

長期海洋暴露試験に基づく高炉スラグ微粉末の置換率を変化させた
コンクリートの塩分浸透性に関する検討

港湾空港技術研究所 正会員 ○与那嶺 一秀
港湾空港技術研究所 正会員 山路 徹
鹿児島大学 正会員 審良 善和

1. はじめに

港湾では、二酸化炭素排出量の削減および塩分浸透抵抗性向上の観点から、高炉セメントの利用が推奨されている。塩分浸透抵抗性向上の原因として、細孔構造の緻密化や、それに伴う拡散二重層の影響¹⁾などが挙げられる。近年、高炉スラグ微粉末を高置換率で使用した場合において、塩分浸透が停滞するという報告^(例えば 2)がなされるようになったが、実海洋環境下での長期暴露試験における知見は少ない。本検討では、高炉スラグ微粉末の置換率を変化させた供試体を海中部に約8年間暴露し、塩分浸透性および細孔構造について調査を行った。

2. 実験概要

2.1 供試体

JSCE-G572-2003 に準拠し作製した。打設面から約25mmを切断してこれを試験面とし、試験面以外はエポキシ樹脂で被覆し、塩化物イオンの侵入を遮断した。サイズはφ100mm×175mmである。コンクリートの配合を表-1に示す。水結合材比は50%、セメントは普通ポルトランド（密度3.16g/cm³）とし、高炉スラグ微粉末（密度2.89g/cm³）を0, 20, 40, 50, 60, 80%で置換した。細骨材は静岡県大井川水系陸砂（表乾密度2.58g/cm³）を、粗骨材は東京都青梅産砂岩砕石（表乾密度2.66g/cm³）を用いた。

表-1 コンクリートの配合条件

W/B (%)	置換率 (%)	単位量(kg/m ³)				
		W	C	BFS	細骨材	粗骨材
50.0	0	160	320	0	857	995
50.0	20	160	256	64	872	995
50.0	40	160	192	128	930	995
50.0	50	160	160	160	960	995
50.0	60	160	128	192	989	995
50.0	80	160	64	256	1048	995

2.2 暴露環境・暴露期間

供試体は、実海水を用いて海中部を模擬した水槽に暴露した。暴露開始から1.1年、5.8年、7.9年の時点で引き上げ、各種試験を行った。

2.3 調査項目

塩化物イオン濃度分布および見掛けの拡散係数は、JSCE-G572-2003 に準拠して求めた。

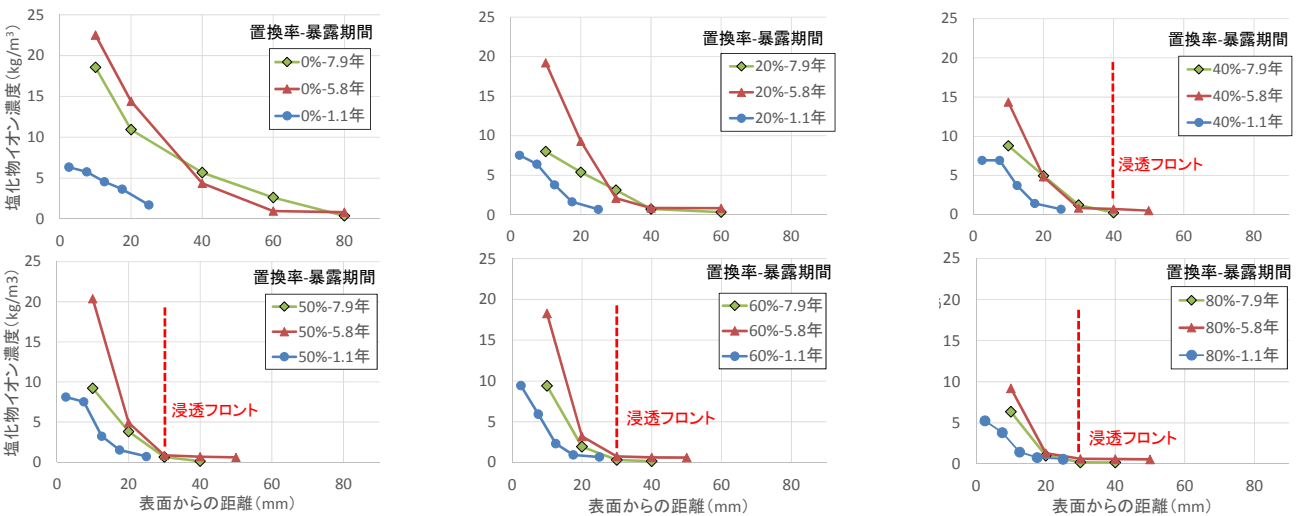


図-1 塩化物イオン濃度分布

セメント硬化体中の総細孔容積は、暴露 7.9 年目の供試体に対し、水銀ポロシメーターを用いて測定した。

3. 試験結果

3.1 塩化物イオン濃度分布、見かけの拡散係数

図-1 に塩化物イオン濃度分布の経時変化を示す。置換率が 40% 以上の供試体においては、浸透の先端部（浸透フロント）がほぼ停滞しているように見える。図-2 に、図-1 の分布を Fick の拡散方程式の解で回帰して求めた見かけの拡散係数 D_{ap} ($\text{cm}^2/\text{年}$) と、置換率との関係を示す。 D_{ap} は暴露 5 年程度が経つとほぼ変化しない³⁾こと、置換率の上昇に伴い低下することが改めて示された。

また、図-2 にはコンクリート標準示方書（2007 年改訂⁴⁾および 2012 年改訂⁵⁾）に示される式から求めた拡散係数を併示した。本検討における暴露 5.8 年以降の結果が、コンクリート標準示方書（2012 年改訂）における拡散係数とほぼ同程度となっていることが確認された。

3.2 総細孔容積

図-3 に毛細管空隙の総細孔容積を、径の範囲により分けて示す。30nm~1 μm における総細孔容積は、置換率の増加に伴い減少する傾向にあった。また、7nm~30nm における総細孔容積は、増減があるものの置換率 80% で大幅に増加した。これらは細孔構造の緻密化を示すものと考えられる。また、緻密化により拡散二重層の影響を大きく受けるようになるため、塩化物イオンの浸透性は低下するといわれており¹⁾、図-1 における浸透フロント停滞および図-2 に示す D_{ap} の低下に影響したのと考えられる。

4. まとめ

(1) 40% 以上の高炉スラグ置換率の供試体においては、塩化物イオンの浸透フロントの停滞が見られた。また、置換率の増加に伴い、見かけの拡散係数に減少傾向が見られた。

(2) 本検討において使用した供試体の暴露 5.8 年目以降の見かけの拡散係数は、コンクリート標準示方書（2012 年改訂）において設定されている拡散係数とほぼ同程度となった。

(3) 置換率の増加に伴い、30nm~1 μm における総細孔容積は減少し、7nm~30nm における総細孔容積は増減があるものの置換率 80% で大幅に増加した。これらは細孔組織の緻密化を示すものと考えられる。また、緻密化により拡散二重層の影響も大きくなり、浸透フロント停滞や見かけの拡散係数の低下に影響したと考えられる。

参考文献

- 1) 合田義，岩浅瑛大，名和豊春：高炉スラグ添加セメント硬化体における塩化物イオンの拡散モデル，セメント・コンクリート論文集，Vol.66，pp.390-397，2012。
- 2) 小柳翔平，高橋佑弥，石田哲也：高炉スラグ微粉末及びフライアッシュを混和したセメント硬化体の材料物性・塩分浸透性状の経時変化に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.37，No.1，2015。
- 3) 山路徹，与那嶺一秀，審良善和，濱田秀則：海洋暴露試験に基づくコンクリート中の塩化物イオン拡散性状の時間依存性に関する検討，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文集，第 14 巻，pp.213-220，2014.10。
- 4) 土木学会：2007 年制定 コンクリート標準示方書〔設計編〕，p.55，2008。
- 5) 土木学会：2012 年制定 コンクリート標準示方書〔設計編〕，pp.154-155，2013。

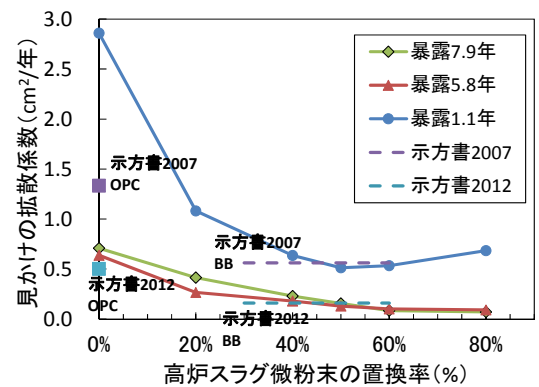


図-2 置換率と見かけの拡散係数の関係

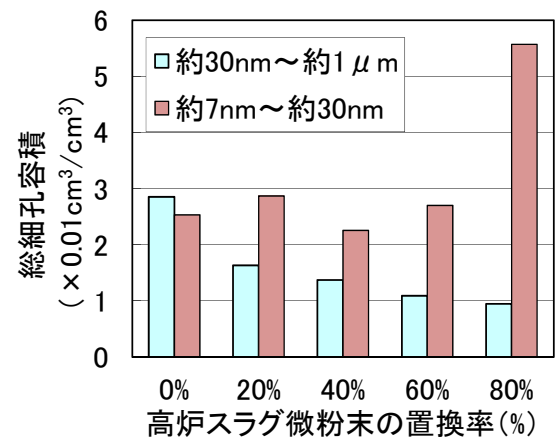


図-3 総細孔容積