

# 廃棄物を利用した造粒体の生産技術開発

## — 土木資材用途の造粒技術の開発 —

宮城雄二、花城可英

### 1 緒言

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。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うとともに、最終消費者への詳細な聞き取り調査を行い、造粒体の各種用途に応じた性能を明らかにする。

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の原料（廃棄物）選定、造粒条件などを検討する。本年度は、琉球大学農学部の「多機能造粒体」を基に、土木資材である下層路盤材への使用を考慮に入れて造粒体の強度向上と適正な粒度分布を持つ造粒体の製造を目的とした。そのため新たな添加物を選定し、原料の配合比、造粒機の攪拌速度・時間などの造粒条件を検討した。

### 2 実験方法

#### 2-1 予備試験

造粒体の強度向上を目指して、ブローシェアーミキサーWA-150（太平洋機工（株））を使用して表1の石炭灰とセメントの投入量及び表2の造粒条件で予備試験を行い、作製した造粒体（NoA）の圧縮強度を測定し多機能造粒体との比較を行った。その結果、小粒径（ $\phi 2\sim 1$  mm）部分では改善が見られなかった（図1）。そこで、更なる改善を目指し実験を進めた。

#### 2-2 原料および配合条件

今回造粒体の原料として、石炭灰（ハンターバレー炭）と浄水場汚泥、新たに加えた市販のポルトランドセメン

表1 予備試験原料投入量

| サンプルNo | (kg/min) |      |      |
|--------|----------|------|------|
|        | 石炭灰      | セメント | 水    |
| NoA    | 3.54     | 0.39 | 1.06 |

表2 予備試験造粒条件

|          |                 |
|----------|-----------------|
| 主軸回転数    | 170 rpm , 42 Hz |
| チョッパー回転数 | 3600 rpm , 60Hz |

造粒機：ブローシェアーミキサー WA-150

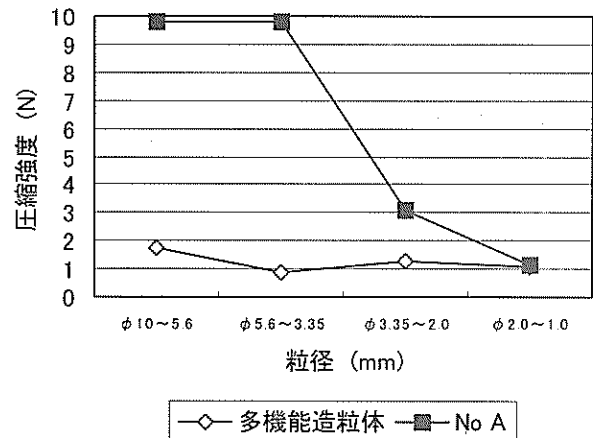


図1 予備試験造粒体圧縮強度試験結果

ト、コンクリート廃材から得られた再生砂（（株）アース環境開発製）、結合剤として水溶性高分子系のCMC（カルボキシメチルセルロース）を用いた。これらの原料を表3の配合比及び表4の原料投入量により造粒した。なお、浄水場汚泥は風乾後ディスクミルで粉碎し粒径0.5mm以下とし、再生砂は篩いを通して粒径1mm以下として使用した。

表3 原料の配合比

| サンプルNo | 石炭灰  | 浄水場汚泥 | 再生砂 | セメント | 水   | (g) |
|--------|------|-------|-----|------|-----|-----|
|        |      |       |     |      |     | CMC |
| No 1   | 900  | 900   | -   | 200  | 800 | -   |
| No 2   | 1260 | 540   | -   | 200  | 755 | -   |
| No 3   | 1620 | 180   | -   | 200  | 705 | -   |
| No 4   | 900  | 900   | -   | 200  | 910 | 10  |
| No 5   | 1260 | 540   | -   | 200  | 775 | 10  |
| No 6   | 1620 | 180   | -   | 200  | 660 | 10  |
| No 7   | 900  | -     | 900 | 200  | 400 | 10  |
| No 8   | 1620 | -     | 180 | 200  | 600 | 10  |

表4 原料の投入量

| サンプルNo<br>No B | 石炭灰 | 浄水場汚泥 | 再生砂 | セメント | (Kg/min)          |
|----------------|-----|-------|-----|------|-------------------|
|                |     |       |     |      | 水                 |
|                | 817 | -     | 719 | 260  | 2.3(CMC 0.5wt% 含) |

2-3 造粒条件

造粒試験には、アイリッヒミキサー R-02型（日本アイリッヒ（株））及びプローシェアーミキサーWA-150を使用した。両造粒機を図2、図3に示す。多機能造粒体との比較を考慮して、粒径4~1mmが多い粒度分布を目標にアイリッヒミキサーを使用して表3に示す配合比及び表5に示す造粒条件で試験を行った。No1~No3は石炭灰+浄水場汚泥にセメントを配合し、No4~No6は更にCMCを添加した。No7、8は浄水場汚泥の代わりに再生砂を使用した。また大量造粒化試験の予備的試験としてプローシェアーミキサーを使用して表4に示す原料投入量及び表6に示す造粒条件で試験を行った。



図2 造粒機（アイリッヒミキサー）

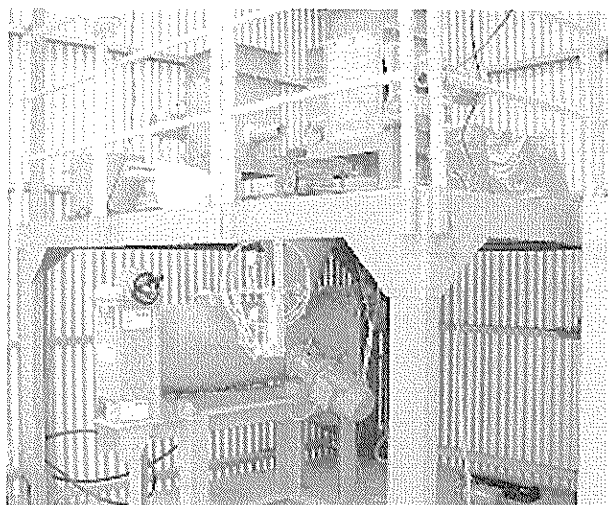


図3 造粒機（プローシェアーミキサー）

表5 造粒条件（アイリッヒミキサー）

|           |          |
|-----------|----------|
| パン回転数     | 42 rpm   |
| アジテーター回転数 | 1200 rpm |
| 予備攪拌      | 2 分      |
| 造粒時間      | 7 分      |

表6 造粒条件（プローシェアーミキサー）

|          |                |
|----------|----------------|
| 主軸回転数    | 32 Hz          |
| チョッパー回転数 | 3600 rpm, 60Hz |

2-4 造粒体の評価

土木資材としては下層路盤材への使用を考慮に入れて、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った。

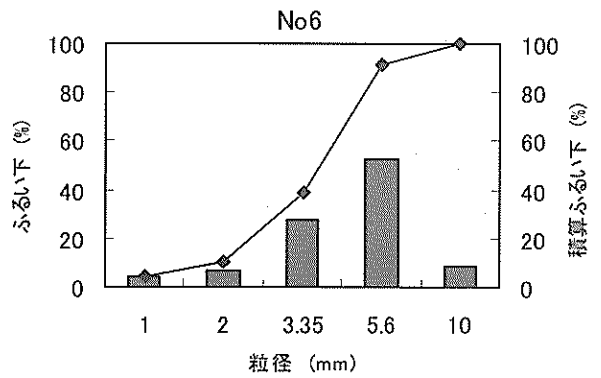
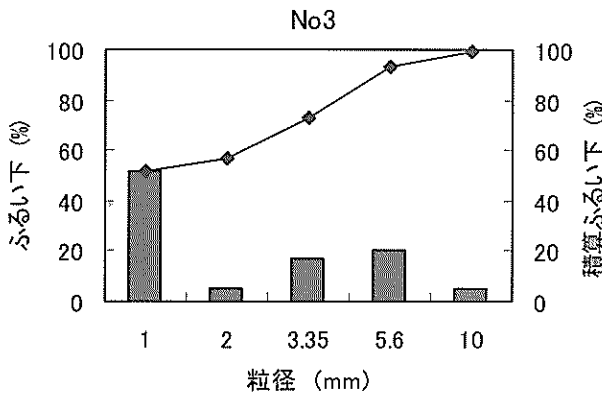
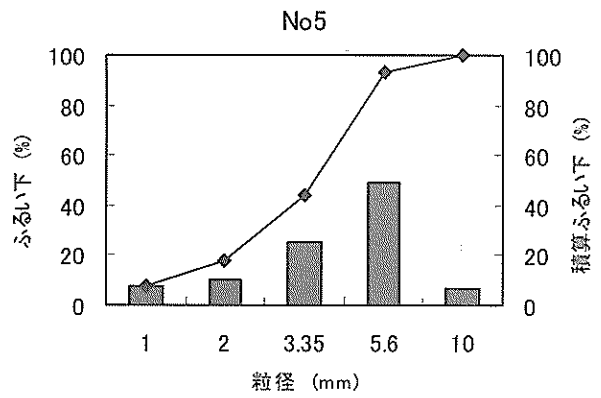
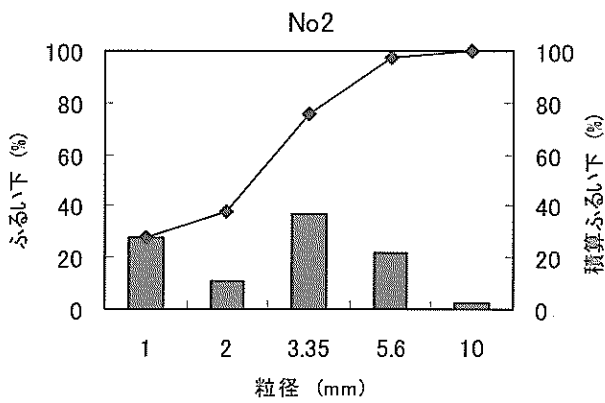
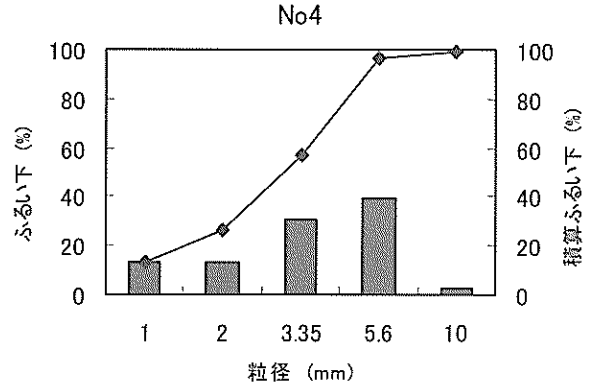
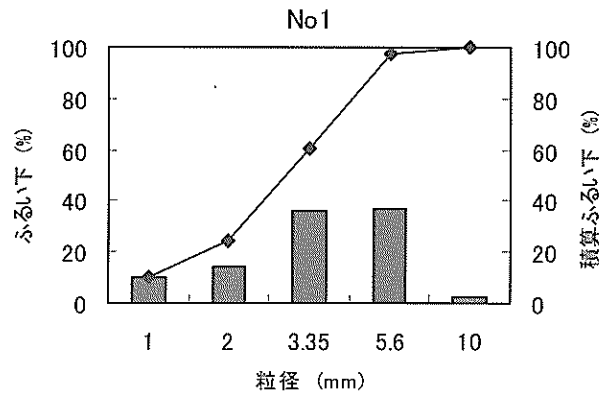
1. 粒度分布 : JIS Z 8815 篩い分け試験法通則により測定した。
2. 圧縮強度 : JIS Z 8841 造粒物 圧縮強度試験法により測定した。
3. 粒形 : 造粒体のマクロ写真により観察。
4. 見かけ密度 : メスシリンダーに試料を入れタッピングして容積を合わせ重量を測定した。
5. 真密度 : 密度測定器MAT-7000（（株）セイシン企業）を用いてピクノメーター法により測定した。
6. 吸水性 : JIS A 1109 細骨材の比重及び吸水率試験方法により測定した。

3 結果および考察

3-1 作製した造粒体の粒度分布

図4~図6に造粒試験で作製した造粒体の粒度分布を示す。

本年度は、琉球大学農学部の「多機能造粒体」を基に土木資材の造粒体へと改良していくということで、粒径4~1mmの分布が多い「多機能造粒体」の粒度分布を目標に造粒を行った。今回使用した造粒機（アイリッヒミキサー）における粒径4~1mmの分布が多くなる造粒条件（造粒時間、攪拌速度等）は、昨年度までの研究データに予備実験で得た修正を加えて一定（表5）とし、水分量により調整を行った。



■ ふるい下 ◆ 積算ふるい下

■ ふるい下 ◆ 積算ふるい下

図4 粒度分布 (No1~No3)

- No1 ; (石炭灰 5 : 浄水場汚泥 5 +セメント)
- No2 ; (石炭灰 7 : 浄水場汚泥 3 +セメント)
- No3 ; (石炭灰 9 : 浄水場汚泥 1 +セメント)

図5 粒度分布 (No4~No6)

- No4 ; (石炭灰 5 : 浄水場汚泥 5 +セメント+CMC)
- No5 ; (石炭灰 7 : 浄水場汚泥 3 +セメント+CMC)
- No6 ; (石炭灰 9 : 浄水場汚泥 1 +セメント+CMC)

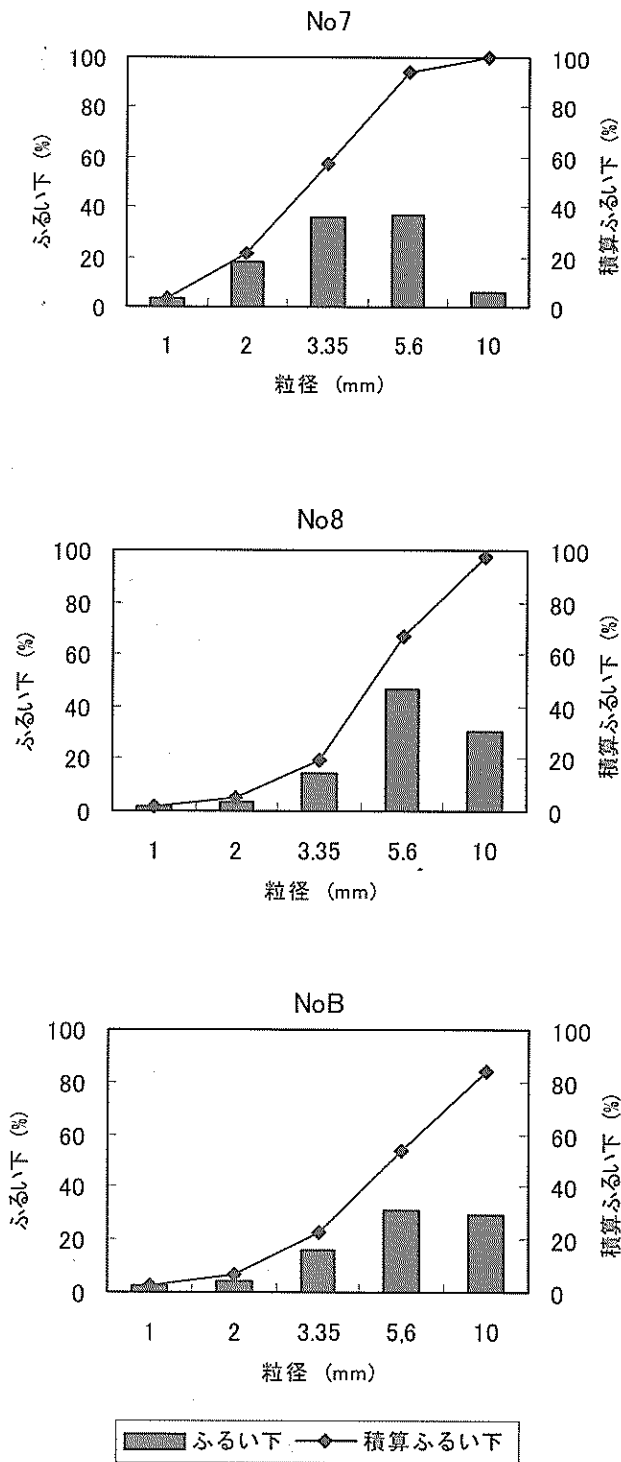


図6 粒度分布 (No7~NoB)

No7 ; (石炭灰 5 : 再生砂 5 + セメント + CMC)  
 No8 ; (石炭灰 9 : 再生砂 1 + セメント + CMC)  
 NoB ; (石炭灰 7 : 再生砂 3 + セメント + CMC)

図4のサンプルNo1~No3(石炭灰、セメント、浄水場汚泥の配合)では、粒径5.6mm~2.0mmの粒が多い分布になっているが、粒径1mm以下が浄水場汚泥の比率が減る(サンプルNo1からNo3へ)に従って増加していく傾向を示している。これは、篩い試験時の振動等により造粒体の表面より原料粉が落ちていったものと思われ、この配合では浄水場汚泥が減少すると造粒体の結合力も減少するということが伺える。

図5のサンプルNo4~No6(石炭灰、セメント、浄水場汚泥、CMCの配合)では、粒径5.6mm~3.35mmの粒が70%前後を占めていて、次に粒径3.35mm~2.0mmの粒が30%近くを占めている。この配合では、原料粉が落ちるという状態は発生していない。結合剤として加えたCMCの影響と考える。

図6のサンプルNo7, No8(石炭灰、セメント、再生砂、CMCの配合)では、粒径5.6mm~3.35mmの粒が40%前後を保ち、粒径3.35mm~2.0mmか粒径10.0mm~5.6mmの粒が次ぎを占めている。この配合でも、原料粉が落ちる状態は発生していない。

同じ配合原料で、造粒機は大型のプロシユアーミキサーを使用して造粒したサンプルNoBの粒度分布は、粒径10.0mm~3.35mmが60%前後を占める分布になっている。

全体としては、多少の差異はあるものの目標にあげた粒径4mm~1mmが多い粒度分布が達成された結果となっている。

また、最終目標である「下層路盤材」の粒度分布標準値(表7)との比較を示した粒径加積曲線(図7)を見ると、粒径が大きくなるに従い標準値範囲よりズレている。しかし、本年度はこの標準値範囲を目標としておらず、なおかつ篩い目サイズも異なっているため、この結果は参考データとして扱いたい。造粒条件により粒径を変えるメドが立ったため、次年度はこの下層路盤材標準値範囲に適合するように造粒条件を検討していく予定である。

表7 下層路盤材粒度分布標準値

| 篩い目 (mm)     | 2.5 | 5  | 10 | 15 | 20 | 40  |
|--------------|-----|----|----|----|----|-----|
| 積算ふるい下(%) 上限 | 25  | 40 | 60 | 70 | 80 | 100 |
| 〃 下限         | 5   | 15 | 30 | 40 | 50 | 96  |

### 3-2 作製した造粒体の圧縮強度

図8~図10に作製した造粒体の圧縮強度試験の結果を示す。(なお、グラフ上で9.8Nを示している値は、実際には測定装置の測定範囲以上であり、9.8N以上の値である。)

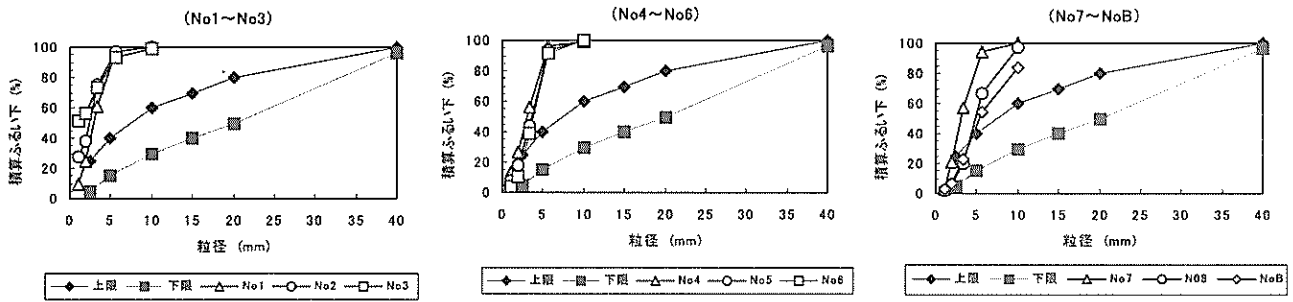


図7 粒径加積曲線

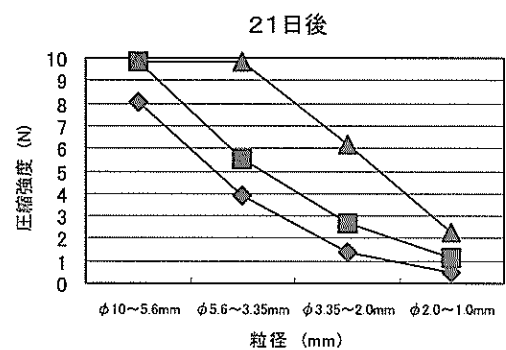
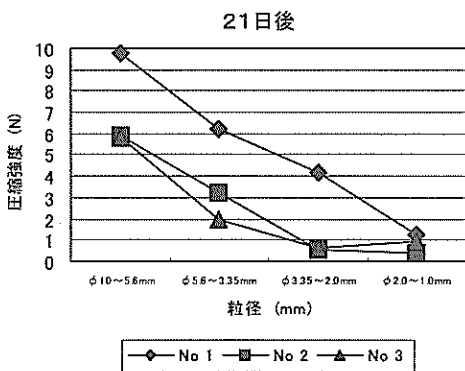
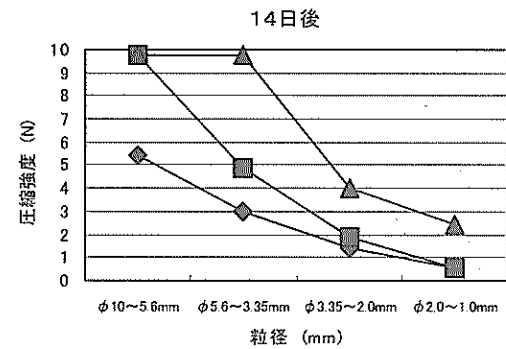
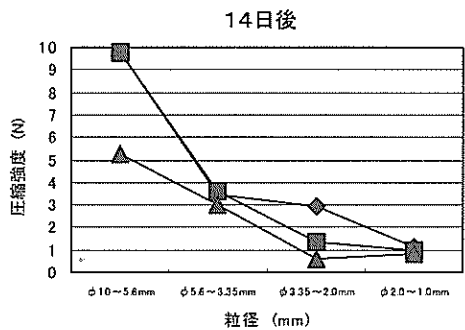
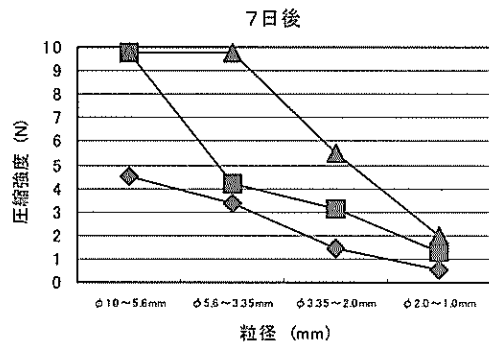
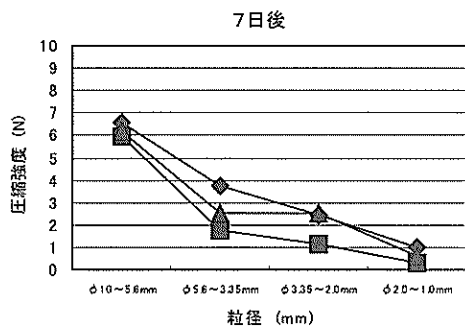


図8 No1, 2, 3造粒体圧縮強度  
(石炭灰+浄水場汚泥+セメント)

図9 No4, 5, 6造粒体圧縮強度  
(石炭灰+浄水場汚泥+セメント+CMC)

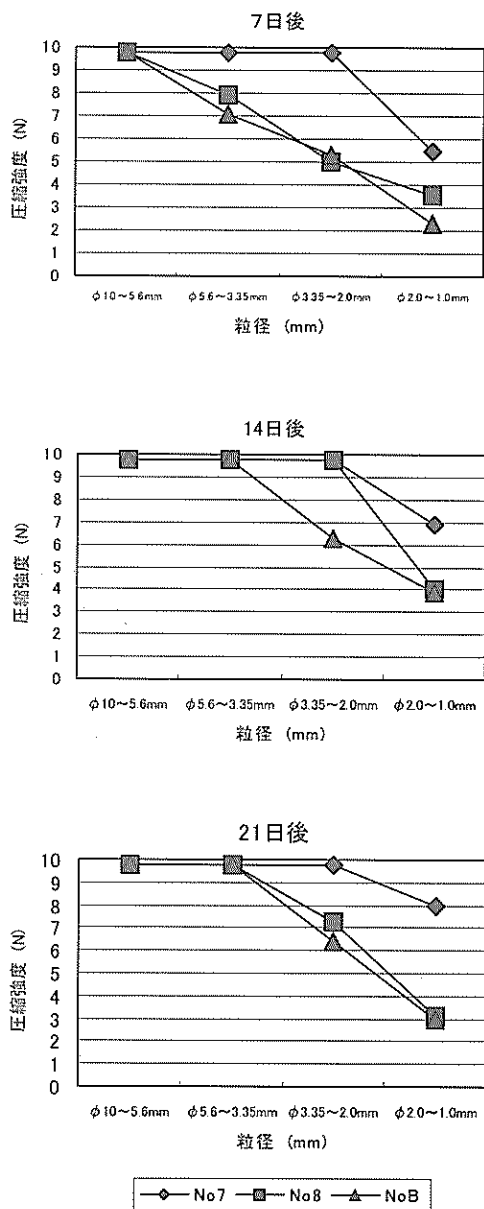


図10 No7, 8, B造粒体圧縮強度  
(石炭灰+再生砂+セメント+CMC)

圧縮強度試験においては、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などを考慮に入れて、自然乾燥状態での養生で7日後、14日後、21日後の圧縮強度を測定した。

図8のサンプルNo1~No3(石炭灰、セメント、浄水場汚泥の配合)では、サンプルNo1においては養生日数の経過に伴い圧縮強度も高くなっている。しかし、予備試験サンプル(NoA)と比較すると全体的に低い値になっている。また、No2、No3はほとんど変わらない。これは、篩い試験結果でも述べたが、造粒体の表面からの原料粉欠落により石炭灰とセメントによるポゾラン反応等

が起りにくい状態になっていると思われる。

図9のサンプルNo4~No6(石炭灰、セメント、浄水場汚泥、CMCの配合)では、養生日数の経過に伴い全サンプルの圧縮強度は高くなっている。サンプルNo6(石炭灰と浄水場汚泥の配合比が9:1)が最高値を示し、サンプルNoAより全粒径において圧縮強度が向上し、粒径2mm~1mmにおいても「多機能造粒体」の値よりも改善されている。これは、結合剤CMCによる結合力の向上とそれに伴う原料粉の欠落防止によるポゾラン反応などの増加による強度向上が原因と考えられる。

図10のサンプルNo7~NoB(石炭灰、セメント、再生砂、CMCの配合)では、養生7日後から顕著な圧縮強度向上が見られ21日後には全体的に大きな強度向上を示している。サンプルNo7(石炭灰と再生砂の配合比が5:5)が全粒径において特に高い値を示していて、「多機能造粒体」およびサンプルNoAよりも大幅に圧縮強度が向上しており、本年度のサンプル中最高値である。

また、最終目標である「下層路盤材」では、品質規格として「修正CBR値20%以上」と定められている。しかしながら、工業技術センターでは修正CBR測定を行うことができないため、圧縮強度値の比較により造粒体の強度向上を検討した。次年度、修正CBR値を外部委託により測定し、今回の圧縮強度値と比較し圧縮強度目標値を設定後、強度向上を検討する予定である。

### 3-3 作製した造粒体の物性値

図11に作製した造粒体のマクロ写真と表8に見かけ密度、真密度、吸水率の結果を示す。

表8 作製した造粒体の物性値

| サンプルNo | 見かけ密度(g/ml) | 真密度(g/cc) | 吸水率(%) |
|--------|-------------|-----------|--------|
| No1    | 0.794       | 2.343     | 37.513 |
| No2    | 0.944       | 2.329     | 35.354 |
| No3    | 1.136       | 2.319     | 33.079 |
| No4    | 0.806       | 2.316     | 39.591 |
| No5    | 0.879       | 2.318     | 35.612 |
| No6    | 0.834       | 2.315     | 30.311 |
| No7    | 0.978       | 2.459     | 21.135 |
| No8    | 0.868       | 2.333     | 27.484 |
| NoB    | 0.895       | 2.37      | 32.011 |

造粒体のマクロ写真より、全体的に粒径が揃ったサンプルになっていて目標の粒度分布の造粒体にすることが可能であることが伺える。見かけ密度では、No1~No3にかけて増加傾向を示している。これは粒度分布結果のところでも述べたが、篩い試験時に造粒体表面より原料粉が欠落して粉体が多くなったことが原因と考える。No4~NoBでは篩い試験時の原料粉欠落が見られないの

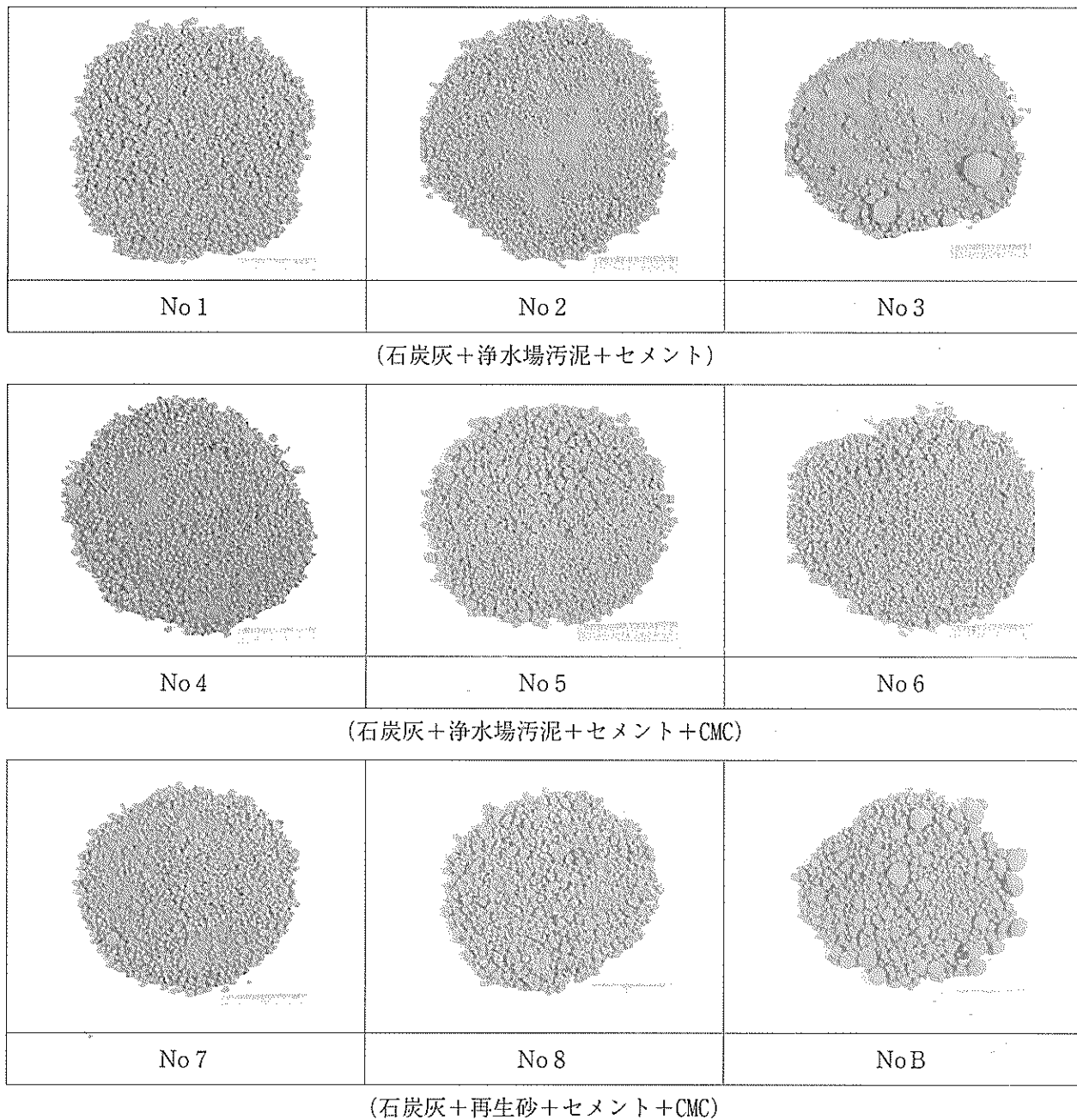


図11 造粒体マクロ写真

で、見かけ密度においても大きな変化は見られない。真密度では配合の違いによる大きな変化は見られない。吸水率では、配合に再生砂を加えたNo7,8,Bのサンプルにおいて吸水率の低下が見られる。No1~No6のサンプルは浄水場汚泥を配合した造粒体であるので、浄水場汚泥が再生砂よりも吸水性の高い材料であることが伺える。土木資材として考えた場合、吸水性が低い（排水性がある）方が好ましいと思われるので、再生砂配合が有効と考える。

#### 4 おわりに

今回、土木資材用途の造粒体の開発についての研究において造粒体の圧縮強度、粒度分布、物性値等を測定し、以下の結果を得た。

- ① 粒径4 mm～1 mmが中心となる粒度分布のアイリッヒミキサーおよびプロシエアーミキサーにおける造粒条件が得られた。
- ② 造粒体の圧縮強度は、本年度サンプル中、石炭灰、コンクリート廃材系再生砂、セメント、結合剤（CMC）による配合が全粒径において最高値を示し、

琉球大学で試作した「多機能造粒体」の圧縮強度値

よりも大幅に高い値が得られた。

- ③ 造粒体の吸水率は浄水場汚泥を使用した場合よりも再生砂を使用した場合のほうが低くなる傾向にある。土木資材としては再生砂を使用したほうが望ましいと考えられる。

今年度の結果を受け、次年度は「下層路盤材」の品質規格である「修正CBR値 20%以上」を得るために、修正CBR値と圧縮強度値の比較を行い目標圧縮強度値を確立し、新たな原料や結合剤などを選定し造粒体の強度向上を図る。また、造粒体の粒度分布も下層路盤材の標準値を満たす造粒条件を検討していく。

改善が得られた造粒条件において、大量生産試験機での造粒体作製、評価試験を行いプラントによる土木資材用途の造粒生産を目指す。

なお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おいておこなわれたものであり、ここに深甚たる謝意を表します。

#### 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)



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。