

土木研究所資料

省エネセメントの利用技術の開発に関する報告書
—研究成果および利用技術マニュアル(案)—

平成9年3月

建設省土木研究所
材料施工部化学研究室

Copyright ©1997 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

省エネセメントの利用技術の開発に 関する報告書

—研究成果および利用技術マニュアル(案)—

材 料 施 工 部 新材料開発研究官 片 脇 清
材料施工部化学研究室 室 長 坂 本 浩 行
研 究 員 寺 田 剛

要 旨

省エネセメントとして材料自体のエネルギー消費量およびCO₂排出量を大幅に削減したセメントが開発されつつある。この省エネセメントを土木構造物に利用することにより大幅な省資源、省エネルギーおよびCO₂の消滅に寄与できると思われる。

そこで、建設省総合技術開発プロジェクト「省資源・省エネルギー型国土建設技術の開発」の一環として行った「省エネルギー型土木工法の利用技術の開発」の中で省資源・省エネルギー型土木資材として有効であった省エネセメントを土木構造物に用いるための利用技術を開発した。

本報告は、この省エネセメントを土木構造物に利用するために実施したセメントおよびコンクリートの性状試験および実構造物レベルでの施工性試験の研究結果についてまとめたものである。

また、この研究結果に基づいて、省エネセメントを土木構造物に用いるための利用技術マニュアル(案)を作成したので併せて報告する。

キーワード：省エネルギー、セメント、コンクリート、マニュアル、省エネセメント

まえがき

近年、地球環境問題を契機として、各産業分野において二酸化炭素（以下、CO₂という）による温暖化を防止するため省エネルギー、CO₂排出抑制技術の開発が求められている。建設事業は、資材、燃料等を大量に消費するエネルギー多消費型産業のひとつである。建設事業において省資源・省エネルギーおよびCO₂の削減を行うためには、資源、エネルギーを効率的に利用できる資材や工法およびCO₂排出量の少ない資材や工法の開発が重要な課題となっている。

省エネセメントとして、材料自体のエネルギー消費量およびCO₂排出量を大幅に削減したセメントが開発されつつある。この省エネセメントを土木構造物に利用することにより大幅な省資源、省エネルギーおよびCO₂の削減に寄与できると思われる。

そこで、建設省総合技術開発プロジェクト「省資源・省エネルギー型建設技術の開発」の一環として行った「省資源・省エネルギー型土木資材の利用技術の開発」の中で省資源・省エネルギー型土木資材として有効であった省エネセメントを土木構造物に用いるための利用技術を開発した。

今回、利用技術を開発した省エネセメントは、主原料として都市型総合廃棄物（都市ゴミ焼却灰、下水汚泥等）を用いた省エネセメント（A型）、製鋼スラグおよび高炉スラグを利用して鉱物組成を改良したクリンカータイプの省エネセメント（B型）、石灰石微粉末と高炉スラグ微粉末との複合混合材で置換した省エネセメント（C型）の3種類である。

本報告は、この省エネセメントを土木構造物に用いるために行ったセメントおよびコンクリートの性状試験および実構造物レベルでの施工性試験の研究結果についてまとめたものである。

また、この研究結果に基づいて、省エネセメントを土木構造物に用いるための「省エネセメントの利用技術マニュアル（案）」を作成したので併せて報告する。

最近、地球温暖化に関して、CO₂の排出量が、さらに増えたことが報告されている。今回、利用技術をまとめた省エネセメントを土木構造物に使用することができれば、省資源・省エネルギーにつながり、CO₂排出量を低減させることができ、地球環境保全に寄与できると思われる。

よって、この省エネセメント利用技術マニュアル（案）を利用し、省エネセメントを多いに使用して頂くことを望む次第である。

このマニュアル（案）は、省エネセメントをコンクリート構造物に適用する方法について記述したものであるが、これ以外の利用としては、土質安定処理用セメント系固化材として使用するのも有効な手段と思われる。巻末の付録に固化材の文献を添付しているので、省エネセメントを固化材に利用する際の参考にして頂きたい。

なお、この省エネセメント利用技術マニュアル（案）は、上記3種類の省エネセメントを利用する際のマニュアルについて記したものである。



目 次

まえがき

第Ⅰ編 研究概要

1. 研究概要	1
2. 研究方法	2
2. 1 現状調査	2
2. 2 室内性状試験	2
2. 3 施工性試験	2

第Ⅱ編 研究結果

1. 省エネセメントの現状	3
2. 省エネセメントの性状	6
2. 1 省エネセメントの化学成分、物理試験および水和熱試験	6
2. 2 モルタル硬化体の重金属溶出試験	7
3. コンクリートの性状	8
3. 1 コンクリート試験	8
3. 2 試験方法	9
3. 3 使用材料	10
4. 各省エネセメントの性能	
4. 1 A型省エネセメント	11
4. 2 B型省エネセメント	19
4. 3 C型省エネセメント	26
5. 施工性試験	32
6. 省エネセメントのエネルギー消費量およびCO ₂ 発生量算定結果	39

第Ⅲ編 省エネセメント利用技術マニュアル（案）

第1章 総則	43
第2章 省エネセメントの品質	44
第3章 材料	46
第4章 配合	47
第5章 練混ぜ運搬	50
第6章 レディーミクストコンクリート	51
第7章 打込みおよび養生	52
第8章 試験および品質管理	54
第9章 設計計算に関する一般事項	55
付録-1 省エネセメントの特徴と用途	
1. 省エネセメントの特徴	57
2. 省エネセメントの用途	59
付録-2 省エネセメントの使用上の注意事項	61

あとがき

付 録

「省エネセメントの土質安定処理材用セメント系固化材への利用」（文献）……付-1

第I編 研究概要

1. 研究概要

最近、温室効果といわれる地球規模的環境問題が注目されている。大気中の二酸化炭素（ CO_2 ）やメタン、フロン等の温室効果ガスが大気中に放出され、その濃度が高くなると、地表面の温度が高まり（地球温暖化）、海水面の上昇や砂漠化の進展を招くと心配されている。この温室効果ガスの排出量の約5割は二酸化炭素によるもので、しかもその8割が石炭、石油、天然ガスという化石燃料の消費に伴い発生する。

資源の多くは石油製品から作られており、エネルギーの約5割は化石燃料が使われている。建設事業は、多くの資源・エネルギーを消費する多消費産業といわれており地球環境保全に寄与するためには、省資源・省エネ対策をより一層推進し、 CO_2 発生量を低減させ、地球規模の環境問題に貢献することが重要である。

そこで、建設省土木研究所では、平成3年度から7年度まで建設省総合技術開発プロジェクト「省資源・省エネルギー型国土建設技術の開発」という研究課題において省資源・省エネルギーに関する以下の研究を行った。

- ①事業別および土木事業全体の資源、エネルギー消費量および CO_2 発生量の算定。
- ②代表10工事における資源・エネルギーの消費量および CO_2 発生量の算定。
- ③資源、エネルギー消費量および CO_2 排出量の少ない省資源・省エネルギー型土木工法の選定。

その結果、PC橋工事のエネルギー消費および CO_2 排出量は代表10工事の中で4番目に多く、セメントのエネルギー消費量は鋼材に次いで2番目に多く、 CO_2 排出量は1番目に多いことが分かった。¹⁾

この当時（平成5年頃）、省エネセメントとして材料自体のエネルギー消費量および CO_2 排出量を大幅に削減したセメントが開発されつつあった。この省エネセメントのエネルギーおよび CO_2 排出量を算定したところ、省エネルギーおよび省 CO_2 の削減に有効であることがわかった。²⁾ この省エネセメントを土木構造物に利用することにより大幅な省資源、省エネルギーおよび CO_2 の削減に寄与できると思われる。そこで、省エネセメントの利用技術の開発を目的に、省エネセメントに関する現状調査、セメントおよびコンクリートの性状試験、実構造物レベルでの施工性を評価するための施工試験などを行うとともに、これらの3種類の省エネセメントの燃料エネルギー消費量および CO_2 発生量の算定を行った。

また、最終成果として、省エネセメントを土木構造物に利用するための「省エネセメント利用マニュアル（案）」を作成した。

2. 研究方法

2.1 現状調査

省エネセメントの利用効果や目標設定および課題などを整理するため、①セメント産業における省エネルギーの現状、②セメントの用途に関する規準、規格の現状、③省エネルギー、CO₂ 排出量削減のための方策の項目について現状調査を行った。

2.2 室内性状試験

2.2.1 省エネセメントの試験

省エネセメントの試験として物理試験および化学分析試験を行った。物理試験はJIS R 5201に準拠し、比重試験、粉末度試験、凝結試験、安定性試験、強さ(曲げ、圧縮)試験を、JIS R 5203に準拠し水和熱試験を行った。化学分析はJIS R 5202に準拠し、強熱減量(ig. loss)、不溶残分(insol.)、塩素量(Cl⁻)など16項目の試験を行った。また、モルタル硬化体の重金属溶出試験を行った。

2.2.2 試験試料

試験試料として表-1-1に示す省エネルギーセメントA、B、Cおよび比較試料として普通ポルトランドセメント（以下普通セメントという）の4種類を用いた。

表-1-1 試験材料

試料名	セメントの種類
A型省エネセメント	都市型総合廃棄物（都市ゴミ焼却灰、下水汚泥等）を主原料として製造した省エネセメント
B型省エネセメント	製鋼スラグ、廃珪砂等の産業廃棄物を多量に使用することにより製造したクリンカータイプの省エネセメント
C型省エネセメント	石灰石微粉末と高炉スラグ微粉末との複合混合材で置換した省エネセメント
比較試料	普通ポルトランドセメント

2.2.3 コンクリートの試験

省エネセメントを用いたコンクリートの性状試験は、スランプ、空気量、圧縮強度（7, 28日）静弾性係数試験などの12項目の試験を行った。

2.3 施工性試験

省エネセメントを使用したコンクリートの施工性試験は、省エネセメントを用いて作ったコンクリートの実構造物レベルでの施工性を評価するため、実プラントでコンクリートを作り締固め易さ、表面の均し易さなどの施工性やフレッシュコンクリートのスランプ、空気量の経時変化および圧縮強度を評価した。

第Ⅱ編 研究結果

1. 省エネセメントの現状

1.1 省エネルギーセメントの現状調査

1.1.1 セメント産業における省エネルギーの現状

図-2-1に1973年から1992年におけるセメント産業のエネルギー原単位の推移を、図-2-2に日本の1990年度のエネルギー原単位を100とした時の各国の1980年度と1990年度のエネルギー原単位の比較を示す。図-2-1で分かるように、日本のセメント産業は、1973年の第1次石油危機以来、エネルギー原単位を32%も削減してきており、省エネルギーに大きな成果をあげてきた。また、図-2-2に示すようにエネルギー原単位は小さく世界のトップレベルに達している。

なお、エネルギー原単位とは物を生産するときの単位生産量あたりのエネルギー消費量（単位はcal/単位生産量）である。

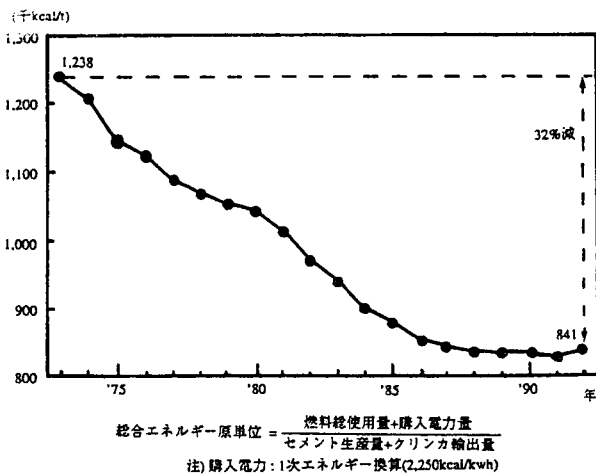


図-2-1 総合エネルギー原単位の推移

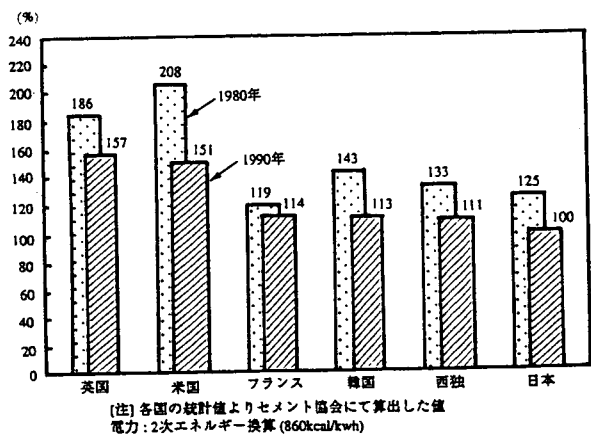


図-2-2 各国のエネルギー原単位の比較

1.1.2 セメントの用途に関する標準、規格の現状

我が国における主要なセメントの使用標準、規格として、土木学会コンクリート標準示方書、日本道路協会道路橋示方書の2つがある。これら両示方書は我が国における土木用コンクリート構造物の設計、施工の基本的指針を示すものと考えられ、使用セメントについても、JIS規格で品質が規定されているものあるいは、使用実績の多いセメントを用いることが原則になっている。一方、官公庁のコンクリート工事におけるセメントの使用標準として、土木工事共通仕様書がある。この条文をみると、工事に使用するセメントは普通ポルトランドセメントを使用するものとし、他のセメントおよび混和材料を使用する場合は設計図、または特記仕様書によるものとする」と記述されている。さらに、セメントはJIS規格に適合したもの、またはこれと同等以上の品質を有するものでなければならないと規定している。

1.1.3 省エネルギー、CO₂ 排出量削減のための方策

セメント産業において省エネルギー・CO₂ 排出量削減のための方策として、表-2-1に示す方策が考えられる。この方策のうち①～③の方策はほとんどが実施されているため、今後は④～⑧の項目について研究・開発していく必要がある。以下に④～⑧の各項目の概要を述べる。

表-2-1 省エネルギー・CO₂ 排出量削減のための方策

方策箇所	方 策
製 造	①建設改善による省エネルギー
工 程	②発熱性廃棄物処理量の拡大（廃タイヤの利用等）
原 料	③原料として脱炭酸した石灰分を含む原料の使用の拡大
	④混合セメントの使用量の拡大
	⑤焼成熱量の少ないセメントの利用（高ビーライト 系ポルトランドセメント）
流 通	⑥流通段階での省エネルギー
使 用	⑦セメント使用体系における省エネルギー
開 発	⑧新しい省エネルギーセメントの開発

（1）混合セメントの使用量の拡大

セメント製造においては、焼成・粉砕工程で多量のエネルギーを消費する。しかし、混合セメント用の混合材はセメント製造過程における焼成用エネルギーが不要であり、セメント焼成過程で発生する石灰石からのCO₂ 発生がないため、セメントへの混合率とほぼ同率のエネルギーおよびCO₂ 削減が可能である。

表-2-2 普通セメントに対する混合セメント

の省エネ・CO₂削減率

普通セメントに対する混合セメントの省エネルギー・CO₂ 削減率を表-2-2に示すが、その省エネルギー・CO₂ 削減率は大きい。よって、混合セメント量の拡大を図れたならば、その効果は大きなものとなる。しかし、現状規格品の高炉セメント、フライアッシュセメントの混合材は他産業より排出される副産物を使用しているため、その供給に限度がある。また、混合セメントはその混合材量が多くなるにつれて初期強度の発現が遅れる性質があり、実構造物への適用に際しては、初期養生期間等に注意を要する。

（2）焼成熱量の少ないセメント（高ビーライト系ポルトランドセメント）

最近開発されたセメントで、ビーライト(C₂S) の多いポルトランドセメント系セメントがある。普通ポル

セメント	混合率%	JIS規格	省エネ率 %	CO ₂ 削減率%
高炉セメント	10	A種	7.9	9.4
	30		23.8	28.3
	40	B種	31.8	37.8
	60		47.7	56.6
	70	C種	55.6	66.1
シリカセメント	10	A種	8.8	9.7
	30	C種	26.5	29.1
フライアッシュセメント	10	A種	10.0	10.0
	30	C種	30.0	30.0
石灰石微粉末を混合したセメント	10	—	9.1	9.7
	30	—	27.2	29.2

トランドセメントなどに比較して、原料中の石灰石(CaCO_3)の配合量が少なく、焼成に要するエネルギーおよび焼成時の CO_2 発生量は小さく、省エネルギー型セメントと考えられるものである。しかし、初期強度の発現は普通ポルトランドセメントなどに比較してかなり遅れる性質も有しているため、今後さらに性能改良や使用規準の確立等の研究開発が期待される。

(3) 流通段階での省エネルギー

セメント産業は輸送効率の進んだ産業とされてはいるが、今後更に効率化を図っていくには、物流効率化の他、①セメント船の帰路の荷積規制の解除による復荷利用、②トラック輸送上の重量、幅、高さ等の規制の見直しによる輸送効率の向上、③貨物自動車運送エリア規定の見直しによる帰便の活用等の規制緩和の検討が望まれる。

(4) セメント使用体系における省エネルギー

使用用途に応じた最適部材の選択、例えば、普通セメントを鉄筋構造物、無鉄筋系用途の全ての箇所に使用するのではなく、無鉄筋用途には新種の省エネルギー型セメント等を用いるなどすれば、全体として省エネルギーの可能性がある。また、コンクリート構造物の耐久性を向上させることも省エネルギーとなる。

(5) 新しい省エネルギーセメントの開発

現在、石灰石微粉末を混合材として使用した省エネルギーセメント、都市ゴミ焼却灰、下水汚泥、高炉スラグ等産業廃棄物を原料とした省エネルギーセメントの研究が一部進められている。これらは省エネルギーおよび CO_2 発生量抑制の観点からは既存の混合セメントと同等の効果が期待されている。

2. 省エネセメントの性状

2.1 省エネセメントの化学成分、物理試験および水和熱試験

A型、B型およびC型省エネセメントの化学成分、物理試験および水和熱試験結果を表-2-3～表-2-5に示す。試験方法はJIS R 5202, JIS R 5201およびJIS R 5203による。

表-2-3 省エネセメントの化学分析試験結果

セメント の種類	化 学 分 析 (%)															
	ig. 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	S	Cl	Na ₂ Oeq
A	0.8	0.2	15.2	10.2	1.9	60.3	1.4	8.8	0.60	0.04	0.50	0.90	0.10	0.0	0.500	0.63
B	0.5	1.1	21.2	4.2	4.2	61.9	2.4	3.4	0.18	0.21	0.36	0.35	0.54	0.0	0.001	0.32
C	11.9	0.2	16.3	4.1	2.2	60.9	1.6	1.5	0.28	0.31	0.21	0.09	0.10	0.0	0.005	0.48
N	1.2	0.0	21.4	5.3	2.7	64.6	1.6	2.0	0.38	0.41	0.34	0.14	0.11	0.0	0.006	0.64

N：普通ポルトランドセメント

表-2-4 省エネセメントの物理試験結果

セメント の種類	比重	粉末度		凝 結			安定性	強 さ (N/mm ²)							
		比表面積 (cm ² /g)	網ふるい (%)	水量 (%)	始発 (h-m)	終結 (h-m)		圧縮				曲げ			
								1日	3日	7日	28日	1日	3日	7日	28日
A	3.13	4300	0.7	27.7	0-28	0-42	良	15.1	25.2	31.0	38.1	3.1	6.0	8.3	11.2
B	3.22	4200	0.8	21.8	2-00	2-50	良	3.6	11.4	15.3	26.3	1.2	2.5	3.9	5.1
C	3.04	3600	1.0	26.2	3-00	3-50	良	3.6	11.3	18.0	27.8	1.1	2.6	3.9	5.8
N	3.17	3350	0.5	28.0	2-45	3-40	良	6.4	14.6	25.8	45.0	1.8	3.4	5.1	7.6
N規格値	—	>2500	—	—			良	—	>7.0	>15.0	>30.0	—	—	—	—
M規格値	—	>2500	—	—			良	—	>5.0	>10.0	>23.0	—	—	—	—

N：普通ポルトランドセメント

M：中庸熱ポルトランドセメント

表-2-5 省エネセメントの水和熱試験結果

セメント の種類	水和熱 (J/g)	
	7日	28日
A	339	389
B	180	327
C	289	331
N	318	368
M規格値	<290	<340

N：普通ポルトランドセメント

M：中庸熱ポルトランドセメント

2.2 モルタル硬化体の重金属溶出試験

モルタル硬化体の重金属溶出試験として表-2-6に示す8項目の重金属について溶出試験を行った。

①試験方法

試料は、JIS モルタルの密封養生材齢7日のモルタルとした。

モルタル硬化体の重金属溶出試験は環境庁告示第13号（昭和48年2月17日告示、改正平成7年3月30日）に準拠した。

②試験結果

試験結果を表-2-6に示す。

表-2-6 モルタル硬化体重金属溶出試験結果

重 金 属 (mg/ℓ)	省エネセメント			普通 7日	検出限界	産廃基準 (埋立て)	環境基準 (土壌) (水質)
	A型 7日	B型 7日	C型 7日				
全 水 銀 化 合 物(T-Hg)	ND	ND	ND	ND	0.0005	0.005以下	0.0005以下
カドミウム又はその化合物(Cd)	ND	ND	ND	ND	0.005	0.3 以下	0.01 以下
鉛 又 は そ の 化 合 物(Pb)	ND	ND	ND	ND	0.05	3 以下	0.01 以下
ひ素又はその化合物(As)	ND	ND	ND	ND	0.01	1.5 以下	0.01 以下
シ ア ン 化 合 物(CN)	ND	ND	ND	ND	0.05	1 以下	検出されないこと
銅 又 は そ の 化 合 物(Cu)	ND	ND	ND	ND	0.01	—	—
亜鉛又はその化合物(Zn)	ND	ND	ND	ND	0.01	—	—
六 価 ク ロ ム(Cr^{6+})	ND	0.03	0.01	0.02	0.01	1.5 以下	0.05 以下

ND:不検出

3. コンクリートの性状

3.1 コンクリート試験

省エネセメントおよび比較用の普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートの試験を表-2-7に示す。

表-2.7 省エネコンクリートの試験項目

試 験 項 目	材 齢	水セメント比 W/C (%)		
		45	55	65
ス ラ ン プ 試 験	—	○	○	○
圧 縮 強 度 試 験	7日	○	○	○
	28日	○	○	○
	91日	○	○	○
	26週	—	○	—
	1年	—	○	—
静 弾 性 係 数	28日	—	○	—
動 弾 性 係 数	28日	○	○	○
曲 げ 強 度 試 験	28日	—	○	—
引 張 強 度 試 験	28日	—	○	—
乾 燥 収 縮 試 験	7日	—	○	—
凍 結 融 解 試 験	14日	—	○	—
凝 結	—	—	○	—
ブ リ ー ディ ン グ 率	—	—	○	—
ブ リ ー ディ ン グ 水 P H	28日	—	○	—
促 進 中 性 化 試 験	8週	—	○	—

A型およびB型は、断熱温度上昇試験についても試験を実施した。

3.1.1 コンクリートの配合

コンクリートの目標配合は表-2-8とした。

表-2-8 コンクリートの配合目標

目 標 ス ラ ン プ	10 ± 2 cm
目 標 空 気 量	4.5 ± 0.5 %
混 和 剤	AE減水剤（ポゾリスNo.70）
粗骨材の最大寸法	20 mm

3.1.2 コンクリートの練混ぜ

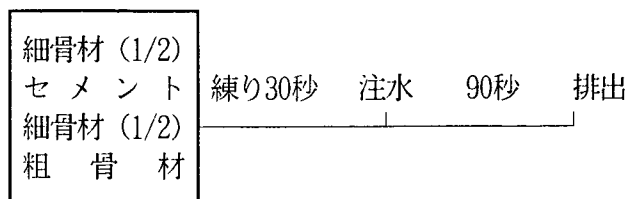
コンクリートの練混ぜは、容量50ℓのパン型強制練りミキサを用い、JIS A 1138「試験室におけるコンクリートの作り方」により行った。

練混ぜ時間は、図-2-3に示すように材料を投入し30秒間練混ぜた後、①の方法では水、②の方法ではセメントを投入し、90秒間練混ぜて排出した。

①の方法は、B型およびC型省エネセメント、比較用普通ポルトランドセメント(N)

②の方法は、A型省エネセメントとした。 — 8 —

①の方法



②の方法

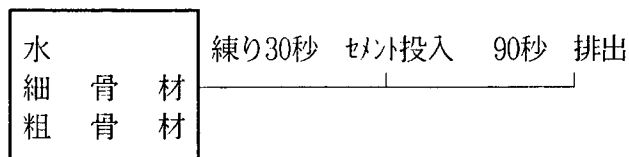


図-2-3 練混ぜ方法および時間

3.2 試験方法

コンクリート試験は、表-2-9に示すJIS および学会等で定めた試験方法により行った。

表-2-9 省エネコンクリートの試験項目および規格

試験項目	規 格	
	規格番号	表 題
(1) フレッシュコンクリート		
練 混 ぜ 方 法	JIS A 1138	試験室におけるコンクリートの作り方
ス ラ ン プ 試 験	JIS A 1101	コンクリートのスランプ試験方法
空 気 量 試 験	JIS A 1128	フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法 空気室圧力法
ブリーディング試験	JIS A 1123	コンクリートのブリーディング試験方法
ブリーディング水のPH試験		ブリーディング試験で採取したブリーディング水をPH計で測定
凝 結 試 験	JIS A 6204	コンクリート用化学混和剤 附属書1「コンクリートの凝結時間試験方法」
(2) コンクリート強度		
圧 縮 強 度 試 験	JIS A 1108	コンクリートの圧縮強度試験方法
静 弾 性 試 験	JSCE G 502	コンクリートの静弾性係数試験方法(案)
動 弾 性 試 験	JIS A 1127	共鳴振動による動弾性係数、動せん断性係数および 動ポアソン比試験方法
曲 げ 強 度 試 験	JIS A 1106	コンクリートの曲げ強度試験方法
引張り強度試験	JIS A 1113	コンクリートの引張強度試験方法
(3) 耐久性		
乾 燥 収 縮 試 験	JIS A 1129	モルタルおよびコンクリートの長さ変化試験方法
凍 結 融 解 試 験	JIS A 6204	コンクリート用化学混和剤 附属書2「コンクリートの凍結融解試験方法」
促進中性化試験	建築学会	高耐久性鉄筋コンクリート構造設計施工指針(案)
細孔径分布試験		水銀圧入法

3.3 使用材料

(1) セメント

省エネセメント A型、B型、C型の3種類と比較のための普通ポルトランドセメント1種類の計4種類を使用した。

(2) 骨材

骨材には、粗骨材に青梅産砂岩碎石、細骨材に浜岡産陸砂を使用した。ふるい分けおよび物理的性質を表-2-10、表-2-11に示す。

表-2-10 骨材の粒度

骨材区分	産 地	ふるい通過量(%)										粗粒率	備 考
		ふるい目(mm)	20	15	10	5	2.5	1.2	0.6	0.30	0.15		
粗骨材(碎石)	東京都青梅市(瑞穂)	98	82	35	6							6.61	2005:硬質砂岩
細骨材(陸砂)	静岡県小笠群浜岡				100	85	57	38	23	8	2.89		

表-2-11 骨材の物理的性質

骨 材	表乾 比重	単位容積 質量 (kg/ℓ)	実績率 (%)	吸水率 (%)	洗い試験 損失量 (%)	粘土塊 (%)	安定性試験 損失質量 (%)	比重1.95 に浮くもの (%)	有機 不純 物	塩分 含有量 (%)	すり 減量 (%)	軟石 量 (%)	破砕 値 (%)
粗骨材	2.64	1.62	61.1	0.71	1.0	0.0	6.3	0.0	—	—	14.9	1.9	13.4
細骨材	2.61	1.82	71.0	1.39	3.6	0.0	2.1	0.0	合格	0.00	—	—	—

(3) 水

コンクリートの練混ぜ水は、水道水を使用した。

(4) 化学混和剤

化学混和剤にはA E減水剤にポゾリスNo. 70、A E助剤にポゾリス303Aを使用した。

(5) 凝結調整剤

A型省エネセメントの場合は、コンクリートの可使時間を確保するための凝結遅延剤として、超速硬セメントに用いられる凝結調整剤と同じ有機酸系の凝結調整剤を使用した。

4. 各省エネセメントを使用したコンクリートの性状

4.1 A型省エネセメント

4.1.1 コンクリートの配合

A型省エネセメントを使用したコンクリートの配合例を表-2-12 に示す。A型省エネセメントを使用したコンクリートは、普通セメントと同様のスランプを得るための単位水量は若干小さくなり、AE助剤の使用量は若干増大する傾向にある。

A型省エネセメントを使用したコンクリートは凝結硬化が速いため、普通セメントを使用したコンクリートと同等の可使時間を確保するのに凝結調整剤を使用することが必要である。凝結調整剤の使用量は、コンクリート温度、可使時間（運搬および施工に必要な時間）などを考慮して定める。細骨材率は普通セメントを使用した場合と同様でよい。

表-2-12 コンクリートの配合例

コンクリートの種類		W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							
				W	C	S	G	AE 減水剤 (A)	AE 助剤 (B)	凝結調 整剤 (C)	凝結調 整剤S (D)
A型 省エ ネセ メント	A45	45	43	152	338	780	1046	2.5	3.5	0.8	1.0
	A55	55	44	152	276	821	1057	2.5	3.5	0.8	1.0
	A65	65	45	152	234	855	1057	2.5	3.5	0.8	1.0
普通 セメント	N45	45	43	160	356	766	1028	2.5	2.1	—	—
	N55	55	44	160	291	808	1040	2.5	2.1	—	—
	N65	65	45	160	246	843	1042	2.5	2.1	—	—

AE減水剤としてポゾリスNo. 70をC×(A)g使用した。

AE助剤としてポゾリス303Aの2%溶液をC×(B)cc使用した。

凝結調整剤をC×(C)%使用した。

凝結調整剤SをC×(D)%使用した。

4.1.2 フレッシュコンクリート

表-2-13 にA型省エネセメントと普通セメントのフレッシュコンクリートの性状を示す。A型省エネセメントを使用したコンクリートの凝結時間は、始発および終結のいずれも普通セメントと比較して短い。始発から終結に至るまでの時間は同程度である。ブリーディング率は極めて小さい。

また、図-2-4に水セメント比55%のA型省エネセメントを使用したコンクリートと普通セメントコンクリートのスランプの経時変化を示す。適当な混和剤の添加により、普通セメントを使用したコンクリートとはほぼ同様になり、十分な作業時間を確保できる。

表-2-13 フレッシュコンクリートの性状

使用セメント		スランブ (cm)	空気量 (%)	凝結		ブリーディング	
				(h-m)	(h-m)	率 (%)	PH
A型 省エネ セメント	A 4 5	11.0	4.2	—	—	—	—
	A 5 5	11.5	4.4	3-01	5-28	0.16	—*
	A 6 5	11.0	4.4	—	—	—	—
普通 セメント	N 4 5	10.0	4.8	—	—	—	—
	N 5 5	10.5	4.8	7-15	9-20	3.10	13.0
	N 6 5	9.0	4.4	—	—	—	—

*ブリーディング水が非常に少ないため測定不能

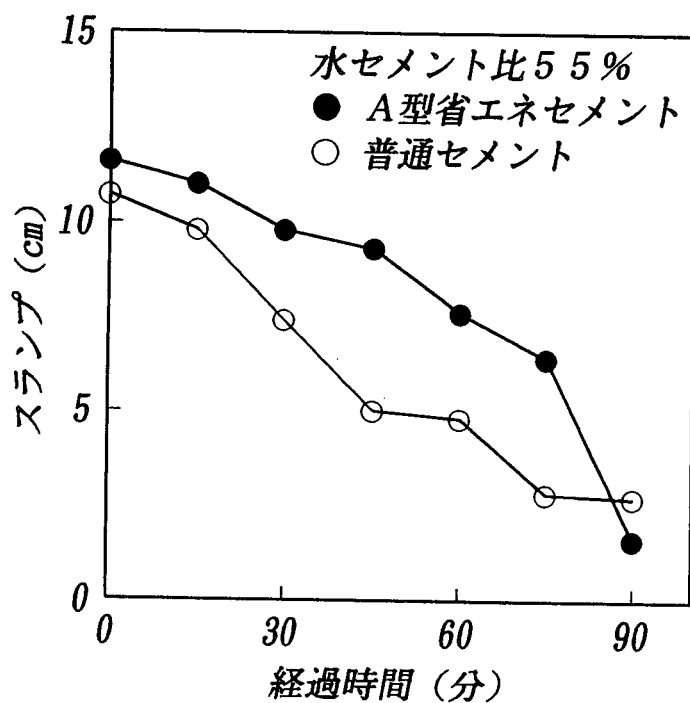


図-2-4 A型省エネセメントを用いたコンクリートのスランブの経時変化

4.1.3 コンクリート試験

(1) 圧縮強度

図-2-5に材齢と圧縮強度の関係を示す。A型省エネセメントを使用したコンクリートの圧縮強度は、若材齢（7日）において普通セメントを使用したコンクリートの圧縮強度を若干下回るが、28、91日では上回る。図-2-6に材齢91日のA型省エネセメントと普通セメントを用いたコンクリートの圧縮強度と水セメント比の関係を示す。普通セメントとほぼ同様の傾向を示すが、水セメント比が小さいほど普通セメントよりも優位性が認められる。

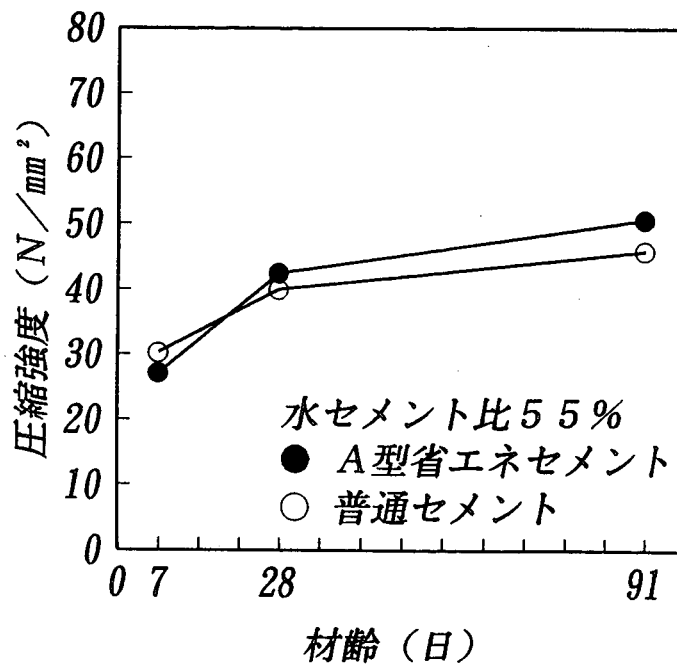


図-2-5 A型省エネセメントを用いたコンクリートの材齢と圧縮強度の関係

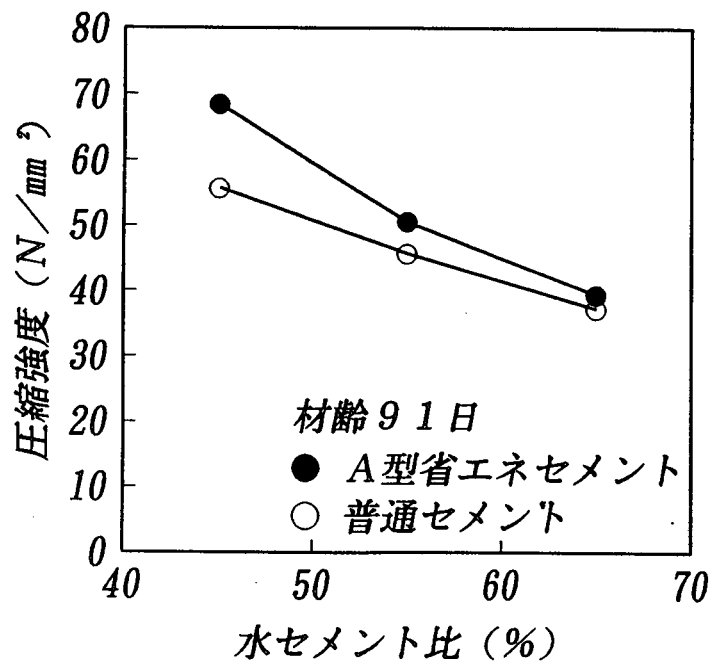


図-2-6 A型省エネセメントを用いたコンクリートの圧縮強度の水セメント比依存性

(2) その他の強度性状

表-2-14(a)にA型省エネセメントと普通セメントを用いた水セメント比55%のコンクリートの材齢28日の引張強度、曲げ強度および静弾性係数をまとめて示す。また、表-2-14(b)に各水セメント比および材齢毎の動弾性係数を、図-2-7に水セメント比55%の材齢と動弾性係数の関係を示す。A型省エネセメントを使用したコンクリートの引張強度、曲げ強度および静弾性係数は、材齢28日において普通セメントを使用したコンクリートと同程度の値を示す。

表-2-14(a) 引張強度、曲げ強度および静弾性係数

セメントの種類	コンクリート配合	引張強度 (N/mm^2)	曲げ強度 (N/mm^2)	静弾性係数 ($\times 10^4 \text{N}/\text{mm}^2$)
A型省エネセメント	A 5 5	2. 9	5. 8	2. 8 8
普通セメント	N 5 5	3. 1	5. 3	3. 0 7

(材齢28日、水セメント比55%)

表-2-14(b) 動弾性係数

セメントの種類	W/C (%)	動弾性係数 ($\times 10^4 \text{N}/\text{mm}^2$)				
		材齢 (週)				
		0	1	4	8	13
A型省エネセメント	4 5	3.76	3.93	4.01	4.08	4.25
	5 5	3.59	3.81	3.85	3.97	4.08
	6 5	3.35	3.49	3.55	3.69	3.84
普通セメント	4 5	3.86	3.61	3.80	3.70	3.84
	5 5	3.51	3.48	3.69	3.59	3.80
	6 5	3.31	3.18	3.37	3.26	3.51

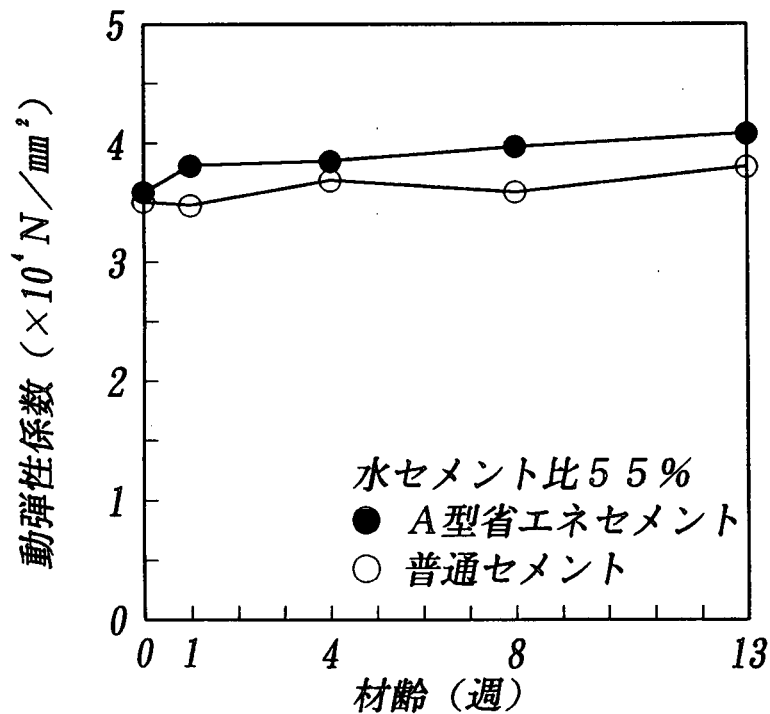


図-2.7 材齢と動弾性係数の関係

(3) 乾燥収縮

JIS A 1129に基づき行った乾燥収縮試験の材齢91日までの試験結果を図-2-8に示す。A型省エネセメントを使用したコンクリートの乾燥収縮は、普通セメントを使用したコンクリートのそれと比較して大幅に小さい。

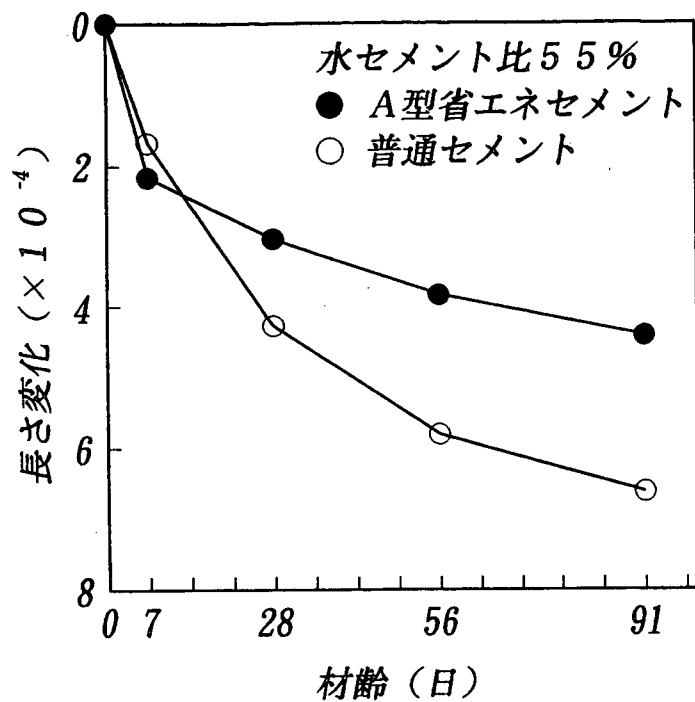


図-2-8 A型省エネセメントを使用したコンクリートの乾燥収縮試験

(4) 凍結融解

JIS A 6204に基づき行った凍結融解試験結果を図-2-9(a)、(b)に示す。普通セメントを使用したコンクリートに比較して、質量減少率は大きいものの、相対動弾性係数は 300サイクルで90%程度を維持しており、凍結融解抵抗性は大きいといえる。

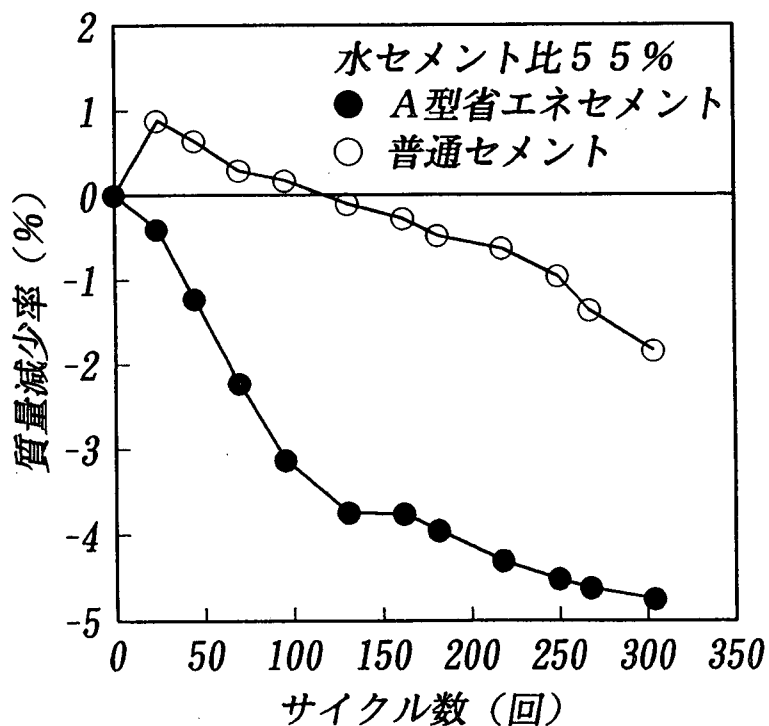


図-2-9(a) 供試体質量減少率による凍結融解抵抗性の評価

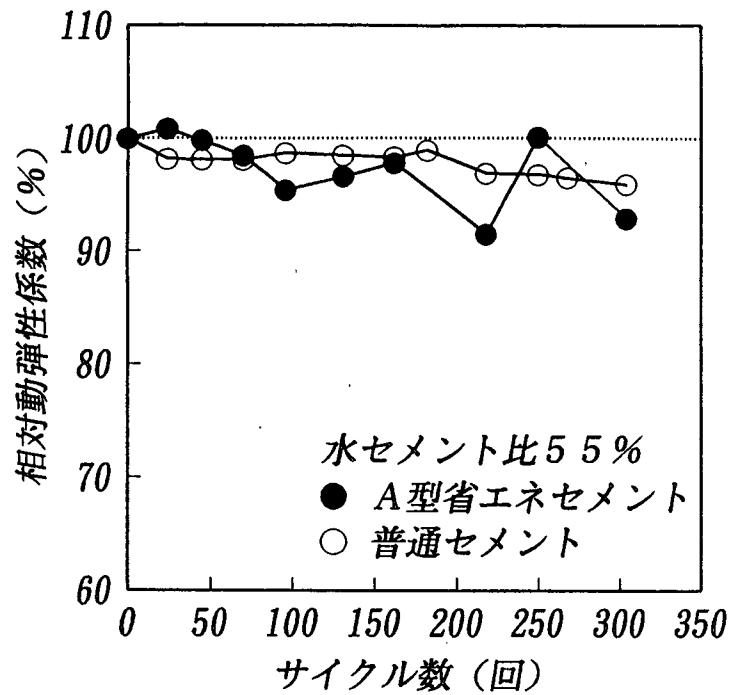


図-2-9(b) 相対動弾性係数による凍結融解抵抗性の評価

(5) 中性化

中性化促進試験の結果を図-2-10 に示す。普通セメントを使用したコンクリートと比較して中性化速度が大きい傾向が認められる。

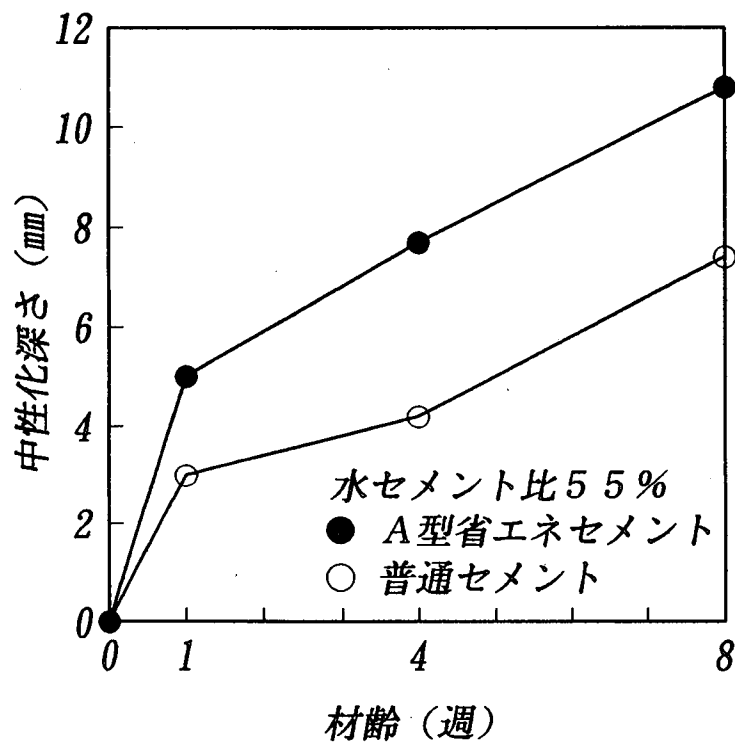


図-2-10 中性化促進試験

(6) 細孔径分布

水銀圧注入法により評価したA型省エネセメントおよび普通セメントを使用したコンクリートのモルタル部分の細孔径分布の結果を図-2-11 に示す。A型省エネセメントの細孔径分布は普通セメントとはほぼ同様である。

試料の調整は材齢28日、水セメント比55%の供試体のモルタル部分のみを5mmの立方体にカットし、D - d r y (アルコールとドライアイスの冷却トラップを用いて、真空(水蒸気圧 5×10^{-4} mmHg)の下で乾燥)を行って供試試料とした。

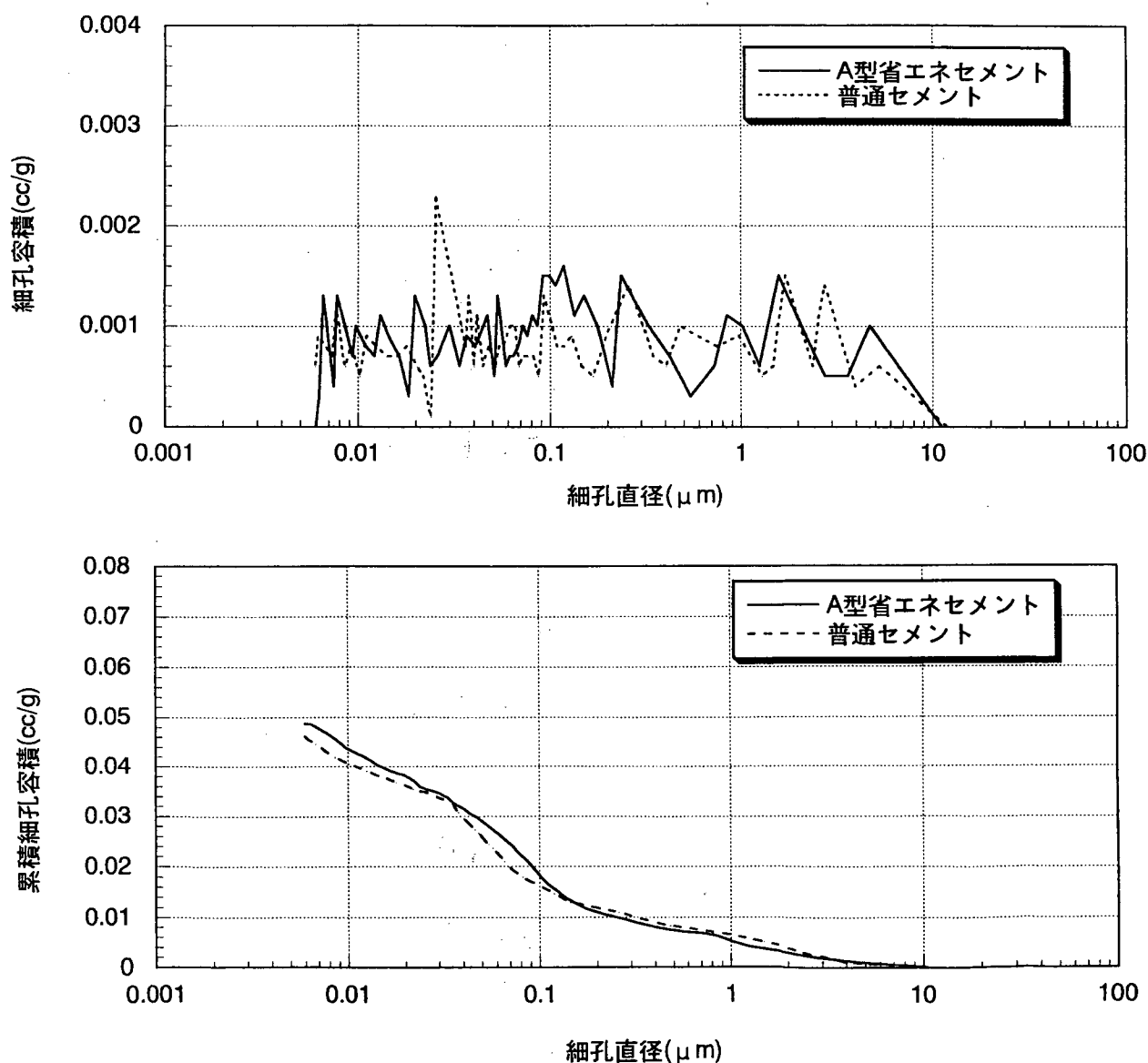


図-2-11 A型省エネセメントの細孔径分布

(7) 断熱温度上昇

A型省エネセメントを使用したコンクリートの断熱温度上昇の測定結果を図-2-12 に示す。水セメント比55%の条件における試験結果であり、A型省エネセメントを使用したコンクリートは普通セメントに比べ単位セメント量が $15\text{kg}/\text{m}^3$ 少ないにも係わらず、終局断熱温度上昇量は普通セメントの場合よりも若干大きい。マスコンクリートとして使用する場合には、高炉スラグ微粉末を混合するなどの対処が必要である。

測定装置は、空気循環式測定装置を用い、容量は55ℓで行った。

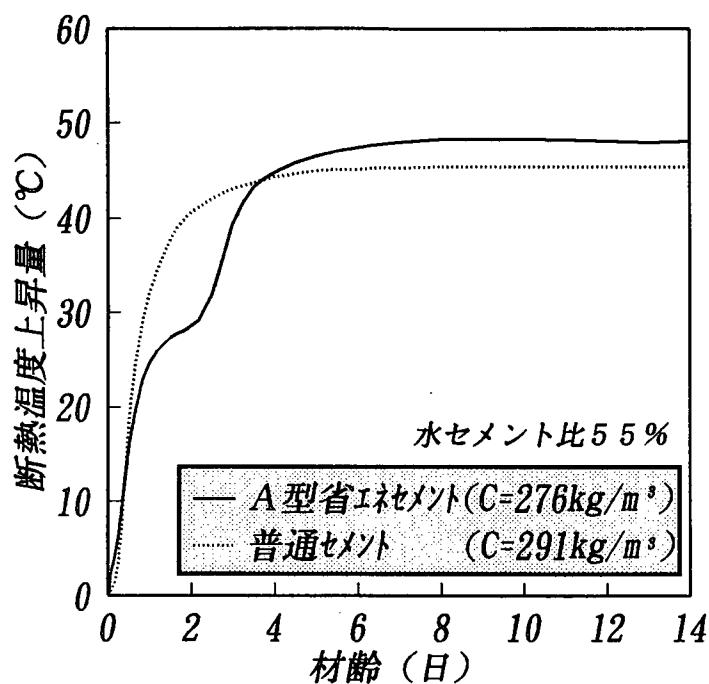


図-2-12 断熱温度上昇

4.2 B型省エネセメント

4.2.1 コンクリートの配合

B型セメントを用いたコンクリートの配合条件を3.1.1表-2-8のようにした場合の、コンクリートの配合例を表-2-15に示す。普通セメントとはほぼ同様のコンクリート配合であるが、同じ空気量を得るために空気調整剤の使用量が普通セメントと比較し多くなる。

表-2-15 コンクリートの配合表

		W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
				W	C	S	G	AE 減水剤 (A)	AE 助剤 (B)
B型 省エ ネセ メント	B45	45	43	157	349	780	1038	2.5	4.0
	B55	55	44	157	285	815	1049	2.5	4.0
	B65	65	45	157	242	849	1050	2.5	4.0
普通 セメント	N45	45	43	160	356	766	1028	2.5	2.1
	N55	55	44	160	291	808	1040	2.5	2.1
	N65	65	45	160	246	843	1042	2.5	2.1

AE減水剤としてポゾリスNo. 70をC×(A)g使用した。

AE助剤としてポゾリス303Aの2%溶液をC×(B)cc使用した。

4.2.2 フレッシュコンクリート

表-2-16にB型セメントと普通セメントのフレッシュコンクリートの性状を示す。凝結時間は普通セメントを用いたコンクリートと比較し、若干長めである。また、図-2-13に水セメント比55%のBセメントを用いたコンクリートと普通コンクリートの静置法によるスランプの経時変化を示す。スランプの経時変化は普通セメントを用いたコンクリートとはほぼ同様であり、十分な作業時間を確保することができる。

表-2-16 フレッシュコンクリートの性状

使用セメント		スランプ (cm)	空気量 (%)	凝結		ブリーディング	
				(h-m)	(h-m)	率 (%)	pH
B型 省エ ネセ メント	B45	10.5	4.0	—	—	—	—
	B55	10.0	4.0	10-20	13-00	2.40	12.8
	B65	10.5	4.2	—	—	—	—
普通 セメント	N45	10.0	4.8	—	—	—	—
	N55	10.5	4.8	7-15	9-20	3.10	13.0
	N65	9.0	4.4	—	—	—	—

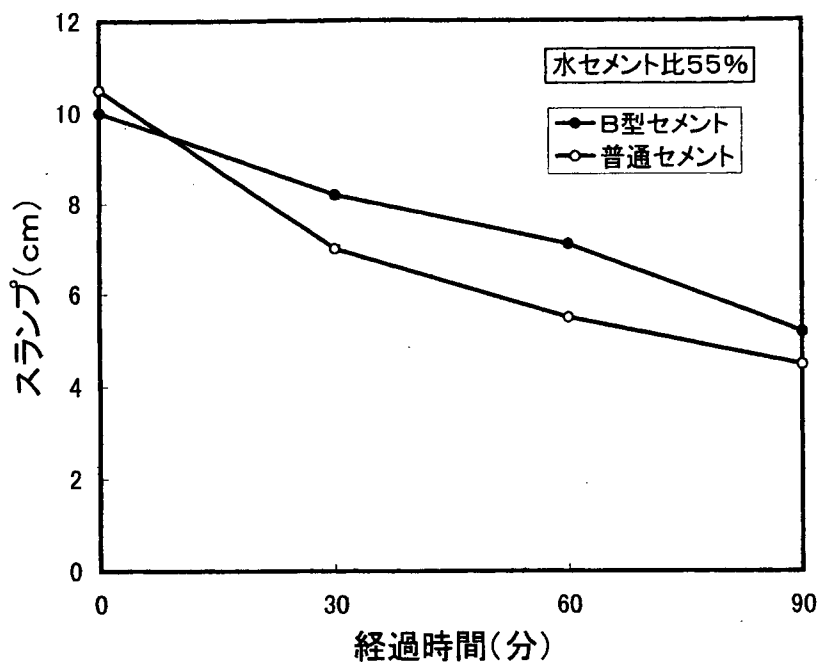


図-2-13 B型セメントを用いたコンクリートのスランプの経時変化

4.2.3 コンクリート試験

(1) 圧縮強度

図-2-14 に材齢と圧縮強度の関係を示す。長期材齢（91日）において普通セメントの場合の圧縮強度を上回る。図-2-15 材齢91日のB型セメントと普通セメントを用いたコンクリートの圧縮強度と水セメント比の関係を示す。

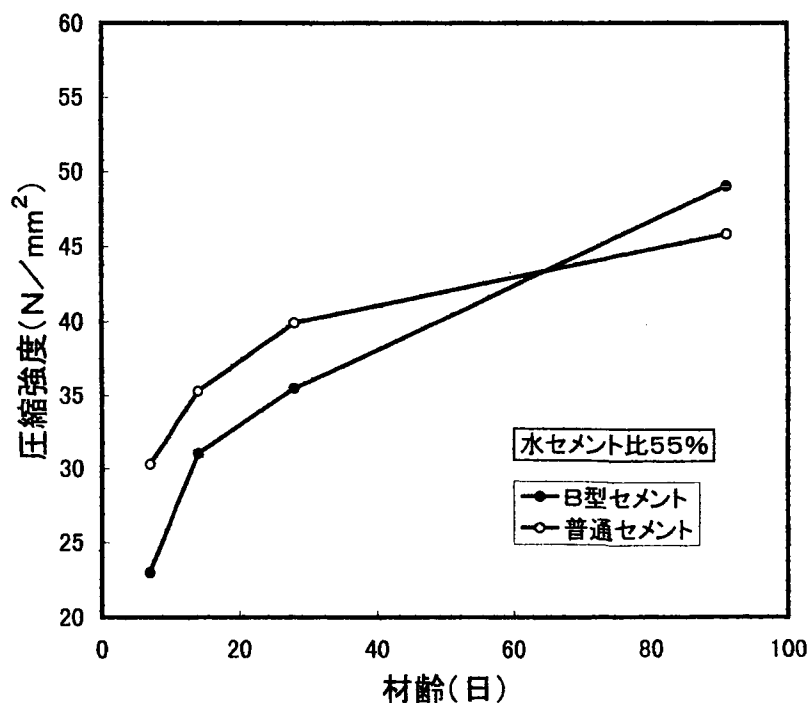


図-2-14 B型セメントを用いたコンクリートの材齢と圧縮強度の関係

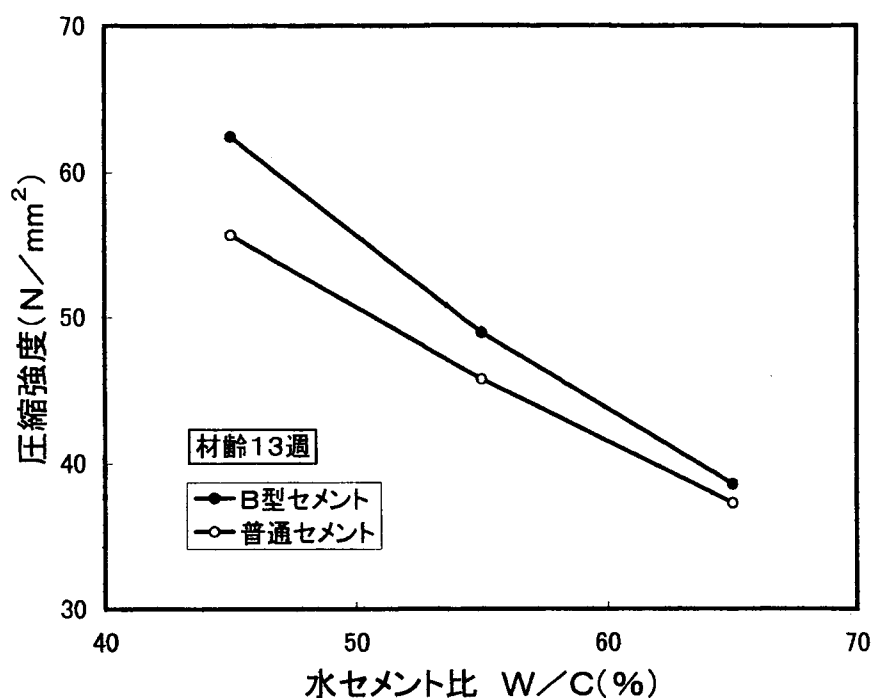


図-2-15 B型セメントを用いたコンクリートの圧縮強度の水セメント比依存性

(2) その他の強度性状

表-2-17(a)にB型セメントと普通セメントを用いた水セメント比55%のコンクリートの材齢28日の引張り強度、曲げ強度、静弾性係数をまとめて示す。引張り強度、曲げ強度が初期の材齢では普通セメントに比較し若干低くなっている。また、表-2-17(b)に各水セメント比、材齢毎の動弾性係数を、図-2-16に水セメント比55%のコンクリート材齢と動弾性係数の関係を示す。

表-2-17(a) 引張り強度、曲げ強度、静弾性係数

セメントの種類	コンクリート配合	引張り強度 (N/mm^2)	曲げ強度 (N/mm^2)	静弾性係数 ($\times 10^4 \text{N}/\text{mm}^2$)
B型セメント	B 5 5	3. 3 3	4. 8 0	2. 9 3
普通セメント	N 5 5	3. 6 3	5. 5 9	3. 0 1

(材齢28日、水セメント比55%)

表-2-17(b) 動弾性係数

セメントの種類	セメント水比 (%)	動弾性係数 ($10^4 \text{N}/\text{mm}^2$)				
		材 齢 (週)				
		0	1	4	8	13
B型セメント	4 5	3.83	3.85	4.00	4.07	4.25
	5 5	3.50	3.54	3.69	3.74	3.93
	6 5	3.22	3.26	3.46	3.47	3.66
普通セメント	4 5	3.94	3.73	3.88	3.77	3.92
	5 5	3.58	3.55	3.76	3.66	3.88
	6 5	3.38	3.24	3.44	3.32	3.58

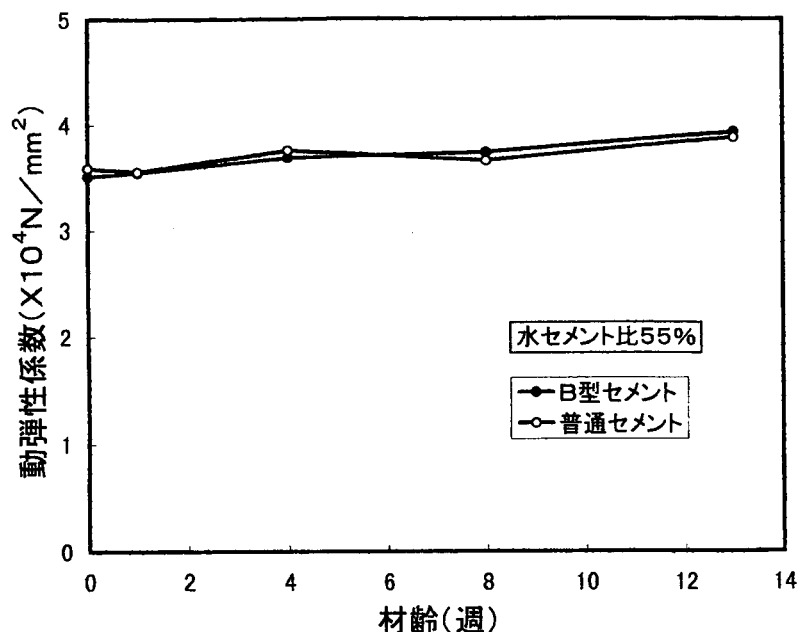


図-2-16 材齢と動弾性係数の関係

(3) 乾燥収縮

JIS A 1129に基づき行った乾燥収縮試験の乾燥期間52週までの試験結果を図-2-17 に示す。乾燥収縮は普通セメントと比較し、ほとんど差がない。

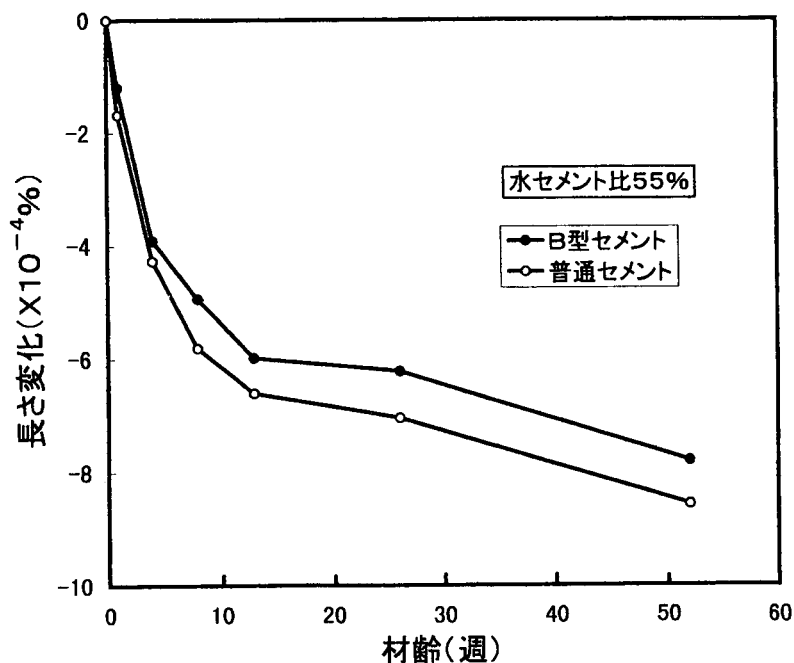


図-2-17 B型セメントを用いたコンクリートの乾燥収縮試験

(4) 凍結融解性

JIS A 6204に基づき行った凍結融解試験の結果を図-2-18(a)、(b) に示す。普通セメントに比較し凍結融解性が若干劣っているが、これは初期水和が低いことから組織が密になっていないことに原因すると思われる。300サイクルで80%を維持しており、実用上問題ないと思われる。

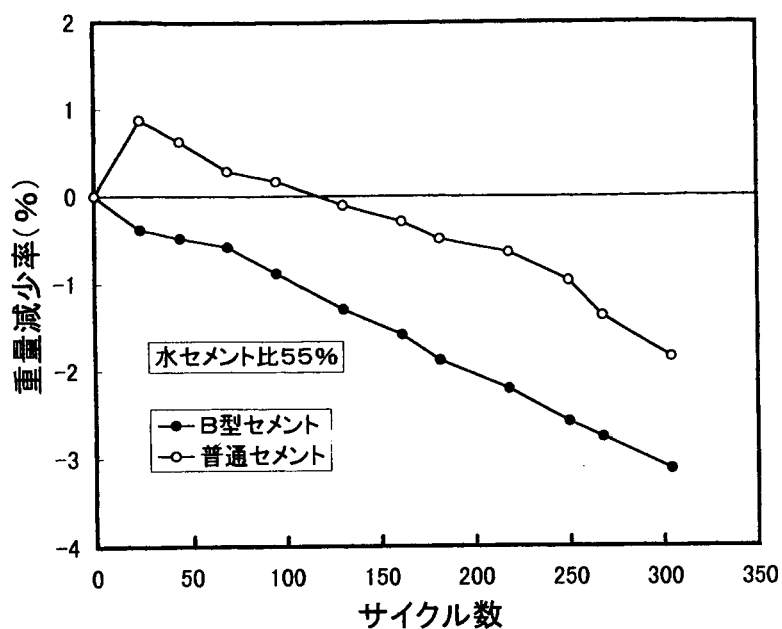


図-2-18(a) 供試体質量減少による凍結融解抵抗性の評価

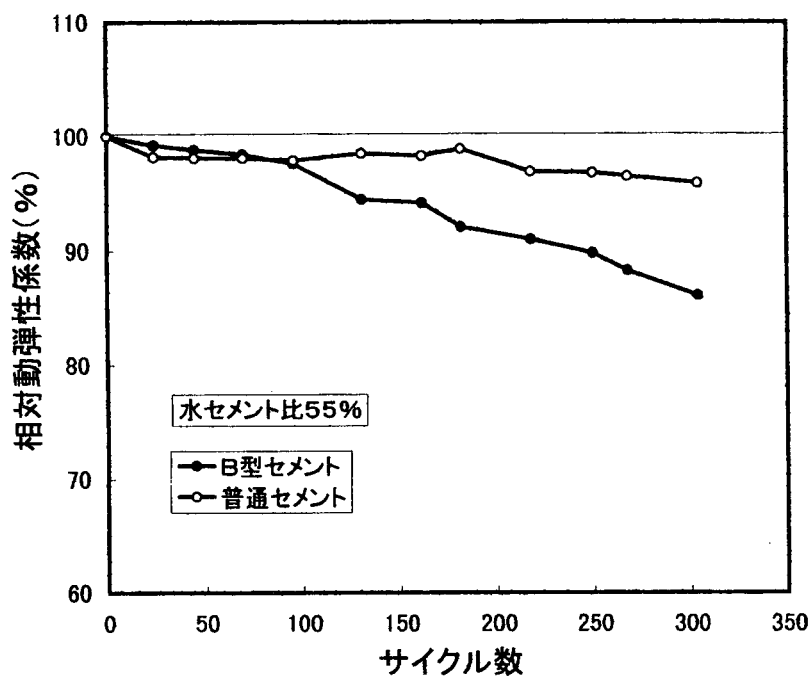


図-2-18(b) 相対動弾性係数による凍結融解抵抗性の評価

(5) 中性化

中性化促進試験の結果を図-2-19 に示す。普通セメントと比較して若干早い傾向が見られた。凍結融解性と同様、初期の組織の緻密化が遅いことによると思われる。養生期間を長くすることにより改善可能である。

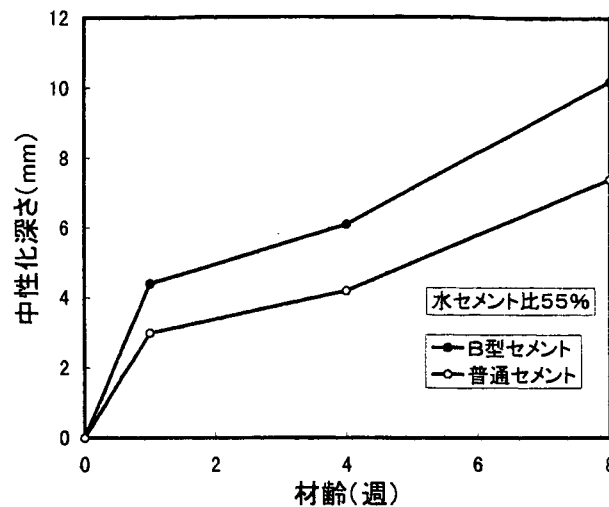


図-2-19 中性化促進試験

(6) 細孔径分布

水銀圧入法により評価したB型セメント、普通セメントのモルタル部分の細孔径分布の結果を、図-2-20 に示す。B型セメントは同一材齢で若干総空隙量が多い傾向にあるが、細孔径分布は普通セメントとほぼ同様である。

試料の調整は、材齢28日水セメント比55%の供試体のモルタル部分のみを粉砕し、ふるい分けで 2.5～5mm調整後D-d r y (アルコールとドライアイスの冷却トラップを用いて、真空(水蒸気圧 5×10^{-4} mmHg)の下で乾燥)を行って、供試試料とした。

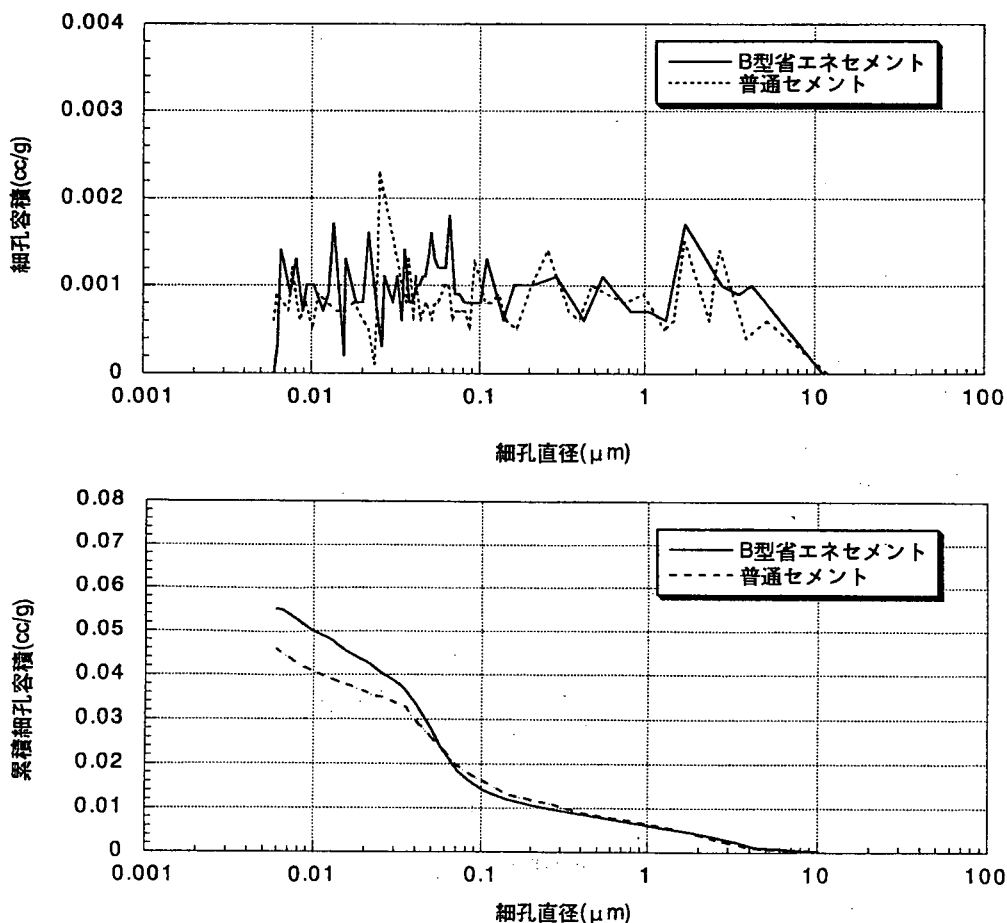


図-2-20 省エネセメントB型の細孔径分布

(7) 断熱温度上昇

表-2-18 に示すB型セメントを用いた配合のモルタルの断熱温度上昇の測定結果を図-2-21 に示す。普通セメントと比較して温度上昇の程度が中庸熱セメント並の断熱温度上昇となり、マスコンクリートに適したセメントである。

測定装置は、空気循環式測定装置を用い、コンクリート量は、49ℓとした。

表-2-18 コンクリートの配合

セメント	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)				(g/m³)		スランプ (cm)	空気量 (%)
			W	C	S	G	AE減水剤	AE助剤		
B型セメント	52.3	43.5	157	300	800	1051	750	24	10.5	4.0
普通セメント	53.3	43.5	160	300	795	1045	750	12	10.0	4.8

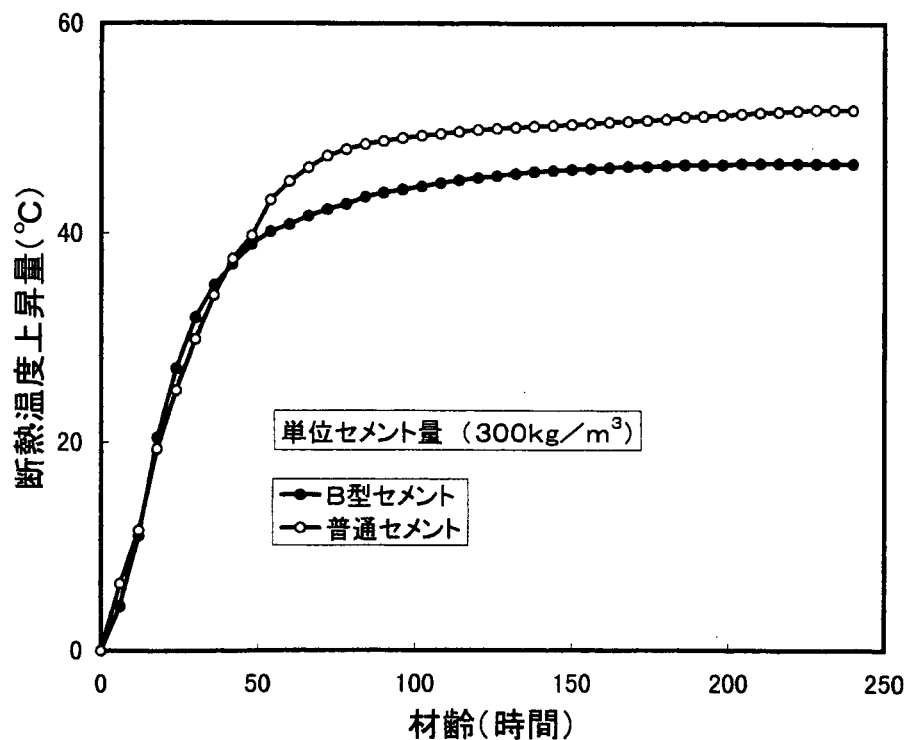


図-2-21 断熱温度

4.3 C型省エネセメント

4.3.1 コンクリートの配合

C型省エネセメントを使用したコンクリート配合条件を表-2-19 のようにした場合のコンクリートの配合を表-2-20 に示す。

C型省エネセメントは、普通ポルトランドセメントと同一の単位水量でほぼ同じワーカビリティが得られる。

表-2-19 コンクリートの配合条件

粗骨材の最大寸法	20 mm
目標スランプ	10 ± 2 cm
目標空気量	4.5 ± 0.5 %
混和剤（主剤）	AE減水剤（ポゾリスNo. 70）
空気調整剤(AE助剤)	ポゾリス303A

表-2-20 コンクリートの示方配合

使用セメント		W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)					
				W	C	S	G	AE 減水剤 (A)	AE 助剤 (B)
C型 省エネ セメント	C45	45	43	160	356	760	1019	2.5	2.4
	C55	55	44	160	291	802	1033	2.5	2.4
	C65	65	45	160	246	838	1036	2.5	2.4
普通 セメント	N45	45	43	160	356	760	1019	2.5	2.4
	N55	55	44	160	291	802	1033	2.5	2.4
	N65	65	45	160	246	838	1036	2.5	2.4

AE減水剤としてポゾリスNo. 70をC×(A)g使用した。

AE助剤としてポゾリス303Aの2%溶液をC×(B)cc使用した。

4.3.2 フレッシュコンクリート

表-2-21 にC型省エネセメントおよび普通セメントのフレッシュコンクリートの性状を、また、図-2-22 にスランプの経時変化を示す。C型省エネセメントを使用したコンクリートの凝結時間、ブリーディング率、ブリーディング水のpHは、普通ポルトランドセメントとほぼ同じ結果であり、コンクリート表面の仕上げ作業は普通ポルトランドセメントと同等にできる。

表-2-21 フレッシュコンクリートの性状

使用セメント		スランプ (cm)	空気量 (%)	凝 結		ブリーディング	
				(h-m)	(h-m)	(%)	pH
C型 省エネ セメント	C45	11.0	4.6	—	—	—	—
	C55	10.5	4.5	8-10	10-40	3.10	12.82
	C65	10.0	4.2	—	—	—	—
普通 セメント	N45	10.0	4.8	7-15	9-20	3.10	12.99
	N55	10.5	4.8	—	—	—	—
	N65	9.0	4.4	—	—	—	—

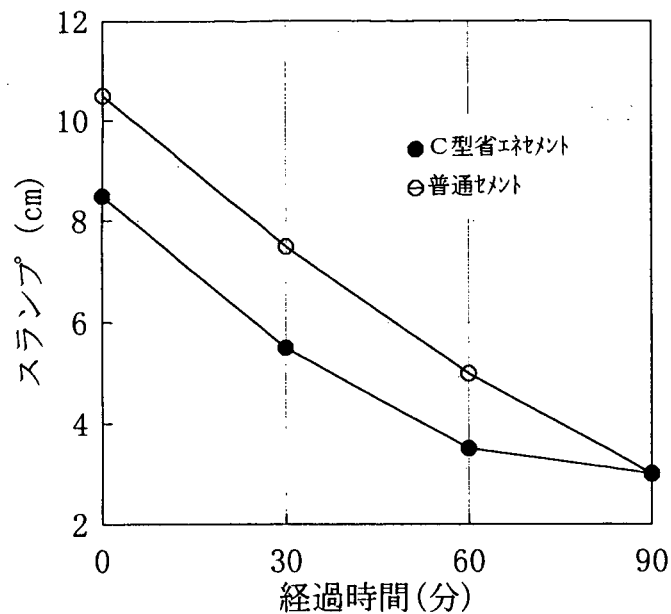


図-2-22 C型省エネセメントを使用したコンクリートのスランプの経時変化

4.3.3 コンクリート試験

(1) 圧縮強度

図-2-23に材齢と圧縮強度の関係を示す。C型省エネセメントを使用したコンクリートの圧縮強度は、全ての材齢で普通セメントの約30%程度低い圧縮強度を示す。図-2-24 に材齢91日のC型省エネセメントと普通セメントを用いたコンクリートの圧縮強度と水セメント比との関係を示す。

普通セメントと同じ傾向を示すが、全ての水セメント比で、約30%程度低い値を示した。

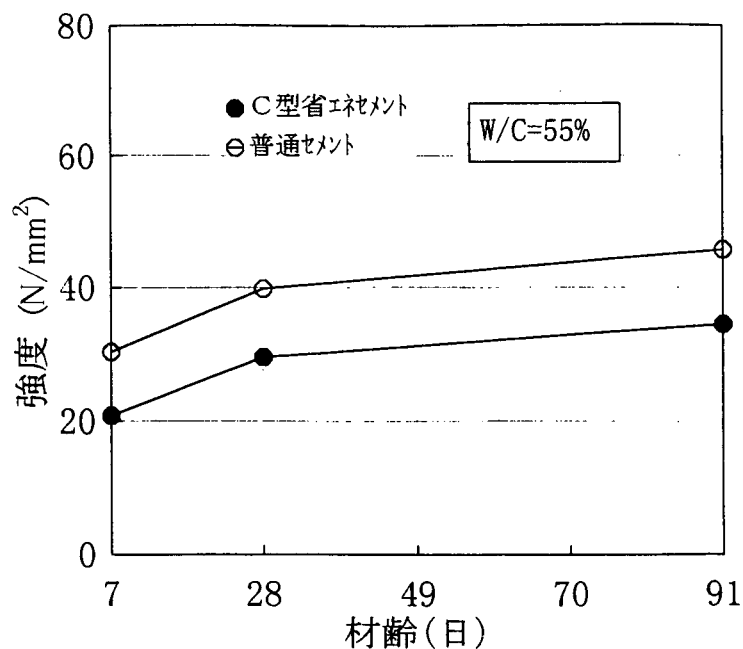


図-2-23 C型省エネセメントを使用したコンクリートの材齢と圧縮強度との関係
(水セメント比: 55%)

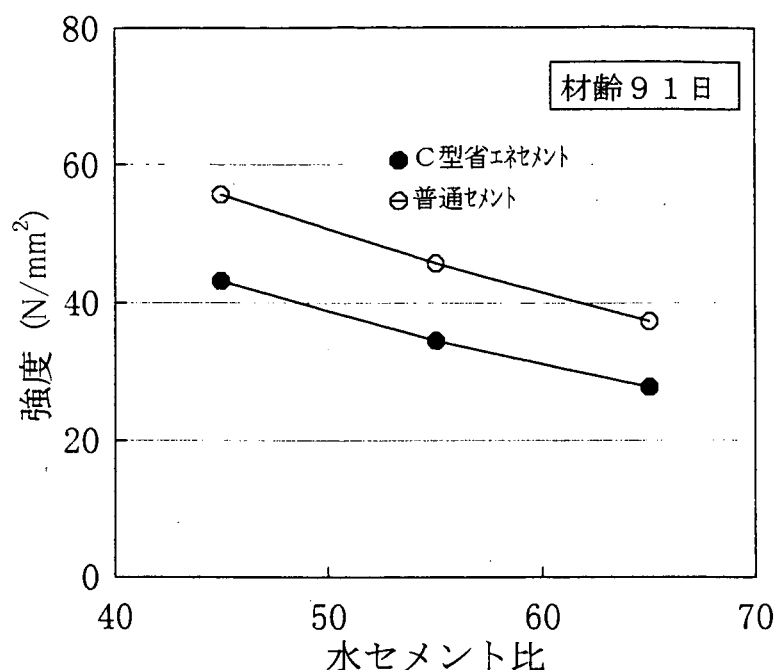


図-2-24 C型省エネセメントを使用したコンクリートの水セメント比と圧縮強度との関係

(2) その他の強度性状

表-2-22 にC型省エネセメントと普通セメントを用いた水セメント比55%のコンクリートの材齢28日の引張強度試験、曲げ強度および静弾性係数の結果をまとめて示す。また、表-2-23 に各水セメント比および材齢毎の動弾性係数を図-2.4.22 に水セメント比55%の材齢と動弾性係数の関係を示す。

圧縮強度と静弾性係数、圧縮強度と曲げ強度および圧縮強度と引張強度との関係は、従来の普通コンクリートとほぼ同じ関係であり、圧縮強度の小さなものは曲げ強度が小さく、圧縮強度の小さなものは引張強度が小さくなった。

表-2-22 引張強度、曲げ強度および静弾性係数

セメントの種類	コンクリート配合	引張強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (×10 ⁴ N/mm ²)
C型省エネセメント	C 5 5	2. 4	4. 4	2. 9 0
普通セメント	N 5 5	3. 1	5. 3	3. 0 7

(材齢28日、水セメント比55%)

表-2-23 動弾性係数

セメントの種類	W/C (%)	動弾性係数 (×10 ⁴ N/mm ²)				
		材齢 (週)				
		0	1	4	8	13
C型省エネセメント	4 5	3.54	3.44	3.58	3.53	3.90
	5 5	3.37	3.26	3.43	3.37	3.61
	6 5	3.15	3.14	3.22	3.16	3.37
普通セメント	4 5	3.94	3.68	3.88	3.77	3.92
	5 5	3.58	3.55	3.76	3.66	3.88
	6 5	3.38	3.24	3.44	3.32	3.58

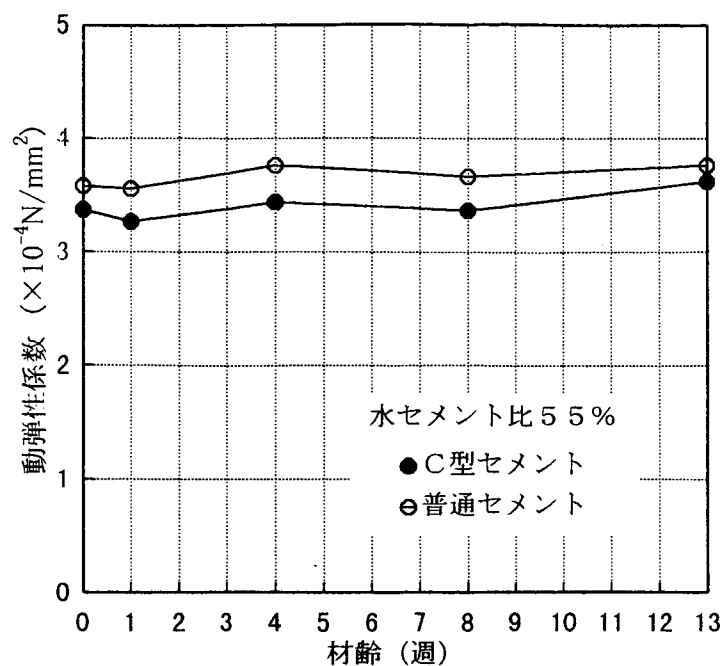
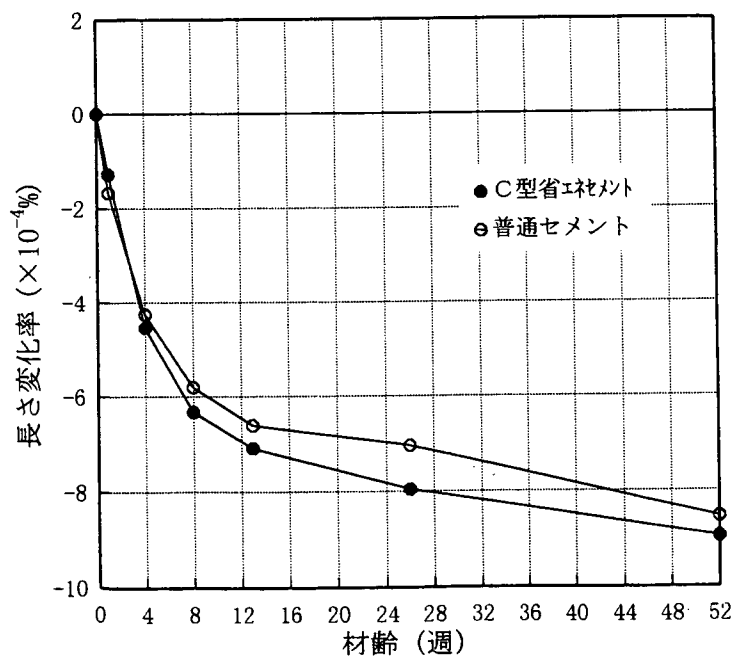


図-2-25 材齢と動弾性係数との関係

(3) 乾燥収縮

JIS A 1129に基づき行った乾燥収縮試験の材齢91日までの試験結果を図-2-26 に示す。C型省エネセメントおよび普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートの乾燥収縮試験結果は、普通ポルトランドセメントと比較するとほぼ同等になる。



コンクリートの長さ変化率

図-2-26 C型省エネセメントを使用したコンクリートの乾燥収縮試験

(4) 凍結融解試験

JIS A 6204に基づき行った凍結融解試験結果を図-2-27(a)、(b) に示す。C型省エネセメントを使用したコンクリートは質量減少率が大きく、250 サイクルを越えると相対動弾性係数が80%以下となる。

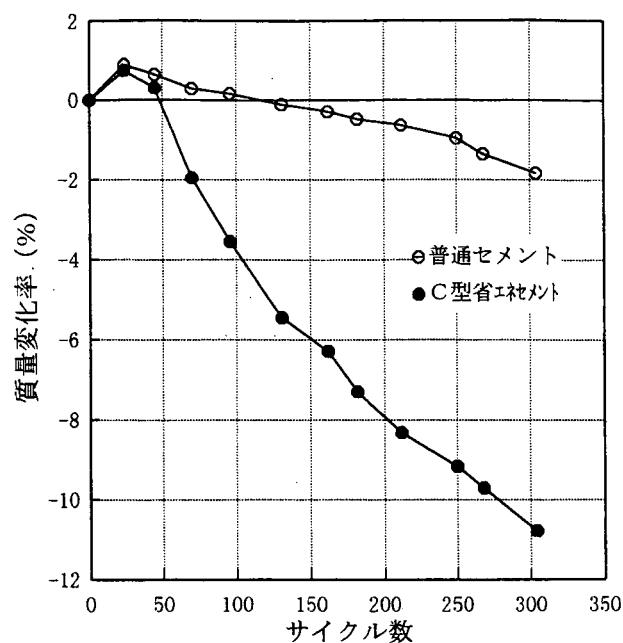


図-2-27(a) 供試体質量減少率による凍結融解抵抗性の評価

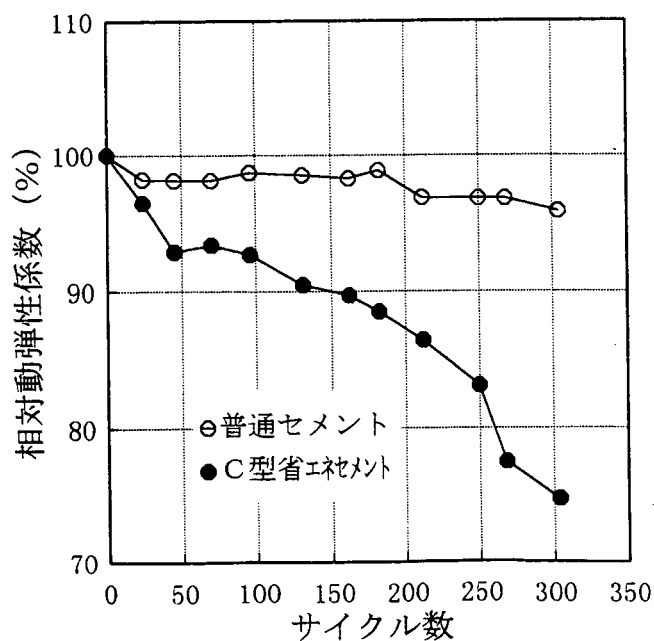
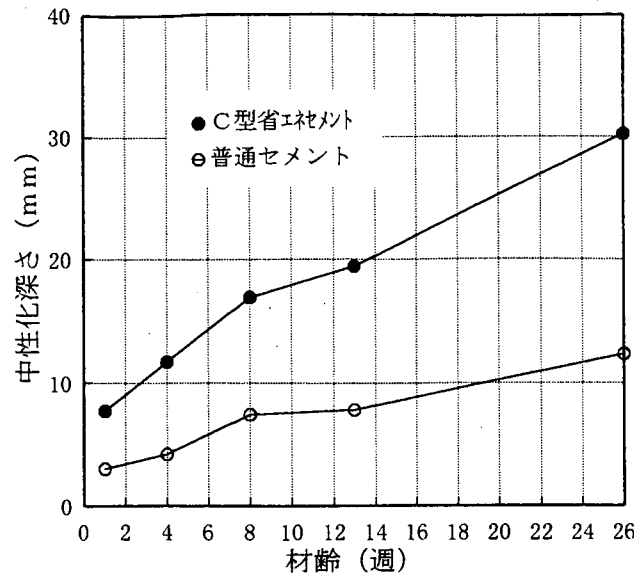


図-2-27(b) 相対動弾性係数による凍結融解抵抗性の評価

(5) 中性化試験

中性化促進試験の結果を図-2-28 に示す。促進中性化試験結果においては、中性化深さが普通ポルトランドセメントの2倍強であった。



促進中性化試験結果

図-2-28 C型省エネセメントを使用したコンクリートの中性化促進試験

(6) 細孔径分布

水銀圧入法により評価した細孔径分布はC型、普通ポルトランドセメントともに全体的には大差ないが、普通ポルトランドセメントには350 Åのところにピークが認められた。

試料の調整は材齢28日、水セメント比55%の供試体のモルタル部分のみをカットし、D-dry（アルコールとドライアイスの冷却トラップを用いて、真空（水蒸気圧 5×10^{-4} mmHg）の下で乾燥）を行って供試試料とした。

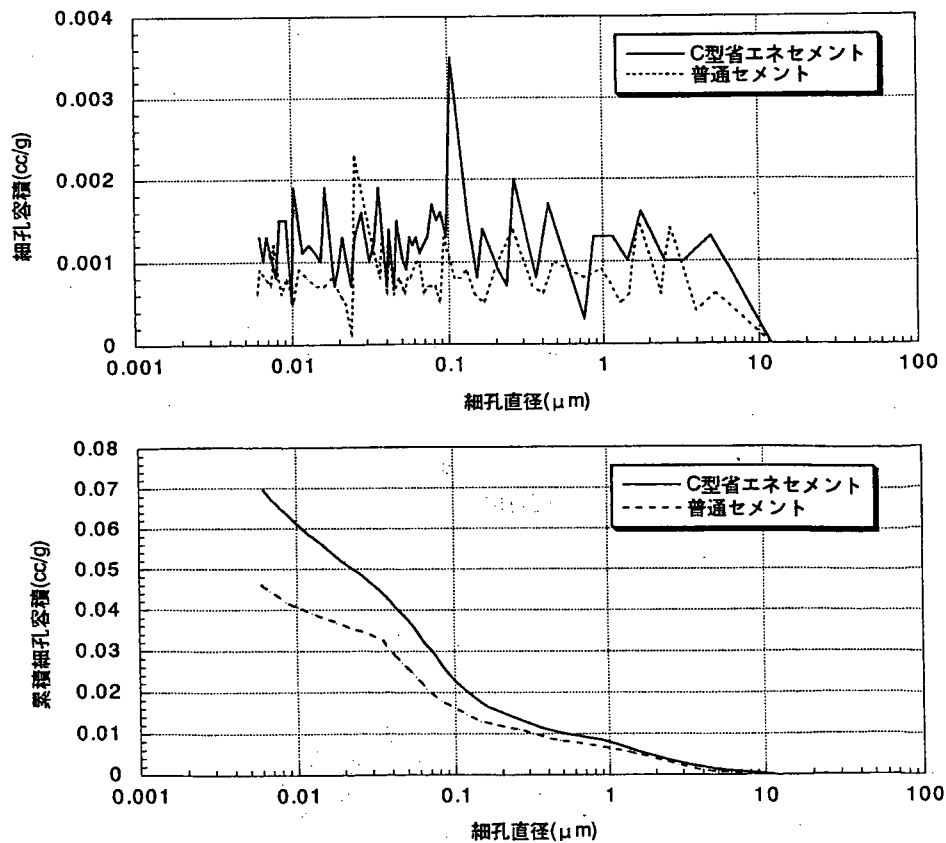


図-2-29 C型省エネセメントを使用したコンクリートの細孔径分布測定結果

5. 施工性試験

5.1 目的

省エネセメントを使用したコンクリートの施工性試験は、室内試験結果から判ったコンクリートの物性をもとに省エネセメントを用いて練ったコンクリートの実構造物レベルでの施工性を評価するため、実プラント（1.1m³）で図-2-30の鉄筋コンクリート実構造物を作製して締固め易さ、表面の均し易さなどの施工性やフレッシュコンクリートのスランプ、空気量および圧縮強度の経時変化を評価した。また、A型省エネセメントは、エポキシ塗装鉄筋を用いた構造物についても実験を行った。

5.2 施工方法

（1）コンクリートの配合条件

各省エネセメントにおけるコンクリートの配合は表-2-24に示す通りとした。化学混和剤としてAE減水剤にポゾリスNo.70，AE助剤にポゾリス303Aを使用した。A型省エネセメントには、コンクリートの可使時間を確保するための凝結遅延剤として、超速硬セメントに用いられる凝結調整剤と同じ有機酸系の凝結調整剤を使用した。

表-2-24 示方配合(kg/m³)

セメントの種類	W/C (%)	s/a (%)	W	C	S	G	AE減水剤 No.70 (A)	303A※ (B)
A型※ ₂	55	44	152	276	821	1057	2.5	3.5
B型	55	44	157	285	815	1049	2.5	4.0
C型	55	44	160	297	802	1033	2.5	2.4
A型※ ₂	55	44	152	276	821	1057	2.5	3.5

※ 303Aの2%溶液をセメント量×(A)cc使用した。

※₂ 凝結調整剤2種類を使用した。

（2）使用材料

骨材は表-2-25に示す粗骨材（鬼怒川産碎石）、細骨材（鬼怒川産川砂）を使用し、鉄筋はφ8mmの異形棒鋼を用いた。配筋図を図-2-31に示す。なお、A型省エネセメントはセメント中の含有塩分量が多いため、塗装鉄筋についても同様の供試体を作製した。

表-2-25 使用骨材の性状

試 験 項 目	単位	細 骨 材		粗骨材(5～20mm)							
		試験値	規 格 値	試 験 値	規 格 値						
表 乾 比 重	—	2.60	2.59～2.65	2.64	2.62～2.66						
絶 乾 比 重	—	2.55	2.5 以上	2.6	2.5 以上						
吸 水 率	%	1.86	3 以下	1.57	3 以下						
粗 粒 率	—	2.92	2.62～3.08	6.51	6.40～6.90						
単 位 容 積 質 量	kg/m ³	1,710	1550～1750	1,570	1500～1700						
実 積 率	%	66.9	60～70	60.5	55～65						
粒 径 判 定 実 績 率	%	—	—	60.1	55 以上						
洗 い 試 験	%	1.92	3 以下	0.54	1 以下						
粘 度 塊 量	%	0.14	1 以下	0.20	0.25 以下						
有 機 不 純 物	—	うすい	うすい	—	—						
安 定 性 試 験	%	1.3	10 以下	0.4	12 以下						
比重1.95に浮く粒子	%	0.06	0.5 以下	0	0.5 以下						
す り へ り 減 量	%	—	—	18.9	40 以下						
軟 石 量 試 験	%	—	—	1.0	5 以下						
塩 化 物 量	%	0.00	0.02 以下	—	—						
ふるい分け試験 (各ふるいの累加残留率 %)											
ふるいの呼び寸法	25	20	15	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	受皿
細 骨 材	—	—	—	—	0	15	41	64	80	92	100
粗 骨 材	0	5	—	48	98	100	100	100	100	100	100

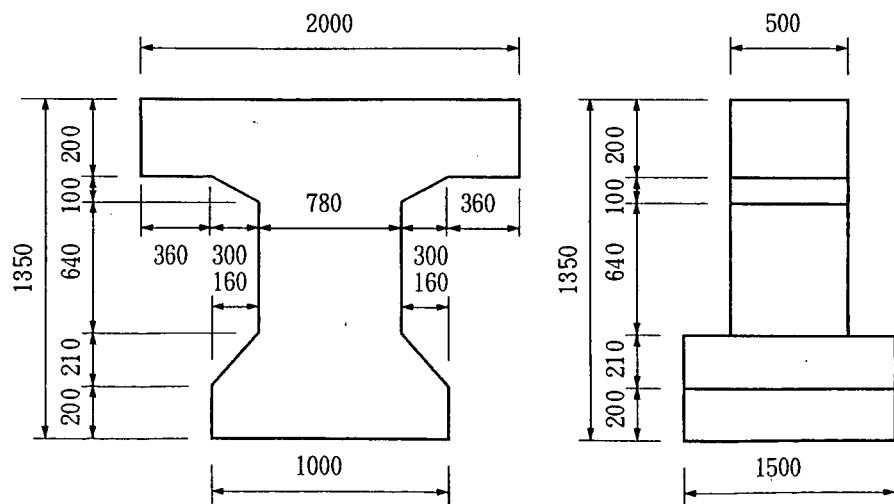
(3) プラント

強制二軸ミキサ1m³を使用した。

(4) 施工方法

省エネセメントを使用したコンクリートの製造は、1.1m³を強制2軸ミキサで練混ぜた。

バケットから図-2-30に示すT形型枠の上部からコンクリートを投入し、内部振動機で締固めた。

図-2-30 施工性試験用T形型枠（コンクリートの体積：0.7m³ 供試体の質量：1.73t）

5.3 試験方法

スランプおよび空気量の経時変化、締固め易さ、表面の均し易さでコンクリートの施工性を評価を行った。

5.4 試験結果

施工性試験の打設日は表-2-26 に示す日程で実施し、施工性を評価するため、フレッシュコンクリートのスランプと、空気量の経時変化を調べた。スランプの結果を表-2-27 および図-2-32 に、空気量の結果を表-2-27 および図-2-33 に示す。A型は、セメントの凝結試験で始発が30分、終結が40分と固まるのが非常に早く、作業性やハンドリングに懸念があったため、施工性の試験では、凝結遅延剤を入れて対策をとった。このためスランプは、経過時間60分で7.6cm もあり、施工には支障がなかった。しかし、経過時間90分では1.6cm と極端に低くなるので作業時間には注意が必要である。

B型セメントは、経過時間90分でも4.5cm あり問題ない。C型セメントは、今回施工は問題なく行えたが、スランプは経過時間60分で3.5cm と小さくなっている。施工性を十分確保するため遅延剤等調整材の添加が必要と思われる。空気量も省エネセメントBおよびCは、余り変化しないが、A型は徐々に下がっており硬化が早い傾向にある。

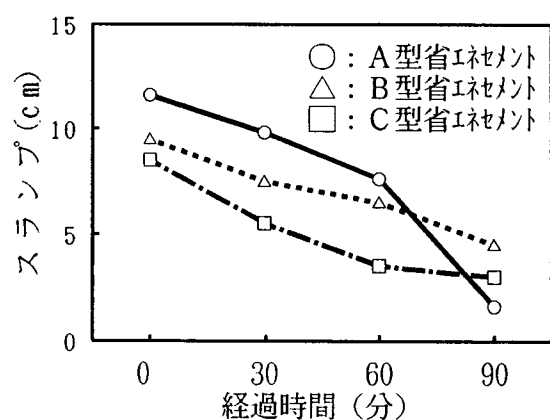


図-2-32 フレッシュコンクリートのスランプの経時変化

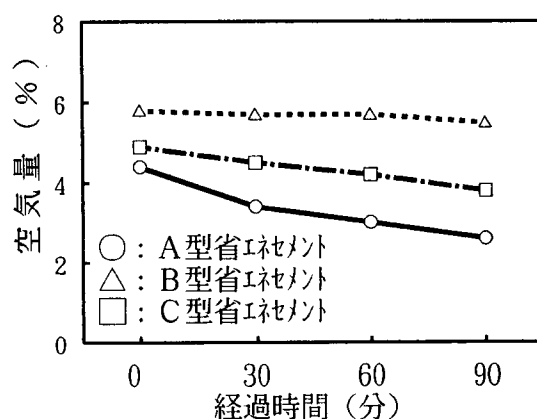


図-2-33 フレッシュコンクリートの空気量の経時変化

圧縮強度試験結果を図-2-34 および表-2-29 に示す。3種類の省エネセメントとも長期の圧縮強度の伸びが小さいが、28日の圧縮強度は27N/mm² 以上あり、強度的には問題ないと思われる。

表-2-26 打設日

セメントの種類	打設日
A型	1995年10月23日
B型	1995年10月30日
C型	1995年11月 7日
A型	1995年11月14日

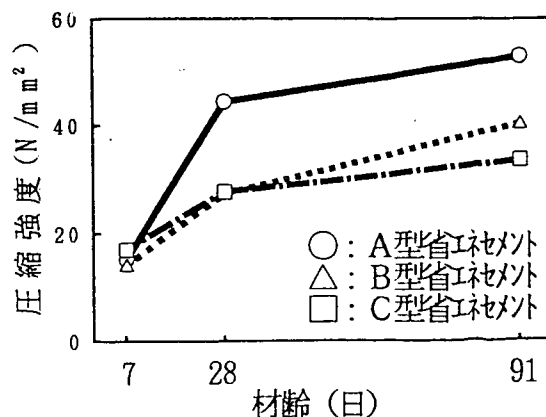


図-2-34 材齢と圧縮強度(N/mm²)

表-2-27 フレッシュコンクリートのスランプおよび空気量の経時変化

経過時間 (分)		0	30	60	90
スランプ (cm)	A型	11.6	9.8	7.6	1.6
	B型	9.5	7.5	6.5	4.5
	C型	8.5	5.5	3.5	3.0
	A型	11.6	9.8	7.6	1.6
空気量 (%)	A型	4.4	3.4	3.0	2.6
	B型	5.8	5.7	5.7	5.5
	C型	4.9	4.5	4.2	3.8
	A型	4.4	3.4	3.0	2.6

表-2-28 材齢と圧縮強度(N/mm²)

材齢	7日	28日	91日
A型	15.2	44.5	53.0
B型	14.2	27.5	40.6
C型	17.0	27.8	33.9
A型	10.8	38.7	44.4

5.5 施工時の気付き

施工時の締め固め易さや均し易さおよび脱型後の供試体の状況を普通コンクリートと比べると、表-2-29 の通りであった。3種類の省エネセメントとも締め固め易さ、均し易さは全て特に問題はなかった。

表-2-29 施工時の締め固め易さおよび均し易さ

A型	施工時の気付き	締め固め易さ： 普通セメントと比べて特に問題なし 均し易さ： 普通セメントと比べて特に問題なし
	脱型後の観察	供試体に異常はなく、施工性良好。表面に白華のような物質がみられ供試体の色はやや薄茶色がかっていた。
B型	施工時の気付き	締め固め易さ： 普通セメントと比べて特に問題なし 均し易さ： 普通セメントと比べて特に問題なし
	脱型後の観察	特に異状なく、施工性良好。 供試体の色はやや黒みがかった。
C型	施工時の気付き	締め固め易さ： 普通セメントと比べて特に問題なし 均し易さ： 普通セメントと比べて特に問題なし
	脱型後の観察	下部のフーチング正面にやや分離の傾向が見られた。 施工性やや良好。 供試体の色は、A型およびB型に比べやや白みがかった。

5.6 施工後の暴露試験と材齢試験

(1) 暴露試験

施工性試験を行ったT形供試体は、長期の供用性を評価するため、土木研究所構内（茨城県つくば市大字旭1番地）の建設材料研究施設に暴露を行った。（暴露開始平成7年11月30日）今後、中性化やひび割れ、鉄筋防食性、表面状態など長期の耐久性の評価を行って行く予定である。

(2) 耐久性試験

長期の耐久性として圧縮強度、中性化、気泡分布等を評価するため、 $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ の供試体を作製し、T形供試体と同様に土木研究所構内の建設材料研究施設に暴露を行った。

表-2-30 に示す暴露期間において、各試験を行う予定である。

また、鉄筋の防食性の評価するため、1、2、3 cmのかぶり厚を変えて鉄筋を3本埋め込んだ $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ の供試体を作製し、土木研究所（暴露開始平成7年11月30日）と新潟県親不知（暴露開始平成8年3月26日）の暴露場に暴露を行った。表-2-31 に示すように、暴露1、3、5年後に供試体を解体し、鉄筋の腐食性を評価する予定である。

表-2-30 圧縮強度、中性化、気泡分布試験（ $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ ）

	省 エ ネ セ メ ン ト				普通セメント		
	圧 縮 強 度			中性化および気泡分布	中性化および気泡分布	圧縮強度	
	試験練り時	本 練 り 時		本練り時	試験練り時	現場	封かん
	標準養生	標準養生	現場養生			養生	養生
打設7日後	3本	3本	3本		3本		3本
打設28日後	3本	3本	3本		3本		3本
打設91日後	3本	3本	3本		3本		3本
打設1年後			3本	3本	3本	3本	
打設3年後			3本	3本	3本	3本	
打設5年後			3本	3本	3本	3本	
計	9本	9本	18本	9本	18本	9本	9本

表-2-31 鉄筋腐食確認試験（ $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ ・鉄筋：3本 ・かぶり：1 cm, 2 cm, 3 cm）

	省 エ ネ セ メ ン ト		普 通 セ メ ン ト	
	土木研究所（つくば）	新潟県親不知	土木研究所（つくば）	新潟県親不知
暴露1年	3本	3本	3本	3本
暴露3年	3本	3本	3本	3本
暴露5年	3本	3本	3本	3本
計	9本	9本	9本	9本

5.7 脱型後のT形供試体

T形供試体の作製状況を写真-1～3に、出来型を写真-4に、土木研究所と新潟親不知での暴露状況を写真-5～6に示す。

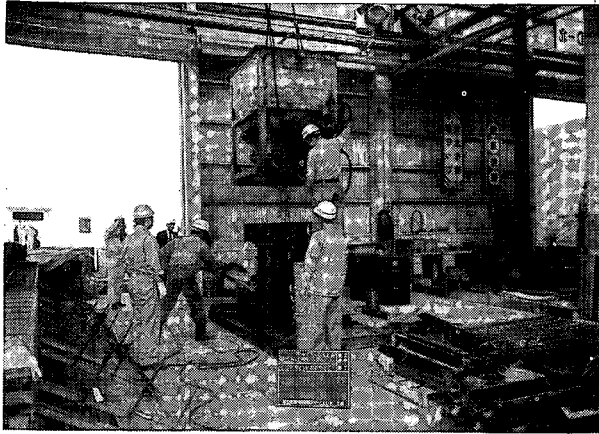


写真-1 コンクリート打設状況

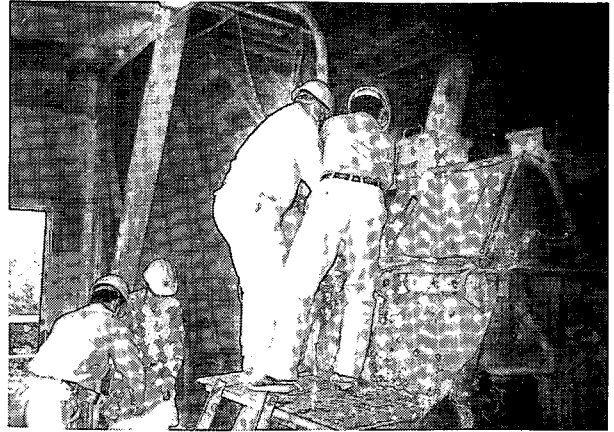


写真-2 練り混ぜ状況

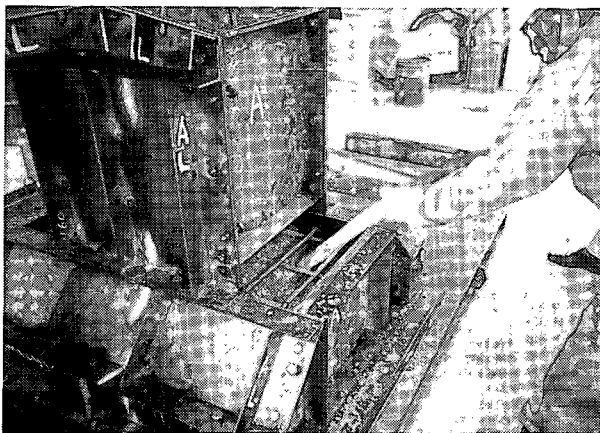


写真-3 コンクリート打設状況

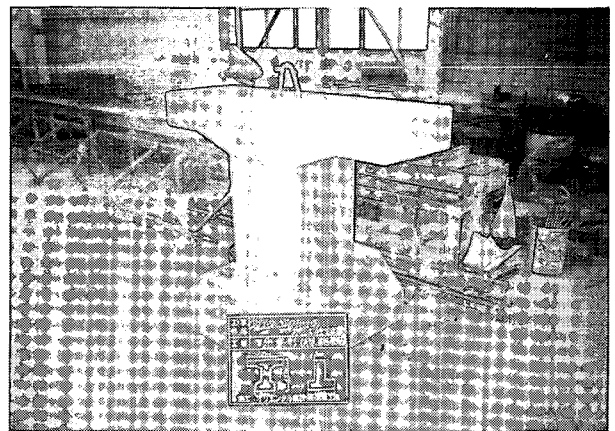


写真-4 出来型

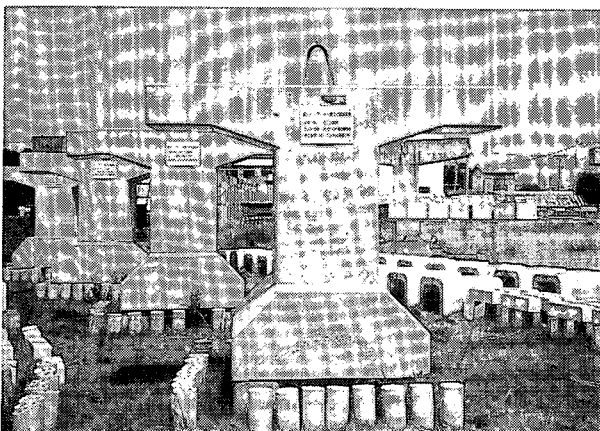


写真-5 暴露状況（土木研究所構内）

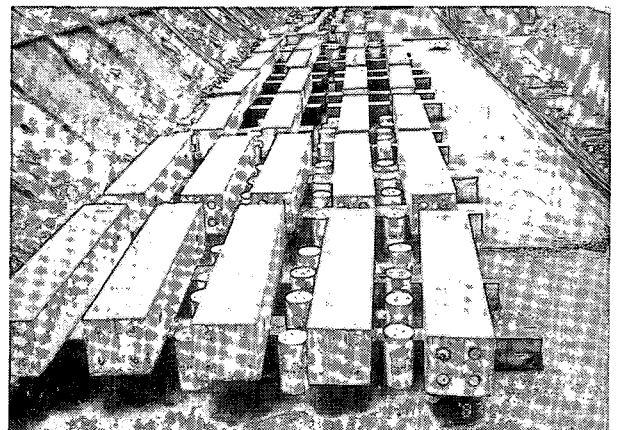


写真-6 暴露状況（新潟県親不知）

6. 省エネセメントのエネルギー消費量およびCO₂排出量算定結果

今回利用技術を開発した各種省エネセメントにおいて、従来のポルトランドセメントと比較してどの程度消費エネルギーやCO₂排出量を削減できるか、試算を行なった。

6.1 計算の手順

省エネセメントA～Cおよび比較のため従来型セメントの普通セメントについて、それぞれ1 tを製造する際のエネルギー原単位およびCO₂原単位とを計算する。

計算の手順は以下のとおりである。

(1) 原料価格および燃料数量の整理

各セメントを製造する際の原料と燃料について数量、単価、価格を整理する。

(2) 原料のエネルギー濃度およびCO₂濃度の整理

各原料および燃料ごとに、対応するエネルギー濃度およびCO₂濃度を整理する。

なお、エネルギー濃度およびCO₂濃度とは、ある原料を製造する際に、消費するエネルギーおよび排出するCO₂を直接・間接に推計したものを単位金額あたりに示したものである。産業連関表を元データとして用いる関係上、約400業種について推計される。

(3) エネルギー原単位およびCO₂原単位の計算

上記(1)で整理した原料価格と(2)で整理したエネルギー濃度およびCO₂濃度を乗じ、その結果を全原料について加算する。さらに、(1)で整理した燃料数量と、燃焼による化学的発熱量およびCO₂排出量を乗じ、その結果を全燃料について加算する。

上記の両計算結果を加えることにより、省エネセメント1 tを製造する際の、エネルギー原単位およびCO₂原単位を計算する。

6.2 計算の結果および考察

上記1で示した手順に従って、省エネセメント、普通セメントのそれぞれについてエネルギー原単位およびCO₂原単位を計算した結果を表-2-32～表-2-35および図-2-35～図-2-36に示す。

さらに、普通セメントを1.00として省エネセメントを比較したものについて同様に計算し、表-2-36および図-2-37～図-2-38に示す。

これらの結果、3種類の省エネセメントがすべて、普通セメントと比較して、エネルギー原単位およびCO₂原単位が減少している結果となった。その要因としては、石灰石・粘土等におけるエネルギー消費量およびCO₂排出量が削減されたこと、重油や電力の消費量が削減されたことが挙げられる。

表-2-32 エネルギー原単位およびCO₂原単位計算結果（省エネセメントA）

原料・燃料	数量単位	直接エネルギー消費量	直接CO ₂ 排出量	エネルギー濃度	CO ₂ 濃度	金額	エネルギー消費量	CO ₂ 排出量
		(a)	(b)	(c)	(d)	(e)*	(f)**	(g)**
単位		kcal/数量単位	C-t/数量単位	kcal/円	C-t/円	円	kcal	C-t
粘土	t	—	—	2.48E+01	2.11E-06	70	1.74E+03	1.48E-04
酸化鉄原料	t	—	—	2.17E+01	1.57E-06	14	3.04E+02	2.20E-05
石こう	t	—	—	2.17E+01	1.57E-06	825	1.79E+04	1.30E-03
都市ゴミ焼却灰	t	—	—	—	—	—	0.00E+00	0.00E+00
下水汚泥	t	—	—	—	—	—	0.00E+00	0.00E+00
石灰石	t	—	1.20E-01	2.17E+01	1.60E-06	126	2.73E+03	2.18E-02
電力	kWh	860	0.00E+00	1.42E+02	1.18E-05	2,100	4.19E+05	2.48E-02
再生重油	l	9,800	8.60E-04	4.73E+02	4.07E-05	885	9.97E+05	8.68E-02
石炭	t	5,800,000	6.18E-01	4.96E+02	5.23E-05	0	0.00E+00	0.00E+00
廃プラスチック等	t	5,800,000	6.18E-01	4.96E+02	5.23E-05	0	2.44E+05	2.59E-02
合計							1.68E+06	1.61E-01

* (e)=数量×単価

** (f)=(a)×数量+(c)×(e)

*** (g)=(b)×数量+(d)×(e)

: 廃棄物であるため、エネルギー消費量、CO₂排出量をゼロとして計上表-2-33 エネルギー原単位およびCO₂原単位計算結果（省エネセメントB）

原料・燃料	数量単位	直接エネルギー消費量	直接CO ₂ 排出量	エネルギー濃度	CO ₂ 濃度	金額	エネルギー消費量	CO ₂ 排出量
		(a)	(b)	(c)	(d)	(e)*	(f)**	(g)**
単位		kcal/数量単位	C-t/数量単位	kcal/円	C-t/円	円	kcal	C-t
廃珪砂	t	—	—	2.17E+01	1.57E-06	0	0.00E+00	0.00E+00
徐冷滓	t	—	—	2.17E+01	1.57E-06	324	7.03E+03	5.09E-04
転炉滓	t	—	—	2.17E+01	1.57E-06	38	8.25E+02	5.97E-05
石灰石	t	—	1.20E-01	2.17E+01	1.60E-06	616	1.34E+04	1.07E-01
電力	kWh	860	0.00E+00	1.42E+02	1.18E-05	1,425	2.84E+05	1.68E-02
重油	l	9,800	8.60E-04	4.73E+02	4.07E-05	0	0.00E+00	0.00E+00
石炭	t	5,800,000	6.18E-01	4.96E+02	5.23E-05	1,638	1.34E+06	1.42E-01
廃材等	t	5,800,000	6.18E-01	4.96E+02	5.23E-05	0	0.00E+00	0.00E+00
合計							1.65E+06	2.66E-01

* (e)=数量×単価

** (f)=(a)×数量+(c)×(e)

*** (g)=(b)×数量+(d)×(e)

表-2-34 エネルギー原単位およびCO₂原単位計算結果（省エネセメントC）

原料・燃料	数量単位	直接エネルギー消費量	直接CO ₂ 排出量	エネルギー濃度	CO ₂ 濃度	金額	エネルギー消費量	CO ₂ 排出量
		(a)	(b)	(c)	(d)	(e)*	(f)**	(g)**
単位		kcal/数量単位	C-t/数量単位	kcal/円	C-t/円	円	kcal	C-t
粘土	t	—	—	2.48E+01	2.11E-06	114	2.83E+03	2.41E-04
けい石	t	—	—	2.17E+01	1.57E-06	72	1.56E+03	1.13E-04
酸化鉄原料	t	—	—	2.17E+01	1.57E-06	20	4.34E+02	3.14E-05
高炉スラグ等	t	—	—	2.17E+01	1.57E-06	18	3.91E+02	2.83E-05
石こう	t	—	—	2.17E+01	1.57E-06	149	3.22E+03	2.33E-04
石灰石微粉末	t	—	—	2.17E+01	1.57E-06	250	5.43E+03	3.93E-04
高炉スラグ微粉末	t	—	—	2.17E+01	1.57E-06	300	6.51E+03	4.71E-04
石灰石	t	—	1.20E-01	2.17E+01	1.60E-06	563	1.22E+04	9.74E-02
電力	kWh	860	0.00E+00	1.42E+02	1.18E-05	1,005	2.00E+05	1.19E-02
重油	l	9,800	8.60E-04	4.73E+02	4.07E-05	25	1.84E+04	1.60E-03
石炭	t	5,800,000	6.18E-01	4.96E+02	5.23E-05	1,296	1.06E+06	1.12E-01
廃材等	t	5,800,000	6.18E-01	4.96E+02	5.23E-05	18	1.47E+04	1.56E-03
合計							1.33E+06	2.26E-01

* (e)=数量×単価

** (f)=(a)×数量+(c)×(e)

*** (g)=(b)×数量+(d)×(e)

表-2-35 エネルギー原単位およびCO₂原単位計算結果（従来型普通セメント）

原料・燃料	数量単位	直接エネルギー消費量	直接CO ₂ 排出量	エネルギー濃度	CO ₂ 濃度	金額	エネルギー消費量	CO ₂ 排出量
		(a)	(b)	(c)	(d)	(e)*	(f)**	(g)**
単位		kcal/数量単位	C-t/数量単位	kcal/円	C-t/円	円	kcal	C-t
粘土	t	—	—	2.48E+01	2.11E-06	163	4.04E+03	3.44E-04
けい石	t	—	—	2.17E+01	1.57E-06	102	2.20E+03	1.59E-04
酸化鉄原料	t	—	—	2.17E+01	1.57E-06	29	6.29E+02	4.55E-05
高炉スラグ等	t	—	—	2.17E+01	1.57E-06	24	5.21E+02	3.77E-05
石こう	t	—	—	2.17E+01	1.57E-06	209	4.54E+03	3.28E-04
石灰石	t	—	1.20E-01	2.17E+01	1.60E-06	804	1.75E+04	1.39E-01
電力	kWh	860	0.00E+00	1.42E+02	1.18E-05	1,425	2.84E+05	1.68E-02
重油	l	9,800	8.60E-04	4.73E+02	4.07E-05	35	2.64E+04	2.28E-03
石炭	t	5,800,000	6.18E-01	4.96E+02	5.23E-05	1,854	1.52E+06	1.61E-01
廃材等	t	5,800,000	6.18E-01	4.96E+02	5.23E-05	36	2.95E+04	3.12E-03
合計							1.89E+06	3.23E-01

* (e)=数量×単価

** (f)=(a)×数量+(c)×(e)

*** (g)=(b)×数量+(d)×(e)

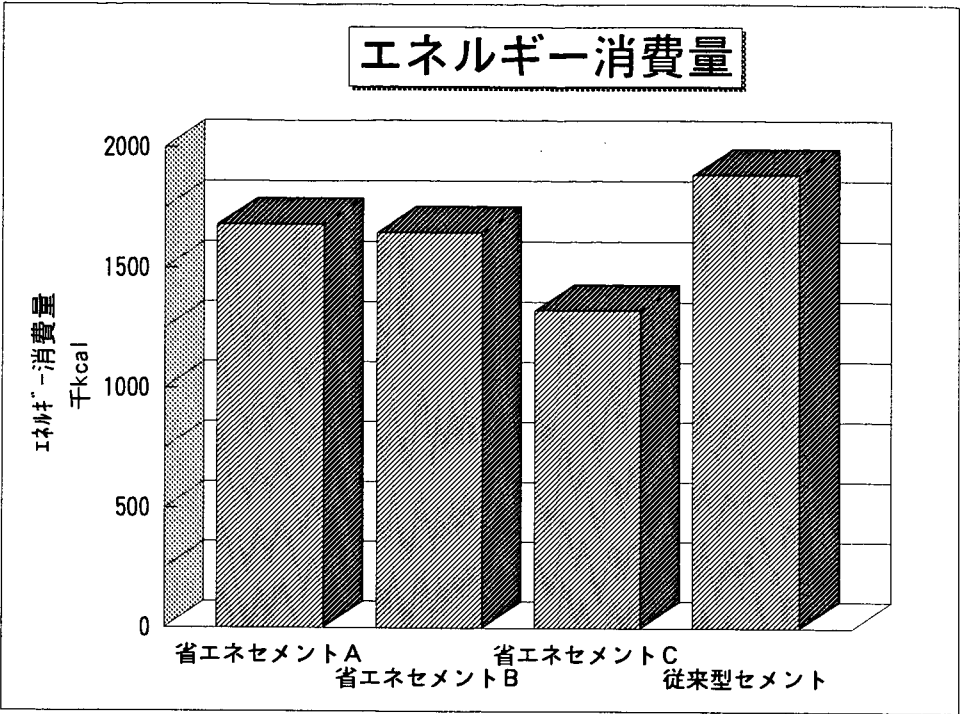


図-2-35 各省エネセメントにおけるエネルギー消費量計算結果

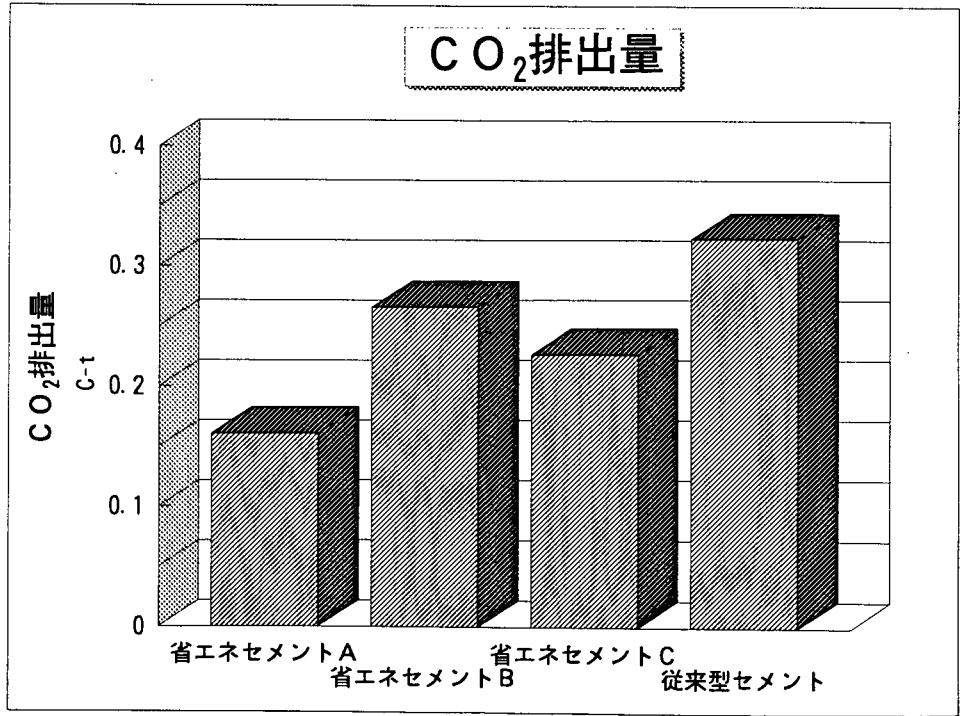


図-2-36 各省エネセメントにおけるCO₂排出量計算結果

表-2-36 普通セメントを1.00とした時の各省エネセメントの比率

	エネルギー消費量	CO ₂ 排出量
省エネセメントA	0.89	0.50
省エネセメントB	0.87	0.82
省エネセメントC	0.70	0.70

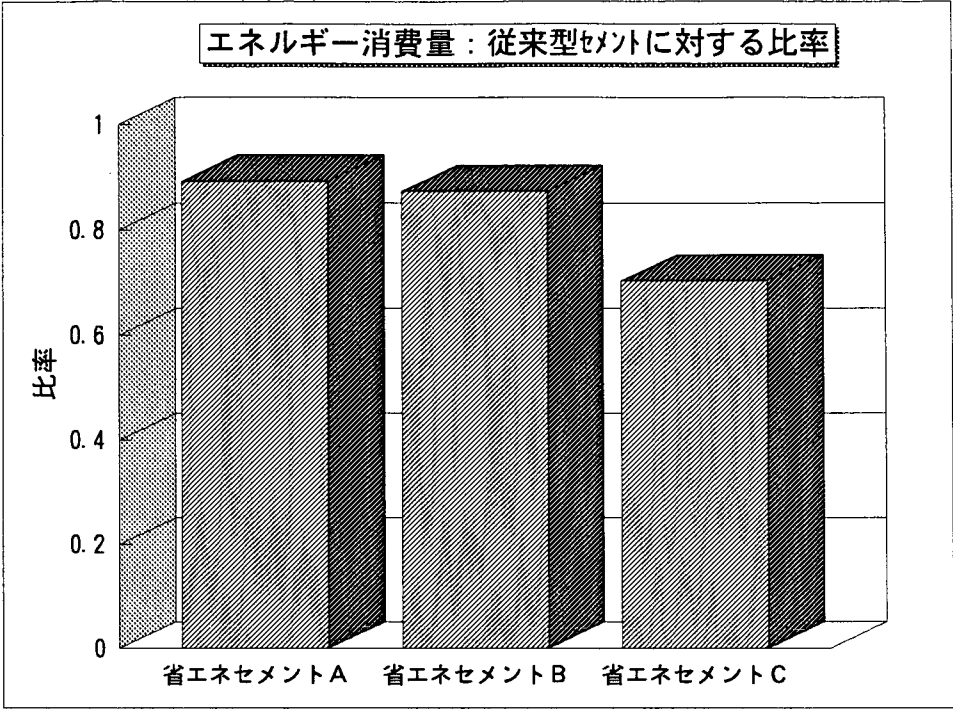


図-2-37 普通セメントに対する各省エネセメントのエネルギー消費量の比率

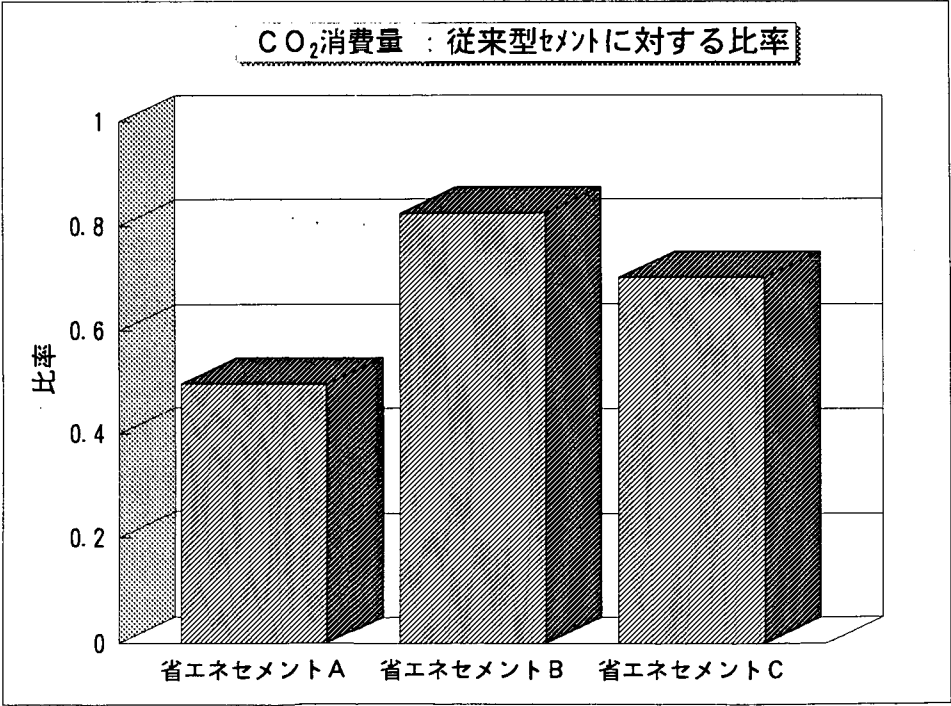


図-2-38 普通セメントに対する各省エネセメントのCO₂ 排出量の比率

第Ⅲ編 省エネセメント利用技術マニュアル(案)

第Ⅲ編 省エネセメント利用技術マニュアル(案)

第 1 章 総 則

1.1 適用の範囲

この指針は省エネセメントを利用するに当たって設計および施工上、特に必要とする事項について示したものである。このマニュアル(案)に示されていない事項は、土木学会コンクリート標準示方書による。

【解説】 本マニュアルは用いる省エネセメントが付録－1に定義される範囲のものであれば、場所打ち工法によって施工される構造部材、各種の締固めおよび養生方法を用いて製造されるコンクリート工場製品にも適用できる。

本マニュアルは、第Ⅱ編で開発された省エネセメントを使用したコンクリートを対象に作成されている。今後提案される省エネセメントを使用したコンクリートについては、フレッシュコンクリートの性状、硬化したコンクリートの力学的特性および耐久性について試験を行い、フレッシュコンクリートのスランプの経時変化、ブリーディング、コンクリートの凝結時間、強度、ヤング率、耐久性など、所要の品質のコンクリートが得られることを確認して使用しなければならない。

1.2 用語の定義

このマニュアルの用語を次のように定義する。

省エネセメント：セメント製造時のエネルギー消費量の少ないセメント、二酸化炭素発生量の少ないセメントもしくは産業廃棄物、一般廃棄物を有効利用することを目的に開発されたセメントで、セメント製造会社で生産されるセメント。

【解説】 省エネセメントについて 現在、セメント製造会社と社団法人セメント協会から提案された省エネセメントで、A型、B型およびC型がある。

A型省エネセメントは、都市型総合廃棄物（都市ゴミ焼却灰、下水汚泥等）を主原料としたセメントで、クリンカーの焼成温度が普通ポルトランドセメントより低く、二酸化炭素発生量の少ないセメントである。B型省エネセメントは、製鋼スラグ等の産業廃棄物を原料に使用し、クリンカーの焼成温度が普通ポルトランドセメントより低く二酸化炭素発生量の少ないセメントである。C型省エネセメントは、石灰石微粉末や高炉スラグ微粉末を約30%混合したセメントで、二酸化炭素発生量が少なく産業廃棄物を利用したセメントである。

省エネセメントを使用したコンクリートの性質は一般のコンクリートと同等の特性をもち、かつ、コンクリートの製造および施工については従来のコンクリートと同様で特殊な方法によらないものでなければならない。

省エネセメントは、セメント製造会社でつくられたものとし、レディーミクストコンクリート工場で、混和材的にミキサ混合して使用するものは対象としない。

第2章 省エネセメントを使用した コンクリートの品質

2.1 総 則

省エネセメントを使用したコンクリートは、所要の強度、耐久性、水密性、作業に適するワーカビリティをもち、品質のばらつきが少ないものでなければならない。

【解説】 省エネセメントを使用したコンクリートは、構造物の設計における所要の性能（強度、耐久性など）を満足しなければならない。また、コンクリートが作業に適しているワーカビリティを有していることは、施工を能率的に行い、均一なコンクリートをつくるために欠かせない要素である。これらの品質は用いる材料やコンクリートの配合などによって相違することから、十分な検討が必要である。

2.2 省エネセメントを使用したコンクリートの品質

2.2.1 ワーカビリティ

省エネセメントを使用したコンクリートのワーカビリティは作業に適するものでなければならない。また、練りまぜてから少なくとも1時間以上の作業時間が得られなければならない。

【解説】 A型、B型およびC型の省エネセメントを使用したコンクリートはいずれも、通常の温度で練りまぜてから1時間以上の作業時間が確保されている。運搬時間が長い場合などは、現場到着までのスランプ低下が著しくなることがあるので、最低でも1時間以上の作業時間が得られるように品質を定めた。

2.2.2 強 度

省エネセメントを使用したコンクリートの強度は、用いられる構造物の種類や目的などに応じて適切な材令における圧縮強度を基準とする。

一般には材齢28日における圧縮強度を基準とする。

【解説】 A型、B型およびC型の省エネセメントを使用したコンクリートは、一般の土木構造物に用いられるコンクリートの設計基準強度以上の強度を、材齢28日で発現することができる。また、長期的にも安定した強度の増進を有する。

一般の構造物では、そのコンクリートの強度が標準養生を行った供試体の材齢28日における強度を著しく上回ることが期待できないことが多いことから、一般の構造物に用いるコンクリート強度は、標準養生を行ったコンクリートの材齢28日における強度を標準とした。

2.2.3 耐久性

省エネセメントを使用したコンクリートの耐久性を確保するには、これを用いるコンクリート構造物の種類、重要度、環境条件その他に応じて適切に配合を定めなければならない。

- (1) 練混ぜ時におけるコンクリート中の塩化物イオン量の許容限度は、構造物の種類、重要度、環境条件その他に応じて適切な値を定めなければならない。
- (2) アルカリ骨材反応に対しては、つぎの対策のうちいずれかを選択して対策を講じなければならない。
 - (a) 安全と認められる骨材の使用
 - (b) コンクリート中のアルカリ総量の規制
 - (c) フライアッシュもしくは高炉スラグ微粉末の使用

【解説】 (1) について A型省エネセメントは、都市型総合廃棄物を主原料に使用するため、セメント中に塩化物イオンを約 0.1～1.2%程度含んでいる。したがって、鉄筋コンクリート構造物に使用する場合は、鉄筋の防錆対策が必要である。B型省エネセメントは、塩化物イオンの量が普通ポルトランドセメントと同程度であり、強度発現性状も普通ポルトランドセメントと大きく変わらないことから、鉄筋の防錆対策については普通ポルトランドセメントと同様な扱いをすればよい。C型省エネセメントは、塩化物イオンの量は普通ポルトランドセメントと同程度であるが、不活性な石灰石微粉末を多量に含んでいるため、配合設計に用いた水セメント比に比べ、実際の水セメント比は著しく大きくなっており、外部からの塩化物イオンの浸透は普通ポルトランドセメントより大きくなることが予想されるので、重要な鉄筋コンクリート構造物に使用する場合は、試験によりその性能を確認する必要がある。

(2) について アルカリ骨材反応に対しては、A型、B型およびC型省エネセメントとも普通ポルトランドセメントと同じ対策をとればよい。なお、B型省エネセメントは、JIS R 5210に規定する低アルカリ型セメントに適合している。C型省エネセメントには高炉スラグ微粉末をその成分として含有しているが、その量が僅かであるため、アルカリ骨材反応抑制効果はない。また、C型省エネセメントは既に約30%の混合材を含んでいるので、フライアッシュもしくは高炉スラグ微粉末の使用によるアルカリ骨材反応抑制対策を用いてはならない。

A型およびB型省エネセメントのアルカリ骨材反応抑制対策にフライアッシュもしくは高炉スラグ微粉末を使用するときは、セメント質量のフライアッシュの場合20%以上、高炉スラグ微粉末の場合40%以上セメントと置換しなければならない。これらの場合はいずれも混合セメントとなるので、強度発現性および耐久性について試験により確認しなければならない。

コンクリートの凍結融解作用に対する抵抗性は、普通ポルトランドセメントに比べ、A型省エネセメントはほぼ同等であるが、初期強度発現性の小さいB型およびC型省エネセメントは若干小さい傾向があるので初期の養生を十分する必要がある。

第3章 材料

3.1 総 則

材料は品質の確かめられたものを用いなければならない。

3.2 セメント

- (1) セメントは、省エネセメントとしての品質が確認されたものを用いることを原則とする。
- (2) (1) 以外のセメントについては、その品質を確かめ、その使用方法を十分に検討しなければならない。

【解説】 A型省エネセメントは、JIS R 5210に規定する普通ポルトランドセメントの強度および粉末度の規格値に適合するものを使用しなければならない。B型およびC型省エネセメントは、JIS R 5210に規定する中庸熱ポルトランドセメントの粉末度、凝結時間および強度の規格値に適合するものを使用しなければならない。

3.3 混和剤

- (1) 化学混和剤として用いるA E減水剤、減水剤、高性能A E減水剤は、JIS A 6204に適合したものをを用いることを原則とする。
- (2) 混和剤として用いる鉄筋コンクリート用防錆剤は、JIS A 6205に適合したものをを用いることを原則とする。
- (3) (1) および(2) 以外の混和剤については、その品質を確かめ、その使用方法を十分に検討しなければならない。

【解説】 (1) について 省エネセメントを使用したコンクリートに用いる化学混和剤は、一般のコンクリートと同様のものが使用できるが、減水率、スランプおよび空気量の経時変化等が異なることがあるため、JIS A 6204に適合したものをを用いることを原則とし、使用に当たっては実績、試験等により確認をするのがよい。

(2) について 鉄筋コンクリート用防錆剤は、JIS A 6205に適合したものをを用いることを原則とする。ただし、外部から多量の塩化物イオンが侵入してくる環境条件下では、当初の期待効果が得られないことがあるため、使用する防錆剤の添加量と使用効果についてあらかじめ検討しておくことがよい。A型省エネセメントは含有する塩化物イオン量が多いため、発錆の危険性が高い。従って、鉄筋コンクリート構造物にA型省エネセメントを使用する場合は、防錆剤の種類、添加量と使用効果について試験によって確認することが必要である。

(3) について (1) および(2) 以外の混和剤については、その使用に当たっては事前の十分な調査、

試験を行い、品質の確認と使用方法の検討を行わなければならない。ただし、A型省エネセメントの場合の凝結調整剤については、超速硬セメントに用いるものは使用できる。

3.4 混和材

- (1) 混和材として用いるフライアッシュ、高炉スラグ微粉末はそれぞれJIS A 6201、JIS A 6206に適合したものをを用いることを原則とする。
- (2) (1) 以外の混和材については、その品質を確かめ、その使用方法を十分に検討しなければならない。

【解説】 (1) について フライアッシュは JISに適合するものであっても、石炭の種類、発電所によっては、その品質にかなりの差があるので、使用に先立ってその品質を確認することが望ましい。高炉スラグ微粉末は JISに3種類の製品があり、また、原料の高炉水砕スラグの品質が製鉄所によって異なるので、使用に先立ってその品質を確認することが望ましい。

3.5 材料の貯蔵

省エネセメントおよび混和材は、バラで使用する場合は防湿的な構造を有するサイロに品種別に区別して貯蔵しなければならない。また、袋入りの製品を使用する場合は、防湿的な構造の倉庫に貯蔵し、かつ、破袋しないように取り扱わなければならない。

第4章 配合

4.1 総 則

省エネセメントを使用したコンクリートの配合は、所要の強度、耐久性、水密性および作業に適するワーカビリティをもつよう、試験によってこれを定めなければならない。また、省エネセメントが使用される条件により、設計基準強度の材齢を定めなければならない。

【解説】 省エネセメントを使用したフレッシュコンクリートのワーカビリティは省エネセメントの種類により異なるため、使用する省エネセメントの種類により混和剤(材)を使い分ける必要がある。設計基準強度は条件がゆるせばマスコンクリート以外でも91日材齢とすることができる。

4.2 配合強度

- (1) コンクリートの配合強度は、設計基準強度および現場におけるコンクリートの品質のばらつきを考慮して定めなければならない。
- (2) コンクリートの配合強度は、一般の場合と同様に次の条件を満足しなければならない。
 - (a) 1回の試験結果は設計基準強度の85%以上でなければならない。
 - (b) 3回の試験結果の平均値は設計基準強度以上でなければならない。

【解説】 (1) について コンクリートの強度は省エネセメントの種類や打込みなどによって変動するため、設計基準強度を下回らないように配合強度を定めなければならない。

(2) について 省エネセメントを使用したコンクリートの品質のばらつきは一般のコンクリートと同様と考えてよい。従って、本指針では通常のコンクリートと同じとした。

4.3 水セメント比

水セメント比は、コンクリートの所要の強度、耐久性および水密性等の性能を考えて定めなければならない。なお、コンクリートの圧縮強度をもとにして水セメント比を定める場合には、圧縮強度と水セメント比との関係は、試験によってこれを定めることを原則とし、試験の材齢は28日を標準とする。

【解説】 省エネセメントを使用したコンクリートは従来のコンクリートと同様に水セメント比の法則が成立する。この関係を利用して必要とする強度の水セメント比を定めるとよい。

4.4 単位水量

単位水量は所要のワーカビリティが得られる範囲内で、できるだけ少なくなるよう、試験によってこれを定めなければならない。

【解説】 省エネセメントを使用したコンクリートの単位水量は、粗骨材の最大寸法、骨材の粒度および粒形、混和材料の種類、コンクリートの空気量等によって相違するから、用いる材料について試験をして、これを定めるように規定した。

4.5 単位セメント量

単位セメント量は、4.3 水セメント比および 4.4 単位水量をもとに所要のワーカビリティ、強度および耐久性が得られるよう、試験によってこれを定めなければならない。

【解説】 耐久性は、単位セメント量多い方がよいと思われる。所要のワーカビリティ、強度および耐久性が得られる単位セメント量はセメントの種類、混和剤の種類および単位量、細骨材率、粗骨材の粒径、粒度などによって異なるので、試験練りによって単位セメント量を定める必要がある。

4.6 コンシステンシー

コンクリートのコンシステンシーは作業に適する範囲のものでなければならない。

【解説】 省エネセメントを使用したフレッシュコンクリートは運搬時間が長い場合などは、現場到着までにスランプの低下を招くことがある。省エネセメントの種類によってはスランプ低下の大きいもの

があるため、遅延剤を使用するなど適切な対応が必要である。

4.7 細骨材率

細骨材率は所要のワーカビリティが得られるよう試験によって定めなければならない。

【解説】 ワーカブルなコンクリートを得るための細骨材率は、水セメント比、細骨材の粒形、単位セメント量などによって影響を受けるので、試験練りによって定めるのがよい。これまでの結果では普通セメントと同程度でよい。

4.8 空気量

- (1) AEコンクリートの空気量は、粗骨材の最大寸法、その他に応じてコンクリート容積の3～6%を標準とする。
- (2) AEコンクリートの空気量試験は、JIS A 1116、JIS A 1128等によるものとする。

【解説】 適当量のエントレインドエアを混入したコンクリートは、気象作用に対する耐久性がきわめて優れており、このことは省エネセメントを使用したコンクリートにおいても同様である。

4.9 混和剤の単位量

- (1) AE減水剤および高性能AE減水剤の単位量は、所要の空気量が得られるよう試験によってこれを定めなければならない。
- (2) (1)に示す以外の混和剤の単位量は、試験の結果や既往の経験などに基づいて所用の効果が得られるようにこれを定めなければならない。

【解説】 (1)について 省エネセメントを使用したコンクリートが所要の空気量を得るのに必要な単位AE剂量（高性能AE減水剤を用いている場合は助剂量）は、一般のコンクリートに比べて多くなる傾向がある。

(2)について 減水剤等の混和材料の効果はそれぞれの混和材料の特性ばかりではなく、コンクリートの配合、施工条件、環境条件等によっても相違するから、これらの条件に応じて、使用目的に適するように試験を行ったり、既往の経験を参考としたりして、その使用量を定める。

A型省エネセメントの場合に使用する凝結調整剤は、その単位量の増減により凝結時間を変化させることができるので、運搬時間、温度条件などの状況に応じて単位量を設定し、所要の強度およびワーカビリティが得られるよう試験によってこれを定めなければならない。この場合、凝結調整剤の単位量の増減により凝結時間が変化するだけでなく、スランプが変化すること、また、強度発現性が変化することがあるので注意を要する。

4.10 配合の表し方

配合の表し方は一般に表-3-1によるものとする。

表-3-1 省エネセメントを使用したコンクリートの配合の表し方

粗骨材 の最大 寸 法 (mm)	スラン プ の 範 囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメ ント比 w/c (%)	細骨 材率 s/a (%)	単位量 (k g／m ³)							
					水 W	セ メント C	細 骨 材 S	粗骨材G		混和剤(g/m ³)		
								mm 5 mm	mm 5 mm	主 剤	助 剤	そ の 他

注) 混和剤の使用量は、cc/m³またはg/m³で表し、薄めたり溶かしたりしないものを示すものとする。

第5章 練混ぜ運搬

5.1 練混ぜ

- (1) ミキサは原則として強制練り、または可傾式バッチミキサによらなければならない。
- (2) ミキサに材料を投入する順序は、試験によってこれを定めるのを原則とする。
- (3) 練混ぜ時間は、試験によってこれを定めるのを原則とする。

【解説】 (1) について 省エネセメントを使用したコンクリートは一般のコンクリートと同様強制練りバッチミキサを用いるのがよい。他のミキサによる場合は、試験によって所要の品質のコンクリートが得られることを確認する必要がある。可傾式ミキサは強制練りミキサに比べて練混ぜ時間が長くなる傾向がある。

(2) について B型およびC型省エネセメントを使用したコンクリートの場合はミキサ内に材料を投入する順序は、一般の普通コンクリートの場合と同様な順序でよい。A型省エネセメントの場合は、投入順序、時期を試験によって定めることを原則とする。

(3) について 練混ぜ時間は試験によって定める。

5.2 運搬

運搬は以下によるほか、適切な方法を選定しなければならない。

- (1) コンクリートは材料の分離およびスランプの損失が少ない方法で速やかに運搬しなければならない。
- (2) バケットの構造は、コンクリートの投入および排出の際に材料の分離を起こさないもので、またバケットからコンクリートの排出が容易なものでなければならない。

【解説】 (1) について 運搬によるコンクリートの性状の変化は、コンクリート温度、練り混ぜてからの経過時間、混和剤の種類、セメントの種類などによって異なる。このため、運搬車の性能と運搬に

よるコンクリート性状の変化はあらかじめ確認しておくといよい。

(2) について バケットはコンクリートを小運搬する設備であるが、省エネセメントを使用したコンクリートが容易に排出できる構造であることを確かめておかなければならない。

第6章 レディーミクストコンクリート

6.1 品質についての指定および指示

コンクリートを発注するにあたっては、コンクリートの使用目的、コンクリートの品質、使用材料の品質、運搬方法、検査方法などをあらかじめ生産者と綿密に打合せておかなければならない。また、次の事項について協議し、適宜指定するものとする。

- | | |
|------------------|-------------------------|
| (a) セメントの種類 | (g) A E減水剤等の混和剤の種類と使用量 |
| (b) スランプ | (h) 骨材の種類 |
| (c) 空気量 | (i) 粗骨材の最大寸法 |
| (d) 呼び強度値 | (j) コンクリートの最低温度あるいは最高温度 |
| (e) 呼び強度値を保証する材齢 | (k) 塩化物イオン含有量の限度 |
| (f) 凝結時間 | (l) アルカリ骨材反応の抑制対策 |

【解説】 レディーミクストコンクリートを使用する場合は、コンクリートの品質、使用材料の品質などを明確にするとともに、コンクリートの運搬方法、コンクリートの圧縮強度試験方法についてあらかじめ発注者、生産者間で綿密に打ち合わせておく必要がある。

6.2 工場の選定

- (1) 工場は、原則としてJIS 表示許可工場で、かつコンクリート技士または主任技士の常駐している工場から選定しなければならない。
- (2) 工場の選定に際しては、現場までの運搬時間、荷おろし時間、製造設備、製造能力、運搬能力、品質管理状態などを考慮しなければならない。
- (3) 省エネセメントをバラで使用する場合は、サイロを兼備する工場でなければならない。また、袋で使用する場合は適切な倉庫を使用しなければならない。

【解説】 (1) について 省エネセメントを使用したコンクリートの製造のためには工場設備が完備していることはもちろんであるが、コンクリートの配合、取扱いに関する豊富な知識と経験を必要とするので、レディーミクストコンクリートの製造はコンクリート技士、または主任技士が常駐する工場で行わなければならないものとした。

(2) について 工場の選定にあたっては、工場の製造設備、コンクリートの運搬時間が重要な要因と

なる。運搬中の品質変化を考慮すると運搬時間はなるべく短いことが好ましい。また、省エネセメントを使用したコンクリートに使用する細骨材の含水状態、混和剤の管理は通常のコンクリートを製造する場合と同様である。

(3) について 省エネセメントはプラントに常備していないため、プラント内の貯蔵設備に余裕のあることが必要である。

6.3 受入れ検査

省エネセメントを使用したコンクリートの受入れ検査は、以下による。

- (1) 試験はスランプ、空気量、強度、その他定めた事項を行う。
- (2) 試験回数は原則として1日2回(午前、午後)または構造物の重要度と工事の規模に応じて、連続して打ち込むコンクリートの 150m³ ごとに1回の割合とする。

第7章 打込みおよび養生

7.1 取扱い

コンクリートの打込みは、省エネセメントを使用したコンクリートの特性を考慮して適切に選択しなければならない。

- (1) コンクリートの取扱いは、材料の分離をできるだけ生じさせない方法で行わなければならない
- (2) コンクリートは、運搬後ただちに打込まなければならない。練り混ぜてから打込み終了までの時間は、原則として外気温が25℃以上の場合は90分、25℃以下の場合は120 分を限度とする。

【解説】 省エネセメントを使用したコンクリートの特性は省エネセメントの種類によって異なり、ブリーディングや凝結性状などにそれぞれ特徴がある。従って、打込み区画、打込み順序および打込み速度等についてそれぞれのコンクリートの特性を考慮して決めなければならない。

(1) について 省エネセメントを使用したコンクリートの取扱いは、B型およびC型省エネセメントは一般のコンクリートと同様で良い。凝結調整剤を使用するA型省エネセメントの場合には、運搬条件やコンクリート温度の変化などによってスランプや凝結時間が変化して材料分離を生じさせることが考えられるので、凝結調整剤の使用量を十分に検討しておくなど、打込みに悪影響を及ぼさないよう事前の検討が必要である。

(2) について 省エネセメントを使用したコンクリートは、通常の温度で練混ぜてから60分以上の作業時間が確保されており、練混ぜてから打込み終了までの時間限度は一般のコンクリートと同様の限度を目安として示した。凝結時間が短いA型省エネセメントの場合については、凝結調整剤の使用量を変えることでスランプの経時変化やコンクリートの凝結時間を変化できるが、運搬条件やすでに打込まれたコンクリートの状況により時間の限度を短縮したり、運搬方法、運搬機器の改善等を検討することが必要である。

7.2 締固め

- (1) コンクリートの締固めには内部振動機を用いることを原則とし、薄い壁など内部振動機の使用が困難な場所には型わく振動機を使用してもよい。
- (2) 振動締固めにあたっては、締固める一層の高さ、振動機の差込み間隔、型わく振動機による場合の加振順序、振動時間等について責任技術者の指示を受けなければならない。

【解説】 (1), (2) について コンクリートの締固めで、特に硬練りコンクリートの場合には内部振動機が有効であることから、内部振動機を用いることを原則とした。省エネセメントを使用したコンクリートの振動締固め方法は一般のコンクリートとほぼ同様と考えてよい。

7.3 養生

打込み後のコンクリートは、養生用マット、布等を濡らしたもので覆うか膜養生剤などにより湿潤状態に保たなければならない。湿潤状態に保つ期間については責任技術者の指示を受けなければならない。

【解説】 養生の方法については一般のコンクリートの場合と同様であるが、省エネセメントを使用したコンクリートの凝結時間、強度発現性は省エネセメントの種類によって相違するため、省エネセメントの種類、構造物の規模または外気温度などに応じて湿潤状態に保つ期間を設定する必要がある。湿潤状態に保つ一般的な期間はA型省エネセメントで普通ポルトランドセメントと同じ5日以上、B型およびC型省エネセメントでは中庸熱ポルトランドセメントと同じ7日以上を標準とする。

7.4 型わくおよび支保工の取りはずし

型わくおよび支保工は、コンクリートがその自重および施工中に加わる荷重に耐える強度に達するまで、これを取りはずしてはならない。

【解説】 型わくおよび支保工を取りはずしてよい時期は、土木学会「コンクリート標準示方書・施工編」に示される、「型わくを取りはずしてよい時期のコンクリートの圧縮強度の参考値」を目安にするのがよい。この場合、省エネセメントを使用したコンクリートの強度発現性は省エネセメントの種類によって相違するので、コンクリートが必要な強度に達しているかを判定するために、打込まれたコンクリートとできるだけ同じ状態で養生したコンクリート供試体の圧縮強度を参考にするのがよい。

第8章 試験および品質管理・検査

8.1 工事開始前における試験

工事開始前に、責任技術者の指示に従って、使用材料の試験、コンクリートの配合を定める試験、機械および設備の性能を確認しなければならない。

【解説】 省エネセメントを使用したコンクリートの性質は、省エネセメントの種類、使用材料の種類および使用量、練上り温度などによって異なる。従って、所要の品質のコンクリートを経済的に造るため、工事開始前にできるだけ現場の条件と同じ状態にして、使用材料の適否、コンクリートの配合を定めるための試験を行うことが必要である。機械および設備については一般のコンクリートと同様でよいが、省エネセメントを使用したコンクリートと一般のコンクリートとが交互出荷で製造されるときは、付着コンクリートの影響についての検討が必要であり、それに関連した機械および設備の検討が必要である。

8.2 工事中における試験

工事中、責任技術者の指示に従って、次の試験を行わなければならない。

- (a) スランプ試験
- (b) 空気量試験
- (c) コンクリートの圧縮強度試験
- (d) コンクリートの練上り温度
- (e) その他の試験

【解説】 スランプ試験について 現場におけるコンクリートのワーカビリティを判断するためにスランプ試験が必要である。

空気量試験について 空気量は、コンクリートのワーカビリティ、強度および耐久性に大きく影響するので、AEコンクリートとした場合に空気量が適切であるかどうかを確認するために、空気量試験を行うことが必要である。

コンクリートの圧縮強度試験について コンクリートの圧縮強度はコンクリートの品質を確かめるために必要で、JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に定められた方法によることを原則とする。

一般の構造物の場合には、材齢28日の圧縮強度を基準として設計されることが多いので、材齢28日の圧縮強度によってコンクリートの品質を判断するのがよい。ただし、省エネセメントを使用したコンクリートは、省エネセメントの種類によって強度発現性が異なるので、使用する省エネセメントの種類、適用する構造物、環境条件などを考慮してコンクリートの品質を判断する材齢を定めるのがよい。

コンクリートの練上り温度について コンクリートの温度は、フレッシュコンクリートの性状、温度

上昇量、強度などに及ぼす影響が大きい。従って、コンクリートの練上り温度は適切に管理しなければならない。

その他の試験について その他の試験とは、フレッシュコンクリートの分析試験、コンクリートからコア採取した供試体の強度試験、反発硬度法や超音波法などの非破壊試験などをさす。

省エネセメントを使用したコンクリートは、省エネセメントの種類によって物性が異なるので、それら品質を確認するため、必要に応じてその他の試験を行い、コンクリートの品質を確認するのがよい。

8.3 コンクリートの管理・検査

工事中、責任技術者の指示に従って次の管理および検査をしなければならない。

(a) 圧縮強度によるコンクリートの管理

(b) コンクリートの品質検査

【解説】 (a), (b) について 圧縮強度によるコンクリートの管理およびコンクリートの品質検査は、土木学会「コンクリート標準示方書・施工編」に従ってこれを管理および検査しなければならない。

第9章 設計計算に関する一般事項

9.1 総 則

省エネセメントを使用したコンクリート構造物の設計を行う場合には、コンクリートの品質、施工条件、設置環境等を十分に考慮しなければならない。

【解説】 省エネセメントを使用したコンクリートの特性は、省エネセメントの種類、配合、施工条件によって相違する。また、施工においてはその環境、条件や方法等により要求される事項が異なる。従って、品質や要求される事項を十分に考慮して設計を行わなければならない。

9.2 単位容積質量

コンクリートの単位質量は、試験によって確かめるか、または信頼できる資料に基づいてこれを定める。

【解説】 省エネセメントを使用したコンクリートの単位容積質量は、省エネセメントの種類や配合によって異なるため、試験によって確かめるのがよい。信頼できる資料があれば、それに基づいて定めることができる。

9.3 ヤング係数

- (1) コンクリートのヤング係数は、試験によって確かめるか、または信頼できる資料に基づいてこれを定める。
- (2) コンクリートのヤング係数は、JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従って圧縮強度試験を行い、応力-ひずみ曲線を求め、圧縮応力度の1/3におけるひずみと原点とを結ぶ方法による割線弾性係数を求めるとよい。

【解説】 (1) について 省エネセメントを使用したコンクリートのヤング係数は、省エネセメントの種類や配合によって異なるため、試験によって確かめるのがよい。信頼できる資料があれば、それに基づいて定めることができる。

(2) について コンクリートの応力-ひずみ曲線は直線でないため、ヤング係数は応力レベルで変化する。そこで、設計に用いるヤング係数は、圧縮応力度の1/3におけるひずみと原点とを結ぶ方法により求める割線弾性係数を用いるとよいとした。

9.4 乾燥収縮

コンクリートの乾燥収縮ひずみは、一般に表-3-2に示した値としてよい。

表-3-2 省エネセメントを使用したコンクリートの乾燥収縮ひずみ ($\times 10^{-6}$)

材 齢*	3日以内	3～7日	28日	3ヶ月	1年
屋外の場合	250	200	180	160	120
屋内の場合	400	350	270	210	120

*設計で乾燥収縮を考慮するときの乾燥開始材齢

【解説】 省エネセメントを使用したコンクリートの乾燥収縮は省エネセメントの種類により異なるが、B型およびC型省エネセメントの乾燥収縮は普通ポルトランドセメントとはほぼ同程度であり、A型省エネセメントの場合は普通セメントよりも小さいとの試験結果がある。そこで、省エネセメントを使用したコンクリートの乾燥収縮は、一般のコンクリートと同様に扱ってよいと考えられるため、土木学会「コンクリート標準示方書」に示される値を用いることとした。

9.5 クリープ

省エネセメントを使用したコンクリートのクリープ係数は、一般に試験によって定めることを原則とする。

【解説】 省エネセメントを使用したコンクリートのクリープ係数に関する試験例は少ないため、試験によって定めることを原則とした。ただし、信頼できるデータが得られれば、それを用いてよい。

付録ー 1 省エネセメントの特徴と用途

1. 省エネセメントの特徴

セメント製造においては焼成・粉砕工程で多量のエネルギーを消費するとともに多量のCO₂を発生させる。

セメントの製造段階で、従来活発に使われていなかった未利用資源の廃棄物を積極的に使うことにより、エネルギー消費量やCO₂排出量を10%以上大幅に削減したセメントを省エネセメントということにした。

今回本報告書に記載した省エネセメントは以下の3種類である。

付表ー 1 省エネセメント

試料名	セメントの種類
A型省エネセメント	都市型総合廃棄物（都市ゴミ焼却灰、下水汚泥等）を主原料として製造した省エネセメント
B型省エネセメント	製鋼スラグ、廃珪砂等の産業廃棄物を多量に使用することにより製造したクリンカータイプの省エネセメント
C型省エネセメント	石灰石微粉末と高炉スラグ微粉末との複合混合材で置換した省エネセメント

A型省エネセメントは、都市型総合廃棄物（都市ゴミ焼却灰、下水汚泥等）を主原料として製造した省エネセメントである。焼成温度は通常のポルトランドセメントの場合よりも100～200℃低い1350℃程度のため、焼成用エネルギーが低減され、CO₂の排出量も削減される。さらに、都市ゴミ焼却灰からはCO₂の発生無しにCaO成分が得られるため、CO₂の削減となる。

B型省エネセメントは、原料に製鋼スラグ、廃珪砂等の産業廃棄物を多量に使用し製造したクリンカータイプの省エネセメントである。製鋼スラグ中に含まれる酸化カルシウムを利用することにより、石灰石の使用量を減少させ、クリンカー焼成時の脱炭酸による炭酸ガス発生量および脱炭酸エネルギーを削減する。また、廃珪砂等に含まれるシリカ成分を利用することにより、省資源に寄与する。

C型省エネセメントは、石灰石微粉末と高炉スラグ微粉末との複合混合材で置換した省エネセメントであり、混合材はセメント製造過程における焼成用エネルギーが不要で、セメント焼成過程で発生する石灰石からのCO₂発生がないため、セメントへの混合率とほぼ同率のエネルギーおよびCO₂削減となる。

なお、今回報告書に記載した3種類の省エネセメントについてエネルギー消費量とCO₂排出量を試算したところ、普通ポルトランドセメントと比較して、15%以上が削減できた。（試算結果については、第Ⅱ編 6. を参照のこと。）

省エネセメントの性能の特徴を述べると以下の通りである。

1.1 A型省エネセメント

都市型総合廃棄物を主原料としてセメントを製造するものであり、環境保全、資源循環型社会に貢献するものである。A型省エネセメントの強さ発現性は、早期発現型で、材齢1日、3日強さは早強ポルトランドセメント並である。凝結時間は普通ポルトランドセメントに比べて速いので、凝結調整剤を使用して可使時間を調整する。この結果、硬化コンクリートの物性は全材齢にわたって普通セメントを使用したコンクリートとほぼ同等である。

1.2 B型省エネセメント

クリンカー焼成時に発生する炭酸ガスや燃焼エネルギーの減少および省資源に寄与する。

従来のセメントと同様の取扱いで使用可能である。

水和熱が普通ポルトランドセメントに比較して小さい。

1.3 C型省エネセメント

焼成時の炭酸ガス発生量および焼成エネルギーの減少に寄与する。

混合材を30%混合しているので、水和熱が普通ポルトランドセメントより小さい。

普通ポルトランドセメントに入手が比較的容易な混合材を使用するので、各セメント会社とも製造し易い。

2. 省エネセメントの用途

2.1 A型省エネセメント

A型省エネセメントは塩化物イオン量が多いセメントであるため、鉄筋コンクリートに使用すると鉄筋の発錆の危険性が高い。そこで、A型省エネセメントは鉄筋コンクリートには適用せずに塩素の含有量が規制されない無筋コンクリートに使用することを一般とする。ただし、A型省エネセメントに高炉スラグ微粉末などのコンクリート用混和材を混合してコンクリート中の塩化物イオン量を規定値以下にした場合や、エポキシ塗装鉄筋の使用やコンクリート用防錆剤を使用するなどして鉄筋の発錆に対する十分な措置を講じる場合には鉄筋コンクリートにも適用できる。しかしながら、経済性や汎用性などを考慮し、ここでは無筋コンクリートとしての用途を示す。

①現場打設コンクリート

- ・コンクリート擁壁 ・均しコンクリート ・中詰めコンクリート ・裏込めコンクリート
- ・護岸堤体 ・ダムコンクリート ・仮設物

②工場製品

- ・コンクリートL型ブロック ・境界ブロック ・マンホール側塊 ・歩道版 ・積みブロック
- ・消波ブロック ・無筋コンクリート管

③地盤改良用セメント

2.2 B型省エネセメント

B型セメントは普通セメントと同様の方法で使うことができ、用途も普通セメントを使っている分野に制限なく使うことができる。また、クリンカー構成鉱物のアルミネート相の含有量が少なく、耐硫酸塩性等化学安定性に優れている。しかしながら、普通セメントに比べて初期の強度発現性が低くなることから、配合の考慮をするか、長期の強度が必要なコンクリートに適用することをおすすめする。

これらの特徴を生かした利用分野としての例を下記に示す。

使用例

- ①一般土木用セメント
- ②一般建築用セメント
- ③マスコンクリート用セメント
- ④コンクリート工場製品用セメント
- ⑤地盤改良用セメント

2.3 C型省エネセメント

C型省エネセメントは普通セメントと同様の方法で使うことができ、用途も普通セメントを使っている分野に使うことができる。混合材を30%混合しているので、水和熱が普通ポルトランドセメントよりも小さい特徴がありマスコンクリートに適しているが、普通ポルトランドセメントに比べ不

活性な石灰石微粉末を含むため、初期強度、長期強度ともに普通ポルトランドセメントよりも小さい。

一般の無筋コンクリート、鉄筋コンクリートおよび二次製品等に利用できる。また、水和熱が小さいのでマスコンに適している。

これらの特徴を考慮したC型省エネセメントの用途を以下に示す。

①鉄筋コンクリート

・設計基準強度の比較的小さいコンクリート構造物 ・高流動コンクリート ・コンクリート擁壁

②無筋コンクリート

・ダム内部コンクリート ・ケーソンの中詰めコンクリート ・砂防堰堤の堤体
・捨てコンクリート ・均しコンクリート ・消波ブロック

③工場製品

④地盤改良用セメント

付録一 2 省エネセメントの使用上の注意事項

1. はじめに

省エネセメントを使用したコンクリートは、省エネセメントの種類によりそれぞれ特徴を有するので、その特徴を生かした利用が必要である。また、省エネセメントを使用したコンクリートは、一般のコンクリートと同一の設備によつての取扱いが可能であるが、一般のコンクリートとは物性が異なるため、その使用にあたっては省エネセメントの種類に応じた注意を払うことが必要である。

2. 省エネセメントの使用上の注意事項

2.1 A型省エネセメント

使用上の注意事項

- ① A型省エネセメントの凝結試験(JIS R 5201)による始発時間は25～30分と速い。この性質を生かした利用は有効であるが、一般的には可使時間を確保するために凝結調整剤を使用する。凝結調整剤の使用は強度発現性にも影響するので、試験練りによつてその添加量を定めることが必要である。
- ② 凝結調整剤は、練混ぜ水に事前によく溶かして使用することが必要である。
- ③ コンクリートの練混ぜにおける材料の投入順序は一般のコンクリートと異なる。A型省エネセメントは初期の水和反応が活発なので、骨材とセメントとを投入して空練りを行う方法の場合には、骨材の表面水とセメントとが水和して所要のスランプが得られないことがある。従つて、A型省エネセメントの練混ぜは、骨材の投入後に凝結調整剤を溶かした練混ぜ水を投入して攪拌した後セメントを投入する方法でコンクリートを練混ぜる。
- ④ A型省エネセメントを鉄筋コンクリートに適用する場合には、高炉スラグ微粉末などのコンクリート用混和材を混合して、コンクリート中の塩化物イオン量を規定値以下にすること、また、エポキシ塗装鉄筋を使用するなどの、鉄筋の発錆を防止する手立てを講じる必要がある。

2.2 B型省エネセメント

使用上の注意事項

- ① B型省エネセメントは特に制限なく一般のコンクリートと同様に使用できるが、普通セメントに比べて初期の強度発現性が低くなることから、配合の考慮を必要とする場合がある。長期強度の伸びが良好な特徴を生かした使用が有効である。
- ② 初期の強度発現性が低くなることから、コンクリートの初期の養生を十分に行う必要がある。

2.3 C型省エネセメント

使用上の注意事項

- ① C型省エネセメントは、普通ポルトランドセメントに比べ初期強度、28日強度、長期強度ともに小さいので、初期のコンクリートの養生を十分に行う必要がある。
- ② 同一呼び強度値のコンクリートを得るためには、単位セメント量を普通ポルトランドセメントより増加する必要がある。
- ③ 普通ポルトランドセメントに比べ、中性化速度が大きく、凍結融解に対する抵抗性が若干小さい

傾向がある。耐久性を必要とする構造物に使用する場合は試験により品質を確認する必要がある。

あとがき

省エネセメントの利用技術の開発は、建設省総合技術開発プロジェクト「省資源・省エネルギー型建設技術の開発」の一環として行った「省資源・省エネルギー型土木資材の利用技術の開発」の中で行われたものである。今回、利用技術を開発した省エネセメントは3種類であるが、それらはセメントの原材料や製造方法が異なり、また、セメントおよびコンクリートの性状についてもそれぞれに特徴を有する。それぞれの省エネセメントの性能、使用方法等の詳細は第Ⅱ編および第Ⅲ編付録-1に記載の通りであるが、コンクリートの物性面における最大の特徴は、A型省エネセメントの場合は凝結硬化時間が速いこと、B型およびC型省エネセメントの場合はコンクリートの断熱温度上昇量が小さいことである。それら特徴を生かした使用によって、省エネルギー化の達成のみならず、従来とは異なる要求性能を満足できるコンクリート工事の展開の可能性が考えられる。

現在開発されている省エネセメントを使用したコンクリートの使用方法是、通常のコンクリートとほぼ同様であり、従来の設備、装置によるコンクリート工事が可能である。したがって、現在の汎用セメントが適用される工事に使用されるが、今後、省エネセメントの普及を広めるためにはその特性を積極的に活用するような使用方法の検討が必要であり、また、試験施工などによって、経済性をも含めた省エネセメントの適用についての更なる検討が望まれる。

省資源・省エネルギーおよびCO₂発生量の低減に有効な省エネセメントが、第Ⅳ編の省エネセメント利用技術マニュアル(案)を遵守するとともに関連する規定にしたがって、できるだけ多く使用されることを望んでやまない。

最後に、本省エネセメントの利用技術の開発において、御指導、御助言をいただいた(社)セメント協会・研究所コンクリート研究部長森山容州氏、コンクリート研究部課長代理岩下直義氏、秩父小野田(株)中央研究所開発第1グループグループリーダー小野義徳氏、エコセメントプロジェクトチームサブリーダー福永俊美氏、(株)トクヤマセメント製造部技術課主任城安市氏、セメント製造部技術課主任越智与志貴氏ほか、関係各位に感謝の意を表す。

付 録 「省エネセメントの土質安定処理用 セメント系固化材への利用」

「省エネセメントの利用技術マニュアル(案)」は省エネセメントを使用したコンクリートを対象としている。地球環境を守るため省エネルギーやCO₂削減を行うためには、本マニュアルを利用してコンクリート構造物やコンクリート製品に省エネセメントを利用するとともに、土質安定処理用セメント固化材として省エネセメントを利用すれば、更に省エネセメントの利用範囲が広がり、省エネルギーやCO₂削減に更に貢献できると思われる。

しかし、今回の研究では、省エネセメントを土質安定処理用セメント固化材としての検討は行っていない。よって、省エネセメントを土質安定処理用セメント固化材に使用する際に以下に示す参考文献と「セメント系固化材による地盤改良マニュアル」が(株)セメント協会より出版されているので参考にして頂きたい。ただし、使用に際しては十分な検討を行ってからの使用を望む次第である。

(省エネセメントの利用が書かれている文献)

- ・文献-1 小野, 大森, 田熊: 都市ゴミ焼却灰から製造されるエコセメント, セメント・コンクリート, No. 586, Dec, 1995, P1~P8
- ・文献-2 大森, 内田, 守屋他: 都市ゴミ焼却灰を原料としたセメントによる固化処理土の特性について, 土木学会第51回年次学術講演会, 平成8年9月, P456~P457
- ・文献-3 大森啓至: 環境低負荷型セメント(エコセメント)ー地盤改良への利用ー, 第12回環境学連合講演会, 平成9年1月, P57~P62
- ・文献-13 技術報告: 都市ゴミ灰を利用した特殊セメントの塩素溶出の低減に関する一考察, (株)秩父小野田研究報告, 第47巻, 第1冊, 第130号, 1996, P82~P88

(一般のセメントの利用が書かれている文献)

- ・文献-4 表層地盤安定処理用セメント系固化材: 土木施工, 1988年, Vol. 29, No. 2, P80~P83
- ・文献-5 深層混合処理工事用セメント系固化材: 土木施工, 1988年, Vol. 29, No. 2, P83~P85
- ・文献-6 関口昌男: 地盤改良に用いるセメント, セメント・コンクリート, No. 594, Aug, 1996, P99~P103
- ・文献-7 上, 藤原, 酒井, 牛山: セメント系固化材によるカオリン粘土安定処理土の圧密、剪断特性, 第28回土質工学研究発表会, 平成5年6月, P2549~P2550
- ・文献-8 藤原, 上, 福田, 酒井, 山本, 柳原: 三軸圧縮試験による安定処理されたカオリン粘土の強度特性, 第29回土質工学研究発表会, 平成6年6月, P2311~P2312
- ・文献-9 酒井, 山本, 柳原, 藤原, 上, 福田: 一軸圧縮試験による安定処理されたカオリン粘土の強度特性, 第29回土質工学研究発表会, 平成6年6月, P2313~P2314
- ・文献-10 藤原, 上, 福田, 酒井, 山本, 柳原: セメント系固化材により安定処理された粘土の強度発現特性, 第30回土質工学研究発表会, 平成7年7月, P2199~P2200
- ・文献-11 藤原, 上, 福田, 竹内, 山本, 柳原: セメント系固化材により安定処理されたカオリン粘土の力学的性質(1), 第31回地盤工学研究発表会, 平成8年7月, P169~P170
- ・文献-12 藤原, 上, 福田, 竹内, 酒井, 柳原: セメント系固化材により安定処理されたカオリン粘土の力学的性質(2), 第31回地盤工学研究発表会, 平成8年7月, P171~P172

- ・文献-1 小野, 大森, 田熊: 都市ゴミ焼却灰から製造されるエコセメント, セメント・コンクリート, No. 586, Dec, 1995, P1~P8

都市ゴミ焼却灰から製造される エコセメント

小野 義徳^{*1}

大森 啓至^{*1}

田熊 靖久^{*2}

1. はじめに

エコセメントとはエコ (Ecology = 生態環境) とセメントを合わせた合成語で、近年大きな社会問題となっている都市ゴミ焼却灰や下水汚泥などを主原料として用い、土木建築資材用に再資源化したセメントのことである。

「生活産業廃棄物等高度処理・有効利用技術研究開発事業」が通産省の事業として、平成5年度第二次補正予算の中で実施されることになり、その一つが「都市型総合廃棄物利用エコセメント生産技術」である。

この事業は国が新エネルギー・産業技術総合開発機構 (通称 NEDO) に出資し、NEDO が財クリーン・ジャパン・センターに委託しているものである。

エコセメントの研究テーマの協力企業である秩父小野田(株)は、三河小野田セメント(株)の敷地内に

日産50tの実証プラントを設置して研究開発に努めている(写真1)。

エコセメントの品種は焼却灰を用いた原料調合により、①アリナイト型、②アリナイト-カルシウムクロロアルミネート型、③エーライト-カルシウムクロロアルミネート型の3種類がある。

本稿では、主として焼却灰の原単位の向上とセメントの低塩素化を考慮して試製したエーライト-カルシウムクロロアルミネート型のエコセメントの概要と、このセメントを用いたコンクリートの諸性状や用途、また固化材への適用について述べる。

2. エコセメントの製造と性質

2-1. 製造

エコセメントを1t造るのに必要な原料の一例は、図1に示すように焼却灰0.5t、下水汚泥0.3t、

^{*1} 秩父小野田(株) セメント・コンクリート研究所 参事研究員
^{*2} 同 上 参事補研究員

ECOCEMENT PRODUCED FROM URBAN GARBAGE INCINERATED ASH
(by YOSHINORI ONO, et al.)

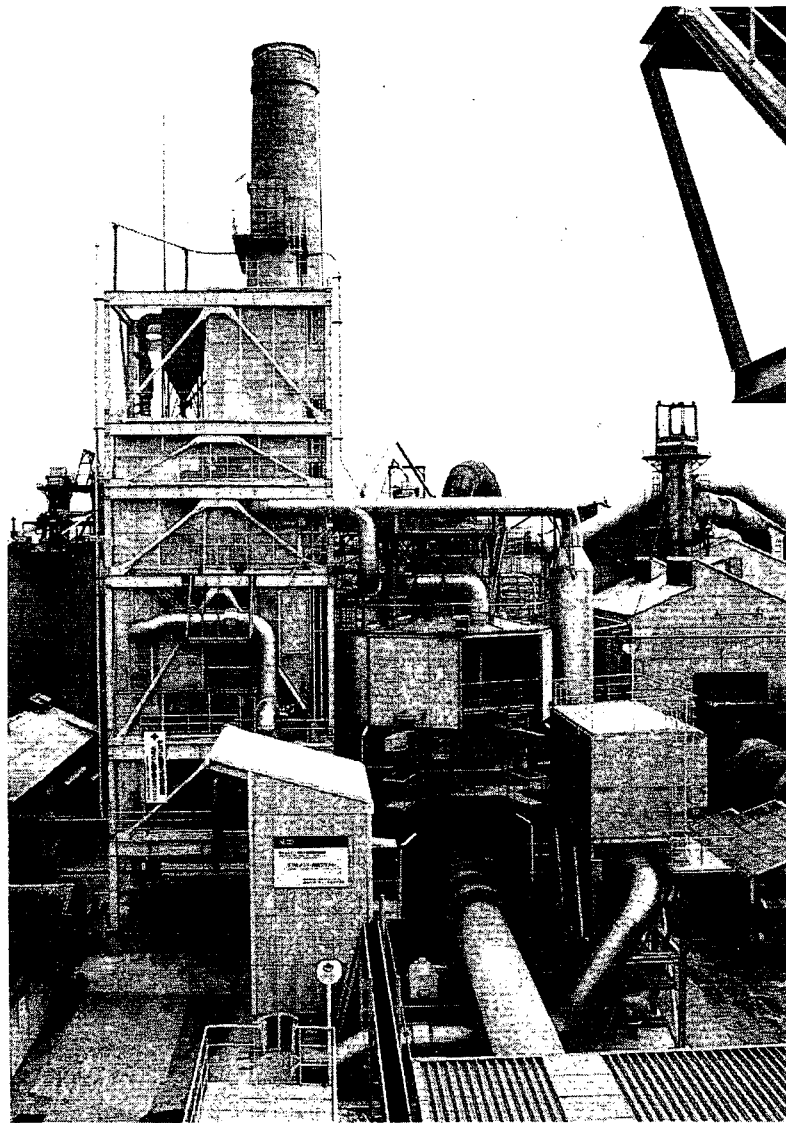
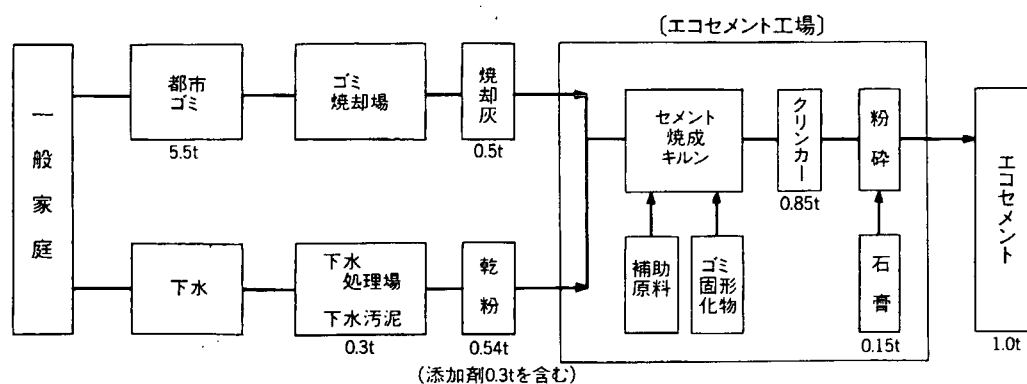


写真1 実証プラント

図1 エコセメントを1t造るには



化学成分を調整するための添加剤0.3tである。これらが「原料調合工程」、「焼成工程」を経てクリンカー0.85tになり、最後の「仕上げ工程」で石膏0.15tを加えてできあがる。

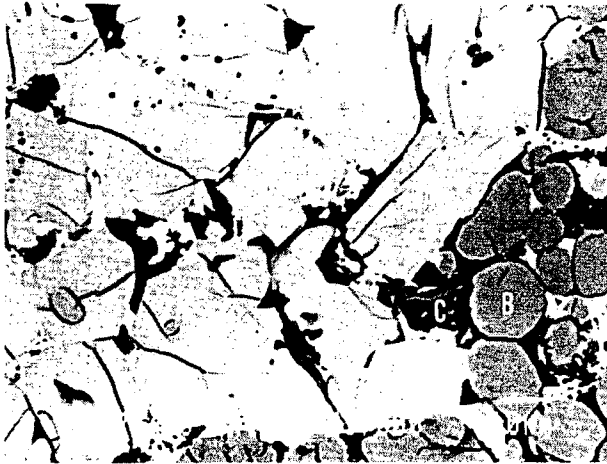
2-2. 化学成分と鉱物組成

(1) 化学成分と鉱物組成

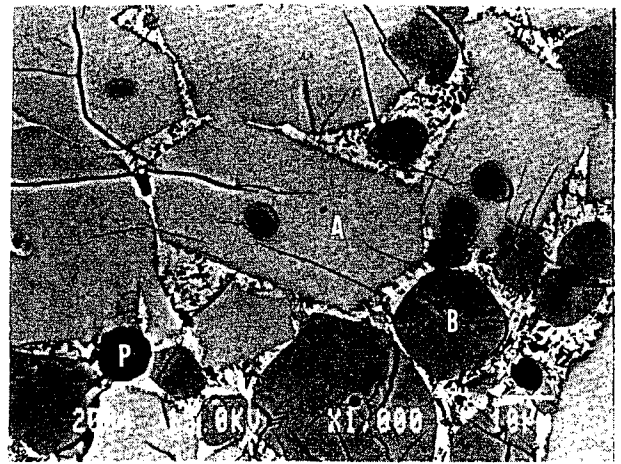
エコセメント(エーライト-カルシウムクロロアルミネート型)の化学成分および鉱物組成を普通

表1 エコセメントの化学成分および鉱物組成

	化学成分(%)											鉱物組成(%)				
	ig.loss	insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	Cl	Total	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₁₁ A ₇ ·CaCl ₂	C ₄ AF
エコセメント	0.8	0.2	15.2	10.2	1.9	60.3	1.4	8.8	0.7	0.5	100.0	68.1	4.5	—	24.1	3.3
普通セメント	0.6	0.1	22.2	5.1	3.2	65.1	1.4	1.6	0.7	0.0	100.0	52.7	23.5	8.2	—	9.7



エコセメント[エーライト-カルシウムクロロアルミネート型]



普通ポルトランドセメント

写真2 クリンカー研磨面の背面反射像

(A: エーライト B: ビーライト C: カルシウムクロロアルミネート P: 空隙)

セメントと比較したものを表1に示す。エコセメントの化学成分は普通セメントと比べて、酸化アルミニウム(Al₂O₃)、三酸化イオウ(SO₃)および塩素(Cl)が多く、二酸化珪素(SiO₂)は少なくなっている。

またエコセメントの鉱物組成は、アルミン酸三カルシウム(C₃A)の代わりにカルシウムクロロアルミネート(C₁₁A₇·CaCl₂)が存在することが大きな違いであり、それ以外では普通セメントと同様にケイ酸三カルシウム(C₃S)、ケイ酸二カルシウム(C₂S)、鉄アルミン酸四カルシウム(C₄AF)を主な構成鉱物としている。

エコセメントクリンカー中のエーライトとビーライトは、写真2に示すように普通ポルトランドセメントクリンカーとほぼ同様にそれぞれ六角柱形と丸形の自形を有しているが、共にひとまわり小さい粒径である。これは、焼成温度が普通ポルトランドセメントよりも低いことが大きな要因で

あると考えられる。エコセメント中のカルシウムクロロアルミネート粒子は数μm以下の小さい粒子で、エーライトとビーライトの間に集合して存在する。

(2) 物理的性質

エコセメントの物理的特性を表2に、水和熱を表3に、またJIS R 5201による強さ試験結果を図2に、それぞれ普通セメントおよび早強セメントと対比して示す。エコセメントには、

- ① 凝結時間が大幅に短い
- ② 水和熱は、材令7日では早強セメントよりも低く、普通セメントよりも高くなっているが、材令28日では早強および普通セメントのいずれよりも低い
- ③ 凝結遅延剤無添加のJISモルタル強さは、材令1日ないし3日で早強セメント、材令7日で普通セメントと同等またはそれ以上であるが、材令28日では普通セメントよりも7%

表2 エコセメントの物理的特性

	比重	粉末度 (cm ² /g)	凝 結	
			始発 (h-min)	終結 (h-min)
エコセメント	3.13	4,300	0-28	0-42
早強セメント	3.13	4,340	2-08	3-15
普通セメント	3.17	3,220	2-22	3-20

表3 エコセメントの水和熱

	水和熱(J/g, cal/g)	
	7 日	28 日
エコセメント	340, 81.2	364, 87.0
早強セメント	348, 83.1	389, 92.9
普通セメント	301, 72.0	376, 89.8

図2 セメント強さ

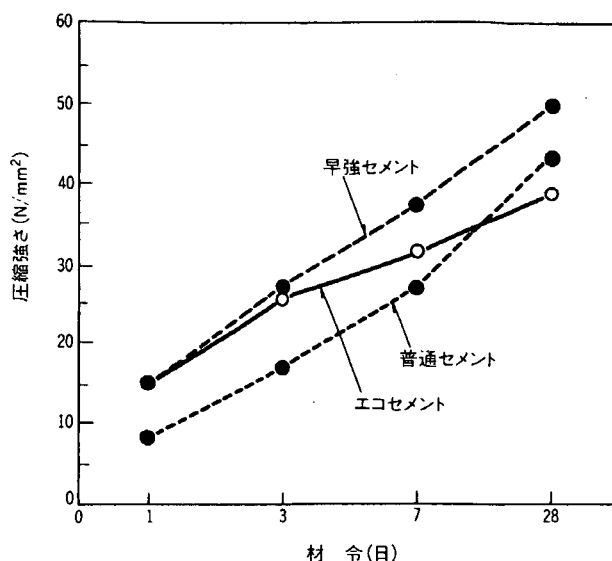


表4 コンクリートの配合・スランプおよび空気量

	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)							スランプ (cm)	空気量 (%)
			水	セメント	細骨材	粗骨材	AE 減水剤	助剤	凝結遅延剤		
エコセメント コンクリート	45	43	152	338	780	1046	C×0.25%	3.5A	C×0.4%	11.0	4.4
	55	44		276	821	1057				11.5	4.4
	65	45		234	855	1057				11.0	4.2
普通コンクリート	45	43	160	356	766	1028	2.1A	—	—	10.0	4.8
	55	44		291	808	1040				10.5	4.8
	65	45		246	843	1042				9.0	4.4

注) 細骨材: 小笠産陸砂, 粗骨材: 岩瀬産砕石, AE 減水剤: リグニン系, 凝結遅延剤: 有機酸系

表5 凝結時間とブリーディング率

		エコセメント コンクリート	普通 コンクリート
凝結時間	始発(h-min)	3-10	7-15
	終結(h-min)	5-28	9-20
ブリーディング率(%)		0.16	3.1

程度小さい

といった特徴があり, どちらかといえば早強型のセメントである。しかし, このセメントに凝結遅延剤や適切な混合材を添加することで, 可使用時間の確保や強度向上を図ることが可能である。

3. コンクリートの性状

3-1. フレッシュコンクリートの性質

エコセメントコンクリートと普通ポルトランドセメントを用いた普通コンクリートの配合・スランプおよび空気量を表4に示す。

水セメント比55%のエコセメントコンクリートと普通コンクリートの, スランプの経時変化を図3に, 凝結時間およびブリーディング率を表5に示す。エコセメントコンクリートの経時変化に伴うスランプの低下は, 適切な凝結遅延剤添加率で普通コンクリートのそれと同程度となる。エコセメントコンクリートの凝結時間は普通コンクリートのそれと比較して短く, ブリーディング率はきわめて小さい。

図3 スラブの経時変化

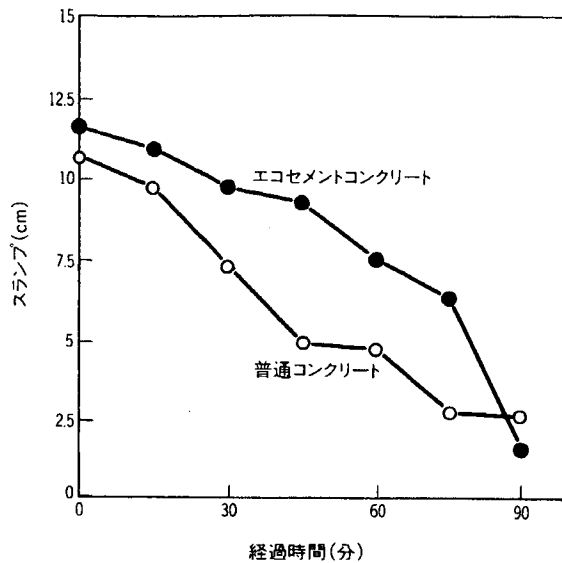
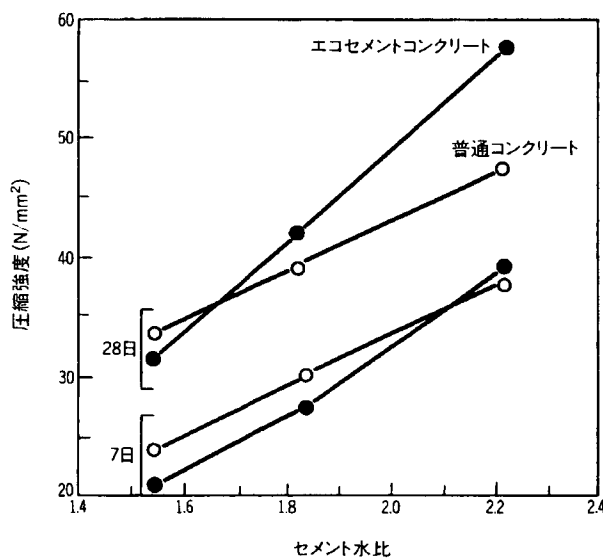


図4 セメント水比と圧縮強度



3-2. 硬化したコンクリートの性状

エコセメントコンクリートのセメント水比と圧縮強度の関係は、図4に示すように材令7日および28日のいずれも普通コンクリートと同様にほぼ直線関係にある。しかし、その傾きは普通コンクリートと異なり、凝結遅延剤を添加したエコセメントコンクリートの圧縮強度は、水セメント比が小さいほど普通コンクリートよりも優位性が認められる。

図5を見ると、材令91日における水セメント比55%のエコセメントコンクリートの乾燥収縮率は、普通コンクリートのそれと比較して 2.2×10^{-4} 小

図5 水セメント比55%コンクリートの乾燥収縮率

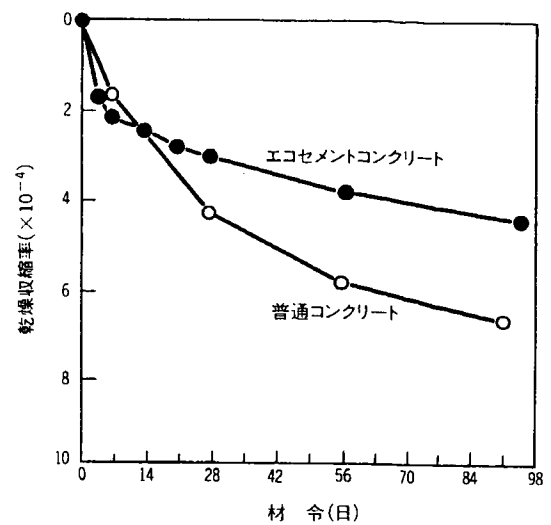
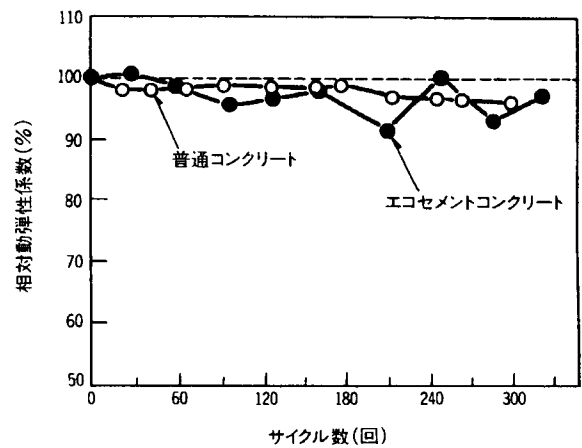


図6 水セメント比55%コンクリートの凍結融解抵抗性



さい。

また図6によると、エコセメントコンクリートの凍結融解試験による耐久性指数は普通コンクリートと同様に高い。

3-3. コンクリート分野への用途

エコセメントは塩素イオン含有量が1%程度と多いので鉄筋の発錆が促進される。そのため用途展開は今後の大きな課題であるが、以下への適用が考えられる。

- ① RCCPを含む道路舗装コンクリート分野
- ② RCDを含むダム用コンクリート分野
- ③ 消波ブロック・魚礁・藻礁・海底山脈等の海洋コンクリート分野
- ④ ブロック製品等の無筋コンクリート分野

図7 湿空養生条件における材令と一軸圧縮強さの関係

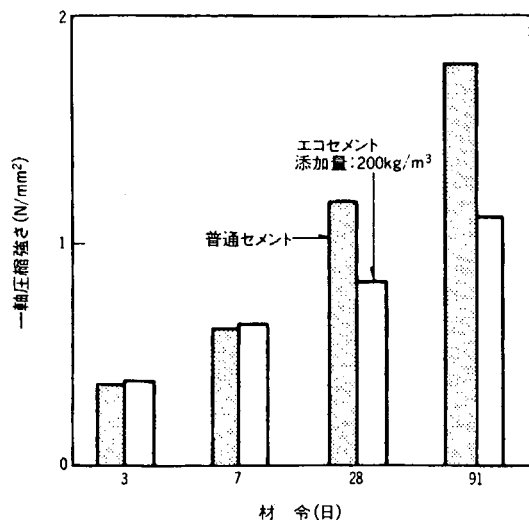


図8 水中養生条件における材令と一軸圧縮強さの関係

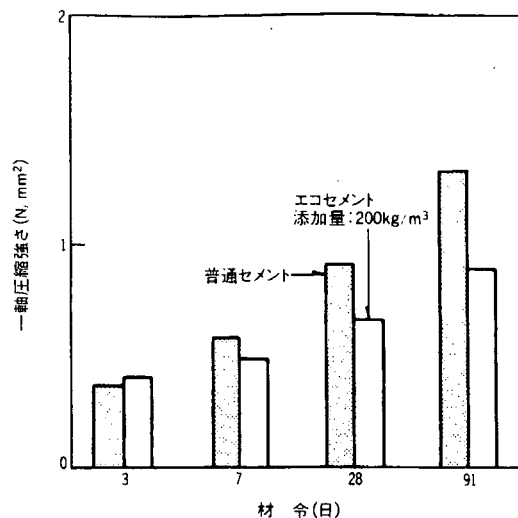


表6 エコセメント固化体からの塩素イオンの溶出量

固化体中のCl ⁻ 含有率 (mg/kg)	材令 (日)	養生水中のCl ⁻ 濃度 (mg/ℓ)	拡散係数 (cm²/s)
980	3	11	7.25×10^{-10}
	7	16	4.53×10^{-10}
	28	22	1.57×10^{-10}
	91	29	0.64×10^{-10}

- ⑤ 吹付けコンクリート・泡モルタル分野
- ⑥ 木毛セメント板・竹繊維セメント板等の繊維補強分野
- ⑦ ALC等の有筋防錆コンクリート分野

4. エコセメントの固化材への適用検討

エコセメントを固化材として使用する場合は、特性を普通セメントと比較して示す。

水セメント比100%のスラリー状態で、含水比50%に調整した粘性土(分類記号CL, 液性限界=34.7%, 塑性限界=16.7%)に対し、200kg/m³の割合で添加し、異なる条件で養生した後、所定の材令で一軸圧縮強さを測定した。養生方法は、恒温室内でポリ袋中に密封する湿空養生、供試体容積の10倍の純水中に浸漬する水中養生の2種類とした。なお水中養生のものについては、養生水中の塩素イオン濃度の分析を実施した。

湿空および水中養生における材令と一軸圧縮強さの関係をそれぞれ図7, 8に示す。いずれもエコセメントは3日材令で普通セメントを上回る強さを示したが、28日以降は普通セメントの60～70%レベルの強さであった。

水中養生における各材令での養生水中への塩素イオン溶出濃度と拡散係数を表6に示す。表中の拡散係数は、Fickの拡散則が成り立つと仮定して、逆算して求めたものである。この結果、塩素イオン濃度は、10～30mg/ℓであり、静水中への溶出濃度は、91日材令まで上水の規定値である200mg/ℓを上回らないことが明らかになった。

また拡散係数も低減する傾向にあることが認められた。

5. エコセメントの有害物質

5-1. エコセメント中の金属類の含有と溶出

都市ゴミ焼却灰は一般家庭から出る廃棄物を燃焼させた灰であるため、例えば食品中の食塩に起因する塩素を含有している。また乾電池のように金属などからなるゴミを燃やした灰も含んでいるので、重金属類も含有している。

一方、エコセメントを造る工程の目的は、都市

表7 エコセメント(クリンカー)の重金属類含有量例(mg/kg)

水準	T-Hg	Cd	Pb	As	CN	Cu	Zn	F	O-P	Cr ⁶⁺	T-Cr	PCB
1	ND	ND	3.5	3.5	ND	670	2000	130	ND	ND	91	ND
2	ND	ND	1.0	2.4	ND	340	1400	98	ND	ND	80	ND
3	ND	ND	1.7	1.2	ND	170	500	150	—	—	41	—
4	ND	0.3	0.4	0.7	ND	140	940	93	—	—	65	—
5	ND	ND	1.4	1.7	ND	49	600	78	—	—	58	—
6	ND	ND	ND	0.3	ND	240	480	170	—	—	36	—

ND : No Detected

表8 重金属添加クリンカーの重金属類含有量(mg/kg)

T-Hg	Cd	Pb	As	CN	Cu	Zn	F	O-P	Cr ⁶⁺	T-Cr	PCB
ND	2.3	21	ND	ND	3100	13000	98	—	ND	290	ND

ND : No Detected

表9 重金属添加エコセメントの重金属類溶出量(mg/l)

試料条件		Cd	Pb	Cu	Zn	Cr ⁶⁺	As	Cl ⁻
モルタル	1日養生	ND	ND	ND	0.01	ND	ND	130
	3日養生	ND	ND	ND	ND	ND	ND	110
	7日養生	ND	ND	ND	Tr.	ND	ND	100
	28日養生	ND	ND	ND	ND	ND	ND	93
水道水水質基準値		<0.01	<0.05	<1	<1	<0.05	<0.01	<200

ND : No Detected

ゴミ焼却灰を主体にした原料を1300℃以上の高温に保ち、エコセメント鉱物を作り出すことである。この鉱物の生成は原料の化学成分と焼成温度によってなされるので、化学成分を調整した原料を、厳密に温度管理した窯炉の中に入れて焼成される。この過程で都市ゴミに含まれている塩素や金属類は、エコセメント鉱物の構成元素になるか、あるいはその鉱物の中に溶け込んで(固溶して)固定される。このため塩素や金属類の大部分は安定した状態でエコセメントに含まれることになる。

この結果、エコセメントを用いたモルタルやコンクリートなどの硬化体から溶け出す塩素や金属類はきわめて微量なものとなる。環境に関する法規制にはいくつかの基準値が設けられているが、いずれに対しても十分な余裕を持ってクリアしている。

5-2. エコセメント(クリンカー)中の重金属含有量

都市ゴミ灰を焼却して製造したクリンカーの重

金属類含有量例を表7に示す。

エコセメント鉱物の生成を左右する重金属類以外の化学成分を調整した結果、水準1のクリンカー中の重金属含有量を見れば、Cu, Zn含有量がそれぞれ、50~700, 500~2000mg/kg程度である。

5-3. エコセメント硬化体からの重金属類の溶出量

ここには結果を記載していないが、各水準のエコセメント硬化体からの重金属溶出量は、含有する可能性があつて規制が設けられているCd, ZnおよびPbについて試験したところ、測定検出限界以下であった。すなわち、重金属溶出量は環境基準以下であることが確認された。そこで、特別に試薬重金属を添加し、意図的に重金属含有量を増加させた特別なクリンカーを試製した。このクリンカー中の重金属類の含有量を表8に、またJIS R 5201によるモルタル硬化体からの重金属溶出量を表9に示す。含有量の多いZn, CuおよびPbのいずれの溶出量も測定検出限界以下であり、塩

素イオンの溶出も含めて、水道水の水質基準をクリアしている。

6. むすび

エコセメントは、埋め立てるしか処分方法のなかった都市ゴミ焼却灰を、有用な建設資材として生まれ変わらせるためにできた資源再利用型セメ

ントである。都市ゴミ焼却灰に塩素の一部が含まれているために、JIS規格には適合しない特殊なセメントであり、普通ポルトランドセメントと比較して凝結時間、強度発現、鉄筋の発錆など異なった挙動を示すので、現段階での用途は限られており、用途開発が今後の重大なテーマである。

読者各位の御指導・御教示を宜しくお願い申し上げます。

- ・文献-2 大森 内田, 守屋他: 都市ゴミ焼却灰を原料としたセメントによる固化処理土の特性について, 土木学会第51回年次学術講演会, 平成8年9月, P456~P457

III-B 228

都市ゴミ焼却灰を原料としたセメントによる固化処理土の特性について

秩父小野田(株) 正会員 ○大森啓至 内田晃一
守屋政彦 磯田英典
丸田俊久

1. はじめに

都市ゴミ焼却灰は、年間約600万トンもの量が排出されているため、処分場容量の不足が大きな社会問題となっており、セメント原料としての利用研究に期待が寄せられている¹⁾。ここでは、都市ゴミ焼却灰から製造されたセメントを地盤改良材として用いた場合の固化処理土物性について報告するものである。なお都市ゴミ焼却灰中には塩化物が含まれているため、ここで用いたセメントは、アリナイトおよびカルシウムクロロアルミネート等の塩素を構成元素とする鉱物を含んだ環境調和型セメント（以後エコセメントと記述する）と称するものである。

2. 実験概要

実験は、表-1に示す物理的特性を有する試料土（栃木県産乾燥粘土）を表-2に示す3種類のエコセメントおよび比較として普通ポルトランドセメントによって固化処理を実施した場合、各種養生条件での固化処理土の一軸圧縮強さを調べた。さらに、固化処理土から養生水中への塩素イオンならびに重金属の溶出試験を実施した。

2.1 実験方法

固化処理土の供試体は、「安定処理土の締固めをしない供試体製作方法」に準じて、含水比50%に調整した試料土に対して、200kg/m³に相当するセメントを水材料比100%に調整したスリ-として添加して成形を行った。湿空養生は、20℃湿度80%以上の恒温恒湿室で行い、水中養生は20℃かつ供試体容量の10倍量のイオン交換水中で行った。また、一部は同様に人工海水養生を実施した。塩素イオン濃度は、養生水（養生水交換無し）を各材齢時に採水し、電位差滴定法によって測定した。重金属の溶出は湿空養生供試体を用い、環境庁告示第46号に従って実施した。

2.2 実験結果および考察

(1) 固化処理土の一軸圧縮強さ

エコセメントおよび普通セメント固化処理土の1年材齢までの湿空ならびに水中養生条件における材齢と一軸圧縮強さの関係を図-1、図-2に示す。いずれの場合もアリナイトを主要鉱物とするエコセメントAは、材齢91日以降の強度発現が普通セメントを上回り、カルシウムクロロアルミ

ネートを多く含むエコセメントBは、逆に材齢3日までの強度が優れた速硬タイプの特性を示した。さらに人工海水に28日漬浸した場合の一軸圧縮強さを湿空養生と比べた結果を図-3に示す。耐海水性に関して、エコセメントAおよびCは、普通セメントに比べて優れた性能を示し、エコセメントBもほぼ同等な性能を

表-1 試料土の物理的特性

土粒子の密度(g/cm ³)		2.681	液性限界 (%)	34.7
調整含水比 (%)		50.0	塑性限界 (%)	16.7
粒 度	礫 分 (%)	0	塑性指数 (%)	18.0
	砂 分 (%)	4.5	pH	8.8
	シルト分 (%)	41.0	分類名	粘質土
	粘土分 (%)	54.5	分類記号	CL

表-2 使用したセメントの特性

セメント種類	タイプ	化学成分						
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Cl
セメント A	普通型	21.9	4.7	2.6	61.0	3.1	1.7	3.88
セメント B	速硬型	12.1	11.6	3.4	57.7	1.4	10.8	1.03
セメント C	速硬型	21.9	12.5	1.9	49.9	4.0	6.4	0.50
OPC	—	21.2	5.4	2.8	63.8	1.5	1.9	0.002

注) OPC は普通セメントを表す。

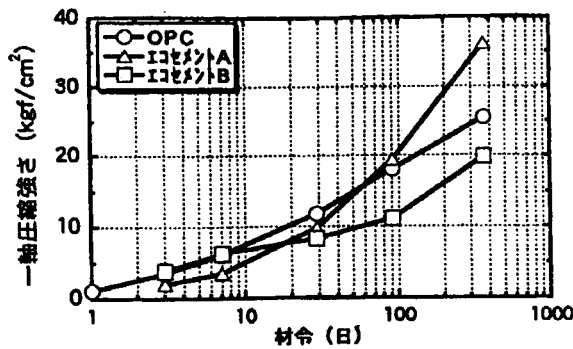


図-1 湿空養生における一軸圧縮強さ

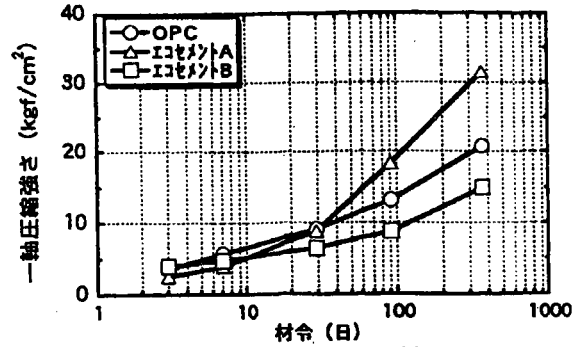


図-2 水中養生における一軸圧縮強さ

示すことが認められた。

(3) 固化処理土の塩素イオン溶出特性

エコセメントAおよびBによる固化処理土供試体（ $\phi 100 \times h 100$ mm）について、水中養生時の浸漬材齢と養生水中の塩素イオン濃度との関係を表-3に示した。表中の拡散係数は、Fickの法則が成り立つものとして算出したものである²⁾。固化処理土供試体からの塩素イオンの溶出量は、浸漬日数とともに低減傾向にあり、拡散係数も91日材齢で3日材齢の約1/10以下となった。特に、塩素含有量の比較的小さいBについては、溶出量も数十ppmのオーダーであることが分かった。エコセメント固化処理土中の塩素含有量自体はBはAの約1/3であるが、溶出量は約1/10となっており、塩素を含むセメント鉱物の種類と量の相違によるものと考えられる。

(4) 固化処理土の重金属等の溶出分析

湿空養生を実施した固化処理土供試体について、土壌中の重金属の溶出試験を実施した例を表-4に示した。エコセメント固化処理土からの溶出量は、土壌環境基準の溶出量I³⁾以下であることが認められた。

3. まとめ

エコセメントをスラリーで添加した固化処理土に関する実験から以下のことが明らかとなった。

- (1) 湿空・水中いずれの養生条件においても一年材齢の一軸圧縮強さは、普通セメントの約80~150%レベルとなった。
- (2) 固化処理土からの養生水への塩素イオンの拡散係数は、91日材齢では、3日材齢の約1/10以下となった。
- (3) 重金属等の溶出については、土壌環境基準の溶出量I以下に抑えることが可能である。

参考文献

- 1) 尾花博：エコセメントの製造技術の開発，PLASPIA No. 88，pp16~23，'94年
- 2) 廣田綱蔵：反応速度（共立全書 127），pp140~150，'36年
- 3) 環境庁水質保全局：重金属等に係わる土壌汚染調査・対策指針，'94年

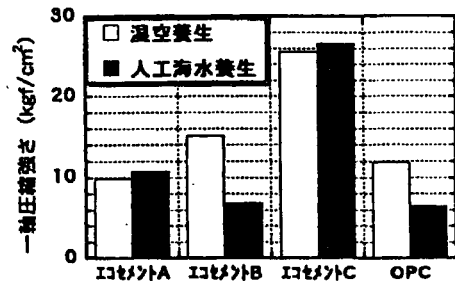


図-3 人工海水養生における一軸圧縮強さ（材齢28日）

表-3 固化処理土からの塩素イオン溶出量

セメント種類	固化処理土中のCl含有量 (mg/kg)	浸漬日数 (d)	養生水中Cl ⁻ 濃度 (mg/l)	拡散係数 (cm ² /sec)
エコセメントA	3680	3	140	6.68×10^{-9}
		7	180	2.90×10^{-9}
		28	280	0.75×10^{-9}
		91	310	0.22×10^{-9}
エコセメントB	980	3	11	7.25×10^{-10}
		7	16	4.53×10^{-10}
		28	22	1.57×10^{-10}
		91	29	0.64×10^{-10}

表-4 土壌中重金属の溶出試験結果

物質	溶出量I (mg/l)	エコセメントB 固化処理土 (mg/l)	エコセメントC 固化処理土 (mg/l)
Cd	0.01	0.00	0.00
Cu	ND	ND	ND
Pb	0.01	0.00	0.00
Cr(VI)	0.05	0.03	0.00
As	0.01	0.00	0.00
Hg	ND	ND	ND
PCB	ND	ND	ND
Se	0.01	0.00	0.00

注)ND:不検出，材齢は28日

- ・文献－3 大森啓至：環境低負荷型セメント（エコセメント）－地盤改良への利用－，第12回環境工学連合講演会，平成9年1月，P57～P62

環境低負荷型セメント (エコセメント) — 地盤改良への利用 —

ECOCEMENT MADE FROM MUNICIPAL SOLID WASTES — INVESTIGATION OF THE
APPLICABILITY OF ECOCEMENT TO A SOIL STABILIZER

大森啓至

Hiroshi OHMORI

ABSTRACT ; The outline of the special cement designated as ECOCEMENT, which has been developed in order to utilize municipal solid waste as a raw material, and its applicability to a soil stabilizer are described in this paper. Based on the results of the laboratory experiments, the amounts of heavy metals eluted from the soil specimens hardened by ECOCEMENT are below the environment standard. It is, however, necessary to develop suitable geotechnical applications taking account of the quality level of ECOCEMENT, because the contents of heavy metals vary according to the type of raw materials.

KEYWORDS ; SOIL STABILIZER, UTILIZATION, MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATION ASH

1. はじめに

地盤工学会においても、最近の地球環境問題の逼迫と社会状況を反映して「環境地盤工学」に関する研究の重要性がますます高まりつつある。平成5年度には「環境地盤工学と地球環境問題に関する研究委員会」(名古屋大学教授:植下委員長)と「産業廃棄物の処理と有効利用に関する研究委員会」(京都大学教授:嘉門委員長)のふたつの研究会が設置された。後者では平成8年7月に「地盤工学における廃棄物の処理と有効利用に関する調査報告書」¹⁾が取りまとめられたが、筆者も当委員会の末席に加えていただいた経緯がある。本文は委員会で一部話題提供を行ったテーマについて、委員会と離れて現在の進捗を報告するものである。

一般廃棄物に分類されるわが国の都市ゴミ発生量は、平成2年に5000万トンを超え、平成4年度の調査時点においてもほぼ同量を排出してきた。この中で一部は金属資源の回収、生ゴミの堆肥化等の有効利用がなされているが、大半は処分場での埋立てにま

わっているのが現状である。したがって、減容化を目的に焼却処分がなされているものの、焼却残渣状態で約600万トンもの量を最終処分しなければならない状況にある²⁾。

また、下水処理場から発生する下水污泥も平成4年度の調査では、各種污泥や焼却灰の形態で約400万トン発生しており、この中で有効利用されているものは約12%余りにしかすぎない³⁾。

一方、処分場の容量面では、受け入れ可能残余年数が全国的にみて7~8年とされていること⁴⁾ならびに新たな最終処分場の確保が極めて困難な状況にあること等から、発生量の抑制、減容化は勿論のこと資源化利用がますます重要な課題とされている。

ここに報告する「環境低負荷型セメント」(以下エコセメントと記述)とは、都市ゴミ焼却灰および下水污泥のような都市型総合廃棄物を原料とした特殊セメントをいう。エコセメントは最終処分場不足への対処、石灰石資源の節約、クリンカー焼成温度の低減化等の面から、一種の省エネルギー型セメント

* 秩父小野田株式会社, Chichibu Onoda Cement Corporation
地盤工学会, The Japanese Geotechnical Society

の一つとして評価を得ており⁴⁾、環境負荷低減型セメントともいえる。この製造技術開発は、平成5年通産省の事業として認可され、国が新エネルギー開発機構(NEDO)に出資し、NEDOが(財)クリーン・ジャパン・センターに委託を行い、秩父小野田(株)他2社が研究協力する形式で平成8年度末に終了予定となっている^{5) 6)}。一方、エコセメントは、都市ゴミ焼却灰から持ち込まれた塩素を含有するセメントであるために、その用途としては、鉄筋の腐食対策等を要しない無筋コンクリートならびに地盤改良分野への適用が考えられている。ここでは、エコセメントの製造ならびに物性の概略を紹介し、地盤改良への利用のための基礎的な検討経過を報告するものである。

2. エコセメントの概要^{7) 8) 9)}

2. 1 製造

日産50トンの実証プラントにおけるエコセメントの製造は、図-1に示すような製造フローに基づいて実施されている。これまでセメントプラントと異なる主要な点は、都市ゴミ焼却灰等の原料中に含まれる塩素、重金属類等が系外へ排出されないような排ガス処理と焼成工程における低融点化合物の生成による影響軽減に工夫を要したことである。排ガスについて実証プラントにおける実績値を概括すると、重金属類は排出基準以下であり、塩化水素は不検出であった。また、ダイオキシンについても、厚生省のガイドライン $0.5\text{ng}/\text{Nm}^3$ に対してこれを充分達成できている⁸⁾。

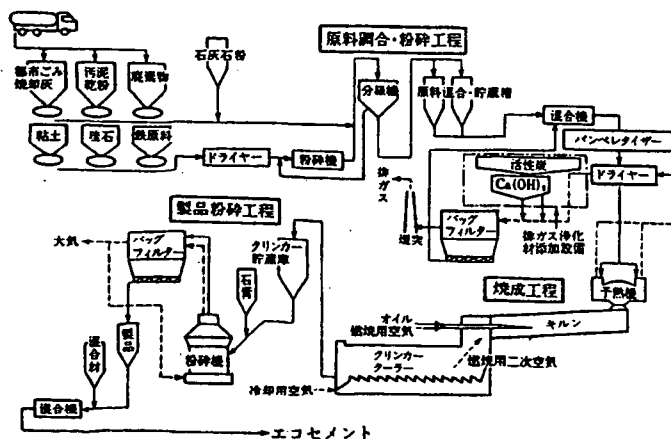


図-1 エコセメントの製造フロー

2. 2 基本物性

エコセメントは、原料調合量、焼成温度等により基本的には、生成鉱物の組成割合が異なる以下の3種類のものをつくることができる。

- 1-ライト-カルシウムクロロアルミネート系
- 7-ライト-カルシウムクロロアルミネート系
- 7-ライト系

本稿では、主としてタイプaに属するエコセメントについて述べる。

表-1は、エコセメントの鉱物組成を普通セメントと比較した一例である。エコセメントの鉱物組成が普通セメントと大きく異なるのはアルミン酸三カルシウム(C_3A)に代わり、カルシウムクロロアルミネート($C_{11}A_7 \cdot CaCl_2$)から成っている点である。

表-1 エコセメントの鉱物組成例

セメントの種類	鉱物組成(%)				
	C_3S	C_2S	C_3A	$C_{11}A_7 \cdot CaCl_2$	C_4AF
エコセメント	68.1	4.5	—	24.1	3.3
普通セメント	52.7	23.5	8.2	—	9.7

エコセメントの物理的性質およびモルタルとしての強さ試験結果(JIS R 5201)をそれぞれ表-2および図-1に示す。この結果より、エコセメントは早強セメントよりも凝結時間が短く、モルタル強さも初期材齢では早強セメントに近いものを示しており、速硬性のセメントであるといえる。

表-2 エコセメントの物理的性質

セメントの種類	比重	粉末度 (cm^2/g)	凝 結	
			始発 (hr-min.)	終結 (hr-min.)
エコセメント	3.13	4,300	0-28	0-42
早強セメント	3.13	4,340	2-08	3-15
普通セメント	3.17	3,220	2-22	3-20

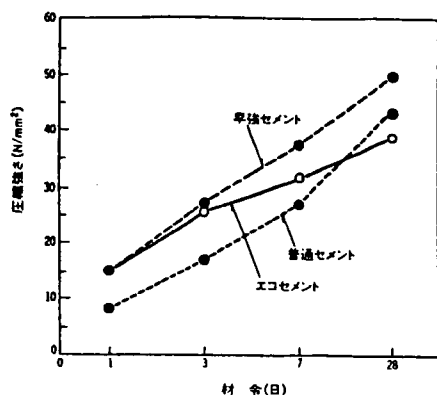


図-2 エコセメントの強さ

3. 地盤改良材としての基礎的検討¹⁰⁾

3. 1 検討概要

用いた試料土の物理的性質を表-3に示す。固化性能の基本的性質を調べるための一軸圧縮試験、塩素の溶出試験、固化処理土からの重金属等の溶出試験については、栃木県産乾燥粘性土を用いた。また植生への影響調査には、千葉県産の関東ロームを使用した。

エコセメントは、表-4に示すとおり、原則としてタイプaのものを基本（エコセメントⅠ）に普通セメント（OPC）と比較対照した。また、一部には、高炉水砕スラグを添加して混合セメント化したもの（エコセメントⅡ）も用いた。

表-3 試料土の物理的性質

土の種類	分類	含水比 (%)	土粒子密度 (g/cm³)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	粒 度 (%)		
						砂分	シルト分	粘土分
乾燥粘土	CL	50.0	2.681	34.7	16.7	4.5	41.0	54.5
関東ローム	WH ₂	112.3	2.612	121.6	84.6	4.5	59.5	36.0

表-4 使用したセメントの種類

セメントの種類	化 学 成 分 (%)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Cl
エコセメントⅠ	12.1	11.6	3.4	57.7	1.4	10.8	1.03
エコセメントⅡ	21.9	12.5	1.9	49.9	4.0	6.4	0.50
普通セメント	21.2	5.4	2.8	63.8	1.5	1.9	0.002

3. 2 検討方法

固化処理土の供試体の作製は、「安定処理土の締め固めをしない供試体作製方法」（地盤工学会基準 JGS T 821-1990）に準じて、含水比50%に調整した試料土に対して、200kg/m³に相当するセメントを水材料比100%のスラリー状態で添加して作成した。養生方法は、20℃湿度80%以上の恒温恒湿室にて行い湿空養生は供試体をポリ袋内で密封、水中養生は供試体の10倍容積のイオン交換水中で行った。また、28日材齢のみ、同様に10倍容積の人工海水中に浸漬した養生も実施した。

塩素イオン濃度は、水中養生における養生水（養生水の交換なし）を各材齢時に採水して、電位差滴定法によって、測定を行った。重金属等の溶出量は湿空養生供試体を用いて、環境庁告示第46号に従って測定した¹¹⁾。

植生に及ぼす影響については、土耕ポット栽培法による植栽試験における成育調査と pH および電気伝導度（EC）の測定を実施した。試料土は関東ロームの乾燥重量に対して10%のセメントを添加して、7日養生後解砕し5mmふるい通過したものを用いた。比較としてセメントを添加しない試料土についても同様の測定を実施した。なお、使用した植物は、低耐塩性のハツカダイコン、高耐塩性のハウレンソウおよび一般的な面植栽工に用いられるクリーピングレッドフェスクの3種を用いた。

3. 3 結果および考察

(1) 固化処理土の一軸圧縮強さ

エコセメントⅠならびに普通セメントによる固化処理土の材齢と一軸圧縮強さの関係について、湿空養生の場合を図-3に、水中養生の場合を図-4に示す。エコセメントⅠは、いずれの養生条件においても材齢3日までの初期強度に優れた速硬性を示した。

エコセメントⅠならびにⅡと普通セメントによる固化処理土について、人工海水養生と湿空養生との材齢28日における一軸圧縮強さの比較を図-5に示す。耐海水性においては、高炉スラグを添加した混合セメントタイプのエコセメントが優れた性能を示した。

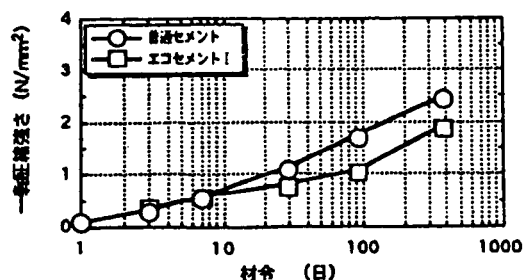


図-3 固化処理土の強さ発現 (湿空養生)

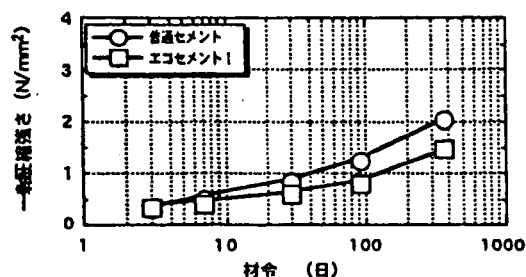


図-4 固化処理土の強さ発現 (水中養生)

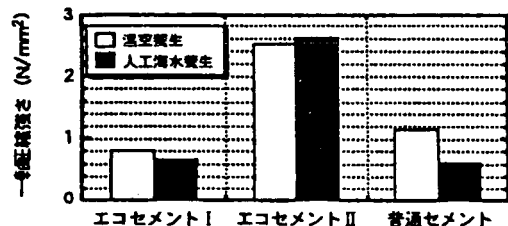


図-5 人工海水養生における強さ比較

(2) 固化処理土からの塩素イオンの溶出

エコセメントは塩素を含むため、固化処理を行った土からの塩素イオンの溶出が予測される。エコセメントIを用いた固化処理土供試体(φ100×h100mm円柱)を10倍容積のイオン交換水中で養生し、浸漬材齢と養生水中の塩素イオン濃度を測定した。この結果ならびに、拡散係数をPickの法則に基づき算出した値を図-6に示した¹²⁾。

固化処理土供体からの塩素イオンの溶出量は、浸漬日数とともに低減傾向にあり、拡散係数も91日材齢では3日材齢の約1/10程度となった。この傾向は人工軟岩からのセッコウの溶出について報告しているように¹³⁾、供試体表面からの溶出は短時間で生じるが、内部からの溶出は固化処理土の空隙を介して生じるため実質上拡散層厚の増大と同様の結果になったものとする。

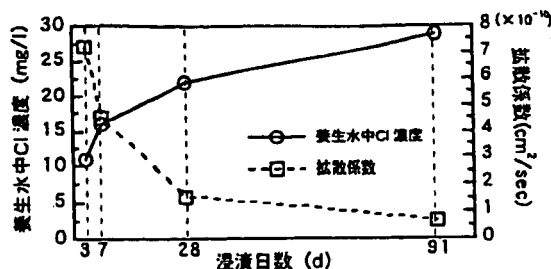


図-6 固化処理土からの塩素イオンの溶出

(3) 固化処理土からの重金属類の溶出

表-5に調査原料およびエコセメント中の重金属含有量の一例を示すが、原料中にはZn, Cu等が比較的多く、PCB, CN, Cr⁶⁺は、検出されていない。Cd, Pb等の重金属は、その多くがクリンカー焼成時に揮発し、ダスト中に捕捉されるが、原料中の一部の重金属類はエコセメント中に移行する。エコセメント粉末およびモルタルからの溶出を調べた例を表-6に示すが、排水基準値以下の値となっている。

表-5 原料およびエコセメント中の重金属含有量例

	含有量 (mg/kg)						
	T-Cr	Cr ⁶⁺	Cu	Zn	As	Cd	T-Hg
原料	34	ND	1900	2200	—	8.8	0.059
エコセメント	55	ND	320	400	1.5	ND	ND

	含有量 (mg/kg)					
	Pb	F	CN	O-P	PCB	Cl
原料	680	—	ND	ND	ND	14000
エコセメント	1.0	98	ND	ND	ND	11200

ND: 不検出

表-6 エコセメントからの重金属の溶出量例

	溶出量 (mg/l)						
	Cr ⁶⁺	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Cl ⁻
エコセメント粉末*	0.04	<0.05	0.01	<0.01	<0.1	<0.1	1,300
エコセメントモルタル**	<0.02	<0.05	<0.01	<0.01	<0.1	<0.1	93
排水基準	0.5	—	—	0.1	0.10	0.10	—

* 水中6時間浸漬

** 28日養生

固化処理土からの溶出については、材齢28日の供試体について調べた例を表-7に示した。この結果から上述したように都市ゴミ焼却灰中には様々な重金属類が含まれるが、原料調合から焼成までの工程管理ならびに土への添加量を含めた利用法の管理を適正に行えば、土壤環境基準に定められた溶出量以下になることが確認できた。

表-7 固化処理土の溶出試験例

物質	土壤環境基準 (mg/ℓ)	エコセメントⅠ固化処理土 (mg/ℓ)	エコセメントⅡ固化処理土 (mg/ℓ)
Cd	0.01	0.00	0.00
CN	ND	ND	ND
Pb	0.01	0.00	0.00
Cr(VI)	0.05	0.03	0.00
As	0.01	0.00	0.00
R-Hg	ND	ND	ND
PCB	ND	ND	ND
Se	0.01	0.00	0.00

注)ND:不検出、材齢は28日

(4) 植生への影響

無添加の関東ローム（以下原土と記す。）および3種のセメントによる改良土は、人工気象室において25～15℃の変温、12時間照明、湿度60%の条件下で所定の材齢ごとにpHおよび電気伝導度（EC）の測定を行った。ただし、材齢70日の測定では、屋外のポット試料を用いた。この結果を図-7および図-8に示す。ハツカダイコン、ホウレンソウおよびクリーピングレッドフェスクの葉長を図-9に、前2種の植物の10株重を図-10に示す。

改良土のpHは、いずれも材齢とともに低下傾向を示し、その値は普通セメント、エコセメントⅠ、エコセメントⅡの順であり、ECは、1.5mS/cm以下でばらつきがみられたが、エコセメントⅠ、エコセメントⅡ、普通セメントの順であった。

ハツカダイコンは、改良土では葉長が原土の30%から65%、10株重で25%以下と成育が抑制されたがホウレンソウは、葉長が原土の55%～90%、10株重で25～80%程度まで成育した。クリーピングレッドフェスクについては、葉長のみの測定であるが、ほとんど原土と同等の成育状況であった。

セメントの種類別に見ると、クリーピングレッドフェスク以外については、エコセメントⅡがやや成育が良く、エコセメントⅠと普通セメントはほぼ同程度の成育状態であった。

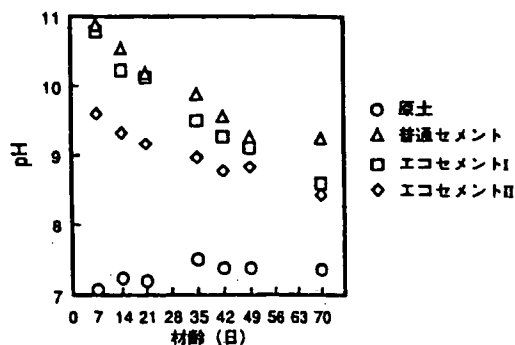


図-7 pHの測定結果

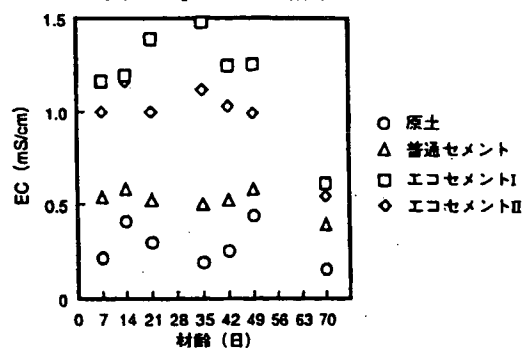


図-8 ECの測定結果

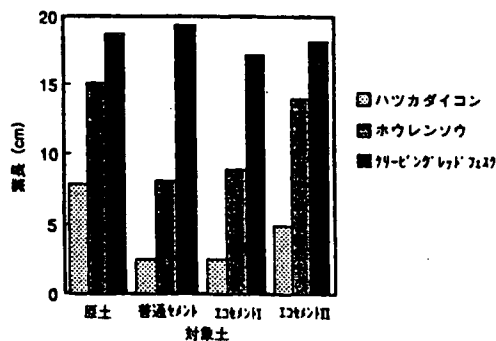


図-9 葉長の測定結果

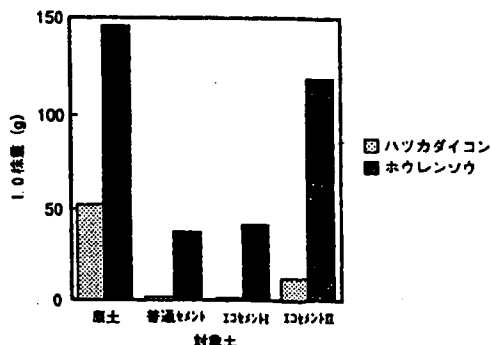


図-10 10株重量の測定結果

4. まとめ

都市総合廃棄物の処分場不足への対応ならびに資源の有効利用への一つの対策として、都市ゴミ焼却灰や下水汚泥等を原料とするエコセメントの製造技術の確立と利用技術開発を進めている。

製造技術面では、原料に含有される有害物質類による排ガスへの影響を調査した結果、重金属類は排出規準値以下であり、塩化水素は検出されず、ダイオキシンについてもガイドライン値を充分満足する値であった。

利用技術開発については、塩素を多量に含む廃棄物を原料とするために、現状では鉄筋コンクリート等への利用は困難であると考えられており、無筋コンクリート分野、地盤改良用固化材分野での利用の検討を行っている。地盤改良材としての利用技術開発に際しては、土壌および地下水汚染の問題が顕在化している現在、特に留意を必要とするものと認識している。本文においては、室内試験により、エコセメントの地盤改良材として物理的性能ならびに環境面に及ぼす影響を検討し、その適用可能性があることを述べてきた。しかし、廃棄物を原料とするため、原料中の重金属類の変動があることならびに特定の重金属には土壌中の含有量参考値が定められていることを留意して、品質管理と利用方法の管理を適正に行うことが重要である。

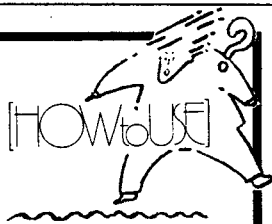
さらに、すべての廃棄物の有効利用に共通する課題ではあるが、リサイクルを行うためには、資源としての品質確保も重要であり、製品設計・排出時の管理、分別収集の徹底等を通じて有害物質等の混入の最少化をはかることも、重要なポイントであり、そのためのシステムづくりの加速化が求められている。

文献

- 1) 地盤工学会調査部：産業廃棄物の処理と有効利用に関する研究委員会：地盤工学における廃棄物の処理と有効利用に関する調査報告書，pp. 12～17，1996.
- 2) 山田優・長坂勇二・檜垣貫司・川地武：発生土および廃棄物の地盤工学的処理と有効利用 2. 発生土および廃棄物の現状と問題点，土と基礎 第44巻，第11号，pp59～63，1996.
- 3) Masaru Tanaka: Risk management for landfill disposal of solid waste, 2nd International Environmental Geotechnics Preprint of Special lectures and State-of-the-Art Reports pp 301～313, 1996
- 4) 寺田剛・坂本浩行・片脇清：省エネルギー型セメントの現状調査と室内試験，土木技術資料，第37巻，12号，pp26～31，1995.
- 5) 宇智田俊一郎：エコセメント，平成6年度日本セラミックス協会講演会講演要旨集，1995.
- 6) 尾花博：エコセメントの製造技術の開発，PLAS PIA，第88号，pp16～23，1994.
- 7) 土田良明・武広実・上保知伸・宇智田俊一郎：都市ゴミ灰を用いて調製した高アリナイト系セメントの水和反応，第49回セメント技術大会講演集，pp96～101，1995.
- 8) 内川浩・尾花博：都市型総合廃棄物を原料とする環境共存型セメント，コンクリート工学，第34巻，第4号，pp57～63，1996
- 9) 小野義徳・大森啓至・田熊靖久：都市ゴミ焼却灰から製造されるエコセメント，セメント・コンクリート，第586号，1995.
- 10) 大森啓至・守屋政彦・内田晃一・磯田英典・丸田俊久：都市ゴミ焼却灰を原料としたセメントによる固化処理土の特性について，土木学会第51回年次学術講演回講演概要集，第3部（B）pp 456～457，1996.
- 11) 環境庁水質保全局：重金属等に係わる土壌汚染調査・対策指針，1994.
- 12) 廣田鋼蔵：反応速度，共立全書第127巻，pp140～150，1936.
- 13) 栗原宏武・菊地宏吉・深沢栄造：土木学会論文報告集VI，第22巻，第486号，pp85～94，1994.

- ・文献ー 4 表層地盤安定処理用セメント系固化材：土木施工, 1988年, Vol. 29, No. 2, P80～P83

8



表層地盤安定処理用 セメント系固化材

軟弱地盤と地盤改良

自然堆積した地盤や乱した土を使用して埋立て、盛土した人工地盤などの軟弱土は、そのまま用いたのでは使用目的に適合しない場合がある。

軟弱地盤の判定は、構造物の設計条件との相対的關係によって決まる場合と、構造物の種類別に一般的な基準による場合がある¹⁾。そのようなとき軟弱土の力学的、水理学的性質を改善して目的と条件を満足するために地盤改良される。その方法には各種ある²⁾が、

ここでは、軟弱土の表層（浅層）に現位置で、固化するための固化材として、セメント系固化材を添加・混合して、化学的・物理的に固化する地盤安定処理について述べる。

セメント系固化材

地盤安定処理工事には、普通セメントや石灰が固化材として使用されてきたが、近年超軟弱地盤地域開発の必要性が高まり、有機質土や超高含水土など固化対象土の種類が多くなり、必要強度を確保することが困難な場合が発生する

ようになった。したがって、あらゆる固化対象土に対して、対応可能な固化材として「セメント系固化材」がセメント各社より提供されている。

(1) 品 種

セメント系固化材は、セメントの特定成分を増減したり、有効成分を添加したもので、一般軟弱土用、高有機質土用、産業廃棄物用、へどろ固化用、超高有機質土用、遅硬性の深層混合処理用（『深層混合処理工事用セメント系固化材』参照）などの用途別や工法別に多くの品種が開発され、各社の特長がそれぞれ盛り込まれている。したがって、品種の選択に当たっては対象土、施工方法、経済性などを考慮して目的に合致するものを使用する必要がある。なおセメント系固化材と石灰の両方の特長を有する固化材も提供されている。メーカー、商品名、品種、用途などを表-1に示す。

(2) 強度発現

セメント系固化材と普通ボルト

表-1 セメント系固化材一覧表

会 社 名	電話番号	商 品 名	品 種		
			一般軟弱土用	高有機質土用	そ の 他
麻生セメント(株)	0948-22-3604	ソリッドエース	100 #	200 #	S-1, S-2 下水汚泥用, 字部ハードSS スラグ・セメント系 株日本石灰工業所 グリンライムLC-A, B, C, D, E ESC, ESC-S, ESC-R へどろ用, ESP-P ドライパイル用 C-201 超軟弱地盤用, 高有機質土用 M 産業廃棄物処理用 TL-16 超高有機質土用 タフロックスーパー-TL-S 残土処理用 400, ネオライム21 20, 有機物高含有土・高含水へどろ用 12, ローム質土用, 残土処理用 300, ベントナイト泥水, 鉱山廃泥固化用 600, 下水腐泥, 産業廃棄物固化用 P-210 超軟弱土用, S-500 下水汚泥, 産業廃棄物用 300シリーズ 高含水へどろ, ベントナイト泥水, スラッジ, 産業廃棄物用 CS-30 産業廃棄物用 CS-40 高含水高有機質土用 CS-60 セメント・石灰系 300 特殊有機質土用
宇 部 興 産 (株)	03-505-9372	字部UKC	AC, H	B	
大阪セメント(株)	06-345-1231	大阪ESC	D		
小野田セメント(株)	03-862-2257	小野田ケミコ	C-213	C-215	
新日鐵化学(株)	03-543-4712	ソルスター	P	S	
住友セメント(株)	03-863-1561	タフロック	TL-1, 3, 6	TL-4	
第一セメント(株)	044-322-5361	ネオセラメント	400S		
秩父セメント(株)	03-580-2713	ソイルフィックス	11	10	
電気化学工業(株)	03-507-5366	デンカソイルバック			
東 北 開 発 (株)	022-223-7176	カイハツソルエース	100	200	
徳 山 曹 達 (株)	03-597-5082	ハードキープ	P430	P-310	M30シリーズ 注入用, S20シリーズ 特殊泥水用 S10シリーズ 下水汚泥固化用, Lシリーズ セメント・石灰系 S1, S2 下水汚泥用
日鐵セメント(株)	011-251-0196	アースタイト	100シリーズ	200シリーズ	
日本セメント(株)	03-284-0058	アサノクリーンセット	CS-10	CS-20	
日立セメント(株)	0294-22-2111	ハイハード	100	200	
三 井 鉱 山 (株)	03-241-1323	ベストキープバー			
三菱鉱業セメント(株)	03-216-5910	スタビライト	M10シリーズ	M20シリーズ	
琉球セメント(株)	0988-67-5068	琉球RKC	ADH	B・C	

表-2 セメント系固化材の単価

品 種		バ ラ	フレコン	40kg入り紙袋
一 般 軟 弱 土 用		19 000円/t	21 000円/t	880円/袋
高 有 機 質 土 用		21 000	23 000	960
備 考	取 引 数 量	約300t 以上	約300t 以上	500袋以上
	1 ロットの搬入数量	10t 以上	10t 以上	10t 以上
	そ の 他	サイロ費別途	———	———

用途および使用目的

(1) 路床, 路盤の土質安定処理
道路の路床や路盤, 鉄道の路盤などの支持力増大または噴泥防止, 駐車場, 工事に仮設道路を造成する場合の軟弱地盤の表層地盤安定処理。

(2) 構造物の基礎地盤安定処理
擁壁, カルバート, バイブなどの基礎地盤, 住宅, 倉庫, 工場などの比較的軽量の構造物を建設する場合の軟弱地盤安定処理。

(3) のり面の侵食防止
降雨, 表流水による切土, 盛土の侵食および浸透防止する場合の安定処理。

(4) 掘削の山留め強化と掘削盤のヒービングあるいはボイリング防止

軟弱土をのり面部および底盤を含めて地盤改良しておけば, のり面のすべり防止による土留めの効果, 掘削盤のヒービングあるいはボイリングを防止し, 掘削土は土質改良されているので施工性が良好となり, 流用土として活用することができる。

(5) 斜面のすべり, 崩壊防止
自然斜面並びに切土, 盛土のり

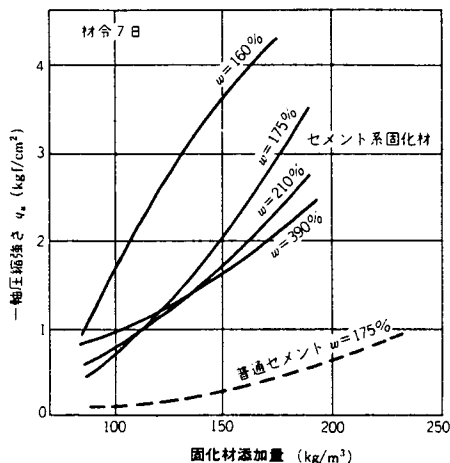


図-1 有機質土の改良強度の例

ランドセメントを用いて安定処理した改良土の強度比較例³⁾を図-1に示す。セメント系固化材の強度発現はきわめて良好な結果が得られることを示している。

(3) 荷 姿

セメント系固化材が使用場所に搬入される荷姿は, バラ, フレコン, 紙袋のいずれかとなる。

バラは, 圧送式やスクリー式
のバラタンク車で搬入される。

フレコンは, 通常 1 トン入りで, 1 回限りの使用で廃棄する「ワンウェイタイプ」と, 繰り返し使用する「ランニングタイプ」がある。

紙袋は, 通常 40 kg 入りである。フレコン入りと, 紙袋入りは通常のトラックまたはダンプ車で搬入され, フレコン入りは車上渡しとなる。

(4) 入手方法

セメント系固化材を使用する場合には, セメントと同様に, メーカー特約店(商社)に発注し, 製品はメーカーより荷渡場所に直接搬入される。

(5) 価 格

セメント系固化材の価格は, 品種, 荷姿, 荷渡場所, 取引数量および 1 ロットの搬入数量などによって異なる。参考として, 東京地区での一般軟弱土用, 高有機質土用についてメーカー希望価格を表-2に示す。

面の土質が弱く、すべり崩壊を防止するための地盤安定処理。

(6) 掘削残土の改良による再利用

掘削残土を用いて埋め戻す場合に、良質土として再利用するための土質改良

(7) へどろ、汚泥の処理

河川、湖沼、海域などの沈降堆積物であるへどろの処理は、環境保全上の急務であるが、その処理には、水底においてへどろの上部を固化して、流出を防止する「原位置固化」と、へどろを浚渫除去する場合がある。浚渫したへどろは含水比が極めて高いので、運搬上、投棄場所の環境保全のために、へどろを安定処理するのが望ましい。なお建設現場から発生するへどろ状の発生土、下水処理場から発生する下水汚泥についても同様である。

(8) 産業廃棄物の無害化を目的とした改良

産業廃棄物には、銅、亜鉛、鉛、水銀などの有害重金属類が含まれていることが多く、移送、処分にあたって有害物を固定化して、溶出量を極力減少させることが必要である。セメント系固化材には、このような有害物を固形化し、不溶化する性質を持つ品種があり、次のような用途に利用されている。

① 薬品、醸造工場などの廃棄物固化

② めっき工場、製練工場のスラッジ固化

③ 都市ごみ焼却灰および集塵灰の固化

施工方法

表層地盤安定処理工事の工程は、散布工、混合工、転圧工、養生

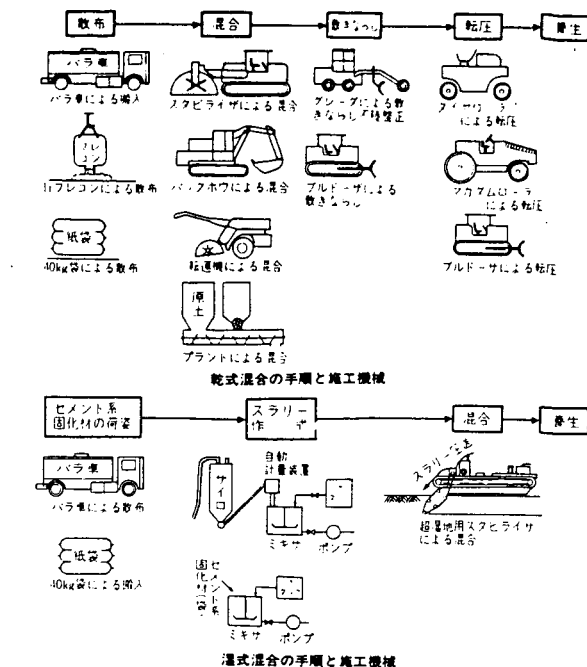


図-2 施工方法

生工がある。その各工法は施工規模、施工目的、対象土の種類によって異なる。

(1) 散布工

セメント系固化材を適正量添加する工程で、固化材を粉体のまま添加する「粉体方式」、固化材と水を混合してスラリー状で添加する「スラリー方式」がある。

(2) 混合工

散布した固化材と軟弱土を所定の深さまで均一になるように攪拌・混合する。

(3) 転圧工

混合土を十分に転圧し、所定の仕上がり高さになるように整正する。よる散布を採用するのが望ましい。

(4) 養生工

養生期間（通常7日）中は過荷重、乾燥、凍結などを防止する対策をして放置する。

粉体方式による乾式混合およびスラリー方式による湿式混合の施工方法を 図-2 に示す。

使用上の留意点

セメント系固化材の使用に当たっては、次の点に注意する必要がある。

ある。

(1) 品種の選定

セメント系固化材には、前述のごとく多くの品種があるので、固化対象、用途、目的に適合するものを選定使用する。

(2) 貯蔵

セメント系固化材の貯蔵は、通常のセメントと同様に考えてよい。施工現場において貯蔵する場合には、木板あるいは角材などの上に置き、地面に直接置くことを避ける。また降雨のおそれがある場合や湿度が高い場合にはビニルシートなどで覆う。

(3) 散布

粉体方式で散布する場合には、粉体の飛散に注意する。住宅に隣接する工事現場などで、粉体の飛散を嫌う場合は、スラリー方式による散布を採用するのが望ましい。

(4) フレコンの取扱い

フレコンの重量は通常1トンあり、重量物の適用を受けるので、吊上げ重機にしっかりと玉掛けし、片掛けは絶対にしない。

ワンウェイタイプは、使用後現場で処分する。

ランニングタイプは、繰り返し使用するので大切に扱う。

あとがき

表層地盤安定処理工事用セメン

ト系固化材の概要について限られた紙数で述べた。詳細については参考文献や報文を参考にされたい。なお今後用途および工法が相当のスピードで開発され、そのニーズに伴って性能向上と新製品が

開発されることが予想される。

〈参考文献〉

- 1) (社)土木学会：土木工学ハンドブック 1980, pp. 1164
 - 2) 同上 1980, pp. 1155—1170
 - 3) (社)セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル 1987, pp. 36
-

- ・文献－5 深層混合処理工事用セメント系固化材：土木施工, 1988年, Vol. 29, No. 2, P83～P85

9



深層混合処理工事用 セメント系固化材

深層混合処理工法

深層混合処理工法の研究は、1967年に運輸省港湾技術研究所において着手され、固化処理材として石灰系のものを用いたのが1974年に実用化、また、1975年にはセメント系固化材を用いたものが実用化となり、大規模港湾工事に適用された。現在では、深層混合処理工法の適用範囲は港湾工事にとどまらず、陸上部のいろいろな分野の工事にまで及び、固化材の研究開発、施工機械の発達、適用形態の多様化とあいまって、急速な普及と発展をとげつつある。

地盤改良工法をその原理で分類すると、(1)置換、(2)排水、(3)圧縮、(4)熱処理、(5)化学的固化、(6)補強工法とするのが一般的である。深層混合処理工法とは、原位置の軟弱土にセメント系固化材などを強制的に混合して、その化学的な反応により、地盤中に強固な安定処理土を形成する工法であるから、工法の分類は化学的な反応

に着目すれば(5)となり、一方、強固な安定処理土の形成という観点からは(6)とみることもできる。

固化材を用いた深層混合処理工法は、固化材の添加方式によって「粉体方式」と、あらかじめ固化材と水を混合してスラリー状にした「スラリー方式」とに区分される。また、固化材と土との混合方式によって分類すると、地中に供給した固化材をプロペラ状の攪拌翼で機械的に混合して改良土杭を造成する「機械攪拌工法」と、固化材スラリーを高圧噴射によって地盤を破壊すると同時に土を固化材の噴流作用によって強制的に攪拌する「高圧噴射工法」とがある。

現在実用化されている主な深層混合処理工法で、攪拌方式などによって分類したものを表-1²⁾に示す。大規模港湾工事等における深層混合処理工事は専用の作業船によるが、固化材の供給、混合攪拌については、陸上部におけるものと規模において差はあるものの原理的には同一のものである。陸上部の施工機械には、杭打ち機やバックホウを改造したベースマシン方式のものと、ボーリングマシン方式のものがある。ほんの1例を紹介する意味で、機械攪拌工法(スラリー方式)の施工機械編成と攪拌部先端部の例を図-1、2に示す²⁾。

深層混合処理工法は、固化材の添加方式、土との攪拌方法、その他施工機械の組合せなどバリエーションが多く、機械の改良、新工法の開発研究は活発で、新たな方式が育ってきている。

深層混合処理工法は、護岸、防潮堤等港湾構造物基礎地盤、橋脚、橋台、擁壁基礎、宅地造成等盛土基礎、円弧すべり防止、埋設管、カルバート基礎、止水土留め

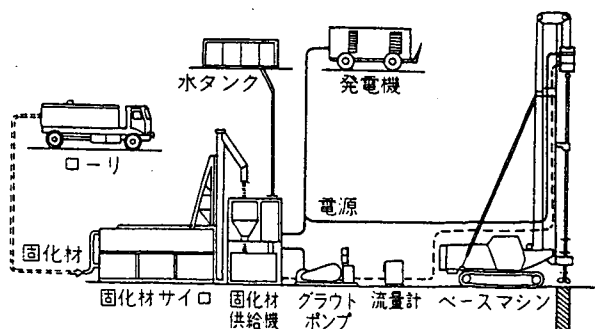


図-1 機械攪拌工法(スラリー方式)の施工機械編成例

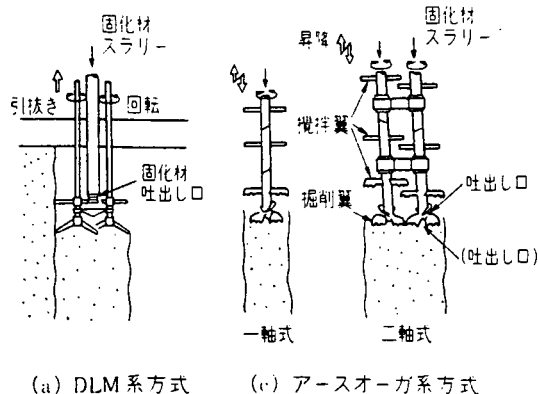


図-2 機械攪拌工法（スラリー方式）の攪拌部先端

表 1 深層混合処理工法の攪拌方式による分類例

深層混合処理工法 (DMM)	高圧噴射攪拌工法	スラリー噴射方式	CCP工法, ミニマックス工法(MM工法)
		スラリー・エア噴射方式	JSG工法
		スラリー・エア・水噴射方式	コラムジェットグラウト工法
	[高圧噴射・機械攪拌工法]	スラリー噴射・機械攪拌方式	大口径ミニマックス工法(JMM工法), HQS工法
機械攪拌工法	機械攪拌工法	DLM系方式	CMC工法, DCM工法, POCM工法, テコム工法
		HCM系方式	DeMIC工法, SWING工法, DCCM工法
		アースオーガ系方式	JST工法, テノコラム工法, SEC工法, SMW工法, MR-D工法, CSL工法, MIP工法, SSS工法, YSW工法, RMP工法, ESCソイルハイル工法
		粉体混合方式	DJM工法

壁などあらゆる軟弱地盤の改良に適用される。

深層混合処理工事用固化材

深層混合処理工法に使用される固化材は、道路などで表層改良する場合と基本的な違いはなく、セメント系固化材や石灰系固化材が使用される。道路などで表層を対象とする場合と、深層処理をする場合の違いは、後者では(1)含水比が比較的高く、(2)固化材の添加量が多く、(3)混合後の締固めが困難、の3点が特徴的であるが、いずれの場合も改良効果は、固化材と対象土の化学的反応に依存している。

軟弱地盤の粘性土等にセメント系固化材を添加したときの固化は、固化材中のけい酸カルシウム（アリットおよびベリット）やア

ルミン酸カルシウムなど（セリットなど）の水和反応、これらの水和過程で放出された水酸化カルシウムによる土粒子の凝集などによる土質性状の変化などの効果、その後長期にわたって継続する粘土との化学反応（ポゾラン反応）による。固化対象土に有機物（フミン酸など）を含有する場合や高有機質土（ビート質）では、セメント鉱物の水和反応が阻害されて、固化効果が減殺される³⁾。このようなケースに対処するため、また、高含水軟弱土でより固化効果を高めるために、セメント系固化材では特殊な添加材やポゾラン反応性物質の添加などによるさまざまな工夫を凝らしている。

深層混合処理工法の適用範囲が広がるにつれ、最近では港湾工事等で地中に改良土による一種の構造物を形成するパターンが多く採

用され、施工深度の増大とともにラップ面の品質向上が要求されており、また、連続地中壁における止水性の向上に対しても同様の問題を生じている。このため安定処理土の施工中の初期強度は抑制し、必要な長期強度は確実に発揮させ、かつ、耐久性に優れた遅硬化性の固化材も用意されている。

深層混合処理工事用遅硬化性固化材は、セメントに硬化遅延剤を添加するのではなく、粉碎したスラグにセメントなどの硬化刺激材を添加し、土の化学的性質との関係から、硬化の速度をコントロールしようとするものである。混合処理後の強度発現の1例を図-3に示す。遅硬化性固化材の標準的な使用量は150～250 kg/m³程度であるが、対象土の種類、物性、強度スベックによって決定される。出荷荷姿は、バラが主体で、価格は18 000 円/t（東京地区標準）。

前述したように、深層混合処理工事用固化材は、表層地盤安定処理用固化材と本質的には同じものであり、深層用として使用されている例が多く、メーカー、品種、出荷荷姿、価格などについては『表層地盤安定処理用セメント』の項を参照していただきたい。これらの品種に加え、特に深層混合処理工事用に開発されたものおよび遅硬化性固化材については表-2に示す。そのほか、深層混合処理工事には普通ポルトランドセメント、高炉セメントをはじめとする混合セメントも使用されている。固化材は土質性状、改良強度、改良目的、工法などに合わせて、各メーカーカタログによるか問い合わせ、品種および添加量を選択決定することをお願いしたい。

表-2 深層混合処理工事用セメント系固化材一覧表

会 社 名	電 話 番 号	商 品 名	用 途・使用 方法
麻 生 セ メ ン ト(株)	0948-22-3604	ソリッドエース#100 #200	ソイルコラム(改良杭)用
宇 部 興 産(株)	00-505-9372	宇部遅硬性セメント	遅硬性固化材
大 阪 セ メ ン ト(株)	06-345-1231	ESC-S ESC-DM	ソイルバイル用 遅硬性固化材
小野田セメント(株)	03-531-4111	小野田スロハード	遅硬性固化材
新 日 鐵 化 学(株)	03-543-4712	ソルスター	基礎地盤改良、連続地中壁、止水壁
住 友 セ メ ン ト(株)	03-863-1561	リターロック	遅硬性固化材
第一セメント(株)	044-322-5361	ネオセラメント 800 S	遅硬性固化材
秩 父 セ メ ン ト(株)	03-580-2713	ソイルフィックス LA シリーズ	遅硬性固化材
電 気 化 学 工 業(株)	03-507-5366	ソイルバック	
東 北 開 発(株)	022-223-7176	カイハツソルエース G	深層混合処理工事用
徳 山 曹 達(株)	03-597-5115	徳山遅硬性セメント	遅硬性固化材
日 鐵 セ メ ン ト(株)	0143-44-1693	日鐵アースタイト 100 シリーズ 日鐵アースタイト 200 シリーズ	一般軟弱土、ヘドロ、有機質土用 泥炭、有機物高含有土、有機汚泥用
日 本 セ メ ン ト(株)	03-284-0058	アサノ DM セット	遅硬性固化材
日 立 セ メ ン ト(株)	0294-22-2111	ハイハード 300	構造物基礎、山留め工法、止水壁用
三 井 鉱 山(株)	03-241-1328	ベストキーパー	ヒービング防止、止水土留め、円弧すべり防止
三菱鉱業セメント(株)	03-211-7426	スタビライト DMC	遅硬性固化材
琉 球 セ メ ン ト(株)	0988-67-5068	琉球 RKC-H	一般軟弱土、ヘドロ、万能タイプ

注) 本一覧表は、深層混合処理用固化材調査表に基づき、深層用と明示されたものだけ記載し、表層地盤安定処理用と重複するものは省略した。表層地盤安定処理用固化材は、大部分のものが深層混合用としても使用できるので、『表層地盤安定処理用セメント』の項の固化材一覧表を参照願いたい。

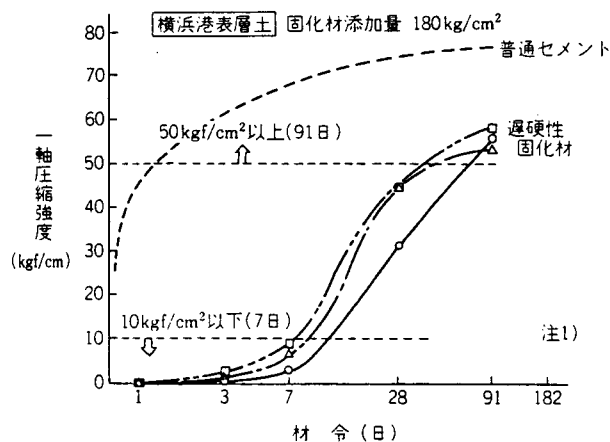


図-3 遅硬性固化材による強度発現例

あとがき

深層混合処理工法による軟弱地盤の改良パターンは杭状、ブロック状、壁状、格子状など種々の型式が考えられ、今後も新しい型式が工夫されていくものと考えられる。施工事例については文献¹⁾や報文を参考にされたい。設計法

は、既往の類似工法の設計法を参考に組み立てられており、施工例の増加とともに実証され、確立されていくものと考えられる。設計、施工、施工管理などに関する問題点の指摘⁵⁾もあるが、深層混合処理工法は、今後ますます多様化し、発展していくものと期待される。使用する固化材についても、今後のニーズに応えるべく、

鋭意改善し、性能の向上を図りたいものである。

＜参考文献＞

- 1) 末松直幹・杉山勝英：深層混合処理工法，基礎工，Vol. 11-2，pp. 8-17，1983
- 2) (社)セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル
- 3) 吉田信夫：セメント系地盤改良の原理から施工まで，土木施工，Vol. 22，No. 6，1981
- 4) 能登繁幸・田口登・寺師昌明：深層混合処理工法の実例と問題点—深層混合処理工法の実施例—土と基礎，Vol. 31-7，pp. 73-80，1983
- 5) 寺師昌明：総説深層混合処理工法，基礎工，No. 2，1985

- ・文献－6 関口昌男：地盤改良に用いるセメント，セメント・コンクリート，No. 594, Aug, 1996, P99～P103

地盤改良に用いるセメント

関口 昌男*

1. 地盤改良

1-1. 目的

一般に地盤とは地の表面、地殻を指し、工作物その他を据え置く基礎となる土地や土台を意味しており、建設工事における対象部位として地上・地下・海洋など種々の形で存在する¹⁾。

建設工事の成果物である構造物は多種多様に及ぶが、その目的に応じて、対象となる地盤を改良することが求められる。

1-2. 分野と考え方²⁾

地盤改良の分野としては、過去の建設工事の実績より、以下のように分類される。

(1) 力学的安定を図る分野

支持力の増加・変形防止、土圧軽減、斜面の安定。

(2) 水理的安定を図る分野

土中水の排除・止水・水位低下、地表面浸食防止、地震時の液状化防止。

(3) 環境保全を図る分野

施工時の騒音・振動・粉塵の防止、廃棄物の処理、地盤沈下防止、土壤汚染防止。

また、地盤改良に対する考え方としては以下のような分類、区分ができる。

① 施工部位—斜面部、浅層部、深層部

② 改良原理—置換、固結、高密度化、圧密

③ 改良手段—物理、化学、生物

④ 効果時期—永久的、仮設的

⑤ その他—軽量化、対策手法

セメント系固化材を用いた地盤改良は各分野に適用し、改良原理の固結に該当する。

1-3. 軟弱地盤

地盤改良で対象となる地盤は、低強度で圧縮性に富む土から形成されることが多く、基礎地盤として支持力や沈下に問題があって、何らかの対策を必要とする場合が該当し、一般に軟弱地盤と呼ばれる³⁾。

判定は土質調査によるN値(標準貫入試験)、 q_u (一軸圧縮試験)、 q_c (コーン貫入試験)等により行われる。

表1に各官公庁の判定基準を示す。

2. 地盤改良に用いるセメント

2-1. 開発経緯

地盤改良にセメントを利用したのは、道路材料として規格外の砂質土を改良したソイルセメントが初めてである。

その後1970年代より高含水比の軟弱土や有機質土を対象とした固化材の開発が進められ、1975年代の深層混合処理工法開発と平行して各メーカーから「セメント系固化材」の統一名称で販売するようになった。

さらに、1996年度より総称として「ジオセメン

* 秩父小野田(株) 中央研究所 開発第7グループ
アシスタントプロジェクトマネージャー

表1 日本における各官公庁の軟弱地盤の判定基準〔各官公庁の工事仕様書より抜粋〕

建設の目的		河川・砂防	高速道路	宅地造成	鉄 道
官 公 庁		建 設 省	日本道路公団	旧 住宅都市公団	旧 日本国有鉄道
対象地盤の土質	粘土	N 値 < 3 qu < 0.6kg/cm ²	軟弱層厚10m 未満 N 値 < 4 qu < 0.6kg/cm ²	軟弱地盤の定義を一律に定めることはできないが沖積期に堆積した比較的軟らかい粘性土、ビート、ゆるい砂質地盤を軟弱地盤の代表的なものとする	洪積層の火山灰質粘性土 N 値 < 3 ※ N 値 4 = 粘着力 2 ~ 4 t/m ²
	粘性土	qc < 3 kg/cm ² Wsw < 100kg 含水比40%以上	軟弱層厚10m 以上 N 値 < 6 qu < 1.0kg/cm ²		
	砂	N 値 < 10以下	N 値 < 10以下		沖積層の砂粒土 N 値 < 10
	砂質土	粒径のそろった細砂	qu がほとんど 0		細粒土 N 値 < 4 層厚 3 cm 以下で < 2 ~ 4 層厚 2 cm 以下で < 2
	有機質土	軟弱地盤として扱う	軟弱地盤として扱う		

* N 値：標準貫入試験で30cm 貫入する時の打撃回数
qc：オランダ式二重管コーン貫入値，qu：土の一軸圧縮強さ
Wsw：スウェーデン式サウンディング試験で沈下する時の荷重

ト」の名称で統一するべく検討を進めている。

2-2. 組 成

セメント系固化材は、対象とする一般軟弱土、高有機質土、産業廃棄物の性状に応じて組成は異なるが、セメントを主体として無機系の有効成分を添加している。製造方法は各メーカーによる違いはあるが、おおむね以下の3種類に分類される⁴⁾。

- ① セメント+石こう
- ② セメント+スラグ+石こう
- ③ セメント+急結材

また、各メーカーの一般軟弱土用のセメント系固化材の化学組成は表2に示す範囲となっている⁵⁾。

2-3. 市販固化材

現在市販されている固化材は表3に示すように約70種類に及び、対象土質に応じて使い分けられている。したがって、固化材を用いた表層地盤安定処理、深層混合処理等の地盤改良工法への適用は、基本的には違いがない。

表2 セメント系固化材の化学組成〔一般軟弱土用〕

比表面積 (cm ² /g)	化学組成 (%)			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	SO ₃
2700以上	15~25	3.5以上	40~70	4.0以上

3. セメント系固化材による地盤改良工法

地盤改良の原理は、土壌に添加混合されたセメント系固化材の成分によりエトリンガイトの生成、カルシウムシリケートの生成、ポゾラン反応により固化させるもので、種々の改良目的に応じて使用されている。

主な用途として以下のものがある⁶⁾。

- (1) 基礎地盤の強度、安定性、遮水性確保
 - ① 浅層改良―路床、擁壁等の基礎地盤
 - ② 深層改良―スベリ防止、連続地中壁
- (2) 不良土の固化、安定処理

- ① 軟弱な建設発生土―プラントで改良
- ② ヘドロ―現位置固化、プラント改良
- ③ 有害物質―固化処理による封じ込め

- (3) 新たな用途

- ① 流動化処理土―流動性と自硬性
- ② 事前混合処理土―土砂の運搬前に改良
- ③ 気泡混合土―軽量性と流動性と自硬性

表3 市販のセメント系固化材一覧表

会社名	商品名	種別(対象土・用途他)			セメント系 特 殊 品
		一般軟弱土	高有機質土	産業廃棄物	
麻生セメント(株)	ソリッドエース	100	200	300	スーパー SA PS-700
宇部興産(株)	UKC	C, H, D	A	S1, S2	P3
新日鐵化学(株)	ソルスター	P	H	G	S, M
住友大阪セメント(株)	タフロック	1, 3, 6	4	スマキングC	16
第一セメント(株)	ネオセラメント	400S	800S	SD	
秩父小野田(株)	ジオライト ケミコ	10 C-201	20,21 C-215	EP100 ST-3	25,28,30,EP200 C-301
電気化学工業(株)	デンカソイルバック	10, 20	30	HS	
(株)トクヤマ	ハードキープ	P-430	P-310	S-500	P-210
日鐵セメント(株)	アースタイト	100シリーズ	104S	300シリーズ	201
日本セメント(株)	クリーンセット	10系	20系	30系	40
日立セメント(株)	ハイハード	100	200	300	ハイライム
三井鉱山(株)	ベストキーパー	ベストキーパー			
三菱マテリアル(株)	スタビライト	M-10シリーズ	M-20シリーズ	M-10シリーズ	H-18, S-20 スーパーSM15
琉球セメント(株)	RKC	A	B, C		

表作成にあたっては(財)経済調査会編：積算資料，pp. 298～299，1996年6月号，

(株)セメント協会編：地盤改良マニュアルを参考とした。

表4 深層混合処理工法の分類

深層混合 処理工法	機械攪拌工法	スラリー方式	縦軸の攪拌翼をもった専用の混合処理機を用い、セメント系固化材を地中に供給しながら原位置の軟弱土と混合攪拌する工法、セメント系固化材スラリーの吐出位置により、DLM系、HCM系、アースオーガー系に分類される。
		粉体方式	攪拌に関して、原理的にはスラリー混合方式と同様であるが、固化材添加の際、セメント系固化材を粉体のまま、圧縮空気により搬送し原位置土と混合攪拌する工法。
	高圧噴射攪拌工法	スラリー噴射方式	ボーリングマシンによって目的の深度まで削孔した後、ロッド下端に取り付けた特殊噴射装置から固化材スラリーを高圧ポンプで高圧噴射し、ロッドを所定の速度で回転、引上げにより、目的の改良領域に均一な円柱状の固結体を造成する工法。
		スラリー・エア噴射方式	空気を伴った超高压の固化材スラリーを地盤中に回転して噴射させ地盤を切削し、スライムを地表に排出させると同時に、円柱状の固結体を造成する工法。
		スラリー・エア水噴射方式	空気を伴った超高压水を地盤中に回転して噴射させて地盤を切削し、そのスライムを地表に排出させるとともに固化材スラリーを同時填充させ円柱状の固結体を造成する工法。

④ 発泡ビーズ混合軽量土—軽量性

⑤ 人工軟岩—基礎地盤の置換材料

本稿では代表的な工法として、深層混合処理工法と流動化処理土工法を紹介する。

3-1. 深層混合処理工法⁷⁾

深層混合処理工法とは、改良深さが3m以深に及ぶ軟弱地盤中に粉体状あるいはスラリー状の改良材(現在はセメント系固化材が大半である)を供給し強制的に原位置土と攪拌混合することにより、土と改良材を化学的に反応させて土質性状を安定なものとして強度を増加させる工法である。

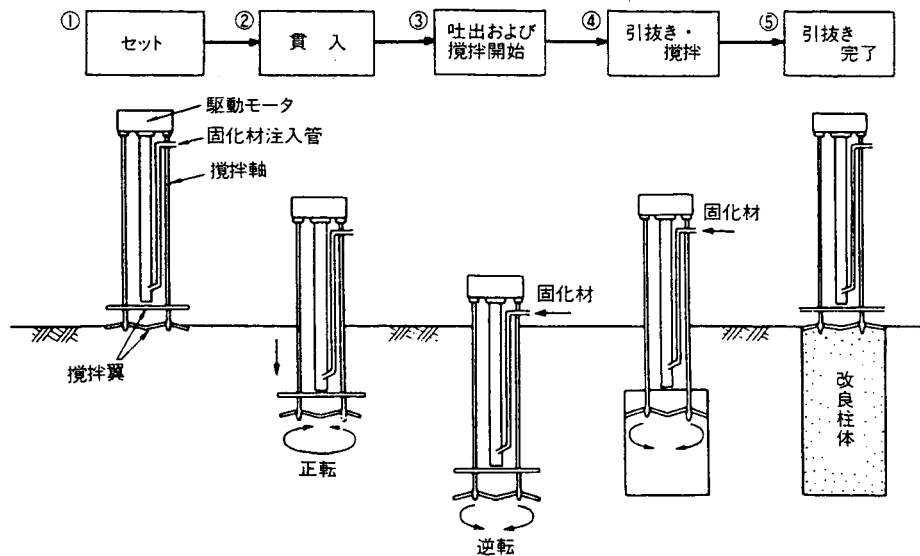


図1 機械攪拌工法(スラリー方式)の施工手順

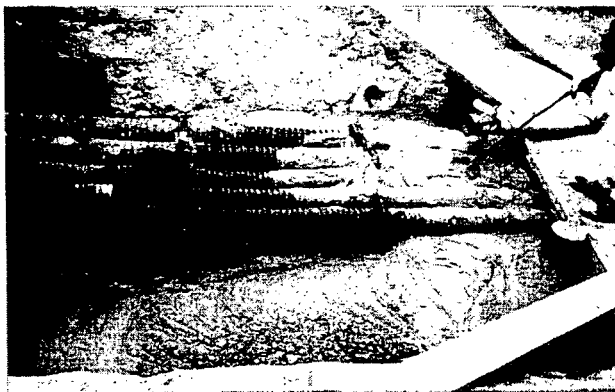


写真1 流動化処理土による小口径結束管周辺への埋戻し施工の状況

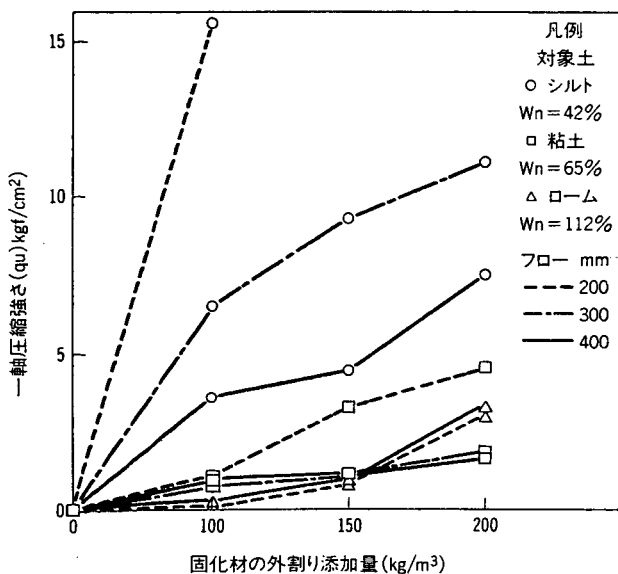


図2 固化材添加量と一軸圧縮強さの関係

処理工法の開発は1967年から運輸省によって始められ、1974年に実用化された。

工法は攪拌方式として、土を強制的に攪拌混合する「機械攪拌工法」と高圧噴射により破壊して混合する「高圧噴射攪拌工法」の2つに分かれ、さらに固化材の供給方法により表4のように分類される。

施工手順として図1に機械攪拌工法の例を示すが、「高圧噴射攪拌工法」も同様の手順である。

3-2. 流動化処理土工法

最近の動向として、建設副産物の発生抑制と再利用技術の研究が盛んである。

従来は廃棄されていた建設発生土を再利用する技術の1つとして、流動化処理土工法がある。

3-2-1. 技術概要

この工法は建設工事で発生する粘土、シルトなどの不良土に多量の水と固化材を加えて「流動性」と「自硬性」を持たせ、埋戻し材として利用する工法である。施工例として、小口径結束管周辺のポンプ圧送による埋戻し状況を写真1に示す。

流動化処理土に求められる性状としては、以下のものが挙げられる。

(1) 施工時の性状

締固めが不要で、セルフレベルリングする流動性

と材料分離が小さい性状を持つ。

① 公団フロー値： $180 \pm 20\text{mm}$

② ブリーディング率：3 % 以下

(2) 固化後の性状

埋戻し後に、再掘削が容易な程度に低い強度で耐久性がある。

① 一軸圧縮強さ(28日)： $1 \sim 5 \text{ kgf/cm}^2$

また最近では、即日復旧工事の用途から短時間での強度確保がある

② 一軸圧縮強さ(30分～2時間)： 0.3 kgf/cm^2 以上

3-2-2. 使用される固化材と強度特性

流動化処理土は多量の水と発生土(粘性土系)を主体とするため、対象土は軟弱土に相当する。し

たがって、一般軟弱土用のセメント系固化材が使用される。

強度特性は残土の種類、フロー(水量の違い)、固化材添加量により変化する。

図2に一般軟弱土用固化材を用いた代表的残土の配合試験結果を示すが、再掘削可能な一軸圧縮強さ(28日) = $1 \sim 5 \text{ kgf/cm}^2$ を満足する固化材添加量は $100 \sim 200 \text{ kg/m}^3$ の範囲にある。

[参考文献]

- 1) 新村出編・広辞苑、岩波書店、1986
- 2) 日本材料学会・土質安定材料委員会編／地盤改良工法便覧 pp. 3～4, 1991
- 3) 網干寿夫／軟弱地盤の改良②, p. 1, 総合土木研究所, 1975
- 4) 関口, 細田, 岡田／JIS モルタルによるセメント系固化材の分類, 第45回セメント技術大会講演集, pp. 834～837, 1991
- 5) セメント協会編／セメント系固化材による地盤改良マニュアル(第2版), p. 23, 1994
- 6) セメント協会編／コンクリート・エンジニアリングニュース No. 98, pp. 23～29, 1995.3

- ・文献－7 上, 藤原, 酒井, 牛山: セメント系固化材によるカオリン粘土安定処理土の圧密、剪断特性, 第28回土質工学研究発表会, 平成5年6月, P2549～P2550

セメント系固化材によるカオリン粘土安定処理土の圧密、せん断特性

徳山工業高等専門学校 正員 ○上 俊二 正員 藤原東雄
徳山曹達(株) 正員 酒井敏明 牛山宏隆

1. まえがき

軟弱粘土地盤の土質安定処理材としてセメント系固化材(以下固化材という)が幅広く使用されているが、安定処理土の設計強度定数(c 、 ϕ)と固化材添加量との相関が予測できるならば設計および施工などの実用上において有益な資料になるものと思われる。著者らは、粘性土地盤の固化材による安定処理効果を調べる基礎的研究として固化材の添加量と強度特性の関係を実験的に調べている。本報告は、前報¹⁾に引き続き、粘土の含水比と固化材の添加量を定量的に変化させた安定処理土の圧密、せん断特性の関係について検討をしたものである。今回は特に固化材による強度の発現状況を調べるため、固化材添加量が前報¹⁾より少量の場合について検討を行った。

2. 試料および実験方法

本実験に用いた粘土試料は市販のカオリン粘土を用い、固化材は市販の固化材一般品(ハードキープP-403)を使用した。初期含水比 $W=60\%$ 、 100% の2種類の粘土試料に対し、固化材の添加量を試料土 1 m^3 に対して10、20、30、40、50 kgの5種類に変化させた。試料土の調整方法、供試体の作成方法は前報¹⁾と同様である。また、供試体の養生期間は全て7日とした。なお、安定処理土の供試体の初期性状は表-1に示すとおりである。

以上の条件で安定処理を施した粘土供試体について、①標準圧密試験、②一軸圧縮試験、③三軸圧縮試験(CU試験)を実施した。

3. 実験結果と考察

図-1は初期含水比 $w=100\%$ の安定処理土の標準圧密試験より得られた $e-\log p$ 曲線である。固化材添加量の増加にともない圧密降伏応力は増加する傾向がある。特に、固化材添加量が10 kgから20 kgに増加すると圧密降伏応力は著しく増加しているが、固化材添加量が20 kgから50 kgでは、圧密降伏応力は定常的に除々に増加している。

図-2は $w=100\%$ の場合の一軸圧縮試験より得られた応力ひずみ曲線を示している。これによると固化材添加量が増加すると一軸圧縮強さも増加することが明かである。また、固化材添加量の増加にともない初期変形係数も増加し、固化材添加量が30 kg以上では応力ひずみ曲線に降伏点(ピーク)が現れる。以上のように固化材添加量の増加にともない脆性的な性質に変化していることが明かである。

図-3は以上の結果より得られた一軸圧縮強さと圧密降伏応力の関係を固化材の初期含水比をパラメータとして示したものである。これによると初期含水比ごとに圧密降伏応力と一軸圧

表-1. 安定処理土の性状

固化材添加量(kg/m ³)	w=60%				
	10	20	30	40	50
含水比w(%)	59.7	58.8	58.5	58.2	57.4
湿側密度 ρ_w (g/cm ³)	1.602	1.583	1.581	1.577	1.577
乾側密度 ρ_d (g/cm ³)	1.003	0.997	0.997	0.997	1.002

固化材添加量(kg/m ³)	w=100%				
	10	20	30	40	50
含水比w(%)	99.5	99.5	97.1	96.8	94.7
湿側密度 ρ_w (g/cm ³)	1.439	1.443	1.427	1.459	1.466
乾側密度 ρ_d (g/cm ³)	0.721	0.723	0.747	0.741	0.753

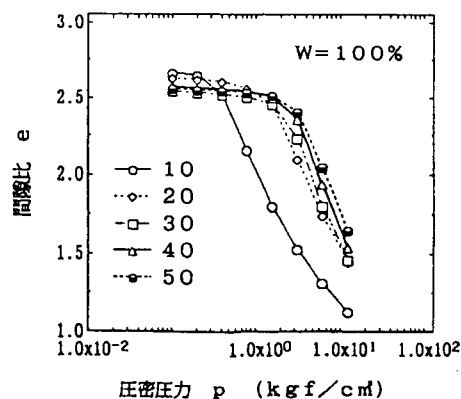


図-1. 圧密試験結果

Consolidation and shear properties of stabilized kaorin clay by cement type solidifier
Shunji Ue and Haruo Fujiwara (Tokuyama college of Technology)
Toshiaki Sakai and Hiroataka Ushiyama (Tokuyama Soda co.,Ltd)

縮強さは相関があることがあることが明らかである。また、初期含水比 $w = 60\%$ の安定処理土は $w = 100\%$ の安定処理土に比べ、圧密降伏応力、一軸圧縮強さとも大きな値を示しており、粘土の含水比に影響されることが明かである。なお、今回実施した含水比の範囲では固化材添加量が 10 kg 程度では粘土粒子間に十分な水和反応が起こらず、圧密せん断特性に著しい変化は見られなかった。

図-4 は初期含水比 $w = 60$ 、 100% の安定処理土の三軸圧縮試験より得られた有効応力経路図である。特に、 $w = 60\%$ の拘束圧 1.0 kgf/cm^2 の試験において固化材添加量 30 kg 以上になると応力経路の立ち上がり急になり他の試験の応力経路とは明らかに異なり、過圧密土の挙動に類似していることが明かである。これは圧密試験からも明かなように固化材添加量の増加にともない粘土は化学的作用により圧密降伏応力が増加し、疑似的に過圧密土に変化したものと考えられる。なお、拘束圧が大きくなると正規圧密土の挙動に回復してくるようである。 $w = 100\%$ の試験では応力経路に大きな変化は見られないが、固化材添加量が増加すると同様な傾向がみえる。

圧密試験より求めた圧密降伏応力によると、今回実施した拘束圧の範囲ではほとんどの安定処理土が過圧密領域に位置し、モールの応力円により求めた強度定数 c 、 ϕ は過圧密領域での強度定数となる。結果にはばらつきがあり確かなことは言えないが、固化材添加量の増加にともない強度定数 c の増加はみられるが、強度定数 ϕ の増加はさほどみられない傾向があることがわかる。また、安定処理土の初期含水比の相違により強度定数 c 、 ϕ の大きさは異なっている。

4. あとがき

セメント系固化材の添加量が比較的小さい場合の安定処理土の力学的試験を行い、次のことが明らかになった。

- 1) 固化材による安定処理効果が発現するには一定量以上の固化材の添加量（配合率）が必要である。
- 2) 固化材添加量の増加にともない安定処理土の圧密降伏応力、一軸圧縮強さは増加し、両者には相関関係がある。
- 3) 固化材添加量が増加すると安定処理土は化学的作用により見かけ上過圧密土となり、過圧密領域においては、固化材添加量の増加にともない強度定数 c が増加するが、強度定数 ϕ の変化はそれほど見られない。

5. 参考文献

- 1) 酒井敏明他：セメント系固化材によるカオリン粘土安定処理土の強度特性、第27回土質工学研究発表会概要集、pp.2319-2320.
- 2) 例えば、（社）セメント協会編：セメント系固化材による地盤改良マニュアル

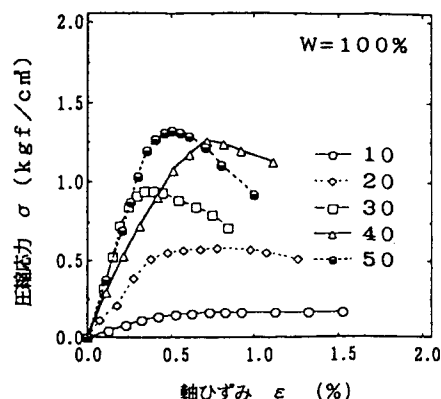


図-2. 一軸圧縮試験結果

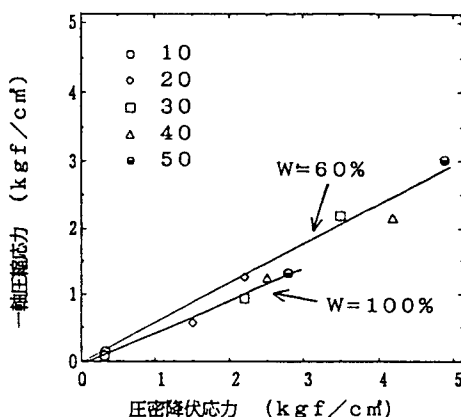


図-3. 圧密降伏応力と一軸圧縮強さの関係

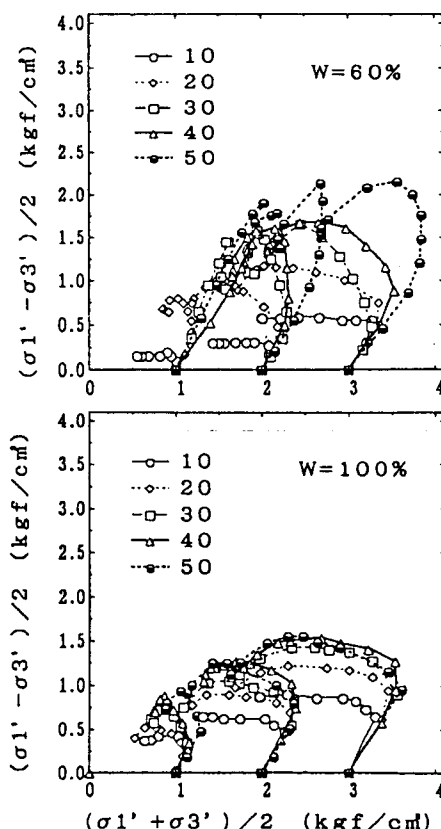


図-4. 三軸圧縮試験結果

- ・文献－8 藤原, 上, 福田, 酒井, 山本, 柳原: 三軸圧縮試験による安定処理されたカオリン粘土の強度特性, 第29回土質工学研究発表会, 平成6年6月, P2311～P2312

873

三軸圧縮試験による安定処理されたカオリン粘土の強度特性

徳山工業高等専門学校 正員 藤原 東雄 正員 上 俊二 正員 ○福田 靖
(株) トクヤマ 正員 酒井 敏明 正員 山本 勝英 正員 柳原 勝也

1. はじめに

土質安定処理材としてセメント系固化材(以下固化材という)が、軟弱地盤の地盤改良や堤体・盛土などの安定処理材に幅広く使用されている。あらかじめ安定処理土の設計強度定数(c 、 ϕ)と粘土の含水比と固化材の添加量および材令との相関が予測できるならば設計、施工時に実用上有益な資料になると考えられる。本報告は前報¹⁾に引き続き、粘性土地盤の固化材による土質安定処理効果を調べる基礎的研究として、カオリン粘土の含水比と固化材の添加量を変化させた安定処理土の三軸圧縮試験をおこない、材令の異なる安定処理土の強度特性について考察したものである。

2. 試料および試験方法

粘土試料は市販のカオリン粘土を用い、固化材は市販の固化材一般品(ハードキープP-403)を用いた。 $w=60$ 、 100% の2種類の粘土に対して、固化材の添加量を試料土 1 m^3 に対して $C=50$ 、 150 kg の2種類に変化させた。試料土の調整方法、供試体の作成方法は前報¹⁾と同様である。材令は1日、3日、7日、28日とした。なお、安定処理を施した供試体の初期性状は表-1に示すとおりである。以上の条件の安定処理土に対して、三軸試験(CU試験)を実施した。

表-1. 安定処理土の初期性状

含水比 w (%)	c (kg/m^3)	材令 (日)	初期含水比 w (%)	初期間隙比 e	湿潤密度 ρ_t (g/cm^3)	乾燥密度 ρ_d (g/cm^3)
60	50	1	57.56	1.659	1.600	1.016
		3	56.89	1.648	1.600	1.020
		7	56.20	1.660	1.586	1.016
		28	56.12	1.643	1.595	1.022
	150	1	51.51	1.535	1.615	1.066
		3	50.83	1.480	1.642	1.089
		7	50.38	1.481	1.636	1.088
		28	49.67	1.482	1.629	1.088
100	50	1	96.21	2.597	1.473	0.751
		3	94.45	2.606	1.456	0.749
		7	93.61	2.577	1.462	0.755
		28	93.24	2.597	1.449	0.751
	150	1	81.63	2.260	1.504	0.828
		3	80.48	2.231	1.508	0.836
		7	79.73	2.208	1.513	0.841
		28	78.27	2.208	1.500	0.842

3. 実験結果と考察

図-1は $w=100\%$ 、 $c=50\text{ kg}$ の安定処理土材令7日と材令28日の有効応力経路である。図から明かなように拘束圧が高くなるほど正規圧密の挙動を示し、材令の影響がなくなる傾向があるが、低拘束圧領域は材令28日の試験は7日に比べ応力経路の立ち上がりは急になり過圧密土の挙動を示す傾向が認められる。安定処理土は化学的作用により擬似的に過圧密土になるものと考えられ、材令が長くなるほど、圧密降伏応力が増加するものと考えられる。他の安定処理土においても同じ様な傾向があらわれた。

図-2、図-3は軸差応力の最大時を破壊時の応力状態とみなし、 $w=100\%$ 、 $c=50$ の安定処理土の破壊時の応力状態を示したものである。材令ごとに直線を引いているが、

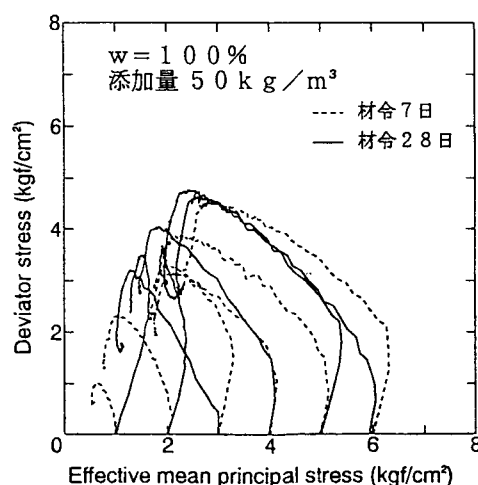


図-1. 有効応力経路図

"Strength properties of stabilized kaorin clay by triaxial compression tests"

Haruo FUJIWARA and Shunji UE and Yasusi FUKUDA (Tokuyama College of Technology)

Toshiaki SAKAI and Katuhide YAMAMOTO and Katuya YANAGIHARA (Tokuyama Corp.)

Mohr-Coulombの破壊基準によると、この直線の切片が粘着力C、勾配が内部摩擦角 ϕ に相当するものとなる。材令1日、3日、7日まではC、 ϕ とも著しい変化は見られないが、材令28日になると ϕ はあまり変化しないがCはかなり増加する傾向が見られる。

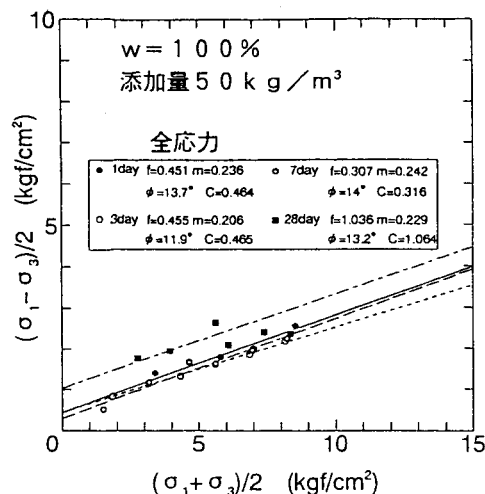


図-3 安定処理土の強度定数

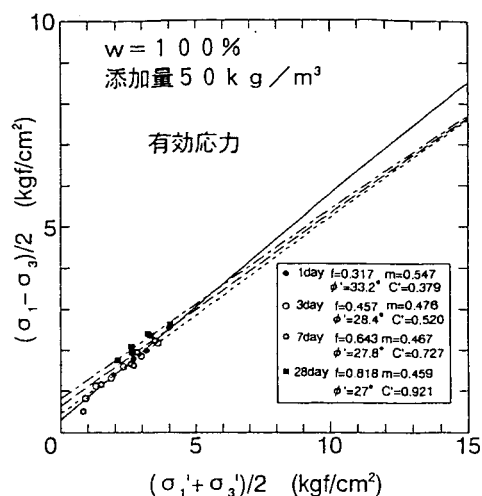


図-4 安定処理土の強度定数

図-4、図-5は以上の結果より各供試体の材令と内部摩擦角 ϕ および粘着力Cの関係を示したものである。全ての試験において内部摩擦角 ϕ の値は材令による変化が見られないが粘着力Cの値は材令が長くなるにしたがい増加する傾向がある。w=60%の安定処理土はw=100%の安定処理土に比べ粘着力Cは大きい値を示すが、 ϕ はやや小さい値を示している。これは、含水比の相違により固化材と粘土中の水分の配合率が変化するため、粘土粒子間の結合力、摩擦抵抗が変化するものと考えられる。

4. あとがき

材令の異なる安定処理されたカオリン粘土の三軸試験を行い、次のことが明らかになった。

- 1) 安定処理されたカオリン粘土は化学的作用により見かけ上過圧密状態になると考えられ、材令が長くなると圧密降伏応力が増加し、低拘側圧では過圧密土の挙動を示すことが明らかになった。
- 2) 強度定数 ϕ は材令に関係なくほぼ一定の値を示すが、Cは材令が長くなるにしたがい増加の傾向が見られる。また固化材添加率が高くなるほど粘着力Cの増加が顕著にあらわれる。

5. 参考文献

- 1) 藤原東雄、上 俊二、酒井敏明、牛山宏隆：セメント系固化材によるカオリン粘土安定処理土の圧密、せん断特性，第28回土質工学研究発表会概要集，pp.2549-2550，1993。
- 2) 立石義孝、鬼塚克忠、吉武茂樹：安定処理を施した珪藻土の強度発現過程，土木学会第48回年次学術講演会，pp.638-639，1993。

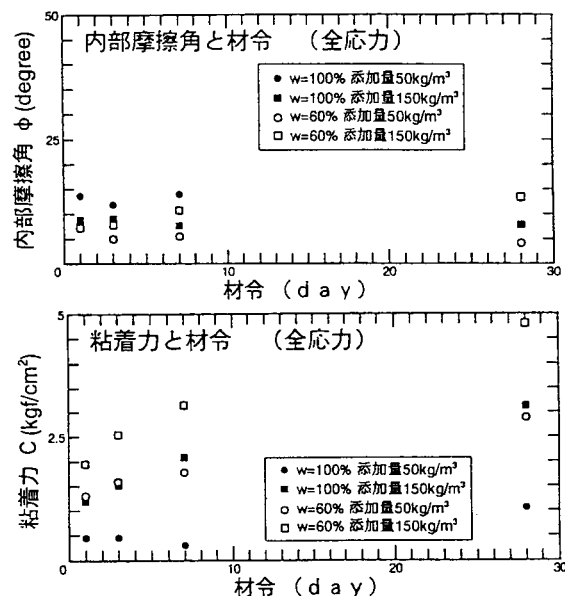


図-4. 内部摩擦角，粘着力と材令との関係

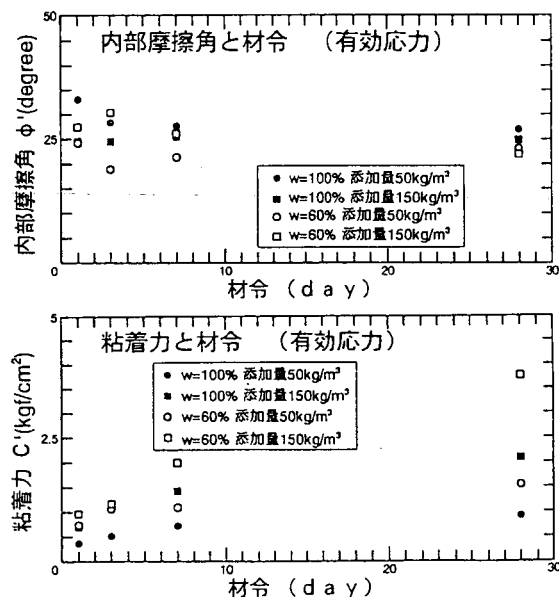


図-5. 内部摩擦角，粘着力と材令との関係

- ・文献－9 酒井, 山本, 柳原, 藤原, 上, 福田: 一軸圧縮試験による安定処理されたカオリン粘土の強度特性, 第29回土質工学研究発表会, 平成6年6月, P2313～P2314

(株) トクヤマ 正員 酒井敏明、正員 山本勝英、正員 柳原勝也
徳山工業高等専門学校 正員 藤原東雄、正員 上 俊二、正員 福田 靖

1. はじめに

良質な土質材料が枯渇の傾向にある現在、軟弱な土質であっても現地材料を高品位化して再利用する必要性が増えてきている。これら軟弱な土質は様々な方法あるいは工法により安定処理されている。本報告では前報¹⁾に引き続いて、土質安定処理材であるセメント系固化材（以下固化材という）を使用し土質安定処理効果を調べる基礎的研究として、カオリン粘土の含水比および固化材添加量を変化させた安定処理土の材齢による強度発現の過程を考察した。

2. 試料および試験方法

本実験では試料土は市販のカオリン粘土、固化材は市販の固化材一般品（ハードキープP-430）を使用した。試料土は乾燥状態のものを加水して初期含水比 $w=60$ 、 100% に調整した。固化材添加量は試料土 1 m^3 に対して 50 、 150 kg の2水準とした。試料土の調整方法、供試体作製方法、供試体の養生方法は前々報²⁾と同様であるが材齢（養生期間）は 1 、 3 、 7 、 28 、 91 日とした。供試体の初期性状および安定処理後の性状は表-1に示すとおりである。

以上の条件で調整した安定処理土に対して一軸圧縮試験を実施した。

3. 実験結果

図-1は、一軸圧縮強さ（ q_u ）の経時変化を示したものである。各初期含水比において、固化材添加量が 50 kg/m^3 から 150 kg/m^3 に増加すると一軸圧縮強さ（ q_u ）も増加しており、その伸び率はそれぞれ2倍程度である。また、すべての条件において材齢が経過するほど強度は増加しており、その推移は材齢7日を過ぎてから急増し、なおかつ材齢91日以降も強度増進していくものと推定される。

図-2は、材齢7日と各材齢における一軸圧縮強さ（ q_u ）の関係を示したものである。初期含水比の違いあるいは固化材添加量の違いにかかわらず両者には相関関係があることがわかり、材齢ごとに直線関係がある。また、材齢が経過するごとにその傾きは大きく

表-1 供試体初期性状および安定処理後の性状

		$w=60\%$			$w=100\%$		
固化材添加量 (kg/m^3)		0	50	150	0	50	150
含水比 (%)		61.4	57.5	51.6	102.5	92.8	81.4
湿潤密度 (g/cm^3)		1.591	1.600	1.634	1.437	1.458	1.506
乾燥密度 (g/cm^3)		0.986	1.016	1.078	0.710	0.717	0.746
一軸圧縮強さ (kgf/cm^2)	材齢1日		2.29	4.89		1.05	1.64
	材齢3日		2.79	6.15		1.31	3.01
	材齢7日		3.26	7.24		1.58	3.47
	材齢28日		5.32	12.55		2.86	6.35
	材齢91日		6.72	15.80		3.84	8.67

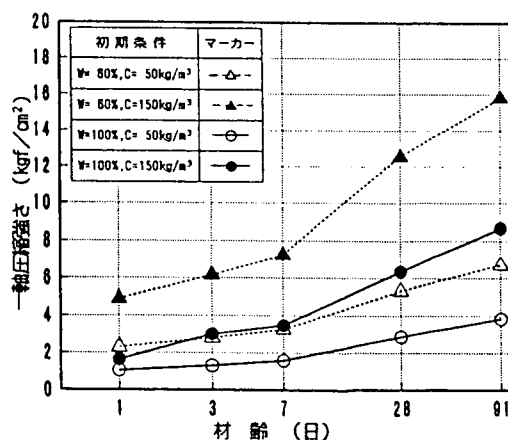


図-1 一軸圧縮強さの経時変化

Strength properties of stabilized kaorin clay by unconfined compression test

Tosiaki sakai, Katuhide Yamamoto, Katuya Yanagihara (Tokuyama corp.)

Haruo Fuziwara, Syunzi Ue, Yasusi Fukuda (Tokuyama college of technology)

なるが、特に材齢7日から材齢28日にかけての傾きが大きくその強度増加率は1.8倍程度となっている。

図-3は、初期含水比 $w=100\%$ 、固化材添加量 $C=50\text{kg/m}^3$ の場合の一軸圧縮試験により得られた応力ひずみ曲線を示したものである。材齢7日以前に比べ材齢28日以降は立ち上がりが急になり、変形係数が増加していることがわかる。また、材齢91日で応力ひずみ曲線に降伏点（ピーク）が現れており、材齢の経過とともに脆性的な性質に変化していることが明らかである。

図-4は、変形係数（ E_{50} ）の経時変化を示したものである。すべての条件において材齢の経過とともに変形係数（ E_{50} ）も増加している。特に初期含水比 $w=60\%$ 、固化材添加量 $C=150\text{kg/m}^3$ のものは、材齢7日を過ぎてから急増した。

図-5は、一軸圧縮強さ（ q_u ）と三軸圧縮試験により得られた粘着力（ c ）の関係を示したものである。初期含水比の違いあるいは固化材添加量の違いにかかわらず両者には相関関係があることがわかる。また、この関係は概ね $c=1/2 q_u$ の関係にあり、一軸圧縮強さより強度定数である粘着力（ c ）を簡便に推定することが可能である。

4. まとめ

カオリン粘土に固化材を添加した安定処理土の強度特性は、①初期含水比の違いにかかわらず材齢7日から材齢28日の強度増加率が非常に大きく脆性的な性質に変化することが明らかになった。②材齢の変化による強度増加率は、含水比、固化材添加量にかかわらずほぼ一定の割合で増加し、任意材齢の強度がわかれば各材齢での強度が推定できることが明らかになった。③一軸圧縮強さ（ q_u ）と強度定数である粘着力（ c ）との関係は初期含水比の違いあるいは固化材添加量の違いに関係なく、概ね $c=1/2 q_u$ の関係がある。

5. 参考文献

- 1) 酒井敏明他：セメント系固化材によるカオリン粘土安定処理土の強度特性、第27回土質工学研究発表会概要集、pp.2319-2320。
- 2) 上俊二他：セメント系固化材によるカオリン粘土安定処理土の圧密、せん断特性、第28回土質工学研究発表会概要集、pp.2549-2550。

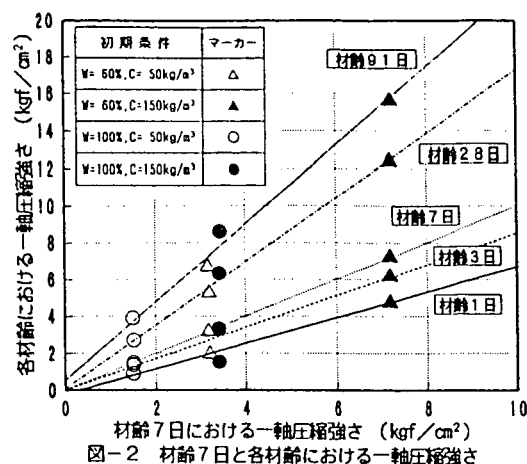


図-2 材齢7日と各材齢における一軸圧縮強さ

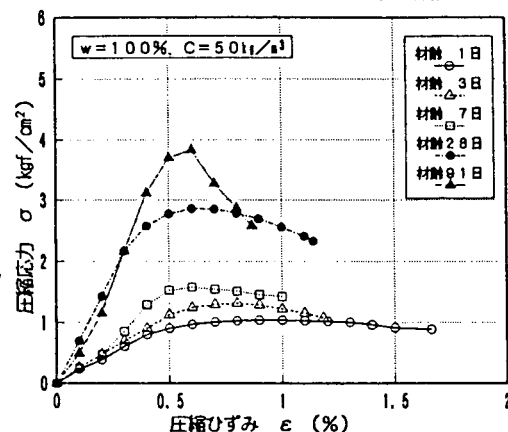


図-3 応力ひずみ図

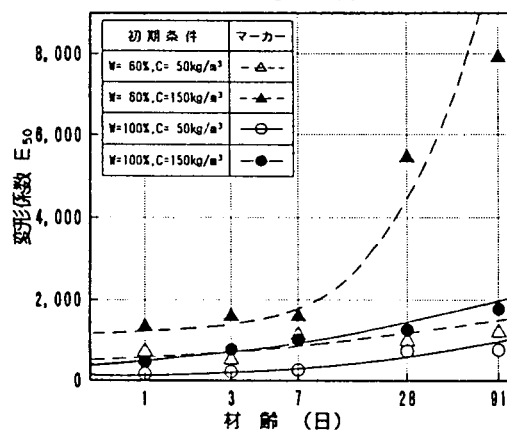


図-4 変形係数 E_{50} の経時変化

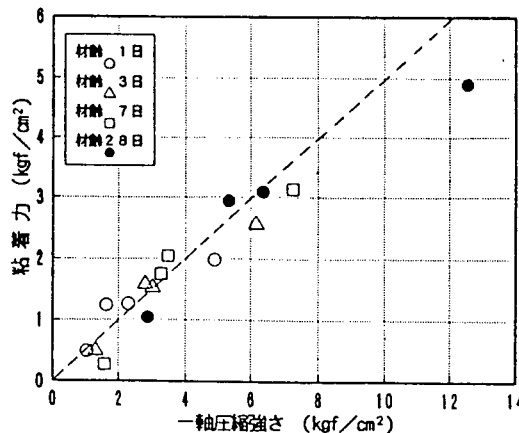


図-5 一軸圧縮強さと粘着力の関係

- ・文献-10 藤原, 上, 福田, 酒井, 山本, 柳原: セメント系固化材により安定処理された粘土の強度発現特性, 第30回土質工学研究発表会, 平成7年7月, P2199~P2200

セメント系固化材により安定処理された粘土の強度発現特性

徳山工業高等専門学校 正員 藤原 東雄 正員 上 俊二 正員 ○福田 靖
(株) トクヤマ 正員 酒井 敏明 正員 山本 勝英 正員 柳原 勝也

1. まえがき

軟弱地盤での開発が盛んとなり固化材を添加、配合することにより軟弱土であっても現位置で処理し高品質化して再利用する方法が注目されてきた。また環境保全を目的としたヘドロの固化、産業廃棄物中の有害物資流出防止など固化材が幅広く使用されている。前報¹⁾では、単一の粘土鉱物で、有機物を含まないカオリン粘土を用い処理・改良効果を明らかにしたが、本報告では他の鉱物を含んでいる現場より採取された粘土の、固化材添加量を変化させた安定処理土の材令の違いによる、強度の発現状況を考察し、カオリン粘土との比較を行った。

2. 試料および試験方法

粘土試料は、岡山県児島郡灘崎町片岡地内採取土（以下岡山粘土）を用い、固化材は市販の固化材一般品（ハードキープP-403）を使用した。初期含水比 $w = 160\%$ の粘土に対して、固化材添加量を乾燥試料土 1 m^3 に対して 10% 、 20% に変化させた。試料土の調整方法、供試体の作成方法は前報¹⁾と同様である。試料の物理的性質は表-1に示す。材令については1日、3日、7日、28日とし一軸圧縮試験については91日の安定処理土についても実施した。以上の供試体に対して、圧密試験（定ひずみ試験）、一軸圧縮試験を実施した。

3. 実験結果と考察

圧密試験より得られた、圧密降伏応力の経時変化を図-1に示す。材令の増加にともない降伏応力は増加している。また、固化材添加量が多い程圧密降伏応力は大きい。

図-2は一軸圧縮試験より得られた一軸圧縮強さの経時変化を示したもので、材令および添加量の増加にともない、一軸圧縮強さ q_u は増加しており、91日以降も増加するものと推定され、より安定した土構造へと変化している。

表-1. 試料の物理的性質

	固化材	岡山粘土	カオリン粘土
比重 G_s	3.07	2.674	2.65
比表面積 (cm^2/g)	3800		
液性限界 w_L (%)		77.0	78.5
塑性限界 w_P (%)		29.4	37.5
塑性指数 I_P		47.6	41.2

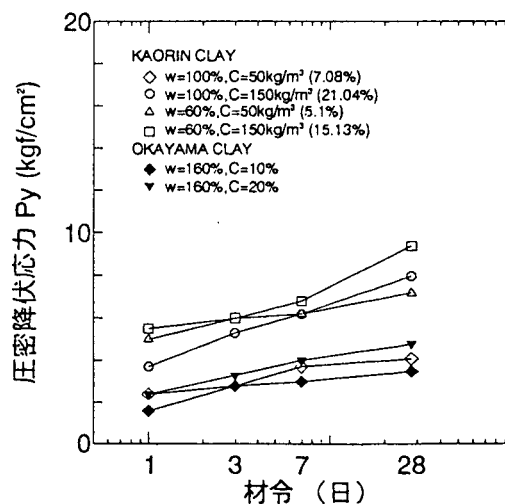


図-1. 圧密降伏応力の経時変化

Strength properties of stabilized clay by cement type solidifier.

Haruo FUJIWARA, Shunji UE and Yasusi FUKUDA (Tokuyama College of Technology)

Toshiaki SAKAI, Katsuhide YAMAMOTO and Katsuya YANAGIHARA (Tokuyama Corp.)

図-3は一軸圧縮強さ q_u と、変形係数 E_{50} との関係を示したもので、両者には相関関係がみられ、材令とともに増加している。図より E_{50} と $C_u = q_u / 2$ の間には、カオリン粘土で $E_{50} = 460 C_u$ 、岡山粘土で $E_{50} = 340 C_u$ となる。

圧密降伏応力と一軸圧縮強さの関係を図-4に示す。ここでは前報¹⁾までのカオリン粘土の結果も入れ両者には相関関係があるのか考察した。図より多少ばらつきはあるものの両者は一本の曲線で近似し、相関関係があることがわかるが、今後添加量の多い供試体での関係を明らかにする必要がある。

4. あとがき

本報告では、岡山粘土の固化材添加量および材令を変化させた粘土供試体について力学的試験を行い、安定処理土の強度の発現状況について考察し、カオリン粘土と比較し次の結果を得た。

安定処理された岡山粘土の力学的性質は、カオリン粘土と同様に固化材添加量および材令の増加にともない圧密降伏応力、一軸圧縮強さは増し、脆性的なものに変化する。

変形係数 E_{50} と C_u の間にはカオリン粘土の場合 $E_{50} = 460 C_u$ 、岡山粘土は $E_{50} = 340 C_u$ という関係が成り立つ。

一軸圧縮強さと圧密降伏応力には相関関係があり、一軸圧縮強さから圧密降伏応力が推定できることが示された。

5. 参考文献

- 1) 酒井敏明他：一軸圧縮試験による安定処理されたカオリン粘土の強度特性，第29回土質工学研究発表会概要集，pp. 2313-2314, 1994.
- 2) 上俊二他：セメント系固化材により安定処理されたカオリン粘土の力学特性，土木学会第49回年次学術講演会概要集，pp. 1570-1571, 1994.
- 3) (社)セメント協会編：セメント系固化材による地盤改良マニュアル，技報堂出版，1994.

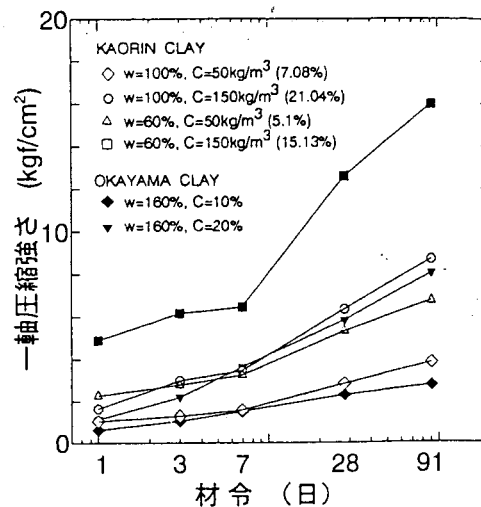


図-2. 一軸圧縮強さの経時変化

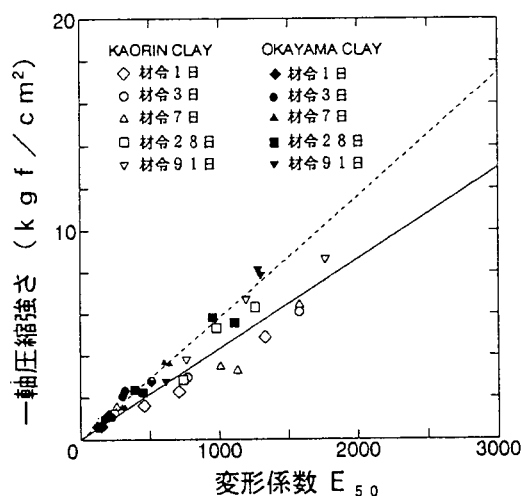


図-3. 変形係数 E_{50} と一軸圧縮強さの関係

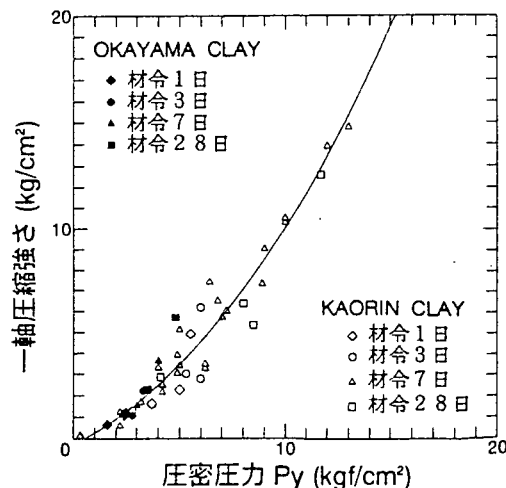


図-4. 一軸圧縮強さと圧密降伏応力の関係

- ・文献-11 藤原, 上, 福田, 竹内, 山本, 柳原: セメント系固化材により安定処理されたカオリン粘土の力学的性質(1), 第31回地盤工学研究発表会, 平成8年7月, P169~P170

85

セメント系固化材により安定処理されたカオリン粘土の力学的性質 (1)

徳山工業高等専門学校 正員 藤原 東雄 正員 上 俊二
同上 正員 ○福田 靖 学員 竹内 潤
(株) トクヤマ 正員 山本 勝英 正員 柳原 勝也

1. まえがき

各種の地盤改良工法が普及し軟弱地盤対策が発達してきた。本報告では前報¹⁾に引き続き、改良工法のひとつであるセメント系固化材(以下固化材)を使用した安定処理土の一軸圧縮試験と定ひずみ圧密試験を実施し、化学的作用により安定処理された粘土の、材齢および固化材添加量の違いによる強度の発現状況など力学的性質を考察し、その結果を報告する。

2. 試料および試験方法

本実験での試料土はアメリカ産の市販のカオリン粘土を使用し、初期含水比 $w=60\%$ および 100% の粘土に対して、固化材添加量を試料土 1 m^3 に対して 50 kg , 100 kg および 150 kg に調整した。使用した固化材、試料土の調整方法、供試体の作成方法および材齢は前報¹⁾と同様である。以上の供試体に対して、圧密試験(定ひずみ試験)、一軸圧縮試験を実施した。

3. 実験結果と考察

図-1に定ひずみ圧密試験より得られた、圧密降伏応力の経時変化を示す。材齢の増加にともない降伏応力は増加している。

図-2に固化材添加量 C と圧密降伏応力の関係を示す。固化材添加量の増加にともない降伏応力は増加している。特に初期含水比 $w=100\%$ のものは、 100 kg/m^3 から 150 kg/m^3 で著しく増加している。このことから圧密降伏応力は、固化材添加量に影響される。

一軸圧縮試験より得られた一軸圧縮強さの経時変化を図-3に示す。すべての条件において材齢

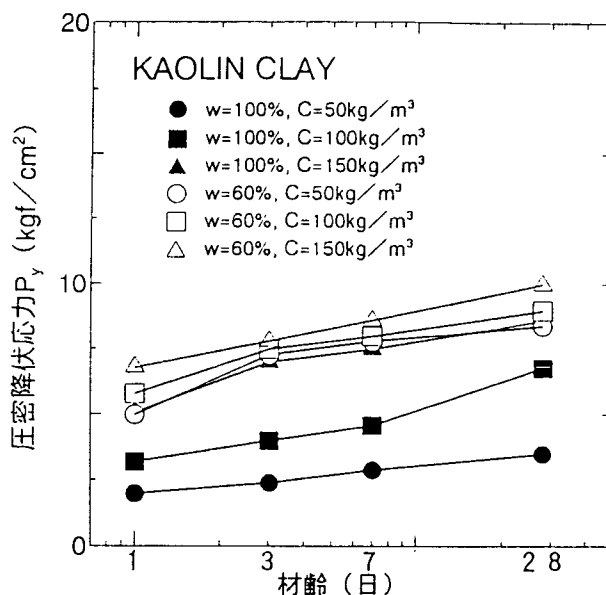


図-1 圧密降伏応力の経時変化

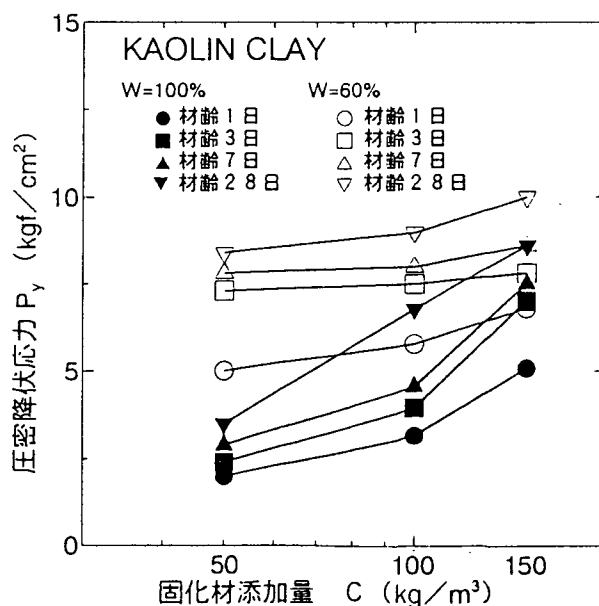


図-2 固化材添加量と圧密降伏応力の関係

Mechanical properties of stabilized kaolin clay by cement type solidifier. (1)

Haruo FUJIWARA, Shunji UE, Yasusi FUKUDA and Jun TAKEUCHI (Tokuyama College of Technology)
Katuhide YAMAMOTO, and Katuya YANAGIHARA (Tokuyama Corp.)

の経過とともに一軸圧縮強さが増加し、固化材添加量が多いもの程その傾向が強く、材齢7日を過ぎてから著しく増加し、91日以降も増加するものと考えられ、添加量の少ない程その傾向は弱くなる。また各初期含水比において、固化材添加量がそれぞれ増加すると一軸圧縮強さも約2倍程度の伸び率で増加している。

図-4は一軸圧縮強さ q_u と、変形係数 E_{50} との関係を示したもので、比較的高い相関性が見られ材齢とともに増加している。また固化材添加量が多い程大きい値となっている。 E_{50} の値は一軸圧縮強さの約200倍で以下の式で表される。

$$E_{50} = 400C_u \dots \dots \dots (1)$$

一軸圧縮強さと降伏応力の関係を図-5に示す。図より多少バラツキは見られるが両者は相関関係にあり、一軸圧縮強さから圧密降伏応力を推定することができ、その関係は以下の式で表される。

$$P_y = \frac{q_u}{(0.0629q_u + 0.435)} \dots \dots \dots (2)$$

4. あとがき

今回の試験より得られた安定処理された粘土の強度の発現状況などの力学的性質を考察し、主な結果は以下のとおりである。

- 1) 変形係数 E_{50} と $C_u = \frac{q_u}{2}$ との間には相関性が見られ、式(1)のような関係が成り立つ。
- 2) 安定処理土の力学的性質は含水比、固化材添加量および材齢に影響され、固化材添加量、材齢の増加とともに一軸圧縮強さと圧密降伏応力は増加するが、一軸圧縮強さと圧密降伏応力は相関性が見られ、式(2)のような関係が成り立ち、一軸圧縮強さから圧密降伏応力を推定することができる。

参考文献

- 1) 酒井敏明他：一軸圧縮試験による安定処理されたカオリン粘土の強度特性，第29回土質工学研究発表会概要集，pp.2313-2314，1994。
- 2) 福田靖他：セメント系固化材により安定処理された粘土の強度発現特性，第30回土質工学研究発表会概要集，pp.2199-2200，1995。

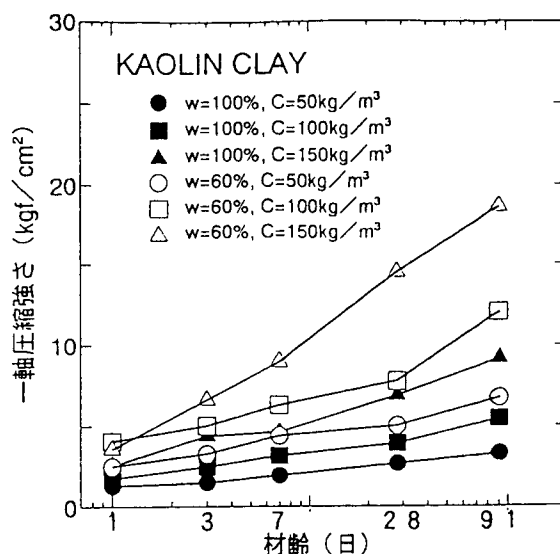


図-3 一軸圧縮強さの経時変化

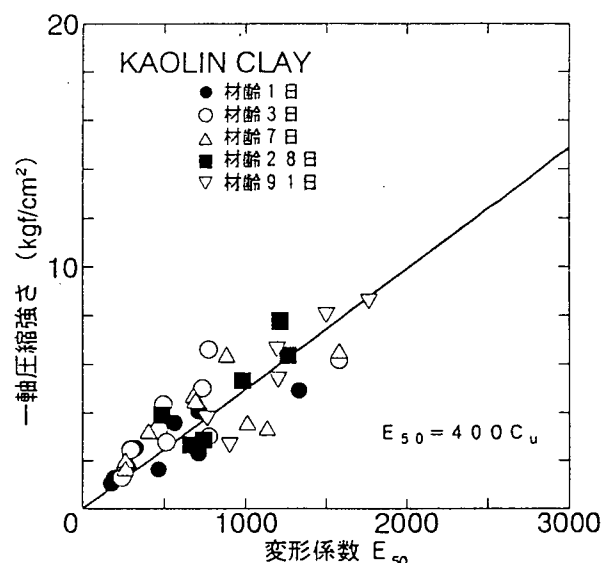


図-4 変形係数 E_{50} と一軸圧縮強さの関係

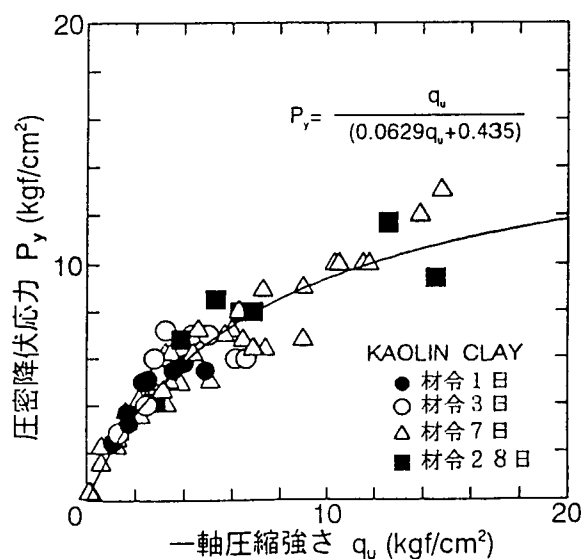


図-5 一軸圧縮強さと圧密降伏応力の関係

- ・文献-12 藤原, 上, 福田, 竹内, 酒井, 柳原: セメント系固化材により安定処理されたカオリン粘土の力学的性質(2), 第31回地盤工学研究発表会, 平成8年7月, P171~P172

セメント系固化材により安定処理されたカオリン粘土の力学的性質(2)

徳山工業高等専門学校 正員 藤原 東雄 正員 上 俊二
同上 正員 福田 靖 学员 ○竹内 潤
(株) トクヤマ 正員 酒井 敏明 正員 柳原 勝也

1. まえがき

セメント系固化材により安定処理された粘土は、固化材が粘土中の水分と化学反応を起こすことにより圧密降伏応力が増加し擬似的に過圧密土となり、含水比、固化材の添加量により粘土の力学的性質が変化することが知られている¹⁾。前報²⁾では圧密降伏応力と正規圧密領域における強度増加率より、非排水せん断強度を予測できる可能性があることが明かになった。しかし、三軸試験における拘束圧が1~6 kgf/cm²の範囲でしか試験が行えなかったため、高拘束圧(正規圧密領域)での試験が実施できなかった。そこで、本研究では新たに導入した中圧三軸試験機(拘束圧が100 kgf/cm²まで可能)を使用し、広範な応力域(過圧密領域から正規圧密領域)でのせん断特性を明かにすることを目的とする。

2. 試料および実験方法

本実験で使用した粘土試料、固化材、試料土の調整方法、供試体の作成方法、養生期間については前報²⁾と同種である。実験は前報と同様、固化材添加量Cの変化と、材齢の変化の2つの条件について、安定処理土の力学的性質を調べることを目的とする。

以上の条件で安定処理を施した粘土供試体について、圧密非排水三軸試験(CU試験)を実施した。等方圧密は3 t法により圧密を打ち切り、せん断時におけるひずみ速度は0.1%/minとし、間隙水圧の測定は供試体の底部で行った。また拘束圧は、1~30 kgf/cm²とした。

3. 実験結果と考察

図-1は、初期含水比W=100%、材齢7日の安定処理土の三軸圧縮試験より得られた有効応力経路図である。材齢が一定の場合、固化材添加量が増加すると圧縮強度が増加していることが明かになり、正規圧密領域における破壊線の傾きMは、添加量が増加するに従い増加していることがわかる。圧密試験³⁾より得られた圧密降伏応力(図中のPy)より低い拘束圧では、曲線の立ち上がり急になり過圧密の挙動を示している。圧密降伏応力より高い拘束圧では曲線形状が緩やかになっていることから正規圧密の挙動を示している。

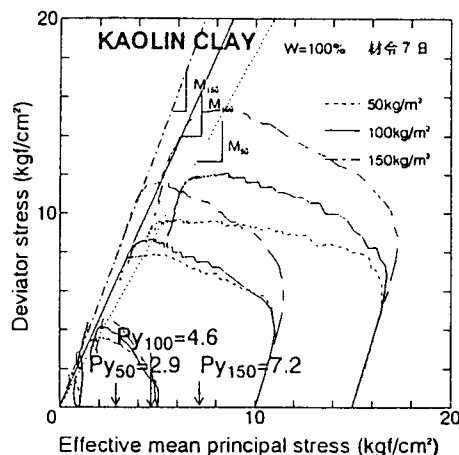


図-1 有効応力経路(シリーズI)

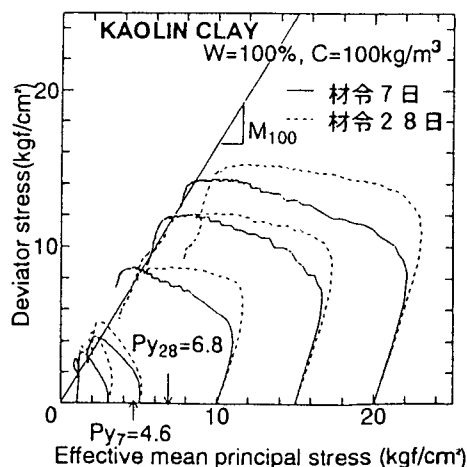


図-2 有効応力経路(シリーズII)

Mechanical properties of stabilized kaolin clay by cement type solidifier.

Haruo FUJIWARA, Shunji UE, Yasusi FUKUDA and Jun TAKEUCHI (Tokuyama College of Technology)
Tosiaki SAKAI and Katuya YANAGIHARA (Tokuyama Corp.)

図-2は、初期含水比 $W=100\%$ 、 $C=100\text{ kg/m}^3$ の安定処理土の三軸圧縮試験より得られた材齢7日と28日の有効応力経路図である。低拘束圧（過圧密領域）では、材齢28日は材齢7日より圧縮応力が大きく、その経路は異なるが高拘束圧（正規圧密領域）においてはせん断時の挙動に若干の相違はあるものの破壊時には材齢に関係なくほぼ同じ圧縮応力を示している。

初期含水比 $W=100\%$ 、材齢7日の安定処理土の非排水せん断強度と圧密圧力の関係を、図-3に示す。高い拘束圧（正規圧密領域）での非排水せん断強度を結ぶと、原点を通る一本の直線が添加量ごとに引ける。そのときの勾配を正規圧密領域における強度増加率 m とすると、 m は添加量の増加とともに増加することが明かである。また、圧密降伏応力以下では、添加量ごとに直線が引ける。

初期含水比 $W=100\%$ 、 $C=100\text{ kg/m}^3$ の安定処理土の非排水せん断強度と圧密圧力の関係を図-4に示す。材齢が増加するにつれて圧密降伏応力は増加し、圧密降伏応力より低い拘束圧（過圧密領域）では材齢の大きいものほど非排水せん断強度は大きくなるが、圧密降伏応力より高い拘束圧（正規圧密領域）では材齢に関係なく m が一定になることを示している。

このように、圧密降伏応力を境に安定処理された粘土の力学的性質は大きく異なるが、その理由として、高い拘束圧を負荷することにより供試体の構造が変わることが挙げられるであろう。

4. あとがき

本論文では、初期含水比の異なるカオリン粘土に対し、固化材添加量および材齢を変化させた粘土供試体の三軸圧縮試験を行った。その結果、安定処理土の力学的性質について次のことが明らかになった。

- 1) 安定処理土は化学的作用により、擬似的に過圧密土となり、圧密降伏応力を境に力学的特性が異なる。
- 2) 低い拘束圧（過圧密領域）における圧縮強度は、材齢により変わるが、高い拘束圧（正規圧密領域）における圧縮強度は、材齢に関係なくほぼ同じ値を示す。
- 3) 正規圧密領域における強度増加率は材齢には影響されないが添加量には影響を受ける。

参考文献

- 1) (社)セメント協会編：セメント系固化材による地盤改良マニュアル
- 2) 上 俊二他：セメント系固化材により安定処理されたカオリン粘土の力学的性質，第1回地盤改良シンポジウム発表論文集，pp. 5-pp. 12, 1994.
- 3) 福田靖他：セメント系固化材により安定処理されたカオリン粘土の力学的性質その1，第31回土質工学研究発表会概要集，投稿中。

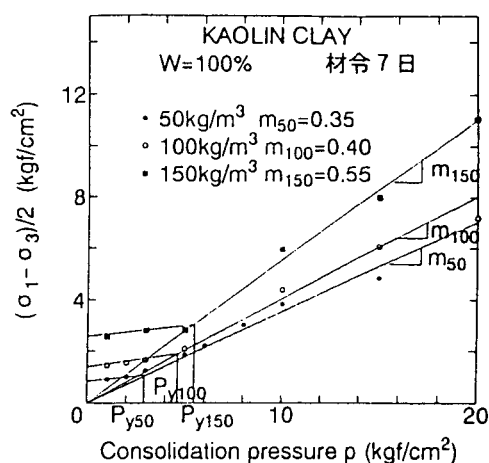


図-3 圧密圧力と C_u の関係（シリーズⅠ）

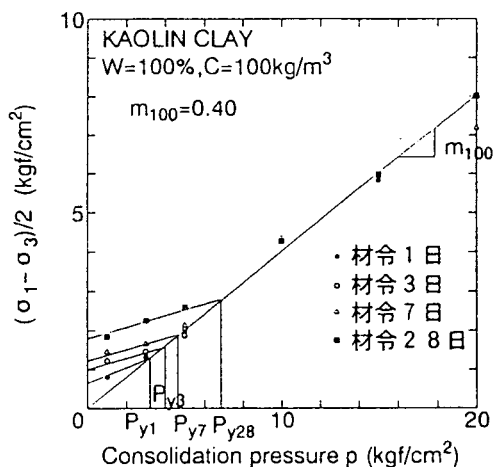


図-4 圧密圧力と C_u の関係（シリーズⅡ）

- ・文献-13 技術報告：都市ゴミ灰を利用した特殊セメントの塩素溶出の低減に関する一考察,
(株)秩父小野田研究報告, 第47巻, 第1冊, 第130号, 1996, P82～P88

技術報告

都市ゴミ灰を利用した特殊セメントの塩素溶出の 低減に関する一考察

A Consideration on Reducing the Amount of Chloride Elution in the Special Cement Made from Municipal Waste

守屋 政彦*, 磯田 英典**,
大森 啓至***, 丸田 俊久****

Masahiko MORIYA*, Hidenori ISODA**,
Hiroshi OHMORI***, Toshihisa MARUTA****

要 旨

都市ゴミの焼却灰を原料とした特殊セメント（エコセメントと呼称する）は、普通セメントと比較して数百倍の塩素を含んでいる。本研究は、このエコセメントを地盤改良などに使用する材料として利用することを検討したものである。しかし、塩素を含有したセメントは、その水和反応の過程において溶出する塩素により地中埋設物や地下水に影響を与える可能性があり、状況によって使用が制限される場合もある。

そこで塩素の溶出を抑制することを目的に、セメントに高炉水砕スラグを添加し、種々の実験を行った。検討を行った内容は、セメントペーストを用いて塩素の溶出試験、圧縮試験およびX線回折や電子顕微鏡観察による水和生成物の確認を行い、地盤改良材としての利用においては改良土の一軸圧縮試験を行った。その結果を以下に示す。

- (1) 高炉水砕スラグを添加することによって、塩素の溶出を抑制することが可能であり、セメント：スラグ＝1：1の配合において、塩素の溶出率は約50%まで低減した。
- (2) 高炉水砕スラグを添加することによって、セメントペースト、改良土ともに圧縮強度が増加することが確認された。

*セメント・コンクリート研究所 研究員 Researcher, Cement & Concrete Research Laboratory

**セメント・コンクリート研究所 研究員 Researcher, Cement & Concrete Research Laboratory

***セメント・コンクリート研究所 参事研究員 Researcher, Cement & Concrete Research Laboratory

****セメント・コンクリート研究所 理事研究員 Manager, Cement & Concrete Research Laboratory

キーワード: エコセメント, 地盤改良材, 都市ゴミ, 高炉水砕スラグ, 溶出試験, X線回折, 電子顕微鏡観察, 圧縮強度

ABSTRACT

The special cement designated as ECOCEMENT, which has been developed to utilize ask of municipal waste as a raw material, contains several hundred times as much amount of chloride as ordinary portland cement does.

This paper forms a part of the investigation on applying this cement to a soil stabilizing agent. On its application to this field the chloride eluted during hydration of this cement was concerned about the influences on underground steel structures and quality of underground water. In order to reduce amounts of chloride elution, the effects of adding blast furnace slag to the cement were investigated by means of conducting chloride elution test, compressive strength test, x-ray diffraction analysis and observation with scanning electron microscopy. Furthermore the applicability of the cement to a soil stabilizing agent was estimated by compressive strength tests on the improved soil. The results are summarized as follows.

- (1) The amount of chloride eluted from cement paste can be reduced to about 50% by mixing blast furnace slag and the cement in the weight proportion 1:1.
- (2) The addition of blast furnace slag gives rise to higher compressive strength of cement paste and improved soil than the neat cement.

Keywords: ECOCEMENT, Soil stabilizing agent, Municipal waste, Blast furnace slag, Elution test, X-ray diffraction, Scanning Electron Microscopy, Compressive strength

1. 緒 言

近年、産業や社会生活が拡大する中で環境保全が問題視され、資源のリサイクル化が各方面で進められている。中でも都市ゴミの焼却灰や下水汚泥の再資源化が重要な課題としてクローズアップされてきており、現在これらをセメント製造の原料として再利用することが可能となりつつある^{1), 2), 3)}。これは、これら廃棄物の化学成分が主に SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 および CaO などからなり、セメント原料の主要な化学成分に対応することによる。再資源化の目処が立った反面、これらはその化学成分中に塩化ビニールの燃焼などによる塩素を含んでいることから、普通セメントと異なり、アリナイト⁴⁾やカルシウムクロロアルミネートなどの塩素含有鉱物をその組成中に含んだセメントとして製造される^{1), 2), 3)}。これら塩素含有セメント（このセメントをここではエコセメントと呼称する）は、含有する塩素のために、鉄筋を用いるコンクリートやモルタルへの利用が制限され、無筋コンクリートの場合でも塩素の溶出が問題

となる^{5), 6)}。また、地盤改良などの土木工事に使用する場合でも、溶出する塩素による地下構造物への影響および溶出した塩素を含んだ水が流出することで周辺環境への影響が懸念される。

本報告は、高炉水砕スラグを添加材として使用することで塩素の溶出を抑制し、これらの問題を解決することを目的に実験を行った結果を報告するものである。

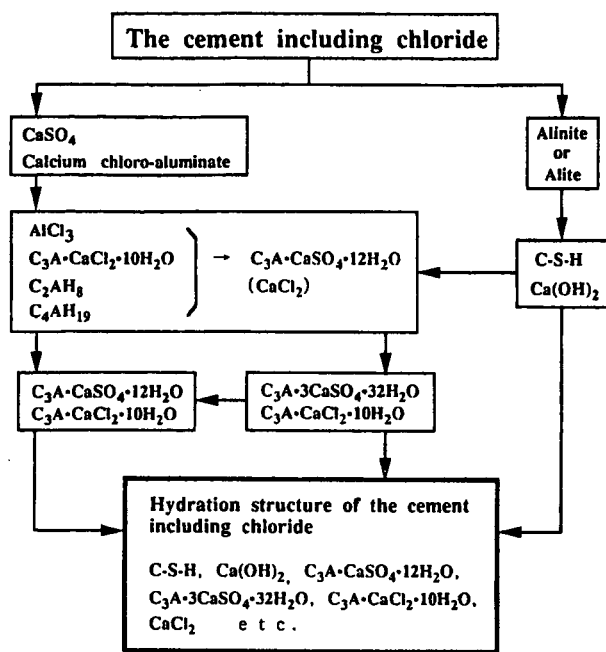
2. 塩素含有鉱物に関して

アリナイトは、1977年、V. V. Ilyukhinらにより水硬性を有するセメント鉱物として発見されたものである⁷⁾。これは、Table 1に示す化学組成を有し、研究者によりその値は多少異なっているが、セメントの主要成分であるエーライト ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) に MgO や Al_2O_3 が固溶し、塩素を含んだものである。また、アリナイトは、 Al_2O_3 や Cl イオンにより結晶内に多くの欠陥を含むために、水和反応性に富むといわれている⁷⁾。

アリナイトやカルシウムクロロアルミネートなどの塩素

Table 1 Chemical compositions of Alinite^{2),3)}

Ilyukhin et Al ⁴⁾	$\text{Ca}_{22}[(\text{Si}_{0.75}\text{Al}_{0.25})\text{O}_4]_8\text{O}_4\text{Cl}_2$
Bickbau ⁸⁾	$\text{Ca}_{21}\text{Mg}[(\text{Si}_{0.75}\text{Al}_{0.25})\text{O}_4]_8\text{O}_4\text{Cl}_2$
Lampe et Al ⁹⁾	$\text{Ca}_{19.8}\text{Mg}_{1.6}\text{X}_{0.6}[(\text{Si}_{0.85}\text{Al}_{0.15})\text{O}_4]_8\text{O}_{3.8}\text{Cl}_2$

Fig. 1 Schematic of hydration of the cement including chloride²⁾

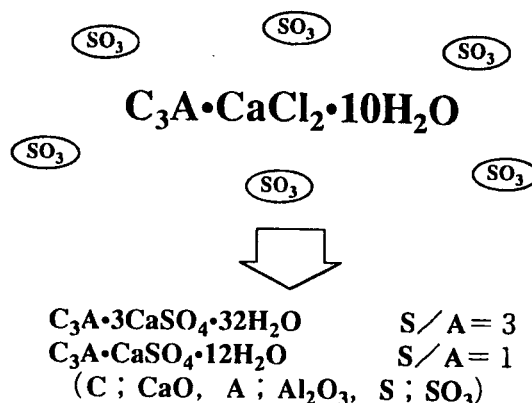
含有鉱物を含んだセメントは、Fig. 1のような水和過程を経る^{2), 3)}。この結果、C-S-H, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、モノサルフェート ($\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, ここでC; CaO , A; Al_2O_3)、エトリンガイト ($\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$)、フリーデル氏塩 ($\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)などを硬化体中に生成し、含有している塩素はC-S-H水和物中やフリーデル氏塩などの生成によって固定されると説明されている^{2), 3)}。

しかし、このフリーデル氏塩はFig. 2に示すように SO_3 が供給されると容易にエトリンガイト($\text{SO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ モル比=3, 以下S/Aとする)やモノサルフェート(S/A=1)を生成し、この過程で塩素が溶出してしまうことから^{5), 6)}、フリーデル氏塩としての塩素の固定は、S/Aが1以上の系において、安定性の面で若干の問題を含んでいる。

3. 試験方法

3.1 使用材料および配合

試験には、主要鉱物としてカルシウムクロロアルミネートを含んだ(タイプA)およびアリナイトを含んだ(タイプB)の2種類のエコセメント(以下セメントとする)を用いた。Table 2に化学成分を、Table 3に鉱物組成を示す。添加材としては、比表面積は $4280\text{cm}^2/\text{g}$ 、比重は2.89

Fig. 2 Schematic of the reaction of Friedel's salt under the influence of SO_3

の高炉水砕スラグ(新日鉄(株)製「エスメント」、以下スラグとする)を使用した。スラグの化学成分をTable 4に示す。

配合は、ペースト試験体による検討にはセメント:スラグ=10:0(比較用ブランク), 9:1, 7:3および5:5の割合(重量比)で配合したものを用い、地盤改良材としての検討にはセメント:スラグ=10:0, 8.5:1.5, 7:3の配合の試料を用いた。

3.2 試験体作製方法

3.2.1 ペースト試験体の作製方法

セメントペースト試験体は水セメント比(以下W/Cとする)50%とし、 $\phi 35\text{mm} \times \text{H}70\text{mm}$ に成形したものを所定の材齢まで温度 20°C 、湿度80%の恒温湿室で養生したものを試験体とした。

3.2.2 固化処理土試験体の作製方法

セメントとスラグを所定の割合で配合した試料を、対象土に対して $200\text{kg}/\text{m}^3$ の割合でW/C=100%のスラリーとして混合し、 $\phi 50\text{mm} \times \text{h}100\text{mm}$ に成形した。養生は、所定の材齢まで温度 20°C 、湿度80%の恒温湿室で行った。

なお、試験には栃木産の粘質土(商品名:トチクレー)を含水比50%に調整して使用した。

3.3 水和生成物の確認

圧縮試験に供した試料を粗砕、エタノールで水和反応を停止後、真空乾燥機中で乾燥させ粉碎したものを水和生成

Table 2 Chemical compositions of samples

Sample	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Cl (%)	CaCl ₂ (%)
Type A	18.6	13.1	1.6	60.9	1.3	1.7	2.7
Type B	22.6	3.5	2.7	57.7	1.9	4.0	6.3
Ordinary Portland Cement	21.4	5.1	2.9	64.0	1.6	0.005	—

Table 3 Mineral compositions of samples

Sample	alinite	C ₁₁ A ₇ CaCl ₂	alite	belite	C ₄ AF
Type A	—	++	+++	+	+
Type B	+++	—	—	++	+
Ordinary Portland Cement	—	—	+++	++	+

+; little, ++; moderate, +++; much

Table 4 Chemical compositions of blast furnace slag

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)
31.6	13.3	0.3	42.1	6.5	2.0

物確認用の試料とした。この試料を用いて、粉末X線回折装置（以下、XRD とする）により生成物の同定を行い、電界放射型走査型電子顕微鏡（以下、FE-SEM とする）を用いて観察を行った。

3.4 試験体の物理試験

所定の材齢を経た試験体を用いて、ペースト試験体に関しては圧縮試験を実施し、スラグの添加がペーストの物理性状に与える効果を検討した。また、固化処理土試験体に関しては、一軸圧縮試験を地盤工学会基準JSF T 511-1990 に準拠して行い、地盤改良材としての評価を実施した。

3.5 塩素溶出量試験

所定の材齢を経過したペースト試験体に関して、環境庁告示13号に準拠した方法で塩素の溶出量を測定し、各配合におけるスラグの添加量と塩素の溶出の関係を検討した。

4. 結 果

4.1 水和生成物の確認

圧縮試験に用いたペースト試験体の乾燥試料を用いて、XRD による生成物の同定およびタイプBの試料のFE-SEM観察を行った結果をFig. 3, Fig. 4に示す。

4.1.1 XRDによる水和生成物の同定

タイプAの材齢毎の乾燥試料に関して、同定を行った結

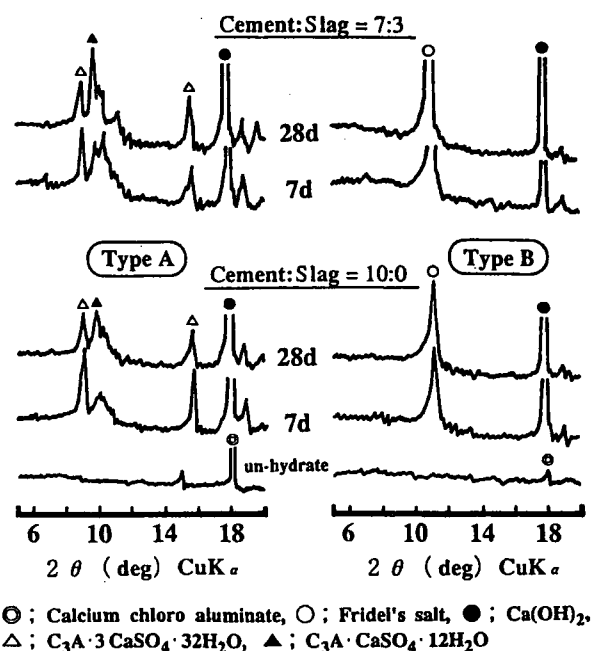


Fig. 3 XRD patterns of cement paste

果、スラグ無添加の試料では水和の進行に伴って、セメント水和物であるエトリンガイト、モノサルフェートおよびCa(OH)₂の回折線が確認された。また、材齢を追う毎にエトリンガイトの回折線が弱くなり、変わってモノサルフェートの結晶性が良くなっていることが確認された。しかし、フリーデル氏塩の回折線が顕著に確認されないことから、

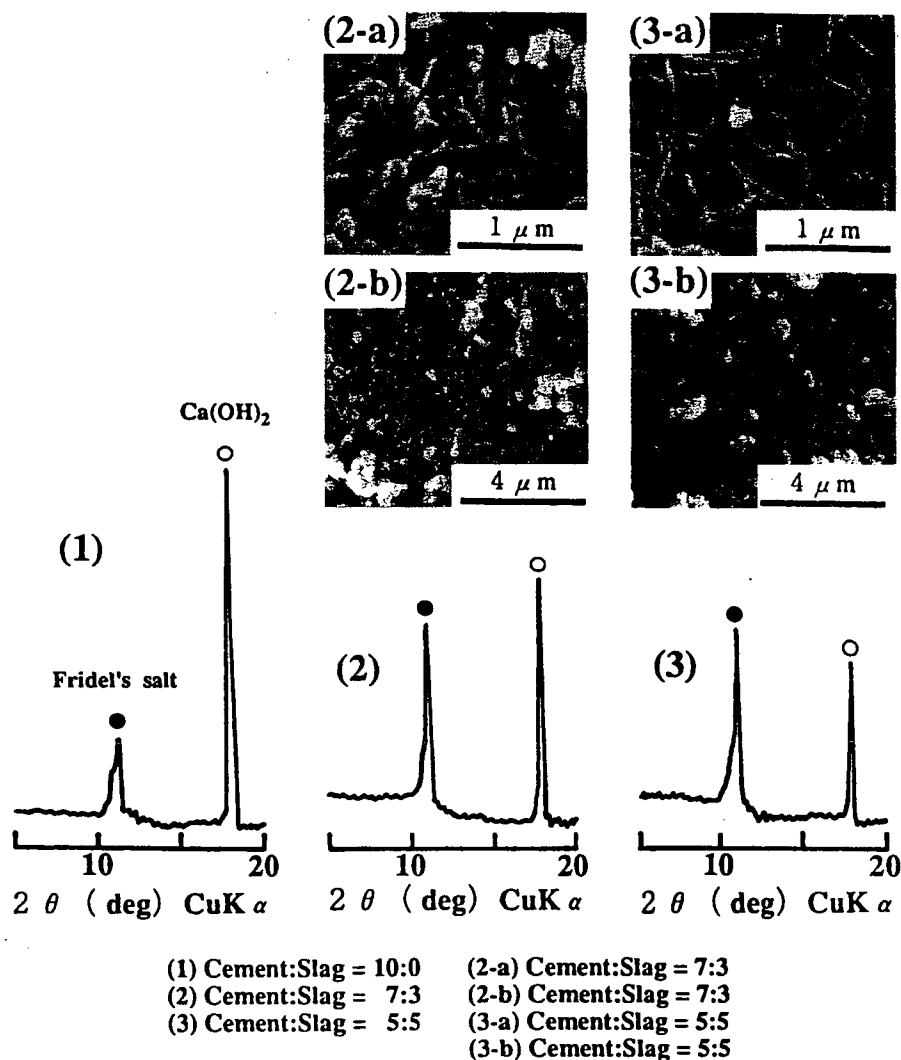


Fig. 4 XRD patterns and SEM micrograph of Type B cement paste

タイプAにおける塩素の固定は、フリーデル氏塩の生成によるものではなく、主に C-S-Hなどに固定されていると考えられる。それに対し、スラグを添加したもの(セメント:スラグ=7:3)の材齢毎の回折図をみると、材齢7日まではほぼ同様の傾向を示しているが、材齢28日経過した試料はフリーデル氏塩と思われる微弱な回折線が確認された。

同様にタイプBに関して同定を行った結果、スラグ無添加の試料は Ca(OH)_2 の回折線は確認されるが、エトリンガイト、モノサルフェートの回折線は確認されず、代わりに材齢初期からフリーデル氏塩の回折線が確認された。このことから、タイプBの塩素の溶出抑制は、主にフリーデル氏塩の生成により水和物中に塩素が固定されたことによると考えられる。しかし、このフリーデル氏塩の回折線は、 Ca(OH)_2 のそれと比較するとかなり弱かった。これに対して、スラグを添加した試料では、添加量が増加する毎にフリーデル氏塩の回折強度は強くなり、 Ca(OH)_2 の回折線と比較しても相対強度が大きくなっていった。

フリーデル氏塩に関しては、安定性の問題が報告されているが^{5), 6)}, SO_3 の供給が無ければ(S/Aが1以下の系で

あれば)フリーデル氏塩として安定しているという報告もある¹⁰⁾。つまり、本実験において、スラグを添加することにより Al_2O_3 成分が補充され、S/Aが下がったことで、フリーデル氏塩の生成が促進されたと考えられる。

4.1.2 FE-SEMによる生成物の観察

各試料を乾燥したものを、FE-SEMを用いて観察を行った結果、タイプAに関しては、特に図示していないが、スラグを添加したことによる顕著な変化は、配合の違いおよび材齢の経過による試料ともに確認できなかった。

タイプBの試料を観察した結果、スラグ無添加のものおよびスラグ添加率が10%のものは、タイプA同様に顕著な違いは確認されなかった。しかし、スラグを30%以上添加した試料は、配合中のスラグ量が増えるに従って、板状の生成物がより顕著に観察された。

この板状の生成物に関してEPMAによる組成分析を試みたが、生成物が非常に小さく測定することができなかった。今後、この板状の生成物をさらに分析し、どのような組成であるかを確認することが課題として残されている。

4. 2 試験体の物理試験

4. 2. 1 ベースト試験体の圧縮試験

Fig. 5に各配合のペースト硬化体の材齢と圧縮強度の関係を示す。タイプA、タイプBいずれの場合においても、スラグを添加することにより圧縮強度の発現性が材齢初期から良好となった。これは、添加したスラグがセメントのアルカリによってポゾラン反応を起こし、強度の発現性を助長したことに起因するものと推察される。

4. 2. 2 固化処理土試験体の一軸圧縮試験

地盤改良材としての評価を目的に、対象土と混合した試験体の一軸圧縮試験の結果をFig. 6に示す。いずれのタイプのセメントもスラグを添加することで、材齢に関わらず改良効果が良好になり、セメント：スラグ＝7：3の配合、材齢7日においてタイプA、タイプBともに無添加時の約2倍、材齢28日で約2.5倍および1.5倍の一軸圧縮強さを得ることができた。また、タイプAにおいては、スラグの添

加量が多くなるほど材齢による強度の伸びが顕著であった。

従来より有機質成分を多く含んだ高有機質土の改良には、アルミ成分を補充することが有効な手段の一つであり、本実験のようにスラグを添加することによってアルミ成分を多くしたセメントが高有機質土の改良に適している可能性は十分考えられる。

4. 3 塩素の溶出試験結果

材齢7日、28日におけるペースト試験体を用いて、塩素の溶出試験を行った結果をFig. 7に示す。

タイプA、タイプBともに材齢の経過およびスラグ添加量の増加に従って塩素の溶出量が減少し、タイプAにおいてはセメント：スラグ＝5：5、材齢28日で最大約50%、タイプBにおいては最大約40%まで減少していた。材齢28日における各配合のセメント：スラグ比をS/Aに換算して表示したものをFig. 8に示す。この結果、スラグを添加することによってS/Aを低下させることが、塩素の溶出を抑

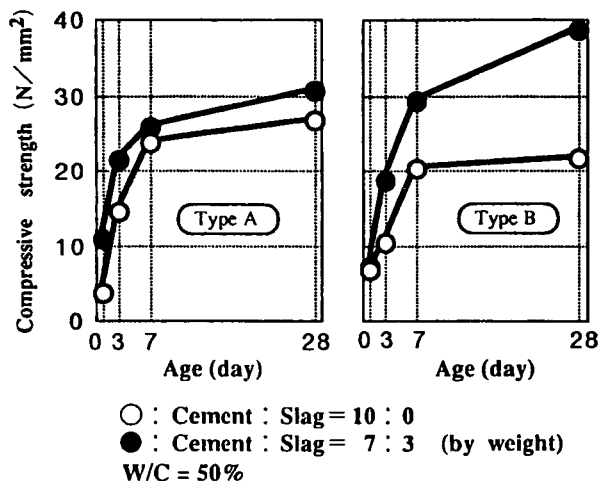


Fig. 5 Compressive strength of cement paste

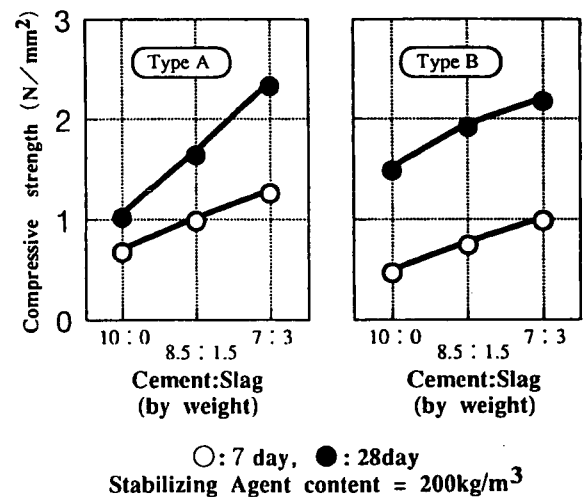


Fig. 6 Compressive strength of improved soil

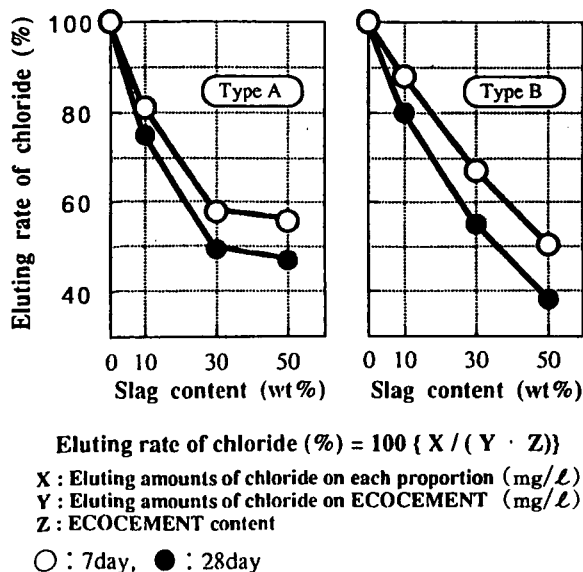


Fig. 7 Results of elution analysis of chloride

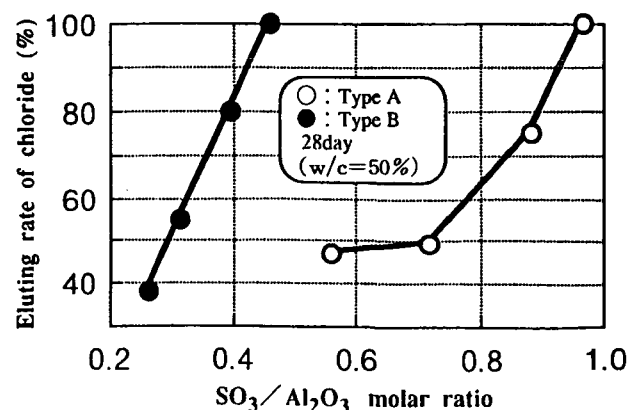


Fig. 8 Results of elution analysis of chloride

制する上で効果的であることが分かった。

なお、Fig. 7, Fig. 8の塩素溶出量は、いずれも各材齢におけるスラグ無添加時を100%としたものであり、スラグを添加することでセメント量が減り、塩素の総溶出量が減少することを考慮して換算したものである。計算方法を以下に示す。

$$\text{塩素溶出率 (\%)} = 100 \{ X / (Y \cdot Z) \}$$

X ; 各配合による塩素溶出量 (mg/ℓ)

Y ; スラグ無添加時の塩素溶出量 (mg/ℓ)

Z ; 配合中の塩素含有セメントの割合

タイプ別にみられるスラグ添加量と塩素溶出抑制能力は、タイプAにおいては、Fig. 8からも判るようにセメント：スラグ＝7：3 (S/Aで約0.7) で概略その効果が最大に近くなっているのに対し、タイプBではスラグの添加量を増大することで (S/Aを下げることによって)、さらに塩素の溶出を抑制することが可能であると考えられる。

以上の結果より、スラグを添加してS/Aを下げ、フリーデル氏塩の生成を促進することによって、含有している塩素の溶出を抑制することが可能であり、その抑制能力自体もかなり高いと考えられる。

5. まとめ

塩素含有鉱物を組成中に含むセメントの、塩素の溶出を抑制することを目的に行った実験に関して、以下のような結果を得た。

- (1) スラグを添加することにより、塩素の溶出を抑制することが可能であり、添加量を増やすほどその能力が高くなることが確認できた。
- (2) その塩素の溶出量は、スラグを添加したことによる希釈率を換算しても、タイプA (カルシウムクロロアルミネート系) で約50%、タイプB (アリナイト系) で40%まで低減可能であった。
- (3) 塩素の溶出抑制のメカニズムは、タイプAが C-S-H によるものであり、タイプBはS/Aの低下によるフリー

デル氏塩の生成および安定化であると推察される。

しかし、FE-SEMで観察された板状の生成物に関してさらに検討を行い、組成などを確認することが今後の課題である。

- (4) 強度に関しては、スラグを添加することにより、タイプAでは初期強度の発現性が良好となり、その強度も材齢に伴って低下することがなかった。また、タイプBにおいても、材齢1日での強度は無添加とほぼ同等であるが、3日、7日と材齢を追う毎に発現性が良好となった。
- (5) 地盤改良材としての検討を行った結果、スラグを添加することにより、いずれのタイプのセメントに関しても強度の発現性が良好となった。

参 考 文 献

- 1) H. Obana, T. Anzai, T. Fukunaga, International Symposium on Environmental Issues of Ceramics, pii, Oct. 19-20, Sapporo, Japan., (1994)
- 2) 宇智田俊一郎, (株)日本セラミックス協会 セメント部会講演会講演要旨集, p2-1-2-8, 3/10. (1995)
- 3) 土田良明, 武広実, 上保知伸, 宇智田俊一郎, 第49回セメント技術大会講演集, p96-101, (1995)
- 4) V. V. Ilyukhin, N. N. Nevsky, M. J. Bickbau and R. A. Howie, Nature, vol. 269, p397-398, (1977)
- 5) 鈴木論一, 小林和一, 岡林茂生, セメントコンクリート, No. 345, p12-19, (1975)
- 6) 尾野幹也, 永嶋政久, 大塚邦夫, 伊藤隆明, セメント技術年報 32, p100-103, (1978)
- 7) F. Massazza and C. Gilioli, Il Cemento, p101-106, (1983)
- 8) M. Bickbau, 8th Intei. Cong. on the Chemistry of Cement, Rio de Janeiro, vol. II, p352-357, (1986)
- 9) F. V. Lampe, W. Hilmer and K. H. Jost, Cement and Concrete Research, vol. 16, p505-510, (1986)
- 10) R. Rock and W. Lukas, ZEMENT-KALK-GIPS, No. 8, p328-332, (1982)