

— 経常研究 —

溶融スラグを用いた多孔質材料の開発

研究開発科 山口典男

要 約

スラグの有効利用促進を目的として、近年注目されているジオポリマー技術を用いた多孔体の開発を行なった。多孔質化する方法として、中空粒子、起泡剤、発泡剤の利用について検討した結果、金属Siを発泡剤として用いる方法が最も有効であった。また、得られた多孔体の嵩密度は 0.5g/cm^3 以下と非常に軽く、水に浮く固化体を作製できた。また、熱伝導率は 0.1W/mK と低く、セメント系軽量ボードであるALCと同程度の性能を有することが明らかとなった。

キーワード：スラグ、ジオポリマー、多孔体、発泡剤

1. はじめに

都市ごみ焼却灰や下水汚泥の減容化・無害化を目的として、それらを高温溶融している。その際、非晶質の「スラグ」が生成されている。長崎県内では、「スラグ」が年間約12千トン排出されており、一部は有効利用されているものの、埋め戻しや埋め立て処分されているスラグが約4千トンあり、約35%が未利用となっている。廃棄場所の延命化および資源の有効活用の観点から、未利用スラグのさらなる有効利用の促進が求められている。

一方、「ジオポリマー技術」は、環境配慮型技術として近年注目されはじめており、スラグなどの無機物質を焼かずに固化する技術である。これまで、著者らは下水処理場から発生する下水汚泥溶融スラグ粉末を用いて、ジオポリマー固化体の作製に成功した¹⁾。そこで、スラグのさらなる有効利用法の拡大を目的として、ジオポリマー技術を用いた多孔質材料の開発を行なった。

2. 実験方法

ジオポリマー多孔体を作製する上で適切な気孔導入法を検討するために、中空粒子、起泡剤、発泡剤を気孔導入法として取り上げ検討した。多孔体の作製方法のフローを図1に示す。また、硬化液は、水

ガラス水溶液(比重:約1.3)と10N苛性ソーダ水溶液を体積比3:1で混合し調製した。

2.1 中空粒子

中空粒子として、シラスバルーンを選択した。本実験で用いたシラスバルーンの性状を表1に示す。予備実験として、下水汚泥溶融スラグ粉末(以下、下水スラグ:S)にシラスバルーンを5~15mass%の比率で混合し、硬化液(L)を加えスラリーの広がりを確認した。このとき、硬化液/下水スラグ(L/S)比は全て0.5とした。また、シラスバルーンWB-601について、表2に示す配合割合で固化体を作製した。硬化液は、混練が可能となる量を加えた。養生条件は、 80°C 、80%RH、24hとした。

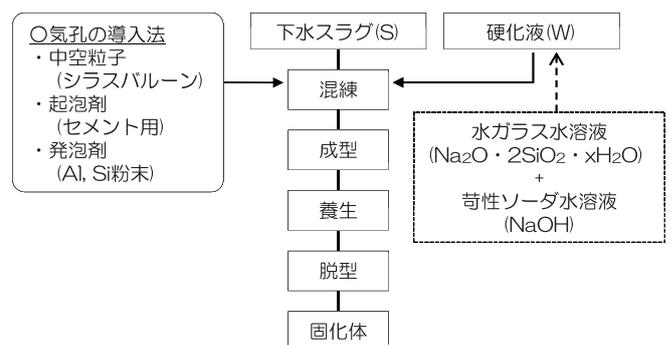


図1 多孔体作製方法のフローシート

表1 シラスバルーンの各種物性値

種類	MSB-301	SC-50	WB-601
嵩比重※	0.18~0.23	0.32~0.38	0.18~0.23
平均粒径※ (μm)	50	40	180
熱伝導率※ (W/mK)	0.058~ 0.070	0.058~ 0.070	0.093~ 0.105

※カタログ値

表2 シラスバルーン(WB-601)配合多孔体の配合割合と各種物性

サンプルID	WB-0	WB-10	WB-20	WB-30
下水スラグ(mass%)	100	90	80	70
シラスバルーン(mass%)	0	10	20	30
硬化液/下水スラグ	0.4	0.5	0.9	1.4
嵩密度(g/cm^3)	1.70	1.30	0.93	0.74
3点曲げ強さ(MPa)	4.72	5.69	3.45	3.16
熱伝導率(W/mK)	0.411	0.314	0.222	0.172

得られた固化体の曲げ強さ、嵩密度、熱伝導率を測定した。

2.2 起泡剤

起泡剤には、セメント系で用いられるマイクロフォームS-3(宝通商(株))を用いた。下水スラグと硬化液をL/S比0.6で混練した後に、起泡剤を下水スラグに対して6mass%加え、泡だて器で攪拌した。

2.3 発泡剤

発泡剤に金属AlまたはSi粉末を用い、下水スラグに対して、0.5~5mass%添加し、粉末とよく混合した後、硬化液をL/S比で0.4となるように混合し混練した。養生条件は80℃, 80%RH, 24hとした。また、発泡剤Siを0.5、1.0mass%添加した発泡体において、曲げ強さ、嵩密度、熱伝導率を測定した。

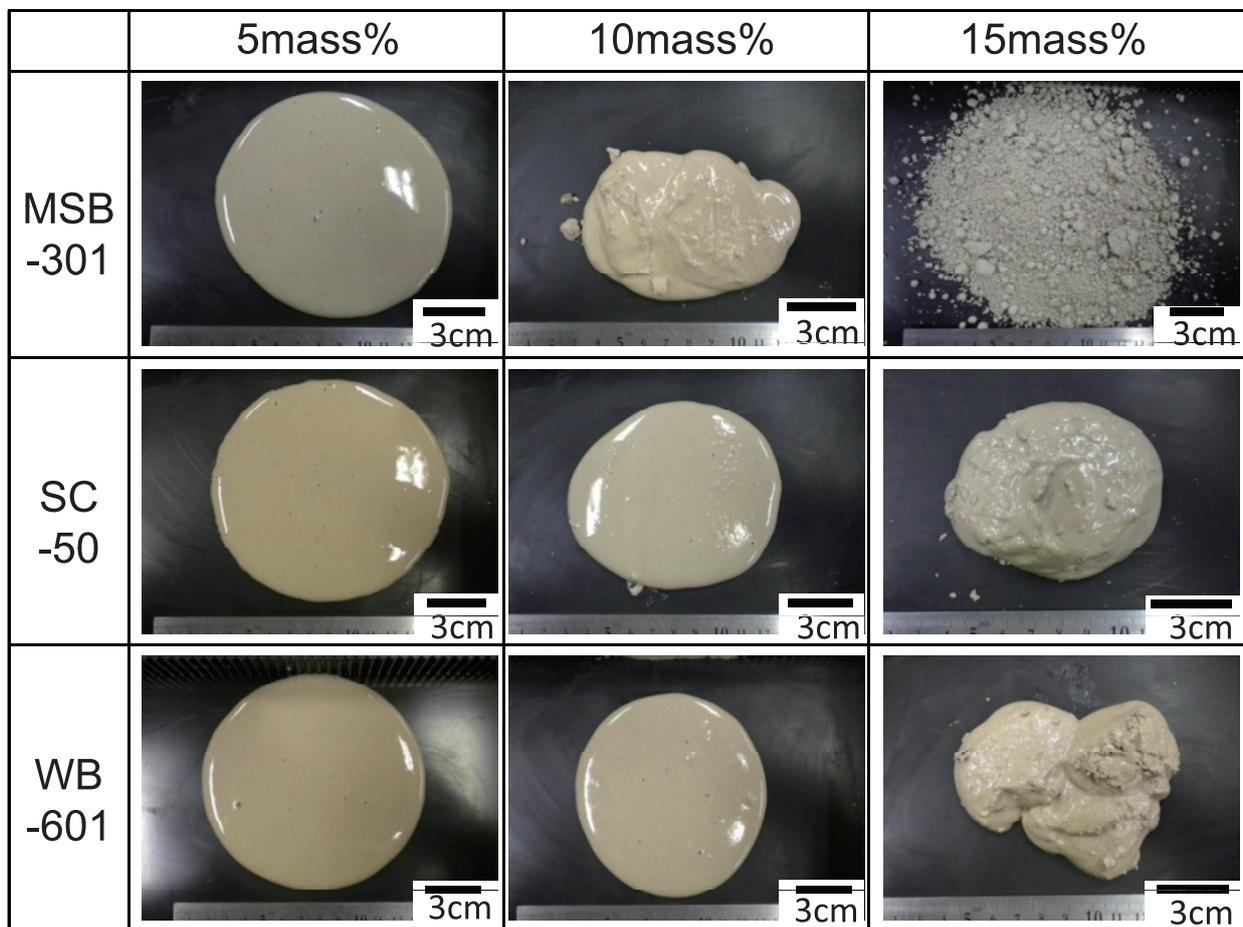


図2 各シラスバルーン配合スラリーの広がりの様子

3. 結果及び考察

3.1 中空粒子による多孔体の作製

各種シラスバルーンの配合割合とスラリーの広がり方の様子を図2に示す。MSB-301は、配合割合が高くなると混練しにくくなり、15mass%配合ではスラリー状態にならなかった。一方、WB-601、SC-50ともに15mass%配合でも混練でき、スラリー状となった。WB-601の嵩比重はSC-50の約半分であることから、軽量化により適していると判断し、WB-601を選択し、多孔体の物性評価を行った。

WB-601を配合した多孔体の各種物性を表2に示す。シラスバルーンを20mass%以上配合することで、嵩密度が1g/cm³以下となった。強度は、シラスバルーンの配合割合が増加するにつれて、低下する傾向が確認された。また、熱伝導率も、配合

割合が増加するにつれて低下した。シラスバルーンを30mass%混合すると、熱伝導率は0.17 W/mKとなり、セメント系の軽量材であるALC (Autoclaved Lightweight aerated Concrete) の熱伝導率(0.17 W/mK)²⁾と同程度とすることができた。しかしながら、シラスバルーンの混合量が増加するにつれて、混練に必要な硬化液量は著しく増加し、シラスバルーンを混合しない場合と比べ、約3倍の硬化液が必要であった(表2)。硬化液量が多くなるとコストが高くなるため、気孔導入法としてシラスバルーンを用いることは、実用化の観点から適切ではないと判断した。

3.2 起泡剤による多孔体の作製

スラグに硬化液を加え、よく攪拌したスラリーに起泡剤を添加し、ハンドミキサーで泡立てた後の様子を図3に示す。比較として、セメントに適用した様子を併せて示す。図3から分かるように、セメントではクリーム状に泡立っていることが確認されるが、ジオポリマーでは、全く泡立たず多孔体を形成することができなかった。セメントも水と混練するとpHはアルカリ性になるが、ジオポリマーでは硬化液に含まれる苛性ソーダの濃度が10Nと極めて高いために、さらに高いpHを示し、気泡を形成もしくは維持できなかったと推測される。このように、ジオポリマーでは、起泡剤による多孔体作製は難しいことが明らかとなった。

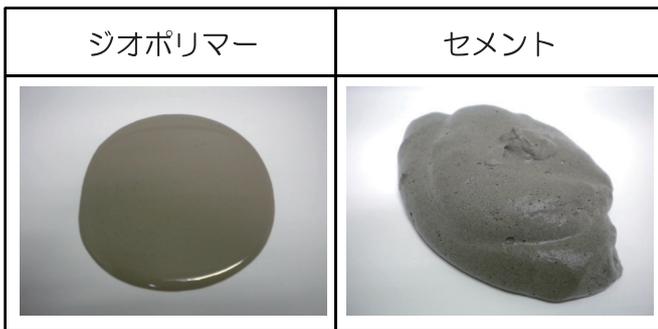


図3 起泡剤を用いたジオポリマーとセメントスラリーの泡立ちの様子

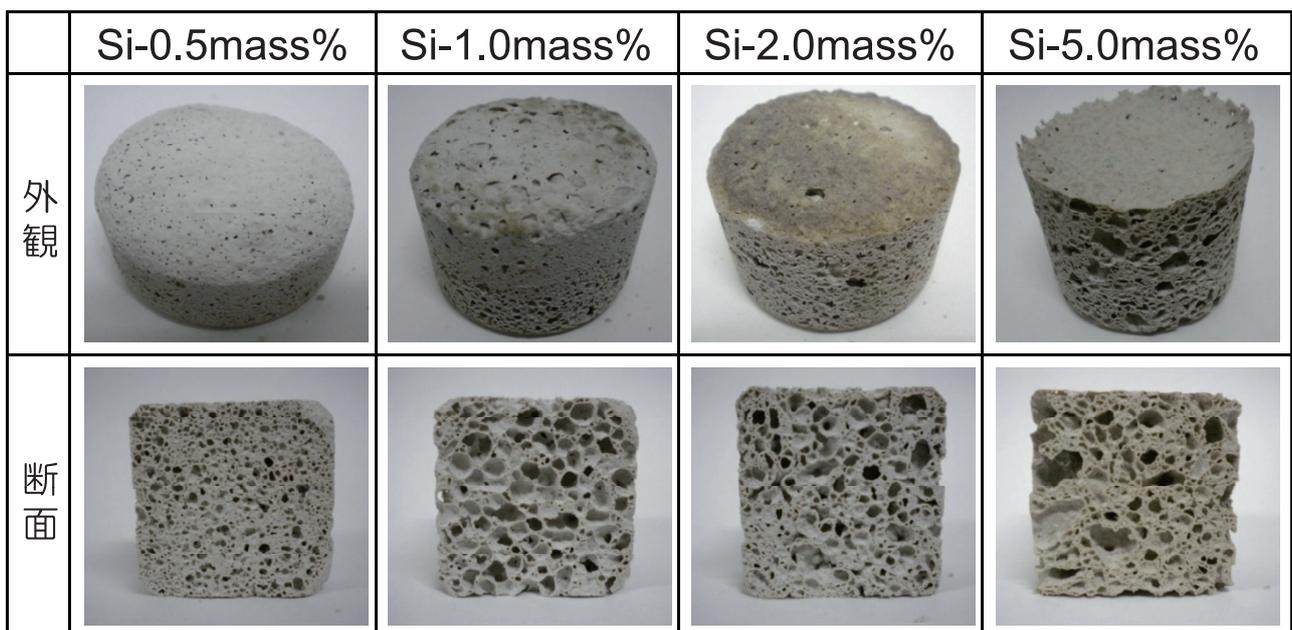


図4 Si発泡剤を用いたジオポリマー多孔体の外観と断面の様子

3.3 発泡剤による多孔体の作製

Al粉末を添加したサンプルでは、混練後約1分以内に発泡が始まり、Al粉末の混合量の増加に従い、サンプルは温かくなった。混合量1mass%、2mass%では、Al粉末とアルカリ水溶液の急激な反応により、中央付近から蒸気が噴き出した。特に2mass%では、反応が激しかったために、容器を冷却しながら発泡を行なった。発泡は、約1分以内に収まり気孔を形成した。しかしながら、反応熱の影響により、発泡途中に固化が始まり、混練および鑄込みなどの作業時間を十分に取る事ができず、実用性の観点からジオポリマー多孔体の作製において、Al粉末は発泡剤として適していないことが確認された。

一方、Si粉末を発泡剤として用いた場合の多孔体の外観と断面の様子を図4に示す。Alを発泡剤に用いた場合と比べ、発泡現象はゆっくりと進行し、5分~10分程度かかった。また、反応熱もAl発泡

剤よりも少なく、固化も室温で数時間かけてゆっくりと進行した。Si発泡剤を0.5mass%および1.0mass%添加したサンプルの各種物性を表3に示す。嵩密度は、0.5g/cm³以下となり、非常に軽い多孔体を作製できた。また、多孔体は、水に一カ月以上浮くことが確認された(図5)。また、曲げ強さは0.7MPa程度となった。ALCの圧縮強さが3.0MPa以上³⁾である。一般的に、曲げ強さは圧縮強さの1/10~1/5程度になることから、本実験で作製した多孔体は、ALCと同程度の強度を有することが確認された。また、熱伝導率は0.1W/mKと非常に低い値を示し、熱を伝えにくい性質があることが確認された。

以上のようにAl粉末はアルカリとの反応が非常に活発であり、ジオポリマー技術で用いる発泡剤として適していなかった。一方、Si粉末はゆっくりと反応が進むことから、ジオポリマー技術用の発泡剤として適していると判断された。

4. まとめ

スラグの有効活用を目的とし、ジオポリマー技術を用いた多孔体の作製および評価を行ない、以下の知見を得た。

- (1) ジオポリマー多孔体の作製において、発泡剤の利用が有効であることが分かった。特に、Si粉末は、アルカリとの化学反応がゆっくりと進むことから、ジオポリマー技術における発泡剤として適していることが明らかとなった。
- (2) シラスバルーン用いた場合、軽量材を形成することができるものの、硬化液量が多くなり、実用上適切ではないことが確認された。また、起発剤は、硬化液のアルカリ性が非常に高いために、気泡を形成出来なかった。
- (3) Si発泡剤を用いたジオポリマー多孔体は、セメント軽量ボードALCと同程度の性能(強度・熱伝導率)を有しており、建材などへの応用の可能性を示すことができた。

付 記

本事業は、長崎県産業廃棄物税収活用事業の一環で行なわれた。

参考文献

- 1) N.YAMAGUCHI, K.IKEDA', Preparation

表3 Si発泡多孔体の配合割合と各種物性

サンプルID	Si-0.5	Si-1.0
Si発泡剤(mass%)	0.5	1.0
スラグ/硬化液	0.4	0.4
嵩密度(g/cm ³)	0.42	0.37
3点曲げ強さ(MPa)	0.72	0.50
熱伝導率(W/mK)	0.13	0.11



図5 Si発泡多孔体が水に浮く様子

of geopolymeric materials from sewage sludge slag with special emphasis to the matrix compositions”、J. Ceram. Soc.

Jpn.、118(2)、pp.107-112(2010).

2) ALC協会ホームページ

(http://www.alc.gr.jp/qa/panel_qa.html
#1-4) .

3) JIS A5416.