

# 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調合に関する実験的研究

棚野博之\*1・鹿毛忠継\*2・濱崎 仁\*3・長塩靖祐\*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(以降エコセメントと呼ぶ)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。本報告では、昨年度作製したAE減水剤を使用したコンクリートの材齢1年までの長期特性と、新たに低水セメント比領域での高性能AE減水剤を使用した場合の調合およびその諸特性について実験的に検討した。その結果、エコセメントの強度発現は、40%程度の低水セメント比の場合を除いて13週以降ほとんど認められなかった。高性能AE減水剤の使用においても、AE減水剤と同様、現行の調合設計方法を準用したエコセメントの調合設計が可能と考えられる。

**キーワード:**環境負荷, 長期強度, 圧縮強度, プリーディング, 高性能AE減水剤

## 1. はじめに

都市型総合廃棄物や下水汚泥を主原料とするエコセメントは、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ことから、構造物への使用にあたっては十分な検討が必要である。

本報告では、AE減水剤を使用して昨年度作製したコンクリートの材齢1年までの長期特性と、本年度新たに実施した骨材の粒度分布ならびに低水セメント比領域における、主としてフレッシュ時の影響を確認するための実験的検討について報告する。

## 2. 実験概要

### 2.1 実験の要因と水準

第一実験(骨材の粒度分布の検討)および第二

実験(低水セメント比領域の検討)の要因と水準を表-1, 2に示す。昨年度作製したコンクリートの調合については参考文献1)を参照されたい。

表-1 第一実験の要因と水準

要因	水準
セメントの種類	エコセメント(塩素量: 500ppm) 普通ポルトランドセメント(3社混合)
水セメント比	40%, 42.5%, 45%, 50%, 55%, 60%, 65%
AE減水剤種類	A: リグニンスルホン酸系 B: オキシカルボン酸系 C: 芳香族高分子系

表-2 第二実験の要因と水準

要因	水準
セメントの種類	エコセメント(塩素量: 500ppm) 普通ポルトランドセメント(3社混合)
水セメント比	37.5%, 40%, 42.5%, 45%, 50%, 60%
高性能AE減水剤種類	RSPN: ナフタリンスルホン酸系 PSPP: ポリカルボン酸系(標準型) RSPP: ポリカルボン酸系(遅延型)

表-3 セメントの化学成分

試料名	化 学 成 分 (%)														
	lg.loss	Insol	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	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Cl	f.CaO
EC3	1.27	0.16	17.60	7.48	4.05	61.12	1.80	3.74	0.36	0.02	0.68	1.29	0.07	0.015	0.3
EC5	1.22	0.17	16.96	7.96	4.20	60.92	1.87	3.82	0.16	0.01	0.74	1.32	0.08	0.054	0.4
EC7	1.13	0.11	16.86	7.88	4.27	61.50	1.85	3.79	0.13	0.01	0.72	1.33	0.08	0.086	0.5
OPC	1.46	0.09	21.57	5.45	2.54	64.00	1.72	1.97	0.31	0.41	0.33	0.12	0.15	0.004	0.7

\*1 国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部材料・部材基準研究室長 工博(正会員)

\*2 独立行政法人建築研究所材料グループ上席研究員 工博(正会員)

\*3 独立行政法人建築研究所材料グループ研究員 工修(正会員)

\*4 太平洋セメント(株)研究本部佐倉研究所 工修

## 2.2 使用材料

セメントの化学成分を表-3に示す。その他、粗骨材(G)は岩瀬産硬質砂岩砕石(表乾密度: 2.64g/cm<sup>3</sup>, 吸水率: 0.68, 実積率: 58.4%), 細骨材(S)は大井川産川砂(表乾密度: 2.58g/cm<sup>3</sup>, 吸水率: 1.81), 混練水にはイオン交換蒸留水を用いた。

## 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、凝結および硬化後の圧縮強度、乾燥収縮および質量変化である。

## 3. 長期材齢における物性

### 3.1 圧縮強度

図-1に、材齢1年までの材齢と圧縮強度の関係を使用セメントの種類ごとに示した。普通ポルトランドセメントを使用した場合、材齢4週以降も圧縮強度は順調に増加しており、その割合は水セメント比が小さいほど大きく、W/C=40%では

約15N/mm<sup>2</sup>の増加が認められた。一方、エコセメントを使用したコンクリートの場合、材齢4週以降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と異なる傾向を示した。すなわち、材齢4週までは塩化物イオン量に関わらず何れのエコセメントでも普通ポルトランドセメントと同様の増加傾向を示したが、4週以降の挙動はセメント中の塩化物イオン量および水セメント比によって次のような異なった傾向を示した。

OPCからEC3, EC5, EC7へと塩化物イオン量が増加するに伴って、同一材齢における圧縮強度は相対的に小さくなる傾向が認められた。

水セメント比別の場合、40%では、普通ポルトランドセメントと比較すると明らかに材齢に対する増加量は小さいが、材齢1年までは材齢の経過と共に圧縮強度の増加が認められた。しかし、50%では13週以降、60%では4週以降、圧縮強度の増加がまったく認められず、普通ポルトランドセメントとは明らかに異なる挙動を示した。

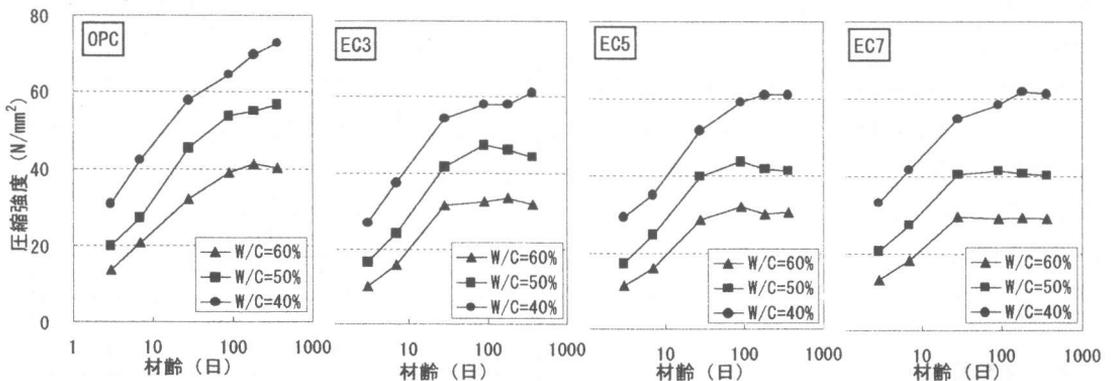


図-1 長期強度発現挙動

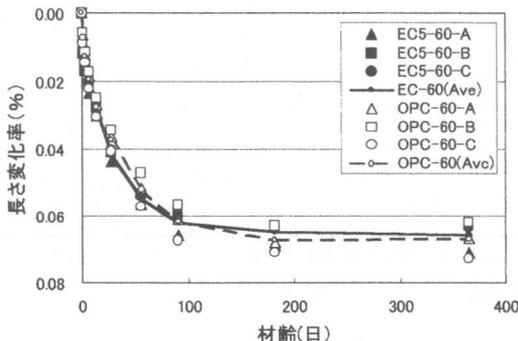


図-2 長期材齢における長さ変化率

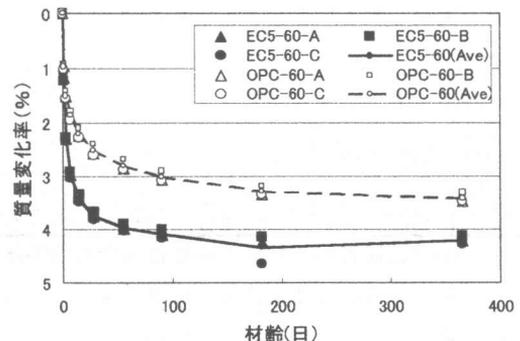


図-3 長期材齢における質量変化率

長期材齢における圧縮強度の変化については、更に2年以降長期での影響を検討していく予定である。

### 3.2 乾燥収縮

図-2および3に、材齢1年までの材齢と長さ変化率および質量変化率の関係をセメントの種類(EC5、OPC)、混和剤(A、B、C)の種類ごとに示した。昨年度報告した13週までの傾向と同様、材齢1年においても、エコセメントを使用したコンクリートの長さ変化率(黒塗りおよび実線：平均)は、普通ポルトランドセメント(白塗りおよび破線：平均)とほぼ同等の値を示した。

材齢1年における普通ポルトランドセメントとエコセメントを使用したコンクリートとの質量変化率の差は約0.8%であった。これは、普通ポルトランドセメントでは、13週以降も増加している

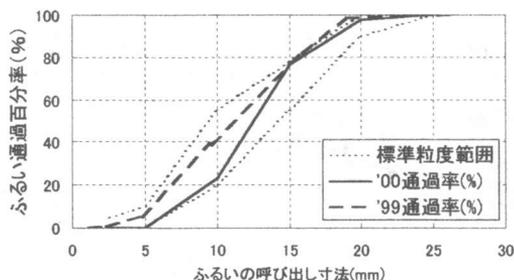


図-4 粗骨材粒度分布図

のに対し、エコセメントでは26週以降質量変化がほとんど停止したためである。

## 4. 使用骨材による影響

### 4.1 調査

表-4に示すように、同一水セメント比における必要単位水量は昨年度と比較して12~14kg/m<sup>3</sup>減少した。これは、図-4、5に示すように、昨年度使用した骨材は相対的に粒径の小さいものが多かったが、本年度使用した細骨材は5~10mm部分が多く、粗骨材も5mm以下がカットされ若干粗めであったためと考える。特にエコセメントでは低水セメント比での影響が大きく、18 kg/m<sup>3</sup>減少し、高性能AE減水剤を使用することなく単位水量185 kg/m<sup>3</sup>を満足することが可能であった。

### 4.2 圧縮強度

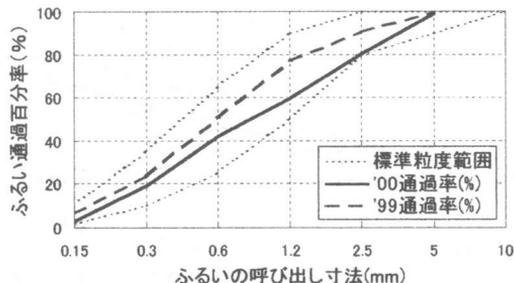
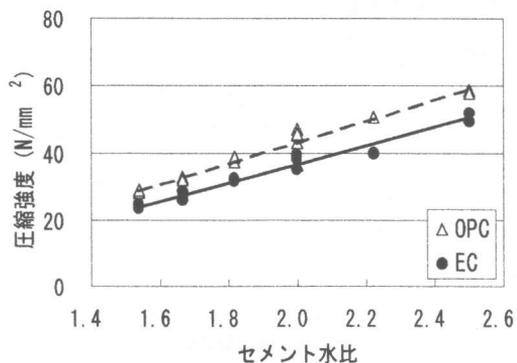


図-5 細骨材粒度分布図

表-4 AE減水剤を使用した場合の決定調査

セメント種類	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
			W	C	S	G
エコセメント (500ppm)	65	52	170	262	941	894
	65 <sup>*</sup>	47	182	280	832	968
	60	51	170	283	908	910
	60 <sup>*</sup>	46	182	303	813	968
	55	50	170	309	887	910
	55 <sup>*</sup>	45	182	331	790	968
	50	49	170	340	862	910
	50 <sup>*</sup>	44	184	368	775	968
	45	48	170	378	832	910
	42.5	47	176	414	787	910
40	45	182	455	739	910	
注)※は前年度調査	40 <sup>*</sup>	35	200	500	543	1032
普通 ポルトランドセメント	65	51	170	262	923	910
	65 <sup>*</sup>	47	180	277	837	968
	60	50	170	283	890	925
	60 <sup>*</sup>	46	180	300	818	968
	55	49	170	309	869	925
	55 <sup>*</sup>	46	180	327	796	968
	50	48	170	340	844	925
	50 <sup>*</sup>	45	180	360	769	968
	45	47	170	378	813	925
	42.5	46	174	409	777	925
40	45	178	445	737	925	
注)※は前年度調査	40 <sup>*</sup>	38	184	460	614	1032

図一六および七にセメント水比と圧縮強度との関係を材齢4週および13週で示した。セメント水比と圧縮強度は、4週、13週いずれにおいても、セメントの種類ごとにほぼ平行な2本の直線で回帰可能な相関関係を示した。これら2本の回帰直線の同一圧縮強度におけるセメント水比の差は、材齢4週で0.2~0.3、材齢13週で約0.3であり、昨年度の実験とほぼ同様の結果が得られた。よって、建築学会のJASS5や土木学会のコンクリート示方書など現行の調査設計方法を準用してエコセメントを使用したコンクリートの調査設計を行う場合、普通ポルトランドセメントと同様の圧縮強度を得るためには、水セメント比を約5%下げることが重要なポイントとなる。

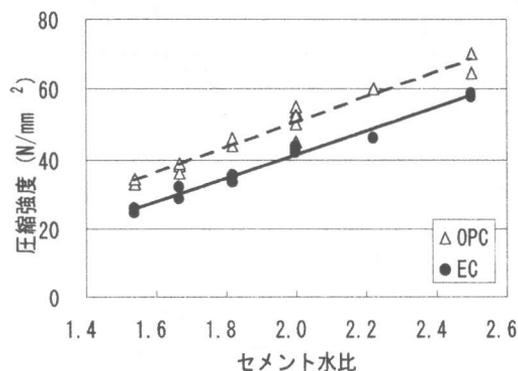


図一六 AE減水剤を使用した場合のセメント水比と圧縮強度の関係（材齢4週）

## 5. 低水セメント比領域の物性

### 5.1 調査

表一五に示すように、高性能AE減水剤の添加量は、その主成分の違いによってエコセメントと普通ポルトランドセメントで異なった傾向を示した。すなわち、高性能AE減水剤の市場において9割以上を占めるポリカルボン酸系の場合、セメントの種類による添加量の差はほとんど認められなかったが、ナフタリンスルホン酸系の場合、エコセメントへの添加量は普通ポルトランドセメントの2倍以上を要した。原因としては、ナフタリンスルホン酸系の方がポリカルボン酸系よりもセメント粉末度に対する影響を受けやすく、かつエコセメントの方が普通ポルトランドセメントよりも比表面積が1000 cm<sup>2</sup>/g以上高かったためと考え



図一七 AE減水剤を使用した場合のセメント水比と圧縮強度の関係（材齢13週）

表一五 高性能AE減水剤を使用した場合の決定調査

セメント種類	水セメント比 (%)	混和剤種類	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				SP添加率 (%)
				W	C	S	G	
エコセメント (500ppm)	45	RSPN	48	170	378	832	910	1.40
		RSPP <sub>R</sub>						0.45
		PSPP						0.80
	42.5	RSPN	48	170	400	814	910	1.60
		RSPP <sub>R</sub>						0.70
		PSPP						0.90
	40	RSPN	47	170	425	794	910	1.80
		RSPP <sub>R</sub>						0.95
		PSPP						1.00
	37.5	RSPN	46	170	453	771	910	1.60
		RSPP <sub>R</sub>						0.95
		PSPP						1.10
普通ポルトランドセメント	45	RSPN	48	165	367	835	925	0.65
		RSPP <sub>R</sub>						0.40
		PSPP						0.75
	42.5	RSPN	47	165	388	817	925	0.70
		RSPP <sub>R</sub>						0.65
		PSPP						0.80
	40	RSPN	47	165	413	797	925	0.80
		RSPP <sub>R</sub>						0.90
		PSPP						0.90
	37.5	RSPN	46	165	440	775	925	0.90
		RSPP <sub>R</sub>						0.90
		PSPP						1.00

られるが、詳細については現在検討中である。

### 5.2 凝結時間

図-8に混和剤種類別の始発・終結時間(縦棒)および混和剤添加量(折れ線)を示した。ナフタリンスルホン酸系の高性能AE減水剤を用いた場合、エコセメントにおける添加量は普通ポルトランドセメントの2倍以上であり、その結果始発・終結時間も他の2倍程度要した。その他の混和剤においても、添加量はほぼ同じであるにも拘わらずエコセメントの始発・終結時間は普通ポルトランドセメントより1~2時間遅れることが確認さ

れた。よって、一般に市販されている普通ポルトランドセメント用の混和剤をエコセメントへ使用する場合には、凝結試験などを行い、その適性を確認することが重要である。

### 5.3 ブリーディング

図-9に混和剤種類別のブリーディング率を示した。混和剤の種類に関わらず、いずれの調査においても、エコセメントを使用したコンクリートの方が普通ポルトランドセメントよりもブリーディング率が小さかった。これは、エコセメントの比表面積の高さに起因するものと考えらる。

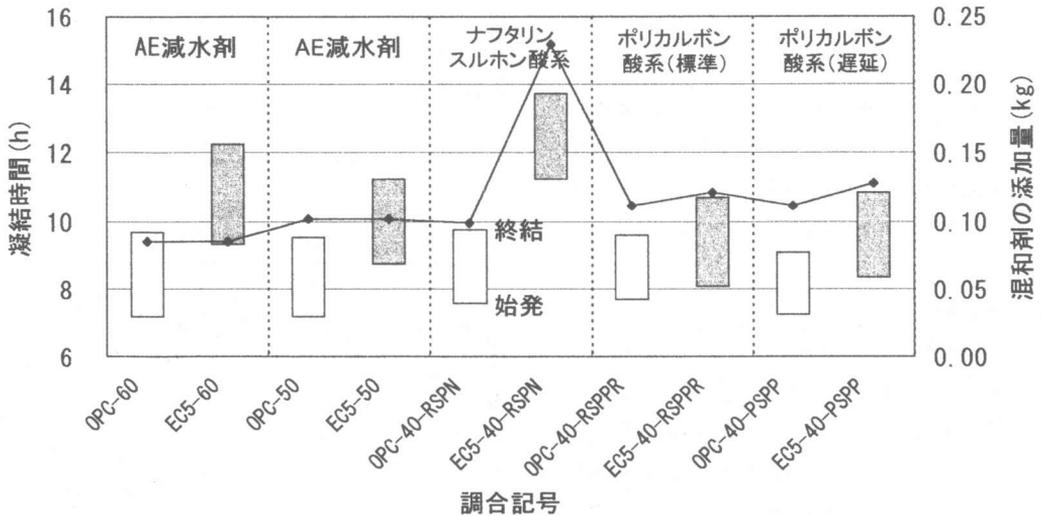


図-8 混和剤別の凝結時間

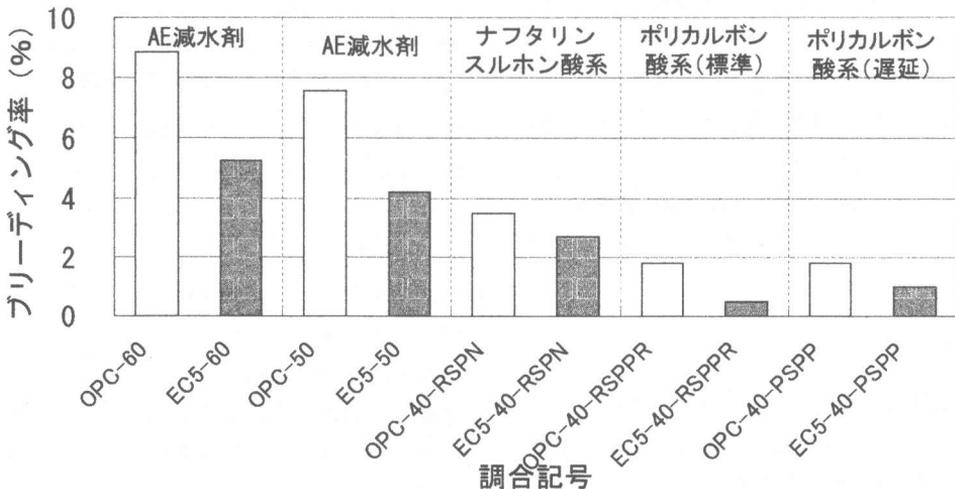


図-9 混和剤別のブリーディング率

お、高性能AE減水剤の主成分で比較した場合、ポリカルボン酸系はナフタリンスルホン酸系の1/2～1/3程度にブリーディングを抑えており、添加量、凝結時間なども考慮すると、エコセメントの場合にはポリカルボン酸系の方が適していると考えられる。

#### 5.4 圧縮強度

図-10a～cにセメント水比と圧縮強度(材齢4週)との関係を高性能AE減水剤の種類ごとに示した。高性能AE減水剤の種類に関わらず、セメント水比と圧縮強度は一次近似式でほぼ回帰可能であり、エコセメントと普通ポルトランドセメントの両近似直線の傾きは、一般のAE減水剤を使用した場合と同様、ほぼ同等であった。

今後、高性能AE減水剤についても、AE減水剤と同様、スランプ、単位水量、粗骨材かさ容積などとの関係を明らかにし、現行の調合設計方法との相違・類似点の確認を行う予定である。

#### 6. まとめ

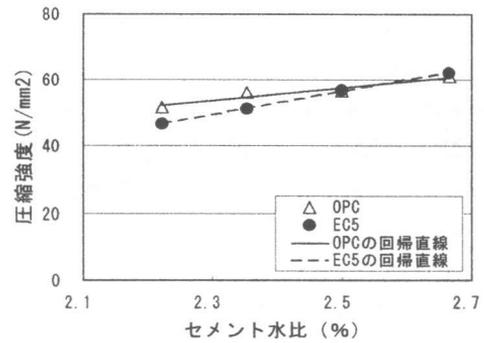
本年度の結果をまとめると以下のようである。

- ①エコセメントを使用したコンクリートの強度発現は、40%程度の低水セメント比の場合を除いて、13週以降1年までの材齢の進行に伴う増加がほとんど認められなかった。
- ②セメント水比と圧縮強度の関係は、普通ポルトランドセメントとほぼ平行な一次近似式で回帰された。これより、セメント水比で0.2(水セメント比で約5%)程度下げること、普通ポルトランドセメントと同一強度を得るための調合強度算定式が、導出可能であろう。
- ③エコセメントに使用する高性能AE減水剤は、ポリカルボン酸系を主成分とするものが適している。

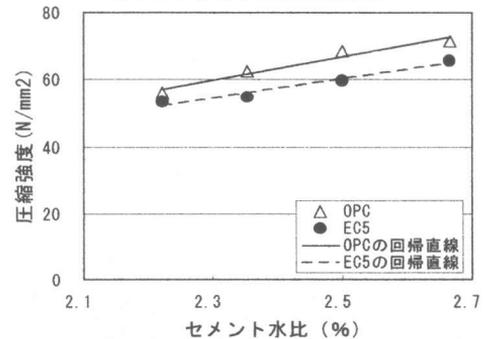
#### <謝辞>

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・建築学会学生諸氏のご協力に対し、ここに謝意を表する次第です。

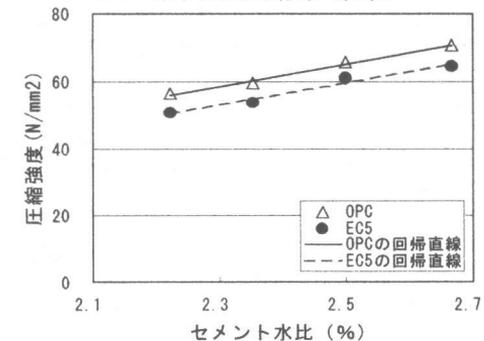
#### 参考文献



a : ナフタリンスルホン酸系



b : ポリカルボン酸系 (標準)



c : ポリカルボン酸系 (遅延)

図-10 高性能AE減水剤を使用した場合のセメント水比と圧縮強度の関係

- 1) 棚野博之ほか：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，コンクリート工学，Vol. 22，No. 2，pp. 469-474，2000. 6
- 2) 棚野博之ほか：環境負荷低減型セメントの品質に関する検討，第54回セメント技術大会講演要旨，pp. 460-461，2000. 4
- 3) 濱崎 仁ほか：環境負荷低減型セメントを用いたコンクリートの乾燥収縮と中性化に関する実験的検討，第54回セメント技術大会講演要旨，pp. 226-227，2000. 4