

都市型廃棄物を原料としたセメントのペースト細孔溶液中の溶存イオン挙動

広島大学大学院 学生会員 松本 健一
 広島大学工学部 正会員 河合 研至
 広島大学工学部 正会員 田澤 榮一
 太平洋セメント(株) 横山 滋

1. はじめに

環境負荷低減への意識の高まりを受けて、都市型廃棄物を原料としたセメント（以下 EC）の塩素除去を中心とした改良が行われており、EC の塩素含有量は現行 JIS を満足するほどにもなっている。ただし、EC における塩素はカルシウムアルミネート中に含まれ、アルミネート相が普通ポルトランドセメント（以下 NC）と比べて多くなっていることが EC の特徴であり、このことが鉄筋腐食や水和反応と関連して EC の細孔溶液中のその他のイオンに及ぼす影響については不明な点が多い。本研究では EC 硬化体中に存在する細孔溶液の溶存イオンの経時変化における相互関係及び鉄筋腐食との関係について実験的検討を行った。

2. 実験方法

セメントには塩素含有量 500,700,1000ppm の EC（以下 E500,E700,E1000）及び比較検討用として NC を用い、 $\phi 5 \times 10\text{cm}$ のセメントペースト供試体を作製した。各セメントの化学成分及び鉱物組成をそれぞれ表 1 及び表 2 に示す。W/C=0.40 とし、E500 については W/C=0.35、0.50 の供試体も作製した。打設後は 20 の下で密封養生を行った。細孔溶液を抽出する材齢は 1,3,6,12 時間及び 1,3,7,14,28,91 日とし、材齢 6 時間未満の供試体については遠心分離機、それ以降の供試体については高压抽出装置を用いて抽出を行い、溶存イオン濃度の測定を行った。測定イオンは Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 OH^- である。

表 1 EC、NC の化学成分

名称	化学成分 (%)								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	R_2O	Cl	total
E500	17.1	7.94	4.36	61.4	1.80	3.74	0.26	0.054	96.63
E700	17.0	7.90	4.35	61.6	1.88	3.74	0.17	0.087	96.78
E1000	17.1	8.19	4.08	61.6	1.81	3.82	0.35	0.112	97.06
NC	20.81	5.02	2.92	64.88	1.18	1.95	0.64	0.003	97.40

表 2 EC、NC の鉱物組成

名称	鉱物組成 (%)			
	C_3S	C_2S	C_4AF	C_3A
E500	52.2	9.6	13.3	13.7
E700	54.0	8.0	13.2	13.6
E1000	51.8	9.9	12.4	14.8
NC	62.5	12.5	8.9	8.4

3. 実験結果及び考察

図 1 に pH、図 2 に $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 濃度の経時変化を示す。EC は NC と比べて pH の値が若干低くなったが、いずれも高アルカリ溶液であった。また、その大小については表 1 の化学成分に示されるアルカリ含有量の多寡に応じた結果となった。

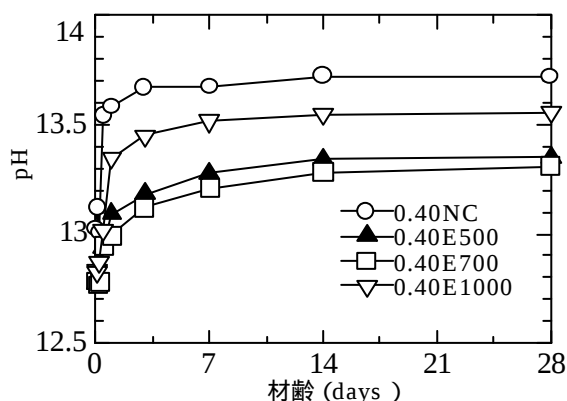


図 1 pH の経時変化

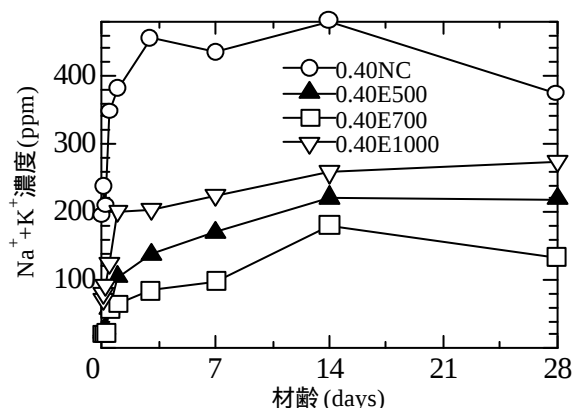


図 2 細孔溶液の $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 濃度

キーワード：都市型廃棄物、塩素含有量、細孔溶液、鉄筋腐食

連絡先：〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1

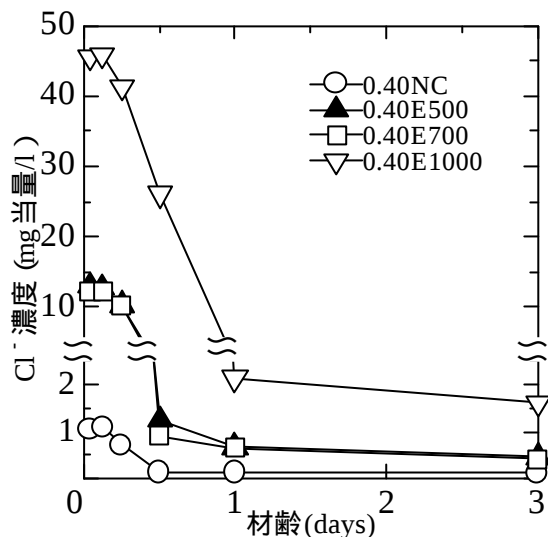


図 3 Cl^- 濃度

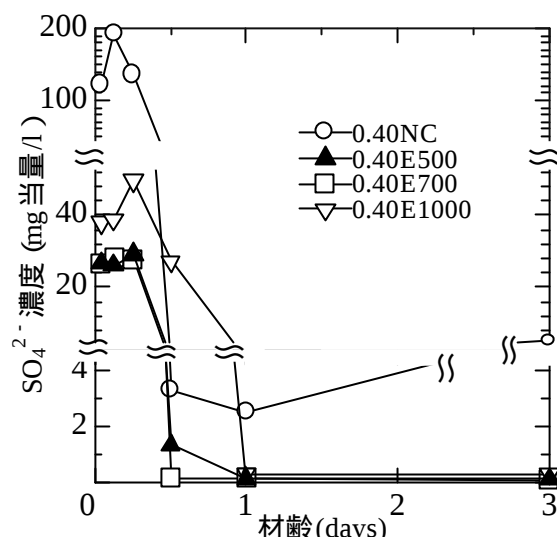


図 4 SO_4^{2-} 濃度

図 3 に細孔溶液中の Cl^- 濃度、図 4 に SO_4^{2-} 濃度の経時変化を示す。いずれも E500、E700 では濃度がほぼ等しくなった。 Cl^- 、 SO_4^{2-} 共に水和初期において著しい濃度低下が確認できる。これは Cl^- がフリーデル氏塩に、 SO_4^{2-} がエトリンガイトに固定されていることを示している。また、 SO_4^{2-} の濃度低下開始材齢が NC で 3 時間、E500、E700 は 6 時間、E1000 では 12 時間であることから、エトリンガイトの生成が活発に起こり始める材齢は、塩素含有量の多いセメントほど遅いことがわかる。さらに表 1 の化学成分では SO_3 量が NC で最も低かったのに対して細孔溶液中の SO_4^{2-} は水和初期及びその後においても最も高い濃度を示しており、NC と EC で SO_3 の存在形態が異なることを表している。しかし、本研究の範囲内ではその存在形態については明らかにすることが出来なかった。 SO_4^{2-} と Cl^- の濃度変化を比較すると、急激な濃度低下が早く終了したのは SO_4^{2-} であり、 Cl^- では急激な濃度低下後も緩やかな濃度低下が起こっている。これは水和初期においてフリーデル氏塩の生成速度よりもエトリンガイトの生成速度が速いことに起因すると考えられる。

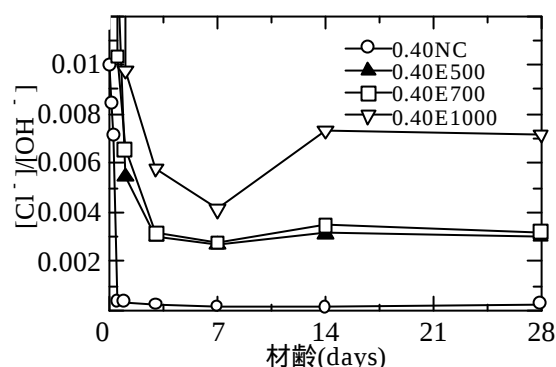


図 5 細孔溶液の $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$

図 5 に細孔溶液の $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ の経時変化を示す。この値は水和のごく初期において 0.1～0.7 程度の高い値を示したが、一般に鉄筋が腐食と言われる下限値の 3 あるいは 5 を大きく下回っており、EC が鉄筋コンクリートに使用できる可能性があると言える。

4.まとめ

本研究より、以下の結論を得た。

- 1) 都市型廃棄物を原料としたセメントのペースト細孔溶液中の Cl^- の多くはフリーデル氏塩、 SO_4^{2-} はエトリンガイトに固定される。
- 2) 塩素含有量が 500、700ppm のセメントペースト細孔溶液中の Cl^- 濃度は、注水直後から等しい値をとる。
- 3) 都市型廃棄物を利用したセメント中の SO_3 は普通ポルトランドセメントと比較するとその存在形態が異なる。
- 4) 鉄筋腐食を検討する際の指標となる $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ が比較的小さくなることから、都市型廃棄物を利用したセメントを鉄筋コンクリートに使用しても懸念されているほどの鉄筋腐食は進行しない。