

廃棄物の利用技術に関する研究開発(Ⅱ)

－ 廃瓶ガラスの透水性素地への利用技術に関する研究開発－

赤嶺公一、中村英二郎、花城可英、與座範弘、比嘉将詞¹、喜納みゆき¹

廃瓶ガラスを使用して、透水性を付加したインターロッキングブロック（以下、ILB）等のセラミック系舗装材料の研究を平成15,16年度に行った。廃瓶ガラス粉砕物と泥岩（以下、クチャ）との配合素地を透水性素地として実験に用い、原料の配合割合や焼成条件等をかえて試験し検討を行った。その結果、透水性素地材料の配合割合を決定した。また、景観材料として表層素地を積層した素地についても検討を行い、圧縮強度の向上には焼成温度を高く、ねらし時間を長くすること、透水性の改善には表層素地配合時に水分を加えること等が有効であることが明らかになった。また、素地の焼成に使用する匣鉢（さや）は半乾式プレス成形によって作製されたコーディエライト質の匣鉢が繰り返し使用に向いていることが明らかになった。

1 はじめに

近年、沖縄県内には廃瓶ガラスリサイクル企業など環境関連企業が立地し、廃棄物の商品化・事業化に努めている。こうした状況から廃棄物利用技術を開発することは特に鉱物資源が少なく狭隘な沖縄県にとっては経済振興だけでなく、廃棄物最終処分に要する負担の軽減など環境保全の意味からも大きな意義がある。

そこで本研究では廃瓶ガラスの用途開発として透水性素地への利用技術を検討するため、製造条件に関する試験を行い、その結果を基に試作品を作製した。また、素地の焼成に用いる匣鉢についても併せて検討したので報告する。

2 実験方法

2-1 透水性素地の製造条件の決定

2-1-1 透水性素地の製造条件

廃瓶ガラスの透水性素地への利用技術を検討するため、条件に関する試験を図1に示すように行った。研究では、廃瓶ガラス粉砕物とクチャとの配合素地について配合割合や焼成条件の違いによる素地の性状変化を検討するため、表1に示す因子と水準を取り上げ、直交表L16に割り付け、JASS7M-101 インターロッキングブロックの品質規格¹⁾（以下、JASS7M-101）に準じて曲げ試験を行い、併せて外観を観察して評価した。

2-1-2 製造条件の絞り込みによる透水性素地の試験

製造条件を求める試験結果から曲げ強さや形状保持に大きく影響を及ぼしている因子は、クチャ配合量と焼成

温度であることがわかった。しかし、この2つの因子は曲げ強さと形状保持で相反することや2-1-1で試験した温度範囲では全体的に強度が低いため、本実験では焼成温度を820 に上げて、クチャ配合量の最適条件の検討を行った。表2に示す実験条件で試験体を作製し、曲げ試験に加え、透水性試験をJASS7M-101に準じて測定し、有意な因子を求めた。

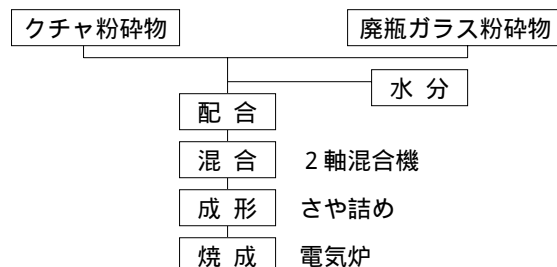


図1 製造条件に関する試験工程

表1 実験因子と水準

因子名	第1水準	第2水準
1：焼成温度	780	750
2：ねらし時間	なし	2 hour
4：クチャ	3%	10%
5：水分量	3%	8%
6：ふた	なし	あり
8：昇温速度	85 /hour	125 /hour
11：ガラス粒度	細かい	粗い
12：成形圧	なし	あり

表2 実験条件

焼成温度	820
クチャ配合量	4、6、8%
水分量	6%
成形圧力	加圧あり
廃瓶ガラスの粒度	粒径1mm以下と1~2mmを等量混合

1 株式会社カレットワールド

2 - 2 表層素地を積層した透水性素地の焼成試験

2 - 2 - 1 表層素地（着色剤 - 金属酸化物）

景観材料として加飾された表層素地を積層した透水性素地についての検討を行うため、表3に示す因子と水準を取り上げ、直交表L16に割り付けて実験を行った。

2 - 1 - 2の結果を基に、透水性素地は廃瓶ガラス粉砕物とクチャの配合割合を4%、水分量を6%とした。透水性素地の匣鉢詰め焼成には2 - 1の実験に引き続き、熱衝撃性に優れているコーディエライト質²⁾の匣鉢を鑄込み成形により作製して試験に供した。

その作製した匣鉢に表層素地として表3に示す無色透明ガラス粉砕物、添加物、水分、酸化コバルトを所定量配合し混合した後に投入し、その上から透水性素地を積層するように入れた。なお、焼成は昇温速度を100 / hourに設定し、室温から加熱していき、50mm×40mmの円柱形の試験体を作製した。

試験体の評価として外観を観察し、エッジのもろさ、表面への酸化コバルトや添加物など粉体の析出具合を5段階でそれぞれ評価した。また、試験体表面、匣鉢底を観察して付着物の発生具合を5段階でそれぞれ評価し、離型性の評価とした。さらに、透水係数を測定し、外観の評価と併せて有意な因子を求めた。

2 - 2 - 2 表層素地（着色剤 - 着色カレット）

表層素地に着色剤として着色カレットを用いた場合、着色カレットが溶融してしまい透水性が保たれない問題があった。そこで2 - 2 - 1の結果より適切な条件を絞り込むと共に、溶融に寄与と思われる焼成条件、アルミナ添加量、水分量について取り上げ、直交表L8に割り付けて実験を行った。なお、振動割合・振動時間についても適切な条件を絞り込む必要があるのだが、実験数が多くなるため、振動プレスは100・200Hzで3秒間ずつプレスを行う一定の条件とした。

本実験では着色剤として着色カレット粉砕物を表層素地に加え（無色透明ガラス粉砕物の10%）混合し、透水性素地を積層し焼成した。実験条件を表4に示し、実験因子と水準を表5に示す。

試験体の評価として透水性、圧縮強度を測定した。圧縮強度試験は形状や寸法の関係で曲げ強度試験ができない際に用いられる試験であるが、予備試験により透水性素地の圧縮強度がJIS規格値に満たなかったため、圧縮強度の向上についても検討した。試験体は用いた匣鉢形状の関係で50mm×40mm（原則は60mm以上、高さは直径の1～2倍）となっている。しかし、圧縮強度に寄与する因子を求めることは十分可能であると考え、測定値の誤差を少なくするため、硬質石膏を用いて試験体の上下両面にキャッピングを施し、JASS7M-101に準じて測定を行った。

表3 実験因子と水準

因子名	第1水準	第2水準	第3水準	第4水準
1：添加物量	0%	2%	4%	6%
4：振動割合	なし	100Hz	200Hz	100 + 200Hz
5：添加物	アルミナ	珪砂		
6：焼成温度	820	850		
7：無色透明ガラス粒度	<1mm + 1～2mm ¹	2～3mm		
9：酸化コバルト	1.0%	0.2%		
10：水分量	なし	6%		
11：ねらし時間	1hour	なし		
13：6×11 ²	-	-		
14：振動時間	5sec	20sec		
15：プレス方法	面	棒		

1 = 無色透明ガラス粒径1mm以下と1～2mmを等量混合
2 = 焼成温度とねらし時間の交互作用

表4 実験条件

焼成温度	820、850
ねらし時間	なし、1hour
アルミナ添加量	2%、4%
水分量	2%、4%
無色透明ガラス粒度	<1mm:1～2mm=1:1
振動割合・振動時間	100Hz + 200Hz 6sec
プレス方法	面

表5 実験因子と水準

因子名	第1水準	第2水準
1：焼成温度	820	850
2：ねらし時間	なし	1hour
3：1×2 ³	-	-
4：アルミナ添加量	2%	4%
5：1×4 ³	-	-
6：2×4 ³	-	-
7：水分量	2%	4%

3 = それぞれの因子間の交互作用

2 - 3 匣鉢を用いた試作に関する試験

2 - 3 - 1 匣鉢（クチャ素地）の繰り返し焼成試験

これまでの小型の匣鉢を用いた素地の焼成実験結果を踏まえ、実用化に向けた試作品を作製するため、匣鉢の大型化について検討した。これまで使用していた鑄込みで作製したコーディエライト質の匣鉢は、製品形状が大きくなると素地を充填して焼成した際に、亀裂が発生して繰り返し使用ができなかった。このため繰り返し使用が可能な匣鉢を模索したところ、瓦素地（クチャ素地）が透水性素地に近い熱膨張率の変化を示すことがわかった。そこで、ILB形状のプレス金型を設計・製作し、瓦素地が匣鉢の材料として繰り返し使用可能なのかを検討した。

図2に匣鉢図面、図3に匣鉢の外観を示す。予備実験により、900℃焼成のクチャ素地匣鉢では透水性素地と熱膨張率が合わず、試験体を焼成すると匣鉢に亀裂が入る傾向が高いこと、また表層素地が匣鉢底に融着し焼成物が抜き出しにくいことが認められた。よって本実験では1000℃で焼成した匣鉢を用いて繰り返し使用が可能であるか、また匣鉢に離型材として蛙目粘土を塗ることにより匣鉢から試験体が容易に抜けるか併せて検討した。

試験体の作成条件は2 - 2 - 1の結果を基にし、焼成は昇温速度100℃/hourで室温から820℃まで上げ、30分間ねらしを行った。

2 - 3 - 2 匣鉢（コーディエライト質、アルミナ質）の繰り返し焼成試験

クチャ素地の匣鉢では、表面と内部との熱膨張率の違いが原因で割れることが推察された。そのため、比較的熱膨張率が低いコーディエライト質、アルミナ質の素地を用いた半乾式プレス成形によって作製された市販の匣鉢を用いて、繰り返し使用可能かを検討した。試験体は2 - 2 - 1の作製条件を基に作製した。図4に使用した匣鉢の外観を示す。

2 - 3 - 3 匣鉢加工による立体形状の転写

表層素地表面に立体形状を転写し付加することができるならば、すべり抵抗の向上や、さらに表層面のデザイン画を浮き出すようにするなどの付加価値の高い製品作りに応用可能だと考えられる。そこで、匣鉢底を立体形状に彫りこみ、表層面に形状を写し取れるのか検討した。

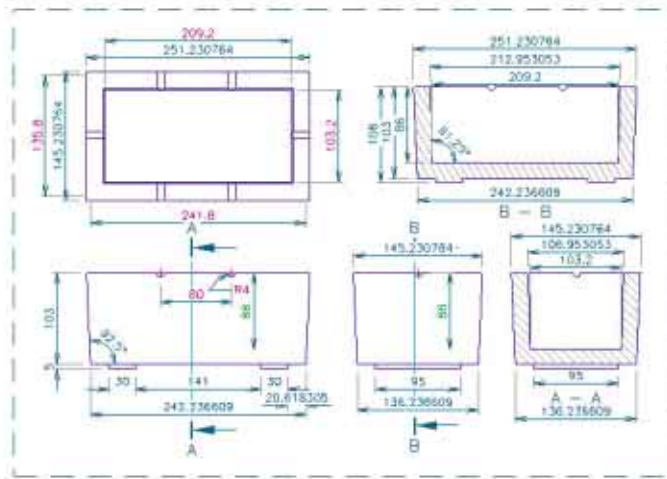
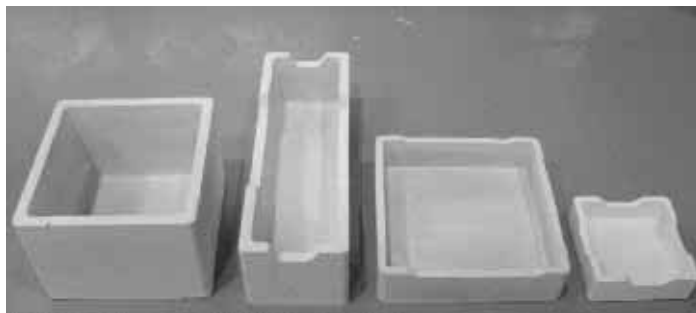


図2 匣鉢（クチャ素地）図面



図3 匣鉢（クチャ素地）外観



匣鉢1 匣鉢2 匣鉢3 匣鉢4

図4 匣鉢（コーディエライト質、アルミナ質）外観

材質

匣鉢1～3：コーディエライト質
匣鉢4 ：アルミナ質

形状（mm）

匣鉢1：230×230×160H
匣鉢2：400×140×120H
匣鉢3：255×255×60H
匣鉢4：150×150×50H

2 - 3 4 ILB形状の試作品の作製

小型の匣鉢を用いて試験した結果及び匣鉢の繰り返し焼成試験を受けて、着色剤として酸化コバルト、着色カレット粉砕物をそれぞれ表層素地に用いたILB形状の試作品（約100×195×50mm）を作製した。試作条件を表6に示す。

表6 廃瓶ガラス粉砕物を含む透水性ILB試作条件

焼成温度	850
ねらし時間	1hour
水分量（表層素地）	4%
無色透明ガラス粒度	<1mm:1～2mm=1:1
振動割合	100Hz+200Hz 6sec
着色剤：酸化コバルト	0.2%
着色剤：着色カレット粉砕物	10%

2 - 3 - 5 応用製品開発

当研究で得られた基本的な透水性素地の作製条件をもとに、技術者受入事業で株式会社カレットワールドに技術移転した。そして応用技術開発として、使用する着色カレットの多色化、並びに表層にデザインを施す技術を得ることを目的とし、付加価値を高める応用製品の試作開発を行った。

まず、多色化のために、47種類（色）の着色カレットから、表層に使用できる着色カレットを転移点の物性値や作製した試験体の外観を参考に40種類（色）選出した。試作には表層に着色カレットを用いてデザイン画を施した300角平板形状（300×300×60mm）の試作品をガス窯を用いて焼成した。また、表層に着色カレットを使用しデザイン画を施すため、着色カレットを敷き詰める型枠をレーザー加工機によりボンデ板を加工して作製し、実験に供した。

3 結果と考察

3 - 1 透水性素地の製造条件の決定

3 - 1 - 1 透水性素地の製造条件

曲げ試験の結果をSN比換算（望大特性）した分散分析表を表7に示す。

なお、分散分析表において、「*」は危険率5%、「**」は危険率1%で有意であることを示す。

表7 曲げ試験SN比換算（望大特性）分散分析表

Souroe	f	S	V	FO	S'	ρ(%)
焼成温度	1	311.27	311.27	29.09**	300.57	9.7
ねらし時間	1	140.03	140.03	13.09**	129.33	4.17
クチャ	1	1209.14	1209.14	113.02**	1198.44	38.68
水分量	1	88.28	88.28	8.25*	77.58	2.5
昇温速度	1	500.17	500.17	46.75**	489.47	15.8
ガラス粒度	1	82.31	82.31	7.69*	71.61	2.31
成形圧	1	681.67	681.67	63.72**	670.97	21.66
e	8	85.59	10.70	-	160.48	5.18
T	15	3098.45			3098.45	100

クチャの配合量と成形時に圧力をかけることが、曲げ強さに大きな寄与を及ぼしている因子であることが認められた。なお、クチャを配合することにより、曲げ強度のばらつき減少や形状を安定させる効果があるが、同じ焼成温度であれば強度低下を引き起こす傾向がある。また成形時にプレスを行うことは、形状の安定性、曲げ強さどちらの特性に対しても良好な結果であるため、プレスを行う方が望ましいことがわかった。

3 - 1 - 2 製造条件の絞り込みによる透水性素地の試験

図5にクチャ配合量の違いによる曲げ強度の変化を示す。

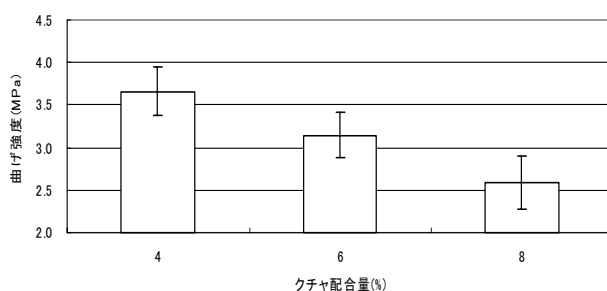


図5 クチャの配合量の違いによる曲げ強度の変化

クチャの配合量が少ないほど、曲げ強度が高い傾向を示し、ILBの曲げ強度の規格値（3MPa）を満たした。また、試験体の形状にばらつきはなく、外観の異常も特にみられなかった。なお透水係数を測定したところ、各条件ともILBの規格値よりも大きな透水係数を示し、クチャの添加量の違いによる大きな変化は認められなかった。これらのことから、クチャの配合割合を4%とし、今後の実験に用いることとした。

3 - 2 表層素地を積層した透水性素地の焼成試験

測定した試験結果について分散分析を行い、危険率5%以内で有意差のある因子について調べた。

3 - 2 - 1 表層素地（着色剤 - 金属酸化物）

(1) 外観

表8にエッジのもろさに関する分散分析表について示す。評価方法として指で試験体表層面のエッジに触れエッジがもろく、崩れやすいものを1、比較的硬いものを5として5段階で評価した。

添加物の種類がエッジのもろさに寄与しており、表層素地にアルミナを配合した試験体に対して、珪砂を添加した試験体の表層面はエッジがもろくなる傾向が認められた。

表9に表層面への粉体の析出具合に関する分散分析表について示す。評価として表層面を観察し、酸化コバル

トや添加物などの粉体が浮き出てきたものを1、全く粉体が見られないものを5として5段階で評価した。

分散分析により、粒度と「焼成温度とねらし時間の交互作用」に有意差が認められた。粒度に関しては表層素地に粒度が1mm以下と1～2mmの無色透明ガラスを等量で混合し用いたものに対して、2～3mmのガラスを使用したものは粉体が表層面に浮き出てくる傾向が認められた。これは無色透明ガラスの粒径が大きくなり、その広がったガラス粒子間の隙間へ粉体が入り込み匣鉢底へと導かれやすくなったことで生じていると考えられる。

また、焼成温度とねらし時間の交互作用にも有意差が認められたことから、焼成条件を適切に管理することが焼成物のばらつきを小さくすると推察される。

表10に離型性に関する分散分析表について示す。評価として試験体表層面、匣鉢底を観察し、付着物があるものを1、全く見られないものを5としてそれぞれ評価し、離型性の評価とした。

添加物を加えなかった試験体の表層面や匣鉢底は添加物を配合したものと比べて、表層面のガラス質が過剰に溶融し付着物が多く、試験体を匣鉢から抜き出しにくく、有意差が認められた。添加物はガラスと比べ溶融温度が高いことから、ガラスの過剰な溶融を抑え付着物を減少させる、離型性の向上に寄与すると考えられる。ただし、添加物の量が過剰だと表層素地がぼろぼろと崩れるものがあり、今後適切な添加量を検討する必要がある。

なお、焼成温度とねらし時間の交互作用にも有意差が認められたことから、離型性に関しても焼成条件の適切な管理が必要であると推察される。

(2) 透水性

表11に透水性に関する分散分析表について示す。表層素地に水分を6%添加し、焼成した試験体に比べ、水分を加えなかったものは透水性(透水係数)が低下する傾向があり有意差が認められた。水分を加えた試験体は全て透水性が認められたが、水分を加えなかったいくつかの試験体には透水性を示さないものがあった。これは、表層素地を配合する際に水分を加えることにより均一に材料が混合され、また比較的粒子の細かい添加物や酸化コバルトなどの粉体による目詰まりを防ぐことにより透水性が確保されたためと考えられる。

また、表層素地に珪砂を添加したものはアルミナを添加したものに比べて透水性が大きい傾向があり有意差が認められた。しかし珪砂を加えることは試験体のエッジがもろくなる傾向があり、アルミナを用いた場合でも透水性は規格値を十分満たしていることから、今後は添加物としてアルミナを実験に用いることにした。

さらに焼成温度とねらし時間の交互作用にも有意差が認められたことから、透水性に関しても適切な焼成条件が重要であると推察される。

表8 エッジのもろさに関する分散分析表

Source	f	S	V	FO	S'	ρ(%)
振動割合	3	5.19	1.73	3.07	3.5	14.3
添加物	1	7.56	7.56	13.4**	7.0	28.6
粒度	1	1.56	1.56	2.78	1.0	4.09
酸化コバルト	1	1.56	1.56	2.78	1.0	4.09
ねらし時間	1	1.56	1.56	2.78	1.0	4.09
温度×ねらし	1	3.06	3.06	5.44	2.5	10.2
e	7	3.94	0.56	-	8.4	34.5
T	15	24.4			24.4	100

表9 表層面への粉体の析出割合に関する分散分析表

Source	f	S	V	FO	S'	ρ(%)
添加物	3	7.50	2.50	2.58	4.59	13.5
粒度	1	6.25	6.25	6.45*	5.28	15.5
酸化コバルト	1	4.00	4.00	4.13	3.03	8.9
温度×ねらし	1	6.25	6.25	6.45*	5.28	15.5
プレス方法	1	2.25	2.25	2.32	1.28	3.7
e	8	7.75	0.97	-	14.5	42.7
T	15	34			34	100

表10 離型性に関する分散分析表

Source	f	S	V	FO	S'	ρ(%)
添加物量	3	19.3	6.42	7.19*	16.6	15.4
添加物	1	4.00	4.00	4.48	3.11	2.88
粒度	1	4.00	4.00	4.48	3.11	2.88
酸化コバルト	1	4.00	4.00	4.48	3.11	2.88
水分量	1	6.25	6.25	7.00*	5.36	4.97
温度×ねらし	1	64	64	71.7	63.1	58.6
e	7	6.25	0.89	-	13.4	12.4
T	15	108			108	100

表11 透水性に関する分散分析表

Source	f	S	V	FO	S'	ρ(%)
添加物量	3	0.0616	0.0205	2.01	0.0309	7.14
添加物	1	0.0694	0.0694	6.79*	0.0592	13.7
酸化コバルト	1	0.0254	0.0254	2.49	0.0152	3.51
水分量	1	0.0952	0.0952	9.31*	0.0849	19.6
温度×ねらし	1	0.0864	0.0864	8.45*	0.0762	17.6
振動時間	1	0.0234	0.0234	2.29	0.0132	3.04
e	7	0.0716	0.0102	-	0.1534	35.4
T	15	0.4331			0.4331	100

振動割合、振動時間の主効果は分散分析により有意差のある因子として確認できなかった。ただし素地を匣鉢詰めする際に、振動を加えプレスすることにより素地がより詰まることが観察できた。素地が詰まることは充填がよい状態であり、強度の向上に寄与することが予想されるので、今後もプレス時に振動を加えることにした。

(3) まとめ

外観、透水性の評価により今後用いる水準を以下の通り絞り込んだ。

添加物-アルミナ

無色透明ガラス粒度：< 1mm + 1～2mm

酸化コバルト：0.2%

プレス方法：面

添加物量、振動割合、振動時間、水分量、焼成温度、ねらし時間は適切な条件を今後検討する。

3 - 2 - 2 表層素地 (着色剤 - 着色カレット)

(1) 透水性

表12に透水性に関する分散分析表について示す。

表層素地の水分量が2%の条件で作製した試験体は透水性を示さないものが多数あり、4%の条件では全て透水性が確認できた。そのため、表層素地の水分量が2%のときに比べ4%の条件では透水係数が大きくなる傾向があり有意差が認められた。よって表層素地に水分を4%の条件で配合することは、比較的細かい粉体が均一に混合され透水性を確保する傾向があることを確認した。

また、透水性確保のためにアルミナ添加量について検討を行ったが、今回の実験で用いた焼成温度・ねらし時間の範囲では透水性についてアルミナ量に有意差は認められなかった。そこで表層素地にアルミナを添加せずに試験体を作製し、透水するか試験したところ、透水性が確認できた。よってアルミナは耐火材として離型性の向上に関与し、透水性には寄与しないと考えられる。

表12 透水性に関する分散分析表

Souroe	f	S	V	FO	S'	ρ (%)
水分量	1	0.0043	0.0043	26.36**	0.0042	78.37
e	6	0.001	0.0002	-	0.0011	21.63
T	7	0.0053			0.0053	100

(2) 圧縮強度

表13に圧縮強度の分散分析表について示す。圧縮強度試験結果について分散分析を行い焼成温度とねらし時間及びそれぞれの交互作用に有意差があることが明らかになった。

そこで焼成温度とねらし時間の違いにおける圧縮強度の変化について調べた。図6に焼成温度とねらし時間に対する圧縮強度の変化について示す。今回の実験で用いた焼成温度・ねらし時間の範囲では焼成温度を高く(850)、ねらし時間が長い(1hour)条件の際に圧縮強度の向上が認められた。これは加熱効果が高いほど、表層・透水性素地に配合されている廃瓶ガラス粉砕物の一部が溶融し、粒子同士の融着が進むことにより圧縮強度が増す傾向にあることが考えられる。

表13 圧縮強度に関する分散分析表

Souroe	f	S	V	FO	S'	ρ (%)
焼成温度	1	40.877	40.877	19.76*	38.808	27.54
ねらし時間	1	66.075	66.075	31.94**	64.006	45.43
温度×ねらし	1	25.671	25.671	12.41*	23.602	16.75
e	4	8.2755	2.0689	-	14.482	10.28
T	7	140.90			140.898	100

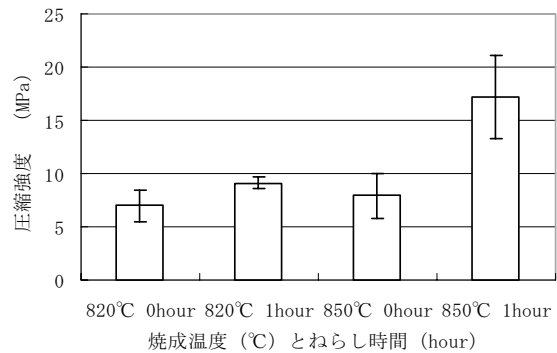


図6 焼成温度とねらし時間に対する圧縮強度の変化

3 - 3 匣鉢に関する試験

3 - 3 - 1 匣鉢 (クチャ素地) の繰り返し焼成試験

表14に匣鉢 (クチャ素地) の繰り返し焼成試験について示す。5回目の焼成試験にまで繰り返し使用できた匣鉢は7個中、2個であった。匣鉢の多くは長手部分から亀裂が発生し割れた。亀裂が発生した要因としては、比較的大型で肉厚な匣鉢のため、匣鉢の表面と内部との温度差からなる熱膨張率の違いによって冷め割れをおこしたことが予想される。

また、離型材として匣鉢に蛙目粘土を塗ることにより表層素地に付着する匣鉢素地が減少し、匣鉢から容易に焼成物が抜けた。

表14 匣鉢の繰り返し焼成試験

焼成回数 (回)	1	2	3	4	5
匣鉢の数 (個)	7	7	4	3	2

3 - 3 - 2 匣鉢 (コーディエライト質、アルミナ質) の繰り返し焼成試験

4種類の形状や材質が異なった匣鉢、全てにおいて5回目の焼成試験まで繰り返し使用でき、匣鉢の亀裂は確認できなかった。今後継続して連続使用の評価を行う必要があると思われる。

また、コーディエライト質、アルミナ質の匣鉢共に表層面に匣鉢からの付着物が目立って付着した。特にアルミナ質の匣鉢では表層素地が匣鉢にべったり付着し、焼成物は匣鉢を割らないと抜けなかった。蛙目粘土を匣鉢に塗ると、容易に焼成物を抜くことができた。クチャ素地の匣鉢と同様に離型性、景観性の面からも蛙目粘土を塗る方が良いことが明らかになった。

3 - 3 - 3 匣鉢加工による立体形状の転写

匣鉢加工による立体形状の転写について試験した結果を図7に示す。その結果、離型性に問題はなく、突起形状が試験体表面層に転写されることを確認した。しかしながら、匣鉢の窪みを手作業で加工したので寸法精度が悪く、作業時間も長かかった。以上のように焼成後の匣鉢を彫りこむのは手間がかかることが明らかになったので、今後、匣鉢を作製する際に用いる金型に立体形状を付加し、匣鉢に加工を施す検討をしていく必要がある。

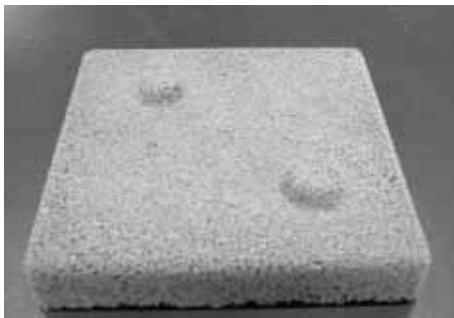


図7 突起形状を付加した試験体

3 - 3 - 4 ILB形状の試作品

これまでの実験結果を基に廃瓶ガラス粉砕物を含む透水性ILBの試作を行った。

試作品の外観を図8・図9に示す。また、今回試作した廃瓶ガラス粉砕物を含む透水性ILBの特性値と規格との比較を表15に示す。

透水性ILB試作品は、参考として測定したタイルの摩耗試験（JISA5209陶磁器質タイル）はクリアしていないが、インターロッキングブロックの品質規格の諸特性値は全て満たしていることから、透水性ILBとして実用化も可能であると考えられる。

3 - 3 - 5 応用製品開発

応用製品作りに向けた技術開発として、株式会社カレットワールドが作製した着色カレットの色見本の外観を図10、ILB形状の試作品の外観を図11、300角平板形状の試作品の外観を図12、図13、図14、図15に示す。

まず、表面層に使用できる着色カレットを選ぶため、試験体を作製した。その結果、転移点が低い着色カレットを用いた場合、蛙目粘土の付着や、透水性素地から剥がれてしまうなどの不具合があった。これは着色カレットの転移点が最大で約100の違いがあり、転移点の低い着色カレットが過剰に溶融したためだと考えられる。これらのことを参考に表面層には40種類（色）の着色カレットが使えることがわかり、多色化に目処がついた。

また、ボンデ板の型枠を用いることで表面層にデザインを施すことが可能となり景観性を高めることが可能となった。なお、着色カレットを敷き詰めてデザインを施しているため、着色コンクリート平板に見受けられるような、色が薄くなるといった経時的変化は考えられず、発色は変化しにくいと思われる。

今回、試作品をガス窯を用いて焼成することにより一度に焼成する試作品数を増やした。その結果、窯の上部と下部での温度差の影響により曲げ強度と透水性にばらつきが生じた。

今後はガス窯による焼成でも規格値を満たす300角平板を安定して製作するため、焼成温度が高くなった際にガラスの過剰な溶融を防ぐことができると推察されるアルミナを表層素地に配合し、検討していく予定である。また充填プレス後の透水性素地の仕上がりを見ると端の部分の充填が不十分で、全面を均一にプレスできていないようであった。このためプレス方法についても検討の余地があるものと考えられ、曲げ強度の向上も見込める。

表15 廃瓶ガラス粉砕物を含む透水性ILBの特性値と規格との比較

	廃瓶ガラス粉砕物を含む透水性ILB試作品		規格	
	着色剤-酸化コバルト	着色剤-着色カレット		
寸法の許容差 ^a	(表層面の幅)	0.8mm	0.4mm	±3.0mm ^d
	(透水性素地の幅)	2.5mm	-	±3.0mm ^d
	(表層面の長さ)	0.3mm	0.2mm	±3.0mm ^d
	(透水性素地の長さ)	1.6mm	-	±3.0mm ^d
	(厚さ)	2.4mm	2.5mm	±3.0mm ^d
透水係数		0.07cm/s	0.07cm/s	0.01cm/s以上 ^d
曲げ強度		5.6MPa	6.1MPa	3.0MPa以上 ^d
圧縮強度 ^b		27.4MPa	37.4MPa	17.0MPa以上 ^d
すべり試験 ^c		74BPN	71BPN	40BPN以上 ^e
(耐摩耗性)		0.46g	0.26g	0.1g以下 ^f

a 寸法の許容差（幅、長さ、厚さ）の値は、平均値との一番大きな差。透水性素地の幅、長さの寸法は酸化コバルト、着色カレット共通の値。
 b 透水性ILB試作品から採取したコアの形状が 55mm×50mm（原則は 60mm以上、高さは直径の1～2倍）なので圧縮強度は参考値。
 c 試験片表面に散水し、湿潤状態で試験を行った。
 d JASS7M-101
 e 社団法人インターロッキングブロック舗装技術協会品質の合格判定値³⁾
 f JIS A 5209陶磁器質タイル⁴⁾

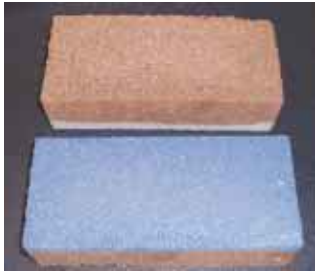


図8 透水性ILB試作品
(着色剤 - 酸化コバルト)



図9 透水性ILB試作品
(着色剤 - 着色カレット)



図10 着色カレット色見本



図12 300角平板形状の試作品



図11 ILB形状の試作品



図15 300角平板を4枚使用した試作品
(爬竜船)



図13 試作品(ピクトサイン) 図14 試作品(ハイビスカス)

4 まとめ

廃瓶ガラスを使用した透水性舗装材料を開発するため、透水性素地の製造条件を絞り込み、表層素地（着色剤 - 酸化コバルト、着色カレット）を積層した透水性素地、ならびに繰り返し使用できる匣鉢についての検討を行い、試作品を製作したところ以下の結果を得た。

- 1) 廃瓶ガラスとクチャを4%配合した透水性素地に、加飾のための表層素地を積層して匣鉢に入れ、振動プレスした後に焼成することにより、透水性を付加した舗装材料を得た。
- 2) 表層素地に添加物として珪砂を使用すると、アルミナを添加した試験体と比べてエッジがもろくなる傾向が認められた。
- 3) 表層素地に無色透明ガラスの粒径が比較的大きな2～3mmのものを使用すると、酸化コバルトや添加物などが表層面に浮き出てくる傾向が認められた。
- 4) 表層素地に添加物を入れるとガラスの溶融を抑え、表層素地と匣鉢との付着を防ぐことにより試験体を抜き出しやすくする傾向がある。
- 5) 添加物の種類、水分添加量が透水性に大きく寄与している。特に配合時に水分を適量加えることにより、所定の焼成温度範囲では透水性を確保できる。
- 6) 焼成温度とねらし時間が圧縮強度に大きく寄与している。本実験では焼成条件が850・1時間ねらしの際に最も圧縮強度の値が大きかった。
- 7) 形状が大きくなっても、半乾式プレス成形によって作製したコーディエライト質およびアルミナ質の匣鉢は、クチャ素地の匣鉢と比べて繰り返し焼成できた。また匣鉢内側に蛙目粘土を塗布することにより、離型性、景観性の向上が望める。
- 8) 匣鉢を加工し表層素地表面に立体形状（突起形状）を写し取れることを確認した。
- 9) 使用する着色カレットの多色化、並びに表層にデザインを施し、景観性を高めることができる。

今回試作したILB形状の試作品は、JASS7M-101インターロッキングブロックの品質規格を満足しており、実用化も可能であると考えられる。一方、大型化した300角平板形状の試作品はガス窯を用いて焼成したので、窯の温度むらによって試作品の強度と透水性にばらつきが生じた。今後、強度と透水性の規格値をクリアするため添加剤の配合やプレス条件の検討を行い、安定した試作品の製作が可能となれば、生産設備や生産コスト等の問題をクリアすることにより製品化も期待できる。

本研究は、平成15、16年度 中小企業庁 中小企業技術開発産学官連携促進事業における中核技術開発事業、応用技術開発事業の成果の一部である。

謝辞

今回の試験にあたって、素地の焼成に使用する匣鉢について貴重なご助言をいただきました産業技術総合研究所 杉山豊彦研究グループ長に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説JASS7メーソソリー工事」技報堂出版株式会社 pp.363-374 (2001)
- 2) 素木洋一 「陶芸・セラミック辞典」 技報堂出版株式会社 pp.338-339 (1982)
- 3) 社団法人インターロッキングブロック舗装技術協会 設計施工情報品質の合格判定値 <http://www.jipea.or.jp/>
- 4) 日本規格協会「JIS A 5209陶磁器質タイル」

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターにご連絡ください。