

海洋環境下に 10 年間暴露したシラスコンクリートの耐久性に関する検討

鹿児島大学大学院 学生会員 ○里山 永光 鹿児島工業高等専門学校 正会員 福永 隆之
 鹿児島大学大学院 正会員 武若 耕司, 山口 明伸, 審良 善和, 小池 賢太郎

1. はじめに

コンクリート用細骨材の資源不足が深刻化している問題を背景に、未利用資源の有効活用を目的として、細骨材にシラスを用いたシラスコンクリートの研究が行なわれている¹⁾。これまでの著者らの研究成果から、シラスコンクリートは、細骨材に普通砂を用いたコンクリートに比べ、塩分浸透の抵抗性に優れ、内部鉄筋の腐食の進行を抑制することが明らかとなった¹⁾。さらに、その検証のために、海洋環境区分が海上大気中から海中中部まで連続する全長 4.6m の大型 RC 供試体を作製し、実環境下での長期暴露実験を行なっている。本稿では、暴露 10.5 年時までの塩害劣化進行過程を踏まえて、シラスコンクリートの塩害抵抗性を評価した。

2. 実験概要

表-1 に各種コンクリートの配合を示す。水セメント比はいずれも 50% とし、セメントは、普通ポルトランドセメント（以下 OPC）と一般的に海洋環境下で使用される高炉セメント B 種（以下 BB）の 2 種類を使用した。細骨材には、シラスと比較用に十分に除塩された海砂（以下、普通砂と称す）を使用した。図-1 に供試体の概要を示す。全長 4.6m の大型 RC 供試体は、内部

に D19 鉄筋を、かぶり 2, 3, 4, 5cm 位置に計 4 本埋設している。検討項目は供試体の外観調査、塩化物イオンの浸透状況調査、鉄筋腐食調査である。外観調査は、供試体を陸上に引き上げ、付着生物を除去した後に、外観の変状（ひび割れ位置および幅）を測定した。塩化物イオンの浸透状況調査の方法としては、各海洋環境区分に位置する場所を φ20mm のドリルで深さ 50mm まで削孔し、深さ 10mm ごとに採取した粉末を用いて、全塩化物イオン量を測定した。鉄筋腐食調査には、電気化学的手法である自然電位法および分極抵抗法を用いた。なお、分極抵抗法は 2 周波（10Hz, 20mHz）により測定した。

3. 結果及び考察

図-2 に、かぶり 2cm の鉄筋位置のコンクリートで確認された最大ひび割れ幅の経時変化を示す。いずれの供試体も海上大気中から干満帯上部（供試体上面から 0～180cm 位置）にかけて腐食によるひび割れが発生していた。ただし、最大ひび割れ幅はコンクリートの種類により異なり、普通砂 OPC では干満帯部（90～100cm 位置）で約 7mm、普通砂 BB では干満帯部（120～130cm 位置）において約 4mm のひび割れが確認された。さらに、普通砂 OPC では暴露 4.5 年から 6 年、普通砂 BB では暴露 8.5 年から 9.5 年にかけて急激に最大ひび割れ幅が増加

表-1 コンクリート配合

供試体配合	W/C (%)	s/a (%)	単位水量(kg/m ³)						空気量 (%)	スランプ (cm)
			W	C	S		G	P×%		
					普通砂	シラス				
普通砂OPC	50	41.6	174	348	692	－	1034	0.85	3.9	10.0
普通砂BB		41.5	172	344	689	－	1035	0.85	4.9	11.5
シラスOPC		34.5	202	404	－	464	1085	0.70	4.6	8.0
シラスBB		34.5	199	398	－	464	1085	0.70	4.7	9.0

* AE 減水剤（普通砂コンクリート）、混和剤・高性能 AE 減水剤（シラスコンクリート）

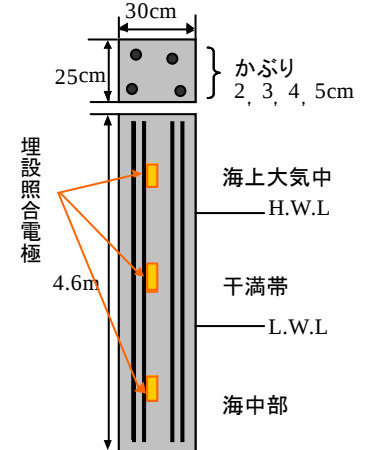


図-1 大型供試体概要

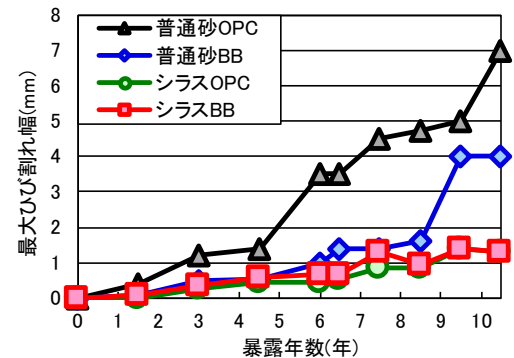


図-2 最大ひび割れ幅

キーワード：シラスコンクリート、塩害、腐食、海洋暴露実験、ひび割れ、自然電位

連絡先：〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40 鹿児島大学大学院理工学研究科海洋土木工学専攻 TEL099-285-8480

しており劣化期に移行していることが示唆された。一方、シラス OPC 及びシラス BB の最大ひび割れ幅は干満帯部（130～140cm 位置）において約 1mm に留まっており、ひび割れの進展も緩やかなことから未だ加速期であることが示唆された。図-3 に、かぶり 2cm および 3cm の鉄筋の暴露 10.5 年時点での自然電位および分極抵抗の測定結果を示す。このうち、かぶり 2cm 位置鉄筋では、全ての供試体において、自然電位が腐食判定値の -350mV vs CSE より卑な値を示しており、分極抵抗値においても干満帯において腐食が進行していることが確認された。また、かぶり 3cm 位置鉄筋における計測結果では、普通砂コンクリートに比べ、シラスコンクリートの自然電位は貴側にあり海上大気中の一部を除いて -350mV vs CSE 前後の値を推移していた。分極抵抗値に関しては、シラス OPC 中の鉄筋では、干満帯および海中部では低～中程度の腐食速度を示し、シラス BB 中の鉄筋についてはいずれの環境においても、暴露 10.5 年を経過してもなお、腐食判定基準値を上回り、不動態状態であることが推察された。図-4 に干満帯に位置するコンクリート中の全塩化物イオン濃度分布を示す。普通砂 OPC は、深さ 5cm 位置において腐食発生限界量を超える塩化物イオンの浸透が確認された。また、一般的に遮塩性が高いとされている普通砂 BB でも、深さ 3.5cm まで塩化物イオンの浸透が認められる。一方、シラス OPC、シラス BB においては、深さ 3.5cm 以深での塩分の浸透はほとんど確認されず、高い塩分浸透抑制効果を有していることが確認された。図-5 にかぶり 2cm 位置鉄筋の分極抵抗値より算出した推定腐食量の経時変化とひび割れ発生限界腐食量²⁾を合わせて示す。推定腐食量による腐食ひび割れ発生年数は海砂 OPC で 1.9 年、海砂 BB で 2.7 年、シラス OPC で 3.8 年、シラス BB で 3.5 年となったのに対し、実際に観測されたひび割れ発生年数は海砂 OPC で 1.5 年、その他の供試体は 3 年であった。いずれの供試体においても、予測結果と実際にひび割れが開始した時期は概ね一致する結果であると考えられる。図-6 に最大ひび割れ幅と分極抵抗から推定した鉄筋腐食量の関係を示す。供試体種類による大きな差異は認められず、多少のばらつきは確認されたものの、概ね直線上に位置していることから、分極抵抗値から算出した推定腐食量と実際のひび割れ幅に相関性が認められた。このことから、分極抵抗から算出した推定腐食量はある程度の妥当性があると推察された。

4. まとめ

10.5 年間の曝露された大型 RC 供試体の調査結果より、シラスを細骨材に用いたシラスコンクリートは高い塩害抵抗性を有していることが確認された。また、分極抵抗値を用いて、鉄筋の腐食量の推定が可能であることが示唆され、今後、劣化予測のパラメータとして組み込むことで、より正確な予測システムを構築することが可能であると考えられた。

参考文献

- 1) 大園理貴ほか：実海洋環境下で長期曝露を行なったシラスコンクリートの防食性能，コンクリート工学年次論文集 Vol. 36, No. 1, pp. 988-993, 2014
- 2) LECCA2-Lite, Life time Evaluation Program for Concrete Structures by Computational Analysis, 日本コンクリート工学会

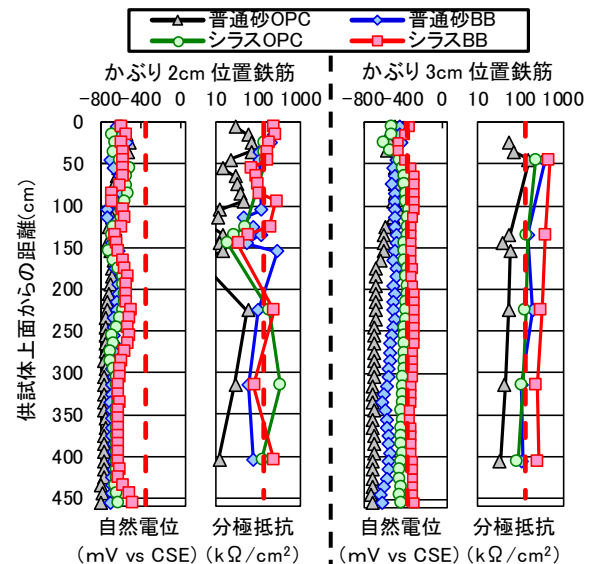


図-3 自然電位・分極抵抗測定結果

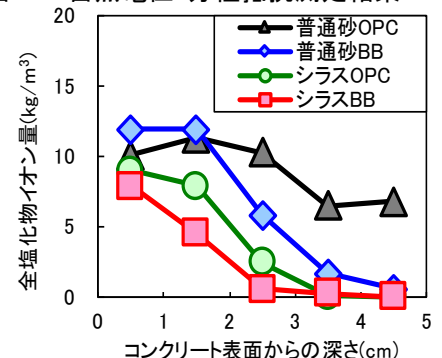


図-4 全塩化物イオン量分布

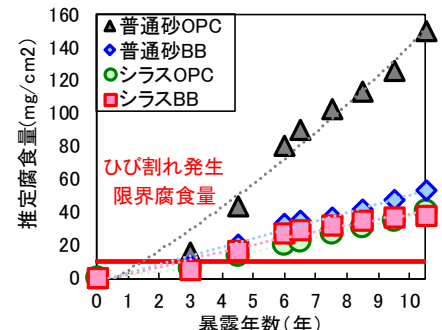


図-5 推定腐食量の経時変化

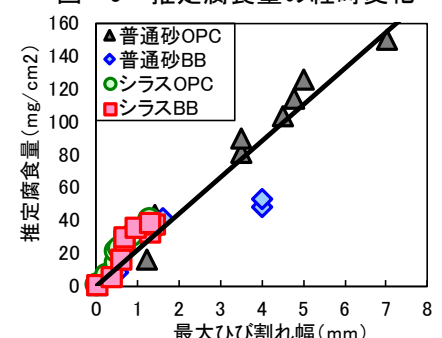


図-6 推定腐食量と最大ひび割れ幅