

都市型廃棄物を原料としたセメント硬化体の耐久性に関する実験的検討

広島大学大学院工学研究科	正会員	河合 研至
広島大学大学院工学研究科	学生会員	○松本 健一
太平洋セメント（株）	非会員	横山 滋

1. はじめに

原料の約50%に都市ごみ焼却灰を用いて製造されるセメント（以下EC）の実用化が達成され、2001年4月から実機製造が開始されている。セメント中の塩素含有量が比較的少量である普通型EC（塩素含有量は500ppm程度）についてはいくつかの研究報告からRC材料への適用も示唆されている。ただし、ECを実際にRC材料として使用する場合にはECコンクリートの耐久性ならびに鉄筋腐食抵抗性についての明確な保証がなされなければならない。本研究は炭酸化時の耐久性および腐食抵抗性についてECを用いたペーストならびに鉄筋コンクリートを用いてECのRC材料への適用性を考察したものである。

2. 使用材料

セメントには製造時の目標塩素含有量を500,700,1000ppm（以下E500,E700,E1000）としたECならびに比較検討用として普通ポルトランドセメント（NC）を使用した。セメントの化学成分ならびに鉱物組成を表-1、表-2に示す。コンクリート作製時には細骨材として風化花崗岩系山砂、粗骨材として流紋岩質砕石を使用し、必要に応じて高性能AE減水剤を添加した。

3. 実験方法

3.1 促進炭酸化試験

W/C=0.40のセメントペーストを作製し28日間密封養生を行った後、40℃、CO₂濃度10%、90%R.H.のもとで促進炭酸化を行った。促進炭酸化を行った

供試体から高圧抽出装置を用いて細孔溶液の抽出を行い、抽出後直ちにOH濃度を測定した。また、細孔溶液を適当な倍率で希釈した後、イオンクロマトグラフィーによりCl⁻,SO₄²⁻を、フレイム吸光光度計によりNa⁺,K⁺,Ca²⁺濃度の測定を行った。また別の供試体を用いて中性化深さ試験を行い、得られた中性化深さをもとに炭酸化部分と未炭酸化部分からそれぞれ粉末試料を採取し、可溶性塩分として水溶性Cl⁻、全塩分として酸溶性Cl⁻の定量をイオンクロマトグラフィーを用いて行った。供試体寸法はφ5×8.5cmとし、分析に供するまでの炭酸化期間は2,4,8,12週とした。

3.2 鉄筋腐食試験

コンクリートはW/C=0.60、10×10×35cmの角柱供試体とし、D13異形鉄筋を埋設した。コンクリートの配合を表-3に示す。なお、NCを用いたコンクリートには比較検討用として塩素含有量を700ppm（対セメントppm）とするために練混ぜ水に塩化ナトリウムを溶解させた供試体（以下NC700）も合わせて作製した。鉄筋のかぶり厚は3cmとし、供試体端部はエポキシ樹脂を塗布した。腐食の促進を行うために3日間の海水中への浸漬、4日間の大気中暴露を繰り返し、海水浸漬終了後に自然電位法ならびに分極抵抗法によって自然電位と腐食電流値を測定した。

表-1 化学成分(%)

名称	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Cl
E500	17.1	7.94	4.36	61.4	1.80	3.74	0.24	0.02	0.054
E700	17.0	7.90	4.35	61.6	1.88	3.74	0.16	0.01	0.087
E1000	17.1	8.19	4.08	61.6	1.81	3.82	0.29	0.06	0.112
NC	20.81	5.02	2.92	64.88	1.18	1.95	R ₂ O=0.64		0.003

表-2 鉱物組成(%)

名称	C ₃ S	C ₂ S	C ₄ AF	C ₃ A
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

表-3 コンクリートの配合

名称	単用量(kg/m ³)				
	W	C	S	G	Ad
NC	179	299	840	956	0.60
NC700	179	299	840	956	0.60
E500	179	299	840	956	0.75
E700	179	299	840	956	0.90

4. 実験結果および考察

4.1 促進炭酸化試験結果

図-1 に細孔溶液中の pH、Cl⁻、SO₄²⁻濃度、[Cl⁻]/[OH⁻]を示す。E500、E1000 においては炭酸化期間 4 週以降での細孔溶液の抽出が不可能であった。概して炭酸化の影響と見られる pH の低下が確認でき、アルカリ含有量に相応した挙動を示しているが、E700 のみが炭酸化を受けながらも 4 週まで pH、Na⁺濃度が増加している。一方 Cl⁻濃度は経時的な増加は見られず E500、E700 と NC ではほぼ同程度の濃度となっている。また [Cl⁻]/[OH⁻] においては E1000 で若干高いものの、腐食に至るとされる値に達していないことならびに E700 では NC とほぼ同様な傾向となっていることから、炭酸化を受けた場合においても鉄筋腐食への影響は NC と相違しないものと考えられる。またそれぞれのセメントにおいて、SO₄²⁻濃度の高くなる時期は Cl⁻濃度の高くなる時期と対応しており、炭酸化に伴う複塩の分解は同時期に生じていることが確認された。

4.2 鉄筋腐食試験結果

各供試体の自然電位の経時変化について NC と E500、NC700 と E700 をそれぞれ比較して図-2、図-3 に示す。E500、E700 および NC700 については外来塩分よりも内在塩分の鉄筋腐食への影響が大きくなることが予想され、鉄筋周囲に存在するモルタルの細孔溶液中の塩化物イオン濃度は NC と比較して高いことが考えられるが、自然電位の値から判断すると、これらの内在塩分は腐食に影響を及ぼしていないといえる。

E700 と NC700 を比較しても、自然電位の値に際立った相違は見られていない。塩分の存在形態は注水直後から異なるはずであるが、現段階ではこれに見合った傾向は見られない。また、繰り返し回数 18~20 回で若干電位が貴なる値を示しており、今後の電位の挙動に注目する必要がある。

5. 結論

- 1) 都市型廃棄物を原料としたセメントが炭酸化を受けた場合、細孔溶液中の Cl⁻濃度は上昇するが、[Cl⁻]/[OH⁻] は鉄筋が腐食する値には至らない。
- 2) 鉄筋腐食試験結果から都市型廃棄物を原料としたセメントの内在塩分は乾湿繰り返し回の初期段階では腐食に対し影響を及ぼさない。

【参考文献】1) 河合研至ほか、都市型廃棄物を利用したセメント水和物の塩素挙動、セメント・コンクリート論文集、No.54、pp.502-507 (2001)

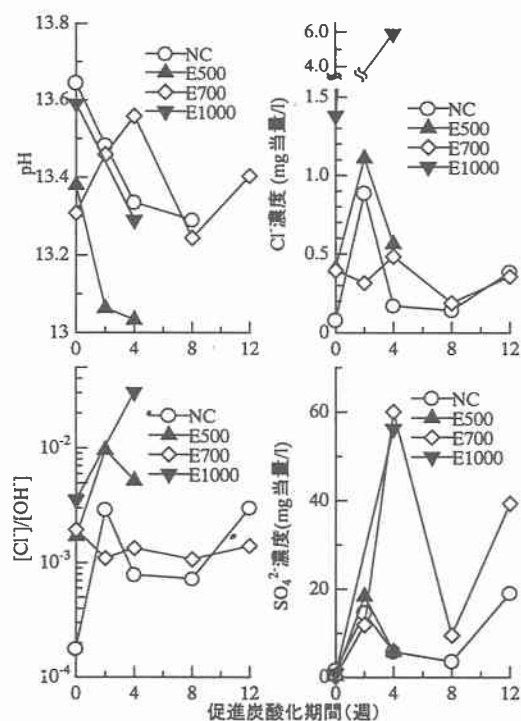


図-1 細孔溶液組成

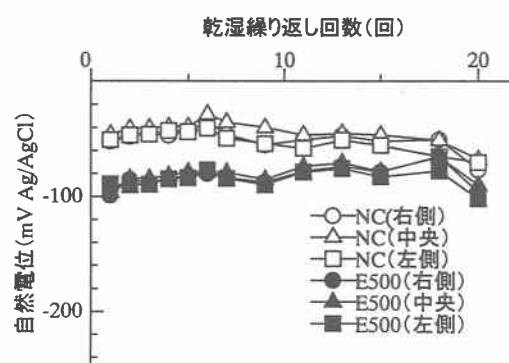


図-2 自然電位 (NC と E500)

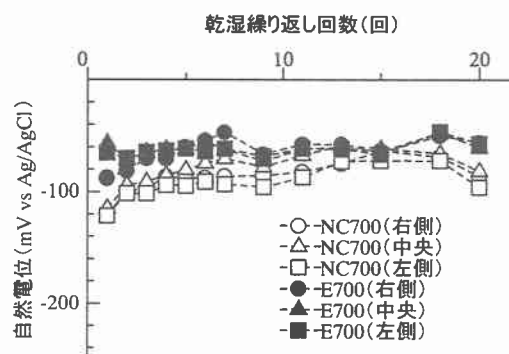


図-3 自然電位 (NC700 と E700)