

二種の鉄鋼スラグを資材とするジオポリマーの作製と物性調査

○加賀谷 史^{a)}、齋藤 憲寿^{a)}、齋藤 菜月^{a)}、南田 悠^{b)}

^{a)}秋田大学大学院 理工学研究科、^{b)}旭川工業高等専門学校 化学・生命工学科

1.はじめに

セメント産業における CO₂ 排出割合は、産業セクター中で約 27%を占め¹⁾、製造過程での排出量抑制は重要な課題である。一方で現在一般的な普通ポルトランドセメント (OPC) の原料である生石灰 CaO は、石灰石 CaCO₃ を 900℃以上の高温で分解することで製造するため、副生と燃料消費の双方から CO₂ 発生が起こる。そのため、セメント産業における CO₂ 削減には OPC の代替品開発及び導入拡大が必須である。そこで近年注目されているのが、原料に生石灰を用いないことから、製造時の CO₂ 排出量が OPC と比較して約 70%削減可能²⁾とされるジオポリマーセメント (GPC) である。

本研究では鉄鋼スラグのうち、先行研究³⁾にて良好な硬化性を示した道路用スラグ路盤材 (HMS25) に、比較的高密度のクラッシュランスラグ (CS40) を混合したものを資材に、アルカリシリカ溶液を硬化剤として GPC を作製し、試料の圧縮強度測定、走査型電子顕微鏡 (SEM) による表面構造観察、粉末 X 線回折 (XRD) 測定を用いてその物性を調査した。

2.実験方法

(1)ワンダークラッシャー (WC-3L) により粉碎し、φ<1.0 mm の篩にかけた HMS25 および CS40 (図 1) を一定重量比 (HMS25:CS40=9:1~5:5) で混合し、資材とした。硬化剤には 4.0 M 水酸化カリウム KOH 水溶液を用いてケイ酸カリウム K₂SiO₃ を 4.0 M に調製した水溶液を用いた。

(2)資材と硬化剤を 40 g : 8 mL で混合し、円柱状の型に充填・密閉し、恒温乾燥機を用いて 40℃・24 時間養生した。養生後は脱型し、恒温乾燥機により一定材齢まで 40℃で乾燥させた。

(3)材齢 7, 14, 28 日の各試料を、ダイヤモンドソーと紙やすりを用いて寸法比 $1.90 \leq (l/\phi) \leq 2.00$ の円柱型に成型し、寸法と重量から嵩密度を算出した。

(4)成型した試料について、万能試験機による圧縮強度試験を行った。更に材齢 28 日の各試料について、SEM による表面構造観察、XRD による結晶構造解析を行った。



図 1 粉碎した HMS25 (左) と CS40 (右)

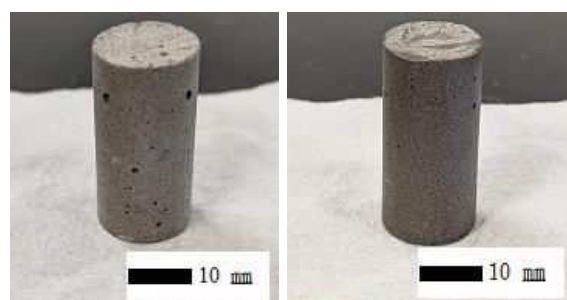


図 2 GPC 試料の外観 (左 : 9:1, 右 : 5:5)

3.実験結果と考察

作製した GPC 試料は、いずれの資材混合比でもよく硬化した。CS40 の割合が高くなるほど外観 (図 2) は黒褐色を呈し、かつ嵩密度 (図 3) も大きくなった。ピクノメーターによる元資材の実測密度は、

HMS25 が 2.79 g/cm^3 、CS40 が 3.32 g/cm^3 であったため、外観同様に混合比が反映された結果となった。

一方で圧縮強度は、最大値は資材混合比 7:3-28 日試料の 14.7 MPa 、次いで 9:1-28 日の 13.6 MPa と、必ずしも嵩密度が大きい程高いわけではなかった。7 日/28 日強度比は全混合比平均で 65%と、水/セメント比 55%-標準水中養生 ($20 \pm 2^\circ\text{C}$ の水中で 5 日間養生) OPC の 74%⁴⁾と比較してやや劣っていた。また、いずれも 28 日で最大強度を発現していることから、OPC 同様に強度上昇には一定の材齢が必要であることが分かる。

SEM により 7:3-28 日 GPC の表面構造 (図 5) を観察すると、平滑に見える部分と粒子が凝集した部分が観察された。また XRD 測定結果 (図 6) では資材の主成分であるメリライト⁵⁾由来のピークが確認されたことから、試料は GP 反応により硬化しながらも資材の結晶性を維持していることが判明した。

4. 結言

鉄鋼スラグの 1 種である HMS25 と CS40 を資材に、ケイ酸カリウム溶液を硬化剤として GPC を作製したところ、良好な硬化性を示した。最大圧縮強度は HMS25:CS40 混合比 7:3、材齢 28 日試料であり、また硬化後も資材の結晶性は維持されていることが判明した。

謝辞

本研究は、公益財団法人 JFE21 世紀財団の助成により実施された。

参考文献

- 1) F. Yang, J.C. Meerman, A.P.C. Faaij : Carbon capture and biomass in industry: A techno-economic analysis and comparison of negative emission options, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol 144, 2021.7.
- 2) 西松建設技報 Vol.139 「ジオポリマーの特性と施工事例」
- 3) 加賀谷史、齋藤憲寿、南田悠、齋藤菜月：産業廃棄物を用いたカルシウム系蓄熱材の作製及びその蓄熱性能の調査、令和 6 年度日本セラミックス協会東北北海道支部研究発表会、2025.11.
- 4) 社団法人セメント協会 コンクリート専門委員会：委員会報告ダイジェスト版、pp. 7-8、2011.
- 5) 近藤連一：鉄鋼スラグの化学、Gypsum and Lime、No.147、pp. 71-79、1977.

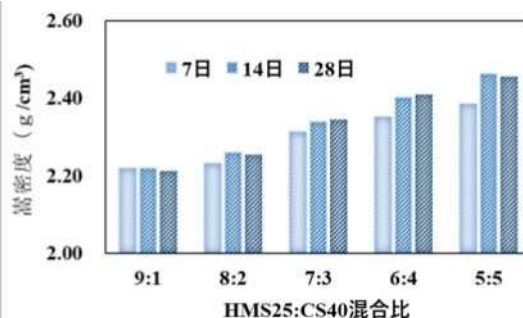


図 3 作製試料の混合比と材齢、嵩密度

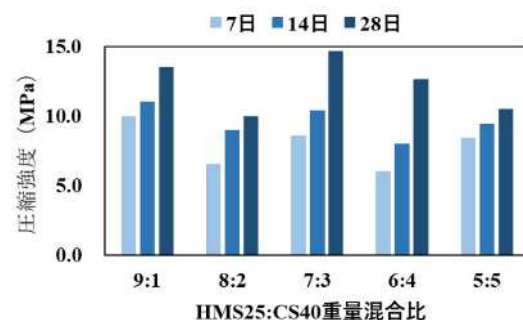


図 4 作製試料の混合比と材齢、圧縮強度の関係

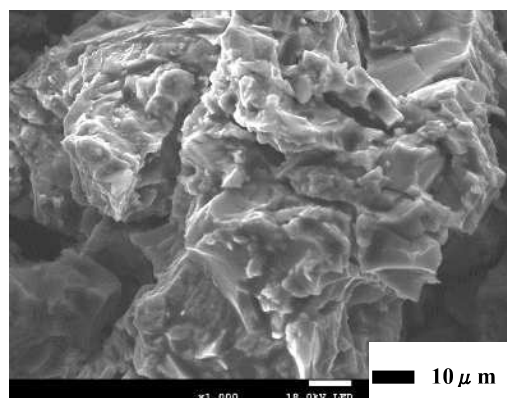


図 5 GPC 試料の SEM 写真 (7:3-28 日)

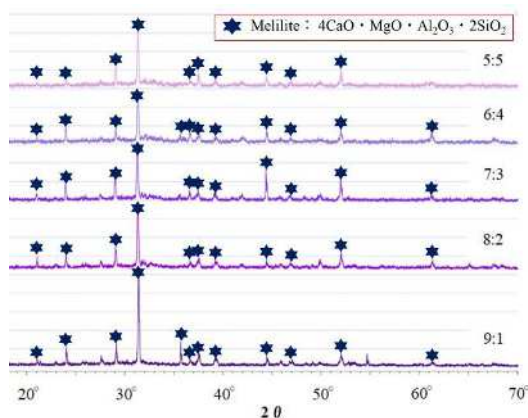


図 6 作製試料 (材齢 28 日) の XRD 測定結果