論文　コンクリート用細骨材のシラスの諸物性

前田　聡[*1]・武若　耕司[*2]・山口　明伸[*3]・渕田　和樹[*4]

要旨：著者らは，南九州に未利用資源として存在するシラスをコンクリート用細骨材に用いた研究開発を進めており，これまでに，コンクリート用細骨材として適用できることを確認している。しかし，シラスはその産出地ごとに物性値が異なるだけでなく，そのバラツキも大きいため，それぞれのシラスに合わせた配合修正が必要であり，その資料とすることを目的として，鹿児島県においてシラスの骨材物性の分布調査を行った。さらに，シラス産地ごとのアルカリシリカ反応性やシラスコンクリートのフレッシュ性状についても検討し，シラスの物性値とシラスコンクリートのフレッシュ性状の関係について定量的に把握した。

キーワード：シラス，シラスコンクリート，細骨材，低品質骨材

1. はじめに

全国的に川砂などの良質なコンクリート用細骨材の枯渇が深刻な問題となっている昨今，九州地方では細骨材に海砂を使用するのが一般的である。しかしながら，海洋環境保護の観点から海砂の確保も年々困難になりつつあり，今後のコンクリート用骨材の枯渇問題に関しては，従来，使用されていなかった低品質骨材や未利用資源の有効利用，各種廃棄物・副産物を用いた人工骨材の開発，などを積極的に検討する必要がある。一方，骨材は地域性の高い資源であり，骨材価格に占める輸送費の割合も高いことから，各地域で産出される資源を利用できることが望ましい。

これらの状況を鑑み，著者らは骨材不足の解消と未利用資源の有効活用の立場から，南九州（熊本と宮崎の両県南部および鹿児島県）に広く分布している火砕流堆積物の一種，いわゆるシラスのコンクリート用細骨材としての適用性についての検討を進めている[1)]。最近では，鹿児島県が中心となって細骨材にシラスを用いたコンクリート，すなわちシラスコンクリートの実用化に向けた本格的な検討も開始され，これを使用した構造物の施工も行われるようになってきた[2)]。しかし，シラスは川砂や陸砂といった従来の細骨材とは材料特性が大きく異なると同時に,その産地によっても物性は異なるため，この点を考慮した適切な配合設計が必要となる。

ここでは，鹿児島県内各地でシラスコンクリートを作製する場合にその配合修正の資料とすることを目的として，県内におけるシラスの品質分布を調査した結果について報告する。また，これまでシラスの産地の違いによるシラスコンクリートのフレッシュ性状については，ほとんど比較検討されていない。そこで，産地の異なる 3 種類のシラス細骨材を用いてシラスコンクリートのフレッシュ性状に関して実験的検討を行った結果についても報告する。

2. シラス細骨材の分布調査

2.1 調査の概要

火砕流堆積物の一種であるシラスは，九州南部の 4,000km^2 に及ぶ広大な範囲に分布しており，その量は 900 億 ton と推定される。シラス

*1 鹿児島大学　工学部海洋土木工学科研究員　博（工）　（正会員）
*2 鹿児島大学　工学部海洋土木工学科教授　工博　（正会員）
*3 鹿児島大学　工学部海洋土木工学科助手　博（工）　（正会員）
*4 鹿児島大学大学院　理工学研究科　海洋土木工学専攻

は，その堆積年代や噴出カルデラの違いによって数種類に分類され，それぞれは大きく品質が異なる。今回の調査では,その中でも全体の60%を占め，最も広範囲に分布している入戸火砕流を起源とする一次堆積シラスを対象とした。調査にあたっては，鹿児島県内の 33 市町村（平成16 年 9 月現在）33 箇所からシラスを採取し，それぞれ呼び寸法 5mm のふるいでふるい，細骨材として調整したシラスである。なお，シラス中には0.15～0.075mmの粒径のものが全体の20～40%含まれており，さらに 0.075mm 以下も 10～30%含まれているが，シラス細骨材としては，0.15mm 以下の粒径のものも含めて，5mm 以下の粒径のシラス全てを対象とした。調査では，骨材の物性値である表乾密度,吸水率,粗粒率，実積率および微粒分量を取り上げ，試験を実施した。また，シラスは，アルカリシリカ反応を生じる主な鉱物の一つである火山ガラスを約60%も含んでいることから，化学法とモルタルバー法でアルカリシリカ反応性の検討も行った。

2.2 物性試験の方法

前述のように，シラスは，従来の骨材に比べて，微粒分が極めて多い粒度分布を示すことやシラス自身が多孔質な材料であることを考慮して，これまで，著者らはこれらシラスの特徴にあった適切な物性試験方法を検討し，独自の試験方法を提案してきた[3]。

これまでの検討結果を踏まえ，鹿児島県では2005 年に制定した「シラスを細骨材として用いるコンクリートの設計施工マニュアル（案）」[4]の中で，シラス細骨材の密度および吸水率試験について，「規準-3 シラス細骨材の密度および吸水率試験」として規定した。この試験方法の特徴は，従来の「JIS A 1109　細骨材の密度および吸水率試験方法」とは異なり，シラス細骨材の表乾状態を試験する際に，内径 75±3mm，高さ 75±3mm の円柱形状の直立フローコーンを用いることである。さらに，シラスをコーンに充填する際に予めコーンの高さより高く盛り，突き固め後にシラスを再充填せずにコーンを引き上げることなども規定されている。

また，同マニュアルの「規準-2 シラスのふるい分け試験方法」では，シラス細骨材のふるい分け方法を規定している。従来のふるい分け試験方法でシラスのふるい分けを行うと，粒径0.075mm 以下のシラス微粒分が比較的大きい径のシラス粒子に付着して，適切な試験結果を得ることができなかった。そこで試験精度を高めるために，この規準では，まず,「JIS A 1103　骨材の微粒分量試験方法」に準じて試料の微粒分を洗い流し，残ったシラスについてふるい分け試験を行うこととした。その上で，洗い流した微粒分については，0.075mm ふるいを通過する量としてデータ整理時に加味することによって，シラスの粒度を求めた。今回，調査したシラス細骨材の密度，吸水率および粗粒率は，これらの規準に準じて測定した結果である。

一方，シラスの実積率および微粒分量の測定は，従来の骨材と同じように，それぞれ「JIS A 1104　骨材の単位容積質量および実積率試験方法」，ならびに「JIS A 1103　骨材の微粒分量試験方法」に定められている方法に従った。

シラス自身のアルカリシリカ反応性については，まず,「JIS A 1145　骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（化学法）」に定められている方法で判定した。さらに,「JIS A 1146　骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（モルタルバー法）」において，コンクリート用細骨材としてのシラスのアルカリシリカ反応性を検討した。ただし，モルタルバー法では，通常，粒度を調整した骨材を用いるが，今回の試験では，粒度を調整していない微粒分を含む 5mm 以下の全シラスを用いた。また，シラスコンクリートの場合，通常のコンクリートと同程度の流動性を確保するために必要な単位水量は 1～2 割程度も大きくなることを考慮し，シラスモルタルバー配合については，水セメント比は規定通りに50%とし,単位水量は規定より 50ml だけ大きい350ml（17%増）とすることで，従来のモルタルバー配合と同程度の流動性（フロー値：190±

20mm）を確保した配合で，シラスモルタルバーを作製した。

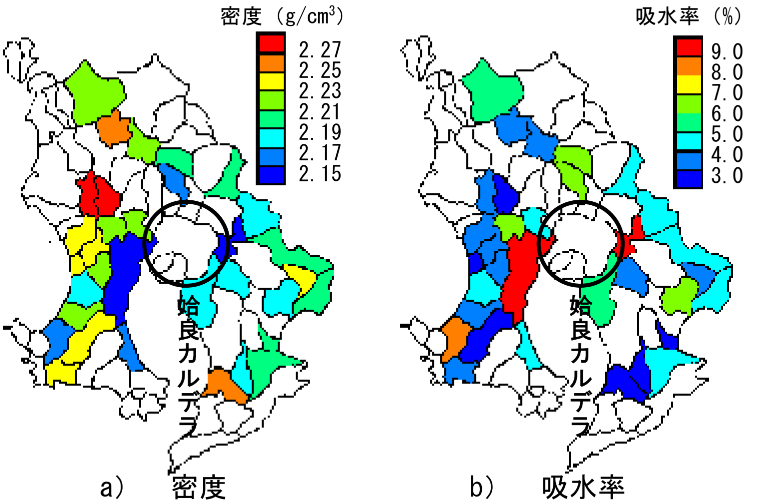
2.3　調査結果および考察

今回調査した各産地から採取したシラス細骨材の物性試験結果全てを取りまとめたものを一般的な川砂の物性値と比較して**表-1** に示した。この結果からまず，一口にシラスと言っても，その物性値は，採取場所によって大きな差があることが見てとれる。また，個々の物性値についてみると，シラスの表乾密度は川砂と比べ 2 割ほど小さく，吸水率は特に産地によってのバラツキが大きく，川砂に比べ概ね 2～4 倍大きい結果となった。これら密度および吸水率の結果から，シラスは多孔質で吸水性のある材料であることがあらためて確認できる。さらに，シラスの粗粒率は，川砂のおよそ半分の値であり，微粒分量は平均でも 20%を超えて，実積率については，川砂と同等か，あるいは若干小さい値を示していた。

図-1 には，シラスの物性値ごとに，鹿児島県内の分布状況を示した。この結果から，密度および吸水率については，いずれも，入戸火砕流の発生源である姶良カルデラ（現在の鹿児島湾湾奥）を中心として，同心円状に同じような値となる傾向が認められた。すなわち，密度については，カルデラの中心から遠くなるほど値は大きくなり，吸水率は逆に小さくなる分布傾向が認められる。また，密度や吸水率ほどではないが，粗粒率も姶良カルデラ付近が大きく，遠くなるに伴って小さくなる傾向にあった。さらに，実積率についても，カルデラに近い地域のシラスほど大きくなるようであり，カルデラ付近では，遠方に比べ粒形や

表-1　シラス細骨材の諸物性値

	一般的な川砂	シラス		
		最少～最大	平均	標準偏差
表乾密度（g/cm³）	2.5～2.7	2.1 ～ 2.3	2.18	0.04
吸水率（%）	1～3	2.5 ～ 11.3	4.97	1.61
粗粒率	2～3.5	1.1 ～ 2.1	1.46	0.21
実積率（%）	55～65	47～64	55.1	3.36
微粒分量（%）	～5	16～28	23.8	4.27



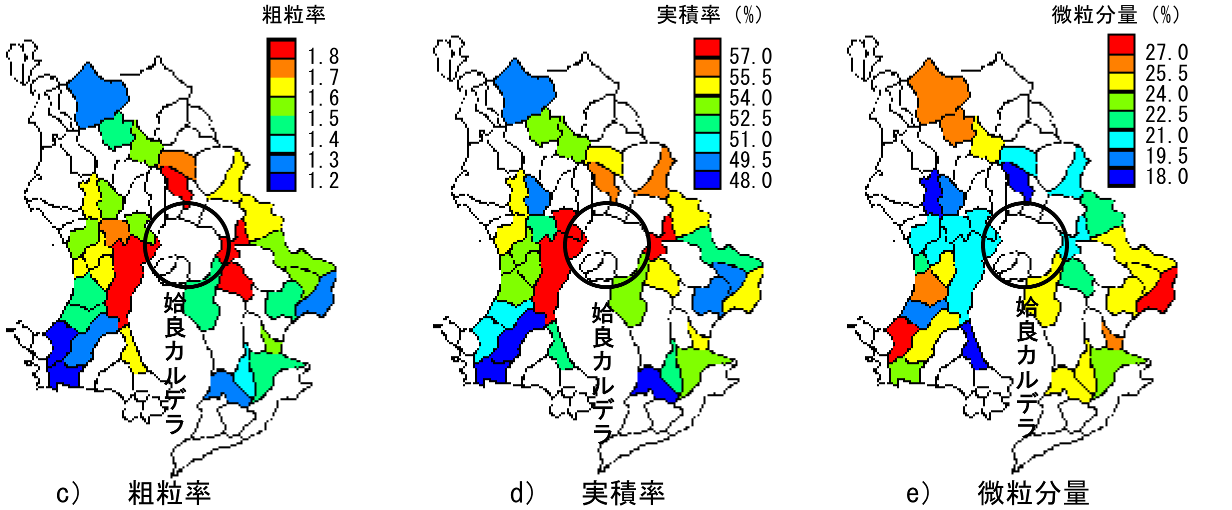


図-1　シラスの諸物性の鹿児島県分布

粒度分布が整ったシラスが分布している可能性が高いものと考えられた。ただし，微粒分量については，今回の調査の範囲では地域分布に特徴的な傾向は認められなかった。いずれにしても，シラスは川砂に比べて，その物性値のバラツキが大きく地域性の強い材料である。そのため，一見，同様に見えるシラスであっても，シラスの採取場所が異なる場合には，その都度物性試験を行い，その物性値に合わせた配合設計を適切に行わなければならない。

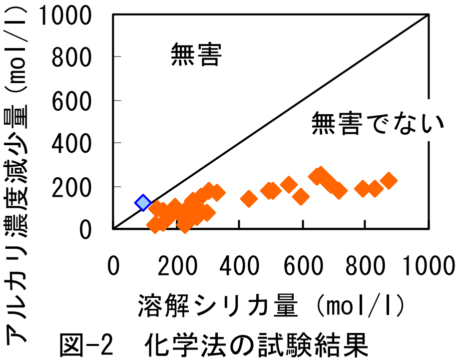


図-2　化学法の試験結果

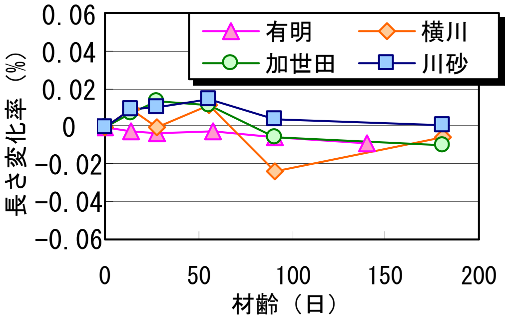


図-3　モルタルバー法の試験結果

図-2 には，シラス自身のアルカリシリカ反応性の試験結果として，化学法の結果を示した。シラスを構成する主な鉱物は火山ガラスであり，その混入量は60%近くを占めるため，ほとんどのシラスで，無害でないと判定された。したがってこの結果からは，シラスは潜在的にアルカリシリカ反応性を有していることになる。

一方，モルタルバー法の試験結果の一例として，異なる3つの地域から採取したシラスおよび比較用の川砂を用いて作製したモルタルバーの長さ変化率の経時変化を**図-3** に示した。これより，採取地の違いに拘らず，いずれのシラスにおいても，6ヶ月時点での長さ変化率が0.1%を上回るような有害な膨張は認められなかった。シラス自身は潜在的にはアルカリシリカ反応性鉱物に近い反応を有しているが，同時にシラスにはポゾラン反応性のあることも確認されており，実用にあたっては有害な反応が生じることはないものと推察された。

3.　産地の異なるシラスを用いたシラスコンクリートのフレッシュ性状

3.1　実験の概要

これまで，著者らは，従来の骨材を用いたコンクリートとなんら遜色ないフレッシュ性状を有するシラスコンクリートを作製できることを確認し，配合設計資料も作製している。しかし，前述のようにシラスが産地により物性値の大きく異なる材料であるにも拘らず，物性が異なる場合の配合補正に関する検討は未だ十分でない。そこで，鹿児島県内を大きく薩摩地方，大隅地方および県中央霧島地方の3地域に分け，各地域の代表的な産地のシラスを用い，シラスの物性値とフレッシュ性状の関係について検討した。

3.2　使用材料および実験方法

今回の実験では，セメントに普通ポルトランドセメント，粗骨材に2005砕石（密度2.61g/cm^3）を使用した。細骨材に用いたシラスの産地は，薩摩地方の加世田産，大隅地方の有明産，県中央霧島地方の横川産である。シラス細骨材は，呼び寸法 5mm のふるいを通過するシラス全てを使用し，その物性値は**表-2** に示す通りである。また，混和剤には標準型（1 種）に該当するポリカルボン酸エーテル系高性能 AE 減水剤（以下，SP と記述する）を用いた。SP は，セメントと粒径 0.075mm 以下のシラス微粒子を粉体と考え，これに対する割合で添加した。シラスコンクリートの空気量については，混和剤を用いないプレーンコンクリートの場合には 1.5±0.5%，SP を用いた SP シラスコンクリートの場合には，5.0±0.5%を目標とした。コンクリートの練り上がり温度については 15～20℃の範囲で実験を行った。

3.3　実験結果および考察

図-4 には，産地の異なる3種類のシラスを使

用したプレーンシラスコンクリートについて，W/C=50%，s/a=34%における単位水量とスランプの関係を示した。この結果から，いずれの産地のシラスでも，単位水量が大きくなるとスランプも大きくなり，その増加傾向はシラスの産地に拘らずほぼ同程度であった。一方で，シラスの産地が異なると，同一スランプを得るために必要な単位水量が明らかに異なることも分かる。この原因について検討するため，**図-4** のデータからスランプが 10±0.5cm のデータを抜き出し，シラスの実積率と単位水量の関係で整理したものを**図-5** に示した。その結果，実積率と一定のスランプを得るために必要な単位水量との間に直線的な関係があり，実積率 1%の増減に対して，単位水量 6kg/m^3 の減増となることが確認された。実積率は骨材の粒度分布，微粒分および粒子形状を総合評価している指標と考えられる。そのため，シラスのように通常の細骨材に比べて粒度分布が大きく異なり，また，粒子形状も悪い骨材では，その配合補正の指標に実積率を用いることができるものと推察された。

図-6 には，産地の異なる 3 種類のシラスを使用した SP シラスコンクリートについて，W/C=50%，スランプ 10～12cm とした場合における単位水量と SP 添加量の関係を示す。なお，この場合，横川に比べて，加世田や有明のシラスは微粒分を多く含むため，横川の場合より s/a を小さくすることで，同程度のフレッシュ性状を示すシラスコンクリートを作製することができることも確認されている。まず，前述の**図-4** と比較して，いずれの産地のシラスでも，SP を使用することで単位水量を大幅（20～50kg/m^3）に低減できることが分かる。さらに，単位水量を小さくすると同一のスランプを得るための SP 添加量は大きくなるが，その増加傾向はシラスの産地に拘らず同程度であった。その一方で，シラスの産地が異なると，同一の単位水量で，同一スランプを得るために必要な SP 添加量が明らかに異なることも分かる。なお，いずれのシラスを用いた場合でも，単位水量を 190kg/m^3 まで落とすと，シラスコンクリートの粘性がかなり大きくなる状況が認められた。そこで，このコンクリートについては，練り上がり後のスランプの経時変化を検討した。その結果を**図-7** に示した。ここでは，有明と加世田産のシラスを用いた結果を示した。いずれも練り上がり 90

表-2 使用したシラスの諸物性

シラスの産地	密度 (g/cm^3)	吸水率 (%)	粗粒率	実積率 (%)	微粒分量 (%)
有明	2.15	6.74	1.60	56.09	23.11
横川	2.20	6.54	1.75	55.11	20.11
加世田	2.16	8.48	1.12	50.97	27.55

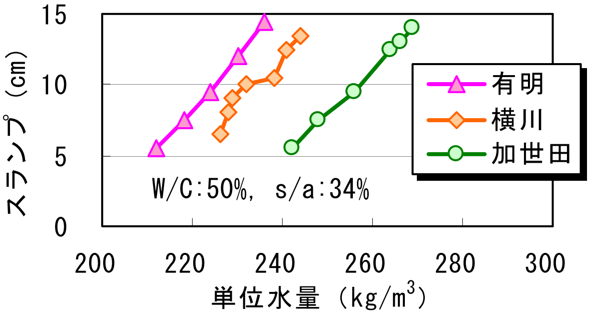


図-4 単位水量とスランプの関係
（プレーンシラスコンクリート）

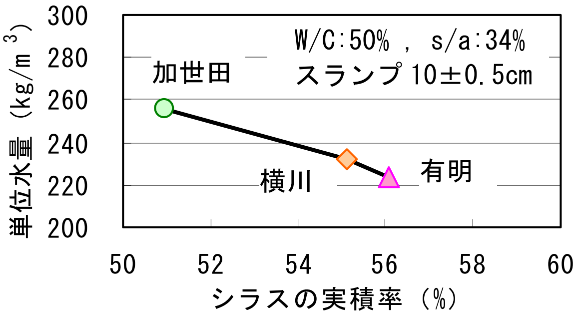


図-5 実積率と単位水量の関係
（プレーンシラスコンクリート）

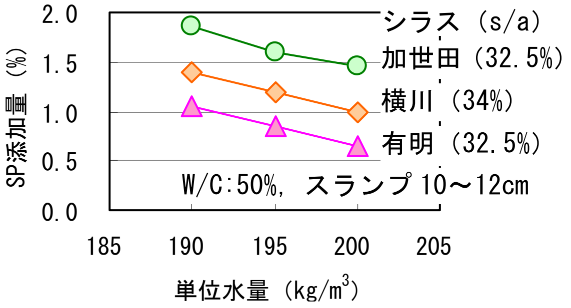


図-6 単位水量と SP 添加量の関係
（SP シラスコンクリート）

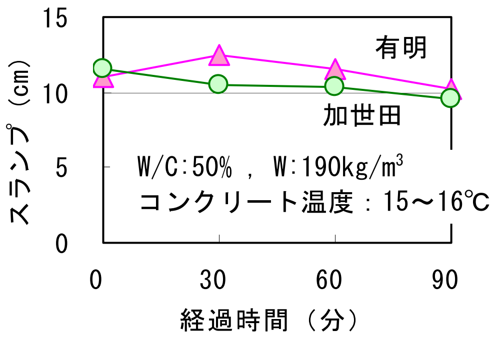


図-7　スランプロス

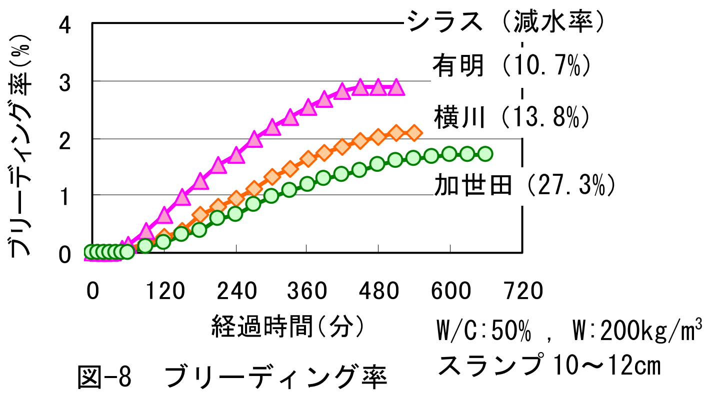


図-8　ブリーディング率

分後においても，練り上がり直後に比べて約2cm程度のスランプロスに止まっており，夏季の高温環境下での練混ぜ水の急激な蒸発などがおこらない限り，実用上，スランプロスは大きな問題とはならないものと考えられた。

図-8 には，単位水量が 200kg/m^3 のシラスコンクリートについて，シラスの産地ごとにブリーディング率の経時変化を測定した結果を示した。この結果，いずれの産地のシラスも，3%以下の適切な範囲のブリーディング率を示したが，シラスの産地ごとに比較すると，吸水率の大きい加世田産のシラスは，SP の減水効果が大きく，ブリーディング率は小さくなる傾向にあった。

4.　まとめ

本研究では，コンクリート用細骨材としてのシラスの物性に着目し，以下の知見を得た。

(1)　鹿児島県に分布するシラスについて，コンクリート用細骨材の観点から，その諸物性を検討し，地域ごとのシラスの物性の違いを定量的に把握することができた。また，その結果より，シラスの物性は，その起源となった姶良カルデラからの距離と密接な関係あることを明らかにした。

(2)　シラス自身は，潜在的にアルカリシリカ反応性を有しているが，モルタルバー法では膨張性を全く示さず，有害なアルカリシリカ反応が生じないことを確認した。

(3)　産地の異なるシラスを使用した場合でも，コンクリートに同等の流動性を確保するための配合補正の指標としては，実積率を用いることが有効である。

(4)　シラスコンクリートの単位水量は，SP を使用することで，使用しない場合に比べて 20～50kg/m^3 低減でき，適切なブリーディングの範囲で使用できることを確認した。

謝辞：本研究を遂行するにあたり，シラスの採取などで多大なるご協力を頂いた鹿児島県土木部技術管理課，ならびにシラスコンクリートの配合試験にご協力頂いた（株）ポゾリス物産鹿児島営業所の関係各位に深く感謝申し上げます。

参考文献

1)　例えば，奥地栄祐，武若耕司，山口明伸，竹内一真：しらすを使用した高流動コンクリートの配合設計に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.2，pp.985-990，2001

2)　奥地栄祐，武若耕司，清川秀樹，中尾好幸：高温環境下へのシラスコンクリートの適用に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，pp.681-686，2004

3)　竹内一真，武若耕司，奥地栄祐，山口明伸：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集，Vol.25，No.1，pp.77-82，2003

4)　鹿児島県：【2005 年制定】シラスを細骨材として用いるコンクリートの設計施工マニュアル（案），2006