

ジオポリマーコンクリートの性状と鉄筋腐食に関する研究

金沢工業大学 学生会員 高藤 知音
金沢工業大学 正会員 花岡 大伸

1. はじめに

ジオポリマーは、活性フィラーとしてフライアッシュや高炉スラグ微粉末といった産業廃棄物を原料として用いる。また、セメントを使用しないため、セメント製造時に発生する CO₂を削減できることから、低炭素社会の実現や産業廃棄物の有効利用の観点から注目されている。ジオポリマーに関する研究は、これまでに多くの研究がなされており、アルカリ溶液の pH や養生温度、高炉スラグ微粉末の置換率などが、強度および物質透過抵抗性に影響すると報告されている。一方で、ジオポリマーに埋設された鉄筋の腐食性状については、鉄筋腐食に関する知見は少なく、研究データの蓄積が望まれている。そこで、本研究ではジオポリマーコンクリートの性状と鉄筋腐食に関する実験を行った。

2. 実験概要

ジオポリマーコンクリートの使用材料を表-1 に示す。活性フィラーにはフライアッシュ (JIS II 灰) と高炉スラグ微粉末 4000 を使用した。ジオポリマーコンクリートの配合を表-2 に示す。BFS 置換率を 0、10、20% とし、L/P (容積比) = 0.90、SS/SH (質量比) = 1.0、s/a = 0.45、A/W (モル比) = 0.124、Si/A (モル比) = 0.7 とした。また、本研究では自己充填性を有するジオポリマーコンクリートを作製するため、粗骨材容積 (V_g) は土木学会「高流動コンクリートの配合設計施工指針」²⁾ の自己充填性のランク 1 に相当する 0.28 m³/m³ に設定した。ジオポリマーコンクリートの練混ぜは、一軸パン型ミキサーを用い、打設終了後は温度 20℃、相対湿度 60% の環境で封緘養生を行った。試験項目は、スランプロー、圧縮強度および鉄筋腐食試験とした。鉄筋腐食試験に用いる供試体の概要を図-1 に示す。供試体は、図-1 に示すように直径 100mm×高さ 200mm の円柱供試体の中央に D16 の鉄筋を 1 本埋設した。また、供試体の暴露は、温度 20℃ の環境で、供試体の半分 (下 100mm の範囲) を塩水 (10%NaCl 溶液) に浸漬させた。鉄筋腐食試験では、暴露 90 日に後に供試体を解体し、鉄筋の腐食状況の確認と塩分分析試験を行った。塩分分析は、鉄筋近傍、コンクリート表面近傍、その中間部の 3 か所に試料を切断し、さらに乳鉢で粗粉碎後、振動ミルで微粉碎した試料を、JIS A1154 (硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法) に則り、電位差滴定法にて、塩化物イオン濃度を測定した。なお、本研究では比較用として、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリート (W/C=0.55) も同時に作製した。

表-1 使用材料

材料	記号	密度	備考
水ガラス	SS (WG)	1.702	珪酸ソーダ1号
水酸化ナトリウム	SH	1.136	粒上特級試薬を蒸留水に溶かして3.6mol/Lに調整したもの。
水	W	1.00	水道水
フライアッシュ	FA	2.24	JIS II 種灰
高炉スラグ微粉末	BFS	2.91	高炉スラグ微粉末4000
細骨材	S	2.58	川砂
粗骨材	G	2.60	川砂利(Gmax25mm)

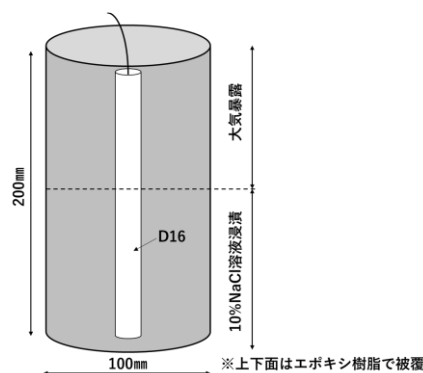


図-1 鉄筋腐食試験の供試体概要

表-2 ジオポリマーの配合

配合名	L/P (vol.)	(SS/SH)	BFS/P	s/a(%)	単位量(上段: kg/m ³ 、下段: L/m ³)							Air	A/W モル比	Si/A モル比	W
					SS	SH	Add W	FA	GGBS	S	G				
BFS-0	0.90	1.0	0	45	151	152	0	556	0	591	728	0	0.124	0.70	194
			0		89	134	0	248	0	229	280	20			
10			151		152	0	511	58	591	728	0				
8.1			89		134	0	228	20	229	280	20				
20			151		152	0	466	116	591	728	0				
16.1			89		134	0	208	40	229	280	20				

3. 実験結果および考察

BFS 置換率とスランプフローの関係を図-2 に示す。

BFS 置換率が大きいほど、スランプフローは小さくなる結果となった。また、いずれの配合も材料分離はみられず、スランプフローが 600mm 以上であるため、十分な自己充填性が得られた。BFS 置換率と圧縮強度の関係を図-3 に示す。これによると、BFS 置換率が大きいほど圧縮強度は大きくなり、BFS 置換率 20% の場合には、蒸気養生を行わなくても、封緘養生 28 日で 40N/mm^2 程度の圧縮強度が得られることが分かった。

鉄筋腐食試験において、暴露 90 日後に解体した鉄筋の腐食状況を図-4 に示す。これによると、OPC では塩水浸漬と大気中の境界部付近において鉄筋の腐食が確認された。一方、ジオポリマーでは、塩水浸漬を行っていた部分でも鉄筋の腐食が確認された。また、BFS 置換率が大きいほど、鉄筋の腐食は軽微であった。図-5 に解体した供試体の塩化物イオン濃度の分布を示す。これによると、ジオポリマーコンクリートの方が、OPC より塩化物イオンが侵入しやすいことが分かる。また、鉄筋位置（深さ 50mm）における BFS-20 の塩化物イオン濃度をみると、 3.7kg/m^3 であり、BFS-20 における鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度は、少なくとも 3.7kg/m^3 より小さい値であると推察される。

4. まとめ

本研究の範囲において、以下のことが分かった。

- 1) BFS 置換率が大きいほど、スランプフローは小さく、圧縮強度は大きくなる。BFS 置換率 20% の場合には、蒸気養生を行わなくても、封緘養生 28 日で 40N/mm^2 程度の圧縮強度が得られた。
- 2) BFS を 20% 置換したジオポリマーコンクリートの鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度は、 3.7kg/m^3 より小さい値であると推察された。

参考文献

- 1) 上原元樹ほか：ジオポリマー硬化体の配合・製造法と諸性質，コンクリート 工学年次論文集，Vol.37，No.1，pp.1987-1922，2015.7
- 2) 土木学会：高流動コンクリートの配合設計・施工指針[2012年版]，2012.6.5
- 3) 一宮一夫ほか：フライアッシュ系ジオポリマーの部分給水と表層の変状の関係，コンクリート工学年次論文集，Vol.42，No.1，pp.1810-1815，2020

謝辞：本研究の成果の一部は、土木学会 361 委員会（委員長：一宮一夫教授）における共通試験の一環として実施した。また、

令和 4 年度上田記念財団「社会資本維持補修に関する研究助成」を受けたものである。ここに謝意を表します。

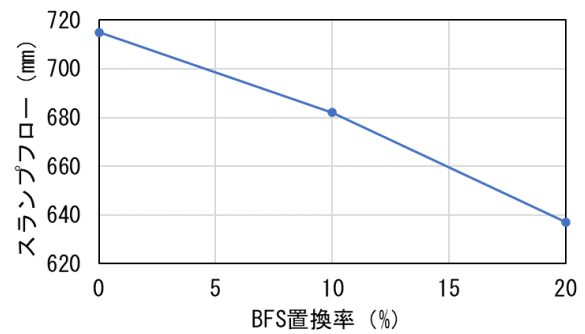


図-2 BFS 置換率とスランプフローの関係

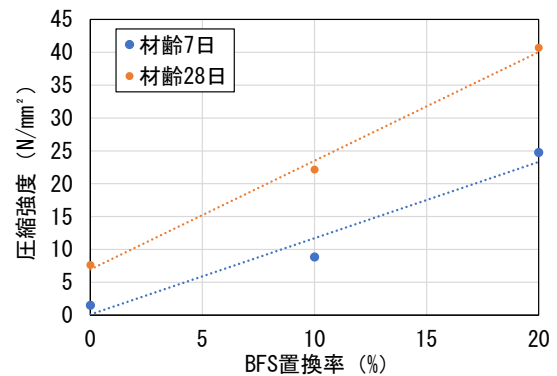


図-3 BFS 置換率と圧縮強度の関係

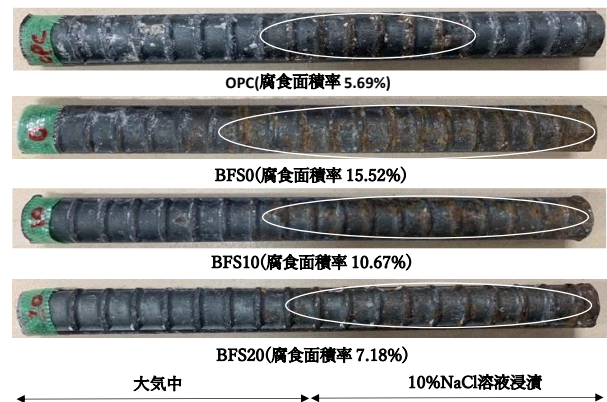


図-4 鉄筋の腐食状況

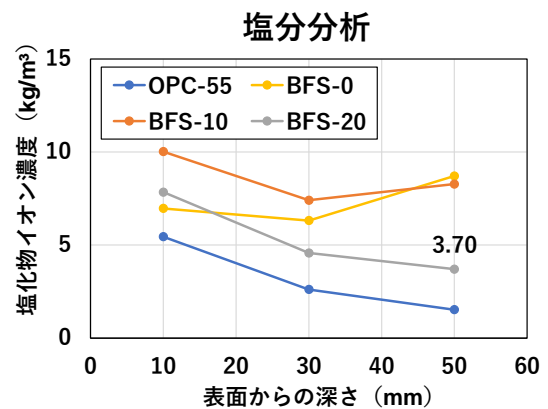


図-5 塩化物イオン濃度の分布