

昭和の大阪城復興天守閣の基礎構造について

Foundation of Main Tower of Osaka Castle in Showa Period

天野光三\*<sup>1</sup>、佐崎俊治\*<sup>2</sup>、渡辺武\*<sup>3</sup>

北川央\*<sup>3</sup>、落合東興\*<sup>4</sup>、川崎勝巳\*<sup>4</sup>

By Kozo AMANO, Toshiharu SAZAKI, Takeru WATANABE,  
Hiroshi KITAGAWA, Haruoki OCHIAI, Katsmi KAWASAKI

要旨：現存する大阪城天守閣は、昭和天皇の即位の御大礼記念行事として企画された日本で最初の鉄骨鉄筋コンクリート製の復興天守閣で、昭和6年に竣功したものである。天守閣は徳川時代の天守台の上に建設されているため、旧石垣に大きな負担をかけないように設計されている。本報文では、復興天守閣の基礎設計の考え方についてまとめるとともに、天守閣の沈下等について考察を加えるものである。

1. はじめに

現存する大阪城復興天守閣は、日本で最初の鉄骨鉄筋コンクリート製の天守閣として竣工したもので、昭和6年11月の創建から今年で66年が過ぎ、豊臣時代の30年、徳川時代の39年を上回る、大阪城史上では最も長寿の天守閣となっている。平成7年からは、震度7にも耐えうる耐震化工事を行ったほか、鯨や軒瓦などの金箔をおし直し、全体が黄金色に輝いた再建当時に近い姿に戻され、平成9年3月29日より再び一般公開が始まっている。

復興天守閣は、徳川時代の天守閣が焼失した後、300年以上の間天守閣が再建されずに残存していた天守台上部に建設されたもので、以後全国各地で作られるようになった復興天守閣の規範となったものである。本報告は、大阪市公文書館に所蔵されている建設当時の設計資料を参考に、大阪城復興天守閣の基礎構造設計の考え方等についてまとめるものである<sup>1)</sup>。

2. 大阪城復興天守閣建設の概要

大阪城には、豊臣秀吉により建設された天守閣、徳川時代の大阪城修築により建設された天守閣が過去に建てられており、現在の天守閣が3代目にあたる。

1585年(天正13年)、豊臣秀吉により建てられた天守閣は、天守台を含め高さが約39mであったが、この天守閣は30年後の1615年(慶長15年)5月、大坂夏の陣により焼失した。また、その後徳

キーワード：大阪城、天守閣、基礎構造

\*<sup>1</sup>正会員 工博 大阪産業大学長(大阪府大東市中垣内3-1-1)

\*<sup>2</sup>正会員 日本下水道事業団研修部(埼玉県戸田市下笹目5-1-4)

\*<sup>3</sup>大阪城天守閣(大阪市中央区大坂城1-1)

\*<sup>4</sup>(株)大林組(大阪市中央区北浜東4-3-3)

川幕府の直轄となった大坂城は、1626年（寛永3年）、高さ58.3mの天守閣が幕府によって再建されたが、この天守閣も1665年（寛文5年）正月2日の落雷により焼失している。徳川政権下における太平の世においては、天守閣の必要性がなくなってきており、焼失後は結局、天守閣は再建されずに天守台のみが残されていた。

昭和の復興天守閣は、当時の大阪市長、関一の発想によるものとされているが、徳川時代の天守台石垣上に、豊臣時代の天守閣のデザインを活かして作られたもので、高さは54.8mである。この事業は、昭和3年11月に執り行なわれることになった昭和天皇の即位のご大礼に伴う記念行事として、大阪市が大坂城天守閣の復興と城内の公園化計画を立案した一環として実現したものであった<sup>2)</sup>、<sup>3)</sup>。

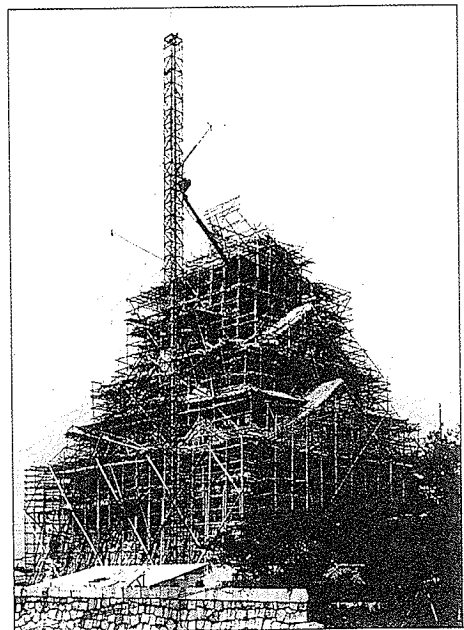
当時大坂城は、第4師団司令部の所在地であったため、公園化により大勢の市民が自由に出入りすることにはかなり抵抗があったが、市の熱意に軍部が動かされ、ようやくその了解を得て実施されたのである。

記念事業に要する経費の見積りは総計150万円というものであったが、この記念事業は大阪の全市民が自分たちの記念事業として遂行するといった趣旨のものであったため、全金額を市民の寄付により賄うことにした。募金が始まると、25万円を筆頭に最低は10銭まで、総計7万8千250件あまりの篤志が集まり、目標の150万円は半年足らずのうちに達成された<sup>3)</sup>。150万円の費用のうち、天守閣に47万円、現在大阪市立博物館として利用されている建物（当時の第4師団司令部の庁舎）に80万円、そして、城内の公園化設備費等に23万円が費やされた。

工事は入札の結果、予算内での落札にいたらず、最終的に株式会社大林組の手により施工されることになり、昭和5年5月6日より着工、昭和6年11月7日竣工式が行われた。

工事の大要は斯界の権威者をもって構成された天守閣造営委員会が大綱を定め、大阪市土木局建築課が設計と工事監督を行った。当時は神社仏閣などの古建築専門家はいても、城郭建築の専門家はまだひとりもいないような状況であり、設計にはずいぶん苦勞したということであるが、市の建築課に主担者として特別に採用された建築家の古川重春氏を中心に設計作業が進められた。復興される天守閣は永久的なものであらねばならないということで、あえて鉄骨鉄筋コンクリート製とされたが、外観は福岡藩主黒田侯爵家に収蔵されていた「大坂夏の陣図屏風」に描かれていた焼失前の豊臣秀吉創建の天守閣を参考に、長さ東西18間、南北20間、高さ44尺の石垣上に、外観5層の桃山時代城郭様式、内部8階の高さ131尺の天守が再建されることになったのである。

建設当時には、大手門より桜門を通して本丸に至る経路で工事材料を現場へ搬入すると、通路に曲折が多いうえ、軍関係者もいたことから、北外濠の濠端からケーブルを架設して材料を搬入したり、写真一1のように天守台中央部にエレベータを備えた68メートルものコンクリートタワーを設置するなど、当時としては斬新な技術を利用した工事であった<sup>2)</sup>。



写真一1 昭和5年、工事中の大坂城復興天守閣<sup>4)</sup>

### 3. 天守閣基礎構造の考え方

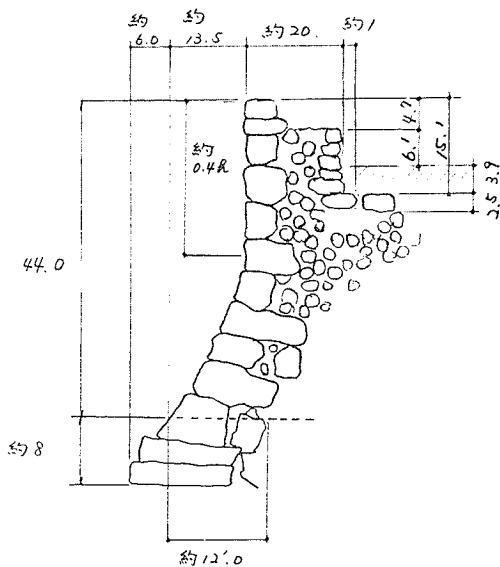
天守閣の総重量は約11,000トンもある巨大な建造物であり、これを築造以来300余年を経た天守台上に建設することになったため、旧天守台石垣に大きな負担をかけないような工夫がなされた。

天守閣の基礎は、天守台地盤中央部を台石上端からお椀状に7.5メートル掘り下げ、そこに鉄骨を併用した鉄筋コンクリートの一枚基礎版（底面積約413平方メートル）を埋め込み、この基礎版に主要鉄柱を建て込み、ボルト締めにしたうえ、鉄骨構造の第1層外壁鉄柱の足元を石垣の上部より5インチだけ短くして、天守閣本体の足元と石垣の間に空隙を保つように作られている。以下、この構造の考え方について説明する。

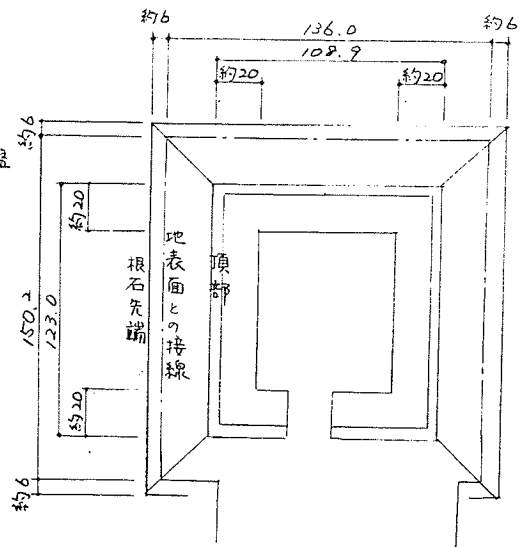
#### (1) 事前調査

まず、天守閣の築造前に、天守台を試掘、実測してその構造を調べている。それによると、石垣脚部は栗石上に厚さ約3尺の根石を二段敷き重ね、この上には高さ約3尺平均の切石をいわゆる牛蒡積みで積み上げている。高さ約6分目まではそり勾配をもって積み上がり、その上方は一般に垂直に積み上がっている。この根石上の段数は約12段であるが、おのおのの出隅部は約8段で積み上がっている。出隅部は、高さ6尺、長さ2間に余りある大石もあり堅固に積み上げてある。出隅部は頂部より約2段目になるまで傾斜しているがその勾配は隅角部の他より少し緩やかになっている。頂部には高さ約3尺の銃眼をきざんだ切石が並べてあった。

現在では見ることのできない天守台内側についての調査も行っており、それによると、その内側は図一1のように、天守台の石垣天端から4.7尺下部に平段があり比較的小さな石で壁が築かれていた。外側石垣と壁との間は、5～8寸大の石にて積み上げてあった。その平段から6.1尺下がったところに、当時の天守台地盤があったということである。この地盤の下3.9寸の間は盛土であり、その下に、約2.5寸角の石を6.5寸間隔でならべてあったのだが、これはおそらく徳川時代の天守閣の柱の礎石であったのだろうと考えられるとしている。ここで3.9寸、2.5寸、6.5寸との記述は、それぞれ3.9尺、2.5尺、6.5尺の誤りと考えられる。



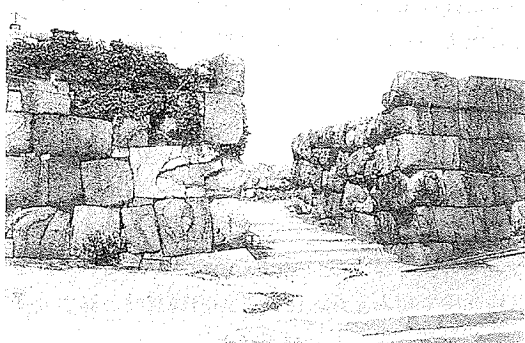
図一1 天守台石垣の断面構造（単位：尺）



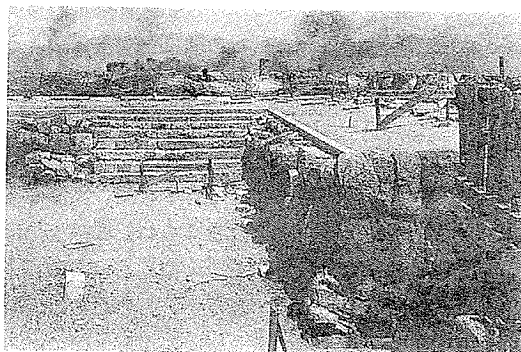
図二 天守台平面図（単位：尺）

内部には、高さ、幅とも約2.5尺の切石を1段敷きならべた上に、1尺ほど控えて石垣が積み上げてあった。この下は約8寸大の石を密接に積み上げ、その間隙には砂が充填してあった。天守台の内部は底までこういう状態であったらうと想像され、このため天守台はきわめて水はけのよい地盤であると考えていた。また、天守台の立っている地盤は、赤色粘土質であるとしている。

天守閣建設前の天守台内外部の写真が残されており、それが写真—2、3である。



写真—2 天守台復興以前の天守台上の大門跡<sup>5)</sup>



写真—3 天守閣復興以前の天守台<sup>5)</sup>

## (2) 地耐力試験

建設にあたり地耐力試験も行っており、その概要を述べる。試験では表面載荷試験(平板載荷試験)を用い、天守台上部および天守台の支持地盤(本丸地盤上部)の2箇所において試験を行っている。いずれも、地盤面より6尺掘り下げたところで、試験台に24時間ごとに5トンずつ荷重を増してゆき、最大20トンまで載荷し、載荷初日より10日目まで放置して沈下の度合いを計測した、とある。試験台の底面積は1尺四方のものを利用している。

天守台の上部においては、旧天守閣の礎石をはずして試験を行ったが、沈下はほとんど見られなかった。

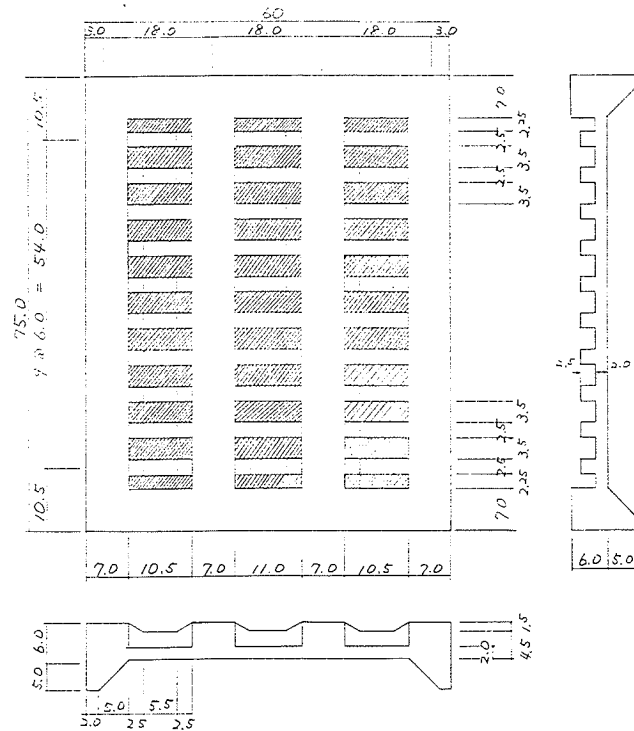
本丸上部地盤においては、天守台の南側において行ったが、最初の5トン荷重に対する沈下はほとんど見られなかったものの、その後雨天となり、土砂の崩壊が進み、最後には7分(2.1cm)の沈下が認められた。こういう理由で本丸上部地盤の地耐力試験については、載荷重5トンまでしか行なわれなかった。

この試験の結果をもとに、安全率を天守台上部については5、本丸上部地盤においては4として、許容支持力を、天守台上部については4.0トン/平方尺、本丸上部地盤については1.2トン/平方尺として設計している。

## (3) 基礎の構造

以上のような事前調査の結果、支持地盤は荷重に対して支持することが可能であるとの結論を得たものの、局部的に荷重が大小することは得策でないと判断し、梁を含め基礎を図-3のような一枚基礎として下方地盤へ一様に荷重を伝達するベタ基礎を採用している。

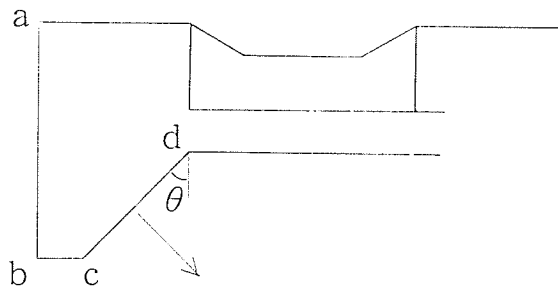
基礎の南北方向の大梁は、長さ7.5尺の鉄骨鉄筋コンクリート造で、中心間隔1.8尺、幅7尺、高さ6尺であり、4本設けられている。また、東西方向の梁は、長さ6.0尺の鉄筋コンクリート造で、中心間隔6尺、最外側の大梁2本は、幅7尺、高さ6尺、中側の小梁は、長さ10.5~11尺、幅2.5尺、高さ6~4.5尺であり、6尺間隔で10本ずつ、合計30本ある。梁を繋ぐ床版の厚さは2尺である。いずれも複鉄筋コンクリート構造で、一枚のベタ基礎にして、全体としての剛性を高め、不同沈下に対処している。



図一三 復興天守閣基礎平面図（単位：尺）

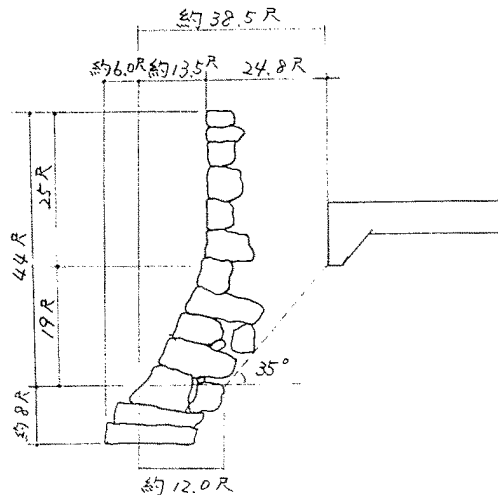
地震力については、基礎周辺の床版下に、図一４のような深さ５尺の縁を設け、周面を下方に曲げようとする力をc d部の斜面に発生する圧力をもって支える構造としている。大坂城の場合図の $\theta$ は、45度を採用している。基礎下端位置、すなわち、大梁下突起の下端（bc面）の位置は、天守台頂部より25尺下のところ、本丸地盤より19尺上のところに位置している。基礎端部（ab面）の位置は、石垣頂部外側より24.8寸（24.8尺と解される）後退したところにおいている。

この突起は大変特徴的な形状をしており、基礎の根入れ効果を増し、あたかも、基礎全体をその位置に根入れしているような効果を得させ、基礎と石垣の安定に大きく寄与しているものと判断される。



図一四 端部大梁下部の突起断面図

石垣の安定の検討に際しては、天守台内部の裏込め石塊の安息角は不明であるものの、鉾石等に関する各種報告書を参考に45度と考え、また、地震時においては「佐野博士が示すところにしたがって」と記述しているが、震度0.1に対し5度を減ずるものとして35度として安定を考えている。設計書中には、震度0.2とする必要はないが、安全のため35度としたとある。すなわち、設計水平震度を0.2と考えているなど、昭和初期の耐震設計の考え方を知ることができる。図一6に示すように、地震時には35度の範囲で荷重が分布するとし、天守台地盤面において石垣がこの荷重線外に位置するように、天守閣の基礎版を配置している。



図一6 地震時における天守閣荷重の石垣への影響

#### 4. 大阪城天守閣の基礎の沈下について

文献によれば、天守閣はわずかながら東北向きに傾いているとのことである。昭和6年当時、基礎工事は慎重に行われたものの、少し不同沈下を起こしたらしい。<sup>6)</sup>

ちなみに、基礎の弾性変位量を、地盤を半無限弾性体とみなし、地中応力度の弾性理論解からフックの法則によって求めた鉛直ひずみを深さ方向に積分して選られる次式によって試算する。なお、沈下の検討には、設計書に記載されていた天守閣の重量である8660tfを用いた。

$$S_E = I_s (1 - \nu^2) / E \cdot q B \quad 7)$$

S<sub>E</sub> : 即時沈下量 (弾性変位量m)

B : 基礎の短辺長さ、60尺 (18m)

q : 基礎の平均接地圧、 $W/A = 8,660 \text{ tf} / 413 \text{ m}^2 = 21 \text{ tf} / \text{m}^2$

E : 地盤のヤング係数 (tf/m<sup>2</sup>)

E = 77 (N + 26) 正規圧密された砂

Nは基礎底面から基礎幅Bに等しい深さまでの標準貫入試験値の平均

15 (参考文献8)より類推)

ν : 地盤のポアソン比 0.3 砂質土

I<sub>s</sub> : 基礎底面形状と剛性によって決まる沈下係数 0.88 (基礎の剛性)

この結果  $S_E$  は 10 cm 程度になった。復興天守閣は第 1 層外壁鉄柱の足元を石垣の上部より 5 インチ、すなわち約 13 cm の空隙を設けて施工したとあるので、現在も石垣に荷重が載っていないことになり、これも天守閣の基礎の大きな特徴の一つであるといえよう。

## 5. おわりに

本報告では昭和 6 年に建設された天守閣基礎の設計の考え方についてまとめた。大阪城は今でも多くの人々が訪れる大阪の代表的な観光スポットである。当時としては大規模な建築物であり、耐震設計法など、その構造に関する考え方は興味のあるテーマである。各方面からのさまざまなご意見やご教示をいただきながら、今後も研究を進めていきたいと考えている。

なお、本研究は、平成 7、8 年度文部省科研として行っている「建設文化としての大阪城石垣総合研究（委員長 天野光三、副委員長 西田一彦・渡辺 武）の一環として行ったものであり、関係各位にお礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 大阪市土木局、再築大阪城天守閣構造設計説明書
- 2) 岡本良一：昭和の天守閣建設裏話、大阪春秋第 34 号、pp. 22—25、1982 年
- 3) 大阪市経済局：大阪城天守閣復興三十年史、pp. 1—23、1961 年
- 4) 株)大林組：「城」、季刊大林 No. 16、p. 24、1983 年
- 5) 渡辺 武：大阪城秘ストーリー、東方出版、pp. 13—14、1996 年
- 6) 渡辺 武：大阪城秘ストーリー、東方出版、pp. 162—165、1996 年
- 7) 軟弱地盤ハンドブック、建設産業調査会、p. 511、1982 年
- 8) 村山朔朗：大阪城の地盤調査と地下石垣の発見、大阪城天守閣紀要第 12 号、大阪城天守閣