

# 報告 長崎県端島の RC 建物の劣化状況調査 (2020 年度)

豊嶋 泰規\*1・上柏 椋平\*2・堀本 実歩\*2・岸本 一蔵\*3

**要旨:**2020年9月および11月にJCI技術委員会により長崎県端島(通称軍艦島)の建物調査が行われた(JCI: 危急存亡状態のコンクリート構造物対応委員会 委員長 東京工業大学 岩波光保 教授)。本報では、同調査で行った48, 65号棟の2棟の劣化状態の調査結果について報告するとともに、当調査で用いている劣化判定指標の問題点について検討を行う。また、従来の目視調査に加えて打音検査を行い、部材内の鉄筋腐食状態を腐食に伴い発生するコンクリート内の空隙より判定することを試みた結果について報告する。

**キーワード:** 軍艦島, RC 建物, 腐食, 劣化判定, 打音検査

## 1. はじめに

長崎県端島(以下 軍艦島)には、建設後数十年以上経過した RC 建物群が残されており、これらの建物を継続的に調査する事は、貴重な歴史的資料となる。また、これらの建物群は世界文化遺産関連であるため調査は非破壊で行われているが、非破壊により建物の劣化を判定する手法について試行錯誤することは今後の RC 建築物の劣化調査を考える上で重要であると考えられる。筆者等は、過去数年にわたって、2号棟, 31号棟, 48号棟, 65号棟の4棟の建物において部材毎の写真撮影とそれを基にした劣化判定を継続的に行っており、各棟の劣化傾向と部材レベルの劣化度判定結果、およびその原因について報告<sup>1) 2) 3)</sup>している。本報告は、2020年9月および11月に行った調査結果についてまとめたものであり、以下の3点について報告する。a) 2018年度調査の継続として、48号棟, 65号棟の各部材に対する劣化度判定と、各部材において劣化が進行しやすいと考えられる部位の考察。b) 2016年度に既報<sup>1)</sup>で定めた劣化判定指標の問題点についての検討。c) 内部鉄筋の腐食の有無を判

定するためにコンクリート内部の空隙を確認する事を目的とした打音検査。

## 2. 調査概要

### 2.1 調査目的

1.はじめにで述べた a) ~c) の3点の目的について詳述する。

a) 建物の各部材における劣化の進行度合いは一つの部材内でも部位により異なる。そのため、どの部位から劣化が進行するかを探る事は、劣化診断を行う上で重要な資料になると考えられる。しかし、実建物の各部材において、どの部位から劣化(ひび割れや剥落)が進行しているかを実建物を対象に系統立てて報告している例はほとんど無い。そこで、撮影した部材写真から劣化が進行している部位の統計を取り、劣化が進行しやすい部位について調査を行った。

b) 現在の知見では、鉄筋の腐食やひび割れと RC 構造物の力学的劣化状態との関係を的確に評価する方法は確立されておらず、目視(写真を含む)で建物の力学的劣

表-1 48号棟劣化程度判定条件

	[ I ]	[ II ]	[ III ]	[ IV ]	[ V ]
a) 廊下天井	直交方向のひび割れ確認	軸方向ひび割れが2箇所以下	軸方向ひび割れが3箇所以上	鉄筋が2箇所以下露出	鉄筋が3箇所以上露出
b) 居室天井	天井仕上げ材が天井面積の半分未満剥落	天井仕上げ材が天井面積の半分以上剥落	モルタルが天井面積の半分未満剥落	モルタルが天井面積の半分以上剥落	鉄筋が露出
c, d ) 梁 e, f )	微細なひび割れを確認	微細なひび割れが複数箇所	軸方向に入る太いひび割れ	部分的な鉄筋露出	広範囲にわたる鉄筋露出

表-2 65号棟劣化程度判定条件

	[ I ]	[ II ]	[ III ]	[ IV ]	[ V ]
a) 廊下天井	損傷軽微	・鉄筋の露出が局所的に1ヵ所 ・表面仕上げが一部剥落	・鉄筋の露出が局所的に複数箇所 ・表面仕上げの剥落が半分以下	・表面仕上げの剥落が半分以上 ・鉄筋の露出が複数箇所	・表面仕上げの剥落が全面 ・鉄筋の露出が全面
b) 短手方向梁	損傷軽微	ひび割れが存在するが微小で原型をとどめている	・ひび割れ大きく、一部の鉄筋が露出 ・大幅なモルタル剥落	柱梁面積の1/3程度の鉄筋露出・コンクリート剥落	柱梁面積の半分程度鉄筋露出・コンクリート剥落
c) 廊下側柱					

\*1 近畿大学大学院 総合理工研究科

\*2 近畿大学 建築学部建築学科

\*3 近畿大学 建築学部建築学科 教授

博士(工学)(正会員)

化状態を判断する事は極めて困難と言える。既報<sup>3)</sup>、ならびに本報告で用いている劣化判定指標(表-1)、(表-2)は、劣化が建物全体としてみたときにどのように分布しているかを探る事を目的として設定されたため、劣化度になるべく分散して判定される事を念頭においている。そのため、部材種により、また対象とする建物間でも判定基準が一部異なっている。また、同判定指標には以下の2点の問題点があると考えられており、本報告ではこれらの問題点について検討を行っている。

A) 建物の被災度判定等でも同様であるが、判定指標は通常大まかな内容(「ひび割れが発生」、「コンクリートが剥離している」…等)が示されているに過ぎない。そのため、判定者の主観によって判定結果に差が生じる可能性が残される。そこで、本調査で用いている判定指標によって生じる判定結果の差を確認する事を目的に「本年度の調査と2018年度の調査の劣化度判定結果の比較」、「本年度の調査に対する判定者3名の劣化度判定結果の比較」を行った。

B) 本調査で用いている劣化度指標は表-1に示されるように、劣化程度として5段階の分類を用いている。これらの劣化度レベルにおいて、評価対象の部材がそのレベルに該当する期間が極端に異なる場合(例えば、レベルI→IIへ移行するのに要する時間が長く、II→IIIへは短い等)、長期に渡って調査を行うと劣化度が偏り、判定結果が劣化程度を的確に表現できなくなる可能性がある。そこで、2018年度調査の写真と2020年度調査の写真から2年間で変化が見られた部材(わずかに仕上げ材が剥落した等)の数をカウントし検討を行った。

c) 2018年度調査では、目視による劣化度判定を補助するために試験的に打音検査を行った。その結果、目視で劣化度I(軽微な劣化)と判定された箇所でも、コンクリート内に空洞(鉄筋腐食の膨張圧による浮き)があると判断された箇所があり、目視だけによる診断では劣化度を安全側に評価しすぎる可能性があると分かった。そこで目視で劣化度が低いと判定された部材を中心に多数の箇所の打音検査を行った。

## 2.2 調査内容・方法

調査期間は2020年9月28,29日、11月3日の合計3日間(のべ人数16人)である。

目視調査: 島内での調査ではデジタルカメラを用いて部材別に撮影を行った。後日、モニターで撮影写真を確認し、劣化判定指標を用いて3名が劣化度判定を行った。最終的な判定結果は3名の判定の平均値とした。

打音検査: 打診棒を用いて部材表面を10回打撃し、打撃音を録音。後日録音データから音圧(最大振幅の音圧レベル)を求め、打撃箇所毎に平均値を取り、判定のための情報とした。打撃は65号棟では柱部材、48号棟で

は廊下の桁方向の梁で行い、録音は打撃位置から横に100mm離れた箇所ですフード付きマイクロホンを設置して行った。なお、打撃は打撃力を一定にするため、打診棒を一定の高さから自由落下させることが出来るように簡易な装置を作製して行った。(図-1)

### 2.3 調査対象建物および部位

本年度の調査は2018年度調査の継続として行ったため、調査建物は48号棟、65号棟の2棟(図-2)とした。下記に建物概要と調査箇所を示す。

#### (1) 48号棟(写真-1)

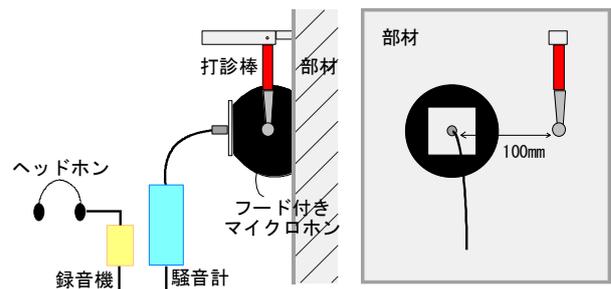


図-1 打音診断の様子(左図:側面, 右図:正面)

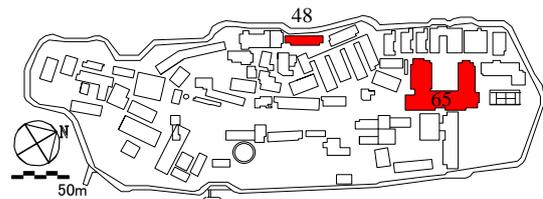


図-2 軍艦島配置図



写真-1 48号棟外観



写真-2 65号棟外観

竣工は1955年。構造はRC造（桁行方向：ラーメン構造，梁間方向：壁式ラーメン構造）。地上5階建て（半地下有り）で，海岸側に廊下を持つ片廊下型プランである。防潮壁の役割として島の西の護岸壁のすぐ横に建設されている。調査箇所は以下の通りである。

a) 廊下の天井（床スラブ上に物が散乱しており，下階から床スラブの調査を行っているため天井の調査とされている）：廊下長手方向に12分割して判定，b) 住戸の天井：出入口正面に対し垂れ壁を境に左右に居室があり，それらの天井，c) 居室開口上部の梁，d) 居室出入口正面の梁，e) 居室の入り口上部の梁，f) 隣接住戸との境界位置の梁（壁有り）。

(2) 65号棟（写真-2）

竣工は1945年～1958年。北棟，東棟，南棟の3棟で構成されており，5回に分けて建設されている。構造はRC造（桁行方向：ラーメン構造，梁間方向：壁式ラーメン構造）。地上9階建て（南棟は10階）で，両側に居室を持つ中廊下型プランである。島内最大の建物であり，島の北側の海岸線よりやや内陸側に建設されている。調査箇所は以下の通りである。なお，建物の規模が大きいため，調査は北棟と東棟の2棟のみで行っている。

a) 廊下の天井：廊下長手方向にスパン毎に分割，b) 廊下の短手方向の梁，c) 廊下に面する柱。

打音検査の調査箇所は3.3節にて詳述。

3. 調査結果

3.1 劣化度判定の結果と劣化が進行しやすい部位

劣化度分布を図-3，図-4に示す。建物の劣化傾向は既報<sup>1)2)</sup>と同様である事を確認した。具体的には，建物最上階と低層階で劣化が進行しており，建物端部は建物中心部に比べて劣化が進行している事が確認された。

同一部材において，劣化が進行しやすい部位の考察を行うため，各部材を分割し，最も劣化が進行していると見られる部位の統計を取った（検討は48,65号棟の両建物で行うため，検討対象も両建物で調査を行っている梁と天井とした）。分割方法は以下の通りである（図-5）。

梁：a) 中心部と両端部に分割，b) 上下に分割。

天井：中心部と周囲の端部に分類。

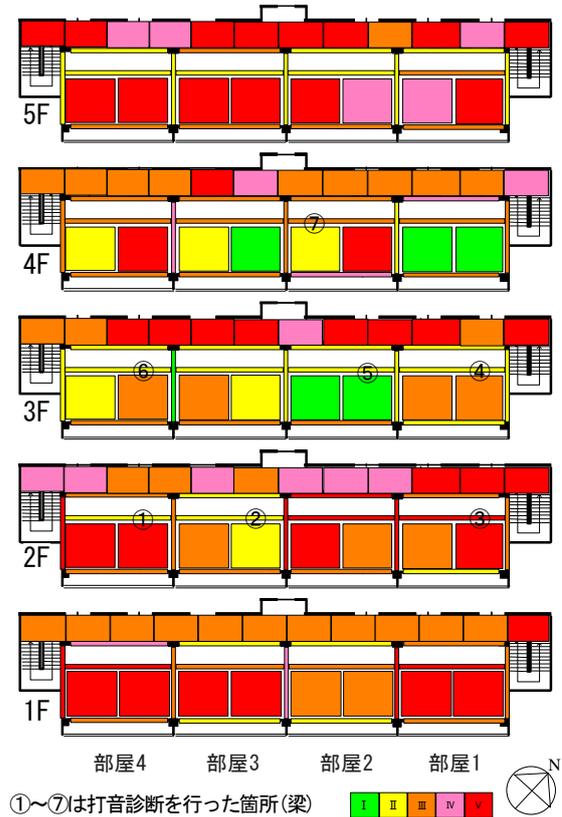


図-3 48号棟劣化度分布(2020年調査)

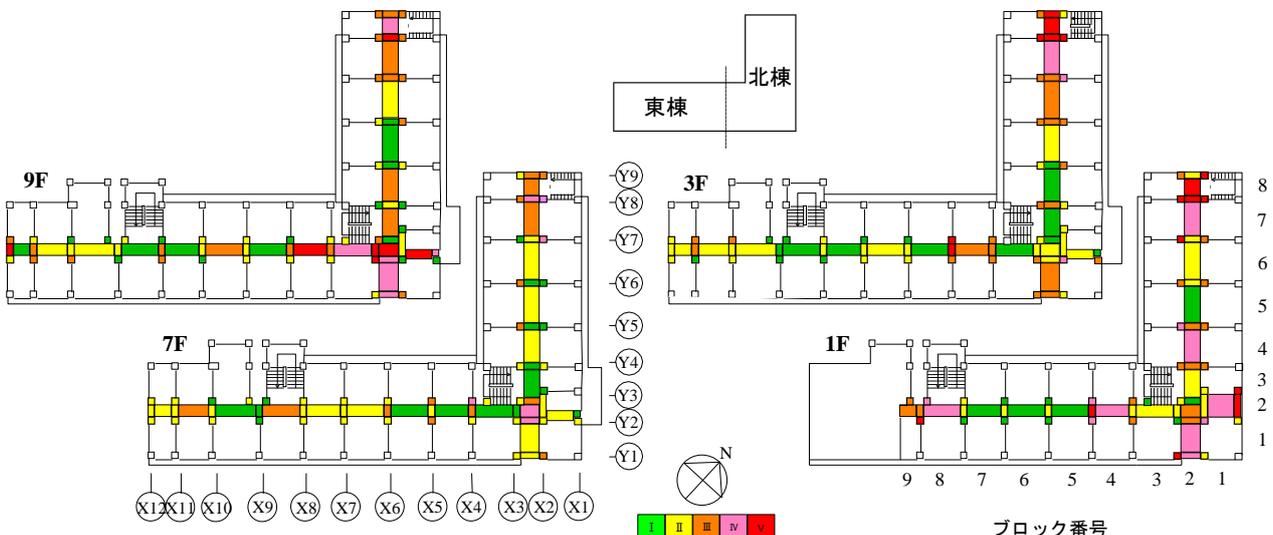


図-4 65号棟劣化度分布(2020年調査)

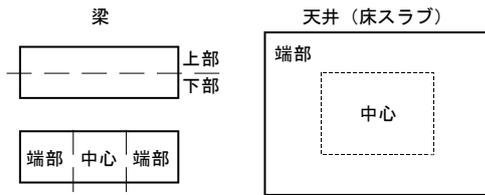
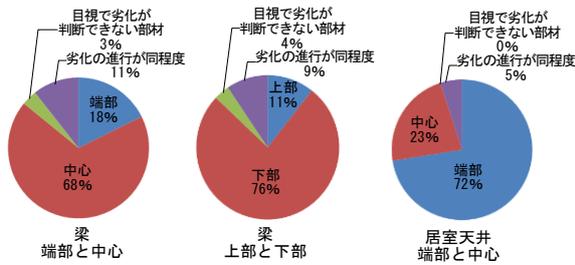


図-5 劣化が進行しやすい部位の分割方法

48号棟



65号棟

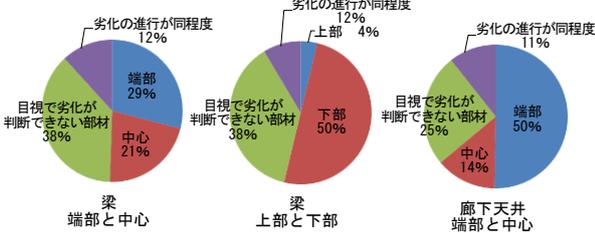


図-6 劣化進行の判定結果

表-3 劣化度が変化した個数一覧 (65号棟)

	劣化度が上昇				劣化度が低下			
	I→II	II→III	III→IV	IV→V	II→I	III→II	IV→III	V→IV
柱	4	3	9	6	36	25	5	1
梁	3	1	0	4	8	3	3	1
スラブ	1	1	1	0	1	2	0	0

(I, II, III, IV, V)の各個数  
 柱 : (93, 109, 91, 28, 24)  
 梁 : (42, 70, 43, 15, 16)  
 スラブ : (47, 45, 32, 25, 11)

表-4 判定者による判定結果の違いの比較

建物名	部材名	1段階	2段階	3段階	全体数	具体例
65号棟	柱	148	7	1	346	[ ]の中お3名が判定したそれぞれの劣化度
	梁	88	2	0	186	
	天井	49	1	2	160	
48号棟	梁	45	4	0	85	1段階 [4,3,3]
	廊下天井	21	5	0	60	2段階 [3,2,1]
	居室天井	17	5	1	40	3段階 (以上) [5,4,2]

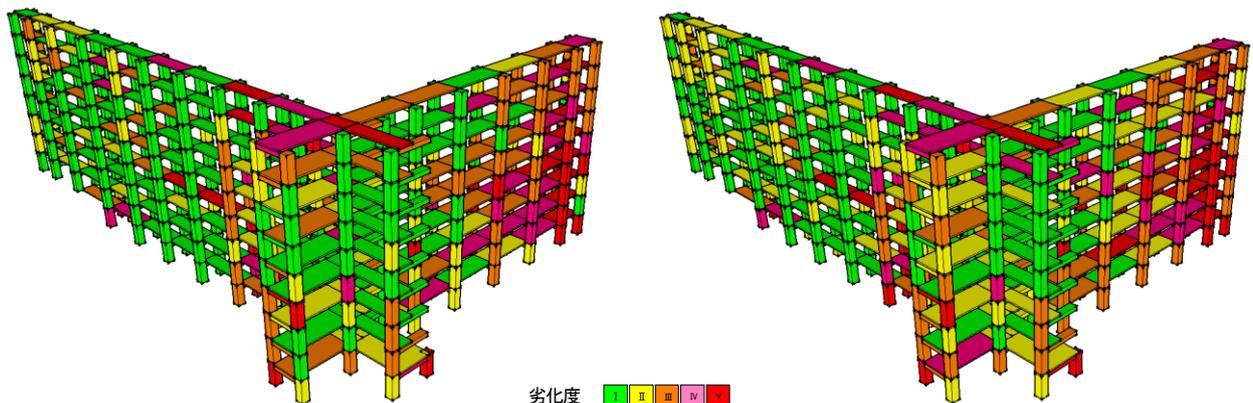


図-7 判定者2名の判定結果 (65号棟)

統計結果(図-6)より、梁部材では、下部と中心部で劣化が進行している傾向が見られたが、65号棟では端部と中心部の劣化の進行は同程度となった。65号棟では、梁に鉛直ハンチが付いており、一般部とハンチの境からひび割れが発生している部材が多く見られたため、端部と中心部で劣化の進行が同程度となったと考えられる。天井では、48,65号棟ともに端部で劣化が進行している傾向が確認できた。65号棟では天井の端に設備管が配置されており、その周辺からコンクリート剥落が生じていた事が原因の1つと考えられる。一方、48号棟では端部で鉄筋の露出が多く見られたが、原因については分らなかった。

### 3.2 劣化判定指標の問題点

#### (1) 判定者によって生じる判定結果の差について

「2018年度調査と2020年度調査の劣化度判定の結果の比較(両年度の判定者は別人)」

表-3に2020年度調査で判定された65号棟の各部材における劣化度別の個数と、それらのうち2018年度から劣化度が変化した部材の個数を示している。同表より、劣化度が2020年度の結果で低下している箇所が数多くあることがわかる。判定レベルとしては「II→I」と判断される場合が特に多かった。これは、Iの判定基準内容の記述が「損傷軽微」(表-1)のみであるため、「損傷軽微」に対する認識に大きな相違があったためだと考えられる。また、「III→II」と判断された箇所も多いが、これは先に述べた「II→I」の判断に伴い、IIとなる損傷レベルの認識が2020年度では低く(つまり、判定が下がる)なったことによると推測される。

「本年度の調査に対する判定者3名の劣化度判定結果の比較」

判定者3名の劣化度判定の結果を比較し、判定結果に違いが見られた部材の数をカウントした(表-4)。その結果、判定度で1段階の差が全部材数の約4割で見られた。また一部の判定では、判定度で2段階以上の差が見られた。そこでそれらの部材について詳細に検討を行っ

た。その結果、2段階以上の差は写真データが不鮮明であり、正確な劣化度判定が難しい状況であった事が確認できた。具体的には、例えば 1) コンクリート表面にひび割れや錆汁の痕が多い場合、鉄筋の露出が見分けづらい、2) 建物中外の明るさの差が大きく、部材の撮影の背景に外景が映り込むと露出不足或いは白とびで階調が失われる等がある。次に、これらの判定が建物全体の劣化度を判断する場合にどの程度影響が出るか検討するために、判定度が大きく異なった2名の判定結果を3D図にしたものを図-7に示す。1段階の差は多く見られたものの、建物全体としての劣化傾向には大きな差はない。

(2) 部材が劣化度の各レベルに該当する期間の差について

2年間で変化が見られた部材の数を部材数が多い65号棟の柱・梁で検討した。結果を表-5に示す。また、これらを割合(各劣化度で変化が見られた部材の数/各劣化度に存在する部材の数×100%)で表したものを図-8に示す。同図より、劣化度が上がるにつれて割合も高くなっている。中でも、劣化度IIIは劣化度IIに比べて高く、劣化度IV、Vでも同程度で高い値である。この事から劣化度IIIより大きい劣化度では部材がそのレベルに該当する期間が、劣化度I、IIに比べて短いと考えられる。すなわち今後の調査で劣化度が、I、II、Vに偏る事が考えられ、判定結果が劣化程度を的確に表現できなくなる可能性があるといえる。従って今後、劣化度I、IIを細分化して判定を行えるように劣化判定指標に修正を加える必要があると考えられる。そこで、判定指標の修正のため情報を得る試みとして次のよう検討を行った。

2018年度と2020年度の写真情報から、部材の変化を以下の種類・程度で分類した。

変化の種類として「ひび割れの拡大」、「仕上げ材の剥落」、「モルタルの剥落」、「コンクリートの剥落」、「鉄筋の露出」の5種類を設定し、それらの程度を3種類(大、中、小:程度については下記参照)として、それらに該当する数をカウントした。

[変化の程度:小(柱:0~200cm<sup>2</sup>程度, 梁:0~300cm<sup>2</sup>程度), 中(柱:200~1200cm<sup>2</sup>程度, 梁:300~1500cm<sup>2</sup>程度), 大(柱:1200~cm<sup>2</sup>程度, 梁:1500~cm<sup>2</sup>程度)(写真-4)。]

なお、1つの部材で該当するものが複数ある場合はその全てについてカウントした。結果を図-9(縦軸は変化が見られた部材数, 横軸は変化の種類と程度)に示す。分類の結果、劣化度I、IIでは、ひび割れの拡大または仕上げの剥落のみであるが、劣化度III以降では仕上げの剥落から鉄筋の露出まで幅広く変化が見られた。つまり、劣化度III(大きなひび割れ)に至った部材は既に鉄筋腐食が相当進行し、コンクリートの浮きが

表-5 変化が見られた部材数と全体の部材数 (65号棟)

	I	II	III	IV	V	合計	全体
柱	0	19	39	17	17	92	345
梁	4	12	31	12	11	70	186
合計	4	31	70	29	28	162	531
全体	135	179	134	43	40	531	

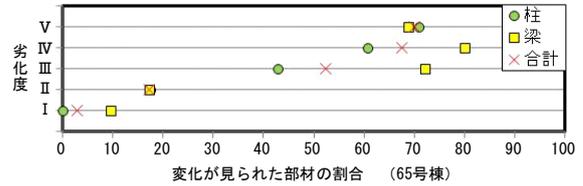


図-8 劣化度-劣化度が変化した部材の割合 (65号棟)



写真-4 変化の程度 分類例

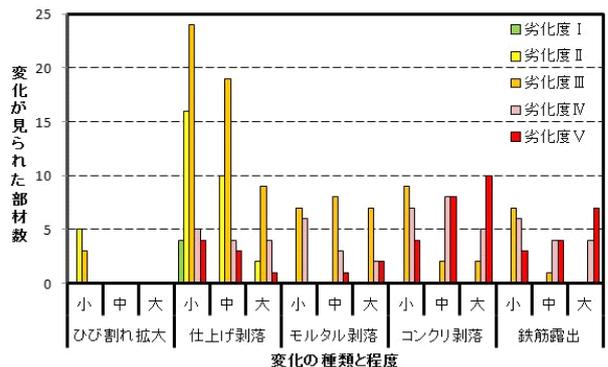


図-9 変化が見られた部材数 (65号棟 柱・梁)

表-6 打音診断と目視判定の結果 (65号棟)

No.	階	棟	位置	目視判定	最大音量 (dB)
①	2	北	X2-Y2-南	I	109.0
②	2	北	X2-Y2-西	I	107.4
③	2	東	X6-Y2	I	93.0
④	2	東	X10-Y2	I	86.5
⑤	3	北	X3-Y2	III	96.2
⑥	4	北	X2-Y3	I	84.6
⑦	4	北	X3-Y2	IV	129.9
⑧	4	東	X4-Y2	III	120.8
⑨	4	東	X4-Y3	III	104.5
⑩	5	北	X2-Y4	II	135.6
⑪	5	北	X2-Y5	II	108.2
⑫	6	北	X2-Y5	IV	129.5
⑬	6	北	X3-Y6	I	91.5
⑭	7	北	X2-Y5	I	124.7
⑮	7	北	X2-Y6	I	121.2
⑯	7	北	X2-Y7	IV	113.6
⑰	7	東	X10-Y3	I	123.0
⑱	7	東	X10-Y2	II	126.0
⑲	8	東	X4-Y2	III	96.3

No.	階	位置	目視判定	最大音量 (dB)
①	2	部屋4 梁②-1	II	93.8
②	2	部屋3 梁②-1	II	99.7
③	2	"	II	97.7
④	2	部屋1 梁②-1	V	115.6
⑤	2	"	V	122.7
⑥	3	部屋1 梁②-1	II	90.4
④	3	"	II	97.6
⑤	3	部屋2 梁②-1	II	97.9
⑤	3	"	II	97.8
⑥	3	部屋4 梁②-1	II	98.0
⑥	3	"	II	94.7
⑦	4	部屋2 梁②-2	III	102.6
⑦	4	"	III	93.9

○:せん断補筋筋上 ○:せん断補筋筋間

生じている事から、鉄筋とコンクリートの付着性能は著しく低下していると考えられる。以上の事から、劣化度 I, II の細分化を行う上では、「ひび割れ」、「仕上げの剥落」にフォーカスして判定基準を修正することが考えられる。

### 3.3 打音検査

打撃音は、コンクリート内に亀裂や空隙がある場合、共振性状の変化などの影響により音圧が大きくなる事が報告されている<sup>4)</sup>。そこで、目視の判定結果と打撃音の音圧を比較(表-6)して検討した(表-6に調査箇所を記載)。その結果、48号棟では目視と概ね同じ傾向が見られたが、65号棟では異なる傾向が見られた。具体的には、48号棟では、目視での劣化度判定が上がれば音圧も大きくなったが、65号棟では、目視で劣化度 I と判定された部材でも、劣化度 IV と判定された部材より音圧が大きくなる場合が確認された。この事から、65号棟では目視で劣化度 I と判定されている部材でも内部鉄筋は腐食が相当進行している可能性が考えられる。

また、以上の結果を基に、更に以下の2点についても調査を行った。

1) 鉄筋腐食による空隙と音圧の関係を確認するため、48号棟では、鉄筋探査機を用いて鉄筋位置を把握し、同一部材で鉄筋上とそうでない箇所の音圧を比較した。その結果、鉄筋上を打撃すれば音圧が大きくなる事が確認された。これは、鉄筋上では鉄筋腐食による空隙が生じやすいためだと考えられ、空隙がある場合、音圧が大きくなる傾向と一致する。

2) 目視で劣化度 III と判定されているにも関わらず音圧が小さいと判断出来る部材が確認された事から、詳細に検討を行った。その結果、打撃位置での仕上げやモルタルの剥落、打撃位置の反対側の面で大きなひび割れや剥落が起こっている事が確認された。

以上の事から、打撃位置だけでなく部材全体の状態を確認した上で、鉄筋位置を把握して調査を行う必要がある。また、ひび割れによって音圧に違いが生じやすいため、劣化度 I のひび割れが入っていない部材に適用できると思われる。

## 4. まとめ

2020年9月および11月に長崎県端島に建つRC建物(48号棟, 65号棟)の劣化状態について調査を行い、その結果について報告するとともに、2016年度調査で作成された劣化判定指標の問題点の検討を行った。以下に得られた知見を示す。

1) 建物の劣化傾向は既報<sup>1), 2)</sup>と同様の傾向を示し、断面方向では建物最上階と低層部で、平面方向では建物端部で劣化が進行している事が確認できた。

2) 各部材において、劣化が進行しやすい部位について調査を行った結果、梁では部材下部で、天井では部材端部で劣化が進行している事が確認出来た。

3) 判定者による判定結果の差の確認を行った結果、判定度で1段階の差が全部材数の約4割で見られた。これらは「損傷軽微」に対する認識に大きな相違があったためだと考えられるが、建物全体としての劣化傾向には大きな差はない事が確認出来た。

4) 劣化度 III~V と判定された部材では、コンクリートの剥落発生事例の割合が高い事が確認出来た。従って、劣化度 III の状態に至った部材では、鉄筋腐食の進行によってコンクリートの浮きが生じている事から、鉄筋とコンクリートの付着性能は著しく低下していると考えられる。

5) 打音検査では、目視の劣化度判定で I と判定された箇所であっても相対的に音圧が大きくなる箇所が多く存在し、鉄筋腐食の可能性が高い事が推測できる。

## 謝辞

本研究は、科学研究費補助金(基盤研究(S) 課題番号16H06363 歴史的建造物のオーセンティシティと耐震性確保のための保存再生技術の開発 代表者 名古屋市立大学 青木孝義教授)の助成により行われたものである。本研究の調査には、近畿大学助教授の菅原彬子氏、近畿大学大学院1年生の今北美緑氏、呉勇樹氏にご協力頂きました。ここに謝意を表します。

## 参考文献

- 1). 盛尾修平・岸本一蔵：長崎県端島のRC建物(48号棟, 65号棟)のスラブの劣化程度の調査, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.39, No.2, pp.1231-1236, 2017
- 2). 豊嶋泰規・秋定幸起・盛尾修平・岸本一蔵：長崎県端島のRC建物(48号棟, 65号棟)の劣化程度の調査, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.41, No.2, pp.1363-1368, 2019
- 3). 豊嶋泰規・岸本一蔵：長崎県端島のRC建物(2号棟, 31号棟)の劣化程度の調査, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.42, No.2, pp.1207-1212, 2020
- 4). 鎌田敏郎, 浅野雅則, 国枝稔, 六郷恵哲：コンクリート表層部欠陥の定量的非破壊検査への打音法の適用, 土木学会論文集, No.704/V-55,65-79,2002.5