

城郭石垣の断面形状と石垣構築技術の変遷^{*1}

Historical Changes in Technology for Castle Masonry Walls from Cross-sectional Point of View

森本浩行^{*2}, 西田一彦^{*3}, 西形達明^{*4}, 玉野富雄^{*5}

By Hiroyuki MORIMOTO, Kazuhiko NISHIDA, Tatuaki NISHIGATA and Tomio TAMANO

要旨：城郭石垣は、個々の石垣石の大きさや加工の状態、初期勾配や反りの量などの違いによって様々な断面形状を形成しており、同じ形状のものは存在しない。これら石垣形状に影響を与える各種要因を考慮した石垣構築の技術的な変遷について説明を進めた結果、初期勾配や反りの量は石垣石の加工状況が大きく影響していることが明らかとなった。これは安定性を確保する必要性から、石垣石の形状および加工状態に応じて断面形状を変化させたものと理解することができる。

1. はじめに

日本に現存する城郭石垣は、石垣石相互間に接着材を用いない空積みであり、また反りを有しているなど世界に類を見ない独自の構造を持ち、建設文化として価値の高い歴史的遺産である。また城郭石垣は、個々の石垣石の大きさや加工の状態、初期勾配や反りの量などの違いにより様々な断面形状を形成しており、同じ形状のものは存在しない。

このように様々な石垣の構築技術の変遷を明らかにすることは、土木史的に意義が大きいだけでなく、これらの重要な石垣遺構の修復保存法の確立をはじめ、現代における構造物の設計手法にも寄与することとなる。そこで、本研究においては、石垣を構築する上で形状に影響を及ぼすと考えられる要素の歴史の変遷を検討し、構築技術の推移を把握するために、甲府城、名古屋城、安土城、伊賀上野城、大坂城、岸和田城、姫路城¹⁾、和歌山城²⁾、丸亀城の9ヶ所の城郭石垣について断面形状の計測を行った。

なお城郭石垣の設計手法にはいくつかの方法^{3),4)}があるが、石垣の断面形状は「後藤家文書」⁵⁾に記述されている、一般に「唯子一人伝」と呼ばれている石垣の設計手法によって構築されたものと想定しても、多くの石垣の調査例から大きな誤差がないことから、本研究では石垣構築当時の断面形状として「後藤家文書」による設計手法を用いることとした。そしてこれによって現状の石垣断面形状と比較検討することによ

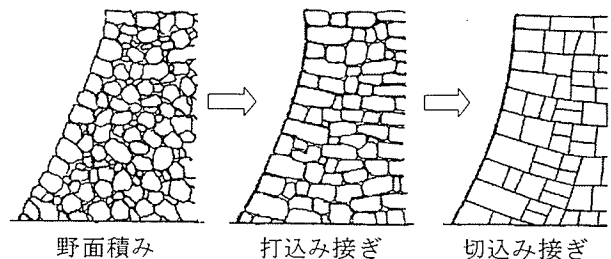


図1 石垣石の加工状況による分類

り、石垣構築技術の変遷を把握した。

2. 城郭石垣測定データ

日本における城郭石垣の構築は16世紀後半から17世紀前半、すなわち戦国時代から江戸時代初期にかけて最も盛んに行われ、この時期に石垣構築技術は急速に発達した⁶⁾。また、それにともない石垣形状も大きく変化し、それらは石垣石の加工状況により荻生徂徠の「鈴録」に記述されている「野面積み」、「打込み接ぎ」、「切込み接ぎ」の3種類に分類されることが多い。これは、図1⁷⁾に示すように、「野面積み」は形状がいびつな自然石または切り出した石をそのまま積み、「打込み接ぎ」は石の加工がやや進みその形状がだまかに加工されたものである。さらに、「切込み接ぎ」は石と石の接面が平面になるまで精加工されたものである。このような石垣の例として和歌山城の石垣を図2に示している。これら城郭石垣の設計は「後藤家文

*1 keywords : 石垣, 構築, 変遷

*2 正会員 工修 京都市立伏見工業高等学校建設工学科 (〒612-0011 京都市伏見区深草鈴塚町13)

*3 正会員 工博 関西大学工学部土木工学科

*4 正会員 工博 関西大学工学部土木工学科

*5 正会員 工博 大阪産業大学工学部土木工学科

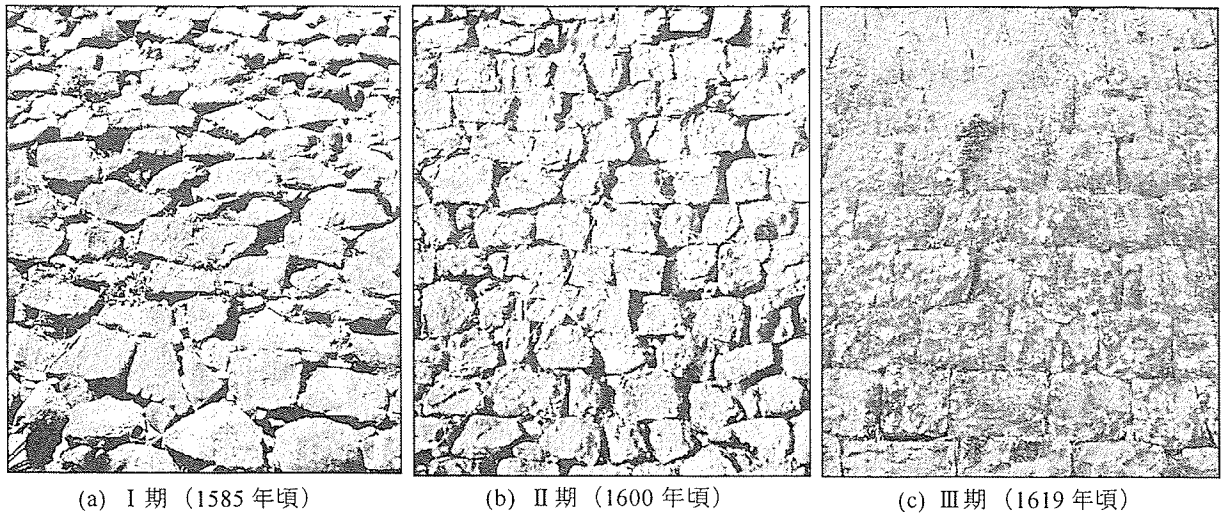


図2 和歌山城（撮影：西田，2002）

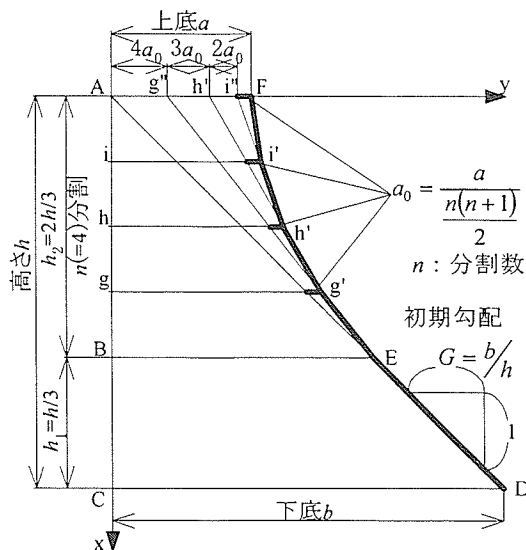


図3 「後藤家文書」による設計

書」によると，図3³⁰⁾に示すように高さ $1/3h$ までは初期勾配 G の傾きで構築し，それより上部である石垣の反り勾配部分は，ある一定高さに対して，その前の勾配よりある一定量，すなわち a_0 だけ前面に張り出すことで，反りを設けていることが分かる．ここで AB 間を無限に分割すると考えた場合，図3のように座標軸を取ると，勾配の変化する部分 EF 間は次式で表すことが出来る．

$$y = a \left(1 - \frac{x}{h_1} \right)^2 + \frac{b}{h} x \quad (1)$$

そこで本研究では各城郭石垣の形状を決定づける要素として高さ h ，初期勾配 G ，上底 a ，下底 b に着目し，各城郭石垣におけるこれらの値を把握するために測量を行った．さらには日本の城郭石垣の特徴である反りを把握するために，図4に示しているように，直線 DF からそれに平行な直線 $D'F'$ と反り勾配部分 EF との接点までの距離，すなわち直線 DF と石

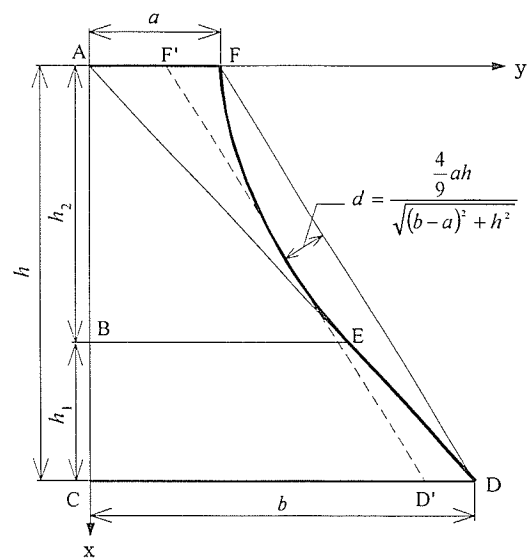


図4 凹み量 d

垣の反り勾配部分 EF との最大距離を凹み量 d とし，次式で算出した．

$$d = \frac{\frac{4}{9}ah}{\sqrt{(b-a)^2 + h^2}} \quad (2)$$

このようにして得られた，9ヶ所の城郭石垣における計測値と算出値を，基礎データとして表1に示している．

3. 石垣石形状の歴史的変遷

本研究で取り扱った城郭石垣のうち構築年が1575年頃の安土城から1585年頃の和歌山城，1593年頃の甲府城，1598年頃の岸和田城は野面積みで構築されている．次に，1585年頃および1600年頃の和歌山城から1605年頃および1612年頃の姫路城，1608年頃の伊賀上野城，1612年頃の名古屋城，1650年頃の丸亀城，1720年頃および1750年頃の甲府城においては打込み接ぎで構築されている．また，1619年頃の和歌山城から1620年頃の大坂城，1640年頃の岸和田城

表1 城郭石垣の基礎データ

構築年	場所	高さ h [m]	上底 a [m]	下底 b [m]	初期勾配 G	凹み量 d	積み方
1575	安土城 A	5.35	0.53	3.34	0.624	0.209	野面積み
	安土城 B	4.71	0.87	3.45	0.732	0.339	
	安土城 C	3.64	0.52	2.55	0.701	0.202	
	安土城 D	6.60	0.89	4.20	0.636	0.354	
	安土城 E	5.40	0.60	3.99	0.739	0.226	
1608	伊賀上野城 A	21.57	1.31	10.55	0.489	0.535	打込み接ぎ
	伊賀上野城 B	22.32	1.10	10.53	0.472	0.449	
	伊賀上野城 C	21.25	1.31	10.35	0.487	0.535	
	大坂城 内堀	25.06	1.69	10.02	0.400	0.711	
1620	大坂城 天守北 A	14.38	2.34	6.52	0.453	1.000	切込み接ぎ
	大坂城 天守北 B	13.99	2.32	6.52	0.466	0.987	
	大坂城 天守北 C	13.30	2.37	6.84	0.514	1.001	
	大坂城 天守西 A	13.88	2.31	6.62	0.477	0.979	
	大坂城 天守西 B	13.95	2.54	6.80	0.487	1.079	
	大坂城 天守西 C	14.56	1.34	5.31	0.365	0.574	
	大坂城 天守西 D	14.56	1.34	5.31	0.365	0.574	
1598	岸和田城 I期 A	7.85	1.28	5.89	0.751	0.488	野面積み
	岸和田城 I期 B	7.45	2.42	7.06	0.947	0.915	
	岸和田城 I期 C	7.80	1.37	5.81	0.745	0.530	
	岸和田城 I期 D	8.28	1.53	6.03	0.729	0.597	
	岸和田城 I期 E	7.00	1.11	3.92	0.560	0.456	
	岸和田城 I期 F	7.06	0.73	2.83	0.400	0.311	
	岸和田城 I期 G	9.79	0.61	3.59	0.367	0.261	
	岸和田城 I期 H	7.82	0.56	4.49	0.575	0.222	
1640	岸和田城 II期 A	7.82	0.56	4.49	0.575	0.222	切込み接ぎ
	岸和田城 II期 B	7.81	0.97	5.27	0.674	0.379	
	岸和田城 II期 C	8.03	1.28	5.42	0.675	0.504	
	岸和田城 II期 D	8.49	1.10	4.90	0.577	0.447	
1593	甲府城 I期 A	8.00	1.09	4.14	0.518	0.453	野面積み
	甲府城 I期 B	7.00	0.75	3.10	0.443	0.316	
	甲府城 I期 C	6.00	0.75	2.90	0.483	0.314	
	甲府城 I期 D	13.20	2.29	7.79	0.590	0.940	
	甲府城 I期 E	13.60	1.13	6.63	0.487	0.466	
1720	甲府城 II期 A	9.00	0.30	3.00	0.334	0.129	打込み接ぎ
	甲府城 II期 B	8.25	0.17	2.72	0.330	0.072	
	甲府城 II期 C	7.55	0.20	2.83	0.374	0.084	
	甲府城 II期 D	6.95	0.24	2.49	0.359	0.103	
	甲府城 II期 E	6.00	0.27	2.47	0.412	0.112	
	甲府城 II期 F	5.60	0.09	1.81	0.323	0.037	
	甲府城 II期 G	4.95	0.41	1.96	0.395	0.174	
	甲府城 II期 H	7.35	0.46	2.86	0.390	0.196	
1750	甲府城 III期 A	7.35	0.46	2.86	0.390	0.196	打込み接ぎ
	甲府城 III期 B	7.00	0.33	2.89	0.412	0.139	
	甲府城 III期 C	6.85	0.24	2.79	0.407	0.100	
	甲府城 III期 D	6.70	0.39	2.74	0.409	0.162	
	甲府城 III期 E	6.50	0.34	2.74	0.422	0.143	
1612	名古屋城 天守西 A	21.04	5.41	14.23	0.676	2.220	打込み接ぎ
	名古屋城 天守西 B	21.34	4.73	13.19	0.618	1.953	
	名古屋城 天守東 C	20.63	5.69	14.55	0.705	2.324	
	名古屋城 天守東 D	20.87	4.16	12.89	0.617	1.705	
	名古屋城 天守北 E	20.77	4.80	12.95	0.623	1.987	
	名古屋城 天守北 F	13.13	1.99	15.76	1.200	0.610	
1580	姫路城 I期	14.33	1.54	8.05	0.562	0.624	野面積み
1605	姫路城 II期 A	20.48	0.73	10.16	0.496	0.293	打込み接ぎ
	姫路城 II期 B	25.62	3.52	14.87	0.580	1.429	
	姫路城 II期 C	16.66	1.37	9.27	0.556	0.549	
	姫路城 II期 D	19.57	0.98	8.66	0.443	0.405	
	姫路城 II期 E	17.44	1.70	7.29	0.418	0.718	
	姫路城 天守 A	15.35	0.95	5.01	0.327	0.410	
	姫路城 天守 B	15.53	0.81	4.94	0.318	0.348	
1618	姫路城 天守 C	15.64	0.90	5.04	0.322	0.388	打込み接ぎ
	姫路城 III期 A	15.90	0.72	8.21	0.516	0.290	
	姫路城 III期 B	15.52	0.67	7.00	0.451	0.275	
1650	丸亀城 A	15.90	1.80	8.80	0.553	0.732	打込み接ぎ
	丸亀城 B	15.00	1.18	8.38	0.559	0.473	
	丸亀城 C	16.00	1.21	9.01	0.563	0.483	
1585	和歌山城 I期 A	9.00	2.06	7.41	0.823	0.787	野面積み
	和歌山城 I期 B	7.00	1.13	4.80	0.686	0.445	
	和歌山城 I期 C	7.20	1.19	5.24	0.727	0.459	
	和歌山城 I期 D	9.33	1.34	8.55	0.916	0.471	
	和歌山城 I期 E	11.80	1.62	7.27	0.616	0.647	
	和歌山城 I期 F	11.30	1.54	7.38	0.653	0.606	
1600	和歌山城 II期 A	9.50	1.35	9.51	1.001	0.455	打込み接ぎ
	和歌山城 II期 B	7.60	0.95	4.80	0.632	0.377	
1619	和歌山城 III期 A	14.60	2.33	9.24	0.633	0.936	切込み接ぎ
	和歌山城 III期 B	8.60	1.16	5.70	0.662	0.455	
	和歌山城 III期 C	14.10	2.36	9.19	0.652	0.944	
	和歌山城 III期 D	11.93	1.25	6.89	0.578	0.502	

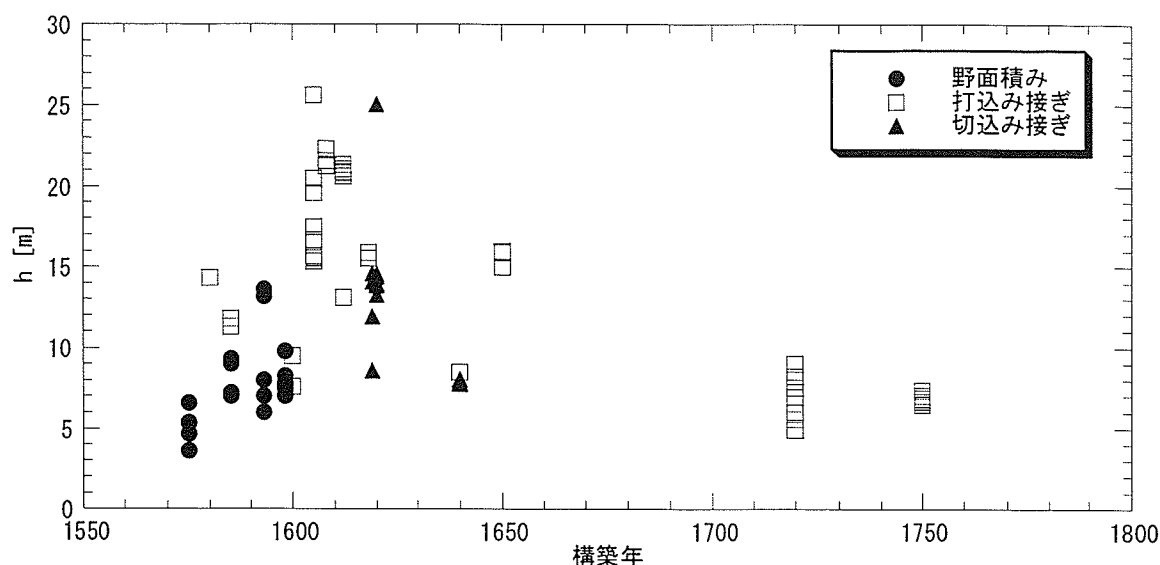


図5 構築年と石垣高さ h の関係

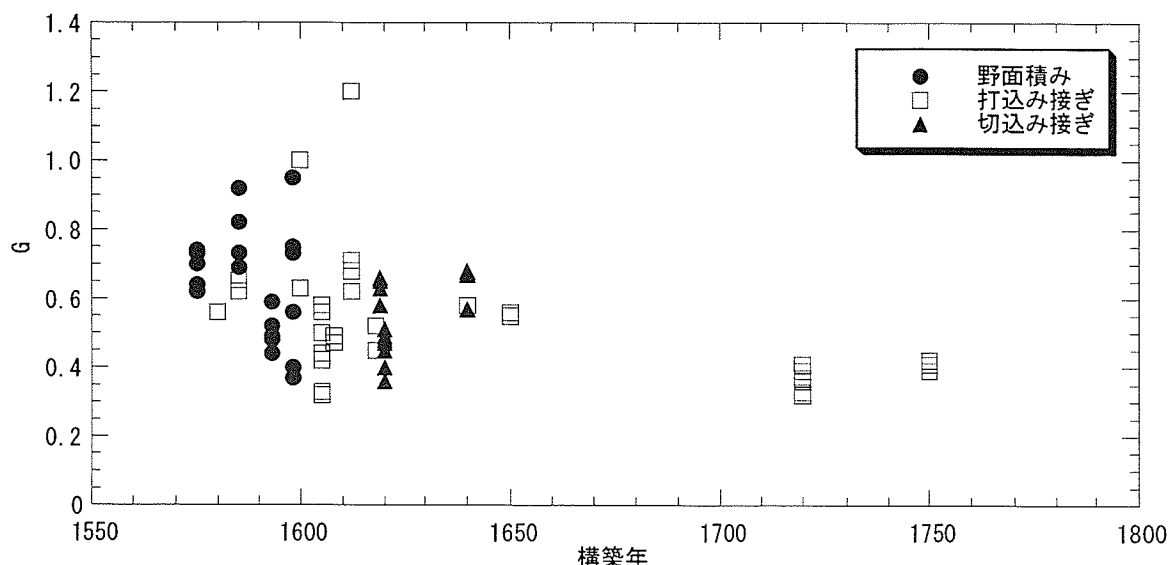


図6 構築年と初期勾配 G の関係

においては切込み接ぎで構築されている。このように1720年頃以降の甲府城を除き、時代が経つに連れて石垣石の加工をする技術が高まったことで、石垣構築の高さは、図5に示しているように時代が経つに連れて高く構築することが可能になったと判断できる。

1720年頃以降に構築された甲府城の石垣は石垣構築技術が急速に発達した1600年前後よりおよそ100年ほど経過してから構築されていることから、石垣構築技術の衰退により1600年前後の傾向と異なったものになったと考えられる。

なお各城郭石垣の構築に関する古文書が存在することは極めて稀であるため、石垣の構築年を確定することは困難であるが、ここでは築城年などを参考に推定した年代を適用していることから、将来の歴史学的研究によって修正される可能性を含んでいる。

構築年と初期勾配 G の関係を図6に示している。初期勾配 G は時代が経つに連れて緩やかな勾配から

きつい勾配へと変化している傾向がうかがえる。次に構築年と凹み量 d の関係を示したものが図7である。凹み量 d は構築年あるいは石垣石の違いによる明瞭な差異は表れていない。

初期勾配 G および凹み量 d は、両者とも高さ h あるいは石垣石の加工の程度や地盤の状況によって変化するものと考えられる。そこで、「後藤家文書」の設計例より導き出された次の関係式⁹⁾より算出される値を基準とし、測定データとの比較を行うことで高さの影響の除去を行った。

「後藤家文書」における設計例より導き出された初期勾配 G_0 と高さ h の関係は次式であらわされる。

$$G_0 = 0.025h \quad (3)$$

この式より h が大きな値となるほど、 G_0 も大きな値を示すことが分かる。

また、凹み量 d_0 を導くために必要な上底 a および下底 b と高さ h の関係は、「後藤家文書」の設計例に

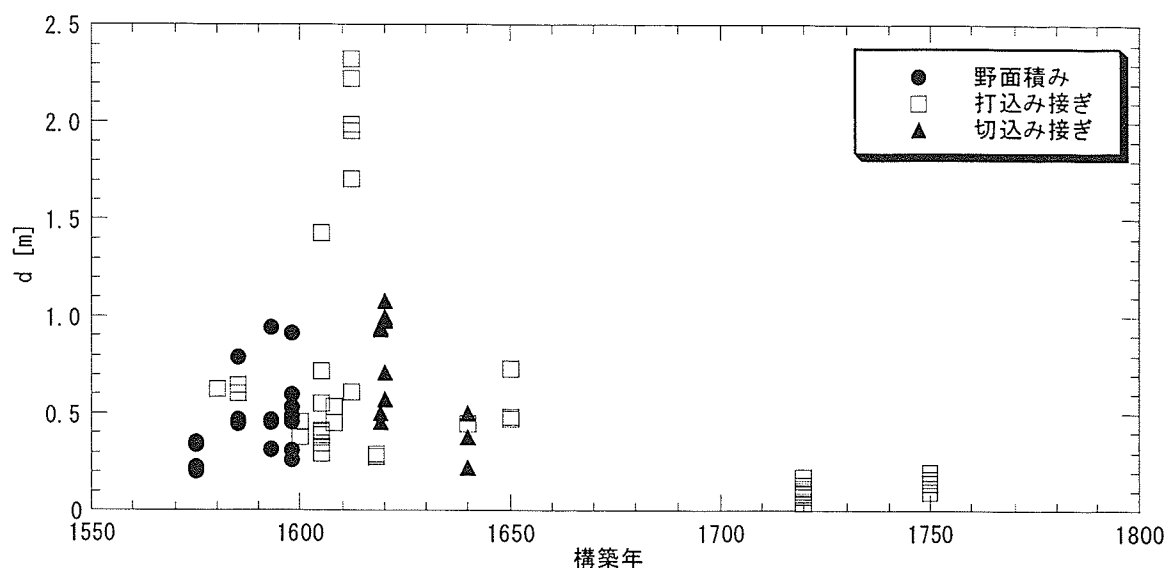


図7 構築年と凹み量 d の関係

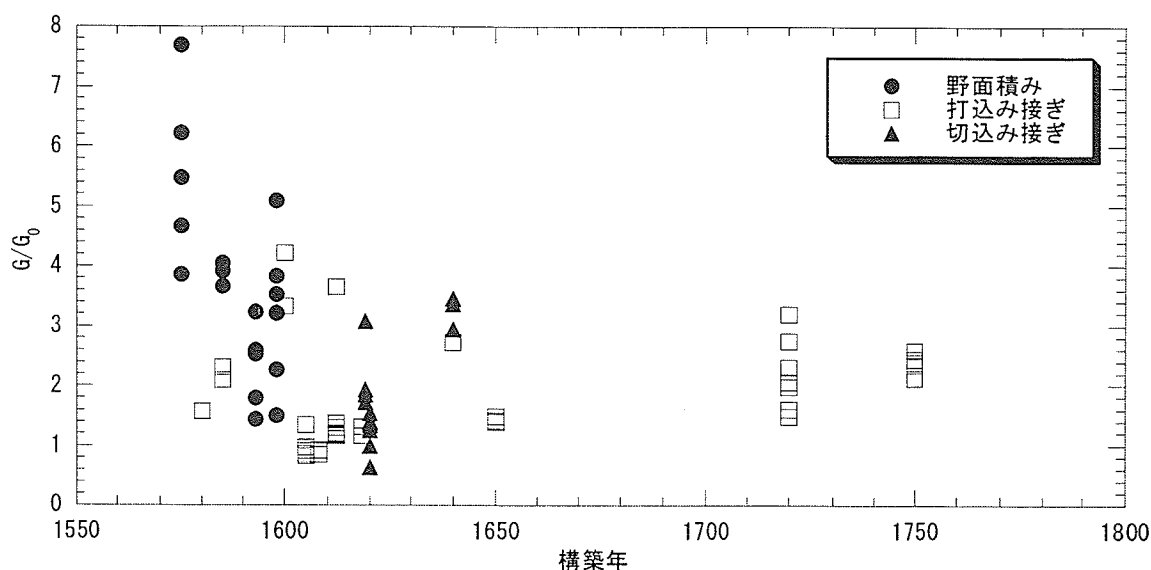


図8 構築年と G/G_0 の関係

よると、次式であらわされている。

$$b = 0.025h^2 \quad (4)$$

$$a = \frac{1}{4}b \quad (5)$$

式(4)と式(5)から算出される値を式(2)に代入して凹み量 d_0 を算出するのであるが、 d_0 も h が増加するほど大きくなることが分かる。

「後藤家文書」より導かれた G_0 および d_0 と比較した値、すなわち初期勾配比 G/G_0 と凹み量比 d/d_0 を構築年との関係であらわしたものを図8および図9に示している。

図8より野面積みにおいてはかなりゆるい勾配で石垣が構築されていることがわかり、年代が経ち石垣石が打込み接ぎ、切込み接ぎと加工精度が高くなるときつい勾配で構築されていることがわかる。また図9からは、野面積みにおける凹み量比は打込み接ぎや切込

み接ぎより大きな値を示していることがわかる。

4. 石垣構築技術の変遷

石垣の形状は石垣の高さ h が同じであっても初期勾配 G および上底 a 、下底 b の値によって異なった形状を示す。

そこで初期勾配 G について高さ h との関係を示したものが図10である。比較検討のために、初期勾配比 G/G_0 と高さ h との関係に整理したものを図11に、 G/G_0 と石垣石の積み方との関係を図12にそれぞれ示している。これらの図を見ると野面積みにおいては緩やかな勾配で石垣が構築されていることおよび、高さが比較的低いところに集中していることが分かる。打込み接ぎ、切込み接ぎにおいては高く構築されているにもかかわらず勾配がきつくなっている。本来ならば石垣高さが高くなるほど勾配は緩くなっていくのであ

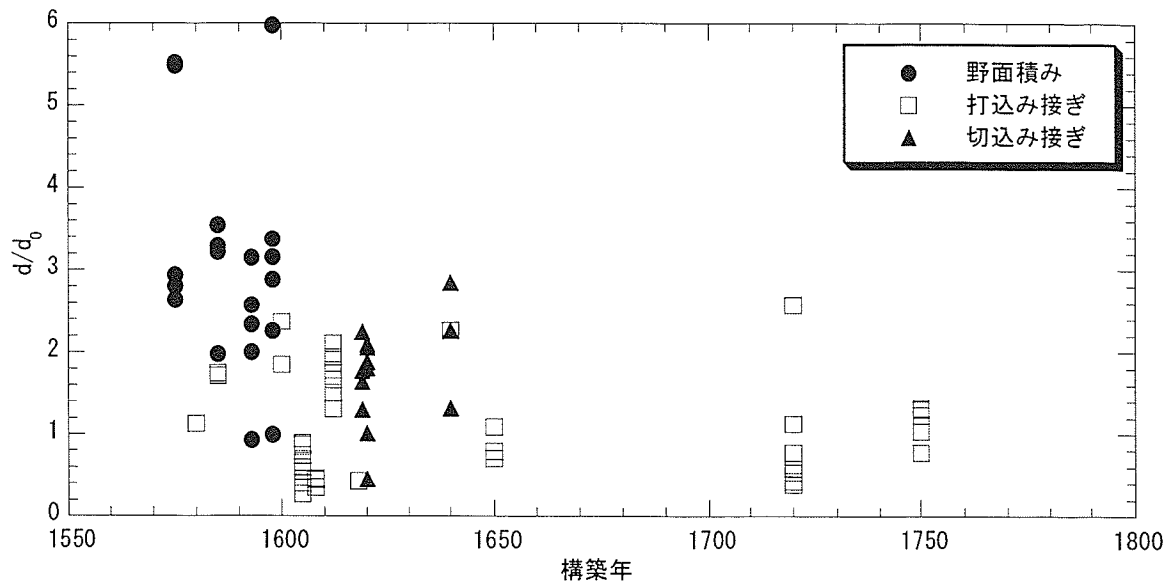


図9 構築年と d/d_0 の関係

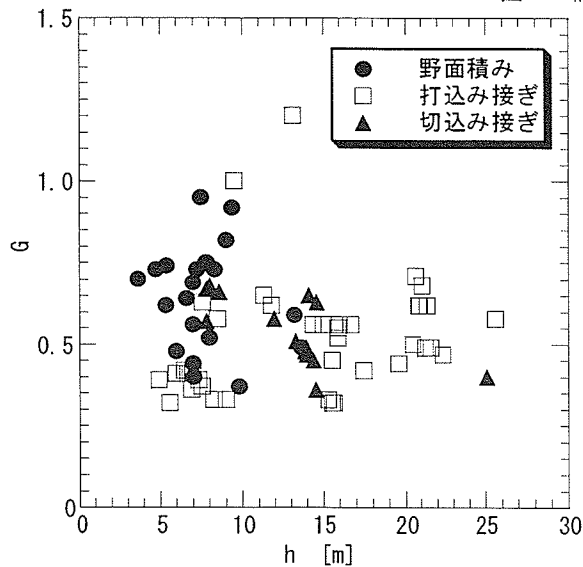


図10 高さ h と初期勾配 G の関係

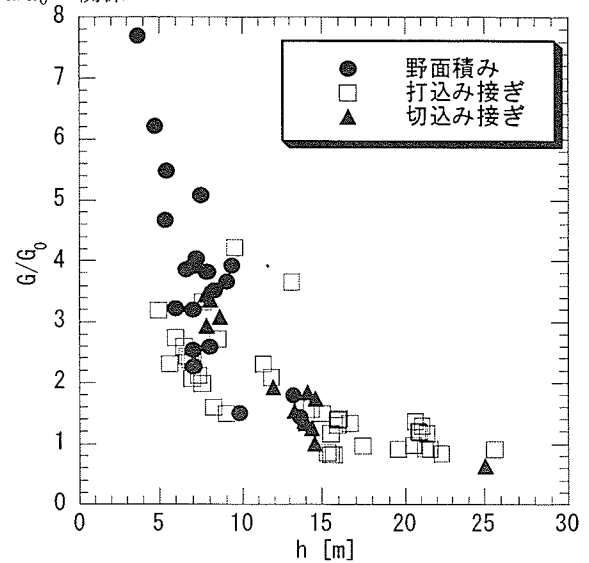


図11 高さ h と G/G_0 の関係

るが、石垣が精加工されることによって高く構築することや勾配をきつくすることが可能になったためだと考えられる。

次に、上底 a 、下底 b 、高さ h から決定される凹み量 d について高さ h との関係を示したものが図13である。この図から高さが高くなるほど凹み量が増加している傾向を読み取れる。ここで、凹み量比 d/d_0 と高さ h との関係である図14および d/d_0 と石垣の積み方との関係である図15をみると、野面積みは高さが低いにもかかわらず凹み量すなわち反りを大きくして石垣を構築されていることが分かる。これは、加工の程度の低い野面積みの石垣を安定させて積み上げるために必要なことだと考えられる。

図16は初期勾配比 G/G_0 と凹み量比 d/d_0 との関係を示したものである。この図より野面積みは、初期勾配および凹み量ともに、他者と比べ大きな値を示していることから、緩やかな勾配かつ反りを大きく入れて構築されていることが分かる。

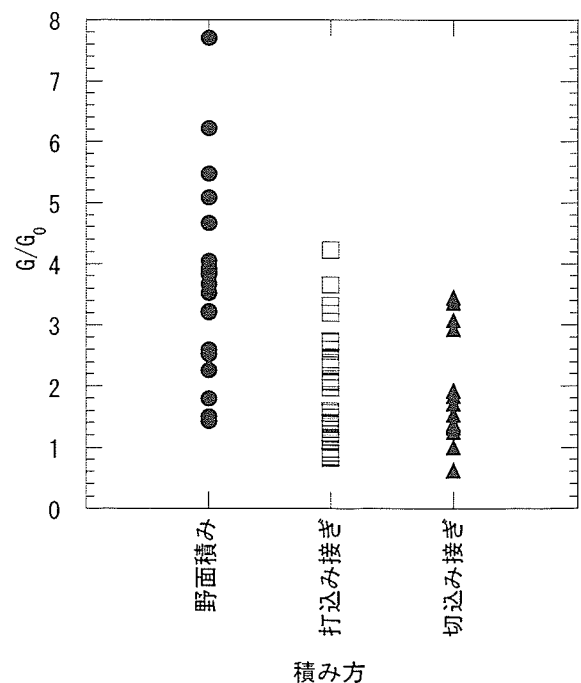


図12 積み方と G/G_0 の関係

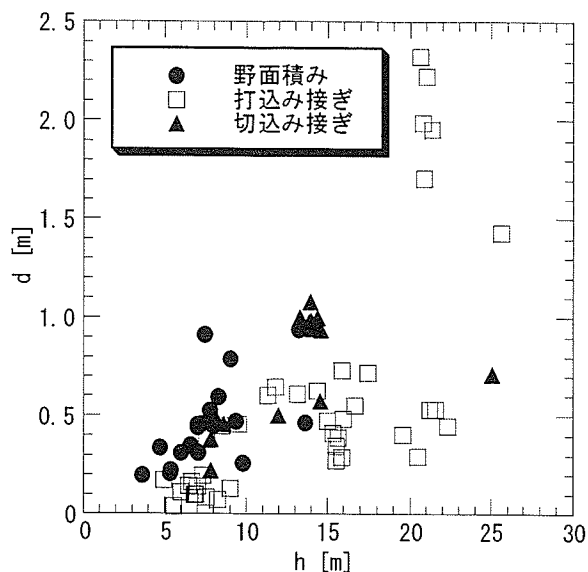


図 13 高さ h と凹み量 d の関係

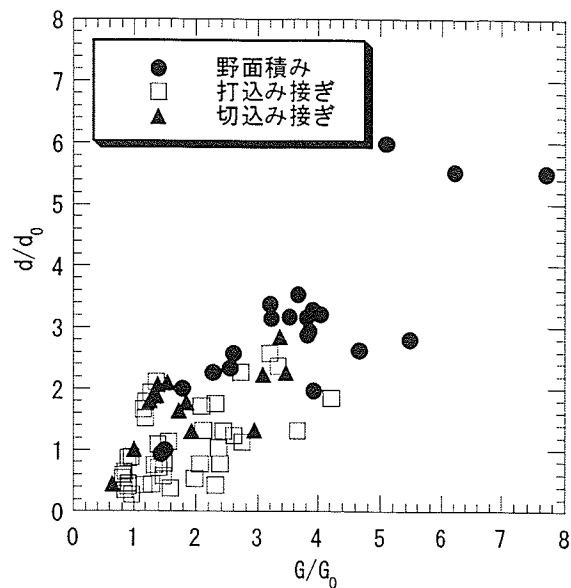


図 16 G/G_0 と d/d_0 の関係

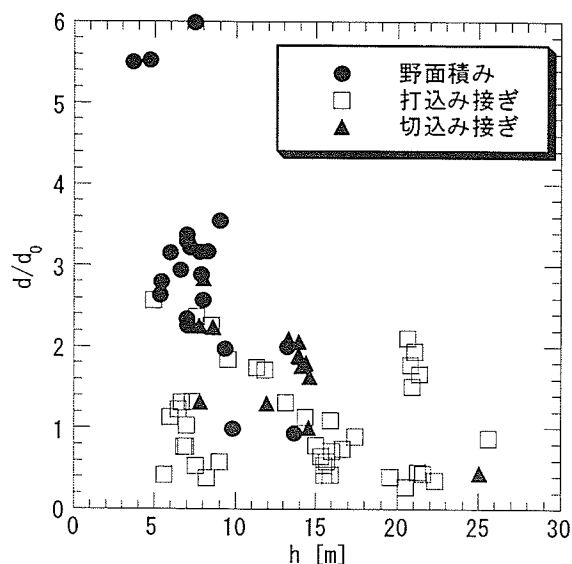


図 14 高さ h と d/d_0 の関係

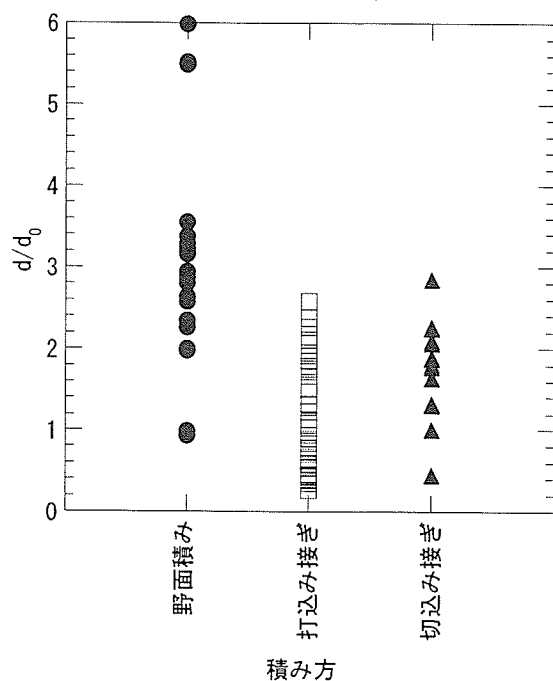


図 15 積み方と d/d_0 の関係

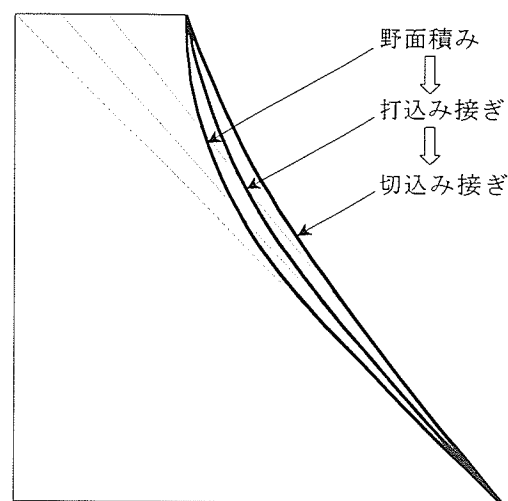


図 17 石垣形状の変遷

以上のことから、同じ高さの石垣を構築する場合、野面積み、打込み接ぎ、切込み接ぎのそれぞれの形状は、図 17 に示すように変遷していると考えられる。

5. まとめ

城郭石垣の断面形状を把握するために、高さ h および初期勾配 G 、上底 a 、下底 b を計測し、さらには凹み量 d を算出した。この結果、石垣高さは石垣石が精加工されるほど高く構築することが可能となったことが判明した。また石垣石の加工程度が低い野面積みにおいては、初期勾配を緩くとり、反りを大きく入れることで、いびつな形状である石垣石を積み上げた時の安定を図ったものと考えられる。このことから城郭石垣を安定させる要因には初期勾配を緩くとり、反りを大きく設けることが挙げられ、これらは石垣の安定に重要な役割を果たしていると考えられるが、石垣石が精加工され、より安定した構造体となると、初期勾配はきつく、反りは小さくすることが可能となる。反り

を設けることは設計施工上において高い技術を要すると仮定すると、後の時代のものほど石垣石の加工の技術は高くなったが、構築技術そのものは低下していったのではないかと考えられる。

「後藤家文書」に示された設計例は 1800 年代に入ってからそれまでの後藤家に伝わる設計技術を集大成したものであって、それに至るまでの変遷は読み取ることが出来ない。しかし今回の研究によって、城郭石垣の石積み技術は早くから高度なものであったことが推測でき、それに時代とともに高さを高くするための工夫が加えられて来たものと考えられる。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金（基盤研究（B）

（1）課題番号 12450208，研究代表者：天野光三）による研究である。現地測量および測量データの提供においてご協力いただいた山梨県埋蔵文化センター，名古屋城管理事務所，上野市文化課，大阪城天守閣，岸和田市都市整備部公園緑地化課，姫路城管理事務所，和歌山城管理事務所，丸亀市教育委員会文化課および関係各位に謝意を表す次第である。また，北垣聰一郎氏，和歌山市立博物館の高橋克伸氏，姫路市教育委員会文化課の山本博利氏，岸和田市教育委員会生涯学習部郷土文化室長の近藤利由氏には資料の提示ならびに懇切なご教示を賜った。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 山本博利：姫路城石垣研究の前提的作業（1），城郭研究室年報，第 5 号，姫路市立城郭研究室，pp.1-22，1995.
- 2) 北垣聰一郎：遺構保存状況と問題点，史跡和歌山城保存管理計画書，和歌山市経済労働部和歌山城管理事務所，pp.53-101，1993.
- 3) 北垣聰一郎：『石垣普請』，法政大学出版局，pp.117-129，1987.
- 4) 森本浩行，西田一彦，西形達明，玉野富雄：城郭石垣形状の計測と変状の評価に関する考察，土木史研究，第 22 号，pp.103-110，2002.
- 5) 喜内敏監修・解説：『金沢城郭資料－加賀藩穴生方後藤家文書』，日本海文化叢書，第 3 巻，石川県図書館協会，1976.
- 6) 森本浩行，西田一彦，西形達明，玉野富雄：城郭石垣の遺存技術情報とその変遷，土木史研究，第 19 号，pp.301-310，1999.
- 7) 内藤昌，河田克博，麓和善，水野耕嗣，湯浅耕三：ビジュアル版城の日本史，角川書店，pp.112-113，1995.
- 8) 森本浩行，西田一彦，西形達明，玉野富雄：城郭石垣の隅角部形状とその数値評価法，土木学会論文集，No.666/III-53，pp.159-168，2000.
- 9) 8)に同じ。