

現場打ジオポリマーモルタルの開発に関する基礎的研究

防衛大学校 学生会員 ○佐伯 祐真 日鉄高炉セメント (株) 桑原 直也
 防衛大学校 正会員 藤掛 一典 日鉄高炉セメント (株) 笹谷 達也
 防衛大学校 正会員 本山 紘希 富士化学 (株) 正会員 黒岩 大地

1. 研究の目的

フライアッシュ (FA) を用いたジオポリマー (GP) モルタルは、80°C程度の熱養生を1日程度行うと強度が発現するが、常温養生では強度発現が遅いことが指摘されている¹⁾。したがって、プレキャスト製品のような工場で生産されるものへのGPモルタルの適用は比較的容易であると考えられるが、強度発現が遅いGPモルタルを現場打の材料として使うのには問題がある。

Temujin ら²⁾は、カルシウム化合物 (CaO および Ca(OH)₂) をFAベースのGPペーストに加えることで、常温でも十分な強度発現効果を期待できることを示している。

そこで本研究では、カルシウム化合物を豊富に含む高炉スラグ微粉末 (GGBFS) に着目し、FA と GGBFS の混合割合、ならびに種々のアルカリ溶液を試験パラメータとしたGPモルタルを作製し、試験パラメータが常温養生によるGPモルタルの圧縮強度に及ぼす影響を調べることにした。

2. 実験に用いる材料

2.1 粉体材料

使用したFA及びGGBFSの密度及び比表面積は、それぞれ2.29g/cm³と4,340cm²/g及び2.91g/cm³と4,070cm²/gである。表-1にそれぞれの化学成分を示す。

2.2 アルカリ溶液

本研究で用いるアルカリ溶液は、12モル濃度の水酸化ナトリウム水溶液 (NH)、SiO₂ / Na₂O のモル比2.10と2.51を有する1号水ガラス (NS1) 及び2号水ガラス (NS2) である。また、NHとNS1またはNS2を1:2.5の比率で混合したもの (NHNS1, NHNS2) も用意した。

2.3 細骨材

細骨材には最大粒形5mmの砂を使用し、密度、吸水率、粗粒率は、それぞれ2.50g/cm³、0.44%、2.66である。

表-1 FA, GGBFS の化学成分

| 成分 粉体 | SiO ₂ (%) | Al ₂ O ₃ (%) | Fe ₂ O ₃ (%) | CaO (%) | MgO (%) | Na ₂ O (%) | K ₂ O (%) | SO ₃ (%) |
|----------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------|------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|
| FA | 65.0 | 23.2 | 2.7 | 0.7 | 0.4 | 0.5 | 1.1 | 0.2 |
| GGBFS | 34.9 | 14.1 | 0.3 | 43.5 | 5.8 | 0.3 | 0.3 | - |

表-2 試験パラメータを踏まえた配合表

| 呼び名 | 試験パラメータ | | |
|--------------------|-----------|------|--------|
| | 粉体の割合 (%) | | アルカリ溶液 |
| | FA | GGBF | |
| FA100/GGBFS0/NHNS1 | 100 | 0 | NHNS1 |
| FA90/GGBFS10/NHNS1 | 90 | 10 | |
| FA80/GGBFS20/NHNS1 | 80 | 20 | |
| FA60/GGBFS40/NHNS1 | 60 | 40 | |
| FA0/GGBFS100/NHNS1 | 0 | 100 | |
| FA100/GGBFS0/NHNS2 | 100 | 0 | NHNS2 |
| FA90/GGBFS10/NHNS2 | 90 | 10 | |
| FA80/GGBFS20/NHNS2 | 80 | 20 | |
| FA60/GGBFS40/NHNS2 | 60 | 40 | |
| FA0/GGBFS100/NHNS2 | 0 | 100 | |
| FA100/GGBFS0/NS1 | 100 | 0 | NS1 |
| FA90/GGBFS10/NS1 | 90 | 10 | |
| FA80/GGBFS20/NS1 | 80 | 20 | |
| FA60/GGBFS40/NS1 | 60 | 40 | |
| FA0/GGBFS100/NS1 | 0 | 100 | |
| FA100/GGBFS0/NS2 | 100 | 0 | NS2 |
| FA90/GGBFS10/NS2 | 90 | 10 | |
| FA80/GGBFS20/NS2 | 80 | 20 | |
| FA60/GGBFS40/NS2 | 60 | 40 | |
| FA0/GGBFS100/NS2 | 0 | 100 | |
| FA100/GGBFS0/NH | 100 | 0 | NH |
| FA80/GGBFS20/NH | 80 | 20 | |
| FA0/GGBFS100/NH | 0 | 100 | |

キーワード 現場打ジオポリマー, フライアッシュ, 高炉スラグ, アルカリ溶液

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 環境防災研究室 TEL 046-841-3810 (内線: 3519)

3. 配合

表-2に試験パラメータを踏まえたジオポリマーモルタルの配合を示す。試験パラメータは、FA と GGBFS の含有割合及びアルカリ溶液の組み合わせである。なお、アルカリ溶液と粉体材料の比率および砂と粉体材料の比率は、それぞれ 0.6 及び 2.5 とした。

4. 実験結果及び考察

図-1 は、常温養生における材齢 7, 14, 及び 28 日での圧縮強度を示している。この図から、各材齢における圧縮強度は、使用するアルカリ溶液の種類と FA と GGBFS の混合率に大きく依存することが分かる。FA80 / GGBFS20 の材齢 7 日での圧縮強度は、NHNS1, NHNS2, および NS1 において、それぞれ 20.85, 17.18, および 15.04 MPa であった。したがって、FA を GGBFS によって 20%程度置き換えることで、現場打ちジオポリマーモルタルとして十分な初期の圧縮強度が得られることが分かった。また、100%GGBFS ベースの GP (FA0 / GGBFS100) について、材齢 7 日での圧縮強度は、NHNS1, NHNS2, NS1 及び NS2 において、それぞれ 58.40, 42.93, 61.18, 及び 58.23MPa であった。同様に、28 日齢での圧縮強度は NHNS1, NHNS2, NS1, NS2 で、それぞれ 71.30, 57.04, 57.19, 50.52 MPa であった。したがって、100%GGBFS ベースの GP モルタルは、非常に高い初期の圧縮強度を達成できることも分かる。

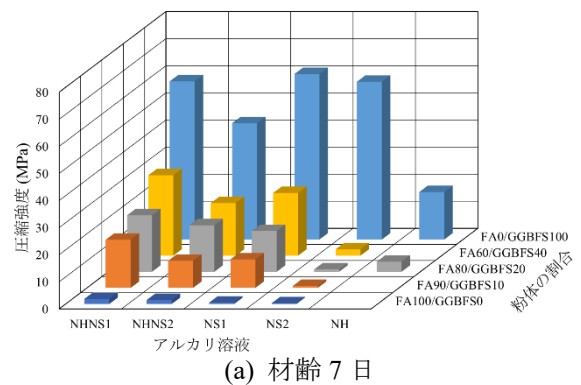
また、この実験で作製した試験体において、図-2 に示すように、常温養生した FA100 / GGBFS0 / NH, FA80 / GGBFS20 / NH, および FA0 / GGBFS100 / NH で炭酸ナトリウムによる白華現象が観察された。一方、NH 以外のアルカリ溶液を使用した GP モルタルにおいては顕著な白華現象は認められなかった。

5. まとめ

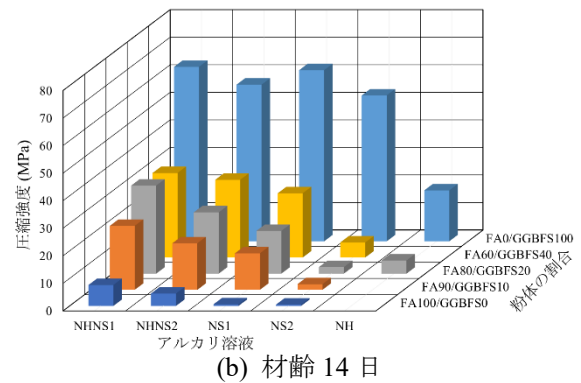
今回の実験において、FA-GGBFS の GP モルタルにおいて、圧縮強度は各材齢でのアルカリ溶液と FA-GGBFS 混合率に依存し、FA を GGBFS で 20%以上置き換えることで、現場打ちジオポリマーモルタルとして十分な初期の圧縮強度が得られることが分かった。

参考文献

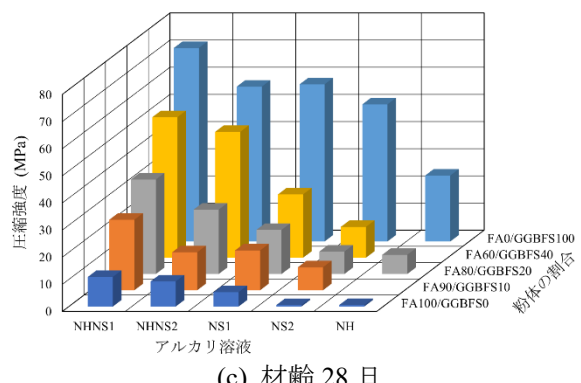
- 1) Zhang, P, Z. Gao, J. Wang, J. Guo, S. Hu, and Y. Ling. 2020. "Properties of fresh and hardened fly ash/slag based geopolymer concrete: A review." J. Cleaner Prod. 270 (Oct): 1–21.
- 2) Temuujin, J., A. Van Riessen, and R. Williams. 2009. "Influence of calcium compounds on the mechanical properties of fly ash geopolymer paste." J. Hazard. Mater. 167 (1–3): 82–88.



(a) 材齢 7 日



(b) 材齢 14 日



(c) 材齢 28 日

図-1 アルカリ溶液と粉体混合率の影響



図-2 白華現象の様子