

フライアッシュを用いた既設コンクリート構造物の遮塩性

電源開発(株) 茅ヶ崎研究センター 正会員 ○佐藤 道生

電源開発(株) 茅ヶ崎研究センター 正会員 井下 一郎

表-1 対象構造物 緒元

配合	構 造 物	フライアッシュ 置換率	暴露 期間	環境区分
SA(S地点, 無筋)	捨石傾斜堤, ブロック	10%	20年	海上大気中
SB(S地点, 鉄筋)	岸壁矢板頭部	10%	20年	飛沫帯
UA(U地点, 無筋)	擁壁	15%	11年	海上大気中
UB(U地点, 鉄筋)	岸壁矢板頭部	15%	11年	海上大気中

表-2 配合表

配合	SL (cm)	W/P (%)	Air (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
					W	C	S	G
SA	5	62.0	4.0	37	155	250	645	1260
SB	12	53.4	4.0	35	171	320	619	1233
UA	12	63.1	4.0	41	164	260	747	1156
UB	12	56.6	4.0	38.5	164	290	692	1187

表-3 シュミットハンマー法による強度の推定

配合	施工時平均 圧縮強度σ ₂₈ (a)	シュミットハンマー法		圧縮強度 比(b/a)
		推定強度(b)	表面状態	
SA	23.1 N/mm ²	31.4 N/mm ²	乾燥	1.36
SB	29.4 N/mm ²	40.9 N/mm ²	湿潤	1.39
UA	25.3 N/mm ²	42.7 N/mm ²	湿潤	1.69
UB	30.4 N/mm ²	35.3 N/mm ²	乾燥	1.16

表-4 中性化深さ(mm)

配合	フェノールフタ レイン法	EPMA 法	推定値 (岸谷式)
SA	0.6	3.4	17.4
SB	0.9	4.6	11.6
UA	2.6	5.9	13.2
UB	2.0	1.6	10.4

1. はじめに：塩水浸漬による促進試験¹⁾ではフライアッシュを用いたコンクリートは、高炉セメントと同等の遮塩性を有していた。しかし、自然暴露によりフライアッシュを用いたコンクリートの遮塩性を評価した事例が少なく、耐久性照査に十分なデータが得られていない。そこで、10年以上海洋環境に暴露された既設コンクリート構造物の調査を行い、フライアッシュを用いたコンクリートの遮塩性を評価した。

2. 対象構造物：竣工後10年以上経過した2発電所から表-1に示す4構造物を対象とした。両地点ともフライアッシュセメントを使用し、S地点はフライアッシュ置換率10%、U地点は15%である。配合を表-2に示す。記録によればU地点のフライアッシュセメントの化学成分は、CaO55.6%、SiO₂19.7%、Al₂O₃5.2%、不溶残分12.2%であり、標準的なフライアッシュセメントB種であった。なお、S地点はセメントの化学成分に関する記録がないため不明である。

3. 試験方法：水平方向にφ100mmのコアを採取した後、表層より1.5cm毎に切断し、各層毎に全塩分、可溶性塩分を測定した。測定方法はJCI SC-4「硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法」の電位差滴定法によった。この他、フェノールフタレイン法による中性化深さ測定、電子線マイクロアナライザー（以下EPMAと略記）による元素(Cl, Si, Ca, S)の分布観察を実施した。

4. 試験結果

(1) 強度の推定：コア採取時にシュミットハンマー法による強度推定を行った。試験値に変動があるが、推定強度が施工時の平均強度を2割程度上回ることで、顕著な劣化が見られないことから、現在の強度は所要の強度を上回るものと推定された。

4. 試験結果

(2) 中性化深さ：フェノールフタレイン法による中性化深さは1~3mm程度と非常に小さく、EPMAにより評価した硫黄の濃縮域もフェノールフタレインの発色域よりやや深いがほぼ同等であった。暴露環境が常に湿潤状態であったために中性化が抑制され、岸谷式による推定値より小さい値となったものと考えられる。

(3) 塩分濃度分布：電位差滴定法による塩化物イオン濃度分布の一例（全塩分濃度）を図-1に示す。SA配合では10cm以上まで塩化物イオンが浸透しているが、無筋構造物では除塩しない

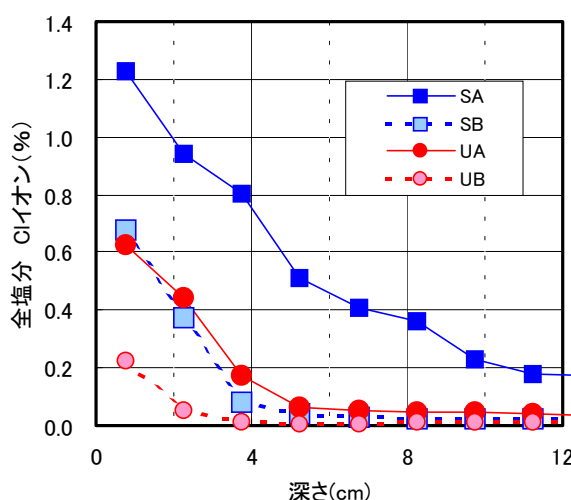


図-1 塩化物イオン濃度分布(全塩分)

キーワード：フライアッシュ、拡散係数、ポゾラン反応、海洋コンクリート、耐久性

連絡先：〒253-0041 神奈川県茅ヶ崎市茅ヶ崎1-9-88 TEL0467-87-1211 Fax0467-87-7319

海砂を使用していたこと、単位結合材量が 250kg と貧配合であることが要因と考えられる。鉄筋コンクリートである SB,UB 配合では、5cm 以深で塩化物イオン濃度が腐食発生限界塩化物イオン濃度(1.2kg/m³)以下であった。また、EPMA 面分析をもとにモルタル部分の塩化物イオン濃度分布を調べた。同一視野にて SO₃ の分布を評価し SO₃ 濃度が 0.2%以下の部分を骨材と判断した上で、骨材領域以外の塩化物イオン濃度を厚さ 4mm 毎に平均した結果、滑らかな塩分濃度分布(図-2)が得られた。塩分濃度の最大値は水結合材比や材齢によるが、ピーク位置は硫黄濃縮深さとはほぼ一致しており中性化の影響があるものと思われる。

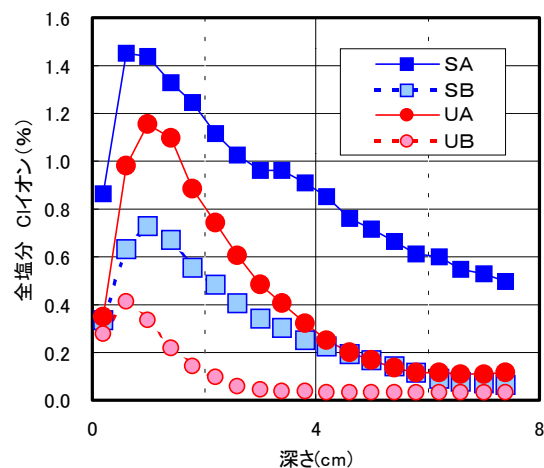
(4) 塩分拡散係数：電位差滴定法の塩分濃度分布より算定した見掛けの塩分拡散係数の算定結果を表-3 に示す。対象配合は水結合材比が比較的高いが拡散係数は全て 10⁻⁸cm²/s 前後である。既往文献でのフライッシュを用いたコンクリートの見掛けの拡散係数を表-4 に、試験結果と文献値及び高炉セメントを用いたコンクリートの回帰式を図-3 に示す。フライッシュを用いたコンクリートの拡散係数は高炉セメントより概ね小さく、優れた遮塩性能を有していた。試験値(全塩分)と文献値をもとにフライッシュを用いたコンクリートの水結合材比(W/P)と塩分拡散係数の回帰式を試算すると式-1 となる。

$$\log D = 7.15 \times (W/P)^2 - 4.43 \times (W/P) - 7.70 \cdots \text{式-1}$$

5. まとめ：塩水浸漬試験¹⁾では、フライッシュを用いたコンクリートは同一水結合材比の条件下で高炉セメント B 種と同程度の遮塩性能を有していた。また、材齢 10 年以上の既設構造物を調査した結果でも、フライッシュを用いたコンクリートが高炉セメント B 種と同等以上の遮塩性を有することを確認した。両者の結果より、フライッシュを用いたコンクリートは高炉セメントと同等の遮塩性が期待できるものと考えられる。

しかし、根拠となるデータ数が少なく、他セメントと同様の信頼性を得るには至っていない。フライッシュを用いたコンクリートの遮塩性を明確にするには今後さらなる試験データの蓄積が必要である。

【参考文献】1) フライッシュを用いたコンクリートの遮塩性に関する基礎試験, 佐藤ら, 土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集, pp260-261, 2001.10, 2)海洋環境下におけるコンクリートへの塩化物イオン浸透性の評価に関する研究, 笹谷ら, 土木学会論文集 No.571,V-36,pp91-104,1997.8, 3)海岸に暴露したコンクリートへの塩分浸透について, 太田ら, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.13, No.1,pp589-594,1991, 4)chloride diffusion and reinforcement corrosion in marine exposed concretes containing pulverized-fuel ash., M.D.A Thomas,corrosion of reinforcement in concrete,pp198-212,1990., 5)field performance of portland cement and fly ash concrete subjected to flowing seawater,V.Sirivivatnanon,P.Marsh, P.Nelson,special publication,American Concrete Institute,SP-163, pp463-479,1996, 6) modelling chloride diffusion in concrete effect of fly ash and slag,M.D.A Thomas, P.B.Bamforth, cement and concrete research, 29,1999,pp487-495



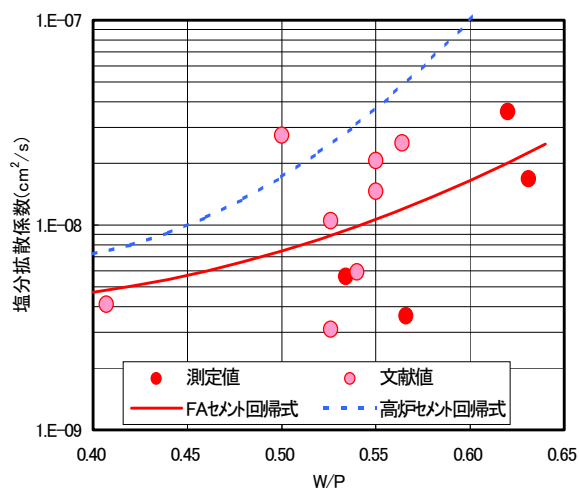
図—2 塩化物イオン濃度分布(骨材除く)

表—3 塩分拡散係数 (×10⁻⁸cm²/s)

配合	可溶性塩分		全塩分	
	表面濃度 (Cl%)	拡散係数	表面濃度 (Cl%)	拡散係数
SA	1.13	3.63	1.87	3.57
SB	0.53	0.42	0.84	0.56
UA	0.52	1.08	0.73	1.68
UB	0.14	0.28	0.35	0.36

表—4 既往文献による塩分拡散係数

文献	W/C (%)	暴露期間	フライッシュ置換率 (%)	拡散係数 (10 ⁻⁸ cm ² /s)
2	55.0	7 年	30	2.06
	55.0	7 年	30	1.46
3	40.7	20 年	10~20	0.41
4	56.4	2 年	15	2.51
	50.0	2 年	30	2.75
5	52.6	30 年	19.3	0.31
	52.6	30 年	19.3	1.05
6	54.0	8 年	30.2	0.59



図—3 フライッシュを用いたコンクリートの塩分拡散係数