塩害環境下に2年間曝露したフライアッシュベースジオポリマー

コンクリートの塩分浸透性状

九州大学大学院	学生会員	香島	和輝	榮徳 雄斗	正会員	佐川	康貴
西松建設(株)	正会員	原田	耕司	琉球大学	正会員	富山	潤
九州工業大学大学院	E 正会員	合田	寛基	大阪ガス(株)	正会員	大西	俊輔

1. はじめに

ジオポリマー(GP) コンクリートの塩分浸透抵抗性 は、セメントコンクリートよりも低いことが近年報告 されているが¹⁾²⁾³⁾、使用材料や配合、養生条件など多く の要因の影響を受けると考えられるため、十分に明ら かになっていない。そこで本研究では、GP コンクリー トの塩分浸透性状を調べるため、塩害環境下において GP コンクリートおよび普通ポルトランドセメント

(OPC)を用いたコンクリート (OPC コンクリート)の 曝露試験を行った。本稿では 2 年間曝露した供試体を 分析し、考察した結果を示す。

2. 実験概要

2.1 使用材料·配合

使用材料を表-1に、GP コンクリートの配合を表-2に、 OPC コンクリートの配合を表-3に示す。アルカリシリ カ溶液は水ガラスと NaOH 水溶液を混合した GPW-A (密度 1.27 g/cm³) と GPW-B (密度 1.40 g/cm³)を用い た。配合 GPII-A はフライアッシュ II 種, アルカリシリ カ溶液に GPW-A を用い、高炉スラグ置換率 (GGBFS/P) を 20%とした。また、強度の異なる GP コンクリートと してフライアッシュ II 種および GPW-B を用い、 GGBFS/P を 30%とした配合 GPII-B を作製した。打設後 は、最高温度 70℃で 12 時間保持の加温養生を行った。 加温養生終了後、曝露開始まで気中養生を行った。

N60, N45 は, それぞれ水セメント比 W/C が 60%, 45%の OPC コンクリートである。脱型後, 20℃で 2 週 間水中養生を行い,曝露開始まで気中養生を行った。表 -4 に材齢 7 日における GP コンクリートの圧縮強度と 20℃で 28 日間水中養生を行った OPC コンクリートの 圧縮強度を示す。

2.2 曝露試験地

供試体は沖縄県国頭村の海岸に位置する曝露試験場 に設置した。曝露期間中(2018 年 9 月~2020 年 9 月) の日平均気温は 23.5℃,年平均降水量は 2286 mm であ った。市販の薄板モルタル供試体(40×40×5 mm)を

表-1 使用材料

	種類	材料名	記号	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)
		フライアッシュ II 種	FA	2.32	4080
		高炉スラグ微粉末	GGBFS	2.91	4090
	GP	アルカリシリカ	GPW-A	1.27	-
コンクリート	コングリート	溶液	GPW-B	1.40	-
	海砂	S	2.59	-	
		砕石	G	2.68	-
		普通ポルトランド セメント	С	3.16	3390
OPC コンクリート	水道水	W	1.00	-	
	海砂	S	2.55	-	
	石灰石砕石	G	2.70	-	
	AE 減水剤	Ad	1.06	-	
		AE 剤	AE	1.04	-

表-2 GP コンクリートの配合

配合名	単位量 (kg/m ³)						
	GPW	FA	GGBFS	S	G		
GPII-A	281	418	105	564	857		
GPII-B	330	353	152	559	875		

表-3 OPC コンクリートの配合

		単位量	Ad	AE		
配合名	W	С	S	G	(g/m ³)	(ml/m ³)
N60	165	275	818	1032	825	1.34
N45	165	367	744	1032	1468	1.84

表-4 圧縮強度試験結果

	材齢7日(気中養生)	材齢28日(水中養生)		
	GPII-A	GPII-B	N60	N45	
圧縮強度(N/mm ²)	44.7	25.6	28.6	39.0	

設置し,306日後(2018年11月~2019年9月)のモル タル中の塩化物イオン濃度を測定した結果,14.1 kg/m³ であった。

2.3 試験方法

供試体は角柱供試体(100×100×200 mm)とし,1配 合あたり2体とした。曝露面は型枠側面とし,曝露時に 上面となるように設置した。その他の5面はエポキシ 樹脂で被覆した。曝露開始から2年後の塩化物イオン 濃度の測定を行った。供試体のモルタル部のみを5mm 角程度で切り出し,水銀圧入式ポロシメータで測定し, 細孔径分布を求めた。また,供試体の一部を切り出し (約100×100×50 mm), エポキシ樹脂を取り除いた後, 水道水に7日間浸漬した。その後, 24 時間105℃の恒温 機内に静置し, 吸水率を求め, 供試体中の空隙の量を簡 易的に求めた。

3. 試験結果および考察

(1) 塩化物イオン濃度分布

図-1 に曝露試験によって得られた塩化物イオン濃度 分布を示す。OPC コンクリートと比較して GP コンク リートの表面付近での塩化物イオン濃度は小さく,深 さ4 cm 以深で逆転が見られる。また,それぞれの深さ ごとの塩化物イオン濃度の測定結果から塩分浸透面積 を算出すると,GPII-B と OPC コンクリートは同程度の 値を示したことから,外来由来の塩分浸透量はほぼ等 しいと考えられる。GP コンクリートは,塩分が内部に 浸透しやすい特性を有していると言える。

(2) 細孔容積

図-2 に細孔径ごとの細孔容積の算出結果を示す。全体の傾向として、累積細孔容積は、OPC コンクリートよりも GP コンクリートの方が大きい結果となった。また、GP コンクリートについて見ると、強度が大きいGPII-AはGPII-Bよりも累積細孔容積が小さい結果となった。各細孔径の細孔容積について、GP コンクリートは 5.5 nm~50 nm の細孔が多く存在している一方、OPC コンクリートは 50 nm~2 µm の細孔が多い。これらの結果から GP コンクリートは、OPC コンクリートより小さな細孔が多く、累積細孔容積が大きいことが明らかとなった。

(3) 吸水率試験

図-3 に吸水率の測定結果を示す。水中に7日間浸漬 したときの質量を基準に、24 時間 105℃の恒温機に静 置したときの質量減少率を吸水率と定義した。GP コン クリートの吸水率は、細孔容積の結果と同様に、OPC コ ンクリートよりも大きい結果となった。また、GPII-A よ りも GPII-B の方が吸水率は大きい結果となり、これも 細孔容積の測定結果と一致した。GP コンクリートは吸 水性の高い材料と言える。塩害環境下の飛沫帯では、塩 水を多く吸水したと考えられ、GP コンクリートが、曝 露試験で塩分が内部に浸透しやすかった原因の 1 つで あると考えられる。

4. まとめ

塩害環境下で2年間曝露試験を行い、GPコンクリートの塩分浸透性状を調査し、OPCコンクリートと比較



を行った。塩化物イオン濃度分布の結果から、GP コン クリートは、塩分が内部に浸透しやすい特性を有して いると言える。細孔容積の測定結果から、GP コンクリ ートは OPC コンクリートよりも、累積細孔容積が大き く、また、50 nm 以下の細孔容積が多いことが明らかと なった。吸水率試験の結果、GP コンクリートの吸水率 は OPC コンクリートよりも大きく、細孔容積の結果と 一致した。以上より、GP コンクリートが塩分を浸透し やすい原因として、OPC コンクリートよりも累積細孔 容積が大きく、高い吸水性を有するためと考えられる。

参考文献

- 上原元樹,佐藤隆恒,平田綾子,山崎淳司:フライアッシュジオポリマー硬化体の塩化物イオン浸透性,土木学会 年次学術講演概要集, Vol.68, pp.615-616, 2013
- 2) 本田伸也,一宮一夫,山本朝暘,池田攻:フライアッシュ 系ジオポリマーの塩化物イオン浸透性,土木学会西部支 部研究発表会講演概要集, Vol.54, pp.761-762, 2020
- 3) Stephen J. Foster et al.: Field Performance of Geopolymer Concrete Structures, CRC for Low Carbon Living, 2018