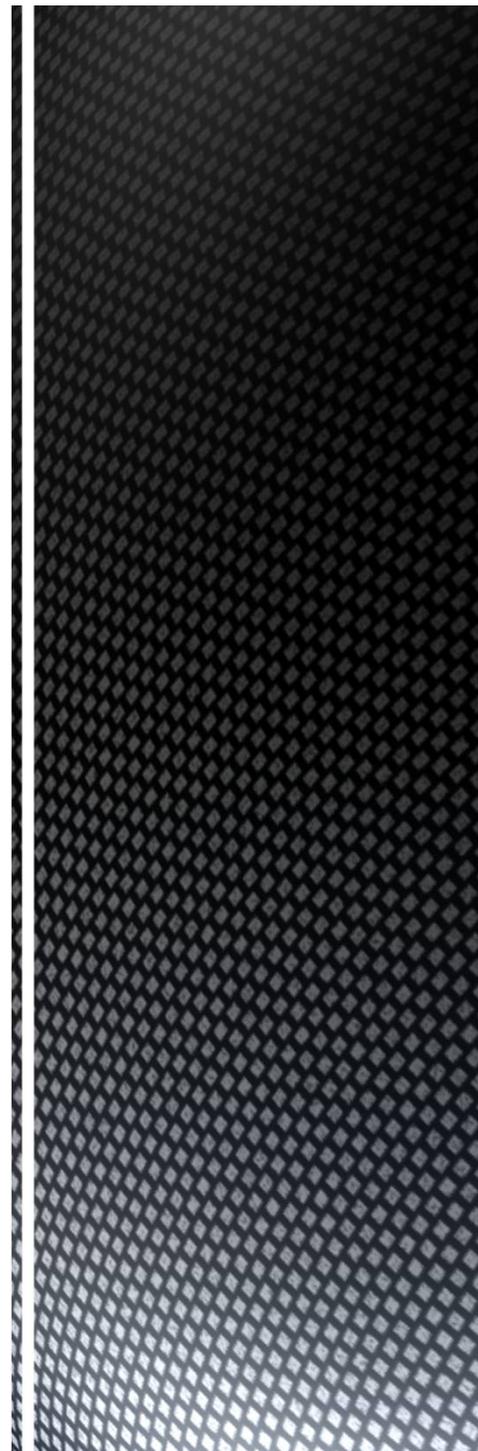


# 軍艦島(端島)における RC建築物の状況と 保存に向けた検討

芝浦工業大学  
建築学部建築学科  
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
  - 中性化深さ
  - 塩化物イオン量
  - 補修方法の検討
  - 中性化深さ
  - 塩化物イオン量

# 調査等の経緯

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:2011~2013・2015~)

長崎市より日本コンクリート工学会に対して、端島の構造物の補修・補強方法およびそれらの施工方法などに関する調査委託。

(委託期間:2015~2016)

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7月:

ユネスコ世界文化遺産の構成要素の一つとして登録  
(建築物群については周辺要素の一つ)

# 建築学会における調査内容(全体)

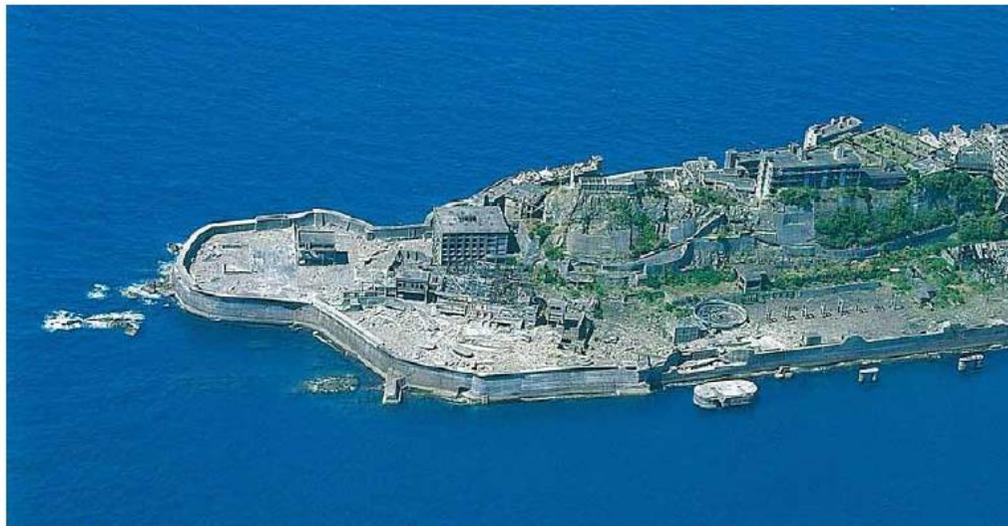
- 劣化外力の調査
  - 温湿度、風向
  - 飛来塩分量
- 材料に関する調査
  - 目視による劣化状況の調査
  - コンクリートの材料・調合(セメント、骨材、配合推定)
  - コンクリートの状態(中性化・塩化物イオン量)
  - 鉄筋の状態
  - その他の材料の状態
- 構造安全性の調査
  - 常時微動調査
  - 耐震性能評価(日給社宅16号棟)
- 護岸健全度調査
- 補修方法の検討

# 軍艦島(端島)

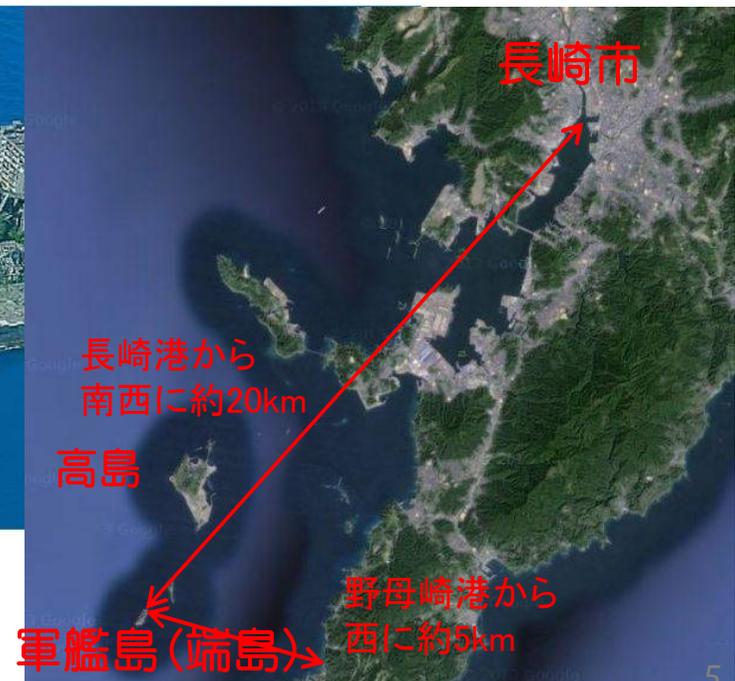


北西側の航空写真

北西側軍艦島 (H16.10月撮影) 旧高島町資料より



南東側の航空写真



# 歴史的経緯

## 軍艦島の簡易年表

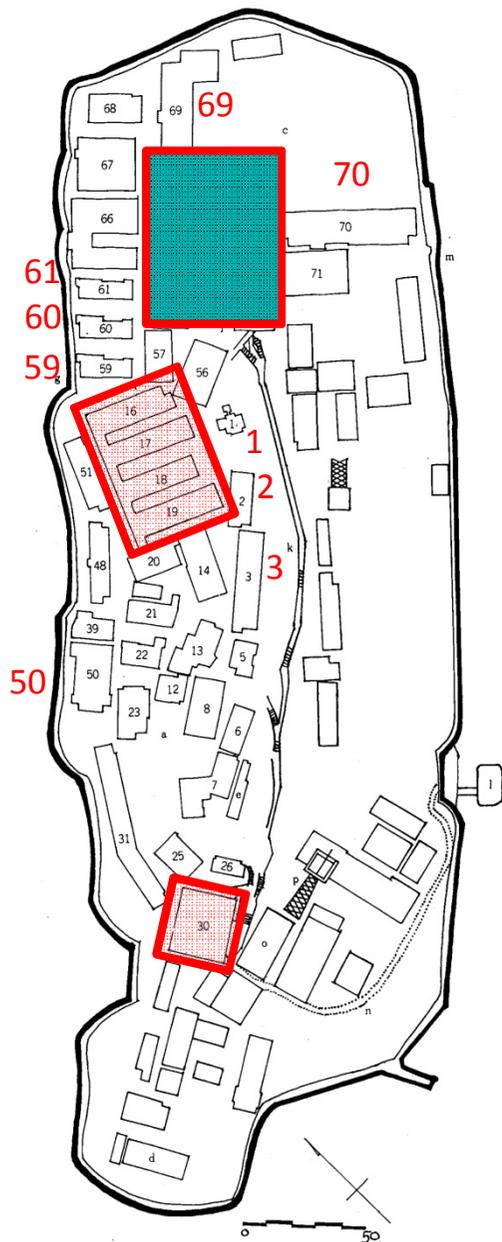
| 年             | 主な出来事         |
|---------------|---------------|
| 1810年(文化3)    | 端島で石炭が発見される   |
| 1890年(明治23)   | 三菱社が端島炭鉱を買収する |
| 1891年(明治24)   | 出炭開始          |
| 埋め立て工事による地形変化 |               |

埋め立て  
工事による  
地形変化

|             |
|-------------|
| 1916年(大正5)  |
| 1918年(大正7)  |
| 1941年(昭和16) |
| 1945年(昭和20) |
| 1956年(昭和31) |
| 1959年(昭和34) |
| 1960年(昭和35) |
| 1970年(昭和45) |
| 1974年(昭和49) |



# 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



30号棟 | 1916年 | RC造 | 2



50号棟 | 1927年 | 鉄骨造 | 2



71号棟 | 1970年 | RC造 | 2

# 軍艦島の状況 \_見学コースより



見学通路



総合事務所跡



仕上工場跡

# 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



30号棟外観



30号棟内観



地獄段(16号棟横・S40頃)



地獄段(現在)

# 軍艦島の温湿度・風況の調査

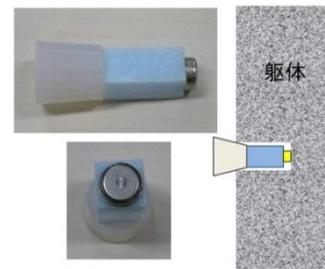


外気温湿度  
観測装置



おんどとり

コンクリート  
内部の温湿度  
観測装置



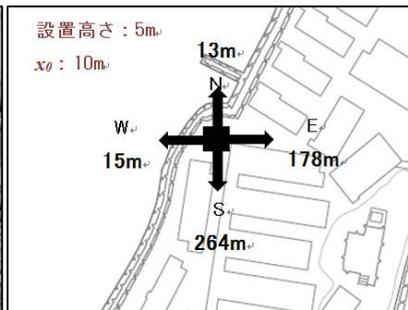
ハイグロクロン

\*コンクリート表面から  
5~6cm位置に設置

# 飛来塩分の調査



飛来塩分捕集器



海岸までの距離

51号棟の1階付近



飛来塩分捕集器

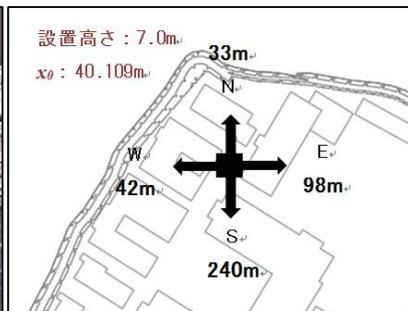


海岸までの距離

51号棟の屋上



飛来塩分捕集器

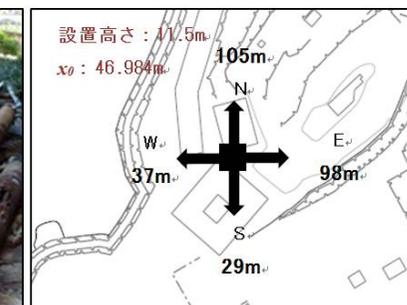


海岸までの距離

端島病院(69号棟)付近



飛来塩分捕集器

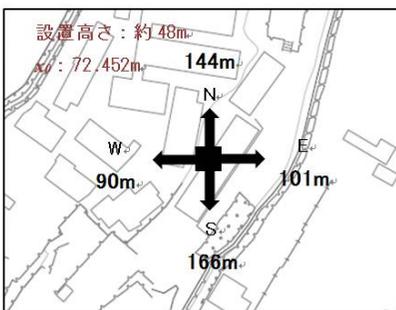


海岸までの距離

30号棟付近



飛来塩分捕集器



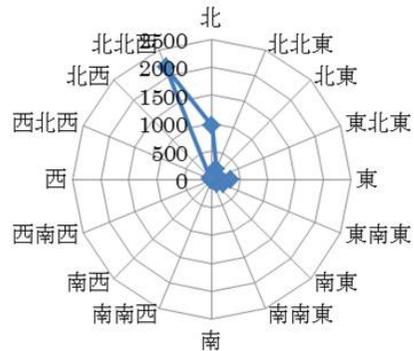
海岸までの距離

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

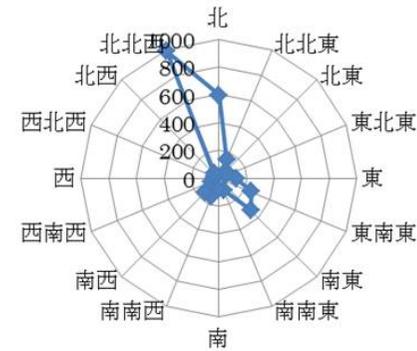
# 軍艦島の風況 (野母崎気象データより)

2012年2月 各方位積算風量  
(×3600(m))



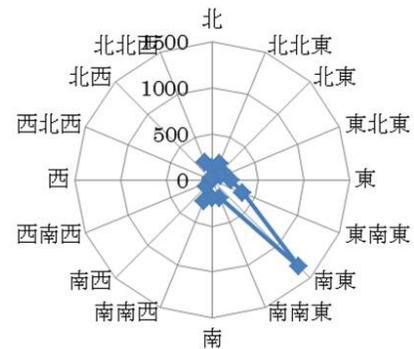
冬

2012年5月 各方位積算風量  
(×3600(m))



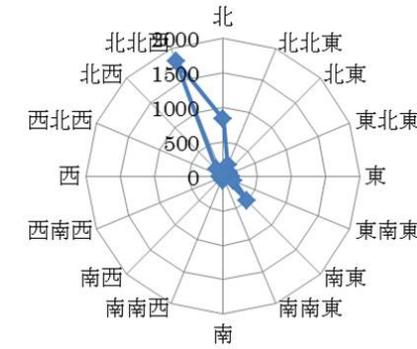
春

2012年8月 各方位積算風量  
(×3600(m))



夏

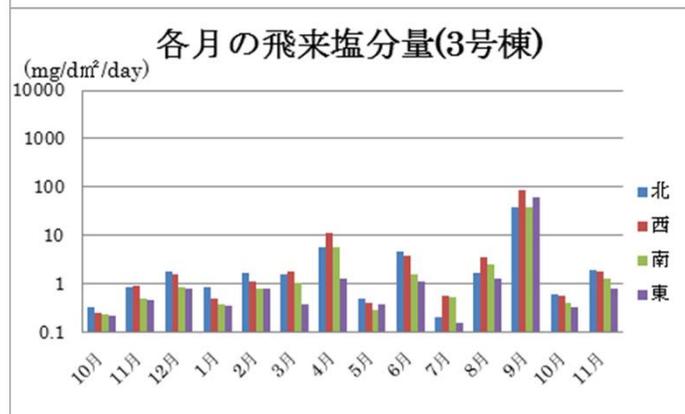
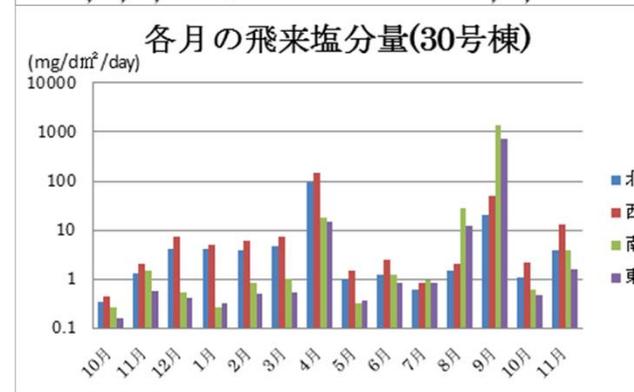
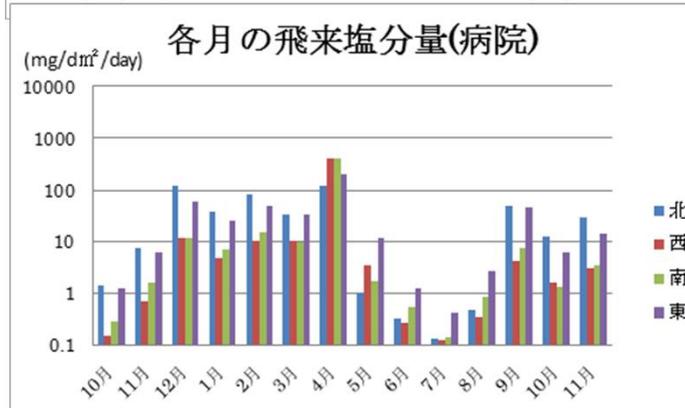
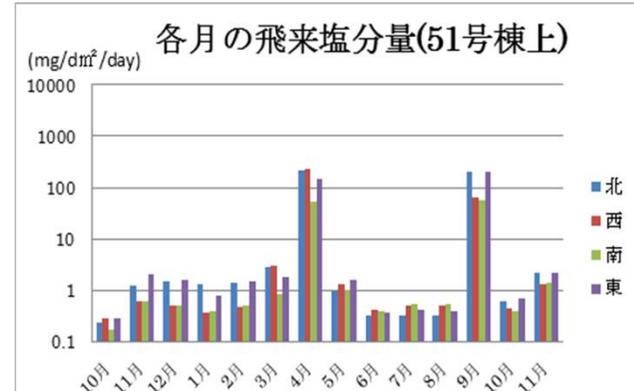
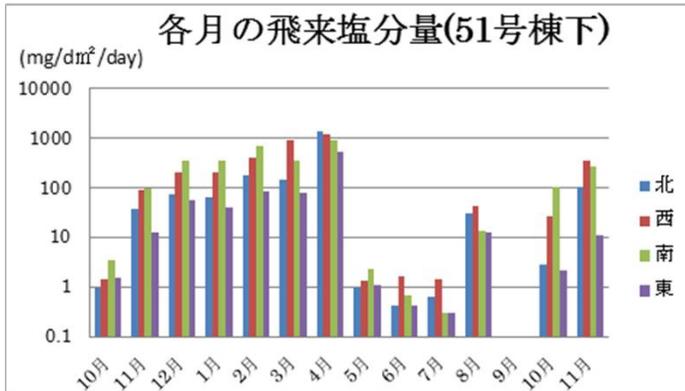
2012年11月 各方位積算風量  
(×3600(m))



秋

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)

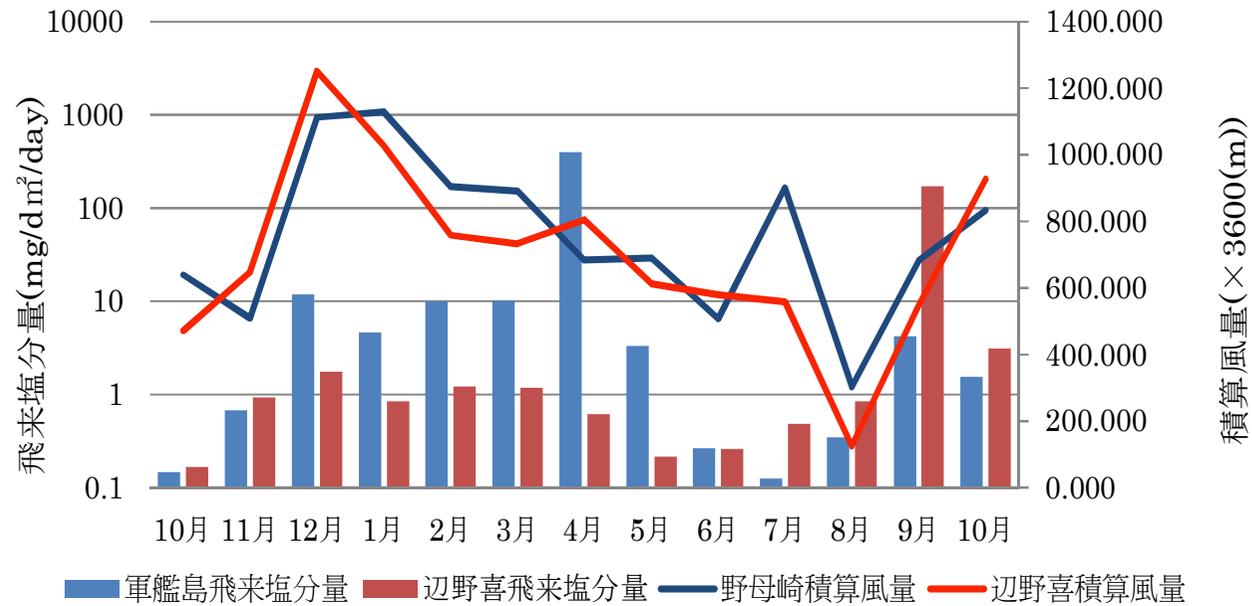


## 各地点での月毎の飛来塩分量



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

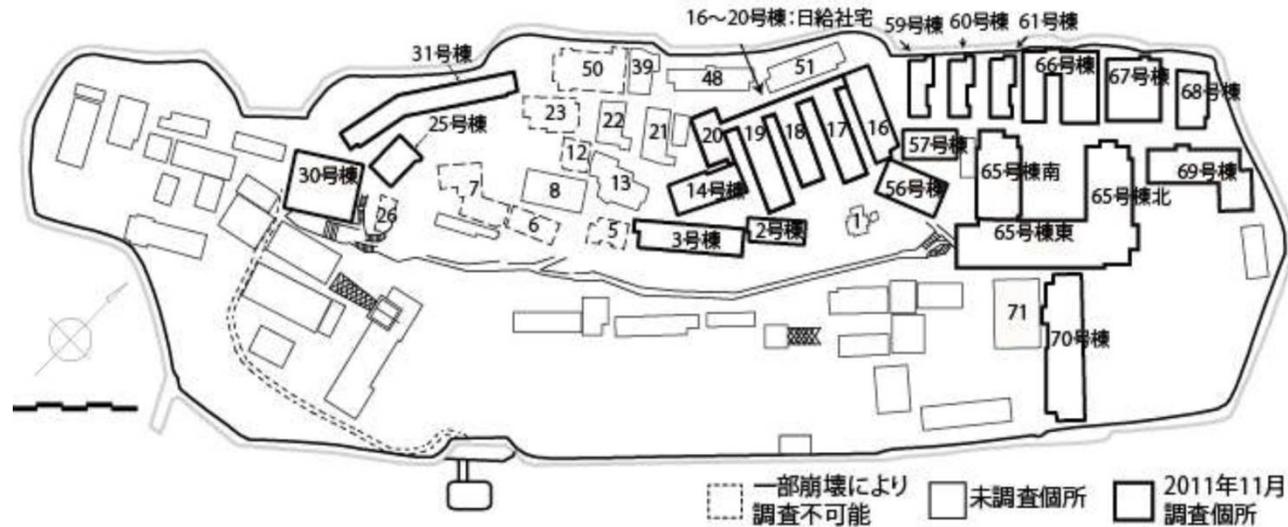


## 端島病院と辺野喜(沖縄)の飛来塩分量比較



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



グレードⅠ



グレードⅡ



グレードⅢ



グレードⅣ



グレードⅤ

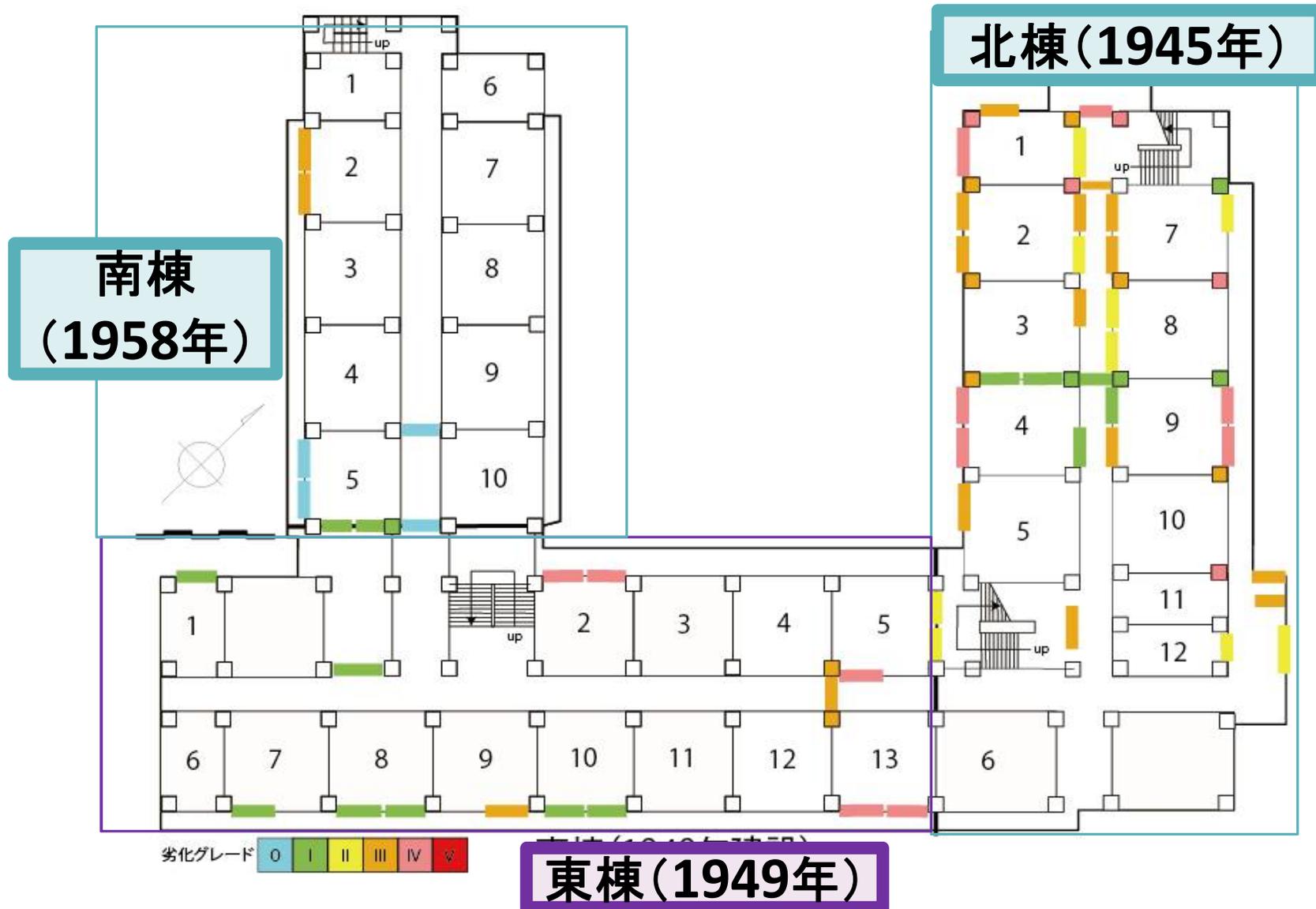


グレードⅤ

# 目視調査結果の例 日給社宅3階



# 目視調査結果の例 65号棟



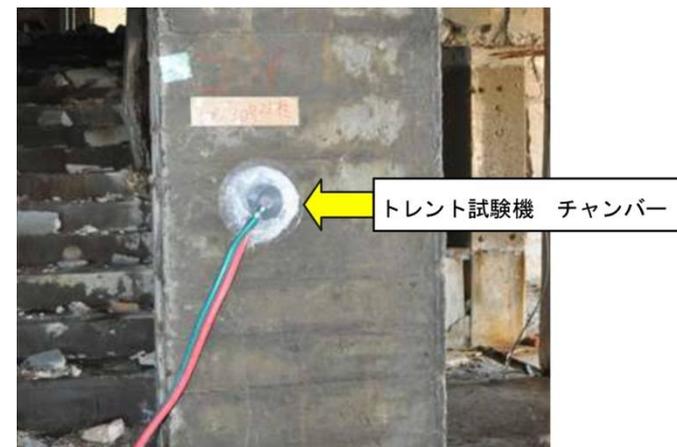
# コンクリート材料の調査

- 使用材料
  - セメントペーストの状態
  - 単位セメント量
  - 骨材の種類
- 圧縮強度
- 中性化深さ
- 塩化物イオン量

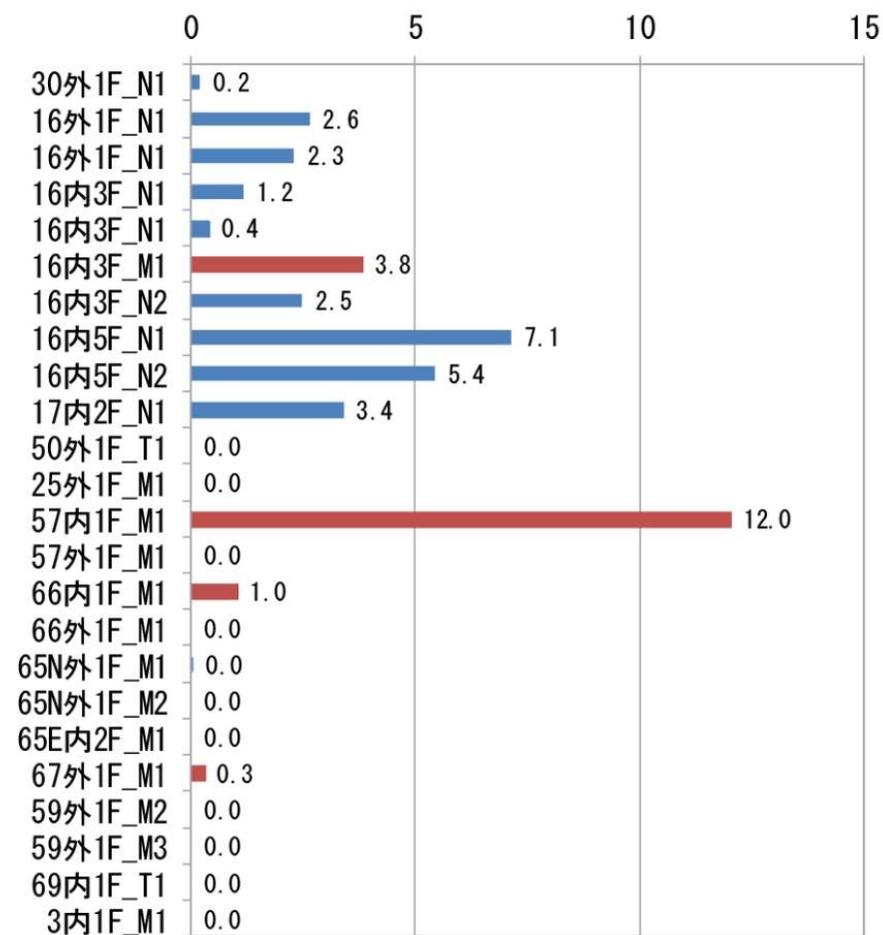
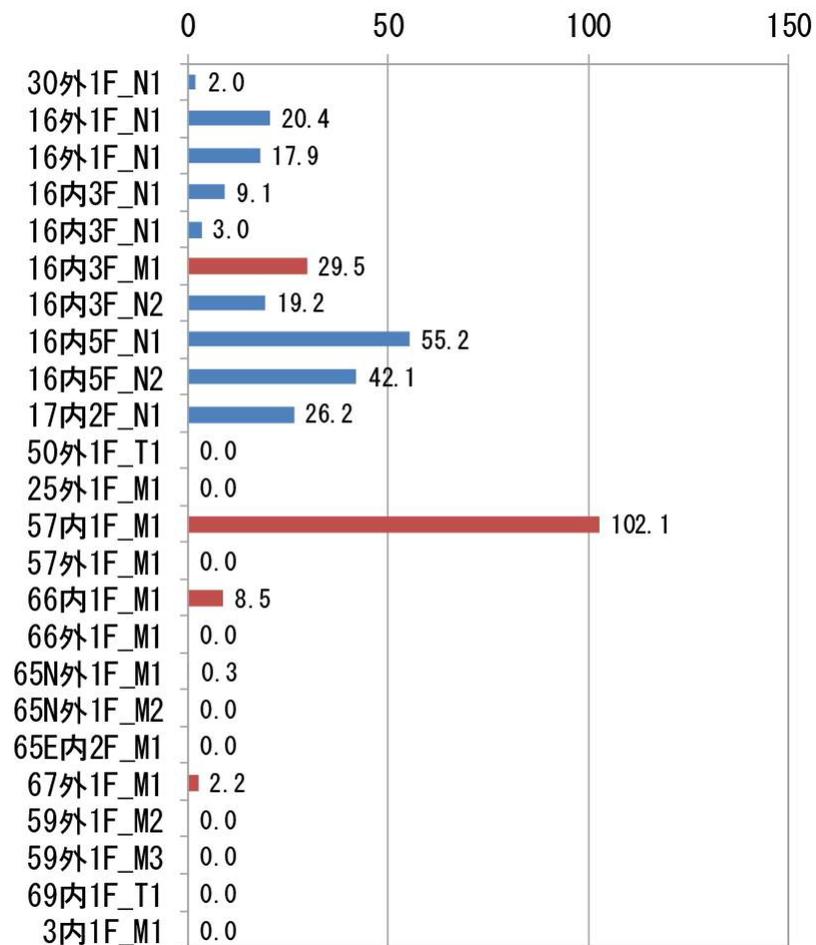
# 中性化深さの調査

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)



# 中性化深さ試験結果



中性化深さ(mm)

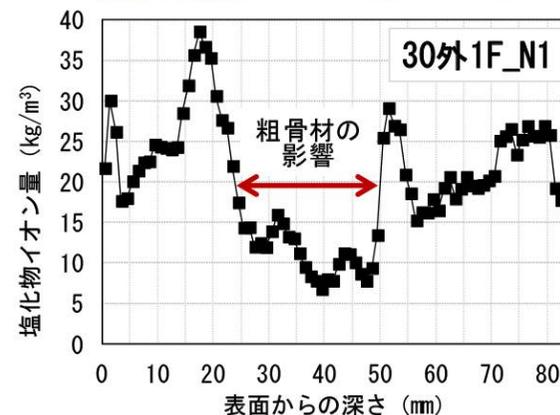
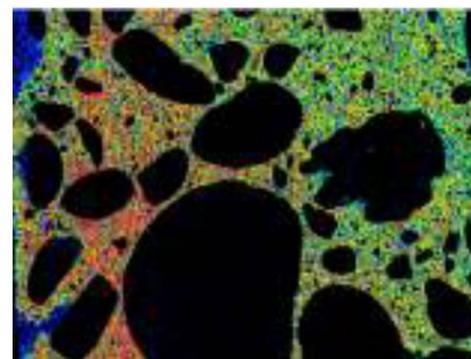
中性化速度係数(mm/√年)

■ 打放し   
 ■ モルタル仕上げ   
 ■ タイル・テラゾー

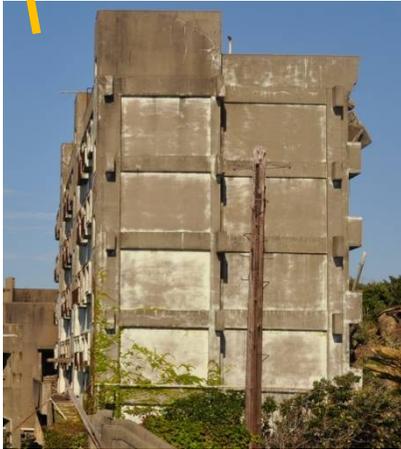
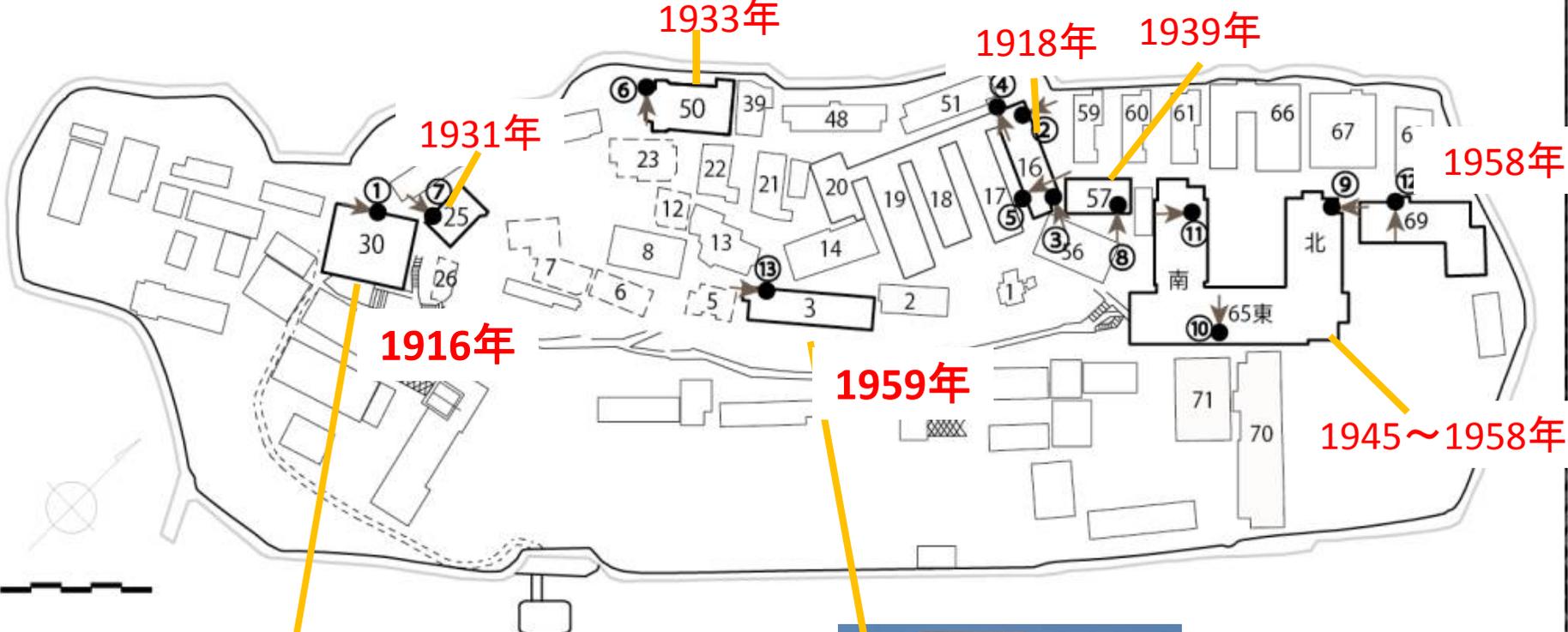
# 塩化物イオン量の調査

調査方法:

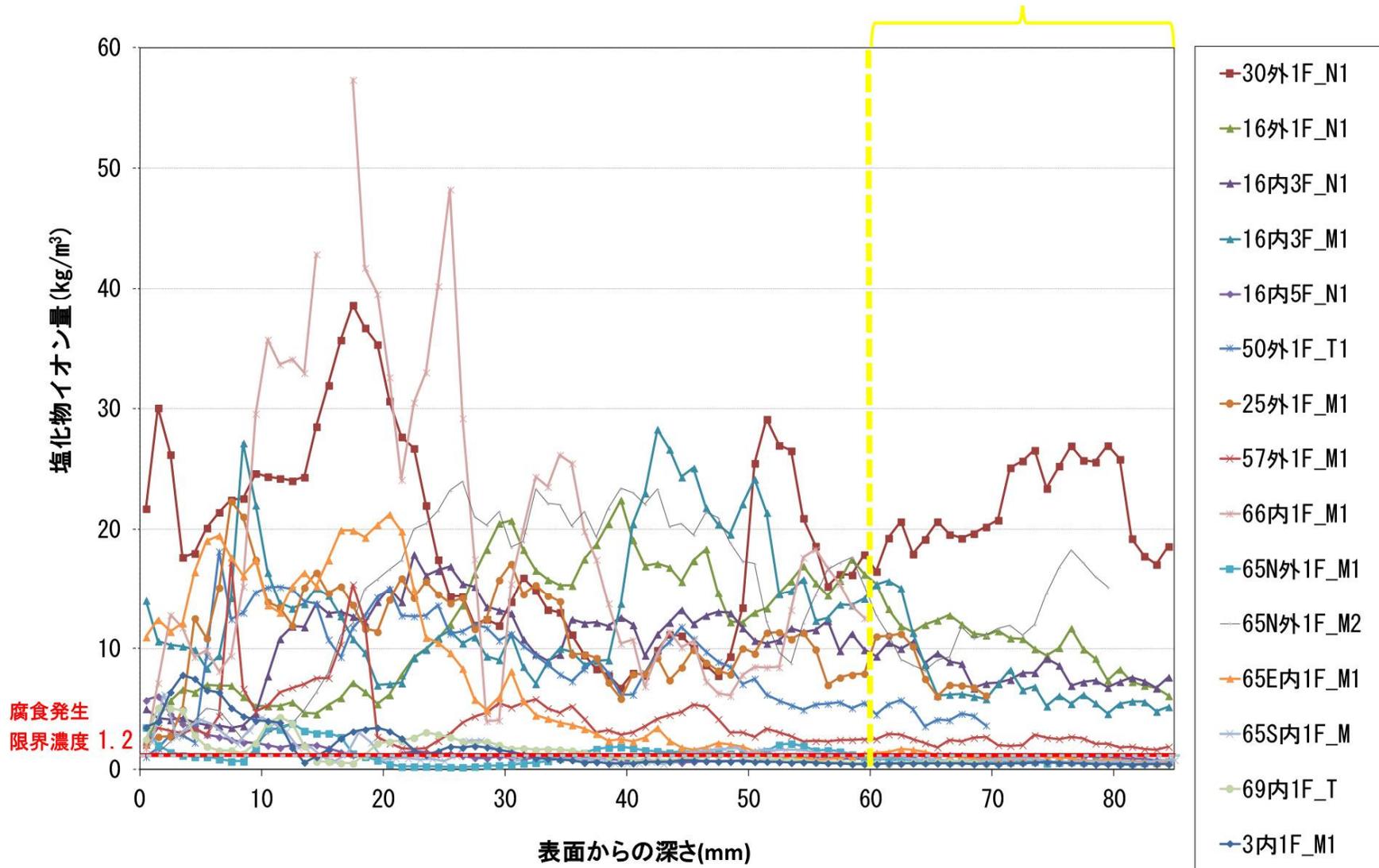
(1) EPMA(電子線マイクロアナライザ)による塩化物イオンの定量(JSCE G 574参考)



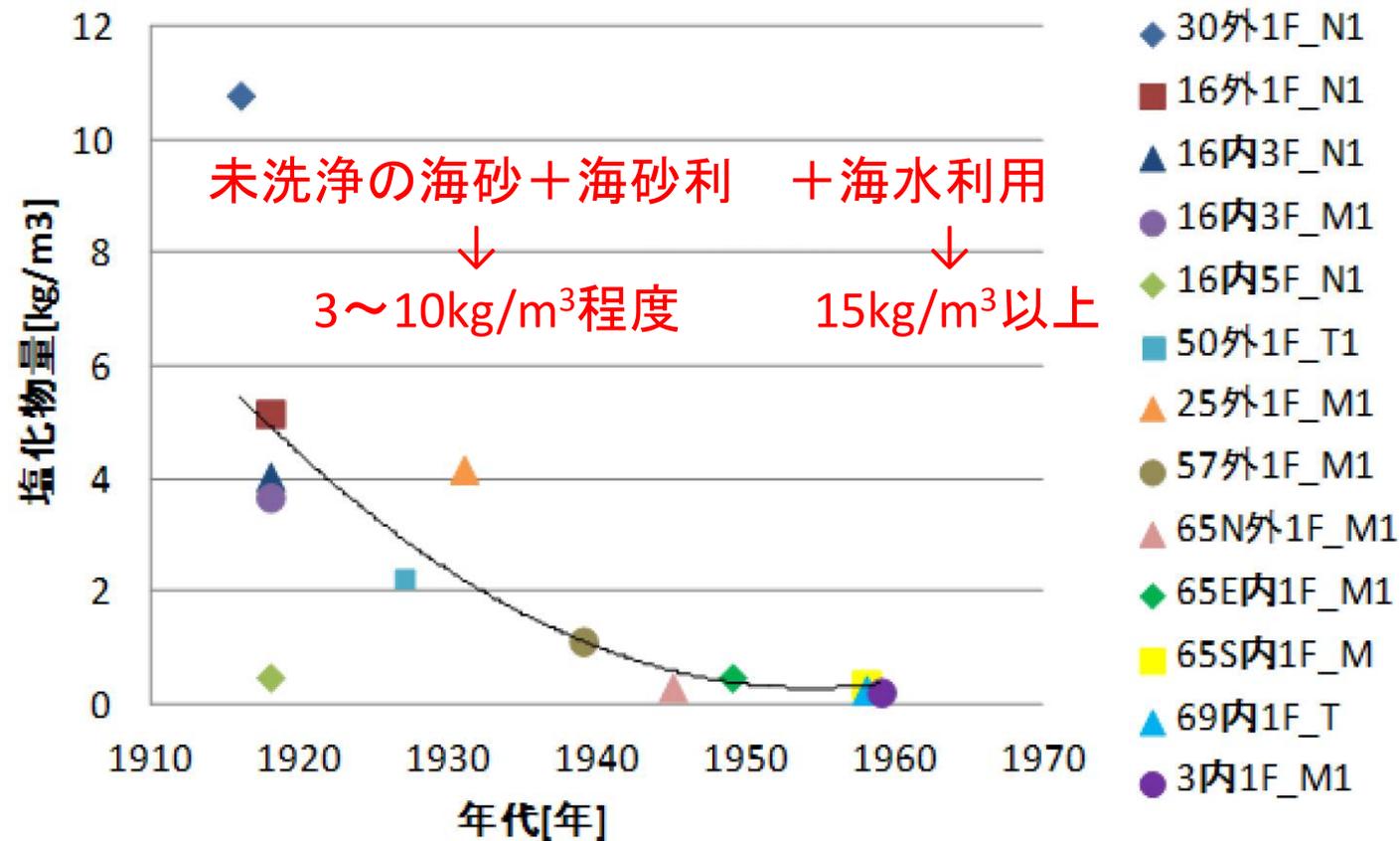
# 塩化物イオン量の測定箇所



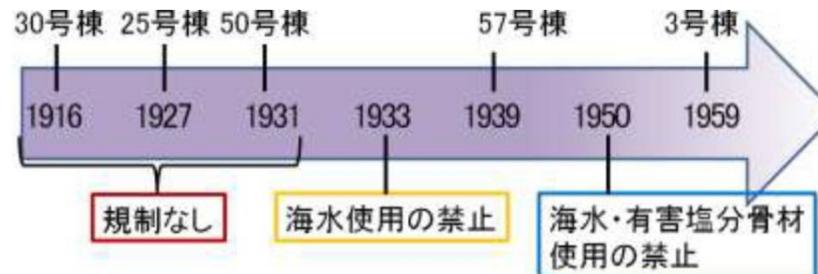
# 塩化物イオン量 (深さ方向分布)



# 建設年代と塩分量



JASS 5における塩分規制



# 暴露試験実施の背景・目的

日本建築学会（2011～2012）の調査の一環として、軍艦島のRC構造物群の保存・補修方法を検討

- 厳しい塩害環境と内在塩分
- 経年による中性化の進行
- 歴史的構造物であるが故の制約

外観をできるだけ変えずに、鋼材腐食の進行を抑制



# 歴史的建造物の保存・修復

## ICOMOSの国際憲章(ヴェニス憲章)

歴史的建造物の保存・修復には、Authenticity(真  
正な価値)の確保が必要

Authenticity確保の考え方:

- ① 建設時と同じ材料・工法を用いること
- ② 形状や色などを変えないこと
- ③ 全体と調和させつつ、修復部分が明確に区別  
できること・取り外せること

これらの条件を考慮し、軍艦島のRC  
建造物群に適用可能な補修方法を検討

# 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<sup>-</sup> = 1.2kg/m<sup>3</sup>(内在塩分、飛来塩分が比較的少ない部位を想定)

10kg/m<sup>3</sup>(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



# 暴露試験実施状況



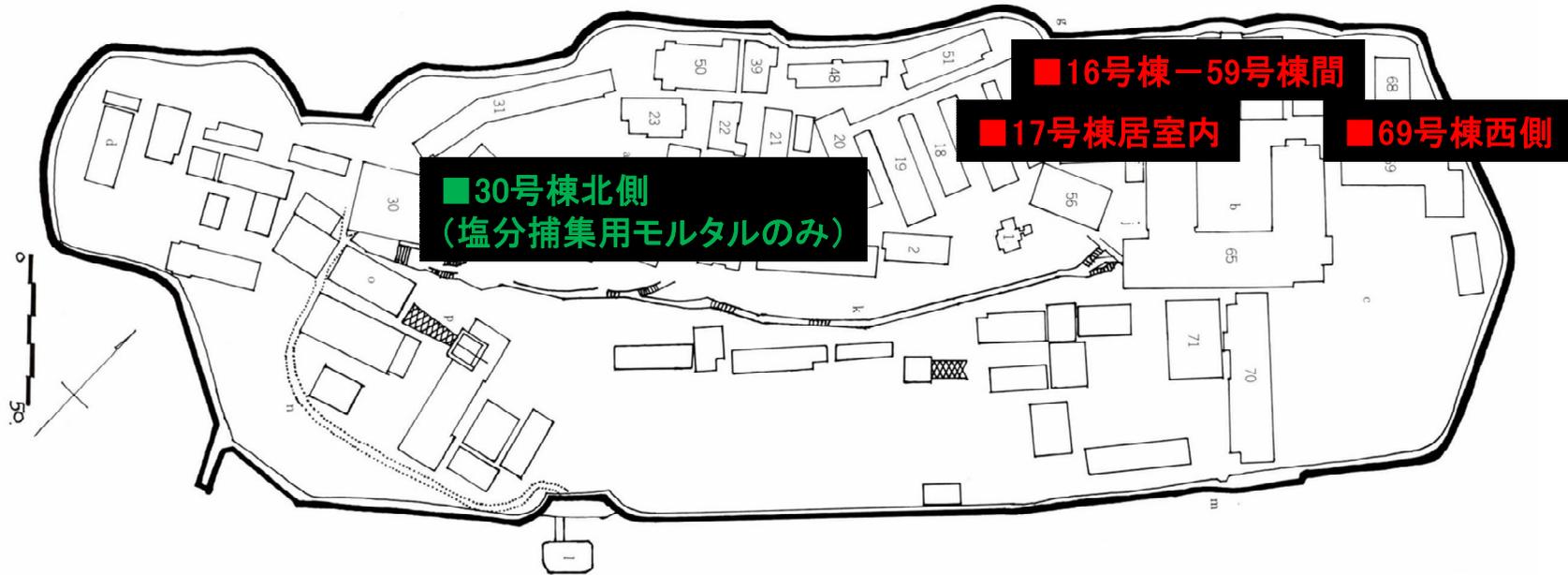
69号棟(端島病院)西側  
(飛来塩分が中程度の環境)

17号棟居室内  
(飛来塩分が少ない環境)

# 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<br>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<br>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> )   |

# 暴露試験の実施状況



16号棟-59号棟間  
(飛来塩分の多い環境)

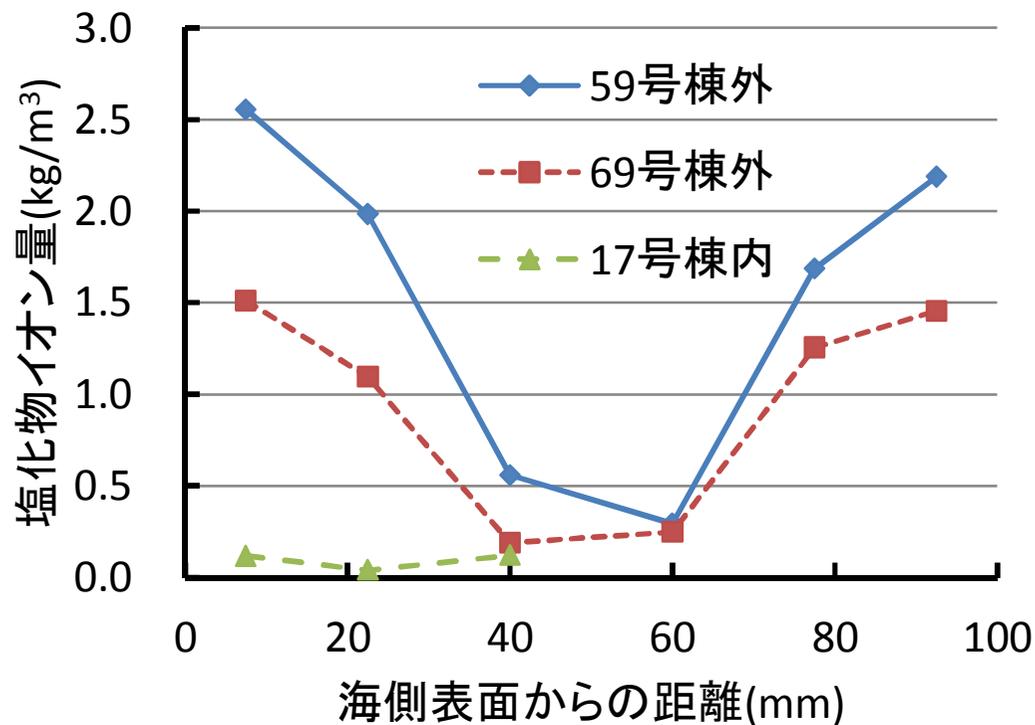


69号棟(端島病院)西側  
(飛来塩分が中程度の環境)



17号棟居室内  
(飛来塩分がない環境)

# 飛来塩分量（試験体による測定）

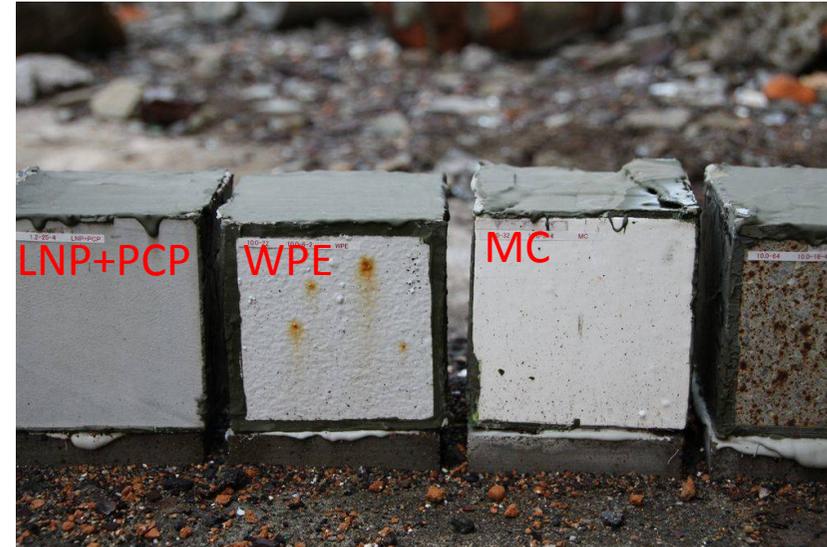
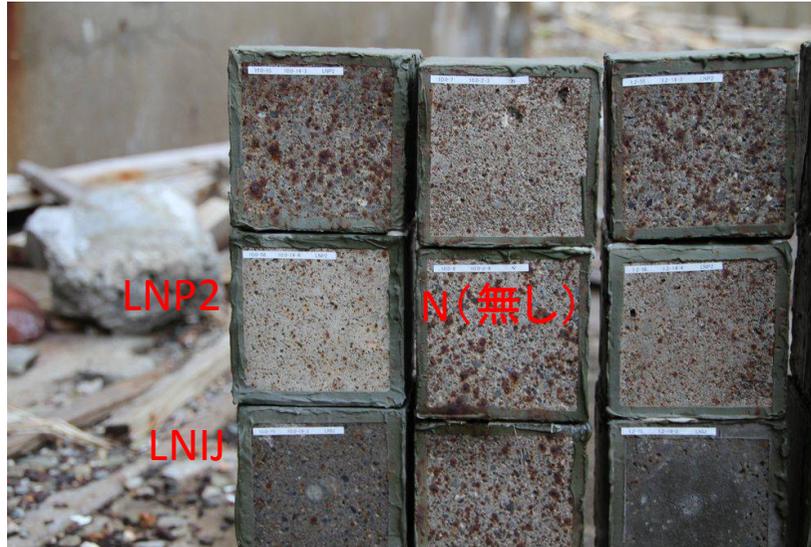


| 暴露場所  | 向き | 表面Cl-量 (kg/m³) | 見掛けの拡散係数 (cm²/年) |
|-------|----|----------------|------------------|
| 59号棟外 | 海側 | 3.24           | 0.17             |
|       | 山側 | 2.86           | 0.20             |
| 69号棟外 | 海側 | 1.97           | 0.22             |
|       | 山側 | 1.90           | 0.17             |

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）

# 試験体の状況の例 (2016.10)

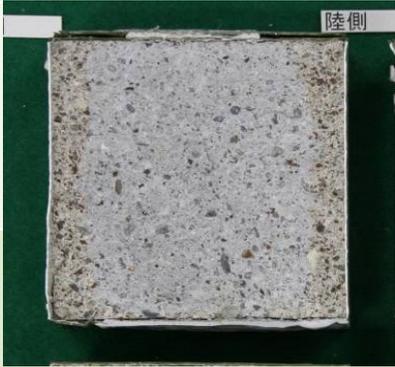
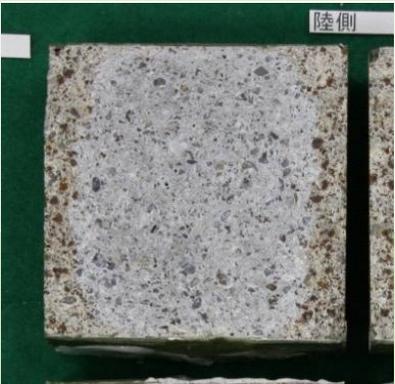
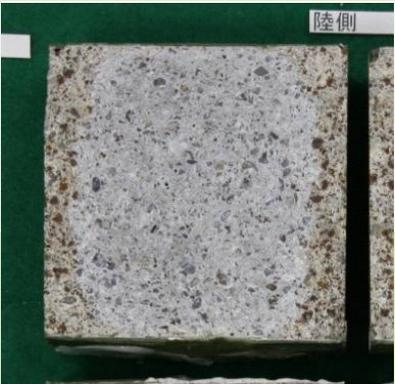
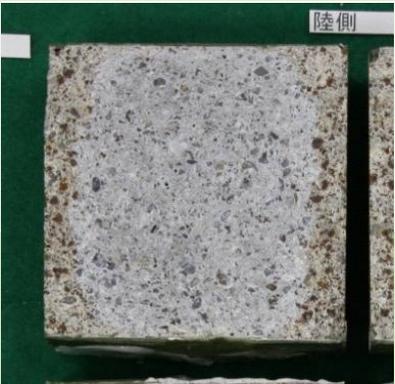
69  
号棟  
屋外



17  
号棟  
屋内



# 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 |  |  |

グレード2の例

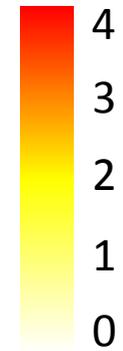
グレード2の例

グレード4の例

グレード4の例

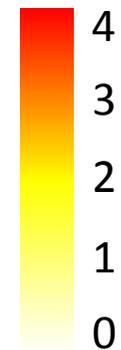
# 腐食状況 (Cl<sup>-</sup>:1.2kg/m<sup>3</sup>試験体)

| 暴露場所       | 補修工法    | 海側  |     |      | 山側   |     |     |
|------------|---------|-----|-----|------|------|-----|-----|
|            |         | 表面  | 中性化 | 未中性化 | 未中性化 | 中性化 | 表面  |
| 59号棟<br>屋外 | N       | 4.0 | 3.3 | 1.3  | 1.8  | 4.0 | 3.8 |
|            | LNP1    | 3.3 | 3.8 | 1.8  | 1.5  | 3.8 | 4.0 |
|            | LNP2    | 3.5 | 3.8 | 2.3  | 1.8  | 4.0 | 3.5 |
|            | LNP1+BP | 3.0 | 1.8 | 0.3  | 0.3  | 1.8 | 3.0 |
|            | LNIJ    | 3.0 | 1.8 | 0.3  | 0.3  | 0.5 | 1.0 |
|            | LNIJ+BP | 3.0 | 1.5 | 0.5  | 0.0  | 2.0 | 2.0 |
|            | BP      | 2.0 | 1.5 | 0.3  | 0.0  | 1.5 | 4.0 |
|            | LNP+PCP | 0.0 | 0.5 | 0.3  | 0.3  | 0.3 | 0.0 |
| 69号棟<br>屋外 | N       | 3.3 | 3.0 | 1.0  | 1.5  | 3.0 | 3.0 |
|            | LNP1    | 4.0 | 3.8 | 1.8  | 1.8  | 3.8 | 4.0 |
|            | LNP2    | 3.5 | 4.0 | 1.3  | 1.5  | 3.3 | 3.0 |
|            | LNIJ    | 1.0 | 0.8 | 0.3  | 0.3  | 0.8 | 2.3 |
| 17号棟<br>屋内 | N       | 1.3 | 1.5 | 0.5  | 0.5  | 1.5 | 1.3 |
|            | LNP1    | 1.0 | 0.8 | 0.3  | 0.3  | 0.8 | 1.3 |
|            | LNP1+BP | 1.0 | 0.8 | 0.3  | 0.3  | 1.0 | 1.0 |
|            | LNIJ    | 0.0 | 0.8 | 0.0  | 0.3  | 0.5 | 0.0 |
|            | BP      | 2.0 | 1.5 | 0.3  | 0.3  | 1.5 | 1.0 |
|            | LNP+PCP | 0.0 | 0.3 | 0.3  | 0.0  | 0.3 | 0.0 |

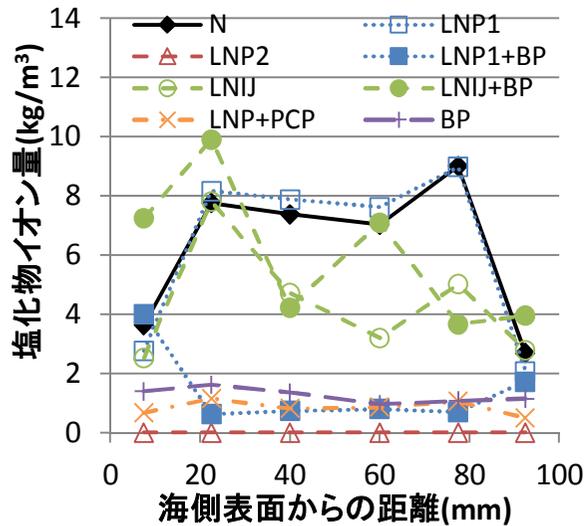


# 腐食状況 (Cl<sup>-</sup>:10kg/m<sup>3</sup>試験体)

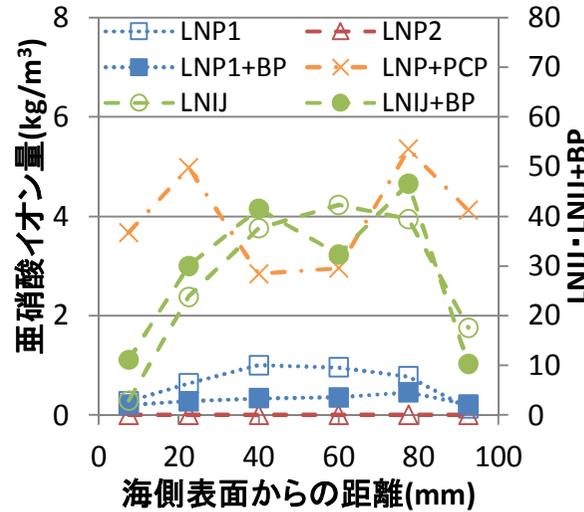
| 暴露場所       | 補修工法    | 海側  |     |      | 山側   |     |     |
|------------|---------|-----|-----|------|------|-----|-----|
|            |         | 表面  | 中性化 | 未中性化 | 未中性化 | 中性化 | 表面  |
| 59号棟<br>屋外 | N       | 3.8 | 3.3 | 2.0  | 1.8  | 3.8 | 3.8 |
|            | LNP1    | 4.0 | 3.0 | 0.8  | 1.0  | 4.0 | 4.0 |
|            | LNP2    | 4.0 | 3.3 | 1.0  | 1.0  | 3.5 | 3.8 |
|            | LNP1+BP | 2.8 | 2.3 | 0.5  | 0.5  | 3.0 | 3.0 |
|            | LNIJ    | 3.8 | 2.5 | 0.3  | 0.8  | 2.8 | 3.8 |
|            | LNIJ+BP | 3.8 | 2.0 | 0.8  | 1.0  | 1.8 | 2.3 |
|            | BP      | 3.8 | 2.3 | 1.0  | 1.8  | 2.5 | 3.8 |
|            | LNP+PCP | 0.0 | 1.8 | 0.8  | 1.0  | 2.0 | 0.0 |
| 69号棟<br>屋外 | N       | 2.8 | 3.0 | 2.3  | 2.3  | 3.3 | 3.3 |
|            | LNP1    | 3.3 | 3.3 | 1.5  | 1.5  | 2.5 | 4.0 |
|            | LNP2    | 4.0 | 2.5 | 0.8  | 0.8  | 3.3 | 3.8 |
|            | LNIJ    | 1.5 | 1.8 | 0.5  | 0.3  | 1.8 | 3.0 |
| 17号棟<br>屋内 | N       | 2.3 | 2.5 | 2.5  | 2.3  | 2.8 | 2.3 |
|            | LNP1    | 2.0 | 2.5 | 1.8  | 2.0  | 2.3 | 2.0 |
|            | LNP1+BP | 2.3 | 2.5 | 0.5  | 0.5  | 2.3 | 2.0 |
|            | LNIJ    | 0.8 | 1.5 | 0.5  | 0.5  | 2.0 | 1.0 |
|            | BP      | 2.5 | 2.8 | 1.0  | 0.5  | 2.8 | 1.8 |
|            | LNP+PCP | 0.0 | 1.8 | 0.8  | 1.0  | 1.8 | 0.0 |



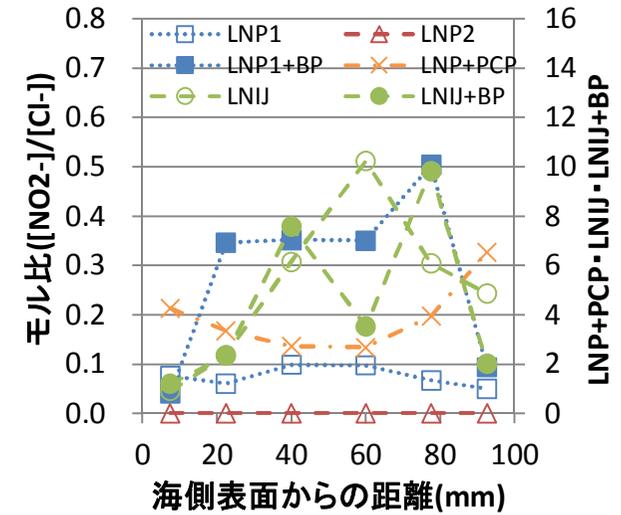
# 塩化物および亜硝酸イオンの分布の例



塩化物イオン分布  
(温水抽出塩分)



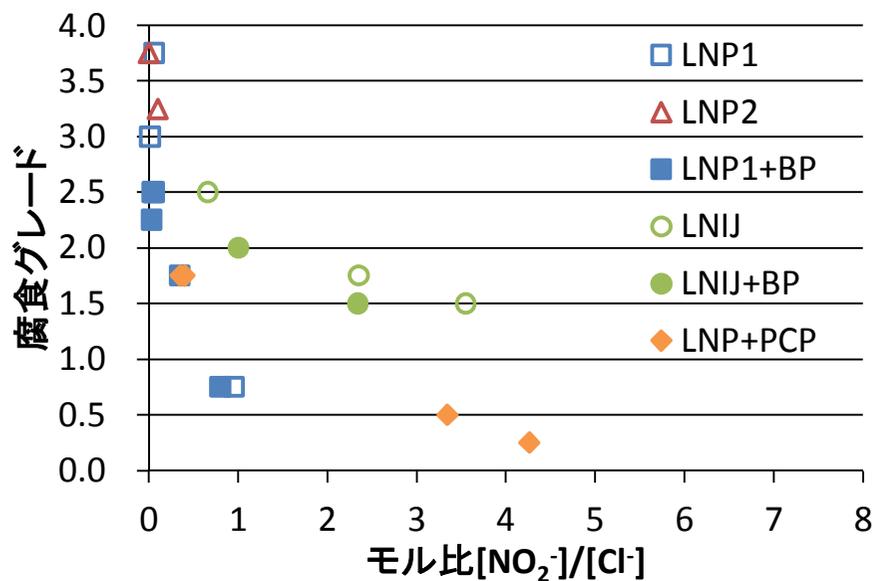
亜硝酸イオン分布



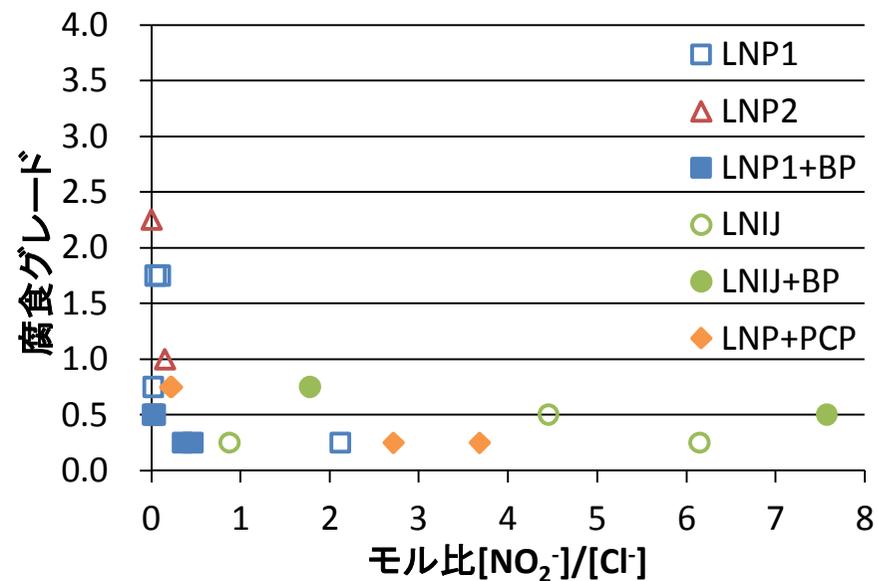
モル比分布  
([NO<sub>2</sub><sup>-</sup>]/[Cl<sup>-</sup>])

16-59号棟屋外・Cl<sup>-</sup>=1.2kg/m<sup>3</sup>試験体

# 亜硝酸リチウムの必要量の検討



中性化部



未中性化部

モル比([NO<sub>2</sub><sup>-</sup>]/[Cl<sup>-</sup>])と腐食グレードの関係

# 補修工法の考え方の例

| 場 所           | 内在塩分 | 見え掛かり  | 見え掛かりなし  |
|---------------|------|--|--|
| 屋内<br>(飛来塩分小) | 小    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 塗布含浸(ただし塗布量多め)</li> <li>・ 注入工法</li> </ul>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 塗布含浸(ただし塗布量多め)</li> <li>・ ペースト塗布</li> </ul> |
|               | 大    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 注入工法</li> </ul>                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ペースト塗布</li> </ul>                           |
| 屋外<br>(飛来塩分大) | 小    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 塗布含浸(塗布量多め) + 浸透性吸水防止剤</li> <li>・ 注入工法</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 同左 + ペースト塗布</li> </ul>                      |
|               | 大    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 注入工法(塗布量多め) + 浸透性吸水防止剤</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 同左 + ペースト塗布</li> </ul>                      |

亜硝酸リチウムの塗布量、注入量等は塩分量に応じて調整  
塗布含浸については、より含浸出来る方法を要検討

# まとめ

## 軍艦島の建築物の現況と抱えている問題点

- ◆ 厳しい塩害環境(飛来塩分)
- ◆ 内在塩分(建設年代によって大量の塩分)
- ◆ 経年による中性化  
↓
- ◆ 鉄筋腐食の進行 → 止まらない劣化  
↓
- ◆ 部材性能(構造性能)に対する懸念 → 崩壊の危険

このような状況は、軍艦島だけの問題ではなく、  
今後のRC系歴史的構造物が抱える問題

# 歴史建造物の保存・保全のための課題

## 残すべき価値は？

- Authenticityの理解・解釈
- 保存・保全のための優先順位

## 残すための方法は？

- 外観保持・可逆性・コスト
- 亜硝酸リチウムを適用した補修工法