

# 報告

## 焼却残さの焼成による資源化(Ⅱ) —ストーカ式焼却炉残灰の焼成—

代田 寧、吉野秀吉  
(環境工学部)

### Note

#### Utilization of incineration residue by calcination (Ⅱ) —Calcination of bottom ash from mechanical stoker type incinerator—

Yasushi DAITA and Hidekichi YOSHINO  
(Division of Environmental Engineering)

#### 1. はじめに

前報(焼却残さの焼成による資源化(Ⅰ))で述べたように、埋立処分場確保の困難性から、現在、一般廃棄物焼却残さの資源化再利用が強く望まれている。

一般に、陶器、タイルなどの焼成では、原料の組成やその混合比により、最適焼成温度や焼成物の性質が変化する。そのため、焼却残さなどを焼成によって資源化する場合には、その組成を把握することが重要となってくる。

ストーカ式焼却炉から排出される残灰は、流動床式焼却炉から排出される不燃残さと異なり、ガラス屑などの不燃物の他に、焼却灰、未燃物、クリンカーを含む。クリンカーはガラスの溶融による金属や焼却灰などとの塊であり、これを分離して組成を把握することはほとんど不可能である。そのため、クリンカーが多く含まれる残灰を焼成する場合には、焼成温度の設定が難しく、焼成物の性質も変化するため、残灰単独で資源化することが困難となる。

そこで、本研究では残灰より融点が低く、焼成

温度の調整が容易で、焼却場で比較的入手し易い、アルミニウムまたは下水汚泥焼却灰を残灰に添加して焼成を行い、焼成物の圧縮及び曲げ強度、体積収縮率などを測定し、残灰の資源化についての基礎的研究を行った。

#### 2. 実験

##### 2.1 試料

試料はそれぞれ異なる3施設から、焼却炉の後燃焼室より直接、約20kgを1回ずつ採取したものについて、重量比で組成分類を行った。実験に使用した残灰の組成割合を表1に示した。表1の10mm以下のものにもクリンカーの破砕物が多く含まれており、これと表中のクリンカーの割合からみると残灰中に占めるクリンカーの割合は3施設ともかなり高くなる。これらの残灰から金属類を除いた後、表1の組成別に破砕機で0.1mm以下に粉砕し、元の組成割合に調製して供試料とした。なお、特に記述しない場合にはA施設の残灰を用いて実験を行った。

表1 ストーカ式焼却炉残灰の組成割合  
(単位は、重量%)

組 成	A施設	B施設	C施設
1 mm以下	30.4	7.6	51.8
1 ~10mm	26.1	14.5	20.6
クリンカー	21.0	62.3	18.8
ガラス屑	7.8	7.0	1.3
陶磁器屑	2.3	1.2	0.6
砂礫	1.4	0.3	0.6
金属類	11.0	6.6	6.3
未燃焼物	0.0	0.5	0.0
合 計	100.0	100.0	100.0

アルミニウム粉末は和光純薬製の200メッシュ以下のものを使用した。

下水汚泥焼却灰は下水処理場から排出された汚泥を脱水後、流動床式焼却炉で焼却処理したときに電気集じん器に捕集された飛灰である。

## 2.2 実験方法

### 2.2.1 焼成の予備試験

粉碎した残灰に、それぞれアルミニウム粉末の場合には30~50% (以下全て重量%)、下水汚泥焼却灰の場合には50%添加して、磁器をつぼに入れたものと、160kgf/cm<sup>2</sup>で圧縮成型した円形の板状のものを、電気マッフル炉(池田理化、MPC-400)を用い、大気中で、アルミニウム粉末添加の場合には1000℃、5時間、下水汚泥焼却灰添加の場合には1000℃または1050℃、5時間の条件で焼成を行った。

### 2.2.2 焼成の本試験

本試験では、残灰に下水汚泥焼却灰を添加したのものについて焼成を行った。残灰に下水汚泥焼却灰を一定量混合したものに、圧縮成型性を向上させるために水を約10%加え、圧縮強度試験用の円柱形(直径30mm、高さ約40mm)及び曲げ強度試験用の四角い板形(縦21.5mm、横63.5mm、厚さ約10mm)にそれぞれ300kgf/cm<sup>2</sup>で圧縮成型した。これらを乾燥後、昇温速度2℃/minで昇温し、設定焼成温度1050または1100℃で2時間保持した後、冷却速度2℃/minで徐冷した。得られた焼成物については、材料試験機(島津、オートグラフAG-5000D)を用いて圧縮強度及び曲げ強度の測定を行った。

また、体積収縮率は次式により算出した。

$$C = (V_1 - V_2) / V_1 \times 100$$

ここで C : 体積収縮率(%)

V<sub>1</sub> : 焼成前の供試体の体積(m<sup>3</sup>)

V<sub>2</sub> : 焼成後の供試体の体積(m<sup>3</sup>)

### 2.2.3 金属の溶出試験

焼成物の溶出試験は前報と同様の方法で行った。

## 3. 結果及び考察

### 3.1 焼成の予備試験

#### 3.1.1 アルミニウム粉末の添加による焼成

残灰は1000℃の焼成では焼結しなかった。そこで、アルミニウム粉末をそれぞれ30、40、50%加えて1000℃で焼成すると、30%添加の場合にポラスで透水性のある軽量な材料が得られたが、カーバイト臭がしたり、摩耗し易い性質であった。また、圧縮成型した後焼成すると、透水性は悪くなり、また簡単に壊れ易かったので、付加価値の高い二次製品としての可能性は低いことがわかった。

アルミニウム粉末の原料となるアルミニウム缶等の廃アルミニウムは、分別収集、アルミニウム選別機による純度の高い分別回収ができるようになってきているので、アルミニウム原料としての再利用が有効と思われる。

#### 3.1.2 下水汚泥焼却灰の添加による焼成

残灰に下水汚泥焼却灰を50%加えたものと、下水汚泥焼却灰のみのもについて1000℃で焼成したところ、下水汚泥焼却灰のみではレンガ状の焼成物が得られたが、残灰を混合した焼成では脆く、焼結が不十分であった。そこで、下水汚泥焼却灰混入率50%で、焼成温度を1050℃にして焼成したところ焼結はしたが、この焼成物は表面が摩耗しやすく、やや脆かった。次に、同じ混合灰を圧縮成型してから1050℃で焼成したところ、摩耗性及び強度の改善が認められたので、下水汚泥焼却灰の添加量を調製し、圧縮成型した後、焼成温度を変化させて焼成物の違いを調べた。

### 3.2 焼成の本試験

#### 3.2.1 下水汚泥焼却灰の添加による焼成

残灰に下水汚泥焼却灰をそれぞれ30、50、70%

添加したものと、残灰のみ及び下水汚泥焼却灰のみについて、2.2.2に示した方法で焼成し、圧縮及び曲げ強度、体積収縮率を求めた。

下水汚泥焼却灰混入率と圧縮強度及び曲げ強度との関係を、図1及び図2にそれぞれ示した。図1、2より、1050℃の焼成では下水汚泥焼却灰のみ(混入率100%)のときが圧縮強度、曲げ強度と

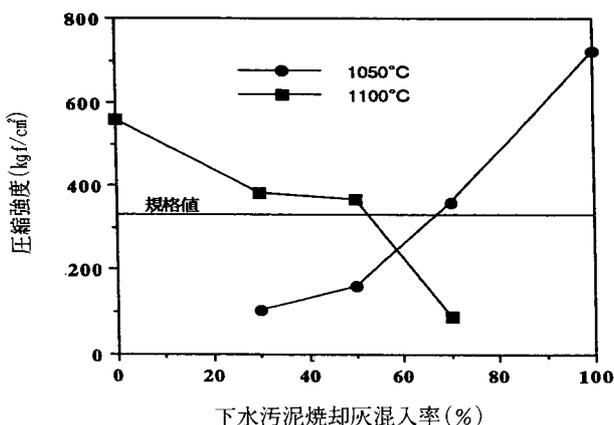


図1 残灰の焼成における下水汚泥焼却灰混入率と圧縮強度の関係

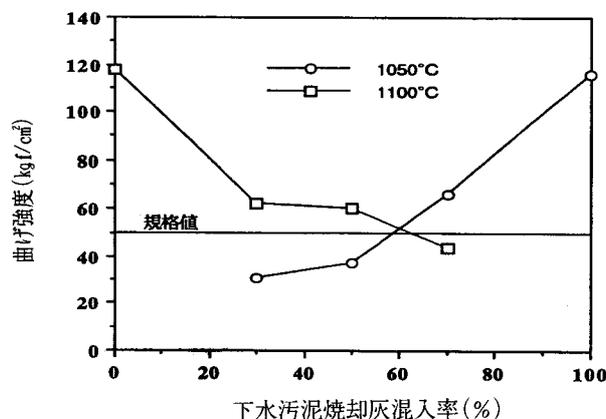


図2 残灰の焼成における下水汚泥焼却灰混入率と曲げ強度の関係

もに最も強度が高く、残灰の割合が増加すると、焼結が不十分となりそれぞれの強度は低くなった。1100℃の焼成では、逆に残灰のみ(下水汚泥焼却灰混入率0%)のときが圧縮強度、曲げ強度ともに最も強度が高く、下水汚泥焼却灰混入率が増加するとともにそれぞれの強度は低くなり、下水汚泥焼却灰のみでは完全に溶融してしまった。これらのことから、残灰より融点の低い下水汚泥焼却灰が残灰の結合剤の役割をしていることがわかった。また、1100℃の焼成の場合には、下水汚泥焼却灰の溶融の影響より、残灰に含まれるガラスの

溶融の影響が強くなると考えられる。

下水汚泥焼却灰混入率が30~50%では、1050℃より1100℃の焼成の方が圧縮強度、曲げ強度ともに高く、しかも圧縮強度が380kgf/cm<sup>2</sup>前後、曲げ強度が60kgf/cm<sup>2</sup>前後と安定していた。

体積収縮率は、圧縮強度試験用の円柱形、曲げ強度試験用の四角い板形ともにほぼ同じであり、圧縮成型圧力と焼成温度に依存することが示唆された。曲げ強度試験用の場合における、下水汚泥焼却灰混入率と体積収縮率との関係を図3に示した。体積収縮率は下水汚泥焼却灰の混入率が増加するとともに、焼結による収縮が進行するため高くなった。しかし、下水汚泥焼却灰混入率70%、焼成温度1100℃の焼成物では体積収縮率が低下した。これは、内部からガスが発生したことによる発泡が原因である。

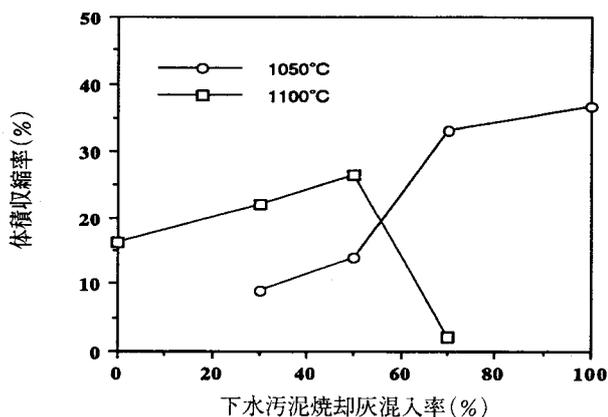


図3 残灰の焼成における下水汚泥焼却灰混入率と体積収縮率の関係

また、下水汚泥焼却灰の混入率に影響されず体積収縮率の差が小さくなるのは、下水汚泥焼却灰の混入率が、1050℃焼成では30~50%と70~100%、1100℃焼成では0~50%の場合であった。

付加価値の高い二次製品として安定した製品を得るには、ある程度幅をもたせ、下水汚泥焼却灰混入率や焼成温度などの変動に対して、強度及び体積収縮率があまり変化しないことが必要である。また、供給量の問題から下水汚泥焼却灰はできる限り少ない方がよい。

以上の結果から、下水汚泥焼却灰混入率を30~50%にして、1100℃で焼成することによって、強度が安定して体積収縮率の差の小さい焼成物が得られることがわかった。

一方、インターロッキングブロックの品質規格

では、通常曲げ強度試験を行い、強度が50kgf/cm<sup>2</sup>以上と規定し、形状その他により曲げ強度試験ができない場合にはコアによる圧縮強度試験を行い、330kgf/cm<sup>2</sup>以上と規定している<sup>1)</sup>。下水汚泥焼却灰混入率30～50%、焼成温度1100℃の条件では、圧縮強度及び曲げ強度は規格値とほぼ同等の強度であった。

渡部ら<sup>2)</sup>は、下水汚泥焼却灰を原料としたレンガ、タイルの製造に関する研究で、バインダー(結合剤)としてポリビニルアルコールを添加することで、圧縮成型性及び焼成物の強度が向上されることを報告している。このようなバインダーを使用したり、また全て微粉化せず、微粒、細粒、粗粒に分けて圧縮成型することによって圧縮成型性を向上させたり、また焼成方法の改善などにより、本焼成物においても強度を向上させることは可能と思われる。

### 3.2.2 金属の溶出試験

下水汚泥焼却灰混入率50%における溶出試験結果を表2に示した。有害金属含有量はかなり高濃度であったが、溶出試験では全て不検出で、有害金属の溶出に関しては問題はないと思われた。

表2 残灰焼成物の有害金属含有量及び溶出量

有害金属	含有量(mg/kg)	溶出量(mg/l)
Pb	1020	nd
Cd	5.8	nd
Zn	2800	nd
Cu	3130	nd
Cr	310	nd
Ni	270	nd
As	0.1	nd

残灰焼成物：下水汚泥焼却灰混入率50%

nd：検出限界以下

### 3.2.3 下水汚泥焼却灰混入による焼成の実用化試験

組成の違いによる影響を検討するため、3施設から得られたそれぞれの試料について、良質の焼成物が得られることがわかっている下水汚泥焼却灰混入率30%、焼成温度1100℃の条件で実験を行った。その結果、曲げ強度は61.6～69.3kgf/cm<sup>2</sup>と試料間の大きな差がなく、また体積収縮率は19.2～23.1%で、試料間の体積収縮率の差は4%以下と小さかった。これらのことから、組成の違いによる強度、収縮率に与える影響は少ないと思われる。

色調に関しては、下水汚泥焼却灰のみでは酸化鉄による赤褐色調(レンガ様)が強いが、下水汚泥焼却灰の割合が低くなるに従って淡褐色となった。また、3施設の残灰のうち鉄の割合が多いものほど赤褐色調が強くなっており、残灰の組成の違いが色調に影響を与えることがわかった。

## 4. おわりに

以上の結果から、残灰に下水汚泥焼却灰を30～50%添加し、1100℃で焼成することにより、強度は十分ではないものの、組成の違いによる影響の小さい有用性のある焼成物が得られた。これは、耐摩耗性にはやや欠けるものの、花壇の周囲を囲う土止め石等代替レンガとしての用途が考えられる。また、バインダーの使用などにより強度が改善できれば、異なる方面での実用化の可能性もある。

試料の破碎、強度、色調、低沸点金属の揮散等の安全性の問題など検討すべきことは多いが、埋立処分場不足から、焼却残さの資源化はこれからの重要課題と言える。

### 参 考 文 献

- 1) インターロッキングブロック舗装研究委員会：インターロッキングブロック舗装設計施工要領、インターロッキングブロック協会、p.63(1987)
- 2) 渡部春樹、白石隆、檜山達雄：PPM、Vol.24、No.2、pp6-15(1993)