

造粒廃ガラス粉末からの軽量材の製造

*¹ 神奈川県産業技術センター, *² 岸本国際技術研究所

富田 正一*¹, 小野 素子*²

Production of light material with granulated waste glass powder

Masakazu Tomita *¹, Motoko Ono*²

*¹Kanagawa Industrial Technology Center *²Kishimoto International Technology Institute

1 はじめに

ガラスびんの製造量は、ペットボトル、缶などの使用量の増加とともに年々減少傾向にある。2003年度のガラスびん全製品量182万tのうち21万tはリターナブルびんとして完全再使用されている。同じく80万tはカレット（ガラス破片）にされて、新しいガラスびんの原料として、あるいは他用途利用製品としてリサイクルされている¹⁾。しかし未回収の42万tは、野にうち捨てられたり、最終処分場で埋め立てられたりしている。この削減が、現在の社会的課題となっている。

他用途利用の形態としてはカレット、発泡体、グラスウール、人工大理石などがある。カレットをアスファルト骨材として利用すれば、夜間車の光が当たるときらきら反射して視認性が高まり、交通安全上好ましい。すでに全国各地の道路に試用²⁾されている。コンクリート骨材にカレットを用いた場合、強度的にはほとん

ど遜色がないが、長期的視点からはガラスとセメントのアルカリ骨材反応を考慮しなければならない³⁾。またカレットを樹脂で固めたり⁵⁾、粘土と混ぜて焼成し、ブロックやタイルとして利用したりすること⁶⁾も試みられている。発泡体は、廃ガラスを粉碎し、粉末にしてから発泡剤を添加、焼成したものである。軽石のように軽くて、かさばる性質から埋めもどし材、路床材として利用されている⁷⁾。またその保水性、通気性に着目すれば、土に混ぜて植物の土壌改良材としての利用も有望である⁹⁾。粒状発泡体をセメントで板状に固めて、鉄道沿線の遮音壁としても試用されている¹⁰⁾。グラスウール、人工大理石は、すでに商品として市場に出回っている。以上のように廃ガラスを再利用する技術はさまざまに開発されている。ただこれらの技術が社会で広く受け入れられるためには、単に経済原理に任せるだけでなく、行政的後押しが不可欠と思われる。

筆者らは、発泡体としての活用を目指して、過去数年発泡体の製造技術の開発に取り組んだ。当初大きな板状に発泡させて、破碎粒を作る技術を開発したが¹¹⁾、そうして得られる製品

* 〒243 0435 海老名市下今泉 705 1

TEL 046 236 1500

FAX 046 236 1525

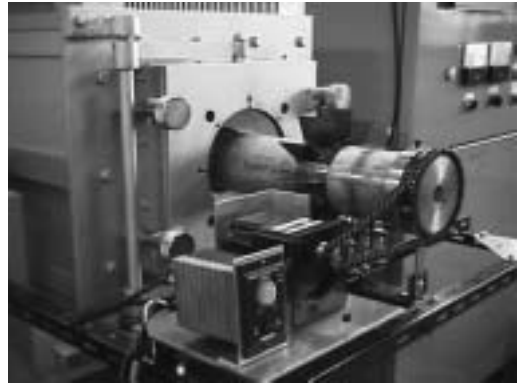
Email: tomita@kanagawa - iri.go.jp

は、埋めもどし材、コンクリート骨材、土壌改良材など、安価な土木資材にしかなり得ない。また板状焼成品を破碎する際、派生する微粉は作業環境を悪化させ、材料歩留まりが低下する問題も伴う。そこで廃ガラス粉末を造粒し、粒のまま連続焼成する製法を試みた。こうすれば先の問題は避けられるし、粒状発泡体を集めて、板やブロック、円筒のような部材に成形できれば、また新たな用途や付加価値が期待できるだろう。

2 連続焼成ならびに固化成形法

図1に廃ガラス粉の造粒、焼成、固化成形の工程を示す。原料の廃ガラス粉末には、平均粒径 $8.3\mu\text{m}$ の微粉末を用いた。廃ガラス粉末に発泡剤として SiC 0.5 mass%、結合剤としてベントナイト 5.0 mass% を添加、混合し、ボウルにあける。次に水を霧吹きしながらボウルを強くゆする。この作業を何度も繰り返すうちに粉がある程度の湿り気を帯びると、粉全体から急に粒が生成する（筆者らはたらい造粒と呼ん

でいる）。こうして得られた大きささまざまな造粒体は、 4.75mm 目のふるいに通した。ふるいを通らなかったものは、手で砕いて細かく造粒し直して、すべてをふるいに通した。焼成時に粒どうしがくっつくのを防ぐために造粒体には石炭灰をまぶした。



炉芯管 SUS 304 溶接管
 外径 101 mm 長さ 1300 mm 厚さ 2 mm
 加熱域 軸方向長さ 400 mm
 (シリコニット炉による外熱式)
 炉芯管傾斜角 自在 回転数 1.3~29 rpm

図2 回転焼成炉

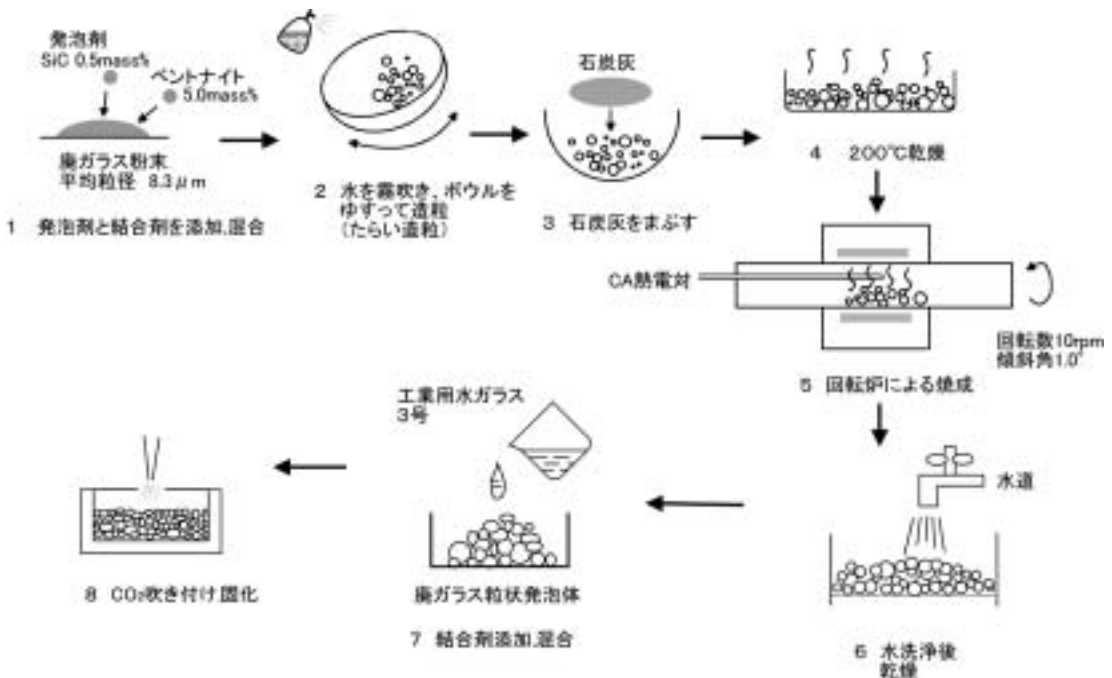


図1 回転焼成炉による焼成とその後の固化成形工程

200 で十分に乾燥した後、図 2 のような手製の回転焼成炉を用いて連続的に焼成した。これは、シリコニット箱型炉に SUS 304 ステンレス鋼管を貫通させて、モータで回転駆動できるようにしたものである。炉心管軸を水平よりごくわずかに傾けることにより、炉心管入り口端より投入された廃ガラス造粒体は、転がりながら徐々に出口端へと移動していく。炉中央部で加熱され、発泡した後、次第に冷却されながら出口端へと導かれる。焼成温度は、回転炉出口側から中央部に挿入した CA 熱電対により測定した。粒状発泡体は、水洗いして表面に付着していた石炭灰をざっと取り除いた後、十分乾燥した。これらを目の粗いナイロンストッキングの袋に詰めて水没させる方法により平均密度を求めた。図 3 のように水を入れたビーカと電子天秤を用いて、一つまみの発泡体の平均密度と平均吸水率は次式により求めることができる。

$$\rho_1 = W_1 \rho_w / (M_{ea} + W_1 + W_2^w) \quad (1)$$

$$Q = ((W_3 - W_1) / W_1) \times 100 \quad (2)$$

ρ_1 : 発泡体一つまみの平均密度 Mg/m^3

W_1 : 発泡体一つまみの重量 g

W_2 : ナイロンストッキング袋の重量 g

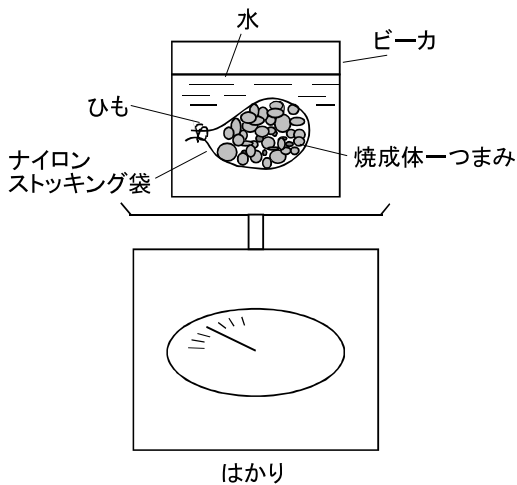


図 3 焼成体密度の測定方法

W_2^w : ナイロンストッキング袋の水中重量 g

ρ_w : 水の密度 Mg/m^3

M_{ea} : はかりの読み g

a) 試料が水に浮く場合は試料を完全に水没させたときの沈め力 (正值)

b) 試料が水に沈む場合は試料の水中重量 (負値)

Q : 発泡体一つまみの平均吸水率 %

W_3 : 発泡体一つまみの飽水重量 g

ここで M_{ea} は次のように求められる。a) の場合、試料を水に入れる前のはかりの指示値をゼロにしておく。次に試料を水に入れ、細い棒で上から押し込んで、完全に水没させる。このときの読みが沈め力 M_{ea} である。b) の場合、試料をビーカ底に沈めた状態で指示値をゼロにする。そして試料を水中に宙づりにしたとき、その指示値が M_{ea} (負値) である。飽水重量とは、発泡体を丸 1 日水中に浸漬し、引き上げて表面の水を布でざっとぬぐい取った直後の重量である。これら粒状発泡体と水ガラス (工業用 3 号) を混ぜ合わせ、図 4 のように四角い金型に充填した。そして上下をふさいで、一方の側面から CO_2 を導入して、対向する側面から排出した。型の側面部にあけた CO_2 通気孔

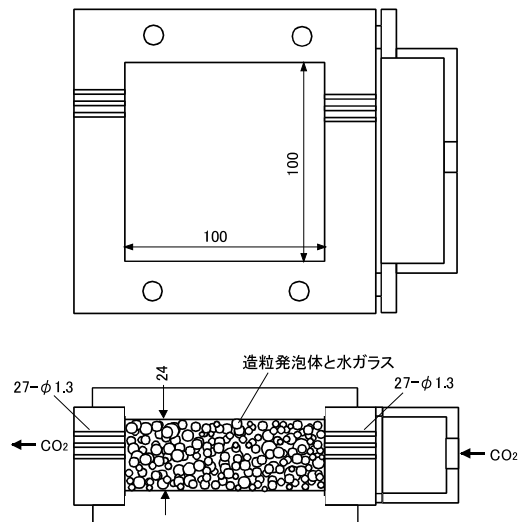


図 4 廃ガラス造粒発泡体固化成形型

は、φ1.7×27本である。このように通気孔を小径、多数とすることにより試料の隅々までCO₂が行きわたるようにした。ゾル状の水ガラスが重力のために下側に垂れ落ちることを考慮して、5 min 毎に型を上下に反転した。通気時間は30 min である。型から取り出した板状成形体については熱伝導率と大まかな密度を求めた。

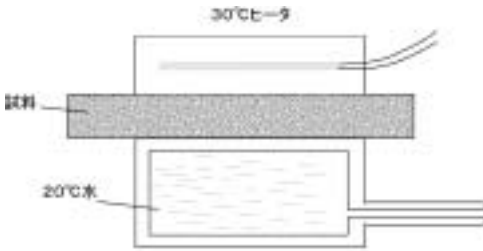


図5 熱伝導率測定方法

熱伝導率測定にはカトーテック（株）製精密迅速熱物性測定装置 サーモラボⅡ型 KES F 7 を用いた。図5のように試料を約20 の水槽上面に置き、その上から約30 のヒータをかぶせる。熱が試料上面から下面へ定期的な流れるとき熱損失速度を測ることによって、熱伝導率 K は

$$K = WD / (A \Delta T) \quad (W / (mK)) \quad (3)$$

と求められる。ここで

W：熱損失速度 W

A：水槽およびヒータと試料の接触面積 m²

D：試料厚さ m

ΔT：試料上面と下面の温度差 K

成形体密度 ρ_f は、成形体重量 W_f と外形寸法から求めた成形体体積 V_f の商として算出した。すなわち

$$\rho_f = W_f / V_f \quad (Mg / m^3) \quad (4)$$

$$V_f = (成形体厚さ) \times (成形体辺長さ)^2 \quad (5)$$

3 連続焼成ならびに固化成形実験結果

図6は、焼成、水洗い後の発泡体である。906 焼成体と931、957 焼成体の間には外

観上の違いがある。前者は、発泡が少ないせいで表面がなめらかであり、後者は、強い発泡のために表面の凹凸が大きい。957 焼成の際造粒体を続けざまに炉内に投入すると、炉心管内部で滞留が起こり、発泡体どうしがくっつき始める。これを避けるには造粒体は、少量ずつ間を置いて投入するのがよい。

図7に造粒発泡体の密度ならびに吸水率を示す。造粒発泡体の密度は、906 から931にかけては減少したが、931 以上では飽和した。焼成温度を高めるにつれて密度が低下するのが自然と思われるが、今回そうならなかった原因は不明である。造粒体の移動速度が炉心管内で一様でないことが起因しているかもしれない。特に発泡体どうしのくっつきが起こると、移動速度の低下さらには滞留を生じて、正常な粒より長い時間加熱されることになる。一方吸水率は焼成温度とともに増加した。よく発泡す



図6 造粒発泡体

れば表面に気泡が浮き出て粒子表面の凹凸が強まり、その結果吸水率が増加する。

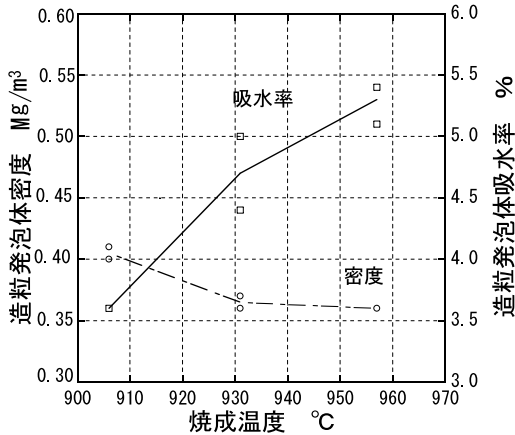


図7 造粒発泡体密度, 吸水率

図8は、発泡体を水ガラスとCO₂により固化成形して得られた板状成形体である。その表面は部分的に白く、糠をふいている感じである。触ると粉が落ちる。成形体はよく固まってはいるものの、発泡体粒子間のつながりが弱い稜、隅角部では軽くものに触れるだけでも崩れやすい。このようにゲル化した水ガラスの結合強度は低い。CO₂によるゲル化反応時間が約30 min と短い反面、保形性に難がある。

図9のように固化成形した板状成形体の熱伝導率は0.5 W/(mK)前後で、焼成温度の影響

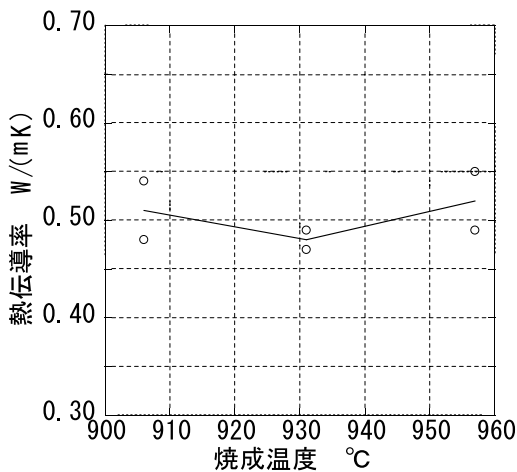


図9 固化成形体の熱伝導率

響は見られなかった。理科年表¹²⁾から0.5 W/(mK)の値は材木より低く、グラスウール、フェルト、毛布より少し高め、木炭並みであることがわかった。図10の固化成形体密度と熱伝導率の間には明らかな相関性がある。すなわち

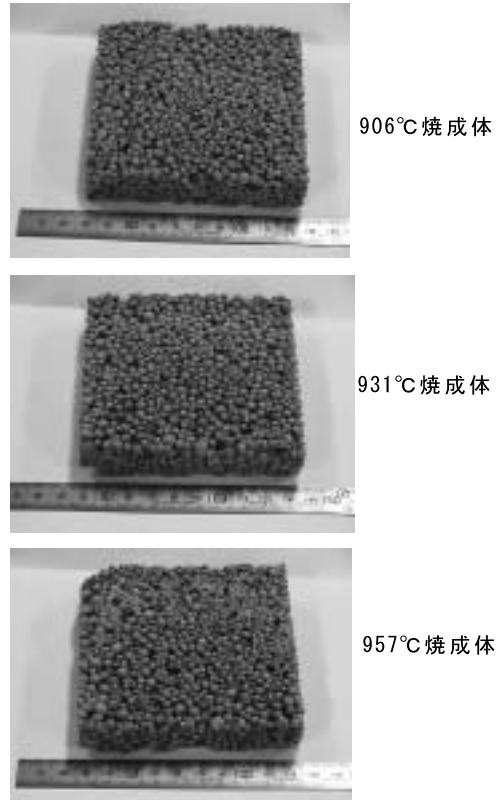


図8 統合剤に水ガラスを用いた固化成形体

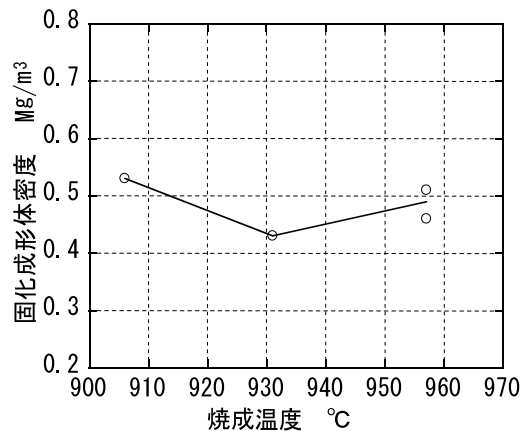


図10 焼成温度と固化成形体密度

固化成形体の熱伝導率を低くするには、粒状発泡体密度を低くし、かつ加える水ガラス量を少なくしなければならない。

4 まとめ

廃ガラス粉末をボウルで細かく造粒し、回転炉により連続的に焼成、発泡させた。こうして得られた廃ガラス造粒発泡体に水ガラスを加え、混ぜ合わせて、金型の中でCO₂を通気して板状に固化成形した。固化成形体は次のような性質を示した。

- 1) 水ガラスにより廃ガラス発泡体を固化できるが、その結合強度は低い。固化した水ガラスの表面から粉が落ちる。
 - 2) 廃ガラス固化成形体の熱伝導率は約0.5 W/(mK)と、木炭なみであった。
 - 3) 廃ガラス固化成形体の熱伝導率と密度は相関関係にある。
- 以上のように結合剤に水ガラスを用いた場

合、その発泡廃ガラス固化成形体には強度不足、取り扱いの悪さという欠点が目立った。実用し得る発泡廃ガラス固化成形体を作製するためには、結合強度が十分高くかつ安価な結合剤を他に見つける必要がある。

文献)

- 1) ガラスびんリサイクル促進協議会ホームページ
ガラスびんリサイクルデータ集 ガラスびんのマテリアル・フロー図(平成15年度実績)
- 2) 内山ほか;第22回日本道路会議論文集 640(1997)
- 3) 稲田ほか;土木学会年次学術講演会講演概要集第7部 522(1999年9月)
- 4) 林田;生コン技術大会研究発表論文集 49(1999)
- 5) 室井;Better Living ,165 59(1999)
- 6) 秋田ほか;月刊エコインダストリー ,3 7 36(1998)
- 7) (財)土木研究センター;土木系材料技術・技術審査証明報告書「スーパーソル」(1999)
- 8) 鬼塚ほか;土と基礎 47 4(495),19(1999)
- 9) 原ほか;土と基礎 47 10(501),35(1999)
- 10) 国枝;土木技術 55 2 93(2000)
- 11) 産総研ニュース 6 6 ,2(2001)
- 12) 東京天文台;理科年表 475(1984)