

自己充てん型高強度高耐久コンクリートの長期海洋曝露試験結果

前田建設工業（株）正会員 ○佐藤 文則

住金鉱化（株）正会員 紙田 晋

（株）ティーネットジャパン正会員 牛島 栄

1. 目的

著者らは、自己充てん型高強度高耐久コンクリート（以下 S.Q.C と称す）を対象として、これまで耐久性に関する数々の試験を行い、各劣化因子に対する抵抗性について検討してきた¹⁾。一連の試験の内、S.Q.C の塩分浸透抵抗性を評価するため、9 年にわたる長期海洋曝露試験を鹿島灘の海浜で 9 年に渡り実施してきた。高強度領域の実環境下における塩分浸透に関する曝露試験データは少ないのが現状であり、本試験結果は貴重なデータと思われる。本報は、海洋曝露期間 9 年後の S.Q.C の塩分浸透抵抗性の結果について報告するものである。

2. 長期海洋曝露試験の概要

長期海洋曝露試験を行ったコンクリートの配合と使用材を表-1、表-2 に示す。配合種類は、配合強度で 72N/mm²～120N/mm² の S.Q.C の 4 種類と、比較用として 29N/mm² の普通コンクリートとした。これらのコンクリートにより角柱供試体（150×125×500mm）を作製し、海洋曝露供試体とした。供試体の養生は材齢 7 日で脱型し、水中 1 週間、気中 6 週間の計 56 日とした。養生終了後、海洋曝露を開始し 9 年間曝露後、各種試験を行った。試験は、供試体より試料を採取し、中性化深さ測定後コンクリート表面から深さ方向に全塩化物イオン量を測定した。また、各種コンクリートの細孔径分布を水銀圧入法により測定した。

表-2 使用材料

材料種別	材料名および物性
セメント	普通ポルトランドセメント[OPC] 密度：3.16 低熱ポルトランドセメント[LC] 密度：3.26 高強度・高流動コンクリート用ポルトランドセメント[BL] 密度：3.20
混和材	フライッシュ[FA] 密度：2.11, 比表面積：3480cm ² /g 高炉スラグ微粉末[BS] 72N/mm ² 用 密度：2.89, 比表面積：5830cm ² /g 高炉スラグ超微粉末[BSS] 120N/mm ² 用 密度：2.91, 比表面積：15000cm ² /g
細骨材	川砂 表乾密度：2.54, 吸水率：2.70%, 粗粒率：2.61
粗骨材	硬質砂岩 2005 砕石 表乾密度：2.54, 吸水率：2.70%, 実積率：60.1%
混和剤	高性能 AE 減水剤（ポリカルボン酸系） AE 減水剤（リグニンスルホン酸系）

3. 曝露環境

海洋曝露場所は、茨城県鹿嶋市の工場敷地内である。飛来塩分量の測定結果は、ガーゼ法で 0.177(0.028～0.423)mgNaCl/day/100cm² となっている。また、鋼材（曝露鋼材）の腐食状態を測定したところ、9 年で腐食度 26.4mdd, 侵食度 0.125mm/year の腐食環境となっている。

表-1 コンクリートの配合

配合条件							単位量(kg/m ³)						
配合名	配合強度	目標スラブ厚	目標空気量	水結合材比	粗骨材かさ容積	細骨材率	水	セメント	混和材	細骨材	粗骨材	高性能 AE 減水剤	AE 剤
	(N/mm ²)	(cm)	(%)	(%)	(m ³ /m ³)	(%)						B×%	B×%
LC72	72	60	4.0	38.6	0.52	52.9	165	427	-	891	827	1.00	0.0020
FA72	72	60	4.0	34.9	0.52	50.0	165	378	95	809	827	1.25	0.0075
BS72	72	60	4.0	41.5	0.52	52.9	165	199	199	891	827	1.05	0.0025
BS120	120	65	3.0	22.0	0.50	47.2	165	675	75	681	795	1.75	0.0012
OPC29	29	12*	4.5	59.9	0.65	45.1	160	267	-	813	1034	0.25	0.0030

結合材の種類 B：セメント+混和材 *スラブの値を示す。
LC72：低熱ポルトランドセメント FA72：普通ポルトランドセメント+フライッシュ BS72：普通ポルトランドセメント+高炉スラグ微粉末(BS)
BS120：高強度・高流動用ポルトランドセメント+高炉スラグ超微粉末(BSS) OPC29：普通ポルトランドセメント

キーワード 自己充てん型高強度高耐久コンクリート, 長期海洋曝露, 塩分浸透抵抗性, 細孔構造

連絡先 〒102-8151 東京都千代田区富士見 2-10-26 前田建設工業（株） TEL 03-5276-9419

4. 試験結果および考察

図-1 に全塩化物イオン量の測定結果を示す. 図によれば OPC29 に対して, S.Q.C はコンクリート内部への塩分浸透量は少なく, 塩分浸透抵抗性が高い結果となっている. 特に, 高炉スラグ微粉末・フライアッシュを混和した S.Q.C は塩分浸透量が少ない. これは混和材の塩分補足効果によるものと思われる. 表-3 に全塩化物イオン量分布より算出した表面塩化物イオン量と見掛けの塩分拡散係数を示す. 図-2 に水結合材比と塩分拡散係数の関係を示す. なお, 図中には標準示方書に示される拡散係数の予測値も合わせて示した. これらによれば, 水結合材比は小さい程, 塩分拡散係数が小さくなっており, OPC29 に対して著しく S.Q.C は塩分拡散係数が小さく, その抵抗性が高いことが分かる. また, OPC29 も高炉セメントやシリカフュームを使用する場合の予測値に近い結果となっている. 図-3 に各コンクリートの総細孔容積と塩分拡散係数との関係を示す. S.Q.C の細孔容積は $3.523 \sim 6.129 (\times 0.01 \text{ cm}^3/\text{g})$ で, OPC29 は $6.881 (\times 0.01 \text{ cm}^3/\text{g})$ となっている. 図のように FA72 および LC72 と OPC29 の総細孔容積には大きな差が無いが, 塩分拡散係数には大きな違いがあることが分かる. これは塩分浸透抵抗性に直接寄与する細孔構造を評価できていないと考えられる. 細孔構造の評価として, 水銀圧入試験でインクボトル効果を考慮した脱着曲線による評価が必要と考えられる.

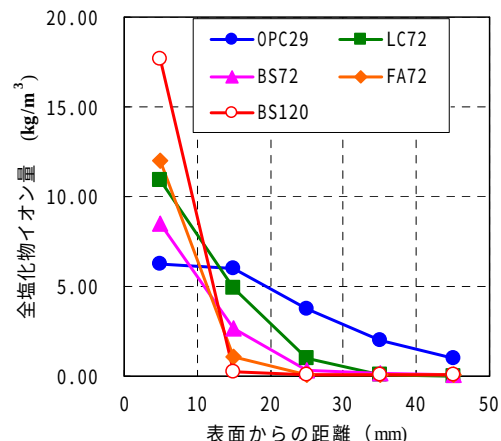


図-1 全塩化物イオン量の分布

表-3 見掛けの塩分拡散係数

配合	W/B	表面塩化物イオン量	見掛けの塩分拡散係数
		$C_0(\text{kg}/\text{m}^3)$	$D_c(\text{cm}^2/\text{year})$
LC72	38.6	15.67	0.119
FA72	34.9	25.80	0.031
BS72	41.5	13.18	0.079
BS120	22.0	46.83	0.019
OPC29	59.9	8.14	0.623

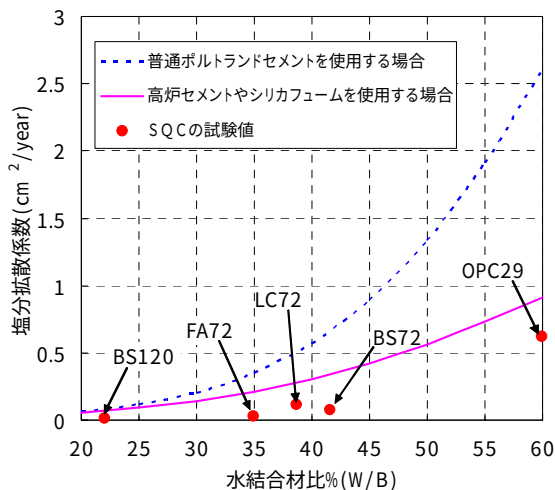


図-2 水結材比と塩分拡散係数の関係

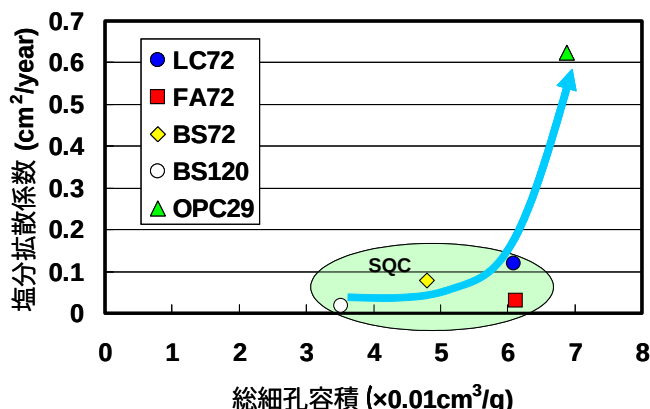


図-3 総細孔容積と塩分拡散係数の関係

5. まとめ

長期海洋曝露試験の結果、自己充てん型高強度高耐久コンクリートの塩分浸透抵抗性に対する有意性を示した. また, これらの塩分浸透に関する曝露試験データは, 高強度コンクリートの塩分浸透抵抗性の評価する上で重要と考えられる. 今後は海洋曝露試験期間を 15 年まで継続する予定であり, 曝露期間の増大に伴う塩分拡散係数の変化等を, 試験体の細孔構造の観点から取りまとめる予定である. なお, 本試験は S.Q.C 構造物開発普及協会耐久性部会活動の一環として実施されたものであり, 関係者の方々に深く感謝いたします.

参考文献

- 1) コンクリートライブラリー105号～自己充てん型高強度高耐久コンクリート構造物設計・施工指針(案)