

廃棄物を利用した景観材料製造技術に関する研究

— 廃棄物を利用した透水性材料の製造に関する研究 —

与座範弘、宮城雄二、中村英二郎、花城可英、鳥袋 定

1 緒言

透水性材料は雨水を地下へ還元する機能が有り、水がたまりにくく滑りにくいなどの特長を有することから公園や歩道の舗装材料として使用されている。また、既存製品の中には原材料として廃棄瓦やタイル片のほか、下水道汚泥、廃瓶ガラスといった廃棄物を使用している例も有り¹⁾、その多くがリサイクル率が高いことから人と環境に優しい材料として注目されている。

一方、県内では廃棄物の処分場の逼迫や処理費用の増大など、企業活動や人々の生活にとって大きな問題となっている。特に、島嶼県・観光県という地域性を持つ当県にとって、環境保全とともに循環型経済社会の実現が大きな課題であるとされている。そのためには廃棄物の再生利用技術を開発し、その事業化を促進することによって環境産業等の振興を図る必要がある。

そこで、本研究では県内の瓦製造業から排出される瓦片や廃瓶ガラスの粉砕物を利用した透水性材料の試作開発を行い、廃棄瓦の粉砕物（骨材）や廃瓶ガラス粉砕物（焼成助材）と α 化デンプン（成形助材）等の配合条件のほか、成形条件や焼成条件の違いによる特性の変化を明らかにした。なお、本研究は財団法人沖縄県産業振興公社が実施する地域新産業創出総合支援事業の委託事業として行ったものである。

2 実験方法

透水性材料は一定の粒径範囲に調製された骨材に焼成助材や成形助材を配合し、成形及び焼成する方法が知ら

れている²⁾³⁾。今回の試験ではその方法を用いた。使用した原材料の前処理方法及び物性等について以下に示す。

2-1 原材料

(1) 骨材

骨材には、廃棄瓦をジョークラッシャー及びロールクラッシャーで段階的に粉砕し、フルイを用いて粒径を2mm~4mmに分級したものを使用した。廃棄瓦は、沖縄県赤瓦事業協同組合傘下の企業から入手した。その化学組成を表1に示す。また、その吸水率（平均値）は15.7%であった。

(2) 焼成助材

焼成助材には粒径を1.2mm以下に調製した廃瓶ガラス粉砕物と市販の融材（以下、融材）の混合物を使用した。廃瓶ガラス粉砕物の化学組成を表1、粒度組成を表2に示す。

(3) 成形助材

成形助材には市販の α 化デンプンと瓦用原料のクチャ（泥岩）を用いた。 α 化デンプンは水溶液（以下、デンプン溶液）として使い、クチャは0.5mm以下に分級したものを使用した。クチャの化学組成を表1、粒度組成を表2に示す。

2-2 実験条件

(1) 焼成助材の溶融試験

1,000℃付近で溶融可能な焼成助材を調製するため、表3に基づいて廃瓶ガラス粉砕物と融材を混合し、ブレ

表1 原材料の化学組成

(単位:%)

| 試料名 | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | CaO | MgO | Na ₂ O | K ₂ O | Ig. Loss |
|----------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------|------|-------------------|------------------|----------|
| 廃棄瓦 | 63.9 | 16.0 | 6.53 | 0.83 | 3.96 | 2.47 | 1.53 | 2.94 | 0.97 |
| 廃瓶ガラス粉砕物 | 68.0 | 1.8 | 0.14 | 0.03 | 10.7 | 0.48 | 18.8 | 1.02 | 1.91 |
| クチャ | 58.0 | 15.6 | 6.77 | 0.64 | 4.22 | 2.84 | 2.68 | 1.10 | 9.43 |

表2 原材料の粒度組成

(単位:%)

| 試料名 | 粒 径 (mm) | | | | | | |
|----------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| | < 0.044 | 0.063 | 0.125 | 0.250 | 0.500 | 1.000 | < |
| 廃瓶ガラス粉砕物 | 1.3 | 1.4 | 2.9 | 13.2 | 30.2 | 46.2 | 4.8 |
| クチャ | 98.0 | 0.6 | 0.5 | 0.9 | | | - |

ス成形した後に電気炉を用いて980℃、1,000℃及び1,020℃の各温度で焼成し、その熔融状態を観察した。

(2) 成形助材と保形性、乾燥強度に関する試験

デンプン溶液の添加量を検討するために成形体の保形性に関する予備試験を行った。試験では、骨材80%、焼成助材20%の配合に5%または10%デンプン溶液をそれぞれ13.5%、15.0%、17.5%添加（外割）して成形圧3.9MPaで試験体（210×100×35mm）成形し、その保形性を観察した。また、デンプン溶液濃度が高いほど乾燥強度が高くなる報告があることから¹⁾、10%デンプン溶液濃度を用いてクチャの添加量や製造条件の違いによる乾燥強度を測定した。なお、試験体は、図1に示す透水性材料の製造工程に基づいて作成した。

(3) 製造条件の違いによる強度、透水係数の変化に関する試験

表4に示す配合について成形圧3.9MPa及び5.9MPaの2条件で成形し、自然乾燥した後にL.P.G炉を用いて1,000℃、1,040℃及び1,080℃で酸化焼成し、焼成物の曲げ強度及び透水係数を測定した。焼成時間はおよそ11時間であった。以下に測定方法について示す。

- ・強度・・・精密卓上万能試験機（島津製作所製、AGS-5KNG型）を用いてスパン距離を160mm、加圧速度10N/secとして破壊加重を測定し、曲げ強度を算出した。
- ・透水係数・・・JIS A 1218「土の透水試験方法」の定水位法に準じて作成した測定装置を用いて水位及び流出量を測定し、透水係数を算出した。

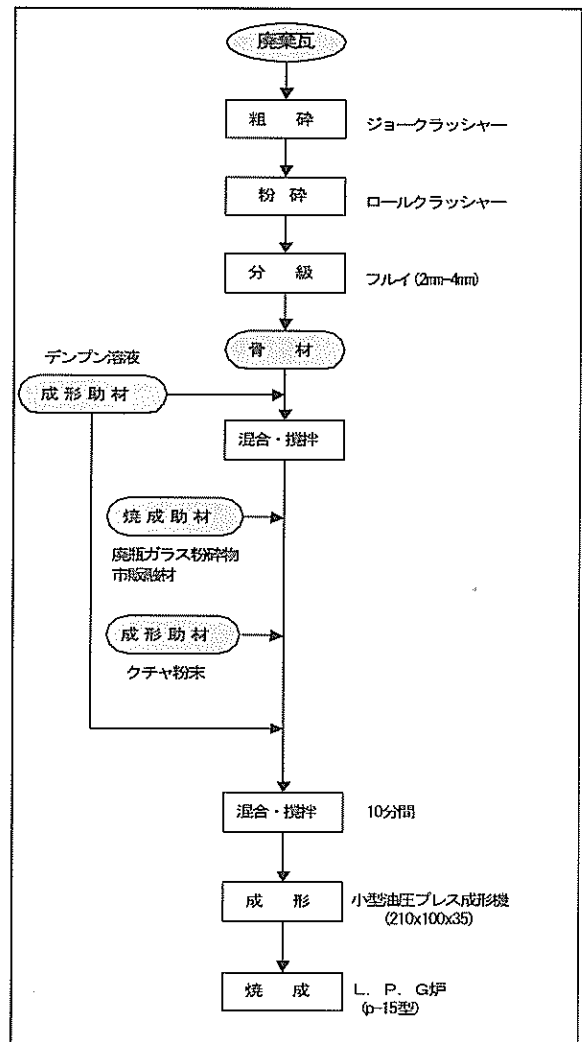


図1 透水性材料の製造工程

表3 廃瓶ガラス粉砕物と融材の配合割合 (単位: %)

| 試料名 | 配合1 | 配合2 | 配合3 | 配合4 | 配合5 |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 廃瓶ガラス粉砕物 | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 |
| 市販融材 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |

表4 配合表

| 配合名 | 骨材 (%) | 焼成助材 (%) | 成形助材 (外割%) | |
|-----|--------|----------|------------|-----|
| | | | 10%デンプン溶液 | クチャ |
| A | 90 | 10 | 15 | 5 |
| B | 80 | 20 | 15 | 5 |
| C | 70 | 30 | 15 | 5 |

3 実験結果及び考察

3-1 焼成助材の熔融試験

骨材の原料である廃棄瓦は原料にクチャを使用しているために焼成温度は1,000℃～1,100℃であることが必要とされる。また、強度の発現には焼成助材が充分熔融す

ることが要求される。そこで、廃瓶ガラス粉砕物と融材の配合割合を変えて、その熔融状態を定性的に観察した。その結果を表5に示す。

試験結果から1,000℃付近で熔融可能な焼成助材とするためには、廃瓶ガラス粉砕物に対して融材は30%以上

配合（内割）する必要があることがわかった。以下の試験では、焼成助材として廃瓶ガラス粉砕物（70%）：融材（30%）の配合を用いた。

3-2 成形助材と保形性

5%または10%デンプン溶液を添加し、成形体の保形性について観察した。その結果、いずれの濃度についてもデンプン溶液を13.5%添加した成形体は、成形直後に持ち上げると亀裂が生じるほど強度が低く、17.5%添加した成形体は持ち上げると変形し運搬が困難であることが確認できた。また、15%添加では亀裂や変形は確認されず、手による移送も可能であった。このことからデンプン溶液の添加量は濃度に関係なく、15%程度が適当であることがわかった。このことは骨材の吸水性と関連していることが考えられ、十分な保形性を得るためのデンプン溶液添加量は、使用した骨材（廃棄瓦）の吸水率に近い値が適当と思われる。

3-3 クチャ添加量や製造条件の違いによる乾燥強度の変化

図2及び図3にクチャ添加量や製造条件の違いによる乾燥強度の変化を示す。

クチャ添加量2%における乾燥強度の変化を見ると、一部を除けば成形圧や配合割合の違いによる大きな変化は認められない。クチャ添加量5%の場合では、成形圧が3.9MPaの場合に骨材の配合割合が減ると乾燥強度が増える傾向が認められる。

また、クチャ添加量の違いによる乾燥強度に大きな変化は認められないが、いずれの場合でも0.13MPa~0.30MPaの範囲の値を示している。これらの値は一般的な瓦や陶磁器に比較して低いことから、成形体の移動には注意が必要と思われる。

3-4 製造条件の違いによる曲げ強度の変化

表4に示す配合について成形圧及び焼成温度の違いによる曲げ強度を測定した。その結果を図4及び図5に示す。

成形圧が3.9MPaの場合、曲げ強度は焼成助材の配合割合が多くなるほど、また、焼成温度が高くなるほど増加する傾向があり、成形圧が5.9MPaの場合においても同様な傾向が認められる。また、成形圧の違いによる変化が小さいことから、曲げ強度には焼成温度と骨材と焼成助材の配合割合が大きく影響していることが言える。

透水性材料の一つに透水性インターロッキングブロックがあるが、その品質規格における曲げ強度は3.0MPa以上とされている⁴⁾。図4及び図5から配合B（骨材80

表5 焼成助材の温度の違いによる熔融状態の変化

| 焼成温度 (°C) | 配合割合(廃瓶ガラス粉砕物:融材) | | | | |
|--------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 90:10 | 80:20 | 70:30 | 60:40 | 50:50 |
| 980 | × | × | △ | ○ | ○ |
| 1,000 | × | △ | ○ | ○ | ○ |
| 1,020 | × | △ | ○ | ○ | ○ |

(凡例) ○:熔融 △:半溶 ×:不溶

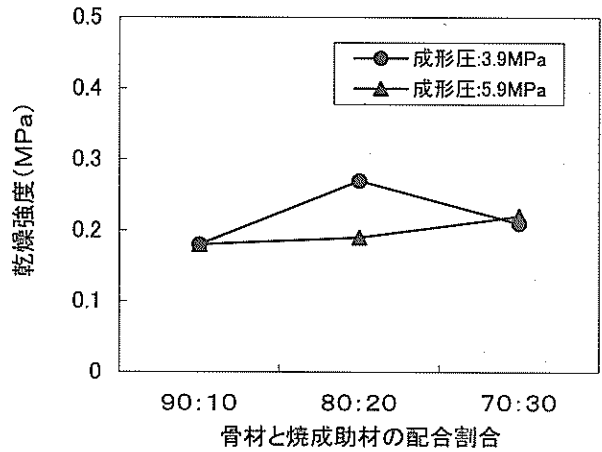


図2 クチャ添加量2%とした時の乾燥強度の変化

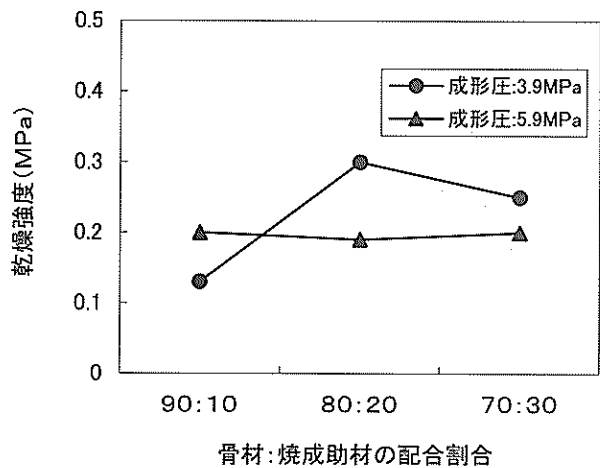


図3 クチャ添加量5%とした時の乾燥強度の変化

%：焼成助材20%)を1,040℃~1,080℃で焼成した場合に3.24MPa~4.86MPa、また、配合C（骨材70%：焼成助材30%）を1,000℃~1,080℃で焼成した場合に4.06MPa~5.79MPaと規格以上の曲げ強度が得られることがわかった。

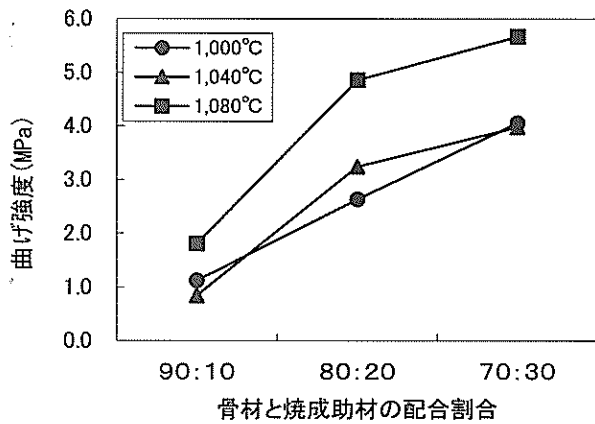


図4 成形圧3.9 MPaとした時の曲げ強度の変化

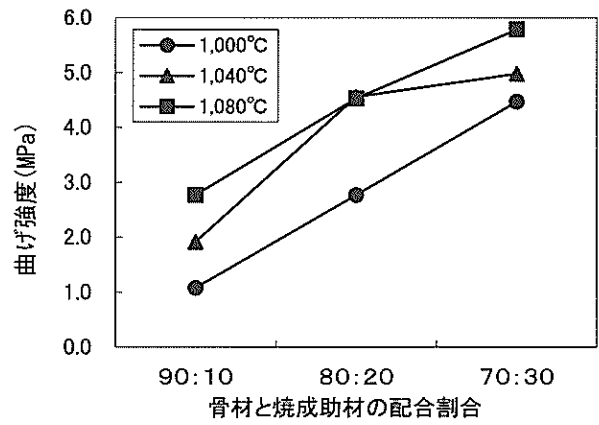


図5 成形圧5.9 MPaとした時の曲げ強度の変化

3-5 製造条件の違いによる透水係数の変化

表4に示す配合について成形圧及び焼成温度の違いによる透水係数を測定した。その結果を図6及び図7に示す。

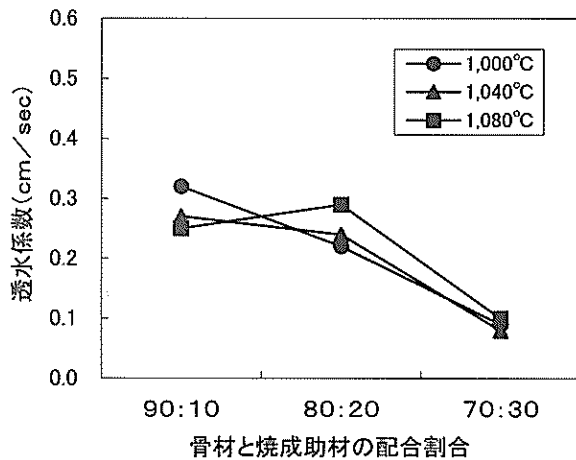


図6 成形圧3.9 MPaとした時の透水係数の変化

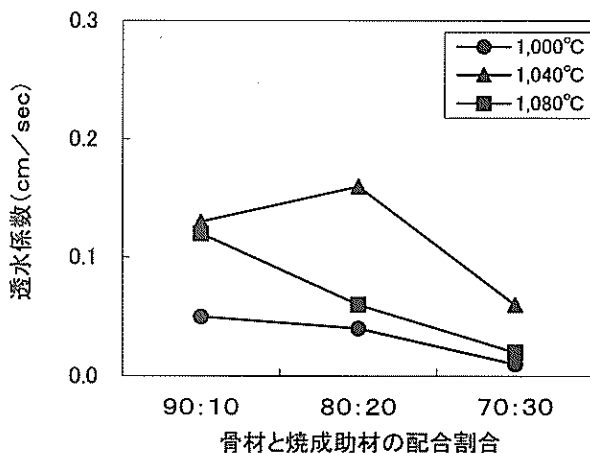


図7 成形圧5.9 MPaとした時の透水係数の変化

成形圧が3.9MPaの場合、透水係数は骨材の配合割合が増えるほど大きくなる傾向があるが、焼成温度の違いによる大きな変化は認められない。また、成形圧が5.9MPaの場合も骨材の配合割合が増えると透水係数は大きくなるが、焼成温度が高くなると透水係数が小さくなる傾向が認められる。また、同一の配合条件や焼成条件で有れば、成形圧が3.9MPaの方が大きな値が得られた。このことから、骨材の配合割合及び成形圧が透水係数に大きな影響を与えていることが言える。また、ほとんどの条件において透水性インターロッキングブロックの規格(0.01cm/sec)⁴⁾以上の透水係数が得られた。

3-6 試験体の外観

図8に1,040°Cで焼成した試験体の外観を示す。焼成呈色は、骨材の配合割合が多い方は赤茶色、廃瓶ガラスの配合割合が増えると灰色味を帯びてくる傾向がある。

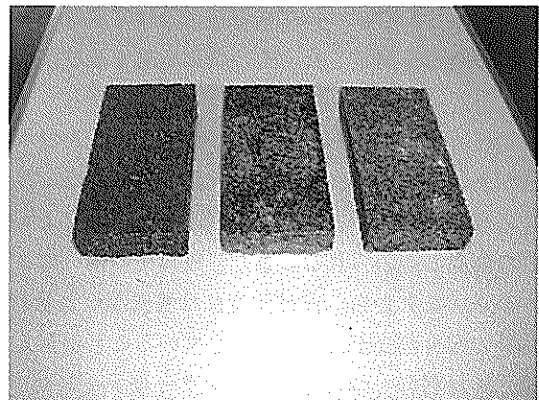


図8 試験体(1,040°C焼成)の外観

4 まとめ

廃棄瓦及び廃瓶ガラスを活用した透水性材料の製造技術について検討したところ、以下の知見が得られた。

- (1) 1,000℃付近で溶融可能な焼成助材にするために廃瓶ガラス粉砕物(70%)に市販融材を30%(内割)以上配合する必要がある。
- (2) 成形助材に用いるデンプン溶液の添加量は、15%程度が適当である。
- (3) 成形体の乾燥強度はクチャ添加量や成形圧及び配合割合の違いによる大きな変化は認められず、一般的瓦や陶磁器に比較して低い値を示すことから、成形体の移動には注意が必要とされる。
- (4) 曲げ強度には焼成助材の配合割合や焼成温度が大きく影響しており、焼成温度が高くなるほど、また、焼成助材の配合割合が増えるほど増加する傾向がある。骨材(80%)：焼成助材(20%)の配合では1,040℃～1,080℃の焼成温度で、骨材(70%)：焼成助材(30%)の配合では1,000℃～1,080℃の焼成においてそれぞれ透水性インターロッキングブロックの規格(3.0MPa)以上の曲げ強度が得られた。
- (5) 透水係数は骨材の配合割合が増えるほど大きくなる傾向があり、同一の配合条件や焼成条件であれば成形圧は3.9MPaの方が大きな値が得られた。また、どの条件においても透水性インターロッキングブロックの規格(0.01cm/sec)以上の透水係数が得られた。

今回、透水性材料の製造技術についての知見が得られたが、市場調査において事業化へ向けての課題も関連機関等からいくつか提起されており、今後の検討課題としたい。

参考文献

- 1) 無機系廃棄物のリサイクル技術の開発 平成10年度地域産官学共同研究事業成果普及講習会テキスト pp.93-99 (1999)
- 2) 宮代雅夫、川口雄司、横井川正美 未利用原料を利用したプレス成形法による陶磁器製品の開発に関する研究 滋賀県立窯業試験場昭和59年度業務報告 pp.19-38 (1984)
- 3) 山崎忠之、日高定憲 舗道用透水性素材の焼成結合材の調製と応用 宮崎県工業試験場報告 pp.25-32 (1992)
- 4) インターロッキングブロック舗装技術協会 インターロッキングブロック舗装設計舗装要領 (1994)

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。