（２）　天守閣の基礎的な耐震診断報告

【資料２】天守閣の基礎的な耐震診断報告

【資料２】
天守閣の基礎的な耐震診断報告

■調査の概要

○調査目的　　①目視による亀裂等劣化調査
②コンクリート強度調査及び中性化深さ測定及び平成元年調査結果との比較
③来年度実施する耐震診断及び改修計画に必要な基礎情報

上記項目は、次年度以降に実施予定である本格的な耐震診断に資するための準備的な調査として位置づけ。

○調査期間及び調査者

調査期間　：平成 23 年 12 月 7 日（水)、8 日（木）

調査者　　：株式会社 文化財保存計画協会
東京都千代田区一ツ橋 2-5-5 岩波書店一ツ橋ビル
TEL 03-5276-8200 FAX 03-5276-8201
調査協力者：株式会社 太平洋コンサルタント
千葉県佐倉市大作 2-4-2
TEL 043-498-3911 FAX 043-498-3919

○調査内容　　①目視調査　：　目視可能範囲のコンクリート面
②コンクリート強度調査（反発度法）　：　柱（3 ヶ所)、梁（5 ヶ所）
③コンクリート強度調査（コア法）　：　梁（1 ヶ所)、壁（4 ヶ所）
④中性化深さ測定　：　同上

○調査結果

目視調査の結果、多数のひび割れや柱及び梁のジャンカが確認され、今後耐久性の維持のために補修等が必要とみられる。

コンクリート強度調査では、反発度の良好な結果に対し、コア破壊による圧縮強度の結果、５ヶ所の内、４ヶ所で設計基準強度を下回っていた。中性化深さは、平成元年に比べて同程度の部位と、大きく進んだ部位が確認された。なお、外壁における調査では、全面的な中性化が認められた。

天守閣の耐震性判断のためには、今後精密な調査を行った上で、より正確な強度結果が求められる。

（１）調査方法、位置

表 1-1　調査方法

調査項目	方法	位置・数量
①目視調査		
	コンクリート面に発生しているひび割れおよびその他の損傷についてその状況を目視可能範囲で確認した。確認された代表的な損傷等の写真撮影を行い、位置を図面に記録した。	・室内：地下１階から４階までの目視可能範囲のコンクリート面 ・屋外：１階入り口及び４階外壁等
②コンクリート強度調査（反発度法）		
	コンクリート強度を反発度法(シュミットハンマ法)により推定した。反発度法はコンクリートの表面硬度から圧縮強度を推定する非破壊試験法である。調査方法は、JIS A 1155「コンクリートの反発度の測定方法」に準拠し、シュミットハンマーNR 型を用いて反発度を測定した。測定点数は 9 点とし、平均値から±20%を外れた値を除外した測定値の平均を測定箇所の反発度とした。反発度から圧縮強度を求める推定式を用いて、コンクリート強度を推定し、設計基準強度および平成元年時の推定強度と比較した。	柱（3 ヶ所）、梁（5 ヶ所） ・平成元年調査結果との比較のため、２階の梁、中４階の梁と柱、４階の梁と柱では平成元年と同部材で実施した。 ・平成元年実施しなかった１階で、新たに柱で反発度を測定した。
③コンクリート強度調査（コア法）		
	鉄筋探査器により鉄筋を避けた位置でコアドリルを使用して、φ83mm 程度のコアを採取した。圧縮強度試験は、JIS A 1107「コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法」に準拠し、社団法人 建築研究振興協会で実施した。実施した圧縮強度の結果と設計基準強度および平成元年時の圧縮強度を比較した。また、採取したコアの寸法およびコア表面の状況等を観察した。	梁（1 ヶ所）、壁（4 ヶ所） ・平成元年調査結果との比較のため、以前コア抜きを実施した３ヶ所すべてに対して同部材に実施した。 ・平成元年実施しなかった外壁に対して、コア法による強度調査を実施した。 ・地下１階の同一梁で、反発度法とコア法の両方による調査を実施した。
④中性化深さ測定		
	中性化深さ測定は、JIS A 1152「コンクリートの中性化深さ測定方法」に準拠して行った。測定は、圧縮強度試験後のコアを割裂し、割裂面に 1%フェノールフタレイン溶液を噴霧してコンクリート表面から赤褐色に呈色した部分までの距離を 5 点測定し、それらを中性化深さとした。また、測定した中性化深さと平成元年時の中性化深さを比較した。なお、中性化深さの測定は社団法人 建築研究振興協会で実施した。	同上

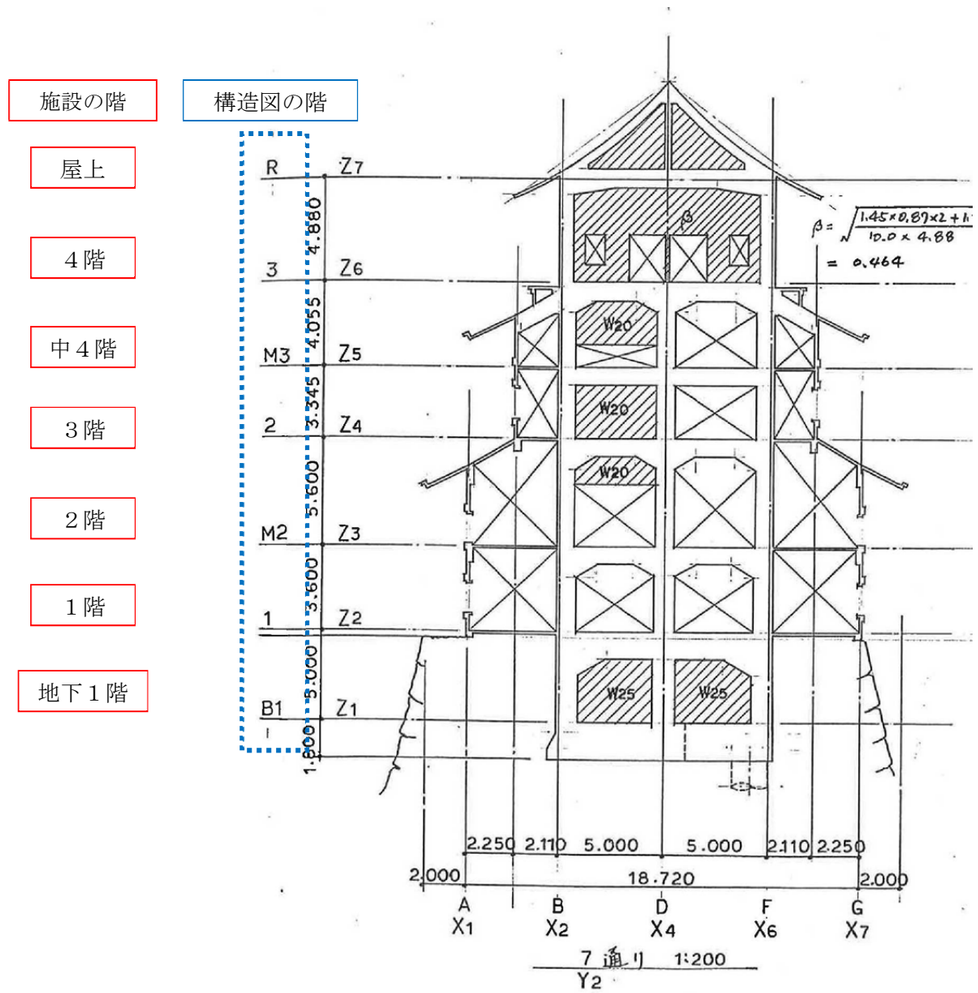
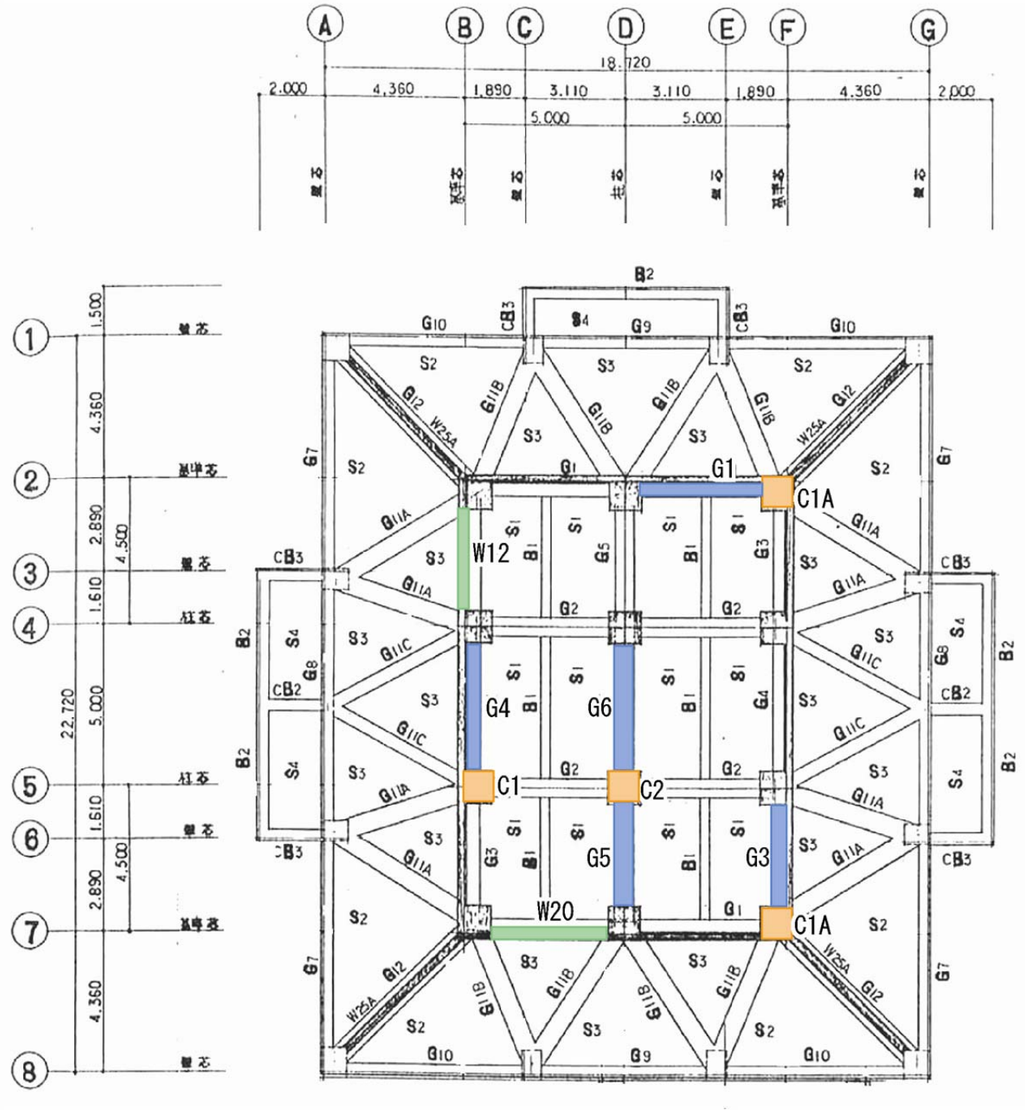


表 1-2　強度調査実施箇所

部材		強度		中性化	実施内容
		コア法	反発度法		
4 階	梁 G1		1 ヶ所		反発度法：2 ヶ所
	柱 C1A		1 ヶ所		
中 4 階	梁 G3		1 ヶ所		コア・中性化：1 ヶ所 反発：2 ヶ所
	柱 C1A		1 ヶ所		
	壁W20	1 ヶ所		1 ヶ所	
3 階	壁W20	1 ヶ所		1 ヶ所	コア・中性化：2 ヶ所
2 階	梁 G4		1 ヶ所		コア・中性化：2 ヶ所 反発度法：2 ヶ所
	柱 C1		1 ヶ所		
	壁W20	1 ヶ所		1 ヶ所	
1 階	柱C2		1 ヶ所		コア・中性化：1 ヶ所 反発度法：2 ヶ所
	壁W12	1 ヶ所		1 ヶ所	
地下 1 階	梁 G5	1 ヶ所	1 ヶ所	1 ヶ所	コア・中性化：2 ヶ所 反発度法：2 ヶ所
計		5 ヶ所	8 ヶ所	5 ヶ所	コア・中性化：5 ヶ所 反発度法：8 ヶ所

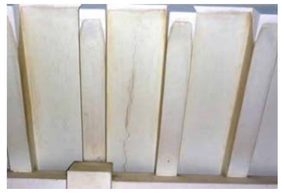
（　　：平成元年調査実施箇所）



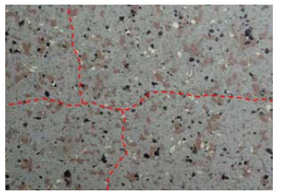
（３）目視調査の結果

位置		コメント
４階	梁	点検口から確認した範囲の梁で、ジャンカが確認された。【写真】 点検口から確認した範囲の梁でかぶり厚さの不足が原因と思われる鉄筋露出が顕著な箇所が認められた。【写真】
	柱	化粧合板により仕上げられていたため、ひび割れなどの確認は出来なかった
	壁	ほとんどの壁は、化粧合板により仕上げられていたため、ひび割れなどの確認は出来なかった 外壁面では、開口部ひび割れが確認された。【写真】
	外壁	軒先では、鉄筋に沿ったと思われるひび割れが確認された。【写真】 軒先では、鉄筋露出や剥落が懸念されるような剥離が多数認められた。【写真】 軒先では、雨水による汚れなども確認された。【写真】
中４階	梁	点検口から確認した範囲の梁で、ジャンカが顕著な箇所が認められ、鉄筋が露出している箇所および砂すじなどが確認された。【写真】
	柱	モルタルおよびゾラコートで仕上げられていた面に関しては、浮きを伴うモルタルのひび割れが確認された。【写真】
	壁	化粧合板により仕上げられていたため、ひび割れなどの確認が出来なかった。
	床下面	床下面では、網状のひび割れや鉄筋に沿ったひび割れが確認された。【写真】
３階	梁	梁は、天井内にあり、ひび割れなどの確認は出来なかった。
	柱	柱は、化粧合板により仕上げられていたため、ひび割れなどの確認は出来なかった。
	壁	梁と壁の打継部分の水平ひび割れが、階段踊り場の雑壁に確認された。【写真】
２階	梁	階段踊り場の点検口から確認した範囲の梁では、ジャンカが顕著な箇所が認められた。【写真】 梁隅角部にひび割れが認められた。【写真】
	柱	柱は、化粧合板により仕上げられていたため、ひび割れなどの確認は出来なかった
	壁	壁は、化粧合板やシート建材により仕上げられていたため、ひび割れなどの確認は出来かった。
１階	梁	梁は、シート建材により仕上げられていたため、ひび割れなどの確認は出来かった
	柱	柱は、化粧合板により仕上げられていたため、ひび割れなどの確認は出来かった
	壁	壁は、化粧合板により仕上げられていたため、ひび割れなどの確認は出来かった。
	外壁	玄関ホール棟の入口付近の軒先の垂木結合部材にひび割れが認められた。【写真】 垂木の軸方向ひび割れは、鉄筋に沿ったひび割れと推察される。【写真】 ボーダー部材にひび割れや浮きを伴うものが確認された。 非常口の開口部に乾燥収縮が原因と思われるひび割れが確認された。（ひび割れ幅:1.0㎜）【写真】
地下１階	梁	梁中央部分に主に乾燥収縮が原因と思われる軸直角方向のひび割れが認められた。 ハンチ部分の隅角部にひび割れなどが認められた。【写真】
	柱	柱にはモルタルの浮きが確認された。
	壁	打ち継ぎ部水平方向のひび割れが認められた。 乾燥収縮が原因と考えられる垂直ひび割れが認められた。（ひび割れ幅:1.2㎜）【写真】
	床上面	浮きを伴うモルタルの網状のひび割れが、広い範囲で確認された。【写真】

４階



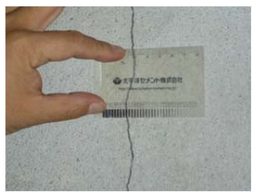
中４階



３階及び２階

１階

地下１階



（４）コンクリート強度調査の結果（反発度法・コア法）、中性化深さ

（当初設計におけるコンクリート設計基準強度：180 ㎏ f/c ㎡（17.65N/mm2））

平均反発度は、39～44 で、日本材料学会の換算式による推定圧縮強度は、19.9～23.9 (N/mm2)であり、日本建築学会の換算式による推定圧縮強度は 23.8～26.0 (N/mm2)、東京都建築材料検査所の換算式による推定圧縮強度は、17.3～20.4 (N/mm2)の範囲であった。推定圧縮強度は、東京都建築材料検査所の式で換算 2 箇所の結果以外は設計基準強度 17.7 (N/mm2)を上回った。

コンクリートコアの圧縮強度は、10.6～25.2(N/mm2)の範囲であった。圧縮強度は、5 箇所の中、4 箇所で設計基準強度の 17.7 (N/mm2)を下回った。

採取コアを用いた中性化深さ測定の結果、平均中性化深さは、1.4～25.0mm の範囲であった。1 階の外壁から抜いたコアは、全面中性化していた。

表 1-3　換算式

名称	推定式	単位
日本建築学会式	Fc=(0.716R+9.8)×α	(N/mm^2)
	Fc=(7.3R+100)×α	(kg/cm^2)
日本材料学会式（平成元年）	Fc=(1.27R-18)×α	(N/mm^2)
	Fc=(13R-184)×α	(kg/cm^2)
東京都建築材料検査所（平成元年）	Fc=(0.98R-10.8)×α	(N/mm^2)
	Fc=(10R-110)×α	(kg/cm^2)
※材齢係数：打設から 3000 日以上経過しているので、α=0.63 とした。		

表 1-4　コンクリート強度調査結果、中性化深さ　　※（　）は、平成元年調査結果

階	部材	反発度法　推定強度						コア法 圧縮強度(補正後)		中性化深さ	
		平均反発度	建築学会式		材料学会式		東京都建築材料検査所			平均	最大値
			N/mm 2	kg/cm 2	N/mm 2	kg/cm 2	**N/mm 2**	**kg/cm 2**	**N/mm 2**	**kg/cm 2**	mm	mm
4	梁 G1	44 (39.3)	26.0 (23.9)	265 (244)	23.9 (20.1)	244 (206)	**20.4 (17.5)**	**208 (178)**				
	柱 C1A	40 (38.7)	24.2 (23.6)	247 (241)	20.7 (19.6)	212 (201)	**17.9 (17.1)**	**183 (175)**				
中 4	梁 G3	39 (37.7)	23.8 (23.2)	242 (236)	19.9 (18.8)	203 (193)	**17.3 (16.5)**	**176 (168)**				
	柱 C1A	39 (34.6)	23.8 (21.8)	242 (222)	19.9 (16.3)	203 (167)	**17.3 (14.6)**	**176 (149)**				
	壁 W20								**16.1 (15.2)**	**164 (155)**	**17.0 (4.0)**	**22.5 (6.0)**
3	壁 W20								**16.9 (17.8)**	**173 (182)**	**25.0 (3.0)**	**26.0 (4.0)**
2	梁 G4	44 (37.3)	26 (23)	265 (235)	23.9 (18.5)	244 (190)	**20.4 (16.2)**	**208 (166)**				
	柱 C1	40	24.2	247	20.7	212	**17.9**	**183**				
	壁 W20								**25.2 (30.4)**	**256 (310)**	**1.4 (3.0)**	**5.0 (6.0)**
1	柱 C2	42	25.1	256	22.3	228	**19.1**	**195**				
	壁 W12（外壁）								**11.3**	**116**	全面中性化	
B1	梁 G5	41	24.7	252	21.5	220	**18.5**	**189**	**10.6**	**108**	**8.0**	**10.5**

４階梁（G1）及び　中４階梁（G3）

３階コア　及び　２階柱（C1）

１階コア（外壁）

地下１階シュミット及びコア（G5）

（５）まとめ

① 裂等目視調査

目視調査では、構造的に問題となるようなひび割れは認められず、主に乾燥収縮が原因と思われるひび割れが各部位に認められた。天井点検口で確認した柱および梁では、ジャンカや鉄筋露出が広範囲に認められた。

1 階入り口部分の軒先、4 階回廊部分の軒先ではく落が懸念されるはく離が認められた。はく落が懸念される箇所に関しては早急に対応する必要がある。

これらのことを考慮すると、今後、耐久性の維持を目的とした補修等の対策が望まれる。

②コンクリート強度推定調査（反発度法）

反発度による推定圧縮強度は、17.3～26.0（N/mm2)の範囲であり、概ね設計基準強度の17.7(N/mm2)を上回っていた。

推定圧縮強度は、平成元年調査時と比較して大きかった。

③コンクリート圧縮強度調査

コンクリート圧縮強度は、10.6～25.2(N/mm2)の範囲であり、5 箇所中 4 箇所で設計基準強度の17.7 (N/mm2)を下回っていた。

圧縮強度は、平成元年調査時と比較すると、2 階の壁は小さく、3 階の壁および中 4 階の壁は同程度であった。

④中性化深さ測定

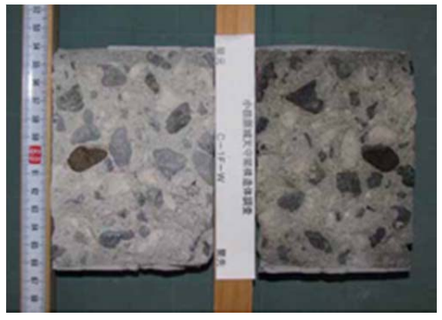
平均中性化深さは、1 階外壁以外は 1.4～25.0mm の範囲であり、最小かぶり厚さ 30mm（国土交通省公共建築工事標準仕様書（建築工事編） 5.3.5　鉄筋のかぶり厚さ及び間隔） を下回る。

1 階の外壁から抜いたコアは、全面中性化していた。

＜中性化状況＞

B1 階梁（G5）（中性化深さ：平均 8mm）

1 階外壁（全面中性化）



平成元年の調査時と比較すると、2 階の壁では、ほとんど中性化の進行は認められなかった。しかし、3 階の壁および中 4 階の壁は、大きく中性化が進んでいた。ただし、中性化の測定方法が JIS で定められたのが 2002 年であり、平成元年時は、測定方法が今回の調査と異なっている可能性がある。考えられる可能性としては、JIS では、鮮明に赤褐色に呈色していない部分も中性化深さとされているが、平成元年時の調査時は完全に無色の部分を中性化深さとして測定していた可能性が考えられる。

⑤今後の課題

今回の調査では、平成元年時の調査結果との比較が可能と思われる部位での試験実施及びサンプル採取としている。比較結果からは、中性化の進行状況がみられる。階によっての進行状況が異なる原因について現在は解明できていないが、今後の調査が必要な項目と考えられる。

また、コアサンプルも部位により強度が大きく異なることが、今回の試験結果からも確認される。また、反発度法とサンプル採取での圧縮試験結果の差異も見られたことから、今後の耐震診断調査では、コアサンプルの数量を増し更に精度の高い圧縮強度結果を集積することが必要と思われる。