

速硬形セメントを用いたコンクリートの海洋環境下での 鉄筋腐食および塩分浸透性状

太平洋セメント株式会社 正会員 山下 裕毅
太平洋セメント株式会社 正会員 横山 滋
独立行政法人港湾空港技術研究所 正会員 濱田 秀則
独立行政法人港湾空港技術研究所 正会員 山路 徹

1. はじめに

都市ゴミ焼却灰や下水汚泥などの廃棄物を主原料としたエコセメントには、塩素成分をクリンカー鉱物として固定し速硬性を有するタイプ（速硬形）と塩素含有量が 0.1%以下とし普通ポルトランドセメントと類似の性質を有するタイプ（普通形）の二種類がある。本報告は、速硬形エコセメントの海洋構造物への適用性の把握を目的として、海洋環境での暴露試験を実施しており、その材齢 3 年までの圧縮強度、鉄筋腐食及び塩分浸透性状について検討を行ったものである。

2. 試験概要

2.1 使用材料・コンクリート配合

セメントは、普通ポルトランドセメント（以下、OPC と称す）、速硬形エコセメント（以下、EA と称す）及び耐海水性を考慮し EA に高炉スラグ微粉末を 60%混合したセメント（以下、EB と称す）を用いた。コンクリート配合は、水結合材比（W/B）を 40、50 および 60%とし、スランプ及び空気量がそれぞれ 8.0 ± 2.5 cm及び 4.5 ± 1.5 %となるよう調整した。¹⁾

2.2 試験方法

供試体の前養生は 28 日水中養生とした。試験項目としては、圧縮強度、鉄筋腐食、

全塩分量及び X 線回析試験を行った。

圧縮強度試験は、海中部にて試験体（ 10×20 cm）を暴露し、材齢 1 年及び 3 年で行った。鉄筋腐食試験は、黒皮鉄筋（SR235、13 mm）をかぶり厚さ 3 cm及び 5 cmの二箇所配置した 15×30 cmの試験体を用い、干満部にて暴露した供試体について材齢 1 年及び 3 年で行った。なお、測定範囲は鉄筋中心から 100 mmずつ、合計

200 mmの部分とした。全塩化物量試験は、海中部にて暴露した試験体（ 15×30 cm）を表層部より 10 mm毎に切断して深さ 60 mmまでとし、JCI-SC5「硬化コンクリート中に含まれる全塩分の簡易分析方法」に準拠して、全塩化物イオン量を電位差滴定法により、材齢 3 年で測定した。X 線回析は、試験体の表層部及び中心部について行った。

3. 試験結果と考察

表 2 に EA、EB 及び OPC コンクリートの圧縮強度試験結果（海中部）を示す。EA コンクリートは何れの W/B においても強度低下は認められなかった。また、各コンクリートとも圧縮強度は増加し、OPC と比較して、EA 及び EB とも若干高い値を示した。

表 2 に干満部に鉄筋腐食試験結果を示す。材齢 3 年において、EA に鉄筋の発錆が認められた。これは、初期の塩

キーワード：エコセメント、海洋環境、塩化物、拡散係数
連絡先：千葉県佐倉市大作 2-4-2、Tel：043-498-3829、Fax：043-498-3821

素含有量が高いことが影響したものと考える。

図1に各コンクリート中の塩分の浸透状況及び表3に見掛けの拡散係数及び表面塩分濃度を示す。図1に示すコンクリートの全塩分量は、初期含有塩分量と浸透塩分量である。塩分の浸透現象は Fick の第二法則として知られている拡散方程式で表現でき、その解(式(1))により回帰し、見掛けの拡散係数及び表面塩分濃度を求めた。²⁾³⁾

$$C(x,t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) + C(x,0) \quad (1)$$

ここに、 C_0 : 表面塩分濃度 (%)、 erf : 誤差関数、 D : 見掛けの拡散係数 (cm^2/s)、 t : 期間 (s)、 x : コンクリート表面からの距離 (cm)。ただし、EA 及び EB は、セメント中の塩素含有量が高いため、初期におけるコンクリート中の塩分含有量 $C(x,0)$ を考慮した。

EA を用いたコンクリートの見掛けの拡散係数は、OPC と同様に W/B の増加に伴い増加する。⁴⁾ また、OPC の $D=4.56 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ と比較して同一 W/B では $D=5.78 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ と同程度であった。また、塩分の浸透深さは、W/B=40%において3 cm程度あるが、W/B=60%では中心部付近まで浸透していることが認められた。EB を用いたコンクリートの場合は $D=0.51 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ と非常に小さく、塩分の浸透深さも 2.0 cm程度であり、OPC と比較しても浸透深さが小さく、遮塩性の高いことが認められた。

コンクリートの表面塩分濃度は、セメント中の Al_2O_3 量が多いため、OPC が $C_0=0.21\%$ に対して EA が $C_0=0.35 \sim 0.73\%$ 、EB が $C_0=0.37\%$ と大きく、初期含有塩分を差し引いても、比較的表層部に塩分が多く固定されていることが認められた。これは、X線回析の結果からフリーデル氏塩などにより塩素が固定されたためと思われる。表層部の塩分濃度のデータはまだ少なく、今後、表層部の塩分量をより詳細に分析し、塩分固定性状及び拡散係数等についてさらに検討する必要がある。

4. まとめ

本報告を要約すると以下の通りである。

- (1) 海中部に暴露した EA 及び EB コンクリートの圧縮強度は、OPC と同様強度低下は認められなかった。
- (2) 干満部に暴露した EA コンクリートは、鉄筋の発錆が認められた。
- (3) EA コンクリートは、OPC と比較して、同一水セメント比の見掛けの拡散係数は同程度であった。
- (4) EA を用いたコンクリートは、表面塩分濃度が高く、フリーデル氏塩により塩素が固定されていることが認められた。
- (5) EA に高炉スラグ微粉末を用いることにより、見掛けの拡散係数が非常に小さくなり、且つ浸透深さが少ない遮塩性の優れたコンクリートが得られた。

[参考文献] 1)長塩 靖祐 他：都市ゴミ焼却灰を主原料としたセメントを用いたコンクリートの海洋環境下への適用性に関する検討、1999、2) 後藤 誠史 他：セメント硬化体の塩素イオンの拡散、窯業協会誌 87、1979、3)コンクリート標準示方書[維持管理編]、土木学会、2001、4)氏家 勲 他：コンクリートの透気性状と酸素および塩素イオンの拡散性状に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集 Vol.15, No.1、1993

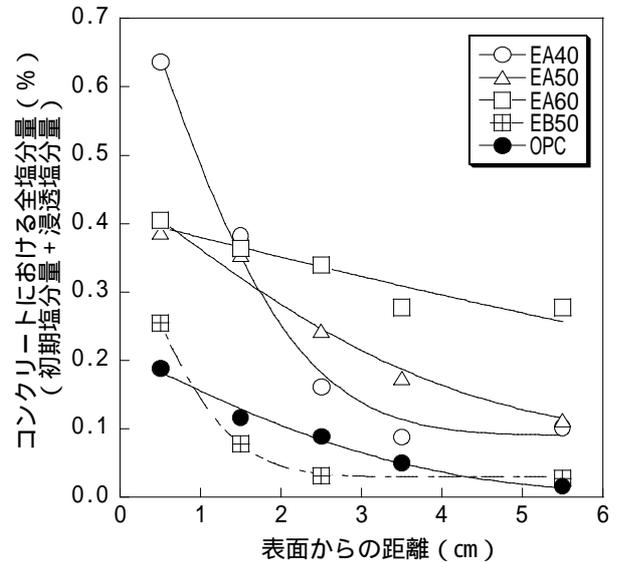


図1 全塩分量と浸透深さ状況

表3 海中部暴露における見掛けの拡散係数

セメント種類	W/B (%)	拡散係数 ($\times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$)	表面塩分濃度 (%)	初期含有塩分 (%)	X線回析フリーデル氏塩	
					表層	中心
EA	40	1.41	0.73	0.09		×
	50	5.78	0.37	0.08		×
	60	48.0	0.35	0.06		
EB	50	0.51	0.37	0.03	×	×
OPC	50	4.56	0.21	-		×

注) X線回析 : 300-1000cps, : 300cps以下, × : 確認されなかった