

(株)市川工務店 正員 〇市川治徳  
日本碍子(株) 正員 笠倉忠夫

1. まえがき

下水道の普及に伴い、下水処理場から発生する汚泥の処理について各方面で苦慮されている。下水汚泥の処理方法の一つに焼却灰にして埋立地に廃棄する方法があるが、土地の高騰、処分地地域住民とのトラブル、埋立てに適した土地の無くなりつつあることなどの諸要因により、最終処分地が制限されつつある。それに反して下水汚泥の発生量は、都市機能の増大、下水処理場の増新設により増加の一途をたどっており、下水道事業の存続、促進そのものに困難な影を投げかけていることは周知のとおりである。これを抜本的に解決するには、汚泥を最終的に何らかの形で消費つまり再利用するのが一番である。再利用を継続的に成功させるためには、再利用の対象物に供給と需要の安定性を具備させなくてはならない。大量消費の期待できる土木材料の場合こうした再利用の要件にかなうもの一つである。下水汚泥焼却灰を熔融、結晶させることで骨材として再利用が可能であるという結論が得られたので報告する。



写真 熔融骨材 粒径 20mm

2. 熔融骨材の製造

2-1 熔融骨材の製造過程

下水汚泥焼却灰を熔融炉で熔融させた後、熔融スラグに熱処理することで結晶化を図り、ガラス質の発生を防ぎ、強度の高い重量骨材を得る。図-1に熔融骨材の製造手順を示す。

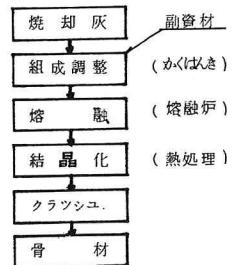


図-1 熔融骨材の製造手順

2-2 熔融、結晶条件の把握

熔融、結晶のための処理条件を把握するため、熔融並びに結晶化のベンチ実験を行った。

① 流動化率 焼却灰を実際の実用炉で熔融する場合に、熔け流水の程度を知る指標として、電気炉を使って、簡便に測定できる次の係数を流動化率と定義した。

$$(\text{流動化率}) = \frac{(\text{熔融後ルツボを傾けた時流出したスラグの重量})}{(\text{ルツボに充填された焼却灰の重量})} \times 100\%$$

ここにおいて、実際のフロント運転の温度が1150～1450℃であるため流動化率測定時の熔融条件は1400℃、20分保持である。熔融に対しては塩基度(CaO/SiO<sub>2</sub>)が重要な因子となっており焼却灰にSiO<sub>2</sub>に富んだガラス、CaOに富んだ炭酸カルシウムを添加し、流動化率の塩基度依存性を検討した(図-2)。図-2からわかるように塩基度0.6～1.3の範囲で流動化率が高く熔融し易いことを示している。

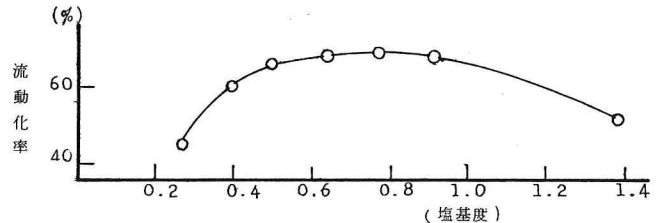


図-2 流動化率の温度依存性

② 熱処理条件 ぜい弱なガラス質の生成を防ぐには熔融後の熱処理が重要となる。結晶の成長に際し、熔

融スラグを核形成温度( $T_1$ )に保持して核を形成させ、次に結晶成長温度( $T_2$ )に保持する二段処理が望ましいが、図-3のとおり核形成温度( $T_1$ )は結晶成長温度( $T_2$ )より低い所にあり、この二段熱処理では熔融物の温度を一旦 $T_1$ まで降下させた後、再度 $T_2$ まで上昇させる必要があり、エネルギー的にロスがあり実用上問題がある。したがってベンチ実験によって結晶化のための熱処理条件を検討した結果次の結論を得た。

1. 焼却灰の組成変動で異なるが結晶化温度としては $1120\sim 1180^\circ\text{C}$ が適している。
2. 結晶成長速度は図-3のように $T_2$ を中心に分布しているが、 $1050\sim 1200^\circ\text{C}$ に $60\sim 90$ 分間の保持で結晶化する。

したがって、実用炉でも一段熱処理でも十分結晶すると確認された。

### 2-3 パイロットプラントでの熔融骨材の製造

日本碍子(株)知多工場の反射炉で実際の骨材製造を行った。工業化を目指した場合、この炉の2倍程度の規模になるものと思われる。材料とした焼却灰の化学組成を表-1に示す。

表-1 焼却灰の組成 (%)

サンプル	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
A処理場	0.81%	1.46	0.91	0.46	1.07	3.50	43.9
B処理場	2.12	0.74	0.67	2.0	7.25	1.08	27.5

### 3. 骨材の評価

#### 3-1 重金属溶出量

焼却灰の含有重金属であるPb, Zn, Cr, Cdについて溶出試験を行った。その結果を図-4に示す。陸上埋立て処分に対する重金属溶出基準と比較してはるかに小さい。熔融後熱処理を行なわなか、たガラス質の多い熔融スラグの方がやや溶出量が多いといえる。これらの値はスラグ、骨材を微粉細して計測したものであり、実際の値はこれよりさらに低い値になるものと思われる。

#### 3-2 材料としての評価

熔融骨材の骨材試験結果を表-2に示す。JIS規格を満足している。高炉スラグ、道路用スラグのJIS規準値は更に低いため、骨材として十分利用できる。粒度面では $C_{30}\sim 0$ に砕いた場合、 $C_{30}\sim 0$ の粒度範囲を外れるところが少しあるので、粒度調整を行っての使用を考える必要がある点もある。修正CBR試験で一応の結

表-2 骨材の評価試験

	比重			吸水率 (%)	すりへり試験 すりへり減量 (%)	安定性試験 損失量 (%)	単位 容積重量 $\text{kg/m}^3$	骨材の洗い試験 (%) 8 $\mu\text{m}$ 以下の通過率	粗骨材中の 軟石量 (%)	修正CBR (%)
	表 乾	か さ	見 掛							
試験値	3.009	2.973	3.068	1.016	1.36	0.11	1.966	3.2	0	78.0
JIS基準値	2.45以上			3以下	30以下	12以下			5以下	30以上

果が出たので、道路用砕石としての施工性試験を行った。熔融骨材3.5tを $3000\times 2000\times 200\text{mm}$ に締固めジューセルローラで転圧を行った。熔融骨材のみの場合、骨材の堅固過ぎること、上記粒度面の欠点から締固め、施工性が不十分であった。しかしこの欠点は粒度の調整で補える程度といえる。骨材使用の目的がまったので問題ないが、もし廃棄物として処理するとしても、体積の面で焼却灰から比較して1/10程度となり処分面で非常に有利である(表-3)。

結論として下水汚泥の熔融骨材化は実用可能といえる。

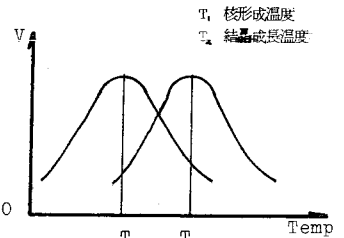


図-3 核形成速度、結晶成長速度の温度依存性

重金属溶出基準 (埋立処分)

	Pb	Cr <sup>6+</sup>	Cd
(以下)	3.0	1.5	0.8

溶出量 (mg/2)

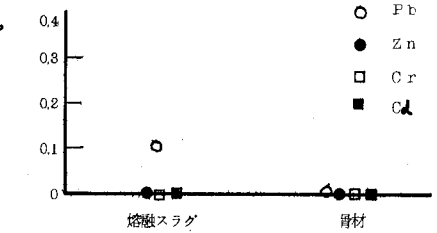


図-4 重金属の溶出量

表-3 下水汚泥の体積変化

	汚泥ケーキ	焼却灰	結晶骨材
重量	1 t	40 Kg	46 Kg
体積	1 m <sup>3</sup>	約0.133m <sup>3</sup>	約0.017m <sup>3</sup>