

塩害環境下に 1 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 ○榮徳 雄斗 九州大学大学院 正会員 佐川 康貴
西松建設（株） 正会員 原田 耕司 九州工業大学大学院 正会員 合田 寛基
琉球大学 正会員 富山 潤 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⁾、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 1 年間曝露した供試体を分析し、過去に実施した塩水浸漬試験と比較し、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 1.27g/cm³）と GPW-B（密度 1.40g/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
キーワード：ジオポリマー、曝露試験、塩分浸透性状、拡散係数、表面塩化物イオン濃度
連絡先：〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地 Tel 092-802-3387

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)
GP コンクリート	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
	アルカリシリカ溶液	GPW-A	1.27	-
		GPW-B	1.40	-
	海砂	S	2.59	-
OPC コンクリート	砕石	G	2.68	-
	普通ポルトランドセメント	C	3.16	3390
	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 配合（GP コンクリート）

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 配合（OPC コンクリート）

配合名	単位量(kg/m ³)				Ad (g/m ³)	AE (ml/m ³)
	W	C	S	G		
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

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

に設置した。曝露期間中（2018 年 9 月～2019 年 9 月）の平均気温は 23.4℃、合計降水量は 2417mm であった。市販の薄板モルタル供試体（40×40×5mm）を設置し、306 日後のモルタル中の塩化物イオン濃度を測定した結果、14.1kg/m³であった。

2.3 試験方法

供試体は角柱供試体（100×100×200mm）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1年後の塩化物イオン濃度の測定を行った。フィックの拡散方程式が成り立つと仮定し、見掛けの拡散係数および表面塩化物イオン濃度を算出した。また、過去に行った塩水浸漬試験の結果と比較した。

3. 試験結果・考察

(1) 塩水浸漬試験

図-1に室内(20℃)での塩水浸漬試験(10%NaCl水溶液)によって得られた塩化物イオン濃度分布を示す。図中の実線はフィックの拡散方程式による回帰曲線である。図に示す結果は、表-2および表-3に示した配合と異なるものの、ともに材齢28日で30N/mm²程度の圧縮強度が得られる配合のものである。図より、表面の塩化物イオン濃度を見るとGPコンクリートの方がOPCコンクリートよりも小さいが、深さ2cm以降ではGPコンクリートの方が塩化物イオン濃度大きいことから、GPコンクリートは塩分が浸透しやすい特性を有していると言える。

(2) 曝露試験

図-2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4cm以深で逆転が見られる。GPコンクリートの塩分の浸透のしやすさは塩水浸漬試験と実環境とで大きな違いはない結果となった。

図-3にフィックの拡散方程式によって算出した見掛けの拡散係数および表面塩化物イオン濃度を示す。同程度の強度を持つGPコンクリートとOPCコンクリートとで見掛けの拡散係数を比較すると(1)の塩水浸漬試験では40倍、実環境では45~60倍大きい結果となった。表面塩化物イオン濃度は、塩水浸漬試験ではOPCコンクリートの2分の1倍であるのに対し、実環境では8分の1倍と塩水浸漬試験より非常に小さい結果となった。以上より、GPコンクリートには塩分が容易に浸透しやすいことに加え、実環境では降雨などの影響で表面の塩分が外部に流出しやすい特性があると考えられる。

4. まとめ

塩害環境下である沖縄で1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た。実環境下で

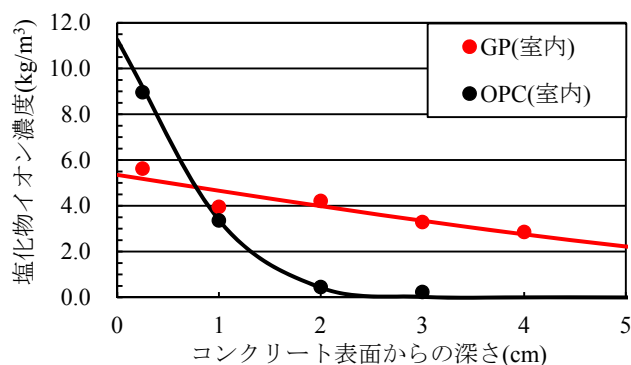


図-1 塩化物イオン濃度分布(塩水浸漬試験)

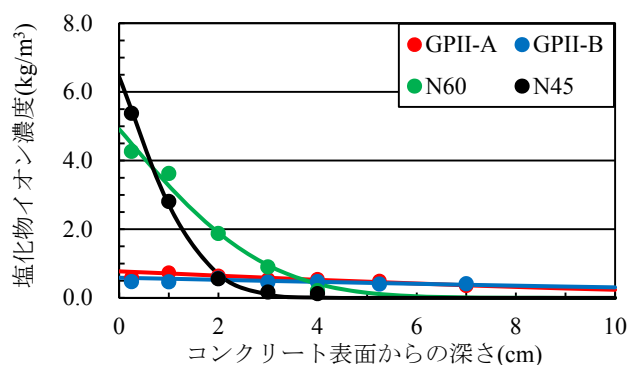


図-2 塩化物イオン濃度分布(曝露試験)

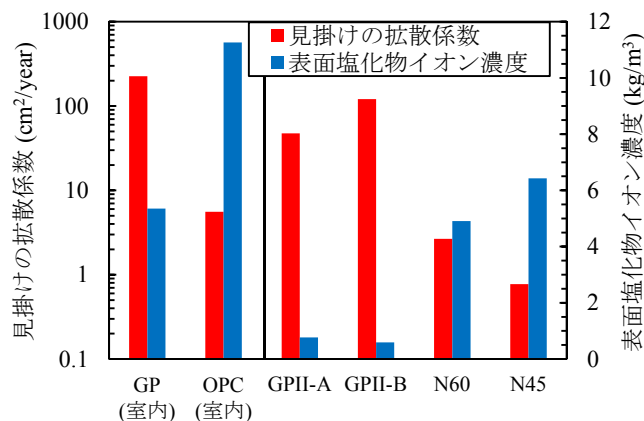


図-3 見掛けの拡散係数および表面塩化物イオン濃度算出結果

のGPコンクリートの見掛けの拡散係数はOPCコンクリートの45~60倍大きい結果となり、塩分が浸透しやすい特性をもつことが明らかとなった。また、塩分の浸透のしやすさは、塩水浸漬試験と実環境とで大きな違いは見られなかった。一方、実環境でのGPコンクリートの表面塩化物イオン濃度は塩水浸漬試験よりも小さく、表面の塩分が外部に流出しやすい可能性がある。

参考文献

- 1) 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, No.5, pp.761-762, 2020.3
- 2) Stephen J. Foster et al.: Field Performance of Geopolymer Concrete Structures, CRC for Low Carbon Living, 2018

謝辞: 本稿で示した塩水浸漬試験は、元九州大学大学院修士課程 太田 周 氏(現三菱マテリアル(株))により実施されたものである。ここに謝意を表する。