

城郭石垣の伝統技術の定量的表現法（試案）に関する研究*

A Study of Quantitative Expression Method (Tentative Plan) of Traditional Skills on Castle Masonry Walls

田中 邦熙**, 小林 善勝***

By Kunihiko TANAKA, Yoshikazu KOBAYASHI

要旨：貴重な文化遺産である城郭石垣を修復・復元するに当たり、どのような伝統技術が、どのような効果を期待して使用され遺されているかを解明しなければならない。本研究では、次のような事項についてとりまとめた。

- ① 文献調査結果などを整理して、伝統技術の分析、分類を行った。そして、修復対象の現存石垣の調査結果と対応させ、どのような技術がどの部分に使用されているかを明らかにし、修復復元に活かす手順を示した。
- ② 該当石垣に変位計・沈下計などを設置し、一定期間動態観測を行った後、石垣天端肩部に土のうなどによる載荷重を加えたときの石垣面の挙動を計測する。そして変位データ等の経時変化や載荷重との関連性を解析することにより、石垣断面の危険性判定や崩壊メカニズムの解析研究を行う必要性を示した。
- ③ 石垣のような文化財の評価を行うに当たり、「感応検査法」を導入する手法を例示し、この手法の利点、問題点などを示した。
- ④ 以上を総合した、「石垣修復復元に対する基本理念」を取りまとめた。

1. まえがき

本研究は貴重な文化遺産である城郭石垣に遺されている伝統技術にはどのようなものがあり、それらはどのような効果を有しているのかなどを具体的定量的に表示評価することにより、石垣の修復復元時の基礎資料を提示することを目的とする。

近年盛んに行われている城郭石垣の修復復元に当たり、専門委員会などを設けて様々な視点から伝統技術や現代新工法の採用可否などを調査検討していることは好ましい。しかし特に伝統技術などに関しては、具体的定量的に評価する方法が確立されていないために、一般論として文系委員は感覚的情感的に評価する傾向があり、理系委員や実務に当たる設計施工関係者と具体的定量的に意見交換することが困難な場合が多い。本研究は、関係者が共通の土俵で討議できる手法を検討するために、城郭石垣の伝統技術の定量的表現法に関する試案を提示するものである。

本論文では以下の事項に関して検討した結果を取りまとめた。

- A. 城郭石垣の調査法とデータ整理解析法
 - a. 石垣カルテ
 - b. 動態観測

*Keyword：城郭石垣、伝統技術、安定性評価、感応検査法

**正会員 博（工学）

木更津工業高等専門学校 環境都市工学科 教授
(〒292-0041 千葉県木更津市清見台東 2-11-1)

***（株）小林石材工業 代表取締役

(〒106-0045 東京都港区麻布十番 3-7-12)

- c. 石垣天端肩載荷試験
- d. 「感応検査法」を適用して、石垣の価値などを統計的に解析する手法
- B. 城郭石垣に遺されている伝統技術の分析整理
 - e. 用材と構築方法からみた石垣分類
 - f. 特殊入念工作、補助工作
 - g. 調査石垣の価値評価
- C. 石垣修復復元に対する基本理念
 - h. 基本理念の提示

2. 城郭石垣の調査法とデータ整理解析法

(1) 石垣カルテ

該当石垣を修復復元するに当たり、まず最初に行うべき事項は現状調査であり、その結果を要領よく図示整理することが必要で、石垣カルテに整理することが望ましい¹⁾。石垣カルテの事例を図-1に示す。

石垣カルテには、変状の形態寸法などを定量的に示すとともに、(2)、(3)で示す動態観測結果や載荷試験結果も示して、現状での危険性や各測定値の経時変化に基づく判定結果なども示す。またどのような伝統技術がどの部分に遺されているかを明示する。石垣カルテは該当石垣の安定性や文化財としての価値等を判定する上での基本データである。そして、関係者にこれらを討議する共通の土俵を提供することである。

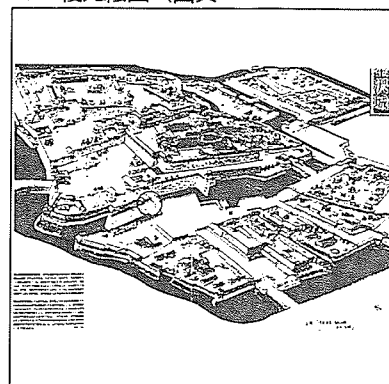
(2) 動態観測

石垣の安定性を評価する最も有効な手法の一つは、石垣面あるいは周辺地盤の沈下や変位などの経時データである。観測期間・頻度・測定項目などは該当石垣の諸条

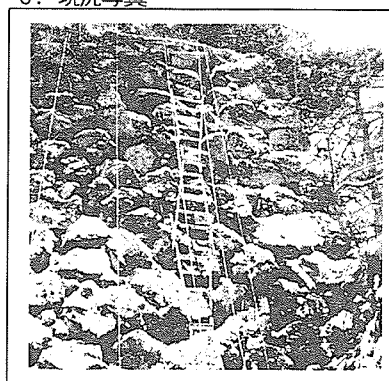
P.

所在地 ○○県 ○○市 ○○町

3. 復元絵図（出典



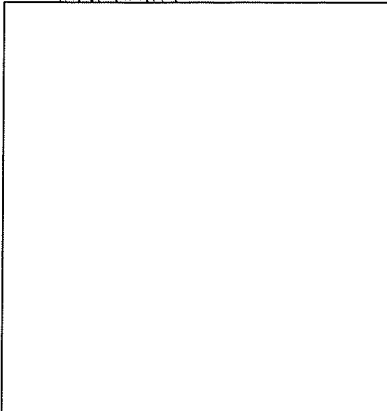
6. 現況写真



8. 変形現況縦断面図

-

10. 載荷試験結果



件により異なるであろうが、次に示す程度を基本としたい。

測定項目

- ・石垣面積み石の挙動測定……レーザー距離計による
3次元XYZ方向変位測定
積み石 20個程度
- ・石垣天端肩地盤面沈下……レベリング測量
肩より 1, 2, 3, 5, 10m 3測線
- ・石垣面傾斜……高性能傾斜計(固定式)
1断面 5台程度

測定頻度

- ・原則 1回/1週間
豪雨、有感地震後 直後, 1, 2, 3, 7日後
(豪雨時には、降雨中にも適宜)

測定期間

工事開始の1年以上前から1年間以上

データ整理考察

基本的には各データの経時変化に着目し、どの位置の何に関するデータが経時的にどのような挙動を示しているかに注意する。データは

A: 有限値に収まり安定する

B: 無限時間を経て破壊に至る

C: 有限時間内でクリープ破壊状に拡散型を示す
の3タイプに分けて考察する。

なお変位速度 dS/dt を求めたり、時間 t 軸を対数目盛表示したりして図解精度を高める工夫も必要である。

(3) 石垣天端肩載荷試験

(2) に示した動態観測では、石垣が崩壊に至る様子を測定できる機会に遭遇することは非常に少ないであろう。しかし孕みなどの変状現況から、緊急に修復工事に着手することが必要と判断されるケースも多い。

このような場合、石垣積み石は撤去した後積み直しが行われるので、このような機会を利用して、石垣面変状が拡大し崩落に至る過程を把握し、安全性を評価するとともに、石垣崩落メカニズムを研究する資料を得るための実験を行おうとするものである。すなわち、石垣天端肩部に土のうなどの載荷重を段階的に加え、そのときの石垣面の変状などを(2)で示した測定項目を用いて計測する。

載荷重 土砂を入れた土のう

石垣天端水平3m、奥行き2m程度の範囲に土のうを重箱積み状に積み上げる。

荷重ステップ

2.0, 4.0, 6.0, 8.0~(tf/m²) (危険性を見て判断する)

測定項目 (2)の測定項目

計測

所定載荷重が載荷された後 1.5, 10, 20, 30, 60 分経過時
データ整理

- ・図-2に示すような整理方法による解析
- ・log P-log S 法, S-log t 法などの図解法による解析

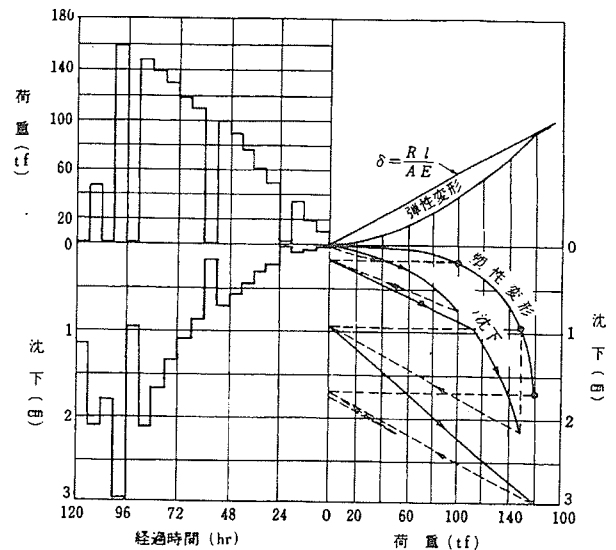


図-2 載荷試験データの整理解析例 (作成: 田中)

(4) 感応検査法を適用した石垣評価法

a) 概説

「文化遺産の評価や安全性の評価」などのような、その特性を定量的に表示することが困難な問題に対しては、人間の感覚や経験、好みなどにより定性的に評価している事例は多い。しかし、この手法、判定結果などには疑問点が多いことは言うまでもない。

本研究はこのようなやっかいな問題に対して、統計的手法である「感応検査法」²⁾を導入適用しようという試みである。「感応検査法」とは人間の感じによる直感的定性的評価結果を統計手法によりデータ処理して、その評価結果を定量的に表現する手法であり、品質評価・嗜好調査・処理方法の差の検定など多方面で使用されている。しかし、本研究のような文化遺産の評価に適用する試みや報告は皆無に近いと思われる。

「感応検査法」と一口に言っても、本研究のような問題に適用するに当たり、種々の条件から、適用すべき理論・手法・応用法などを選択する必要もある。また統計学的な厳密性に疑問が残ることもある。

しかし多くの統計的手法とはある仮定条件のもとで、その実用的メリットを活用する手法であるといえるものである。したがって本研究では、理論的根拠は深く説明しないで、事例研究的にデータ整理、解析考察した結果を示すことにより、この試みには、どのような利点や疑問点があるかなどを報告することを主眼とした。

b) 事例研究

A 城石垣は老朽化が著しく、概観的に修復が好ましいと判断されたエリアが10ヶ所抽出された。そこで、表-1に示す6項目の判定基準を用いて、表-2に示す経歴を有する15人に判定してもらったところ、表-3のようなデータが得られた。これらのデータを解析して、危険箇所を順位付けし、かつ判定者間の判定結果に対する差を調べる。

表-1 A城石垣判定基準 (作成：田中)

No	判 定 項 目	配 点				
		1	2	3	4	5
1	歴史的価値	普通 ～重要～ 最重要				
2	伝統技術等の価値	普通 ～重要～ 最重要				
3	形状寸法、規模的価値	小 ～ 中 ～ 大				
4	崩落危険性(修復緊急性)	やや危険～危険～最危険				
5	芸術的価値	普通 ～ 中 ～ 高				
6	観光資源的価値	普通 ～ 中 ～ 高				

表-2 判定者略歴 (作成：田中)

	判定者 No.														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
年齢	27	23	46	35	58	62	43	39	35	36	32	28	58	47	68
職区分	一般愛好者	愛	愛	愛	愛	愛	設計	施工	設計	行政	行政	行政	研究	研究	研究
文化財への理解造詣	普	浅	深	深	浅	深	深	深	深	深	普	深	深	普	深
石垣への理解造詣	普	浅	深	深	浅	深	深	深	深	深	深	深	深	深	深

表-3 各判定者の評価 (作成：田中)

エリヤNo. 判定者	→ k										判定者ごとの集計 緊急性 大(1) 中(x) 小(0)		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	小	小	小	中	中	大	小	中	大	中	2	4	4
2	大	小	小	小	小	小	小	小	中	中	1	2	7
3	中	中	小	中	小	小	大	中	小	中	1	5	4
4	中	小	中	中	小	大	中	中	中	中	1	7	2
5	小	小	中	中	小	中	中	中	中	中	0	7	3
6	中	大	大	大	中	大	大	大	中	大	7	3	0
7	小	小	中	中	小	中	中	大	中	大	2	5	3
8	中	中	中	中	中	大	中	中	大	中	2	8	0
9	大	中	中	大	中	大	大	大	大	中	6	4	0
10	小	中	中	中	中	中	中	大	大	大	3	6	1
11	中	小	小	小	小	小	小	大	中	大	2	3	5
↓	中	大	大	大	大	大	大	大	大	大	2	1	0
r	大	大	大	大	大	大	大	大	大	大	9	1	0
14	大	中	大	中	大	大	中	大	大	中	5	5	0
15	中	大	中	大	中	中	大	大	大	大	5	5	0
エリヤごとの集計	緊急性大(1)	4	4	4	5	1	7	6	9	8	7	55(総計)	
	中(x)	7	6	6	8	10	4	6	5	6	8	66	
	小(0)	4	5	5	2	4	4	3	1	1	0	29	

表-4 一般式による説明 (作成：田中)

エリヤ 判定者							計		
	1	2	j		k		1	x	0
1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1j}	...	x_{1k}	$n_{1.}(1)$	$n_{1.}(x)$	$n_{1.}(0)$
2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2j}	...	x_{2k}	$n_{2.}(1)$	$n_{2.}(x)$	$n_{2.}(0)$
⋮	⋮	⋮	...	⋮	...	⋮	⋮	⋮	⋮
i	x_{i1}	x_{i2}	...	x_{ij}	...	x_{ik}	$n_{i.}(1)$	$n_{i.}(x)$	$n_{i.}(0)$
⋮	⋮	⋮	...	⋮	...	⋮	⋮	⋮	⋮
r	x_{r1}	x_{r2}	...	x_{rj}	...	x_{rk}	$n_{r.}(1)$	$n_{r.}(x)$	$n_{r.}(0)$
計	1	$n_{.1}(1)$	$n_{.2}(1)$	...	$n_{.j}(1)$	...	$n_{.k}(1)$	$n_{..}(1)$	
	x	$n_{.1}(x)$	$n_{.2}(x)$	...	$n_{.j}(x)$	...	$n_{.k}(x)$	$n_{..}(x)$	
	0	$n_{.1}(0)$	$n_{.2}(0)$	...	$n_{.j}(0)$	...	$n_{.k}(0)$	$n_{..}(0)$	

表-5 各平方和の計算表 (作成：田中)

a) 修正項
計算は次のように行う。マトリックスはすべて対称である

A				
	1	x	0	
1	3025	3630	1595	8250
x	3630	4356	1914	9900
0	1595	1914	841	4350

b) 総平方和

B				150B				$B_1=150B-A$			
	1	x	0		1	x	0		1	x	0
1	55	0	0	55	8250	0	0	5225	-3630	-1595	
x	0	66	0	66		9900	0	-3630	5544	-1914	
0	0	0	29	29	0	0	4350	-1595	-1914	3509	

(総平方和のkr倍を求めるマトリックス)

c) 判定者間平方和

C				15C				$C_1=15C-A$			
	1	x	0		1	x	0		1	x	0
1	325	185	40	550	4875	2775	600	1850	-855	-995	
x	185	354	121	660	2775	5310	1815	-855	954	-99	
0	40	121	129	290	600	1815	1935	-995	-99	1094	

(判定者間平方和のkr倍を求めるマトリックス)

d) エリヤ間平方和

D				10D				$D_1=10D-A$			
	1	x	0		1	x	0		1	x	0
1	353	339	133	825	3530	3390	1330	505	-240	-265	
x	339	462	189	990	3390	4620	1890	-240	264	-24	
0	133	189	113	435	1330	1890	1130	-265	-24	289	

(エリヤ間平方和のkr倍を求めるマトリックス)

e) 判定者間+エリヤ間

$$E_1 = (15C - A) + (10D - A) = \begin{bmatrix} 2355 & -1095 & -1260 \\ -1095 & 1218 & -123 \\ -1260 & -123 & 1383 \end{bmatrix}$$

表-6 分散分析表 (作成：田中)

要 因	平方和	自由度	平均平方	分散比
エリヤ+判定者	0.52509	24	0.02188	5.8
残 差	0.47491	125	0.00380	
総 計	1.00000	149		

自由度24は、エリヤ間の自由度9、判定者間の自由度14と、未知数xの数1とをくわえたもの、残差の自由度125は、総平方和の自由度149から24を引いたものである。

① 判定結果の数値化

表-1 に示した配点 1～5 は、判定項目により、重要性・危険性・価値など異なる指標によるため、判定基準が異なるが、統計解析に用いる数値は、これらの合計を次に示すように緊急性大、中、小と区分した配点を基本とする。すなわち表-1 に示したように 6 項目に関して配点 1～5 の判定を行い、合計して、配点計 25 点以上：緊急性大 1、24～15 点：緊急性中 x、14～6 点：緊急性小 0 の評価数値を与える。なお、緊急性中に対する数値 x は未知数のままとしておいて、石垣エリヤと判定者に関する二元配置の分散分析を行う。

そして（エリヤ間分散の平方和＋判定者間分散の平方和）を残差平方和に対して最大になるように x を決定し、クラス「危険性中」の代表値とする。（級間分散を級内分散に比べて最大にするという統計的推定の原則に従う）

② 表-3 の右覧および下覧に示すように、緊急性大、中、小と判定されたデータを、測定者ごとおよびエリヤごとに集計する。

③ 各平方和の計算

表-3 に基づいて A：修正項、B：総平方和、C：判定者間平方和、D：エリヤ間平方和および E：（判定者＋エリヤ）間平方和を計算する。

ここで、表-4 は表-3 に示した今回の検討ケースのような場合の一般化表示であり、A～E はマトリックスを用いて次のように定義される。

$$A = \begin{bmatrix} n_{..}(1)^2 & n_{..}(1)n_{..}(x) & n_{..}(1)n_{..}(0) \\ n_{..}(x)n_{..}(1) & n_{..}(x)^2 & n_{..}(x)n_{..}(0) \\ n_{..}(0)n_{..}(1) & n_{..}(0)n_{..}(x) & n_{..}(0)^2 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} n_{..}(1) & 0 & 0 \\ 0 & n_{..}(x) & 0 \\ 0 & 0 & n_{..}(0) \end{bmatrix} \quad (C, D \text{ は省略})$$

計算結果を表-5 a)～e)に示す。

④ 次の式を満たすλの値を求める。

$$|E_2 - \lambda B_2| = 0$$

ただし、 E_2 および B_2 は、 E_1 および B_1 の 0 に対する行と列（第 3 行および第 3 列）をとり除いたマトリックスである。

$$E_2 = \begin{bmatrix} 2355 & -1095 \\ -1095 & 1218 \end{bmatrix}, \quad B_2 = \begin{bmatrix} 5225 & -3630 \\ -3630 & 5544 \end{bmatrix}$$

この例題については

$$\begin{vmatrix} 2355 - 5225\lambda & 1095 + 3630\lambda \\ -1095 + 3630\lambda & 1218 - 5544\lambda \end{vmatrix} = 0$$

$$\therefore \lambda = 0.52509$$

得られたλの値は、総平方和のうち、エリヤ間平方和および判定者間平方和が占める割合を示す。これによって分散分析表を作成した結果を表-6 に示す。

⑤ 次の式を解いてxを求める

エリヤ	総点	平均	エリヤ	総点	平均
1	7.35	0.49	1	3.92	0.39
2	6.87	0.46	2	1.96	0.20
3	6.87	0.46	3	3.39	0.34
4	8.83	0.59	4	4.35	0.44
5	5.79	0.39	5	3.35	0.34
6	8.92	0.59	6	8.44	0.84
7	8.87	0.59	7	4.39	0.44
8	11.39	0.76	8	5.83	0.58
9	10.87	0.72	9	7.92	0.79
10	10.83	0.72	10	5.87	0.59
			11	3.44	0.34
			12	9.48	0.95
			13	9.48	0.95
			14	7.39	0.74
			15	7.39	0.74

表-7 エリヤごと平均値
(作成：田中)

表-8 判定者ごと平均値
(作成：田中)

$$(E_2 - \lambda B_2) \begin{bmatrix} 1 \\ x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

この例題については

$$\begin{cases} (2355 - 5225\lambda) + (-1095 + 3630\lambda)x = 0 \\ (-1095 + 3630\lambda) + (1218 - 5544\lambda)x = 0 \end{cases}$$

xを求めるのに、この2つの式のいずれを用いても同じ答えが得られる。

$$x = 0.4749$$

⑥ 判定

表-6 に示したように、分散比は 5.8 となり、 $F_{1,15}^{24}(0.01) = 1.94$ だからエリヤ間または判定者間に 99% 確率で有意の差がある。すなわちエリヤごとまたは判定者ごとに平均値を求め、それらを比較することは統計学上意味があるといえる。

⑦ 平均値の計算

表-3 にもどってエリヤごとおよび判定者ごとに総点および平均値を計算した結果を表-7, 8 に示す。

⑧ 考察

表-7, 8 に示した結果から次のようなことがいえる。

イ) エリヤごとの平均値の 0.39～0.76 は各エリヤの危険度に対する得点であり、高得点ほど危険順位が高いことを示している。

ロ) 判定者ごとの平均値の 0.20～0.95 は各判定者の判定基準に対する得点であり、高得点ほど、文化遺産に対する理解造詣が深いと言える。

ハ) エリヤごとの平均値は、エリヤごとの本手法による得点であり、このまま評価点として使用できる。ただし、仮に数値間の比率が 2 倍あるからと言っても、文化財としての価値が 2 倍であるとは言えない。（順位付けには意味がある）

c) 感応検査法適用結果の利点・疑問点

以上の事例研究は、実在石垣に対して判定者を選定、

依頼して行った事例ではない。ある製品についてその 10 種類の外観判定を 15 人の検査員により判断した結果のデータ処理、考察結果³⁾をとそのまま、石垣判定に適用してみたものである。しかし上述⑧で示したようにかなり有効な情報が得られることが理解され、文化遺産の評価のような問題にも十分適用できると思われる。今後現実の石垣に対して上述のような調査判定、データ処理を行って、どのような問題が残されているか等研究していきたい。

なお、文化財等の評価判定に当たっては、従来は個人又は数人が表-1 に示したような判定基準に独自の配点を行い、それらに重み付けをしたりして総和や総乗値を求めて、評価点とするような手法が行われてきた。本手法が根本的に異なる点は経験等による区分された 10 人程度以上(まったくの無関心者は好ましくない)の判定者による判定結果を統計処理することである。従って表-1 に示した判定項目や配点・集計法などは、現実には相当考慮検討しても誰もが納得できる合理的な手法とはなりえないと考えられるので、表-3 に示したように総和をもう一度区分し数値化することにより、特性の異なる判定項目と判定者の感覚を平均化していると考えられる。

上述の手法は文化財等の評価を行う手法として研究していく価値が十分あると思われる。

なお、今回は 10 エリヤ、15 人としたが、表-4 および③に示したように一般式を用いて他の条件でもデータを統計処理できることは言うまでもない。また判定者のグループ分けによる評価や判定結果の数量化に当たっての区分を緊急性大、中、小の 3 段階以上にするなど、より精度を高める手法も考えられている。

3. 城郭石垣に遺されている伝統技術の分析整理

(1) 城郭石垣に遺されている伝統技術

城郭石垣に遺されている伝統技術を考えるには、石垣の歴史と分類を整理することが基本となる。

わが国の石積み技術の原点は、中国東北地方および朝鮮北部に紀元前 1 世紀半から紀元前後の卒本時代に栄えた高句麗国において盛んに築かれた山城と類似した高度な技術力を示す朝鮮式山城(対馬金田城、大宰府大野城、吉備鬼ノ山城など)が、7 世紀頃西日本瀬戸内海地方に約 30 ヶ所築かれていることから、大陸から伝来した技術であることは間違いないと思われる。ただし、5~6 世紀の古墳の石室においては数トンもある巨石を積み上げて側壁を構築したり、7 世紀には近世城郭石垣以上の技術力を伺わせる精加工した切石を用いた石室が造られるなど、石積み技術は山城以前の時代に既に高度なレベルに達していた。

しかし 16 世紀に入り信長が安土城を築く頃までは、城郭石垣はまったくといっても良いほど見られなかった。石積み技術は瀬戸内海地方等の塩田や河川海岸施設などの構造物構築に伝えられていたと考えられている。

ここで一口に石垣の伝統技術といっても、石材の材

質・形状寸法、石垣の形態・角度・寸法、石積み技法、間詰材・裏込め材等々の他にも、石切り・石出し、運搬、各種機械器具・道具などにも注目して観察・考察整理しなければならない。

本文では文献 4) に記されている内容を基本に、他の資料や現地調査結果なども加味して、用材・構築技術、特殊入念工作、補助工作などに分類整理し、考察した結果を報告する。

(2) 用材と構築方法とから見た石垣分類

一般に石垣分類と言えば、荻生徂徠の「鈴録」に出てくる野面積み・打込み接ぎ・切込み接ぎという分類がよく知られている。しかしこの分類では大まかすぎかつ定量的でなく、またこの範疇に入らない石垣も数多く存在することから、より合理的分類法が望まれる。筆者らは、石垣正面から見た積み石の形状寸法データを統計処理して、掘り出し石型、切石型を基本に 8 種類に分類する方法を提案した⁵⁾。

一方田淵実夫は『石垣』⁴⁾において、筆者と同様の視点から、石材の用材方式と石積み構築方式とを組み合わせ、各種の 2 次的な石積み形式が生み出されたと述べている。

田淵の分類法を基本にし、文献 6)~8) 等も参考にして、田中が再整理した結果を表-9 に示す。本表では用語の定義、関連事項の説明も簡略に示している。

(3) 特殊入念工作、補助工作

特殊入念工作の整理結果を表-10、補助工作の整理結果を表-11 に示す。本表にも用語の定義、関連事項の説明も簡略に示した。

(4) 調査石垣の価値評価

調査対象石垣は図-1 に従って取りまとめた石垣カルテ、表-9~11 を使った該当項目をマークするなどした石垣分類、伝統技術の明確化などにより、その特性を明らかにする。このとき、各項目に関してできるだけ定量的データによる表示を心がけることが大切である。これらは関係者全員の共通の認識のもとにおける協議を進めるための基本である。

4. 石垣の修復復元に対する基本理念

城郭石垣はそれぞれに時代的・地域的あるいは政治経済文化的背景があり、老朽しているから修復するとしても、画一的な考えを押し付けることには問題がある。かと言って現実には地方自治体等が独自に自分たちの判断のみで工事を進めている事例も多く、重要な視点を忘れていたのでは? と注文をつけてみたくなることも多い。

やはり城郭石垣のように世界に類をみない貴重な文化遺産を修復復元するには、最低限の共通の認識が必要ではないだろうか。

石垣の修復復元に必要な視点を整理すると、次のような事項が考えられる。

a. オーセンティシティ(歴史的真實性)を明確にし、これを尊重して調査・設計・施工に当たる。

表－9 用材および構築方法から見た石積み分類

(作成：文献 4)をベースに田中が取りまとめた)

用 材	構 築 方 法	名 称
野石（＝天石）山野に転んでいる自然石 — 野角（＝粗石、ヤソウ）凹凸して角張っている — 呉呂太 丸みある楕円球 — マクラ石 枕形枕大の石 — ウリンボ 瓜形瓜大の石 — 野板 やや扁平で長めの石	整層積み(通し積み) ・横目地を一直線に通す ・石格好がほぼ一定 ・出来栄は設計監督に負う ○マクラ石の胴丸をほぼ同一とした	1-1 野石整層積み 1-2 マクラ石整層積み
	乱層積み(落し積み) ・合場の凹凸は石格好にまかせ凹部への上石の凸部（＝出鼻）を落としかける ・出来栄は石工の技能に負う ○石格好は出まかせだが、据え方は工夫と手間を要す 生垣床、防風林床 ○モザイクな視覚効果あり 石材安価	2-1 野石乱層積み 2-2 ゴロタ石乱層積み 2-3 野角乱層積み
	整層積み 上下石の据え方「品」字形 ○布石 使用 ○各層に親石を配し、その間合いに大小の各種切石をはめていく ・石垣各層は乱層積み、全体は整層積み・ランダムな抽象美 ○面を6角に切って積む化粧積み シリアスな正形美・蜂の巣状	3-1 樵石整層積み 3-2 切石布積み(煉瓦積み) 3-3 入れ子積み 3-4 亀甲積み（六法積み） 普亀甲積、亀甲矢羽積
樵石 岩塊又は岩盤としてある自然石を大割、小割したもの — 野面石 — 間知石（＝間知地、検地石）角錐形（楔形）に切り割りしたもの — 枘石 正方体に切り割りしたもの — 切石－布石 長方体に切り割りしたもの ・不良間知石 控え短い石、鼓胴（控え中央くびれ） ・舟底型間知石 上下面に反り（すくいしゃくり）、飼物、込物との締まりを良くする	乱層積み 下右2ヶの上端がV字型となるその谷へ上石の1角をはめていく ・締まりがよく崩れ難い ○間知積みの弱点と変状 アゴ出し 孕み 落とし込み あぶり 四つ目 目通り 目違い 巻石 逆石 重箱芋串 鏡張り 稲妻目地 笑い合端 毛抜き合端 ○天端石 2～3 段下の石から石の選択と配合を加減する。 3角天端 5角天端 夫婦天端（子持ち天端、親子天端） ○笠石(縁石) 天端上面を長方形切石で縁取るはねだしにひさし（＝ひさし）天端よりせり出したもの	4-1 樵石乱層積み ＝間知石谷積み・矢筈積み 矢羽積み 4-2 呂の目積み
	乱石（＝雑石、ガンザ） 野石でも割り石でも大小、形状様々で選別しない場合	整層積み ・乱石をコンクリートなどの型枠に抱かせて積む方法（ガンザ詰め） ・ゴロタと割り石とを混合して使用することは不可 ・護岸擁壁や堰堤裾壁 乱層積み ・下層部に大形石を据え、上層ほど小形石を使用 ・根石と隅石には役石を置く ・積み易くもありかつ崩れやすい

(適宜 写真・スケッチも添えてコメントを記入する)

表-10 特殊入念工作

(作成：文献 4)をベースに田中が取りまとめた)

No.	役場(重要特殊部分)	概要	コメント記入欄
1	隅石 算木積み (=井楼積み・井桁組み)	・切石又は角石を用いる ・直方体の石の長面、短面を正面と側面とに交互に見せる積み方	形状・寸法・勾配
2	弓法 ^{のりづら} 法面 (=武者返し)	・弧線により城の威厳見栄えを強調 ・石垣自重や土塁、楼郭の重圧を分散させ、はらみを防ぐ ・石垣の防戦力を強化 ・天正、永禄時代以降に隆盛(城の防塁機能が漸減以降)	
3	弓法勾配	・慶長期城石垣の勾配 45° ~ 25° ・「鈴録」——切込ハギ 75° 切石積み ——打込みハギ 72° 野面の出コブを打ち欠いて積む ——野面 67.5° 無加工割り石を積むのでハギ(結合)が悪い	勾配変化を図示
4	勾配のもどり	・高石垣の上部の安定度を増やすため ——寺勾配—法肩が垂直 (=雨落とし) 寺院屋根に似る ——宮勾配—やや反りを持たせ ^{せりだし} 追出とする (=蝙蝠 ^{かきほり}) 扇の勾配のうち宮屋根反りに似る	
5	扇勾配 (軍詞の巻)	・高石垣 (3 間以上) では高さ 1 間ごとに敷 1 尺を増す ・低石垣 (3 間以下) では棒法とし、高さ (勾) 1 間につき股 1 ~ 1.5 尺とする	
6	肥後流(加藤清正流三日月石垣)	・弓法のみごとき ・治水工事の経験から発展 ・鉤 ^{ななつこ} 楼—隅角が切りそいだように尖っている ・鳶口 ^{とびぐち} —隅角の頂上「三つ角」が鋭く石角をせり出す (=体裁事)	
7	こしみず ^{こしみず} 腰水の目地	・法肩と法尻との中間法腰における水準線に沿って反り前を揃える— (ヒョコトン=不揃い) ・縦目地は任意でもかまわないが、横目地はほぼ水平とする	
8	こぼうづ ^{こぼうづ} 牛蒡積み	・法肩と法尻との中間 法腰における水準線に沿って反り前を揃える (ヒョコトン=不揃い) ・縦目地は任意でもかまわないが、横目地はほぼ水平とする	
9	カ石→弁慶石 (陰弁慶、内弁慶)	・控長 1 間に及ぶものもあり、牛蒡積み中に適当にはめる ・隅石の裏のカ石—隠し構え	

(適宜 写真・スケッチも添えてコメントを記入する)

表-11 補助工作

(作成：文献 4)をベースに田中が取りまとめた)

No.	名 称	概 要	コメント記入欄
1	根石	・根取りの^{くめん}工面 床ざらえ—根代の泥土、砂礫除去 ↓ ^{かたじ}固地 敷き、胴木詰め ↓ —根水(地下水)切り替え 地掘り→根石据え —出しの根石—石垣の根に面を出す —受けの根石—・出しの根石の裏にあり、出しの根石を支える陰弁慶 ・出しの根石の尻を直角にその胴に迎える勾配で据えられる ・大笑い—石の大面を裏にして小面を表に出す 積み方で禁じ手 (例外)大ガンザ—小面を表に出す意匠化石積み	・根入れ深さ ・根石の形状・寸法・勾配 ・基礎地盤状況
2	^{かいもの} 飼物— ^胴 飼石 — ^{ともかいし} 臙飼石 — ^{せりかいし} 迫飼石← ^{せりかい} 迫支	・間知積みの上下石の控がつくるく形すきまの奥口に詰める (1個) ・ " " " 外口 (2~3個) ・ " 左右の石の控がつくるV形谷に詰める	
3	^{ごう} 後詰め	・ゴロタ石や割石を積み石背面に幅3間(上)2間(中)1間(下)詰める	
4	樋門=蛇口 笑い積み (=水口役)	・石垣の隅角を避けて中央部の下辺に設けるのが建前 ・構造は^{はこがた}祠形—蛇口を四角にとり、左右に桁石を直立させ、下は左右を桁石で挟む、上は渡す ・厄介水対策—石垣の根方に大石を据えこんでおく ・空目地—内部の空隙に雨水が貯まらないようにした	
5	つなぎ手	・左右または上下2個の石を通して石面にはめ場を作り、鉄や鉛をはめ込んでつなぐ ・ナマコ—鉛製ハメ物	
6	笠石	・城石垣矢端では建物を乗せるために少ない ・土方チョウハリ・縄だるみ—楼閣直圧軽減、蛇口への水寄せ ・スベリをとる—背肩隅角の半円形加工	

(適宜 写真・スケッチも添えてコメントを記入する)

b. 文化遺産は歴史的美術芸術作品であるとも言える。このような感性は重視しなければならない。しかし一般論として、文化財的価値・美術芸術的価値を主張する人々は、工事を設計施工する実務者たちにも理解できるように、出来るだけ定量的具体的に易しく解説指導し、十分対話することが望まれる。

c. 石垣は構築されて数百年経ており、その間の沈下あるいは地震や風雨などによっても変形変状してきたであろうことも確かである。当初の姿を定量的に表示することは至難なことであり、どの時代のどのような形状に修復するかと言うことを論議することも困難である。一方地盤工学的研究方法も事実上無力に近いともいえるが、変状変形量などを定量的に提示できるように研究を続けていく必要がある。

d. 今後の城郭石垣の修復復元は「平成の修復」ともいうことが出来る。従ってa、bを尊重しつつも、安全性を確保しなければならないという立場からも考えれば、新しい工法・技術はある程度積極的に採用することが許されなければならないと考えられる。そして、例えば裏込めに河原石しか使用していないようなケースには、土圧低減のために切込砕石や砂などを添加して転圧締め固める程度の簡便な改善は積極的に採用するべきと考えられる。

これらはaとも関連していて、結論を急ぐことはないであろうが、十分討議する必要がある。

「城郭石垣のような文化遺産は崩れるにまかせてよい」などという意見もあるが、ここまで断言し、放置してよいものであろうか。

5. まとめ

城郭石垣の伝統技術、あるいは価値や安定性などを定量的に表現することは非常に難しい。本報告では、論文タイトルとはほど遠い成果のみで、どのような技術がどのように使われているか、又は変状はどうか等を図-1

のカルテ、表-9～11の分類表などを用いて明示することから始めなければならないことを改めて述べたにとどまった。

しかし動態観測や載荷実験などは今後積極的に実行して、石垣の安定崩落メカニズムの研究資料を蓄積するなどのためにも、石垣の修復復元時にはこれらを義務付けるなどの指導も必要ではなかろうか。そして2.(4)で示した「感応検査法」の適用は石垣のみならず各種文化財に関する評価にも有効有用のように考えられる。種々に活用してみて、問題点等を研究し、合理的な手法として認知されるようになることを期待している。

また基本理念に関しては、関係者が共通の尺度で石垣問題を討議する基本と考えている。これも指針などとして明文化されることを期待している

以上多くの提案を行ったが、活発な多面的な討議が始められることを期待している。

参考文献

- 1) 田中邦熙・新谷洋二・山田清臣：城郭石垣修復復元のための安定性判定手法－実用試案－，土木史研究 No.20，pp.255～262，2000.5
- 2) 田口玄一：『実験計画法 上下』，丸善株式会社，1968.10
- 3) 品質管理誌編集委員会編：『新しい統計手法集』，(財)日本科学技術連盟，1967.2
- 4) 田淵実夫：『石垣』，(財)法政大学出版局 1993.9
- 5) 田中邦熙・新谷洋二・山田清臣：築石の形状寸法などから見た城郭石垣の分類と変遷，土木学会論文集 No.639/IV-46，pp.23～37，2000.1
- 6) 大久保森造・大久保森一：『石積の秘法とその解説』，理工図書，1991.6
- 7) 窪田 祐：『石垣と石積壁』，学芸出版社，1980.3
- 8) 北垣聰一郎：『石垣普請』，(財)法政大学出版局 1987.3