

遠隔離島地における現地調達材料を用いた鉄筋コンクリートの耐久性評価

鹿児島大学 学生会員 ○辻井颯，正会員 小池賢太郎，港湾空港技術研究所 正会員 山路徹
五洋建設 正会員 酒井貴洋，正木徹，東亜建設工業 正会員 網野貴彦，田中亮一
東洋建設 正会員 竹中寛，湯地輝

1. 研究の背景と目的

遠隔離島を対象としたコンクリート工事では、良質な骨材や真水の調達が難しいため、本土からコンクリート用材料を運搬するための費用や運搬時間に起因した建設費の高騰、工事の長期化が懸念される。本研究では、これらの課題を解決することを目的に、遠隔離島で調達が可能な材料として海水、珊瑚由来の石灰岩骨材（以下、珊瑚骨材）に着目し、これらの材料を用いたコンクリートの長期耐久性およびコンクリート中に埋設された鉄筋の腐食特性を評価した。

2. 供試体概要

表-1 に各種試験を行うためのコンクリートの配合、表-2 に使用材料の物性を示す。本研究では現地調達可能な材料として練混ぜ水に海水、骨材に珊瑚骨材を使用した。配合の種類は珊瑚骨材を用いた CS、CN 配合と比較用に普通骨材を用いた LN 配合の 3 ケースとし、いずれの配合も海水と高炉セメント B 種を用いた。CS 配合は自己充填型コンクリート（スランプフロー 60cm）とし、水セメント比（以下、W/C）は 45% とした。CN および LN 配合は普通コンクリート（スランプ 15cm）とし、W/C は 55% とした。また、表-3 に示すように、本研究では未除塩の珊瑚骨材を使用したため、CS および CN の初期塩化物イオン濃度は、LN に比べて高いものとなっている。供試体の暴露は南鳥島の大気部（汀線から 300m 位置）、港湾空港技術研究所（以下、港空研）内の海上大気中（護岸上、汀線から約 8m）および海水シャワー場（4 時間海水散布・8 時間乾燥の繰返し環境下）で 6 年間行った。暴露後に実施した試験項目を表-4 に示す。

3. 試験結果及び考察

3.1 圧縮強度試験

図-1 に初期（材齢 28 日）および暴露 6 年後の圧縮強度を示す。初期強度は CS が最も大きく、同一水セメント比である CN、LN では、多孔質で低品質骨材と考えられた珊瑚骨材を使用した CN の方が強度は高かった。既往の研究¹⁾より、練混ぜ水に海水を用いることで、海水に含まれる塩分により初期強度が大きくなり、長期強度の伸び率が小さくなることが報告されている。今回のケースでは、表-3 で示したように、未除塩の珊瑚骨材を使用したことで LN よりも CN の初期塩化物イオン濃度が高く、珊瑚骨材中に含まれる海水由来の塩分も初期強度の増進に寄与したと考えられる。一方、暴露 6 年後の圧縮強度は、暴露環境により圧縮強度に違いが認められるが、コンクリートの種類の違いによる差は小さかった。長期強度の伸びが小さかったのは、南鳥島、海上大気中、海水シャワーの順であった。南鳥島は熱帯気候と亜熱帯気候の推移帯にあり、平均気温は 25.8℃と高く、降雨量は日本の平均値の約 7 割と少ない傾向にある。そのため、海上大気中、海水シャ

表-1 コンクリートの配合

記号	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)						Ad (C*%)
			W	C	S1	S2	G1	G2	
CS	45	50.8	185	411	845	—	756	—	1.25
CN	55	47.0	175	318	831	—	865	—	1.25
LN	55	47.0	175	318	—	824	—	958	1.00

表-2 使用材料の物性

記号	種類	物性等
W	海水	相模湾産，密度 1.025g/cm3
C	高炉セメント B 種	密度 3.04g/cm³
S1	珊瑚砕砂	南鳥島産，表乾密度 2.60g/cm³
S2	陸砂	大井川水系産，表乾密度 2.58g/cm³
G1	珊瑚碎石	南鳥島産，表乾密度 2.40g/cm³
G2	碎石	青梅産，表乾密度 2.66g/cm³
Ad	混和剤	CS：海水練り用特殊混和剤 CN：高性能 AE 減水剤（標準形） LN：AE 減水剤（標準形）

表-3 初期塩化物イオン濃度

配合	Cl⁻濃度(kg/m³)
CS	3.29
CN	3.46
LN	3.06

表-4 暴露後の試験項目

評価項目	供試体寸法	配合
圧縮強度	φ100mm*200mm	CS, CN, LN
表層硬度	100mm*100mm*400mm	
腐食面積	100mm*100mm*400mm	CS, LN
腐食減量	鉄筋：磨き丸鋼 かぶり：50mm, 100mm	

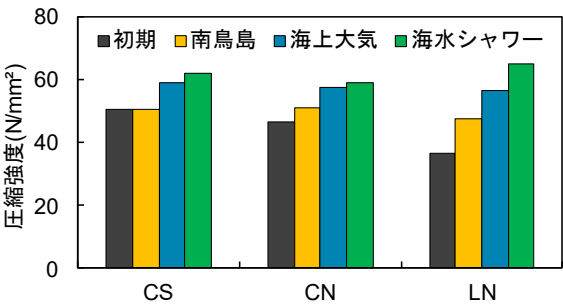


図-1 圧縮強度試験結果

キーワード 珊瑚骨材，海水，耐久性，腐食，かぶり

連絡先 〒890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元 1 丁目 21-24

ワーに比べて高温乾燥環境であることが影響してセメントの水和が進まなかった可能性が高い。また、CS と CN の海水シャワーでの強度に着目すると、水セメント比が異なるにも関わらず 60N/mm^2 と同程度であった。圧縮強度試験後の供試体を観察すると、CS、CN とともに珊瑚骨材が割裂していたことから、多孔質で低品質である珊瑚骨材を使用する場合は 60N/mm^2 前後が限界強度となる可能性が高いと考えられる。

3.2 表層硬度

図-2 にビッカース硬さと中性化深さとの関係を示す。中性化深さは、南鳥島>海上大気中>海水シャワーの順で大きくなっており、各環境における水分供給量の違いが大きく影響したと考えられる。また、CN と LN を比較すると、CN の方が中性化深さは大きい傾向にあり、これは多孔質体である珊瑚骨材を使用したことがその要因と考えられる。ビッカース硬さは、暴露環境、コンクリートの種類に関わらず、表層から 3mm 程度までの値が小さかった。これは中性化に伴う多孔化が原因と推察されるとともに、海上大気中、海水シャワー環境においては海水飛沫による劣化因子の侵入も要因と考えられる。いずれにしても、暴露期間 6 年で 3mm 程度の表層劣化であり、現地材料を用いたコンクリートであっても実用上の耐久性に大きな影響は与えないと考えられる。

3.3 鉄筋腐食

いずれの配合、環境でも鉄筋の腐食が確認された。このことから、海水由来の塩化物イオンにより材齢初期から腐食が進行した可能性が考えられる。そこで、腐食面積、腐食減量の結果にファラデーの第 2 法則を適用して算出した腐食速度の結果を CEB の判定基準とともに図-3 に示す。南鳥島に暴露された LN かぶり 5cm の腐食速度のみ低速と判定され、それ以外の供試体の腐食速度は極めて遅いと判定された。なお、いずれのケースにおいても十分なかぶりを確保していたため、外来由来の塩化物イオンは鉄筋位置まで侵入していなかった。この結果より、W/C を 45% とすること、かつかぶりを 5cm 以上確保することで、珊瑚骨材を用いたコンクリートを鉄筋コンクリートに適用した場合、いずれの環境であっても腐食速度は小さいため、鋼材腐食に対する抵抗性に関する懸念はないものと考えられる。

4. まとめ

珊瑚骨材を用いたコンクリートは、珊瑚骨材に含まれる海水由来の塩分により初期の強度発現性に優れ、普通骨材を用いたコンクリートと同程度の長期強度が得られることが確認された。また、表層硬度で見ると、いずれの配合、暴露環境においても 3mm 程度のごく表層部での劣化に留まっていた。腐食特性に関しては W/C を 45%、かぶりを 5cm 以上とすることで、いずれの環境においても極めて遅い腐食速度であることが確認された。以上のことから、未除塩の珊瑚骨材や海水などの現地調達材料をコンクリート用材料に使用する際には、水セメント比およびかぶりの考慮により、鉄筋コンクリートとして十分適用可能であることが確認された。

謝辞: 本研究は内閣官房総合海洋政策本部事務局及び国土交通省総合政策局技術政策課により平成 26 年 4 月に実施された「遠隔離島における産学官連携型の海洋関連技術開発の公募」で採択されたものであり、国土交通省関東地方整備局のご協力の下、実施したものである。ここに、試験の実施ならびに評価に際してご協力をいただいた関係者各位への謝意を表す。

参考文献

- (1) 山路 徹・審良 善和・石川 嘉崇・斎藤 豪・檀 康弘・馬場 勇介：コンクリート分野における海水の有効利用に関する研究委員会報告書、WG2：練混ぜ水、養生水に海水を使用したコンクリートの物性、p. 91

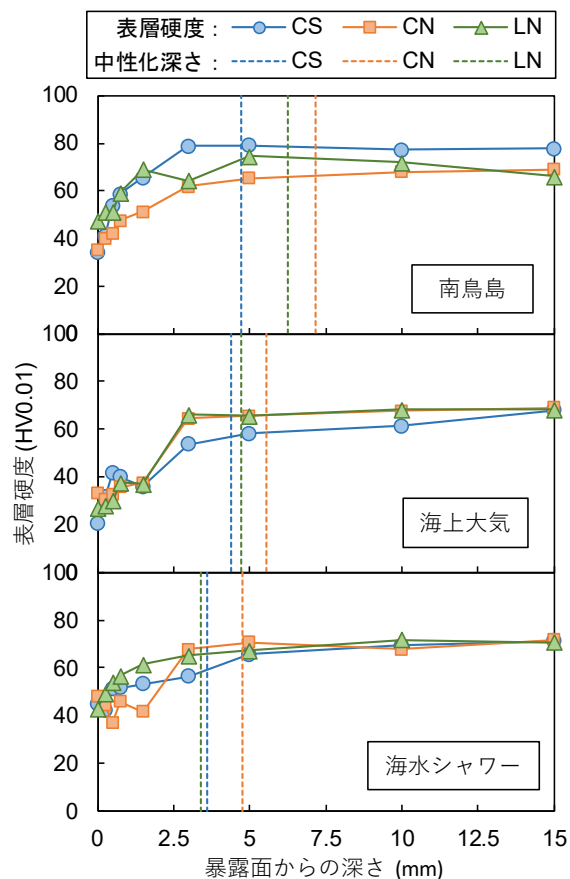


図-2 表層硬度分布

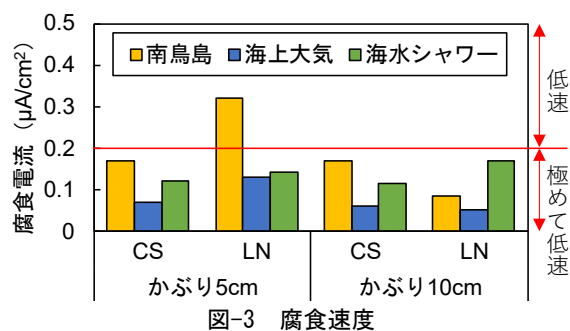


図-3 腐食速度