

論文 環境負荷低減型セメントを使用したコンクリートのフレッシュ時の性状と強度

棚野博之*1・阿部道彦*2・梶田佳寛*3・田中敏嗣*4

要旨: 都市型総合廃棄物や下水汚泥を主原料とする環境負荷低減型セメントは鉱物組成や粉末度など普通ポルトランドセメントと異なる点がある。本研究では、同セメントを使用したコンクリートのフレッシュ時の性状ならびに硬化後の強度発現性状について検討を行った。その結果、目標塩化物イオン量500ppm以上の場合、フレッシュ時の塩化物量、ブリーディング量は普通セメントとほぼ同等であった。圧縮強度は材齢4週で普通セメントの90%前後であったが、13週では普通セメントの80%前後であった。なお、乾燥収縮率は水セメント比に関わらずほぼ普通セメントと同程度であった。

キーワード: 環境負荷, コンクリート, フレッシュ, 塩分量, 圧縮強度, ブリーディング

1. はじめに

近年、環境保全への意識が高まる中、産業廃棄物や都市ゴミなどの一般廃棄物の再資源化が注目されており、その一環としてこれらを材料とした再生セメントの開発が試みられている。

廃棄物を原料としたセメントは、環境負荷低減型セメント、通称エコセメントと呼ばれ、凝結・硬化性状、ワーカビリティ、強度発現性状などが従来のセメントと異なる性質を示し、成分中に塩化物が比較的多量に含まれているから、構造物への使用にあたっては十分な検討が必要である。

本研究は、このエコセメントを用いたコンクリートの調合、フレッシュ性状、硬化後の諸物性ならびに塩化物の影響を実験的に検討したものである。

2. 実験概要

2.1 実験の要因と水準

実験の要因と水準を表-1に示す。

表-1 実験の要因と水準

要因	水準
セメント種類	普通型エコセメント (塩素量: 300、500、700ppm) 普通ポルトランドセメント (3社混合)
水セメント比	40%、50%、55%、60%、65%
AE減水剤種類	A種: リグニンスルホン酸系 B種: オキシカルボン酸系 C種: 芳香族高分子系

2.2 使用材料

セメントの詳細は表-2に示す通りである。その他、粗骨材には岩瀬産硬質砂岩砕石(絶乾比重: 2.62, 吸水率: 1.15, 実積率: 59.9), 細骨材には鬼怒川産川砂(絶乾比重: 2.55, 吸水率: 1.96), 混練水にはイオン交換蒸留水を用いた。

表-2にセメントの化学成分を、表-3にセメントの物理特性を示した。総じて、エコセメントは普通ポルトランドセメントよりも、 Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , P_2O_5 , Clが多く含まれていた。

*1 建設省建築研究所第二研究部有機材料研究室長 工博(正会員)

*2 建設省建築研究所第二研究部無機材料研究室長 工博(正会員)

*3 宇都宮大学教授 工学部建設学科 工博(正会員)

*4 太平洋セメント(株)研究本部佐倉研究所エコセメントグループ 工博(正会員)

2.3 試験項目

試験項目は、フレッシュ時のスランプ、空気量、ブリーディング、凝結および塩化物量、硬化後の圧縮強度、乾燥収縮である。

2.4 調合

調合設計は、目標スランプに対し、W/C : 50 ~ 65%については粗骨材容積および単位水量一定を基本とし、細骨材率を変化させて決定し

た。なお、W/C : 40%については、本来高性能減水剤が添加される領域である事を考慮し、W/C : 50%の調合から単位水量を調整して決定した(表-4)。50%以上のW/C領域では、エコセメントはその塩化物イオン量に係わらず、普通ポルトランドセメントよりも単位水量が2 kg/m³以上増加した。更に、40%ではその差が増加し、16kg/m³となった。

表-2 セメントの化学成分

試料名	化 学 成 分 (%)														
	lg. loss	Insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cl	f. Ca
EC3	1.27	0.16	17.6	7.48	4.05	61.1	1.80	3.74	0.36	0.02	0.68	1.29	0.07	0.015	0.3
EC5	1.22	0.17	17.0	7.96	4.20	60.9	1.87	3.82	0.16	0.01	0.74	1.32	0.08	0.054	0.4
EC7	1.13	0.11	16.9	7.88	4.27	61.5	1.85	3.79	0.13	0.01	0.72	1.33	0.08	0.086	0.5
OPC(A)	2.21	0.09	20.8	4.83	2.90	64.7	1.23	2.01	0.34	0.47	0.60	0.21	0.12	0.004	0.7
OPC(B)	1.05	0.08	21.7	5.96	2.30	63.6	2.15	1.83	0.22	0.42	0.41	0.06	0.14	0.003	0.7
OPC(C)	1.11	0.10	22.2	5.55	2.42	63.7	1.78	2.08	0.37	0.35	0.32	0.09	0.18	0.005	0.8

表-3 セメントの物理特性

試料名	密度 (g/cm ³)	粉末度 比表面積 (cm ² /g)	凝結			圧縮強度(N/mm ²)			
			水量 (%)	始発 (h-m)	終結 (h-m)	1日	3日	7日	28日
EC3	3.17	4500	29.7	2-00	3-10	12.2	27.1	37.5	52.6
EC5	3.17	4650	29.6	1-55	2-55	12.6	28.6	38.9	50.2
EC7	3.18	4360	30.6	2-00	3-30	13.6	23.3	38.4	52.0
SOC	3.16	3290	27.7	2-22	3-31	-	29.5	44.1	61.5
TCC	3.16	3470	28.0	2-25	3-25	-	28.2	42.2	58.4
MMC	3.16	3280	28.1	2-14	3-33	-	27.1	42.9	61.2

表-4 コンクリートの決定調合

記号 *1	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				AE減水剤 (g/m ³)
		W	C	S	G	
EC -65	47	182	280	832	968	700
EC -60	46	182	303	813	968	758
EC -55	45	182	331	790	968	828
EC -50	44	184	368	775	968	920
EC -40	35	200	500	543	1032	1250
OPC-65	47	180	277	837	968	692
OPC-60	46	180	300	818	968	750
OPC-55	46	180	327	796	968	818
OPC-50	45	180	360	769	968	900
OPC-40	38	184	460	614	1032	1150

*1: EC-**は、EC3、EC5、EC7共通

目標空気量 : 4.5 ± 1.0%

目標スランプ : 18.0 ± 1.5cm

3. フレッシュ時の物性

3.1 凝結時間

図-1に各調合ごとの始発・終結時間を示した。塩化物イオン量や比表面積が高いにもかかわらず、何れのエコセメントも、普通ポルトランドセメントより始発時間が1~2時間、終結時間は2~3時間遅れることが確認された。

A E減水剤の主成分による影響も普通ポルトランドセメントとほぼ同様で、他の2種類と比較してオキシルカルボン酸系のB種が1時間程度遅れる傾向が確認された。

3.2 ブリーディング量

図-2に各調合ごとのブリーディング量を示した。EC7型は普通ポルトランドセメントと

ほぼ同様の傾向を示したが、EC5型は総じて普通ポルトランドセメントよりもブリーディング量が少なかった。

3.3 塩化物イオン量

図-3に簡易測定法による塩化物イオン量を水セメント比ごとに示した。W/Cが50%以上の領域では、EC5型とEC7型の塩化物イオン量はほぼ同等で、水セメント比の低下と共に普通ポルトランドセメントとの差は増加するものの、最大でも10ppm以下であった。40%の場合には、普通ポルトランドセメントよりもEC5型で10ppm、EC7型で20ppm高い値を示した。一方、EC3型の場合には、何れの水セメント比においても普通ポルトランドセメントの約半分程

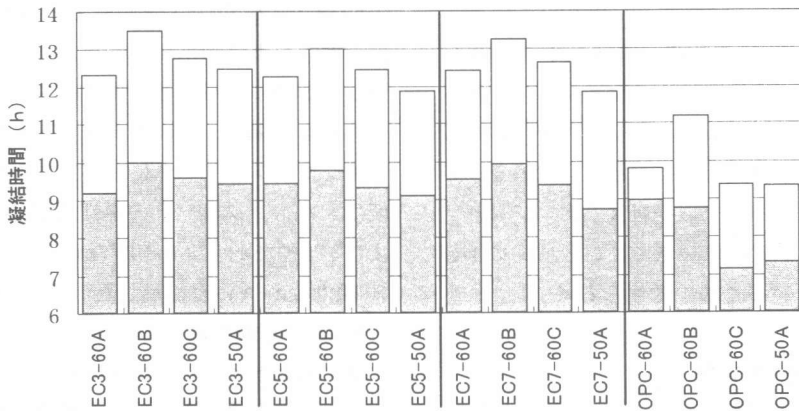


図-1 各調合ごとの凝結時間

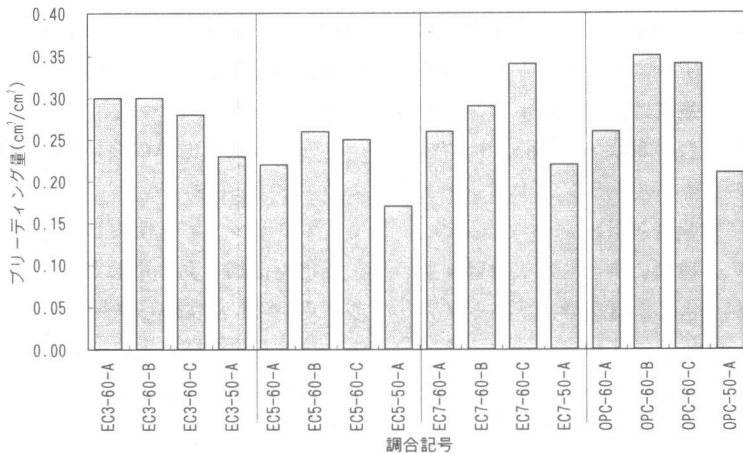


図-2 各調合ごとのブリーディング量

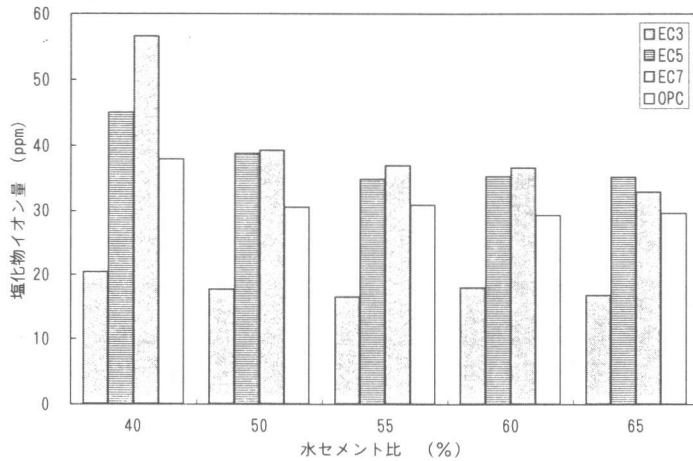


図-3 簡易測定法によるセメント種類別の塩化物イオン量

度の値しか示さず、20ppmを下回る値であった。

表-1にも示すように、セメント中の塩化物イオン量ではEC3型は普通セメントの3倍以上あるにも拘わらず、コンクリート中では半分程度しか示さなかったのは、混練直後よりクロロエトリンガイトの生成が抑えられ、フリーデル氏塩として固定され塩素イオンとしての溶出が抑制されているためと考えられる。

4. 硬化後の物性

4.1 圧縮強度

図-4 a ~ e に材齢と圧縮強度（標準水中養生）の関係を水セメント比ごとに示した。総体的に、材齢13週までの範囲内においては、水セメント比に拘わらずエコセメントを使用したコンクリートの圧縮強度は普通ポルトランドセメントを使用した場合の80%~90%であった。

材齢1週までの普通ポルトランドセメントとエコセメントの圧縮強度差は約10%であるが、エコセメントはその種類に拘わらず、材齢4週以降の強度発現が小さく、13週では普通セメントとの差が10~20%を示した。

なお、塩化物イオン量によるエコセメント間の強度差は材齢に拘わらずほとんど認められなかった。

4.2 弾性係数

図-5 a ~ d に、圧縮強度と弾性係数の関係をセメント種類別に示した。図中に示した回帰曲線を基に、同一圧縮強度に対する弾性係数を比較した場合、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートに比べ、エコセメントを使用したコンクリートの弾性係数は、EC3型およびEC5型で約 $0.3 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ 、EC7型で約 $0.1 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ 低い値を示した。

4.3 乾燥収縮

図-6 a ~ c に、材齢13週までの材齢と長さ変化率の関係を水セメント比別に示した。材齢13週までの範囲内においては、エコセメントを使用したコンクリートの長さ変化率はほぼ普通ポルトランドセメントを使用した場合と同等の値を示した。また、塩化物イオン量による影響も認められなかった。

一方、質量変化率については、図-7に示すように、普通ポルトランドセメントと比較して、エコセメントを使用したコンクリートの質量変化率は約1%高い値を示した。また、長さ変化率は13週以降も増加する傾向を示しているのに対し、質量変化率は8週から13週の増加が比較的少なかった。長さ変化率と質量変化率との関連性については現在検討中である。

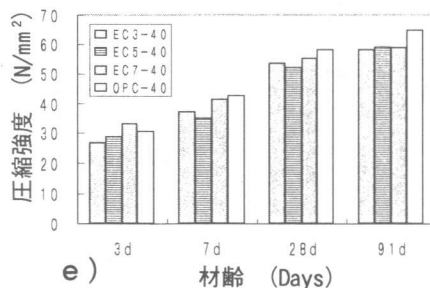
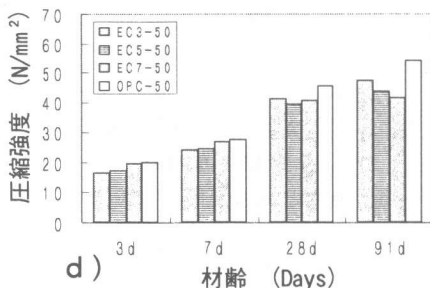
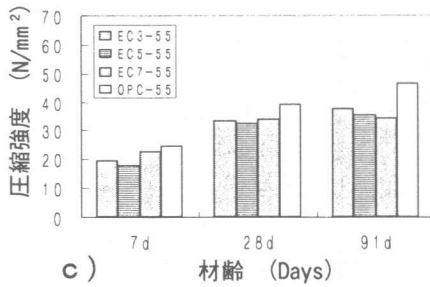
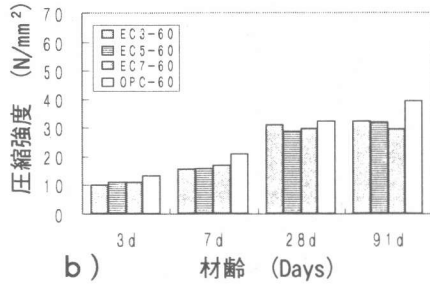
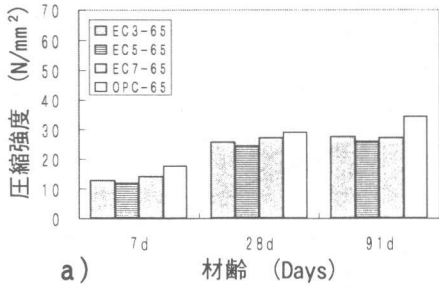


図-4 水セメント比別の材齢と圧縮強度の関係

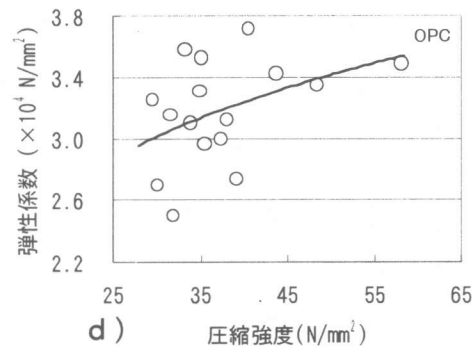
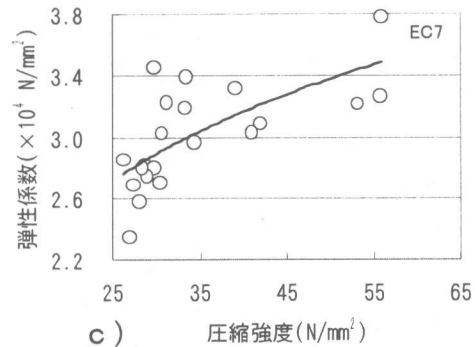
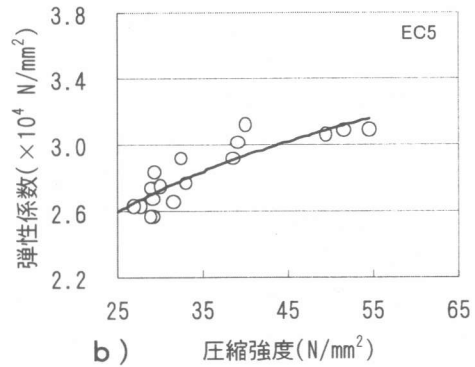
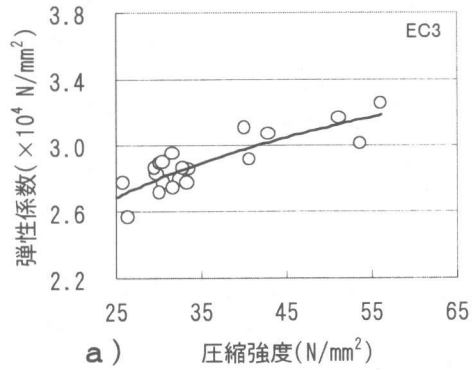


図-5 圧縮強度と弾性係数の関係

5. まとめ

エコセメントや今後改良・開発されるであろう同様の材料の利用用途を拡大していく事は、地球環境問題も含め、建築材料における今後の重要な研究課題である。しかしながら、エコセメントについては、塩化物イオン量や強度発現性なども含め、普通ポルトランドセメントとの相違点も多く、今後長期的な検討が必要である。本年度の研究結果をまとめると以下のようである。

- ①フレッシュ時の塩化物イオン量、ブリーディング量とも普通ポルトランドセメントとほぼ同等で、EC3型ではそれよりも小さかった。
- ②圧縮強度は材齢4週で普通ポルトランドセメントの90%前後であったが、13週では80%前後であった。
- ③圧縮強度に対する弾性係数の割合は、普通ポルトランドセメントよりも小さく、EC7型、EC5型、EC3型の順であった。
- ④長さ変化率は水セメント比に係わらずほぼ普通ポルトランドセメントと同等であった。

<謝辞>

本研究に際し、太平洋セメント(株)、(株)オーテック、宇都宮大学・建設学科学学生諸氏のご協力に対し、ここに謝意を表す次第です。

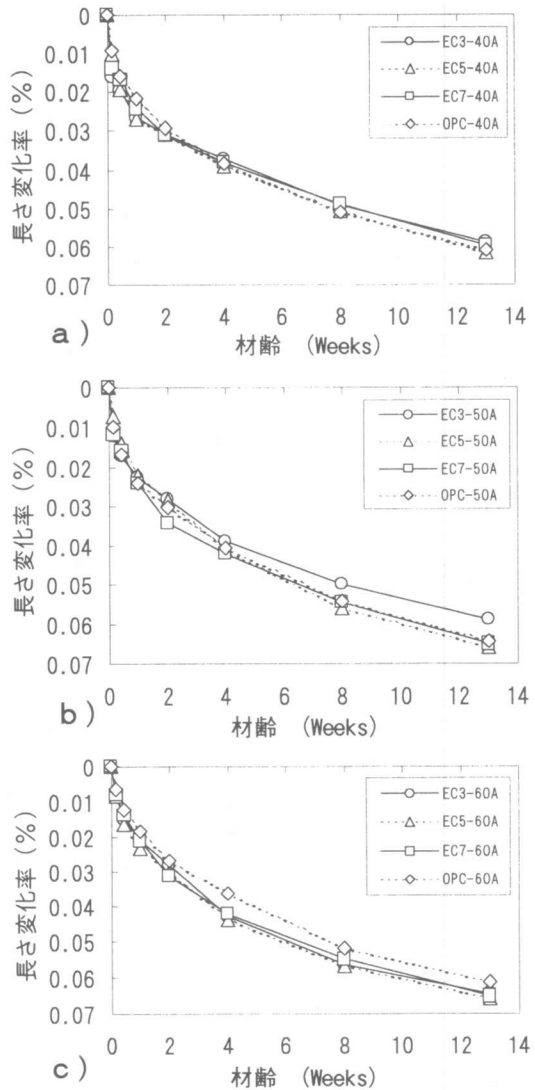


図-6 材齢と長さ変化率の関係

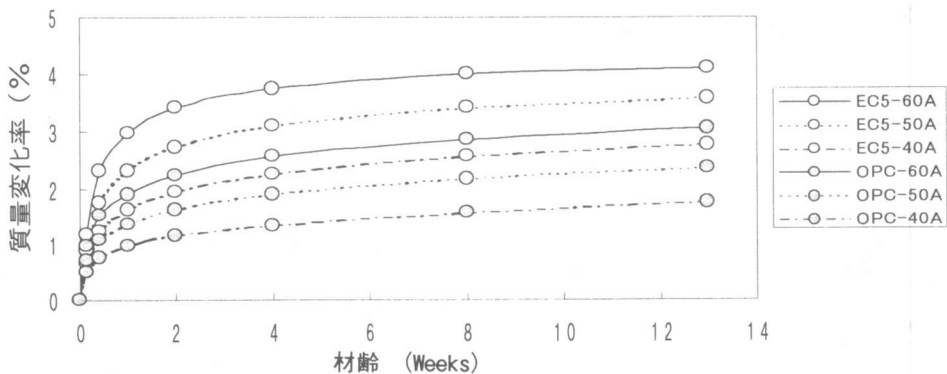


図-7 材齢と質量変化率の関係