

# 廃棄物を利用した造粒体の生産技術開発（第2報）

## －土木資材用途の造粒技術の確立－

宮城雄二、花城可英、比嘉 靖<sup>1</sup>、佐渡山安昭<sup>1</sup>

### 1 はじめに

琉球大学農学部が開発した「多機能造粒体」は、産業廃棄物を利用した多孔質で軽量性、保水性及び排水性に優れた特徴を持ち、農業及び土木資材として利用が可能である。平成12年度から地域コンソーシアム研究開発事業の「廃棄物を利用した造粒体の生産技術開発」において、当該造粒体の特徴を活用した植栽用土及び埋土等の土木資材への利用を目的として、各種用途に応じた造粒条件と大量生産技術の精査と実証実験を行ってきた。

沖縄県工業技術センターでは、土木資材用途の造粒体について原料の選定、造粒条件などを検討した。本年度は過年度の研究成果である造粒条件（石炭灰、コンクリート廃材系再生砂、セメント、結合剤（CMC）による配合等）の更なる改善を行い、土木資材である「下層路盤材」の品質規格である修正CBR値20%以上及び標準粒度分布に適合した造粒体の製造を目標とした。

### 2 実験方法

#### 2-1 養生条件及び混和剤添加

土木資材用途の造粒体はセメントを配合しているため、造粒後の養生条件の違いにより造粒体の強度発現に違い

が生じると考えられる。又、過年度は結合剤として高分子系のCMC（カルボキシメチルセルロース）を用いて強度向上を検討したが、本年度は更なる強度向上を目指してセメント混和剤の添加による強度向上を試みた。そこでまず、養生条件とセメント混和剤の添加による造粒体の強度変化について検討した。

#### 2-1-1 実験条件及び養生条件

表1に示す配合比（a）の造粒体（φ6～10mm）について、表2に示す養生条件による圧縮強度の違いを検討した。又、セメント混和剤として塩化カルシウム1%を添加した造粒体と水ガラス0.1%を添加した造粒体についての圧縮強度の比較も行った。なお、圧縮強度値測定はJIS Z 8841（造粒物圧縮強度試験法）により造粒1日後、3日後、7日後、14日後、21日後、28日後に測定した。

石炭灰	再生砂	セメント	CMC
45	45	10	0.5

表2 養生条件

①	放置（25℃）		
②	密閉容器中（25℃ 乾燥を防ぐため内部に水を入れた容器）		
③	密閉容器中（60℃ 乾燥を防ぐため内部に水を入れた容器）		
④	密閉容器中（25℃ 乾燥を防ぐため内部に水を入れた容器）	混和剤 塩化カルシウム1%	
⑤	密閉容器中（25℃ 乾燥を防ぐため内部に水を入れた容器）	混和剤 水ガラス 0.5%	

表3 配合比（b） (wt%)

サンプルNo	石炭灰	再生砂	セメント	水（混和剤希釈量）
1	52	22	7	1.9（塩化カルシウム1%）
2	52	22	7	1.9（塩化カルシウム0.5%）
3	52	22	6	1.9（塩化カルシウム1%）
4	52	22	6	1.9（塩化カルシウム0.5%）
5	52	22	5	1.9（塩化カルシウム1%）
6	52	22	5	1.9（塩化カルシウム0.5%）
7	52	22	7	1.9（EK-20 1%）

<sup>1</sup>株式会社 アース環境開発

## 2-2 中型造粒機による造粒試験

大量造粒化試験用造粒機プローシェアーミキサー WA-150 (太平洋機工 (株)) による造粒試験の前に中型でバッチ式の造粒機を用いて配合比 (主にセメントとセメント混和剤の分量) による圧縮強度値の変化について検討を行った。

### 2-2-1 原料及び配合比

造粒体の原料として、石炭灰 (ハンターバレー産)、コンクリート廃材系再生砂 (アース環境開発社製)、セメント、セメント混和剤として塩化カルシウムとアクリル系樹脂EK-20 ((株)エム テク サービス) の2種類を用いた。なお、過年度結合剤として用いたCMCはコスト面を考慮し、又、予備造粒時に配合しなくてもその強度に影響が現れなかったこと等を考慮して省いた。これらの原料を表3に示す配合比 (b) により造粒試験を行った。

### 2-2-2 造粒条件

造粒試験には、図1に示すペレガイア VZ-100 (北川鉄工所) を使用した。表4に造粒条件 (a) を示す。

表4 造粒条件 (a)

工程	ローター回転数(rpm)	チョッパー回転数(rpm)
投入	24.5	568
解砕	24.5	852
混練	15.5	1136
造粒	36.5	568

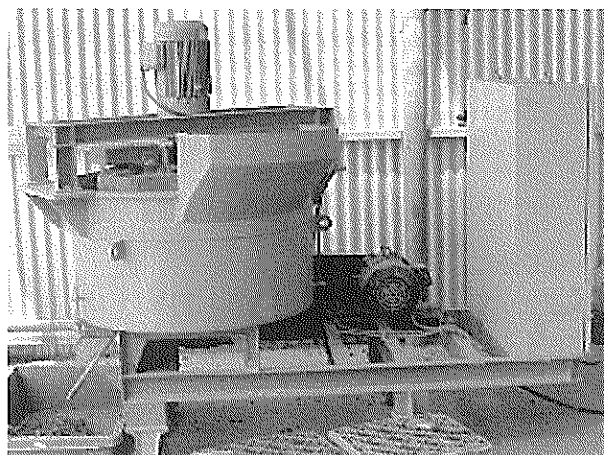


図1 造粒機 ペレガイアVZ-100

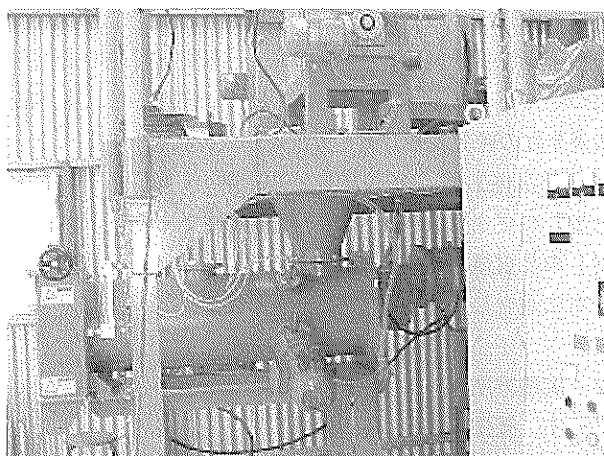


図2 プローシェアーミキサーWA-150

## 2-3 大量造粒化試験用造粒機を用いた造粒試験

中型造粒機を用いた造粒試験の結果を考慮して、図2に示すプローシェアーミキサー WA-150を用いて表5に示す配合比 (c) 及び表6に示す造粒条件 (b) により造粒試験を行った。なお、No.Cは廃棄物である廃ガラスの有効利用とコスト削減を検討するため再生砂と同等の粒径を持つガラス粉を配合した。

表6 造粒条件 (b)

主軸回転数	170 rpm、4.2 Hz
チョッパー回転数	3600 rpm、60 Hz
セキ開度	40%
排出ゲート	50%

表5 配合比 (c)

サンプルNo	石炭灰	再生砂	セメント	水 (混和剤希釈量)
A	52	22	7	19 (塩化カルシウム1%)
B	52	22	6	19 (塩化カルシウム0.5%)
C	52	22(ガラス粉)	7	19 (塩化カルシウム1%)

## 2-4 造粒体の評価

造粒試験により作製した造粒体について以下に示す評価試験を行い、比較検討を行った。

・粒度分布：JIS Z 8815 篩い分け試験法通則により測定した。

・圧縮強度：JIS Z 8841 造粒物 圧縮強度試験法により測定した。

・粒形：マクロ写真により観察した。

・見かけ密度：メスシリンダーに試料を入れタッピングして容積を合わせて重量を測定した。

- ・真密度：密度測定器MAT-7000（株）セイシン企業）を用いて測定した。
- ・吸水性：JIS A 1109 細骨材の比重及び吸水率試験方法により測定した。
- ・溶出試験：産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法により測定した。（産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法 | 昭和48年2月17日環境庁告示第13号 | ）

又、下層路盤材の品質規格である修正CBR値20%以上、標準粒度分布値等が備わっているかの確認として修正CBR測定試験を外部委託した。

### 3 実験結果及び考察

#### 3-1 養生条件及び混和剤添加

図3に養生条件、セメント混和剤による圧縮強度値の変化を示す。造粒体を25℃で放置すると造粒体はすぐ乾燥してしまい、圧縮強度変化はほとんど見られない。乾燥を防ぐ養生条件では圧縮強度値は上がっていく傾向にある。60℃に加熱すると圧縮強度値上昇が大きくなった。しかし、14日後造粒体を乾燥させてしまい測定継続が不可能になったので以後の測定は行わなかった。混和剤を添加すると添加していない造粒体に比較して2~3倍圧縮強度値が大きくなった。混和剤としては塩化カルシウムのほうが高かった。造粒体はセメントを配合しているため、水分が含まれている状態で養生し、更に混和剤を加えることにより強度が向上することが明らかとなった。この結果を踏まえて、造粒後は造粒体の乾燥を防ぐためカバー等をかける処置を施すこと、セメント混和剤を添加することの2つを造粒条件に加えて造粒試験を行うこととした。

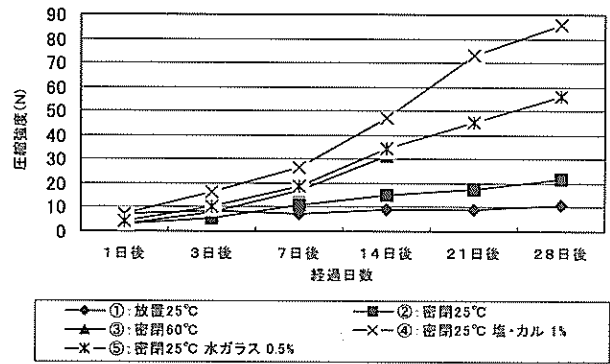


図3 養生条件、セメント混和剤による圧縮強度値の変化

#### 3-2 中型造粒機を用いた造粒試験

##### 3-2-1 造粒体の粒形

図4に作製した造粒体のマクロ写真を示す。大きな粒から小さな粒まで適度に分布していて、極端な偏りがない造粒が行われたのが伺える。セメント混和剤に塩化カルシウムを配合したNo1~6のサンプルでは、原料配合比による粒形の違いはほとんど見られない。又、EK-20を配合したNo7のサンプルも粒形に大きな違いは見られない。

##### 3-2-2 造粒体の粒度分布

本年度は下層路盤材粒度分布標準値の範囲内に粒度分布を適合させていくことを目標に造粒を行った。図5にペレガイア造粒機で作製した造粒体の粒度分布（粒径加積曲線）を示す。なお、グラフ上の上限、下限の曲線は下層路盤材粒度分布標準値の上限・下限である。

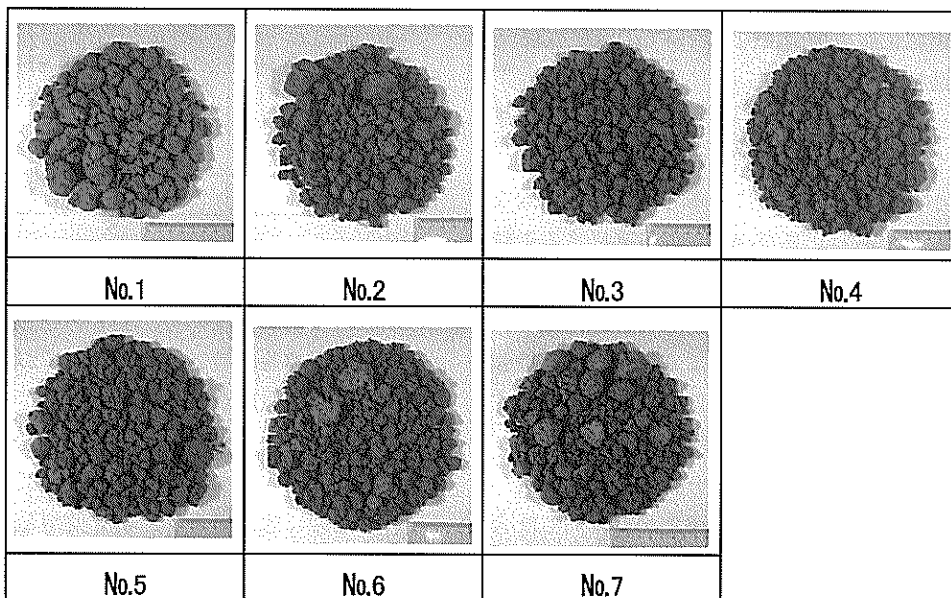


図4 ペレガイアによる造粒体マクロ写真

全サンプルとも完全に適合した粒度分布ではないが、近似した粒度分布が得られた。セメント7%、セメント混和剤1%配合の Na1 と Na7 のサンプルでは、5mm ~ 2.5mm の粒径において最大11% の下限オーバーであり、他の配合比のサンプルでは、20mm の粒径において最大16% の上限オーバーである。これらの適合外の数値は若干の造粒条件（主に時間）の調整で適合可能の範囲であり、下層路盤材粒度分布の造粒のメドが立ったと言える。

### 3-2-3 造粒体の圧縮強度

図6に作製した造粒体の圧縮強度値の変化を示す。圧縮強度試験の測定は、石炭灰とセメントによるポゾラン反応やセメントの水和反応、セメント混和剤との反応などを考慮に入れて、造粒体の乾燥を防ぐためにコンテナ内に保管して養生しながら7日後、14日後、21日後、28日後の圧縮強度を測定した。

全体的に養生日数の経過に伴い圧縮強度も高くなっていく傾向にある。養生28日後の圧縮強度値において、セメント混和剤に塩化カルシウムを配合したサンプルでは、セメント7%、塩化カルシウム1%の配合比のNa1が最高値を示し、続いてセメント6%、塩化カルシウム0.5%のNa4が高い値を示している。また、セメント7%、セメント混和剤EK-20を1%配合したNa7が3番目の値で続いている。上記3配合以外の配合比のサンプルは圧縮強度値においてNa7の約60Nほど低い値までしか達していない。

この結果から、セメント7%、塩化カルシウム1%とセメント6%、塩化カルシウム0.5%の2配合比について大量造粒化試験用造粒機プロシエアーWA-150を用いて造粒試験を行うことにした。

### 3-3 大量造粒化試験用造粒機を用いての造粒試験

#### 3-3-1 造粒体の粒形

図7にプロシエアーミキサーにより造粒した造粒体のマクロ写真を示す。ペレガイアによる造粒体と同様、大きな粒から小さな粒まで適度に分布して、極端な偏りがない造粒体である。また、ペレガイアによる造粒体よりも粒がきれいになっているのが伺える。

#### 3-3-2 造粒体の圧縮強度

図8にプロシエアーミキサーによる造粒体の圧縮強度値の変化を示す。大量に造粒した造粒体の乾燥を防ぐためにビニールシートでカバーをし養生しながら7日後、14日後、21日後、28日後の圧縮強度を測定した。

全サンプルとも養生28日後の圧縮強度値は、同じ配合比のペレガイアによる造粒体の圧縮強度値よりも低くなっており、ペレガイアを用いて造粒したEK-20配合の造粒体以下になっている。この原因としては、プロシエアー

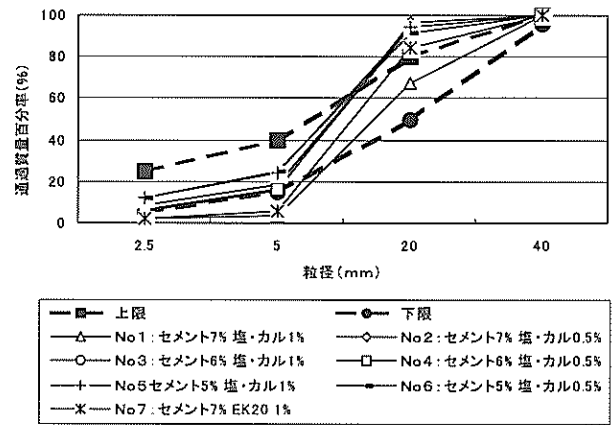


図5 ペレガイアによる造粒体の粒度分布

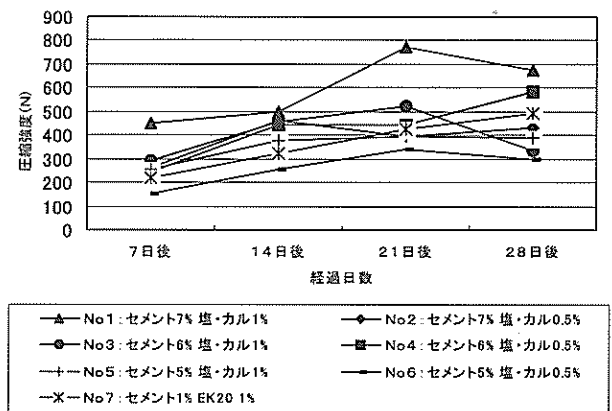


図6 ペレガイアによる造粒体の圧縮強度値の変化

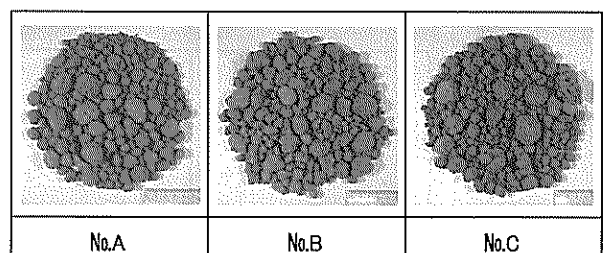


図7 プロシエアーミキサーによる造粒体マクロ写真

ミキサーでの造粒時、造粒機内部においては軸回転時の摩擦熱により温度が上昇し、造粒体が乾燥したことと、ビニールシートのカバーでの養生がコンテナでの養生に比べて乾燥しやすかったことなどが考えられる。

又、再生砂に替えてガラス粉を使用したNaC造粒体は同量のセメントと混和剤を配合したNaAの造粒体より圧縮強度が低くなっている。この原因としてはガラス粉とセメントの反応性の問題が考えられる。

これらのサンプルについては、圧縮強度がペレガイアによる造粒体より低くなったといっても足で踏みつけるなどしても潰れない強度を備えていた。この造粒体について、下層路盤材の品質規格の修正CBR測定試験を外部委託した。なお、ペレガイアを用いて造粒したEK-20を配合した造粒体についても修正CBR測定試験を委託した。

### 3-3-3 造粒体の物性値

表7に修正CBR測定試験を行った造粒体の見かけ密度、真密度、吸水率を示す。それら物性の配合比による大きな違いは見られない。これらの造粒体は全体的に密度が小さく軽量であり、吸水率も低い。施工時に大量に運搬することや排水性が求められる土木資材に適していると考ええる。

### 3-3-4 造粒体の溶出試験

造粒体は産業廃棄物である石炭灰を主とするため造粒体について溶出試験を行った。表8に修正CBR測定試験をおこなう造粒体の溶出試験結果を示す。全サンプルとも全項目において産業廃棄物の埋立処分に関する基準値を大幅に下まわっており良好な結果が得られた。

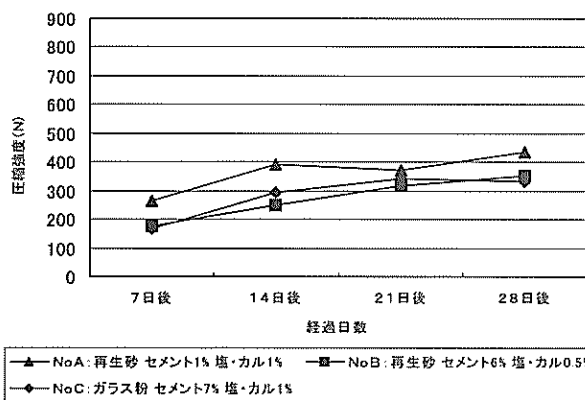


図8 プロシエアーミキサーによる造粒体の圧縮強度値の変化

表7 プロシエアーミキサーによる造粒体の物性値

サンプルNo	見かけ密度(g/ml)	真密度(g/ml)	吸水率(%)
A	0.966	2.296	23.236
B	0.912	2.35	26.163
C	0.917	2.328	25.014
7	0.906	2.263	26.196

表8 造粒体の溶出試験結果

項目	基準	No.A			No.B		
		A	B	平均	A	B	平均
As	0.3以下	0.0241	0.0216	0.0229	0.0191	0.0213	0.0202
Cd	0.3以下	0.0028	0.0025	0.0027	0.0032	0.0033	0.0033
Cr	1.5以下	0.1656	0.1635	0.1646	0.2152	0.2167	0.2160
Pb	0.3以下	0.0000	0.0000	0.0000	0.0069	0.0074	0.0072
Se	0.3以下	0.0153	0.0357	0.0255	0.0000	0.1050	0.0525

項目	基準	No.C			No.7		
		1	2	平均	1	2	平均
As	0.3以下	0.0169	0.0260	0.0215	0.0000	0.0000	0.0000
Cd	0.3以下	0.0030	0.0034	0.0032	0.0019	0.0023	0.0021
Cr	1.5以下	0.1774	0.1859	0.1817	0.3652	0.3914	0.3783
Pb	0.3以下	0.0055	0.0000	0.0028	0.0000	0.0000	0.0000
Se	0.3以下	0.0260	0.0320	0.0290	0.0218	0.0353	0.0286

### 3-3-5 修正CBR測定試験

表9と図9に外部委託した修正CBR測定試験の結果を示す。下層路盤材の品質規格である修正CBR値20%以上および標準粒度分布値とともに全サンプルともクリアしている。このことにより、作製した造粒体の土木資材である下層路盤材としての活用に一応の目途がついた。

表9 修正CBR測定試験結果 (修正CBR値)

サンプル	No.A	No.B	No.C	No.7
修正CBR(%)	62	103	45	85.4

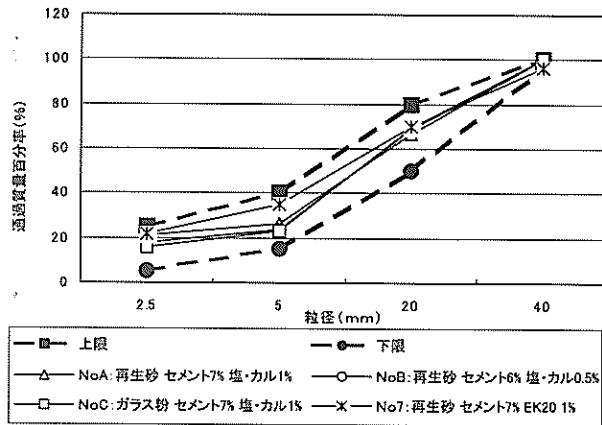


図 9 修正CBR測定試験結果 (粒度分布)

また、造粒体の圧縮強度が高ければ修正CBR値も高くなると予想し、圧縮強度値と修正CBR値の比較を行った。その結果を表10に示す。両者の間には明確な関係というところまではいかないが、圧縮強度値が高いと修正CBR値も高くなる傾向にあるということが伺える。

今回の結果から、圧縮強度値300N以上になるように造粒体を造ることが修正CBR値20%以上をクリアする目安として考えられる。

表10 圧縮強度値と修正CBR値の比較

サンプル	No.A	No.B	No.C	No.7
圧縮強度(N)	436	350	331	493
修正CBR(%)	62	103	45	85.4

#### 4 おわりに

今回、土木資材である「下層路盤材」への用途を目的に、その品質規格である修正CBR値20%以上及び標準粒度分布に適合した造粒体の作製を目指し、造粒条件の検討、評価試験等を行い、以下の結果を得た。

- ①下層路盤材の標準粒度分布値に適合した粒度分布をもつ造粒体の、大量生産試験機ブローシェアーミキサーにおける造粒条件が得られた。
- ②下層路盤材の品質規格である修正CBR値20%以上をクリアする配合比、石炭灰52wt%、コンクリート廃材系再生砂22wt%、セメント7~6wt%、水19wt% (セメント混和剤1~0.5wt%希釈) が得られた。なお、セメント混和剤は塩化カルシウムとアクリル系樹脂 (EK-20) が有効である。
- ③造粒後は、造粒体の急速な乾燥を防ぐ処置をほどこした状態での養生が必要であることがわかった。
- ④今回作製した造粒体では、産業廃棄物に含まれる金属等の溶出試験においてその基準値をクリアした。

今年度の結果より、本研究の目的である下層路盤材の品質規格「標準粒度分布値」および「修正CBR値20%以上」を備える造粒体の作製が可能であることがわかり、土木資材である下層路盤材としての活用に一応の目途がついた。しかし、大量生産を行うためには造粒後の養生条件の確立が不可欠である。今後の課題として、コスト面を考慮しつつ、養生方法、養生期間の検討を行う必要がある。

#### 謝辞

本研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) による地域コンソーシアム研究開発事業により実施しました。ここに謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 環境技術協会、日本フライアッシュ協会編 石炭灰ハンドブック (第2版) (1995)
- 2) 無機マテリアル学会編 セメント・セッコウ・石灰ハンドブック 技報堂出版 (1995)
- 3) 宮城雄二、花城可英 沖縄県工業技術センター研究報告第3号 pp.59-66 (2001)

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。