

天守耐震診断事業

事業期間 令和 2 年 8 月 31 日～令和 4 年 9 月 30 日（令和 3 年度事業繰越）

重要文化財の名称	所在地	指定年月	建設年代又は時代
重要文化財丸亀城天守	丸亀市一番丁	昭和 1 8 年 6 月 9 日	万治三年（1660）

1. 事業を必要とする理由

重要文化財丸亀城天守の所在地は、東南海・南海地震対策大綱に基づき指定された、東南海・南海地震防災対策推進地域に含まれ、文化財の構造的な健全性の確保ならびに震災時における被害軽減対策の強化が求められるところであり、天守は常時一般公開を行っていることから大地震時にも倒壊しないだけの耐震性能を保有していることが求められるため。

2. 事業内容

(1) 必要性耐震性能の設定

目標とする耐震性能は、大地震時に倒壊せず、生命に重大な危害を及ぼさない『安全確保水準』レベルとする。

(2) 天守耐震診断

- ・限界耐力計算・・・立体フレームモデルを構築し、各層の静的増分解析により荷重変形関係を算出し、限界耐力計算を実施した。
- ・時刻歴応答解析・・・立体フレームモデルを構築し、時刻歴応答解析を実施した。

【診断結果】

天守は大きな耐震補強は必要がないが、部材が抜ける可能性があるので、その対策が必要である。

(3) 石垣耐震診断

①調査

- ・石垣測量調査・・・石垣の構造検討のモデル化に使用するため、オルソ写真測量、縦横断面図作成する。データをもとに孕み出し検討を行う。
- ・石垣レーダ探査・・・石垣の構造検討のモデル化に使用するため、石垣控え長や栗石と地山境界を捉える。
- ・微動アレイ探査・・・天守下部の地盤の S 波速度構造を把握し、盛土―地山などの地質構造の推定を行う。

②耐震診断 文化庁の対策にのっとり、以下の検討を実施

- ・孕み出し分析・・・孕み出し指数による孕み出しの分析。
- ・円弧すべり法・・・石垣を含む斜面全体のすべり安定性を評価する解析手法
- ・示力線法・・・石垣に作用する土圧及び地震時慣性力と、石垣自重の合力の作用点を線で結び、転倒に対する検討を視覚化したもの。

【診断結果】

石垣の孕み出しについては問題ないが、今はまだ耐震診断中。

孕み出し指数による孕み出し分析

1. 概要

変状が生じている部分のはらみ出し量の最大値(δ_{max})をはらみ出し範囲の高さで除した
指数『はらみ出し指数』により、地震時の崩落の危険性を判断する方法

2. 分析方法

(1) 算出式と検討事例

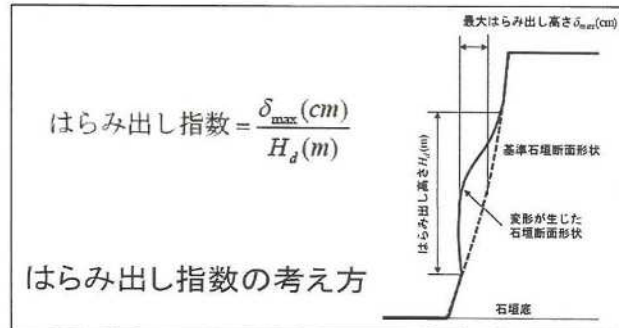
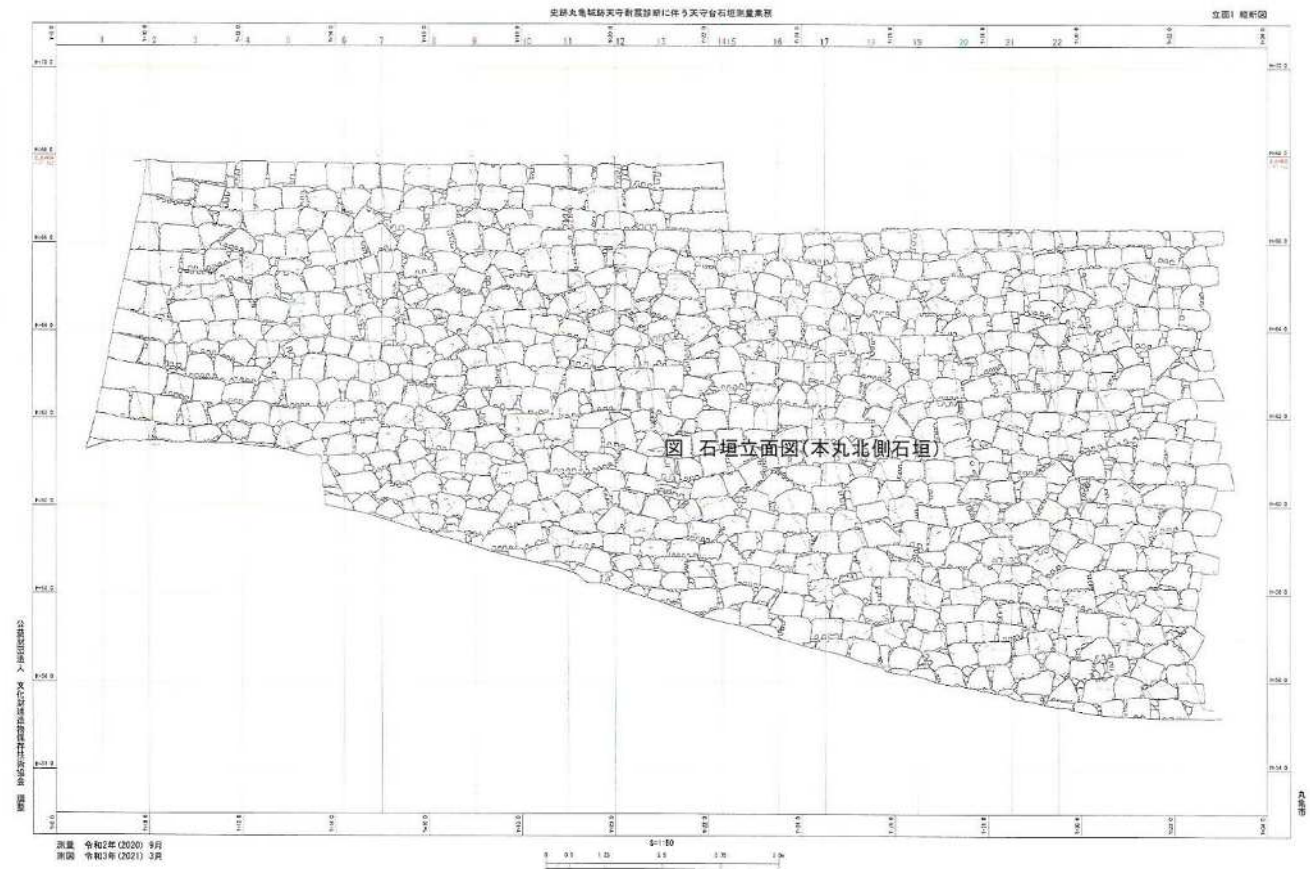


図 はらみ出し指数の算出

(2) 石垣断面図の作成

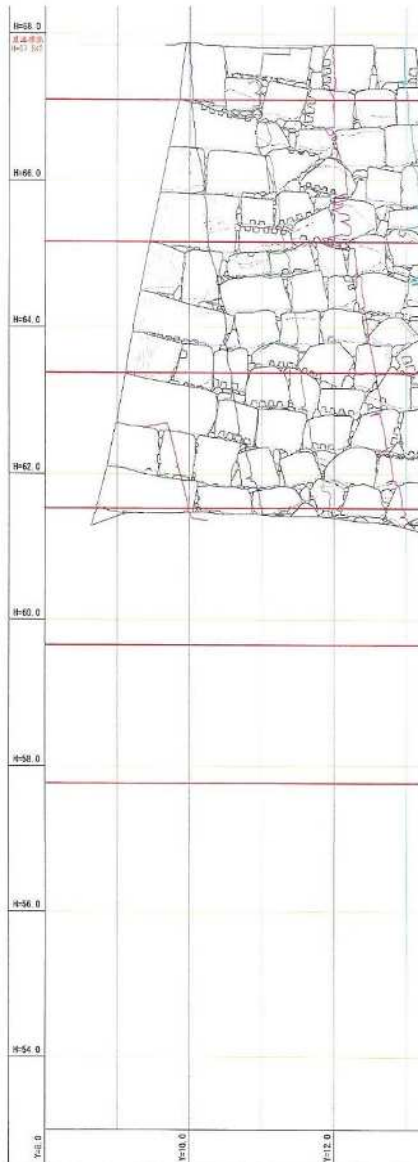
石垣の詳細な断面形状は、三次元地上レーザー計測により作成した。



(3) 判断基準

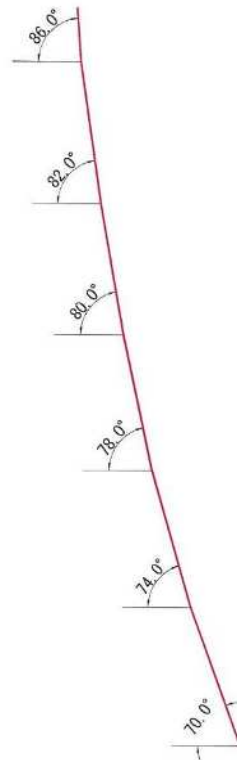
はらみ出し指数 6以上 : 地震時に崩落のおそれ有り ... 他の石垣検討事例を基に設定

● 立面図



● 標準石垣断面

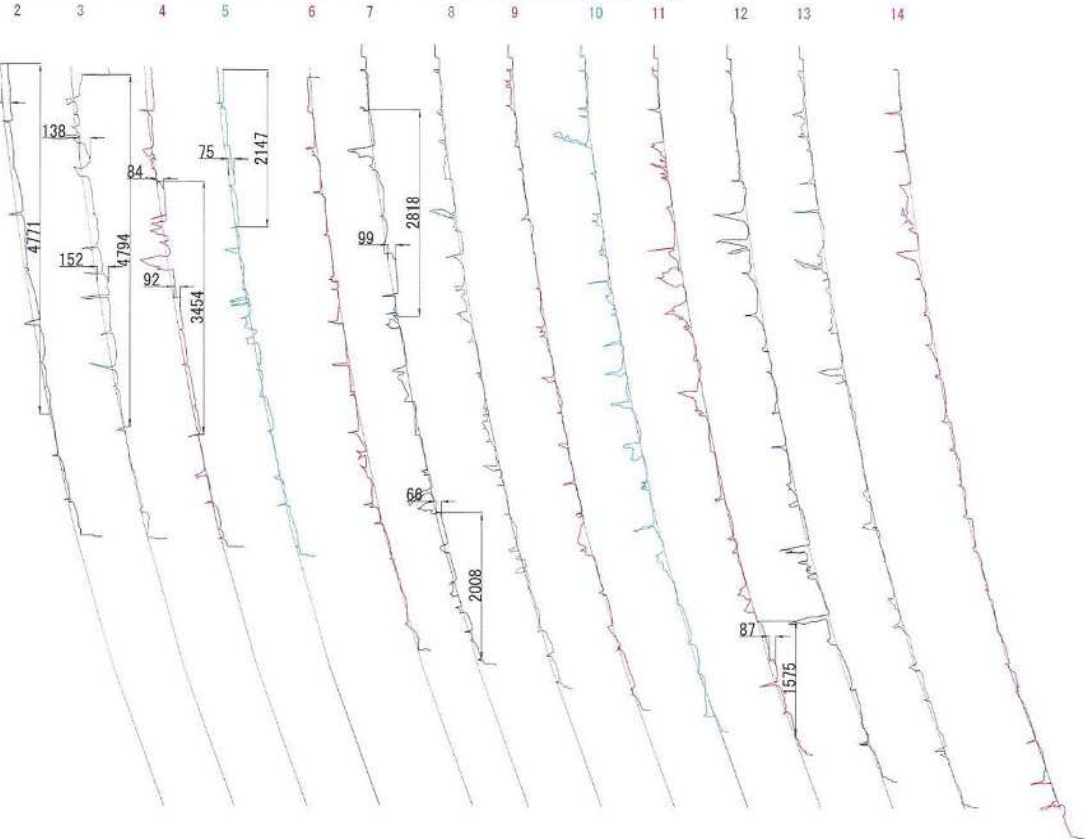
・算木積み3段分の高さで設定



はらみ出し分析 (天守部)

● 断面図重ね合わせ

・明確なはらみ出しが確認された断面について、はらみ出し指数を算出した。



※はらみだし量の旗揚げを「水平方向」に修正

表 はらみ出し指数

断面位置	記号	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
最大はらみ出し量	δ (cm)	11.9	15.2	9.2	7.5	無し	9.9	6.6	無し	無し	無し	8.7	無し	無し
はらみ出し高さ	Hd(m)	4.771	4.794	3.454	2.147	—	2.818	2.008	—	—	—	1.575	—	—
はらみ出し指数	δ / Hd	2.5	3.2	2.7	3.5	—	3.5	3.3	—	—	—	5.5	—	—
判断基準値	a	6.0	6.0	6.0	6.0	—	6.0	6.0	—	—	—	6.0	—	—
照査	$\delta / Hd < a$	OK	OK	OK	OK	—	OK	OK	—	—	—	OK	—	—

・断面2～5、7、11のはらみ出し指数は6未満となった。
 ・その他断面では、明確なはらみ出しは確認されなかった。

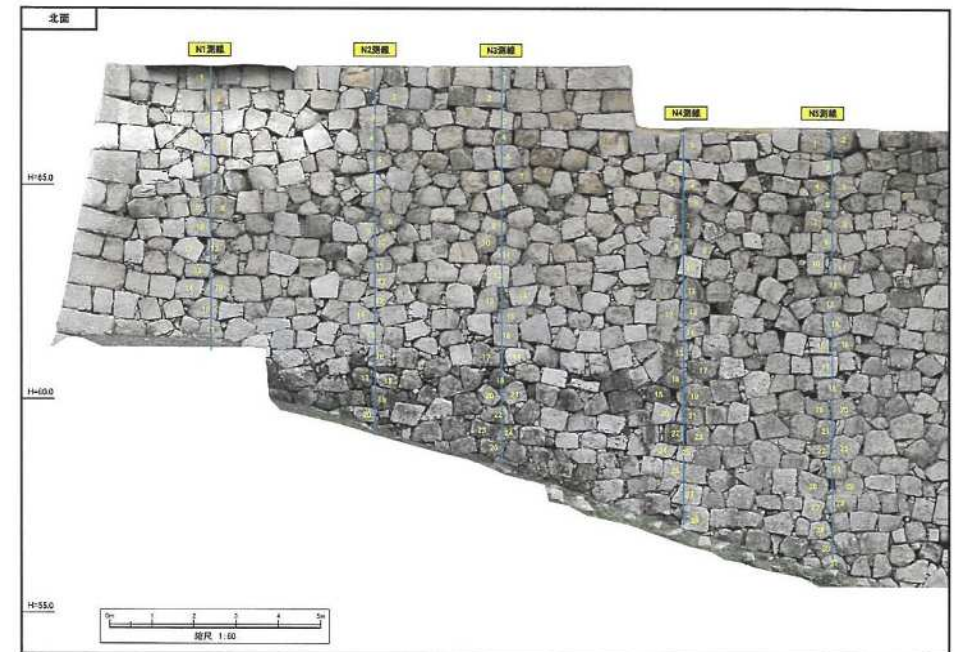
石垣レーダ探査

石垣レーダ探査による石垣控え長の測定結果

表 2-2 石垣控え長の測定結果・1 (北面)

N1 測線		N2 測線		N3 測線		N4 測線		N5 測線	
築石番号	控え長(cm)	築石番号	控え長(cm)	築石番号	控え長(cm)	築石番号	控え長(cm)	築石番号	控え長(cm)
N1-1	118	N2-1	114	N3-1	101	N4-1	108	N5-1	88
N1-2	114	N2-2	115	N3-2	102	N4-2	70	N5-2	124
N1-3	108	N2-3	105	N3-3	90	N4-3	99	N5-3	117
N1-4	92	N2-4	109	N3-4	82	N4-4	88	N5-4	89
N1-5	113	N2-5	117	N3-5	125	N4-5	95	N5-5	88
N1-6	88	N2-6	109	N3-6	98	N4-6	86	N5-6	117
N1-7	96	N2-7	88	N3-7	91	N4-7	102	N5-7	93
N1-8	101	N2-8	111	N3-8	87	N4-8	93	N5-8	77
N1-9	75	N2-9	109	N3-9	94	N4-9	95	N5-9	88
N1-10	105	N2-10	95	N3-10	83	N4-10	125	N5-10	109
N1-11	127	N2-11	91	N3-11	109	N4-11	109	N5-11	92
N1-12	146	N2-12	115	N3-12	109	N4-12	110	N5-12	115
N1-13	108	N2-13	120	N3-13	103	N4-13	107	N5-13	112
N1-14	114	N2-14	82	N3-14	108	N4-14	114	N5-14	92
N1-15	102	N2-15	121	N3-15	95	N4-15	112	N5-15	104
N1-16	98	N2-16	93	N3-16	107	N4-16	96	N5-16	95
N1-17	104	N2-17	128	N3-17	99	N4-17	84	N5-17	95
		N2-18	99	N3-18	111	N4-18	115	N5-18	105
		N2-19	119	N3-19	109	N4-19	114	N5-19	88
		N2-20	110	N3-20	80	N4-20	95	N5-20	116
				N3-21	88	N4-21	99	N5-21	91
				N3-22	102	N4-22	89	N5-22	90
				N3-23	86	N4-23	112	N5-23	114
				N3-24	90	N4-24	109	N5-24	91
				N3-25	87	N4-25	105	N5-25	107
						N4-26	92	N5-26	82
						N4-27	89	N5-27	104
						N4-28	85	N5-28	121
								N5-29	106
								N5-30	102
								N5-31	132
測線平均	106	測線平均	108	測線平均	97	測線平均	100	測線平均	101
北面の平均控え長 (cm)									103

※ 赤色箇所：控え長 100cm 未満の石材



参考図 石垣控え長測定の測定位置 (北面)

石垣アレイ探査

