

# 軍艦島の構造物群の劣化メカニズムと その学術的価値

東京理科大学 工学部 建築学科 教授 いまと 今本 けいち 啓一

## はじめに

軍艦島は長崎港から南西約20kmの海上に浮かぶ、東西160m、南北480m、周囲1.2km<sup>は</sup>の人工の島である(図1)。正式名称は「端島<sup>しま</sup>」であり、その形が軍艦に似ていた(写真1・図2)ことから「軍艦島」と呼ばれるようになった。以下本稿では、軍艦島と記す。

明治23年(1890年)から三菱社の経営により海底炭坑の島として開発が進められ、炭鉱の開発に伴い、従業員のための住宅建設が盛んに行われた。大正5年(1916年)に国内最

初の鉄筋コンクリート造高層集合住宅である30号棟が建設され、その後は集合住宅、公共施設を含め70棟を超えるRC構造物が建設された。最盛期には人口が5,000人を超え、高密度な住環境を有する島となったが、国の石炭から石油へのエネルギー政策の転換により、昭和49年(1974年)に閉山し、現在は無人島となっている。

小さな島に人々が高密度に生活していたことや、RC造黎明期からの集合住宅群が残っていることから、近年軍艦島は文化財・観光資源としての価値が注目されており、その保存の可能性や方法の検討が行われている。また、潮風・高波・台風等過酷な外部環境に曝されている構造物の劣化状態を知ることができる点においても大変貴重な研究資源である。軍艦島構造物の建築年代および概要を表1に示す。

日本建築学会軍艦島コンクリート構造物劣化調査ワーキンググループ(主査:野口貴文東京大学大学院教授)は、長崎市の委託を受け、軍艦島に存在するコンクリート構造物等の劣化の状況を科学的に調査・分析し、「端島炭坑等調査検討委員会」が検討する炭坑および構造物等の文化財

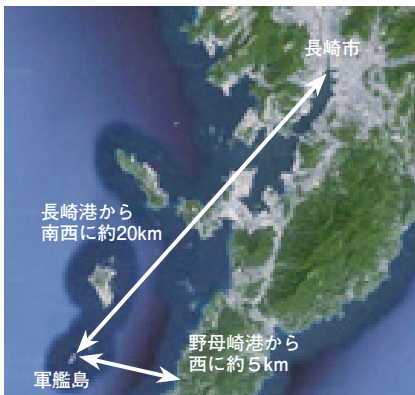


図1 端島(軍艦島)の位置

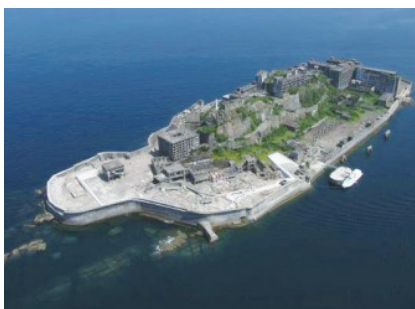


写真1 軍艦島全景



図2 軍艦島構造物群の配置

表 1 軍艦島構造物の概要

号棟	年代	階数	用途	増設歴	補修歴
25	1931	5 + B1	住居		
30	1916	7 + B1	住居	1925年 5～7 階増設	1928年柱梁補強, 外壁に防水モルタル塗布 1954年地階～4 階鉄筋入替工事
31	1957	6 + B1	住居 + 1B 浴場		
21	1954	5	住居 + 派出所		
22	1953	5	住居		
39	1964	3	公民館		
48	1955	5 + B1	住居 + 1B 商店		
51	1961	8 + 半地下	住居 + 半地下商店		
16	1918	9(8 + 高床)	住居	1951年ベントハウス増設	1937年海側ファサードを煉瓦・炭殻ブロックで充填 柱の巻き立て補強 1951年柱梁補強工事 (増し打ち)
17	1918	9(8 + 高床)	住居	1951年ベントハウス増設	1937年海側ファサードを煉瓦・炭殻ブロックで充填 柱の巻き立て補強 1951年柱梁補強工事 (増し打ち)
18	1918	9(8 + 高床)	住居	1932年 7～9 階増設 1951年ベントハウス増設	1937年柱の巻き立て補強 1951年柱梁補強工事 (増し打ち)
19	1922	9(8 + 高床)	住居	1932年 7～9 階増設 1951年ベントハウス増設	1937年柱の巻き立て補強 1951年柱梁補強工事 (増し打ち)
20	1922	6(5 + 高床)	住居	1951年ベントハウス増設	1937年柱の巻き立て補強 1951年柱梁補強工事 (増し打ち)
2	1950	3 + 半地下	住居		
3	1959	4 + 半地下	住居		
14	1941	5	住居		
56	1939	3	住居		
57	1939	4	住居 + 1F 商店		
59	1953	5 + B1	住居 + 1B 商店		
60	1953	5 + B1	住居 + 1B 商店		
61	1953	5 + B1	住居 + 1B 浴場		
66	1940	4 + B1	住居 + 1B 浴場		
67	1950	4	住居		
68	1958	2	病院		1958年火災, 建て替え
69	1958	4	病院		1958年火災, 建て替え
65 (北)	1945	9 + B1	住居	1947年 8, 9 階増設	1958年68, 69号棟の火災の延焼を受けた
65 (東)	1949	9 + B1	住居	1952年屋上に幼稚園増設	1958年68, 69号棟の火災の延焼を受けた
65 (南)	1958	10	住居		
70	1958	7(RC6 + S1)	学校	1961年 7 階 (S 造) 増設	1958年68, 69号棟から火災, 躯体そのまま内外装のみ再工事

指定に関する資料を作成することを活動の目的として材料施工本委員会下に設置された。

建築後, 劣化外力の激しい海洋環境下において長期間経過したコンクリート構造物の実態およびコンクリート構造物に直接作用する劣化外力の実態を把握し, 現状の構造物の状

態とその劣化メカニズムを把握し, 今後, コンクリート構造物の延命化や適切な維持保全のあり方を探るための資料を蓄積することが調査の目的であるが, 本稿はその概要について紹介する。

なお軍艦島は, 2014年 1 月に「明治日本の

産業革命遺産「九州・山口と関連地域」としてユネスコ世界遺産センターに推薦書が提出され、2014年10月に軍艦島炭鉱跡が「高島炭鉱跡」として国史跡に登録された。そして2015年7月に明治日本の産業革命遺産の構成資産として世界文化遺産に登録されたことは記憶に新しい。

### (鉄筋) コンクリートの歴史

鉄筋コンクリートの歴史を辿るとおおよそ以下ようになる。

B.C.7000年頃：イスラエル，建物の床（イフタフ遺跡）

B.C.2500年頃：エジプト，ピラミッドの目地材

B.C.27～A.D.395年：帝政ローマ，建造物

756年：水硬性石灰の発見（イギリス）

1824年：ポルトランドセメントの発明

1853年：アメリカ，Hyatt（ハイアット）による鉄筋コンクリート理論，橋の桁の補強鉄筋の提案

1867年：フランス，Joseph Monierによるモニエ式配筋の発明（鉄網で補強したモルタル製の植木鉢）

1905年：佐世保港内：潜水器具庫，主体構造は鉄筋コンクリート（柱間は煉瓦積み）

1908年：神戸和田岬の東京倉庫（株），すべて鉄筋コンクリート造，平屋建て

1916年：端島30号棟鉱員社宅，鉄筋コンクリート造7階建て（竣工当時4階建て）

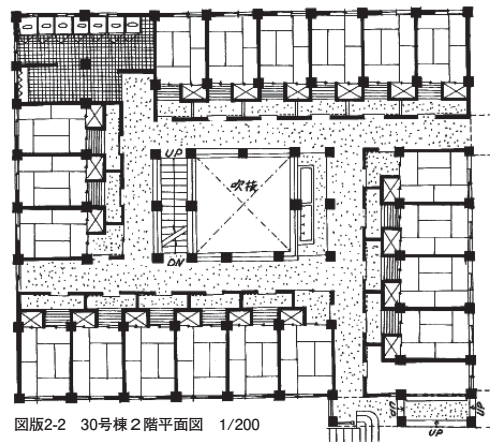
軍艦島の最古の建物はこの1916年に建設された30号棟（住戸数140）である（写真2）が，上記の変遷からみても日本最古級の鉄筋コンクリート造建築物であることが分かる。一方，この30号棟は図3に示されるように口の字型の平面計画が取られており，採光についても一定の配慮がなされている（写真3）。

### 軍艦島の生活と歴史

「はじめに」でも述べたように，軍艦島の



写真2 30号棟の外観



図版2-2 30号棟2階平面図 1/200

図3 30号棟の平面図



写真3 30号棟の内部

ピーク時の人口は5,000人超であり，東京の人口密度の約9倍に相当する世界最高の人口密度をほこっていた（写真4）。また島には，学校，派出所，店舗，病院，寺院，映画



写真4 当時の様子 長崎市より提供



写真5 島内の様子 長崎市より提供

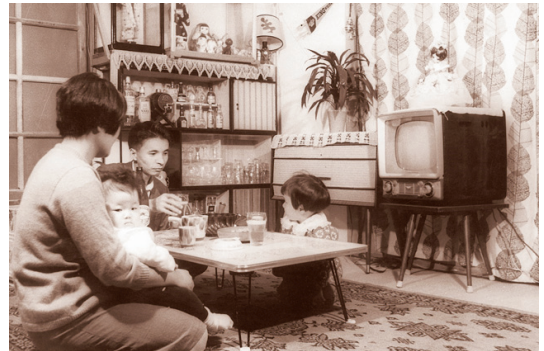


写真6 家庭内の様子 長崎市より提供

館、遊園地が整備され、島内においてはほぼ完結した都市機能を整備していた(写真5)。

鋳員の賃金は高く、都会より家電製品(テレビ・ラジオ・ステレオ・洗濯機)の普及が早

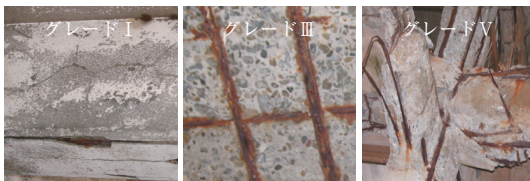


写真7 劣化グレード

表2 軍艦島と一般構造物の劣化グレード

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	損傷度	損傷状況
無	損傷が認められない	I	表面のひび割れ+錆汁
I	ごく軽微なひび割れ錆汁	II	(中間の状況)
II	ひび割れ、錆汁、はく離等が部分的	III	腐食した鉄筋が露出
III	ひび割れ、錆汁、はく離、はく落等が連続的	IV	(中間の状況)
IV	鋼材の露出や破断、コンクリートの断面欠損等	V	鉄筋の痕跡はあるが朽ちている(存在しない)

いことも写真から窺える(写真6)。島での最大の課題は水の確保であった。これは後述するコンクリート中の高濃度塩化物イオンとも関連するが、水の確保は大きく以下の3つの時代に分類される。

- ① 蒸留水の時代(明治24年から昭和6年): 島内には湧水なし。水の確保は重要課題。海水を蒸留して飲料水を確保していた。
- ② 給水船の時代(昭和7年から昭和32年): 三島丸(235t)による1日1往復の給水。

戦後は朝顔丸(298t)による1日3往復の給水。海が荒れると欠航。給水船欠航時は、共同浴場は海水風呂となる。

- ③ 日本初の海底水道(昭和32年10月): 長崎市三和町から高島・端島をつなぐ海底水道の敷設。1

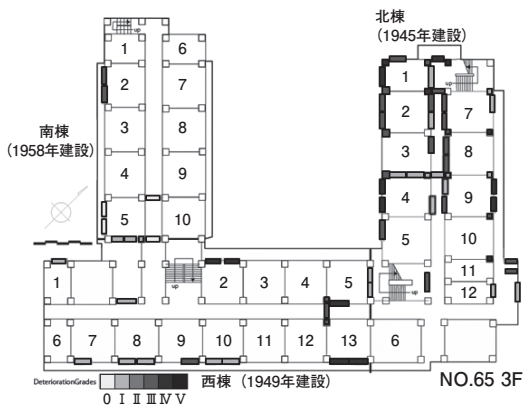


図4 65号棟の劣化グレード

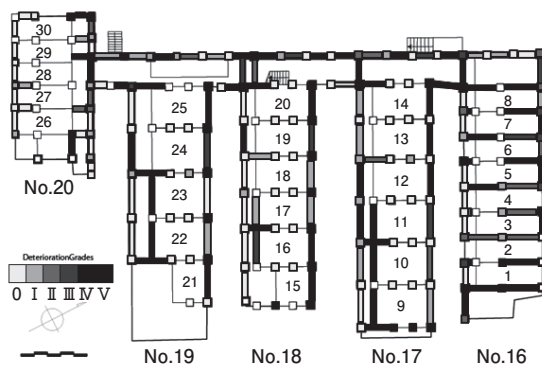


図5 日給社宅の劣化グレード



写真8 65号棟 長崎市より提供



写真9 日給社宅 長崎市より提供

日5,000tonの送水可能となる。

### 軍艦島建造物の目視劣化調査

2011年9月、島内において建造物の柱、梁部材を目視評価した。損傷は主として鉄筋腐食・錆汁の状況を5段階で評価した。鉄筋にひび割れおよび錆汁が見られるものをグレードⅠ、腐食した鉄筋が露出しているものをグレードⅢ、鉄筋が朽ちてその痕跡しか存在しないものをグレードⅤとした(写真7、表2)。また中間的な劣化状態をそれぞれグレードⅡおよびⅣとした。

65号棟3階の劣化度分布図を図4、16~20号棟(以下、日給社宅と記述する)3階の劣化度分布図を図5、65号棟の外観を写真8に示す。65号棟は終戦前後にわたって建設された島内最大の建物であり、物資の不足する混乱期の中で建設された点で特筆される建物の一



写真10 はく落したコンクリートの補修跡

つである。用途は住宅であり、北棟が1945年、東棟が1949年、そして南棟が1958年の順に建設され、建設年代による劣化の差が顕著に見られる。

日給社宅(写真9)では、16号棟はその他の棟と比較して構造体の劣化が進行しているが、屋内においても構造体の劣化が著しい。

劣化が著しいのは建物の北面側の屋外面および開口に近い屋内の部材であり、中庭に面する南面側では著しい劣化は少ない。これは取り付けられていた木製の雨戸や引き戸などが、風雨などで破損したことにより、室内へ雨水や潮風が浸入し部材の劣化を進行させたと考える。巻き立て補強が施された大廊下の柱や、各棟の廊下に位置する柱は劣化の進行

も少なく、比較的健全なものが多いが、同様の補強が施された大廊下と各棟を繋ぐ位置にある柱のみが劣化の進行が著しい。

一方、17号棟では、梁が柱よりも劣化の進行が著しい範囲があり、同じ環境下でも隣り合う部材に劣化度の違いがある。これは写真10にあるように、実は当時からコンクリートのはく落がそこかしこで生じており、島民はこの補修を行いながら本建物を利用して来たことによる。

表3 調査部位の概要

棟番号	建設年	仕上げ	標高 [m]	調査箇所名称 (棟番号・内外・階_仕上げ)	図8における調査位置
30	1916	無 (N)	9	30外 1F_N1	①
16	1918	無	6	16外 1F_N1	②
	1951 補修 (1918)		12	16内 3F_N1	③
	1918	モルタル (M) 約10mm	12	16内 3F_M1	④
	1951 補修		無	17.5	16内 5F_N1
	1918	17.5		16内 5F_N1	⑤
	1951 補修	17.5	16内 5F_N1	⑤	
50	1927	タイル (T)	6	50外 1F_T	⑥
25	1931	モルタル約10mm	18	25外 1F_M	⑦
57	1939	モルタル約20mm	12	57外 1F_M	⑧
65北	1945	モルタル約10mm	6	65N外 1F_M1	⑨
		モルタル約20mm	6	65N外 1F_M2	⑩
65東	1949	モルタル約10mm	6	65E内 1F_M1	⑪
67	1950	モルタル約20mm	6	67外 1F_M1	⑫
65南	1958	モルタル約20mm	6	65S内 1F_M	⑬
69	1958	テラゾー約10mm	7.5	69内 1F_T	⑭
3	1959	モルタル約30mm	36	3内 1F_M	⑮

## 材料詳細調査

### 1 調査対象と調査箇所

表3に調査対象と調査箇所を示す。島内で最も古い30号棟から、比較的新しい3号棟までの計6棟を選定した。ただし、測定箇所16外1F\_N1 (打放し) および16内3F\_M1 (モルタル仕上げ部) は1951年に増し打ち工事が実施された箇所である。また、16内3F\_N1 (打放し) は増設箇所であり、工事年は不明である。

### 2 調査方法

表3および図6に示した箇所においてφ80mmのコアを採取し、EPMAによる塩化物イオン量測定



図6 軍艦島建造物の調査対象と調査箇所

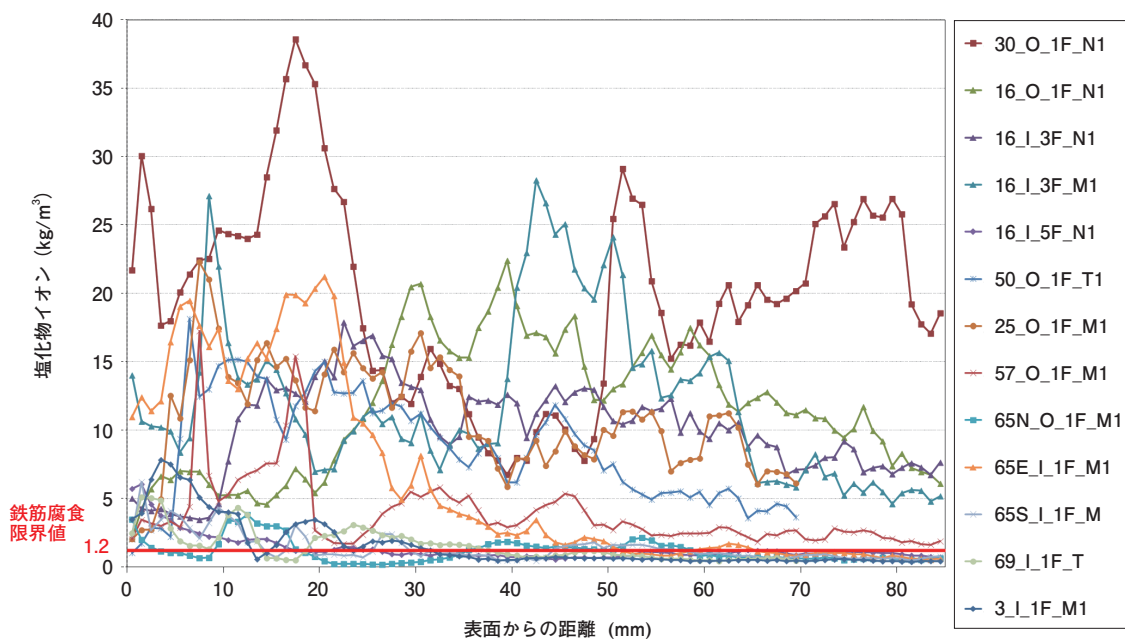


図7 塩化物イオン量の分布

を行った。EPMAにより、コア断面で深さ1 mmごとの区間にあるピクセルのCl<sup>-</sup>量平均値を計算し、塩化物イオンプロファイルを得た。また、中性化深さ測定については、JIS A 1152に準じて測定を行った。

### 3 調査結果と考察

[塩化物イオン量分布]

塩化物イオン量分布の測定結果を図7に、構造物の建設年とJASS 5における塩分規制との関係を図8に、建設年と内在塩化物イオン量との関係を図9に示す。設計上、鉄筋の腐食発生限界濃度は1.2kg/m<sup>3</sup>とされており、65号棟、69号棟、3号棟、16号棟5階以外は、いずれの深さでも

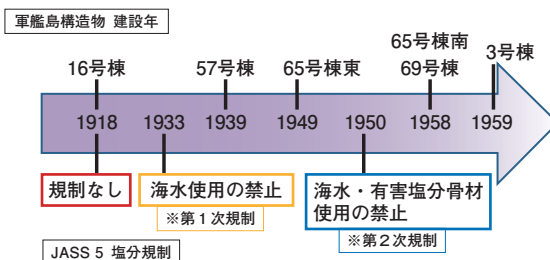


図8 JASS 5における塩分規制の変遷

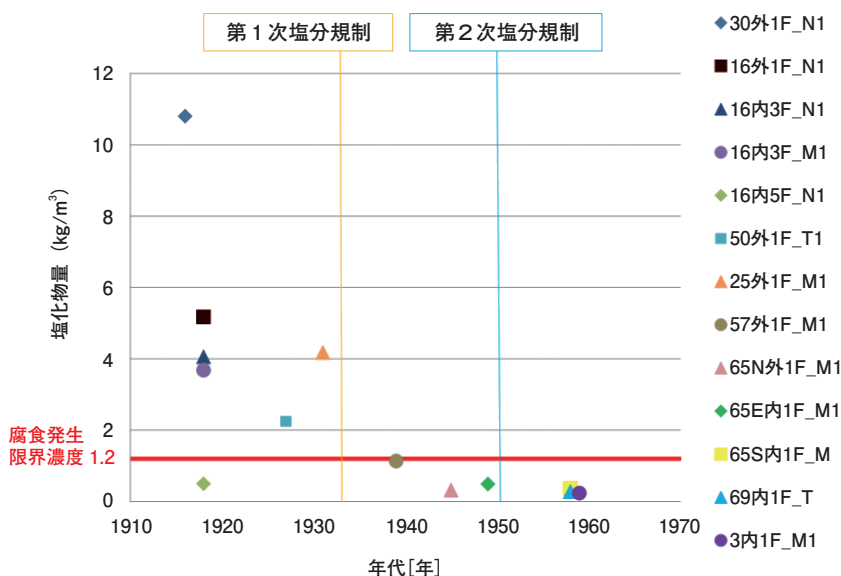


図9 建設年代と内在塩化物イオン量 Nは打放し、Mはモルタル仕上げ、Tはタイル

この値を超えている。塩分濃縮や骨材量の影響により分布はばらついている。

表面から60～85mmの内部における塩化物イオン量を、コンクリートの初期から存在する内在塩分とすると、3つの傾向、すなわち、平均30kg/m<sup>3</sup>と極めて高いもの(30号棟)、3～10kg/m<sup>3</sup>程度のもの(16, 25, 50, 57号棟)、そして、約0.5～1.0kg/m<sup>3</sup>程度の少ないもの(65, 69, 3号棟)に分類できる。骨材に海砂もしくは海砂利(骨材量:700kg/m<sup>3</sup>+1000 kg/m<sup>3</sup>, 含水率10%〔吸水率3%+表面水率7%〕、海水の塩分濃度4%と仮定)が使用されていた場合、約3～7kg/m<sup>3</sup>の塩分量となる。さらに海水が使用されていた場合(単位水量を

200kg/m<sup>3</sup>と仮定)、8kg/m<sup>3</sup>の塩分量が加わり、15kg/m<sup>3</sup>以上となることも推測される。内在塩分についてはJASS 5の塩分規制との関連性も認められる(図9)。

#### 〔鉄筋腐食〕

表4に調査結果を示す。内在塩化物イオン量は、コア表面から60～80mm地点のものとした。また、コンクリート内部の湿度は年間を通してほぼ一定である。

表から明らかなように多くの部位で腐食発生限界濃度を超えていた。しかし、鉄筋が完全に腐食していたもの(写真11)は30外1F\_N1, 65N外1F\_M1の2箇所のみであり、他は軽微な腐食のもの(写真12)ばかりであった。この要因として、かぶり厚さの大きさが挙げられる。かぶり厚さが大きく、鉄筋がコンクリート内部に位置するほど、鉄筋腐食の原因である酸素が供給されにくく、鉄筋腐食の進行が緩やかになると考えられる。また、雨掛かりの有無も理由のひとつと考えられる。雨掛かりのある場所においては、コンクリートに供給される水分が多いため、鉄筋腐食が進行しやすいと考えられる。表4から、かぶり厚さが40mmと小さい箇所で、コンクリート内部の湿度が86%以上(後述の図11の含水率4～5%以上に相当)のとき、鉄筋の腐食が認められる。コンクリートの含水率は3.5%以上になると鉄筋が腐食環境に入るとされており、今後は、この付近の数値の閾値としての妥当性を検証したい。

表4 調査結果一覧

建物	かぶり厚 [mm]	鉄筋位置 塩化物 イオン量 [kg/m <sup>3</sup> ]	湿度 Ave [%]	含水率 [%]	総細孔量 [mm <sup>3</sup> /g]	鉄筋 腐食
30 外 1F_N1	40	16.08	86.0	-	84.0	完全 腐食
16 外 1F_N1	60	3.19	84.0	4.57	117.2	軽微
16 内 3F_N1	30	3.55	82.2	2.83	45.1	軽微
16 内 3F_M1	70	2.48	77.9	3.12	129.1	軽微
16 内 5F_N1	40	0.35	-	-	113.8	軽微
50 外 1F_T1	70	2.01	117.2	-	76.9	軽微
25 外 1F_M1	70	3.21	104.9	6.09	78.9	軽微
57 外 1F_M1	50	1.44	-	-	113.5	軽微
65N 外 1F_M1	40	10.23	98.9	7.62	135.1	完全 腐食
65N 外 1F_M2	90	3.05	96.7	8.90	129.6	軽微
65E 内 1F_M1	110	0.29	-	-	100.6	軽微
67 外 1F_M1	80	0.38	89.6	5.63	72.6	軽微
65S 内 1F_M	100	0.25	-	-	94.4	軽微
69 内 1F_T	90	0.21	-	-	130.5	軽微
3 内 1F_M1	120	3.74	93.3	5.54	108.6	軽微

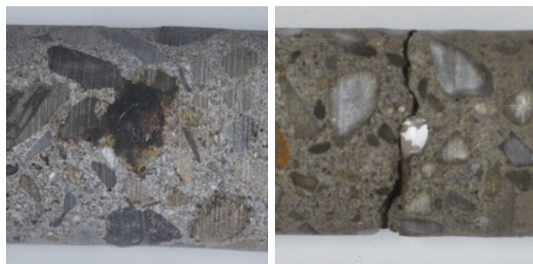


写真11 完全腐食鉄筋の例 写真12 腐食軽微鉄筋の例

#### 今後の改修方法

一般に、有害物質を含む場合の補修方法は、それを除去することが補修対策となる。しかしながら、文化財や歴史遺産に相当する構造物に、この手法を当てはめることは必ずしも妥当ではない。一方、鉄筋の最終的な腐



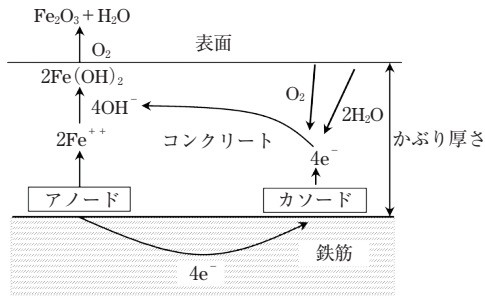


図10 鉄筋の腐食メカニズム

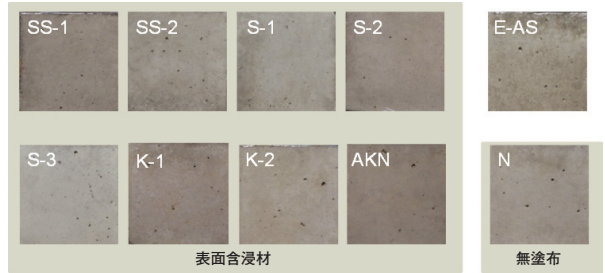


図11 表面含浸を塗布したコンクリートの外観  
(SS: シラン・シロキサン, S: シラン, K: ケイ酸, AKN: アクリル・カリウム・ナトリウム, E-AS: 水性アクリルシリコン, N: 無塗布)

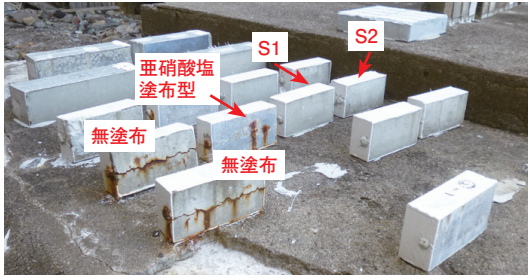


写真13 軍艦島での暴露状況 材齢4年



写真14 軍艦島国際会議



写真15 記念撮影 朝日新聞・池田良氏撮影 2015年6月

食の鍵となるのは、「水」と「酸素」の供給であることを鑑みると(図10), この水分の浸入を遮断することは構造物の保存・改修の一つには十分になりうる。そこで筆者らは、軍艦島において、各種の表面含浸材等(図11)について暴露試験を行い、現時点において、写真13のように表面含浸材の効果を確認している。コンクリートの外観を変化させずに水分の浸入を抑制する新たな視点の改修方法が、今後、歴史的建造物の保存・改修の

分野で重要な技術となろう。

## おわりに

2015年6月に、軍艦島の上陸を前提とした国際会議を開催した(写真14)。この会議には、約250名の技術者・研究者が参加し、軍艦島への上陸を果たした(写真15)。

軍艦島が、鉄筋コンクリートの耐久性に携わる全世界の研究者・技術者の貴重な研究資産として位置づけられ、やがて全世界の鉄筋コンクリートの耐久性研究のメッカになることを期待する。

## 【謝辞】

本調査は、日本建築学会軍艦島コンクリート構造物劣化調査WGほか多くの関係各位により実施された。また写真は長崎市の特別な許可を得て掲載したものである。