

軍艦島護岸に長期供用されたコンクリートの塩化物イオン濃度分布

東洋建設 正会員 ○^{あきら}審良 善和 五洋建設 正会員 酒井 貴洋
 東亜建設工業 正会員 羽瀨 貴士 長崎大学 正会員 佐々木謙二
 早稲田大学 フェロー 清宮 理

1. はじめに

コンクリート中への塩化物イオンの拡散に関しては既に多くの知見があり、塩害劣化に対する耐久性照査手法もある程度確立されている。しかし、海洋環境下で長期供用された実構造物の塩化物イオンの拡散を調査した事例は少ない。そこで、100年程度供用された軍艦島護岸のコンクリートを採取し、コンクリート中の全塩化物イオン濃度および可溶性塩化物イオン濃度を測定した。

2. 軍艦島護岸について

写真1に示す軍艦島（正式名称：端島）は長崎半島の沖合に位置する外周約1.2kmの島であり、多くの貴重な近代化産業遺産等が現存しており、文化財や観光資源として注目されている。軍艦島は図1に示すように明治期以降6回にわたって拡張され、島の外周に築造された直立式のコンクリート製護岸は既に82～116年が経過している。資料によると、大正末期までは主に長崎特有の天川と呼ばれる赤土と石灰の混合物を凝固材とした岩石を積んだ石垣構造で築造されたが、昭和初期以降はコンクリート構造が用いられた。また、この島はたびたび台風により大きな被害を受け、護岸も局部的に倒壊や破損を生じたが、コンクリートによる再構築や旧来の天川護岸の海側あるいは陸側に巻き立てる補強がなされてきた¹⁾。



写真1 軍艦島（端島）

3. 調査概要

図1に示すNo.1～No.5の位置において島内側からコアを採取した。採取位置の詳細を表1に示す。コア採取箇所は、明治30年頃～昭和6年に拡張された範囲を対象とした。RC部材の施工時期は不明である。ただし、当時の炭鉱の生産増強体制を考慮すると護岸拡張の直後に建設されたものと推察される。なお、いずれの施設も建設時の詳細な資料はなく、使用材料やコンクリートの配合等は不明である。

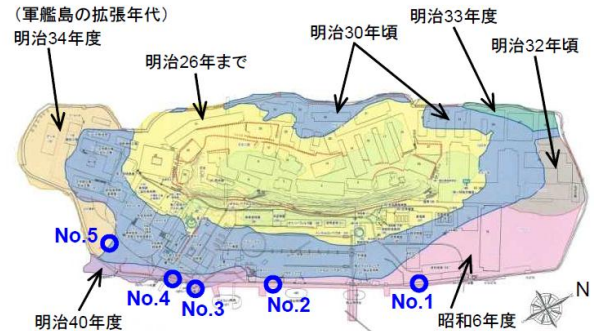


図1 軍艦島の拡張年代とコア採取位置

塩化物イオン濃度の測定は、JIS A 1154 および JCI-SC4 に準拠して実施した。

表1 コア採取位置

No.	調査位置	施工時期	推定供用期間*1	鉄筋	部材厚	備考
1	資材倉庫南東側の護岸	昭和6年	81年	無	不明	大粒径骨材あり*2
2	休憩室南側の護岸 護岸に打継げた擁壁	昭和6年	81年	無	不明	大粒径骨材あり*2
		昭和6年以降	不明(81年)	有	0.17m	Gmax: 40mm程度
3	15tクレーン台座の梁	明治40年以降	不明(105年)	有	0.60m	Gmax: 40mm程度
4	13tクレーン台座背面の壁	明治40年以降	不明(105年)	有	0.30m	Gmax: 40mm程度
5	総合事務所南側の旧護岸	明治30年頃	111～115年	無	1.52m	大粒径骨材あり*2

*1: 括弧内は護岸の拡張年代から期間を推定した、*2: 15～30cm程度の骨材

キーワード 歴史遺産, 護岸, 塩化物イオン濃度, 海水, 海砂

連絡先 〒300-0424 茨城県稲敷郡美浦村受領 1033-1 東洋建設(株)美浦研究所 TEL 029-885-7511

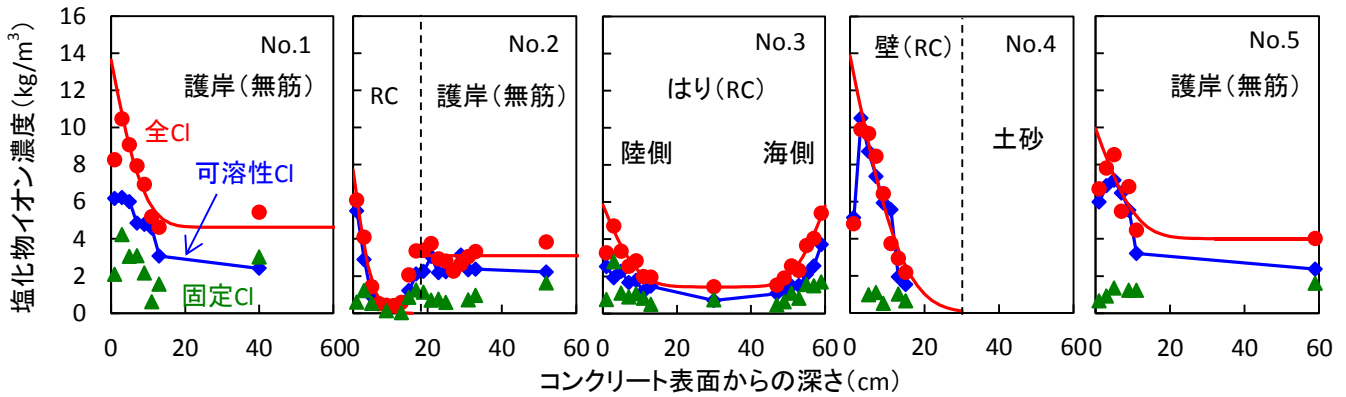


図2 全塩化物イオン濃度, 可溶性塩化物イオン濃度および固定塩化物イオン濃度分布

4. 調査結果および考察

図2に全塩化物イオン(全Cl)濃度, 可溶性塩化物イオン(可溶性Cl)濃度および固定塩化物イオン(固定Cl)濃度分布を示す。また, 表2に表1で示した推定供用期間を用いて算出した塩化物イオンの拡散係数(D), 表面塩化物イオン濃度(C₀), 初期塩化物イオン濃度(C_{ini})およびコアから実測した中性化深さを示す。全Cl濃度分布より, 護岸に使用されたコンクリートのC_{ini}は3.1~4.6kg/m³

表2 推定したD, C₀, C_{ini}および中性化深さ

No.	D (cm ² /年)	C ₀ (kg/m ³)	C _{ini} (kg/m ³)	中性化 (mm)
1-陸	0.31	13.6	4.6	1.9
2-陸-RC	0.11	7.7	0.0	11.9
2-陸-護岸	-	-	3.1	-
3-陸	0.26	5.6	1.4	5.1
3-海	0.21	5.9		-
4-陸	0.59	13.9	0.0	23.8
5-海	0.33	9.9	4.0	9.0

と高いことから, 海水または海水および海砂が使用された可能性が高いと考えられる。一方, RC部材に関しては, No.3のみ1.4kg/m³のC_{ini}が確認され, 海砂の使用が考えられる。DやC₀を比較すると, 部材による大きな差異はなく, 長期的にもC_{ini}がコンクリートDやC₀に及ぼす影響は小さいと考えられる。また, 外部からのClの浸透深さは部材によって異なるが, 可溶性Clの内部拡散に伴って20~30cmに達し, No.2においては護岸側からの逆拡散も確認された。なお, 内在Clがある方が濃度勾配は小さいようである。

固定Cl濃度分布は, No.4およびNo.5のように深さ方向にほぼ一定の濃度で存在する場合と, No.1およびNo.3のように可溶性Cl濃度に依存し固定Cl濃度も変化する場合が認められた。使用材料や配合等が不明なため定かではないが, 前者のコンクリートは, 固定Cl濃度が1.0~2.0kg/m³程度であるが既にClの固定が飽和状態にあり, 後者は化学的に平衡状態にあるものと推察される。図3に固定Cl濃度と全Cl濃度の比の深さ分布を示す。結果にばらつきが大きい, 中性化部を除く外部からのClの拡散の影響を受ける範囲(0~20cm)の固定化量は全Cl濃度の3~4割程度で化学的平衡状態を保ち, 一方, 初期に内在するClは4~6割程度が固定化される傾向を示した。これらの結果の考察は, 今後の調査結果と併せて検討したい。

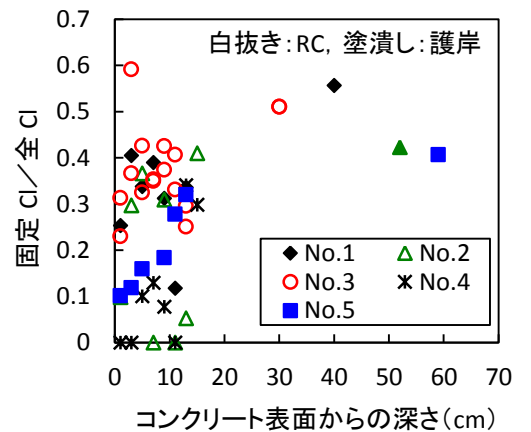


図3 固定Cl/全Clの深さ分布

5. まとめ

海洋環境下で長期供用のコンクリート中の塩化物イオンの挙動について調査した結果, 長期的にもC_{ini}がDやC₀に及ぼす影響は小さいと考えられた。また, 初期に内在するClと外部から浸透するClでは, コンクリート中でのClの固定化に差が生じる可能性があることが示唆された。

謝辞 本調査は, 長崎市の委託を受けた日本建築学会軍艦島コンクリート構造物劣化調査WG(主査: 東京大学野口貴文准教授)の活動の一環として実施されたものである。また, 本調査は, 長崎市および長崎県のご指導・ご協力のもと, 早稲田大学清宮研究室, 長崎大学原田研究室, 五洋建設, 東亜建設工業, 東洋建設およびBASF ジャパンにより共同で実施した。実施にあたりご協力いただいた関係各位に謝意を表す。

参考文献 1)阿久井喜孝, 滋賀秀實: 軍艦島実測調査資料集 追補版, 東京電機大学出版局, 2005.3