

# ゼロエミッション型砕石処理技術の開発（2）

木村 邦夫

(元)産業技術総合研究所, 841-0081 佐賀県鳥栖市萱方町 218-34

## 1. はじめに

土木・建築用砕石は、採掘・破碎・ふるい分けの工程で生産されている。粒径 5mm 以上のものが砕石として出荷されるが、それ以下のものは「石粉」として出荷している事業所もあるが、砕石出荷量に比べ少なく、余剰な石粉は採掘現場に埋め戻すか、堆積させたままであり、環境問題となっている。

そこで、この余剰な石粉を原料にした低コスト、且つ高品質の人工砕石・人工軽石の開発を行い、ゼロエミッション型砕石処理技術を開発することを目指し、産業技術総合研究所の地域中小企業支援型研究開発制度の下、平成 17 年度に(株)大坪砕石と共同研究を行った。前々号では、余剰な石粉を原料にした人工砕石について紹介した。

一方、各地で廃ガラスを利用した軽量発泡資材が生産されている。その用途として、水質浄化資材、汚水浄化資材、家畜糞尿浄化資材等の浄化資材、ビル屋上緑化用混合資材、軽量水はけ園芸資材、軽量植栽資材等の緑化資材、土壌改良資材、軽量資材、水はけ資材等の農業資材等々が製品パンフレットに記載されている。

この軽量発泡資材は、廃ガラスを微粉碎し、発泡剤として炭化ケイ素粉末を添加し、均一混合の後、加熱発泡させる工程で得られる。しかし、発泡剤が高価である、灰白色である(カラーバリエーションがない)、通気性がない(独立気泡である)等の問題(改良すべき)点を有している。

そこで、高価な発泡剤を用いない低コスト、且つ通気性を有する人工軽石の製造方法を検討した。本号では、検討結果について紹介する。

なお、ここで用いた試料は、前号で示した立花石粉の 1.2mm 以下の微粉である。鉱物組成、化学組成等の物性については、前号に記載している。

## 2 実験結果

予備実験として、ガラス微粉と砕石微粉の混合比を 9:1 ~ 6:4 と変化させて、乾式混合後、ニッケル坩堝に入れ、940 °C 1h 保持(昇温速度: 10 °C/min)した。その結果、9:1 と 8:2 で溶融発泡が確認された。

次に、バインダーとしてベントナイト(カサネン工業(株)島根工場)を 5wt% 添加し、乾式混合、水添加(外割 15wt%)混合、直径 20mm、高さ約 20mm に成形後、乾燥した試料の熱処理を行った。

熱処理条件は、設定温度: 860、900、940 °C、保持時間: 1h、昇温速度: 10 °C/min とした。砕石微粉量と密度との関係を図 1 に示す。なお、原料の密度は、ガラス微粉: 2.534g/cm<sup>3</sup>、砕石微粉: 3.023g/cm<sup>3</sup>、ベントナイト: 2.235g/cm<sup>3</sup> である。

図によると、砕石微粉が 25wt% 以下で、混合物の密度より小さく、溶融・発泡していることがわかる。

そこで、成型法にパン型造粒機を用いた転動造粒法を適用し、ガラス微粉、砕石微粉、ベントナイト(5wt%に固定)系の造粒試料(平均粒径約 10

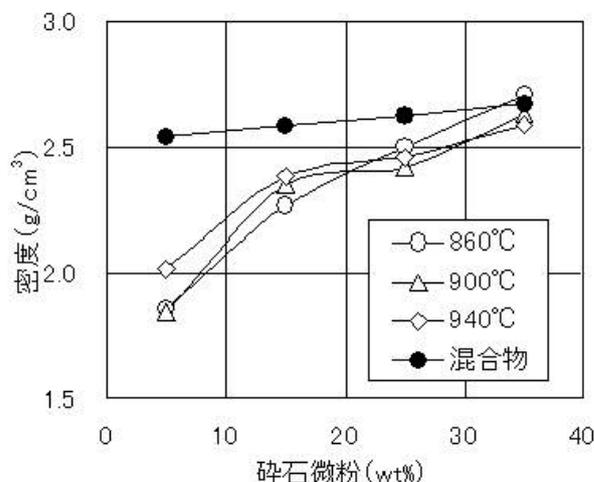


図 1 砕石微粉量と密度との関係

mm)を作成した。なお、パンのサイズは、内径 240mm, 高さ 70mm である。運転条件は回転数 40rpm, 角度 60°とした。

乾燥後, 図 2 に示す回転管状炉を用いて焼成し, 各種物性を測定した。温度制御は, 回転管外側に設置した熱電対を介して行った。設定温度は 900℃とした。炉内滞留時間は, 下式で算出できる(化学工学協会編, 化学工学便覧, p565(1958))。

$$T=0.19 \times L/N/Sd/D$$

ここで, T は滞留時間(min), L は回転管長(m), N は回転数(rpm), Sd は回転管の傾き(-), D は回転管の内径(m)である。使用した装置の各値は, L=0.800, Sd=0.060(3° 20'), D=0.042 である。

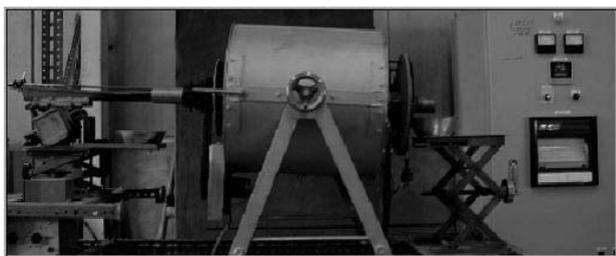


図 2 実験に用いた回転管状炉

予備実験として, 熱処理時間を変化させて焼成した。その結果, 20min 程度の滞留時間が適していると判断した。そこで滞留時間を 20min とし, 上記により回転数を算出し, 3.01rpm を得た。以降, この回転数に制御した。焼成時には, 焼成物の炉壁への融着, あるいは粒子間の融着を防止する目的で, 碎石微粉を同時に供給した。

炉内温度分布(試料の温度履歴)を図 3 に示す。試料の最高到達温度は炉内壁に接触させた熱電対で常時測定した。若干の変動があったが, 概ね 880~890℃であった。

図 4 に碎石微粉割合と吸水率, 圧壊強度, 密度, pH, 表乾比重との関係を示す。

なお, 強度は圧壊強度値である。圧壊強度は, 球状の粒を上下から加圧し, 破壊時の荷重を球の投影面積で除した値とした。pH は, 強度試験後の破碎試料 10g を 60℃, 100ml の蒸留水に 1 日

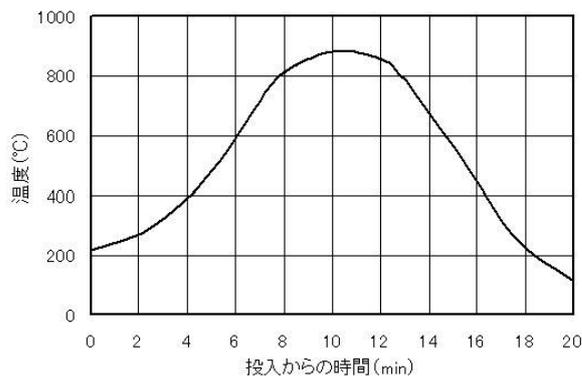


図 3 炉内温度分布(試料の温度履歴)

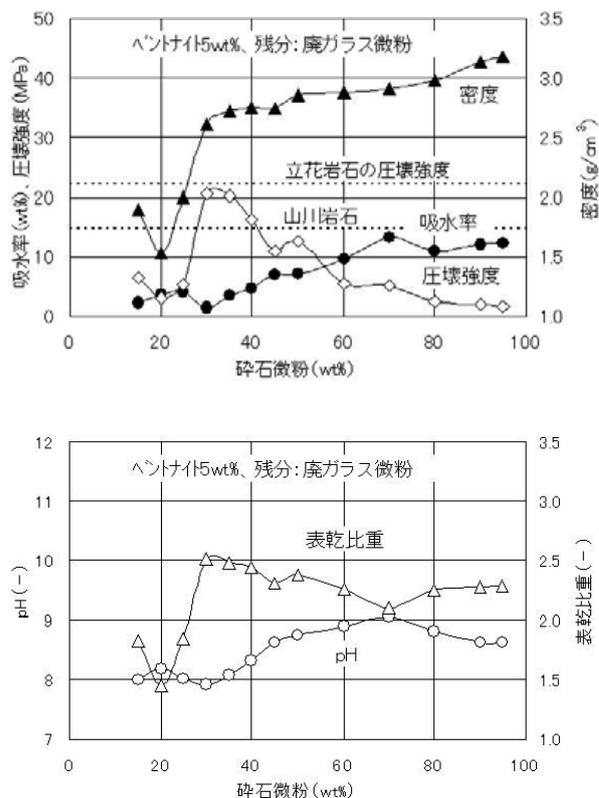


図 4 碎石微粉割合と吸水率, 圧壊強度, 密度, pH, 表乾比重との関係

保持後の溶液の値である。

図によると, 碎石微粉 30~35wt%の圧壊強度は, 立花岩石とほぼ同じ値を示し, 高強度の焼成体が得られた。

一方, 碎石微粉 20wt%で密度が 1.5g/cm<sup>3</sup> と最も小さく, 軽量体(人工軽石)が得られた。表乾比重は, 圧壊強度と同じようなパターンを示し, 碎石微粉 50wt%以上では焼結が不十分であることを示し, pH 値も高くなっている。

図5に竹粉を外割 2.5wt%添加した焼成試料の吸水率，圧壊強度，密度，pH，表乾比重を示す。竹粉の添加効果が顕著に現れている。この場合，超軽量の人工軽量骨材としての利用が考えられる。

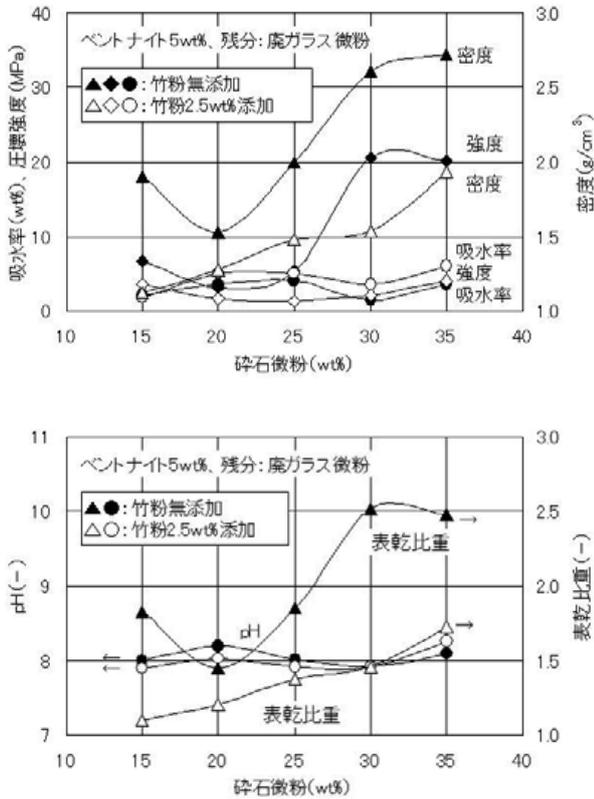


図5 竹粉を外割 2.5wt%添加した焼成試料の吸水率，圧壊強度，密度，pH，表乾比重

図6に混合物と焼成物の粉末 X 線回折図を示す。両者を比較すると，何れの混合比においても焼成物に含まれる結晶質の割合が少なくなっており，焼成により，蛭石，蛇紋岩は消滅し，角閃石と石英はピークが小さくなり，ガラス微粉と砕石微粉が反応していることが明らかになった。

竹粉を外割 2.5wt%添加した焼成試料と添加しない焼成試料の粉末 X 線回折の測定を行った(測定結果は省略)。これによると，ガラス微粉と砕石微粉との反応は図6と大差なく，竹粉の添加は発泡に不可欠なガス成分の発生に寄与していると推察される。

また，竹粉には繊維状が多数含まれている。こ

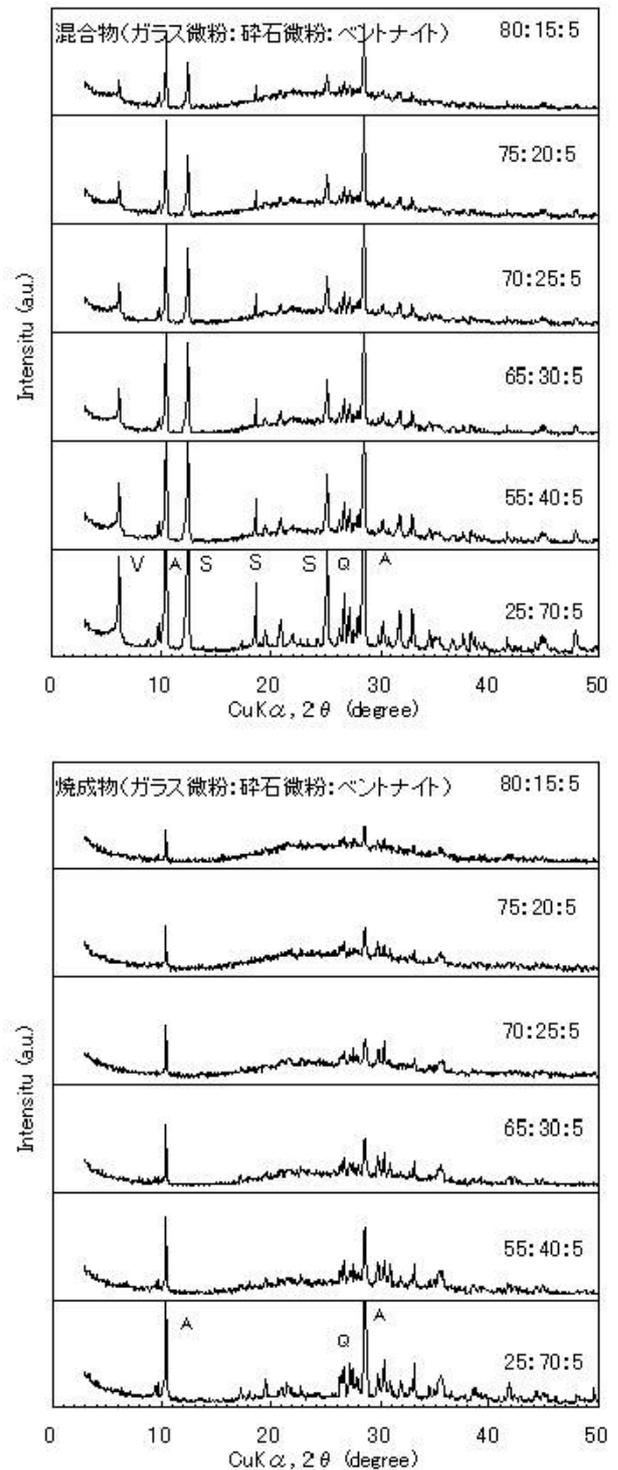


図6 混合物と焼成物の粉末 X 線回折図

れは，造粒物の生強度の上昇に寄与している可能性がある。造粒物の生強度は，造粒，乾燥，焼成等の焼成工程で，造粒機から乾燥機，あるいは乾燥機から管状炉に製品を供給する手段を選択する場合等に重要なファクターとなる。

図7に焼成物の色調、図8に竹粉添加焼成物の色調を示す。図6は、碎石微粉の混合割合の増加と共に、ベージュから赤みがかかった色調に変化していることを示している。また、図7によると、竹粉添加の反射率が大きい。これは、図5に示したように竹粉添加により発泡が促進されたことによる色調の変化(若干白っぽくなる)と推察される。

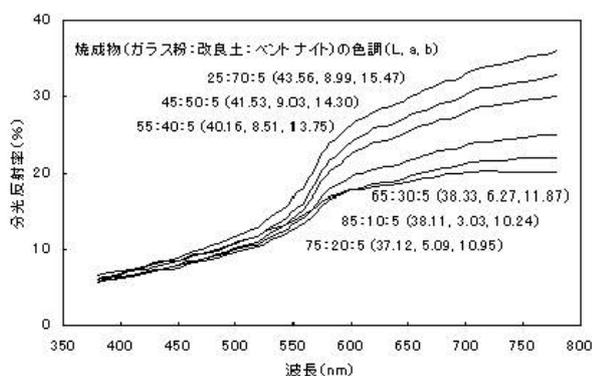


図7 焼成物の色調

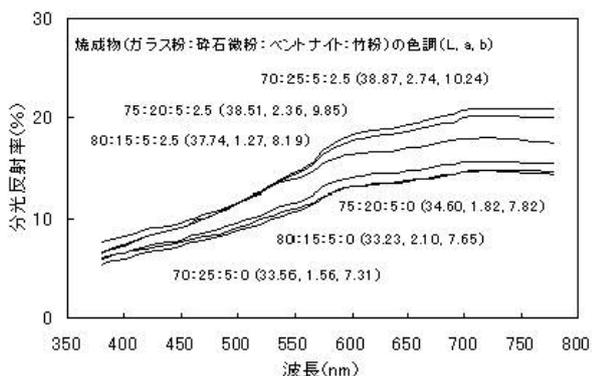


図8 竹粉添加焼成物の色調

廃ガラスに SiC を添加して発泡ガラスを製造する工程では、一般にベルト炉が用いられている。ステンレススチール製メッシュベルト上に、廃ガラスに SiC を添加した粉体を供給(高さ約 2cm)しながら連続焼成している。

そこで、ベルト炉を想定した実験を行った。ガラス微粉、碎石微粉、竹破碎粉を混合し、乾式混合後、10 × 10 × 2cm の耐熱容器に入れ、ステンレスブロックで押さえた後、900 °C 30min 保持(昇温速度: 10 °C/min)した。得られた焼成体を厚さ約 5mm にスライスして試料採取すると共に、全量を 13.2mm 以下に破碎し、9.5, 4.76,

2.38mm でふるい分けた。

配合割合と得られた各区分の密度を表1に示す。なお、かさ密度は、厚さ約 5mm にスライスした試料の重量、断面積、厚さから算出した。

表1 配合割合と得られた各区分の密度

配合	配合量(g)				
	ガラス粉	80	80	70	70
碎石微粉	20	20	30	30	
竹破碎粉	—	2.5	—	2.5	
粒度区分	かさ密度(g/cm <sup>3</sup> )				
	0.731	1.144	1.831	1.634	
粒度区分	密度(g/cm <sup>3</sup> )				
	2.36mm 以下	2.565	2.743	2.911	2.810
	~ 4.75mm	2.471	3.043	3.028	2.835
	~ 9.5mm	2.319	2.400	2.552	2.528
	~ 13.5mm	2.287	2.410	2.560	2.489

表によると、前項の造粒成型と若干異なった結果が得られた。造粒成型した場合は、竹粉の添加効果が顕著に現れた。しかし、表1では配合で軽量となっているが、配合では逆の傾向を示している。造粒の場合、ベントナイトを添加している。造粒工程で微細なベントナイトが造粒物の表面に集まり、表面を覆う。焼成時に、表面が密になり、竹破碎粉から発生するガス成分を内部に閉じこめる効果があると推察される。

ベントナイトとの反応の影響もあると思われるが、物理的な表面状態が主な要因と思われる。

表1の配合では、ベントナイトを添加していない。上記のベントナイトとの反応の影響については、今後検討する必要がある。

表1に示した各粒度区分の密度は、粗粒になるほど軽量となる傾向を示している。これは、粗粒ほど外部に開放していない気泡が多くなっていることを示している。しかし、かさ密度との差は大きく、破碎後ふるい分けた粒子は外部開放気泡が多く含まれていることを示している。

また、色調は、前記した造粒・焼成物と大差な

く、茶色～ベージュ色である。

これらのことから、破碎型人工軽石は、水質浄化資材、汚水浄化資材、ビル屋上緑化用混合資材、水持ち・水はけの良好な植栽用資材等の用途に適する資材として利用可能なものと思われる。

### 3. まとめ

- 1) 廃ガラス微粉との混合で、砕石微粉が 25wt%以下で、溶融・発泡する。
- 2) 廃ガラス微粉、砕石微粉、ベントナイト (5wt%に固定)系の転動造粒成形・焼成した試料では、砕石微粉 30～35wt%の圧壊強度は、立花岩石とほぼ同じ値を示し、高強度の焼成体が得られた。
- 3) 一方、砕石微粉 20wt%で密度が 1.5g/cm<sup>3</sup> と最も小さく、軽量体(人工軽石)が得られた。
- 4) 焼成物の色調は、砕石微粉の混合割合の増加と共に、ベージュから赤みがかかった色調に変化した。
- 5) 焼成により、蛭石、蛇紋岩はガラスとの溶融反応により消滅し、角閃石と石英もガラスとの溶融反応により減少することが粉末 X 線回折の測定で明らかになった。
- 6) ベルト炉を想定した実験で、破碎型人工軽石が得られた。粗粒ほど外部に開放していない気泡が多くなっていたが、かさ密度との差は大きく、外部開放気泡が多く含まれていることが明らかになった。また、色調は、前記した造粒・焼成物と大差なく、茶色～ベージュ色であった。

### 4. おわりに

高価な発泡剤を用いない低コスト、且つ通気性を有する人工軽石の製造方法が開発できた。上記の結果は、いずれも実験室規模の結果であり、今後、パイロットプラントによる実証試験研究が必

要である。

ここで開発した人工軽石の用途の一つとして、覆砂に利用できると思われる。

有明海の家業は日本有数の生産量を確保してきたことは、全国的にも知られている。しかし、最近、海苔の品質低下を始め、有明海産の魚介類が死滅し、有明海漁民の転業が相次ぎ、深刻な地域問題を惹起している。このため、農林水産省を始めとして地元では、覆砂事業を年間数億円かけ実施してきた。平成 17 年度は、予算規模約 10 億円(毎日新聞平成 17 年 3 月 30 日付記事)であった。この覆砂事業には「真砂土」を使用しているが、比重が重たいため工事の後、有明海の潟土の中に沈み込むため、投資相当の効果が見込めない状況にある。

この状況を打破するために、「石粉等」を利用して、比重の軽い多孔質の「人工軽石」に換えることにより、潟土の表面若しくは上層部に留まり、連続気孔の多孔質にすることで吸排が可能となり、微生物の生息可能な環境を作り出すことが出来ると思われる。この他、農業のほ場整備・河川浄化・湖沼の浄化・屋上緑化・雨水の浄化等その応用範囲は多岐にわたる。

既存製品に対しての物性的な優位性は今後の実証試験を待たなければならないが、廃棄コストが不用になり、有価物として出荷できるため、価格に関しての優位性はあると思われる。また、業界にとって、いわゆるダストとしての「石粉等」を再利用することにより、作業環境の劣悪化・近隣住民の環境汚染等を防げるのみでなく、枯渇しつつある資源の有効利用となり、かつ、当業界の新規市場開発にも貢献することとなる。

現在、これまでの結果を踏まえ、人工軽石の製造工程に適した混合方法、成形方法、焼成方法等を共同研究企業と連携しながら検討している。