

櫓直下の石垣補修について

笠博義¹ 阿波谷宜徳²

¹正会員 工博 ハザマ 技術・環境本部環境事業部（〒105-8479 東京都港区虎ノ門二丁目 2-5）

²ハザマ 名古屋支店（〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦二丁目 4-16）

我が国の城郭石垣の多くは、築造後 400 年以上経過しているものが多く、変状が進行しているものが少なくない。こうした石垣は、貴重な文化遺産であり適切な方法で維持管理を行っていく必要があり、変状が進んだ石垣は、解体・積み直しにより健全な状況に戻されることが一般的であるが、その上部に櫓などの建造物が存在する場合は、そうした補修が困難な場合が多い。本事例は、石垣の健全性調査結果に基づいて、櫓直下の石垣の補修を計画し、変状状況に応じて間詰石の補充や解体・積み直しを行って、文化財的な価値を守りつつ石垣の安定性を向上させたものである。こうした補修方法は、櫓等の建造物下の石垣補修において参考になるものと思われる。

キーワード：石垣、櫓、補修、文化財、健全性調査

1. まえがき

我が国には多数の城跡が存在しているが、これらの城郭を構成する天守や御殿等の建造物は、明治維新後に解体されたものや戦災等で焼失するなどして、現在では石垣や土塁のみが残存しているものも少なくない。こうした城跡の石垣は構築後 400 年程度経過しているものが大半を占め、この間にさまざまな要因により変状が進行しているものも多く、近年、適切な維持管理の必要性が再認識されている。

一方、前述のような要因で櫓等が消失した城郭において、戦後に建造物が復元または再建された例は、名古屋城天守等をはじめ全国的に見られる。こうした復元建造物の基礎は、建造物自体の構造や重量の違いや建築基準法等の規定により、従来のように石垣上に直接基礎を設けることは困難であり、杭、ケーソンなど新たに近代工法により基礎を設けている場合が多い。このような工事を行う際には、石垣の一部分に手を加えられることもあり、当時の状況によっては、必ずしも伝統的な石積み工法による施工がなされない場合も少なくない。

本研究では、豊橋市の吉田城跡鉄櫓（くろがねやぐら）下の石垣の安定性を向上させる目的で実施した補修工事について、健全性調査を含めたその概要と、石垣の上部に建造物が存在する場合の補修の課題と対策について整理するものとする。

2. 吉田城の概要と補修目的

吉田城は現在の愛知県豊橋市の中心部に1505年に築造された城であり、当初今橋城と呼ばれていたものが後に改称されたものである。その城跡は豊橋市役所などの公共施設として利用されており、旧本丸付近の豊橋公園には往時の姿を留めている内堀や石垣が残っている。今回の補修工事の対象となったのは、豊川に面した段丘上に築かれた3層の鉄櫓下の石垣である。なお、この櫓は1954年（昭和29年）に鉄筋コンクリート造で再建されたものである。

この鉄櫓の下部の石垣は、勾配が緩い野面積みによるもの（写真-1）で、城跡内に現存する石垣の中でも最も古いものとされている。また、隅石部には野面石による算木積み構造が見られるなど歴史的な石積み技法を知る上でも貴重な文化遺産であると言える。



写真-1 吉田城鉄櫓と石垣（補修後）

表-1 石垣を構成する石材の呼び名とその概要

石材の呼び名	概 要
築石 (つきいし)	石垣本体を構成する石材。最下段に配されるものを根石とよぶ
間詰石 (まづめいし)	築石前面の間隙を埋め、築石の緩み・変位を防止する
飼石 (かいいし)	築石の背面や上下の隙間に配され、築石を固定し緩みを防止する。築石の背面に入れるものを鱸飼石（ともかいいし）、上下間に入れるものを胴飼石という
裏栗石 (うらぐりいし)	築石と背面地盤の間に充填され、石垣の応力伝達と地盤からの地下水排水機能を有する

本石垣は、長年の間に一部の間詰石が抜け落ち、表面には草本類が繁茂するなどしていた。こういった状況では、石垣を構成する石材間の噛み合せが低下し、植物の根により、空隙が拡大することなどから、石垣全体としての安定性は低下しているものと考えられる。

こうしたことから、本石垣の健全性を調査し、劣化の状況やその要因を推定した上で、その状況に応じた対策を施すこととなった。次章以降に、健全性調査および補修工事の概要を示す。なお、石垣を構築する石材の呼び名とその概要を表-1にまとめた。

3. 健全性調査

石垣の健全性については、目視調査と合わせてレーダー探査が実施された。調査範囲は図-1に示すように、鉄櫓下で古い構造を留める石垣（北面および西面）と櫓再建時に積み直されたと判断される低石垣（東面および南面）である。

(1) 目視調査：調査に際しては、最初に表面に繁茂していた草本類を除草してから、目視により変状状況を確認した。この結果、鉄櫓下の石垣には大きな孕み出し等の変状は見られないものの、各所に間詰石の抜け落ちが見られ、北面および西面の石垣では多数の植物が石材間に根を張っている状況が確認された。こうしたことにより、既に半ば浮いている状況にある部分も存在し、落石の危険性があるものと判断された。

一方、東面や南面石垣は高さが2m程度と低く、直接雨水が当たらない位置にあることなどから、植物の繁茂はほとんど見られないが、石材の抜け落ちや伝統的な技法によらない構築などが確認された。

(2) レーダー探査：レーダー探査は、石垣の表面にガイドパイプを設置して、レーダーアンテナを上下または水平

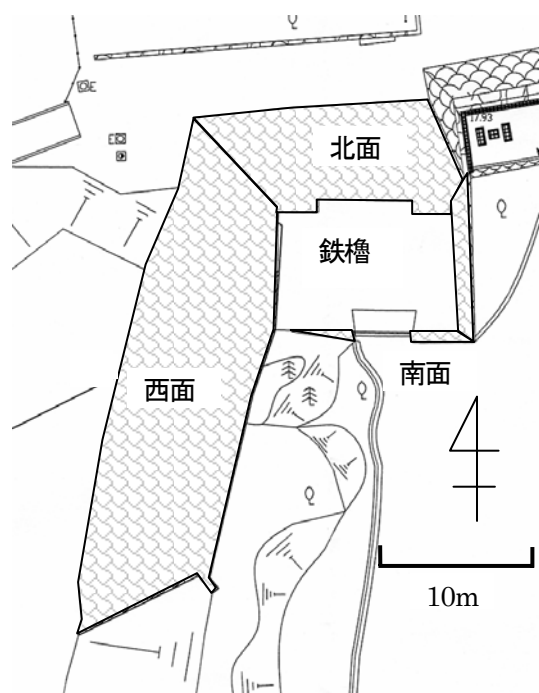


図-1 調査範囲

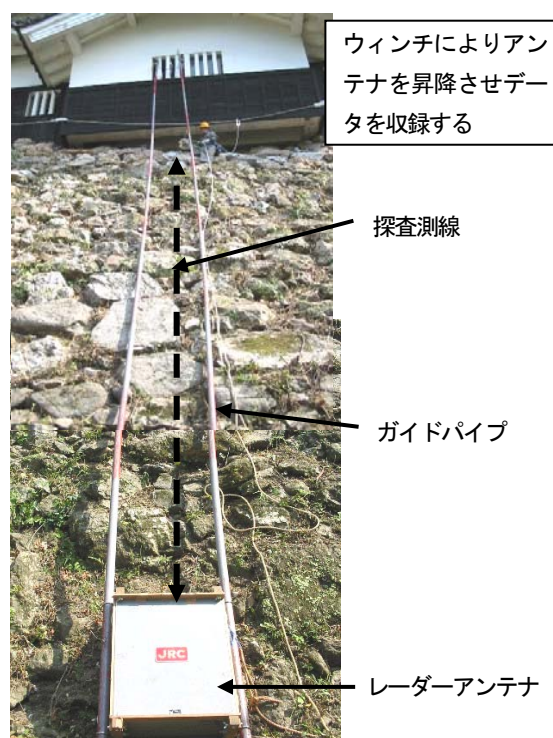


図-2 レーダー探査による背面調査状況

に移動させることで石垣背面の構造を調査するものであり、これにより石材の控え（奥行き）や背面構造を推定することが可能である。探査状況を図-2に示した。

この結果、鉄櫓下の石垣では石垣背面に規模の大きな空洞等は存在せず、石垣全体の安定性に問題を及ぼすような構造的要因は確認されなかった。ただし、石材の背

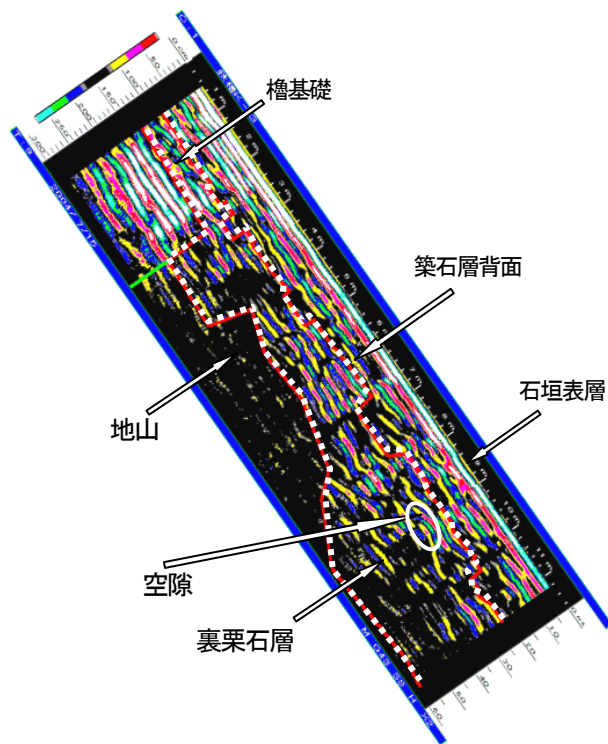


図-3 レーダー探査結果

面には小規模な空隙が分布することが推定され、間詰石に加えて裏込め材の一部が流出しているものと推定された。

探査結果の事例を図-3 に、3 測線で実施した探査の結果から推定された北面石垣の模式的な内部構造を図-4 に示した。また、北面、西面の上部および東面、南面は背面に連続した反射面が見られ、櫓の地階部分または基礎のコンクリートによるものであると考えられる。

以上の結果から、健全性調査の結果は表-2 のようにまとめられる。この表に示したように、本石垣は石垣全体の安定性が損なわれている状況にはないものと推定されるが、抜け石等の発生が懸念され、地震時等の安定性は低下しているものと考えられる。

4. 補修方法の検討

石垣の補修方法としては、解体・積み直し、間詰石の補充、モルタル等を用いた練石積みによる一体化などが一般的であるが、文化財としての石垣の場合はモルタル等の近代材料を用いた補修は妥当ではない。また、上部に建造物がある場合は、上部構造物を曳き屋やジャッキアップすることで一旦移動した後、石垣を解体・積み直しする方法が考えられるが、上部の建造物が RC 建造物の場合は、こうした方法の適用も困難である。

一方、本石垣は健全性調査結果に示したように、石垣全体の安定性が損なわれている状況にはないものと考え

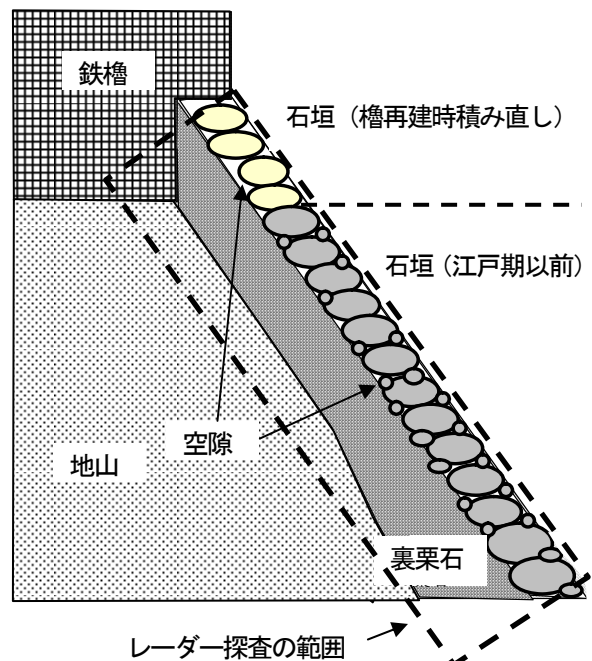


図-4 櫓下の模式断面図（北面）

表-2 健全性調査結果のまとめ

調査法	結 果
目視調査	・大きな孕みや変状は見られない ・表層に植物が繁茂している ・間詰め石の抜け落ちが多い ・間隙には土砂が流入している
レーダー探査	・石材自体の極端な控え不足はない ・背面に大規模空洞はない ・石材背後に小規模空隙が存在する

られることから、上部の櫓を撤去しての解体・積み直しを実施する必要性は低く、むしろ欠落した間詰石を補充し、流入土砂を除去することで安定性が向上するものと考えられる。

また、本地域においては、将来東海、東南海地震の発生が想定されているが、地震時の石垣の安定性について定量的な評価が困難な現状においては、当面の課題である落石防止を考慮しつつ、経験的に石垣の安定性向上効果が見込まれる間詰石補充工を中心とした対策工が妥当であると判断された。

以上のことから、本事例では、間詰石補充工が適切であると判断し、主として北面および西面に対して実施することとした。なお、東面および南面は、石垣自体が小規模であり、石積み方法自体に問題があることに加えて、劣化が激しい石材が含まれていることから、部分的な解体・積み直しを実施することとした。石垣各面の補修工法を表-3 にまとめた。

表-3 対策工法のまとめ

場所	対策工
北面	間詰石、飼石補充、一部解体・積み直し
西面	間詰石補充、飼石補充
東面	一部解体・積み直し、間詰石・裏栗石補充
南面	解体・積み直し

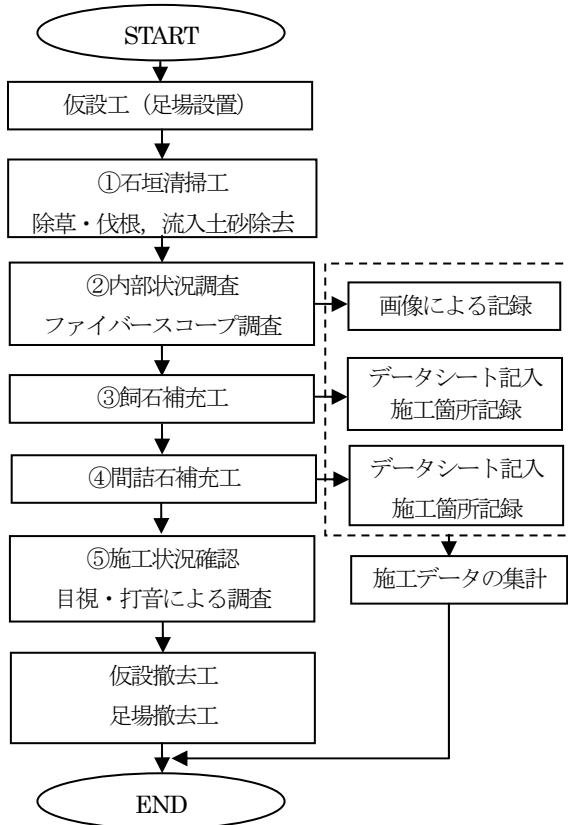


図-5 間詰石補充工の流れ

5. 安定化対策工事

(1) 使用石材

吉田城の石垣に用いられている石材は花崗岩や、豊橋市近傍に産出するチャートなどが主体であり、鉄槽下の石垣にはチャートが多用されている。このため、間詰石や裏栗石として補充する石材にも三ケ日・渥美産のチャートを用いることとなった。また、今回の工事で新たに補充する石材（新補材）については、後世において識別可能となるように、全てにドリルで小さな穴を開けることでマーキングを実施した。文化財としての石垣の補修工事においては、こうした点への配慮も重要な事項である。

一方、南面や東面の解体・積み直し部では、本来、その場所に存在した石材を利用するのが原則であるが、劣化や破損により、強度が期待できない隅石や築石については交換が必要となる場合がある。これらの石材の補充

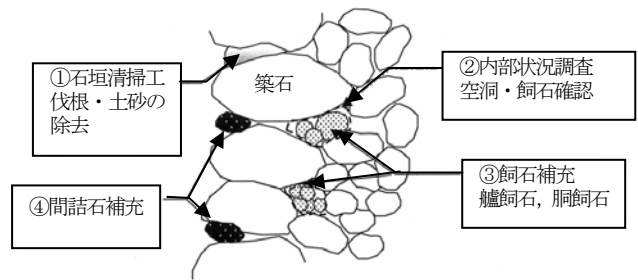


図-6 間詰工の概要

材（新補材）についても、間詰石と同様に三ケ日・渥美産のチャートを用いることとした。

(2) 間詰め石補充工

間詰石補充工の流れを図-5に示した。この図に示したように、最初に北面および西面工事用の足場を設置してから工事に着手した。工事概要を図-6に示した。

a) 石垣清掃工：石垣表面に繁茂している植物は仮設工事前に除去しているが、ここでは石材間に入り込んだ根を除去し、流入した土砂をバール等で除去した。

b) 内部状況調査：根や流入土砂を除去した空隙にファイバースコープを挿入し、内部状況を確認した。この画像はビデオ画像として記録するとともに、築石背面の飼石の状況などを確認した。

c) 飼石補充工：長い年月の間に飼石が土圧や周辺土砂の流出に伴って変位している箇所が見られたため、築石の間隙から新たに石材を投入し、バール等で可能な限り固定した。この作業は周辺の石材への影響を考慮して慎重に行った。なお、新たに補充した飼石については、データシート（図-7）に必要事項を記入し、その位置を立面図中に記入した（図-8）。

d) 間詰石補充工：築石の表面に生じた間隙に間詰石を補充した。このとき、間詰石自体が上の石垣の荷重を直接受けることがないようにし、同時に現在の石垣の持つ風合いを損ねることがないように十分配慮した。また、補充石については飼石と同様にデータシートに記入すると同時に、その位置を記録した。

e) 施工状況の確認：上記の作業が終了した後、間詰石の状況を目視および打音調査で点検し、浮石等がないことを確認した。

各石材の補充に際しての留意点を表-4にまとめた。

なお、北面と西面の境界をなす隅石の下部において石材自体にき裂が進展していたものが確認されたが、その位置では新補材に交換することができなかったため、き裂に樹脂系接着剤を注入し、アンカーで補強を行った。

間詰石補充工の完了前後の北面の状況を写真-2に示す。この写真に示したように、間詰石工により、石材間の間隙は充填され、安定性が向上したものと判断される。

施工日	平成17年8月11日(木)									備考
ブロック番号	D-2									
石材(築石)番号	W-668									
間詰石個数										
間詰石形状 (寸法:cm)	新間詰石				旧間詰石					
	番号	表面縦長	表面横長	控え長	マーキング	番号	表面縦長	表面横長	控え長	マーキング
	1	100	260	120	○	1	100	170	100	
	2					2	70	300	150	
	3					3	170	300	200	
	4					4	80	130	120	
	5					5				
	6					6				

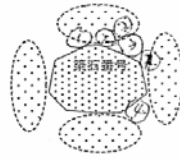


図-7 間詰石データシートの例

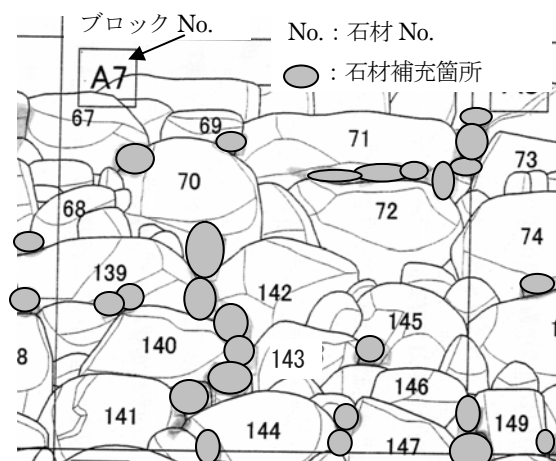


図-8 間詰石補充管理図

表-4 石材補充工の留意点

石材(部位)	施工上の留意点
飼石	飼石の不足が確認された場合に補充. 緩みが認められる場合は十分に安定化を図る
間詰石	間詰石自体が荷重を受けないように注意し, 外観上も周辺部と違和感がないように配慮する
築石・隅石 (東面・南面)	周辺の既存石に十分に合致する石材を選定し, 新補材には必要に応じて加工を加えるが, 既存石材は加工しない



補修前：草本類が多く、櫓直下の石積みは不安定な状況にあるものも見られる



補修後：間詰石が補充され、櫓直下の石積みも整備され、石垣全体の安定性が向上した

写真-2 鉄櫓下(北面)の補修前後の比較

また、当初懸念された新補材による景観上の違和感もほとんど感じられず、全体として良好な補修ができたものと考えられる。

(3) 積み直し工

鉄櫓南面および東面では解体・積み直しを含む補修を実施した。このとき、石垣上部には鉄櫓が存在することから、解体は慎重に櫓を傷つけないように行い、

取り外された石材の状況を記録し、再利用の可否について判断した後に、元の位置に丁寧に積み上げた。このとき、石材の背面で櫓基礎のコンクリート壁との間に生じていた空洞には裏栗石を充填して、石垣の安定化を図った。補修工事完了前後の南面石垣の状況を写真-3 に示した。



補修前：石材の抜け落ちが見られ間隙も多い



補修後：間詰石の補充と割れ石等の交換を実施した

写真-3 鉄櫓下（南面）の補修前後の状況

6. 櫓下の石垣補修に対する課題

今回の工事は、櫓の直下の石垣の補修というあまり例のないものである。このため、当初は、間詰石の補充により全体としての石垣の景観が変化することへの懸念や、制約された条件下での施工性の低下が課題として上げられた。また、今回の工事に限らないが、文化財的な価値を有する石垣の補修においては、歴史的な価値を正しく後世に確実に伝承していくことが求められる。さらに、構造物としての機能についても十分な安定性が求められるのは言うまでもない。以下に、こうした点についての今回の工事での対処とその結果についてまとめるものとする。

(1) 石垣の景観（風合い）

石垣全体の景観の問題に対しては、既存石と新補材の違和感を極力抑えることが必要である。このため、本工事では、使用する石材を既存石と極力同等のものとしたことが、実際にはチャート材の確保が困難であり、地質図等も参考にして分布範囲を想定し、その確保に努めた。今回は、調査範囲を広げた結果、ほぼ同等の石材を入手することができたが、石材の種類や材質によっては、石垣が築造された当時と同等のものが確保できない場合も想定される。この対策としては、石材のデータベース構築などが考えられる。

(2) 櫓下における制約条件

櫓の下部という条件に対しては、先に実施された健全性調査結果をもとに、対策工の種類と実施範囲を明確にして事前に綿密な計画を立案して、施工を行うことで対処し、既存の櫓や石垣に大きな影響を与えることなく、工事を完了することができた。ただし、本石垣は孕み出しなどの背面地山や内部構造全体に起因する変状ではなかったため、こうした工法による安定性の向上が図れたが、背面地盤や上部の構造物が石垣の変状に影響している場合には、根本的な対処方法としては、解体・積み直

しが必要となることが考えられる。このような場合は、上部構造物と石垣との文化財的な価値を十分吟味した上で、建造物を撤去してからの石垣補修を行うのか、あるいは、建造物の撤去が困難な場合は、石垣の補修に一部近代工法を併用するなどの難しい判断が求められるものと考えられる。

(3) 歴史的な事象に基づく設計

本工事では、石材の法や反りを変更することではなく、解体・積み直しする範囲も小規模であったため、大きな形状変更を伴う部分はなかった。しかし、飼石、間詰石および一部の築石は新材を利用することとなったため、新材は石材を既存石と極力同一のものとした上で、穴開けマーキングを行った。同時に、可能な限り施工状況を記録に残し、後世に対する情報の伝達に配慮した。

このような歴史的な側面での検討は、基本的には専門家の検討によりなされるが、工事の実施においては、設計・施工者と文化財保全の双方の立場の担当者が十分に意思の疎通を図ることが重要である。

(4) 構造物としての安定性

間詰石の補充は石材間の噛み合わせ効果を高めると同時に、地震時には間詰石がくさび的な役割を果たすことで耐震性が向上することが期待される。また、石材の緩みを助長する植物の侵入に対しても、間詰石補充は効果が大きいものと考えられる。ただし、これらはあくまでも経験的または定性的な評価であることから、今後は、こうした効果について、数値解析や実験等により定量的・客観的な評価を行うことが必要であると考えられる。

【謝辞】

最後に、本工事に際しては、豊橋市都市計画部公園緑地課ならびに豊橋市美術博物館の関係者の方々には多大なるご指導を頂きました。ここに感謝の意を表します。