

ジオポリマーモルタルにおける高炉スラグ骨材の効果

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○佐藤 隆恒

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 上原 元樹

1. 緒言

筆者らはフライアッシュ(以下 FA)を主原料とし、その FA の一部を高炉スラグ(以下 BFS)微粉末で置換した粉体から作製したジオポリマー(以下 GP)硬化体に関して、例えば塩害地域用短まくらぎの試作¹⁾、耐酸劣化対策ローカル線区用まくらぎの営業線への試験敷設²⁾等、その要求性能に応じた配合で GP コンクリートを試作してきた。ここで、BFS 微粉末は GP 硬化体の強度発現や物質移動抵抗性を高めるために、その目的に応じて適正量使用している³⁾。一方、近年耐凍害性の向上効果等から BFS 骨材のセメントコンクリートへの利用も研究されている⁴⁾が、BFS 微粉末と同様に GP 硬化体では、その反応性を利用できる可能性がある BFS 骨材を利用した GP 硬化体の、特に GP 配合と関連づけた研究例は少ない⁵⁾。そこで、本研究では、種々の配合で BFS 骨材を使用した GP モルタルを作製して、その諸特性を検討した。

2. 試料の作製

表 1 に使用材料の概要、表 2 にその配合を示す。なお、表 1 で示した A/W 等の配合記述法は上原(2015)⁶⁾に準じている。作製法は以下の通りである。

まず FA、BFS 微粉末、シリカフューム、砂(JIS R5201 セメント強さ試験用標準砂、BFS 骨材、あるいはそれらの混合物)を 1 分間密閉袋に入れて混合する。その後、所定の濃度の NaOH 溶液を加えてホバート型ミキサーで 2 分間練り混ぜた後、流動化・凝結遅延剤としてグルコン酸 Na を所定量(FA+BFS 粉体と同体積の FA 質量の 2 質量%)加えて 1 分間再度練混ぜた後、型枠に充填・密封し、恒温槽内において 80℃で 10 時間保持して加温養生を行った。なお、昇温速度および降温速度は 15℃/h とした。

3. 結果と考察

表 1 に示すようにセメント強さ試験用標準砂を BFS 骨材に置き換えても、フロー性状に大きな変化はなかった。なお、一般的に BFS 微粉末添加量が増えると、凝結が速くなる傾向となるが、BFS 骨材の置換ではその傾向は認められず、一般的な骨材と比較して、フレッシュ性状で大きく異なる点は認められなかった。

図1および図2は BFS 骨材を使用した各配合の GP モルタルの圧縮強度と割裂引張強度を示す。BFS 微粉末で FA を置換した試料では BFS 骨材の使用により圧縮強度がその置換量に

じて増加した。また、BFS 骨材使用量に応じて、圧縮強度は増加するものの、割裂引張強度は横ばいから低下傾向であり、特に JIS I 種 FA から作製した GP モルタルの割裂引張強度低下

表 1 使用材料

材料名	記号	規格等
フライアッシュ	FA	JIS I 種あるいは II 種(JIS A 6201) 密度: I 種 2.40g/cm ³ , II 種 2.29g/cm ³
高炉スラグ微粉末	BFSP	4000cm ² /g(JIS A 6206) 石膏無添加 密度: 2.91g/cm ³
細骨材	S	JIS セメント強さ試験用標準砂
高炉スラグ細骨材	BFSS	密度: 2.77g/cm ³
シリカフューム	SF	JIS A 6207 相当

表 2 GP モルタルの配合

試料番号	A/W モル比	Si/A モル比	BFSP* vol.%	BFSS** vol.%	モルタルフロー 15 打(mm)
1	0.15	0.20	0	100	210×212
2	0.20	0.20	0	100	208×212
3	0.15	0.20	40	100	208×208
4	0.20	0.20	40	100	210×209
5	0.10	0.20	40	0	212×215
6	0.15	0.20	40	0	222×220
7	0.20	0.20	40	0	224×222
8	0.10	0.20	40	0	225×226
9	0.10	0.20	40	50	218×218
10	0.10	0.20	40	100	206×206
11	0.15	0.20	40	0	215×216
12	0.15	0.20	40	50	215×215
13	0.15	0.20	40	100	205×205
14	0.20	0.20	40	0	217×217
15	0.20	0.20	40	50	217×216
16	0.20	0.20	40	100	210×210

*: BFSP/(BFSP+FA) 体積%

**: BFSS/(BFSS+JIS セメント強さ試験用標準砂) 体積%

試番 1~7 が JIS I 種 FA, 試番 8~16 が JIS II 種 FA 使用

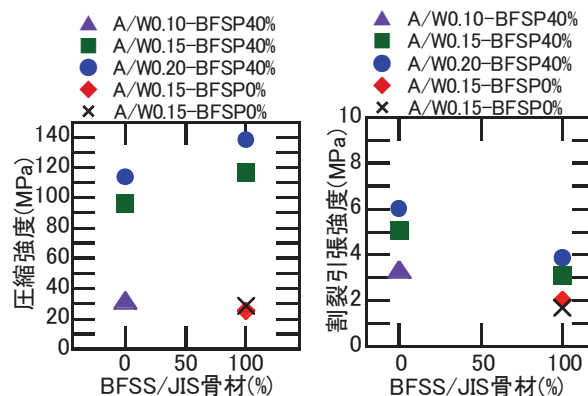


図 1 FA I 種使用 GP モルタルの圧縮強度と割裂引張強度

キーワード ジオポリマー、高炉スラグ骨材、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末、配合

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7338

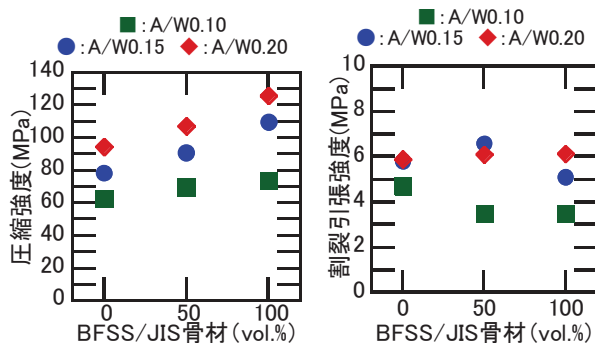


図2 FA II 種使用 GP モルタルの圧縮強度と割裂引張強度

量は大きかった。

図3は割裂引張試験後の供試体の断面写真である。BFS 骨材を100%使用したモルタルでは硬化体部分が黒色を呈して断面が湾曲しており、特に黒色を示す程度、湾曲した割れ方はFA I 種から作製したものが顕著であった。したがって、BFS 骨材成分の一部が硬化体生成時の反応に使われ、GP 硬化体そのものの性質に影響しているものと推察される。

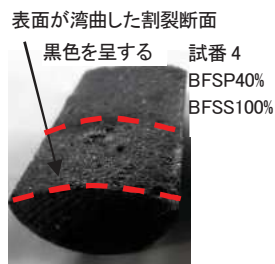


図3 GP モルタルの割裂写真

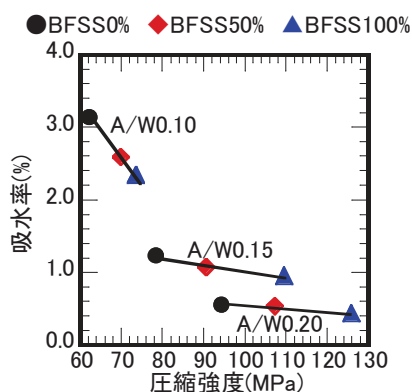


図4 BFS 骨材使用 GP モルタルの吸水試験結果

図4に各種配合で作製した GP モルタルを 40℃で乾燥し、減量が認められなくなった後、吸水試験を実施した結果を示す。基本的に圧縮強度の高い試料で吸水量は小さくなる傾向であり、A/W 比に大きく依存していた。従来、FA に対する BFS 微粉末置換率が多くなると GP 硬化体が緻密となり物質移動抵抗性が向上することがわかっている。一方、A/W0.15 と 0.20 の試料では BFS 骨材の使用量が多いとき圧縮強度は高くなるものの吸水率の変化は小さかった。

図5は試番 16 の走査型電子顕微鏡(SEM)による BFS 骨材界面の Ca 成分の組成分布像の例である。現在の所、写真で示

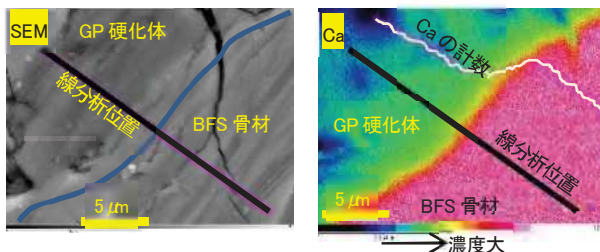


図5 BFS 骨材界面の組成分布図

すような比較的大きな BFS 骨材周辺において Ca 濃度は上昇しておらず、GP 硬化時における BFS 骨材成分との顕著な反応は認められなかった。そこで、今後、粒度分けした BFS 骨材等の GP 硬化反応における

反応を観察し、どのような BFS 骨材が GP 硬化反応に寄与しているのかを検討していく予定である。

表3は空気量をコントロールしていない GP モルタルを JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」の A 法に準じて実施した結果である。GP 硬化体は表3における比較 GP モルタル⁷⁾のように、配合によっては耐凍害性が必ずしも高くない場合があり、一般的なセメントコンクリートと同様に適正な空気量の導入が必要である。ここで、BFS 骨材が凍結融解抵抗性を向上させるとの報告もあることから、試番 4, 7 の試料で凍結融解試験を実施したが、本配合が吸水量の小さい物質移動抵抗性の高い配合のため、BFS 骨材の使用の有無による大きな差は認められなかった。

4. まとめ

BFS 骨材置換率に応じて、圧縮強度は大きくなったが、割裂引張強度は同等以下となることがわかった。また、BFS 骨材は、その硬化体色の変化から GP の硬化反応に寄与するものと推察されるが、少なくとも大きな BFS 骨材の界面では顕著な反応は認められなかった。発表では、本紙面で紹介できなかった酸に対する耐性等の諸性質に加えて BFS 骨材の反応に関して、偏光顕微鏡、その他の方法でさらに検討した結果を報告する予定である。

参考文献

- 1) 佐藤他: 石灰灰を原料とした短繊維補強ジオポリマー短まくらぎの試作, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.2023-2028, 2013.
- 2) 上原他: ジオポリマー PC まくらぎの営業線への試験敷設, 土木学会第 72 回年次学術講演会講演要旨集, pp.167-168, 2017.
- 3) 松林他: ジオポリマーコンクリートを用いた鉄筋コンクリートはりの曲げ挙動, 土木学会第 69 回年次学術講演会講演要旨集, pp.101-102, 2014.
- 4) 高橋ほか: 高炉スラグ細骨材がモルタルの塩分共存下の凍害複合環境の耐性性に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.835-840, 2017.
- 5) Khan et al.: Utilisation of steel furnace slag coarse aggregate in a low calcium fly ash geopolymer concrete, Cement and Concrete Research, Vol.89, pp.220-229, 2016.
- 6) 上原他: ジオポリマー硬化体の配合・作製法と諸性質, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.1987-1992, 2015.
- 7) 佐藤他: 低アルカリ/水比, 高ケイ素/アルカリ比のケイ酸アルカリ溶液を使用したジオポリマー硬化体の諸性質, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, 2017.