

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14807

研究課題名（和文）火山性堆積物を活用したコンクリートの化学的劣化に対する耐久性照査手法の提案

研究課題名（英文）A Proposal of Durability Evaluation Method for Chemical Degradation of Concrete Using Volcanic Sediment

研究代表者

福永 隆之（Fukunga, Takayuki）

九州大学・工学研究院・助教

研究者番号：20869408

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：シラスの用いた建設材料の温泉環境への活用を目的として、シラスを混和したコンクリートの耐酸性について実験を実施しその効果を確認した。
シラスを混和することによって、浸漬初期の効果は、あまり確認できなかったが、浸漬期間が長期になるにつれその効果が発揮した。本研究の範囲内では、酸性環境に対する耐久性が向上することを確認した。また、現行の浸漬試験では、シラスの混和の効果を確認することは難しく、他の条件または他の実験方法での評価が望ましいことが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

南九州に滞積するシラスは様々な種類が存在する。これらのシラスを有効に確認するには、シラスとセメントの反応性を明らかにし、活用方法を提案することが需要である。
本研究の成果は、温泉地域においてシラスを建設材料へ活用するための混和量などを明らかにしたことによって、シラスの活用方法を見出した点にあり、地域資源の新たな活用方法に組み込まれることが期待される。

研究成果の概要（英文）：This study was conducted to confirm the effect of concrete mixed with Shirasu on the acid resistance of a hot spring environment.
The effect of mixing Shirasu with concrete in the initial stage of immersion could not be confirmed well, but the effect was demonstrated as the immersion period became longer. Within the scope of this study, it was confirmed that the durability to acidic environments is improved. It was also clear that it is difficult to confirm the effect of Shirasu admixture in the current immersion test, and that other conditions or other experimental methods would be desirable to evaluate the effect.

研究分野：建設材料学

キーワード：シラス 火砕流堆積物 温泉暴露 ポゾラン反応

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

鹿児島県には 11 もの活火山が存在し、これらの活火山の噴火活動により、火砕流が発生しシラス台地が形成された。この鹿児島県に広く分布するシラスは堆積量が 750 億 m³ と多く、鉱物組成もシリカとアルミナの非晶質粉体で構成されているため、工業製品の材料として最適である。そのため、鹿児島県では地域の素材であるシラスを活かした産業開発に力を入れている。このシラスを有効活用するため、建設分野では様々な研究が行われている。鹿児島大学の武若らは、火山性堆積物であるシラス(以下、シラス)のポゾラン反応に着目し、シラスを細骨材として利用したシラスコンクリートの研究を実施している。その結果、シラスコンクリートは海洋環境下や温泉環境下で優れた性能を発揮することが報告されており、鹿児島県ではコンクリート二次製品として実用化されている。他の活用方法として、東京大学の野口らは、シラスの微粒分を分取し微粒砕することによってシリカヒュームの代替材料として利用する研究を実施しており、2019 年度を目標に JIS への規定めざしている。

このようにシラスを活用するために様々な研究が行われている。しかし、これらの研究は(1)シラスのポゾラン反応や(2)シラスの堆積地の違いによるシラスの反応特性の違いおよび(3)化学的劣化に対する耐久性向上メカニズムなどについては明らかになっていない。そのため、シラスの使用用途や使用量は限定的であり、シラスを建設材料へより効果的に活用するためには、上記の問題を解決し使用用途や使用方法などを提案する必要がある。またこれまでの研究成果で、シラスを混和材として活用すると、海洋環境や温泉環境などの化学的劣化に対する抵抗性が向上する点やポゾラン反応以外に生成された水和物が耐久性向上に寄与する点が確認されている。しかし、その水和物の生成時期や生成方法などが不明であるため、各化学的劣化に対する耐久性向上メカニズムは解明されていない。そのため、シラスを利用したコンクリートの各化学的劣化に対する抵抗性に関する性能照査手法が確立できず、構造物の要求性能に応じたシラスの利用方法を提案できていない現状である。シラスの耐久性向上メカニズムや性能照査方法を確立すれば、シラスとその他地域の火山性堆積物が建設材料へ広く活用される。

2. 研究の目的

本研究の目的は、構造物の要求性能に応じた火山性堆積物の活用方法の提案である。具体的には、火砕流の種類や発生年代などの堆積環境が異なるシラスを採取し、【課題 1: 建設材料の観点から見たシラスの特性評価】を評価する。その後、作製した供試体を海洋環境下や温泉環境下へ暴露し、各種試験を実施することにより、【課題 2: 化学的浸食に対する耐久性の定量的評価および耐久性向上メカニズムを解明】する。最終的にこれらの結果をまとめ、各種検討を実施することにより【最終目標: 構造物の要求性能に応じた、火山性堆積物の活用方法の提案】することである。

3. 研究の方法

本研究では、シラスを用いた建設材料の温泉環境への活用を目的として、温泉環境への暴露し、シラスを用いた建設材料の耐久性を評価した。加えて、実環境では、耐久性を評価するのに時間がかかるため、促進試験の方法を実施することにより、促進評価試験の検討も行った。

使用したシラスとして吉田シラスと呼ばれるシラスを利用して検討を実施した。このシラスは、火山ガラスですべて構成されているシラスである。これは、一般的なシラスに含まれる火山ガラスと同等の性質をもっているため、吉田シラスの混和量を変化させることにより、様々なシラスを再現できると考えた。

本研究では、上述したシラスを用いて以下の実験により評価した。

(1) 温泉暴露試験

材料および供試体概要

本研究で使用した材料は、普通ポルトランドセメント (OPC)、早強セメント (HPC)、吉田シラスおよびセメント強さ試験用標準砂である。吉田シラスは、シラスの中でも非晶質のみで構成されているシラスである。結合材として、セメント単味、各セメントにシラスを 10、20、30% 混和したものを調整した。調整した結合材を用いて、モルタル供試体を作製した。供試体の寸法は、50mm × 100mm の円柱供試体とした。W/B は、0.5、S/B を 3.0 とした。また、ペースト配合はモルタル配合から砂を除いた配合とした。供試体は、打設 24 時間後に脱型し、以降は所定の材齢まで 20 水中養生した。

試験概要

養生期間を終了した供試体は、供試体の上下面をエポキシ樹脂で被覆した。養生期間を暴露地は、鹿児島県霧島市の硫黄谷温泉地の暴露上で実施した。温泉成分を表 - 1 に記す。温泉成分は、硫酸イオンを多少に含み、pH が 3.0 と強酸性であるため、硫酸イオンの侵入が考えられる。暴露の様子を図 - 1 に記す。図に示すように水槽内に供試体を全浸漬させた状態で暴露を行った。水槽内は、硫黄泉が循環するようになっており、水槽内の温度が一定となるようになっている。

供試体は、各々の供試体が接触しないように、浸漬用のカゴに立てて並べ、全供試体が同一の暴露条件となるように一定期間に並べ替えを行った。

表 - 1 暴露した温泉の環境

平均 pH	平均温度 ()	含有成分 (ppm)			
		SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	H ₂ SO ₄ ⁻
3.0	40	200	67	65	2

(2) 促進試験方法の検討

材料および供試体概要

3 - (1) - と同じ材料および配合で供試体を作製した。作製した供試体は、所定の材齢に達するまで水中養生をした。

試験概要

所定の浸漬期間において、外観観察、質量減少、および中性化深さを測定した。試験概要

養生期間を終了した供試体は、供試体の上下面をエポキシ樹脂で被覆することにより、硫酸の浸透面を側面のみに限定したのち、質量パーセント濃度 5% の硫酸に浸漬した。所定の浸漬期間において、質量と中性化深さを測定し供試体の劣化度を評価した。なお、浸漬条件として、浸漬温度と浸漬開始時期の 2 項目を設定した。浸漬温度は、20 および 40 とし、浸漬開始材齢は、28 日と 91 日とした。



図 - 1 暴露の様子

4. 研究成果

(1) 温泉暴露試験

暴露開始前の供試体の圧縮強度を図 - 2 に示す。N、H はそれぞれ OPC、HPC を示し、数字はシラスの混和量を示す。図より、シラスを混和することにより、初期の強度は低下するが、材齢の経過とともに強度が向上することが確認できる。これは、既往の研究と一致する。

図 - 3 に温泉暴露後の浸漬日数と質量減少率を表す。図より、浸漬初期は、OPC 供試体と HPC 供試体それぞれで似た傾向を示した。しかし、365 日以降は、シラスを混和した供試体の質量減少はなだらかになっているのに対して、未混和の供試体の質量減少率は、浸漬初期と変化がなく、一定に減少している。

同じシラスの混和率同士で比較すると、HPC 供試体の方が OPC 供試体よりも少し質量減少率が大きくなった。これは、HPC の方が OPC よりも粒径が小さいので水と水和反応しやすいため、水酸化カルシウム (以下、CH) の量が多くなり、温泉成分の SO₄²⁻ と反応する量も多くなったためと推察した。浸漬 35 日、365 日時点以外ではシラスを混和した供試体の方が質量減少率を抑えられる結果となった。一般的にシラスのポゾラン反応は材齢 91 日以降に起こるとされているため、浸漬日数 35 日ではシラスを混和した供試体と未使用の供試体での差がみられなかったと考えられる。浸漬日数 730 日での測定結果では、シラス混和率 10% と 20% では大きな差がなく、シラス混和率は 10% で効果を得られることが確認できた。また、セメントの種類によって質量減少に大きな差は生じなかった。

(2) 促進試験方法の検討

浸漬試験の結果を図 - 4、図 - 5 に記す。温度 20 の硫酸溶液に浸漬した養生期間 28 日と 91 日の供試体を比較すると、同じ配合において質量減少率・侵食深さ・中性化深さすべて養生期間 91 日の供試体のほうが大きくなった。供試体の構造は、養生期間 91 日のほうが緻密になり、さらにシラスを混和した供試体に関してはポゾラン反応も進行し、供試体中の CH が消費される。そのため、養生期間 28 日より劣化が抑制されると推測していたが、結果は逆となった。これは 91 日間養生した供試体の構造の方が緻密になったことにより、硫酸と化合して生成される二水石膏の生成時の膨張圧を 28 日養生供試体より受けたためだと考えられる。また、ポゾラン反応より、セメントの水和反応が卓越したことで、供試体中の CH 量が増加したことも考えられる。

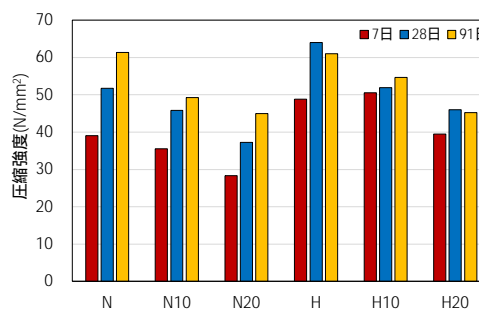


図 - 2 圧縮強度

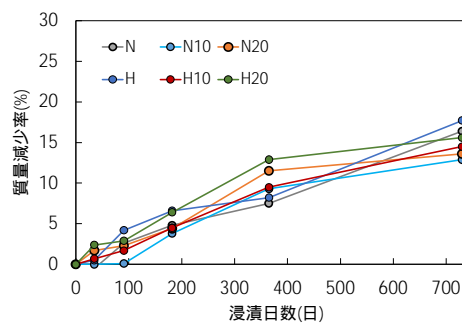
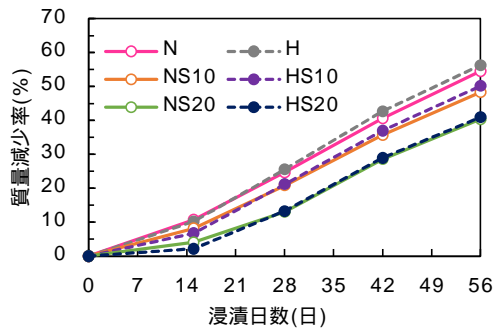
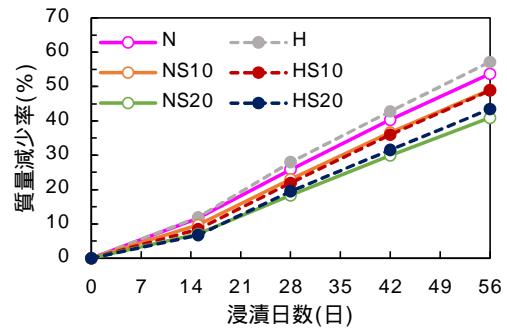


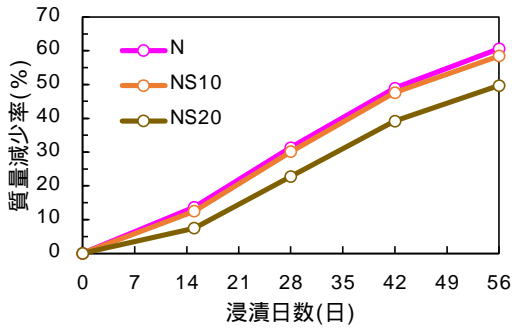
図 - 3 質量減少の推移



(a) 浸漬開始材齢 28 日、硫酸温度 20

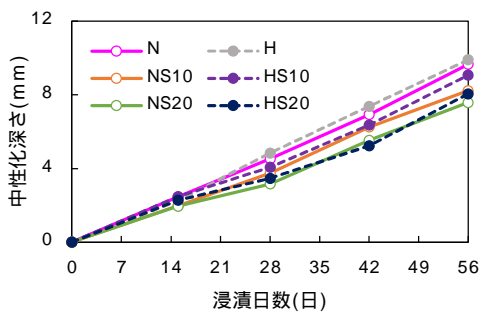


(b) 浸漬開始材齢 91 日、硫酸温度 20

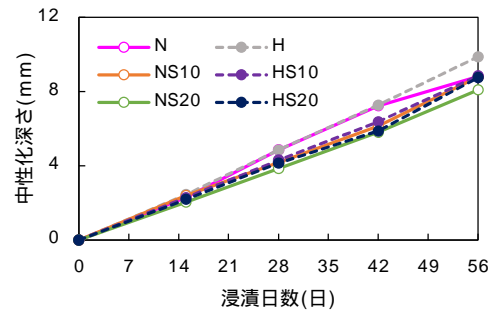


(c) 浸漬開始材齢 28 日、硫酸温度 40

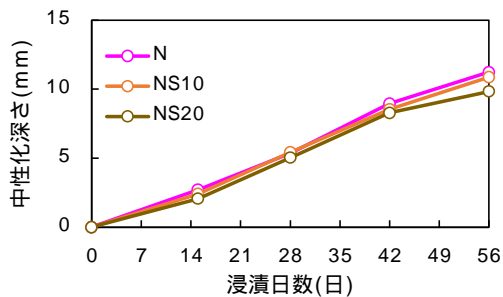
図 - 4 質量減少率の推移



(a) 浸漬開始材齢 28 日、硫酸温度 20



(b) 浸漬開始材齢 91 日、硫酸温度 20



(c) 浸漬開始材齢 28 日、硫酸温度 40

図 - 5 中性化深さの推移

これにより供試体の崩壊が早まり、硫酸による侵食が進行したと考えられる。しかし、91 日養生供試体を硫酸浸漬後にポズラン反応により耐酸性が向上した可能性がある。

本研究の範囲では、浸漬開始材齢が 91 日で硫酸温度 20 の条件が実現象と似たような傾向にあることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 江山龍冴、福永隆之、瀧田秀則、佐川康貴、松本裕貴
2. 発表標題 シラスを用いた供試体の 耐硫酸性 に 関する基礎的 研究
3. 学会等名 土木学会西部支部研究発表会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------