

# 普通形エコ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

太平洋セメント株式会社 正会員 田中 敏嗣  
 太平洋セメント株式会社 平尾 宙  
 太平洋セメント株式会社 正会員 山下 裕毅  
 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、普通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、海洋環境下での試験を実施しており、その材齢1年までの圧縮強度、長さ変化、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

表1にセメントの物理特性及び化学組成を示す。セメントは、普通ポルトランドセメント（以下、OPC）、普通形エコセメントとしてC<sub>3</sub>A=14%のもの（以下、E14）及びC<sub>4</sub>AFを低減しC<sub>2</sub>Sを増加させたC<sub>3</sub>A=19%のもの（以下、E19）を用いた。細骨材は、静岡県小笠産陸砂（表乾密度：2.60、粗粒率：2.87）、粗骨材は、茨城県岩瀬産砕石（最大寸法：20 mm、表乾密度：2.64、粗粒率：6.70）を用いた。AE減水剤は、リグニンスルホン酸化合物及びポリオール複合体を主成分とする市販品を用いた。

表1 セメントの物理特性及び化学組成

セメント種類	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)	凝結 (h-min)		化学組成 (%)								鉱物組成 (%)			
			始発	終結	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub>	Cl	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
OPC	3.16	3220	2-22	3-20	22.2	5.1	3.2	63.8	1.4	1.6	0.50	0.005	48	28	8	10
E14	3.17	4650	1-55	2-55	17.0	8.0	4.2	60.9	1.9	3.8	0.17	0.05	49	12	14	13
E19	3.14	4380	2-00	4-30	18.8	8.3	1.9	63.2	1.4	4.5	0.05	0.04	43	22	19	6

### 2.2 試験方法

表2に配合を示す。スランプ及び空気量はそれぞれ8.0±2.8cm及び4.5±1.5%となるように調整した。供試体の前養生は、28日標準養生とした。表3に試験項目及び暴露条件の組合わせを示す。コンクリート中の全塩化物含有量について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、電位差滴定法により測定した。

### 3. 試験結果及び考察

図1に材齢1年の圧縮強度試験結果を示す。E14及びE19コンクリートは、いずれの暴露条件にお

いても標準養生の場合と比較して強度低下がないことが認められた。E19コンクリートは、E14コンクリートより強度が若干高くなったが、これは、C<sub>4</sub>AFに変わってC<sub>2</sub>S量が多いことが要因の一つと推察される。

表3に海中部に暴露した材齢1年の長さ変化試験結果を示す。いずれのコンクリートの場合も材齢1年では、特

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

表2 コンクリート配合

セメント種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				混和剤 (C×%)	
			水	セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤	AE助剤
OPC	50	44	160	320	793	1029	0.25	0.004
E14		43	158	316	780	1050		0.006
E19		44	158	316	797	1030		0.005

表3 試験項目及び暴露条件の組合せ

試験項目	試験方法	普通形エコセメント				普通ポルトランドセメント			
		標準	海中	干満	海浜	標準	海中	干満	海浜
圧縮強度	10×20								
長さ変化	10×10×40								
鉄筋腐食	SGD-3, 13				*				
塩分浸透	JCI-SC5				*				

注) \*はE14のみ

に膨張などの異常は認められなかった。

表3にE14コンクリートの鉄筋腐食試験結果を示す。干満暴露1年では、E14コンクリートは、鉄筋に発錆は認められなかった。

図2に海中部に暴露した材齢1年までの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。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。<sup>1)</sup>

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

ここに、 $C_0$ ：表面塩分濃度(%)、 $\operatorname{erf}$ ：誤差関数、 $D$ ：見掛けの拡散係数( $\text{cm}^2/\text{s}$ )、 $t$ ：期間(s)、 $x$ ：コンクリート表面からの距離(cm)。

E14及びE19コンクリートの見掛けの拡散係数は、OPCの材齢1年の場合  $D=12 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$  程度<sup>2)3)</sup>と比較して小さくなる傾向が認められた。

また、浸透深さは3cm程度で、鉄筋位置での塩分量は、鉄筋腐食が活発になる限界値(塩分量0.05~0.1%)より小さいことが認められた。

E14コンクリートの表面塩分濃度は、海中部及び干満部とも  $C_0=0.15\%$ 程度であり、OPC<sup>2)</sup>と同程度であった。海中部に暴露したE19コンクリートは、 $C_0=0.39\%$ と大きくなったが、これは  $C_3A=19\%$ と多いため、フリーデル氏塩などにより塩素が表層部に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) 材齢1年における海洋環境下での普通形エコセメントを用いたコンクリートの圧縮強度低下、膨張及び鉄筋の発錆は、認められなかった。
- (2) 材齢1年における普通形エコセメントコンクリートの拡散係数は、普通ポルトランドセメントと同程度以下と考えられる。
- (3) 普通形エコセメントは、 $C_3A$ 量が多いほど、表層部における塩分固定量が大きくなる。

今後、暴露試験を継続し、普通形エコセメントの塩分浸透や鉄筋腐食性状等について、更に検討する予定である。

[参考文献] 1)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、2)竹田 宣典：海洋環境下における鉄筋コンクリート部材の耐久性評価に関する研究、学位論文、1999、3)濱田 秀則 他：種々の海洋環境下におけるコンクリート中への塩化物イオンの侵入過程および侵入量における一考察、コンクリート工学論文集 第7巻第1号、1996

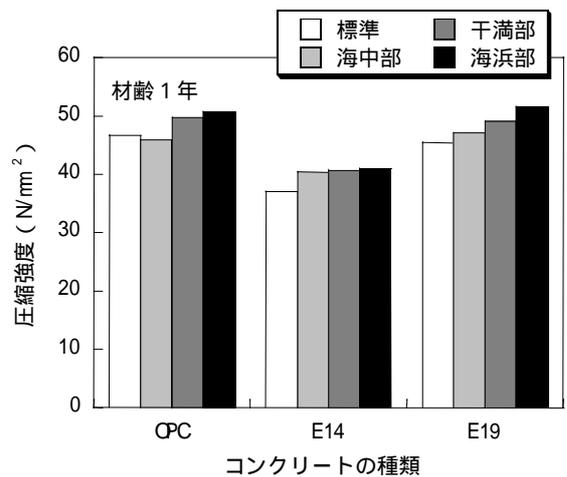


図1 暴露環境と圧縮強度の関係

表3 長さ変化、鉄筋腐食及び塩分浸透 (材齢1年)

セメント種類	暴露環境	W/C (%)	長さ変化 ( $\times 10^{-4}$ )		発錆面積 ( $\text{mm}^2$ )		拡散係数 ( $\times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ )	表面塩分濃度 (%)
			膨張量	質量変化 (%)	かぶり 3cm	かぶり 5cm		
E14	海中部	50	0.36	0.78	-	-	6.13	0.15
	干満部		-	-	0	0	4.28	0.15
E19	海中部	50	0.16	0.43	-	-	5.96	0.39
	OPC		0.40	0.36	-	-	12.3 <sup>2)</sup> 12.0 <sup>3)</sup>	0.129 <sup>2)</sup>

OPCの拡散係数及び表面塩分濃度は参考文献より

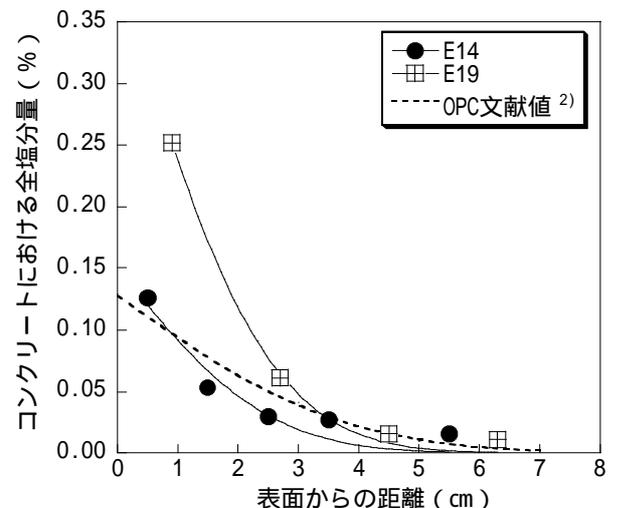


図2 全塩分と浸透深さ状況 (海中部)