

国宝 彦根城天守、附櫓及び多門櫓の耐震対策事業について

主幹研究員 伊藤誠一郎

1. はじめに

彦根城天守、附櫓及び多門櫓は、平成29年(2017)4月より令和7年(2025)3月にかけて耐震対策事業が行われた。当協会では、平成29年(2017)10月より本事業に携わり建物調査並びに耐震診断を実施し、耐震補強の実施設計後、耐震対策工事において工事監理を行ったので、その概要について報告を行う。

2. 彦根城の概要

彦根城は、滋賀県の北東部、琵琶湖の東側に位置する彦根市に所在し、琵琶湖東岸の彦根山を城域とし、湖水を利用した内堀を備える平山城である。彦根山は南東より西北に延びる丘陵で、北側や東側が内湖に面した湿地帯に囲まれ、南側は平地が広がる地形である。彦根山の山頂には不整形な本丸を構え、南東側に太鼓丸を挟んで鐘の丸を設け、南側に大手口を開く。本丸の北西側には西の丸と出曲輪を設け、その北西の山裾に観音台を配し、さらにその西方には湖水に突出して山崎曲輪を置く。太鼓丸と鐘の丸の間及び西の丸と出曲輪の間に深い堀切を設け、木造の廊下橋を架ける。そしてこれらを囲むように琵琶湖から直接湖水を引き内堀を廻らされ、その外側の西、南、東方を二の丸とする。

関ヶ原合戦の後、武功をあげた井伊直政は、慶長6年(1601)に石田三成の旧領を拝領し、領地18万石が与えられ、佐和山城に入った。同7年(1602)2月に直政の死去後、跡を継いだ井伊直継なおつぐ（直勝）が家老の木俣守勝なおかつを介して家康より許しを得てこの地で築城を開始した。同9年(1604)佐和山城から移り、直孝なおたかの代の元和8年(1622)にほぼ完成をみた。築城後は、江戸時代の譜代大名筆頭として知られる井伊家歴代の居城として使われてきた。

天守は、享保年間に編纂された『井伊年譜』より、慶長11年(1606)に大工棟梁 浜野喜兵衛の手により大津城天守を移し、格好良く建てたものであると考えられていた。昭和32年(1957)から始まった保存修理工事において、天守に使用されていた柱や梁等の構造材と長押や鴨居の化粧材の仕口等から五重五階の天守の材料を転用して現在の天守が造られていることが明らかにされた。また、三層隅木には「此角木仕候者御与頭口川与衛門 花押／慶長拾老年六月二日／江州犬上郡彦根御城下於大工町／喜兵衛花押／惣次郎花押」の墨書も発見された。

その後、天守は宝永元年(1704)に半解体修理、安永5年(1776)、寛政8年(1796)、天保12年(1841)、嘉永4年(1851)、万延元年(1860)、文久2年(1862)に部分修理が行われている。

築城後、城主は変わることなく幕末まで井伊家が続いたが明治4年(1871)の廃藩に際し、城は陸軍省の所管となった。陸軍省により城内の建物は数多く破棄されたが、明治11年(1878)北陸・東海地方を巡幸していた明治天皇より旧彦根城城郭を保存すべき旨の命令があり、諸櫓と共に天守も残されることになった。その後、彦根城は明治24年(1891)に宮内省の彦根御料地となり、井伊家に貸し与えられた。明治27年(1894)5月には井伊直憲に下賜され、昭和19年(1944)2月13日に彦根城跡の土地及び建物は、井伊家から彦根市に無償で寄附され、現在におよんでいる。

城の中堀より内側及び埋木舎については、昭和26年(1951)6月9日文化財保護法による史跡に指定され、昭和31年(1956)7月19日特別史跡に指定された。また、平成28年(2016)3月1日に外堀の一角が追加指定を受けた。

天守については、昭和26年(1951)9月22日に重要文化財の指定を、昭和27年(1952)3月29日に国宝の指定を受けた。

城内には、国宝の天守、附櫓及び多聞櫓以外にも、重要文化財に指定されている太鼓門、天秤櫓、西の丸三重櫓、佐和口多聞櫓、馬屋の建物が現存している。



写真1 重要文化財 太鼓門



写真2 重要文化財 天秤櫓



写真3 重要文化財 西の丸三重櫓



写真4 重要文化財 佐和口多聞櫓



写真5 重要文化財 馬屋

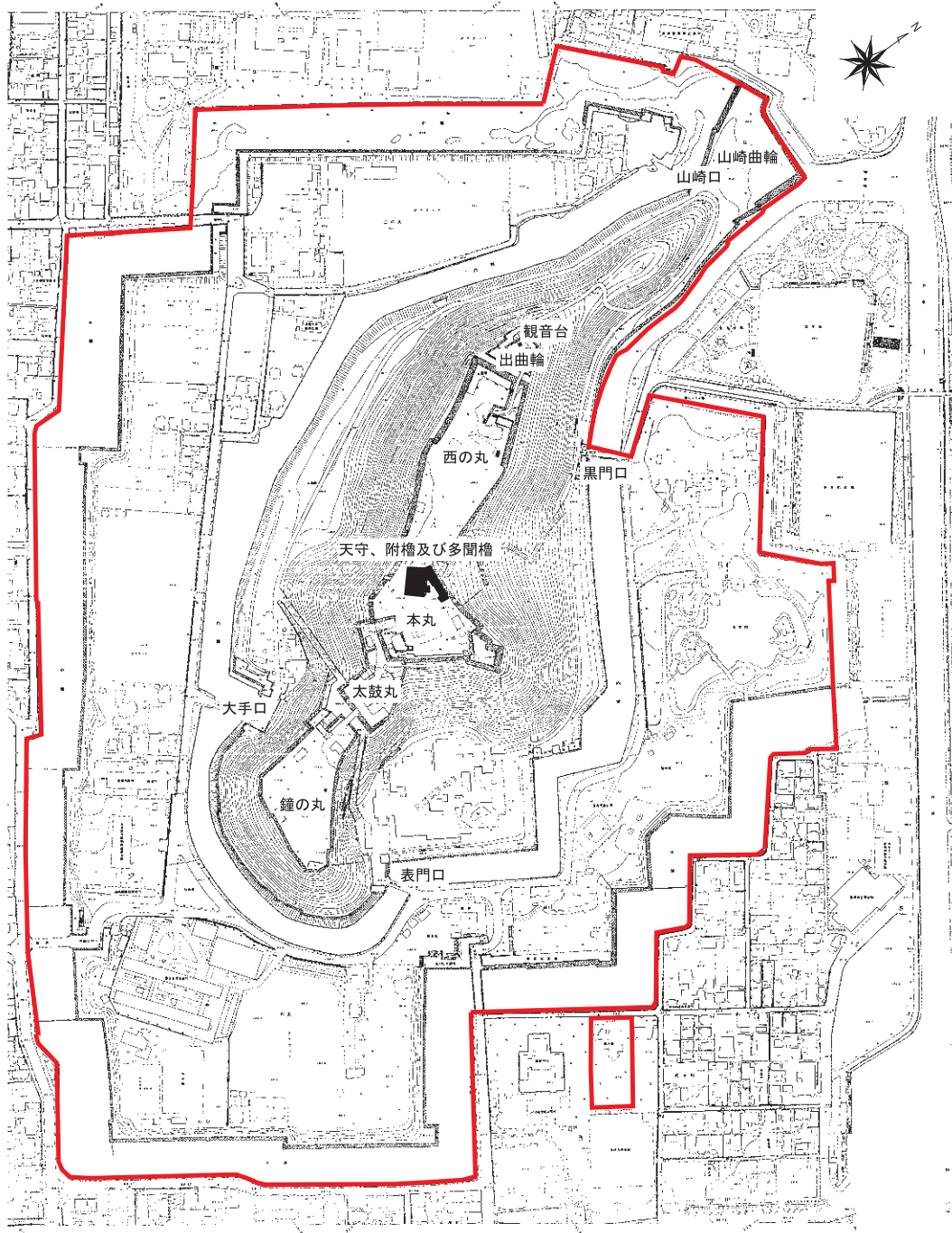


図1 特別史跡 彦根城跡 配置図 (— 特別史跡の指定範囲)

3. 建築物の概要

名 称	彦根城天守、附櫓及び多聞櫓
所 在 地	滋賀県彦根市金亀町1番1号
所 有 者	彦根市
構造形式	天守 木造、三重三階、地下階段室・玄関附、本瓦葺 附櫓及び多聞櫓 木造、各一重櫓、本瓦葺
建築年代	慶長11年(1606)

4. 各建物の構造形式

(1) 天守

天守は外観三重、内部三階で石垣内に階段室があり、その外の天守台の北面東寄りに玄関が付く。また、天守の北面西寄りには附櫓を設け、附櫓の東北隅に多聞櫓が東の方に延びる。

天守の外部は、屋根が本瓦葺で、一重の屋根は東西面に破風が付く入母屋造で、東西面の南北両脇に小さな切妻破風をそれぞれ配し、南北面にはそれぞれ千鳥破風を二つ並べる。壁は大壁で腰を羽目板で覆い、上部は漆喰塗、土台上には水切板を付ける。窓は、東西面中央と端より二間に、南面には両端より二間、四間及び六間目の計5箇所、北面は中央間と東端より二間に格子窓があり、外に突揚戸を付ける。この窓は東面の南寄りの2箇所だけが他より低い位置に設ける。

二重は腰屋根を三重の廻縁下に廻らし、東西面に軒唐破風を付け、南北面には入母屋形式の破風を架けている。壁は大壁とし、窓は北面及び南面が中央間及び端より二間目に、東面及び西面は端より二間目に花頭窓を配す。

三重の屋根は東西面に妻を見せる入母屋造で、南北面中央に唐破風を付け、大棟の両端に鯨を置く。壁は大壁で腰を羽目板で覆う。窓は、二重同様花頭窓が各面共、端から二間目にあり、窓の外は高欄付の廻り縁となる。

天守の内部は1階が、東西桁行十一間、南北梁間七間で、中央に方三間の部屋が二室東西に並び、その周囲に北側、西側及び南側は幅二間、東側は幅三間の武者走りを廻らす。一間の柱間寸法は、中央が1,980mm(6尺5寸3分)で、武者走りの外廻りの柱間が1,595mm(5尺2寸6分)、1,704mm(5尺6寸2分)とする。東側の三間は1,980mm(6尺5寸3分)が二間と2,086mm(6尺8寸8分)の一間とし、床も一段低くなる。東より三間の中央北寄りに地下室から玄関に通じる階段が、南寄りに2階への階段が取付く。

2階は東西桁行七間、南北梁間五間で、中央に三間二室の部屋と方三間の部屋を東西に

並べ、周囲に幅一間の武者走りを廻らす。東面及び西面のそれぞれ中央には、入母屋造の破風内に小部屋を設ける。武者走りの柱間は、南側及び北側の幅を1,704mm（5尺6寸2分）とし、東側及び西側に比べ少し狭い。1階からの階段は、東側武者走りの南端よりに取り付き、3階に通じる階段は、東側の部屋の西端中央に設ける。

3階は東西桁行六間、南北梁間四間で、中央に桁行二間半、梁間二間の部屋と桁行一間半、梁間二間の部屋を東西に並べ、周囲に幅一間の武者走りを廻らす。南面及び北面の入母屋造の妻内部に一段下がった小部屋を設ける。武者走りの幅は、南側及び北側が1,522mm（5尺2分）、東側及び西側が1,825mm（6尺2分）となる。2階からの階段は東側の部屋の北寄り中央に設ける。

床は各階ともすべて板張、中央の部屋は内法長押を廻らし、各柱間に引違いの板戸を嵌め、内法上の小壁は真壁とし、天井はなしとする。武者走りは、外廻りは大壁で、内法より下が堅板張目板打で要所に隠狭間があり、小壁は漆喰塗とし、天井はない。

天守の構造は通し柱を用いず、各階の柱を順次組上げていく方式である。2階の柱は外周部の柱が石垣上に土台を廻らし、その上に柱寸法の半分だけ内転びで立つ。柱上は内部柱に桁を廻らし、床梁、根太受、根太と下から順次組上げ、2階の床を受ける。この桁の上から側柱に女梁を架渡し、この上に男梁を架け、2階側柱を立てる。女梁の仕口は、内部柱上の床梁に鎌継ぎ、側柱には柄差しとする。2階柱は、内部柱通りが桁行方向で1階柱通りと一致し、側柱は1階男梁の上に立つ。2階の構造は1階とほぼ同じだが、内部の床梁は1階がすべて角材を使用しているが、2階はすべて丸太の曲材が使われており、桁行方向は、角材と曲材が併用されている。3階の側柱は内部の柱及び側柱間の梁で受けているが、この梁の両端は柱に柄差しとする。また、武者走りの上では、内部柱内の桁行方向の梁を持出して、梁上で男梁を受ける。3階は下と同様の工法で、柱上の桁以外はすべて丸太の曲材が使われている。

（2）附櫓

附櫓の外部は、屋根が入母屋造本瓦葺とする。壁は大壁で、窓下に腰羽目板を張り、土台上に水切板を付ける。

平面は梯形で、その底辺の北寄りに多聞櫓が取り付け、南側の斜辺が天守と接する。斜辺の長さが四間、頂辺が二間半、底辺が四間半、南側斜辺の東より二間目が階段及び扉により天守の入口となり、底辺の北より二間目が多聞櫓からの入口になる。窓は北側の東より三間目、西側の北より二間目が格子窓とし、外側に突揚戸が付く。

附櫓の構造は中央に独立柱を1本立て、その上に南北に地棟木を受ける。それに東西よ

り曲がりの多い梁を架け、さらに小屋束受の梁をその上に配る。外周部は、石垣上に土台を廻らし、柱及び間柱を立てる。床組は、東西方向に土台繫を3本並べ、その上にさらに土台を3本重ね、束や枕で根太受を受ける。根太受は約三間に配し、床根太を受ける。

(3) 多門櫓

多門櫓の外部は、屋根が切妻造本瓦葺とし、壁は大壁とし軒裏まで漆喰塗とする。長さは、附櫓の取付きにより北側と南側で異なっており、北側で柱間が十一間半、南側で十二間半（一間の寸法は6尺2分）とし、梁間は約12尺余りで、東から一間と十間目より西は約三尺広がっている。多門櫓の北側の柱は、石垣の上に土台を置きその上に立てられているが、南側の柱は柱石を据え、その上に柱を立て、なお柱間には間柱を立てる。櫓の東面には出入口を設け、北面には東より四間、六間、八間及び十一間目が格子窓、南面には東より六間及び十一間目が板戸、七間目の東半分が格子窓とする。狭間は北側のみで6箇所とする。東より九間と十間の間に板戸を設け、西端は階段を上がり、扉により附櫓と接する。内部の壁は真壁とするが、北側は窓より下方は大壁とし、壁厚を厚くする。

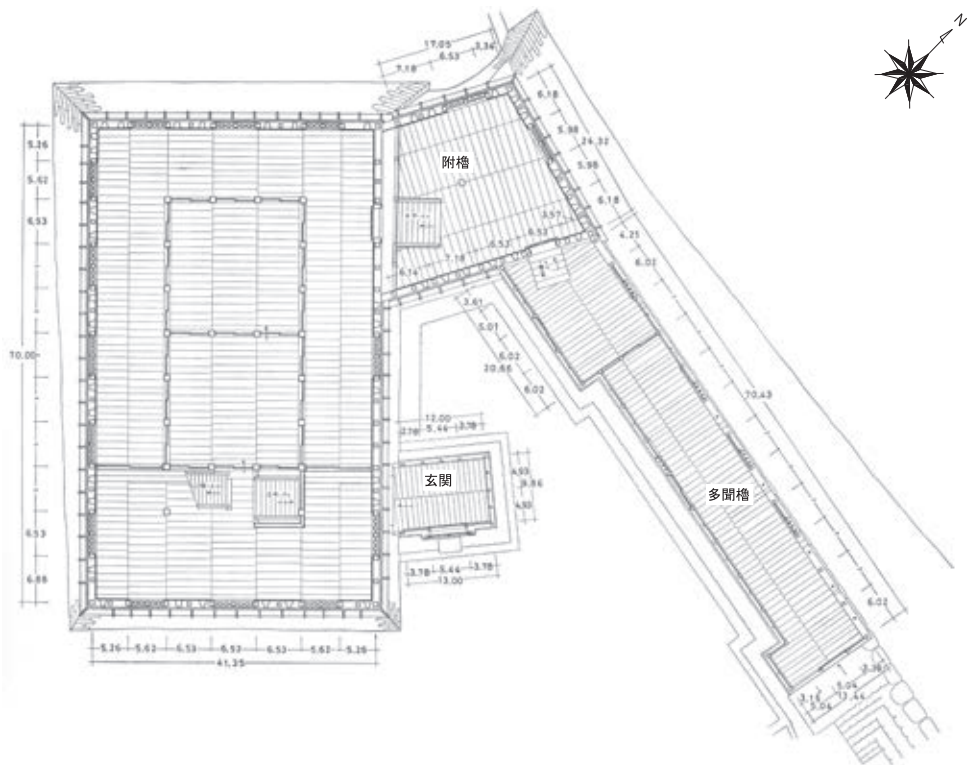


図2 天守、附櫓及び多門櫓 1階平面図

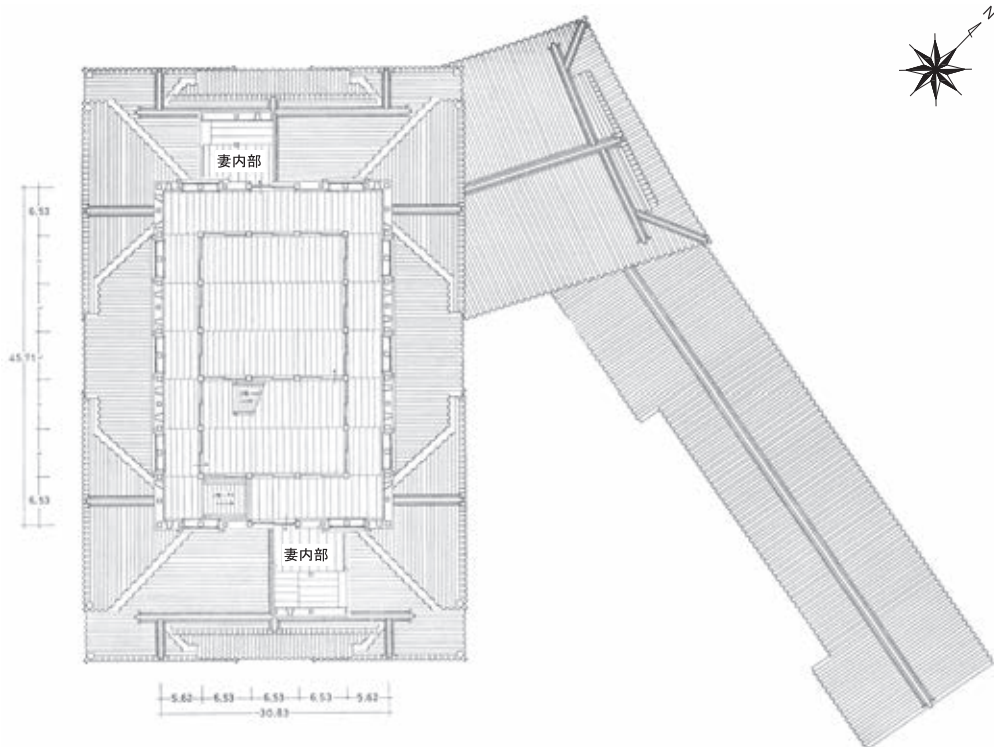


图3 天守 2階平面図

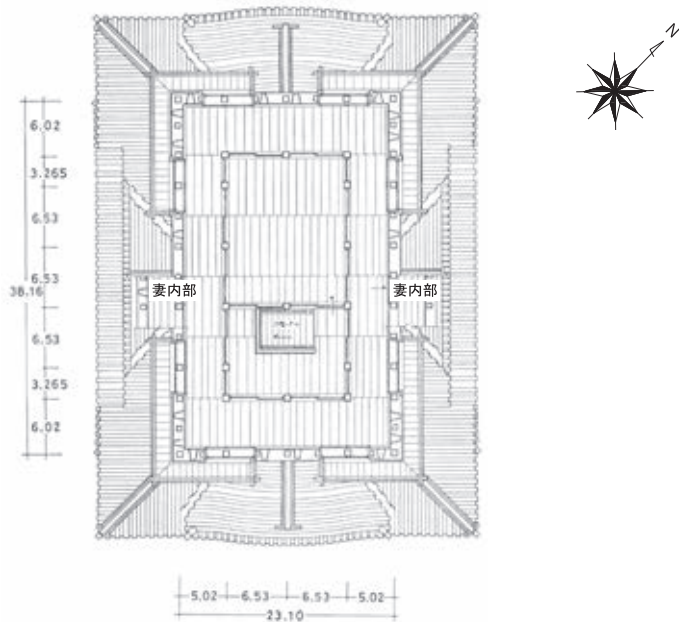


图4 天守 3階平面図

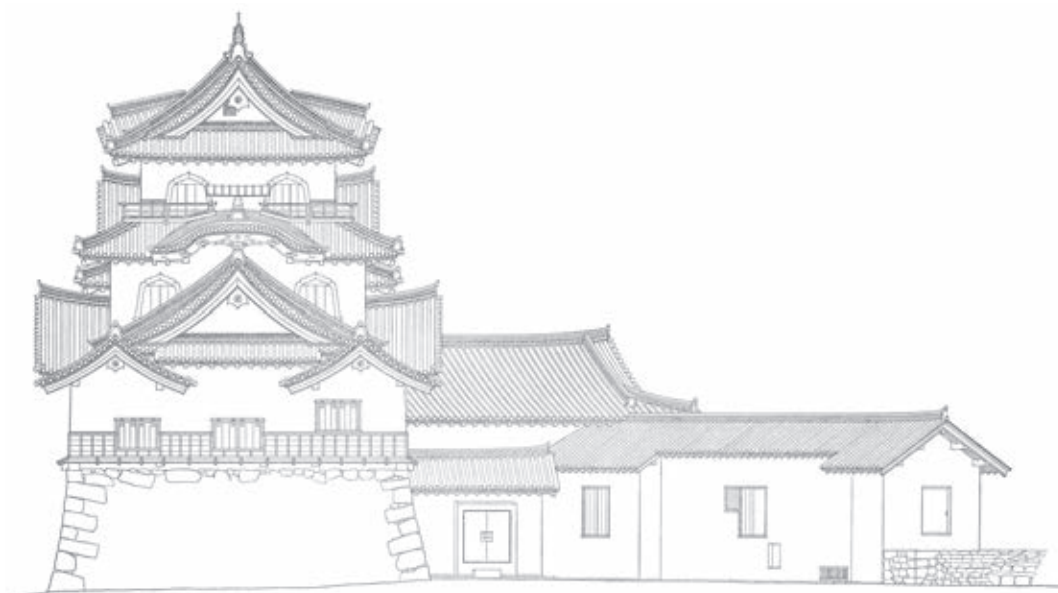


図5 天守、附櫓及び多聞櫓 東立面図

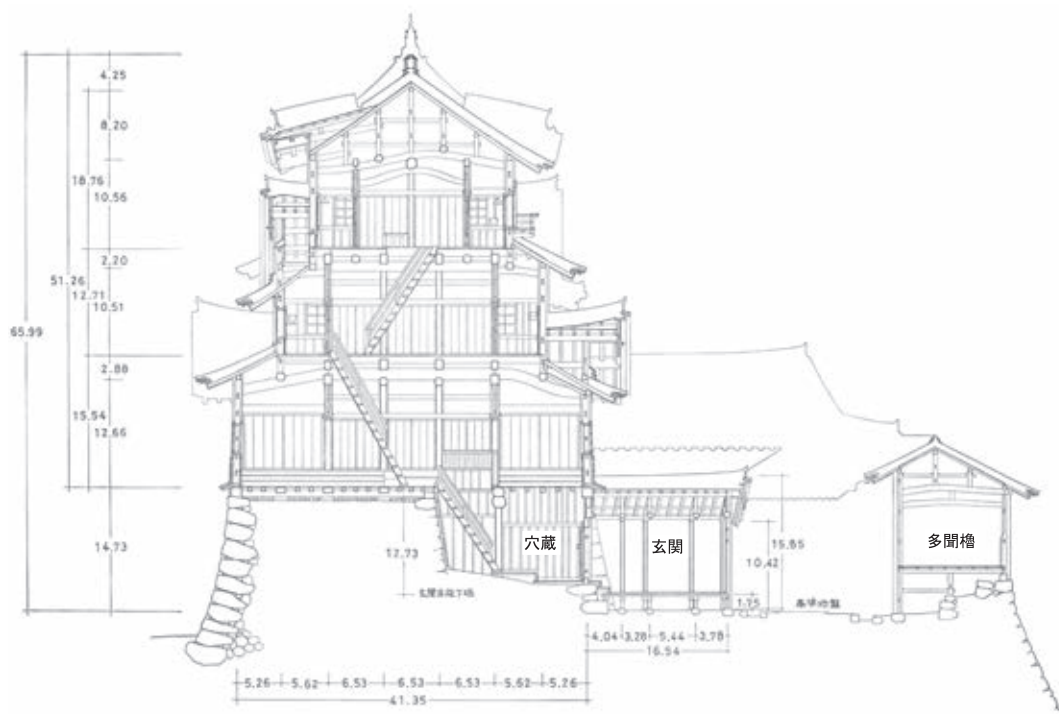


図6 天守 梁間断面図

6. 事業の概要

(1) 事業の経過

平成29年度から令和元年度の3ヶ年にわたり、「国宝彦根城天守、附櫓及び多聞櫓防災・耐震対策重点強化（耐震対策）事業」として耐震診断を実施した。平成29年度は構造調査として資料調査、構造体調査、地盤調査及び振動調査を行った。平成30年度は彦根城周辺の模擬地震波の作成、耐震診断及び石垣の安定性解析を行った。令和元年度は耐震診断結果より耐震性能を満足しない結果となったため耐震補強案の策定を行い、昨年度から引き続き石垣の安定性の検討を行った。

令和4年度から令和6年度の3ヶ年は、「国宝彦根城天守防災施設整備（建造物）（耐震対策工事）事業」として令和4年度に耐震対策工事の実施設計を行い、令和5年(2023)12月より耐震対策工事を開始した。工事期間中も天守の公開を行いながら工事を進めたが、穴蔵部分の補強工事を実施するため、計3回の公開を中止した。令和7年(2025)1月15日に全て工事が完了した。

7. 石垣の調査

(1) 現地調査及び図面作成

天守、附櫓及び多聞櫓下の石垣面の現状を把握するため、3次元測量を実施して立面図及び縦断面図を作成した。石垣の各面に1から8までの番号を付け、立面図を作成した。縦断面図は、各面の石垣上段の端部を基準として0.5m間隔で切り出し、切断面は各軸線と直交するよう作成した。

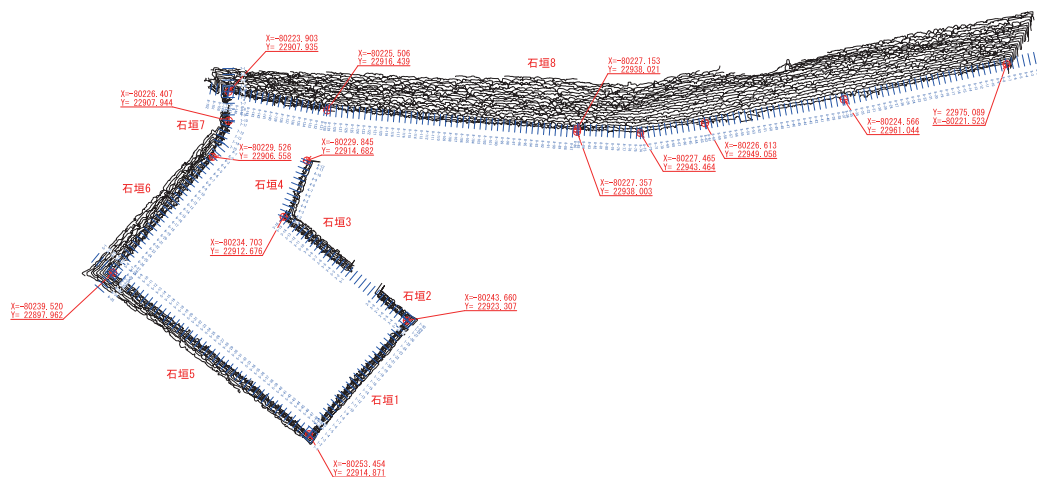


図7 石垣調査位置図



図8 石垣1 点群オルソ図 (石垣を真正面から見たような傾きのない画像に変換した図)

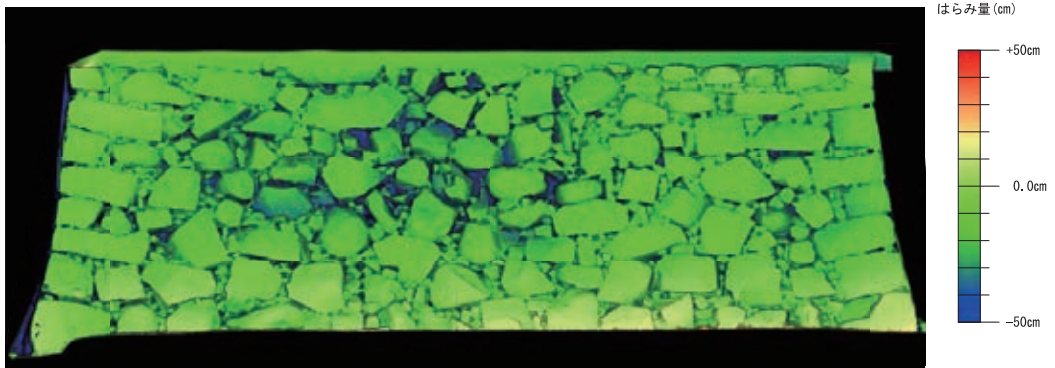


図9 石垣1 はらみだし図

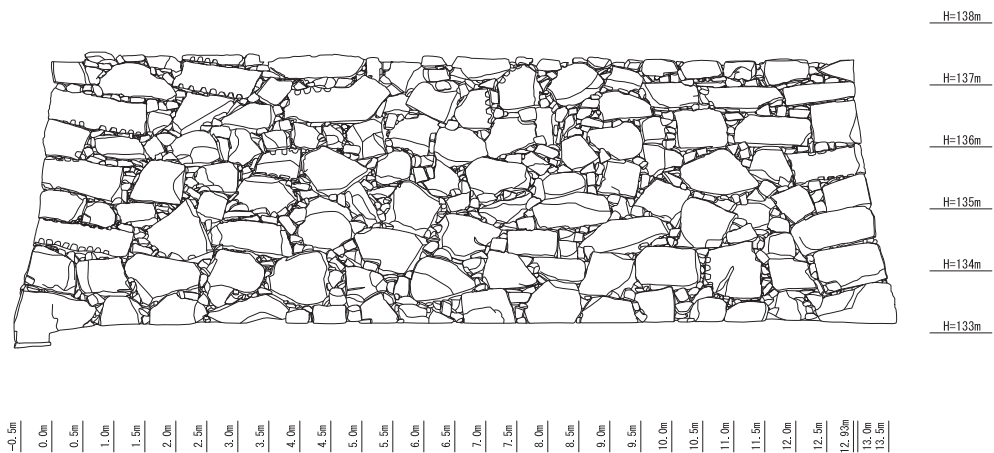


図10 石垣1 立面図

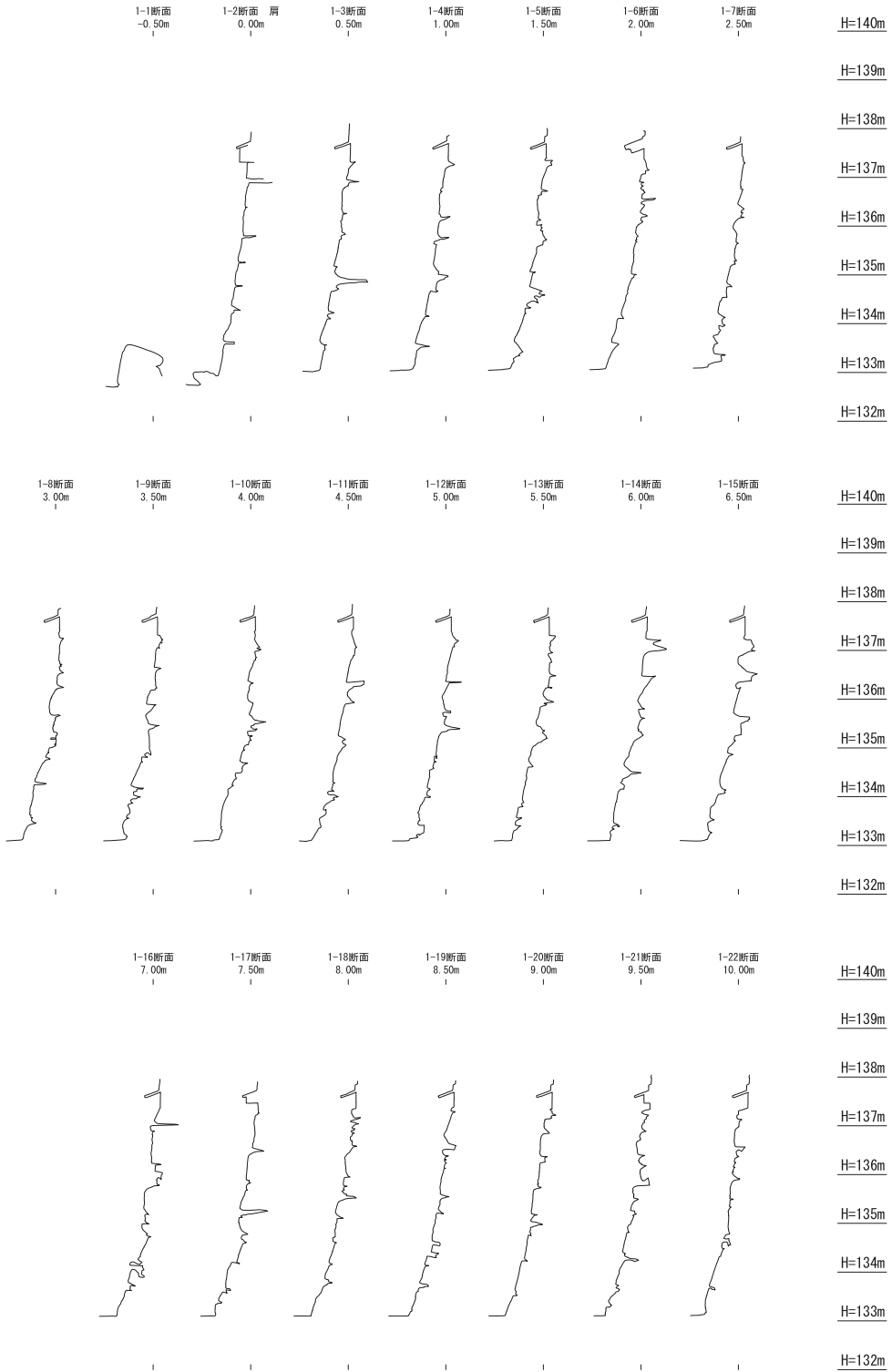


図11 石垣1 縦断面図

(2) 石垣の安定解析

ここでは、令和30年度に行った石垣の安定解析の結果を示す。

天守、附櫓及び多聞櫓下の石垣の変形状況についてははらみ出し指数を用いて検討を行った。はらみ出し指数は、図12に示すように、石垣の変形前の断面形状を推定し、変形した石垣のはらみ出し量 δ_{max} (cm) を求め、はらみ出し高さ H_d (m) で除して算出する指数である。はらみ出し指数が6以上の石垣は、安定性が不足し地震時に崩壊する危険性が大きいと判断した。

$$\text{はらみ出し指数} = \frac{\delta_{max} \text{ (cm)}}{H_d \text{ (m)}}$$

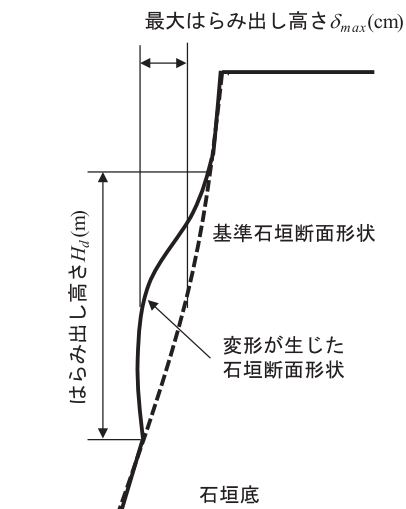


図12 はらみ出し指数の説明図

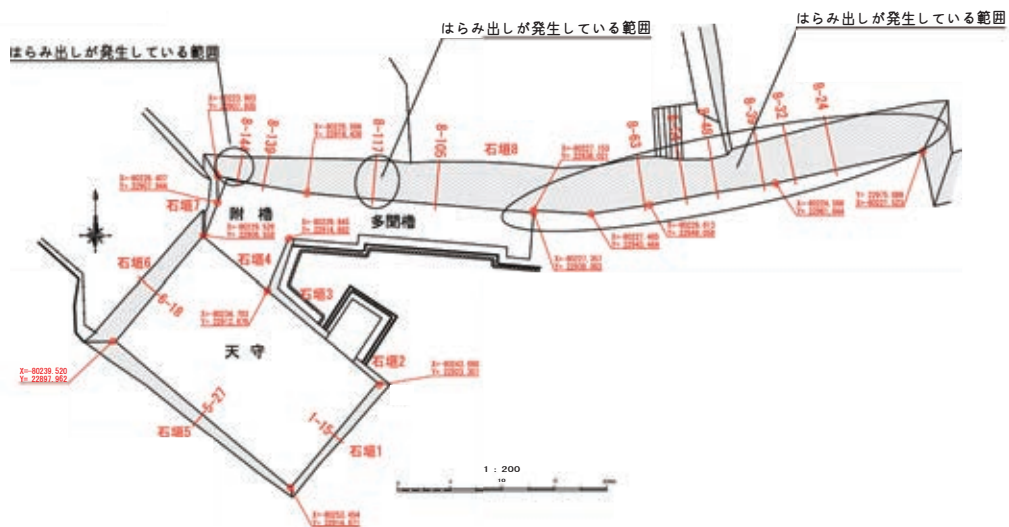


図13 石垣のはらみだし分析実施図

表1 石垣のはらみ出し分析結果

断面図位置	1-15	5-27	6-18	8-24	8-32	8-39	8-48	8-54	8-63	8-109	8-117	8-139	8-144
最大はらみ出し量 δ_{max} (cm)	—	11	14	50	49	54	42	42	37	—	27	—	26
はらみ出し高さ H_d (m)	—	2.27	3.31	9.38	8.42	9.59	7.20	8.35	9.36	—	4.87	—	5.03
はらみ出し指数 δ/H_d	—	4.8	4.2	5.3	5.8	5.6	5.8	5.0	4.0	—	5.5	—	5.2
備考	天守			石垣はらみ出し発生箇所						多聞櫓		附櫓	

8. 耐震診断

(1) 耐震診断の方針

耐震診断は、「重要文化財（建造物）耐震診断指針・要領（文化庁文化財部 平成24年6月21日改正）」及び「重要文化財（建造物）基礎診断実施要領（文化庁文化財部 平成24年6月12改正）」に準拠して実施した。

各建物の耐震性能目標値は、文化庁指針に準拠して、彦根城天守の層間変形角を1/30 rad 以下、滞留時間が比較的短い附櫓及び多聞櫓の層間変形角を1/20rad 以下とした。

耐震性能評価は、石垣を含まず上部の木構造のみとし、玄関、附櫓及び多聞櫓は天守と床レベルが異なっており、振動調査により天守と異なった振動特性を示していたことから、天守、玄関、附櫓・多聞櫓の3棟に区分して診断を行った。

すべての建物を時刻歴応答解析によって行った。

(2) 荷重及び外力

a. 固定荷重

耐震診断に必要な屋根、小屋組、壁、床、軸部、建具及び造作材の重量を建築基準法等の諸規定を参考に算出した。

b. 積載荷重

彦根城天守、附櫓及び多聞櫓の使用状況から積載荷重は、建築基準法施行令第85条の「事務室」とし、架構用1,800N/m²、地震用800N/m²を採用した。

c. 積雪荷重

建築基準法施行令第86条に倣い算出したが、彦根市は多雪区域に該当しないことから、地震時の建物重量に積雪荷重は考慮しなかった。

d. 風荷重

建築基準法施行令第87条及び平成12年建設省告示第1454号により「稀（再現期間50年相当）に発生する暴風」、「極めて稀（再現期間500年相当）に発生する暴風」に対して検討を行った。

e. 入力地震動

設計用入力地震動は、国土交通省に示される地震波（告示波）と敷地近傍断層から想定される地震波（サイト波）を使用した。サイト波は、過去の地震による被害状況や活断層分布及び滋賀県による想定地震等を考慮した結果、「鈴鹿西縁断層帯」とした。

表2 入力地震動

地震動レベル	種 別		最大加速度 (cm/s^2)	最大速度 (cm/s)
極めて稀に発生する地震動 (大地震動時)	告示波	乱 数	493.54	48.03
		JMA Kobe NS	543.85	53.30
		Hachinohe NS	494.18	60.53
	サイト波	鈴鹿西縁断層帯 NS	1,069.00	79.03
		鈴鹿西縁断層帯 EW	1,061.26	39.56

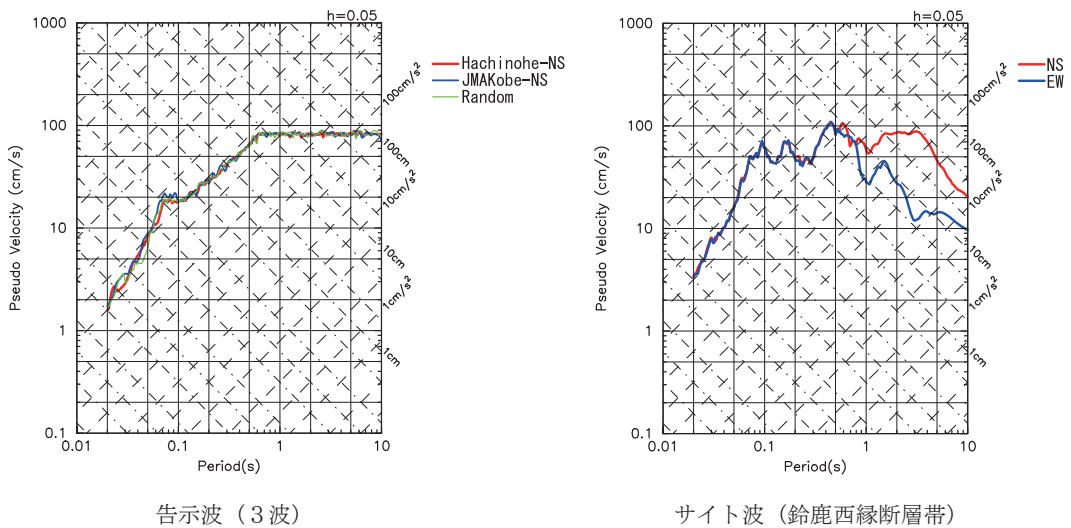


図14 地表面の応答スペクトル ($h=0.05$)

(3) 架構のモデル化

モデル化の基本方針及び各部材の架構モデルと剛性の概要を以下に示す。

- ・解析の範囲は、基礎・土台・1階床レベルを0層、1階桁及び2階床レベルを1層、2階桁及び3階床レベルを2層、3階桁・小屋梁レベルを3層の架構として扱った。
- ・構造要素としては、柱、横架材及び貫等の軸組に加えて土壁をモデル化の対象とした。また、小屋組や床組もモデル化の対象としたが、屋根とモデル化が困難な小屋梁は重量のみを考慮した。造作材や根太等はモデル化の対象としなかった。
- ・柱と横架材は、曲げ、せん断、軸、ねじり変形を考慮した線材に置換した。ほぞや貫の接合部は、非線形の半剛接合またはピン接合とした。土壁や床及び屋根は引張と圧縮を考慮した非線形ブレースとしてモデル化した。
- ・柱脚（礎石建、土台下端）の支持条件は、浮き上がりを考慮して回転方向及び鉛直方向を拘束なし、水平方向を完全拘束とした。

(4) 天守の耐震診断結果

天守の時刻歴応答解析による耐震診断の結果を表3に示す。最大応答変形角は、告示波 Hachinohe NS のX方向を除き、X方向、Y方向とも2層で大きく異なる傾向を示した。

各階の桁・梁レベルの最大変形角は、建物の中央で比較的孕んでいたが、局所的な変形は認められなかった。

大地震動時における応答層間変形角は、X方向の3層は1/42rad~1/52radであったが、1層は1/17rad~1/25rad、2層は1/16rad~1/24radであった。Y方向は、1層が1/42rad~1/131rad、2層が1/23rad~1/116rad、3層が1/46rad~1/130radであった。

また、X方向においては鈴鹿西縁断層帯、告示波 Hachinohe NS の応答値が大きく、Y方向においては鈴鹿西縁断層帯の応答値は小さく、告示波 Hachinohe NS の応答値が大きな値を示した。

表3 天守 耐震診断結果

方向	地震動種別		層	最大層せん断力 (kN)	最大層せん断力係数	最大相対変位 (mm)	最大層間変形角 (rad)	部材の最大変位 (mm)	部材の最大変形角 (rad)
X	告示波	乱数	3	160.51	0.131	463	1/43	89	1/40
			2	339.57	0.118	391	1/19	197	1/19
			1	597.84	0.105	183	1/23	249	1/16
		JMA Kobe NS	3	168.68	0.137	413	1/42	102	1/35
			2	341.54	0.119	341	1/24	154	1/25
			1	583.47	0.102	169	1/25	227	1/18
		Hachinohe NS	3	166.39	0.135	481	1/45	100	1/35
			2	300.64	0.105	420	1/23	148	1/26
			1	597.01	0.104	242	1/17	326	1/12
	サイト波	鈴鹿西縁断層帯	3	148.76	0.121	540	1/52	67	1/54
			2	351.00	0.122	474	1/16	238	1/16
			1	684.53	0.120	237	1/18	320	1/13
Y	告示波	乱数	3	280.59	0.228	269	1/51	75	1/47
			2	452.83	0.158	200	1/31	134	1/29
			1	731.81	0.128	77	1/55	100	1/42
		JMA Kobe NS	3	294.17	0.240	336	1/46	79	1/45
			2	454.98	0.159	266	1/23	190	1/20
			1	732.16	0.128	93	1/45	113	1/37
		Hachinohe NS	3	275.65	0.224	343	1/51	72	1/49
			2	458.48	0.160	275	1/23	189	1/20
			1	738.89	0.129	100	1/42	122	1/34
	サイト波	鈴鹿西縁断層帯	3	166.04	0.135	88	1/130	36	1/99
			2	237.40	0.083	66	1/116	32	1/124
			1	436.05	0.076	32	1/131	51	1/83

※赤字：変形角1/20radを超える 青字：変形角1/20rad~1/30rad

(5) 玄関の耐震診断結果

天守台石垣の取付き状況を考慮しない場合（現状①）と、天守台石垣との取付きを考慮する場合（現状②）の2種類で耐震診断を行った。

現状①では、南側のX1-X2通りで大きく変形するという傾向を示していた。大地震動時において、最大層間変形角は、X方向で1/34rad~1/54radであったが、Y方向は告示波3波で1/15radを超えており、告示波Hachinohe NSでは、最大応答変形角が1/5radを超えるという結果となった。また、X方向は告示波JMA kobe NSが応答変位、応答加速度とも大きかった。Y方向の応答変位は告示波乱数が大きく、応答加速度は鈴鹿西縁断層帯が大きかった。

現状②では、大地震動時の最大層間変形角がX方向で鈴鹿西縁断層帯の1/96rad、Y方向で告示波JMA kobe NSの1/37radとなり、現状①より大幅に変形は減少した。

表4 玄関 耐震診断結果（現状①）

方向	地震動種別		最大層せん断力 (kN)	最大層せん断力係数	最大相対変位 (mm)	最大層間変形角 (rad)	部材の最大変位 (mm)	部材の最大変形角 (rad)
X	告示波	乱数	60.14	0.292	62	1/54	84	1/39
		JMA Kobe NS	60.60	0.294	97	1/34	124	1/26
		Hachinohe NS	61.00	0.296	74	1/45	87	1/37
	サイト波	鈴鹿西縁断層帯	56.85	0.276	65	1/51	87	1/37
Y	告示波	乱数	30.82	0.150	227	1/15	409	1/8
		JMA Kobe NS	31.71	0.154	219	1/15	396	1/8
		Hachinohe NS	—	—	—	1/5以上	—	1/5以上
	サイト波	鈴鹿西縁断層帯	24.78	0.120	71	1/46	146	1/22

表5 玄関 耐震診断結果（現状②）

方向	地震動種別		最大層せん断力 (kN)	最大層せん断力係数	最大相対変位 (mm)	最大層間変形角 (rad)	部材の最大変位 (mm)	部材の最大変形角 (rad)
X	告示波	乱数	49.56	0.237	26	1/123	38	1/86
		JMA Kobe NS	57.09	0.273	33	1/97	48	1/68
		Hachinohe NS	46.56	0.223	23	1/137	33	1/99
	サイト波	鈴鹿西縁断層帯	56.24	0.269	33	1/96	47	1/69
Y	告示波	乱数	31.83	0.152	64	1/49	109	1/30
		JMA Kobe NS	32.36	0.155	86	1/37	149	1/22
		Hachinohe NS	33.33	0.159	72	1/44	113	1/29
	サイト波	鈴鹿西縁断層帯	27.68	0.132	35	1/90	60	1/54

※赤字：変形角1/20radを超える 青字：変形角1/20rad～1/30rad

(6) 附櫓及び多聞櫓の耐震診断結果

玄関同様に天守の取付き状況を考慮しない場合（現状①）と、天守との取付きを考慮する場合（現状②）の2種類で耐震診断を行った。

附櫓は、現状①では南側のX1-X2通りで大きく変形し、現状②では天守との取付きを考慮したことで、南側の変形が抑えられ、現状①よりも小さな変形となった。

多聞櫓は、現状①、現状②ともに、建物の中央で面外に孕み、Y5通り付近で大きく変形するという傾向を示した。

大地震動時における附櫓の最大層間変形角は、現状①でX方向1/26rad~1/32rad、Y方向で1/16rad~1/47radであった。南面で変位が大きくなり、桁レベル（柱頭）の最大変形角はX方向、Y方向とも、1/15rad以上の変形を示した。

現状②では、最大層間変形角はX方向1/48rad~1/59rad、Y方向1/35rad~1/86radとなり、1/30rad以下の変形となった。

大地震動時における多聞櫓の最大層間変形角は、現状①でX方向1/20rad~1/27rad、Y方向1/82rad~1/125radとなった。X方向の変形が大きく、桁レベル（柱頭）の最大変形角は1/15rad以上となった。

表6 附櫓 耐震診断結果（現状①）

方向	地震動種別		最大層せん断力 (kN)	最大層せん断力係数	最大相対変位 (mm)	最大層間変形角 (rad)	部材の最大変位 (mm)	部材の最大変形角 (rad)
X	告示波	乱数	159.10	0.206	109	1/31	211	1/19
		JMA Kobe NS	182.50	0.236	109	1/31	196	1/20
		Hachinohe NS	181.70	0.235	132	1/26	313	1/12
	サイト波	鈴鹿西縁断層帯	177.30	0.229	106	1/32	173	1/23
Y	告示波	乱数	155.40	0.201	111	1/30	337	1/11
		JMA Kobe NS	150.00	0.194	116	1/29	367	1/11
		Hachinohe NS	149.20	0.193	209	1/16	463	1/8
	サイト波	鈴鹿西縁断層帯	120.20	0.155	72	1/47	200	1/20

※赤字：変形角1/20radを超える 青字：変形角1/20rad~1/30rad

表7 多聞櫓 耐震診断結果 (現状①)

方向	地震動種別		最大層せん断力 (kN)	最大層せん断力係数	最大相対変位 (mm)	最大層間変形角 (rad)	部材の最大変位 (mm)	部材の最大変形角 (rad)
X	告示波	乱数	139.80	0.142	148	1/25	283	1/11
		JMA Kobe NS	146.90	0.149	188	1/20	325	1/9
		Hachinohe NS	142.90	0.145	176	1/21	332	1/9
	サイト波	鈴鹿西縁断層帯	173.30	0.176	139	1/27	280	1/11
Y	告示波	乱数	292.30	0.297	40	1/93	94	1/46
		JMA Kobe NS	325.30	0.331	52	1/72	117	1/37
		Hachinohe NS	312.80	0.318	43	1/86	114	1/38
	サイト波	鈴鹿西縁断層帯	195.00	0.198	28	1/134	48	1/79

表8 附櫓 耐震診断結果 (現状②)

方向	地震動種別		最大層せん断力 (kN)	最大層せん断力係数	最大相対変位 (mm)	最大層間変形角 (rad)	部材の最大変位 (mm)	部材の最大変形角 (rad)
X	告示波	乱数	199.53	0.170	57	1/59	146	1/27
		JMA Kobe NS	223.34	0.190	68	1/49	152	1/26
		Hachinohe NS	209.85	0.179	66	1/51	152	1/26
	サイト波	鈴鹿西縁断層帯	174.87	0.149	70	1/48	160	1/25
Y	告示波	乱数	216.24	0.184	72	1/46	147	1/27
		JMA Kobe NS	225.13	0.192	97	1/35	226	1/17
		Hachinohe NS	232.18	0.198	81	1/41	166	1/24
	サイト波	鈴鹿西縁断層帯	186.60	0.159	39	1/86	80	1/50

表9 多聞櫓 耐震診断結果 (現状②)

方向	地震動種別		最大層せん断力 (kN)	最大層せん断力係数	最大相対変位 (mm)	最大層間変形角 (rad)	部材の最大変位 (mm)	部材の最大変形角 (rad)
X	告示波	乱数	130.47	0.133	146	1/25	270	1/18
		JMA Kobe NS	130.96	0.134	194	1/19	374	1/13
		Hachinohe NS	111.82	0.114	174	1/21	357	1/13
	サイト波	鈴鹿西縁断層帯	159.49	0.163	143	1/26	265	1/18
Y	告示波	乱数	299.01	0.306	39	1/96	119	1/41
		JMA Kobe NS	321.65	0.329	45	1/82	99	1/50
		Hachinohe NS	291.42	0.298	37	1/100	118	1/42
	サイト波	鈴鹿西縁断層帯	230.06	0.235	30	1/125	60	1/80

※赤字：変形角1/20radを超える 青字：変形角1/20rad～1/30rad

9. 耐震補強

(1) 耐震補強の概要

令和元年度に天守、附櫓及び多聞櫓の耐震補強計画を策定したが、石垣の安定解析結果から附櫓及び多聞櫓下の石垣が崩落する危険性があることが判明した。このため、附櫓及び多聞櫓内部に人の立入が禁止された。

令和4年度からの耐震対策工事の実施設計では、天守のみの耐震補強の設計を行い、玄関から天守の進入路となる穴蔵部の石垣の崩落を防止する補強もあわせて行った。

実施設計時に天守の補強方法の見直しを行い、下記に示す。

- ・開口部補強 …………… 1階内部の開口部1箇所に構造用合板を片面張りした壁を設置
- ・垂壁補強 …………… 1階内部垂壁の漆喰塗り表面に構造用合板を両面張り2箇所、片面張り1箇所設置
- ・水平構面補強 …………… 1階小屋梁間に水平ブレース（ワイヤーブレース）を設置
- ・穴蔵石垣補強 …………… 地震時に想定される外力による石垣の崩落を防ぐため、玄関から天守階段にかけての穴蔵部分の石垣表面に鉄骨フレームを設置

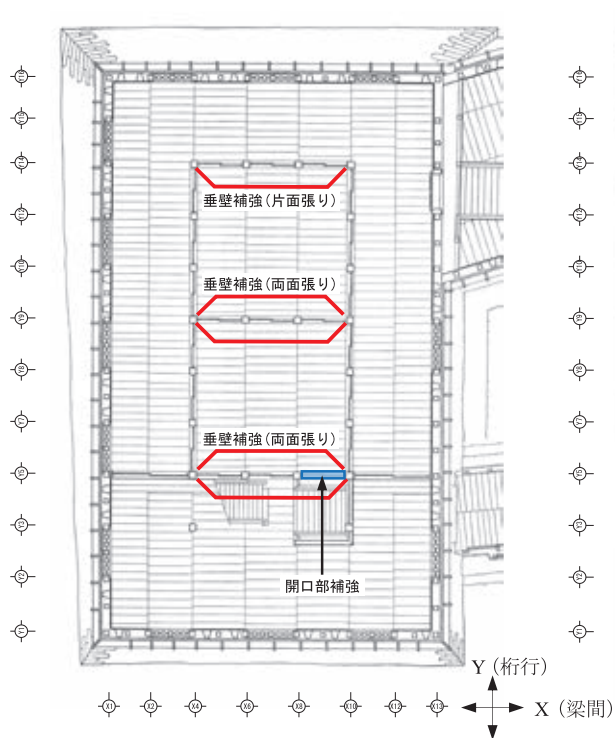


図15 天守 1階補強位置図
(開口部補強・垂壁補強)

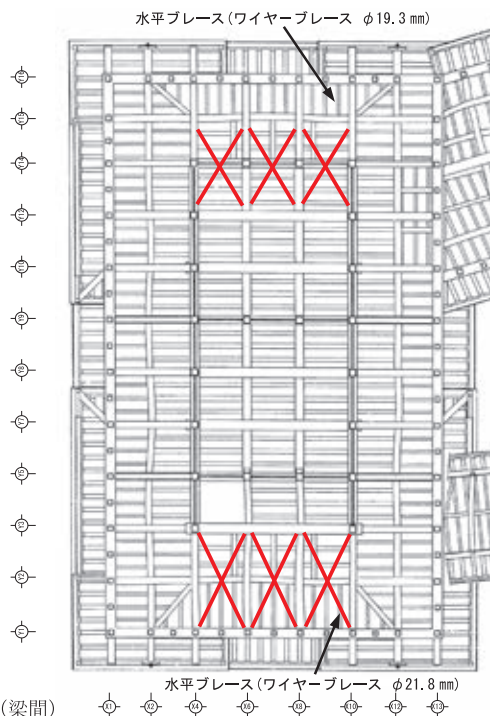


図16 天守 1階補強位置図
(水平構面補強)

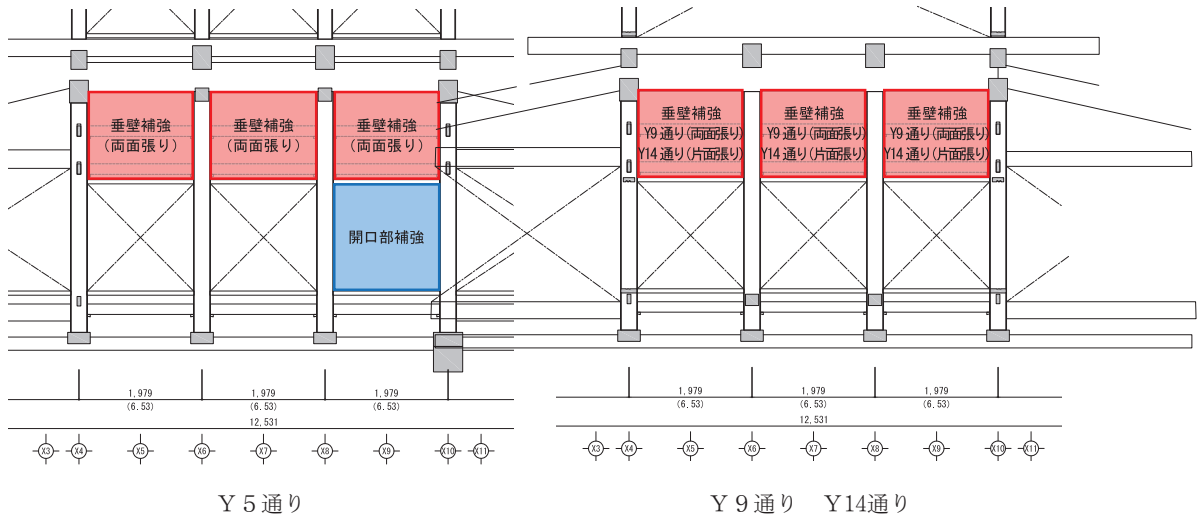


図17 天守 1階補強位置図（開口部補強・垂壁補強）

（2）天守の耐震補強後の結果

鈴鹿西縁断層帯想定波入力時の応答層間変形角の最大値はX方向1階で1/20rad、内部柱の最大応答変形角はX方向1階で1/15rad となり、層及び内部柱の応答変形角は非倒壊の目標値を満足する結果となった。柱等の主要な構造部材に折損が生じないことも確認した。

ただし、外部柱は面外方向の変形が1/13rad となった。これは、水平構面用ブレースの取付き部のモデルを見直したことによるものであるが、柱の折損がなく急激な耐力低下を生じさせるものではないため、倒壊に繋がるものではないと判断した。

表10 天守 耐震補強後の耐震診断結果

ケース		方向	層	最大層せん断力 (kN)	最大層せん断力係数	最大相対変位 (mm)	最大層間変形角 (rad)	部材の最大変位 (mm)	部材の最大変形角 (rad)
サイト波	鈴鹿西縁断層帯	X	3	200.57	0.163	442.64	1/33	136.99	1/26
			2	445.44	0.156	347.56	1/29	153.32	1/25
			1	768.79	0.134	204.98	1/21	303.23	1/13
		Y	3	-180.93	-0.147	88.02	1/126	33.45	1/107
			2	219.01	0.077	67.34	1/122	28.48	1/131
			1	-540.81	-0.094	36.59	1/115	57.54	1/69

※赤字：変形角1/20rad を超える 青字：変形角1/20rad ～1/30rad

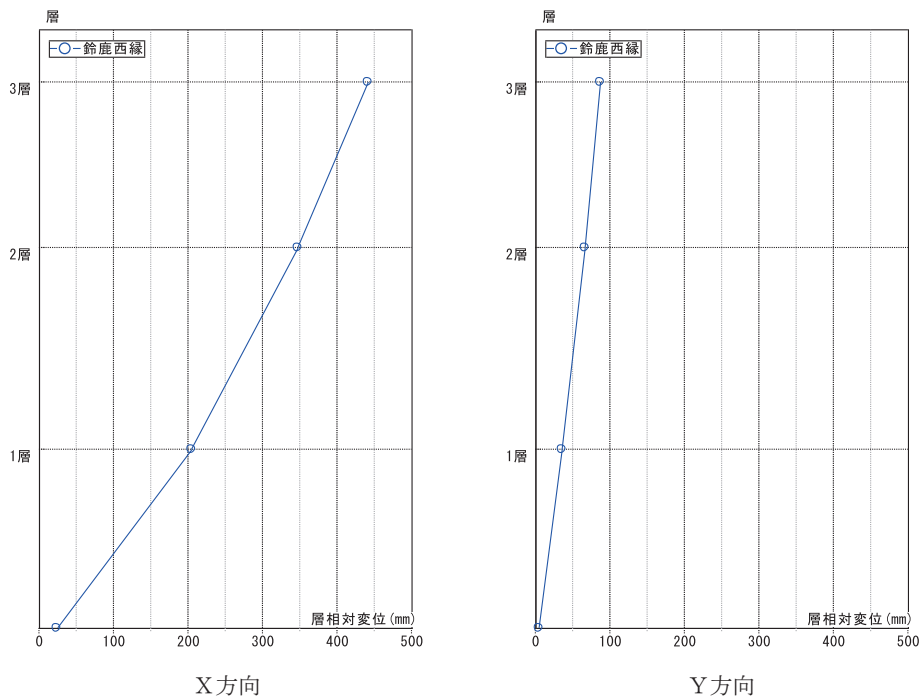


図18 天守 各層の最大相対変位図（補強後）

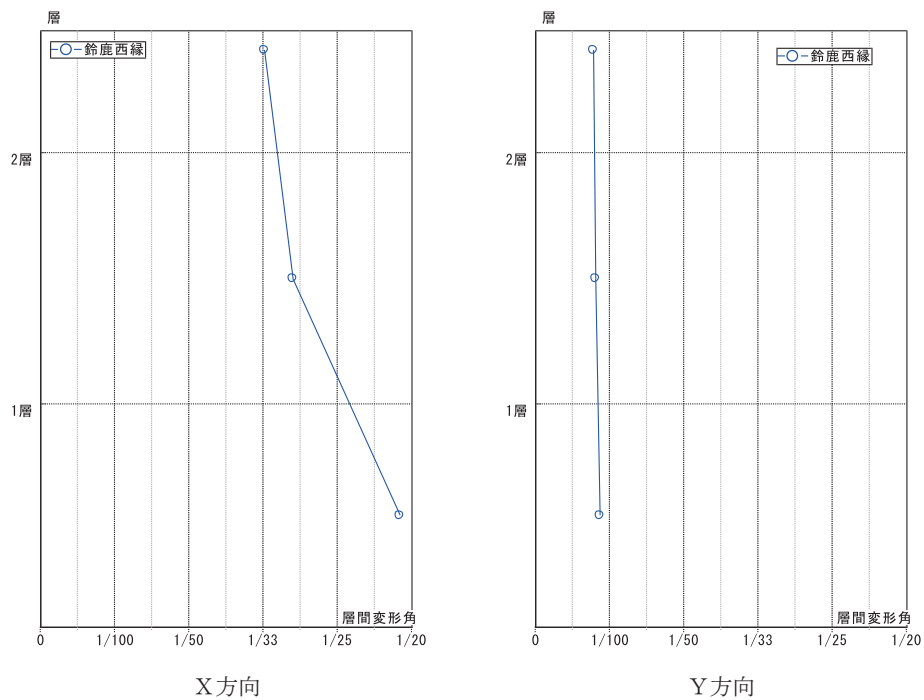


図19 天守 各層の最大相対変形角（補強後）



写真6 天守 1階 開口部補強
(構造用合板張り完了)

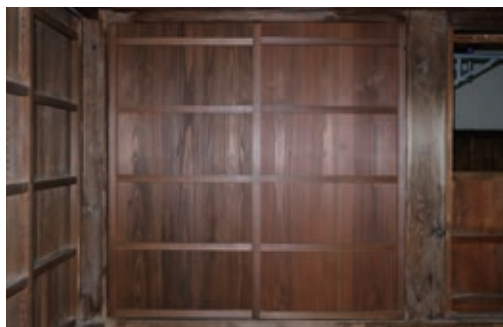


写真7 天守 1階 開口部補強
(化粧合板張り完了)



写真8 天守 1階 垂壁補強
(下地取付け完了)



写真9 天守 1階 垂壁補強
(構造用合板張り完了)

10. おわりに

今回の耐震対策事業にあたり、すべての関係者の各位に、この場を借りて感謝申し上げます。彦根市観光文化戦略部文化財課の皆さま、耐震対策工事に携われた株式会社 木澤工務店の皆さまからは、多大なるご協力を頂き無事工事を終えることができました。重ねて厚くお礼申し上げます。

引用・参考文献

『国宝彦根城天守・附櫓及び多聞櫓修理工事報告書』滋賀県教育委員会（1955）

『国宝 彦根城天守耐震対策工事報告書』彦根市（2025）