

シラスを混和材利用したコンクリートの塩水中での反応性について

○鹿児島大学大学院 学生会員 岩井迫蘭

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

既往の研究より、シラスはポズラン活性を有しており、シラスを細骨材として用いたシラスコンクリートは、海洋環境下において優れた遮塩効果を示し、高い塩害抵抗性を期待できることが報告されている¹⁾。しかし、シラスを混和したコンクリートの塩害抵抗性がシラスのどのような反応メカニズムに起因したものかは未だ明確にされていない。そこで本研究では、シラスを混和材として用いたコンクリートの塩害抵抗性の反応メカニズム解明を目的とし、種類の異なるシラスを混和材として用いたセメントペースト供試体の塩水浸漬試験を実施した。

2. 実験概要

2.1 使用材料

使用材料を表1に示す。本研究では堆積地、堆積時期、および由来となる火砕流が異なる4種類のシラスを用いた。この内、吉田シラスは全て75 μm 以下の粒径で構成され、図1の粉末X線回折(以下XRD)の結果が示すように、非晶質で構成されている。一方、同じ入戸火砕流由来の串良シラス、横川シラスは、鉱物組成に大きな違いは見られず、非晶質の他、結晶質の石英や斜長石類を含んでいることが確認された。また、阿多火砕流由来の阿多シラスは、非晶質、石英、斜長石類に加えて粘土鉱物であるハロイサイトを含んでいた。ハロイサイトが含まれる理由として、阿多シラスは入戸火砕流由来のシラスよりも約7万年前に堆積していることから、斜長石類の風化が進み、ハロイサイトに変質したと考えられる。

本検討では、いずれのシラスも振動ミル機により微粉碎して、粒径が同程度となるように調整し、実験に供した。

2.2 試料の作製方法および塩水浸漬試験の概要

結合材として普通ポルトランドセメント(以下OPC)をベースに各シラスを内割り20mass%混和したものを用いた。練混ぜ水には蒸留水を使用し、水結合材比は0.5とした。なお、各シラスおよび蒸留水は養生温度と同じ20 $^{\circ}\text{C}$ に管理した上で練混ぜを行い、ブリーディングがなくなるまで定期的に練返しを行った。練混ぜ後は、 $\phi 5 \times 10 \text{cm}$ のモールドに打設し、その後、材齢7日まで封緘養生を実施した。養生終了後、供試体は厚さ3mmの薄板状に切断し、気中で24時間乾燥後、試験片を塩水で真空飽和させ、所定の期間(1, 3, 7, 14, 28, 56, 91および182日)塩水に浸漬したものを供試体とした。なお、塩水のNaCl濃度は3mass%とした。また、比較用として塩水による真空飽和を行わず、蒸留水による浸漬試験も併せて実施した。所定の期間浸漬した供試体は、アセトンに浸漬させ、アスピレーターを用いて減圧することで水和反応を停止させた後、粒径150 μm 以下に粉碎した。粉碎した試料を用いて、電位差滴定による各種塩化物イオン量の測定、示差熱分析(TG-DTA)による水酸化カルシウム量(以下CH量)の測定およびXRDによるフリーデル氏塩(以下F塩)量の推定および塩酸及び炭酸ナトリウム溶液を用いた選択溶解法によってシラスの反応率の評価を行った。

表1 実験に使用した材料

材料	密度 (g/cm^3)	比表面積 (cm^2/g)	堆積地	堆積時期 (由来となる火砕流)
OPC	3.15	3370	-	-
シラス	阿多	2.44	陸地	10万年前 (阿多火砕流)
	串良	2.49		3万年前 (入戸火砕流)
	横川	2.48		
	吉田	2.37	湖や川	50万年前(不明)

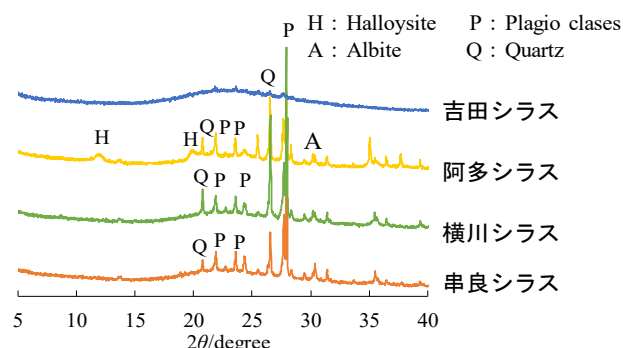


図1 各シラスのXRDパターン

キーワード シラス 混和材 ポズラン反応 塩化物イオンの固定化

連絡先 〒890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元 1-21-40 (鹿児島大学工学部海洋土木工学科) TEL 099-285-8480

3. 実験結果および考察

図2にシラスの反応率を示す。シラスの種類により反応率に差はあるものの、すべてのシラスが反応していることが確認された。また、非晶質で構成される吉田シラスの反応率が最も高いことから、シラス中の非晶質が反応していると推察される。一方、阿多シラスの反応は浸漬初期に急激に進行した。これは、阿多シラス中のハロイサイトが浸漬初期に反応したためだと推察される。また、塩水浸漬を行った供試体では、蒸留水に浸漬したもの 비해、浸漬初期に反応率の急激な増加が確認され、シラスの反応は塩水に浸漬することで促進されることが示唆された。また、図3は供試体中のCH含有割合を示している。図中の破線はシラスを混和した供試体中のセメントにより生成されるCHの含有割合を示しているが、シラスを混和した配合はいずれも、破線より低い値を示している。加えて、図2および図3より、CH量が減少する時期と、シラスの反応率が高まる時期が同時期であることも踏まえると、シラスの反応によってCHを消費していることは明らかである。特に、吉田シラスは反応率が高く、CH量の減少も多いことから、シラス中の非晶質がCHと反応しポズラン反応を起こしていると推察される。

図4に全塩化物イオン量及び可溶性塩化物イオン量の結果から算出した固定塩化物イオン量を示す。また、図5にはXRDによる測定結果から算出した各供試体中のF塩のピーク強度比を示す。なお、図4の破線は、シラスを混和した供試体と同等のセメント量で予想される固定塩化物イオン量を、図5の破線はシラスを混和した供試体と同等のセメント量で予想されるF塩量を示している。両者の結果より、阿多シラスを混和した配合は、F塩のピーク強度比が高い傾向にあることから、阿多シラスではF塩が多く生成され、固定塩化物イオン量が多くなったと推察される。これは、阿多シラスに含まれるハロイサイトの反応によるものと考えられる。その他のシラスは、OPCと同等もしくはそれ以上のF塩の生成を示しており、阿多シラスには劣るものの、塩化物イオン固定化能力を有していることが確認できる。これは非晶質に含まれる少量のアルミネート系鉱物による反応であると推察される。

4. まとめ

本研究により、塩害抵抗性におけるシラスの効果は、塩化物イオンの固定とポズラン反応による遮塩性能の向上であると定量的に示された。なお、その効果の大小はシラスの鉱物組成によって異なり、中でも阿多シラスは塩化物イオン固定化能力が高く、吉田シラスはポズラン反応による遮塩効果に期待できるという結果が得られた。

謝辞 本研究は、国土交通省九州地方整備局鹿兒島港湾空港工事事務所との共同研究により実施している研究の一部であり、関係者各位に謝意を表する。

参考文献 1) 里山永光ほか：干満帯に長期暴露した供試体によるシラスコンクリートの耐久性評価，コンクリート工学年次論文集 vol.39, No.1, pp.775-780, 2017

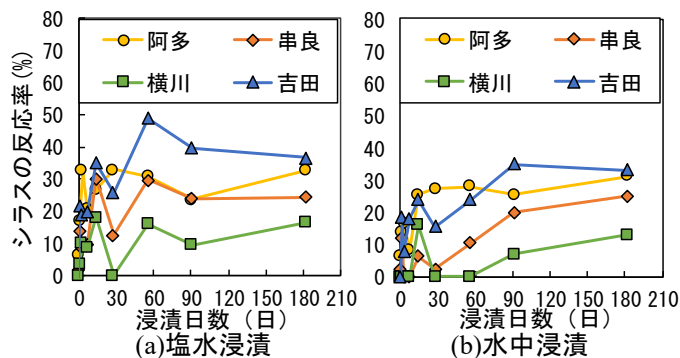


図2 シラスの反応率

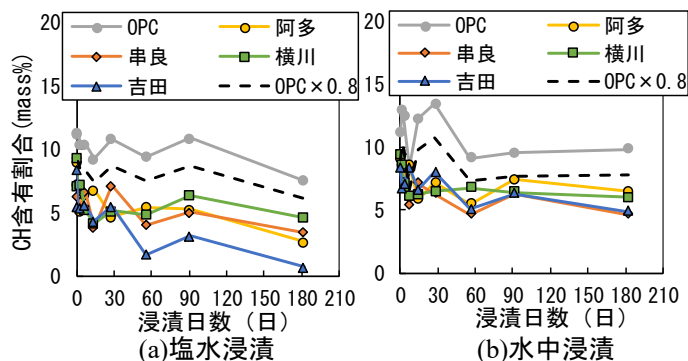


図3 CH含有割合

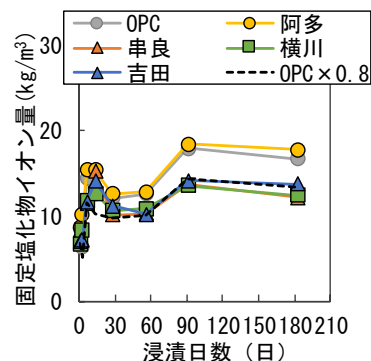


図4 固定塩化物イオン量

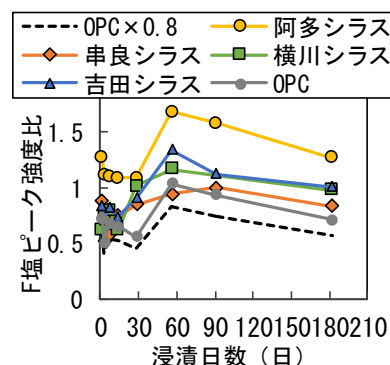


図5 F塩ピーク強度比