

高炉スラグ微粉末の置換率と前養生が
蒸気養生ジオポリマーの物理的性質に及ぼす影響

一般財団法人電力中央研究所 正会員 〇菊地 道生, 山本 武志, 大塚 拓

1. はじめに

近年, セメントを用いず, フライアッシュ (FA) 等の産業副産物を利用し製造可能なジオポリマーが, 環境負荷低減の観点から注目されている. 筆者らは, FA と高炉スラグ微粉末 (GGBS) および, シリカフューム (SF) の混合粉体 (FA-GGBS-SF) を NaOH 水溶液で練り混ぜ製造するジオポリマーでは, 蒸気養生に先立ち常温前養生を施すことによって, 硬化体の強度増進と組織の緻密化が生じることを明らかにした¹⁾. しかしながら, GGBS の置換率が前養生による硬化体性能の変化に及ぼす影響は未だ不明であった. そこで本研究では, FA-GGBS-SF 系において, GGBS 置換率と前養生がジオポリマー硬化体の物理的性質に及ぼす影響の把握を目的とし検討を行った.

2. 実験概要

粉体について, FA は分級処理を施していない原粉, GGBS は JIS A 6206 における高炉スラグ微粉末 4000 (セッコウ無添加), SF は JIS A 6207 適合品をそれぞれ用いた. アルカリとして, 水ガラスを用いず純薬の NaOH のみを用い, NaOH 水溶液の調整にはイオン交換水を用いた. また, 細骨材として珪石砕砂を使用した.

表 1 に, 各種ジオポリマーモルタル硬化体の配合・養生条件を示す. 全粉体に対する GGBS 置換率を 10, 25, 40% と変化させ, SF は 5%一定とした. イオン交換水に対する粉体の質量比を 28%, ペーストに対する砂の容積比を 60% とした. NaOH 量は, NaOH 水溶液中の Na 濃度が 12.0 (mol/L) となるよう設定した. 養生条件は 2 種類であり, 蒸気養生 (80℃-24 時間) のみ, 又は前養生 (20℃-24 時間) の後に蒸気養生 (80℃-24 時間) とした.

圧縮強度と曲げ強度および, 水銀圧入法による細孔径分布を測定した. 圧縮強度試験では φ5×10cm 円柱供試体を, 曲げ強度試験では 4×4×16cm 角柱供試体を用いた. 細孔径分布測定範囲は, 直径 3nm~150μm である.

3. 実験結果と考察

3. 1 強度

図 1, 2 に, GGBS 置換率と圧縮強度および曲げ強度の関係を, 前養生の有無ごとに示す. 図より, 全体として GGBS 置換率の増大に伴い両強度は増大する傾向を示した. しかしながら, 前養生による強度増大の程度は両強度間で異なっており, GGBS 置換率が高いほど圧縮強度の増大の程度は小さく, 曲げ強度の増大の程度は大きくなった. この原因について究明するため, 多孔体の強度に対して支配的な影響を及ぼす空隙構造に着目した.

3. 2 空隙構造

図 3 に, GGBS 置換率と全空隙量の関係を示す. 図より, 蒸気養生のみを施した場合, GGBS 置換率が高いほど空隙量が減少した. 一方, 前養生の効果に着目すると, GGBS 置換率が高いほど, 前養生による空隙量の低減割合は小さくなった. このため, GGBS 高置換率において, 前養生により曲げ強度が大きく増大した原因が, 前養生による全空隙量の減少にあるとは考えにくい. そこで, 空隙構造について詳細に検討するため細孔径分布に着目した.

図 4 に, 各ジオポリマー硬化体の log 微分細孔径分布を示す. 蒸気養生のみを施した場合において GGBS 置換率の影響に着目すると, GGBS 置換率の増大に伴い, 直径 50~500nm 程度

表 1 各種ジオポリマーモルタルの配合・養生条件

配合 表記	各粉体比 (質量%)			水／粉体比 (質量%)	砂／ペースト比 (容積%)	養生条件
	FA	GGBS	SF			
G10	85	10	5	28	60	80℃24h or 20℃24h+ 80℃24h
G25	70	25	5			
G40	55	40	5			

キーワード ジオポリマー, フライアッシュ, 高炉スラグ微粉末, シリカフューム, 蒸気養生, 前養生

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (一財) 電力中央研究所地球工学研究所 T E L 04-7182-1181

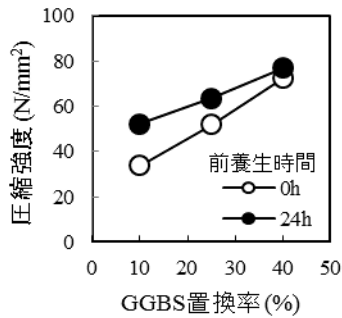


図1 GGBS 置換率と圧縮強度

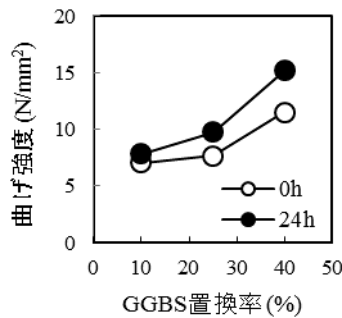


図2 GGBS 置換率と曲げ強度

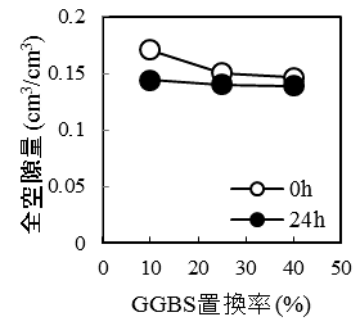
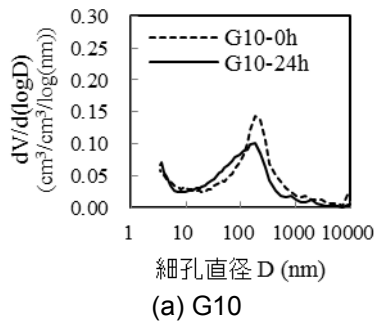
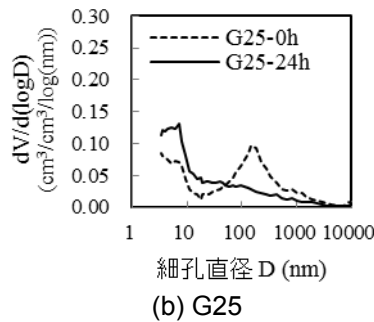


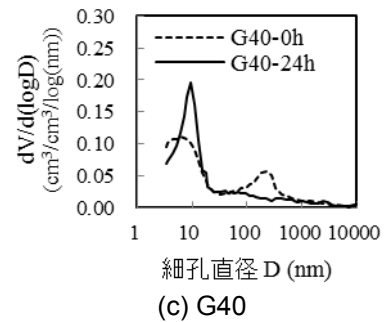
図3 GGBS 置換率と全空隙量



(a) G10



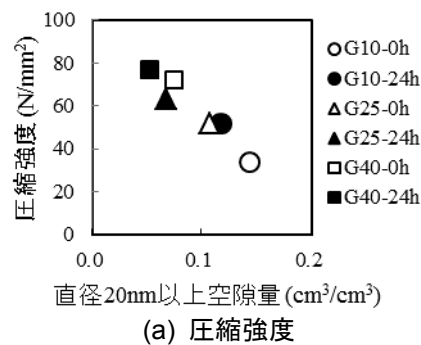
(b) G25



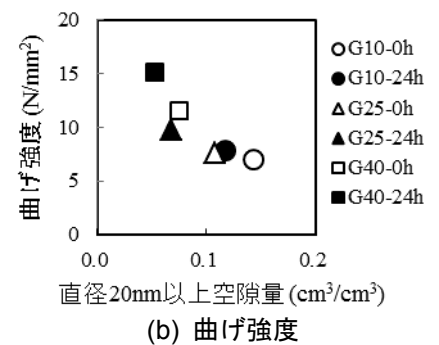
(c) G40

図4 各種ジオポリマー硬化体の log 微分細孔径分布

の粗大空隙が減少し、直径 20nm 以下の微細空隙が増大する傾向を示した。一方、前養生による細孔径分布の変化に着目すると、GGBS 置換率 10%では大きな変化が認められないが、置換率 25%および 40%では、直径 50~500nm の粗大空隙が減少し、直径 20nm 以下の微細空隙が増大した。図3および図4に示した結果より、GGBS 置換率が高い配合系では、前養生の適用によって、全空隙量の顕著な減少は生じないものの空隙径が著しく微細化することが明らかとなった。



(a) 圧縮強度



(b) 曲げ強度

図5 直径 20nm 以上空隙量と強度の関係

3. 3 強度と空隙構造の関係

前節までの検討により、前養生による曲げ強度の増大は、微細空隙の増大すなわち粗大空隙の減少に起因している可能性が示唆された。そこで、粗大な空隙の量と各強度の関係に着目した。図5に、直径 20nm 以上の粗大空隙量と各強度の関係を示す。図より、圧縮強度と曲げ強度の両者共に、直径 20nm 以上空隙量と良好な相関を示した。

4. まとめ

FA-GGBS-SF 混合粉体と NaOH 水溶液を用い、蒸気養生を施し製造するジオポリマーは、GGBS 置換率および前養生の有無によって、強度と硬化体組織構造が大きく相違することを明らかにした。GGBS 置換率の増大と前養生の適用に伴う強度の増大は、粗大空隙量の減少に起因し生じたものと推察された。

謝辞

本研究は、経済産業省資源エネルギー庁の石炭利用技術振興費書補助金「石炭灰の有効利用技術に関する研究」の援助の下に実施しました。委員会の諸先生方を含め多くの方にご助言いただきましたことを、感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 菊地道生, 山本武志, 大塚拓: 結合材種類および前養生が蒸気養生を施したジオポリマー硬化体の物理的性質に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.2283-2288, 2016