

## 城郭石垣の維持管理技術



所属名：(社)日本土木工業協会  
          (株)間組技術・環境本部  
発表者：笠 博義

### 1. まえがき

我が国には中世以降の城郭や城跡が多数存在し、それらの大半は、現在、貴重な史跡や公園等として保存・活用されている。こうした城郭は天守や櫓などの建造物に注目が集まり、これらの修復・復元などの動きも活発化しているが、このような建造物の基礎をなす石垣や土塁も文化財として重要な価値を有している。例えば、石積みの技法は時代とともに変わると同時に、地域的な特徴を合わせ持っており、さらにはその場所ごとの地盤の強度や使用石材の材質などによってもその形状や構築技法も変化している。また、個々の石材に残されている矢穴や刻文などは石垣構築時の施工技術や歴史的な背景を知る上でも貴重な情報を有している。一方、このような城郭石垣の多くは構築後 400 年程度を経過しており、経年劣化が進むと同時に、明治維新時の取り壊しや戦災などにより不安定化が進んでいる。さらに、戦後の城跡の公園化による上部への植栽や堀の空堀化などが不安定化を促進している面もある。

以上のような背景により、貴重な文化財である石垣を後世に確実に伝承していくためには、現況を正確に把握・記録すると同時に、適切な維持管理を行なっていく必要がある。これは、多数の人が訪れる城址公園としての安全性を確保していく上でも必要なことである。

本研究では、石垣の維持管理を行なっていく上で必要となる「石垣カルテシステム」<sup>1)</sup>についてその機能を整理した上で、電子化された情報を用いるシステムについてその概要をまとめるものとする。合わせて、石垣の健全性調査において有効であるデジタル写真測量による形状測量技術<sup>2)</sup>および石垣背面構造を非破壊で調査するレーダー探査技術<sup>3)</sup>について概要を説明することとする。

### 2. 城郭石垣の維持管理における留意点

城郭石垣の維持管理を目的としたデータベースである「石垣カルテシステム」の構築・運用においては、その目的や活用方法、対象範囲、実際の管理者やデータの入力・更新方法や頻度について事前に検討しておく必要がある。一般的に、データベースの構築に際しては、誰がどのような目的でそれを利用するのかによって、そこに格納すべき情報の種類や質が異なり、出力形態や付加される分析機能等も違ったものとなる。例えば、城郭石垣を対象としたデータベースの場合は、その目的が歴史や考古学的な研究の場合は、その対象範囲は学術的な理由により決定され、仮に現存していない部分であっても検討対象領域に含まれることも考えられるが、石垣の維持管理が主目的であれば、現存している部分はその対象となるものと考えられる。また、歴史的な研究に主眼が置かれた場合は、考古学的な調査結果などが貴重な情報として扱われるのに対して、安定性の評価が目的の場合は石材の強度や構造上の問題点などが重要性の高い情報として扱われる。このように、城郭石垣のデータベース構築に際しては、その目的に応じて領域の設定や調査項目などが大きく変わることが想定される。

表-1 石垣管理データベース構築における課題

項目	検討すべき課題	石垣安定性管理を主目的とした場合の考え方
目的	安定性管理、文化財研究等のように、その目的を明確にする。	変状箇所およびその可能性がある場所を平面的に表示し、属性情報に基づいた分析を可能とする。
範囲・規模	管理の対象領域を明確にする。	公園範囲、史跡指定有無等を考慮して判断する。
管理単位 (基本領域)	石垣の管理単位の区切り（一つの管理領域）を明確にする（ポリゴンとして指定する石垣単位の基準の明確化を行う）。	石垣の変状の有無や補修履歴および構築方法等により基本とする管理単位を検討する必要がある。延長が長い連続石垣では適切な区間に対象領域を設ける必要が生じる場合がある。
入力情報	目的に応じて、入力すべき情報を明確にする	基本情報に加えて変状状況、地盤情報等を重視する
運用	目的やデータベース利用者に応じたデータ入力方法、更新頻度およびその方法などを検討しておく。	長期間で順次整備・蓄積される地盤情報（ボーリングデータなど）も容易に入力できるようにする。また、担当者が交代してもシステムの運用が容易に行える必要がある。

表-1には、石垣を対象としたデータベース構築に際して検討すべき事項と、特に石垣の安定性に着目した管理者が注目すべき留意点についてまとめた。すなわち、この表では、石垣の文化財的な調査を主目的とした研究用のデータベースではなく、公園として活用されている石垣の安全性や長期に及ぶ維持管理計画を立案する場合に必要な事項について示している。

一方、城郭石垣管理を目的とした石垣データベースの構築においては、システムの核となる汎用性の高い部分と、城郭ごとに異なり特化した部分とについて検討を行うことが必要と考えられる。具体的には、対象とする石垣の規模や立地条件、現在の活用状況によって、管理単位の設定や入力項目などが異なってくることから、こうした状況に応じたシステムの構築が必要となる。

本検討では、このような点に留意して、城郭石垣を対象としたデータベース構築方法について検討を行うものとする。

### 3. 石垣カルテシステムの提案

#### 3. 1 石垣カルテシステムの基本構成

本検討で提案する石垣カルテシステムの概念を図-1に示した。この図に示すように、本システムはいわゆる「石垣カルテ」に記載すべき情報に相当する石垣の基本情報に加えて、測量結果や各種調査結果などを統合的に管理するもので、その結果を所定のフォーマットまたは地図情報として出力する機能とこれらの情報を分析し、安定性評価の支援を行う分析機能とを有するものである。ここで、出力情報に地図情報を付加したのは、一般に石垣が平面的に広い範囲に線状構造物として分布していることが多く、その管理においては地図情報としての表示が適しているためである。また、各管理領域にID番号を付与したのは、管理上の地点名称の設定が煩雑になることを避けるためである。

こうした、システムの構築に際しては、データの入力・更新や各種機能の操作性を十分に容易にしておく必要がある。これは、自治体などの公的機関における城郭石垣の管理者は数年で異動する場合もあり、その操作において、かなりの習熟が必要なシステムでは、十分にシステムが活用されない場合が考えられるためである。本システムでは、こうした観点に立ち、入力システムは一般的な表計算ソフトを、分析機能においても、広く一般に使われている統計処理ソフトを利用することとした。

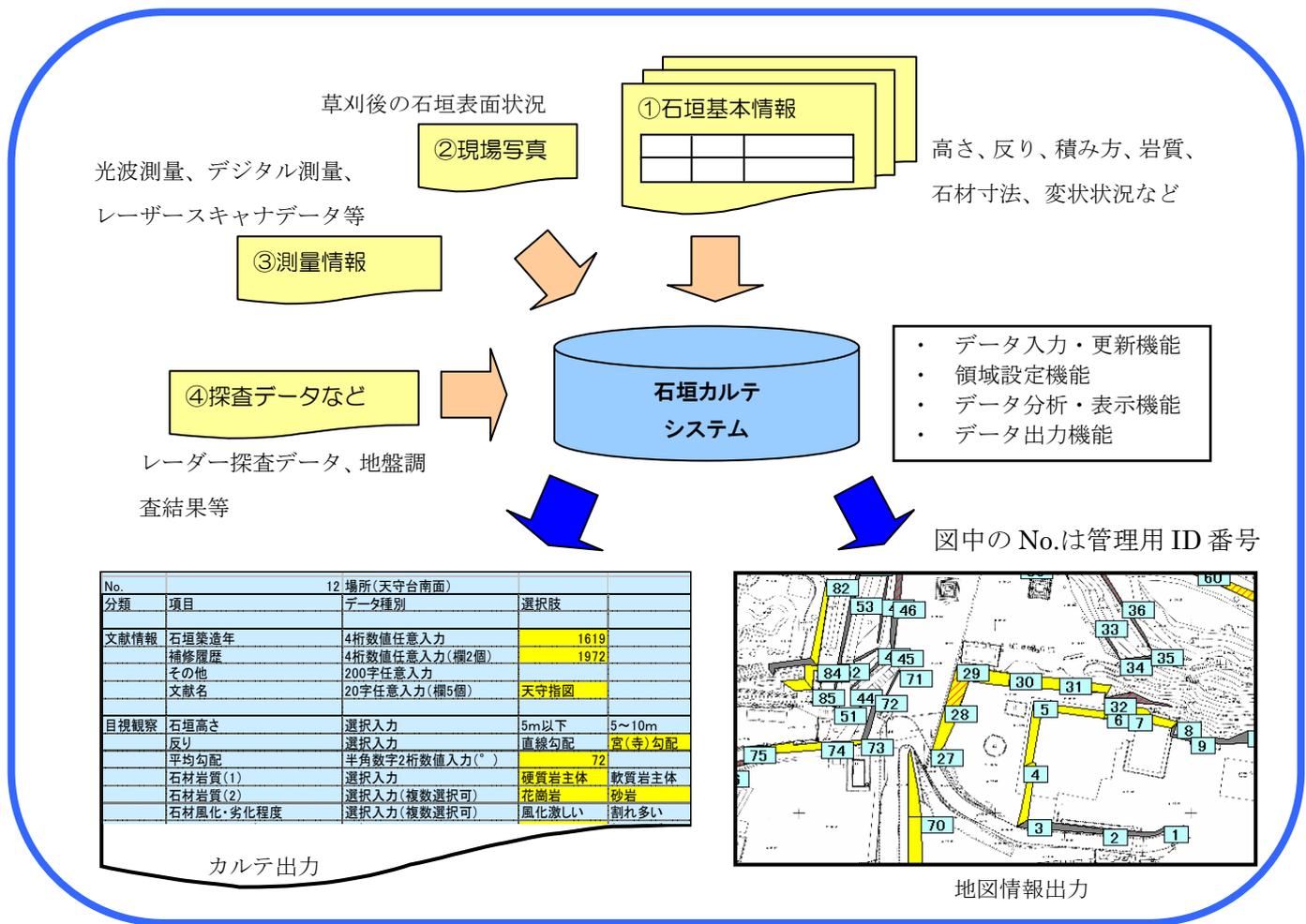


図-1 石垣カルテシステムの構成

### 3. 2 入力情報

本システムにおける入力情報は、大きく、①石垣基本情報、②現場写真、③測量情報、④探査結果などその他の情報などに分類される。このうち、①、②は現場における観察や簡単な調査・計測などによって得られるもので、本システムにおける基本情報である。ここで、後述する地図情報としての出力や簡易な分析の対象となるデータは①の石垣基本情報が対象となる。なお、現場写真は通常のデジタルカメラによる撮影でも十分であると考えられるが、むしろ表面に草本類が繁茂している場合は除草後に、石垣の直近に樹木や構造物が存在する場合は、それらの障害物を避けて撮影する方法について検討する必要がある。一方、③、④の情報は必ずしも入力データとして整備されているものではなく、むしろ既に詳細な調査や補修工事が実施された部分など特殊な部分にのみデータが存在するものと考えられる。

以下には、石垣基本情報の入力項目について検討を加えることとする。

#### 3. 2. 1 目視観察・現場簡易計測による情報

本システムに格納する石垣基本情報の大半がこの分類に属する。具体的には、石垣高さ、反りや(平均)勾配、石材の材質や風化程度、石材の加工度合いおよび石積み方法などの石垣の基本的特性に加えて、安定性の管理において重要な情報となる、「孕み出し」の有無や程度、「目地の状況」(開口やずれ、間詰め石の変位・抜け落ちなど)、「表面の状況」(築石の抜け落ち、植生、湧水など)がこの情報に属するものと考えられる。こうした入力情報の選択においては石垣の管理者と文化財担当者等が十分に事前に検討しておく必要がある。

これらの情報は基本的には現地における目視観察や現場での簡易測量などによって入手することとなり、石垣の全体写真の他に特に注目すべき状況を示す写真やスケッチ等も画像も有効な情報となり得る。

### 3. 2. 2 文献情報

石垣に関する文献情報は、一般には古文書や絵図などが該当し、通常歴史的な研究の対象とされているが、これによってその築造年や施工前の原地形および施工時の状況を知ることが可能であり、石垣の維持管理上においても貴重な情報とすることができる。また、築造後今日までに石垣の崩壊や補修がなされた場合や周辺環境の変更があった場合は、こうした履歴を示す情報が、今後の石垣の安定性評価を推測する上でも重要なものとなる。具体的には、過去に地震などによって複数回崩壊しているような地点は、その地盤自体に何らかの問題点があることを示唆しており、こうした地点は維持管理上の重点調査箇所と位置付けられる。なお、石垣の解体・積み直しの検討を行う際には、各時代における改変経緯を示す資料は、復元すべき形状を決定する上でも極めて重要な資料となる。

### 3. 2. 3 地盤情報

地盤情報は、石垣の安定性を評価する上で特に重要なものであるが、原地形をそのまま活用した山城などを除いて、一般に目視観察などの簡易な調査のみからは入手できないことが多く、正確な情報を把握するためにはボーリングや物理探査等の調査が必要となる。しかし、こうした調査は経済性の面や文化財の保護の面からも、多くの地点で実施することは困難である。こうしたことから、石垣下位の地盤情報は、先に述べた文献・古文書や周辺部の既存の地質調査資料などから推定することが考えられる。

### 3. 3 出力情報

石垣カルテシステムの出力情報としては、前述のように表形式にとりまとめたものと、地図情報として出力する場合が考えられる。各形式での出力例を図-1の中に模式的に示した。このうち、表形式の出力例は、管理領域ごとの調査結果をまとめたもので、いわゆる「カルテ」や「台帳」に相当し、必要に応じて現地状況を示す画像データと合わせて活用するものである。これに対して地図情報としての出力は、石垣の高さ、使用石材の岩種などの基本的な特性の分布や、孕み出しの程度や目地開口程度などの石垣の安定性を示す情報の平面的な分布を把握するためのものである。こうした情報間において、例えば「高さ 10m 以上で孕み出しが顕著な領域」等の論理演算結果などを地図情報として表示することは、補修の優先順位付けや詳細調査の必要性の有無などを検討する際に、石垣の管理者を支援する上で有効な機能である。

また、4、5章において説明する測量データや探査データについても、本システムで一元的に管理することが、多面的な評価やデータの散逸を防止する上でも有効である。すなわち、調査報告書等の形式で取りまとめられる情報や各種図面類を電子データ化し、これらについても管理領域のカルテと関連付けて保管することで、必要な場合に容易にこうしたデータを参照することが可能となる。

## 4. デジタル写真測量による形状把握

石垣の表面形状を正しく把握することは、変状状況の把握や解体修理時においても重要であるが、城郭の規模が大きくなるにしたがって、管理対象となる石垣全域について、このような測量を実施することは容易ではなくなる。こうしたことから、従来は、特に変状が進み補修の必要性が認識されている場合や、解体・積み直し時の設計においてのみ、断面測量が実施される

ことが多かった。これに対して、近年では新しい測量技術を用いて石垣形状を面的に把握することが行われるようになってきており、デジタル写真やレーザースキャナなどが適用されつつある。

図-2 はデジタル写真測量による石垣測量結果の例<sup>2)</sup>であるが、パソコンを用いた簡易な解析ソフトを用いることにより、比較的短時間で、図に示したような石垣の表面形状や任意の断面形状を求めること

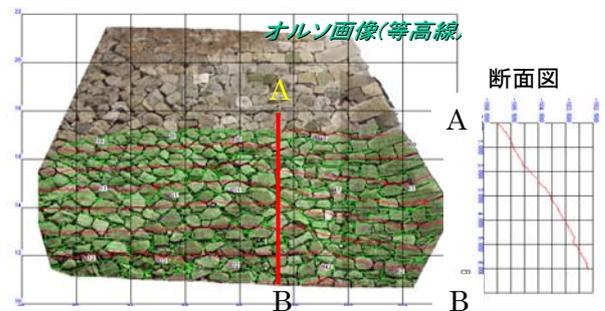


図-2 デジタル写真測量結果

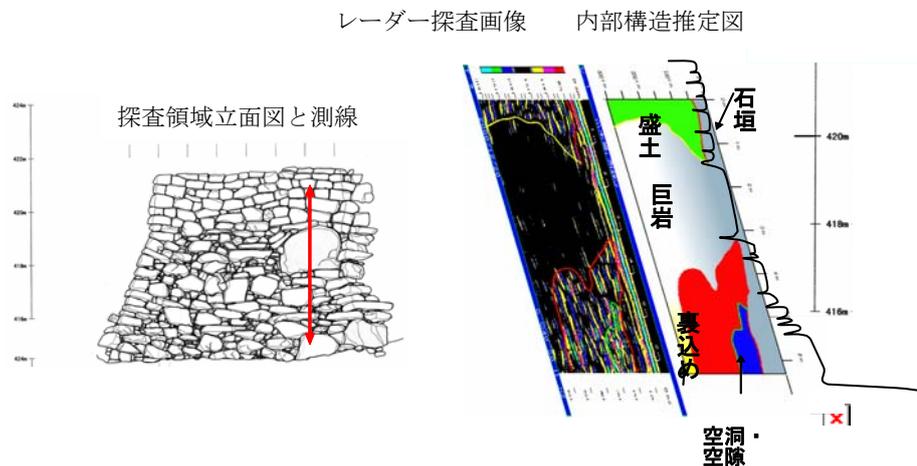


図-3 レーダー探査による調査結果例

ができる。こうした情報は現地状況を忠実に再現するカラー画像と、変位の状況を示す測量データを等高線形式で同時に表現することが可能なことから、現地での変状範囲の確認も容易であり、これらの測定データはCADデータとしてそのまま設計に反映することも可能である。

## 5. レーダー探査による石垣背面情報の調査

石垣を構築する石材の控え（奥行き方向の長さ）、背面の空洞や空隙の有無や分布状況、石材・裏込めおよび地山の構造を示す背面情報は、いずれも石垣の安定性の評価を行う上で重要なものである。一方、城郭石垣等に対するボーリングや試掘による背面調査は、前述したように、文化財の破壊につながるため、その実施には制限が生じる。こうしたことから、石垣を破壊することなくその内部構造を把握する方法として、レーダー探査による石垣背面調査技術が開発され、これまでもいくつか城郭でこの技術を用いた健全性調査が実施されてきた（参考文献 3)、4)など)。図-3 は山城における調査結果の事例<sup>3)</sup>を示したものであり、この調査結果から、測線のはぼ中央に位置する巨石部分が独立した石材ではなく、地山の一部であることが示された。この情報は、本石垣の解体・補修計画を立案する上で、特に使用する重機の容量検討においても有効に活用された。

## 6. まとめ

近年の文化財に対する考え方は、単に保存することだけでなく、「保存と活用」の双方に重点が置かれている。このため、城郭石垣についても、文化財としての価値を保ちながら、広く市民の目に触れ、歴史教育の場としても活用していくためには、今後ますます適切な維持管理が求められてくるものと考えられる。一方、限られた財源の中で効率的な保全・補修を行うためにも、客観的なデータに裏付けられた維持管理を行うことの重要性が増すに伴って、本研究で示したような石垣カルテシステムや新しい測量、調査技術を活用することが必要となるものと考えられる。同時に、中長期的な維持管理事業への取組み方針の決定やその事業の必要性に関する説明責任を果たす上でも、こうした技術を用いた調査、維持管理手法が大きな効力を発揮するものと言うことができる。

今後は、本システムの展開を図ると同時に、石垣の安定性を評価する上で重要な不安定化要因の分析技術等の研究開発を進める予定である。

### 【参考文献】

- 1) 日向 他：城郭石垣管理におけるデータベース構築に関する検討、土木学会第 58 回年次学術講演概要集、2003
- 2) 笠 他：城郭石垣管理における画像情報の活用について、土木学会第 57 回年次学術講演概要集、2002
- 3) 笠 他：城郭石垣の健全性診断への電磁波反射法の適用、応用地質学会平成 12 年度研究発表会論文集、2000
- 4) 笠 他：城郭石垣補修に向けた非破壊健全度調査技術の適用、土木学会第 55 回年次学術講演概要集、2000