

徳川期大坂城城郭石垣構造の土木史的研究

天野光三¹・西田一彦²・渡辺 武³・玉野富雄⁴・中村博司⁵

¹正会員 工博 大阪産業大学学長 (〒574-8530 大東市中垣内3-1-1)

²正会員 工博 関西大学教授 工学部土木工学科 (〒564-0073 吹田市山手町3-3-1)

³大阪市大阪城天守閣前館長 (〒340-0002 大阪市中央区大阪城1-1)

⁴正会員 工博 大阪産業大学教授 工学部土木工学科 (〒574-8530 大東市中垣内3-1-1)

⁵大阪市大阪城天守閣館長 (〒340-0002 大阪市中央区大阪城1-1)

近世の城郭における石垣構造の技術的頂点に位置するものとして徳川期初期での大坂城石垣がある。石垣形状での2次元的曲線および3次元的曲面にみられる構造美や構造形式としての力学的合理性からみて、城郭石垣は世界的に他に例をみない極めて優れたものである。本研究では、歴史遺産としての徳川期大坂城城郭石垣をその構造に着目して土木史的研究を行った。まず、現場調査と文献調査により過去の崩壊事例を明らかにした。次に、これらの歴史データの分析をもとに抽出した石垣構造形式の力学的合理性に関して、平面および断面形状に着目した実証的研究を行った。その中で、石垣構造の安定性評価法として、石垣構造比および石垣はらみ出し指数といった工学指標について提案した。

Key Words: historical study, historical heritage, Osaka castle, masonry technology, stability of masonry wall

1. はじめに

我が国の明治以前、すなわち産業革命による機械化施工以前における土木技術を見た場合、世界的に第一級の誇るべき建設文化としての価値をもつものが多くある。その一つに、近世の城郭における石垣構造がある。その技術的頂点に位置するものとして徳川期での大坂城石垣築造技術があり、総延長12km・最大石垣高さ32mは我が国最大規模のものである。石垣形状での2次元的曲線および3次元的曲面に見られる構造美や構造形式としての力学的合理性から見て世界的に他に例を見ない極めて優れたものである。特に、石と石の間に接着材を用いない石垣構造(空石垣構造と呼ばれる)であることに特徴があり、我が国で独自に展開され花開いた建設文化といえる。

今日、我が国に現存する城郭石垣は、歴史的な文化遺産であるとともに、公園や災害時の緊急非難場所として現在も社会的に重要な役割を果たし、多くの人々が日常的に極く身近に接する土木構造物である。また、これらの城郭石垣には築造後400年近くを経たものが多く、石垣構造において、はらみ出し等の変状が生じ、

維持・補修の必要に迫られるなど、管理技術のあり方が問題として提起されている。緊急に石垣構造の安定性の工学的評価を行い、補修を必要とするか否かについての判断が求められている事例も少なくない。

そのため、現代技術の立場から石垣構造の力学的安定性を評価する実証的な面からの研究が必要とされている。このような観点からの研究は、従来残されてきた歴史学上の問題を解明する上で新たな根拠を与えることになる¹⁾。さらには、解明された古い構造物の安定原理は、現代において建設される重要構造物の設計思想にも寄与することになる。

本研究では、歴史遺産としての徳川期大坂城城郭石垣をその構造に着目して土木史的に研究を行う。まず、過去の崩壊事例を現場調査記録および文献より明らかにする。次に、これらの研究をもとに抽出した石垣構造形式の力学的合理性に関する研究として、平面および断面形状に着目した研究を行う。その中で、石垣構造の安定性評価法として、石垣構造比および石垣はらみ出し指数といった工学指標について提案をする。

なお、本論文中では築造時期を重視し、大坂および大坂城と呼び、現代の大坂とは区別する。

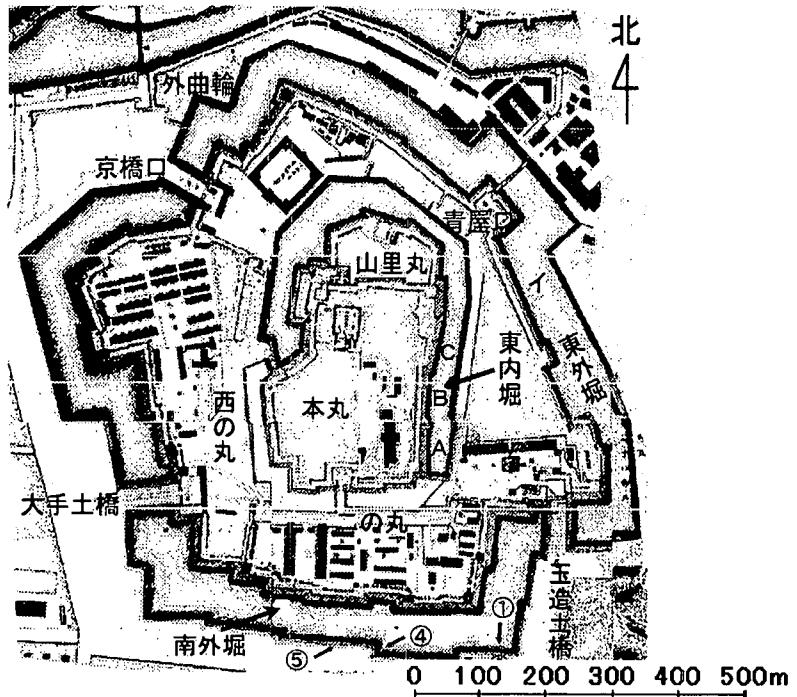


図-1 大坂城石垣平面図（明治 21 年 (1888), 内務省地理局作成）

2. 德川期大坂城石垣

本研究において研究対象とする徳川期における大坂城再築時の大坂城石垣は、元和 6 年～寛永 6 年 (1620 ～ 1629) の 10 年間に徳川幕府によって、豊臣期大坂城石垣を土台としその上に盛土を行いすべて新しくより豪壮に築き直されたものであり、天正年間 (1574 ～ 1590) 以降進歩してきた城郭における石垣建築の技術的頂点を示すものである²⁾。また、大坂城石垣は、先の阪神・淡路大地震を含め、築造後現在まで震度 4 以上と類推される過去 4 回の大地震を経験しているにもかかわらず全体的に見て安定な状態で現在まで保全されており、石垣建築技術の優秀性が実証されている。図-1 に大坂城平面図を示す。石垣建築は三期に分けて行われており、第一期は元和 6 年 (1620) にはじまり同 9 年 (1623) までに外曲輪および二の丸東・北・西面の石垣を、第二期は寛永元年 (1624) ～ 同 2 年 (1625) までに本丸および山里丸を、第三期は寛永 5 年 (1628) ～ 同 6 年 (1629) にかけて二の丸南面の石垣を築いている。伊勢・越中を結ぶ線より以西 64 家の大名に分担させ、わずか 10 年で石垣建築を完成させた³⁾。

大坂城の石積みには、屈折部間では切り出し加工された石材をそのまま用いて石組みをする打ち込みハギ

の技法、屈折部の出角部では表面加工がなされた石材を使用した算木積みの技法が用いられている。

3. 石垣の崩壊事例

大坂城石垣構造の実証的研究を進める基礎的な資料として 2 カ所の過去の崩壊事例について考察する。

(1) 南外堀石垣崩壊

大坂城の南外堀は、図-1 に示すように二の丸側(城内側)の石垣とそれに対応する形で築かれている城外側の石垣、および大手・玉造両土橋を形成する石垣によって囲まれている。

昭和 40 年 (1965) 頃から南外堀において減水が始まり、その結果、堀底が露出される状況が長期間続いた。こうした中、昭和 46 年 (1971) に、図-1 中に示す③石垣面の前面で石垣崩壊後の残石群が発見され、その調査が実施された。その際、図-2 に示す「大坂城南外堀石垣崩落跡調査図」と題されるスケッチなどが作成された⁴⁾。以下、この時の資料をもとに石垣崩壊の状況を検討する⁵⁾。

この図によれば、堀底の残石群は、直線上の東部分

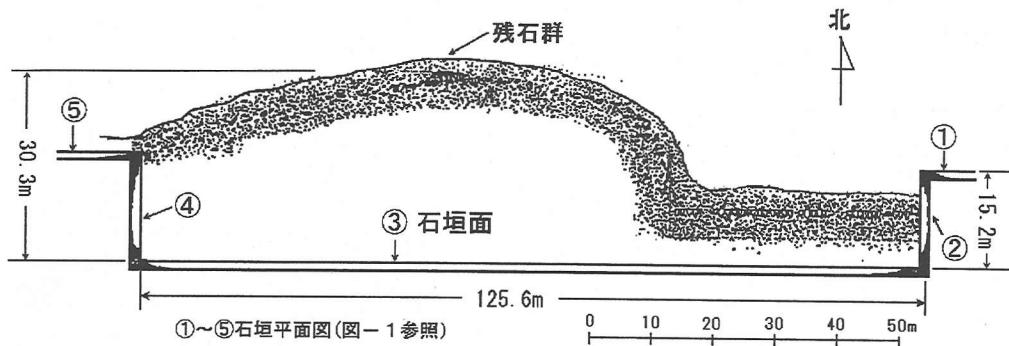


図-2 大坂城南外堀石垣崩落跡調査図

と大きく北に張りだした西部分に分けることができる。まず、最初に直線上の東部分から検討していくと、石材は大きいもので小口の一辺およそ0.8~1m、控え長さ(石垣面からの奥行き)およそ2~2.5mの花崗岩の割石で、現在の大坂城石垣にある石材とほぼ同じ大きさで同様に加工されたものである。さらに、石材には刻印のほどこされているものもあることから、これらの石材が、徳川幕府による大坂築城時に切り出され、使用されたものであると考察できる。

また、これらの石材は③石垣面から北へ8~9mでごとごとく小口を整えて北面する石列になっていること、しかも一部に2段に積まれている箇所が残されており、こうした点からみて、これらの石材群はかつてここに積まれていた石垣の残存部分であるとみなしうる。その場合、これらの石材の前後に散乱する多数の小石群は石垣の裏込めとしての栗石と考えられる。

西半分の石垣の崩壊状況は、③石垣面西端から40~50mの地点を中心点として北北東方向に崩れ落ちたものであり、崩壊部の幅は、およそ86mに達する。しかも、かなりの大石がまとまって最大20m近くも一気に前方へ押し出されるという石垣の大崩壊が過去にあったことを示している。また、崩壊部より両方向の石垣においてもかなり広範囲で修築が必要とされる状況にあったと推測できる。図-3は元和6年(1620)~寛永6年(1629)に至る大坂城の全石垣普請にかかる諸大名の丁場割を示した図の一部である。ここに見られる南外堀の石垣線は寛永5年(1628)に築かれた時の状況を示している。図-4は慶安3年~明暦元年(1650~1655)頃の状態を示す大坂城図の一部で、南外堀の石垣線は既に示した現在の石垣線と同じものになっている。また、寛永8・9年(1631・1632)頃につくられた図-5に示す「大坂御城並町中之図」と題する絵図の一部では、南外堀の石垣線は既に図-4の状態に変化している。

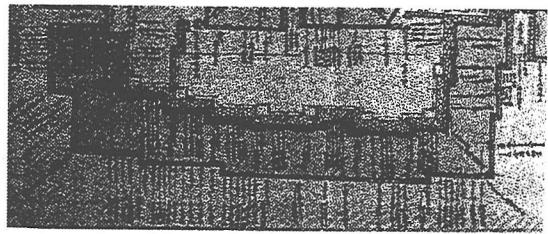


図-3 大坂城普請丁場之図部分（大阪城天守閣蔵）

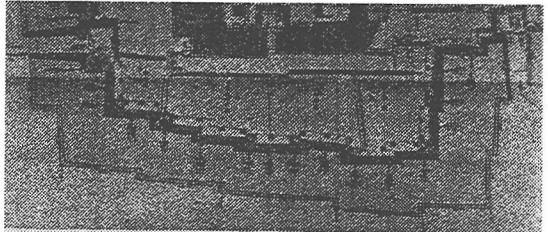


図-4 大坂御城図部分（大阪城天守閣蔵）

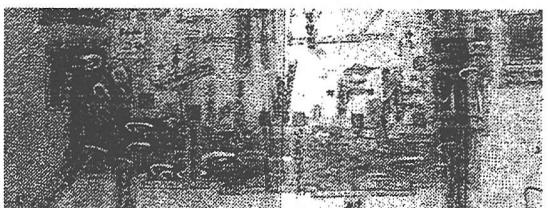


図-5 大坂御城並町中之図部分（南波松太朗氏蔵）

これらの図内容の比較と残石群の状態より、図-3に見える長大な石垣がある時期に崩壊したため再度築き直し、その際、今後の崩壊を防ぐ技術的配慮として、この石垣平面形状に屈折部を設けたことが推測できる。このような大規模な修築工事が行われた時期は、図-

3・4・5によって寛永6年（1629）～同9年（1632）に至る4年間にしばられる。

ところで、「熊本県資料 近世篇第三」に収める肥後熊本藩（細川家）資料によれば、崩壊した石垣の修築工事が寛永7年（1630）に実施されており、その工事に動員された大名は、寛永5年（1628）における第三期工事の時とほとんど同じである。このことは、修築場所、すなわち崩壊場所が南外堀であったことを示すとともに、修築範囲が大規模なものであったことを示している。

以上の考察によって、大坂城南外堀の堀底から発見された残石群は、寛永5年（1628）に実施された第三期の石垣普請の際に積まれたもので、それが何らかの理由によって崩壊したため、寛永7年（1630）に普請を担当した諸大名を再動員して築き直したこと、その際、石垣の再度の崩壊を防ぐため寛永5年（1628）築造時には270mにも及ぶ石垣であったものを、石垣平面形状に屈折部を設けて鍵の手状とし、その結果、今日見るような①～⑤石垣面となったと推測される。

ここで示した石垣修築の方法は、石垣の平面形状、すなわち三次元効果が石垣の安定に大きく関係することを、石垣断面の反り勾配と共に当時の石垣普請として熟知し用いていた事を伺わせる事例である。

（2）東外堀石垣崩壊

平成8年（1996）に大坂城東外堀のグランドを元の水堀に改修する工事が行われた。その際、図-1に示す東外堀内側イ石垣面において、地表面より深さ1mあたりで写真-1に示すような石垣構造が発見された。この石垣は、石の上に胴木を据え、またその上に石を据えるという奇妙な積み方がなされ、その範囲は、東外堀内側石垣（長さ200m）の南端より北へ22m地点から始まり71m続いている。このことより、東外堀内側石垣において記録としては残されていないが、過去に石垣崩壊と修築が行われ、崩壊後に比較的健全であった下部石垣に胴木を据え、その上に石垣を修築した事実が過去においてあったと考えられる。

東外堀内側全体を外観すると、明らかに中央部と両端部で石垣の積み方が異なると考えられる状況がみられた。中央部の石垣はきっちりとした積み方になっているのに対し、その両側は崩壊時の影響が残っているとみられる緩んだ積み方となっている。また、胴木の範囲がこの中央部の範囲（南端より22m～93m）と一致したことから、中央部（71m）が過去の石垣崩壊・修築範囲と確認できる。

石垣崩壊原因として可能性の高いと判断できるのは、位置的なことも含め、万治3年（1660）の青屋

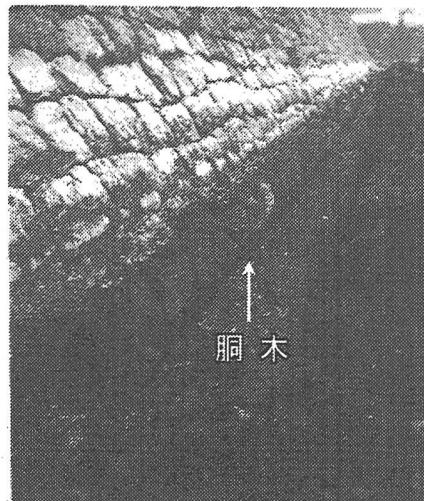


写真-1 東外堀内側石垣

口火薬庫落雷による大爆発であるが、明確に原因として特定できない。ただ、この部分の石垣長さが200mと長いことより石垣構造自体も、もともと不安定な状態であったと考察できる。

4. 石垣構造の実証的調査

次に、石垣構造の実証的調査として、石垣の基礎地盤、石の控え長さ、および石垣断面形状について述べる。

（1）基礎地盤構造

石垣構造を支持する基礎地盤構造は石垣構造の安定に大きく関係する。大坂城地盤は、現在の大阪地盤図中で唯一未作成で残されていた地域である。図-6に示す大坂城地盤図は、大坂城内外のボーリング地盤調査結果より作成したものである。図より、大坂城石垣は十分な支持力を有する砂礫地盤（上町層上部・上町層下部・天満砂礫層）に石垣の支持地盤を求めていることがわかる⁶⁾。

（2）石垣石の控え長さ

金沢前田藩に伝わる後藤家文書によれば、石垣築造における「三忌五禍之事」として石垣築造に際し、石の用い方、積み方についてさけるべきことが示されている⁷⁾。大坂城石垣においても「三忌五禍之事」が守られており、大坂城築造時の技術がその後の後藤家文

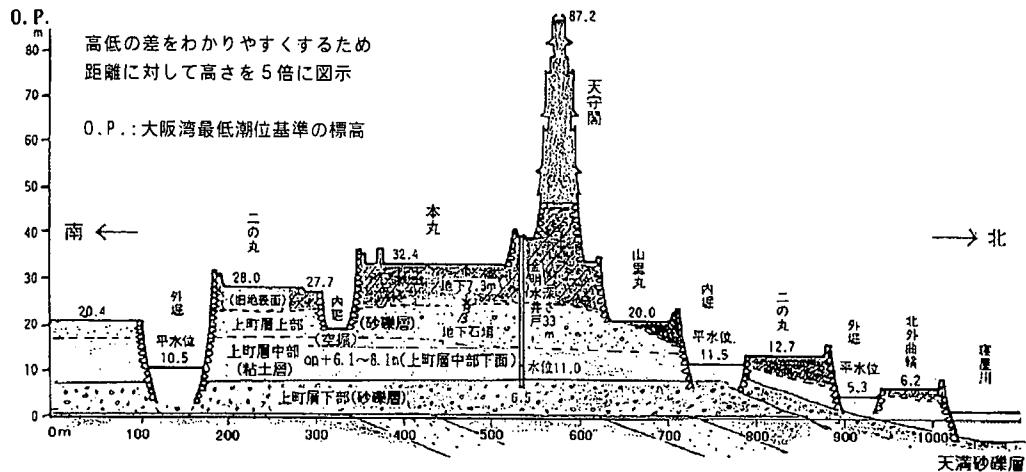


図-6 大坂城地盤断面図

書に伝承されているという技術系譜が推測できる。「三忌五禍之事」の中で控えのない石材は石口が開き崩壊する可能性が強いので使用しないようにすることが述べられている。この控え長さは、力学的な意味からも重要である。石垣が多少はらみ出した場合でも、控え長さが長ければ上部からの力をスムーズに下部石垣構造に流すことができ、また、地震時には石と石の間で摩擦抵抗が大きく発生する。空石積み構造による高石垣築造を可能にした理由の一つをここにみることができる。

本研究の一環として行った岡山県牛窓町前島における大坂城残石群の石材寸法調査および大坂城の出角部角石の石材寸法調査での、正方形に換算した表面の一辺長さと控え長さの関係を図-7に示す。この図より、表面の一辺長さと控え長さとの比がほぼ1対2.5~3.0になっている事が読み取れる。前述した南外堀での崩壊残石の寸法調査の記録でも、一辺の長さ0.8~1m、控え長さ2~2.5mとその傾向は同じであった。この控え長さは、経験的に石垣の力学的安定性や石材の積み上げ時の施工性などの点で適したものとして規格化されたと推測できる。

(3) 石垣断面形状

城郭石垣の優美な曲線断面形状である反り勾配を持った石垣が築かれ始めたのは、天正・文禄時代以降であり、それまでは直線形の石垣勾配であった。曲線形の石垣勾配は、徳川期の大坂城の築造期である元和6年～寛永6年(1620～1629)の10年間に最高に発展した技術である⁸⁾。石垣の安定性を検討するためには、その幾何学形状、寸法をできるだけ精度よく求めることがまず必要になる。

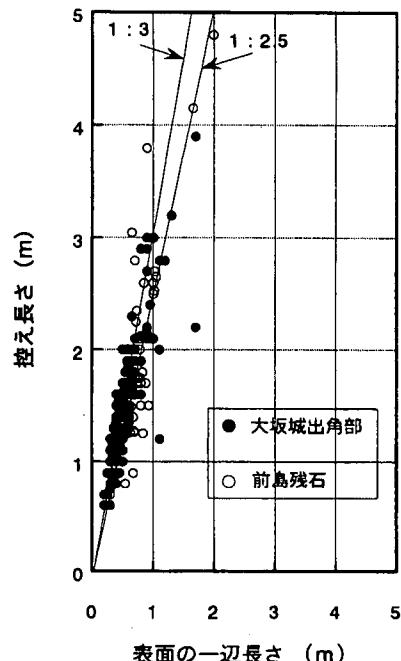


図-7 表面の一辺長さと控え長さの関係

今回の大坂城石垣調査では、写真測量と水中・土中のサウンディングにより石垣の断面形状を詳細に調査した。図-8に大坂城石垣の中で最も高い32mの東内堀内側の断面形状を示す。また、唯子一人伝での手法により算定した石垣断面形状を図中に示す^{9), 10)}。「唯子一人伝」による方法として、底部惣矩(B)に対し、上

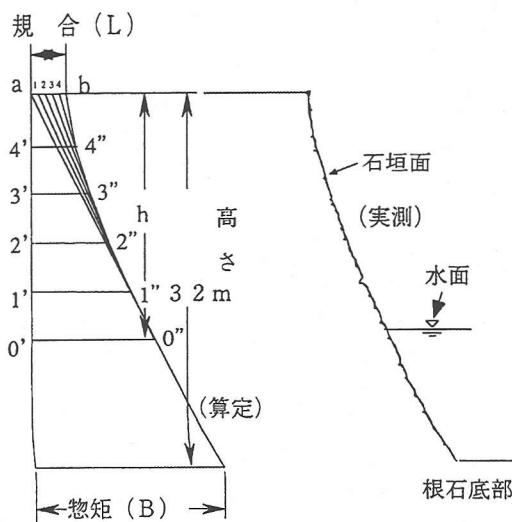


図-8 石垣断面形状の実測と算定例
(大坂城東内堀内側)

部規合 (L) を $L = (3/16) B$, 底部より $1/3$ の高さまでを直線とし, その上部を 5 分割しての算定例である。分割数を増やすればよりなめらかな断面勾配となる。これらを比較すると実測断面形状と算定断面形状はよく一致している。

石垣断面形状が直線から反りを持った曲線状への移行した事実は, 反り曲線勾配が経験的に優れたものとして発展したものであることを示している。また, 石垣断面形状とともに, 石垣の積み方で石と石との接面を水平面から角度を持たせて積み上げることが行われている。大坂城で実測した事例では石と石との接面の角度は 20 度からだんだんと上部にいく程小さくなり, 最上部では水平となっている。

反り曲線断面形状と石と石との接面の角度持った積み上げ方は, 最大主応力を石と石との接面に対しより垂直に働くことになり, 石垣構造の力学的な観点からみて合理的なものである¹¹⁾。

(4) 石垣面内形状

大坂城石垣構造で石垣面の形状は, 内側へ湾曲していることが外観より伺える。いわゆる平ノスキと呼ばれる曲面であり, 3 次元的なアーチ効果を期待できる¹²⁾。ここでは, 大坂城石垣中で最も高い石垣である東内堀内側に着目して, 航空写真測量技術により得られた正確な石垣の実測形状をもとに, 石垣面のくぼみが水平・鉛直方向でどのような形状になっているかを数値的に表し考察する。

東内堀内側の石垣面を写真-2に, 写真測量結果の C

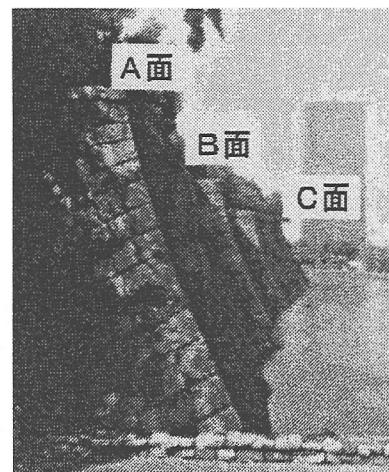


写真-2 東内堀内側の石垣形状外観

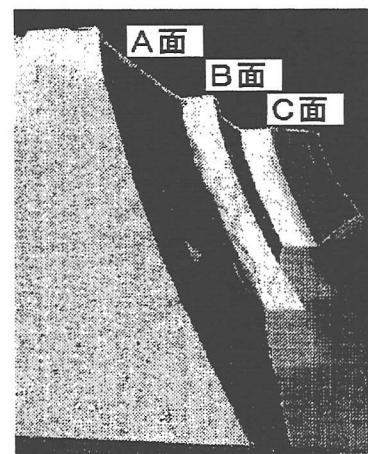


写真-3 東内堀内側の石垣形状の C 面表示

G を図-9 に示す。A 面・B 面・C 面の石垣形状の平面寸法を図-10 に示す。なお, 石垣面のくぼみとは, 図-11 の図中に示すように各石垣面の南端側出角部の石垣断面を基準石垣断面(たとえば A 面であれば図-8 に示す石垣断面の実測形状)とし, この面と検討石垣断面との奥行き水平離れの距離をくぼみと表現する。立面寸法を図-12・13・14 に示す。各石垣面内を鉛直方向に 15m ピッチ, 水平方向に 7~8m ピッチで区分してフレームを組み, 基準石垣断面からのくぼみ量を負とし, 水平破線フレーム(破線)より上方向に, また鉛直破線フレームより右方向に, くぼみの状態を曲線で表している。また交点のくぼみ量を数値で記している。なお, 各石垣面での南端部石垣断面形状は, 前述したように「唯子一人伝」の手法により算定した断面形状と

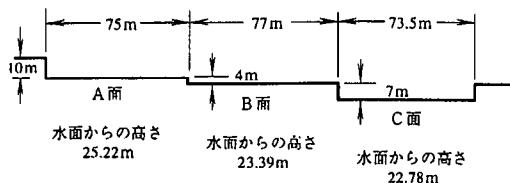


図-10 東内堀内側石垣の平面寸法

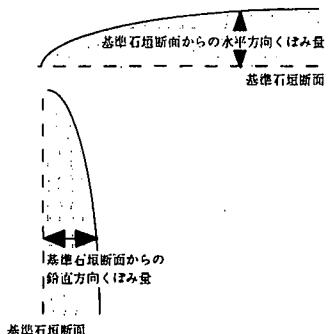


図-11 くぼみ量の説明

よく一致している。

A面については、石垣上部のくぼみ量は最大6cm程度と湾曲が少ないが、石垣中部から下部にかけてのくぼみは、石垣上部と比べると大きく、最大67.2cmである。B面の石垣上部については、最大5.9cm、石垣中部から下部にかけては、最大198.2cmのくぼみ量である。それに対し、C面では、石垣面全体でほとんどくぼみが見られず、はらみ出しが生じた結果と考察できる。

5. 石垣構造安定の評価法

石垣構造に関する過去の崩壊事例の検討および考察について前述した。ここでは、それらの調査研究より得られた成果をもとに、石垣構造の安定性評価法について考察する。

(1) 城郭石垣の崩壊を生じさせる衝撃的外力

石垣がはらみ出す要因には、裏込めの栗石内に地山の土砂が浸入することにより透水層としての役割が果たせなくなり石垣に過大な水圧が作用する場合、石垣の積み方で局部的な不良がある場合、などがある。石垣事例ごとにはらみ出しが生じる要因は多分に異なるが、はらみ出しが大きければ、石垣はより不安定な力

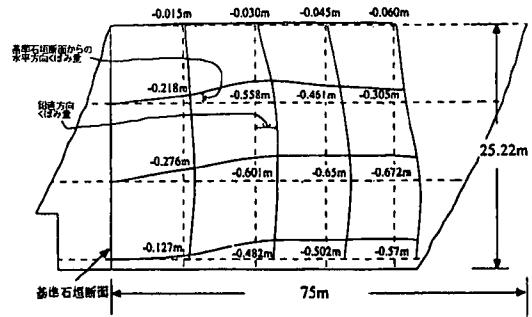


図-12 石垣面の湾曲形状（A図）

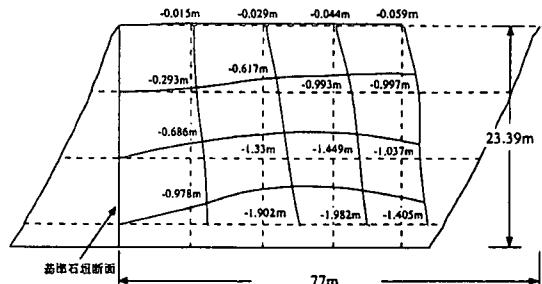


図-13 石垣面の湾曲形状（B図）

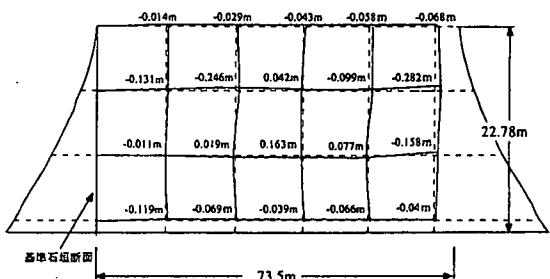


図-14 石垣面の湾曲形状（C図）

学状態にあり、集中豪雨や地震といった衝撃的な外力が作用すれば崩壊に至ることになる。このような突然生じる崩壊が、石垣の維持・補修・管理技術に関連して最も危険な状況となる¹³⁾。

(2) 石垣構造比

大坂城のような高石垣の安定を考える場合、石垣形状の3次元的な効果を見逃すことはできない。出角部の石垣は算木積みと呼ばれる強固な作りである。過去の石垣崩壊事例でも出角部より長さ方向中央部で崩壊が多いことなどの工学的判断から、出角部石垣には3次元安定効果を発現させる力学機構が存在すると考えることは妥当と考えられる。

ここでは、簡単な力学的検討として、出角部から出角部および入角部から入角部までの一辺の長さを石垣

高さ(堀底根石地盤面よりの高さ)で除した値を石垣構造比と定義し、石垣の力学的安定状態を考察する手法を提案する。図-15に大坂城全堀における石垣高さと石垣構造比の関係を示す。図中に示している石垣構造比安定上限曲線よりも大きく上に出ている2ヶ所の石垣は、前述した南外堀外側と東外堀内側での崩壊事例である。この図によると、石垣高さが5m近くになれば上限曲線の値は大きくなり、ほとんど3次元効果のない力学状態であることが示されている。逆に石垣高さが24mから30mをこえると上限曲線の値は3近くに収束する傾向が認められる。石垣の支持地盤や施工状態が同じであれば、石垣が高く石垣構造比の値が大きい程、石垣は不安定な状態となる。

石垣高さと平面形状の決定(縄張り)の際、石垣が高くなれば出角部を多く作ることで石垣長さを短くした、すなわち、石垣高さが高くなるほど石垣構造比を小さくしたのではないかと考えられる。たとえば、前述した南外堀外側石垣では、修築前の石垣構造比は25.47で修築後では7.31である。また、東外堀外側部では石垣構造比は14.5である。ちなみに32mと最も石垣高さが高い東内堀内側部では最大でも3.1程度である。

以上の検討より、大坂城石垣建築に際しては、石垣の崩壊を防ぐ技術的配慮として、出角・入角部の三次元形状効果を考えたのではないかと推察できる。石垣断面形状の反り勾配と共に、石垣の平面形状が石垣の安定に大きく関係することを、当時の石垣普請の際に熟知していたことが伺われる。

(3) 石垣はらみ出し指標

石垣構造の安定状態を把握する一つの方法として、石垣はらみ出し指標を、図-16中の説明図に示すように建築時の石垣断面形状に対しての最大はらみ出し量(単位をcmで表す)をはらみ出しの生じて区域の石垣高さ(石垣はらみ出し高さとよび、単位をmで表す)で除した値として定義する。この場合、最大はらみ出しが54cmであり、石垣はらみ出し高さが8.88mであるので、石垣はらみ出し指標は6.08となる。一般的に、石垣はらみ出し石垣高さが高くなるとより大きなはらみ出しに対して耐えられることになる。これは力学的に妥当な概念であり、同じ石垣はらみ出し指標であれば同程度の安定性を有すると考えられる。

石垣はらみ出し指標を算定するに際し、石垣建築時の石垣断面形状と現状の石垣断面形状の比較が必要になる。それには、「唯子一人伝」による算定断面形状を用いる方法、出角部の算木積み部の断面形状を用いる方法(強固な構造であるのではらみ出しが実績的に少

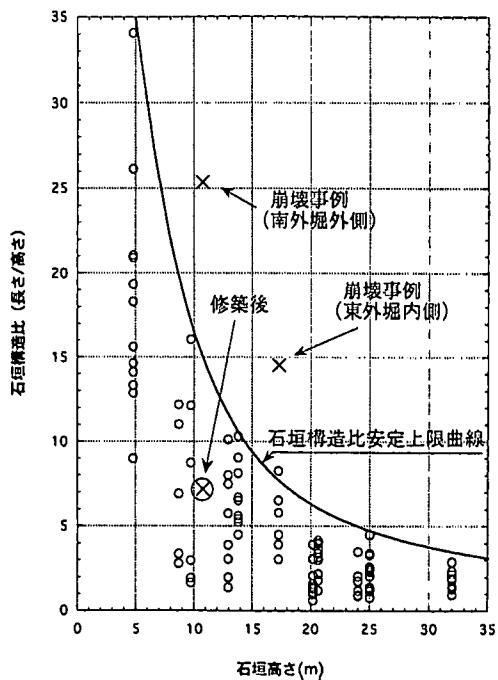


図-15 石垣高さと石垣構造比の関係

ない)が考えられる。ここでは、実務的により簡易な後者の方法によることにした。

図-17に補修が必要と外観的に判断できる5ヶ所の城郭石垣でのはらみ出し調査事例をもとに、石垣はらみ出し高さと石垣はらみ出し指標の関係を示す。図中に示した崩壊事例は、崩壊前の石垣はらみ出し指標が算定できるものであり、集中豪雨時に生じた名古屋城石垣の崩壊事例¹⁴⁾あるいは先の阪神・淡路大震災(城地域での震度は4~5であった)での地震による明石城石垣の崩壊事例である。それらの崩壊前の石垣はらみ出し指標は6程度であり、いずれの石垣もはらみ出しが生じ不安定な石垣状態であったものが衝撃的な外力により全面崩壊が生じた事例である。

前述した大坂城東内堀内側C面では、建築時の湾曲した3次元石垣形状からはらみ出しが生じ、基準断面(出角部)形状の2次元形状に変化したとみなすことができる。石垣がはらみ出した状態においても、石垣はらみ出し指標はゼロして評価される。その結果として、石垣建築当初の3次元形状に比べれば安定性は劣っているが、先の阪神・淡路大震災を含めた過去の地震において、なお安定を保つことができたと考えられる。

石垣はらみ出し指標についての以上の考察から、石垣はらみ出し指標が6程度の石垣では、衝撃的な外力によって崩壊する危険性が大きいと推測できる。

6. 結論

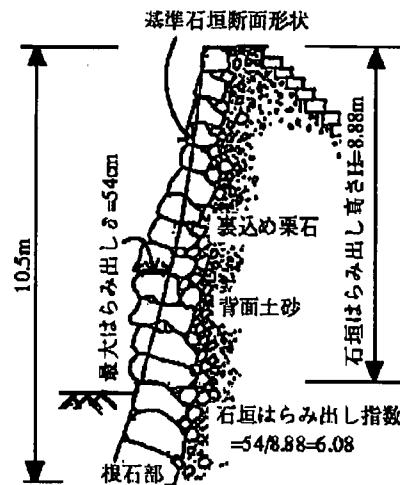
本論文を要約すると次のようである。

- 1) 南外掘外側および東外掘内側における大規模石垣崩壊状況を文献調査および現場調査より示した。特に、南外掘外側における修築時での平面形状の変更という技術的改良事項を考察した。
- 2) 大坂城地盤図を新たに作成し、石垣の基礎は地盤の強固な砂礫層に設けられていることを示した。
- 3) 石材の控え長さは、平石および出角部の角石においても表面の一辺と控え長さの比は2.5~3.0程度であった。この比は、牛窓町前島における大坂城残石調査および南外掘の崩壊時残石での形状とほぼ同じであり、石材加工に規格があったと推定できた。
- 4) 現場調査から判明した大坂城石垣の断面形状は、「唯子一人伝」に表れる曲線勾配と一致した。
- 5) 大坂城石垣中で最も高い石垣である東内堀内側に着目して、航空写真測量技術により得られた正確な石垣の実測形状をもとに、石垣面のくぼみが水平・鉛直方向でどのような形状になっているかの湾曲形状を数値的に示した。石垣面内で最大198.2 cmのくぼみ量があった。
- 6) 大坂城石垣形状の詳細な調査結果をもとに、石垣構造の3次元効果、すなわち石垣の平面及び断面形状に着目した石垣構造比の考え方を提案し、石垣構造の安定性を考察した。石垣安定上限曲線より上部にある石垣は不安定であることを示した。
- 7) 石垣はらみ出し指数の考え方を提案した。築造時の石垣断面形状(実務的には基準断面を出角部の断面とする)に対しての最大はらみ出し量(単位をcmで表す)をはらみ出しの生じた区域の石垣高さ(石垣はらみ出し高さとよび、単位をmで表す)で除した値として定義した。崩壊事例からはらみ出し指数が6程度になると、豪雨や地震による衝撃的な外力による石垣崩壊の危険性が大きいことを示した。

謝辞:本研究は、平成7・8年度科学的研究(基盤研究B課題番号07455206)により行った。本科学的研究に参加頂いた多くの方々に、また、石垣の変形や崩壊事例を提供下さいました関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 森本浩行、西田一彦、西形達明、玉野富雄、森毅:数値評価法を用いた豊臣期大坂城石垣の特徴について、土木史研究、第20号、土木学会、pp.263-268、2000年。
- 2) 渡辺武:図説再見大阪城、大阪都市協会、pp.106-132、1990年。



$$\text{石垣はらみ出し指標} = \frac{\text{石垣はらみ出し } \delta \text{ (cm)}}{\text{石垣はらみ出し高さ } H \text{ (m)}}$$

図-16 石垣はらみ出し指標算定説明図

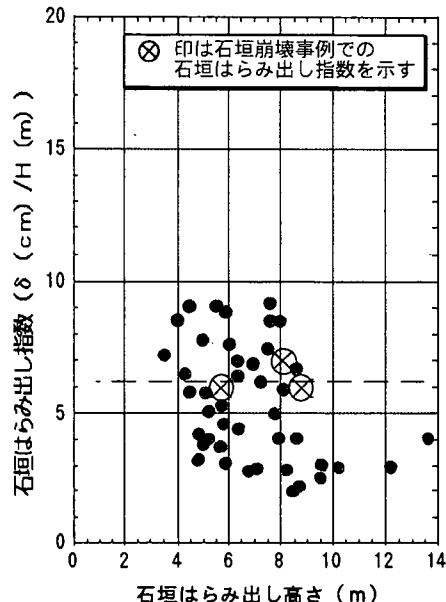


図-17 石垣はらみ出し高さとはらみ出し指標の関係

- 3) 中村博司:徳川期大坂城普請参加大名の編成について、大阪城天守閣紀要、第14号、pp.3-18、1986年3月。
- 4) 大阪城天守閣:大阪城南濠底構造発掘調査概報、1973年。
- 5) 西田一彦、山野寿男、中村博司、久武勝保、玉野富雄、中川光雄:大坂城石垣の歴史的崩壊記録と安定に関する考察、土木史研究、第16号、土木学会、pp.601-608、1996

- 年。
- 6)西田一彦, 佐々木良作, 中村博司, 玉野富雄, 溝口昭二, 小野 諭: 大坂城石垣築造に関する現地調査の結果と考察, 土木史研究, 第17号, pp.369-376, 1997年。
 - 7)北垣聰一郎: 石垣普請, 法政大学出版局, pp.146-172, 1987年。
 - 8)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, 土木学会, pp.301-310, 1999年。
 - 9)喜内 敏: 我が国の築造技術にもちられる石積み工法, 基礎工, pp.47-54, Vol.14, No.7, 1998年。
 - 10)北垣聰一郎: 石垣普請, 法政大学出版局, pp.117-129, 1987年。
 - 11)天野光三, 西田一彦, 久武勝保, 玉野富雄, 矢野順子, 西田美津子: 徳川期大坂城石垣構造の力学的考察, 土木史研究, 第17号, pp.377-388, 1997年。
 - 12)李 建河, 内藤 昌, 仙田 満: 石垣築横目録における石垣築様設計体系に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第459号, pp.129-135, 1994年。
 - 13)西田一彦, 玉野富雄: 歴史遺産としての城郭石垣の安定性評価手法に関する土木史的提案, 地盤に係わる維持・補修・管理技術に関するシンポジウム, 土木学会, pp.27-36, 1998年。
 - 14)名古屋市: 特別史跡名古屋城二之丸門跡北側・二之丸東面石垣保存修理工事報告書, 1996年。

(1999.12.10受付)

HISTORICAL AND EMPIRICAL STUDY ON OSAKA CASTLE MASONRY WALL AT TOKUGAWA PERIOD

Kozo AMANO, Kazuhiko NISIDA, Takeru WATANABE, Tomio TAMANO
and Hiroji NAKAMURA

This paper describes about masonry technology of stone wall of Osaka Castle of Tokugawa period through the investigation on historical and empirical study. Firstly two collapse cases of stone wall, picking out through historical and literal and geotechnical study, were made clearly. And then, empirical and geotechnical approaches regarding on rationalism mechanics of masonry technology of stone wall were presented in the view point of shape of plane and cross section of stone wall. Moreover, in order to estimate the stability of stone wall structure, new engineering indexes, such as ratio of stone wall structure and deformation factor, were proposed.