

ジオポリマーの塩化物イオン浸透性に関する基礎的研究

金沢工業大学 正会員 ○花岡 大伸
元金沢工業大学 非会員 谷川原 陸

1. はじめに

環境低負荷型の建設材料のひとつとして、ジオポリマーが注目されている。ジオポリマーは、フライアッシュや高炉スラグ微粉末といった産業副産物を活性フィラー(粉体の結合材)とし、セメントを使用せずにコンクリートと同程度あるいはそれ以上の強度を得ることができる材料である。本研究では、ジオポリマーの耐久性評価を目的に、配合の異なるジオポリマーの塩化物イオン浸透性について調べた。

2. 実験概要

ジオポリマーの使用材料を表-1に示す。アルカリ溶液にはけい酸ナトリウム溶液(3号)と水酸化ナトリウム(固形物)を用いた。また、活性フィラーにはフライアッシュと高炉スラグ微粉末(BS)を使用した。ジオポリマーの配合を表-2に示す。ジオポリマーの配合は、フライアッシュを活性フィラーのベースとし、高炉スラグ微粉末を0%、15%および25%体積置換した。さらに、アルカリ溶液におけるAl/W(Na/H₂Oのモル比)は、0.092、0.102および1.112に調整し、Si/Al(Si/Naのモル比)は0.707一定として実験を行った。

ジオポリマーの作製は、小型モルタルミキサを使用し、活性フィラーと細骨材を1分間空練りした後、アルカリ溶液を投入し低速で1分間、その後さらに高速で1分30秒練り混ぜて行った。実験に用いる供試体は、φ50×100mmの円柱供試体を作製した。また、養生温度の影響を調べるため、初期養生(打設後24時間)の温度を変化させた。すなわち、打設後24時間は20℃、40℃および60℃の条件で封緘養生し、その後脱枠を行い、温度20℃、相対湿度60%の環境で材齢7日まで養生を行った。その後、圧縮強度試験および塩分浸透試験を行った。塩分浸透試験は、供試体の上面および側面をエポキシ樹脂で被覆した後、供試体の底面を暴露面とし、温度20℃の環境で28日間塩水(5%NaCl溶液)に浸漬させた。また、塩化物イオンの浸透状況を把握するため、ドリル法により暴露面から1cmごとの粉末を採取し、深さ5cmまでの全塩化物イオン濃度の測定を行った。

表-1 ジオポリマーの使用材料

種別	記号	材料	密度 (g/m ³)	比表面積 (cm ² /g)	強熱減量 (%)
けい酸アルカリ溶液	AS	けい酸ナトリウム溶液(3号)	1.27	—	—
		水酸化ナトリウム固形物			
		水(水道水)			
活性フィラー	FA	フライアッシュ	2.43	4770	1.30
	BS	高炉スラグ微粉末	2.91	3830	0.16
細骨材	S	川砂(手取川産)	2.58	—	—

表-2 ジオポリマーの配合および圧縮強度

Case	配合条件			単位量 (kg/m ³)				圧縮強度 σ_7 (N/mm ²)		
	Al/W	Si/Al	BS置換率 (%)	AS	FA	BS	S	20℃	40℃	60℃
1	0.092	0.707	0	304	614	0	1304	1.6	3.5	4.4
2			15		552	110		10.9	16.6	15.3
3			25		461	184		21.5	29.5	36.3
4	0.102		0	314	614	0		3.2	5.2	6.1
5			15		552	110		15.1	18.7	21.9
6			25		461	184		32.2	39.8	46.2
7	0.112		0	260	614	0		4.5	6.5	9.2
8			15		552	110		17.2	23.9	29.6
9			25		461	184		33.5	43.8	55.7

Al/W : Na/H₂O(モル比), Si/A : Si/Na(モル比), AS : 水+けい酸ナトリウム水溶液+水酸化ナトリウム

キーワード ジオポリマー, 塩化物イオン, BS置換率, 養生温度, Al/W

連絡先 〒924-0838 石川県白山市八東穂3-1 TEL 076-274-7892

3. 実験結果および考察

図-1 (1) に BS 置換率の違いによる塩化物イオン濃度の分布を示す。これによると、BS 置換率の増加に伴い塩分の浸透が抑制されており、既往の研究りと同様な傾向であった。また、図-1 (2) は養生温度の違いによる塩化物イオン濃度の分布を示す。これによると、同じ配合条件であれば、養生温度が高いほど塩分の浸透が抑制される傾向にある。これは、表-2 に示すとおり、初期養生温度が高いほど活性フィラーとアルカリ溶液との反応が促進され、圧縮強度が増加したためと考えられる。次に、図-1 (3) には養生温度 20°C および 60°C における Al/W (Na/H₂O のモル比) の違いによる塩化物イオン濃度の分布を示す。一般的なジオポリマーでは、Al/W が大きいほど塩分浸透が抑制されるとの報告²⁾があり、本実験でも同様な傾向を示した。特に Al/W が 0.092 と 0.102 を比べると、その影響が顕著であった。一方で、Al/W が 0.102 と 1.112 を比べると、塩化物イオン濃度の分布はほとんど同じであった。

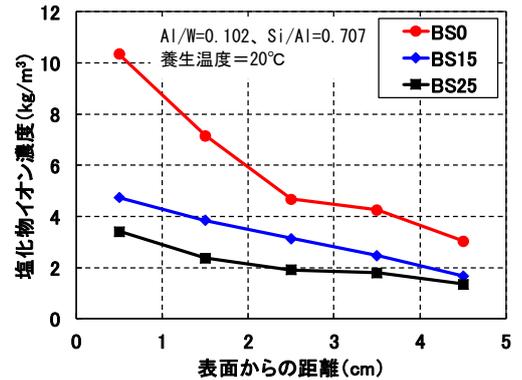
図-1 に示した塩化物イオン濃度の分布をみると、一般的なコンクリートの塩分浸透分布に比べて、濃度勾配が直線に近い傾向を示していることが分かる。また、Case9 (図-1 (2) 60°C) においては、圧縮強度が 55.7N/mm² と高強度にも関わらず、5cm 近くまで塩分が浸透している。これらは、フライアッシュから生成されるゲルの反応速度が遅く微細空隙の充てんが進みにくいため³⁾、深部にまで塩分が浸透したと考えられる。次に圧縮強度と塩化物イオンの浸透抵抗性の関係を調べるため、塩化物イオン濃度の分布を積分し、深さ 5cm まで浸透した塩化物イオン量を求めた。図-2 に圧縮強度と浸透した塩化物イオン量との関係を示す。これによると、バラツキがみられるが、ジオポリマーの圧縮強度と浸透した塩化物イオン量との関係には相関がみられた。

4. まとめ

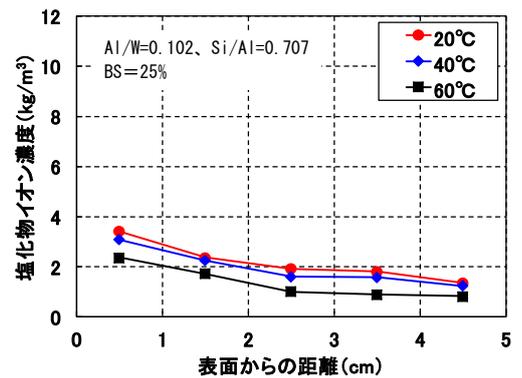
- ① BS 置換率の増加や養生温度が高いほど塩化物イオンの浸透が抑制されることが確認された。
- ② Al/W が大きいほど塩化物イオンの浸透が抑制されることが確認された。
- ③ ジオポリマーの圧縮強度と塩分浸透性に相関性がみられた。

参考文献

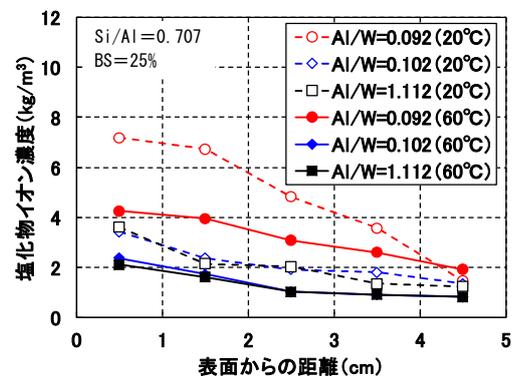
- 1) 李備暲ほか：スラグ基盤ジオポリマーコンクリートの強度発現特性と耐久性評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.37，No.1，pp.229-234，2015
- 2) 上原元樹ほか：ジオポリマー硬化体の配合・作製法と諸性質，コンクリート工学年次論文集，Vol.37，No.1，pp.1987-1992，2015
- 3) Ismal, I., Beranal, S. A., Provis, J. L., et.: Modification of phase evolution in alkali-activated blast furnace slag by the incorporation of fly ash, Cement and Concrete Composites, vol.45, pp.125-135, 2014



(1) BS 置換率の影響



(2) 養生温度の影響



(3) Al/W の影響

図-1 塩化物イオン濃度の分布

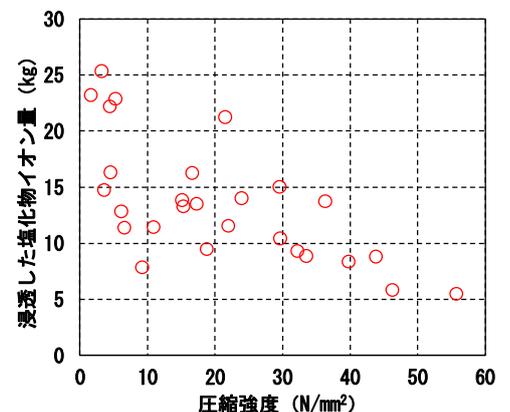


図-2 圧縮強度と塩化物イオン量の関係