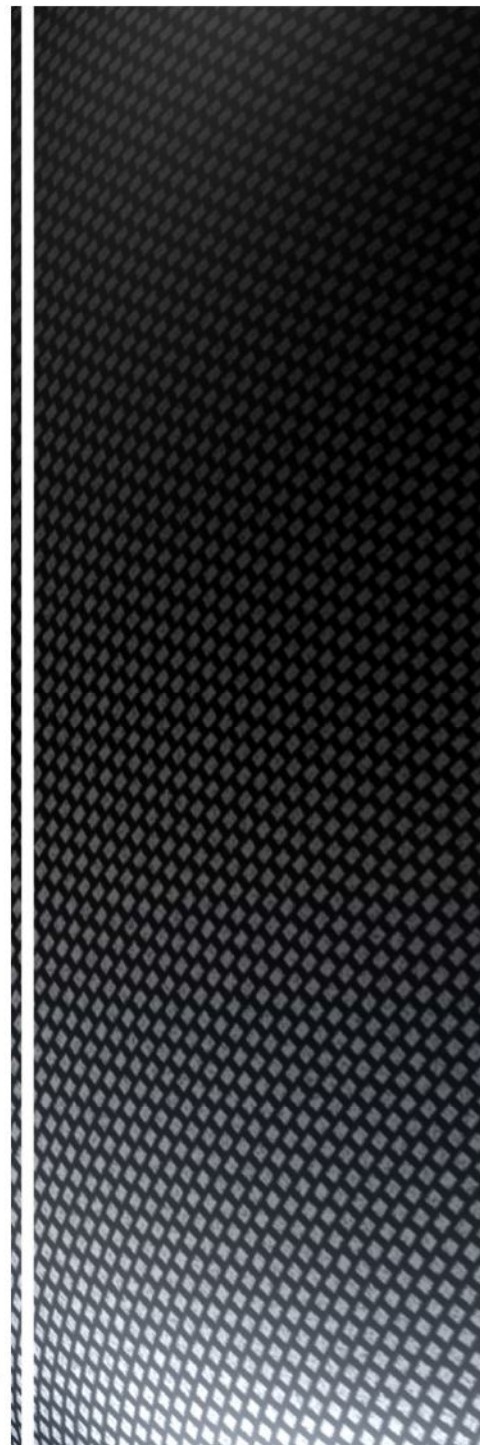


# 軍艦島(端島)における RC建築物の状況と 保存に向けた検討

芝浦工業大学  
工学部建築学科

濱崎 仁



## 講演の内容

- 調査の経緯・概要
- 軍艦島(端島)の概要と歴史
- 軍艦島の劣化外力
  - 温湿度・風況
  - 飛来塩分
- 目視による調査結果
  - 部材の損傷・鉄筋の腐食
  - 構造性能(被災度判定)
- コンクリートの状況
  - セメント・セメント量
  - 中性化深さ
  - 塩化物イオン量
- 補修方法の検討

2

## 調査の経緯

平成23年に長崎市より日本建築学会に対して、長崎市端島(軍艦島)のコンクリート構造物群に対して、劣化・損傷状況の評価や将来予測、補修方法の提案などに関する調査委託。

(委託期間: H23.6~H24.9)

日本建築学会では、「軍艦島コンクリート構造物劣化調査WG」(主査: 東京大学野口貴文教授)を設置し、劣化外力、劣化状況、構造性能、補修方法等検討のための調査などを実施。

2014年1月:

「明治日本の産業革命遺産 九州・山口と関連地域」として、ユネスコに推薦書提出

2014年10月:

軍艦島炭鉱跡が、「高島炭鉱跡」として国史跡に登録

2015年5月:

イコモス(ユネスコ諮問機関)が、上記申請について世界文化遺産に登録するよう勧告(→7月に正式決定)

3

## 建築学会における調査内容(全体)

- 劣化外力の調査
  - 温湿度、風向
  - 飛来塩分量
- 材料に関する調査
  - 目視による劣化状況の調査
  - コンクリートの材料・調合(セメント、骨材、配合推定)
  - コンクリートの状態(中性化・塩化物イオン量)
  - 鉄筋の状態
  - その他の材料の状態
- 構造安全性の調査
  - 常時微動調査
  - 耐震性能評価(日給社宅16号棟)
- 護岸健全度調査
- 補修方法の検討

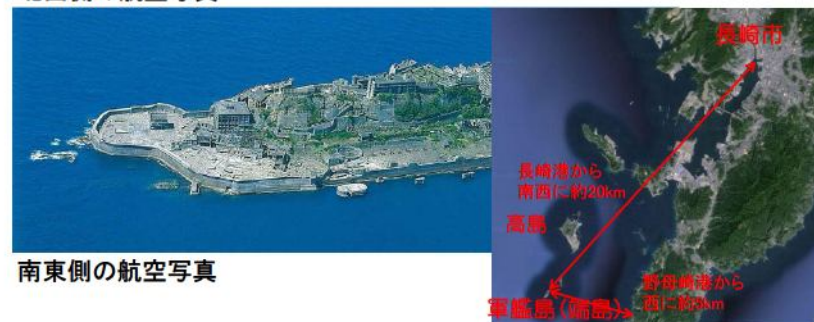
4

## 軍艦島(端島)



北西側の航空写真

北西側軍艦島 (016.10.18撮影) 高島町資料より



南東側の航空写真

長崎市から南西に約20km  
高島  
野母崎半島から西に約10km  
軍艦島(端島)

3



# 文化庁史跡指定答申(H26.10)

## 高島炭鉱跡【長崎県長崎市】 高島北溪井坑跡・中ノ島炭坑跡・端島炭坑跡

高島炭鉱跡は、三池・筑豊両炭鉱と並ぶ、我が国近代を代表する採炭に関する遺跡である。遺跡は長崎市中心部の南西約15～20km、長崎半島の西方約5kmの海上に浮かぶ高島・中ノ島・端島に所在する。幕末、開国により蒸気船燃料としての石炭需要が高まるなか、慶応4年(1868)佐賀藩とグラバー商会との出資事業として、高島に北溪井坑が作られ、外国技術を初めて導入し、蒸気機関を動力とする捲揚機が設置されて採炭が行われ、明治9年(1876)まで稼働した。中ノ島炭坑は明治16年(1883)から出炭を開始、翌17年に岩崎弥太郎の三菱社の経営となり、高島炭鉱初期の主要炭坑となったが、出水が激しく、明治26年(1893)に廃坑となった。

端島炭坑は、明治23年(1890)に三菱社が買収し、設備改良等を行うことで採炭が本格化し、高島炭鉱の優良坑へと成長し、昭和49年(1974)の閉山まで操業した。端島は段階的に埋立てられ、施設整備が進むとともに、狭隘な島内では居住施設が生産施設と併存し、高層集合住宅も建設された。現在、3島には明治から昭和に至る各時期の遺構が多数残り、我が国近代の石炭産業の成立と発展を知る上で重要である。

# 歴史的経緯

## 軍艦島の簡易年表

年	主な出来事
1810年(文化3)	端島で石炭が発見される
1890年(明治23)	三菱社が端島炭鉱を買収する
1891年(明治24)	出炭開始
埋め立て工事による地形変化	
1916年(大正5)	日本初の高層RC造アパート30号棟完成
1918年(大正7)	日給社宅(16～20号棟)完成
埋め立て工事による地形変化	
1941年(昭和16)	年間出炭数41万1100tの最高記録を達成
1945年(昭和20)	65号棟完成
1956年(昭和31)	台風9号襲来、甚大な被害を受ける
1959年(昭和34)	台風14号襲来、甚大な被害を受ける
1960年(昭和35)	人口が最高記録である5267人に達する
1970年(昭和45)	端島沖採炭工事中止を発表
1974年(昭和49)	端島炭閉山、無人島となる

埋め立て  
工事による  
地形変化

# 軍艦島の建造物群(住居系)



30号棟:  
大正5年・RC7階  
日本最古のRC造集合住宅



16～19号棟:  
(日給社宅)  
大正7年・RC9階  
楕形に並んだ高層RC住宅



65号棟:  
(報国寮)  
昭和20年・SRC9階  
島内最大規模の集合住宅



# 軍艦島の状況写真



台風時の様子



北西側護岸



70号棟外観



70号棟基礎



# 軍艦島の状況写真



16～19号棟



30号棟内観



65号棟外観

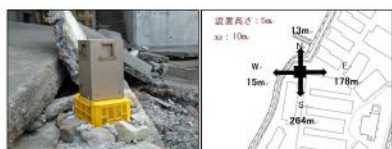


65号棟内観

# 軍艦島の温湿度・風況の調査



# 飛来塩分の調査



51号棟の1階付近



51号棟の屋上



端島病院(69号棟)付近



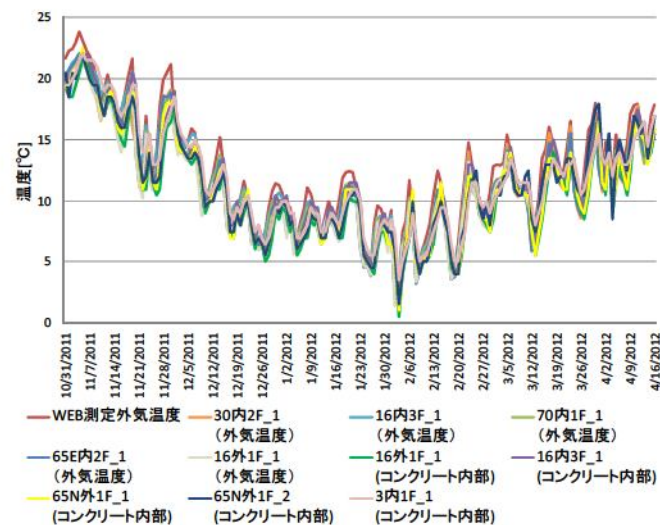
30号棟付近



3号棟の屋上

各地点における飛来塩分捕集器の設置状況

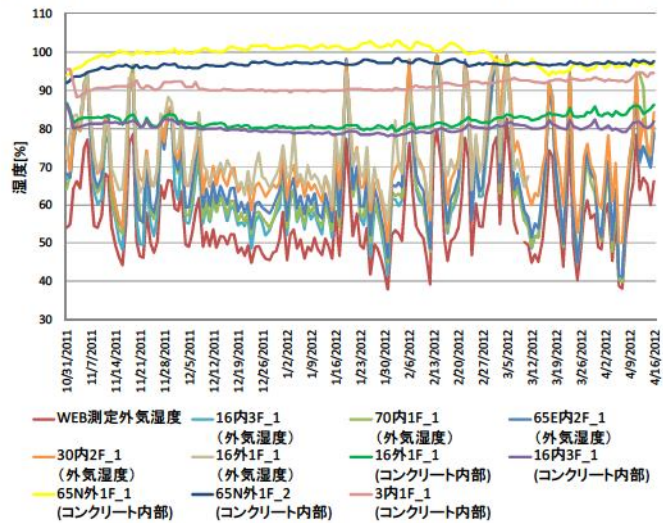
# 気温およびコンクリート温度



軍艦島の各地点およびコンクリートの温度変化



## 湿度およびコンクリート内部湿度



軍艦島各地点およびコンクリート湿度変化

## 風況の測定結果

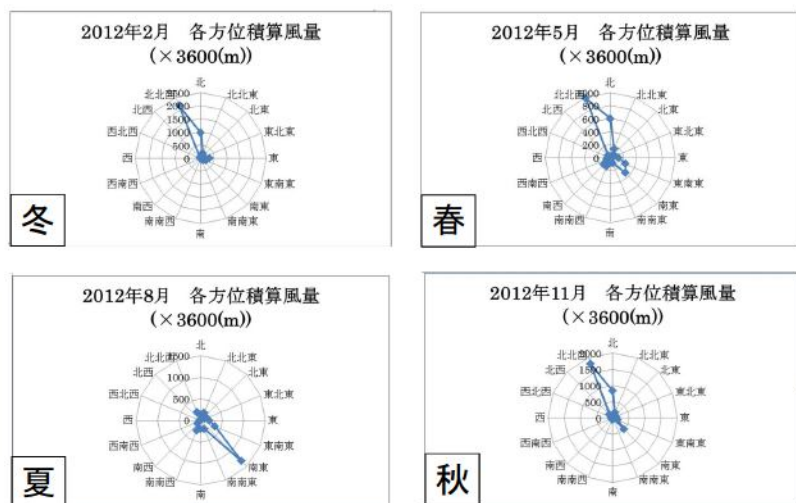


野母崎気象観測所, WRF, Webモニタシステムの風況

web観測システムが  
強風により破損

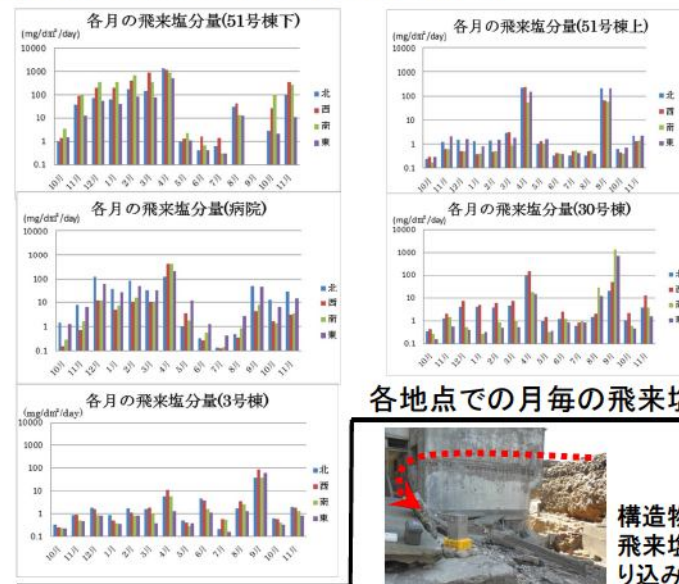


## 軍艦島の風況 (野母崎気象データより)



軍艦島における季節ごとの風況  
(琉球大学山田義智教授より提供)

## 飛来塩分量 (年間の傾向)



各地点での月毎の飛来塩分量



構造物による  
飛来塩分の回  
り込み概念

## 飛来塩分量の比較 沖縄(辺野喜)との比較

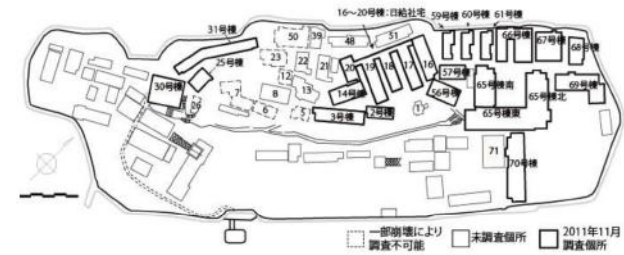


■ 軍艦島飛来塩分量 ■ 辺野喜飛来塩分量 — 野母崎積算風量 — 辺野喜積算風量  
 端島病院と辺野喜(沖縄)の飛来塩分量比較



軍艦島(左)と沖縄県辺野喜(右)の海岸の状況

## 目視による劣化状況



### 一般的な腐食(損傷)グレードの例 軍艦島での腐食(損傷)グレード

損傷度	損傷状況
無	損傷が認められない
I	ごく軽微なひび割れさび汁
II	ひび割れ、さび汁、はく離等が部分的
III	ひび割れ、さび汁、はく離、剥落等が連続的
IV	鋼材の露出や破断、コンクリートの断面欠損等

損傷度	損傷状況
I	表面のひび割れ+さび汁
II	(中間の状況)
III	腐食した鉄筋が露出
IV	(中間の状況)
V	鉄筋の痕跡はあるが朽ちている(存在しない)

## 腐食グレードの例



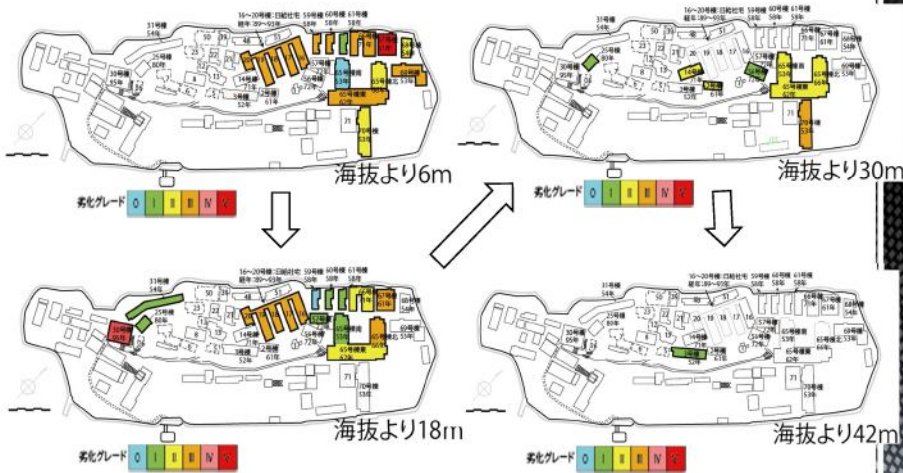
## 目視調査結果の例 日給社宅3階





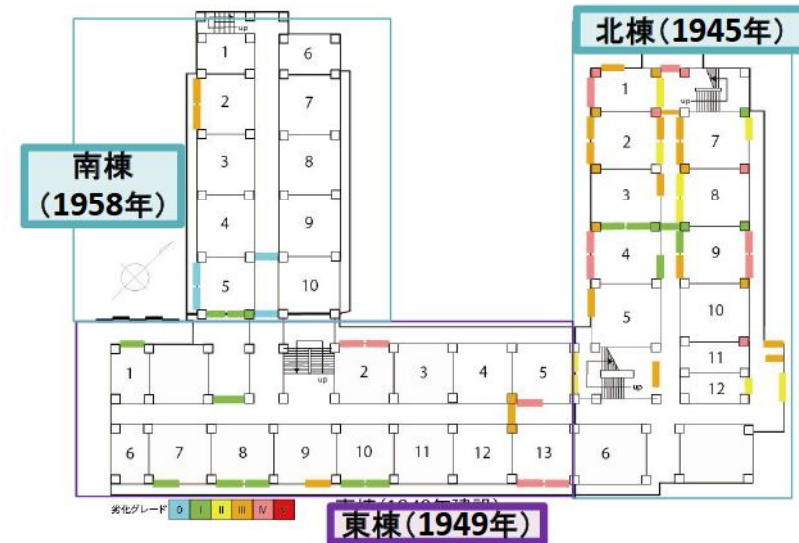
## 目視調査結果の例（海拔との関係）

海拔が高くなると腐食グレードが小さくなる傾向がある。



海拔と腐食状況の関係

## 目視調査結果の例 65号棟



## 目視による損傷度の評価（被災度判定）

表 4.4.3 損傷度と損傷の内容

損傷度	損傷	せん断柱	曲げ柱	柱なし壁	柱型付壁	両側柱付壁	合計
0	無被害	( )	( )	( )	( )	( )	( )
I	ひび割れ幅 0.2mm 以下	( ) <sup>30</sup>	( ) <sup>30</sup>	( ) <sup>30</sup>	( ) <sup>30</sup>	( ) <sup>30</sup>	( )
II	ひび割れ幅 0.2mm~1mm	①×1	②×1	③×1	④×2	⑤×6	( )
III	ひび割れ幅 0.2mm~1mm コンクリートの剥落は限定的	損傷度0	( )	( )	( )×2	( )×6	( )
IV	ひび割れ幅 2mm 以上 コンクリートの剥落	損傷度I	( )×0.95	( )×0.95	( )×1.9	( )×5.7	( )
V	鉄筋の屈曲や切断 軸方向の縮み	損傷度II	( )×0.6	( )×0.75	( )×0.6	( )×1.2	( )×3.6
		損傷度III	( )×0.3	( )×0.5	( )×0.3	( )×0.6	( )×1.8
		損傷度IV	( )×0	( )×0.1	( )×0	( )×0	( )
		損傷度V	( )×0	( )×0	( )×0	( )×0	( )

表 4.4.4 損傷度の集計

$$R = \frac{\sum A_j}{A_{org}} \times 100$$

$\sum A_j = A_0 + A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5$

### 耐震性能残存率Rの区分

- R=100 : 無被害
- 95 ≤ R < 100 : 軽微
- 80 ≤ R < 95 : 小破
- 60 ≤ R < 80 : 中破
- R < 60 : 大破あるいは倒壊

## 被災度判定による評価例

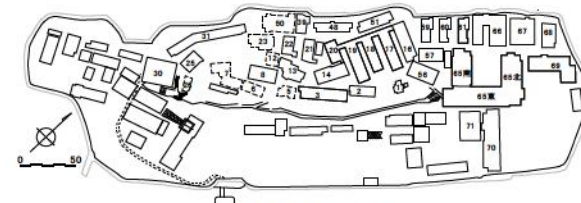


表 4.4.5 各建物の被災度区分判定結果

建物名	階数	最大被害		耐震性能 残存率 R[%]	被災度	せん断柱(本数)					
		階	方向			0	I	II	III	IV	V
65号棟 北	9	1		24.8	大破		4	3	2	1	15
65号棟 東	9	1		64.8	中破		14	6	2	1	4
65号棟 南	10	2		75.8	中破		16	7	1		2
16号棟	西9, 東6	5		61.2	中破		21	3	3	6	4
17号棟	9	4		68.0	中破	2	19	2	4	1	5
20号棟	6			63.2	中破		7		1	2	1
39号棟	3	1		85.0	小破		8	1	1		
30号棟	7	1		51.1	大破		22	16	4	5	15
18号棟	9	4		57.1	大破		18	1		10	2
19号棟	9	4		64.6	中破		16		1	5	2
51号棟	9	2		86.9	小破		10	3			
48号棟	5	1		62.5	中破		5	2	1	1	1
59号棟	5			30.0	大破			3	1	3	
57号棟	6	2		15.8	大破		1				5

# コンクリート材料の調査

## セメント関係の調査

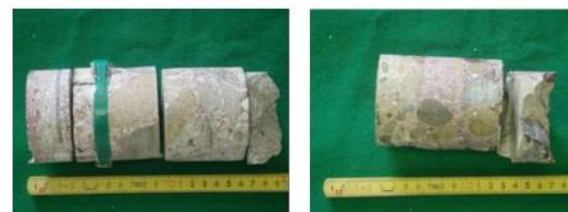
### ①セメントペーストの状態

- ・対象: 16号棟5階(オリジナル部分)  
16号棟3階(増打ち部分)
- ・試験方法: EPMAによる反射電子像の観察

### ②単位セメント量の推定

- ・対象: 16号棟3階(オリジナル部分)
- ・試験方法: NDIS 3422(グルコン酸ナトリウムによる硬化コンクリートの単位セメント量試験方法)

# EPMA観察

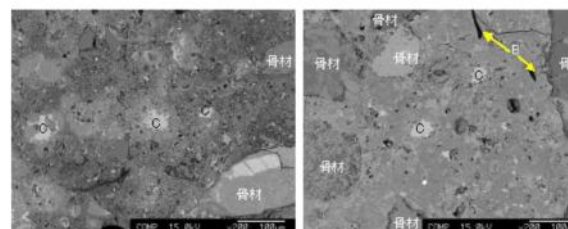


C:未水和セメント  
B:炭素

・セメント粒子はオリジナル粒子の方が大きい(粗い)

・フライアッシュや高炉スラグ微粉末等は見当たらない

単位セメント量  
推定値: 253kg/m<sup>3</sup>



5階オリジナル部分

3階打ち増し部分

# コンクリート強度の推定

## 調査方法:

- (1)コア採取による調査
- (2)リバウンドハンマー(N型・P型)
- (3)衝撃弾性波

## 強度推定式:

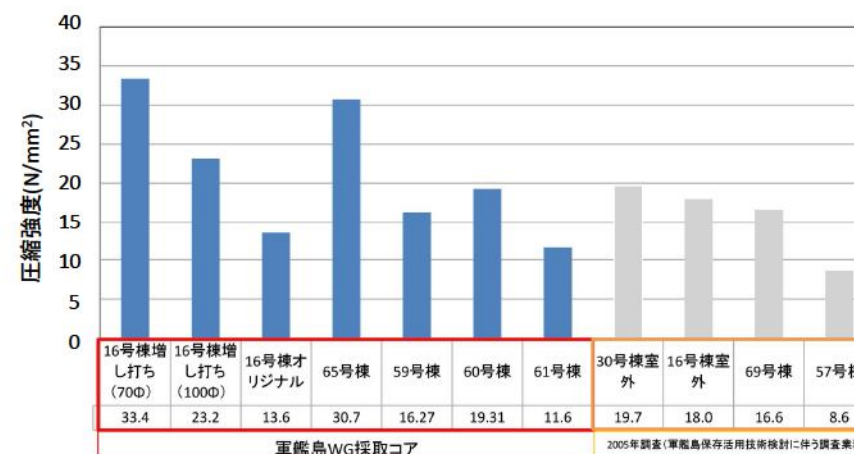
### (2)反発度法

- ・N型:  $F_c = (1.27R_n - 18) \times \alpha$  (N/mm<sup>2</sup>)
- ・P型:  $F_c = (7.39R_p - 166.7) \times \alpha$  (kgf/cm<sup>2</sup>)

### (3)衝撃弾性波法

- ・ $F_c = 0.0001X^{1.5631}$  (N/mm<sup>2</sup>)

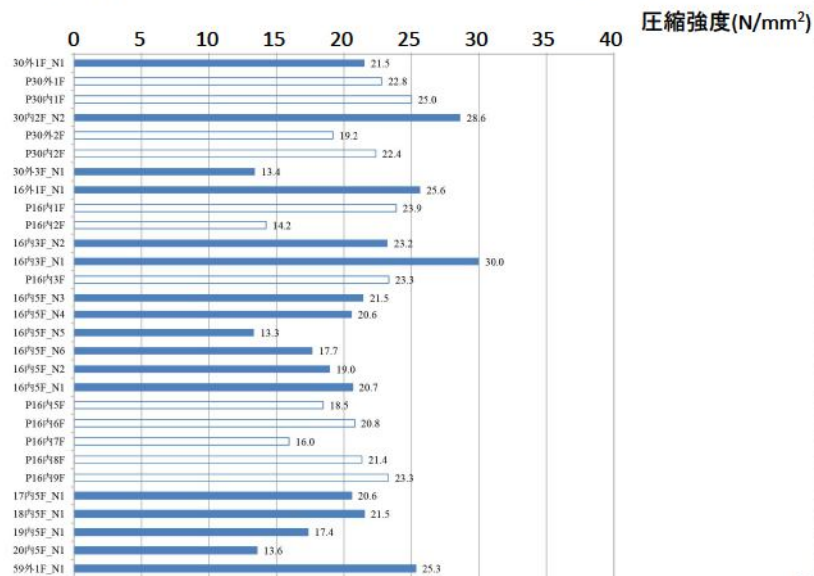
# コアによるコンクリート強度



2005年度調査



## 反発度法によるコンクリート強度



30

## 中性化深さの調査

調査方法:

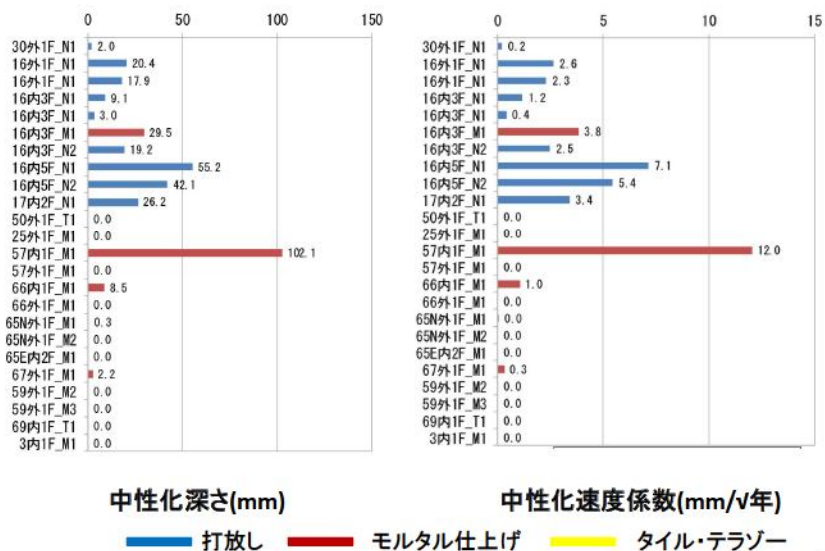
(1) JIS A 1152 (フェノールフタレイン法・コア側面による調査)

(2) 透気試験(トレント法)



31

## 中性化深さ試験結果

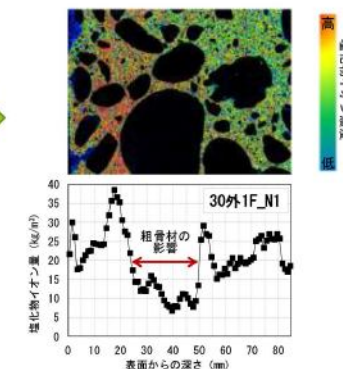


32

## 塩化物イオン量の調査

調査方法:

(1) EPMA (電子線マイクロアナライザ)による塩化物イオンの定量 (JSCE G 574参考)

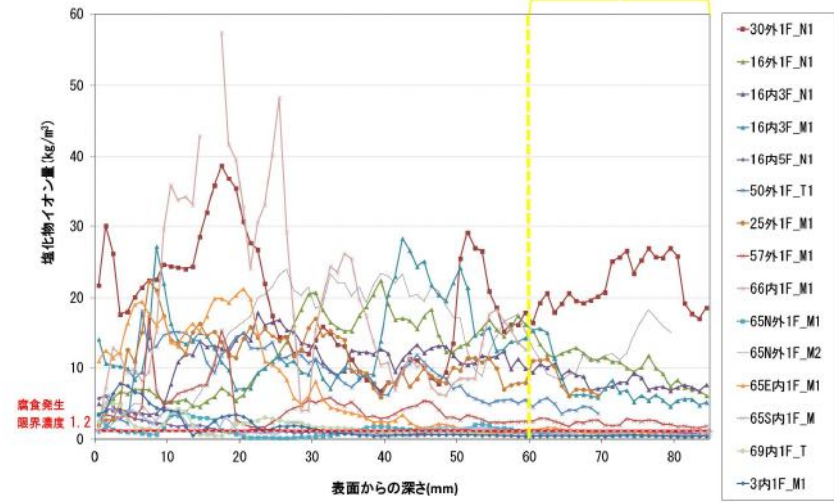


33

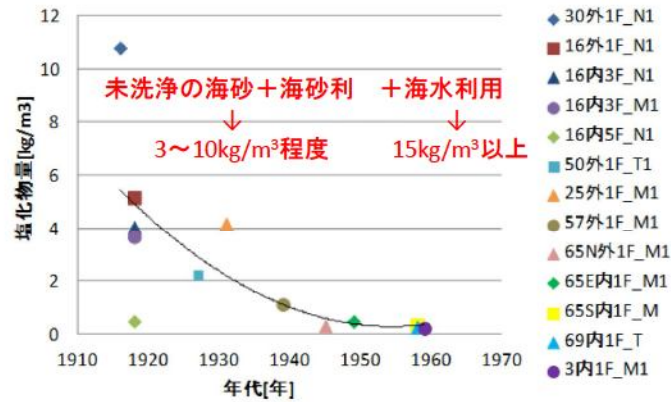
# 塩化物イオン量の測定箇所



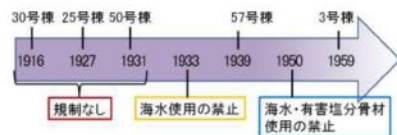
# 塩化物イオン量 (深さ方向分布)



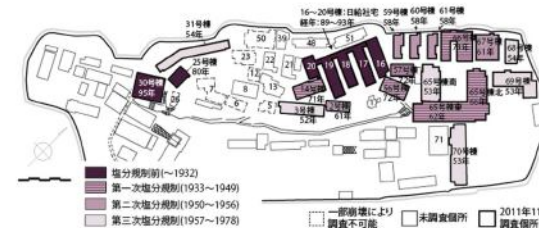
# 建設年代と塩分量



JASS 5における塩分規制



# 塩分規制について

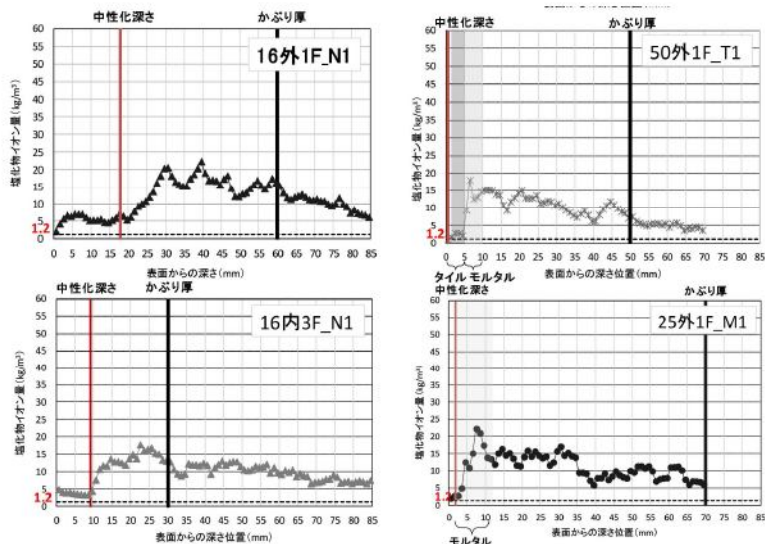


軍艦島建物の塩分規制の適用状況

測定箇所	築年数	塩化物量 (鉄筋位置) [kg/m³]	かぶり厚 (mm)	雨漏り	自然電位	塩化係数 [ $\times 10^{-14}$ f]	建築耐久係数 (nd/m³)	コンクリート温度 (Ave[°C])	コンクリート温度 (Ave[°C])	鉄筋腐食
30外1F_N1	96	17.82	(40)	あり	-	0.089	0.1751	測定中	測定中	不明
16外1F_N1	94	15.83	60	あり	-	10000	-	10.8	81.9	軽微
50外1F_T1	85	7.30	50	あり	-	0.09	0.1581	測定中	測定中	完全腐食
25外1F_M1	81	6.12	70	あり	-	10000	0.1608	測定中	測定中	軽微
57外1F_M1	73	2.89	50	なし	-	212.3	0.2253	測定中	測定中	軽微
65N外1F_M1	67	1.80	40	あり	不確定~有	10000	0.2528	11.2	99.3	完全腐食
65N外1F_M2	67	15.81	85	あり	-	0.26	-	11.5	99.7	軽微
16内3F_M1	94	13.07	30	なし	-	0.2	-	11.5	80.1	軽微
16内3F_M1	94	6.46	70	なし	不確定~有	4286	-	測定中	測定中	軽微
16内5F_M1	94	0.71	40	なし	-	4757	-	-	-	軽微
65E内1F_M1	63	0.58	110	なし	-	2957	0.2076	-	-	軽微
65S内1F_M	54	0.76	100	なし	-	2482	0.1986	-	-	軽微
69内1F_T	54	0.50	95	なし	-	0.0067	-	-	-	軽微
3内1F_M1	53	0.43	120	あり	不確定	80.47	-	11.7	91.2	軽微



## 中性化による塩化物イオンの濃縮



38

## 補修方法の検討 \_劣化状況

### ・鉄筋腐食の程度

軍艦島におけるRC構造物群の鉄筋腐食の程度は、比較的健全な状態から鉄筋の破断や減失している状態のものまで様々。鉄筋の腐食の程度によって、取るべき補修(補強)方法が大きく異なる。

### ・劣化の程度

中性化深さ: 0~100mm程度まで様々。(平均30mm程度)  
 塩化物イオン量: 初期 部位によって10~20kg/m³程度の内在塩分  
 後期 内在塩分は1kg/m³かそれ以下、ただし飛来塩分によって最大10kg/m³程度まで

### ・劣化環境の強さ

建物が密集、入り組んでおり、飛来塩分量は、場所によって大きく異なる。また建設年代によって中性化の程度、内在塩分量が異なる。

39

## 補修方法の検討 \_前提条件

### ・補修後の外観

歴史的構造物におけるAuthenticity(オーセンティシティ、真正性・正統性)確保の考え方。

- ①建設時と同じ材料・工法を用いること
- ②できるかぎり外観を変えないこと
- ③外観が変わる場合にあってても可逆性(元に戻せる)を損なわないこと

したがって、外観上をできるだけオリジナルの状態に近いものとするか、補修後に必要に応じて補修層を取り除くことができるものを基本とする。ただし、構造物やその箇所によっては、必ずしもこの要求事項を満足する必要はない。

### ・再補修の容易さ

劣化環境も厳しく、オーセンティシティの確保の観点から根本的な補修(治療)を行うことが難しく、定期的な再補修が必要。

40

## 暴露試験の実施

### 基材モルタル

W/C=70%・S/C=4.5・細骨材の10%を鉄粉で置換  
 $Cl^- = 1.2\text{kg/m}^3$  (内在塩分、飛来塩分が比較的少ない部位を想定)  
 $10\text{kg/m}^3$  (初期の建物、飛来塩分が比較的多い部位を想定)

### 基材モルタルの養生

材齢2日	湿空養生
材齢7日(5日間)	標準養生
材齢10日(3日間)	50°C気中乾燥
材齢31日(21日間)	促進中性化(中性化深さ約21mm)
~材齢42日	補修施工
材齢56日	暴露試験開始

### 基材モルタルの形状・寸法

100×100×100mm  
 側面2面に補修を施し、残り4面を厚膜表面被覆材でシール



41

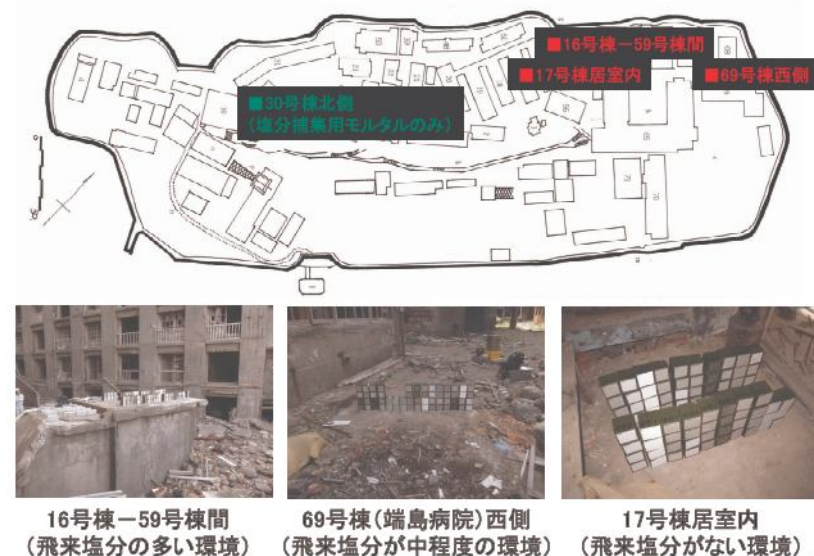


## 補修仕様

分類	記号	仕様
補修なし	N	補修無し
表面被覆	MC	アクリルゴム系塗膜防水材 (JIS A 6021)
	WPE	防水形複層塗材E (JIS A 6909)
	CE	防水形複層塗材CE (JIS A 6909)
LiNO <sub>2</sub> 処理	LNP1	LiNO <sub>2</sub> 表面塗布 (400g/m <sup>2</sup> ) メーカー標準塗布量
	LNP2-1.2	LiNO <sub>2</sub> 表面塗布224g/m <sup>2</sup> (Cl <sup>-</sup> 1.2kg/m <sup>3</sup> 用・モル比1.0)
	LNP2-10	LiNO <sub>2</sub> 表面塗布1120g/m <sup>2</sup> (Cl <sup>-</sup> 10kg/m <sup>3</sup> 用・モル比0.6)
	LNIJ	LiNO <sub>2</sub> 高圧注入処理 (注入量: Cl <sup>-</sup> 1.2kg/m <sup>3</sup> 用 5cc/体、Cl <sup>-</sup> 10kg/m <sup>3</sup> 用 30cc/体)
	LNP+PCP	Li <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Si系固化材表面塗布 (200g/m <sup>2</sup> ) 後 LiNO <sub>2</sub> 表面塗布 (約 280g/m <sup>2</sup> ) および LiNO <sub>2</sub> 混入ポリマーセメントペースト 2mm 塗付け
浸透性吸水防止材	BP	シラン系浸透性吸水防止材塗布 (600g/m <sup>2</sup> )
LiNO <sub>2</sub> +浸透性吸水防止材	LNP1+BP	LiNO <sub>2</sub> 表面塗布 (400g/m <sup>2</sup> ) 後、浸透性吸水防止材塗布 (600g/m <sup>2</sup> )
	LNIJ+BP	LiNO <sub>2</sub> 高圧注入処理 (上記参照) 後、浸透性吸水防止材塗布 (600g/m <sup>2</sup> )

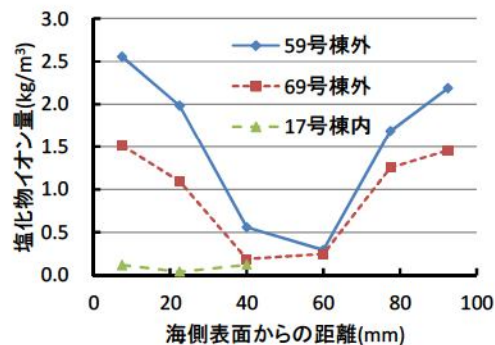
42

## 暴露試験の実施状況



43

## 飛来塩分量 (試験体による測定)



塩化物イオン量は、温水抽出塩分 (イオンクロマトグラフで測定)

44

## 腐食状況の評価

グレード	状況	表面	断面
0	全くさびていない状態		
1	一部の鉄粉がさびている状態		
2	ほぼ全ての鉄粉がさびている状態		
3	一部の鉄粉が腐食・膨張し、さび汁が見られる		
4	ほぼ全ての鉄粉が腐食膨張し、さび汁が見られる		

45



## 腐食状況 (Cl:1.2kg/m<sup>3</sup>試験体)

Cl <sup>-</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	暴露箇所	補修仕様	腐食グレード						
			海側			山側			
			表面	中性化	未中性化	未中性化	中性化	表面	
1.2	59号棟外	N	3.0	2.5	1.5	1.5	3.0	4.0	
		LNP1	3.0	3.5	1.5	1.5	3.0	3.0	
		LNP2-1.2	2.5	3.0	1.5	1.5	3.0	3.0	
		LNP1+BP	3.0	1.0	0.0	0.0	1.0	2.0	
		LNIJ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	
		LNIJ+BP	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	
		BP	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	
		LNP+PCP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		69号棟外	N	2.0	2.5	1.0	1.0	2.5	3.0
	LNP1		2.0	3.0	1.0	1.0	3.0	2.5	
	LNP2-1.2		2.0	3.0	1.0	1.0	3.0	3.0	
	LNP1+BP		2.5	1.0	0.0	0.0	1.0	2.0	
	LNIJ		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	BP		2.0	1.0	0.0	0.0	1.0	2.5	
	LNP+PCP		0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	
	17号棟内		N	1.5	1.0	0.0	0.0	1.0	1.0
			LNP1	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
		LNP2-1.2	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		LNP1+BP	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		LNIJ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		BP	1.5	1.0	0.0	0.0	1.0	1.5	
	LNP+PCP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

46

## 腐食状況 (Cl:10kg/m<sup>3</sup>試験体)

Cl <sup>-</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	暴露箇所	補修仕様	腐食グレード						
			海側			山側			
			表面	中性化	未中性化	未中性化	中性化	表面	
10	59号棟外	N	4.0	4.0	2.5	2.5	4.0	3.0	
		LNP1	2.0	3.0	2.0	2.0	3.0	3.0	
		LNP2-10	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	
		LNP1+BP	3.0	1.5	2.0	2.0	1.5	3.0	
		LNIJ	1.5	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	
		LNIJ+BP	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.5	
		BP	2.5	2.0	1.5	1.5	2.0	2.5	
		LNP+PCP	0.0	1.0	1.5	1.5	1.0	0.0	
		69号棟外	N	2.0	3.0	2.0	2.0	3.0	3.0
	LNP1		2.0	2.5	2.0	2.0	2.5	2.5	
	LNP2-10		1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0	
	LNP1+BP		2.5	2.0	1.5	1.5	2.0	2.0	
	LNIJ		0.0	1.5	0.0	0.0	1.5	1.0	
	BP		2.5	2.0	1.5	1.5	2.0	2.5	
	LNP+PCP		0.0	1.5	1.5	1.5	1.5	0.0	
	17号棟内		N	2.0	3.0	2.0	2.0	3.0	2.5
			LNP1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5
		LNP2-10	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	
		LNP1+BP	2.5	2.0	1.5	1.5	2.0	2.0	
		LNIJ	1.5	1.5	0.0	0.0	1.5	1.0	
		BP	2.0	2.5	1.5	1.5	2.5	2.5	
	LNP+PCP	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0		

47

## まとめ

### 軍艦島の建築物の現況と課題

- ◆ 厳しい塩害環境(飛来塩分量)
- ◆ 内在塩分(大量の塩分・建設年代による規制との関係)
- ◆ 中性化は一般的or小さめ
- ◆ 鉄筋腐食の進行(部材の欠損、鉄筋の断面欠損・消失)
- ◆ 部材性能(構造性能)に対する懸念、評価方法の検討
- ◆ 歴史的建造物に対する補修方法の検討

48