

海洋環境下に 10 年間暴露したシラスコンクリートの塩害抵抗性に関する実験的検討

鹿児島大学 学生会員 ○吉行 史美哉 鹿児島大学大学院 正会員 武若 耕司
鹿児島大学大学院 正会員 山口 明伸 鹿児島大学大学院 正会員 審良 善和
鹿児島大学大学院 学生会員 大園 理貴

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⁾。既往の研究より、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ている¹⁾。本研究では、海洋環境区分が海上大気中から海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っている。今回、暴露 10.5 年時までの結果を基に、シラスコンクリートの塩害抵抗性を評価することを試みた。

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 $\phi 20\text{mm}$ 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

3.1 外観調査

図-2 に各供試体表面のひび割れ状況の展開図を示す。いずれの供試体も海上大気中から干満帯上部にかけて腐食によるひび割れが発生していた。また、いずれの供試体も打設面である D 面のかぶり 2cm 位置の腐食が顕著であった。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。一方、シラス OPC、シラス BB の最大ひび割れ幅は干満帯部（130～

表-1 コンクリート配合

呼名	W/C (%)	s/a (%)	単位水量(kg/m ³)				混和剤	C×%	空気量 (%)	スランプ (cm)	
			W	C	S						G
					普通砂	シラス					
シラスOPC	50	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	
普通砂OPC		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	

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

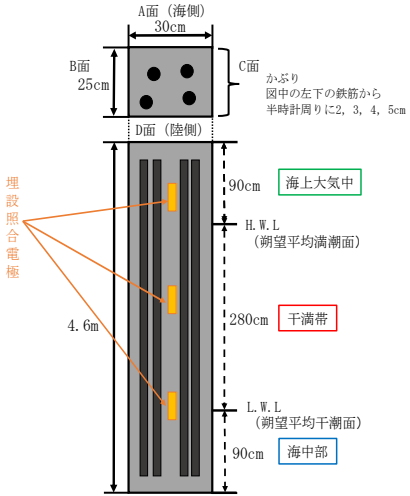


図-1 供試体概要図

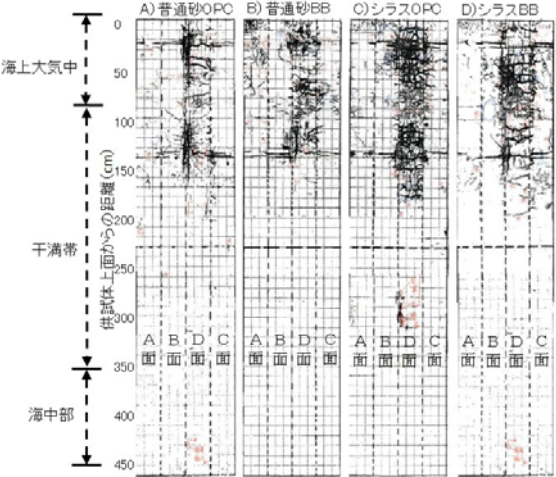


図-2 供試体のひび割れ状況

140cm) 位置において約 1mm に留まっていた。

図-3 に最大ひび割れ幅の経時変化を示す。普通砂 OPC は暴露 9.5 年時以降、ひび割れ幅が拡大しており、内部鉄筋の腐食が進行していることが考えられた。一方、シラス OPC、シラス BB では、ひび割れ幅の進行はほとんど確認されず、普通砂に比べシラスを用いたコンクリートは鉄筋腐食の進行を大きく抑制していることが推察された。

3.2 全塩化物イオン濃度分布

図-4 には、一例として、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。また、表-2 には、各部位での塩化物イオン拡散係数の算出結果を示す。普通砂 OPC は、深さ 5cm 位置においても、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 4.0cm 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 3.0cm 以深での塩分の浸透は殆ど確認されず、高い塩分浸透抑制効果を有していることが確認された。

3.3 鉄筋腐食調査

図-5 に、一例としてかぶり 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 より卑な値を示した。ただし、分極抵抗についてみると、表-3 に示す CEB 提案の推定腐食速度区分を参考とすると、普通砂 OPC では、殆どの位置で中～高程度、または激しい腐食速度を示しているのに対し、普通砂 BB およびシラスコンクリートは、普通砂 OPC に比べ全体的に高い値を維持していた。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。なお、シラス OPC、シラス BB のかぶり 4cm、5cm 位置鉄筋の自然電位は、腐食判定値より貴な値を示しており、また、分極抵抗値からも不動態状態と判定された。以上の鉄筋腐食診断結果は、図-4 の塩化物イオンの濃度分布の結果とも符合し、信頼性は高く、シラスコンクリートは長期的にも高い塩害抵抗性を有していることが明らかとなった。

4. まとめ

海洋暴露 10.5 年経過したシラスコンクリートの調査から、このコンクリートが高い塩分浸透抑制効果を有し、また、自然電位や分極抵抗の測定結果からも、長期に渡って鉄筋の腐食進行を抑制できることを確認した。

参考文献：1) 大園理貴ほか：実海洋環境下で長期暴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

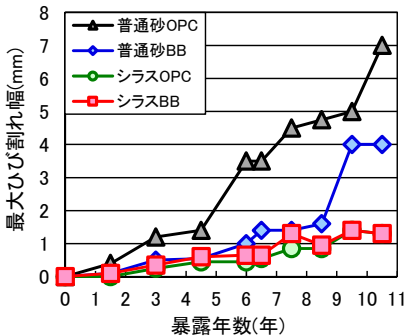


図-3 最大ひび割れ幅

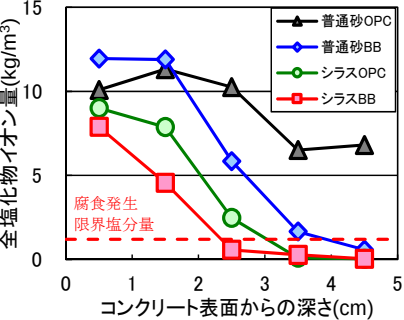


図-4 全塩化物イオン濃度分布（干満帯）

表-2 塩化物イオン拡散係数

	海上大気中	干満帯	海中部
普通砂OPC	1.32E-01	1.53E+00	1.79E+00
普通砂BB	1.51E-01	1.85E-01	2.75E-01
シラスOPC	5.99E-02	1.03E-01	1.62E-01
シラスBB	4.15E-02	5.76E-02	9.00E-02

表-3 腐食速度の判定基準

分極抵抗測定値 $R_{ct}(k\Omega cm^2)$	腐食速度の判定
130より大	不動態状態
52以上130以下	低～中程度の腐食速度
26以上52以下	中～高程度の腐食速度
26未満	激しい、高い腐食速度

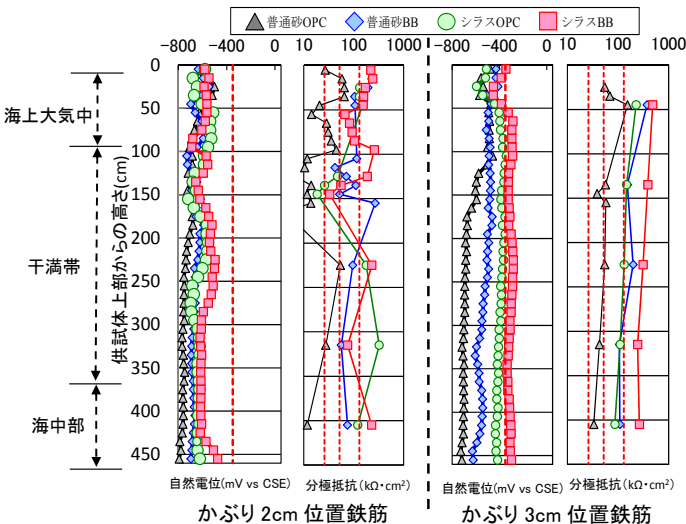


図-5 自然電位・分極抵抗測定結果