

## 普通エコセメントに含まれる塩化物イオンの溶出

太平洋セメント株式会社 正会員 平尾 宙  
 太平洋セメント株式会社 正会員 横山 滋  
 太平洋セメント株式会社 正会員 田中 敏嗣

### 1. はじめに

一般廃棄物である都市ゴミの焼却灰を主原料としたエコセメントは、Cl<sup>-</sup>量が約1%の速硬エコセメントおよびCl<sup>-</sup>量が約0.05%の普通エコセメントの2種類があり、これらの品質は平成12年に標準情報として規格化されている<sup>1)</sup>。本報では、普通ポルトランドセメントと同等の性能を有する普通エコセメントについて、市原エコセメント(株)製セメントを用いた場合のCl<sup>-</sup>の溶出挙動と硬化体の自由水中Cl<sup>-</sup>の固定性状について検討した。

### 2. 実験

#### 2.1 材料

使用したセメントは、市原エコセメント(株)製の普通エコセメント(E)および市販普通ポルトランドセメント(N)である。各セメントの化学組成、鉱物組成、密度およびブレン比表面積を表1に示す。Cl<sup>-</sup>量としては、Nが0.006%であるのに対して、Eは0.053%とやや多い。また鉱物組成としては、NのC<sub>3</sub>AおよびC<sub>4</sub>AF量がそれぞれ8および10%であるのに対して、Eではそれぞれ14および13%とやや多い特徴がある。

#### 2.2 実験方法

セメントペーストの作製は、20℃、水セメント比(W/C)0.5で行い、材齢初期の自由水を遠心分離機により抽出した。モルタルは、ブレンの他に、全Cl<sup>-</sup>量がセメントに対して1.0%になるように、練り混ぜ水にNaCl試薬を溶解したのもも調製した。細骨材としては豊浦標準砂を使用し、20℃にてW/C=0.5、砂セメント質量比1.0として調製したものを5×10cmの円柱供試体に成型後、封緘して所定の材齢まで養生した。モルタルからの自由水の抽出は、高圧抽出装置により行った。モルタルはアセトンにて水和反応を停止後、RH-11%乾燥およびD-乾燥して測定用の試料とした。自由水中のCl<sup>-</sup>濃度の測定はイオンクロマトグラフにより行った。OH<sup>-</sup>濃度はNaOHによる逆滴定により定量した。水和生成物であるフリーデル氏塩(C<sub>3</sub>A・CaCl<sub>2</sub>・10H<sub>2</sub>O)量は、白坂ら<sup>2)</sup>の方法に従ってDSCにより測定した。D-乾燥後の硬化体の非蒸発水量はJIS R 5202に従って強熱減量法により測定した。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 セメントからのCl<sup>-</sup>の溶出

EのセメントペーストからのCl<sup>-</sup>溶出率の経時変化を図1に示す。なお、ペースト自由水中のCl<sup>-</sup>濃度(mg/l)とW/Cとの積から各材齢における自由Cl<sup>-</sup>量(対セメントppm)を求め、自由Cl<sup>-</sup>量をセメントの全Cl<sup>-</sup>量(対セメントppm)で除した値を各材齢におけるCl<sup>-</sup>溶出率(%)とした。一般にNに含まれるCl<sup>-</sup>の溶出率は注水直後にほぼ100%となるのに対して、EのCl<sup>-</sup>溶出率は徐々に増加し、材齢1時間において約35%となり最大値を示した。E中のCl<sup>-</sup>の一部はカルシウムクロロアルミネート(C<sub>11</sub>A<sub>7</sub>・CaCl<sub>2</sub>)として鉱物中に固溶しているため、溶出率が低くなったと考えられる。Eの自由水中のCl<sup>-</sup>濃度は材齢1時間以降では徐々に低下し始めた。これは材齢1時間以降では、セメントからのCl<sup>-</sup>溶出量を生成水和物による固定量が上回ったことを示している。

表1 使用したセメントの化学組成、鉱物組成、密度および比表面積

	化学組成(%)											鉱物組成(%)				密度 (g/cm <sup>3</sup> )	比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)
	ig.loss	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	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cl <sup>-</sup>	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF		
E	1.05	16.95	7.96	4.40	61.04	1.84	3.86	0.28	0.02	1.22	0.053	49	12	14	13	3.18	4100
N	0.50	21.92	5.31	3.10	65.03	1.40	2.00	0.31	0.48	0.10	0.006	53	23	8	10	3.16	3350

キーワード：普通エコセメント，塩化物イオン，フリーデル氏塩，溶出，固定

連絡先：〒285-8655 千葉県佐倉市大作2-4-2 太平洋セメント(株) TEL 043-498-3829

### 3.2 モルタル自由水中のCl<sup>-</sup>濃度

プレーンモルタル硬化体から圧搾により抽出した自由水中のCl<sup>-</sup>濃度を図2に示す。材齢1日では、EのCl<sup>-</sup>濃度はNの2倍程度であったが、材齢3日にかけて急速に低下した。材齢3日以降はいずれもCl<sup>-</sup>濃度はほぼ一定となり材齢28日では、Eが47mg/l、Nが30mg/lになった。材齢28日における[Cl<sup>-</sup>/OH<sup>-</sup>]モル比は、Eが0.004、Nが0.001であり、発錆限界とされている0.6<sup>3)</sup>と比較するといずれも発錆への影響はほとんど無いと考えられる。

### 3.3 Cl<sup>-</sup>固定量

NaClの添加によりセメント中のCl<sup>-</sup>量を1.0%としたモルタルについて、材齢28日における自由Cl<sup>-</sup>量および固定Cl<sup>-</sup>量を試算した。固定Cl<sup>-</sup>に関しては、さらにフリーデル氏塩として固定されたCl<sup>-</sup>およびその他の水和物へ固定されたCl<sup>-</sup>に分類した結果を図3に示す。なお、自由Cl<sup>-</sup>量(FCL)および固定Cl<sup>-</sup>量(BCL)は、図3式(1)~(3)に従って求めた。固定Cl<sup>-</sup>の中の、フリーデル氏塩として固定されたCl<sup>-</sup>量は、DSCによるフリーデル氏塩定量値から化学量論的に試算した。

Cl<sup>-</sup>固定量を比較すると、Eでは1.0%の全Cl<sup>-</sup>量のうち約91%が固定されたのに対して、Nの固定量は約69%であり、EのCl<sup>-</sup>固定許容量がNを上回ることがうかがえる。また、固定されたCl<sup>-</sup>の内訳については、Eでは大部分のCl<sup>-</sup>がフリーデル氏塩として固定された。これはEのC<sub>3</sub>AおよびC<sub>4</sub>AF量が多いことに起因すると考えられる。これに対して、フリーデル氏塩以外の水和物へ固定されたCl<sup>-</sup>は、主にC-S-Hなどにより収着されたと考えられ、固定量はEよりもNの方が多かった。

### 4. まとめ

Eに含まれるCl<sup>-</sup>は、材齢1時間において最大約35%がセメントペーストの自由水中に検出された。

材齢1時間以降のEの自由水中Cl<sup>-</sup>濃度は急速に低下してNと同等になり、その後も増加しなかった。

材齢28日の自由水中の[Cl<sup>-</sup>/OH<sup>-</sup>]モル比は、発錆限界以下であり、EおよびNともに発錆への影響は無いと考えられる。

Eはフリーデル氏塩の生成によりNよりも多くのCl<sup>-</sup>を固定することが可能である。

### 参考文献

- 1) 工業技術標準調査会土木部会：標準情報 TR R 0002, 2000
- 2) 白坂徳彦, 入野清花, 後藤孝治：セメントの塩素固定能に関する研究, セメント技術大会講演要旨, Vol.53, pp.22-23, 1999
- 3) Hausmann, D.A.: Steel Corrosion in Concrete. How Does It Occur?, Materials Protection, pp.19-23, 1967

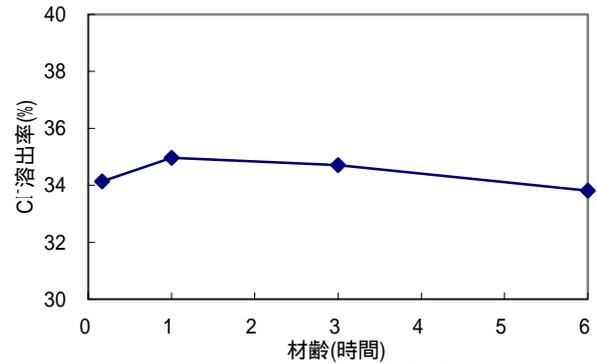


図1 EからのCl<sup>-</sup>溶出率

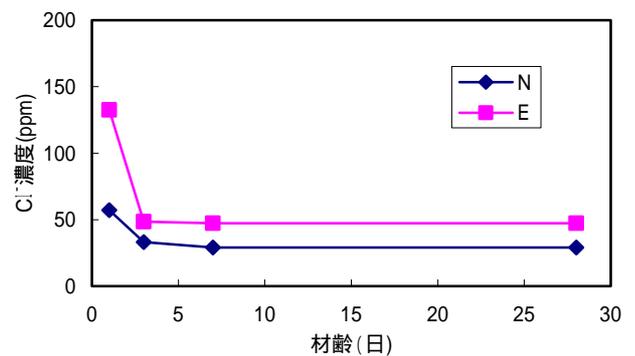
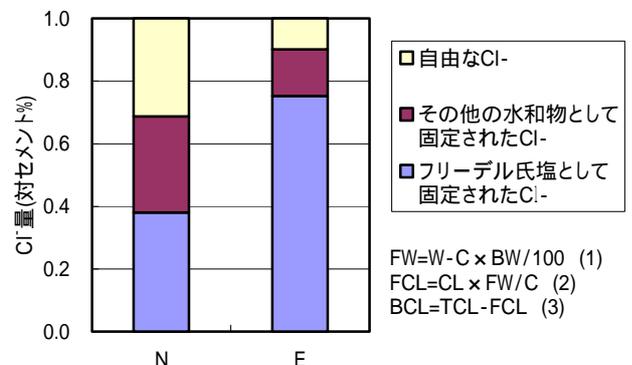


図2 モルタル自由水中のCl<sup>-</sup>濃度



ここで、FW:単位自由水量(g/cm<sup>3</sup>)、W:単位水量(g/cm<sup>3</sup>)、C:単位セメント量(g/cm<sup>3</sup>)、BW:非蒸発水量(対セメント%)、FCL:自由Cl<sup>-</sup>量(対セメントppm)、CL:自由水中のCl<sup>-</sup>濃度(mg/l)、BCL:Cl<sup>-</sup>固定量(対セメントppm)、TCL:全Cl<sup>-</sup>量(対セメントppm)

図3 モルタル中Cl<sup>-</sup>の存在状態