議会2012『文化財石垣保存技術協議会 研修資料集 第1集(平成20～22年度)』
- (公財)文化財建造物保存技術協会2011『弘前城本丸石垣カルテ作成業務報告書』弘前市
- (公財)文化財建造物保存技術協会 2014『重要文化財金沢城石川門修理工事報告書』石川県
- 文化庁1989『重要文化財金沢城 石川門・三十間長屋保存修理工事報告書』
- 文化庁2006『史跡等整備のてびき』同成社
- 文化庁2013『発掘調査のてびき—各種遺跡調査編—』同成社
- 文化庁文化財部記念物課2015『石垣整備のてびき』同成社
- 前川哲朗1996『近世の金沢地域における震災史料について』『市史かなぎわ』第2号 金沢市
- 峰岸純夫ほか2003『城と石垣—その保存と活用—』高志書院
- 盛岡市・盛岡市教育委員会2000『史跡盛岡城跡 石垣移動量調査報告書』
- 盛岡市2012『史跡盛岡城跡 保存管理計画書』
- 盛岡市2013『史跡盛岡城跡 整備基本計画』
- 森本浩行ほか2002『城郭石垣の計測と変状の評価に関する考察』『土木史研究』No.22 pp103—110
- 安川郁夫ほか2013『絵とき 土質力学』(改訂3版)オーム社
- 山梨県2003『県指定史跡甲府城跡 稲荷櫓台石垣改修工事報告書』
- 山梨県2006『県指定史跡甲府城跡』
- 吉岡康暢1985『金沢城の発掘』『金沢城と前田氏領内の諸城』
- 日本城郭史研究叢書 第五巻 名著出版

報告書抄録

ふりがな	かなざわじょうあといしがきぼぞんじったいちょうさほうこくしょ2							
書名	金沢城跡石垣保存実態調査報告書II							
副書名	金沢城史料叢書43							
シリーズ名								
シリーズ番号								
編著者名	西田郁乃、北野博司、金田明大							
編集機関	石川県金沢城調査研究所							
所在地	〒920-0918 石川県金沢市尾山町10-5 TEL 076-223-9696							
発行年月日	2022年3月31日							
ふりがな 所収遺跡名	ふりがな 所在地	コード		北緯	東経	調査期間	調査面積	調査原因
		市町村	遺跡番号	° / ′	° / ′		(㎡)	
かなざわじょうあと 金沢城跡	いしかわけん 石川県 かなざわしまるのうち 金沢市丸の内	17201	130200	36° 33′ 58″	136° 39′ 35″	20160401～ 20210331	28,475	保存目的 調査
所収遺跡名	種別	主な時代	主な遺構	主な遺物		特記事項		
金沢城跡	城館	近世	石垣					
要約	<p>金沢調査研究所では、調査研究事業の一環として、城内の石垣を適切に保存・管理し、その本質的価値を将来にわたって確実に保存継承していくため、平成24年度より『石垣保存管理技術等の総合研究』に取り組んできた。</p> <p>平成28年度からは、それ以前に取りまとめた城内石垣の実態調査の成果と課題をふまえて、石垣の保存状態に関する調査を行った。</p> <p>石垣の三次元計測データの差分比較による、面的な変形動態の把握や、石垣の内部変状を探るため、小型カメラによる裏込め層の観察や、物理探査を実施した。</p>							

金沢城史料叢書 43

金沢城跡石垣保存実態調査報告書Ⅱ

令和4年（2022）3月31日 発行

編集・発行 石川県金沢城調査研究所

〒920-0918 石川県金沢市尾山町10-5
電話 076 (223) 9696 FAX 076 (223) 9697
<https://www.pref.ishikawa.lg.jp/kyoiku/bunkazai/kanazawazyo/index.html>
メールアドレス knycastle@pref.ishikawa.lg.jp

印刷 前田印刷株式会社

