

セメントペースト中に混和したシラスのポゾラン反応性について

鹿児島大学 学生会員 ○帆足 理沙
 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
 鹿児島大学大学院 学生会員 里山 永光

1. はじめに

鹿児島県では、シラスを土木・建築分野における建設材料として使用するために、細骨材や混和材としての利用を目的とした研究が行われている。シラスの主成分は SiO_2 （約 70%）であり、フライアッシュと同様にポゾラン反応を生じると考えられており、暴露試験等によって長期的な強度増進や高い遮塩性などが確認されている。しかし、シラス自体の反応特性は十分に把握されておらず不明な点が多い。そこで、本研究では、シラスを混和材として利用した場合のシラスの反応機構および各地域で採取されるシラスの違いが反応性に及ぼす影響を明確にするために実験的に検討を行った。

2. 実験概要

2. 1 使用材料

本研究で使用した材料を表-1 に示す。本研究では、白色普通ポルトランドセメント（以下 WOPC）を用いて検討を行った。WOPC は普通ポルトランドセメントと比較して、圧縮強度のような基本的な物性はほとんど変わらないが、 Fe_2O_3 の含有量が少ないという特徴を持つため、後述するフーリエ変換赤外分光光度計（以下 FT-IR）の測定に影響を及ぼさないセメントとして使用した。また、シラスは、採取地の影響を評価するため、堆積地や火砕流の起源となるカルデラが異なるものを採取し使用した。図-1 に各シラスの粉末エクス線回折（以下 XRD）パターンを示す。阿多シラスは、串良シラスや横川シラスよりも堆積時期が約 7 万年早いため、風化が進行しておりカオリン鉱物の一種であるハロイサイトが確認された。一方、吉田シラスは、火砕流が湖や河川に堆積したものであるため、細粒分が多く 90% 程度が非晶質で構成された材料であり、XRD ピークはほとんど確認できず、ブロードのみが確認された。横川シラスと串良シラスは、火砕流の発生源からの距離が異なるシラスであるが、同様な XRD パターンを示し、鉱物組成はほぼ同じであることが確認できる。

2. 2 供試体概要

本実験では、セメントペーストを用いた。水結合材比は 0.5 とし、WOPC にシラスを 150 μm 以下に微粉碎したものを内割で 20mass% 混和したものを結合材として、また、練混ぜ水には蒸留水を使用した。養生は封緘養生とした。

2. 3 実験項目

本実験では各材料の水和生成物を確認するために、XRD を用いた。また、FT-IR の ATR 法を用いて水和試料の分析を行った。

表-1 使用した材料

材料	特徴	推定堆積時期
WOPC	白色普通ポルトランドセメント 密度 3.05g/cm ³ 比表面積 3840cm ² /g	—
串良シラス	陸地堆積材料 始良カルデラ 入戸火砕流由来 密度 2.49g/cm ³ 比表面積 5171cm ² /g	約3万年前
横川シラス	陸地堆積材料 始良カルデラ 入戸火砕流由来 密度 2.48g/cm ³ 比表面積 4486cm ² /g	約3万年前
阿多シラス	陸地堆積材料 阿多カルデラ 阿多火砕流由来 密度 2.44g/cm ³ 比表面積 5344cm ² /g	約10万年前
吉田シラス	湖堆積材料 始良カルデラ 火砕流不明 密度 2.37g/cm ³ 比表面積 5984cm ² /g	約50万年前

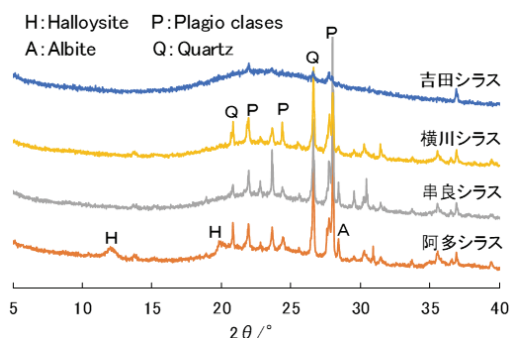


図-1 各シラスの XRD パターン

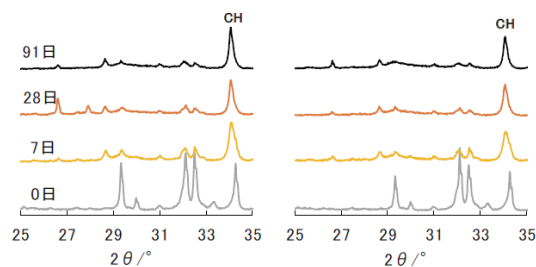


図-2 WOPC・吉田シラス供試体の XRD パターン

さらに、熱重量・示差熱分析装置 (TG-DTA) によりセメントペースト中に含まれる水酸化カルシウム (以下 CH) 量を測定した。

3. 実験結果および考察

一例として、WOPC を単独使用したペーストと吉田シラスを混和したペーストにおける XRD パターンを図-2 に示す。29°付近と 32°付近のエーライト (C_3S) やビーライト (C_2S) のピークは、材齢 7 日までに急激に減少し、それ以降はおおむね一定のピーク強度が確認された。次に、FT-IR により得られた材齢 91 日までの WOPC の結果を図-3 に、吉田シラスを混和した供試体の結果を図-4 に示す。 C_3S や C_2S は $800\sim1000\text{ cm}^{-1}$ 付近でピークを示し、珪酸カルシウム水和物 (以下 C-S-H) は $860\sim1100\text{ cm}^{-1}$ 付近でピークを示すことが確認されている¹⁾。いずれの供試体も材齢 0 日から 7 日にかけて C_3S や C_2S のピークが減少しており、これは XRD の結果と一致する。次に C-S-H のピークを見ると、WOPC では材齢 28 日以降はほとんど変化が見られないが、吉田シラスを混和した供試体を見ると、材齢 28 日以降もピークが高くなっていることが確認でき、長期的に C-S-H が生成されていると推察される。ここで、TG-DTA より得られた CH 含有率の結果を図-5 に示す。材齢 28 日から 91 日にかけて WOPC の CH 含有率が増加しているが、シラスを混和した供試体は CH 含有率が同程度もしくは減少していることが確認できた。これらの結果より、WOPC は材齢 28 日で C-S-H の生成がおおむね終了すること、一方で、シラスを混和したものは材齢 91 日にかけて C-S-H が生成され、かつ、CH の減少を伴ったことから、シラスに含まれる非晶質シリカが溶解しポゾラン反応が生じていると示唆される。材齢 91 日における WOPC および各シラスを混和した供試体の FT-IR スペクトルを図-6 に示す。吉田シラスは他のシラスと比較してピークが高い。これは、吉田シラスの大部分が非晶質であり、粒径も小さく反応しやすいことから他のシラスと比較して C-S-H が多く生成されたと考えられる。鉱物組成がほぼ同じである串良シラスと横川シラスは、CH 含有率に若干の差があるものの、FT-IR スペクトル結果に大きな違いは見られず、同程度の反応性を示していると推察される。一方、阿多シラスは CH 含有率が小さくなっているにもかかわらず FT-IR のピークは低いことから、ポゾラン反応とは異なる反応が起きている可能性が高いと考えられる。

4. まとめ

阿多シラス以外のシラスは、材齢 28 日から 91 日の間でポゾラン反応を起こしていることが示唆された。特に、吉田シラスは非晶質を多く含む分、他のシラスと比較して、ポゾラン反応性が高いことが分かった。また、串良シラスと横川シラスは同程度の反応性を示し、阿多シラスはポゾラン反応とは異なる反応を起こすことが推察された。

謝辞：本研究は、国土交通省九州地方整備局鹿児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ることを付記する。

参考文献：1) 無機マテリアル学会、セメント・セッコウ・石灰ハンドブック、技報堂出版株式会社、pp.284-296

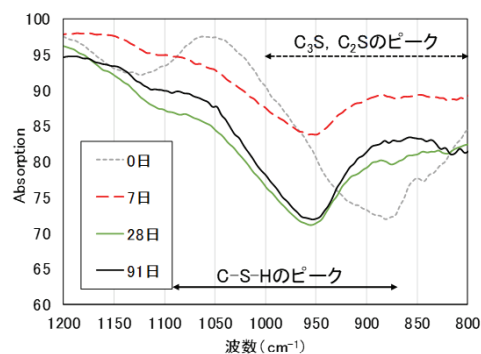


図-3 IR スペクトル (WOPC)

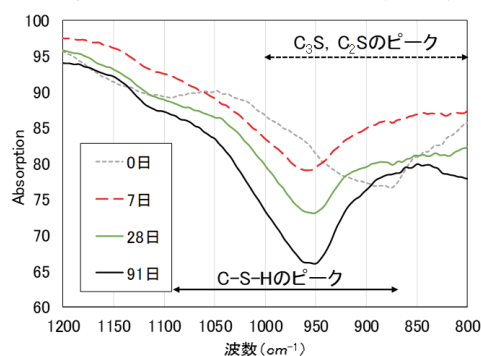


図-4 IR スペクトル (吉田シラス)

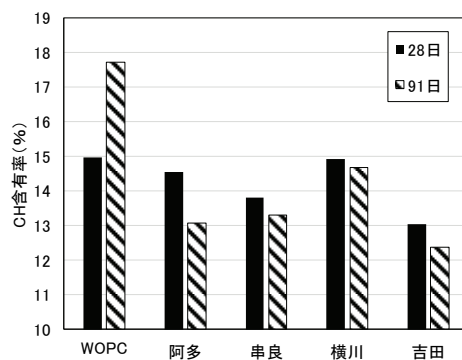


図-5 CH 含有率

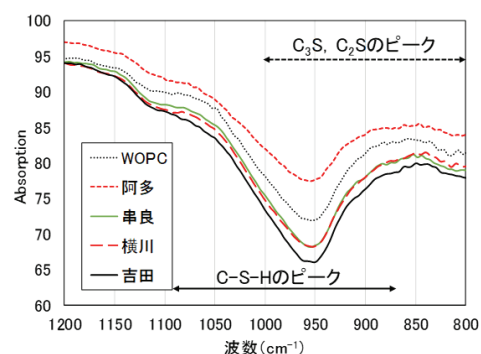


図-6 材齢 91 日の IR スペクトル