

公 開 版

国宝松江城天守附櫓内部石垣安全対策工事
基本計画

令和 2 年 3月

松江市

序

本計画は、平成30年3月に策定した国宝松江城天守耐震補強工事基本計画に基づいて実施する天守台石垣の耐震対策のうち、附櫓内部石垣の安全対策に係る工事の基本計画を定めるものである。

松江城天守においては、附櫓が唯一の出入口となる。そのため、附櫓内部の石垣が部分的にでも崩落すると、人命に関わるとともに避難が困難となる。本計画では、附櫓内部石垣の崩落を抑制し、通行する登閣者への被害を最小限に留めるための安全対策案を策定した上で、概算事業費の算出を行った。

本計画の策定に当たっては、国宝松江城天守耐震対策検討委員会を組織し、文化庁および島根県の指導を得て作成した。

なお、補強架構の安全性の検討は、公益財団法人 文化財建造物保存技術協会に委託して行った。

◆審議経過（国宝松江城天守耐震対策検討委員会）

開催日	審議内容
令和元年 8 月 26 日 (第 1 回委員会)	(報告) 国宝松江城天守耐震補強工事基本計画掲載事項の実施状況について (議事) 国宝松江城天守附櫓内部石垣安全対策基本計画について (検討概要及び結果) ・ 附櫓内部通路の安全性を担保するための補強架構について、格子状の架構を石垣前面に設置する方針とした。 ・ 補強架構の安全性の検証は、石垣が崩れ出す状況を想定した外力の設定を行い、それに対して補強部材がどれだけの安全率を持つかを求め、委員会で評価することとした。 ・ 補強架構は、木製および鋼製の提案を行った。検討の結果、木製格子を採用することとした。また、面材は併用しないこととした。 ・ 格子のピッチは縦横約 1m で提案したが、ピッチや接合部の納まり等について複数案の意見が出された。

令和元年 11 月 13 日 (第 2 回委員会)	(議事) 国宝松江城天守附櫓内部石垣安全対策（追加検討）について (検討概要及び結果) ・ 格子の縦材のピッチについて、1m の他に 1.5m、2m ピッチの比較を行い、1.5m 以内のピッチを基本として、各石垣面で均等に割り付けることとした。 ・ 補強架構は極力石垣面に沿わせた設置が望ましいとの意見が出された。詳細な納まりは実施設計で検討することとした。
------------------------------	--

◆名簿

国宝松江城天守耐震対策検討委員会

役職	氏 名	所 属
委員長	坂本 功	東京大学 名誉教授
委員長代理	清水 真一	徳島文理大学 教授
委 員	田中 哲雄	日本城郭研究センター 名誉館長
	中治 弘行	公立鳥取環境大学 教授
	西形 達明	関西大学 名誉教授
	藤田 香織	東京大学大学院 教授

(五十音順、敬称略)

区 分	氏 名	所 属
助言者	西岡 聡	文化庁文化資源活用課 震災対策部門 調査官
	西川 英佑	文化庁文化資源活用課 世界文化遺産部門 調査官
	田原 淳史	島根県教育庁 文化財課 企画員

(敬称略)

区 分	氏 名	所 属
コンサルタント	木村 和夫	文化財建造物保存技術協会 参事
	菊岡 喜一	文化財建造物保存技術協会 構造設計課
	富永 善啓	株式会社文化財構造計画 代表取締役
	渡邊 智子	株式会社文化財構造計画 構造室長

目次

1. 検討目的	1
2. 検討方針	2
3. 対策方針	2
4. 補強架構	2
5. 補強架構概要図	6
6. 工事	8
7. 事業費	9

(別添資料) 国宝松江城天守耐震対策検討委員会資料

1. 検討目的

松江城天守は、本体の正面側（南側）に附櫓と称する突出部があり、天守に入るためには附櫓を通過する必要がある。具体的には、附櫓の石垣正面に設けられた扉から内部へ入り、石垣内部の通路を通ることによって、天守内部への入口へ到達できる。即ち、来城者はこの通路を通過しなければ、天守内に入る事も出る事もできない。

一方で、この内部通路の両脇は石垣となっているため、何らかの理由で石垣が崩れた際に、通行中の来城者に危害が及ぶことのみならず、来城者が天守内部に閉じ込められる危険性がある。そのため附櫓内部通路においては、石垣が崩れた際に築石が通路に飛び出す事を防ぎ、かつ避難動線を保持できるような対策を講じるものとする。



写真 1（上） 天守全景及び入口

写真 2（下） 附櫓石垣内部通路

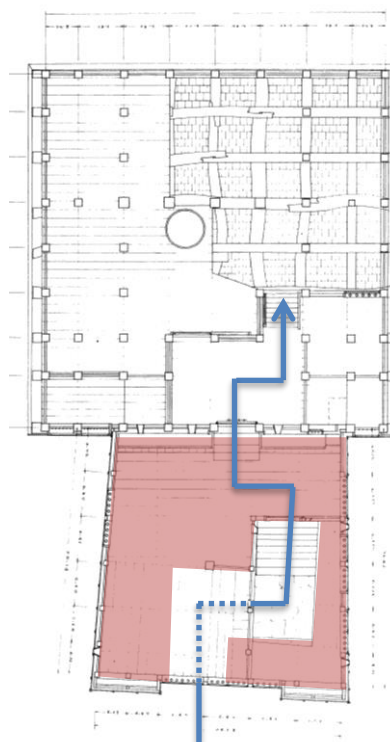


図 1 天守内部への経路
(色付部：附櫓石垣)

2. 検討方針

近世に築造された石垣は各地に多く現存するが、そのいくつかは大規模な地震によって被害を受けた記録が見られる。近年では、東北地方太平洋沖地震(2011)及び熊本地震(2016)において、石垣が倒壊したり、大きくはらみ出す等の被害が生じた。特に熊本地震においては、幾つかの重要文化財建造物が石垣ごと倒壊に至ったため、復旧に際して石垣の耐震性能の評価や補強方法の研究が現在も進められているが、現時点では必ずしも対策が十分に取られられている訳ではない。そのため、本検討においては石垣そのものの評価は行わず、石垣が部分的に崩れ出した際に生じる水平力を外力として想定し、その外力に対して内部通路の形状を保持できる架構を通路内に設けることを検討した。

3. 対策方針

石垣内部通路の安全性を担保するためには、①通路の空間を保持する事と共に、②通行者に危害を及ぼす可能性のある飛散物、具体的には大きな築石が通路に飛び出さない事が求められる。この2点について、それぞれ必要な対策を検討した。なお、現時点では附櫓の上部構造及び石垣の過半に著しい破損が生じていないことから、大規模な解体等を伴わずにできる方策を検討した。

上記①の空間確保については、崩れ出した石垣によって生じた外力に対して形状を保持できる架構を通路内部に設ける事を検討した。②の飛散抑止については、内部石垣全体或いは①で設けた架構の隙間から築石が飛び出さないような、面的な要素の必要性について検討した。

4. 補強架構

(1) 検討条件

附櫓内部通路の安全性を担保するための補強架構を検討した。検討条件は以下の通りとした。

- 避難路となる附櫓内部通路の空間を確保することにより、通行時の人的被害を防ぐことを目的とする。
- 天守及び附櫓とそれらの石垣は、全体として崩壊していない状態であることを前提とする。
- 石垣の部分的破損は許容するが、石垣及び附櫓全体の崩壊を防ぐ規模の性能は期待しないものとする。

なお、補強架構に生じる水平力の設定については、補強架構を石垣の崩壊を抑制するための擁壁とみなし、その耐震設計の考え方に倣うものとした。

(2) 検討結果

【架構の概要】

崩れ出した築石が内部通路に入り込まないようにするための補強架構として、貫構造を用いた格子状の架構を採用する。

配置する部材は、天守の部材寸法とのバランスや、架構の見た目から受ける安全に対する印象、内部通路の範囲及び築石の寸法を考慮して、断面寸法を縦材：180×180（6 寸角）、横つなぎ材：180×90（6 寸×3 寸）とし、部材間隔は縦材 1.5m 以内、横つなぎ材 1m 以内とする。

崩れ出した石垣によって生じる水平力は、縦材または横つなぎ材に伝達される。縦材の脚部は、対面の縦材との間に配置された突張材で固定する。頂部は附櫓の床組に固定するか、新たに頭つなぎ材を設けて固定する。横つなぎ材は縦材間に大入れとする。（補強架構の納まり詳細は P.7 図 4 のとおり）

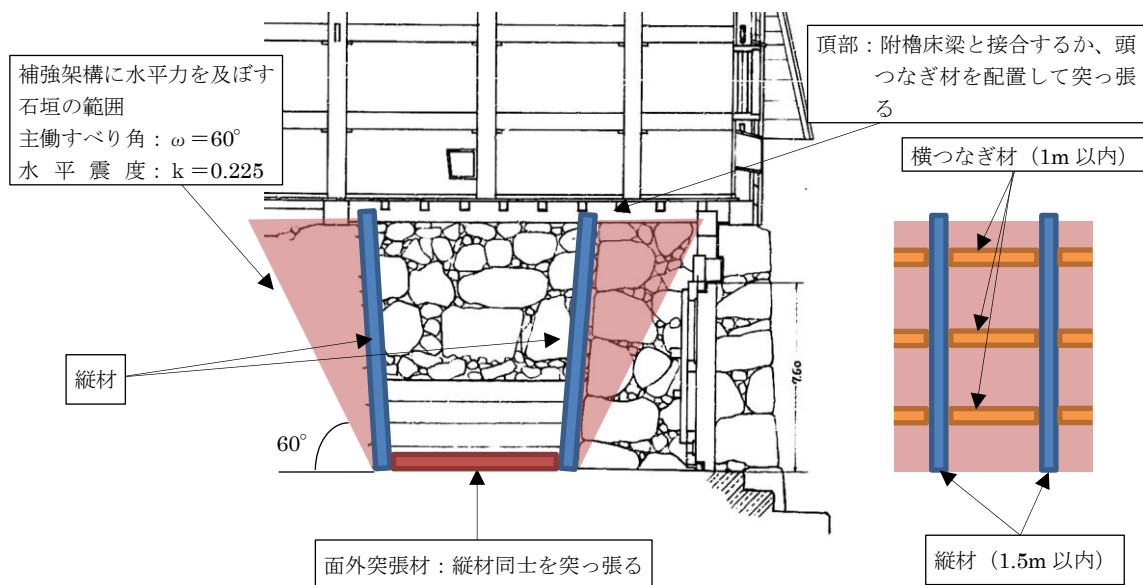


図 2 補強架構の概要

【水平力の設定】

築石及び裏込が崩れ出す範囲は、擁壁計算で用いる主働すべり角を採用して設定した。また、補強架構に生じる水平力は、崩れ出す範囲の重量に水平震度をかけて算出した。

主働すべり角： $\omega = 45^\circ + \phi/2$ （ ϕ ：碎石の内部摩擦角 $=35^\circ$ ） $= 62.5 \rightarrow 60^\circ$

単位体積重量：築石 28kN/m³（比重・安山岩：2.2～2.9、玄武岩：2.7～3.2）

栗石 20 kN/m³（礫質土）

$\rightarrow 24\text{kN/m}^3$ （平均値）

水平震度（大地震動時）： $0.25z$ （ z ：地域係数 $=0.9$ ） $=0.225$

参考文献：構造関係技術基準解説書（2015 年版）
 建築基礎構造設計指針（2013 年版）
 道路土工－擁壁工指針（平成 24（2012）年度版）
 宅地防災マニュアルの解説 I（平成 19（2007）年改訂版）

【部材の検討】

設定した水平力によって補強架構の部材に生じる最大応力について、設計基準強度を元に算出した許容応力と比較して、部材の保有する性能を確認した。

・縦材の検討：両端支持、三角形分布荷重

スパン $L = 3.0 \text{ m}$ （最大）

負担巾 $B = 1.5 \text{ m}$

石垣による圧力

$w = \text{水平震度} \times \text{単位体積重量} \times \text{高さ} \times \text{負担巾}$

$$= 0.225 \times 24 \times 3.0 \times 1.5 = 24.3 \text{ kN/m}$$

水平力 $W = wL / 2\sqrt{3} = 24.3 \times 3.0 / (2\sqrt{3}) = 21.1 \text{ kN}$

最大 $M = 2WL / (9\sqrt{3}) = 8.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$

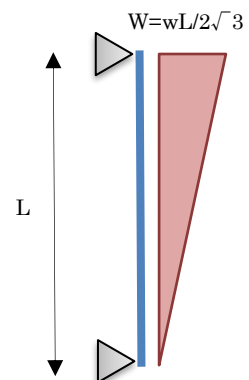
縦材（180×180・ひのき無等級材） $F_b = 26.7 \text{ N/mm}^2$

断面係数 $Z = 180 \times 180^2 / 6 = 972000 \text{ mm}^3$

横つなぎ材の断面欠損を考慮し、有効断面係数 $Z_e = 0.8 \times Z$ とする。

許容 $M = F_b \times Z_e = 20.7 \text{ kN} \cdot \text{m} > \text{最大 } M$

安全率 許容 M / 最大 $M = 2.55$



・横つなぎ材の検討：両端支持、等分布荷重

スパン $L = 1.5 \text{ m}$

負担巾 $B = 1.0 \text{ m}$

石垣による圧力

$$w = 24.3 \times (1 + 2/3) / 2\sqrt{3} = 11.7 \text{ kN/m}$$

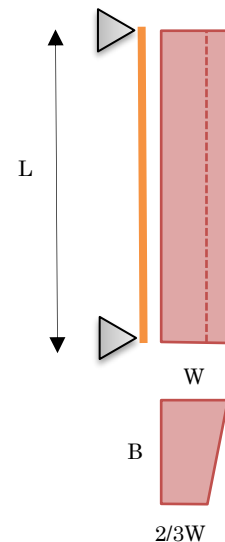
最大 $M = wL^2 / 8 = 3.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$

横つなぎ材（180×90・ひのき無等級材） $F_b = 26.7 \text{ N/mm}^2$

断面係数 $Z = 180 \times 90^2 / 6 = 243000 \text{ mm}^3$

許容 $M = F_b \times Z = 6.4 \text{ kN} \cdot \text{m} > \text{最大 } M$

安全率 許容 M / 最大 $M = 1.93$



よって、縦材の間隔を 1.5m 以内および横つなぎ材の間隔を 1m 以内として、縦材：180×180（6 寸角）、横つなぎ材：180×90（6 寸×3 寸）で補強架構を設けた場合は、想定される地震力に対して 1.93 倍の安全率を有していると考えられる。

（３）面的要素

前項で検討した補強架構の縦材及び横つなぎ材を写真に重ねてみると下図のようになる。

石垣は孕み出る過程において、面的に変形する特性が知られており、大半の築石については、補強架構のみでも飛び出しを防止することができると考えた。また、意匠性と本質的価値である石垣を可能な限り露出させるためにも、金網などの面材は設置しないこととした。

縦材の設置に当たっては極力石垣面に沿わせることとし、詳細な納まりは工事発注に際しての実施設計で検討することとした。



写真 3 補強架構イメージ

5. 補強架構概要図

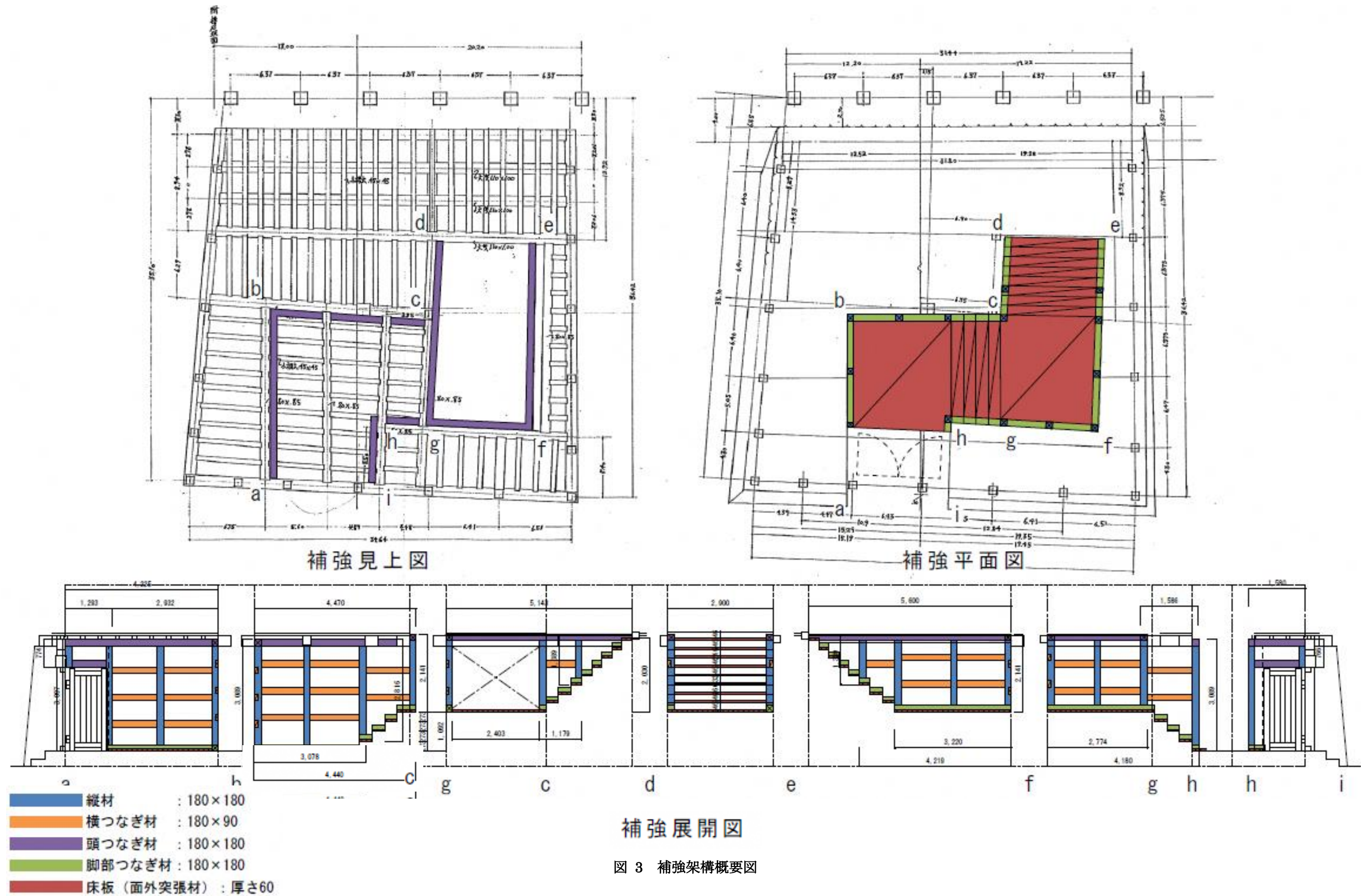


図 3 補強架構概要図

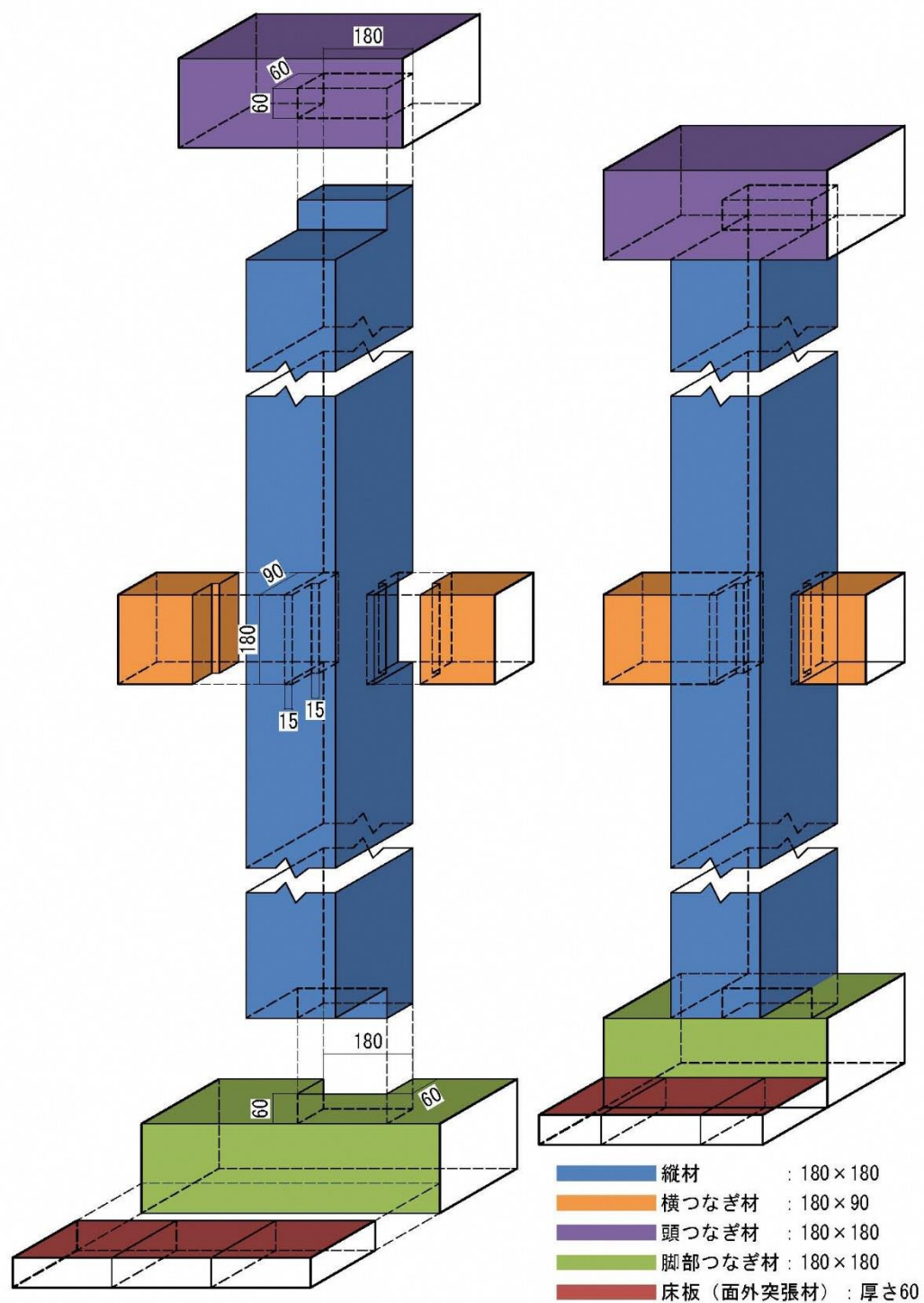


図 4 補強架構納まり詳細図

6. 工事

(1) 工事方針

附櫓内部石垣安全対策工事の仕様については、①意匠を損なわないこと、②部材を傷めないこと、③可逆的であること、④区別可能であること、⑤最小限の補強であること、という耐震補強の原則に準拠したものとする。

また、工事の実施に際しては、一般登閣者への影響を最小限にすることとし、期間中も天守の登閣を継続するよう、通路を確保しながら工事を行うこととする。

なお、附櫓内部石垣安全対策工事は、国庫補助事業として実施する。

(2) 工期

工事期間 4 ヶ月（事業期間 12 ヶ月）

注）事業期間は工事施工期間のみではなく、補助事業上の事業着手における設計から工事完了まで、工事報告書作成期間も含めた期間を指す。なお、工事報告書には、平成 30・令和元年度に実施した耐震補強工事を含む。

国庫補助 事業名称	事業名称 防災・耐震対策重点強化（耐震対策）事業 文化財名称 国宝（建造物）松江城天守							期 間	着手 完了 交付決定日以降 令和3年3月31日			
事業 内容	令和2年度											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
設計 監理												
直接仮 設工事												
石垣安 全対策 工事												
共通仮設												
報告書 作成												

7. 事業費

総事業費	27,620,000
------	------------

(単位：円)

国宝松江城天守耐震対策検討委員会資料

資料名
国宝松江城天守耐震対策検討委員会 設置要綱
国宝松江城天守耐震対策検討委員会 名簿
第1回国宝松江城天守耐震対策検討委員会 (開催日：令和元年8月26日 場所：松江歴史館 歴史の指南所)
次第
①国宝松江城天守耐震補強工事基本計画
②耐震対策工事概要図・施工状況
③天守台石垣レーザー測量図
④天守台石垣デジタルゲージ観測結果
⑤天守台石垣光波測量結果
⑥天守台石垣根石調査結果
⑦天守台石垣コンクリート枕桁調査結果
⑧国宝松江城天守 附櫓内部石垣安全対策(案)
出席者名簿
議事録
第2回国宝松江城天守耐震対策検討委員会 (開催日：令和元年11月13日(水) 場所：東京都 都市センターホテル)
次第
①国宝松江城天守 附櫓内部石垣安全対策(追加検討)
出席者名簿
議事録