

歴史的建築物の 保存・修復

～ 鉄筋コンクリート造の現状と課題 ～



芝浦工業大学 建築学部
濱崎 仁

はじめに



世界遺産 (鉄筋コンクリート系) の現況

鉄筋コンクリート造の世界遺産



ル・コルビュジェの作品群(2016)



軍艦島(2015)(明治日本の産業革命遺産)



シドニー・オペラハウス(2007)



ル・アーブルの再建都市(2005)

上野・西洋美術館 (Le Corbusier・1959)



パリ大学国際学生寮 (Le Corbusier)



スイス館 (1932)



ブラジル館 (1959)



パリ大学国際学生寮 (Le Corbusier)



Le Havre (Rebuild by Auguste Perret)

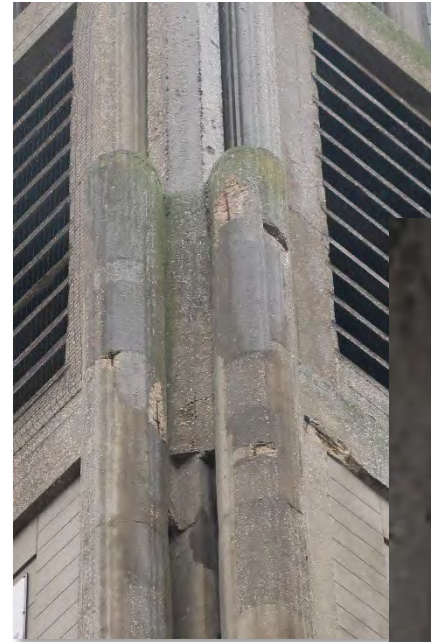


Saint-Joseph教会
(1956)



Le Havre市庁舎
(1958)

Auguste Perret (1874-1954)



Notre-Dame du Raincy (1923)

Auguste Perretの代表作

講演内容

鉄筋コンクリート(RC)系の歴史的構造物の現況

- 世界遺産に登録されている建築物
- 軍艦島の概要と構造物群の状況

RC造は長持ちか？

- RC造の寿命を決めるもの

軍艦島はどうか？

- 劣化環境・劣化因子・劣化状況

どうやって残すのか？

- 歴史的構造物の保存・修復の難しさ
- 補修工法の考え方



軍艦島の概要と 構造物群の状況

軍艦島の外観



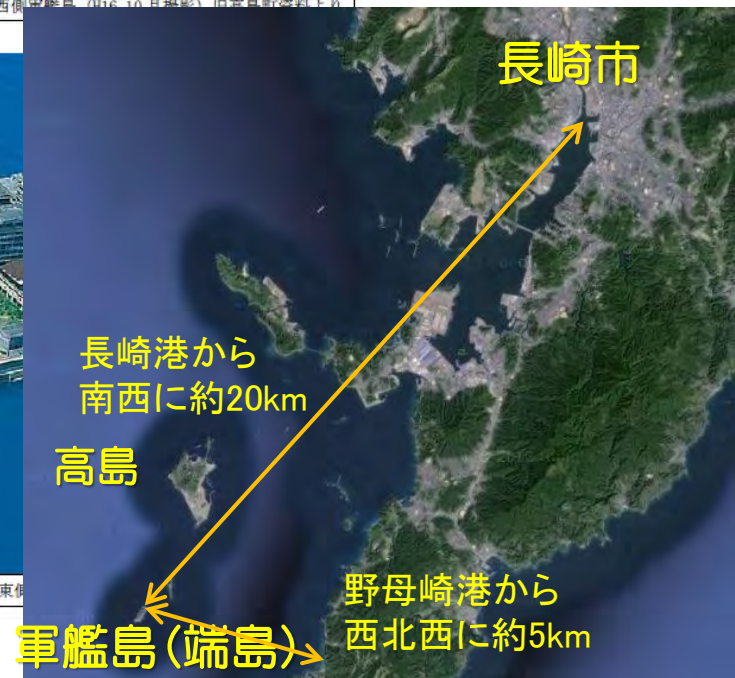
北西側の航空写真

北西側軍艦島 (2016.10.18撮影) 旧高島町資料より



南東側の航空写真

南東側



軍艦島の状況(上空から)



建物の状況



30号棟外観(2018年)



30号棟外観(2021年)



地獄段(16号棟横・S40頃)



地獄段(現在)

建物の状況 _ 日給社宅内部



軍艦島16～19号棟（日給社宅） 内部状況

RC造の劣化の原因(劣化因子)

- 凍結融解作用(凍害)
- 骨材のアルカリシリカ反応
- 化学的侵食

① コンクリートの強度
低下、組織の崩壊

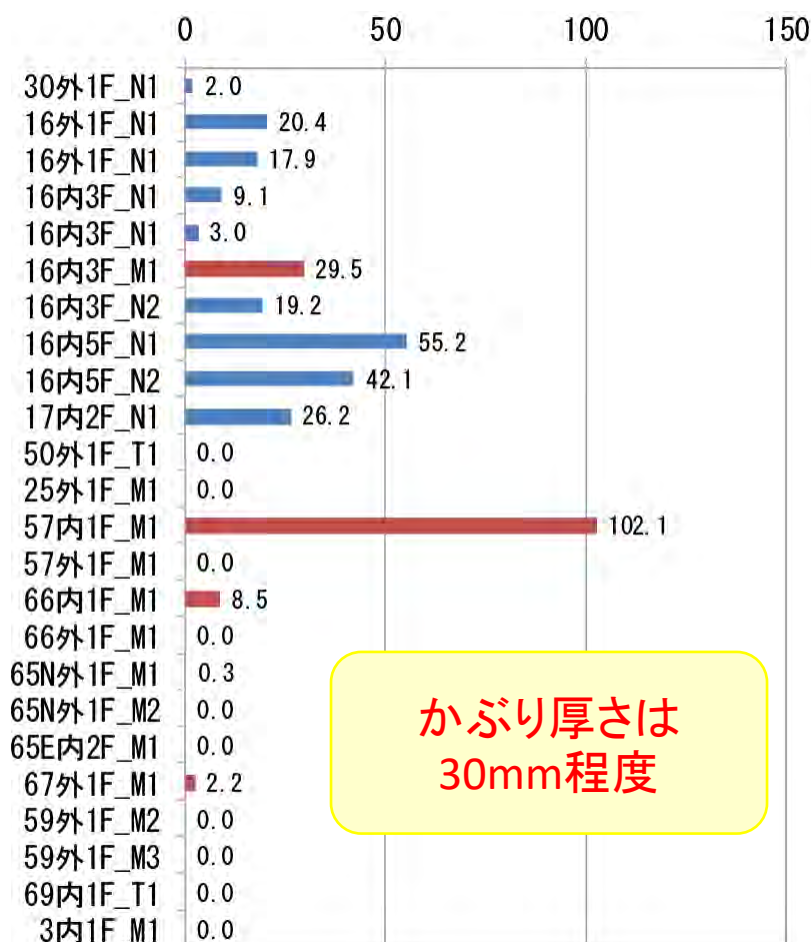
- コンクリートの中酸化
- コンクリート中の塩分

② コンクリート中の
鉄筋腐食

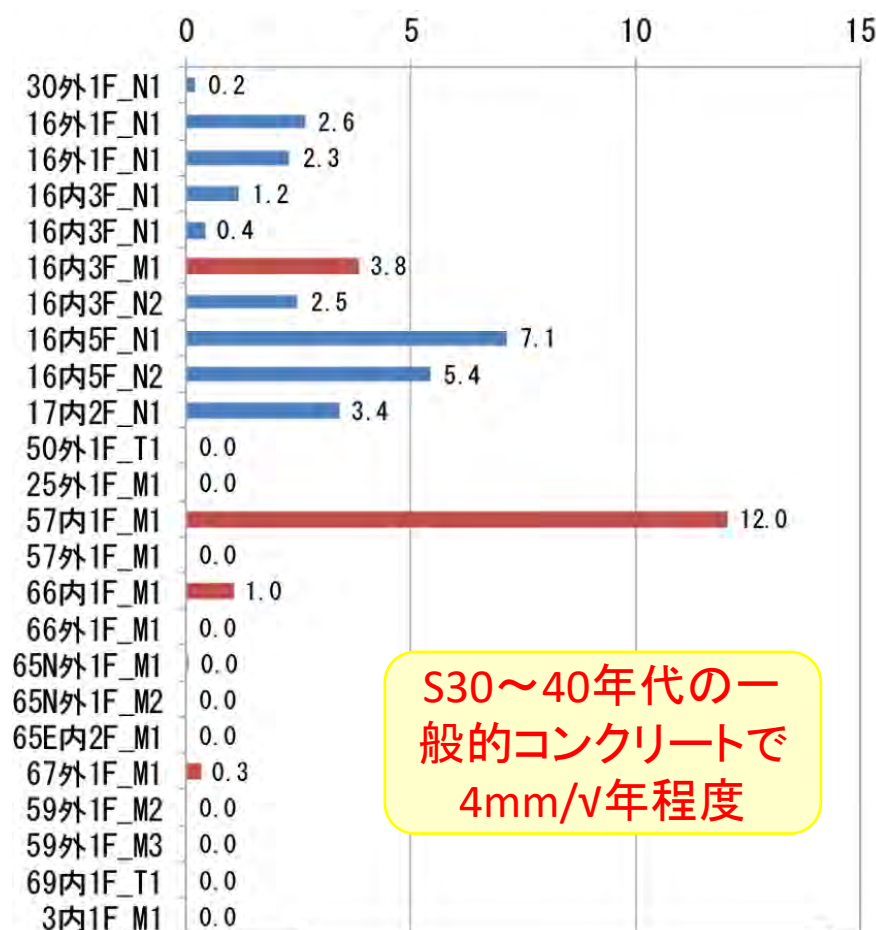


軍艦島ではこちらが問題！

中性化深さの調査結果



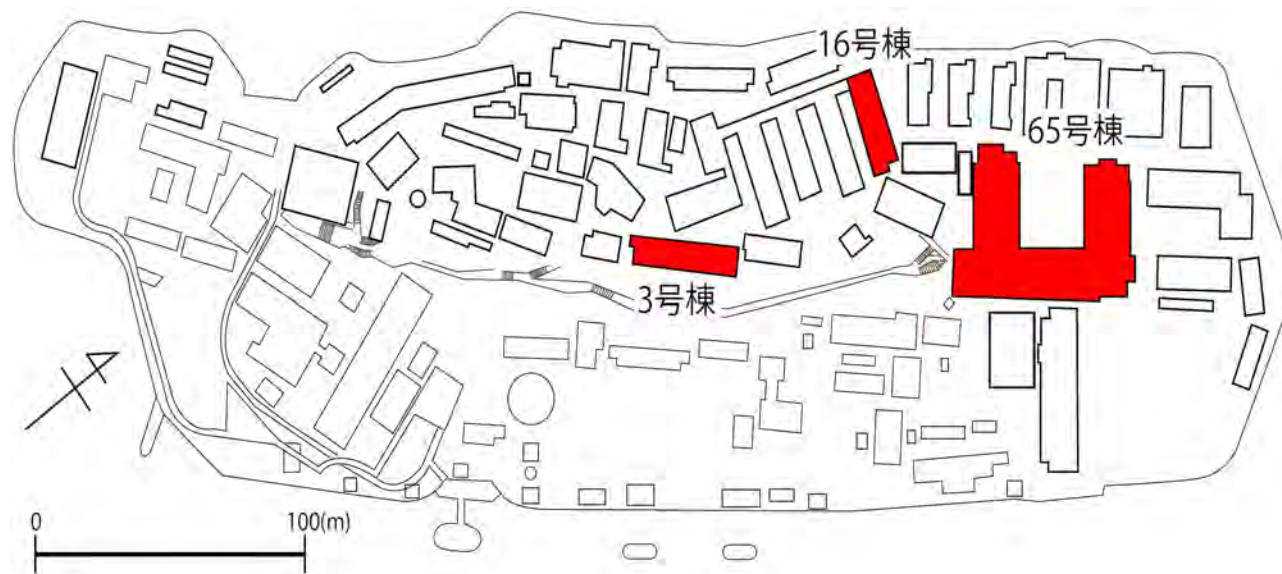
中性化深さ(mm)



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



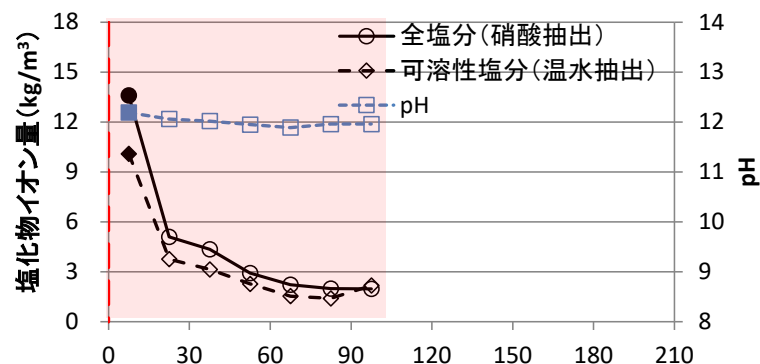
2017年時点で保存が優先的に検討されている住棟

- 3号棟(1959年)
 - ✓ 全塩化物イオン量
- 16号棟(1918年)
 - ✓ 可溶性塩化物イオン量
 - ✓ 中性化深さ
- 65号棟(1945～1958年)
 - ✓ pH

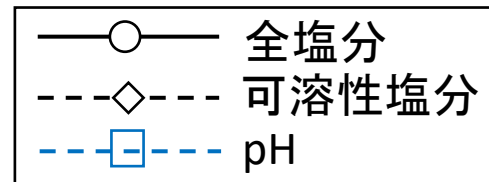
塩化物イオン量の調査結果

3号棟

屋外
モルタル



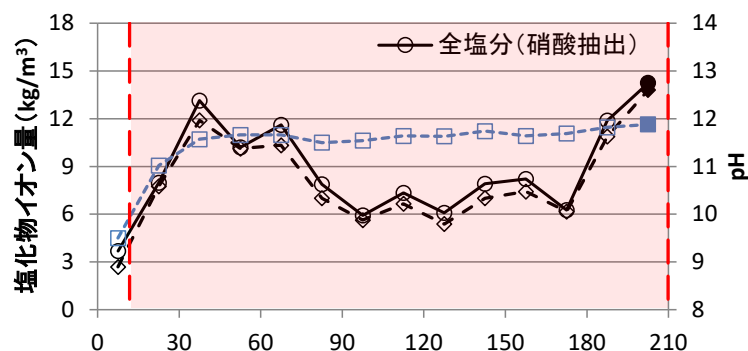
屋内
折り取り



各記号の中実の記号
はモルタルを表す

16号棟

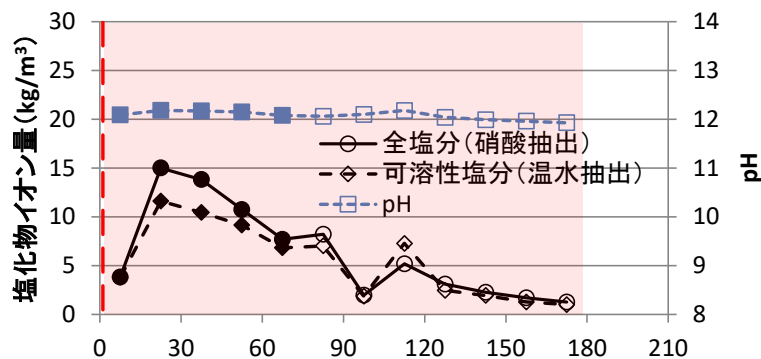
屋外
打放し



屋内
レンガ

65号棟

屋外
モルタル



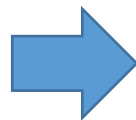
屋内
折り取り

屋外表面からの深さ(mm)

鉄筋腐食の進行



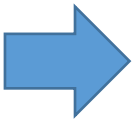
ひび割れの発生・さび汁



コンクリートの剥落・鉄筋の露出



腐食の進行・断面積の減少



鉄筋の切断・消滅

軍艦島での鉄筋腐食の特徴



左上：軍艦島30号棟内部

左下：軍艦島16号棟内部

右上：某集合住宅外壁

腐食生成物と錆びの成長メカニズム

コンクリート中で生じる主な腐食生成物:

- Fe_3O_4 (Magnetite)

アルカリ環境下で特に発生する黒色の腐食生成物。酸素欠乏環境下で生成しやすく、保護被膜としても働く。

- $\alpha\text{-FeOOH}$ (Goethite)

$\text{Fe}(\text{OH})_2$ の酸化による黄色～橙色の腐食生成物。アルカリ環境下において他の腐食生成物の溶解によって生じる。比較的安定なさび。

- $\beta\text{-FeOOH}$ (Akaganeite)

中性環境下かつ塩化物イオンが存在する環境下でのみ $\text{Fe}(\text{OH})_2$ の加水分解により生じる淡褐色の腐食生成物。比較的不安定なさび。

- $\gamma\text{-FeOOH}$ (Lepidocrocite)

$\text{Fe}(\text{OH})_2$ が酸化することで生成する橙色の腐食生成物。塩化物が多い場合に生成量が増える。比較的不安定なさび。

中性化環境下での腐食の進行

① コンクリートに二酸化炭素が侵入

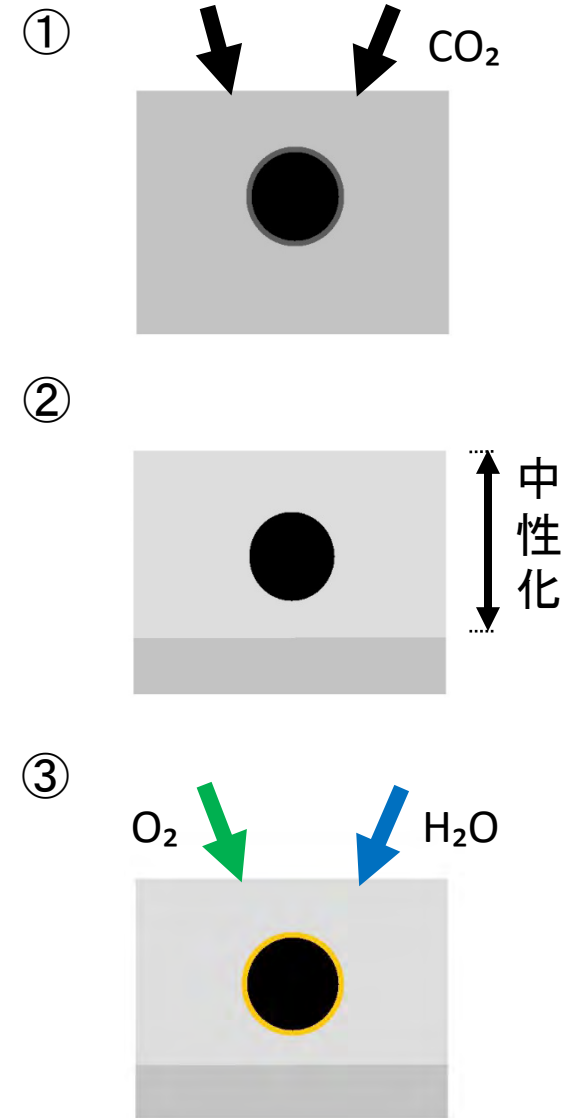
➡ アルカリ性のコンクリートが中性に

② 中性化により鉄筋の不動態皮膜が破壊

➡ 鉄筋が腐食しやすい状態に

③ 酸素と水の侵入により腐食

➡ **時間をかけて**緻密な錆に
($\alpha\text{-FeOOH} \rightarrow \beta\text{-FeOOH}$ などが中心)



塩害環境下における腐食の進行

① コンクリートに塩分が侵入

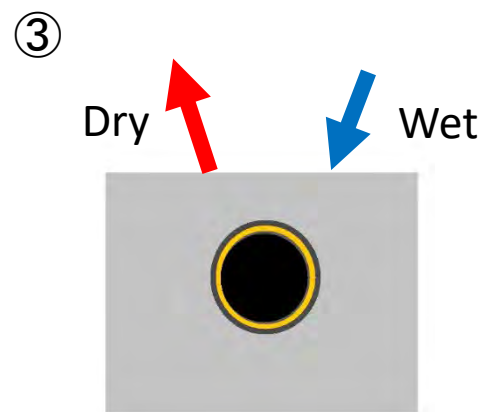
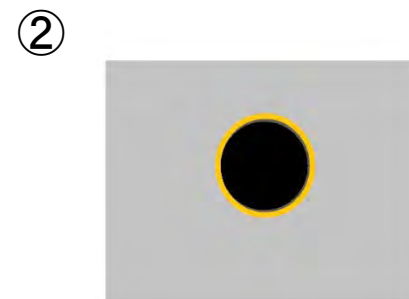
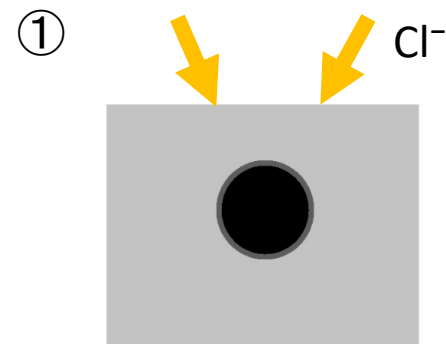
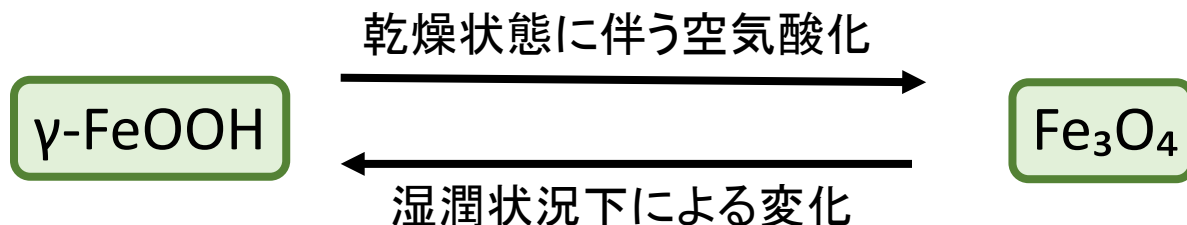
➡ 不動態皮膜が破壊される

② $\gamma\text{-FeOOH}$ (Lepidocrocite) や Fe_3O_4 (Magnetite) が発生

➡ $\gamma\text{-FeOOH}$ はアルカリ環境かつ塩害環境下で発生しやすい

➡ Fe_3O_4 はアルカリ環境かつ湿潤環境下で発生しやすい

③ 上記の2種のさびが乾湿に伴う酸化還元反応により層状に成長





補修方法の検討

- 歴史的構造物の補修の難しさ
- 屋外暴露試験の実施
- 補修工法の考え方

歴史的建造物の保存・修復の原則

ICOMOSの国際憲章(ヴェニス憲章・1964年)

歴史的建造物の保存・修復には、Authenticity(真正性・正統性)の確保が必要

ヴェニス憲章におけるAuthenticityの4つの側面:

- ① Material(材料)
- ② Workmanship(技術・工法)
- ③ Design(意匠)
- ④ Setting(環境・立地条件)

 木造建築物については、「奈良ドキュメント(1994)」に拡張

歴史的構造物の保存・修復の原則

保存・修復における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
- ④ 取り外せること(可逆性)

これらの条件を考慮し、軍艦島のRC
構造物群に適用可能な補修方法を検討

木造の場合は？

奈良ドキュメント・1994年

木造では、木材をバラして痛んだ部分を矧ぎ木や根接ぎで補修したり、新材に交換して補修・復元。

ただし、木材は、同じ樹種・産地の木材を使うことが原則。



矧ぎ木



根継ぎ

RC造の場合はどうするか？

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

- 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

