

軍艦島護岸コンクリートの詳細調査

東洋建設(株) 正会員 ○審良 善和, 東洋建設(株) フェロー 佐野 清史
 五洋建設(株) フェロー 内藤 英晴, 東亜建設工業(株) 正会員 羽瀨 貴士
 早稲田大学 フェロー 清宮 理, 長崎大学 正会員 佐々木謙二

1. 目的

軍艦島のような歴史的遺産を維持管理するためには、遺産価値を損なわないような適切な補修補強を行い、保存活用していかなければならない。そのためには、現状の施設の健全度を評価し、将来予測を行うことが重要である。そこで、第一段階として、100 年程度供用または暴露されたコンクリート製護岸の耐久性およびコンクリートの品質を評価するため、軍艦島の護岸の詳細調査を実施した。

2. 軍艦島護岸の概要 および損傷の状況

写真 1 に示す軍艦島(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 の外洋に位置し、南北に約 480m, 東西に約 160m, 外周約 1.2km の島で、多くの重要な近代化産業遺産や貴重な建築物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。

現在、この島の外周は直立式のコンクリート製護岸となっている。明治 30 (1897) 年から昭和 6 (1931) 年にかけて 6 回にわたり拡張工事が繰り返されている。大正末期までは主に「天川(あまかわ)」と呼ばれる赤土と石灰の混合物を凝固材とした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。この島はたびたび台風等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コンクリートを旧来の石積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⁾。最も新しい拡張護岸においても供用 83 年、最初の拡張護岸では 117 年もの年月が経過している。

現在の護岸の変状の一例を写真 2 に示す。変状はコンクリートのひび割れ、護岸自体の前傾や破損、護岸と岩盤との境界部の空隙、背面土砂の沈下・吸出しなどであり、既に補修や再構築がなされた範囲も含めて、島の南西側から北側にかけて多く確認されている²⁾。これら変状は、波浪や土砂吸出しによる空洞化、越波海水または雨水による天川の侵食などによる損傷であり、コンクリートの劣化に起因するものではないと考えられる。

3. 軍艦島護岸に使用されたコンクリート

軍艦島の護岸築造に使用されたコンクリートの建設当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。今回調査を行った護岸を写真 3

に示す。No.1, 2 は昭和 6 (1931) 年頃に、No.3 は明治 30 (1897) 年頃に拡張された護岸である。なお、No.2 は護岸陸側に RC の擁壁が打ち継がれた施設である。また、No.3 はその後の拡張により現在では供用されていない。



No.1
南東側護岸
昭和 6 年拡張



No.2
南側護岸
昭和 6 年拡張



No.3
南側旧護岸
明治 30 年拡張

写真 3 調査対象護岸



写真 1 軍艦島(端島)

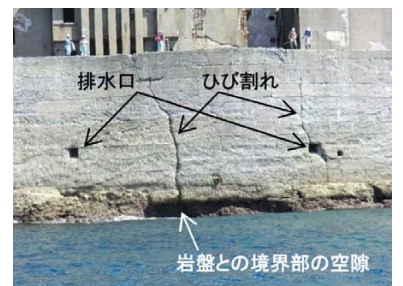


写真 2 護岸の変状の一例
(平成 24 年調査時)

キーワード 軍艦島, 護岸, 健全性, 海水練りコンクリート, 耐久性

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

3.1 護岸コンクリートの塩化物イオン濃度分布

いずれも陸側から採取したコアを用いて調査した全塩化物イオン濃度分布を図1に示す。いずれの塩化物イオン濃度分布も表面からの塩化物イオンの浸透が確認され、陸側護岸においても多くの塩化物イオンが供給されていることが分かる。また、護岸に使用されたコンクリートの初期塩化物イオン濃度は、測定深度20～60cmの結果より、 $3.1 \sim 4.6 \text{ kg/m}^3$ と高い塩化物イオン濃度が確認された。練り混ぜ水に海水を使用したコンクリートの場合の初期塩化物イオン濃度は、海水成分や単位水量に依存するが概ね 3.0 kg/m^3 程度になり、また、練混ぜ水に海水、細骨材に未洗浄の海砂を使用した場合は 4.8 kg/m^3 程度になる。軍艦島は離島であり、蒸留水機設置により島内の飲料水を確保していたこと³⁾、塩分規制以前の施設であることから、海水または海水および未洗浄の海砂を使用している可能性が高いと考えられる。一方で、RC部材に使用されたコンクリートの初期塩化物イオン濃度は殆ど含まれておらず²⁾、当時から無筋とRCで使用するコンクリートを使い分けていた可能性も伺われる。コンクリートの塩化物イオンの拡散係数は $0.31 \sim 0.33 \text{ cm}^2/\text{年}$ となり、長期供用後も塩化物イオン浸透抵抗性に大きな変化はないと推察される。

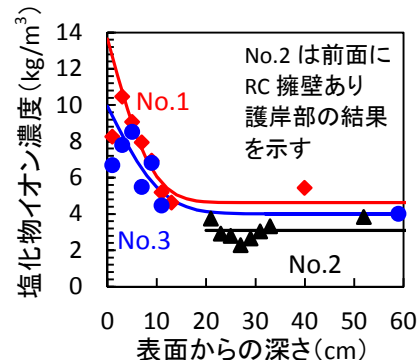


図1 塩化物イオン濃度分布

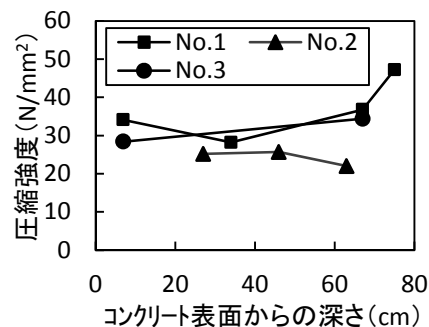


図2 コンクリートの圧縮強度

3.2 護岸コンクリートの圧縮強度

図2に海水および未洗浄の海砂を用いたと考えられる護岸コンクリートの圧縮強度の深さ分布を示す。いずれのコンクリートも 21 N/mm^2 以上の値であり、十分な強度を保持していると考えられる。また、表面付近の急激な強度低下も認められないため、長期間供用されたコンクリートであっても、構造上問題となるような強度低下は認められない。

3.3 護岸コンクリートの細孔量

図3に護岸コンクリートの細孔量分布を示す。なお、採取試料は、表層部分として表面から3～8cmの範囲のモルタルを、内部として表面から50～60cmの範囲のモルタルを採取した。また、比較1として海水および未洗浄の海砂を用いた自己充填コンクリート⁴⁾および比較2として干満帯に15年暴露したコンクリート⁵⁾の結果を併せて示す。コンクリート表層部と内部の空隙構造の違いについては、若干の差は認められるが概ね同程度であった。また、ゲル空隙と考えられる10nm以下の細孔量は、比較1および比較2と同程度で表層部の急激な細孔量低下は認められず、また、10nm以上の空隙の明確な増加も認められない。このことから、長期供用後の多孔化もなく安定した品質が保持されていると推察される。

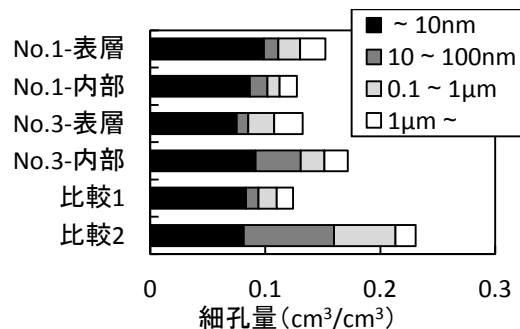


図3 細孔径分布

4. まとめ

護岸コンクリートには海水および未洗浄の海砂を用いたコンクリートが使用されたと考えられるが、無筋の護岸であり、コンクリート自体の品質の著しい低下は認められないため保存活用が可能であると推察された。ただし、波浪や土砂吸出し等による変状は現在も進行しており、埋戻しや補強等の対策は必要であると推察される。

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る。

参考文献：(1) 阿久井喜孝他：軍艦島実測調査資料集 追補版，東京電機大学出版局，2005，(2) 清宮理他：軍艦島の歴史的なコンクリート護岸の現況調査，コンクリート工学，テクニカルレポート，Vol.51，No.12，pp.975-983，2013，(3) 前川雅夫：炭坑誌 - 長崎県石炭史年表，1990，(4) 竹中寛他：海水および海砂を用いた自己充填型コンクリートの基礎特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.1，pp.1912-1917，2012，(5) Tarek U. M 他：Long-term durability of concrete made with slag cements under marine environment，港湾空港技術研究所報告，Vol.42，No.2，pp.155-191，2003