

九州に堆積する火山堆積物の有効活用に関する研究・調査

福永隆之¹, 田中祐佑²

九州大学大学院 工学研究院社会基盤部門、九州大学大学院 工学府土木工学専攻

概要：世界的な爆発的な人口増加に伴う急激な都市の拡大によって、建設資源が世界規模で不足している。新たな材料の一つとして、火砕流堆積物が挙げられる。火砕流堆積物を活用する研究は多く実施されており実用化されているが、実用化に際して検討に用いた火砕流堆積物の種類は、限定されている。そこで本研究では、九州に堆積する未利用の火砕流堆積物を建設材料へ活用するためにこれを採取し、各種検討することにより、建設材料への活用方法を提案した。

1. はじめに

世界的な人口の爆発的な増加ならびに急激な都市化の進展により、コンクリートを構成する材料の需要が急増している。その結果、世界中で建設資源の争奪戦が始まっている。日本においても、良質な建設資源の量は、年々減少しており、これまで活用されていた川砂などの良質な天然資源の入手が困難となってきた。そのため、これらの代替材料が求められている。

新たな材料の一つとして、火砕流堆積物が挙げられる。九州地方は、全国に 110 ある活火山のうち 17 の活火山を有している。これらの活火山は、カルデラの形成を伴う大規模噴火や、小規模なもので大小さまざまな噴火を起こしてきた。この火砕流堆積物を建設材料として検討する研究^{例えば 1), 2)}は多くなされおり、2000 年初めには、火砕流堆積物であるシラスを細骨材として用いたシラス細骨材、2020 年に火山堆積物の混和材利用が JIS 化された。しかし、JIS 化に際して、検討された火山堆積物は、一部の地域に堆積するものだけである。そのため、検討されていない火山堆積物が多く残っている。九州においても検討されていない火山堆積物が多数存在する。そこで、本研究では、九州に堆積する火山堆積物を採取し、分析や各種検討をすることにより、建設材料への活用方法を提案するための基本的なデータを採取することを目的とする。具体的には、検討がなされていない地域の火山堆積物を採取し、採取した火砕流堆積物に各種検討を行い、その物性や鉱物組成やセメントとの反応性を調べ、建設材料への適用方法を提案することを目的とする。

2. 本実験で検討した火砕流堆積物

本研究で検討した火砕流堆積物の写真を図 1 に示す。本研究で検討した火砕流堆積物は、大分県 T 市に堆積しているもので、地質図より阿蘇 4 火砕流が堆積したものと判断した。採取した試料は粒径 10mm を超えるものも含まれていたが、本研究では、呼び寸法 5mm の網ふるいを通すものを使用した。本研究では、これを阿蘇 4 火砕流堆積物と呼ぶ。



図 1 採取した火砕流堆積物

3. 火砕流堆積物の物性について

3.1 試験項目

(a) 表乾判定試験

物性を測定するためには測定対象の試料を表乾状態に調整する必要がある。本研究では、竹内ら²⁾が報告した直立コーンによる表乾判定試験方法により表乾状態の判定を行った。図 2 に本研究で使用した直立フローコーンを示す。また、JSCE C 506-2023 に基づき、電気抵抗法による表乾状態の判定の検討も行った。

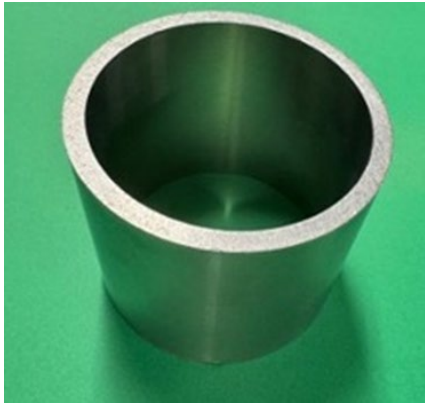


図 2 表乾状態の判定に使用したフローコーン



図 3 直立コーンを用いた火砕流堆積物の

(b) 密度及び吸水率試験

呼び寸法 5mm の網ふるいを通過する試料に対し、JIS A 1109-2020 に基づき、密度及び吸水率試験を行い、密度、吸水率を測定した。

(c) 微粒分量試験

呼び寸法 5mm の網ふるいを通過する試料に対し、JIS A 1103-2014 に基づき、微粒分量試験を行い、微粒分率を測定した。

(d) ふり分け試験

微粒分量試験後に残った粒径 75 μ m 以上の試料に対し、JIS A 1102-2014 に基づき、ふるい分け試験を行い、粗粒率の測定、粒度分布の作製をした。

(e) X線回折法

呼び寸法 5mm の網ふるいを通過する試料に対し、X線回折法（以下、XRD）によって、鉱物組成を明らかにした。さらに、粒径ごとの鉱物組成を明らかにするため、ふるい分け試験によって得られた粒径ごとに XRD を行った。試料は、粒径 100 μ m 以下に粉砕して測定した。また、鉱物を同定するため、すべての試料に対して内部標準試料として、 α -Al₂O₃ を内割で 10mass%置換した試料を用いた。

(f) 実体顕微鏡による撮影

ふるい分け試験によって得られた粒径ごとに実体顕微鏡による撮影を行った。

3.2 実験結果

3.2.1 表乾状態判定試験

図 3 に直立コーンによる表乾判定試験方法の様子、図 4 に電気抵抗法の様子を示す。また、図 5 に電気抵抗法により得られた含水率と抵抗値の関係を示す。含水率は直立コーンによる表乾判定試験方法では 7.3%、電気抵抗法では 2.2%となり、電気抵抗法を適用したときの方が吸水率は小さい判定となった。これ

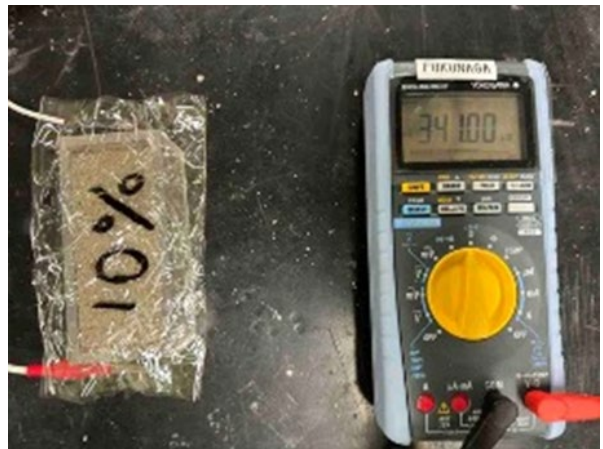


図 4 電気抵抗法による判定（10%は、火砕流堆積物の含水率を表す）

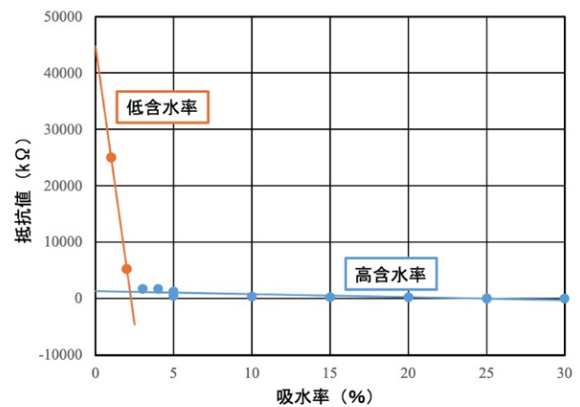


図 5 抵抗値と吸水率の関係

は火砕流堆積物がポーラスな骨材であり、細孔を有する構造となっている。この空隙中の水について、直立コーンによる表乾判定試験方法では吸水されていると判断するのに対し、電気抵抗法では表面水と判定するためと考え

表1 火砕流堆積物の物理的性質

骨材の種類	阿蘇4火砕流堆積物	横川シラス	海砂
表乾密度 (g/cm ³)	2.37	2.16	2.54
吸水率(%)	7.3	5.8	1.1
粗粒率(%)	1.23	1.53	2.75
微粒分量(%)	30.5	21.8	1.5

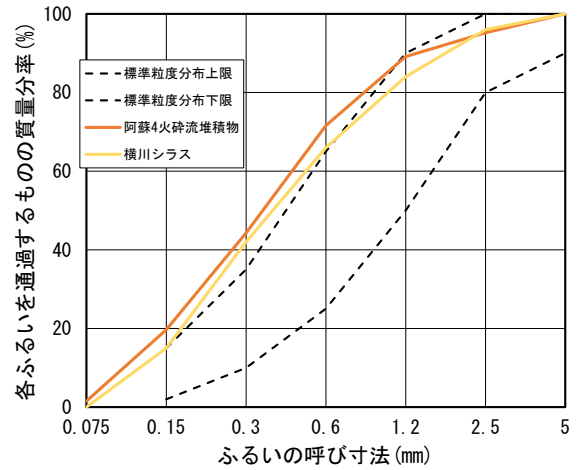
られる。この検討結果と目視による判定により、本研究では、すべての試料の表乾状態を直立コーンによる表乾判定試験方法によって判定することとした。

3.2.2 物性値試験結果

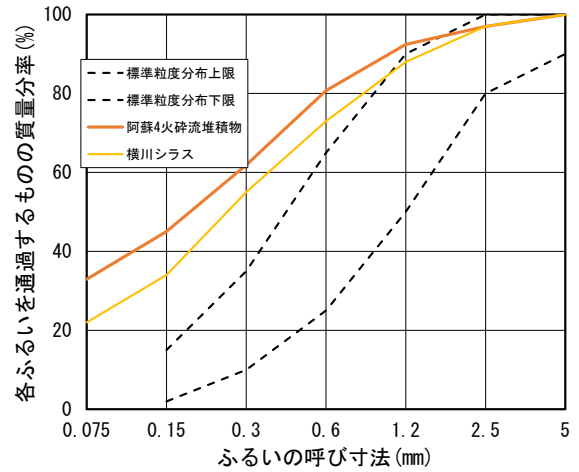
物性試験の結果を表1に示す。比較として、鹿児島県に堆積する火砕流堆積物である横川シラスと玄海沖で採取された海砂の物理的性質を合わせて示す。本研究で用いた試料は、横川シラスと同じように、海砂と比べて吸水率と微粒分率が大きい結果となった。表乾密度は海砂よりも小さい値となった。火砕流堆積物は、吸水率が大きく、表乾密度が小さいため、ポーラスな骨材であると言える。

阿蘇4火砕流堆積物の粒度分布を図6に示す。ここで、(a)は、微粒分量試験後の試料を用いた粒度分布である。これは、75 μ m以下の試料を混和材として用いた場合の粒度分布と考えることができる。(b)は、微粒分量試験によって除かれた75 μ m以下の試料の質量を粒度分布に加えたものである。これは、75 μ m以下の試料を細骨材として用いた場合の粒度分布と考えることができる。また、JISのコンクリート用砕砂⁴⁾に記載されている粒度範囲の上限値と下限値を各図中に示している。各図中に比較として横川シラスの粒度分布を示した。阿蘇4火砕流堆積物は、75 μ m以下の試料を混和材として用いた場合、ふるい目0.6mm以下の試料で上限値を上回る結果となった。しかし、試料調整の範囲で75 μ m以下の試料を細骨材として用いた場合は、どちらの試料も上限値を上回る結果となった。これは、横川シラスの粒度分布と同じ傾向だった。

阿蘇4火砕流堆積物の全粒径のXRDパターンを図7に示す。すべての試料に斜長石、輝石、石英などの鉱物が含まれていた。また、角閃石が含まれていることが確認された。また2 θ =23°付近にブロードが存在することから、非晶質や軽石などが含まれている。次に



(a) 75 μ m以下の試料を混和材としてみなした用いた場合



(a) 75 μ m以下の試料を細骨材としてみなした用いた場合

図6 粒度分布

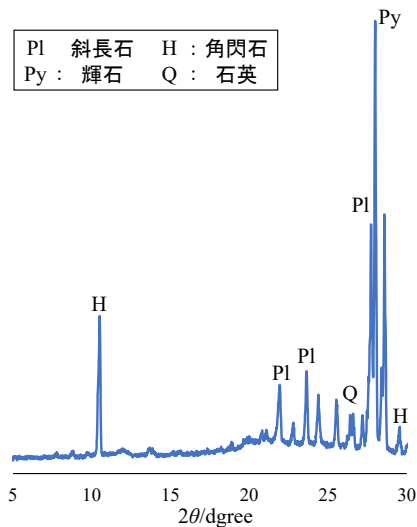


図7 XRDパターン

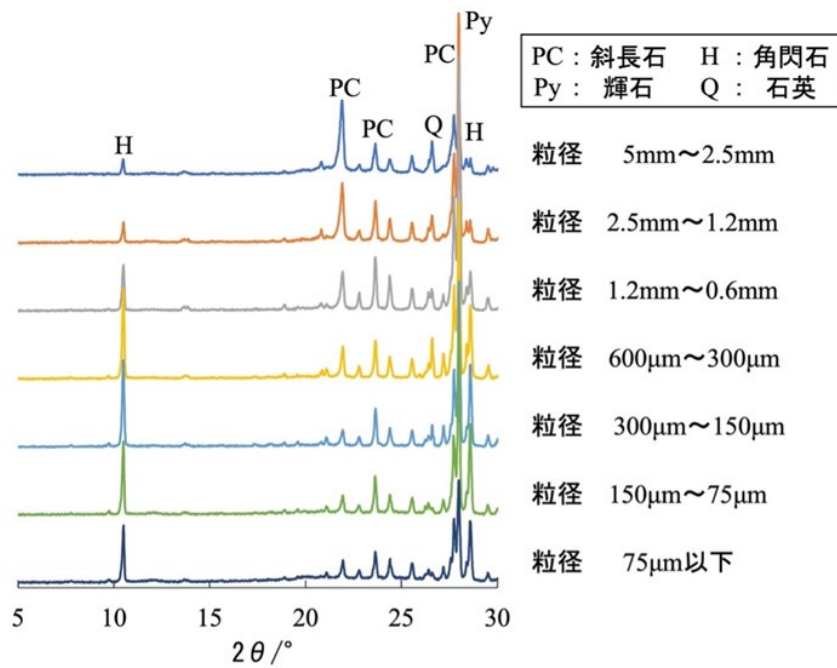
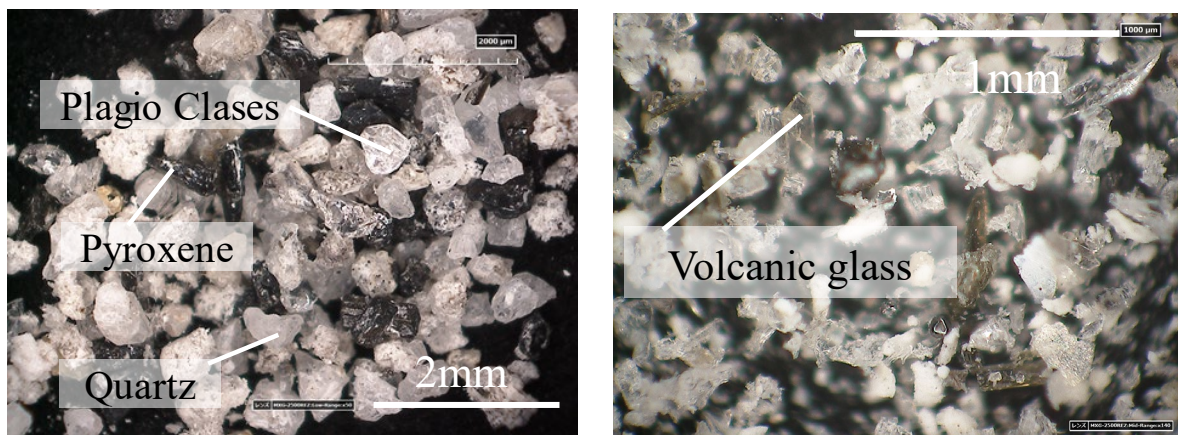


図8 粒径ごとのXRDパターン



(a) 粒径 300-600 μm

(b) 粒径 0.075mm 以下

図9 実体顕微鏡図

粒径ごとのXRDパターンをそれぞれ図8に示す。粒径ごとに着目すると、粒径が大きいほど、斜長石や石英が多く含まれている。粒径が小さくなると $2\theta=23^\circ$ 付近にブロードが確認でき、非晶質が多く含まれていた。これらの鉱物組成は、既往の火砕流堆積物の報告¹⁾と概ね一致した。これより、本研究で検討している火砕流堆積物は、火山ガラスを含み、ポゾラン反応性を有する可能性が高いと推察される。

阿蘇4火砕流堆積物の実体顕微鏡図を図9に示す。(a)が粒径0.3mmから0.6mmの鉱物を撮影したもの、(b)が粒径0.075mm以下の

鉱物を撮影したものである。(a)より斜長石、輝石、石英などの鉱物が含まれていることが確認できる。(b)では、火山ガラスを含んでいるこれより、ポゾラン反応性を有する可能性が高い。

3.3 まとめ

九州で発生した阿蘇4火砕流由来とする堆積物について、物性試験を実施し、その性質をまとめた。その結果、微粒分量、吸水率は大きい結果となったが、表乾密度は横川シラスよりも大きいため、これらを細骨材として用いた場合、シラスコンクリートと同等、またはそれ以上の圧縮強度となる可能性がある。

4. 火砕流堆積物を細骨材として利用したモルタルの性質について

4.1 実験材料

本研究で使用した材料を表 2 に示す。本研究では、3.2 の結果より、阿蘇 4 火砕流堆積物の 75 μm 未満の試料を混和材、75 μm 以上の試料を細骨材とみなして使用した。セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。練混ぜ水には水道水を用いた。また、圧縮強度の比較として、鹿児島県に堆積する火砕流堆積物である横川シラス、玄海沖で採取された海砂を使用した。これらの物性値は表 1 に示すものである。

表 2 本実験で使用した材料

小区分	使用材料
セメント	普通ポルトランドセメント
細骨材	阿蘇 4 火砕流堆積物 (75 μm 以上)
混和材	阿蘇 4 火砕流堆積物 (75 μm 未満)
練混ぜ水	水道水

4.2 測定項目

(a) フロー試験

フレッシュモルタルの流動性を評価するためにフロー試験を実施した。フロー試験は、JIS R 5201-2015 に基づき行なった。水セメント比 (以下、W/C) を 0.5 に固定し、ペースト容積比を 45%、50%、55% と変化させることで、目標フロー値 150mm を目指した。なお、75 μm 未満の試料については混和材として利用しているが、75 μm 以上の試料と合わせて細骨材と表記する。

(b) 圧縮強度試験

フロー試験により得られた目標フロー値を満たす配合でモルタル供試体を作製し、圧縮強度の測定を行った。圧縮試験は JIS A 1108-2018 に基づき行なった。

モルタル供試体の寸法は、 $\phi 50 \times 100\text{mm}$ の円柱供試体とした。打設から 24 時間後に脱型を行い、所定の材齢まで水中養生を実施した。

4.3 実験結果

4.3.1 フロー試験

表 3 にフロー試験の結果を示す。ペースト容積比を 45% とした場合、流動性がほとんどなく、フローコーンに充填することができなかった。これは細骨材中の微粒分が多く、水

表 3 フロー試験結果

ペースト容積比(%)	フロー値(mm)
45	フローコーンに充填できなかった
50	100
55	125

分量が少なかったためであると考えられる。50% とした場合、フローコーンに充填することはできたが、フローテーブルを 15 打した後もフローは広がらなかったため、フロー値は 100mm となった。55% の場合、フロー値は 125mm となり目標値を満足できなかった。

表 3 に示すように、ペースト容積比を変化させるだけでは、フロー値の目標である 150mm を満足する配合を得ることができなかった。そこで、ペースト容積比を 55% に固定し、高性能 AE 減水剤を添加することで目標フロー値を得ることとした。セメント量に対する高性能 AE 減水剤の添加割合を変化させることによって目標フロー値を得ることとした。その結果を図 10 に示す。図 10 に示すように、高性能 AE 減水剤を加えることでフロー値は線形的に増加する。これにより、火砕流堆積物を細骨材として用いたモルタルについても高性能 AE 減水剤によるワーカビリティの改善が可能であることがわかる。ま

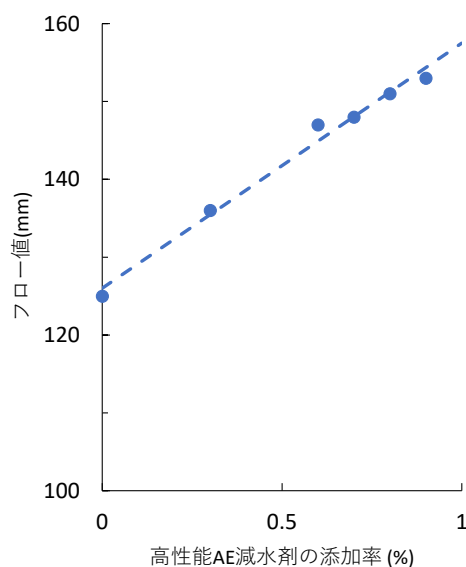


図 10 高性能 AE 減水剤の添加率とフロー値の関係
た、高性能 AE 減水剤をセメント量に対して

0.8%添加した際に、フロー値が目標の 150mm となった。これにより、W/C を 0.5、ペースト容積比を 55%とし、高性能 AE 減水剤をセメント量に対して 0.8%加えた配合で、モルタル供試体を作製した。

4.3.2 圧縮試験

4.3.1 で得た結果をもとに作製した供試体の圧縮強度の結果を図 11 に示す。比較として同配合で細骨材に横川シラスおよび海砂を用いたモルタル供試体の圧縮強度の結果も示す。図 11 より、阿蘇 4 火砕流堆積物は、材齢 28 日強度までは、海砂より若干低いが、材齢 91 日では、同等の強度となった。また、火砕流堆積物である横川シラスを用いた配合の圧縮強度よりも高いことが分かる。また、91 日以降の強度の伸びが大きい。これは、表 1 に示すように、阿蘇 4 火砕流堆積物の微粒分量が横川シラスの微粒分量よりも多いため、ポゾラン反応量が多くなったと推察される。ただし、火砕流堆積物を用いた供試体の強度の伸びは、材齢 1 年以降に起きるため⁴⁾、長期強度については引き続き検討が必要である。

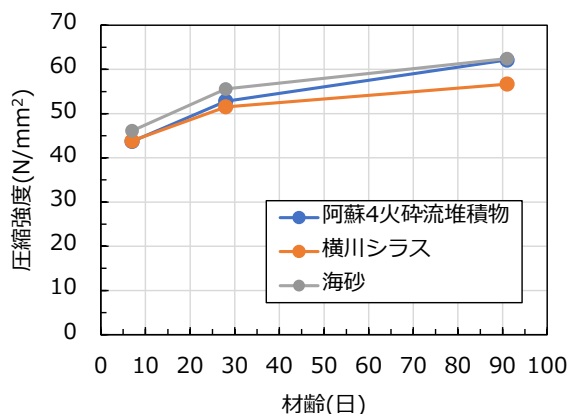


図 11 圧縮強度

5. 結論

本研究では、未検討の火砕流堆積物を採取し、その基礎的物性および、これを細骨材として使用したモルタルの諸特性について検討を行った。その結果、以下の結論を得た。

1. 阿蘇 4 火砕流堆積物の物理的性質は、おなじ火砕流堆積物であるシラス細骨材の性質をもつ。ただし、微粒分量は、阿蘇 4 火砕流堆積物の方が多。これより、細骨材として活用できる可能性がある。
2. 阿蘇 4 火砕流堆積物を細骨材として利用す

る場合、ポゾラン反応による強度増加が期待できるため、シラスコンクリートと同等、またはそれ以上の圧縮強度となる可能性がある。

3. 火砕流堆積物を細骨材に用いたフレッシュモルタルは高性能 AE 減水剤によるワーカビリティの改善が可能である。
4. 阿蘇 4 火砕流堆積物を細骨材に使用したモルタルの圧縮強度は、材齢 28 日までは、横川シラスを用いたものと同程度の圧縮強度を示す。材齢 91 日においては、圧縮強度が大きくなる。これは、阿蘇 4 火砕流堆積物中の微粒分量が横川シラスの微粒分より多く、ポゾラン反応量が多くなったと推察される。

以上のことから、火砕流堆積物には非晶質が含まれており、これによって、火砕流堆積物を細骨材として使用した場合、ポゾラン反応による強度の増加が期待できる。また、阿蘇 4 火砕流堆積物はシラス細骨材と同様に利用することができる可能性がある。

6. 謝辞

本研究を遂行するにあたり、試料採取に関して大分工業高等専門学校山本大介准教授に多大な協力をいただいた。また、本研究は一般社団法人九州建設技術管理協会による令和 5 年度「建設技術研究助成」のもとで遂行されたものである。ここに、両者に謝意を表します。

7. 参考文献

- 1) 竹内一真, 外 3 名: 細骨材の表乾判定試験方法に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.25, No.1, pp.77-82, 2003
- 2) 福永隆之, 外 3 名: シラスを混和材として利用したセメント系材料の耐塩害性に関する研究, コンクリート工学論文集, 29 巻, pp.21-31, 2018
- 3) JIS A 5005-2020, コンクリート用砕石及び砕砂
- 4) 武若耕司: シラスコンクリートの特徴-鹿児島県制定マニュアルの内容を基にして-, コンクリート工学, Vol.45, No.2, 2007

2024. 05. 08受理