

資 料 番 号	1
新技術の名称	エコセメントによる簡易農道・ため池地盤改良技術の開発

平成9～10年度官民連携新技術研究開発事業概要

「エコセメントによる農道・ため池の地盤改良技術等の開発」

1. はじめに

近年、日本における一般廃棄物の発生量は、平成6年度で約5000万t/年である。その多くは焼却処理され、612万t/年の焼却灰が埋立て処分されている。また、直接埋立て処分されるものとあわせるとその総量は約1400万tに達するとされ、一般廃棄物の最終処分場の残余年数は、全国平均で8.7年と切迫した状況にある。

エコセメントは一般廃棄物焼却灰や下水汚泥などの都市型総合廃棄物を原料の一部に用いて製造される。平成5年度より、通産省の事業として官民一体で製造技術が研究開発され、最終処分場の延命・焼成エネルギーの低減・CO₂排出量の低減・天然資源の節約などの観点から、省エネルギー型セメントとして評価を得ており、環境低負荷型セメントといえる。

このエコセメントに無機混和材などを添加して、地盤改良用に成分調整を行ったものがエコセメント固化材である。これは、廃棄物中に多く含まれるアルミナ成分に由来する水硬性鉱物：カルシウムアルミネートの効果により、農地やため池に多いとされる有機質土あるいはヘドロなどの軟弱な土質の改良において、強度発現性が良く、添加量を少なくできる可能性があり、コスト削減の効果も期待できる。

本事業は、エコセメント固化材を用いた農道・ため池等の地盤改良技術を確立し、資源の有効活用を図りつつ、効率的な農業基幹施設整備に資することを目的として、平成9～10年度に官民連携新技術研究開発事業『エコセメントによる農道・ため池の地盤改良技術等の開発』として実施されたものである。

2. エコセメント固化材「ジオセツエコ」の概要

エコセメントは廃棄物に石灰石などの天然原料を補填し、ロータリーキルン中で1350℃の高温で焼成することにより製造される。この工程で、廃棄物に含まれるダイオキシン類などは安全に高温分解され、エコセメント中には残らない。また、廃棄物中の重金属類もガス化・抽出により分離される。

エコセメント固化材は基材であるエコセメントが有する安全性を継承しながら、路床・路盤の改良、ヘドロ・汚泥の固化処理のような浅層改良、建設発生土の改良、深層改良など一般のセメント、セメント系固化材と同様に広汎な用途・目的に適用するよう開発されたものである。特徴としては以下の点が上げられる。

(1) 強度特性

有機質土に対して高炉セメントB種を上回る固化強度を有する。また、一般軟弱土に対しても高炉セメントB種と同等以上の固化強度を有する。

(2) 環境に対する安全性

固化処理土の溶出特性が「土壌の汚染に係わる環境基準」（平成3年環境庁告示第46号）を満足する。

(3) 施工性

通常のセメントならびにセメント系固化材と同様に、粉体およびスラリーでの施工が可能である。

なお、エコセメント固化材は建設省の「民間開発建設技術の技術審査・証明事業認定規定に基づく土木系材料技術・技術審査証明」（技審証 第1014号）を受証した。この際、エコセメント固化材「ジオセツエコ」という品目名で認定を受けている。

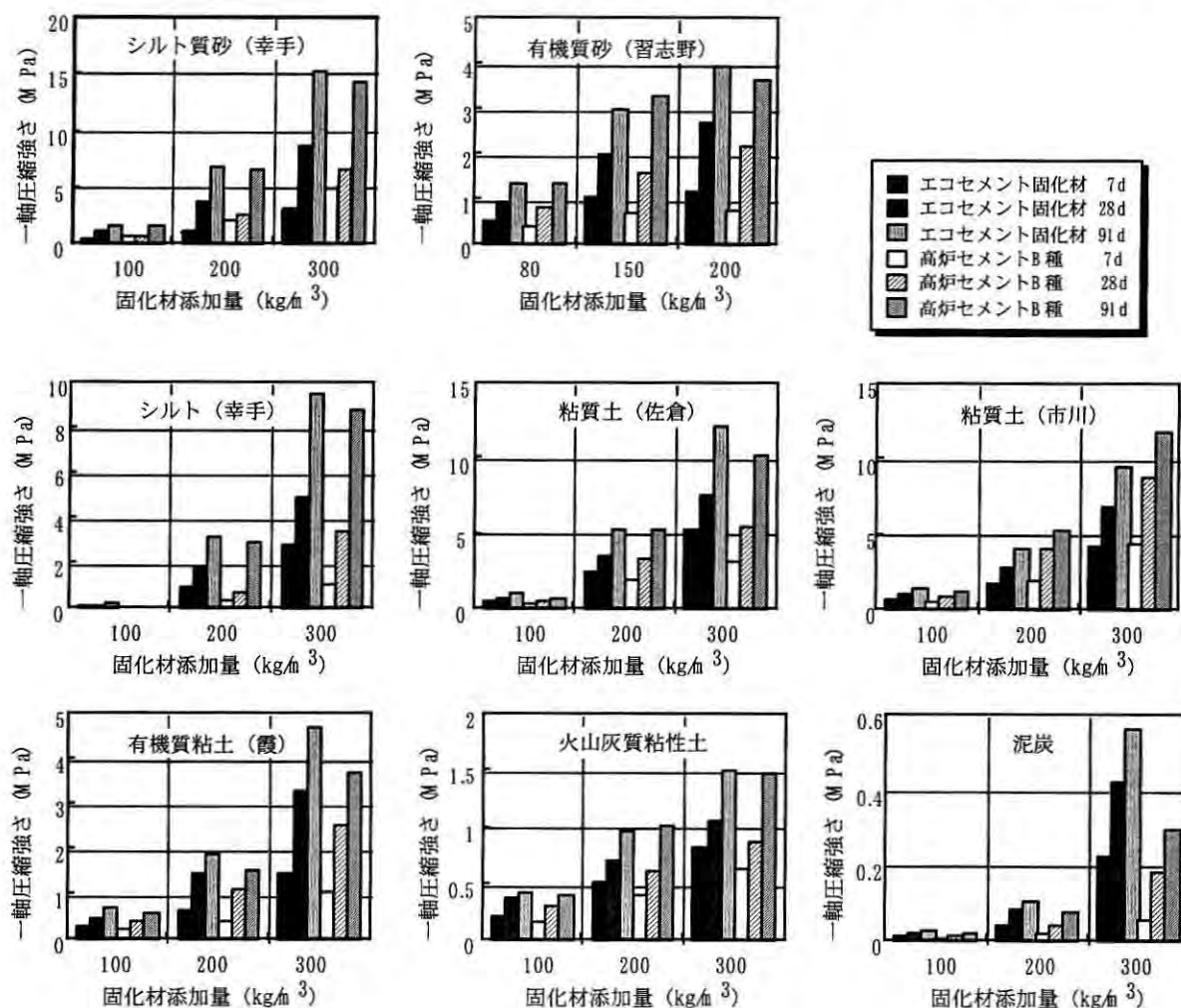
3. 農業基幹施設整備事業への適用性

以上の特徴をふまえ、農道路床ならびにため池の基礎部改良の設計、施工に資する基礎資料整備を行った。エコセメント固化材を用いた固化処理土の化学特性に関する調査・分析では、稲の成育に及ぼす影響等を中心に地盤環境への影響調査を行った。また、耐震性向上のための地

盤改良技術についての検討では、エコセメント固化材を用いた固化処理土を用いた模型実験により、堤体基礎部の改良による耐震性向上を検証した。これらの室内および模型実験結果をもとに、現場での改良効果、環境影響評価、施工性調査を主な目的として、農道路床改良の実証試験を実施し、室内試験結果の妥当性を確認した。

(1) 固化処理土の力学的特性

農道路床部、ため池基礎部の改良を想定した自然含水比状態の土質に関して、エコセメント固化材による固化処理土の一軸圧縮強さは、同一添加量で、高炉セメントB種によるものよりも大きく、特に有機質土と火山灰質粘性土に対して有効であることが確認された(図-1)。CBR試験においても同様の傾向が確認された(図-2)。さらに、固化処理土の耐久性においても、



対象	砂		シルト・粘土				特殊土	高有機質土
対象土	シルト質砂	有機質砂	シルト	粘質土	粘質土	有機質粘土	火山灰質粘性土	泥炭
産地	幸手 SM	習志野 SO	幸手 MH	市川 CL	佐倉 CL	霞ヶ浦 OH	入間 VH ₂	日高 Pt
統一分類	幸手 SM	習志野 SO	幸手 MH	市川 CL	佐倉 CL	霞ヶ浦 OH	入間 VH ₂	日高 Pt
土粒子密度 t/m³	2.64	2.63	2.66	2.67	2.70	2.39	2.62	1.65
砂	59.5	77.1	1.2	26.0	8.5	1.3	10.3	—
粒度 (%)								
シルト	32.8	10.3	64.9	54.0	47.5	47.7	52.6	—
粘土	7.7	12.6	33.9	20.0	44.0	51.0	37.1	—
含水比 (%)	44.5	36.7	69.0	46.5	33.7	257.2	109.4	826.3

図-1. 種々の土質に対する固化材添加量と一軸圧縮強さの関係

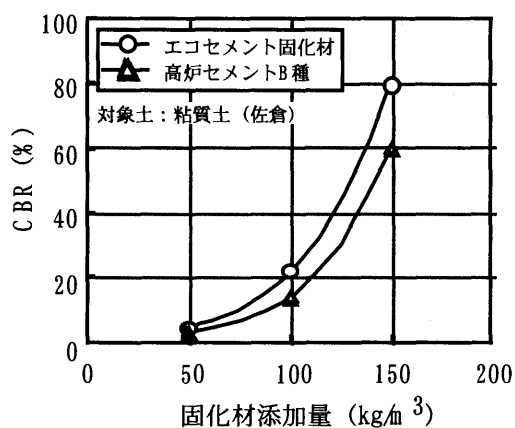
表－１ 高含水比対象土に対する改良効果

対象土	固化材 添加量	固化材の種類	一軸圧縮強さ (MPa)	
			7日	28日
関東ロー ム (入間) $\omega=170\%$	15% (196kg/m ³)	エコセメント 固化材	0.29	0.35
		高炉セメント B種	0.065	0.12
有機質粘 土 (霞ヶ浦) $\omega=350\%$	15% (173kg/m ³)	エコセメント 固化材	0.44	0.96
		高炉セメント B種	0.30	0.91

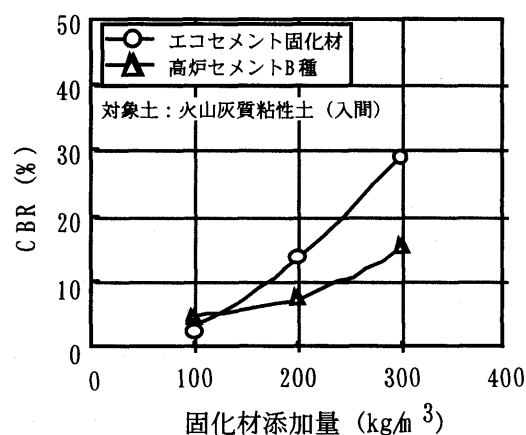
表－２．乾湿繰り返し試験結果

固化材の種類	添加量 (kg/m ³)	体積変化率* (%)	損失量 (%)
エコセメント 固化材	100	-5.60	8.55
	200	-5.92	7.62
	300	-5.67	6.68
高炉セメント B種	100	-6.91	11.42
	200	-7.82	10.39
	300	-6.86	7.54

JHS214「突き固めたセメント安定処理混合物の乾湿繰り返し試験方法」に準ずる。*膨張を+としている。



図－２．固化材添加量とCBRの関係

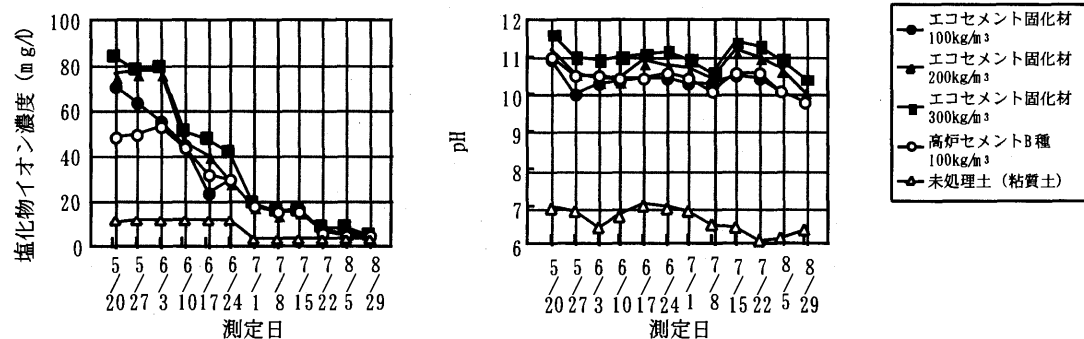


高炉セメントB種と比較してエコセメント固化材の方が優れていることが確認された(表－２)。

(2) 固化処理土の化学的特性、環境に対する安全性

エコセメント固化材により農道を改良した場合、固化処理土が稲の成育に及ぼす影響を調べるためポット試験を実施した。

エコセメント固化処理土からの塩化物イオンの溶出量は、水稻生育に関する安全基準値(300～500ppm)の1/5以下であった(図－３)。水稻の生育状況についても良好であった(図－４)。固化処理土からの吸収により、珪に取り込まれた重金属の濃度は、自然土壌中からの吸収と比べて、特に問題となるレベルではないことが確認された(表－３)。



図－３．灌漑水中の塩化物イオン量、pH測定結果

表－３． 珪および藁の重金属含有量



図－４． 収穫物状況

左から珪固化材 100、200、300 kg/m³添加、
高炉 B100 kg/m³添加、無添加

分析 試料	固化処理土 の種類	試験 項目 (mg /kg)						
		Cd	Cu	As	Zn	Pb	Cr	T-Hg
珪	E100	検出されず	17	検出されず	37.8	検出されず	検出されず	0.006
	E200	検出されず	13	検出されず	33.9	検出されず	検出されず	0.006
	E300	検出されず	18	検出されず	36.1	検出されず	検出されず	0.006
	高炉B100	検出されず	15	検出されず	32.1	検出されず	検出されず	0.006
	未処理土	0.2	19	検出されず	36.4	検出されず	検出されず	0.006
	定量下限値	0.2	1	0.5	0.2	1	1	0.005
藁	E100	0.4	31	検出されず	40.7	検出されず	検出されず	0.009
	E200	0.4	28	検出されず	71.4	検出されず	検出されず	0.013
	E300	0.5	36	検出されず	87.2	検出されず	検出されず	0.007
	高炉B100	0.5	29	検出されず	60.7	3	検出されず	0.009
	未処理土	1.4	42	検出されず	87.3	3	検出されず	0.009
	定量下限値	0.2	1	0.5	0.2	1	1	0.005
基準値		1	---	---	---	---	---	---

注1)「検出されず」とは、定量下限値を下回ることを示す

注2) 基準値は、玄米中に含まれるCdが1mg/kgであることのみ

注3) E100とは珪固化材100kg/m³添加を意味する。

(3) 固化処理土からの溶出試験 (表－４)

固化処理土からの重金属の溶出は、いずれの対象土についても土壌の汚染に係わる環境基準 (平成3年8月環境庁告示第46号) を満足した。また、幾つかの対象土については銅・亜鉛に微量の検出があったが、水道水水質基準値 (平成4年12月厚生省令第69号) である1ppmを大きく下回る値であり、環境に及ぼす影響はないことが確認された。

表－４． 種々の固化処理土からの重金属溶出試験結果

対象土	固化材	添加量 kg/m ³	試験結果 (mg/l)					
			Cd	Pb	Cr ⁶⁺	As	Cu	Zn
シルト質砂	無添加	0	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.01	検出されず
	珪固化材	100	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.02	検出されず
		300	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.04	検出されず
	高炉珪B種	100	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず
		300	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.01	検出されず
	高炉珪B種	100	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず
シルト	無添加	0	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.01	検出されず
	珪固化材	100	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.02	検出されず
		300	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.03	検出されず
	高炉珪B種	100	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず
		300	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず
	高炉珪B種	100	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず
有機質粘土	無添加	0	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず
	珪固化材	300	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.01	検出されず
	高炉珪B種	300	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず
	無添加	0	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.01	検出されず
	珪固化材	300	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.03	0.02
	高炉珪B種	300	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.02	0.01
火山灰質 粘性土	無添加	0	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.01	0.02
	珪固化材	300	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.05	0.01
	高炉珪B種	300	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.02	検出されず
	無添加	0	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.01	0.02
	珪固化材	300	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.05	0.01
	高炉珪B種	300	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.02	検出されず
泥炭	無添加	0	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.01	0.02
	珪固化材	300	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.05	0.01
	高炉珪B種	300	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.02	検出されず
	無添加	0	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.01	0.02
	珪固化材	300	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.05	0.01
	高炉珪B種	300	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.02	検出されず
定量下限値			0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
土壌汚染環境基準			0.01	0.01	0.05	0.01	---	---
水道水水質基準			0.01	0.05	0.05	0.01	1	1

注)『検出されず』とは定量下限値以下であることを表す

4. 実証試験の結果

(1) 施工概要

千葉県東葛飾郡沼南町において実施された団体営農道整備事業『第一干拓中央地区』の路床安定処理工事の一部として実施することとした。実証試験区間は、全工事区間1755mのうち50mを対象として実施した。エコセメント固化材による改良区間を除いた区間は、市販のセメント系特殊固化材（土壌凝結硬化剤）が使用された。当該工事における路床部分の改良目標は、CBR10%である。



施工前状況



バックホウによる固化材
散布



散布後状況



スタビライザーによる混合
攪拌

表-5. 実証試験現場土質試験結果

試験項目			試験結果
土粒子の密度	g/cm ³		2.398
含水比	%		125.8
粒度	砂分	%	5.4
	シルト分	%	45.6
	粘土分	%	49.0
液性限界	%		141.3
塑性限界	%		63.1
強熱減量	%		13.18
土質分類			有機質火山灰土 (OV)

室内配合試験の結果、固化処理土の CBR が 10% となるための添加量はエコセメント固化材、セメント系特殊固化材とも 103kg/m³（湿潤対象土に対する固化材の重量割合で 18.2%）であった。



混合深さは0.6m



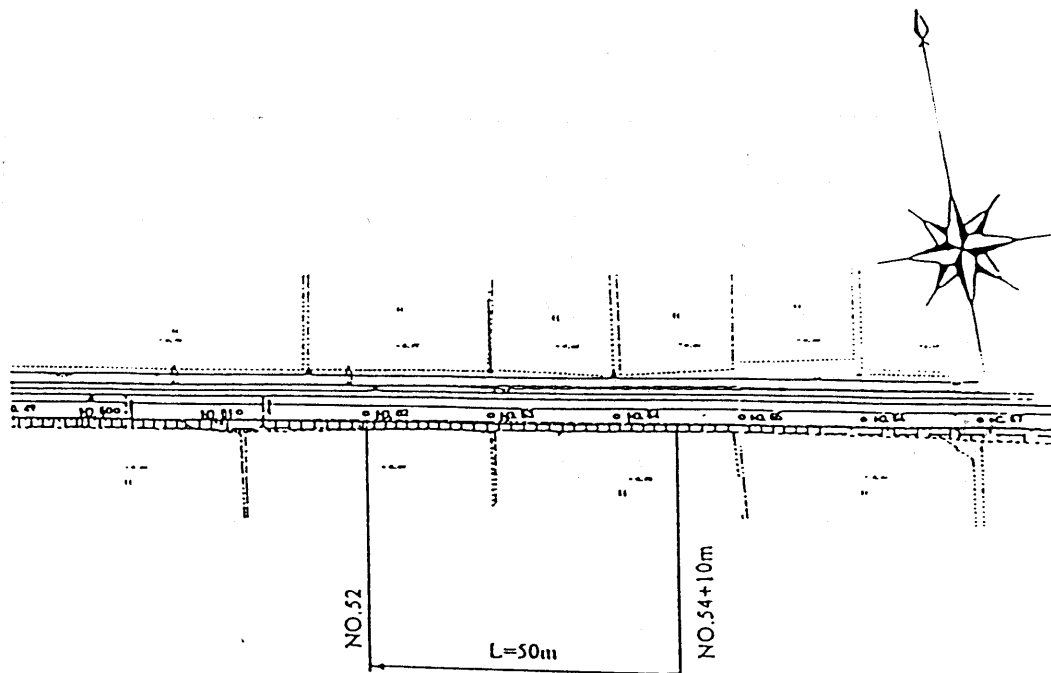
ブルドーザーによる
不陸修正



ローラー車による
路床転圧



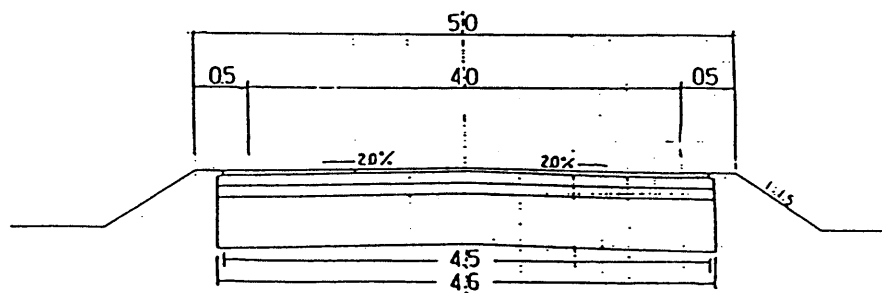
施工完了



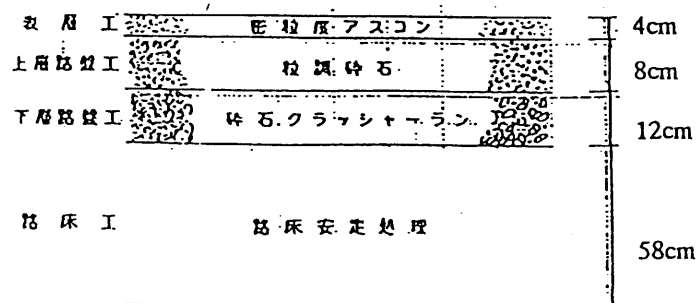
エコセメント固化材実証試験区間

実証試験区間平面図

標準断面図

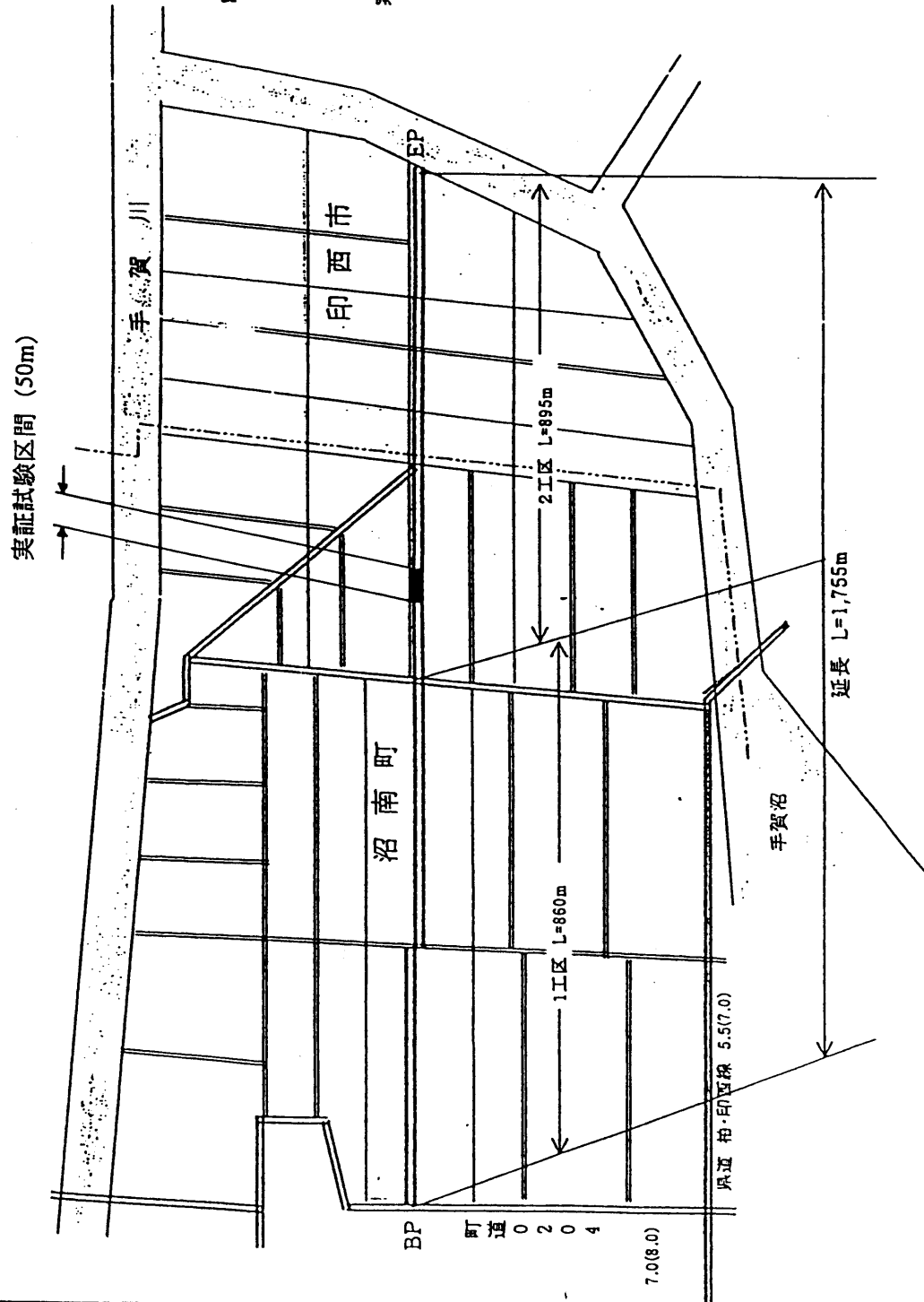
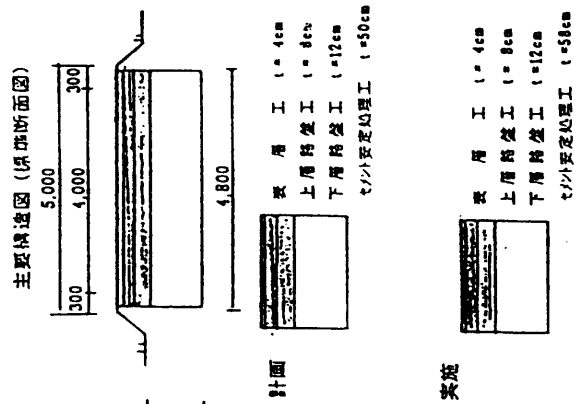


舗装断面図



農道整備事業標準断面図・舗装断面図

第一干拓中央地区見取図



実証試験施工場所『第一干拓中央地区』見取図

(2) 評価結果

現場 CBR は、目標の CBR 値 (10%) に対して平均値は大きく上回る結果であった。また、各ヤードの全ての CBR 値を用いた区間 CBR は、エコセメント固化材ヤードで 15.9%、セメント系特殊固化材ヤードで 13.9%となりエコセメント固化材による地盤改良の効果はセメント系特殊固化材による施工と同等以上であった (表-6)。

エコセメント固化材ヤードとセメント系特殊固化材ヤードを比較すると、現場密度および含水比は、ほぼ同程度の結果であり、エコセメント固化材は、市販の固化材と同様に施工できることが確認できた。

表-6. 現場 CBR、現場密度・含水比測定結果

ヤード区分	測 点	現場 CBR値 (%)			区間CBR (%)	現場密度 (g/cm ³)			含水比 (%)		
		1.0L	中央	1.0R		0.5L	0.5R	平均値	0.5L	0.5R	平均値
エコセメント 固化材	No.52 + 15m	6.0	16.6	38.5	15.9	1.637	1.649	1.643	41.1	38.6	39.9
	No.53	16.7	36.9	35.6		1.539	1.779	1.659	37.0	33.6	35.5
	No.53 + 5m	8.3	26.8	25.3		1.605	1.753	1.679	44.9	34.4	39.7
	No.53 + 10m	20.2	26.7	37.2		1.589	1.741	1.665	36.5	40.5	38.5
	No.53 + 15m	24.6	39.5	38.3		1.499	1.754	1.627	54.9	34.5	44.7
セメント系 特殊固化材	No.55 + 10m	10.2	10.2	10.9	13.9	1.493	1.682	1.588	33.9	38.8	36.4
	No.55 + 15m	25.1	25.5	24.1		1.646	1.670	1.658	47.2	42.9	45.1
	No.56	15.2	34.3	28.9		1.584	1.704	1.644	44.5	41.0	42.8
	No.56 + 5m	22.1	18.5	22.3		1.588	1.509	1.549	47.9	45.1	46.5
	No.56 + 10m	18.3	36.1	29.5		1.645	1.533	1.589	57.9	56.1	57.0

雨水などの浸透により、エコセメント固化材による固化処理土が、地下水に及ぼす影響を調査することを目的として地下水水質調査を行った。これはエコセメント固化材ヤードと未改良ヤードに、それぞれ集水井を設置し、所定の材齢で採水し水質を分析することで評価した。

表-7. 地下水水質調査結果

試験結果 (mg/ l)									
分析 項目	材齢 7 日		材齢 28 日		材齢 63 日		定量 下限値	地下水 環境基準	水道水 水質基準
	井No.1	井No.2	井No.1	井No.2	井No.1	井No.2			
Cd	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.01	0.01	0.01
CN	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.04	検出されず	0.01
O-P	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.1	1	---
Pb	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.01	0.01	0.05
Cr ⁶⁺	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.02	0.05	0.05
As	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.01	0.01	0.01
T-Hg	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.0005	0.0005	0.0005
R-Hg	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.0005	検出されず	---
Cu	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.01	---	1
Zn	0.01	検出されず	0.02	検出されず	0.03	検出されず	0.01	---	1
Fe	0.13	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.05	---	0.3
Mn	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.05	---	0.05
Cr	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.05	---	2*
F	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	0.4	---	0.8
Ca	55	56	32	26	33	80	0.05	---	300*
Cl	17	14	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず	1	---	200

注 1) 井 No.1・・・エコセメント固化材ヤード近傍, 井 No.2・・・工事区間外

注 2) 『検出されず』とは定量下限値以下であることを意味している

注 3) 地下水環境基準：地下水の水質汚濁に係わる環境基準 (H9.3)

水道水水質基準：水質基準に関する省令 (H4.12)

* 注 4) Cr は、排水基準を定める総理府令別表 1 および 2 (S46.6, 改正 H5) を引用

* 注 5) Ca の基準値は、Mg+Ca の基準値

現在までに施工後2ヶ月までの地下水調査結果が判明している（表－7）。井No.1（エコセメント固化材ヤード近傍）から採取した地下水はZnが検出された。また、初期にはFe、Clが検出されたが、いずれも水道水水質基準値を下回る値であった。さらに、Caについては、井No.2（未改良区）と同じ程度の量が検出されており、エコセメント固化材の影響は無いものと考えられる。

5. エコセメント固化材の適用範囲と導入効果

（1）適用範囲

以上の結果から、エコセメント固化材は、表－8に示す範囲へ適用が可能と考えられる。

表－8. エコセメント固化材の適用範囲

適用範囲	主な目的
農道等における路床・路盤の固化処理	農道の安定処理
ため池の堆積土および浚渫土の固化処理	堆積土・浚渫土の有効利用
ため池堤体基礎部の固化処理	ため池の耐震性向上

農道（路床）の固化処理については実証試験で確認された。ため池堆積土・浚渫土の固化処理については、エコセメント固化材は有機質土、高含水比の土に対して改良効果が大きいと判断できる。また、ため池堤体基礎部の固化処理については、振動台実験（詳細は農業工学研究所技報に掲載予定）によって、堤体基礎部も耐震性の向上が図れることが確認された。

表中に示した適用範囲は、本事業で確認した範囲であり、さらに調査・試験を行うことにより、種々の地盤改良用途への適用が可能と考えられる。例えば、大規模農業地域におけるかんがい用水路の築堤、山間部・急傾斜地におけるすべり破壊防止などにも適用が可能と考えられる。

（2）経済性

本事業において、エコセメント固化材は、高炉セメント B 種以上の固化性能を有していることが確認された。また、比較的固化し難い高有機質土に対して、より大きな改良効果のあることが分かった。さらに、実証試験において確認した通り、セメント系特殊固化材（土壌凝結硬化剤）と比較しても同等の添加量で同程度の改良効果が得られた。

農道やため池には、有機質土やヘドロなどの軟弱な土質が多く存在し、地盤改良が必要とされるケースが多い。本事業の範囲では、当該土質に対し、エコセメント固化材は、地盤改良に用いられている高炉セメント B 種に比べて、少量の添加量で同等の改良効果が期待できることが確認された。例えば、シルト（幸手）や有機質粘土（霞ヶ浦）を対象とし、室内強度（28 日材令）が 1MPa 必要であると仮定した場合、エコセメント固化材は高炉セメント B 種に比べて約 20～30%少ない添加量ですむという結果が得られた。

（3）廃棄物最終処分場の負荷低減とリサイクル資材の活用による社会資本の充実

エコセメントは一般廃棄物焼却灰や汚泥に係わる最終処分問題を解決するとともにリサイクルを進め、廃棄物最終処分量をゼロに近づける資源循環型社会の構築に寄与するものと位置付けられている。

現在、地球規模での環境・生態系の保全が社会問題となる中で、あらゆる産業活動においても環境への負荷低減とリサイクル資材の活用が急務となってきた。本事業は農村整備事業においてかかる社会的要求を満たすための一手法になると考えられる。

農林業において発生する廃ビニールなどの塩素含有廃棄物も、エコセメント工場においては

原燃料として有効利用できる。このようにして製造されたエコセメント固化材を農業基幹施設整備に活用することは、より安全で近代的な廃棄物再利用と言える。

以上より、エコセメント固化材は適用性、経済性、環境問題に係わる社会的要求等の観点から有効な材料と判断でき、農業基幹施設整備に果たす役割は大きいものと考えられる。

6. 導入に係わる課題（エコセメント固化材の製造・販売について）

エコセメントならびにエコセメント固化材の製造・販売計画について取り纏めておく。商業ベースでのエコセメント製造施設は現在、千葉縣市原市にて平成 13 年春開業をめざして建設中である。完成後は、千葉県内で発生する都市ごみ焼却灰、汚泥など合わせて年間 9 万 t をもとに年間約 11 万 t のエコセメントを製造する世界初の施設となる。よってエコセメント固化材の商業ベースでの製造は、平成 13 年春以降、販売は千葉県内を中心に行われる予定である。

また、東京都多摩地域においても平成 16 年度中開業を目標としたエコセメント施設設置計画が進められている。年間約 16 万 t のエコセメント製造量が計画されている。

現状ではエコセメント固化材の販売価格は確定していないが、一般に市販されているセメントならびにセメント系固化材等との固化性能比較をもとに、これらの市況価格と整合性があるものとしていく予定である。

また、平成 13 年春までの期間は、愛知県渥美郡にあるエコセメント実証プラントにおける製造品により試験的に対応することができる。

エコセメント固化材使用マニュアル

1. エコセメント固化材の特徴

エコセメント固化材「ジオセットエコ」は、都市生活において発生する副産物中のシリカ、アルミナ等を活用して製造した「エコセメント」を原材料とし、無機材料により成分調整を施した資源リサイクル型セメント系固化材である。

使用方法については、基本的に、通常のセメントならびにセメント系固化材による地盤改良と同様であり、浅層および深層地盤改良のいずれにも使用可能である。したがって、粉体のまま対象土と攪拌混合する工法、スラリーとして混合攪拌する工法の両工法に適用が可能である。

対象土としては、一般軟弱土から高有機質土まで適用可能なセメント系固化材であるが、特に有機質土、ヘドロ等のように固化処理にあたって多量の固化材を必要とする場合に、少ない添加量で、所要固化強度を得ることができる特徴を有している。

2. 「ジオセットエコ」の改良原理

(1) エトリンガイトの生成

「ジオセットエコ」中に含まれるカルシウムアルミネートが、水和過程で Ca^{2+} , SO_4^{2-} 等と反応し、エトリンガイト ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) を生成する。エトリンガイトは、多くの結晶水を有する水和物で、軟弱土の含水比を低下させるとともに針状の結晶により、土粒子間に架橋を形成して早期に固化強度を発現させる働きをする。

(2) カルシウムシリケートの生成

「ジオセットエコ」中には、一般の普通セメントと同様にカルシウムシリケートから成るエーライト ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) やビーライト ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) を含んでいるため、水和反応によりカルシウムシリケート水和物を生成する。この水和物はエトリンガイトの架橋を補強して中期的な強度の増進に寄与する。

(3) ポゾラン反応

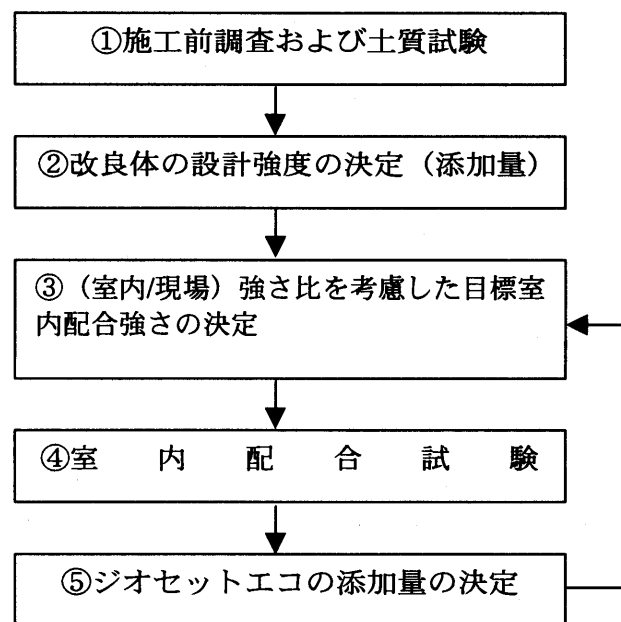
「ジオセットエコ」の水和反応は、一般のセメントや石灰と同様に水酸化カルシウムを生成するために、長期材齢においても粘土鉱物とのポゾラン反応が期待できる。

3. 用途

「ジオセットエコ」は、路床・路盤の改良、ヘドロ・汚泥の固化処理のような浅層改良、建設発生土の改良、深層改良に適用することができ、一般のセメント、セメント系固化材と同様の使用が可能である。「ジオセットエコ」の主要な用途を以下に示す。

- (1) 浅層改良：改良深さが2～3mまでをいい、舗装道路の路床・路盤や仮設道路、建設機械の支持地盤及び各種構造物基礎地盤の改良がある。
- (2) 宅盤改良：不良地盤や軟弱地盤の宅地化を進める際、不同沈下を防止するために、「ジオセットエコ」を軟弱地盤に対し柱状に混合し改良土柱とする工法、宅地の表層に浅層改良する工法がある。
- (3) 深層改良：改良深さが3m以深に及ぶ場合をいい、原位置の土に「ジオセットエコ」を添加し、攪拌混合し、柱状に改良土を成形する工法である。その用途として、陸上工事では道路、擁壁、一般構造物、河川堤防の基礎や盛土・切土のすべり防止、海上工事では、岸壁、防波堤や護岸等の基礎地盤の安定等に用いられるほか、山留め止水壁および砂地盤の液状化対策に利用できる。
- (4) ヘドロ固化：下水や工場排水による河川、湖沼、港湾に堆積したヘドロ除去対策として、「ジオセットエコ」による固化が有効である。固化処理法として、ヘドロ処理船や泥上車による原位置固化とプラント混合処理がある。
- (5) 発生土改良：道路工事、河川工事、港湾工事から発生する建設発生土や、地盤掘削工事、泥水工法による工事などから発生する建設汚泥、浄水場から排出されるスラッジなどの固化処理がある。

4. 調査および室内配合試験



図－1. 「ジオセットエコ」添加量決定のフロー図

「ジオセットエコ」は、粉体・スラリーいずれの使用も可能である。しかし、対象とする土質や施工方法によって目的とする改良効果を得るための添加量が異なるため、事前に室内試験により、確認の上使用する必要がある。

「ジオセットエコ」添加量決定のフロー図を図－1に示す。

調査および試験を大別すると、現地盤の土質構成や物性を調べる土質試験

と固化材添加量を決定する室内配合試験に分けられる。

(1) 施工前調査および土質試験

改良区域内の代表的と思われる試料土を採取し、試験を行うまで含水比が変化しないようにビニール袋などで密封して保存する。なお、深層混合処理などで対象土質が深度方向について異なる場合には、深度方向に2～3層程度に大別して採取する。土質試験の項目は、固化性能にかかわりがある項目について実施し、その試験項目の例を表-1に示す。

表-1 原地盤の土質調査および試験項目

特質	試験項目	試験方法
物理的性質	土粒子の密度試験方法	JIS A 1202
	土の含水比試験方法	JIS A 1203
	土の湿潤密度試験方法	JGS 0191
	土の粒度試験方法	JIS A 1204
	土の液性限界・塑性限界試験方法	JIS A 1205
化学的性質	土の pH 試験方法 ^{*1}	JGS 0211
	土の強熱減量試験方法	JGS 0221
	土の有機物含有量試験方法 ^{*2}	JGS 0231

*1:「土懸濁液の pH 試験方法」に平成 12 年 3 月基準名改正

*2:「土の有機炭素含有量試験方法」に平成 12 年 3 月基準名改正

(2) 改良体の設計強度と添加量の決定

工事の規模や重要度により異なるが、実際の現場で必要となる一軸圧縮強さを設計強度と定める。

「ジオセットエコ」の添加量は、自然含水比の湿潤土の1m³に対する質量(kg/m³)で表し、試料土の含水比、粒度分布、コンシステンシー、pH、有機物含有等の土質試験データとこれまでの改良工事の実績を参考にして所定強度が得られるおおよその添加量を設定し、その添加量を中央に3～5水準の添加量を設定し試験を行う。

(3) (室内/現場) 強さ比を考慮した目標室内配合強さの決定

「ジオセットエコ」添加量と強度の関係は図-2に示すように整理する。

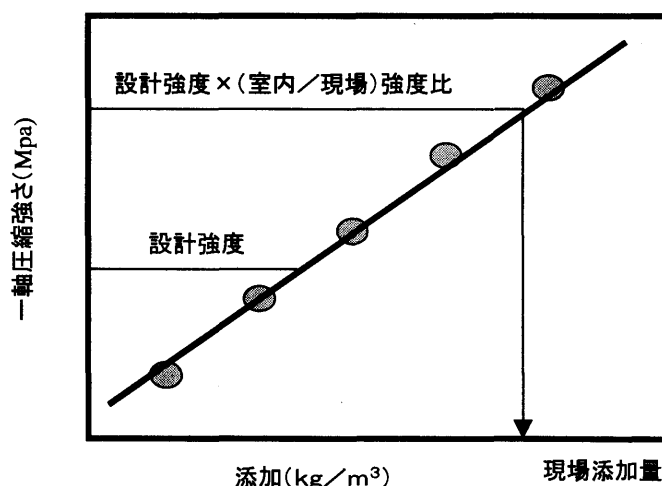


図-2. 現場における添加量の決め方

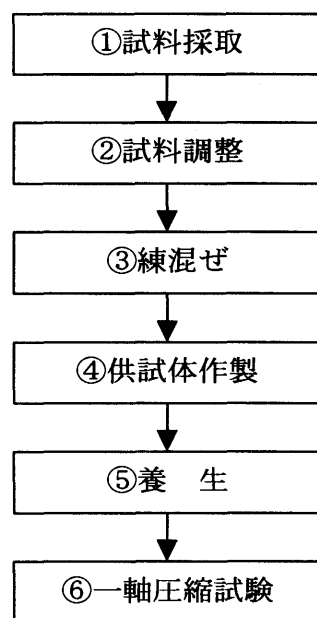
施工に当たって採用する「ジオセットエコ」添加量は、図－２のように設計強度を（室内/現場）強さ比でかけた室内試験における改良目標強さから求める。（室内/現場）強さ比とは、室内試験と現場施工における条件の違いを調整するもので、施工機械と室内試験用混合機械の攪拌性能による混合程度の相違と、養生温度の相違に起因する強さの差、および改良区域での土質のバラツキや含水比の相違による現場強さの変動をも含めて経験的にカバーするものである。施工形態別に（室内/現場）強さ比の目安を表－２に示す。

表－２（室内/現場）強さ比の一例

固化材の添加方式	改良の対象	施工機械	（室内/現場）強さ比
粉体	軟弱土	スタビライザ	1.25～2.0
		バックホウ	1.40～3.3
	ヘドロ 高含水有機質土	クラムシェル バックホウ	1.25～5.0
スラリー	軟弱土	スタビライザ	1.25～2.0
		バックホウ	1.40～2.5
	ヘドロ 高含水有機質土	処理船	1.25～2.0
		泥上作業車	1.40～3.3
		バックホウ	1.60～3.3

（４）室内配合試験（一軸圧縮試験）

改良工事に使用する「ジオセットエコ」の適切な添加量を決定するために、改良対象土を用いた室内配合試験を行う。その添加量は、一般に一軸圧縮試験から求める。試験方法のフローを図－３に示す。



図－３ 室内試験のフロー

①試料採取

通常は改良対象となる地盤からボーリングマシン等により、土質試験用試料採取と同時に、必要量の試料を採取する（室内配合試験必要量の目安は、全供試体容量の2割り増し程度とする）。改良対象となる土質が、深度方向に均一でない場合には、2～3層に大別して採取する。

②試料調整

貝、木片などを取り除き、大別した地層ごとに均一試料となるように、十分混合する。

③練り混ぜ

施工法に応じて試料に粉体、またはスラリー状のセメント系固化材を所定量加えて、ミキサにより十分混合する。その際、混合土がミキサ内面や攪拌翼に付着して、混合状態が不完全となることがある。この時は、ミキサを一時止めてへらなどを用いて混合土を切り返したり、かき落とすなどの補助操作を加え、十分混合する。

④供試体作製

供試体作製方法は、地盤工学会基準「安定処理土の突固めによる供試体作製方法」（JGS 0811）、「安定処理土の締固めをしない供試体作製方法」（JGS 0821）およびセメント協会標準試験方法「セメント系固化材による安定処理土の試験方法」（JCAS A-01）に準じて行う。

練り混ぜられた試料土は鋳鉄製の2つ割りのモールドや使い捨てのモールドに充填する。また、供試体サイズは通常φ5×10cmとする。なお、締固めをしない試料土の場合、気泡を残さないため、ブリージングを生じない程度に振動を加える。

⑤養生

養生日数は通常、練混ぜ後7日および28日とし、その方法は、水分の蒸発を防ぐために供試体表面を薄いラップフィルムなどで密封し、温度20±3℃、湿度80%以上の恒温・恒湿槽内に準じる条件で所定養生日数まで養生する。

⑥一軸圧縮試験

一軸圧縮試験は、「土の一軸圧縮試験方法」（JIS A 1216）に準じて行い、一軸圧縮強さは同一条件の供試体3本以上の測定結果から算出する。

（5）室内配合試験（CBR試験）

CBR試験は、「CBR試験方法」（JIS A 1211）準拠し、改良層が主として道路の路床に相当する場合に実施する。

①供試体作製

採取した自然含水比の路床土にセメント系固化材を、所要のCBRに対して適当と予想される添加量を中心に3～4水準変化させて添加混合する。この処

理土を CBR 用のモールドに 3 層 67 回ずつ突き固め供試体を作製する。

②室内 CBR 試験

供試体は 3 日間 20℃湿空養生した後 4 日間水浸養生し CBR 試験を行う。試験の結果から、「ジオセットエコ」添加量と CBR の関係を求める。

③添加量の決定

目標 CBR を満足する「ジオセットエコ」の添加量を定める。添加量を定める際は、室内と現場との混合性能の差、含水比、土質の変化および施工時の気温などを考慮した割増しを行う。土質別の「ジオセットエコ」添加量の割増率を表-3に示す。

表-3 「ジオセットエコ」添加量に割増率

処理厚 (cm)	50 未満	50 以上	
土の種類	全対象土	砂質土	粘性土
割増率 (%)	15~20	20~40	30~50

5. 施工と検査

(1) 施工品質管理

施工の信頼を高めるために、以下の点に留意する。

①含水比

自然含水比のまま施工を行うが、室内試験を行った土に比較して含水比が高くなれば、ばっ気、乾燥を、含水比が低くなれば散水をするなどして含水比のバラツキを小さくする。

②混合度

処理土に色むらがないう、常時、目視により観察、確認する。(深層混合の場合を除く。)

③密度

十分締固め、所定の密度が得られるよう管理する。

④固化材使用量

トラックの積みトン数と車両台数、フレコンや紙袋の数量など、使用全数量と処理土量とのチェックを行う。

(2) 検査

①浅層改良

安定処理効果判定には、室内配合試験で行った試験と同様の一軸圧縮強さか CBR を調査する必要がある。改良土の強さは一軸圧縮強さが代表的であるが、ポータブルコーンペネトロメータ試験で行ってもよい。また、改良深度が 2 ~3m 以上の場合には先端コーン指数が正確に得られる静的コーン試験が有効である。

工期や天候の関係で、所定の養生日数で現場確認試験ができないときには、

施工中に安定処理土をモールドに詰めて作成した供試体による室内試験で代用する。このときの供試体の密度および養生温度は、可能な限り現場条件に近づけることが好ましい。さらに、供試体数を増やすことで、現位置試験と変わらない高い信頼度の試験結果が得られる。

② 深層改良

改良効果の確認は、チェックボーリングにより改良体から試料を採取し、一軸圧縮試験により判定するのが一般的であるが、必要に応じて三軸圧縮試験や標準貫入試験・コーン貫入試験等のサウンディングを行う。また、海上の大型工事では、斜めボーリングや大口径ボーリングにより接合部の信頼性の確認を行うこと。チェックボーリングの頻度は、工事の施工規模や形状によって異なるが、おおむね 3000～10000m³に1本程度とする。

サンプリングに関しては、通常ダブルコアサンプラーを用いるが、改良強さが低い時は供試体を損傷し、強度が低くなることもあるので、あらかじめサンプリング方法の詳細について十分検討する。

6. 留意事項

(1) 貯蔵

施工現場においてフレコンで貯蔵する場合は、パレット等の上に置き、直接地面に置くことを避ける。また、降雨の恐れが有る場合や湿度が高い場合は、ビニールシート等で覆う。現場での屋外貯蔵期間については、できる限り短期間となるような材料搬入計画とする。

(2) 浅層改良工事での散布

通常のセメント系固化材と同様に、散布に際しては、飛散に注意する。住宅等に隣接する場合は、スラリーによる散布等の対策が必要である。

(3) スラリー作液後の可使用時間

水材料比 100%以上での可使用時間は、常温で1時間以上確保可能であるが、水材料比、温度条件、混練条件等により変化することが予想されるので、作液後は速やかに使いきること。

(4) アルカリ性に関すること

粉体、スラリーのいずれの形態で使用しても、一般のセメント類と同様に水和反応により、水酸化カルシウムを生成しアルカリ性を呈するため、余剰の「ジオセットエコ」そのものあるいはスラリーの処分に当たっては、中和をおこなう等の留意が必要である。

(5) 使用上の制限（コンクリート、モルタル）

「ジオセットエコ」は、地盤改良用の固化材であり、コンクリートあるいはモルタルとしての使用は、膨張等を伴うことがあるので避けること。

(6) 鋼材の腐食に関すること

地盤改良用の固化材である「ジオセットエコ」は、塩素ならびに SO_3 を多く含有するため、高炉セメント B 種に比べて鋼材の腐食について留意する必要がある。

特に埋設管近傍で使用する場合には、予め防食処理を行った被覆管を使用したり、防食処理を行ってない鋼管にはコーティング措置を施し使用する必要がある。

以 上