

天守を有する91城の地震リスク評価

吉田 雅穂¹・市橋 有咲²

¹正会員 福井工業高等専門学校教授 環境都市工学科 (〒916-8507 福井県鯖江市下司町)

E-mail: masaho@fukui-nct.ac.jp

²非会員 (独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構大阪支社越前鉄道建設所
(〒915-0061 福井県越前市堀川町10番30号)

E-mail: Ichihashi.ari-fa2z@jrtt.go.jp

城址は文化遺産として重要な価値を持っているが、古い歴史的建造物であるため自然災害に対しては脆弱で度々損傷し、地域の人々はそれを保存し活用するために定期的な修理と修復を繰り返してきた。特に文化財に指定されている場合、古くから伝わる伝統的な材料や工法で建造することが求められるため、地震のように大きな外力に対する耐久性に問題のある場合が多い。本研究では我が国の天守を有する 91 城を対象に、天守や石垣の地震リスクを明らかにすることを目的として、収集した資料を基に統計分析を行った。過去の地震被害事例を調査した結果、震度 5 強以上で天守または石垣に被害が生じることを明らかにした。また、今後の地震動予測結果を用いて地震リスクの高い城を抽出した。

Key Words : castle tower, stone wall, earthquake, risk evaluation

1. はじめに

我が国に存在する城址は 5 万箇所近くあるが、そのほとんどが中世の天守も石垣もない山城が主である。近世以降、石垣や水堀、天守のある城下町が増加したが、江戸の一国一城令や明治の廃城令、さらに自然災害によってその多くが失われた。昭和になり各地で城の復元や復興が行われたが、現在、天守が存在するのはわずか 91 城¹⁾であり、江戸以前からその姿を残す現存天守は 12 城しかない。

これら城址は文化遺産として重要な価値を持っているが、古い歴史的建造物であるため自然災害に対しては脆弱で度々損傷し、地域の人々はそれを保存し活用するために定期的な修理と修復を繰り返してきた。近年の事例として、2016 年熊本地震では熊本城内の重要文化財建造物 13 棟全てが被災した。天守は鉄筋コンクリート構造であったため建物自体の損傷は少なかったが、最上階の瓦はほとんどが落ちて損傷した。特に石垣の被害は甚大であり、全面積のうち築石が崩落したのは約 1 割、緩みや膨らみのため積み直しを要するのは約 3 割であった。また、福井県の丸岡城は図-1 に示すように 1948 年福井地震で天守と石垣が崩壊し、当時は国宝に指定されていたが災害によって文化的価値を失う危機に直面した²⁾。

近年、大地震、台風や集中豪雨・土砂災害、豪雪、火山噴火などの自然災害が頻発・激甚化している。また、



(a) 天守



(b) 石垣

図-1 福井地震で崩壊した丸岡城

地震災害後の風水害のように複数の災害が連動して発生する複合災害も通常化してきた。そのため、従来型の防

表-1 91城の各種情報

天守分類	No.	No.	城名	所在地	築城年	再建年	石垣構造		天守構造	文化財の指定
現存天守	1	101	犬山城	愛知県	1537		乱積	野面積	木造	国宝
	2	102	丸岡城	福井県	1624	1955	乱積	野面積	木造	重要文化財
	3	103	松本城	長野県	1594		乱積	野面積	木造	国宝
	4	104	丸亀城	香川県	1597	1660	布積	打込接	木造	重要文化財
	5	105	宇和島城	愛媛県	1601	1671	布積	切込接	木造	重要文化財
	6	106	高知城	高知県	1603	1749	乱積	野面積	木造	重要文化財
	7	107	松山城	愛媛県	1603	1854	乱積	打込接	木造	重要文化財
	8	108	姫路城	兵庫県	1609		乱積	打込接	木造	世界遺産, 国宝, 重要文化財
	9	109	松江城	島根県	1611		乱積	打込接	木造	国宝, 重要文化財
	10	110	弘前城	青森県	1611	1628	乱積	打込接	木造	重要文化財
	11	111	彦根城	滋賀県	1624		乱積	野面積	木造	国宝, 重要文化財
	12	112	備前松山城	岡山県	1683		乱積	野面積	木造	重要文化財
復元天守	13	201	大洲城	愛媛県	1331	2004	乱積	打込接	木造	重要文化財
	14	202	会津若松城	福島県	1384	1965	乱積	野面積	RC造	国史跡
	15	203	福知山城	京都府	1579	1986	乱積	野面積	RC造	市史跡
	16	204	大垣城	岐阜県	1583	1959	乱積	野面積	RC造	なし
	17	205	和歌山城	和歌山県	1585	1958	乱積	野面積	RC造	重要文化財
	18	206	広島城	広島県	1589	1958	乱積	打込接	SRC造	国史跡
	19	207	掛川城	静岡県	1590	1994	布積	打込接	木造	重要文化財
	20	208	白石城	宮城県	1591	1995	乱積	野面積	木造	市史跡
	21	209	岡山城	岡山県	1597	1966	乱積	打込接	RC造	重要文化財, 国史跡
	22	210	新発田城	新潟県	1598	2004	布積	切込接	木造	重要文化財
	23	211	熊本城	熊本県	1607	1960	布積	切込接	RC造	重要文化財, 国史跡
	24	212	名古屋城	愛知県	1615	1959	乱積	切込接	SRC造	重要文化財
	25	213	白河小峰城	福島県	1629	1991	乱積	切込接	木造	国史跡
	26	214	松前城	北海道	1849	1961	布積	切込接	RC造	重要文化財
復興天守	27	301	岐阜城	岐阜県	1201	1956	乱積	野面積	RC造	国史跡
	28	302	岡崎城	愛知県	1455	1959	乱積	野面積	RC造	市史跡
	29	303	忍城	埼玉県	1490	1988	布積	切込接	RC造	なし
	30	304	岩国城	山口県	1569	1962	乱積	野面積	RC造	なし
	31	305	越前大野城	福井県	1580	1968	乱積	野面積	RC造	なし
	32	306	大坂城	大阪府	1583	1931	布積	切込接	SRC造	重要文化財, 国史跡
	33	307	岸和田城	大阪府	1585	1954	乱積	野面積	SRC造	県史跡
	34	308	小田原城	神奈川県	1591	1960	布積	打込接	RC造	国史跡
	35	309	高島城	長野県	1592	1970	乱積	野面積	RC造	なし
	36	310	小倉城	福岡県	1608	1959	乱積	野面積	RC造	なし
	37	311	高田城	新潟県	1614	1993	石垣なし	石垣なし	S造	県史跡
	38	312	島原城	長崎県	1618	1964	乱積	野面積	RC造	市史跡
	39	313	福山城	広島県	1622	1959	布積	打込接	RC造	重要文化財, 国史跡
模擬天守	40	401	湯浅城	和歌山県	1143	不明	石垣なし	石垣なし	RC造	なし
	41	402	常盤城	福島県	1274	1968	布積	切込接	RC造	なし
	42	403	綾城	宮崎県	1331	1985	乱積	打込接	木造	市史跡
	43	404	月山日和城	宮崎県	1333	1992	布積	打込接	RC造	市史跡
	44	405	川之江城	愛媛県	1337	1986	乱積	打込接	RC造	市史跡
	45	406	旭城	愛知県	1361	1977	乱積	切込接	RC造	なし
	46	407	羽衣石城	鳥取県	1366	1931	不明	不明	S造	県史跡
	47	408	杵築城	大分県	1394	1970	乱積	切込接	RC造	県史跡
	48	409	清洲城	愛知県	1405	1989	乱積	打込接	RC造	なし
	49	410	騎西城	埼玉県	1455	1975	乱積	切込接	RC造	なし
	50	411	関宿城	千葉県	1457	1995	乱積	切込接	RC造	なし
	51	412	江美城	鳥取県	1484	1979	乱積	打込接	RC造	市史跡
	52	413	吉田城	愛知県	1505	1954	乱積	野面積	RC造	なし
	53	414	大多喜城	千葉県	1521	1975	乱積	切込接	RC造	県史跡
	54	415	洲本城	兵庫県	1526	1929	乱積	野面積	RC造	国史跡
	55	416	富山城	富山県	1532	1954	布積	打込接	RC造	なし
	56	417	上山城	山形県	1535	1982	乱積	切込接	RC造	市史跡
	57	418	久留里城	千葉県	1538	1979	布積	切込接	RC造	なし
	58	419	岩崎城	愛知県	1538	1987	乱積	切込接	RC造	なし
	59	420	天神山城	埼玉県	1546	1970	石垣なし	石垣なし	RC造	なし
	60	421	横手城	秋田県	1555	1965	布積	切込接	RC造	なし
	61	422	竜泉寺城	愛知県	1556	1964	乱積	打込接	RC造	重要文化財
	62	423	三戸城	青森県	1558	1967	乱積	野面積	RC造	なし
	63	424	群上八幡城	岐阜県	1559	1933	乱積	野面積	木造	県史跡
	64	425	小牧山城	愛知県	1563	1968	乱積	切込接	RC造	なし
	65	426	神岡城	岐阜県	1564	1970	乱積	野面積	木造	市史跡
	66	427	墨俣城	岐阜県	1566	1991	布積	切込接	RC造	市史跡
	67	428	浜松城	静岡県	1570	1958	乱積	野面積	RC造	市史跡
	68	429	小山城	静岡県	1571	1987	布積	切込接	RC造	なし
	69	430	川島城	徳島県	1572	1981	布積	切込接	RC造	市史跡
	70	431	長浜城	滋賀県	1574	1983	乱積	野面積	RC造	市史跡
	71	432	逆井城	茨城県	1577	昭和末期	石垣なし	石垣なし	RC造	県史跡
	72	433	伊賀上野城	三重県	1585	1935	布積	打込接	木造	国史跡
	73	434	撫養城	徳島県	1585	1964	乱積	切込接	RC造	市史跡
	74	435	中津城	大分県	1588	1964	乱積	打込接	RC造	なし
	75	436	館山城	千葉県	1590	1982	乱積	打込接	RC造	市史跡
	76	437	伏見桃山城	京都府	1592	1964	布積	切込接	RC造	なし
	77	438	平戸城	長崎県	1599	1962	乱積	野面積	RC造	なし
	78	439	小倉山城	岐阜県	1601	1986	乱積	野面積	RC造	市史跡
	79	440	今治城	愛媛県	1602	1980	乱積	打込接	RC造	県史跡
	80	441	久保田城	秋田県	1603	1989	石垣なし	石垣なし	RC造	なし
	81	442	天ヶ城	宮崎県	1605	1993	乱積	切込接	RC造	なし
	82	443	唐津城	佐賀県	1613	1966	乱積	打込接	RC造	なし
	83	444	中村城	高知県	1615	1973	布積	切込接	RC造	なし
	84	445	因島水軍城	広島県	1983	1983	布積	切込接	RC造	なし
	85	446	稲庭城	秋田県	鎌倉時代	1988	乱積	打込接	RC造	なし
	86	447	蒲谷城	宮城県	不明	不明	布積	切込接	RC造	なし
	87	448	五城目城	秋田県	不明	1984	乱積	切込接	RC造	なし
	88	449	山方城	茨城県	不明	1987	布積	切込接	不明	なし
	89	450	茶臼山城	岡山県	不明	1988	布積	切込接	RC造	なし
	90	451	一郷山城	群馬県	不明	1983	布積	切込接	RC造	なし
	91	452	日和佐城	徳島県	室町時代	1978	乱積	打込接	RC造	なし

	野面積 (16世紀中期～)	打込接 (16世紀後期～)	切込接 (17世紀初期～)
	自然石を加工せずに積み、石材は丸みを帯びたものが多いため、石同士の間隙が大きくなる。	自然石をある程度加工して積み、石材は角張ったものが多くなり、石同士の間隙が減る。	自然石や切石を徹底的に加工して積み、石材は直線的な辺を持つ多角形となり、間隙は完全になくなる。
布積	石材の高さをある程度揃え、横目地を通す積み方。石材の加工に手間がかかるが、積み上げに技術が必要としない。		
乱積	不規則な形状の石材を用い、横目地を通さない積み方。石材同士のバランスを取るのが難しく、積み上げに高い技術を要する。		

図-2 石垣の分類

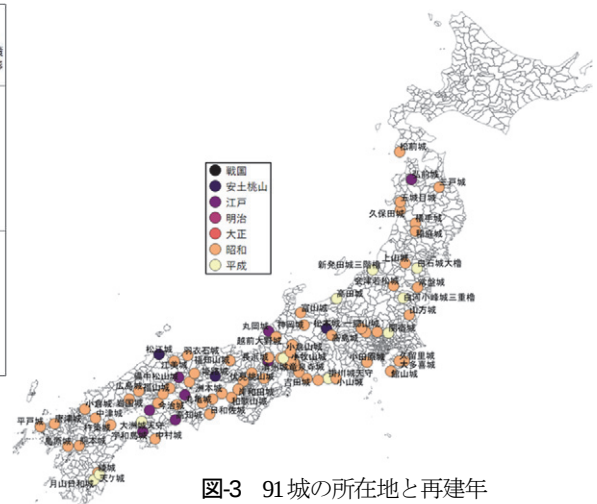


図-3 91城の所在地と再建年

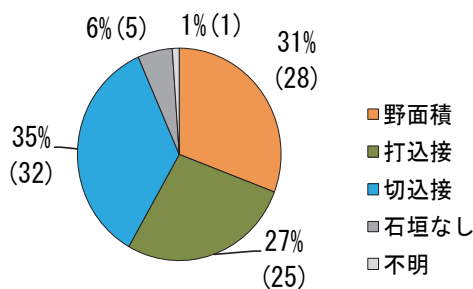


図-4 石の加工程度

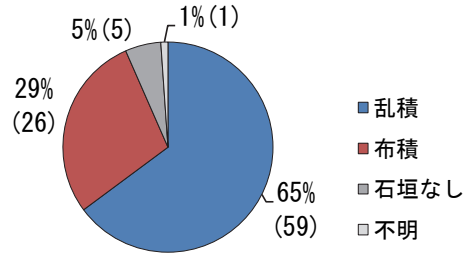


図-5 石の積み方

防災対策では貴重な文化財建造物の歴史的価値や、地域のランドマークとしての観光資源を末永く保存することが困難になっている。また、被災した城を復元する場合、再び文化財指定を受けるためには築城当時の工法や材料で再建しなければならず莫大なコストと時間がかかるため、その耐災害性を高めることが求められている。

そこで本研究では、天守を有する 91 城を対象とし、収集資料を基に天守と石垣の地震リスクを評価して、将来の地震で損傷する可能性の高い城を抽出することを試みた。収集資料は、城の建設年や構造種別、既往地震における城と石垣の被害、城の所在地における地震ハザード等であり、これらを GIS を用いて統計分析した。

2. 対象とした城の概要

(1) 城のデータベースの作成

本研究で対象とするのは天守が存在する城であり、天守台となる石垣がないものも含めて 91 城である。表-1 に城の分類、所在地、築城年、再建年、石垣の構造、天守の構造、文化財指定の有無を示す。城の分類は現存天守（在城当時から屋外で保存され現在も存在）、復元天守（資料を基に当時の外観を復元）、復興天守（過去に存在した天守を想像して建設）、模擬天守（過去の天守の存在は不明だが想像して建設）の 4 つとした。天守の

築城年、再建年、構造、文化財指定の有無は管理団体のホームページを参照し、ホームページが存在しない場合は、文献³⁴⁾を参照した。築城年が資料で異なる場合には、最も古い年を採用した。

石垣の種類は天守台の石垣を図-2 のように 6 種類に分類した⁶⁾。石の加工程度により野面積、打込接、切込接に分類され、さらに、石の積み方で布積と乱積とに分類される。材料と施工法に関する特徴は同図に示すとおりであるが、強度に関しては、切込接は整形した石が密着して隙間がないため排水性に問題があり、布積は横方向の目地が通るためせん断強度に問題がある特徴を有する。

(2) 城の特徴

図-3 に 91 城の所在地と再建年を示す。北は北海道松前町から南は宮崎県都城市まで計 39 道府県に分布しているが、西日本、特に東海から近畿、中国、四国地方に多く分布する。再建年の最も古い城は 1537 年で愛知県の犬山城、最も新しい城は 2004 年で愛媛県の大洲城と新潟県の新発田城である。特に昭和の 1950～1970 年代、戦後復興から高度経済成長期に街のシンボルとして全国各地で約半数となる 41 城の天守が再建された。

図-4 に示す石の加工程度の割合（百分率）と該当する城の数（括弧内の数）を見ると、3 つの加工方法の割合はほぼ同じである。方法の選択は石の種類や採石方法、あるいは当時の経済状況が影響するため、城の地域性や

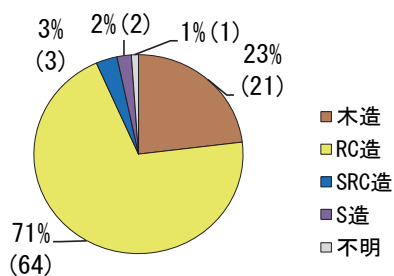


図-6 天守の構造

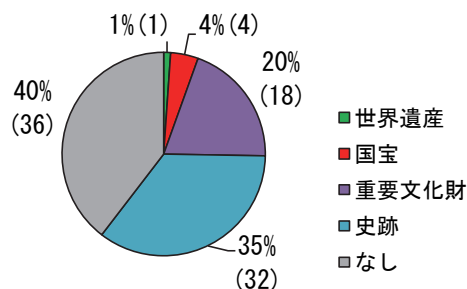


図-7 天守の文化財指定

表-2 石垣と天守の被害ランク

被害ランク	1	2	3	4
石垣	所々, 多少, 孕み, 狂い	破損, 崩れ	多し	悉く, 残らず, 大破
天守	所々, 瓦落ち, ひび割れ	破損, 傾き, 崩れ, 潰れ	多し	悉く, 全壊, 大破

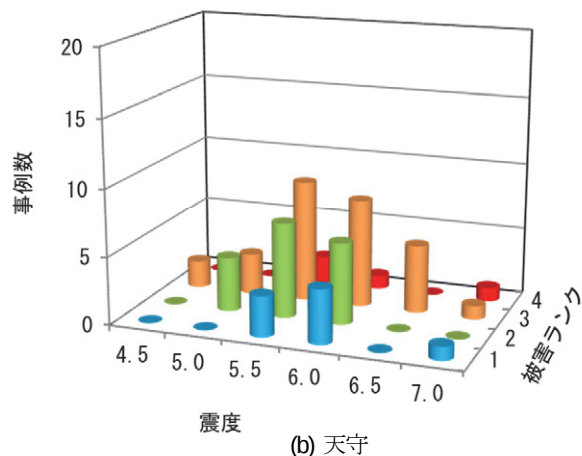
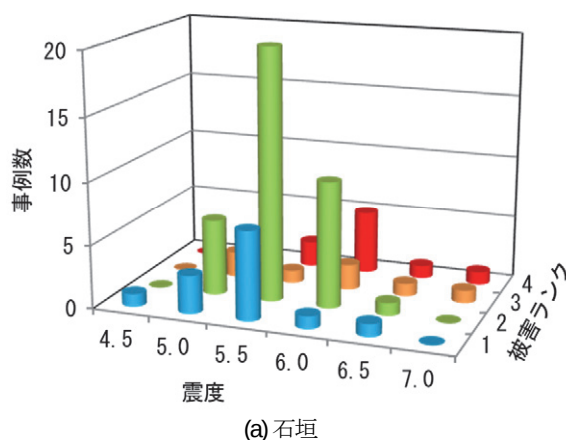


図-8 震度と被害ランクの関係

当時の世相が反映された結果と考えられる。図-5に示す石の積み方については乱積が65%と最も多い。

天守の構造は図-6に示すようにRC造が71%と最も多い。前述のように多くの天守が戦後に再建されたが1950年に施工された建築基準法により木造の高層建築が規制されていたため、RC造やSRC造で建造せざるを得なかった。また、図-7より天守の60%が文化財指定を受けており、地震災害から守る重要性が高いと言える。

3. 既往地震における城の被害

文献やインターネットの情報⁸⁹⁾¹⁰⁾より、既往地震における城の被害のうち震度が記載されている事例を収集した。古くは1611年9月27日に福島県で発生したM6.9の地震における若松城の被害、新しくは2016年熊本地震の熊本城と八代城の被害まで計27地震より91事例を得た。

まず、資料より石垣および天守と櫓の被害を示す記述

を抜き出し、被害程度の表現が軽微なものをランク1、程度の大小を示す表現のないものをランク2、程度が多いものをランク3、程度が甚大なものをランク4とし、表-2のように4段階に分類した。また、震度については例えば5~6と記載されている場合は中央値の5.5、5強の場合は最小値の5.0として扱った。図-8は震度と被害ランクの関係である。収集資料の数が少なく、古文書に基づくデータであるため精度の不確かさはあるが、石垣と天守はいずれも震度5.0で被害が生じ始め、震度5.5を超えるとランクの大きい被害の割合が増加する傾向を示した。よって、次章の地震リスク評価では震度5強と震度6弱を閾値として用いる。

4. 城の地震リスク評価

(1) 概説

第2章で作成した城の各種情報のデータベース、第3

章で検討した震度と被害との関係、そして、地震ハザードステーション J-SHIS で公開されている防災科学技術研究所で算出された確率論的地震動予測の結果¹¹⁾を用いて 91 城の地震リスクを評価する。

(2) 地震ハザード

図-9 は確率論的地震動予測地図（2019 年、全ての地震、平均ケース）において今後 50 年以内に震度 6 弱以上になる確率が 2%、5%、10%、39%となる城を色分けして表示したものである。再現期間 101 年に相当する赤色の超過確率 39%に着目すると、41%となる 37 城が該当し、プレート境界型地震の影響を受ける太平洋側に多く分布している。一方、石垣または天守に何らかの被害が生じる可能性がある震度 5 強以上の場合、69%となる 63 城が該当した。また、崩壊や倒壊等の甚大な被害が発生する可能性がある震度 6 強以上の場合は、高知城、掛川城、岡崎城、高島城、吉田城、浜松城、小山城、中村城の 8 城が該当した。

(3) 地震リスク

91 城の所在地において、今後 50 年以内に 39%の確率で見舞われる震度と同地点の揺れやすさを示す表層地盤増幅率¹¹⁾を用いて、各城の地震リスクを評価した。震度は 5 弱以下を 1、5 強を 2、6 弱以上を 3 とする 3 段階でランク分けし、表層地盤増幅率は 1.4 未満を 1、1.4 以上 2.0 未満を 2、2.0 以上を 3 とランク分けした¹²⁾。

図-10 と図-11 に評価結果を示す。震度に関するランク 1 は 28 城、ランク 2 は 26 城、ランク 3 は 37 城であり、表層地盤増幅率に関してはランク 1 が 67 城、ランク 2 が 19 城、ランク 3 が 5 城であった。ここで、両指標共にランク 3 となるのは大垣城、岡崎城、騎西城、墨俣城、館山城の 5 城であり、これらの城は昭和期に再建された RC 造ではあるが、想定される地震は震度 6 弱以上であり、表層地盤増幅率が 2 を上回るため被災する可能性は低くない。また、木造である現存天守 12 城のうち 5 城が震度のランクが 3 であり、そのうち表層地盤増幅率がランク 2 となる高知城と彦根城が特に地震リスクの高い城と判断できる。

5. おわりに

本研究は、我が国の天守を有する 91 城を対象とし、城の建設年や構造種別、既往地震における城と石垣の被害、城の所在地における地震ハザード等の収集資料を用いて今後の地震リスクを評価した。その結果を以下に示す。

1) 91 城は北海道から宮崎県まで計 39 都道府県に分布す

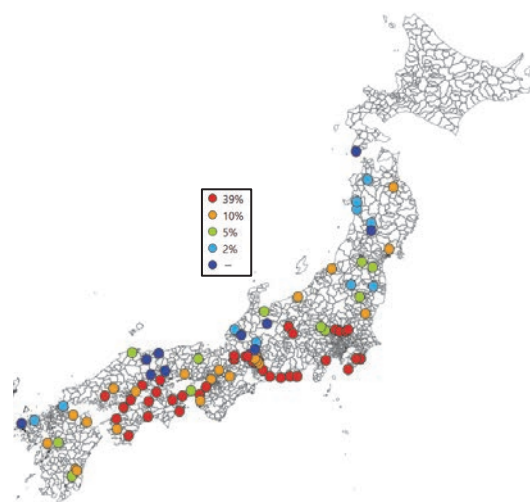


図-9 今後 50 年以内に震度 6 弱以上となる確率

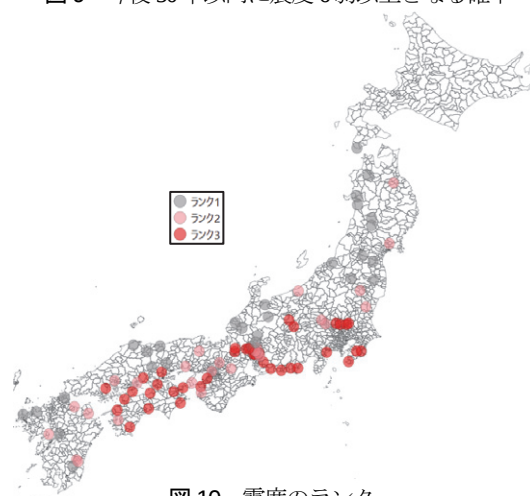


図-10 震度のランク

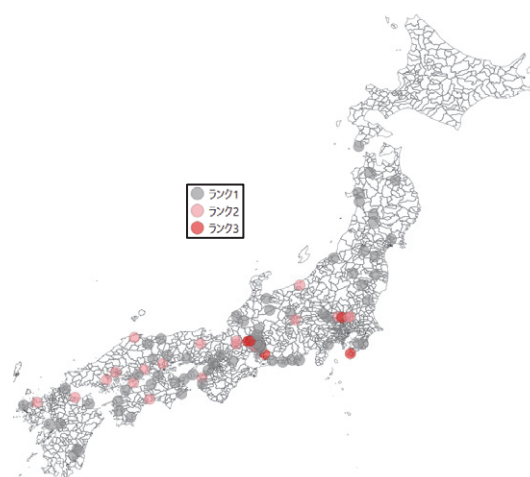


図-11 表層地盤増幅率のランク

るが、江戸以前からその姿を残す現存天守は 12 城しかなく、約半数が昭和の戦後復興から高度経済成長期に街のシンボルとして再建された城である。

2) 石垣の石の加工程度は野面積、打込接、切込接でほぼ同じ割合であり、積み方は乱積が布積より多い。

天守の構造はRC造が71%と最も多く、60%が文化財指定を受けており、地震災害から守る重要性が高い。

- 3) 既往地震における石垣と天守の被害は、震度 5 強で生じ始め、震度 6 弱を超えると被害程度が大きくなる。
- 4) 今後 50 年以内に震度 6 弱以上となる確率が 39%となるのは 37 城が該当し、太平洋側に多く分布している。甚大な被害が発生する可能性がある震度 6 強以上の場合は、高知城、掛川城、岡崎城、高島城、吉田城、浜松城、小山城、中村城の 8 城が該当する。
- 5) 城の地震リスクを震度と表層地盤増幅率で評価した結果、RC 造ではあるが、大垣城、岡崎城、騎西城、墨俣城、館山城のリスクが高く、木造である現存天守では高知城と彦根城が特にリスクが高いことを明らかにした。

謝辞：資料整理では福井工業高等専門学校元学生の立壁涼虎氏の協力を得た。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 攻城団ブログ：天守の分類(現存天守、復元天守、復興天守、模擬天守の数), <https://blog.kojodan.jp/entry/2019/02/25/191515> (2019 年 7 月 8 日閲覧)
- 2) 重要文化財丸岡城天守修理委員会：重要文化財丸岡

城天守修理工事報告書, 37p., 1955.

- 3) 小和田哲男, 岡田輝雄, 小和田泰経, 菅井靖雄, 外川淳, 三島正之：ビジュアル・ワイド日本の城, 小学館, 255p., 2009.
- 4) 大野信長, 有沢重雄, 加唐重紀：ビジュアル百科日本の城 1000 城 1 冊でまるわかり!, 西東社, 287p., 2016.
- 5) 三浦正幸：ビジュアル日本史 1000 城, 世界文化社, 287p., 2012.
- 6) 堀口健式, 本間朋樹, 本間智恵子, 余湖浩一, 三宅勝, 齊藤文夫, 尾形竜一：石垣の城を極める! 廃城をゆく 6, イカロス出版, p.98, 2018.
- 7) 三浦正幸：城のつくり方図典改定新版, pp.46-59, 小学館, 2017.
- 8) 宇佐美龍夫：新編日本被害地震総覧[増補改訂版], 493p., 東京大学出版会, 1996.
- 9) 宇津徳治, 嶋悦三, 吉井 敏尅, 山科健一郎：地震の辞典第 2 版, 657p., 2011.
- 10) 内閣府防災情報のページ：報告書(1707 宝永地震)第 5 章城郭被害図に見る宝永地震, http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyokun/kyoukunnokeishou/rep/1707_houei-jishin/pdf/09_chap05.pdf (2019 年 7 月 8 日閲覧)
- 11) 地震ハザードステーション J-SHIS：確率論的地震動予測地図, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/map/JSHIS2/download.html?lang=jp> (2019 年 7 月 8 日閲覧)
- 12) 地震ハザードステーション J-SHIS：地震ハザードカルテの見方, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/karte-manual> (2019 年 7 月 8 日閲覧)

SEISMIC RISK EVALUATION OF NINETY-ONE CASTLES

Masaho YOSHIDA and Arisa ICHIHASHI

Castle towers and stone walls in Japan are vulnerable against earthquake because they were built by using historical materials and construction method. Especially, it is necessary to leave castles which were designated as the cultural property to posterity. Statistics analysis was conducted to investigate the seismic risk of ninety-one castles. As a result, it was clarified that castle towers and stone walls were damaged due to earthquakes with a seismic intensity of an upper 5 or greater. Furthermore, an evaluation method of seismic risk of the castle based on the structure of castle towers and stone walls was proposed.