

廃棄物の利用技術に関する研究開発(Ⅰ) －廃瓶ガラスの保水性素地への利用技術に関する研究開発－

中村英二郎、赤嶺公一、花城可英、與座範弘、知念匠¹、具志直¹、八幡昇¹

廃棄物である廃瓶ガラスをリサイクルするための研究開発を平成15,16年度に行った。ガラス瓶廃棄物の諸性状の測定を行い、窯業的に有効利用する方法の検討を行った。廃瓶ガラス粉砕物を配合することにより機能性を持たせ、保水性または透水性を有する材料の開発を検討した。保水性を有する材料では、廃瓶ガラス粉砕物を県内で生産されている赤瓦素地に配合し保水機能を付与することを検討した。その結果、廃瓶ガラス粉砕物とビール工場より排出されるケイ藻土含有汚泥を配合することにより、従来の赤瓦素地より保水量の大きな窯業建材の開発を行うことができた。

1 緒言

近年、廃棄物のリサイクルが模索されており、ガラス瓶も容器リサイクル法により有効利用が図られている。県内には廃瓶ガラスリサイクル企業等の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ところであるが、経営的に厳しい状況にある。沖縄県内では年間約8,000tの廃瓶ガラスが回収されており、潜在的には年間約16,000t程度の廃瓶ガラスが発生しているものと推測される。また、そのうちリサイクルされているものは年間約4,000tであり、残りは廃棄処分されている。

廃瓶ガラスは、ソーダ石灰ガラスが主であることから、化学成分的にはケイ素、カルシウム、ナトリウムを主成分としており、窯業の有効利用が可能であると考えられる。

通常リサイクル製品は、原料再生にコストがかかるため価格が高くなり、利用がなかなか進まないが、今回の研究では廃棄物を利用するとともに機能性を付与することにより、付加価値を高め普及を目指すものとする。機能としては、夏場のヒートアイランド現象に効果がある保水性と透水性を両面から検討し、それぞれの試作品の開発を行った。この報告では、まず、廃瓶ガラス粉砕物を瓦素地の代替原料や保水性を有する舗装材料への利用技術を開発するための技術について報告する。

保水性素地は、JIS等で決まった規格はないが、類似のインターロッキングブロックや陶磁器質タイル、コンクリート平板等の規格をもとに、目標値を設定した。曲げ強さ3MPa以上、圧縮強さ17MPa以上、滑り抵抗BPN40以上、耐摩耗性 摩耗減量0.1g以下、保水性吸水率・pF、外観、色の目標をクリアするものとする。

2 実験方法

2-1 廃瓶ガラス粉砕物の諸性状の測定

廃瓶ガラス粉砕物の有効利用を検討するにあたり、まず諸性状(化学組成、鉱物組成、熱膨張率、粒度分布)の測定を行った。試料は、県内で廃瓶ガラスの収集および粉砕を行っている株式会社カレットワールドの無色透明ガラス粉砕物1mm以下を用いて測定した。

化学組成は、SPECTRO エネルギー分散型蛍光X線分析装置(リガク XEPOS)を用いて測定を行った。鉱物組成は、X線回折装置(島津製作所製 XD-D1)を用いて、粉末法によりCu管球30kV,20mAの条件で測定を行った。熱膨張率は、粉砕試料を溶融固化した後、高さ約20mmのサンプルを切り出し、熱膨張率測定装置(セイコーインスツル製 EXSTAR6300 TMA/SS)を用いて、毎分10の昇温速度で室温から屈伏点までの温度で測定した。粒度分布については、レーザ回折式粒度分布測定装置(島津製作所製 SALD-3000)を用いて、ヘキサメタリン酸Na0.2%溶液に分散させて測定した。粒度分布は、1mm以下のサンプルとポットミルにて微粉砕した泥岩(以下クチャ)の測定をあわせて行った。

2-2 廃瓶ガラス粉砕物の赤瓦用素地への配合

廃瓶ガラス粉砕物の保水性素地への利用技術を検討するため、県内で窯業建材の原料として用いられているクチャと赤土の配合された瓦原料に廃瓶ガラス粉砕物を、瓦原料単味から廃瓶ガラス粉砕物内割40%まで10%刻みで配合した。また、廃瓶ガラス粉砕物は、カレットワールドより購入した1mm以下とポットミルを用いて微粉砕したものと、さらにこれらを1:1で配合したものを使用した。多くの配合条件を測定する関係から試験体の

1 有限会社 八幡瓦工場

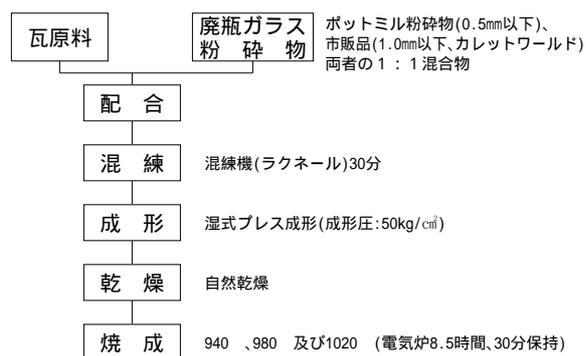


図1 配合実験工程

成形方法は試作時の押出成形方法とは異なるプレス成形にて行った。その他の実験工程は図1に示す。

焼成後の試験体は、吸水率、曲げ強さの測定を行い、廃瓶ガラス粉砕物配合による物性の変化を検討した。

吸水率は、105 で24時間以上乾燥させた試験体より乾燥重量(W_1)を測定し、その後24時間水に沈め表面を拭き取った試験体の飽水重量(W_2)の測定を行い、次の式により算出した。

$$\text{吸水率}(\%) = \frac{(\text{飽水重量}(W_2) - \text{乾燥重量}(W_1))}{\text{乾燥重量}(W_1)} \times 100$$

曲げ強さは、半径15mmの3点曲げ治具を用いて、スパン80mmで試験を行った。曲げ強さは、次の式により求めた。

$$\text{曲げ強さ} : \sigma = \frac{3LP}{2bd^2} \quad \sigma : \text{曲げ強さ}(\text{MPa})$$

L : スパン(mm)
P : 最大荷重(N)
b : 試験体の幅(mm)
d : 試験体の厚さ(mm)

2-3 押出成形性に関する試験

廃瓶ガラス粉砕物を配合することで、より低い温度で同等の曲げ強さを得られることが2-2の実験で認められたが、保水性素地としての利用には、より高い吸水率を得なければならない。そこで、吸水率を大きくするために、ビール製造会社より排出されているケイ藻土を含む汚泥(以下、ケイ藻土含有汚泥)を配合することで保水性の改善を試みた。ガラスの粒度は、入手が容易でより細かい粒度である1mm以下の廃瓶ガラス粉砕物をケイ藻土含有汚泥とともに瓦原料に配合を行った。配合割合を表1に示す。

表1 押出成形実験における配合

配合No.	瓦原料	(単位: %)	
		1mm以下ガラス粉砕物	ケイ藻土含有汚泥
1	100	外割25	外割5
2	100	外割15	外割5
3	100	外割25	外割10
4	100		

廃瓶ガラス粉砕物やケイ藻土含有汚泥といった成形性の低い原料を多く含むため、成形性に関する官能評価を定性的に行った。口金の形状40×10mm、50×50mm、50×50mm穴あきの3種類の押出成形し、切れの有無や角への充填具合にて総合的に評価した。一番複雑な形状で押出成形が難しい50×50mm穴あきの金型の形状を図2に示す。

成形性評価後、押出成形体を十分に乾燥させ、最高温度1,000、昇温速度100 /h、ねらし時間1hで、電気炉にて焼成を行った。焼成後の試験体は、吸水率、曲げ強さ、耐摩耗性の測定を行い、配合条件の絞り込みを行った。

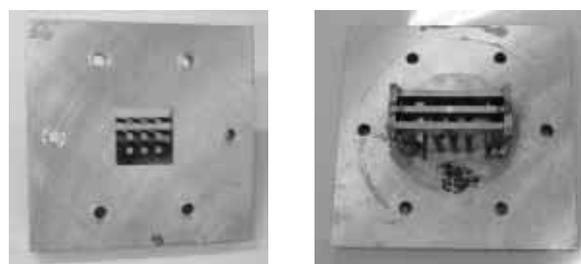


図2 押出成形金型(50×50mm穴あき)

2-4 耐摩耗性の改善

JIS A 5209陶磁器質タイルでは、床タイルについて耐摩耗性の基準を定めている。炭化ケイ素研磨剤C(粒度20番) 10kgを1.1mの高さより45°の角度に当てたときの摩耗減量で求めており、陶磁器質タイルでは0.1g以下が基準値となっている。今回、研究開発を目指している保水性材料の用途としては、歩道用の敷きブロックを想定しており、必ずしも陶磁器質タイルの耐摩耗性の規格を満たす必要はないが、その用途によっては要求されることもあるために、耐摩耗性の改善について検討を行った。

摩耗試験を行った後の2-3押出成形試験体は、ガラスの粒子が浮き上がっていたことから、硬いガラス粒子の条件を整えることにより、耐摩耗性を改善できるのではないかと考え、粒度分布と焼成条件を変えた試験を行った。粒度分布の条件は、株式会社カレットワールドより購入した廃瓶ガラス粉砕物混色1mm以下をふるいで分級し、149μm以下、149~297μm、297~589μm、589μm以上と4つの粒度分布で配合試験を行った。焼成条件は、SK06a(980)、SK04a(1,020)で酸化(OF)、還元(RF)焼成をそれぞれ行った。なお、酸化焼成は電気炉、還元焼成はガス炉を用いて900より還元雰囲気にし、昇温速度は100 /時、最高温度で1時間ねらしを行った。焼成後のテストピースは、耐摩耗性と吸水率の測定を行った。

さらに耐摩耗性の改善を行うためにテストピースへの釉薬の検討を行った。市販の瓦用釉薬2種類を、焼成前テストピースに刷毛を用いて厚さを変えて上面にのみ施釉し、乾燥後1020 で酸化焼成を行い、釉薬付きのテストピースの耐摩耗性の測定を行った。

2 - 5 試作品の作製

これまでの試験の結果を基に、有限会社八幡瓦工場において試作試験を行った。試作はまず、デザイン、試作コンセプトを考案するところから始め、金型作製、原料配合、押出成形、乾燥、焼成、試作品諸性状測定までを行った。

デザインおよびコンセプトであるが、今までの業界におけるラフスケッチによる金型発注ではなく、3次元CADを用いて寸法、外観、並べ方を詳細に検討した後に金型発注する手順にて行った。八幡瓦工場の担当者に当所で研修してもらい、実際のデザイン考案は企業側で行った。デザインとしては、保水性素地の良い点を生かすように、従来からあるセラミックス建材を改善するものとして開発を行った。

県内企業に発注した金型は、そのままでは成形ができなかったため、修正を加え加工をできるように条件の検討を行った。

成形に関しては配合原料の水分量、押出速度の検討を行い、複雑形状である試作品を成形できるようにした。

乾燥条件、焼成条件についても良い条件の検討を行い、試作品の作製を行った。焼成後の試作品は、曲げ試験、圧縮試験、吸水率、滑り抵抗値、耐摩耗性の測定を行った。

2 - 6 保水性の評価

保水性の評価方法として一番簡易的なものは吸水率の測定である。まず、多くの配合において吸水率によって絞り込みを行ったのはこのためである。しかしながら、吸水率の大きな材料が必ずしも優れた温度低減効果を示すとは限らない。具体的に、歩道で使用される保水材料に求められる機能として、多くの水を蓄えることができること、速く吸水すること、蓄えた水で長時間の効果を持続させることが必要である。これらの効果を評価するために、まず、ハロゲンランプを用いた実験室環境における試験体の温度測定を行った。測定に用いたサンプルは、最終の条件決定に用いた2-3の押出成形試験体No.1~4を使用した。ハロゲンランプを用いた試験室の測定装置を図3に示す。

ハロゲンランプは、沖縄夏季の日射量を基に調整することで検討したが、最大で1,000W/m²を超えるため、こ

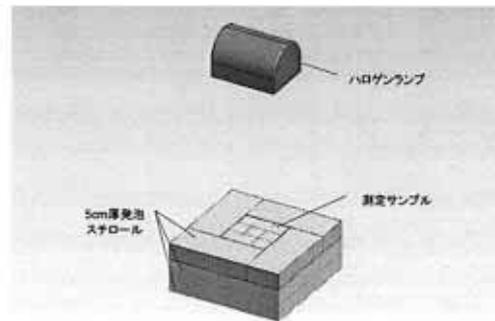
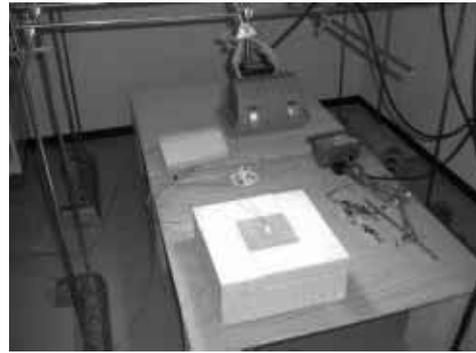


図3 温度測定装置（上：写真、下：説明図）

の環境を、ハロゲンランプを用いて作り出そうとすると危険であることと、他文献ではより低い値で試験が行われていることから、今回は800W/m²になるようにランプの高さを調整した³⁾。保水材料の効果を測定することから、試験体の温度測定は飽水状態から始め、水分が蒸発していき最終的に重量が変化しなくなった点を終点とした。温度の測定方法は、K熱電対をサンプル表面中央に1点、裏面中央に2点設置し、表面はランプの熱の影響を受けないように熱電対の上に発泡スチロールをかぶせて行った。

次に、土壌の保水特性を評価する保水ポテンシャル値であるpFの測定を行った。pFは土壌分野で主に用いられている特性値であり、所定のpF値でどのくらいの水分量を保持可能であるかで評価を行う。例として、pF3.0は毛管連絡切断点と呼ばれ植物は水を吸収しにくくなり成長が阻害され、pF4.2（しおれ点）を超すと水を吸収することができなくなり植物が枯れる点である。今回は温度測定で用いたものと同様の試験体No.1~4を、直径約50mm高さ約51mmの円筒形に加工したものでpF測定を行った。予備試験により高圧板法での測定は困難だったことから、遠心法⁴⁾による測定を行った。それぞれのpF値における所定の回転数で2時間回転させた後、重量の測定から水分量を求めた。また、pF1.5では、水分量が大きく変化しないことから測定を行わず、水分値が変化するpF2.8、3.0、3.5、3.8、4.2で水分量の測定を行った。

水分を保持する特性の他に、スコールのような短い時間に強い雨が降った場合、素早く吸収しなければ保水材料の温度低減効果を維持することが期待できない。そこで、吸水速度測定法⁵⁾を用いて、それぞれの材料を測定した。測定法は、材料の下部5mmだけ水に浸し定時的に重量を測定する方法である。試料は、2-3の押出成形試験体No1～4と県内で市販されている輸入レンガ（マレーシア産、オーストラリア産）とコンクリートブロックも比較のために測定を行った。

また、保水特性には細孔の大きさが影響していると考えられるため、水銀圧入式細孔分布測定装置（島津製作所 ポアサイザ9310）を用いて細孔分布の測定も一部の試料で行った。

3 実験結果と考察

3-1 廃瓶ガラス粉砕物の諸性状の測定

化学組成については廃瓶ガラス粉砕物、瓦原料の主成分であるクチャ、ケイ藻土含有汚泥とともに表2に示す。廃瓶ガラス粉砕物の主成分は、SiO₂、CaO、Na₂Oであり、クチャと比較をするとアルカリおよびアルカリ土類金属を豊富に含んでいるといえる。これに対し、Al₂O₃分はほとんど含まれていない。また、微量元素に関しては、鉛(Pb)が0.02%と他の原料と比較して若干多く含まれている。これは、廃棄ガラスの中にクリスタルガラスが混入しているためと推察する。廃棄ガラス1tに対して約0.8kgのクリスタルガラスが混入していると思われる。ガラス粉砕物は廃棄物から生産するので、成分のばらつきがあるが、この程度のクリスタルガラスの混入量であれば、瓦用粘土に対する配合割合も小さいことから問題は発生しないと考える。

表2 原料の化学成分(%)

	廃瓶ガラス粉砕物	泥岩(クチャ)	ケイ藻土含有汚泥
Na ₂ O	9.9	1.4	1.3
MgO	0.43	2.77	0.67
Al ₂ O ₃	2.7	19.6	9.6
SiO ₂	69.7	54.1	79.1
K ₂ O	1.4	4.4	1.0
CaO	14.1	6.4	1.7
TiO ₂	0.07	1.11	0.26
MnO	0.02	0.12	0.02
Fe ₂ O ₃	0.2	8.3	1.9
P ₂ O ₅	0.07	0.23	2.09
SO ₃	0.14	0.28	1.16
Cr ₂ O ₃	0.08	0.03	0.02
As ₂ O ₃	0.002	0.002	0.0005
Se	0.0001	0.0001	0.0004
Cd	0.0005	< 0.0003	0.0005
Hg	0.0002	0.0002	0.0002
PbO	0.020	0.005	0.002

廃瓶ガラス粉砕物のX線回折測定結果は、予想通りガラス質のハローのみが認められ、結晶は存在しなかった。

そのため、結晶化ガラスや陶磁器くず等の多量の混入はなく、ほぼ完全に分別されたガラスカレットであると考えられる。

図4に熱膨張率の測定結果を示す。瓦素地と廃瓶ガラス粉砕物を溶融固化したサンプルの熱膨張曲線を示す。100から400までの平均線熱膨張率は、瓦素地で 4.9×10^{-6} 、廃瓶ガラスで 8.7×10^{-6} であり、それほど大きな違いはないので、これらを配合することでの冷め割れ等は発生しないものと考えられる。廃瓶ガラスの屈伏点は、約690であった。

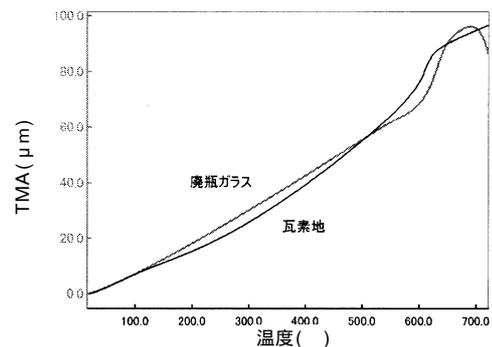


図4 熱膨張曲線

株式会社カレットワールドより購入した廃瓶ガラス粉砕物1mm以下と、これをポットミルにて微粉砕したものの、およびクチャの粒度分布を図5に示す。一番細かい粒子はクチャでメディアン径は7.5μmであった。次に廃瓶ガラスポットミル粉砕物でメディアン径28μm、廃瓶ガラス粉砕物1mm以下は粗い粒子でありメディアン径は758μmであった。

以下の実験ではこれらのクチャおよび廃瓶ガラス粉砕物を利用して配合を行った。

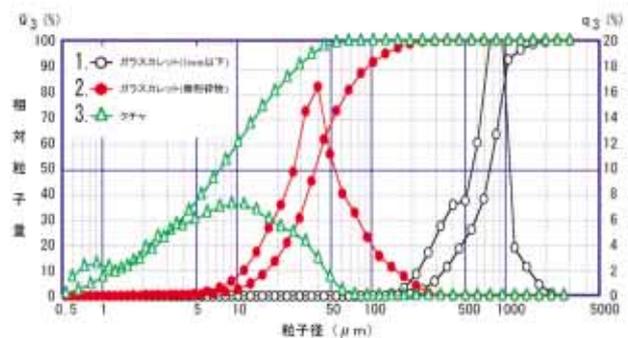


図5 粒度分布測定結果

3-2 廃瓶ガラス粉砕物の赤瓦用素地への配合

廃瓶ガラス粉砕物を赤瓦用素地に配合したサンプルの吸水率および曲げ強さの結果を図6、図7にそれぞれ示す。

吸水率に関しては、焼成温度が同じであれば廃瓶ガラ

ス粉砕物を配合した方が吸水率は低下することから、廃瓶ガラス粉砕物が焼結の進行に影響しているといえる。既存の瓦素地と同等な吸水率を得るには40℃以上低い温度での焼成でも可能であった。ガラス粒度の違いによる実験結果は、より細かい粒子である微粉砕ガラスのほうが焼結がより早く進行していると考えられる。しかしながら、保水材料としての利用であれば吸水率は高い方がよいので、焼結の進行による吸水率の低下は問題となる。そこで、強度を保ちながら更に吸水率を大きくするために、廃瓶ガラス粉砕物とケイ藻土含有汚泥の配合実験を行った。今後の実験では、吸水率の結果と原料入手の容易さから1mm以下の廃瓶ガラス粉砕物を使用した。

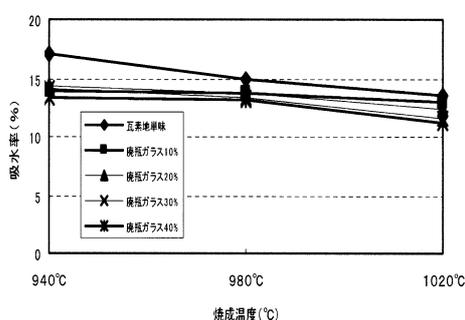


図6 廃瓶ガラス粉砕物配合による吸水率の変化 (1mm以下配合)

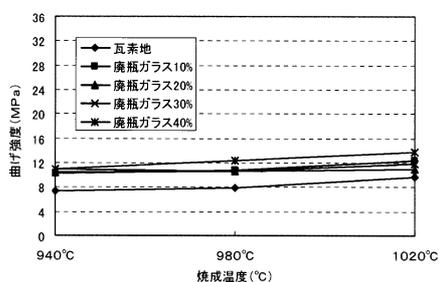


図7 廃瓶ガラス粉砕物配合による曲げ強さの変化 (1mm以下配合)

3-3 押出成形性に関する試験

ケイ藻土含有汚泥を配合した後の押出成形性、および試験体の吸水率の結果を表3に示す。廃棄物をより多く

処理しコストを下げるためには、廃棄物を多く配合することが望ましいが、それにより押出成形性が劣ることが認められた。廃瓶ガラス粉砕物も外割15%程度であれば問題がなかったが、外割25%になると押出整形時に角に充填されにくい等の問題が発生した。

吸水率は、ケイ藻土含有汚泥を配合することにより瓦用粘土素地のみの方より増えており、ケイ藻土含有汚泥を外割10%含むNo.3の試験体が大きく、外割5%のNo.1, No.2の試験体では若干の増加がみられた。No.3の配合では、吸水率20%を超え良好な結果と判断する。

曲げ強さに関しては、JASS7インターロッキングブロックに定められている基準値5MPaを、すべての配合において、大きく上回ったので、この程度の量の廃棄物を配合しても問題ないと判断した。

次に、耐摩耗性試験においては、すべてのサンプルで陶磁器質タイルの基準値を満たすことができなかった。摩耗減量は、吸水率と同様な傾向を示し、吸水率が大きいNo.3は摩耗減量も大きい傾向を示した。

以上の押出測定の結果により、配合率は押出成形性、吸水率の改善、曲げ試験の結果から、廃瓶ガラス粉砕物は外割15%、ケイ藻土含有汚泥は外割5%のNo.2が良好であると判断した。この条件であれば当初目標に掲げた特性値をほとんど満足することができた。耐摩耗性の改善は、次の試験において検討を行った。

3-4 耐摩耗性の改善

3-3の試験によって求められたNo.2配合の耐摩耗性改善を検討した。廃瓶ガラス粉砕物の粒度分布と焼成条件を変えたサンプルの耐摩耗性の結果を図8に示す。

廃瓶ガラス粉砕物の粒度分布による変化は、認められなかった。測定データにはばらつきがあったが、廃瓶ガラス粉砕物の粒の大きさには影響をほとんど受けていないと考える。これは、ガラスの粒子は硬くても、周囲を埋めている瓦素地が柔らかいので結局摩耗してしまっているものと考察する。

表3 押出成形試験まとめ

配合番号	廃瓶ガラス粉砕物	ケイ藻土含有汚泥	評価(小さい程良い)	コメント	吸水率 (%)	曲げ強さ (MPa)	摩耗減量 (g)
No.1	外割25%	外割5%	3	成形性は2より悪いが、成形可能。角の出が悪い。	16.3	13.4	0.31
No.2	外割15%	外割5%	2	成形性はやや悪いが問題なく成形可能。	14.5	12.5	0.31
No.3	外割25%	外割10%	4	押出成形性が悪いが成形可能。孔あき形状は不良も多かった。	20.6	9.9	0.39
No.4			1	良好に押出成形可能だった。孔あき形状も良好。	14.1	19.6	0.29

これに対し、焼成条件は焼成温度を上げる、還元焼成にすることにより耐摩耗性が若干改善した。陶磁器質床タイル基準では摩耗減量が0.1g以下であるので、今回行われた試験体の中で最も摩耗減量が少なかったSK04a還元焼成でも、0.3g程度あるので陶磁器質タイルの基準クリアは難しいといえる。また、摩耗減量の減少とともに吸水率も小さくなり保水性材料として好ましくない。

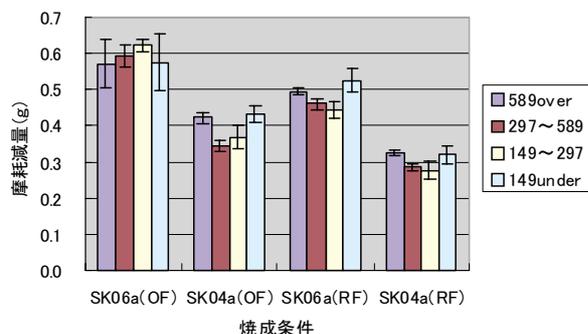


図8 廃瓶ガラス粉砕物粒度分布と焼成条件による耐摩耗性の違い

そこで、廃瓶ガラス粉砕物の配合だけでは基準達成は難しいと判断し、釉薬による耐摩耗性の向上を検討した。釉薬を施した場合の耐摩耗性の結果を図9に示す。

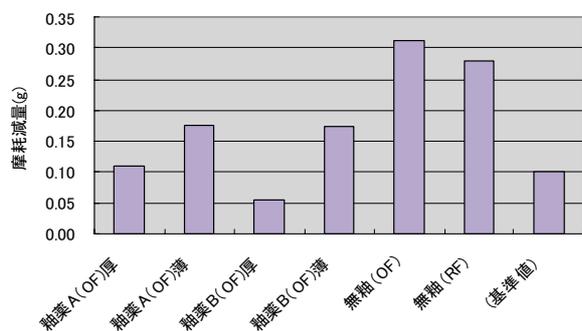


図9 釉薬の種類による耐摩耗性の違い (OF:酸化焼成、RF:還元焼成)

釉薬を施すことにより耐摩耗性の改善が可能であった。特に厚く施すことにより基準値をクリアすることが可能であった。耐摩耗性がもめられる箇所には、釉薬を施

した製品を提供することで問題解決を図ることが可能である。

3-5 試作品の作製

これまでの実験により試作品作成条件が求まったので、この条件を基に、試作を行った。試作の考案デザインを図10,図11に示す。

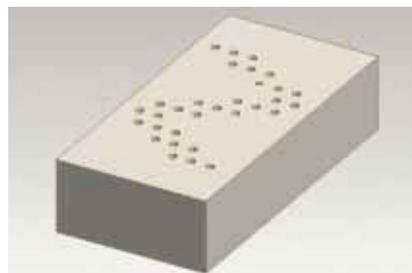


図10 レンガタイプ試作デザイン (205 x 100 x 50mm)

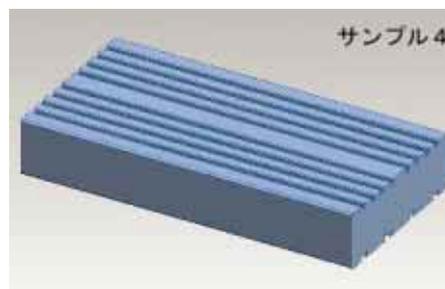


図11 平板タイプ試作デザイン 1 (150 x 300 x 50mm)

レンガタイプの試作デザインは、保水とともに透水特性を持たせるために孔を施し水が抜けるように工夫した。孔はデザイン性を考慮し、緋文様を参考に波形に配置した。また、平板タイプの試作デザインは溝を設けることにより滑り止めの効果をねらうとともに、表面積を増やすことによる吸水速度の向上を目的としている。溝は、ヒールのかかるとが落ちない幅で歩きやすさに影響しないような寸法とした。

これらのデザインの押出成形をするための金型を作製し、実際に試作を行ったサンプルの写真を図12に示す。保水性素地試作品の最終的な諸特性値を表4に示す。

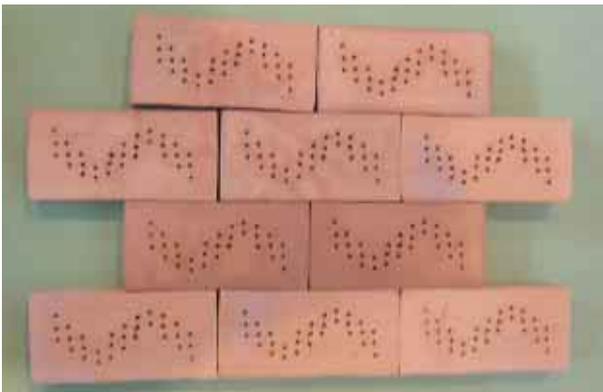
表4 保水性素地試作品特性値

項目	試験規格	基準値	サンプルの値
1 曲げ強さ	JASS 7 M-101 インターロッキングブロック	5MPa以上	5.1MPa(レンガタイプ)
2 圧縮強度	JASS 7 M-101 インターロッキングブロック	17MPa以上	43MPa(レンガタイプ)
3 滑り抵抗	ASTM E-303	BPN40以上	BPN72(レンガタイプ)
4 外観、色			赤瓦色 釉薬で多色化
5 保水性	JIS R 1250 普通れんが(吸水率)		14.5%(レンガタイプ)
6 保水量			12.0L/m ²
7 (耐摩耗性)	JIS A 5209 陶磁器質タイル	0.1g以下	0.31g(無釉) 0.19g以下(施釉)

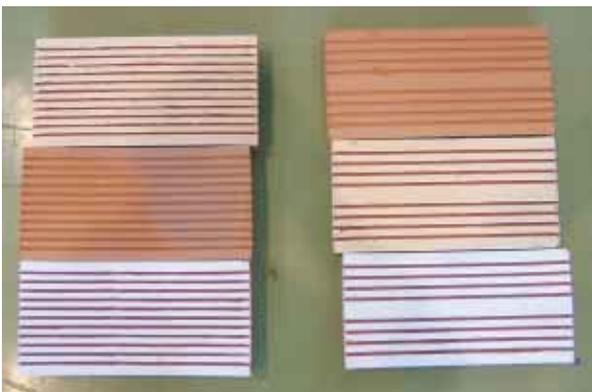
当初目標に掲げた基準値は概ね達成することができた。達成することができなかった項目として、一部の曲げ強さがある。テストピースにおいては、十分な強度を持つことが確認されていたが、実際に試作をしたものでは、押出素地中に渦状の層を作るラミネーションが認められ、このため強度低下を引き起こしていた。押出金型や押出時水分量、オーガー回転速度等を検討することで解決できるものとする。



a . レンガタイプと平板タイプ



b . レンガタイプ



c . 平板タイプ

図12 廃棄物を有効利用した保水性材料試作品

3 - 6 保水性の評価

ハロゲンランプを用いたサンプル温度の測定結果を図13,図14に示す。また、そのときの含水率の変化も併せて図15に示す。まず、サンプル表面温度の変化は、ケイ

藻土含有汚泥を配合しているNo.1, No.2, No.3では、約45度でいったん温度上昇が抑制され、その後一定時間経

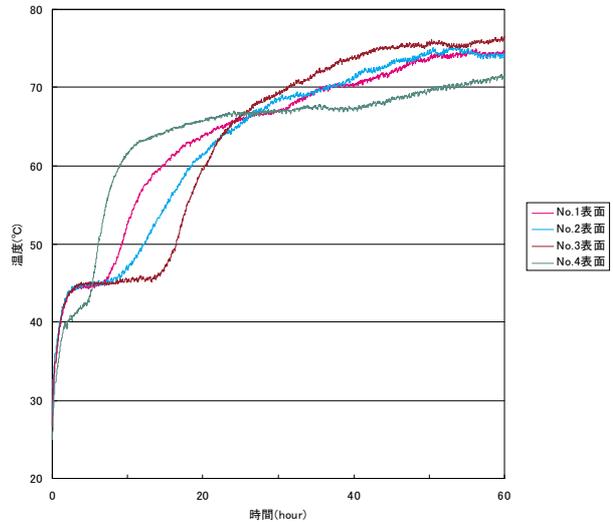


図13 サンプルの表面温度の変化

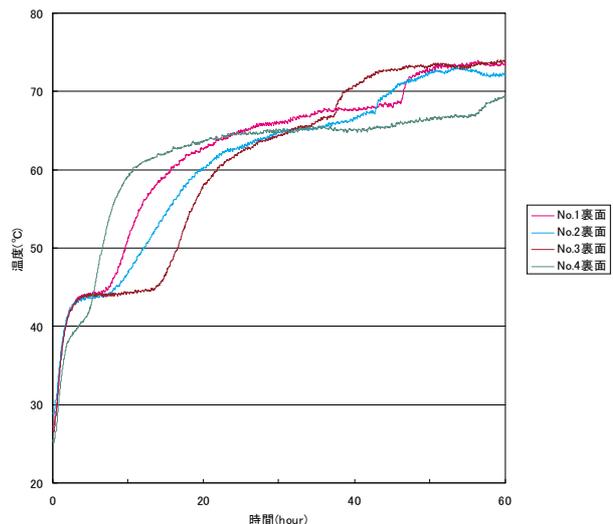


図14 サンプル裏面温度の変化

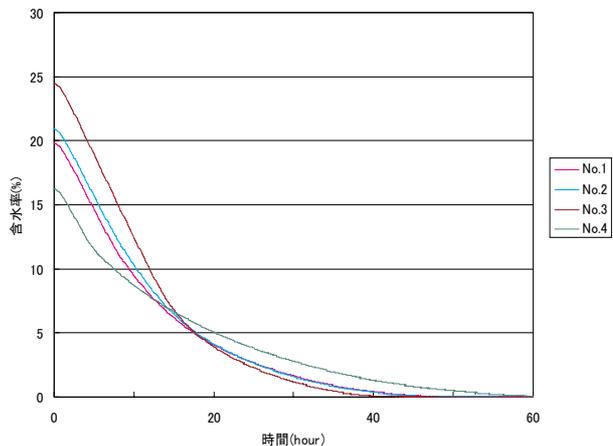


図15 サンプル含水率の変化

過後再び上昇している。約45分で温度上昇が抑制されている時間は、ケイ藻土含有汚泥配合量が一番多いNo.3が約15時間、次にNo.1, No.2が約7時間で続いている。ケイ藻土含有汚泥を全く含まないNo.4は約45分付近の温度抑制効果はほとんど認められなかった。ケイ藻土含有汚泥によると推察される温度抑制効果は、本来瓦素地が有している孔よりも水分を放出しやすい孔に由来しているものと考えられる。

また、表面温度はその後上昇を続け、No.1, No.2, No.3は約75分まで、No.4では約71分まで最終的に到達した。No.4の表面温度が低くなったのは、他の3条件と比較して白色度が高いためと考えられる。色彩色差計(ミノルタカメラ製 CR-300)を用いてハンター白色度を求めたところ、No.1, No.2, No.3はハンター白色度約43を示し、No.4はハンター白色度約46を示しわずかに白色度が高いことが確認された。これは、廃瓶ガラス粉砕物を混ぜることにより素地が暗色化しており、熱の吸収が変化したものと考えられる。

サンプル含水率の変化と裏面温度変化について考えると、含水率がほとんど0%になったときに裏面温度が跳ね上がる傾向があり、水分の存在により温度が低下していることがわかる。

以上のデータより、ケイ藻土含有汚泥を配合したNo.1, No.2, No.3では瓦素地そのものの孔とケイ藻土由来の2種類の、No.4では瓦素地そのものの1種類の孔が存在すると予測する。

これらのサンプルのpFによる水分特性曲線を図16に示す。pF3.0までは、どのサンプルもほとんど水分量が変わらなかったが、pF3.5から急激に水分量が減少した。このうち、No.3が一番急激に水分量が変化しており、No.4はpF4.2では一番大きな水分量を示している。この

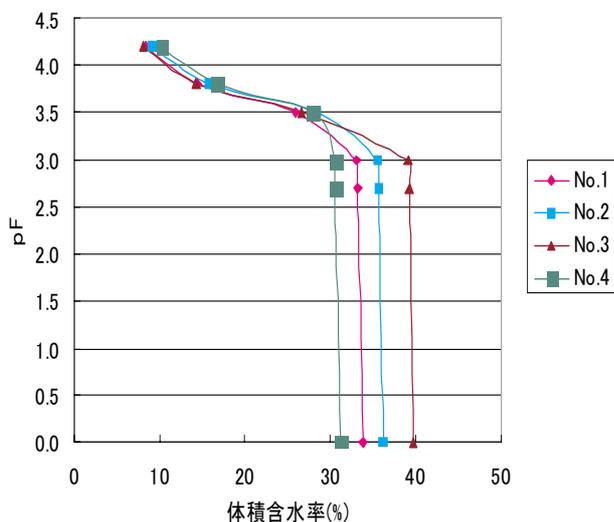


図16 保水材料の各pF値における水分量

結果より、ケイ藻土含有汚泥により保持された水分は、pF3.5より急激に放出され、瓦素地そのものが持っている孔は、より水分を保持しやすい特性を持っているものと考えられる。pF3.5からの水分量の放出は他の報告⁴⁾されている材料より高いpFまで水分を保持しており、より乾燥状態まで温度低減効果が期待できる。これらの結果は、ハロゲンランプの実験結果とも関連しており、pF4.2で一番高い水分量を持っているNo.4が、最高温度に到達する時間が一番長く、またサンプル含水率も0%になるのが遅いことよりわかる。

また、保水材料の評価としては、吸水速度も重要である。この測定結果を図17に示す。結果は、他材料と比較して今回研究開発を行ったものは総じて吸水速度が速いことが分かった。ケイ藻土含有汚泥を配合しているNo.1, No.2, No.3では、約20分で飽水状態に達しており、No.4やマレーシア産レンガと比較しても半分の時間で十分であった。これは、夏場スコールの多い沖縄には有利な特性であり、効果的な温度低減が期待できる。今回研究開発を行った素地は、吸水速度が速く、かつ比較的高いpF3.0まで水分量を保持している。これは、保水性素地としては良好な特性であると判断する。

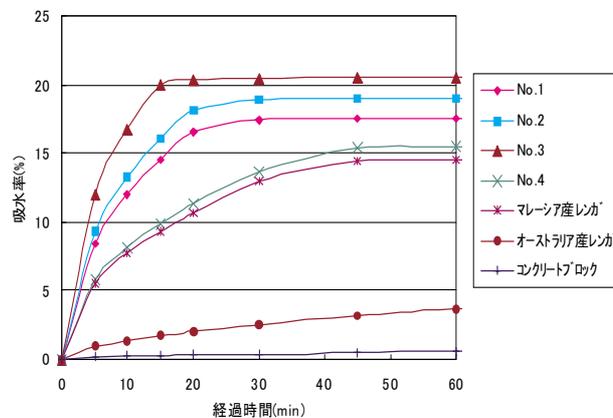


図17 吸水速度の比較

No.3, No.4の細孔分布測定結果を図18に示す。No.3のモード径は、約1 μ mであったが、この値は、一般的なケイ藻土の有している細孔(0.1~1 μ m)とも合致しており、ケイ藻土含有汚泥に由来し、これにより瓦素地そのものよりも大きな保水特性を有する材料になっているものと考えられる。No.4は、ケイ藻土含有汚泥が配合されていないため、モード径はNo.3と比較して若干小さく、細孔容積も少ない。この結果からも、ケイ藻土含有汚泥を配合した素地のほうが、保水性素地に適していると判断できる。

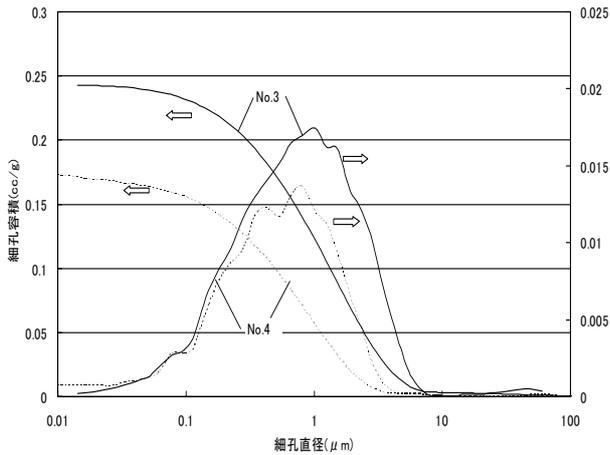


図18 No.3, No.4細孔分布測定結果

参考文献

- 1) 「廃棄物対策の概要」平成14年度,沖縄県環境保健部廃棄物対策課(2002)
- 2) JIS A 5209「陶磁器質タイル」
- 3) 屋外空間の熱環境設計,財団法人建築研究振興協会, 2000
- 4) 中尾俊章,松下福三,今西千恵子,愛知県産業技術研究所研究報告2002,87-88,2002
- 5) 福田萬大,越川喜孝,辻井豪,浅枝隆,藤野毅,土木学会論文集 No.613/V-42,225-236,1999.2
- 6) 建築工事標準仕様書・同解説 JASS7 メーソリー工事

4 まとめ

廃棄物を有効利用した保水性素地の研究開発において検討したところ以下の知見が得られた。

- 1) 廃瓶ガラス粉砕物は化学成分、熱膨張特性等から窯業的な利用には問題がなく使用可能である。
- 2) 廃瓶ガラス粉砕物を瓦素地に配合することで、焼成温度を低くすることができた。吸水率が低くなるため廃瓶ガラス粉砕物だけでなく、保水可能な原料の配合が必要である。
- 3) ビール製造工場より排出されるケイ藻土含有汚泥は素地に適切な吸水率を持たせるため、保水性素地には必要である。また、強度等の目標値を達成するためには、廃瓶ガラス粉砕物も配合する必要がある。
- 4) 瓦用粘土に対して、廃瓶ガラス粉砕物混色1mm以下 外割15%、ケイ藻土含有汚泥 外割5%、焼成温度1,020 酸化焼成の試作条件のにより、保水性材料の良好な試作品を得ることができた。
- 5) 保水性素地の温度低減効果は、一定の値認められたが、保持していた水分がなくなった時点で温度が再上昇することから、水分をいかに確保するかが重要である。吸水速度の速い材料となったので、吸放水を容易に行えるものと期待できる。

この研究は、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 今回の研究開発に当たり客員研究員を引き受けてくださり、有用な助言をいただきました琉球大学工学部福本功教授に感謝の意を表します。

また、pF値の測定をご指導頂いた沖縄県農業試験場土壌保全研究室の儀間主任研究員に感謝の意を表します。

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。