

火山噴出物を用いた軽量断熱シラス瓦の開発

袖山研一*, 瀬知啓久*, 新村孝善*, 吉村幸雄**, 瀬戸口和徳***

Development of Light-weight and Adiabatic Roofing Tile Using Volcanic Ejecta

Ken-ichi SODEYAMA, Yoshihisa SECHI, Takayoshi SHINMURA, Yukio YOSHIMURA and Kazunori SETOKUCHI

南九州のシラス台地を形成するシラスの工業資源化を目的として、(有)瀬戸口瓦工場と共同で、シラスを用いたセメント二次製品の研究に着手し、試作と物性評価を行った。その結果、シラスのコンクリート用細骨材としての欠点を克服する加圧脱水成形法を用いることによって、軽量性と断熱性に優れたシラス瓦の開発に成功し、実用化に至った¹⁾。

Keyword : 火山噴出物, シラス, 軽量, 断熱, 瓦

1. 緒言

近年の住宅産業では、軽量、断熱、低コスト、健康、環境、リサイクル性などが大きなニーズとなっている。過去、軽量の屋根材として、有害なアスベストで補強した石綿スレートが大量に利用された結果、解体時の問題が表面化している。現在、屋根材の軽量化のために、板厚を薄くする方法が一般的だが、アスベストが使えないため高価な繊維（ビニロン）や樹脂軽量骨材を使用しており、コストアップを余儀無くされている。更に、板厚を薄くすることで断熱性が低下するので、結露し易いという欠点があった。

シラスは、約2万5千年前に始良カルデラ（現在の鹿児島湾奥部）から噴出した大規模火砕流の堆積物で、その噴出量は4500億m³以上と言われている²⁾。シラスは、その堆積形態で3種類に分類される（図1）。普通シラスは、多孔質の軽石や2mm以下の火山灰などからなり、コンクリート用細骨材としては、細かい粒度（150μm以下が20～40

%）、高い吸水率（自然状態での吸水率25%）、低比重（真比重2.3～2.5）、粒子の形が悪い（角張った形状が多い）という点で不適とされていた。

しかし、シラスを細骨材として使えば、健康、環境にやさしい高付加価値の商品になる。更に、安価なシラスの活用で原料コストも削減でき、軽量化も可能になる。これにより、運搬、労力、施工負担が軽減され、トータルのコストダウンが可能となる。細骨材にシラスを用いたセメント瓦の課題としては、JISで規定されている強度と吸水率への適合の他、耐凍害性、耐風性、耐震性などがある。

本研究では、シラスの欠点を克服する加圧脱水成形方法¹⁾を確立すると共に、原料配合や塗装及び施工技術の工夫を行うことで、これらの課題を解決した。更に、軽量化によりシラス瓦の大判化が可能となり、優れた機能性とデザイン性を兼ね備えた屋根材の完成に至った。

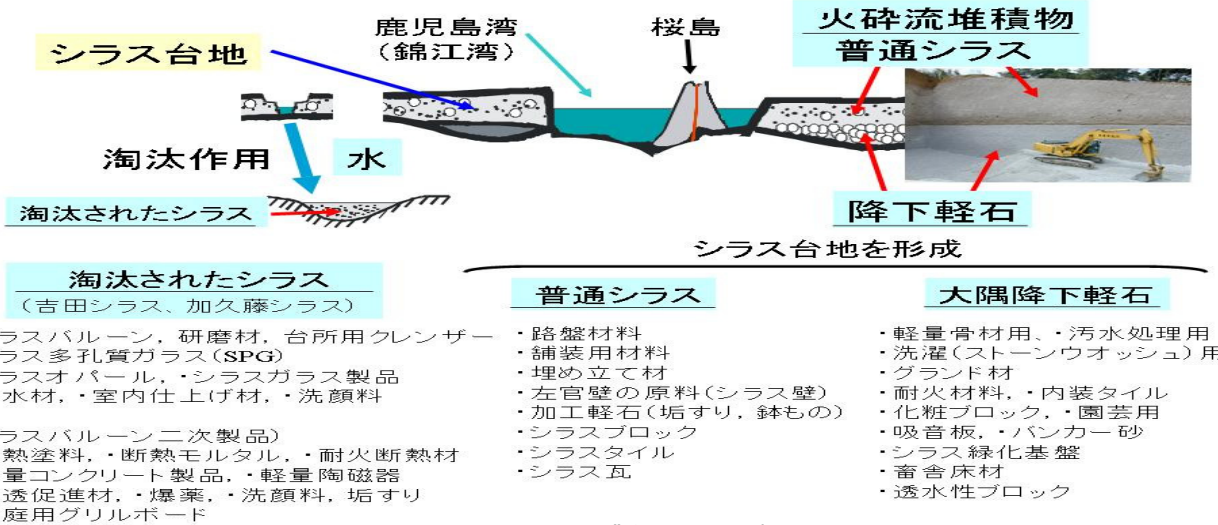


図1 シラスの工業的利用の分類

*素材開発部
**素材開発部（現 企画情報部）
***（有）瀬戸口瓦工場

2. 実験

2. 1 使用材料

細骨材には、鹿児島県薩摩郡さつま町平川産のシラスと鹿児島県出水市高尾野町産の砕砂を用いた。セメントは、(株)太平洋セメント製普通ポルトランドセメントを用いた。混和材料としては、必要に応じ(株)ポゾリス物産製の平均粒径 0.2 μm の非晶質シリカを用いた。

2. 2 試験方法

モルタルのフロー試験は、JIS R 5201-1997「セメントの物理試験方法」に基づいて、フローテーブルとフローコーン及び突き棒を用いて、規定の 15 回の落下運動を与えた後、モルタルの広がった径を mm 単位で測定した。細骨材の含水率は、110℃、24 時間乾燥前後の質量から算出した。

瓦の曲げ試験は、吉松計器(株)製の瓦曲げ試験器 TN-500 型を用いて測定した。

吸水試験は、JIS A 5402-2002 に基づいて、空気乾燥器で 110℃、24 時間以上乾燥した後の乾燥質量と、これを 24 時間以上浸水後の吸水時の質量から吸水率を算出した。

熱伝導率は、昭和電工(株)製 QTM 迅速熱伝導率計を用いた。層間剥離の確認は、瓦中心部をダイヤモンドソーで切断した断面を観察した。その他、モルタルの延びやひび割れの観察を行った。

凍害試験は、JIS A 5208-1996「粘土がわら」に基づいて、-20℃の冷気中に 8 時間以上静置し、水中に 6 時間以上浸水する凍結融解を 10 回繰り返し、凍結融解によるひび割れや剥離を観察した。

2. 3 シラス

薩摩郡さつま町平川産のシラスの粒度分布を表 1 に示す。瓦製造実験には、このシラスを 5 mm の網フルイのフルイ下を用いた。シラスの含水率は、21.3%であった。

2. 4 砕砂

出水市高尾野町産の砕砂の粒度分布を表 2 に示す。砕砂の含水率は、4.8%であった。

2. 5 配合比

細骨材としては、シラス 100%，シラスの 10 及び 20% を砕砂で置換したシラス瓦，そして従来品である砕砂を

100%用いた普通セメント瓦の製造実験を行った。セメント量は、従来品のセメント瓦と同じセメント：細骨材=1：2の重量比で配合した。混和材料は、シラスを用いた場合のみにセメント重量比の 10%以下添加した。水は、水／セメント比=60～35%で適度な流動性（モルタルのフロー値 150～170 を目安）を示す範囲で添加した。

2. 6 製造工程

セメント瓦の製造は、次の工程（図 2）により行った。

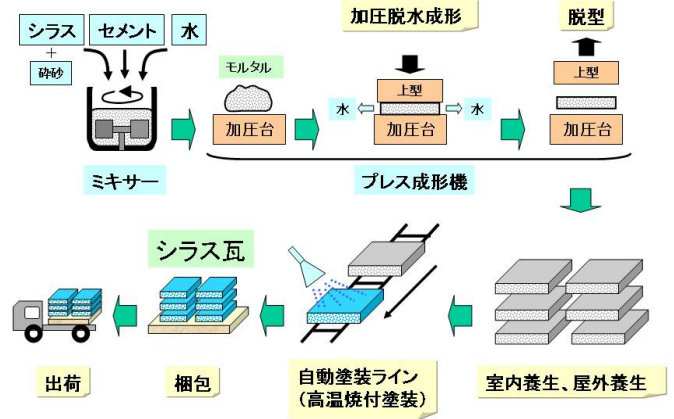


図 2 シラス瓦の製造工程

ここで、細骨材、セメント、水は、自動計量にて混合機に投入される。混和材料は、必要に応じて手差しで投入した。本実験における 1 バッチの基本的な投入量は、セメント 80kg と細骨材 160kg である。混合機は、千代田技研(株)製のオムニミキサー OM-150NB6 型（内容量 150 L）にて前述の原材料の混合と攪拌を行い、モルタルを製造する。得られたモルタルから自動機械で約 3～4 kg のモルタルを分取し、(株)中野産業機械製の全自動製瓦機 NAU-F1 型の和型または洋型の型にセットし、100 トンプレスで 5～10 秒間のプレスを行い、余分な水分を除去し、成形体を得る。得られた成形体をそのまま平置きのまま棚で 1 日間室温養生し、受け皿の板を取り外し、パレット積みして屋外で 4 週間以上自然養生を行う。塗料は、ナトコ(株)製水性シリコンアクリル樹脂塗料を用い、予備加熱したセメント瓦に 2 層塗りした後、加熱により乾固させ、一昼夜室温養生を行った。

表 1 シラスの粒度分布

フルイ目		0.30	0.59	1.18	2.36	4.75	9.5	16.0	19.0	26.5	26.5<
mm	<0.15	0.15	0.30	0.59	1.18	2.36	4.75	9.5	16.0	19.0	
重量%	35.6	26.2	16.5	10.9	5.6	2.5	1.7	0.5	0.2	0.3	0.0

表 2 砕砂の粒度分布

フルイ目		0.30	0.59	1.18	2.36	4.75	9.5	16.0	19.0	26.5	26.5<
mm	<0.15	0.15	0.30	0.59	1.18	2.36	4.75	9.5	16.0	19.0	
重量%	15.1	16.1	15.2	18.0	24.4	10.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

3. 結果及び考察

3. 1 軽量化

和形セメント瓦の厚みを約 14mm にする成形条件で、各種細骨材を用いて製造したセメント瓦（各 5 試料）の乾燥重量の比較を表 3 に示す。その結果、細骨材として砕砂 100% を用いた普通セメント瓦と比較して、シラス 100% で置換すると 23% の軽量化が達成され、シラス 80%（砕砂 20%）を用いた場合でも 17% 軽量化することが分かった。

表 3 セメント瓦の乾燥重量 (g)

試料番号	シラス100%	シラス90% 砕砂10%	シラス80% 砕砂20%	砕砂100%
No. 1	2289	2348	2445	2990
No. 2	2327	2312	2504	2973
No. 3	2319	2353	2459	2984
No. 4	2299	2332	2455	2975
No. 5	2290	2308	2451	2974
平均値 (g)	2305	2331	2464	2979
重量比 (%)	77	78	83	100

3. 2 吸水率

上記と同じく各種細骨材を用いた和形セメント瓦（各 5 試料）の吸水率の比較を表 4 に示す。本実験で製造したセメント瓦は、JIS A 5402-1994 の分類では長さ 31.5cm、幅 30.5cm の「和形浅がわら」に相当し、吸水率 10% 以下と規定されている。砕砂を 100% 用いた普通セメント瓦の平均吸水率は 6.4% であるが、細骨材を 100% シラスに置換すると平均吸水率が 10.3% となり JIS 規格に適合しないことが分かった。

しかし、シラスを 90% 以下に減らし、代わりに砕砂を 10% 以上置換することによって、平均吸水率が 10% 未満となり JIS 規格に適合することが分かった。

表 4 セメント瓦の吸水率 (%)

試料番号	シラス100%	シラス90% 砕砂10%	シラス80% 砕砂20%	砕砂100%
No. 1	11.2	9.2	7.7	6.4
No. 2	9.9	9.1	6.4	6.5
No. 3	9.8	8.8	6.5	6.3
No. 4	10.0	9.1	6.3	6.5
No. 5	10.7	10.0	7.4	6.4
平均値 (%)	10.3	9.2	6.9	6.4

3. 3 熱伝導率

熱伝導率の比較を行うため、板状の金型を用いて細骨材として砕砂 100% の普通セメント板とシラス 90% 砕砂 10% のシラス板（各 6 試料）を上述と同じように加圧脱水成形したものを製造した。それを屋外で 4 週間以上自然養生を行った後、それぞれ 10cm × 20cm の板状に切断し、含水

率の影響を極力少なくするために 105℃ で 24 時間乾燥したものを測定した。

普通セメント板とシラス板の各 6 枚の平均の厚さは、それぞれ 17.5mm と 17.4mm であった。それらの熱伝導率の測定を行った結果を表 5 に示す。シラス板の平均の熱伝導率は 0.77 W/(m K) で、普通セメント板は 1.46 W/(m K) であり、シラス板の熱伝導率が普通セメント板の約 1/2 であり、優れた断熱性を有することが分かった。

表 5 シラス板と普通セメント板の熱伝導率 (W/(m K))

試料番号	シラス板 W/(m K)	普通セメント板 W/(m K)
No.1	0.73	1.49
No.2	0.77	1.51
No.3	0.78	1.40
No.4	0.68	1.68
No.5	0.92	1.31
No.6	0.72	1.35
平均値	0.77	1.46

3. 4 強度

JIS A 5402-2002 の「和形浅がわら」では、曲げ破壊荷重は 1500 N 以上と規定されている。4 週間以上自然養生後の各種和形セメント瓦（各 3 試料）について、砕砂を 100% 用いた普通セメント瓦の平均曲げ破壊荷重は 1648 N であった。100% シラスで置換したものは 1148 N、シラス 90% 砕砂 10% は 1344 N、シラス 80% 砕砂 20% は 1481 N であり、いずれも JIS 規格に適合しなかった。しかし、シラスの代わりに砕砂を 10% 以上置換すると、曲げ破壊荷重が向上することが分かった。

図 3 に屋外暴露した各種和形シラス瓦の材令と曲げ破壊荷重の測定結果を示す。細骨材としてシラス 90%（砕砂 10%）及びシラス 80%（砕砂 20%）を用いたシラス瓦の曲げ破壊荷重は、3 ヶ月経過後に JIS 規格の 1500 N 以上を示した。

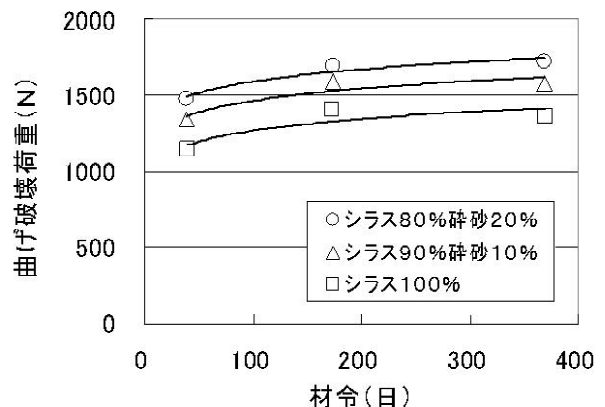


図 3 シラス瓦の材令と曲げ破壊荷重

3.5 層間剥離

砕砂の代わりにシラスで100%置換した場合に生じる問題として、層間剥離がある。本研究で用いたシラスは、表1からわかるように150 μ m以下の細かい粒子を35.6%も含むので、加圧脱水成形時に脱水し難く、「濾布」も目詰まりし易い上に、脱型時に押型との型離れが良くない傾向が認められた。最悪の場合、脱型後にシラス瓦の中央部が盛り上がり、層間剥離を起こすことがあった。この層間剥離が生じれば、強度低下につながり安定した強度も得にくいので層間剥離の防止は重要な課題である。

そこで、層間剥離が起こりやすい瓦中央部を縦に切断して層間剥離の状況を調べた。その結果を図4に示す。砕砂100%の普通セメント瓦では層間剥離は認められないが、シラス100%では筋状の層間剥離が確認できる。しかし、シラスの10%及び20%を砕砂で置換することによって、層間剥離を抑えることができた。砕砂でのシラス置換率が大きくなるほど、加圧脱水成形時に脱水し易くなり、「濾布」も目詰まりも起こり難く、脱型時に押型との型離れも改善して製造工程上も好ましいという結果が得られた。

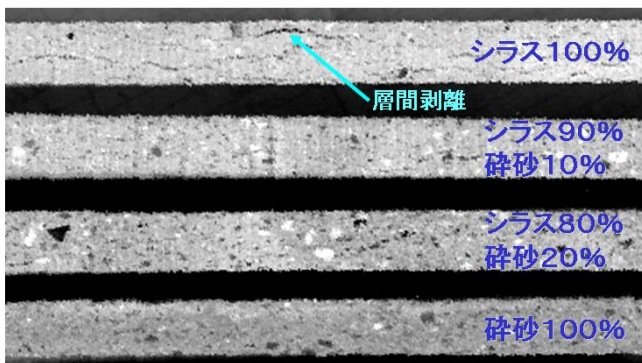


図4 セメント瓦の切断面

3.6 転写性

シラスを用いることによる短所もあるが、長所もある。それは、モルタルのキメの細かさに起因する金型の繊細な転写性である。これによって、塗装面の滑らかさと艶が発現する。図5、6にシラス瓦表面に転写された立体マークを示す。ブロンズ製のような艶があり、2mm程のラインも忠実に転写されていることがわかる。



図5 シラス瓦の塗装面

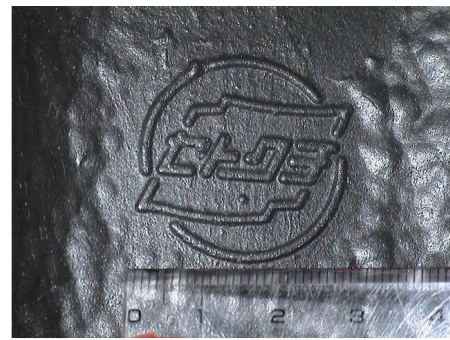


図6 シラス瓦の塗装面

3.7 耐風耐震対策

瓦の軽量化で問題になるのが、耐風耐震対策である。

(有)瀬戸口瓦工場では、早くから防災瓦の開発を手掛けており、平成9年の県北西部地震の際に、同社製瓦の優れた耐震性が実証されている。シラス瓦は、この耐風耐震性を有しており、国土交通省評価の耐風引張試験(図7、8)に合格している。シラス洋瓦に関しては、超低勾配にも対応できるエジェクター方式(水を前方に飛ばす漏水防止機能)を設けており、優れた防水性を発揮する。シラス大判瓦では、平板瓦における千鳥葺き(のれん状に飛散しやすい)とは違い、上下左右の瓦がお互いをガードロックする構造であり、防災性に優れる。更に、シラス瓦の裏面の空間を多く取れる形状に工夫しており、断熱性にも優れる。

シラス洋瓦、シラス大判瓦では、国土交通省認定のスルーホール工法(瓦の重なる部分を1本のビスにて2枚の瓦を同時に固定する方法³⁾)を採用しており、耐風耐震性に優れている。



図7 耐風ユニバーサル試験装置による耐風引張試験



図8 同上の耐風引張試験(シラス瓦 石娘S-24)

3. 8 塗装

図5, 6に示した塗装が, 本研究のシラス瓦に用いたナトコ(株)製水性シリコンアクリル樹脂塗料である。この塗膜物性は, 常温水30日間浸せき試験, 50℃温水7日間浸せき試験, 50℃湿度95%以上の雰囲気下での30日間耐久試験, -20℃気中凍結2時間, 20℃水中融解2時間を1サイクルとしての100サイクル凍害試験, 5%水酸化ナトリウム水溶液7日間(スポット滴下)試験, 5%硫酸水溶液7日間(スポット滴下)試験, QUV6000時間促進耐候性試験及び屋外暴露名古屋地区6年間耐久試験において, いずれも問題無しの試験結果を得ている。

本塗料を塗布したシラス瓦, 無塗装のシラス瓦について, -20℃の冷気中に8時間以上静置し, 水中に6時間以上浸水する凍結融解を10回繰り返して, 凍結融解によるひび割れや剥離を観察した結果, 全く異常が認められず, 優れた耐久性を確認した。

3. 9 大判化

軽量化の利点を活かすため和瓦の約2倍の面積を有する大判シラス瓦の製作を行った。細骨材としてシラスを用いたモルタルは, 粘性が高く伸びも悪いため, 加圧脱水成形時に従来の100トンプレスでは単位面積当たりの荷重が小さくなり, 金型の隅々までモルタルを延ばすことができなかった。そこで, (株)江東工業所製の250トン全自動製瓦機を導入し, 荷重と加圧時間の検討を行った結果, 荷重150~200トンで加圧時間を従来の1.5~2倍にすることで, 伸びが良くなり脱型も容易になることが分かった。

図9に和瓦と大判シラス瓦の写真を示す。和瓦との比較した大判化の利点としては, 単位面積当たり51%も枚数が少なく済む, 施工時間を約30%短縮できる, 普通セメント瓦に比べて坪当たり15kg軽量化できる, 施工方法の工夫により屋根全体で最大35%軽量化が可能である, 大判シラス瓦独自の立体構造による瓦下面の通気性の向上で熱がこもり難いなどの効果がある。

大判化によって, 曲げ破壊荷重が向上し, 4週強度で3試料平均で4721Nの高強度を実現した。また, 吸水率も平均6.8%であり, 凍結融解試験でもひび割れや剥離は無く, JIS規格に適合する製品に仕上がった。



図9 普通セメント瓦(左)と大判シラス瓦(右)

3. 10 施工事例

本研究の成果であるシラス瓦は, (有)瀬戸口瓦工場で製造し, 現在, 3種類の製品(図10~12)がある。同社で平成14年にシラス瓦を販売開始し, 既に屋根施工面積で1万7500m²の施工実績を有する。これらのシラス瓦の施工作業において, 軽量で重量負担が軽減できること, 施工時に1枚も割れなかったこと, 切断加工が容易であることから, 施工性に優れることが実証された。図13は, 耐荷重に問題のあった古い家屋の屋根リフォーム工事であり, シラス瓦の軽量化で施工が可能となった例である。



図10 シラス瓦 和瓦防災タイプ



図11 シラス瓦 ユーロベスト



図12 シラス瓦 石娘S-24



図13 シラス瓦 リフォーム屋根工事 和瓦防災タイプ 鹿児島市S邸(左:施工前, 右:施工後)

図 14 は、陶器瓦からシラス瓦へのリフォーム例であり、元の屋根材荷重が 16.0 トンであったが、洋瓦タイプのシラス瓦での施工後は 10.5 トンに軽減され、実に 34 % の屋根重量軽減を達成した。

図 15 は、一寸勾配 (5.4°) の超低勾配屋根の施工事例であり、耐水性に優れたシラス瓦の構造が活かされている。

図 16 は、鹿児島市の松陽台団地における新築屋根工事全 35 棟の施工事例であり、施工面積は 8,000 m² である。普通セメント瓦が施工された場合と比較すると、屋根全体で、実に 75.7 トンの軽量化が達成されたことになる。

図 17～19 は、大判シラス瓦を用いた新築屋根施工例であり、同じ建物の屋根を違った角度で撮影した写真である。屋根の景観がスレート屋根にない立体的で重厚な趣があり、見る角度によって見え方が異なり、施主からも非常に喜ばれている。

上記以外のシラス瓦の主な屋根施工実績としては、愛知県のグループホーム及び個人で 2,500 m²、日置市の焼酎メーカーの建物 570 m²、種子島の個人住宅 530 m² があり、総施工面積として 17,500 m² の実績がある。

シラス瓦は、平成 14 年から(有)瀬戸口瓦工場で製造販売を開始し、施工から 5 年以上経過した物件もあるが、いずれも変色や割れ、雨漏りなどの不具合は皆無であり、新設時の景観を維持しており、施主から好評を博している。



図 16 シラス瓦 新築屋根工事 和瓦防災タイプ
鹿児島市 松陽台団地



図 17 シラス瓦 新築屋根工事 石娘 S-24
薩摩郡さつま町 Z 邸



図 14 シラス瓦 リフォーム屋根工事 ユーロベスト
薩摩郡さつま町 S 邸 (左: 施工前, 右: 施工後)



図 18 シラス瓦 新築屋根工事 石娘 S-24
薩摩郡さつま町 Z 邸



図 15 シラス瓦 新築屋根工事 ユーロベスト
鹿児島市 吉野公園



図 19 シラス瓦 新築屋根工事 石娘 S-24
薩摩郡さつま町 Z 邸

4. 結 言

従来の技術では工業的利用が困難であったシラスをセメント瓦の細骨材として利用すれば、トータルなコストダウンが可能となる。しかし、シラスの細か過ぎる粒度、低比重、粒子の形の悪さ、高い吸水率が原因で、モルタルの流動性が悪くなって成形が困難になり、結果的に製品強度が低下するという問題が生じた。これらの問題点を解決する方法として、砕砂の活用、混和材料の添加を行い、加圧脱水成形技術の確立を図った。この成果として生み出されたシラス瓦は、シラスの多孔質性が活かされた軽量で断熱性に優れた屋根材であり、断熱効果（冷暖房費の節約）や結露防止効果がある。また、軽量化により、低コスト化住宅、家屋への荷重の軽減、耐震性の向上、地震発生時の被害の軽減などにも効果があり、アスベスト無添加で、リサイクルや処分時に環境への負荷を最小限にできるという利点がある。

大手ハウスメーカーなどで施工された軽量の化粧スレート（セメント、アスベスト、ビニロンなどを主原料としている商品）で葺き上げた住宅屋根をリフォームする場合、屋根の耐荷重の制限で軽量の屋根材が必要とされる。このような対象物件が1つのハウスメーカーだけでも西日本で10万戸はあるとされており、1戸の屋根面積が約100～150 m²とすると、少なくとも延べ1,500万m²以上の市場面積があると予測される。

また、住宅産業が低迷している中、三州産（愛知県）、石州産（島根県）、淡路産（淡路島）などの粘土瓦の攻勢を受け、50社ほど存在した地場のセメント瓦工場が、現在では15社あまりに減少し、さらに生産量も5年前とすると各社半分以下になっている状況で、地場産業は危機的状況下にある。

しかしながら、これまでの(有)瀬戸口瓦工場の地道な取り組みが効を奏し、シラス瓦が環境に優しく健康的な商品であるとして個人、住宅メーカーなど鹿児島県内外の方から多くの採用を頂いてきた。このようなシラスの特性を活かした細骨材への利用やセメント二次製品への応用、更には建材業界への普及が加速すると予想される。

鹿児島特産ともいえるシラス瓦を鹿児島ブランドとして全国に発信し、未利用資源である普通シラスを用いた新たな地場産業として発展させ、地域の振興に努力したいと考えている。

参 考 文 献

- 1) 袖山研一，吉村幸雄，瀬知啓久，濱石和人，瀬戸口和徳：特許第3787595号（2006）
- 2) 町田洋，新井房夫：“新編 火山灰アトラス”，東京大学出版会（2003）
- 3) 佐々岡良介：特許第3532990号（2004）