

# 廃棄物の固化技術に関する研究

宮城雄二、赤嶺公一、花城可英

無機汚泥系産業廃棄物の土木・建築資材等への有効利用促進により県内管理型最終処分場の延命及び、処理コストの低減を図るため、本県製造業から排出されるアルミスラッジ等の無機汚泥系産業廃棄物の化学組成、物性等を分析し、それぞれの性状に適した取扱を容易にする固化成形技術の確立を検討した。県内無機汚泥系産業廃棄物の情報収集及び採取後、試料の化学組成、物性など、その性状を分析した。また、固化成形技術に関して調査・検討した。結果、採取した無機汚泥系産業廃棄物の性状概要が得られ、適切と考えられる固化成形方法を推察することができた。

## 1 はじめに

本県の製造業から排出されるアルミスラッジ、建設系汚泥等の無機汚泥系産業廃棄物は、高含水率・性状未把握・不均一取扱が難しく、有効利用されずに現在管理型最終処分場で埋立て処理されてきた。しかし、本県の産業廃棄物の管理型最終処分場は逼迫しており、産業廃棄物処理費の負担増による生産コスト高から本県製造業の競争力の低下を招いている。そこで、産業廃棄物の有効利用を促進することが重要である。県内管理型最終処分場の延命及び、処理コストの低減を図るため、本県製造業から排出されるアルミスラッジ等の無機汚泥系産業廃棄物の化学組成、物性等を分析し、それぞれの性状に適した取扱を容易にする固化成形技術を確立し、当該物の土木・建築資材等への有効利用促進を図ることを目的として本研究を実施したものである。

## 2 実験方法

### 2-1 情報収集、試料採集

県内製造業より排出されるアルミスラッジ、建設系汚泥、等の無機汚泥系産業廃棄物について、排出状況や処理方法、リサイクル状況や過去の研究成果等について調査した。また、これらの廃棄物のサンプリングを実施した。

### 2-2 性状分析

サンプリングした無機汚泥系産業廃棄物試料について、含水率、粒径・粒形、X線回折、化学組成、比表面積、示差熱分析、pH、密度の測定を行い、各々の試料について性状の把握、機能性の探索等を実施した。

#### 2-2-1 含水率

試料の湿潤質量を測定後、110℃において一定質量になるまで乾燥させデシケータ内で室温まで放置したときの乾燥質量を測定し算出した。

#### 2-2-2 X線回折

試料の鉱物組成をX線回折装置（島津製作所 XD-D1）を用いてCu管球、20mA－30kV、粉末試料法にて測定した。

#### 2-2-3 化学組成

試料の化学組成をエネルギー分散型蛍光X線装置（株式会社リガク製 SPECTRO XEPOS）を用いてファンダメンタルパラメーター法により測定し、酸化物に換算して求めた。

#### 2-2-4 粒径・粒形

試料の粒径をレーザー回折式粒度分布測定装置（島津製作所 SALD-3000S）を用いて測定した。又、試料の粒形について、マクロ写真は一眼レフデジタルカメラ（NIKON D50）を用いて接写し、マイクロ写真はデジタルマイクロスコープ（KEYENCE VH-7000）を用いて撮影した。

#### 2-2-5 示差熱分析

試料の熱重量変化及び吸熱・発熱反応を示差熱分析装置（株式会社リガク ThermoPlus）を用いて昇温速度10℃/minで測定した。

#### 2-2-6 比表面積

試料の比表面積を比表面積測定装置（島津製作所 フローソープ II 2300）を用いてBET1点法により測定した。

#### 2-2-7 pH

試料のpHを地盤工学会基準「土懸濁液のpH試験方法」（JGS 0211-2000）を参考にしてガラス電極式pH計（島津製作所 NPH-50D）を用いて測定した。

#### 2-2-8 密度

試料の密度をJIS A 1202 土粒子の密度試験方法により測定した。

## 2-3 固化成形技術の調査・検討

先行する県内外の無機汚泥系産業廃棄物の固化成形技術、リサイクル技術等について情報収集を行い、その後現地調査を実施した。得られた固化成形技術の調査内容と、性状分析で得られた廃棄物の性状・機能性とを照らし合わせて、各無機汚泥系産業廃棄物に適した固化成形方法を検討した。

### 3 実験結果および考察

#### 3-1 無機汚泥系産業廃棄物の性状

本研究でサンプリングした主だった無機汚泥系産業廃棄物の性状概要を図1、2に示す。

<p>① アルミニウムスラッジ(Aスラッジ)</p>	<p>密度 : 2.45 (g/cm<sup>3</sup>)</p> <p>pH : 11.13</p> <p>粒径 : メディアン径 51.28 μm、モード径 60.92 μm</p> <p>含水率 : 4.73 %</p> <p>比表面積 : BET 5.75 (m<sup>2</sup>/g)</p> <p>示差熱分析 ;</p> <p>熱重量変化 200~300 °Cで26.5%の重量減</p> <p>吸熱・発熱反応 242,305,527 °C付近で吸熱反応</p>
<p>マクロ写真</p> <p>ミクロ写真</p>	
<p>化学組成 : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (97.85%)</p> <p>鉱物組成 : ギブサイト</p>	
<p>② アルミニウムスラッジ(Bスラッジ)</p>	<p>密度 : 2.59 (g/cm<sup>3</sup>)</p> <p>pH : 5.46</p> <p>粒径 : メディアン径 6.54 μm、モード径 6.47 μm</p> <p>含水率 : 81.17 %</p> <p>比表面積 : BET 113.4 (m<sup>2</sup>/g)</p> <p>示差熱分析 ;</p> <p>熱重量変化 570 °C付近までに約34%、その後1000 °Cまでに約12%の重量減</p> <p>吸熱・発熱反応 570 °C付近で吸熱反応、900 °C付近で弱い発熱反応</p>
<p>マクロ写真</p> <p>ミクロ写真</p>	<p>但し、分散する粒子についての測定結果</p>
<p>化学組成 : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (73.19%), SO<sub>4</sub> (26.12%), SiO<sub>2</sub> (1.53%)</p> <p>鉱物組成 : 無定形</p>	
<p>③ 石材加工スラッジ</p>	<p>密度 : 2.71 (g/cm<sup>3</sup>)</p> <p>pH : 9.39</p> <p>粒径 : メディアン径 14.67 μm、モード径 18.56 μm</p> <p>含水率 : 20.0 %</p> <p>比表面積 : BET 11.53 (m<sup>2</sup>/g)</p> <p>示差熱分析 ;</p> <p>熱重量変化 700~850°Cで約43%の重量減</p> <p>吸熱・発熱反応 830°C付近で吸熱反応</p>
<p>マクロ写真</p> <p>ミクロ写真</p>	
<p>化学組成 : CaCO<sub>3</sub> (93.6%), SiO<sub>2</sub> (2.1%), MgO (1.5%)</p> <p>鉱物組成 : カルサイト</p>	

図1 無機汚泥系産業廃棄物の性状概要 (その1)

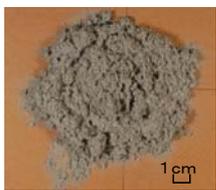
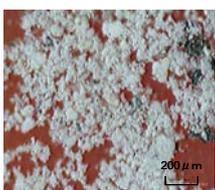
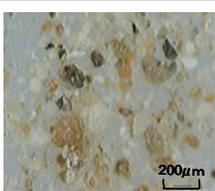
<b>④ 製紙スラッジ</b>		<p>密度 : 2.16 (g/cm<sup>3</sup>)</p> <p>pH : 8.45</p> <p>粒径 : メディアン径 —、モード径 —</p> <p>含水率 : 50.0%</p> <p>比表面積 : BET 11.90 (m<sup>2</sup>/g)</p> <p>示差熱分析 ;</p> <p>化学組成 : CaCO<sub>3</sub> (60.40%), SiO<sub>2</sub> (17.41%), 熱重量変化 200~600℃で約28%、700~800℃で約15%の重量減 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (12.33%), MgO (4.07%), SO<sub>4</sub> (1.11%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1.04%), TiO<sub>2</sub> (1.02%)</p> <p>鉱物組成 : カルサイト、カオリン</p> <p>吸熱・発熱反応 340℃付近で発熱反応、760℃付近で吸熱反応</p>
		
マクロ写真	ミクロ写真	
<b>⑤ 建設系汚泥(トンネル工事)</b>		<p>密度 : 2.65 (g/cm<sup>3</sup>)</p> <p>pH : 12.07</p> <p>粒径 : メディアン径 20.79 μm、モード径 30.33 μm</p> <p>含水率 : 74.85%</p> <p>比表面積 : BET 49.10 (m<sup>2</sup>/g)</p> <p>示差熱分析 ;</p> <p>化学組成 : CaCO<sub>3</sub> (59.26%), SiO<sub>2</sub> (23.33%), 熱重量変化 50℃付近で約2%、600~800℃で約22%の重量減 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (6.31%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (4.89%), SO<sub>4</sub> (2.70%), MgO (1.42%)</p> <p>鉱物組成 : カルサイト</p> <p>吸熱・発熱反応 50、780℃付近で吸熱反応</p>
		
マクロ写真	ミクロ写真	
<b>⑥ 建設系汚泥(道路工事)</b>		<p>密度 : 2.72 (g/cm<sup>3</sup>)</p> <p>pH : 8.47</p> <p>粒径 : メディアン径 5.93 μm、モード径 6.00 μm</p> <p>含水率 : 88.56%</p> <p>比表面積 : BET 13.83 (m<sup>2</sup>/g)</p> <p>示差熱分析 ;</p> <p>化学組成 : SiO<sub>2</sub> (39.52%), CaCO<sub>3</sub> (27.16%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (15.9%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (9.97%), MgO (1.63%), TiO<sub>2</sub> (1.01%)</p> <p>鉱物組成 : カルサイト、α-石英、イライト</p> <p>熱重量変化 55℃で約2%、200~500℃で約3%、 600~800℃で約14%の重量減</p> <p>吸熱・発熱反応 55,490,770℃付近で吸熱反応</p>
		
マクロ写真	ミクロ写真	

図2 無機汚泥系産業廃棄物の性状概要(その2)

\* 前述の図1、2中の化学組成、鉱物組成は主成分について表記しています。また、重金属などの有害物質の有無については別途、分析が必要です。

### アルミニウムスラッジ (Aスラッジ)

アルミニウム型材のアルカリ洗浄廃液、電解着色・塗装廃液を処理する過程のアルカリ回収装置で排出される。年間排出量144ton。沈降材として硫酸バンド（凝集剤）に混合し、リサイクルされている。

### アルミニウムスラッジ (Bスラッジ)

Aスラッジ同様、廃液を処理する過程の中和工程で排出される。年間排出量500ton。殆どを最終処分場埋立処分。水分量が多い、硫酸分が多い、乾燥後の比表面積が大きい、粒子が液体に分散しにくいなどの特徴がある。

### 石材加工スラッジ

石灰岩を切削・研磨加工する際に排出される。主成分が炭酸カルシウム（石灰石）なので、再生建築資材の副資材、釉薬の原料など一部でリサイクル活用も行われている。

### 製紙スラッジ

ちり紙等の再製紙製造工程の洗浄機廃液処理の際に排出される。年間排出量4000ton。主な鉱物組成は炭酸カルシウム、カオリン等である。可塑性もあり、乾燥時の強度が大きい等の特徴がある。炭化によるリサイクルが検討されている。

### 建設系汚泥（トンネル工事）

トンネル工事現場より排出。主成分は炭酸カルシウム（石灰石）であるが粘土成分も混じっている。但し、工事現場により性状に違いがある可能性が高い。ほぼ懸濁液状態であるので如何に脱水するかがリサイクル活用のポイントである。

### 建設系汚泥（道路工事）

道路工事、河川工事等の現場より排出。主成分は粘土である。但し、工事現場により性状に違いがある可能性が高い。ほぼ懸濁液状態であるので如何に脱水するかがリサイクル活用のポイントである。

## 3-2 固化成形法の調査・検討

県内外の無機汚泥系産業廃棄物の固化成形技術、リサイクル技術等について調査した結果、図3に示す固化成形方法の概要が得られた。

図3に示す基本的な固化成形方法を以下に示すA、Bに大別できると考える。

A：脱水、破碎・攪拌、造粒工程が1台で行える大型装置の導入による固化成形方法

B：薬品（凝集剤、沈降剤、固化剤等）による脱水を行った汚泥に副資材等を混合して、造粒、プレス成形を行う固化成形方法

この両固化成形方法と、性状分析で得られた廃棄物の性状・機能性とを照らし合わせて、各無機汚泥系産業廃棄物に適した固化成形方法を検討した。その結果、本研究で調

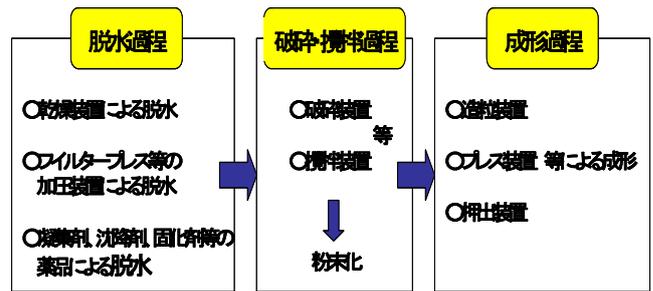


図3 無機汚泥系産業廃棄物の基本的な固化成形方法

査した無機汚泥系産業廃棄物に関しては、アルミニウムスラッジ（Aスラッジ）と石材加工スラッジはAの固化成形方法、アルミニウムスラッジ（Bスラッジ）、製紙スラッジ、建設系汚泥（トンネル工事、道路工事）はBの固化成形方法が適していると推察できる。但し、あくまでも推察であり、実際に各々の汚泥を活用する場合には更なる調査、研究開発を要する。

## 4 まとめ

県内無機汚泥系産業廃棄物の情報収集及び試料採取後、化学組成、物性等を調べその性状を分析した。また、固化成形技術に関して調査・検討した結果、排出状況やコスト面などから、

A：脱水、破碎・攪拌、造粒工程が1台で行える大型装置の導入による固化成形方法

B：薬品（凝集剤、沈降剤、固化剤等）による脱水を行った汚泥に副資材等を混合して、造粒、プレス成形を行う固化成形方法

の2つの固化成形方法に大別でき、性状分析で得られた結果と照らし合わせて、各無機汚泥系産業廃棄物について適切と考えられる固化成形方法を推察することができた。

## 謝辞

本研究は沖縄県産業廃棄物税を活用し実施したものです。また、本研究を遂行するにあたり試料のサンプリング及び情報収集のご協力を賜った県内外関連会社の皆様に、この場を借りて感謝申し上げます。

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。