

論文 強さクラス 32.5 セメントを使用した汎用コンクリートのフレッシュ性状および材料分離抵抗性

三谷 裕二^{*1}・小早川 真^{*2}・大森 啓至^{*3}・山田 一夫^{*4}

要旨：欧州規格の強さ 32.5 クラスに相当する，石灰石微粉末，及び高炉スラグ微粉末が添加された混合セメントを使用したコンクリートにより，セメントの特性を評価した。スランブ 12cm 一定とした呼び強度 3 水準のコンクリートを製造し，フレッシュ性状試験を行った。比較対象は普通ポルトランドセメント(52.5 クラス)及び，高炉 B 種セメント(42.5 クラス)とした。その結果，32.5 クラスセメントを使用した際，単位粉体量増加，コンクリート粘性の増加，材料分離抵抗性の向上が明確となった。

キーワード：ISO 規格セメント，材料分離，フレッシュ性状，ブリーディング，落下分離

1. はじめに

日本では，「高強度」を追求したセメント開発に力が注がれ，実施工において要求されるコンクリート強度に対して，高い強さのセメントが使用されている¹⁾。高い強さのセメントを使用すると，少ないセメント量で要求されたコンクリート強度を得ることができ経済的である。しかし，粉体量が減少することにより，ポンプ圧送性や材料分離抵抗性の低下が誘引され，欠陥が生じ易く，耐久性に乏しいコンクリートが製造される懸念が生じている。また，近年，日本国内でコンクリート構造物の早期劣化現象が頻発しており，これらを機に耐久性が重要視され，耐久性から定まる水セメント比で適正な単位セメント量のコンクリートとなるセメントの開発が必要と指摘されている²⁾。

一方，欧州では石油ショックを契機に，高い強さより，強さの安定性と耐久性を重視したセメントの開発が進められてきた。そして，2000 年に成立した欧州 EN 規格(EN197-1:2000)では，強さの上限，下限を定めてセメントが 3 種類にクラス分けされており，また，石灰石微粉末等の混合が認められている。

この EN 規格が国際規格機構(ISO)規格の規

格案となっており，JIS 規格の ISO 整合化に向けて検討されている³⁾。筆者らは欧州各国のセメントと日本の汎用セメントを比較調査した。その結果，EN 規格の強さクラス 32.5 のセメントが最も良い総合評価を得ており，前述した耐久性重視のセメントの候補として混合セメントを選定した¹⁾。

本研究では，石灰石微粉末と高炉スラグ微粉末を普通ポルトランドセメントに置換した，EN 規格の強さ 32.5 クラスに相当する，石灰石 - スラグ微粉末系(以下 BL と略記)と石灰石微粉末系(以下 LS と略記)の 2 種類の混合セメントを用いてコンクリートを製造し，その配合，及びフレッシュ性状の評価を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

表 - 1 に本実験における使用材料を示す。セメントは混合セメントの BL，LS，及び比較の対象として従来セメントである普通ポルトランドセメント(以下 N と略記)，高炉スラグ B 種(以下 BB と略記)の 4 種類である。普通ポルトランドセメントを基材とし，セメント質量に対して，BL は高炉スラグ微粉末 15%，石灰石

*1 太平洋セメント(株)中央研究所コンクリート技術グループ 工修 (正会員)

*2 太平洋セメント(株)中央研究所コンクリート技術グループ主任研究員 (正会員)

*3 太平洋セメント(株)中央研究所コンクリート技術グループリーダ 工修

*4 太平洋セメント(株)中央研究所セメント化学グループ主席研究員 工博 (正会員)

表 - 1 使用材料

セメント (置換率 mass %)	強さクラス	密度 (g/cm ³)	ブレン比表面積 (cm ² /g)
BL (高炉スラグ微粉末 15: 石灰石微粉末 20)	32.5N	3.00	4210
LS (石灰石微粉末 30)	32.5R	3.00	4200
N	52.5N	3.15	3390
BB	42.5N	3.02	3890

骨材	産地	密度 (g/cm ³)	粗粒率	AE 減水剤	AE 助剤	水
海砂	長崎県壱岐郡郷ノ浦沖合海砂	2.59	2.37	リグニンスルホン酸ポリオール複合体	アルキルアリルスルホン酸化合物系陰イオン界面活性剤	水道水
砕砂	北九州市小倉南区産砕砂	2.69	2.95			
粗骨材	北九州市門司区産砕石 2005	2.83	6.64			

表 - 2 コンクリート配合 (スランブ 12 c m)

呼び強度	目標強度	セメント種類	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					AE 減水剤 (C × %)	AE 助剤 (A)
					水	セメント	海砂	砕砂	粗骨材		
24	28.8	BL	60.0	47.5	171	285	348	521	1035	0.25	1.8
		LS	53.3	46.0	171	321	331	496	1047		1.8
		N	71.6	50.5	184	257	369	553	975		0.8
		BB	72.7	49.5	177	243	367	550	1007		2.3
30	36	BL	50.9	46.0	168	330	330	495	1047	0.25	2.0
		LS	45.9	45.0	173	377	313	470	1035		2.4
		N	61.1	47.5	173	283	349	523	1038		1.5
		BB	66.9	48.5	173	259	358	538	1027		2.2
36	43.2	BL	44.5	44.5	172	387	308	463	1041	0.25	1.5
		LS	39.6	40.5	178	449	269	404	1070		2.0
		N	53.5	46.0	176	329	329	493	1044		0.8
		BB	55.6	46.0	165	297	337	506	1070		2.2

微粉末 20%を置換したもの，LS は石灰石微粉末を 30%置換したものである。本実験で BL と LS を選択した理由は，BL は N と同等の強度発現性状を有するためであり，LS は早期強度発現型を想定したためである。

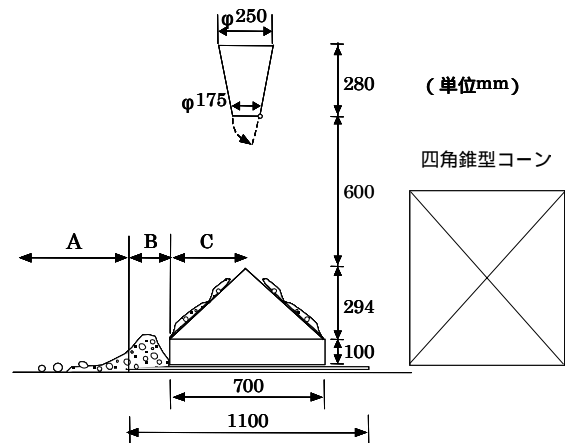
細骨材は砕砂と海砂，粗骨材は砕石であり，これは西日本地区の使用骨材環境に近い。

2.2 配合

表 - 2 に呼び強度ごとの配合を示す。呼び強度 24，30，36 の 3 水準について，試し練りを行い，作成された圧縮強度 - セメント水比 (σ - C/W) 直線を基に，水セメント比を決定し，スランブ 12 ± 1.5 cm，空気量 4.5 ± 1.5 % となるように配合を決定した。

2.3 フレッシュコンクリート試験項目

コンクリートの練混ぜは 20 の恒温恒湿試験室内で行い，パン型ミキサー (50 リットル) を用いて，1 バッチ当たりの練混ぜ量は 35 リッ



$$\text{分離指数} = (G_A - G_0) \cdot \frac{M_A}{M_A + M_B + M_C}$$

G_A : A部分のコンクリート中の粗骨材質量比
 G_0 : 元のコンクリート中の粗骨材質量比
 M_A, M_B, M_C : A, B, C部分のコンクリート質量

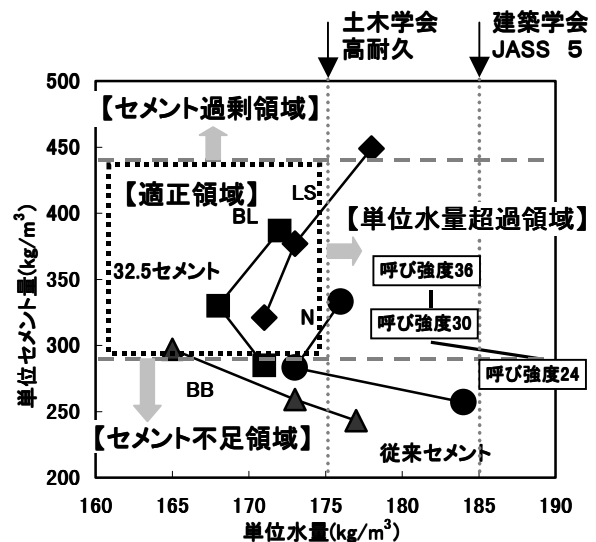
図 - 1 落下分離試験^{2), 3)}

表 - 3 フレッシュ性状試験項目

試験項目	試験方法
スランプ	JIS A 1101
空気量	JIS A 1128
DIN フロー	DIN 1048 試験台上で、高さ 20cm のコーンにコンクリートを詰め、コーンを引き上げる。その後、試験台の一端を 4cm 持ち上げて落下させる操作を 15 回繰り返し、拡がりの直径を測定する。
加圧ブリーディング	JSCE F 502-1999 及び コンクリートのポンプ施工指針 測定用容器にコンクリートを詰め、ピストンで 3.5MPa の圧力を加えた状態で、容器下部からの排水量を任意時間ごと測定する。
落下分離	B.P.Hughes の試験方法に準拠 一定容積の試料を四角錐型コーンに落下させ、一定距離以上広がった試料中の粗骨材質量比率を測定する。
ブリーディング	JIS A 1123
凝結	JIS A 6204 付属書 1
圧縮強度	JIS A 1108

トルとした。セメントと骨材を 15 秒空練りした後、混和剤を添加した水を入れ 90 秒練り混ぜた。経時の間は静置させ、試験直前に繰り返した。

表 - 3 に試験項目とその方法を示す。通常のスランプ、空気量、ブリーディング、凝結試験に加え、同ースランプにおける粘性の差異、ポンプ圧送性、及び打設時の施工欠陥の生じやすさを評価するため、それぞれ DIN フロー、加圧ブリーディング⁴⁾、落下分離試験を実施した。図 - 1 に落下分離試験の概要を示す。



3. 実験結果と考察

表 - 4 に実験結果のまとめを示す。コンク

図 - 2 単位水量と単位セメント量の関係
(スランプ 12cm)

表 - 4 測定結果のまとめ

呼び強度	セメント	スランプ (cm)	空気量 (%)	DIN フロー (mm)	分離係数	凝結		ブリーディング		28d 圧縮強度 (N/mm ²)
						始発 (h-m)	終結 (h-m)	量 (cm ³ /cm ²)	率 (%)	
24	BL	11.2	4.5	515	0.015	8-00	11-17	0.232	5.41	28.0
	LS	12.4	4.7	490	0.015	7-17	10-12	0.192	4.46	29.5
	N	11.3	4.9	510	0.018	7-41	10-36	0.408	8.74	27.4
	BB	11.6	4.5	520	0.021	9-15	12-25	0.306	7.25	30.4
30	BL	13.1	4.8	-	0.010	7-15	10-10	0.183	4.34	36.3
	LS	12.2	5.3	-	0.008	6-55	9-15	0.158	3.62	35.3
	N	11.9	5.3	-	0.018	7-20	10-00	0.304	6.96	35.6
	BB	12.9	4.3	-	0.014	8-45	11-45	0.263	5.95	34.8
36	BL	10.5	4.2	458	0.007	6-53	9-20	0.129	2.96	45.5
	LS	12.1	4.4	415	0.002	6-08	8-25	0.080	1.75	44.8
	N	13.0	4.5	543	0.013	7-15	9-31	0.225	4.97	44.3
	BB	11.4	4.8	455	0.014	8-42	11-25	0.208	4.97	45.2

リートの 28 日圧縮強度はほぼ等しく，呼び強度一定の条件を満足している。

3.1 配合

図 - 2 にスランプ一定 (12cm) で呼び強度の異なる配合における単位水量と単位セメント量の関係を示す。施工性，及び耐久性が良好なコンクリートを製造するための単位セメント量の適正範囲を $290 \sim 440 \text{ kg/m}^3$ とすれば，従来セメントではセメント量が不足している。一方，32.5 クラスセメントでは，呼び強度 36 の LS を除いてほぼ適正範囲内であると考えられる。N，BB は呼び強度を下げた場合，流動性を保つために単位水量が著しく増加するため，施工性や耐久性の面で品質の悪いコンクリートが製造され易い。この結果から，コンクリートの良好な施工性，耐久性を確保するためには，最低セメント量を設定する必要があると考えられる。また，呼び強度の低いコンクリートに 32.5 クラスセメントを適用すると，粉体量が多いという配合の効果により，施工性や耐久性が改善され，有効であると考えられる。

3.2 フレッシュ性状の経時変化

図 - 3 に呼び強度 24 および 36 におけるフレッシュ性状の経時変化 (15 分間隔) を示す。スランプの経時変化については，セメントによる差異が見られなかった。

空気量については，LS の経時による減少が特徴的であり，また，呼び強度 36 では BL も N，BB と比較して減少量が大きかった。

DIN フローについては，同様のスランプにもかかわらず，従来セメントの N，BB と 32.5 クラスセメントの BL，LS の差異が明確である。DIN フロー値が粘性を表す一つの指標とすれば，BL，LS の粘性は大きく，また，経時による粘性の増加が大きいと考えられる。また，図 - 4 にスランプと DIN フローの関係を示す。同図にはスランプ，空気量が規定値を外れたケースの結果もプロットした。BL は N，BB と比較して，近似直線の傾きが大きいことから，

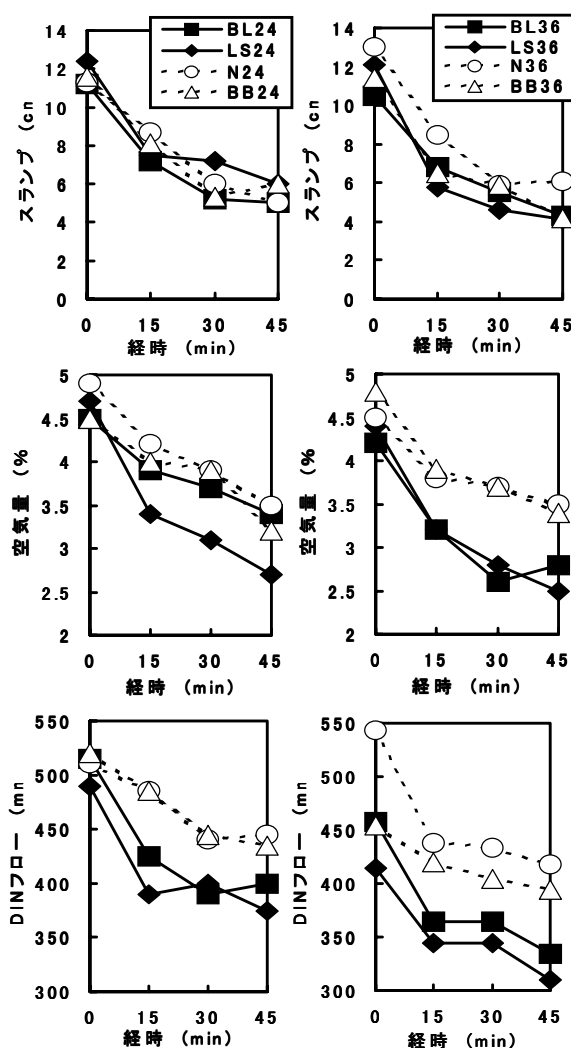


図 - 3 フレッシュ性状の経時変化

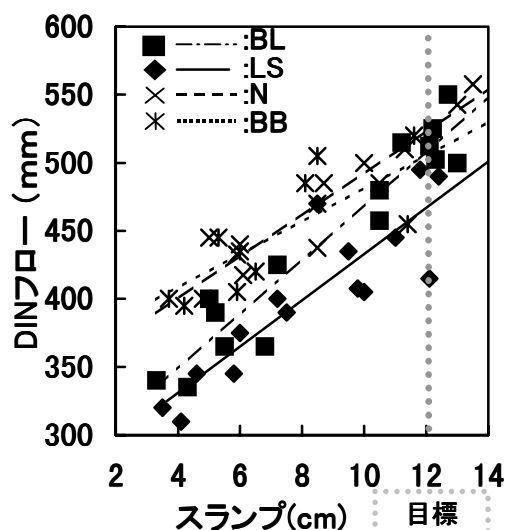


図 - 4 スランプと DIN フローの関係
スランプの低下に対する，粘性の増加が大きいことが示されている。締固めに要するエネルギーは従来セメント使用時より大きくなるが，粘

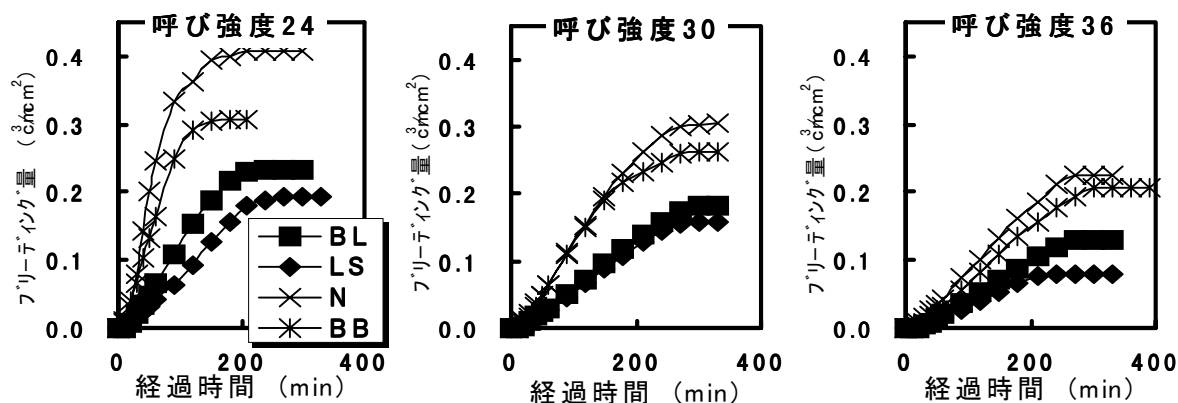


図 - 5 フリーディング試験結果

性の大きさは材料分離抵抗性の向上に効果的であると考える。

3.3 凝結

表 - 4 によると、凝結時間の早さは、全ての呼び強度において、LS が最も早く、N と BL が同等、BB は他のセメントと比較して、始発終結ともに 1~2 時間長い結果であった。

3.4 フリーディング

図 - 5 にフリーディング試験結果を示す。同図から、全ての呼び強度において、フリーディング量の大小関係は $N > BB > BL > LS$ となり、32.5 クラスセメントは従来セメントよりフリーディングが少なく、耐久性の向上に効果的であると考える⁵⁾。

3.5 加圧フリーディング

一般的に、加圧フリーディングはポンプ圧送性の指標として用いられている。試験での加圧荷重は 3.5N/mm^2 であり、10m のコンクリート柱の下部に加わる圧力が 0.235N/mm^2 であることを考慮すると、高い壁や柱部材内部の水分挙動に近く、フリーディングとはその性質が異なる⁶⁾。図 - 6 に呼び強度 24 および 36 における加圧フリーディング試験結果を示す。加圧フリーディングはその脱水量が多すぎても、少なすぎてもポンプ圧送性に悪影響を与えることから、図中の max, min それぞれのラインの間にあることが文献により推奨されている⁷⁾。N は脱水量が多いが、BB, BL, LS はライン間にあり、ポンプ圧送性は良好であると考えられる。

3.6 落下分離

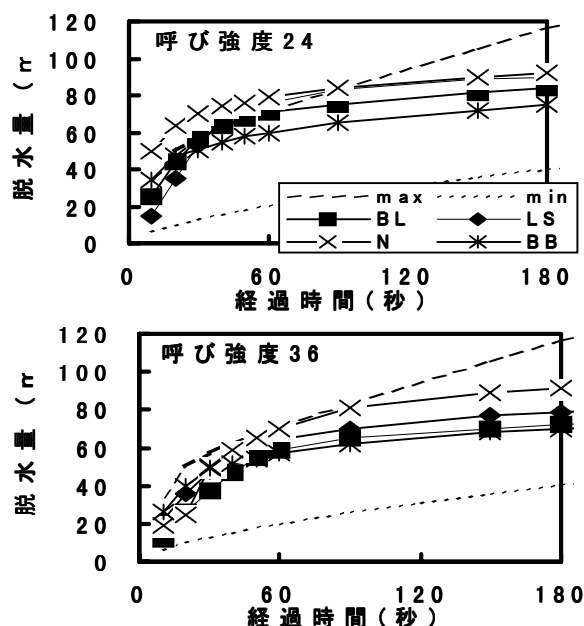


図 - 6 加圧フリーディング試験結果

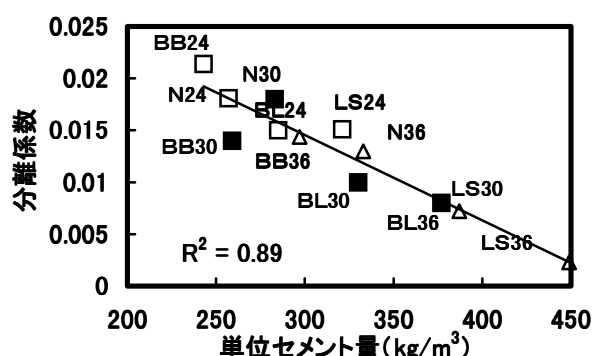


図 - 7 単位セメント量と分離係数の関係

落下分離試験により、得られた分離係数は、その値が小さいほど材料分離抵抗性が高いことを示す。表 - 4 の分離係数を比較すると、32.5 クラスセメントが従来セメントより分離抵抗性が高く、その傾向は呼び強度が大きい

ほど顕著となっている。図 - 7 に配合因子である単位セメント量と分離係数の関係を示す。同図から、単位セメント量の増加が分離係数の低減、すなわち材料分離抵抗性の向上に大きな効果を与えることが分かる。材料分離抵抗性に影響を与える他の因子として、単位ペースト量、余剰ペースト膜厚⁸⁾が考えられたが、最も分離係数との相関が高いのが、単位セメント量であった。つまり、材料分離抵抗性の向上には、セメントの種類はほとんど関係なく、単位粉体量という配合因子が影響を与えると言える。配合からも分かるように、32.5 クラスセメントは従来セメントと比較して、セメント量が多く、また、呼び強度の増大によるセメント量の増加率も大きい。そのため、材料分離抵抗性が大きく、その傾向は呼び強度が増大するほど顕著になると考えられる。

ブリーディング率についても同様な考察を行うと、単位水量との相関はほとんどなく、単位セメント量と高い相関を示した。そのため、ブリーディング率と分離係数にも高い相関が得られている。図 - 8 にブリーディング率と分離係数の関係を示す。ブリーディングの少ない配合やセメントを使用することが、施工欠陥の発生を低減し、コンクリートの高耐久化に貢献すると予想できる。

4.まとめ

石灰石微粉末、及び高炉スラグ微粉末を添加し、EN 規格 32.5 クラスに相当する混合セメントと従来セメントをコンクリートの配合、フレッシュ性状を基に比較評価した。その結果、32.5 クラスセメントを使用した場合、フレッシュ性状におけるいくつかの優位点が確認された。以下に本研究で得られた知見を記す。

- (1) 同一呼び強度、同一スランプのコンクリートを製造する場合に、32.5 クラスセメント使用すると、従来セメント使用時より、単位セメント量が増加する。

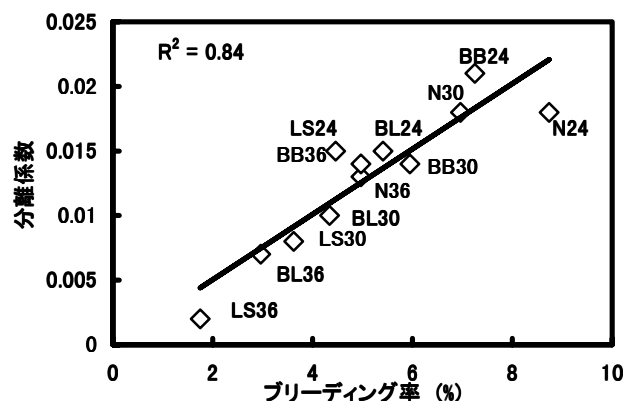


図 - 8 ブリーディング率と分離係数の関係

- (2) コンクリートの粘性は、32.5 クラスセメントの使用により増大し、経時による粘性の増加も従来セメント使用時より大きい。
- (3) コンクリートのブリーディングは、32.5 クラスセメントの使用により著しく減少する。
- (4) コンクリートの材料分離抵抗性は、32.5 クラスセメントの使用により向上する。

あとがき

本論文では、コンクリートのフレッシュ性状の評価のみ報告したが、強度、耐久性に関する評価は別途報告する。

謝辞

本実験を行うにあたり、香春太平洋セメント株式会社コンクリート試験所の協力を得ました。ここに厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 羽原俊祐, 山田一夫: もう一度、セメントを見つめ直してみよう, コンクリートテクノ, Vol.20, No.9, pp.70-78, 2001.9
- 2) 城国省二, 沢木大介, 山田一夫: 21 世紀に求められるセメント像-欧州汎用セメントの解析をとおりて-, 太平洋セメント研究報告, 140 号, pp.4-24, 2001.6
- 3) 小津博, 山田一夫ほか: ISO 規格対応型混合セメントにおける混合粉体の影響, セメント技術大会講演要旨, pp.40-41, 2001
- 4) 池田尚治, 笠井芳夫: コンクリートの試験方法 上, 技術書院, pp.142-177, 1993.6
- 5) 平田隆祥, 竹田宣典, 十河茂幸: 石灰石粉によるブリーディングの低減がコンクリートの強度・耐久性に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.14, No.1, pp.309-314, 1992
- 6) 十河茂幸ほか: 石灰石粉によるコンクリートの加圧ブリーディング性状の改善効果, 土木学会第 46 回年次学術講演会, V-62, pp.140-141, 1991.9
- 7) 田澤栄一: ポンプ圧送技術の現状と問題点, コンクリート工学, Vol.21, No.11, pp.13-22, Nov.1983
- 8) 松下博通, 田中邦博, 近田孝夫: 砕砂コンクリートの細骨材率に関する一考察, セメント技術年報, 42, pp.88-91, 1988