

# 軍艦島構造物群の劣化環境に関する基礎的検討

佐々木謙二\*・原田哲夫\*

## Evaluation of Sait Damage Environment of Gunkanjima Concrete Structures

by

Kenji SASAKI\* and Tetsuo HARADA\*

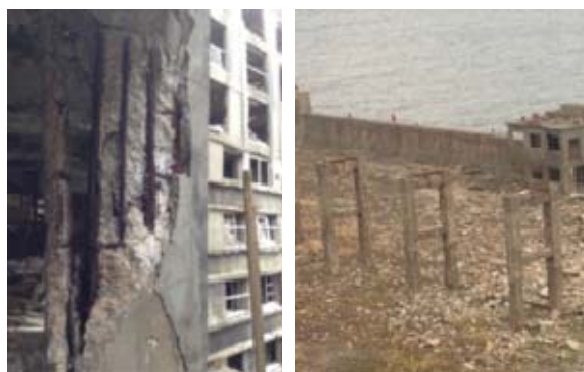
It is necessary to evaluate the chloride attack environment for durability design and maintenance of the structure under marine environment. The amount of salt penetration into the concrete structure is influenced by weather conditions and neighboring topography. Chloride attack environment also depends on the shape and the dimension of structures. However, these effects have not been clarified. Although many researches about chloride attack caused by airborne salt had been conducted in past time, most of those were related to macro environment. Under such circumstances, the exposure test using thin plate mortar specimens was conducted on the Gunkanjima concrete structures. As a result, it is confirmed that amount of airborne salt penetration into the structure is influenced by neighboring topography and weather conditions, and it can be evaluated that the deterioration condition of each sp structures by short term exposure test using the thin plate mortar specimens. By the thin mortar exposure test, micro chloride attack environment can be evaluated.

**Key words:** Gunkanjima, Concrete Structure, Sait Damage Environment, Thin Mortar Plate

### 1. はじめに

軍艦島(正式名称：端島)は、長崎半島から西に約4.5km、長崎港から南西に約19kmの沖合に位置し、南北に約480m、東西に約160m、外周約1.2kmの島である。島の外周は直立式のコンクリート製護岸となっており、多くの台風被害から島を守ってきた。島内には建築物としての価値の高い、日本初の鉄筋コンクリート造高層集合住宅である30号棟などが存在する。軍艦島は、2015年に「明治日本の産業革命遺産 製鉄・鉄鋼、造船、石炭産業」として世界文化遺産に登録されるなど文化財としての価値も高い。また、「鉄筋コンクリートの構造物の劣化状況を調査・分析できる科学的試供体の集積」と評価され、科学的価値も認められている。

軍艦島は外洋に位置し、四方を海に囲まれており、



a) 西側建築物柱      b) ベルトコンベアー  
Photo 1 鉄筋コンクリート構造物の劣化の様子

海水飛沫や飛来塩分によって塩害を起こしやすい環境といえる。実際に、島内の鉄筋コンクリート構造物

平成30年6月20日受理

\* システム科学部門 (Division of System Science)

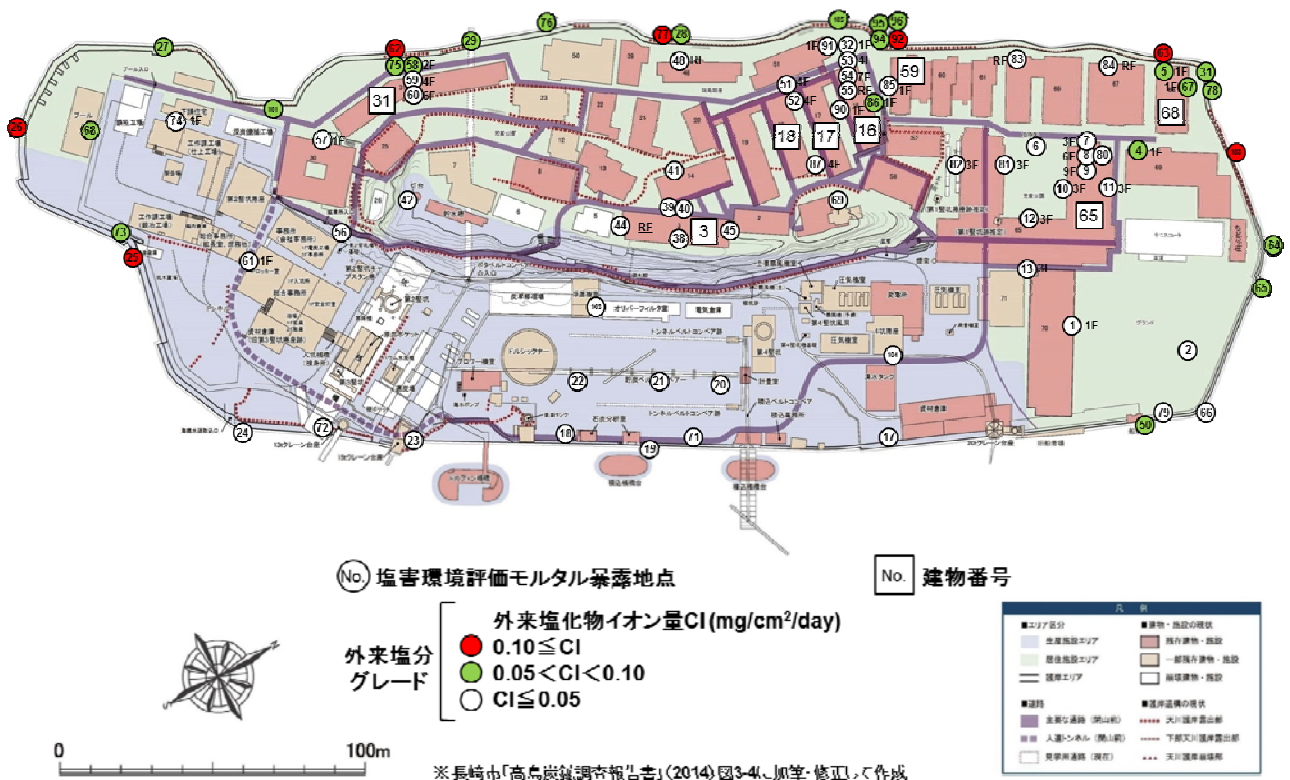


Fig. 1 塩害環境評価暴露地点および軍艦島塩害環境マップ

は飛来塩分の影響により激しい鉄筋腐食を起こしている (Photo 1)。そのため、波しぶきや風によって運ばれる外来塩分量を測定し、塩害環境を定量評価することにより、劣化外力と構造物の性能低下の関係をより定量的に評価することが可能になると考える。

本研究では、軍艦島の塩害環境を定量評価することを目的に、軍艦島の島内各所に薄板モルタルを暴露することにより軍艦島における塩害環境の空間的、時間的変動を把握した。

2. 実験概要

塩害環境評価は、モルタル試験体を護岸や建築物に貼りつけ、ある期間暴露する薄板モルタル法により行った<sup>1)2)</sup>。

使用したモルタル試験体の配合は、普通セメントを用い水結合材比が 50(%)の配合[N50]と、普通セメントに高炉スラグ微粉末 4000 を 50(%)置換し、水結合材比が 50(%)の配合[NB5050]を基本とし、その他に Table 1 に示した 4 つの配合を用いた。試験体の寸法は 4×3×0.5cm の薄板モルタルとし、初期養生期間は 28 日とした。

試験体の設置箇所を Fig. 1 に示す。試験体の設置は、

Table 1 薄板モルタル試験体の概要

| 配合名    | 混和材      | 配合           |             |                  |
|--------|----------|--------------|-------------|------------------|
|        |          | 水結合材比(mass%) | 置換率 (mass%) | 細骨材容積率 (volume%) |
| N50    | -        | 50           | 0           | 50               |
| NB5050 | 高炉スラグ微粉末 | 50           | 50          | 50               |
| N30    | -        | 30           | 0           | 50               |
| N70    | -        | 70           | 0           | 50               |
| NB5070 | 高炉スラグ微粉末 | 50           | 70          | 50               |
| NF5020 | フライアッシュ  | 50           | 20          | 50               |

構造物にモルタル試験体を両面テープで貼りつけて行った。暴露期間は、1ヶ月、3ヶ月とし、1ヶ月暴露には[N50]、[NB5050]の2種類、3ヶ月暴露には[N50]、[NB5050]、[N30]、[N70]、[NB5070]、[NF5070]の6種類を用いた。2015年1月から試験体の設置・回収を繰り返すことにより季節変動を把握した。

モルタル試験体の暴露により捕集された外来塩化物イオン量の測定は、JIS A 1154:2012 「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」に準拠して、電位差滴定法により行った。外来塩化物イオン量は、1日あたりに単位断面積に供給された塩化物イオン量

(mg/cm<sup>2</sup>/day)として算出した。

3. 実験結果および考察

3.1 試験体の材料・配合、設置期間の影響

Fig. 2 に材料・配合が外来塩化物イオン量に及ぼす影響を示す。図の結果は、島内北部 68 号棟の暴露地点 No.5 に 2015 年 10 月～12 月の 3 ヶ月間暴露した 6 配合の結果である。普通セメントでは、水結合材比が大きくなるとともに外来塩化物イオン量が多くなった。また、既往の研究<sup>1)</sup>では高炉スラグ微粉末を置換した場合に外来塩化物イオン量が 2 割程度少なくなる結果が報告されているが、本研究ではそのような傾向は確認されなかった。フライアッシュを置換した場合には、外来塩化物イオン量が普通セメントのみの場合や高炉スラグ微粉末を混合した場合と比較して大きくなる傾向が確認された。

Fig. 3 に、西側護岸の暴露地点 No.21 および島内東側の No.62 に 2015 年 1 月～9 月に 1 ヶ月ごとに試験体を交換して暴露した N50 と NB5050 の外来塩化物イオン量の月変化を示す。外来塩化物イオン量の多寡によらず、高炉スラグ微粉末の混合の有無によらず、ほぼ同程度の外来塩化物イオン量となった。前述のように既往の研究<sup>2)</sup>においては、高炉スラグ微粉末を混合した場合に 2 割程度外来塩化物イオン量が少なくなる結果が報告されているが、本研究ではそのような傾向は確認されなかった。これは、暴露期間の違いの影響等によるものと考えられるが、今後の詳細な検討が必要である。

Fig. 4 に島内北部 68 号棟の暴露地点 No.5 の 1 ヶ月暴露試験体による外来塩化物イオン量の 3 ヶ月合計値と 3 ヶ月暴露試験体の外来塩化物イオン量の比較結果を示す。1 ヶ月暴露試験体による外来塩化物イオン量の 3 ヶ月合計値の方が 3 ヶ月暴露試験体の外来塩化物イオン量よりも多くなっており、これは暴露期間中における水和進行や含水率の変化の影響が考えられる。

3.2 軍艦島の塩害環境に及ぼす諸要因

軍艦島全体の塩害環境は、Fig. 1 に示した軍艦島塩害環境マップより、護岸での外来塩化物イオン量は西側では比較的大きいが、東側では少ない。また、護岸からの距離、標高・建物高さが大きいほど、少なくなる、と言える。

Fig. 5 に護岸の海側法面頂部における外来塩化物イオン量に及ぼす護岸位置の影響を東西南北 4 つの地点の測定結果を用いて示す。季節によらず、北側、西側、

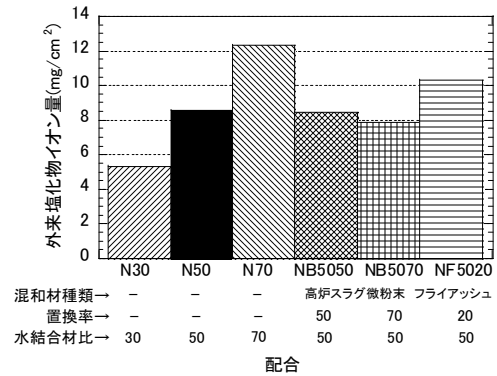


Fig. 2 材料・配合の影響 (2015 年 10～12 月)

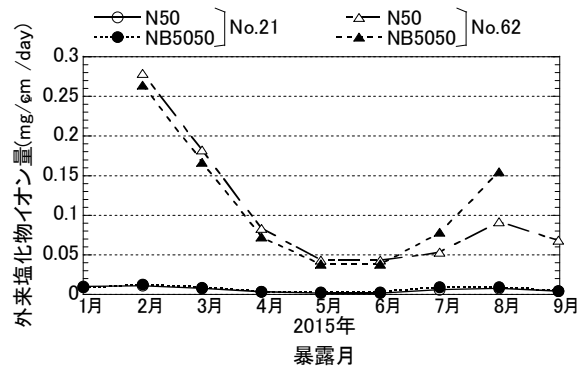


Fig. 3 材料・配合の影響 (2015 年 1～9 月)

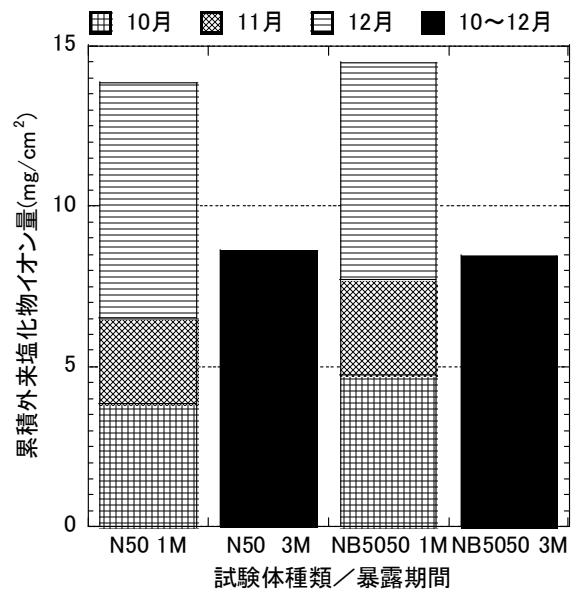


Fig. 4 暴露期間の影響 (2015 年 10～12 月)

南側護岸の外来塩化物イオン量が東側に比べて多い。これは軍艦島における卓越風向が北から北西にかけてであることが起因していると考えられる。季節変動に関しては、護岸の方位によらず冬場に外来塩化物イオ

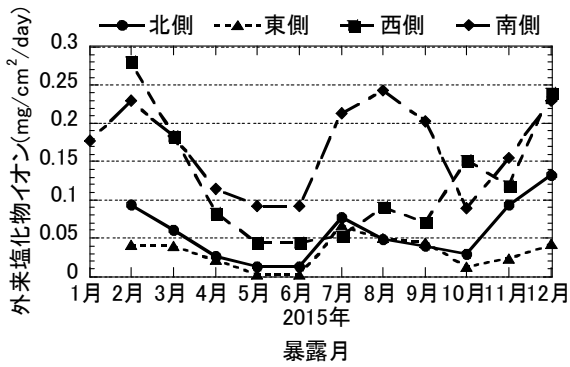


Fig. 5 護岸位置の影響 (2015 年通年)

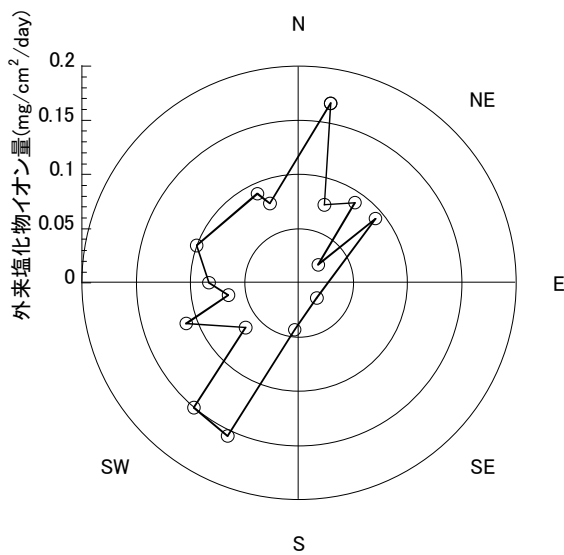


Fig. 6 護岸位置の影響 (2015 年 11 月)

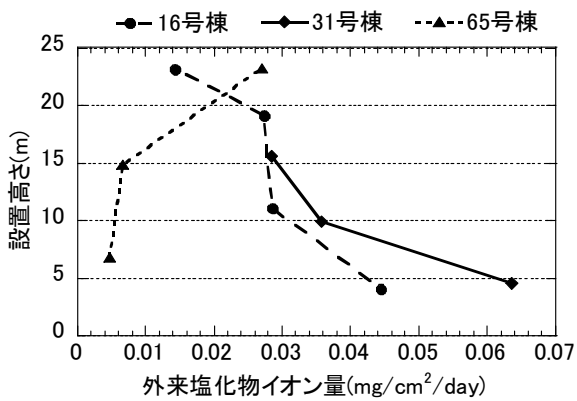
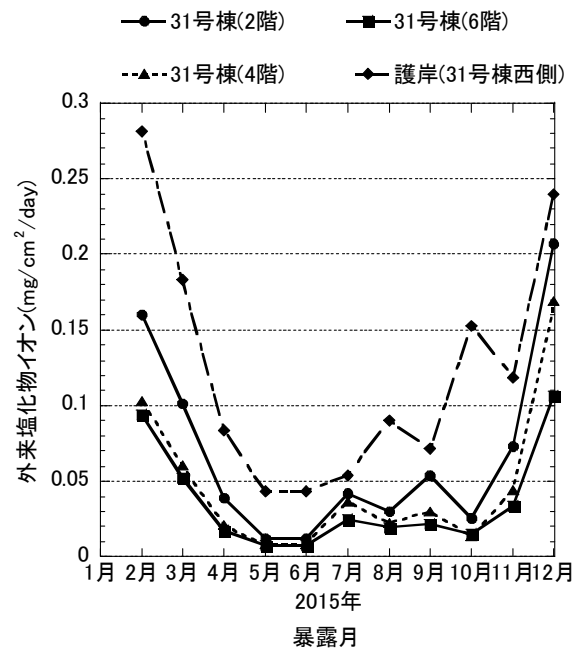


Fig. 7 建物高さの影響 (2015 年 11 月)

ン量が多いことがわかる。南側護岸において夏場に外来塩化物イオン量が多くなっているのは、7、8月に九州を通過した台風の影響のためと考えられる。



(a) 試験体設置位置



(b) 試験結果

Fig. 8 建物高さの影響 (2015 年通年)

Fig. 6 に 2015 年 11 月における護岸海側法面頂部における外来塩化物イオン量に及ぼす護岸位置の影響を 16 地点の測定結果を用いて示す。Fig. 5 における代表 4 地点の結果と同様に、北側、西側、南側護岸の外来塩化物イオン量が多い。特に、北側、南西側において一段と外来塩化物イオン量が多いことが分かる。

Fig. 7 に建物ごとの暴露位置の高さの違いによる外来塩化物イオン量の比較結果を示す。島内北西部の 16 号棟、西部の 31 号棟では設置高さが高くなるにした

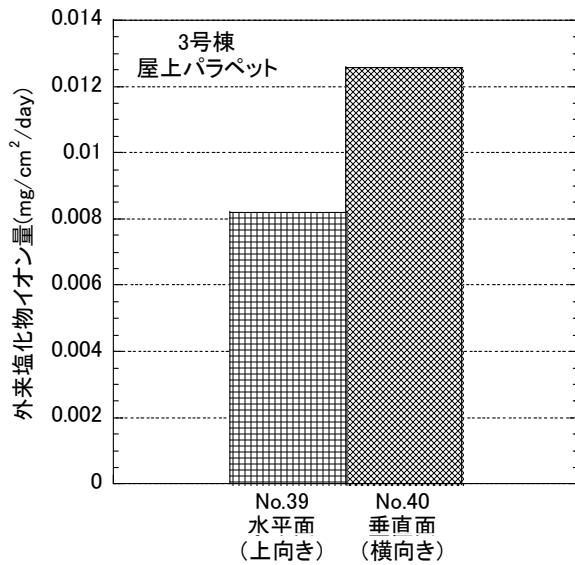


Fig. 9 試験体設置方向の影響 (2015年11月)

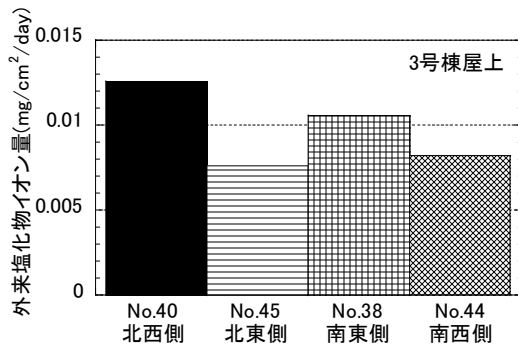


Fig. 10 建物面の方位の影響 (2015年11月)

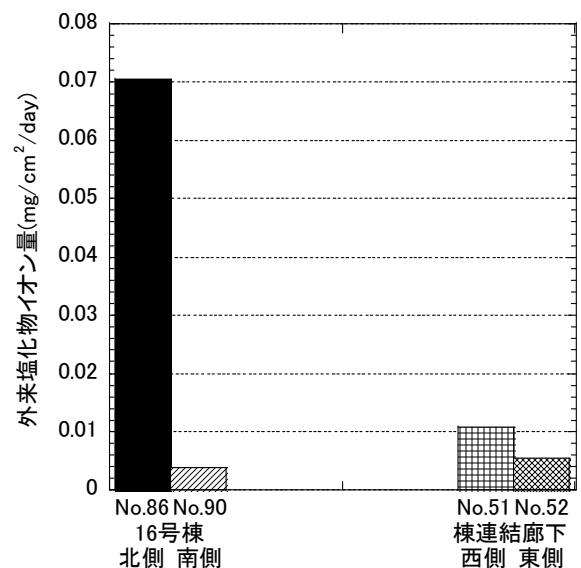
がって、外来塩化物イオン量が少なくなるのに対し、北部の65号棟では多くなっている。これは、65号棟は、海側に高さ15mの建物があり、飛来塩分の障壁として作用したためと考えられる。

Fig. 8 に建築物の高さによる外来塩化物イオン量の月変化を示す。図の結果は、島内西部の31号棟の結果であり、建物前面の護岸海側法面頂部における外来塩化物イオン量も併記している。当然のことながら、護岸での外来塩化物イオン量が最も多く、次に護岸とほぼ同じ高さにある2階の塩化物イオン量が多くなっている。これは階層が高いほど到達する飛来塩分が少なくなるためであると考えられる。

Fig. 9 に3号棟(軍艦島の中心の標高の最も高い位置にある建物)における試験体暴露面方向の違いが外来塩化物イオン量に及ぼす影響を示す。この結果から暴露面が水平(上向き)の場合よりも垂直(横向き)の場合の方が外来塩化物イオン量は多くなっていた。



(a) 試験体設置位置



(b) 試験結果

Fig. 11 建物面方位の影響 (2015年11月)

これは暴露地点の高さや障害物の有無も影響してくると思われるが、暴露面が垂直(横向き)の方が飛来塩分を多く受けやすいためであると考えられる。

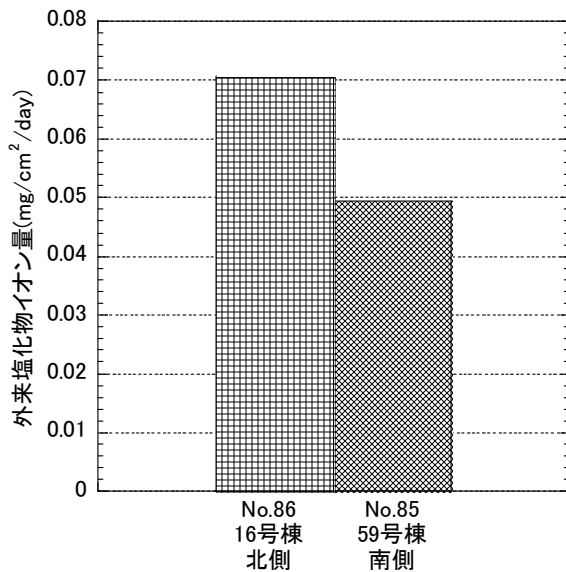
Fig. 10 に3号棟の壁面方位の違いによる外来塩化物イオン量の比較結果を示す。北西側や南東側の面で外来塩化物イオン量が多く、北東側や南西側の面で少ない結果となっている。これは、北西側や南東側に比べて北東側や南西側は護岸からの距離が大きいためと考えられる。

Fig. 11 に島内西部の16~20号棟の試験体暴露位置の違いによる外来塩化物イオン量の比較結果を示す。No.86とNo.90は16号棟1階、No.51とNo.52は17号棟と18号棟の棟連結廊下4階に暴露した。16号棟の北側、棟連結廊下の西側の方が外来塩化物イオン量が多いことが分かる。特に、16号棟北側の外来塩化物イオン量は他に比べて著しく多い。これは、16号棟北





(a) 試験体設置位置



(b) 試験結果

Fig. 12 隣接建物の相対面における相違 (2015年11月)

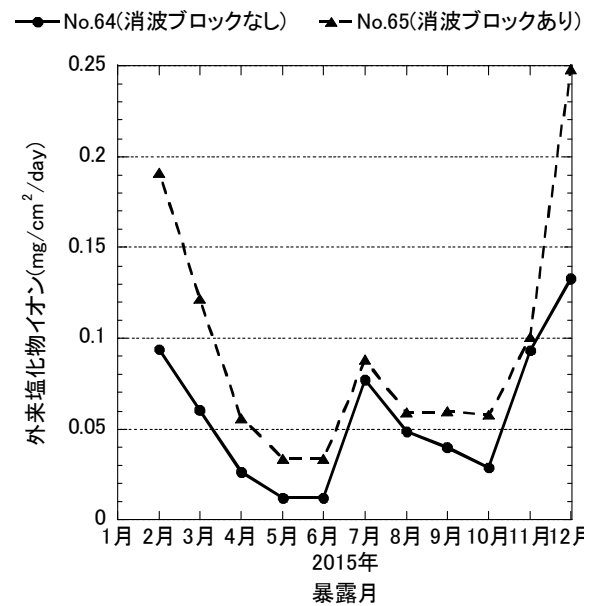
側は護岸に近く、飛来塩分などを遮る構造物が少ないこと、めがねと呼ばれる護岸に開けられた吹き抜け部から海風や海水滴も飛んできやすい環境であることが要因であると考えられる。

Fig. 12に島内西部の59号棟南側と16号棟北側の外来塩化物イオン量の比較結果を示す。これより16号棟北側の方が59号棟南側より外来塩化物イオン量が多いことがわかる。これは北西側からの外来塩化物イオン量が多いこととFig. 11と同じくめがねの吹き抜けの影響が大きいと考えられる。

Fig. 13に消波ブロックの有無が護岸海側法面頂部における外来塩化物イオン量に及ぼす影響を示す。時期によらず消波ブロックが護岸前面にある場合に護岸海側法面頂部における外来塩化物イオン量が多くなっている。これは、消波ブロックによって碎波されて大



(a) 試験体設置位置



(b) 試験結果

Fig. 13 消波ブロックの影響 (2015年通年)

量の海水滴が生じ、護岸頂部に達したためと考えられる。

#### 4. まとめ

本研究により得られた知見は、以下の通りである。

- (1) 薄板モルタルにより捕集される外来塩化物イオン量は、水結合材比の影響を顕著に受ける。
- (2) 1ヶ月暴露試験体による外来塩化物イオン量の3ヶ月合計値と3ヶ月暴露試験体の外来塩化物イオン量には大きな相違があり、その原因として暴露期間中における水和進行や含水率の変化の影響が考えられる。
- (3) 軍艦島全体の塩害環境の特徴としては、護岸での外来塩化物イオン量は西側では比較的大きいが、東側では少ない。また、護岸からの距離、標高・建物高さが大きいほど、少なくなる。

## 軍艦島構造物群の劣化環境に関する基礎的検討

- (4) 軍艦島護岸の塩害環境の季節変動は、護岸の方位によらず冬場に外来塩化物イオン量が多く、南側護岸において台風の影響により夏場にも外来塩化物イオン量が多くなる。
- (5) 建物高さ方向の外来塩化物イオン量は、建物の海側に遮蔽物がない場合には、階層が高いほど大きくなるが、遮蔽物がある場合には異なる傾向を示す。
- (6) 建物の壁面の向きによって外来塩化物イオン量は大きく異なる。それには、風の通り抜けの程度が大きく関係していると考えられる。
- (7) 軍艦島においては時期によらず消波ブロックが護岸前面にある場合には、消波ブロックによる砕波によって大量の海水滴が生成されるため、護岸海側法面頂部における外来塩化物イオン量が多くなる。

謝辞：本研究は、長崎市の特別の許可のもと実施されたことを付記し、関係各位に謝意を表します。

また本研究は、科学研究費助成事業（科学研究費補助金（基盤研究(B)）、課題番号：15H04027）の補助を受けて実施したことを付記し、謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 佐伯竜彦, 竹田光明, 佐々木謙二, 嶋毅：飛来塩分環境の定量評価に関する研究, 土木学会論文集E, Vol.66, No.1, pp.1-20, 2010.
- 2) 佐伯竜彦, 能勢陽祐, 菊地道生：薄板モルタル供試体を用いたマイクロ塩害環境評価手法に関する基礎的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.803-808, 2011.